

福島第一原子力発電所
特定原子力施設への指定に際し
東京電力株式会社福島第一原子力発電所に
対して求める措置を講ずべき事項について
等への適合性について
(ALPS 処理水の海洋放出に係る
運用体制の変更及び
測定・評価対象核種の選定について)
補足説明資料

令和5年2月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1 章 特定原子力施設の保安

- 1.1 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項への適合性 1-1

2 章 特定原子力施設の設計, 設備

- 2.14 設計上の考慮事項 2.14-1
- 2.14.1 準拠規格及び基準への適合性 2.14.1-1
- 2.14.2 自然現象に対する設計上の考慮への適合性 2.14.2-1

3 章 政府の基本方針[※]を踏まえた当社の対応について

- 3.1 政府の基本方針を踏まえた当社の対応の実施計画への反映内容等について 3.1-1

※：東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等
処理水の処分に関する基本方針（令和3年4月13日）

1 章 特定原子力施設の保安

1.1 特定原子力施設の保安のために措置を 講ずべき事項への適合性

特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について（平成 24 年 11 月 7 日原子力規制委員会決定）

（以下「措置を講ずべき事項」という。）

III. 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項

運転管理，保守管理，放射線管理，放射性廃棄物管理，緊急時の措置，敷地内外の環境放射線モニタリング等適切な措置を講じることにより，「II. 設計，設備について措置を講ずべき事項」の適切かつ確実な実施を確保し，かつ，作業員及び敷地内外の安全を確保すること。

特に，事故や災害時等における緊急時の措置については，緊急事態への対処に加え，関係機関への連絡通報体制や緊急時における医療体制の整備等を行うこと。

また，協力企業を含む社員や作業従事者に対する教育・訓練を的確に行い，その技量や能力の維持向上を図ること。

1.1.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は，運転管理，保守管理，放射線管理，放射性廃棄物管理，緊急時の措置，敷地内外の環境放射線モニタリング等適切な措置を講じることにより，「II. 設計，設備について措置を講ずべき事項」の適切かつ確実な実施を確保し，かつ，作業員及び敷地内外の安全を確保する。

1.1.2 対応方針

1.1.2.1 ALPS 処理水海洋放出の運用体制

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る保安に関する職務のうち、発電所組織の職務は次のとおり。なお、保全のために行う設計、建設・設置及び保守管理については、施設管理計画に基づき実施する。

- (1) ALPS 処理水プログラム部は、1～4号炉に係る安全確保設備等のうち、多核種除去設備等により、トリチウム以外の放射性物質を告示濃度限度比総和1未満まで浄化処理した水（以下、ALPS 処理水という。）の海洋放出に関連する設備のプロジェクトの計画及び管理、運用方法の検討並びにALPS 処理水希釈放出設備の運転計画に関する業務並びにこれらに係る機械設備及び土木設備の設計及び建設・設置に関する業務を行う。また、ALPS 処理水の分析の計画に関する業務を行う。
- (2) 電気技術グループは、電気設備の設計に関する業務（配電・電路GMが所管する業務を除く。）を行う。
- (3) 計装技術グループは、計装設備の設計に関する業務を行う。
- (4) 建築建設技術グループは、新設建築設備に係る設計に関する業務を行う。
- (5) 水処理当直は、1～4号炉に係る安全確保設備等のうち、汚染水処理設備等、滞留水を貯留する建屋、多核種除去設備等、サブドレン他水処理施設（地下水ドレン集水設備を除く。）及びALPS 処理水希釈放出設備の運転管理（運用支援GM、作業管理GM及び水処理計画GMが所管する業務を除く。）に関する業務を行う。
- (6) 運用支援グループは、1～4号炉に係る安全確保設備等、5号炉及び6号炉に係る原子炉施設、その他安全確保設備等のうち、使用済燃料共用プール設備、放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（雑固体廃棄物焼却設備及び増設雑固体廃棄物焼却設備を除く。）の運転管理のうち、マニュアル・手順書及び設備管理に関する業務を行う。また、1～4号炉に係る安全確保設備等のうち、原子炉圧力容器・格納容器注水設備（ろ過水タンク、純水タンク及び原水地下タンク）、その他安全確保設備等のうち、放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（雑固体廃棄物焼却設備及び増設雑固体廃棄物焼却設備）、大型機器除染設備並びに減容処理設備の運用に関する業務を行う。

- (7) 貯留設備グループは、1～4号炉に係る安全確保設備等のうち、汚染水処理設備等（貯留設備）の土木設備及び ALPS 処理水希釈放出設備の機械設備の保守管理並びに汚染水処理設備等（貯留設備の付帯設備）及び雨水処理設備等の建設・設置及び保守管理に関する業務を行う。
- (8) 電気設備保守グループは、電気設備の保守管理並びに電源車の運用及び保守管理に関する業務（配電・電路GM及び建築設備保守GMが所管する業務を除く。）を行う。
- (9) 電気設備建設グループは、電気設備の建設・設置に関する業務（配電・電路GMが所管する業務を除く。）を行う。
- (10) 水処理計装設備グループは、1～4号炉に係る安全確保設備等のうち、汚染水処理設備等、滞留水を貯留する建屋、多核種除去設備等、サブドレン他水処理施設、油処理装置、3号機原子炉格納容器内取水設備、ALPS 処理水希釈放出設備、5号炉及び6号炉に係る原子炉施設のうち、5・6号炉仮設設備（滞留水貯留設備）、その他安全確保設備等のうち、放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設、放射性物質分析・研究施設第1棟、大型機器除染設備並びに減容処理設備に係る計装設備の建設・設置及び保守管理に関する業務を行う。
- (11) 土木基盤設備グループは、土木設備の建設・設置及び保守管理に関する業務（土木基盤設備GM以外の各プログラム部長及び各GMが所管する業務を除く。）を行う。
- (12) 建築設備保守グループは、建築設備の保守管理に関する業務（建築設備保守GM以外の各プログラム部長及び各GMが所管する業務を除く。）を行う。また、その他安全確保設備等のうち、大型機器除染設備に係る電気設備の保守管理に関する業務を行う。
- (13) 建築設備建設グループは、建築設備の建設・設置に関する業務（建築設備建設GM以外の各プログラム部長及び各GMが所管する業務を除く。）を行う。
- (14) 放出・環境モニタリンググループは、放射線管理のうち、発電所内外の陸域・海域の環境モニタリング、放射性廃棄物管理のうち、液体廃棄物等の排水管理、1～4号炉等からの気体廃棄物の放出測定管理及び5・6号炉からの放射性気体廃棄物の放出管理に関する業務を行う。

- (15) 分析評価グループは、分析施設の運用、放射能・化学分析機器の管理並びに放射性物質分析・研究施設第1棟の運用及び保守管理、分析・データ評価に関する業務を行う。

1.1.2.2 ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の選定

(1) 概要

ALPS 処理水中のトリチウム以外の放射性核種については、多核種除去設備等処理水の主要 7 核種*に炭素 14 及びテクネチウム 99 を加えた放射能濃度の分析結果の合計値と全β測定値において、現行の 64 核種以外の放射性核種の存在を疑わせるようなかい離は認められていないことや、ALPS 処理水を海洋放出する時点においては、十分に減衰して存在量が十分少なくなっている ALPS 除去対象核種も考えられること等から、告示濃度限度の比の和が 1 未満を満足すると考えている。

このうえで、告示濃度限度比総和 1 未満を満足することを確実なものとするため、国内における廃止措置や埋設施設に関する知見を踏まえ、汚染水中に有意に存在するか徹底的に検証を実施したうえで、測定・評価の対象とする放射性核種（以下「測定・評価対象核種」という。）を選定する。

※：ALPS は 62 核種を除去対象として、これら核種の告示濃度限度との比の総和が 1 を下回る処理性能を有しているが、62 核種全ての分析には長時間を要するため、廃炉作業を遅延させずに ALPS の性能確認やタンク群に含まれる核種濃度を把握するために代表的な核種を選定し、それらの測定値をもって評価する必要があった。この時、62 核種分析にて、告示濃度限度に対して有意に検出された 7 核種（Cs-134,Cs-137,Sr-90,I-129,Co-60,Sb-125,Ru-106）を“主要 7 核種”と呼んでいる。

(2) 測定・評価対象核種の選定方針

福島第一原子力発電所の汚染水に有意に含まれる可能性のある核種の検証を行うにあたり、廃止措置や埋設施設に関する知見を踏まえて、核種分析を実施するとともに、1～3号機の燃料及び構造材を考慮したインベントリ評価を実施する。

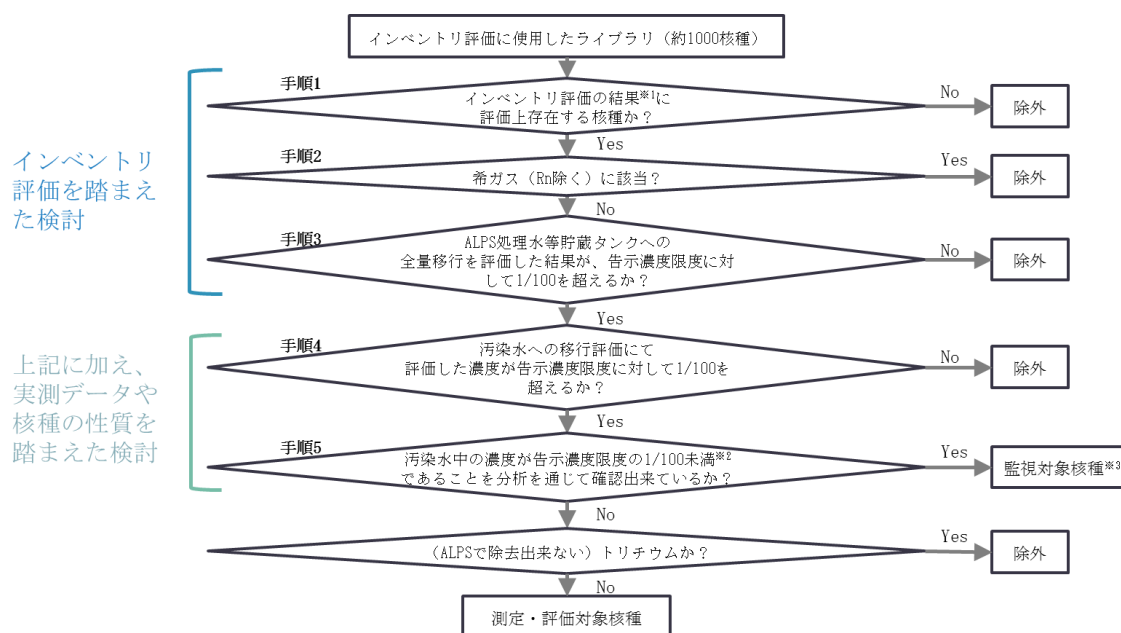
| |
|--|
| 核種分析 |
| 廃止措置や埋設施設に関する研究において評価対象としている核種が、汚染水でも有意に存在するか否か、実際に分析して確認する。また、過去の核種分析結果についても確認する。 |
| インベントリ評価 |
| ALPS 除去対象核種検討時と同様に核分裂生成物のインベントリ評価を実施すると共に、廃止措置や埋設施設に関する研究を参考に、原子炉圧力容器内の構造物等の放射化により生成するインベントリ量を評価する。なお、評価に当たっては、震災後から経過する期間を適切に設定したうえで、減衰によるインベントリ量の減少を考慮する。 上記評価結果から、水への移行しやすさ等を考慮したうえで、汚染水中に有意に含まれる可能性のある核種の存在を確認する。 |

核種分析及びインベントリ評価の結果から、線量評価への影響を踏まえて、測定・評価対象核種を選定する。

(3) ALPS 処理水の測定・評価対象核種を選定

a. ALPS 処理水の測定・評価対象核種を選定の考え方

(2)項の核種分析及びインベントリ評価の結果から、図 1.1-1 に示すフローに従い、測定・評価対象核種を選定する。



※1：インベントリ評価の減衰期間は、選定結果を使用する時期に応じて適切に設定（初回は2023年（事故後12年）に設定）

※2：過去に検出されたことのある核種は検出値の最大値、一度も検出されたことのない核種は検出下限値の最小値で確認

※3：汚染水中に有意に存在しないか継続して確認する核種

図 1.1-1 ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種選定フロー

b. 放出基準の確認

ALPS 処理水の海洋放出にあたって、図 1.1-1 のフローに基づき選定した測定・評価対象核種にて放出基準（トリチウムを除く放射性核種の告示濃度限度比の和が1未満）を満足しているか確認する。

c. 測定・評価対象核種の定期的な確認

図 1.1-1 のフローに基づき選定した測定・評価対象核種は、過去の分析結果を確認したうえで選定しているが、今後の廃炉作業の進捗によって、その状況に変化が生じる可能性が考えられる。このため、選定した測定・評価対象核種以外の核種（以下「その他核種」という。）が有意に（告示濃度限度の 1/100 以上で）存在しないことを、以下の方法により確認する。この確認の中で、その他核種が有意に存在することが確認された場合は、測定・評価対象核種の再評価を行う。なお、放射性核種の減衰についても、選定フローの中で反映する。

(a) 放出の都度の確認

ALPS 処理水の放出基準を確認する際、全 α 、全 β 、Ge 半導体検出器による測定で、その他核種が有意に存在しないことを確認する。

(b) 汚染水中のトレンド確認

集中 R_w 以降で定期的に確認している汚染水の放射性核種の濃度が、過去に確認された濃度以下であることを確認し、放射性核種の汚染水への移行状況に変化が生じていないことを確認する。

(c) 調査分析

調査分析では、(a)、(b)項で懸念が有る事象が発生した場合に、その他核種を特定するための調査を行う。懸念が無い場合であっても、ALPS 処理前の汚染水において、監視対象核種が有意な濃度で存在しないことの確認を 1 年に 1 回の頻度で行い、その他核種の存在を調査する。

1.1.2.3 ALPS 処理水希釈放出設備の運転管理について

放射性液体廃棄物処理施設で処理した放射性液体廃棄物のうち、トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比総和 1 未満を満足した ALPS 処理水を排水する際には、敷地境界における実効線量を達成できる限り低減するために、多量の海水による希釈により、排水中の放射性物質の濃度を低減する。そのため、ALPS 処理水希釈放出設備では次に示す事項を満足させる運転管理を実施する。

- ・ 代表的な試料がサンプリングできるように循環攪拌の運転時間は第三リン酸ナトリウムを試薬として用いた循環攪拌実証試験により、適切に設定する。また、循環攪拌前のタンク内のトリチウム濃度のばらつきを少なくするため、測定・確認用設備に受け入れる ALPS 処理水は、トリチウム濃度が大きく異なるものを受け入れるよう計画する。
- ・ 海水による ALPS 処理水の希釈倍率が 100 倍以上となるよう、ALPS 処理水流量は測定・確認工程で測定・確認したトリチウム濃度に応じて、ALPS 処理水移送ポンプ、ALPS 処理水流量調整弁、ALPS 処理水流量計等により、ALPS 処理水の流量を最大 500 m³/日（最小流量（年平均）は汚染水発生量以上とする。）の範囲で運転するとともに、海水移送ポンプ（17 万 m³/日/台）は常時 2 台以上運転する。なお、海洋放出初期は、放水立坑（上流水槽）において想定通り希釈できていること及び運用手順を確実に実施できることを検証するため、少量放出を慎重に実施する。
- ・ 放出水に含まれるトリチウム濃度が 1,500 Bq/L 未満となるまで十分な混合希釈効果を得られるよう、海洋放出する ALPS 処理水のトリチウム濃度の上限を 100 万 Bq/L とした上で、海洋放出の全体工程における不確かさや数値シミュレーションの結果を踏まえ、放出水中のトリチウム濃度（運用値）を設定する。
- ・ 年間のトリチウム放出量が 22 兆 Bq の範囲に収まるよう年度ごとに ALPS 処理水の年間放出計画を定め、当該計画に沿った放出を行う。なお、年間のトリチウム放出計画は、廃炉に向けた全体リスクを考慮して定期的に見直す。

(実施計画：III-3-1-9-1)

ALPS 処理水海洋放出の運用体制変更に関する補足説明

1. 概要

ALPS 処理水プログラム部の設置に関する実施計画の変更申請の際に、ALPS 処理水放出の運転・保守等の運用体制については、放出開始前までに改めて申請する計画としていたが、今回、同体制が具体化したことから、変更内容について説明する。前回と今回の実施計画での申請範囲は図 1.1.1-1 の通り。

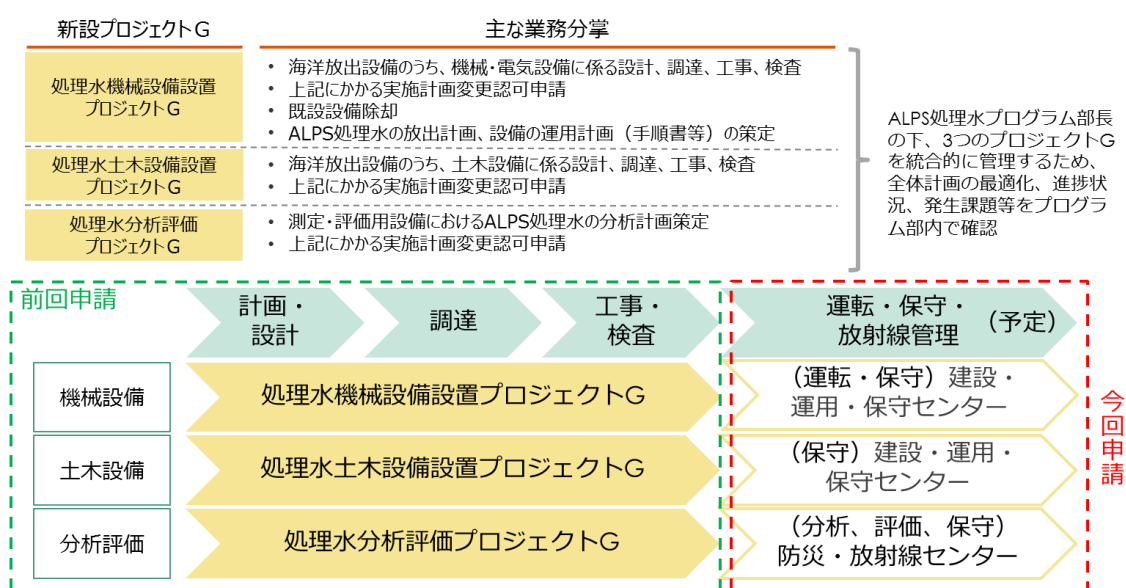


図 1.1.1-1 ALPS 処理水海洋放出に関する業務所掌

2. ALPS 処理水海洋放出に関する運用体制

ALPS 処理水海洋放出に関する運用体制を、福島第一廃炉推進カンパニーの体制図で示すと図 1.1.1-2 の通り。本項では、各グループが実施する業務について説明する。

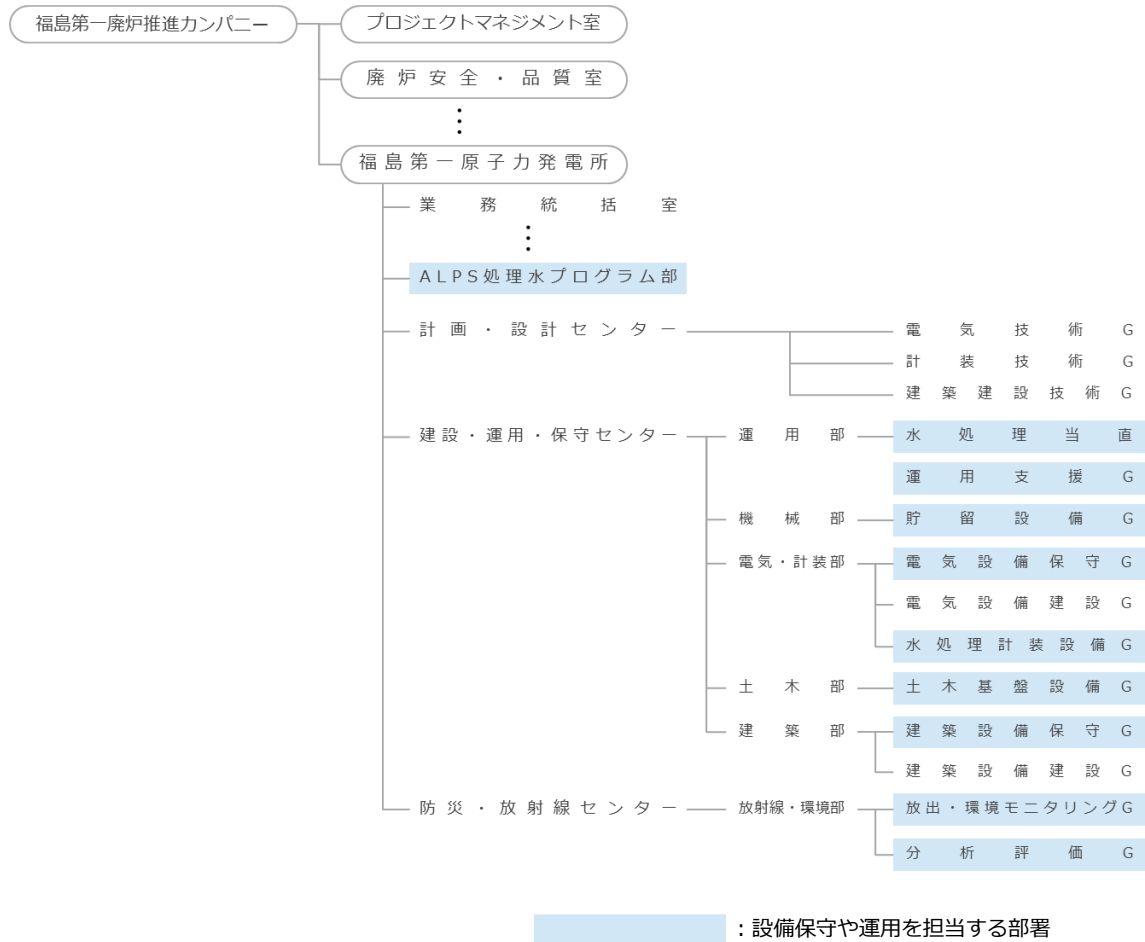


図 1.1.1-2 福島第一廃炉推進カンパニーにおける ALPS 処理水海洋放出に関する体制図

2.1 設備の設計，建設・設置，保守管理体制

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設計，建設・設置は，ALPS 処理水プログラム部がプロジェクトの管理（工程管理，予算管理，リスク管理）を行いつつ，各々の業務のうち，機械設備と土木設備は ALPS 処理水プログラム部で実施し，その他の電気設備，計装設備及び建築設備は計画・設計センター及び建設・運用・保守センターに委託する形で取り組んでいた。

運用開始後の，設備の保守管理については，表 1.1.1-1 の通り，建設・運用・保守センターにて対応する。また，各設備の具体的な保守管理対象を表 1.1.1-2 に示す。

表 1.1.1-1 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設計，建設・設置，保守管理の業務所掌

| 設備 | 前回申請 | | 今回申請 |
|------|----------------|-----------|-----------|
| | 設計 | 建設・設置 | 保守管理 |
| 機械設備 | ALPS 処理水プログラム部 | | 貯留設備 G |
| 土木設備 | ALPS 処理水プログラム部 | | 土木基盤設備 G |
| 電気設備 | 電気技術 G | 電気設備建設 G | 電気設備保守 G |
| 計装設備 | 計装技術 G | 水処理計装設備 G | 水処理計装設備 G |
| 建築設備 | 建築建設技術 G | 建築設備建設 G | 建築設備保守 G |

計画・設計センター
建設・運用・保守センター

※：今回の実施計画変更申請にての記載を変更した箇所を朱書きで記載

表 1.1.1-2 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の主な保守管理対象

| 設備 | 機械設備 | 土木設備 | 電気設備 |
|----------|--|---|---|
| 主な保守管理対象 | <ul style="list-style-type: none"> ・循環ポンプ（電動機除く） ・攪拌機器 ・測定・確認用タンク ・ALPS 処理水移送ポンプ（電動機除く） ・緊急遮断弁-1, 2 ・ALPS 処理水流量調整弁 ・海水移送ポンプ（電動機除く） ・主配管（海水配管ヘッダ含む） | <ul style="list-style-type: none"> ・放水立坑（上流水槽／下流水槽） ・放水トンネル ・放水口 | <ul style="list-style-type: none"> ・電源盤 ・循環ポンプ（電動機） ・ALPS 処理水移送ポンプ（電動機） ・海水移送ポンプ（電動機） |
| 設備 | 計装設備 | 建築設備 | |
| 主な保守管理対象 | <ul style="list-style-type: none"> ・監視・制御装置 ・ALPS 処理水流量計 ・放射線モニタ ・海水流量計 | <ul style="list-style-type: none"> ・5,6 号機東側電気品建屋 | |

2.2 設備の運転管理体制

ALPS 処理水希釈放出設備の運転管理については、現在、ALPS 処理水プログラム部で運用方法の検討を行っているが、運用開始後は表 1.1.1-3 の通り、運転管理は建設・運用・保守センターにて対応し、運転計画については ALPS 処理水プログラム部にて対応する。

なお、海洋放出初期の少量での放出は、通常の運転とは異なることから、同放出の管理部である ALPS 処理水プログラム部から水処理当直へ運転管理を委託する形で業務を実施するものの、それ以降は下表の業務所掌に従い、業務を実施する。

表 1.1.1-3 ALPS 処理水希釈放出設備の運転管理の業務所掌

| 業務 | 前回申請 | 今回申請 |
|--|----------------|----------------|
| | 設計段階 | 運用開始後 |
| 運用方法の検討 ALPS 処理水の海洋放出の方法に関する検討 (希釈放出前の放出基準の確認や H-3 濃度の 1500Bq/L 未満とすること等) | ALPS 処理水プログラム部 | |
| 運転計画 ALPS 処理水の放出計画の策定及び計画実行のための設備の運用計画の策定 | — | ALPS 処理水プログラム部 |
| 運転管理 ALPS 処理水希釈放出設備の運転操作及び設備状態管理等に関する業務 | — | 水処理当直 |
| 運転管理のうち、マニュアル・手順書に関する業務 ALPS 処理水希釈放出設備の運転管理のうち、マニュアル・手順書の制定・改定に関する業務 | — | 運用支援 G |

建設・運用・保守センター

※：今回の実施計画変更申請にての記載を変更した箇所を朱書きで記載

2.3 ALPS 処理水の海洋放出に係る分析に関する業務

ALPS 処理水の海洋放出に係る分析に関する業務については、現在、ALPS 処理水プログラム部で分析の計画を行っており、運用開始後の分析・データ評価、液体廃棄物等の排水管理は、他の分析に関する業務と同様に、表 1.1.1-4 の通り、防災・放射線センターにて対応する。

表 1.1.1-4 ALPS 処理水の分析に関する業務所掌

| 業務 | 前回申請 | 今回申請 |
|-------------|----------------|---------------------|
| | 計画段階 | 運用開始後 ^{※1} |
| 分析の計画 | ALPS 処理水プログラム部 | |
| 分析・データ評価 | — | 分析評価 G |
| 液体廃棄物等の排水管理 | — | 放出・環境モニタリング G |

防災・放射線センター

ここで、ALPS 処理水の分析に関する具体的業務の流れは図 1.1.1-3 の通り、分析から放出までの業務は全て化学管理システム内で実施する計画である。その中で、ALPS 処理水の分析・データ評価に係る業務は分析評価 G にて行い、化学管理システムにて分析結果の通知を受けた、放出・環境モニタリング G が、放出可否を判断する。なお、放出基準を満足していた場合は、放出・環境モニタリング G から水処理当直へ排水分析結果を通知し、放出の設備操作が実施される。

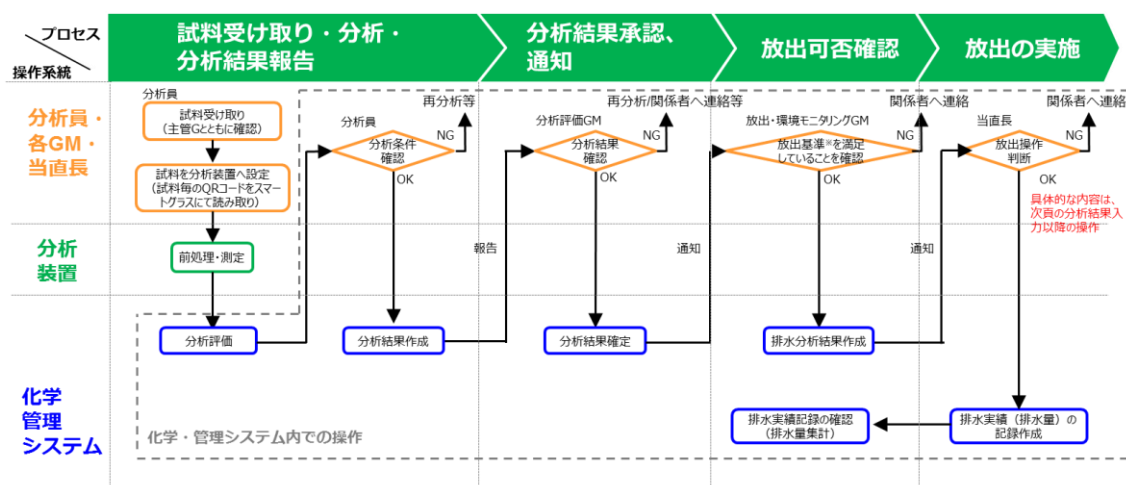


図 1.1.1-3 分析工程

2.4 設備トラブル発生時の対応体制

前項までは通常時の運転管理および保守管理等の運用体制について説明してきたが、本項ではALPS処理水希釈放出設備及び関連施設において、漏えい等の設備トラブルが発生した場合における対応体制について説明する。

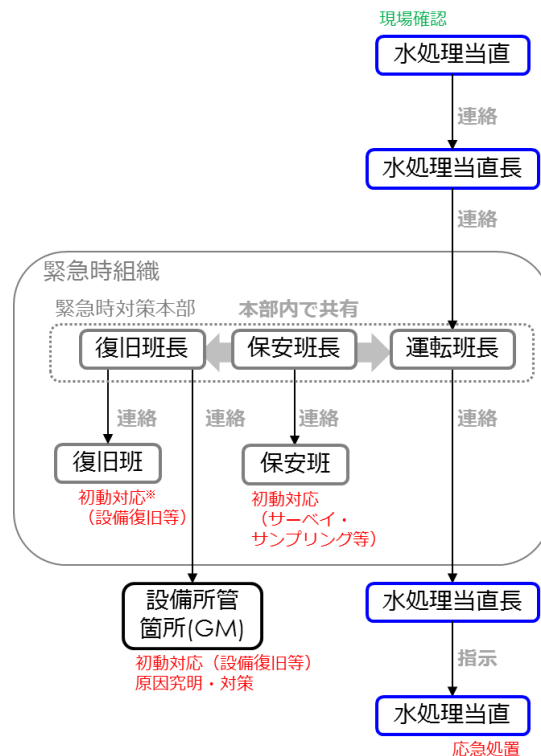
なお、福島第一原子力発電所では、2011年3月11日の事故以来、図1.1.1-2に示す発電所の保安に関する組織に加えて、「NM-79 原子力災害対策基本マニュアル」や関連する社内マニュアルに基づき、緊急時組織として対応を行っているため、これら組織を合わせて対応体制について説明する。

(1) 設備トラブル発生時（発見者が水処理当直の場合）

水処理当直が現場パトロール等で、漏えい等の設備トラブルを発見した場合、水処理当直長、運転班長の順で現場状況の連絡を行い、運転班長は緊急時対策本部内で情報を共有する。その後、運転班長から連絡を受けた水処理当直長の指示により、水処理当直は機器停止や隔離措置等の応急処置を実施する。

また、緊急時対策本部内で情報共有された復旧班長、保安班長は、それぞれ復旧班や設備所管箇所※（GM）、保安班に状況を連絡し、初動対応を実施する。初動対応完了後は、設備所管箇所にて原因究明・対策を実施する。

※：ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の設備所管箇所は表1.1.1-1参照

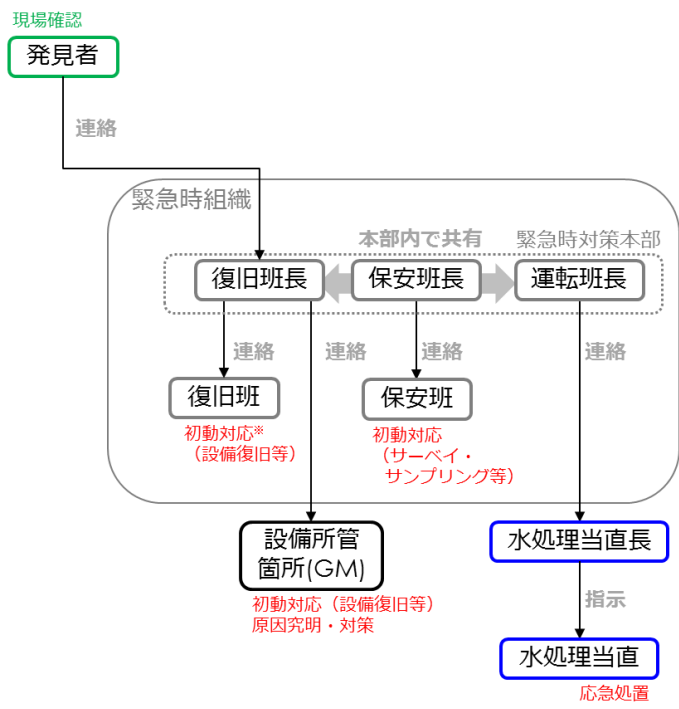


※：主に夜間等、設備所管箇所が対応出来ない場合に対応

図 1.1.1-4 設備トラブル発生時の対応体制（発見者：水処理当直）

(2) 設備トラブル発生時（発見者が水処理当直以外の場合）

発見者が水処理当直以外の場合，発見者が緊急時対策本部内の復旧班長に連絡する運用となっており，以降は(1)と同様の対応を行う。



※：主に夜間等，設備所管箇所が対応出来ない場合に対応

図 1.1.1-5 設備トラブル発生時の対応体制（発見者：水処理当直以外）

以上

水処理当直における要員の確保に関する補足説明

1. 概要

現在、水処理当直は8名/班の5班体制、2交代にて運用している。

ALPS 処理水の海洋放出に伴う増加業務を表 1.1.1-5 の通り想定しており、運転管理業務の移管に当たって計 10 名/班（+2 名/班）の体制とする。

表 1.1.1-5 ALPS 処理水海洋放出設備の運転管理に関する増加業務

| 主な増加業務 | | 増員数 |
|--------------------------|---------------------------|--------|
| 設備状態管理 | パラメータ監視，データ採取， 現場パトロール | +2 名/班 |
| 警報発生時対応 | 警報発生時の現場状況確認 | |
| PTW の操作 | 現場弁の隔離等の操作 | |
| 移送ポンプ，海水移送ポンプ 起動・停止操作 | 起動・停止時 現場確認 現場ラインナップ | |

2. 水処理当直の体制変更案

2022 年 11 月現在の水処理当直の体制は、図 1.1.1-4 に記載の通り。滞留水移送装置やセシウム吸着装置（SARRY/SARRY II/KURION）、淡水化装置（既設 RO，建屋内 RO）、多核種除去設備（ALPS）3 設備の他、サブドレン、地下水バイパス、ALPS 処理水等貯留タンク、陸側遮水壁等の運転管理を行っている。ALPS 処理水海洋放出設備の運転管理についても、水処理設備の一元管理の観点から、水処理当直で行うこととし、ALPS 処理水海洋放出設備の追加以降も確実な運転管理ができるよう当直員 2 名/班の増員を図る予定である。

水処理当直の定員は二次マニュアル「QI-51-1 運転員の確保マニュアル」で 1 班あたりの定員を 8 名として定めており、定員の変更（10 名/班）に当たっては、上記二次マニュアル「QI-51-1 運転員の確保マニュアル」の改訂を行う。

体制整備に当たっては、運用部に配属した要員に対して運転員の力量を確保させるための研修を進めており、十分な力量を確保した上で運転員としての定員化を図るなど、計画的に要員確保を進めている。

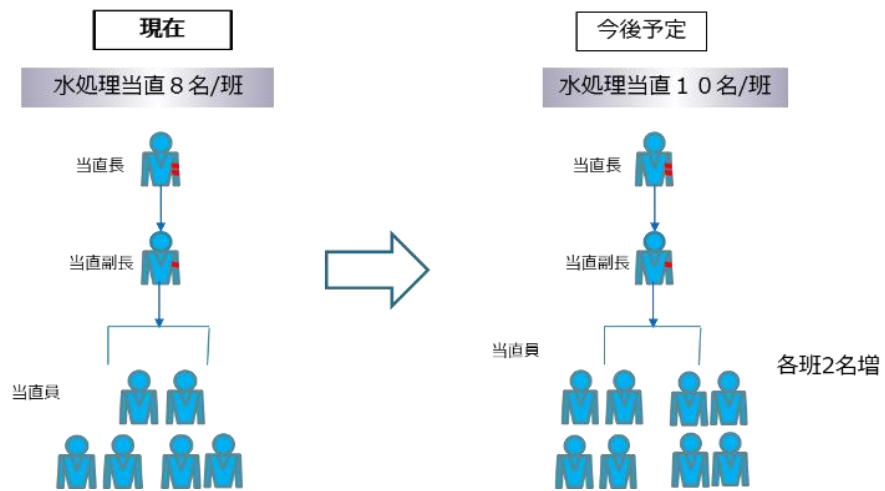


図 1.1.1-6 水処理当直の体制

ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の検討のうち
核種分析に係る補足説明

1. 概要

ALPS 処理水中のトリチウム以外の放射性核種の告示濃度限度比総和 1 未満を満足することを確実なものとするため、国内における廃止措置や埋設施設に関する知見を踏まえ、汚染水中に有意に存在するか徹底的に検証を実施した上で、測定・評価の対象とする放射性核種を選定する方針としている。

検討の進め方は、第 9 回 ALPS 処理水審査会合で説明したフロー（図 1.1.2-1 参照）の通り、核種分析及びインベントリ評価にて行う計画としており、本資料では核種分析について補足説明を行う。

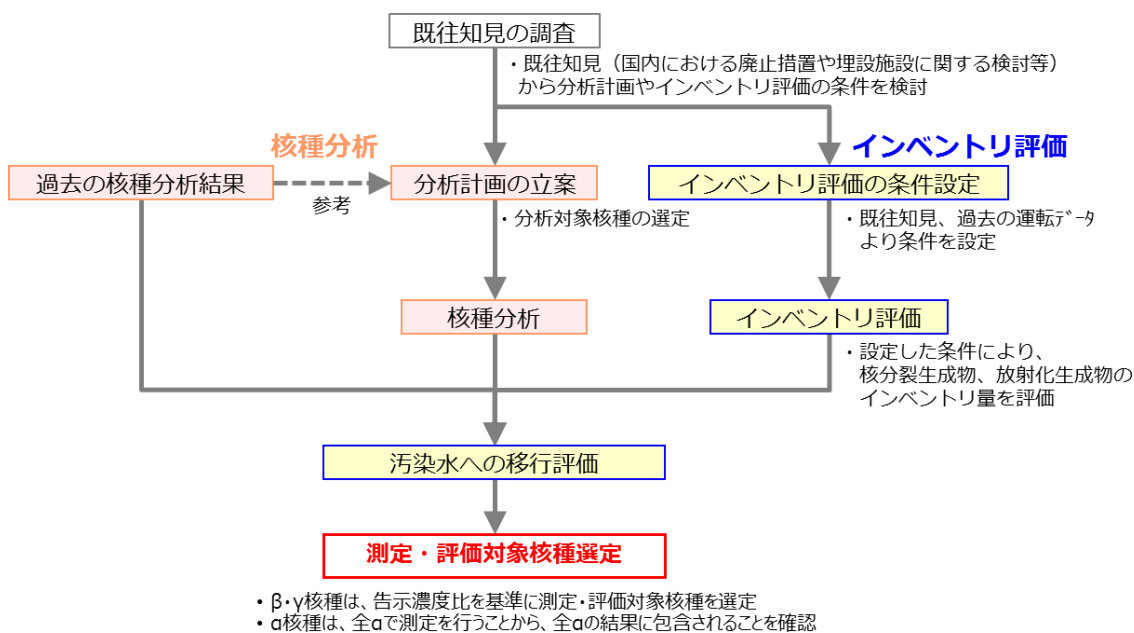


図 1.1.2-1 測定・評価対象核種選定の検討の全体の進め方

【第 9 回 ALPS 処理水審査会合資料より（一部表現修正）】

2. 核種分析

2.1 過去の分析実績の調査

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の補足説明資料（2022 年7 月）より】

これまでに国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という。）及び当社で、表 1.1.2-1 に示す通り、ALPS 除去対象核種（62 核種）、トリチウム、C-14 以外に 20 核種を分析している。

測定・評価対象核種選定の検討に当たり、核種分析計画を策定しているが、当該計画策定に当たっては、過去の分析結果を考慮すると共に、既往知見を参考に、核種分析を実施する核種（以下「分析対象核種」という。）を選定した。

表 1.1.2-1 過去に分析実績がある核種一覧

| 核分裂生成物（56 核種） | | | | | | |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Rb-86 | Sr-89 | Sr-90 | Y-90 | Y-91 | Nb-95 | Tc-99 |
| Ru-103 | Ru-106 | Rh-103m | Rh-106 | Ag-110m | Cd-113m | Cd-115m |
| Sn-119m | Sn-123 | Sn-126 | Sb-124 | Sb-125 | Te-123m | Te-125m |
| Te-127 | Te-127m | Te-129 | Te-129m | I-129 | Cs-134 | Cs-135 |
| Cs-136 | Cs-137 | Ba-137m | Ba-140 | Ce-141 | Ce-144 | Pr-144 |
| Pr-144m | Pm-146 | Pm-147 | Pm-148 | Pm-148m | Sm-151 | Eu-152 |
| Eu-154 | Eu-155 | Gd-153 | Tb-160 | Pu-238 | Pu-239 | Pu-240 |
| Pu-241 | Am-241 | Am-242m | Am-243 | Cm-242 | Cm-243 | Cm-244 |
| 腐食生成物（6 核種） | | | | | | |
| Mn-54 | Fe-59 | Co-58 | Co-60 | Ni-63 | Zn-65 | |
| 上記以外の核種（2 核種） | | | | | | |
| H-3 | C-14 | | | | | |
| 64 核種以外の核種（20 核種） | | | | | | |
| Cl-36 | Ca-41 | Ni-59 | Se-79 | Nb-94 | Mo-99 | Tc-99m |
| Te-132 | I-131 | I-132 | La-140 | U-233 | U-234 | U-235 |
| U-236 | U-238 | Np-237 | Pu-242 | Cm-245 | Cm-246 | |

2.2 分析計画策定において参考にした既往知見

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の補足説明資料（2022 年 7 月）より】

核種分析の計画を策定するため、下記の既往知見において着目している核種より、以下基準により分析対象核種を抽出した。

- ・過去に分析が未実施な核種もしくは、分析実績が十分でない核種
- ・ALPS 除去対象核種選定時に検討されていない核種
- ・ β ・ γ 核種等は、既往知見における放射化生成物の炉水の濃度中に、滞留水に含まれる Co-60 の濃度と比較して、1/100 以上存在する核種
- ・ α 核種は、崩壊系列で濃度が評価できる核種を除いた核種

なお、上記条件が当てはまっても、半減期が 1 年未満で、放出までの 12 年で減衰により約 1/1000 以下に減衰する核種は除外している他、逆に上記条件に当てはまらなくても、社外分析機関で分析可能な場合は計画に含めている場合がある。

【既往知見】

- ① 電力共同研究『BWR 型原子炉の廃止措置に関する研究（その 2）』（平成 8 年度）
- ② 東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請『主要な放射性核種の選定について』（平成 30 年 2 月 日本原子力発電株式会社）
- ③ JAEA が 1F 放射性廃棄物性状把握のため、分析対象核種を検討した際の研究資料
 - ・『低レベル放射性廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について』においてトレンチ処分、ピット処分、余裕深度処分を対象に原子炉廃棄物とサイクル廃棄物のいずれかに含まれる核種のうち相対重要度 D/C が最大となる核種に対して上位 3 桁までの核種
 - ・『TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ』において重要核種に選定されているもの
 - ・『わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－総論レポート』において重要核種に選定されているもの
 - ・『日本原燃六ヶ所低レベル放射性廃棄物貯蔵センター（浅地中ピット処分）及び JPDR（浅地中トレンチ処分）の埋設事業許可申請書』

2.3 既往知見から抽出した分析対象核種（ β ・ γ 核種等）

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の
補足説明資料（2022年7月）より（測定方法を修正）】

2.2 項の既往知見より、 β ・ γ 核種等の分析対象核種を表 1.1.2-2 の通り抽出した。

なお、ここで抽出された核種は、現時点で当社での測定が困難な核種であるため、外部機関を利用した測定を計画した。

また、表 1.1.2-2 に抽出した核種については、福島第一原子力発電所において代表的な核種である Cs-137 (Ba-137m) :0.662MeV (γ 線), Sr-90 (Y-90) :2.28MeV (β 線) と比べると、主にエネルギーが小さい核種が抽出されていることがわかる。

表 1.1.2-2 既往知見から抽出した分析対象核種（ β ・ γ 核種等）

| 候補核種 | 既往知見※1 | 壊変形式 | エネルギー [MeV] | 告示濃度限度 [Bq/cm ³] | 測定方法 | 備考 |
|---------|--------|-----------------|----------------------|------------------------------|---|-------------|
| Cl-36 | ①②③ | β - | 0.709550 | 9.0E-01 | 前処理（分離、沈殿）後、低バックグラウンド β 線スペクトロメータ | 外部機関にて分析実績有 |
| Se-79 | ①③ | β - | 0.150630 | 2.0E-01 | 前処理（分離、沈殿、再溶解）後、液体シンチレーションカウンタ | 外部機関にて分析実績有 |
| Zr-93 | ①②③ | β - | 0.090800 | 1.0E+00 | 前処理（分離）後、誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS） | — |
| Pd-107 | ③ | β - | 0.034000 | 2.0E+01 | — | — |
| Ca-41 | ①②③ | EC | 0.003310 | 4.0E+00 | 前処理（分離、沈殿、再溶解）後、Si (Li) 検出器 | 外部機関にて分析実績有 |
| Fe-55 | ①② | EC | 0.005900 | 2.0E+00 | 前処理（分離）後、低エネルギー光子測定装置（LEPS） | — |
| Ni-59 | ①②③ | EC | 0.006930 | 1.0E+01 | | — |
| Nb-93m | ② | IT | 0.016615 | 7.0E+00 | | — |
| Mo-93 | ①②③ | EC | 0.016615 | 3.0E-01 | | — |
| Sn-121m | ③※2 | β - IT | 0.359800 0.026359 | 2.0E+00 | | — |
| Ba-133 | ①② | EC | 0.356013 | 5.0E-01 | ゲルマニウム半導体検出器 (Ge) | — |

※1：2.2 項「既往知見」の番号参照

※2：研究資料より、被覆管等のジルカロイから Sn の同位体の中で最も生成されるため抽出

2.4 既往知見から抽出した分析対象核種（ α 核種）

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の
補足説明資料（2022年7月）より（備考を修正）】

2.2の既往知見より、 α 核種の分析対象核種を表1.1.2-3の通り抽出した。

なお、ここで抽出された核種は、現時点で当社での測定が困難な核種であるため、外部機関を利用した測定を計画した。

下記核種を分析することで、建屋滞留水中に有意に含まれる可能性のある α 核種を確認した。

表 1.1.2-3 既往知見から抽出した分析対象核種（ α 核種）

| 候補核種 | 既往知見 ^{※1} | 壊変形式 | エネルギー [MeV] | 告示濃度限度 [Bq/cm ³] | 半減期 [y] | 測定方法 | 備考 |
|---------|--------------------|-----------|-------------|------------------------------|---------|---------------------------------|--|
| U-233 | ③ | α | 4.824200 | 2.0E-02 | 1.6E+05 | 前処理（分離）後、誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS） | 外部機関にて分析実績有 |
| U-234 | ①③ | α | 4.774600 | 2.0E-02 | 2.5E+05 | | 外部機関にて分析実績有 |
| U-235 | ①③ | α | 4.395400 | 2.0E-02 | 7.0E+08 | | 外部機関にて分析実績有 |
| U-236 | ①③ | α | 4.494000 | 2.0E-02 | 2.3E+07 | | 外部機関にて分析実績有 |
| U-238 | ①③ | α | 4.198000 | 2.0E-02 | 4.5E+09 | | 外部機関にて分析実績有 |
| Np-237 | ①③ | α | 4.788000 | 9.0E-03 | 2.1E+06 | | 外部機関にて分析実績有 |
| Pu-238 | ①②③ | α | 5.499030 | 4.0E-03 | 8.8E+01 | 前処理（分離）後、 α スペクトロメータ | Pu-238～Pu-241はALPS除去対象核種。Pu-241は同位体により濃度を推定。 |
| Pu-239 | ①②③ | α | 5.156590 | 4.0E-03 | 2.4E+04 | | |
| Pu-240 | ①②③ | α | 5.168170 | 4.0E-03 | 6.6E+03 | | |
| Pu-241 | ①②③ | β^- | 0.020780 | 2.0E-01 | 1.4E+01 | — | |
| Pu-242 | ①③ | α | 4.902300 | 4.0E-03 | 3.7E+05 | 前処理（分離）後、 α スペクトロメータ | 外部機関にて分析実績有 |
| Am-241 | ①②③ | α | 5.485560 | 5.0E-03 | 4.3E+02 | — | Am-241～Am-243はALPS除去対象核種。Am-242mは同位体により濃度を推定。 |
| Am-242m | ①③ | IT | 0.018856 | 5.0E-03 | 1.4E+02 | | |
| Am-243 | ①③ | α | 5.275300 | 5.0E-03 | 7.4E+03 | 前処理（分離）後、 α スペクトロメータ | Cm-242～Cm-234はALPS除去対象核種。Cm-243とCm-244、Cm-245とCm-246はエネルギーが近いため合算値で測定。Cm-245、Cm-246は外部機関にて分析実績有。 |
| Cm-242 | ③ | α | 6.112720 | 6.0E-02 | 4.5E-01 | | |
| Cm-243 | ③ | α | 5.785200 | 6.0E-03 | 2.9E+01 | | |
| Cm-244 | ①③ | α | 5.804770 | 7.0E-03 | 1.8E+01 | | |
| Cm-245 | ③ | α | 5.361100 | 5.0E-03 | 8.4E+03 | | |
| Cm-246 | ③ | α | 5.386500 | 5.0E-03 | 4.7E+03 | | |

※1：2.2項「既往知見」の番号参照

2.5 分析対象核種の分析結果

2.3～2.4 項で抽出した分析対象核種について、建屋滞留水、ストロンチウム処理水及びALPS処理水に有意に存在するか確認を行った。

その結果、一部の核種は建屋滞留水やALPS処理前で検出されたものの、ALPS処理水については、既往知見で着目されている核種（ α 核種を含む）が告示濃度限度の1/100以下で検出下限値未満である※ことを確認した。

※：ウランは環境中に含まれる天然ウランを検出

(1) ALPS処理水等の分析結果（ β ・ γ 核種等）

ALPS処理水等の β ・ γ 核種等に関する分析結果は表1.1.2-4の通り。

建屋滞留水とALPS処理前のストロンチウム処理水では、目視により懸濁物、浮遊物の存在が確認されたため、 $0.45\mu\text{m}$ のフィルタでろ過を実施した後、ろ液及び残渣（沈殿している可能性が高い元素について実施）を分けて分析を実施した。そのため、一部の分析結果は、ろ液と残渣の分析結果を分けて報告する。この場合の試料全体の分析結果の考え方として、保守性を考慮し、両者で検出もしくは、どちらか片方で検出された場合は、ろ液と残渣の結果の合計値を試料全体の分析値とし、いずれも不検出の場合は検出下限値のうち高い値を試料全体の分析値とする。なお、一部のALPS処理水においても、ろ過を実施しているものの、ろ過後のフィルタの γ 線を測定した結果、ALPS処理前までのフィルタで検出されていたCs-134, Cs-137, Co-60が検出されていないことから、ALPS処理の過程で不溶解性の放射性核種のほとんどが除去されており、ろ過による影響がないことを確認している。

各試料中の β ・ γ 核種等を分析した結果、ほとんどの核種で検出限界値未満であることを確認したものの、建屋滞留水ではFe-55, Ni-59, Se-79, Pd-107について、それぞれ告示濃度限度の約1/100, 1/1000, 1/20, 1/80000で検出されており、ALPS処理前ではNi-59, Se-79, Pd-107について、それぞれ告示濃度限度の約1/5000, 1/20, 1/80000で検出されているが、ALPS処理後においては、いずれの分析結果も告示濃度限度の1/100以下で検出限界値未満であった。

表 1.1.2-4 分析対象核種の核種分析結果（ β ・ γ 核種等）(1/3)

| 核種 | 告示濃度限度[Bq/L] | 試料の種類 | 採取箇所 | 採取日 | 採取方法 ^{※1} | 基準日 | 分析値[Bq/L] | 社外分析機関 | 測定機器 |
|--------|--------------|-------|-------------|------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Fe-55 | 2.00E+03 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/3/7 | < 2.7E+00 | NFD ^{※2} | 低エネルギー 光子測定装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/4/14 | < 2.3E+00 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/17 | < 3.0E+00 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/6/23 | < 1.5E+01 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/15 | < 4.5E+00 | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/22 | < 4.1E+00 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/9/5 | 1.7E+01 ±0.1E+01 | | | |
| Ni-59 | 1.00E+04 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/3/9 | < 2.3E+00 | NFD ^{※2} | 低エネルギー 光子測定装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/4/19 | < 6.6E+00 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/23 | < 2.3E+00 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/6/27 | 2.2E+00 ±0.3E+00 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/26 | < 1.0E+00 | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/26 | 9.4E+00 ±0.7E+00 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/9/8 | 3.5E+00 ±0.5E+00 | | | |
| Nb-93m | 7.00E+03 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/3/8 | < 8.6E+00 | NFD ^{※2} | 低エネルギー 光子測定装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/5/10 | < 1.5E+01 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/18 | < 7.8E+00 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/6/13 | < 5.6E+01 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/20 | < 5.0E+00 | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/21 | < 5.2E+01 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/9/6 | < 4.5E+00 | | | |

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：日本核燃料開発株式会社

表 1.1.2-4 分析対象核種の核種分析結果（ β ・ γ 核種等）(2/3)

| 核種 | 告示濃度限度[Bq/L] | 試料の種類 | 採取箇所 | 採取日 | 採取方法 ^{※1} | 基準日 | 分析値[Bq/L] | 社外分析機関 | 測定機器 |
|---------|--------------|-------|-------------|------------|--------------------|-----------|-----------|-------------------|--|
| Mo-93 | 3.00E+02 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/3/10 | < 1.1E+00 | NFD ^{※2} | 低エネルギー 光子測定装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/4/18 | < 2.0E+00 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/19 | < 1.0E+00 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/6/14 | < 1.7E+00 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/21 | < 5.0E-01 | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/25 | < 1.2E+00 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/9/7 | < 1.4E+00 | | | |
| Sn-121m | 2.00E+03 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/3/22 | < 1.7E+00 | NFD ^{※2} | 低エネルギー 光子測定装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/4/8 | < 5.3E+00 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/20 | < 2.0E+00 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/6/16 | < 1.2E+01 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/22 | < 3.0E+00 | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/28 | < 9.2E+00 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/9/2 | < 1.0E+00 | | | |
| Cl-36 | 9.00E+02 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2022/1/26 | (1) | 2022/5/13 | < 4.2E+00 | NDC ^{※3} | 低バック グラウンド β 線スペクト ロメータ |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2022/1/26 | | 2022/5/30 | < 5.5E+00 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2022/2/10 | | 2022/5/13 | < 3.9E+00 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2022/2/10 | | 2022/5/17 | < 3.7E+00 | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2022/2/4 | (2)-a | 2022/5/23 | < 4.3E+00 | | |

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：日本核燃料開発株式会社

※3：MHI 原子力研究開発株式会社

表 1.1.2-4 分析対象核種の核種分析結果（ $\beta \cdot \gamma$ 核種等）(3/3)

| 核種 | 告示濃度限度[Bq/L] | 試料の種類 | 採取箇所 | 採取日 | 採取方法 ^{※1} | 基準日 | 分析値[Bq/L] | 社外分析機関 | 測定機器 |
|--------|--------------|-------|-------------|-----------|--------------------|-----------|-------------------------|-------------------|--------------------|
| Ca-41 | 4.00E+03 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2022/1/26 | (1) | 2022/6/3 | < 7.9E+00 | NDC ^{※7} | Si(Li)半導体 検出器 |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2022/1/26 | | 2022/6/6 | < 7.9E+00 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2022/2/10 | | 2022/6/1 | < 7.4E+00 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2022/2/10 | | 2022/6/14 | < 1.9E+01 | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2022/2/4 | (2)-a | 2022/6/13 | < 1.4E+01 | | |
| Zr-93 | 1.00E+03 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2022/1/26 | (1) | 2022/5/24 | < 8.4E-01 | | 誘導結合プラズ マ質量分析装置 |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2022/1/26 | | 2022/5/24 | < 8.4E-01 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2022/2/10 | | 2022/5/24 | < 8.4E-01 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2022/2/10 | | 2022/5/24 | < 8.4E-01 | | |
| | | 残渣 | | 2022/6/7 | < 1.3E+00 | | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2022/2/4 | (2)-a | 2022/5/24 | < 8.4E-01 | | |
| | | 残渣 | | 2022/6/7 | < 1.3E+00 | | | | |
| Ba-133 | 5.00E+02 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2022/1/26 | (1) | 2022/4/23 | < 7.3E-01 | Ge 半導体検出 器 | |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2022/1/26 | | 2022/4/22 | < 7.0E-01 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2022/2/10 | | 2022/4/24 | < 7.0E-01 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2022/2/10 | | 2022/4/21 | < 4.3E+00 | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2022/2/4 | (2)-a | 2022/6/2 | < 2.6E+00 | | |
| Se-79 | 2.00E+02 | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2022/4/22 | (1) | ※2 | < 1.5E+00 | JAEA | 液体シンチレー ションカウンタ |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2022/4/22 | | ※3 | 9.0E+00 ^{※6} | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2022/4/21 | (2)-b | ※4 | 9.7E+00 ^{※5,6} | | |
| Pd-107 | 2.00E+04 | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2022/4/22 | (1) | 2022/10/6 | < 7.1E-02 | | 誘導結合プラズ マ質量分析装置 |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2022/4/22 | | 2022/10/6 | 2.4E-01 ^{※6} | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2022/4/21 | (2)-b | 2022/10/6 | 7.8E-02 ^{※5,6} | | |

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す ※2：2022/9/27, 2022/9/27, 2022/10/14 ※3：2022/10/2, 2022/10/2, 2022/10/14 ※4：2022/9/21, 2022/10/8, 2022/10/8
 ※5：同一試料で3度分析して、検出された1回の値の記載(ALPS 処理前, ALPS 処理後においては, 3回とも検出/検出下限値未満であり, 平均値を記載)
 ※6：測定不確かさ評価は未実施 ※7：MHI 原子力研究開発株式会社

(2) ALPS 処理水等の分析結果 (α 核種)

ALPS 処理水等の α 核種に関する分析結果は表 1.1.2-5 の通り。

建屋滞留水等に有意に含まれる α 核種を確認するため、告示濃度限度の 1/100 以下まで測定を試み、ALPS 処理水ではほとんどの核種が告示濃度比の 1/100 以下で検出下限値未満であったが、U-235 と U-238 については極微量に検出されている。ただ、これは処理の過程で質量比^{※1}が 1.8% (使用済み燃料相当の比率) → 1.2% → 0.7% (天然組成比) と変化していること等^{※2}から、ALPS 処理水に含まれる天然ウランと判断している。

なお、本分析においても、建屋滞留水と ALPS 処理前のストロンチウム処理水では、目視により懸濁物、浮遊物の存在が確認されたため、0.45 μm のフィルタでろ過を実施した後、ろ液及び残渣 (沈殿している可能性が高い元素について実施) を分けて分析を実施している。そのため、一部の分析結果は、ろ液と残渣の分析結果を分けて報告する。この場合の試料全体の分析結果の考え方として、保守性を考慮し、両方で検出もしくは、どちらか片方で検出された場合は、ろ液と残渣の結果の合計値を試料全体の分析値とし、いずれも不検出の場合は検出下限値のうち高い値を試料全体の分析値とする。また、β・γ 核種等と同様に、一部の ALPS 処理水においてもろ過を実施しているものの、ろ過後のフィルタの γ 線を測定した結果、ALPS 処理前までのフィルタでは検出されていた Cs-134, Cs-137, Co-60 が検出されていないことから、ALPS 処理の過程で不溶解性の放射性核種のほとんどが除去されており、ろ過による影響がないことを確認している。

※1: $X = \lambda w / A \times N_A$ より算出 (X:放射エネルギー, λ :崩壊定数, w:質量, A:原子数, N_A :アボガドロ定数)

※2: 日本 (沖縄除く) の河川の U 濃度 0.47~488ng/L [本邦河川水中の自然レベルウラン濃度 (望月ら)]
(約 6E-06~6E-03Bq/L: U-238 換算) の範囲内であることや、燃料由来の U-236 が検出されていないこと

表 1.1.2-5 分析対象核種の核種分析結果 (α 核種) (1/5)

| 核種 | 告示濃度限度[Bq/L] | 試料の種類 | 採取箇所 | 採取日 | 採取方法※1 | 基準日 | 分析値[Bq/L] | 社外分析機関 | 測定機器 |
|-------|--------------|-------|-------------|------------|-----------|-----------------------|-----------------------|--------|------------------------|
| U-233 | 2.00E+01 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/7/14 | < 1.4E-02 | NFD※2 | 誘導結合 プラズマ 質量分析装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/7/14 | < 1.3E-02 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/7/14 | < 1.3E-02 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/7/14 | < 1.3E-02 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/9/27 | < 2.4E-03 | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/14 | < 1.3E-02 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/27 | < 1.4E-03 | | |
| U-234 | 2.00E+01 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/7/14 | < 8.7E-03 | NFD※2 | 誘導結合 プラズマ 質量分析装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/7/14 | < 8.7E-03 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/7/14 | < 8.7E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/7/14 | < 8.7E-03 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/9/27 | < 1.6E-03 | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/14 | 1.3E-01 \pm 1.7E-02 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/26 | 2.8E-02 \pm 4.3E-03 | | |
| U-235 | 2.00E+01 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/7/14 | 5.0E-05 \pm 6.0E-06 | NFD※2 | 誘導結合 プラズマ 質量分析装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/7/14 | 9.9E-06 \pm 8.0E-07 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/7/14 | 8.8E-06 \pm 7.8E-07 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/7/14 | 2.0E-05 \pm 6.0E-06 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/9/27 | 3.9E-06 \pm 3.3E-07 | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/14 | 3.7E-03 \pm 9.0E-05 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/26 | 6.0E-04 \pm 7.0E-06 | | |

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：日本核燃料開発株式会社

表 1.1.2-5 分析対象核種の核種分析結果 (α 核種) (2/5)

| 核種 | 告示濃度限度[Bq/L] | 試料の種類 | 採取箇所 | 採取日 | 採取方法※1 | 基準日 | 分析値[Bq/L] | 社外分析機関 | 測定機器 |
|--------|--------------|-------|-------------|------------|-----------|------------------|------------------|--------|------------------------|
| U-236 | 2.00E+01 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/7/14 | < 9.1E-05 | NFD※2 | 誘導結合 プラズマ 質量分析装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/7/14 | < 9.1E-05 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/7/14 | < 9.0E-05 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/7/14 | 1.2E-04 ±2.4E-05 | | |
| | | 残渣 | | 2022/9/27 | < 1.6E-05 | | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/14 | 2.2E-02 ±3.8E-04 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/26 | 3.8E-03 ±1.3E-04 | | |
| U-238 | 2.00E+01 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/7/14 | 1.2E-03 ±2.0E-05 | NFD※2 | 誘導結合 プラズマ 質量分析装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/7/14 | 2.3E-04 ±1.8E-05 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/7/14 | 2.1E-04 ±1.8E-05 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/7/14 | 2.3E-04 ±1.8E-05 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/9/26 | 7.5E-05 ±2.7E-06 | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/14 | 3.1E-02 ±2.3E-04 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/26 | 5.5E-03 ±6.5E-05 | | |
| Np-237 | 9.00E+00 | — | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/7/15 | < 1.5E-03 | NFD※2 | 誘導結合 プラズマ 質量分析装置 |
| | | — | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/7/15 | < 1.5E-03 | | |
| | | — | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/7/15 | < 1.5E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/7/15 | 1.2E-02 ±4.3E-04 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/9/26 | 8.0E-04 ±1.6E-04 | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/7/15 | 2.1E-01 ±2.2E-03 | | |
| | | 残渣 | | | | 2022/9/27 | 8.5E-03 ±2.0E-04 | | |

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：日本核燃料開発株式会社

表 1.1.2-5 分析対象核種の核種分析結果 (α 核種) (3/5)

| 核種 | 告示濃度限度 | 試料の種類 | 採取箇所 | 採取日 | 採取方法※1 | 基準日 | 分析値[Bq/L] | 社外分析機関 | 測定機器 |
|------------------|----------|-------|-------------|------------|------------------|------------------|------------------|--------|--------------------|
| Pu-238 | 4.00E+00 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/5/27 | < 1.9E-03 | NDC※2 | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/5/30 | < 1.9E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/27 | < 2.5E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/5/31 | 2.8E-01 ±8.7E-03 | | |
| | | 残渣 | | 2022/6/30 | 4.1E-01 ±1.2E-02 | | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/6/13 | 1.2E+00 ±2.4E-02 | | |
| | | 残渣 | | 2022/7/4 | | 2.8E+00 ±4.9E-02 | | | |
| Pu-239+ Pu240 | 8.00E+00 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/5/27 | < 1.9E-03 | NDC※2 | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/5/30 | < 1.9E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/27 | < 1.9E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/5/31 | 9.1E-02 ±4.6E-03 | | |
| | | 残渣 | | 2022/6/30 | 1.4E-01 ±6.0E-03 | | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/6/13 | 3.9E-01 ±1.1E-02 | | |
| | | 残渣 | | 2022/7/4 | | 9.2E-01 ±2.0E-02 | | | |
| Pu-242 | 4.00E+00 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/5/27 | < 1.9E-03 | NDC※2 | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/5/30 | < 2.2E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/27 | < 1.9E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/5/31 | < 4.4E-03 | | |
| | | 残渣 | | 2022/6/30 | < 6.1E-03 | | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/6/13 | < 7.9E-03 | | |
| | | 残渣 | | 2022/7/4 | | < 1.3E-02 | | | |

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：MHI 原子力研究開発株式会社

表 1.1.2-5 分析対象核種の核種分析結果 (α 核種) (4/5)

| 核種 | 告示濃度限度[Bq/L] | 試料の種類 | 採取箇所 | 採取日 | 採取方法 ^{※1} | 基準日 | 分析値[Bq/L] | 社外分析機関 | 測定機器 |
|--------|--------------|-------|-------------|------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| Am-241 | 5.00E+00 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/5/27 | < 1.8E-03 | NDC ^{※2} | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/5/30 | < 1.8E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/27 | < 1.8E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/6/22 | 6.8E-02 ±3.6E-03 | | |
| | | 残渣 | | 2021/10/28 | 2022/6/30 | 1.2E-01 ±5.2E-03 | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/6/28 | 4.0E-02 ±2.8E-03 | | |
| | | 残渣 | | 2021/11/2 | | 2022/7/4 | 5.7E-01 ±1.4E-02 | | |
| Am-243 | 5.00E+00 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/5/27 | < 1.5E-03 | NDC ^{※2} | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/5/30 | < 1.5E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/27 | < 1.5E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/6/22 | < 7.7E-03 | | |
| | | 残渣 | | 2021/10/28 | 2022/6/30 | < 5.5E-03 | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/6/28 | < 5.1E-03 | | |
| | | 残渣 | | 2021/11/2 | | 2022/7/4 | < 1.7E-02 | | |
| Cm-242 | 6.00E+01 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/5/27 | < 1.5E-03 | NDC ^{※2} | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/5/30 | < 1.5E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/27 | < 1.6E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/6/22 | < 1.6E-03 | | |
| | | 残渣 | | 2021/10/28 | 2022/6/30 | 5.5E-03 ±1.0E-03 | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/6/28 | < 1.5E-03 | | |
| | | 残渣 | | 2021/11/2 | | 2022/7/4 | 9.9E-03 ±1.4E-03 | | |

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

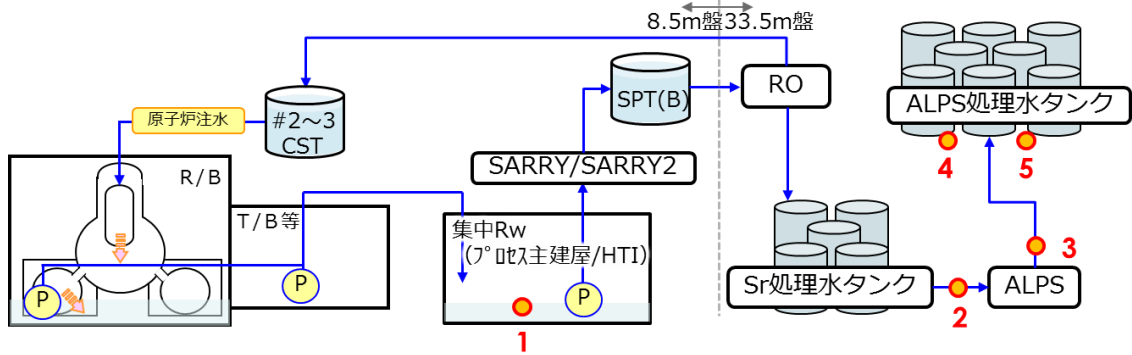
※2：MHI 原子力研究開発株式会社

表 1.1.2-5 分析対象核種の核種分析結果 (α 核種) (5/5)

| 核種 | 告示濃度限度 | 試料の種類 | 採取箇所 | 採取日 | 採取方法 ^{※1} | 基準日 | 分析値[Bq/L] | 社外分析機関 | 測定機器 |
|-------------------|----------|-------|-------------|------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|
| Cm-243 +Cm-244 | 1.30E+01 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/5/27 | < 1.5E-03 | NDC ^{※2} | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/5/30 | < 1.5E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/27 | < 1.8E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/6/22 | 6.4E-02 \pm 3.4E-03 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/6/30 | 9.1E-02 \pm 4.4E-03 | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/6/28 | 2.7E-02 \pm 2.3E-03 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/7/4 | 4.4E-01 \pm 1.1E-02 | | | |
| Cm-245 +Cm-246 | 1.00E+01 | ろ液 | K4-A10 タンク | 2021/11/1 | (1) | 2022/5/27 | < 1.5E-03 | NDC ^{※2} | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| | | ろ液 | H4-B7 タンク | 2021/11/1 | | 2022/5/30 | < 4.7E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理後 | 2021/10/28 | | 2022/5/27 | < 1.5E-03 | | |
| | | ろ液 | 増設 ALPS 処理前 | 2021/10/28 | | 2022/6/22 | < 2.1E-02 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/6/30 | < 2.6E-02 | | | |
| | | ろ液 | プロセス主建屋 | 2021/11/2 | (2)-a | 2022/6/28 | < 1.4E-02 | | |
| | | 残渣 | | | 2022/7/4 | < 6.0E-02 | | | |

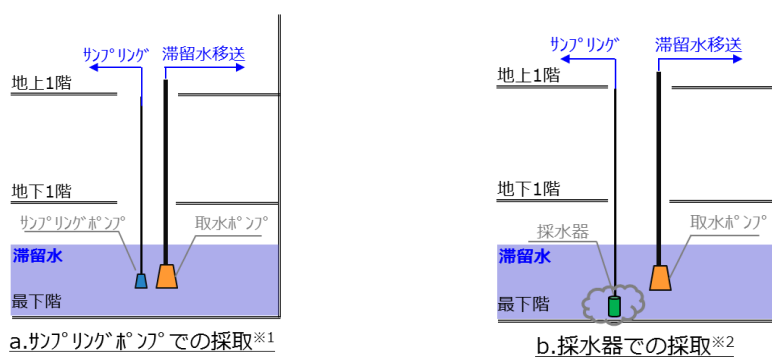
※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：MHI 原子力研究開発株式会社



| No. | 採取箇所 | 採取方法 |
|-----|-----------|----------------------------|
| 1 | プロセス主建屋 | (2)にて示す。 |
| 2 | ALPS処理前 | ALPS入口に設置されたサンプリングラックから採取。 |
| 3 | ALPS処理後 | ALPS出口に設置されたサンプリングラックから採取。 |
| 4 | H4-B7タンク | タンク上部から採水器にて採取。 |
| 5 | K4-A10タンク | |

(1) 今回核種分析した試料の採取箇所とその方法



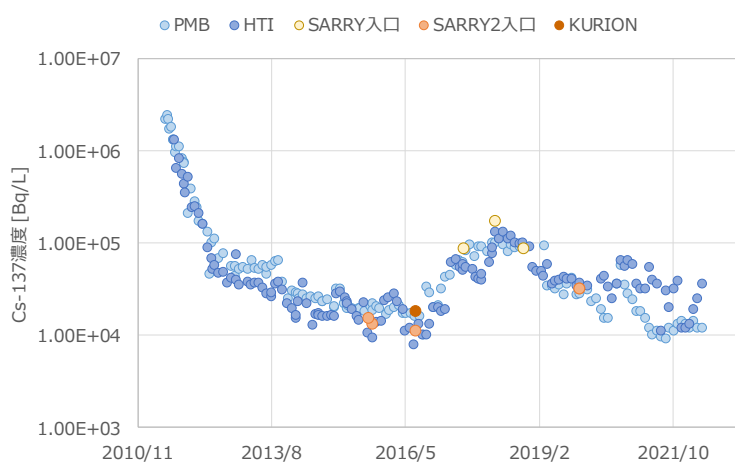
※1：取水ポンプの吸い込み高さを合わせて設置されたサンプリングポンプにより試料を採取

※2：採水時に建屋底部に沈んでいるスラッジを巻き上げて、通常より多くのスラッジを含む試料を採取。

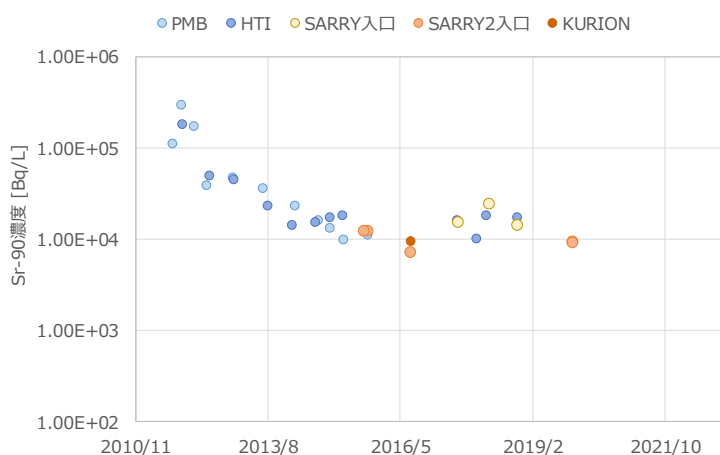
(2) プロセス主建屋/高温焼却炉建屋からの採取方法

図 1.1.2-2 分析対象核種の核種分析における試料採取箇所と方法

今回、追加分析を行った試料については、概ね通常の建屋滞留水や水処理設備の性能確認のための定例サンプリング箇所と同じ箇所から試料を採取しているものの、プロセス主建屋については、図 1.1.2-2 (2) に記載の通り、2種類のサンプリングを実施している。通常の運転において、定例的に実施しているサンプリングは、a で実施したサンプリングポンプによる採水であり、この結果は図 1.1.2-3 の通り、Cs-137 や Sr-90 の分析結果が、取水ポンプ後のセシウム吸着装置の入口の水と同じ濃度を示すことを確認している。一方、b で実施したサンプリングでは、建屋底部に沈んでいるスラッジを含んだ建屋滞留水を採水しているが、クロスフローフィルタで 20nm まで除去可能な ALPS の性能を考慮し、0.45 μm のフィルタで除去し、水に溶解していて ALPS 等での処理が必要な核種を分析する計画とした。



a. Cs-137 の分析結果



b. Sr-90 の分析結果

図 1.1.2-3 プロセス主建屋とセシウム吸着装置入口の分析結果の比較

(参考) 追加分析における分析手法の補足

今回の分析でプロセス主建屋の建屋滞留水と ALPS 処理前のストロンチウム処理水は、目視で懸濁物、浮遊物が確認されたため、0.45 μ m のフィルタでろ過した上で分析を実施している (図 1.1.2-4 参照)。

当該分析方法は、軽水炉では溶解性/不溶解性を分別する手法として従前より実施されている手法であり、今回は本手法を採用することで、容易に除去可能な不溶解性の核種と、水に溶解していて ALPS 等での処理が必要な核種を分別して確認することが出来た。

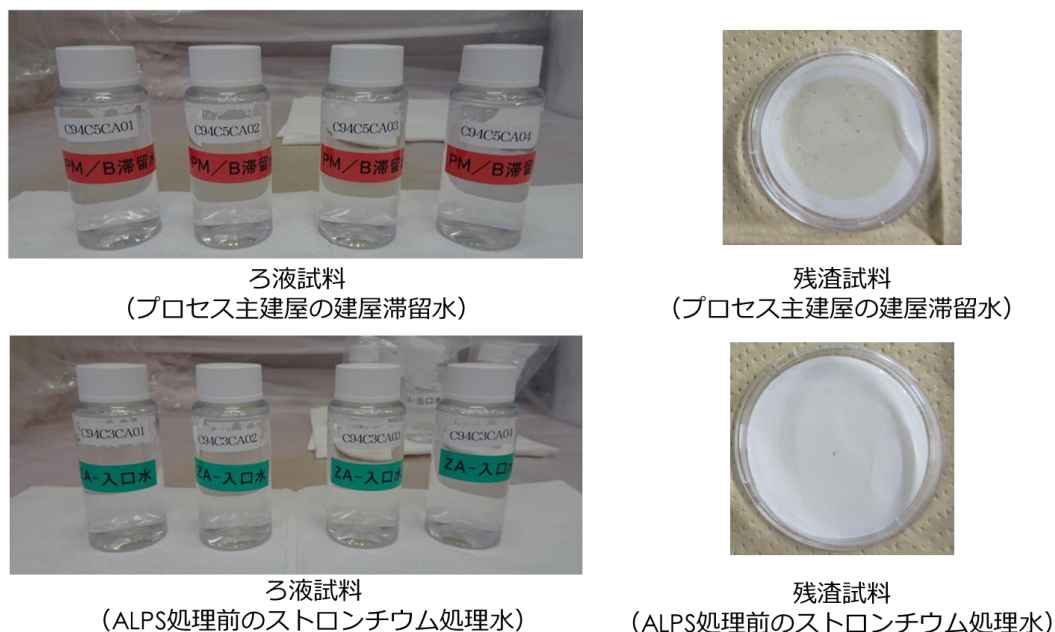


図 1.1.2-4 分析試料 (プロセス主建屋水と ALPS 処理前のストロンチウム処理水) のろ液試料と残渣試料

2.6 核種分析のまとめ

今回、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種を検討するにあたり、廃止措置や埋施設等で着目されている核種のうち、短半減期の核種を除いて、過去に分析が未実施の核種もしくは分析実績が十分でない核種等について分析した結果、ALPS 処理水では告示濃度限度 1/100 以下で不検出であることを確認した。

この結果から、ALPS 処理水中に有意に存在する可能性がある核種は、主要 7 核種、炭素 14 及びテクネチウム 99 であることを再確認した。

なお、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種については、上述の 9 核種の他に、建屋滞留水や ALPS 処理前のストロンチウム処理水等において、有意に存在している/存在する可能性がある核種が、海洋放出を行う ALPS 処理水では放出基準を満足するまで除去されていることを確認するという考え方で選定する。

以上

ALPS 入口/出口における告示濃度限度比総和の比較

1. はじめに

核種分析の中で、ALPS 処理水中に有意に存在する可能性がある核種は、主要 7 核種、炭素 14 及びテクネチウム 99 であることを再確認したが、実際の分析評価結果による告示濃度限度比総和においても、同様の傾向であることを確認する。

2. 告示濃度限度比総和を算出するデータとその方法

告示濃度限度比総和を算出には、増設 ALPS 入口（2021 年度）、K-4 タンク、J1-C タンク、J1-G タンクの 4 つの試料の分析評価結果を用いる。なお、分析評価結果は、別紙－ 4 にて測定・評価対象核種と監視対象核種に選定された 35 核種から、表 1.1.2-6 に示す①～⑥の分類によって、それぞれの核種を区分する。また、 α 核種の告示濃度限度比の算出は、選定された α 核種のうち最も告示濃度限度の低い 4Bq/L で全 α 値を除することで算出する。

表 1.1.2-6 告示濃度限度比を算出する際の核種の分類

| No. | 分類 | | 具体的核種 | | | |
|-----|-------------------------|--------------|--|---|-------------------------|----------------------|
| ① | ALPS 処理水等で主に検出される核種 | | 主要 7 核種（放射平衡 Y-90, Te-125m 含む）、C-14, Tc-99 | | | |
| ② | ALPS 処理水等にはほとんど検出されない核種 | α 核種 | | U-234, U-238, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Cm-244 | | |
| ③ | | β 核種以外 | ALPS 除去対象 (①, ②以外) | Mn-54, Ni-63, Cd-113m, Ce-144, Pm-147, Sm-151, Eu-154, Eu-155, Pu-241 | | |
| ④ | | | 除去対象以外 | 測定数多 | Cl-36, Se-79, Nb-94 | |
| ⑤ | | | | 測定数少 | (1)全 β , Ge で計数不可 | Ba-133 |
| ⑥ | | | | | (2)全 β , Ge で計数不可 | Fe-55, Nb-93m, Mo-93 |

3. 評価結果

3.1 告示濃度限度比総和の比較

2項の内容で告示濃度限度比総和の比較を行った結果は、表 1.1.2-7、図 1.1.2-5 の通り。この結果より、核種分析と同様に、実際の ALPS 入口/出口の分析評価結果においても、告示濃度限度比総和の大部分が主要 7 核種、炭素 14 及びテクネチウム 99 であることを確認した。

表 1.1.2-7 ALPS 入口/出口の各分類の告示濃度比の比較

| No. | 分類 | ALPS | | ALPS 出口 | | | | | |
|-----|-------------------------|--------------------|--------|---------|------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 入口 | | K-4 | J1-C | J1-G | | | |
| ① | ALPS 処理水等で主に検出される核種 | 1.7E+03 | | 2.7E-01 | 1.6E-01 | 5.8E-02 | | | |
| ② | ALPS 処理水等にはほとんど検出されない核種 | α 核種 | | 1.0E+00 | 1.6E-04 | 8.1E-03 | 7.0E-03 | | |
| ③ | | ALPS 除去対象 (①, ②以外) | | 2.2E+00 | 1.4E-03 | 1.3E-02 | 1.2E-02 | | |
| ④ | | R 核種以外 | 除去対象以外 | 測定数多 | 5.0E-02 | 1.2E-02 | 1.2E-02 | 1.2E-02 | |
| ⑤ | | | | 測定数少 | (1)全 β, Ge で計数不可 | 8.8E-03 | 1.8E-05 | 1.4E-04 | 1.3E-04 |
| ⑥ | | | | 測定数少 | (2)全 β, Ge で計数不可 | 2.2E-02 | 9.2E-03 | 6.8E-03 | 6.8E-03 |

※: J1-C, J1-G では, Cl-36, Se-79, Fe-55, Nb-93m, Mo-93 の分析評価結果がないため, 増設 ALPS 処理後の結果 (P 1.1.2-7~9) を使用

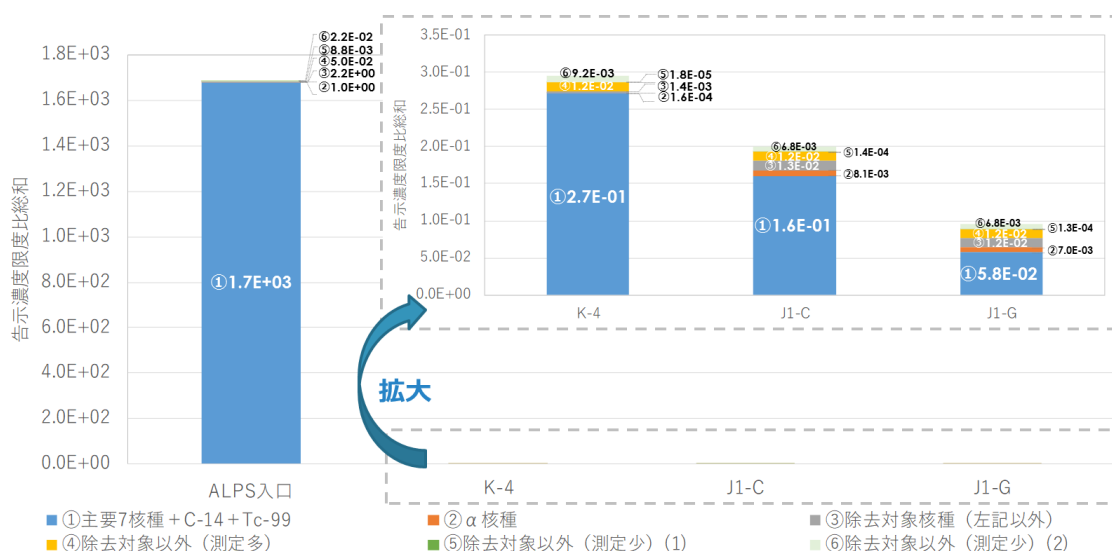


図 1.1.2-5 ALPS 入口/出口の告示濃度限度比総和の比較

3.2 ALPS 処理水の放出基準に対する割合

表 1.1.2-7 で算出した ALPS 出口の各分類の告示濃度比を基に，測定・評価対象核種と監視対象核種の 35 核種について，放出基準に対する割合を図示した結果は，図 1.1.2-6 の通り。この結果より，今回の評価に使用した K-4 タンク，J1-C タンク，J1-G タンクは放出基準に対して， $7.0E-01$ ～ $9.0E-01$ 程度の余裕があることを確認した。

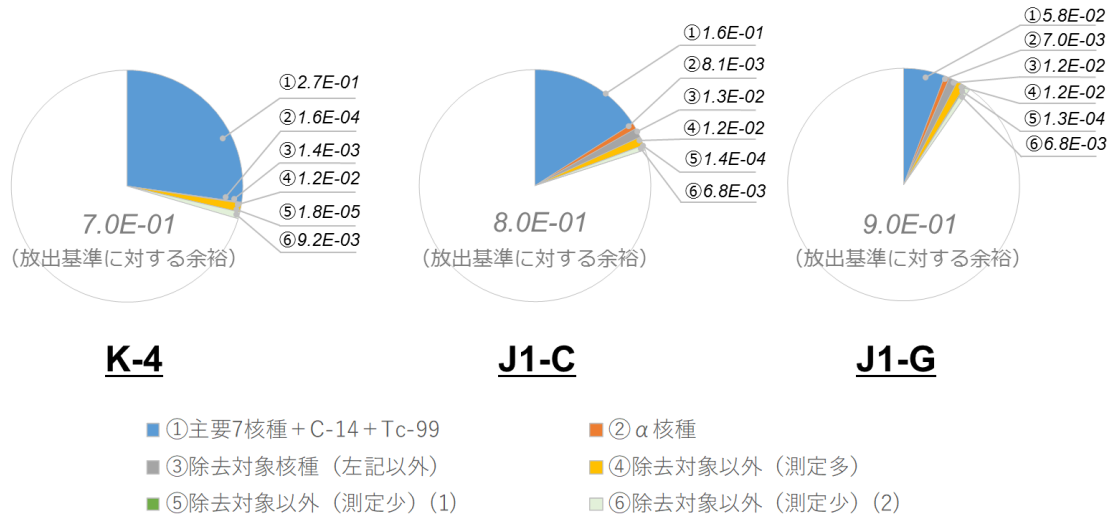


図 1.1.2-6 ALPS 処理水中の放射性物質の放出基準に対する割合

ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の検討のうち
インベントリ評価に係る補足説明

1. 概要

ALPS 処理水中のトリチウム以外の放射性核種の告示濃度限度比総和 1 未満を満足することを確実なものとするため、国内における廃止措置や埋設施設に関する知見を踏まえ、汚染水中に有意に存在するか徹底的に検証を実施した上で、測定・評価の対象とする放射性核種を選定する方針としている。

検討の進め方は、第 9 回 ALPS 処理水審査会合で説明したフロー（図 1.1.3-1 参照）の通り、核種分析及びインベントリ評価を実施する計画としており、本資料ではインベントリ評価について補足説明を行う。

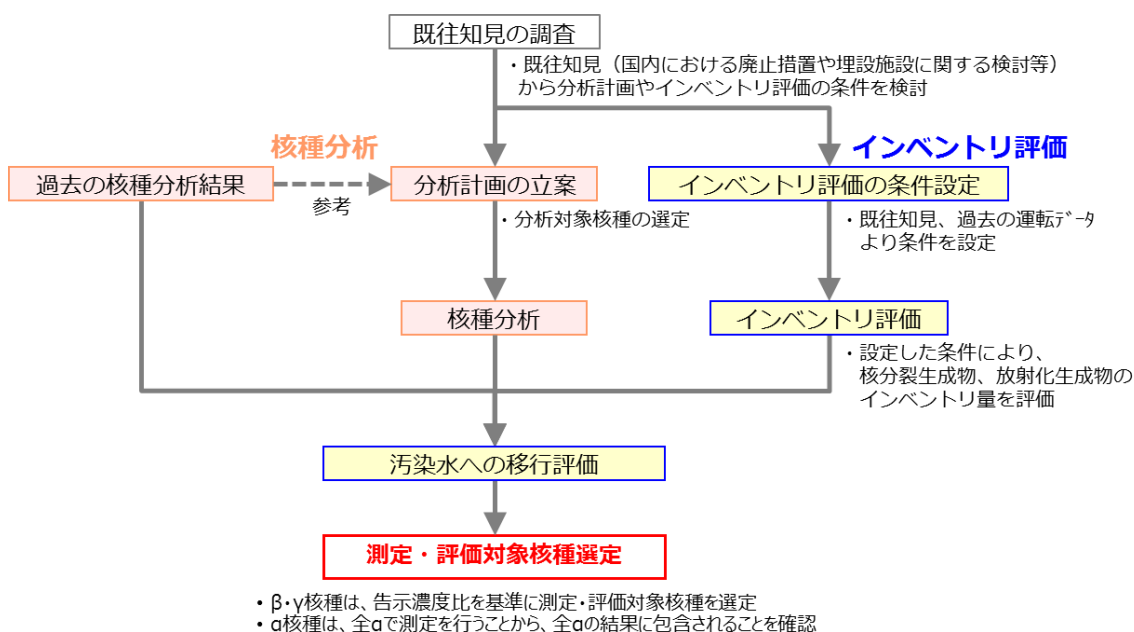


図 1.1.3-1 測定・評価対象核種選定の検討の全体の進め方

【第 9 回 ALPS 処理水審査会合資料より（一部表現修正）】

2. インベントリ評価

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の補足説明資料（2022 年 7 月）より】

インベントリ評価では、これまで原子力発電所の安全評価の中で核燃料物質から生成される核分裂生成物やアクチノイド等の放射性物質（以下、「核分裂生成物」という。）を評価している（ALPS 除去対象核種検討にも使用。）他、廃止措置や埋設施設に関する研究では、原子力発電所内の機器の放射化計算が実施されている。本検討では前述の評価を参考に核分裂生成物評価、放射化生成物評価を実施する。

なお、いずれの評価も震災後から放出までに 12 年経過したことを踏まえた、減衰によるインベントリ量の減少についても評価する。

評価に使用するコードは、これまでの安全評価や、既往知見や過去の評価と同様に ORIGEN（ORNL Isotope Generation and Depletion Code：放射性物質の生成、壊変、減損について計算を行うためのコードシステム）とする。

ORIGEN の評価結果から、水への移行のしやすさ等を考慮した上で、建屋滞留水中に有意に含まれる可能性のある核種の存在を確認する。

2.1 核分裂生成物評価

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の補足説明資料（2022 年 7 月）より】

核分裂生成物評価では、ALPS 除去対象核種検討時と同様に、通常の原子炉発電所の安全評価を参考に、福島第一原子力発電所 1～3 号機の原子炉压力容器内に装荷されていた燃料の条件及び、各燃料の装荷期間から想定される燃焼度等の条件から、2011 年 3 月時点のインベントリ量を評価する。2011 年 3 月以降は、減衰による 12 年間のインベントリ量の減少を計算する。

なお、ORIGEN では、核燃料より生成、壊変、減損されるインベントリ量を評価可能である。核分裂については、ウラン 235 が核分裂する際、主に質量数 95 と質量数 140 付近をピークに 2 つの核種に分裂することを評価する他、ウラン 238 が中性子を吸収して生成するプルトニウムなどの核種や、核分裂生成物が中性子を吸収して生成するセシウム 134 のような核種も発生も評価可能となっている。

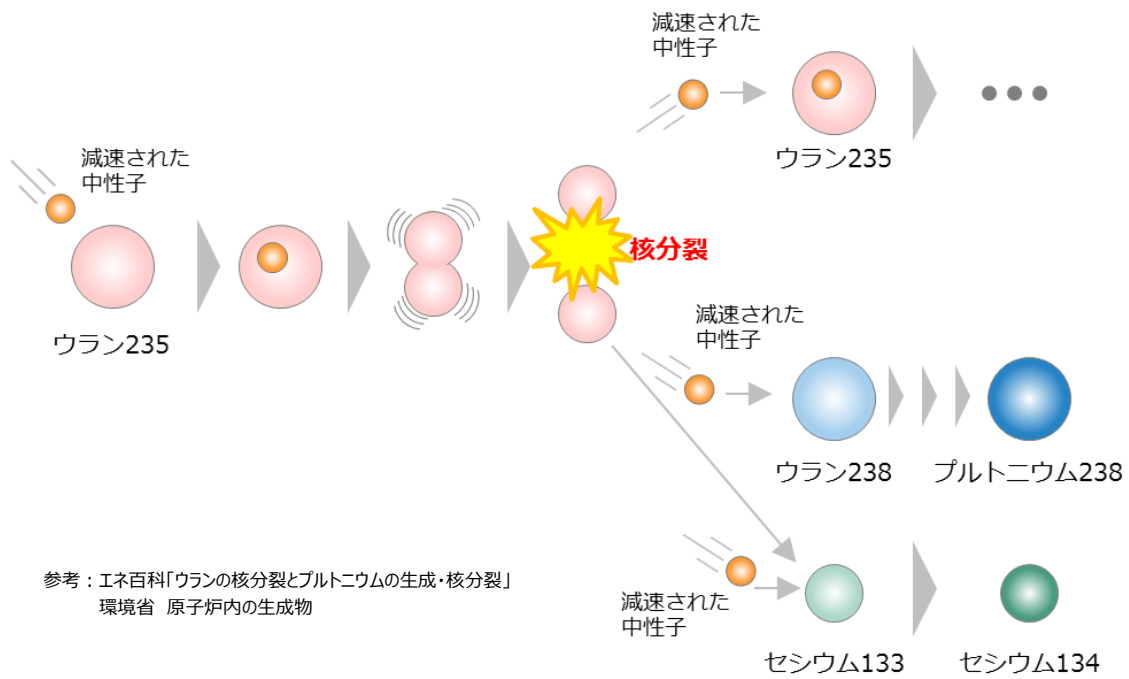
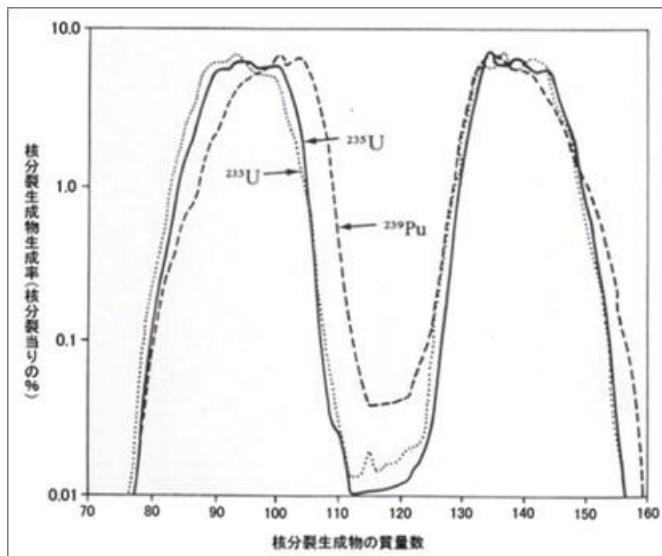


図 1.1.3-2 ウラン 235 によって生成する核分裂生成物とアクチノイド



ATOMICA「核分裂生成物の質量数分布」より
出典：W.マーシャル編：原子炉技術の発展（上），
装華房，P72

図 1.1.3-3 核分裂生成物の質量分布

2.2 放射化生成物評価

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の補足説明資料（2022年7月）より】

放射化生成物評価では、廃止措置や埋設施設に関する研究を参考に、原子炉圧力容器内及びその下部に存在する、炉内構造物、燃料体（核燃料物質除く）、圧力容器、ペDESTALの4種類の機器・構造物について、炉心からの照射期間を踏まえた2011年3月時点のインベントリ量を評価する。他に、原子炉冷却システムを構成している機器等の構成材料の腐食、放射化により生成される腐食生成物についても、運転時の給水金属データ等を使用して、2011年3月時点のインベントリ量を評価する。いずれの評価においても、2011年3月以降は、減衰による12年間のインベントリ量の減少を計算する。

なお、炉内構造物や燃料体においては、全ての機器を評価するのではなく、材料が重複する場合は、保守的に炉心に近い（放射化量が多い。）ものを選定して評価を行う。

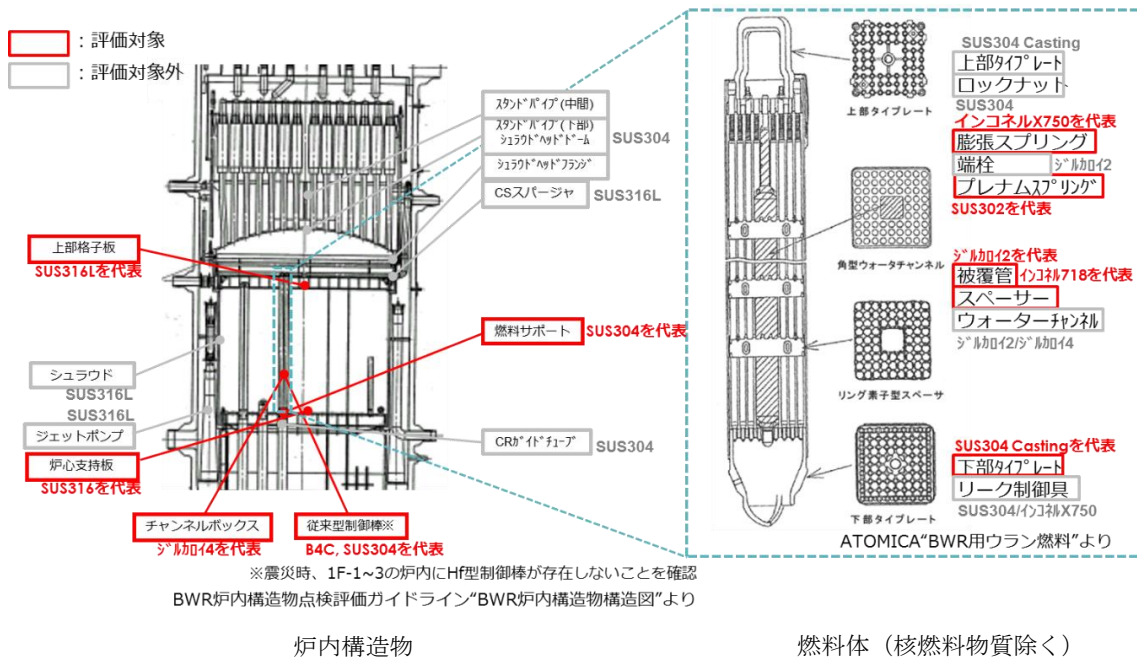


図 1.1.3-4 炉内構造物等のインベントリ評価の対象

2.3 インベントリ評価結果

2.1, 2.2 項の条件を基に、インベントリ評価を実施した結果は表 1.1.3.1~3 の通り。

核分裂生成物評価では燃料から生成されたインベントリ量を 100%考慮する。なお、核分裂生成物のインベントリ評価では通常の原子力発電所の安全評価、ALPS 除去対象核種検討時と同様に燃料から生成されるインベントリ量のみを考慮し、可燃性毒物の存在は考慮していない。

また、放射化生成物評価では、原子炉運転時に炉心に存在し、これまでの調査や事故解析等で溶融していることが想定される、上部格子板、チャンネルボックス、燃料体（全ての部材）、従来型制御棒、燃料サポート、炉心支持板の他、原子炉圧力容器、ペDESTAL から、インベントリ量を算出している。各機器の放射化については、電力共同研究において検討してきた、余裕深度対象（L1）廃棄物や高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）およびハル等廃棄物^{※1}の条件（元素濃度条件、中性子束）及び、運転実績等から評価を行っている。

