１Ｆ技術会合（第３０回）
資料１－１

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

TEPCO

2026年10月27日

東京電力ホールディングス株式会社

コメントリスト

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。	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。
		第26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，Ｄエリア地震計移設後の地震観測記録を用いた地盤モデル妥当性検討の結果を報告した。
第26回特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合：2025年7月8日	実際に地表面で観測された地震応答が解析により再現できないことについて，地盤物性値のばらつきなど既存データを用いて追加の検討・考察を行い，その原因を推定すること。	本資料により，左記の指摘事項について検討した結果を報告する。

目次

1. 検討の概要 3
2. 検討の方針 4
3. 検討結果の概要 5
4. 2022.10.21地震の地震観測記録 6
5. 南地点の地震観測記録を用いた検討 8
6. Dエリアの地震観測記録を用いた検討 14
7. 富岡層地盤物性値の影響について 18
8. 減衰定数hの下限値3%の影響について 20
9. まとめと耐震設計への影響 23

参考資料

参考1.解析用地盤物性値 24
参考2.南地点およびDエリアの地盤モデル 26
参考3.解析ケース一覧 27
参考4.S波初動の波形の違いについて 29
参考5.地盤物性のばらつきの設定について 30
参考6.はぎとり波の作成方法 34
参考7.「9.1 まとめ」の補足 36
参考8.2022.10.21地震の地震観測記録の考察 37
参考9. 2024.3.15の地震観測記録 46

1．検討の概要

第26回特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合（2025年7月8日）において，耐震重要施設の耐震評価における中長期的な知見拡充として，以下の検討結果を報告した。

- 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。
- 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する。

報告の際に，以下のコメント（指摘事項）を頂いた。

- 実際に地表面で観測された地震応答が解析により再現できないことについて，地盤物性値のばらつきなど既存データを用いて追加の検討・考察を行い，その原因を推定すること。

上記コメントの対応のため，2023年度に実施したボーリング調査結果，および既往の地質・地盤調査，室内試験結果を用いて地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析を行い，解析結果と観測記録を比較することにより，地盤モデルの妥当性について検討した。

2. 検討の方針

地上構造物のない地震観測南地点を対象に，地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析により地表付近加速度に及ぼす影響を確認し（Step1），その結果をもとにDエリアの地震応答解析を行い観測記録との比較を行うことにより地盤モデルの妥当性の検討を行う（Step2）。

Step1（自由地盤の検討）
地震観測南地点の
地震観測記録を用いた検討

5.南地点の地震観測記録を用いた検討
5.1 解析用地盤物性値G0・hによる影響
5.2 段丘堆積層G0による影響
5.3 富岡層G0による影響

⬇

Step2（施設の基礎地盤の検討）
Dエリアの
地震観測記録を用いた検討

6.Dエリアの地震観測記録を用いた検討
6.1 解析用地盤物性値G0・hによる影響
6.2 基礎および改良地盤のモデル化の有無による影響

追加検討1
富岡層地盤物性値の影響について

7.富岡層地盤物性値の影響について

追加検討2
減衰定数ｈの下限値３％の影響について

8.減衰定数ｈの下限値３％の影響について

3. 検討結果の概要

TEPCO

Step1（自由地盤の検討）
地震観測南地点の
地震観測記録を用いた検討

⬇

Step2（施設の基礎地盤の検討）
Dエリアの
地震観測記録を用いた検討

追加検討1
富岡層地盤物性値の影響について

追加検討2
減衰定数ｈの下限値３％の影響について

Step1の結果

以下①～③のとおり地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析結果は，南地点の地震観測記録の最大加速度深度分布および加速度応答スペクトルを再現できた。

① 減衰定数hの下限値（3%）を設定しない
② 段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0を平均値-1σとする
③ 富岡層の初期せん断弾性係数G0を平均値+1σとする

Step2の結果

Step1①～③の地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析結果は，Dエリアの地震観測記録（EW方向加速度）の最大加速度深度分布および加速度応答スペクトルに，平均値物性の解析結果よりは近づくものの，2倍程度以上の乖離があることがわかった。

追加検討1の結果

以下①～③の地震応答解析結果を比較した結果，富岡層の初期せん断弾性係数G0のばらつきは，地表面加速度に有意な影響を与えないことがわかった。

① 富岡層の初期せん断弾性係数G0を平均値とする
② 富岡層の初期せん断弾性係数G0を平均値-1σとする
③ 富岡層の初期せん断弾性係数G0を平均値+1σとする

追加検討2の結果

以下①～②の地震応答解析結果を比較した結果，減衰定数hの下限値の有無は，Ss900の解析結果に影響を与えないことがわかった。

① 減衰定数hの下限値（3%）を設定する
② 減衰定数hの下限値（3%）を設定しない

4. 2022.10.21地震の地震観測記録

本検討に用いる2022.10.21地震（以下，「10.21地震」という。）の地表面の地震観測記録（最大加速度）は下図のとおり。

- 10.21地震は，地震観測箇所により最大加速度が大きく異なる。南地点，H4北，K4の3地点のEW方向最大加速度は100gal程度であるが，D，D近傍の2地点では200~300galと2倍程度以上の値となる。なお，各観測地点の地下の地層構成に大きな違いはない。

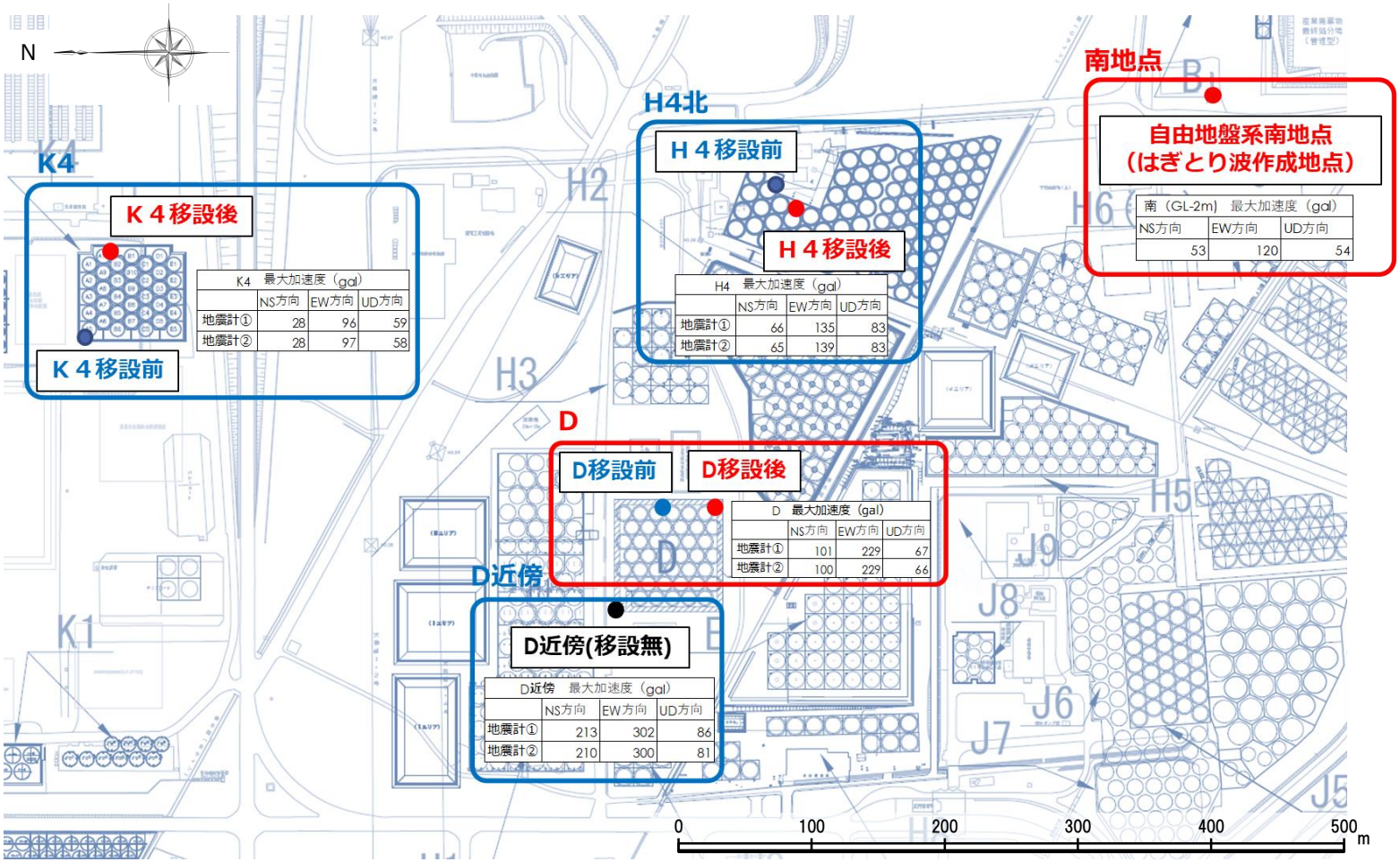


図　2022.10.21地震観測記録（最大加速度）

4. 2022.10.21地震の地表面の地震観測記録

10.21地震の地震観測記録のオービットを作成した（下図）。

- 10.21地震は，EW方向の加速度振幅がNS方向より2倍程度以上大きく，EW方向の揺れが卓越する地震であったことがわかる。

⇨ 以降の検討では，主にEW方向加速度の観測記録と解析値の比較により，地盤モデルの妥当性の検討を行う。

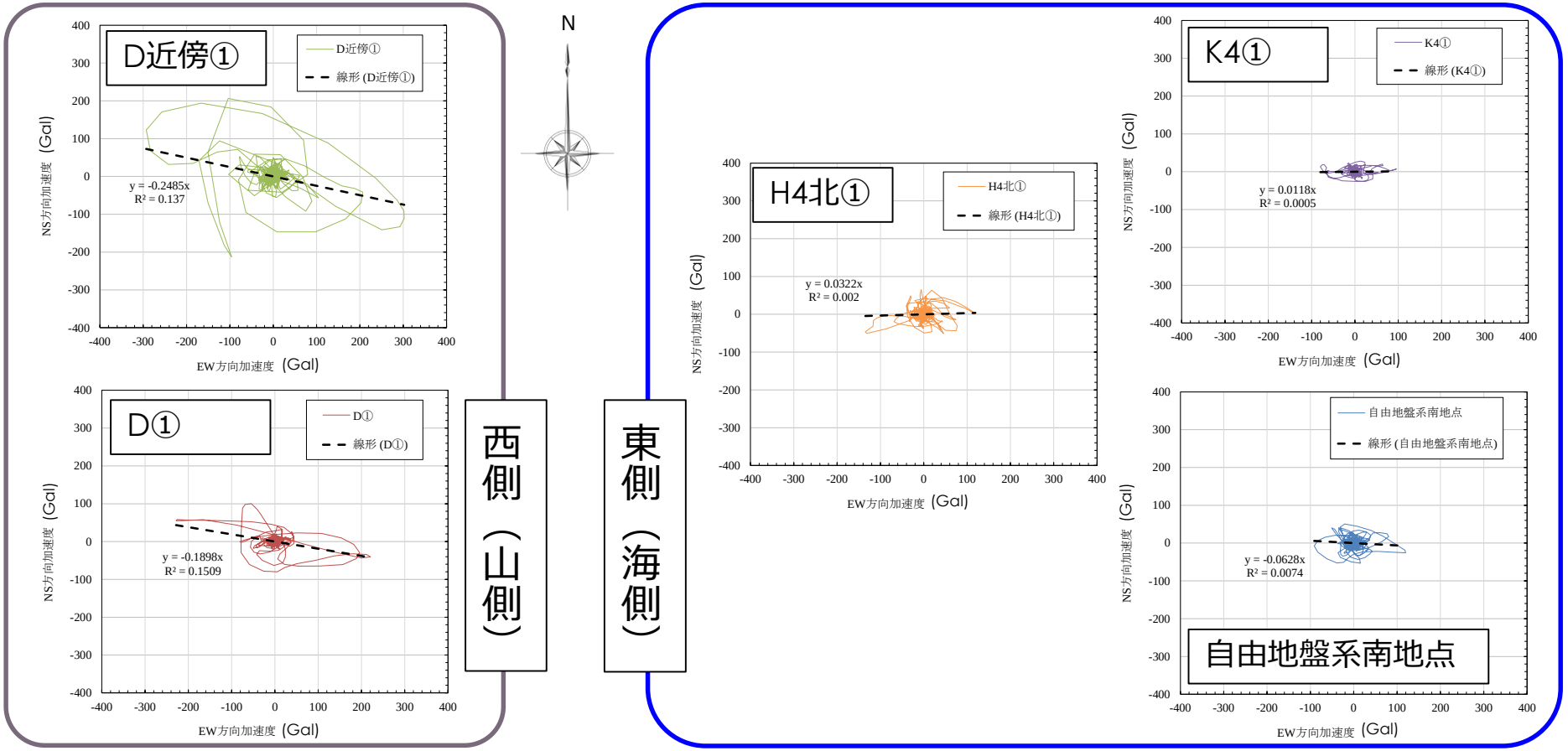


図　2022.10.21地震観測記録（水平方向加速度記録オービット）

5. 南地点の地震観測記録を用いた検討

5.1 解析用地盤物性値G0・hによる影響

南地点の観測記録と解析ケースNo.1（段丘堆積層G0：設置許可時の解析用物性値※），No.5（段丘堆積層G0：平均値－1σ），No.10（h：3%下限なし）を比較した。

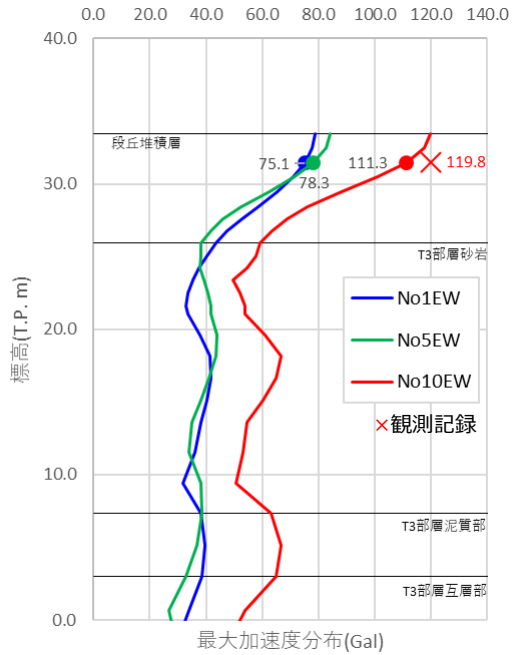
- No.1とNo.5の比較により，段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0が小さいほうが地表面加速度が大きいことがわかる。
- No.1とNo.10の比較により，減衰定数hに下限値3%を設定しないほうが地盤全体の加速度が大きく，観測記録に近いことがわかる。
- No.5,10と観測記録の比較により，G0よりhのほうが地表面加速度への影響が大きく，観測記録に近いことがわかる。（ただし，EW方向のみ）

⇨以降の検討は，hに下限値3%を設定しない解析用地盤物性値で，G0のばらつきによる影響を検討する。

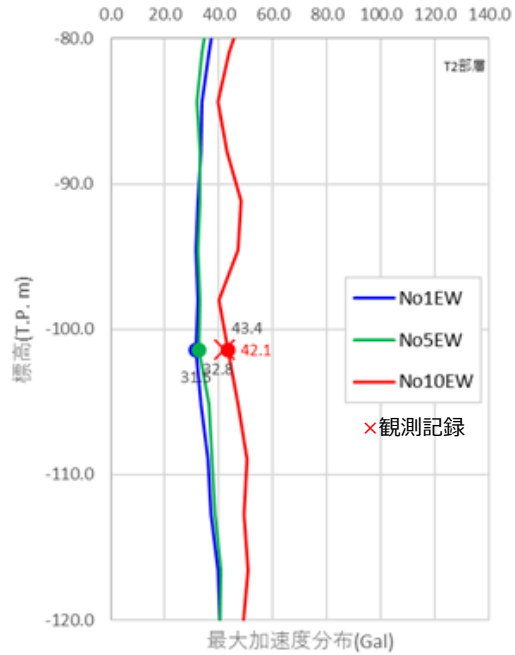
※：福島第一原子力発電所の設置許可申請書に記載された解析用地盤物性値

表　解析ケースの地盤物性値の違い

解析ケース	段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0	全地層の減衰定数hの下限値
No.1	設置許可時の解析用地盤物性値	3%
No.5	平均値－1σ （2023年ボーリング調査結果）	3%
No.10	設置許可時の解析用地盤物性値	0%（設定しない）



