

### 特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合 コメント回答

### 「地盤モデルの妥当性について」他3件



- I. 地盤モデルの妥当性について
- II. 福島第一原子力発電所における地すべりの可能性について
  - ・富岡層風化部のデータ整理結果
- III. 地震時のタンク滑動に関する検討状況
- IV. タンクエリア地震計が適切に設置されているか
  - ・観測記録による確認について

2025年7月8日 東京電力ホールディングス株式会社

# コメントリスト(1/4)

### I.地盤モデルの妥当性について

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(Sd)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回特定原子力施設監視・評価検討会において、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回特定原子力施設監視・評価検討会において,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,これまでのはぎとり波の設定に ついて妥当であることを説明した。
		第111回特定原子力施設監視・評価検討会において,地盤モデルの妥当性の検討 計画を報告した。
		第22回特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合において, 地盤モデルの妥当性の検討計画を報告した。
		本資料により, Step1「Dエリア地震計移設後の地震観測記録を用いた検討」の結果を報告する。→5ページ

# コメントリスト(2/4)



### Ⅱ.福島第一原子力発電所における地すべりの可能性について(1/2)

No.	検討会	指摘事項	回答内容
1	2022.9.20 面談	福島第一原子力発電所における地すべりの可能性 ・第94回特定原子力監視・評価検討会資料3-2のDタンクエリアのボーリング柱状図等から,段丘 堆積物直下にN値が大きく下がる箇所が複数箇所存在すること ・過去の地震時にDタンクエリアのタンクが他のタンクエリアと異なり有意な滑動が生じていること ・以上のことから、コメントNo.2における調査結果等も考慮した上で,福島第一原子力発電所におけ る地すべりの可能性について見解を示すこと	【2022.12.7 技術会合】 ・敷地内の既往のボーリング調査結果を再 整理し,段丘堆積物直下の風化部の分布状 況を整理した。
2	2022.9.20 面談	福島第一原子力発電所敷地南側の地すべり地形の可能性 ・8月23日の面談資料のボーリング桂状図14箇所のうち約半数の箇所で段丘堆積物直下にN値が大きく 下がる強風化部が存在すること、また、それらは孔口標高が高い箇所(約30m)に集中していること。 ・国土地理院の地図を見る限りにおいて、福島第一原子力発電所付近に地すべり地形と思われる箇所 が複数箇所存在すること。また、それら地形は8月23日の面談で東京電力が示した見解「高さが異なる 段丘面」とは形状が異なること。 ・以上のことから、再度、各種調査等を踏まえ、福島第一原子力発電所南側の地形について見解を示 すこと	【2022.12.7 技術会合】 ・既往の空中写真判読図により,指摘され た箇所の地形について,当時の当社の見解 を説明した。 ・「地すべり地形と思われる」と指摘され た複数箇所について,空中写真の再判読等 を実施した結果を報告した。
3	2022.12.7 技術会合	段丘堆積物直下の風化部の分布状況の検討を進め,既往のボーリング調査結果から富岡層風化部を読 み取り,敷地内の分布状況を把握し,これを反映した地質平面図・断面図を作成する(東電)。	【2023.4.25技術会合】 ・汀線平行方向地質断面図および汀線直交 方向地質断面図を作成し,風化部の分布状 況を示した。
4	2022.12.7 技術会合	富岡層風化部の介在による地盤の地震時応答への影響を検討する(東電)。	【2023.4.25技術会合】 ・地盤の地震応答解析結果から,風化部の 介在が施設の耐震評価,基礎地盤の安定性 評価に影響を与えないことを確認した。
5	2022.12.7 技術会合	コメントNo.4の検討の結果,風化部の介在による地盤安定性への影響の可能性が認められる場合は, ボーリング調査と室内試験を行い,風化部の物性を評価し,今後の基礎地盤の安定性評価への適用の 必要性を検討する(東電)。ボーリング調査の計画ができたら,報告すること(規制庁)。	【2023.4.25技術会合】 ・ボーリング調査および室内試験の計画を 策定し報告した。
6	2022.12.7 技術会合	大規模な地すべり跡が見られないという東電の見解について,当該検討に資する情報をより充実しう る観点から,同様の地形を有する南相馬市塚原地区・楢葉町下小塙地区についても地形判読を実施す ること(規制庁)。	【2023.4.25技術会合】 ・追加2地点の地形判読結果から,規模の大 きな地すべり地形は認められないことを報 告した。