ORIGEN でインベントリを評価するに当たっては、過去の安全評価や廃止措置の研究と同様に、炉内中性子束の 1 点近似で評価可能な燃料やチャンネルボックス、燃料体、従来型制御棒等については ORIGEN2 により評価し、燃料とは中性子スペクトルが異なる上部格子板、炉心支持板、燃料サポート、原子炉圧力容器やペDESTAL については、SCALE5.1/ORIGEN-S にて評価する。また、それぞれ使用している核データライブラリは、それぞれ JENDL4.0, SCALE5.1 の内蔵データとした。

※1：使用済核燃料をピューレックス法により再処理する際、核燃料をチョッピングにより細断片とするが、その核燃料の被覆廃材のことをハル（hull）という（ATOMICA より）。

表 1.1.3-1 インベントリ評価結果：1号機（1/3）

| 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] |
|--------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| H-3 | 4.8E+14 | Nb-94 | 1.9E+11 | Te-123m | 1.5E+04 |
| Be-10 | 8.4E+08 | Mo-93 | 2.4E+11 | Te-125m | 2.9E+14 |
| C-14 | 5.4E+12 | Tc-97 | 2.9E+06 | Te-127 | 7.8E+03 |
| Na-22 | 3.6E+07 | Tc-98 | 9.6E+06 | Te-127m | 8.0E+03 |
| Si-32 | 7.1E+05 | Tc-99 | 2.7E+13 | I-129 | 4.9E+10 |
| P-32 | 7.1E+05 | Ru-106 | 2.1E+14 | Cs-134 | 6.9E+15 |
| Cl-36 | 5.1E+09 | Rh-101 | 1.1E+05 | Cs-135 | 1.1E+12 |
| Ar-39 | 1.7E+11 | Rh-102 | 7.1E+06 | Cs-137 | 1.5E+17 |
| Ar-42 | 4.9E+03 | Rh-102m | 1.6E+07 | Ba-133 | 5.0E+10 |
| K-40 | 1.6E+08 | Rh-106 | 2.1E+14 | Ba-137m | 1.5E+17 |
| K-42 | 4.9E+03 | Pd-107 | 1.9E+11 | La-137 | 1.4E+07 |
| Ca-41 | 3.5E+09 | Ag-108 | 3.3E+09 | La-138 | 3.1E+04 |
| Ca-45 | 4.8E+06 | Ag-108m | 3.8E+10 | Ce-139 | 5.4E+03 |
| Sc-46 | 3.7E+01 | Ag-109m | 8.8E+09 | Ce-142 | 5.3E+07 |
| V-49 | 2.3E+04 | Ag-110 | 3.5E+08 | Ce-144 | 4.1E+13 |
| Mn-54 | 4.1E+11 | Ag-110m | 2.6E+10 | Pr-144 | 4.1E+13 |
| Fe-55 | 2.6E+15 | Cd-109 | 8.8E+09 | Pr-144m | 6.2E+11 |
| Co-60 | 8.1E+15 | Cd-113m | 2.5E+13 | Nd-144 | 3.3E+03 |
| Ni-59 | 1.4E+13 | In-113m | 1.7E+04 | Pm-144 | 2.8E+01 |
| Ni-63 | 1.6E+15 | In-115 | 4.5E+03 | Pm-145 | 1.8E+10 |
| Zn-65 | 9.9E+08 | Sn-113 | 1.7E+04 | Pm-146 | 1.0E+12 |
| Se-75 | 1.0E+03 | Sn-119m | 1.6E+10 | Pm-147 | 1.5E+16 |
| Se-79 | 1.1E+11 | Sn-121 | 2.1E+13 | Sm-145 | 3.1E+07 |
| Kr-81 | 1.1E+10 | Sn-121m | 2.7E+13 | Sm-146 | 2.3E+05 |
| Kr-85 | 9.2E+15 | Sn-123 | 1.1E+05 | Sm-147 | 1.3E+07 |
| Rb-87 | 9.4E+07 | Sn-126 | 4.8E+11 | Sm-148 | 8.2E+01 |
| Sr-90 | 1.1E+17 | Sb-125 | 7.9E+14 | Sm-149 | 1.5E+00 |
| Y-90 | 1.1E+17 | Sb-126 | 6.8E+10 | Sm-151 | 5.7E+14 |
| Zr-93 | 3.9E+12 | Sb-126m | 4.8E+11 | Eu-150 | 3.9E+07 |
| Nb-91 | 1.0E+05 | Te-121 | 6.1E+02 | Eu-152 | 2.8E+12 |
| Nb-92 | 1.7E+06 | Te-121m | 6.1E+02 | Eu-154 | 3.8E+15 |
| Nb-93m | 1.8E+12 | Te-123 | 1.3E+04 | Eu-155 | 1.1E+15 |

表 1.1.3-1 インベントリ評価結果：1号機(2/3)

| 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] |
|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| Gd-152 | 4.3E+00 | Pb-212 | 3.8E+10 | Th-228 | 3.8E+10 |
| Gd-153 | 3.2E+08 | Pb-214 | 5.2E+06 | Th-229 | 4.6E+05 |
| Tb-157 | 6.8E+08 | Bi-208 | 6.5E+05 | Th-230 | 6.8E+08 |
| Tb-158 | 6.9E+08 | Bi-210 | 1.8E+06 | Th-231 | 8.4E+10 |
| Dy-159 | 1.9E+01 | Bi-210m | 1.7E+05 | Th-232 | 6.3E+06 |
| Ho-163 | 1.5E+07 | Bi-211 | 2.2E+07 | Th-234 | 8.0E+11 |
| Ho-166m | 6.9E+09 | Bi-212 | 3.8E+10 | Pa-231 | 7.6E+07 |
| Tm-170 | 5.0E+05 | Bi-213 | 4.6E+05 | Pa-233 | 5.0E+11 |
| Tm-171 | 1.4E+12 | Bi-214 | 5.2E+06 | Pa-234 | 1.0E+09 |
| Lu-176 | 5.1E+05 | Po-210 | 1.8E+06 | Pa-234m | 8.0E+11 |
| Lu-177 | 4.7E+05 | Po-211 | 6.2E+04 | U-232 | 3.9E+10 |
| Lu-177m | 2.0E+06 | Po-212 | 2.4E+10 | U-233 | 1.1E+08 |
| Hf-182 | 2.1E+06 | Po-213 | 4.6E+05 | U-234 | 3.4E+12 |
| Ta-182 | 2.2E+06 | Po-214 | 5.2E+06 | U-235 | 8.4E+10 |
| W-181 | 8.3E+02 | Po-215 | 2.2E+07 | U-236 | 5.6E+11 |
| Re-187 | 1.4E+06 | Po-216 | 3.8E+10 | U-237 | 3.0E+12 |
| Os-194 | 1.4E+08 | Po-218 | 5.2E+06 | U-238 | 8.0E+11 |
| Ir-192 | 5.7E+06 | At-217 | 4.6E+05 | U-240 | 5.7E+05 |
| Ir-192m | 5.7E+06 | Rn-219 | 2.2E+07 | Np-235 | 2.2E+06 |
| Ir-194 | 1.4E+08 | Rn-220 | 3.8E+10 | Np-236 | 7.6E+06 |
| Ir-194m | 3.6E+03 | Rn-222 | 5.2E+06 | Np-237 | 5.0E+11 |
| Pt-190 | 2.2E+03 | Fr-221 | 4.6E+05 | Np-238 | 7.9E+10 |
| Pt-193 | 2.5E+12 | Fr-223 | 3.1E+05 | Np-239 | 2.7E+13 |
| Tl-204 | 3.6E+12 | Ra-223 | 2.2E+07 | Np-240m | 5.7E+05 |
| Tl-206 | 1.7E+05 | Ra-224 | 3.8E+10 | Pu-236 | 3.3E+10 |
| Tl-207 | 2.2E+07 | Ra-225 | 4.6E+05 | Pu-238 | 4.4E+15 |
| Tl-208 | 1.4E+10 | Ra-226 | 5.2E+06 | Pu-239 | 6.7E+14 |
| Tl-209 | 1.0E+04 | Ra-228 | 6.2E+06 | Pu-240 | 8.7E+14 |
| Pb-205 | 5.1E+05 | Ac-225 | 4.6E+05 | Pu-241 | 1.2E+17 |
| Pb-209 | 4.6E+05 | Ac-227 | 2.2E+07 | Pu-242 | 3.2E+12 |
| Pb-210 | 1.8E+06 | Ac-228 | 6.2E+06 | Pu-243 | 2.2E+05 |
| Pb-211 | 2.2E+07 | Th-227 | 2.2E+07 | Pu-244 | 5.7E+05 |

表 1.1.3-1 インベントリ評価結果：1号機(3/3)

| 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] |
|---------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|
| Am-241 | 3.5E+15 | Cm-243 | 2.3E+13 | Bk-249 | 1.8E+05 |
| Am-242 | 1.6E+13 | Cm-244 | 2.3E+15 | Cf-249 | 5.4E+06 |
| Am-242m | 1.6E+13 | Cm-245 | 4.0E+11 | Cf-250 | 3.0E+07 |
| Am-243 | 2.7E+13 | Cm-246 | 6.9E+10 | Cf-251 | 3.1E+05 |
| Am-245 | 2.6E+00 | Cm-247 | 2.2E+05 | Cf-252 | 4.3E+06 |
| Cm-242 | 1.3E+13 | Cm-248 | 5.9E+05 | | |

表 1.1.3-2 インベントリ評価結果：2号機(1/3)

| 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] |
|-------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| H-3 | 6.1E+14 | Nb-93m | 2.3E+12 | Te-123 | 1.2E+04 |
| Be-10 | 1.1E+09 | Nb-94 | 3.6E+11 | Te-123m | 2.0E+04 |
| C-14 | 9.8E+12 | Mo-93 | 6.0E+11 | Te-125m | 3.9E+14 |
| Na-22 | 5.0E+07 | Tc-97 | 4.1E+06 | Te-127 | 1.2E+04 |
| Si-32 | 1.5E+06 | Tc-98 | 1.1E+07 | Te-127m | 1.2E+04 |
| P-32 | 1.5E+06 | Tc-99 | 3.4E+13 | I-129 | 5.9E+10 |
| Cl-36 | 1.3E+10 | Ru-106 | 2.8E+14 | Cs-134 | 9.1E+15 |
| Ar-39 | 2.4E+11 | Rh-101 | 1.5E+05 | Cs-135 | 1.2E+12 |
| Ar-42 | 1.3E+04 | Rh-102 | 9.7E+06 | Cs-137 | 1.9E+17 |
| K-40 | 1.5E+08 | Rh-102m | 2.1E+07 | Ba-133 | 6.0E+10 |
| K-42 | 1.3E+04 | Rh-106 | 2.8E+14 | Ba-137m | 1.8E+17 |
| Ca-41 | 6.8E+09 | Pd-107 | 2.2E+11 | La-137 | 1.7E+07 |
| Ca-45 | 6.8E+06 | Ag-108 | 5.8E+09 | La-138 | 4.1E+04 |
| Sc-46 | 5.2E+01 | Ag-108m | 6.7E+10 | Ce-139 | 7.5E+03 |
| V-49 | 3.8E+04 | Ag-109m | 1.3E+10 | Ce-142 | 6.7E+07 |
| Mn-54 | 5.8E+11 | Ag-110 | 4.5E+08 | Ce-144 | 6.4E+13 |
| Fe-55 | 4.2E+15 | Ag-110m | 3.3E+10 | Pr-144 | 6.4E+13 |
| Co-60 | 1.4E+16 | Cd-109 | 1.3E+10 | Pr-144m | 9.7E+11 |
| Ni-59 | 2.9E+13 | Cd-113m | 2.9E+13 | Nd-144 | 4.1E+03 |
| Ni-63 | 3.4E+15 | In-113m | 2.4E+04 | Pm-144 | 3.8E+01 |
| Zn-65 | 1.5E+09 | In-115 | 4.9E+03 | Pm-145 | 3.0E+10 |
| Se-75 | 1.5E+03 | Sn-113 | 2.4E+04 | Pm-146 | 1.3E+12 |
| Se-79 | 1.3E+11 | Sn-119m | 2.2E+10 | Pm-147 | 2.1E+16 |
| Kr-81 | 1.7E+10 | Sn-121 | 2.6E+13 | Sm-145 | 4.4E+07 |
| Kr-85 | 1.2E+16 | Sn-121m | 3.3E+13 | Sm-146 | 2.5E+05 |
| Rb-87 | 1.1E+08 | Sn-123 | 1.6E+05 | Sm-147 | 1.7E+07 |
| Sr-90 | 1.5E+17 | Sn-126 | 5.8E+11 | Sm-148 | 9.4E+01 |
| Y-88 | 1.1E+00 | Sb-125 | 1.1E+15 | Sm-149 | 2.3E+00 |
| Y-90 | 1.5E+17 | Sb-126 | 8.1E+10 | Sm-151 | 7.8E+14 |
| Zr-93 | 4.9E+12 | Sb-126m | 5.8E+11 | Eu-150 | 4.1E+07 |
| Nb-91 | 4.1E+05 | Te-121 | 9.3E+02 | Eu-152 | 3.1E+12 |
| Nb-92 | 3.8E+06 | Te-121m | 9.3E+02 | Eu-154 | 4.6E+15 |

表 1.1.3-2 インベントリ評価結果：2号機(2/3)

| 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] |
|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| Eu-155 | 1.4E+15 | Pb-211 | 2.5E+07 | Th-227 | 2.5E+07 |
| Gd-152 | 4.7E+00 | Pb-212 | 4.2E+10 | Th-228 | 4.2E+10 |
| Gd-153 | 3.8E+08 | Pb-214 | 5.5E+06 | Th-229 | 4.4E+05 |
| Tb-157 | 9.5E+08 | Bi-208 | 9.1E+05 | Th-230 | 8.7E+08 |
| Tb-158 | 7.6E+08 | Bi-210 | 1.7E+06 | Th-231 | 1.4E+11 |
| Dy-159 | 2.5E+01 | Bi-210m | 2.4E+05 | Th-232 | 5.9E+06 |
| Ho-163 | 2.2E+07 | Bi-211 | 2.5E+07 | Th-234 | 1.1E+12 |
| Ho-166m | 9.5E+09 | Bi-212 | 4.2E+10 | Pa-231 | 9.4E+07 |
| Tm-170 | 7.0E+05 | Bi-213 | 4.4E+05 | Pa-233 | 6.2E+11 |
| Tm-171 | 1.9E+12 | Bi-214 | 5.5E+06 | Pa-234 | 1.5E+09 |
| Lu-176 | 7.2E+05 | Po-210 | 1.7E+06 | Pa-234m | 1.1E+12 |
| Lu-177 | 6.5E+05 | Po-211 | 7.1E+04 | U-232 | 4.4E+10 |
| Lu-177m | 2.8E+06 | Po-212 | 2.7E+10 | U-233 | 1.5E+08 |
| Hf-182 | 2.9E+06 | Po-213 | 4.3E+05 | U-234 | 5.1E+12 |
| Ta-182 | 3.0E+06 | Po-214 | 5.5E+06 | U-235 | 1.4E+11 |
| W-181 | 1.2E+03 | Po-215 | 2.5E+07 | U-236 | 7.3E+11 |
| Re-187 | 2.2E+06 | Po-216 | 4.2E+10 | U-237 | 3.6E+12 |
| Os-194 | 2.0E+08 | Po-218 | 5.5E+06 | U-238 | 1.1E+12 |
| Ir-192 | 6.9E+06 | At-217 | 4.4E+05 | U-240 | 6.1E+05 |
| Ir-192m | 6.9E+06 | Rn-219 | 2.5E+07 | Np-235 | 2.8E+06 |
| Ir-194 | 2.0E+08 | Rn-220 | 4.2E+10 | Np-236 | 9.4E+06 |
| Ir-194m | 4.4E+03 | Rn-222 | 5.5E+06 | Np-237 | 6.2E+11 |
| Pt-190 | 2.1E+03 | Fr-221 | 4.4E+05 | Np-238 | 7.7E+10 |
| Pt-193 | 3.6E+12 | Fr-223 | 3.5E+05 | Np-239 | 2.8E+13 |
| Tl-204 | 5.4E+12 | Ra-223 | 2.5E+07 | Np-240m | 6.1E+05 |
| Tl-206 | 2.4E+05 | Ra-224 | 4.2E+10 | Pu-236 | 4.0E+10 |
| Tl-207 | 2.5E+07 | Ra-225 | 4.4E+05 | Pu-238 | 4.8E+15 |
| Tl-208 | 1.5E+10 | Ra-226 | 5.5E+06 | Pu-239 | 8.7E+14 |
| Tl-209 | 9.5E+03 | Ra-228 | 5.8E+06 | Pu-240 | 1.1E+15 |
| Pb-205 | 1.2E+06 | Ac-225 | 4.4E+05 | Pu-241 | 1.5E+17 |
| Pb-209 | 4.4E+05 | Ac-227 | 2.5E+07 | Pu-242 | 3.4E+12 |
| Pb-210 | 1.7E+06 | Ac-228 | 5.8E+06 | Pu-243 | 1.9E+05 |

表 1.1.3-2 インベントリ評価結果：2号機(3/3)

| 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] |
|---------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|
| Pu-244 | 6.1E+05 | Cm-242 | 1.3E+13 | Cm-248 | 4.8E+05 |
| Am-241 | 4.1E+15 | Cm-243 | 2.3E+13 | Bk-249 | 1.5E+05 |
| Am-242 | 1.5E+13 | Cm-244 | 2.2E+15 | Cf-249 | 4.5E+06 |
| Am-242m | 1.5E+13 | Cm-245 | 3.9E+11 | Cf-250 | 2.5E+07 |
| Am-243 | 2.8E+13 | Cm-246 | 6.1E+10 | Cf-251 | 2.5E+05 |
| Am-245 | 2.2E+00 | Cm-247 | 1.9E+05 | Cf-252 | 3.3E+06 |

表 1.1.3-3 インベントリ評価結果：3号機(1/3)

| 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] |
|-------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| H-3 | 5.7E+14 | Nb-93m | 2.2E+12 | Te-123 | 1.2E+04 |
| Be-10 | 1.1E+09 | Nb-94 | 3.6E+11 | Te-123m | 2.0E+04 |
| C-14 | 9.8E+12 | Mo-93 | 6.1E+11 | Te-125m | 3.8E+14 |
| Na-22 | 5.0E+07 | Tc-97 | 4.1E+06 | Te-127 | 1.2E+04 |
| Si-32 | 1.5E+06 | Tc-98 | 1.0E+07 | Te-127m | 1.2E+04 |
| P-32 | 1.5E+06 | Tc-99 | 3.2E+13 | I-129 | 5.6E+10 |
| Cl-36 | 1.3E+10 | Ru-106 | 2.7E+14 | Cs-134 | 8.6E+15 |
| Ar-39 | 2.4E+11 | Rh-101 | 1.5E+05 | Cs-135 | 1.2E+12 |
| Ar-42 | 1.3E+04 | Rh-102 | 9.4E+06 | Cs-137 | 1.8E+17 |
| K-40 | 1.5E+08 | Rh-102m | 2.0E+07 | Ba-133 | 5.6E+10 |
| K-42 | 1.3E+04 | Rh-106 | 2.7E+14 | Ba-137m | 1.7E+17 |
| Ca-41 | 6.8E+09 | Pd-107 | 2.0E+11 | La-137 | 1.6E+07 |
| Ca-45 | 6.8E+06 | Ag-108 | 5.8E+09 | La-138 | 4.1E+04 |
| Sc-46 | 5.2E+01 | Ag-108m | 6.7E+10 | Ce-139 | 6.9E+03 |
| V-49 | 3.8E+04 | Ag-109m | 1.3E+10 | Ce-142 | 6.3E+07 |
| Mn-54 | 6.1E+11 | Ag-110 | 4.1E+08 | Ce-144 | 6.2E+13 |
| Fe-55 | 4.4E+15 | Ag-110m | 3.0E+10 | Pr-144 | 6.2E+13 |
| Co-60 | 1.4E+16 | Cd-109 | 1.3E+10 | Pr-144m | 9.4E+11 |
| Ni-59 | 3.0E+13 | Cd-113m | 2.8E+13 | Nd-144 | 3.9E+03 |
| Ni-63 | 3.4E+15 | In-113m | 2.4E+04 | Pm-144 | 3.7E+01 |
| Zn-65 | 1.5E+09 | In-115 | 4.9E+03 | Pm-145 | 3.0E+10 |
| Se-75 | 1.5E+03 | Sn-113 | 2.4E+04 | Pm-146 | 1.2E+12 |
| Se-79 | 1.3E+11 | Sn-119m | 2.2E+10 | Pm-147 | 2.0E+16 |
| Kr-81 | 1.7E+10 | Sn-121 | 2.4E+13 | Sm-145 | 4.4E+07 |
| Kr-85 | 1.1E+16 | Sn-121m | 3.1E+13 | Sm-146 | 2.3E+05 |
| Rb-87 | 1.1E+08 | Sn-123 | 1.7E+05 | Sm-147 | 1.6E+07 |
| Sr-90 | 1.4E+17 | Sn-126 | 5.5E+11 | Sm-148 | 8.6E+01 |
| Y-88 | 1.0E+00 | Sb-125 | 1.0E+15 | Sm-149 | 2.3E+00 |
| Y-90 | 1.4E+17 | Sb-126 | 7.7E+10 | Sm-151 | 8.0E+14 |
| Zr-93 | 4.7E+12 | Sb-126m | 5.5E+11 | Eu-150 | 3.8E+07 |
| Nb-91 | 4.1E+05 | Te-121 | 9.3E+02 | Eu-152 | 3.1E+12 |
| Nb-92 | 3.9E+06 | Te-121m | 9.3E+02 | Eu-154 | 4.2E+15 |

表 1.1.3-3 インベントリ評価結果：3号機(2/3)

| 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] |
|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| Eu-155 | 1.3E+15 | Pb-211 | 2.4E+07 | Th-227 | 2.4E+07 |
| Gd-152 | 4.6E+00 | Pb-212 | 3.8E+10 | Th-228 | 3.8E+10 |
| Gd-153 | 3.6E+08 | Pb-214 | 5.5E+06 | Th-229 | 4.0E+05 |
| Tb-157 | 9.5E+08 | Bi-208 | 9.1E+05 | Th-230 | 8.6E+08 |
| Tb-158 | 6.8E+08 | Bi-210 | 1.8E+06 | Th-231 | 1.4E+11 |
| Dy-159 | 2.5E+01 | Bi-210m | 2.4E+05 | Th-232 | 5.9E+06 |
| Ho-163 | 2.2E+07 | Bi-211 | 2.4E+07 | Th-234 | 1.1E+12 |
| Ho-166m | 9.2E+09 | Bi-212 | 3.8E+10 | Pa-231 | 9.0E+07 |
| Tm-170 | 7.0E+05 | Bi-213 | 4.0E+05 | Pa-233 | 5.8E+11 |
| Tm-171 | 1.9E+12 | Bi-214 | 5.5E+06 | Pa-234 | 1.4E+09 |
| Lu-176 | 7.2E+05 | Po-210 | 1.8E+06 | Pa-234m | 1.1E+12 |
| Lu-177 | 6.5E+05 | Po-211 | 6.8E+04 | U-232 | 3.9E+10 |
| Lu-177m | 2.8E+06 | Po-212 | 2.4E+10 | U-233 | 1.4E+08 |
| Hf-182 | 2.9E+06 | Po-213 | 3.9E+05 | U-234 | 5.1E+12 |
| Ta-182 | 3.0E+06 | Po-214 | 5.5E+06 | U-235 | 1.4E+11 |
| W-181 | 1.2E+03 | Po-215 | 2.4E+07 | U-236 | 7.0E+11 |
| Re-187 | 2.2E+06 | Po-216 | 3.8E+10 | U-237 | 4.0E+12 |
| Os-194 | 2.0E+08 | Po-218 | 5.5E+06 | U-238 | 1.1E+12 |
| Ir-192 | 6.9E+06 | At-217 | 4.0E+05 | U-240 | 5.5E+05 |
| Ir-192m | 6.9E+06 | Rn-219 | 2.4E+07 | Np-235 | 2.5E+06 |
| Ir-194 | 2.0E+08 | Rn-220 | 3.8E+10 | Np-236 | 8.6E+06 |
| Ir-194m | 4.4E+03 | Rn-222 | 5.5E+06 | Np-237 | 5.8E+11 |
| Pt-190 | 2.1E+03 | Fr-221 | 4.0E+05 | Np-238 | 3.0E+11 |
| Pt-193 | 3.6E+12 | Fr-223 | 3.4E+05 | Np-239 | 2.9E+13 |
| Tl-204 | 5.4E+12 | Ra-223 | 2.4E+07 | Np-240m | 5.5E+05 |
| Tl-206 | 2.4E+05 | Ra-224 | 3.8E+10 | Pu-236 | 3.6E+10 |
| Tl-207 | 2.4E+07 | Ra-225 | 4.0E+05 | Pu-238 | 6.7E+15 |
| Tl-208 | 1.4E+10 | Ra-226 | 5.5E+06 | Pu-239 | 1.1E+15 |
| Tl-209 | 8.6E+03 | Ra-228 | 5.9E+06 | Pu-240 | 1.4E+15 |
| Pb-205 | 1.2E+06 | Ac-225 | 4.0E+05 | Pu-241 | 1.6E+17 |
| Pb-209 | 4.0E+05 | Ac-227 | 2.4E+07 | Pu-242 | 4.6E+12 |
| Pb-210 | 1.8E+06 | Ac-228 | 5.9E+06 | Pu-243 | 1.3E+05 |

表 1.1.3-3 インベントリ評価結果：3号機(3/3)

| 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] | 核種 | 放射エネルギー [Bq] |
|---------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|
| Pu-244 | 5.5E+05 | Cm-242 | 4.9E+13 | Cm-248 | 3.3E+05 |
| Am-241 | 5.6E+15 | Cm-243 | 2.9E+13 | Bk-249 | 1.0E+05 |
| Am-242 | 5.9E+13 | Cm-244 | 1.9E+15 | Cf-249 | 3.0E+06 |
| Am-242m | 5.9E+13 | Cm-245 | 3.1E+11 | Cf-250 | 1.6E+07 |
| Am-243 | 2.9E+13 | Cm-246 | 4.6E+10 | Cf-251 | 1.6E+05 |
| Am-245 | 1.5E+00 | Cm-247 | 1.3E+05 | Cf-252 | 2.0E+06 |

2.4 インベントリ評価における不確かさ

本評価では、通常の原子力発電所の安全評価やALPS除去対象核種での検討、電力共同研究において検討してきた余裕深度対象（L1）廃棄物や高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）およびハル等廃棄物の条件を基に検討しているが、入力条件の中には不確かさを含む条件があることから、評価結果にも不確かさが含まれている。

入力条件と不確かさの詳細は表 1.1.3-4 に示す通り、核分裂生成物では入力条件による不確かさはほとんど存在せず、現実的な評価を行うことが出来ていると考えられるが、放射化生成物では元素濃度条件等に保守側の不確かさが存在している。

表 1.1.3-4 インベントリ評価における不確かさ

| 条件 | 入力状況 | 不確かさ | |
|----------|-----------------------|---|-------------------|
| 核分裂生成物評価 | 燃料型式 | 2011年3月11日に福島第一原子力発電所の1～3号機の炉心に装荷していた燃料データ | 小 |
| | ウラン重量 | | |
| | 濃縮度 | | |
| | 燃料組成 | U-234 : U-235 の濃縮度×0.008 (天然組成比) U-235 : 燃料データの濃縮度より U-238 : U-234, U-235 の重量%からの差分 | 小 |
| | 燃焼度 | 燃料体毎の 2011 年 3 月 11 日時点の燃焼度 | 小 |
| | 照射条件 | 定期検査を考慮せず, 100% 熱出力で連続運転 | 小 ^{※1} |
| | 冷却期間 | 12 年間 (～2023 年 3 月 11 日) | 小 |
| 放射化生成物評価 | 評価対象機器と機器重量 | 燃料体 : 全重量 チャンネルボックス (CB) : 各機器全重量 制御棒 (CR) その他構造材 RPV : 全重量×25% ペDESTAL : IRID の補助事業「事故進展解析及び実機データ等による炉内状況把握の高度化」より設定 (約 160ton/号機) 腐食生成物 : 過去 4 サイクルの, 給水からの持ち込み金属の実績 (原子炉冷却材浄化系による除去未考慮) | 小～大 ^{※2} |
| | 元素濃度条件 | 各機器は, 過去の電力共同研究から, 材料規格などで規定される主成分と不純物成分の他, これらで管理されない微量成分を考慮 この考え方より, 元素周期表の原子番号 1~103 から Bi, Th, U 以外の放射元素 (20 元素) を除く 83 元素を設定対象としており, 本評価では希ガスを除いた元素濃度条件を設定 | 大 ^{※3} |
| | 照射量/ 中性子束・ 照射期間 | 燃料体・CB : 燃料の平均燃焼度と同等として設定 CR : 1F-1~3 の CR の照射量 (全体平均) の実績に余裕を見て設定 その他構造材 : 機器の中央部における中性子束と炉内の存在した期間から算出 RPV・ペDESTAL : 各機器・構造物の中央部における中性子束と供用期間から算出 腐食生成物 : 被覆管に付着した際の中性子束と付着を想定する被覆管の炉内への装荷期間 (4 サイクル) で算出 | 小～中 |
| | 照射条件 | 定期検査を考慮せず, 100% 熱出力で連続運転 | 小 ^{※1} |
| | 冷却期間 | 12 年間 (～2023 年 3 月 11 日) | 小 |

※1 : 短半減期の核種で保守的となるが, 冷却期間 12 年後ではほとんど影響しない

※2 : 実際に寄与している重量は不明だが, 図面等から上表の重量で設定している。

※3 : 規格に記載された元素濃度は最大値で設定し, 規格で管理されない微量成分についても過去の調査から保守的に設定, もしくは未調査の微量成分については保守的な初期条件を設定している

インベントリ計算に用いるコード (ORIGEN-2) について

1. 概要

ORIGEN-2 コードは、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された炉内中性子束の 1 点近似による燃料計算コードである。ORIGEN-2 コードは汎用解析コードであり輸送キャスクの崩壊熱計算等に広く利用されている。

2. 機能

ORIGEN-2 コードは、燃焼解析に際して以下の機能を有している。

- ①燃料の炉内での燃焼計算，炉取出し後の減衰計算により，冷却期間に対応した崩壊熱，放射線の強度，各核種の放射エネルギー等が求められる。
- ②原子炉の炉型と燃料の組合せに対し，中性子エネルギースペクトルの違いにより重みをつけた断面積ライブラリが内蔵されており，任意に選択できる。
- ③計算結果は，放射化生成物，アクチノイド，核分裂生成物に分類して出力される。
- ④燃焼計算に必要な放射性核種データ（崩壊熱，ガンマ線のエネルギー分布，自発核分裂と (α, n) 反応により発生する中性子源強度等）に関しては，ORIGEN-2 コード専用のライブラリがあり，これを用いる。

3. 計算フロー

ORIGEN-2 コードの計算フローを図 1.1.3-5 に示す。

4. 使用実績

ORIGEN-2 コードは，輸送キャスク，核燃料施設の崩壊熱計算に広く使用されている。

5. 検証方法

汎用コードの導入評価^{※1}が実施されていることが確認されている。大型実験/ベンチマーク試験による検証^{※2}が実施されていることが確認されている。

※1:A.G.Croff, “ORIGEN2 Isotope Generation and Depletion Code MATRIX EXPONENTIAL METHOD”, CCC-371(1987)

※2: (社) 日本原子力学会 “原子炉崩壊熱とその推奨値”，1989 年 8 月

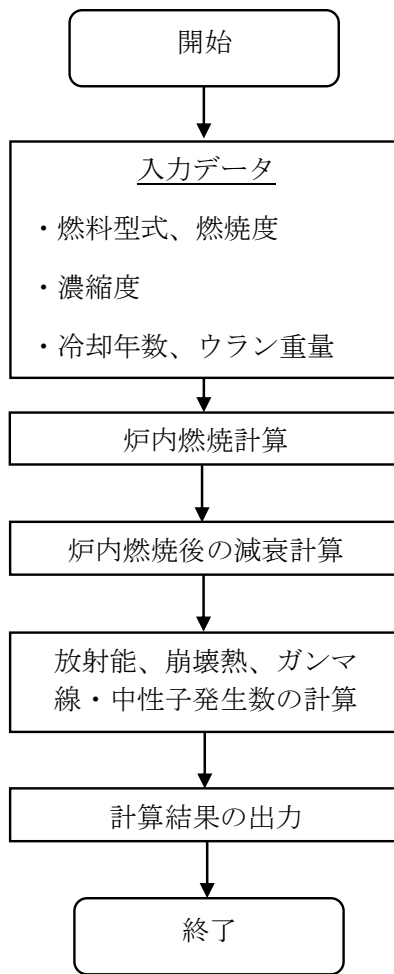


図 1.1.3-5 ORIGEN-2 コードの計算フロー図

以上

インベントリ計算に用いるコード (ORIGEN-S) について

1. 概要

SCALE 5.1/ORIGEN-S コード(以下, ORIGEN-S)は, 米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された高速中性子, 熱外中性子, 熱中性子の3群スペクトルを使用可能な放射化計算コードである。ORIGEN-S コードは汎用解析コードであり炉内構造物の放射化計算, 原子炉施設の廃止措置等に広く利用されている。

2. 機能

ORIGEN-S コードで計算可能な内容は次に示す通りである。

- ①燃料の核種組成 (重量), 照射期間 (運転パターン), 炉内中性子束あるいは炉の比出力を入力することによって, 各核種の放射エネルギー, 中性子やガンマ線発生数, 核分裂生成物やアクチノイド核種の生成量を計算する。
- ②評価対象である構造物の材料組成, 中性子束, 照射履歴を入力することによって, 構造物の放射化放射エネルギーを計算する。
- ③評価対象である構造物の材料組成, 中性子束, 照射履歴を入力することによって, 生成, 消滅計算から得られる放射性核種の発熱量を計算する。

3. 計算フロー

ORIGEN-S コードの計算フローを図 1.1.3-6 に示す。

4. 使用実績

ORIGEN-S コードは, 燃料とは中性子スペクトルが異なる炉内構造物の放射化計算や原子炉施設の廃止措置を目的とした原子炉压力容器や生体遮へい材等の放射化計算に広く使用されている。

5. 検証方法

汎用コードの導入評価^{※1}が実施されていることが確認されている。大型実験/ベンチマーク試験による検証^{※2}が実施されていることが確認されている。

※1: SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, ORNL/TM-2005/39, Version 5.1, Vols. I-III, November (2006)

※2: K. Tanaka et al., "Radioactivity evaluation for Main Steam Line and Suppression Chamber of small type BWR", Progress in Nuclear Science and Technology Volume 4 (2014) pp.836-839

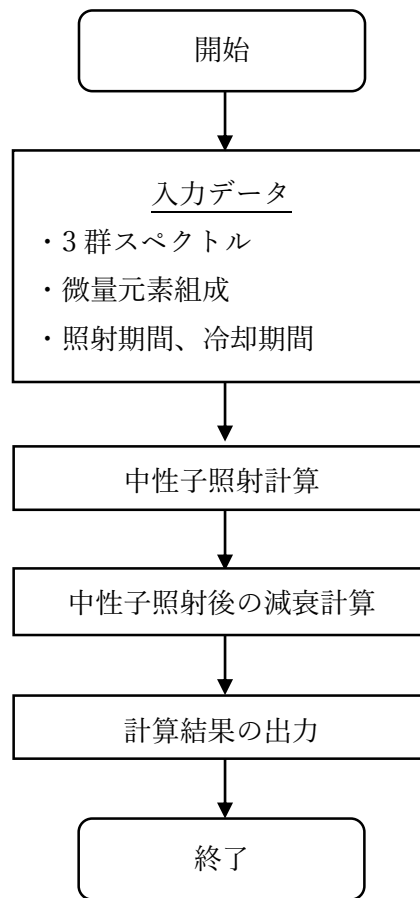


図 1.1.3-6 ORIGEN-S コードの計算フロー図

ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の検討のうち
核種選定の考え方に係る補足説明

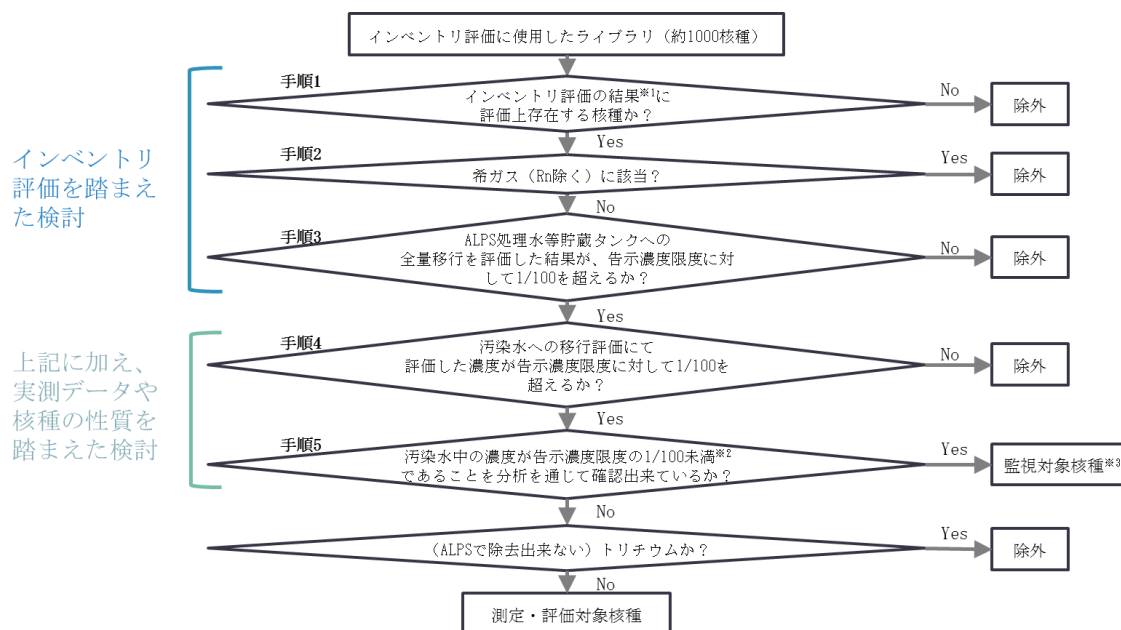
1. 概要

ALPS 処理水中のトリチウム以外の放射性核種の告示濃度限度比総和 1 未満を満足することを確実なものとするため、国内における廃止措置や埋設施設に関する知見を踏まえた核種分析及びインベントリ評価の内容について、別紙－2，別紙－3で補足説明した。

本資料では、核種分析及びインベントリ評価の結果を用いて、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種を選定するための考え方について補足説明する。

2. 測定・評価対象核種の選定方法

ALPS 処理水の海洋放出時に確認する測定・評価対象核種は図 1.1.4-1 に示すフローにより、選定する。本項ではそれぞれの手順について補足説明する。



インベントリ
評価を踏まえ
た検討

上記に加え、
実測データや
核種の性質を
踏まえた検討

※1：インベントリ評価の減衰期間は、選定結果を使用する時期に応じて適切に設定（初回は2023年（事故後12年）に設定）

※2：過去に検出されたことのある核種は検出値の最大値、一度も検出されたことのない核種は検出下限値の最小値で確認

※3：汚染水中に有意に存在しないか継続して確認する核種

図 1.1.4-1 ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種選定フロー

2.1 手順1について

手順1の「インベントリ評価の結果に評価上存在する核種か?」という項目では、インベントリ評価の結果、評価上存在するか（1～3号機のそれぞれの炉心に1Bq以上存在するか）という基準により、評価上存在しない核種は当該手順で除外する。

なお、選定フローでは、インベントリ評価の減衰期間は適切に設定することとしており、今回の評価では、ALPS処理水海洋放出を開始する、震災後12年（2023年3月）を減衰期間として設定した。

この結果、表1.1.4-1に示す210核種が存在することを確認した（インベントリ評価詳細は別紙-3参照）。

表 1.1.4-1 手順1の結果で評価上存在する核種（1/2）

| No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 |
|-----|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| 1 | H-3 | 21 | Zn-65 | 41 | Rh-102 | 61 | Sb-126 | 81 | Pr-144 |
| 2 | Be-10 | 22 | Se-75 | 42 | Rh-102m | 62 | Sb-126m | 82 | Pr-144m |
| 3 | C-14 | 23 | Se-79 | 43 | Rh-106 | 63 | Te-121 | 83 | Nd-144 |
| 4 | Na-22 | 24 | Kr-81 | 44 | Pd-107 | 64 | Te-121m | 84 | Pm-144 |
| 5 | Si-32 | 25 | Kr-85 | 45 | Ag-108 | 65 | Te-123 | 85 | Pm-145 |
| 6 | P-32 | 26 | Rb-87 | 46 | Ag-108m | 66 | Te-123m | 86 | Pm-146 |
| 7 | Cl-36 | 27 | Sr-90 | 47 | Ag-109m | 67 | Te-125m | 87 | Pm-147 |
| 8 | Ar-39 | 28 | Y-88 | 48 | Ag-110 | 68 | Te-127 | 88 | Sm-145 |
| 9 | Ar-42 | 29 | Y-90 | 49 | Ag-110m | 69 | Te-127m | 89 | Sm-146 |
| 10 | K-40 | 30 | Zr-93 | 50 | Cd-109 | 70 | I-129 | 90 | Sm-147 |
| 11 | K-42 | 31 | Nb-91 | 51 | Cd-113m | 71 | Cs-134 | 91 | Sm-148 |
| 12 | Ca-41 | 32 | Nb-92 | 52 | In-113m | 72 | Cs-135 | 92 | Sm-149 |
| 13 | Ca-45 | 33 | Nb-93m | 53 | In-115 | 73 | Cs-137 | 93 | Sm-151 |
| 14 | Sc-46 | 34 | Nb-94 | 54 | Sn-113 | 74 | Ba-133 | 94 | Eu-150 |
| 15 | V-49 | 35 | Mo-93 | 55 | Sn-119m | 75 | Ba-137m | 95 | Eu-152 |
| 16 | Mn-54 | 36 | Tc-97 | 56 | Sn-121 | 76 | La-137 | 96 | Eu-154 |
| 17 | Fe-55 | 37 | Tc-98 | 57 | Sn-121m | 77 | La-138 | 97 | Eu-155 |
| 18 | Co-60 | 38 | Tc-99 | 58 | Sn-123 | 78 | Ce-139 | 98 | Gd-152 |
| 19 | Ni-59 | 39 | Ru-106 | 59 | Sn-126 | 79 | Ce-142 | 99 | Gd-153 |
| 20 | Ni-63 | 40 | Rh-101 | 60 | Sb-125 | 80 | Ce-144 | 100 | Tb-157 |

表 1.1.4-1 手順 1 の結果で評価上存在する核種 (2/2)

| No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 |
|-----|---------|-----|---------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|
| 101 | Tb-158 | 123 | Tl-207 | 145 | Po-216 | 167 | Th-234 | 189 | Pu-240 |
| 102 | Dy-159 | 124 | Tl-208 | 146 | Po-218 | 168 | Pa-231 | 190 | Pu-241 |
| 103 | Ho-163 | 125 | Tl-209 | 147 | At-217 | 169 | Pa-233 | 191 | Pu-242 |
| 104 | Ho-166m | 126 | Pb-205 | 148 | Rn-219 | 170 | Pa-234 | 192 | Pu-243 |
| 105 | Tm-170 | 127 | Pb-209 | 149 | Rn-220 | 171 | Pa-234m | 193 | Pu-244 |
| 106 | Tm-171 | 128 | Pb-210 | 150 | Rn-222 | 172 | U-232 | 194 | Am-241 |
| 107 | Lu-176 | 129 | Pb-211 | 151 | Fr-221 | 173 | U-233 | 195 | Am-242 |
| 108 | Lu-177 | 130 | Pb-212 | 152 | Fr-223 | 174 | U-234 | 196 | Am-242m |
| 109 | Lu-177m | 131 | Pb-214 | 153 | Ra-223 | 175 | U-235 | 197 | Am-243 |
| 110 | Hf-182 | 132 | Bi-208 | 154 | Ra-224 | 176 | U-236 | 198 | Am-245 |
| 111 | Ta-182 | 133 | Bi-210 | 155 | Ra-225 | 177 | U-237 | 199 | Cm-242 |
| 112 | W-181 | 134 | Bi-210m | 156 | Ra-226 | 178 | U-238 | 200 | Cm-243 |
| 113 | Re-187 | 135 | Bi-211 | 157 | Ra-228 | 179 | U-240 | 201 | Cm-244 |
| 114 | Os-194 | 136 | Bi-212 | 158 | Ac-225 | 180 | Np-235 | 202 | Cm-245 |
| 115 | Ir-192 | 137 | Bi-213 | 159 | Ac-227 | 181 | Np-236 | 203 | Cm-246 |
| 116 | Ir-192m | 138 | Bi-214 | 160 | Ac-228 | 182 | Np-237 | 204 | Cm-247 |
| 117 | Ir-194 | 139 | Po-210 | 161 | Th-227 | 183 | Np-238 | 205 | Cm-248 |
| 118 | Ir-194m | 140 | Po-211 | 162 | Th-228 | 184 | Np-239 | 206 | Bk-249 |
| 119 | Pt-190 | 141 | Po-212 | 163 | Th-229 | 185 | Np-240m | 207 | Cf-249 |
| 120 | Pt-193 | 142 | Po-213 | 164 | Th-230 | 186 | Pu-236 | 208 | Cf-250 |
| 121 | Tl-204 | 143 | Po-214 | 165 | Th-231 | 187 | Pu-238 | 209 | Cf-251 |
| 122 | Tl-206 | 144 | Po-215 | 166 | Th-232 | 188 | Pu-239 | 210 | Cf-252 |

2.2 手順2について

手順2の「希ガス（Rn 除く）に該当？」という項目では、主に原子炉運転中に生成し、希ガスとなっている核種は、運転時や震災時に放出して炉心には存在していないと考えられる他、仮に残存していたとしても、希ガスは安定元素のため、汚染水に溶けないことから、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種には該当しないと考え、これらの核種を除外する。なお、ラドン（Rn）については、ウランやネプツニウム等の崩壊系列により、現在でも炉心に存在することが考えられるため、希ガスに該当するものの、当該手順では除外しない。

今回の評価において、Rn を除く希ガスは以下4核種であり、半減期や生成経路も併せて確認した結果は表 1.1.4-2 の通り。

表 1.1.4-2 手順2で除外される核種とその生成経路

| 核種（希ガス） | 半減期 [y] | 主な生成経路 |
|---------|---------|--|
| Ar-39 | 2.7E+02 | 構造材に含まれる微量成分（K）の放射化により生成 |
| Ar-42 | 3.3E+01 | 構造材に含まれる微量成分（K, Ca 等）の放射化により生成 |
| Kr-81 | 2.3E+05 | 燃料の核分裂により生成 構造材に含まれる微量成分（Br）の放射化により生成 |
| Kr-85 | 1.1E+02 | 燃料の核分裂により生成 |

2.3 手順3について

手順3の「ALPS 処理水等貯留タンクへの全量移行を評価した結果が、告示濃度限度に対して 1/100 を超えるか？」という項目では、線量評価に与える影響が十分小さいか（告示濃度限度比の 1/100 以下）を確認したうえで、線量評価に与える影響が十分小さい核種について、当該基準で除外する。なお、PCV 内に存在するインベントリが全量、2023 年 3 月時点の ALPS 処理水等貯留タンクの貯蔵量（予測）※に溶けたと想定するため、PCV 内部調査で確認された現実の状況を踏まえると十分に保守性を持った条件と考えている。

※：インベントリ評価の条件と合わせた時期とする

$$\text{核種iの濃度} = \text{核種iのインベントリ量(Bq)} \div \frac{\text{ALPS処理水等の貯蔵量 (m}^3\text{)}}{133\text{万m}^3 \text{ (予測値) @2023年3月時点}} < \text{核種iの告示濃度限度} \times 0.01 \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

また、手順4に進む核種の告示濃度限度比総和（評価値） $2.4\text{E}+07$ と比較して、手順3で除外される核種の告示濃度限度比総和（評価値）は $6.7\text{E}-02$ と十分小さいことを確認している。

この結果、手順4に進む核種は 93 核種、除外される核種は 113 核種となる。

表 1.1.4-3 手順 4 に進む核種 (93 核種)

| No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 |
|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|--------|-----|---------|
| 1 | H-3 | 46 | Ag-108m | 81 | Pr-144 | 159 | Ac-227 | 189 | Pu-240 |
| 3 | C-14 | 49 | Ag-110m | 82 | Pr-144m | 162 | Th-228 | 190 | Pu-241 |
| 7 | Cl-36 | 50 | Cd-109 | 86 | Pm-146 | 164 | Th-230 | 191 | Pu-242 |
| 16 | Mn-54 | 51 | Cd-113m | 87 | Pm-147 | 165 | Th-231 | 194 | Am-241 |
| 17 | Fe-55 | 55 | Sn-119m | 93 | Sm-151 | 167 | Th-234 | 195 | Am-242 |
| 18 | Co-60 | 56 | Sn-121 | 95 | Eu-152 | 168 | Pa-231 | 196 | Am-242m |
| 19 | Ni-59 | 57 | Sn-121m | 96 | Eu-154 | 169 | Pa-233 | 197 | Am-243 |
| 20 | Ni-63 | 59 | Sn-126 | 97 | Eu-155 | 172 | U-232 | 199 | Cm-242 |
| 21 | Zn-65 | 60 | Sb-125 | 104 | Ho-166m | 173 | U-233 | 200 | Cm-243 |
| 23 | Se-79 | 61 | Sb-126 | 106 | Tm-171 | 174 | U-234 | 201 | Cm-244 |
| 27 | Sr-90 | 62 | Sb-126m | 120 | Pt-193 | 175 | U-235 | 202 | Cm-245 |
| 29 | Y-90 | 67 | Te-125m | 121 | Tl-204 | 176 | U-236 | 203 | Cm-246 |
| 30 | Zr-93 | 70 | I-129 | 130 | Pb-212 | 177 | U-237 | 208 | Cf-250 |
| 33 | Nb-93m | 71 | Cs-134 | 136 | Bi-212 | 178 | U-238 | | |
| 34 | Nb-94 | 72 | Cs-135 | 141 | Po-212 | 182 | Np-237 | | |
| 35 | Mo-93 | 73 | Cs-137 | 145 | Po-216 | 183 | Np-238 | | |
| 38 | Tc-99 | 74 | Ba-133 | 149 | Rn-220 | 184 | Np-239 | | |
| 39 | Ru-106 | 75 | Ba-137m | 153 | Ra-223 | 186 | Pu-236 | | |
| 43 | Rh-106 | 79 | Ce-142 | 154 | Ra-224 | 187 | Pu-238 | | |
| 44 | Pd-107 | 80 | Ce-144 | 157 | Ra-228 | 188 | Pu-239 | | |

2.4 手順4について

2.4.1 汚染水への移行評価の概要

手順4の「汚染水への移行評価にて評価した濃度が告示濃度限度に対して1/100を超えるか?」という項目では、手順4まで進んだ核種を可能な範囲でグループ化した後、実際の分析結果を使用して「汚染水への移行評価」を行い、線量評価に与える影響が十分小さいか（告示濃度限度の1/100以下）を確認したうえで、線量評価に与える影響が十分小さい核種について、当該手順で除外する。

具体的には、手順4までに進んだ核種について、放射平衡や同位体、核種の性質の類似性等からグルーピングを行い、グループ内で線量影響（インベントリ量/告示濃度限度）の相対的な関係を確認し、代表核種に対して十分に線量影響（相対比1/100以下）の小さい核種を除外している。その後、グループもしくはグルーピング出来なかった個別核種毎に実際の分析結果から放射性核種毎の水への移行のしやすさ（以下「移行係数」という。）を算出したうえで、同係数を使用して、放射性核種毎の汚染水中の濃度を評価する。具体的には下記式にて評価を実施する。

$$\text{汚染水中の放射性核種の評価濃度 (Bq/L)} = \text{インベントリ量}^{\ast 1} \text{ (Bq)} \times \text{移行係数}^{\ast 2} \text{ (1/L)}$$

※1：ALPS処理水の海洋放出時期を踏まえ、震災後12年の評価結果を使用

※2：汚染水の分析結果 (Bq/L) ÷ インベントリ量 (Bq) にて算出。

検出値の場合はそれぞれの日付を2011年3月11日に、検出下限値の場合はそれぞれの日付を分析の基準日に統一して評価

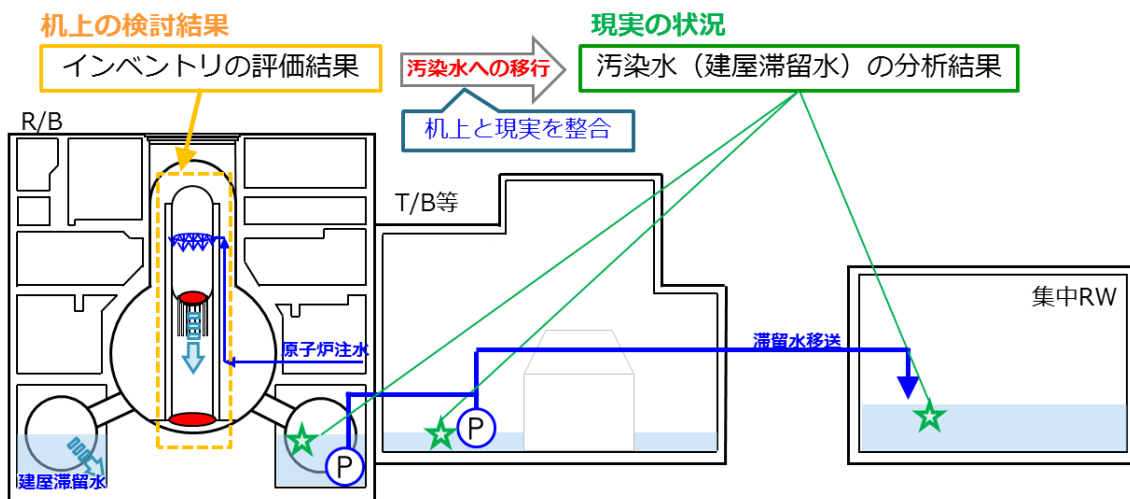


図 1.1.4-2 汚染水への移行評価のイメージ

ここで、グループ内の代表核種に対する線量影響の相対比を 1/100 以下、汚染水への移行評価で告示濃度限度の 1/100 以下に設定した理由は、線量影響が十分小さいことが理由であるが、それぞれの影響について、相対比の場合は除外される核種の線量影響が全体の 0.09% であること、汚染水への移行評価では手順 5 に進む核種の告示濃度限度比総和（評価） $7.7E+07$ と比較して、除外される核種の告示濃度限度比総和（評価）が $3.6E-02$ と十分小さいことを確認している。

また、本評価での評価対象箇所は ALPS 処理前の建屋滞留水やストロチウム処理水であるため、当該手順で除外される核種の線量影響の合計（評価値）が 1/100 を超えていたとしても、その後の ALPS 処理を踏まえると線量影響は無視できるほど小さいと考えている。

2.4.2 汚染水への移行評価に使用する分析結果

移行係数の算出に当たって使用する分析結果は、表 1.1.4-4、図 1.1.4-3 に示す通り、4 種類に分けてデータを集約した。

なお、汚染水は全て集中 Rw（プロセス主建屋（PMB）、高温焼却炉建屋（HTI））に集水した後、セシウム吸着装置（SARRY/SARRY2）にて処理を行い、この水が最終的に ALPS 処理水となることから、集中 Rw の分析結果を使用することを基本とする。ただし、集中 Rw の分析結果だけでは全ての放射性核種のデータが揃わないことに加えて、建屋滞留水は Cs の濃度が高い影響から検出下限値が高い等の理由により、分析データ数が少ない核種があることから、それらの核種については、1～4号機建屋滞留水等と ALPS 処理前の分析データで補完することで対応する。

表 1.1.4-4 分析結果の分類

| No. | 分析の分類 | 詳細 |
|-----|------------------|--------------------------------|
| ① | 建屋滞留水等@ 1～4号機 | 1～4号機の PCV 内や建屋滞留水の分析結果 |
| ② | 建屋滞留水@集中 Rw | 集中 Rw（PMB/HTI）、SARRY 等の入口の分析結果 |
| ③ | セシウム吸着装置～ALPS 入口 | セシウム吸着装置出口～ALPS 入口の分析結果 |
| ④ | ALPS 出口 | ALPS 処理後の分析結果 |

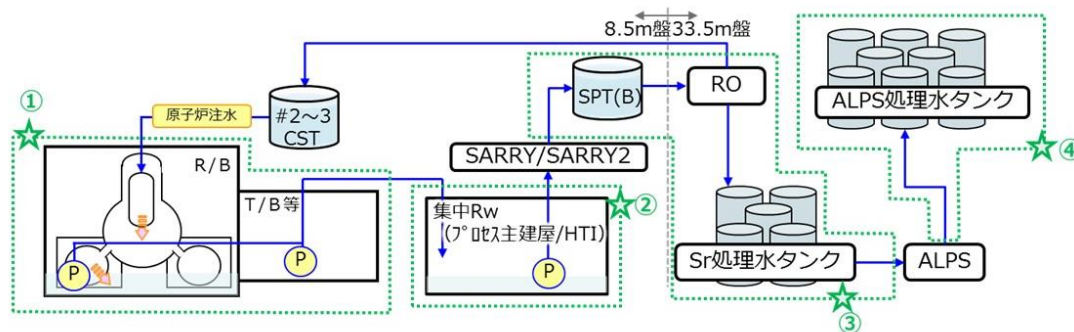
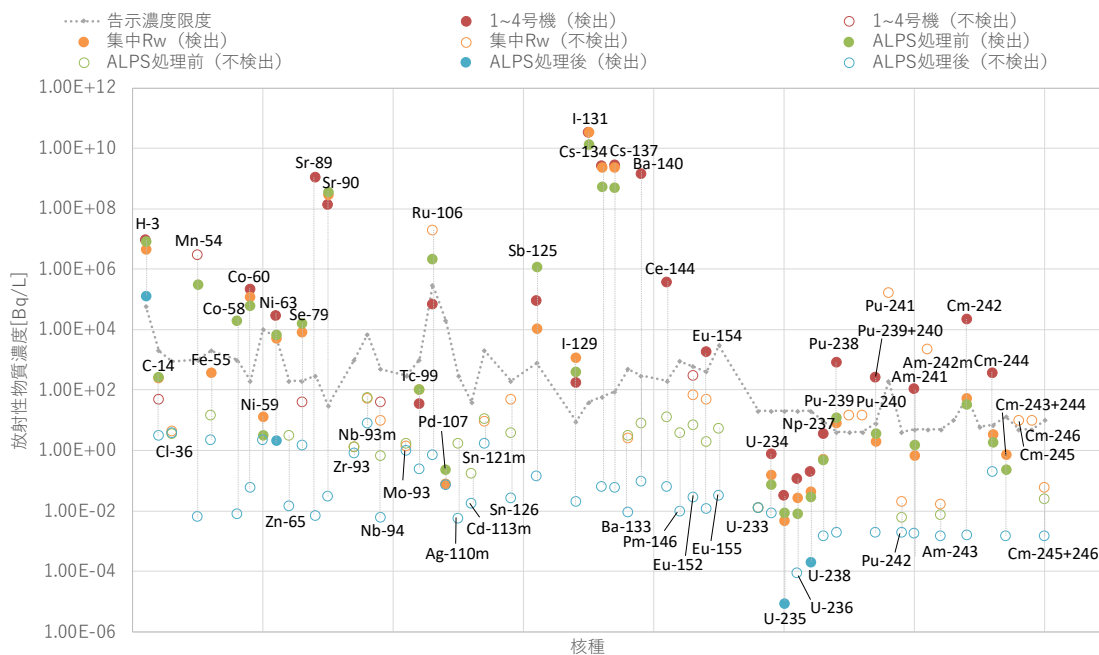


図 1.1.4-3 移行評価で使用する分析結果の分類

表 1.1.4-4 で示した試料の採取箇所毎に分類し、手順 4 まで進んだ放射性核種（短半減期の同位体の検出値含む）の分析結果を図 1.1.4-4 の通り整理した。図 1.1.4-4 では、表 1.1.4-4 における No.①～③は検出値について 2011 年 3 月 11 日まで減衰補正した最大値を、不検出値について分析データの最小値を記載しており、No.④はこれまでの分析結果の最小値を記載している。なお、過去に一度も検出されたことのない核種について分析データの最小値を用いているのは、検出下限値はその値より低い濃度で存在する可能性があることを示すものの、その濃度より高いことが無いことを保証していることから、過去に一度も検出されたことが無い場合は、分析結果の中で最小の検出下限値で評価しても十分に保守的と考えているためである。

本図では、建屋滞留水から ALPS 処理水になるまでに処理される過程の、各放射性核種の濃度の範囲が把握出来ると共に、各核種の告示濃度限度も記載することで、分析結果と告示濃度限度との比較ができる表記とした。なお、今回の汚染水への移行評価で使用したデータは参考資料-1 に記載している。



※1：2013~2014年に既設ALPS入口でSr-89、2014年の高性能ALPS入口でPm-146が検出されたことになっているが、疑似検出であるため評価の対象外

※2：Pu-238、Am-241、Cm-242について、FRAnDLiのデータは分析値から2011/3/11の基準日へ単純な減衰補正をしているものの、これら核種は親核種からも生成されることから、親核種からの生成を考慮した減衰補正を実施。

図 1.1.4-4 分析結果まとめ

図 1.1.4-4 を作成に当たって、2022 年 9 月までに JAEA が公開している FRAnDLi のデータ（東電公表分含む）の他、ALPS の性能確認時等の 62 核種分析（2013～2021 年度）、処理水ポータルで公開している ALPS 処理前後のデータ及び、ALPS 処理水等貯留タンクのデータ等を使用している。なお、検出下限値のデータを使用するに当たっては、検出下限値の数値が記載されているデータのみを集計の対象としており、“N.D.”のみが記載されているデータは集計の対象外とした。各放射性核種の分析データ数は表 1.1.4-5 の通り。

表 1.1.4-5 分析データ数 (1/2)

| 核種 | ① 1～4号機 | ② 集中Rw | ③ ALPS処理前 | ④ ALPS処理後 |
|---------|-------------|-------------|------------------------|-------------|
| | データ数(うち検出数) | データ数(うち検出数) | データ数(うち検出数) | データ数(うち検出数) |
| H-3 | 22 (22) | 28 (28) | 312 (312) | 483 (483) |
| C-14 | 5 (0) | 15 (1) | 27 (15) | 339 (338) |
| Cl-36 | 0 (0) | 10 (0) | 12 (0) | 3 (0) |
| Mn-54 | 2 (0) | 0 (0) | 1195 (290) | 1893 (14) |
| Fe-55 | 0 (0) | 1 (1) | 1 (0) | 3 (0) |
| Co-58 | 0 (0) | 0 (0) | 27 (5) | 42 (0) |
| Co-60 | 40 (20) | 37 (25) | 1569 (1405) | 2321 (2177) |
| Ni-59 | 0 (0) | 3 (1) | 12 (1) | 3 (0) |
| Ni-63 | 13 (10) | 17 (15) | 93 (49) | 55 (1) |
| Zn-65 | 0 (0) | 0 (0) | 22 (0) | 42 (0) |
| Se-79 | 10 (0) | 15 (9) | 47 (12) | 5 (0) |
| Sr-89 | 4 (3) | 0 (0) | 66 (17 ^{※1}) | 128 (0) |
| Sr-90 | 41 (40) | 36 (36) | 845 (834) | 1773 (768) |
| Zr-93 | 0 (0) | 1 (0) | 1 (0) | 3 (0) |
| Nb-93m | 0 (0) | 1 (0) | 1 (0) | 3 (0) |
| Nb-94 | 36 (0) | 33 (0) | 68 (0) | 5 (0) |
| Mo-93 | 0 (0) | 1 (0) | 1 (0) | 3 (0) |
| Tc-99 | 5 (2) | 17 (7) | 247 (222) | 896 (105) |
| Ru-106 | 6 (1) | 2 (0) | 1256 (974) | 2369 (1425) |
| Pd-107 | 0 (0) | 1 (1) | 1 (1) | 1 (0) |
| Ag-110m | 0 (0) | 0 (0) | 22 (0) | 42 (0) |
| Cd-113m | 0 (0) | 0 (0) | 22 (0) | 42 (0) |
| Sn-121m | 0 (0) | 1 (0) | 1 (0) | 3 (0) |
| Sn-126 | 0 (0) | 2 (0) | 34 (0) | 44 (0) |
| Sb-125 | 27 (9) | 10 (9) | 1619 (1606) | 2369 (1583) |
| I-129 | 22 (4) | 30 (10) | 450 (381) | 1833 (1558) |
| I-131 | 4 (0) | 16 (2) | 43 (22) | 0 (0) |

※1：2013-2014年に既設ALPS入口にSr-89が検出されたことになっているが、擬似検出であるため評価の対象外

※2：手順4には進んでいないものの、Te-123m(半減期：119日)が2019年9月9日の増設ALPS(B)出口で告示濃度限度(6.0E+01Bq/L)の1/100以下の1.1E-01Bq/Lで検出されている(検出下限値は0.9E-01Bq/L)

表 1.1.4-5 分析データ数 (2/2)

| 核種 | ① 1～4号機 | ② 集中Rw | ③ ALPS処理前 | ④ ALPS処理後 |
|------------|-------------|-------------|-----------------------|----------------------|
| | データ数(うち検出数) | データ数(うち検出数) | データ数(うち検出数) | データ数(うち検出数) |
| Cs-134 | 190 (190) | 260 (260) | 1503 (1262) | 2377 (360) |
| Cs-137 | 224 (224) | 296 (296) | 1746 (1700) | 2382 (1505) |
| Ba-133 | 0 (0) | 1 (0) | 2 (0) | 6 (0) |
| Ba-140 | 4 (2) | 0 (0) | 22 (0) | 42 (0) |
| Ce-144 | 3 (3) | 0 (0) | 22 (0) | 42 (0) |
| Pm-146 | 0 (0) | 0 (0) | 22 (1※ ¹) | 42 (0) |
| Eu-152 | 36 (0) | 36 (0) | 93 (0) | 44 (0) |
| Eu-154 | 38 (2) | 36 (0) | 114 (0) | 47 (0) |
| Eu-155 | 0 (0) | 0 (0) | 22 (0) | 42 (0) |
| U-233 | 0 (0) | 3 (0) | 8 (0) | 3 (0) |
| U-234 | 25 (7) | 19 (11) | 22 (7) | 3 (0) |
| U-235 | 26 (19) | 19 (14) | 44 (14) | 6 (3※ ²) |
| U-236 | 20 (7) | 19 (12) | 22 (8) | 3 (0) |
| U-238 | 31 (26) | 19 (17) | 44 (20) | 6 (3※ ²) |
| Np-237 | 9 (9) | 13 (9) | 16 (7) | 3 (0) |
| Pu-238 | 38 (17) | 37 (22) | 73 (16) | 8 (0) |
| Pu-239 | 0 (0) | 1 (0) | 0 (0) | 0 (0) |
| Pu-240 | 0 (0) | 1 (0) | 0 (0) | 0 (0) |
| Pu-239+240 | 38 (12) | 36 (12) | 73 (10) | 8 (0) |
| Pu-241 | 0 (0) | 1 (0) | 0 (0) | 0 (0) |
| Pu-242 | 0 (0) | 4 (0) | 8 (0) | 3 (0) |
| Am-241 | 37 (11) | 37 (6) | 62 (3) | 7 (0) |
| Am-242m | 0 (0) | 1 (0) | 0 (0) | 0 (0) |
| Am-243 | 0 (0) | 3 (0) | 8 (0) | 3 (0) |
| Cm-242 | 7 (2) | 1 (1) | 2 (1) | 3 (0) |
| Cm-244 | 37 (7) | 36 (2) | 61 (6) | 4 (0) |
| Cm-243+244 | 0 (0) | 1 (1) | 1 (1) | 3 (0) |
| Cm-245 | 0 (0) | 1 (0) | 0 (0) | 0 (0) |
| Cm-246 | 0 (0) | 1 (0) | 0 (0) | 0 (0) |
| Cm-245+246 | 0 (0) | 1 (0) | 1 (0) | 3 (0) |

※1：2014年の高性能ALPS入口でPm-146が検出されたことになっているが、疑似検出であるため評価の対象外

※2：ALPS処理水に含まれる天然ウランを検出（別紙-2参照）

2.4.3 核種のグルーピング

2.4.3.1 核種のグルーピングの考え方

(1) 放射平衡の子孫核種

手順4まで進んだ核種のうち、放射平衡で存在する核種を表1.1.4-6、表1.1.4-7に示す。表1.1.4-6に示す子孫核種は半減期が短く、ALPS処理水を海洋放出する震災12年後には、基本的に親核種の崩壊によってのみ存在する核種となることから、汚染水への移行評価では親核種と一緒に挙動しているとみなす。一方、表1.1.4-7に示す子孫核種は半減期が長く、親核種と子孫核種が放射平衡になる、子孫核種の半減期の約7~10倍の期間までに処理水の放出を完了させる計画であることから、本評価では親核種と子孫核種を別々に評価する。

表 1.1.4-6 放射平衡により親核種と一緒に挙動していると評価する子孫核種

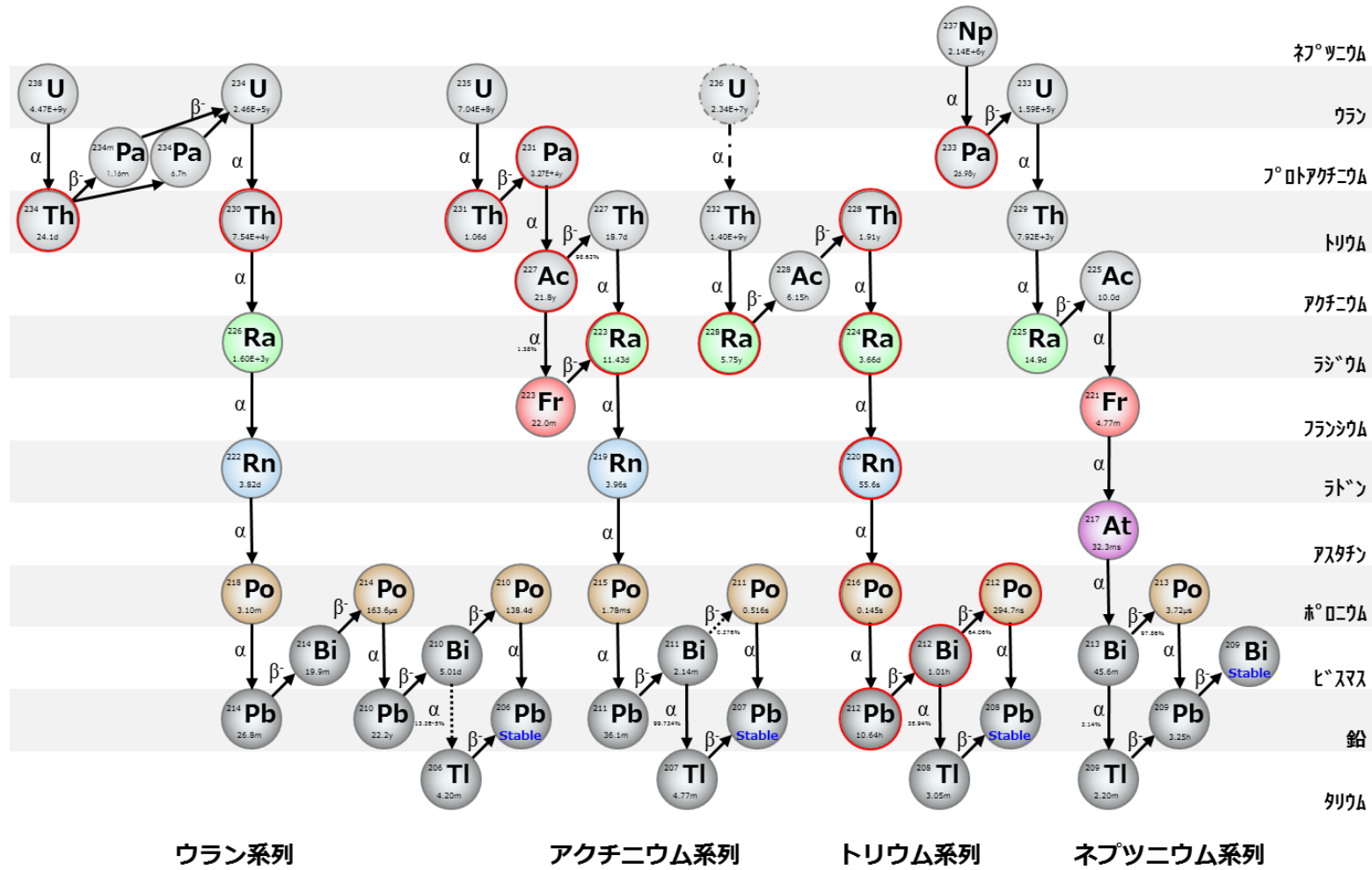
| No. | 親核種 | | 子孫核種 | |
|-----|---------|-------------|---------|-----------|
| | 核種 | 半減期 | 核種 | 半減期 |
| 1 | Sr-90 | 2.9E+01 [y] | Y-90 | 2.67 [d] |
| 2 | Ru-106 | 1.0E+00 [y] | Rh-106 | 30.07 [s] |
| 3 | Sn-121m | 4.4E+01 [y] | Sn-121 | 1.13 [d] |
| 4 | Sn-126 | 2.3E+05 [y] | Sb-126 | 12.35 [d] |
| | | | Sb-126m | 19.15 [m] |
| 5 | Sb-125 | 2.8E+00 [y] | Te-125m | 57.40 [d] |
| 6 | Cs-137 | 3.0E+01 [y] | Ba-137m | 2.552 [m] |
| 7 | Ce-144 | 7.8E-01 [y] | Pr-144 | 17.28 [m] |
| | | | Pr-144m | 7.2 [m] |
| 8 | Pu-241 | 1.4E+01 [y] | U-237 | 6.752 [d] |
| 9 | Am-242m | 1.4E+02 [y] | Np-238 | 2.117 [d] |
| 10 | Am-242m | 1.4E+02 [y] | Am-242 | 16.02 [h] |
| | | | Cm-242 | 162.9 [d] |
| 11 | Am-243 | 7.4E+03 [y] | Np-239 | 2.356 [d] |

表 1.1.4-7 放射平衡でも親核種と別に挙動していると評価する子孫核種

| No. | 親核種 | | 子孫核種 | |
|-----|-------|-------------|--------|-------------|
| | 核種 | 半減期 | 核種 | 半減期 |
| 1 | Zr-93 | 1.6E+06 [y] | Nb-93m | 1.6E+01 [y] |
| | Mo-93 | 4.0E+03 [y] | | |

(2) ウラン，ネプツニウム等の崩壊系列から生成される核種

手順4まで進んだ核種のうち，ウラン，ネプツニウム等の崩壊系列により存在している核種は図1.1.4-5の赤枠の通り。これらの核種について，汚染水への移行評価では，大元の親核種（ネプツニウムやウラン）と一緒に挙動しているとみなして評価を行う。



※：核データライブラリ (JENDL4.0) より作成

図 1.1.4-5 ウラン，ネプツニウム等の崩壊系列での生成核種

(3) 同位体

手順4まで進んだ核種のうち、(1)、(2)とは関係なく、同位体で存在する核種を、表 1.1.4-8 に示す。

同位体とは、同じ陽子数を持ち、異なる中性子数を持つ核種のことを指す。なお、物質の化学的性質は最外周の電子で決まることから、同じ電子数を持つ同位体の化学的性質はほとんど同じとなるため、汚染水への移行評価では各同位体は一緒に挙動をするとして評価する。

図 1.1.4-8 同位体のため一緒に挙動していると評価する核種

| No. | 元素 | 核種 |
|-----|--------|--|
| 1 | Ni 同位体 | Ni-59, Ni-63 |
| 2 | Nb 同位体 | Nb-93m, Nb-94 |
| 3 | Ag 同位体 | Ag-108m, Ag-110m |
| 4 | Cd 同位体 | Cd-109, Cd-113m |
| 5 | Sn 同位体 | Sn-119m, Sn-121m, Sn-126 |
| 6 | Cs 同位体 | Cs-134, Cs-135, Cs-137 |
| 7 | Ce 同位体 | Ce-142, Ce-144 |
| 8 | Pm 同位体 | Pm-146, Pm-147 |
| 9 | Eu 同位体 | Eu-152, Eu-154, Eu-155 |
| 10 | U 同位体 | U-232, U-233, U-234, U-235, U-236, U-238 |
| 11 | Pu 同位体 | Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242 |
| 12 | Am 同位体 | Am-241, Am-242m, Am-243 |
| 13 | Cm 同位体 | Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246 |

(4) 水中における性質に類似性がある核種

(1), (2), (3)以外に, 2022 年時点で分析技術が確立しておらず, 個別分析が困難等の理由により, 分析結果がない核種が存在する。これらの核種については, 核種の水中における化学形態 (Eh-pH 図*等を使用) やイオン半径, 水処理における吸着特性等の類似性を確認の上, 類似性が確認された核種と同様の性質を持つとして評価する。

※: Eh-pH 図とは, Eh, pH をそれぞれ縦軸, 横軸にとり, 化学組成を与えた水溶液の溶存卓越化学種と固相種の変化を, Eh 及び pH の関数として図示したものである。なお, 今回は核種の水中での化学的挙動の類似性の確認に使用したものであり, 実際の ALPS 処理水中の溶存形態を本図で示すものではない。

①ランタノイド元素 (Pm, Sm, Ho, Tm)

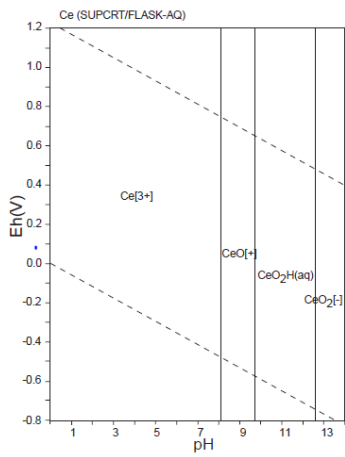
ランタノイド元素については、ALPS 除去対象核種として、Ce-141, Ce-144, Pm-146, Pm-148, Pm-148m, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Gd-153, Tb-160 を分析評価しているが、ALPS 処理前後の分析において、これまで検出された実績はない。また、建屋滞留水においても Eu-152, Eu-154 を各々、約 80 回程度分析して検出された実績はないものの、過去の 2, 3 号機の PCV 内部調査にて、採水した PCV 内滞留水を分析した結果、Ce-144 と Eu-154 が検出されている。

今回、この PCV 内で検出された Ce-144 と Eu-154 の結果に基づき、他のランタノイド元素についても汚染水の移行評価を行うことから、Eh-pH 図を用いてその妥当性について確認を行った。

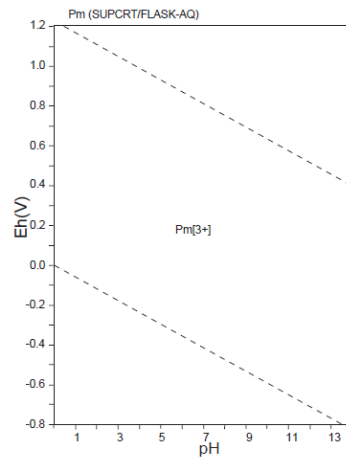
確認した結果、ランタノイド元素は原子炉注水や建屋滞留水における水素イオン指数 (pH) 6~8 において、主に 3 価の陽イオンで安定するという、類似性があることを確認した (図 1.1.4-6 参照)。また、ランタノイドを含む希土類イオンについては、一般的に各々の化学的性質や挙動がよく似ており、鉱物中に共存して産出されること、精錬過程で相互分離が困難なこと等の特性があることから※、ランタノイド元素は全て同じグループとして評価することは妥当であると考えられる。

なお、本グループに属する核種で、分析結果のある Ce-144 と Eu-154 について、後述する 2.4.4 項で移行係数を評価したところ、ほとんど同等の値であり、1F の現場においても、実際に類似した挙動をとることが確認されている。

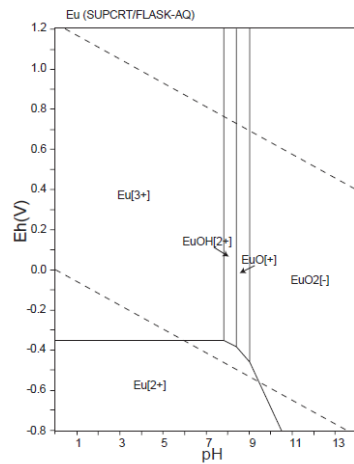
※：塩川 二郎，“希土類元素の特性とその応用”より



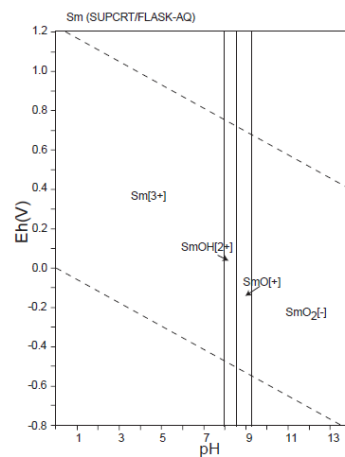
(1) セリウム (Ce)



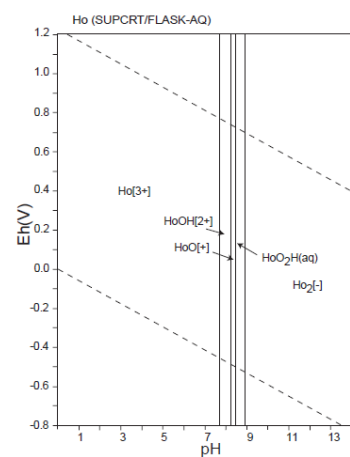
(2) プロメチウム (Pm)



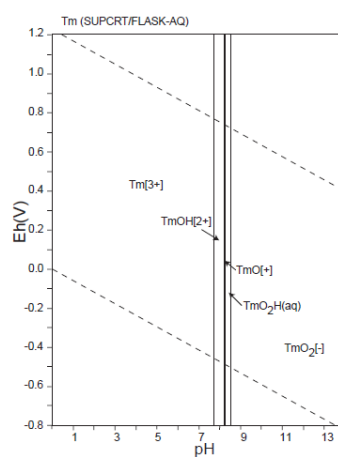
(3) ユロピウム (Eu)



(4) サマリウム (Sm)



(5) ホルミウム (Ho)



(6) ツリウム (Tm)

引用図：竹野直人, Eh-pH アトラス～熱力学データベースの相互比較, 地質調査総合センター研究資料集 No. 419, 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2005)

引用した熱力学データベース：

・ Johnson, J.W., Oelkers, E.H. and Helgeson, H.C., SUPCRT92 - A software package for calculating the standard molal thermodynamic properties of minerals, gases, aqueous species, and reactions from 1-bar to 5000-bar and 0°C to 1000°C. Computer and Geosciences 18, 899-947(1992)

図 1.1.4-6 ランタノイド元素の比較

②白金族 (Ru, Pd, Pt)

白金族については、ALPS 除去対象核種として、Ru-103 (Rh-103m) Ru-106 (Rh-106) を分析評価しており、これまでに Ru-106 (Rh-106) が検出されている (Rh は両者とも Ru からの崩壊で生成)。なお、Ru-106 は ALPS の性能確認等を実施するための代表核種である、主要 7 核種にも選定されている。また、別紙-2 で示した追加分析により、Pd-107 を分析しており、建屋滞留水やストロンチウム処理水において、非常に低濃度で検出されている。他に、Pt-193 が手順 4 まで進んでいるものの、当該核種については個別に測定するための手法が確立されておらず、分析実績がない。

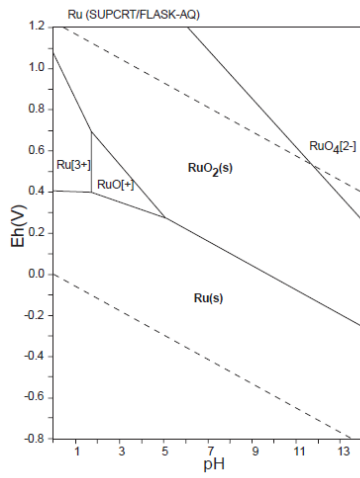
このため、Ru-106 や Pd-107 の分析結果に基づき、Pt の汚染水への移行評価をするに当たって、Eh-pH 図や溶解度を確認してその妥当性の確認を行った。

確認した結果、白金族は原子炉注水や建屋滞留水における水素イオン指数 (pH) 6~8 において、主に固体で存在することを確認 (図 1.1.4-7 参照)。なお、固体の存在形態としては、Ru は金属単体もしくは酸化物の固体、Pd, Pt は金属単体での固体として存在しており、水への溶解度がそれぞれ Ru (単体) : $2.0E-10$ mol/L^{*1}, Ru (酸化物) : $6.0E-10$ mol/L^{*1}, Pd : $1.0E-09$ mol/L^{*2}, Pt : $4.1E-10$ mol/L^{*1} と非常に低いことを確認 (Ru (酸化物) の溶解度は、文献に記載の値をもとに、最も保守的な溶解度である無水化合物の溶解度より算出した)。また、白金族については、一般的に物理的性質や化学的性質が互いによく似ており、水とは反応せず酸や塩基に侵されにくい性質を持つとされることから、今回 Pt-193 は、Ru-106 や Pd-107 と同じグループとして汚染水への移行評価することは妥当であると考えられる。

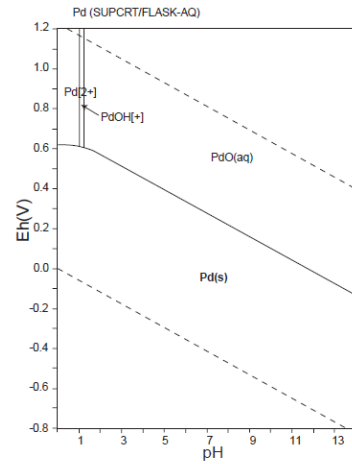
なお、本グループに属する核種で、分析結果のある Ru-106 と Pd-107 について、後述する 2.4.4 項で移行係数を評価したところ、ほとんど同等の値であり、1F の現場においても、実際に類似した挙動をとることが確認されている。

※1 : “The International Platinum Group Metals Association, “Safe Use of Platinum Group Metals in the Workplace”, Chapter 2 PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF PLATINUM GROUP METALS (2017)” より

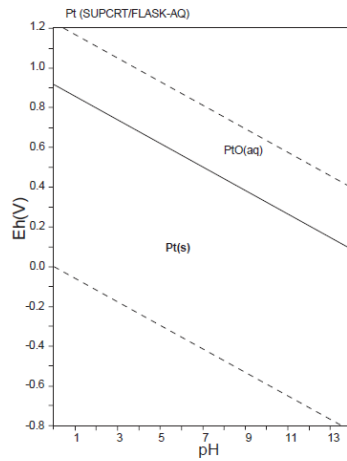
※2 : “わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分技術的信頼性-地層処分研究開発第 2 次取りまとめ” (2000 年レポート) より



(1) ルテニウム (Ru)



(2) パラジウム (Pd)



(3) 白金 (Pt)

引用図：竹野直人, Eh-pH アトラス～熱力学データベースの相互比較, 地質調査総合センター研究資料集 No. 419, 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2005)

引用した熱力学データベース：

- Johnson, J.W., Oelkers, E.H. and Helgeson, H.C., SUPCRT92 - A software package for calculating the standard molal thermodynamic properties of minerals, gases, aqueous species, and reactions from 1-bar to 5000-bar and 0°C to 1000°C. Computer and Geosciences 18, 899-947(1992)

図 1.1.4-7 白金族の比較

③タリウム (Tl)

タリウムについて、Tl-204 が手順 4 まで進んでいるものの、当該核種については個別に測定するための分析手法が確立されておらず、分析実績がない。ただし、当該核種は主に β 崩壊し、そのエネルギーは約 760keV と高く、ALPS 処理水における全 β 分析の結果と、主要 7 核種に Tc-99 と C-14 を足した結果に乖離がないため、ALPS 処理水には有意な濃度で存在していないと考えられる。

一方、今回汚染水への移行評価に当たって調査した結果、タリウムはアルカリ金属 (Cs) と類似の性質を持つことを確認したことから、Eh-pH 図、イオン半径や水処理における吸着特性にて、その妥当性について説明する。

Eh-pH 図を確認した結果、Tl は第 13 元素ではあるが、原子炉注水や建屋滞留水における水素イオン指数 (pH) 6~8 において、1 価の陽イオンで安定であることを確認 (図 1.1.4-8 参照)。また、Tl イオンについては、その半径が 1.64 Å (6 配位), 1.73 Å (8 配位) であり、アルカリ金属である Cs イオンの半径 1.81 Å (6 配位), 1.81 Å (8 配位), K イオンの半径 1.51 Å (4 配位), 1.52 Å (6 配位), 1.65 Å (8 配位) の中間であり、ゼオライトによる陽イオンの選択性は、アルカリ金属である K イオンと同等と評価されている^{※1}。また、鉱山等で発生する廃液中の Tl イオンは、Cs イオンと同様にフェロシアン化合物、活性炭、チタン酸、粘土鉱物に吸着することが知られている^{※2} 他、土壌に対しても Cs と同等の吸着特性を持つ報告もある^{※3}。

このことから、タリウムはアルカリ金属と同じグループとして、汚染水への移行から水処理まで同様に挙動するとして評価することは妥当であると考えられる。

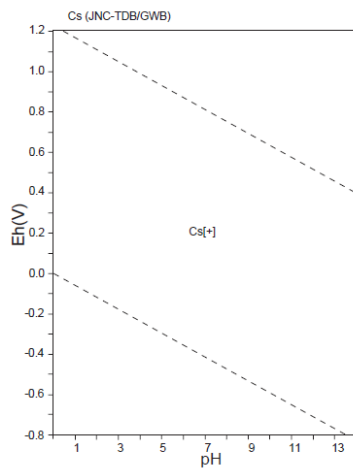
※1：新田，青村，“合成 A 型ゼオライトによる交換カチオンの差異と選択性に関する研究”より

※2：Hariyin Xu, Yuanling Luo, et al. “Removal of thallium in water-wastewater”, 2019-Water Research
Juan Liu, Xuwen Luo, et al. “hassium pollution in China and removal technologies for waters”, 2019-
Environment International

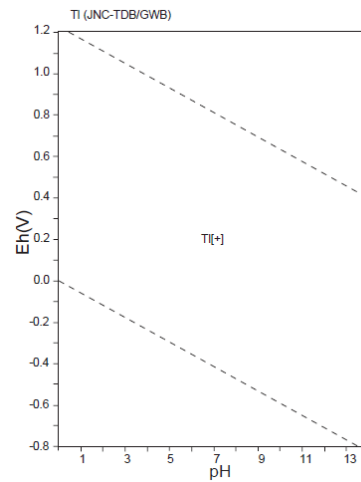
L.G.Twidwell, C. Williams-Beam, “Potential Technologies for Removing Thallium from Mine and Process
Wastewater”, Twidwell2002

小林，山元，明石，“放射線事故時におけるセシウム除去としてのプルシアンブルー”より

※3：John E.Till, Helen A.Grogan, "Radiobiological Risk Assessment and Environmental Analysis", Oxford
University Press (2008). より



(1) セシウム (Cs)



(2) タリウム (Tl)

引用図:竹野直人, Eh-pH アトラス~熱力学データベースの相互比較, 地質調査総合センター研究資料集 No. 419, 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2005)

引用した熱力学データベース:・吉田泰, 油井三和, 地球化学計算コードで利用可能な JNC 熱力学データベース, JNC TN8400 2003-005, 核燃料サイクル開発機構(2003)

・吉田泰, 柴田雅博, OECD/NEA で整備された熱力学データベース利用環境の整備その 2, JNC TN8400 2004-025, 核燃料サイクル開発機構(2005)

図 1.1.4-8 タリウムとセシウムの比較

④カリホルニウム (Cf)

カリホルニウムについて、Cf-250 が手順 4 まで進んでいるものの、分析実績がない。ただし、当該核種は主に α 崩壊し、ALPS 処理水における全 α 分析は不検出であることから、ALPS 処理水に有意な濃度で存在しないと考えられる。

一方、Am, Cm の分析結果に基づき、Cf の汚染水への移行評価をするに当たって、水への溶解形態やイオン半径等を確認してその妥当性の確認を行った。

カリホルニウムについては、Eh-pH 図が確認できなかったものの、水溶液中は 3 価の陽イオンが安定とされている他、3 価の超プルトニウム元素 (Am, Cm) に非常に似通った化学挙動であることを確認^{※1}。また、Am, Cm, Cf の 3 価の陽イオンの半径はそれぞれ、1.12 Å (6 配位)、1.11 Å (6 配位)、1.09 Å (6 配位)^{※2} と、ほぼ同等のイオン半径であることを確認した。

このことから、Cf は Am や Cm と同じグループとして汚染水への移行評価することは妥当であると考えられる。

なお、本グループに属する核種で、分析結果のある Am-241 と Cm-242, Cm-244 について、後述する 2.4.4 項で移行係数を評価したところ、ほとんど同等の値であり、このグループは 1F の現場においても、実際に類似した挙動をとることが確認されている。

※1 : Laster R.Morss, Norman M.Edelstein, Jean Fuger, “The Chemistry of The Actinide And Transactinide Elements_4thEd”

※2 : R.D.Shannon, “Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides”

2.4.3.2 核種のグルーピング結果

2.4.3.1 項で示した核種のグルーピングの考え方に基づいて、手順4で残っている核種をグルーピングした結果は、表 1.1.4-9～表 1.1.4-25 の通り。これらの核種については、ALPS 処理までの過程で同様に挙動するとみなして評価する。なお、(2)項で説明した通り、ウラン、アクチニウム、トリウム系列で生成される核種は、大元のウランと一緒に挙動しているとみなして評価することから、ウラン同位体のサブグループとして評価する。また、ここに示した核種以外はグルーピング出来ないことから、個別に汚染水への移行評価を行う。

グルーピングした核種は、グループの中の最も線量影響の大きい代表核種と比較した上で、代表核種との相対比（インベントリ量/告示濃度限度の比）が 1/100 以下の場合に除外を行う。

また、別紙-3にて補足説明した通り、放射化生成物（AP）のインベントリ評価には保守側の不確かさがあるため、グループ内に核分裂生成物（FP）と AP が混在する場合は、本評価における代表核種は現実的な評価を行っている FP を選定する。これにより、評価の不確かさによって、相対比の評価が非保守的とならないようにする。

表 1.1.4-9 グループ 1 (Ni 同位体)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|-------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Ni-59 | AP | 7.6E+04 [y] | 7.3E+13 | 1.0E+04 | 0.0052 | 除外 |
| Ni-63 | AP | 1.0E+02 [y] | 8.5E+15 | 6.0E+03 | 1 | 代表核種 |

表 1.1.4-10 グループ 2 (Sr-90 放射平衡)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|-------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Sr-90 | FP | 2.9E+01 [y] | 3.9E+17 | 3.0E+01 | 1 | 代表核種 |
| Y-90 | FP | 2.67 [d] | 3.9E+17 | 3.0E+02 | 0.10 | |

表 1.1.4-11 グループ 3 (Nb 同位体)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|--------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Nb-93m | FP | 1.6E+01 [y] | 6.3E+12 | 7.0E+03 | 1 | 代表核種 |
| Nb-94 | AP | 2.0E+04 [y] | 9.0E+11 | 5.0E+02 | 2 | |

表 1.1.4-12 グループ 4 (白金族, Ru-106 放射平衡)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|--------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Ru-106 | FP | 1.0E+00 [y] | 7.5E+14 | 1.0E+02 | 1 | 代表核種 |
| Rh-106 | FP | 30.07 [s] | 7.6E+14 | 3.0E+05 | 0.00033 | 除外 |
| Pd-107 | FP | 6.5E+06 [y] | 6.1E+11 | 2.0E+04 | 0.0000041 | 除外 |
| Pt-193 | AP | 5.0E+01 [y] | 9.7E+12 | 3.0E+04 | 0.000043 | 除外 |

表 1.1.4-13 グループ 5 (Ag 同位体)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|---------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Ag-108m | AP | 4.4E+02 [y] | 1.7E+11 | 4.0E+02 | 1.5 | |
| Ag-110m | FP | 249.8 [d] | 8.8E+10 | 3.0E+02 | 1 | 代表核種 |

表 1.1.4-14 グループ 6 (Cd 同位体)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|---------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Cd-109 | AP | 1.3E+00 [y] | 3.6E+10 | 4.0E+02 | 0.000044 | 除外 |
| Cd-113m | FP | 1.4E+01 [y] | 8.2E+13 | 4.0E+01 | 1 | 代表核種 |

表 1.1.4-15 グループ 7 (Sn 同位体, Sn-126 放射平衡)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|---------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Sn-119m | AP | 293.1 [d] | 5.9E+10 | 2.0E+03 | 0.00065 | 除外 |
| Sn-121 | FP | 1.13 [d] | 7.1E+13 | 4.0E+03 | 0.39 | |
| Sn-121m | FP | 4.4E+01 [y] | 9.1E+13 | 2.0E+03 | 1 | 代表核種 |
| Sn-126 | FP | 2.3E+05 [y] | 1.6E+12 | 2.0E+02 | 0.18 | |
| Sb-126 | FP | 12.35 [d] | 2.3E+11 | 4.0E+02 | 0.012 | |
| Sb-126m | FP | 19.15 [m] | 1.6E+12 | 2.0E+04 | 0.0018 | 除外 |

表 1.1.4-16 グループ 8 (Sb-125 放射平衡)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|---------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Sb-125 | FP | 2.8E+00 [y] | 2.9E+15 | 8.0E+02 | 1 | 代表核種 |
| Te-125m | FP | 57.40 [d] | 1.1E+15 | 9.0E+02 | 0.33 | |

表 1.1.4-17 グループ 9 (Cs 同位体, Cs-137 放射平衡, Tl-204)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|---------|-------|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Cs-134 | FP+AP | 2.1E+00 [y] | 2.5E+16 | 6.0E+01 | 0.070 | |
| Cs-135 | FP | 2.3E+06 [y] | 3.5E+12 | 6.0E+02 | 0.00000099 | 除外 |
| Cs-137 | FP | 3.0E+01 [y] | 5.3E+17 | 9.0E+01 | 1 | 代表核種 |
| Ba-137m | FP | 2.552 [m] | 5.0E+17 | 8.0E+05 | 0.00011 | 除外 |
| Tl-204 | AP | 3.8E+00 [y] | 1.4E+13 | 7.0E+02 | 0.0000035 | 除外 |

表 1.1.4-18 グループ 10 (ランタノイド)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|---------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Ce-142 | FP | 5.0E+16 [y] | 1.8E+08 | 7.0E-01 | 0.0000083 | 除外 |
| Ce-144 | FP | 284.91 [d] | 1.7E+14 | 2.0E+02 | 0.027 | |
| Pr-144 | FP | 17.28 [m] | 1.7E+14 | 2.0E+04 | 0.00027 | 除外 |
| Pr-144m | FP | 7.2 [m] | 2.5E+12 | 4.0E+04 | 0.000002 | 除外 |
| Pm-146 | FP | 5.5E+00 [y] | 3.6E+12 | 9.0E+02 | 0.00013 | 除外 |
| Pm-147 | FP | 2.6E+00 [y] | 5.6E+16 | 3.0E+03 | 0.59 | |
| Sm-151 | FP | 9.0E+01 [y] | 2.2E+15 | 8.0E+03 | 0.0085 | ※ |
| Eu-152 | FP | 1.4E+01 [y] | 9.0E+12 | 6.0E+02 | 0.00048 | 除外 |
| Eu-154 | FP | 8.6E+00 [y] | 1.3E+16 | 4.0E+02 | 1 | 代表核種 |
| Eu-155 | FP | 4.8E+00 [y] | 3.8E+15 | 3.0E+03 | 0.04 | |
| Ho-166m | AP | 1.2E+03 [y] | 2.6E+10 | 4.0E+02 | 0.000002 | 除外 |
| Tm-171 | AP | 1.9E+00 [y] | 5.3E+12 | 7.0E+03 | 0.000024 | 除外 |

※：代表核種 Eu-154 より半減期が長く、放出期間中に相対比が 0.01 を上回ることから除外しない

表 1.1.4-19 グループ 11 (U 同位体)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|-------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| U-232 | FP | 6.9E+02 [y] | 1.2E+11 | 3.0E+00 | 0.06 | |
| U-233 | FP | 1.6E+05 [y] | 4.0E+08 | 2.0E+01 | 0.00003 | 除外 |
| U-234 | FP | 2.5E+05 [y] | 1.4E+13 | 2.0E+01 | 1 | 代表核種 |
| U-235 | FP | 7.0E+08 [y] | 3.7E+11 | 2.0E+01 | 0.027 | |
| U-236 | FP | 2.3E+07 [y] | 2.0E+12 | 2.0E+01 | 0.15 | |
| U-238 | FP | 4.5E+09 [y] | 3.0E+12 | 2.0E+01 | 0.22 | |

