

地盤モデルの妥当性について



2024年9月5日
東京電力ホールディングス株式会社

検討会	指摘事項	回答内容
第99回特定 原子力施設 監視・評価 検討会： 2022年4月 18日	3.16地震は、検討用地震動の半分（S d）を超える可能性があることから、設備の健全性及び建屋の劣化状況等の評価に加え、解放基盤表面の地震動や地盤応答の増幅特性などを分析・評価し、現在設計で用いている地震動・ 地盤モデル 等の 妥当性を検証すること （規制庁）。	第99回検討会において、3.16地震に対して、耐震壁のせん断ひずみは、耐震壁の評価基準値に対して十分余裕があることを確認したことを説明した。
		第100回検討会において、北地点の観測記録を用い、はぎとり解析用の地盤モデルを逆解析によって同定し、3.11記録を用いて作った同地盤モデルと比較しほぼ同等であることから、これまでののはぎとり波の設定について妥当であることを説明した。
		本資料により、地盤モデルの妥当性の検討計画を報告する。

1. 地盤モデル妥当性の検討の目的・概要

- 特定原子力施設監視・評価検討会（第99回会合）において、会議資料中の2.13地震、3.16地震における解放基盤面標高付近の地震観測記録（最大加速度）と弾性設計用地震動Sdの関係について、以下のコメントを受けた。

「～もともとの地震動，解放基盤表面での地震動の設計で使っている地震動の妥当性，解放基盤表面から地表面まで持ち上げてくる地盤モデルの妥当性を，今回の地震を分析・評価し，設計の地震動に対する影響も含めて，検討する必要がある。」

- 本検討は上記のコメントを受け，Dエリア^{※1}の地震観測記録を用いて，耐震重要施設の耐震評価^{※2}における中長期的な知見拡充として，地盤モデルの妥当性および設計用地震動への影響を検討する。

- ※ 1.処理水等を貯留するタンクの耐震設計は静的地震力を設計用地震動として行われるため地盤モデルは使用しないが，Dエリアにおいては2.13地震および3.16地震時の地表面加速度を観測しており，タンクの滑動量が大きいエリアとして監視・評価検討会にて議論されてきたことから，Dエリアの地震観測記録と地盤モデルを例に本検討を行う。
- ※ 2.Sクラス施設等の耐震重要施設においては，建屋-地盤の連成解析モデルによる地震応答解析の結果により耐震評価を行う。

2. タンクエリア地震計の移設について

➤ 経緯

- 2021年2月13日の福島県沖地震においてタンクに滑動が確認されたため、タンクエリアの地震動を観測する目的でタンクエリアに地震計を設置した。
- 2022年3月16日の福島県沖地震後、規制委員が現地視察をした際、地震計の設置方法が適切でないとの指摘を受け、設置方法の見直し（地震計の移設）を行った。



Dエリア（移設前）



H4エリア（移設前）



K4エリア（移設前）

➤ 地震計基礎の条件

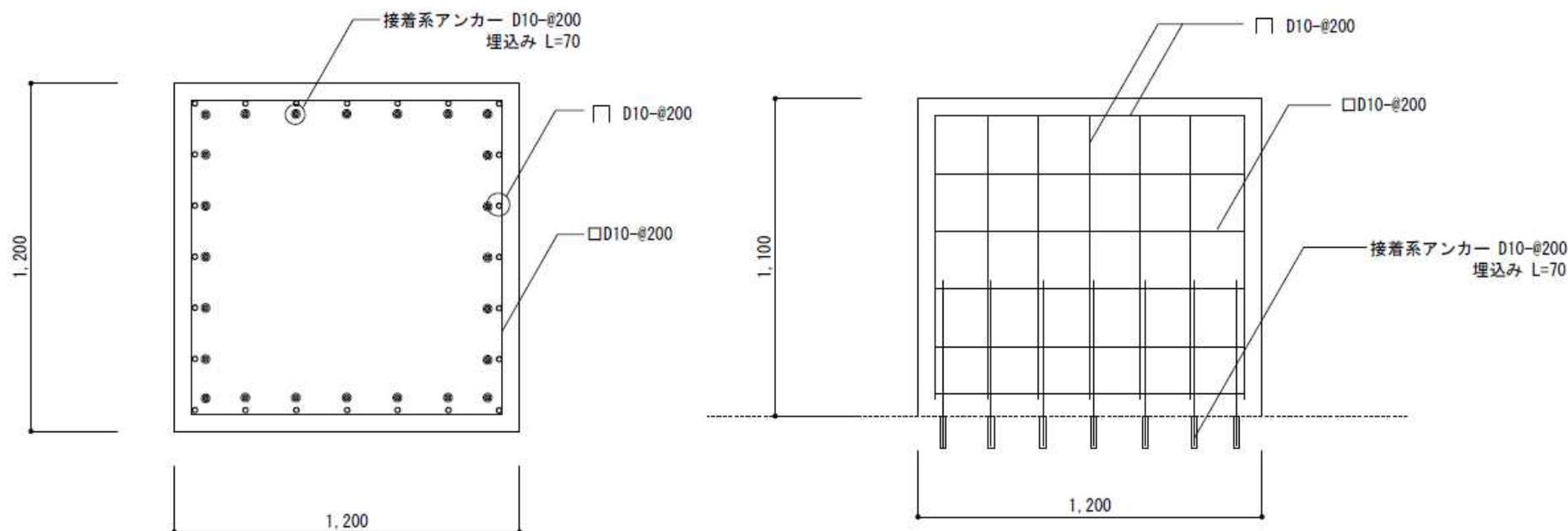
移設にあたり、気象庁の震度計設置環境基準に基づき、地震計基礎の条件を以下のように定めた。