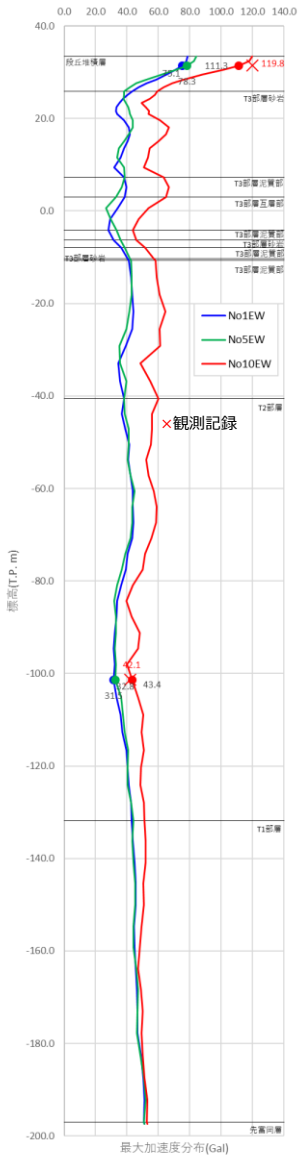
最大加速度分布（EW方向，地表付近拡大）



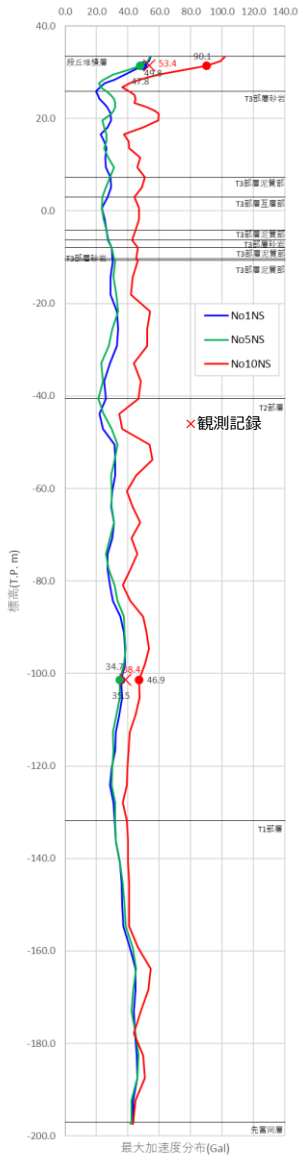
最大加速度分布（EW方向，地下深部拡大）

図　最大加速度深度分布の比較（G0，hによる影響）

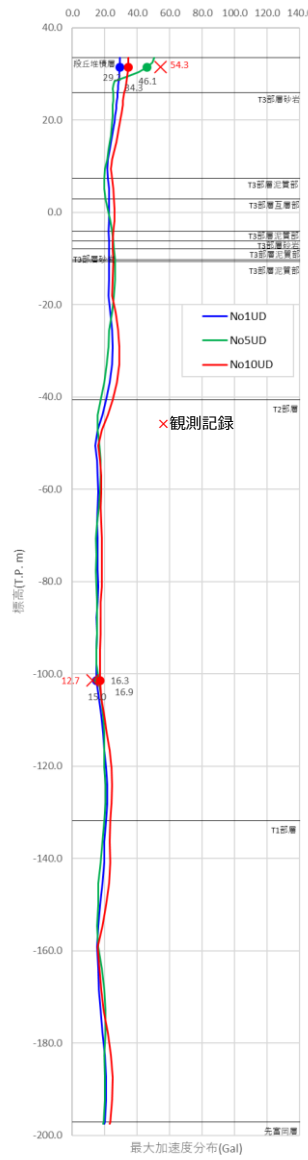
5. 南地点の地震観測記録を用いた検討



最大加速度分布（EW方向）

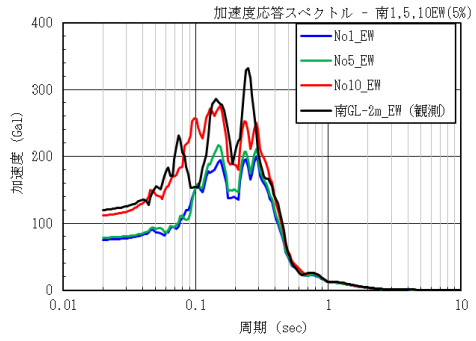


最大加速度分布（NS方向）

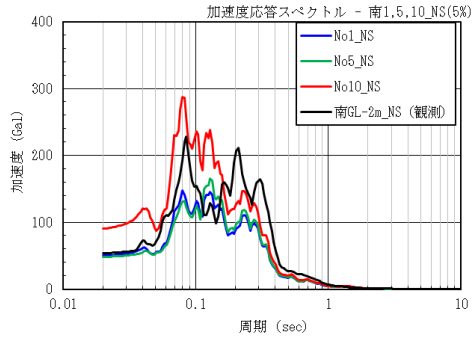


最大加速度分布（UD方向）

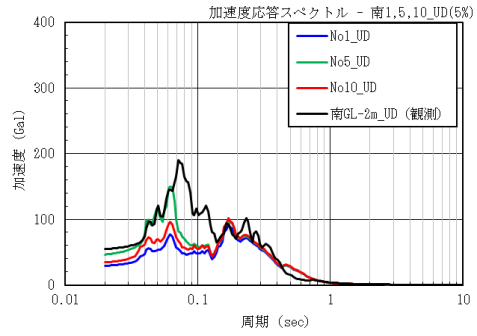
図　最大加速度深度分布の比較（G0，hによる影響）



加速度応答スペクトル（EW方向，h=5%）



加速度応答スペクトル（NS方向，h=5%）



加速度応答スペクトル（UD方向，h=5%）

図　加速度応答スペクトルの比較（G0，hによる影響）

5. 南地点の地震観測記録を用いた検討

5.2 段丘堆積層G0による影響

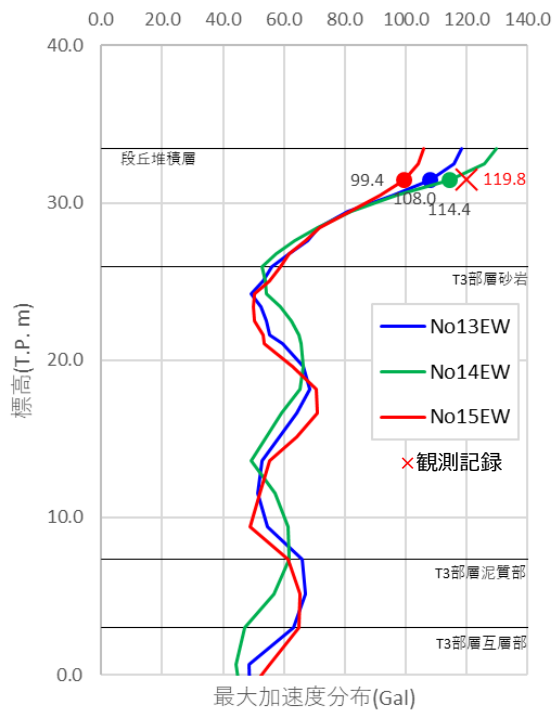
南地点の観測記録とNo.13（段丘堆積層G0：平均値），No.14（段丘堆積層G0：平均値－1σ），No.15（段丘堆積層G0：平均値+1σ）を比較した。

- No.13,14,15と観測記録の比較により，段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0が小さいほうが地表面加速度が大きく，観測記録に近いことがわかる。

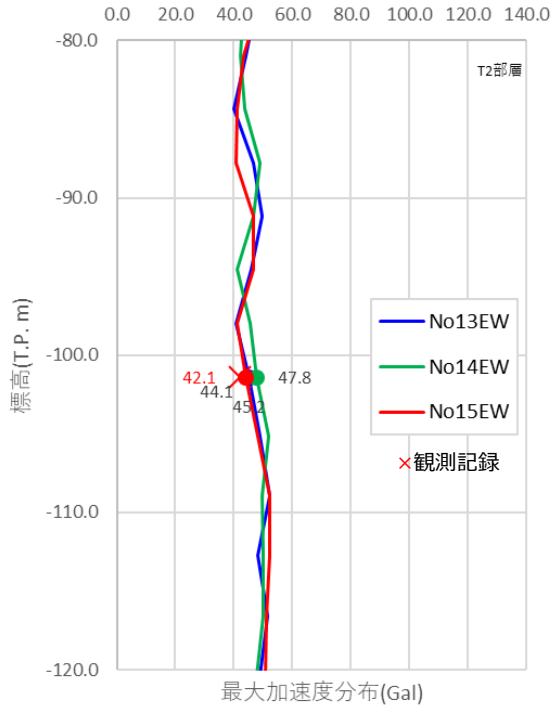
⇨以降の検討は，段丘堆積層のG0がばらつきの範囲内で小さい解析用地盤物性値で，富岡層のG0による影響を検討する。

表　解析ケースの地盤物性値の違い

解析ケース	段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0	全地層の減衰定数hの下限値
No.13	平均値（2023年ボーリング調査結果）	0%（設定しない）
No.14	平均値－1σ（2023年ボーリング調査結果）	0%（設定しない）
No.15	平均値＋1σ（2023年ボーリング調査結果）	0%（設定しない）



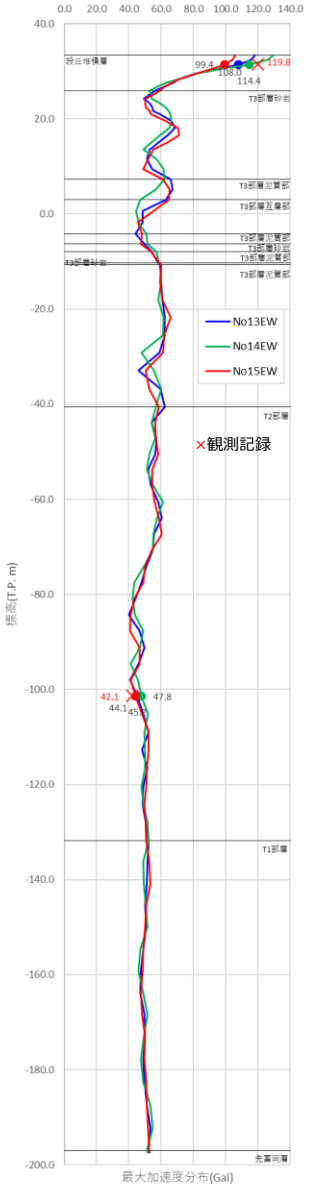
最大加速度分布（EW方向，地表付近拡大）



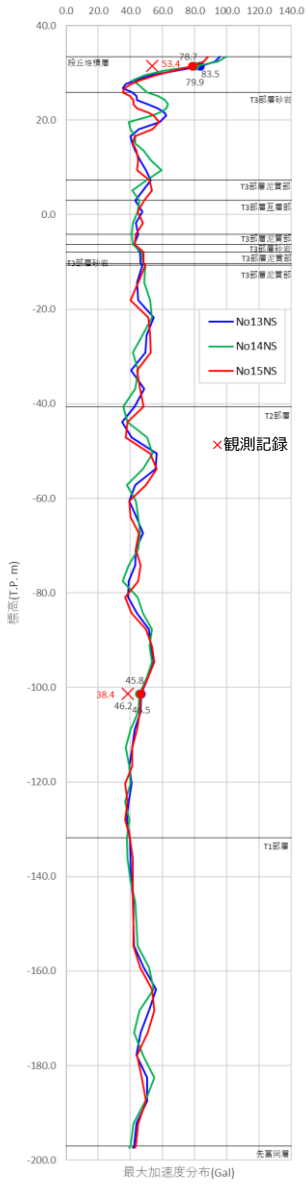
最大加速度分布（EW方向，地下深部拡大）

図　最大加速度深度分布の比較（段丘堆積層G0の影響）

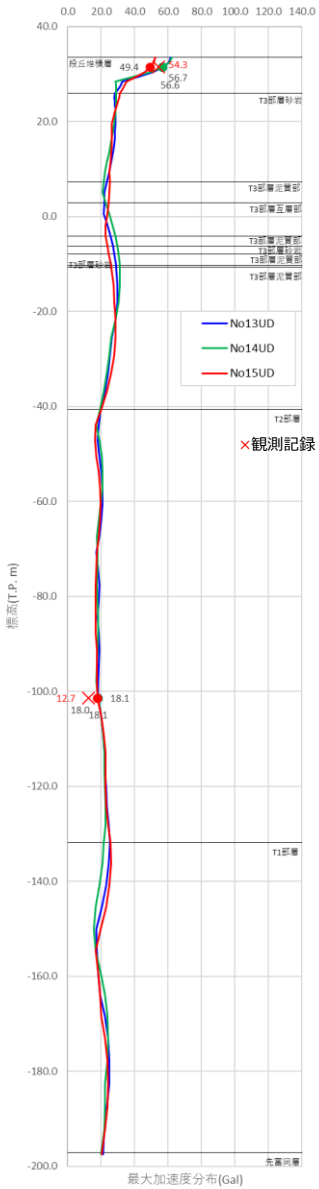
5. 南地点の地震観測記録を用いた検討



最大加速度分布（EW方向）

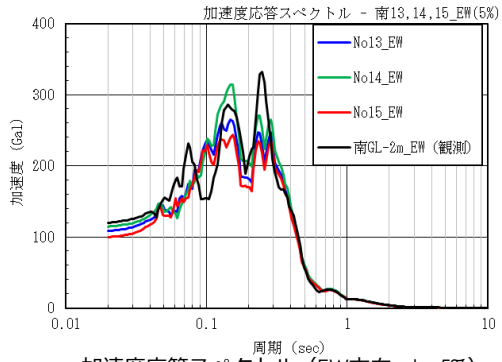


最大加速度分布（NS方向）

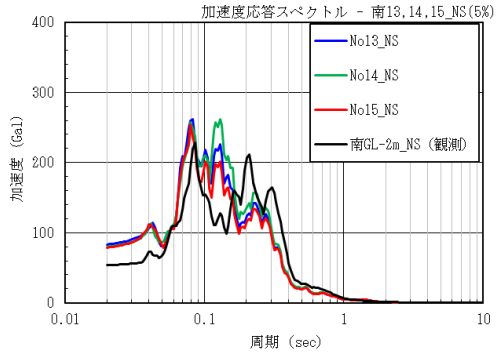


最大加速度分布（UD方向）

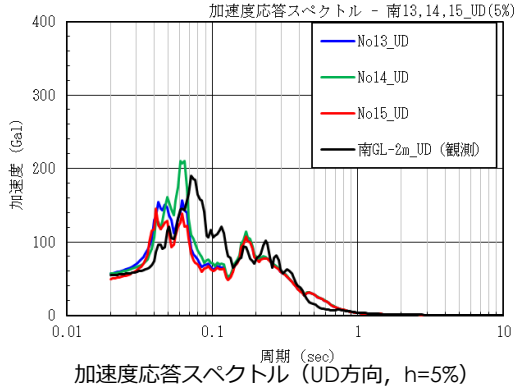
図　最大加速度深度分布の比較（段丘堆積層G0の影響）



加速度応答スペクトル（EW方向，h=5%）



加速度応答スペクトル（NS方向，h=5%）



加速度応答スペクトル（UD方向，h=5%）

図　加速度応答スペクトルの比較（段丘堆積層G0の影響）

5. 南地点の地震観測記録を用いた検討

5.3 富岡層G0による影響

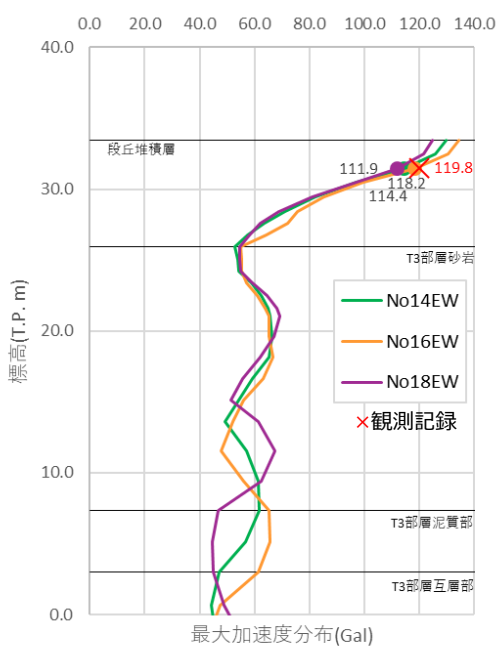
南地点の観測記録とNo.14（富岡層G0：平均値），No.16（富岡層G0：平均値+1σ），No.18（富岡層G0：平均値－1σ）を比較した。

- No.14,16,18の比較により，富岡層の初期せん断弾性係数G0が大きいほうが地表面加速度が大きく，地下深部加速度が小さいことがわかる。ただし，その差はごく小さく，設備の耐震設計に影響しない。
- No.14,16,18と観測記録の比較により，富岡層のG0がばらつきの範囲内で大きいほうが観測記録に近いことがわかる。
- 以上より，地表面加速度が最も大きく，観測記録に近い解析用地盤物性値は，段丘堆積層G0：平均値－1σ，富岡層G0：平均値+1σ，h：3%下限なしである。

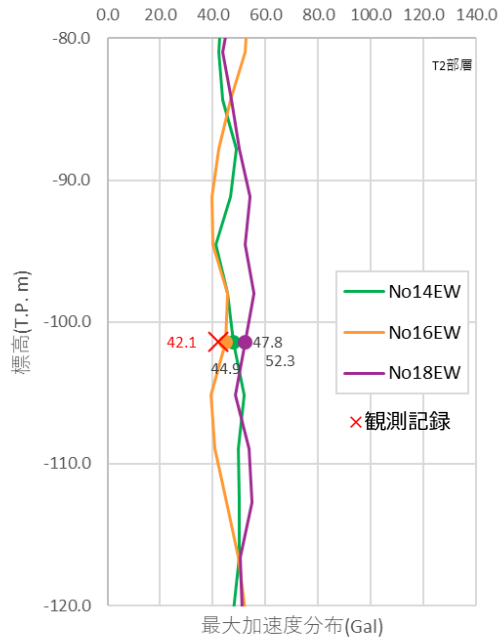
⇨以降のDエリアの地震観測記録を用いた検討は，地表面加速度が最も大きくなる解析用地盤物性値（段丘堆積層G0：平均値－1σ，富岡層G0：平均値+1σ，h：3%下限なし）を使用する。

表　解析ケースの地盤物性値の違い

解析ケース	富岡層の初期せん断弾性係数G0	段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0	全地層の減衰定数hの下限値
No.14	平均値（設置許可時の解析用地盤物性値）	平均値－1σ（2023年ボーリング調査結果）	0%（設定しない）
No.16	平均値＋1σ	平均値－1σ（2023年ボーリング調査結果）	0%（設定しない）
No.18	平均値－1σ	平均値－1σ（2023年ボーリング調査結果）	0%（設定しない）



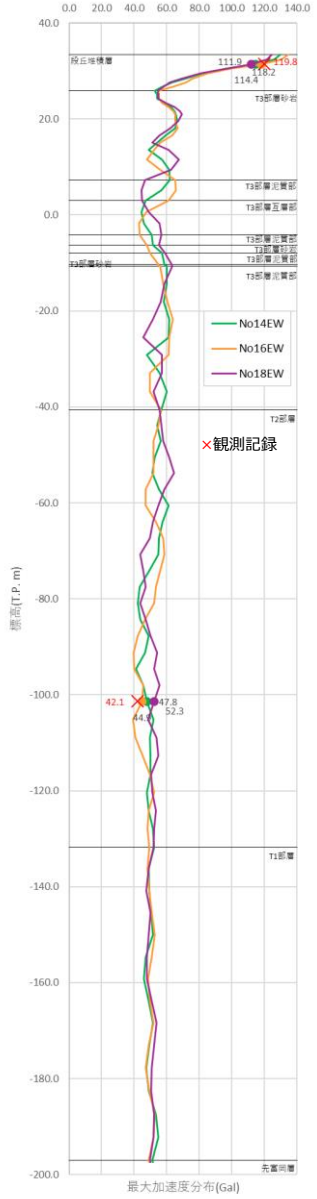
最大加速度分布（EW方向，地表付近拡大）



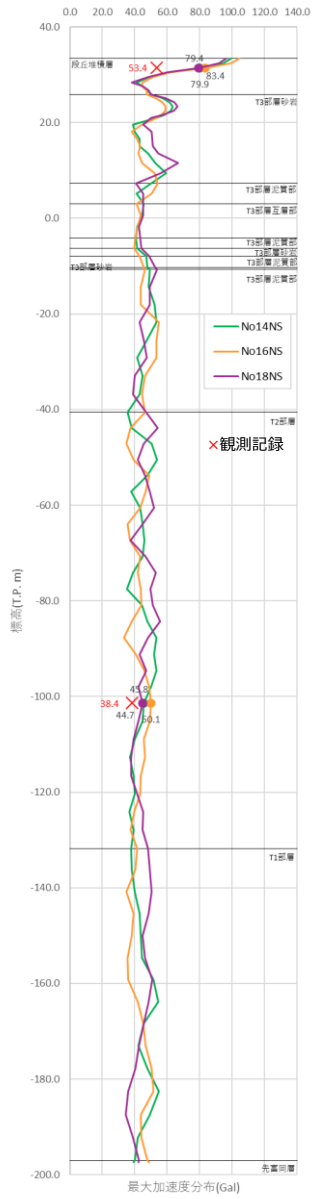
最大加速度分布（EW方向，地下深部拡大）

図　最大加速度深度分布の比較（富岡層G0の影響）

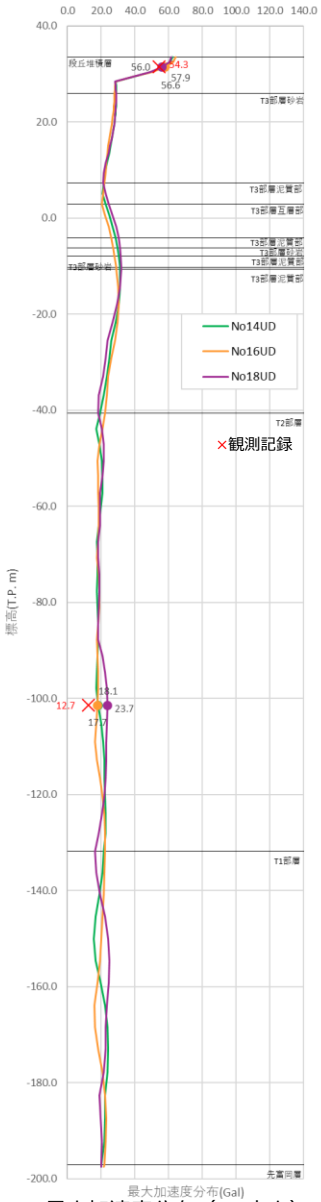
5. 南地点の地震観測記録を用いた検討



最大加速度分布（EW方向）

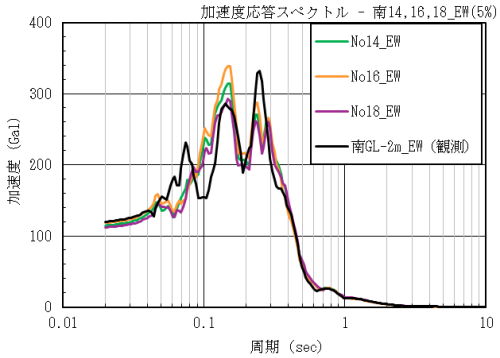


最大加速度分布（NS方向）

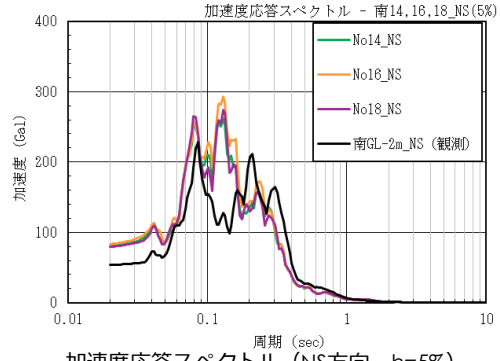


最大加速度分布（UD方向）

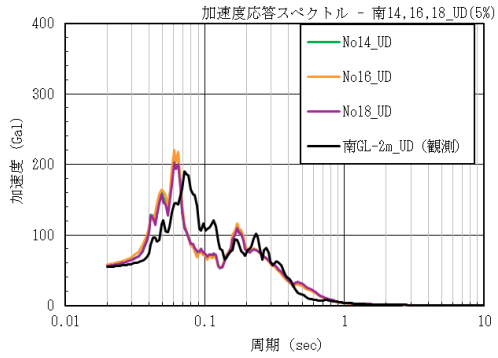
図　最大加速度深度分布の比較（富岡層G0の影響）



加速度応答スペクトル（EW方向，h=5%）



加速度応答スペクトル（NS方向，h=5%）



加速度応答スペクトル（UD方向，h=5%）

図　加速度応答スペクトルの比較（富岡層G0の影響）

6. Dエリアの地震観測記録を用いた検討

6.1 解析用地盤物性値G0・hによる影響

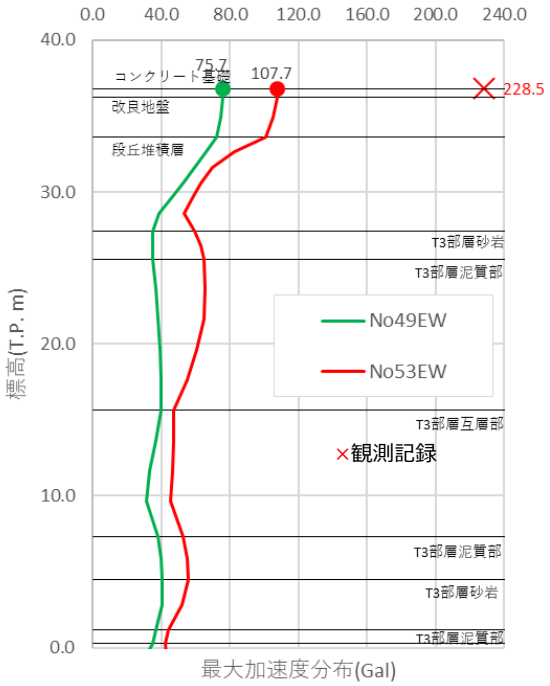
Dエリアの観測記録とNo.49（設置許可時の解析用地盤物性値），No.53（段丘堆積層G0：平均値－1σ，富岡層G0：平均値+1σ，h：3%下限なし）を比較した。