表 1.1.4-20 グループ 11-1 (ウランの崩壊系列)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|--------|-------|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| U-238 | FP | 4.5E+09 [y] | 3.0E+12 | 2.0E+01 | 0.22 | |
| Th-234 | FP | 24.1 [d] | 3.0E+12 | 2.0E+02 | 0.022 | |
| U-234 | FP | 2.5E+05 [y] | 1.4E+13 | 2.0E+01 | 1 | |
| Th-230 | FP+AP | 7.5E+04 [y] | 2.4E+09 | 4.0E+00 | 0.00089 | 除外 |

表 1.1.4-21 グループ 11-2 (アクチニウムの崩壊系列)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|--------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| U-235 | FP | 7.0E+08 [y] | 3.7E+11 | 2.0E+01 | 0.027 | |
| Th-231 | FP | 1.063 [d] | 3.7E+11 | 2.0E+03 | 0.00027 | 除外 |
| Pa-231 | FP | 3.3E+04 [y] | 2.6E+08 | 1.0E+00 | 0.00038 | 除外 |
| Ac-227 | FP | 2.2E+01 [y] | 7.2E+07 | 8.0E-01 | 0.00013 | 除外 |
| Ra-223 | FP | 11.43 [d] | 7.2E+07 | 5.0E+00 | 0.000021 | 除外 |

表 1.1.4-22 グループ 11-3 (トリウムの崩壊系列)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|--------|----|-------------|---------------------------|----------------------|---------------|------|
| U-236 | FP | 2.3E+07 [y] | 2.0E+12 | 2.0E+01 | 0.15 | |
| Ra-228 | AP | 5.8E+00 [y] | 1.8E+07 | 7.0E-01 | 0.000038 | 除外 |
| Th-228 | FP | 1.9E+00 [y] | 1.2E+11 | 9.0E+00 | 0.019 | |
| Ra-224 | FP | 3.66 [d] | 1.2E+11 | 9.0E+00 | 0.019 | |
| Rn-220 | FP | 55.6 [s] | 1.2E+11 | 4.0E+03 | 0.000044 | 除外 |
| Po-216 | FP | 0.145 [s] | 1.2E+11 | 4.0E+03 | 0.000044 | 除外 |
| Pb-212 | FP | 10.64 [h] | 1.2E+11 | 1.0E+02 | 0.0017 | 除外 |
| Bi-212 | FP | 1.01 [h] | 1.2E+11 | 3.0E+03 | 0.000058 | 除外 |
| Po-212 | FP | 294.7 [ns] | 7.6E+10 | 4.0E+03 | 0.000028 | 除外 |

表 1.1.4-23 グループ 12 (ネプツニウムの崩壊系列)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|--------|----|-------------|---------------------------|----------------------|---------------|------|
| Np-237 | FP | 2.1E+06 [y] | 1.7E+12 | 9.0E+00 | 1 | |
| Pa-233 | FP | 26.98 [d] | 1.7E+12 | 9.0E+02 | 0.01 | |

表 1.1.4-24 グループ 13 (Pu 同位体, Pu-241 放射平衡)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|--------|----|-------------|---------------------------|----------------------|---------------|------|
| Pu-236 | FP | 2.9E+00 [y] | 1.1E+11 | 1.0E+01 | 0.0000027 | 除外 |
| Pu-238 | FP | 8.8E+01 [y] | 1.6E+16 | 4.0E+00 | 1 | 代表核種 |
| Pu-239 | FP | 2.4E+04 [y] | 2.6E+15 | 4.0E+00 | 0.17 | |
| Pu-240 | FP | 6.6E+03 [y] | 3.3E+15 | 4.0E+00 | 0.21 | |
| Pu-241 | FP | 1.4E+01 [y] | 4.3E+17 | 2.0E+02 | 0.55 | |
| Pu-242 | FP | 3.7E+05 [y] | 1.1E+13 | 4.0E+00 | 0.00071 | 除外 |
| U-237 | FP | 6.752 [d] | 1.1E+13 | 1.0E+03 | 0.0000027 | 除外 |

表 1.1.4-25 グループ 14 (Am 同位体, Cm 同位体, Am242m/Am-243 放射平衡, Cf-250)

| 核種 | 種別 | 半減期 | インベントリ量 (12 年後) [Bq] | 告示濃度 限度 [Bq/L] | 代表核種との 相対比 | 評価結果 |
|---------|----|-------------|----------------------------|----------------------|---------------|------|
| Am-241 | FP | 4.3E+02 [y] | 1.3E+16 | 5.0E+00 | 1 | 代表核種 |
| Am-242 | FP | 16.02 [h] | 9.0E+13 | 3.0E+03 | 0.000011 | 除外 |
| Am-242m | FP | 1.4E+02 [y] | 9.0E+13 | 5.0E+00 | 0.0069 | 除外 |
| Am-243 | FP | 7.4E+03 [y] | 8.5E+13 | 5.0E+00 | 0.0065 | 除外 |
| Np-238 | FP | 2.117 [d] | 4.5E+11 | 9.0E+02 | 0.00000019 | 除外 |
| Np-239 | FP | 2.356 [d] | 8.5E+13 | 1.0E+03 | 0.000032 | 除外 |
| Cm-242 | FP | 162.9 [d] | 7.4E+13 | 6.0E+01 | 0.00047 | 除外 |
| Cm-243 | FP | 2.9E+01 [y] | 7.5E+13 | 6.0E+00 | 0.0048 | 除外 |
| Cm-244 | FP | 1.8E+01 [y] | 6.5E+15 | 7.0E+00 | 0.35 | |
| Cm-245 | FP | 8.4E+03 [y] | 1.1E+12 | 5.0E+00 | 0.000083 | 除外 |
| Cm-246 | FP | 4.8E+03 [y] | 1.8E+12 | 5.0E+00 | 0.000013 | 除外 |
| Cf-250 | FP | 1.3E+01[y] | 7.1E+07 | 5.0E+00 | 0.0000000054 | 除外 |

2.4.4 移行係数の評価

2.4.3 項で設定したグループ及び、グルーピング出来なかった個別核種について、図 1.1.4-4 に示した分析結果（同位体の検出値含む）から、2011 年 3 月 11 日のインベントリ評価の結果を使用して移行係数を算出する。なお、前述の通り、移行係数の評価には基本的に集中 Rw の結果の最大値を使用することに加え、分析値のバラつきを考慮して、移行係数は桁上がりで評価する。移行係数を評価した結果を、図 1.1.4-9 に示す。

また、別紙-3 にて補足説明した通り、AP のインベントリ評価には保守側の不確かさがあるため、グループ内に FP と AP が混在する場合で AP の移行係数が低い場合は、本評価における代表核種は現実的な評価を行っている FP を選定する。これにより、評価の不確かさによって、移行係数の評価が非保守的とならないようにする。

最初にグループ 1~4 の結果を示すが、これらは各々のグループで概ね似た傾向となっていることを確認。また、グループ 2 (Sr) の隣には、同じアルカリ土類金属であるバリウムの結果を載せているが、FP 核種の Ba-140 は同じ FP 核種の Sr-89 や Sr-90 と同等の移行係数を示すことを確認した。

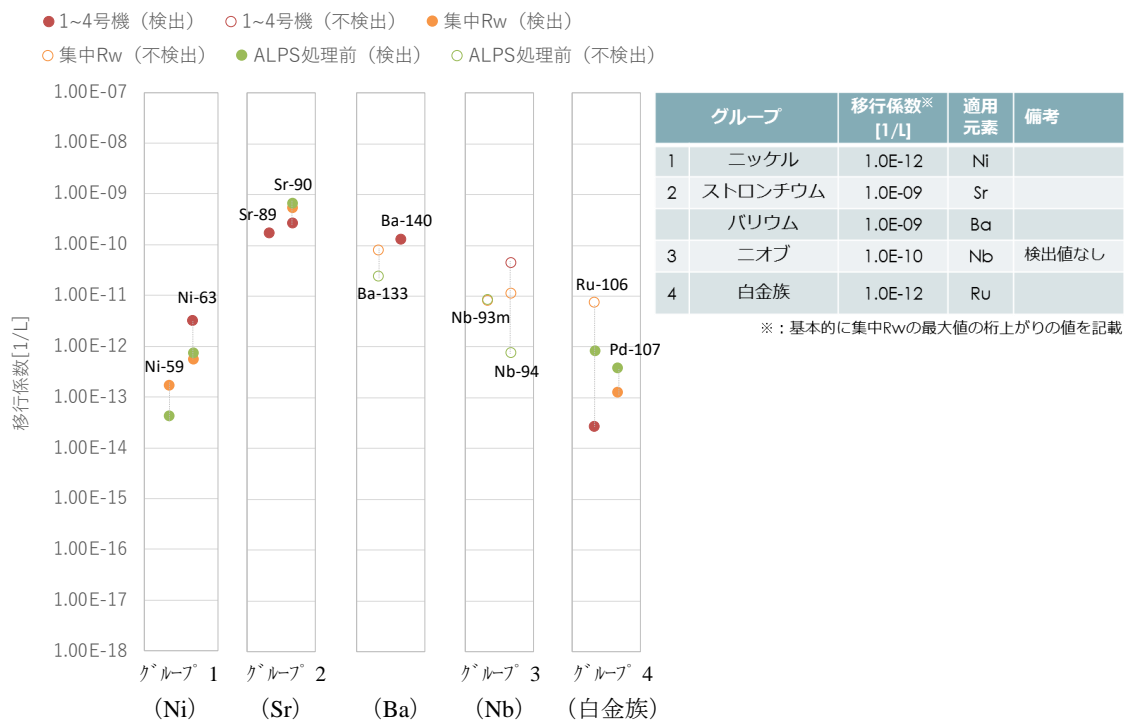


図 1.1.4-9 移行係数 (1/4)

次にグループ 5～9 の結果を示す。

銀，カドミウム，スズについてはこれまでに検出された実績がないことから，検出下限値より移行係数を算出している。アンチモンについては，集中 Rw の検出データ数が 9 個に対して，ALPS 処理前では 1606 個あること，ALPS 処理前の放射能濃度の方が高いことから，同数値を使用して移行係数を算出している。セシウムについては同位体である Cs-134，Cs-137 で概ね同じ挙動を示すことを確認した。

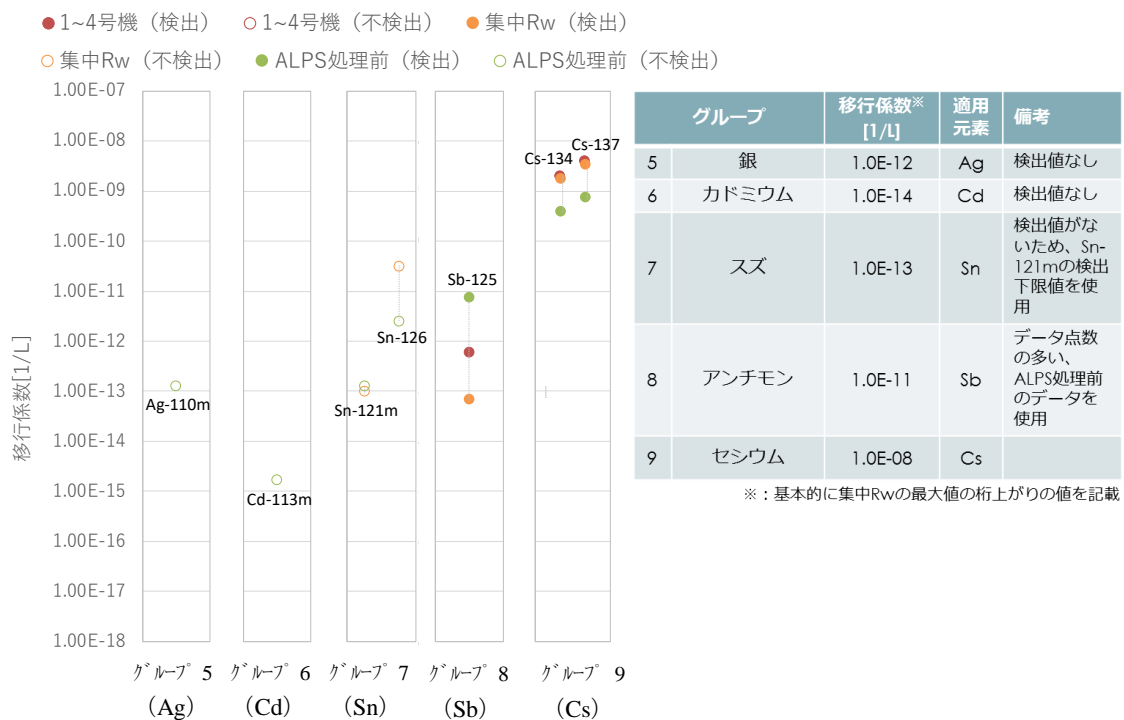
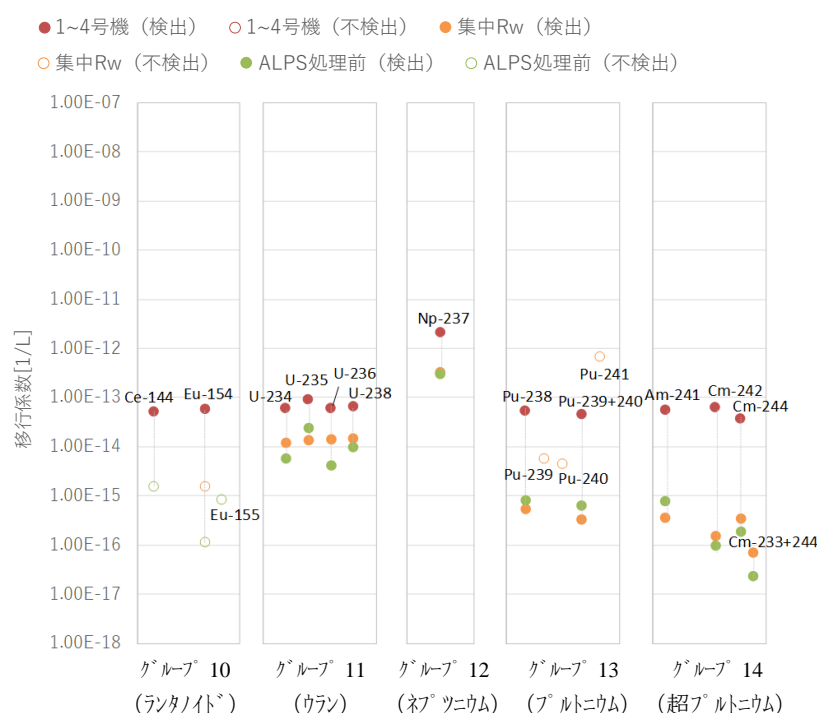


図 1.1.4-9 移行係数 (2/4)

次にグループ 10~13 の結果を示す。

ランタノイドについては文献通り，Ce と Eu で概ね同じ移行挙動をしていることを確認した。また，ウラン，プルトニウム，アメリシウム，キュリウムについても同位体や，グループ内でほとんど同じ挙動をすることを確認した他，ネプツニウムの結果についても載せているが，ネプツニウムは他のアクチノイドに比べて水へ移行しやすいことを確認した。

また，ランタノイドとアクチノイドは1～4号機の建屋滞留水等では，ネプツニウムを除いて，ほとんど同じような移行挙動をしているものの，集中Rw以降は各々のグループで若干異なる挙動をしている。これらの傾向を踏まえて，移行係数を算出している。



| グループ | 移行係数※ [1/L] | 適用 元素 | 備考 |
|---------------------|----------------|-------------------------|--|
| 10 ランタノイド | 1.0E-13 | Ce, Pm, Sm, Eu | 集中Rw以降には検出値がないため、過去に検出された(2,3号機PCV内)のCe-144, Eu-154の検出値を使用 |
| 11 ウラン | 1.0E-13 | U | |
| 12 ネプツニウム | 1.0E-12 | Np | |
| 13 プルトニウム | 1.0E-15 | Pu | |
| 14 超プルトニウム 元素 | 1.0E-15 | Am, Cm | |

※：基本的に集中Rwの最大値の桁上りの値を記載

図 1.1.4-9 移行係数 (3/4)

最後に、グループ핑出来ずに個別に評価した核種について示す。

非金属であるトリチウムやセレン，炭素，ハロゲンのヨウ素については比較的高い移行係数を示すことを確認した。塩素については過去に検出値がないことから，検出下限値より移行係数を算出している。また，遷移金属については，マンガンについて検出値のあるALPS処理前のデータを使用した他，鉄は今回の追加分析で検出された結果を反映している。コバルトは同位体で概ね同じ挙動をしていることを確認した他，亜鉛，ジルコニウム，モリブデンについては，検出値が無いため，検出下限値より移行係数を算出しており，テクネチウムは集中Rwの検出値を用いて移行係数を算出した。

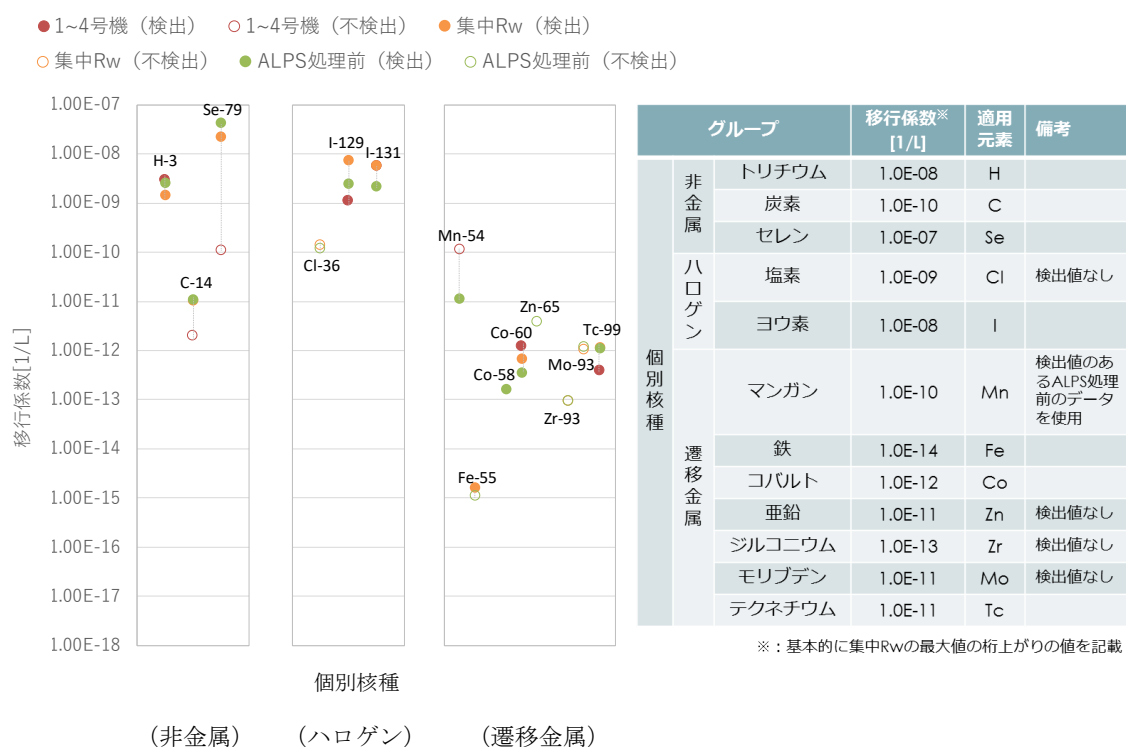


図 1.1.4-9 移行係数 (4/4)

2.4.5 汚染水への移行評価の結果

2.4.4 項で評価した移行係数を用いて、汚染水への移行評価を行った結果、手順 5 に進む核種は 36 核種、除外される核種は 57 核種となる。

表 1.1.4-26 手順 5 に進む核種 (36 核種)

| No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 | No. | 核種 |
|-----|-------|-----|---------|-----|---------|-----|--------|-----|--------|
| 1 | H-3 | 27 | Sr-90 | 60 | Sb-125 | 93 | Sm-151 | 189 | Pu-240 |
| 3 | C-14 | 29 | Y-90 | 67 | Te-125m | 96 | Eu-154 | 190 | Pu-241 |
| 7 | Cl-36 | 33 | Nb-93m | 70 | I-129 | 97 | Eu-155 | 194 | Am-241 |
| 16 | Mn-54 | 34 | Nb-94 | 71 | Cs-134 | 174 | U-234 | 201 | Cm-244 |
| 17 | Fe-55 | 35 | Mo-93 | 73 | Cs-137 | 178 | U-238 | | |
| 18 | Co-60 | 38 | Tc-99 | 74 | Ba-133 | 182 | Np-237 | | |
| 20 | Ni-63 | 39 | Ru-106 | 80 | Ce-144 | 187 | Pu-238 | | |
| 23 | Se-79 | 51 | Cd-113m | 87 | Pm-147 | 188 | Pu-239 | | |

2.5 手順5について

手順5の「汚染水中の濃度が告示濃度限度の1/100未満であることを分析を通じて確認出来ているか？」という項目では、当該手順まで進んだ核種のうち、過去に告示濃度限度の1/100を目指して分析を行い、その結果、告示濃度限度の1/100未満であることを確認出来た核種を監視対象核種とし、それ以外の核種は、ALPSで除去出来ないトリチウムを除いて測定・評価対象核種としている。

当該手順の考え方として、手順4までの評価は保守性を持っており、本手順まで進んだ核種でも、過去の汚染水の分析で告示濃度限度の1/100未満であることを確認出来ている核種は、ALPS処理水に含まれる可能性は極めて低いと考えられることから、これを放出の都度確認する測定・評価対象核種に選定するのは、非常に保守的と考えていることに因る。一方、これらの核種は手順5まで進んできている（インベントリ量が比較的多い）ことに加えて、半減期も長い核種であることから、現時点では有意な濃度で確認されていないものの、今後の廃炉の進捗によって、この状況が変化する可能性がある。このことから、これらの核種は海洋放出の都度測定せずに、汚染水中に有意に存在しないか継続して確認する監視対象核種として設定する。なお、当該核種は、後述する測定・評価対象核種の定期的な確認の中で分析実績を重ね、その結果を踏まえて、選定フローに基づき、適宜見直しを行う。

監視対象核種について分析実績を重ねていくが、その結果を踏まえて、選定フローに基づき、再評価を行う。

今回選定した監視対象核種6核種は表1.1.4-27の通り。

表 1.1.4-27 監視対象核種

| 核種 | 分析数（括弧内は検出数） | | | 分析値 [Bq/L] | 告示濃度限度 [Bq/L] |
|---------|--------------|--------|-----------|---------------|------------------|
| | ① 1~4号機 | ② 集中Rw | ③ ALPS処理前 | | |
| Cl-36 | 0 (0) | 10 (0) | 12 (0) | < 4.3E+00 | 9.0E+02 |
| Nb-93m | 0 (0) | 1 (0) | 1 (0) | < 5.2E+01 | 7.0E+03 |
| Nb-94 | 36 (0) | 33 (0) | 68 (0) | < 6.8E-01 | 5.0E+02 |
| Mo-93 | 0 (0) | 1 (0) | 1 (0) | < 1.4E+00 | 3.0E+02 |
| Cd-113m | 0 (0) | 0 (0) | 22 (0) | < 1.7E-01 | 4.0E+01 |
| Ba-133 | 0 (0) | 1 (0) | 2 (0) | < 2.6E+00 | 5.0E+02 |

なお、6核種中3核種は、分析数が少ないものの、原子炉注水に使用している水は主にRO淡水であり、注水に使用する水質を実施計画Ⅲ第1編で「導電率：40mS/m以下@25℃（導電率が40mS/mを超える場合は、塩化物イオン濃度100ppm以下を確認）」として、これを満足した注水を継続していることから、炉内環境に変化はなく、放射性核種の汚染水への移行状況に大きな変化が生じる状況ではないことから、今回の選定に問題はないと考えている。

また、他に分析数の少ない核種として、Ni-59、Sn-121m、Zr-93、Nb-93mがあるが、Ni-59とSn-121mには、ALPS除去対象となっている同位体（Ni-63、Sn-126）が存在するため、それらの測定実績や、2.4.3.2項に示す相対比（インベントリ量/告示濃度限度の比）も踏まえて測定要否を判断している。また、Zr-93は、測定方法（ICP-MS）と半減期（ $1.6E+06$ 年）が長いことから、建屋滞留水とSr処理水の2試料、ALPS処理水の3試料で、告示濃度限度の約1/1000まで測定を行うことが出来、その結果、不検出であったことから、ほとんど汚染水へ移行していないと考え、更なる測定は不要と判断した。

なお、Eu-155は告示濃度限度の1/100以上で検出された実績がないものの、監視対象核種とせずに測定・評価対象核種としているが、その考え方は下表の通り。

表 1.1.4-28 自身の分析では告示濃度限度の1/100未満であることを確認出来ているものの、監視対象としなかった核種

| 核種 | 手順4 | | | 告示濃度 [Bq/L] | 選定理由 |
|--------|--------|----------|---------------|----------------|--|
| | 採取場所 | 採取日 | 実測値 [Bq/L] | | |
| Eu-155 | ALPS入口 | 2019/8/2 | <5.3E+00 | 3.0E+03 | Eu-155はALPS入口のみの測定で、当該箇所では検出されていないものの、同位体であるEu-154が3号機のPCV内で確認されており、その濃度が $1.9E+03$ Bq/Lであった。その際、Eu-155は未測定であったが、Eu-154の結果から $5.7E+02$ Bq/L（Eu-154の0.3倍*）と評価され、告示濃度限度の1/100を上回るため選定した。 |

※：震災後12年後のインベントリ比より算出

一方、手順5は、手順4とは異なり、実際の状態の確認であることから、将来の下流側への移行も想定して、保守的に1～4号機の建屋滞留水までを確認対象とした。このため、手順4で汚染水への移行評価に使用した集中Rwより下流では告示濃度限度の1/100以上で検出されていないものの、測定・評価対象核種とした核種があるが、それぞれの条件は表1.1.4-29の通り。

表 1.1.4-29 集中Rwより下流では告示濃度限度の1/100以上で検出されなかったものの測定・評価対象核種とした核種

| 核種 | 手順4 | | | 手順5 | | | 告示濃度 [Bq/L] | 備考 |
|-------|------|------------|---------------|-------|------------|---------------|----------------|-------------------|
| | 採取場所 | 採取日 | 実測値 [Bq/L] | 採取場所 | 採取日 | 実測値 [Bq/L] | | |
| U-234 | PMB | 2021/11/2 | 1.6E-01 | 1~4号機 | 2015/10/22 | 7.7E-01 | 2.0E+01 | 手順5の採取箇所は3号機PCV内 |
| U-238 | PMB | 2018/12/21 | 4.5E-02 | 1~4号機 | 2021/7/8 | 2.0E-01 | 2.0E+01 | 手順5の採取箇所は3号機MSIV室 |

2.6 選定結果

図 1.1.4-1 に示したフローに基づき、測定・評価対象核種の選定した核種は表 1.1.4-30 の通り 29 核種となる。これら核種について、現在計画している定量方法についても併せて示す。なお、測定・確認用設備において放出基準（トリチウムを除く放射性核種の告示濃度限度比の和が 1 未満）を確認する際、 α 核種の告示濃度限度比は、選定された α 核種のうち最も低い告示濃度限度（4 Bq/L）で全 α 値を除することで算出する。

また、海洋放出前には下表の 29 核種と合わせて、希釈倍率を設定するために H-3 濃度を測定する計画である。

表 1.1.4-30 測定・評価対象核種とその定量方法

| No. | 核種 | 定量方法 | No. | 核種 | 定量方法 |
|-----|---------|--------------------|-----|--------|-----------------------------|
| 1 | C-14 | 化学分離後、 β 線測定 | 16 | Ce-144 | γ 線核種分析 |
| 2 | Mn-54 | γ 線核種分析 | 17 | Pm-147 | 代表核種 (Eu-154) の放射能濃度より評価 |
| 3 | Fe-55 | 化学分離後、X 線測定 | 18 | Sm-151 | |
| 4 | Co-60 | γ 線核種分析 | 19 | Eu-154 | γ 線核種分析 |
| 5 | Ni-63 | 化学分離後、 β 線測定 | 20 | Eu-155 | γ 線核種分析 |
| 6 | Se-79 | 化学分離後、 β 線測定 | 21 | U-234 | 全 α 放射能に包含されるものとして評価 |
| 7 | Sr-90 | 化学分離後、 β 線測定 | 22 | U-238 | |
| 8 | Y-90 | Sr-90 と放射平衡 | 23 | Np-237 | |
| 9 | Tc-99 | ICP-MS 測定 | 24 | Pu-238 | |
| 10 | Ru-106 | γ 線核種分析 | 25 | Pu-239 | |
| 11 | Sb-125 | γ 線核種分析 | 26 | Pu-240 | |
| 12 | Te-125m | Sb-125 と放射平衡 | 27 | Pu-241 | |
| 13 | I-129 | ICP-MS 測定 | 28 | Am-241 | 全 α 放射能に包含されるものとして評価 |
| 14 | Cs-134 | γ 線核種分析 | 29 | Cm-244 | |
| 15 | Cs-137 | γ 線核種分析 | | | |

3. 測定・評価対象核種の定期的な確認

2項で選定した測定・評価対象核種は、過去の分析結果に基づき選定しているが、今後の廃炉作業の進捗によって、その状況に変化が生じる可能性が考えられる。このため、選定した測定・評価対象核種以外の核種（以下「その他核種」という。）が有意に（告示濃度限度の1/100以上で）存在しないことを、以下の方法により確認する。この確認の中で、その他核種が有意に存在することが確認された場合は、測定・評価対象核種の再評価を行う。後述する、3.3項の調査分析が少なくとも1年に1回実施されることから、当該頻度で再評価の要否を確認する。なお、放射性核種の減衰についても、再評価をする中で選定フローに基づき反映する。

3.1 放出の都度の確認

海洋放出前に放出基準を満足しているか確認する際、下表の測定で、その他核種が有意に存在しないことを確認する。

表 1.1.4-31 放出の都度の確認方法

| 線種 | 確認方法 |
|-------------|---|
| α 核種 | 告示濃度限度（4Bq/L）の1/100 オーダ以下の検出限界値未満であることを全 α の値で確認する |
| β 核種 | 測定・評価対象とした核種以外が有意な濃度で存在していないことを全 β の値で確認する |
| γ 核種 | Ge 半導体検出器の γ 線スペクトルにて、測定・評価対象核種以外に汚染水由来の有意なピークがないことを確認する |

3.2 汚染水中のトレンド確認

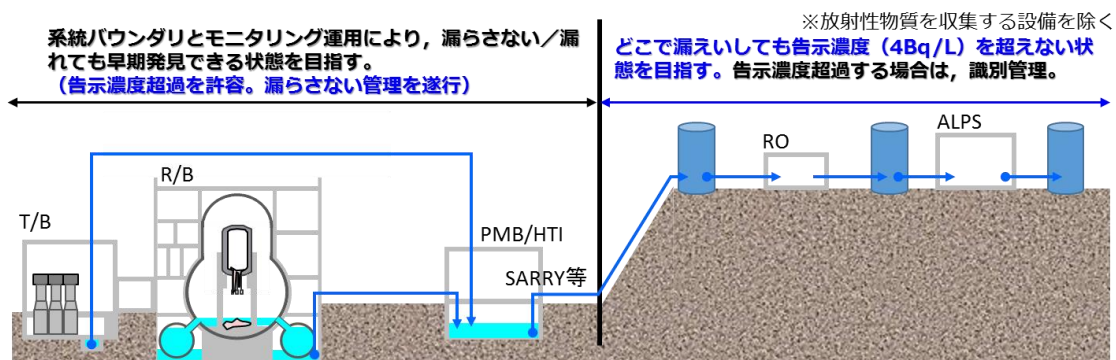
集中 Rw 以降において、設備運転中に1回/月以上の頻度で定期的に確認している汚染水中の放射性核種の濃度*が、過去に確認された濃度以下であることを確認し、放射性核種の汚染水への移行状況に変化が生じないことを確認する。

※：2022年11月時点で集中 Rw では Cs-134, Cs-137, Sr-90, 全 β , 全 α , H-3 濃度を確認
ALPS 入口では主要7核種, Tc-99, 全 β , 全 α , H-3 濃度を確認

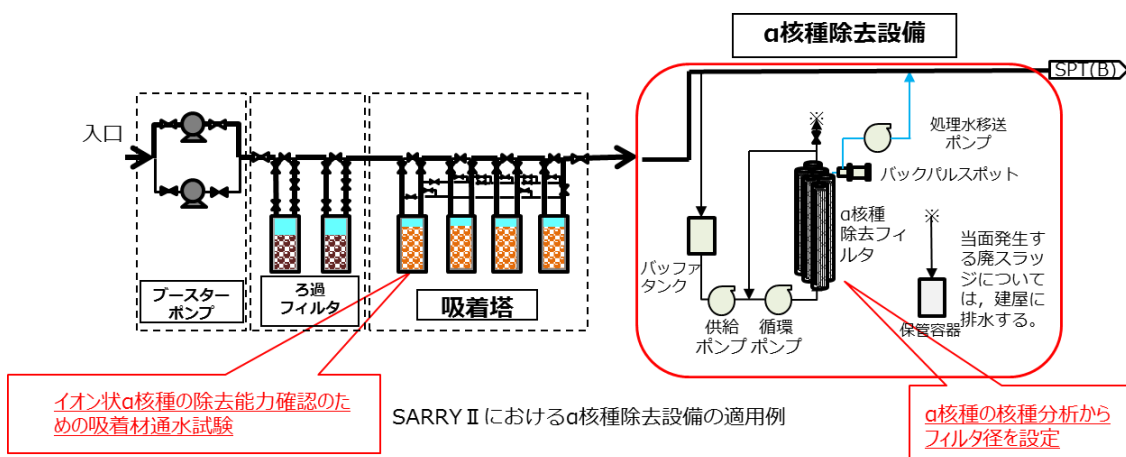
この確認の目的として、廃炉の進捗により、これまでの放射性核種の水への移行状況に変化が起こる可能性が考えられるが、同状況が変化した場合、単独の核種のみが変化することは考え難く、現在、定期的に測定している核種も含めて変化が生じることが考えられることから、本確認を実施する。なお、汚染水への移行状況の変化を確認する際は、1回の放射性核種の分析結果から判断するのではなく、複数回の分析結果や、類似の性質を持つ核種の分析結果の確認の上で、変化の有無について判断する。

また、建屋滞留水の処理の進捗に伴い、 α 核種の濃度上昇が見られているが、現在、33.5m 盤においては α 汚染管理が要らない状態を目指して、Cs 吸着装置の後段に α 核種除去設備

の設置を計画中であることから（図 1.1.4-10 参照），集中 R_w の建屋滞留水の α 核種の濃度が上昇したとしても，直接，ALPS 処理水の海洋放出時の測定・評価対象核種へ影響することは考え難い。このことから，集中 R_w の建屋滞留水は参考として確認するものの，本確認において，主に確認するのは ALPS 処理前の汚染水の放射能濃度とする。



a. 1F における α 核種管理の目指すべき状態



b. 目指すべき状態となるための対策（α核種除去設備）

図 1.1.4-10 1F における α 核種管理の目指すべき状態とその対策

3.3 調査分析

調査分析では，3.1，3.2 項で懸念が有る事象を確認した場合に，その他核種の存在を調査する。また，懸念の有無に限らず，ALPS 処理前の汚染水において，監視対象核種が有意な濃度で存在しないことの確認を 1 年に 1 回の頻度で行い，その他核種の存在を調査する。なお，汚染水への放射性核種の移行状況が変化することが想定される燃料デブリ取り出し等の作業や，水処理設備の設備改造は，2021 年度の廃炉中長期実行プランの計画を踏まえると，上記頻度で確認することが可能と考えている他，仮にそれらの計画が実施される場合は，当該作業や設備改造に合わせて調査分析を計画するなど対応を行う。

以上

汚染水への移行評価で使用した分析結果の詳細について

手順4では、手順4まで進んだ核種を可能な範囲でグループ化した後、実際の分析結果を使用して“汚染水への移行評価”を行い、線量評価に与える影響が十分小さいか（告示濃度限度 1/100 以下）を確認したうえで、線量評価に与える影響が十分小さい核種について、当該手順で除外している。

本資料では、汚染水への移行評価で使用した分析データを表 1.1.4-32 に、採取箇所の詳細を図 1.1.4-11 に示す。合わせて、表 1.1.4-32 の分析で使用した分析装置の性能が維持されていることを確認するための実施している日常点検方法を表 1.1.4-33、表 1.1.4-34 に示す。

表 1.1.4-32 移行評価に使用した分析データ (1/4)

| 核種 | 告示濃度限度 [Bq/L] | データ数 ^{※1} (うち検出数) | 試料の 状態 | 採取 箇所 ^{※2} | 採取 方法 ^{※2} | 試料量 [ml] | 測定 時間[s] | 採取日 | 基準日 | 分析値 ^{※3} [Bq/L] | 測定機器 |
|-------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-------------|-------------------|------------|-----------------------|-----------------------------|----------------|
| H-3 | 6.0E+04 | 362 (362) | — | ②-1 | 定例 | 50 | 不明 | 2011/8/30 | 2012/10/26 | 4.3E+06 | 液体シンチレーション計数装置 |
| C-14 | 2.0E+03 | 47 (16) | — | ②-1 | 定例 | 50 | 不明 | 2015/3/3 | 2011/3/11 | 2.6E+02 | 液体シンチレーション計数装置 |
| Cl-36 | 9.0E+02 | 22 (0) | ろ液 | ②-1 | 定例 | 10 | 10,000 | 2022/2/4 | 2022/5/23 | < 4.3E+00 | β線スペクトロメータ |
| Mn-54 | 1.0E+03 | 1197 (290) | — | ③-2 | 定例 | 不明 | 不明 | 2012/6/19 | 2012/6/19 | 1.1E+05 | Ge 半導体検出器 |
| Fe-55 | 2.0E+03 | 2 (1) | — ^{※4} | ②-1 | 定例 | 100 31 | 200,000 80,000 | 2021/11/2 | 2022/7/22 2022/9/5 | < 4.1E+00 1.7E+01 | 低エネルギー光子測定装置 |
| Co-58 | 1.0E+03 | 27 (5) | — | ③-1 | 定例 | 不明 | 不明 | 2011/11/1 | 2011/11/1 | 2.0E+03 | Ge 半導体検出器 |
| Co-60 | 2.0E+02 | 1646 (1450) | ろ液 | ②-1 | 非定例 | 50 | 不明 | 2018/12/20 | 2011/3/11 | 1.2E+05 | Ge 半導体検出器 |
| Ni-59 | 1.0E+04 | 15 (2) | — ^{※4} | ②-1 | 定例 | 100 31 | 80,000 80,000 | 2021/11/2 | 2022/7/26 2022/9/8 | 9.4E+00 3.5E+00 | 低エネルギー光子測定装置 |
| Ni-63 | 6.0E+03 | 123 (74) | ろ液 | ②-1 | 非定例 | 50 | 不明 | 2018/12/20 | 2011/3/11 | 5.2E+03 | 液体シンチレーションカウンタ |
| Zn-65 | 2.0E+02 | 22 (0) | — | ③-2 | 定例 | 500 | 1,000 | 2016/6/24 | 2016/6/24 | < 1.6E+01 | Ge 半導体検出器 |
| Se-79 | 2.0E+02 | 72 (21) | — | ②-1 | 定例 | 5 | 不明 | 2011/11/8 | 2012/1/19 | 8.3E+03 | 液体シンチレーションカウンタ |

※1：表 1.1.4-5 の No.①～③の分析データの合計を示す

※2：図 1.1.4-11 にて詳細を示す

※3：検出値の場合は最大値，検出下限値の場合は最小値を記載

※4：ろ液，残渣試料ともに検出もしくは片方に検出したことから，上段にろ液，下段に残渣の分析詳細を記載

表 1.1.4-32 移行評価に使用した分析データ (2/4)

| 核種 | 告示濃度限度 [Bq/L] | データ数 ^{*1} (うち検出数) | 試料の 状態 | 採取 箇所 ^{*2} | 採取 方法 ^{*2} | 試料量 [ml] | 測定 時間[s] | 採取日 | 基準日 | 分析値 ^{*3} [Bq/L] | 測定機器 |
|---------|------------------|-------------------------------|------------------|------------------------|------------------------|-------------|-----------------|------------|------------|-----------------------------|----------------|
| Sr-89 | 3.0E+02 | 70 (3 ^{*4}) | — | ①-3 | 非定例 | 不明 | 不明 | 2011/3/27 | 2011/4/13 | 7.0E+08 | β線スペクトロメータ |
| Sr-90 | 3.0E+01 | 922 (910) | — | ②-1 | 定例 | 5 | 不明 | 2011/11/1 | 2012/1/19 | 2.9E+08 | β線スペクトロメータ |
| Zr-93 | 1.0E+03 | 2 (0) | ろ液 ^{*5} | ②-1 | 定例 | 1 | — ^{*7} | 2022/2/4 | 2022/6/7 | < 1.3E+00 | 誘導結合プラズマ質量分析装置 |
| Nb-93m | 7.0E+03 | 2 (0) | ろ液 ^{*5} | ②-1 | 定例 | 100 | 100,000 | 2021/11/2 | 2022/7/21 | < 5.2E+01 | 低エネルギー光子測定装置 |
| Nb-94 | 5.0E+02 | 137 (0) | — | ③-2 | 定例 | 500 | 25,000 | 2022/11/24 | 2022/11/24 | < 6.8E-01 | Ge 半導体検出器 |
| Mo-93 | 3.0E+02 | 2 (0) | 残渣 ^{*6} | ②-1 | 定例 | 31 | 80,000 | 2021/11/2 | 2022/9/7 | < 1.5E+00 | 低エネルギー光子測定装置 |
| Tc-99 | 1.0E+03 | 269 (231) | ろ液 | ②-1 | 非定例 | 50 | — ^{*7} | 2018/12/20 | 2011/3/11 | 1.1E+02 | 誘導結合プラズマ質量分析装置 |
| Ru-106 | 1.0E+02 | 1264 (975) | — | ③-2 | 定例 | 500 | 1,000 | 2014/10/31 | 2014/10/31 | 1.2E+05 | Ge 半導体検出器 |
| Pd-107 | 2.0E+04 | 2 (2) | ろ液 | ②-1 | 非定例 | 1 | — ^{*7} | 2022/4/21 | 2022/10/6 | 7.8E-02 | 誘導結合プラズマ質量分析装置 |
| Ag-110m | 3.0E+02 | 22 (0) | — | ③-2 | 定例 | 500 | 1,000 | 2016/6/24 | 2016/6/24 | < 1.0E+01 | Ge 半導体検出器 |
| Cd-113m | 4.0E+01 | 22 (0) | — | ③-2 | 定例 | 100 | 36,000 | 2018/6/14 | 2018/6/14 | < 1.7E-01 | 液体シンチレーションカウンタ |
| Sn-121m | 2.0E+03 | 2 (0) | ろ液 ^{*5} | ②-1 | 定例 | 100 | 400,000 | 2021/11/2 | 2022/7/28 | < 9.2E+00 | 低エネルギー光子測定装置 |
| Sn-126 | 2.0E+02 | 36 (0) | — | ③-2 | 定例 | 500 | 25,000 | 2022/11/24 | 2022/11/24 | < 3.9E+00 | Ge 半導体検出器 |

※1：表 1.1.4-5 の No.①～③の分析データの合計を示す

※2：図 1.1.4-11 にて詳細を示す

※3：検出値の場合は最大値，検出下限値の場合は最小値を記載

※4：2013年～2014年の既設 ALPS の検出（17回）は疑似検出であるため対象外としている

※5：ろ液，残渣試料とも不検出であったため，値の大きいろ液の分析に供した試料量を記載

※6：ろ液，残渣試料とも不検出であったため，値の大きい残渣の分析に供した試料量を記載

※7：誘導結合プラズマ質量分析装置での測定のため，測定時間は分析値に寄与しない

表 1.1.4-32 移行評価に使用した分析データ (3/4)

| 核種 | 告示濃度限度 [Bq/L] | データ数 ^{※1} (うち検出数) | 試料の 状態 | 採取 箇所 ^{※2} | 採取 方法 ^{※2} | 試料量 [ml] | 測定 時間[s] | 採取日 | 基準日 | 分析値 ^{※3} [Bq/L] | 測定機器 |
|--------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-------------|-----------------|------------|------------------------|-----------------------------|----------------|
| Sb-125 | 8.0E+02 | 1656 (1624) | — | ③-2 | 定例 | 500 | 1000 | 2015/3/25 | 2015/3/25 | 4.3E+05 | Ge 半導体検出器 |
| I-129 | 9.0E+00 | 502 (395) | — | ②-1 | 定例 | 30 | 不明 | 2011/11/8 | 2013/6/27 | 1.2E+03 | 液体シンチレーションカウンタ |
| I-131 | 4.0E+01 | 63 (24) | — | ②-1 | 定例 | 不明 | 不明 | 2011/6/17 | 2011/6/17 | 6.9E+03 | Ge 半導体検出器 |
| Cs-134 | 6.0E+01 | 1953 (1712) | — | ②-1 | 定例 | 不明 | 不明 | 2011/6/26 | 2011/6/26 | 2.2E+09 | Ge 半導体検出器 |
| Cs-137 | 9.0E+01 | 2266 (2220) | — | ②-1 | 定例 | 不明 | 不明 | 2011/6/26 | 2011/6/26 | 2.4E+09 | Ge 半導体検出器 |
| Ba-133 | 5.0E+02 | 3 (0) | ろ液 | ②-1 | 定例 | 100 | 5,000 | 2022/2/4 | 2022/6/2 | < 2.6E+00 | Ge 半導体検出器 |
| Ba-140 | 3.0E+02 | 26 (2) | — | ①-3 | 非定例 | 不明 | 不明 | 2011/3/27 | 2011/4/13 | 2.4E+08 | Ge 半導体検出器 |
| Ce-144 | 2.0E+02 | 25 (3) | — | ①-1 | 非定例 | 不明 | 不明 | 2013/8/7 | 2011/3/11 | 3.7E+05 | Ge 半導体検出器 |
| Eu-154 | 4.0E+02 | 188 (2) | — | ①-2 | 非定例 | 不明 | 不明 | 2015/10/23 | 2011/3/11 | 1.9E+03 | Ge 半導体検出器 |
| U-234 | 2.0E+01 | 66 (25) | — ^{※4} | ②-1 | 定例 | 100 43 | — ^{※5} | 2021/11/2 | 2022/7/14 2022/9/27 | 1.3E-01 2.8E-02 | 誘導結合プラズマ質量分析装置 |
| U-235 | 2.0E+01 | 89 (47) | ろ液 | ②-1 | 非定例 | 50 | — ^{※5} | 2018/12/21 | 2011/3/11 | 4.9E-03 | 誘導結合プラズマ質量分析装置 |
| U-236 | 2.0E+01 | 61 (27) | ろ液 | ②-1 | 非定例 | 50 | — ^{※5} | 2018/12/21 | 2011/3/11 | 2.8E-02 | 誘導結合プラズマ質量分析装置 |
| U-238 | 2.0E+01 | 94 (63) | ろ液 | ②-1 | 非定例 | 50 | — ^{※5} | 2018/12/21 | 2011/3/11 | 4.5E-02 | 誘導結合プラズマ質量分析装置 |
| Np-237 | 9.0E+00 | 38 (25) | — | ②-1 | 定例 | 50 | — ^{※5} | 2013/8/13 | 2011/3/11 | 5.3E-01 | 誘導結合プラズマ質量分析装置 |

※1：表 1.1.4-5 の No.①～③の分析データの合計を示す

※2：図 1.1.4-11 にて詳細を示す

※3：検出値の場合は最大値，検出下限値の場合は最小値を記載

※4：ろ液，残渣試料ともに検出されたため，上段にろ液，下段に残渣の分析詳細を記載

※5：誘導結合プラズマ質量分析装置での測定のため，測定時間は分析値に寄与しない

表 1.1.4-32 移行評価に使用した分析データ (4/4)

| 核種 | 告示濃度限度 [Bq/L] | データ数 ^{※1} (うち検出数) | 試料の 状態 | 採取 箇所 ^{※2} | 採取 方法 ^{※2} | 試料量 [ml] | 測定 時間[s] | 採取日 | 基準日 | 分析値 ^{※3} [Bq/L] | 測定機器 |
|------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------------|
| Pu-238 | 4.0E+00 | 148 (55) | — | ②-1 | 定例 | 10 | 不明 | 2018/2/20 | 2011/3/11 | 9.3E+00 ^{※5} | 表面障壁型Si半導体検出器 |
| Pu-239+240 | 8.0E+00 | 147 (34) | — | ②-1 | 定例 | 10 | 不明 | 2018/2/20 | 2011/3/11 | 2.0E+00 | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| Am-241 | 5.0E+00 | 136 (20) | — | ②-1 | 定例 | 10 | 不明 | 2018/2/20 | 2011/3/11 | 3.4E+00 ^{※5} | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| Cm-242 | 6.0E+01 | 10 (4) | — ^{※4} | ②-1 | 定例 | 500 | 50,000 | 2021/11/2 | 2022/6/28 | < 1.6E-03 | 表面障壁型Si半導体検出器 |
| | | | | | | 15 | 50,000 | | 2022/7/4 | 9.9E-03 | |
| Cm-244 | 7.0E+00 | 134 (15) | — | ②-1 | 定例 | 10 | 不明 | 2018/2/20 | 2011/3/11 | 3.5E+00 | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| Cm-243+244 | 1.3E+01 | 2 (2) | — ^{※4} | ②-1 | 定例 | 500 | 50,000 | 2021/11/2 | 2022/6/28 | 2.7E-02 | 表面障壁型 Si 半導体検出器 |
| | | | | | | 15 | 50,000 | | 2022/7/4 | 4.4E-01 | |

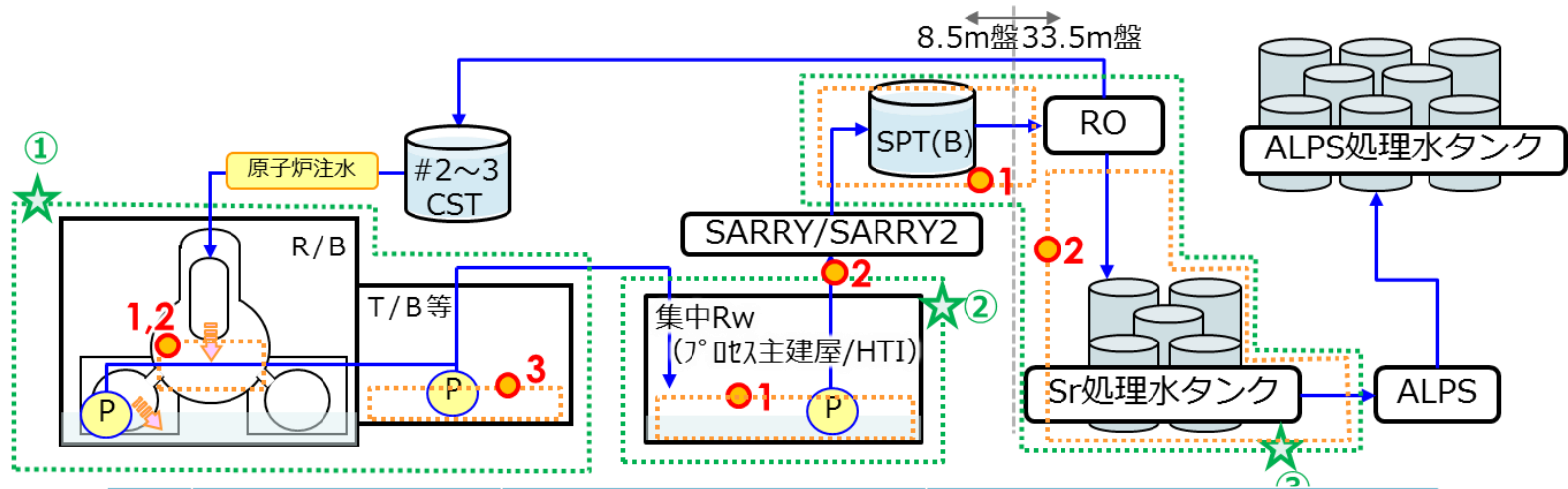
※1：表 1.1.4-5 の No.①～③の分析データの合計を示す

※2：図 1.1.4-11 にて詳細を示す

※3：検出値の場合は最大値，検出下限値の場合は最小値を記載

※4：ろ液，残渣試料ともに検出もしくは片方に検出したことから，上段にろ液，下段に残渣の分析詳細を記載

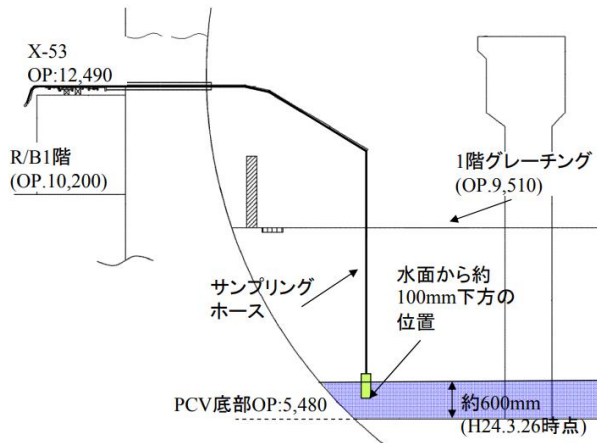
※5：FRAnDLi のデータは分析値から 2011/3/11 の基準日へ単純な減衰補正をしているものの，これら核種は親核種からも生成されることから，今回の検討の中で親核種から生成を考慮した減衰補正を実施



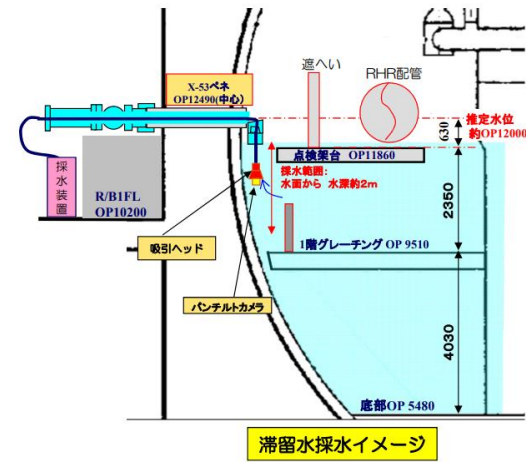
| No. | 評価元の分析結果 | 評価に使用した採取箇所 | 採取方法 |
|-----|----------|-----------------------------------|-----------------------------|
| ① | 1 | 2号機PCV | 採水器による採取 ⇒(2)参照 |
| | 2 | 建屋滞留水@1~4号機 | |
| | 3 | 2号機T/B | |
| ② | 1 | プロセス主建屋/HTI | 採水ポンプもしくは採水器による採取 ⇒(3)参照 |
| | 2 | セシウム吸着装置入口 | サンプリングラインから採取 |
| ③ | ALPS処理前 | セシウム吸着装置/除染装置出口 ～淡水化装置入口 | サンプリングラインから採取 |
| | | 淡水化装置出口～ALPS入口まで (蒸発濃縮装置入口※含む) | サンプリングラインから採取 |

(1) 汚染水のサンプリング箇所一覧

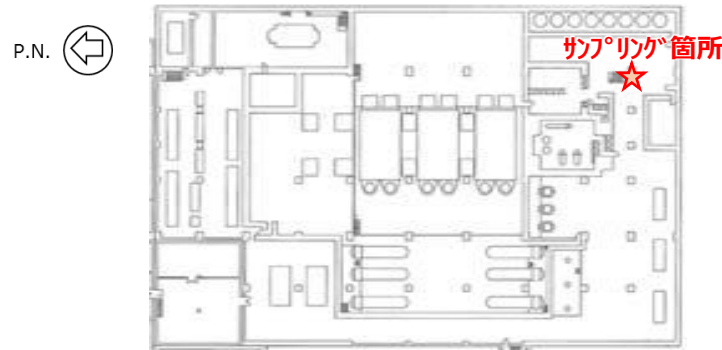
図 1.1.4-11 試料採取箇所と採取方法 (1/3)



2号機 PCV 内滞留水のサンプリング【非定例】(2013年)



3号機 PCV 内滞留水のサンプリング【非定例】(2015年)

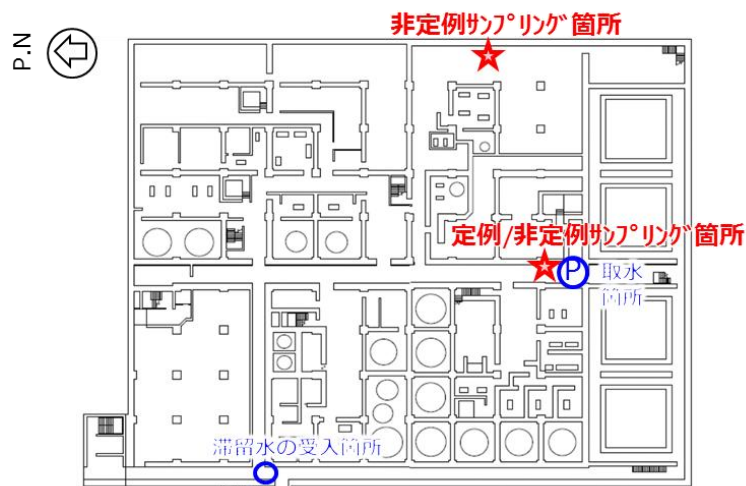


2号機 T/B 滞留水のサンプリング【非定例】(2011年)

※：記録はないものの、震災当時のため採水器によるサンプリングと想定

(2) 1～4号機のサンプリング方法

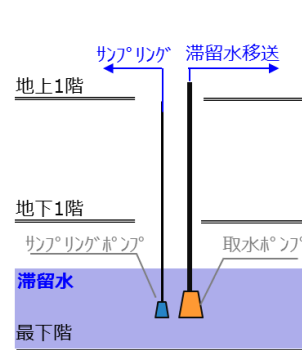
図 1.1.4-11 試料採取箇所と採取方法 (2/3)



PMB最下階平面図

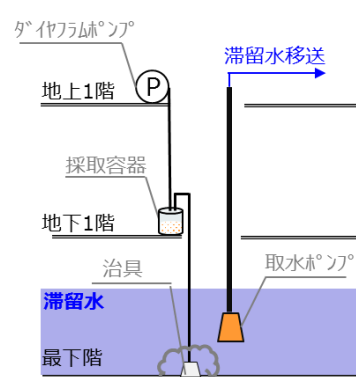


HTI 最下階平面図



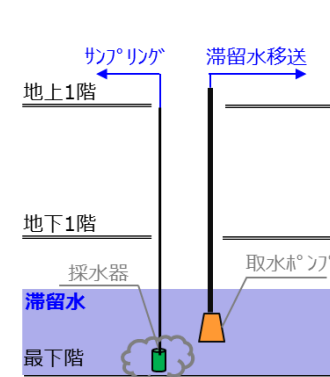
a. 定例サンプリング

取水ポンプの吸い込み高さを合わせて設置したサンプリングポンプで採水



b. 非定例サンプリング①

プロセス主建屋の床面スラッジ回収時に一緒に吸引した滞留水を分析
(2018年 Co-60, Ni-63, Tc-99, U-235, U-236, U-238)



b. 非定例サンプリング②

採水時に建屋底部に沈んでいるスラッジを巻き上げた試料を採取
(2022年 Pd-107)

(3) プロセス主建屋と高温焼却炉建屋のサンプリング方法

図 1.1.4-11 試料採取箇所と採取方法 (3/3)

表 1.1.4-33 測定機器の信頼性確認方法 (1F 構内施設における分析結果)

| 測定機器 | 標準線源 | 信頼性確認方法 | |
|----------------|---------------------------------------|----------|---|
| | | 頻度 | 方法 |
| Ge 半導体検出器 | Co-57, Ba-133, Cs-137 Mn-54, Co-60 | 日々の作業開始時 | 標準線源のエネルギー毎に検出効率を求め, 判定値以内 ($\pm 10\%$) を確認 |
| 液体シンチレーション計数装置 | H-3 | | |

表 1.1.4-34 測定機器の信頼性確認方法（社外分析結果）（1/2）

| 測定機器 | 標準線源 | 信頼性確認方法 | |
|----------------------|---|---------|---|
| | | 頻度 | 方法 |
| Ge 半導体検出器 | Am-241, Cd-109, Co-57, Ce-139, Hg- 203, Sn-113, Sr-85, Cs-137, Y-88, Co-60 | 使用の都度 | バックグラウンドを測定し、測定値が判定値以内（ 3σ ）であることを確認 |
| | — | 分析の都度 | 試料に含まれる放射性物質を測定し、得られた結果が適切であることを確認 |
| 液体シンチレーション計数装置 | H-3, C-14 | 使用の都度 | 校正用線源を用いて基準値内であることを確認 |
| ガスフロー式 β 線測定装置 | Sr-90 | 使用の都度 | 標準線源を測定し、計数値に変化がないことを確認する。 |
| β 線スペクトロメータ | Cl-36 | 使用の都度 | バックグラウンドを測定し、測定値が判定値以内（ 3σ ）であることを確認 |
| Si(Li)半導体検出器 | Ca-41 | 使用の都度 | バックグラウンドを測定し、測定値が判定値以内（ 3σ ）であることを確認 |
| 表面障壁型 Si 半導体検出器 | — | 分析の都度 | 試料に含まれる放射性物質を測定し、得られた結果が適切であることを確認 |
| | U-234 | 使用の都度 | バックグラウンドを測定し、測定値が判定値以内（ 3σ ）であることを確認 |

表 1.1.4-34 測定機器の信頼性確認方法（社外分析結果）（2/2）

| 測定機器 | 標準線源 | 信頼性確認方法 | |
|--------------|---------------|---------|--------------------------------------|
| | | 頻度 | 方法 |
| 低エネルギー光子測定装置 | Am-241（密封線源） | 使用の都度 | 所定のエネルギーの計数率で変動が、判定値以内（±10%）であることを確認 |
| ICP-MS | Co, In, U | 使用の都度 | 元素毎の強度を測定し、判定値以上を確認後、測定前に検量線を作成 |
| | Li, Ce, Y, Tl | 使用の都度 | 元素毎の強度を測定し、判定値以上を確認後、測定前に検量線を作成 |
| | Zr | 使用の都度 | 標準物質から希釈調製した標準溶液を測定して作成した検量線により定量。 |

以上

ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の検討で
核種選定の使用したデータについて

ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の検討では、インベントリ評価を実施した上で、手順１～３では同結果を踏まえた検討、手順４，５では同評価結果に加えて実測データや核種の性質を踏まえた検討を行っている。

本資料では、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の選定フローのうち、手順４までの検討で使用したデータ一覧を示す。詳細は表 1.1.4-35 の通り。

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (1/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | インベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|-------|----------------------|------------------------|----------------|---------|----------|--------|-----|----------|---------------|---------------|----------------|---------|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ※1 | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| H-3 | 6.0E+04 | 1.7E+15 | 1.3E+06 | 2.1E+01 | 対象 | 個別 | — | 対象 | 4.3E+06 | 1.0E-08 | 1.7E+07 | 2.8E+02 | 対象 |
| Be-10 | 7.0E+02 | 3.0E+09 | 2.3E+00 | 3.2E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| C-14 | 2.0E+03 | 2.5E+13 | 1.9E+04 | 9.4E+00 | 対象 | 個別 | — | 対象 | 2.6E+02 | 1.0E-10 | 2.5E+03 | 1.3E+00 | 対象 |
| Na-22 | 3.0E+02 | 1.4E+08 | 1.0E-01 | 3.4E-04 | 除外 | | | | | | | | |
| Si-32 | 1.0E+03 | 3.7E+06 | 2.8E-03 | 2.8E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| P-32 | 3.0E+02 | 3.7E+06 | 2.8E-03 | 9.4E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Cl-36 | 9.0E+02 | 3.1E+10 | 2.3E+01 | 2.6E-02 | 対象 | 個別 | — | 対象 | < 4.3E+00 | 1.0E-09 | 3.1E+01 | 3.4E-02 | 対象 |
| Ar-39 | — | 6.5E+11 | ※2 | | | | | | | | | | |
| Ar-42 | — | 3.2E+04 | ※2 | | | | | | | | | | |
| K-40 | 1.0E+02 | 4.7E+08 | 3.5E-01 | 3.5E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| K-42 | 2.0E+03 | 3.2E+04 | 2.4E-05 | 1.2E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| Ca-41 | 4.0E+03 | 1.7E+10 | 1.3E+01 | 3.2E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| Ca-45 | 1.0E+03 | 1.8E+07 | 1.4E-02 | 1.4E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Sc-46 | 6.0E+02 | 1.4E+02 | 1.1E-07 | 1.8E-10 | 除外 | | | | | | | | |
| V-49 | 4.0E+04 | 1.0E+05 | 7.5E-05 | 1.9E-09 | 除外 | | | | | | | | |
| Mn-54 | 1.0E+03 | 1.6E+12 | 1.2E+03 | 1.2E+00 | 対象 | 個別 | — | 対象 | 1.1E+05 | 1.0E-10 | 1.6E+02 | 1.6E-01 | 対象 |
| Fe-55 | 2.0E+03 | 1.1E+16 | 8.4E+06 | 4.2E+03 | 対象 | 個別 | — | 対象 | 2.1E+01 | 1.0E-14 | 1.1E+02 | 5.6E-02 | 対象 |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

※2：手順 2 で除外

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (2/13)

| 核種 | 告示濃度 [Bq/L] | インベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|--------|----------------|------------------------|----------------|---------|----------|--------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|---------|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ※1 | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| Co-60 | 2.0E+02 | 3.6E+16 | 2.7E+07 | 1.4E+05 | 対象 | 個別 | — | 対象 | 1.2E+05 | 1.0E-12 | 3.6E+04 | 1.8E+02 | 対象 |
| Ni-59 | 1.0E+04 | 7.3E+13 | 5.5E+04 | 5.5E+00 | 対象 | 1 | 5.2E-03 | 除外 | | | | | |
| Ni-63 | 6.0E+03 | 8.5E+15 | 6.4E+06 | 1.1E+03 | 対象 | 1 | 1.0E+00 | 対象 | 5.2E+03 | 1.0E-12 | 8.5E+03 | 1.4E+00 | 対象 |
| Zn-65 | 2.0E+02 | 4.0E+09 | 3.0E+00 | 1.5E-02 | 対象 | 個別 | — | 対象 | < 1.6E+01 | 1.0E-11 | 4.0E-02 | 2.0E-04 | 除外 |
| Se-75 | 3.0E+02 | 3.9E+03 | 3.0E-06 | 9.9E-09 | 除外 | | | | | | | | |
| Se-79 | 2.0E+02 | 3.7E+11 | 2.8E+02 | 1.4E+00 | 対象 | 個別 | — | 対象 | 8.3E+03 | 1.0E-07 | 3.7E+04 | 1.8E+02 | 対象 |
| Kr-81 | — | 4.5E+10 | ※2 | | | | | | | | | | |
| Kr-85 | — | 3.3E+16 | ※2 | | | | | | | | | | |
| Rb-87 | 6.0E+02 | 3.1E+08 | 2.4E-01 | 3.9E-04 | 除外 | | | | | | | | |
| Sr-90 | 3.0E+01 | 3.9E+17 | 3.0E+08 | 9.9E+06 | 対象 | 2 | 1.0E+00 | 対象 | 2.9E+08 | 1.0E-09 | 3.9E+08 | 1.3E+07 | 対象 |
| Y-88 | 7.0E+02 | 2.1E+00 | 1.6E-09 | 2.3E-12 | 除外 | | | | | | | | |
| Y-90 | 3.0E+02 | 3.9E+17 | 3.0E+08 | 9.9E+05 | 対象 | 2 | 1.0E-01 | 対象 | — | 1.0E-09 | 3.9E+08 | 1.3E+06 | 対象 |
| Zr-93 | 1.0E+03 | 1.4E+13 | 1.0E+04 | 1.0E+01 | 対象 | 個別 | — | 除外 | < 1.3E+00 | 1.0E-13 | 1.4E+00 | 1.4E-03 | 除外 |
| Nb-91 | 2.0E+04 | 9.3E+05 | 7.0E-04 | 3.5E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| Nb-92 | 9.0E+02 | 9.4E+06 | 7.1E-03 | 7.9E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Nb-93m | 7.0E+03 | 6.3E+12 | 4.8E+03 | 6.8E-01 | 対象 | 3 | 1.0E+00 | 対象 | < 5.2E+01 | 1.0E-10 | 6.3E+02 | 9.0E-02 | 対象 |
| Nb-94 | 5.0E+02 | 9.0E+11 | 6.7E+02 | 1.3E+00 | 対象 | 3 | 2.0E+00 | 対象 | < 6.8E-01 | 1.0E-10 | 9.0E+01 | 1.8E-01 | 対象 |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照
 ※2：手順 2 で除外

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (3/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | イベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|---------|----------------------|-----------------------|----------------|---------|----------|--------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|---------|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ※1 | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [l/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| Mo-93 | 3.0E+02 | 1.4E+12 | 1.1E+03 | 3.6E+00 | 対象 | 個別 | — | 対象 | < 1.4E+00 | 1.0E-11 | 1.4E+01 | 4.8E-02 | 対象 |
| Tc-97 | 1.0E+04 | 1.1E+07 | 8.4E-03 | 8.4E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Tc-98 | 4.0E+02 | 3.1E+07 | 2.3E-02 | 5.8E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Tc-99 | 1.0E+03 | 9.4E+13 | 7.1E+04 | 7.1E+01 | 対象 | 個別 | — | 対象 | 1.1E+02 | 1.0E-11 | 9.4E+02 | 9.4E-01 | 対象 |
| Ru-106 | 1.0E+02 | 7.5E+14 | 5.7E+05 | 5.7E+03 | 対象 | 4 | 1.0E+00 | 対象 | 1.2E+05 | 1.0E-12 | 7.5E+02 | 7.5E+00 | 対象 |
| Rh-101 | 2.0E+03 | 4.1E+05 | 3.1E-04 | 1.6E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Rh-102 | 4.0E+02 | 2.6E+07 | 2.0E-02 | 4.9E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Rh-102m | 7.0E+02 | 5.7E+07 | 4.3E-02 | 6.1E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Rh-106 | 3.0E+05 | 7.6E+14 | 5.7E+05 | 1.9E+00 | 対象 | 4 | 3.3E-04 | 除外 | | | | | |
| Pd-107 | 2.0E+04 | 6.1E+11 | 4.6E+02 | 2.3E-02 | 対象 | 4 | 4.1E-06 | 除外 | | | | | |
| Ag-108 | 2.0E+05 | 1.5E+10 | 1.1E+01 | 5.6E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Ag-108m | 4.0E+02 | 1.7E+11 | 1.3E+02 | 3.2E-01 | 対象 | 5 | 1.5E+00 | 対象 | — | 1.0E-12 | 1.7E-01 | 4.3E-04 | 除外 |
| Ag-109m | 5.0E+06 | 3.6E+10 | 2.7E+01 | 5.4E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Ag-110 | 5.0E+05 | 1.2E+09 | 9.0E-01 | 1.8E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Ag-110m | 3.0E+02 | 8.8E+10 | 6.6E+01 | 2.2E-01 | 対象 | 5 | 1.0E+00 | 対象 | < 1.0E+01 | 1.0E-12 | 8.8E-02 | 2.9E-04 | 除外 |
| Cd-109 | 4.0E+02 | 3.6E+10 | 2.7E+01 | 6.7E-02 | 対象 | 6 | 4.4E-05 | 除外 | | | | | |
| Cd-113m | 4.0E+01 | 8.2E+13 | 6.1E+04 | 1.5E+03 | 対象 | 6 | 1.0E+00 | 対象 | < 1.7E-01 | 1.0E-14 | 8.2E-01 | 2.0E-02 | 対象 |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (4/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | インベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|---------|----------------------|------------------------|----------------|---------|----------|--------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|---------|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ※1 | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| In-113m | 3.0E+04 | 6.6E+04 | 4.9E-05 | 1.6E-09 | 除外 | | | | | | | | |
| In-115 | 3.0E+01 | 1.4E+04 | 1.1E-05 | 3.6E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Sn-113 | 1.0E+03 | 6.6E+04 | 4.9E-05 | 4.9E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| Sn-119m | 2.0E+03 | 5.9E+10 | 4.4E+01 | 2.2E-02 | 対象 | 7 | 6.5E-04 | 除外 | | | | | |
| Sn-121 | 4.0E+03 | 7.1E+13 | 5.3E+04 | 1.3E+01 | 対象 | 7 | 3.9E-01 | 対象 | — | 1.0E-13 | 7.1E+00 | 1.8E-03 | 除外 |
| Sn-121m | 2.0E+03 | 9.1E+13 | 6.9E+04 | 3.4E+01 | 対象 | 7 | 1.0E+00 | 対象 | < 9.2E+00 | 1.0E-13 | 9.1E+00 | 4.6E-03 | 除外 |
| Sn-123 | 4.0E+02 | 4.4E+05 | 3.3E-04 | 8.3E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Sn-126 | 2.0E+02 | 1.6E+12 | 1.2E+03 | 6.1E+00 | 対象 | 7 | 1.8E-01 | 対象 | < 3.9E+00 | 1.0E-13 | 1.6E-01 | 8.1E-04 | 除外 |
| Sb-125 | 8.0E+02 | 2.9E+15 | 2.2E+06 | 2.7E+03 | 対象 | 8 | 1.0E+00 | 対象 | 4.3E+05 | 1.0E-11 | 2.9E+04 | 3.6E+01 | 対象 |
| Sb-126 | 4.0E+02 | 2.3E+11 | 1.7E+02 | 4.2E-01 | 対象 | 7 | 1.2E-02 | 対象 | — | 1.0E-13 | 2.3E-02 | 5.6E-05 | 除外 |
| Sb-126m | 2.0E+04 | 1.6E+12 | 1.2E+03 | 6.1E-02 | 対象 | 7 | 1.8E-03 | 除外 | | | | | |
| Te-121 | 2.0E+03 | 2.5E+03 | 1.9E-06 | 9.3E-10 | 除外 | | | | | | | | |
| Te-121m | 4.0E+02 | 2.5E+03 | 1.9E-06 | 4.7E-09 | 除外 | | | | | | | | |
| Te-123 | 2.0E+02 | 3.6E+04 | 2.7E-05 | 1.4E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Te-123m | 6.0E+02 | 5.5E+04 | 4.2E-05 | 6.9E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| Te-125m | 9.0E+02 | 1.1E+15 | 8.0E+05 | 8.9E+02 | 対象 | 8 | 3.3E-01 | 対象 | — | 1.0E-11 | 1.1E+04 | 1.2E+01 | 対象 |
| Te-127 | 5.0E+03 | 3.2E+04 | 2.4E-05 | 4.8E-09 | 除外 | | | | | | | | |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (5/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | インベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|---------|----------------------|------------------------|----------------|---------|----------|--------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|---------|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ※1 | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| Te-127m | 3.0E+02 | 3.2E+04 | 2.4E-05 | 8.1E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| I-129 | 9.0E+00 | 1.6E+11 | 1.2E+02 | 1.4E+01 | 対象 | 個別 | — | 対象 | 1.2E+03 | 1.0E-08 | 1.6E+03 | 1.8E+02 | 対象 |
| Cs-134 | 6.0E+01 | 2.5E+16 | 1.8E+07 | 3.1E+05 | 対象 | 9 | 7.0E-02 | 対象 | 2.2E+09 | 1.0E-08 | 2.5E+08 | 4.1E+06 | 対象 |
| Cs-135 | 6.0E+02 | 3.5E+12 | 2.6E+03 | 4.4E+00 | 対象 | 9 | 9.9E-07 | 除外 | | | | | |
| Cs-137 | 9.0E+01 | 5.3E+17 | 4.0E+08 | 4.4E+06 | 対象 | 9 | 1.0E+00 | 対象 | 2.4E+09 | 1.0E-08 | 5.3E+09 | 5.9E+07 | 対象 |
| Ba-133 | 5.0E+02 | 1.7E+11 | 1.3E+02 | 2.5E-01 | 対象 | 個別 | — | 対象 | < 2.6E+00 | 1.0E-09 | 1.7E+02 | 3.3E-01 | 対象 |
| Ba-137m | 8.0E+05 | 5.0E+17 | 3.8E+08 | 4.7E+02 | 対象 | 9 | 1.1E-04 | 除外 | | | | | |
| La-137 | 1.0E+04 | 4.8E+07 | 3.6E-02 | 3.6E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| La-138 | 8.0E+02 | 1.1E+05 | 8.6E-05 | 1.1E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Ce-139 | 3.0E+03 | 2.0E+04 | 1.5E-05 | 5.0E-09 | 除外 | | | | | | | | |
| Ce-142 | 7.0E-01 | 1.8E+08 | 1.4E-01 | 2.0E-01 | 対象 | 10 | 8.3E-06 | 除外 | | | | | |
| Ce-144 | 2.0E+02 | 1.7E+14 | 1.3E+05 | 6.3E+02 | 対象 | 10 | 2.7E-02 | 対象 | 3.7E+05 | 1.0E-13 | 1.7E+01 | 8.4E-02 | 対象 |
| Pr-144 | 2.0E+04 | 1.7E+14 | 1.3E+05 | 6.3E+00 | 対象 | 10 | 2.7E-04 | 除外 | | | | | |
| Pr-144m | 4.0E+04 | 2.5E+12 | 1.9E+03 | 4.8E-02 | 対象 | 10 | 2.0E-06 | 除外 | | | | | |
| Nd-144 | 2.0E+01 | 1.1E+04 | 8.4E-06 | 4.2E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Pm-144 | 9.0E+02 | 1.0E+02 | 7.8E-08 | 8.6E-11 | 除外 | | | | | | | | |
| Pm-145 | 7.0E+03 | 7.8E+10 | 5.8E+01 | 8.4E-03 | 除外 | | | | | | | | |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (6/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | イベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | | |
|--------|----------------------|-----------------------|----------------|---------|----------|--------------------|-----------------------|----------|---------------|---------------|----------------|---------|----------|--|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ ^{※1} | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | |
| Pm-146 | 9.0E+02 | 3.6E+12 | 2.7E+03 | 3.0E+00 | 対象 | 10 | 1.3E-04 | 除外 | | | | | | |
| Pm-147 | 3.0E+03 | 5.6E+16 | 4.2E+07 | 1.4E+04 | 対象 | 10 | 5.9E-01 | 対象 | — | 1.0E-13 | 5.6E+03 | 1.9E+00 | 対象 | |
| Sm-145 | 4.0E+03 | 1.2E+08 | 8.9E-02 | 2.2E-05 | 除外 | | | | | | | | | |
| Sm-146 | 2.0E+01 | 7.1E+05 | 5.3E-04 | 2.7E-05 | 除外 | | | | | | | | | |
| Sm-147 | 2.0E+01 | 4.7E+07 | 3.5E-02 | 1.8E-03 | 除外 | | | | | | | | | |
| Sm-148 | 2.0E+01 | 2.6E+02 | 2.0E-07 | 9.9E-09 | 除外 | | | | | | | | | |
| Sm-149 | 2.0E-01 | 6.1E+00 | 4.6E-09 | 2.3E-08 | 除外 | | | | | | | | | |
| Sm-151 | 8.0E+03 | 2.2E+15 | 1.6E+06 | 2.0E+02 | 対象 | 10 | 8.5E-03 ^{※2} | 対象 | — | 1.0E-13 | 2.2E+02 | 2.7E-02 | 対象 | |
| Eu-150 | 7.0E+02 | 1.2E+08 | 8.9E-02 | 1.3E-04 | 除外 | | | | | | | | | |
| Eu-152 | 6.0E+02 | 9.0E+12 | 6.8E+03 | 1.1E+01 | 対象 | 10 | 4.8E-04 | 除外 | | | | | | |
| Eu-154 | 4.0E+02 | 1.3E+16 | 9.5E+06 | 2.4E+04 | 対象 | 10 | 1.0E+00 | 対象 | 1.9E+03 | 1.0E-13 | 1.3E+03 | 3.2E+00 | 対象 | |
| Eu-155 | 3.0E+03 | 3.8E+15 | 2.8E+06 | 9.5E+02 | 対象 | 10 | 4.0E-02 | 対象 | — | 1.0E-13 | 3.8E+02 | 1.3E-01 | 対象 | |
| Gd-152 | 2.0E+01 | 1.4E+01 | 1.0E-08 | 5.1E-10 | 除外 | | | | | | | | | |
| Gd-153 | 3.0E+03 | 1.1E+09 | 8.0E-01 | 2.7E-04 | 除外 | | | | | | | | | |
| Tb-157 | 2.0E+04 | 2.6E+09 | 1.9E+00 | 9.7E-05 | 除外 | | | | | | | | | |
| Tb-158 | 8.0E+02 | 2.1E+09 | 1.6E+00 | 2.0E-03 | 除外 | | | | | | | | | |
| Dy-159 | 8.0E+03 | 6.9E+01 | 5.2E-08 | 6.5E-12 | 除外 | | | | | | | | | |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

※2：代表核種 Eu-154 より半減期が長く、放出期間中に相対比が 0.01 を上回ることから除外しない

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (7/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | インベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|---------|----------------------|------------------------|----------------|---------|----------|--------------------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|-----|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ ^{※1} | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| Ho-163 | 1.0E+05 | 5.9E+07 | 4.5E-02 | 4.5E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Ho-166m | 4.0E+02 | 2.6E+10 | 1.9E+01 | 4.8E-02 | 対象 | 10 | 2.0E-06 | 除外 | | | | | |
| Tm-170 | 6.0E+02 | 1.9E+06 | 1.4E-03 | 2.4E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Tm-171 | 7.0E+03 | 5.3E+12 | 4.0E+03 | 5.7E-01 | 対象 | 10 | 2.4E-05 | 除外 | | | | | |
| Lu-176 | 5.0E+02 | 1.9E+06 | 1.5E-03 | 2.9E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Lu-177 | 2.0E+03 | 1.8E+06 | 1.3E-03 | 6.6E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Lu-177m | 5.0E+02 | 7.7E+06 | 5.8E-03 | 1.2E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Hf-182 | 3.0E+02 | 8.0E+06 | 6.0E-03 | 2.0E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Ta-182 | 6.0E+02 | 8.2E+06 | 6.1E-03 | 1.0E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| W-181 | 1.0E+04 | 3.2E+03 | 2.4E-06 | 2.4E-10 | 除外 | | | | | | | | |
| Re-187 | 2.0E+05 | 5.8E+06 | 4.3E-03 | 2.2E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| Os-194 | 3.0E+02 | 5.3E+08 | 4.0E-01 | 1.3E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| Ir-192 | 6.0E+02 | 2.0E+07 | 1.5E-02 | 2.5E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Ir-192m | 3.0E+03 | 2.0E+07 | 1.5E-02 | 4.9E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Ir-194 | 6.0E+02 | 5.3E+08 | 4.0E-01 | 6.6E-04 | 除外 | | | | | | | | |
| Ir-194m | 4.0E+02 | 1.2E+04 | 9.3E-06 | 2.3E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| Pt-190 | 1.0E+02 | 6.5E+03 | 4.9E-06 | 4.9E-08 | 除外 | | | | | | | | |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (8/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | インベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|---------|----------------------|------------------------|----------------|---------|----------|--------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|-----|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ※1 | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| Pt-193 | 3.0E+04 | 9.7E+12 | 7.3E+03 | 2.4E-01 | 対象 | 4 | 4.3E-05 | 除外 | | | | | |
| Tl-204 | 7.0E+02 | 1.4E+13 | 1.1E+04 | 1.5E+01 | 対象 | 9 | 3.5E-06 | 除外 | | | | | |
| Tl-206 | 1.0E+05 | 6.5E+05 | 4.9E-04 | 4.9E-09 | 除外 | | | | | | | | |
| Tl-207 | 1.0E+05 | 7.2E+07 | 5.4E-02 | 5.4E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Tl-208 | 1.0E+05 | 4.3E+10 | 3.2E+01 | 3.2E-04 | 除外 | | | | | | | | |
| Tl-209 | 1.0E+05 | 2.8E+04 | 2.1E-05 | 2.1E-10 | 除外 | | | | | | | | |
| Pb-205 | 3.0E+03 | 2.8E+06 | 2.1E-03 | 7.1E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Pb-209 | 1.0E+04 | 1.3E+06 | 9.8E-04 | 9.8E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| Pb-210 | 1.0E+00 | 5.3E+06 | 4.0E-03 | 4.0E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| Pb-211 | 4.0E+03 | 7.2E+07 | 5.4E-02 | 1.4E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Pb-212 | 1.0E+02 | 1.2E+11 | 8.9E+01 | 8.9E-01 | 対象 | 11-3 | 1.7E-03 | 除外 | | | | | |
| Pb-214 | 5.0E+03 | 1.6E+07 | 1.2E-02 | 2.5E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Bi-208 | 8.0E+02 | 2.5E+06 | 1.9E-03 | 2.3E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Bi-210 | 6.0E+02 | 5.3E+06 | 4.0E-03 | 6.6E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Bi-210m | 5.0E+01 | 6.5E+05 | 4.9E-04 | 9.8E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Bi-211 | 7.0E+04 | 7.2E+07 | 5.4E-02 | 7.7E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Bi-212 | 3.0E+03 | 1.2E+11 | 8.9E+01 | 3.0E-02 | 対象 | 11-3 | 5.8E-05 | 除外 | | | | | |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (9/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | インベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|--------|----------------------|------------------------|----------------|---------|----------|--------------------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|-----|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ ^{※1} | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| Bi-213 | 4.0E+03 | 1.3E+06 | 9.8E-04 | 2.4E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Bi-214 | 7.0E+03 | 1.6E+07 | 1.2E-02 | 1.8E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Po-210 | 6.0E-01 | 5.3E+06 | 4.0E-03 | 6.6E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| Po-211 | 4.0E+03 | 2.0E+05 | 1.5E-04 | 3.8E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| Po-212 | 4.0E+03 | 7.6E+10 | 5.7E+01 | 1.4E-02 | 対象 | 11-3 | 2.8E-05 | 除外 | | | | | |
| Po-213 | 4.0E+03 | 1.3E+06 | 9.6E-04 | 2.4E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Po-214 | 4.0E+03 | 1.6E+07 | 1.2E-02 | 3.1E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Po-215 | 4.0E+03 | 7.2E+07 | 5.4E-02 | 1.4E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Po-216 | 4.0E+03 | 1.2E+11 | 8.9E+01 | 2.2E-02 | 対象 | 11-3 | 4.4E-05 | 除外 | | | | | |
| Po-218 | 2.0E+04 | 1.6E+07 | 1.2E-02 | 6.1E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| At-217 | 4.0E+03 | 1.3E+06 | 9.8E-04 | 2.4E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Rn-219 | 4.0E+03 | 7.2E+07 | 5.4E-02 | 1.4E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Rn-220 | 4.0E+03 | 1.2E+11 | 8.9E+01 | 2.2E-02 | 対象 | 11-3 | 4.4E-05 | 除外 | | | | | |
| Rn-222 | 5.0E+00 | 1.6E+07 | 1.2E-02 | 2.5E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| Fr-221 | 5.0E+03 | 1.3E+06 | 9.8E-04 | 2.0E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Fr-223 | 3.0E+02 | 9.9E+05 | 7.5E-04 | 2.5E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Ra-223 | 5.0E+00 | 7.2E+07 | 5.4E-02 | 1.1E-02 | 対象 | 11-2 | 2.1E-05 | 除外 | | | | | |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (10/13)

| 核種 | 告示濃度 [Bq/L] | インベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|--------|----------------|------------------------|----------------|---------|----------|--------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|---------|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ※1 | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| Ra-224 | 9.0E+00 | 1.2E+11 | 8.9E+01 | 9.9E+00 | 対象 | 11-3 | 1.9E-02 | 対象 | — | 1.0E-13 | 1.2E-02 | 1.3E-03 | 除外 |
| Ra-225 | 5.0E+00 | 1.3E+06 | 9.8E-04 | 2.0E-04 | 除外 | | | | | | | | |
| Ra-226 | 2.0E+00 | 1.6E+07 | 1.2E-02 | 6.1E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| Ra-228 | 7.0E-01 | 1.8E+07 | 1.3E-02 | 1.9E-02 | 対象 | 11-3 | 3.8E-05 | 除外 | | | | | |
| Ac-225 | 3.0E+01 | 1.3E+06 | 9.8E-04 | 3.3E-05 | 除外 | | | | | | | | |
| Ac-227 | 8.0E-01 | 7.2E+07 | 5.4E-02 | 6.8E-02 | 対象 | 11-2 | 1.3E-04 | 除外 | | | | | |
| Ac-228 | 2.0E+03 | 1.8E+07 | 1.3E-02 | 6.7E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Th-227 | 8.0E+01 | 7.1E+07 | 5.3E-02 | 6.7E-04 | 除外 | | | | | | | | |
| Th-228 | 9.0E+00 | 1.2E+11 | 8.9E+01 | 9.9E+00 | 対象 | 11-3 | 1.9E-02 | 対象 | — | 1.0E-13 | 1.2E-02 | 1.3E-03 | 除外 |
| Th-229 | 2.0E+00 | 1.3E+06 | 9.8E-04 | 4.9E-04 | 除外 | | | | | | | | |
| Th-230 | 4.0E+00 | 2.4E+09 | 1.8E+00 | 4.5E-01 | 対象 | 11-1 | 8.9E-04 | 除外 | | | | | |
| Th-231 | 2.0E+03 | 3.7E+11 | 2.8E+02 | 1.4E-01 | 対象 | 11-2 | 2.7E-04 | 除外 | | | | | |
| Th-232 | 4.0E+00 | 1.8E+07 | 1.4E-02 | 3.4E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| Th-234 | 2.0E+02 | 3.0E+12 | 2.3E+03 | 1.1E+01 | 対象 | 11-1 | 2.2E-02 | 対象 | — | 1.0E-13 | 3.0E-01 | 1.5E-03 | 除外 |
| Pa-231 | 1.0E+00 | 2.6E+08 | 2.0E-01 | 2.0E-01 | 対象 | 11-2 | 3.8E-04 | 除外 | | | | | |
| Pa-233 | 9.0E+02 | 1.7E+12 | 1.3E+03 | 1.4E+00 | 対象 | 12 | 1.0E-02 | 対象 | — | 1.0E-12 | 1.7E+00 | 1.9E-03 | 除外 |
| Pa-234 | 2.0E+03 | 3.9E+09 | 3.0E+00 | 1.5E-03 | 除外 | | | | | | | | |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (11/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | インベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|---------|----------------------|------------------------|----------------|---------|----------|--------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|---------|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ※1 | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| Pa-234m | 3.0E+05 | 3.0E+12 | 2.3E+03 | 7.6E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| U-232 | 3.0E+00 | 1.2E+11 | 9.2E+01 | 3.1E+01 | 対象 | 11 | 6.0E-02 | 対象 | — | 1.0E-13 | 1.2E-02 | 4.1E-03 | 除外 |
| U-233 | 2.0E+01 | 4.0E+08 | 3.0E-01 | 1.5E-02 | 対象 | 11 | 3.0E-05 | 除外 | | | | | |
| U-234 | 2.0E+01 | 1.4E+13 | 1.0E+04 | 5.1E+02 | 対象 | 11 | 1.0E+00 | 対象 | 1.6E-01 | 1.0E-13 | 1.4E+00 | 6.8E-02 | 対象 |
| U-235 | 2.0E+01 | 3.7E+11 | 2.8E+02 | 1.4E+01 | 対象 | 11 | 2.7E-02 | 対象 | 4.9E-03 | 1.0E-13 | 3.7E-02 | 1.8E-03 | 除外 |
| U-236 | 2.0E+01 | 2.0E+12 | 1.5E+03 | 7.5E+01 | 対象 | 11 | 1.5E-01 | 対象 | 2.8E-02 | 1.0E-13 | 2.0E-01 | 9.9E-03 | 除外 |
| U-237 | 1.0E+03 | 1.1E+13 | 8.0E+03 | 8.0E+00 | 対象 | 13 | 2.7E-06 | 除外 | | | | | |
| U-238 | 2.0E+01 | 3.0E+12 | 2.3E+03 | 1.1E+02 | 対象 | 11 | 2.2E-01 | 対象 | 4.5E-02 | 1.0E-13 | 3.0E-01 | 1.5E-02 | 対象 |
| U-240 | 7.0E+02 | 1.7E+06 | 1.3E-03 | 1.9E-06 | 除外 | | | | | | | | |
| Np-235 | 1.0E+04 | 7.6E+06 | 5.7E-03 | 5.7E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Np-236 | 6.0E+01 | 2.6E+07 | 1.9E-02 | 3.2E-04 | 除外 | | | | | | | | |
| Np-237 | 9.0E+00 | 1.7E+12 | 1.3E+03 | 1.4E+02 | 対象 | 12 | 1.0E+00 | 対象 | 5.3E-01 | 1.0E-12 | 1.7E+00 | 1.9E-01 | 対象 |
| Np-238 | 9.0E+02 | 4.5E+11 | 3.4E+02 | 3.8E-01 | 対象 | 14 | 1.9E-07 | 除外 | | | | | |
| Np-239 | 1.0E+03 | 8.5E+13 | 6.4E+04 | 6.4E+01 | 対象 | 14 | 3.2E-05 | 除外 | | | | | |
| Np-240m | 5.0E+04 | 1.7E+06 | 1.3E-03 | 2.6E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| Pu-236 | 1.0E+01 | 1.1E+11 | 8.2E+01 | 8.2E+00 | 対象 | 13 | 2.7E-06 | 除外 | | | | | |
| Pu-238 | 4.0E+00 | 1.6E+16 | 1.2E+07 | 3.0E+06 | 対象 | 13 | 1.0E+00 | 対象 | 9.3E+00※2 | 1.0E-15 | 1.6E+01 | 4.0E+00 | 対象 |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

※2：FRAnDLi のデータは分析値から 2011/3/11 の基準日へ単純な減衰補正をしているものの、親核種からも生成されることから、今回の検討の中で親核種から生成を考慮した減衰補正を実施

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (12/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | イベントリ 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|---------|----------------------|-----------------------|----------------|---------|----------|--------------------|---------|----------|-----------------------|---------------|----------------|---------|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ ^{※1} | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| Pu-239 | 4.0E+00 | 2.6E+15 | 2.0E+06 | 5.0E+05 | 対象 | 13 | 1.7E-01 | 対象 | 2.0E+00 ^{※2} | 1.0E-15 | 2.6E+00 | 6.6E-01 | 対象 |
| Pu-240 | 4.0E+00 | 3.3E+15 | 2.5E+06 | 6.3E+05 | 対象 | 13 | 2.1E-01 | 対象 | 2.0E+00 ^{※2} | 1.0E-15 | 3.3E+00 | 8.4E-01 | 対象 |
| Pu-241 | 2.0E+02 | 4.3E+17 | 3.3E+08 | 1.6E+06 | 対象 | 13 | 5.5E-01 | 対象 | — | 1.0E-15 | 4.3E+02 | 2.2E+00 | 対象 |
| Pu-242 | 4.0E+00 | 1.1E+13 | 8.4E+03 | 2.1E+03 | 対象 | 13 | 7.1E-04 | 除外 | | | | | |
| Pu-243 | 9.0E+03 | 5.4E+05 | 4.0E-04 | 4.5E-08 | 除外 | | | | | | | | |
| Pu-244 | 4.0E+00 | 1.7E+06 | 1.3E-03 | 3.2E-04 | 除外 | | | | | | | | |
| Am-241 | 5.0E+00 | 1.3E+16 | 9.9E+06 | 2.0E+06 | 対象 | 14 | 1.0E+00 | 対象 | 3.4E+00 ^{※3} | 1.0E-15 | 1.3E+01 | 2.6E+00 | 対象 |
| Am-242 | 3.0E+03 | 9.0E+13 | 6.7E+04 | 2.2E+01 | 対象 | 14 | 1.1E-05 | 除外 | | | | | |
| Am-242m | 5.0E+00 | 9.0E+13 | 6.8E+04 | 1.4E+04 | 対象 | 14 | 6.9E-03 | 除外 | | | | | |
| Am-243 | 5.0E+00 | 8.5E+13 | 6.4E+04 | 1.3E+04 | 対象 | 14 | 6.5E-03 | 除外 | | | | | |
| Am-245 | 1.0E+04 | 6.3E+00 | 4.7E-09 | 4.7E-13 | 除外 | | | | | | | | |
| Cm-242 | 6.0E+01 | 7.4E+13 | 5.6E+04 | 9.3E+02 | 対象 | 14 | 4.7E-04 | 除外 | | | | | |
| Cm-243 | 6.0E+00 | 7.5E+13 | 5.7E+04 | 9.4E+03 | 対象 | 14 | 4.8E-03 | 除外 | | | | | |
| Cm-244 | 7.0E+00 | 6.5E+15 | 4.8E+06 | 6.9E+05 | 対象 | 14 | 3.5E-01 | 対象 | 3.5E+00 | 1.0E-15 | 6.5E+00 | 9.2E-01 | 対象 |
| Cm-245 | 5.0E+00 | 1.1E+12 | 8.2E+02 | 1.6E+02 | 対象 | 14 | 8.3E-05 | 除外 | | | | | |
| Cm-246 | 5.0E+00 | 1.8E+11 | 1.3E+02 | 2.6E+01 | 対象 | 14 | 1.3E-05 | 除外 | | | | | |
| Cm-247 | 5.0E+00 | 5.4E+05 | 4.0E-04 | 8.1E-05 | 除外 | | | | | | | | |

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照
 ※2：Pu-239+240 の分析結果を記載
 ※3：FRAnDLi のデータは分析値から 2011/3/11 の基準日へ単純な減衰補正をしているものの、親核種からも生成されることから、今回の検討の中で親核種から生成を考慮した減衰補正を実施

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (13/13)

| 核種 | 告示濃度 限度 [Bq/L] | イベント 評価結果 [Bq] | 手順 3 | | | 手順 4 | | | | | | | |
|--------|----------------------|----------------------|----------------|---------|----------|--------------------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|-----|----------|
| | | | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 | グループ ^{※1} | 相対比 | 評価 結果 | 分析値 [Bq/L] | 移行係数 [1/L] | 評価濃度 [Bq/L] | 告示比 | 評価 結果 |
| Cm-248 | 1.0E+00 | 1.4E+06 | 1.0E-03 | 1.0E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| Bk-249 | 9.0E+02 | 4.3E+05 | 3.3E-04 | 3.6E-07 | 除外 | | | | | | | | |
| Cf-249 | 2.0E+00 | 1.3E+07 | 9.7E-03 | 4.9E-03 | 除外 | | | | | | | | |
| Cf-250 | 5.0E+00 | 7.1E+07 | 5.3E-02 | 1.1E-02 | 対象 | 14 | 5.4E-09 | 除外 | | | | | |
| Cf-251 | 2.0E+00 | 7.1E+05 | 5.4E-04 | 2.7E-04 | 除外 | | | | | | | | |
| Cf-252 | 7.0E+00 | 9.6E+06 | 7.2E-03 | 1.0E-03 | 除外 | | | | | | | | |

※1: グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

以上

ALPS 処理水希釈放出設備の運転管理に関する補足説明

1. 概要

放射性液体廃棄物処理施設で処理した放射性液体廃棄物のうち、トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比総和 1 未満を満足した ALPS 処理水を排水する際には、敷地境界における実効線量を達成できる限り低減するために、多量の海水による希釈により、排水中の放射性物質の濃度を低減する。そのため、ALPS 処理水希釈放出設備では次に示す事項を満足させる運転管理を実施する。

- ・ 代表的な試料がサンプリングできるように循環攪拌の運転時間は第三リン酸ナトリウムを試薬として用いた循環攪拌実証試験により、適切に設定する。また、循環攪拌前のタンク内のトリチウム濃度のばらつきを少なくするため、測定・確認用設備に受け入れる ALPS 処理水は、トリチウム濃度が大きく異なるものを受け入れるよう計画する。
- ・ 海水による ALPS 処理水の希釈倍率が 100 倍以上となるよう、ALPS 処理水流量は測定・確認工程で測定・確認したトリチウム濃度に応じて、ALPS 処理水移送ポンプ、ALPS 処理水流量調整弁、ALPS 処理水流量計等により、ALPS 処理水の流量を最大 500 m³/日（最小流量（年平均）は汚染水発生量以上とする。）の範囲で運転するとともに、海水移送ポンプ（17 万 m³/日/台）は常時 2 台以上運転する。なお、海洋放出初期は、放水立坑（上流水槽）において想定通り希釈できていること及び運用手順を確実に実施できることを検証するため、少量放出を慎重に実施する。
- ・ 放出水中に含まれるトリチウム濃度が 1,500 Bq/L 未満となるまで十分な混合希釈効果を得られるよう、海洋放出する ALPS 処理水のトリチウム濃度の上限を 100 万 Bq/L とした上で、海洋放出の全体工程における不確かさや数値シミュレーションの結果を踏まえ、放出水中のトリチウム濃度（運用値）を設定する。
- ・ 年間のトリチウム放出量が 22 兆 Bq の範囲に収まるよう年度ごとに ALPS 処理水の年間放出計画を定め、当該計画に沿った放出を行う。なお、年間のトリチウム放出計画は、廃炉に向けた全体リスクを考慮して定期的に見直す。