- 剛構造であること
- 材質はコンクリート及び、空洞がない構造とすること
- 震度計の100倍以上の重量であること
- 周辺構造物（タンク、内堰）との離隔を、その高さの1/10以上かつ1m以上とすること
- 地震の際、地震計基礎が損傷してタンクや連結管へ影響を与えないこと
- 最寄りの内堰高さ+50mm以上の高さであること（水没防止策）
- 底辺が高さの1倍を超える長さであること
- 観測記録に影響を与えるもの（太陽電池パネル等）を取り付けないこと

青文字：気象庁の震度計設置環境基準に準拠

2. タンクエリア地震計の移設について

- 地震計基礎の構造 (D, H4北エリアの基礎を例示)
 - 基礎寸法：1,200×1,200×1,100 mm
⇒縦長ではない, かつ高さは最寄りの堰高さ (実測値：1,000mm) よりも高い寸法
 - コンクリート仕様： $F_c=21 \text{ N/mm}^2$
 - 鉄筋仕様：SD295A, D10@200
 - 基礎密度： 24 kN/m^3 (コンクリート:23+鉄筋:1)
 - 基礎重量：38.016 kN \approx 3,880 kg
⇒地震計重量約1 kgに対して100倍以上を満足
 - タンク基礎ならびに改良地盤の健全性について, タンク満水時の上載荷重を考慮したタンク基礎や改良地盤のため, 地震計の基礎が増設されたとしても問題ない。



2. タンクエリア地震計の移設について

➤ 移設の状況

各エリアの地震計移設日は、以下のとおり。

- ・ Dエリア： 2022年8月30日
- ・ H4北エリア： 2022年8月31日
- ・ K4エリア： 2022年8月31日

移設後は、タンクが滑動するような大きな地震は観測されていないが、引き続き観測を行い知見拡充に役立てる計画。



Dエリア（移設後）



H4エリア（移設後）



K4エリア（移設後）

3. 地盤モデル妥当性の検討計画

- 検討は、以下の2段階で行う。

Step1

Dエリア地震計移設後の
地震観測記録を用いた検討

Dエリア地震計移設後の地震観測記録を用いた検討を行う。

- 3.16地震時の地震計は、設置状況の不具合が確認されていることから、3.16地震後に移設した地震計の観測記録を使用して、地盤モデルの妥当性を検討する。
- 上記の検討において、1次元解析による解析値が観測記録を再現できない場合は、その結果により2次元解析の適用を志向する。

地盤モデルの妥当性を確認できない場合

Step2

Dエリアのボーリング調査
による検討

Dエリアのボーリング調査による検討を行う

- 現在の地盤モデルは、設置許可申請時のボーリング調査結果を反映した地質図による地質層序と速度構造により設定している。
- 新たにDエリア直下地盤のボーリング調査を行い、Dエリアの修正地盤モデルを作成し、現在の地盤モデルと比較することにより、地盤モデルの妥当性を検討する。