# コメントリスト (3/4)



### Ⅱ.福島第一原子力発電所における地すべりの可能性について(2/2)

No.	検討会	指摘事項	回答内容
7	2022.12.7 技術会合	重要施設等周辺の斜面安定性に関して, Ss900 を用いた検討を実施すること。なお, 現在の1Fの特徴を踏まえて, 評価対象とする重要施設等を選定すること(規制庁)。	本件(福島第一原子力発電所における 地すべりの可能性について)とは別途, 各耐震重要施設への周辺斜面による波 及影響として検討する。
8	2023.4.25 技術会合	コメントリストのNo.7について,まずは,どこが弱いか把握し,スケジュールを含めて説明してほしい(規制庁)。	【2023.6.19技術会合】 運用補助共用施設背後斜面の対応方針 を説明した。
9	2023.4.25 技術会合	東京電力の資料の中に,タンクの滑動に対して要因分析を行い,恒久的な対策を検討すると ある。要因分析の内容を示してほしい。また,3.16地震の時に鉛直が水平より非常に大き かったことに対する見解を教えてほしい(規制庁)。	本件(福島第一原子力発電所における 地すべりの可能性について)とは別途, 技術会合,面談等において報告する。
10	2023.4.25 技術会合	ボーリング調査・室内試験結果について, 結果が揃い次第確認する(規制庁)。	【2024.9.5技術会合】 ボーリング調査・室内試験結果を報告 した。
11	2023.6.19 技術会合	滞留水を貯留しているプロセス主建屋と高温焼却炉建屋(HTI建屋)については、評価対象の施設に追加して選定すること。評価対象施設の抽出課程をわかるように示すこと(規制 庁)。	【2023.12.26技術会合】 評価対象施設の抽出過程を説明した。
12	2023.6.19 技術会合	共用プールから使用済み燃料がなくなる時期が見通せない中で,何らかの合理的な対策を検 討すべきと考える。対策工事にも軽重様々ある。今後,具体的にどのような対策工事を,ど のような考え方に基づいて行うのか,技術会合で議論していきたい(規制庁)。	【2023.12.26技術会合】 運用補助共用施設の西側斜面に対して 斜面対策工事(セットバック工事)を 実施することを説明した
13	2024.9.5 技術会合	富岡層風化部の物性値(N 値や圧縮試験結果など)について,地盤の基礎データの拡充などの観点から,今回取得したデータを含め既存のデータを整理して,風化部の分布状況を示したマップに落とし込むなど,1つ1つのデータをより丁寧に取り扱うこと。(規制庁)	既往のボーリングデータにより作成した富岡層風化部の層厚分布コンター図に,近年実施した地質調査によって取得したN値をマッピングした。 →30ページ

### Ⅲ.地震時のタンク滑動に関する検討状況

検討会	指摘事項	回答内容
第9回技術会合:	地震時のタンク滑動の要因分析(鉛直地震動の影響を含む)を実	現在の検討状況を報告する。
2023年4月25日	施すること。	→ <b>33ページ</b>

### Ⅳ.タンクエリア地震計が適切に設置されているかについて

検討会	指摘事項	回答内容
第22回技術会合: 2024年9月5日	新地震計が適切に設置されていることを、実際に観測した地震記 録等を用いて検証すること。	観測記録の確認を行い, 適切に 設置されていることを確認した。 → <b>45ページ</b>

# I.地盤モデルの妥当性について

# Step1「Dエリア地震計移設後の地震観測記録を用いた検討」 の検討結果 **TEPCO**



### 1. 地盤モデル妥当性検討の目的・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,2.13地震,3.16 地震における解放基盤表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<sup>\*1</sup>の地震観測記録を用いて、耐震重要施設の耐震評価<sup>\*2</sup>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エリアは2.13地震および3.16地震によるタンクの滑動量が大き いエリアとして、地震時の地表面加速度を観測しており、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. 地盤モデル妥当性の検討計画(全体)



▶ 検討は,以下の2段階で行う。本資料ではStep1の検討結果を報告する。

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. Step1の検討計画

- (1) 地震観測記録から解放基盤表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2022.10.21地震(最大加速度234gal)の南地点の地震観測記録より、はぎとり波(解放基盤表面)を作成。
- (2) はぎとり波によるDエリア・Bo.7A-9地点地盤の地震応答解析(1次元解析)
- DエリアおよびBo.7A-9地点の地盤モデルの解放基盤表面標高に、はぎとり波を入力地震動として入力し、D エリアおよびBo.7A-9地点の地表面加速度(解析値A, B)を算出。
- (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, Bと当該地点の地震観測記録を比較し, 地盤モデルの妥当性を検証する。
- (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次元地震応答解析により、1次元解析では考慮できない①水平・鉛直地震動の同時入力、②地上構造物による影響を検討する。



図 Step1検討計画

TEPCO

- (1) 地震観測記録から解放基盤表面におけるはぎとり波を作成(1/4)
- > 2022.10.21地震の地表面の地震観測記録(最大加速度)は下図のとおり。



図 2022.10.21地震観測記録(最大加速度)



- (1) 地震観測記録から解放基盤表面におけるはぎとり波を作成(2/4)
- 2022.10.21地震の地震観測記録のオービットを作成した(下図)。下図および前ページ図より、以下の特徴が認められる。
  - 全ての地点でNS方向よりEW方向の加速度振幅が大きい。
  - 「D」, 「D近傍」の2地点は, 最大加速度が他の地点に比べて大きく, 約2倍の最大加速度となっている。





(1) 地震観測記録から解放基盤表面におけるはぎとり波を作成(3/4)

下図に示すとおり、南地点の地盤モデル<sup>※1</sup>に地震観測記録(E<sub>0</sub>+F<sub>0</sub>)を入力し、地盤モデル最深部における入射波(E')を算出する。次に、解放基盤表面以浅の地盤を取り除いた地盤モデル最深部に入射波(E')を入力し、解放基盤表面におけるはざとり波(2E)を算出する。南地点の地盤モデルを右表に示す。