これらの事項を満足させるため、ALPS 処理水希釈放出設備の具体的な運転管理を次の通り実施する。

2. ALPS 処理水希釈放出設備の運転管理

ALPS 処理水希釈放出設備では、ALPS 処理水の①受入、②測定・確認、③放出の 3 工程を行う。(図 1.1.5-1 参照)

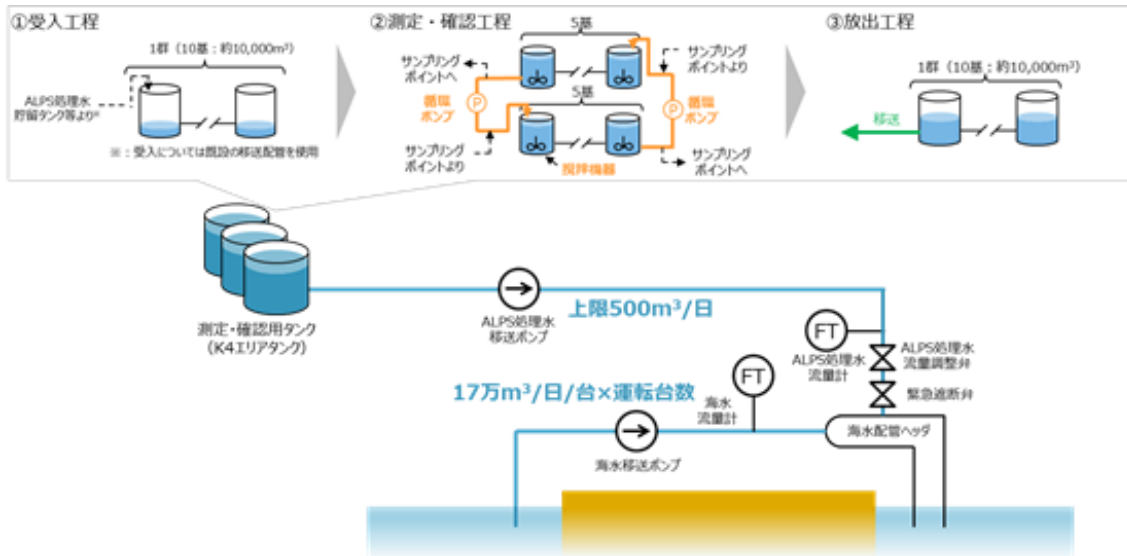


図 1.1.5-1 ALPS 処理水希釈放出設備の工程概要

2.1 測定・確認用設備の作業工程

①受入、②測定・確認、③放出の工程概要は以下の通り。

① 受入工程

監視・制御装置にて「受入工程」実行操作を行うことで、測定・確認用設備の系統構成を行い、測定・確認用タンクへ ALPS 処理水を受け入れる。

② 測定・確認工程

監視・制御装置にて「測定・確認工程」実行操作を行うことで、測定・確認用設備の系統構成を行うとともに攪拌機器・循環ポンプを起動し、タンク群の水質均質化を行う。所定の循環攪拌運転時間を経過した後、分析のための採水を行う。

③ 放出工程

監視・制御装置にて海水移送ポンプを起動し、②測定・確認工程で分析した ALPS 処理水のトリチウム濃度分析結果を登録した後、「ALPS 処理水移送工程」実行操作を行うことで、移送設備の系統構成を行い、ALPS 処理水の放出を行う。

なお、放出操作はキースイッチとすることで運転員による誤操作を防止する。

2.2 測定・確認用設備のタンク群運用

測定・確認用設備では、タンク 10 基を 1 群として 3 つのタンク群で運用を行う。3 つのタンク群は、それぞれ①受入、②測定・確認、③放出の 3 工程をローテーションしながら運用する。(図 1.1.5-2 参照)

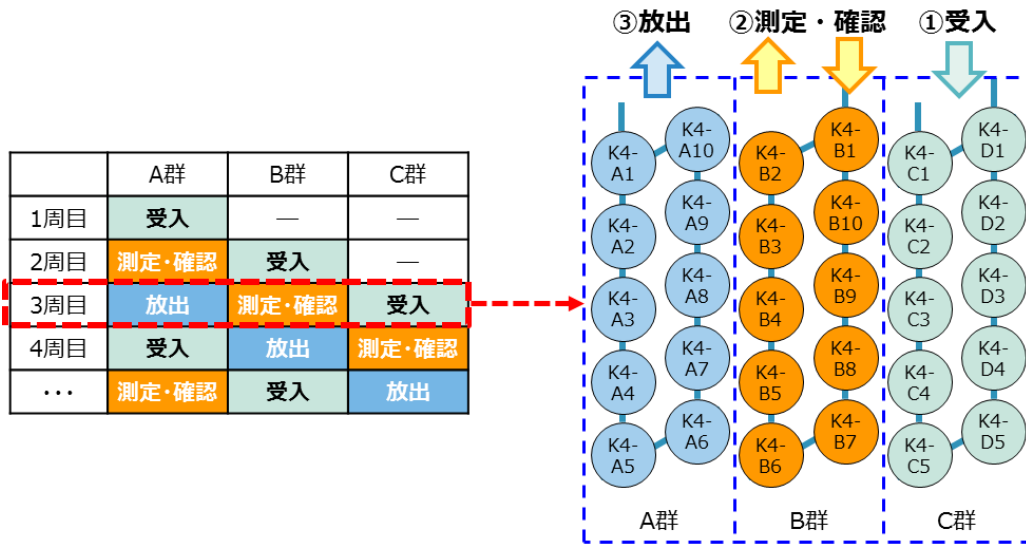


図 1.1.5-2 受入，測定・確認，放出工程ローテーションの例

2.3 受入，測定・確認，放出工程における基本的な手順と設備の運用状態

2.2 の①受入，②測定・確認，③放出は，図 1.1.5-3 に示す手順にて運転を行う。ある工程を終了して次工程に進む際には，当該工程の作業手順が終わっていることを監視・制御装置にてチェックすることで，次工程に進めないインターロックを組んでいる。



図 1.1.5-3 受入，測定・確認，放出工程の手順

(1) 測定・確認工程運用手順

測定・確認工程では、監視・制御装置にて対象タンク群を選択し実行操作することで、測定・確認工程フロー（図 1.1.5-4 参照）に従い以降は自動動作する。測定・確認工程における設備の状態は図 1.1.5-5～7 の通り。

なお、当該工程では、代表的な試料がサンプリング出来るよう、事前の実証試験の結果を踏まえて、原則、測定・確認用タンクの循環攪拌の運転時間はタンク水量の 2 巡以上確保する。ただし、実運用後にも適宜検証を行い、十分に循環及び攪拌したことが確認できる場合は、この限りでない。

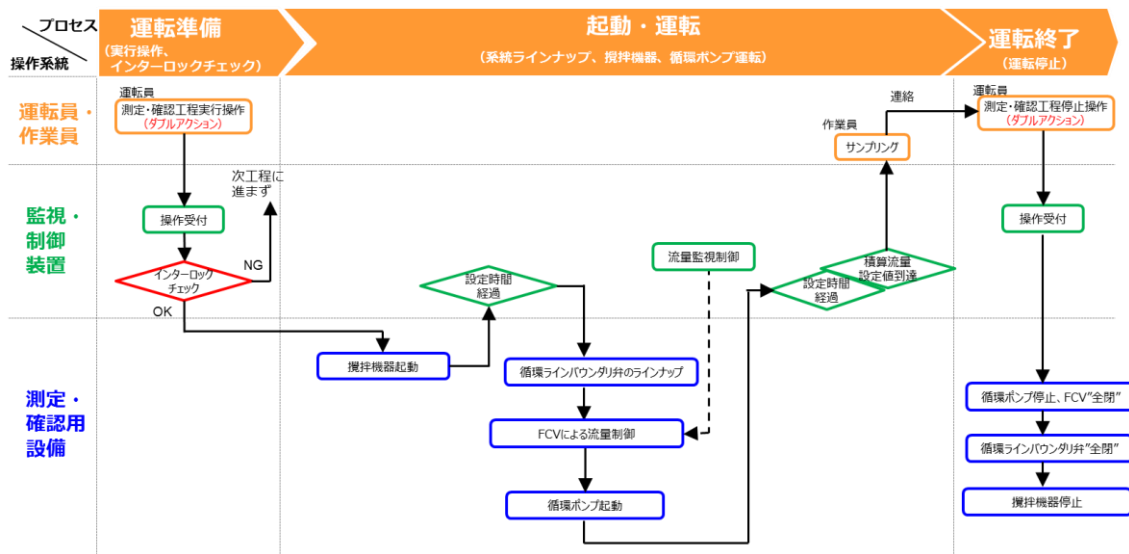
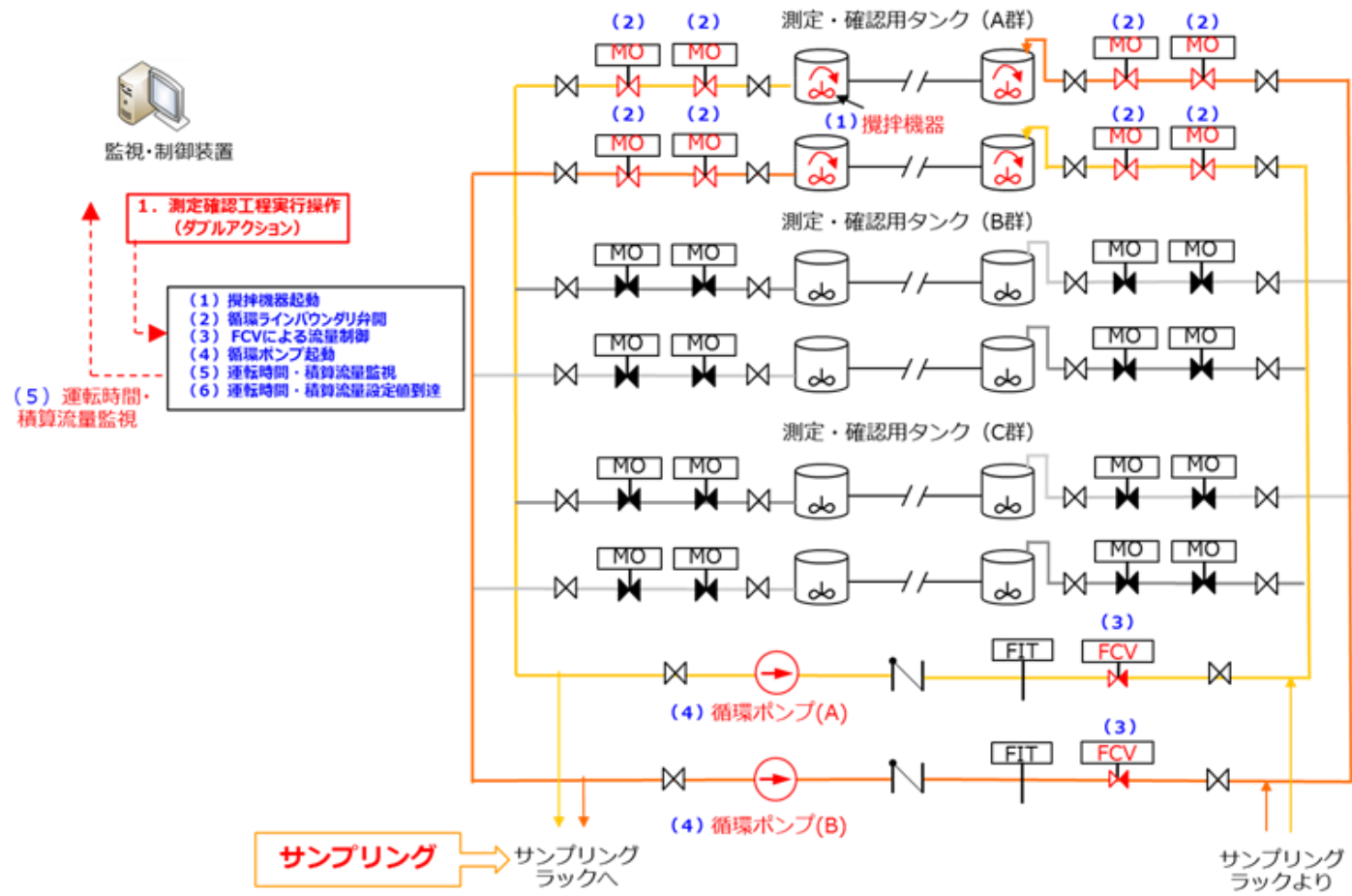


図 1.1.5-4 測定・確認工程フロー

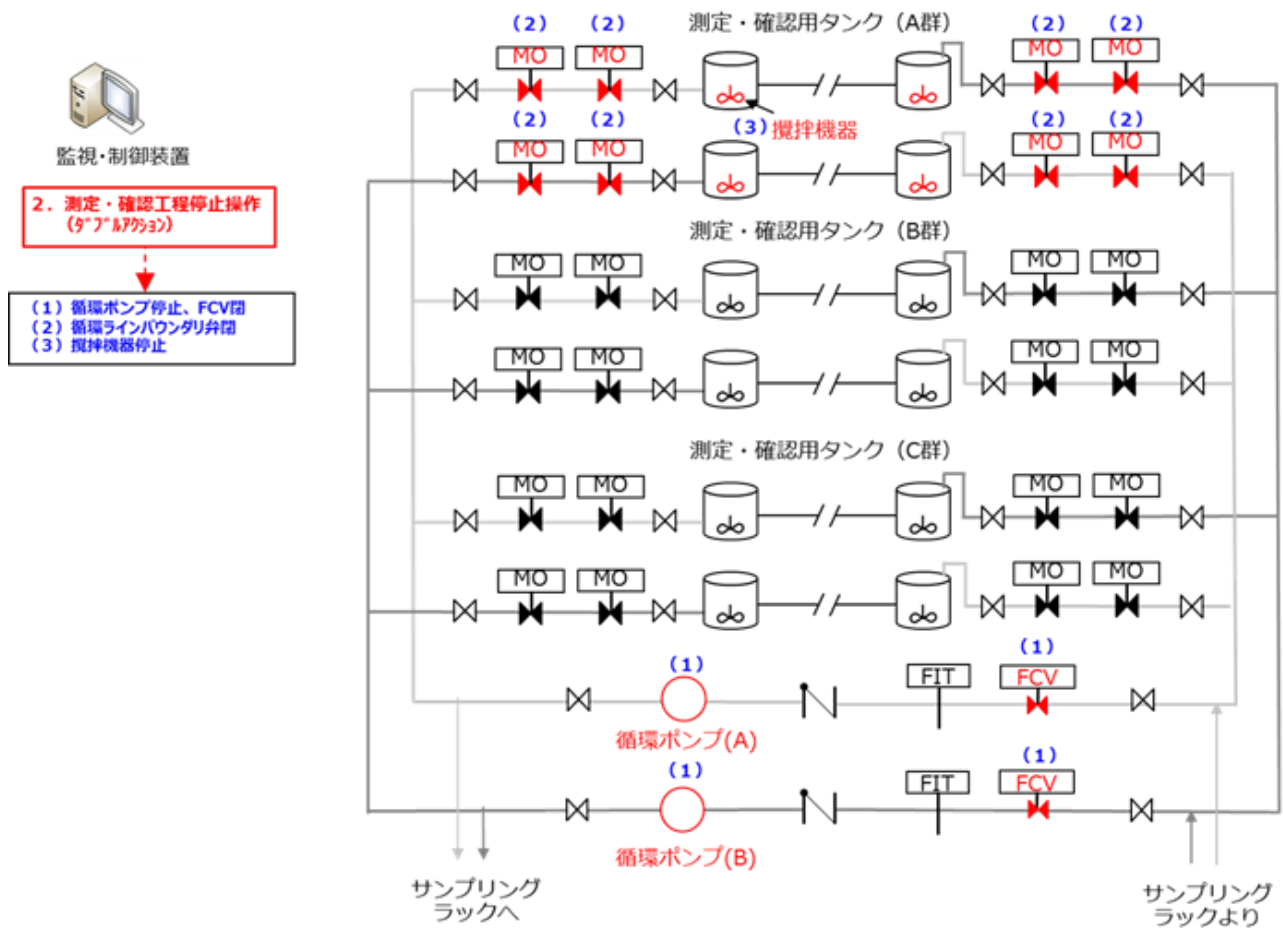
青字：既認可からの変更



1.1.5-7

図1.1.5-6 測定・確認工程の設備状態 (起動～運転)

青字：既認可からの変更



1.1.5-8

図1.1.5-7 測定・確認工程の設備状態 (運転～停止)

(2) 放出工程運用手順

放出工程では、ALPS 処理水のトリチウム濃度を監視・制御装置に登録し、放出水に含まれるトリチウム濃度が運用の上限値である 1,500Bq/L 未満になるよう ALPS 処理水移送流量を最大 500m³/日（最小流量（年平均）は汚染水発生量以上とする。）の範囲で設定する。

測定・確認工程の分析において確認したトリチウム濃度は、ヒューマンエラー防止のためスキャナ等により機械的に読み取り、監視・制御装置へ登録する。監視・制御装置は登録したトリチウム濃度と海水流量から ALPS 処理水移送流量を自動計算する。

希釈設備の準備から ALPS 処理水の放出開始までは放出工程フロー（図 1.1.5-8 参照）に従う。

監視・制御装置は、海水希釈量に対し希釈後のトリチウム濃度が運用の上限値を満足できるかの観点で放出可否を判断する。運転員は当該 ALPS 処理水が放出可能であること、放出操作の準備ができたことを監視・制御装置にて確認し、キースイッチにより放出操作を行う。

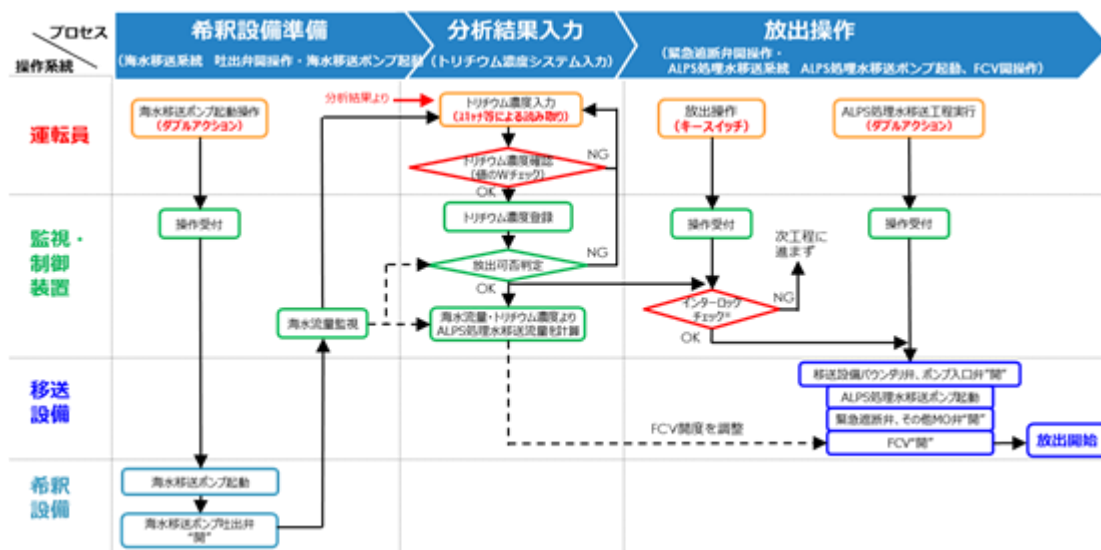


図 1.1.5-8 放出工程フロー

なお、ALPS 処理水等貯留タンクで貯蔵している ALPS 処理水のトリチウム濃度は、約 15 万～216 万 Bq/L（2021 年 4 月時点）であり、運用の上限値 1,500Bq/L を上回っていることから、海水による希釈が必要となる。

海水での希釈は、海水移送ポンプを一定流量で運転させるため、希釈率の調整について、ALPS 処理水移送ポンプ、ALPS 処理水流量調整弁、ALPS 処理水流量計等を使用して、ALPS 処理水流量を変動させることで実施する。

なお、海水移送ポンプは数値シミュレーションの結果で得られた十分な混合希釈効果を得られるよう、2 台以上の運転を計画する。

海水希釈後のトリチウム濃度は、図 1.1.5-9 の通り、測定・確認用設備にて測定・確認した ALPS 処理水のトリチウム濃度、ALPS 処理水流量、海水流量から評価する。他方、実際に運転する際には、図 1.1.5-10 の通り、予め海水希釈後のトリチウム濃度（運用値）を定めておき、その評価に合わせて、ALPS 処理水流量調整弁の開度調整をすることで、既定の希釈率を実現する。

○トリチウム濃度評価式

$$\text{海水希釈後のトリチウム濃度 (評価値)} = \frac{\text{ALPS処理水のトリチウム濃度} \times \text{ALPS処理水流量}}{\text{ALPS処理水流量} + \text{海水流量}}$$

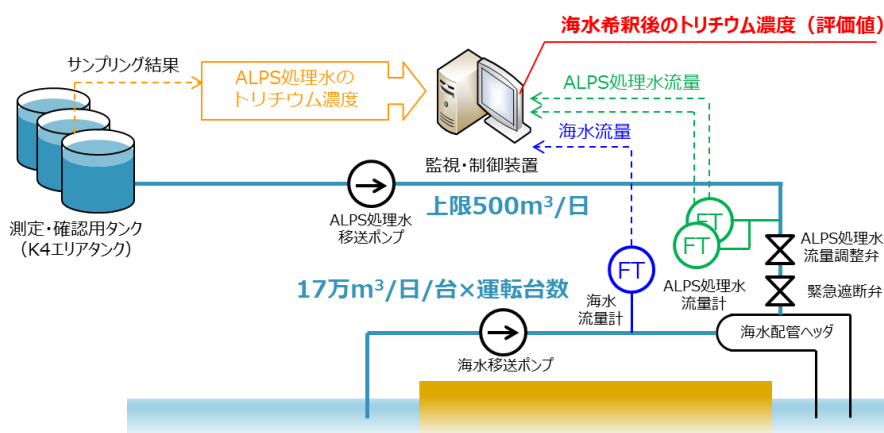


図 1.1.5-9 海水希釈後のトリチウム濃度の評価式

○ALPS処理水流量算出式

$$\text{ALPS処理水流量 (運用値)} = \frac{\text{海水流量} \times \text{海水希釈後のトリチウム濃度 (運用値)}}{\text{ALPS処理水のトリチウム濃度} - \text{海水希釈後のトリチウム濃度 (運用値)}}$$

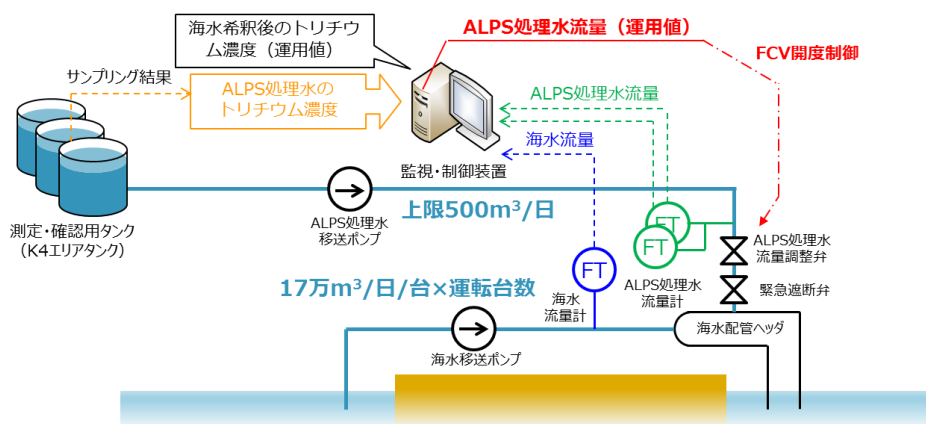
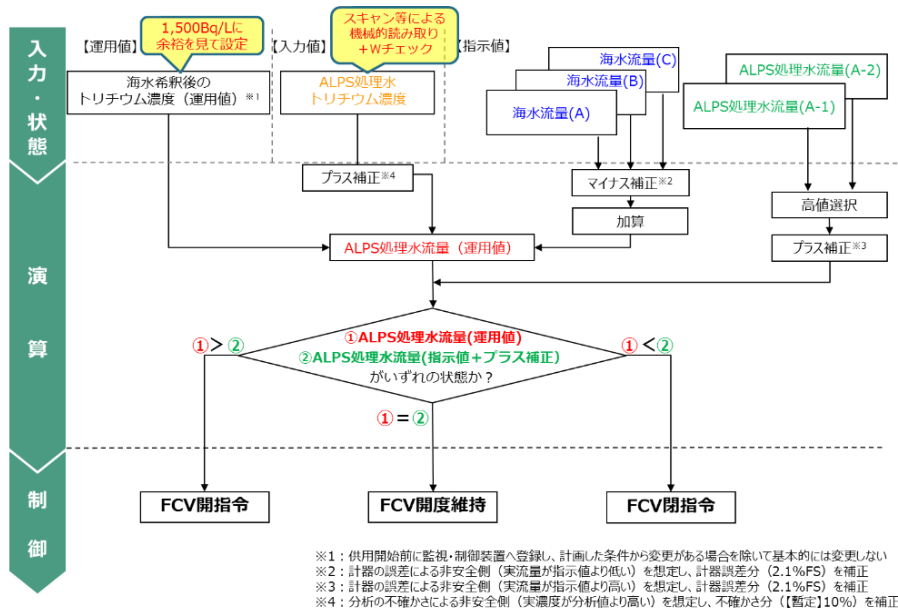
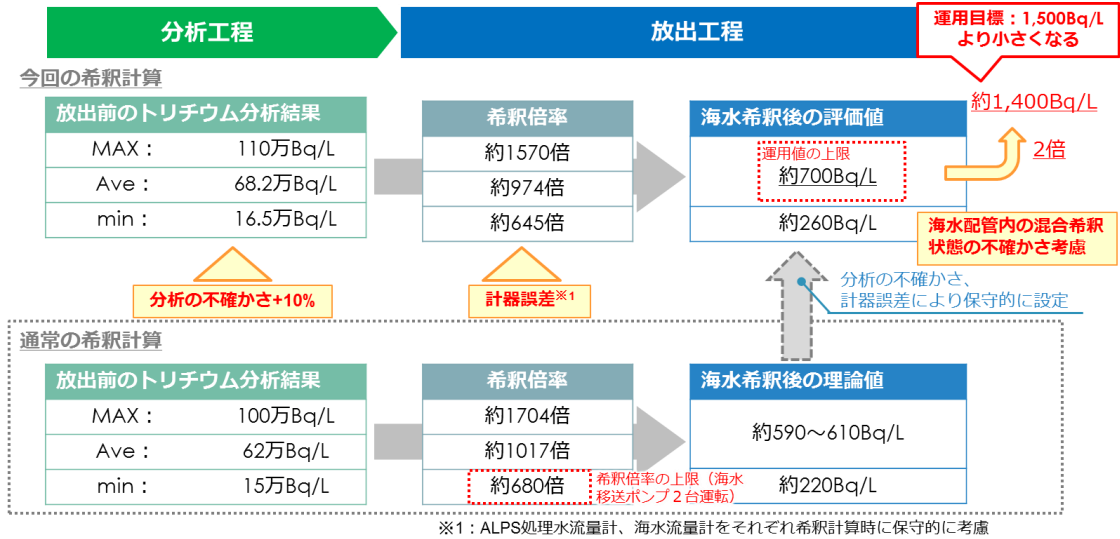


図 1.1.5-10 希釈率（ALPS 処理水流量）の評価式

なお、ALPS 処理水の海洋放出の検討の中で、不確かさやばらつきを確認しており、これらについては、図 1.1.5-11 の通り、仮に全ての不確かさやばらつきが、トリチウム濃度が高くなる側に作用した場合でも、放出時のトリチウム濃度が 1,500Bq/L を超えないように、海水希釈後のトリチウム濃度（運用値）を設定する。



(a) 不確かさやばらつきを考慮した ALPS 処理水流量の調整



(b) 不確かさやばらつきを考慮したトリチウム濃度の算出例

図 1.1.5-11 不確かさ・ばらつきを考慮した希釈率の調整

放出工程における設備の状態は図 1.1.5-12～16 の通り。

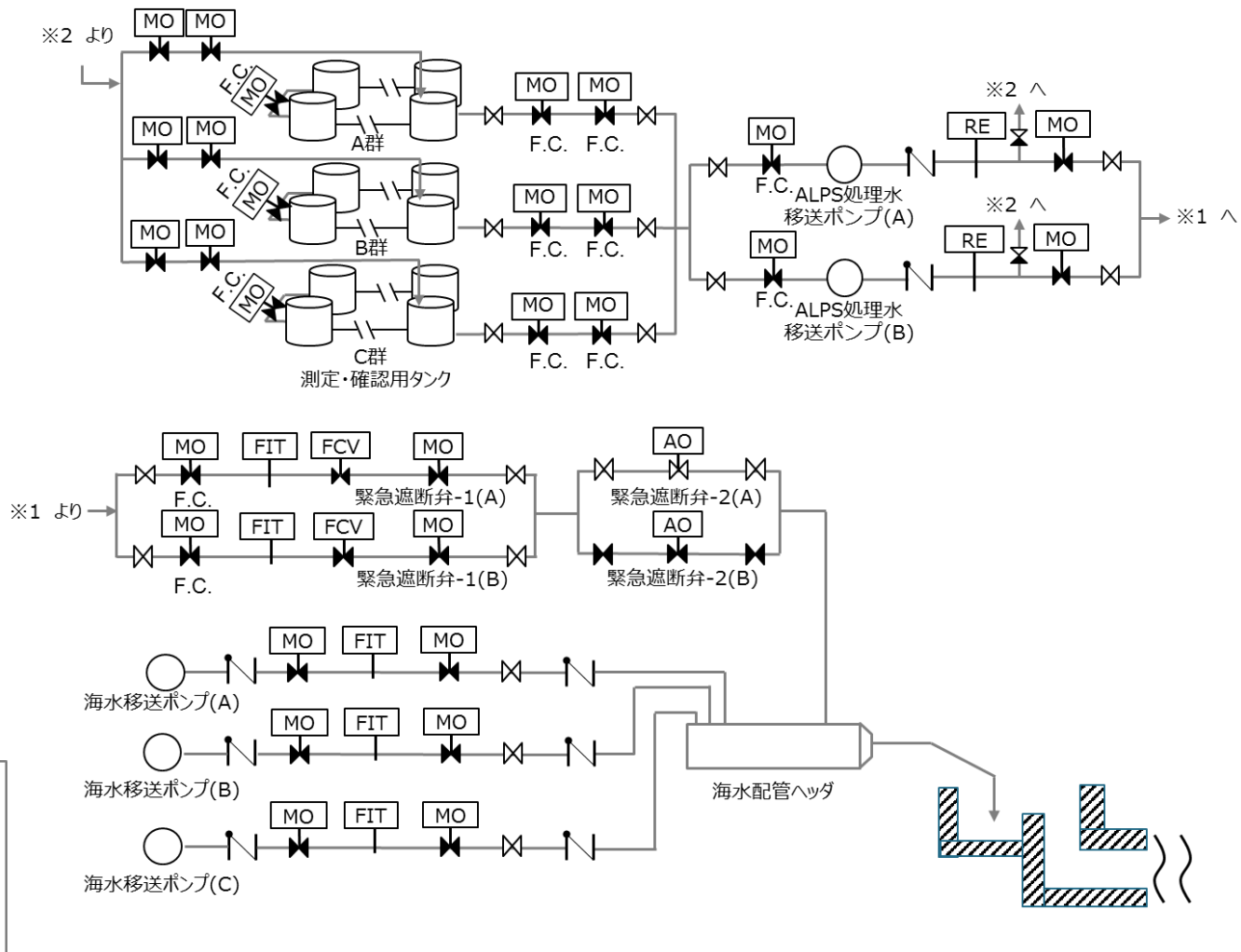


図 1.1.5-12 放出工程の設備状態（起動操作前）

1.1.5-14

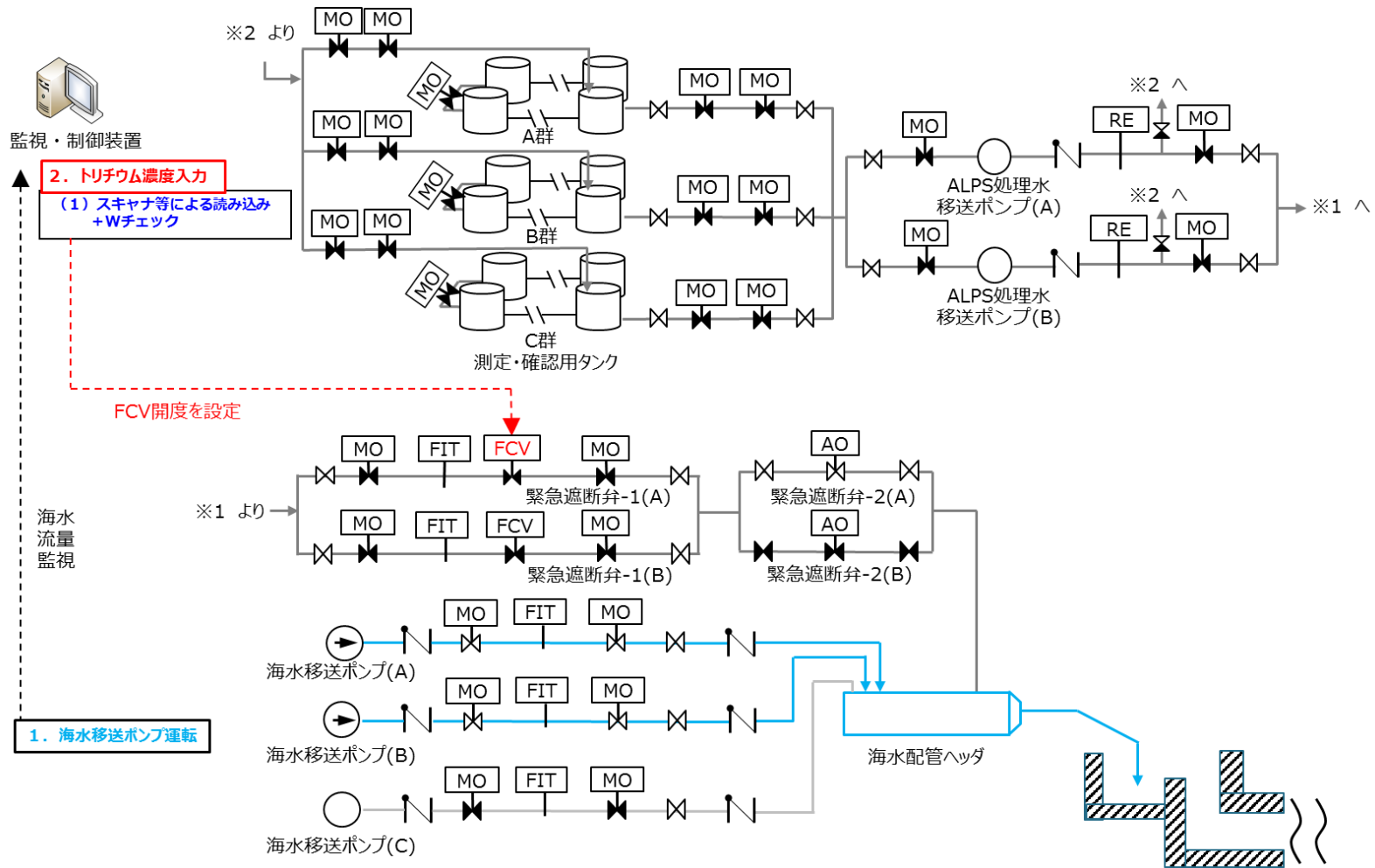
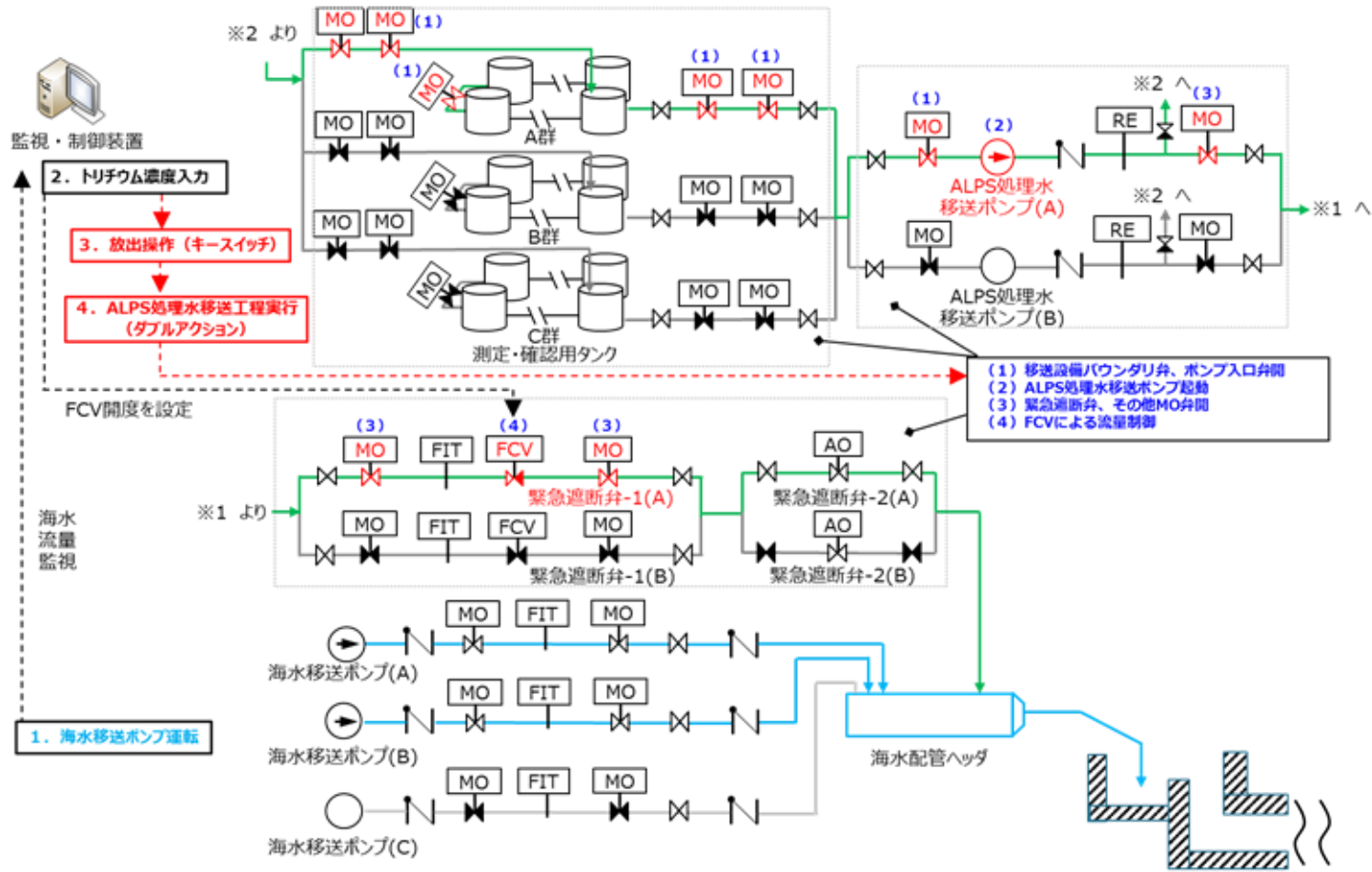


図 1.1.5-14 放出工程の設備状態 (トリチウム濃度入力～FCV 開度設定)

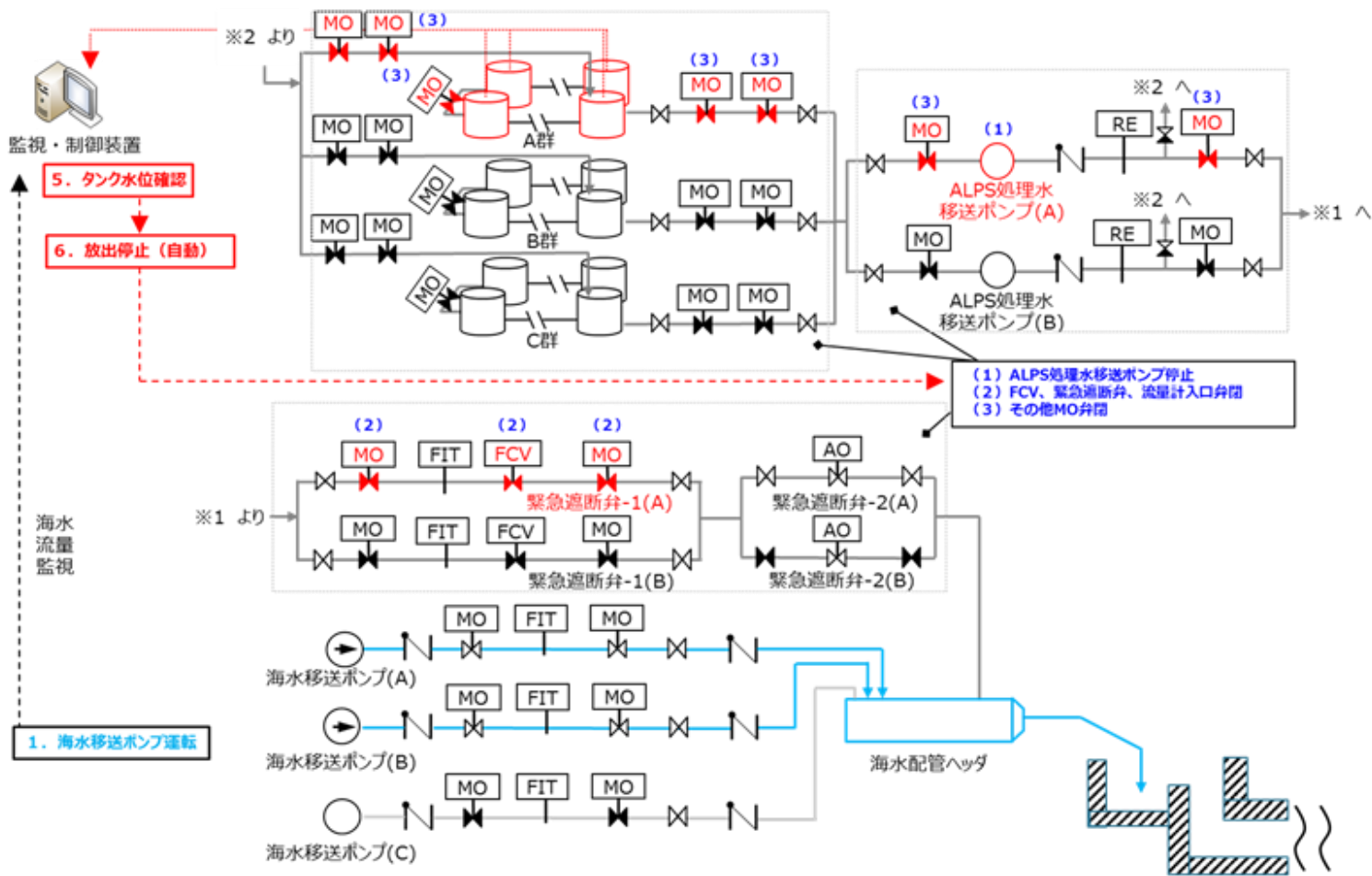
青字：既認可からの変更



1.1.5-15

図1.1.5-15 放出工程の設備状態 (放出操作～ALPS 処理水移送開始)

青字：既認可からの変更



1.1.5-16

図1.1.5-16 放出工程の設備状態 (放出完了～設備停止)

3. 異常事象発生時の対応

ALPS 処理水希釈放出設備は通常運転～停止の他、「意図しない形での ALPS 処理水の海洋放出」に至るおそれのある事象等が発生した場合は、緊急遮断弁の自動作動又は運転員の操作により、速やかに ALPS 処理水の海洋放出を停止する。

上記以外にも、「意図しない形での ALPS 処理水の海洋放出」を防止又は直ちに収束させるために必要な設備について、点検等によりその性能の確認ができず、早急な復旧が困難であると判断した場合は、ALPS 処理水の海洋放出を停止する。

なお、海洋放出の停止に係る運転操作は、通常停止と緊急停止の2種類存在するが、図 1.1.5-17 の通り、緊急遮断弁の動作順序が異なるだけで、概ね同様の設備に停止・動作指令が入る設計となっている。(緊急停止の設備状態詳細は図 1.1.5-18 参照)

通常停止の操作を行う事象は以下を想定している。

- ・ ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に影響を及ぼしうる自然現象等が発生した場合
- ・ 海域モニタリングで異常値が検出された場合
- ・ その他当直長が必要と認める場合

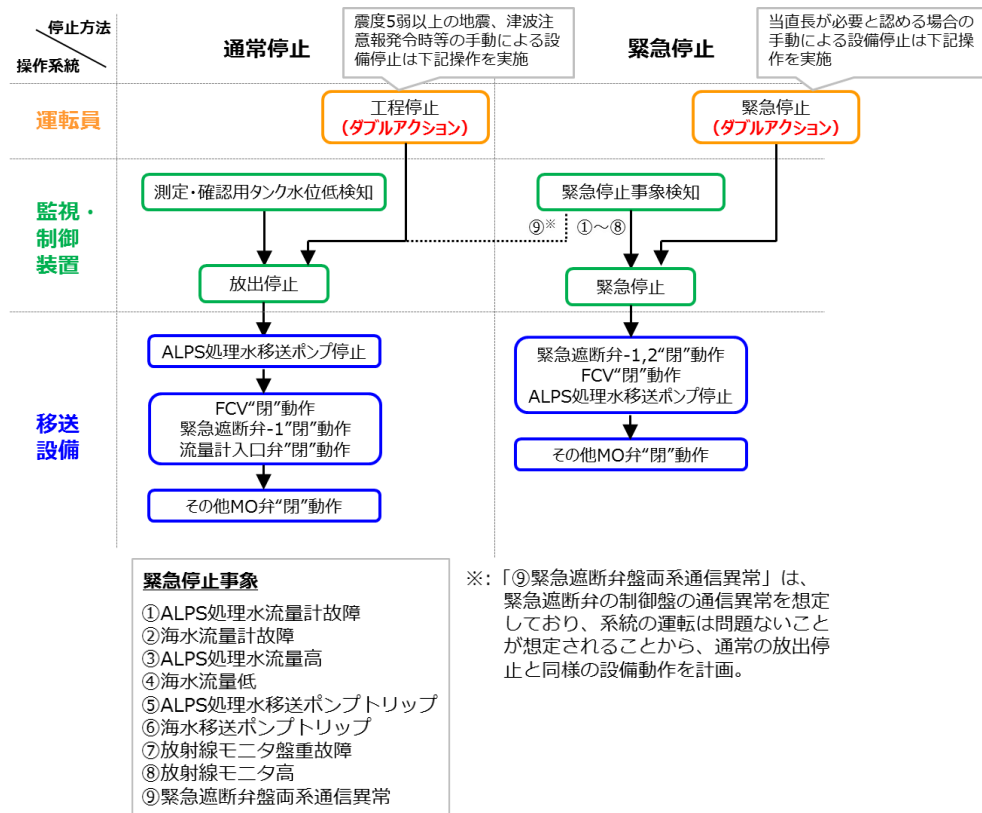
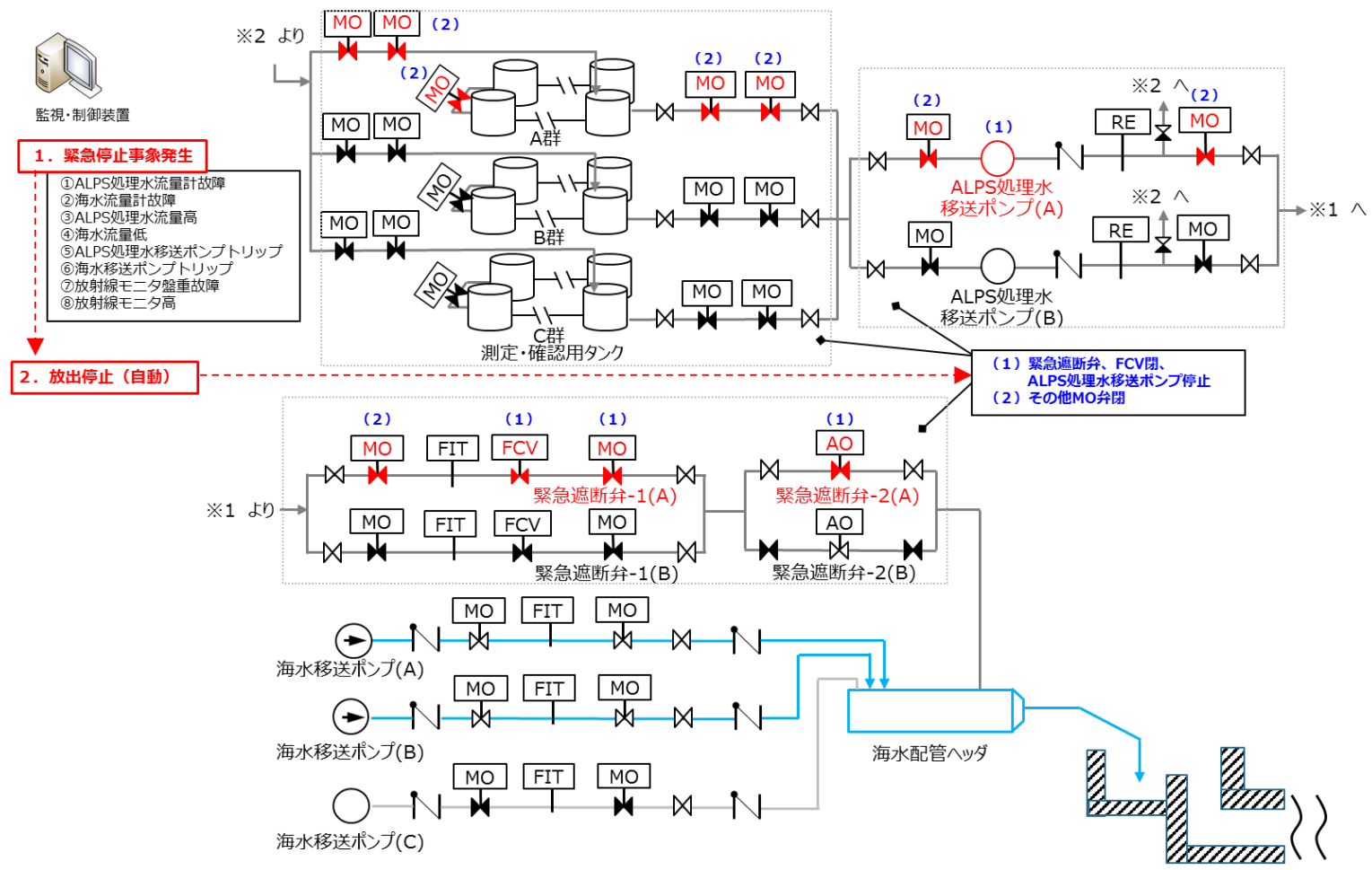


図 1.1.5-17 放出工程時の通常停止及び緊急停止フロー

青字：既認可からの変更



1.1.5-18

図1.1.5-18 放出工程の設備状態 (緊急停止)

なお、前述の ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に影響を及ぼしうる自然現象は表 1.1.5-1 を考えている。

これらの自然現象を検知するため、運転員は地震および津波等の情報をインターネット、中央給電指令所 FAX、商用テレビ等により確認し、ALPS 処理水希釈放出設備の通常停止操作を行うことで、ALPS 処理水の放出を停止させる。

その他の自然現象で、設備の損傷が発生するなど、「意図しない形での ALPS 処理水の海洋放出」に至る可能性が生じた場合等、設備を停止する必要があると当直長が判断した場合は、ALPS 処理水の海洋放出を停止させる。

表 1.1.5-1 海洋放出の停止に至る自然現象

| No. | 手動停止させる事象 | 停止理由 |
|-----|-------------|---|
| 1 | 震度 5 弱以上の地震 | 地震により設備が機能喪失した場合の影響を最小化するため |
| 2 | 津波注意報 | 津波によって 2.5m 盤の設備が損傷するおそれがあるため |
| 3 | 竜巻注意情報 | 竜巻によって各設備が損傷するおそれがあるため |
| 4 | 高潮警報 | 設計通りに水頭圧による海洋放出ができないおそれがあるため |
| 5 | その他 | No.1～4 以外に異常の兆候があり、当直長が停止する必要があると認める場合には、海洋放出を停止させる |

また、前述の「海域モニタリングで異常値が検出された場合」とは、「大量の海水で希釈後の ALPS 処理水が、放出口から排出された後、海水中での拡散が進まず、トリチウム濃度が排出された状態から低減していかないまま、その領域が拡大している状態」のことであり、具体的には、迅速に状況を把握するために行う分析の結果から海水中のトリチウム濃度が以下の①又は②に該当する場合を言う。

①：放出口付近においては、政府方針で定めるトリチウム濃度の上限値である

1, 500Bq/L を設備や測定の不確かさを考慮しても上回らないように設定された放出の運用値から低減していかないまま、その領域が拡大している場合

②：①の範囲の外側においては、分析結果に関して、明らかに異常と判断される値が得られた場合

ここで、①及び②ともに、評価対象とする試料採取地点は、トリチウムの拡散シミュレーション等をもとに定めた総合モニタリング計画の試料採取地点の中から選定することとし、具体的な試料採取地点、異常と判断する設定値、および一旦海洋放出を停止した後に海洋放出を再開する場合の確認事項等、運用上必要な事項については、別途社内マニュアルで定める。

青字：既認可からの変更

なお、上記に加えて、総合モニタリング計画に基づくモニタリング全体において通常と異なる状況等が確認・判断された場合には、必要な対応を行う。

4. 年間トリチウム放出量の管理について

ALPS 処理水の海洋放出にあたり、トリチウム放出量を年間 22 兆 Bq の範囲内とするため、計画時・運用時における管理方法を次の通りとする。

なお、ALPS 処理水の海洋放出は福島第一原子力発電所全体のリスク低減に資する観点から、廃炉に向けた全体リスクを考慮してトリチウムの年間放出量を見直していく。

(1) 計画時における年間トリチウム放出量の管理

予め毎年度、トリチウム放出総量の年度実績を公表する際に合わせて、汚染水発生量の状況（推移）、淡水化装置（RO）入口トリチウム濃度（推移）や、今後の敷地利用計画（必要な面積、時期）等を精査し、翌年度の放出計画を策定する。計画策定にあたってはトリチウム濃度の低い ALPS 処理水から順次放出することを基本方針とする。なお、ALPS 処理水の希釈に必要な海水量の考え方（「2.9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理への適合性」参照）より、海洋放出する ALPS 処理水のトリチウム濃度の上限は 100 万 Bq/L とする。

放出する ALPS 処理水は「A.日々発生する ALPS 処理水」と「B.タンクに貯留されている ALPS 処理水等」である。（図 1.1.5-19 参照）

2022 年 3 月末現在、A のトリチウム濃度を下回る B の水量は限られていることから、A の ALPS 処理水の放出を基本としつつ、実施計画Ⅲ（第 1 編第 41 条及び第 2 編第 88 条）に基づくその他の排水による放出量との合計で 22 兆 Bq/年を下回る水準で B の ALPS 処理水を順次放出する。なお、B を放出する際には、循環攪拌前のタンク内のトリチウム濃度のばらつきを少なくするため、トリチウム濃度が大きく異なるタンク群から受け入れるよう計画する。

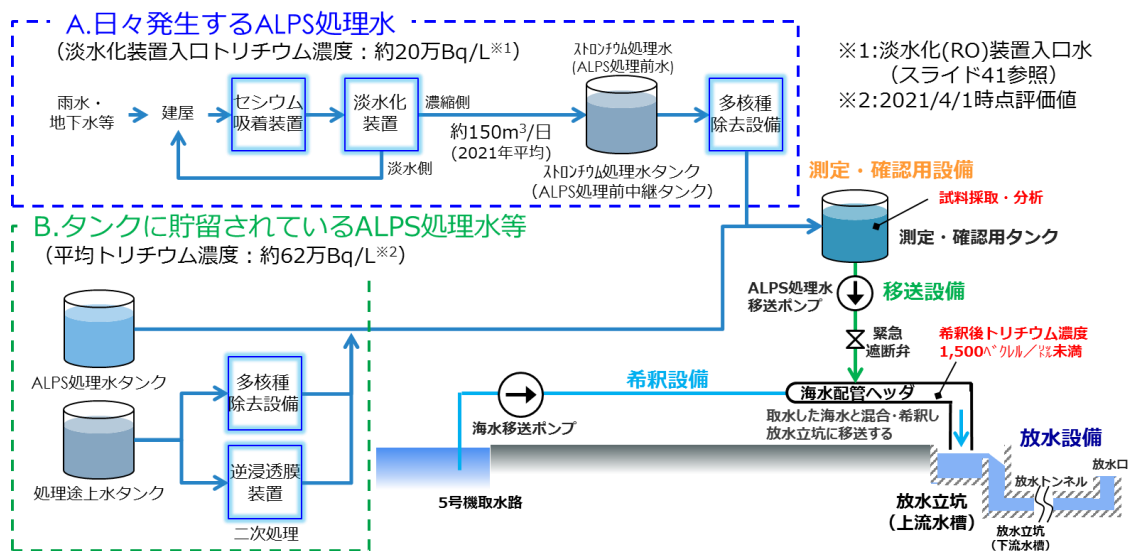
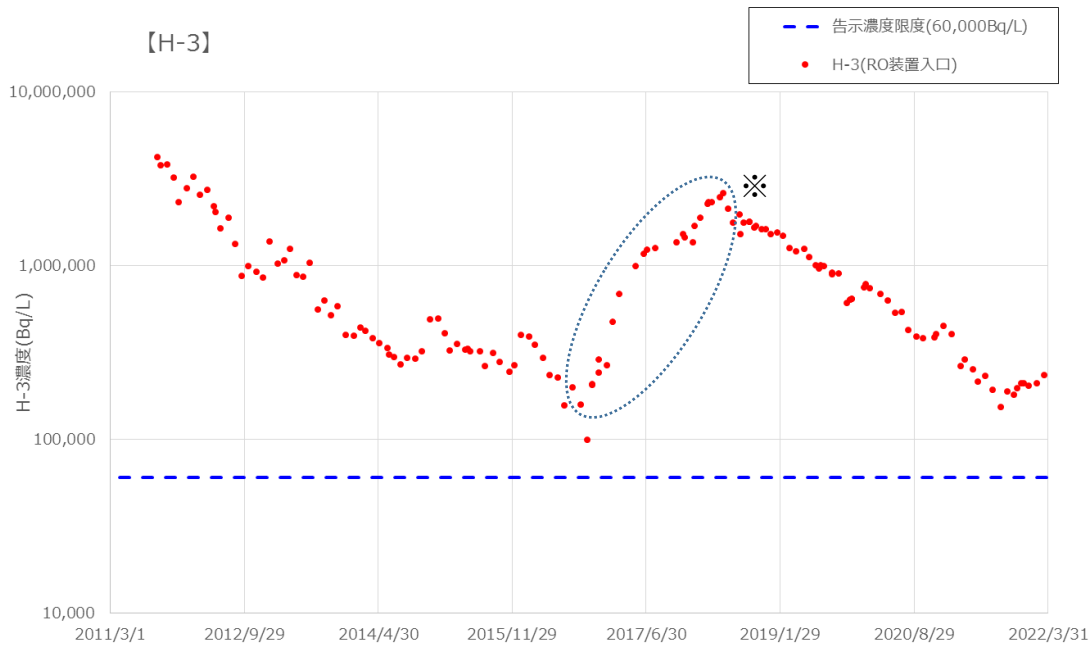


図 1.1.5-19 放出する ALPS 処理水



※：2016年末から2018年にかけてのH-3濃度の上昇については、3号機R/BのHPCI室等に存在した局所的に放射能濃度の高い滞留水が、建屋水位の低下操作等に伴い、引き出されたことが原因と推定されている。

(詳細は第57回 特定原子力施設監視評価検討会 資料1参照)

図 1.1.5-20 淡水化装置 (RO) 入口のトリチウム濃度 (推移)

放出計画の策定に当たっては、次の計算により年間のトリチウム放出量が実施計画Ⅲ（第1編第41条及び第2編第88条）に基づくその他の排水による放出量との合計で22兆Bqの範囲内となるようにする。なお、タンクに貯留されているALPS処理水等については年間放水量（⑥）及び平均トリチウム濃度（⑦）を求めた上で、⑥、⑦を満足するよう、トリチウム濃度の薄いALPS処理水を優先し、運用を考慮しながら、タンク群の放出順序を立案する。

A. 日々発生するALPS処理水

$$\text{①淡水化 (RO) 装置入口トリチウム濃度} \times \text{②汚染水発生量} = \text{③Aの年間トリチウム放出量}$$

B. タンクに貯留されているALPS処理水等

$$\text{④ALPS処理水の年間トリチウム放出量} - \text{③} = \text{⑤Bの年間トリチウム放出量}$$

⑥Bの年間放水量：「廃炉中長期実行プラン」を踏まえ、タンク解体に着手する必要がある面積から水量を決定

$$\text{⑤} \div \text{⑥} = \text{⑦Bの平均トリチウム濃度}$$

表 1.1.5-2 放出計画策定手順

| 水の種類 | 平均トリチウム濃度 【Bq/L】 | 年間放出量 【m ³ /年】 | 年間トリチウム放出量 【Bq/年】 |
|------|-------------------------------|------------------------------|--|
| A | ①淡水化 (RO) 装置 入口トリチウム濃度 | ②汚染水発生量 ×365[日/年] | ③：①×1000[L/m ³] ×②×365[日/年] |
| B | ⑦：⑤÷⑥÷1000[L/m ³] | ⑥敷地利用計画より | ⑤：④－③ |
| 合計 | — | — | ④：ALPS処理水の 年間トリチウム放出量 |

(2) 運用時における年間トリチウム放出量の管理

運用時には、以下に示す対策を講じることで、年間トリチウム放出量が 22 兆 Bq の範囲内となるよう管理する。(図 1.1.5-20)

- ① 放出する ALPS 処理水のトリチウム濃度は、放出の都度、監視・制御装置に登録すると共に、放出時の ALPS 処理水流量を監視・制御装置にて監視し、その積算流量をカウント・記録する。これにより、タンク 1 群を放出した際のトリチウムの放出量を計算する。
- ② 監視・制御装置は、トリチウムの年間放出量上限を設定することが可能であり、①で計算しているトリチウムの放出量の年間積算値が、当該設定値を超える恐れがある場合は、放出操作へ移行できないインターロックを組むことで、年間トリチウム放出量が実施計画Ⅲ（第 1 編第 41 条及び第 2 編第 88 条）に基づくその他の排水による放出量との合計で 22 兆 Bq の範囲内となる運用を行う。

なお、上記のデータは監視・制御装置で随時確認可能な設計とする。

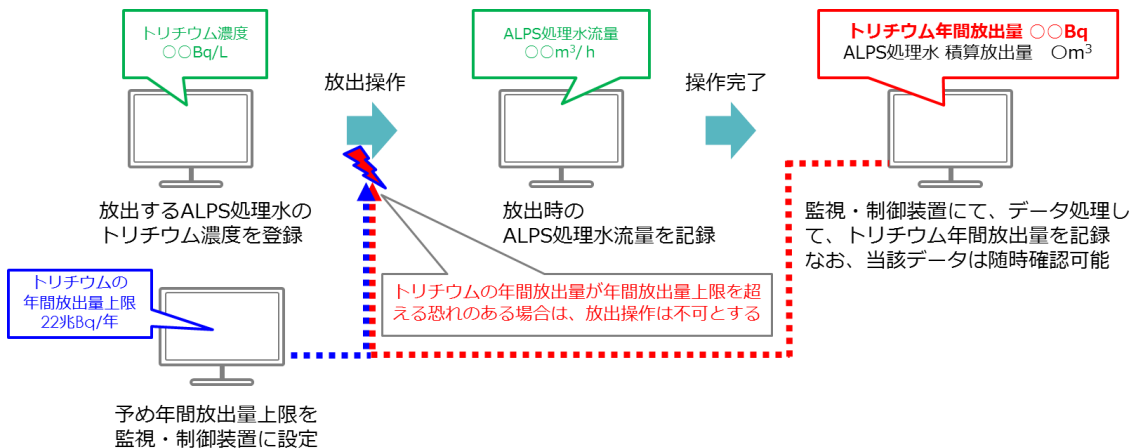


図 1.1.5-21 監視・制御装置における管理方法

以上

ALPS 処理水貯留タンク群から測定・確認用設備への受入れ／返送する際の管理方法

1. ALPS 処理水貯留タンク群から測定・確認用設備へ受け入れる際の管理方法

測定・確認用タンクには「4. 年間トリチウム放出量の管理について」で説明した通り、「A.日々発生する ALPS 処理水」と「B. タンクに貯留されている ALPS 処理水」の2つを受け入れる計画。A の ALPS 処理水の受入れは、ALPS のサンプルタンクから測定・確認用設備への移送が可能であるため、ここでは、B の ALPS 処理水の受入れ方法について説明する。

1.1 測定・確認用設備に受け入れる ALPS 処理水貯留タンク群の選定について

測定・確認用設備に受け入れる ALPS 処理水については、循環攪拌前のタンク内のトリチウム濃度のばらつきを少なくなるため、トリチウム濃度が大きく異なる ALPS 処理水を受け入れることのないよう計画している。

このため、測定・確認用設備へ受け入れる ALPS 処理水貯留タンク群は、以下の①～③を考慮して選定することを検討している。

- ①告示濃度比総和が1未満であることを確認しているタンク群から選定する
- ②トリチウム濃度の低いタンク群から受け入れる
- ③タンク群の設備状況（払い出し管台設置有無，連結管接続状況等）の他，今後の敷地利用計画（必要な面積，時期）等を考慮する

表 1.1.5-3 のトリチウム濃度順序をベースに、タンク群の設備状況や敷地利用計画等の観点から総合的に判断し、K4 エリアタンク放出後は K1-C,D 群，その次は J9-B,A 群のようにエリア単位で連続的になるようにするなど、合理的な順序にて測定・確認用設備へ受け入れる計画である。

また、二次処理開始後は二次処理水も選定対象とし、測定・確認用設備へ受け入れる ALPS 処理水のトリチウム濃度が大きく異ならないよう考慮する。

表 1.1.5-3 ALPS 処理水貯留タンクのトリチウム濃度※ (2021.12 現在)

| トリチウム濃度順位 | エリア | タンク群 | トリチウム濃度 [Bq/L] | 告示濃度限度比総和 (62核種) |
|-----------|--------|------|----------------|------------------|
| 1 | K4 | A | 1.51E+05 | 0.67 |
| 2 | K4 | D | 1.59E+05 | 0.63 |
| 3 | K4 | C | 1.68E+05 | 0.67 |
| 4 | K4 | B | 1.69E+05 | 0.67 |
| 5 | K4 | E | 1.96E+05 | 0.65 |
| 6 | K1 | C | 1.97E+05 | 0.50 |
| 7 | J9 | B | 2.02E+05 | 0.56 |
| 8 | K1 | D | 2.12E+05 | 0.53 |
| 9 | H4南 | C | 2.28E+05 | 0.79 |
| 10 | J9 | A | 2.31E+05 | 0.58 |
| 11 | J4 | L | 2.54E+05 | 0.63 |
| 12 | J1 | N | 2.73E+05 | 0.71 |
| 13 | K3 | B | 3.05E+05 | 0.70 |
| 14 | B南 | A | 4.02E+05 | 0.75 |
| 15 | G1 | A | 4.08E+05 | 0.46 |
| 16 | H2 | J | 4.35E+05 | 0.78 |
| 17 | K2 | D | 4.41E+05 | 0.50 |
| 18 | G1 | D | 4.73E+05 | 0.47 |
| 19 | G1 | E | 4.93E+05 | 0.48 |
| 20 | H2 | K | 5.12E+05 | 0.79 |
| 21 | G1 | B | 5.34E+05 | 0.47 |
| 22 | G1 | C | 5.50E+05 | 0.47 |
| 23 | B | B | 6.30E+05 | 0.50 |
| 24 | H3 | B | 6.50E+05 | 0.67 |
| 25 | H5 | B | 7.24E+05 | 0.70 |
| 26 | G6 | C | 7.38E+05 | 0.65 |
| 27 | G6 | D | 8.11E+05 | 0.56 |
| 28 | H5 | A | 8.59E+05 | 0.72 |
| 29 | H6 (Ⅱ) | C | 9.55E+05 | 0.57 |
| 30 | G6 | A | 1.01E+06 | 0.66 |
| 31 | G6 | B | 1.15E+06 | 0.66 |
| 32 | H3 | A | 1.25E+06 | 0.63 |

※：タンク群内の個々のタンクで測定している場合、1つのタンクに対し複数回測定している場合は平均値を記載

1.2 ALPS 処理水貯留タンク群から測定・確認用設備への受入れ方法

ALPS 処理水貯留タンク群から測定・確認用設備の受入れについては、ALPS のサンプルタンクを経由した移送を基本に計画する。(図 1.1.5-22 参照)

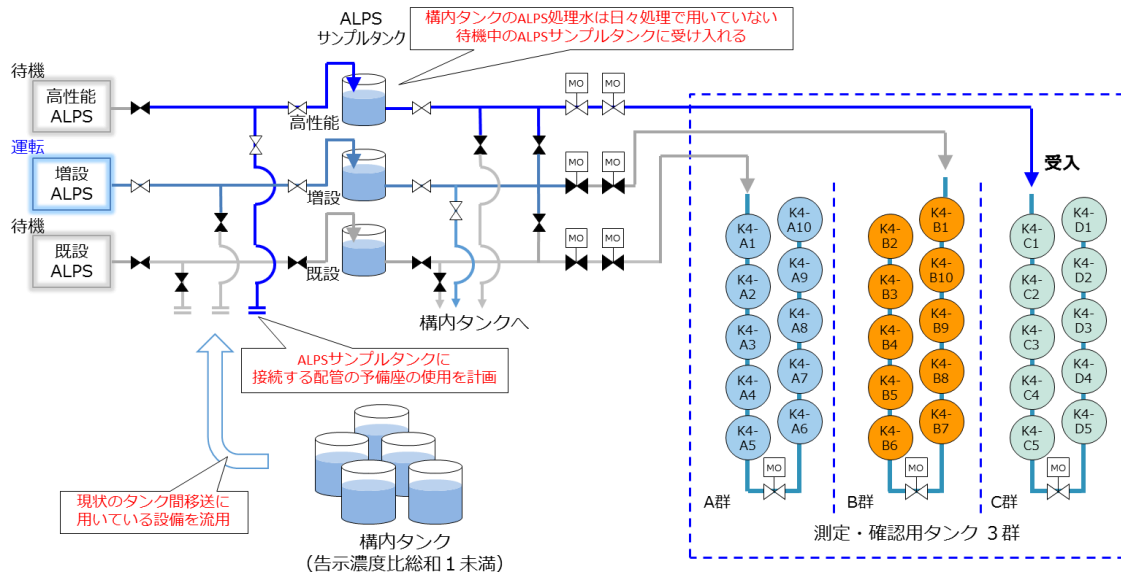


図 1.1.5-22 ALPS 処理水貯留タンク群から測定・確認設備への移送方法
(増設 ALPS が運転中で構内タンクから測定・確認用タンク C 群に受け入れる例)

サンプルタンクまでの移送に関しては、現状のタンク間移送に使用している配管や仮設設備での移送を計画するが、汚染の混入リスクを考慮して、本設配管を使用する場合は、直近の移送にて、移送先のタンク群にて告示濃度限度比総和が 1 未満を満足出来ている配管を使用することとし、仮設移送を実施する場合は、汚染のない新品もしくは ALPS 処理水の移送のみに使用している機器を使用する。

また、仮設移送に当たっては、現行の「実施計画Ⅱ 1.9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理」の方針及び、「実施計画Ⅲ 第 2 章 品質管理」における品質マネジメントシステムにおける業務実施のための部門作成文書に従い、以下の計画・運用とすることで、漏えい防止・汚染拡大防止を適切に行う。

- ・ 耐圧ホースは二重化する他、ホース接続箇所には受けパン及び受けパン内に漏えい検知器を取り付け、漏洩拡大防止が可能な移送を計画する。
- ・ 耐圧ホースの点検や移送中の巡視点検を行い、漏えいの発生防止、検知を行う。
- ・ 仮設の移送ポンプを使用する場合は、移送元の ALPS 処理水貯留タンク群の内堰内に設置し、漏えい拡大防止を行う他、ライン構成後には耐圧試験を実施し、異常のないことを確認した後に、移送を行う。

なお、今後、ALPS 処理水貯留タンク群に貯留している ALPS 処理水の海洋放出量が増加することが想定されるため、当該タンク群から測定・確認用設備への移送が円滑に実施できるよう、本設の移送配管等の設置を計画している。

2. 測定・確認用設備から ALPS 処理水貯留タンク群への返送方法

測定・確認用設備に受け入れた ALPS 処理水については、測定・確認工程にて、トリチウム濃度が 100 万 Bq/L 未満であること、放出基準（トリチウムを除く放射性核種の告示濃度限度比の和が 1 未満）を満足している場合は、「2.3(2) 放出工程運用手順」に従い、海洋放出を実施するが、ここではトリチウム濃度が 100 万 Bq/L 以上もしくは、放出基準を満足していなかった場合の管理について説明する。

測定・確認工程で、トリチウム濃度が 100 万 Bq/L 以上の水については減衰等による濃度低減を、放出基準を満足していなかった水については二次処理を行う必要があるため、一旦、測定・確認用タンクへ移送した元のタンク群、もしくは空き容量が確保されているタンク群へ返送を行う。返送にあたっては、測定・確認用タンク近傍に設置予定の返送ポンプにて実施する他、返送ポンプから返送先のタンク群への配管については、返送先が都度変更となることから、仮設移送を行う。（図 1.1.5-23 参照）

漏えい防止・汚染拡大防止対策としては、返送ポンプ周辺に堰を設ける他、仮設移送に使用する仮設ホース等については、1.2 項で説明した内容と同様の管理を実施することで、系外漏えいを防止する運用を行う。

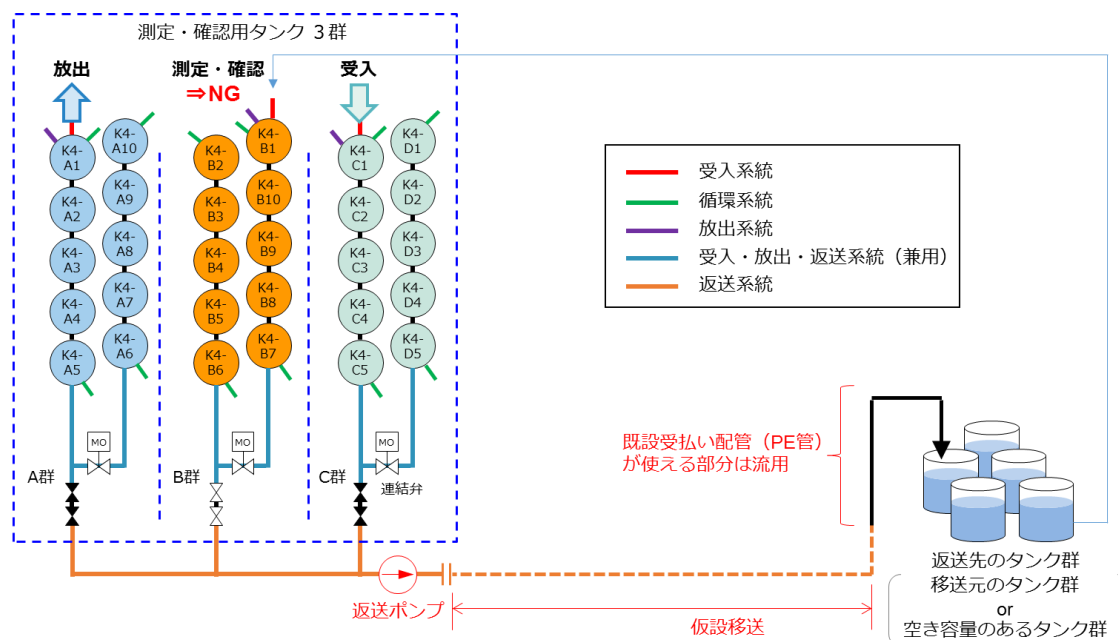


図 1.1.5-23 測定・確認設備から ALPS 処理水貯留タンク群への返送方法

機器動作順序の改善に伴う設備への影響確認

1. 概要

放出工程の通常及び緊急停止時における機器動作順序について、当初は通常の設備と同様に起動と逆の動作順序で停止することを基本に計画していたが、設備の故障リスクを低減させることを目的に、図 1.1.5-24 の通り改善する。ここでは、機器動作順序の改善による設備への影響を確認する。なお、測定・確認工程においても、循環・攪拌運転後に確実にサンプリングを実施するため、設定時間経過後にポンプ及びバウンダリ弁を自動で動作させる方法から、全ての機器を運転員の手動操作で動作させる方法へ改善しているものの、機器の動作順序は変わらないため、説明は省略する。

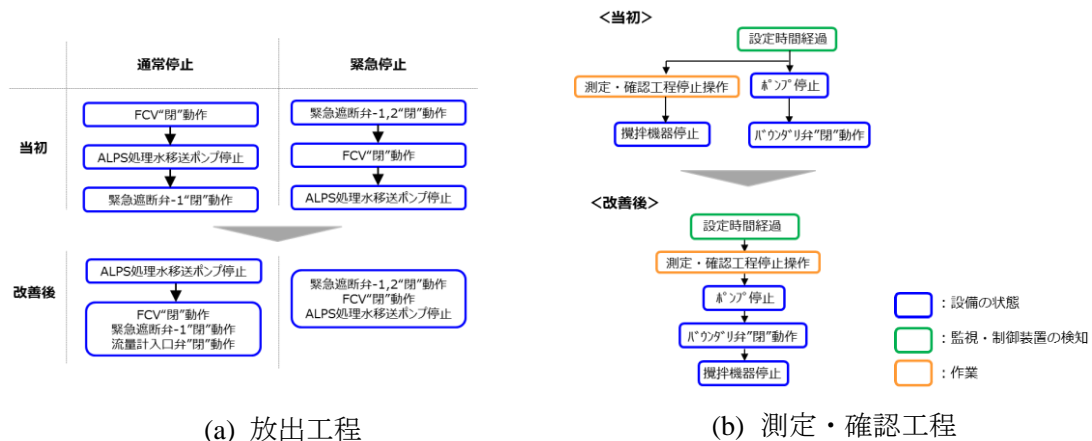


図 1.1.5-24 機器動作順序/作業手順の改善

2. 影響確認

2.1 放出停止機能

2.1.1 通常停止

通常停止は運転パラメータ等に異常が確認されていない時の停止手段である。今回、ALPS 処理水移送ポンプを先に停止させ、その後 FCV、緊急遮断弁-1、流量計入口弁を同時に動作させる順序に改善する。通常停止時の運転状態を踏まえると、当該改善による、放出停止機能に影響はない。

2.1.2 緊急停止

緊急停止は緊急停止事象発生時等に、速やかに ALPS 処理水の海洋放出を停止する手段である。当初は緊急遮断弁-1,2、FCV、ALPS 処理水移送ポンプの順に動作させることを計画していたが、今回、各機器を同時に動作させる順序に改善する。当該改善による、緊急遮断弁の全閉時間に変更はないため、放出停止機能への影響はない。

2.2 設備停止時の圧力範囲

2.2.1 通常停止

設備停止時の圧力範囲を機器動作順序の改善前後で比較すると、改善後の方が範囲は広がるものの、広がった範囲の設備の最高使用圧力は、当初の範囲の設備の最高使用圧力と同じであることから、機器動作順序の改善による設備への影響は無い。(図 1.1.5-25 参照)

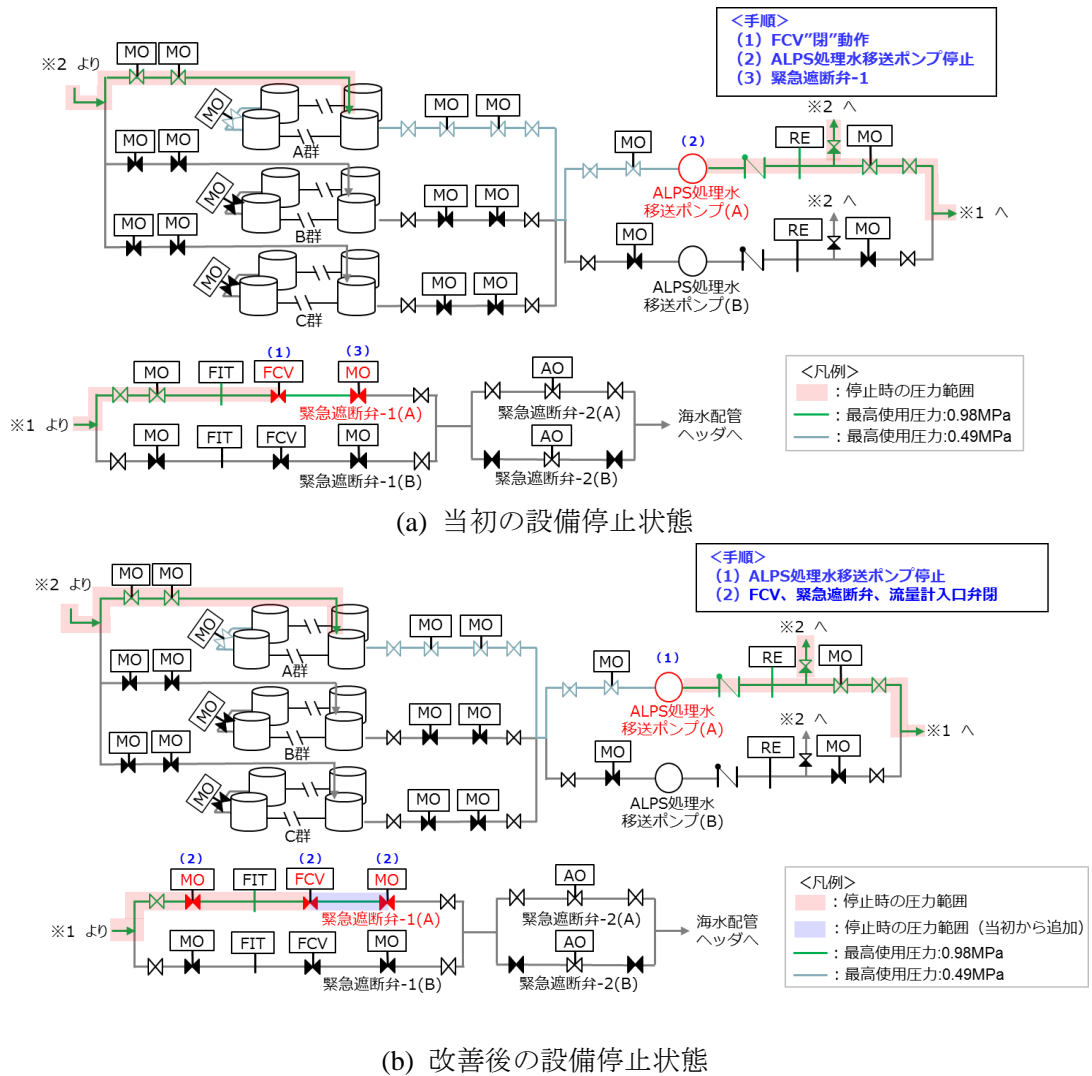


図 1.1.5-25 停止時の圧力範囲 (通常停止)

2.2.2 緊急停止

設備停止時の圧力範囲を機器動作順序の改善前後で比較すると、変わりはないことから、機器動作順序の改善による設備への影響はない。(図 1.1.5-26 参照)

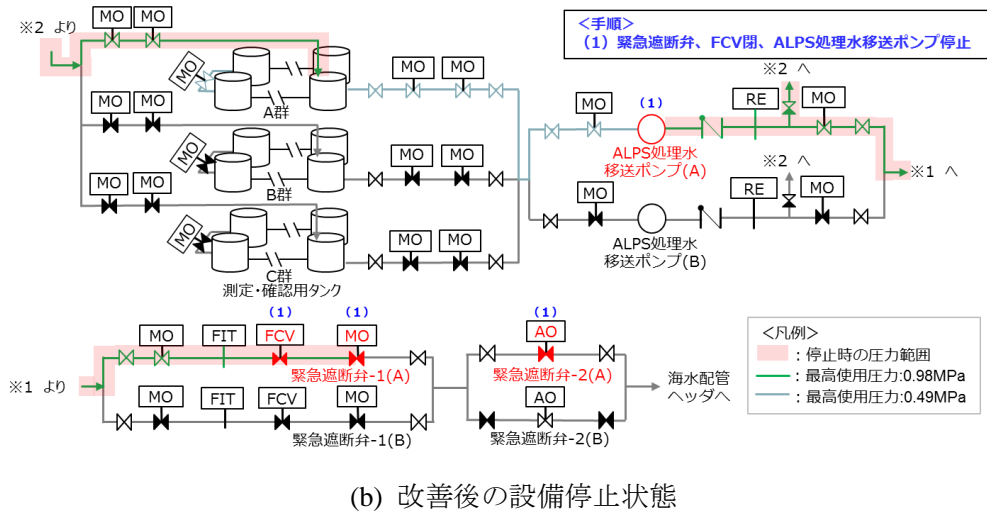
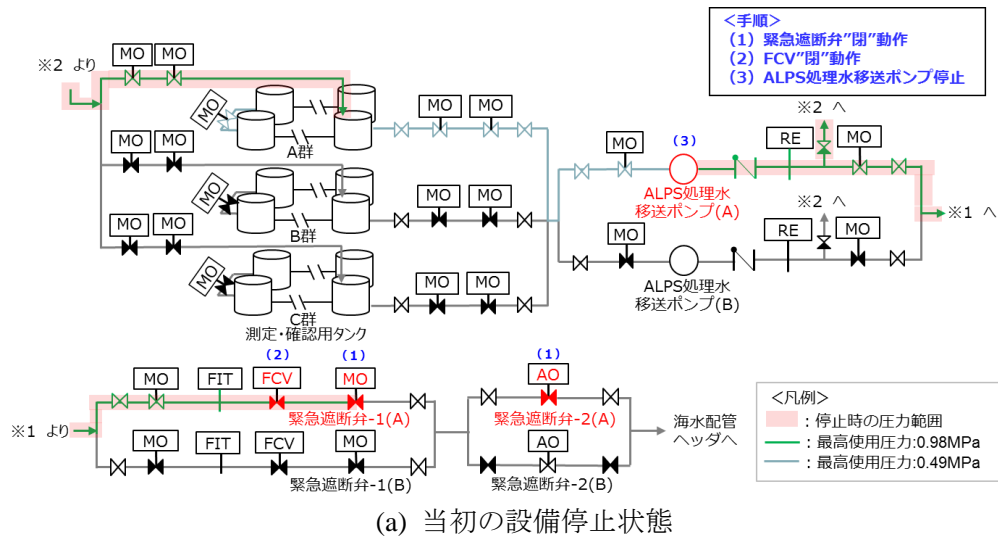


図 1.1.5-26 停止時の圧力範囲 (緊急停止)

3. まとめ

2 項より、放出停止機能及び設備停止時の圧力範囲について、機器動作順序の改善前後で比較した結果、機器動作順序の改善による、施設の安全性や設備の機能・性能に影響はないことを確認した。

2章 特定原子力施設の設計，設備

2.14 設計上の考慮

2.14.1 準拠規格及び基準への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

① 準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること。

2.14.1.1 措置を講ずべき事項への適合性

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準を考慮して，設計，材料の選定，製作及び検査を実施する。

2.14.1.2 対応方針

施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものと
する。

(1) 準拠規格及び基準

放水設備を構成する各設備の設計、材料の選定、製作について、(公社)土木学会等の
技術基準(規準)や日本産業規格(JIS)等の国内外の民間規格を適用することにより信頼
性を確保する。

(実施計画: II-2-50-7)

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設を構成する構築物、系統及び機器は、「実用発電
用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」において、廃棄物処理設備等に相当す
るものと位置づけられることから、その設計、材料の選定、製作及び検査において、それら
が果たすべき安全機能の重要度を考慮して、ALPS 処理水を内包する容器及び鋼管について
は、発電用原子力設備規格 設計・建設規格(JSME S NC1)のクラス3機器の規定を適用す
ることとし、これら以外の機器等については、必要に応じて日本産業規格(JIS)、(公社)土
木学会等の技術基準(規準)等の国内外の民間規格も適用する。また、JSME 規格で規定さ
れる材料の日本産業規格(JIS)年度指定は、技術的妥当性の範囲において材料調達性の観
点から考慮しない場合もある。

具体的な規格及び基準は以下のとおり。

- ・ JIS G 3454 圧力配管用炭素鋼鋼管
- ・ JIS G 3457 配管用アーク溶接炭素鋼鋼管
- ・ JIS G 3459 配管用ステンレス鋼鋼管
- ・ JIS G 3468 配管用溶接大径ステンレス鋼鋼管
- ・ JWWA K 144 水道配水用ポリエチレン管
- ・ コンクリート標準示方書(設計編; 2017年制定)(公社)土木学会
- ・ コンクリート標準示方書(設計編; 2012年制定)(公社)土木学会
- ・ コンクリート標準示方書(構造性能照査編; 2002年制定)(公社)土木学会
- ・ 道路橋示方書・同解説I共通編 平成24年(公社)日本道路協会
- ・ 道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成24年(公社)日本道路協会
- ・ 道路橋示方書・同解説V耐震設計編 平成24年(公社)日本道路協会
- ・ 共同溝設計指針 1986年(公社)日本道路協会
- ・ 水理公式集 2018年(公社)土木学会
- ・ プレキャスト式雨水地下貯留施設技術マニュアル(改訂版; 2020年)(公財)日本下水
道新技術機構
- ・ エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針(改訂版; 2013年)
(公社)土木学会

- ・火力・原子力発電所土木構造物の設計（増補改訂版）（一社）電力土木技術協会
- ・トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説/〔シールド工法編〕・同解説（2016年制定）（公社）土木学会
- ・トンネル標準示方書〔開削工法〕・同解説（2016年制定）（公社）土木学会
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 2018年（公社）日本港湾協会
- ・内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き（1999年制定）（財団法人）先端建設技術センター
- ・シールド工事用標準セグメント 土木学会・日本下水道協会共編（2001年制定）
- ・土木研究所資料 大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン（案）-平成4年3月」建設省土木研究所・地震防災部耐震研究所
- ・下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版（公社）日本下水道協会
- ・下水道施設耐震計算例 処理場・ポンプ場編-2015年版（公社）日本下水道協会
- ・下水道施設耐震計算例-管路施設編-2015年版（公社）日本下水道協会
- ・トンネルライブラリー第23号 セグメントの設計【改訂版】～許容応力度設計法から限界状態設計法まで～（2010年制定）（公社）土木学会

（実施計画：II-2-50-添2-7~8）

(2) 放水設備の構造

放水設備を岩盤に設置することで、地震の影響を受けにくい構造とする。また、放水トンネルについては、岩盤内部に設置することとし、海底部の掘進における施工時の安全性や供用期間中の耐久性を考慮し、シールド工法を採用する。さらに、放水トンネルを構成する鉄筋コンクリート製の覆工板にシール材を設けることで止水性を確保する。

（実施計画：II-2-50-8）

(3) 放水設備等の健全性に対する考慮

長期荷重および短期荷重に対して、許容応力度以内であることを確認し、構造を設定している。また、構造物の浮き上がりが生じないことを確認している。さらに、鉄筋コンクリート製の躯体に生じるひび割れ幅および塩害の照査を実施し、適切な鉄筋かぶりを設定し、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。

また、一般土木構造物と同様に、点検長期計画に基づき維持管理する。

（実施計画：II-2-50-8）

放水立坑（上流水槽）および放水設備については、表 2.14-1 の照査を行うことで、供用期間中の健全性が確保されることを確認している。なお、照査項目は、構造物の使用目的に適合するための要求性能を踏まえて設定している。

表 2.14-1 放水立坑（上流水槽）および放水設備の照査項目

| 照査項目 | 放水立坑 (上流水槽) | 放水立坑 (下流水槽) | 放水 トンネル (鉄筋コンク リート造) | 放水 トンネル (鉄鋼コンク リート造) | 放水口 | 照査内容 | |
|------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----|------|---|
| | | | | | | | |
| 長期 | 構造 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 許容応力度 以内である こと |
| | 構造 (波浪) | - | - | ○ | ○ | ○ | 許容応力度 以内である こと |
| | ひび割れ | ○ | ○ | ○ | - | ○ | ひび割れ幅 が許容ひび 割れ幅以下 であること |
| | 塩害 | ○ | ○ | ○ | - | ○ | 鋼材位置の 塩化物イオ ン濃度が鋼 材腐食発生 限界に達し ないこと |
| | 浮上がり | ○ | ○ | - | - | ○ | 浮上がりが 生じないこ と |
| 短期 | ○ | ○ | ○ | -※ | ○ | ○ | 地震に対し て許容応力 度以内であ ること |

※：放水トンネル（鉄筋コンクリート造）の検討結果より、クリティカルケースが長期荷重を受ける場合であるため、地震に対して許容応力度以内であることの確認は省略。

(実施計画：II-2-50-添5-5)

以上

放水設備の準拠規格及び基準への適合性に関する補足説明（放水トンネル）

1. 設計概要

放水トンネルは、「2.14.1 準拠規格及び基準への適合性」に基づき、許容応力度法により、曲げおよびせん断力に対する検討を行う。また、「コンクリート標準示方書（設計編；2017年制定）」に準拠し、使用性に対する照査（曲げひび割れ幅）および性能の経時変化に対する照査（塩化物イオン濃度）、安定性の照査を実施する。

2. 設計検討ケース

2.1 長期

長期において検討するケースは、施工時と供用時の2ケースである。施工時は、放水トンネル内に水が存在しない状態を想定し、各部材の自重、載荷荷重、静止土圧、外水圧(波浪含む)を考慮する。

また、供用時は、放水トンネル内に水が存在する状態を想定し、各部材の自重、載荷荷重、静止土圧、内水圧(波浪含む)、外水圧(波浪含む)を考慮する。

2.2 短期

短期において検討するケースは、施工時と供用時の2ケースである。施工時は、放水トンネル内に水が存在しない状態を想定し、各部材の自重、載荷荷重、静止土圧、外水圧(波浪含む)、地震時水平土圧、慣性力、動水圧を考慮する。

また、供用時は、放水トンネル内に水が存在する状態を想定し、各部材の自重、載荷荷重、静止土圧、内水圧(波浪含む)、外水圧(波浪含む)、地震時水平土圧、慣性力、動水圧を考慮する。

3. 設計条件

3.1 材料仕様

放水トンネルに用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリート(普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種)とし、設計基準強度は 42N/mm^2 とする。鉄筋はSD345とする。各使用材料の許容応力度を表 2.14.1.1-1、表 2.14.1.1-2 に示す。

表 2.14.1.1-1 コンクリートの許容応力度*

| 設計基準強度 (N/mm ²) | 長期 | | 短期 | |
|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | 圧縮 (N/mm ²) | せん断 (N/mm ²) | 圧縮 (N/mm ²) | せん断 (N/mm ²) |
| 42 | 16 | 0.73 | 24 | 1.095 |

※：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説 / [シールド工法編]・同解説，2016年制定，(公社)土木学会
(以下，「トン示」という) より

表 2.14.1.1-2 鉄筋の許容応力度*

| 使用材料 | 長期 | 短期 |
|-------|-------------------------|-------------------------|
| | 引張 (N/mm ²) | 引張 (N/mm ²) |
| SD345 | 200 | 300 |

※：「トン示」より

3.2 土質定数

設計に用いた土質定数および単位体積重量を表 2.14.1.1-3 に示す。

表 2.14.1.1-3 土質定数

| 層数 | 土質 | 単位体積重量 (kN/m ²) | 水中単位 体積重量 (kN/m ²) | 粘着力 (kN/m ²) | 内部摩擦角 (°) | 変形係数 (kN/m ²) |
|----|-----|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------|------------------------------|
| 1 | 砂質土 | 18.0 | 8.0 | 0 | 30.0 | 17,700 |
| 2 | 砂岩 | 18.4 | 8.4 | 0 | 38.6 | 94,400 |
| 3 | 泥岩 | 17.1 | 7.1 | 1,500 | 0 | 506,000 |

3.3 単位体積重量

設計に用いた単位体積重量を表 2.14.1.1-4 に示す。

表 2.14.1.1-4 単位体積重量

| 材料 | 単位体積重量 (kN/m ³) |
|----------|-----------------------------|
| 鉄筋コンクリート | 24.5 |
| 水 (海水) | 10.3 |

3.4 水位

設計に用いた地下水水位および内水位を下に示す。

| | | |
|-----|-----|------------------------------------|
| 外水位 | 発進部 | T.P. ±0.000m |
| | 最深部 | T.P.+0.757m(H.W.L ^{※1}) |
| | | T.P. -0.778m(L.W.L ^{※2}) |
| 内水位 | 発進部 | T.P.+6.400m ^{※3} |
| | | T.P.+9.300m ^{※4} |
| | 最深部 | T.P.+6.400m ^{※3} |
| | | T.P.+9.300m ^{※4} |

※1：朔望平均干潮面

※2：朔望平均満潮面

※3：50年確率の設計有義波高から求めた内水位

※4：50年確率の設計最大波高から求めた内水位

3.5 荷重条件

3.5.1 荷重の組み合わせ

断面力照査を実施する際の荷重条件を表 2.14.1.1-5 に示す。

表 2.14.1.1-5 荷重条件

| 検討荷重 | 長期 | | 短期 | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| | 施工時 | 供用時 | 施工時 | 供用時 |
| 自重 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 載荷荷重 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 土圧 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 内水圧 (波浪含む) | | ○ | | ○ |
| 外水圧 (波浪含む) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 地震時慣性力 | | | ○ | ○ |

3.5.2 自重

自重は、覆工の図心線に沿って分布する鉛直荷重とする。

$$g = \frac{w}{\pi \cdot Dc \cdot b}$$

ここで、

g: リングの単位面積当たりの自重(kN/m²)

w: リング 1 リング分の重量(kN)

Dc: リングの図心直径(m)

b: 覆工板幅(m)

3.5.3 載荷荷重

発進立坑部では、載荷荷重 10kN/m² を考慮する。

放水トンネル最深部では、載荷荷重を考慮しない。

3.5.4 土圧

3.5.4.1 鉛直方向土圧

土圧は、最大土圧、最小土圧の 2 ケースについて行う。土圧の算定は、「トン示」によると、土と水を分離して取り扱う考え方（土水分離）、と水を土の一部として包含する考え方（土水一体）とがあり、一般的に、土水分離は砂質土において、土水一体は粘性土において採用される傾向にあるが、自律性が高い硬質粘土や固結シルトでは土水分離として取り扱うことがある、とされている。

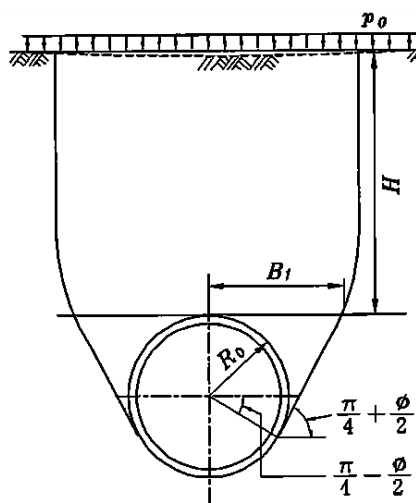
放水トンネルがシルト系の岩盤に設置されることから土水分離地盤とみなし、テルツァーギ(*Terzaghi*)の緩み土圧算定式により、緩み土圧を算出する。この緩み土圧から換算緩み高さ h を求め、次のとおりに最大土圧を決める最大換算ゆるみ高さ、および最小土圧を決める最小換算ゆるみ高さを決定する。図 2.14.1.1-1 に換算緩み高さと緩み土圧の関係を示す。

$0 \leq h \leq 2D$ のとき、最大換算緩み高さ: $2D^{*1}$ 、最小換算緩み高さ: $0.175D^{*1}$

$2D < h$ のとき、最大換算緩み高さ: h 、最小換算緩み高さ: $0.175D$

※1 : 「シールド工事中標準覆工板, 2001 年改訂, (社)日本下水道協会」
(以下, 「標準覆工板」という)

※2 : 内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き, 1999 年, (財)先端建設技術センター 編
(以下, 「内水圧の手引き」という)



$$\sigma_v = \frac{B_1(\gamma - c/B_1)}{K_0 \tan \varphi} \cdot (1 - e^{-K_0 \tan \varphi \cdot H/B_1}) + p_0 \cdot e^{-K_0 \tan \varphi \cdot H/B_1}$$

$$B_1 = R_0 \cdot \cot\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)$$

σ_v : Terzaghi の緩み土圧

K_0 : 水平土圧と鉛直土圧の比(通常 $K_0=1$ としてよい)

φ : 土の内部摩擦角

p_0 : 上載荷重

γ : 土の単位体積重量

c : 土の粘着力

ただし、 p_0/γ が H に比べ小さい場合には下記の式によってよい。

$$\sigma'_v = \frac{B_1(\gamma - c/B_1)}{K_0 \tan \varphi} \cdot (1 - e^{-K_0 \tan \varphi \cdot H/B_1})$$