- No.49とNo.53の比較により，段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0を平均値－1σ，富岡層のG0を平均値+1σ，hの下限値を設定しない，としたほうが，地表面加速度は設置許可時の解析用地盤物性値より，観測記録に近いことがわかる。
- No.53と観測記録の比較により，解析値と観測記録には，2倍，100gal以上の大きな差異があることがわかる。

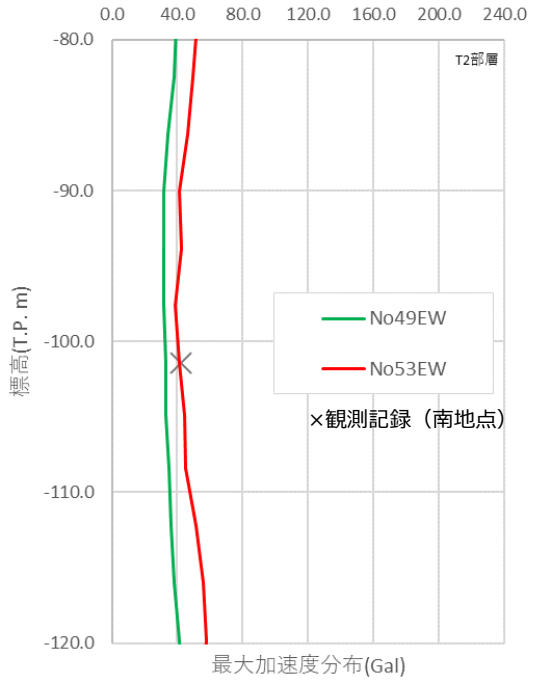
⇨以降の検討では，段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0を平均値-1σ，富岡層のG0を平均値+1σとした解析用地盤物性値を用いて，基礎および改良地盤のモデル化の有無による影響を検討する。

表　解析ケースの地盤物性値の違い

解析ケース	段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0	富岡層の初期せん断弾性係数G0	全地層の減衰定数hの下限値
No.49	設置許可時の解析用地盤物性値	設置許可時の解析用地盤物性値	3%
No.53	平均値－1σ（2023年ボーリング調査結果）	平均値+1σ	0%（設定しない）



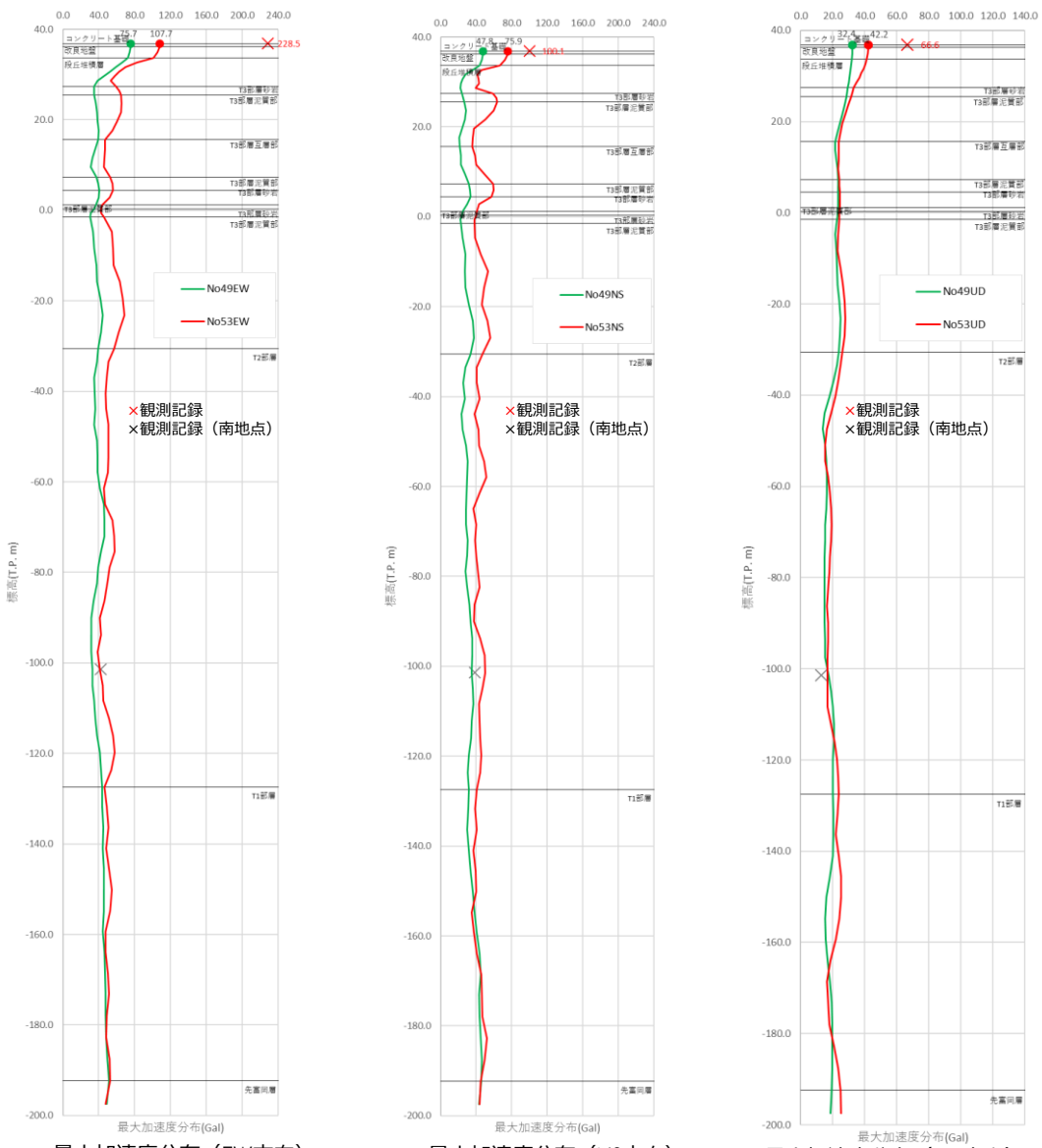
最大加速度分布（EW方向，地表付近拡大）



最大加速度分布（EW方向，地下深部拡大）

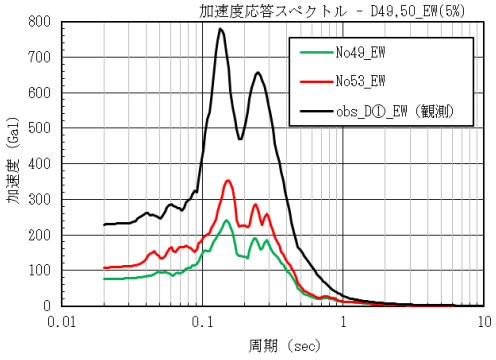
図　最大加速度深度分布の比較（G0の影響）

6. Dエリアの地震観測記録を用いた検討

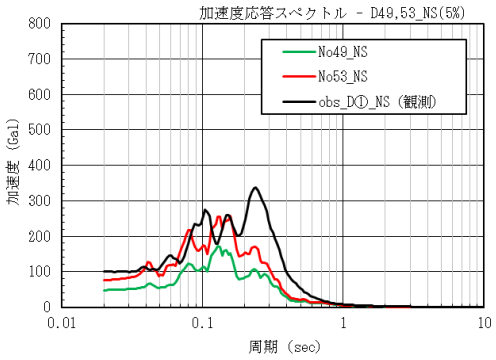


最大加速度分布（EW方向）　最大加速度分布（NS方向）　最大加速度分布（UD方向）

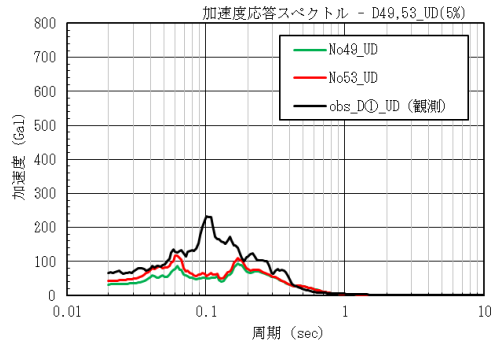
図　最大加速度深度分布の比較（G0の影響）



加速度応答スペクトル（EW方向，h=5%）



加速度応答スペクトル（NS方向，h=5%）



加速度応答スペクトル（UD方向，h=5%）

図　加速度応答スペクトルの比較（G0の影響）

6. Dエリアの地震観測記録を用いた検討

6.2 基礎および改良地盤のモデル化の有無による影響

Dエリアの観測記録とNo.53（基礎+改良地盤），No.93（埋戻土+段丘堆積層）を比較した。

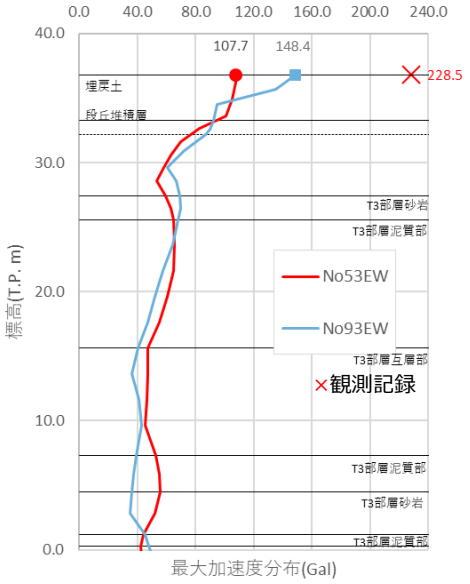
地震応答解析を1次元解析で行うには，解析対象物が水平成層であることが前提である。本検討は，これまでの解析ケースは水平方向に有限な基礎と改良地盤をモデル化しており，これによる地表面加速度への影響を把握するために行う。

- No.53とNo.93の比較により，地表面付近を周囲の原地盤である埋戻土+段丘堆積層とすることで，地表面加速度が大きくなることがわかる。ただし，加速度応答スペクトルの形状は，基礎+改良地盤のほうが観測記録に近い（次ページ図）。

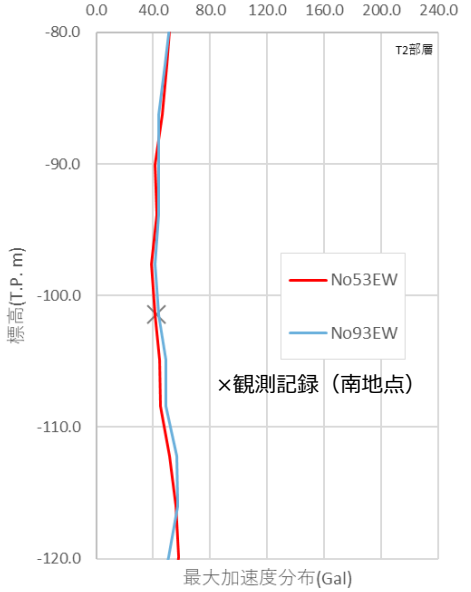
⇨解析ケースNo.93は，これまでの検討において，地表面加速度が最も大きくなる，解析用地盤物性値，地表付近の解析モデルを設定したものである。よって，No.93解析値148.4galと観測記録228.5galの差異の要因は，地盤モデル（地層構成および解析用地盤物性値）以外の要因によるものと考えられる。

表　解析ケースの地盤物性値の違い

解析ケース	地表面付近の解析モデル	段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0	富岡層の初期せん断弾性係数G0	全地層の減衰定数hの下限値
No.53	基礎（コンクリート）+改良地盤	平均値－1σ（2023年ボーリング調査結果）	平均値+1σ	0%（設定しない）
No.93	埋戻土+段丘堆積層（平均値－1σ）	平均値－1σ（2023年ボーリング調査結果）	平均値+1σ	0%（設定しない）



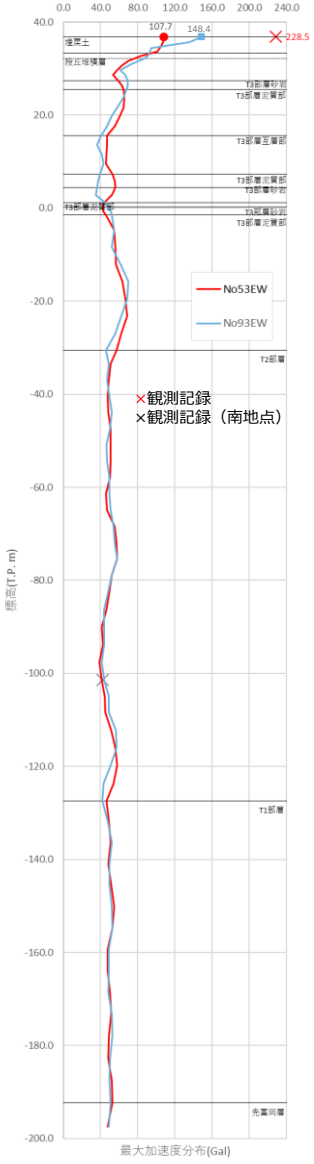
最大加速度分布（EW方向，地表付近拡大）



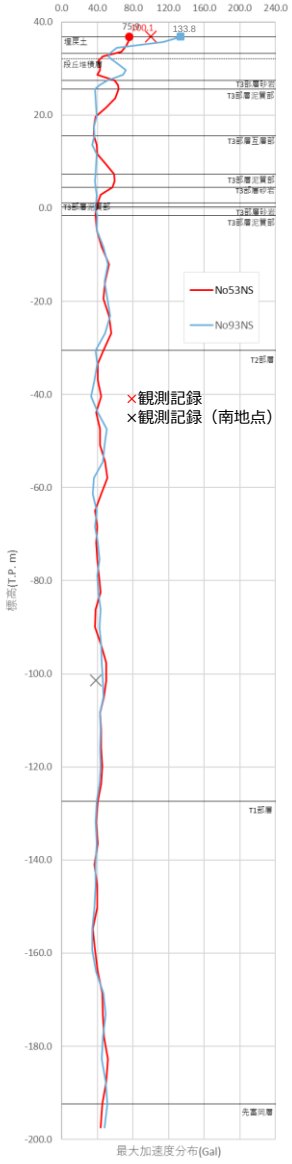
最大加速度分布（EW方向，地下深部拡大）

図　最大加速度深度分布の比較（地表面付近の解析モデルの違いによる影響）

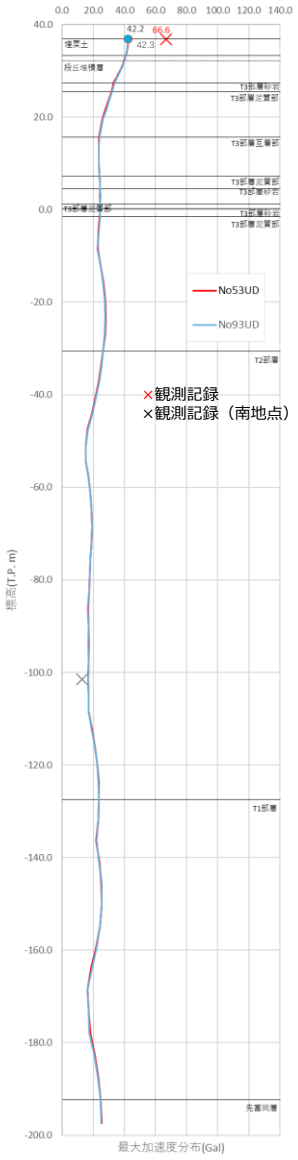
6. Dエリアの地震観測記録を用いた検討



最大加速度分布（EW方向）

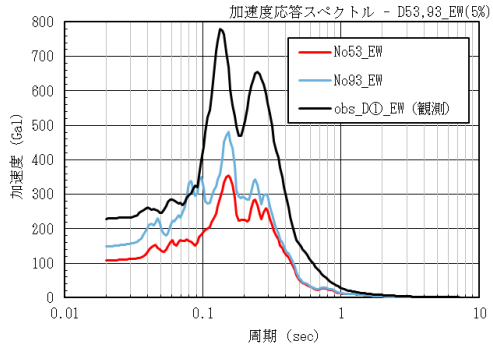


最大加速度分布（NS方向）

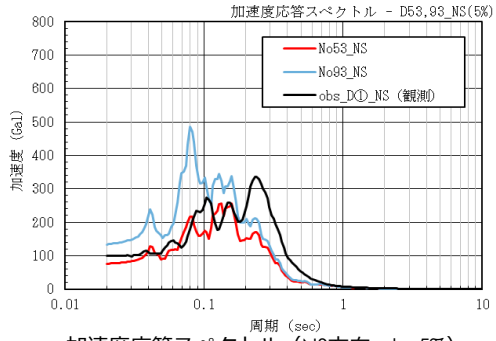


最大加速度分布（UD方向）

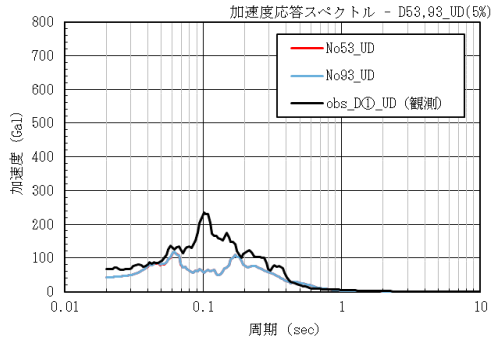
図　最大加速度深度分布の比較（地表面付近の解析モデルの違いによる影響）



加速度応答スペクトル（EW方向，h=5%）



加速度応答スペクトル（NS方向，h=5%）



加速度応答スペクトル（UD方向，h=5%）

図　加速度応答スペクトルの比較
（地表面付近の解析モデルの違いによる影響）

7. 富岡層地盤物性値の影響について

7.1 富岡層G0による影響

地下深部地盤である富岡層の解析用地盤物性値による設備の耐震設計への影響を把握するため，南地点の観測記録とNo.14（富岡層G0：平均値），No.16（富岡層G0：平均値+1σ），No.18（富岡層G0：平均値-1σ）を比較した。