(ここで, E:入射波・進行波, F:反射波・後退波)

入力する地震観測記録は,解放基盤表面標高(T.P.-197.4m)に近いT.P.-201.4m
 の観測記録を用いる。

※1: 複数の中小地震の観測記録による平均地盤伝達関数を用いた最適化地盤モデル



表 南地点の地盤モデル(中小地震モデル 水平)

T.P. (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 (m/s)	*2 h0	æ2 α				
33.5	2	2.10	077						
• 31.5	6	2.10	211						
25.5	8	2.00	310	0.439	0.94				
17.5	22	1.73	455						
-4.5	1.9	1.73							
• -6.4	44.1	1.73	530	0.121	1.00				
-50.5	24	1.80							
-74.5	24	1.80							
-98.5	2.9	1.77	576	0.092	1.00				
• -101.4	9.1	1.77							
-110.5	46	1.77							
-156.5	40	1.76	662	0.043	1.00				
-196.5	0.9	1.76							
-197.4	4	1.76							
• -201.4	10.1	1.76	810	0.084	1.00				
-211.5	89.9	1.81							
● - <u>301.4</u>		1.81							
<ul> <li>● :地震計</li> </ul>	● : 抽磨計 ※2 · 減衰定数 h(f)=h. x f ɑ								

ここで, fは周波数(Hz), h。はf=1のときの減衰定数,

aは両対数軸上のh-fの傾き

- (1) 地震観測記録から解放基盤表面におけるはぎとり波を作成(4/4)
- ▶ 2022.10.21地震の南地点T.P.-201.4mの地震観測記録より、はぎとり波(解放基盤表面)を作成した。





#### (2) はぎとり波によるDエリア・Bo.7A-9地点地盤の地震応答解析(1次元解析)

Dエリアの地盤モデルの解放基盤表面標高にはぎとり波を入力地震動として入力し、地表面加速度の解析値Aを算出し、Bo.7A-9地点の地盤モデルの解放基盤表面標高にはぎとり波を入力地震動として入力し、地表面加速度の解析値Bを算出した(下図はDエリアの例,Bo.7A-9地点は「参考.Bo.7A-9地点の地盤モデル」を参照)。





図 Dエリア地表面加速度(解析値A)

- (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(Dエリア)
- Dエリアの地盤モデルによる解析値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。



注)はぎとり波作成に使用する南地点地震計とDエリア地震計とにおいて参照する 時刻データが異なるため、図中の「解析結果1D」と観測記録「obs\_D」で0secの 時刻が異なる。

図 Dエリア加速度波形の比較(解析値Aと観測記録)



図 Dエリア加速度応答スペクトルの比較(解析値Aと観測記録)

18

-2

-22

-42

-62

-82

-102

-122

-142

-162

-182

-2.02

E

**嘣嘣T.P**.

### (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(Dエリア)



Dエリア最大加速度分布(EW方向)(gal) 0 20 40 80 80 100120140180180200220240 38



Dエリア最大加速度分布(UD方向)(gal) ≽

60

80

40

20

地表面の最大加速度は,水平方 向,鉛直方向ともに,観測記録 が約2倍程度大きい。

TEPCO

- 加速度応答スペクトルの分布形 状は、EW方向以外(NS方向, UD方向)は、解析値と観測値で 異なる。
- これらのことより、現在の地盤 モデルを使用した地震応答解析 では、Dエリアの地表面加速度の 観測記録を再現できず、地盤モ デルの妥当性は確認できない。

図 Dエリア最大加速度深度分布の比較(解析値Aと観測記録)

#### (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(Bo.7A-9地点(T.P.31.5m))

> Bo.7A-9地点の地盤モデルによる解析値Bと, Bo.7A-9地点近傍の南地点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。







Bo.7A-9地点 (T.P.31.5m) 加速度応答スペクトルの比較 (解析値Bと観測記録)



(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(Bo.7A-9地点(T.P.31.5m))





図 Bo.7A-9地点 (T.P.31.5m) 加速度応答スペクトルの比較 (解析値Bと観測記録)



(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(Bo.7A-9地点(T.P.-101.4m))



図 Bo.7A-9地点 (T.P.-101.4m) 加速度波形の比較 (解析値Bと観測記録)



#### (NS方向加速度応答スペクトル)



図 Bo.7A-9地点 (T.P.-101.4m) 加速度応答スペクトルの比較 (解析値Bと観測記録)



(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(Bo.7A-9地点(T.P.-101.4m))



図 Bo.7A-9地点 (T.P.-101.4m) 加速度波形の比較 (解析値Bと観測記録)



図 Bo.7A-9地点 (T.P.-101.4m) 加速度応答スペクトルの比較 (解析値Bと観測記録)

### (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(Bo.7A-9地点)





地表面近傍(T.P.31.5m)の加速度は ,解析値と観測値の最大加速度,応答 スペクトルともに異なる。

TEPCO

- 地下深部の富岡層(T.P.-101.4m)の 加速度は,解析値と観測値の最大加速 度,応答スペクトルともに近い値,分 布形状を示す。
- 左図の解析値の最大加速度深度分布によると、加速度は浅層地盤(段丘堆積層、埋戻土)において増幅しているが、地表近くの観測値はさらに大きな最大加速度を示す。本地盤モデルを使用した地震応答解析は、この浅層地盤における加速度の増幅を再現できていない。

