



# 浜岡原子力発電所 震源を特定せず策定する地震動について (補足説明資料)

2022年11月29日

# 目次

---

- 1 敷地における地震動の増幅特性 .....p.2  
（第1041回審査会合資料2-2-2（敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）
  
- 2 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定 .....p.118  
（第1041回審査会合資料2-2-3（敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ（補足説明資料①））の補足説明資料①-10）

# 1

## 敷地における地震動の増幅特性

---

(第1041回審査会合資料2-2-2 (敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ) の2章)

# 目次

---

2 敷地における地震動の増幅特性（第1041回審査会合資料2-2-2 （敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）	……p.3~
2.1 敷地における地盤増幅特性	……p.5~
2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法	……p.76~
2.3 まとめ	……p.113~

# 概要

## 2.1 敷地における地盤増幅特性

### 【地震観測記録の分析】

- 各号炉周辺における鉛直アレイ観測、敷地全体を対象とした多点連続地震観測及び海底試掘トンネルにおける連続地震観測の記録の分析を行い、地震波到来方向毎の増幅特性を把握。

### 【地下構造調査及び解析検討】

#### 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）

- 屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング・物理検層を実施し、地震基盤面及びそれ以浅（褶曲構造を含む）の速度構造等を確認。
- 地下構造調査結果に基づき、深部三次元地下構造モデルを作成して解析検討を実施。

#### 敷地近傍の地下構造（浅部）

- オフセットVSP探査、バイケーブル探査、反射法地震探査、ボーリング調査・物理検層を実施し、敷地東側にS波低速度層を確認。
- 地下構造調査結果に基づき、S波低速度層を含む浅部三次元地下構造モデルを作成して解析検討を実施。

- 2009年駿河湾の地震における5号炉周辺の増幅要因は、5号炉から北東方向に局所的に分布する深さ数百mの浅部地盤のS波低速度層と分析。
- 敷地における地震動の増幅特性は、S波低速度層による影響の有無によって地震動の増幅特性が異なることにより、特定の地震波到来方向（N30E～N70E）付近のみ短周期の特定の周期帯（フーリエスペクトルの周期0.2～0.5秒）において地震動の顕著な増幅が見られる観測点（5号炉周辺）と、地震動の顕著な増幅が見られない観測点（1～4号炉周辺）とに分かれる。

「地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価」と「地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価」を実施する。

## 2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法

### 【解放基盤表面の設定】

- 敷地の地下構造調査結果等に基づき、標高-14mを解放基盤表面に設定。

### 【地震動評価への反映方法】

#### 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と考慮する領域の設定

- 観測点毎の地震動の顕著な増幅の有無（地震観測記録の分析）に基づき、S波低速度層の分布及び解析に基づく影響範囲（地下構造調査結果の分析）も踏まえて設定。

※ 断層モデルを用いた手法は、統計的グリーン関数法と波数積分法によるハイブリッド合成法を用いる。

#### 地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価

- 平行成層地盤と見なして、地震動評価を行う。
- 地下構造調査結果等に基づき、断層モデルを用いた手法※による地震動評価に用いる一次元地下構造モデルを設定。

#### 地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価

- S波低速度層による三次元的な地下構造の影響を考慮するため、断層モデルを用いた手法を重視し、2009年駿河湾の地震（本震）の観測記録の再現検討により検証した増幅係数を乗じる方法を用いて、地震動の顕著な増幅を反映して地震動評価を行う。

# 目次

2 敷地における地震動の増幅特性（第1041回審査会合資料2-2-2 （敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）	……p.3~
2.1 敷地における地盤増幅特性	……p.5~
2.1.1 敷地における観測・調査	……p.8~
2.1.2 地震観測記録の分析	……p.12~
2.1.3 地下構造調査及び解析検討	……p.32~
2.1.4 まとめ	……p.71~
2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法	……p.76~
2.3 まとめ	……p.113~

## はじめに

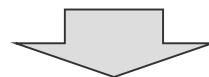
- 2009年8月11日に発生した駿河湾の地震において、浜岡原子力発電所 5号炉周辺の観測記録が他号炉に比べ大きかった。
- このような地震動の増幅に影響を及ぼす地下構造の不整形性や地盤増幅特性等を検討するため、浜岡原子力発電所では、以下に示す地震観測及び地下構造調査を実施している。

### <地震観測>

- ・鉛直アレイ観測
- ・敷地全体を対象とした多点連続地震観測
- ・海底試掘トンネルにおける連続地震観測

### <地下構造調査>

- ・敷地周辺の地下構造調査（深部からやや浅部の地盤を対象）  
：屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層
- ・敷地近傍の地下構造調査（浅部地盤を対象）  
：オフセットVSP探査、バイケーブル探査、反射法地震探査、ボーリング調査・物理検層

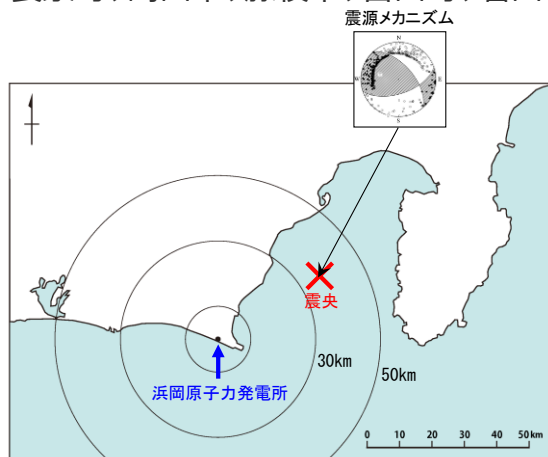


- 地震観測記録及び地下構造調査結果の分析を行い、2009年駿河湾の地震において5号炉周辺の観測記録が他号炉に比べ大きかった主要因（5号炉周辺の増幅要因）や地盤増幅特性等を把握し、敷地における地震動の増幅特性及びそれを踏まえた地震動評価への反映方法について検討する。

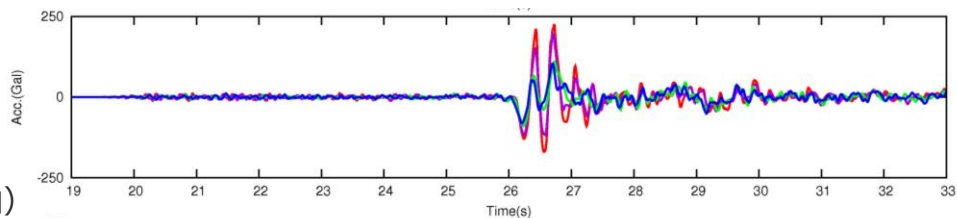
## <2.1 敷地における地盤増幅特性> 2009年駿河湾の地震

○2009年8月11日に発生した駿河湾の地震において、浜岡原子力発電所 5号炉周辺の観測記録が他号炉に比べ大きかった。

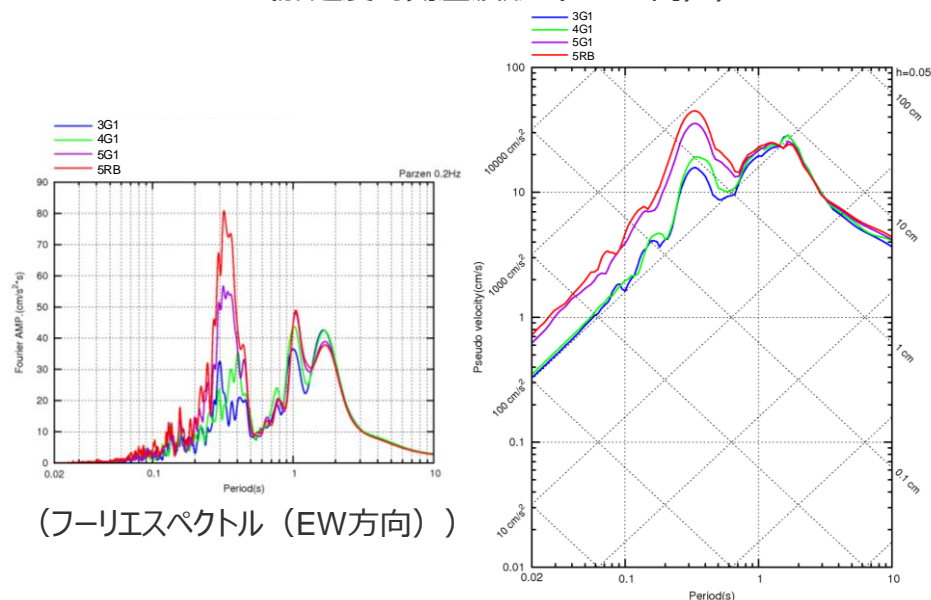
- ・発生日時：2009年8月11日5時7分
- ・地震諸元
  - 地震規模：M6.5
  - 震央位置：北緯34度47.1分，東経138度29.9分
  - 震源深さ：23km
  - 発震機構：横ずれ成分を持つ逆断層（圧力軸は北北東－南南西方向）
- ・浜岡原子力発電所との距離
  - 震央距離：37.0km
  - 震源距離：43.5km
- ・各地の震度
  - 震度 6 弱：伊豆市、焼津市、牧之原市、御前崎市
  - 震度 5 強：東伊豆町、松崎町、西伊豆町、伊豆の国市、富士宮市、静岡駿河区、静岡葵区、静岡清水区、袋井市、菊川市
  - 震度 5 弱：泰阜村、下田市、河津町、南伊豆町、函南町、沼津市、長泉町、島田市、藤枝市、吉田町、磐田市、掛川市



<2009年駿河湾の地震（本震）の震央位置及び震源メカニズム>



(加速度時刻歴波形 (EW方向))



(フーリエスペクトル (EW方向))

(応答スペクトル (EW方向))

<2009年駿河湾の地震（本震）の観測記録>  
(3G1, 4G1, 5G1, 5RB (G.L.-100m)、3～5号炉PN基準)

- ・3～5号炉観測点 (3G1, 4G1, 5G1, 5RB観測点) の配置は、p.13参照。
- ・Mjについて、以降Mと省略して記載する箇所あり。



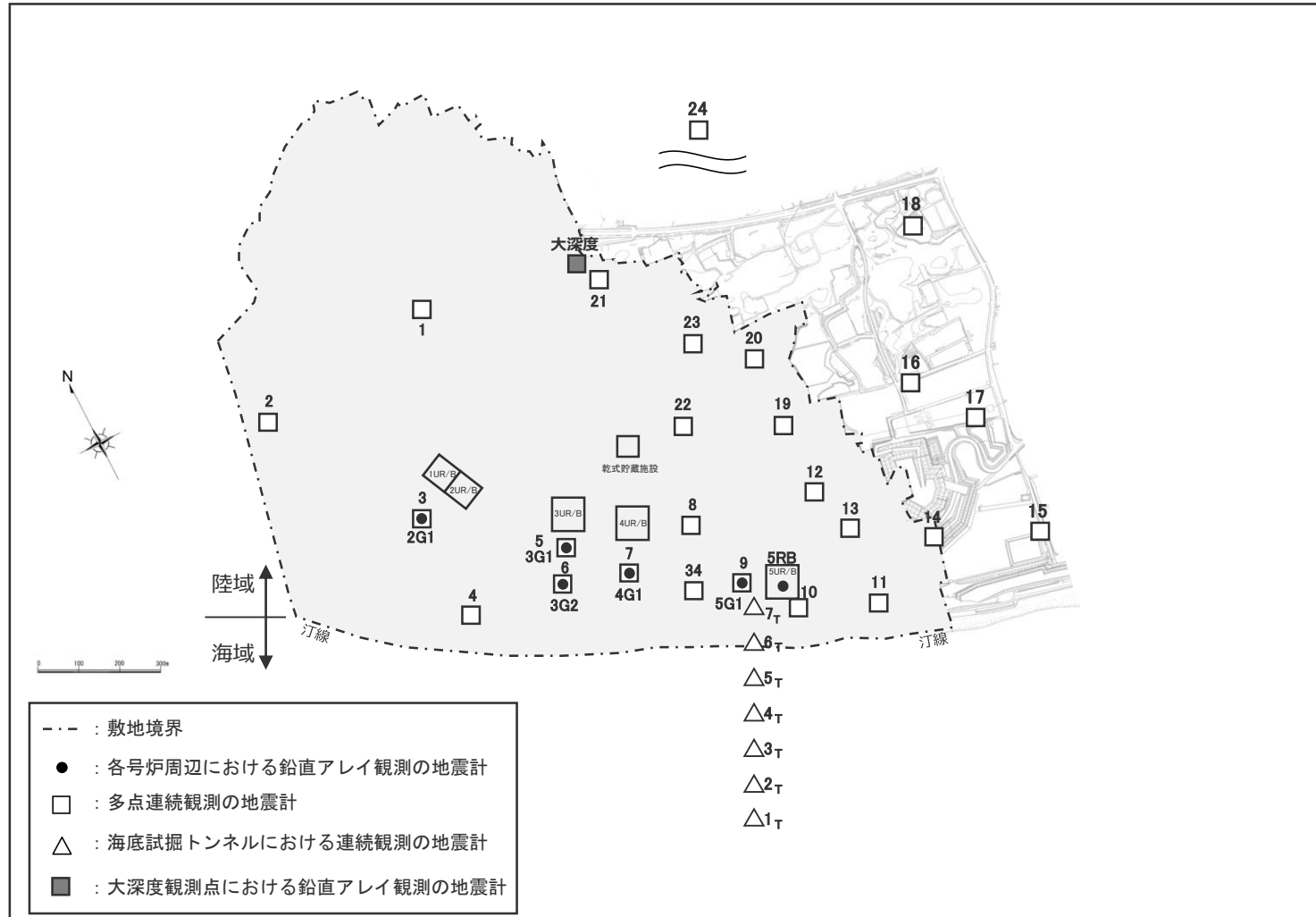
# 目次

---

2 敷地における地震動の増幅特性（第1041回審査会合資料2-2-2 （敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）	……p.3~
2.1 敷地における地盤増幅特性	……p.5~
2.1.1 敷地における観測・調査	……p.8~
2.1.2 地震観測記録の分析	……p.12~
2.1.3 地下構造調査及び解析検討	……p.32~
2.1.4 まとめ	……p.71~
2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法	……p.76~
2.3 まとめ	……p.113~

## <2.1.1 敷地における観測・調査> 敷地における地震観測

○浜岡原子力発電所では、各号炉周辺における鉛直アレイ観測、敷地全体を対象とした多点連続地震観測及び海底試掘トンネルにおける連続地震観測を行っている。また、大深度観測点における鉛直アレイ観測も行っている。



# <2.1.1 敷地における観測・調査> 敷地における地下構造調査 (敷地周辺 (深部からやや浅部))

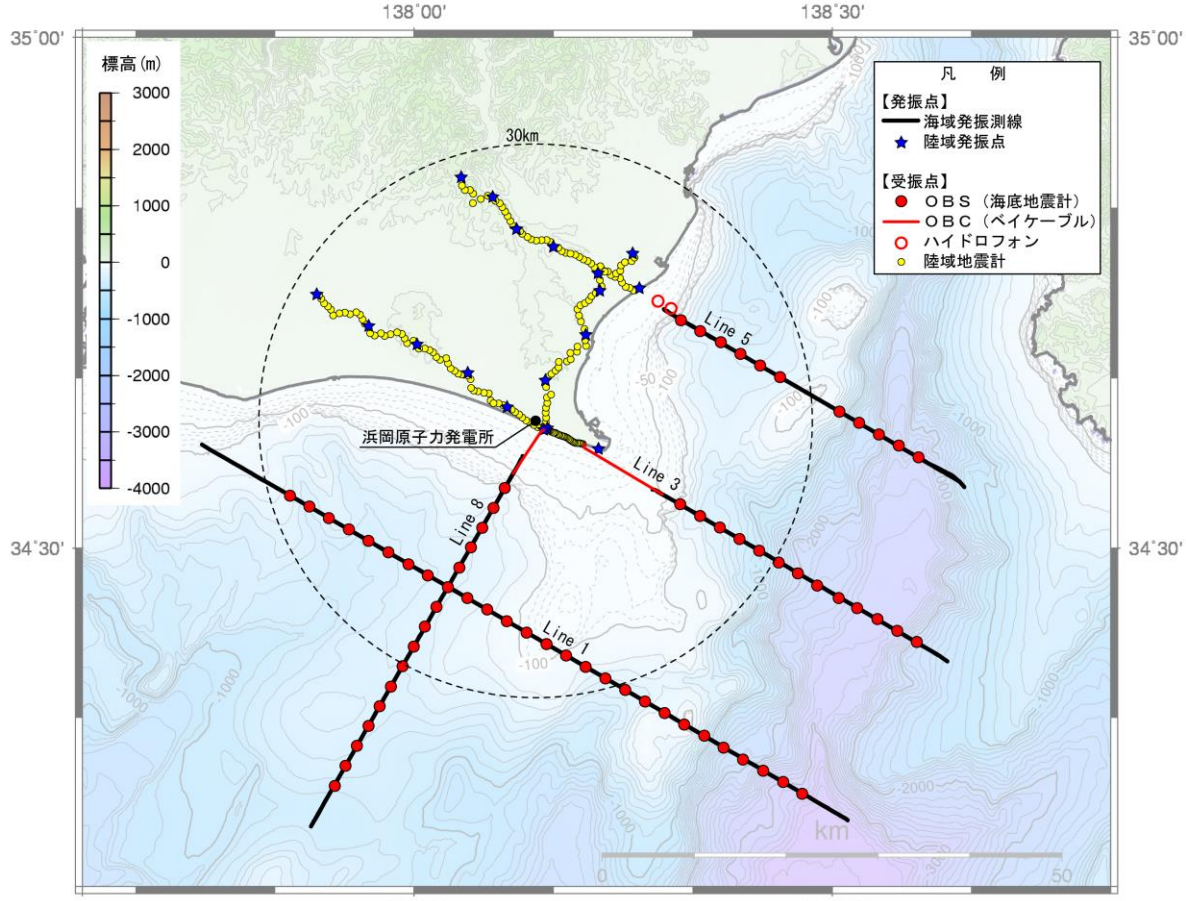
○浜岡原子力発電所では、敷地周辺の深部からやや浅部の地盤の速度構造の把握を目的に、速度構造調査として屈折法地震探査を実施するとともに、地質構造調査として大深度ボーリング調査・物理検層、反射法地震探査を実施している。

・敷地周辺の地下構造 (深部からやや浅部) の調査の仕様及び調査結果の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-03参照。

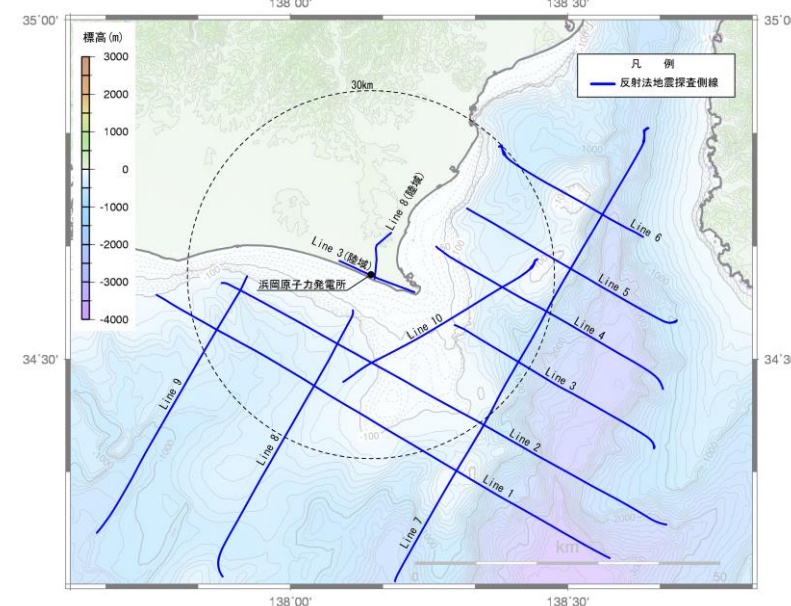


(国土地理院1:25,000地形図に各号炉位置、敷地周辺で実施した地下構造調査の位置を加筆)

## <大深度ボーリング調査・物理検層位置図>



<屈折法地震探査測線図>

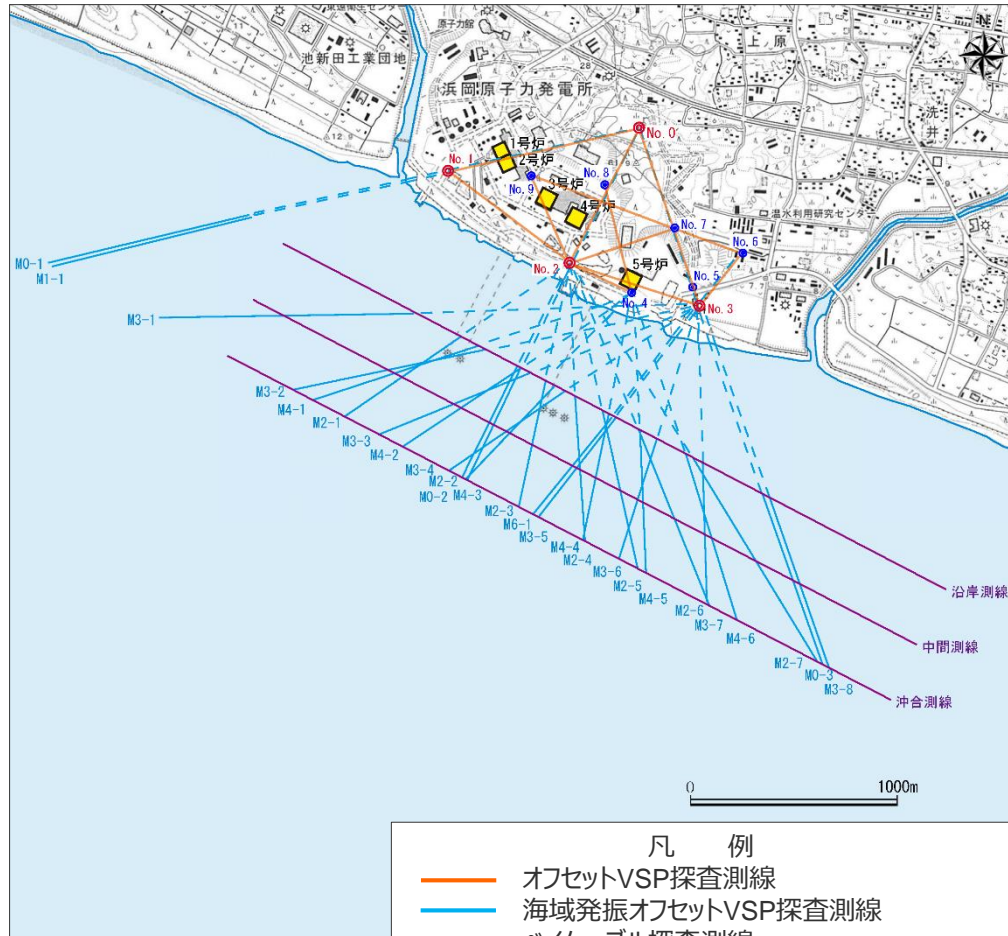


<反射法地震探査測線図>

# <2.1.1 敷地における観測・調査> 敷地における地下構造調査 (敷地近傍 (浅部))

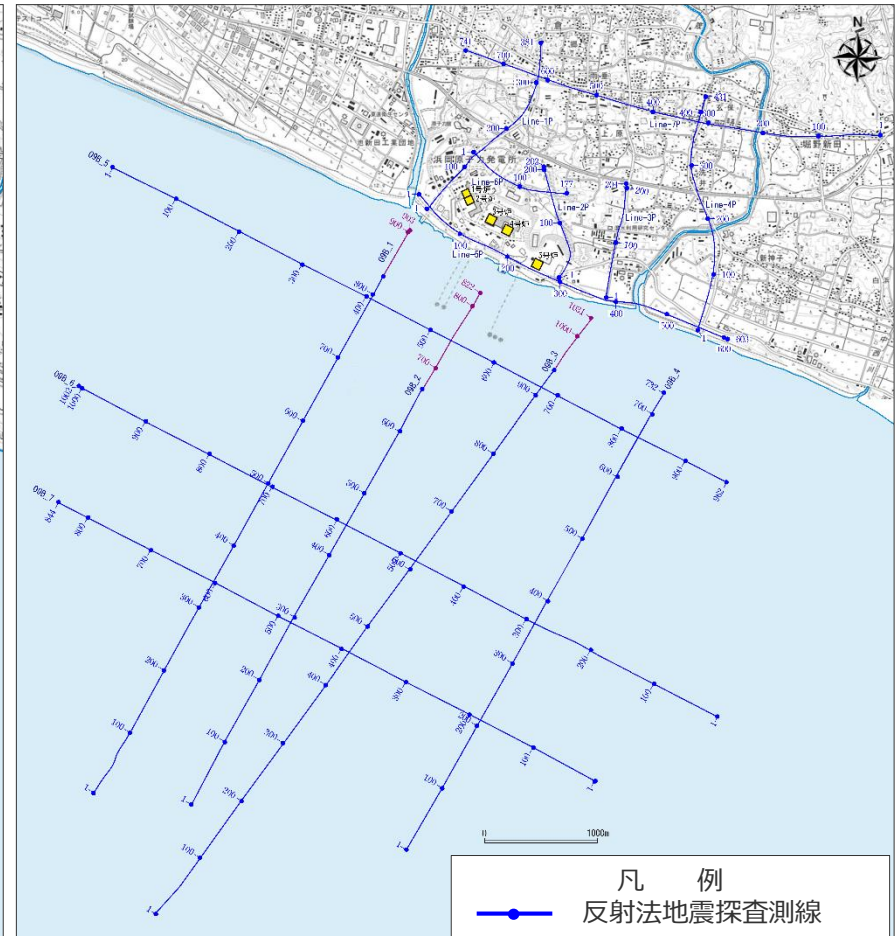
○ 浜岡原子力発電所では、敷地近傍の浅部地盤のS波速度構造の把握を目的に、速度構造調査として複数の測線でオフセットVSP探査、海域発振オフセットVSP探査、ベイケーブル探査を実施し、地質構造調査として反射法地震探査、ボーリング調査・物理検層を実施している。

・ 敷地近傍の地下構造 (浅部) の調査の仕様及び調査結果の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-04参照。



- 凡 例
- オフセットVSP探査測線
  - 海域発振オフセットVSP探査測線
  - ベイケーブル探査測線
  - 大深度ボーリング調査 (深度500~700m)
  - ◎ 大深度ボーリング調査 (深度1500m)

(国土地理院1:25,000地形図に各号炉位置、敷地近傍で実施した地下構造調査の位置を加筆)



- 凡 例
- 反射法地震探査測線
  - //
  - (ベイケーブル使用区間)

(国土地理院1:25,000地形図に各号炉位置、敷地近傍で実施した地下構造調査の位置を加筆)

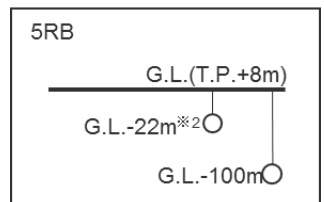
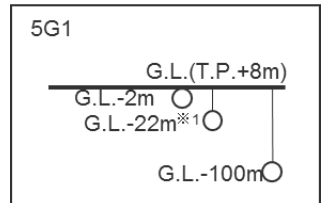
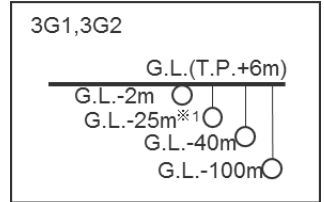
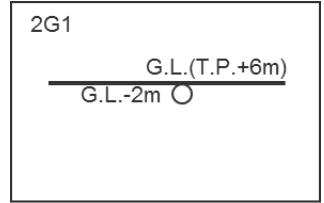
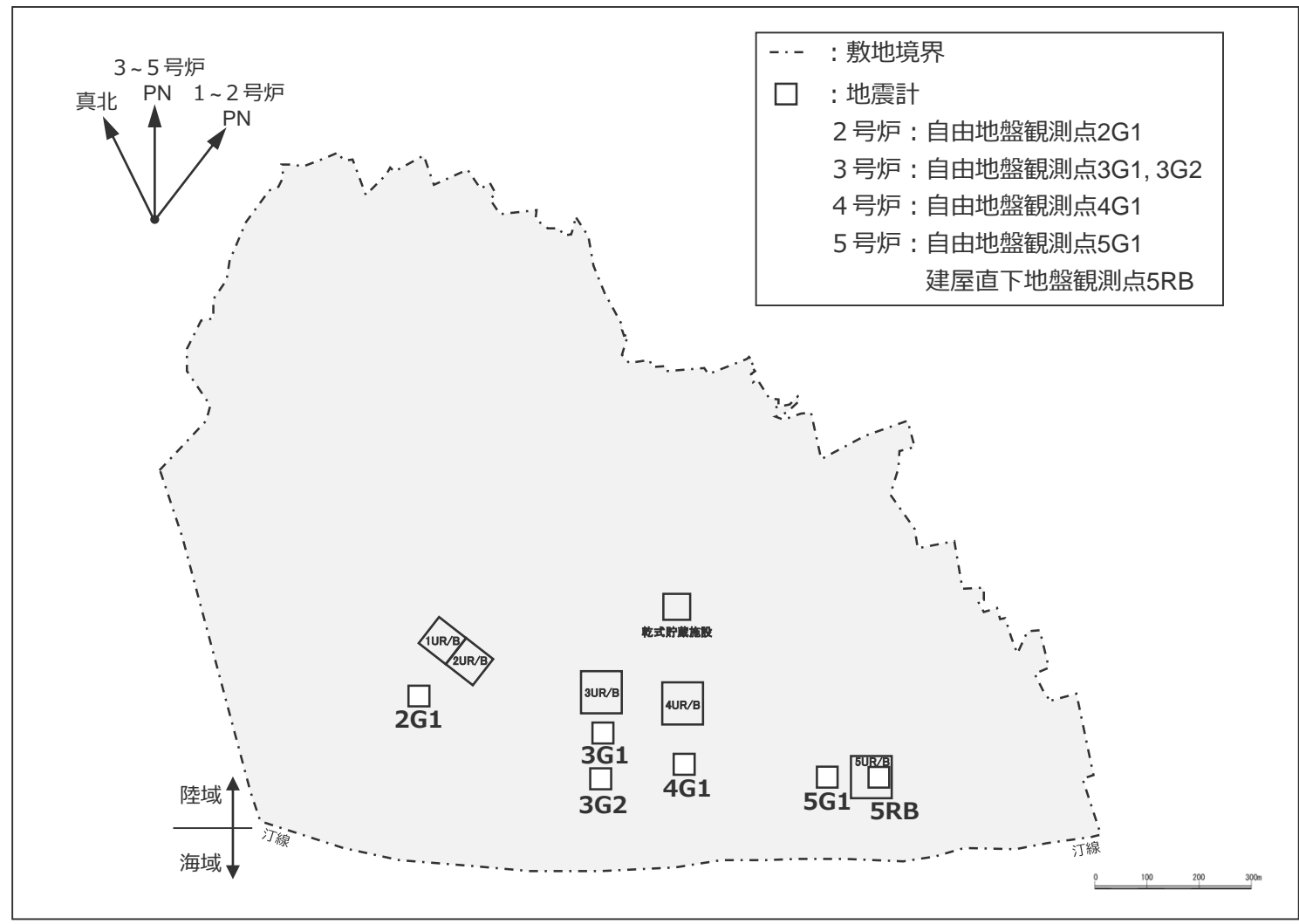
# 目次

---

2 敷地における地震動の増幅特性（第1041回審査会合資料2-2-2 （敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）	……p.3~
2.1 敷地における地盤増幅特性	……p.5~
2.1.1 敷地における観測・調査	……p.8~
2.1.2 地震観測記録の分析	……p.12~
2.1.3 地下構造調査及び解析検討	……p.32~
2.1.4 まとめ	……p.71~
2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法	……p.76~
2.3 まとめ	……p.113~

# <2.1.2 地震観測記録の分析> 各号炉周辺における鉛直アレイ観測 (地震計の配置)

○敷地では、各号炉周辺において鉛直アレイ観測（サーボ型加速度計）を自由地盤及び建屋直下地盤で行っている。



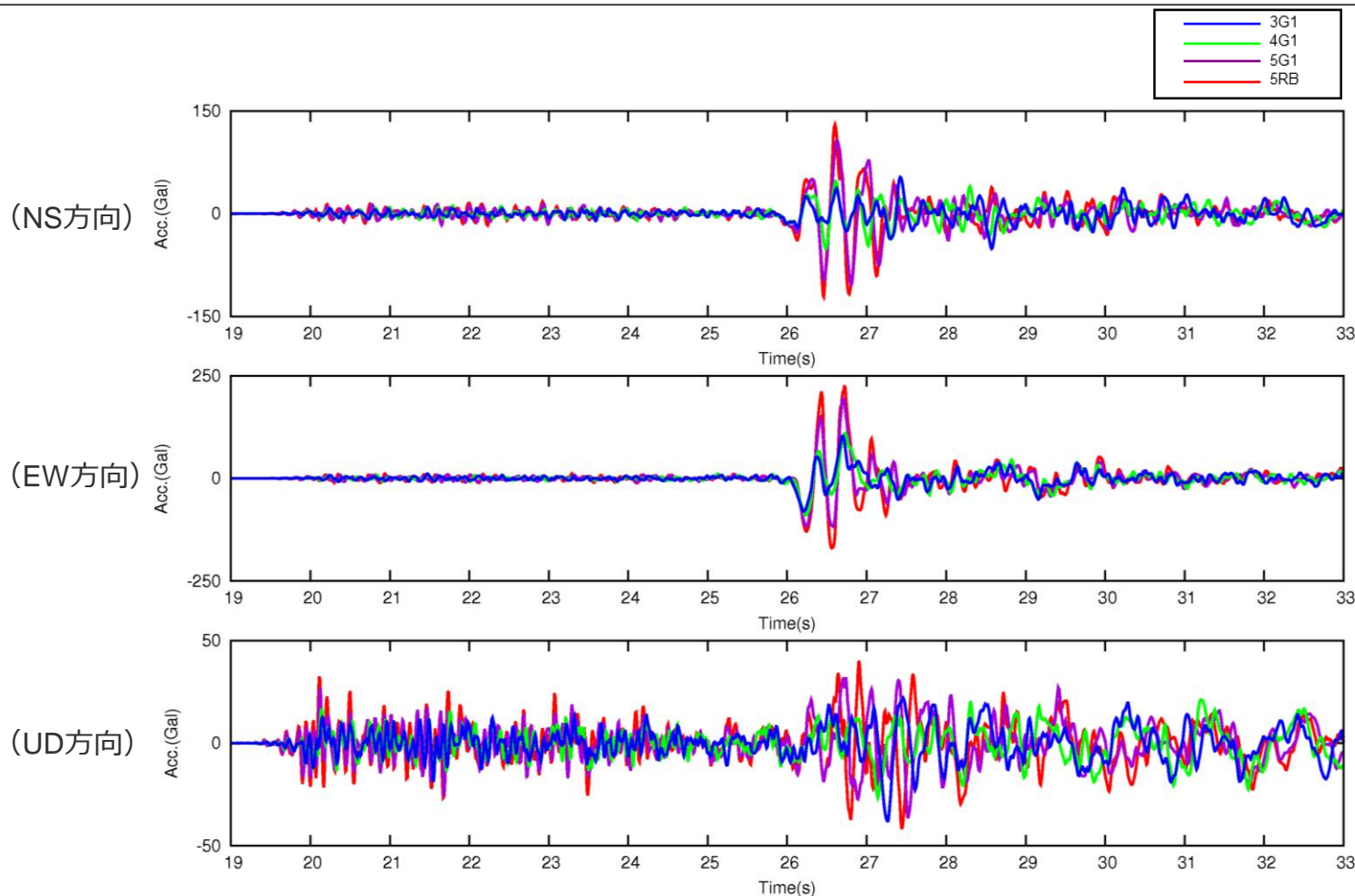
※1 解放基盤表面付近、※2 5号炉基礎スラブ底面

<2.1.2 地震観測記録の分析>

# 各号炉周辺における鉛直アレイ観測

## (2009年駿河湾の地震 (本震) の加速度時刻歴波形)

○ 5号炉周辺の顕著な増幅はS波主要動部のみに見られ、このS波主要動部では、若干の位相遅れを伴い、一波目より二波目以降でより増幅が大きい。



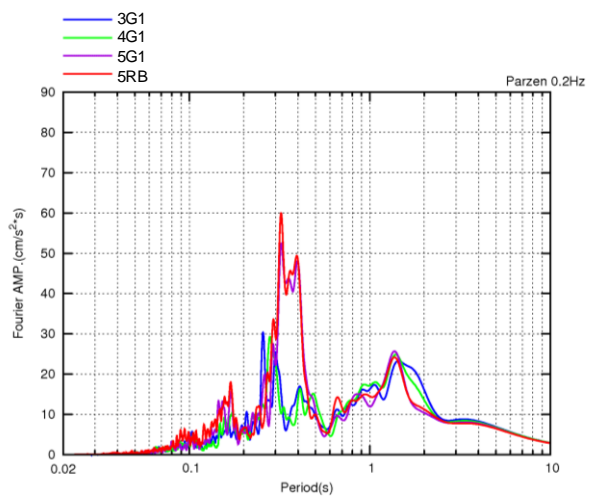
<2009年駿河湾の地震 (本震) の加速度時刻歴波形>  
(3G1, 4G1, 5G1, 5RB (G.L.-100m) 、3～5号炉PN基準)

<2.1.2 地震観測記録の分析>

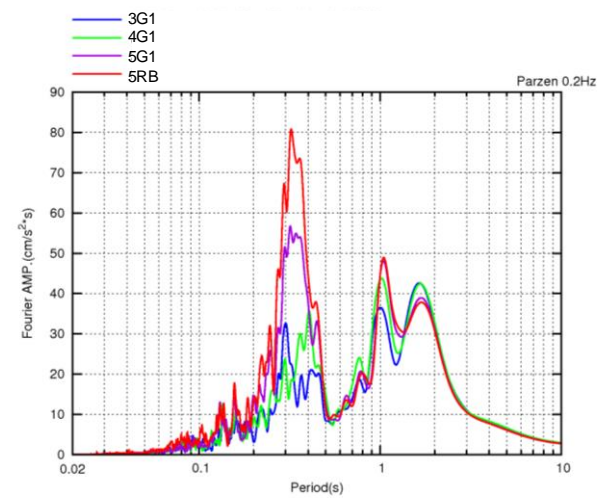
# 各号炉周辺における鉛直アレイ観測

## (2009年駿河湾の地震 (本震) の加速度フーリエスペクトル)

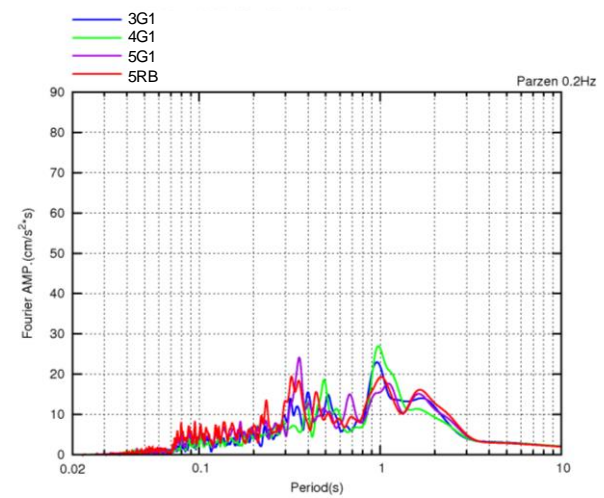
○ 5号炉周辺の顕著な増幅は、周期0.2~0.5秒付近の狭帯域に見られ、これ以外の周期帯には見られない。



(NS方向)



(EW方向)



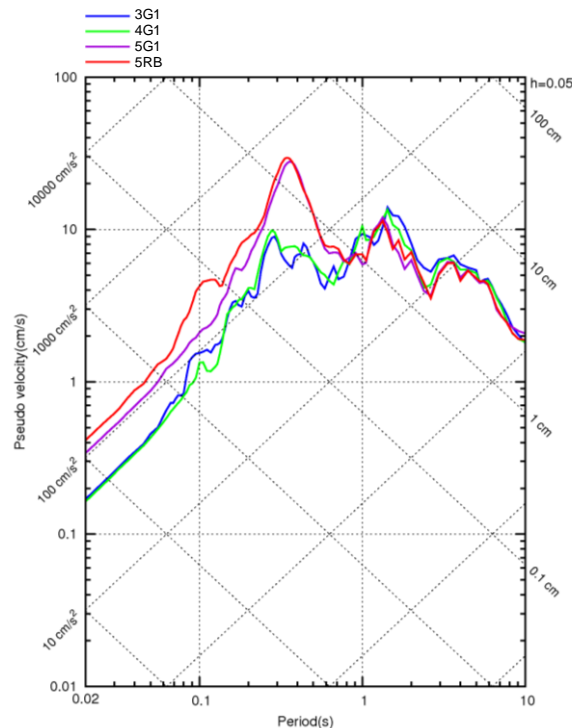
(UD方向)

<2009年駿河湾の地震 (本震) の加速度フーリエスペクトル>  
(3G1, 4G1, 5G1, 5RB (G.L.-100m) 、3~5号炉PN基準)

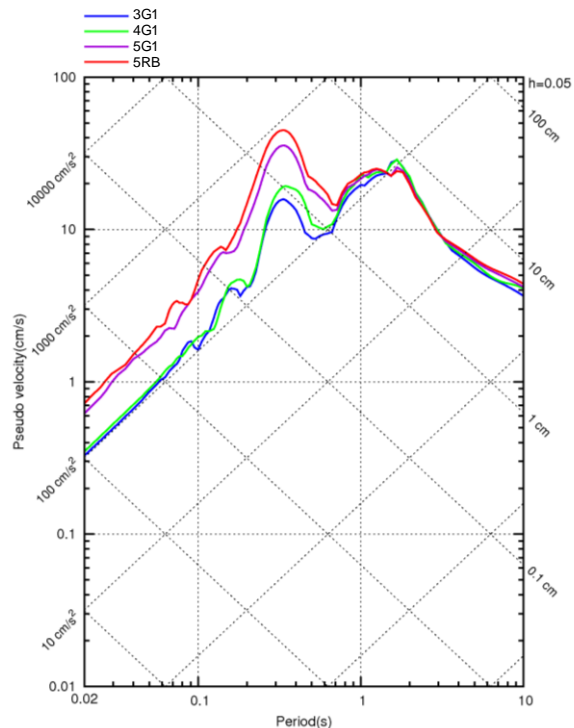


<2.1.2 地震観測記録の分析>  
各号炉周辺における鉛直アレイ観測  
(2009年駿河湾の地震 (本震) の応答スペクトル)

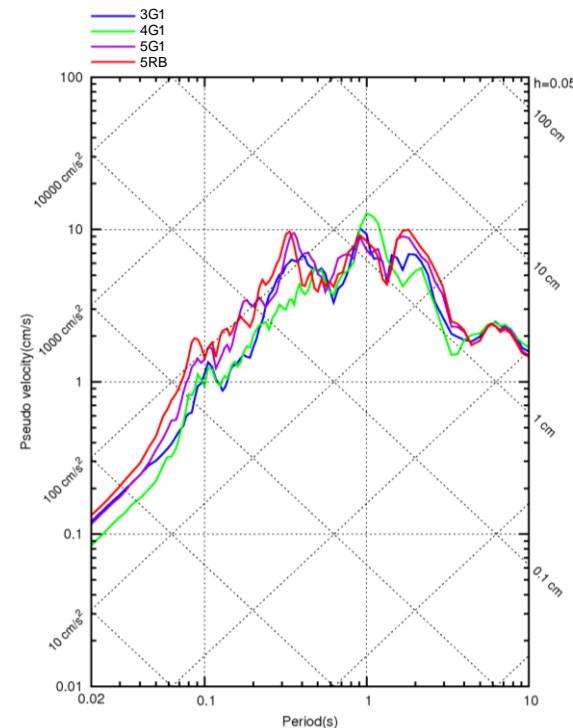
○ 5号炉周辺の顕著な増幅は、周期0.5秒以下の短周期側に見られ、周期0.5秒以上には見られない。



(NS方向)



(EW方向)



(UD方向)

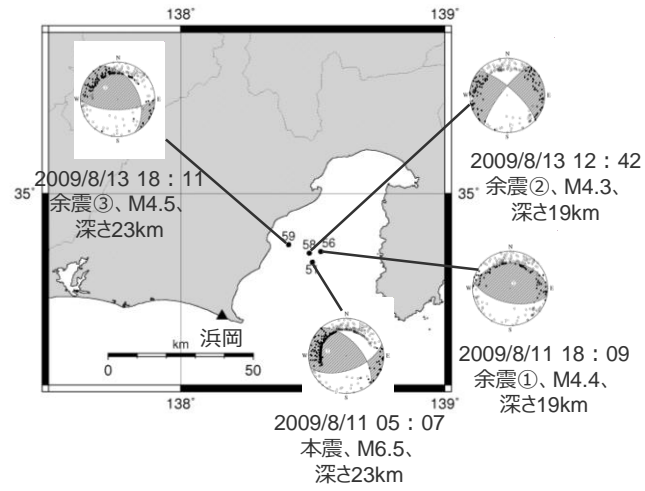
<2009年駿河湾の地震 (本震) の応答スペクトル>  
(3G1, 4G1, 5G1, 5RB (G.L.-100m) 、3~5号炉PN基準)

<2.1.2 地震観測記録の分析>

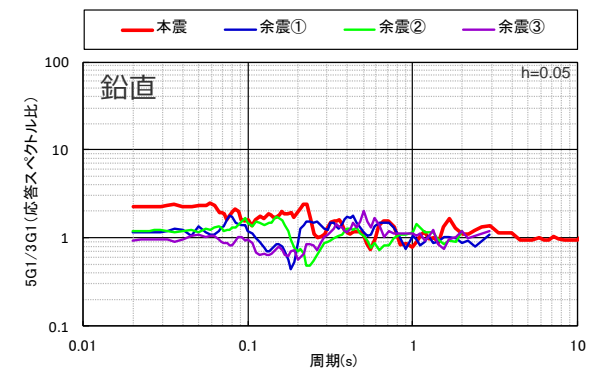
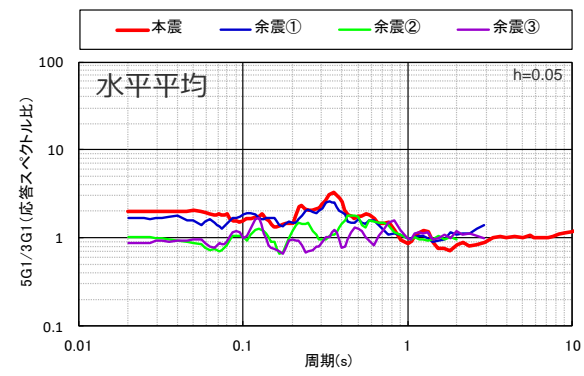
各号炉周辺における鉛直アレイ観測

(2009年駿河湾の地震 (本震及び余震) の応答スペクトル比 (はぎとり波) )

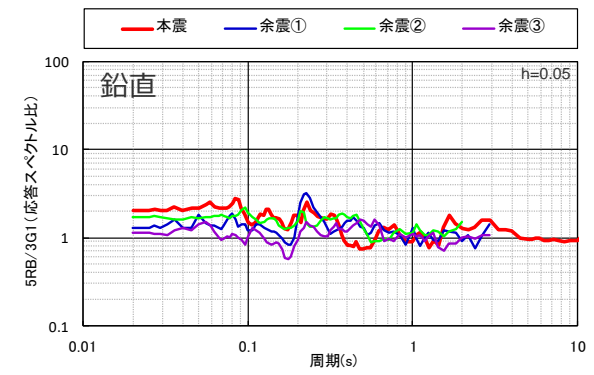
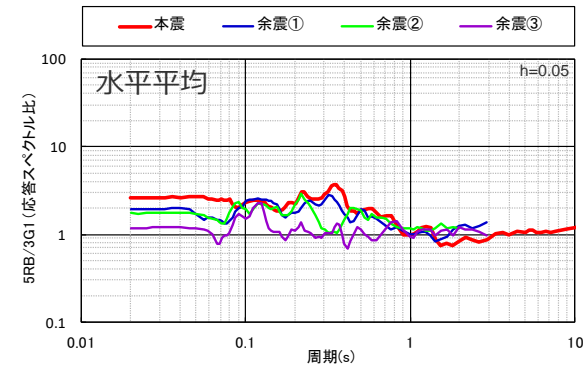
○2009年駿河湾の地震の本震及び3つの余震について、3号炉 (3G1) に対する5号炉 (5G1,5RB) の応答スペクトル比 (はぎとり波) によると、本震の震源位置からやや離れた余震③を除き、本震及び余震①・余震②では5号炉周辺の顕著な増幅が見られており、応答スペクトル比の比率は本震が最も大きい。



<2009年駿河湾の地震の本震及び余震の震央位置・震源メカニズム>  
(震央位置・震源メカニズムは気象庁HPの地震月報(カタログ編)による)



(3G1に対する5G1の応答スペクトル比)



(3G1に対する5RBの応答スペクトル比)

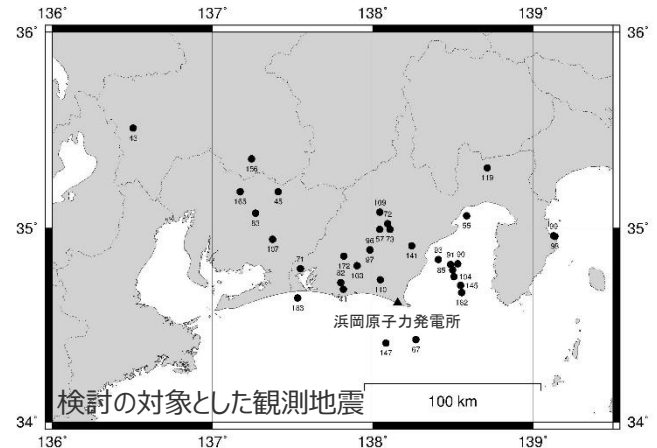
<3号炉 (3G1) に対する5号炉 (5G1,5RB) の応答スペクトル比>  
(観測記録 : はぎとり波)

# <2.1.2 地震観測記録の分析> 各号炉周辺における鉛直アレイ観測

(3～5号炉の観測点における地震波到来方向毎の地盤増幅特性)

- 地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討するため、3号炉（3G1）を基準として、4号炉（4G1）、5号炉（5G1, 5RB）の最大加速度比、周期別SI値比を算定。
- ⇒ **3号炉（3G1）に対する4号炉（4G1）の比率は、いずれの地震波到来方向も1程度**である。
- ⇒ **3号炉（3G1）に対する5号炉（5G1, 5RB）の比率は、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近では大きい**が、それ以外の地震波到来方向では**1程度**である。

