

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機 地盤の支持性能について

TEPCO

2020年2月18日
東京電力ホールディングス株式会社

目次


1. はじめに
2. 追加地質調査と地質区分
3. 液状化影響評価の考え方と物性設定
4. 地下水位の設定
5. 新潟県中越沖地震時の地盤変位の再現解析

1. はじめに

本日の説明内容

- ▶ 第769回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合（令和元年9月10日）において示した主な説明事項のうち、「地盤物性の設定」について説明する。

【3-2】地盤物性の設定



1. 概要

- 設置変更許可でのご指摘を踏まえ、液状化強度特性等の地盤物性は、設置変更許可段階から追加で実施している調査結果に基づいて設定することを説明する。
- 新潟県中越沖地震の再現解析結果に基づき、解析手法、解析用物性値の適用性について説明する。
- 工認で用いる地下水位は、対象施設近傍に設置した地下水位観測孔及び建設時の観測孔の地下水位に基づいて設定することを説明する。




図1 ボーリング調査位置図

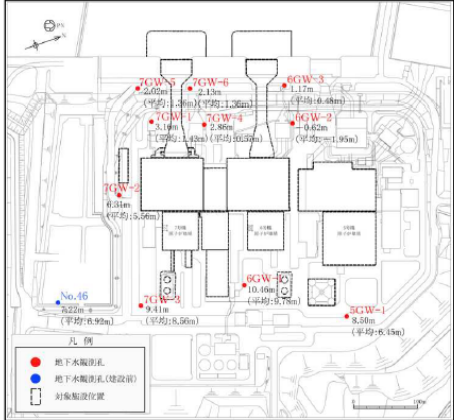


図2 観測最高地下水位分布図

2. 今後の説明予定

- 地盤物性値の設定,地下水位の設定,新潟県中越沖地震の再現解析による適用性検討について,地盤支持性能に係る基本方針,その補足説明資料等にて説明予定【資料提出済, アクセスルート・保管場所等は2019年9月以降順次提出予定】

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

25

第769回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合説明資料抜粋

2. 追加地質調査と地質区分

設置変更許可からの変更点

①追加地質調査の実施

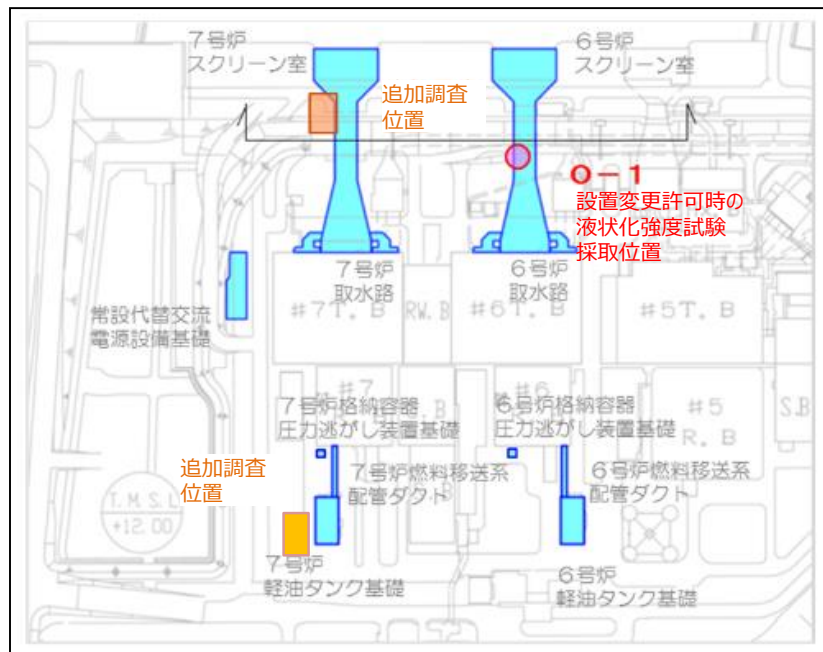
- 工事計画認可においては、設置変更許可時点でお示した調査・試験結果に加え、データ拡充の観点から、大湊側で更なる追加調査を実施。

②追加調査を踏まえた地質区分の細分化

- 工事計画認可においては、液状化評価のため有効応力解析を適用することから、粒度分析、室内試験や地層の堆積環境を踏まえ、設置変更許可の地質区分のうち、一部を砂質とシルトに再区分。

追加調査の実施（変更点①）

- 設置変更許可では、大湊側敷地と荒浜側敷地における地盤調査に基づき、地質の連続性や土質材料の性状（N値や細粒分含有率Fc等）を比較し、代表性を確認した上で、各地層の物性値を設定。
- さらに、設置変更許可では、6、7号炉申請であることを踏まえ、大湊側敷地において追加調査の実施を予定。
- 工事計画認可においては、上記の追加調査に加えて、大湊側敷地の評価対象施設の近傍においてさらなる追加調査を実施。また、各地層の物性値は大湊側敷地のみの調査結果から設定。



設置変更許可で示した追加調査位置

□ 設置変更許可

【洪積砂質土層Ⅰ,Ⅱ】

- 6、7号炉申請であることを踏まえ、7号取水路周辺での追加調査を予定

【新时期砂層・沖積層】

- 大湊側と荒浜側のN値の違いを考慮し、7号軽油タンク周辺での追加採取を予定

【埋戻土層】

- 大湊側でのデータが少ないことから、データ拡充のための追加調査を予定

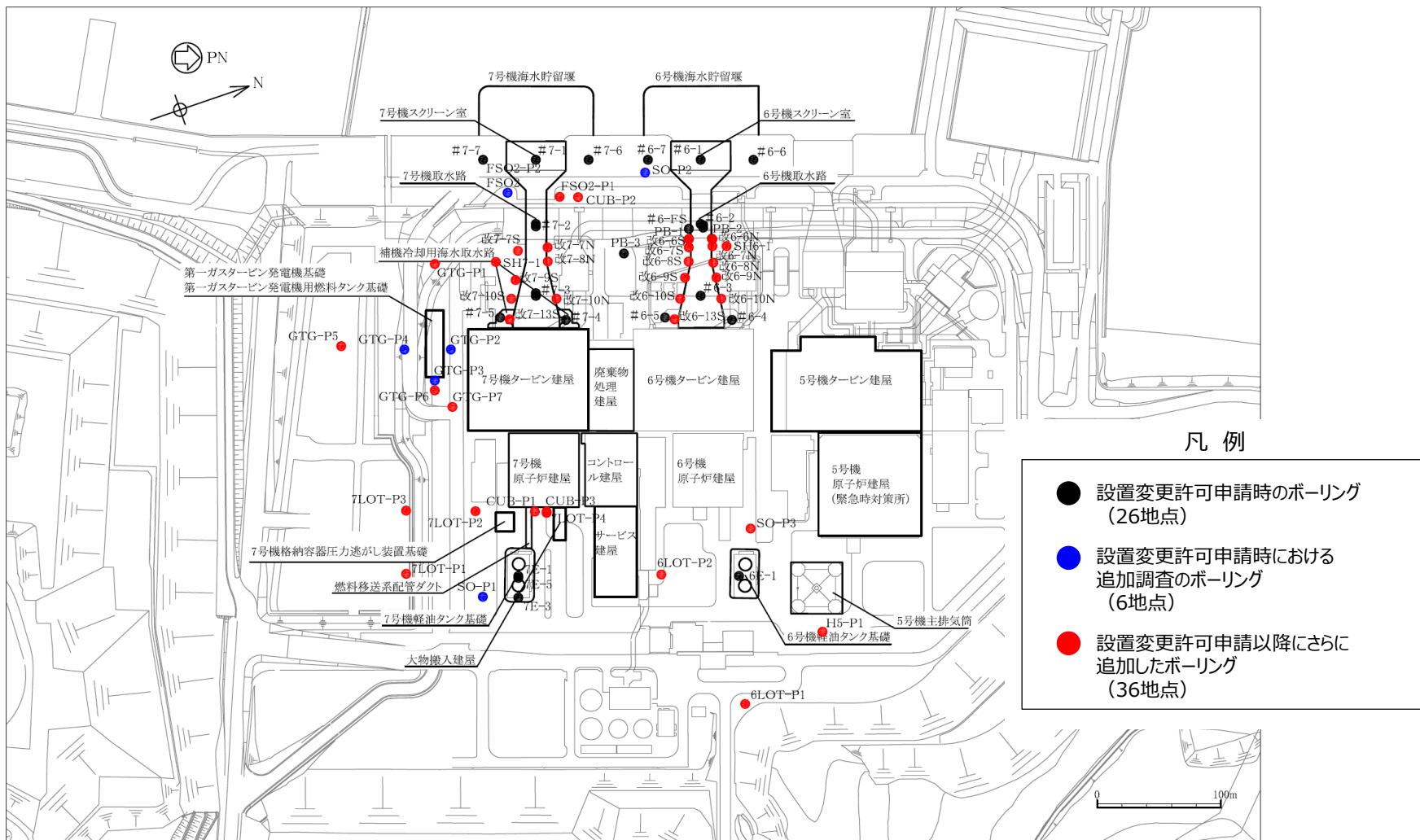
➡ 追加調査 6地点

□ 工事計画認可

設置変更許可で示した追加調査に加え、データ拡充のために地質調査、原位置試験、室内試験のためのボーリング調査を実施。

➡ 更なる追加調査 36地点

追加調査の実施（変更点①）




工事計画認可で用いたボーリング調査位置図

追加調査を踏まえた地質区分の細分化（変更点②）

- 工事計画認可においては、液状化評価のため有効応力解析を適用することから、設置変更許可以降の追加調査によるデータ拡充を行い、粒度分析や地層の堆積環境から、設置変更許可の地質区分のうち、埋戻土層、新期砂層・沖積層、A2g層を砂質とシルトに区分。

工事計画認可のうち有効応力解析で用いる地質区分

| 時代 | 設置変更許可申請段階における地質区分 | | 工事計画認可申請における地質区分 | 主な層相 | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------|---------------------------------|------------|---------|
| — | 埋戻土 <small>粒度分析による細分化</small> | | 埋戻土 | 砂 | |
| | | | 埋戻土Ⅱ | シルト | |
| 完 新 世 | 新期砂層・沖積層 <small>堆積環境による細分化</small> | | 新期砂層 | 砂 | |
| | | | 沖積層上部(シルト質) | シルト | |
| | | | 沖積層上部(砂質) | 砂 | |
| | | | 沖積層下部 | 砂 | |
| 第 四 紀 更 新 世 | ※ 古安田層 | A ₃ 部層 | 粘性土 | A3c層 | シルト |
| | | | 粘性土・砂質土互層 | A3a1層 | 砂・シルト互層 |
| | | | 砂質土 | A3s層 | 砂 |
| | | A ₂ 部層 | 粘性土 | A2c層 | シルト |
| | | | 粘性土・砂質土互層 | A2a1層 | 砂・シルト互層 |
| | | | 砂質土 | A2s層 | 砂 |
| | | | 礫層 <small>堆積環境による細分化</small> | A2g層(シルト質) | シルト質砂礫 |
| | | A ₁ 部層 | 粘性土 | A1c層 | シルト |
| 礫層 | A1g層 | | シルト質砂礫～砂礫 | | |

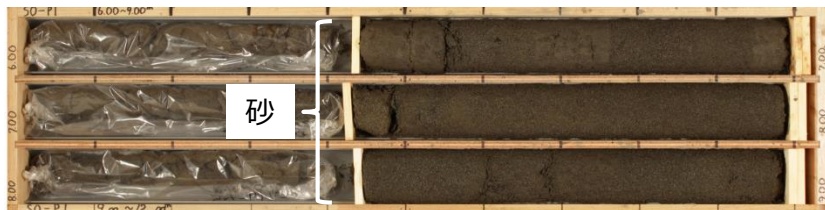
 工事計画認可申請で細分化した地層

建設時の工事計画認可で設定していた「洪積砂質土層」、
「洪積粘性土層」を、設置変更許可の層相毎に再区分

注： 安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物については、本資料では『古安田層』と仮称する。

追加調査を踏まえ細分化した地層区分のコア写真

【新期砂層・沖積層】



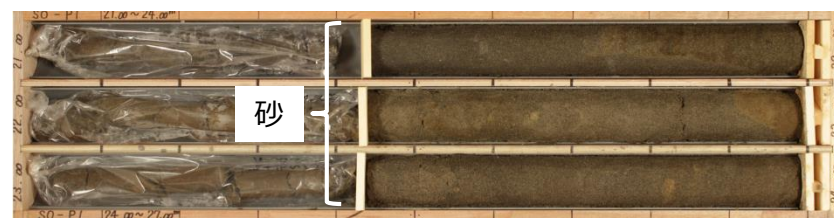
(a) 新期砂層のコア写真 (SO-P1) のコア写真



(b) 沖積層上部 (シルト質) (GTG-P5) のコア写真



(c) 沖積層上部 (砂質) (SO-P1) のコア写真



(d) 沖積層下部のコア写真 (SO-P1)

【埋戻土層】



(a) 埋戻土のコア写真 (GTG-P2)



(b) 埋戻土Ⅱのコア写真 (SO-P3)

【古安田層 (A2部層 礫層)】

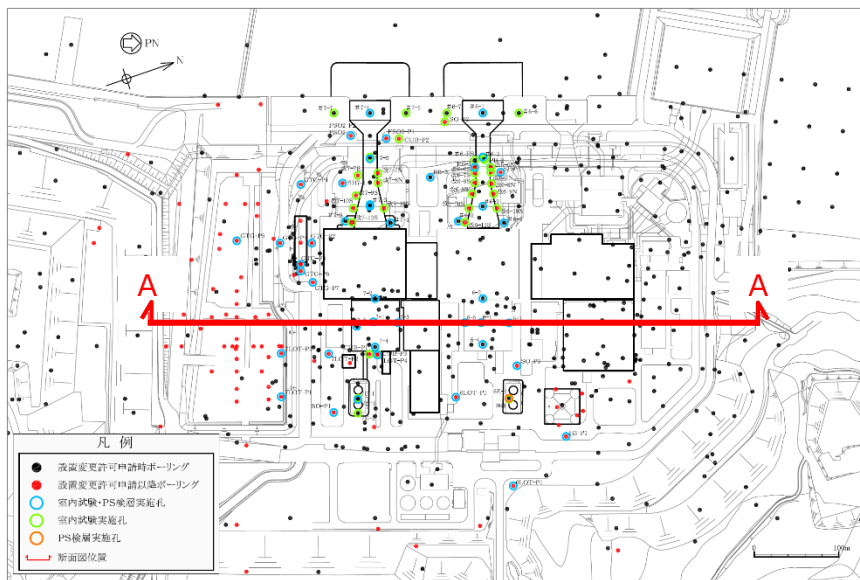


(a) A2g層 (砂質) のコア写真 (FSO2-P2)



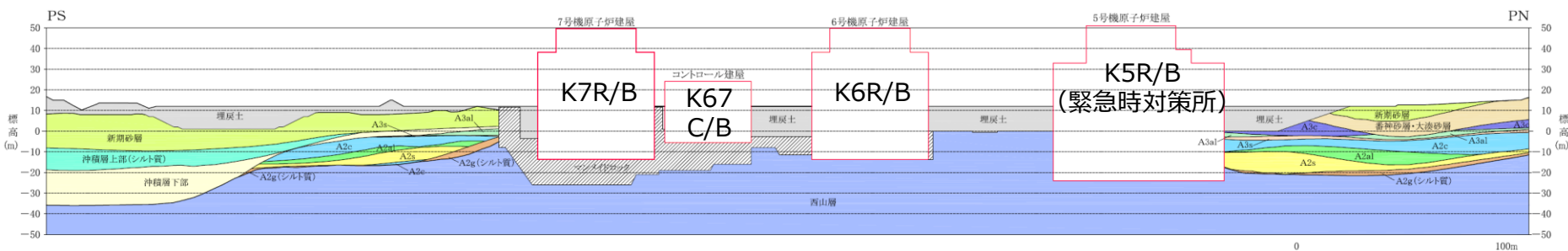
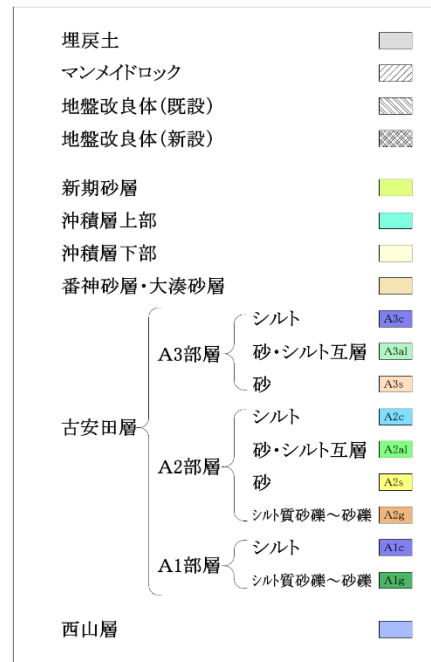
(b) A2g層 (シルト質) のコア写真 (GTG-P6)

地質区分の細分化 (変更点②)



