

解放基盤表面の地震動（はぎとり波）および 3号機地震観測記録（卓越周期の推移）について

2022年6月20日

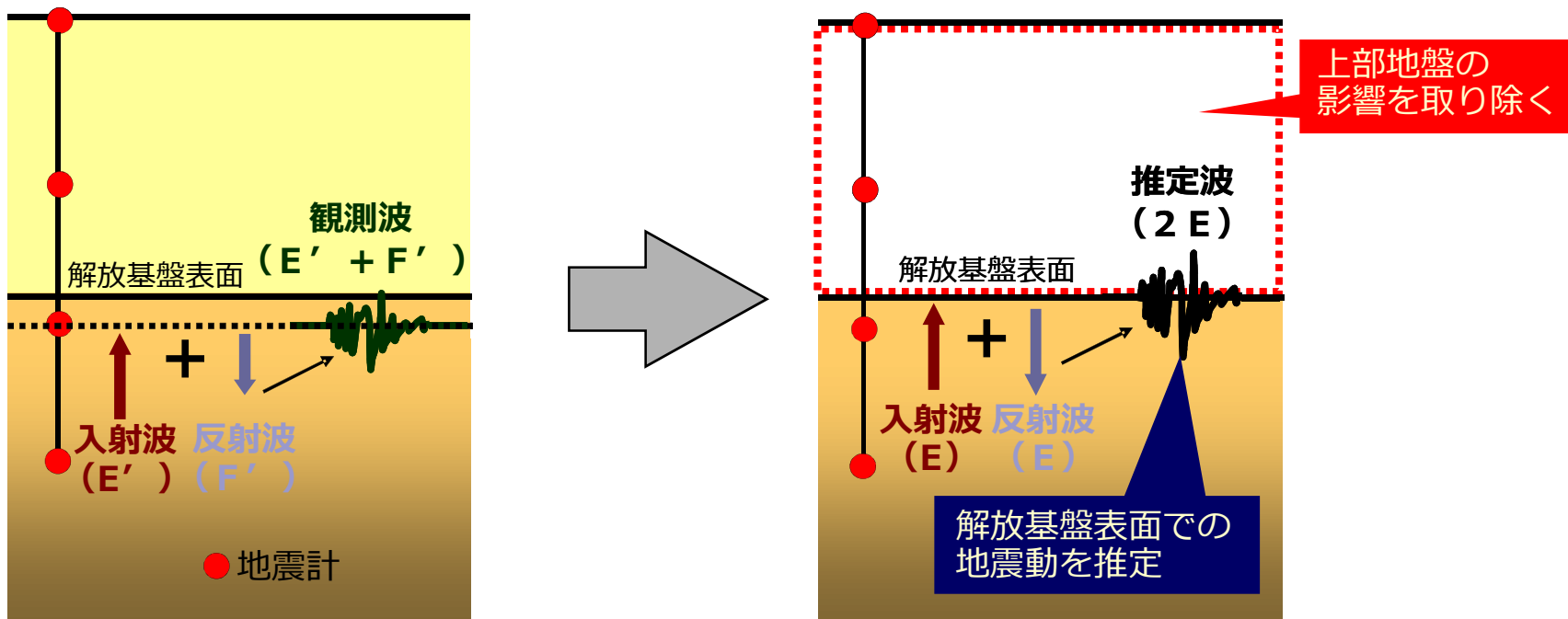


東京電力ホールディングス株式会社

本資料中におけるO.P.表記は震災前の「旧O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P.から
T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。
<換算式> $T.P. = \text{旧O.P.} - 1,436\text{mm}$

はぎとり解析の目的

地盤中の記録から，上部地盤の影響を取り除き，解放基盤表面の地震動を推定する。
なお，解放基盤表面の地震動を「はぎとり波」と呼ぶ。

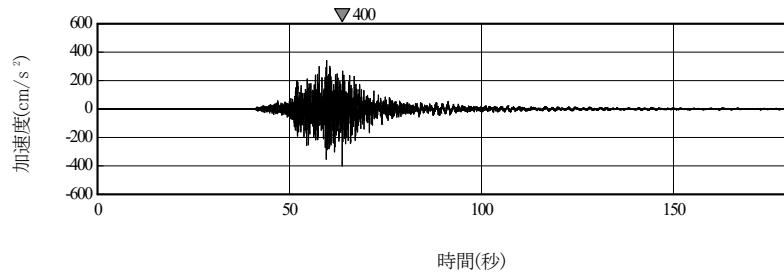


はぎとり解析の概念図

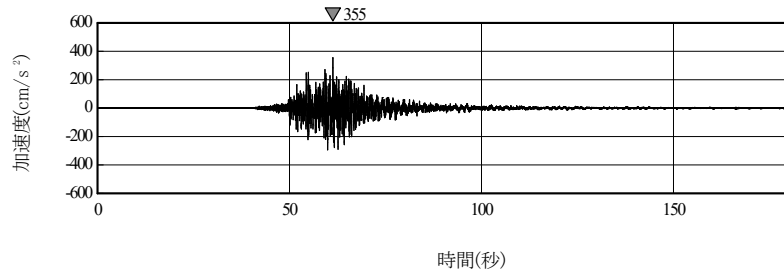
自由地盤系北地点 はぎとり波の推定（加速度時刻歴波形）



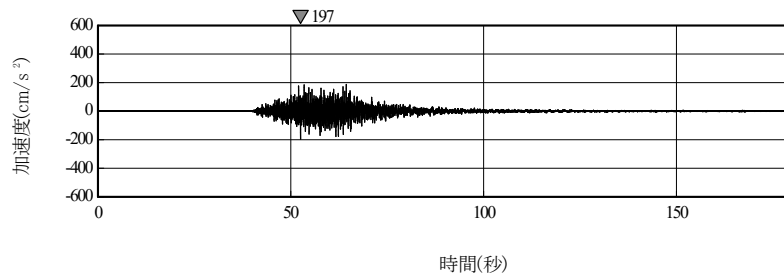
解放基盤表面（O.P.-196m）に最も近いO.P.-200mの位置に設置されている地震計の記録を用いて、はぎとり波を推定。