図 2.14.1.1-1 換算緩み高さと緩み土圧

放水トンネルの発進部および最深部の緩み土圧は、表 2.14.1.1-3 の土質定数に示される泥岩の粘着力の影響により、 $\sigma_v = 0$ となる。

したがって、換算緩み高さは下式に基づき、表 2.14.1.1-6 のとおりとなる。

$$h_0 = \frac{\sigma_v}{\gamma_i}$$

表 2.14.1.1-6 緩み土圧と換算緩み高さの計算結果

| | 緩み土圧 σ_v (kN/m ²) | 換算緩み高さ h(m) |
|-----|--------------------------------------|-------------|
| 発進部 | 0.00 | 0.00 |
| 最深部 | 0.00 | 0.00 |

発進部、最深部どちらも緩み土圧は、0.00kN/m² となるため、最大土圧は 2D、最小土圧は 0.175D となる。

3.5.4.2 水平方向(側方)土圧

側方土圧係数(λ)および地盤反力係数(k)

側方土圧係数 λ および地盤反力係数 k は、「トン示」より決定する。

表 2.14.1.1-7 側方土圧係数(λ)および地盤反力係数(k)※

| 土水の扱い | 土の種類 | λ | k (MN/m ³) | N値による目安 |
|-------|--------------|-----------|--------------------------|-------------|
| 土水分離 | 非常によく締まった砂質土 | 0.35~0.45 | 30~50 | 30 ≤ N |
| | 締まった砂質土 | 0.45~0.55 | 10~30 | 15 ≤ N < 30 |
| | 緩い砂質土 | 0.50~0.60 | 0~10 | N < 15 |
| | 固結した粘性土 | 0.35~0.45 | 30~50 | 25 ≤ N |
| | 硬い粘性土 | 0.45~0.55 | 10~30 | 8 ≤ N < 25 |
| | 中位の粘性土 | 0.45~0.55 | 5~10 | 4 ≤ N < 8 |
| 土水一体 | 中位の粘性土 | 0.65~0.75 | 5~10 | 4 ≤ N < 8 |
| | 軟らかい粘性土 | 0.65~0.75 | 0~5 | 2 ≤ N < 4 |
| | 非常に軟らかい粘性土 | 0.75~0.85 | 0 | N < 2 |

※「トン示」より

シールド通過土層は、泥岩層(N=202)となり、上表の固結した粘性土となることから土水分離地盤となり、側方土圧係数 λ および地盤反力係数 k は、それぞれ以下の値となる。

$$\lambda=0.35$$

$$k=50(\text{MN}/\text{m}^3)$$

3.5.5 内水圧

内水圧は下記の式に従い算出する。

$$P_{wo} = \gamma_w \cdot h_{wi}$$

ここに、 P_{wo} : 内水圧 [kN/m²]

γ_w : 水の単位体積重量 [kN/m³]

h_{wi} : 水深 [m]

水深 h_{wi} を求めるために、50年確率の設計有義波高および50年確率の設計最大波高から内水位を決定し、それぞれの放水トンネル躯体までの水深を表2.14.1.1-8、2.14.1.1-9に示す。なお、放水トンネル躯体までの水深とは、「海水面から放水トンネル躯体までの鉛直方向の距離」を指す。

表 2.14.1.1-8 50年確率の設計有義波高から求めた内水位と水深

| | 放水トンネル躯体 の水深(m) | 50年確率の設計有 義波高から求めた 内水位(m) | 水深 h_{wi} (m) |
|-----|--------------------|---------------------------------|-----------------|
| 発進部 | T.P.-9.436 | T.P.+6.400 | 15.836 |
| 最深部 | T.P.-24.270m | | 30.670 |

表 2.14.1.1-9 50年確率の設計最大波高から求めた内水位と水深

| | 放水トンネル躯体 の水深(m) | 50年確率の設計最 大波高から求めた 内水位(m) | 水深 h_{wi} (m) |
|-----|--------------------|---------------------------------|-----------------|
| 発進部 | T.P.-9.436 | T.P.+9.300 | 18.736 |
| 最深部 | T.P.-24.270m | | 33.570 |

3.5.6 外水圧

外水圧は、福島第一原子力発電所 7/8 号機環境影響評価書(H12.12)に基づき以下の潮位により設定した。

発進立坑部：G.L.±0.00m

海底トンネル部 L.W.L：T.P. -0.778 m

海底トンネル部 H.W.L：T.P. + 0.757 m

3.5.7 短期荷重

地震動については、「下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版」,「共同溝設計指針」および「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」を用いて、耐震 C クラス(設計水平震度 $K_h=0.2$)の条件での応力度照査結果を比較したところ、「共同溝設計指針」がより厳しい評価であった。したがって、安全側の検討として「共同溝設計指針」に準拠した地震時の検討を以下で示す。

共同溝設計指針に基づく地震力の算定方法の概要を下記に示す。地震力 q_k および q_j は、法線方向と接線方向に対し各々の地盤ばね定数を乗ずることで求める。

$$a) \text{法線方向地震力 } q_k = \Delta U \cdot \sin\theta \cdot ds \cdot K_h \text{ (kN/m)}$$

$$b) \text{接線方向地震力 } q_j = \Delta U \cdot \cos\theta \cdot ds \cdot K_s \text{ (kN/m)}$$

地盤の応答変位は、次式にて法線方向成分と接線方向成分に分解し求める。

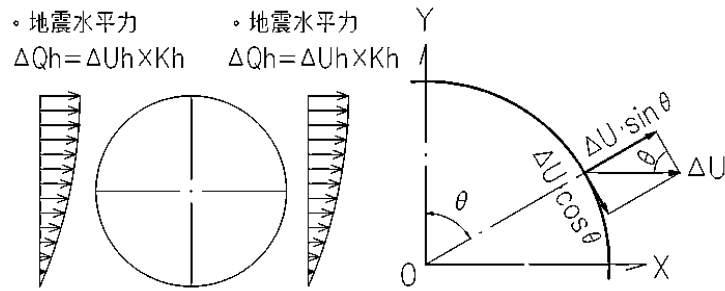


図 2.14.1.1-2 地震時水平荷重と分力イメージ

- a) 地震時水平変位 $U_{h(z)} = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_V \cdot T_S \cdot \cos\left(\frac{\pi Z}{2H}\right)$
- b) 法線方向成分 = $\Delta U \cdot \sin\theta$ (m)
- c) 接線方向成分 = $\Delta U \cdot \cos\theta$ (m)

ここで、

| | |
|-----------------------------|--------|
| S_V : 設計応答速度 | (m/s) |
| T_S : 地盤の固有周期 | (s) |
| Z : トンネル中心までの深さ | (m) |
| H : 表層地盤までの層厚 | (m) |
| d_s : フレームモデルにおける 1 要素の長さ | (m) |
| k_h : 法線方向地盤ばね定数 | (kN/m) |
| k_s : 接線方向地盤ばね定数 | (kN/m) |

以下では、上記のパラメータのうち、 S_V , T_S , K_h , K_s の算定方法を示す。

3.5.7.1 S_v の算定方法

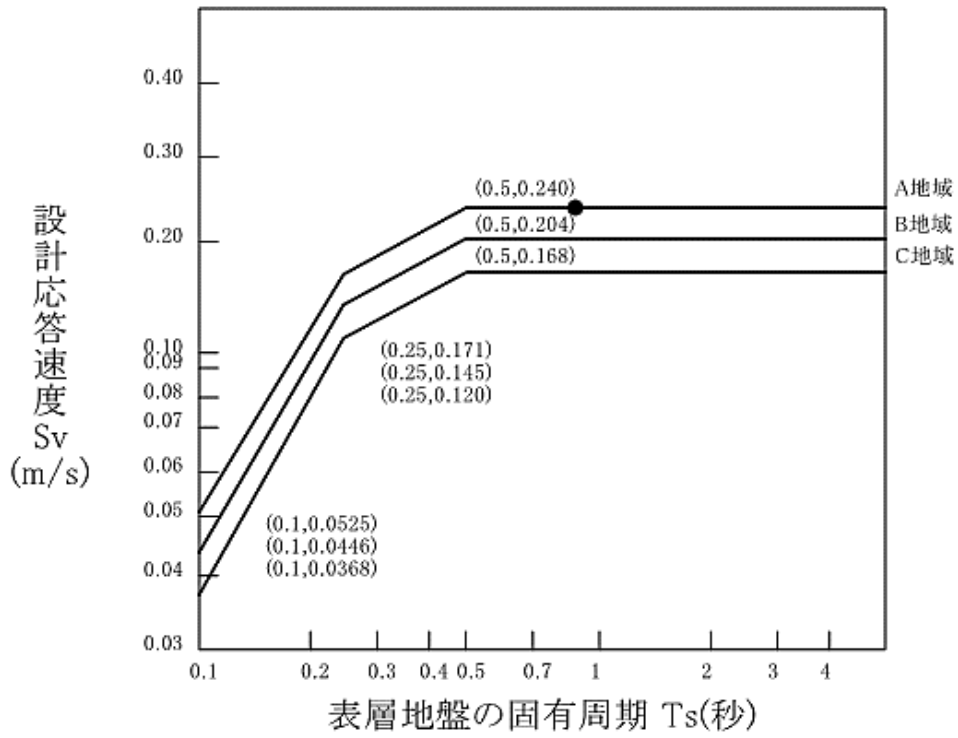


図 2.14.1.1-3 設計応答速度と表層地盤の固有周期

図 2.14.1.1-3 によって S_v を求める。このうち、地域区分は、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」に準拠し、図 2.14.1.1-4 より、福島県の地域区分を A2 とした。

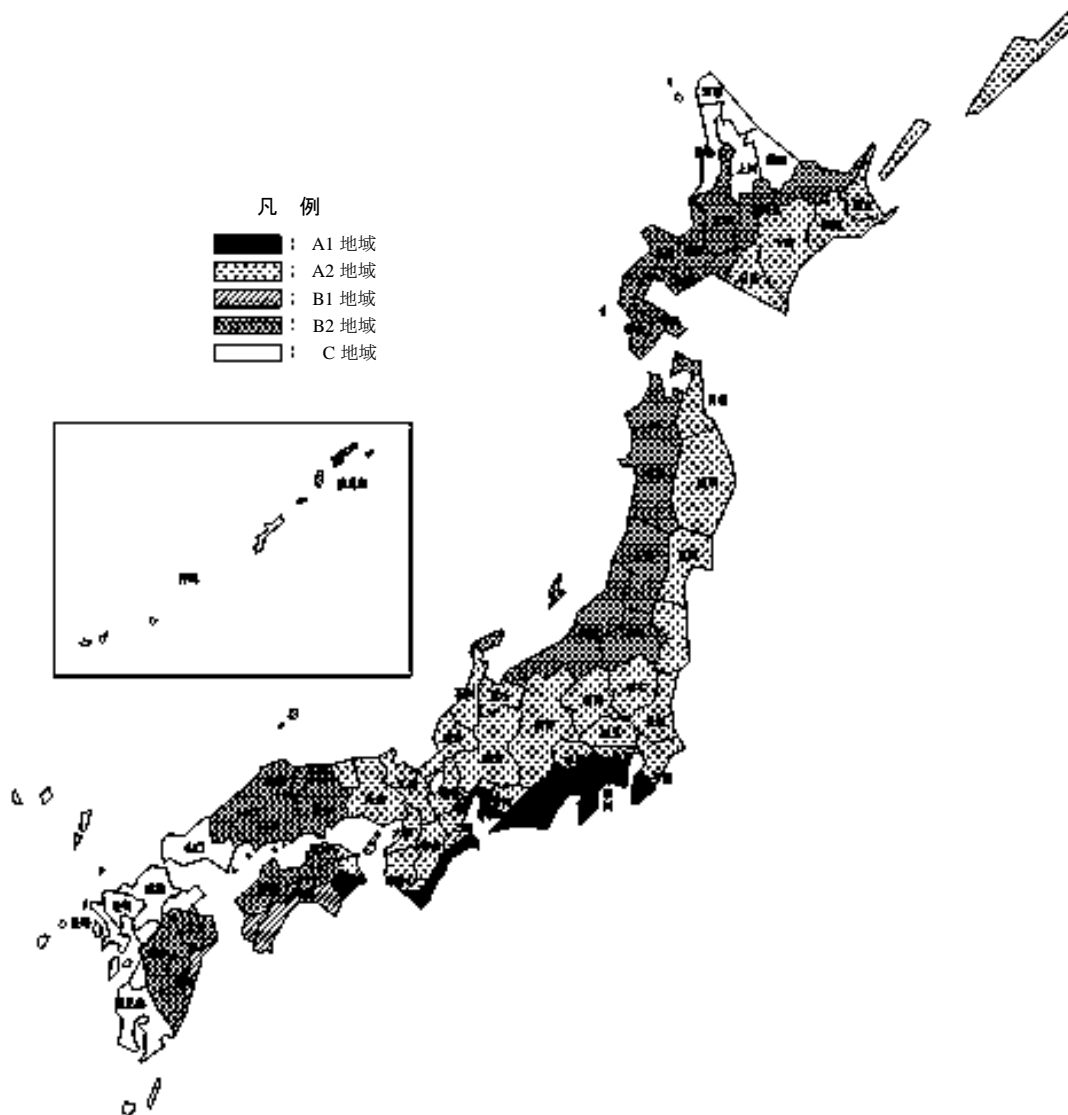


図 2.14.1.1-4 地域区分

3.5.7.2 T_s の算定方法

T_s は地盤の特性値 T_G により下式で表わされる。

$$T_s = 1.25 \cdot T_G$$

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}}$$

ここに

T_G : 地盤の特性値(s)

H_i : i 番目地層の厚さ(m)

V_{si} : i 番目地層の平均せん断弾性波速度(m/s)

平均せん断弾性波速度 V_{si} (m/s) は、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」平成 24 年 3 月にに基づき下式より求めた。

粘性土の場合

$$V_{si} = 100N_i^{1/3} (1 \leq N_i \leq 25)$$

砂質土の場合

$$V_{si} = 80N_i^{1/3} (1 \leq N_i \leq 50)$$

$$N_i = 0 \text{ の場合 } V_{si} = 50$$

ここに

N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層平均 N 値

i : 当該地盤が地表面から基盤面*まで n 層に区分される時の、地表面から i 番目の地層の番号

※: 基盤面と工学的基盤面

基盤面位置: 耐震設計における工学基盤面は、耐震設計上振動するとみなす地盤下部に存在する十分堅固でかつ対象地点に共通する広がりや安定した層厚を持つ地盤上面を指し、当該地盤調査及び土質試験結果に基づき設定するものであるが、一般には以下の条件により規定される。

工学基盤面: 粘性土の場合は N 値が 25 以上、砂質土の場合は N 値が 50 以上の地層の上面もしくは、せん断弾性波速度が 300m/s 程度以上の地層の上面をいう。(※ 基盤面のせん断弾性波速度 300m/s とは、上式の粘土の場合の $N=25$ の時及び、砂質土の $N=50$ を当てはめた場合の数値) なお、「トンネルライブラリー 第 9 号開削トンネルの耐震設計」-土木学会では、さらに『開削トンネルがこのような硬い地盤の中に構築されることもあるが(上記に示す基盤条件を満足する地層を示す)その場合の基盤面はトンネルの下スラブから少なくとも 5m 以上下方を基盤面とする必要がある』と示している。

3.5.7.3 K_h , K_s の算定方法

図 2.14.1.1-5 に示すフレームモデルのとおり、 K_h および K_s を設定する。地盤ばねおよび地震力については、法線-接線方向モデルとして扱い、周面せん断力についても考慮する。

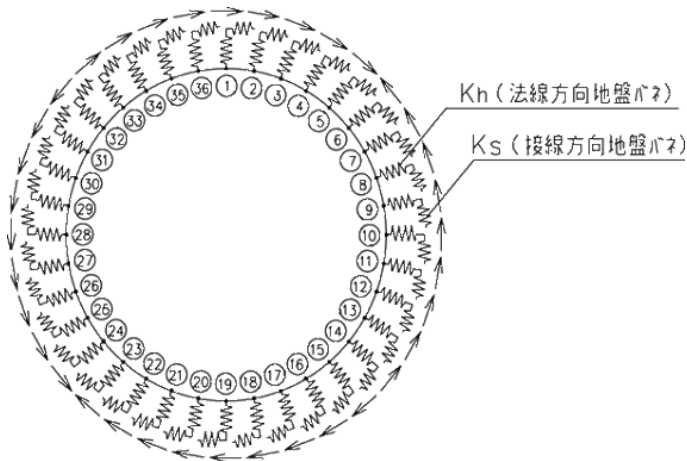


図 2.14.1.1-5 短期断面力算定フレームモデル

各節点の地盤ばね定数 K_h , K_s はそれぞれ次式で求められる。

$$K_h = 3E_D / ((1 + \nu_D) \cdot (5 - 6\nu_D) \cdot R_C)$$

$$K_s = K_h / 3$$

ここで、

ν_D : 表層地盤の動的ポアソン比

R_C : 管軸の図心半径 (m)

E_D : 表層地盤の動的変形係数 (kN/m^2)

$$E_D = 2(1 + \nu_D) \cdot G_s$$

G_s : 次頁より, $85,407.000$ (KN/m^2)

表層地盤の動的ポアソン比は、次式により求める。

$$\nu_D = (H_w \cdot \nu_{D1} + (H_g - H_w) \cdot \nu_{D2}) / H_g$$

ν_{D1} : 地下水以浅の動的ポアソン比

ν_{D2} : 地下水以深の動的ポアソン比

H_w : 地表面からの地下水位 0 (m)

H_g : 表層地盤の厚さ 49.066 (m)

なお ν_{D1} , ν_{D2} は一般に表 2.14.1.1-10 の値をとる。

表 2.14.1.1-10 動的ポアソン比の一般値

| 地層 | vD | 備考 |
|---------|------|--------|
| 沖積層・洪積層 | 0.45 | 地下水位以浅 |
| 沖積層・洪積層 | 0.50 | 地下水位以深 |
| 軟岩石 | 0.40 | |
| 硬岩石 | 0.30 | |

動的せん断変形係数 G_s の算定 γ_{teq}

$$G_s = \frac{\gamma_{teq}}{g} \cdot V_{DS}^2$$

$$\therefore V_{DS} = \frac{4H}{T_s} = \frac{4 \times 49.066}{0.891} = 220.3 \text{ (m/s)}$$

$$\therefore G_s = \frac{17.246}{9.8} \cdot 220.3^2 = 85,407 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここで,

- G_s : 動的せん断変形係数 (kN/m²)
- g : 重力加速度 9.8 (m/s²)
- V_{DS} : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)
- H : 表層地盤の厚さ 49.066 (m)
- T_s : 表層地盤の固有周期 0.891 (s)
- γ_{teq} : 表層地盤の換算単位体積重量 (kN/m³)

$$\gamma_{teq} = \frac{\sum \gamma_{ti} \cdot H_i}{H} = \frac{846.201}{49.066} = 17.246 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

表 2.14.1.1-11 表層地盤の換算単位面積重量

| 層 | 土質 | 各層厚 H _i (m) | 土の単位 体積重量 γ _{ti} (kN/m ³) | γ _{ti} ・H _i |
|---|-----|---------------------------|--|---------------------------------|
| 1 | 砂質土 | 5.080 | 18.000 | 91.440 |
| 2 | 砂岩 | 2.000 | 18.400 | 36.800 |
| 3 | 泥岩 | 41.986 | 17.100 | 717.961 |
| | 合計 | | | 846.201 |

3.6 主断面の設計

3.6.1 主断面の応力状態の判定

コンクリート覆工板の主断面決定の設計計算は、断面に生じる応力状態によって異なり、偏心管軸方向圧縮力が心外の場合は全断面圧縮状態、偏心管軸方向圧縮力が心内の場合は、曲げ圧縮応力と曲げ引張応力が生じる状態となる。

応力状態判定式

$K_i \geq f$ 全断面圧縮状態

$K_i < f$ 曲げ圧縮応力と曲げ引張応力が生ずる状態

ただし、

$$K_i = \frac{I_i}{A_i \cdot (h - u)}$$

$$A_i = B \cdot h + n \cdot (A_s + A_{s'})$$

$$u = (0.5 \cdot B \cdot h^2 + n \cdot (A_s \cdot d + A_{s'} \cdot d')) / A_i$$

$$I_i = B \cdot (u^3 + (h - u)^3) / 3 + n \cdot (A_s \cdot (d - u)^2 + A_{s'} \cdot (u - d')^2)$$

$$e = M / N$$

$$f = u - \left(\frac{h}{2} - e \right)$$

ここで、

| | | |
|----------|--------------------------|-------------------------|
| A_i | ： 換算等値断面積 | (mm ²) |
| B | ： 覆工板幅 | (mm) |
| u | ： 軸力側の縁側から換算等値断面の図心までの距離 | (mm) |
| h | ： 覆工板厚 | (mm) |
| I_i | ： 換算等値面積の断面二次モーメント | (mm ⁴ /Ring) |
| e | ： 重心より軸力作用位置までの距離 | (mm) |
| n | ： ヤング係数比 | |
| A_s | ： 引張側鉄筋量 | (cm ²) |
| $A_{s'}$ | ： 圧縮側鉄筋量 | (cm ²) |
| d | ： 引張側有効高 | (mm) |
| d' | ： 圧縮側有効高 | (mm) |
| M | ： 正の曲げモーメント | (kN・m) |
| N | ： 正の曲げモーメント位置軸力 | (kN) |

3.6.2 主断面の応力算定式

(1) 全断面圧縮状態 ($K_i \geq f$ の場合)

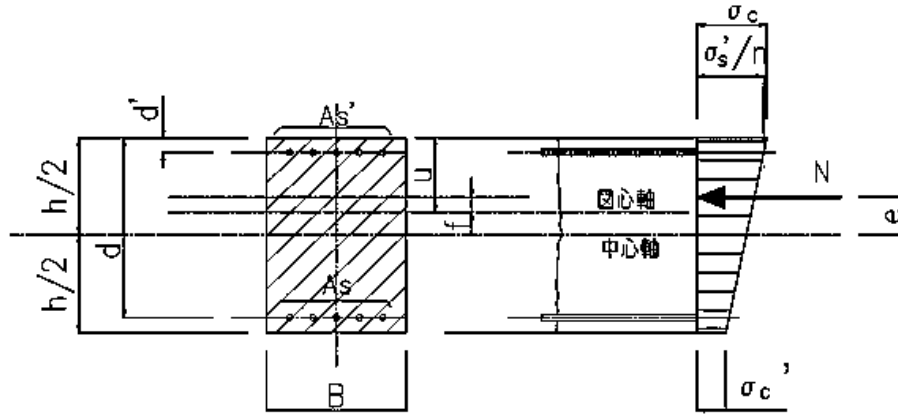


図 2.14.1.1-6.1 全断面圧縮状態の応力度

$$\sigma_c = \frac{N}{A_i} + \frac{M}{I_i} \cdot u \leq \sigma_{ca}$$

ただし,

σ_{ca} : コンクリートの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

σ_c : コンクリート最大圧縮応力度 (N/mm²)

(2) 曲げ圧縮応力と曲げ引張応力が生じる状態 ($K_i < f$ の場合, $N \neq 0$ の場合)

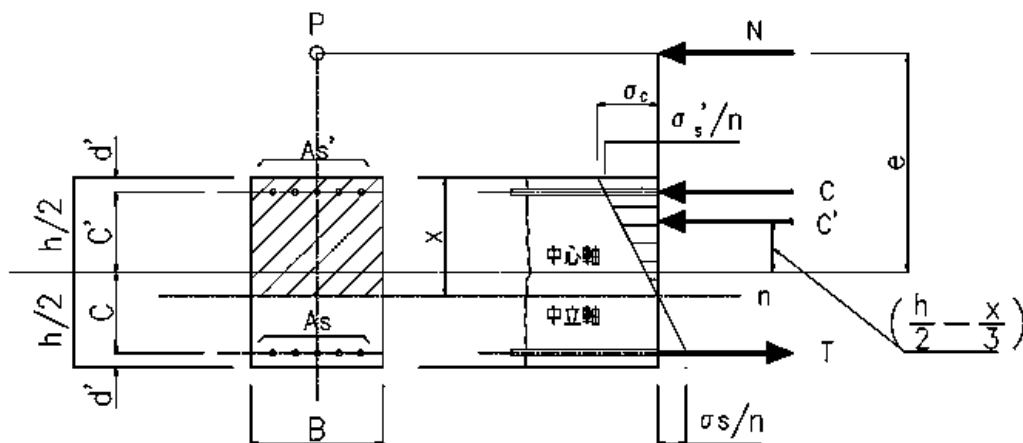


図 2.14.1.1-6.2 曲げ圧縮応力と曲げ引張応力が生じる場合の応力度

$$\begin{aligned} & \chi^3 - 3 \cdot (h/2 - e) \cdot \chi^2 + (6 \cdot n/B) \cdot (As \cdot (e + C) + As' \cdot (e - C')) \\ & \cdot \chi - (6 \cdot n/B) \cdot (As \cdot (e + C) \cdot (C + h/2) + As' \cdot (e - C') \cdot (h/2 - C')) = 0 \\ \\ \sigma_c &= \frac{M}{B \cdot \chi / 2 \cdot (h/2 - \chi/3) + (n \cdot As' / \chi) \cdot C' \cdot (C' - h/2 + \chi) + (n \cdot As / \chi) \cdot C \cdot (C + h/2 - \chi)} \leq \sigma_{ca} \\ \\ \sigma_s &= \frac{n \cdot \sigma_c}{\chi} \cdot (C + \frac{h}{2} - \chi) \leq \sigma_{sa} \\ \\ \sigma_{s'} &= \frac{n \cdot \sigma_c}{\chi} \cdot (C' - \frac{h}{2} + \chi) \leq \sigma_{sa} \end{aligned}$$

(3) 曲げ圧縮応力と曲げ引張応力が生じる状態 ($K_i < f$ の場合, $N = 0$ の場合)

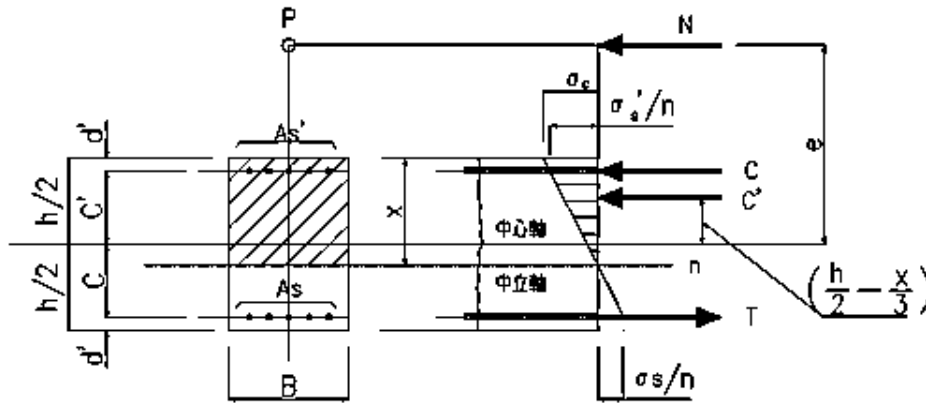


図 2.14.1.1-6.3 曲げ圧縮応力と曲げ引張応力が生じる場合の応力度

$$\begin{aligned} \chi &= -n \cdot \frac{(As + As')}{B} + \sqrt{\left(\frac{n \cdot (As + As')}{B}\right)^2 + \frac{2 \cdot n}{B} \cdot (d \cdot As + d' \cdot As')} \\ \\ \sigma_c &= \frac{M}{B \cdot \chi / 2 \cdot (d - \chi / 3) + n \cdot As' \cdot (\chi - d' / \chi) \cdot (d - d')} \leq \sigma_{ca} \\ \\ \sigma_s &= n \cdot \sigma_c \cdot \frac{d - \chi}{\chi} \leq \sigma_{sa} \\ \\ \sigma_{s'} &= n \cdot \sigma_c \cdot \frac{\chi - d'}{\chi} \leq \sigma_{sa} \end{aligned}$$

ここで,

χ : 圧縮側縁から中立軸までの距離 (mm)

- C : 覆工板厚中心から引張鉄筋までの距離 (mm)
- C' : 覆工板厚中心から圧縮鉄筋までの距離 (mm)
- σ_{sa} : 鉄筋の許容応力度 (N/mm²)
- σ_s : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)
- σ_s' : 鉄筋の圧縮応力度 (N/mm²)

(4) せん断力に対する設計

a. せん断応力度 τ_c

$$\tau_c = \frac{1.15 \cdot Q_{max}}{B \cdot d} \leq \tau_u$$

ここで、 Q_{max} : 最大せん断力(kN)

3.7 解析モデル

構造設計は、図 2.14.1.1-7.1 に示すような覆工板（放水トンネルを構成する 2 次製品の鉄筋コンクリート製の部材）を組み立てたリング状の断面を骨組構造にモデル化する。

解析モデルの骨組み図を図 2.14.1.1-7.2 に示す。解析モデルにおいて 1 リングを 36 の要素に分割し、断面力を算出する。

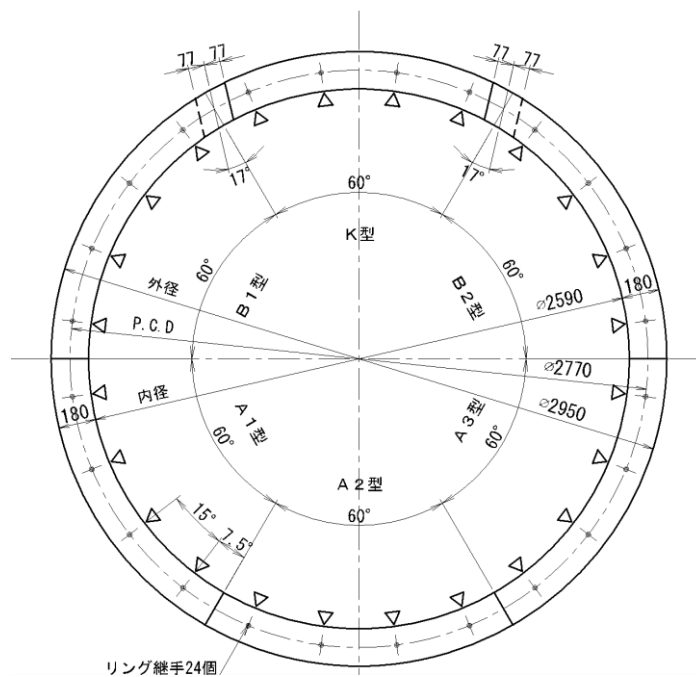


図 2.14.1.1-7.1 覆工板およびリング概要図

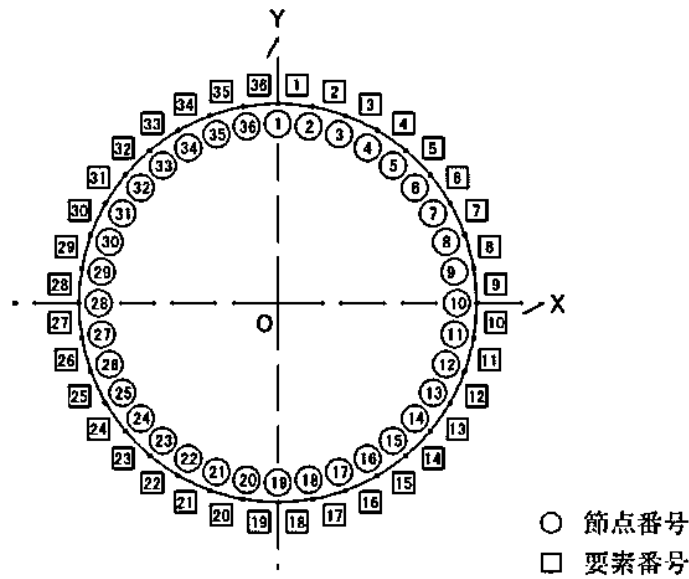


図 2.14.1.1-7.2 解析モデル (骨組み)

放水トンネルは、覆工板をシールドマシン内部においてリング状に組み立て、リング同士を放水トンネルの延長方向に連結させることで構築される。覆工板同士およびリング同士は、予め覆工板に内挿されている機械式継手（覆工板同士を繋ぐ継手を覆工板継手、リング同士を繋ぐ継手をリング継手と呼ぶ）により連結する構造であり、継手の影響を下記の通り考慮している。

リング同士を接続するリング継手による剛性の低下を考慮し、曲げ剛性の有効率 η を与えた剛性様なリングとした。また、覆工板同士は千鳥に組むことにより、リング継手の存在による剛性の低下を補うことができるが、覆工板に発生する曲げモーメントは、すべてがリング継手を通じて伝達されるのではなく、一部はリング継手のせん断剛性により千鳥に組まれた隣り合う覆工板に伝達する。この曲げモーメントの一部の負担分を、曲げモーメントの割増率 ζ として与えた。また、内水圧によって生じる覆工板への影響を適切に評価するため地盤ばねを配置したモデルとした。

曲げ剛性の有効率 η および曲げモーメントの割増率 ζ を表2.14.1.1-12に示す。

表 2.14.1.1-12 曲げ剛性の有効率 η および曲げモーメントの割増率 ζ

| 曲げ剛性の有効率 η | 曲げモーメントの割増率 ζ |
|-----------------|---------------------|
| 0.80 | 0.25 |

4. 検討ケース

検討ケースを表 2.14.1.1-13 に示す。なお、短期については、施工時（空水時）がクリティカルケースとなるため、表 2.14.1.1-13 に記載以外のケースは検討を省略した。これは、内水圧が作用する供用時は、内水圧が短期慣性力を低減させる方向に働くため、内水圧が作用する場合は見かけ上の水平力が大きくなり、クリティカルケースとならないためである。

表 2.14.1.1-13 検討ケース

| 検討部位 | 荷重パターン | トンネルの状態 | 土圧 | 外水位 |
|--------------|--------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 覆工板 (発進部) | 長期 | 空水時 | 2D | G.L.±0.00 |
| | | 内水圧作用時(T.P.+6.400m) | | |
| | | 内水圧作用時(T.P.+9.300m) | | |
| | 短期 | 空水時 | 0.175D | |
| | | 内水圧作用時(T.P.+6.400m) | | |
| | | 内水圧作用時(T.P.+9.300m) | | |
| 覆工板 (最深部) | 長期 | 空水時 | 2D | H.W.L(T.P.+0.757m) |
| | | 内水圧作用時(T.P.+6.400m) | | L.W.L(T.P.-0.778m) |
| | | 内水圧作用時(T.P.+9.300m) | | |
| | 短期 | 空水時 | 0.175D | H.W.L(T.P.+0.757m) |
| | | 内水圧作用時(T.P.+6.400m) | | L.W.L(T.P.-0.778m) |
| | | 内水圧作用時(T.P.+9.300m) | | |
| 短期 | 空水時 | 2D | H.W.L(T.P.+0.757m) | |
| | | 0.175D | L.W.L(T.P.-0.778m) | |

5. 評価結果

発進部および最深部のクリティカルケースを表 2.14.1.1-14 に示す。また、表-2.14.1.1-13 に示す長期の各検討ケースにおいて、発進部および最深部の照査結果（最大作用応力，作用応力/許容応力の比）を表 2.14.1.1-15.1，表 2.14.1.1-15.2，表 2.14.1.1-16，表 2.14.1.1-17.1，表 2.14.1.1-17.2，表 2.14.1.1-18 に示す。

それぞれのケースに対して，作用応力が許容応力度以内であることを確認した。

表 2.14.1.1-14 覆工板のクリティカルケース

| 検討部位 | 荷重 ケース | 対象材料 | 応力 | 作用応力度 (N/mm ²) | 許容応力度 (N/mm ²) | 作用応力度/ 許容応力度 |
|--------------|-----------|------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 覆工板 (発進部) | 長期* | 鉄筋 | 曲げ モーメント | 78 | 200 | 0.39 |
| 覆工板 (最深部) | 長期* | 鉄筋 | 曲げ モーメント | 91 | 200 | 0.46 |

※：トンネルの状態：内水圧作用時(T.P.+9.300m)，土圧：2D

表 2.14.1.1-15.1 発進部・土被り 2D における
覆工板の応力度照査結果【長期】

| 荷重 ケース | 土被り | トンネルの状 態 | 外水位 | | 作用応力 (N/mm ²) | | | 作用応力 /許容応力 | | |
|-----------|-----|-----------------------------|--------------------|------|------------------------------|------|------|----------------|------|---------|
| | | | | | コンク リート | 鉄筋 | せん断 | コン クリ ート | 鉄筋 | せん 断 |
| 長期 | 2D | 空水時 | G.L. ± 0.00m | M+ | 2.9 | - | - | 0.18 | - | - |
| | | | | M- | 2.3 | - | - | 0.14 | - | - |
| | | | | Smax | 1.6 | - | 0.09 | 0.10 | - | 0.12 |
| | | 内水圧 作用時 (T.P.+6.400m) | | M+ | 4.2 | 64.1 | - | 0.26 | 0.32 | - |
| | | | | M- | 4.2 | 65.6 | - | 0.26 | 0.33 | - |
| | | | | Smax | 0.4 | 5.6 | 0.13 | 0.03 | 0.03 | 0.18 |
| | | 内水圧 作用時 (T.P.+9.300m) | | M+ | 4.2 | 73.9 | - | 0.26 | 0.37 | - |
| | | | | M- | 4.3 | 78.4 | - | 0.27 | 0.39 | - |
| | | | | Smax | 0.3 | 15.9 | 0.13 | 0.02 | 0.08 | 0.18 |

表 2.14.1.1-15.2 発進部・土被り 0.175D における
覆工板の応力度照査結果【長期】

| 荷重 ケース | 土被り | トンネルの状 態 | 外水位 | | 作用応力 (N/mm ²) | | | 作用応力 /許容応力 | | |
|-----------|--------|-----------------------------|--------------------|------|------------------------------|------|------|----------------|------|---------|
| | | | | | コンク リート | 鉄筋 | せん断 | コン クリ ート | 鉄筋 | せん 断 |
| 長期 | 0.175D | 空水時 | G.L. ± 0.00m | M+ | 1.2 | - | - | 0.08 | - | - |
| | | | | M- | 1.1 | - | - | 0.07 | - | - |
| | | | | Smax | 1.0 | - | 0.03 | 0.06 | - | 0.04 |
| | | 内水圧 作用時 (T.P.+6.400m) | | M+ | 1.2 | 27.5 | - | 0.08 | 0.14 | - |
| | | | | M- | 1.2 | 29.8 | - | 0.08 | 0.15 | - |
| | | | | Smax | 0.2 | 14.2 | 0.04 | 0.01 | 0.07 | 0.05 |
| | | 内水圧 作用時 (T.P.+9.300m) | | M+ | 1.1 | 37.7 | - | 0.07 | 0.19 | - |
| | | | | M- | 1.2 | 43.1 | - | 0.08 | 0.22 | - |
| | | | | Smax | 0.0 | 23.2 | 0.04 | 0.00 | 0.12 | 0.05 |

表 2.14.1.1-16 発進部における
覆工板の応力度照査結果【短期】

| 荷重 ケース | 土被り | トンネルの 状態 | 外水位 | | 作用応力 (N/mm ²) | | | 作用応力 /許容応力 | | |
|-----------|--------|-------------|----------------|------|------------------------------|------|-------|---------------|------|------|
| | | | | | コンク リート | 鉄筋 | せん断 | コンク リート | 鉄筋 | せん断 |
| 短期 | 2D | 空水時 | G.L. ±0.00m | M+ | 6.2 | 45.9 | 0.014 | 0.26 | 0.15 | 0.01 |
| | | | | M- | 6.4 | 41.7 | 0.054 | 0.27 | 0.14 | 0.05 |
| | | | | Smax | 1.2 | 15.0 | 0.235 | 0.05 | 0.05 | 0.21 |
| | 0.175D | | | M+ | 5.7 | 46.5 | 0.022 | 0.24 | 0.16 | 0.02 |
| | | | | M- | 5.6 | 37.3 | 0.070 | 0.23 | 0.12 | 0.06 |
| | | | | Smax | 1.6 | 16.5 | 0.206 | 0.07 | 0.06 | 0.19 |

表 2.14.1.1-17.1 最深部・土被り 2D における
覆工板の応力度照査結果【長期】

| 荷重 ケース | 土被り | トンネルの状 態 | 外水位 | | 作用応力 (N/mm ²) | | | 作用応力 /許容応力 | | |
|-----------|-----|-----------------------------|-------|------|------------------------------|------|------|----------------|------|------|
| | | | | | コンク リート | 鉄筋 | せん断 | コン クリ ート | 鉄筋 | せん断 |
| 長期 | 2D | 空水時 | H.W.L | M+ | 3.4 | - | - | 0.21 | - | - |
| | | | | M- | 3.0 | - | - | 0.19 | - | - |
| | | | | Smax | 2.4 | - | 0.09 | 0.15 | - | 0.12 |
| | | | L.W.L | M+ | 3.3 | - | - | 0.21 | - | - |
| | | | | M- | 2.9 | - | - | 0.18 | - | - |
| | | | | Smax | 2.3 | - | 0.09 | 0.14 | - | 0.12 |
| | | 内水圧 作用時 (T.P.+6.400m) | M+ | 4.1 | 73.4 | - | 0.26 | 0.37 | - | |
| | | | M- | 4.1 | 78.2 | - | 0.26 | 0.39 | - | |
| | | | Smax | 0.2 | 17.3 | 0.12 | 0.01 | 0.09 | 0.16 | |
| | | 内水圧 作用時 (T.P.+9.300m) | M+ | 4.0 | 83.2 | - | 0.25 | 0.42 | - | |
| | | | M- | 4.2 | 91.0 | - | 0.26 | 0.46 | - | |
| | | | Smax | 0.0 | 26.6 | 0.12 | 0.00 | 0.13 | 0.16 | |

表 2.14.1.1-17.2 最深部・土被り 0.175D における
覆工板の応力度照査結果【長期】

| 荷重 ケース | 土被り | トンネルの状 態 | 外水位 | | 作用応力 (N/mm ²) | | | 作用応力 /許容応力 | | | |
|-----------|--------|-----------------------------|-----------------------------|-------|------------------------------|------|------|----------------|------|---------|------|
| | | | | | コンク リート | 鉄筋 | せん断 | コン クリ ート | 鉄筋 | せん 断 | |
| 長期 | 0.175D | 空水時 | H.W.L | M+ | 2.1 | - | - | 0.13 | - | - | |
| | | | | M- | 2.0 | - | - | 0.13 | - | - | |
| | | | | Smax | 1.8 | - | 0.03 | 0.11 | - | 0.04 | |
| | | | L.W.L | M+ | 2.0 | - | - | 0.13 | - | - | |
| | | | | M- | 1.9 | - | - | 0.12 | - | - | |
| | | | | Smax | 1.7 | - | 0.03 | 0.11 | - | 0.04 | |
| | | 内水圧 作用時 (T.P.+6.400m) | L.W.L | M+ | 0.7 | 34.2 | - | 0.04 | 0.17 | - | |
| | | | | M- | 1.0 | 41.2 | - | 0.06 | 0.21 | - | |
| | | | | Smax | 0.0 | 24.9 | 0.03 | 0.00 | 0.12 | 0.04 | |
| | | | 内水圧 作用時 (T.P.+9.300m) | L.W.L | M+ | 0.4 | 44.3 | - | 0.03 | 0.22 | - |
| | | | | | M- | 1.0 | 54.6 | - | 0.06 | 0.27 | - |
| | | | | | Smax | 0.0 | 36.7 | 0.03 | 0.00 | 0.18 | 0.04 |

表 2.14.1.1-18 最深部における
覆工板の応力度照査結果【短期】

| 荷重 ケース | 土被り | トンネル の状態 | 外水位 | | 作用応力 (N/mm ²) | | | 作用応力 /許容応力 | | |
|-----------|--------|-------------|------------------------|------|------------------------------|------|-------|---------------|------|------|
| | | | | | コンク リート | 鉄筋 | せん断 | コンク リート | 鉄筋 | せん断 |
| 短期 | 2D | 空水時 | H.W.L (T.P.+0.757m) | M+ | 7.0 | 40.3 | 0.092 | 0.29 | 0.13 | 0.08 |
| | | | | M- | 6.8 | 44.9 | 0.071 | 0.28 | 0.15 | 0.06 |
| | | | | Smax | 1.8 | 25.0 | 0.270 | 0.08 | 0.08 | 0.25 |
| | 0.175D | | L.W.L (T.P.-0.778m) | M+ | 6.7 | 37.1 | 0.029 | 0.28 | 0.12 | 0.03 |
| | | | | M- | 6.2 | 42.7 | 0.041 | 0.26 | 0.14 | 0.04 |
| | | | | Smax | 1.7 | 23.5 | 0.246 | 0.07 | 0.08 | 0.22 |

表 2.14.1.1-14 に示したケースについて検討内容の詳細を以下で示す。

6. 長期の詳細検討内容

6.1 発進部・土被り 2D の場合

6.1.1 荷重算定についての地盤の分類

覆工板の荷重算定における地盤の分類は、土質学上の土の分類とは異なり、原則的に次の区分によるものとする。

- ・土水一体地盤 : 土圧と水圧を一体として考える。
- ・土水分離地盤 : 土圧と水圧を分離して考える。

6.1.2 鉛直土圧の考え方

- ・土水一体地盤 : 全土被り重量
- ・土水分離地盤 : 土被りが覆工板外径 D_0 の 2 倍以下 ($2D_0 \geq H_0$) ……全土被り重量
土被りが覆工板外径 D_0 の 2 倍を超える ($2D_0 < H_0$) ……Terzaghi の緩み土圧

但し、緩み土圧を緩み高さに換算したとき、これが覆工板外径の 2 倍以下の場合には、緩み高さは 2 倍以下になることはないものとし、2 倍を下限とする。図 2.14.1.1-8 に発進部かつ土被り 2D の地盤条件を示す。

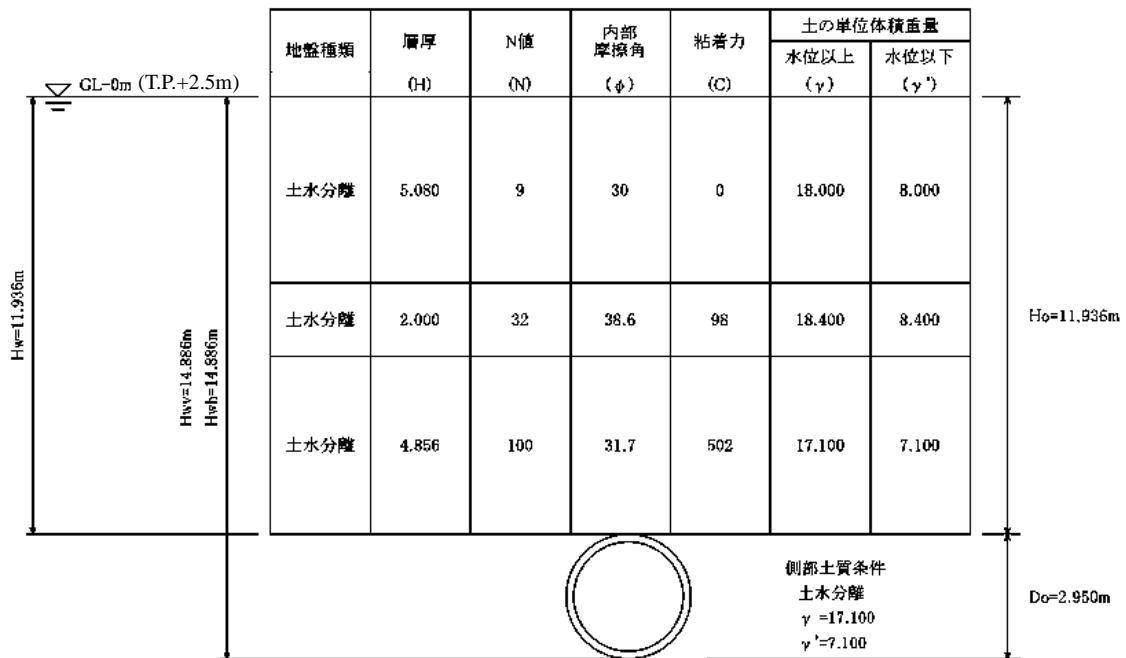


図 2.14.1.1-8 地盤条件

6.1.3 側方土圧係数 λ 及び地盤反力 k の選定

側方土圧係数 λ 及び地盤反力係数 k については、表 2.14.1.1-19 に示す「標準覆工板」ならびに表 2.14.1.1-20 に示す「トン示」に準じ、 λ 、 k の組合せ表より選択する。

表 2.14.1.1-19 側方土圧係数(λ)と地盤反力係数(k)との組合せ

| 土水分離地盤の場合 | | | | | 土水一体地盤の場合 | | | | |
|--|----|----|----|----|--|---|-----|-----|----|
| $k(\text{MN}/\text{m}^3)$ λ | 10 | 20 | 40 | 80 | $k(\text{MN}/\text{m}^3)$ λ | 0 | 2.5 | 5.0 | 10 |
| 0.4 | | | ○ | ○ | 0.6 | | | ○ | ○ |
| 0.5 | ○ | ○ | ○ | ○ | 0.7 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 0.6 | ○ | ○ | ○ | ○ | 0.8 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 0.7 | ○ | ○ | | | 0.9 | ○ | ○ | | |

表 2.14.1.1-20 側方土圧係数(λ)及び地盤反力係数(k)

| 地盤の分類 | 土の工学的分類 | λ | $k(\text{MN}/\text{m}^3)$ | N値による目安 |
|--------|--------------|-----------|---------------------------|------------------|
| 土水分離地盤 | 非常によく締まった砂質土 | 0.35~0.45 | 30~50 | $30 \leq N$ |
| | 締まった砂質土 | 0.45~0.55 | 10~30 | $15 \leq N < 30$ |
| | ゆるい砂質土 | 0.50~0.60 | 0~10 | $N < 15$ |
| 土水分離地盤 | 固結した粘性土 | 0.35~0.45 | 30~50 | $25 \leq N$ |
| | 硬い粘性土 | 0.45~0.55 | 10~30 | $8 \leq N < 25$ |
| | 中位の粘性土 | 0.45~0.55 | 5~10 | $4 \leq N < 8$ |
| 土水一体地盤 | 中位の粘性土 | 0.65~0.75 | 5~10 | $4 \leq N < 8$ |
| | 軟らかい粘性土 | 0.65~0.75 | 0~5 | $2 \leq N < 4$ |
| | 非常に軟らかい粘性土 | 0.75~0.85 | 0 | $N < 2$ |

※原則的に下水道協会の『シールド工事用標準覆工板』では表 2.14.1.1-19 の○印の組合せ数値で考えられている。

これより $\lambda = 0.35$

$k = 50 (\text{MN}/\text{m}^3)$ とする。

6.1.2 設計条件

6.1.2.1 上載荷重

6.1.2.1.1 活荷重

管にかかる活荷重 $W_0 = 0.000$ (KN/m²) とする。

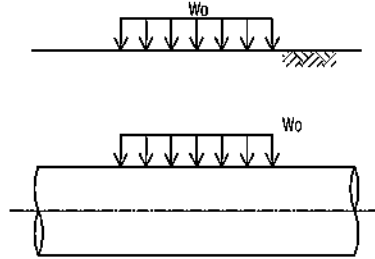


図 2.14.1.1-9 活荷重

6.1.2.1.2 死荷重

Terzaghi の緩み高さに考慮される死荷重 $P_0' = 10.000$ (KN/m²) とする。

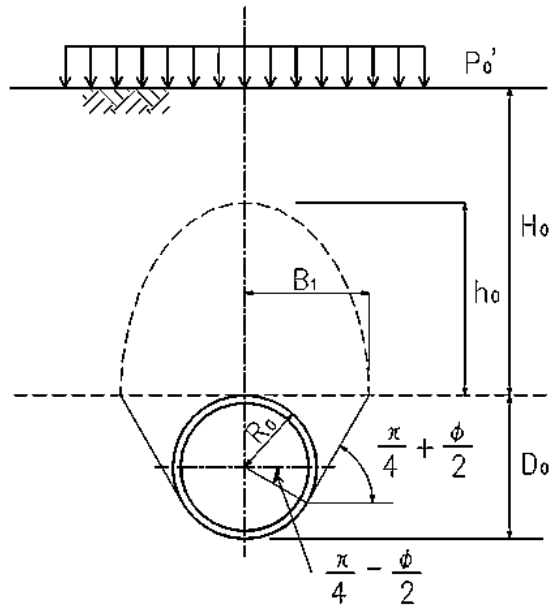


図 2.14.1.1-10 死荷重

6.1.3 土圧の算定

6.1.3.1 鉛直土圧

鉛直土圧については、土質が土水分離地盤であり、且つ $2 \times D_0 < H_0$ の条件を満たすため、Terzaghi の緩み土圧算定式により算出する。

6.1.3.2 多層地盤における緩み土圧 σ_v の算定

多層地盤における緩み土圧 σ_v は下式および図 2.14.1.1-11 によって算出する。結果を表 2.14.1.1-21 に示す。

$$\begin{aligned} \sigma_{v1} &= \frac{B_1 \cdot (\gamma_1 - C_1 / B_1)}{K_0 \cdot \tan \phi_1} \cdot (1 - e^{-K_0 \cdot \tan \phi_1 \cdot H_1 / B_1}) + (P_0 + W_0) \cdot e^{-K_0 \cdot \tan \phi_1 \cdot H_1 / B_1} \\ \sigma_{v2} &= \frac{B_1 \cdot (\gamma_2 - C_2 / B_1)}{K_0 \cdot \tan \phi_2} \cdot (1 - e^{-K_0 \cdot \tan \phi_2 \cdot H_2 / B_1}) + \sigma_{v1} \cdot e^{-K_0 \cdot \tan \phi_2 \cdot H_2 / B_1} \\ \sigma_{vi} &= \frac{B_1 \cdot (\gamma_i - C_i / B_1)}{K_0 \cdot \tan \phi_i} \cdot (1 - e^{-K_0 \cdot \tan \phi_i \cdot H_i / B_1}) + \sigma_{vi-1} \cdot e^{-K_0 \cdot \tan \phi_i \cdot H_i / B_1} \\ \sigma_v &= \frac{B_1 \cdot (\gamma_n - C_n / B_1)}{K_0 \cdot \tan \phi_n} \cdot (1 - e^{-K_0 \cdot \tan \phi_n \cdot H_n / B_1}) + \sigma_{vn-1} \cdot e^{-K_0 \cdot \tan \phi_n \cdot H_n / B_1} \\ B_1 &= R_0 \cdot \cot \left(\frac{\pi / 4 + \phi_v / 2}{2} \right) \\ &= 1.475 \times \cot \left(\frac{\pi / 4 + 31.7^\circ / 2}{2} \right) = 2.512 \text{ (m)} \end{aligned}$$

なお、内部摩擦角 $\phi=0$ の場合は

$\sigma_{vi} = (\gamma_i - C_i / B_1) \cdot H_i + \sigma_{vi-1}$ とする

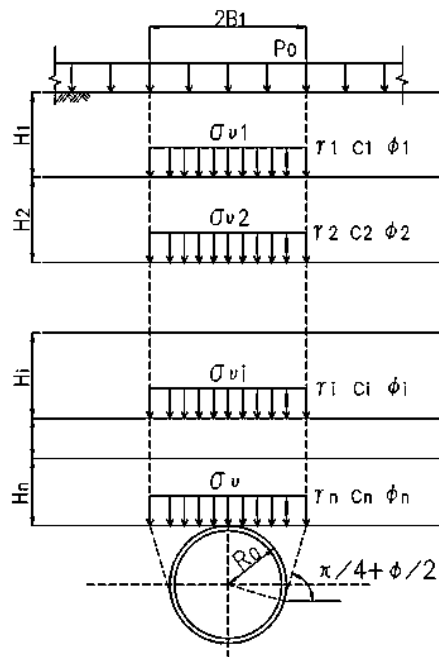


図 2.14.1.1-11 緩み土圧

表 2.14.1.1-21 緩み土圧の計算結果

| 層数 (i) | 各層厚 (m) | 水中単位 体積重量 γ_i (kN/m ³) | 粘着力 C_i (kN/m ²) | 内部摩擦角 ϕ_i (°) | 上載荷重 σ_{vi} (kN/m ²) | 緩み土圧 σ_{vi} (kN/m ²) |
|-----------|------------|---|--------------------------------------|-----------------------|---|---|
| 1 | 5.080 | 8.0 | 0 | 30.0 | 10.000 | 27.089 |
| 2 | 2.000 | 8.4 | 98 | 38.6 | 27.089 | 0.000 |
| 3 | 4.856 | 7.1 | 502 | 31.7 | 0.000 | 0.000 |

6.1.2 鉛直土圧の考え方に示す通り、緩み土圧 σ_{v3} を緩み高さ h_0 に換算したとき、これが覆工板外径 $D_0(=2.950\text{m})$ の 2 倍以下の場合には、緩み高さ h_0 は 2 倍以下になることはないものとし、2 倍を下限としている。

表 2.14.1.1-21 より、覆工板上部の地盤の緩み土圧は、 $\sigma_{v3}=0.000$ (kN/m²) である。この時、6.1.3.3 緩み土圧 σ_v から緩み高さ h_0 の算定に示す式より、緩み高さ $h_0=0.000$ (m) となる。

$2D_0=2 \times 2.950(\text{m})=5.900(\text{m}) > 0.000(\text{m})=h_3$ より、覆工板に加わる鉛直土圧は $2D_0$ 分の鉛直土圧とする。

$2D_0$ 分の土圧は表 2.14.1.1-21 より、

$$7.1(\text{kN/m}^3) \times 4.856(\text{m}) + 8.4(\text{kN/m}^3) \times (5.900 - 4.856)(\text{m}) = 43.247 (\text{kN/m}^2)$$

であり、鉛直土圧 $P_{SV}=43.247$ (kN/m²) とする。

6.1.3.3 緩み土圧 σ_v から緩み高さ h_0 の算定

$$h_0 = \frac{\sigma_v}{\gamma_i}$$

σ_v より算定される緩み高さ : $h_0 = 0.000$ (m)

○地下水位以下の土水分離地盤層厚 = 11.936 (m)

○地下水位以下の土水一体地盤層厚 = 0.000 (m)

○管頂から地下水位までの距離 $H_w = 11.936$ (m)

6.1.4 設計荷重の算定

6.1.4.1 鉛直荷重 : P_{V1}

○上載荷重 (活荷重) : $W_0 = 0.000$ (kN/m²)

○上載荷重 (死荷重) : $P_0 = 0.000$ (kN/m²)

○土圧 : $P_{SV} = 43.247$ (kN/m²)

○水圧 : $P_{WV} = \gamma W \cdot (H_{WV} - D_0)$
 $= 10.000 \times (14.886 - 2.950)$
 $= 119.360$ (kN/m²)

$\therefore P_{V1} = W_0 + P_0 + P_{SV} + P_{WV}$
 $= 0.000 + 0.000 + 43.247 + 119.360$
 $= 162.607$ (kN/m²)

6.1.4.2 頂部水平荷重 : P_{H1}

○上載荷重 (活荷重) : $W_H = \lambda \cdot W_0 = 0.35 \times 0.000 = 0.000$ (kN/m²)

○上載荷重 (死荷重) : $P_H = \lambda \cdot P_0 = 0.35 \times 0.000 = 0.000$ (kN/m²)

○土圧 : $P_{Sh1} = \lambda \cdot (P_{SV} + \gamma' \cdot (D_0 / 2 - R_C))$
 $= 0.35 \times (43.247 + 7.100 \times (2.950 / 2 - 1.385))$
 $= 15.360$ (kN/m²)

○水圧 : $P_{W1} = \gamma W \cdot (H_{Wh} - D_0 / 2 - R_C)$
 $= 10.000 \times (14.886 - 2.950 / 2 - 1.385) = 120.260$ (kN/m²)

$\therefore P_{H1} = W_H + P_H + P_{Sh1} + P_{W1}$
 $= 0.000 + 0.000 + 15.360 + 120.260 = 135.620$ (kN/m²)

6.1.4.3 底部水平荷重 : P_{H2}

$$\begin{aligned} \text{○土圧 : } P_{Sh2} &= \lambda \cdot (P_{SV} + \gamma' \cdot (D_0 / 2 + R_C)) \\ &= 0.35 \times (43.247 + 7.100 \times (2.950 / 2 + 1.3850)) \\ &= 22.244 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{○水圧 : } P_{W2} &= \gamma W \cdot (H_{Wh} - (D_0 / 2 - R_C)) \\ &= 10.000 \times (14.886 - (2.950 / 2 - 1.3850)) \\ &= 147.960 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore P_{H2} &= W_H + P_H + P_{Sh2} + P_{W2} \\ &= 0.000 + 0.000 + 22.244 + 147.960 = 170.204 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

6.1.4.4 自重による底部反力荷重 : P_g

覆工板の自重 (1m 当り) $w_g = 40.73 \text{ kN/m}$

したがって, 覆工板円周単位当り重量 : W_g は,

$$W_g = \frac{w_g}{2 \cdot \pi \cdot R_C} = \frac{40.73}{2 \times \pi \times 1.3850} = 4.680 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\therefore P_g = \pi \cdot W_g = \pi \times 4.680 = 14.703 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

6.1.4.5 頂部内水圧(T.P.+6.4m) : P1

$$\begin{aligned} P1 &= \gamma W \cdot HW_i \\ &= 10.000 \times 15.836 \\ &= 158.360 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

6.1.4.6 水平上部内水圧(T.P.+6.4m) : P2

$$\begin{aligned} P2 &= \gamma W \cdot (HW_i + D_0 / 2 - R_C) \\ &= 10.000 \times (15.836 + 2.950 / 2 - 1.3850) \\ &= 159.260 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

6.1.4.7 水平下部内水压(T.P.+6.4m) : P3

$$\begin{aligned} P3 &= \gamma W \cdot (HW_i + D0 / 2 + RC) \\ &= 10.000 \times (15.836 + 2.950 / 2 + 1.3850) \\ &= 186.960 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

6.1.4.8 底部内水压(T.P.+6.4m) : P4

$$\begin{aligned} P4 &= \gamma W \cdot (HW_i + D0) \\ &= 10.000 \times (15.836 + 2.950) \\ &= 187.860 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

6.1.4.9 頂部内水压(T.P.+9.3m) : P1

$$\begin{aligned} P1 &= \gamma W \cdot HW_i \\ &= 10.000 \times 18.736 \\ &= 187.360 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

6.1.4.10 水平上部内水压(T.P.+9.3m) : P2

$$\begin{aligned} P2 &= \gamma W \cdot (HW_i + D0 / 2 - RC) \\ &= 10.000 \times (18.736 + 2.950 / 2 - 1.3850) \\ &= 188.260 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

6.1.4.11 水平下部内水压(T.P.+9.3m) : P3

$$\begin{aligned} P3 &= \gamma W \cdot (HW_i + D0 / 2 + RC) \\ &= 10.000 \times (18.736 + 2.950 / 2 + 1.3850) \\ &= 215.960 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

6.1.4.12 底部内水压(T.P.+9.3m) : P4

$$\begin{aligned} P4 &= \gamma W \cdot (HW_i + D0) \\ &= 10.000 \times (18.736 + 2.950) \\ &= 216.860 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

6.1.5 曲げ剛性

曲げ剛性は表 2.14.1.1-22 の通り算出した。

表 2.14.1.1-22 曲げ剛性

| 項目 | | 単位 | 諸元値 | 備考 |
|-------------|---------|------------------|----------|----|
| セグメント外径 | D_o | mm | 2950 | |
| 図心半径 | R_c | mm | 1385 | |
| 断面積 | A | m^2 | 0.180000 | |
| 断面二次モーメント | I_s | m^4/m | 0.000486 | |
| ヤング係数 | E_s | kN/m^2 | 33000000 | |
| 曲げ剛性の有効率 | η | % | 80 | |
| 曲げモーメントの割増率 | ζ | % | 25 | |
| 曲げ剛性 | EI | $kN \cdot m^2/m$ | 12830.4 | ※1 |

※1： 曲げ剛性： $EI = \eta \cdot E_s \cdot I_s$
 $= 0.80 \times 33,000,000 \times 0.000486$
 $= 12,830.4 \text{ (kN} \cdot \text{m}^2/\text{m)}$

6.1.6 作用荷重と検討ケース

各設計ケースに用いる荷重イメージを図 2.14.1.1-12, 検討ケースを表 2.14.1.1-23 に示す。クリティカルケースとなるケース 3 について、以降検討結果を示めす。

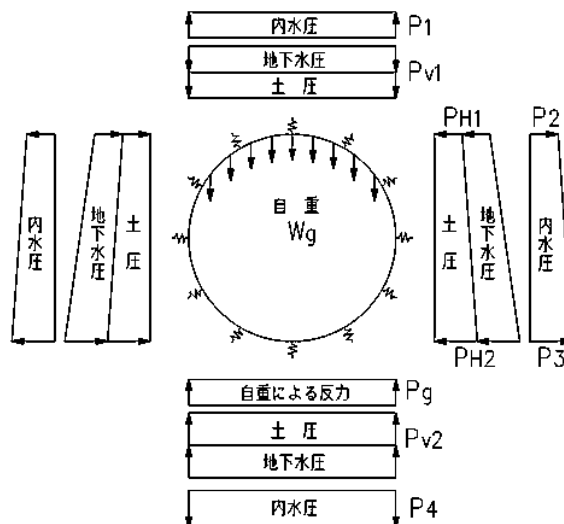


図 2.14.1.1-12 作用荷重分布図

表 2.14.1.1-23 長期・発進部・土被り 2D の検討ケース

| ケース番号 | 単位 | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 |
|-----------------------------|-------------------|---------|----------|----------|
| 管内の状態 | — | 空水の状態 | 平常時内水位 | 平常時内水位 |
| 外荷重の算定 | — | 土圧大 | 土圧大 | 土圧大 |
| 土と水の考え方 | — | 土水分離 | 土水分離 | 土水分離 |
| 鉛直土圧 | — | 緩み土圧 | 緩み土圧 | 緩み土圧 |
| 側方土圧係数 λ | — | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| 土の単位体積重量 γ | kN/m ³ | 17.100 | 17.100 | 17.100 |
| 土の水中重量 γ' | kN/m ³ | 7.100 | 7.100 | 7.100 |
| 粘着力 C | kN/m ² | 502.00 | 502.00 | 502.00 |
| 摩擦係数 ϕ | ° | 32 | 32 | 32 |
| 地盤反力係数 k | MN/m ³ | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| 地下水 | — | 有 | 有 | 有 |
| GL- | m | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| H _w | m | 14.886 | 14.886 | 14.886 |
| H _w ^s | m | 14.886 | 14.886 | 14.886 |
| 内水圧 | — | 無 | 有 | 有 |
| H _{wi} | m | — | 15.836 | 18.736 |
| 水の単位体積重量 γ_w | kN/m ³ | 10.000 | 10.000 | 10.000 |
| 基本荷重 | | | | |
| 鉛直荷重 P _{v1} | kN/m ² | 162.607 | 162.607 | 162.607 |
| 水平荷重(頂部) P _{h1} | kN/m ² | 135.620 | 135.620 | 135.620 |
| 水平荷重(底部) P _{h2} | kN/m ² | 170.204 | 170.204 | 170.204 |
| 底部反力 P _{v2} | kN/m ² | 162.607 | 162.607 | 162.607 |
| 自重 W _g | kN/m ² | 4.680 | 4.680 | 4.680 |
| 自重反力 P _g | kN/m ² | 14.703 | 14.703 | 14.703 |
| 側方地盤反力 q | kN/m ² | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 内水圧 | | | | |
| P ₁ | kN/m ² | — | -158.360 | -187.360 |
| P ₂ | kN/m ² | — | -159.260 | -188.260 |
| P ₃ | kN/m ² | — | -186.960 | -215.960 |
| P ₄ | kN/m ² | — | -187.860 | -216.860 |
| 許容応力度 | | | | |
| 割増係数 | — | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

6.1.7 フレームモデルと節点座標

覆工板断面力の算定には、覆工板周長を下図のとおり36分割したフレームモデルを用い、その節点をX、Y座標で整理する。

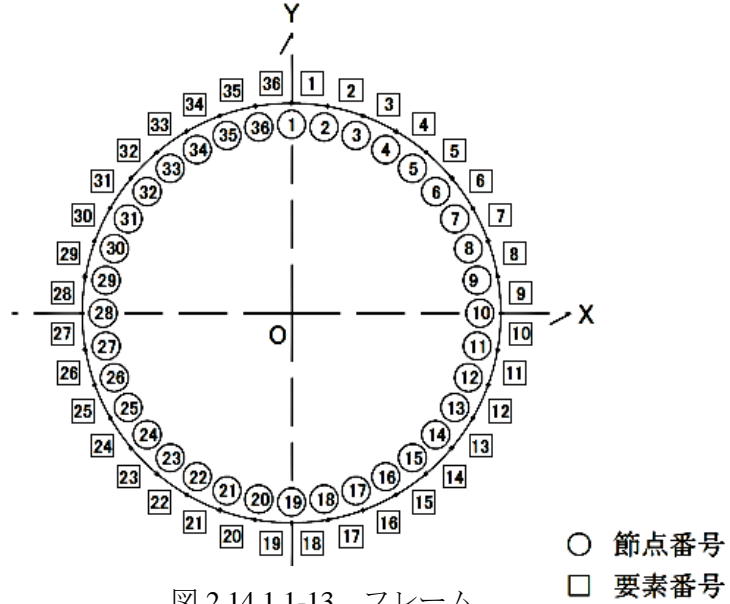


図 2.14.1.1-13 フレーム

表 2.14.1.1-24 座標と節点

| 節点番号 | X座標 (m) | Y座標 (m) | 節点番号 | X座標 (m) | Y座標 (m) |
|------|---------|---------|------|---------|---------|
| 1 | 0.000 | 1.385 | 19 | 0.000 | -1.385 |
| 2 | 0.241 | 1.364 | 20 | -0.241 | -1.364 |
| 3 | 0.474 | 1.301 | 21 | -0.474 | -1.301 |
| 4 | 0.693 | 1.199 | 22 | -0.693 | -1.199 |
| 5 | 0.890 | 1.061 | 23 | -0.890 | -1.061 |
| 6 | 1.061 | 0.890 | 24 | -1.061 | -0.890 |
| 7 | 1.199 | 0.693 | 25 | -1.199 | -0.693 |
| 8 | 1.301 | 0.474 | 26 | -1.301 | -0.474 |
| 9 | 1.364 | 0.241 | 27 | -1.364 | -0.241 |
| 10 | 1.385 | 0.000 | 28 | -1.385 | 0.000 |
| 11 | 1.364 | -0.241 | 29 | -1.364 | 0.241 |
| 12 | 1.301 | -0.474 | 30 | -1.301 | 0.474 |
| 13 | 1.199 | -0.693 | 31 | -1.199 | 0.693 |
| 14 | 1.061 | -0.890 | 32 | -1.061 | 0.890 |
| 15 | 0.890 | -1.061 | 33 | -0.890 | 1.061 |
| 16 | 0.693 | -1.199 | 34 | -0.693 | 1.199 |
| 17 | 0.474 | -1.301 | 35 | -0.474 | 1.301 |
| 18 | 0.241 | -1.364 | 36 | -0.241 | 1.364 |

6.1.8 断面力の算定

6.1.8.1 基本荷重 [自重]

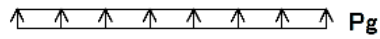
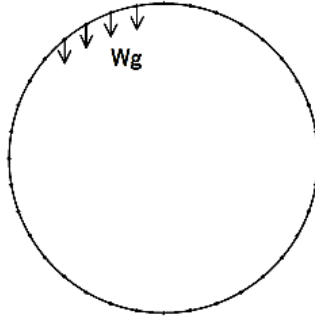


図 2.14.1.1-14 自重と反力

表 2.14.1.1-25 自重と反力

| 項 目 | | 単 位 | 荷 重 値 |
|----------------|----------|-----------------|--------|
| 鉛直荷重 | P_{V1} | kN/m^2 | 0.000 |
| 頂部水平荷重 | P_{H1} | kN/m^2 | 0.000 |
| 底部水平荷重 | P_{H2} | kN/m^2 | 0.000 |
| 底部地盤反力 | P_{V2} | kN/m^2 | 0.000 |
| セグメントの円周単位当り重量 | Wg | kN/m^2 | 4.680 |
| 自重による下部反力荷重 | Pg | kN/m^2 | 14.703 |
| 側部地盤反力 | q | kN/m^2 | 0.000 |

6.1.8.2 各節点に作用する荷重 [自重]

| | |
|-------------|--------------------------------|
| 要素長 | $ds=0.242\text{m}$ |
| 鉛直荷重 | $P_{V1}=162.607\text{ kN/m}^2$ |
| 頂部水平荷重 | $P_{H1}=135.620\text{ kN/m}^2$ |
| 底部水平荷重 | $P_{H2}=170.204\text{ kN/m}^2$ |
| 底部地盤反力 | $P_{V2}=162.607\text{ kN/m}^2$ |
| 円周単位 m 当り自重 | $Wg=4.680\text{ kN/m}^2$ |
| 自重による下部反力 | $Pg=14.703\text{ kN/m}^2$ |
| 側方地盤反力 | $q=0.000\text{ kN/m}^2$ |

上記荷重を各節点に作用する荷重成分に分解すると表 2.14.1.1-26 のとおりとなる。なお、覆工板内側方向を正としていた荷重座標について、X 方向は右側を正、Y 方向は上側を正に座標変換する。

表 2.14.1.1-26 自重により各節点に作用する荷重

| 要素番号 | 節点番号 | X方向荷重 (kN/m) | Y方向荷重 (kN/m) | 要素番号 | 節点番号 | X方向荷重 (kN/m) | Y方向荷重 (kN/m) |
|------|------|--------------|--------------|------|------|--------------|--------------|
| 1 | 1 | 0.000 | -0.566 | 19 | 19 | 0.000 | 1.202 |
| 1 | 2 | 0.000 | -0.566 | 19 | 20 | 0.000 | 1.202 |
| 2 | 2 | 0.000 | -0.566 | 20 | 20 | 0.000 | 1.149 |
| 2 | 3 | 0.000 | -0.566 | 20 | 21 | 0.000 | 1.149 |
| 3 | 3 | 0.000 | -0.566 | 21 | 21 | 0.000 | 1.043 |
| 3 | 4 | 0.000 | -0.566 | 21 | 22 | 0.000 | 1.043 |
| 4 | 4 | 0.000 | -0.566 | 22 | 22 | 0.000 | 0.888 |
| 4 | 5 | 0.000 | -0.566 | 22 | 23 | 0.000 | 0.888 |
| 5 | 5 | 0.000 | -0.566 | 23 | 23 | 0.000 | 0.689 |
| 5 | 6 | 0.000 | -0.566 | 23 | 24 | 0.000 | 0.689 |
| 6 | 6 | 0.000 | -0.566 | 24 | 24 | 0.000 | 0.452 |
| 6 | 7 | 0.000 | -0.566 | 24 | 25 | 0.000 | 0.452 |
| 7 | 7 | 0.000 | -0.566 | 25 | 25 | 0.000 | 0.184 |
| 7 | 8 | 0.000 | -0.566 | 25 | 26 | 0.000 | 0.184 |
| 8 | 8 | 0.000 | -0.566 | 26 | 26 | 0.000 | -0.106 |
| 8 | 9 | 0.000 | -0.566 | 26 | 27 | 0.000 | -0.106 |
| 9 | 9 | 0.000 | -0.566 | 27 | 27 | 0.000 | -0.411 |
| 9 | 10 | 0.000 | -0.566 | 27 | 28 | 0.000 | -0.411 |
| 10 | 10 | 0.000 | -0.411 | 28 | 28 | 0.000 | -0.566 |
| 10 | 11 | 0.000 | -0.411 | 28 | 29 | 0.000 | -0.566 |
| 11 | 11 | 0.000 | -0.106 | 29 | 29 | 0.000 | -0.566 |
| 11 | 12 | 0.000 | -0.106 | 29 | 30 | 0.000 | -0.566 |
| 12 | 12 | 0.000 | 0.184 | 30 | 30 | 0.000 | -0.566 |
| 12 | 13 | 0.000 | 0.184 | 30 | 31 | 0.000 | -0.566 |
| 13 | 13 | 0.000 | 0.452 | 31 | 31 | 0.000 | -0.566 |
| 13 | 14 | 0.000 | 0.452 | 31 | 32 | 0.000 | -0.566 |
| 14 | 14 | 0.000 | 0.689 | 32 | 32 | 0.000 | -0.566 |
| 14 | 15 | 0.000 | 0.689 | 32 | 33 | 0.000 | -0.566 |
| 15 | 15 | 0.000 | 0.888 | 33 | 33 | 0.000 | -0.566 |
| 15 | 16 | 0.000 | 0.888 | 33 | 34 | 0.000 | -0.566 |
| 16 | 16 | 0.000 | 1.043 | 34 | 34 | 0.000 | -0.566 |
| 16 | 17 | 0.000 | 1.043 | 34 | 35 | 0.000 | -0.566 |
| 17 | 17 | 0.000 | 1.149 | 35 | 35 | 0.000 | -0.566 |
| 17 | 18 | 0.000 | 1.149 | 35 | 36 | 0.000 | -0.566 |
| 18 | 18 | 0.000 | 1.202 | 36 | 36 | 0.000 | -0.566 |
| 18 | 19 | 0.000 | 1.202 | 36 | 1 | 0.000 | -0.566 |

6.1.8.3 節点変位 [自重]

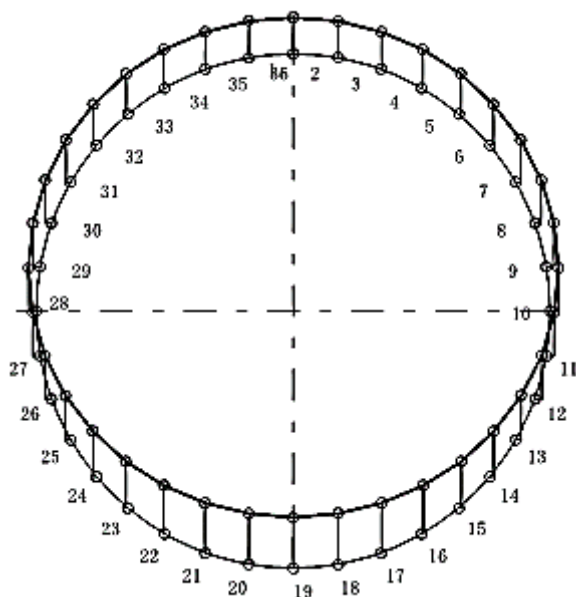


図 2.14.1.1-15 自重による節点

表 2.14.1.1-27 自重による節点変位

変位方向=0:セグメント内側に変位
変位方向=1:セグメント外側に変位

| 節点番号 | X方向変位 (m) | Y方向変位 (m) | 回転変位 (m) | 変位方向 | 節点番号 | X方向変位 (m) | Y方向変位 (m) | 回転変位 (m) | 変位方向 |
|------|-----------|-----------|-----------|------|------|-----------|-----------|-----------|------|
| 1 | 0.000000 | 0.000823 | 0.000000 | 1 | | | | | |
| 2 | 0.000001 | 0.000830 | 0.000057 | 1 | 36 | -0.000001 | 0.000830 | -0.000057 | 1 |
| 3 | 0.000006 | 0.000849 | 0.000108 | 1 | 35 | -0.000006 | 0.000849 | -0.000108 | 1 |
| 4 | 0.000019 | 0.000877 | 0.000147 | 1 | 34 | -0.000019 | 0.000877 | -0.000147 | 1 |
| 5 | 0.000041 | 0.000909 | 0.000171 | 1 | 33 | -0.000041 | 0.000909 | -0.000171 | 1 |
| 6 | 0.000071 | 0.000939 | 0.000177 | 1 | 32 | -0.000071 | 0.000939 | -0.000177 | 1 |
| 7 | 0.000105 | 0.000963 | 0.000162 | 1 | 31 | -0.000105 | 0.000963 | -0.000162 | 1 |
| 8 | 0.000137 | 0.000978 | 0.000128 | 1 | 30 | -0.000137 | 0.000978 | -0.000128 | 1 |
| 9 | 0.000161 | 0.000985 | 0.000078 | 1 | 29 | -0.000161 | 0.000985 | -0.000078 | 1 |
| 10 | 0.000172 | 0.000987 | 0.000016 | 1 | 28 | -0.000172 | 0.000987 | -0.000016 | 1 |
| 11 | 0.000168 | 0.000987 | -0.000051 | 0 | 27 | -0.000168 | 0.000987 | 0.000051 | 0 |
| 12 | 0.000149 | 0.000993 | -0.000113 | 0 | 26 | -0.000149 | 0.000993 | 0.000113 | 0 |
| 13 | 0.000119 | 0.001008 | -0.000164 | 0 | 25 | -0.000119 | 0.001008 | 0.000164 | 0 |
| 14 | 0.000083 | 0.001033 | -0.000194 | 0 | 24 | -0.000083 | 0.001033 | 0.000194 | 0 |
| 15 | 0.000049 | 0.001067 | -0.000199 | 0 | 23 | -0.000049 | 0.001067 | 0.000199 | 0 |
| 16 | 0.000023 | 0.001105 | -0.000179 | 0 | 22 | -0.000023 | 0.001105 | 0.000179 | 0 |
| 17 | 0.000007 | 0.001140 | -0.000134 | 0 | 21 | -0.000007 | 0.001140 | 0.000134 | 0 |
| 18 | 0.000001 | 0.001164 | -0.000072 | 0 | 20 | -0.000001 | 0.001164 | 0.000072 | 0 |
| 19 | 0.000000 | 0.001173 | 0.000000 | 0 | | | | | |

6.1.8.4 断面力 [自重]

表 2.14.1.1-28 自重による断面力

| 要素番号 | 節点番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) | 要素番号 | 節点番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) |
|------|------|-----------------|------------|----------|------|------|-----------------|------------|----------|
| 1 | 1 | 3.092 | -0.656 | -1.008 | 36 | 1 | 3.092 | 0.656 | -1.008 |
| 1 | 2 | 2.933 | -0.656 | -1.008 | 36 | 36 | 2.933 | 0.656 | -1.008 |
| 2 | 2 | 2.933 | -1.914 | -0.586 | 35 | 36 | 2.933 | 1.914 | -0.586 |
| 2 | 3 | 2.471 | -1.914 | -0.586 | 35 | 35 | 2.471 | 1.914 | -0.586 |
| 3 | 3 | 2.471 | -3.012 | 0.233 | 34 | 35 | 2.471 | 3.012 | 0.233 |
| 3 | 4 | 1.744 | -3.012 | 0.233 | 34 | 34 | 1.744 | 3.012 | 0.233 |
| 4 | 4 | 1.744 | -3.852 | 1.402 | 33 | 34 | 1.744 | 3.852 | 1.402 |
| 4 | 5 | 0.814 | -3.852 | 1.402 | 33 | 33 | 0.814 | 3.852 | 1.402 |
| 5 | 5 | 0.814 | -4.350 | 2.849 | 32 | 33 | 0.814 | 4.350 | 2.849 |
| 5 | 6 | -0.236 | -4.350 | 2.849 | 32 | 32 | -0.236 | 4.350 | 2.849 |
| 6 | 6 | -0.236 | -4.438 | 4.488 | 31 | 32 | -0.236 | 4.438 | 4.488 |
| 6 | 7 | -1.308 | -4.438 | 4.488 | 31 | 31 | -1.308 | 4.438 | 4.488 |
| 7 | 7 | -1.308 | -4.070 | 6.216 | 30 | 31 | -1.308 | 4.070 | 6.216 |
| 7 | 8 | -2.290 | -4.070 | 6.216 | 30 | 30 | -2.290 | 4.070 | 6.216 |
| 8 | 8 | -2.290 | -3.221 | 7.921 | 29 | 30 | -2.290 | 3.221 | 7.921 |
| 8 | 9 | -3.068 | -3.221 | 7.921 | 29 | 29 | -3.068 | 3.221 | 7.921 |
| 9 | 9 | -3.068 | -1.895 | 9.487 | 28 | 29 | -3.068 | 1.895 | 9.487 |
| 9 | 10 | -3.525 | -1.895 | 9.487 | 28 | 28 | -3.525 | 1.895 | 9.487 |
| 10 | 10 | -3.525 | -0.134 | 10.645 | 27 | 28 | -3.525 | 0.134 | 10.645 |
| 10 | 11 | -3.558 | -0.134 | 10.645 | 27 | 27 | -3.558 | 0.134 | 10.645 |
| 11 | 11 | -3.558 | 1.850 | 11.006 | 26 | 27 | -3.558 | -1.850 | 11.006 |
| 11 | 12 | -3.111 | 1.850 | 11.006 | 26 | 26 | -3.111 | -1.850 | 11.006 |
| 12 | 12 | -3.111 | 3.700 | 10.447 | 25 | 26 | -3.111 | -3.700 | 10.447 |
| 12 | 13 | -2.218 | 3.700 | 10.447 | 25 | 25 | -2.218 | -3.700 | 10.447 |
| 13 | 13 | -2.218 | 5.093 | 9.124 | 24 | 25 | -2.218 | -5.093 | 9.124 |
| 13 | 14 | -0.988 | 5.093 | 9.124 | 24 | 24 | -0.988 | -5.093 | 9.124 |
| 14 | 14 | -0.988 | 5.793 | 7.294 | 23 | 24 | -0.988 | -5.793 | 7.294 |
| 14 | 15 | 0.410 | 5.793 | 7.294 | 23 | 23 | 0.410 | -5.793 | 7.294 |
| 15 | 15 | 0.410 | 5.679 | 5.272 | 22 | 23 | 0.410 | -5.679 | 5.272 |
| 15 | 16 | 1.781 | 5.679 | 5.272 | 22 | 22 | 1.781 | -5.679 | 5.272 |
| 16 | 16 | 1.781 | 4.758 | 3.390 | 21 | 22 | 1.781 | -4.758 | 3.390 |
| 16 | 17 | 2.930 | 4.758 | 3.390 | 21 | 21 | 2.930 | -4.758 | 3.390 |
| 17 | 17 | 2.930 | 3.158 | 1.945 | 20 | 21 | 2.930 | -3.158 | 1.945 |
| 17 | 18 | 3.692 | 3.158 | 1.945 | 20 | 20 | 3.692 | -3.158 | 1.945 |
| 18 | 18 | 3.692 | 1.105 | 1.162 | 19 | 20 | 3.692 | -1.105 | 1.162 |
| 18 | 19 | 3.959 | 1.105 | 1.162 | 19 | 19 | 3.959 | -1.105 | 1.162 |

6.1.8.5 地盤ばね [外荷重]

地盤ばねは、覆工が地盤内に変位する節点にのみ考慮する。

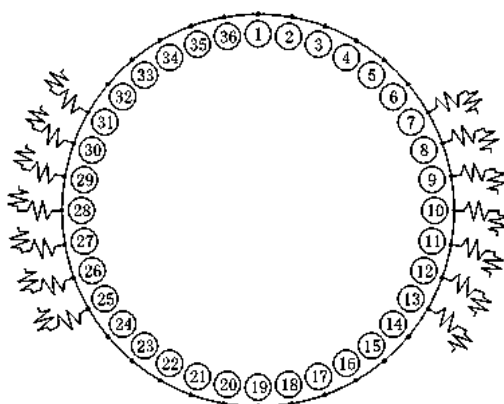


図 2.14.1.1-16 地盤ばね

表 2.14.1.1-29 各節点の地盤ばね

| 節点 番号 | 節点 角度 $\theta(^{\circ})$ | 法線方向バネ kh(kN/m ³) | 接線方向バネ ks(kN/m ³) | 要素長 ds(m) | 1要素長当り 法線方向バネ ds \cdot kh(kN/m ²) | 1要素長当り 接線方向バネ ds \cdot ks(kN/m ²) |
|----------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|---|---|
| 1 | 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | 10.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | 20.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 4 | 30.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 40.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 6 | 50.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 7 | 60.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 8 | 70.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 9 | 80.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 10 | 90.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 11 | 100.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 12 | 110.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 13 | 120.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 14 | 130.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 15 | 140.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 16 | 150.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 17 | 160.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 18 | 170.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 180.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | 190.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 21 | 200.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 22 | 210.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 23 | 220.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 230.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 240.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 26 | 250.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 27 | 260.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 28 | 270.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 29 | 280.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 30 | 290.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 31 | 300.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 32 | 310.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 33 | 320.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 34 | 330.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 35 | 340.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 36 | 350.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |

6.1.8.6 基本荷重 [外荷重]

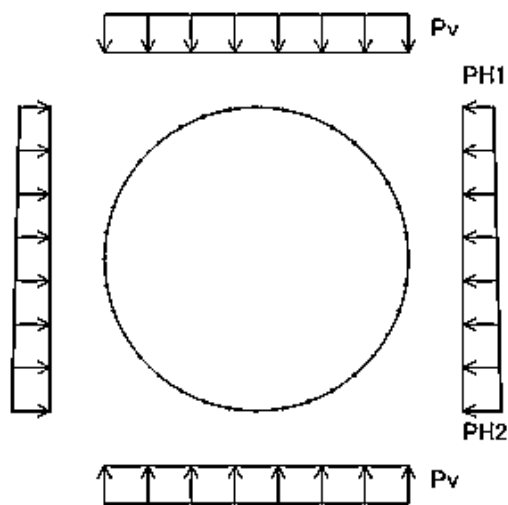


図 2.14.1.1-17 外荷重

表 2.14.1.1-30 外荷重

| 項 目 | | 単 位 | 荷 重 値 |
|----------------|----------|-----------------|---------|
| 鉛直荷重 | P_{V1} | kN/m^2 | 162.607 |
| 頂部水平荷重 | P_{H1} | kN/m^2 | 135.620 |
| 底部水平荷重 | P_{H2} | kN/m^2 | 170.204 |
| 底部地盤反力 | P_{V2} | kN/m^2 | 162.607 |
| セグメントの円周単位当り重量 | W_g | kN/m^2 | 0.000 |
| 自重による下部反力荷重 | P_g | kN/m^2 | 0.000 |
| 側部地盤反力 | q | kN/m^2 | 0.000 |

6.1.8.7 各節点に作用する荷重 [外荷重]

| | |
|-------------|--------------------------------|
| 要素長 | $ds=0.242\text{m}$ |
| 鉛直荷重 | $P_{V1}=162.607\text{ kN/m}^2$ |
| 頂部水平荷重 | $P_{H1}=135.620\text{ kN/m}^2$ |
| 底部水平荷重 | $P_{H2}=170.204\text{ kN/m}^2$ |
| 底部地盤反力 | $P_{V2}=162.607\text{ kN/m}^2$ |
| 円周単位 m 当り自重 | $Wg=4.680\text{ kN/m}^2$ |
| 自重による下部反力 | $Pg=14.703\text{ kN/m}^2$ |
| 側方地盤反力 | $q=0.000\text{ kN/m}^2$ |

上記荷重を各節点に作用する荷重成分に分解すると表 2.14.1.1-31 のとおりとなる。

なお、覆工板内側方向を正としていた荷重座標について、X 方向は右側を正、Y 方向は上側を正に座標変換する。

表 2.14.1.1-31 外荷重により各節点に作用する荷重

| 要素番号 | 節点番号 | X方向荷重 (kN/m) | Y方向荷重 (kN/m) | 要素番号 | 節点番号 | X方向荷重 (kN/m) | Y方向荷重 (kN/m) |
|------|------|--------------|--------------|------|------|--------------|--------------|
| 1 | 1 | -1.427 | -19.554 | 19 | 19 | 1.790 | 19.554 |
| 1 | 2 | -1.429 | -19.554 | 19 | 20 | 1.789 | 19.554 |
| 2 | 2 | -4.251 | -18.960 | 20 | 20 | 5.303 | 18.960 |
| 2 | 3 | -4.264 | -18.960 | 20 | 21 | 5.291 | 18.960 |
| 3 | 3 | -6.988 | -17.789 | 21 | 21 | 8.613 | 17.789 |
| 3 | 4 | -7.021 | -17.789 | 21 | 22 | 8.581 | 17.789 |
| 4 | 4 | -9.580 | -16.079 | 22 | 22 | 11.594 | 16.079 |
| 4 | 5 | -9.640 | -16.079 | 22 | 23 | 11.534 | 16.079 |
| 5 | 5 | -11.967 | -13.879 | 23 | 23 | 14.137 | 13.879 |
| 5 | 6 | -12.058 | -13.879 | 23 | 24 | 14.046 | 13.879 |
| 6 | 6 | -14.082 | -11.258 | 24 | 24 | 16.158 | 11.258 |
| 6 | 7 | -14.204 | -11.258 | 24 | 25 | 16.036 | 11.258 |
| 7 | 7 | -15.858 | -8.295 | 25 | 25 | 17.600 | 8.295 |
| 7 | 8 | -16.007 | -8.295 | 25 | 26 | 17.450 | 8.295 |
| 8 | 8 | -17.224 | -5.080 | 26 | 26 | 18.434 | 5.080 |
| 8 | 9 | -17.394 | -5.080 | 26 | 27 | 18.264 | 5.080 |
| 9 | 9 | -18.117 | -1.711 | 27 | 27 | 18.659 | 1.711 |
| 9 | 10 | -18.298 | -1.711 | 27 | 28 | 18.478 | 1.711 |
| 10 | 10 | -18.478 | 1.711 | 28 | 28 | 18.298 | -1.711 |
| 10 | 11 | -18.659 | 1.711 | 28 | 29 | 18.117 | -1.711 |
| 11 | 11 | -18.264 | 5.080 | 29 | 29 | 17.394 | -5.080 |
| 11 | 12 | -18.434 | 5.080 | 29 | 30 | 17.224 | -5.080 |
| 12 | 12 | -17.450 | 8.295 | 30 | 30 | 16.007 | -8.295 |
| 12 | 13 | -17.600 | 8.295 | 30 | 31 | 15.858 | -8.295 |
| 13 | 13 | -16.036 | 11.258 | 31 | 31 | 14.204 | -11.258 |
| 13 | 14 | -16.158 | 11.258 | 31 | 32 | 14.082 | -11.258 |
| 14 | 14 | -14.046 | 13.879 | 32 | 32 | 12.058 | -13.879 |
| 14 | 15 | -14.137 | 13.879 | 32 | 33 | 11.967 | -13.879 |
| 15 | 15 | -11.534 | 16.079 | 33 | 33 | 9.640 | -16.079 |
| 15 | 16 | -11.594 | 16.079 | 33 | 34 | 9.580 | -16.079 |
| 16 | 16 | -8.581 | 17.789 | 34 | 34 | 7.021 | -17.789 |
| 16 | 17 | -8.613 | 17.789 | 34 | 35 | 6.988 | -17.789 |
| 17 | 17 | -5.291 | 18.960 | 35 | 35 | 4.264 | -18.960 |
| 17 | 18 | -5.303 | 18.960 | 35 | 36 | 4.251 | -18.960 |
| 18 | 18 | -1.789 | 19.554 | 36 | 36 | 1.429 | -19.554 |
| 18 | 19 | -1.790 | 19.554 | 36 | 1 | 1.427 | -19.554 |

6.1.8.8 節点変位 [外荷重]

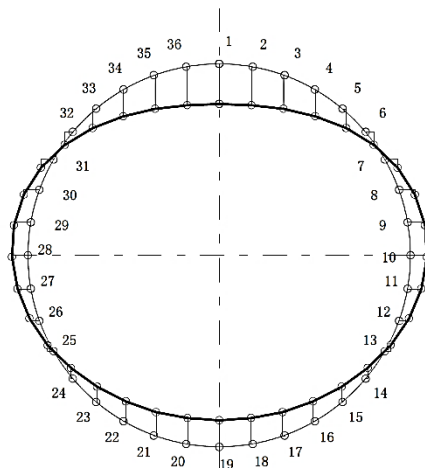


図 2.14.1.1-18 外荷重による節点変

表 2.14.1.1-32 外荷重による節点変位

変位方向=0:セグメント内側に変位
変位方向=1:セグメント外側に変位

| 節点番号 | X方向変位 (m) | Y方向変位 (m) | 回転変位 (m) | 変位方向 | 節点番号 | X方向変位 (m) | Y方向変位 (m) | 回転変位 (m) | 変位方向 |
|------|-----------|-----------|-----------|------|------|-----------|-----------|-----------|------|
| 1 | 0.000000 | -0.000247 | 0.000000 | 0 | | | | | |
| 2 | -0.000007 | -0.000236 | 0.000083 | 0 | 36 | 0.000007 | -0.000236 | -0.000083 | 0 |
| 3 | -0.000008 | -0.000206 | 0.000151 | 0 | 35 | 0.000008 | -0.000206 | -0.000151 | 0 |
| 4 | 0.000002 | -0.000165 | 0.000193 | 0 | 34 | -0.000002 | -0.000165 | -0.000193 | 0 |
| 5 | 0.000023 | -0.000120 | 0.000204 | 0 | 33 | -0.000023 | -0.000120 | -0.000204 | 0 |
| 6 | 0.000050 | -0.000080 | 0.000184 | 0 | 32 | -0.000050 | -0.000080 | -0.000184 | 0 |
| 7 | 0.000077 | -0.000050 | 0.000138 | 1 | 31 | -0.000077 | -0.000050 | -0.000138 | 1 |
| 8 | 0.000097 | -0.000031 | 0.000077 | 1 | 30 | -0.000097 | -0.000031 | -0.000077 | 1 |
| 9 | 0.000105 | -0.000019 | 0.000013 | 1 | 29 | -0.000105 | -0.000019 | -0.000013 | 1 |
| 10 | 0.000100 | -0.000010 | -0.000046 | 1 | 28 | -0.000100 | -0.000010 | 0.000046 | 1 |
| 11 | 0.000084 | 0.000000 | -0.000093 | 1 | 27 | -0.000084 | 0.000000 | 0.000093 | 1 |
| 12 | 0.000060 | 0.000016 | -0.000125 | 1 | 26 | -0.000060 | 0.000016 | 0.000125 | 1 |
| 13 | 0.000035 | 0.000038 | -0.000141 | 1 | 25 | -0.000035 | 0.000038 | 0.000141 | 1 |
| 14 | 0.000012 | 0.000065 | -0.000140 | 0 | 24 | -0.000012 | 0.000065 | 0.000140 | 0 |
| 15 | -0.000005 | 0.000094 | -0.000126 | 0 | 23 | 0.000005 | 0.000094 | 0.000126 | 0 |
| 16 | -0.000013 | 0.000122 | -0.000102 | 0 | 22 | 0.000013 | 0.000122 | 0.000102 | 0 |
| 17 | -0.000014 | 0.000145 | -0.000071 | 0 | 21 | 0.000014 | 0.000145 | 0.000071 | 0 |
| 18 | -0.000009 | 0.000160 | -0.000036 | 0 | 20 | 0.000009 | 0.000160 | 0.000036 | 0 |
| 19 | 0.000000 | 0.000165 | 0.000000 | 0 | | | | | |

6.1.8.9 断面力 [外荷重]