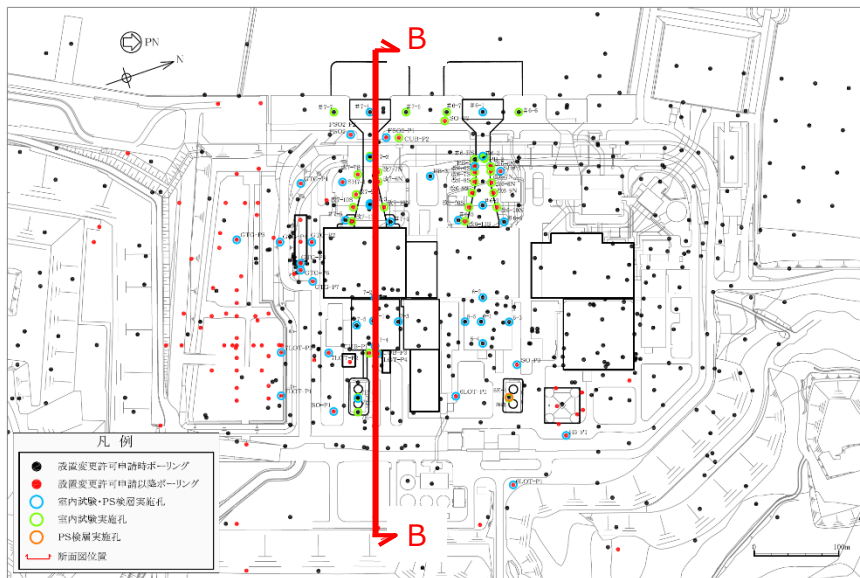
敷地平面図

凡例



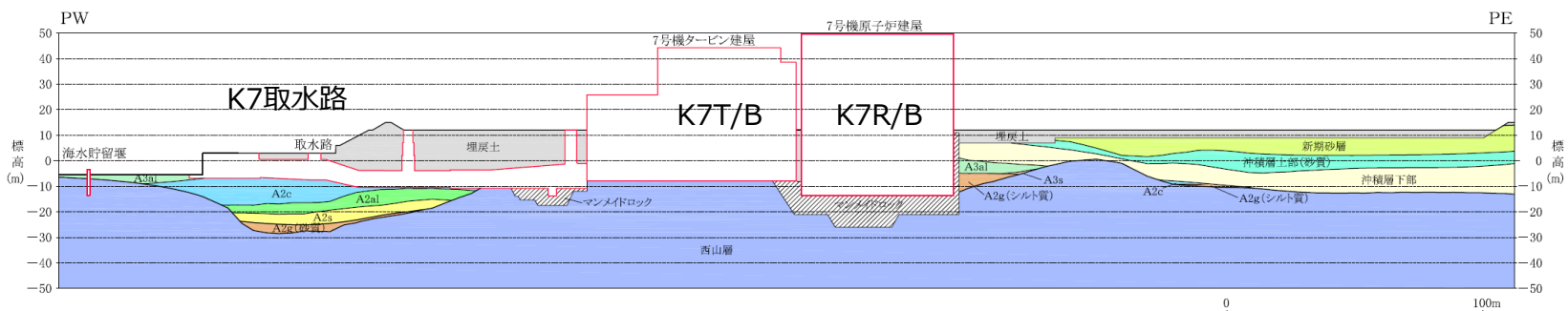
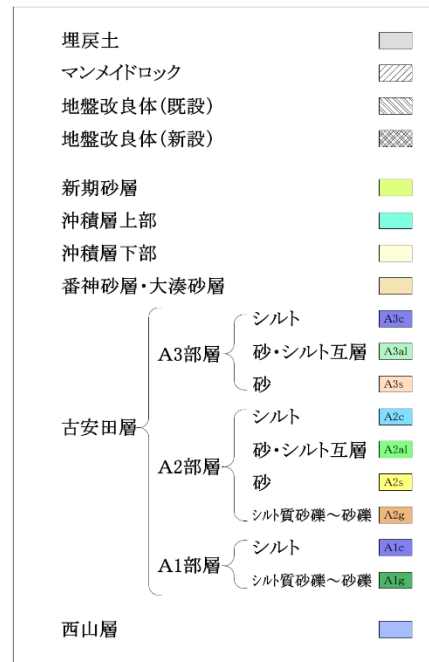
汀線平行 地質断面図 (原子炉建屋炉心中央) (A-A断面)

地質区分の細分化 (変更点②)



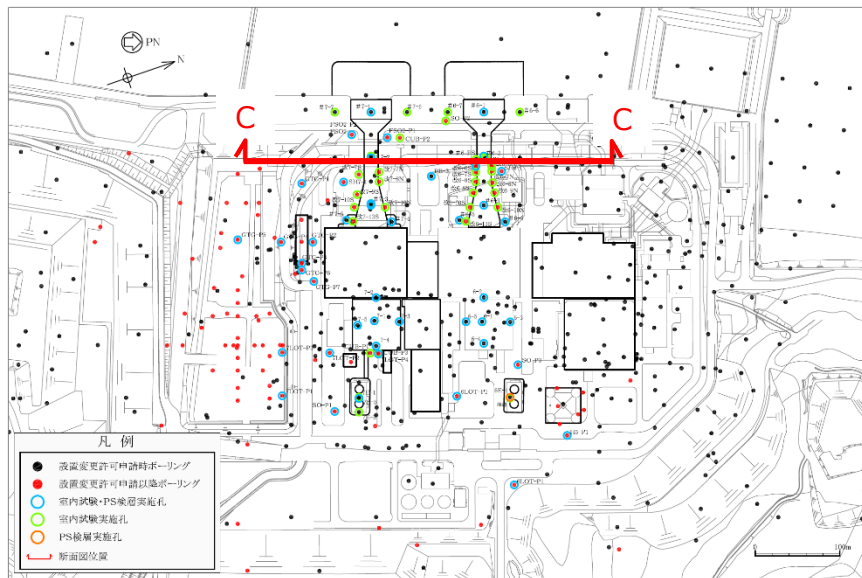
敷地平面図

凡例



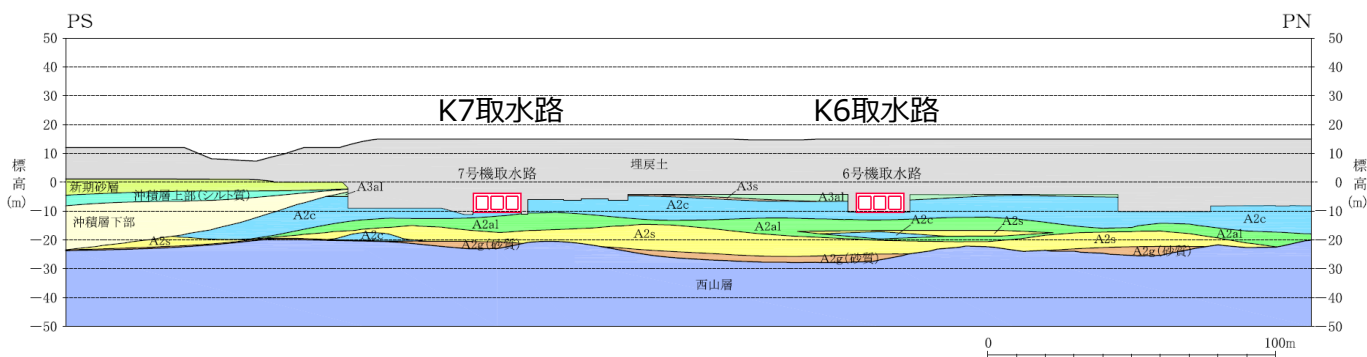
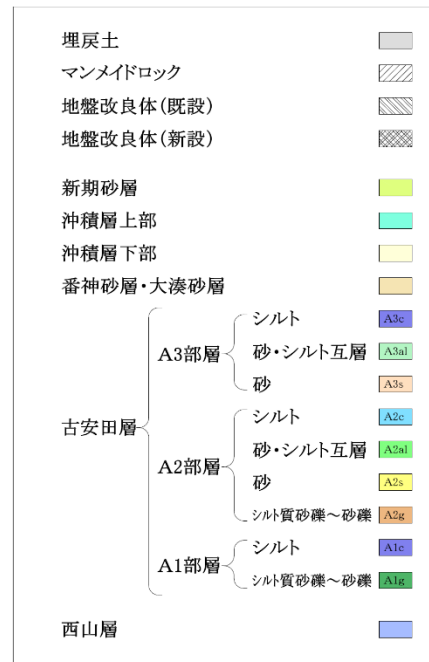
汀線直交 地質断面図 (原子炉建屋炉心中央) (B-B断面)

地質区分の細分化 (変更点②)



敷地平面図

凡例



汀線平行 地質断面図 (6, 7号機取水路一般部) (C-C断面)

3. 液状化影響評価の考え方と物性設定

設置変更許可時と同じ

①液状化影響評価の基本方針

- 設置変更許可時と同様に、工事計画認可においては、道路橋示方書等に基づき、保守的に液状化検討対象層を抽出し、有効応力解析に必要な物性値を設定し、解析を行う。
- サイクリックモビリティを示す地層についても、液状化強度試験に基づいて液状化強度特性を設定し、サイクリックモビリティを適切に考慮できる解析コードFLIPを適用する。

設置変更許可からの変更点

②液状化強度特性の設定

- 設置変更許可では、調査試験の数量が少なかったことから、液状化強度特性を下限値相当と想定。
- 工事計画認可においては、追加試験の実施により代表性・網羅性を確保した上で、液状化強度特性を平均値 - σ に設定。

液状化影響評価の基本方針（設置変更許可から変更なし）

【液状化影響評価の基本方針】

- 道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）に基づき、液状化検討対象層を抽出。
- 保守的な配慮として、道路橋示方書Vでは液状化の判定を行う必要のある土層に該当しないとされている地表面から20m以深及び洪積層に該当する地質区分についても、液状化検討対象層の抽出。
- これにより抽出した液状化検討対象層の物理的性質及び力学的性質について、地質調査及び室内試験を実施し、有効応力解析に必要な物性値を設定し、解析を行う。
- サイクリックモビリティを示す地層についても、液状化強度試験に基づいて液状化強度特性を設定し、サイクリックモビリティを適切に考慮できる解析コードFLIPを適用する。

液状化検討対象層の抽出 (設置変更許可から変更なし)

① 道路橋示方書に基づく液状化検討対象層の抽出

- 「道路橋示方書・同解説 (V耐震設計編)」の判定フローに基づき、液状化検討対象層の抽出

| 地層名 | | 時代 | 地表面から20m以浅の分布の有無 | 細粒分含有率 (%) | | | 塑性指数 I_p | | |
|------------|--------------|-----|------------------|------------|------|------|------------|------|------|
| | | | | 平均値 | 標準偏差 | データ数 | 平均値 | 標準偏差 | データ数 |
| 埋戻土 | | 沖積層 | 有 | 15.5 | 13.9 | 172 | - | - | - |
| 埋戻土 II | | 沖積層 | 有 | 90.6 | 3.6 | 13 | 38.0 | 4.7 | 13 |
| 沖積層 | 新期砂層 | 沖積層 | 有 | 7.2 | 4.4 | 90 | - | - | - |
| | 沖積層上部 (シルト質) | 沖積層 | 有 | 94.7 | 2.9 | 7 | 58.8 | 17.8 | 7 |
| | 沖積層上部 (砂質) | 沖積層 | 有 | 31.0 | 30.8 | 28 | - | - | - |
| | 沖積層下部 | 沖積層 | 有 | 16.4 | 7.9 | 54 | - | - | - |
| 古安田層 (洪積層) | A3c層 | 洪積層 | 有 | 88.1 | 12.0 | 15 | 54.5 | 19.0 | 12 |
| | A3al層 | 洪積層 | 有 | 78.2 | 27.0 | 94 | 46.6 | 13.7 | 44 |
| | A3s層 | 洪積層 | 有 | 52.2 | 26.2 | 30 | 29.9 | 15.4 | 18 |
| | A2c層 | 洪積層 | 有 | 90.6 | 13.6 | 161 | 39.9 | 14.7 | 74 |
| | A2al層 | 洪積層 | 有 | 65.7 | 23.3 | 75 | 36.2 | 16.0 | 26 |
| | A2s層 | 洪積層 | 有 | 37.7 | 27.4 | 87 | 31.6 | 14.7 | 29 |
| | A2g層 (シルト質) | 洪積層 | 有 | 77.6 | 28.0 | 46 | 45.1 | 11.7 | 41 |
| | A2g層 (砂質) | 洪積層 | 有 | 26.5 | 27.8 | 15 | - | - | - |
| | A1c層 | 洪積層 | 無 | 91.2 | 7.0 | 8 | 36.1 | 9.4 | 8 |
| | A1g層 | 洪積層 | 無 | 53.6 | 38.3 | 11 | 27.6 | 9.1 | 6 |

道路橋示方書Vにおける液状化検討対象層

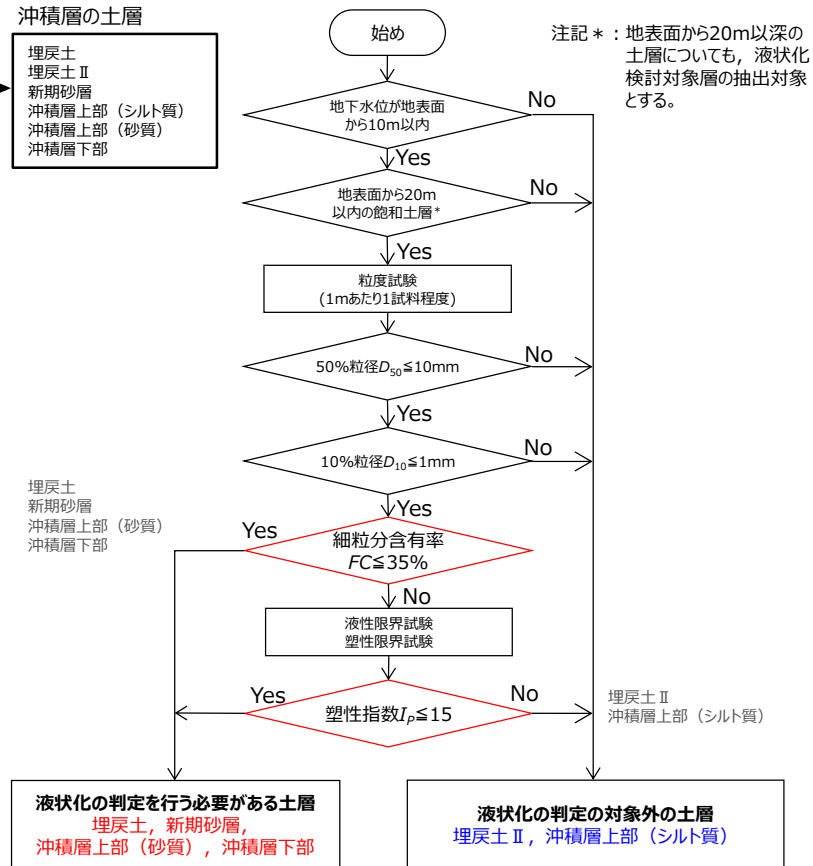
道路橋示方書Vに基づき液状化検討対象外とした根拠となるデータ

② 保守的な液状化検討対象層の抽出

- 道路橋示方書Vで、液状化判定の対象外としている「洪積層 (古安田層)」の砂層・砂礫層についても、液状化検討対象層として考慮

③ 抽出した液状化検討対象層

道路橋示方書・同解説 (V耐震設計編) の判定フロー



液状化の判定を行う必要がある土層
埋戻土, 新期砂層, 沖積層上部 (砂質), 沖積層下部

液状化の判定の対象外の土層
埋戻土 II, 沖積層上部 (シルト質)

洪積層 (古安田層) の砂層・砂礫層
道路橋示方書の判定フローに加えて、液状化判定の対象外となっている「洪積層 (古安田層)」の砂層・砂礫層であるA3s層, A2s層, A2g層 (砂質), A1g層を加える。

当社の液状化検討対象層
沖積層: 埋戻土, 新期砂層, 沖積層上部 (砂質土), 沖積層下部
洪積層 (古安田層): A3s層, A2s層, A2g層 (砂質), A1g層

液状化検討対象層の抽出（設置変更許可から変更なし）

液状化検討対象層の抽出結果

| 地層・地質区分 | | 層相 | 道路橋示方書Vにおける 液状化検討対象層 | 当社における 液状化検討対象層 | 備考 |
|---------------|---------------|-------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| 埋戻土 | 埋戻土 | 砂 | ● | ● | |
| | 埋戻土II | シルト | — | — | |
| 新期砂層 | 新期砂層 | 砂 | ● | ● | |
| | 沖積層上部(シルト質) | シルト | — | — | |
| | 沖積層上部(砂質) | 砂 | ● | ● | |
| | 沖積層下部 | 砂 | ● | ● | |
| 古安田層 (洪積層) | A3c層 | シルト | — | — | |
| | A3al層 | 砂・シルト 互層 | — | — | |
| | A3s層 | 砂 | — | ○ | 洪積層であるが検討対象とする。 |
| | A2c層 | シルト | — | — | |
| | A2al層 | 砂・シルト 互層 | — | — | |
| | A2s層 | 砂 | — | ○ | 洪積層であるが検討対象とする。 |
| | A2g層(シルト質) | シルト質砂礫 | — | — | |
| | A2g層(砂質) | 砂礫 | — | ○ | 洪積層であるが検討対象とする。 |
| | A1c層 | シルト | — | — | |
| A1g層 | シルト質砂礫 ～砂礫 | — | ○ | 洪積層であるが検討対象とする。 | |

道路橋示方書の液状化判定に基づき抽出（地表面から20m以深の土層についても抽出対象に含める）

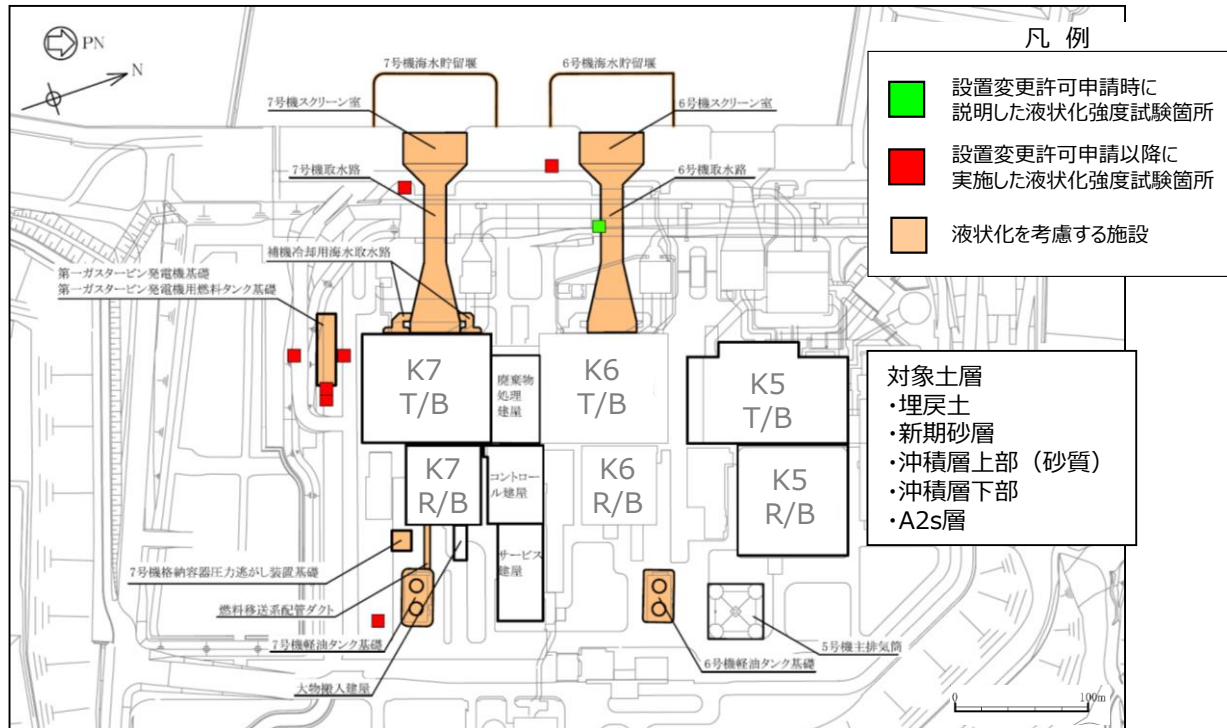
道路橋示方書では、「洪積層」は液状化判定の対象外としているが保守的に考慮（洪積層のうち、砂層・砂礫層を含める）