図 Bo.7A-9地点最大加速度深度分布の比較(解析値Bと観測記録)

#### (5)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(3号原子炉建屋)

- 第102回特定原子力施設監視・評価検討会において、2021.3.16地震における3号原子炉建屋の加速度観測記録と建屋直下の富岡層以深の地盤モデルを使用した地震応答解析による加速度解析値を比較し報告している。
- 加速度解析値は、加速度観測記録と同程度の大きさであり、概ね建屋の揺れの傾向をとらえており、使用した 富岡層以深の地盤モデルは妥当と判断できる。
- なお、本解析で使用した3号原子 炉建屋地盤モデルは、1F敷地の 地盤モデルと解析用地盤物性値は 同程度である(下図)。



3月16日地震に関する過去のコメント回答(建屋解析)4/4

- はぎとり波を用いた今回解析と、3号機地震計観測記録の最大加速度値を比較した(図1)
- EW方向については解析結果と観測記録で同程度の数値となっている
- NS方向についてはEW方向と比較して解析結果と観測記録にやや差があるものの、全体としては解析により概ね建屋の揺れの傾向をとらえられている



2

### TEPCO

- (6) 2次元地震応答解析による地盤モデルの妥当性検証(参考)
- ▶ 解析モデルは下図のとおり。
- 2次元地震応答解析により、①水平・鉛直地震動の同時入力、 ②地上構造物による影響を検討する。











#### (6) 2次元地震応答解析による地盤モデルの妥当性検証(参考)

2次元地震応答解析に用いた解析用地盤物性値を下表に示す。

(「(2)はぎとり波によるDエリア・Bo.7A-9地点地盤の地震応答解析(1次元解析)」においても下表の解析用地盤物性値を使用した)

		un == 1.			lla cha lina 🖂				
		理庆工	段丘堆積層	T3部層 砂岩	T3部層 泥質部	T3部層 互層部	T2部層	T1部層	先品両層
物理性补生	$\rho_{\rm t}({\rm g/cm^3})$	1.80	1.59	1.84	1.71	1.76	1.75-0.000417Z	1.79	1.88
初理于小田王	$\gamma_{\rm t}({\rm MN/m^3})$	$1.765 \times 10^{-2}$	$1.559 \times 10^{-2}$	$1.804 \times 10^{-2}$	$1.677 \times 10^{-2}$	$1.726 \times 10^{-2}$	$1.715 \times 10^{-2} - 4.089 \times 10^{-6} Z$	$1.755 \times 10^{-2}$	$1.844 \times 10^{-2}$
	$G_0(N/mm^2)$	72.6	158	210	427	302	249-3. 22Z	667	954
ぶちらちっか 耳くをちょう	ν <sub>d</sub>	0.35	0.48	0.48	0.45	0.46	0. 467+0. 000222Z	0.44	0.42
则时发形将性	$G/G_0 \sim \gamma$ ( $\gamma$ :%)	$\frac{1}{1+10.65 \gamma^{0.778}}$	$\frac{1}{1+6.872 \gamma^{0.614}}$	$\frac{1}{1+3.009 \gamma^{-0.604}}$	$\frac{1}{1+3.600 \gamma^{0.962}}$	$\frac{1}{1+3.257 \gamma^{0.688}}$	$\frac{1}{1+2.845 \gamma^{0.918}}$	$\frac{1}{1+2.586 \gamma^{0.722}}$	$\frac{1}{1+2.714 \gamma^{-0.920}}$
	$h \sim \gamma$ (h, $\gamma$ : %)	22. 97 $\gamma$ <sup>0. 289</sup>	$\frac{14.79}{1+0.036/\gamma}$	$\frac{21.80}{1+0.122/\gamma}$	11. 90 $\gamma$ <sup>1. 086</sup> +1. 617	$\frac{17.57}{1+0.084/\gamma}$	10. 54 $\gamma$ <sup>0.865</sup> +0. 903	15.04 $\gamma$ <sup>0.517</sup>	14.69 $\gamma$ <sup>0.583</sup>

表 解析用地盤物性值※

(Z:標高T.P.(m), P:有効土被り圧(N/mm<sup>2</sup>))

 $ho_t$ :湿潤密度, $ho_t$ :単位体積重量, $m G_0$ :初期せん断弾性係数, $ho_d$ :動ポアソン比,m G:せん断弾性係数,ho:減衰定数,ho:せん断ひずみ

※:本表の解析用地盤物性値は,「福島第一原子力発電所原子炉設置変更許可申請書(1号,2号,3号,4号,5号及び6号原子炉施設の変更)平成5年4月(平成5年 7月一部補正)」における顧問会資料「メモ第3-2号福島第一原子力発電所原子炉施設基礎地盤の安定性検討平成5年11月」に記載された解析用物性値を単位 変換したもの。

### TEPCO



2次元地震応答解析(2D解析)による加速度と1次元地震応答 解析(1D解析)による加速度を比較する。



(NS方向加速度)



#### (EW方向加速度)







図 Dエリア加速度応答スペクトルの比較(1D解析と2D解析と観測記録)