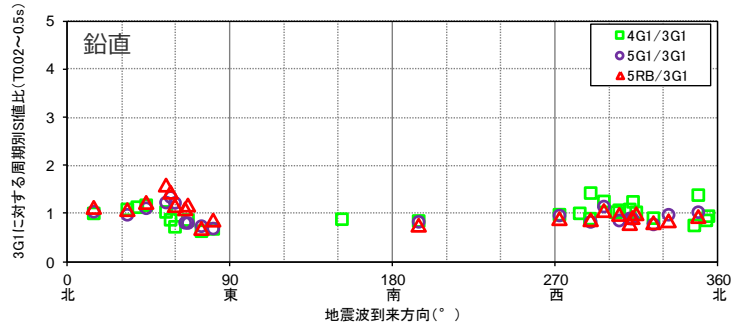
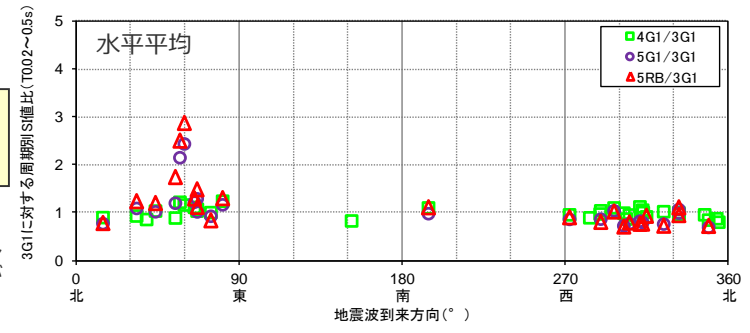
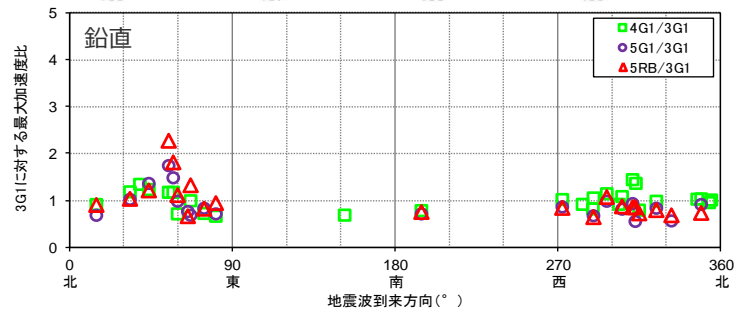
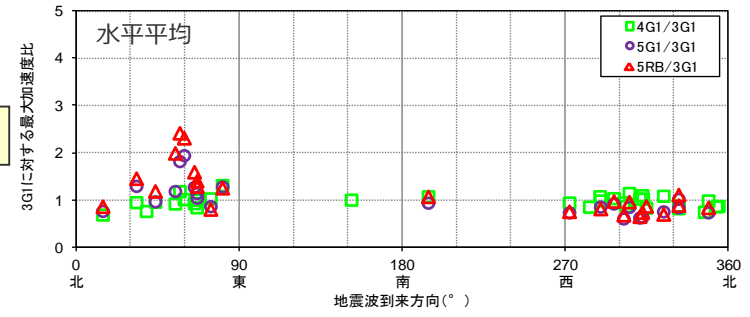
・検討の対象とした記録の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3.補足説明資料①-01参照。



最大加速度比



周期別SI値比  
(周期0.02～0.5秒※)



※2009年駿河湾の地震の応答スペクトルにおいて5号炉周辺の顕著な増幅が見られた周期帯

<地震波到来方向毎の最大加速度比、周期別SI値比（4G1/3G1, 5G1/3G1, 5RB/3G1(G.L.-100m）>  
(検討対象記録の観測分析期間：1992年7月21日～2013年8月3日)

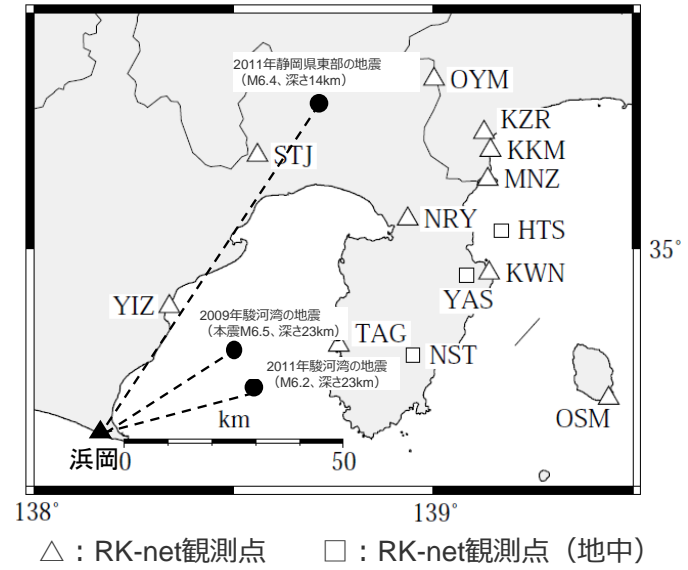
# <2.1.2 地震観測記録の分析> 各号炉周辺における鉛直アレイ観測 (周辺観測点の地盤増幅特性との関係)

○鉛直アレイ観測点と周辺観測点の地盤増幅特性の関係を検討するため、比較的規模が大きい地震を対象として、露頭岩盤上強震観測システム (RK-net) 観測点及び鉛直アレイ観測点について、地震観測記録と Noda et al.(2002)の方法による応答スペクトルの比を算出。

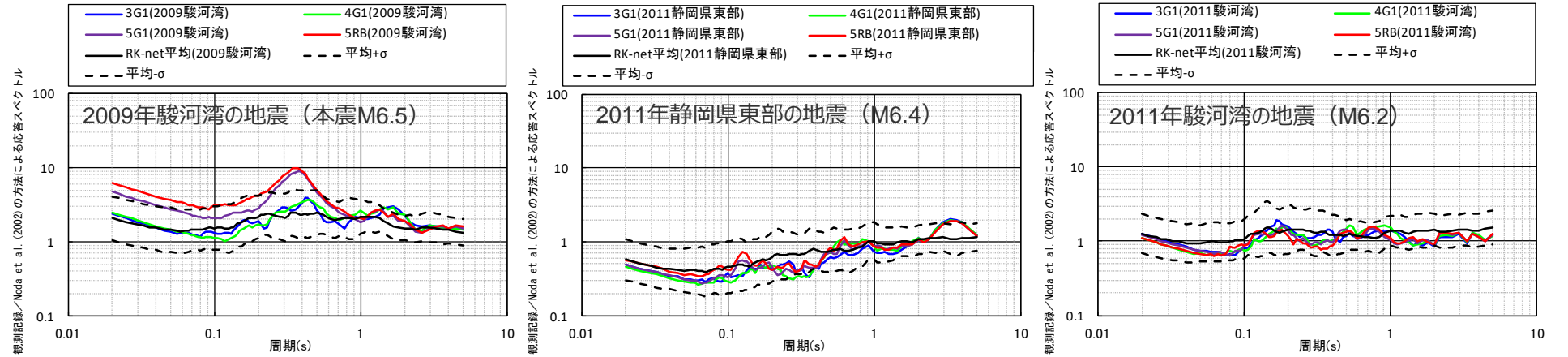
⇒ **2009年駿河湾の地震 (本震M6.5)** では、**5号炉 (5G1, 5RB)** の応答スペクトル比はRK-net観測点の平均レベルより顕著に大きく、**3号炉 (3G1)**、**4号炉 (4G1)** の応答スペクトル比はRK-net観測点の平均レベルと同程度である。

⇒ **2011年静岡県東部の地震 (M6.4)** 及び**2011年駿河湾の地震 (M6.2)** では、**3号炉 (3G1)**、**4号炉 (4G1)**、**5号炉 (5G1, 5RB)** の応答スペクトル比はいずれもRK-net観測点の平均レベルと同程度である。

・RK-net観測点については露頭岩盤上の観測記録を、鉛直アレイ観測点については推定したはざとり波を検討に用いる。



<RK-net観測点及び検討の対象とした観測地震>



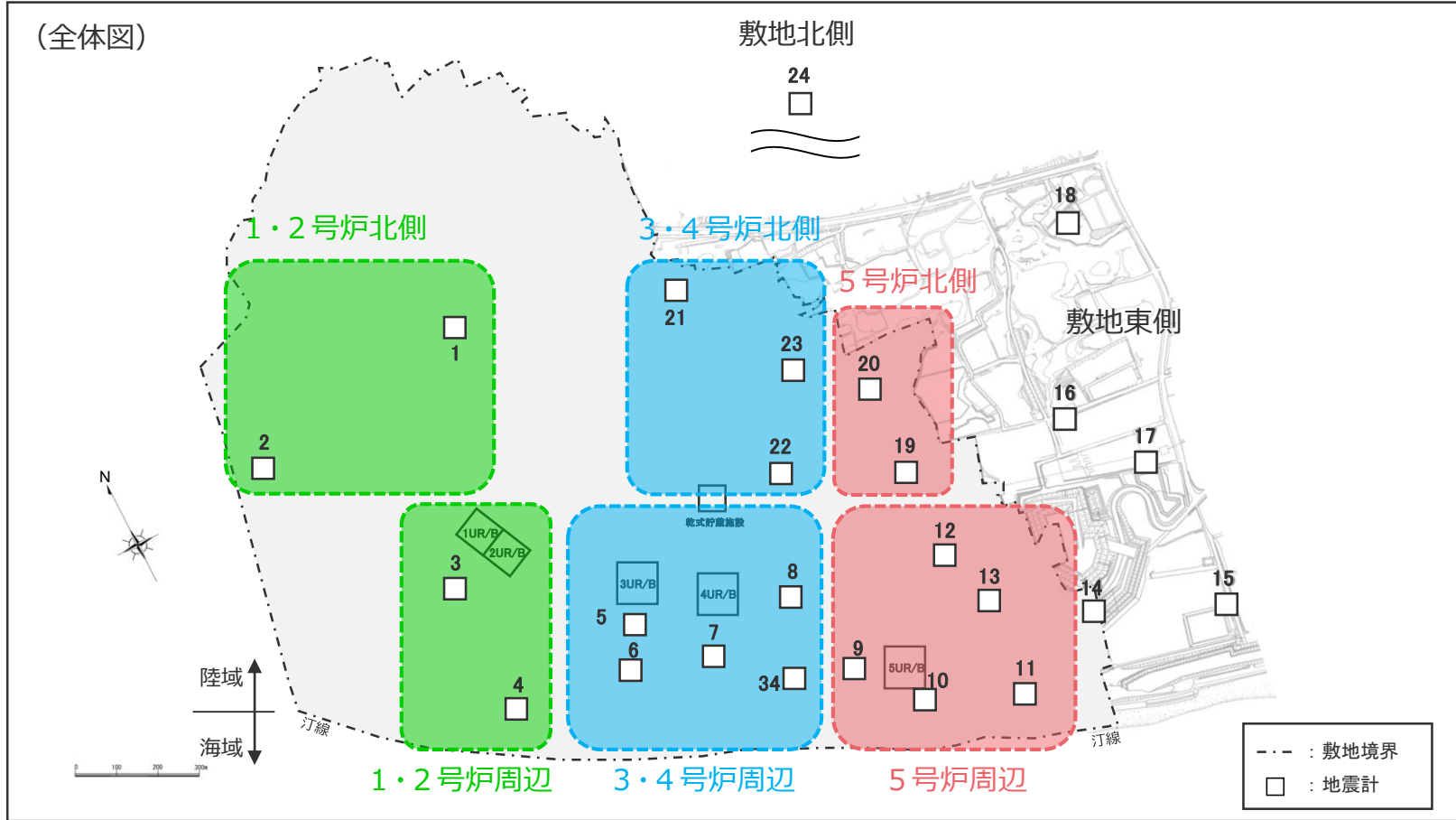
<地震観測記録とNoda et al.(2002)の方法による応答スペクトルの比 (水平平均) >

<2.1.2 地震観測記録の分析>

# 敷地全体を対象とした多点連続地震観測

(敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性の分析)

○敷地の地表に地震計（2Hz速度計）を多数設置して連続地震観測を行い、地盤増幅特性を分析する。



<多点連続地震観測の地震計配置>  
(観測分析期間：2009年9月20日～2014年7月26日)

- 各観測点におけるはざとり解析のための表層地盤の推定は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-02参照。
- 追加観測による4号炉周辺と5号炉周辺の間の領域の地盤増幅特性の分析は、p.24参照。

<2.1.2 地震観測記録の分析>

敷地全体を対象とした多点連続地震観測

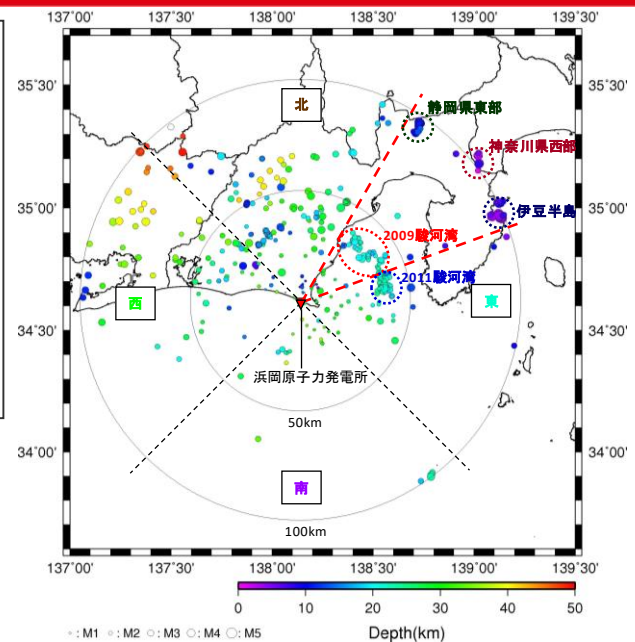
(敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性の分析)

○地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討するため、地震波到来方向毎に地震をグルーピングして、各観測点の振幅比 (No.7基準) を算出。

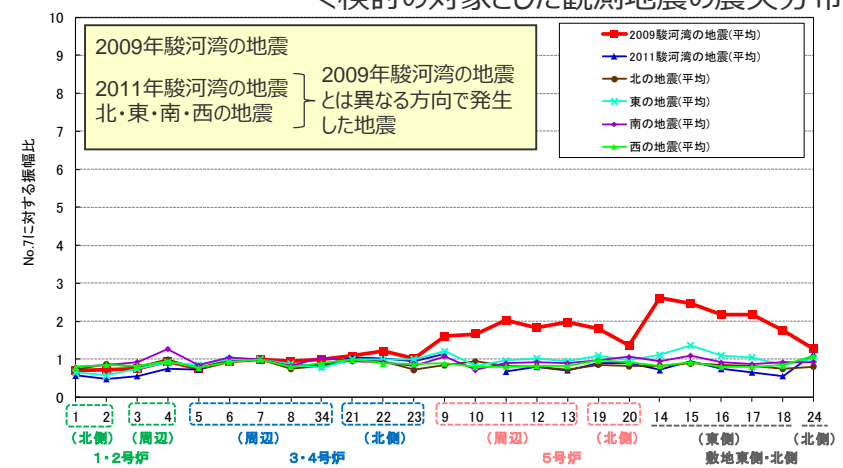
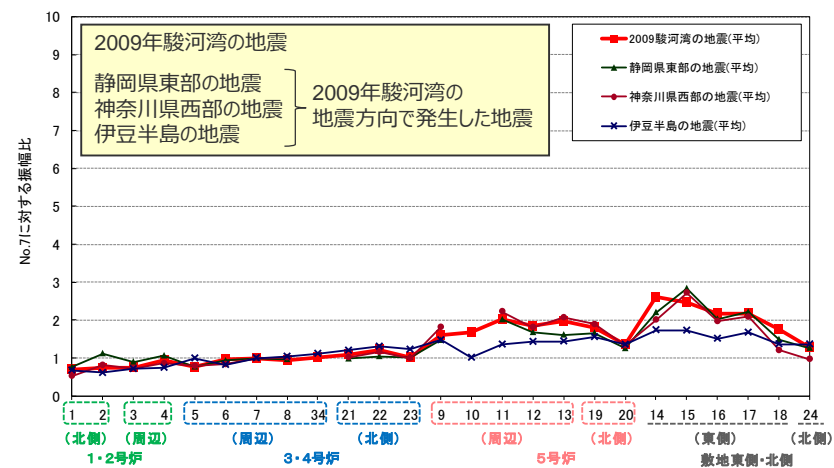
⇒ 5号炉周辺及び敷地東側の観測点では、2009年駿河湾の地震のグループ及びその遠方で発生した地震のグループの振幅比は大きいですが、その他の地震のグループの振幅比は1程度であり、振幅比が最も大きい地震のグループは2009年駿河湾の地震のグループである。

⇒ 1～4号炉周辺を含むその他の観測点では、いずれの地震のグループにおいても振幅比が1程度である。

- ・自然地震のフーリエスペクトル比、微動アレイ探査の分散曲線及びボーリングデータを用いて表層地盤を推定し、地表で得られた観測記録からはざと波を推定する。
- ・推定したざと波について、No.7に対する各観測点の振幅比を算出し、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討する。
- ・振幅比の算出は、ざと波に対し2009年駿河湾の地震で5号炉周辺の顕著な増幅が見られた周期0.2～0.5秒のバンドパスフィルターを施し、時刻歴波形のS波主要動部付近の最大値 (水平2方向の平均値) を対象とする。



<検討の対象とした観測地震の震央分布>



<各地震グループにおける各観測点の振幅比 (No.7基準) (水平平均) > (観測分析期間：2009年9月20日～2014年7月26日)

<2.1.2 地震観測記録の分析>

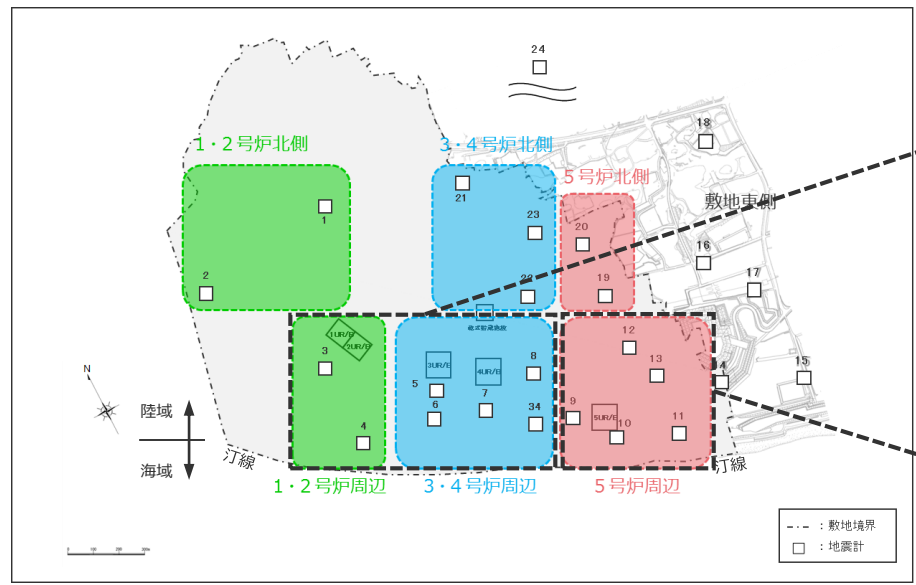
# 敷地全体を対象とした多点連続地震観測

(敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性の分析)

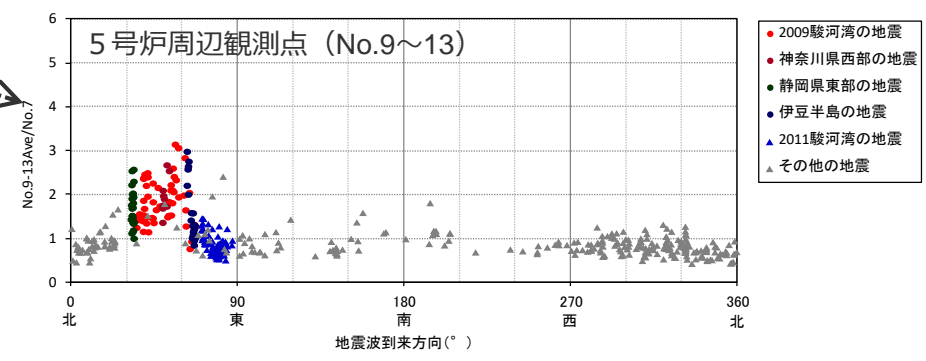
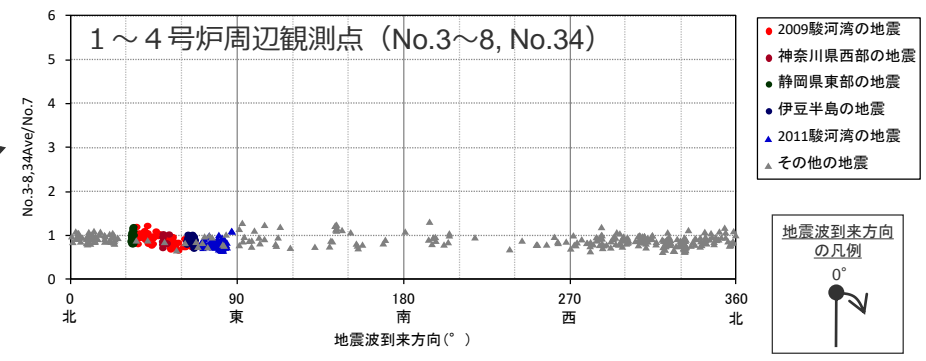
○振幅比が大きい地震のグループが確認された観測点として5号炉周辺 (No.9~No.13) を、いずれの地震のグループにおいても振幅比が1程度であった観測点として1~4号炉周辺 (No.3~No.8, No.34) をそれぞれグルーピングして、地震波到来方向毎に各地震の振幅比 (No.7基準) を算出。

⇒ 5号炉周辺では、2009年駿河湾の地震を含むN30E~N70Eの地震波到来方向の地震では振幅比が大きいが、その他の地震波到来方向の地震では振幅比が1程度である。

⇒ 1~4号炉周辺では、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向を含め、いずれの地震波到来方向の地震も振幅比は1程度である。



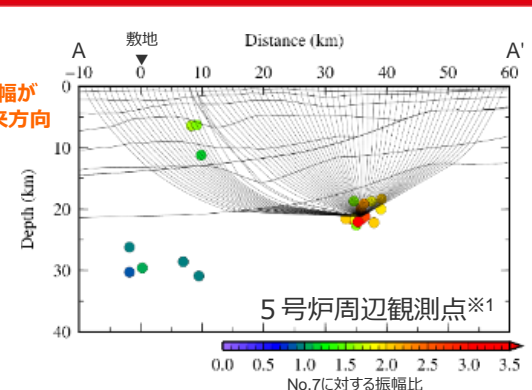
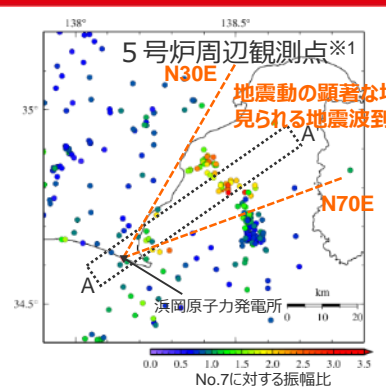
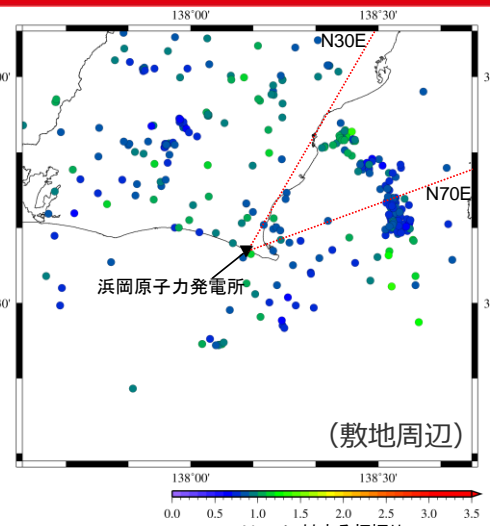
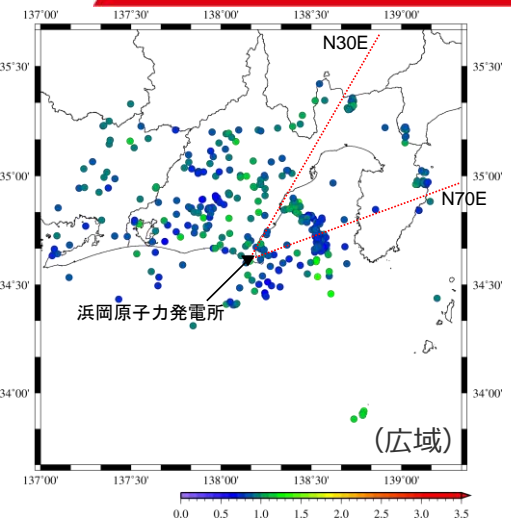
<多点連続地震観測の地震計配置>



<各地震の振幅比 (No.7基準) と地震波到来方向との関係 (水平平均) >  
(観測分析期間：2009年9月20日~2014年7月26日)

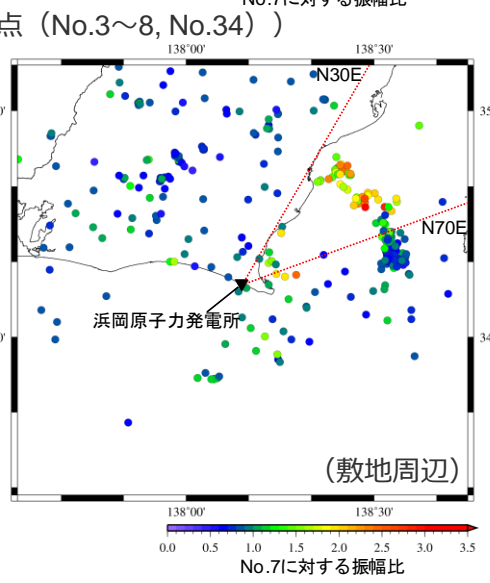
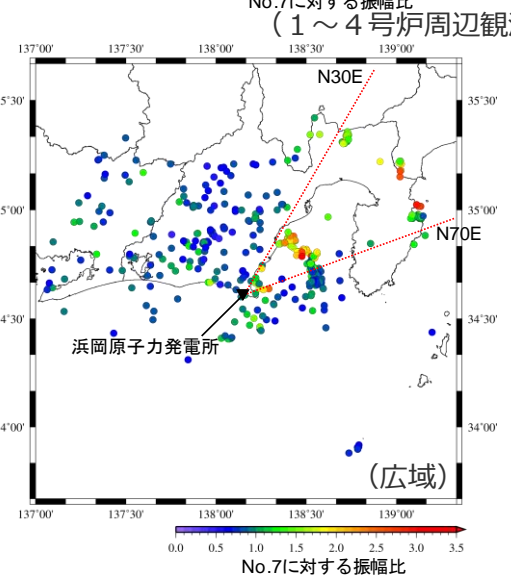
・ 3、4号炉周辺の地盤増幅特性、3、4号炉周辺におけるNo.7基準の振幅比に対する考察は、第1041回審査会合資料2-2-3\_補足説明資料①-02参照。

# <2.1.2 地震観測記録の分析> 敷地全体を対象とした多点連続地震観測 (各地震の振幅比 (No.7基準) と震央位置との関係)

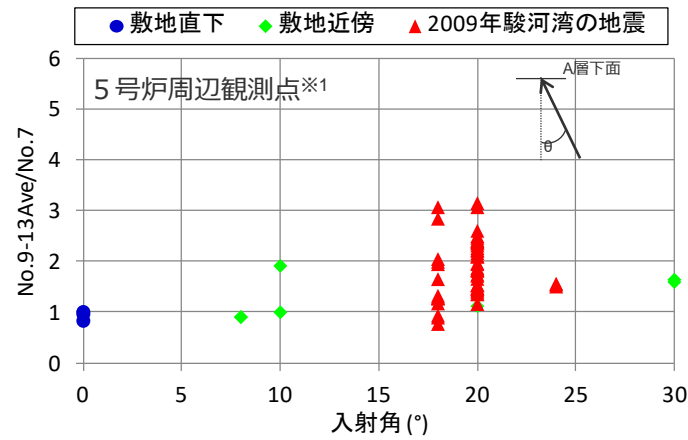


<各地震の振幅比 (No.7基準) の震央分布図>

<振幅比 (No.7基準) の断面図 (A-A'断面) >



(5号炉周辺観測点 (No.9~13))  
<各地震の振幅比 (No.7基準) の震央分布図>



<入射角毎※2の振幅比 (No.7基準) >  
(N30E~N70E方向+敷地直下の地震)

※1 No.9~No.13観測点の記録を使用。  
※2 浅部三次元地下構造モデルの底面に相当するA層下面への入射角について、各断面の地震クラスター毎にレイトレーシングを行い評価。

・浅部三次元地下構造モデルの作成は、p.55~及び第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-08参照。

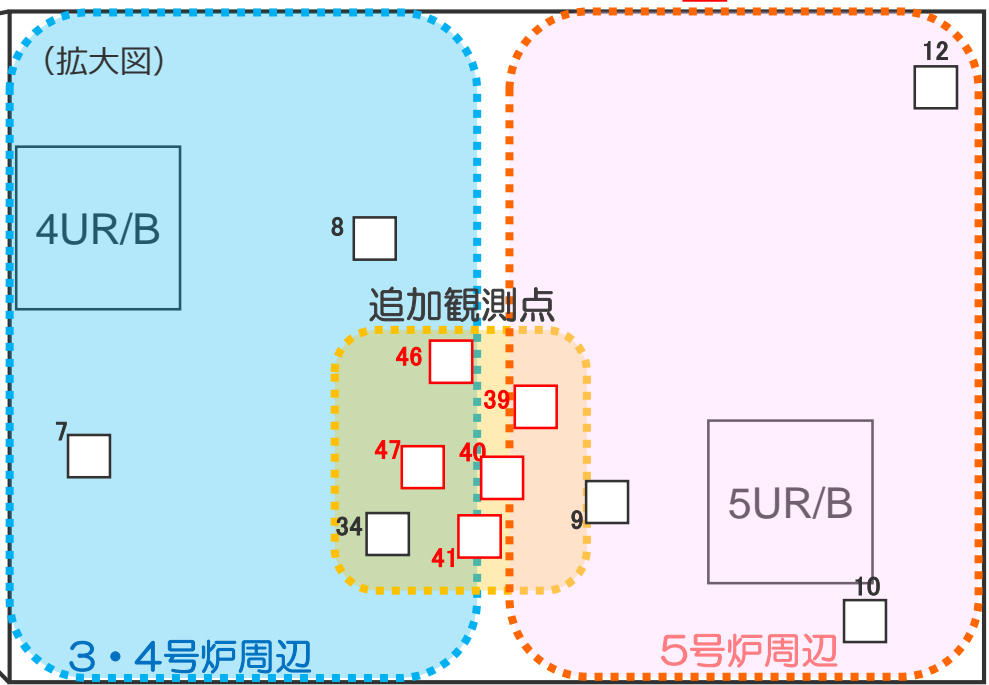
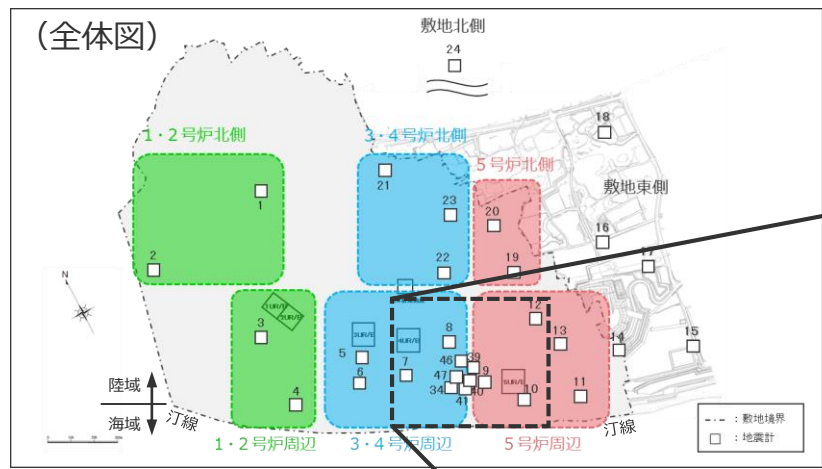


<2.1.2 地震観測記録の分析>

# 敷地全体を対象とした多点連続地震観測

(追加観測による4号炉周辺と5号炉周辺の間領域の地盤増幅特性の分析)

○いずれの地震波到来方向の地震も振幅比が1程度である4号炉周辺と2009年駿河湾の地震を含むN30E～N70Eの地震波到来方向の地震で振幅比が大きい5号炉周辺の間において、追加観測点を5箇所設置し、地盤増幅特性を分析する。



<追加観測点の配置>  
(観測分析期間：2013年7月1日～2017年3月30日)

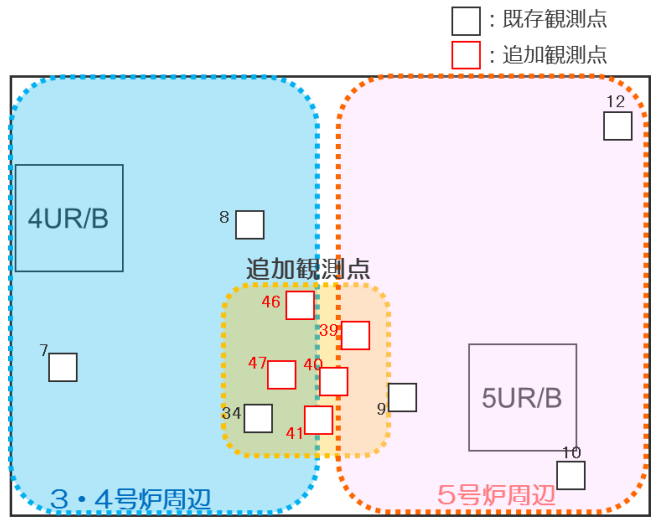
<2.1.2 地震観測記録の分析>

敷地全体を対象とした多点連続地震観測

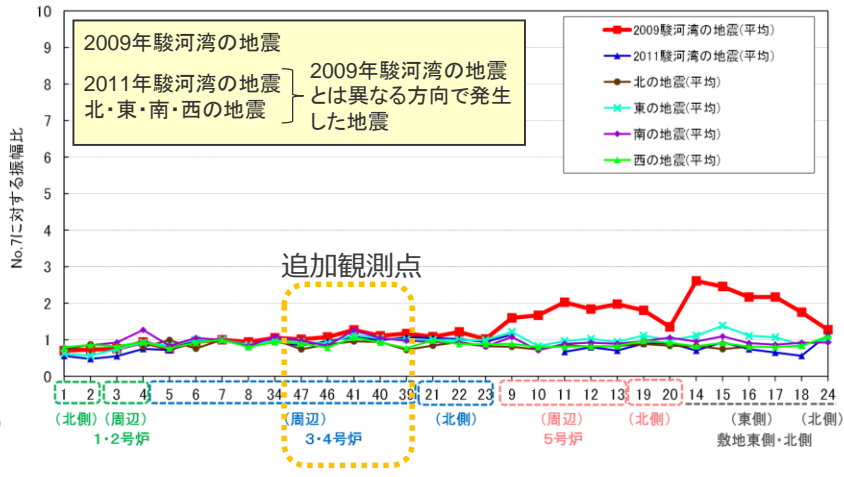
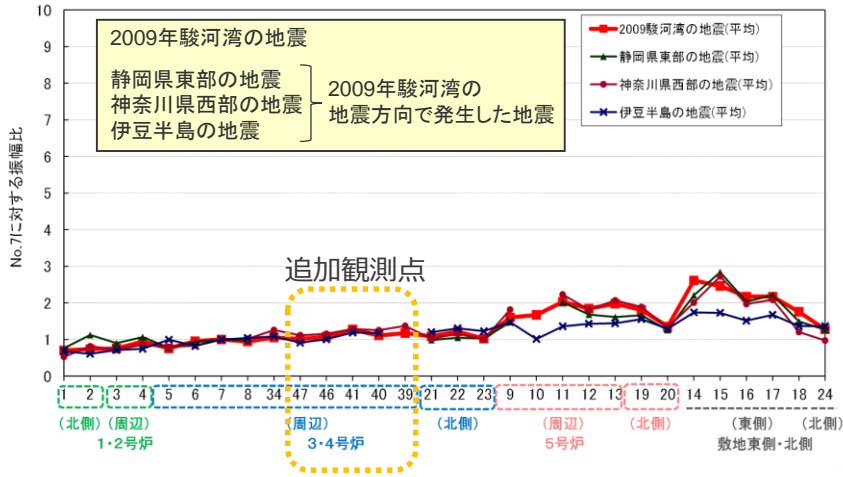
(追加観測による4号炉周辺と5号炉周辺の間の領域の地盤増幅特性の分析)

○地震波到来方向毎に地震をグルーピングして、追加観測点の振幅比 (No.7基準) を算出。  
 ⇒追加観測点では、1～4号炉周辺を含むその他の観測点と同様、いずれの地震のグループにおいても振幅比が1程度であり、地震動の顕著な増幅は見られない。

- ・自然地震のフーリエスペクトル比及びボーリングデータを用いて表層地盤を推定し、地表で得られた観測記録からはざと波を推定する。
- ・推定したざと波について、No.7に対する各観測点の振幅比を算出し、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討する。
- ・振幅比の算出は、はざと波に対し2009年駿河湾の地震で5号炉周辺の顕著な増幅が見られた周期0.2～0.5秒のバンドパスフィルターを施し、時刻歴波形のS波主要動部付近の最大値 (水平2方向の平均値) を対象とする。



<追加観測点の配置>



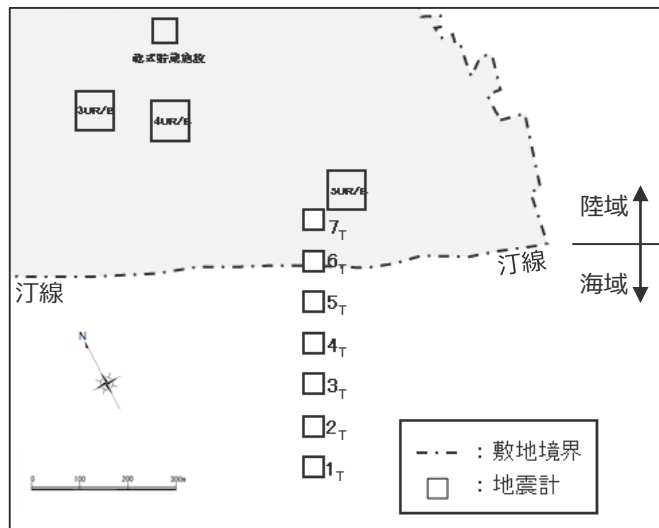
<各地震グループにおける各観測点の振幅比 (No.7基準) (水平平均) >

(観測分析期間：2009年9月20日～2014年7月26日 (既存観測点)、2013年7月1日～2017年3月30日 (追加観測点))

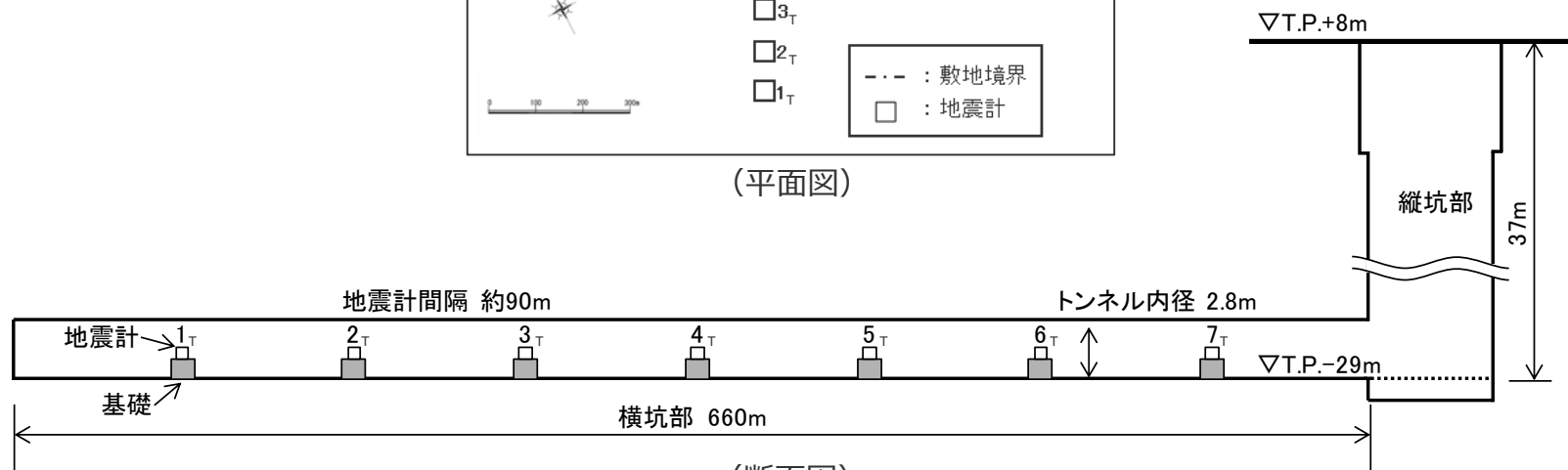
# 海底試掘トンネルにおける連続地震観測

(地震計の配置)

- 敷地の5号炉周辺から海側沖合方向に延びる海底試掘トンネルにおいて連続地震観測を行い、地盤増幅特性を分析する。
- 海底試掘トンネルはS波速度が700m/s以上の岩盤部に位置しており、そのトンネル内に地震計（過減衰型加速度計）を約90m間隔で7箇所（No.1<sub>T</sub>～No.7<sub>T</sub>）設置した。



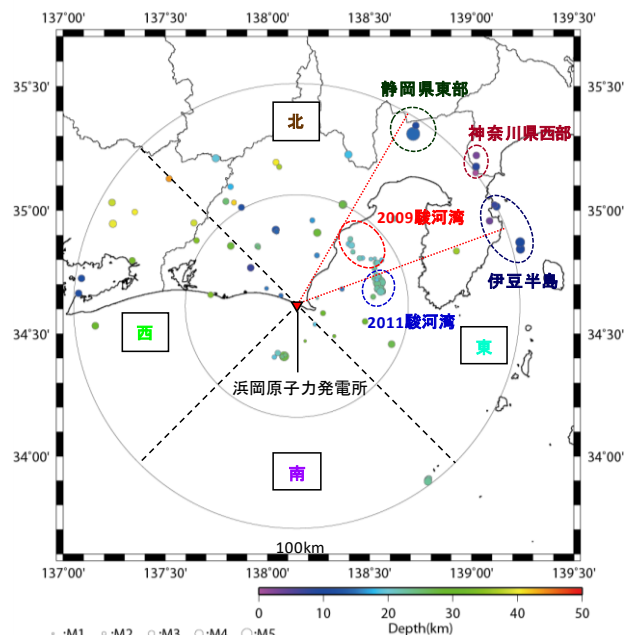
(平面図)



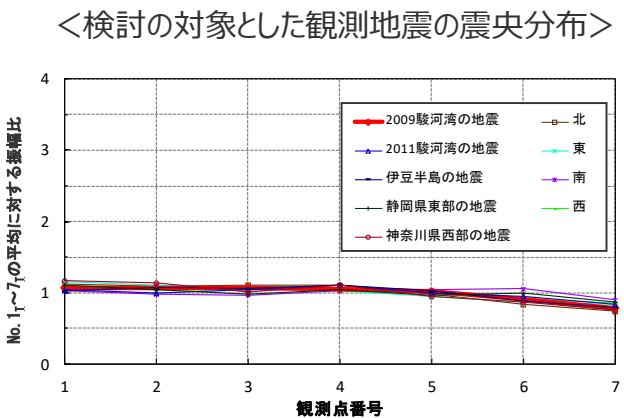
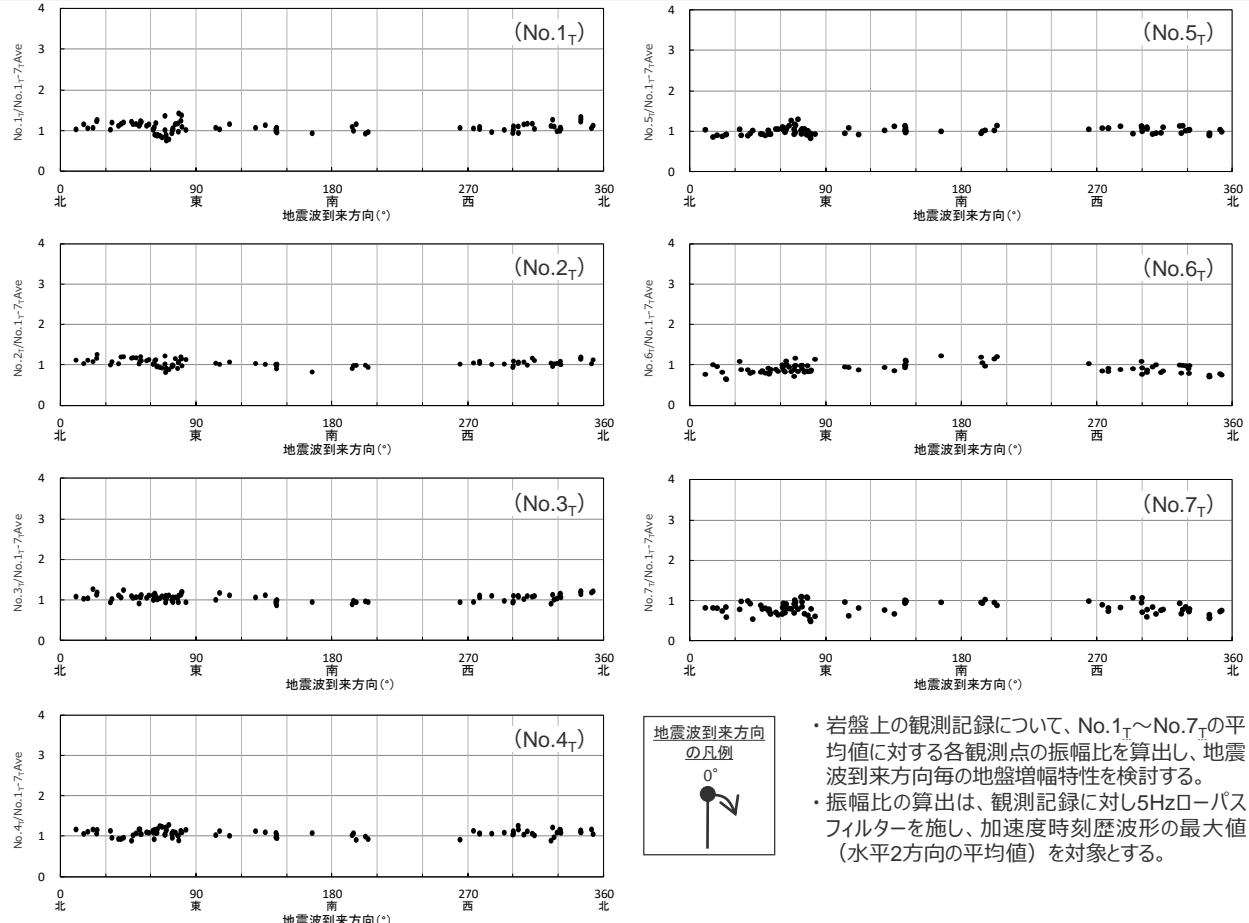
(断面図)

<海底試掘トンネルにおける地震計の配置>  
(観測分析期間：2010年12月5日～2012年10月8日)

# <2.1.2 地震観測記録の分析> 海底試掘トンネルにおける連続地震観測 (海域部における地震波到来方向毎の地盤増幅特性)



○ 地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討するため、前述の「多点連続地震観測」と同様、No.1<sub>T</sub>~No.7<sub>T</sub>の平均値に対する各観測点の振幅比を算出。  
⇒2009年駿河湾の地震の地震波到来方向を含めて各観測点の振幅比は1程度である。



- ・岩盤上の観測記録について、No.1<sub>T</sub>~No.7<sub>T</sub>の平均値に対する各観測点の振幅比を算出し、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討する。
- ・振幅比の算出は、観測記録に対し5Hzローパスフィルターを施し、加速度時刻歴波形の最大値(水平2方向の平均値)を対象とする。

<各地震グループにおける各観測点の振幅比(水平平均)>

<各地震の振幅比と地震波到来方向との関係(水平平均)>  
(観測分析期間：2010年12月5日~2012年10月8日)

# <2.1.2 地震観測記録の分析> 海底試掘トンネルにおける連続地震観測 (陸域観測点の地盤増幅特性との関係)

○海底試掘トンネルについては、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討し、地震動の顕著な増幅が見られないことを確認している。(なお、この結果は後述するベイケーブル探査及び海域オフセットVSP探査において、5号炉周辺の増幅要因であるS波低速度層が海側に認められないことと整合している。)

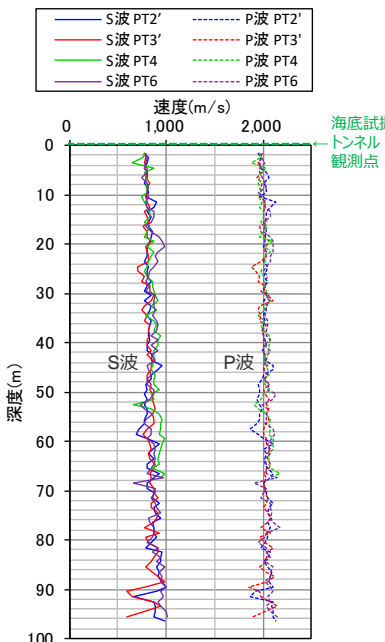
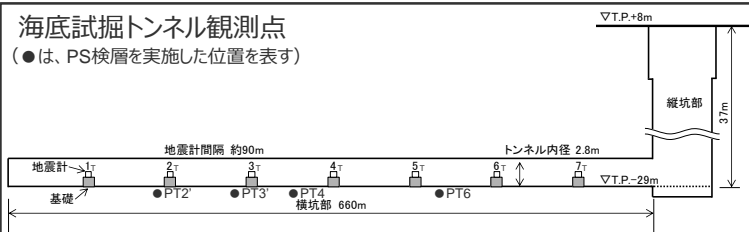
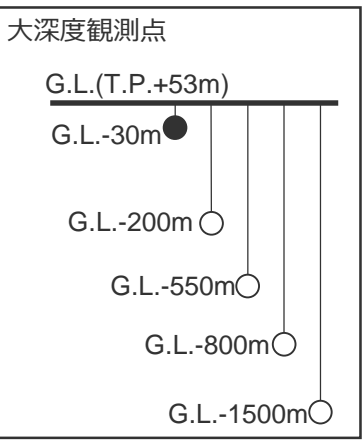
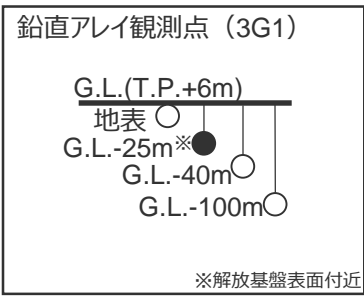
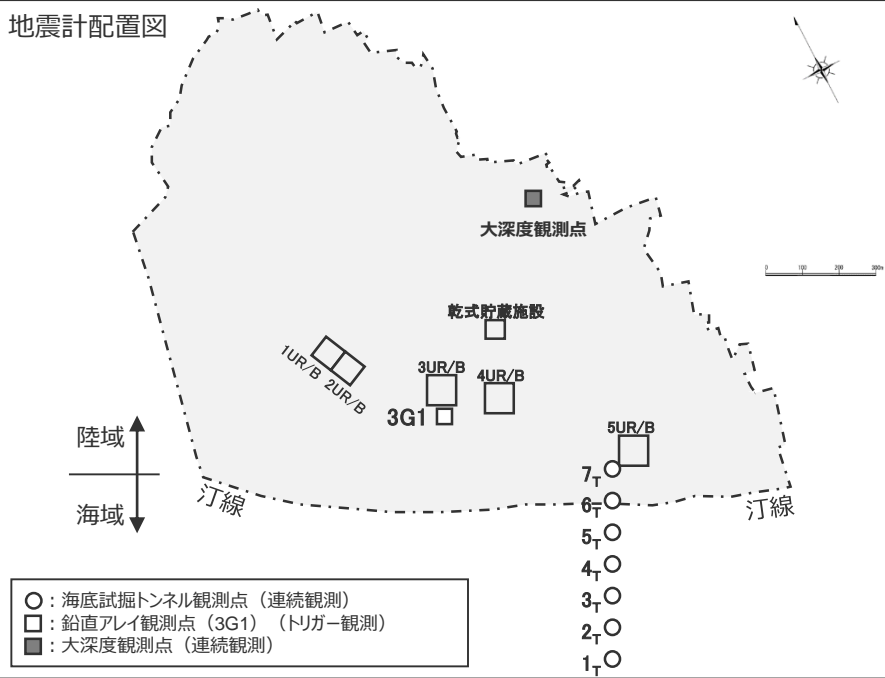
○海底試掘トンネル観測点 (T.P.-29m (G.L.-37m)、 $V_s=700\text{m/s}$ 程度 (右下図参照)) について、陸域観測点の地盤増幅特性との関係を検討し、海底試掘トンネルで地震動の顕著な増幅が見られないことを確認する。観測記録の分析方法は以下のとおり。