凡例

- : 道路橋示方書Vの判定により、検討対象に該当するもの
- : 道路橋示方書Vでは検討対象外と判定されるが、保守的な配慮として検討対象に加えるもの
- : 道路橋示方書Vの判定により、検討対象外となるもの
- : 液状化検討対象層に該当するもの

液状化強度試験

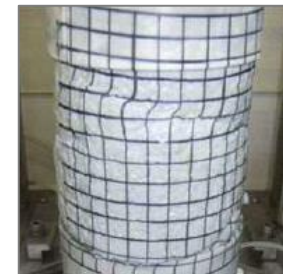
- 液状化強度試験に用いた供試体は、6・7号機工事計画認可の対象施設近傍から採取するとともに、ボーリングコアを観察し、液状化評価の観点から、地層の中でも砂分が多い箇所から選定。
- 液状化強度試験については、設置変更許可と同様に、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験法により実施。



液状化強度試験に用いた供試体の採取位置

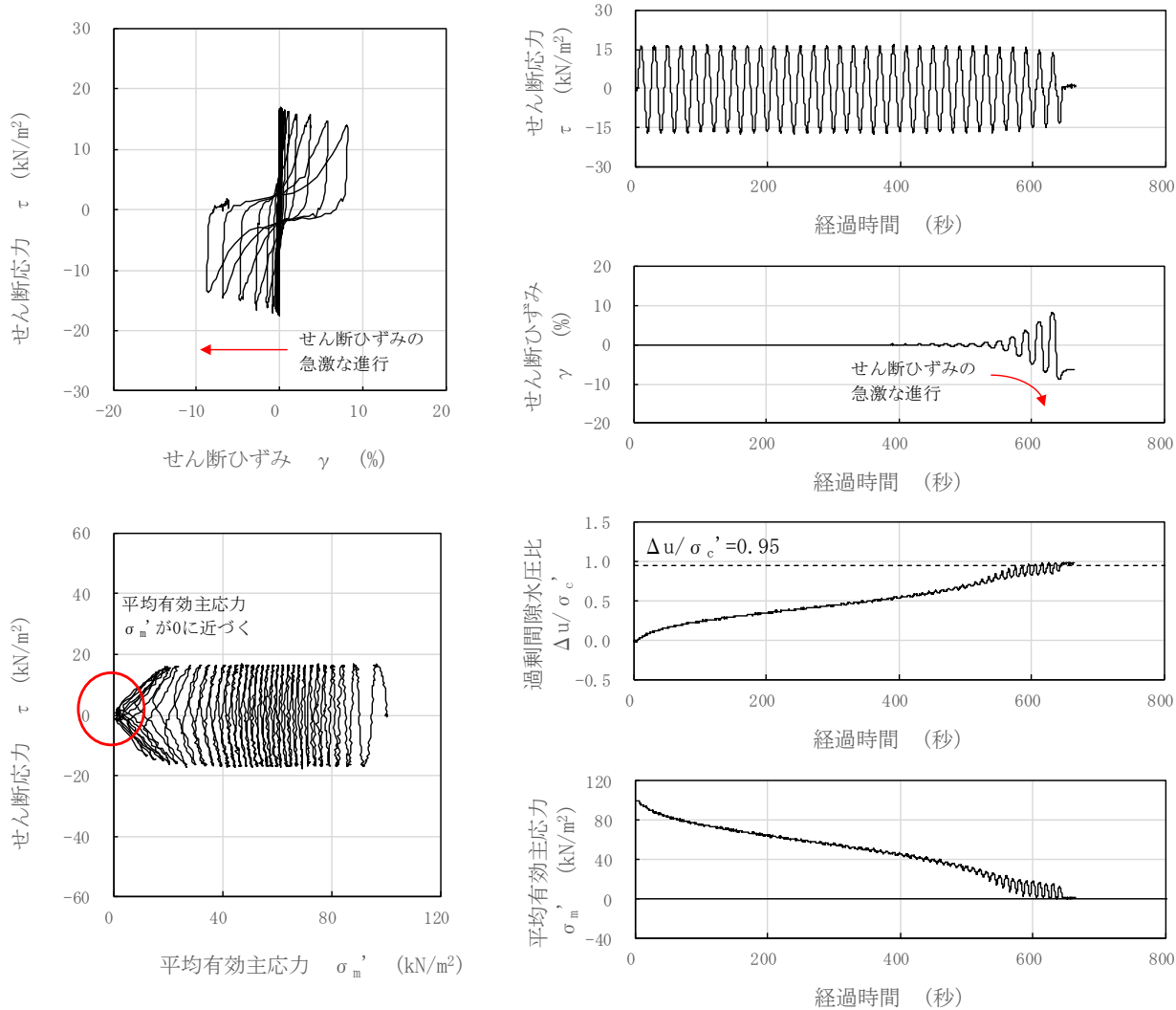


液状化強度試験供試体の例
(凍結サンプリング(A2s層))



液状化強度試験
(中空ねじりせん断試験後)

液状化強度試験結果 (埋戻土)

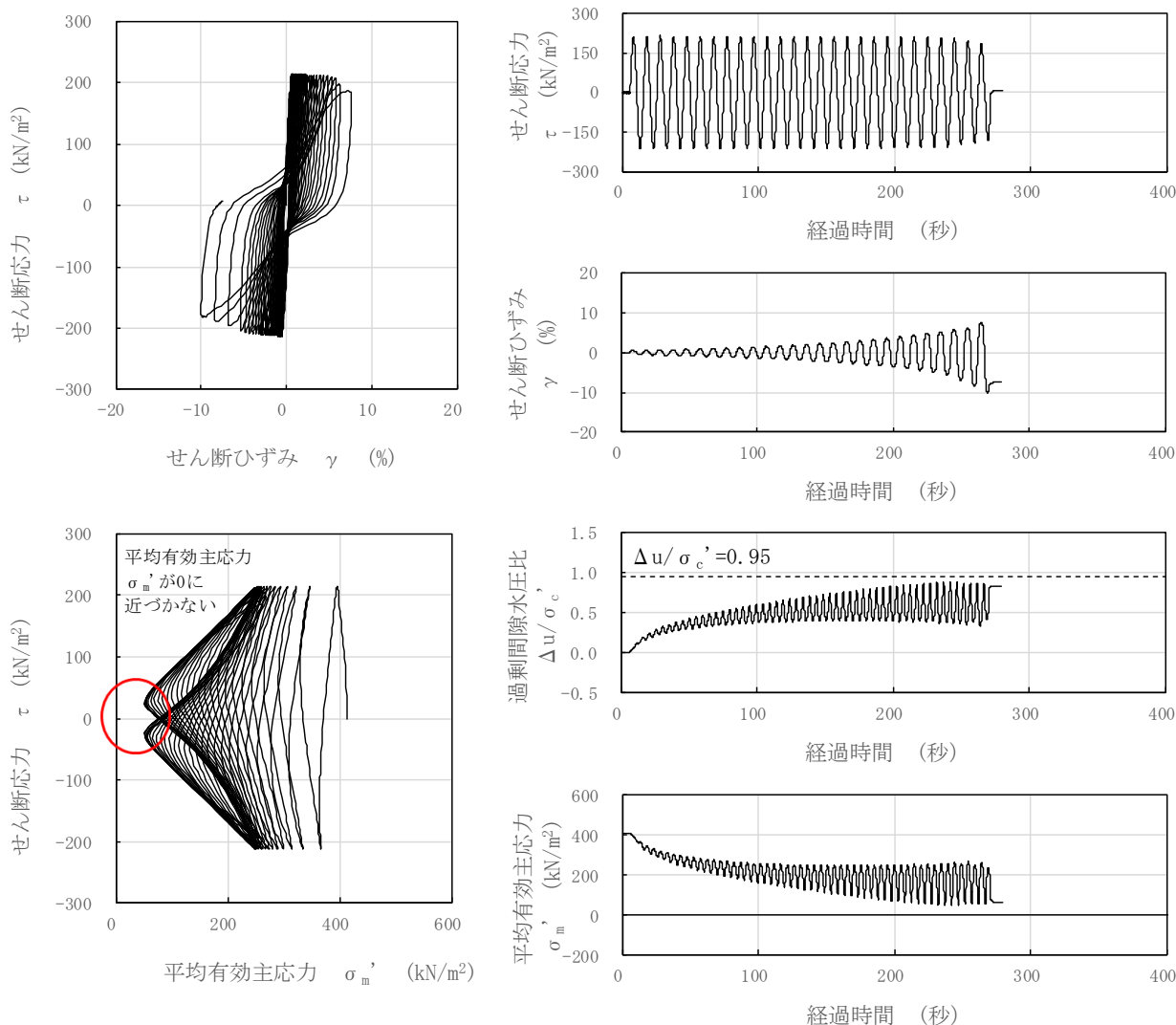


【埋戻土の試験結果】

- せん断ひずみの急激な進行
- 平均有効主応力 σ'_m が0に近づく
- 過剰間隙水圧比が0.95を超える

液状化強度試験結果の一例 (埋戻土)
 (GL.-5.13~5.25m, 有効拘束圧100kN/m², せん断応力比=0.168)

液状化強度試験結果 (A2s層)



【A2s層の試験結果】

- せん断ひずみが緩やかに上昇
- 平均有効主応力 σ'_m が0に近づかない (有効応力を保持している)
- 過剰間隙水圧比が上昇と下降を繰り返し0.95を超えない



サイクリックモビリティを示す地層についても、液状化強度試験に基づいて液状化強度特性を設定。



解析コードはサイクリックモビリティを適切に考慮できるFLIPを適用。

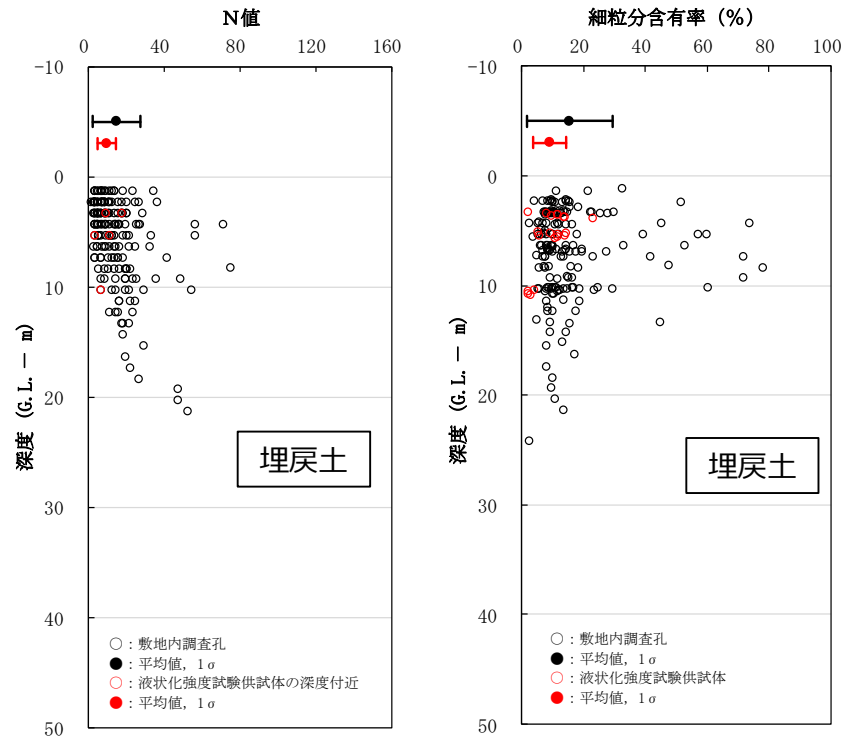
液状化強度試験結果の一例 (A2s層)

(GL.-25.10~25.25m, 有効拘束圧412kN/m², せん断応力比=0.519)



液状化強度試験の代表性・網羅性

- 液状化強度試験に用いた供試体と、大湊側敷地内で取得した同じ地層の土質材料の物理特性やN値等とを比較することにより、液状化強度試験の代表性・網羅性を確認。
- 液状化強度試験に用いた供試体のうち、埋戻土及び新期砂層については、N値及び細粒分含有率Fcが敷地内調査孔の平均値 $\pm 1\sigma$ 以内にあることから、代表性・網羅性があることを確認。

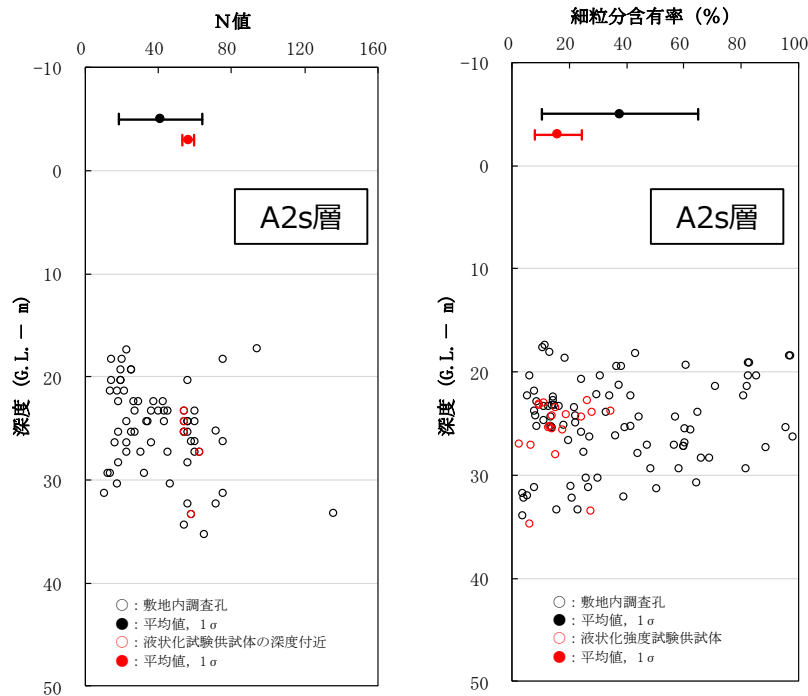


液状化強度試験供試体
→敷地内調査孔の平均値
±1σ以内

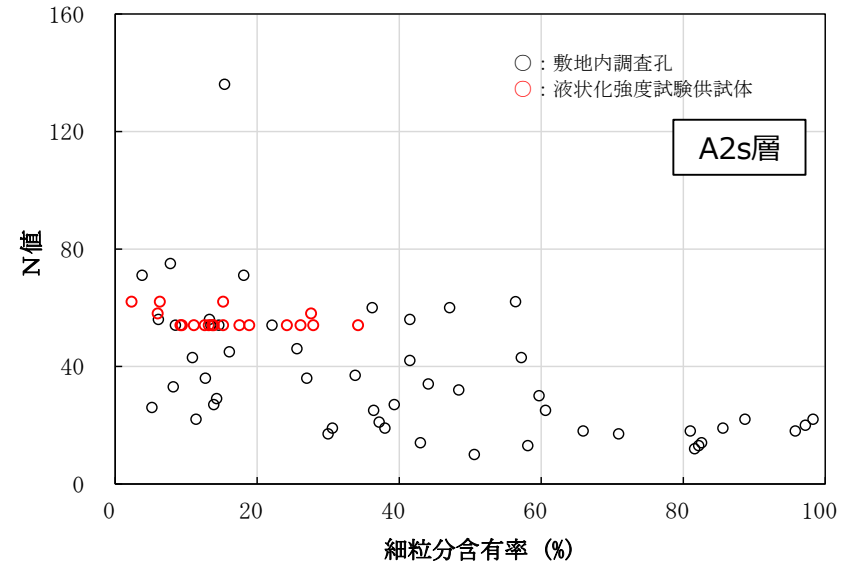
液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の
N値，細粒分含有率Fcの比較（埋戻土）

液状化強度試験の代表性・網羅性

- 液状化強度試験に用いた供試体のうち、沖積層上部（砂質）、沖積層下部及びA2s層については、細粒分含有率Fcは敷地内調査孔の平均値-1σ以内にあるものの、N値は敷地内調査孔の平均値よりも大きい。
- これは、液状化強度試験の供試体は、採取コアの中でも砂分が主体的な箇所から選定しているため、シルト分の割合が高い箇所と比べてN値が比較的大きくなったためと考えられる。



液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の
N値、細粒分含有率Fcの比較（A2s層）



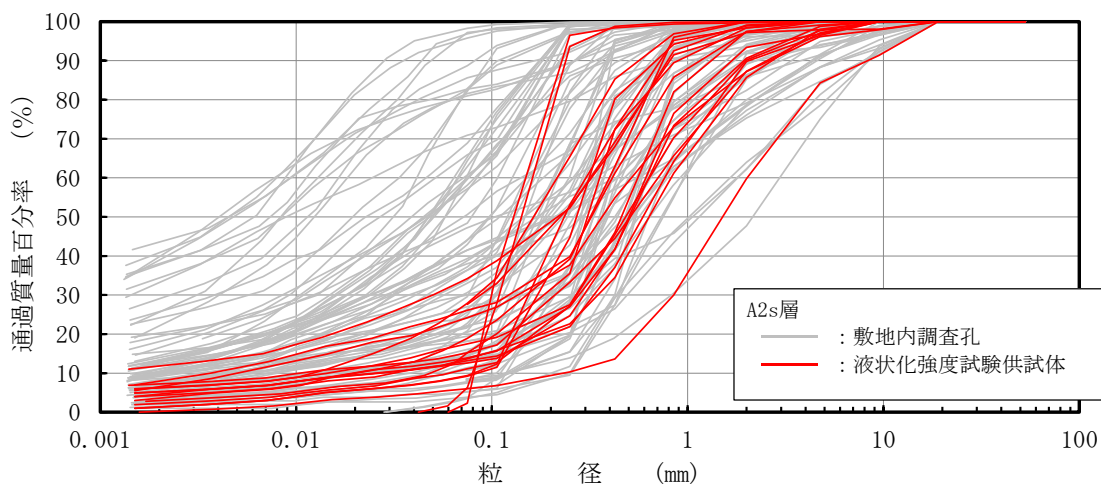
液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の
細粒分含有率FcとN値の関係（A2s層）