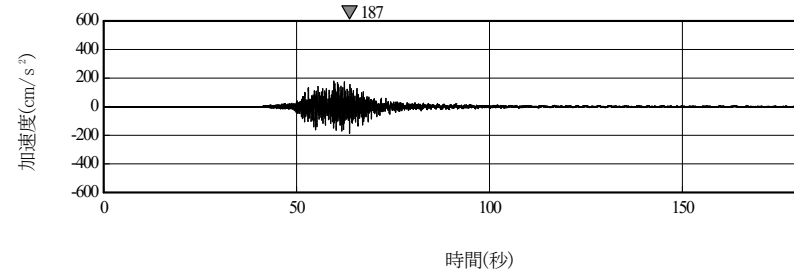
はぎとり波（NS方向）



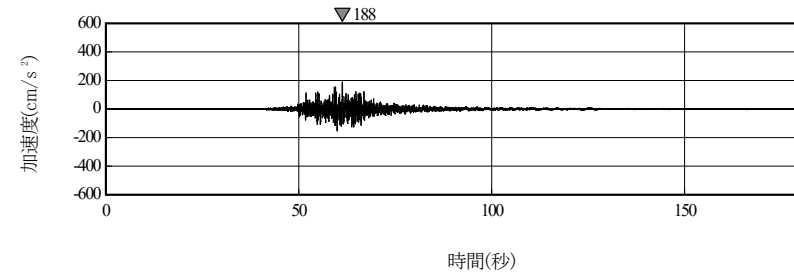
はぎとり波（EW方向）



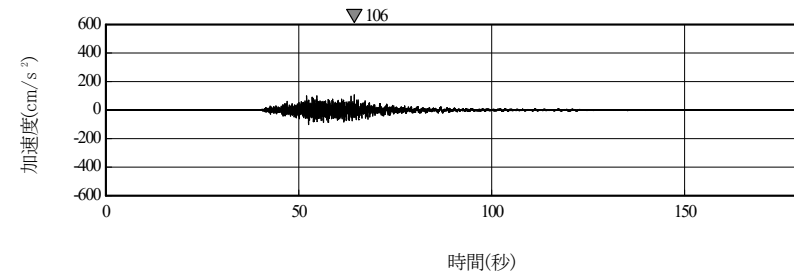
はぎとり波（UD方向）



O.P.-200m観測記録（NS方向）



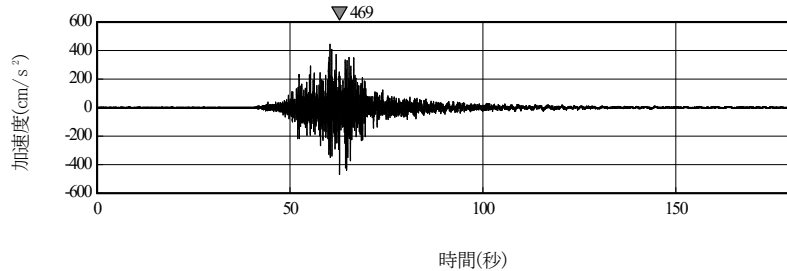
O.P.-200m観測記録（EW方向）



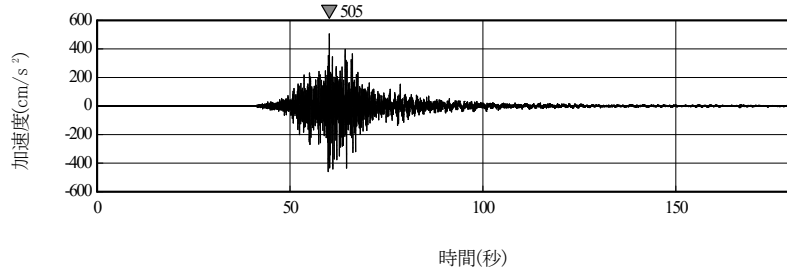
O.P.-200m観測記録（UD方向）

自由地盤系南地点 はぎとり波の推定（加速度時刻歴波形）

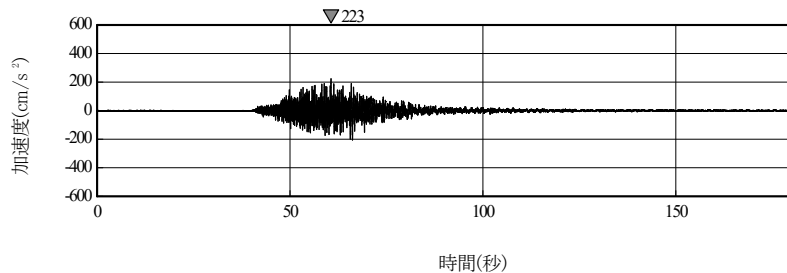
解放基盤表面（O.P.-196m）に最も近いO.P.-200mの位置に設置されている地震計の記録を用いて、はぎとり波を推定。