### 【陸域観測点】

・検討対象とする陸域観測点は、地震動の顕著な増幅が見られない観測点である鉛直アレイ観測点3G1 (T.P.-19m (G.L.-25m)、 $V_s=700\text{m/s}$ 程度<sup>※1</sup>) 及び大深度観測点 (T.P.+23m (G.L.-30m)、 $V_s=700\text{m/s}$ 程度<sup>※2</sup>) とする。いずれの観測点も、海底試掘トンネル観測点と同様、S波速度が700m/s以上の岩盤部に位置する。

### 【分析方法】

・陸域観測点に対する海底試掘トンネル各観測点の振幅比として、地震波到来方向毎に各地震の振幅比を算出する。  
 なお、海底試掘トンネル観測点と陸域観測点では設置状況 (設置深さ、土被り状況、S波速度等) が異なるため、分析にあたっては、地震波到来方向毎に振幅比の傾向が一定であることを確認する。



<海底試掘トンネルにおけるPS検層結果 (サスペンション法)>

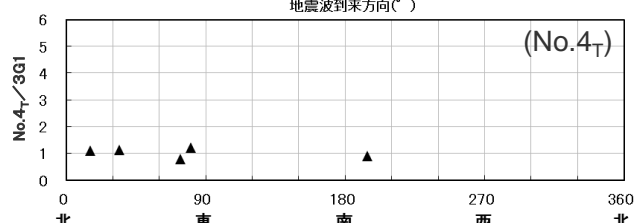
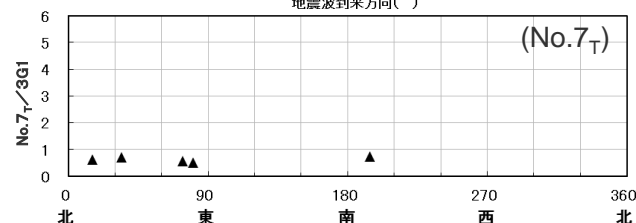
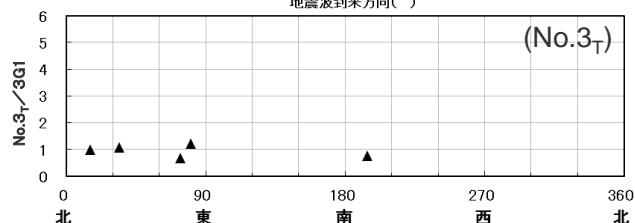
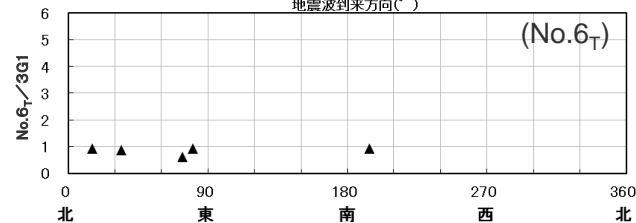
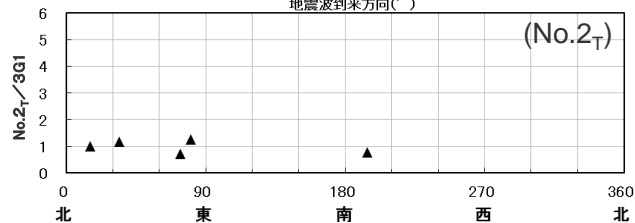
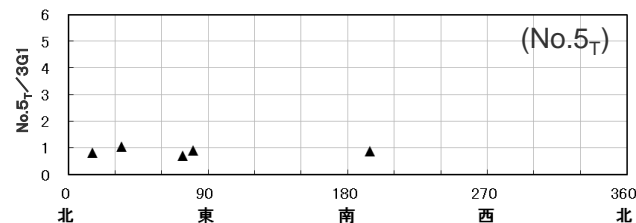
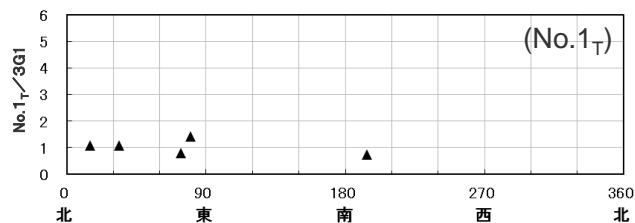
※1 第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①p.4参照。  
 ※2 第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①p.174参照。

<2.1.2 地震観測記録の分析>

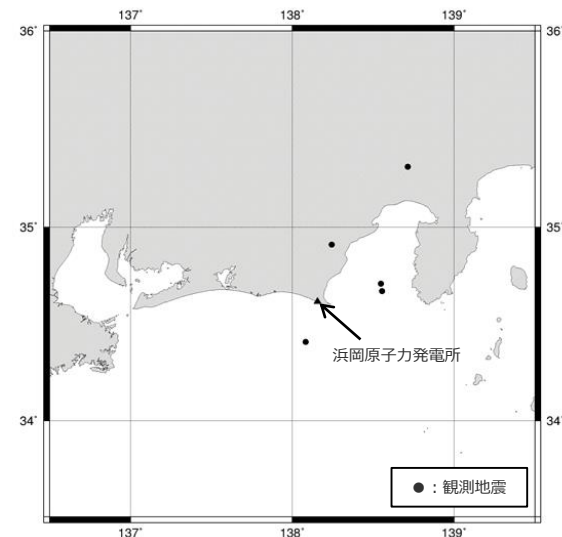
# 海底試掘トンネルにおける連続地震観測

(陸域観測点の地盤増幅特性との関係 (鉛直アレイ3G1観測点における地震観測記録を用いた分析))

○鉛直アレイ観測点3G1 (G.L.-25m) について、海底試掘トンネル観測点と共通して観測された記録を抽出し、振幅比を算出した。  
⇒数は少ないが、観測された地震は、いずれの地震波到来方向でも、振幅比は一定である。



- ・岩盤上の観測記録について、鉛直アレイ観測点3G1 (G.L.-25m) に対する各観測点の振幅比を算出し、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討する。
- ・振幅比の算出は、観測記録に対し2~5Hzのバンドパスフィルターを施し、加速度時刻歴波形の最大値 (水平2方向の平均値) を対象とする。



<各地震の震央分布>

<各地震の振幅比と地震波到来方向との関係 (水平平均) >  
(観測分析期間 : 2010年12月5日~2012年10月8日)

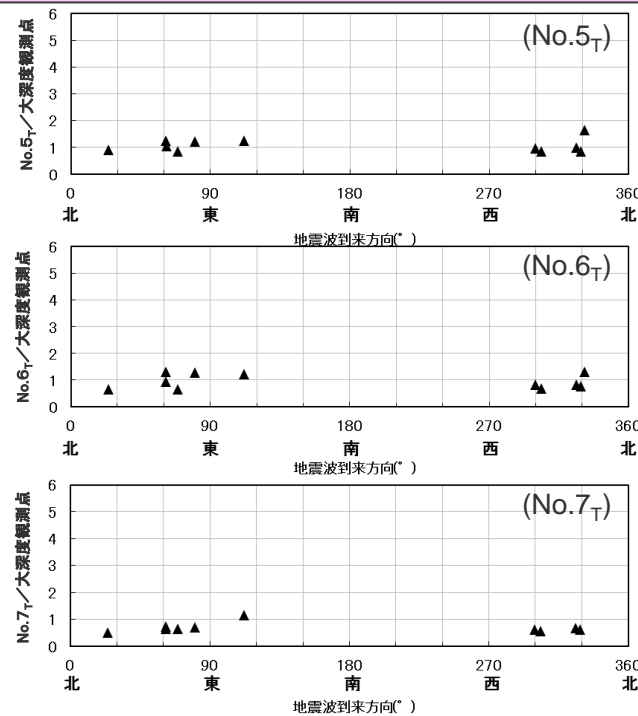
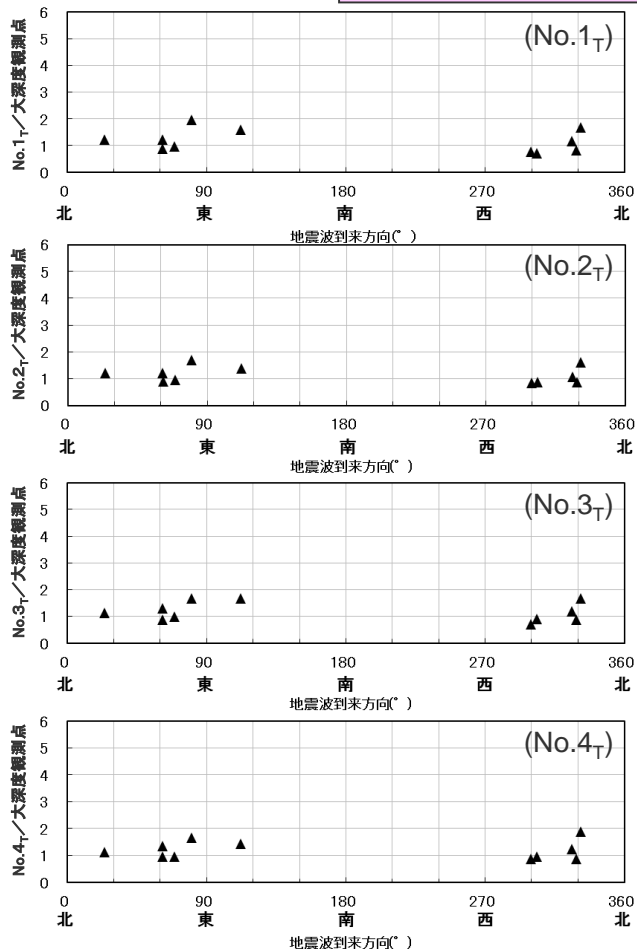
<2.1.2 地震観測記録の分析>

# 海底試掘トンネルにおける連続地震観測

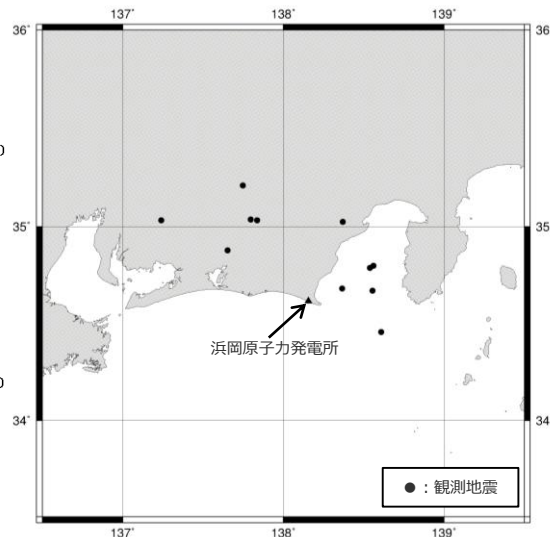
(陸域観測点の地盤増幅特性との関係 (大深度観測点における地震観測記録を用いた分析) )

○大深度観測点 (G.L.-30m) について、海底試掘トンネル観測点と共通して観測された記録を抽出し、振幅比を算出した。  
⇒設置状況が異なること等から若干のばらつきはあるが、2009年駿河湾の地震の到来方向を含めて、いずれの地震波到来方向でも、振幅比は一定である。

以上の検討から、海底試掘トンネルでは地震動の顕著な増幅が見られないことを確認した。



- ・岩盤上の観測記録について、大深度観測点に対する各観測点の振幅比を算出し、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討する。
- ・振幅比の算出は、観測記録に対し2~5Hzのバンドパスフィルターを施し、加速度時刻歴波形の最大値 (水平2方向の平均値) を対象とする。



<各地震の震央分布>

<各地震の振幅比と地震波到来方向との関係 (水平平均) > (観測分析期間：2010年12月5日~2012年10月8日)

<2.1.2 地震観測記録の分析>

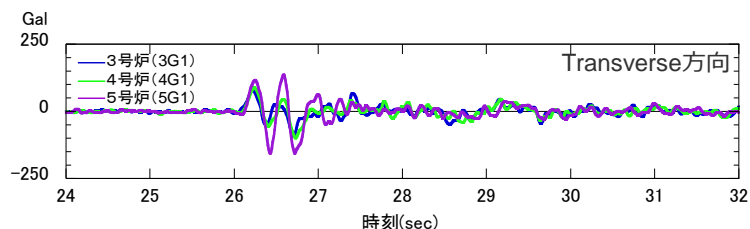
# 地震観測記録に基づく 5号炉周辺の増幅要因の考察

○2009年駿河湾の地震における5号炉周辺の増幅要因について、地震観測記録に基づく考察は以下のとおり。

- ・経時特性より、S波速度が低下した不均質構造。
- ・周波数特性、地震波到来方向毎の増幅特性より、浅部地盤の不均質構造であり、5号炉周辺から2009年駿河湾の地震の地震波到来方向にかけて局所的に分布した不均質構造。

**①経時特性**

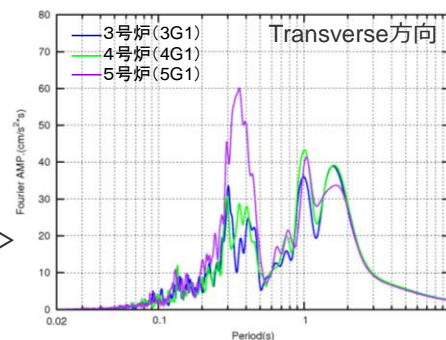
- ・5号炉周辺の顕著な増幅はS波主要動部のみに見られ、若干の位相遅れを伴う。



<2009年駿河湾の地震（本震）の加速度時刻歴波形>

**②周波数特性**

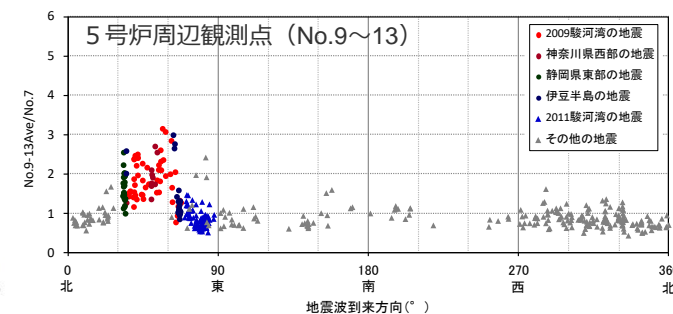
- ・5号炉周辺の顕著な増幅は周期0.2～0.5秒付近のみに見られる。



<2009年駿河湾の地震（本震）の加速度フーリエスペクトル>

**③地震波到来方向毎の増幅特性**

- ・5号炉周辺の顕著な増幅は 2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近（N30E～N70E）のみに見られる。



<各地震の振幅比（No.7基準）と地震波到来方向との関係（水平平均）>



# 目次

2 敷地における地震動の増幅特性（第1041回審査会合資料2-2-2 （敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）	……p.3~
2.1 敷地における地盤増幅特性	……p.5~
2.1.1 敷地における観測・調査	……p.8~
2.1.2 地震観測記録の分析	……p.12~
2.1.3 地下構造調査及び解析検討	……p.32~
2.1.4 まとめ	……p.71~
2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法	……p.76~
2.3 まとめ	……p.113~

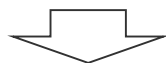
## <2.1.3 地下構造調査及び解析検討> 地下構造調査に係る検討概要

### <目的>

- 敷地周辺及び敷地近傍の地下構造が地震動の増幅に影響を及ぼすか検討し、5号炉周辺の増幅要因及び敷地における地盤増幅特性を把握する。

#### 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）

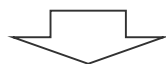
2007年新潟県中越沖地震時に柏崎刈羽原子力発電所において観測された地震動が大きかった要因として、震源特性の影響の他、地盤増幅特性として、深部からやや浅部の地盤に確認された古い褶曲構造による影響及び深部地盤に確認された地震基盤面の不整形性による影響が挙げられている。



#### 敷地周辺の地下構造調査（深部からやや浅部）

- ・屈折法地震探査
- ・反射法地震探査
- ・大深度ボーリング調査・物理検層

⇒地震基盤面以浅の速度構造を確認

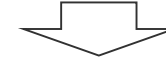


#### 敷地周辺の深部三次元地下構造モデルの作成 及び解析検討

⇒地震基盤面及びそれ以浅の速度構造（褶曲構造を含む）は地震動の増幅に影響を及ぼさないことを確認

#### 敷地近傍の地下構造（浅部）

2009年駿河湾の地震における浜岡原子力発電所5号炉周辺の増幅要因について、地震観測記録に基づく考察によると、S波速度が低下し、浅部地盤において5号炉周辺から2009年駿河湾の地震の地震波到来方向にかけて局所的に分布した不均質構造であると考えられる。

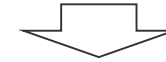


#### 敷地近傍の地下構造調査（浅部）

- ・オフセットVSP探査
- ・ベイケーブル探査
- ・反射法地震探査
- ・ボーリング調査・物理検層

⇒敷地東側にS波低速度層※を確認

※ 周囲に比べてS波速度が顕著に（2～3割程度）低下し、三次元的な拡がりや連続性を有する不均質構造。



#### 敷地近傍の浅部三次元地下構造モデルの作成 及び解析検討（5号炉周辺の増幅要因の検証）

⇒5号炉周辺の増幅要因がS波低速度層であることを確認

地震観測記録に基づく考察と整合していることから、S波低速度層を5号炉周辺の増幅要因と推定

・敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-03,07参照。

・敷地近傍の地下構造（浅部）に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-04-06,08参照。

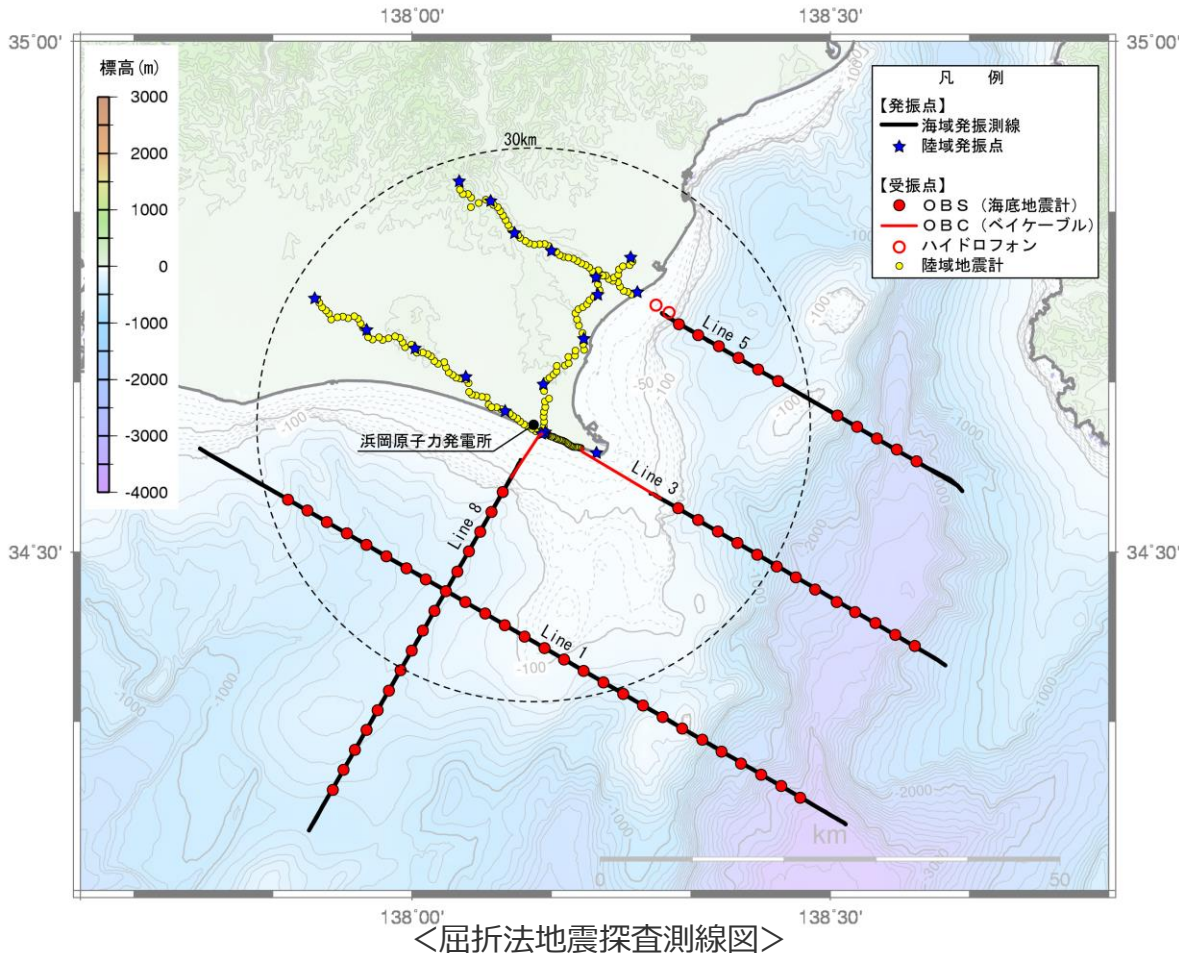
# <2.1.3 地下構造調査及び解析検討> 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部） （敷地周辺の調査位置図）

○浜岡原子力発電所では、敷地周辺の深部からやや浅部の地盤の速度構造の把握を目的に、速度構造調査として屈折法地震探査を実施するとともに、地質構造調査として大深度ボーリング調査・物理検層、反射法地震探査を実施している。

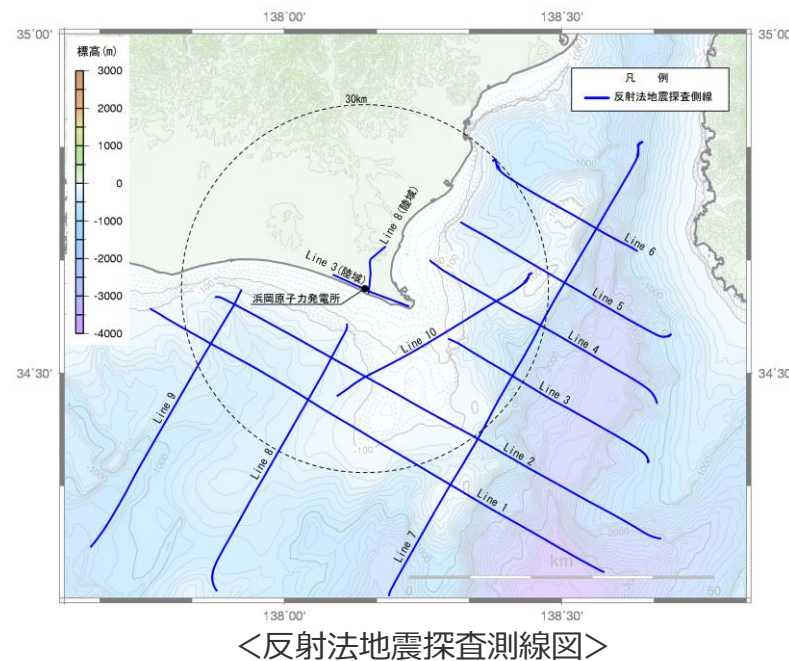
・敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）の調査の仕様及び調査結果の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3、補足説明資料①-03参照。



（国土地理院1:25,000地形図に各号炉位置、敷地周辺で実施した地下構造調査の位置を加筆）



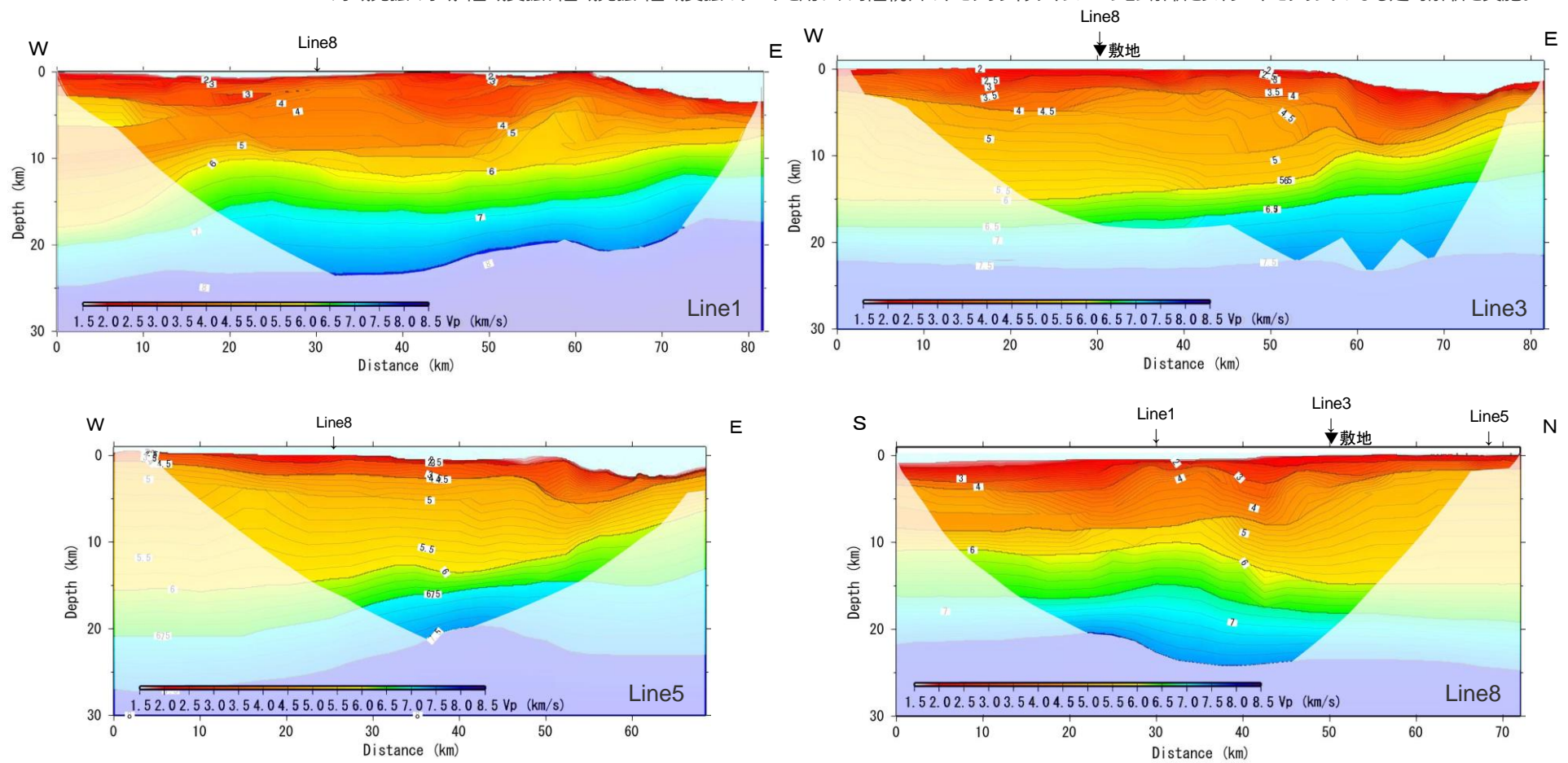
## <大深度ボーリング調査・物理検層位置図>



<2.1.1.3 地下構造調査及び解析検討>  
**敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）**  
 （敷地周辺の速度構造）

○速度構造調査として実施した海陸統合の屈折法地震探査により、敷地周辺の深部からやや浅部のP波速度構造を把握している。

・海域発振-海域・陸域受振、陸域発振-陸域受振のデータを用い、海陸統合のトモグラフィックインバージョン解析とフォワードモデリングによる走時解析を実施。



<屈折法地震探査（海陸統合）の各測線（Line1, 3, 5, 8）のP波速度構造>

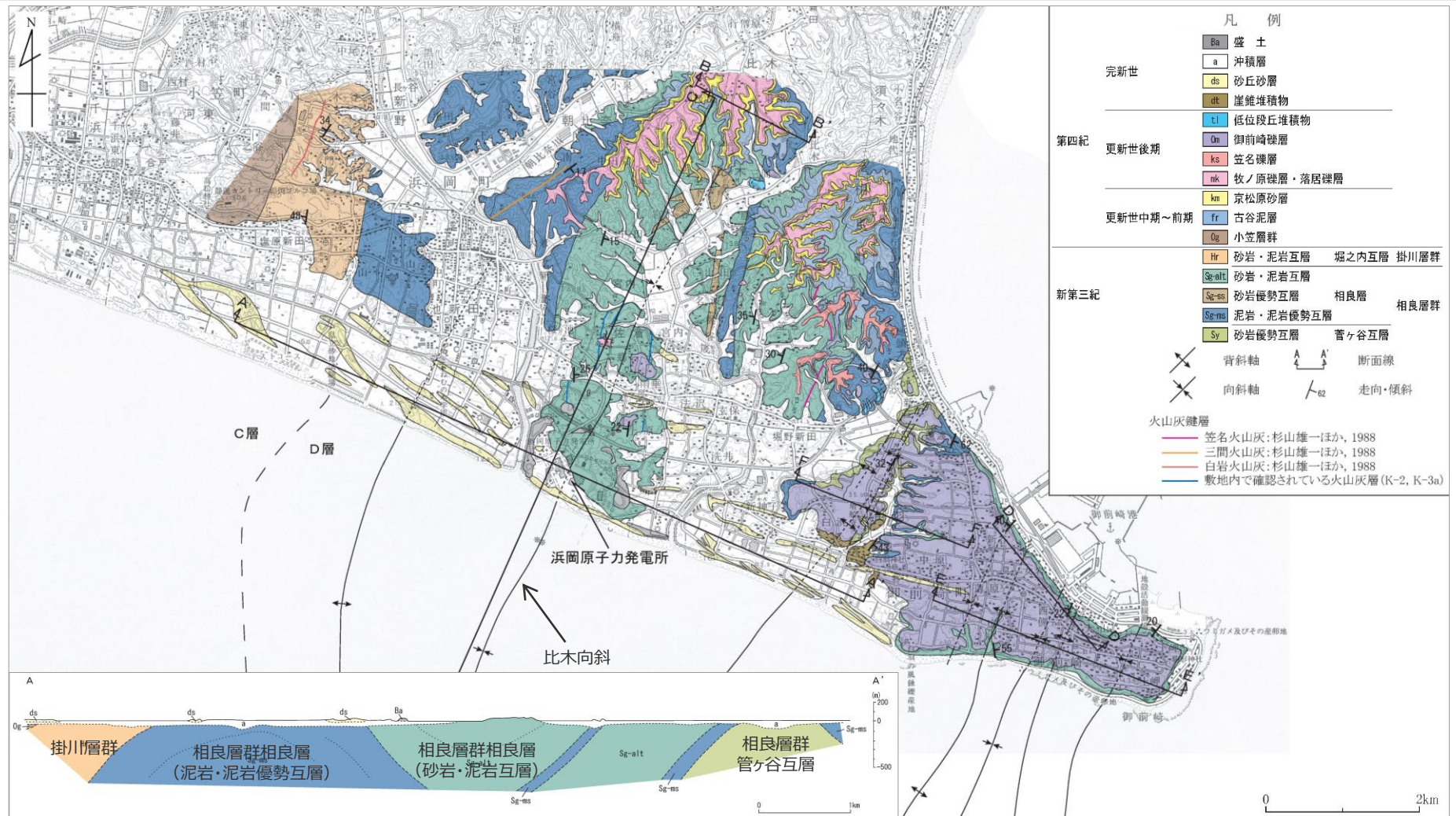
・敷地周辺の速度構造（屈折法探査結果）の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-03参照。

<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>

敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）

（敷地周辺の地質構造）

○敷地周辺の陸域には下位より新第三系の相良層群及び掛川層群が分布しており、相良層群には北北東－南南西方向の褶曲構造が発達している。



この地図は、国土地理院発行の5万分の1地形図「御前崎」「掛川」を使用

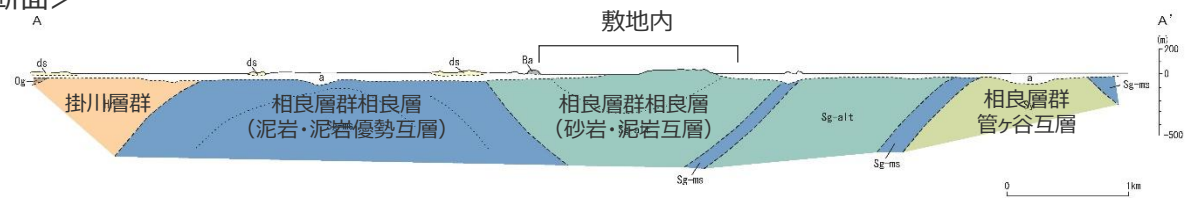
・敷地周辺の地下構造（敷地から半径30km）は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-03参照。

# 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）

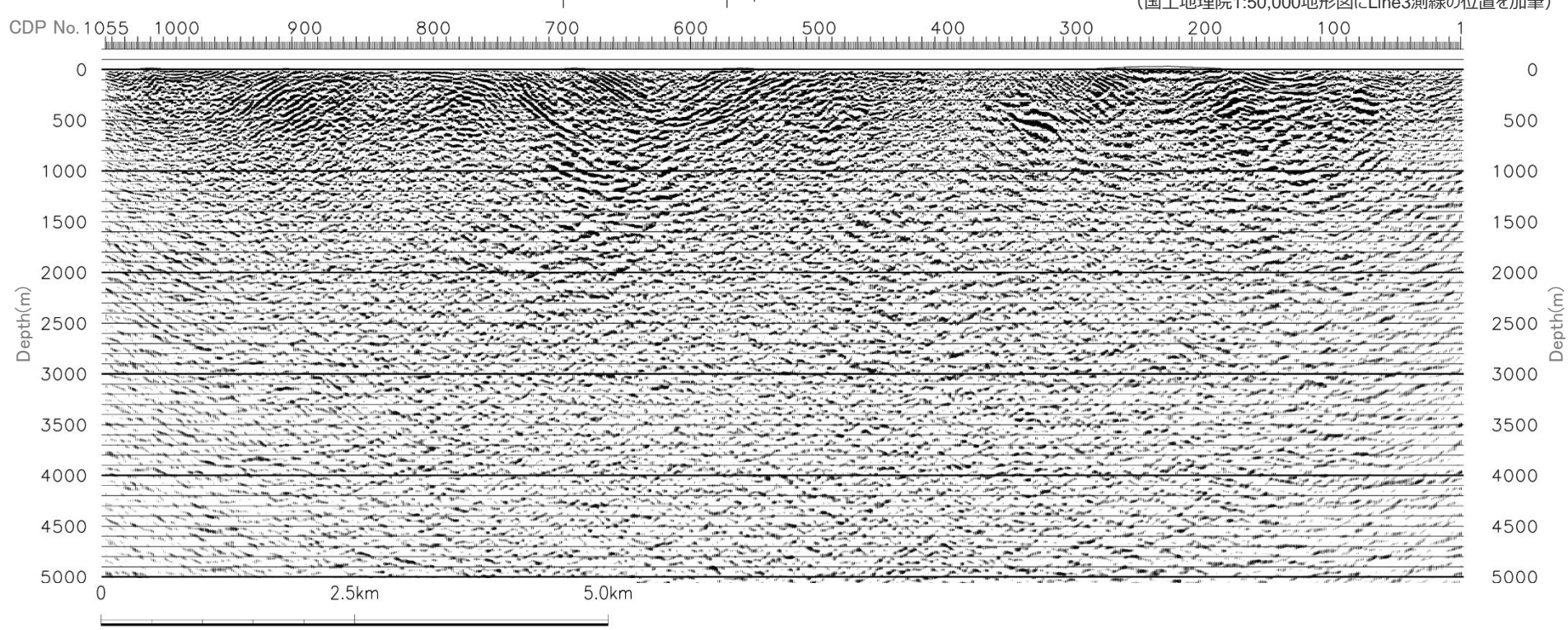
## （反射法地震探査結果）

○反射法地震探査結果（Line3）によると、相良層群の褶曲構造が現れており、地表地質調査結果から想定される地質構造と概ね整合している。

<A-A'断面>

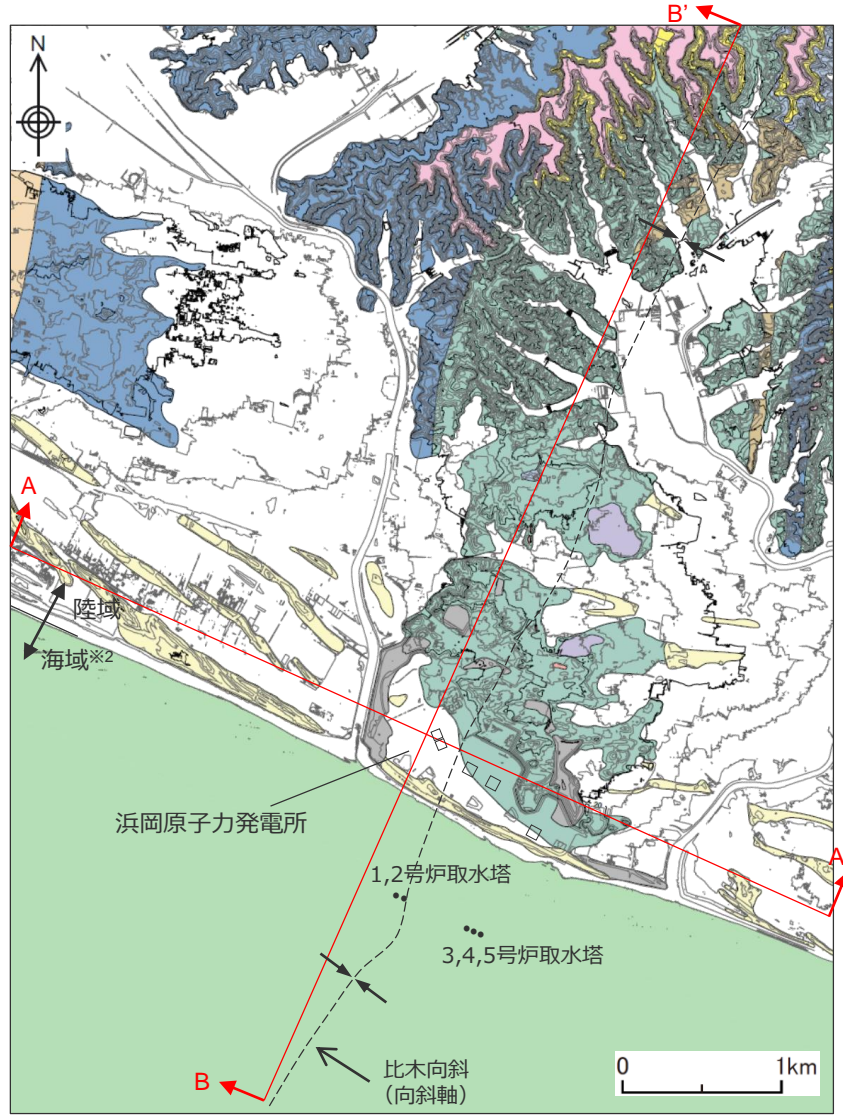


<反射断面 (Line3) >



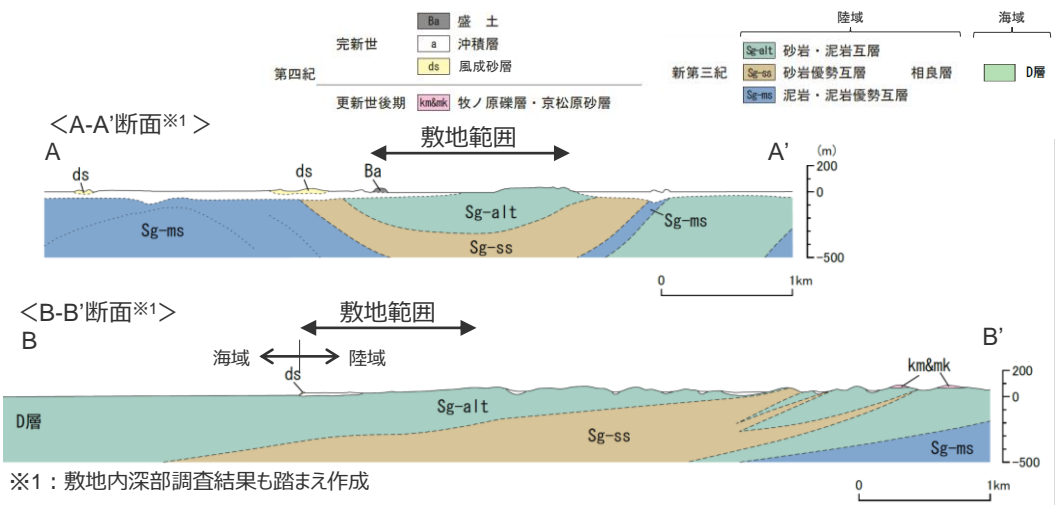
(国土地理院1:50,000地形図にLine3測線の位置を加筆)

<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>  
敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）  
（敷地の地質構造）



※2：海域についてはA層（完新統）を除いて記載した。

○敷地の基盤を構成する相良層群相良層は砂岩・泥岩互層として一様に分布し、2号炉と3号炉の間には北北東－南南西に軸を持つ向斜構造（比木向斜）が認められる。

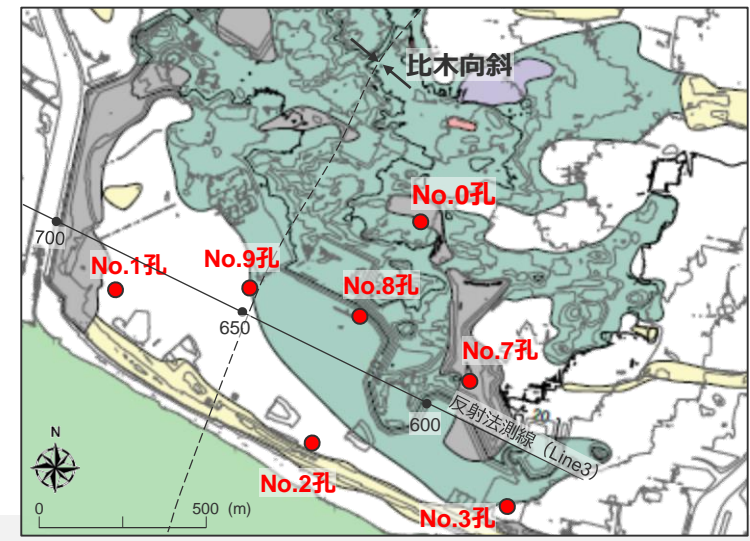
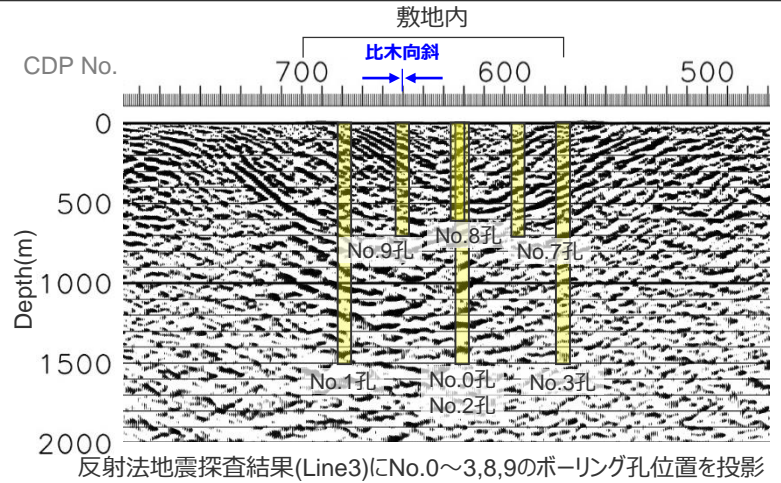
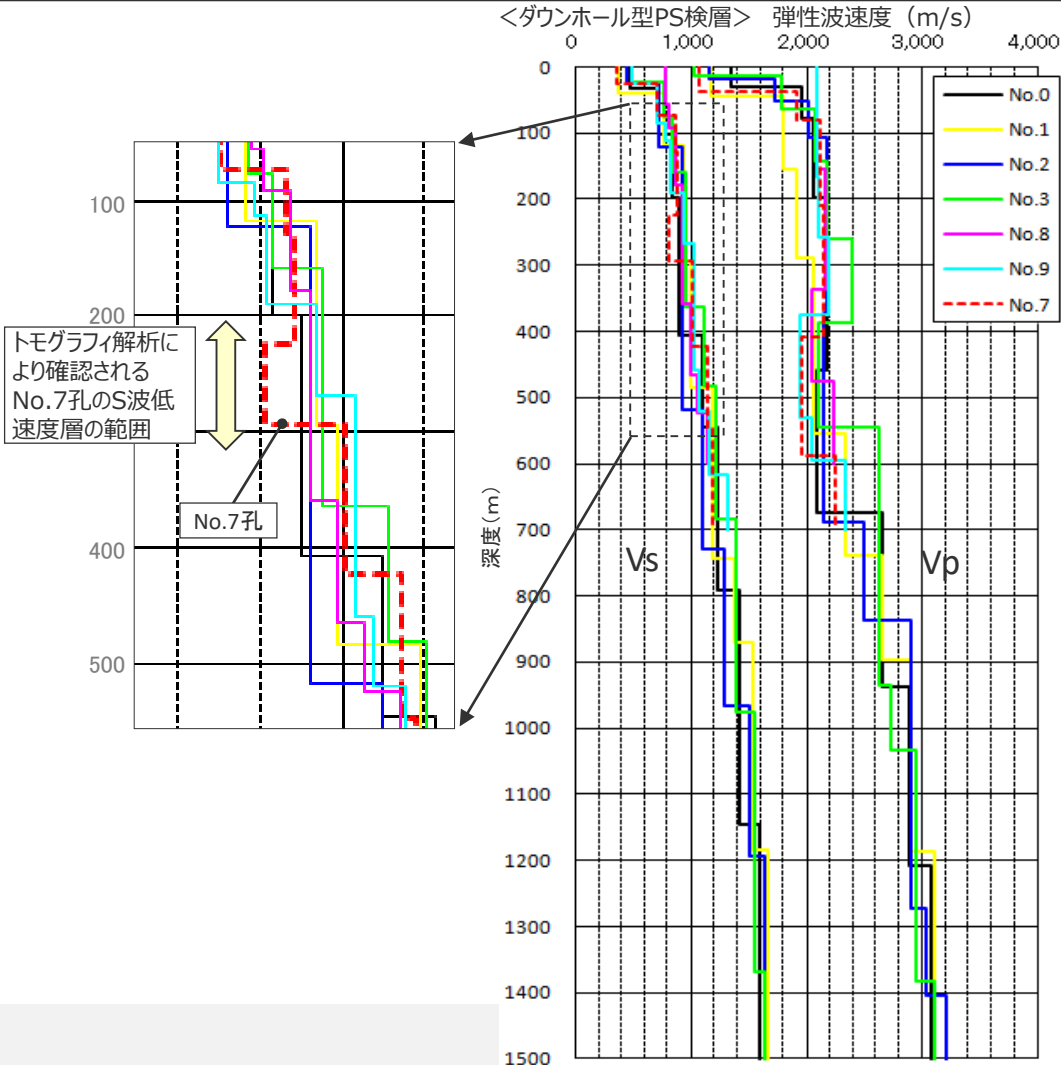


陸域		海域
完新世	盛土 沖積層 風成砂層	
第四紀	御前崎礫層相当 笠名礫層相当	
更新世後期	牧ノ原礫層及び相当 京松原砂層 古谷泥層	
新第三紀	砂岩・泥岩互層 堀之内互層 掛川層群 砂岩・泥岩互層 砂岩優勢互層 相良層 相良層群 泥岩・泥岩優勢互層	D層

<敷地の地質図>

# <2.1.3 地下構造調査及び解析検討> 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部） （向斜構造と速度構造との関係）

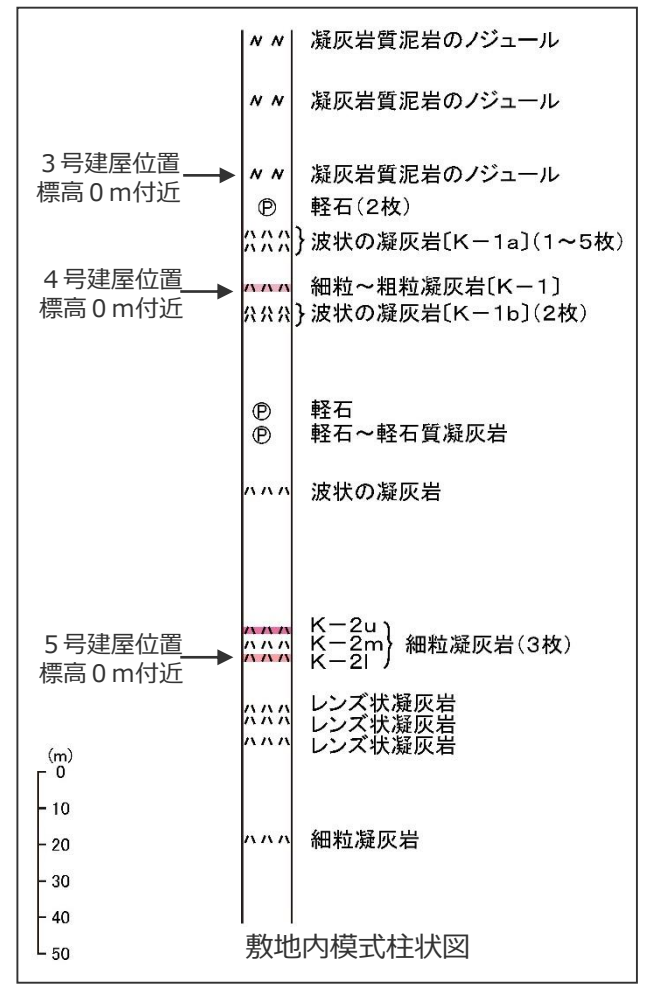
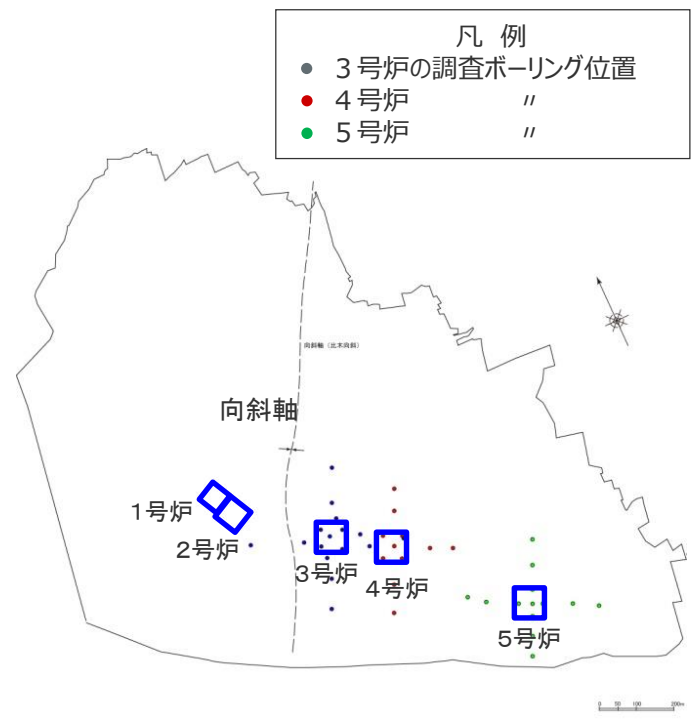
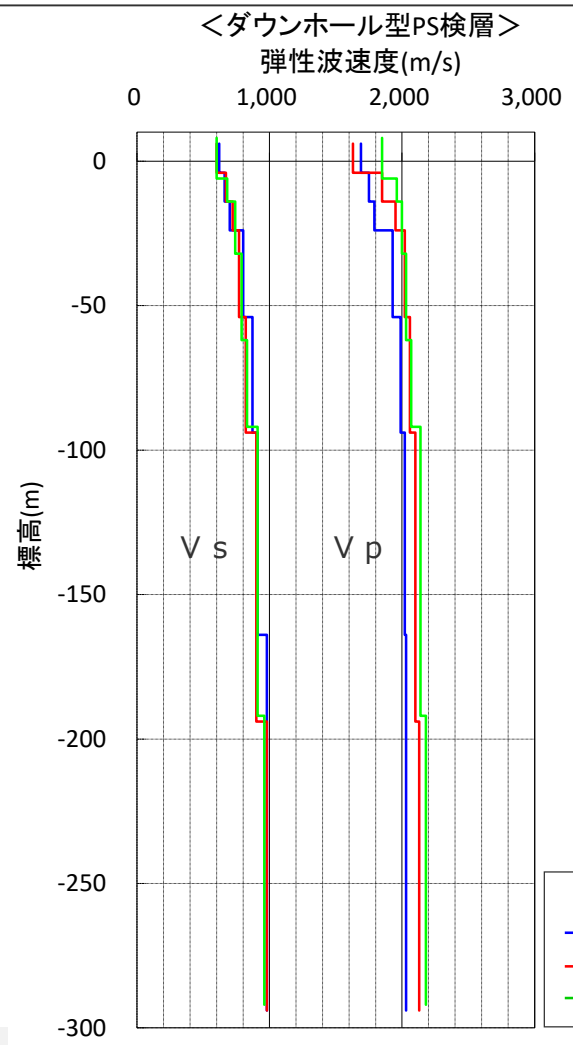
- 深度1500mのボーリング孔（No.0～3）及び深度600～700mのボーリング孔（No.8、9）を用いたダウンホール型PS検層結果によると、P波、S波速度は深度方向に概ね漸増し、各調査地点の同じ深度における速度値は同程度であり、地質構造として認められる向斜構造と対応していない。
- また、S波低速層付近に位置するNo.7孔のPS検層結果によると、P波、S波速度は深度方向に概ね漸増する構造となっており、S波低速層に対応する深度でS波速度の低下が認められる。