液状化強度試験の代表性・網羅性

- 液状化強度試験に用いた供試体は、液状化評価の観点から、採取コアの中でも液状化しやすい細粒分含有率 F_c が低く、砂分が主体的な箇所から採取。
- これより、液状化強度試験供試体は、敷地内の地盤に対して代表性・網羅性を有すると判断できる。

A2s層の粒度組成

| | 粒度組成 (平均値) | | |
|------------|--------------------|--------------------------|----------------------------------|
| | 礫分 2mm以上 (%) | 砂分 2.0~0.075mm (%) | 細粒分含有率 F_c 0.075mm以下 (%) |
| 敷地内調査箇所 | 6.4 | 55.9 | 37.7 |
| 液状化強度試験供試体 | 6.8 | 77.2 | 16.0 |



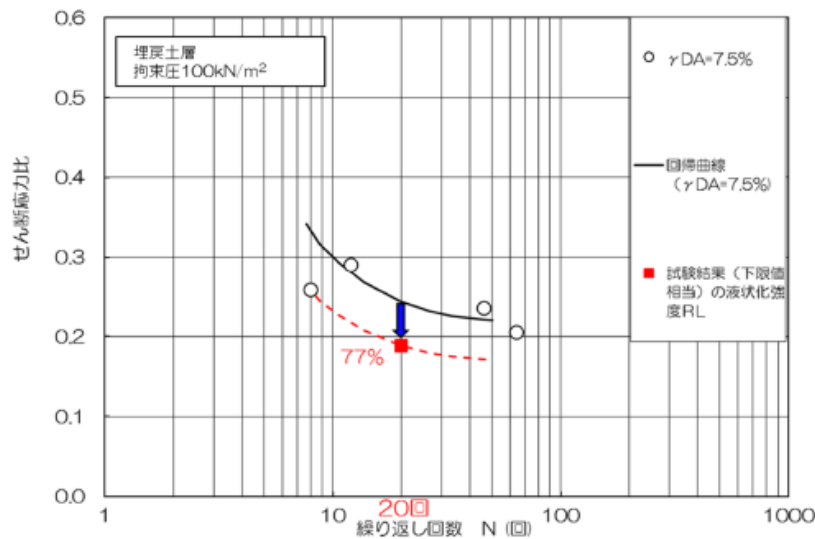
液状化強度試験供試体の細粒分含有率 F_c は、敷地内調査孔よりも低い

A2s層の液状化強度試験供試体と敷地内調査孔の粒度試験結果

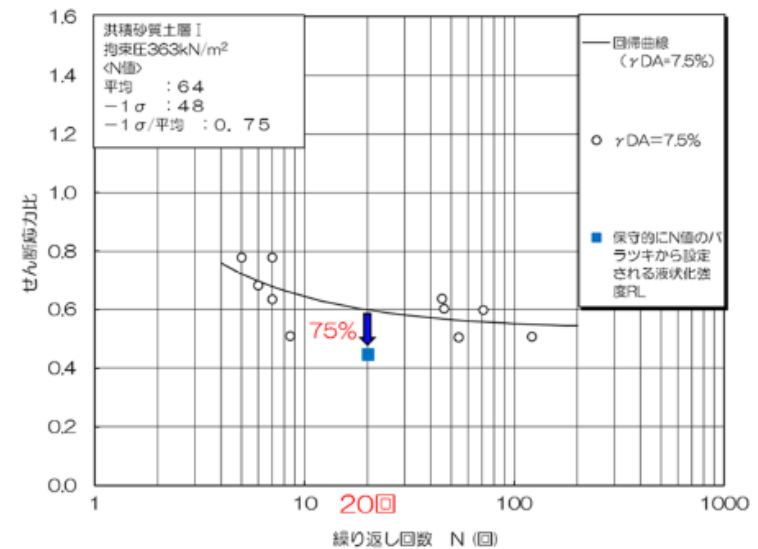
液状化強度特性の設定（変更点）

【設置変更許可】

- 設置変更許可の液状化による見通し評価の段階においては、1～4号機側（荒浜側）で2地点、5～7号機側（大湊側）で1地点での試験結果であったことから、代表性・網羅性の観点から、液状化強度試験結果の下限值、若しくは、保守的にN値のばらつきから低減して設定される液状化強度 R_L を用いて、液状化強度特性を想定。



埋戻土



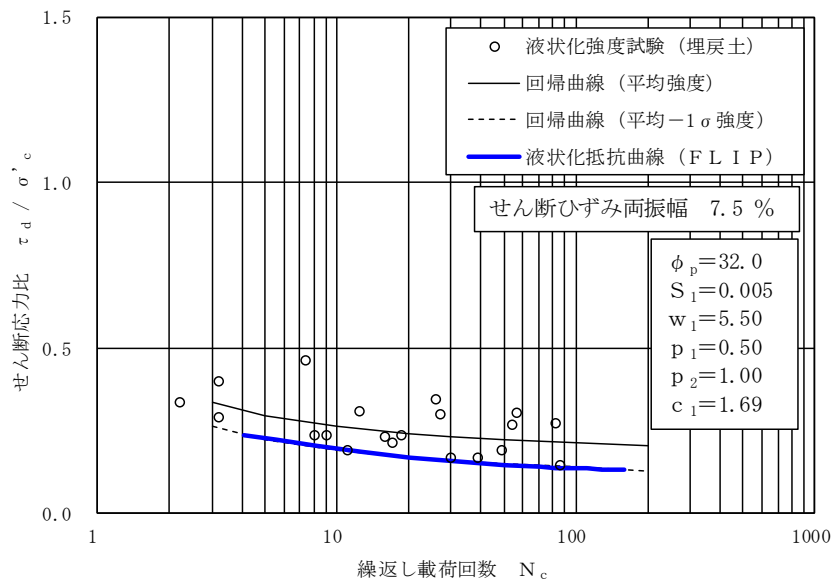
O-1地点 洪積砂質土層 I

液状化強度特性の設定（設置変更許可）

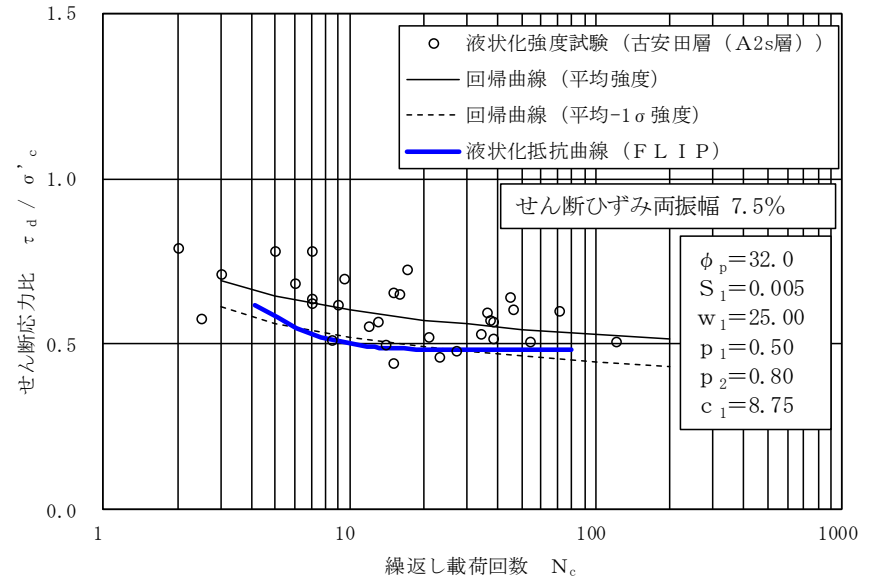
液状化強度特性の設定（変更点）

【工事計画認可】

- 液状化強度試験に用いた供試体は，対象施設近傍で採取するとともに，地層の中でも砂分が多い箇所のものを選定。
- 設置変更許可以降，追加調査を実施してデータを拡充させることにより，データの信頼度を向上。
- 以上により，液状化強度試験の代表性・網羅性を確認した上で，各地層で得られた液状化強度特性のばらつきを踏まえて，液状化強度特性を液状化抵抗曲線の平均値-1 σ で設定



埋戻土



古安田層 (A2s層)

液状化強度特性の設定（工事計画認可）

解析用物性値の代用

- 敷地内の地層のうち、「敷地内の分布範囲が狭い地層」や「層厚が薄い地層」については、同時に堆積し、施設直下及び直近に分布する代表的な地層により、解析用物性値を代用。

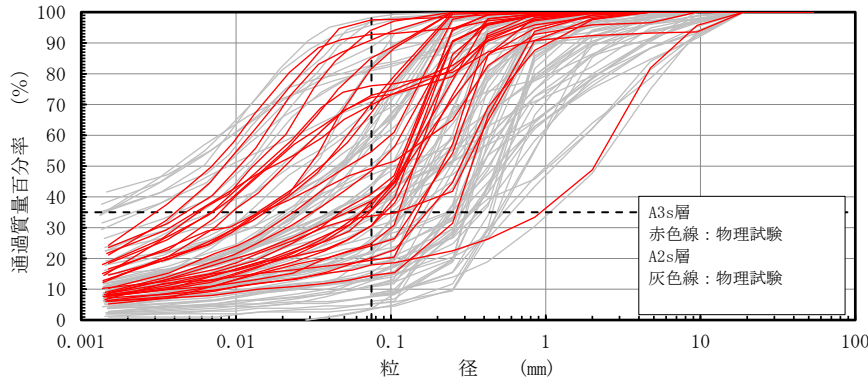
代用地層の対応一覧

| | 代用される地層 | 代用に用いる代表的な地層 |
|-----------|-----------------------|--------------|
| 液状化検討対象層 | A3s層, A2g層 (砂質), A1g層 | A2s層 |
| 非液状化検討対象層 | A2g層 (シルト質), A1c層 | A2c層 |

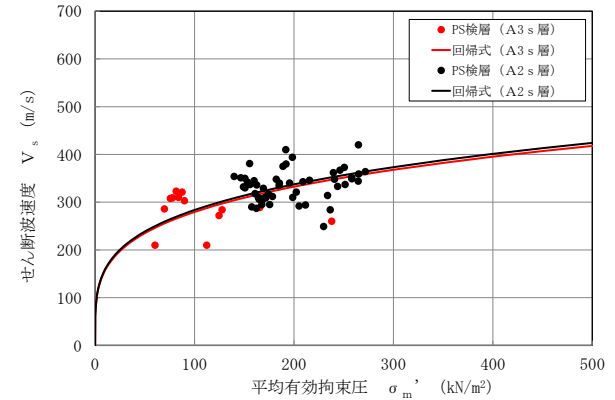
□ 解析物性値の代用の妥当性検討

- 代用される地層については、代用に用いる代表的な地層と物理特性・速度特性・力学特性・液状化強度特性を比較。
- 両者の地層は速度特性・力学特性に関して概ね同等の性状を有していること、液状化強度特性に関してはより保守的な評価につながることを確認しており、代用は妥当であると判断。

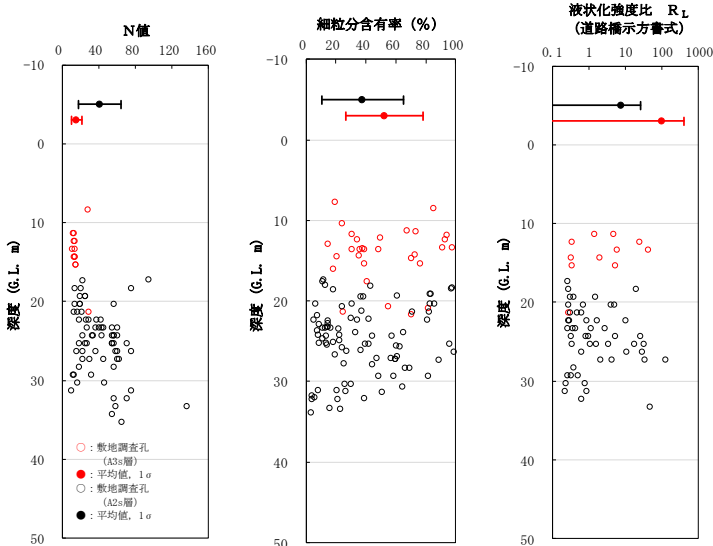
解析用物性値の代用



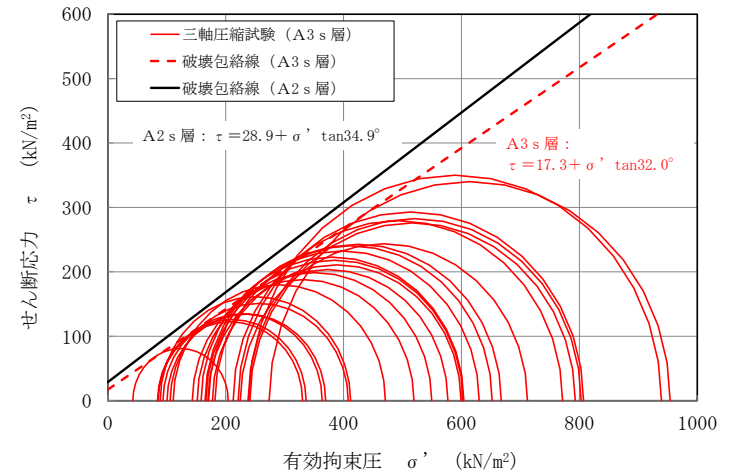
粒度分布の比較



PS検層結果の比較



N値、細粒分含有率及び道路橋示方書Vに基づく液状化強度比 R_L の比較



三軸圧縮試験結果 [圧密非排水条件] の比較

代用される地層と代用に用いる代表的な地層との比較の一例
 【代用される地層 (A3s層) vs 代用に用いる代表的な地層 (A2s層)】

液状化強度特性のパラメータ

- 以上の検討を踏まえ、液状化検討対象層の解析用物性値を設定

液状化検討対象層の解析用物性値

| 物性値 | | 地質区分 | 埋戻土 | 新期砂層・沖積層 | | | 古安田層 | | | |
|-------|---|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | | 新期砂層 | 沖積層上部 (砂質) | 沖積層下部 | A2s層 | A3s層 | A2g層 (砂質) | A1g層 |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | | 1.94 (1.79)* | 2.05 (2.00)* | 1.90 | 2.02 | 1.91 | 1.91 | 1.91 | 1.91 |
| | 間隙率 n | | 0.45 | 0.44 | 0.48 | 0.42 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.45 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²) | | 1.04×10^5 | 1.26×10^5 | 1.25×10^5 | 1.92×10^5 | 2.14×10^5 | 2.14×10^5 | 2.14×10^5 | 2.14×10^5 |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²) | | 98.0 | 98.0 | 110.0 | 150.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 |
| | ポアソン比 ν | | 0.33 (0.42)* | 0.33 (0.44)* | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | | 0.225 | 0.234 | 0.247 | 0.211 | 0.157 | 0.157 | 0.157 | 0.157 |
| 強度特性 | 粘着力 c' (kN/m ²) | | 0.0 (9.6)* | 0.0 (94.4)* | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 内部摩擦角 ϕ' (°) | | 35.9 (34.8)* | 34.6 (27.6)* | 36.7 | 35.6 | 36.6 | 36.6 | 36.6 | 36.6 |
| 液状化特性 | 変相角 ϕ_p (°) | | 32.0 | 31.0 | 33.0 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | 32.0 |
| | 液状化パラメータ | S_1 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
| | | w_1 | 5.50 | 7.90 | 11.00 | 8.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 |
| | | p_1 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | | p_2 | 1.00 | 0.70 | 0.70 | 0.65 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| c_1 | 1.69 | 2.13 | 2.41 | 2.00 | 8.75 | 8.75 | 8.75 | 8.75 | | |