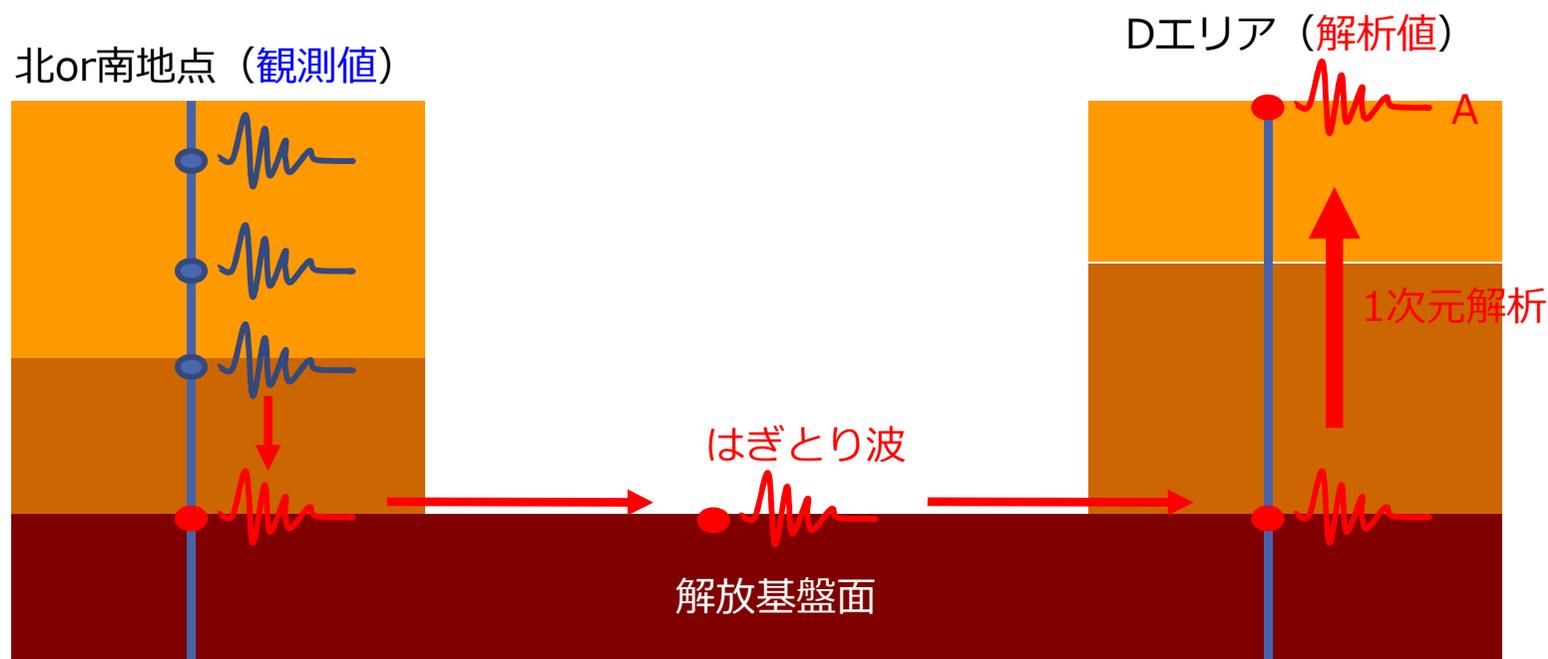
3.1 Step1 新たに設置した地震計による検討

(1) 新地震計の観測記録から解放基盤面におけるはぎとり波を作成

- Dエリアの地震計移設後の地震，例えば2022.10.21地震（DエリアEW方向最大加速度234gal）の北or南地点の地震計観測記録より，はぎとり波（解放基盤面）を作成。

(2) はぎとり波によるDエリア地盤の地震応答解析（1次元解析）

- Dエリア地盤モデルの解放基盤面標高にはぎとり波を入力地震動として入力し，地表面の加速度Aを得る。



3.1 Step1 新たに設置した地震計による検討

(3) 解析値と観測記録の比較による地盤モデルの妥当性検証

➤ 解析値AとDエリア地震計の観測記録を比較することにより、地盤モデルの妥当性を検証する。

- ① 解析値Aと観測記録が一致※ → Dエリアの地盤モデルは妥当 → END
- ② 解析値Aと観測記録が異なる → 地盤モデルが妥当でない可能性 → 「(4)」へ

※解析結果が観測記録を上回る場合も含む

(4) 2次元地震応答解析による地盤モデルの妥当性検証

➤ 2次元解析モデルを使用することにより、①水平・鉛直地震動の同時入力、②地上構造物重量の考慮、を行い、Dエリア地表の加速度（解析値B）を求める。

➤ 解析値BとDエリア地震計の観測データを比較することにより、地盤モデルの妥当性を検証する。

- ① 解析値Bと観測記録が一致※ → Dエリアの地盤モデルは妥当 → END
- ② 解析値Bと観測記録が異なる → 地盤モデルが妥当でない可能性 → 「3.2 Step2」へ