# <2.1.3 地下構造調査及び解析検討> 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部） （向斜構造と速度構造との関係）

○ 3～5号炉のボーリング孔を用いた標高-300mまでのダウンホール型PS検層結果においても、P波、S波速度は深度方向に漸増し、各調査地点の同じ深度における速度値は同程度であり、地質構造として認められる向斜構造と対応していない。  
→敷地の地質構造として認められる向斜構造は速度構造と対応しておらず、地震動の顕著な増幅に影響を及ぼすものではない。



<各号炉位置における相良層の層準>

## 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）

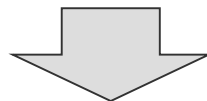
（敷地周辺の深部三次元地下構造モデルの作成及び解析検討（概要））

### <目的>

- 2007年新潟県中越沖地震時に柏崎刈羽原子力発電所において観測された地震動が大きかった要因を踏まえ、敷地周辺における地震基盤面及びそれ以浅の速度構造が地震動の増幅に影響を及ぼすか検討する。

### <深部三次元地下構造モデルの作成>

- 敷地周辺の深部からやや浅部を対象として実施した地下構造調査（屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層、既往調査等）の結果に基づき、敷地周辺の地震基盤以浅の深部三次元地下構造モデルを作成する。



### <二次元有限差分法による解析検討>

- 作成した深部三次元地下構造モデルの代表的な4方向を解析断面として、二次元有限差分法により、3～5号炉位置の地盤増幅特性に係る解析検討を行う。

・ 深部地下構造モデルの設定及び解析検討に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3.補足説明資料①-07参照。

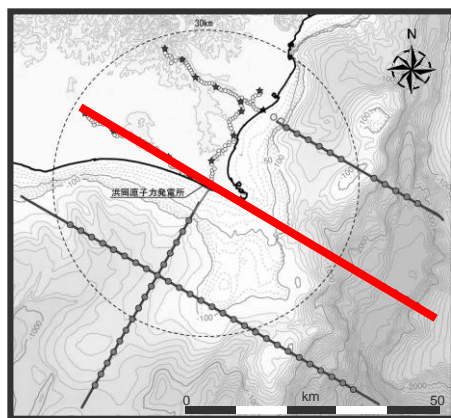
# 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）

（敷地周辺の深部三次元地下構造モデルの作成）

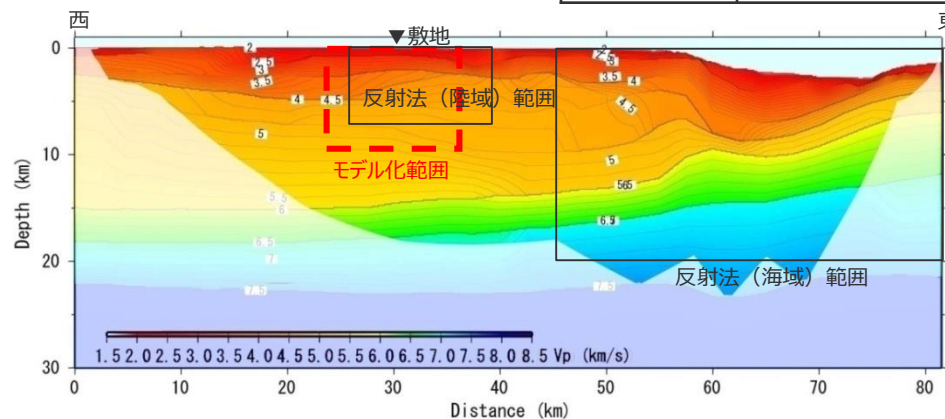
○ 屈折法地震探査結果を基に、反射法地震探査結果等を参照して、A層（解放基盤表面相当）～E層（地震基盤面）の5層の層境界を設定する。

## <層境界の設定>

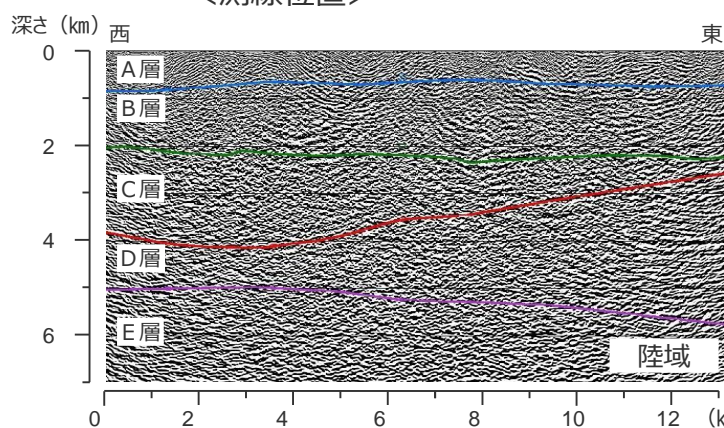
速度層	主に対比される地層
— A層下面	掛川層群、相良層群上部
— B層下面	相良層群中部・下部、西郷層群
— C層下面	倉真層群、大井川層群、三倉層群
— D層下面	四万十累層群上部
— E層下面	四万十累層群下部



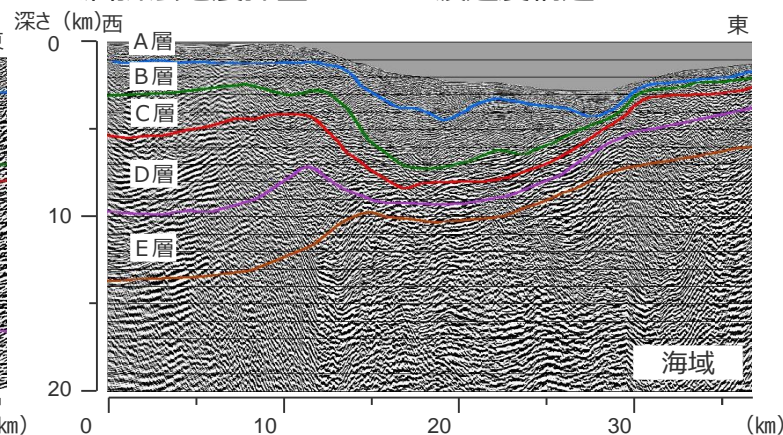
<測線位置>



<屈折法地震探査Line3のP波速度構造>

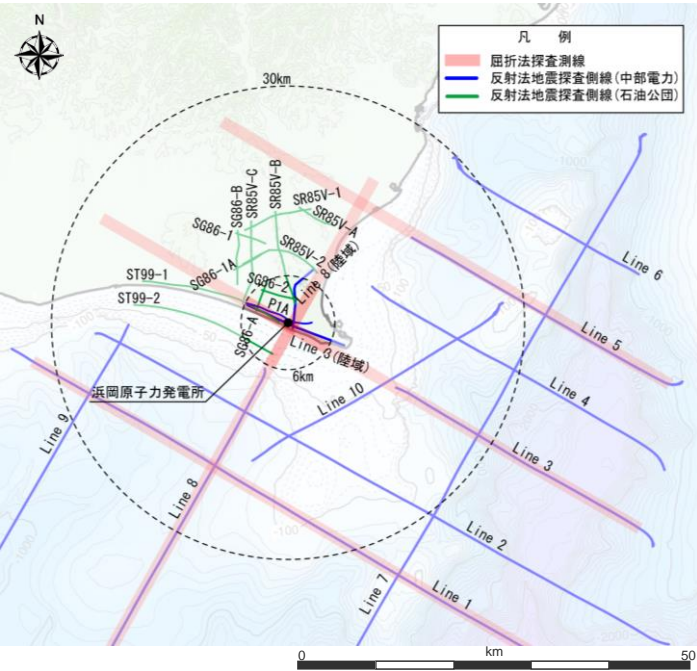


<反射法地震探査Line3の層境界>



# <2.1.3 地下構造調査及び解析検討> 敷地周辺の地下構造 (深部からやや浅部) (敷地周辺の深部三次元地下構造モデルの作成)

○敷地周辺の深部からやや浅部を対象とした地下構造調査 (屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層、既往調査等) の結果に基づき、敷地周辺の地震基盤以浅の深部三次元地下構造モデルを作成。

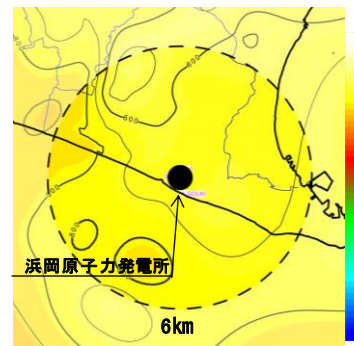


<敷地周辺の地下構造調査>

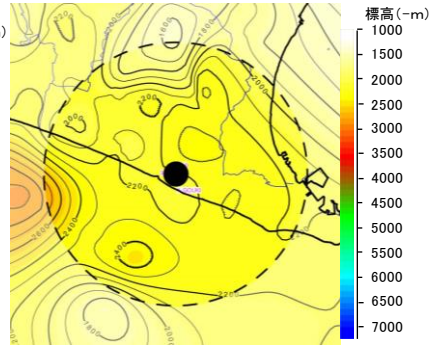
深部三次元地下構造モデルの作成

<各層の物性値>

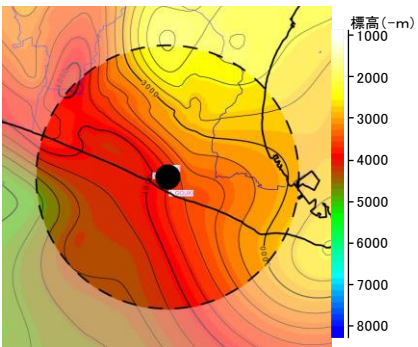
層区分	上面			下面		
	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
A層	700	2000	2.07	1330	2560	2.21
B層	1330	2560	2.21	1580	3180	2.33
C層	2130	3990	2.46	2200	4080	2.48
D層	2350	4310	2.51	2560	4610	2.56
E層	2620	4700	2.57	3230	5600	2.68



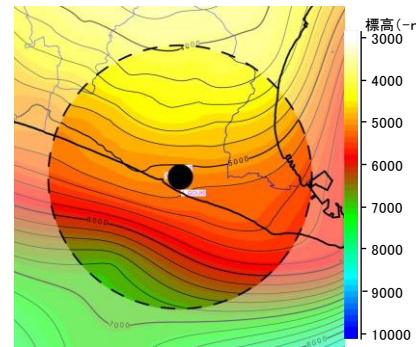
A層下面



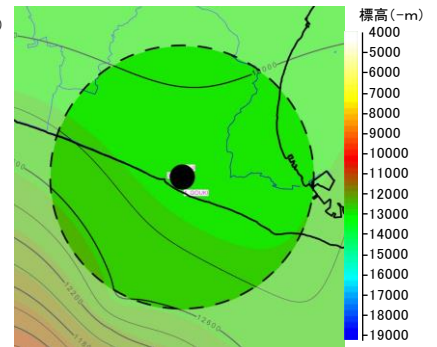
B層下面



C層下面



D層下面



E層下面

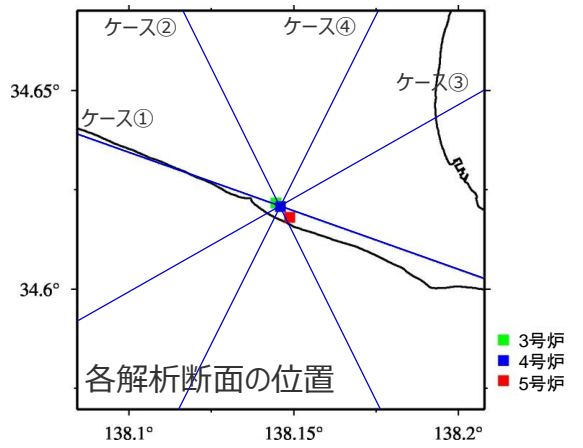
<各層境界のコンター>

・深部地下構造モデルの物性値の設定は、第1041回審査会合資料2-2-3.補足説明資料①-07参照。

<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>

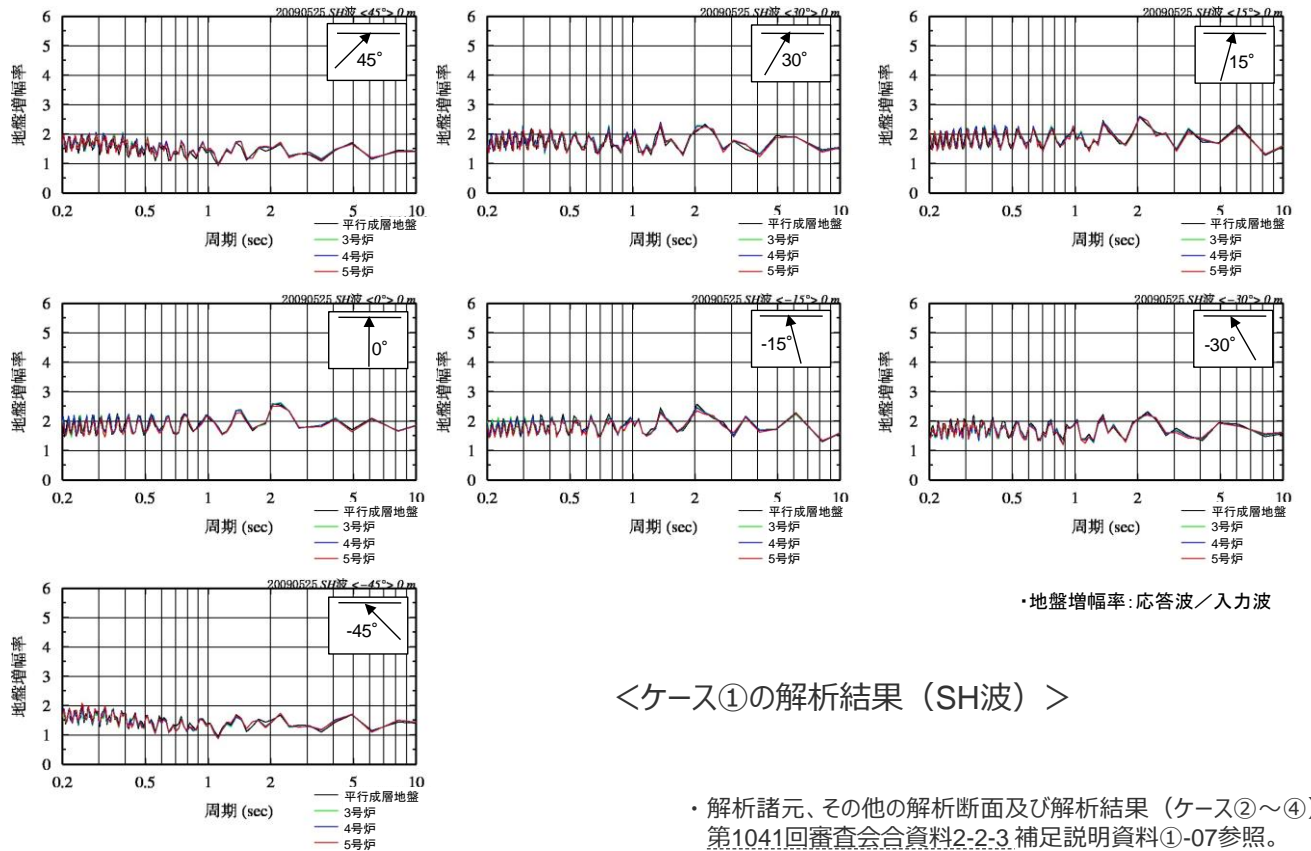
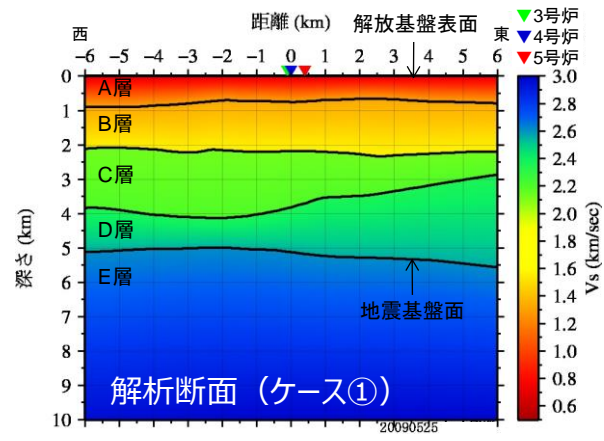
敷地周辺の地下構造 (深部からやや浅部)

(深部三次元地下構造モデルを用いた解析検討)



○作成した深部三次元地下構造モデルの代表的な4方向を解析断面として、二次元有限差分法により、3～5号炉位置の地盤増幅特性に係る解析検討を行った結果、**3～5号炉位置の地盤増幅率は、いずれの入射角においても平行成層地盤の地盤増幅率と同程度**である。  
⇒敷地周辺における地震基盤面及びそれ以浅の速度構造は、地震動の顕著な増幅に影響を及ぼすものではない。

解析断面 (ケース①) の解析例



・地盤増幅率: 応答波/入力波

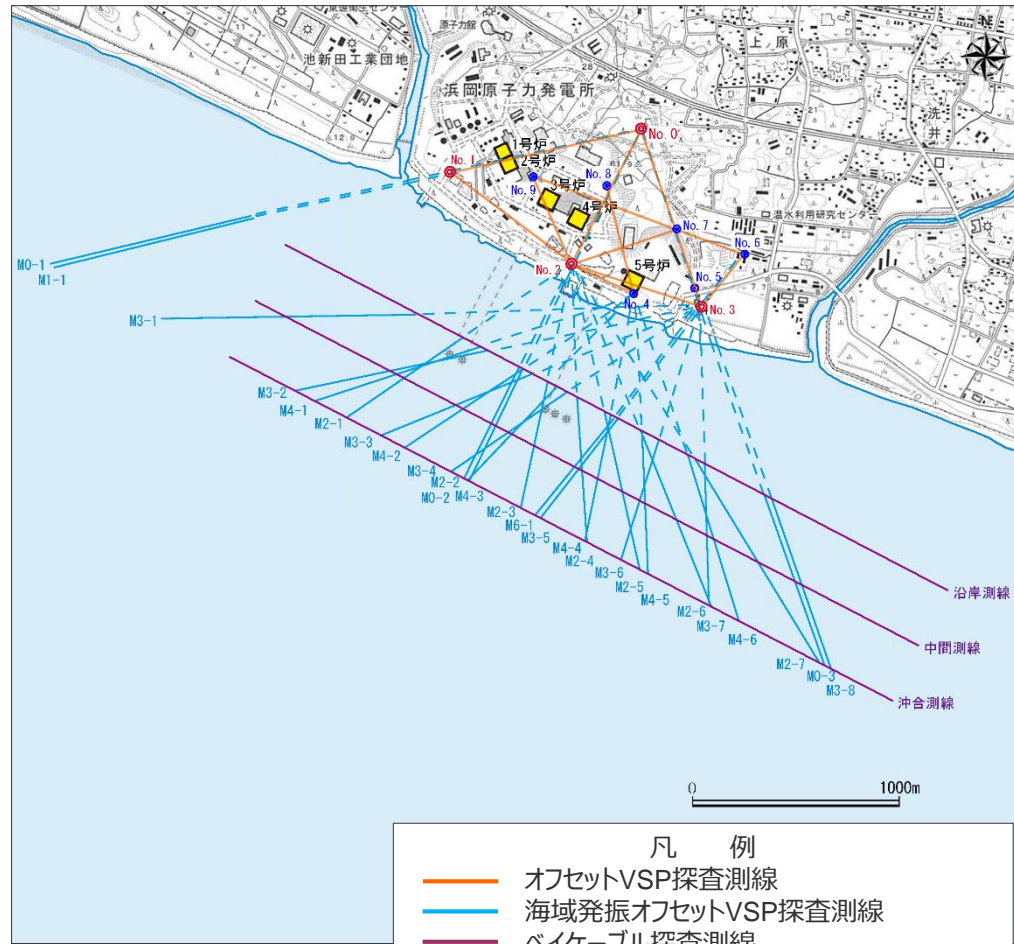
<ケース①の解析結果 (SH波) >

・解析諸元、その他の解析断面及び解析結果 (ケース②～④) は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-07参照。

# <2.1.3 地下構造調査及び解析検討> 敷地近傍の地下構造（浅部） （敷地近傍の地下構造調査（浅部））

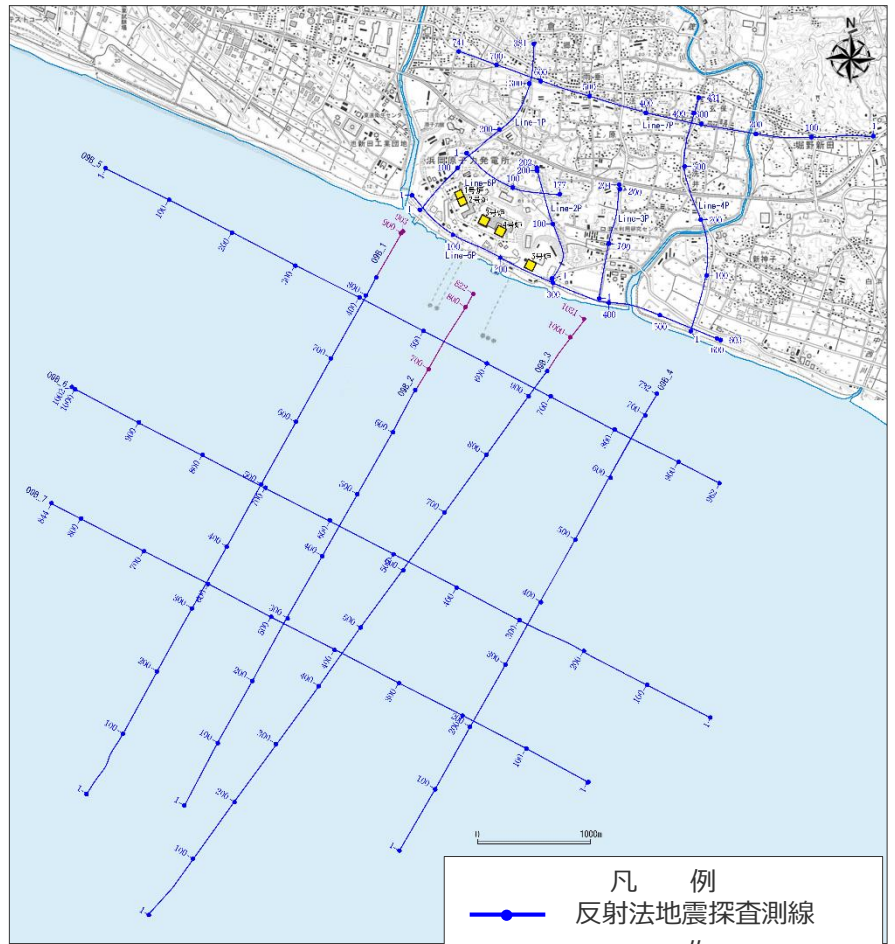
○ 浜岡原子力発電所では、敷地近傍の浅部地盤のS波速度構造の把握を目的に、速度構造調査として複数の測線でオフセットVSP探査、海域発振オフセットVSP探査、ベイケーブル探査を実施し、地質構造調査として反射法地震探査、ボーリング調査・物理検層を実施している。

・ 敷地近傍の地下構造（浅部）の調査の仕様及び調査結果の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-04参照。



- 凡 例
- オフセットVSP探査測線
  - 海域発振オフセットVSP探査測線
  - ベイケーブル探査測線
  - 大深度ボーリング調査（深度500～700m）
  - ◎ 大深度ボーリング調査（深度1500m）

（国土地理院1:25,000地形図に各号炉位置、敷地近傍で実施した地下構造調査の位置を加筆）



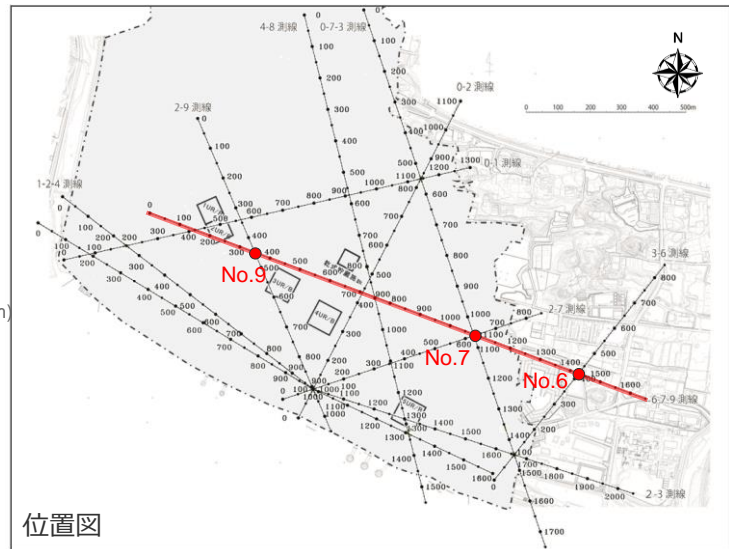
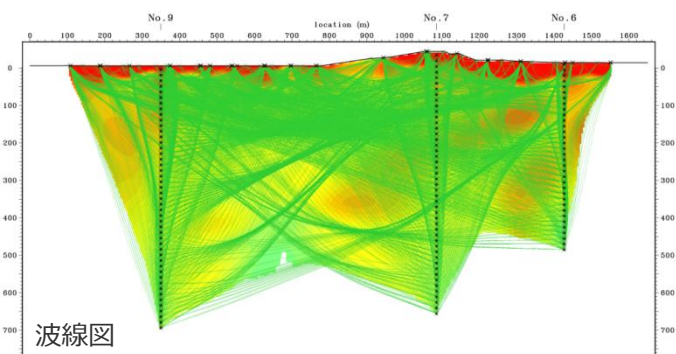
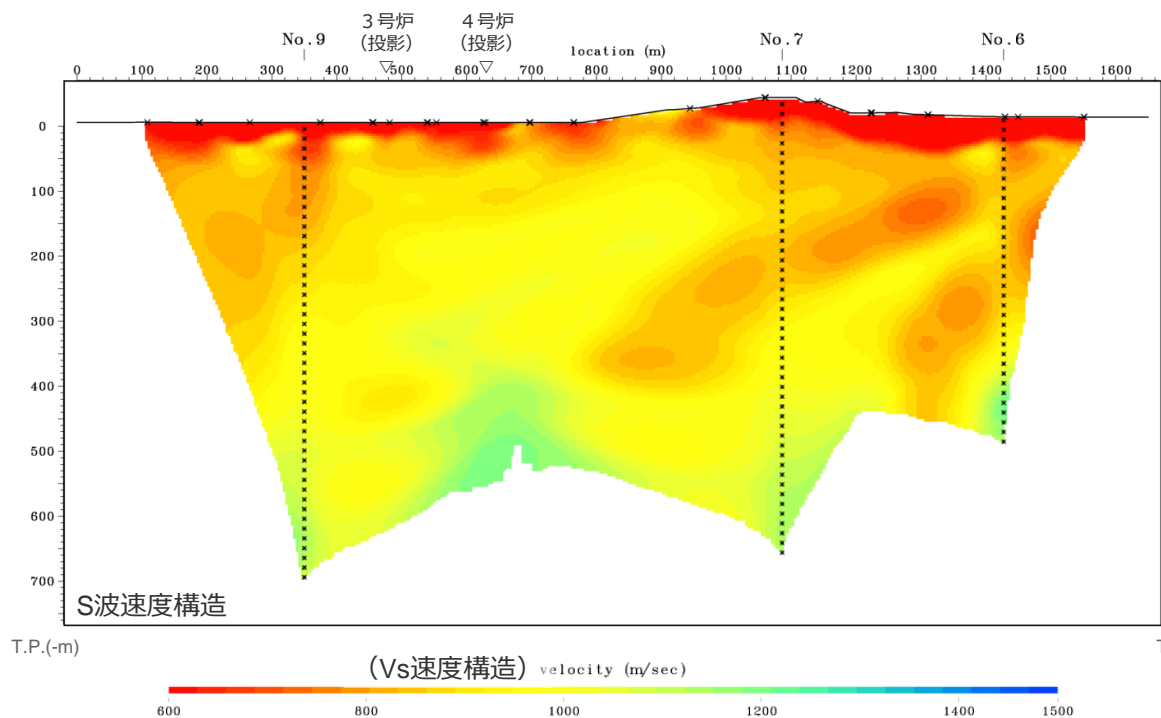
- 凡 例
- 反射法地震探査測線
  - // (ベイケーブル使用区間)

（国土地理院1:25,000地形図に各号炉位置、敷地近傍で実施した地下構造調査の位置を加筆）

# 敷地近傍の地下構造（浅部）

## （オフセットVSP探査によるS波速度構造（6-7-9測線））

- No.6孔、No.7孔及びNo.9孔を利用し、オフセットVSP（Multi-Well,multi-offset/Walkaway VSP）で収録したS波の初動データを用い、初動トモグラフィックインバージョン解析によりS波速度構造を検討。
- 敷地中央部を東西方向に位置する6-7-9測線のS波初動トモグラフィックインバージョン解析結果によると、No.6孔からNo.7孔の西側にかけての深度100～400m付近に周囲に比べて顕著にS波速度が低下した構造が確認され、その西側は深度方向に漸増している。



- ・その他の測線によるオフセット探査結果及びS波の初動トモグラフィック解析結果に関する分解能の検討は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-04参照。
- ・オフセットVSP探査によるP波速度構造とS波速度構造の比較及びS波の初動解析とフルウェーブ解析の比較は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-05参照。

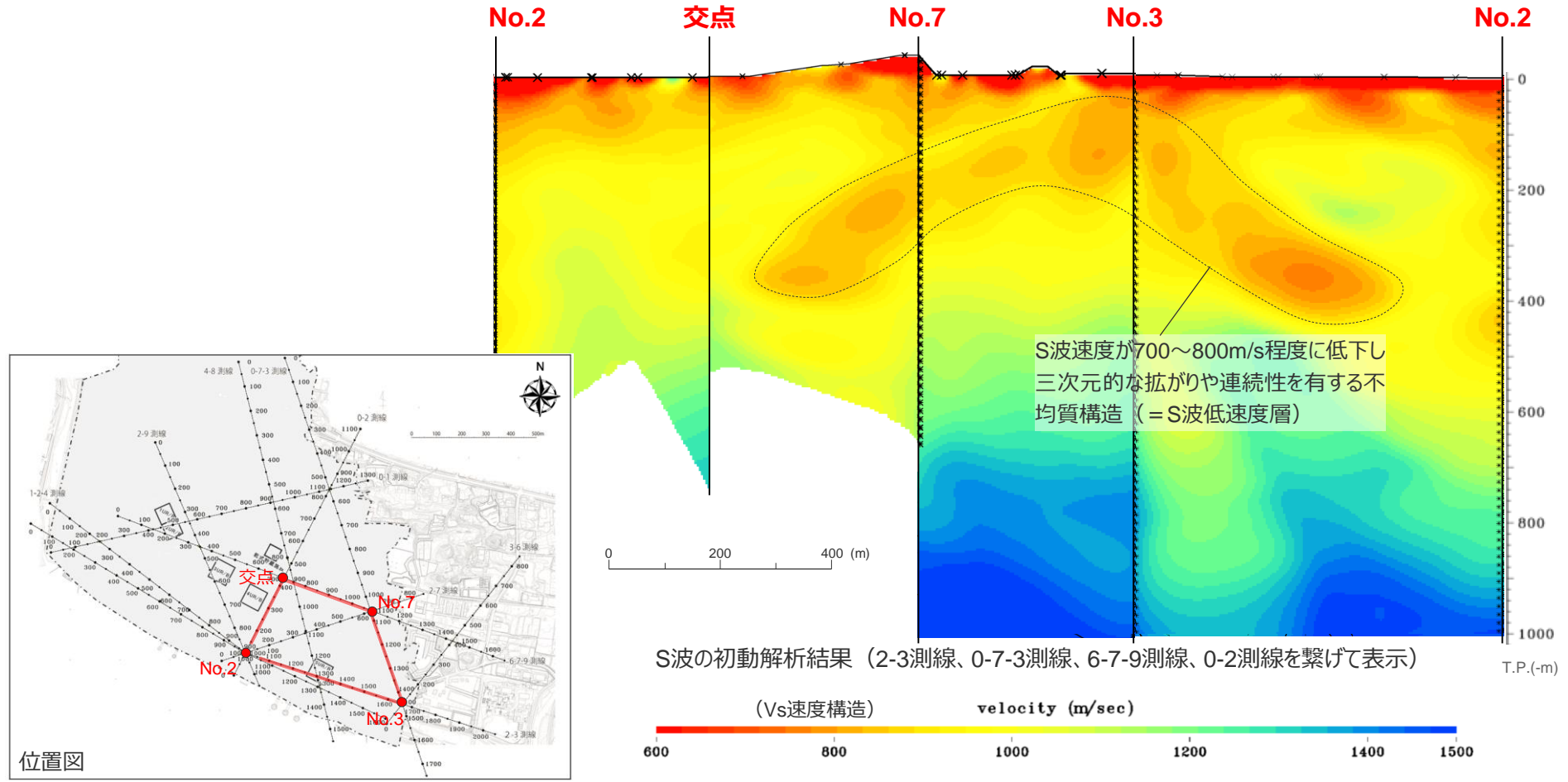
<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>

# S波低速度層の考え方について

## 【S波低速度層の考え方】

○周囲に比べてS波速度が顕著に低下\*し、三次元的な拡がりや連続性を有する不均質構造をS波低速度層とする。

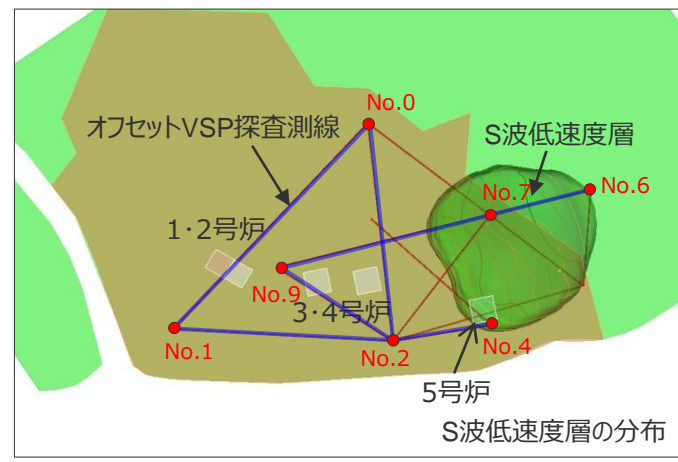
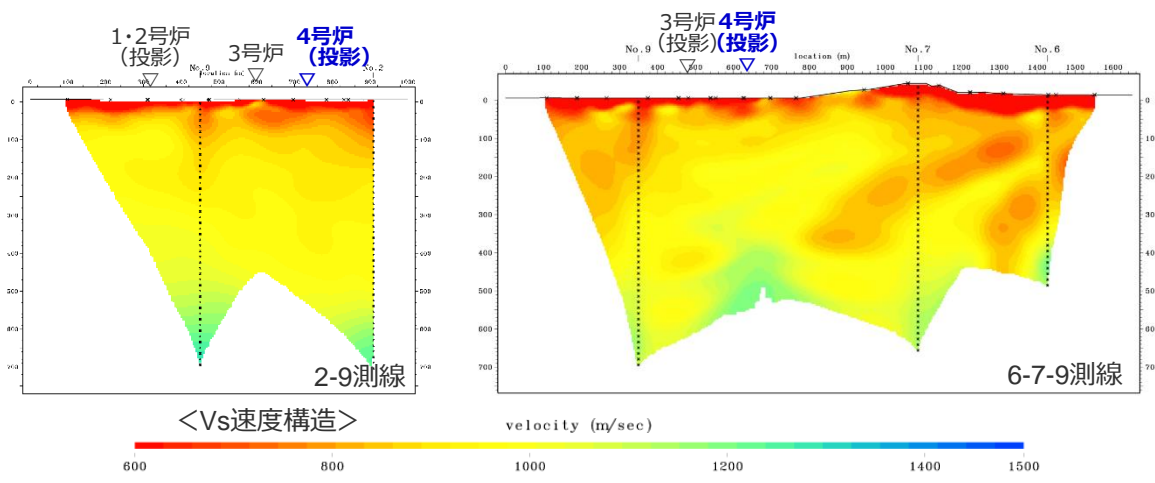
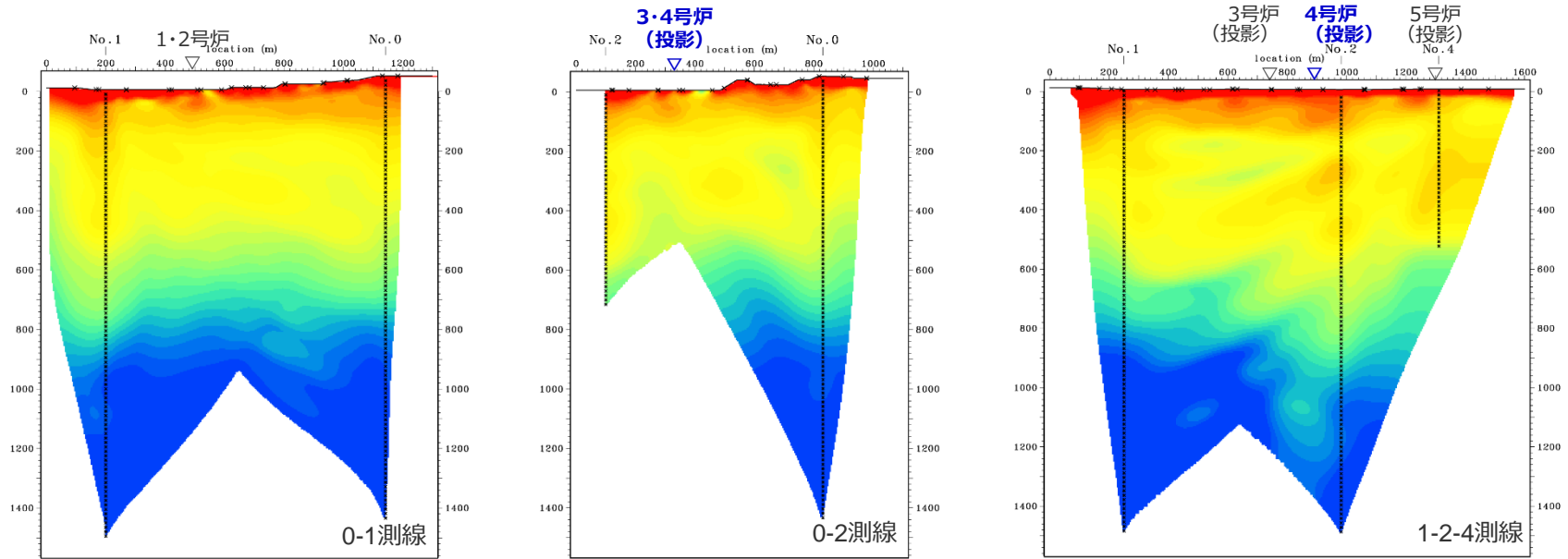
\*周囲に比べて2～3割程度の速度低下を目安とする。





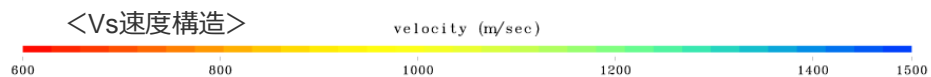
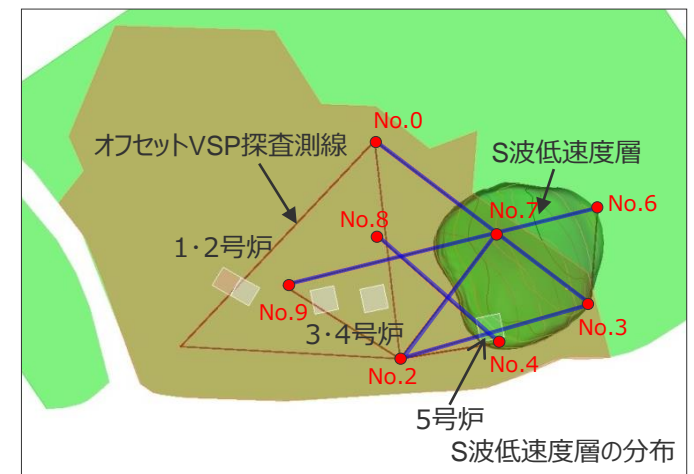
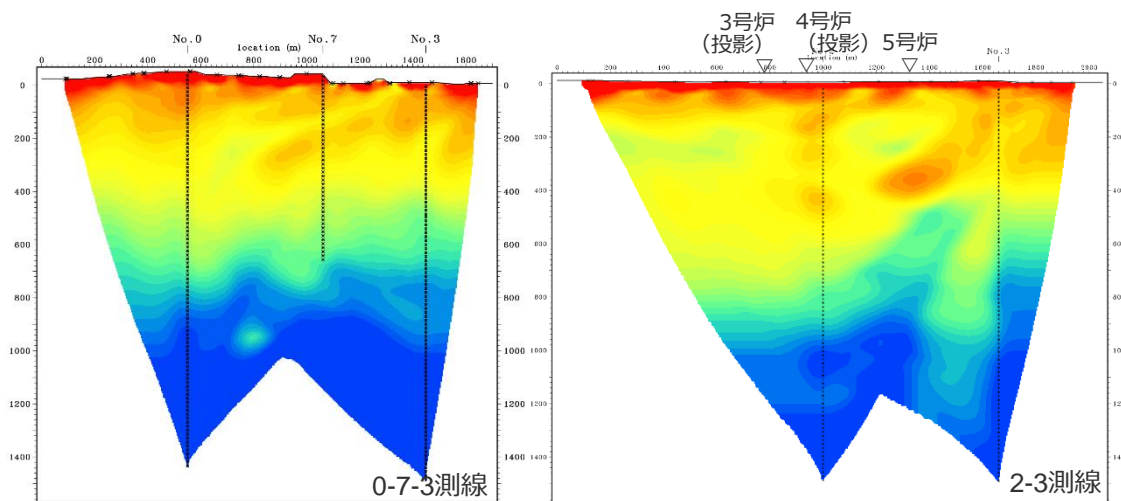
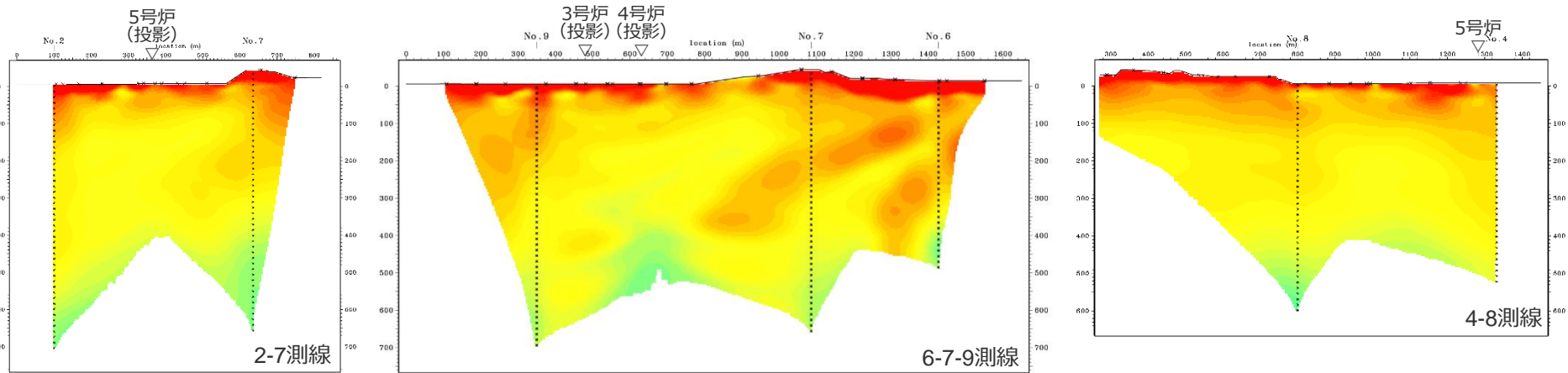
<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>  
敷地近傍の地下構造 (浅部)  
(4号炉周辺の地下構造調査結果)

○ 4号炉周辺のオフセットVSP探査結果によると、**4号炉周辺ではS波低速度層が確認されず**、概ね深度方向に漸増する構造となっている。



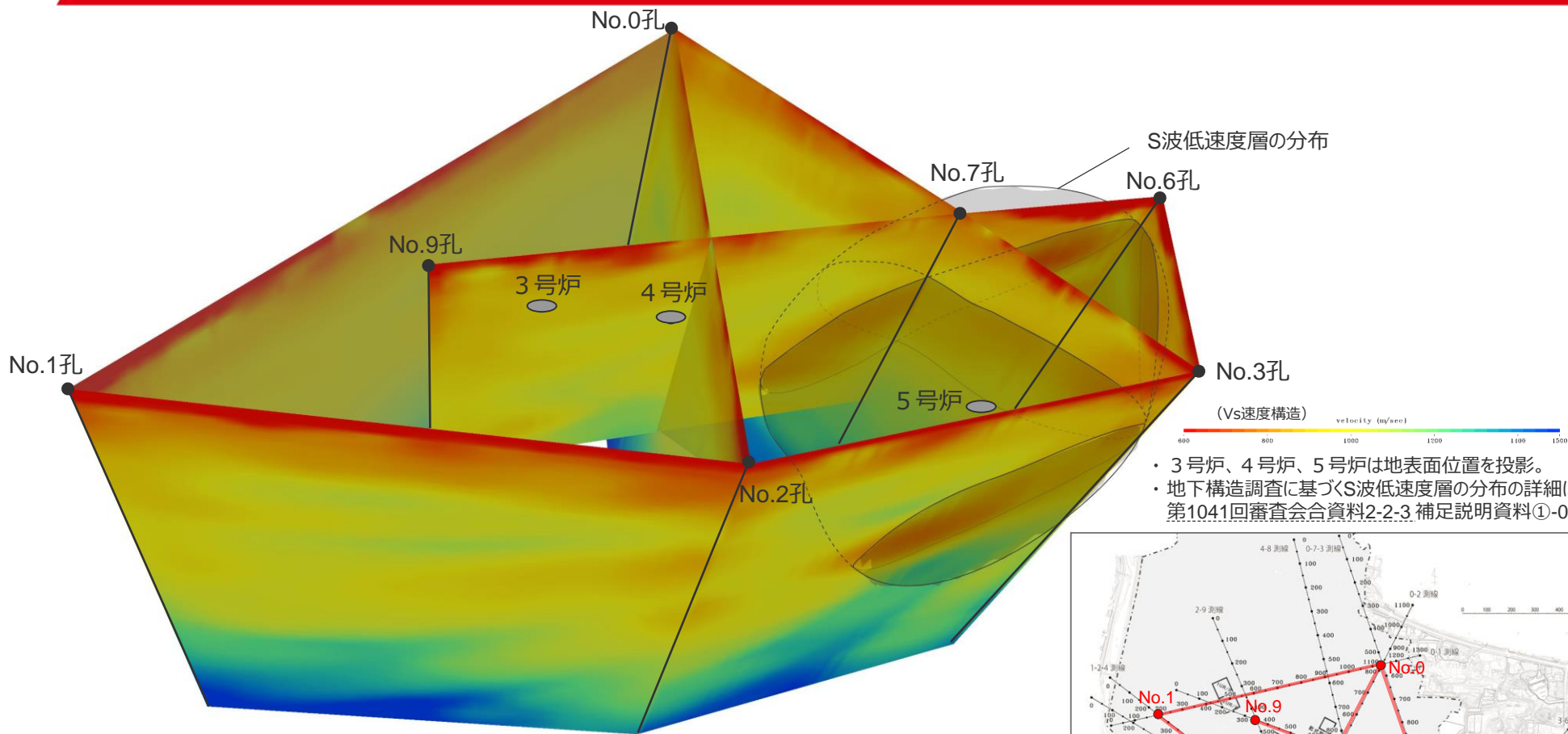
<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>  
敷地近傍の地下構造 (浅部)  
(5号炉周辺の地下構造調査結果)

○ 5号炉周辺のオフセットVSP探査結果によると、**5号炉周辺ではS波低速度層が確認される。**



# 敷地近傍の地下構造（浅部）

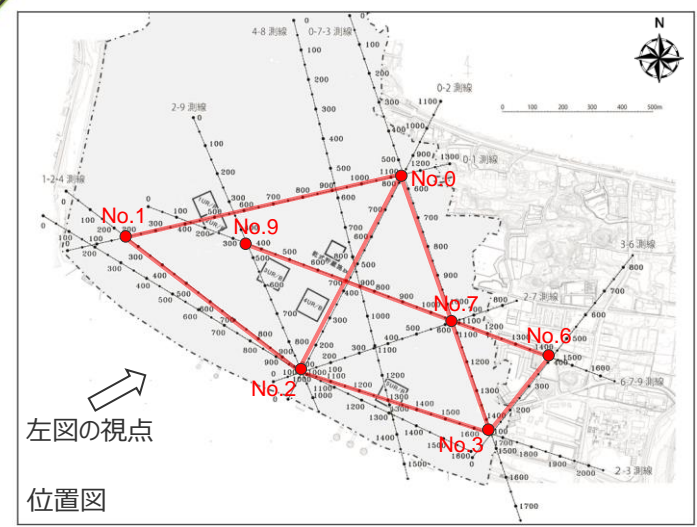
## （S波低速度層の分布（立体図））



- ・ 3号炉、4号炉、5号炉は地表面位置を投影。
- ・ 地下構造調査に基づくS波低速度層の分布の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-05参照。

○敷地東側では、深度100～400m付近にかけて、複数の測線でS波速度が700～800m/s程度に低下し、三次元的な拡がりや連続性を有するS波低速度層が確認される。