注記* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

4. 地下水位の設定

設置変更許可からの変更点

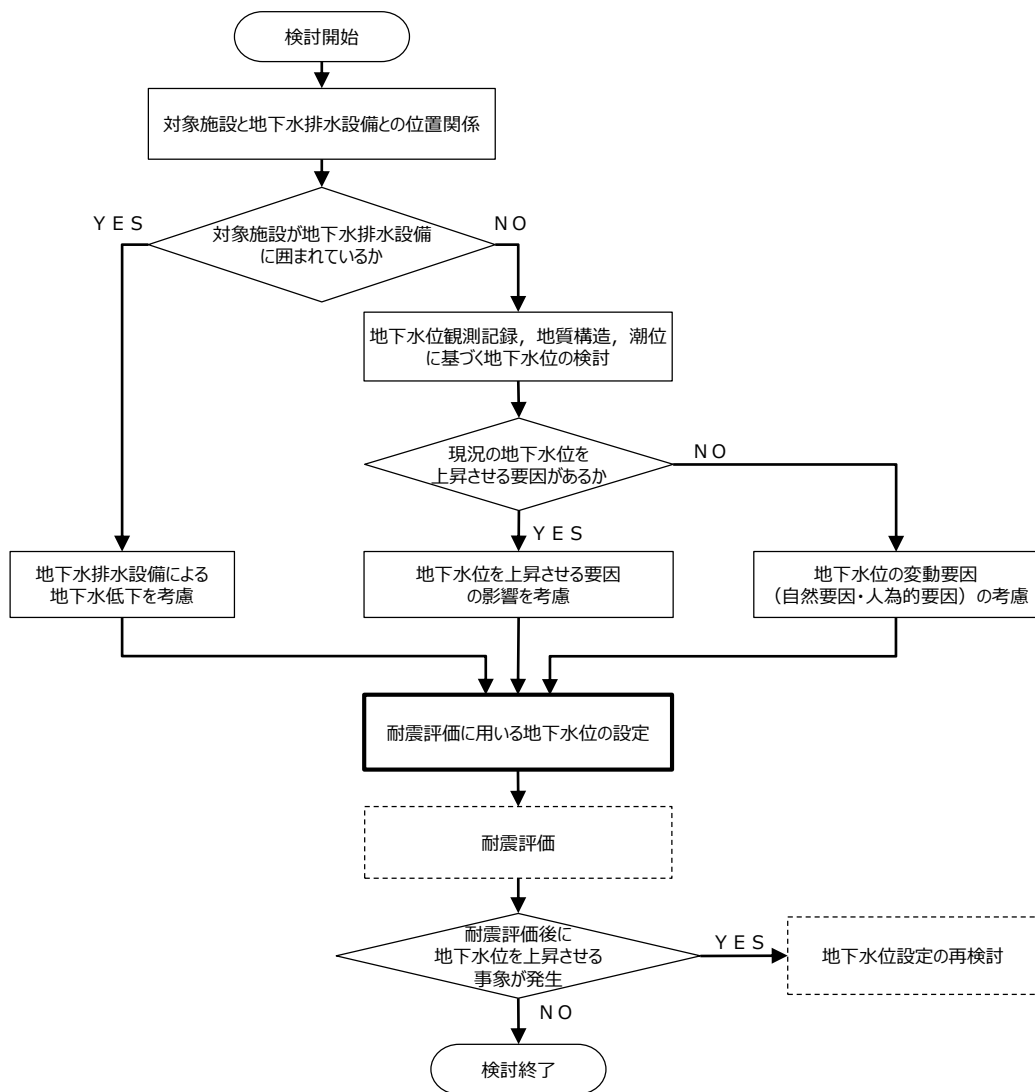
①地下水位設定の基本方針

- 工事計画認可で設定する地下水位の設定の考え方を整理し，地下水位の上昇要因及び変動要因等を考慮した地下水位設定に変更。
- 耐震評価後に地下水位が上昇させる事象が予想される場合は，地下水位設定の再検討を実施。

②地下水位観測に基づく地下水位の設定

- 設置変更許可時の見通し評価段階では，建設時の工事計画認可で設定した地下水位を流用。
- 工事計画認可においては，対象施設近傍の地下水位観測記録により，設計用の地下水位を再設定。

地下水位設定の基本方針（変更点）



耐震評価における地下水水位の設定フロー

- 設置変更許可時の地下水位設定
 - 設置変更許可の液状化による見通し評価の段階においては、設計上の地下水位は建設時の工事計画認可のものを流用。
- 地下水位設定の考え方の整理
 - 対象施設が地下水排水設備に囲まれている場合は、地下水排水設備による地下水水位低下を考慮。
 - 対象施設が地下水排水設備の外側に配置される場合は、地下水水位観測記録、地質構造、潮位に基づく地下水水位を検討。
 - その際、建物の配置、地形改変、降雨等の変動要因について検討し、現況の地下水水位観測結果の妥当性を確認。

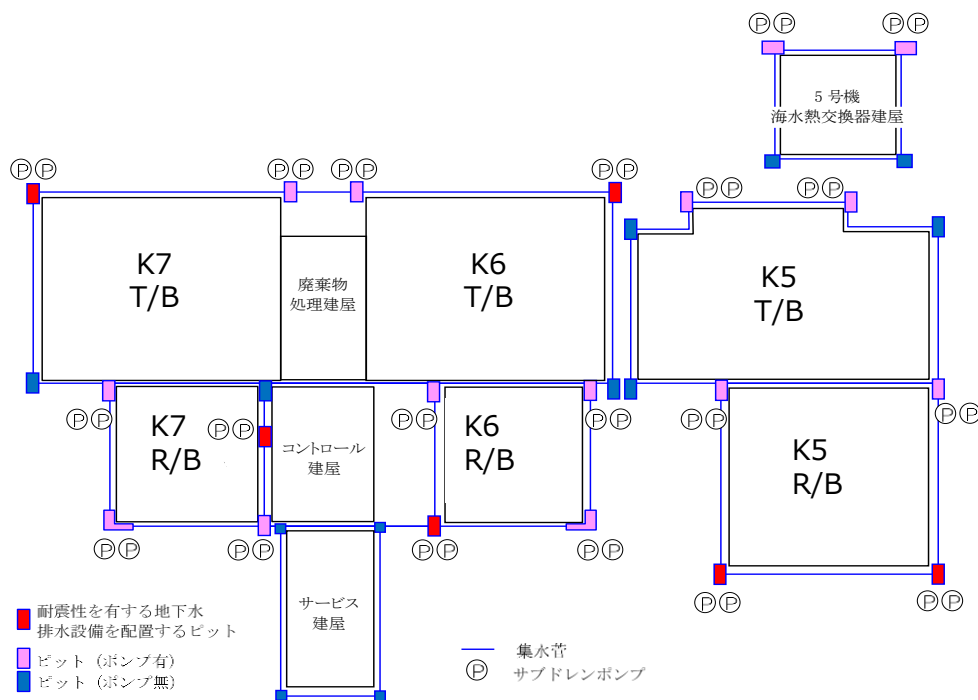


耐震評価における地下水水位設定

- 耐震評価後に地下水水位を上昇させる事象が発生した場合は、地下水水位設定の再検討を実施。

地下水排水設備に囲まれている施設の地下水水位設定

- 地下水排水設備は原子炉建屋等を取り囲むように設置。
- 地下水排水設備に囲まれている施設は、地下水排水設備による地下水水位の低下を考慮し、基礎スラブ上端レベルに地下水水位を設定。



地下水排水設備の平面図

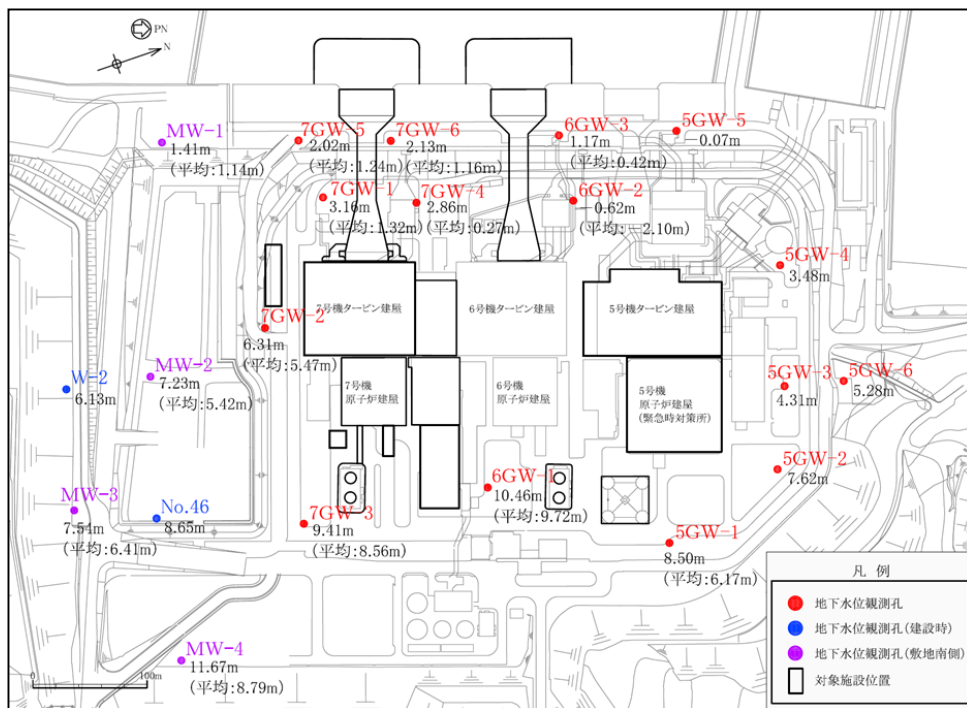
地下水排水設備に囲まれている対象施設*

- 原子炉建屋
- タービン建屋
- 廃棄物処理建屋
- コントロール建屋
- サービス建屋

注記* : 地下水排水設備に囲まれている施設のうち、工事計画認可申請において耐震評価の対象となる施設を示す。

地下水排水設備の外側に配置する施設の地下水水位設定（変更点）

- 設置変更許可以降、評価対象施設の周辺で新たに敷地内に地下水水位計を設置し、地下水水位の連続観測を実施。
- 建設時の工事計画認可前の地下水観測記録についても調査。
- 地下水排水設備の外側に配置する施設は、地下水水位観測記録に基づき地下水水位を設定。
- 地下水水位観測記録に基づき地下水水位を設定する際は、地下水水位を上昇させる要因の有無、地下水水位の変動要因について検討し、現況の地下水水位観測結果の妥当性を確認。



地下水水位観測孔位置図

■ 地下水水位観測

地下水水位観測孔設置数：21箇所
(建設時観測孔2箇所を含む)

敷地内観測孔観測期間：2018年1月～現在
(建設時観測孔：1988年4月～1995年3月)

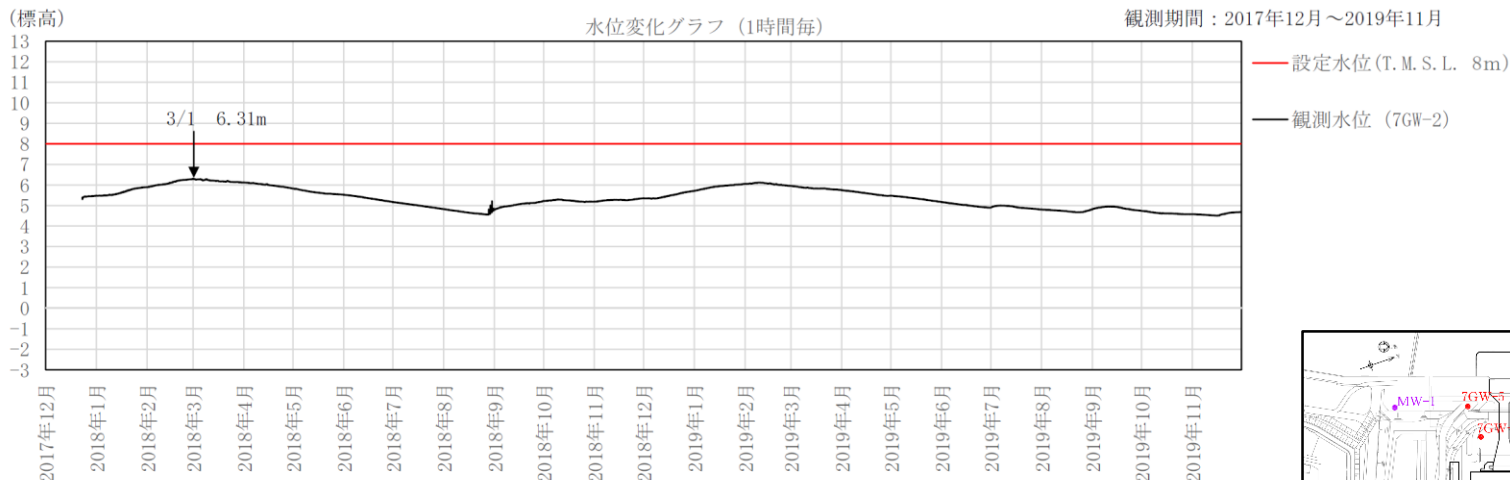
地下水排水設備の外側に配置する施設*

- 大物搬入建屋
- 格納容器圧力逃がし装置基礎
- 海水貯留堰
- スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路
- 常設代替交流電源設備（発電機基礎、軽油タンク基礎）
- 軽油タンク基礎
- 燃料移送系配管ダクト
- 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板

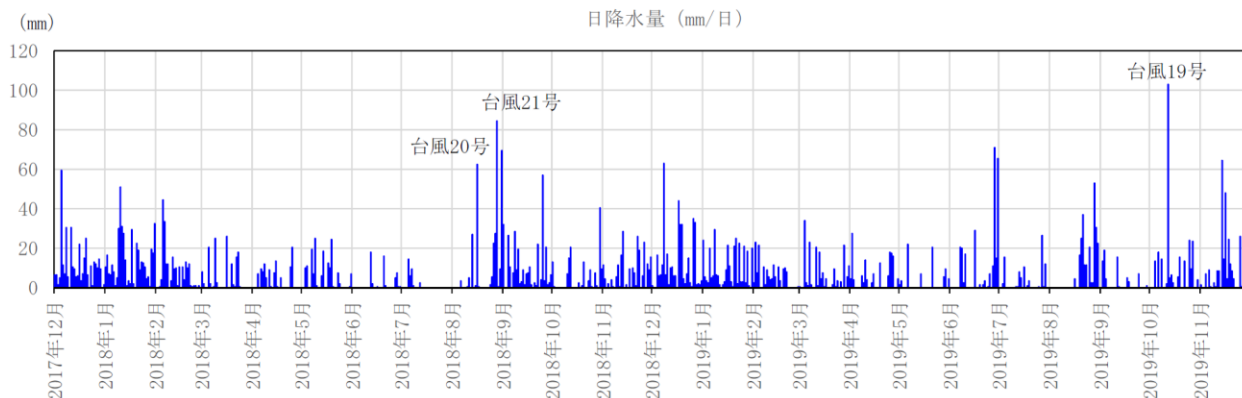
注記*：地下水排水設備の外側に配置する施設のうち、工事計画認可申請において耐震評価の対象となる施設を示す。

地下水位観測結果

地下水位観測記録 (7GW-2)

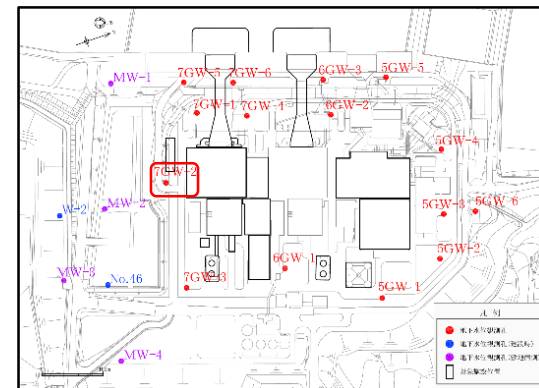


地下水位観測記録 (7GW-2)



(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)

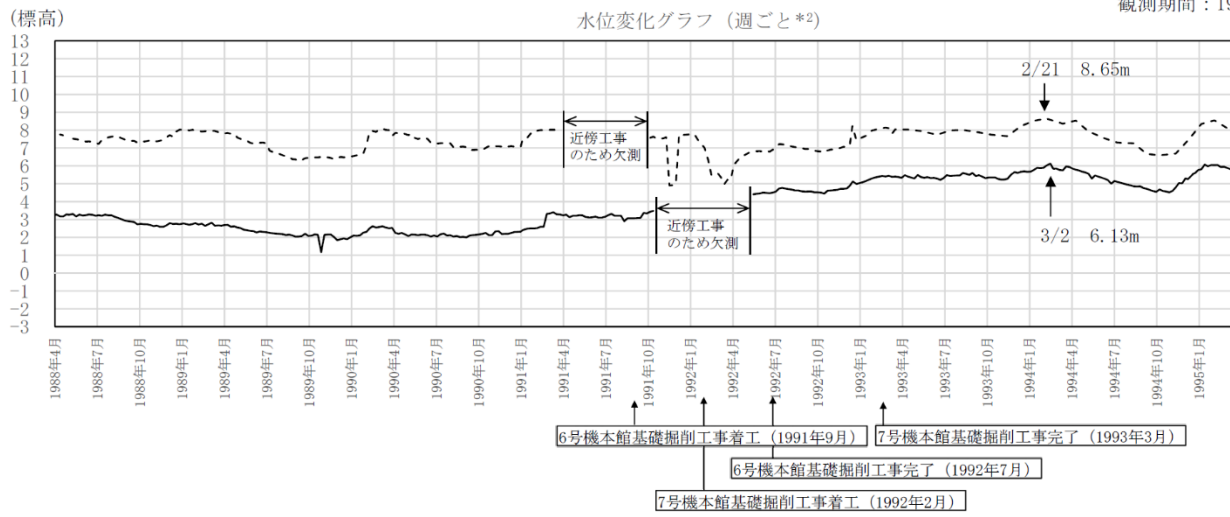
柏崎地点 降雨記録



観測孔位置図

地下水位観測結果

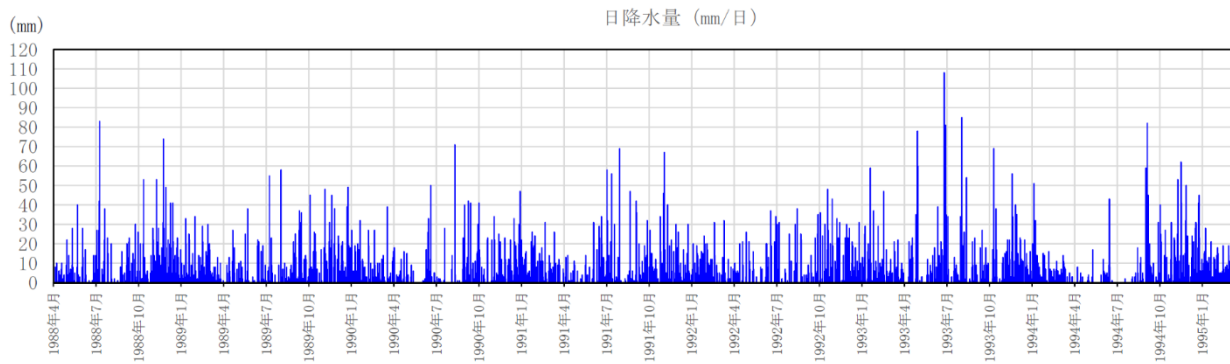
建設時の地下水位観測記録 (No.46,W-2)



--- 観測水位 (No. 46)
 — 観測水位 (W-2)

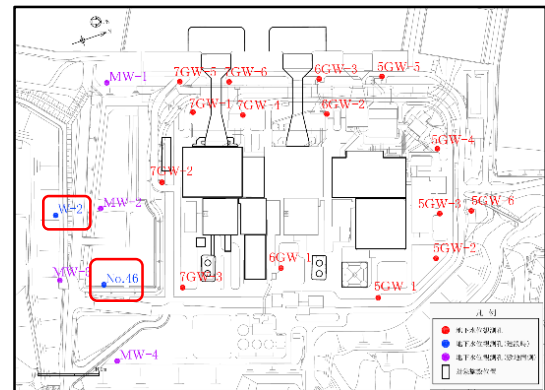
注記 * 1 : 6号機本館基礎開始前後の計測期間 (1988年4月～1995年3月) の記録を抜粋
 * 2 : 1週間ごとの水位観測記録