- No.14,16,18の最大加速度深度分布より，いずれも地表面加速度は地表付近の段丘堆積層中の加速度振幅の増幅の程度によって値が決定することがわかる。
- No.14,16,18の地表面最大加速度および加速度応答スペクトルの比較により，地表面加速度最大値の差異はごく小さく，富岡層の初期せん断弾性係数G0のばらつきは，地表面加速度に有意な影響を与えないことがわかる。

⇨よって，富岡層以深の地盤物性値のばらつきは設備の耐震設計に影響を与えないと判断できる。また，重要な施設においては段丘堆積層以浅の地盤は掘削・除去し，基礎を富岡層に岩着させることから，段丘堆積層以浅の地盤はその耐震設計に有意な影響を及ぼさない。

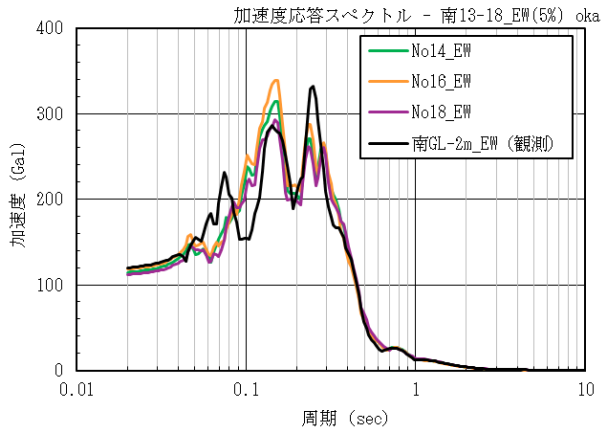
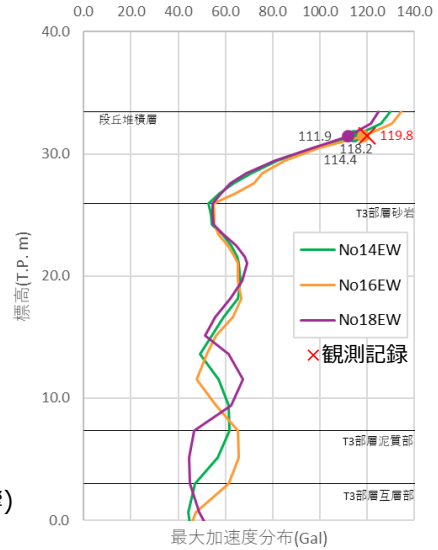
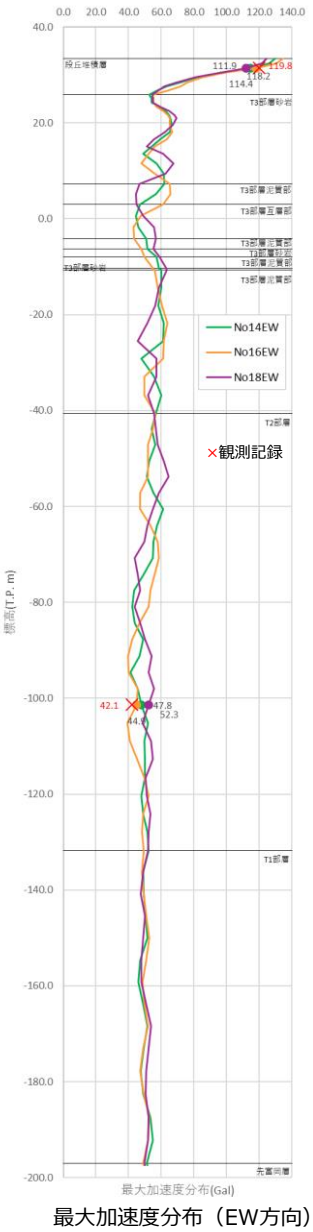


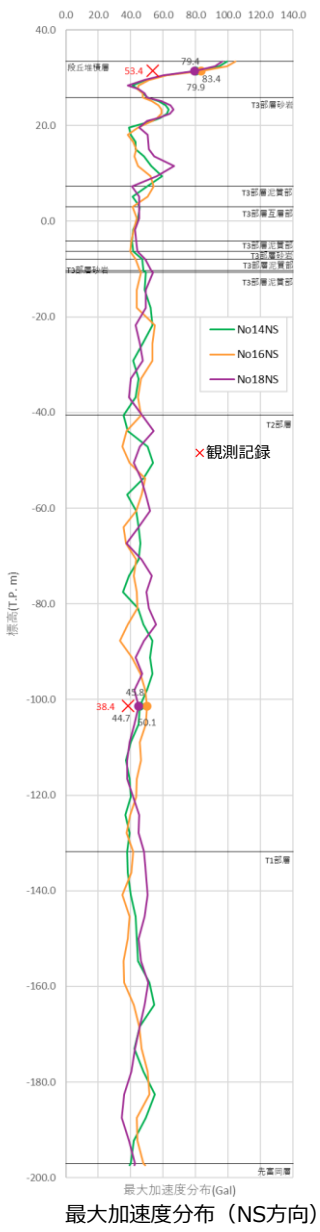
図　加速度応答スペクトルの比較（富岡層G0の影響）



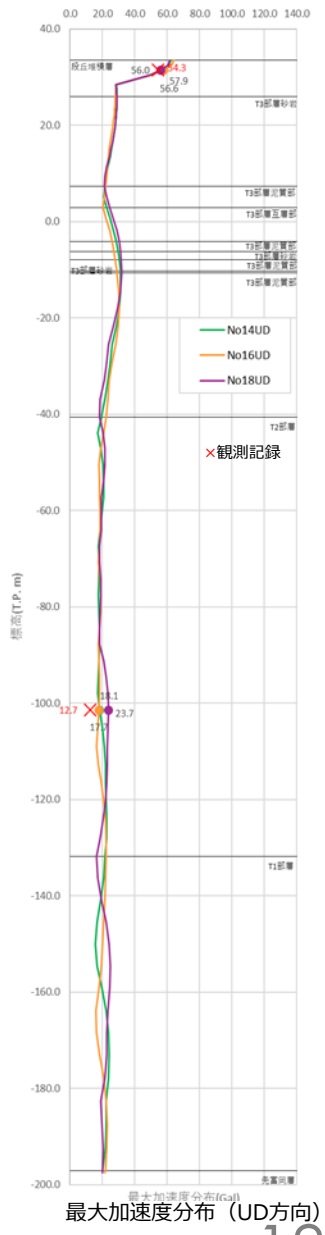
最大加速度分布（EW方向，地表付近拡大）



最大加速度分布（EW方向）



最大加速度分布（NS方向）



最大加速度分布（UD方向）

図　最大加速度深度分布の比較（富岡層G0の影響）

7. 富岡層地盤物性値の影響について

7.2 富岡層G0による耐震重要施設の耐震設計への影響

富岡層の初期せん断弾性係数G0による耐震重要施設の耐震設計への影響を把握するため，富岡層T3部層泥質部への基礎の岩着を想定し，南地点の段丘堆積層と富岡層T3部層砂岩を改良地盤に置き換えた解析ケースNo.31（富岡層G0：平均値），No.33（富岡層G0：平均値+1σ），No.34（富岡層G0：平均値-1σ）による地震応答解析結果を比較した。

- No.31と33の地表面最大加速度の比較（右下図）により，その差異は約3%と小さく，富岡層の初期せん断弾性係数G0のばらつきは，地表面加速度に有意な影響を与えないことがわかる。
- No.31と33の加速度応答スペクトルの比較（右図）により，富岡層の初期せん断弾性係数G0のばらつきは，地表面加速度の応答スペクトルに有意な影響を与えないことがわかる。

⇨よって，富岡層以深の地盤物性値のばらつきは耐震重要施設の耐震設計に影響を与えないと判断できる。

表　解析ケースの地盤物性値の違い

解析ケース	富岡層の初期せん断弾性係数G0	地表面付近の解析モデル	全地層の減衰定数hの下限値
No.31	平均値（設置許可時の解析用地盤物性値）	段丘堆積層と富岡層T3部層砂岩を改良地盤に変更	0%（設定しない）
No.33	平均値＋1σ	段丘堆積層と富岡層T3部層砂岩を改良地盤に変更	0%（設定しない）
No.34	平均値－1σ	段丘堆積層と富岡層T3部層砂岩を改良地盤に変更	0%（設定しない）

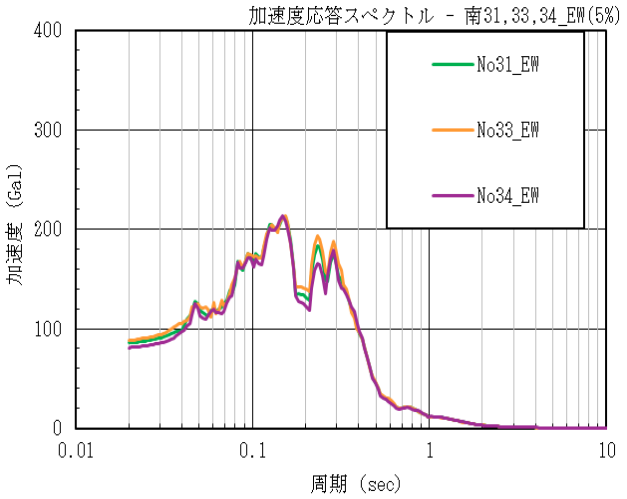
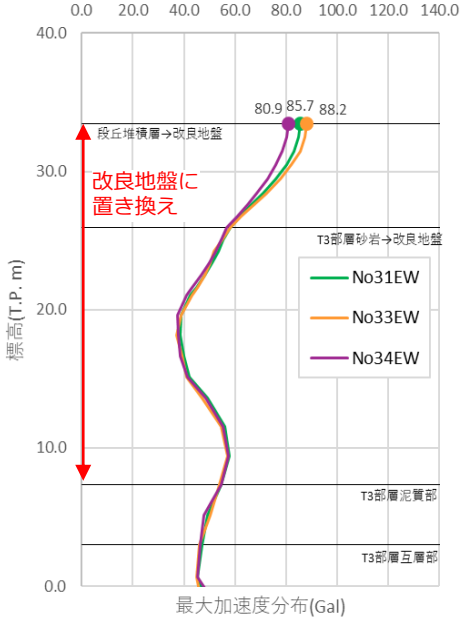
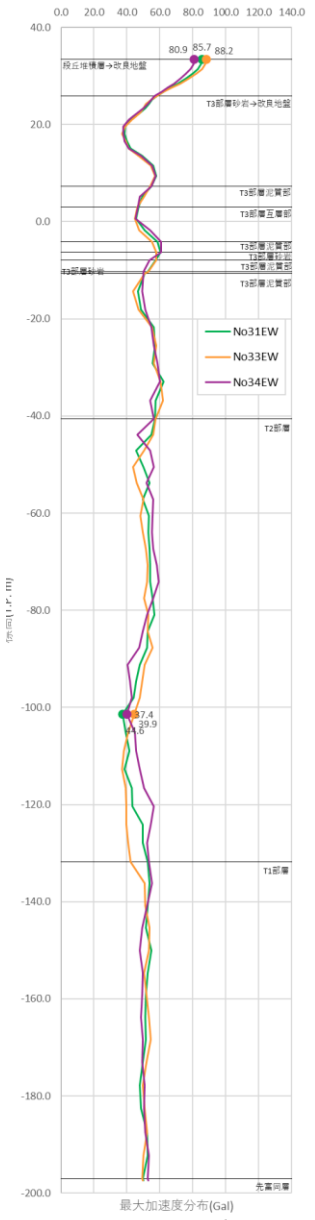


図　加速度応答スペクトルの比較（富岡層G0の影響）



最大加速度分布（EW方向，地表付近拡大）



最大加速度分布（EW方向）

図　最大加速度深度分布の比較（富岡層G0の影響）

8. 減衰定数ｈの下限値３%の影響について

8.1 減衰定数hのひずみ依存特性について

下図に，地盤物性のひずみ依存特性の一例として，段丘堆積層のせん断弾性係数と減衰定数のひずみ依存特性を示す。

- 減衰定数hとせん断ひずみγの関係は，γが増加するに従い，hも増加する。
- せん断ひずみγが小さい範囲（概ねγ＜10^{-4}程度以下）においては，減衰定数hは3%以下である。

8.2 減衰定数hの下限値3%の影響について

右図および次ページに，南地点の地盤モデルの1F検討用地震動Ss900①に対する解析ケースNo.25（減衰定数h：下限値3%）とNo.26（h：下限値なし）を比較した。

- No.25と26の地表面最大加速度および加速度応答スペクトルを比較すると，大きな差異はない。

⇨ よって，検討用地震動Ss900のような大きな地震力を設計用地震動とする耐震重要施設の耐震設計においては，地盤の減衰定数の下限値3%の設定の有無は耐震設計結果に影響を及ぼさない。

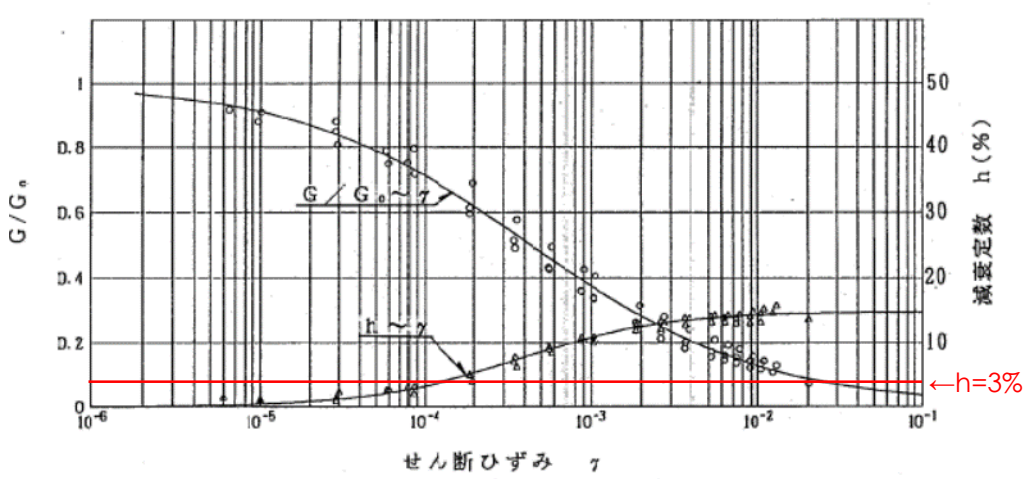
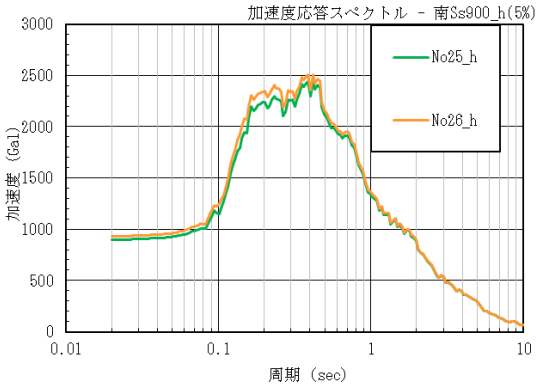
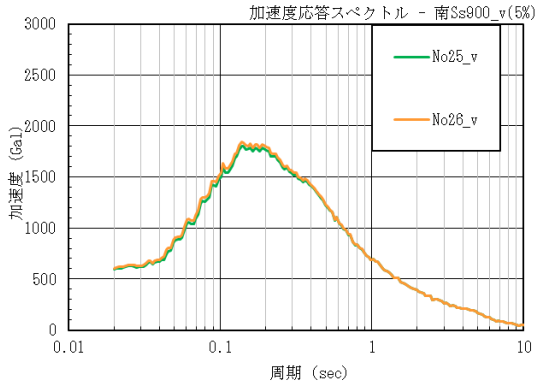


図　せん断弾性係数と減衰定数のひずみ依存特性（段丘堆積層）



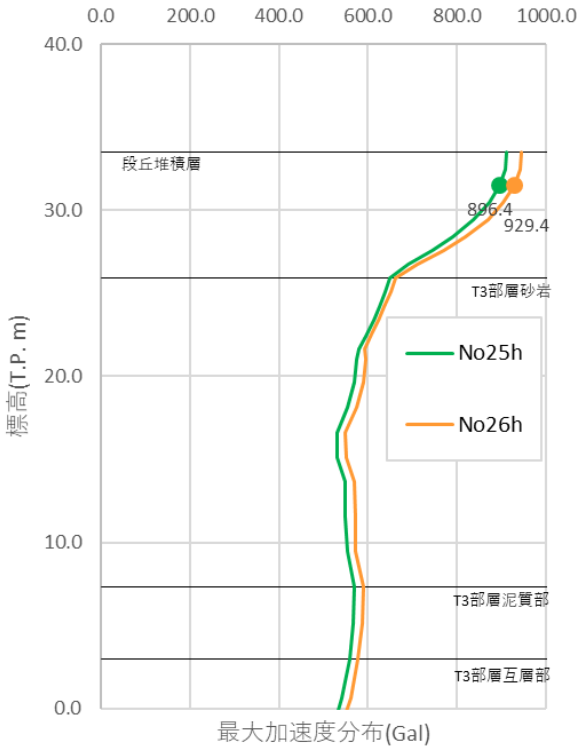
加速度応答スペクトル（水平方向）



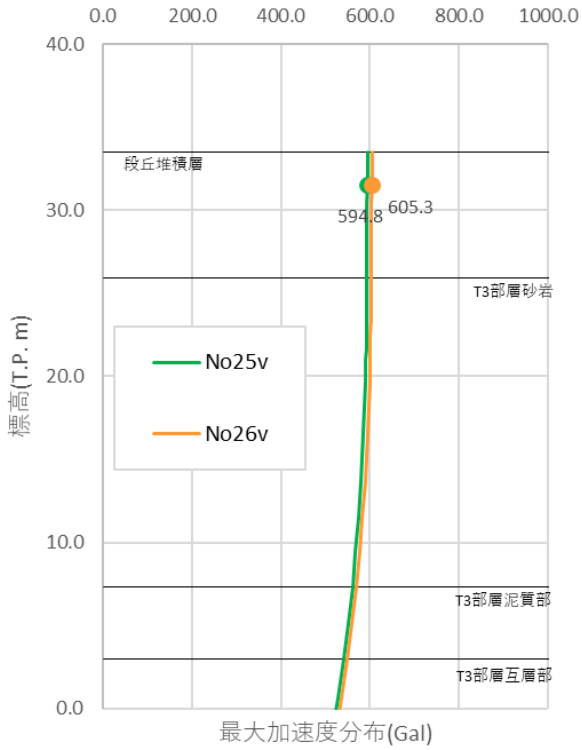
加速度応答スペクトル（鉛直方向）

図　加速度応答スペクトルの比較（h下限値の影響）

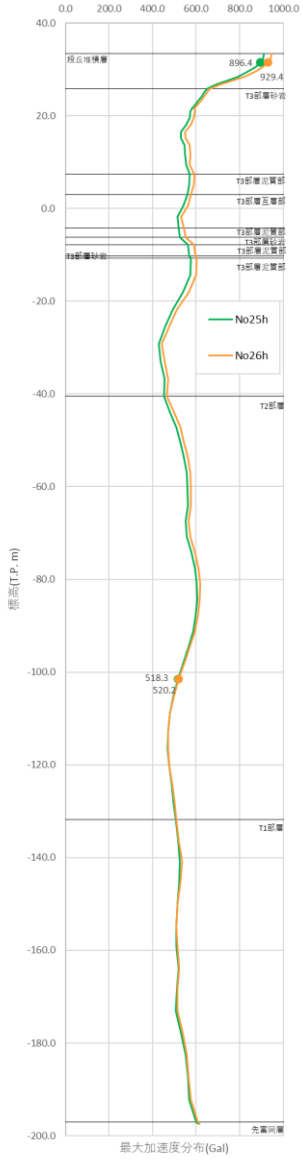
8. 減衰定数hの下限値３%の影響について



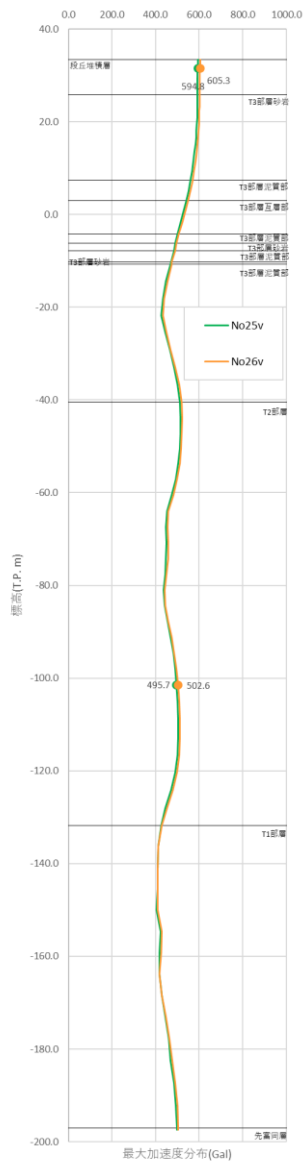
最大加速度分布
（水平方向，地表付近拡大）



最大加速度分布
（鉛直方向，地表付近拡大）



最大加速度分布（水平方向）



最大加速度分布（鉛直方向）

図　最大加速度深度分布の比較（h下限値の影響）

8. 減衰定数hの下限値３%の影響について

8.3 10.21地震とSs900①の地盤のせん断ひずみについて

下表および下図に，10.21地震とSs900①における段丘堆積層と富岡層T3部層泥質部の最大せん断ひずみの比較を示す。

- 段丘堆積層において，10.21地震の最大せん断ひずみは減衰定数hが概ね3%の10^{-4}以下であり，Ss900①は10^{-4}を上回ることがわかる。
- 富岡層T3部層泥質部において，10.21地震の最大せん断ひずみは減衰定数hが概ね3%の10^{-3}以下であり，Ss900①は10^{-3}と同程度であることがわかる。
- このことから，10.21地震の地表面加速度は減衰定数hの下限値3%設定の有無による影響を受け，Ss900①は影響を受けないと考えられる。