○敷地東側以外に、周囲に比べてS波速度が顕著に低下し、三次元的な拡がりや連続性を有するS波低速度層は確認されない。



左図の視点  
位置図

<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>

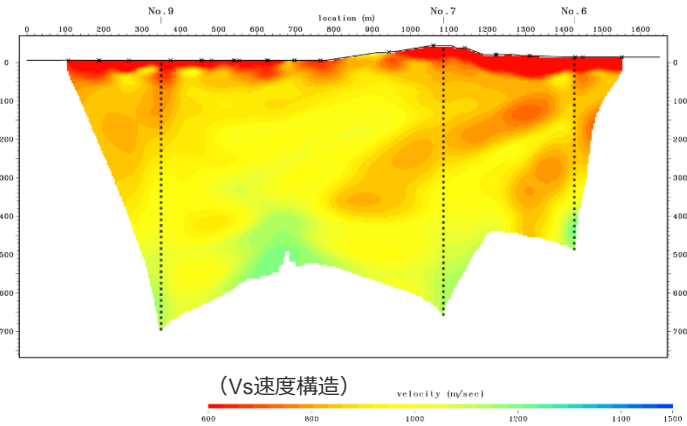
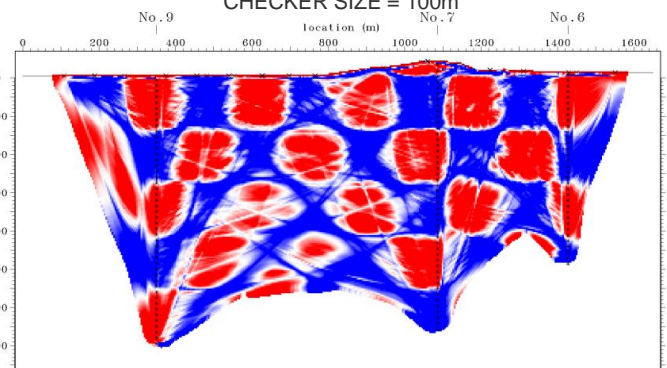
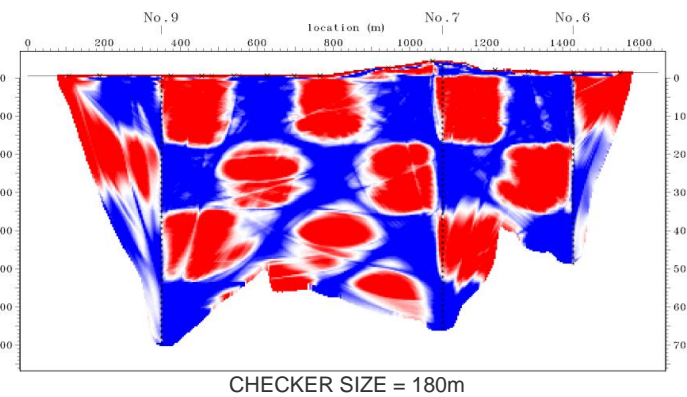
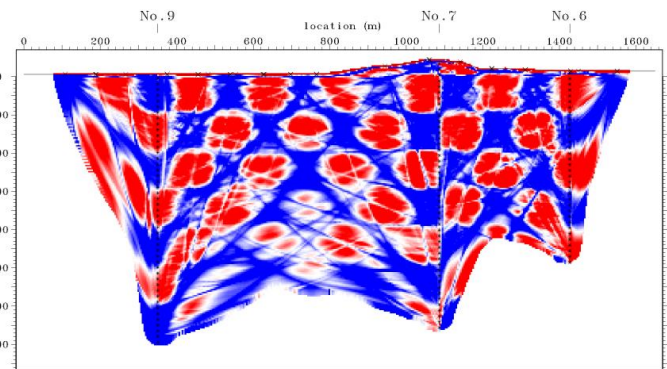
敷地近傍の速度構造 (オフセットVSP探査結果)

(S波の初動トモグラフィ解析結果に関する検討 (6-7-9測線))

○チェッカーボードテスト

・他の測線のチェッカーボードテストは、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-04参照。

- ・初動トモグラフィ解析結果の分解能を検討するため、使用した初期速度構造モデルに±5%の速度変化を格子状 (100,140,180m) に与え、観測誤差を考慮しない理論走時でチェッカーボードテストを実施。なお、全波形の誤差のRMSが最少となった時点で解析は終了とした。
- ・No.6孔とNo.7孔のボーリング孔間の標高0m～標高-400mの領域では、チェッカーサイズ140mで格子が概ね再現され、No.7孔とNo.9孔のボーリング孔間の標高0m～標高-500mの領域では、チェッカーサイズ140mで格子が概ね再現されている。
- ・これらの結果より、S波の初動解析結果においてNo.6孔からNo.7孔の西側にかけて、深度100～400m付近に認められる周囲に比べて顕著にS波速度が低下した構造については、十分な分解能があると評価。



S波の初動解析結果 (6-7-9測線)

# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

（S波の初動トモグラフィ解析結果に関する検討（6-7-9測線））

## ○スパイクテスト

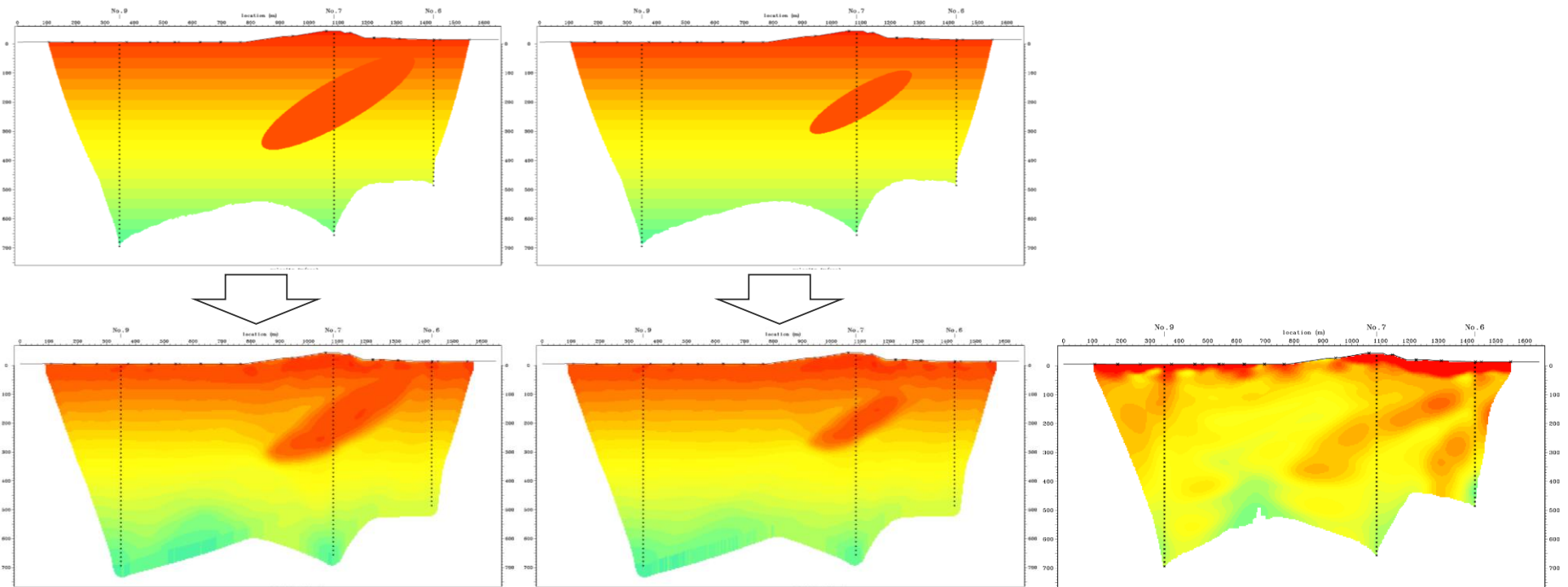
・他の測線のスパイクテストは、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-04参照。

- ・初動トモグラフィ解析結果で確認された顕著にS波速度が低下した構造の信頼性を検討するため、この構造を対象に、異なる大きさの速度異常域を有するモデルを設定し、スパイクテストを実施。
- ・その結果、いずれのモデルにおいても、速度境界は不明瞭になるものの、初期速度構造モデルとほぼ同様の位置に速度異常域が確認される。
- ・これらの結果から、S波の初動解析結果においてNo.6孔からNo.7孔の西側にかけて、深度100～400m付近に認められる周囲に比べて顕著にS波速度が低下した構造については、信頼性が高いと評価。

（上段：初期速度構造モデル、下段：トモグラフィ解析結果）

①速度異常域が600m×150m（700m/s）のモデル

②速度異常域が400×100m（700m/s）のモデル



（Vs速度構造）

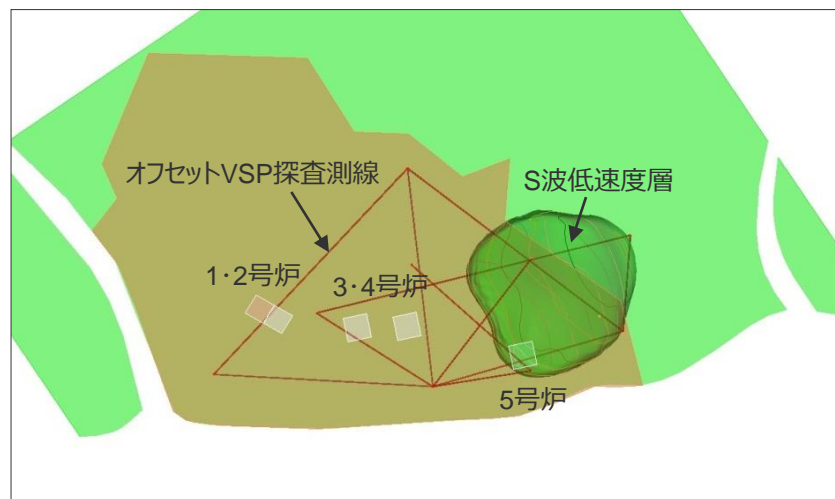


S波の初動解析結果（6-7-9測線）

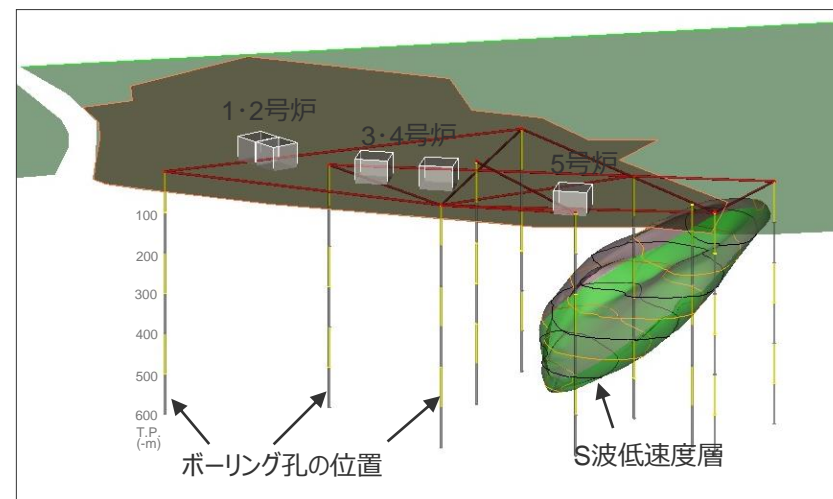
## 敷地近傍の地下構造（浅部）

（S波低速度層の分布）

- 敷地近傍の複数の速度構造調査結果によると、**S波低速度層は5号炉周辺より東側に分布し、1, 2号炉周辺及び3, 4号炉周辺や海側には分布していない。**
- この調査結果に基づき敷地近傍の地質・地質構造を参考に推定したS波低速度層の分布図によると、S波低速度層は5号炉から2009年駿河湾の地震の到来方向である北東方向にかけて、深さ数百mの浅部に局所的に分布している。
- S波低速度層の分布の信頼性について、S波低速度層を確認した速度構造調査結果（オフセットVSP探査に基づく初動トモグラフィ解析結果）に関し、チェッカーボードテスト及びスパイクテストにより信頼性を確認した（詳細は第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-04参照）。



<平面分布図>



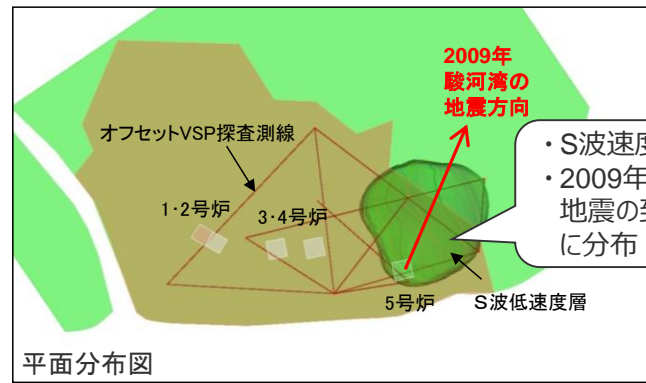
<鳥瞰図>

・S波低速度層の地質的特徴については、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-06参照。

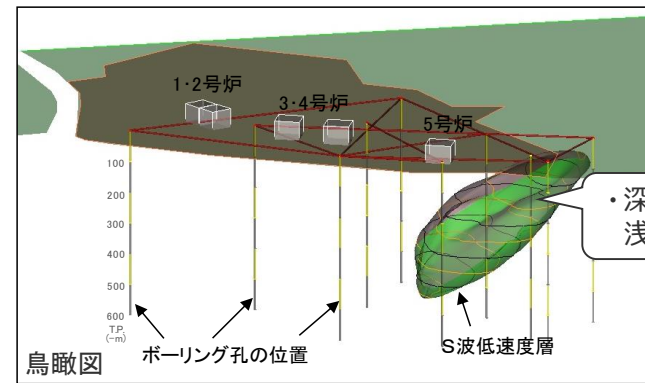
# 敷地近傍の地下構造（浅部）

（速度構造調査結果等及び地震観測記録に基づく5号炉周辺の増幅要因の推定）

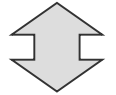
## 速度構造調査結果等に基づくS波低速度層の特徴



- ・S波速度が低下
- ・2009年駿河湾の地震の到来方向に分布

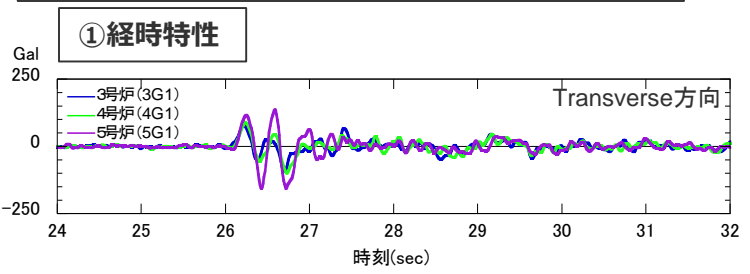


- ・深さ数百mの浅部に分布

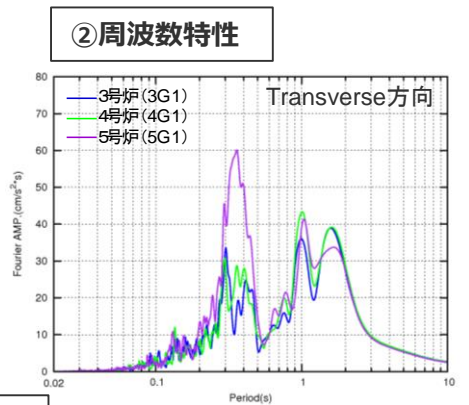


「速度構造調査結果等に基づくS波低速度層の特徴」は、「地震観測記録に基づく5号炉周辺の増幅要因の考察」と整合していることから、S波低速度層が5号炉周辺の増幅要因であると推定される。

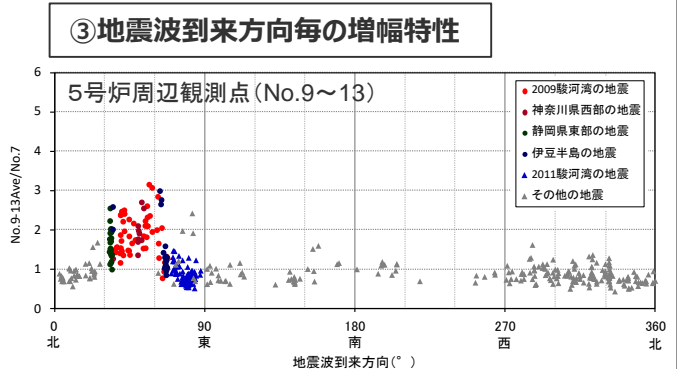
## 地震観測記録に基づく5号炉周辺の増幅要因の考察



<2009年駿河湾の地震（本震）の加速度時刻歴波形>



<2009年駿河湾の地震（本震）の加速度フーリエスペクトル>



<各地震の振幅比と地震波到来方向との関係 (No.7基準) (水平平均)>

- ・経時特性より、S波速度が低下した不均質構造。
- ・周波数特性、地震波到来方向毎の増幅特性より、浅部地盤の不均質構造であり、5号炉周辺から2009年駿河湾の地震の地震波到来方向にかけて局所的に分布。

## 敷地近傍の地下構造（浅部）

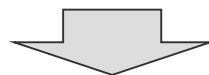
（敷地近傍の浅部三次元地下構造モデルの作成及び解析検討（概要））

### <目的>

- 地下構造調査結果及び地震観測記録に基づく検討により、2009年駿河湾の地震における浜岡原子力発電所5号炉周辺の増幅要因はS波低速度層※であると推定される。  
※ S波低速度層は5号炉から北東方向にかけて、深さ数百mの浅部に局所的に分布しており、その内部は、濃淡のある不均質な速度構造の集合体と考えられる。
- S波低速度層が地震動の増幅に影響を及ぼすか検討し、5号炉周辺の増幅要因の検証を行う。

### <浅部三次元地下構造モデルの作成>

- 敷地近傍の浅部地盤を対象として実施した地下構造調査（オフセットVSP探査、ベイケーブル探査、反射法地震探査、ボーリング調査・物理検層等）の結果に基づき、S波低速度層を含む敷地近傍の浅部三次元地下構造モデルを作成する。



### <三次元有限差分法による解析検討>

- 作成した浅部三次元地下構造モデルを用いて、三次元有限差分法により、3～5号炉位置の地盤増幅特性に係る解析検討を行い、地震観測記録の特徴との関係について検討する。

・浅部地下構造モデルの設定及び解析検討に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3補足説明資料①-08参照。



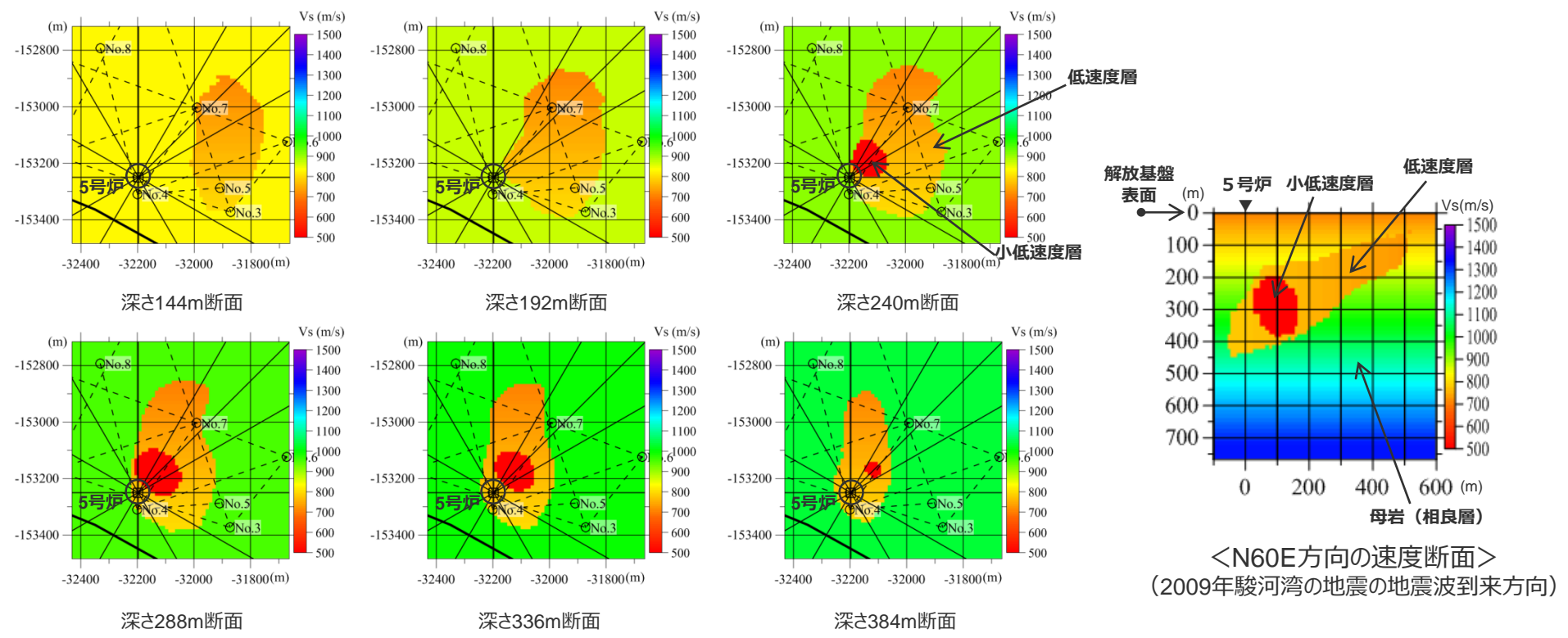
<2.1.1.3 地下構造調査及び解析検討>

# 敷地近傍の地下構造（浅部）

## （敷地近傍の浅部三次元地下構造モデルの作成）

○低速度層、小低速度層※、母岩（相良層）から成る浅部三次元地下構造モデル（チューニングモデル）は、基本的に地下構造調査結果に基づき設定し、小低速度層は地震観測記録の特徴を説明できるよう、その形状をチューニングして低速度層の内部に設定する。

※オフセットVSP探査結果（フルウェーブ解析）によると、低速度層の内部が濃淡のある不均質な速度構造の集合体であることを踏まえ、低速度層の内部には更に速度が低い構造（小低速度層）をモデル化する。



<深さ毎の速度断面>

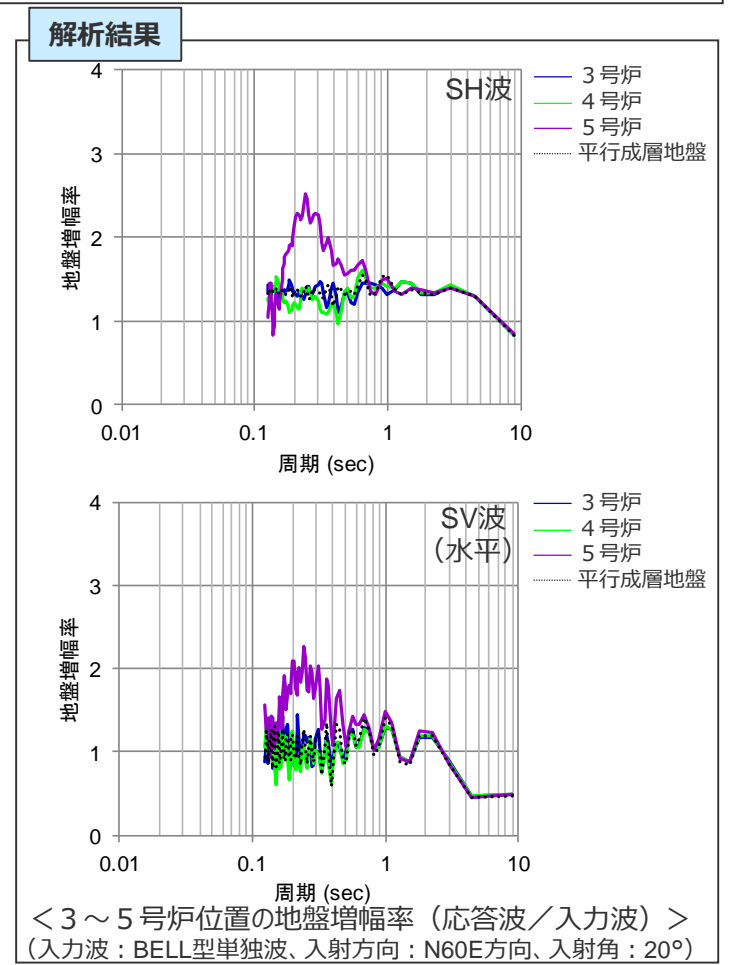
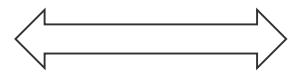
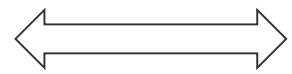
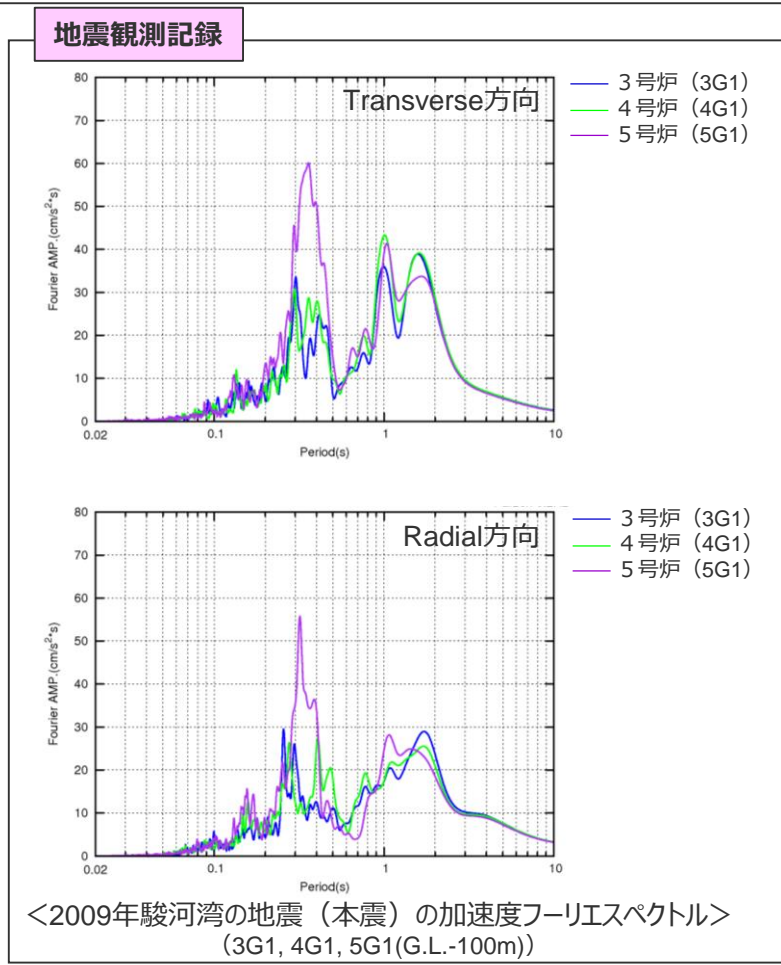
・ オフセットVSP探査結果（フルウェーブ解析）の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-05参照。  
 ・ 浅部地下構造モデルの物性値の設定、小低速度層に関するパラメータスタディによる浅部三次元地下構造モデル（チューニングモデル）の妥当性確認は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-08参照。

<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>

敷地近傍の地下構造（浅部）

（浅部三次元地下構造モデルを用いた解析検討結果（地震観測記録の特徴との比較（周波数特性）））

- 地震観測記録として2009年駿河湾（本震）の地震の加速度フーリエスペクトルと、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果として入射方向N60E（2009年駿河湾の地震の地震波到来方向に相当）とした3～5号炉位置の地盤増幅率を示す。
- 地震観測記録の特徴として、5号炉周辺の顕著な増幅は周期0.2～0.5秒付近の狭帯域に見られ、解析結果においても、5号炉位置では周期0.2～0.5秒付近で増幅しており、両者は概ね整合している。



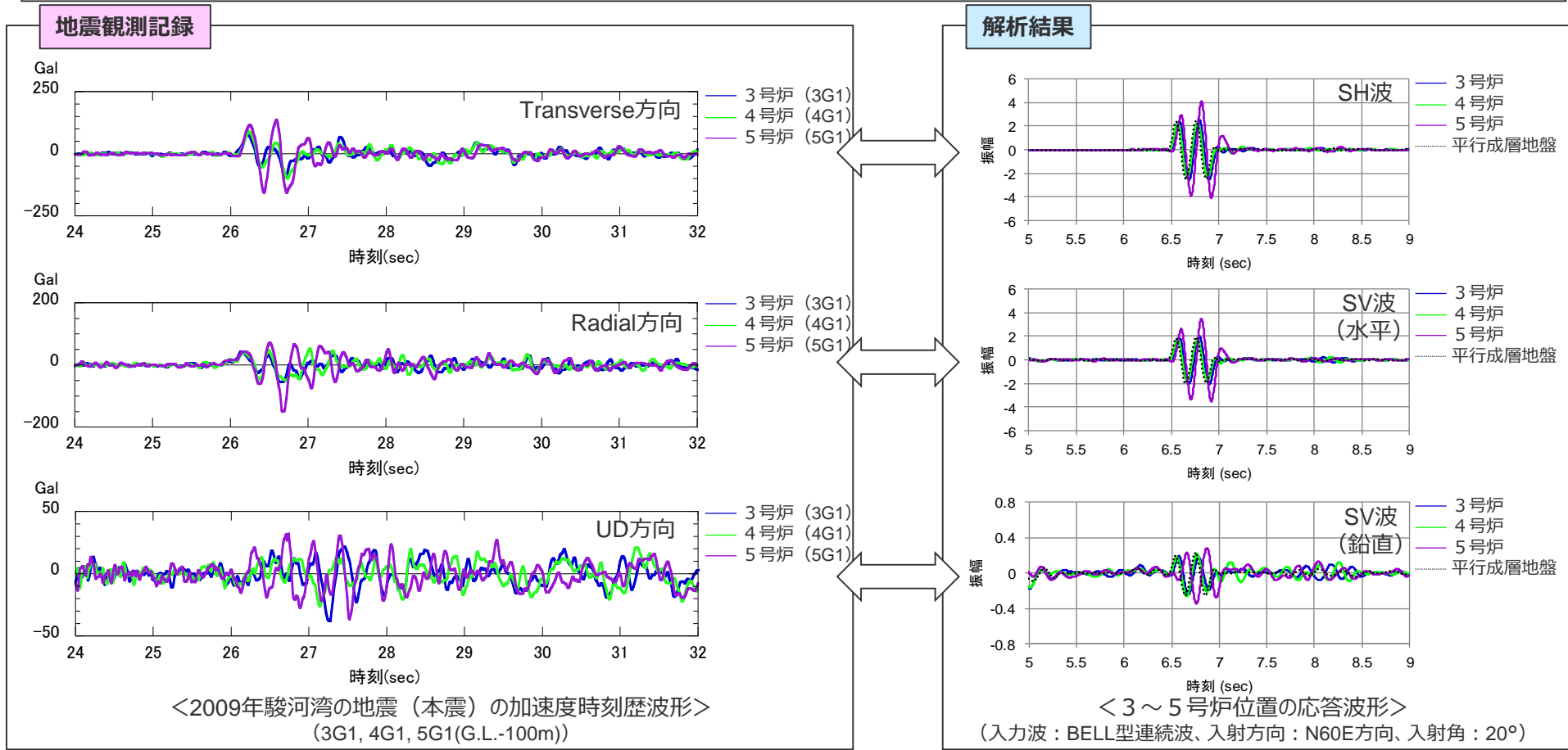
・解析諸元の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3\_補足説明資料①-08参照。

<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>

敷地近傍の地下構造（浅部）

（浅部三次元地下構造モデルを用いた解析検討結果（地震観測記録の特徴との比較（経時特性）））

- 地震観測記録として2009年駿河湾の地震（本震）の加速度時刻歴波形と、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果として入射方向N60E（2009年駿河湾の地震の地震波到来方向に相当）とした3～5号炉位置の応答波形を示す。
- 地震観測記録の特徴として、水平動では、S波主要動部で5号炉周辺の顕著な増幅が見られ、若干の位相遅れを伴うとともに、一波目より二波目以降でより増幅が大きい。また、鉛直動の位相特性はランダムになっている。
- 解析結果において、5号炉位置では水平動でやや位相遅れを伴い、一波目より二波目以降でより増幅が大きい。また、鉛直動の位相特性はランダムになっており、地震観測記録の特徴と概ね整合している。

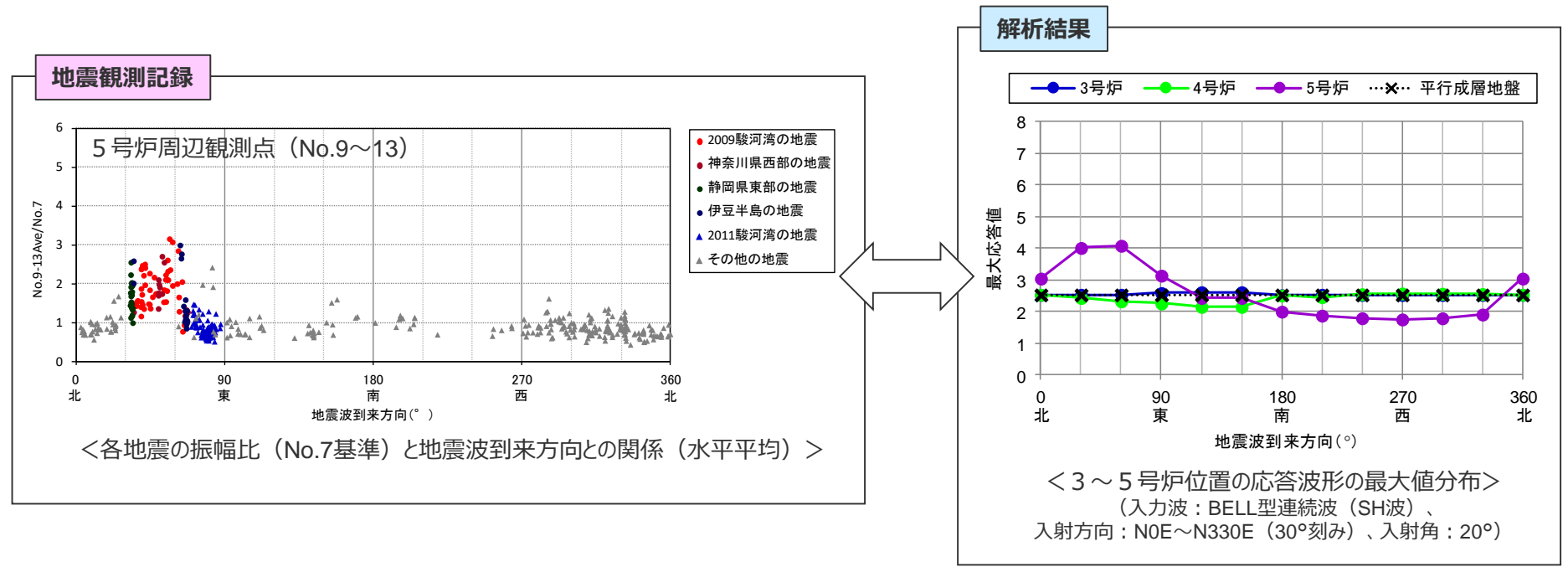


<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>

敷地近傍の地下構造（浅部）

（浅部三次元地下構造モデルを用いた解析検討結果（地震観測記録の特徴との比較（地震波到来方向）））

- 多点連続地震観測の分析結果として5号炉周辺観測点における各地震の振幅比（No.7基準）と地震波到来方向との関係と、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果としてN0E～N330Eで入射方向を30°刻みとした3～5号炉位置の応答波形の最大値分布を示す。
  - 地震観測記録の特徴として、5号炉周辺では、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向（N30E～N70E）で顕著な増幅が見られるが、その他の方向では同様の増幅は見られず、増幅がやや小さい傾向が見られる。
  - 解析結果において、5号炉位置ではN30E～N60E付近で最大応答値が最も大きく、その他の方向では同様の増幅が見られず、増幅がやや小さい傾向が見られており、地震観測記録の特徴と概ね整合している。
- ⇒ 以上の検討によると、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果は地震観測記録の特徴と概ね整合していることから、5号炉周辺の増幅要因はS波低速度層であると評価した。



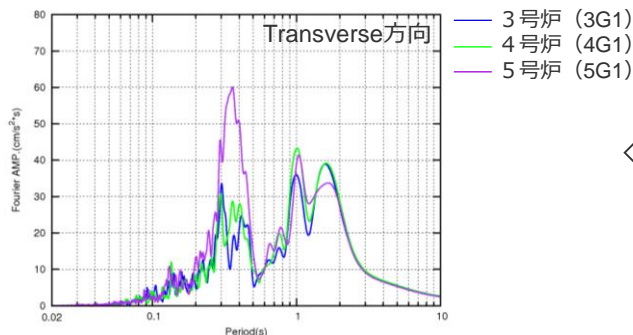
・解析諸元の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-08参照。

# 敷地近傍の地下構造（浅部）

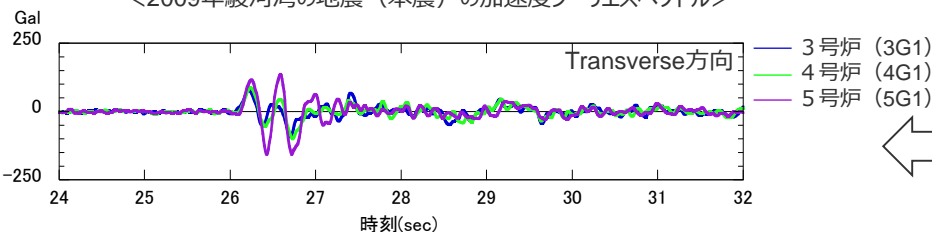
（浅部三次元地下構造モデルを用いた解析検討結果（地震観測記録の特徴との比較））

○周波数特性、経時特性、地震波到来方向毎の増幅特性について、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果は地震観測記録の特徴と概ね整合しており、5号炉周辺の増幅要因として、当該モデルは妥当であることを確認した。

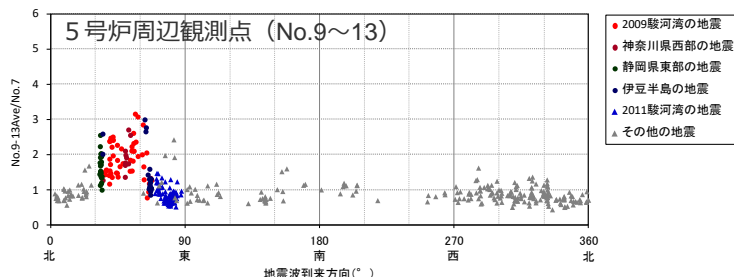
## 地震観測記録



<2009年駿河湾の地震（本震）の加速度フーリエスペクトル>

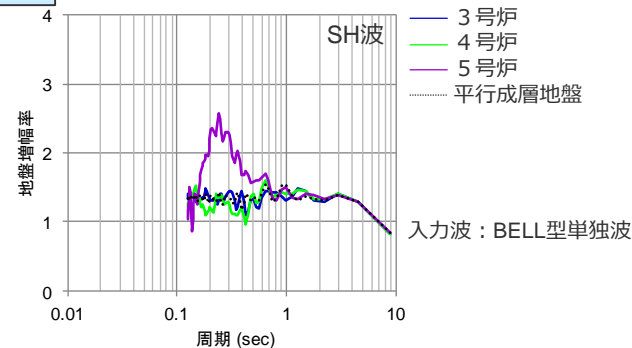


<2009年駿河湾の地震（本震）の加速度時刻歴波形>

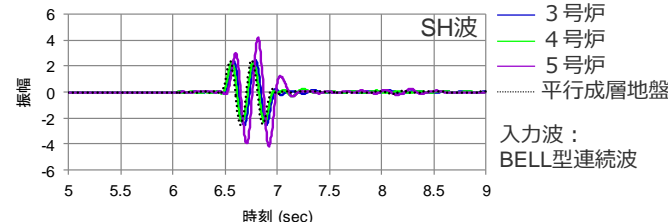


<各地震の振幅比（No.7基準）と地震波到来方向との関係（水平平均）>

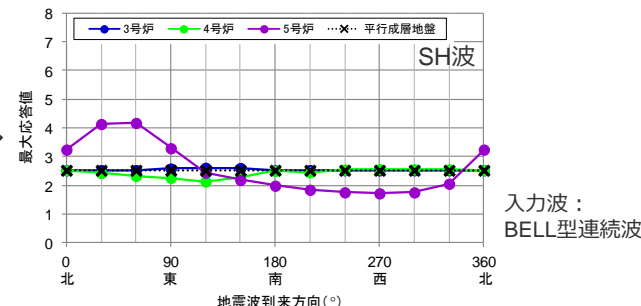
## 解析結果



<3～5号炉位置の地盤増幅率（入射：2009年駿河湾の地震方向）>



<3～5号炉位置の応答波形（入射：2009年駿河湾の地震方向）>



<3～5号炉位置の応答波形の最大値分布（入射：各方向）>

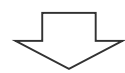
・解析諸元の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3.補足説明資料①-08参照。

<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>

# 敷地近傍の地下構造（浅部）

（浅部三次元地下構造モデルを用いた入射角、入射方向に関する解析検討の結果）

- 浅部三次元地下構造モデルに基づき、「入射角、入射方向」に関するパラメータスタディを行う。
  - ・入射方向は全方位30°刻みとする。
  - ・入射角は0°、10°、20°、30°とする。

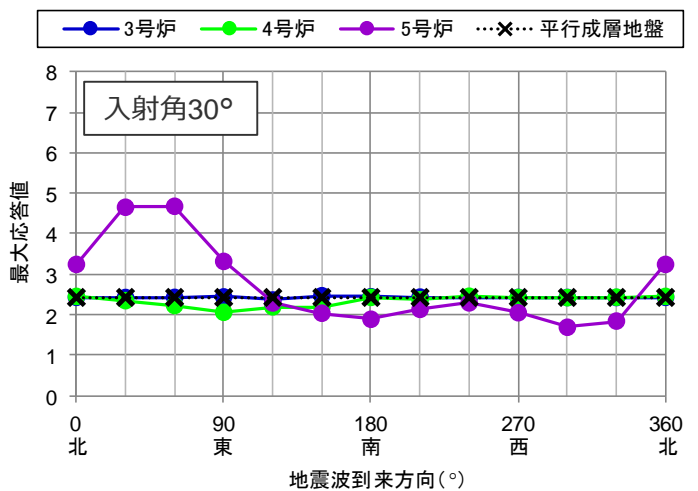
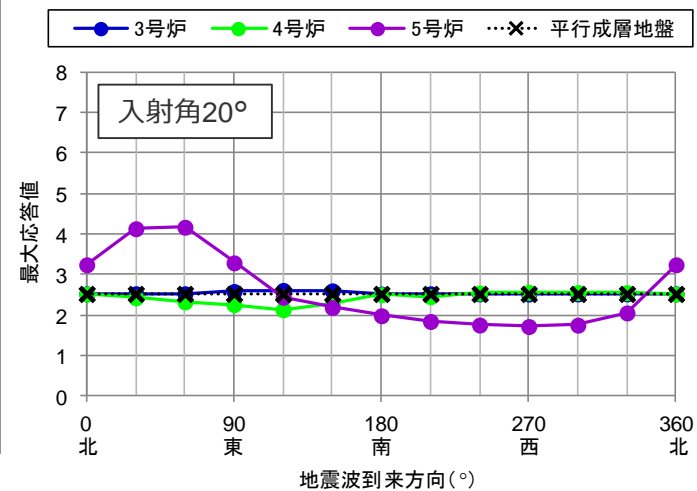
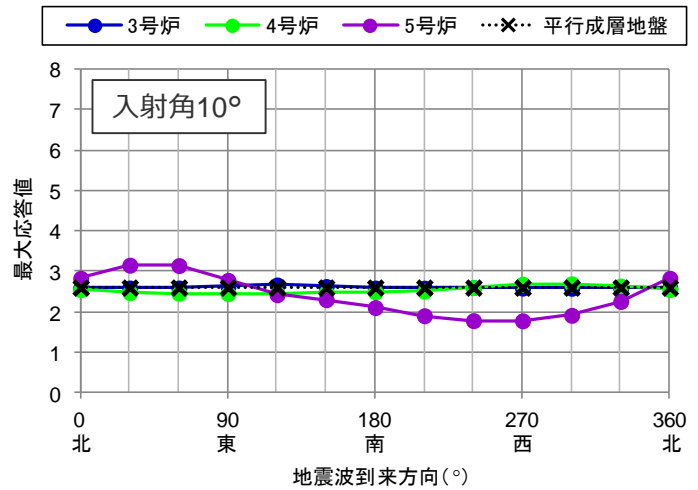
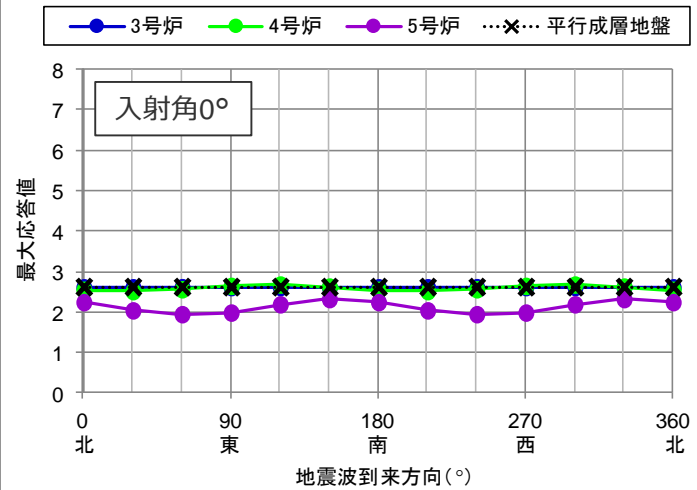


### <4号炉位置>

- 4号炉位置の最大応答値は、**いずれの入射角、到来方向においても平行成層地盤と同程度**であり、**顕著な増幅は見られず、低速度層及び小低速度層の影響を受けていない。**

### <5号炉位置>

- 5号炉位置の最大応答値について、**入射角20°、30°では、N30E~N60E方向で最も大きい**が、**鉛直下方入射に近づく（入射角0°、10°）、顕著な増幅は見られない傾向**となる。

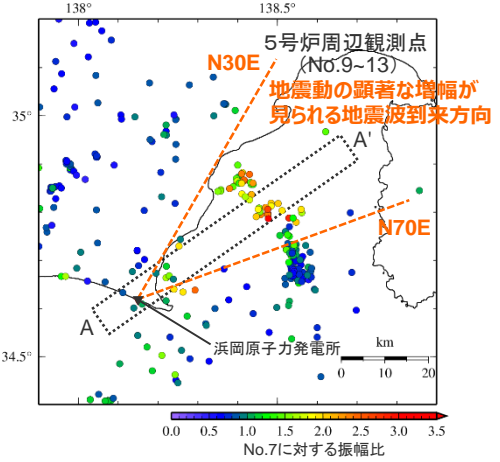
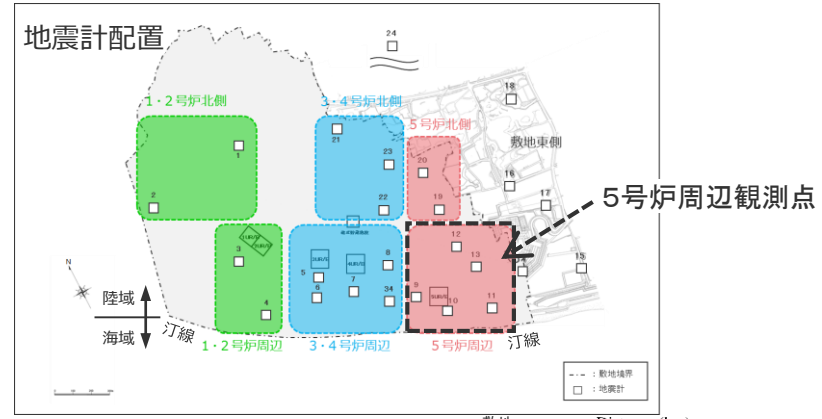


<3～5号炉位置の応答波形の最大値分布>  
（入力波：BELL型連続波（SH波））

# <2.1.3 地下構造調査及び解析検討> 敷地近傍の地下構造 (浅部)

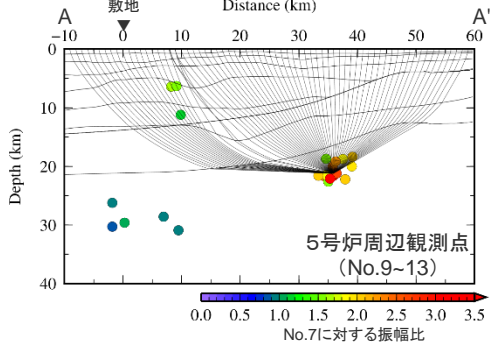
(地震波の入射角が鉛直下方に近い地震の地震観測記録の分析及び解析検討の結果)

## 地震観測記録の分析 (多点連続地震観測)

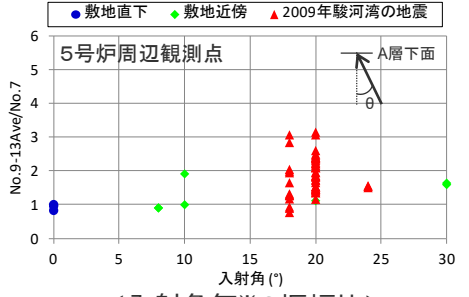


< 5号炉周辺観測点における  
各地震の振幅比の震央分布図  
(No.7基準) >

※浅部三次元地下構造モデルの底面に相当するA層下面への入射角について、各断面の地震クラスター毎にレイトレーシングを行い評価。



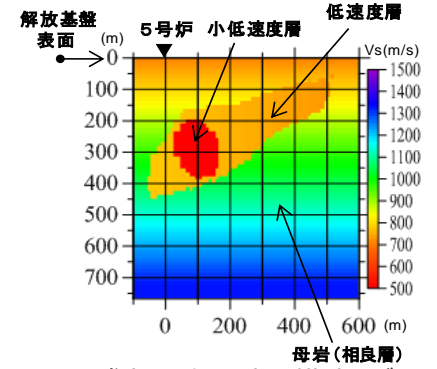
<振幅比の断面図 (A-A'断面)>



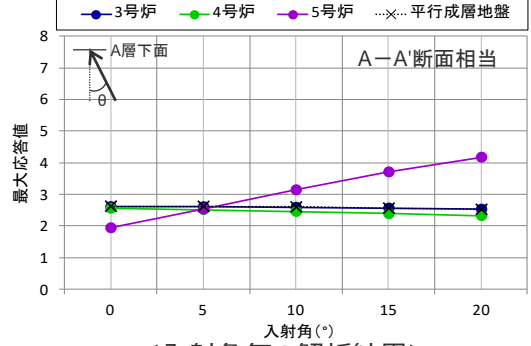
<入射角毎の振幅比>  
(N30E~N70E方向+敷地直下の地震)

- 前述のとおり、5号炉周辺観測点において、地震動の顕著な増幅は2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近 (N30E~N70E) にのみ見られる。
- ただし、地震観測記録の分析及び三次元地下構造モデルによる解析検討によると、地震波の入射角が鉛直下方に近づくほど、地震動の顕著な増幅は見られない傾向がある。

## 三次元地下構造モデルによる解析検討



<浅部三次元地下構造モデル>

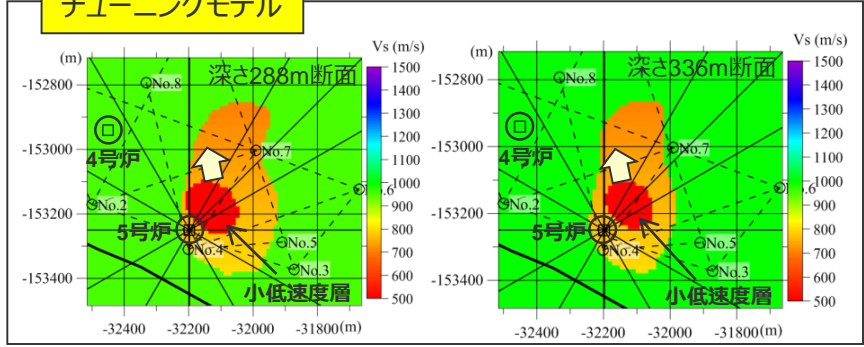


<入射角毎の解析結果>  
(入力波: BELL型連続波 (SH波)、入射方向: N60E方向)