地下水位観測記録 (No.46,W-2)



(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)

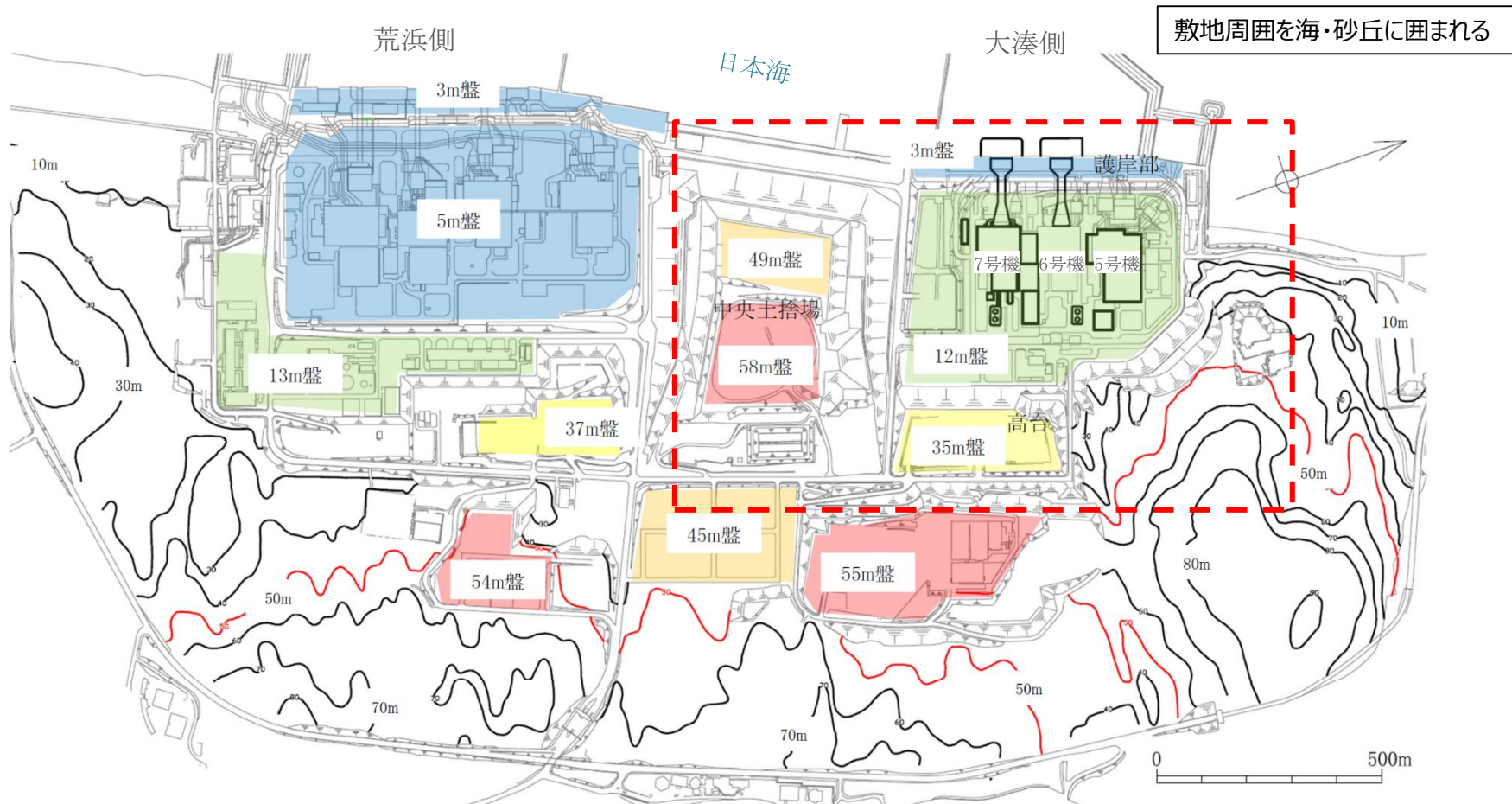
柏崎地点 降雨記録



観測孔位置図

敷地全体の地下水の流れ

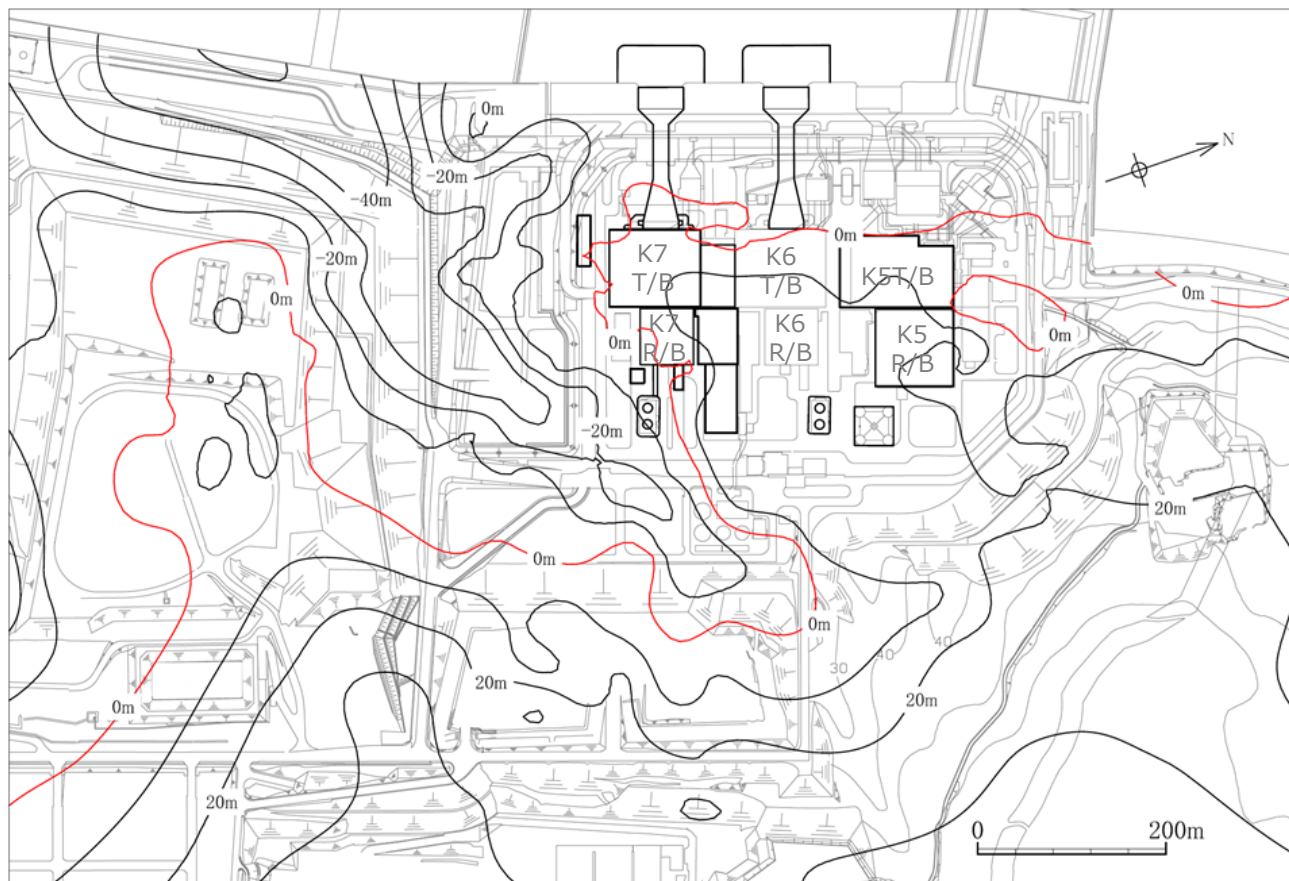
- 柏崎刈羽原子力発電所は、日本海と標高の高い砂丘の間に位置。
- 敷地内に降った降雨は、地下水として標高の高い山側から発電所の方へ流れ、最終的には海側へ流下すると考えられる。



柏崎刈羽原子力発電所の敷地の地形図

大湊側敷地における地下水の流れ

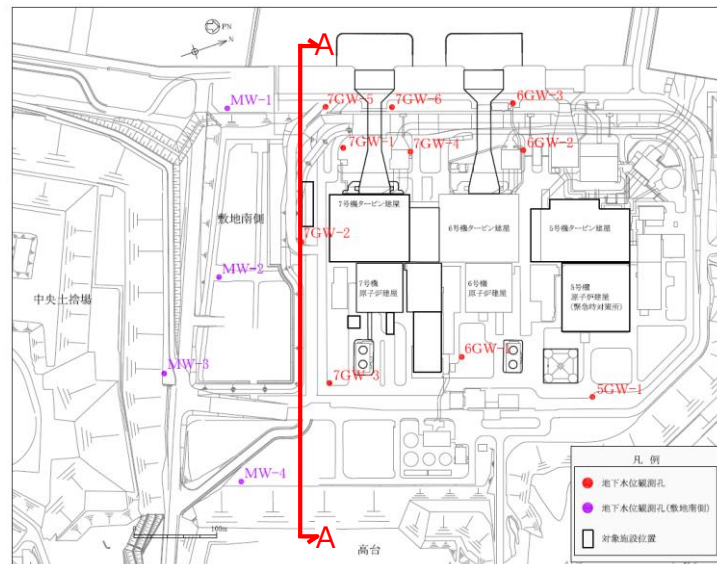
- 7号機原子炉建屋の南側に位置する敷地では、古安田層上限面が深くなっており、それよりも上位の地層（新期砂層・沖積層）は砂質土が主体的であることから、大湊側敷地における地下水は、全体として敷地の丘陵地から海側へ流れている



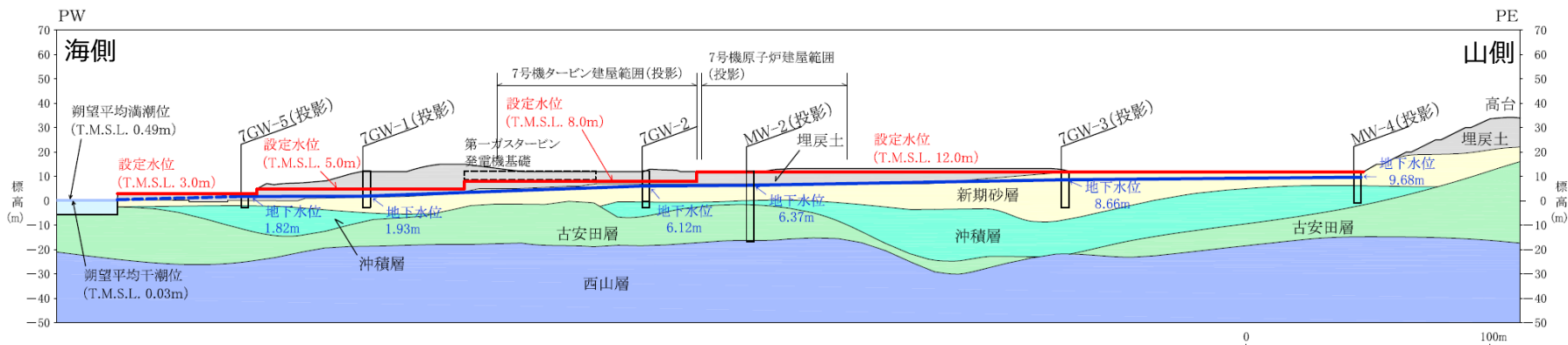
大湊側敷地の古安田層上限面コンター図

敷地の地下水位分布

- 地下水位は山側から海側にかけて徐々に低下。
- 施設近傍で観測した地下水位は、施設位置において耐震評価における地下水位を上回らない。



地下水位観測孔位置図



注1： 7GW-2孔を除く地下水位観測孔及び各施設は投影で示している。

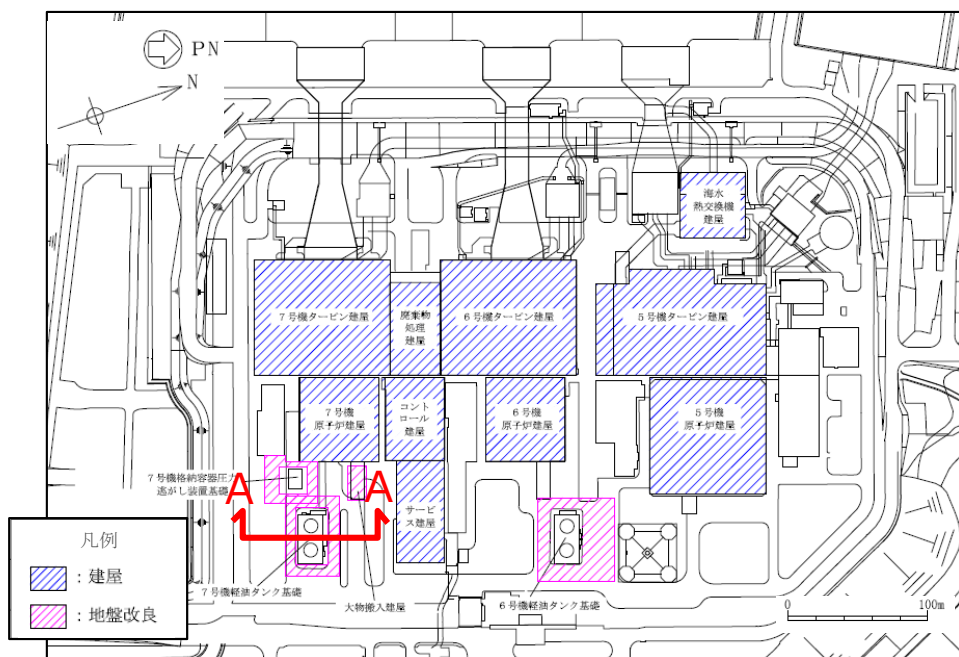
注2： 測線上の観測孔（7GW-1, 7GW-2, 7GW-3, 7GW-5, MW-2, MW-4）のデータが揃い、そのうち7GW-2孔の観測地下水位が最も高い2019年2月10日00:00の記録

A-A断面の地下水位分布

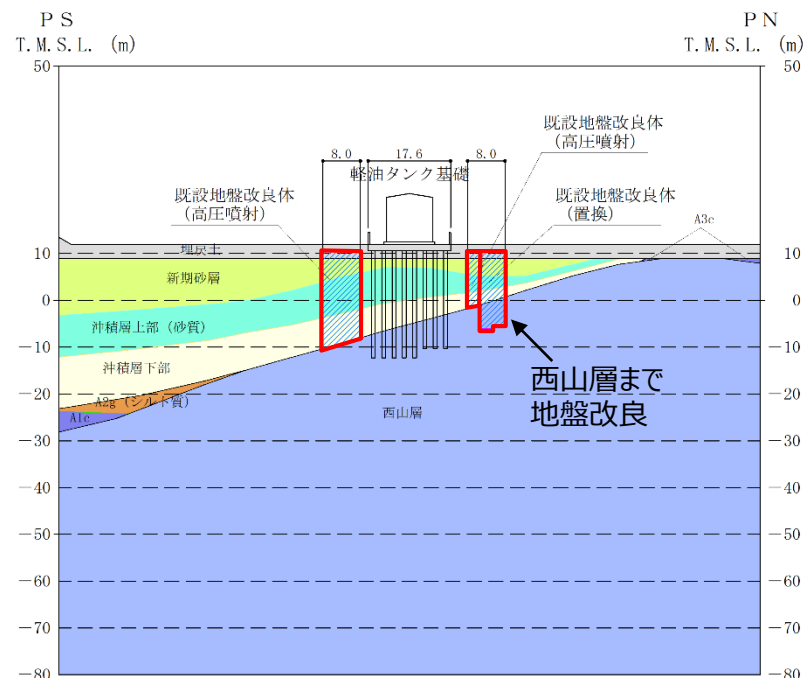
地下水位観測記録における変動要因の考慮

□現況の地下水位を上昇させる要因の有無（敷地の地盤改良体）

- 柏崎刈羽原子力発電所では、原子炉建屋よりも上流側において、西山層まで地盤改良している箇所があるものの、その範囲は限定的であることから、敷地内の地下水の流動を妨げる恐れはない。