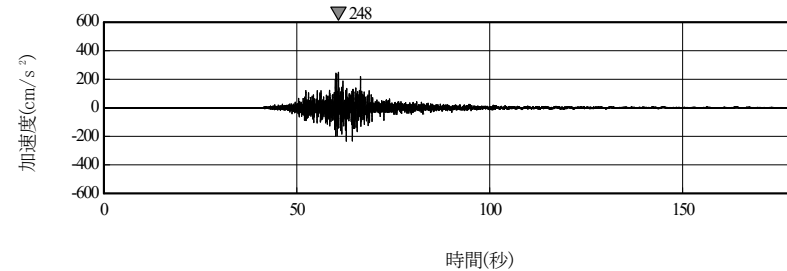
はぎとり波（NS方向）



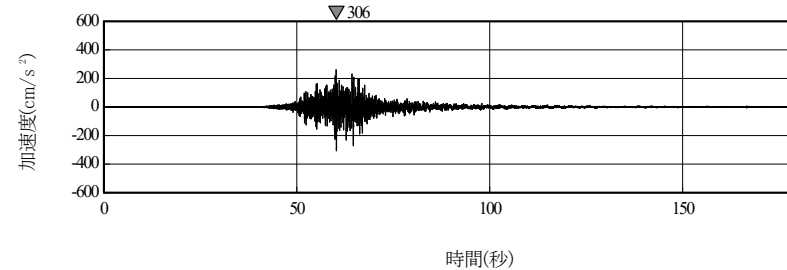
はぎとり波（EW方向）



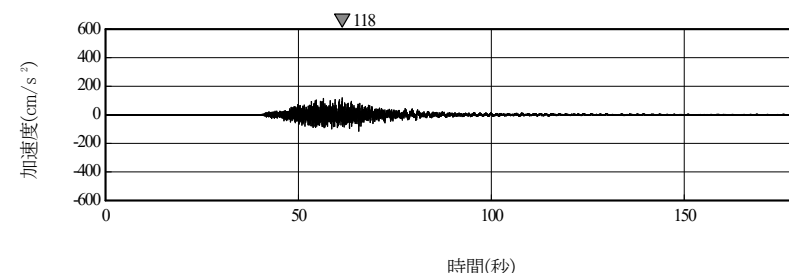
はぎとり波（UD方向）



O.P.-200m観測記録（NS方向）



O.P.-200m観測記録（EW方向）

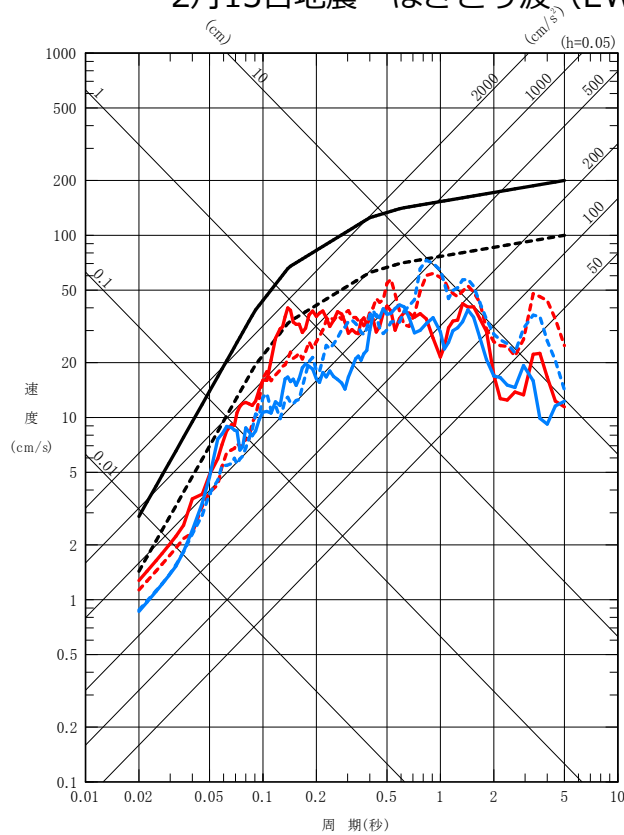


O.P.-200m観測記録（UD方向）

自由地盤系北地点 はぎとり波の推定（擬似速度応答スペクトル）TEPCO

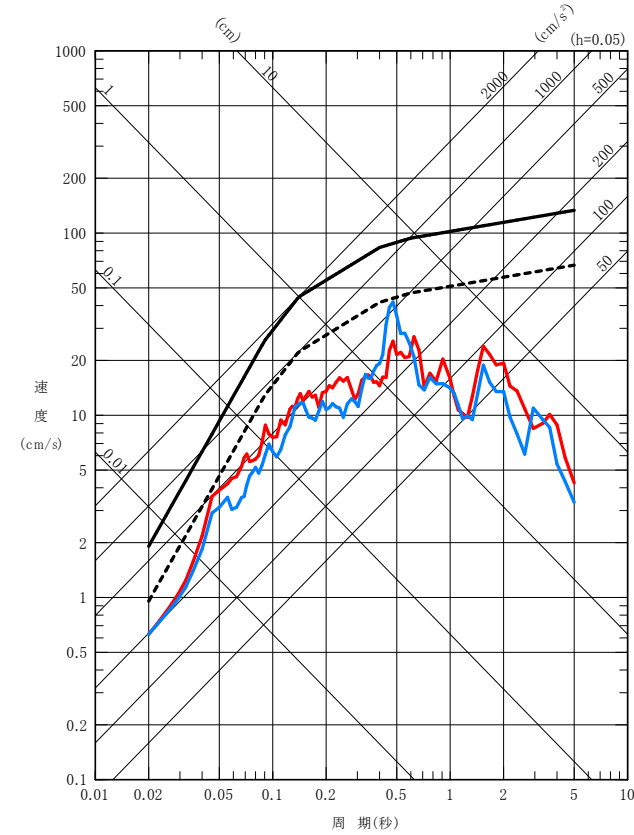
- Ss900（検討用地震動①）で完全包絡する結果となった。

- Ss900(検討用地震動①H)
- - - 1/2検討用地震動①H
- 3月16日地震 はぎとり波 (NS方向)
- - - 3月16日地震 はぎとり波 (EW方向)
- 2月13日地震 はぎとり波 (NS方向)
- - - 2月13日地震 はぎとり波 (EW方向)



はぎとり波と検討用地震動の比較
(水平方向)

- Ss900(検討用地震動①V)
- - - 1/2検討用地震動①V
- 3月16日地震 はぎとり波 (UD方向)
- 2月13日地震 はぎとり波 (UD方向)



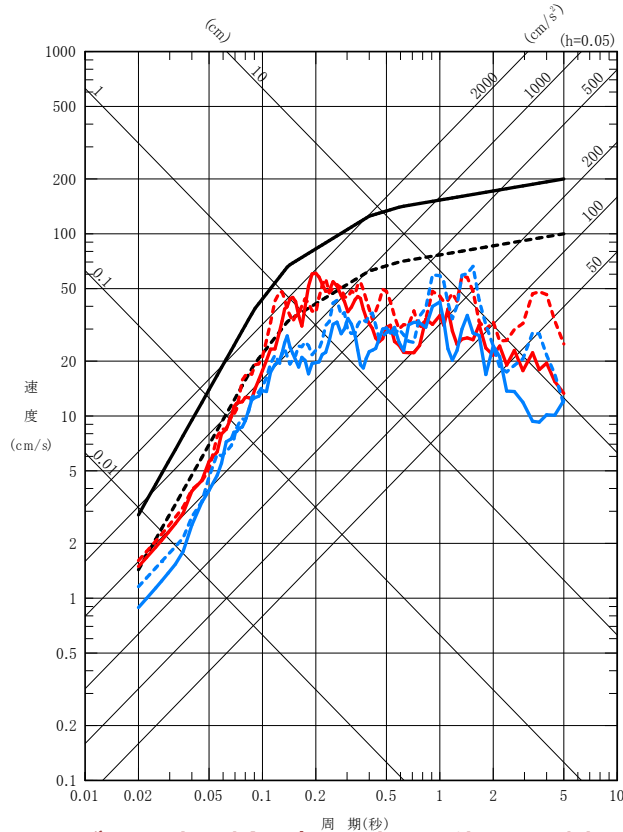
はぎとり波と検討用地震動の比較
(鉛直方向)

自由地盤系南地点 はぎとり波の推定（擬似速度応答スペクトル）TEPCO

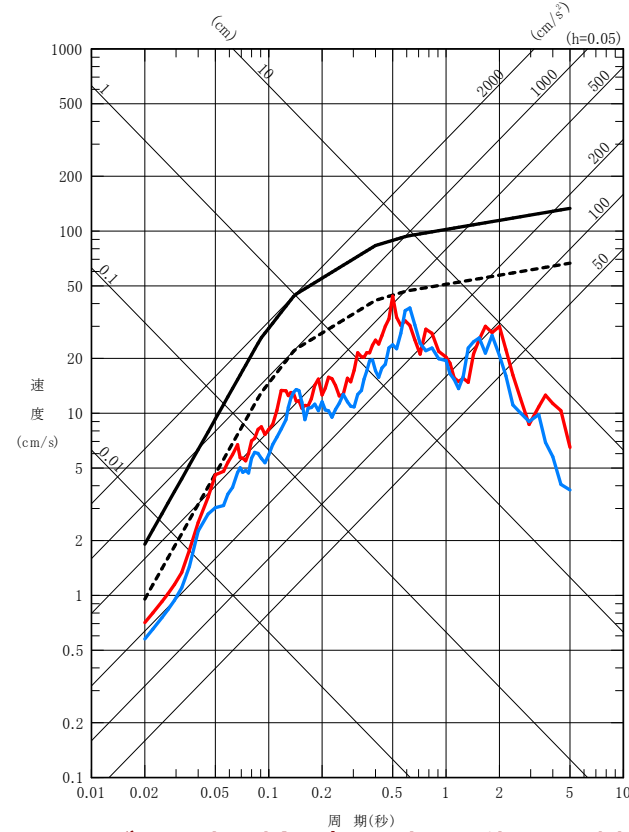
- Ss900（検討用地震動①）で完全包絡する結果となった。

- Ss900(検討用地震動①H)
- - - 1/2検討用地震動①H
- 3月16日地震 はぎとり波 (NS方向)
- - - 3月16日地震 はぎとり波 (EW方向)
- 2月13日地震 はぎとり波 (NS方向)
- - - 2月13日地震 はぎとり波 (EW方向)

- Ss900(検討用地震動①V)
- - - 1/2検討用地震動①V
- 3月16日地震 はぎとり波 (UD方向)
- 2月13日地震 はぎとり波 (UD方向)



はぎとり波と検討用地震動の比較
(水平方向)



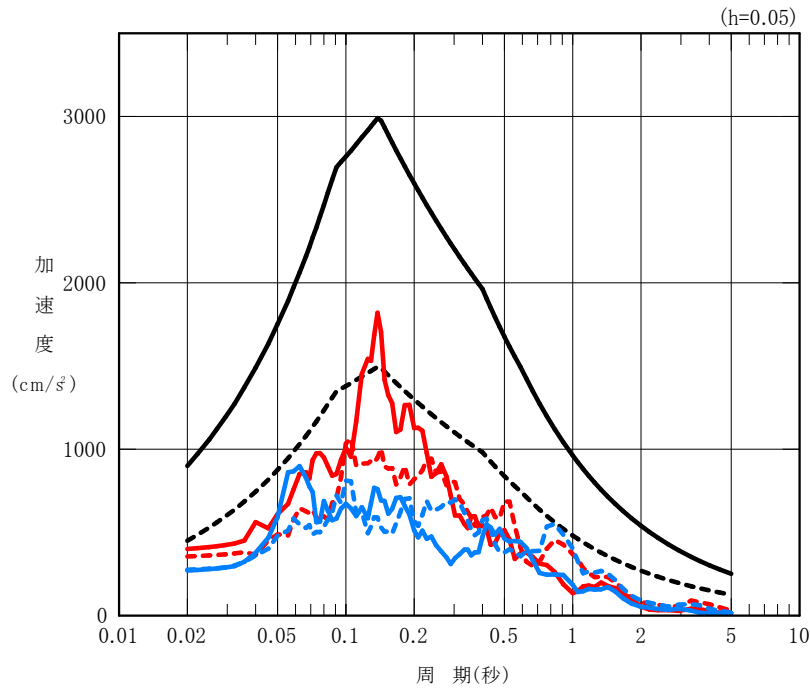
はぎとり波と検討用地震動の比較
(鉛直方向)