表　解析ケースの地盤物性値の違いとせん断ひずみ

解析ケース	地震動	段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0	富岡層の初期せん断弾性係数G0	全地層の減衰定数hの下限値	段丘堆積層の最大せん断ひずみ	富岡層T3部層泥質部の最大せん断ひずみ
No.1	10.21地震	設置許可時の解析用地盤物性値	設置許可時の解析用地盤物性値	3%	5.66E-03（%）	2.79E-03（%）
No.25	Ss900①	設置許可時の解析用地盤物性値	設置許可時の解析用地盤物性値	3%	1.47E-01（%）	1.27E-01（%）

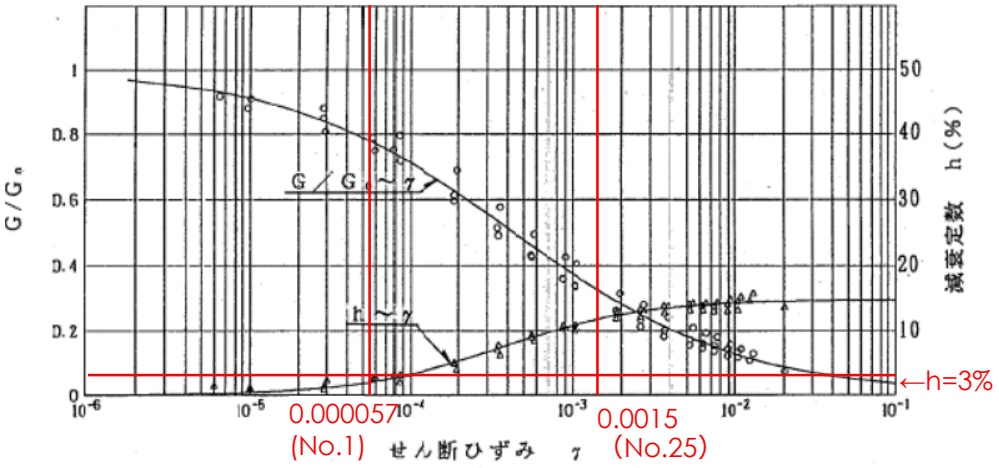


図　減衰定数のひずみ依存特性とせん断ひずみ（段丘堆積層）再掲：P20

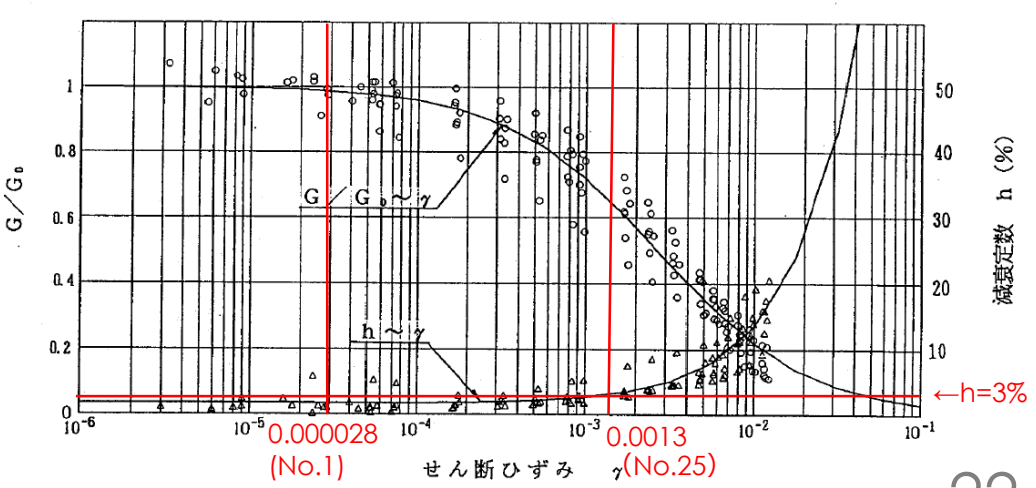


図　せん断弾性係数と減衰定数のひずみ依存特性（T3部層泥質部）

9. まとめと耐震設計への影響

9.1 まとめ

- 既往の調査・試験結果により想定される地盤物性のばらつきを考慮すると，想定されるばらつきの範囲内で，解析値は自由地盤である南地点の観測記録を再現できた。
- 地盤の解析用物性値を，地表面加速度が大きくなるように，想定されるばらつきの範囲内で設定した解析ケースにおいても，解析値はDエリアの観測記録を再現できなかった。
- 以上のこと，および福島第一原子力発電所敷地の地質構造はほぼ水平成層であり南地点とDエリアの地質構造に大きな差異はないことから，Dエリアの観測記録と解析値の差異の要因は，地盤モデル以外のDエリア特有の要因があると考えられる。
- 例えば，①地上構造物の影響，②地震計の設置状況が要因として考えられるが，その影響の程度は不明である。

9.2 耐震重要施設の耐震設計への影響について

- 10.21地震（Dエリア最大加速度229gal）を対象とした今回の検討においては，地表面加速度には地表付近（段丘堆積層）の地盤の物性のばらつきの影響が大きく，地下深部の富岡層の物性のばらつきは影響しないことがわかった。
- 耐震重要施設の基礎は段丘堆積層等の表層を剥ぎ取り，富岡層に岩着（あるいは改良地盤を介して岩着）させることから，段丘堆積層以浅の地盤の物性値は耐震重要施設の耐震設計に影響しない。よって，福島第一原子力発電所の耐震重要施設の耐震設計においては，設置許可申請時の地盤モデルの使用は妥当と判断する。
- 一方，B+クラス施設においても表層を剥ぎ取り基礎を富岡層に岩着させることが望ましいが，段丘堆積層上に設置する場合は，段丘堆積層の地盤物性のばらつきを考慮した設計を行う。

以上

参考1．解析用地盤物性値

下表に，設置許可申請書等に記載した解析用地盤物性値を示す。

表　解析用地盤物性値一覧表（1/2）

		埋戻土	段丘堆積層	富岡層		
				T3部層砂岩	T3部層泥質部	T3部層互層部
物理特性	密度ρ_t (g/cm^3)	1.80	1.59	1.84	1.71	1.76
動的変形特性	初期動せん断弾性係数 G_0 (N/mm^2)	72.6	158	210	427	302
	動せん断弾性係数のひずみ依存特性 $G/G_0 \sim \gamma$ $(\gamma:\%)$	$\frac{1}{1+10.65\gamma^{0.778}}$	$\frac{1}{1+6.872\gamma^{0.614}}$	$\frac{1}{1+3.009\gamma^{0.604}}$	$\frac{1}{1+3.600\gamma^{0.962}}$	$\frac{1}{1+3.257\gamma^{0.688}}$
	動ポアソン比ν_d	0.35	0.48	0.48	0.45	0.46
	減衰定数のひずみ依存特性 $h \sim \gamma$ $(h,\gamma:\%)$ *1	$22.97\gamma^{0.289}$	$\frac{14.79}{1+0.036/\gamma}$	$\frac{21.80}{1+0.122/\gamma}$	$11.90\gamma^{1.086}+1.617$	$\frac{17.57}{1+0.084/\gamma}$

＊1）減衰定数hは3%を下限とする。

参考1．解析用地盤物性値

表　解析用地盤物性値一覧表（2/2）

		富岡層		先富岡層	改良地盤
		T2部層	T1部層		
物理特性	密度ρ_t（g/cm^3）	$1.75-0.000417Z$	1.79	1.88	1.80
動的変形特性	初期動せん断弾性係数 G_0（N/mm^2）	$249-3.22Z$	667	954	380
	動せん断弾性係数のひずみ依存特性 $G/G_0 \sim \gamma$（γ:%）	$\frac{1}{1+2.845\gamma^{0.918}}$	$\frac{1}{1+2.586\gamma^{0.722}}$	$\frac{1}{1+2.714\gamma^{0.920}}$	$\frac{1}{1+\gamma/0.075}$
	動ポアソン比ν_d	$0.467+0.000222Z$	0.44	0.42	0.26
	減衰定数のひずみ依存特性 $h \sim \gamma$（h,γ:%） *1	$10.54\gamma^{0.865}+0.903$	$15.04\gamma^{0.517}$	$14.69\gamma^{0.583}$	$22.97\gamma^{0.289}$

＊1）減衰定数hは3%を下限とする。

Z：標高T.P.（m）

参考2. 南地点およびDエリアの地盤モデル

下図に，南地点およびDエリアの地盤モデル（地層構成）を示す。

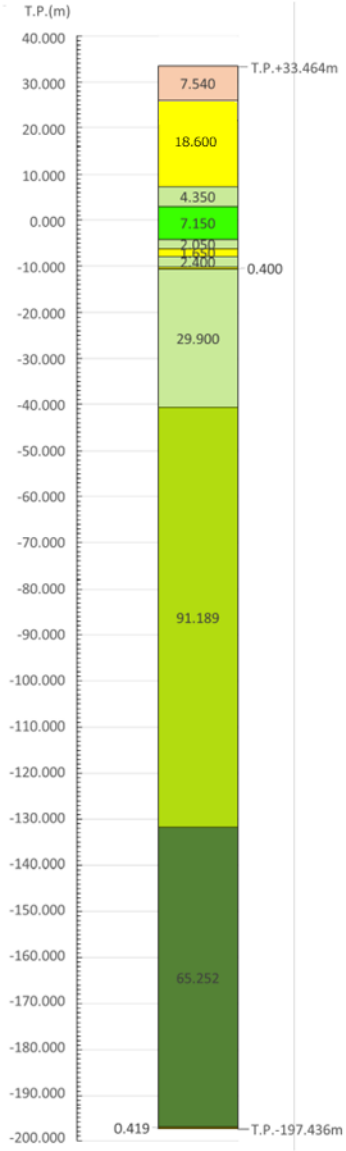


図　南地点の地盤モデル

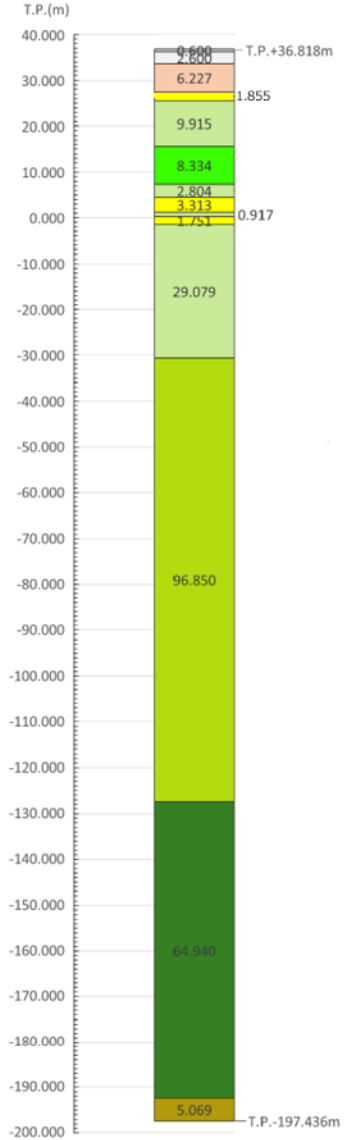


図　Dエリアの地盤モデル



参考3. 解析ケース一覧

1. 解析ケース一覧（5.南地点の地震観測記録を用いた検討）

解析ケースNo.	地盤物性値			地下水位	地震動	GL-2mの最大加速度（Gal）			GL-134.9mの最大加速度（Gal）			本文の該当章項目
	段丘堆積層 せん断弾性係数G_0	富岡層 せん断弾性係数G_0	減衰定数hの下限値			NS	EW	UD	NS	EW	UD	
観測記録					観測値	53.4	119.8	54.3	38.4	42.1	12.7	
1	設置許可	設置許可	3%	T.P.+28.424	10.21地震	49.8	75.1	29.2	35.5	31.5	15.0	5.1
2	最小値（2023年調査）	設置許可	3%	T.P.+28.424	10.21地震	50.8	93.7	33.1	31.6	38.7	15.0	
3	Vsの最小値（2023年調査）	設置許可	3%	T.P.+28.424	10.21地震	53.2	96.1	34.4	30.4	35.9	15.1	
4	平均値（2023年調査）	設置許可	3%	T.P.+28.424	10.21地震	47.5	73.6	44.2	35.2	32.1	16.2	
5	平均値－1σ（2023年調査）	設置許可	3%	T.P.+28.424	10.21地震	47.8	78.3	46.1	34.7	32.8	16.3	5.1
6	平均値＋1σ（2023年調査）	設置許可	3%	T.P.+28.424	10.21地震	43.6	68.2	39.2	35.3	31.9	16.0	
7	平均値－1σ（2023年調査）	設置許可＋1σ	3%	T.P.+28.424	10.21地震	49.4	81.8	44.6	36.7	31.4	15.2	
8	平均値＋1σ（2023年調査）	設置許可＋1σ	3%	T.P.+28.424	10.21地震	48.6	71.3	40.8	35.4	30.7	14.7	
9	平均値－1σ（2023年調査）	設置許可－1σ	3%	T.P.+28.424	10.21地震	44.8	76.0	45.0	29.2	40.2	20.8	
10	設置許可	設置許可	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震	90.1	111.3	34.3	46.9	43.4	16.9	5.1
11	最小値（2023年調査）	設置許可	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震	81.4	127.0	39.6	40.4	51.3	17.0	
12	Vsの最小値（2023年調査）	設置許可	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震	87.3	126.4	41.7	38.4	44.6	17.0	
13	平均値（2023年調査）	設置許可	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震	83.5	108.0	56.7	46.5	45.2	18.1	5.2
14	平均値－1σ（2023年調査）	設置許可	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震	79.9	114.4	56.6	45.8	47.8	18.1	5.2，5.3
15	平均値＋1σ（2023年調査）	設置許可	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震	78.7	99.4	49.4	46.2	44.1	18.0	5.2
16	平均値－1σ（2023年調査）	設置許可＋1σ	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震	83.4	118.2	57.9	50.1	44.9	17.7	5.3
17	平均値＋1σ（2023年調査）	設置許可＋1σ	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震	88.2	102.8	51.6	49.7	39.7	17.3	
18	平均値－1σ（2023年調査）	設置許可－1σ	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震	79.4	111.9	56.0	44.7	52.3	23.7	5.3
19	最小値（2023年調査）	設置許可	段丘：設定しない 富岡：3%	T.P.+28.424	10.21地震	52.1	94.0	33.1	31.4	38.7	15.0	
20	設置許可	設置許可	3%	T.P.+25.924	10.21地震	49.8	75.1	29.3	35.5	31.5	15.0	
21	Vsの最小値（2023年調査）	設置許可	設定しない	T.P.+25.924	10.21地震	87.3	126.4	54.1	38.4	44.6	17.5	
22	N値の最小値（2024年調査）	設置許可	3%	T.P.+28.424	10.21地震	43.7	86.6	45.5	29.3	34.6	15.5	
23	N値の最小値（2024年調査）	設置許可	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震	56.7	105.4	55.3	39.4	40.8	17.2	
25	設置許可	設置許可	3%	T.P.+28.424	Ss900-①	896.4		594.8	518.3		495.7	
26	設置許可	設置許可	設定しない	T.P.+28.424	Ss900-①	929.4		605.3	520.2		502.6	
27	設置許可	設置許可	3%	T.P.+28.424	Sd450-①	521.2		304.2	312.5		255.2	
28	設置許可	設置許可	設定しない	T.P.+28.424	Sd450-①	565.4		315.2	326.1		264.0	
31	改良地盤に置換	設置許可	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震		85.7（地表）					7.2
33	改良地盤に置換	設置許可＋1σ	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震		88.2（地表）					7.2
34	改良地盤に置換	設置許可－1σ	設定しない	T.P.+28.424	10.21地震		80.9（地表）					7.2

注1）表中の最大加速度の数値は速報値（暫定値）であり，今後，変更する可能性がある。
注2）解析ケースNo.24,29,30,32は実施していないため欠番とする。

参考3. 解析ケース一覧

2. 解析ケース一覧（6.Dエリアの地震観測記録を用いた検討）

解析ケースNo.	地盤物性値			地下水位 (m)	地震動	地表面の最大加速度（Gal）			TP-101.436mの最大加速度（Gal）			表層のモデル化	本文の該当章項目
	段丘堆積層 せん断弾性係数G_0	富岡層 せん断弾性係数G_0	減衰定数hの下限値			NS	EW	UD	NS	EW	UD		
観測記録						100.1	228.5	66.6	(38.4)※	(42.1)※	(12.7)※	※南地点	
49	設置許可	設置許可	3%	地表面	10.21地震	47.8	75.7	32.4	34.8	32.7	17.3	基礎+改良地盤	6.1
50	設置許可	設置許可	設定しない	地表面	10.21地震	83.4	107.7	38.1	44.0	45.2	19.6	基礎+改良地盤	
51	平均値 (2023年調査)	設置許可	設定しない	地表面	10.21地震	83.6	105.1	40.7	44.0	46.1	20.8	基礎+改良地盤	
52	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可	設定しない	地表面	10.21地震	73.0	100.9	40.9	41.0	53.6	20.8	基礎+改良地盤	
53	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可＋1σ	設定しない	地表面	10.21地震	75.9	107.7	42.2	49.9	41.3	16.7	基礎+改良地盤	6.1，6.2
54	平均値＋1σ (2023年調査)	設置許可	設定しない	地表面	10.21地震	83.6	105.9	40.6	44.1	42.9	20.7	基礎+改良地盤	
81	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可＋1σ	設定しない	段丘下端	10.21地震	75.9	107.7	48.3	49.9	41.3	19.6	基礎+改良地盤	
82	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可＋1σ	設定しない	地表面	10.21地震	92.1	128.9	42.3	49.3	42.9	16.7	段丘堆積物	
84	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可＋1σ	設定しない	段丘下端	10.21地震	92.1	128.9	52.1	49.3	42.9	19.4	段丘堆積物	
85	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可＋1σ	設定しない	地表面	10.21地震	117.5	148.4	42.3	47.8	40.8	16.7	TP34.51m以浅：埋戻土 TP34.51m以深：段丘	
86	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可＋1σ	設定しない	T.P.+32.16m	10.21地震	117.5	148.4	77.3	47.8	40.8	16.7	TP34.51m以浅：埋戻土 TP34.51m以深：段丘	
89	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可＋1σ	設定しない	地表面	10.21地震	105.4	144.4	42.3	49.4	43.4	16.7	TP35.39m以浅：埋戻土 TP35.39m以深：段丘	
90	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可＋1σ	設定しない	T.P.+32.16m	10.21地震	105.4	144.4	71.7	49.4	43.4	17.7	TP35.39m以浅：埋戻土 TP35.39m以深：段丘	
93	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可＋1σ	設定しない	地表面	10.21地震	133.8	148.4	42.3	45.9	43.7	16.7	TP33.28m以浅：埋戻土 TP33.28m以深：段丘	6.2
94	平均値－1σ (2023年調査)	設置許可＋1σ	設定しない	T.P.+32.16m	10.21地震	133.8	148.4	71.0	45.9	43.7	17.5	TP33.28m以浅：埋戻土 TP33.28m以深：段丘	