# <2.1.3 地下構造調査及び解析検討> 敷地近傍の地下構造 (浅部)

## (4号炉周辺への低速度層の影響検討)

### チューニングモデル

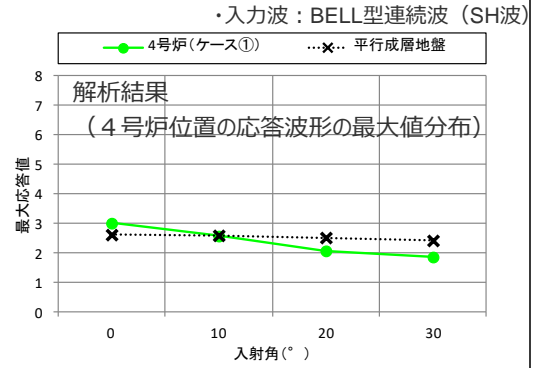
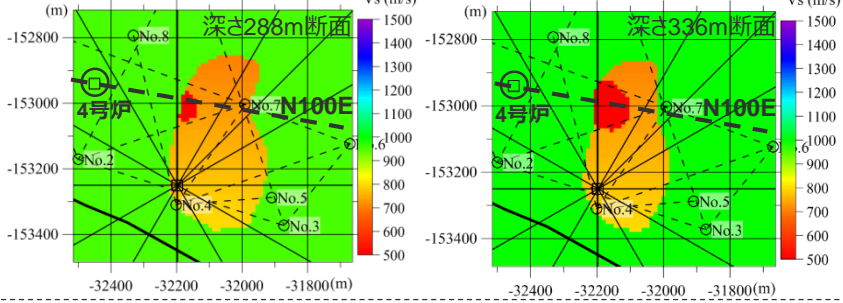


小低速度層を4号炉へ最も近づけた  
ケースを仮に想定

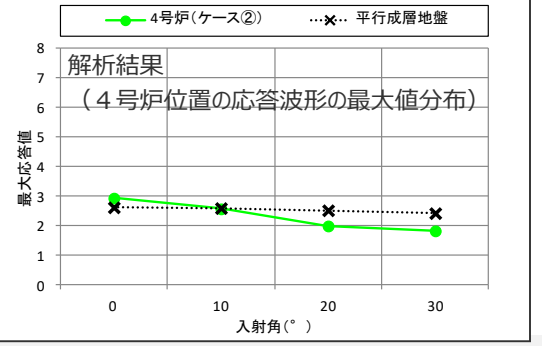
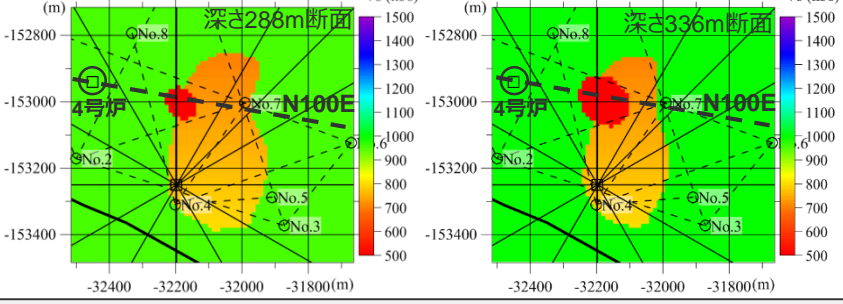
- 4号炉への低速度層の影響検討の観点から、観測記録の特徴とは整合しないものの、小低速度層を4号炉へ最も近づけたケースを仮に想定し、パラメータスタディを実施。
    - ・入射方向は4号炉から小低速度層までの最短方向であるN100Eとする。
    - ・入射角は0°、10°、20°、30°とする。
  - モデル境界を保持したケース①及びモデル境界を保持しないケース②について、4号炉位置の最大応答値はいずれの入射角においても平行成層地盤と同程度である。
- ⇒ 仮定条件下の影響検討においても、S波低速度層は4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。

### 小低速度層を4号炉に近づけたケース

#### ケース① (モデル境界を保持)



#### ケース② (モデル境界を保持しない)





# 地震波の伝播経路の検討

## (4号炉に到達する波線の検討 (概要))

○多数の観測記録が得られている多点連続地震観測における観測地震及び内閣府(2012)によるプレート境界面 (震源モデルの断層面に相当) の震源を対象としてレイトレーシング解析を行い、4号炉に到達する主要な地震波の伝播経路 (波線) について検討する。

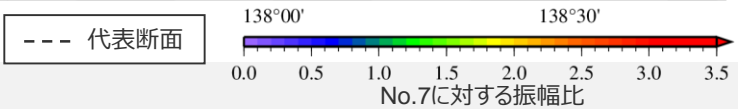
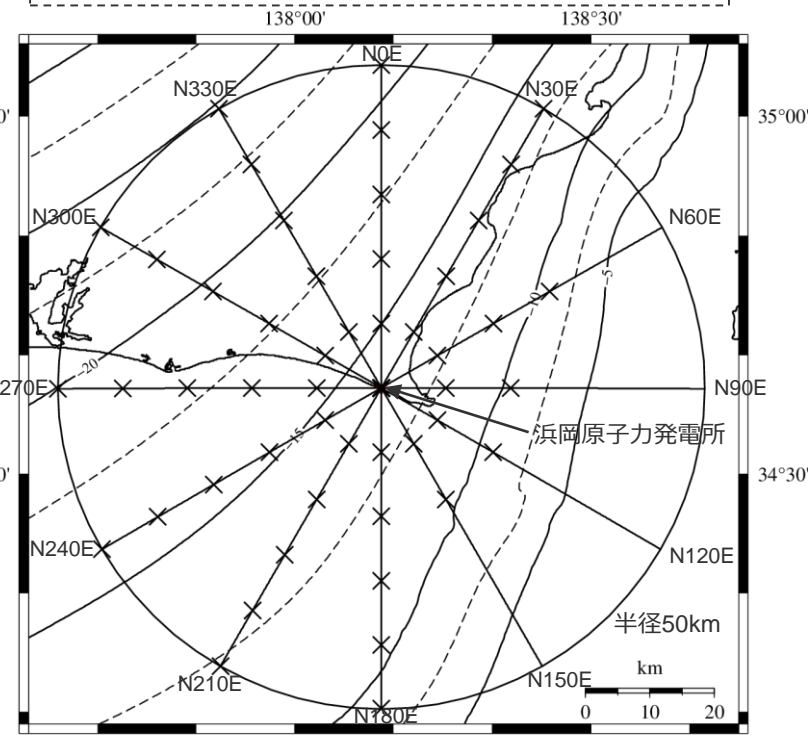
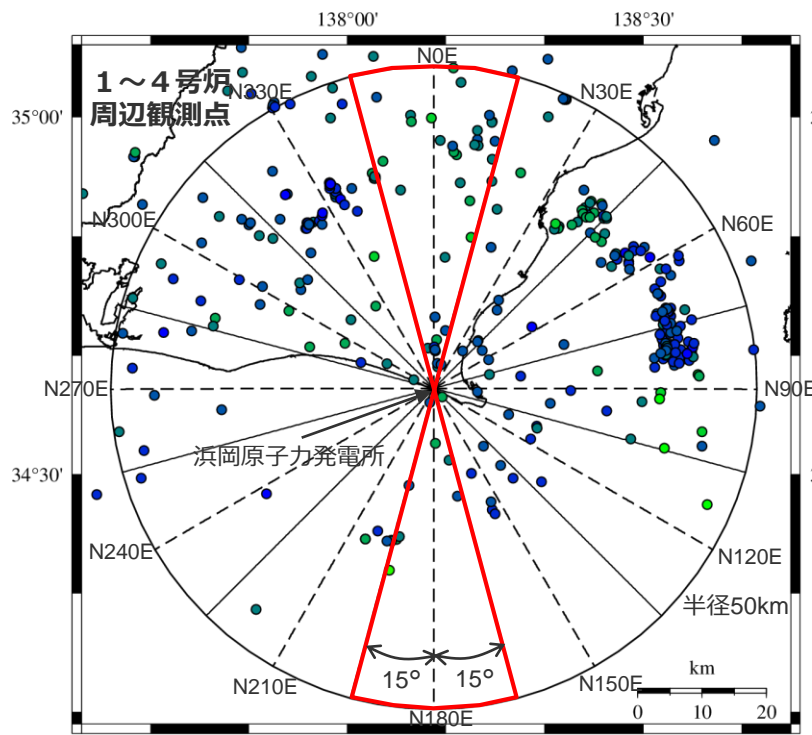
・レイトレーシング解析に用いる地下構造モデルについて、前述の深部三次元地下構造モデルに基づき、敷地から半径50kmを含む範囲まで拡張。

① 観測地震 (多点連続地震観測) のレイトレーシング解析

- ・代表断面毎にレイトレーシング解析を実施
  - ：代表断面は地震波到来方向30°毎
  - ：代表断面±15度の範囲内にある観測地震を対象

② プレート境界面 (内閣府(2012)) の震源のレイトレーシング解析

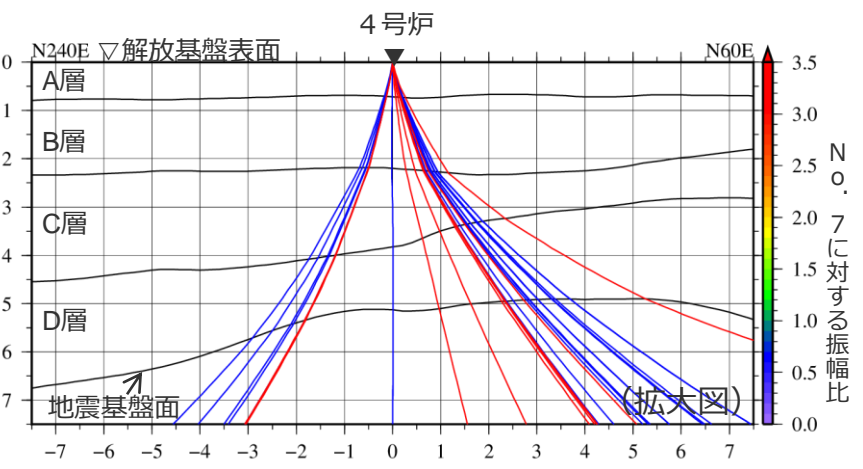
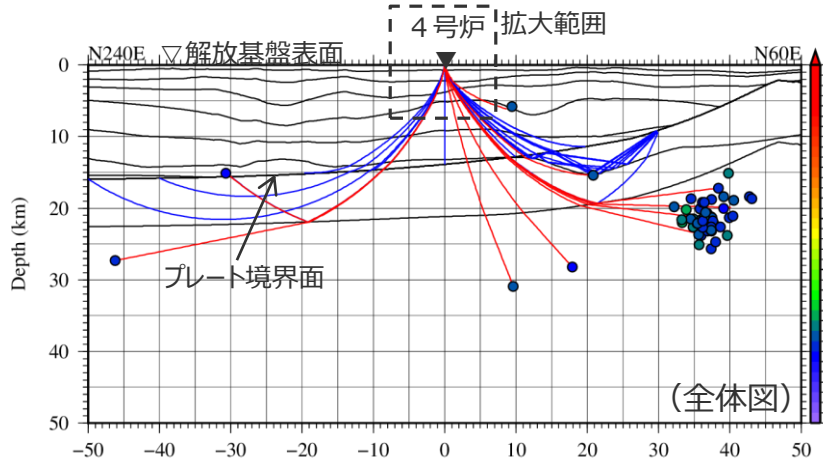
- ・下図の×印毎にレイトレーシング解析を実施
  - ：地震波到来方向30°毎
  - ：敷地からの水平距離10km毎 (深さ約10km以浅は除く)



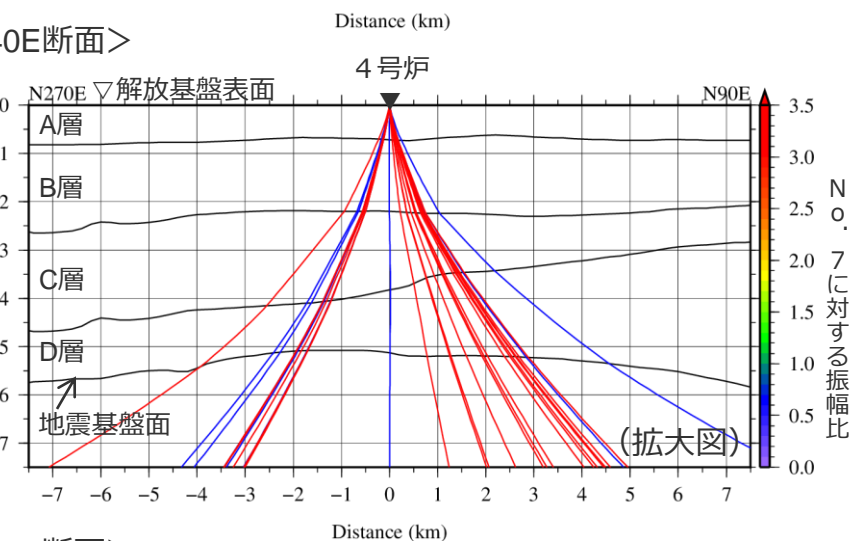
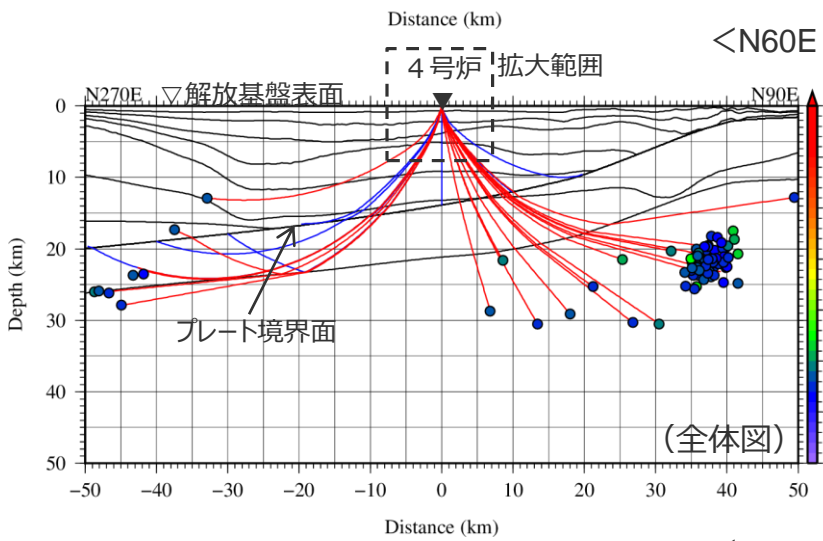
# 地震波の伝播経路の検討

(4号炉に到達する波線の検討結果)

○ 4号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線について、上方へ伝播するにつれて鉛直下方に近づいており、地震基盤面以浅では概ね同様の伝播経路となっている。



<N60E - N240E断面>



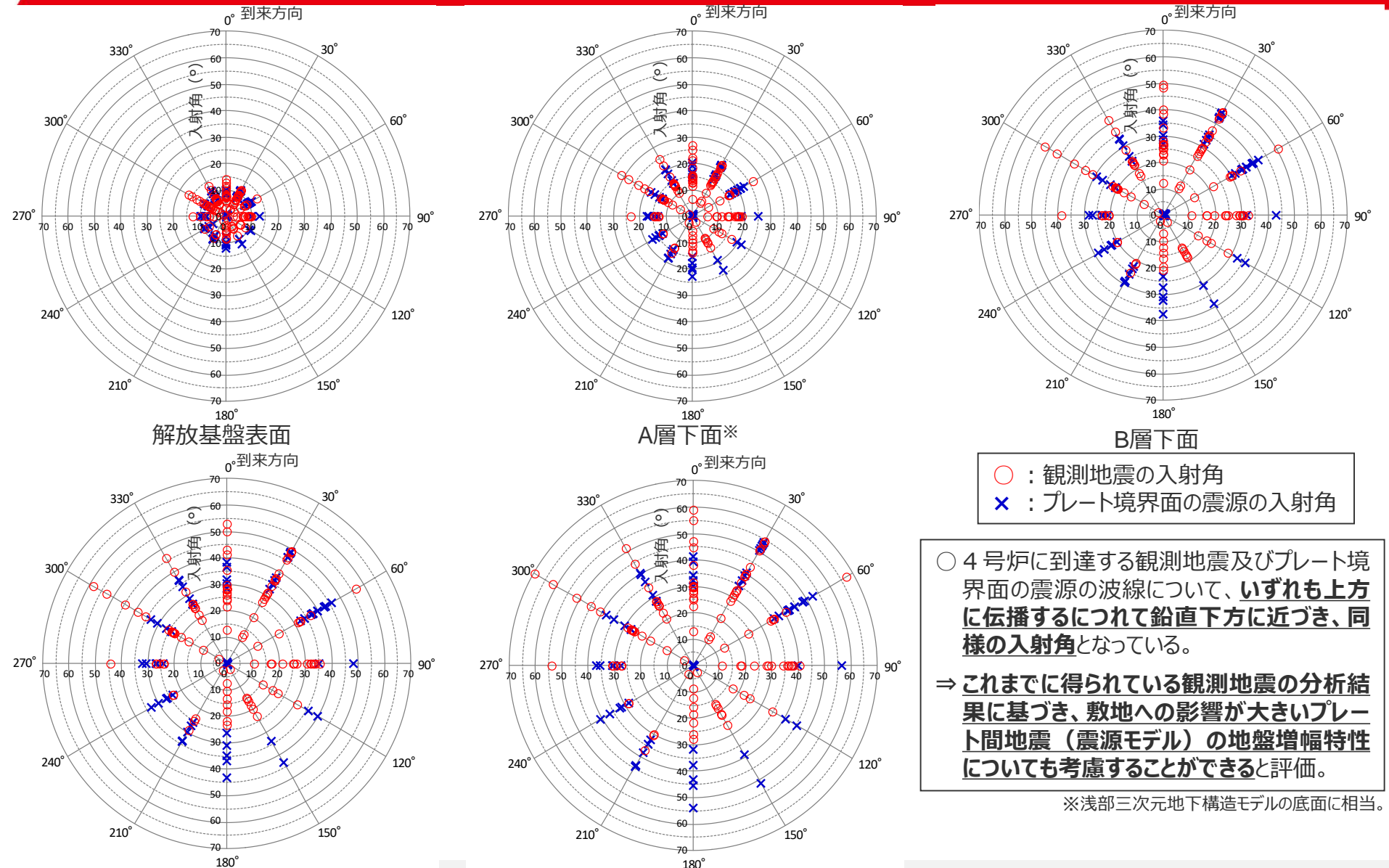
<N90E - N270E断面>

- 4号炉に到達する観測地震の波線
- 4号炉に到達するプレート境界面の震源の波線

プレートレーシング解析結果の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-09参照。

<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>  
地震波の伝播経路の検討

(4号炉に到達する波線の検討結果 (入射角))



○ : 観測地震の入射角  
× : プレート境界面の震源の入射角

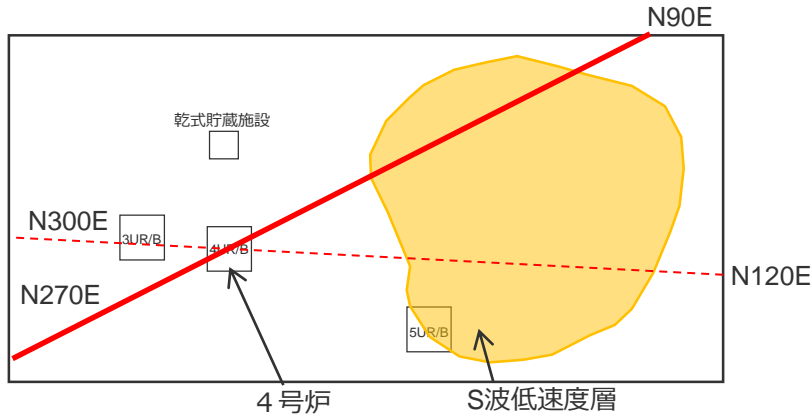
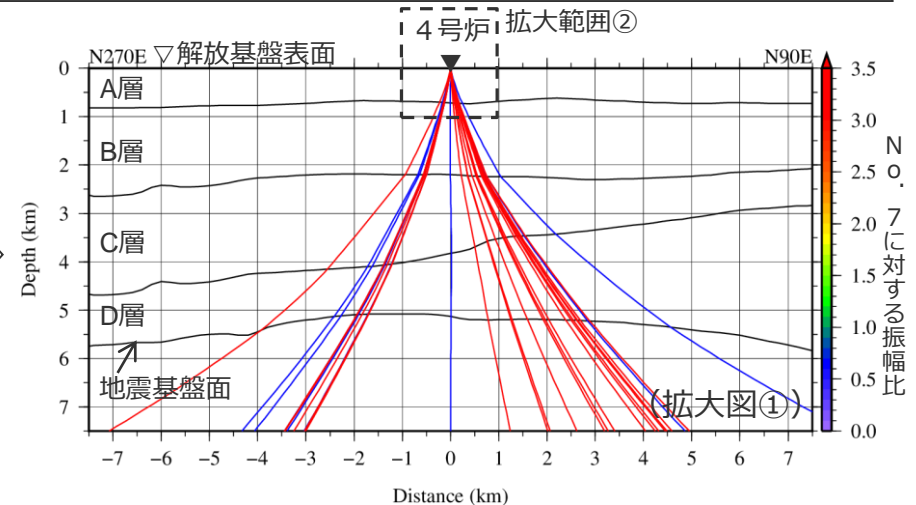
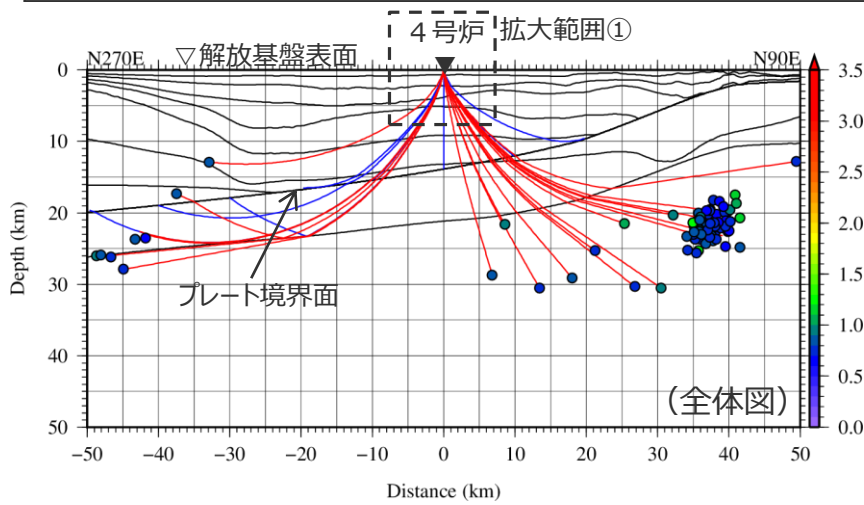
○ 4号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線について、**いずれも上方に伝播するにつれて鉛直下方に近づき、同様の入射角**となっている。  
⇒ **これまでに得られている観測地震の分析結果に基づき、敷地への影響が大きいプレート間地震 (震源モデル) の地盤増幅特性についても考慮することができると評価。**

※浅部三次元地下構造モデルの底面に相当。

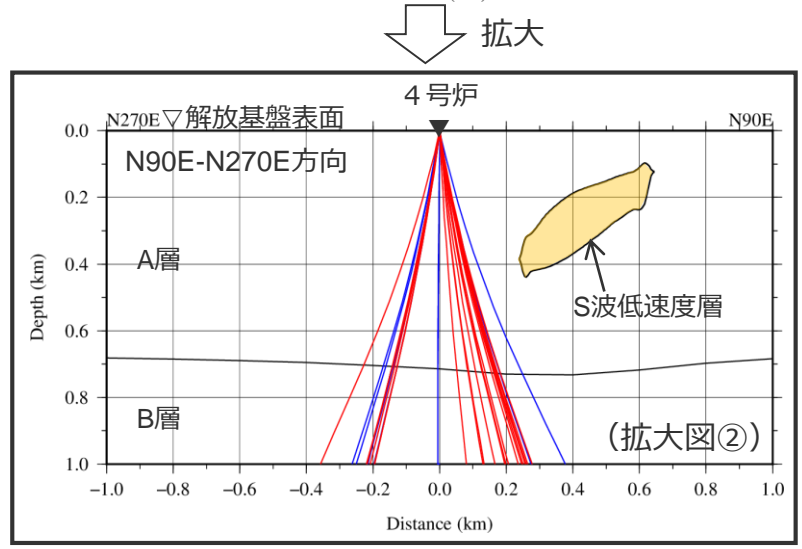
<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>  
地震波の伝播経路の検討

(4号炉に到達する波線とS波低速度層との関係)

○ 4号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線について、前述のとおり、上方へ伝播するにつれて鉛直下方に近づいており、S波低速度層を伝播しない。



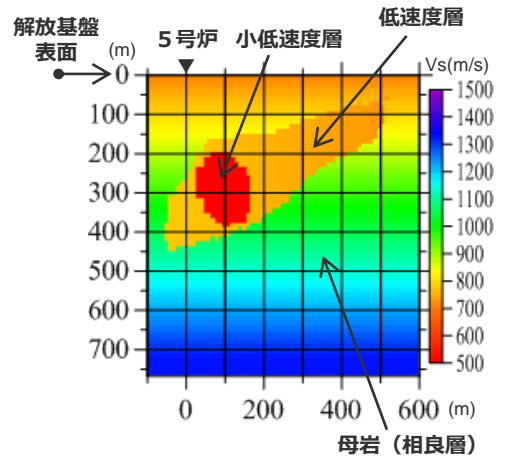
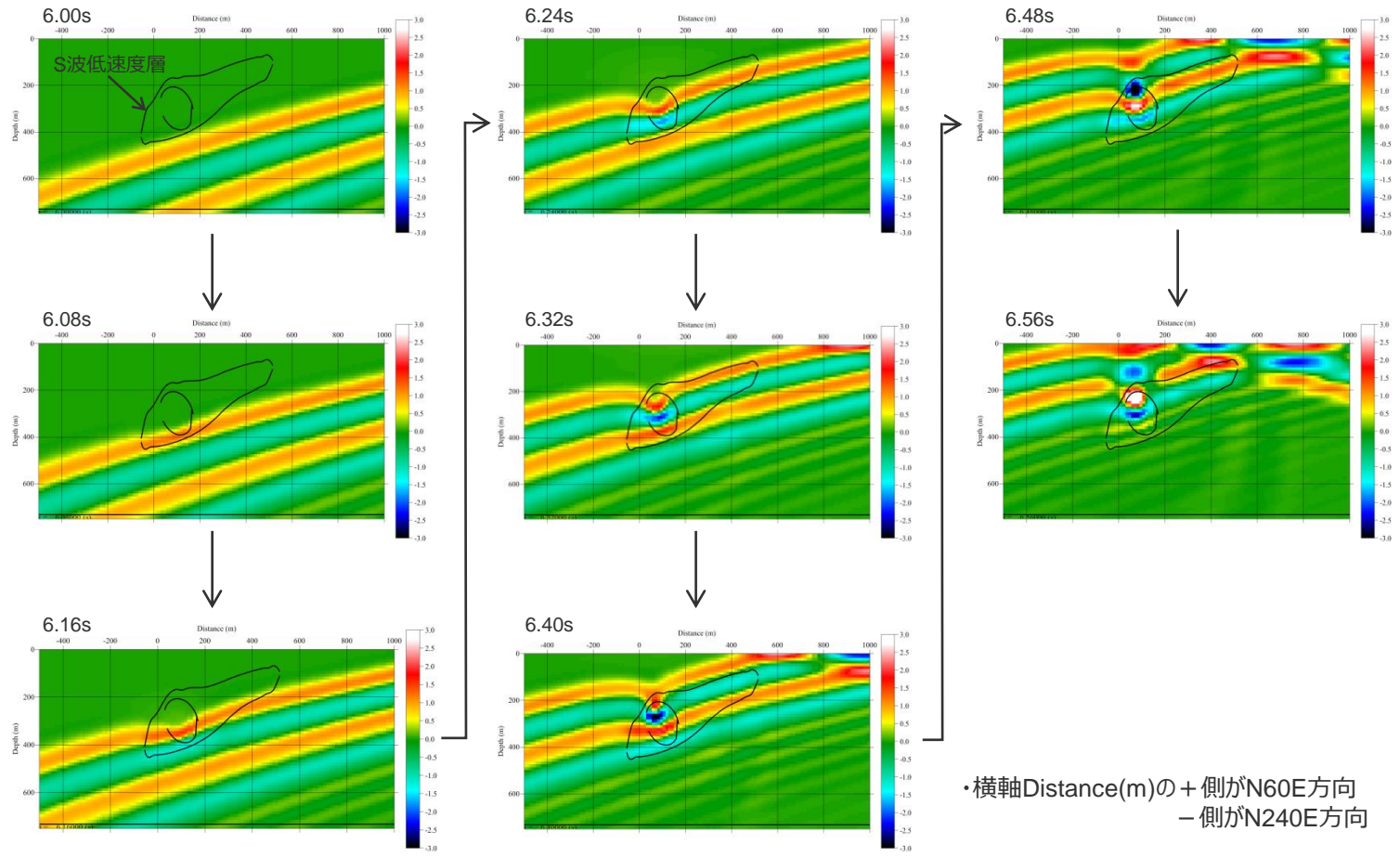
— 4号炉に到達する観測地震の波線  
— 4号炉に到達するプレート境界面の震源の波線



# <2.1.3 地下構造調査及び解析検討> 5号炉周辺の地震波の増幅メカニズム

(浅部三次元地下構造モデルを用いた三次元有限差分法による解析結果 (スナップショット) の分析)

○三次元有限差分法による解析結果の時間断面毎のスナップショットによると、下方から伝播する平行な波面が低速度層・小低速度層を通過すると、下に凹形状に屈曲していき、それとともに一部の振幅が大きくなっている。



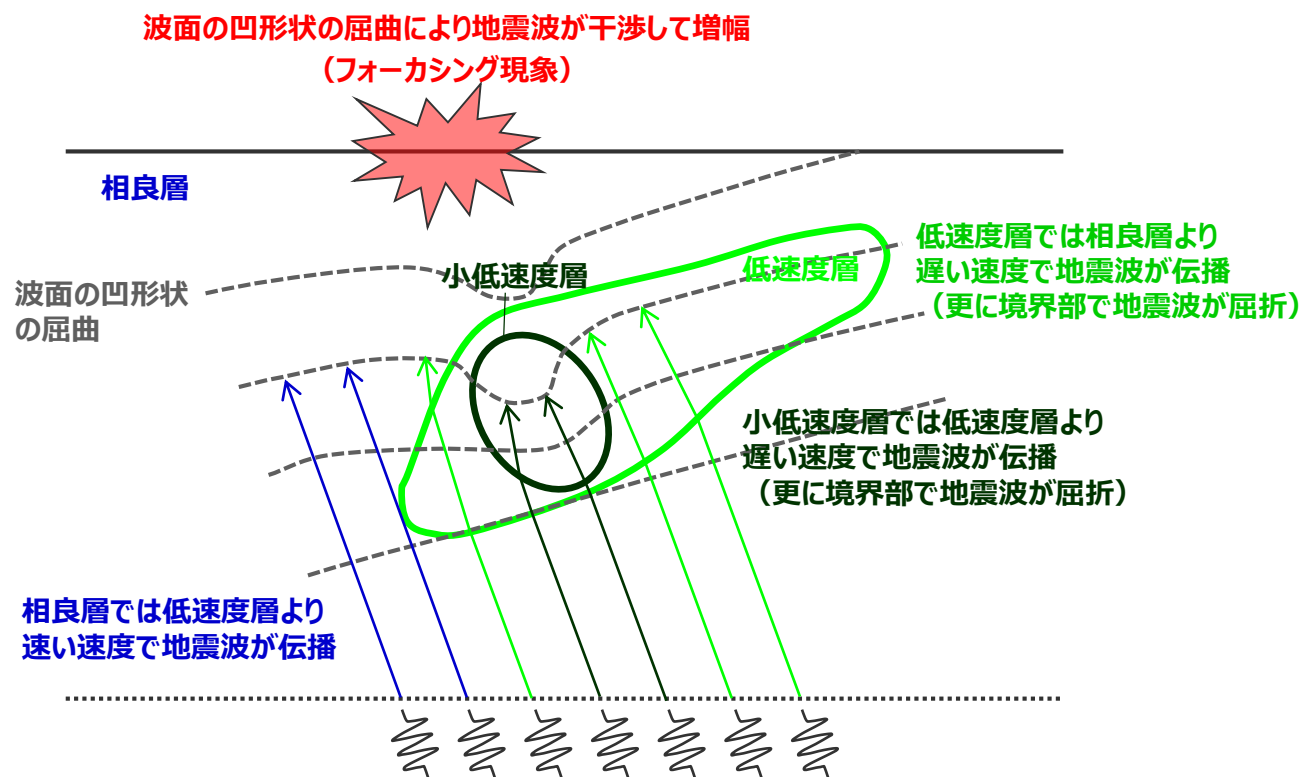
<浅部三次元地下構造モデル>  
(2009年駿河湾の地震方向の断面)

・横軸Distance(m)の+側がN60E方向  
-側がN240E方向

<三次元有限差分法による解析結果の時間断面毎のスナップショット (N60E方向断面、0.08秒刻み) >  
(入力波: BELL型連続波、入射方向: N60E方向、入射角: 20°)

## 5号炉周辺の地震波の増幅メカニズムの考察

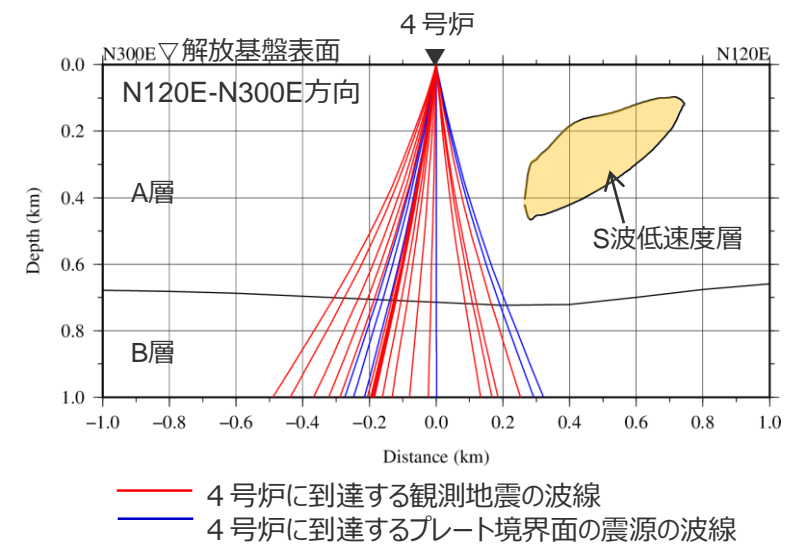
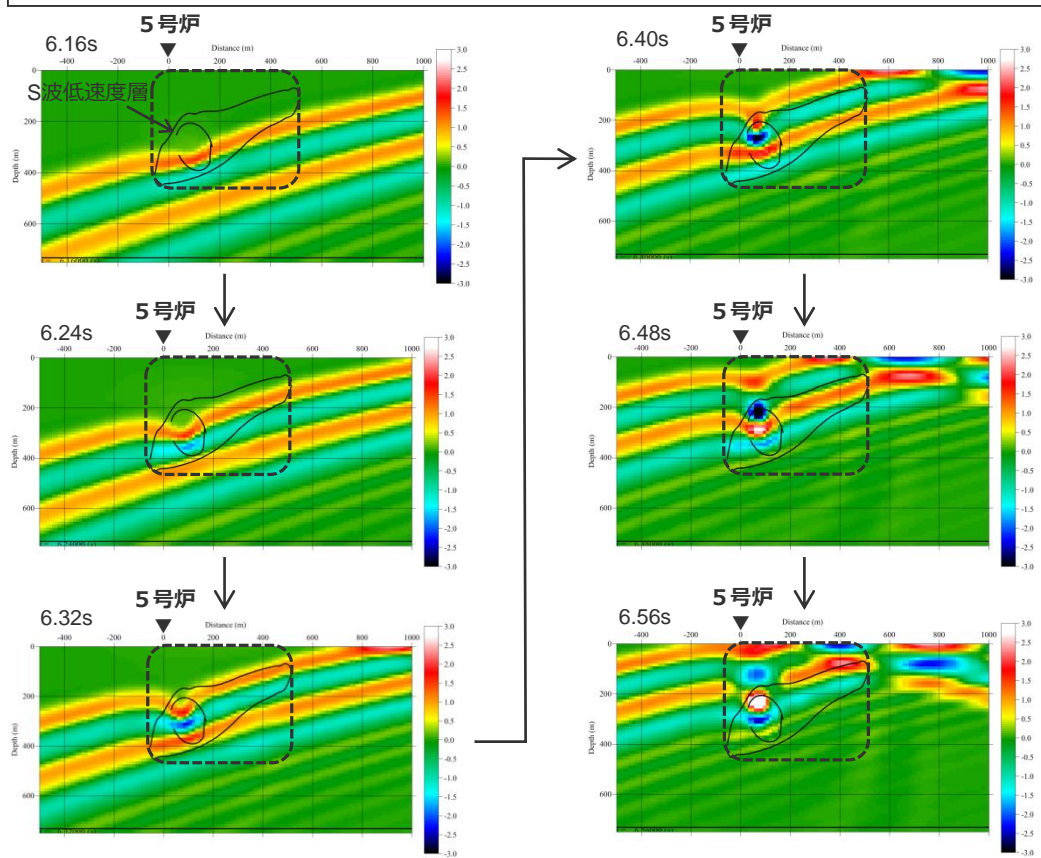
○下方から伝播する地震波は、低速度層、小低速度層それぞれの境界部で屈折するとともに、それぞれの層内の伝播速度が異なることにより、その波面が凹形状に屈曲する。この波面の凹形状の屈曲により地震波が干渉して増幅するフォーカシング現象が5号炉周辺の地震動の増幅メカニズムと分析した。



<2.1.3 地下構造調査及び解析検討>

# 5号炉周辺の地震波の増幅メカニズムとS波低速度層の影響範囲

- S波低速度層による5号炉周辺の地震波の増幅メカニズムについて、低速度層、小低速度層、相良層（母岩）の伝播速度が異なることにより、地震波の波面が凹形状に屈曲し、これにより地震波が干渉して増幅するフォーカシング現象と分析される。
  - 地震波の増幅メカニズムがこの波面の凹形状の屈曲に起因するため、**S波低速度層が影響を及ぼす範囲は、5号炉周辺等のS波低速度層の上部付近に限られる。**
- ⇒ 5号炉周辺の下方にはS波低速度層が確認されており、一部の方向で**5号炉周辺はS波低速度層による影響を受ける**が、5号炉から離れた4号炉周辺の下方にはS波低速度層が確認されていないことから、**4号炉周辺はS波低速度層による影響を受けない**と評価した。



<レイトレーシング解析結果（拡大図）>

4号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線は、上方へ伝播するにつれて鉛直下方に近づいており、S波低速度層を伝播しない。

・横軸Distance(m)の+側がN60E方向  
-側がN240E方向

<浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果に基づくスナップショット（5号炉から2009年駿河湾の地震方向の断面、0.08秒刻み）>  
(入力波：BELL型連続波、入射方向：2009年駿河湾の地震方向、入射角：20°)

# 目次

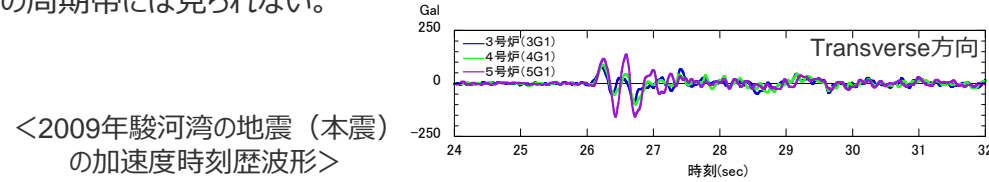
2 敷地における地震動の増幅特性（第1041回審査会合資料2-2-2 （敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）	……p.3~
2.1 敷地における地盤増幅特性	……p.5~
2.1.1 敷地における観測・調査	……p.8~
2.1.2 地震観測記録の分析	……p.12~
2.1.3 地下構造調査及び解析検討	……p.32~
2.1.4 まとめ	……p.71~
2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法	……p.76~
2.3 まとめ	……p.113~



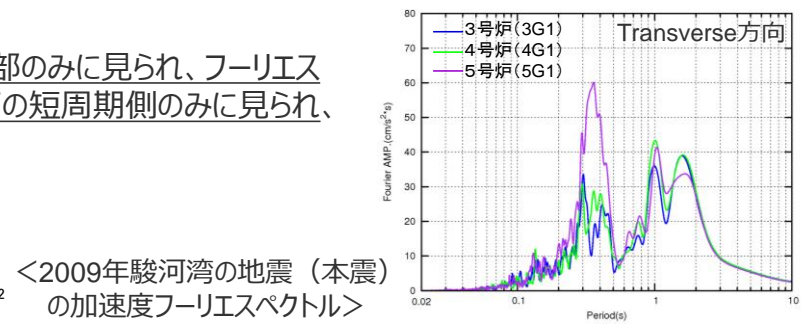
<2.1.4 まとめ>  
**5号炉周辺の増幅要因の分析**  
(地震観測記録の分析結果)

**2009年駿河湾の地震の分析 (鉛直アレイ観測)**

○ 5号炉周辺観測点で見られた地震動の顕著な増幅は、時刻歴波形ではS波主要動部のみに見られ、フーリエスペクトルでは周期0.2~0.5秒付近の狭帯域のみに、応答スペクトルでは周期0.5秒以下の短周期側のみで見られ、これ以外の周期帯には見られない。



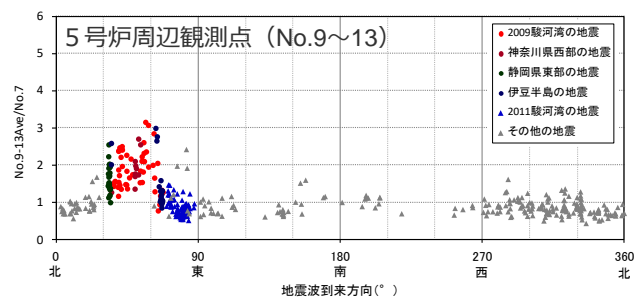
<2009年駿河湾の地震 (本震) の加速度時刻歴波形>



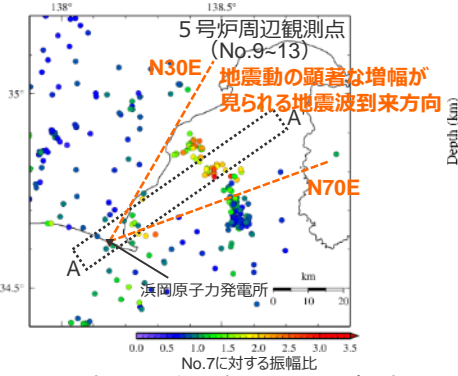
<2009年駿河湾の地震 (本震) の加速度フーリエスペクトル>

**他の地震も含めた分析 (鉛直アレイ観測、多点連続観測、海底試掘トンネル観測)**

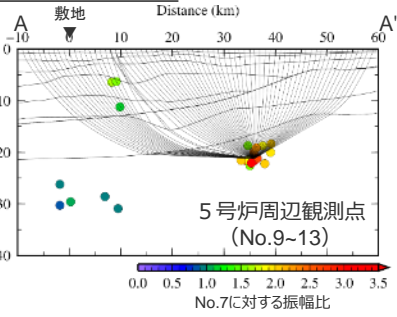
○ 5号炉周辺観測点において、地震動の顕著な増幅は、2009年駿河湾の地震の到来方向 (N30E~N70E、「増幅方向」と称す。) の地震波のみに見られ、その他の地震波到来方向では見られない。  
○ 「増幅方向」の地震波でも、増幅の程度は一樣ではなく、地震波の入射角が鉛直に近づく敷地近傍の地震ほど顕著な増幅は見られない傾向がある。このうち、2009年駿河湾の地震 (本震) は増幅の程度が最も大きく信頼性が高い記録が得られた地震である。



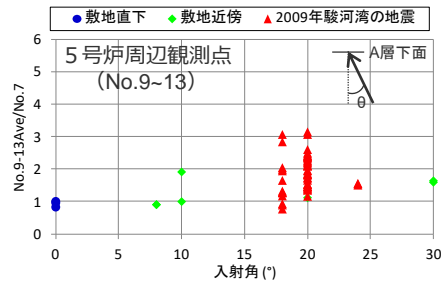
<各地震の振幅比 (No.7基準) と地震波到来方向との関係 (水平平均)>



<5号炉周辺観測点における各地震の振幅比の震央分布図 (No.7基準)>



<振幅比の断面図 (A-A'断面)>



<入射角毎の振幅比>  
(N30E~N70E方向+敷地直下の地震)  
※ 浅部三次元地下構造モデルの底面に相当するA層下面への入射角について、各断面の地震クラスター毎にレイトレーシングを行い評価。

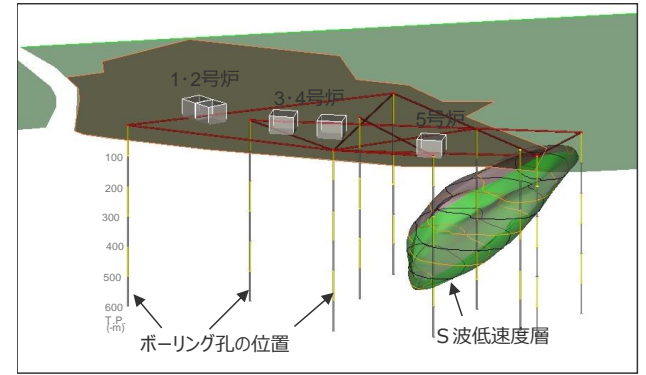
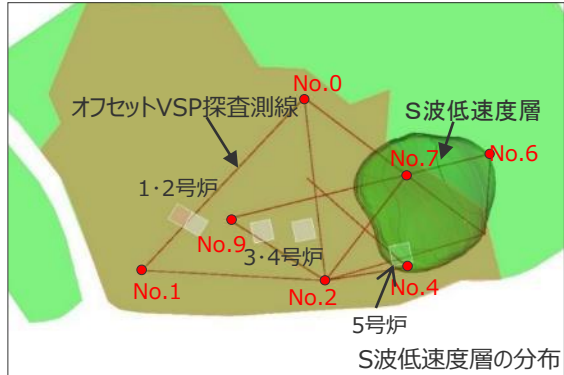
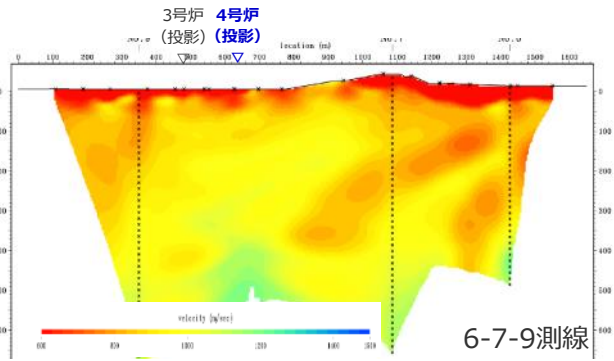
・地震観測記録の分析に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-01,02参照。

○ 地震観測記録の分析結果から、**5号炉周辺の増幅要因**は、5号炉周辺から2009年駿河湾の地震の地震波到来方向にかけて**局所的に分布する、浅部地盤のS波速度が低下した不均質構造**であると考えられる。

# <2.1.4 まとめ> 5号炉周辺の増幅要因の分析 (地下構造調査結果及び解析検討結果)

## 地下構造調査

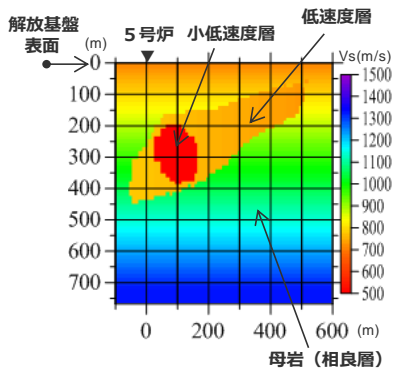
○ 速度構造調査（複数のオフセットVSP探査等）により、5号炉から2009年駿河湾の地震の到来方向（北東方向）にかけて深さ数百mの浅部に局所的に分布するS波低速度層を確認。



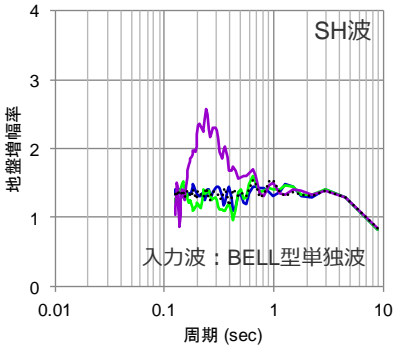
・ 地下構造調査に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-03-06参照。

## 解析検討

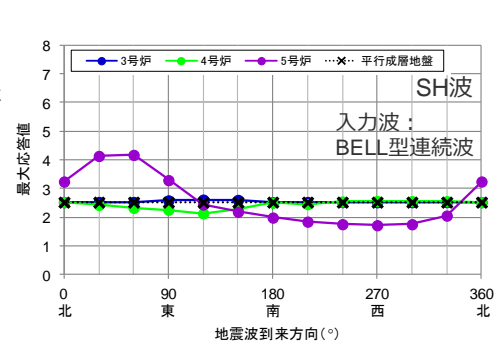
○ 局所的に分布するS波低速度層を含む三次元地下構造モデルを用いた解析検討により、地震観測記録の特徴と整合する結果が得られることを確認。  
○ 増幅メカニズムは、S波低速度層による波面の屈曲により地震波が干渉して増幅するフォーカシング現象と分析。



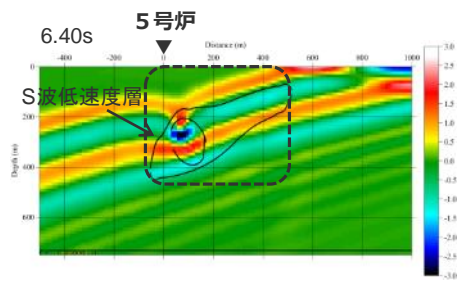
<三次元地下構造モデル>



<地盤増幅率>



<応答波形の最大値分布>



<スナップショット>

・ 解析検討に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-07-09参照。

<2.1.4 まとめ>

# 5号炉周辺の増幅要因の分析 (まとめ)

## 【地震観測】

### 2009年駿河湾の地震の分析（鉛直アレイ観測）

- 5号炉周辺観測点で見られた地震動の顕著な増幅は、時刻歴波形ではS波主要動部のみに見られ、フーリエスペクトルでは周期0.2～0.5秒付近の狭帯域のみに、応答スペクトルでは周期0.5秒以下の短周期側のみに見られ、これ以外の周期帯には見られない。

### 他の地震も含めた分析（鉛直アレイ観測、多点連続観測、海底試掘トンネル観測）

- 5号炉周辺観測点において、地震動の顕著な増幅は、2009年駿河湾の地震の到来方向（N30E～N70E）の地震波のみに見られ、その他の地震波到来方向では見られない。
- 地震動の顕著な増幅が見られた到来方向（N30E～N70E）の地震波でも、増幅の程度は一様ではなく、地震波の入射角が鉛直に近づく敷地近傍の地震ほど顕著な増幅は見られない傾向がある。このうち、2009年駿河湾の地震（本震）は増幅の程度が最も大きく信頼性が高い記録が得られた地震である。

・地震観測記録の分析に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-01,02参照。

- 地震観測記録の分析結果から、**5号炉周辺の増幅要因**は、5号炉周辺から2009年駿河湾の地震の地震波到来方向にかけて**局所的に分布する、浅部地盤のS波速度が低下した不均質構造**と考えられる。

## 【地下構造調査及び解析検討】

### 地下構造調査

- 速度構造調査により、5号炉から2009年駿河湾の地震の到来方向にかけて**深さ数百mの浅部に局所的に分布するS波低速度層を確認**。

- ・S波低速度層の分布については、初動トモグラフィ解析のチエーカーボードテスト・スパイクテストにより信頼性を確認。
- ・地下構造調査に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-03-06参照。

### 解析検討

- **S波低速度層を含む三次元地下構造モデルを用いた解析検討**により、地震観測記録の特徴と整合する結果が得られることを確認。
- 増幅メカニズムは、S波低速度層による波面の屈曲により地震波が干渉して増幅するフォーカシング現象と分析。