#### 地震観測記録を用いた検討の結果 4.Step1



(6)2次元地震応答解析による地盤モデルの妥当性検証(参考)



Dエリア最大加速度分布(UD方向)(gal)

60

80

× 設備地盤

段丘堆積度

宮田居T3部居沢営会

高田居T3部居石居3

富同層T3部層泥質部

富田居T2部原

富岡層T1部層

先富同居

- 1次元解析,2次元解析ともに,観測値の最  $\succ$ 大加速度と加速度応答スペクトルを再現で きていない。
- 1次元解析と2次元解析の加速度応答スペク トルには差異が認められ,この差異は地上 構造物(タンク,基礎)による影響と考え られる。

Dエリア最大加速度深度分布の比較(1D解析値と2D解析値と観測記録) 叉

### (1)まとめ

- 地盤モデルを使用した地震応答解析による加速度解析値は、地表面付近においては観測記録と異なるが、 地下深部の富岡層においては観測記録を再現できる。
- このことから、地盤モデルは岩盤部(新第三紀の富岡層以深)の地盤物性値を適切に設定できていると判断されるが、浅層地盤(第四紀の段丘堆積層以浅)は適切に設定できていない可能性がある。
- また、地表の地震観測記録を再現できない要因として、浅層地盤の地盤物性値のほかに、地上構造物、地震計の設置場所・条件、解析手法、解析モデル等の要因が考えられる。

#### (2) 今後の耐震重要施設の耐震設計について

- 耐震重要施設は、第四紀の地層を岩盤上面まで掘削して(あるいは地盤を改良して)、基礎を岩着(あるいは人工岩盤、改良地盤を介して岩着)することを基本としており、第四紀の地層の地盤物性値は耐震設計結果に影響を与えない。よって、耐震重要施設の耐震設計においては、現在の地盤モデルの使用は妥当と判断される。
- よって、地盤モデル妥当性の検討はStep1の検討をもって終了する(Step2 ボーリング調査による検討は 実施しない)。
- 一方で,設備・施設の耐震設計において,段丘堆積層等の地盤物性値を使用する場合は,既往の調査・試験結果等から物性値のばらつき等による影響の検討を行い,設備・施設設置位置の地盤物性値を適切に設定する,あるいは設備・施設設置位置で調査・試験等を行い設置位置の地盤物性値を設定する必要がある

## 参考. Bo.7A-9地点の地盤モデル



- ▶ 下図に示すとおり、既往のボーリング調査位置Bo.7A-9地点は、南地点の北方約40mに位置する。地層層序は南地点と同様と想定される。
- ボーリング調査結果(地盤モデル・地質柱状図)を右図に示す。



図 Bo.7A-9地点 位置図



### 参考.浅層地盤物性値の既設施設耐震評価結果への影響について(1/2) TEPCO

#### 1.影響検討対象施設の抽出

- ▶ 本編の検討結果により, 地盤モデルのうち浅層地盤物性値の設定が妥当でない可能性が示唆された。
- 耐震評価結果が浅層地盤物性値の影響を受ける耐震クラスは、表1のとおり、B+クラス施設の耐震評価とBクラス施設の共振の検討である。ここでは、既設のB+クラス施設の耐震評価結果への影響の有無を確認する。また、原子炉建屋が設置されているT.P.8.5m盤は敷地造成時に浅層地盤が掘削除去されており、同盤の施設の耐震評価結果は浅層地盤物性値の影響を受けないことから検討対象としない。
- ▶ 1Fの既設の施設のうち, B+クラス施設は以下の増設多核種除去設備のうち一部の機器・配管である。

増設多核種除去設備のうち,反応/凝集槽,沈殿槽,上澄み水タンク,スラリー循環ポンプ,上澄み水ポンプ,反応/凝集・沈殿 槽スキッド,上澄み水タンクスキッド,凝集沈殿ポンプスキッド及びこれらに接続する主配管

耐震クラス	<b>S</b> *1	<b>B</b> + <sup>*2</sup>	<b>B</b> **3	С
耐震評価結果への 影響の有無と理由	影響なし 浅層地盤を掘削除去or地盤改 良するため	影響あり 浅層地盤を含む地盤モデル を耐震評価で用いるため	影響あり (ただし共振のおそれのある施設のみ) 浅層地盤を含む地盤モデルを共振検 討で用いるため	影響なし 耐震評価において地盤モデル を用いないため

表1 浅層地盤物性値の影響の有無

※1:Sクラス地震力(Ss)に対する安全機能維持が要求される施設・設備を含む,
 ※2:B+クラス地震力(1/2Ss)に対する安全機能維持が要求される施設・設備を含む
 ※3:Bクラス地震力(1.5Ci)に対する安全機能維持が要求される施設・設備を含む

#### 2.浅層地盤物性値の影響の程度について

- Bo.7A-9地点の地震応答解析による地表面加速度について, 浅層地盤物性値による影響の程度を検討した。
- 浅層地盤の段丘堆積層のせん断弾性係数を埋戻土程度に低減した解析ケース①と、浅層地盤の減衰定数を3%から1%に低減した解析ケース②を実施した。結果は表2のとおり。
- このように浅層地盤物性値を極端に地盤が振れやすい方向に 変更した解析ケースにおいても、地表面加速度の増加率は最 大4%である。