注1）表中の最大加速度の数値は速報値（暫定値）であり，今後，変更する可能性がある。
注2）解析ケースNo.83,87,88,91,92の結果は本検討では使用しないため欠番としている。

参考4.　S波初動の波形の違いについて

Dエリアの観測記録とNo.53（段丘堆積層G0：平均値－1σ，富岡層G0：平均値+1σ）の加速度波形と加速度応答スペクトルを比較した。

- 下図に示す加速度波形の比較により，観測記録と解析値の加速度波形には違いが認められるが，それぞれのピークの時刻差（1.12s）をシフトさせたところ，両者の波形はほぼ一致する。南地点とDエリアの地震観測記録は，それぞれ別の時計の時刻歴にて観測されている。
- 右図に示す加速度応答スペクトルの比較により，両者のスペクトル値は全周期帯において2倍程度の差異があるが，スペクトル形状は似ている。

⇨ よって，Dエリアの観測記録と解析値のS波初動の波形の違いは，南地点とDエリアの観測記録の時刻のずれが原因と考えられる。

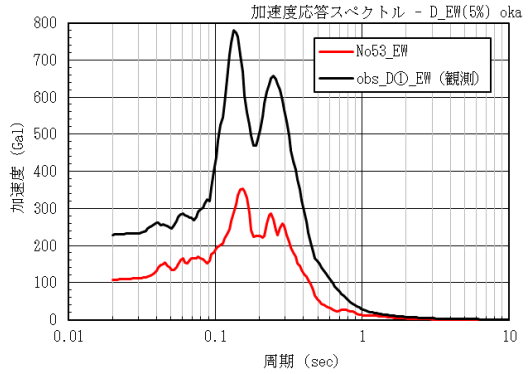
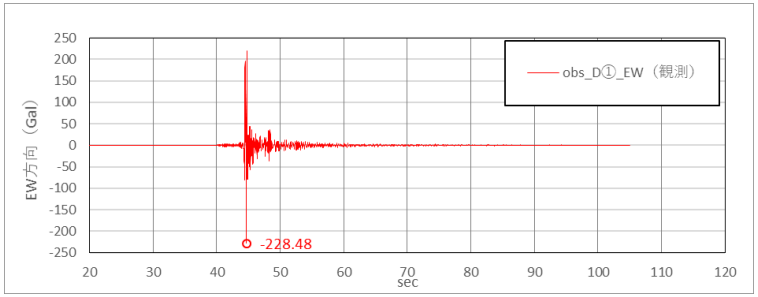
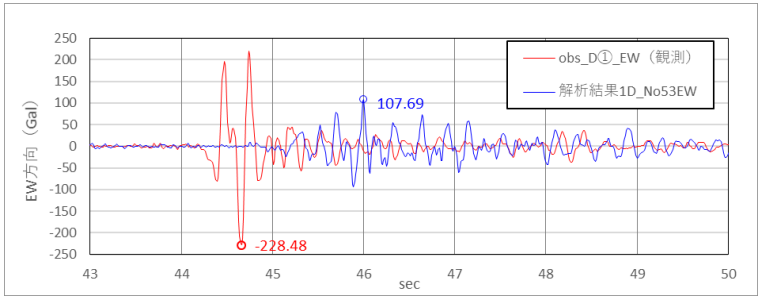


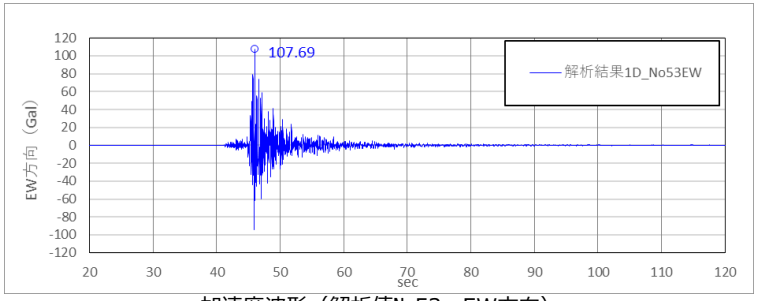
図　加速度応答スペクトルの比較
（Dエリア，EW方向，観測記録と解析値No.53）



加速度波形（観測記録，EW方向）

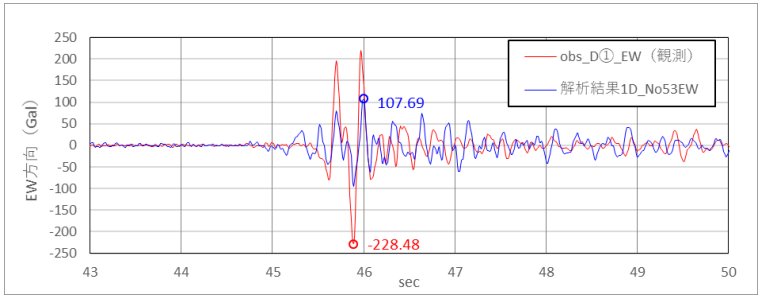


加速度波形の比較（EW方向）



加速度波形（解析値No.53，EW方向）

図　加速度波形（Dエリア，観測記録と解析値No.53）



加速度波形の比較（EW方向）（参考，ピーク時刻合わせ）

図　加速度波形の比較（主要動）（Dエリア，観測記録と解析値No.53）

参考5. 地盤物性のばらつきの設定について

1. 埋戻土の地盤物性のばらつきの設定

- 地盤物性のばらつきは初期せん断弾性係数G0で設定する。ばらつきの程度（標準偏差σ）は，2023年度に福島第一原子力発電所敷地内T.P.+33.5m盤で実施したボーリング調査結果により設定する。
- 右表に同調査における埋戻土を対象としたPS検層結果と，これをもとに算定した埋戻土の初期せん断弾性係数G0の平均値，およびばらつき（標準偏差）を示す。

表　埋戻土のPS検層結果と初期せん断弾性係数G0の設定

ボーリング孔	地層	深度上端 (G.L.-m)	深度下端 (G.L.-m)	層厚 h (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρt (g/cm^3)	G0 (N/mm^2)	v d
No.1孔	埋戻土	0.35	1.80	1.45	490	130	1.800	30.4	0.462
No.2孔	埋戻土	0.00	0.69	0.69	770	210	1.800	79.4	0.460
No.3孔	埋戻土	0.50	2.00	1.50	770	250	1.800	113	0.441
No.5孔	埋戻土	1.20	2.05	0.85	930	290	1.800	151	0.446
No.6孔	埋戻土	0.00	1.00	1.00	570	200	1.800	72	0.430
No.7孔	埋戻土	0.25	1.42	1.17	340	160	1.800	46.1	0.358
No.9孔	埋戻土	0.00	4.15	4.15	410	190	1.800	65	0.363
No.10孔	埋戻土	0.00	3.50	3.50	650	170	1.800	52	0.463
No.10孔	埋戻土	3.50	8.20	4.70	520	230	1.800	95.2	0.378
No.11孔	埋戻土	2.18	10.00	7.82	510	300	1.797	162	0.235
No.11孔	埋戻土	10.00	17.00	7.00	600	360	1.797	233	0.219
No.12孔	埋戻土	0.00	1.50	1.50	210	100	1.703	17	0.353
No.12孔	埋戻土	1.50	7.50	6.00	440	140	1.703	33.4	0.444
No.12孔	埋戻土	7.50	19.00	11.50	510	230	1.703	90.1	0.372
					層厚重み付き平均G0			106	0.353
					G0の標準偏差 σ			64.8	
					G0＋1σ			170	
					G0－1σ			41	

表　埋戻土の解析用地盤物性値と物性のばらつき

地質分類	湿潤密度ρt (g/cm3)	初期せん断弾性係数G0 (N/mm2)	動ポアソン比vd
埋戻土	1.75	平均値：106 平均値+1σ：170 平均値-1σ：41	0.35

参考5. 地盤物性のばらつきの設定について

2. 段丘堆積層の地盤物性のばらつきの設定

2.1 設置許可時の地盤物性値

- 段丘堆積層の設置許可時の解析用地盤物性値は，下表のとおりであり，1個のPS検層結果に基づき決定されている。

表　段丘堆積層の設置許可時の解析用地盤物性値

地質分類	湿潤密度ρt (g/cm3)	初期せん断弾性係数G0 (N/mm2)	動ポアソン比vd	せん断波速度Vs (m/s)
段丘堆積層	1.59	158	0.48	315

2.2 地盤物性のばらつきの設定

- 地盤物性のばらつきは初期せん断弾性係数G0で設定する。ばらつきの程度（標準偏差σ）は，2023年度に福島第一原子力発電所敷地内T.P.+33.5m盤で実施したボーリング調査結果により設定する。
- 右表に同調査における段丘堆積層を対象としたPS検層結果と，これをもとに算定した段丘堆積層の初期せん断弾性係数G0の平均値，およびばらつき（標準偏差）を示す。

表　段丘堆積層の解析用地盤物性値と物性のばらつき

地質分類	湿潤密度ρt (g/cm3)	初期せん断弾性係数G0 (N/mm2)	動ポアソン比vd
段丘堆積層	1.84	平均値：159 平均値+1σ：204 平均値-1σ：114	0.27

表　段丘堆積層のPS検層結果と初期せん断弾性係数G0の設定

ボーリング孔	地層	深度上端 (G.L.-m)	深度下端 (G.L.-m)	層厚 h (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρt (g/cm^3)	G0 (N/mm^2)	v d
No.1孔	段丘堆積物	4.21	9.65	5.44	530	340	1.941	224	0.150
No.2孔	段丘堆積物	1.45	8.50	7.05	460	260	1.766	119	0.265
No.3孔	段丘堆積物	8.50	9.45	0.95	1230	240	1.865	107	0.480
No.3孔	段丘堆積物	3.87	4.00	0.13	750	160	1.865	47.7	0.476
No.3孔	段丘堆積物	4.00	6.00	2.00	430	250	1.865	117	0.245
No.3孔	段丘堆積物	6.00	10.78	4.78	610	320	1.865	191	0.310
No.4孔	段丘堆積物	1.62	6.00	4.38	480	280	1.817	142	0.242
No.4孔	段丘堆積物	6.00	9.00	3.00	760	350	1.817	223	0.365
No.4孔	段丘堆積物	9.00	9.27	0.27	1620	280	1.817	142	0.485
No.5孔	段丘堆積物	2.05	5.50	3.45	460	270	1.966	143	0.237
No.5孔	段丘堆積物	5.50	9.79	4.29	1620	300	1.966	177	0.482
No.6孔	段丘堆積物	2.10	3.00	0.90	570	200	1.652	66.1	0.430
No.6孔	段丘堆積物	3.00	11.00	8.00	550	330	1.652	180	0.219
No.6孔	段丘堆積物	11.00	11.11	0.11	1690	400	1.652	264	0.470
No.7孔	段丘堆積物	1.42	1.50	0.08	340	160	1.802	46.1	0.358
No.7孔	段丘堆積物	1.50	2.86	1.36	350	190	1.802	65.1	0.291
No.8孔	段丘堆積物	2.66	5.66	3.00	370	250	1.905	119	0.080
No.9孔	段丘堆積物	4.15	4.72	0.57	410	190	1.590	57.4	0.363
					層厚重み付き平均G0，v d			159	0.269
					G0の標準偏差σ			45.1	
					G0＋1σ			204	
					G0－1σ			114	

参考5. 地盤物性のばらつきの設定について

TEPCO

3. 2023年ボーリング調査位置

1．ボーリング調査・室内試験の概要

TEPCO

1.1. ボーリング調査

- ボーリング調査位置は，室内試験用試料を確実に採取できるよう，富岡層風化部が比較的厚く分布する箇所を選定した。また，富岡層風化部は敷地全体に広く分布することから，ボーリング調査位置も広く偏りなく配置した。

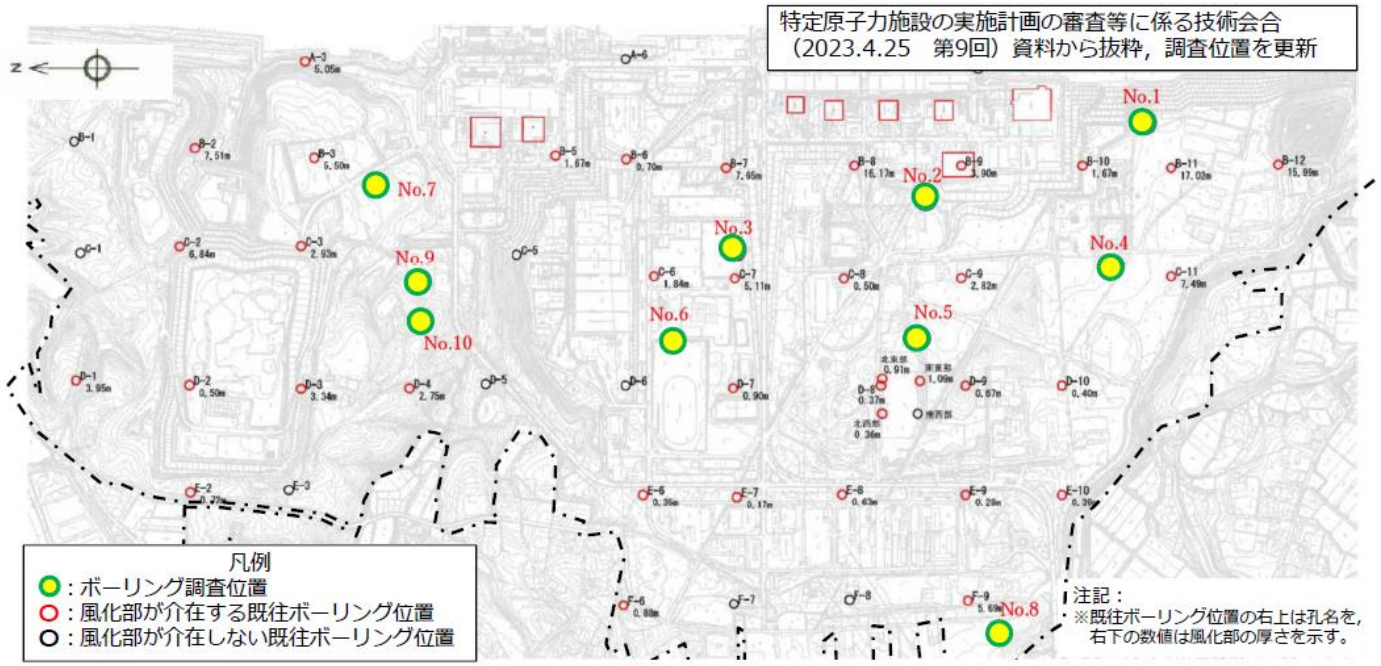


図　ボーリング調査位置図

3

参考5. 地盤物性のばらつきの設定について

TEPCO

4. 富岡層の地盤物性のばらつきの設定

- 富岡層の物性のばらつきは，設置許可時の調査・試験結果に基づき，初期せん断弾性係数G0のばらつきを設定する。
- 下表に富岡層の解析用地盤物性値と，物性のばらつきの設定結果を示す。

表　富岡層の解析用地盤物性値と物性のばらつき

地質分類	湿潤密度ρt (g/cm3)	初期せん断弾性係数G0 (N/mm2)	動ポアソン比νd
T3部層 砂岩	1.84	平均値：210 平均値+1σ：256 平均値-1σ：168	0.48
T3部層 泥質部	1.71	平均値：427 平均値+1σ：456 平均値-1σ：396	0.45
T3部層 互層部	1.76	平均値：302 平均値+1σ：347 平均値-1σ：257	0.46
T2部層	1.75-0.000417Z	平均値：249-3.22･Z 平均値+1σ：352-3.22･Z 平均値-1σ：146-3.22･Z	0.467+0.000222Z
T1部層	1.79	平均値：667 平均値+1σ：722 平均値-1σ：610	0.44
先富岡層（b層）	1.88	平均値：954 平均値+1σ：994 平均値-1σ：913	0.42

Z：標高T.P.（m）

4.Step1 地震観測記録を用いた検討の結果

（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※1に地震観測記録（E_0+F_0）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ぎとり波（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

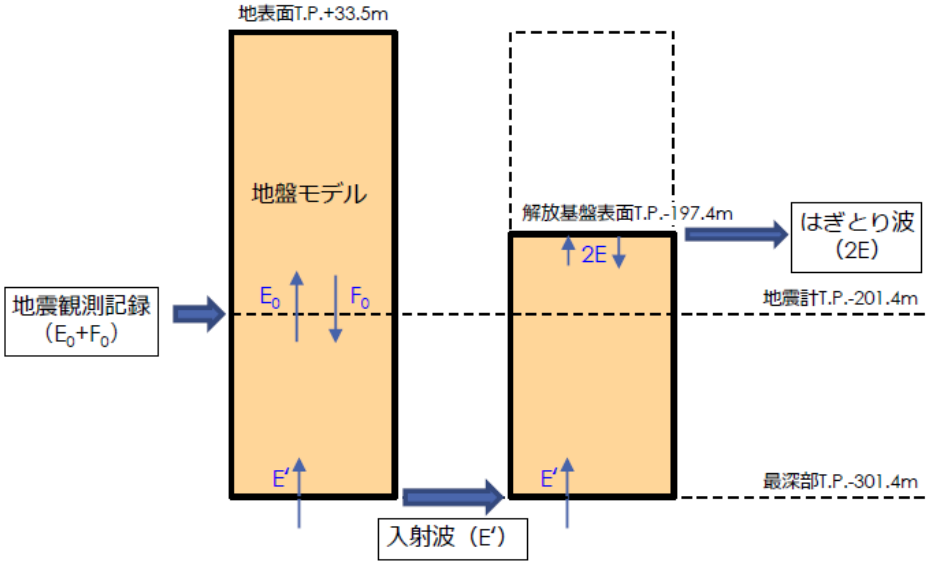


図 はぎとり波の作成のイメージ

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^3)	S波速度(m/s)	h_0 ※2	α ※2
33.5					
	2	2.10			
● 31.5			277		
	6	2.10			
25.5				0.439	0.94
	8	2.00	310		
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			662	0.043	1.00
	40	1.76			
−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			
● −301.4					
		1.81			

● ：地震計

※2：減衰定数 $h(f)=h_0\times f^{-\alpha}$
ここで，fは周波数（Hz），
h_0はf=1のときの減衰定数，
αは両対数軸上のh-fの傾き