※解析結果が観測記録を上回る場合も含む

3.2 Step2 ボーリング調査による検討

- Step1の検討により、**解析値と観測記録に差異がある等により現在の地盤モデルの妥当性が確認できない場合には**、直接、Dエリアの地質層序、地盤物性（速度構造）をボーリング調査、原位置試験などで求め、現在の地盤モデルの妥当性を検討する。

(1) ボーリング調査・PS検層を実施

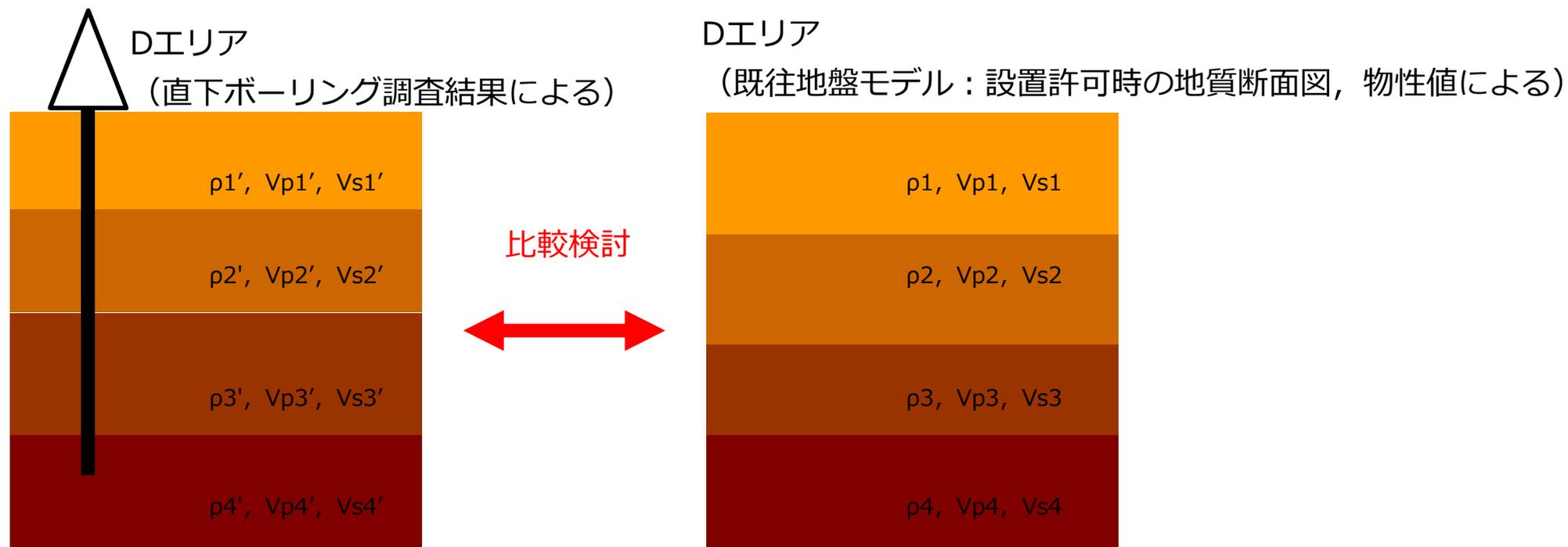
- Dエリアでボーリング調査・PS検層を行い、地質層序と速度構造を求める。

(2) 地盤モデルとボーリング調査結果を比較し地盤モデルの妥当性を検証

- 既往地盤モデルとボーリング調査結果を比較することにより、地盤モデルの妥当性を検証する。**

① 既往地盤モデルとボーリング調査結果が一致 → 既往地盤モデルは妥当 → END

② 既往地盤モデルとボーリング調査結果が異なる → 「(3)」へ



3.2 Step2 ボーリング調査による検討

(3) ボーリング調査結果地盤モデルによる地震応答解析を実施

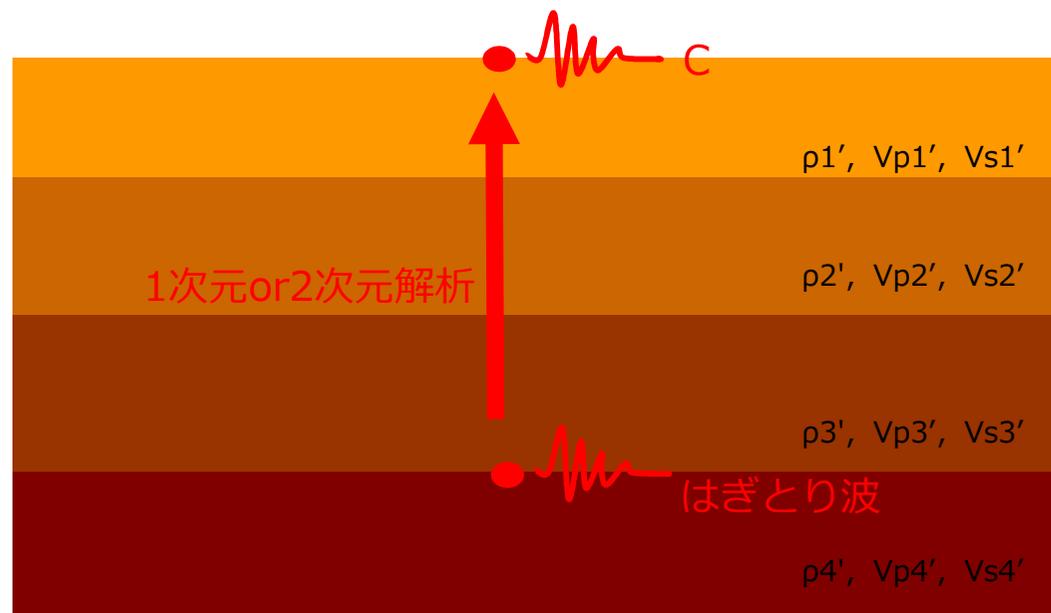
- ボーリング調査結果による地盤モデルで、10.21地震のDエリア地震計観測記録の再現解析を実施し、**Dエリア地表の加速度C**を得る。

(4) 解析値と観測記録の比較による地盤モデルの妥当性検証

- **解析値Cと観測記録を比較**し、調査結果地盤モデルの妥当性を検証する。
 - ① 解析値Cと観測記録が一致※ → Dエリアの調査結果地盤モデルは妥当 → END
 - ② 解析値Cと観測記録が異なる → (解析の限界 or 地震計観測の限界) → さらなる検討

※解析結果が観測記録を上回る場合も含む

Dエリア (ボーリング調査結果地盤モデル)



4. 検討スケジュール

➤ 2024年度にStep1の検討を実施し、その結果を受けて、2025年度以降、Step2の検討を実施する計画。

	2024年度				2025年度				2026年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
Step1 Dエリア地震計移設後の地震観測記録を用いた検討	はぎとり波作成	1次元解析による検討	2次元解析による検討									
Step2 Dエリアのボーリング調査による検討					ボーリング調査・試験, 解析・評価							