解析ケース	地表面加速度 (NS方向)(gal)	増加率 (%)	地表面加速度 (EW方向)(gal)	増加率 (%)
基本ケース	60.7		82.2	_
ケース①	62.3	2.6	85.5	4.0
ケース②	61.6	1.5	83.1	1.1

表2 浅層地盤物性値の影響

### 参考. 浅層地盤物性値の既設施設耐震評価結果への影響について(2/2) TEPCO

#### 3.増設多核種除去設備の耐震評価結果への 影響

- 増設多核種除去設備のうちB+クラスの 機器は、表3に示すとおり、水平震度 0.70・鉛直震度0.40に対する耐震性を 確認している。
- ▶ 水平震度0.70・鉛直震度0.40は, B+ク ラス動的地震力である1/2Ss450gal時の 基礎の水平加速度570cm/s<sup>2</sup>(≒震度0.58), 鉛直加速度321cm/s<sup>2</sup>(≒震度0.33) に対して, 保守的に余裕をもって設定し たものである。
- よって、増設多核種除去設備のうちB+ クラスの機器は、保守的に設定された地 震力に対して、表3に示すとおり十分な 裕度をもって耐震性が確認されているこ とから、浅層地盤物性値による地表面加 速度の最大増加率4%を考慮しても、耐 震評価結果は影響を受けないと判断でき る。

表3 増設多核種除去設備の耐震評価結果(B+クラス)の例

機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出值	許容値	単位
	胴板	SS400	組合せ	1.77	19	208	MPa
			組合せ	水平	17	215	MPa
反応/凝集槽 A, C	スカート	SS400	圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	0.70	0. 08	1	-
	取付	66.400	引張り	西但.	76	161	MPa
	ボルト	55400	せん断	0.40	37	124	MPa
機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
	胴板	SUS316L	組合せ		21	160	MPa
			組合せ	水平	17	205	MPa
沈殿槽 A, C	スカート	SUS304	圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	0.70	0. 09	1	-
	取付	66400	引張り	亚世 0.40	72	161	MPa
	ボルト	55400	せん断	0.10	39	124	MPa
機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
	胴板	SUS316L	組合せ		13	160	MPa
			組合せ	水平	20	205	MPa
上澄み水タン クA, C	スカート	SUS304	圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	0.70	0.10	1	-
	取付	\$\$400	引張り	如旦 0 40	48	161	MPa
	ボルト	55400	せん断	0.40	9	124	MPa
機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
スラリー循環	取付	\$\$400	引張り	水平 0.70	3	161	MPa
ポンプA, C	ボルト SS400	55400	せん断	鉛直 0.40	3	124	MPa

(福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 I-2-16-2添付資料-3より)

Ⅱ.福島第一原子力発電所における地すべりの可能性について

# コメント回答

# 富岡層風化部のデータ整理結果 (風化部のN値マッピング)について **TEPCO**

# 1. 富岡層風化部の層厚分布コンター図とN値のマッピング

設置変更許可申請書の地質調査結果等から富岡層風化部の層厚分布コンター図を作成するとともに、 2011年~2023年に実施した地質調査で取得した富岡層風化部におけるN値(最小値)の調査位置を プロットした。

TEPCO



### 2. マッピングの結果及び今後の重要施設の設計への反映について=>CO

<マッピングの結果について>

- ▶ 風化部層厚については、海側(東側)に向かって厚くなる傾向がみられる。また敷地西側においても 一部風化部が厚い地点がある。
- ▶ 風化部のN値については、風化部層厚が厚い地点で比較的小さくなる傾向がみられる。

<今後の重要施設の設計への反映について>

- 重要施設の計画にあたっては、前頁に示す図を参考にしつつ建物設置前のボーリング調査により富岡 層風化部の状況を確認するとともに、重要施設は十分な支持性能を有する地盤に設置する。具体的に は岩盤に直接あるいはマンメイドロック(コンクリート、改良地盤 等)を介して重要施設を設置す る。
- ▶ また、施工中の品質管理等により、マンメイドロックが予定している範囲に施工されていることを確認する。

### Ⅲ.地震時のタンク滑動に関する検討状況



### 1. タンク滑動評価の経緯・目的

- 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。
- 1 F技術会合(第9回)において、タンクが大きく滑動した原因分析を行うようコメントを受けた。

「地震時のタンク滑動の要因分析(鉛直地震動の影響を含む)を実施すること」

- 本検討は上記のコメントを受け、タンクの滑動量が設置時の評価値を上回った原因を明らかにし、耐震評価の知見を拡充する目的で実施している。※
  - ※: D エリアは 2.13 地震および 3.16 地震によるタンクの滑動量が大きいエリアとして, 地震時の地表 面加速度を観測しており, 監視・評価検討会にて議論されてきたことから, 主に D エリアを例に本 検討を行う。
- ▶ なお、既設のタンクに関しては、タンクが評価値を上回る滑動をした場合でも、問題が生じないよう対策を実施済みである。

・対策例:連結弁常時閉,地震時に自動的に連結弁を全閉する駆動部を設置,など

TEPCO

### 2. 地震時のタンク滑動状況



- > 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, H4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基のタンクで滑動が確認された。
  - 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。