自由地盤系北地点 はぎとり波の推定（加速度応答スペクトル） **TEPCO**

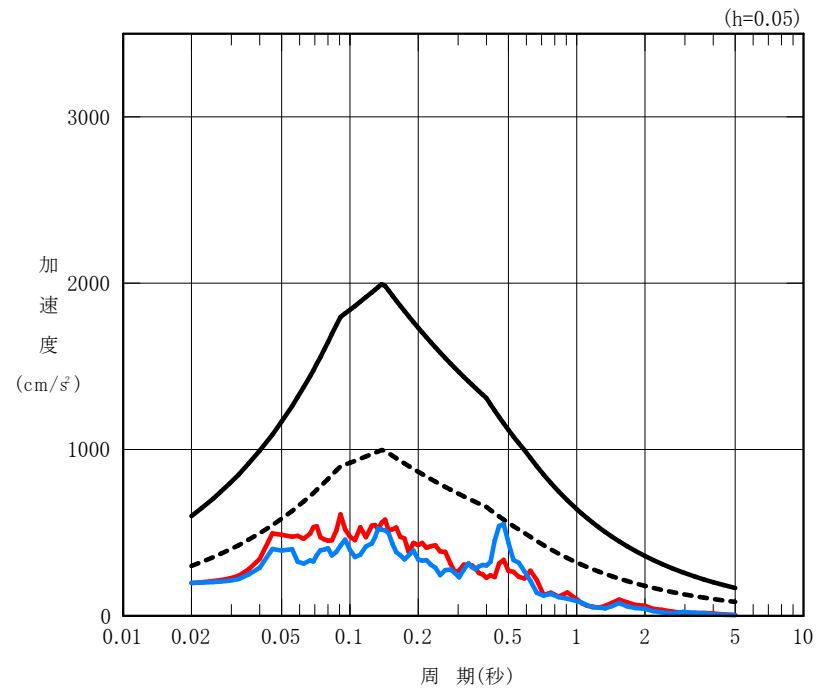
- Ss900（検討用地震動①）で完全包絡する結果となった。

- Ss900(検討用地震動①H)
- - - 1/2検討用地震動①H
- 3月16日地震 はぎとり波 (NS方向)
- - - 3月16日地震 はぎとり波 (EW方向)
- 2月13日地震 はぎとり波 (NS方向)
- - - 2月13日地震 はぎとり波 (EW方向)

- Ss900(検討用地震動①V)
- - - 1/2検討用地震動①V
- 3月16日地震 はぎとり波 (UD方向)
- 2月13日地震 はぎとり波 (UD方向)



はぎとり波と検討用地震動の比較
(水平方向)



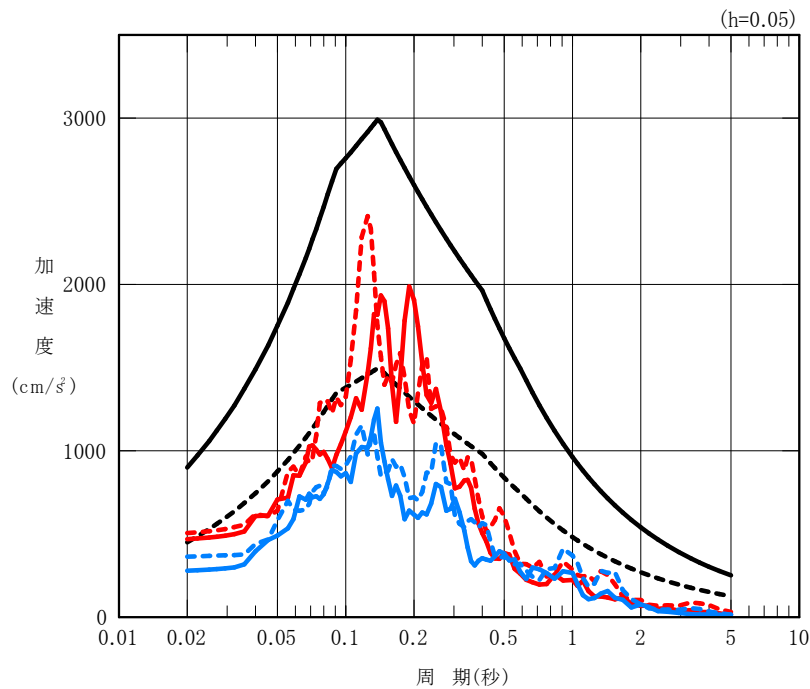
はぎとり波と検討用地震動の比較
(鉛直方向)

自由地盤系南地点 はぎとり波の推定（加速度応答スペクトル） **TEPCO**

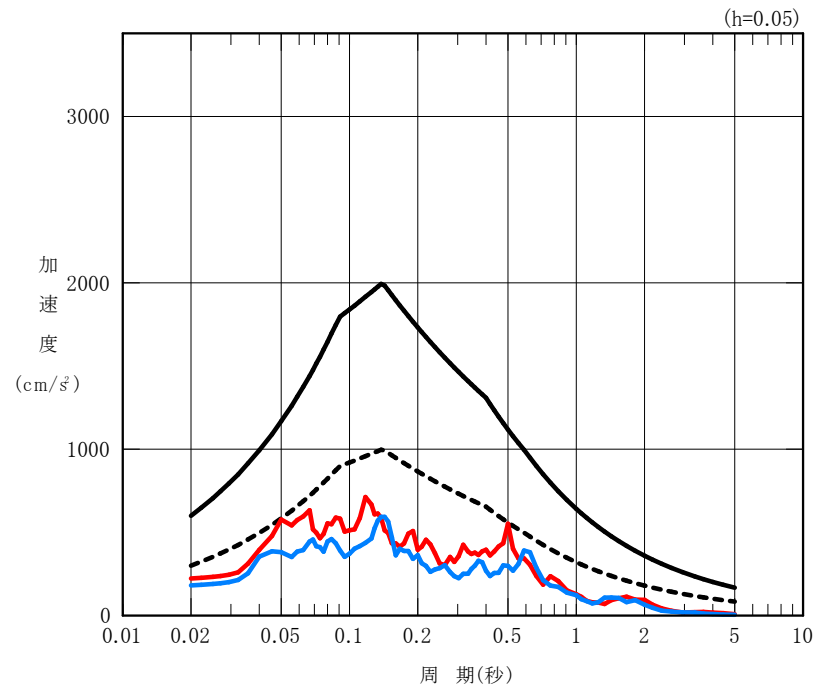
- Ss900（検討用地震動①）で完全包絡する結果となった。

- Ss900(検討用地震動①H)
- - - 1/2検討用地震動①H
- 3月16日地震 はぎとり波 (NS方向)
- - - 3月16日地震 はぎとり波 (EW方向)
- 2月13日地震 はぎとり波 (NS方向)
- - - 2月13日地震 はぎとり波 (EW方向)