表 2.14.1.1-33 外荷重による断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) |
|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 4.585 | -1.654 | 205.444 | 36 | 1 | 4.585 | 1.654 | 205.444 |
| 1 | 2 | 4.186 | -1.654 | 205.444 | 36 | 36 | 4.186 | 1.654 | 205.444 |
| 2 | 2 | 4.186 | -4.626 | 207.091 | 35 | 36 | 4.186 | 4.626 | 207.091 |
| 2 | 3 | 3.069 | -4.626 | 207.091 | 35 | 35 | 3.069 | 4.626 | 207.091 |
| 3 | 3 | 3.069 | -6.655 | 210.081 | 34 | 35 | 3.069 | 6.655 | 210.081 |
| 3 | 4 | 1.463 | -6.655 | 210.081 | 34 | 34 | 1.463 | 6.655 | 210.081 |
| 4 | 4 | 1.463 | -7.339 | 213.873 | 33 | 34 | 1.463 | 7.339 | 213.873 |
| 4 | 5 | -0.309 | -7.339 | 213.873 | 33 | 33 | -0.309 | 7.339 | 213.873 |
| 5 | 5 | -0.309 | -6.550 | 217.803 | 32 | 33 | -0.309 | 6.550 | 217.803 |
| 5 | 6 | -1.891 | -6.550 | 217.803 | 32 | 32 | -1.891 | 6.550 | 217.803 |
| 6 | 6 | -1.891 | -4.461 | 221.230 | 31 | 32 | -1.891 | 4.461 | 221.230 |
| 6 | 7 | -2.967 | -4.461 | 221.230 | 31 | 31 | -2.967 | 4.461 | 221.230 |
| 7 | 7 | -2.967 | -2.015 | 223.376 | 30 | 31 | -2.967 | 2.015 | 223.376 |
| 7 | 8 | -3.454 | -2.015 | 223.376 | 30 | 30 | -3.454 | 2.015 | 223.376 |
| 8 | 8 | -3.454 | 0.253 | 224.487 | 29 | 30 | -3.454 | -0.253 | 224.487 |
| 8 | 9 | -3.393 | 0.253 | 224.487 | 29 | 29 | -3.393 | -0.253 | 224.487 |
| 9 | 9 | -3.393 | 2.045 | 224.660 | 28 | 29 | -3.393 | -2.045 | 224.660 |
| 9 | 10 | -2.899 | 2.045 | 224.660 | 28 | 28 | -2.899 | -2.045 | 224.660 |
| 10 | 10 | -2.899 | 3.182 | 224.160 | 27 | 28 | -2.899 | -3.182 | 224.160 |
| 10 | 11 | -2.131 | 3.182 | 224.160 | 27 | 27 | -2.131 | -3.182 | 224.160 |
| 11 | 11 | -2.131 | 3.649 | 223.345 | 26 | 27 | -2.131 | -3.649 | 223.345 |
| 11 | 12 | -1.250 | 3.649 | 223.345 | 26 | 26 | -1.250 | -3.649 | 223.345 |
| 12 | 12 | -1.250 | 3.598 | 222.558 | 25 | 26 | -1.250 | -3.598 | 222.558 |
| 12 | 13 | -0.381 | 3.598 | 222.558 | 25 | 25 | -0.381 | -3.598 | 222.558 |
| 13 | 13 | -0.381 | 3.305 | 222.040 | 24 | 25 | -0.381 | -3.305 | 222.040 |
| 13 | 14 | 0.416 | 3.305 | 222.040 | 24 | 24 | 0.416 | -3.305 | 222.040 |
| 14 | 14 | 0.416 | 2.679 | 221.675 | 23 | 24 | 0.416 | -2.679 | 221.675 |
| 14 | 15 | 1.063 | 2.679 | 221.675 | 23 | 23 | 1.063 | -2.679 | 221.675 |
| 15 | 15 | 1.063 | 1.867 | 221.688 | 22 | 23 | 1.063 | -1.867 | 221.688 |
| 15 | 16 | 1.514 | 1.867 | 221.688 | 22 | 22 | 1.514 | -1.867 | 221.688 |
| 16 | 16 | 1.514 | 1.113 | 221.967 | 21 | 22 | 1.514 | -1.113 | 221.967 |
| 16 | 17 | 1.782 | 1.113 | 221.967 | 21 | 21 | 1.782 | -1.113 | 221.967 |
| 17 | 17 | 1.782 | 0.545 | 222.321 | 20 | 21 | 1.782 | -0.545 | 222.321 |
| 17 | 18 | 1.914 | 0.545 | 222.321 | 20 | 20 | 1.914 | -0.545 | 222.321 |
| 18 | 18 | 1.914 | 0.157 | 222.557 | 19 | 20 | 1.914 | -0.157 | 222.557 |
| 18 | 19 | 1.952 | 0.157 | 222.557 | 19 | 19 | 1.952 | -0.157 | 222.557 |

6.1.8.10 地盤ばね [内水圧]

地盤ばねは、覆工が地盤内に変位する節点にのみ考慮する。

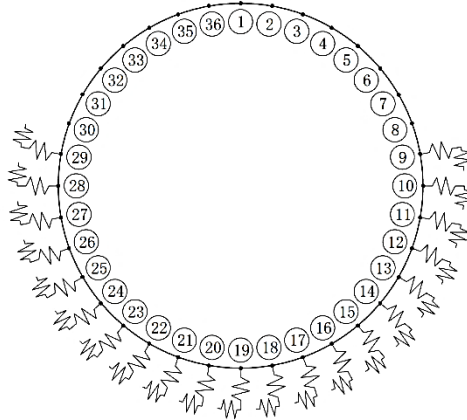


図 2.14.1.1-19 内水圧作用時の地盤

表 2.14.1.1-34 内水圧作用時の各節点の地盤ばね

| 節点番号 | 節点角度 $\theta (^{\circ})$ | 法線方向バネ $kh(kN/m^2)$ | 接線方向バネ $ks(kN/m^2)$ | 要素長 $ds(m)$ | 1要素長当り法線方向バネ $ds \cdot kh(kN/m^2)$ | 1要素長当り接線方向バネ $ds \cdot ks(kN/m^2)$ |
|------|--------------------------|---------------------|---------------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | 10.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | 20.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 4 | 30.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 40.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 6 | 50.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 7 | 60.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 8 | 70.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 9 | 80.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 10 | 90.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 11 | 100.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 12 | 110.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 13 | 120.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 14 | 130.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 15 | 140.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 16 | 150.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 17 | 160.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 18 | 170.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 19 | 180.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 20 | 190.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 21 | 200.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 22 | 210.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 23 | 220.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 24 | 230.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 25 | 240.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 26 | 250.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 27 | 260.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 28 | 270.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 29 | 280.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.242 | 12086.405 | 4028.802 |
| 30 | 290.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 31 | 300.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 32 | 310.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 33 | 320.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 34 | 330.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 35 | 340.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |
| 36 | 350.0 | 0.000 | 0.000 | 0.242 | 0.000 | 0.000 |

6.1.8.11 内水圧 [内水圧]

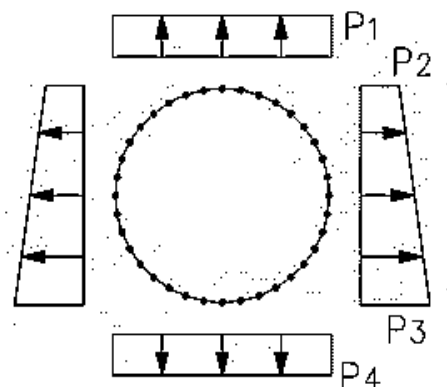


図 2.14.1.1-20 内水圧による荷重

表 2.14.1.1-35 内水圧による荷重

| 項 目 | | 単 位 | 荷 重 値 |
|---------|----------------|-------------------|----------|
| 頂部内水圧 | P ₁ | kN/m ² | -187.360 |
| 水平上部内水圧 | P ₂ | kN/m ² | -188.260 |
| 水平下部内水圧 | P ₃ | kN/m ² | -215.960 |
| 底部内水圧 | P ₄ | kN/m ² | -216.860 |

6.1.8.12 各節点に作用する荷重 [内水圧]

| | |
|-------------|---|
| 要素長 | ds=0.242m |
| 鉛直荷重 | P _{V1} =162.607 kN/m ² |
| 頂部水平荷重 | P _{H1} =135.620 kN/m ² |
| 底部水平荷重 | P _{H2} =170.204 kN/m ² |
| 底部地盤反力 | P _{V2} =162.607 kN/m ² |
| 円周単位 m 当り自重 | W _g =4.680 kN/m ² |
| 自重による下部反力 | P _g =14.703 kN/m ² |
| 側方地盤反力 | q=0.000 kN/m ² |
| 内水圧 | P ₁ = -187.360 kN/m ² |
| | P ₂ = -188.260 kN/m ² |
| | P ₃ = -215.960 kN/m ² |
| | P ₄ = -216.860 kN/m ² |

上記荷重を各節点に作用する荷重成分に分解すると表 2.14.1.1-36 のとおりとなる。
 なお、覆工板内側方向を正としていた荷重座標について、X 方向は右側を正、Y 方向は上側を正に座標変換する。

表 2.14.1.1-36 内水圧による各節点の荷重

| 要素番号 | 節点番号 | X方向荷重 (kN/m) | Y方向荷重 (kN/m) | 要素番号 | 節点番号 | X方向荷重 (kN/m) | Y方向荷重 (kN/m) |
|------|------|--------------|--------------|------|------|--------------|--------------|
| 1 | 1 | 1.982 | 22.530 | 19 | 19 | -2.273 | -26.078 |
| 1 | 2 | 1.983 | 22.530 | 19 | 20 | -2.271 | -26.078 |
| 2 | 2 | 5.903 | 21.846 | 20 | 20 | -6.745 | -25.285 |
| 2 | 3 | 5.913 | 21.846 | 20 | 21 | -6.736 | -25.285 |
| 3 | 3 | 9.686 | 20.497 | 21 | 21 | -10.988 | -23.725 |
| 3 | 4 | 9.712 | 20.497 | 21 | 22 | -10.961 | -23.725 |
| 4 | 4 | 13.235 | 18.526 | 22 | 22 | -14.848 | -21.443 |
| 4 | 5 | 13.283 | 18.526 | 22 | 23 | -14.800 | -21.443 |
| 5 | 5 | 16.455 | 15.992 | 23 | 23 | -18.193 | -18.510 |
| 5 | 6 | 16.528 | 15.992 | 23 | 24 | -18.120 | -18.510 |
| 6 | 6 | 19.251 | 12.972 | 24 | 24 | -20.914 | -15.015 |
| 6 | 7 | 19.349 | 12.972 | 24 | 25 | -20.816 | -15.015 |
| 7 | 7 | 21.533 | 9.558 | 25 | 25 | -22.928 | -11.063 |
| 7 | 8 | 21.653 | 9.558 | 25 | 26 | -22.809 | -11.063 |
| 8 | 8 | 23.217 | 5.854 | 26 | 26 | -24.186 | -6.775 |
| 8 | 9 | 23.353 | 5.854 | 26 | 27 | -24.050 | -6.775 |
| 9 | 9 | 24.232 | 1.971 | 27 | 27 | -24.666 | -2.282 |
| 9 | 10 | 24.376 | 1.971 | 27 | 28 | -24.521 | -2.282 |
| 10 | 10 | 24.521 | -2.282 | 28 | 28 | -24.376 | 1.971 |
| 10 | 11 | 24.666 | -2.282 | 28 | 29 | -24.232 | 1.971 |
| 11 | 11 | 24.050 | -6.775 | 29 | 29 | -23.353 | 5.854 |
| 11 | 12 | 24.186 | -6.775 | 29 | 30 | -23.217 | 5.854 |
| 12 | 12 | 22.809 | -11.063 | 30 | 30 | -21.653 | 9.558 |
| 12 | 13 | 22.928 | -11.063 | 30 | 31 | -21.533 | 9.558 |
| 13 | 13 | 20.816 | -15.015 | 31 | 31 | -19.349 | 12.972 |
| 13 | 14 | 20.914 | -15.015 | 31 | 32 | -19.251 | 12.972 |
| 14 | 14 | 18.120 | -18.510 | 32 | 32 | -16.528 | 15.992 |
| 14 | 15 | 18.193 | -18.510 | 32 | 33 | -16.455 | 15.992 |
| 15 | 15 | 14.800 | -21.443 | 33 | 33 | -13.283 | 18.526 |
| 15 | 16 | 14.848 | -21.443 | 33 | 34 | -13.235 | 18.526 |
| 16 | 16 | 10.961 | -23.725 | 34 | 34 | -9.712 | 20.497 |
| 16 | 17 | 10.988 | -23.725 | 34 | 35 | -9.686 | 20.497 |
| 17 | 17 | 6.736 | -25.285 | 35 | 35 | -5.913 | 21.846 |
| 17 | 18 | 6.745 | -25.285 | 35 | 36 | -5.903 | 21.846 |
| 18 | 18 | 2.271 | -26.078 | 36 | 36 | -1.983 | 22.530 |
| 18 | 19 | 2.273 | -26.078 | 36 | 1 | -1.982 | 22.530 |

6.1.8.13 節点変位 [内水圧]

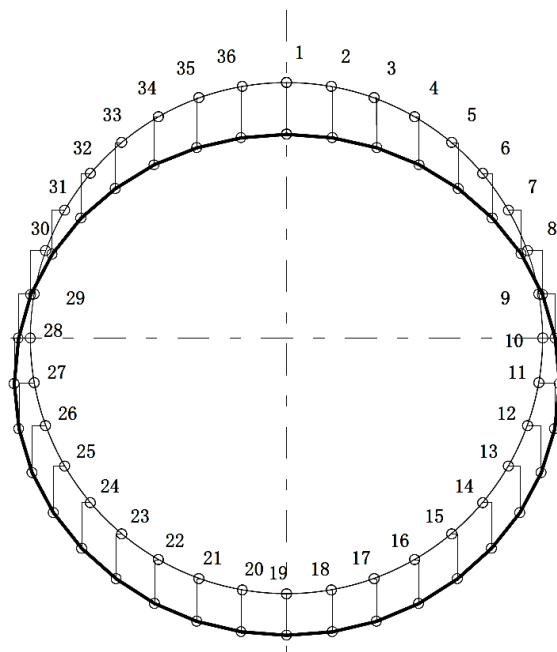


図 2.14.1.1-21 内水圧による変位

表 2.14.1.1-37 内水圧による変位

変位方向=0:セグメント内側に変位
変位方向=1:セグメント外側に変位

| 節点番号 | X方向変位 (m) | Y方向変位 (m) | 回転変位 (m) | 変位方向 | 節点番号 | X方向変位 (m) | Y方向変位 (m) | 回転変位 (m) | 変位方向 |
|------|-----------|-----------|-----------|------|------|-----------|-----------|-----------|------|
| 1 | 0.000000 | -0.000585 | 0.000000 | 0 | | | | | |
| 2 | 0.000011 | -0.000580 | 0.000052 | 0 | 36 | -0.000011 | -0.000580 | -0.000052 | 0 |
| 3 | 0.000026 | -0.000565 | 0.000097 | 0 | 35 | -0.000026 | -0.000565 | -0.000097 | 0 |
| 4 | 0.000048 | -0.000544 | 0.000130 | 0 | 34 | -0.000048 | -0.000544 | -0.000130 | 0 |
| 5 | 0.000076 | -0.000523 | 0.000147 | 0 | 33 | -0.000076 | -0.000523 | -0.000147 | 0 |
| 6 | 0.000109 | -0.000505 | 0.000143 | 0 | 32 | -0.000109 | -0.000505 | -0.000143 | 0 |
| 7 | 0.000141 | -0.000496 | 0.000119 | 0 | 31 | -0.000141 | -0.000496 | -0.000119 | 0 |
| 8 | 0.000167 | -0.000495 | 0.000078 | 0 | 30 | -0.000167 | -0.000495 | -0.000078 | 0 |
| 9 | 0.000183 | -0.000502 | 0.000029 | 1 | 29 | -0.000183 | -0.000502 | -0.000029 | 1 |
| 10 | 0.000184 | -0.000512 | -0.000021 | 1 | 28 | -0.000184 | -0.000512 | 0.000021 | 1 |
| 11 | 0.000173 | -0.000522 | -0.000063 | 1 | 27 | -0.000173 | -0.000522 | 0.000063 | 1 |
| 12 | 0.000152 | -0.000527 | -0.000094 | 1 | 26 | -0.000152 | -0.000527 | 0.000094 | 1 |
| 13 | 0.000125 | -0.000527 | -0.000113 | 1 | 25 | -0.000125 | -0.000527 | 0.000113 | 1 |
| 14 | 0.000095 | -0.000519 | -0.000119 | 1 | 24 | -0.000095 | -0.000519 | 0.000119 | 1 |
| 15 | 0.000068 | -0.000507 | -0.000113 | 1 | 23 | -0.000068 | -0.000507 | 0.000113 | 1 |
| 16 | 0.000044 | -0.000492 | -0.000097 | 1 | 22 | -0.000044 | -0.000492 | 0.000097 | 1 |
| 17 | 0.000025 | -0.000479 | -0.000070 | 1 | 21 | -0.000025 | -0.000479 | 0.000070 | 1 |
| 18 | 0.000011 | -0.000469 | -0.000037 | 1 | 20 | -0.000011 | -0.000469 | 0.000037 | 1 |
| 19 | 0.000000 | -0.000465 | 0.000000 | 1 | | | | | |

6.1.8.14 断面力 [内水圧]

表 2.14.1.1-38 内水圧による断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) |
|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 2.824 | -0.694 | -266.439 | 36 | 1 | 2.824 | 0.694 | -266.439 |
| 1 | 2 | 2.657 | -0.694 | -266.439 | 36 | 36 | 2.657 | 0.694 | -266.439 |
| 2 | 2 | 2.657 | -2.045 | -266.139 | 35 | 36 | 2.657 | 2.045 | -266.139 |
| 2 | 3 | 2.163 | -2.045 | -266.139 | 35 | 35 | 2.163 | 2.045 | -266.139 |
| 3 | 3 | 2.163 | -3.261 | -265.498 | 34 | 35 | 2.163 | 3.261 | -265.498 |
| 3 | 4 | 1.376 | -3.261 | -265.498 | 34 | 34 | 1.376 | 3.261 | -265.498 |
| 4 | 4 | 1.376 | -4.186 | -264.485 | 33 | 34 | 1.376 | 4.186 | -264.485 |
| 4 | 5 | 0.365 | -4.186 | -264.485 | 33 | 33 | 0.365 | 4.186 | -264.485 |
| 5 | 5 | 0.365 | -4.614 | -263.120 | 32 | 33 | 0.365 | 4.614 | -263.120 |
| 5 | 6 | -0.749 | -4.614 | -263.120 | 32 | 32 | -0.749 | 4.614 | -263.120 |
| 6 | 6 | -0.749 | -4.313 | -261.526 | 31 | 32 | -0.749 | 4.313 | -261.526 |
| 6 | 7 | -1.790 | -4.313 | -261.526 | 31 | 31 | -1.790 | 4.313 | -261.526 |
| 7 | 7 | -1.790 | -3.088 | -259.946 | 30 | 31 | -1.790 | 3.088 | -259.946 |
| 7 | 8 | -2.535 | -3.088 | -259.946 | 30 | 30 | -2.535 | 3.088 | -259.946 |
| 8 | 8 | -2.535 | -0.850 | -258.734 | 29 | 30 | -2.535 | 0.850 | -258.734 |
| 8 | 9 | -2.741 | -0.850 | -258.734 | 29 | 29 | -2.741 | 0.850 | -258.734 |
| 9 | 9 | -2.741 | 1.018 | -260.316 | 28 | 29 | -2.741 | -1.018 | -260.316 |
| 9 | 10 | -2.495 | 1.018 | -260.316 | 28 | 28 | -2.495 | -1.018 | -260.316 |
| 10 | 10 | -2.495 | 2.136 | -262.353 | 27 | 28 | -2.495 | -2.136 | -262.353 |
| 10 | 11 | -1.979 | 2.136 | -262.353 | 27 | 27 | -1.979 | -2.136 | -262.353 |
| 11 | 11 | -1.979 | 2.629 | -264.265 | 26 | 27 | -1.979 | -2.629 | -264.265 |
| 11 | 12 | -1.344 | 2.629 | -264.265 | 26 | 26 | -1.344 | -2.629 | -264.265 |
| 12 | 12 | -1.344 | 2.781 | -265.841 | 25 | 26 | -1.344 | -2.781 | -265.841 |
| 12 | 13 | -0.673 | 2.781 | -265.841 | 25 | 25 | -0.673 | -2.781 | -265.841 |
| 13 | 13 | -0.673 | 2.758 | -267.203 | 24 | 25 | -0.673 | -2.758 | -267.203 |
| 13 | 14 | -0.007 | 2.758 | -267.203 | 24 | 24 | -0.007 | -2.758 | -267.203 |
| 14 | 14 | -0.007 | 2.607 | -268.441 | 23 | 24 | -0.007 | -2.607 | -268.441 |
| 14 | 15 | 0.622 | 2.607 | -268.441 | 23 | 23 | 0.622 | -2.607 | -268.441 |
| 15 | 15 | 0.622 | 2.310 | -269.571 | 22 | 23 | 0.622 | -2.310 | -269.571 |
| 15 | 16 | 1.180 | 2.310 | -269.571 | 22 | 22 | 1.180 | -2.310 | -269.571 |
| 16 | 16 | 1.180 | 1.837 | -270.542 | 21 | 22 | 1.180 | -1.837 | -270.542 |
| 16 | 17 | 1.623 | 1.837 | -270.542 | 21 | 21 | 1.623 | -1.837 | -270.542 |
| 17 | 17 | 1.623 | 1.189 | -271.263 | 20 | 21 | 1.623 | -1.189 | -271.263 |
| 17 | 18 | 1.910 | 1.189 | -271.263 | 20 | 20 | 1.910 | -1.189 | -271.263 |
| 18 | 18 | 1.910 | 0.412 | -271.648 | 19 | 20 | 1.910 | -0.412 | -271.648 |
| 18 | 19 | 2.010 | 0.412 | -271.648 | 19 | 19 | 2.010 | -0.412 | -271.648 |

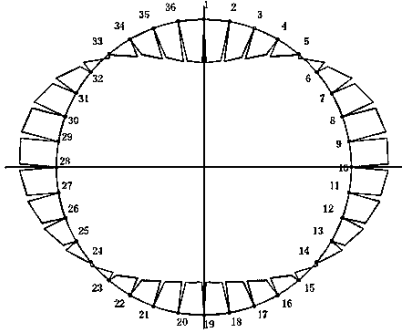
6.1.8.15 断面力 [自重 + 外荷重 + 内水圧]

表 2.14.1.1-39 自重+外荷重+内水圧による断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) |
|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 10.501 | -3.004 | -62.003 | 36 | 1 | 10.501 | 3.004 | -62.003 |
| 1 | 2 | 9.776 | -3.004 | -62.003 | 36 | 36 | 9.776 | 3.004 | -62.003 |
| 2 | 2 | 9.776 | -8.585 | -59.634 | 35 | 36 | 9.776 | 8.585 | -59.634 |
| 2 | 3 | 7.703 | -8.585 | -59.634 | 35 | 35 | 7.703 | 8.585 | -59.634 |
| 3 | 3 | 7.703 | -12.928 | -55.184 | 34 | 35 | 7.703 | 12.928 | -55.184 |
| 3 | 4 | 4.583 | -12.928 | -55.184 | 34 | 34 | 4.583 | 12.928 | -55.184 |
| 4 | 4 | 4.583 | -15.377 | -49.210 | 33 | 34 | 4.583 | 15.377 | -49.210 |
| 4 | 5 | 0.870 | -15.377 | -49.210 | 33 | 33 | 0.870 | 15.377 | -49.210 |
| 5 | 5 | 0.870 | -15.514 | -42.468 | 32 | 33 | 0.870 | 15.514 | -42.468 |
| 5 | 6 | -2.876 | -15.514 | -42.468 | 32 | 32 | -2.876 | 15.514 | -42.468 |
| 6 | 6 | -2.876 | -13.212 | -35.808 | 31 | 32 | -2.876 | 13.212 | -35.808 |
| 6 | 7 | -6.065 | -13.212 | -35.808 | 31 | 31 | -6.065 | 13.212 | -35.808 |
| 7 | 7 | -6.065 | -9.173 | -30.354 | 30 | 31 | -6.065 | 9.173 | -30.354 |
| 7 | 8 | -8.279 | -9.173 | -30.354 | 30 | 30 | -8.279 | 9.173 | -30.354 |
| 8 | 8 | -8.279 | -3.818 | -26.326 | 29 | 30 | -8.279 | 3.818 | -26.326 |
| 8 | 9 | -9.202 | -3.818 | -26.326 | 29 | 29 | -9.202 | 3.818 | -26.326 |
| 9 | 9 | -9.202 | 1.168 | -26.169 | 28 | 29 | -9.202 | -1.168 | -26.169 |
| 9 | 10 | -8.919 | 1.168 | -26.169 | 28 | 28 | -8.919 | -1.168 | -26.169 |
| 10 | 10 | -8.919 | 5.184 | -27.548 | 27 | 28 | -8.919 | -5.184 | -27.548 |
| 10 | 11 | -7.668 | 5.184 | -27.548 | 27 | 27 | -7.668 | -5.184 | -27.548 |
| 11 | 11 | -7.668 | 8.128 | -29.914 | 26 | 27 | -7.668 | -8.128 | -29.914 |
| 11 | 12 | -5.705 | 8.128 | -29.914 | 26 | 26 | -5.705 | -8.128 | -29.914 |
| 12 | 12 | -5.705 | 10.079 | -32.836 | 25 | 26 | -5.705 | -10.079 | -32.836 |
| 12 | 13 | -3.272 | 10.079 | -32.836 | 25 | 25 | -3.272 | -10.079 | -32.836 |
| 13 | 13 | -3.272 | 11.156 | -36.039 | 24 | 25 | -3.272 | -11.156 | -36.039 |
| 13 | 14 | -0.579 | 11.156 | -36.039 | 24 | 24 | -0.579 | -11.156 | -36.039 |
| 14 | 14 | -0.579 | 11.079 | -39.472 | 23 | 24 | -0.579 | -11.079 | -39.472 |
| 14 | 15 | 2.095 | 11.079 | -39.472 | 23 | 23 | 2.095 | -11.079 | -39.472 |
| 15 | 15 | 2.095 | 9.856 | -42.611 | 22 | 23 | 2.095 | -9.856 | -42.611 |
| 15 | 16 | 4.475 | 9.856 | -42.611 | 22 | 22 | 4.475 | -9.856 | -42.611 |
| 16 | 16 | 4.475 | 7.708 | -45.185 | 21 | 22 | 4.475 | -7.708 | -45.185 |
| 16 | 17 | 6.335 | 7.708 | -45.185 | 21 | 21 | 6.335 | -7.708 | -45.185 |
| 17 | 17 | 6.335 | 4.892 | -46.997 | 20 | 21 | 6.335 | -4.892 | -46.997 |
| 17 | 18 | 7.516 | 4.892 | -46.997 | 20 | 20 | 7.516 | -4.892 | -46.997 |
| 18 | 18 | 7.516 | 1.674 | -47.929 | 19 | 20 | 7.516 | -1.674 | -47.929 |
| 18 | 19 | 7.921 | 1.674 | -47.929 | 19 | 19 | 7.921 | -1.674 | -47.929 |

6.1.9 断面力算定結果

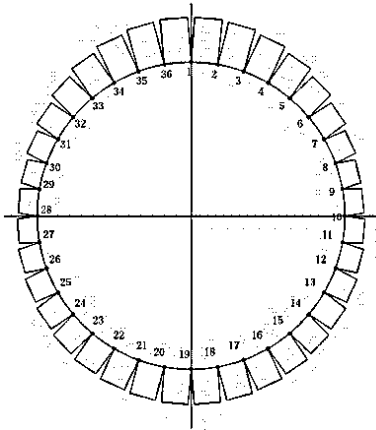
6.1.9.1 断面力図



正最大曲げモーメント = 10.501 (kN・m)

負最大曲げモーメント = -9.202 (kN・m)

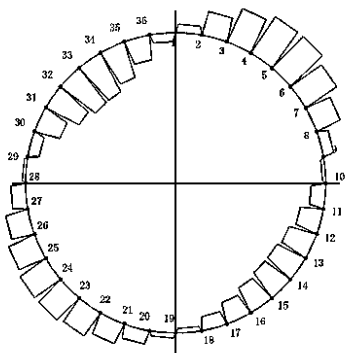
図 2.14.1.1-22 曲げモーメント図



正最大曲げモーメント位置軸力 = -62.003 (kN)

負最大曲げモーメント位置軸力 = -26.326 (kN)

図 2.14.1.1-23 軸力図



最大せん断力 = -15.514 (kN)

図 2.14.1.1-24 せん断力図

6.1.9.2 発進部クリティカルケース 断面力一覧(単位 m 当り)

表 2.14.1.1-39 より，正曲げモーメント，負曲げモーメント，せん断力の最大値位置で応力度照査を行った結果を表 2.14.1.1-40 に示す。

表 2.14.1.1-40 断面力一覧表

| ケース | | 正最大曲げモーメント(kN・m) | 負最大曲げモーメント(kN) | 最大せん断力(kN) |
|------------------|--------------|------------------|----------------|------------|
| 発進部 クリティカルケース | 曲げモーメント M | 10.501 | -9.202 | 0.870 |
| | 軸力 N | -62.003 | -26.326 | -42.468 |
| | せん断力 Q | -3.004 | -3.818 | -15.514 |

6.1.9.3 発進部クリティカルケース 断面力一覧表(曲げモーメントの割増率 ζ を考慮)

覆工板幅 B および曲げモーメントの割増率 ζ を考慮した場合の結果を表 2.14.1.1-41 に示す。

覆工板幅 $B = 1.000 \text{ m}$

曲げモーメント割増率 $\zeta = 25 \%$ (リング当り)

表 2.14.1.1-41 割増率 ζ を考慮した断面力一覧表

| ケース | | 正最大曲げモーメント(kN・m) | 負最大曲げモーメント(kN) | 最大せん断力(kN) |
|------------------|-----------------------------|------------------|----------------|------------|
| 発進部 クリティカルケース | $M \cdot B \cdot (1+\zeta)$ | 13.126 | -11.503 | 1.088 |
| | $M \cdot B \cdot (1-\zeta)$ | 7.876 | -6.902 | 0.653 |
| | $N \cdot B$ | -62.003 | -26.326 | -42.468 |
| | $Q \cdot B$ | -3.004 | -3.818 | -15.514 |

6.2 最深部・土被り 2D の場合

最深部・土被り 2D の詳細検討内容は、6.1 発進部・土被り 2D の場合の詳細検討内容と同様であるため省略する。

最深部・土被り 2D の地盤条件を図 2.14.1.1-25 に示す。

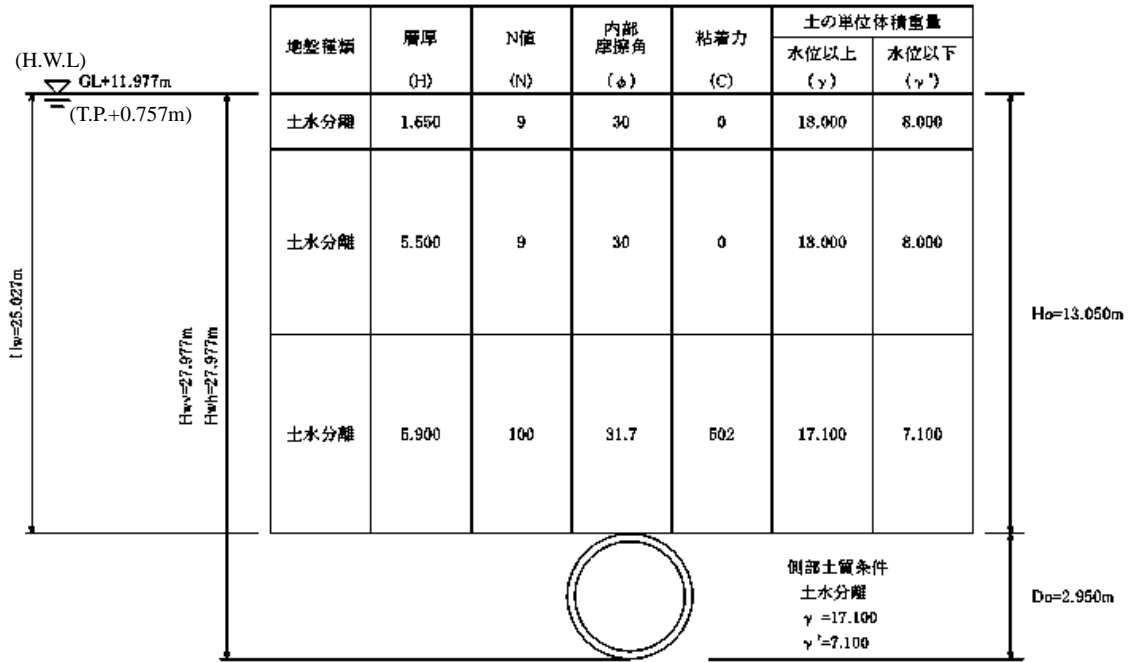


図 2.14.1.1-25 地盤条件

6.2.1 断面力[自重 + 外荷重 + 内水圧]

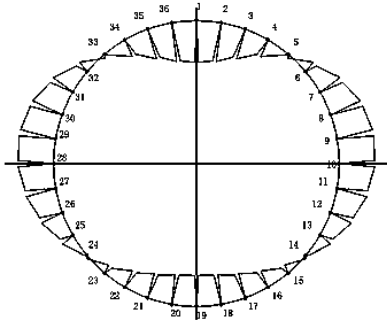
最深部・土被り 2D の断面力の算定結果を表 2.14.1.1-42 に示す。

表 2.14.1.1-42 自重+外荷重+内水圧による断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) |
|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 10.130 | -2.910 | -68.015 | 36 | 1 | 10.130 | 2.910 | -68.015 |
| 1 | 2 | 9.427 | -2.910 | -68.015 | 36 | 36 | 9.427 | 2.910 | -68.015 |
| 2 | 2 | 9.427 | -8.314 | -65.712 | 35 | 36 | 9.427 | 8.314 | -65.712 |
| 2 | 3 | 7.420 | -8.314 | -65.712 | 35 | 35 | 7.420 | 8.314 | -65.712 |
| 3 | 3 | 7.420 | -12.517 | -61.391 | 34 | 35 | 7.420 | 12.517 | -61.391 |
| 3 | 4 | 4.398 | -12.517 | -61.391 | 34 | 34 | 4.398 | 12.517 | -61.391 |
| 4 | 4 | 4.398 | -14.880 | -55.589 | 33 | 34 | 4.398 | 14.880 | -55.589 |
| 4 | 5 | 0.806 | -14.880 | -55.589 | 33 | 33 | 0.806 | 14.880 | -55.589 |
| 5 | 5 | 0.806 | -14.999 | -49.041 | 32 | 33 | 0.806 | 14.999 | -49.041 |
| 5 | 6 | -2.815 | -14.999 | -49.041 | 32 | 32 | -2.815 | 14.999 | -49.041 |
| 6 | 6 | -2.815 | -12.747 | -42.570 | 31 | 32 | -2.815 | 12.747 | -42.570 |
| 6 | 7 | -5.894 | -12.747 | -42.570 | 31 | 31 | -5.894 | 12.747 | -42.570 |
| 7 | 7 | -5.894 | -8.490 | -37.282 | 30 | 31 | -5.894 | 8.490 | -37.282 |
| 7 | 8 | -7.943 | -8.490 | -37.282 | 30 | 30 | -7.943 | 8.490 | -37.282 |
| 8 | 8 | -7.943 | -3.479 | -35.220 | 29 | 30 | -7.943 | 3.479 | -35.220 |
| 8 | 9 | -8.783 | -3.479 | -35.220 | 29 | 29 | -8.783 | 3.479 | -35.220 |
| 9 | 9 | -8.783 | 1.039 | -34.812 | 28 | 29 | -8.783 | -1.039 | -34.812 |
| 9 | 10 | -8.531 | 1.039 | -34.812 | 28 | 28 | -8.531 | -1.039 | -34.812 |
| 10 | 10 | -8.531 | 4.795 | -35.844 | 27 | 28 | -8.531 | -4.795 | -35.844 |
| 10 | 11 | -7.374 | 4.795 | -35.844 | 27 | 27 | -7.374 | -4.795 | -35.844 |
| 11 | 11 | -7.374 | 7.687 | -37.820 | 26 | 27 | -7.374 | -7.687 | -37.820 |
| 11 | 12 | -5.518 | 7.687 | -37.820 | 26 | 26 | -5.518 | -7.687 | -37.820 |
| 12 | 12 | -5.518 | 9.782 | -40.349 | 25 | 26 | -5.518 | -9.782 | -40.349 |
| 12 | 13 | -3.156 | 9.782 | -40.349 | 25 | 25 | -3.156 | -9.782 | -40.349 |
| 13 | 13 | -3.156 | 10.825 | -43.430 | 24 | 25 | -3.156 | -10.825 | -43.430 |
| 13 | 14 | -0.542 | 10.825 | -43.430 | 24 | 24 | -0.542 | -10.825 | -43.430 |
| 14 | 14 | -0.542 | 10.662 | -46.545 | 23 | 24 | -0.542 | -10.662 | -46.545 |
| 14 | 15 | 2.031 | 10.662 | -46.545 | 23 | 23 | 2.031 | -10.662 | -46.545 |
| 15 | 15 | 2.031 | 9.439 | -49.390 | 22 | 23 | 2.031 | -9.439 | -49.390 |
| 15 | 16 | 4.310 | 9.439 | -49.390 | 22 | 22 | 4.310 | -9.439 | -49.390 |
| 16 | 16 | 4.310 | 7.359 | -51.719 | 21 | 22 | 4.310 | -7.359 | -51.719 |
| 16 | 17 | 6.086 | 7.359 | -51.719 | 21 | 21 | 6.086 | -7.359 | -51.719 |
| 17 | 17 | 6.086 | 4.661 | -53.355 | 20 | 21 | 6.086 | -4.661 | -53.355 |
| 17 | 18 | 7.211 | 4.661 | -53.355 | 20 | 20 | 7.211 | -4.661 | -53.355 |
| 18 | 18 | 7.211 | 1.593 | -54.195 | 19 | 20 | 7.211 | -1.593 | -54.195 |
| 18 | 19 | 7.596 | 1.593 | -54.195 | 19 | 19 | 7.596 | -1.593 | -54.195 |

6.2.2 断面力算定結果

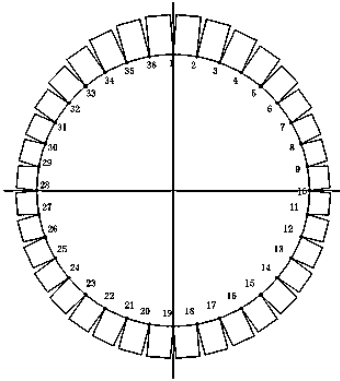
6.2.2.1 断面力図



正最大曲げモーメント = 10.130 (kN・m)

負最大曲げモーメント = -8.783 (kN・m)

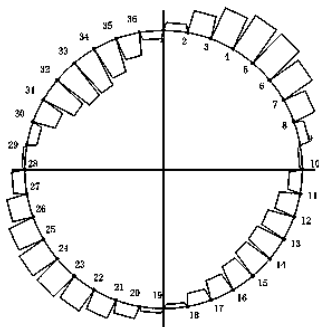
図 2.14.1.1-26 曲げモーメント図



正最大曲げモーメント位置軸力 = -68.015 (kN)

負最大曲げモーメント位置軸力 = -35.220 (kN)

図 2.14.1.1-27 軸力図



最大せん断力 = -14.999 (kN)

図 2.14.1.1-28 せん断力図

6.2.2.2 最深部クリティカルケース 断面力一覧表(単位 m 当り)

表 2.14.1.1-42 より，正曲げモーメント，負曲げモーメント，せん断力の最大値位置で応力照査を行った結果を表 2.14.1.1-43 に示す。

表 2.14.1.1-43 断面力一覧表

| ケース | | 正最大曲げモーメント(kN・m) | 負最大曲げモーメント(kN) | 最大せん断力(kN) |
|------------------|--------------|------------------|----------------|------------|
| 発進部 クリティカルケース | 曲げモーメント M | 10.130 | -8.783 | 0.806 |
| | 軸力 N | -68.015 | -35.220 | -49.041 |
| | せん断力 Q | -2.910 | -3.479 | -14.999 |

6.2.2.3 最深部クリティカルケース 断面力一覧表(曲げモーメントの割増率 ζ を考慮)

覆工板幅 B および曲げモーメントの割増率 ζ を考慮した場合の結果を表 2.14.1.1-44 に示す。

覆工板幅 $B = 1.000 \text{ m}$

曲げモーメント割増率 $\zeta = 25 \%$ (リング当り)

表 2.14.1.1-44 割増率 ζ を考慮した断面力一覧表

| ケース | | 正最大曲げモーメント(kN・m) | 負最大曲げモーメント(kN) | 最大せん断力(kN) |
|------------------|-----------------------------|------------------|----------------|------------|
| 発進部 クリティカルケース | $M \cdot B \cdot (1+\zeta)$ | 12.663 | -10.979 | 1.008 |
| | $M \cdot B \cdot (1-\zeta)$ | 7.598 | -6.587 | 0.605 |
| | $N \cdot B$ | -68.015 | -35.220 | -49.041 |
| | $Q \cdot B$ | -2.910 | -3.479 | -14.999 |

7. 短期の詳細検討内容

放水トンネルの設計において短期はクリティカルケースではなく、長期がクリティカルケースとなるが、補足として短期におけるクリティカルケースの検討内容を以下に示す。

7.1 発進部・土被り 2D の場合

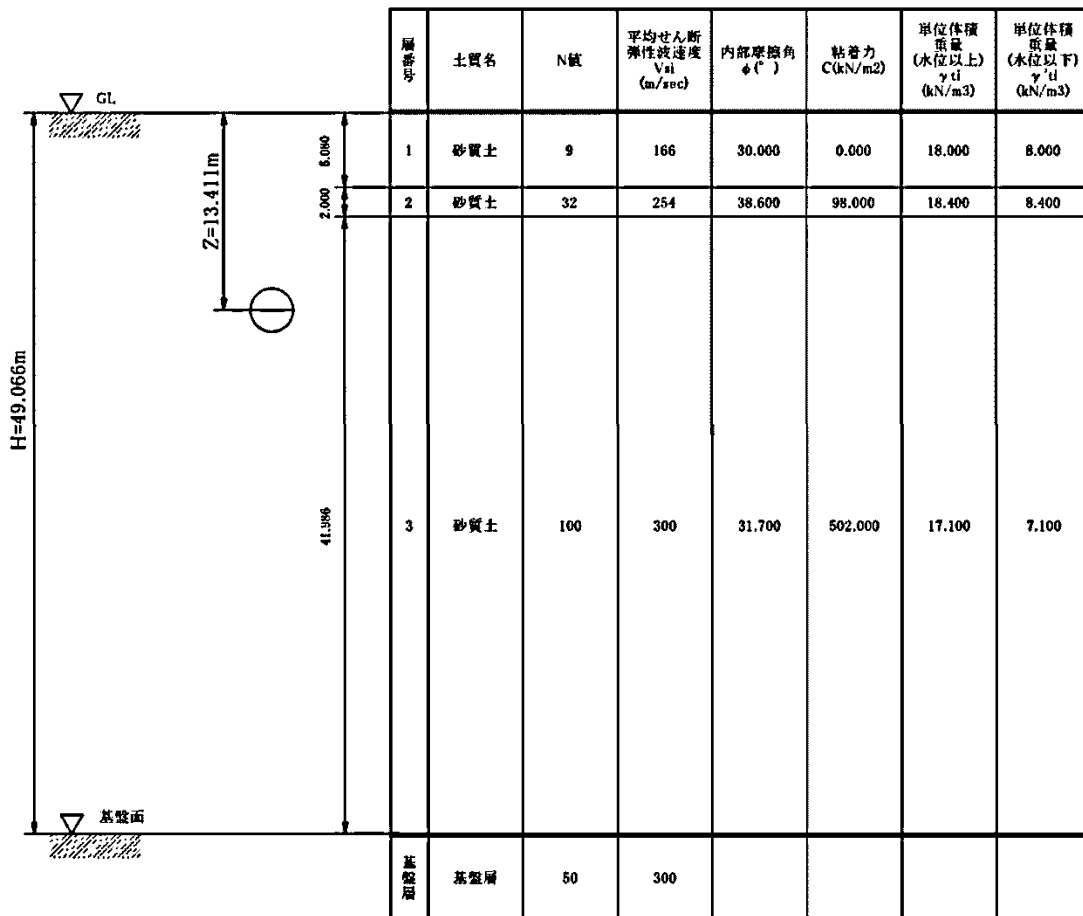


図 2.14.1.1-29 地盤条件

但し、平均せん断弾性波速度 Vsi(m/s) について、実測値がない為、下式より求めた。
道路橋示方書・同解説V 耐震設計編」平成 24 年 3 月

粘性土の場合

$$V_{si} = 100N_i^{1/3} (1 \leq N_i \leq 25)$$

砂質土の場合

$$V_{si} = 80N_i^{1/3} (1 \leq N_i \leq 50)$$

$$N_i = 0 \text{ の場合 } V_{si} = 50$$

ここに

N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層平均 N 値

i : 当該地盤が地表面から基盤面まで n 層に区分される時の、地表面から i 番目の地層の番号

工学的基盤面の条件より、当該地盤における基盤面位置は G.L.-49.066m の基盤層上面とする

7.1.1 地盤モデル

7.1.1.1 地盤の特性値の算定

地盤の特性値は前項に示した地盤条件を基に以下の式より求めるものとする。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}}$$

ここに

T_G : 地盤の特性値 (s)

H_i : i 番目地層の厚さ (m)

V_{si} : i 番目地層の平均せん断弾性波速度 (m/s)

上式に各表層地盤条件を入れると次表のとおりとなる。

表 2.14.1.1-45 地盤の特性値

| 層 | 土質 | 各層厚 H_i (m) | N値 | 各層のせん断 弾性波速度 V_{si} (m/s) | 地盤の特性値 $4 \cdot H_i/V_{si}$ (s) |
|---|-----|------------------|-----|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 砂質土 | 5.080 | 9 | 166 | 0.122 |
| 2 | 砂岩 | 2.000 | 32 | 254 | 0.031 |
| 3 | 泥岩 | 41.986 | 100 | 300 | 0.560 |
| | 合計 | 49.066 | | | 0.713 |

よって、表層地盤の特性値 $T_G = 0.713$ (s)となる。

7.1.1.2 固有周期の算定

表層地盤の固有周期は、地盤の特性値を基準として地震時に生じるせん断ひずみを考慮して以下の式より求める。(日本道路協会『共同溝設計指針』参照)

$$T_s = 1.25 \cdot T_G = 1.25 \times 0.713 = 0.891 \text{ (s)}$$

ここに、

T_s : 表層地盤の固有周期

T_G : 地盤の特性値=0.713(s)

7.1.1.3 設計応答速度の設定

レベル 1 地震動による設計応答速度は、表層地盤の固有周期及び地震活動度の地域区分に応じて求める。地域区分は、建設省告示第 1621 号 (昭和 53 年 10 月 20 日)に従っており、地域区分 A, B, C に対する補正係数は 1.0, 0.85, 0.7 としている。

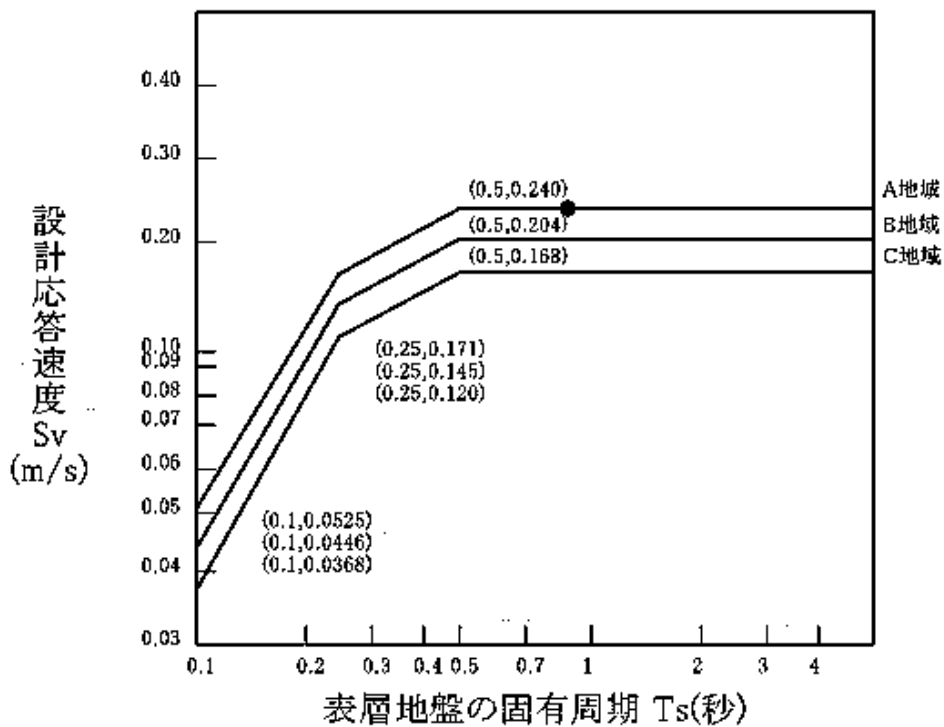


図 2.14.1.1-30 設計応答速度と表層地盤の固有周期

固有周期 $T_s = 0.891 \text{ (s)}$ のときの設計応答速度 S_v は 0.240 (m/s) となる。

7.1.1.4 動的せん断変形係数 G_s の算定 γ_{teq}

$$G_s = \frac{\gamma_{teq}}{g} \cdot V_{DS}^2$$

$$\therefore V_{DS} = \frac{4H}{T_s} = \frac{4 \times 49.066}{0.891} = 220.3 \text{ (m/s)}$$

$$\therefore G_s = \frac{17.246}{9.8} \cdot 220.3^2 = 85,407 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここで、

| | | | |
|----------------|---|---------------|-------------------------|
| G_s | : | 動的せん断変形係数 | (kN/m ²) |
| g | : | 重力加速度 | 9.8 (m/s ²) |
| V_{DS} | : | 表層地盤のせん断弾性波速度 | (m/s) |
| H | : | 表層地盤の厚さ | 49.066 (m) |
| T_s | : | 表層地盤の固有周期 | 0.891 (s) |
| γ_{teq} | : | 表層地盤の換算単位体積重量 | (kN/m ³) |

$$\gamma_{teq} = \frac{\sum \gamma_{ti} \cdot H_i}{H} = \frac{846.201}{49.066} = 17.246 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

表 2.14.1.1-46 表層地盤の換算単位面積重量

| 層 | 土質 | 各層厚 H _i (m) | 土の単位 体積重量 γ _{ti} (kN/m ³) | γ _{ti} ・H _i |
|---|-----|---------------------------|--|---------------------------------|
| 1 | 砂質土 | 5.080 | 18.000 | 91.440 |
| 2 | 砂岩 | 2.000 | 18.400 | 36.800 |
| 3 | 泥岩 | 41.986 | 17.100 | 717.961 |
| | 合計 | | | 846.201 |

7.1.2 フレームモデルによるシールド鉛直断面の計算

7.1.2.1 節点座標

覆工板断面力の算定には長期と同様、覆工板周長を下図のとおりに 36 分割したフレームモデルを用い、その節点を X、Y 座標で整理する。また、短期断面力は長期断面力と地震時のみの増分荷重による断面力の重ね合わせにより求めるが、この地震時のみの増分荷重による断面力は地盤水平力による地震荷重と周面せん断力により構成される。

$$\text{短期断面力} = (\text{長期断面力}) + (\text{地震時のみの増分荷重による断面力})$$

$$\therefore (\text{地震時のみの増分荷重による断面力}) = (\text{地盤水平力による地震力}) + (\text{周面せん断力})$$

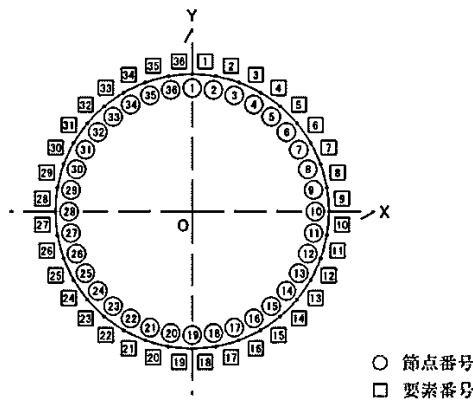


図 2.14.1.1-31 解析モデル(骨組み)

表 2.14.1.1-47 座標と節点

| 節点 番号 | X座標(m) | Y座標(m) | 節点 番号 | X座標(m) | Y座標(m) |
|----------|--------|---------|----------|---------|---------|
| 1 | 0.0000 | 1.3850 | 19 | 0.0000 | -1.3850 |
| 2 | 0.2405 | 1.3640 | 20 | -0.2405 | -1.3640 |
| 3 | 0.4737 | 1.3015 | 21 | -0.4737 | -1.3015 |
| 4 | 0.6925 | 1.1994 | 22 | -0.6925 | -1.1994 |
| 5 | 0.8903 | 1.0610 | 23 | -0.8903 | -1.0610 |
| 6 | 1.0610 | 0.8903 | 24 | -1.0610 | -0.8903 |
| 7 | 1.1994 | 0.6925 | 25 | -1.1994 | -0.6925 |
| 8 | 1.3015 | 0.4737 | 26 | -1.3015 | -0.4737 |
| 9 | 1.3640 | 0.2405 | 27 | -1.3640 | -0.2405 |
| 10 | 1.3850 | 0.0000 | 28 | -1.3850 | 0.0000 |
| 11 | 1.3640 | -0.2405 | 29 | -1.3640 | 0.2405 |
| 12 | 1.3015 | -0.4737 | 30 | -1.3015 | 0.4737 |
| 13 | 1.1994 | -0.6925 | 31 | -1.1994 | 0.6925 |
| 14 | 1.0610 | -0.8903 | 32 | -1.0610 | 0.8903 |
| 15 | 0.8903 | -1.0610 | 33 | -0.8903 | 1.0610 |
| 16 | 0.6925 | -1.1994 | 34 | -0.6925 | 1.1994 |
| 17 | 0.4737 | -1.3015 | 35 | -0.4737 | 1.3015 |
| 18 | 0.2405 | -1.3640 | 36 | -0.2405 | 1.3640 |

7.1.2.2 曲げ剛性

曲げ剛性は下記の通り算出した。

- ・ 弾性係数

$$E_c = 33,000,000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- ・ 断面積

$$A = b \cdot h = 1.00 \times 0.180 = 0.180 \text{ (m}^2\text{)}$$

- ・ 部材の断面二次モーメント

$$I_{SE} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1.00 \times 0.180^3}{12} = 0.000486 \text{ (m}^4\text{)}$$

ここで、

b: 部材幅 1.00 (m)

h: 覆工板厚 0.180 (m)

- ・ 覆工の曲げ剛性

$$\begin{aligned} EI &= \eta \cdot E_c \cdot I_{SE} \\ &= 0.80 \times 33,000,000 \times 0.000486 \\ &= 12,830 \text{ (kN} \cdot \text{m)} \end{aligned}$$

ここで、

E_c : コンクリートの弾性係数 33,000,000 (kN/m²)

η : 曲げ剛性の有効率 80 (%)

7.1.2.3 長期断面力算定

短期断面力の算定に用いる長期の断面力結果を表 2.14.1.1-48 に示す。

表 2.14.1.1-48 長期の断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) |
|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 0.049 | -0.482 | 182.355 | 36 | 1 | 0.049 | 0.482 | 182.355 |
| 1 | 2 | -0.068 | -0.482 | 182.355 | 36 | 36 | -0.068 | 0.482 | 182.355 |
| 2 | 2 | -0.068 | -1.254 | 182.886 | 35 | 36 | -0.068 | 1.254 | 182.886 |
| 2 | 3 | -0.371 | -1.254 | 182.886 | 35 | 35 | -0.371 | 1.254 | 182.886 |
| 3 | 3 | -0.371 | -1.493 | 183.798 | 34 | 35 | -0.371 | 1.493 | 183.798 |
| 3 | 4 | -0.731 | -1.493 | 183.798 | 34 | 34 | -0.731 | 1.493 | 183.798 |
| 4 | 4 | -0.731 | -0.973 | 184.841 | 33 | 34 | -0.731 | 0.973 | 184.841 |
| 4 | 5 | -0.966 | -0.973 | 184.841 | 33 | 33 | -0.966 | 0.973 | 184.841 |
| 5 | 5 | -0.966 | 0.366 | 185.726 | 32 | 33 | -0.966 | -0.366 | 185.726 |
| 5 | 6 | -0.877 | 0.366 | 185.726 | 32 | 32 | -0.877 | -0.366 | 185.726 |
| 6 | 6 | -0.877 | 1.733 | 185.818 | 31 | 32 | -0.877 | -1.733 | 185.818 |
| 6 | 7 | -0.460 | 1.733 | 185.818 | 31 | 31 | -0.460 | -1.733 | 185.818 |
| 7 | 7 | -0.460 | 2.613 | 185.642 | 30 | 31 | -0.460 | -2.613 | 185.642 |
| 7 | 8 | 0.172 | 2.613 | 185.642 | 30 | 30 | 0.172 | -2.613 | 185.642 |
| 8 | 8 | 0.172 | 2.823 | 185.445 | 29 | 30 | 0.172 | -2.823 | 185.445 |
| 8 | 9 | 0.853 | 2.823 | 185.445 | 29 | 29 | 0.853 | -2.823 | 185.445 |
| 9 | 9 | 0.853 | 2.329 | 185.574 | 28 | 29 | 0.853 | -2.329 | 185.574 |
| 9 | 10 | 1.415 | 2.329 | 185.574 | 28 | 28 | 1.415 | -2.329 | 185.574 |
| 10 | 10 | 1.415 | 1.286 | 186.238 | 27 | 28 | 1.415 | -1.286 | 186.238 |
| 10 | 11 | 1.725 | 1.286 | 186.238 | 27 | 27 | 1.725 | -1.286 | 186.238 |
| 11 | 11 | 1.725 | -0.085 | 187.429 | 26 | 27 | 1.725 | 0.085 | 187.429 |
| 11 | 12 | 1.705 | -0.085 | 187.429 | 26 | 26 | 1.705 | 0.085 | 187.429 |
| 12 | 12 | 1.705 | -1.531 | 189.196 | 25 | 26 | 1.705 | 1.531 | 189.196 |
| 12 | 13 | 1.335 | -1.531 | 189.196 | 25 | 25 | 1.335 | 1.531 | 189.196 |
| 13 | 13 | 1.335 | -2.694 | 191.586 | 24 | 25 | 1.335 | 2.694 | 191.586 |
| 13 | 14 | 0.685 | -2.694 | 191.586 | 24 | 24 | 0.685 | 2.694 | 191.586 |
| 14 | 14 | 0.685 | -3.192 | 194.440 | 23 | 24 | 0.685 | 3.192 | 194.440 |
| 14 | 15 | -0.086 | -3.192 | 194.440 | 23 | 23 | -0.086 | 3.192 | 194.440 |
| 15 | 15 | -0.086 | -2.735 | 197.409 | 22 | 23 | -0.086 | 2.735 | 197.409 |
| 15 | 16 | -0.746 | -2.735 | 197.409 | 22 | 22 | -0.746 | 2.735 | 197.409 |
| 16 | 16 | -0.746 | -2.039 | 199.670 | 21 | 22 | -0.746 | 2.039 | 199.670 |
| 16 | 17 | -1.238 | -2.039 | 199.670 | 21 | 21 | -1.238 | 2.039 | 199.670 |
| 17 | 17 | -1.238 | -1.279 | 201.390 | 20 | 21 | -1.238 | 1.279 | 201.390 |
| 17 | 18 | -1.547 | -1.279 | 201.390 | 20 | 20 | -1.547 | 1.279 | 201.390 |
| 18 | 18 | -1.547 | -0.439 | 202.322 | 19 | 20 | -1.547 | 0.439 | 202.322 |
| 18 | 19 | -1.653 | -0.439 | 202.322 | 19 | 19 | -1.653 | 0.439 | 202.322 |

7.1.3 短期断面力算定

7.1.3.1 フレームモデル

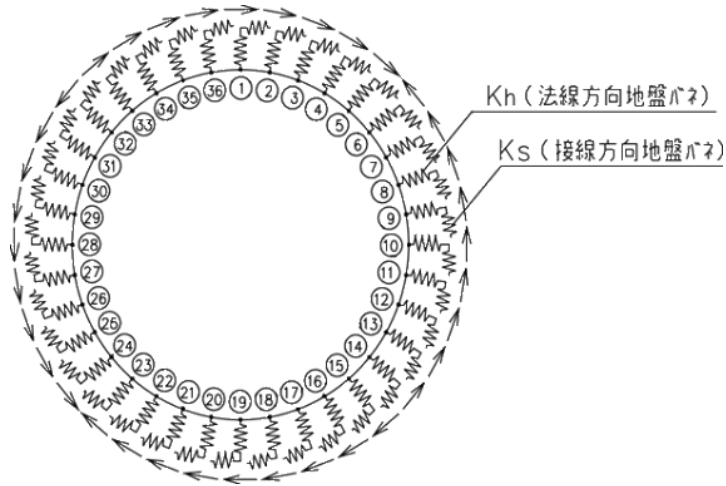


図 2.14.1.1-32 短期断面力算定フレームモデル

各節点の地盤ばね定数 K_h , K_s はそれぞれ次式で求められる。

$$K_h = 3E_D / ((1 + \nu_D) \cdot (5 - 6\nu_D) \cdot R_c)$$

$$K_s = K_h / 3$$

ここで、

ν_D : 表層地盤の動的ポアソン比

R_c : 管軸の図心半径 (m)

E_D : 表層地盤の動的変形係数 (kN/m^2)

$$E_D = 2(1 + \nu_D) \cdot G_s$$

G_s : 次頁より, 85407.000 (KN/m^2)

表層地盤の動的ポアソン比は、次式により加重平均をして求める。

$$\nu_D = (H_w \cdot \nu_{D1} + (H_g - H_w) \cdot \nu_{D2}) / H_g$$

ν_{D1} : 地下水以浅の動的ポアソン比

ν_{D2} : 地下水以深の動的ポアソン比

H_w : 地表面からの地下水位 0 (m)

H_g : 表層地盤の厚さ 49.066 (m)

なお ν_{D1} , ν_{D2} は一般に表 2.14.1.1-49 の値をとる。

表 2.14.1.1-49 動的ポアソン比の一般値

| 地層 | vD | 備考 |
|---------|------|--------|
| 沖積層・洪積層 | 0.45 | 地下水位以浅 |
| 沖積層・洪積層 | 0.50 | 地下水位以深 |
| 軟岩石 | 0.40 | |
| 硬岩石 | 0.30 | |

7.1.3.2 各層の地盤条件

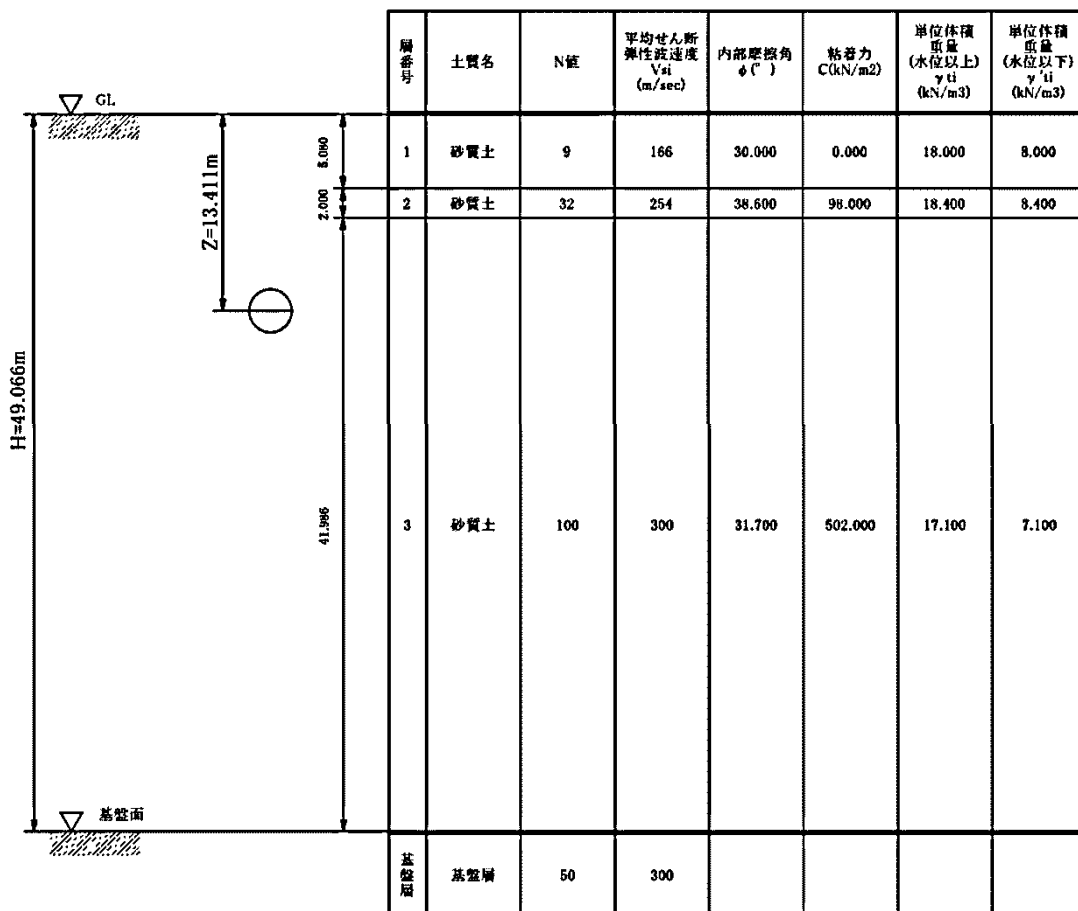


図 2.14.1.1-33 地盤条件

表 2.14.1.1-50 地盤条件

| 土層 | 土質名称 | 層厚 | N値 | γ | γ' | C | ϕ |
|----|------|--------|-----|----------|-----------|---------|--------|
| 1 | 砂質土 | 5.080 | 9 | 18.000 | 8.000 | 0.000 | 30.000 |
| 2 | 砂岩 | 2.000 | 32 | 18.400 | 8.400 | 98.000 | 38.600 |
| 3 | 泥岩 | 41.986 | 100 | 17.100 | 7.100 | 502.000 | 31.700 |

表層地盤の動的ポアソン比の算定

$$v_D = (H_w \cdot 0.45 + (H_g - H_w) \cdot 0.50) / H_g \text{ より}$$

$$v_D = (0 \cdot 0.45 + (49.066 - 0) \cdot 0.50) / 49.066$$

$$= 0.500$$

7.1.3.3 各節点の地盤ばね定数

表 2.14.1.1-51 各節点における地盤ばね

| 節点 番号 | 土層 番号 | 動的ポアソン 比 v_D | 動的変形係 数 E_D (kN/m^2) | 1要素長 差 d_s (m) | K_h (kN/m^3) | K_s (kN/m^3) |
|----------|----------|-------------------|---|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 2 | 36 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 3 | 35 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 4 | 34 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 5 | 33 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 6 | 32 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 7 | 31 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 8 | 30 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 9 | 29 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 10 | 28 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 11 | 27 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 12 | 26 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 13 | 25 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 14 | 24 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 15 | 23 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 16 | 22 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 17 | 21 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 18 | 20 | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |
| 19 | | 3 | 256221.000 | 0.2417 | 184997.112 | 61665.704 |

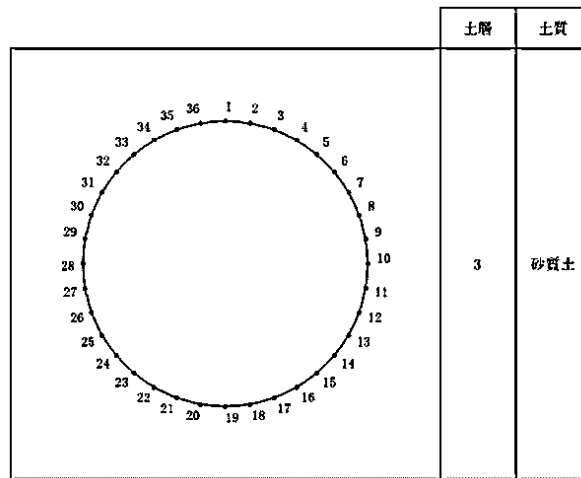


図 2.14.1.1-34 各節点が属する土層

7.1.3.4 地震時における覆工板の法線および接線方向地震力

地盤の応答変位を次式にて法線方向成分と接線方向成分に分解し求める。

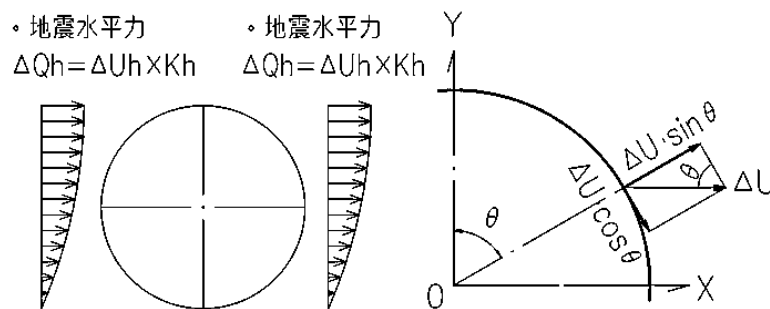


図 2.14.1.1-35 地震時水平力と分力イメージ

a) 地震時水平変位 $U_{h(z)} = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_V \cdot T_S \cdot \cos\left(\frac{\pi Z}{2H}\right)$

b) 法線方向成分 = $\Delta U \cdot \sin\theta$ (m)

c) 接線方向成分 = $\Delta U \cdot \cos\theta$ (m)

地震力 q_k および q_j は、法線方向と接線方向に対し各々の地盤ばね定数を乗ずること
で求める。表-52 に各節点における地震力を示す。

a) 法線方向地震力 $q_k = \Delta U \cdot \sin\theta \cdot ds \cdot K_h$ (kN/m)

b) 接線方向地震力 $q_j = \Delta U \cdot \cos\theta \cdot ds \cdot K_s$ (kN/m)

表 2.14.1.1-52 各節点における地震力

| 節点番号 | 深度Z (m) | 水平変位 Uh(Z) (m) | 相対変位 ΔU (m) | 法線方向地震変位成分 $\Delta U \cdot \sin\theta$ (m) | 接線方向地震変位成分 $\Delta U \cdot \cos\theta$ (m) | 1要素長当り 地盤ばね定数 $ds \cdot Kh$ (kN/m ²) | 1要素長当り せん断ばね定数 $ds \cdot Ks$ (kN/m ²) | 法線方向 地震力 qk (kN/m) | 接線方向 地震力 qj (kN/m) |
|------|------------|----------------------|---------------------------|--|--|---|--|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 12.0260 | 0.0402 | 0.0016 | 0.000000 | 0.001600 | 44713.802 | 14904.601 | 0.0000 | 23.8474 |
| 2 | 12.0470 | 0.0402 | 0.0016 | 0.000278 | 0.001576 | 44713.802 | 14904.601 | 12.4232 | 23.4851 |
| 3 | 12.1095 | 0.0401 | 0.0015 | 0.000513 | 0.001410 | 44713.802 | 14904.601 | 22.9395 | 21.0086 |
| 4 | 12.2116 | 0.0401 | 0.0015 | 0.000750 | 0.001299 | 44713.802 | 14904.601 | 33.5354 | 19.3616 |
| 5 | 12.3500 | 0.0400 | 0.0014 | 0.000900 | 0.001072 | 44713.802 | 14904.601 | 40.2381 | 15.9846 |
| 6 | 12.5207 | 0.0399 | 0.0013 | 0.000996 | 0.000836 | 44713.802 | 14904.601 | 44.5286 | 12.4546 |
| 7 | 12.7185 | 0.0398 | 0.0012 | 0.001039 | 0.000600 | 44713.802 | 14904.601 | 46.4679 | 8.9428 |
| 8 | 12.9373 | 0.0397 | 0.0011 | 0.001034 | 0.000376 | 44713.802 | 14904.601 | 46.2190 | 5.6074 |
| 9 | 13.1705 | 0.0395 | 0.0009 | 0.000886 | 0.000156 | 44713.802 | 14904.601 | 39.6310 | 2.3293 |
| 10 | 13.4110 | 0.0394 | 0.0008 | 0.000800 | 0.000000 | 44713.802 | 14904.601 | 35.7710 | 0.0000 |
| 11 | 13.6515 | 0.0393 | 0.0007 | 0.000689 | -0.000122 | 44713.802 | 14904.601 | 30.8241 | -1.8117 |
| 12 | 13.8847 | 0.0391 | 0.0005 | 0.000470 | -0.000171 | 44713.802 | 14904.601 | 21.0086 | -2.5488 |
| 13 | 14.1035 | 0.0390 | 0.0004 | 0.000346 | -0.000200 | 44713.802 | 14904.601 | 15.4893 | -2.9809 |
| 14 | 14.3013 | 0.0389 | 0.0003 | 0.000230 | -0.000193 | 44713.802 | 14904.601 | 10.2758 | -2.8741 |
| 15 | 14.4720 | 0.0388 | 0.0002 | 0.000129 | -0.000153 | 44713.802 | 14904.601 | 5.7483 | -2.2835 |
| 16 | 14.6104 | 0.0387 | 0.0001 | 0.000050 | -0.000087 | 44713.802 | 14904.601 | 2.2357 | -1.2908 |
| 17 | 14.7125 | 0.0386 | 0.0000 | 0.000000 | 0.000000 | 44713.802 | 14904.601 | 0.0000 | 0.0000 |
| 18 | 14.7750 | 0.0386 | 0.0000 | 0.000000 | 0.000000 | 44713.802 | 14904.601 | 0.0000 | 0.0000 |
| 19 | 14.7960 | 0.0386 | 0.0000 | 0.000000 | 0.000000 | 44713.802 | 14904.601 | 0.0000 | 0.0000 |
| 20 | 14.7750 | 0.0386 | 0.0000 | 0.000000 | 0.000000 | 44713.802 | 14904.601 | 0.0000 | 0.0000 |
| 21 | 14.7125 | 0.0386 | 0.0000 | 0.000000 | 0.000000 | 44713.802 | 14904.601 | 0.0000 | 0.0000 |
| 22 | 14.6104 | 0.0387 | 0.0001 | -0.000050 | -0.000087 | 44713.802 | 14904.601 | -2.2357 | -1.2908 |
| 23 | 14.4720 | 0.0388 | 0.0002 | -0.000129 | -0.000153 | 44713.802 | 14904.601 | -5.7483 | -2.2835 |
| 24 | 14.3013 | 0.0389 | 0.0003 | -0.000230 | -0.000193 | 44713.802 | 14904.601 | -10.2758 | -2.8741 |
| 25 | 14.1035 | 0.0390 | 0.0004 | -0.000346 | -0.000200 | 44713.802 | 14904.601 | -15.4893 | -2.9809 |
| 26 | 13.8847 | 0.0391 | 0.0005 | -0.000470 | -0.000171 | 44713.802 | 14904.601 | -21.0086 | -2.5488 |
| 27 | 13.6515 | 0.0393 | 0.0007 | -0.000689 | -0.000122 | 44713.802 | 14904.601 | -30.8241 | -1.8117 |
| 28 | 13.4110 | 0.0394 | 0.0008 | -0.000800 | 0.000000 | 44713.802 | 14904.601 | -35.7710 | 0.0000 |
| 29 | 13.1705 | 0.0395 | 0.0009 | -0.000886 | 0.000156 | 44713.802 | 14904.601 | -39.6310 | 2.3293 |
| 30 | 12.9373 | 0.0397 | 0.0011 | -0.001034 | 0.000376 | 44713.802 | 14904.601 | -46.2190 | 5.6074 |
| 31 | 12.7185 | 0.0398 | 0.0012 | -0.001039 | 0.000600 | 44713.802 | 14904.601 | -46.4679 | 8.9428 |
| 32 | 12.5207 | 0.0399 | 0.0013 | -0.000996 | 0.000836 | 44713.802 | 14904.601 | -44.5286 | 12.4546 |
| 33 | 12.3500 | 0.0400 | 0.0014 | -0.000900 | 0.001072 | 44713.802 | 14904.601 | -40.2381 | 15.9846 |
| 34 | 12.2116 | 0.0401 | 0.0015 | -0.000750 | 0.001299 | 44713.802 | 14904.601 | -33.5354 | 19.3616 |
| 35 | 12.1095 | 0.0401 | 0.0015 | -0.000513 | 0.001410 | 44713.802 | 14904.601 | -22.9395 | 21.0086 |
| 36 | 12.0470 | 0.0402 | 0.0016 | -0.000278 | 0.001576 | 44713.802 | 14904.601 | -12.4232 | 23.4851 |

7.1.3.5 周面せん断力 τ , σ の算定

周面せん断力 τ (τ_x , τ_y) は, 図 2.14.1.1-36 に示す通りシールド外周面に作用するがその大きさは以下の通りとなる。

$$\tau_x = \tau_y = G_s / (\pi \cdot H) \cdot S_v \cdot T_s \cdot \sin(\pi Z / 2H)$$

ここに

G_s : 動的せん断変形係数

H : 表層厚

T_s : 表層地盤の固有周期

Z : 表層面からの深さ

となる。

したがって, 図 2.14.1.1-36 に示される地震時周面せん断力が働いたときに作用する τ , および σ は以下のとおりとなる。

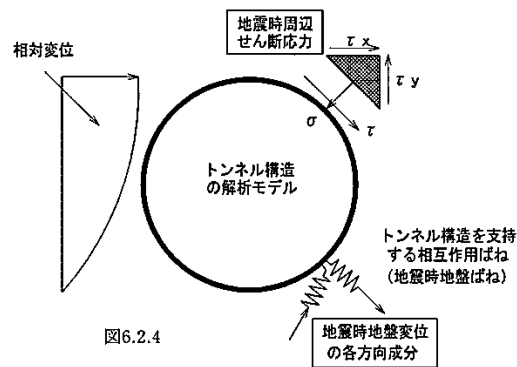


図 2.14.1.1-36 地震時周面せん断力による τ , および σ

$\tau_x = \tau_y$ の時,

$$\tau = (\tau_x - \tau_y) / 2 + (\tau_x + \tau_y) / 2 \cdot \cos 2\theta$$

$$\sigma = -(\tau_x + \tau_y) / 2 \cdot \sin 2\theta$$

但し, 地震時周面せん断力の最大値は

$$\tau_{\max} = C + \sigma_n \cdot \tan \varphi$$

ここに

C : 地盤の粘着力

σ_n : 有効上載圧

φ : 内部摩擦角

となるため, 本値との比較のうえ決定する。

表 2.14.1.1-53 地震時周面せん断力 τ , σ の算定

| 節点 番号 | 深度z (m) | 土層 番号 | 層厚 h (m) | γ (kN/m ³) | C (kN/m ²) | ϕ (°) | σ_n (kN/m ²) | τ_{max} (kN/m ²) | τ_x, τ_y (kN/m ²) | 採用 τ_x, τ_y (kN/m ²) | 決定 τ 値 (kN/m ²) | 決定 σ 値 (kN/m ²) |
|----------|------------|----------|----------------|----------------------------------|---------------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------------|--|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 12.0260 | 3 | 0.0000 | 17.1 | 502 | 31.7 | 212.8166 | 633.4382 | 44.4969 | 44.4969 | 44.4969 | 0.0000 |
| 2 | 12.0470 | 3 | 0.0210 | 17.1 | 502 | 31.7 | 213.1764 | 633.6604 | 44.5709 | 44.5709 | 41.8829 | -15.2441 |
| 3 | 12.1095 | 3 | 0.0625 | 17.1 | 502 | 31.7 | 214.2449 | 634.3203 | 44.7904 | 44.7904 | 34.3114 | -28.7907 |
| 4 | 12.2116 | 3 | 0.1020 | 17.1 | 502 | 31.7 | 215.9896 | 635.3979 | 45.1484 | 45.1484 | 22.5742 | -39.0997 |
| 5 | 12.3500 | 3 | 0.1385 | 17.1 | 502 | 31.7 | 218.3575 | 636.8603 | 45.6336 | 45.6336 | 7.9242 | -44.9403 |
| 6 | 12.5207 | 3 | 0.1707 | 17.1 | 502 | 31.7 | 221.2766 | 638.6632 | 46.2305 | 46.2305 | -8.0278 | -45.5282 |
| 7 | 12.7185 | 3 | 0.1978 | 17.1 | 502 | 31.7 | 224.6584 | 640.7518 | 46.9202 | 46.9202 | -23.4601 | -40.6341 |
| 8 | 12.9373 | 3 | 0.2188 | 17.1 | 502 | 31.7 | 228.3999 | 643.0626 | 47.6811 | 47.6811 | -36.5258 | -30.6488 |
| 9 | 13.1705 | 3 | 0.2332 | 17.1 | 502 | 31.7 | 232.3875 | 645.5254 | 48.4895 | 48.4895 | -45.5652 | -16.5844 |
| 10 | 13.4110 | 3 | 0.2405 | 17.1 | 502 | 31.7 | 236.5001 | 648.0654 | 49.3204 | 49.3204 | -49.3204 | 0.0000 |
| 11 | 13.6515 | 3 | 0.2405 | 17.1 | 502 | 31.7 | 240.6127 | 650.6054 | 50.1484 | 50.1484 | -47.1241 | 17.1518 |
| 12 | 13.8847 | 3 | 0.2332 | 17.1 | 502 | 31.7 | 244.6003 | 653.0682 | 50.9484 | 50.9484 | -39.0287 | 32.7490 |
| 13 | 14.1035 | 3 | 0.2188 | 17.1 | 502 | 31.7 | 248.3419 | 655.3791 | 51.6964 | 51.6964 | -25.8482 | 44.7704 |
| 14 | 14.3013 | 3 | 0.1978 | 17.1 | 502 | 31.7 | 251.7236 | 657.4676 | 52.3703 | 52.3703 | -9.0940 | 51.5747 |
| 15 | 14.4720 | 3 | 0.1707 | 17.1 | 502 | 31.7 | 254.6427 | 659.2705 | 52.9504 | 52.9504 | 9.1947 | 52.1460 |
| 16 | 14.6104 | 3 | 0.1385 | 17.1 | 502 | 31.7 | 257.0106 | 660.7330 | 53.4197 | 53.4197 | 26.7098 | 46.2628 |
| 17 | 14.7125 | 3 | 0.1020 | 17.1 | 502 | 31.7 | 258.7553 | 661.8105 | 53.7649 | 53.7649 | 41.1863 | 34.5594 |
| 18 | 14.7750 | 3 | 0.0625 | 17.1 | 502 | 31.7 | 259.8238 | 662.4704 | 53.9760 | 53.9760 | 50.7208 | 18.4609 |
| 19 | 14.7960 | 3 | 0.0210 | 17.1 | 502 | 31.7 | 260.1836 | 662.6927 | 54.0470 | 54.0470 | 54.0470 | 0.0000 |
| 20 | 14.7750 | 3 | 0.0210 | 17.1 | 502 | 31.7 | 259.8238 | 662.4704 | 53.9760 | 53.9760 | 50.7208 | -18.4609 |
| 21 | 14.7125 | 3 | 0.0625 | 17.1 | 502 | 31.7 | 258.7553 | 661.8105 | 53.7649 | 53.7649 | 41.1863 | -34.5594 |
| 22 | 14.6104 | 3 | 0.1020 | 17.1 | 502 | 31.7 | 257.0106 | 660.7330 | 53.4197 | 53.4197 | 26.7099 | -46.2628 |
| 23 | 14.4720 | 3 | 0.1385 | 17.1 | 502 | 31.7 | 254.6427 | 659.2705 | 52.9504 | 52.9504 | 9.1947 | -52.1460 |
| 24 | 14.3013 | 3 | 0.1707 | 17.1 | 502 | 31.7 | 251.7236 | 657.4676 | 52.3703 | 52.3703 | -9.0940 | -51.5747 |
| 25 | 14.1035 | 3 | 0.1978 | 17.1 | 502 | 31.7 | 248.3419 | 655.3791 | 51.6964 | 51.6964 | -25.8482 | -44.7704 |
| 26 | 13.8847 | 3 | 0.2188 | 17.1 | 502 | 31.7 | 244.6003 | 653.0682 | 50.9484 | 50.9484 | -39.0287 | -32.7490 |
| 27 | 13.6515 | 3 | 0.2332 | 17.1 | 502 | 31.7 | 240.6127 | 650.6054 | 50.1484 | 50.1484 | -47.1241 | -17.1518 |
| 28 | 13.4110 | 3 | 0.2405 | 17.1 | 502 | 31.7 | 236.5001 | 648.0654 | 49.3204 | 49.3204 | -49.3204 | 0.0000 |
| 29 | 13.1705 | 3 | 0.2405 | 17.1 | 502 | 31.7 | 232.3875 | 645.5254 | 48.4895 | 48.4895 | -45.5652 | 16.5844 |
| 30 | 12.9373 | 3 | 0.2332 | 17.1 | 502 | 31.7 | 228.3999 | 643.0626 | 47.6811 | 47.6811 | -36.5258 | 30.6488 |
| 31 | 12.7185 | 3 | 0.2188 | 17.1 | 502 | 31.7 | 224.6584 | 640.7518 | 46.9202 | 46.9202 | -23.4601 | 40.6341 |
| 32 | 12.5207 | 3 | 0.1978 | 17.1 | 502 | 31.7 | 221.2766 | 638.6632 | 46.2305 | 46.2305 | -8.0278 | 45.5282 |
| 33 | 12.3500 | 3 | 0.1707 | 17.1 | 502 | 31.7 | 218.3575 | 636.8603 | 45.6336 | 45.6336 | 7.9242 | 44.9403 |
| 34 | 12.2116 | 3 | 0.1385 | 17.1 | 502 | 31.7 | 215.9896 | 635.3979 | 45.1484 | 45.1484 | 22.5742 | 39.0997 |
| 35 | 12.1095 | 3 | 0.1020 | 17.1 | 502 | 31.7 | 214.2449 | 634.3203 | 44.7904 | 44.7904 | 34.3114 | 28.7907 |
| 36 | 12.0470 | 3 | 0.0625 | 17.1 | 502 | 31.7 | 213.1764 | 633.6604 | 44.5709 | 44.5709 | 41.8829 | 15.2441 |

ただし、

$$\text{決定 } \tau \text{ 値} = \text{採用 } \tau_x \cdot \cos 2\theta$$

$$\text{決定 } \sigma \text{ 値} = -\text{採用 } \tau_x \cdot \sin 2\theta$$

7.1.4 地盤水平力による地震力と周面せん断力の合成

7.1.4.1 法線方向

法線方向の地震力については法線方向周面せん断力 $\sigma \cdot ds$ が地盤水平力による法線方向地震力に加わる事から $qk + \sigma \cdot ds(kN/m)$ となる。

表 2.14.1.1-54 法線方向の地震力と周面せん断力の合成

| 節点番号 | 法線方向 地震力 qk (kN/m) | 周面 せん断力 σ (kN/m ²) | 1要素 長さ ds (m) | 1要素当り 周面せん断力 $\sigma \cdot ds(kN/m)$ | 法線方向 地震力 $qk+$ 周面せん断力 $\sigma \cdot ds$ |
|------|----------------------------|---|-----------------------|--|---|
| 1 | 0.0000 | -0.0000 | 0.2417 | 0.0000 | 0.0000 |
| 2 | 12.4232 | 15.2441 | 0.2417 | 3.6845 | 16.1077 |
| 3 | 22.9395 | 28.7907 | 0.2417 | 6.9587 | 29.8982 |
| 4 | 33.5354 | 39.0997 | 0.2417 | 9.4504 | 42.9857 |
| 5 | 40.2381 | 44.9403 | 0.2417 | 10.8621 | 51.1001 |
| 6 | 44.5286 | 45.5282 | 0.2417 | 11.0042 | 55.5327 |
| 7 | 46.4679 | 40.6341 | 0.2417 | 9.8213 | 56.2892 |
| 8 | 46.2190 | 30.6488 | 0.2417 | 7.4078 | 53.6268 |
| 9 | 39.6310 | 16.5844 | 0.2417 | 4.0084 | 43.6395 |
| 10 | 35.7710 | -0.0000 | 0.2417 | 0.0000 | 35.7710 |
| 11 | 30.8241 | -17.1518 | 0.2417 | -4.1456 | 26.6786 |
| 12 | 21.0086 | -32.7490 | 0.2417 | -7.9154 | 13.0932 |
| 13 | 15.4893 | -44.7704 | 0.2417 | -10.8210 | 4.6683 |
| 14 | 10.2758 | -51.5747 | 0.2417 | -12.4656 | -2.1898 |
| 15 | 5.7483 | -52.1460 | 0.2417 | -12.6037 | -6.8554 |
| 16 | 2.2357 | -46.2628 | 0.2417 | -11.1817 | -8.9460 |
| 17 | 0.0000 | -34.5594 | 0.2417 | -8.3530 | -8.3530 |
| 18 | 0.0000 | -18.4609 | 0.2417 | -4.4620 | -4.4620 |
| 19 | 0.0000 | -0.0000 | 0.2417 | 0.0000 | 0.0000 |
| 20 | 0.0000 | 18.4609 | 0.2417 | 4.4620 | 4.4620 |
| 21 | 0.0000 | 34.5594 | 0.2417 | 8.3530 | 8.3530 |
| 22 | -2.2357 | 46.2628 | 0.2417 | 11.1817 | 8.9460 |
| 23 | -5.7483 | 52.1460 | 0.2417 | 12.6037 | 6.8554 |
| 24 | -10.2758 | 51.5747 | 0.2417 | 12.4656 | 2.1898 |
| 25 | -15.4893 | 44.7704 | 0.2417 | 10.8210 | -4.6683 |
| 26 | -21.0086 | 32.7490 | 0.2417 | 7.9154 | -13.0932 |
| 27 | -30.8241 | 17.1518 | 0.2417 | 4.1456 | -26.6786 |
| 28 | -35.7710 | -0.0000 | 0.2417 | 0.0000 | -35.7710 |
| 29 | -39.6310 | -16.5844 | 0.2417 | -4.0084 | -43.6395 |
| 30 | -46.2190 | -30.6488 | 0.2417 | -7.4078 | -53.6268 |
| 31 | -46.4679 | -40.6341 | 0.2417 | -9.8213 | -56.2892 |
| 32 | -44.5286 | -45.5282 | 0.2417 | -11.0042 | -55.5327 |
| 33 | -40.2381 | -44.9403 | 0.2417 | -10.8621 | -51.1001 |
| 34 | -33.5354 | -39.0997 | 0.2417 | -9.4504 | -42.9857 |
| 35 | -22.9395 | -28.7907 | 0.2417 | -6.9587 | -29.8982 |
| 36 | -12.4232 | -15.2441 | 0.2417 | -3.6845 | -16.1077 |

7.1.4.2 接線方向

接線方向の地震力については接線方向周面せん断力 $\tau \cdot ds$ が地盤水平力による接線方向地震力に加わる事から $qj + \tau \cdot ds$ (kN/m)となる。

表 2.14.1.1-55 接線方向の地震力と周面せん断力の合成

| 節点番号 | 接線方向 地震力qj (kN/m) | 周面 せん断力 τ (kN/m ²) | 1要素長差ds (m) | 1要素当り周面 せん断力 $\tau \cdot ds$ (kN/m) | 接線方向地震力 qj+ 周面せん断力 $\tau \cdot ds$ |
|------|-------------------------|---|----------------|--|---|
| 1 | 23.8474 | 44.4969 | 0.2417 | 10.7549 | 34.6023 |
| 2 | 23.4851 | 41.8829 | 0.2417 | 10.1231 | 33.6082 |
| 3 | 21.0086 | 34.3114 | 0.2417 | 8.2931 | 29.3017 |
| 4 | 19.3616 | 22.5742 | 0.2417 | 5.4562 | 24.8178 |
| 5 | 15.9846 | 7.9242 | 0.2417 | 1.9153 | 17.8999 |
| 6 | 12.4546 | -8.0278 | 0.2417 | -1.9403 | 10.5143 |
| 7 | 8.9428 | -23.4601 | 0.2417 | -5.6703 | 3.2725 |
| 8 | 5.6074 | -36.5258 | 0.2417 | -8.8283 | -3.2209 |
| 9 | 2.3293 | -45.5652 | 0.2417 | -11.0131 | -8.6838 |
| 10 | 0.0000 | -49.3204 | 0.2417 | -11.9207 | -11.9207 |
| 11 | -1.8117 | -47.1241 | 0.2417 | -11.3899 | -13.2016 |
| 12 | -2.5488 | -39.0287 | 0.2417 | -9.4332 | -11.9821 |
| 13 | -2.9809 | -25.8482 | 0.2417 | -6.2475 | -9.2284 |
| 14 | -2.8741 | -9.0940 | 0.2417 | -2.1980 | -5.0722 |
| 15 | -2.2835 | 9.1947 | 0.2417 | 2.2224 | -0.0611 |
| 16 | -1.2908 | 26.7098 | 0.2417 | 6.4558 | 5.1650 |
| 17 | 0.0000 | 41.1863 | 0.2417 | 9.9547 | 9.9547 |
| 18 | 0.0000 | 50.7208 | 0.2417 | 12.2592 | 12.2592 |
| 19 | 0.0000 | 54.0470 | 0.2417 | 13.0632 | 13.0632 |
| 20 | 0.0000 | 50.7208 | 0.2417 | 12.2592 | 12.2592 |
| 21 | 0.0000 | 41.1863 | 0.2417 | 9.9547 | 9.9547 |
| 22 | -1.2908 | 26.7099 | 0.2417 | 6.4558 | 5.1650 |
| 23 | -2.2835 | 9.1947 | 0.2417 | 2.2224 | -0.0611 |
| 24 | -2.8741 | -9.0940 | 0.2417 | -2.1980 | -5.0722 |
| 25 | -2.9809 | -25.8482 | 0.2417 | -6.2475 | -9.2284 |
| 26 | -2.5488 | -39.0287 | 0.2417 | -9.4332 | -11.9821 |
| 27 | -1.8117 | -47.1241 | 0.2417 | -11.3899 | -13.2016 |
| 28 | 0.0000 | -49.3204 | 0.2417 | -11.9207 | -11.9207 |
| 29 | 2.3293 | -45.5652 | 0.2417 | -11.0131 | -8.6838 |
| 30 | 5.6074 | -36.5258 | 0.2417 | -8.8283 | -3.2209 |
| 31 | 8.9428 | -23.4601 | 0.2417 | -5.6703 | 3.2725 |
| 32 | 12.4546 | -8.0278 | 0.2417 | -1.9403 | 10.5143 |
| 33 | 15.9846 | 7.9242 | 0.2417 | 1.9153 | 17.8999 |
| 34 | 19.3616 | 22.5742 | 0.2417 | 5.4562 | 24.8178 |
| 35 | 21.0086 | 34.3114 | 0.2417 | 8.2931 | 29.3017 |
| 36 | 23.4851 | 41.8829 | 0.2417 | 10.1231 | 33.6082 |

7.1.5 地震時のみの節点変位

地震時のみの増分荷重による節点変位を表 2.14.1.1-56 に示す。なお、地震時のみの増分荷重による変位は、法線方向せん断力および法線方向地震力ならびに、接線方向せん断力および接線方向地震力を放水トンネルのフレームモデルに与えて解いている。

表 2.14.1.1-56 地震時のみの節点変位

| 節点 番号 | X方向変位 (m) | Y方向変位 (m) | 回転変位 (m) | 節点 番号 | X方向変位 (m) | Y方向変位 (m) | 回転変位 (m) |
|----------|--------------|--------------|-------------|----------|--------------|--------------|-------------|
| 1 | 0.001520 | 0.000000 | 0.000437 | | | | |
| 2 | 0.001529 | 0.000102 | 0.000395 | 36 | 0.001529 | -0.000102 | 0.000395 |
| 3 | 0.001549 | 0.000181 | 0.000272 | 35 | 0.001549 | -0.000181 | 0.000272 |
| 4 | 0.001567 | 0.000222 | 0.000084 | 34 | 0.001567 | -0.000222 | 0.000084 |
| 5 | 0.001561 | 0.000217 | -0.000150 | 33 | 0.001561 | -0.000217 | -0.000150 |
| 6 | 0.001513 | 0.000171 | -0.000402 | 32 | 0.001513 | -0.000171 | -0.000402 |
| 7 | 0.001408 | 0.000100 | -0.000643 | 31 | 0.001408 | -0.000100 | -0.000643 |
| 8 | 0.001244 | 0.000025 | -0.000844 | 30 | 0.001244 | -0.000025 | -0.000844 |
| 9 | 0.001030 | -0.000032 | -0.000978 | 29 | 0.001030 | 0.000032 | -0.000978 |
| 10 | 0.000786 | -0.000053 | -0.001030 | 28 | 0.000786 | 0.000053 | -0.001030 |
| 11 | 0.000541 | -0.000032 | -0.000995 | 27 | 0.000541 | 0.000032 | -0.000995 |
| 12 | 0.000321 | 0.000026 | -0.000874 | 26 | 0.000321 | -0.000026 | -0.000874 |
| 13 | 0.000150 | 0.000104 | -0.000678 | 25 | 0.000150 | -0.000104 | -0.000678 |
| 14 | 0.000038 | 0.000180 | -0.000434 | 24 | 0.000038 | -0.000180 | -0.000434 |
| 15 | -0.000015 | 0.000230 | -0.000171 | 23 | -0.000015 | -0.000230 | -0.000171 |
| 16 | -0.000022 | 0.000238 | 0.000081 | 22 | -0.000022 | -0.000238 | 0.000081 |
| 17 | -0.000004 | 0.000196 | 0.000289 | 21 | -0.000004 | -0.000196 | 0.000289 |
| 18 | 0.000017 | 0.000110 | 0.000427 | 20 | 0.000017 | -0.000110 | 0.000427 |
| 19 | 0.000027 | 0.000000 | 0.000474 | | | | |

7.1.6 地震時のみの断面力

地震時のみの増分荷重による断面力を表2.14.1.1-57に示す。なお、地震時のみの増分荷重による断面力は、法線方向せん断力および法線方向地震力ならびに、接線方向せん断力および接線方向地震力を放水トンネルのフレームモデルに与えて解いている。

表 2.14.1.1-57 地震時のみの断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M (kN・m) | せん断力Q (kN) | 軸力N (kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M (kN・m) | せん断力Q (kN) | 軸力N (kN) |
|----------|----------|------------------------|---------------|-------------|----------|----------|------------------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 0.000 | -18.718 | 7.631 | 36 | 1 | 0.000 | -18.718 | -7.631 |
| 1 | 2 | -4.519 | -18.718 | 7.631 | 36 | 36 | 4.519 | -18.718 | -7.631 |
| 2 | 2 | -4.519 | -16.356 | 22.171 | 35 | 36 | 4.519 | -16.356 | -22.171 |
| 2 | 3 | -8.468 | -16.356 | 22.171 | 35 | 35 | 8.468 | -16.356 | -22.171 |
| 3 | 3 | -8.468 | -12.917 | 33.289 | 34 | 35 | 8.468 | -12.917 | -33.289 |
| 3 | 4 | -11.586 | -12.917 | 33.289 | 34 | 34 | 11.586 | -12.917 | -33.289 |
| 4 | 4 | -11.586 | -7.024 | 41.304 | 33 | 34 | 11.586 | -7.024 | -41.304 |
| 4 | 5 | -13.282 | -7.024 | 41.304 | 33 | 33 | 13.282 | -7.024 | -41.304 |
| 5 | 5 | -13.282 | -0.744 | 44.142 | 32 | 33 | 13.282 | -0.744 | -44.142 |
| 5 | 6 | -13.461 | -0.744 | 44.142 | 32 | 32 | 13.461 | -0.744 | -44.142 |
| 6 | 6 | -13.461 | 5.564 | 41.684 | 31 | 32 | 13.461 | 5.564 | -41.684 |
| 6 | 7 | -12.118 | 5.564 | 41.684 | 31 | 31 | 12.118 | 5.564 | -41.684 |
| 7 | 7 | -12.118 | 11.735 | 34.211 | 30 | 31 | 12.118 | 11.735 | -34.211 |
| 7 | 8 | -9.285 | 11.735 | 34.211 | 30 | 30 | 9.285 | 11.735 | -34.211 |
| 8 | 8 | -9.285 | 17.672 | 22.385 | 29 | 30 | 9.285 | 17.672 | -22.385 |
| 8 | 9 | -5.018 | 17.672 | 22.385 | 29 | 29 | 5.018 | 17.672 | -22.385 |
| 9 | 9 | -5.018 | 18.811 | 7.331 | 28 | 29 | 5.018 | 18.811 | -7.331 |
| 9 | 10 | -0.477 | 18.811 | 7.331 | 28 | 28 | 0.477 | 18.811 | -7.331 |
| 10 | 10 | -0.477 | 19.295 | -8.760 | 27 | 28 | 0.477 | 19.295 | 8.760 |
| 10 | 11 | 4.181 | 19.295 | -8.760 | 27 | 27 | -4.181 | 19.295 | 8.760 |
| 11 | 11 | 4.181 | 19.008 | -24.426 | 26 | 27 | -4.181 | 19.008 | 24.426 |
| 11 | 12 | 8.770 | 19.008 | -24.426 | 26 | 26 | -8.770 | 19.008 | 24.426 |
| 12 | 12 | 8.770 | 13.604 | -37.296 | 25 | 26 | -8.770 | 13.604 | 37.296 |
| 12 | 13 | 12.054 | 13.604 | -37.296 | 25 | 25 | -12.054 | 13.604 | 37.296 |
| 13 | 13 | 12.054 | 7.529 | -45.936 | 24 | 25 | -12.054 | 7.529 | 45.936 |
| 13 | 14 | 13.872 | 7.529 | -45.936 | 24 | 24 | -13.872 | 7.529 | 45.936 |
| 14 | 14 | 13.872 | 0.880 | -49.330 | 23 | 24 | -13.872 | 0.880 | 49.330 |
| 14 | 15 | 14.084 | 0.880 | -49.330 | 23 | 23 | -14.084 | 0.880 | 49.330 |
| 15 | 15 | 14.084 | -6.071 | -46.891 | 22 | 23 | -14.084 | -6.071 | 46.891 |
| 15 | 16 | 12.619 | -6.071 | -46.891 | 22 | 22 | -12.619 | -6.071 | 46.891 |
| 16 | 16 | 12.619 | -12.785 | -38.566 | 21 | 22 | -12.619 | -12.785 | 38.566 |
| 16 | 17 | 9.532 | -12.785 | -38.566 | 21 | 21 | -9.532 | -12.785 | 38.566 |
| 17 | 17 | 9.532 | -18.406 | -24.905 | 20 | 21 | -9.532 | -18.406 | 24.905 |
| 17 | 18 | 5.089 | -18.406 | -24.905 | 20 | 20 | -5.089 | -18.406 | 24.905 |
| 18 | 18 | 5.089 | -21.077 | -8.601 | 19 | 20 | -5.089 | -21.077 | 8.601 |
| 18 | 19 | 0.000 | -21.077 | -8.601 | 19 | 19 | 0.000 | -21.077 | 8.601 |