### 3. タンク滑動解析の概要

#### ■ 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



TEPCO

### 4. タンク滑動解析の評価ケースと結果概要



■ 解析条件と滑動量

### 解析条件を上段の表に,評価で得られた最終滑動量,総滑動量を下段の表に示す。

解析ケース		1	2	3	4	5	6	7
タンク形状	Dエリアタンク	0	0	0	0	0	0	0
	3.16地震時に,最大の滑動量が 確認されたタンクの水位 (Dエリア,水位:9766mm)	0	0	0	0		Ο	0
ランシホ世	3.16地震時に, Dエリアで最も水 位が高かったタンクの水位 (水位 : 12882mm)					0		
入力地震動	3.16はぎとり波(Dエリア)	0	0	0	0	0	0	
	3.11はぎとり波(Dエリア)							0
	静止摩擦係数 0.4 動摩擦係数  0.3	0				0	0	0
底板と基礎表	静止摩擦係数 0.4 動摩擦係数 0.15		0					
(摩擦係数)	静止摩擦係数 0.2 動摩擦係数 0.1			0				
	静止摩擦係数 0.7 動摩擦係数 0.3				0			
スロッシング	なし						0	0
の考慮	あり	0	0	0	0	0		
最終滑動量(mm) <sup>※</sup>		46.7	45.2	46.0	27.3	26.3	3.7	5.9
総滑動量(mm	)*	425.7	987.4	1402.1	401.4	372.8	35.1	53.9

※ 最終滑動量:解析開始時のタンク位置と解析終了時のタンク位置を,直線で結んだ距離。 総滑動量: 解析開始から解析終了まで,タンクが移動した道のりの長さ。(移動経路に沿った長さ)

## 5. 摩擦係数の違いによる影響



静摩擦係数が小さい場合、滑動し始めるタイミングが早まる結果となった。 また、動摩擦係数が小さいほど総滑動量が大きくなる傾向が見られた。 ⇒摩擦係数が滑動に与える影響は比較的大きいと考えられる ΤΞΡϹΟ

### 6.水位の違いによる影響



ケース⑤(最大水位)

### ■ 解析結果(水位による影響)

ケース①(最大滑動時の水位)



滑動し始めるタイミングは同じであるが、滑動し始めた後の滑動量は最大滑動時の水位 で解析したケース①の方が大きくなる結果となった。 ⇒水位の違いが滑動に影響を与える可能性がある

### 7. スロッシング考慮あり/なしによる影響



### 解析結果(スロッシングによる影響)

ケース①(スロッシングあり)



滑動し始めるタイミングは同じであるが、滑動し始めた後の滑動量はスロッシングを考 慮したケースの方が大きくなる結果となった。 ⇒スロッシングが滑動に与える影響は大きいと考える。

### 8. 地震動の違いによる影響

ケース⑦ (3.11はぎとり波、スロッシングなし)

■ 解析結果(地震動による影響)

ケース⑥ (3.16はぎとり波、スロッシングなし)



入力地震動の大きい3.11はぎとり波の方が滑動量はわずかに大きかったものの、滑動量 に大きな差は見られなかった。

# 9. 解析評価上の問題点

TEPCO

- 確認された問題点
- ✓ 不自然な内部流体の挙動について

一部の解析を実施した際に、以下のような不自然な内部流体の挙動が確認され、正しい 結果が得られなかった。

- ・片側の波高のみ高い状態が続いてしまう。
- ・大きなスロッシング挙動により波が分裂してしまう。
- ・内部流体がタンクから漏れ出てしまう。
- なお,前頁までに掲載している評価ケースでは,上記の問題は生じていない。



不自然な内部流体の挙動の概要図

## 10. 今後の検討内容

■ 今後の実施事項(予定)

前頁のような事象が発生していない評価ケースの解析結果は妥当であると考えているが, 念のため,モデルの妥当性検証等の追加解析を実施することとした。

- ・解析モデルの修正(細メッシュ化、床面剛性を考慮等)
- ・修正した解析モデルの妥当性確認(解析事例やアニメーション等による確認)
- ・解析結果の妥当性確認(手計算ベースの結果と比較)
- ・修正したモデルにて以下4ケースのパラスタ解析を実施

		1	2	3	4
タンク	Dエリアタンク	0		0	
形状	H4北エリアタンク		0		0
水位	最大滑動時の水位	0	0	0	0
	3.16はぎとり波(Dエリア)	0	0		
地震動	3.11はぎとり波(Dエリア)			0	
	3.16地震計観測波(H4北エリア)				0
摩擦係数	静止摩擦係数 0.4 動摩擦係数 0.3	0	0	0	0
スロッシング	あり	0	0	0	0

TEPCO

11. 検討スケジュール

TEPCO

### > 追加解析のスケジュールは以下のとおり。

		2024年度				2025年度																
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
滑動解析																						
滑動原因考察																						
(追加)問題対応検討等																						
(追加)モデル修正																						
(追加)モデル妥当性確認																						
(追加)滑動解析, 考察																						