実線：実施するもの
破線：前段の検討結果により実施を判断するもの

以上

参考) タンク滑動の検討状況について

■ 経緯

2021年2月13日／2022年3月16日の福島県沖地震において、複数のタンクで設置時の評価値（57.5mm）を上回る滑動量が確認された。

このため、タンクの滑動解析を実施し、大きく滑動した原因の分析を進めている。

■ 地震時の滑動状況

➤ 2021年2月13日の地震

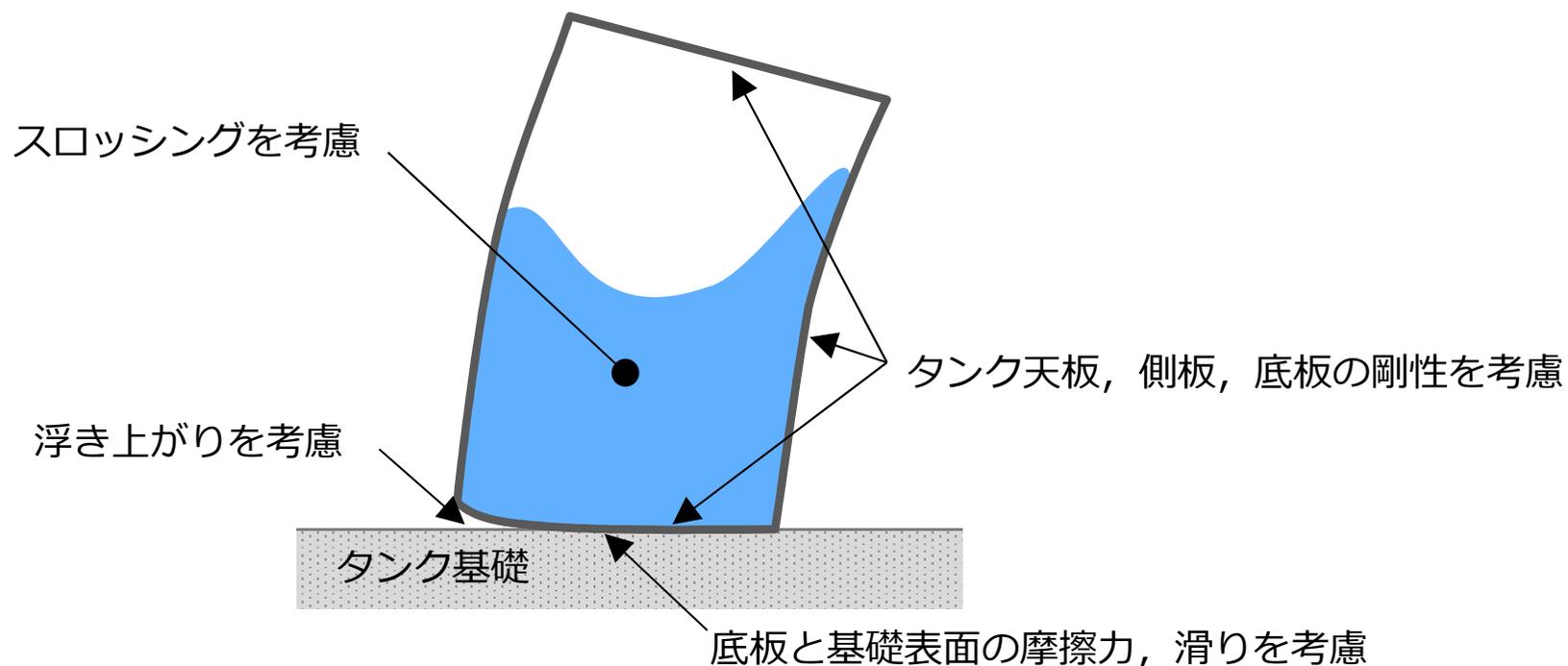
- 53基のタンクで滑動が確認された。
- D, H 4 エリアで滑動したタンクが多くあり、Dエリアで最大滑動量（約190mm）が確認された。

➤ 2022年3月16日の地震

- 160基のタンクに滑動が確認された。
- 多くのエリアでタンク滑動が確認され、Dエリアで最大滑動量（約200mm）が確認された。

参考) タンク滑動の検討状況について

- タンクの滑動解析概要：
タンクが大きく滑動した原因分析のため、滑動に影響を与えると思われる現象をモデル化し、地震加速度を入力とした時刻歴応答解析を実施。
- 解析モデル：
 - ・タンク底板と基礎表面の摩擦力，滑りを考慮
 - ・タンク剛性，基礎表面からの浮き上がりを考慮
 - ・内包水のスロッシングを考慮



参考) タンク滑動の検討状況について

■ 解析ケース

これまでに、評価を実施したケースを下表に示す。

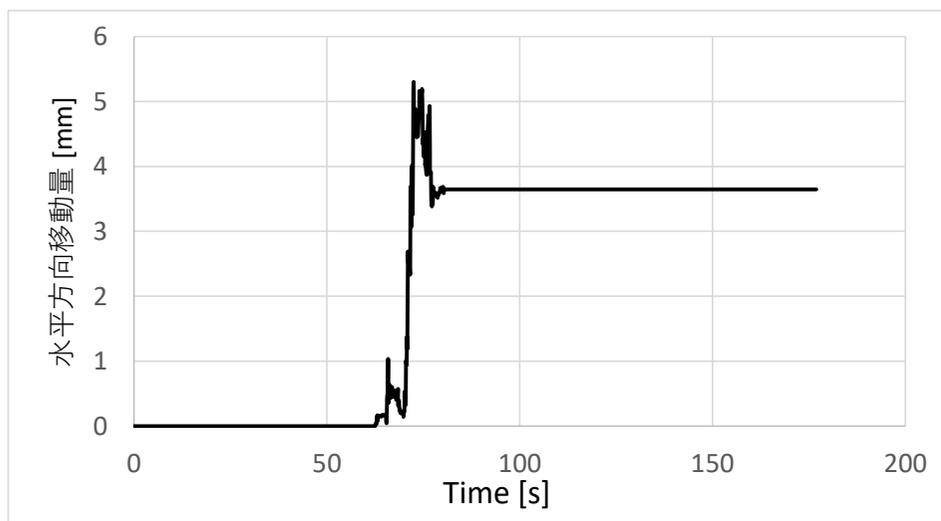
		①	②	③	④
タンク形状	Dエリアタンク	○	○	○	○
水位	最大滑動時の水位 (Dエリアタンク)	○	○	○	○
地震動	3.16はぎとり波 (Dエリア)	○	○	○	○
摩擦係数	静止摩擦係数 0.4 動摩擦係数 0.3	○			○
	静止摩擦係数 0.5 動摩擦係数 0.3		○		
	静止摩擦係数 0.4 動摩擦係数 0.15			○	
スロッシング	なし	○	○	○	
	あり				○