- ・解析検討に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-07-09参照。

整合的

## 【5号炉周辺の増幅要因と敷地における地震動の増幅特性】

- 地震観測記録の分析結果、並びにそれと整合する地下構造調査及び解析検討から、**5号炉周辺の増幅要因**は、5号炉から2009年駿河湾の地震の地震波到来方向である北東方向にかけて**局所的に分布する深さ数百mの浅部地盤のS波低速度層**であり、その増幅メカニズムは、S波低速度層による波面の屈曲により地震波が干渉して増幅するフォーカシング現象と分析。
- **敷地における地震動の増幅特性**は、**S波低速度層による影響の有無によって地震動の増幅特性が異なる**ことにより、特定の地震波到来方向（N30E～N70E）付近のみ地震動の顕著な増幅が見られる観測点と、いずれの地震波到来方向でも地震動の顕著な増幅が見られない観測点とに分かれる。

<2.1.4 まとめ>

# 敷地における地盤増幅特性

(4号炉周辺等の地盤増幅特性と5号炉周辺等の地盤増幅特性)

## 敷地における地盤増幅特性

### 地震観測

○各号炉周辺における鉛直アレイ観測

- ・地震観測記録の特徴や地震波到来方向毎の地盤増幅特性の検討、鉛直アレイ観測点と周辺観測点(RK-net)の地震観測記録の比較・検討を実施。
- ⇒3～5号炉の観測点における地震波到来方向毎の地盤増幅特性及び敷地の観測点と周辺観測点の地盤増幅特性の関係を把握。

○敷地全体を対象とした多点連続地震観測

- ・高感度の速度計を用いた高感度連続地震観測を敷地全体で行い、多方向からの観測記録を取得し、分析を実施。
- ⇒敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性を把握。

○海底試掘トンネルにおける連続地震観測

- ・海底試掘トンネルにおいて連続地震観測を行い、多方向からの観測記録を取得し、分析を実施。
- ⇒海域部における地震波到来方向毎の地盤増幅特性を把握。

・4号炉周辺では地震動の顕著な増幅が見られない。  
・5号炉周辺では一部の方向で地震動の顕著な増幅が見られる。

### 地下構造

○敷地周辺の地下構造(深部からやや浅部)

- ・敷地周辺の地下構造調査結果に基づき、深部三次元地下構造モデルを作成し、解析検討を実施。
- ⇒地震基盤面及びそれ以浅の速度構造(褶曲構造を含む)は地震動の顕著な増幅に影響を及ぼすものではない。

○敷地近傍の地下構造(浅部)

- ・敷地近傍の地下構造調査結果に基づき、地震観測記録の特徴のチューニングを踏まえ、S波低速度層を含む浅部三次元地下構造モデルを作成し、解析検討を実施。
- ⇒S波低速度層は4号炉周辺に見られず、4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。
- ⇒S波低速度層は5号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響。
- ・さらに、4号炉周辺への影響検討の観点から、観測記録の特徴とは整合しないものの、小低速度層を4号炉周辺へ最も近づけた場合のパラメータスタディを実施。
- ⇒仮定条件下の影響検討においても、S波低速度層は4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。

・4号炉周辺の地下構造には物性の顕著な変化はなく、平行成層地盤に近似することができる。  
・5号炉周辺の地震動の顕著な増幅にはS波低速度層が影響。

### 地震波の伝播経路

- ・観測地震の地震波及び敷地への影響が大きいプレート間地震(震源モデル)の地震波について、4号炉周辺に到達する伝播経路を検討。
- ・地震波が低速度層を伝播して増幅するメカニズムを検討。
- ⇒4号炉周辺に到達する地震波の伝播経路を把握。
- ⇒5号炉周辺の地震波の増幅メカニズムを把握。

・4号炉周辺に到達する主要な地震波は、S波低速度層を伝播せず、顕著な増幅が見られない。  
・5号炉周辺に到達する地震波は、一部の方向でS波低速度層を伝播し、顕著な増幅が見られる。

・地震観測記録の分析に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-01,02参照。

・地下構造の解析検討に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-07,08参照。

・地震波の伝播経路に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-09参照。

# 目次

2 敷地における地震動の増幅特性（第1041回審査会合資料2-2-2 （敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）	……p.3~
2.1 敷地における地盤増幅特性	……p.5~
2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法	……p.76~
2.2.1 解放基盤表面の設定	……p.78~
2.2.2 地震動評価への反映方法	……p.86~
2.3 まとめ	……p.113~

# 概要

・下線 (.....) は、一部修正箇所を示す。

## 敷地における地盤増幅特性

### 地震観測

○各号炉周辺における鉛直アレイ観測

- ・地震観測記録の特徴や地震波到来方向毎の地盤増幅特性の検討、鉛直アレイ観測点と周辺観測点 (RK-net) の地震観測記録の比較・検討を実施。
- ⇒ 3～5号炉の観測点における地震波到来方向毎の地盤増幅特性及び敷地の観測点と周辺観測点の地盤増幅特性の関係を把握。

○敷地全体を対象とした多点連続地震観測

- ・高感度の速度計を用いた高感度連続地震観測を敷地全体で行い、多方向からの観測記録を取得し、分析を実施。
- ⇒ 敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性を把握。

○海底試掘トンネルにおける連続地震観測

- ・海底試掘トンネルにおいて連続地震観測を行い、多方向からの観測記録を取得し、分析を実施。
- ⇒ 海域部における地震波到来方向毎の地盤増幅特性を把握。

・4号炉周辺では地震動の顕著な増幅が見られない。  
・5号炉周辺では一部の方向で地震動の顕著な増幅が見られる。

### 地下構造

○敷地周辺の地下構造 (深部からやや浅部)

- ・敷地周辺の地下構造調査結果に基づき、深部三次元地下構造モデルを作成し、解析検討を実施。
- ⇒ 地震基盤面及びそれ以浅の速度構造 (褶曲構造を含む) は地震動の顕著な増幅に影響を及ぼすものではない。

○敷地近傍の地下構造 (浅部)

- ・敷地近傍の地下構造調査結果に基づき、地震観測記録の特徴のチューニングを踏まえ、S波低速度層を含む浅部三次元地下構造モデルを作成し、解析検討を実施。
- ⇒ S波低速度層は4号炉周辺に見られず、4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。
- ⇒ S波低速度層は5号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響。

- ・さらに、4号炉周辺への影響検討の観点から、観測記録の特徴とは整合しないものの、小低速度層を4号炉周辺へ最も近付けた場合のパラメータスタディを実施。
- ⇒ 仮定条件下の影響検討においても、S波低速度層は4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。

・4号炉周辺の地下構造には物性の顕著な変化はなく、平行成層地盤に近似することができる。  
・5号炉周辺の地震動の顕著な増幅にはS波低速度層が影響。

### 地震波の伝播経路

- ・観測地震の地震波及び敷地への影響が大きいプレート間地震 (震源モデル) の地震波について、4号炉周辺に到達する伝播経路を検討。
- ・地震波が低速度層を伝播して増幅するメカニズムを検討。
- ⇒ 4号炉周辺に到達する地震波の伝播経路を把握。
- ⇒ 5号炉周辺の地震波の増幅メカニズムを把握。

・4号炉周辺に到達する主要な地震波は、S波低速度層を伝播せず、顕著な増幅が見られない。  
・5号炉周辺に到達する地震波は、一部の方向でS波低速度層を伝播し、顕著な増幅が見られる。

・地震観測記録の分析に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3\_補足説明資料①-01,02参照。

・地下構造の解析検討に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3\_補足説明資料①-07,08参照。

・地震波の伝播経路に係る補足説明は、第1041回審査会合資料2-2-3\_補足説明資料①-09参照。

## 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法

- 敷地における地盤増幅特性を踏まえ、「地震動の顕著な増幅を考慮しない領域」(1～4号炉周辺)と「地震動の顕著な増幅を考慮する領域」(5号炉周辺)とを設定し、「地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価」と「地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価」を実施する。
- 「地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価」では、平行成層地盤と見なして地盤増幅特性を保守的に考慮し、地震動評価を行う。
- 「地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価」では、S波低速度層による三次元的な地下構造の影響を踏まえて地盤増幅特性を保守的に考慮し、地震動評価を行う。

# 目次

2 敷地における地震動の増幅特性（第1041回審査会合資料2-2-2 （敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）	……p.3~
2.1 敷地における地盤増幅特性	……p.5~
2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法	……p.76~
2.2.1 解放基盤表面の設定	……p.78~
2.2.2 地震動評価への反映方法	……p.86~
2.3 まとめ	……p.113~

<2.2.1 解放基盤表面の設定>

## 解放基盤表面の設定

- 敷地の基盤を構成する相良層は、火成岩の貫入や他の地層との不整合は認められず、砂岩・泥岩互層として一様に分布している。
  - 敷地で実施したオフセットVSP探査結果によると、S波速度が700m/sの層が著しい高低差がなくほぼ水平に拡がりをもって分布している。3, 4, 5号炉で実施したPS検層の結果、原子炉建屋基礎底面付近に相当する標高-14m以深でS波速度が700m/s以上となっており、このS波速度が700m/s以上となる基盤は敷地内の複数箇所で行ったPS検層結果によると著しい高低差がなくほぼ水平に拡がりをもって分布している。
  - 標高-14m以深の基盤面は、掘削時の岩盤検査等により、著しい風化を受けていないことを確認している。
- ⇒以上より、**標高-14mを解放基盤表面に設定することは妥当である。**



- 敷地では高密度な地下構造調査及び地震観測を実施しており、その分析によって、解放基盤表面以深において、5号炉周辺の地震動の増幅に影響を及ぼすS波低速度層を把握し、その影響を含めて、敷地における解放基盤表面相当深さの詳細な地盤増幅特性を把握している（「2.1 敷地における地盤増幅特性」参照）。
- 解放基盤表面相当深さの詳細な地盤増幅特性を踏まえて、後述の「2.2.2 地震動評価への反映方法」に示すとおり、解放基盤表面において、地震観測記録の再現性等を確認し（地震動の顕著な増幅が見られない観測点：p.99~、地震動の顕著な増幅が見られる観測点：p.107~）、敷地における地震動の増幅特性を地震動評価へ適切に反映できることを確認している。

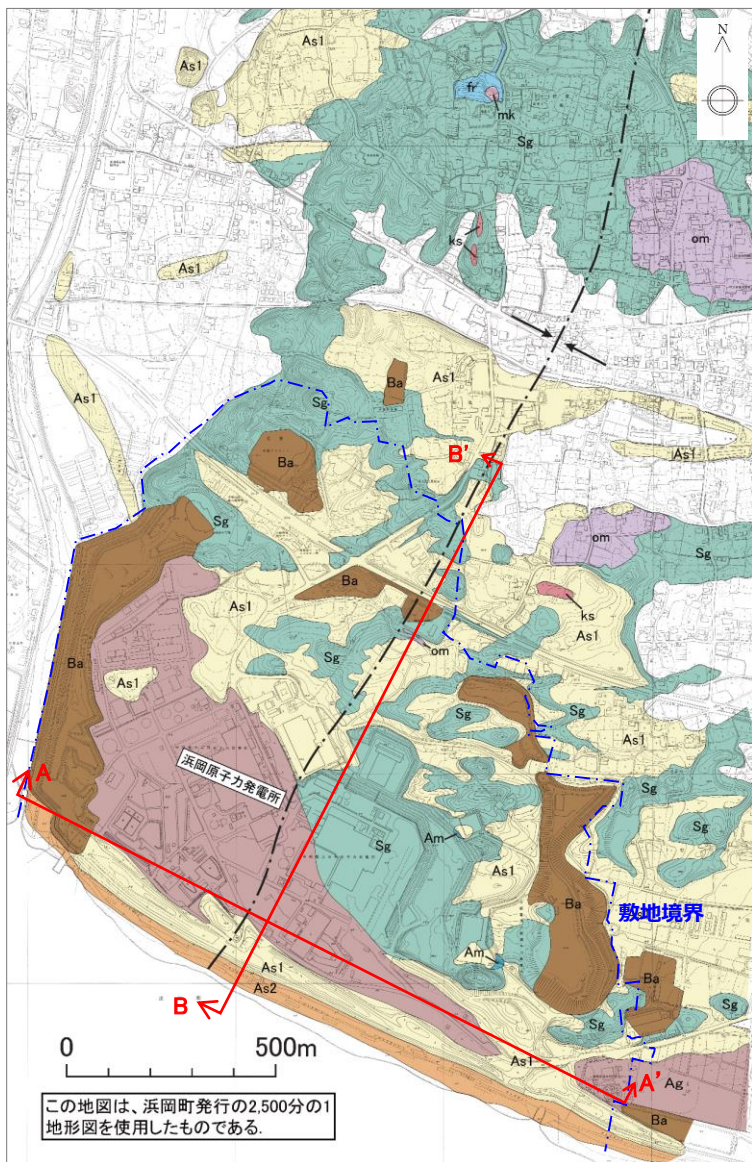


**○以上を踏まえ、標高-14mの位置に解放基盤表面を設定する。**



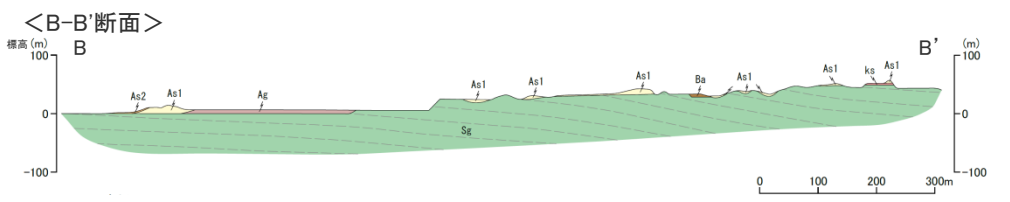
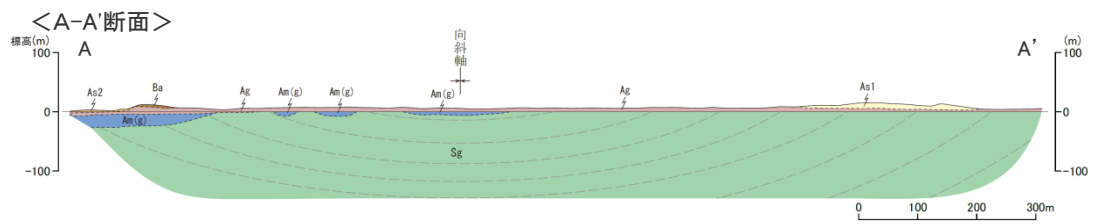
<2.2.1 解放基盤表面の設定>

敷地の基盤を構成する相良層



・ 本地質図は、昭和62年の測量成果に基づく浜岡町発行の2,500分の1地形図を基図とし、平成6年の地質調査結果をもとに作成した。

○敷地の基盤を構成する相良層は、火成岩の貫入や他の地層との不整合は認められず、砂岩・泥岩互層として一様に分布している。



凡例

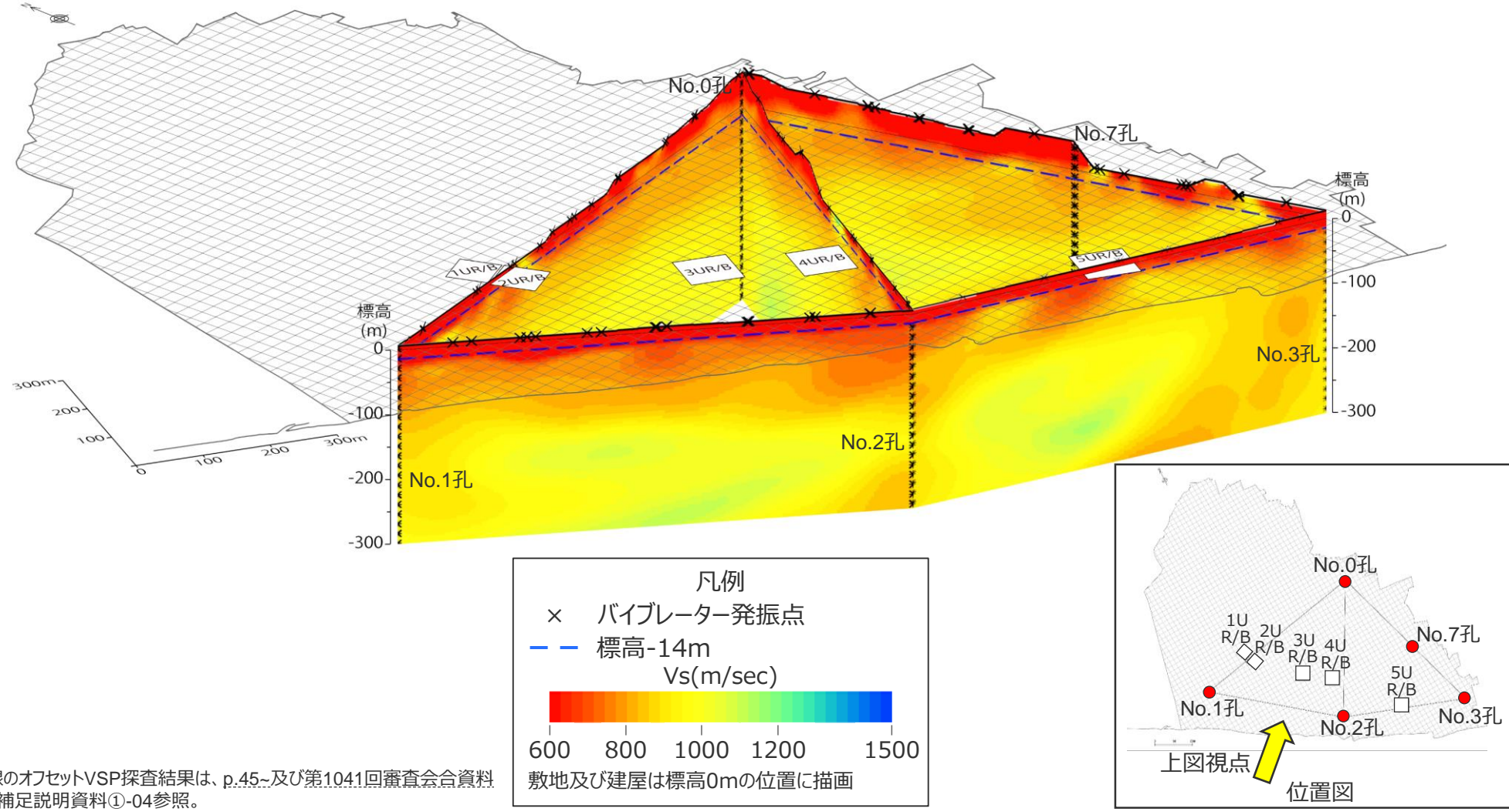
Ba	盛土	Ag	海成礫混じり砂層
(White)	完新統	om	御前崎礫層相当
As2	現海浜堆積物	ks	笠名礫層相当
As1	風成砂層	mk	牧ノ原礫層相当
Am	沖積層(山地部)	fr	古谷泥層
Am(g)	沖積層(海岸部)	Sg	砂岩泥岩互層 相良層
(Arrow)	向斜軸	(Dashed line)	地層の傾斜

<敷地の地質図>

・第608回審査会合資料1-1-1で提示。

## <2.2.1 解放基盤表面の設定> S波速度等

○敷地で実施したオフセットVSP探査結果によると、S波速度が700m/sの層が著しい高低差がなくほぼ水平に拡がりをもって分布している。

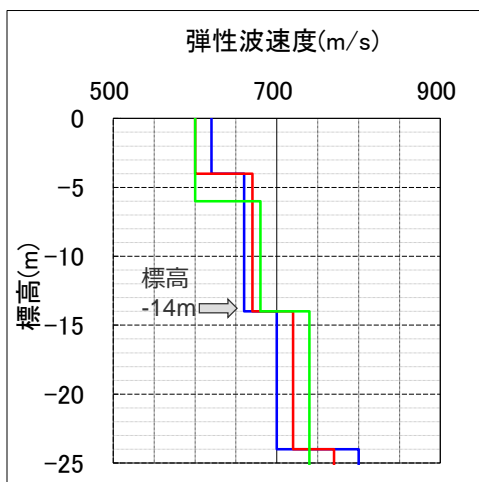


・各測線のオフセットVSP探査結果は、p.45~及び第1041回審査会合資料2-2-3.補足説明資料①-04参照。

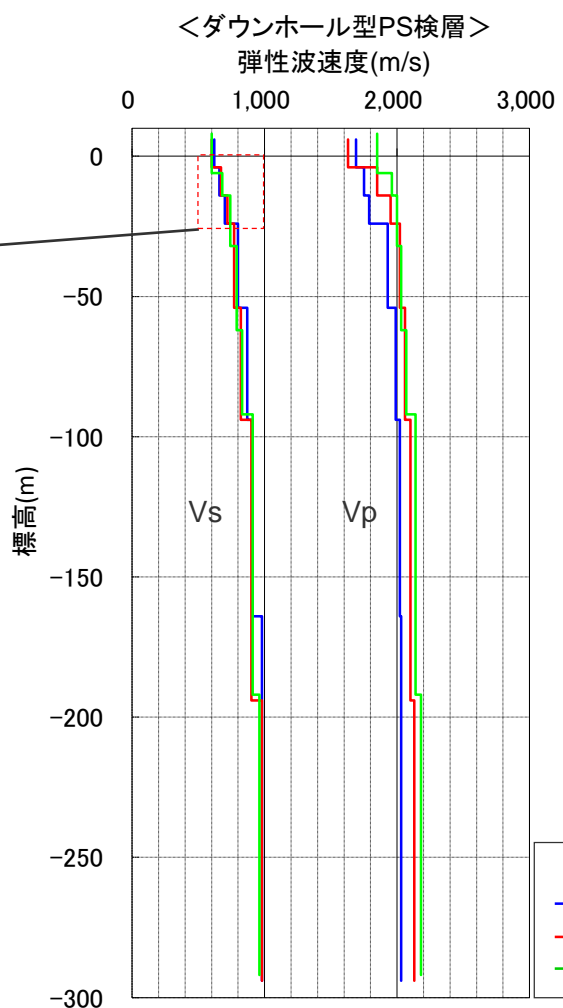
<2.2.1 解放基盤表面の設定>

# S波速度等

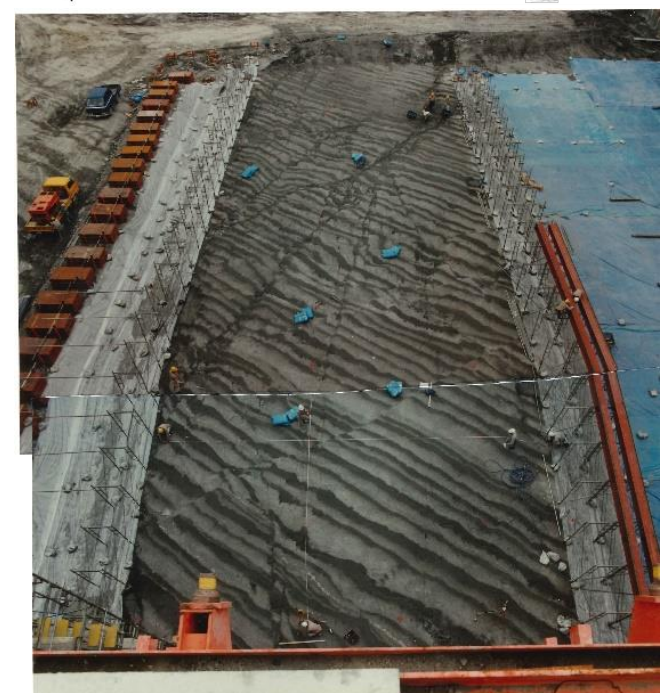
○ 3, 4, 5号炉で実施したPS検層の結果、原子炉建屋基礎底面付近に相当する標高-14m以深でS波速度が700m/s以上となっており、このS波速度が700m/s以上となる基盤は敷地内の複数箇所で実施したPS検層結果（次ページ参照）によると著しい高低差がなくほぼ水平に拡がりをもって分布している。また、標高-14m以深の基盤面は、掘削時の岩盤検査等により、著しい風化を受けていないことを確認している。



凡例  
● 3号炉の調査ボーリング位置  
● 4号炉  
● 5号炉



凡例  
— 3号炉  
— 4号炉  
— 5号炉

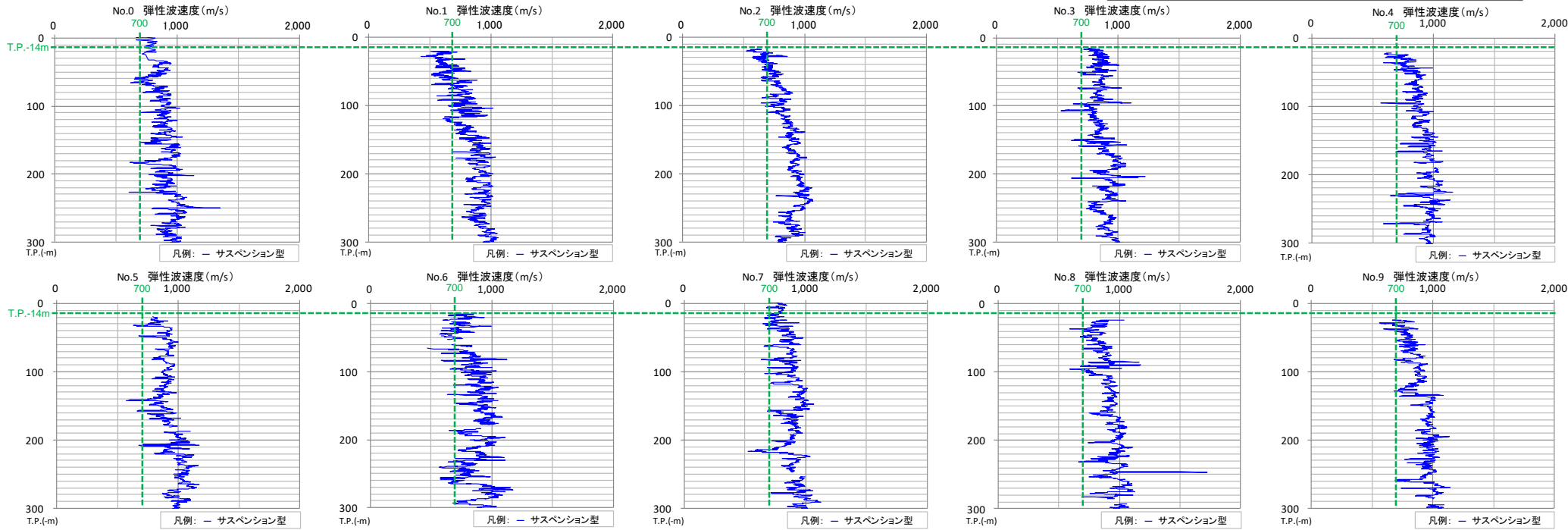
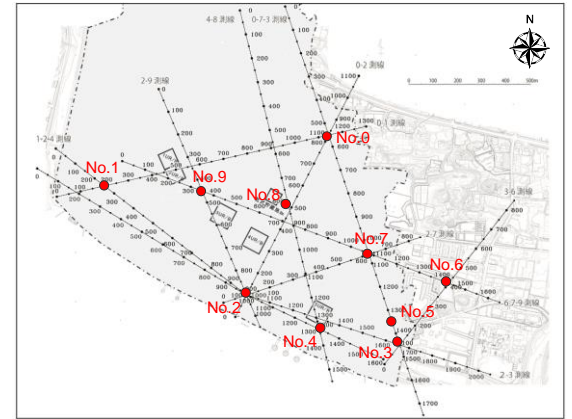


<基盤面の確認状況（4号炉原子炉建屋基礎露頭）※>  
※ 3, 4, 5号炉の原子炉建屋基礎露頭の確認状況については、第704回審査会合 机上配布資料1参照。

<3～5号炉のPS検層結果>

## <2.2.1 解放基盤表面の設定> S波速度等

○ 3, 4, 5号炉で実施したPS検層の結果、原子炉建屋基礎底面付近に相当する標高-14m以深でS波速度が700m/s以上となっており、このS波速度が700m/s以上となる基盤は敷地内の複数箇所で実施したPS検層結果によると著しい高低差がなくほぼ水平に広がりをもって分布している。



<サスペンション型PS検層によるS波速度>

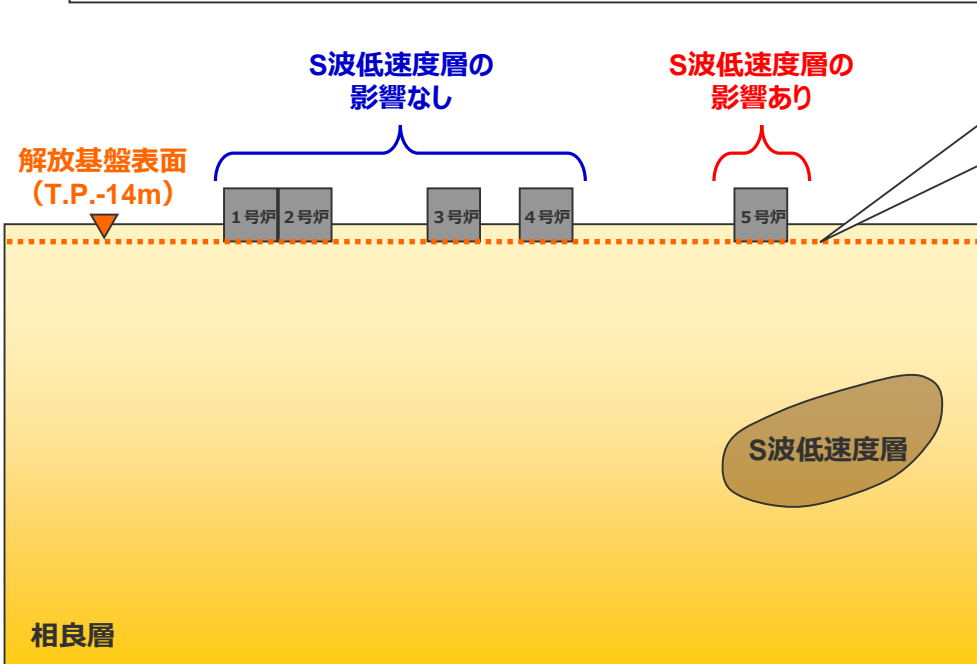
<2.2.1 解放基盤表面の設定>

# 解放基盤表面相当深さの地盤増幅特性の把握

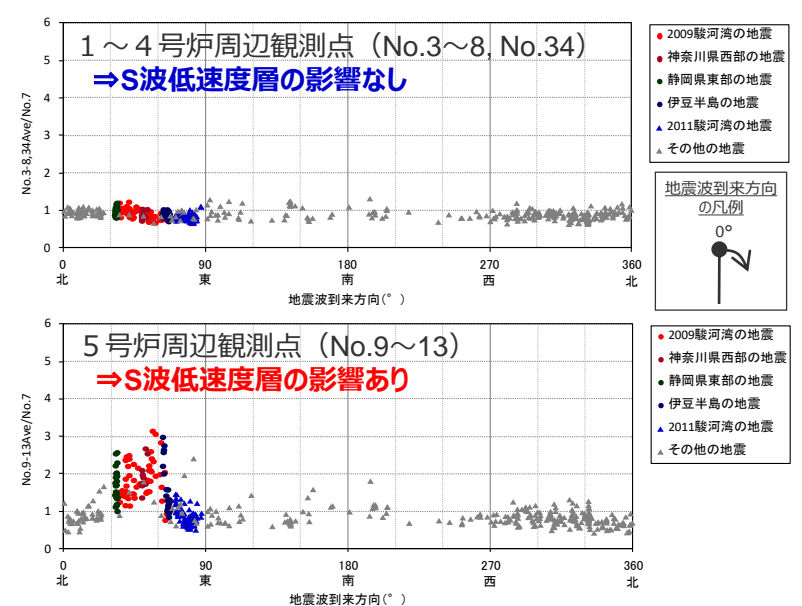
○ 敷地では高密度な地下構造調査及び地震観測を実施しており、その分析によって、解放基盤表面以深において、5号炉周辺の地震動の増幅に影響を及ぼすS波低速度層を把握し、その影響を含めて、敷地における解放基盤表面相当深さの詳細な地盤増幅特性を把握している（「2.1 敷地における地盤増幅特性」参照）。

【敷地における解放基盤表面相当深さの地盤増幅特性】

- ・ 5号炉周辺観測点について、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近（N30E～N70E）では顕著な増幅が見られるが、その他の地震波到来方向では顕著な増幅は見られず、周辺観測点の地盤増幅特性と同様である。
- ・ 1～4号炉周辺観測点について、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向を含め、いずれの地震波到来方向でも顕著な増幅は見られず、周辺観測点の地盤増幅特性と同様である。



解放基盤表面相当深さの地盤増幅特性  
(例：多点連続地震観測)



<各地震の振幅比 (No.7基準) と地震波到来方向との関係 (水平平均) >  
(観測分析期間：2009年9月20日～2014年7月26日)

---

余白

# 目次

---

2 敷地における地震動の増幅特性（第1041回審査会合資料2-2-2 （敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）	……p.3~
2.1 敷地における地盤増幅特性	……p.5~
2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法	……p.76~
2.2.1 解放基盤表面の設定	……p.78~
2.2.2 地震動評価への反映方法	……p.86~
2.3 まとめ	……p.113~

<2.2.2 地震動評価への反映方法>

# 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定 (概要)

## 【敷地における地震動の増幅特性】

- 地震観測記録及び地下構造調査結果に基づき、敷地における地震動の増幅特性を分析。
- 5号炉周辺の観測点において、地震動の顕著な増幅は、①特定の到来方向（N30E～N70E）の地震波のみに、②短周期の特定の周期帯（フーリエスペクトルの周期0.2～0.5秒）では見られるが、その他の地震波到来方向では見られない。
- 1～4号炉周辺の観測点において、地震動の顕著な増幅は、いずれの地震波到来方向でも見られない。

## 【敷地における地震動評価】

- 敷地における地震動の増幅特性を踏まえ、「地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価」と「地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価」を実施することとし、観測点毎の地震動の顕著な増幅の有無（地震観測記録の分析）に基づき、S波低速度層の分布及び影響範囲（地下構造調査結果の分析）も踏まえて、「地震動の顕著な増幅を考慮しない領域」（1～4号炉周辺）と「地震動の顕著な増幅を考慮する領域」（5号炉周辺）とを設定する（次ページ以降参照）。
- 「地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価」は、敷地全体（「地震動の顕著な増幅を考慮しない領域」及び「地震動の顕著な増幅を考慮する領域」）を対象とする。
- 「地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価」は、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近（N30E～N70E）で地震動の顕著な増幅が見られる「地震動の顕著な増幅を考慮する領域」（5号炉周辺）を対象とする。

浜岡原子力発電所

地震動の顕著な増幅を考慮しない領域（1～4号炉周辺）

地震動の顕著な増幅を考慮する領域（5号炉周辺）

地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価

地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価  
(地震動の顕著な増幅が見られる地震波到来方向付近  
(N30E～N70E) に震源断層が位置する地震)



<2.2.2 地震動評価への反映方法>

地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定  
(検討概要)

- 敷地における地震動の増幅特性を踏まえ、「地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価」と「地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価」を実施することとし、観測点毎の地震動の顕著な増幅の有無（地震観測記録の分析）に基づき、S波低速度層の分布及び解析に基づく影響範囲（地下構造調査結果の分析）も踏まえて、「地震動の顕著な増幅を考慮しない領域」（1～4号炉周辺）と「地震動の顕著な増幅を考慮する領域」（5号炉周辺）とを設定する。

**【地震観測記録の分析】**

**（観測点毎の地震動の顕著な増幅の有無の検討）**

- 敷地全体を対象とした多点連続地震観測及び海底試掘トンネルにおける連続地震観測を行い、4号炉周辺と5号炉周辺の間の領域における追加観測も実施して、地盤増幅特性を分析。
- 5号炉周辺の観測点では、2009年駿河湾の地震を含むN30E～N70Eの地震波到来方向の地震では顕著な増幅は見られるが、その他の地震波到来方向では顕著な増幅は見られない。
- 1～4号炉周辺を含むその他の観測点では、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向を含め、いずれの地震波到来方向でも顕著な増幅は見られない。
- 追加観測の結果、地震動の顕著な増幅が見られない4号炉周辺と地震動の顕著な増幅が見られる5号炉周辺の間の観測点では、1～4号炉周辺を含むその他の観測点と同様、地震動の顕著な増幅は見られない。

・敷地全体を対象とした多点連続地震観測、海底試掘トンネルにおける連続観測、4号炉周辺と5号炉周辺の間の領域における追加観測の各地震観測記録の分析の詳細はp.20～及び第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-02参照。

**【地下構造調査結果の分析】**

**（S波低速度層の分布の検討）**

- 敷地近傍の複数の速度構造調査結果によると、S波低速度層は5号炉周辺より東側に分布し、1、2号炉周辺及び3、4号炉周辺や海側には分布していない。
- この調査結果に基づき敷地近傍の地質・地質構造を参考に推定したS波低速度層の分布図によると、S波低速度層は5号炉から2009年駿河湾の地震の到来方向である北東方向にかけて、深さ数百mの浅部に局所的に分布。

**（S波低速度層の影響範囲の検討）**

- 地震波の伝播経路についてレイトレーシング解析を行い、S波低速度層の分布に基づき、S波低速度層の影響を分析。
- レイトレーシング解析に基づくS波低速度層の影響範囲は、S波低速度層の分布範囲と大きく変わらない。

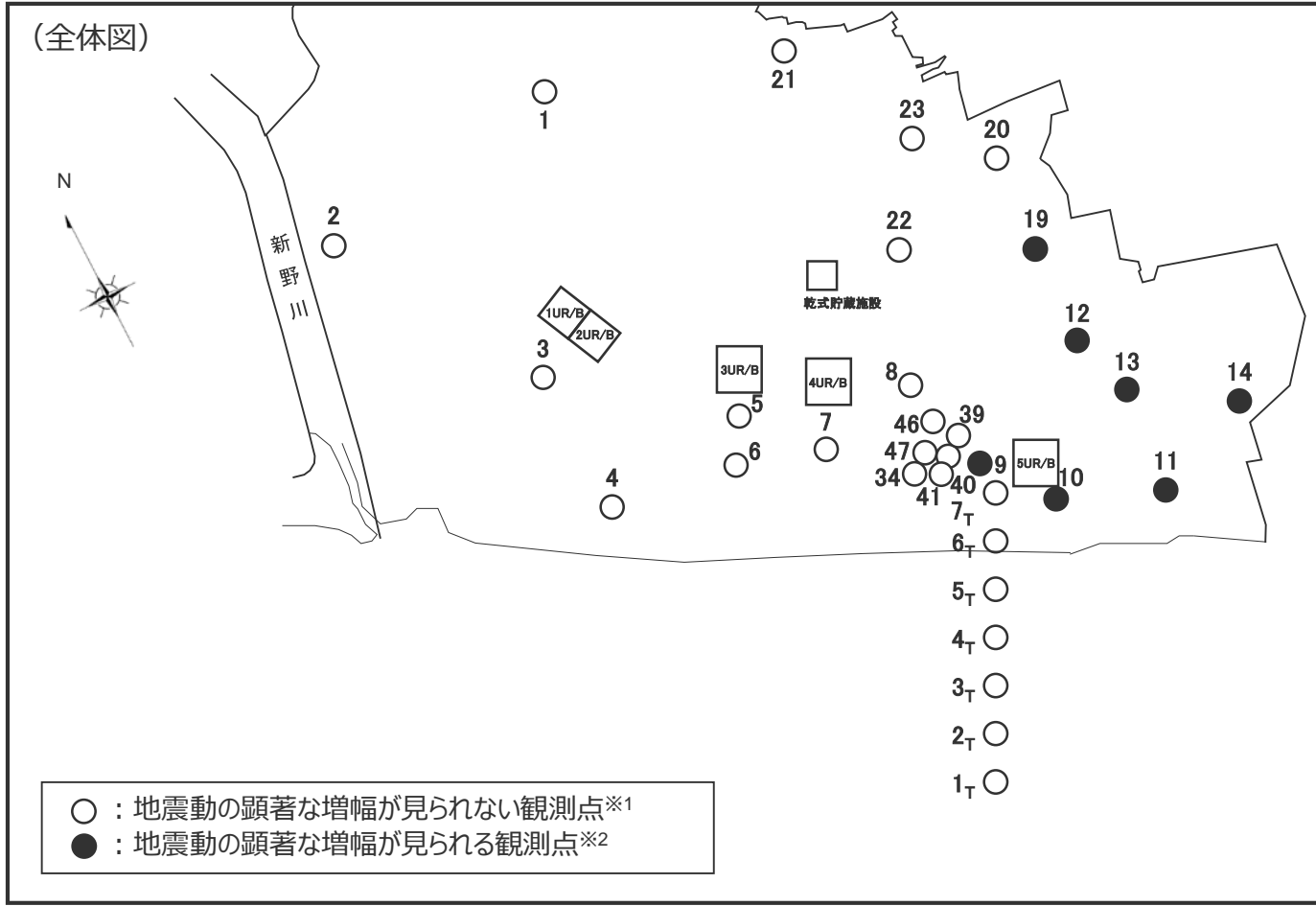
・S波低速度層の分布については、初動トモグラフィ解析のチェッカーボードテスト・スパイクテストにより信頼性を確認（S波低速度層の分布の検討の詳細はp.45～54及び第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-05参照）。

「地震動の顕著な増幅を考慮しない領域（1～4号炉周辺）」と「地震動の顕著な増幅を考慮する領域（5号炉周辺）」を設定

<2.2.2 地震動評価への反映方法>

地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定  
(地震観測記録の分析 (観測点毎の地震動の顕著な増幅の有無の検討) )

○S波低速度層による影響の有無によって地震動の増幅特性が異なることにより、敷地の地震観測点は、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近のみ地震動の顕著な増幅が見られる観測点 (地震動の顕著な増幅が見られる観測点) といずれの地震波到来方向でも地震動の顕著な増幅が見られない観測点 (地震動の顕著な増幅が見られない観測点) に分かれ、**4号炉周辺の観測点は地震動の顕著な増幅が見られない観測点に相当し、5号炉周辺の観測点は地震動の顕著な増幅が見られる観測点に相当する。**



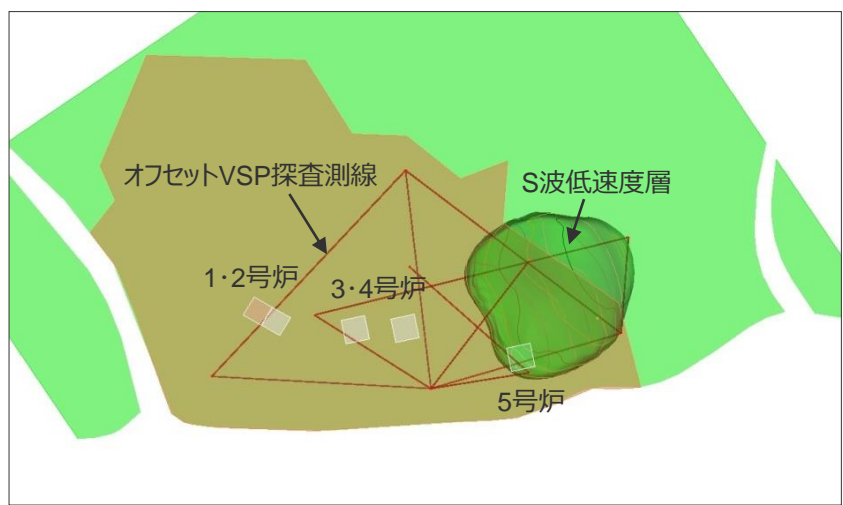
・敷地全体を対象とした多点連続地震観測、海底試掘トンネルにおける連続観測、4号炉周辺と5号炉周辺の間領域における追加観測の各地震観測記録の分析の詳細はp.20~及び第1041回審査会合資料2-2-3補足説明資料①-02参照。

※1 : 2009年駿河湾の地震の地震波到来方向を含め、いずれの地震波到来方向でも顕著な増幅は見られず、周辺観測点の地盤増幅特性と同様である。  
 ※2 : 2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近 (N30E~N70E) では顕著な増幅が見られるが、その他の地震波到来方向では顕著な増幅は見られず、周辺観測点の地盤増幅特性と同様である。

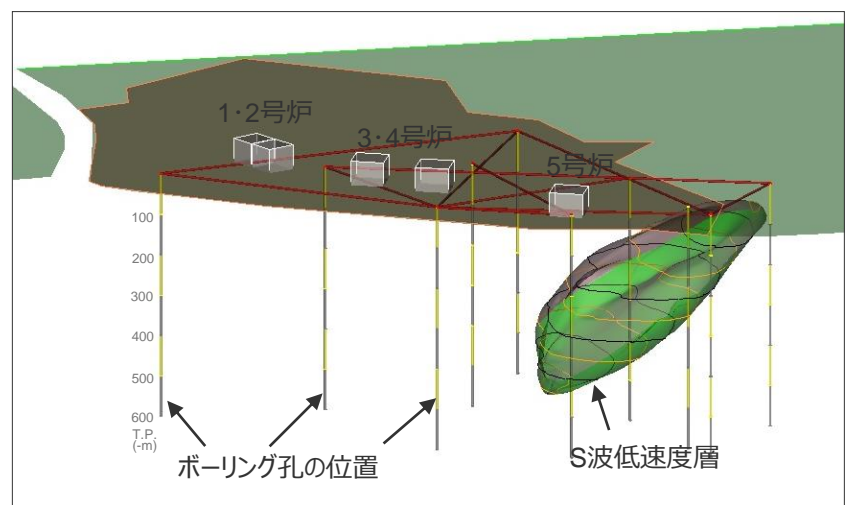
<2.2.2 地震動評価への反映方法>

地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定  
(地下構造調査結果の分析 (S波低速度層の分布の検討) )

- 敷地近傍の複数の速度構造調査結果によると、**S波低速度層は5号炉周辺より東側に分布し、1, 2号炉周辺及び3, 4号炉周辺や海側には分布していない。**
- この調査結果に基づき敷地近傍の地質・地質構造を参考に推定したS波低速度層の分布図によると、S波低速度層は5号炉から2009年駿河湾の地震の到来方向である北東方向にかけて、深さ数百mの浅部に局所的に分布している。
- S波低速度層の分布の信頼性について、S波低速度層を確認した速度構造調査結果 (オフセットVSP探査に基づく初動トモグラフィ解析結果) に関し、チェッカーボードテスト及びスパイクテストにより信頼性を確認した (詳細は第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-04参照) 。



<平面分布図>



<鳥瞰図>

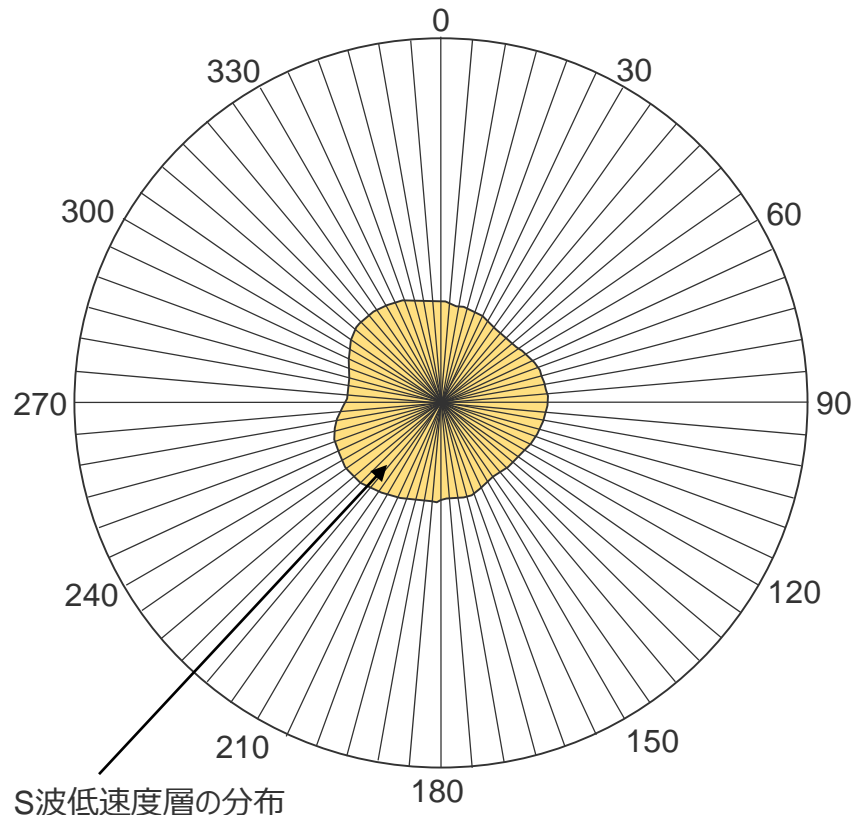
・S波低速度層の地質的特徴については、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-06参照。

<2.2.2 地震動評価への反映方法>

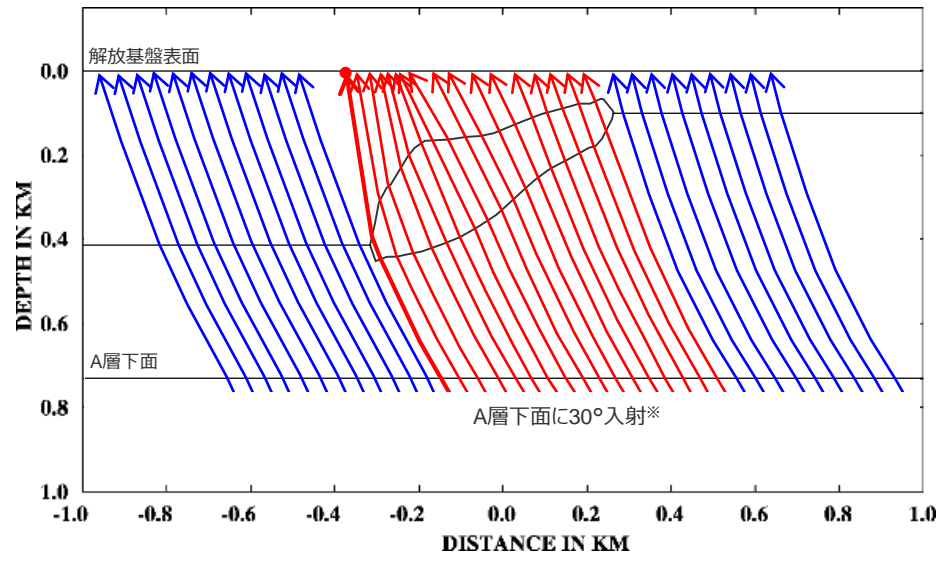
地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定  
(地下構造調査結果の分析 (S波低速度層の影響範囲の検討) )

- S波低速度層による地震動の顕著な増幅は、地震波がS波低速度層を伝播して敷地に到達することで生じると考えられるため、S波低速度層の分布に基づき、地震波のレイトレーシング解析を行うことで、S波低速度層の影響範囲を検討する。
- 具体的には、S波低速度層の中心を通る全方位 (5°刻み) の二次元断面を用いて、A層下面における入射を30度\*としたレイトレーシング解析を行い、各測線において波線がS波低速度層を伝播して解放基盤表面に到達した最も外側の地点を結んだ範囲を、S波低速度層の影響範囲とする。

※多点連続地震観測における観測地震及び内閣府(2012)によるプレート境界面の震源を対象としたレイトレーシング解析に基づく (第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-09参照)。



- ← S波低速度層を伝播して解放基盤表面に到達する波線
- ← S波低速度層を伝播せず解放基盤表面に到達する波線
- S波低速度層を伝播して解放基盤表面に到達した最も外側の地点



(断面図イメージ (レイトレーシング解析) )

<検討内容模式図>

<2.2.2 地震動評価への反映方法>

地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定  
(地下構造調査結果の分析 (S波低速度層の影響範囲の検討))