- Ss900(検討用地震動①V)
- - - 1/2検討用地震動①V
- 3月16日地震 はぎとり波 (UD方向)
- 2月13日地震 はぎとり波 (UD方向)



はぎとり波と検討用地震動の比較
(水平方向)

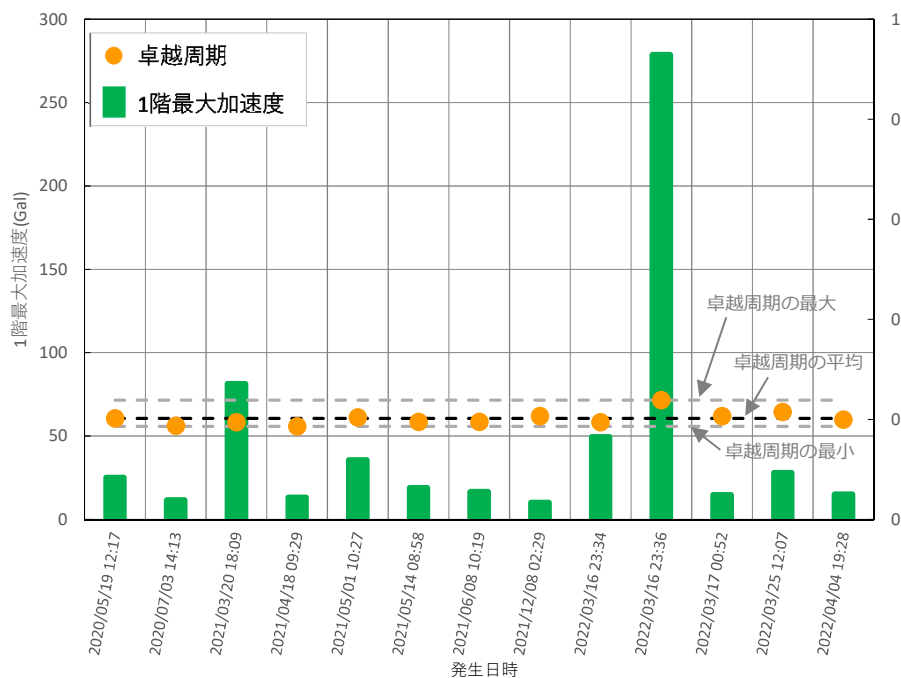


はぎとり波と検討用地震動の比較
(鉛直方向)

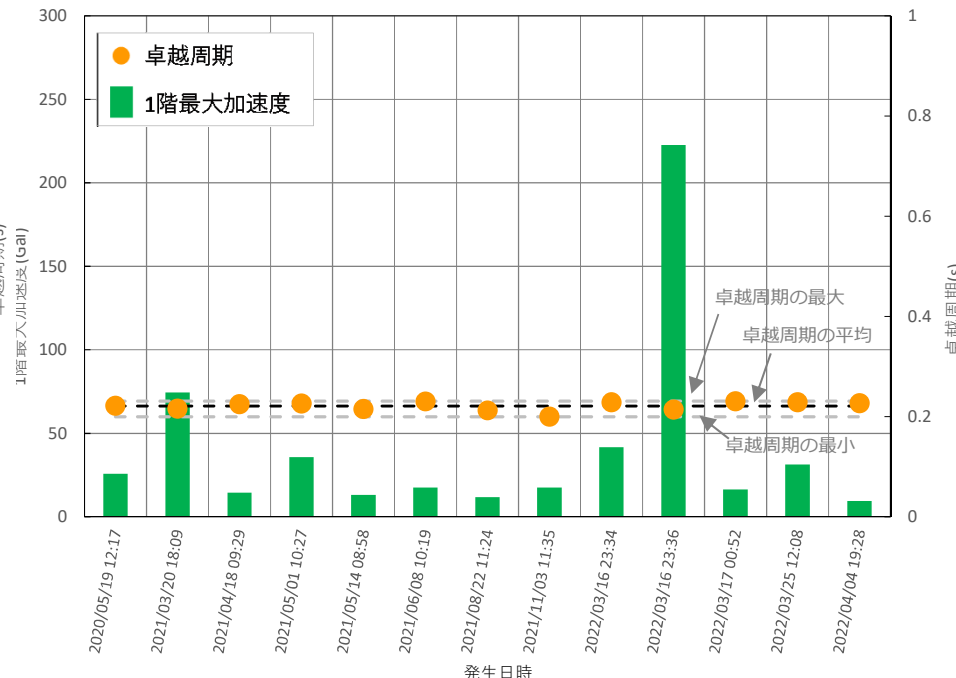
3号機原子炉建屋建屋の経年変化等の傾向把握の検討

3月16日地震前後で、卓越周期（フーリエスペクトル比*のピーク）の傾向に変化は見られない。

*フーリエスペクトル比：
5階のフーリエスペクトルを1階のフーリエスペクトルで除したものを示す



NS方向の卓越周期の推移



EW方向の卓越周期の推移

※卓越周期のグラフについてはデータ数が多いため一階の最大加速度が10を超えるものを表示

※暫定結果のため、今後の変更の可能性あり

(第99回 コメント)

- ・自由地盤系の観測について、地表面のデータが中止している箇所も、今後の地震モデル検証にあたり、観測できるところは観測すべき（規制庁）

(回答)

長期的に観測をつづけていくための信頼性向上対策として全面的な設備更新を計画しており、その中で観測休止箇所についても復旧予定。既存孔の調査の結果、既存孔の流用しての加速度計の交換は困難であることから、新規ボーリング工事を行って復旧する。（2022年度～2023年度 順次実施）

以下, 参考

(参考) はぎとり解析の検討の流れ

地盤中の記録から，上部地盤の影響を取り除き，はぎとり波を推定する。はぎとり波は，最も観測記録が多く得られている自由地盤系北地点の水平動の分析結果を踏まえ，以下の検討フローに基づき推定する。

①地盤モデル同定

最も観測記録が多く得られている自由地盤系北地点の水平動を対象に，今回の地震観測記録を用いて評価した伝達関数を対象に逆解析を実施し，地盤モデル（以下，今回モデル）を同定。

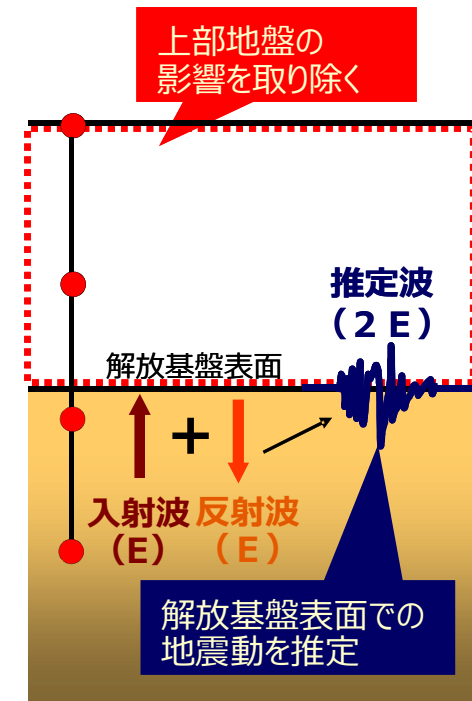
- ・ 逆解析手法はG Aを採用
- ・ 同定の対象としたパラメータ S波速度・減衰
- ・ 層厚，密度についてはPS検層結果を参考に固定

②はぎとり解析用の地盤モデルの設定

①で求めた今回モデルと2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いて同定した地盤モデル（以下，既往モデル）を比較。両モデルのS波速度・減衰，理論伝達関数，及びはぎとり波がほぼ同等となることから，既往モデルを用いることが妥当と考えられる。なお，北地点（水平動）については，今回の記録を用いて適切に地盤同定ができたことから今回モデルを用いる。