### Ⅳ.タンクエリア地震計が適切に設置されているか 観測記録による確認について



# 1. タンクエリア地震計の移設

### TEPCO

### ▶ 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

# 2. タンクエリア地震計の基礎

- ▶ 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: Fc=21 N/mm<sup>2</sup>
  - 鉄筋仕様: SD295, D10@200
  - 基礎密度: 24 kN/m<sup>3</sup>(コンクリート:23+鉄筋:1)
  - 基礎重量: 38.016 kN ≒ 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基礎



- 基礎の固有振動数
- いずれの基礎も固有振動数が<u>50Hz</u>※以上であり, 観測記録に影響を与えない。
  - ※:タンク等の機器に与える地震影響の調査が目的であるため最低限20Hz以上であれば良いが、地震計のサンプリング周期が0.01秒であるため,50Hz以上であれば影響を与えない。



▶ D、H4北エリア

h	b	E	I	m	f
[mm]	[mm]	[N/mm²]	[mm⁴]	[kg/m]	[Hz]
1,100	1,200	2.15×10 <sup>4</sup>	1.73×10 <sup>11</sup>	3.52×10 <sup>3</sup>	<u>475</u>

▶ K4エリア

h	b	E	I	m	f
[mm]	[mm]	[N/mm²]	[mm <sup>4</sup> ]	[kg/m]	[Hz]
1,200	1,300	2.15×10 <sup>4</sup>	2.38×10 <sup>11</sup>	4.14×10 <sup>3</sup>	<u>432</u>

### 3. 新設した基礎への地震計移設

- 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

THE FURN

なお,2024年4月 規制委員(石渡前委員)に,移設後の地震計を現地で確認して頂いている。

Dエリア(移設後)

H4北エリア(移設後)



K4エリア(移設後)



### 4. 地震計が適切に設置されていることの確認



- 移設後に観測された比較的大きい地震(震度5弱以上)による観測記録を用いて,以下の比較検討により地震計が適切に設置されていることを確認する。
- ① 各エリアに2台ずつ設置されている地震計の記録が、ほぼ一致すること
- ② 2022年3月16日の地震の際, Dエリアの観測記録に確認された異常なスペクトルが無いこと
- ③ 近い場所で観測しているH4北エリアと自由地盤系(南地点)の記録が類似していること

#### 移設後に観測された比較的大きい地震

発生日	立地町*震度
2022年10月21日	5弱
2024年3月15日	5弱

※:双葉町,大熊町,富岡町,楢葉町

## 4.1 2台ずつ設置されている地震計の観測記録を比較



- ▶ 震度5弱を観測した2回の地震での観測記録を確認したところ、各エリアに2台ずつ設置 されている地震計の最大加速度値は、ほぼ一致する。
- ▶ 地震計の基礎が適切に設置されていること、2台ずつ設置されている地震計の最大加速度 値が一致することから、地震観測は適切に行われていると考えられる。

#### 2022年10月21日の観測記録(最大加速度gal)

エリア	方向	地震計1	地震計2	地震計1と2の差 (%)
Dエリア	NS	101	100	1.0
	EW	229	229	0.0
	UD	67	66	1.5
H4北エリア	NS	66	65	1.5
	EW	135	139	2.9
	UD	83	83	0.0
K4エリア	NS	28	28	0.0
	EW	96	97	1.0
	UD	59	58	1.7

2024年3月15日の観測記録(最大加速度gal)

エリア	方向	地震計1	地震計2	地震計1と2の差 (%)
Dエリア	NS	125	123	1.6
	EW	77	79	2.5
	UD	63	61	3.3
H4北エリア	NS	79	77	2.6
	EW	89	89	0.0
	UD	55	56	1.8
K4エリア	NS	30	30	0.0
	EW	42	43	2.3
	UD	25	25	0.0

## 4.2 3.16地震のスペクトルとの比較



- ▶ 2022年3月16日の地震では、Dエリアの観測記録において単管パイプが衝突したことによる影響 と思われる異常なスペクトルが確認されている。
- ▶ 地震計移設後の2022年10月21日の観測記録には、異常なスペクトルは確認されていない。
- ▶ 地震計移設にあたり,観測記録に影響を与えるものが周囲に無いことを確認しており,適切な観測ができていると考えられる。



### 4.3 H4北エリアと自由地盤系(南地点)の比較



- ▶ 比較的近い場所で観測している、H4北エリアと自由地盤系(南地点、G.L.-2m)の観測記録を比較すると下図のとおり。
- ▶ 基礎や地盤改良の有無、タンクなどの構造物の影響があるためスペクトル形状は完全に一致してはいないが、水平方向は概ね傾向が類似しており、タンクエリアの地震計は適切な観測ができていると考えられる。



2022年10月21日の観測記録, 自由地盤系(南地点, G.L.-2m), 減衰1% 2022年10月21日の観測記録, H4北エリア,減衰1%

## 5. 今後の観測について



- 2022年8月に移設した地震計は、観測記録を無線で送信するタイプの地震計であったが、記録を 確実に取得する観点から、有線タイプの地震計への変更を進めていた。 この度、有線タイプの地震計への変更が完了し、タンクエリアでの地震観測を継続している。
- 有線タイプの地震計を運用開始した日付は以下のとおり。
  - ・Dエリア: 2025年 1月17日
  - ・H4北エリア: 2025年 1月17日
  - ・K4エリア: 2025年 1月17日



Dエリア(有線化後)



地震計箱の内部