7.1.7 短期変位

長期荷重による変位と地震時のみの増分荷重による変位を足し合わせた変位 (=短期変位) を表 2.14.1.1-58 に示す。

表 2.14.1.1-58 短期変位

| 節点 番号 | X方向変位 (m) | Y方向変位 (m) | 回転変位 (m) | 節点 番号 | X方向変位 (m) | Y方向変位 (m) | 回転変位 (m) |
|----------|--------------|--------------|-------------|----------|--------------|--------------|-------------|
| 1 | 0.001781 | -0.000390 | 0.000437 | | | | |
| 2 | 0.001783 | -0.000271 | 0.000531 | 36 | 0.001796 | -0.000475 | 0.000258 |
| 3 | 0.001807 | -0.000144 | 0.000525 | 35 | 0.001812 | -0.000506 | 0.000020 |
| 4 | 0.001847 | -0.000035 | 0.000416 | 34 | 0.001807 | -0.000478 | -0.000249 |
| 5 | 0.001883 | 0.000035 | 0.000215 | 33 | 0.001760 | -0.000398 | -0.000516 |
| 6 | 0.001890 | 0.000057 | -0.000052 | 32 | 0.001656 | -0.000284 | -0.000752 |
| 7 | 0.001844 | 0.000038 | -0.000353 | 31 | 0.001493 | -0.000161 | -0.000932 |
| 8 | 0.001729 | -0.000003 | -0.000648 | 30 | 0.001279 | -0.000052 | -0.001039 |
| 9 | 0.001545 | -0.000042 | -0.000895 | 29 | 0.001035 | 0.000022 | -0.001061 |
| 10 | 0.001307 | -0.000053 | -0.001064 | 28 | 0.000786 | 0.000053 | -0.000996 |
| 11 | 0.001041 | -0.000020 | -0.001137 | 27 | 0.000562 | 0.000043 | -0.000853 |
| 12 | 0.000780 | 0.000058 | -0.001105 | 26 | 0.000383 | 0.000006 | -0.000642 |
| 13 | 0.000555 | 0.000172 | -0.000970 | 25 | 0.000266 | -0.000036 | -0.000385 |
| 14 | 0.000387 | 0.000299 | -0.000753 | 24 | 0.000210 | -0.000062 | -0.000114 |
| 15 | 0.000287 | 0.000410 | -0.000481 | 23 | 0.000205 | -0.000051 | 0.000140 |
| 16 | 0.000246 | 0.000480 | -0.000187 | 22 | 0.000230 | 0.000005 | 0.000348 |
| 17 | 0.000249 | 0.000493 | 0.000093 | 21 | 0.000263 | 0.000102 | 0.000485 |
| 18 | 0.000270 | 0.000445 | 0.000323 | 20 | 0.000286 | 0.000225 | 0.000530 |
| 19 | 0.000287 | 0.000348 | 0.000474 | | | | |

7.1.8 短期断面力

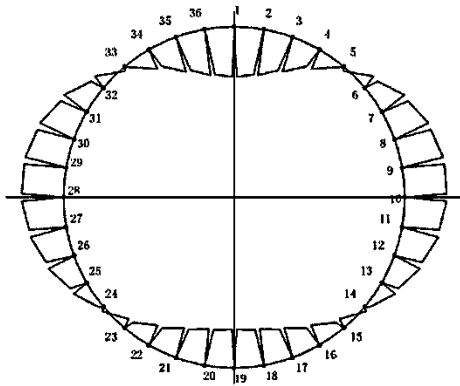
長期荷重による断面力と地震時のみの増分荷重による断面力を足し合わせた断面力(=短期断面力)を表 2.14.1.1-59 に示す。

表 2.14.1.1-59 短期断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモー メントM(kN· m) | せん断 力Q(kN) | 軸力 N(kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモー メントM (kN·m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) |
|----------|----------|------------------------|---------------|-------------|----------|----------|------------------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 7.677 | -21.028 | 212.067 | 36 | 1 | 7.677 | -16.408 | 196.805 |
| 1 | 2 | 2.600 | -21.028 | 212.067 | 36 | 36 | 11.638 | -16.408 | 196.805 |
| 2 | 2 | 2.600 | -22.896 | 228.676 | 35 | 36 | 11.638 | -9.816 | 184.334 |
| 2 | 3 | -2.928 | -22.896 | 228.676 | 35 | 35 | 14.008 | -9.816 | 184.334 |
| 3 | 3 | -2.928 | -22.584 | 243.603 | 34 | 35 | 14.008 | -3.250 | 177.025 |
| 3 | 4 | -8.379 | -22.584 | 243.603 | 34 | 34 | 14.793 | -3.250 | 177.025 |
| 4 | 4 | -8.379 | -18.215 | 256.579 | 33 | 34 | 14.793 | 4.167 | 173.971 |
| 4 | 5 | -12.777 | -18.215 | 256.579 | 33 | 33 | 13.787 | 4.167 | 173.971 |
| 5 | 5 | -12.777 | -11.644 | 264.794 | 32 | 33 | 13.787 | 10.156 | 176.510 |
| 5 | 6 | -15.588 | -11.644 | 264.794 | 32 | 32 | 11.334 | 10.156 | 176.510 |
| 6 | 6 | -15.588 | -3.335 | 267.402 | 31 | 32 | 11.334 | 14.463 | 184.034 |
| 6 | 7 | -16.393 | -3.335 | 267.402 | 31 | 31 | 7.843 | 14.463 | 184.034 |
| 7 | 7 | -16.393 | 5.650 | 263.803 | 30 | 31 | 7.843 | 17.820 | 195.381 |
| 7 | 8 | -15.029 | 5.650 | 263.803 | 30 | 30 | 3.541 | 17.820 | 195.381 |
| 8 | 8 | -15.029 | 14.704 | 254.793 | 29 | 30 | 3.541 | 20.640 | 210.023 |
| 8 | 9 | -11.479 | 14.704 | 254.793 | 29 | 29 | -1.443 | 20.640 | 210.023 |
| 9 | 9 | -11.479 | 18.961 | 241.478 | 28 | 29 | -1.443 | 18.661 | 226.816 |
| 9 | 10 | -6.901 | 18.961 | 241.478 | 28 | 28 | -5.947 | 18.661 | 226.816 |
| 10 | 10 | -6.901 | 22.343 | 226.045 | 27 | 28 | -5.947 | 16.247 | 243.565 |
| 10 | 11 | -1.508 | 22.343 | 226.045 | 27 | 27 | -9.870 | 16.247 | 243.565 |
| 11 | 11 | -1.508 | 24.507 | 209.925 | 26 | 27 | -9.870 | 13.509 | 258.777 |
| 11 | 12 | 4.409 | 24.507 | 209.925 | 26 | 26 | -13.131 | 13.509 | 258.777 |
| 12 | 12 | 4.409 | 20.902 | 195.709 | 25 | 26 | -13.131 | 6.306 | 270.301 |
| 12 | 13 | 9.455 | 20.902 | 195.709 | 25 | 25 | -14.653 | 6.306 | 270.301 |
| 13 | 13 | 9.455 | 15.927 | 185.228 | 24 | 25 | -14.653 | -0.869 | 277.100 |
| 13 | 14 | 13.300 | 15.927 | 185.228 | 24 | 24 | -14.444 | -0.869 | 277.100 |
| 14 | 14 | 13.300 | 9.352 | 179.639 | 23 | 24 | -14.444 | -7.592 | 278.299 |
| 14 | 15 | 15.557 | 9.352 | 179.639 | 23 | 23 | -12.611 | -7.592 | 278.299 |
| 15 | 15 | 15.557 | 1.475 | 180.069 | 22 | 23 | -12.611 | -13.617 | 273.851 |
| 15 | 16 | 15.914 | 1.475 | 180.069 | 22 | 22 | -9.324 | -13.617 | 273.851 |
| 16 | 16 | 15.914 | -6.914 | 186.791 | 21 | 22 | -9.324 | -18.656 | 263.923 |
| 16 | 17 | 14.244 | -6.914 | 186.791 | 21 | 21 | -4.820 | -18.656 | 263.923 |
| 17 | 17 | 14.244 | -14.703 | 199.361 | 20 | 21 | -4.820 | -22.109 | 249.171 |
| 17 | 18 | 10.695 | -14.703 | 199.361 | 20 | 20 | 0.517 | -22.109 | 249.171 |
| 18 | 18 | 10.695 | -19.815 | 215.118 | 19 | 20 | 0.517 | -22.339 | 232.320 |
| 18 | 19 | 5.911 | -19.815 | 215.118 | 19 | 19 | 5.911 | -22.339 | 232.320 |

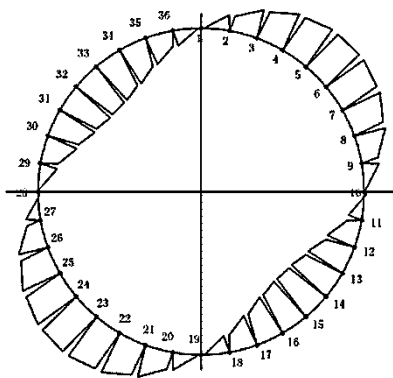
7.1.9 断面力図

7.1.9.1 曲げモーメント図



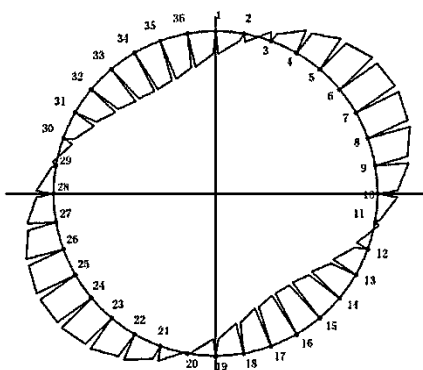
正の最大曲げモーメントが発生する要素 =1
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =1
 正の最大曲げモーメント = 7.677 (kN・m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =8
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =9
 負の最大曲げモーメント = -6.461 (kN・m)

図 2.14.1.1-37 長期曲げモーメント



正の最大曲げモーメントが発生する要素 =14
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =15
 正の最大曲げモーメント = 14.084 (kN・m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =22
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =23
 負の最大曲げモーメント = -14.084 (kN・m)

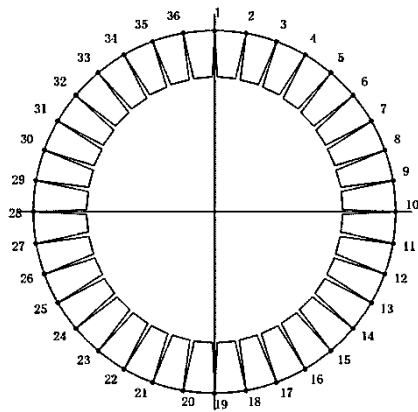
図 2.14.1.1-38 地震時のみの曲げモーメント



正の最大曲げモーメントが発生する要素 =15
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =16
 正の最大曲げモーメント = 15.914 (kN・m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =7
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =7
 負の最大曲げモーメント = -16.393 (kN・m)

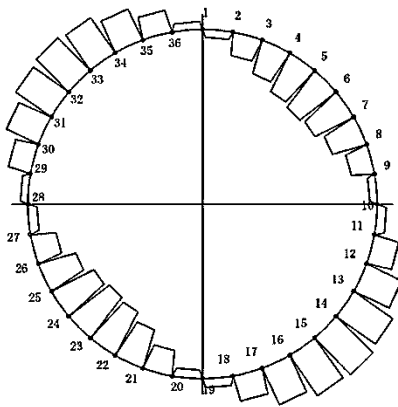
図 2.14.1.1-39 短期曲げモーメント

7.1.9.2 軸力図



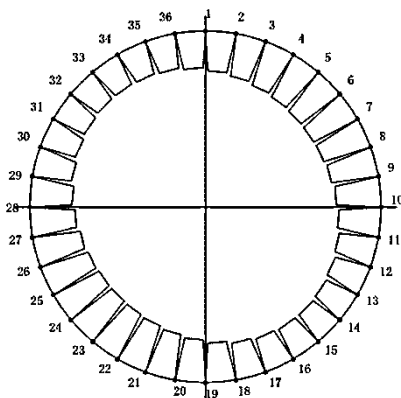
正の最大曲げモーメントが発生する要素 =1
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =1
 正の最大曲げモーメント位置軸力 = 0.000 (kN・m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =8
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =9
 負の最大曲げモーメント位置軸力 = 232.408 (kN・m)

図 2.14.1.1-40 長期軸力



正の最大曲げモーメントが発生する要素 =1
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =1
 正の最大曲げモーメント位置軸力 = -49.330 (kN・m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =8
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =9
 負の最大曲げモーメント位置軸力 = 46.891 (kN・m)

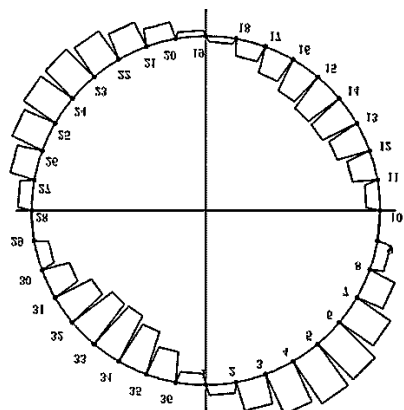
図 2.14.1.1-41 地震時のみの軸力



正の最大曲げモーメントが発生する要素 =15
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =16
 正の最大曲げモーメント位置軸力 = 180.069 (kN・m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =7
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =7
 負の最大曲げモーメント位置軸力 = 263.803 (kN・m)

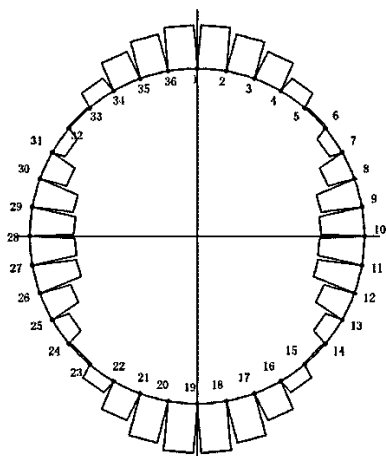
図 2.14.1.1-42 短期軸力

7.1.9.3 せん断力図



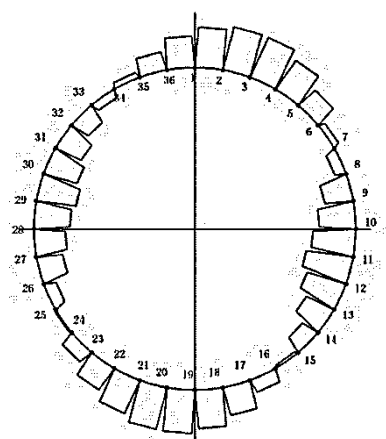
最大せん断力が発生する要素 =4
 最大せん断力が発生する節点 =4
 最大せん断力 = -11.191 (kN)

図 2.14.1.1-43 長期せん断力



最大せん断力が発生する要素 =18
 最大せん断力が発生する節点 =18
 最大せん断力 = -21.077 (kN)

図 2.14.1.1-44 地震時のみのせん断力



最大せん断力が発生する要素 =11
 最大せん断力が発生する節点 =11
 最大せん断力 = 24.507 (kN)

図 2.14.1.1-45 短期せん断力

7.1.9.4 発進部クリティカルケース 断面力一覧(単位 m 当り)

表 2.14.1.1-59 より、正曲げモーメント、負曲げモーメント、せん断力の最大値位置で応力度照査を行った結果を表 2.14.1.1-60 に示す。

表 2.14.1.1-60 断面力一覧表(単位 m 当り)

| 符号 | 要素 | 節点 | M(kN・m) | N(kN) | Q(kN) |
|-------|----|----|---------|---------|--------|
| +Mmax | 15 | 16 | 15.914 | 180.069 | 1.475 |
| -Mmax | 7 | 7 | -16.393 | 263.803 | 5.650 |
| Qmax | 11 | 11 | -1.508 | 209.925 | 24.507 |

これを 1 リング当り断面力に換算する。

$$M=M \cdot B \cdot (1+\zeta)$$

$$N=N \cdot B$$

$$Q=Q \cdot B$$

ここで、

B: 覆工板幅 1.000 (m)

ζ: 曲げモーメント割増率 25(%)

表 2.14.1.1-61 割増率ζを考慮した断面力一覧表(1 リング当たり断面力)

| 符号 | 要素 | 節点 | M(kN・m) | N(kN) | Q(kN) |
|-------|----|----|---------|---------|--------|
| +Mmax | 15 | 16 | 19.892 | 180.069 | 1.475 |
| -Mmax | 7 | 7 | -20.491 | 263.803 | 5.650 |
| Qmax | 11 | 11 | -1.885 | 209.925 | 24.507 |

7.1.9.5 応力度の算定一覧表

表 2.14.1.1-62 応力度照査

| 検討位置 | | 正最大曲げ位置 | | 負最大曲げ位置 | | 最大せん断位置 | | |
|--------|-------|-----------------------|-------------------|---------|-------------|---------|-------------|----|
| 節点番号 | | 16 | | 7 | | 11 | | |
| 断面寸法 | B | m | 1.000 | | 1.000 | | 1.000 | |
| | h | m | 0.180 | | 0.180 | | 0.180 | |
| 断面力 | M | kN・m | 19.892 | | -20.491 | | -1.885 | |
| | N | kN | 180.069 | | 263.803 | | 209.925 | |
| | Q | kN | 1.475 | | 5.650 | | 24.507 | |
| 引張側有効高 | d | mm | 120 | | 120 | | 120 | |
| 引張側鉄筋量 | As | cm ² | 22.9200 | | 15.8880 | | 15.8880 | |
| 圧縮側有効高 | d' | mm | 60 | | 60 | | 60 | |
| 圧縮側鉄筋量 | As' | cm ² | 15.8880 | | 22.9200 | | 22.9200 | |
| ヤング係数比 | n | - | 15 | | 15 | | 15 | |
| 応力度 | e | mm | 110 | | 78 | | 9 | |
| | Ai | mm ² | 238212 | | 238212 | | 238212 | |
| | u | mm | 91 | | 89 | | 89 | |
| | Ii | mm ⁴ /Ring | 537,970,442 | | 537,970,442 | | 537,970,442 | |
| | Ki | mm | 25 | | 25 | | 25 | |
| | f | mm | 112 | | 76 | | 8 | |
| | 応力状態 | | 曲げ圧縮引張 | | 曲げ圧縮引張 | | 全圧縮 | |
| | χ | mm | 80.3 | | 83.7 | | — | |
| | σc | N/mm ² | 6.2 | OK | 6.4 | OK | 1.2 | OK |
| | σs | N/mm ² | 45.9 | OK | 41.7 | OK | — | — |
| | σs' | N/mm ² | 23.5 | OK | 27.2 | OK | 15.0 | OK |
| | τc | N/mm ² | 0.014 | OK | 0.054 | OK | 0.235 | OK |
| | 許容応力度 | σca | N/mm ² | 24 | | 24 | | 24 |
| σsa | | N/mm ² | 300 | | 300 | | 300 | |
| τα | | N/mm ² | 1.1 | | 1.1 | | 1.1 | |

7.2 最深部・土被り 2D の場合

最深部・土被り 2D の検討内容の記載は、発進部・土被り 2D の検討内容と同様であるため省略し、地盤条件を図 2.14.1.1-46 に示す。

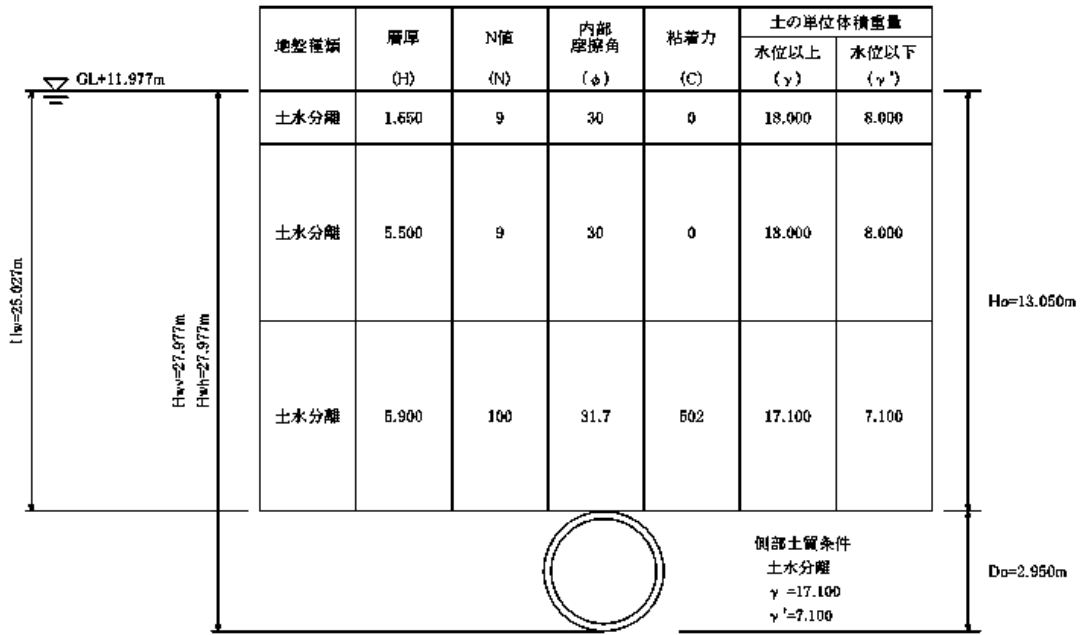


図 2.14.1.1-46 地盤条件

7.2.1 短期断面力

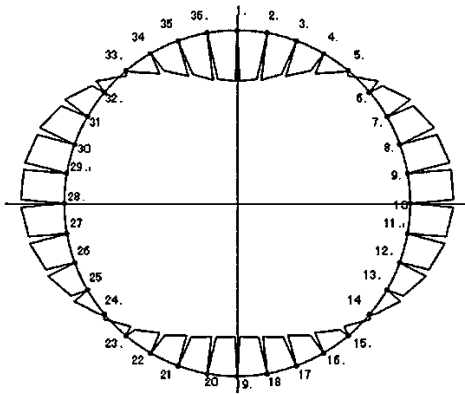
長期荷重による断面力と地震時のみの増分荷重による断面力を足し合わせた断面力(=短期変断面力)を表 2.14.1.1-63 に示す。

表 2.14.1.1-63 短期断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断Q (kN) | 軸力N (kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断Q (kN) | 軸力N (kN) |
|----------|----------|--------------------|--------------|-------------|----------|----------|--------------------|--------------|-------------|
| 1 | 1 | 7.826 | -24.663 | 391.718 | 36 | 1 | 7.826 | -20.033 | 374.538 |
| 1 | 2 | 1.872 | -24.663 | 391.718 | 36 | 36 | 12.662 | -20.033 | 374.538 |
| 2 | 2 | 1.872 | -26.306 | 410.120 | 35 | 36 | 12.662 | -13.178 | 360.206 |
| 2 | 3 | -4.479 | -26.306 | 410.120 | 35 | 35 | 15.843 | -13.178 | 360.206 |
| 3 | 3 | -4.479 | -25.411 | 426.632 | 34 | 35 | 15.843 | -5.937 | 351.192 |
| 3 | 4 | -10.614 | -25.411 | 426.632 | 34 | 34 | 17.276 | -5.937 | 351.192 |
| 4 | 4 | -10.614 | -20.115 | 440.708 | 33 | 34 | 17.276 | 2.579 | 346.892 |
| 4 | 5 | -15.470 | -20.115 | 440.708 | 33 | 33 | 16.654 | 2.579 | 346.892 |
| 5 | 5 | -15.470 | -12.012 | 449.463 | 32 | 33 | 16.654 | 10.366 | 348.761 |
| 5 | 6 | -18.370 | -12.012 | 449.463 | 32 | 32 | 14.152 | 10.366 | 348.761 |
| 6 | 6 | -18.370 | -1.420 | 451.868 | 31 | 32 | 14.152 | 17.312 | 356.410 |
| 6 | 7 | -18.714 | -1.420 | 451.868 | 31 | 31 | 9.972 | 17.312 | 356.410 |
| 7 | 7 | -18.714 | 7.405 | 446.775 | 30 | 31 | 9.972 | 20.193 | 369.253 |
| 7 | 8 | -16.925 | 7.405 | 446.775 | 30 | 30 | 5.097 | 20.193 | 369.253 |
| 8 | 8 | -16.925 | 16.762 | 436.057 | 29 | 30 | 5.097 | 23.078 | 385.619 |
| 8 | 9 | -12.879 | 16.762 | 436.057 | 29 | 29 | -0.475 | 23.078 | 385.619 |
| 9 | 9 | -12.879 | 22.243 | 420.769 | 28 | 29 | -0.475 | 22.113 | 404.441 |
| 9 | 10 | -7.508 | 22.243 | 420.769 | 28 | 28 | -5.812 | 22.113 | 404.441 |
| 10 | 10 | -7.508 | 27.531 | 402.990 | 27 | 28 | -5.812 | 21.357 | 423.644 |
| 10 | 11 | -0.863 | 27.531 | 402.990 | 27 | 27 | -10.969 | 21.357 | 423.644 |
| 11 | 11 | -0.863 | 28.183 | 384.699 | 26 | 27 | -10.969 | 16.757 | 441.165 |
| 11 | 12 | 5.942 | 28.183 | 384.699 | 26 | 26 | -15.014 | 16.757 | 441.165 |
| 12 | 12 | 5.942 | 24.163 | 368.702 | 25 | 26 | -15.014 | 8.631 | 454.604 |
| 12 | 13 | 11.776 | 24.163 | 368.702 | 25 | 25 | -17.098 | 8.631 | 454.604 |
| 13 | 13 | 11.776 | 19.075 | 356.498 | 24 | 25 | -17.098 | 1.459 | 462.752 |
| 13 | 14 | 16.380 | 19.075 | 356.498 | 24 | 24 | -17.450 | 1.459 | 462.752 |
| 14 | 14 | 16.380 | 9.593 | 350.817 | 23 | 24 | -17.450 | -7.829 | 464.139 |
| 14 | 15 | 18.696 | 9.593 | 350.817 | 23 | 23 | -15.560 | -7.829 | 464.139 |
| 15 | 15 | 18.696 | -0.271 | 351.998 | 22 | 23 | -15.560 | -15.595 | 459.086 |
| 15 | 16 | 18.631 | -0.271 | 351.998 | 22 | 22 | -11.795 | -15.595 | 459.086 |
| 16 | 16 | 18.631 | -9.898 | 360.080 | 21 | 22 | -11.795 | -21.722 | 447.956 |
| 16 | 17 | 16.241 | -9.898 | 360.080 | 21 | 21 | -6.551 | -21.722 | 447.956 |
| 17 | 17 | 16.241 | -18.373 | 374.386 | 20 | 21 | -6.551 | -25.791 | 431.596 |
| 17 | 18 | 11.805 | -18.373 | 374.386 | 20 | 20 | -0.325 | -25.791 | 431.596 |
| 18 | 18 | 11.805 | -23.863 | 392.148 | 19 | 20 | -0.325 | -26.385 | 412.812 |
| 18 | 19 | 6.045 | -23.863 | 392.148 | 19 | 19 | 6.045 | -26.385 | 412.812 |

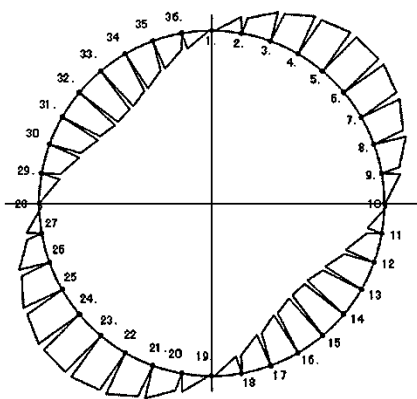
7.2.2 断面力図

7.2.2.1 曲げモーメント図



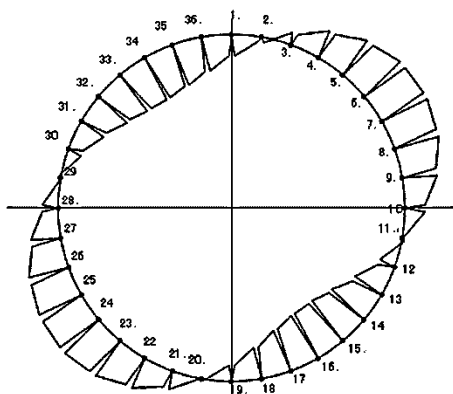
正の最大曲げモーメントが発生する要素 =1
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =1
 正の最大曲げモーメント = 7.826 (kN·m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =8
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =9
 負の最大曲げモーメント = -6.677 (kN·m)

図 2.14.1.1-47 長期曲げモーメント



正の最大曲げモーメントが発生する要素 =14
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =15
 正の最大曲げモーメント = 17.128 (kN·m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =22
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =23
 負の最大曲げモーメント = -17.128 (kN·m)

図 2.14.1.1-48 地震時のみの曲げモーメント



正の最大曲げモーメントが発生する要素 =14
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =15
 正の最大曲げモーメント = 18.696 (kN·m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =7
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =7
 負の最大曲げモーメント = -18.714 (kN·m)

図 2.14.1.1-49 短期曲げモーメント

7.2.2.2 軸力図

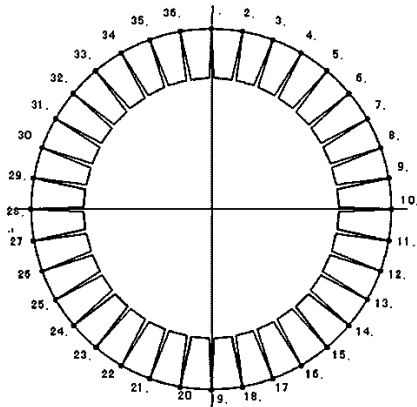


図 2.14.1.1-50 長期軸力

正の最大曲げモーメントが発生する要素 =1
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =1
 正の最大曲げモーメント位置軸力 =186.238 (kN・m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =8
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =9
 負の最大曲げモーメント位置軸力 =410.838 (kN・m)

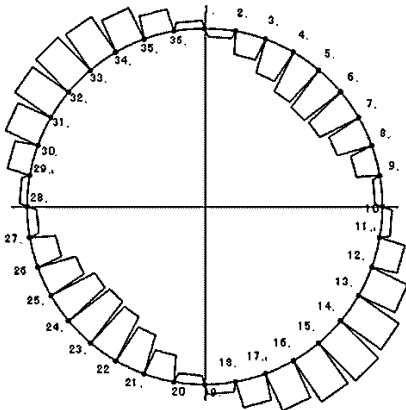


図 2.14.1.1-51 地震時のみの軸力

正の最大曲げモーメントが発生する要素 =14
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =15
 正の最大曲げモーメント位置軸力 =-56.661 (kN・m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =22
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =23
 負の最大曲げモーメント位置軸力 =53.544 (kN・m)

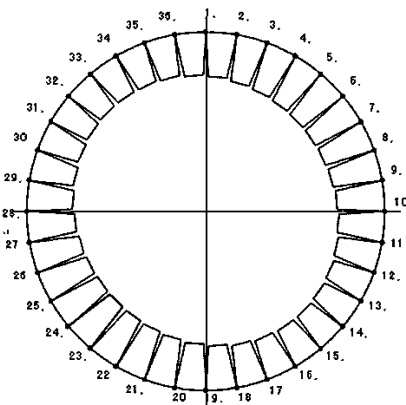
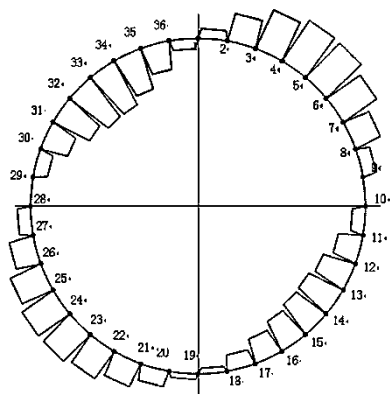


図 2.14.1.1-52 短期軸力

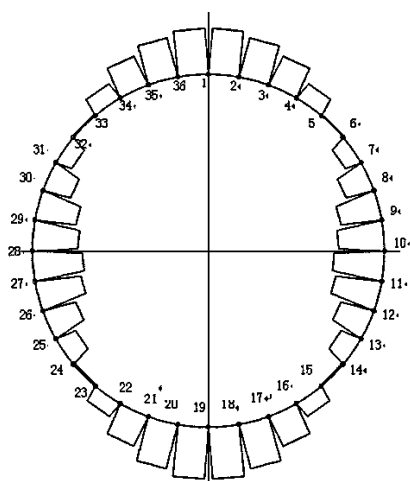
正の最大曲げモーメントが発生する要素 =14
 正の最大曲げモーメントが発生する節点 =15
 正の最大曲げモーメント位置軸力 =350.817 (kN・m)
 負の最大曲げモーメントが発生する要素 =7
 負の最大曲げモーメントが発生する節点 =7
 負の最大曲げモーメント位置軸力 =446.775 (kN・m)

7.2.2.3 せん断力図



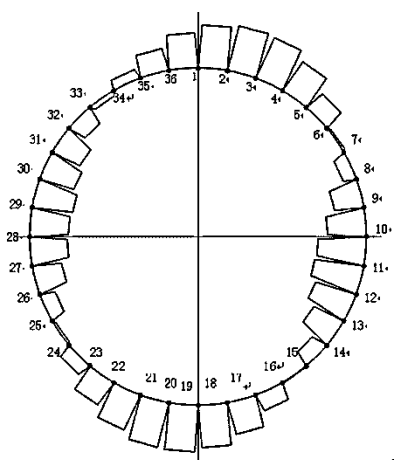
最大せん断力が発生する要素 =4
 最大せん断力が発生する節点 =4
 最大せん断力 = -11.347 (kN)

図 2.14.1.1-53 長期せん断力



最大せん断力が発生する要素 =18
 最大せん断力が発生する節点 =18
 最大せん断力 = -25.0124 (kN)

図 2.14.1.1-54 地震時のみのせん断力



最大せん断力が発生する要素 =11
 最大せん断力が発生する節点 =11
 最大せん断力 = 28.183 (kN)

図 2.14.1.1-55 短期せん断力

7.2.2.4 最深部クリティカルケース 断面力一覧表(単位 m 当たり)

表 2.14.1.1-63 より，正曲げモーメント，負曲げモーメント，せん断力の最大値位置で応力度照査を行った結果を表 2.14.1.1-64 に示す。

表 2.14.1.1-64 断面力一覧表(単位m当たり)

| 符号 | 要素 | 節点 | M(kN・m) | N(kN) | Q(kN) |
|-------|----|----|---------|---------|--------|
| +Mmax | 14 | 15 | 18.696 | 350.817 | 9.593 |
| -Mmax | 7 | 7 | -18.714 | 446.775 | 7.405 |
| Qmax | 11 | 11 | -0.863 | 384.699 | 28.183 |

7.2.2.5 最深部クリティカルケース 断面力一覧表(曲げモーメントの割増率 ζ を考慮)

これを1リング当り断面力に換算する。

$$M=M \cdot B \cdot (1+\zeta)$$

$$N=N \cdot B$$

$$Q=Q \cdot B$$

ここで，

$$B: \text{覆工板幅} \quad 1.000 \text{ (m)}$$

$$\zeta: \text{曲げモーメント割増率} \quad 25(\%)$$

表 2.14.1.1-65 割増率 ζ を考慮した断面力一覧表(1リング当たり断面力)

| 符号 | 要素 | 節点 | M(kN・m) | N(kN) | Q(kN) |
|-------|----|----|---------|---------|--------|
| +Mmax | 14 | 15 | 23.370 | 350.817 | 9.593 |
| -Mmax | 7 | 7 | -23.392 | 446.775 | 7.405 |
| Qmax | 11 | 11 | -1.079 | 384.699 | 28.183 |

7.2.2.6 応力度の算定一覧表

表 2.14.1.1-66 応力度照査

| 検討位置 | | | 正最大曲げ位置 | | 負最大曲げ位置 | | 最大せん断位置 | |
|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|----|-----------|----|-----------|----|
| 節点番号 | | | 15 | | 7 | | 11 | |
| 断面寸法 | B | m | 1.000 | | 1.000 | | 1.000 | |
| | h | m | 0.180 | | 0.180 | | 0.180 | |
| 断面力 | M | kN・m | 23.370 | | -23.392 | | -1.079 | |
| | N | kN | 350.817 | | 446.775 | | 384.699 | |
| | Q | kN | 9.593 | | 7.405 | | 28.183 | |
| 引張側有効高 | d | mm | 120 | | 120 | | 120 | |
| 引張側鉄筋量 | As | cm ² | 22.9200 | | 15.8880 | | 15.8880 | |
| 圧縮側有効高 | d' | mm | 60 | | 60 | | 60 | |
| 圧縮側鉄筋量 | As' | cm ² | 15.8880 | | 22.9200 | | 22.9200 | |
| ヤング係数比 | n | - | 15 | | 15 | | 15 | |
| 応力度 | e | mm | 67 | | 52 | | 3 | |
| | Ai | mm ² | 238, 212 | | 238, 212 | | 238, 212 | |
| | u | mm | 91 | | 89 | | 89 | |
| | Ii | mm ⁴ | 537970442 | | 537970442 | | 537970442 | |
| | Ki | mm | 25 | | 25 | | 25 | |
| | f | mm | 68 | | 51 | | 1 | |
| | 応力状態 | | 曲げ圧縮引張 | | 曲げ圧縮引張 | | 全圧縮 | |
| | χ | mm | 97.3 | | 107.2 | | - | |
| | σ _c | N/mm ² | 7.0 | OK | 6.8 | OK | 1.8 | OK |
| | σ _s | N/mm ² | 24.5 | OK | 12.2 | OK | - | - |
| | σ _{s'} | N/mm ² | 40.3 | OK | 44.9 | OK | 25.0 | OK |
| | τ _c | N/mm ² | 0.092 | OK | 0.071 | OK | 0.270 | OK |
| | 許容応力度 | σ _{ca} | N/mm ² | 24 | | 24 | | 24 |
| σ _{sa} | | N/mm ² | 300 | | 300 | | 300 | |
| τ _a | | N/mm ² | 1.1 | | 1.1 | | 1.1 | |

8. 耐久性の照査

8.1 曲げひび割れ幅

ひび割れに対する照査は、各検討部位の発生曲げひび割れ幅 w が許容曲げひび割れ幅 w_a 以下であることを確認する。照査式を下記に示す。なお、照査式および許容ひび割れ幅はコンクリート標準示方書（設計編；2017年制定）（公社）土木学会に基づき設定する。

$$w / w_a \leq 1.0$$

算定式を以下に示す。

$$w = 1.1k_1k_2k_3\{4c + 0.7(c_s - \varphi)\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} \left(\text{または} \frac{\sigma_{pe}}{E_p} \right) + \varepsilon'_{csd} \right]$$

w : 曲げひび割れ幅 (mm)

k_1 : 鉄筋の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数。

k_2 : コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数

$$k_2 = 15 / (f_c + 20) + 0.7$$

f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

k_3 : 引張鉄筋の段数の影響を表す係数

$$k_3 = 5 (n+2) / (7n+8)$$

n : 引張鉄筋の段数

c : かぶり (mm) ・ ・ ・ ・ 主鉄筋までのかぶりとする

c_s : 鉄筋の中心間隔 (mm)

φ : 引張鉄筋径で、最小鉄筋の公称径 (mm)

ε'_{csd} : コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値

σ_{se} : 表面に近い位置にある鉄筋応力度の増加量 (N/mm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数 (N/mm²)

表 2.14.1.1-67 曲げひび割れ幅の照査条件

| 項目 | 単位 | 覆工板の内面(通水側) | 覆工板の外側(地山側) |
|-------------------|-------------------|-------------|-------------|
| φ | mm | 19 | 16 |
| cs | mm | 140 | |
| n | 段 | 1 | |
| f _c | N/mm ² | 42 | |
| k ₁ | - | 1.00 | |
| k ₂ | - | 0.94 | |
| k ₃ | - | 1.00 | |
| c | mm | 50.5 | 52 |
| σ _{se} | N/mm ² | 64.1 | 65.6 |
| E _s | N/mm ² | 200000 | |
| ε' _{csd} | - | 0.00015 | |

表 2.14.1.1-68 曲げひび割れ幅の照査結果

| 検討部位 | 発生曲げひび割れ幅 (mm) | 許容曲げひび割れ幅 (mm) | 発生曲げひび割れ幅/ 許容曲げひび割れ幅 |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| 覆工板 (発進部) | 0.14 | 0.18 | 0.76 |
| 覆工板 (最深部) | 0.15 | 0.18 | 0.84 |

8.2 塩害

塩害に対する照査では、鉄筋位置の塩化物イオン濃度の設計値 C_d を算定し、鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} に達していないことを確認する。照査式を下記に示す。ひび割れの照査と同様に、「コンクリート標準示方書（設計編；2017年制定）（公社）土木学会」に基づき設定する。

$$\gamma_i \cdot C_d / C_{lim} \leq 1.0$$

γ_i ：構造物係数（=1.0 とする）

耐久性照査に用いる設計条件は表 2.14.1.1-69 の値を用いる。

表 2.14.1.1-69 耐久性照査に用いる設計条件

| | | |
|--------------|--------------------------------|--------|
| | | 放水トンネル |
| 耐用年数 | (年) | 30 |
| 表面 塩化物イオン | C_0 (kg/m ³) | 9.0 |
| 腐食発生限界濃度 | C_{lim} (kg/m ³) | 2.19 |
| 拡散係数 | D_k (cm/年) | 0.052 |

- ・与えられた環境条件のもと、塩害の照査を満足するために、かぶりの設計値 cd と塩化物イオンに対する設計拡散係数 D_d の組合せを適切に設定する。
- ・設定した設計拡散係数 D_d 満足させるために、曲げひび割れ幅 w とコンクリートの水セメント比 W/C の組合せを適切に設定する。

設計拡散係数 D_d は次式で算定する。

$$D_d = \gamma_c \cdot D_k + \lambda \cdot \left(\frac{w}{l}\right) \cdot D_0$$

γ_c : コンクリートの材料係数 (=1.0)

D_k : コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数の特性値

λ : ひび割れの存在が拡散係数に及ぼす影響を表す係数

D_0 : コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す定数

w : ひび割れ幅 (mm)

表 2.14.1.1-70 塩害に対する照査結果

| 検討部位 | 鉄筋位置における 塩化物イオン濃度 (kg/m ³) | 鉄筋腐食発生限界濃度 (kg/m ³) | 鉄筋位置における塩 化物イオン濃度/鉄筋 腐食発生限界濃度 |
|--------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|
| 覆工板 (発進部) | 1.81 | 2.19 | 0.83 |
| 覆工板 (最深部) | 2.02 | 2.19 | 0.92 |

9. 覆工板（到達部）の設計

9.1 設計概要

放水口トンネルと放水口ケーソンとの最終的な接続箇所の施工方法確定に伴い、トンネル軸方向距離の最終調整が必要である。

放水トンネルのうち、鉄筋コンクリート造の覆工板で構成される発進部からのトンネル延長は1,028mである。これより放水口ケーソンまでの放水トンネルは鉄鋼を用いた覆工板（到達部）とし、現鉄筋コンクリート造の覆工板と同等以上の強度を有する鋼製セグメント（SM490A）を用いる。これは、放水トンネルの到達立坑を兼ねる放水口ケーソンの位置が確定し、トンネル延長の見直しが生じたことおよび、鋼は放水口ケーソンの接続部の位置を現地で精度良く合わせることに適した材料であることによる。

ここで、鉄鋼コンクリート造とは、鋼とコンクリートから成るもので、覆工板（鉄鋼コンクリート造）は、鋼製セグメントおよび中詰めするコンクリートから成る放水トンネルの部材である。中詰めするコンクリートについては、力学的に寄与しない。

以上より、放水トンネルのうち、覆工板（到達部）に対しても「2.14.1 準拠規格及び基準への適合性」に基づき、許容応力度法により、長期における鋼製セグメントの主桁の安全性を照査する。

なお、短期（地震時）の照査については、鋼製セグメントの主桁の照査を省略している。また、耐久性の照査についても省略している。省略理由を9.1.1.および9.1.2で述べる。

9.1.1 地震時における主桁の検討の省略について

地震時の主桁の照査は、覆工板（鉄筋コンクリート造）の照査で示した通り地震時水平荷重が水平方向内水圧と相殺されるため、地震時がクリティカルケースとならず、長期の空水時がクリティカルケースとなっている。今回の覆工板（到達部）の照査において、覆工板（鉄筋コンクリート造）で考慮した荷重以外に考慮すべき荷重は無く、長期の空水時がクリティカルケースとなるため検討を省略している。

9.1.2 耐久性の照査の省略について

耐久性の照査は、鉄筋コンクリートを対象としているため、ひび割れ幅および塩害の照査の検討を省略する。

また、塩害の照査は鋼製セグメントの場合、「トンネル標準示方書 [共通編]・同解説／[シールド工法編]・同解説、2016年制定、(公社)土木学会」によると、「鋼製セグメントや合成セグメントには必要に応じて防食や防せいのための処理を行う。防食および防せいの処理は一般に塗装による場合が多いが、腐食代を設定する例もある。」とされている。今回の覆工板（到達部）については、防せい塗装を施すため検討を省略する。

9.2 設計検討ケース

検討ケースは、長期の建設時と供用時の2パターンである。考慮する荷重は、建設時は各部材の自重、静止土圧、外水圧(波浪含む)であり、供用時は各部材の自重、静止土圧、内水圧(波浪含む)、外水圧(波浪含む)である。放水トンネル内に水が存在している状態における部材の設計を行う。

9.3 設計条件

9.3.1 使用材料の許容応力度

覆工板(到達部)の材料である鋼はSM490Aとする。使用材料の許容応力度を表2.14.1.1-70に示す。

表 2.14.1.1-70 鋼の許容応力度^{※)}

| 使用材料 | 長期 | |
|--------|-------------------------|-------------------------|
| | 曲げ | 降伏点 |
| SM490A | 215(N/mm ²) | 325(N/mm ²) |

※)「トン示」

9.3.2 土質定数

「表 2.14.1.1-3 土質定数」と同様のため省略する。鋼製セグメントの設計に用いた地盤モデルを図 2.14.1.1-56 に示す。

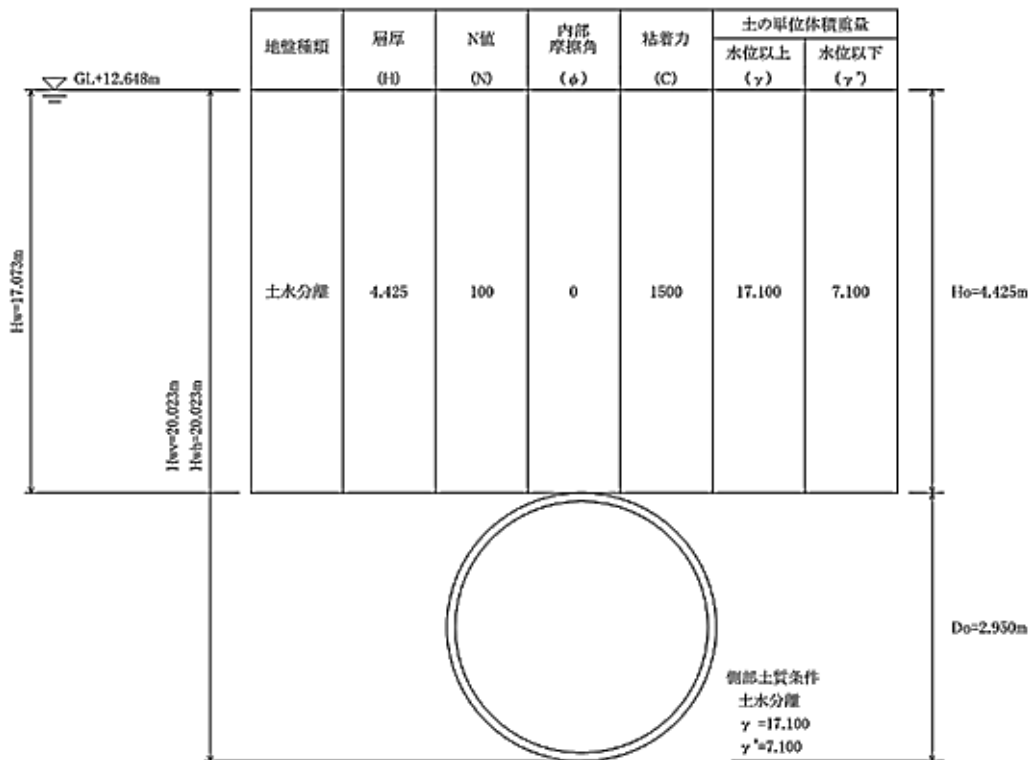


図 2.14.1.1-56 地盤モデル

9.3.3 単位体積重量

設計に用いた単位体積重量を表 2.14.1.1-71 に示す。

表 2.14.1.1-71 単位体積重量

| 材料 | 単位体積重量 (kN/m ³) |
|--------|-----------------------------|
| 鋼 | 77.0 |
| 地盤 | 表 2.14.1.1-3 参照 |
| 水 (海水) | 10.3 |

9.4 水位

設計に用いた地下水位および内水位を示す。

外水位 T.P.+0.757m(H.W.L)

T.P. -0.778m(L.W.L)

内水位 T.P.+6.400m(長期), T.P.+9.300m(短期)

9.5 荷重条件

9.5.1 荷重の組み合わせ

断面力照査を実施する際の荷重条件を表 2.14.1.1-72 に示す。なお、短期については「9.1.1 地震時における主桁の検討の省略について」の通り、覆工板（鉄筋コンクリート造）の検討において、地震時水平荷重が水平方向内水圧と相殺されるため、地震時がクリティカルケースとならず、長期の空水時がクリティカルケースとなっている。今回の覆工板（到達部）の検討において、覆工板（鉄筋コンクリート造）で考慮した荷重以外に考慮すべき荷重は無く、覆工板（鉄筋コンクリート造）の検討と同様、長期の空水時がクリティカルケースとなるため検討を省略している。

表 2.14.1.1-72 荷重条件*

| 検討荷重 | 長期(建設時) | 長期(供用時) |
|-----------|---------|---------|
| 自重 | ○ | ○ |
| 載荷荷重 | - | - |
| 土圧 | ○ | ○ |
| 内水圧(波浪含む) | - | ○ |
| 外水圧(波浪含む) | ○ | ○ |

9.5.2 自重

「3.5.2 自重」と同様のため省略する。

9.5.3 載荷荷重

載荷荷重は放水口ケーソンが海中に設置されるため、鋼製セグメントに放水口ケーソンを介して載荷される荷重は考慮しない。

9.5.4 土圧

9.5.4.1 鉛直方向土圧

土圧は、「3.5.4 土圧」と同様の考え方であり、鋼製セグメントの土被りは $2D>H$ となるため、考慮する土圧は土被り H 即ち、海底面から鋼製セグメントの上面までの距離となる。

$$\sigma = \gamma' \cdot h$$

り、鉛直土圧を表 2.14.1.1-73 に示す。最

表 2.14.1.1-73 鉛直土圧

| 鉛直土圧 σ (kN/m ²) | 水中単位体積重量 γ' (kN/m ³) | 最大緩み高さ h (m) |
|---------------------------------------|--|----------------|
| 31.417 | 7.100 | 4.425 |

9.5.4.2 水平方向(側方)土圧

「3.5.4.2 水平方向(側方)土圧」と同様のため省略する。

9.5.5 内水圧

「3.5.5 内水圧」と同様の考え方であり、内水位および水深（トンネル上面から内水位までの深さ）は表 2.14.1.1-74、表 2.14.1.1-75 の通り。

表 2.14.1.1-74 長期内水位と水深

| | 長期内水位(m) | 水深 h_{wi} (m) |
|-----------|------------|-----------------|
| 覆工板 (到達部) | T.P.+6.400 | 22.716 |

表 2.14.1.1-75 短期内水位と水深

| | 短期内水位(m) | 水深 h_{wi} (m) |
|-----------|------------|-----------------|
| 覆工板 (到達部) | T.P.+9.300 | 25.616 |

9.5.6 外水圧

「3.5.6 外水圧」と同様に下記の通り設定した。

LWL : T.P. -0.778 m※1

HWL : T.P. +0.757 m※2

※1 : 朔望平均干潮面

※2 : 朔望平均満潮面

9.5.7 解析モデルと評価方法

9.5.7.1 覆工板（到達部）

覆工板（到達部）の構造設計は、「3.7 解析モデル」と同様に、鋼製セグメントを模擬した骨組みを36分割の要素に分け、鋼（主桁）の断面力を算出する。

なお、鋼製セグメントの評価方法は「シールド工用標準セグメント」に従い、下式の通り主桁の最大外縁応力度 $\sigma_{o\max}$ と最大内縁応力度 $\sigma_{i\max}$ が許容曲げ応力度以内であることを確認する。

$$\text{外縁応力度 } \sigma_o = N / A + Mo / Zo \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\text{内縁応力度 } \sigma_i = N / A + Mo / Zi \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\therefore Mo = (1 + \zeta) \cdot M \text{ (}\zeta \text{ : 曲げモーメント割増率 : 25\%)}$$

A : 主桁断面積 4,678 (mm²)

Zo : 外縁に対する断面係数 146,910 (mm³)

Zi : 内縁に対する断面係数 125,999 (mm³)

9.6 検討ケース

覆工板（到達部）の構造検討ケースは表 2.14.1.1-76 のとおり。

表 2.14.1.1-76 覆工板（到達部）の構造検討ケース

| 検討部位 | 荷重 パターン | トンネルの状態 | 土被り | 外水位 |
|--------------|------------|---------------------|-----|---------------------|
| 覆工板 (到達部) | 長期 | 空水時 | H | H.W.L.(T.P.+0.757m) |
| | | 内水圧作用時(T.P.+6.400m) | | L.W.L.(T.P.-0.778m) |
| | | 内水圧作用時(T.P.+9.300m) | | |

9.7 評価結果

各検討ケースにおいて、覆工板（到達部）の照査結果（最大作用応力、作用応力/許容応力の比）を表 2.14.1.1-77 に示す。

それぞれのケースにおける長期荷重に対して、各検討部位の作用応力が許容応力度以内であることを確認した。表 2.14.1.1-78 に覆工板（到達部）のクリティカルケースを示す。

表 2.14.1.1-77 覆工板（到達部）の応力度照査結果【長期】

| 荷重 ケース | 土被り | トンネルの状態 | 外水位 | 圧縮 | 作用応力 (N/mm ²) | 作用応力 /許容応力 |
|-----------|-----|----------------|----------------|------------|------------------------------|---------------|
| | | | | | 主桁 | |
| 長期 | H | 空水時 | H.W.L | σ_o | 99 | 0.42 |
| | | | | σ_i | 92.8 | 0.43 |
| | | | L.W.L | σ_o | 86.2 | 0.40 |
| | | | | σ_i | 87.8 | 0.41 |
| | | 内水圧作用時 (長期) | L.W.L | σ_o | -38.2 | 0.18 |
| | | | | σ_i | -52.8 | 0.25 |
| | | | 内水圧作用時 (短期) | σ_o | -46.2 | 0.21 |
| | | | | σ_i | -59.6 | 0.28 |

表 2.14.1.1-78 覆工板（到達部）のクリティカルケース

| 検討部位 | 荷重 ケース | 対象材料 | 応力 | 作用応力 (N/mm ²) | 許容応力 (N/mm ²) | 作用応力/ 許容応力 |
|--------------|-----------|------|----|------------------------------|------------------------------|---------------|
| 覆工板 (到達部) | 長期 | 鋼 | 圧縮 | 92.8 | 215 | 0.43 |

9.8 詳細検討内容

詳細検討内容は、クリティカルケースの検討について記載する。

設計荷重の算定

(1)鉛直荷重 : P_{V1}

○上載荷重 (活荷重) : $W_0 = 0.000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

○上載荷重 (死荷重) : $P_0 = 0.000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

○土圧 : $P_{SV} = \gamma' \cdot H_0 = 7.100 \times 4.425 = 31.417 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

○水圧 : $P_{WV} = \gamma_w \cdot (H_{WV} - D_0) = 10.000 \times (20.023 - 2.950) = 170.730 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

$$\begin{aligned} \therefore P_{V1} &= W_0 + P_0 + P_{SV} + P_{WV} \\ &= 0.000 + 0.000 + 31.417 + 170.730 \\ &= 202.147 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(2)頂部水平荷重 : P_{H1}

○上載荷重 (活荷重) : $W_H = \lambda \cdot W_0 = 0.35 \times 0.000 = 0.000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

○上載荷重 (死荷重) : $P_H = \lambda \cdot P_0 = 0.35 \times 0.000 = 0.000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

○土圧 : $P_{Sh1} = \lambda \cdot (P_{SV} + \gamma' \cdot (D_0 / 2 - R_C))$
 $= 0.35 \times (31.417 + 7.100 \times (2.950 / 2 - 1.4296))$
 $= 11.109 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

○水圧 : $P_{W1} = \gamma_w \cdot (H_{Wh} - D_0 / 2 - R_C)$
 $= 10.000 \times (20.023 - 2.950 / 2 - 1.4296) = 171.184 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

$$\begin{aligned} \therefore P_{H1} &= W_H + P_H + P_{Sh1} + P_{W1} \\ &= 0.000 + 0.000 + 11.109 + 171.184 = 182.293 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(3)底部水平荷重 : P_{H2}

○土圧 : $P_{Sh2} = \lambda \cdot (P_{SV} + \gamma' \cdot (D_0 / 2 + R_C))$
 $= 0.35 \times (31.417 + 7.100 \times (2.950 / 2 + 1.4296))$
 $= 18.214 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

○水圧 : $P_{W2} = \gamma_w \cdot (H_{Wh} - (D_0 / 2 - R_C))$
 $= 10.000 \times (20.023 - (2.950 / 2 - 1.4296))$
 $= 199.776 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

$$\begin{aligned} \therefore P_{H2} &= W_H + P_H + P_{Sh2} + P_{W2} \\ &= 0.000 + 0.000 + 18.214 + 199.776 = 217.990 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(4)自重による底部反力荷重 : P_g

セグメントの自重 (1m 当り) $w_g = 15.80 \text{ kN/m}$ (セグメント番号 B=1000)

したがって、セグメント円周単位当り重量 : W_g は

$$\begin{aligned} W_g &= 2 \times \pi \times 1.4296 \\ &= 1.759 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\therefore P_g = \pi \cdot W_g = \pi \times 1.759 = 5.526 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(5) 長期頂部内水圧 : P_1

$$\begin{aligned} P_1 &= \gamma_w \cdot H_{wi} \\ &= 10.000 \times 22.716 \\ &= 227.160 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(6) 長期水平上部内水圧 : P_2

$$\begin{aligned} P_2 &= \gamma_w \cdot (H_{wi} + D_0 / 2 - R_c) \\ &= 10.000 \times (22.716 + 2.950 / 2 - 1.4296) \\ &= 227.614 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(7) 長期水平下部内水圧 : P_3

$$\begin{aligned} P_3 &= \gamma_w \cdot (H_{wi} + D_0 / 2 + R_c) \\ &= 10.000 \times (22.716 + 2.950 / 2 + 1.4296) \\ &= 256.206 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(8) 長期底部内水圧 : P_4

$$\begin{aligned} P_4 &= \gamma_w \cdot (H_{wi} + D_0) \\ &= 10.000 \times (22.716 + 2.950) \\ &= 256.660 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(9) 短期頂部内水圧 : P_1

$$\begin{aligned} P_1 &= \gamma_w \cdot H_{wi} \\ &= 10.000 \times 25.616 \\ &= 256.160 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(10) 短期水平上部内水压 : P_2

$$\begin{aligned} P_2 &= \gamma_w \cdot (H_{wi} + D_0 / 2 - R_c) \\ &= 10.000 \times (25.616 + 2.950 / 2 - 1.4296) \\ &= 256.614 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(11) 短期水平下部内水压 : P_3

$$\begin{aligned} P_3 &= \gamma_w \cdot (H_{wi} + D_0 / 2 + R_c) \\ &= 10.000 \times (25.616 + 2.950 / 2 + 1.4296) \\ &= 285.206 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(12) 短期底部内水压 : P_4

$$\begin{aligned} P_4 &= \gamma_w \cdot (H_{wi} + D_0) \\ &= 10.000 \times (25.616 + 2.950) \\ &= 285.660 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

9.9 鋼製セグメントの設計

鋼製セグメントの概要図を図 2.14.1.1-57 に、設計用の諸元を表 2.14.1.1-79 に示す。鋼製セグメントの設計はシールド工用標準セグメントに従い各検討ケースにおいて主桁に発生する断面力を用いて、下式の通り主桁の最大外縁応力度 $\sigma_{o\max}$ と最大内縁応力度 $\sigma_{i\max}$ を求め、最大外縁応力度 $\sigma_{o\max}$ と最大内縁応力度 $\sigma_{i\max}$ x 許容曲げ応力度以内であることを確認する。

$$\text{外縁応力度 } \sigma_o = N / A + Mo / Zo \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\text{内縁応力度 } \sigma_i = N / A + Mo / Zi \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\because Mo = (1 + \zeta) \cdot M \text{ (}\zeta \text{: 曲げモーメント割増率 : 25\%)}$$

| | | |
|----|--------------|----------------------------|
| A | : 主桁断面積 | 4,678 (mm ²) |
| Zo | : 外縁に対する断面係数 | 146,910 (mm ³) |
| Zi | : 内縁に対する断面係数 | 125,999 (mm ³) |

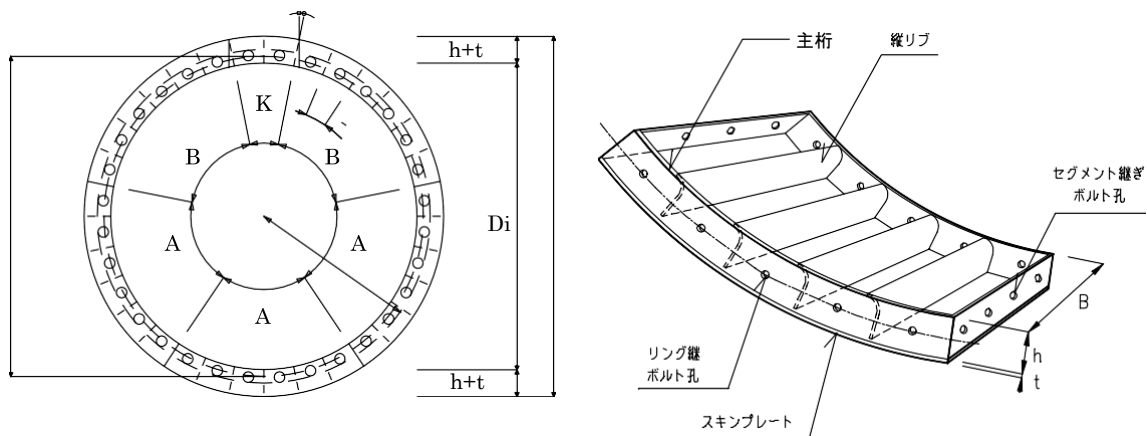


図 2.14.1.1-57 鋼製セグメントの概要図

表 2.14.1.1-79 鋼製セグメント設計用諸元

| 項目 | | 単位 | 諸元値 | 備考 |
|-------------|----------------|----------------------|-----------|----|
| セグメント外径 | D ₀ | mm | 2950 | |
| 図心半径 | R _c | mm | 1429.6 | |
| 主桁高さ | h | mm | 151 | |
| 主桁厚さ | ts | mm | 14 | |
| スキンプレート厚さ | t | mm | 3 | |
| 断面積 | A | m ² | 0.008278 | |
| 断面二次モーメント | I _s | m ⁴ /m | 0.0000213 | |
| ヤング係数 | E _s | kN/m ² | 210000000 | |
| 曲げ剛性の有効率 | η | % | 80 | |
| 曲げモーメントの割増率 | ζ | % | 25 | |
| 曲げ剛性 | EI | kN・m ² /m | 3578.4 | ※1 |

※1 曲げ剛性 : $EI = \eta \cdot E_s \cdot I_s$

$= 0.80 \times 210000000 \times 0.0000213$

$= 3578.4 \text{ (kN} \cdot \text{m}^2/\text{m)}$

9.10 断面力算定

断面力の算定についてはクリティカルケースのみを記載する。以下、断面力算定までの計算過程を記載する。

9.10.1 節点座標

「8.1 節点座標」と同様に設定する。

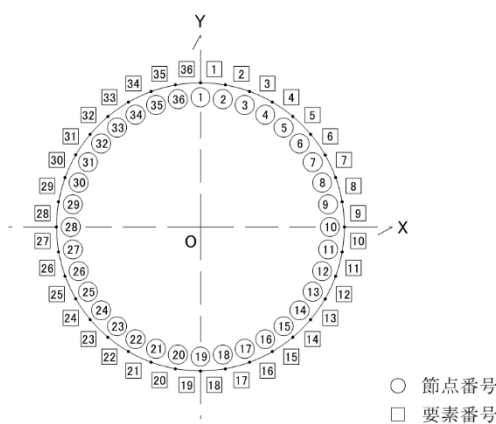


図 2.14.1.1-58 フレーム

表 2.14.1.1-80 座標と節点

| 節点番号 | X 座標(m) | Y 座標(m) | 節点番号 | X 座標(m) | Y 座標(m) |
|------|---------|---------|------|---------|---------|
| 1 | 0.000 | 1.430 | 19 | 0.000 | -1.430 |
| 2 | 0.248 | 1.408 | 20 | -0.248 | -1.408 |
| 3 | 0.489 | 1.343 | 21 | -0.489 | -1.343 |
| 4 | 0.715 | 1.238 | 22 | -0.715 | -1.238 |
| 5 | 0.919 | 1.095 | 23 | -0.919 | -1.095 |
| 6 | 1.095 | 0.919 | 24 | -1.095 | -0.919 |
| 7 | 1.238 | 0.715 | 25 | -1.238 | -0.715 |
| 8 | 1.343 | 0.489 | 26 | -1.343 | -0.489 |
| 9 | 1.408 | 0.248 | 27 | -1.408 | -0.248 |
| 10 | 1.430 | 0.000 | 28 | -1.430 | 0.000 |
| 11 | 1.408 | -0.248 | 29 | -1.408 | 0.248 |
| 12 | 1.343 | -0.489 | 30 | -1.343 | 0.489 |
| 13 | 1.238 | -0.715 | 31 | -1.238 | 0.715 |
| 14 | 1.095 | -0.919 | 32 | -1.095 | 0.919 |
| 15 | 0.919 | -1.095 | 33 | -0.919 | 1.095 |
| 16 | 0.715 | -1.238 | 34 | -0.715 | 1.238 |
| 17 | 0.489 | -1.343 | 35 | -0.489 | 1.343 |
| 18 | 0.248 | -1.408 | 36 | -0.248 | 1.408 |

9.10.2 フレーム計算

9.10.2.1 基本荷重 [自重] (計算ケース 1 : 空水の状態)

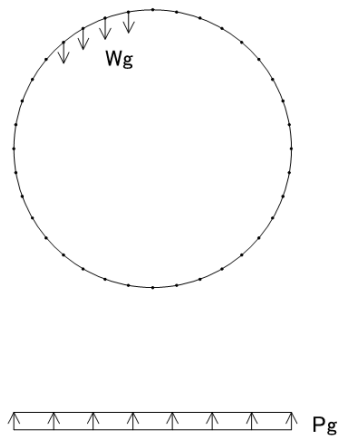


図 2.14.1.1-59 自重

表 2.14.1.1-81 自重による荷重

| 項 目 | | 単 位 | 荷 重 値 |
|----------------|----------|-----------------|-------|
| 鉛直荷重 | P_{V1} | kN/m^2 | 0.000 |
| 頂部水平荷重 | P_{H1} | kN/m^2 | 0.000 |
| 底部水平荷重 | P_{H2} | kN/m^2 | 0.000 |
| 底部地盤反力 | P_{V2} | kN/m^2 | 0.000 |
| セグメントの円周単位当り重量 | W_g | kN/m^2 | 1.759 |
| 自重による下部反力荷重 | P_g | kN/m^2 | 5.526 |
| 側部地盤反力 | q | kN/m^2 | 0.000 |

9.10.2.2 各節点に作用する荷重 [自 重] (計算ケース 1 : 空水の状態)

| | | | | |
|-----------|----------|---|---------|-----------------|
| 要素長 | ds | = | 0.250 | m |
| 鉛直荷重 | P_{V1} | = | 202.147 | kN/m^2 |
| 頂部水平荷重 | P_{H1} | = | 182.293 | kN/m^2 |
| 底部水平荷重 | P_{H2} | = | 217.990 | kN/m^2 |
| 底部地盤反力 | P_{V2} | = | 202.147 | kN/m^2 |
| 円周単位m当り自重 | W_g | = | 1.759 | kN/m^2 |
| 自重による下部反力 | P_g | = | 5.526 | kN/m^2 |
| 側方地盤反力 | q | = | 0.000 | kN/m^2 |

上記荷重を各節点に作用する荷重成分に分解すると以下表のとおりとなる。
尚、セグメント内側方向を正としていた荷重座標は、ここで X 方向は右側を正、Y 方向は上側を正に座標変換する。

表 2.14.1.1-82 座標と節点

| 要素 番号 | 節点 番号 | X方向荷重 (kN/m) | Y方向荷重 (kN/m) | 要素 番号 | 節点 番号 | X方向荷重 (kN/m) | Y方向荷重 (kN/m) |
|----------|----------|-----------------|-----------------|----------|----------|-----------------|-----------------|
| 1 | 1 | 0.000 | -0.219 | 19 | 19 | 0.000 | 0.466 |
| 1 | 2 | 0.000 | -0.219 | 19 | 20 | 0.000 | 0.466 |
| 2 | 2 | 0.000 | -0.219 | 20 | 20 | 0.000 | 0.446 |
| 2 | 3 | 0.000 | -0.219 | 20 | 21 | 0.000 | 0.446 |
| 3 | 3 | 0.000 | -0.219 | 21 | 21 | 0.000 | 0.405 |
| 3 | 4 | 0.000 | -0.219 | 21 | 22 | 0.000 | 0.405 |
| 4 | 4 | 0.000 | -0.219 | 22 | 22 | 0.000 | 0.345 |
| 4 | 5 | 0.000 | -0.219 | 22 | 23 | 0.000 | 0.345 |
| 5 | 5 | 0.000 | -0.219 | 23 | 23 | 0.000 | 0.267 |
| 5 | 6 | 0.000 | -0.219 | 23 | 24 | 0.000 | 0.267 |
| 6 | 6 | 0.000 | -0.219 | 24 | 24 | 0.000 | 0.175 |
| 6 | 7 | 0.000 | -0.219 | 24 | 25 | 0.000 | 0.175 |
| 7 | 7 | 0.000 | -0.219 | 25 | 25 | 0.000 | 0.072 |
| 7 | 8 | 0.000 | -0.219 | 25 | 26 | 0.000 | 0.072 |
| 8 | 8 | 0.000 | -0.219 | 26 | 26 | 0.000 | -0.041 |
| 8 | 9 | 0.000 | -0.219 | 26 | 27 | 0.000 | -0.041 |
| 9 | 9 | 0.000 | -0.219 | 27 | 27 | 0.000 | -0.159 |
| 9 | 10 | 0.000 | -0.219 | 27 | 28 | 0.000 | -0.159 |
| 10 | 10 | 0.000 | -0.159 | 28 | 28 | 0.000 | -0.219 |
| 10 | 11 | 0.000 | -0.159 | 28 | 29 | 0.000 | -0.219 |
| 11 | 11 | 0.000 | -0.041 | 29 | 29 | 0.000 | -0.219 |
| 11 | 12 | 0.000 | -0.041 | 29 | 30 | 0.000 | -0.219 |
| 12 | 12 | 0.000 | 0.072 | 30 | 30 | 0.000 | -0.219 |
| 12 | 13 | 0.000 | 0.072 | 30 | 31 | 0.000 | -0.219 |
| 13 | 13 | 0.000 | 0.175 | 31 | 31 | 0.000 | -0.219 |
| 13 | 14 | 0.000 | 0.175 | 31 | 32 | 0.000 | -0.219 |
| 14 | 14 | 0.000 | 0.267 | 32 | 32 | 0.000 | -0.219 |
| 14 | 15 | 0.000 | 0.267 | 32 | 33 | 0.000 | -0.219 |
| 15 | 15 | 0.000 | 0.345 | 33 | 33 | 0.000 | -0.219 |
| 15 | 16 | 0.000 | 0.345 | 33 | 34 | 0.000 | -0.219 |
| 16 | 16 | 0.000 | 0.405 | 34 | 34 | 0.000 | -0.219 |
| 16 | 17 | 0.000 | 0.405 | 34 | 35 | 0.000 | -0.219 |
| 17 | 17 | 0.000 | 0.446 | 35 | 35 | 0.000 | -0.219 |
| 17 | 18 | 0.000 | 0.446 | 35 | 36 | 0.000 | -0.219 |
| 18 | 18 | 0.000 | 0.466 | 36 | 36 | 0.000 | -0.219 |
| 18 | 19 | 0.000 | 0.466 | 36 | 1 | 0.000 | -0.219 |

9.10.2.3 節点変位 [自重] (計算ケース 1 : 空水の状態)

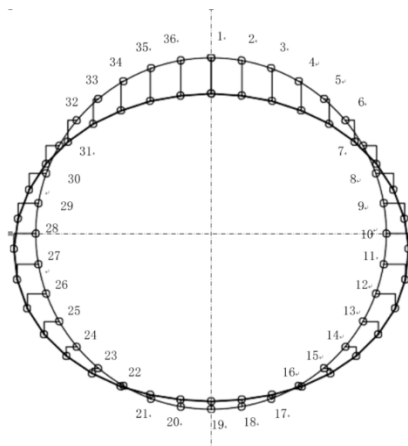


図 2.14.1.1-60 自重による節点変位図

表 2.14.1.1-83 自重による節点変位

変位方向=0 : セグメント内側に変位

変位方向=1 : セグメント外側に変位

| 節点 番号 | X方向 変位(m) | Y方向 変位(m) | 回転 変位(m) | 変位 方向 | 節点番号 | X方向 変位(m) | Y方向 変位(m) | 回転 変位(m) | 変位 方向 |
|----------|--------------|--------------|-------------|----------|------|--------------|--------------|-------------|----------|
| 1 | 0.000000 | -0.000435 | 0.000000 | 0 | | | | | |
| 2 | 0.000001 | -0.000424 | 0.000084 | 0 | 36 | -0.000001 | -0.000424 | -0.000084 | 0 |
| 3 | 0.000009 | -0.000395 | 0.000159 | 0 | 35 | -0.000009 | -0.000395 | -0.000159 | 0 |
| 4 | 0.000029 | -0.000352 | 0.000218 | 0 | 34 | -0.000029 | -0.000352 | -0.000218 | 0 |
| 5 | 0.000063 | -0.000303 | 0.000254 | 0 | 33 | -0.000063 | -0.000303 | -0.000254 | 0 |
| 6 | 0.000109 | -0.000257 | 0.000262 | 0 | 32 | -0.000109 | -0.000257 | -0.000262 | 0 |
| 7 | 0.000160 | -0.000220 | 0.000240 | 1 | 31 | -0.000160 | -0.000220 | -0.000240 | 1 |
| 8 | 0.000209 | -0.000197 | 0.000190 | 1 | 30 | -0.000209 | -0.000197 | -0.000190 | 1 |
| 9 | 0.000246 | -0.000187 | 0.000116 | 1 | 29 | -0.000246 | -0.000187 | -0.000116 | 1 |
| 10 | 0.000264 | -0.000185 | 0.000024 | 1 | 28 | -0.000264 | -0.000185 | -0.000024 | 1 |
| 11 | 0.000258 | -0.000184 | -0.000075 | 1 | 27 | -0.000258 | -0.000184 | 0.000075 | 1 |
| 12 | 0.000228 | -0.000175 | -0.000168 | 1 | 26 | -0.000228 | -0.000175 | 0.000168 | 1 |
| 13 | 0.000182 | -0.000153 | -0.000242 | 1 | 25 | -0.000182 | -0.000153 | 0.000242 | 1 |
| 14 | 0.000127 | -0.000114 | -0.000287 | 1 | 24 | -0.000127 | -0.000114 | 0.000287 | 1 |
| 15 | 0.000076 | -0.000062 | -0.000295 | 1 | 23 | -0.000076 | -0.000062 | 0.000295 | 1 |
| 16 | 0.000035 | -0.000004 | -0.000265 | 1 | 22 | -0.000035 | -0.000004 | 0.000265 | 1 |
| 17 | 0.000011 | 0.000049 | -0.000199 | 0 | 21 | -0.000011 | 0.000049 | 0.000199 | 0 |
| 18 | 0.000001 | 0.000086 | -0.000107 | 0 | 20 | -0.000001 | 0.000086 | 0.000107 | 0 |
| 19 | 0.000000 | 0.000100 | 0.000000 | 0 | | | | | |

表 2.14.1.1-84 自重による断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) |
|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 1.238 | -0.254 | -0.391 | 36 | 1 | 1.238 | 0.254 | -0.391 |
| 1 | 2 | 1.175 | -0.254 | -0.391 | 36 | 36 | 1.175 | 0.254 | -0.391 |
| 2 | 2 | 1.175 | -0.742 | -0.227 | 35 | 36 | 1.175 | 0.742 | -0.227 |
| 2 | 3 | 0.990 | -0.742 | -0.227 | 35 | 35 | 0.990 | 0.742 | -0.227 |
| 3 | 3 | 0.990 | -1.168 | 0.090 | 34 | 35 | 0.990 | 1.168 | 0.090 |
| 3 | 4 | 0.699 | -1.168 | 0.090 | 34 | 34 | 0.699 | 1.168 | 0.090 |
| 4 | 4 | 0.699 | -1.495 | 0.544 | 33 | 34 | 0.699 | 1.495 | 0.544 |
| 4 | 5 | 0.326 | -1.495 | 0.544 | 33 | 33 | 0.326 | 1.495 | 0.544 |
| 5 | 5 | 0.326 | -1.688 | 1.105 | 32 | 33 | 0.326 | 1.688 | 1.105 |
| 5 | 6 | -0.094 | -1.688 | 1.105 | 32 | 32 | -0.094 | 1.688 | 1.105 |
| 6 | 6 | -0.094 | -1.722 | 1.741 | 31 | 32 | -0.094 | 1.722 | 1.741 |
| 6 | 7 | -0.524 | -1.722 | 1.741 | 31 | 31 | -0.524 | 1.722 | 1.741 |
| 7 | 7 | -0.524 | -1.579 | 2.411 | 30 | 31 | -0.524 | 1.579 | 2.411 |
| 7 | 8 | -0.917 | -1.579 | 2.411 | 30 | 30 | -0.917 | 1.579 | 2.411 |
| 8 | 8 | -0.917 | -1.250 | 3.073 | 29 | 30 | -0.917 | 1.250 | 3.073 |
| 8 | 9 | -1.228 | -1.250 | 3.073 | 29 | 29 | -1.228 | 1.250 | 3.073 |
| 9 | 9 | -1.228 | -0.735 | 3.680 | 28 | 29 | -1.228 | 0.735 | 3.680 |
| 9 | 10 | -1.412 | -0.735 | 3.680 | 28 | 28 | -1.412 | 0.735 | 3.680 |
| 10 | 10 | -1.412 | -0.052 | 4.130 | 27 | 28 | -1.412 | 0.052 | 4.130 |
| 10 | 11 | -1.425 | -0.052 | 4.130 | 27 | 27 | -1.425 | 0.052 | 4.130 |
| 11 | 11 | -1.425 | 0.718 | 4.270 | 26 | 27 | -1.425 | -0.718 | 4.270 |
| 11 | 12 | -1.246 | 0.718 | 4.270 | 26 | 26 | -1.246 | -0.718 | 4.270 |
| 12 | 12 | -1.246 | 1.435 | 4.053 | 25 | 26 | -1.246 | -1.435 | 4.053 |
| 12 | 13 | -0.888 | 1.435 | 4.053 | 25 | 25 | -0.888 | -1.435 | 4.053 |
| 13 | 13 | -0.888 | 1.976 | 3.540 | 24 | 25 | -0.888 | -1.976 | 3.540 |
| 13 | 14 | -0.396 | 1.976 | 3.540 | 24 | 24 | -0.396 | -1.976 | 3.540 |
| 14 | 14 | -0.396 | 2.247 | 2.830 | 23 | 24 | -0.396 | -2.247 | 2.830 |
| 14 | 15 | 0.164 | 2.247 | 2.830 | 23 | 23 | 0.164 | -2.247 | 2.830 |
| 15 | 15 | 0.164 | 2.203 | 2.045 | 22 | 23 | 0.164 | -2.203 | 2.045 |
| 15 | 16 | 0.713 | 2.203 | 2.045 | 22 | 22 | 0.713 | -2.203 | 2.045 |
| 16 | 16 | 0.713 | 1.846 | 1.315 | 21 | 22 | 0.713 | -1.846 | 1.315 |
| 16 | 17 | 1.173 | 1.846 | 1.315 | 21 | 21 | 1.173 | -1.846 | 1.315 |
| 17 | 17 | 1.173 | 1.225 | 0.755 | 20 | 21 | 1.173 | -1.225 | 0.755 |
| 17 | 18 | 1.478 | 1.225 | 0.755 | 20 | 20 | 1.478 | -1.225 | 0.755 |
| 18 | 18 | 1.478 | 0.429 | 0.451 | 19 | 20 | 1.478 | -0.429 | 0.451 |
| 18 | 19 | 1.585 | 0.429 | 0.451 | 19 | 19 | 1.585 | -0.429 | 0.451 |

地盤バネは、覆工が地盤内に変位する節点にのみ考慮する。

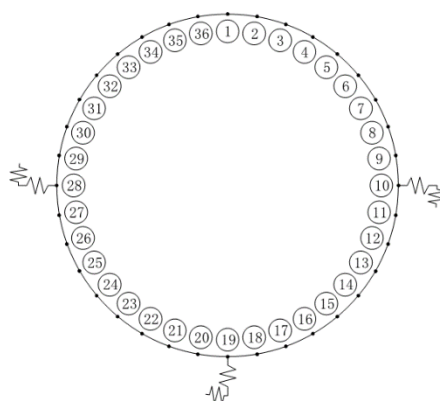


図 2.14.1.1-61 地盤ばね

表 2.14.1.1-85 各節点の地盤ばね

| 節点 番号 | 節点 角度 $\theta(^{\circ})$ | 法線方向バネ $kh(kN/m^3)$ | 接線方向バネ $ks(kN/m^3)$ | 要素長 ds(m) | 1要素長当り 法線方向バネ $ds \cdot$ $kh(kN/m^2)$ | 1要素長当り 接線方向バネ $ds \cdot$ $ks(kN/m^2)$ |
|----------|-----------------------------|------------------------|------------------------|--------------|---|---|
| 1 | 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | 10.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | 20.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 4 | 30.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 40.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 6 | 50.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 7 | 60.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 8 | 70.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 9 | 80.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 10 | 90.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.250 | 12475.613 | 4158.538 |
| 11 | 100.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 12 | 110.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 13 | 120.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 14 | 130.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 15 | 140.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 16 | 150.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 17 | 160.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 18 | 170.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 180.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.250 | 12475.613 | 4158.538 |
| 20 | 190.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 21 | 200.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 22 | 210.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 23 | 220.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 230.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 240.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 26 | 250.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 27 | 260.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 28 | 270.0 | 50000.000 | 16666.667 | 0.250 | 12475.613 | 4158.538 |
| 29 | 280.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 30 | 290.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 31 | 300.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 32 | 310.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 33 | 320.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 34 | 330.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 35 | 340.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 36 | 350.0 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |

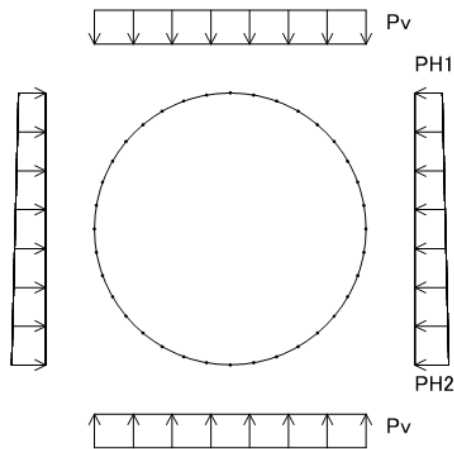


図 2.14.1.1-62 外荷重図

表 2.14.1.1-86 外荷重

| 項目 | | 単位 | 荷重値 |
|----------------|----------|-----------------|---------|
| 鉛直荷重 | P_{V1} | kN/m^2 | 202.147 |
| 頂部水平荷重 | P_{H1} | kN/m^2 | 182.293 |
| 底部水平荷重 | P_{H2} | kN/m^2 | 217.990 |
| 底部地盤反力 | P_{V2} | kN/m^2 | 202.147 |
| セグメントの円周単位当り重量 | W_g | kN/m^2 | 0.000 |
| 自重による下部反力荷重 | P_g | kN/m^2 | 0.000 |
| 側部地盤反力 | q | kN/m^2 | 0.000 |

各節点に作用する荷重 [外荷重] (計算ケース 1 : 空水の状態)

| | |
|-------------|-------------------------------|
| 要素長 | $ds=0.250 \text{ m}$ |
| 鉛直荷重 | $P_{V1}=202.147\text{kN/m}^2$ |
| 頂部水平荷重 | $P_{H1}=182.293\text{kN/m}^2$ |
| 底部水平荷重 | $P_{H2}=217.990\text{kN/m}^2$ |
| 底部地盤反力 | $P_{V2}=202.147\text{kN/m}^2$ |
| 円周単位 m 当り自重 | $W_g=1.759\text{kN/m}^2$ |
| 自重による下部反力 | $P_g=5.526 \text{ kN/m}^2$ |
| 側方地盤反力 | $q=0.000\text{kN/m}^2$ |

上記荷重を各節点に作用する荷重成分に分解すると表 2.14.1.1-87 のとおりとなる。
尚、セグメント内側方向を正としていた荷重座標は、ここで X 方向は右側を正、Y 方向は上側を正に座標変換する。

表 2.14.1.1-87 各節点の外荷重

| 要素 番号 | 節点 番号 | X方向荷重 (kN/m) | Y方向荷重 (kN/m) | 要素 番号 | 節点 番号 | X方向荷重 (kN/m) | Y方向荷重 (kN/m) |
|----------|----------|-----------------|-----------------|----------|----------|-----------------|-----------------|
| 1 | 1 | -1.980 | -25.091 | 19 | 19 | 2.367 | 25.091 |
| 1 | 2 | -1.982 | -25.091 | 19 | 20 | 2.365 | 25.091 |
| 2 | 2 | -5.894 | -24.329 | 20 | 20 | 7.015 | 24.329 |
| 2 | 3 | -5.907 | -24.329 | 20 | 21 | 7.002 | 24.329 |
| 3 | 3 | -9.673 | -22.827 | 21 | 21 | 11.405 | 22.827 |
| 3 | 4 | -9.708 | -22.827 | 21 | 22 | 11.370 | 22.827 |
| 4 | 4 | -13.231 | -20.632 | 22 | 22 | 15.376 | 20.632 |
| 4 | 5 | -13.294 | -20.632 | 22 | 23 | 15.312 | 20.632 |
| 5 | 5 | -16.477 | -17.810 | 23 | 23 | 18.789 | 17.810 |
| 5 | 6 | -16.574 | -17.810 | 23 | 24 | 18.693 | 17.810 |
| 6 | 6 | -19.321 | -14.447 | 24 | 24 | 21.533 | 14.447 |
| 6 | 7 | -19.451 | -14.447 | 24 | 25 | 21.403 | 14.447 |
| 7 | 7 | -21.673 | -10.645 | 25 | 25 | 23.529 | 10.645 |
| 7 | 8 | -21.832 | -10.645 | 25 | 26 | 23.370 | 10.645 |
| 8 | 8 | -23.443 | -6.519 | 26 | 26 | 24.732 | 6.519 |
| 8 | 9 | -23.624 | -6.519 | 26 | 27 | 24.551 | 6.519 |
| 9 | 9 | -24.554 | -2.195 | 27 | 27 | 25.131 | 2.195 |
| 9 | 10 | -24.746 | -2.195 | 27 | 28 | 24.938 | 2.195 |
| 10 | 10 | -24.938 | 2.195 | 28 | 28 | 24.746 | -2.195 |
| 10 | 11 | -25.131 | 2.195 | 28 | 29 | 24.554 | -2.195 |
| 11 | 11 | -24.551 | 6.519 | 29 | 29 | 23.624 | -6.519 |
| 11 | 12 | -24.732 | 6.519 | 29 | 30 | 23.443 | -6.519 |
| 12 | 12 | -23.370 | 10.645 | 30 | 30 | 21.832 | -10.645 |
| 12 | 13 | -23.529 | 10.645 | 30 | 31 | 21.673 | -10.645 |
| 13 | 13 | -21.403 | 14.447 | 31 | 31 | 19.451 | -14.447 |
| 13 | 14 | -21.533 | 14.447 | 31 | 32 | 19.321 | -14.447 |
| 14 | 14 | -18.693 | 17.810 | 32 | 32 | 16.574 | -17.810 |
| 14 | 15 | -18.789 | 17.810 | 32 | 33 | 16.477 | -17.810 |
| 15 | 15 | -15.312 | 20.632 | 33 | 33 | 13.294 | -20.632 |
| 15 | 16 | -15.376 | 20.632 | 33 | 34 | 13.231 | -20.632 |
| 16 | 16 | -11.370 | 22.827 | 34 | 34 | 9.708 | -22.827 |
| 16 | 17 | -11.405 | 22.827 | 34 | 35 | 9.673 | -22.827 |
| 17 | 17 | -7.002 | 24.329 | 35 | 35 | 5.907 | -24.329 |
| 17 | 18 | -7.015 | 24.329 | 35 | 36 | 5.894 | -24.329 |
| 18 | 18 | -2.365 | 25.091 | 36 | 36 | 1.982 | -25.091 |
| 18 | 19 | -2.367 | 25.091 | 36 | 1 | 1.980 | -25.091 |

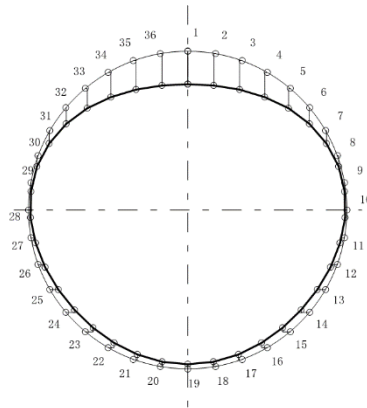


図 2.14.1.1-62 外荷重による節点変位図

表 2.14.1.1-88 外荷重による節点変位

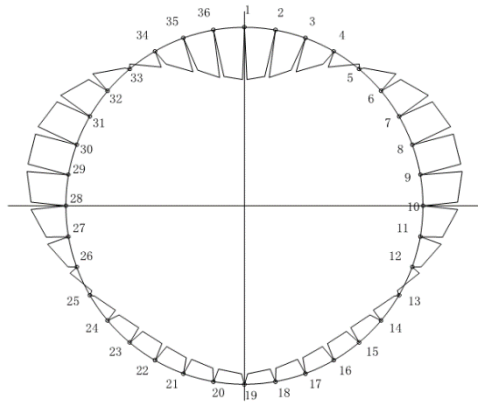
| 節点 番号 | X方向 変位(m) | Y方向 変位(m) | 回転 変位(m) | 変位 方向 | 節点 番号 | X方向 変位(m) | Y方向 変位(m) | 回転 変位(m) | 変位 方向 |
|----------|--------------|--------------|-------------|----------|----------|--------------|--------------|-------------|----------|
| 1 | 0.000000 | -0.000729 | 0.000000 | 0 | | | | | |
| 2 | -0.000037 | -0.000704 | 0.000169 | 0 | 36 | 0.000037 | -0.000704 | -0.000169 | 0 |
| 3 | -0.000060 | -0.000636 | 0.000302 | 0 | 35 | 0.000060 | -0.000636 | -0.000302 | 0 |
| 4 | -0.000060 | -0.000542 | 0.000374 | 0 | 34 | 0.000060 | -0.000542 | -0.000374 | 0 |
| 5 | -0.000039 | -0.000441 | 0.000371 | 0 | 33 | 0.000039 | -0.000441 | -0.000371 | 0 |
| 6 | -0.000008 | -0.000353 | 0.000297 | 0 | 32 | 0.000008 | -0.000353 | -0.000297 | 0 |
| 7 | 0.000017 | -0.000285 | 0.000172 | 0 | 31 | -0.000017 | -0.000285 | -0.000172 | 0 |
| 8 | 0.000021 | -0.000237 | 0.000024 | 0 | 30 | -0.000021 | -0.000237 | -0.000024 | 0 |
| 9 | 0.000000 | -0.000200 | -0.000113 | 0 | 29 | 0.000000 | -0.000200 | 0.000113 | 0 |
| 10 | -0.000046 | -0.000163 | -0.000214 | 0 | 28 | 0.000046 | -0.000163 | 0.000214 | 0 |
| 11 | -0.000102 | -0.000117 | -0.000258 | 0 | 27 | 0.000102 | -0.000117 | 0.000258 | 0 |
| 12 | -0.000153 | -0.000060 | -0.000242 | 0 | 26 | 0.000153 | -0.000060 | 0.000242 | 0 |
| 13 | -0.000184 | -0.000001 | -0.000179 | 0 | 25 | 0.000184 | -0.000001 | 0.000179 | 0 |
| 14 | -0.000188 | 0.000052 | -0.000093 | 0 | 24 | 0.000188 | 0.000052 | 0.000093 | 0 |
| 15 | -0.000168 | 0.000091 | -0.000011 | 0 | 23 | 0.000168 | 0.000091 | 0.000011 | 0 |
| 16 | -0.000131 | 0.000110 | 0.000046 | 0 | 22 | 0.000131 | 0.000110 | -0.000046 | 0 |
| 17 | -0.000087 | 0.000115 | 0.000066 | 0 | 21 | 0.000087 | 0.000115 | -0.000066 | 0 |
| 18 | -0.000043 | 0.000111 | 0.000047 | 0 | 20 | 0.000043 | 0.000111 | -0.000047 | 0 |
| 19 | 0.000000 | 0.000109 | 0.000000 | 0 | | | | | |

表 2.14.1.1-89 各節点の外荷重による断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) |
|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 2.556 | -1.073 | 275.629 | 36 | 1 | 2.556 | 1.073 | 275.629 |
| 1 | 2 | 2.288 | -1.073 | 275.629 | 36 | 36 | 2.288 | 1.073 | 275.629 |
| 2 | 2 | 2.288 | -2.968 | 276.812 | 35 | 36 | 2.288 | 2.968 | 276.812 |
| 2 | 3 | 1.549 | -2.968 | 276.812 | 35 | 35 | 1.549 | 2.968 | 276.812 |
| 3 | 3 | 1.549 | -4.178 | 278.931 | 34 | 35 | 1.549 | 4.178 | 278.931 |
| 3 | 4 | 0.507 | -4.178 | 278.931 | 34 | 34 | 0.507 | 4.178 | 278.931 |
| 4 | 4 | 0.507 | -4.435 | 281.556 | 33 | 34 | 0.507 | 4.435 | 281.556 |
| 4 | 5 | -0.598 | -4.435 | 281.556 | 33 | 33 | -0.598 | 4.435 | 281.556 |
| 5 | 5 | -0.598 | -3.710 | 284.179 | 32 | 33 | -0.598 | 3.710 | 284.179 |
| 5 | 6 | -1.522 | -3.710 | 284.179 | 32 | 32 | -1.522 | 3.710 | 284.179 |
| 6 | 6 | -1.522 | -2.212 | 286.341 | 31 | 32 | -1.522 | 2.212 | 286.341 |
| 6 | 7 | -2.074 | -2.212 | 286.341 | 31 | 31 | -2.074 | 2.212 | 286.341 |
| 7 | 7 | -2.074 | -0.331 | 287.735 | 30 | 31 | -2.074 | 0.331 | 287.735 |
| 7 | 8 | -2.156 | -0.331 | 287.735 | 30 | 30 | -2.156 | 0.331 | 287.735 |
| 8 | 8 | -2.156 | 1.464 | 288.282 | 29 | 30 | -2.156 | -1.464 | 288.282 |
| 8 | 9 | -1.791 | 1.464 | 288.282 | 29 | 29 | -1.791 | -1.464 | 288.282 |
| 9 | 9 | -1.791 | 2.748 | 288.130 | 28 | 29 | -1.791 | -2.748 | 288.130 |
| 9 | 10 | -1.107 | 2.748 | 288.130 | 28 | 28 | -1.107 | -2.748 | 288.130 |
| 10 | 10 | -1.107 | 3.752 | 286.882 | 27 | 28 | -1.107 | -3.752 | 286.882 |
| 10 | 11 | -0.172 | 3.752 | 286.882 | 27 | 27 | -0.172 | -3.752 | 286.882 |
| 11 | 11 | -0.172 | 3.267 | 286.313 | 26 | 27 | -0.172 | -3.267 | 286.313 |
| 11 | 12 | 0.643 | 3.267 | 286.313 | 26 | 26 | 0.643 | -3.267 | 286.313 |
| 12 | 12 | 0.643 | 2.087 | 286.170 | 25 | 26 | 0.643 | -2.087 | 286.170 |
| 12 | 13 | 1.163 | 2.087 | 286.170 | 25 | 25 | 1.163 | -2.087 | 286.170 |
| 13 | 13 | 1.163 | 0.550 | 286.678 | 24 | 25 | 1.163 | -0.550 | 286.678 |
| 13 | 14 | 1.300 | 0.550 | 286.678 | 24 | 24 | 1.300 | -0.550 | 286.678 |
| 14 | 14 | 1.300 | -0.930 | 287.862 | 23 | 24 | 1.300 | 0.930 | 287.862 |
| 14 | 15 | 1.068 | -0.930 | 287.862 | 23 | 23 | 1.068 | 0.930 | 287.862 |
| 15 | 15 | 1.068 | -1.979 | 289.536 | 22 | 23 | 1.068 | 1.979 | 289.536 |
| 15 | 16 | 0.575 | -1.979 | 289.536 | 22 | 22 | 0.575 | 1.979 | 289.536 |
| 16 | 16 | 0.575 | -2.363 | 291.355 | 21 | 22 | 0.575 | 2.363 | 291.355 |
| 16 | 17 | -0.014 | -2.363 | 291.355 | 21 | 21 | -0.014 | 2.363 | 291.355 |
| 17 | 17 | -0.014 | -2.047 | 292.913 | 20 | 21 | -0.014 | 2.047 | 292.913 |
| 17 | 18 | -0.524 | -2.047 | 292.913 | 20 | 20 | -0.524 | 2.047 | 292.913 |
| 18 | 18 | -0.524 | -1.201 | 293.855 | 19 | 20 | -0.524 | 1.201 | 293.855 |
| 18 | 19 | -0.824 | -1.201 | 293.855 | 19 | 19 | -0.824 | 1.201 | 293.855 |