③はぎとり波推定

②で設定した地盤モデルを用いて，はぎとり波を推定



(参考) ①地盤モデル同定 (今回モデル)

自由地盤系北地点 地盤モデルの同定 (水平方向)

- S波の鉛直入射を仮定した次元波動論に基づく理論地盤伝達特性を当てはめる逆解析により同定
- 観測記録による伝達関数は、方向による差異が無いことを確認後、NS・EW方向の平均で評価
- 同定対象は、S波速度及び減衰 (層厚、密度はPS検層結果で固定)
- 探索範囲は以下の通り設定
 - 【S波速度】
O.P.+14.2m~O.P.+0.2m
・・・初期モデルの0.25~1.2倍
上記以外・・・初期モデルの0.8~1.2倍
 - 【減衰】
 $h(f) = h_0 \times f^{-a}$ $0 \leq h(f) \leq 1$
探索範囲は h_0, a とも $0 \sim 1$
- 遺伝的アルゴリズムを用い、初期乱数を変えた10回の試行計算を実施。最小誤差を与える地盤モデルを採用。

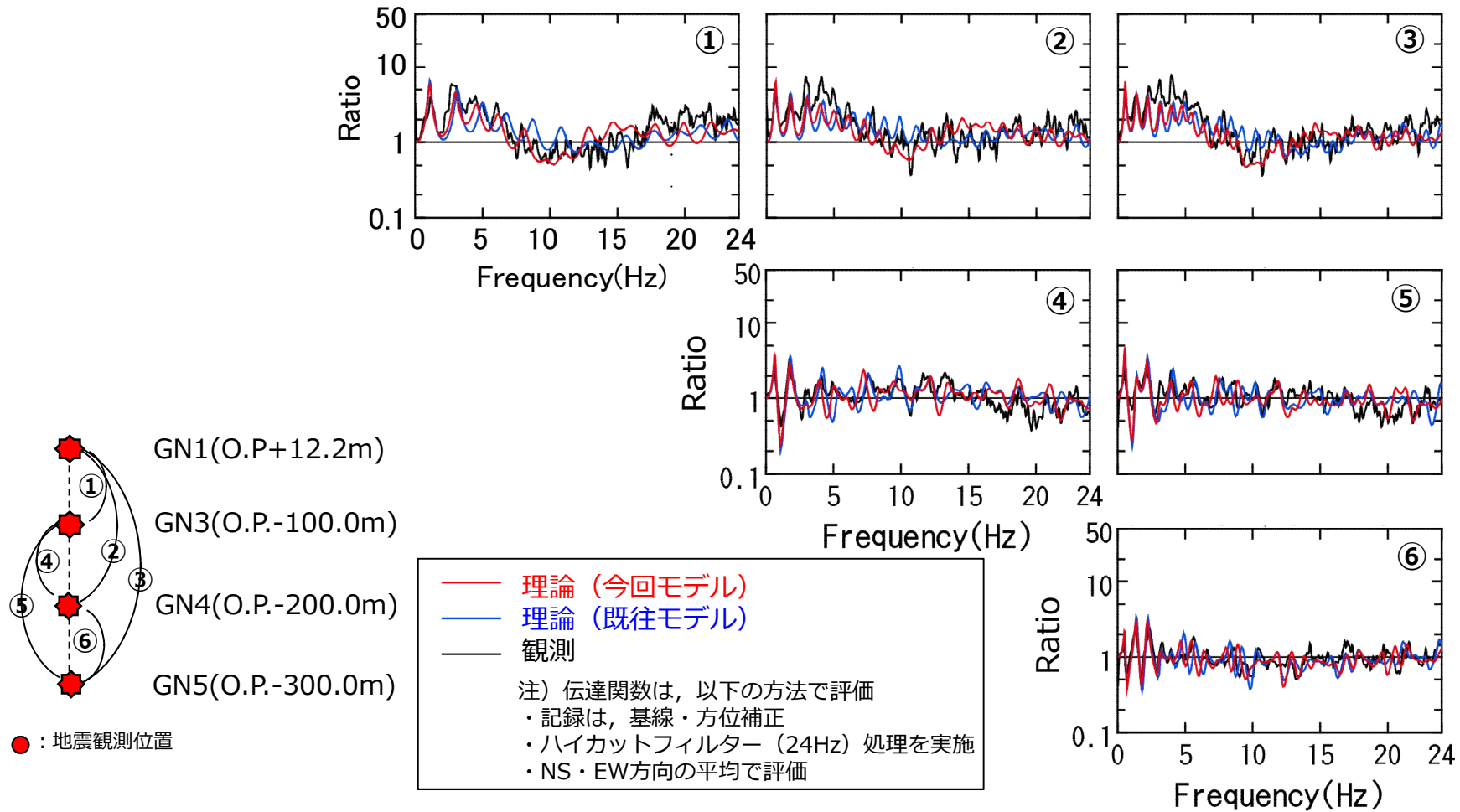
地盤モデルの同定結果 (水平方向)

| 固定パラメータ | | | 初期モデル | 同定結果 | | |
|-------------|-----------|----------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|------|
| O.P. (m) | 層厚 (m) | 密度 (g/cm ³) | S波速度 (m/s) | S波速度 (m/s) | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^{-a}$ | |
| | | | | | h_0 | a |
| +14.2 | | | | | | |
| +12.2 | 2.0 | 1.70 | 150 | 81 | 0.209 | 0.35 |
| +0.2 | 12.0 | 1.80 | 430 | 233 | | |
| -5.0 | 5.2 | 1.68 | 470 | 450 | 0.161 | 0.87 |
| -71.8 | 66.8 | 1.68 | | | | |
| -93.8 | 22.0 | 1.70 | 570 | 518 | 0.057 | 0.78 |
| -100.0 | 6.2 | 1.78 | 610 | 554 | | |
| -185.8 | 85.8 | 1.78 | | | | |
| -196.0 | 10.2 | 1.83 | 780 | 741 | | |
| -200.0 | 4.0 | 1.83 | | | | |
| -300.0 | 100.0 | 1.83 | | | | |
| | - | 1.83 | | | | |