「１F技術会合（第26回）資料1-1 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」 より引用

4.Step1 地震観測記録を用いた検討の結果

（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。

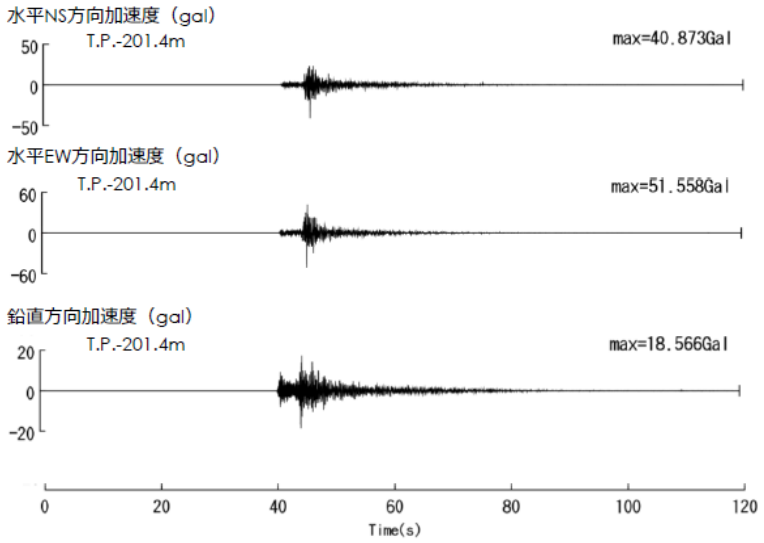


図　2022.10.21地震の観測記録 E+F（南地点T.P.-201.4m）

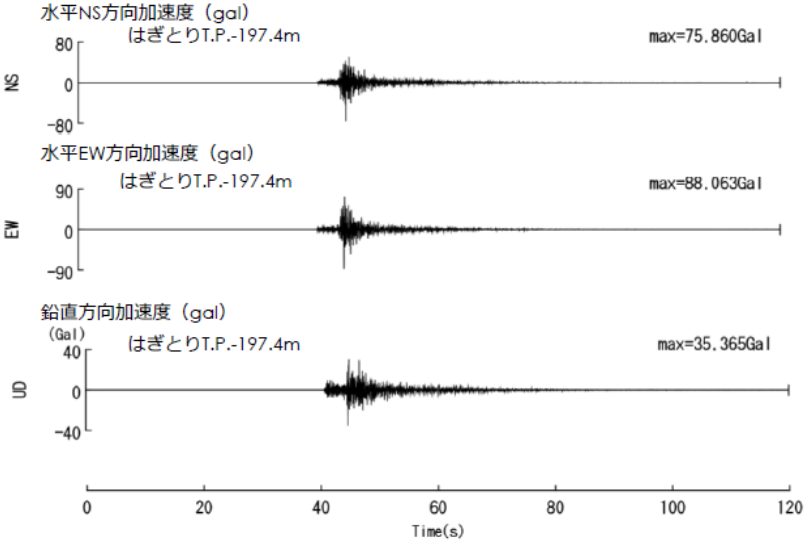


図　2022.10.21地震のはぎとり波 2E（解放基盤表面）

「１F技術会合（第26回）資料1-1　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」　より引用

参考7.「9.1 まとめ」の補足

下図に，「９.1 まとめ」の「①地上構造物の影響，②地震計の設置状況」について説明する。

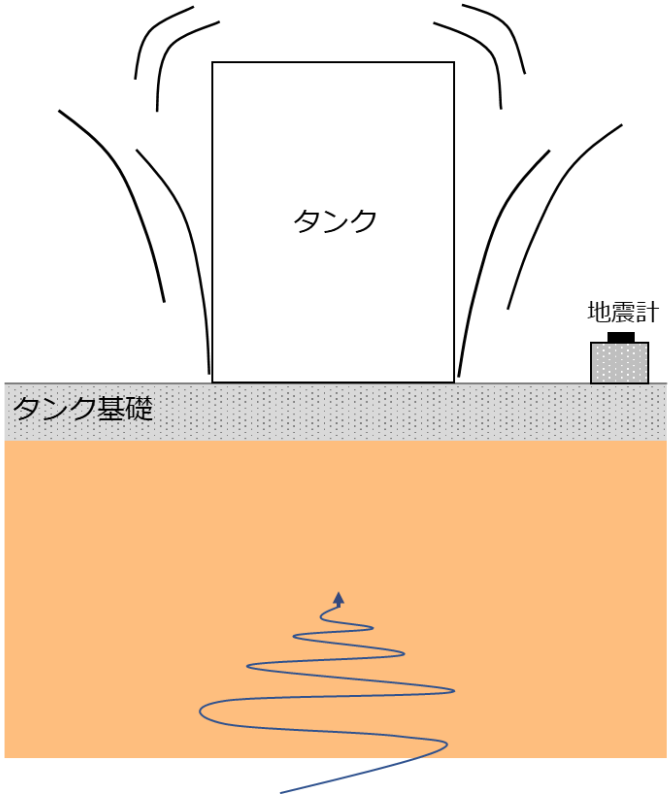


図　タンクと地盤の相互作用イメージ

①地上構造物の影響
地震計の観測記録はタンクの振動の影響を受けるが，1次元解析ではタンクをモデル化できないため，解析値にはその影響を反映できない。

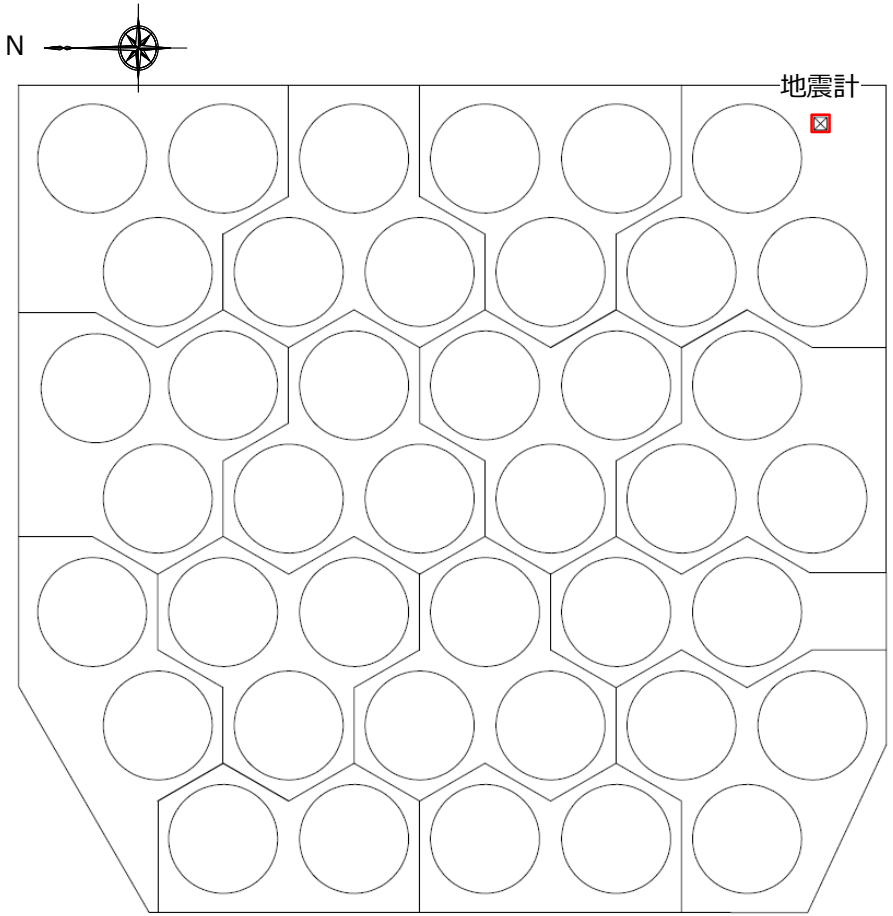


図　Dエリア地震計設置位置

②地震計の設置状況
観測記録は，地震計が基礎上の角部に設置されていることの影響を受けるが，1次元解析は基礎形状をモデル化できないため，解析値にはその影響を反映できない。

参考8. 2022.10.21地震の地震観測記録の考察

1. 加速度波形と加速度応答スペクトル

- 全ての地点の観測記録においてEW方向の加速度が大きく，その加速度応答スペクトルには0.1～0.3sの区間にピークがある。
- K4エリアとH4北エリアのEW方向の最大加速度は自由地盤である南地点と同程度（100gal程度）であるが，Dエリアは南地点の約2倍（200gal程度）である。

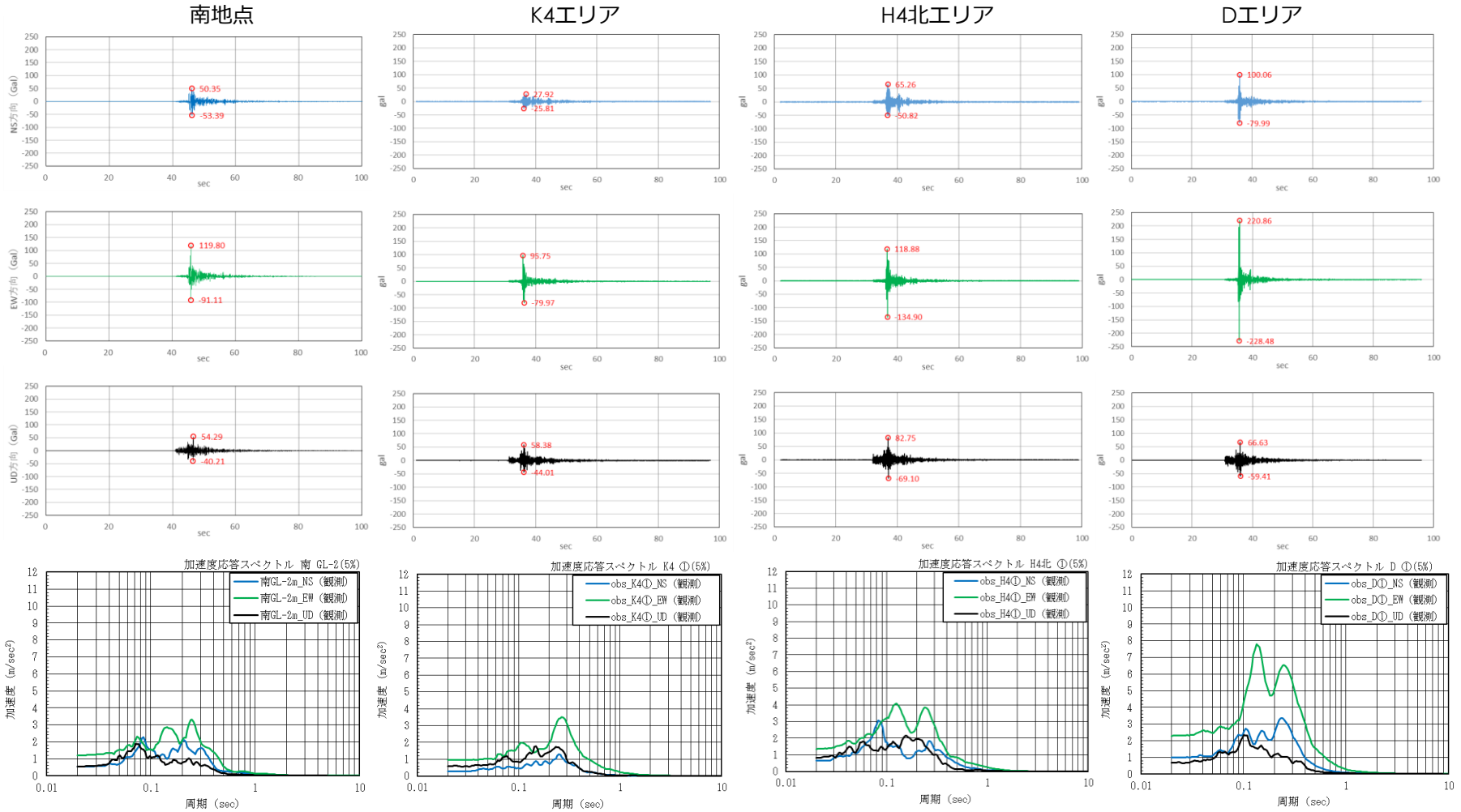


図　10.21地震の観測記録（加速度波形，加速度応答スペクトル）※各地点の観測記録には時刻のずれがある

参考8. 2022.10.21地震の地震観測記録の考察

2. 加速度応答スペクトルの比較

各エリアの地震観測記録の加速度応答スペクトルを自由地盤である南地点と比較することで，地上構造物の影響を検討した。

2.1 EW方向加速度応答スペクトル

- 全エリアの地震観測記録でピークがある周期0.1～0.3sにおいて，K4およびH4北エリアの加速度応答スペクトルは南地点（自由地盤，GL-3m）と比較して同等程度であるが，Dエリアは2～2.5倍程度大きくなっている。

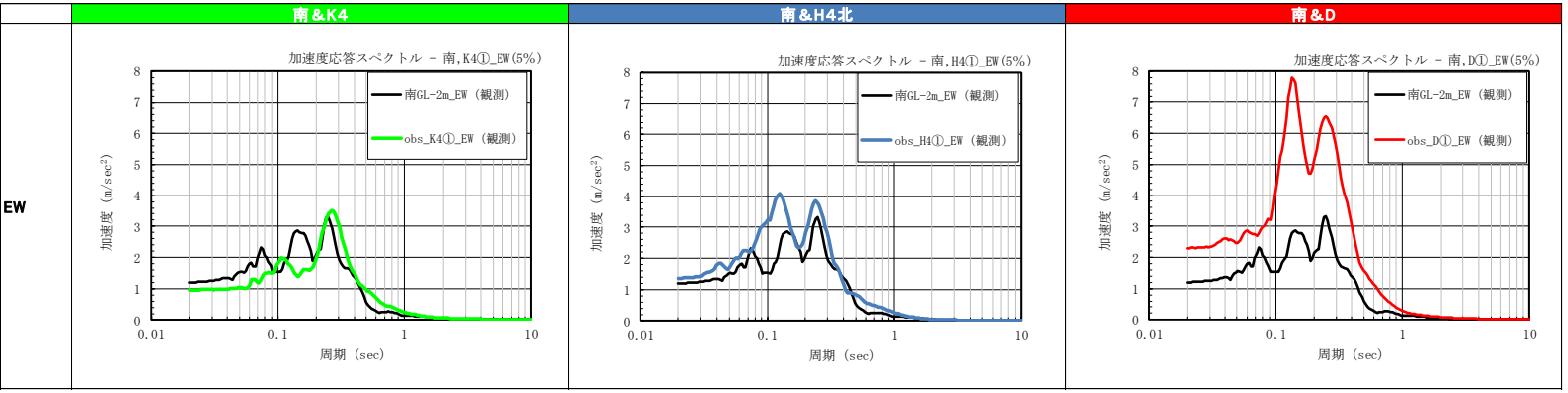


図　加速度応答スペクトル（EW方向）

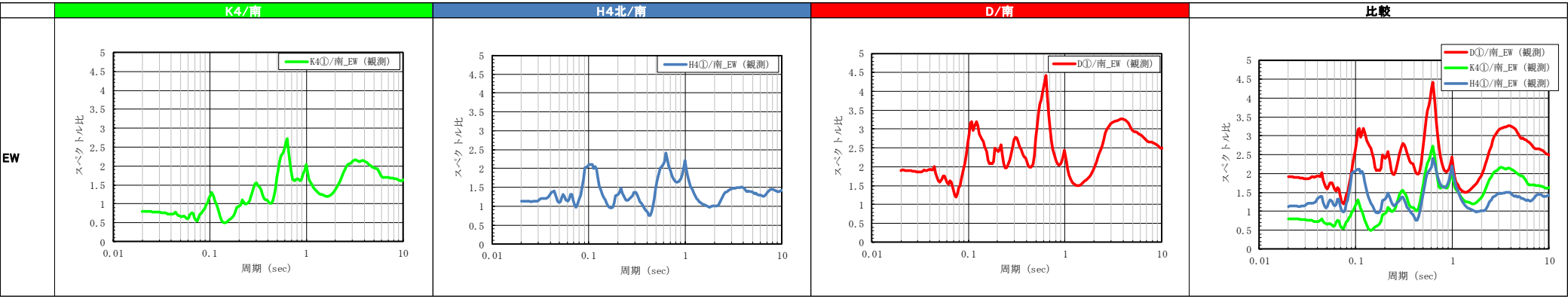


図　加速度応答スペクトル比（EW方向）

参考8. 2022.10.21地震の地震観測記録の考察

2.2 NS方向加速度応答スペクトル

- K4およびH4北エリアの加速度応答スペクトルは南地点（自由地盤，GL-3m）と比較して同等程度である。
- Dエリアは地震観測記録でピークがある周期0.1～0.3sにおいて1.5～2倍程度に大きくなっているが，EW方向（2～2.5倍程度）と比較して増加の程度は小さい。

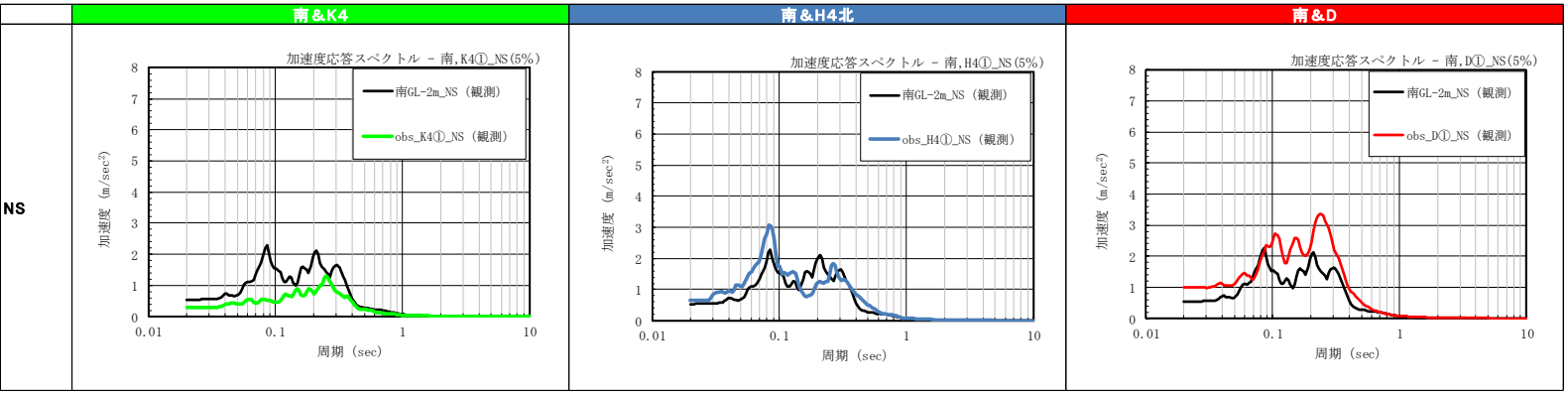


図　加速度応答スペクトル（NS方向）

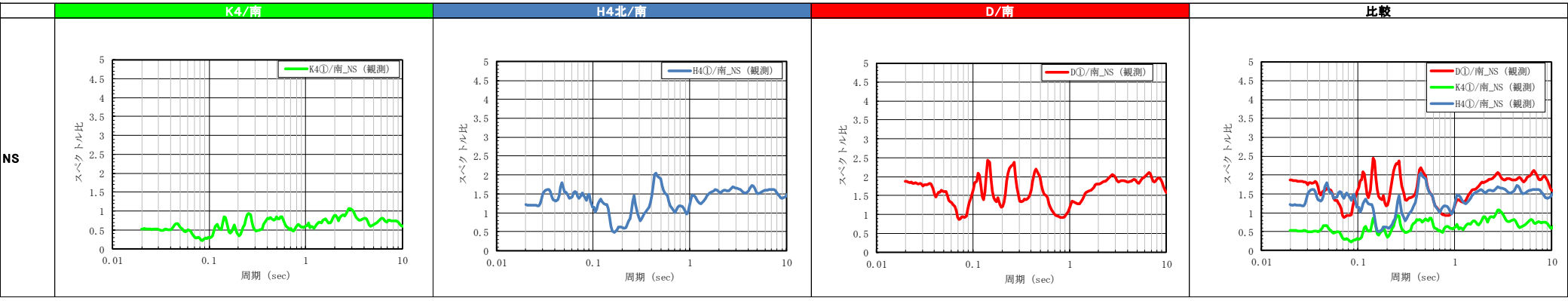


図　加速度応答スペクトル比（NS方向）

参考8. 2022.10.21地震の地震観測記録の考察

2.3 UD方向加速度応答スペクトル

- 全エリアの地震観測記録でピークを示す周期0.1～0.3sにおいて，全エリアの加速度応答スペクトルは，南地点（自由地盤，GL-3m）と比較して1.5～2倍程度大きくなっている。