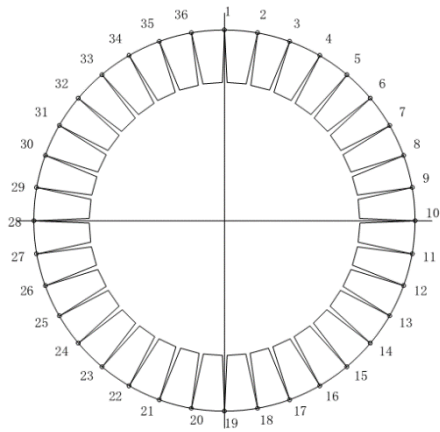
表 2.14.1.1-90 各節点の自重+外荷重による断面力

| 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) | 要素 番号 | 節点 番号 | 曲げモーメント M(kN・m) | せん断力 Q(kN) | 軸力 N(kN) |
|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|----------|----------|--------------------|---------------|-------------|
| 1 | 1 | 3.794 | -1.327 | 275.238 | 36 | 1 | 3.794 | 1.327 | 275.238 |
| 1 | 2 | 3.463 | -1.327 | 275.238 | 36 | 36 | 3.463 | 1.327 | 275.238 |
| 2 | 2 | 3.463 | -3.710 | 276.585 | 35 | 36 | 3.463 | 3.710 | 276.585 |
| 2 | 3 | 2.539 | -3.710 | 276.585 | 35 | 35 | 2.539 | 3.710 | 276.585 |
| 3 | 3 | 2.539 | -5.346 | 279.021 | 34 | 35 | 2.539 | 5.346 | 279.021 |
| 3 | 4 | 1.206 | -5.346 | 279.021 | 34 | 34 | 1.206 | 5.346 | 279.021 |
| 4 | 4 | 1.206 | -5.930 | 282.100 | 33 | 34 | 1.206 | 5.930 | 282.100 |
| 4 | 5 | -0.272 | -5.930 | 282.100 | 33 | 33 | -0.272 | 5.930 | 282.100 |
| 5 | 5 | -0.272 | -5.398 | 285.284 | 32 | 33 | -0.272 | 5.398 | 285.284 |
| 5 | 6 | -1.616 | -5.398 | 285.284 | 32 | 32 | -1.616 | 5.398 | 285.284 |
| 6 | 6 | -1.616 | -3.934 | 288.082 | 31 | 32 | -1.616 | 3.934 | 288.082 |
| 6 | 7 | -2.598 | -3.934 | 288.082 | 31 | 31 | -2.598 | 3.934 | 288.082 |
| 7 | 7 | -2.598 | -1.910 | 290.146 | 30 | 31 | -2.598 | 1.910 | 290.146 |
| 7 | 8 | -3.073 | -1.910 | 290.146 | 30 | 30 | -3.073 | 1.910 | 290.146 |
| 8 | 8 | -3.073 | 0.214 | 291.355 | 29 | 30 | -3.073 | -0.214 | 291.355 |
| 8 | 9 | -3.019 | 0.214 | 291.355 | 29 | 29 | -3.019 | -0.214 | 291.355 |
| 9 | 9 | -3.019 | 2.013 | 291.810 | 28 | 29 | -3.019 | -2.013 | 291.810 |
| 9 | 10 | -2.519 | 2.013 | 291.810 | 28 | 28 | -2.519 | -2.013 | 291.810 |
| 10 | 10 | -2.519 | 3.700 | 291.012 | 27 | 28 | -2.519 | -3.700 | 291.012 |
| 10 | 11 | -1.597 | 3.700 | 291.012 | 27 | 27 | -1.597 | -3.700 | 291.012 |
| 11 | 11 | -1.597 | 3.985 | 290.583 | 26 | 27 | -1.597 | -3.985 | 290.583 |
| 11 | 12 | -0.603 | 3.985 | 290.583 | 26 | 26 | -0.603 | -3.985 | 290.583 |
| 12 | 12 | -0.603 | 3.522 | 290.223 | 25 | 26 | -0.603 | -3.522 | 290.223 |
| 12 | 13 | 0.275 | 3.522 | 290.223 | 25 | 25 | 0.275 | -3.522 | 290.223 |
| 13 | 13 | 0.275 | 2.526 | 290.218 | 24 | 25 | 0.275 | -2.526 | 290.218 |
| 13 | 14 | 0.904 | 2.526 | 290.218 | 24 | 24 | 0.904 | -2.526 | 290.218 |
| 14 | 14 | 0.904 | 1.317 | 290.692 | 23 | 24 | 0.904 | -1.317 | 290.692 |
| 14 | 15 | 1.232 | 1.317 | 290.692 | 23 | 23 | 1.232 | -1.317 | 290.692 |
| 15 | 15 | 1.232 | 0.224 | 291.581 | 22 | 23 | 1.232 | -0.224 | 291.581 |
| 15 | 16 | 1.288 | 0.224 | 291.581 | 22 | 22 | 1.288 | -0.224 | 291.581 |
| 16 | 16 | 1.288 | -0.517 | 292.670 | 21 | 22 | 1.288 | 0.517 | 292.670 |
| 16 | 17 | 1.159 | -0.517 | 292.670 | 21 | 21 | 1.159 | 0.517 | 292.670 |
| 17 | 17 | 1.159 | -0.822 | 293.668 | 20 | 21 | 1.159 | 0.822 | 293.668 |
| 17 | 18 | 0.954 | -0.822 | 293.668 | 20 | 20 | 0.954 | 0.822 | 293.668 |
| 18 | 18 | 0.954 | -0.772 | 294.306 | 19 | 20 | 0.954 | 0.772 | 294.306 |
| 18 | 19 | 0.761 | -0.772 | 294.306 | 19 | 19 | 0.761 | 0.772 | 294.306 |



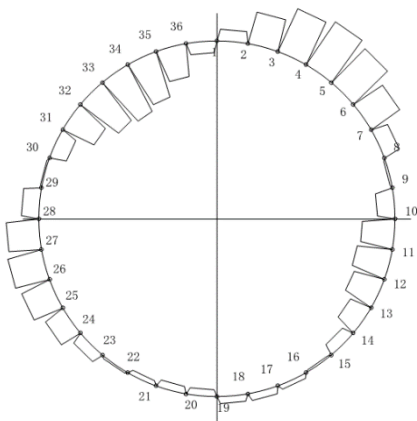
正最大曲げモーメント=3.794(kN・m)
負最大曲げモーメント=- 3.073(kN・m)

図 2.14.1.1-63 曲げモーメント図



正最大曲げモーメント位置軸力
=275.238(kN・m)
負最大曲げモーメント位置軸力
= - 291.355(kN・m)

図 2.14.1.1-64 軸力図



最大せん断力=-5.930(kN)

図 2.14.1.1-65 せん断力図

表 2.14.1.1-91 クリティカルケースの断面力

| ケース | | 正最大曲げ モーメント位置 | 負最大曲げ モーメント位置 | 最大 せん断位置 |
|-------|---|------------------|------------------|-------------|
| ケース 1 | M | 3.794 | -3.073 | 1.206 |
| | N | 275.238 | 291.355 | 282.100 |
| | Q | -1.327 | 0.214 | -5.930 |

M: 曲げモーメント(kN・m)

N: 軸力(kN)

Q: せん断力(kN)

9.5.7.1 に基づき、覆工板（到達部）の構造検討を行う。

外縁応力度 $\sigma_o = N / A + M_o / Z_o$ (N/mm²)

内縁応力度 $\sigma_i = N / A + M_o / Z_i$ (N/mm²)

∵ $M_o = (1 + \zeta) \cdot M$ (ζ : 曲げモーメント割増率: 25%)

A : 主桁断面積 4,678 (mm²)

Z_o : 外縁に対する断面係数 146,910 (mm³)

Z_i : 内縁に対する断面係数 125,999 (mm³)

表 2.14.1.1-92 各節点における外縁応力度と内縁応力度

| 要素 番号 | 節点 番号 | N/A | +(Mo/Zo) | -(Mo/Zi) | σ_o | σ_i | 要素 番号 | 節点 番号 | N/A | +(Mo/Zo) | -(Mo/Zi) | σ_o | σ_i |
|----------|----------|------|----------|----------|------------|------------|----------|----------|------|----------|----------|------------|------------|
| 1 | 1 | 58.8 | 32.3 | -37.6 | 91.1 | 21.2 | 19 | 19 | 62.9 | 6.5 | -7.5 | 69.4 | 55.4 |
| 1 | 2 | 58.8 | 29.5 | -34.4 | 88.3 | 24.4 | 19 | 20 | 62.9 | 8.1 | -9.5 | 71.0 | 53.4 |
| 2 | 2 | 59.1 | 29.5 | -34.4 | 88.6 | 24.7 | 20 | 20 | 62.8 | 8.1 | -9.5 | 70.9 | 53.3 |
| 2 | 3 | 59.1 | 21.6 | -25.2 | 80.7 | 33.9 | 20 | 21 | 62.8 | 9.9 | -11.5 | 72.7 | 51.3 |
| 3 | 3 | 59.6 | 21.6 | -25.2 | 81.2 | 34.4 | 21 | 21 | 62.6 | 9.9 | -11.5 | 72.5 | 51.1 |
| 3 | 4 | 59.6 | 10.3 | -12.0 | 69.9 | 47.6 | 21 | 22 | 62.6 | 11.0 | -12.8 | 73.6 | 49.8 |
| 4 | 4 | 60.3 | 10.3 | -12.0 | 70.6 | 48.3 | 22 | 22 | 62.3 | 11.0 | -12.8 | 73.3 | 49.5 |
| 4 | 5 | 60.3 | -2.3 | 2.7 | 58.0 | 63.0 | 22 | 23 | 62.3 | 10.5 | -12.2 | 72.8 | 50.1 |
| 5 | 5 | 61.0 | -2.3 | 2.7 | 58.7 | 63.7 | 23 | 23 | 62.1 | 10.5 | -12.2 | 72.6 | 49.9 |
| 5 | 6 | 61.0 | -13.7 | 16.0 | 47.3 | 77.0 | 23 | 24 | 62.1 | 7.7 | -9.0 | 69.8 | 53.1 |
| 6 | 6 | 61.6 | -13.7 | 16.0 | 47.9 | 77.6 | 24 | 24 | 62.0 | 7.7 | -9.0 | 69.7 | 53.0 |
| 6 | 7 | 61.6 | -22.1 | 25.8 | 39.5 | 87.4 | 24 | 25 | 62.0 | 2.3 | -2.7 | 64.3 | 59.3 |
| 7 | 7 | 62.0 | -22.1 | 25.8 | 39.9 | 87.8 | 25 | 25 | 62.0 | 2.3 | -2.7 | 64.3 | 59.3 |
| 7 | 8 | 62.0 | -26.1 | 30.5 | 35.9 | 92.5 | 25 | 26 | 62.0 | -5.1 | 6.0 | 56.9 | 68.0 |
| 8 | 8 | 62.3 | -26.1 | 30.5 | 36.2 | 92.8 | 26 | 26 | 62.1 | -5.1 | 6.0 | 57.0 | 68.1 |
| 8 | 9 | 62.3 | -25.7 | 30.0 | 36.6 | 92.3 | 26 | 27 | 62.1 | -13.6 | 15.8 | 48.5 | 77.9 |
| 9 | 9 | 62.4 | -25.7 | 30.0 | 36.7 | 92.4 | 27 | 27 | 62.2 | -13.6 | 15.8 | 48.6 | 78.0 |
| 9 | 10 | 62.4 | -21.4 | 25.0 | 41.0 | 87.4 | 27 | 28 | 62.2 | -21.4 | 25.0 | 40.8 | 87.2 |
| 10 | 10 | 62.2 | -21.4 | 25.0 | 40.8 | 87.2 | 28 | 28 | 62.4 | -21.4 | 25.0 | 41.0 | 87.4 |
| 10 | 11 | 62.2 | -13.6 | 15.8 | 48.6 | 78.0 | 28 | 29 | 62.4 | -25.7 | 30.0 | 36.7 | 92.4 |
| 11 | 11 | 62.1 | -13.6 | 15.8 | 48.5 | 77.9 | 29 | 29 | 62.3 | -25.7 | 30.0 | 36.6 | 92.3 |
| 11 | 12 | 62.1 | -5.1 | 6.0 | 57.0 | 68.1 | 29 | 30 | 62.3 | -26.1 | 30.5 | 36.2 | 92.8 |
| 12 | 12 | 62.0 | -5.1 | 6.0 | 56.9 | 68.0 | 30 | 30 | 62.0 | -26.1 | 30.5 | 35.9 | 92.5 |
| 12 | 13 | 62.0 | 2.3 | -2.7 | 64.3 | 59.3 | 30 | 31 | 62.0 | -22.1 | 25.8 | 39.9 | 87.8 |
| 13 | 13 | 62.0 | 2.3 | -2.7 | 64.3 | 59.3 | 31 | 31 | 61.6 | -22.1 | 25.8 | 39.5 | 87.4 |
| 13 | 14 | 62.0 | 7.7 | -9.0 | 69.7 | 53.0 | 31 | 32 | 61.6 | -13.7 | 16.0 | 47.9 | 77.6 |
| 14 | 14 | 62.1 | 7.7 | -9.0 | 69.8 | 53.1 | 32 | 32 | 61.0 | -13.7 | 16.0 | 47.3 | 77.0 |
| 14 | 15 | 62.1 | 10.5 | -12.2 | 72.6 | 49.9 | 32 | 33 | 61.0 | -2.3 | 2.7 | 58.7 | 63.7 |
| 15 | 15 | 62.3 | 10.5 | -12.2 | 72.8 | 50.1 | 33 | 33 | 60.3 | -2.3 | 2.7 | 58.0 | 63.0 |
| 15 | 16 | 62.3 | 11.0 | -12.8 | 73.3 | 49.5 | 33 | 34 | 60.3 | 10.3 | -12.0 | 70.6 | 48.3 |
| 16 | 16 | 62.6 | 11.0 | -12.8 | 73.6 | 49.8 | 34 | 34 | 59.6 | 10.3 | -12.0 | 69.9 | 47.6 |
| 16 | 17 | 62.6 | 9.9 | -11.5 | 72.5 | 51.1 | 34 | 35 | 59.6 | 21.6 | -25.2 | 81.2 | 34.4 |
| 17 | 17 | 62.8 | 9.9 | -11.5 | 72.7 | 51.3 | 35 | 35 | 59.1 | 21.6 | -25.2 | 80.7 | 33.9 |
| 17 | 18 | 62.8 | 8.1 | -9.5 | 70.9 | 53.3 | 35 | 36 | 59.1 | 29.5 | -34.4 | 88.6 | 24.7 |
| 18 | 18 | 62.9 | 8.1 | -9.5 | 71.0 | 53.4 | 36 | 36 | 58.8 | 29.5 | -34.4 | 88.3 | 24.4 |
| 18 | 19 | 62.9 | 6.5 | -7.5 | 69.4 | 55.4 | 36 | 1 | 58.8 | 32.3 | -37.6 | 91.1 | 21.2 |

表 2.14.1.1-92 より，最大外縁応力度 σ_{omax} と最大内縁応力度 σ_{imax} は下の通り。

最大外縁応力度 $\sigma_{\text{omax}} = 91.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

最大内縁応力度 $\sigma_{\text{imax}} = 92.8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$\sigma_{\text{omax}} = 91.1 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{\text{imax}} = 92.8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ より， $\sigma_{\text{imax}} = 92.8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ が最大圧縮応力度となる。

許容圧縮応力度は $215 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ であり，

$$92.8 \text{ (N/mm}^2\text{)} < 215 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

放水設備の要求事項に関する補足説明（水理計算）

希釈後の ALPS 処理水の放水設備は、放水立坑内の堰を越流した水を、放水立坑（下流水槽）と発電所港湾外海面との水頭差により、約 1 km 離れた放水口まで移送する設計とする。また、放水設備における摩擦損失や水位上昇等を考慮した設計とした。

放水立坑や放水トンネル等の構造物については、別項で示す設計により決まるため、ここでは設計された構造物において水理計算を実施し、所定の放水量を確保できるか評価を行った。

1. 検討条件

1.1 水路寸法

水理計算に用いる縦断線形および諸構造物の寸法は、別項にて記載した。水理計算に用いた諸元一覧表を表 2.14.1.2-1 に示す。

1.2 計算条件

水理計算は通常運転時および海水移送ポンプが地震・津波等で異常停止した時の 2 つの運転状態にて検討する。

(1) 通常運転時

通常運転時の水理計算に用いる計算条件は表 2.14.1.2-2 に示す 2 ケースとする。

① 運転条件

海水移送ポンプについては、通常時、1 台あたり定格流量 $2\text{m}^3/\text{s}$ の 2 台運転であるが、万が一、海水移送ポンプ 1 台が停止または点検等の際を考慮し予備を 1 台用意し、計 3 台設置する。したがって、海水移送ポンプ 2 台運転時 ($4\text{m}^3/\text{s}$) に加え、保守的に 3 台運転時 ($6\text{m}^3/\text{s}$) についても検討した。

② 潮位条件

潮位については、高水位時として朔望平均満潮位 (HWL : T.P.+0.757)、低水位時として朔望平均干潮位 (LWL : T.P.-0.778) を用いる。

③ 壁面条件（貝代、粗度係数）

放水立坑や放水トンネル内の壁面については、貝等の付着による壁面摩擦（粗度係数）の増大、ならびに貝の付着による水路断面欠損（貝代）を考慮する。

水路の壁面は、海水に接する環境が継続することで貝等の海生生物が付着し、壁面粗度の上昇と水路断面の欠損が見られる。壁面粗度上昇による壁面摩擦の増大ならびに貝付着による水路断面の欠損は、発電所の運転に支障をきたす恐れがあることから、水理計算の際は、貝代および粗度係数を考慮している。

青字：既認可からの変更

表2.14.1.2-1 水理計算数量諸元一覧

| 区間 | 位置 | 測量座標 m | 距離 m | 累積距離 m | 位置区分 | 掘削勾配 | 地上・海底 標高 T.P.(m) | 岩盤 上限 勾配 | 岩盤上限 標高 T.P.(m) | 掘削 | | 内空 | | 水路 | | | |
|---------------|------|-----------|---------|-----------|------|-------|------------------------|----------------|-----------------------|------------|-------------|------------|-------------|----|---------|---------|-----|
| | | | | | | | | | | 敷高 TP m | 頂版高 TP m | 敷高 TP m | 頂版高 TP m | 形状 | 内径 m | 内幅 m | |
| 上流水槽 | | | 50.000 | 0.000 | 陸域 | | 2.50 | | -3.70 | | | -1.50 | 4.50 | 立坑 | 矩形 | - | 8.0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 堰部 | | | 2.300 | 50.000 | 陸域 | | 2.50 | | -3.70 | | | 2.50 | 4.50 | 堰 | " | - | 8.0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 下流水槽 | | | 5.000 | 52.300 | 陸域 | | 2.50 | | -3.70 | | | -12.70 | 4.50 | | " | - | 8.0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 水槽壁 | | | 1.500 | 57.300 | 陸域 | 0.0% | 2.50 | 3.6% | -3.70 | | -12.386 | -12.21 | -9.62 | | 円形 | 2.59 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| トンネル取付 水平部 | | -201.0 | 15.000 | 58.800 | 海底 | 0.0% | -5.00 | 3.6% | -3.75 | | -12.386 | -12.21 | -9.62 | | " | 2.59 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 斜路部1 | CP1 | -186.0 | 250.020 | 73.800 | 海底 | 3.6% | -7.00 | 3.6% | -13.29 | | -21.387 | -21.21 | -18.62 | | " | 2.59 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 斜路部2 | CP2' | 226.0 | 162.030 | 485.850 | 海底 | 3.6% | -9.00 | 3.6% | -13.29 | | -27.220 | -27.04 | -24.45 | | " | 2.59 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 水平部1 | CP4 | 652.8 | 426.798 | 485.850 | 海底 | 0.0% | -9.00 | 0.0% | -13.29 | | -27.220 | -27.04 | -24.45 | | " | 2.59 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 水平部2 | CP4' | 652.8 | 11.992 | 912.648 | 海底 | 0.0% | -12.00 | 0.0% | -18.31 | | -27.220 | -27.04 | -24.45 | | " | 2.59 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 斜路部3 | CP6 | 664.8 | 159.320 | 924.640 | 海底 | -4.9% | -12.00 | -4.9% | -18.31 | | -27.220 | -27.04 | -24.45 | | " | 2.59 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 放水口 取付部 | | | 1.719 | 1083.960 | 海底 | -4.9% | -12.20 | -4.9% | -11.89 | | -19.413 | -19.23 | -16.64 | | " | 2.59 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 放水口 ケーン | | | 7.031 | 1085.679 | 海底 | 0.0% | -11.89 | 0.0% | -11.89 | | -20.89 | -12.59 | -12.59 | 矩形 | 8.30 | 8.0 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 放水口 | | | 2.700 | 1092.710 | 海底 | | -11.89 | | -11.89 | | -12.59 | - | - | " | - | 2.5 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 出口 | | | | 1095.410 | | | | | | | | | | | | | |

表 2.14.1.2-2 水理計算条件一覧（通常運転時）

| | | ケース1 | ケース2 |
|------|--------|---------------------------|--------------------|
| 運転条件 | 台数 | 2台 | 3台 |
| | 流量 | 4m ³ /s | 6m ³ /s |
| 潮位条件 | | 朔望平均満潮位HWL T.P.+0.757m | |
| 壁面条件 | 粗度係数 | 0.02 | |
| | 貝代 | 10cm | |
| 水路条件 | 水路外径 | 295mm | |
| | セグメント厚 | 180mm | |
| | 水路内径 | 2590mm | |

火力・原子力発電所土木構造物の設計（増補改訂版）（一社）電力土木技術協会に記載の既設発電所における取放水路の設計貝代・粗度係数について、表 2.14.1.2-3 に示す。これによると、当社および他地点の原子力・火力発電所取放水路の貝代、粗度係数の設定値は、各地点によってさまざまであり、これは対象地点の貝繁殖環境や発電所燃料冷却への影響（燃料冷却に影響を及ぼす取水路の方が放水路に比べ設定値が大きい）等によるものである。特に、瀬戸内海や内湾に位置する発電所は貝の生育が盛んであるため、粗度係数を高く設定している（0.025~0.027）が、その他の発電所における設定値は 0.012~0.02 である。

福島第一原子力発電所の放水路の貝付着状況については、6号機放水口～放水室マンホールまでの約 50m の区間において付着物の分布を調べた結果、放水路側面で最大 10cm の付着物を確認した。

また、表 2.14.1.2-4 に示す水理公式集 2018 年（公社）土木学会によると、暗渠におけるコンクリートの粗度係数は 0.01~0.02 と示されている。

以上より、放水設備の水理設計に用いる貝代・粗度係数をそれぞれ、貝代 10cm、粗度係数 0.02 を設定した。

表 2.14.1.2-3 取放水路の貝の付着代と粗度係数

| 種類 | 取放水路の形式 | 貝代 (cm) | 粗度係数 |
|-----|---------|-------------------------------|---------------------------------|
| 取水路 | 暗渠 | 0.0~20.0 (0.0,5.0,10.0が多い) | 0.014~0.027 (0.015,0.020が多い) |
| | 管路 | 0.0~10.0 | 0.015~0.018 |
| 放水路 | 暗渠 | 0.0~20.0 (0.0が多い) | 0.014~0.027 |
| | トンネル | 0.0~20.0 (0.0が多い) | 0.014~0.027 |

※火力・原子力発電所土木構造物の設計 (増補改訂版) (一社) 電力土木技術協会より整理

表 2.14.1.2-4 Manning の粗度係数一覧表

| 水路の形式 | 材料および潤辺の性質 | n の範囲 | n の標準値 | |
|-------|--------------|-------------|-------------|-------|
| 暗きよ | 真ちゅう | 0.009~0.013 | 0.010 | |
| | 溶接鋼管 | 0.010~0.014 | 0.012 | |
| | リベット鋼管 | 0.013~0.017 | 0.016 | |
| | 鑄鉄 | 塗装 | 0.010~0.014 | 0.013 |
| | | 塗装なし | 0.011~0.016 | 0.014 |
| | コルゲート鋼管 (大型) | 0.021~0.031 | 0.024 | |
| | 合成樹脂 | 0.008~0.010 | 0.009 | |
| | ガラス | 0.009~0.013 | 0.010 | |
| | モルタル | 0.011~0.015 | 0.013 | |
| | コンクリート | 0.010~0.020 | 0.014 | |

※水理公式集 2018年 (公社) 土木学会より

④形状損失

管路の断面形状が急変する場合、急変部における圧力勾配の局所的な逆転などのため、はく離渦が発生して、局所的に水頭の損失が生じる。このような損失を形状損失という。

ここでは、放水トンネル線形の変化点における屈折の損失、放水トンネルと放水口ケーソン接続部での急拡による損失、放水口ケーソン内での曲がりによる損失、放水口ケーソンと放水口ケーソン出口部における急縮による損失、放水口ケーソン出口から外洋に放水される際の流出による損失の5つの損失を考慮した設計を行う。

- ・ 屈折による損失 (水理公式集 2018年 (公社) 土木学会)

$$h_{be} = f_{be} \frac{V^2}{2g}$$

$$f_{be} = 0.94 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2.5 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

ここに、 h_{be} ：屈折による損失水頭(m)、 f_{be} ：屈折損失係数、 V ：管内断面平均流速(m/s)、 θ ：屈折角である。

- ・急拡による損失（水理公式集 2018年（公社）土木学会）

$$h_{se} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g} = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\right]^2 \frac{V_1^2}{2g} = f_{se} \frac{V_1^2}{2g}$$

ここに、 h_{se} ：急拡による損失水頭(m)、 f_{se} ：急拡損失係数、 V_1 、 V_2 ：急拡前後の管内断面平均流速(m/s)、 A_1 、 A_2 ：急拡前後の管断面積(m²)、 D_1 、 D_2 ：急拡前後の管径(m)である。図 2.14.1.2-1 に概念図を示す。

- ・急縮による損失（水理公式集 2018年（公社）土木学会）

$$h_{sc} = \left(\frac{1}{C_c}\right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g}$$

ここに、 h_{sc} ：急縮による損失水頭(m)、 C_c ：縮流係数、 f_{sc} ：急縮損失係数、 V_1 、 V_2 ：急縮前後の管内断面平均流速(m/s)、 A_1 、 A_2 ：急縮前後の管断面積(m²)である。図 2.14.1.2-2 に概念図を示す。

図 2.14.1.2-2 のように断面が急縮する場合、急縮部下流において流水断面が $C_c A_2$ に縮小してから、 A_2 の面積に拡大するとして h_{sc} が求められる。

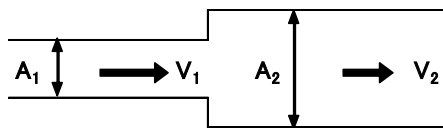


図 2.14.1.2-1 急拡管

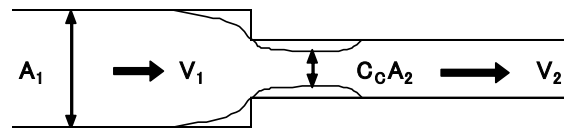


図 2.14.1.2-2 急縮管

(2) 異常停止時

地震・津波等発生による海水移送ポンプ異常停止に伴い、水槽およびトンネル内においてサージング（逆流）の発生が懸念されるため、異常停止時の水理計算を実施した。

① 運転条件

海水移送ポンプについては、通常時 2 台運転であるが、より保守的な 3 台運転時を運転条件とした。

② 潮位条件

潮位については高水位時として朔望平均満潮位（HWL）T.P.+0.757 を用いた。

③ 解析手法

海水移送ポンプが急停止した際の水槽内の水位変動を算出するため、非定常次元管路流れモデルを適用する。これは、図 2.14.1.2-3 のようにピットと管路の 2 要素を用い

て取放水路をモデル化し、ピット水位および管路内平均流速の 2 変数を時間発展で求める方法である。なお、この方法では、管路は常に満管の条件が前提となる。

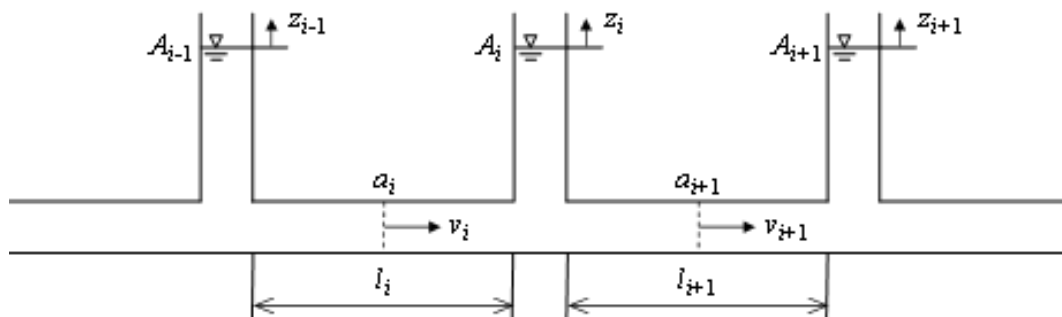


図 2.14.1.2-3 一次元管路流れモデル

④放流施設のモデル化

放水立坑から放水口までの区間は、堰部を除き、水路天端高が海水面に対して低く、満管状態と考えられるため、放水路の水理応答解析には非定常一次元管路流れモデルを適用した。

ここで使用する「非定常一次元管路流れモデル」は、管路（堰を含む）、ピットの 2 種類の要素で構成される。放水施設の水路モデルを図 2.14.1.2-4 に示す。

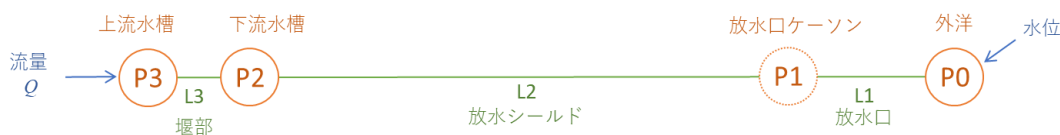


図 2.14.1.2-4 水路モデル

⑥境界条件

希釈後の ALPS 処理水の流量を放水立坑（上流水槽）へ流入させた。計算開始時には流入によって変動が発生するため、放水立坑内の水面が十分安定し定常状態となった後、流入量の変動を入力した。本計算では、定常解析の結果に基づき、計算開始から 1200 秒後に海水移送ポンプ流量の変動を入力した。

⑦摩擦損失

摩擦損失係数は、0.015（貝代なし）とした。予備検討を行った結果、サージングによる水位上昇は、貝代なしの場合により大きくなることを確認した。

⑧形状損失

(1) 通常運転時 ④形状損失と同様にする。

⑨波浪条件

波浪条件は、50 年確率有義波高 7.0m の設計波高を設定する。

2. 通常運転時の水理計算結果

表 2.14.1.2-5 に通常運転時の水理計算結果（放水立坑（上流水槽・下流水槽）の水位）を示す。また、表 2.14.1.2-6～9 に水理計算結果の詳細を示す。

放水立坑（下流水槽）は、放水トンネル、放水口を通じて外洋の潮位と連動する構造となるが、海水移送ポンプ 3 台運転時の最も流量が多い条件においても、放水立坑（下流水槽）と海底面の水頭差（1.64m：放水立坑（下流水槽）～放水口の損失合計）により、希釈後の ALPS 処理水を自然流下可能であることを確認した。

また、海水移送ポンプ 3 台運転、朔望平均満潮位（HWL）時において、放水立坑（下流水槽）の水位は T.P.+2.40m で堰部天端 T.P.+2.50m および放水立坑（下流水槽）天端 T.P.+4.50m を超えないことを確認した。

したがって、放水立坑（上流水槽）の水位は、放水立坑（下流水槽）の水位によらず、堰部での越流水深と放水立坑（上流水槽）内の摩擦損失のみで決まることを確認した。また、その時の最大水位 T.P.+3.11m は放水立坑（上流水槽）の天端 T.P.+4.50m を超えないことを確認した。

表 2.14.1.2-5 通常運転時の水理計算結果（放水立坑の水位）

| ケース | 運転条件 (ポンプ流量) | 放水立坑 (上流水槽) | 放水立坑(下流水槽) | | トンネル内流速 (平均流速) |
|-----|--------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| | | | HWL(T.P.+0.76m) | LWL(T.P.-0.78m) | |
| 1 | 2台(4.0m ³ /s) | T.P.+2.97m | T.P.+1.49m | T.P.-0.05m | 0.89m/s |
| 2 | 3台(6.0m ³ /s) | TP.+3.11m | T.P.+2.40m | T.P.+0.86m | 1.34m/s |

3. 異常停止時の検討結果

海水移送ポンプの異常停止時（地震，津波，高波浪時等）に伴う，水槽およびトンネル内における水位変動（サージング）を計算した結果，放水立坑（下流水槽）での水位上昇は T.P.+2.4m となった。放水立坑（上流水槽）と放水立坑（下流水槽）を分ける堰部の天端高さは T.P.+2.5m であることから，水位変動による放水立坑（下流水槽）側から放水立坑（上流水槽）側への越水はないため，放水立坑（上流水槽）側の水位は T.P.+2.5m となる。また，放水立坑（上流水槽）と放水立坑（下流水槽）の天端高さは共に T.P.+4.5m であることから，放水立坑からの溢水のないことを確認した。

以上

2.14.2 自然現象に対する設計上の考慮 への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

②自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して，耐震設計上の区分がなされるとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物，系統及び機器は，予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件，又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。

2.14.2.1 措置を講ずべき事項への適合方針

(1) 地震に対する設計上の考慮

ALPS 処理水希釈放出設備を構成する機器は，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

(2) 地震以外に想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）に対する設計上の考慮

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計とする。

2.14.2.2 対応方針

2.14.2.2.1 自然現象に対する設計上の考慮

施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

○自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。また、確保できない場合は必要に応じて多様性を考慮した設計とする。
- ・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれないものとする。その際、必要に応じて多様性も考慮する。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮したものとする。

(実施計画：II-1-14-1)

2.14.2.2.2 自然現象に対する ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設計上の考慮

2.14.2.2.2.1 地震に対する ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設計上の考慮

放水設備を構成する設備は、ALPS 処理水希釈放出設備の排水（海水で希釈して、トリチウムを含む全ての放射性核種の告示濃度比総和が 1 を下回った水）を取り扱うことを踏まえ、耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

(実施計画：II-2-50-7)

(1) 耐震性の基本方針

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は、耐震 C クラスの設備に要求される地震動に対して必要な強度を確保する。耐震性の評価においては原則、構築物（間接支持構造物含む）は 1.0Ci、機器は 1.2Ci の水平方向設計震度を適用する。また、主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準について実態に合わせたものを採用する。なお、ALPS 処理水希釈放出設備に使用する耐圧ホース、ポリエチレン管等については、材料の可撓性により耐震性を確保する。

(実施計画：II-2-50-添3-2)

放水設備は、ALPS 処理水希釈放出設備の排水（海水で希釈して、トリチウムを含む全ての放射性核種の告示濃度比総和が 1 を下回った水）を取り扱うことを踏まえ、設備等の機能喪失による公衆への放射線影響の程度により、耐震 C クラスと位置付けられる。そのため、耐震 C クラスの設備に要求される地震力に耐えられる設計とする。

(実施計画：II-2-50-添5-2, 計算結果は「2.14.1 準拠規格及び基準への適合性」参照)

2.14.2.2.3 地震以外に想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）に対する ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設計上の考慮

放水設備は，地震以外の想定される自然現象（津波，台風）によって施設の安全性が損なわれない設計とする。

（実施計画：II-2-50-7）

(1) 津波

放水設備は，津波に対する浸水は不可避であることから，復旧性に応じて，耐波圧性を有する設計とする。

（実施計画：II-2-50-添2-8~9）

(2) 台風（強風，高潮）

なお，放水立坑（上流水槽）及び放水設備は，台風（高潮）で海面が上昇することによる影響についても考慮した設計とするとともに，高潮警報が発生した場合には，沿岸から1km離れた海洋へ放出ができないおそれがあるため，運転員が手動により免震重要棟集中監視室から海洋放出を停止できる設計とする。

（実施計画：II-2-50-添2-9）

放水設備の自然現象に対する設計上の考慮に関する補足説明（放水トンネル）

1. 設計概要

「2.14.2 自然現象に対する設計上の考慮への適合性」に基づき、許容応力度法により、地震時における放水立坑（下流水槽）および放水ロケソンと覆工板の接続部の耐震性を照査する。

放水トンネルは、リング継手により放水立坑（下流水槽）および放水ロケソンと接続される構造である。このため、地震時における応答が異なり、放水トンネルと放水立坑（下流水槽）および放水ロケソンの接続部には相対変位が生じる。

また、地中構造物の地震時の挙動は地盤変形の影響を強く受けるため、これを考慮した解析手法^{※1}を用いる必要がある。

以上より、地中構造物および周辺地盤の地震時における挙動を解析することができる2次元 FEM 解析を実施し、解析から得られた放水トンネルと放水立坑（下流水槽）および、放水トンネルと放水ロケソンの相対変位 Δ を接続部のリング継手の接続ボルトに与え、接続ボルトの作用応力度が許容応力度以内であることを確認することで、耐震性の照査を行う。

※1：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説／[シールド工法編]・同解説，2016年制定，（公社）土木学会（以下、「トンネル標準示方書」という）

2. 解析手法と解析モデル

2.1 相対変位量の算出

変位量の算出に用いる解析手法は、2次元 FEM 解析による応答震度法であり、地震時の地盤慣性力を解析モデルの各要素に与える。

解析モデルは、2次元 FEM 解析を実施するため、周辺地盤、放水立坑（下流水槽）および放水ロケソンを平面ひずみ要素、放水トンネルを梁要素としてモデル化したものである。解析領域は、下方は基盤面位置、側方は、基盤面位置までの地盤深さを H としたとき、 $5.0H$ を設定した。境界条件は、下方は剛結とし、側方は鉛直方向に動くことを許すピンローラー支承とした。

2.2 相対変位量と接続ボルト

接続ボルトには、2次元 FEM 解析により得られた相対変位量 Δ に抵抗するためのせん断力 S および引張力 P が生じる。これらを接続ボルトの有効断面積 A で除し、次式のとおり接続ボルトの許容せん断応力度および、許容引張応力度以内であることを確認する。

(1) トンネル軸直角方向の応力度照査

$$S=K_s \cdot \Delta$$
$$\tau = \frac{S}{A} < \tau_a$$

ここに、

Δ : 相対変位量 (m)

k_s : 接続ボルトのせん断ばね定数 (N/m)

τ : 接続ボルトのせん断応力度 (N/mm²)

τ_a : 接続ボルトの許容せん断応力度 (N/mm²)

A : 接続ボルトの有効断面積 (mm²)

(2) トンネル軸方向の応力度照査

$$P=K_v \cdot \Delta$$
$$\sigma = \frac{P}{A} < \sigma_a$$

ここに、

Δ : 相対変位量 (m)

k_v : 接続ボルトの引張ばね定数 (N/m)

σ : 接続ボルトの引張応力度 (N/mm²)

σ_a : 接続ボルトの許容引張応力度 (N/mm²)

A : 接続ボルトの有効断面積 (mm²)

接続ボルトのせん断ばね定数 K_s および、接続ボルトの引張ばね定数 K_v は、「小口径セグメント用スクリューボルト (M16) の開発, 平成 22 年, 土木学会第 65 回年次学術講演会」により設定した。これは、放水トンネルに用いるリング継手である、小口径セグメント用スクリューボルト (M16) を試験し K_s および K_v を定めたものである。表 2.14.2.2-1 に接続ボルトの諸元を示す。

ボルトの強度計算にあたっては、せん断ボルトとして使用する場合、ボルトの軸断面積 (>有効断面積) を用いる^{*2}が、リング継手に用いる接続ボルトは、ボルトのせん断破壊が生じる場合、ボルトの胴部ではなく、ねじ部でせん断破壊するため、せん断および引張応力度照査の両者に有効断面積を用いた。なお、有効断面積は「JIS B 1082:2009 ねじの有効断面積及び座面の負荷面積」に示されている値を用いた。

表 2.14.2.1-1 接続ボルト (M16) の諸元

| ボルト 強度区分 | ピッチ (並目ねじ) (mm) | せん断ばね定 数 K_s (kN/m) | 引張ばね定 数 K_v (kN/m) | 許容せん断 応力度 $\tau_a^{※}$ (N/mm ²) | 許容引張 応力度 $\sigma_a^{※}$ (N/mm ²) | 有効断面積 $A^{※}$ (mm ²) |
|-------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------------------|
| 10.9 | 2 | 45,000 | 60,000 | 405 | 570 | 157 |

※2:「シールド工事事用標準セグメント, 2001年改訂, (社)日本下水道協会」
(以下,「標準セグメント」という)より

3. 検討ケースと検討位置

放水トンネルの軸直角方向および, 放水トンネルの軸方向の2ケースの検討断面を設定した。検討位置は, 発進部(放水トンネルと下流水槽の接続部)と, 到達部(放水トンネルと放水ロケーションの接続部)の2か所である。図 2.14.2.1-1 および図 2.14.2.1-2 に, 放水トンネル軸直角方向における発進部の検討モデル図, 図 2.14.2.1-3 および図 2.14.2.1-4 に同方向における到達部の検討モデル図, 図 2.14.2.1-5 および図 2.14.2.1-6 に放水トンネル軸方向における発進部の検討モデル図, ならびに, 図 2.14.2.1-7 および図 2.14.2.1-8 に同方向における到達部の検討モデル図を示す。

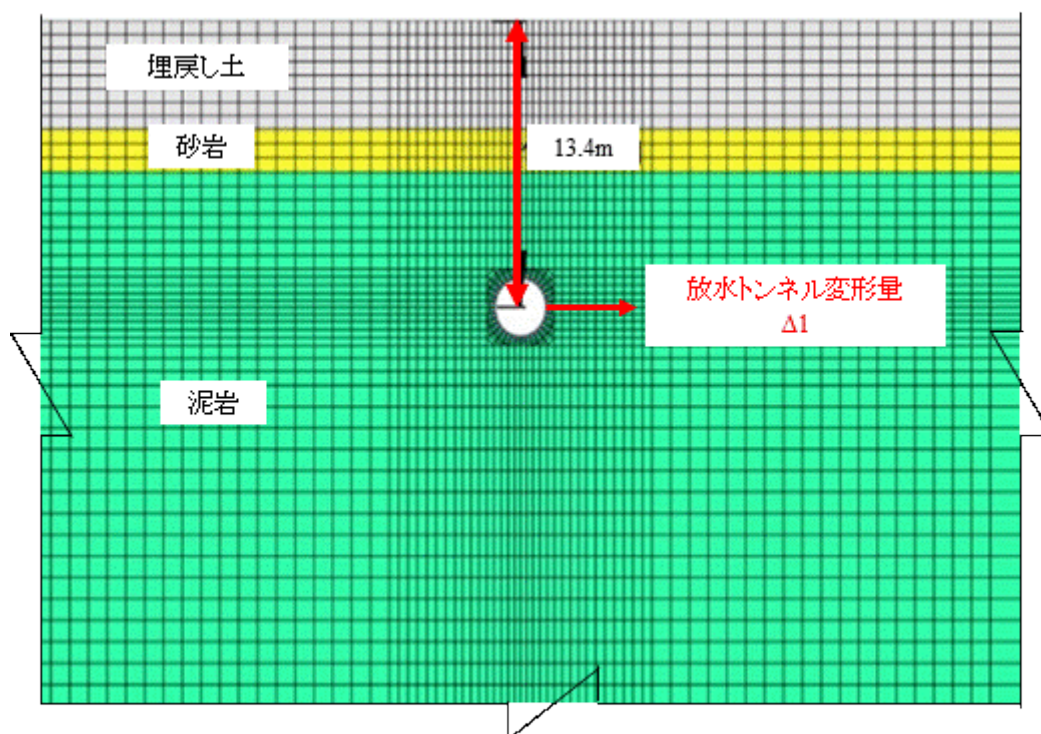


図 2.14.2.1-1 放水トンネル軸直角方向における発進部の検討モデル図
(発進部検討位置から放水ロケーション側を見たときの断面)

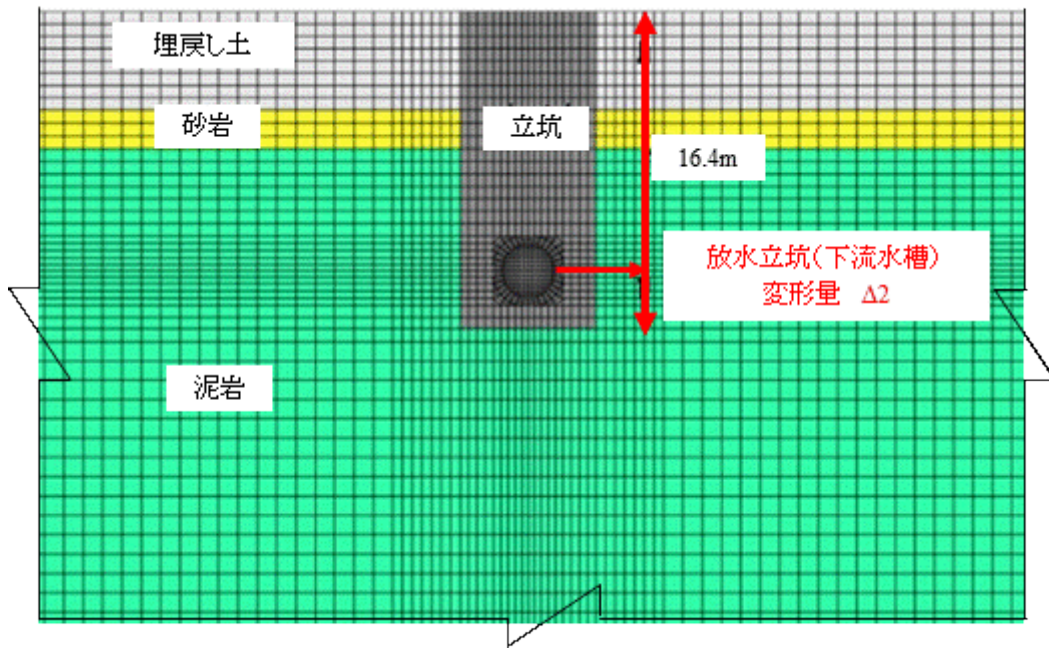


図 2.14.2.1-2 放水トンネル軸直角方向における発進部の検討モデル図
 (発進部検討位置から放水立坑 (下流水槽) 側を見たときの断面)

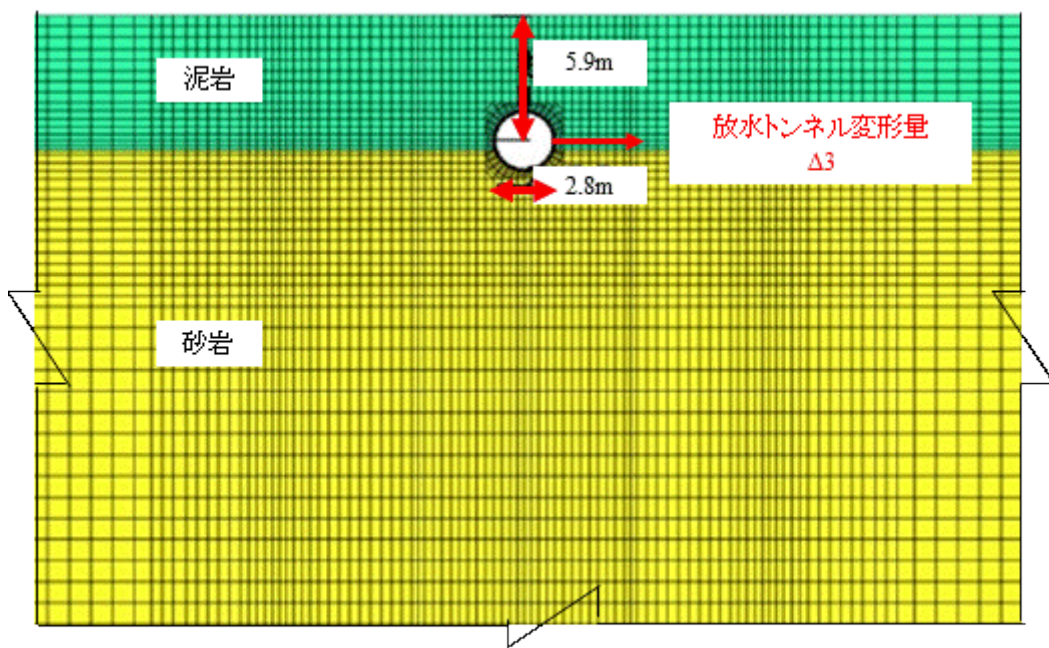


図 2.14.2.1-3 放水トンネル軸直角方向における到達部の検討モデル図
 (到達部検討位置から放水立坑 (下流水槽) 側を見たときの断面)

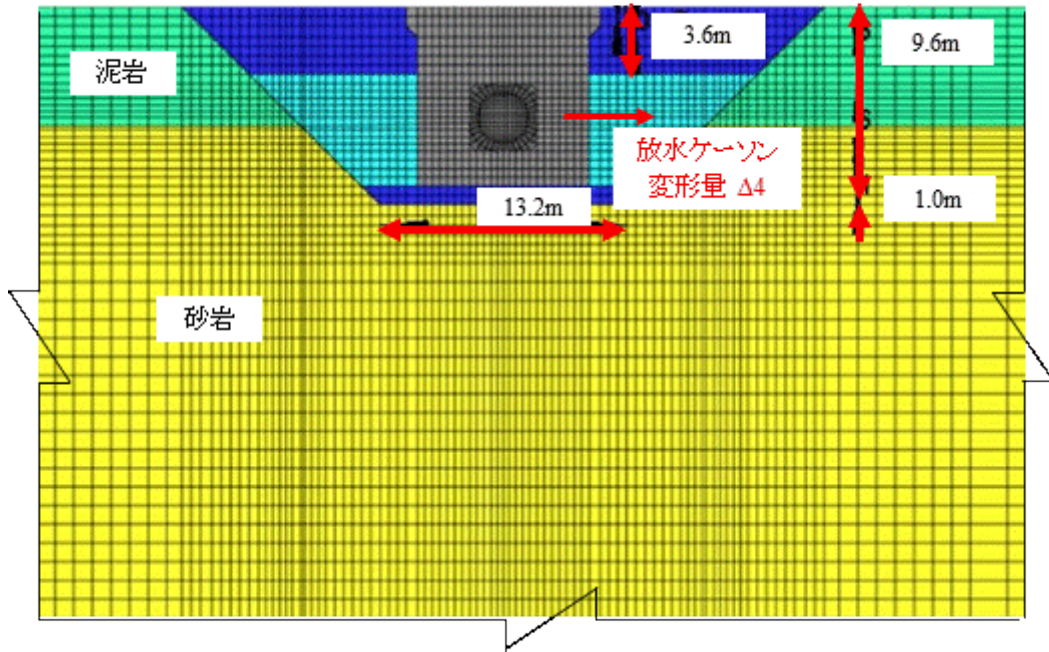


図 2.14.2.1-4 放水トンネル軸直角方向における到達部の検討モデル図
(到達部検討位置から放水ロケーソン側を見たときの断面)

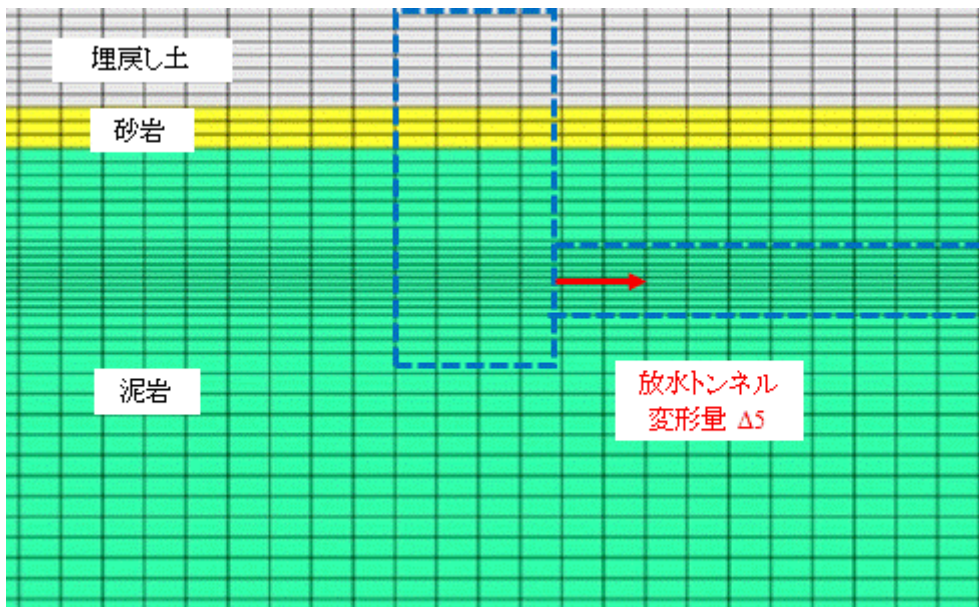


図 2.14.2.1-5 放水トンネル軸方向における発進部の検討モデル図
(放水トンネル)

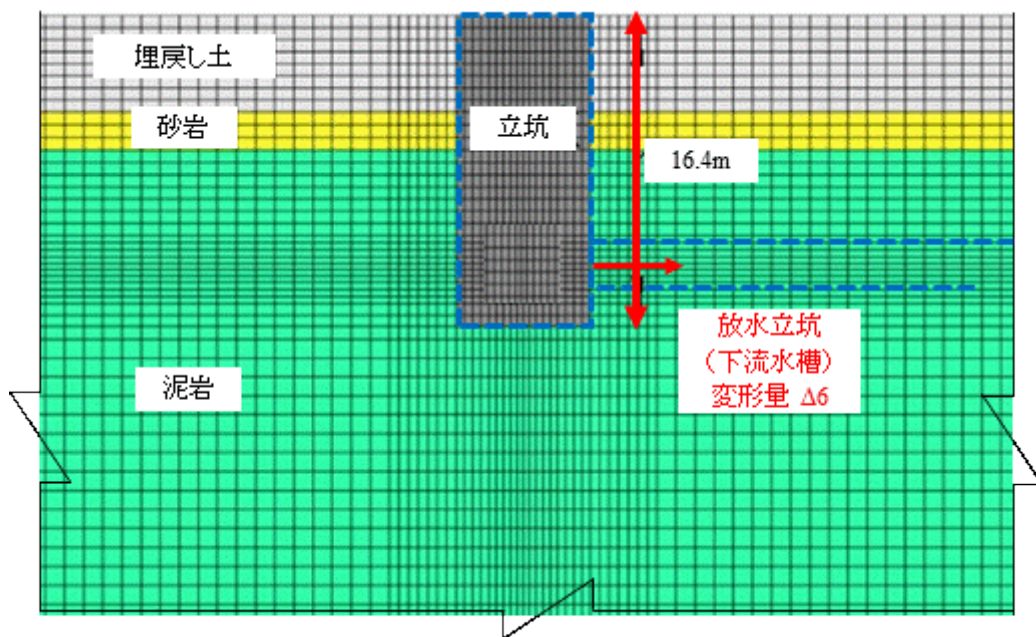


図 2.14.2.1-6 放水トンネル軸方向における発進部の検討モデル図
(放水立坑 (下流水槽))

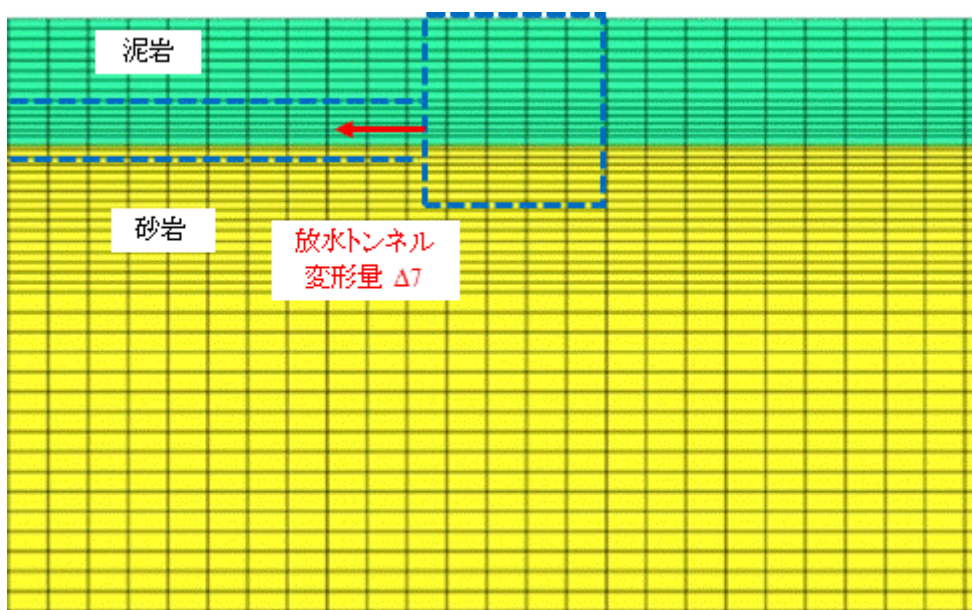


図 2.14.2.1-7 放水トンネル軸方向における到達部の検討モデル図
(放水トンネル)

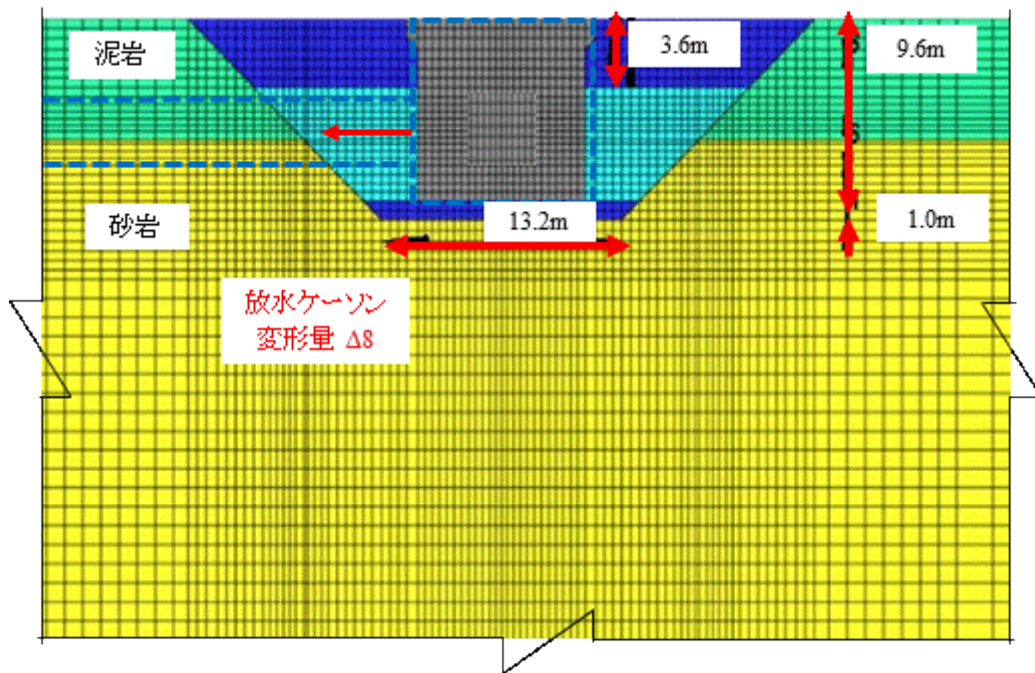


図 2.14.2.1-8 放水トンネル軸方向における到達部の検討モデル図
(放水口ケーソン)

なお、放水トンネル軸方向の変位検討時においては、放水トンネルは周辺地盤よりも剛性が大きく変形しにくいいため、安全側に放水トンネルはモデル化していない。リング継手の接続ボルトの引張応力度照査には、軸方向放水トンネルの位置における地盤と放水立坑（下流水槽）の相対変位（ $=|\Delta 5-\Delta 6|$ ）および、放水トンネルの位置における地盤と放水口ケーソンの相対変位（ $=|\Delta 7-\Delta 8|$ ）を用いた。

4. 設計条件

4.1 使用材料

4.1.1 覆工板

覆工板の材料は普通コンクリート（普通ポルトランドセメント，高炉セメントB種）である。材料条件および諸元を以下に示す。

- ・コンクリート設計基準強度 $f_{ck}=42 \text{ N/mm}^2$
- ・ヤング係数 $E_c=3.3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
- ・ポアソン比 $\nu=0.20$
- ・単位体積重量 $\gamma=26.0 \text{ kN/m}^3$
- ・桁高 $t=0.180 \text{ m}$
- ・断面積 $A=0.180000 \text{ m}^2/\text{m}$
- ・断面二次モーメント $I=0.000486 \text{ m}^4/\text{m}$

4.1.2 放水立坑（下流水槽）および放水ロケーション

放水立坑（下流水槽）および放水ロケーションの材料は普通コンクリート（普通ポルトランドセメント）である。材料条件，諸元を以下に示す。放水ロケーション周りの砕石・モルタル・水中コンクリートの物性値は放水ロケーションと同じものとする。

- ・コンクリート設計基準強度 $f_{ck}=24 \text{ N/mm}^2$
- ・ヤング係数 $E_c=2.5 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
- ・ポアソン比 $\nu=0.20$
- ・単位体積重量 $\gamma=24.5 \text{ kN/m}^3$

4.2 土質定数

設計に用いた土質定数および単位体積重量を表 2.14.2.1-2 に示す。

表 2.14.2.1-2 土質定数

| No. | 土層名 | 変形係数 E0(kN/m ²) | 単位体積重量 γ(kN/m ³) | ポアソン比 ν |
|-----|----------|--------------------------------|---------------------------------|------------|
| 1 | 埋戻土 | 17,700 | 18.0 | 0.33 |
| 2 | T3 部層 砂岩 | 94,400 | 18.4 | 0.48 |
| 3 | T3 部層 泥岩 | 506,000 | 17.1 | 0.47 |

4.3 単位体積重量

設計に用いた単位体積重量を表 2.14.2.1-3 に示す。

表 2.14.2.1-3 単位体積重量

| 材料 | 単位体積重量 (kN/m ³) |
|----------|-----------------------------|
| 鉄筋コンクリート | 24.5 |
| 地盤 | 表 2.14.2.1-2 参照 |
| 水 (海水) | 10.3 |

4.4 水位

供用時を想定し、放水トンネル内が満水の状態で検討を行う。

4.5 荷重条件

考慮する荷重は、設計水平震度 $K_h=0.2$ を解析モデルの各要素に与えた際の地震時慣性力である。各要素に対応する地盤物性値や単位体積重量などを与え、各要素が持つ荷重を設定している。また、放水トンネル内が満水の状態を想定するため、動水圧荷重を節点荷重として覆工板の節点に作用させる。

5. 解析結果

解析の結果、得られた相対変位量を表 2.14.2.1-4 に示す。

表 2.14.2.1-4 相対変位量 Δ

| 検討ケース | 場所 | 相対変位量 Δ (mm) |
|---------------|--------------|---------------------|
| トンネル 軸直角方向 | 発進部（下流水槽部） | 0.5 |
| | 到達部（放水ロケソン部） | 0.5 |
| トンネル 軸方向 | 発進部（下流水槽部） | 0.1 |
| | 到達部（放水ロケソン部） | 0.6 |

6. 評価結果

表 2.14.2.1-4 に示す相対変位量 Δ に対して、発進部および到達部の接続ボルトの応力度照査を実施した結果（最大作用応力、作用応力/許容応力の比）について、放水トンネル軸直角方向を表 2.14.2.1-5、放水トンネル軸方向を表 2.14.2.1-6 に示す。各検討部位の作用応力が許容応力度以内であることを確認した。

なお、到達部には鋼製の覆工板を使用するが、2次元 FEM のモデルは鉄筋コンクリートの覆工板をモデル化しており、コンクリートより剛性が高い鋼製のセグメントと放水ロケソンの接続部の相対変位量は放水ロケソンと鉄筋コンクリートの相対変位量よりも小さくなるため検討は省略している。

6.1 放水トンネル軸直角方向の応力度照査結果

表 2.14.2.1-5 放水トンネル軸直角方向の応力度照査結果（強度区分：10.9^{※3}）

| 検討箇所 | 相対変位 Δ (mm) | せん断力 S(kN/本) | 作用せん断応力度 τ (N/mm ²) | 許容せん断応力度 τ_a (N/mm ²) | 作用応力度/許容応力度 |
|------|--------------------|--------------|--------------------------------------|--|-------------|
| 発進部 | 0.5 | 22.5 | 143 | 405 | 0.35 |
| 到達部 | 0.5 | 22.5 | 143 | 405 | 0.35 |

※3：ボルトの強度区分は JIS B 1051 に規定されており、ボルトの強度区分により許容応力度が異なる。

6.2 放水トンネル軸方向の応力度照査結果

表 2.14.2.1-6 放水トンネル軸方向の応力度照査結果（強度区分:10.9）

| 検討箇所 | 相対変位 $\Delta(\text{mm})$ | 引張力 $P(\text{kN/本})$ | 作用引張 応力度 $\sigma(\text{N/mm}^2)$ | 許容引張 応力度 $\sigma_a(\text{N/mm}^2)$ | 作用応力度/ 許容応力度 |
|------|-----------------------------|-------------------------|--|--|-----------------|
| 発進部 | 0.1 | 6.0 | 38 | 570 | 0.07 |
| 到達部 | 0.6 | 36.0 | 229 | 570 | 0.40 |

以上

3章 政府の基本方針を踏まえた 当社の対応について

3.1 政府の基本方針を踏まえた当社の対応 の実施計画への反映内容等について

令和3年(2021年)4月13日に開催された「廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議(第5回)」において、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針」(以下「政府方針」という。)が決定された。

同年4月16日、「多核種除去設備等処理水の処分に関する政府の基本方針を踏まえた当社の対応について」において、政府方針を踏まえた対応を行うこととしており、特に以下の事項については、ALPS処理水の海洋放出の方法、必要な設備の設計及び運用並びに海洋放出による放射線影響に関連する項目であることから、実施計画の一部又は参考として明示する。

- ① 政府方針が公表されてから約2年後の2023年の春頃を目途にALPS処理水の海洋放出ができるよう必要な手続き、設備構築等を進めていく。
- ② 海洋放出に先立ち、放射性物質の分析に専門性を有する第三者の関与を得つつ、ALPS処理水のトリチウム濃度を確認するとともに、トリチウム以外の放射性物質が安全に関する規制基準を確実に下回るまで浄化されていることについて確認し、これを公表する。
- ③ 海水で希釈された放出水のトリチウム濃度を1,500Bq/L未満とする。この水準を実現するため、ALPS処理水を海水で大幅(100倍以上)に希釈する。
- ④ トリチウム放出量を年間22兆Bqの範囲内とする。
- ⑤ 海洋放出開始の際には、海域モニタリングにて周辺環境に与える影響等を確認しつつ、少量での放出から開始する。万が一、ALPS処理水希釈放出設備が設計通りの海洋放出が出来なくなった場合や、同モニタリングの中で異常値が検出された場合には、確実にALPS処理水の海洋放出を停止する運用とする。
- ⑥ ALPS処理水の海洋放出を行った場合の人および環境への放射線の影響について、安全性を評価する

政府の基本方針

3. ALPS 処理水の海洋放出の具体的な方法

(1) 基本的な方針

⑤東京電力には、今後、2年程度後に ALPS 処理水の海洋放出を開始することを目途に、具体的な放出設備の設置等の準備を進めることを求める。

3.1.1 政府方針を踏まえた対応

政府方針が公表されてから約2年後の2023年の春頃を目途に ALPS 処理水の海洋放出が開始できるよう、機器の構造、強度又は漏えいに係る試験、設備全体としての機能・性能を確認する試験を含めて、必要な手続き、設備構築等を進めていく。

政府の基本方針

3. ALPS 処理水の海洋放出の具体的な方法

(2) 風評影響を最大限抑制するための放出方法

①ALPS 処理水の海洋放出については、同処理水を大幅に希釈した上で実施することとする。海洋放出に先立ち、放射性物質の分析に専門性を有する第三者の関与を得つつ、ALPS 処理水のトリチウム濃度を確認するとともに、トリチウム以外の放射性物質が安全に関する規制基準を確実に下回るまで浄化されていることについて確認し、これを公表する。

3.1.2 政府方針を踏まえた対応

ALPS 処理水の海洋放出前には、同処理水のトリチウム濃度を確認するとともに、そのトリチウム以外の放射性物質の告示濃度比総和が 1 未満となるまで浄化処理されていることを確認するため、当社の分析施設にて分析を行う他、放射性物質の分析に専門性を有する第三者分析機関での分析を実施し、分析結果を比較することで、トリチウム以外の放射性物質が安全に関する規制基準を確実に下回るまで浄化されていることについて確認する。これらの結果については、ALPS 処理水の放出の都度、公表を行う。

ALPS 処理水の海洋放出前の分析に関する補足説明

ALPS 処理水のトリチウム濃度を確認するとともに、トリチウム以外の放射性物質の告示濃度比総和が精度を含めて客観的に 1 未満となるまで浄化処理されていることを確認するため、ALPS 処理水の分析にあたっては当社とともに第三者分析機関において分析する。

1. 運用方法

当社の測定が前処理方法から分析結果の取得まで、意図する分析が確実に実施され、得られた分析値が適当であることを示す手段として、第三者分析機関との分析結果の比較を実施する。

比較は、分析精度を含めて行い、定常的な乖離が見られる場合には要因を究明し、必要に応じて分析環境または設備などの改善を図る。

2. 第三者分析機関の選定

第三者分析機関は、ALPS 処理水と同等の性質の液体に対して、特性、性質等を決められた方法に基づき分析結果を得るための能力を有していることの基準になる ISO/IEC-17025 等の放射性核種の分析に係る認証を取得しており、当社と利害関係を有さない国内企業から選定する。

表 3.1.2.1-1 委託先および第三者分析機関の品質認証取得状況

| 分類 | 機関 | 認証 | 取得状況（17025） |
|---------|-----------------------|-------------------------|---|
| 委託先 | 東京パワーテクノロジー株式会社（福島第一） | ISO/IEC17025 ISO9001 | （化学分析棟） Cs-134, Cs-137, H-3 |
| 第三者分析機関 | 株式会社化研 | ISO/IEC17025 | Cs-134, Cs-137 I-131 Sr-90 H-3 |
| | 公益財団法人 日本分析センター | ISO/IEC17025 ISO9001 | ガンマ線放出核種 H-3 放射性ストロンチウム プルトニウム 等 |
| | 東北緑化環境保全 株式会社 | ISO/IEC17025 ISO9001 | Cs-134, Cs-137 I-131 H-3 |

以上

政府の基本方針

3. ALPS 処理水の海洋放出の具体的な方法

(2) 風評影響を最大限抑制するための放出方法

- ②取り除くことの難しいトリチウムの濃度は、規制基準を厳格に遵守するだけでなく、消費者等の懸念を少しでも払拭するよう、現在実施している福島第一原発のサブドレン等の排水濃度の運用目標（1,500 ベクレル/リットル未満）と同じ水準とする。
- ③この水準を実現するためには、ALPS 処理水を海水で大幅（100 倍以上）に希釈する必要がある。なお、この希釈に伴い、トリチウム以外の放射性物質についても、同様に大幅に希釈されることとなる。

3.1.3 政府方針を踏まえた対応

ALPS 処理水の流量を最大 500 m³/日の範囲で設定する一方、海水希釈に関しては、容量 17 万 m³/日の海水移送ポンプを 3 台設置した上で、海水移送ポンプを常時 2 台以上運転することにより、必要な海水量を確保することで、ALPS 処理水を希釈した後の海水中に含まれるトリチウム濃度をサブドレン等の排水濃度の運用目標である 1,500 Bq/L 未満を実現する。

ALPS 処理水の海水希釈に関する補足説明

1. 概要

敷地境界における実効線量を達成できる限り低減するために ALPS 処理水を海水で希釈した後に放出する水（以下「放出水」という。）に含まれるトリチウムの濃度がサブドレン等の排水濃度の運用目標（以下「運用の上限値」という。）1,500 Bq/L 未満，海水による希釈倍率が 100 倍以上になるよう，以下の希釈処理及び評価を行う。

2. ALPS 処理水の希釈に必要な海水量

測定・確認工程で測定したトリチウム濃度に応じて，ALPS 処理水移送ポンプ，ALPS 処理水流量調整弁，ALPS 処理水流量計等により，ALPS 処理水の流量を最大 500 m³/日の範囲で設定する。

また，放出水に含まれるトリチウム濃度を運用の上限値である 1,500 Bq/L 未満かつ希釈倍率を 100 倍以上とするため，容量 17 万 m³/日の海水移送ポンプを 3 台設置した上で，ALPS 処理水の流量に応じて，海水移送ポンプを常時 2 台以上運転することにより，必要な海水量を確保する。

3. 解析コードによる ALPS 処理水の混合希釈状態の評価

ALPS 処理水については，海水配管ヘッダ及び海水配管で希釈用の海水により混合希釈した後，放出水として海洋へ放出する。

また，海水配管ヘッダ及び海水配管における ALPS 処理水の混合希釈状態を確認するため，解析コードを用いた数値シミュレーションにより，混合希釈効果を評価する。

評価の結果，ALPS 処理水の注入位置から海水配管立上り部終端における ALPS 処理水の最大質量割合が 0.28 % であることから，海水配管内で 100 倍以上の希釈倍率は実現可能である。

一方，希釈倍率は単純希釈で想定した際の 1/2 となることから，後述する混合希釈率の調整及び監視により，トリチウム濃度の運用の上限値の 1,500Bq/L 未満を満足させる。

4. 混合希釈率の調整及び監視

放出水に含まれるトリチウムの濃度が運用の上限値である 1,500 Bq/L 未満となるよう、以下の方法で混合希釈率の調整及び監視を実施する。

(1) ALPS 処理水の希釈混合の調整

ALPS 処理水の海水への混合希釈率の調整は、海水移送ポンプを定格運転するため、ALPS 処理水流量を制御する設計とする。

具体的には、放出操作の際に、予め確認した ALPS 処理水のトリチウム濃度を監視・制御装置へ登録し、当該トリチウム濃度と希釈後のトリチウム濃度の運用値（1,500Bq/L 未満）を踏まえて、所定の混合希釈率になるよう、ALPS 処理水流量調整弁の開度を自動調整する設計とする。

・ ALPS 処理水流量（運用値）算出式

$$\text{ALPS 処理水流量(運用値)} = \frac{\text{③海水流量} \times \text{④海水希釈後のトリチウム濃度(運用値)}}{\text{①ALPS 処理水のトリチウム濃度} - \text{④海水希釈後のトリチウム濃度(運用値)}}$$

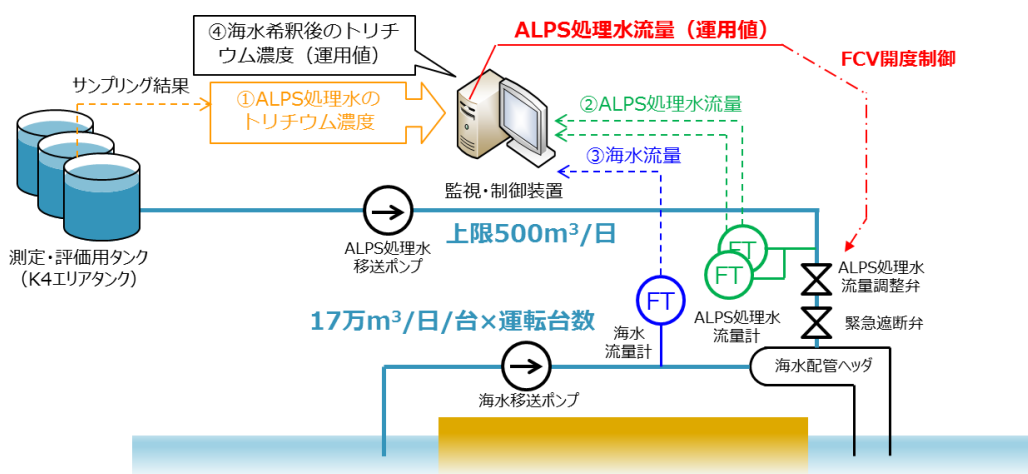


図 3.1.3.1-2 ALPS 処理水の混合希釈率の調整イメージ

(2) 混合希釈率の監視

海水希釈後のトリチウム濃度は、ALPS 処理水流量と海水流量を監視することで実施する設計とする。

- ・トリチウム濃度評価式

$$\text{海水希釈後のトリチウム濃度} = \frac{\text{①ALPS 処理水トリチウム濃度} \times \text{②ALPS 処理水流量}}{\text{②ALPS 処理水流量} + \text{③海水流量}}$$

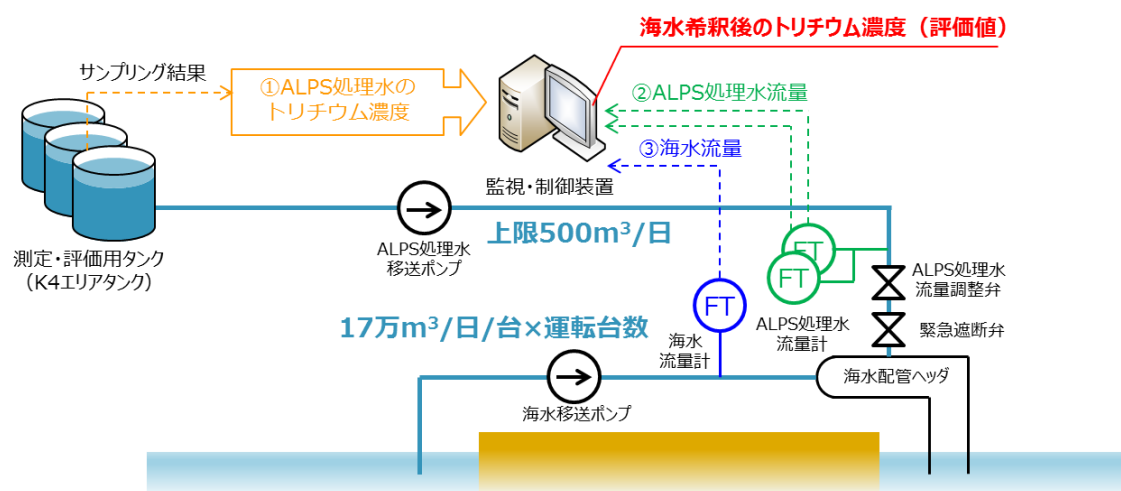


図 3.1.3.1-1 ALPS 処理水の混合希釈率の監視イメージ

なお、海水希釈後のトリチウム濃度が 1,500Bq/L となる条件を、ALPS 処理水流量の上限とし、上限に達した場合には警報を発報させると共に、緊急遮断弁を閉動作させる設計とすることで、トリチウム濃度が 1,500Bq/L を上回った状態での海洋放出を防止する設計とする

・ ALPS 処理水流量（上限値）算出式

$$\text{ALPS 処理水流量(上限値)} = \frac{\text{③海水流量} \times \text{④海水希釈後のトリチウム濃度(1,500Bq/L)}}{\text{①ALPS 処理水のトリチウム濃度} - \text{④海水希釈後のトリチウム濃度(1,500Bq/L)}}$$

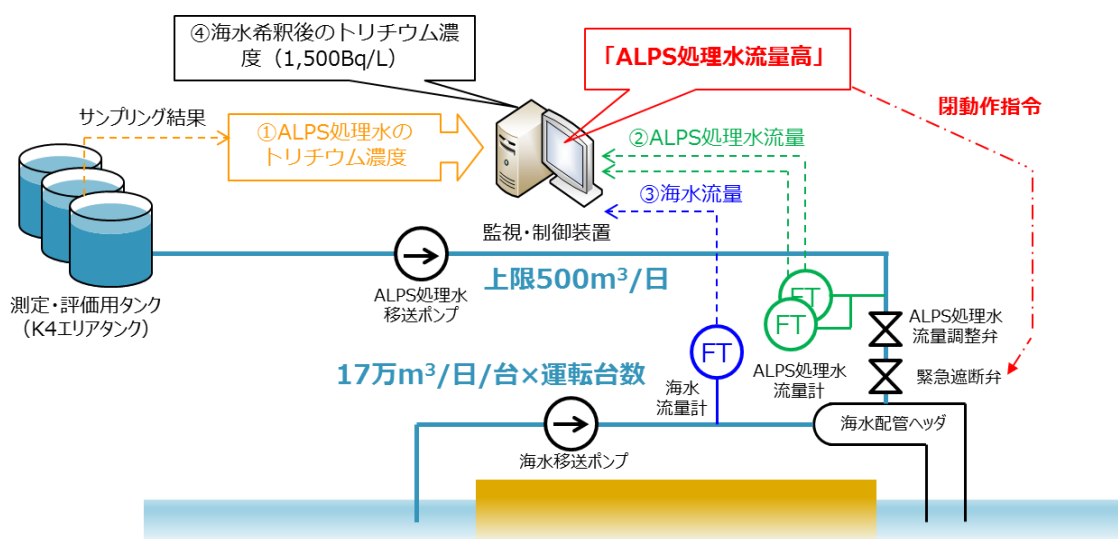


図 3.1.3.1-3 「ALPS 処理水流量高」時の動作イメージ

以上

政府の基本方針

3. ALPS 処理水の海洋放出の具体的な方法

(2) 風評影響を最大限抑制するための放出方法

④また、放出するトリチウムの年間の総量は、事故前の福島第一原発の放出管理値（年間 22 兆ベクレル）を下回る水準になるよう放出を実施し、定期的に見直すこととする。なお、この量は、国内外の他の原子力発電所から放出されている量の実績値の幅の範囲内である。

3.1.4 政府方針を踏まえた対応

ALPS 処理水の海洋放出に際し、トリチウムの放出量は、当面、事故前の福島第一原子力発電所の放出管理値である年間 22 兆 Bq を上限とし、これを下回る水準とする。

なお、トリチウムの年間放出量は、汚染水発生量及び淡水化装置入口トリチウム濃度の推移、並びに廃炉の進捗に影響を与える敷地利用の計画に応じて、毎年度見直す。

年間放出量の管理については、年度の初めに当該年度の放出計画を策定し、実際の ALPS 処理水の海洋放出の運用においては、当該計画に沿って実施する。加えて、監視・制御装置でのインターロックを設けることで年間放出量が 22 兆 Bq を上回らないように設備面においても管理を行う。

なお、放出計画策定の前提となる汚染水発生量及び淡水化装置入口トリチウム濃度が当該年度中に大きく変化した場合には、年間放出量 22 兆 Bq の範囲内で柔軟に対応する。

トリチウムの年間放出量の管理に関する補足説明

ALPS 処理水の海洋放出にあたり、トリチウム放出量を年間 22 兆 Bq の範囲内とするため、計画時および運用時において以下の通り管理を行う。

1. 計画時の管理

放出する ALPS 処理水は「A.日々発生する ALPS 処理水」と「B.タンクに貯留されている ALPS 処理水等」である。

トリチウム濃度の薄い ALPS 処理水から順次放出することを基本方針としており、A のトリチウム濃度を下回る B の水量は限られていることから、A の ALPS 処理水の放出を基本としつつ、1Fにおけるその他の排水による放出量との合計で 22 兆 Bq/年を下回る水準 B の ALPS 処理水を順次放出する。

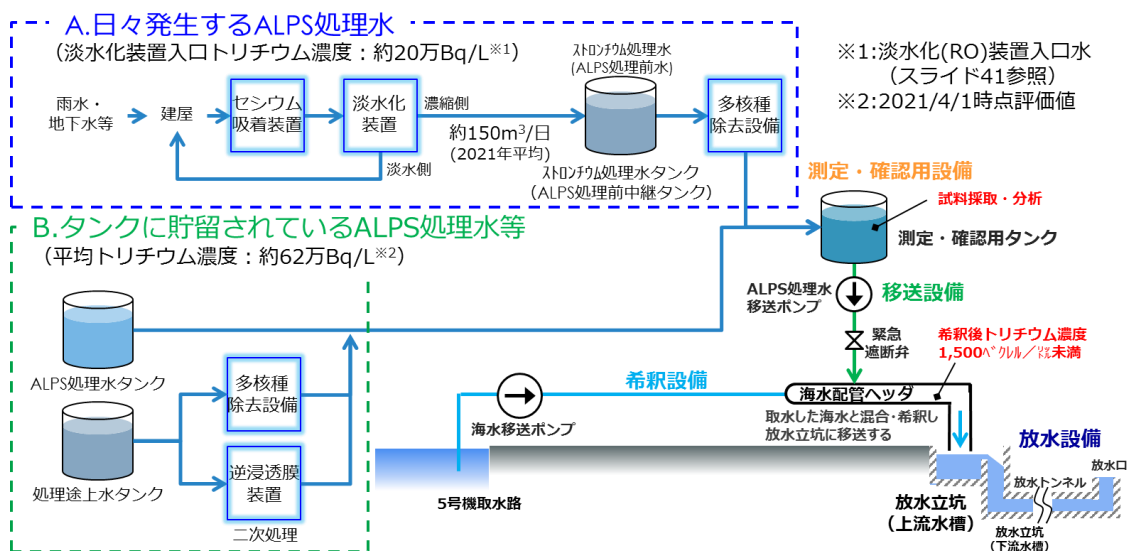


図 3.1.4.1-1 ALPS 処理水放出対象水

放出計画の策定に当たっては、次の計算により年間のトリチウム放出量が 1F におけるその他の排水による放出量との合計で 22 兆 Bq の範囲内となるようにする。なお、タンクに貯留されている ALPS 処理水等については年間放水量 (⑥) 及び平均トリチウム濃度 (⑦) を求めた上で、⑥、⑦を満足するように、トリチウム濃度の薄い ALPS 処理水を優先し、運用を考慮しながら、タンク群の放出順序を立案する。

A.日々発生する ALPS 処理水

$$\text{①淡水化 (RO) 装置入口トリチウム濃度} \times \text{②汚染水発生量} = \text{③A の年間トリチウム放出量}$$

B.タンクに貯留されている ALPS 処理水等

$$\text{④ALPS 処理水の年間トリチウム放出量} - \text{③} = \text{⑤B の年間トリチウム放出量}$$

⑥B の年間放水量：「廃炉中長期実行プラン」を踏まえ、タンク解体に着手する必要がある面積から水量を決定

$$\text{⑤} \div \text{⑥} = \text{⑦B の平均トリチウム濃度}$$

表 5.1.4.1-1 放出計画立案手順

| 水の種類 | 平均トリチウム濃度 【Bq/L】 | 年間放出量 【m ³ /年】 | 年間トリチウム放出量 【Bq/年】 |
|------|-------------------------------|------------------------------|--|
| A | ①淡水化 (RO) 装置 入口トリチウム濃度 | ②汚染水発生量 ×365[日/年] | ③：①×1000[L/m ³] ×②×365[日/年] |
| B | ⑦：⑤÷⑥÷1000[L/m ³] | ⑥敷地利用計画より | ⑤：④－③ |
| 合計 | — | — | ④：ALPS 処理水の 年間トリチウム放出量 |

2. 運用時の管理

運用時には、以下に示す対策を講じることで、年間トリチウム放出量が 22 兆 Bq の範囲内となるよう管理する。

具体的には、監視・制御装置にトリチウムの年間放出量上限を設定することが可能であり、放出する ALPS 処理水のトリチウム濃度を監視・制御装置に登録した際、トリチウム放出量の累積値を踏まえ、当該設定値を超える恐れがある場合は、放出操作へ移行できないインターロックを備える設計とする。

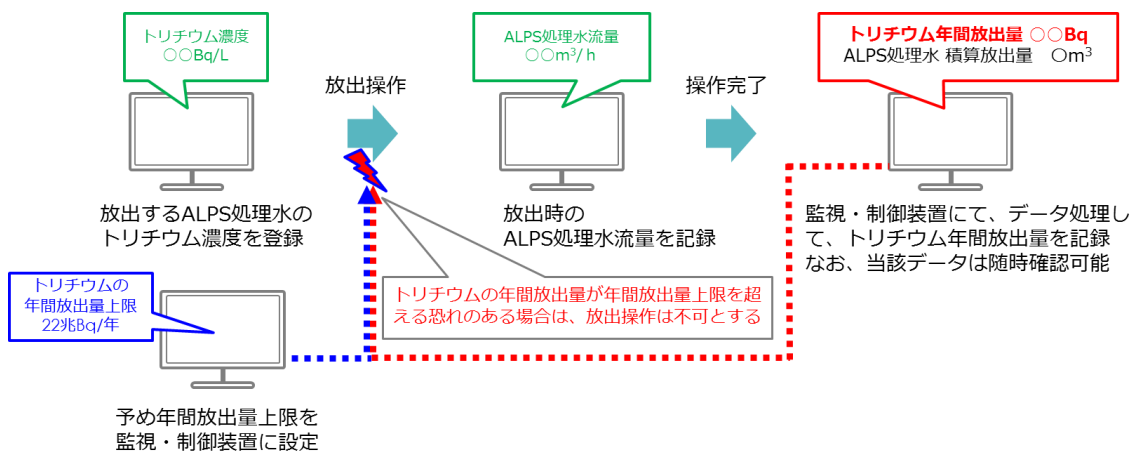


図 3.1.4.1-2 監視・制御装置における管理方法

以上

政府の基本方針

3. ALPS 処理水の海洋放出の具体的な方法

(2) 風評影響を最大限抑制するための放出方法

⑥海洋放出の実施に当たっては、周辺環境に与える影響等を確認しつつ、慎重に少量での放出から開始することとする。また、万が一、故障や停電などにより希釈設備等が機能不全に陥った場合や、モニタリングにより、異常値が検出された場合には、安全に放出できる状況を確認できるまでの間、確実に放出を停止することとする。

3.1.5 政府方針を踏まえた対応

海洋放出開始の際には、海域モニタリングにて周辺環境に与える影響等を確認しつつ、少量での放出から開始する。万が一、ALPS 処理水希釈放出設備の故障や停電等により、設計通りの海洋放出が出来なくなった場合や、同モニタリングの中で異常値が検出された場合には、安全に放出できる状況を確認できるまでの間、確実に ALPS 処理水の海洋放出を停止する運用とする。

海洋放出初期の少量での放出の補足説明

ALPS 処理水の海洋放出にあたって、測定・確認用設備において測定・確認済みの ALPS 処理水（約 1 万 m³/タンク群）ごとに、希釈放出することになっている。このとき、政府方針を踏まえて、通常放出に先立つ初期段階では「慎重に少量での放出」から開始することとしており、必要な検証目的に応じて、次の 2 段階で実施する。

第 1 段階：「トリチウム濃度の直接確認」という。

ALPS 処理水希釈放出設備により、想定通り希釈できていることを確認することを目的に、放水立坑（上流水槽）を使用し、極少量の ALPS 処理水を希釈後、トリチウム濃度を直接確認し海洋放出する。

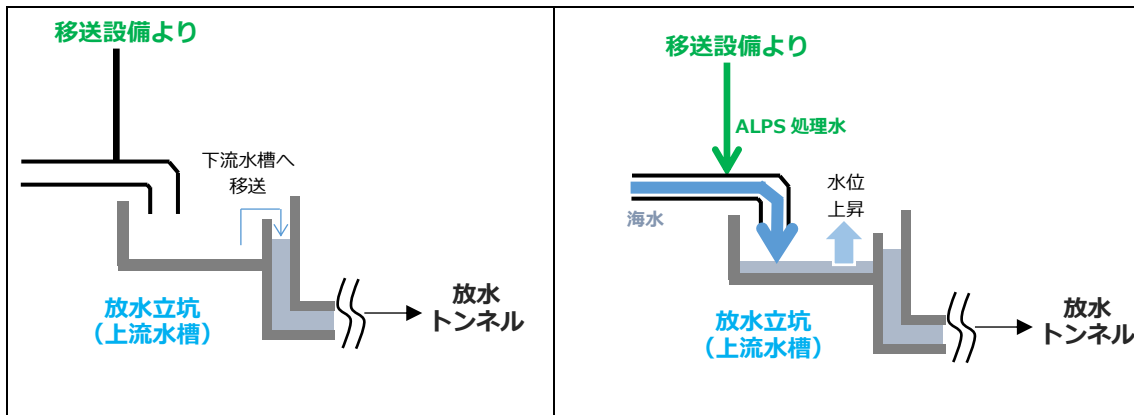
第 2 段階：「設備健全性及び運用手順等の確認放出」という。

第 1 段階に続き、ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の運用手順を確実に実施できることを確認すること、及び海洋放出により海水中のトリチウム濃度に想定以上の変化がないことを確認することを目的に、測定・確認用設備に貯留している、第 1 段階放出後の残り（約 1 万 m³）の ALPS 処理水を所定の計画に基づく方法で海洋放出する。

1. 運用方法

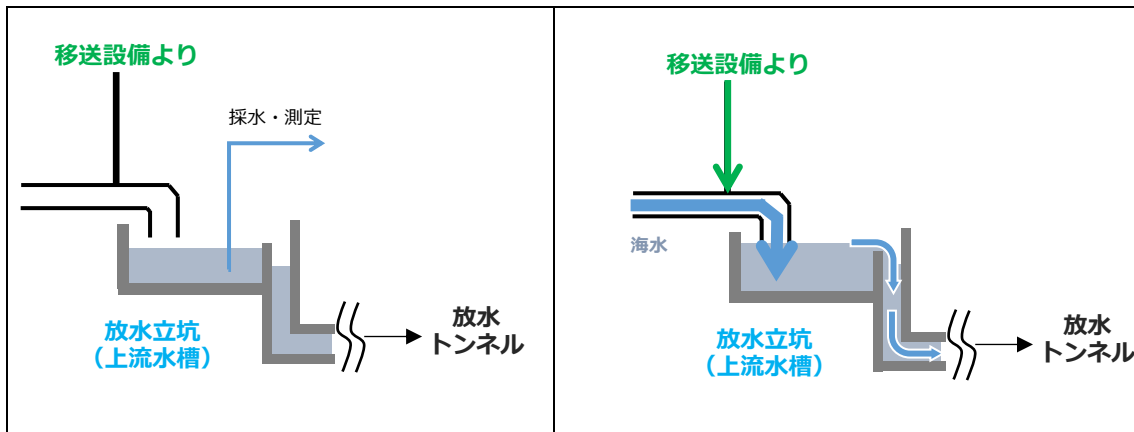
放水立坑（上流水槽）約 2,000m³ を空にした後、海水移送ポンプ 1 台を運転し、極少量（20m³ 以下）の ALPS 処理水を流入させる。

その後、放水立坑（上流水槽）から採水しトリチウム濃度を測定する。ALPS 処理水移送量と希釈海水量から求めた計算上のトリチウム濃度とこれを比較し、同程度であること及び 1,500Bq/L 未満であることを確認する。引き続き、第 2 段階として連続で海洋放出する。



①一旦、放水立坑（上流水槽）内を空にする。

②移送設備で移送し、ALPS 処理水を希釈設備で希釈した水を放水立坑（上流水槽）に貯留する。



③放水立坑（上流水槽）が満水になる前にポンプを停止し、放水立坑（上流水槽）内の水を採水・測定する。

④トリチウム濃度を確認し、計算上のトリチウム濃度と実際の濃度が同程度であること、及び1,500Bq/Lを下回っていることを確認する。

⑤引き続き第2段階に移行し、海水ポンプ2台以上を起動し海水流量が安定した後に、ALPS 処理水移送ポンプを起動し連続での海洋放出を行う。なお、第1段階で放水立坑（上流水槽）に貯留されていた水は、第2段階における海水ポンプ2台以上の起動により、放水設備に排水されることとなる。

図 3.1.5.1-1 少量での放出の運用イメージ

以上

設備異常や海域モニタリングで異常値を確認した際の対応の補足説明

1. 設備異常による海洋放出の停止

設備異常が確認された場合は、以下の通り海洋放出を停止する運用とする。

1.1 設備異常による海洋放出停止

ALPS 処理水希釈放出設備には、通常運転から逸脱するような異常を検知した場合、人の手を介すことなく“閉”とすることで、ALPS 処理水の海洋放出を停止させる機能を持つ、緊急遮断弁を設置する。

なお、緊急遮断弁を”閉”とする、通常運転から逸脱する事象は9種類を考慮しており、それに加えて、監視・制御装置にて手動で緊急停止が可能な設計としている（表 5.1.5.2-1 参照）。

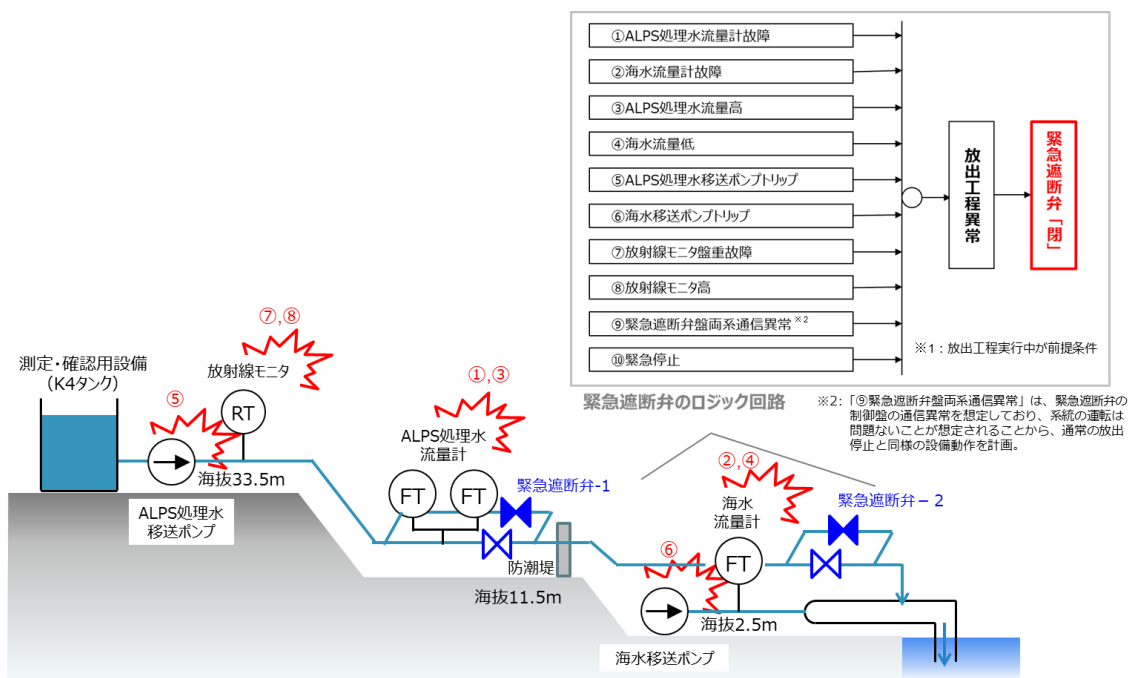


図 3.1.5.2-1 緊急遮断弁のロジック回路

表 3.1.5.2-1 緊急遮断弁の動作信号詳細

| 要素 | 信号 | 目的 |
|-------------------|-----------------------------------|--|
| ALPS 処理水流量計故障 | 移送ライン(A) (B) 流量計 オーバースケール | 計器故障による流量監視不可のため |
| | 移送ライン(A) (B) 流量計 ダウンスケール | 計器故障, ケーブル断線による流量監視不可のため |
| 海水流量計故障 | 海水移送ポンプ(A) (B) (C) 流量計オーバースケール | 計器故障による流量監視不可のため |
| | 海水移送ポンプ(A) (B) (C) 流量計ダウンスケール | 計器故障, ケーブル断線による流量監視不可のため |
| ALPS 処理水流量高 | 移送ライン(A) (B) 流量信号 | 移送ライン流量上昇による希釈後トリチウム濃度 1,500Bq/L 未満を保つため |
| 海水流量低 | 海水移送ポンプ(A) (B) (C) 流量信号 | 希釈用の海水供給量不足による希釈後トリチウム濃度上昇を防ぐため 海水移送系統で異常が考えられるため |
| ALPS 処理水移送ポンプトリップ | 遮断器トリップ信号 | 移送工程で異常が考えられるため |
| 海水移送ポンプトリップ | M/C トリップ信号 | 希釈用の海水供給停止による希釈後トリチウム濃度上昇を防ぐため 海水移送系統で異常が考えられるため |
| 放射線モニタ盤重故障 | 放射線モニタ(A) (B) 下限 | 放射線モニタによる監視不能のため |
| | 放射線モニタ(A) (B) 遮断器トリップ | |
| 放射線モニタ高 | 放射線モニタ(A) (B) 高* | 放射線モニタによる異常検知のため |
| 緊急遮断弁盤両系通信異常 | 両系通信異常信号 | 緊急遮断弁盤の通信が両系異常になると, 異常信号が受信できなくなり, 緊急遮断弁が自動閉できなくなるため |
| 緊急停止 | 緊急停止信号 | 運転員による異常発見時に速やかに停止させるため |

※: 「放射線モニタ高」は, 放射線モニタリング指針 (JEAG4606) の「バックグラウンド×10 倍以内の倍数」の考え方をもとに, 適切な値で設定する。

2. 海域モニタリングによる海洋放出停止

海域モニタリング結果を踏まえて、以下の通り評価を実施していく。

2.1 海域モニタリングにおける異常に関する考え方

海域モニタリングにおける異常値とは、「大量の海水で希釈後のALPS処理水が、放出口から排出された後、海水中での拡散が進まず、トリチウム濃度が排出された状態から低減していかないまま、その領域が拡大している状態」のことであり、具体的には、迅速に状況を把握するために行う分析の結果から海水中のトリチウム濃度が以下の①又は②に該当する場合を言う。

- ①：放出口付近においては、政府方針で定めるトリチウム濃度の上限値である1,500Bq/Lを設備や測定の不確かさを考慮しても上回らないように設定された放出の運用値から低減していかないまま、その領域が拡大している場合
- ②：①の範囲の外側においては、分析結果に関して、明らかに異常と判断される値が得られた場合

2.2 運用方法

上記①及び②の評価対象とする試料採取地点は、トリチウムの拡散シミュレーション等をもとに定めた総合モニタリング計画の試料採取地点の中から選定することとし、具体的な試料採取地点、異常と判断する設定値、および一旦海洋放出を停止した後に海洋放出を再開する場合の確認事項等、運用上必要な事項については、別途社内マニュアルで定める。

なお、上記に加えて、総合モニタリング計画に基づくモニタリング全体において通常と異なる状況等が確認・判断された場合には、必要な対応を行う。

以上

3. ALPS 処理水の海洋放出の具体的な方法

(2) 風評影響を最大限抑制するための放出方法

⑦国内外において海洋放出に伴う環境への影響を懸念する声があることを踏まえ、政府及び東京電力は、海洋放出が環境に与える影響について、これまで多様な角度からの検討を実施してきた。実際の海洋放出に際しては、ICRP の勧告に沿って定められている我が国の規制基準を厳格に遵守する。さらに、関連する国際法や国際慣行を踏まえ、海洋環境に及ぼす潜在的な影響についても評価するための措置を採るとともに、放出後も継続的に前述のモニタリングを実施し、環境中の状況を把握するための措置を講じることとする。こうした環境への影響に関する情報については、随時公表し、高い透明性を確保することにより、国民・国際社会の理解醸成に努める。

3.1.6 政府方針を踏まえた対応

ALPS 処理水の海洋放出については、ICRP の勧告に沿って定められている規制基準を遵守すると共に、海洋環境に及ぼす影響について放射線影響評価を行い、関連する IAEA 安全基準文書等に適合しているか、IAEA の専門家等のレビューを受ける。加えて、放出後も海域モニタリングを継続し、環境中の状況の把握を行う。

ALPS 処理水の海洋放出に関する環境への影響に関する情報については、国内外に向けて正確かつ迅速にお知らせすること等を通じて、国内外への理解醸成に努める。