現況の地下水位を上昇させる可能性がある
施設・地盤改良体の配置

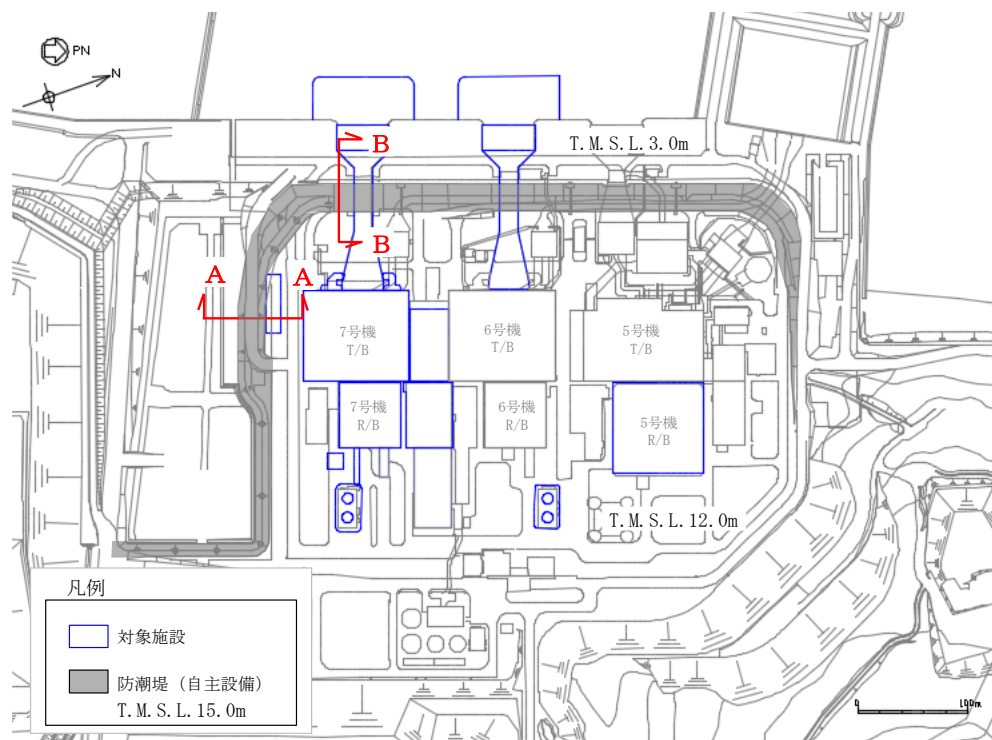


軽油タンク基礎 A-A断面

地下水位観測記録における変動要因の考慮

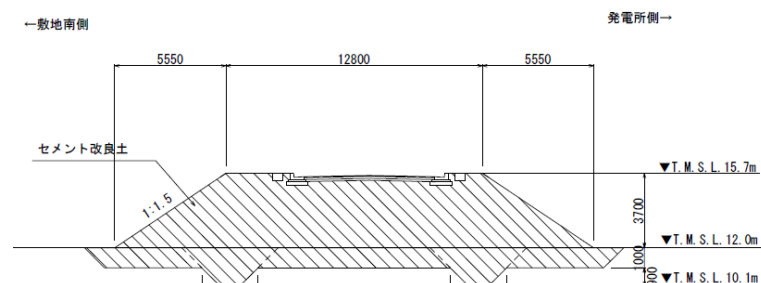
□ 現況の地下水位を上昇させる要因の有無（防潮堤）

- 敷地を囲う防潮堤（自主設備）については、その基礎の深さは2m程度と浅いため、敷地内の地下水の流動を妨げる恐れはない。

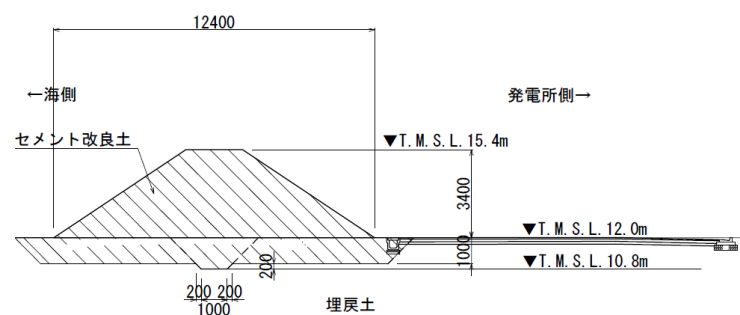


大湊側敷地 防潮堤（自主設備）の範囲

防潮堤（自主設備）の基礎は深部にまで達していない



防潮堤 A-A断面



防潮堤 B-B断面

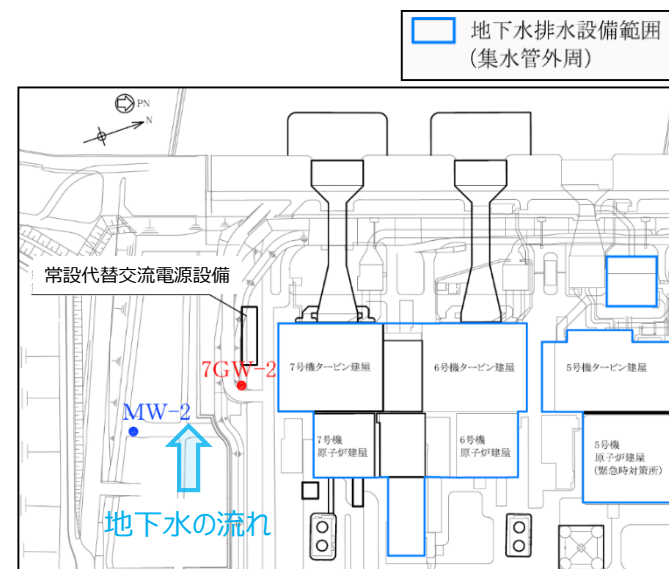
地下水位観測記録における変動要因の考慮

□人為的要因（地下水排水設備）の影響検討

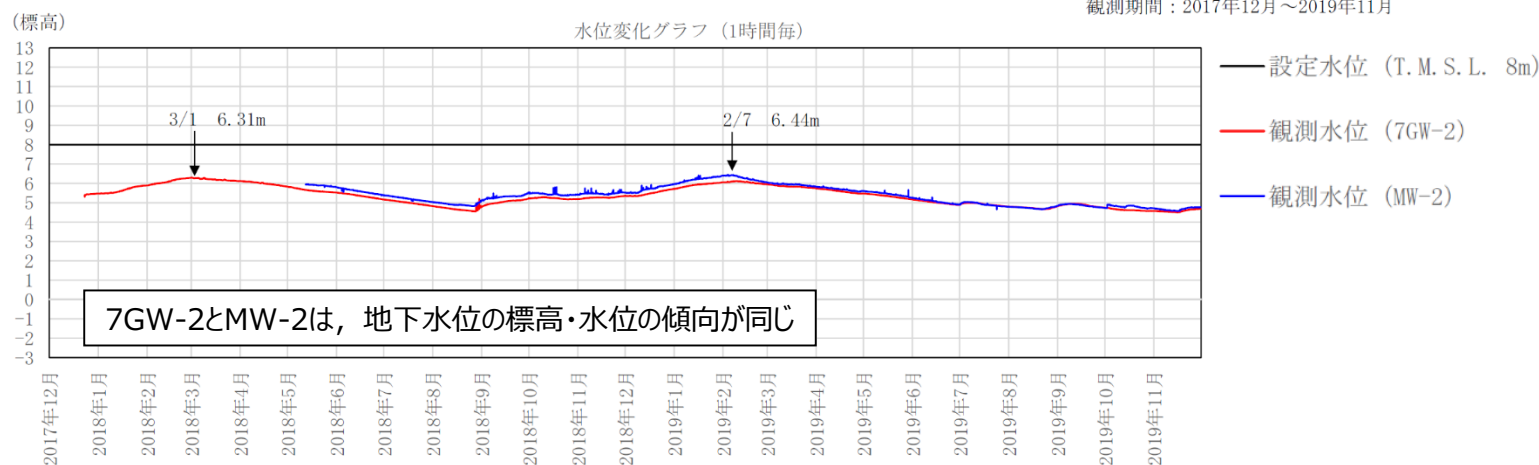
- 地下水排水設備による地下水位低下の影響が、周辺の地下水位観測孔に及ぶ可能性を分析

◆ 地下水位観測孔の比較分析

- 常設代替交流電源設備の近傍に設置した地下水位観測孔（7GW-2）に着目。
- 7GW-2の近傍にあり、地下水排水設備から十分に離れた位置にあり、敷地内の地形・地質から同じ流れ場にあると推定される観測孔(MW-2)との観測記録を比較。
- その結果、両孔の地下水位の傾向は同じであることから、地下水排水設備による影響がほとんどないことを確認。



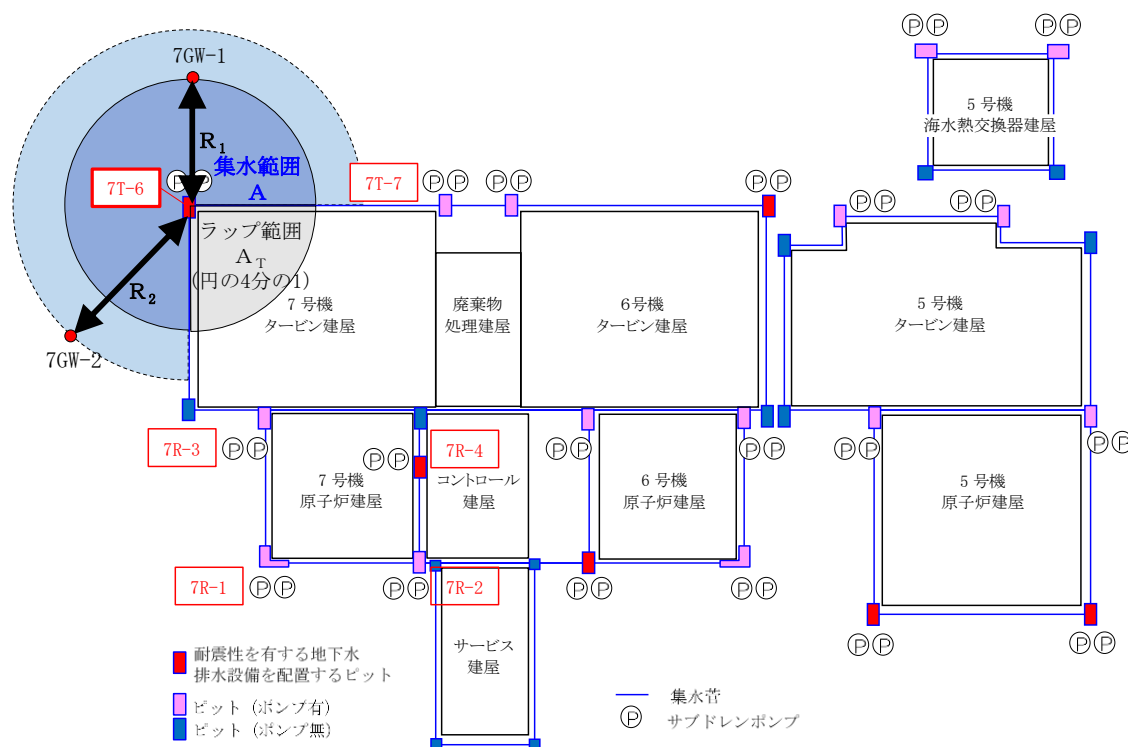
地下水観測孔位置図



地下水観測記録の比較（7GW-2，MW-2）

地下水位観測記録における変動要因の考慮

- ◆ 地下水排水設備の揚水実績から推定される地下水位低下量の評価
 - 常設代替交流電源設備の近傍孔（7GW-2）と取水路の近傍孔（7GW-1）に着目。
 - 両孔の近傍に位置する地下水排水設備のサブドレンピット（7T-6）に着目。
 - 地下水排水設備の揚水実績 Q と地下水排水設備の集水範囲 A から、周辺地盤の地下水位低下量 ΔH を算定。
 - 7GW-1, 7GW-2の両孔ともに、地下水位低下量 ΔH は0.01（m/日）と評価されることから、地下水排水設備の影響はほとんどないと判断できる。



地下水排水設備の揚水範囲の概念図

□対象

- 地下水排水設備：7T-6
- 観測孔：7GW-1, 7GW-2

□条件

- 日あたりの揚水量 Q ：45（ m^3 /日）
（H20～H30年度実績の最大値）
- 集水面積 A ：8201 m^2 （7GW-1）
10576 m^2 （7GW-2）

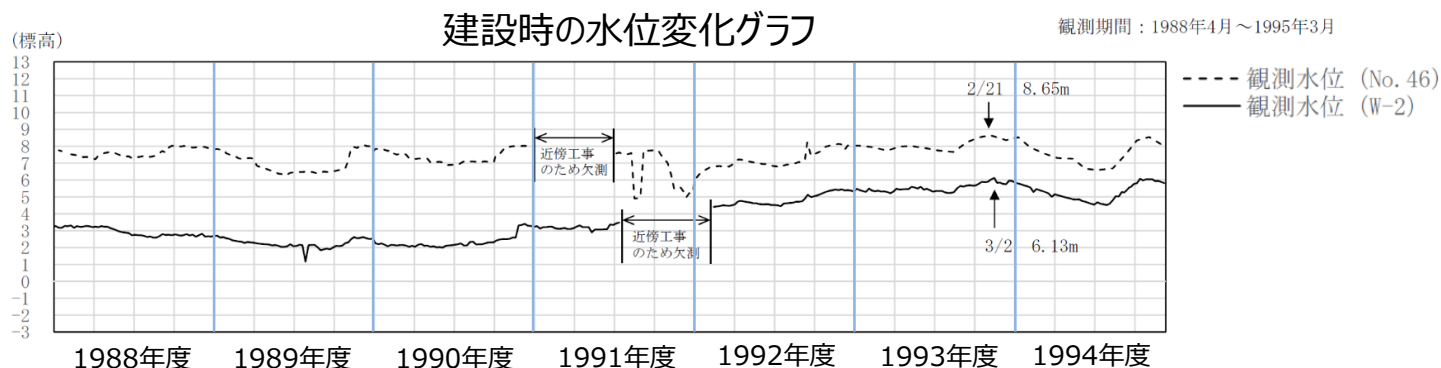
□結果

- 地下水位低下量 ΔH
7GW-1：0.01(m/日)
7GW-2：0.01(m/日)

地下水水位観測記録における変動要因の考慮

□自然要因（降雨のばらつき）の影響検討

- 建設時の地下水水位観測記録に基づき、年ごとの観測最高地下水水位のばらつきを整理。
- 敷地の観測最高地下水水位に、上記の建設時の地下水水位観測記録のばらつきを考慮した場合でも、耐震評価における設定水位を上回らないことを確認。



各年度の最高地下水水位を整理

観測期間年度別（1988～1994年度）の最高地下水水位

| | No. 46 | | W-2 | | |
|-------------------|-------------|--------------------|--|--------------------|-----------|
| | 最高地下水水位 (m) | 観測日時 | 最高地下水水位 (m) | 観測日時 | |
| 1988年度 | 8.05 | 1989/1/10 | 土地造成の影響により、 1991年以降との水位傾向が 異なるため対象外とした | | |
| 1989年度 | 8.09 | 1990/3/13 | | | |
| 1990年度 | 8.02 | 1991/3/26 | | | |
| 1991年度 | 欠測 | — | 欠測 | — | |
| 1992年度 | 8.23 | 1992/12/27 | 5.45 | 1993/3/16 | |
| 1993年度 | 8.65 | 1994/2/21 | 6.13 | 1994/3/2 | |
| 1994年度 | 8.55 | 1995/2/21 | 6.07 | 1995/1/31 | |
| 観測期間 1988～1994 | 最大 | 8.65 | 1994/2/21 | 6.13 | 1994/3/2 |
| | 最小 | 8.02 | 1991/3/26 | 5.45 | 1993/3/16 |
| | 平均 | 8.27 | — | 5.88 | — |
| | 変動幅 | -0.25～+0.38 (0.63) | | -0.43～+0.25 (0.68) | |

注：（）内の数値は建設時の観測期間における最高水位の最大値と最小値の差

耐震評価における地下水位設定

□地下水排水設備の外側に配置する施設の地下水位設定

- 原子炉建屋よりも山側の施設及び護岸部（T.M.S.L.3.0m）の施設については、観測記録に基づき、保守的に地下水位をそれぞれの地表面に設定。
- 常設代替交流電源設備及び取水路については、地下水位の変動要因（人為的要因・自然要因）を考慮した上で、観測記録の最高値に一定の余裕をもたせた地下水位を設定。
- なお、工事計画認可における耐震評価における地下水位は、いずれも建設時の工事計画認可における設計地下水位を上回る標高に設定している。

耐震設計における各対象施設の地下水位一覧

| 対象施設 | | 建設時の 設計地下水位 | 観測最高水位 (近傍観測孔) | 耐震評価における 地下水位 | 裕度* |
|--------|--------------------------------------|----------------|---------------------------|------------------------|-------|
| 建物・構築物 | 大物搬入建屋 格納容器圧力逃がし装置基礎 | — | T.M.S.L.9.41m (7GW-3) | T.M.S.L.12.0m (地表面) | — |
| | 5号機 主排気筒 | — | T.M.S.L.8.50m (5GW-1) | T.M.S.L.12.0m (地表面) | — |
| 土木構築物 | 6, 7号機海水貯留堰（護岸部） | — | T.M.S.L.2.13m (7GW-6) | T.M.S.L.3.0m (地表面) | — |
| | 6, 7号機スクリーン室 | T.M.S.L.1.0m | | | |
| | 6, 7号機取水路 補機冷却用海水取水路 | T.M.S.L.1.0m | T.M.S.L.3.16m (7GW-1) | T.M.S.L.5.0m | 1.84m |
| | 第一ガスタービン発電機基礎 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 | — | T.M.S.L.6.31m (7GW-2) | T.M.S.L.8.0m | 1.69m |
| | 6, 7号機軽油タンク基礎 | T.M.S.L.7.0m | T.M.S.L.10.46m (6GW-1) | T.M.S.L.12.0m (地表面) | — |
| | 燃料移送系配管ダクト 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板 | — | | | |