摩擦係数を変えた解析を3ケース (①～③) , スロッシング有無を変えた解析を2ケース (①, ④) 実施した。
結果を次ページ以降に記載する。

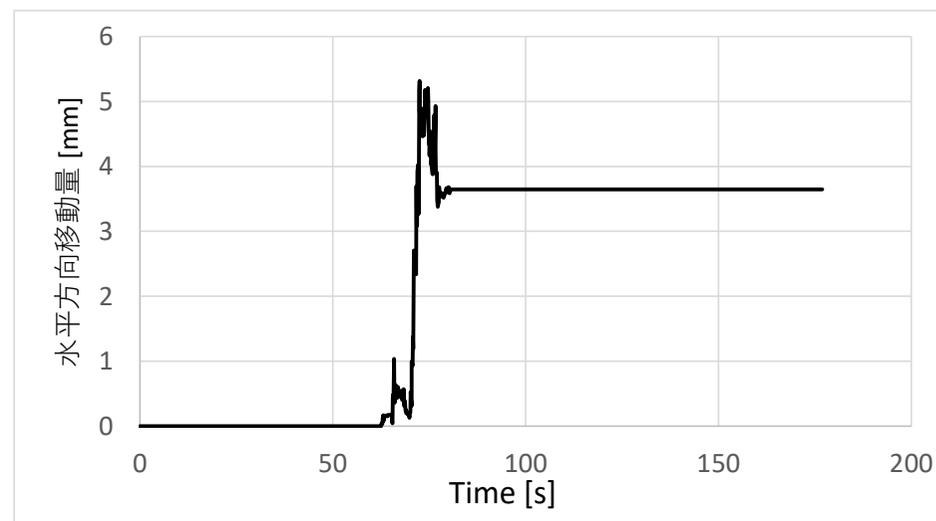
参考) タンク滑動の検討状況について

■ 解析結果 (暫定値)

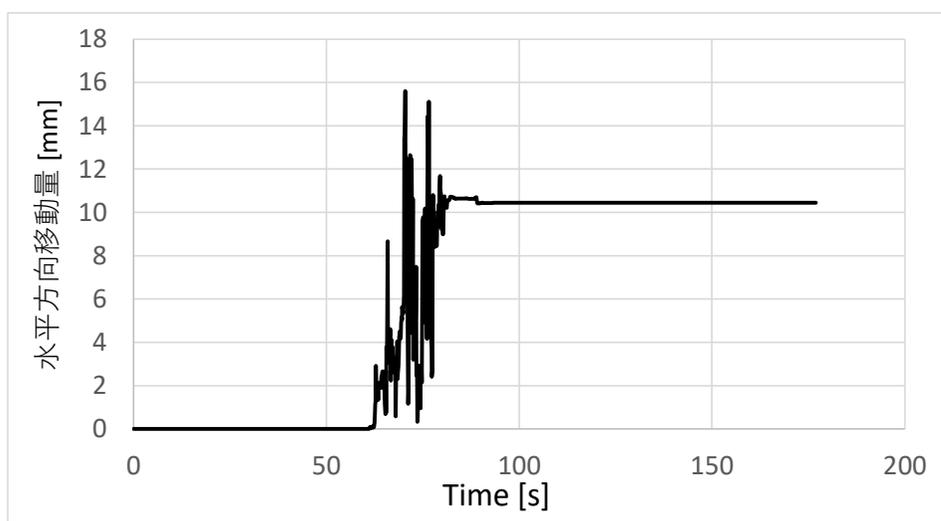
ケース① (静摩擦 : 0.4, 動摩擦 : 0.3)



ケース② (静摩擦 : 0.5, 動摩擦 : 0.3)