● : 地震観測位置
 ※固定パラメータPS検層結果による。

(参考) ②はぎとり解析用の地盤モデルの設定

- ・今回モデルの理論伝達関数は観測記録による伝達関数を再現。
- ・今回モデルと既往モデルの理論伝達関数はほぼ同等。



今回モデルの理論伝達関数 (赤) , 既往モデルの理論伝達関数 (青) ,
 及び観測記録による伝達関数 (黒) の比較

(参考) ②はぎとり解析用の地盤モデルの設定

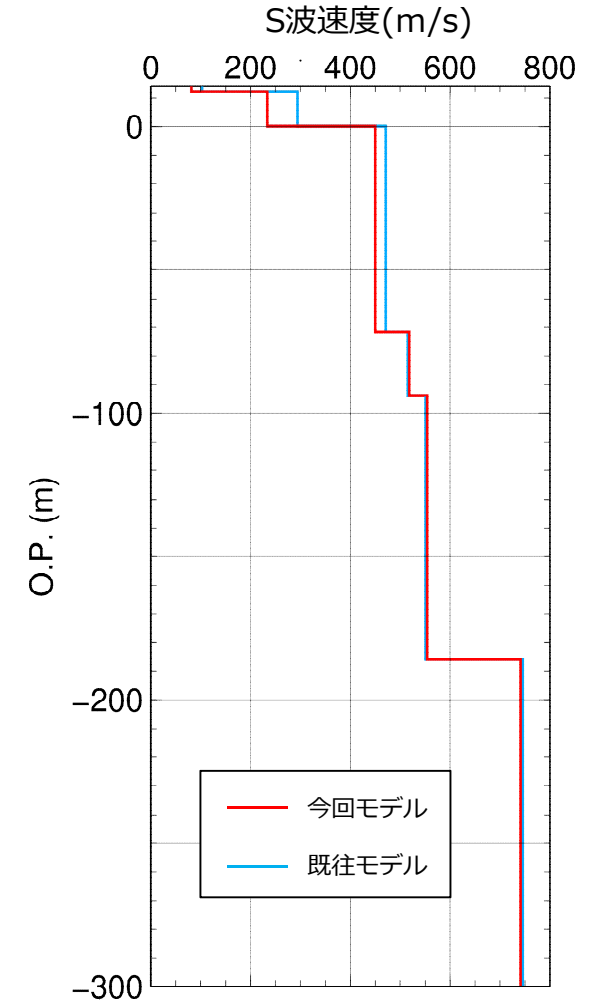
- ・ 同定された今回モデルのS波速度と減衰は既往モデルとほぼ同等。

今回モデル

| O.P. (m) | 層厚 (m) | S波速度 (m/s) | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^a$ | |
|-------------|-----------|---------------|-----------------------------|------|
| | | | h_0 | a |
| +14.2 | | | | |
| | 2.0 | 81 | 0.209 | 0.35 |
| +12.2 | 12.0 | 233 | 0.209 | 0.35 |
| +0.2 | 5.2 | 450 | 0.161 | 0.87 |
| -5.0 | 66.8 | 450 | 0.161 | 0.87 |
| -71.8 | 22.0 | 518 | 0.057 | 0.78 |
| -93.8 | 6.2 | 554 | 0.057 | 0.78 |
| -100.0 | 85.8 | 554 | 0.057 | 0.78 |
| -185.8 | 10.2 | 741 | 0.057 | 0.78 |
| -196.0 | 4.0 | 741 | 0.057 | 0.78 |
| -200.0 | 100.0 | 741 | 0.057 | 0.78 |
| -300.0 | - | 741 | 0.057 | 0.78 |

既往モデル

| O.P. (m) | 層厚 (m) | S波速度 (m/s) | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^a$ | |
|-------------|-----------|---------------|-----------------------------|------|
| | | | h_0 | a |
| +14.2 | | | | |
| | 2.0 | 103 | 1.000 | 0.59 |
| +12.2 | 12.0 | 294 | 0.363 | 0.53 |
| +0.2 | 5.2 | 471 | 0.127 | 1.00 |
| -5.0 | 66.8 | 471 | 0.127 | 1.00 |
| -71.8 | 22.0 | 515 | 0.070 | 0.94 |
| -93.8 | 6.2 | 551 | 0.070 | 0.94 |
| -100.0 | 85.8 | 551 | 0.070 | 0.94 |
| -185.8 | 10.2 | 746 | 0.070 | 0.94 |
| -196.0 | 4.0 | 746 | 0.070 | 0.94 |
| -200.0 | 100.0 | 746 | 0.070 | 0.94 |
| -300.0 | - | 746 | 0.070 | 0.94 |

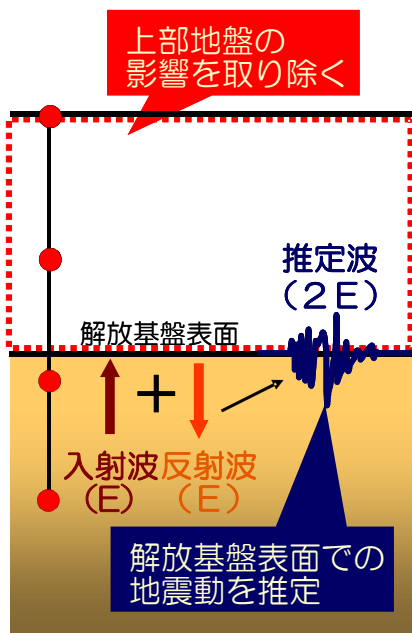


今回モデルと既往モデルのS波速度と減衰の比較

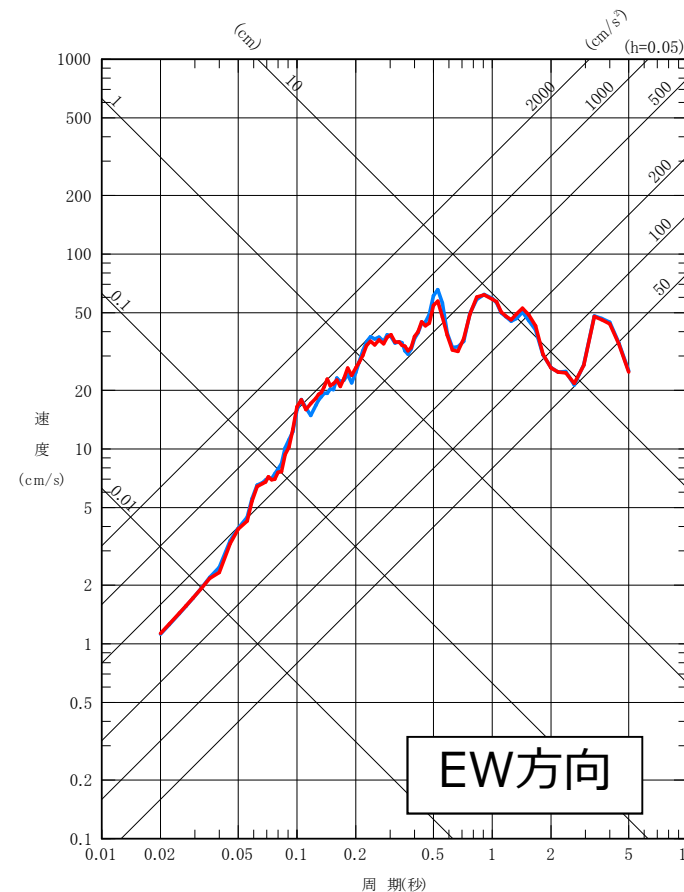
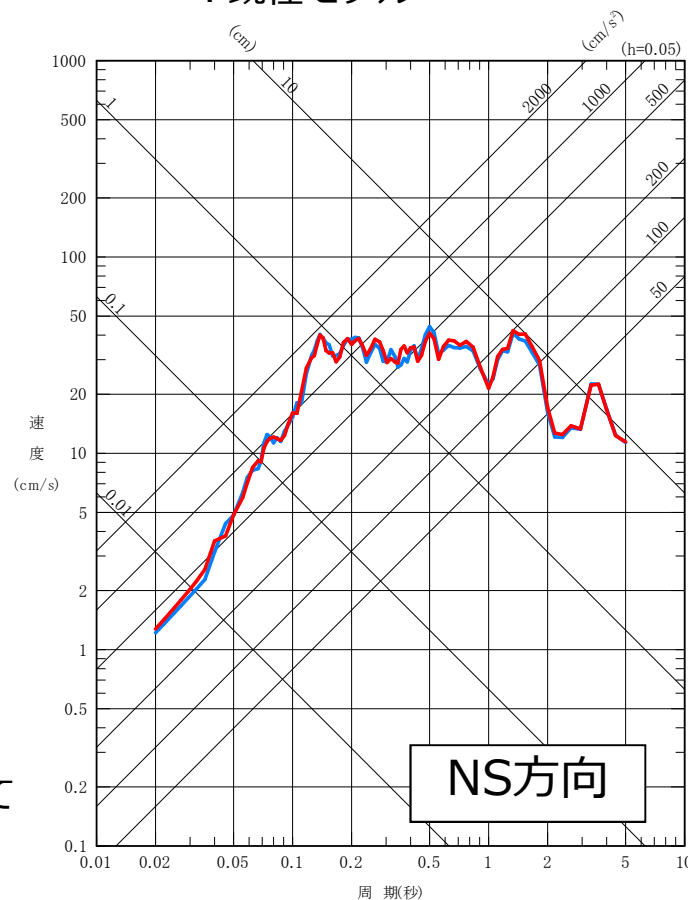
(参考) ②はぎとり解析用の地盤モデルの設定