注記*：裕度とは、耐震評価における地下水位と観測最高水位との差分を示す。（地表面に地下水位を設定している施設は除く）

5. 新潟県中越沖地震時の 地盤変位の再現解析

設置変更許可時の指摘

- 新潟県中越沖地震における被害状況の再現性を検証することで、有効応力解析（FLIP）の柏崎刈羽原子力発電所への適用性を確認すること。

有効応力解析（FLIP）による再現解析

- 新潟県中越沖地震時の地盤変位に対して、有効応力解析（FLIP）を用いた再現解析を行い、解析手法・解析用物性値の適用性について確認。

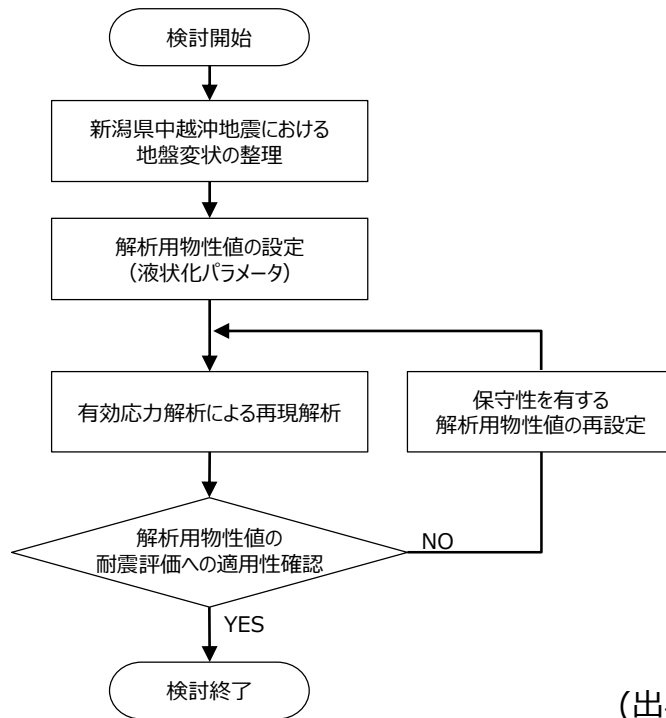
有効応力解析（FLIP）による再現解析

□設置変更許可における指摘

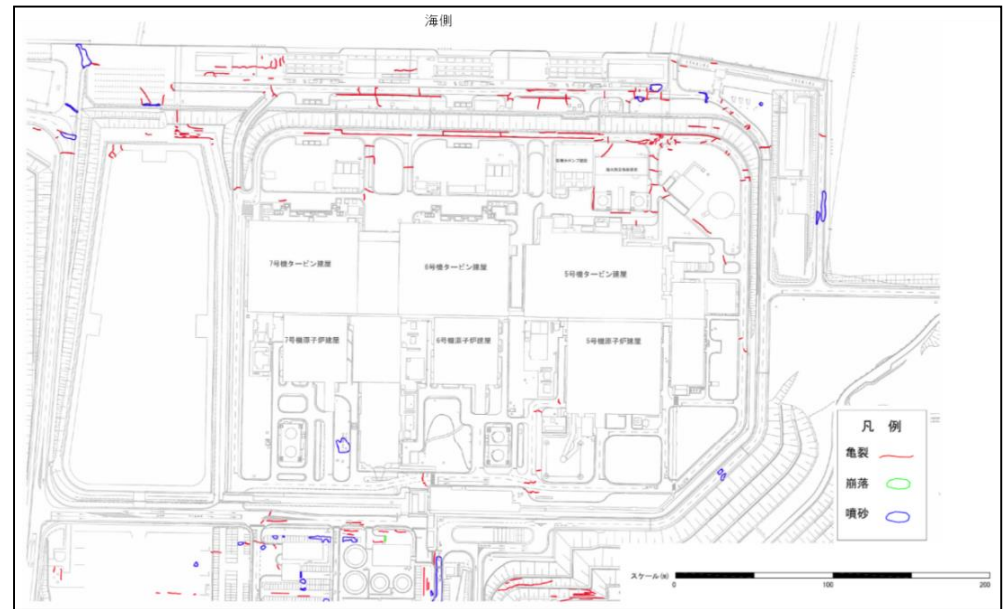
- 新潟県中越沖地震における被害状況の再現性を検証することで、有効応力解析（FLIP）の柏崎刈羽原子力発電所における適用性を確認すること。

□新潟県中越沖地震の再現解析

- 新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした有効応力解析を行い、当該地震時に敷地内で観察された地盤変状と比較することで、柏崎刈羽原子力発電所における解析手法及び解析用物性値の適用性について確認する。



再現解析の検討フロー

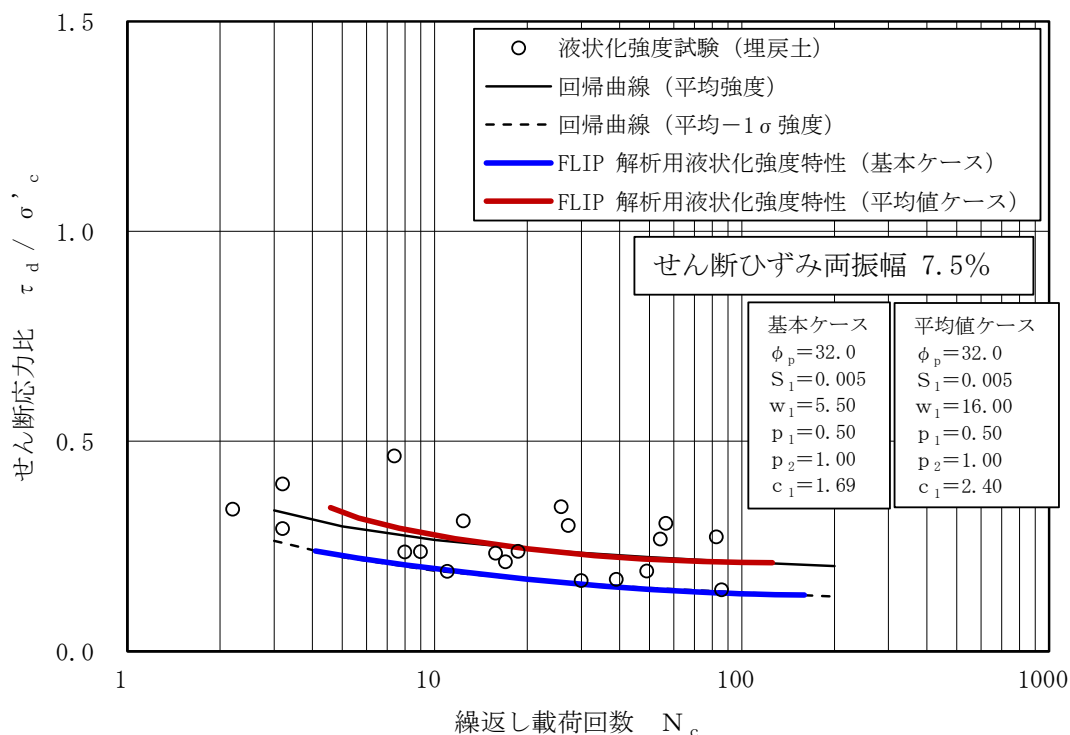


新潟県中越沖地震における敷地内の亀裂・噴砂位置
(出典：耐震・構造設計小委員会 地震・津波、地質・地盤合同WG(第3回)(2007))

解析用物性値の設定

□再現解析に用いる地盤物性

- 解析コードの再現性と適用性に着目することから、液状化抵抗曲線の回帰曲線の平均値に基づき、液状化パラメータを設定した解析ケース（＝平均値ケース）を実施。
- また、液状化抵抗曲線の回帰曲線の平均値 -1σ に基づき、液状化パラメータを設定した解析ケース（＝基本ケース）も実施。

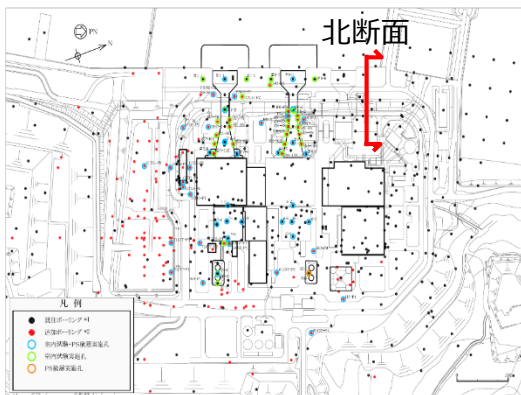


埋戻土の液状化抵抗曲線

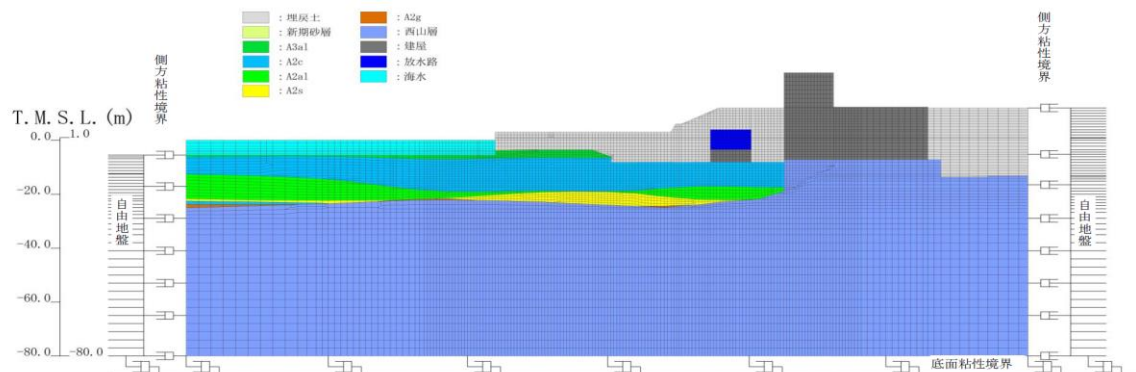
解析条件

□解析位置

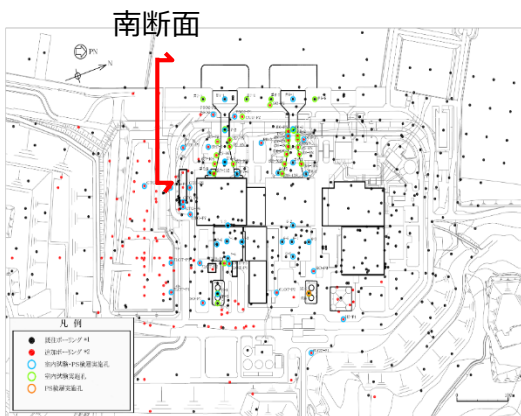
- 再現解析を行う解析断面は、大湊側の海側エリアの中で、西山層上限面が深く、地震後に比較的大きな地盤変状が認められた箇所を選定。



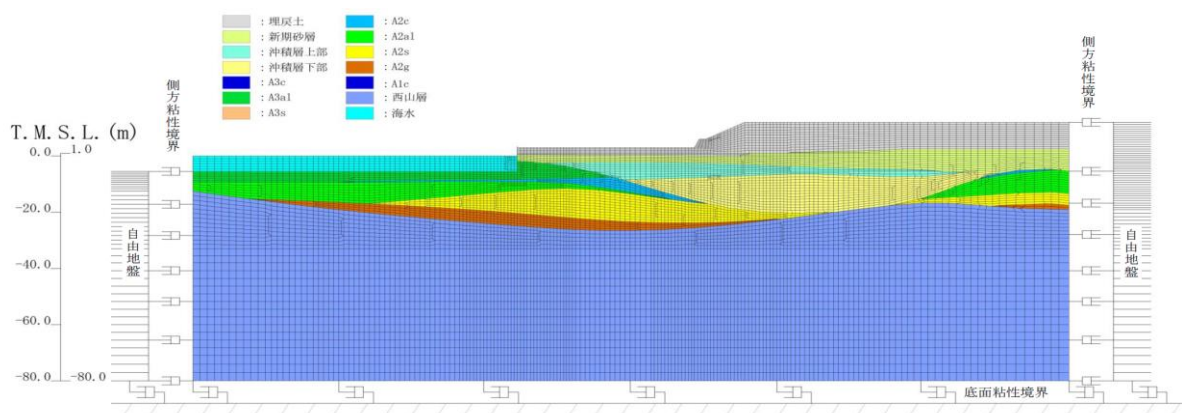
断面位置図



北断面の解析モデル



断面位置図

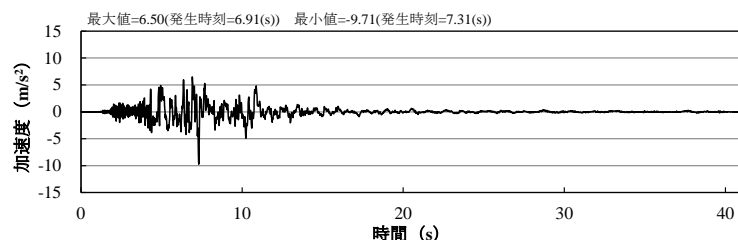


南断面の解析モデル

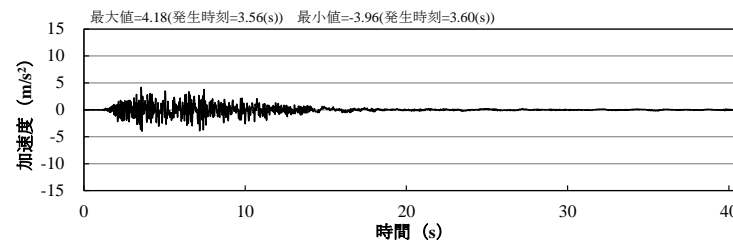
解析条件

□入力地震動

- 入力地震動は、新潟県中越沖地震において原子炉建屋で観測された地震記録を解析モデル下端（T.M.S.L. - 80m）に引き戻した地震動を用いる。（北断面）は5号機原子炉建屋，（南断面）は7号機原子炉建屋で観測された地震記録を用いた。

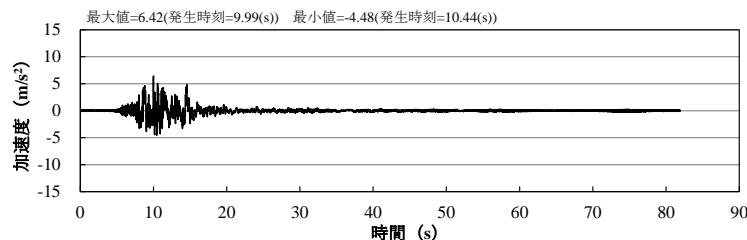


(a) 水平動

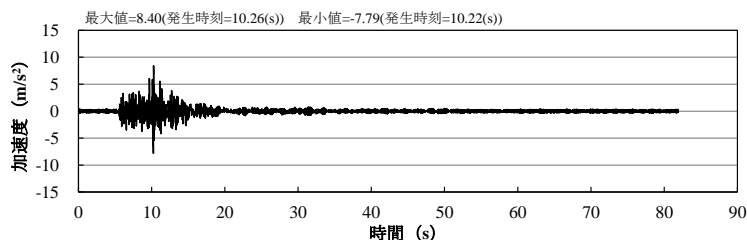


(b) 鉛直動

北断面の入力地震動



(a) 水平動



(b) 鉛直動

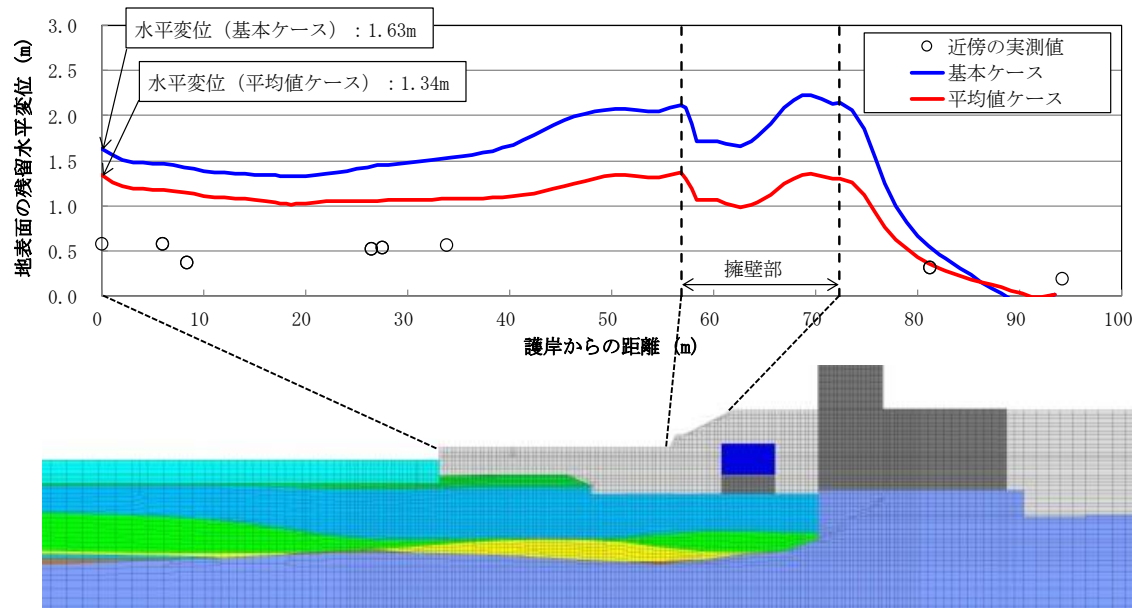
南断面の入力地震動

□地下水位

- 再現解析においては、海側の地下水位観測孔の年間平均地下水位と既工認における地下水位設定を参考に、護岸より陸側を一律 T.M.S.L.1.0mと設定。
- 海水位は T.M.S.L.0.0mと設定。

再現解析結果

- 平均値ケースにおける護岸天端の地表面水平変位は、北断面・南断面ともに、地震後に観察された変位に対して、再現解析の結果は1.6~2.2倍ほど大きな変位量を示した。護岸から離れた位置においても同様に、実績に比して大きな水平変位量が得られた。
- 基本ケースでは、北断面・南断面ともに、地震後に観察された変位に対して、2.1~2.7倍ほど大きな変位量を示した。
- したがって、解析コードFLIPを用いた有効応力解析・解析用物性値は、変形量の観点から十分な保守性を有していると判断できる。



護岸からの距離と地表面水平変位の関係 (北断面)

まとめ (1/2)

□ 追加地質調査と地質区分

- 工事計画認可においては、設置変更許可時点でお示した調査・試験結果に加え、データ拡充の観点から、大湊側で更なる追加調査を実施。
- 工事計画認可においては、液状化評価のため有効応力解析を適用することから、粒度分析、室内試験や地層の堆積環境を踏まえ、設置変更許可の地質区分のうち、一部を砂質とシルトに再区分。

□ 液状化影響評価の考え方と物性設定

- 設置変更許可時と同様に、工事計画認可においては、道路橋示方書等に基づき、保守的に液状化検討対象層を抽出し、有効応力解析に必要な物性値を設定し、解析を行う。
- サイクリックモビリティを示す地層についても、液状化強度試験に基づいて液状化強度特性を設定し、サイクリックモビリティを適切に考慮できる解析コードFLIPを適用する。
- 設置変更許可では、調査試験の数量が少なかったことから、液状化強度特性を下限値相当と想定。
- 工事計画認可においては、追加試験の実施により代表性・網羅性を確保した上で、液状化強度特性を平均値 $-\sigma$ に設定。

まとめ (2/2)

□ 地下水位の設定

- 工事計画認可で設定する地下水位の設定の考え方を整理し、地下水位の上昇の要因あるいは変動要因等を考慮した地下水位設定に変更。
- 耐震評価後に地下水位が上昇させる事象が予想される場合は、地下水位設定の再検討を実施。
- 設置変更許可時の見通し評価段階では、建設時の工事計画認可で設定した地下水位を流用。
- 工事計画認可においては、対象施設近傍の地下水位観測記録により、設計用の地下水位を再設定。

□ 新潟県中越沖地震時の地盤変位の再現解析

- 新潟県中越沖地震時の地盤変位に対して、有効応力解析（FLIP）を用いた再現解析を行い、解析手法・解析用物性値の適用性について確認。

以上