ケース③ (静摩擦 : 0.4, 動摩擦 : 0.15)



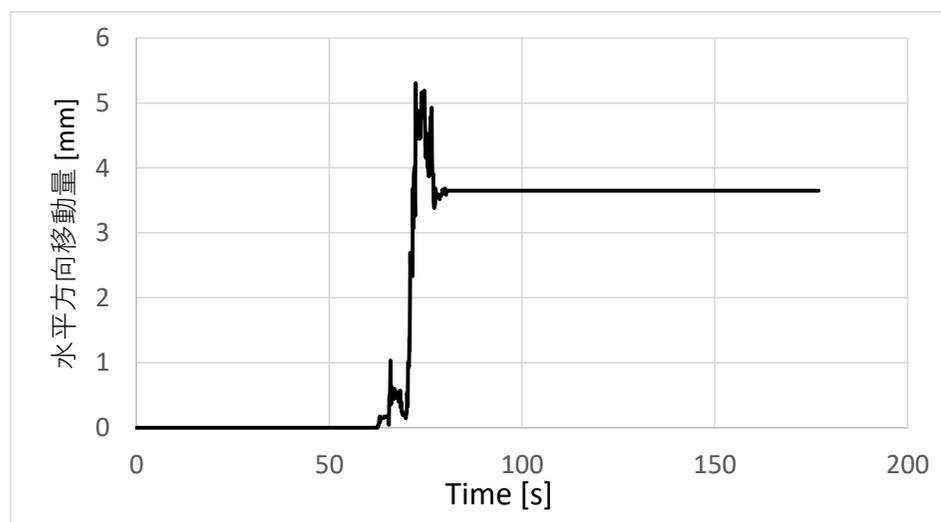
ケース①と②はほぼ同じ結果
⇒ 静止摩擦係数による滑動への影響は比較的小さいと考えられる。

ケース③の滑動量が大きい
⇒ 動摩擦係数による滑動への影響は比較的大きいと考えられる。

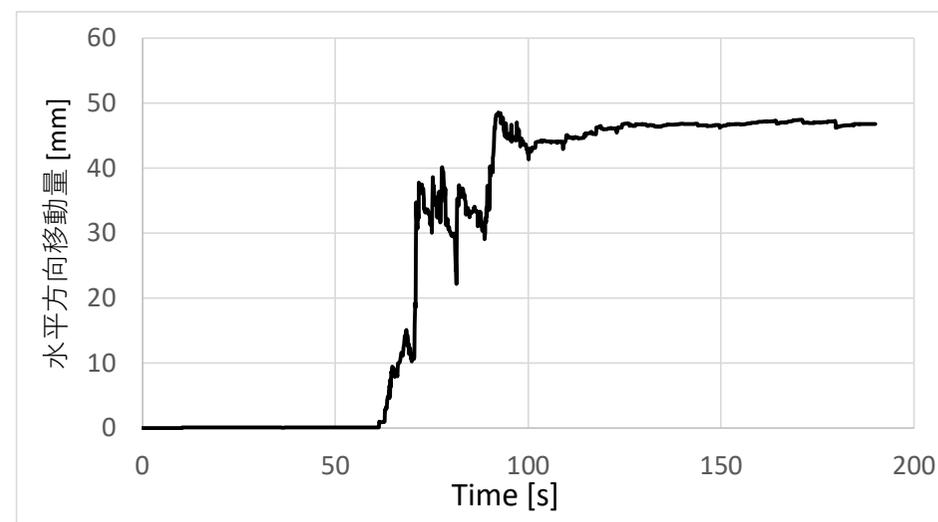
参考) タンク滑動の検討状況について

■ 解析結果 (暫定値)

ケース① (スロッシング無)



ケース④ (スロッシング有)



スロッシングを考慮することで滑動量が大きくなっている。
⇒スロッシングが滑動に影響を与える可能性がある。

参考) タンク滑動の検討状況について

■ 今後の解析予定

- スロッシング有で大きな滑動が確認されたことから、スロッシングを考慮した解析を実施する。
- 滑動への影響が大きいと考えられる摩擦係数を変えた解析を実施する。摩擦係数の設定は、以下2種類を実施予定。
 - ・ 動摩擦係数のみ下げる
 - ・ 静止摩擦係数、動摩擦係数どちらも下げる
- タンク形状、水位、地震動を変えたケースを実施し、それぞれの影響程度を確認する。

項目	6月	7月	8月	9月	10月
滑動解析					
滑動要因考察					