- 北地点（水平方向）今回モデルによるはぎとり波は既往モデルによるはぎとり波とほぼ同等。

— : 今回モデル
— : 既往モデル



※解放基盤表面（O.P.-196m）に最も近いO.P.-200mの位置に設置されている地震計の記録を用いて、はぎとり波を推定。



今回モデルによるはぎとり波（赤）と既往モデルによるはぎとり波（青）

(参考) ②はざとり解析用の地盤モデルの設定

地盤モデルの設定方針

今回モデルと既往モデルのS波速度・減衰，理論伝達関数，及びはざとり波がほぼ同等となることから，既往モデルを用いることが妥当と考えられる。なお，北地点（水平動）については，今回の記録を用いて適切に地盤同定ができたことから今回モデルを用いる。

北地点（水平方向）今回モデル

| O.P. (m) | 層厚 (m) | 密度 (g/cm ³) | S波速度 (m/s) | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$ | |
|-------------|-----------|----------------------------|---------------|-------------------------------------|----------|
| | | | | h_0 | α |
| +14.2 | | | | | |
| | 2.0 | 1.70 | 81 | 0.209 | 0.35 |
| +12.2 | 12.0 | 1.80 | 233 | 0.209 | 0.35 |
| +0.2 | 5.2 | 1.68 | 450 | 0.161 | 0.87 |
| -5.0 | 66.8 | 1.68 | 450 | 0.161 | 0.87 |
| -71.8 | 22.0 | 1.70 | 518 | 0.057 | 0.78 |
| -93.8 | 6.2 | 1.78 | 554 | 0.057 | 0.78 |
| -100.0 | 85.8 | 1.78 | 554 | 0.057 | 0.78 |
| -185.8 | 10.2 | 1.83 | 741 | 0.057 | 0.78 |
| -196.0 | 4.0 | 1.83 | 741 | 0.057 | 0.78 |
| -200.0 | 100.0 | 1.83 | 741 | 0.057 | 0.78 |
| -300.0 | - | 1.83 | 741 | 0.057 | 0.78 |

北地点（上下方向）既往モデル

| O.P. (m) | 層厚 (m) | 密度 (g/cm ³) | P波速度 (m/s) | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$ | |
|-------------|-----------|----------------------------|---------------|-------------------------------------|----------|
| | | | | h_0 | α |
| +14.2 | | | | | |
| | 2.0 | 1.70 | 1229 | 0.382 | 0.40 |
| +12.2 | 12.0 | 1.80 | 1229 | 0.382 | 0.40 |
| +0.2 | 5.2 | 1.68 | 1803 | 0.582 | 1.00 |
| -5.0 | 66.8 | 1.68 | 1803 | 0.582 | 1.00 |
| -71.8 | 22.0 | 1.70 | 1803 | 0.582 | 1.00 |
| -93.8 | 6.2 | 1.78 | 1879 | 0.266 | 1.00 |
| -100.0 | 85.8 | 1.78 | 1879 | 0.266 | 1.00 |
| -185.8 | 10.2 | 1.83 | 1982 | 0.196 | 1.00 |
| -196.0 | 4.0 | 1.83 | 1982 | 0.196 | 1.00 |
| -200.0 | 100.0 | 1.83 | 1982 | 0.196 | 1.00 |
| -300.0 | - | 1.83 | 1982 | 0.196 | 1.00 |

(参考) ②はぎとり解析用の地盤モデルの設定

南地点（水平方向） 既往モデル

| O.P. (m) | 層厚 (m) | 密度 (g/cm ³) | S波速度 (m/s) | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^a$ | |
|-------------|-----------|----------------------------|---------------|-----------------------------|------|
| | | | | h_0 | a |
| +34.9 | | | | | |
| | 2.0 | 2.10 | 285 | 0.291 | 0.25 |
| +32.9 | 6.0 | 2.10 | 285 | 0.291 | 0.25 |
| +26.9 | 8.0 | 2.00 | 252 | 0.274 | 1.00 |
| +18.9 | 22.0 | 1.73 | 400 | 0.274 | 1.00 |
| -3.1 | 1.9 | 1.73 | 486 | 0.107 | 0.67 |
| -5.0 | 44.1 | 1.73 | 486 | 0.107 | 0.67 |
| -49.1 | 24.0 | 1.80 | 486 | 0.107 | 0.67 |
| -73.1 | 24.0 | 1.80 | 592 | 0.107 | 0.67 |
| -97.1 | 2.9 | 1.77 | 592 | 0.107 | 0.67 |
| -100.0 | 9.1 | 1.77 | 592 | 0.107 | 0.67 |
| -109.1 | 46.0 | 1.77 | 659 | 0.063 | 1.00 |
| -155.1 | 40.0 | 1.76 | 659 | 0.063 | 1.00 |
| -195.1 | 0.9 | 1.76 | 740 | 0.063 | 1.00 |
| -196.0 | 4.0 | 1.76 | 740 | 0.063 | 1.00 |
| -200.0 | 10.1 | 1.76 | 740 | 0.063 | 1.00 |
| -210.1 | 89.9 | 1.81 | 740 | 0.063 | 1.00 |
| -300.0 | - | 1.81 | 740 | 0.063 | 1.00 |

南地点（上下方向） 既往モデル

| O.P. (m) | 層厚 (m) | 密度 (g/cm ³) | P波速度 (m/s) | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^a$ | |
|-------------|-----------|----------------------------|---------------|-----------------------------|------|
| | | | | h_0 | a |
| +34.9 | | | | | |
| | 2.0 | 2.10 | 366 | 0.139 | 0.55 |
| +32.9 | 6.0 | 2.10 | 366 | 0.139 | 0.55 |
| +26.9 | 8.0 | 2.00 | 1042 | 1.000 | 0.71 |
| +18.9 | 22.0 | 1.73 | 1502 | 1.000 | 0.71 |
| -3.1 | 1.9 | 1.73 | 1823 | 0.627 | 1.00 |
| -5.0 | 44.1 | 1.73 | 1823 | 0.627 | 1.00 |
| -49.1 | 24.0 | 1.80 | 1823 | 0.627 | 1.00 |
| -73.1 | 24.0 | 1.80 | 1823 | 0.627 | 1.00 |
| -97.1 | 2.9 | 1.77 | 1823 | 0.627 | 1.00 |
| -100.0 | 9.1 | 1.77 | 1823 | 0.627 | 1.00 |
| -109.1 | 46.0 | 1.77 | 1907 | 0.252 | 1.00 |
| -155.1 | 40.0 | 1.76 | 1907 | 0.252 | 1.00 |
| -195.1 | 0.9 | 1.76 | 2108 | 0.252 | 1.00 |
| -196.0 | 4.0 | 1.76 | 2108 | 0.252 | 1.00 |
| -200.0 | 10.1 | 1.76 | 2108 | 0.252 | 1.00 |
| -210.1 | 89.9 | 1.81 | 2108 | 0.252 | 1.00 |
| -300.0 | - | 1.81 | 2108 | 0.252 | 1.00 |