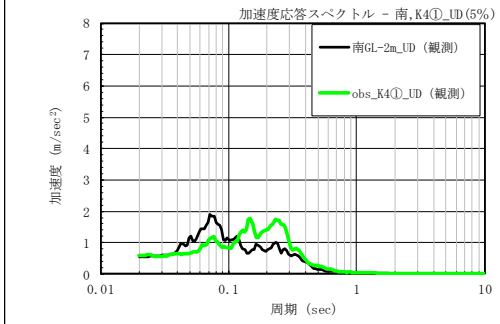
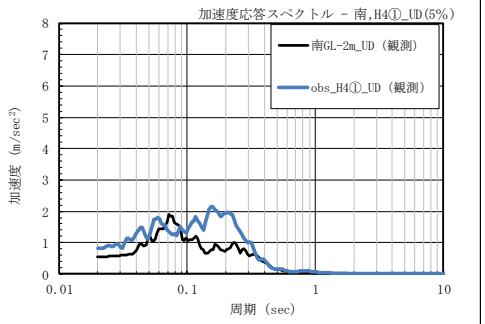
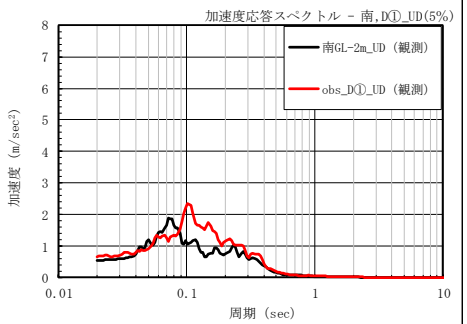
	南&K4	南&H4北	南&D
UD			

図　加速度応答スペクトル（UD方向）

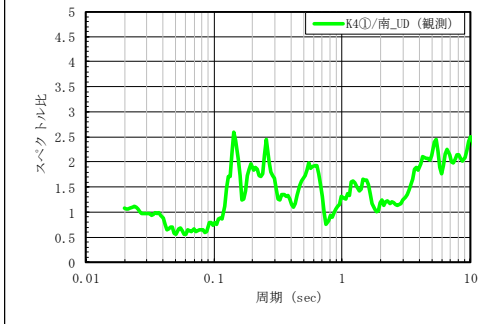
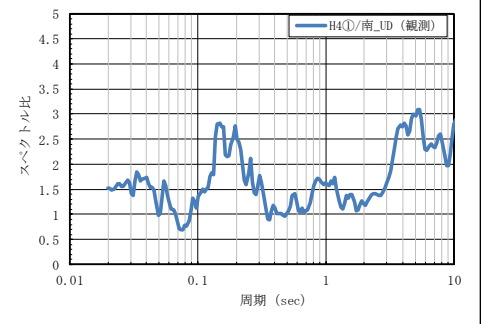
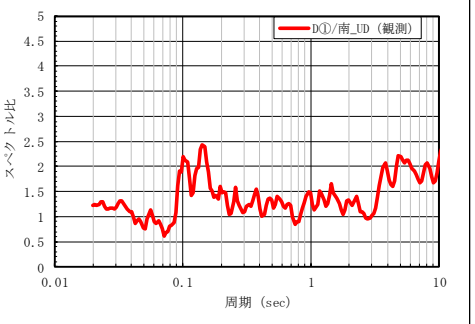
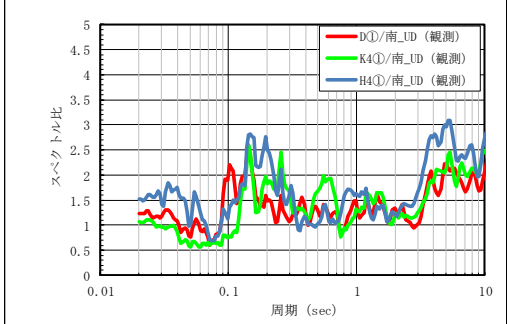
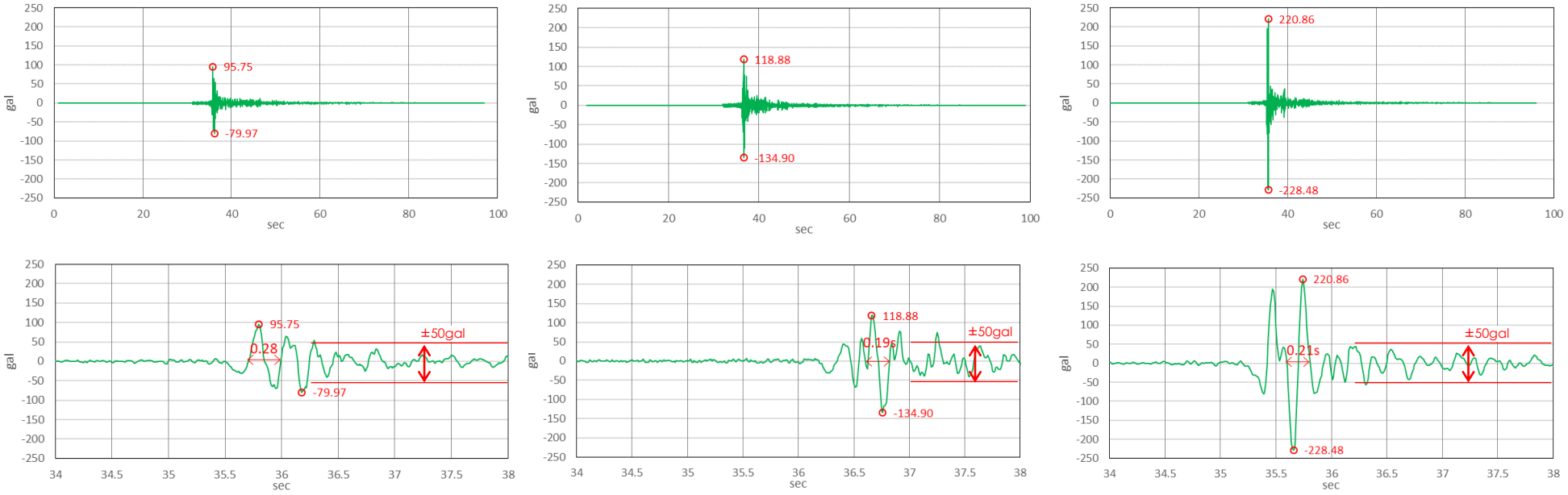
	K4/南	H4北/南	D/南	比較
UD				

図　加速度応答スペクトル比（UD方向）

参考8. 2022.10.21地震の地震観測記録の考察

3. EW方向加速度波形の比較

- 最大加速度振幅を含む1波の周期は，K4エリアは0.28s，H4北エリアは0.19s，Dエリアは0.21sであり，加速度応答スペクトルのピークがある周期0.1～0.3sの区間にあたる。
- 全エリアにおいて，2波程度（以下，パルスという）の振幅が大きい時間帯があり，Dエリアの振幅が特に大きい。この２波以外の波の振幅は全エリアで同等程度（最大50gal程度）である。



K4エリア　H4北エリア　Dエリア

図　各エリアのEW方向加速度観測記録

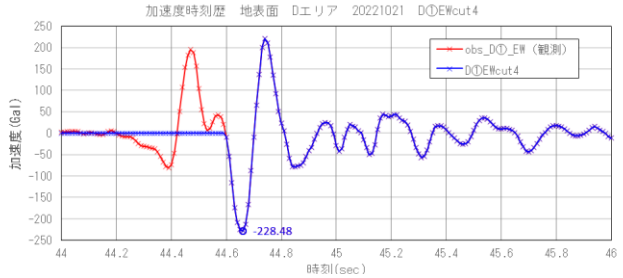
参考8. 2022.10.21地震の地震観測記録の考察

4. パルスの加速度応答スペクトルへの影響

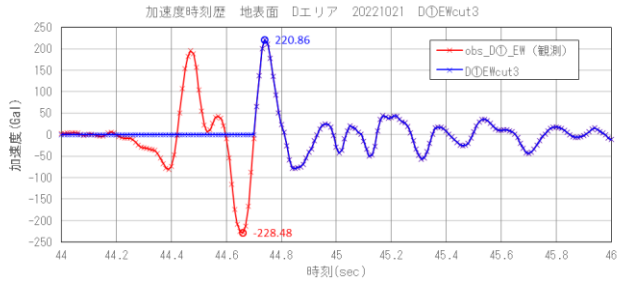
DエリアのEW方向加速度波形について，パルスによる応答スペクトルへの影響を検討した。初動よりパルスまでを3段階でカットした加速度波形による応答スペクトルを比較した。

- パルスを全てカットしたcut1では応答スペクトルが全周期帯において小さくなり，パルスがスペクトル全体に影響していることがわかる。

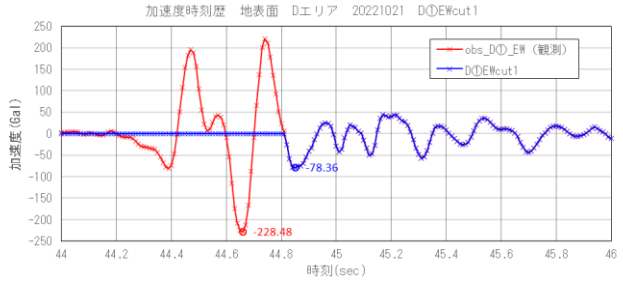
cut4



cut3



cut1



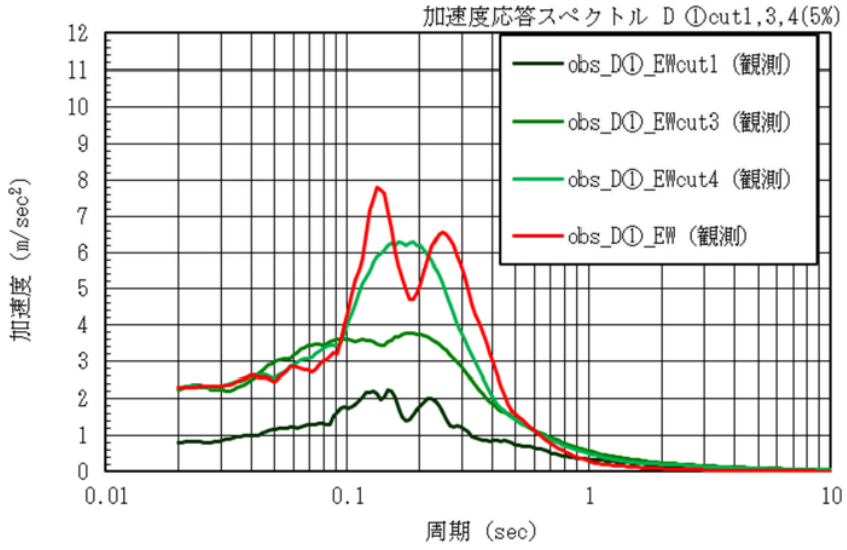


図　パルスによる加速度応答スペクトルへの影響

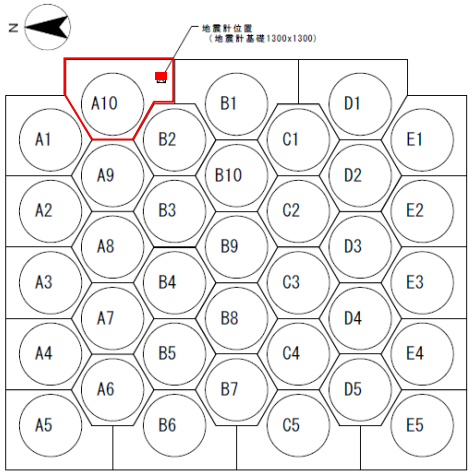
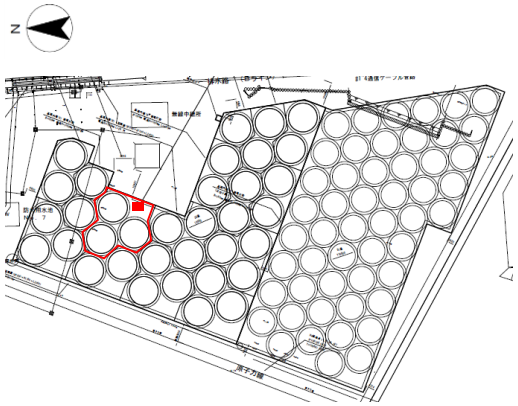
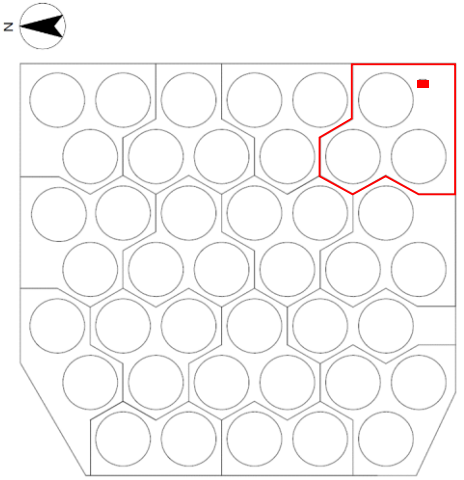
参考8. 2022.10.21地震の地震観測記録の考察

5.各エリアのタンク・基礎と地震計の設置状況

各エリアにおけるタンク・基礎の構造の違いおよび地震計の設置状況により，DエリアのEW方向加速度が特に大きくなる要因がないか確認する。整理した結果を下表に示す。

- Dエリアのタンクは他エリアとほぼ同様の構造である。
- Dエリアの地震計はタンク基礎全体における角部に設置されており，他のエリアと比較して揺れやすい可能性がある。

表　各エリアのタンク・基礎と地震計の設置状況

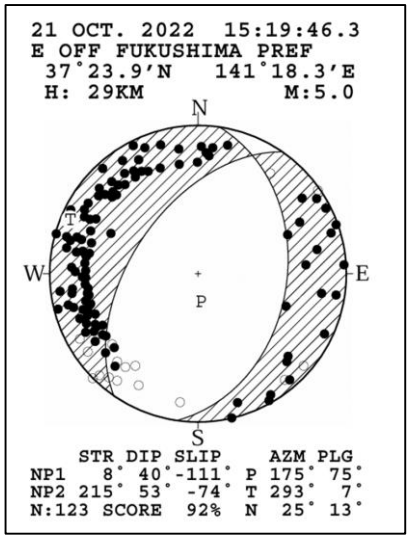
	K4	H4北	D
平面図			
タンク内径	10,000mm	12,000mm	10,000mm
タンク高さ	15,605mm	12,920mm	15,600mm
基礎厚	600mm	600mm	600mm
基礎の分割	タンク1体ごとに分割	タンク1～3体ごとに分割，タンク3体の基礎に設置	タンク2～3体ごとに分割，タンク3体の基礎に設置
タンクとの位置関係	直近のタンクの南南東	直近のタンクの南	直近のタンクの南南東
基礎の独立性	東方に移動可能	移動不可	南東方向に移動可能

参考8. 2022.10.21地震の地震観測記録の考察

6. 震源断層と各エリアの位置関係

10.21地震の震源情報を以下に示す。震源位置は福島県沖であり，タンクエリアによる震源との位置関係に差異はない。よって，10.21地震の特徴は，DエリアのEW方向加速度が特に大きくなる要因ではないと判断する。

- 発生日時：2022年10月21日 15時19分
- 震央位置：福島県沖（緯度37°23.9′N，経度141°18.3′E）
- 震源深さ：29km，M：5.0
- 最大震度：5弱（福島第一原子力発電所敷地は震度4と推定）
- 走向：8°または215°



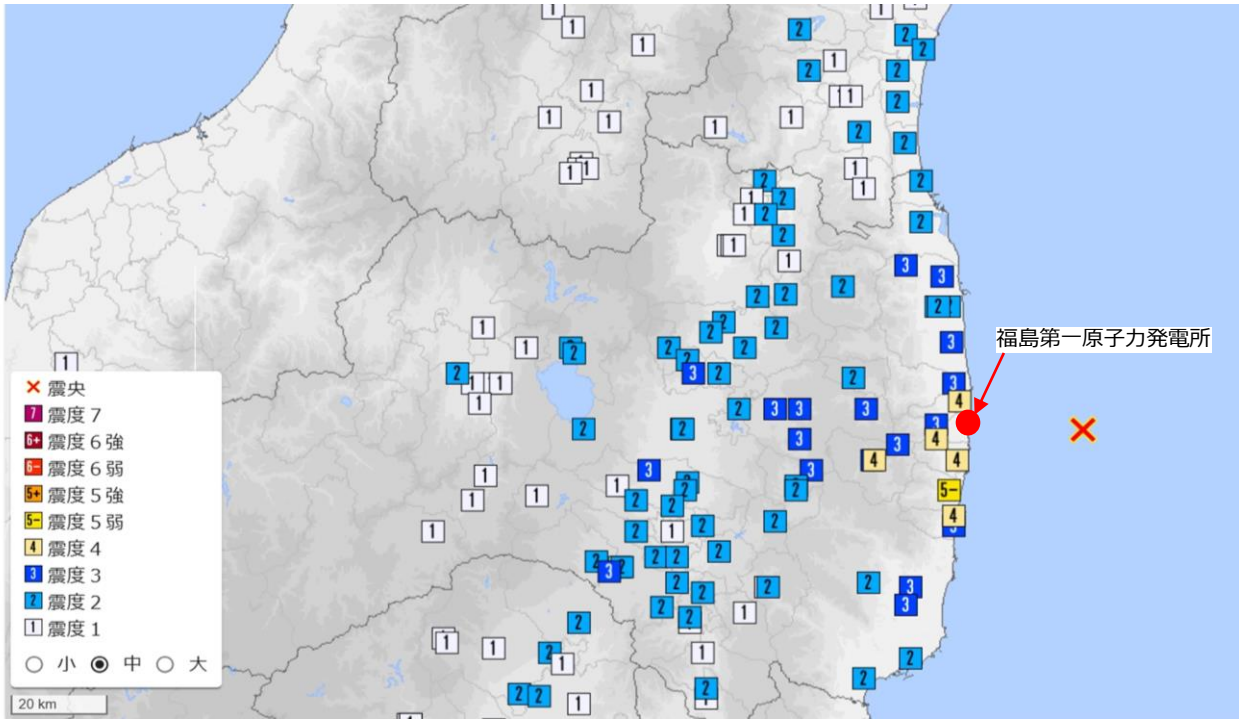


図　10.21地震の震度・震源情報（気象庁HPより）

参考8. 2022.10.21地震の地震観測記録の考察

TEPCO

7. まとめ

各エリアの地震観測記録，地震計の設置状況および震源断層との位置関係を比較検討した結果，Dエリアの観測記録には以下の特徴があることがわかった。

① オービットがEW方向に細長く，加速度振幅はEW方向が卓越している。

② 自由地盤である南地点の加速度応答スペクトルと比較して，EW方向の加速度応答スペクトルが特に大きい。

③ EW方向加速度のパルスが大きく，加速度応答スペクトルの全周期帯に影響している。

④ 地震計がタンク基礎の角部に設置されている。

以上より，DエリアはEW方向加速度が特に大きい特徴があり，その要因について，下表のとおり考察した。

表　DエリアのEW方向加速度が大きくなる要因の考察

要因	内容	要因可能性	可能性判断の理由
地盤物性のばらつき	地盤物性のばらつきにより，他エリアより，地震動が増幅した	無	• 南地点において，地盤物性のばらつきの範囲内で解析値は地震観測記録を再現できた • 地盤物性のばらつきが原因であれば，NS方向加速度もEW方向と同等程度に大きくなるはずであるが，そうはなっていない
共振	処理水を内包するタンクとの共振によりEW方向加速度が大きくなった	無	• Dエリアのタンクは他エリアとほぼ同様の構造である • 地震計とタンクとの位置関係は他エリアと大きな違いはない
タンクのロッキング	タンクが基礎に固定されていないため，タンクの浮き上がりが発生した	無	• 10.21地震によるタンクの移動は確認されていない • タンクの浮き上がりが発生した場合，UD方向加速度に影響が出るはずであるが，そうはなっていない
揺れの異方性	地震計の設置位置・設置状況（基礎の分割，タンクの配置，タンク内包水の水位等）により，EW方向加速度が大きくなった	低	• 地震計は基礎の角部に設置されており，他エリアより揺れやすい可能性がある • ただし，基礎の分割はH4北と同様 • ただし，タンクとの位置関係は全エリアで同様

参考9．2024.3.15の地震観測記録

2024年3月15日に発生した地震（以下，3.15地震という）の観測記録を下図に示す。10.21地震の観測記録も併記する。

- Dエリアの最大加速度（NS方向125gal）は，他エリアの最大加速度の約1.4～3倍となっており，10.21地震と同様に，Dエリアの加速度がもっとも大きい。ただし，EW方向最大加速度を比較すると，H4北エリアが最も大きく89galである（Dエリアは79gal）。
- DエリアはEW方向よりもNS方向の加速度が大きく，3.15地震の他エリアおよび10.21地震（NS方向よりもEW方向が大きい）と傾向が異なる。

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

51

「１F技術会合（第26回）資料1-1　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」より引用し，一部加筆