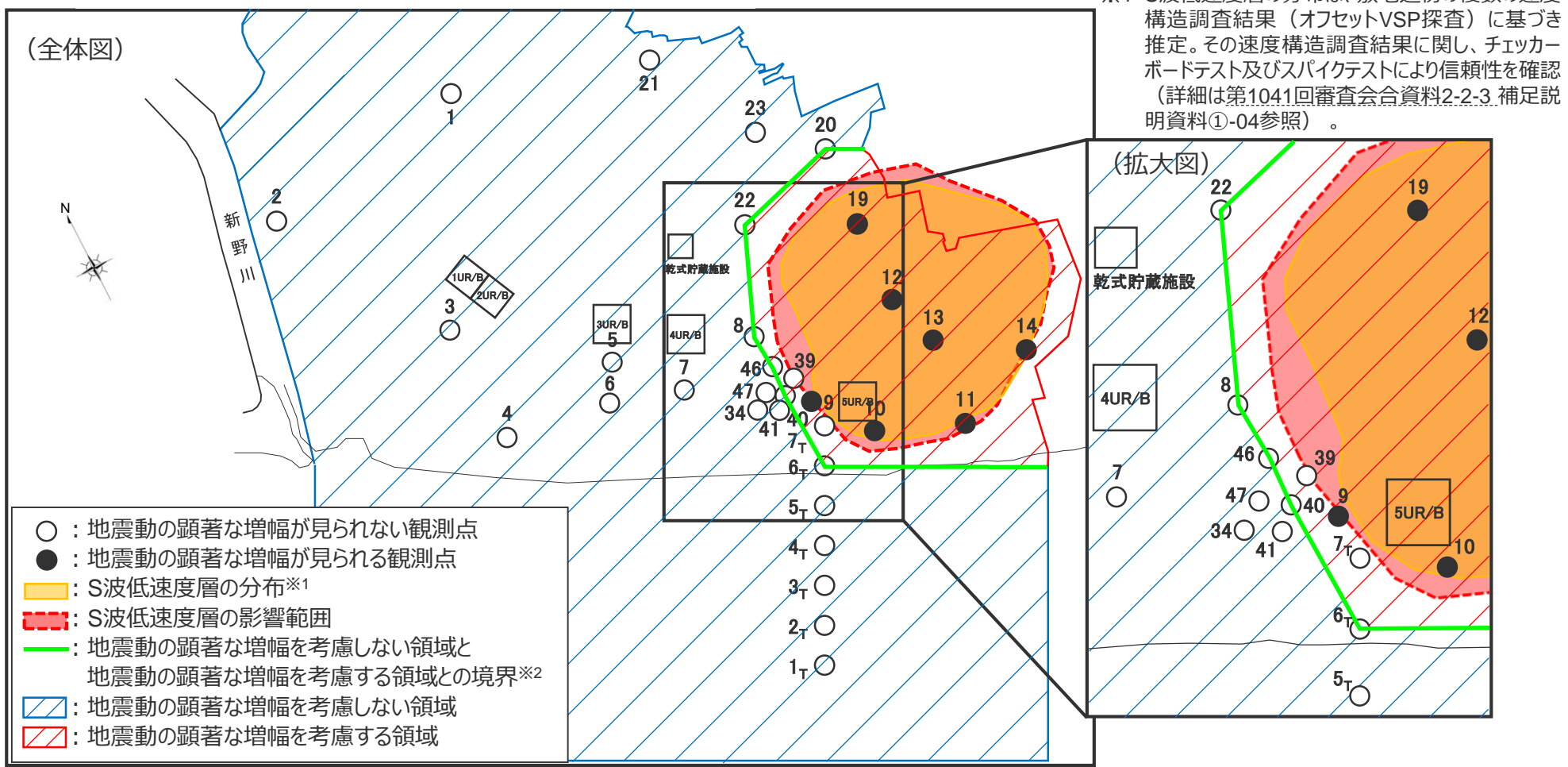
- レイトレーシング解析に基づくS波低速度層の影響範囲は、S波低速度層の分布範囲と大きく変わらない。
- その理由として、下方から伝播する地震波がS波低速度層を伝播することで、S波低速度層の上部付近で地震波が集中して増幅するフォーカシング現象が増幅メカニズムであるためと考えられる。



<2.2.2 地震動評価への反映方法>

地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定  
(まとめ)

○観測点毎の地震動の顕著な増幅の有無（地震観測記録の分析）に基づき、S波低速度層の分布※1及び解析に基づく影響範囲（地下構造調査結果の分析）も踏まえて、地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域を設定。



※2「地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域との境界」は、主に地震動の顕著な増幅が見られない観測点に基づき設定することとし、当該境界により設定される地震動の顕著な増幅を考慮する領域が、地震動の顕著な増幅が見られる観測点及びS波低速度層の分布・影響範囲を包絡することを確認。

---

余白

＜2.2.2 地震動評価への反映方法 (1) 地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価＞

# 地震動の顕著な増幅が見られない領域の地震動評価への反映方法の基本方針

## 1. 敷地における地盤増幅特性

### 地震観測

#### ○各号炉周辺における鉛直アレイ観測

- ・地震観測記録の特徴や地震波到来方向毎の地盤増幅特性の検討、鉛直アレイ観測点と周辺観測点(RK-net)の地震観測記録の比較・検討を実施。
- ⇒ 3～5号炉の観測点における地震波到来方向毎の地盤増幅特性及び敷地の観測点と周辺観測点の地盤増幅特性の関係を把握。

#### ○敷地全体を対象とした多点連続地震観測

- ・高感度の速度計を用いた高感度連続地震観測を敷地全体で行い、多方向からの観測記録を取得し、分析を実施。
- ⇒ 敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性を把握。

#### ○海底試掘トンネルにおける連続地震観測

- ・海底試掘トンネルにおいて連続地震観測を行い、多方向からの観測記録を取得し、分析を実施。
- ⇒ 海域部における地震波到来方向毎の地盤増幅特性を把握。

・ 4号炉周辺では地震動の顕著な増幅が見られない。

### 地下構造

#### ○敷地周辺の地下構造 (深部からやや浅部)

- ・敷地周辺の地下構造調査結果に基づき、深部三次元地下構造モデルを作成し、解析検討を実施。
- ⇒ 地震基盤面及びそれ以浅の速度構造 (褶曲構造を含む) は地震動の顕著な増幅に影響を及ぼすものではない。

#### ○敷地近傍の地下構造 (浅部)

- ・敷地近傍の地下構造調査結果に基づき、地震観測記録の特徴のチューニングを踏まえ、S波低速度層を含む浅部三次元地下構造モデルを作成し、解析検討を実施。
- ⇒ S波低速度層は4号炉周辺に見られず、4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。
- ⇒ S波低速度層は5号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響。
- ・さらに、4号炉周辺への影響検討の観点から、観測記録の特徴とは整合しないものの、小低速度層を4号炉周辺へ最も近づけた場合のパラメータスタディを実施。
- ⇒ 仮定条件下の影響検討においても、S波低速度層は4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。

・ 4号炉周辺の地下構造には物性の顕著な変化はなく、平行成層地盤に近似することができる。

### 地震波の伝播経路

- ・観測地震の地震波及び敷地への影響が大きいプレート間地震 (震源モデル) の地震波について、4号炉周辺に到達する伝播経路を検討。
- ・地震波が低速度層を伝播して増幅するメカニズムを検討。
- ⇒ 4号炉周辺に到達する地震波の伝播経路を把握。
- ⇒ 5号炉周辺の地震波の増幅メカニズムを把握。

・ 4号炉周辺に到達する主要な地震波は、S波低速度層を伝播せず、顕著な増幅が見られない。

**4号炉周辺等の地震動の顕著な増幅が見られない領域の地盤増幅特性は平行成層地盤と見なすことができる。**

## 2. 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法

・「地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価」では、平行成層地盤と見なして地盤増幅特性を保守的に考慮し、地震動評価を行う。



## <2.2.2 地震動評価への反映方法 (1) 地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価> 断層モデルを用いた手法による地震動評価で用いる一次元地下構造モデルの設定 (設定方針及び設定結果)

○断層モデルを用いた手法（統計的グリーン関数法（短周期領域）と波数積分法（長周期領域）によるハイブリッド合成法）による地震動評価に用いる一次元地下構造モデルは、地下構造調査により得られた詳細な地下構造データ等に基づき設定し、敷地の観測記録の再現検討等を踏まえてその妥当性を確認している※1。

### <速度構造>

- T.P.-14m～T.P.-2050mでは、S波速度及びP波速度の両方が得られる浅部及び大深度ボーリング調査のPS検層結果（ダウンホール法）に基づき、S波速度及びP波速度を設定する。
- T.P.-2050m以深について、P波速度は屈折法地震探査結果（海陸統合）に基づき設定し、S波速度は、T.P.-5050m以浅では各調査結果に基づき算定したVp-Vs関係式（ $V_s=0.68V_p-580(m/s)$ ）を、T.P.-5050m以深ではObana et al.(2004)によるVp-Vs関係式（ $V_p/V_s=1.78$ ）を用いて、P波速度から推定する。

### <密度>

- 各調査結果との対応が良いGardner et al.(1974)のVp-p関係式（ $\rho=0.31V_p^{0.25}(g/cm^3)$ ）を用いて、P波速度から推定する。

### <Q値>

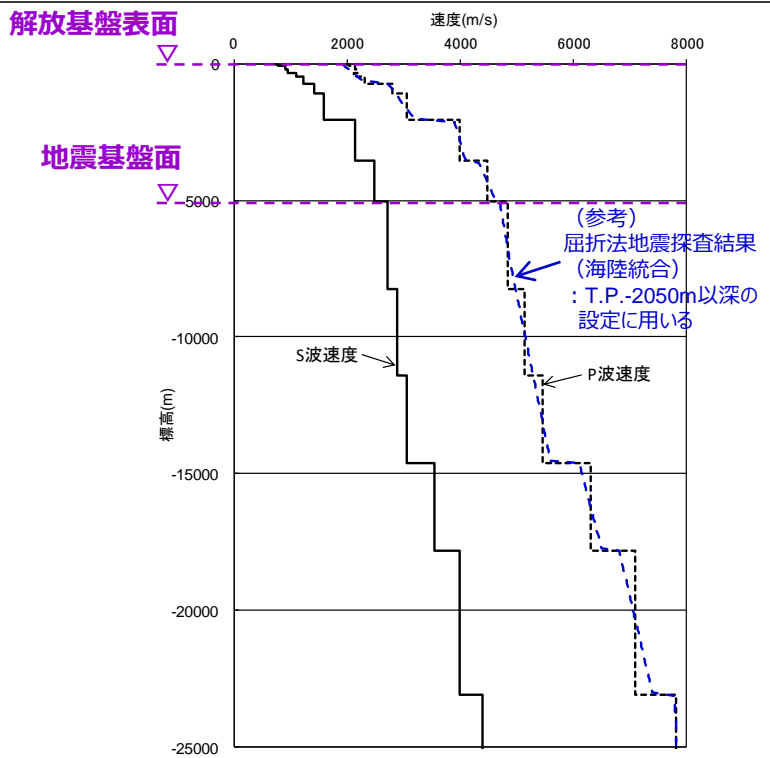
- 統計的グリーン関数法（短周期の地震動評価）： $100f^{0.7}$ ※2、波数積分法（長周期の地震動評価）： $Q_s=V_s/10$ 、 $Q_p=2Q_s$ ※3

※1 一次元地下構造モデルの設定に係る妥当性確認等の詳細な説明は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-10,11参照。  
※2 中央防災会議(2001a)、 ※3 原子力安全基盤機構(2007)、新色・山中(2013)。

解放基盤表面  
↓  
統計的グリーン関数法で用いる地下構造（地震基盤以浅）  
↓  
地震基盤面

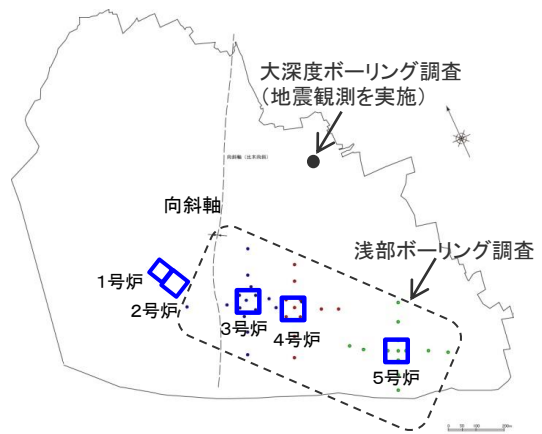
層	標高 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	SGF法※4		波数積分法※5	
					Qs, Qp	Qs	Qp	
1	-14	740	2000	2.07	100f <sup>0.7</sup>	74	148	
2	-32	790	2030	2.08	100f <sup>0.7</sup>	79	158	
3	-62	830	2070	2.09	100f <sup>0.7</sup>	83	166	
4	-92	910	2140	2.11	100f <sup>0.7</sup>	91	182	
5	-192	960	2180	2.12	100f <sup>0.7</sup>	96	192	
6	-354	1100	2110	2.10	100f <sup>0.7</sup>	110	220	
7	-493	1230	2320	2.15	100f <sup>0.7</sup>	123	246	
8	-739	1420	2790	2.25	100f <sup>0.7</sup>	142	284	
9	-1094	1590	3060	2.31	100f <sup>0.7</sup>	159	318	
10	-2050	2150	3990	2.46	100f <sup>0.7</sup>	215	430	
11	-3550	2470	4470	2.53	100f <sup>0.7</sup>	247	494	
12	-5050	2720	4830	2.58	-	272	544	
13	-8240	2880	5130	2.62	-	288	576	
14	-11400	3060	5450	2.66	-	306	612	
15	-14600	3540	6300	2.76	-	354	708	
16	-17800	3990	7100	2.85	-	399	798	
17	-23100	4390	7810	2.91	-	439	878	

↑  
波数積分法で用いる地下構造（全層）



※4 統計的グリーン関数法（短周期の地震動評価）、※5 波数積分法（長周期の地震動評価）

<2.2.2 地震動評価への反映方法 (1) 地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価>  
断層モデルを用いた手法による地震動評価で用いる一次元地下構造モデルの設定  
(設定に用いる調査結果)

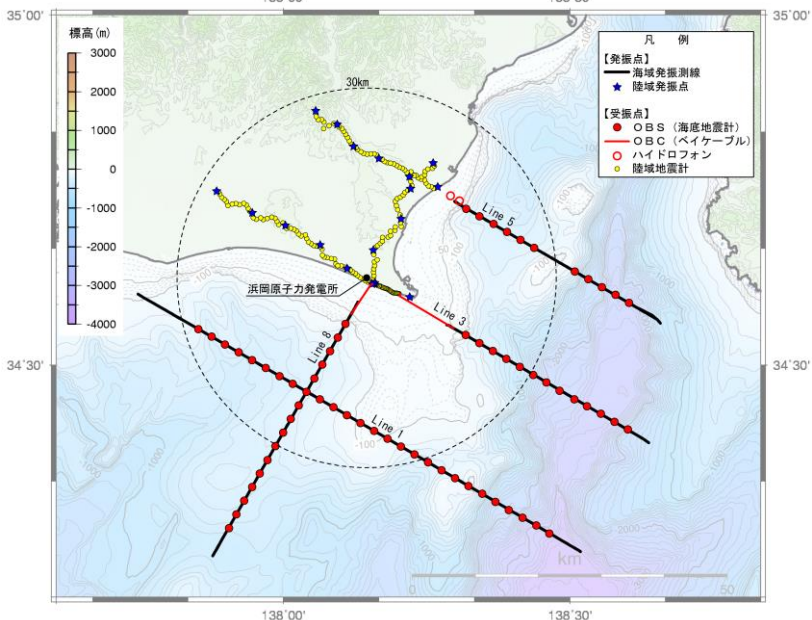


<ボーリング調査位置図>

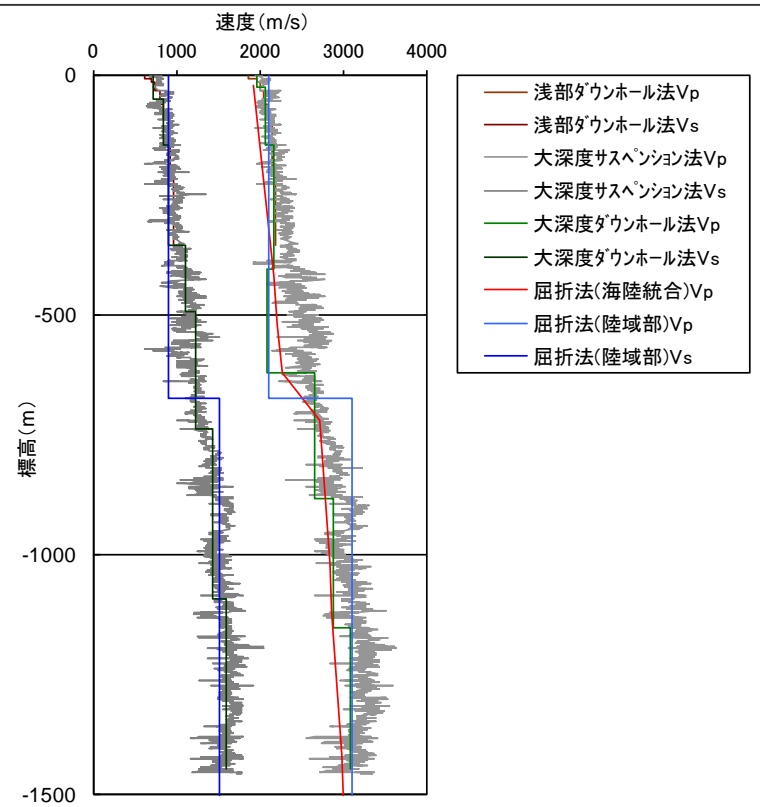
<一次元地下構造モデルの設定に用いる調査結果>

- 浅部ボーリング調査 (標高約-300m以浅) : P波速度、S波速度、密度
- 大深度ボーリング調査 (標高約-1500m以浅) : P波速度、S波速度、密度
- 屈折法地震探査 (陸域部) (標高約-5000m以浅) : P波速度、S波速度
- 屈折法地震探査 (海陸統合) (標高約-23000m以浅) : P波速度

⇒ 各調査結果は整合しており、これらの調査結果を用いて、地震動評価に用いる一次元地下構造モデルを設定する。



<屈折法地震探査測線図>



<敷地における各調査結果の比較>

<2.2.2 地震動評価への反映方法 (1) 地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価>  
断層モデルを用いた手法による地震動評価で用いる一次元地下構造モデルの設定  
(Vp-Vs、Vp-ρ関係式)

**<Vp-Vs関係式>**

- T.P.-2050m~T.P.-5050m (地震基盤面) のS波速度は、サンプル数が多い大深度ボーリング調査のPS検層結果 (サスペンション法) に基づき作成した以下のVp-Vs関係式を用いて、P波速度から推定する。

Vp-Vs関係式 :  $V_s = 0.68V_p - 580(\text{m/s})$

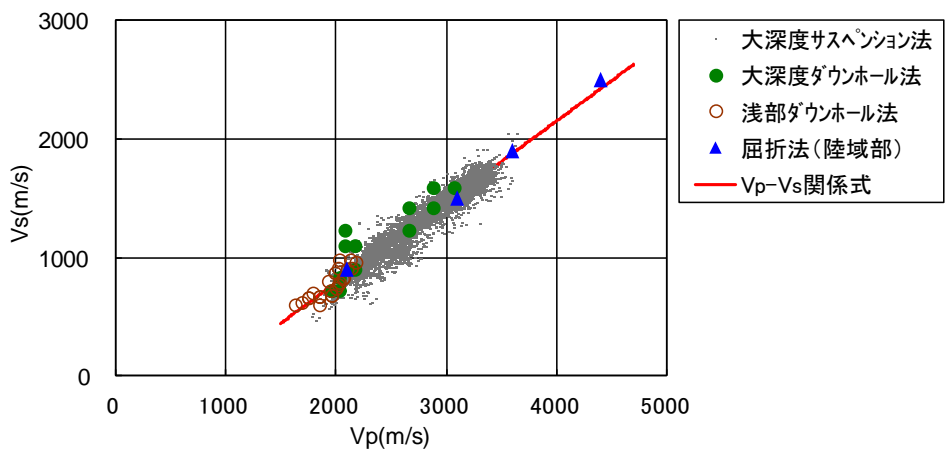
- この関係式は、浅部及び大深度ボーリング調査のPS検層結果 (ダウンホール法) や屈折法地震探査 (陸域部) の結果と整合している。

**<Vp-ρ関係式>**

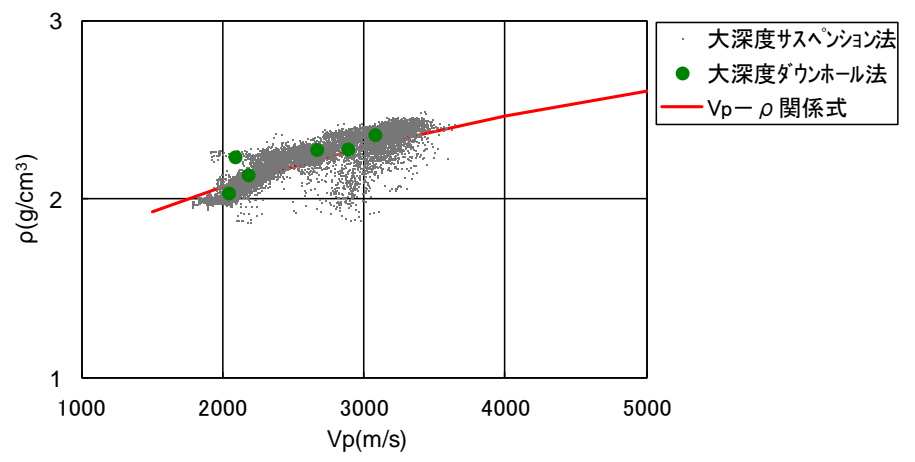
- 密度は、以下のVp-ρ関係式 (Gardner et al.(1974)) を用いて、P波速度から推定する。

Vp-ρ関係式 :  $\rho = 0.31V_p^{0.25}(\text{g/cm}^3)$

- この関係式は、大深度ボーリング調査におけるPS検層結果 (サスペンション法及びダウンホール法) と密度検層結果との関係と整合している。



<Vp-Vs関係式と各調査結果との対応>

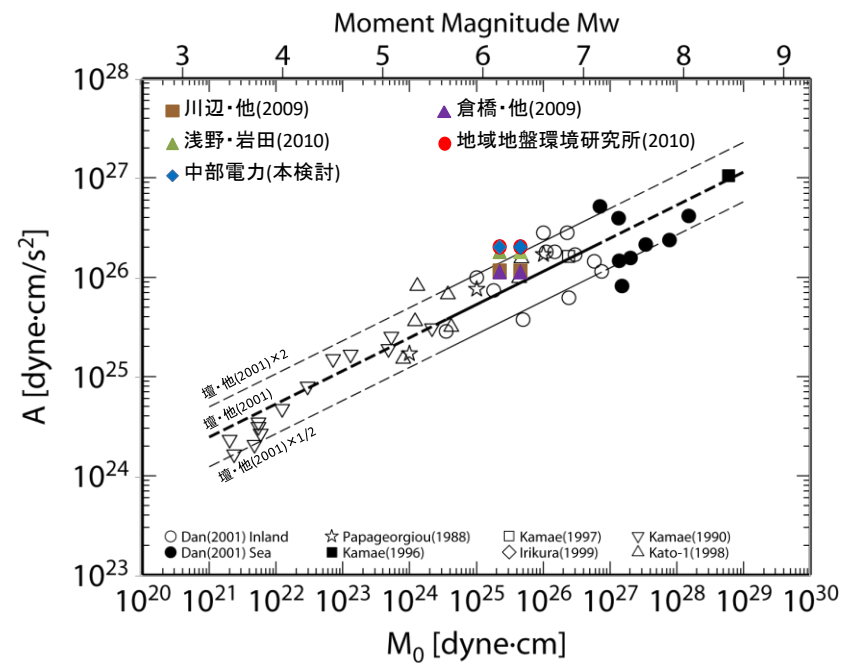
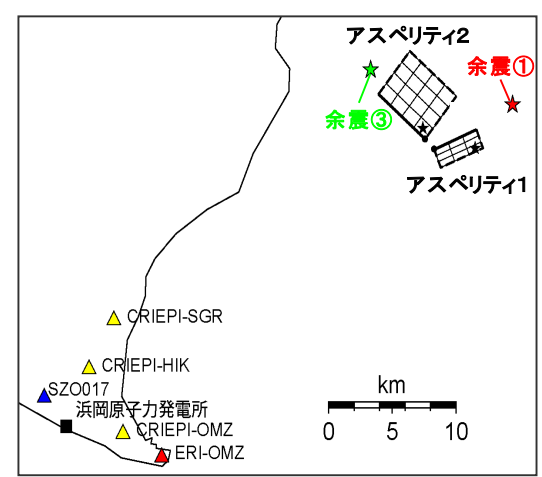


<Vp-ρ関係式と各調査結果との対応>

<2.2.2 地震動評価への反映方法 (1) 地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価>  
断層モデルを用いた手法による地震動評価で用いる一次元地下構造モデルの設定  
(検証：地震動の顕著な増幅が見られない観測点の地震観測記録の再現検討)

○振幅レベルが大きく、信頼性の高い記録が得られている2009年駿河湾の地震（本震）を対象として、この地震の特性化震源モデルに基づき、一次元地下構造モデルを用いた統計的グリーン関数法による地震動評価を行い、敷地の観測記録（3号炉及び4号炉）の再現性について検討する。

	面積	地震モーメント	応力降下量
アスペリティ1（南部）	13.0km <sup>2</sup>	6.80×10 <sup>17</sup> Nm	35.7MPa
アスペリティ2（北部）	23.0km <sup>2</sup>	1.20×10 <sup>18</sup> Nm	27.5MPa



・地震モーメントは2.25×10<sup>18</sup>Nm(F-net)、4.6×10<sup>18</sup>Nm(鈴木・他(2009))を用いる

<経験的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震（本震）の特性化震源モデル>  
(当社作成)

<2009年駿河湾の地震（本震）のM<sub>0</sub> - A関係>

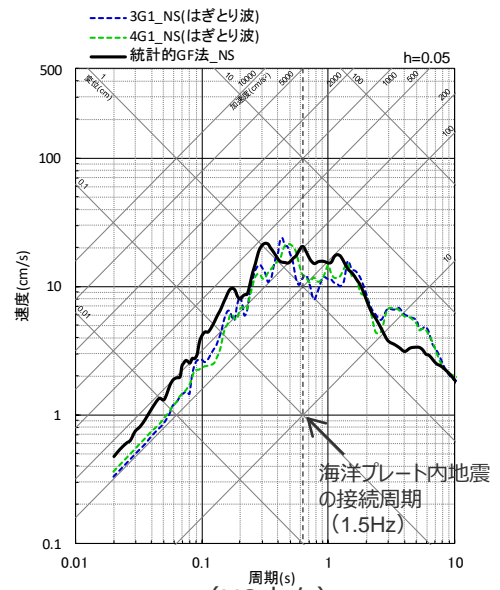
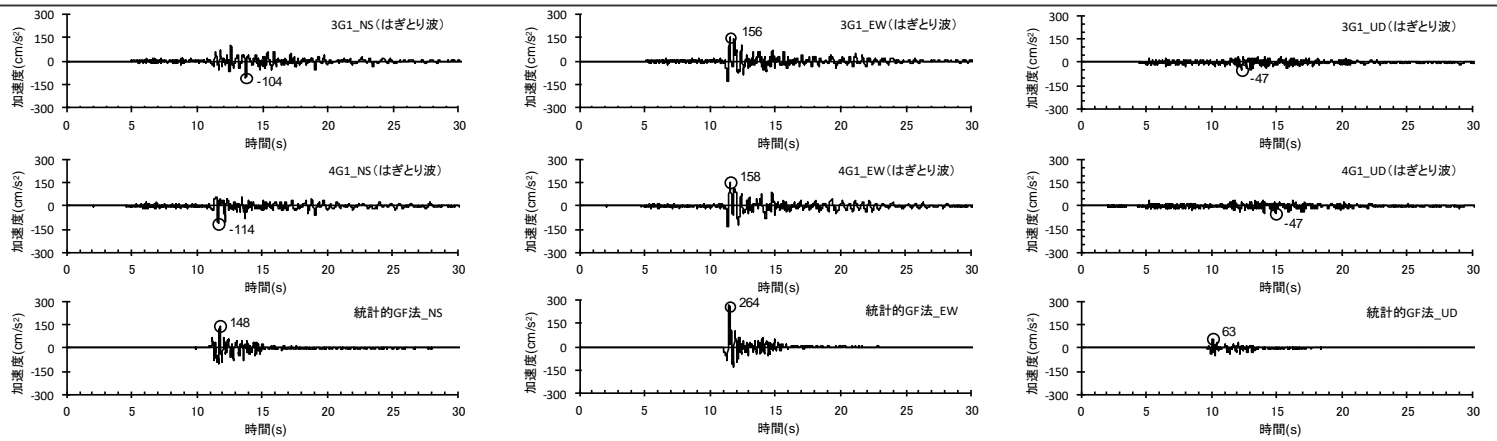
・経験的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震（本震）の特性化震源モデル（当社作成）は、第1041回審査会合資料2-2-5 補足説明資料③-23参照。

<2.2.2 地震動評価への反映方法 (1) 地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価>

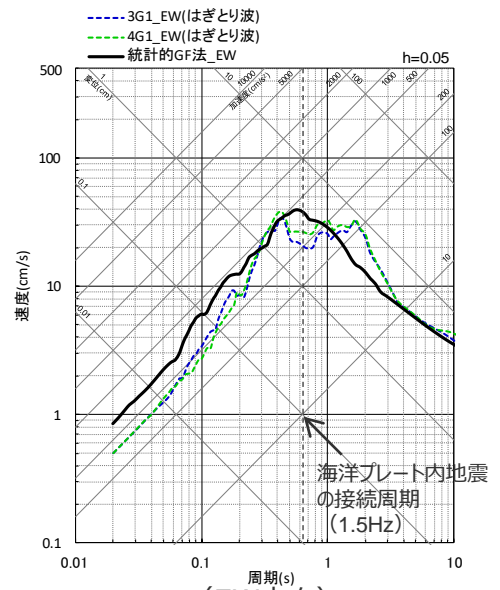
断層モデルを用いた手法による地震動評価で用いる一次元地下構造モデルの設定

(検証：2009年駿河湾の地震(本震)の再現検討結果と3号炉(3G1)、4号炉(4G1)の観測記録(はぎとり波)との比較)

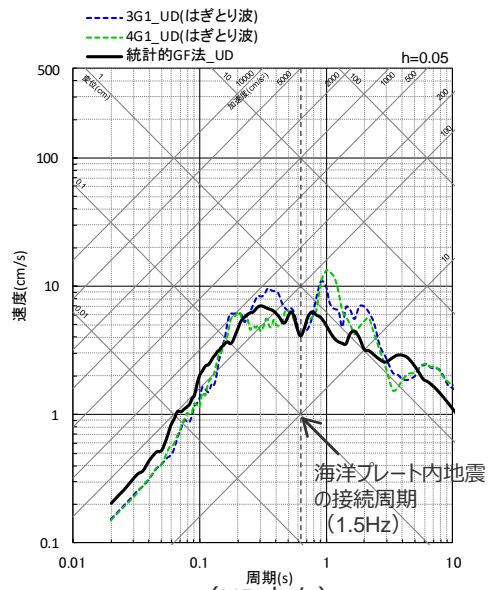
○統計的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震(本震)の地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価結果は、その評価対象周期(短周期)で3号炉(3G1)、4号炉(4G1)の観測記録(はぎとり波)を概ね再現している。



(NS方向)



(EW方向)



(UD方向)

<2009年駿河湾の地震(本震)の地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価結果と3号炉(3G1)、4号炉(4G1)の観測記録(はぎとり波)との比較>

(上図：加速度時刻歴波形、下図：応答スペクトル)

---

余白

＜2.2.2 地震動評価への反映方法（2）地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価＞

# 地震動の顕著な増幅が見られる領域の地震動評価への反映方法の基本方針

## 1. 敷地における地盤増幅特性

### 地震観測

#### ○各号炉周辺における鉛直アレイ観測

・地震観測記録の特徴や地震波到来方向毎の地盤増幅特性の検討、鉛直アレイ観測点と周辺観測点（RK-net）の地震観測記録の比較・検討を実施。  
 ⇒ **3～5号炉の観測点における地震波到来方向毎の地盤増幅特性及び敷地の観測点と周辺観測点の地盤増幅特性の関係を把握。**

#### ○敷地全体を対象とした多点連続地震観測

・高感度の速度計を用いた高感度連続地震観測を敷地全体で行い、多方向からの観測記録を取得し、分析を実施。  
 ⇒ **敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性を把握。**

#### ○海底試掘トンネルにおける連続地震観測

・海底試掘トンネルにおいて連続地震観測を行い、多方向からの観測記録を取得し、分析を実施。  
 ⇒ **海域部における地震波到来方向毎の地盤増幅特性を把握。**

・ **5号炉周辺では一部の方向で地震動の顕著な増幅が見られる。**

### 地下構造

#### ○敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）

・敷地周辺の地下構造調査結果に基づき、深部三次元地下構造モデルを作成し、解析検討を実施。  
 ⇒ **地震基盤面及びそれ以浅の速度構造（褶曲構造を含む）は地震動の顕著な増幅に影響を及ぼすものではない。**

#### ○敷地近傍の地下構造（浅部）

・敷地近傍の地下構造調査結果に基づき、地震観測記録の特徴のチューニングを踏まえ、S波低速度層を含む浅部三次元地下構造モデルを作成し、解析検討を実施。  
 ⇒ **S波低速度層は4号炉周辺に見られず、4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。**  
 ⇒ **S波低速度層は5号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響。**  
 ・さらに、4号炉周辺への影響検討の観点から、観測記録の特徴とは整合しないものの、小低速度層を4号炉周辺へ最も近づけた場合のパラメータスタディを実施。  
 ⇒ **仮定条件下の影響検討においても、S波低速度層は4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。**

・ **5号炉周辺の地震動の顕著な増幅にはS波低速度層が影響。**

### 地震波の伝播経路

・観測地震の地震波及び敷地への影響が大きいプレート間地震（震源モデル）の地震波について、4号炉周辺に到達する伝播経路を検討。  
 ・地震波が低速度層を伝播して増幅するメカニズムを検討。  
 ⇒ **4号炉周辺に到達する地震波の伝播経路を把握。**  
 ⇒ **5号炉周辺の地震波の増幅メカニズムを把握。**

・ **5号炉周辺に到達する地震波は、一部の方向でS波低速度層を伝播し、顕著な増幅が見られる。**

**5号炉周辺等の地震動の顕著な増幅が見られる領域の地盤増幅特性には、S波低速度層による三次元的な地下構造の影響を考慮する必要がある。**

## 2. 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法

・「**地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価**」では、**S波低速度層による三次元的な地下構造の影響を踏まえて地盤増幅特性を保守的に考慮し、地震動評価を行う。**

## 地震動の顕著な増幅の地震動評価への反映方法

### (方針)

#### 【地震観測記録の分析結果で確認された地震動の顕著な増幅の特性（敷地固有の地盤増幅特性）】

- 5号炉周辺観測点で見られた地震動の顕著な増幅は、時刻歴波形ではS波主要動部のみに見られ、フーリエスペクトルでは周期0.2～0.5秒付近の狭帯域のみに、応答スペクトルでは周期0.5秒以下の短周期側のみに見られ、これ以外の周期帯には見られない。
- 5号炉周辺観測点において、地震動の顕著な増幅は、2009年駿河湾の地震の到来方向（N30E～N70E）の地震波のみに見られ、その他の地震波到来方向では見られない。
- 地震動の顕著な増幅が見られた到来方向（N30E～N70E）の地震波でも、増幅の程度は一樣ではなく、地震波の入射角が鉛直に近づく敷地近傍の地震ほど顕著な増幅は見られない傾向がある。このうち、2009年駿河湾の地震（本震）は増幅の程度が最も大きく信頼性が高い記録が得られた地震である。

#### 【地震動評価手法の特徴】

##### 【応答スペクトルに基づく手法の特徴】

- 応答スペクトルに基づく手法は、基本的には、地震規模や震源距離といった巨視的なパラメータにより、震源断層全体による敷地の地震動を評価する手法である。

##### 【断層モデルを用いた手法の特徴】

- 断層モデルを用いた手法は、震源断層を複数の小断層に分割し、小断層毎に震源特性、伝播経路特性、地盤増幅特性を考慮して敷地に到来する地震波（グリーン関数）を算定し、それらの地震波（グリーン関数）を敷地への到来時刻を考慮して足し合わせることで震源断層全体による敷地の地震動を評価する手法である。

#### 【地震動の顕著な増幅の地震動評価への反映方法（方針）】

- 検討用地震の地震動評価（地震動の顕著な増幅を考慮）は、地震観測記録に基づき確認された地震動の顕著な増幅の特性を的確に反映するため、震源断層を小断層に分割し、小断層毎に敷地に到来する地震動を詳細に考慮できる**断層モデルを用いた手法を重視**する。
- 断層モデルを用いた手法については、**2009年駿河湾の地震（本震）の観測記録の再現検討により検証した方法**（「増幅方向」に位置する強震動生成域（アスペリティ）の各小断層からの地震動（グリーン関数）に増幅係数を乗じる方法）を用い、地震動の顕著な増幅を考慮する強震動生成域（アスペリティ）の小断層の範囲・増幅の程度を**地震観測記録の分析結果に対し保守的に設定**することにより、**保守的な地震動評価**を行う。
- 応答スペクトルに基づく手法については、3つの地震タイプ（内陸地殻内地震、プレート間地震、海洋プレート内地震）の各検討用地震と震源断層面の広がりや地震波の到来方向が同様と見なせ、各検討用地震に応じた敷地固有の地盤増幅特性が反映された観測記録が得られていないことから、『**断層モデルを用いた手法による保守的な地震動評価結果を用いて応答スペクトルに与える影響を求めて反映する方法**』により保守的な地震動評価を行う。

・地震動の顕著な増幅の地震動評価への反映方法の詳細は、第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-12参照。



# <2.2.2 地震動評価への反映方法 (2) 地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価> 断層モデルを用いた手法による地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法 (方針)

## 【地震観測記録の分析結果 (地震動の顕著な増幅の特性)】

- 地震動の顕著な増幅は、特定の到来方向 (N30E~N70E) の地震波のみに、短周期の特定の周期帯 (フーリエスペクトルの周期0.2~0.5秒) では見られるが、その他の地震波到来方向では見られない。

## 【特性化震源モデルの短周期地震動の考え方】

- 短周期の地震動レベルを強震動生成域 (アスペリティ) からの地震動のみで評価 (背景領域は、強震動生成域 (アスペリティ) のみで震源断層全体の短周期レベルを説明できるように評価したのに対して付加)。

## 【地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法】

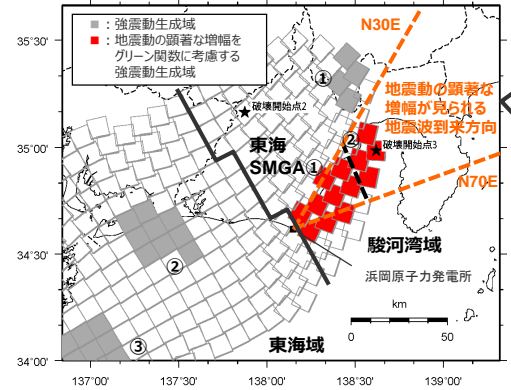
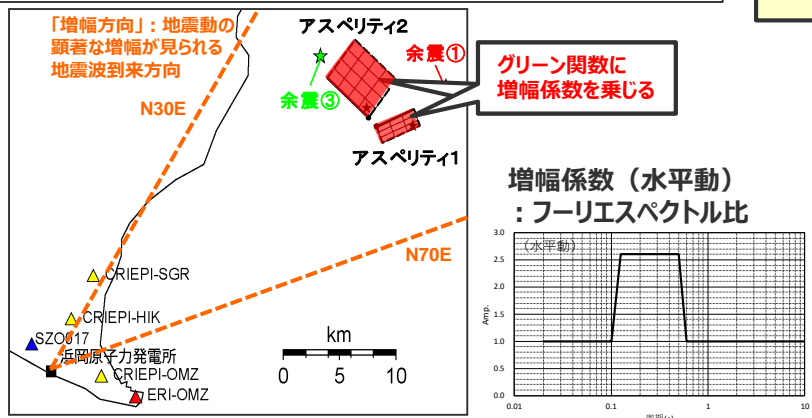
- 地震動の顕著な増幅が見られた短周期の地震動への影響が支配的な強震動生成域 (アスペリティ) に着目し、短周期の地震動評価に一般的に用いられる統計的グリーン関数法において、『**増幅方向**』に位置する強震動生成域 (アスペリティ) の各小断層からの地震動 (グリーン関数) に増幅係数を乗じる方法』を用いることとし、2009年駿河湾の地震 (本震) の観測記録の再現検討による検証を行ったうえで、検討用地震の地震動評価 (地震動の顕著な増幅を考慮) を行う。

## 【2009年駿河湾の地震 (本震) の観測記録の再現検討】

- 背景領域のない強震動生成域 (アスペリティ) のみの震源モデルを用いて、強震動生成域 (アスペリティ) の小断層のグリーン関数に増幅係数を乗じる方法で、地震動の顕著な増幅が見られた観測点 (5号炉周辺) の観測記録を概ね再現できることを確認する。

## 【検討用地震の地震動評価 (地震動の顕著な増幅を考慮)】

- 『**増幅方向**』の敷地近傍に強震動生成域 (アスペリティ) を配置したうえで、『**増幅方向**』に位置する強震動生成域 (アスペリティ) の小断層のグリーン関数のみに増幅係数を乗じる方法』で地震動評価を行う。
- その際、『**増幅方向**』の敷地近傍に配置した強震動生成域 (アスペリティ) について、増幅係数を乗じる小断層の範囲・増幅の程度を地震観測記録の分析結果に対し保守的に設定することにより、保守的な地震動評価を行う。



増幅係数を乗じる強震動生成域 (アスペリティ) を「増幅方向」の敷地近傍に配置したうえで保守的な評価を行うため、「増幅方向」に位置する背景領域は、敷地から離れており地震動評価結果に及ぼす影響は「増幅方向」の敷地近傍に配置した強震動生成域 (アスペリティ) に比べて小さいと考えられる。(→念のため、「増幅方向」に位置する背景領域の小断層にも増幅係数を乗じた場合の影響確認を行う。)

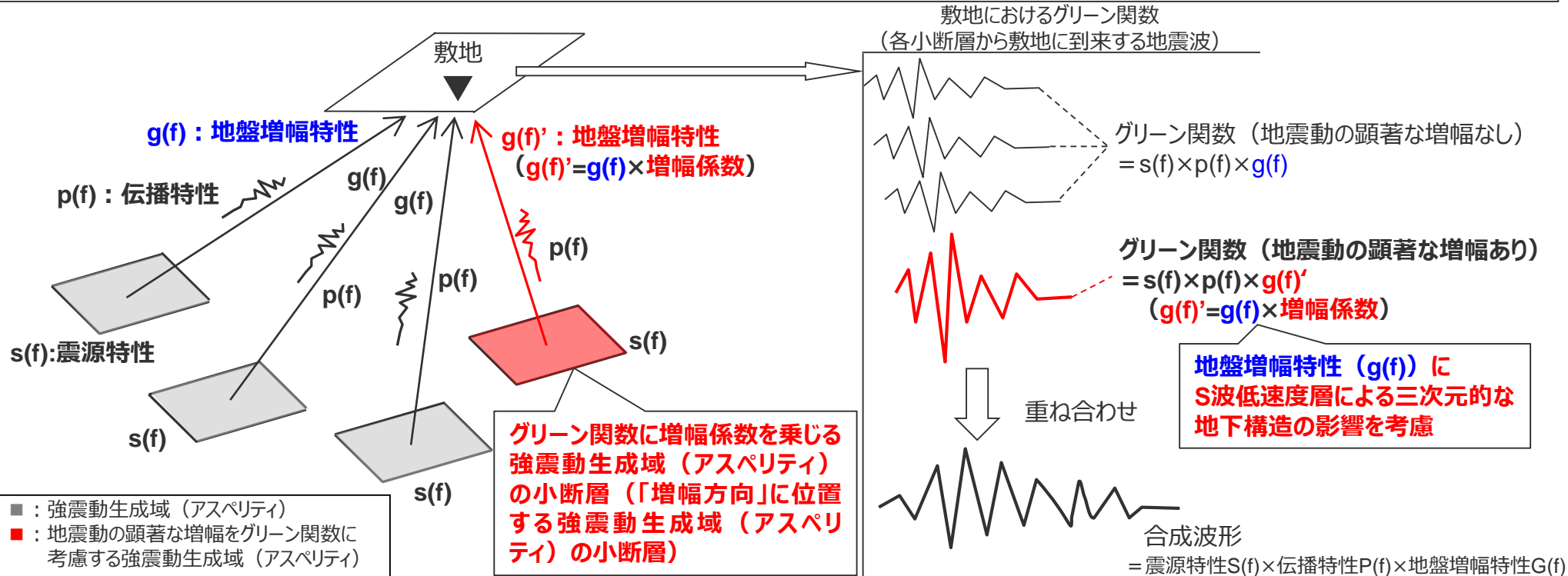
<2009年駿河湾の地震 (本震) の震源モデル>  
(当社作成)

<検討用地震の震源モデルと地震動の増幅を考慮する領域 (例) >

・地震動評価結果に考慮された保守性の確認及び「増幅方向」に位置する背景領域の小断層による影響の確認は、第1041回審査会合資料2-2-5 補足説明資料③-41参照。

# <2.2.2 地震動評価への反映方法 (2) 地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価> 断層モデルを用いた手法による地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法 (概要)

- 前述のとおり、検討用地震の地震動評価（地震動の顕著な増幅を考慮）は、地震観測記録に基づき確認された地震動の顕著な増幅の特性を的確に反映するため、震源断層を小断層に分割し、小断層毎に敷地に到来する地震動を詳細に考慮できる断層モデルを用いた手法を重視する。
- 断層モデルを用いた手法では、地震動の顕著な増幅は、「増幅方向」に位置する強震動生成域（アスペリティ）の各小断層からの地震動（グリーン関数）に増幅係数（次ページ参照）を乗じることで、短周期の地震動評価に一般的に用いられる統計的グリーン関数法により、地震動の顕著な増幅の特性を反映した地震動評価を行う。このようにグリーン関数（震源特性 $s(f)$ ×伝播特性 $p(f)$ ×地盤増幅特性 $g(f)$ ）に増幅係数を乗じる方法は、一次元地下構造モデルによる地盤増幅特性（ $g(f)$ ）を補正して、S波低速度層による三次元的な地下構造の影響を考慮することに相当する（ $g(f)' = g(f) \times \text{増幅係数}$ ）。
- グリーン関数に乘じる増幅係数については、増幅の程度が最も大きい2009年駿河湾の地震（本震）を参考に、その再現検討を踏まえて設定し、グリーン関数に増幅係数を乗じる強震動生成域（アスペリティ）の小断層については、「増幅方向」を踏まえ保守的に設定する。
- 2009年駿河湾の地震（本震）の観測記録の再現検討では、増幅係数の合理性も含め、本反映方法（強震動生成域（アスペリティ）の各小断層のグリーン関数に増幅係数を乗じる方法）による地震動評価結果（波形合成結果）と地震動の顕著な増幅が見られた観測点（5号炉）の観測記録との比較により検証を行う。



<断層モデルを用いた手法による地震動評価（統計的グリーン関数法）における地震動の顕著な増幅の反映方法の概要>

## <2.2.2 地震動評価への反映方法 (2) 地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価> 断層モデルを用いた手法による地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法 (グリーン関数に乗じる増幅係数)

- 増幅を考慮する周期帯は、2009年駿河湾の地震（本震）で5号炉周辺の顕著な増幅が見られた周期帯0.2～0.5秒を参考としてより広帯域に設定する。
- 増幅を考慮する程度は、2009年駿河湾の地震（本震）におけるはぎとり波の加速度フーリエスペクトル比（5G1/3G1, 5RB/3G1）及び周期別SI値比（周期0.02～0.5秒）を参考として設定する。
- 2009年駿河湾の地震（本震）は増幅の程度が最も大きく、信頼性の高い記録が得られた地震である。

<2009年駿河湾の地震（本震）における周期別SI値比※1>  
(周期0.02～0.5秒※2)

	NS	EW	UD
4G1/3G1	0.93	1.08	0.72
5G1/3G1	2.40	1.97	1.42
5RB/3G1	2.47	2.50	1.38

※1 構造物の応答に関連する指標であり、下記により定義される。

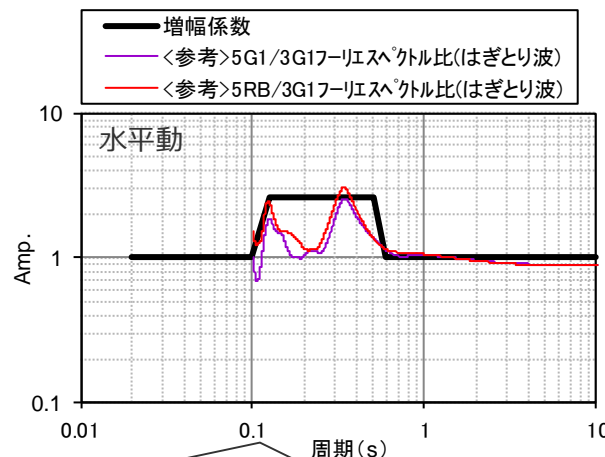
$$\text{周期別SI値} = \int_{T_1}^{T_2} S_v(T, h) dT$$

ここで、 $S_v$ ：擬似速度応答スペクトル  
T：周期  
h：減衰定数（5%とする）

※2 2009年駿河湾の地震（本震）の応答スペクトルにおいて5号炉周辺の顕著な増幅が見られた周期帯。

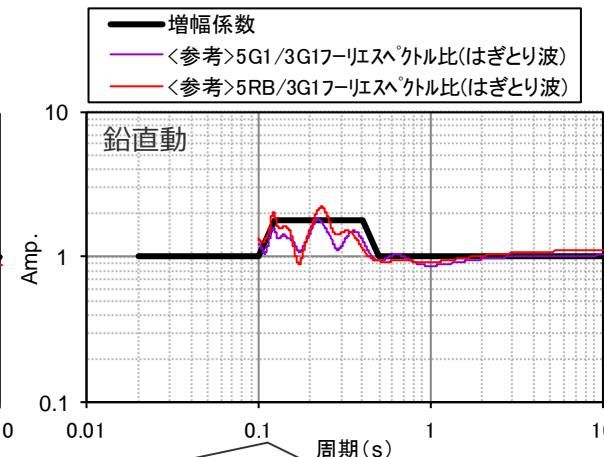
<グリーン関数に乗じる増幅係数>

周期(s)	水平動	周期(s)	鉛直動
0.02	1	0.02	1
0.1	1	0.1	1
0.125	2.6	0.125	1.8
0.5	2.6	0.4	1.8
0.6	1	0.5	1
10	1	10	1



増幅係数及びフーリエスペクトル比の積分値に基づき、以下の比率を算出（周期0.1～0.6秒）。

- ・増幅係数 / (5G1/3G1フーリエスペクトル比) = 1.58
- ・増幅係数 / (5RB/3G1フーリエスペクトル比) = 1.39



増幅係数及びフーリエスペクトル比の積分値に基づき、以下の比率を算出（周期0.1～0.5秒）。

- ・増幅係数 / (5G1/3G1フーリエスペクトル比) = 1.28
- ・増幅係数 / (5RB/3G1フーリエスペクトル比) = 1.20

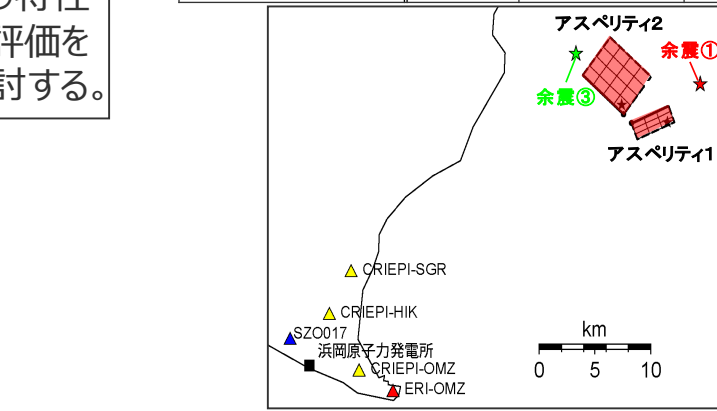
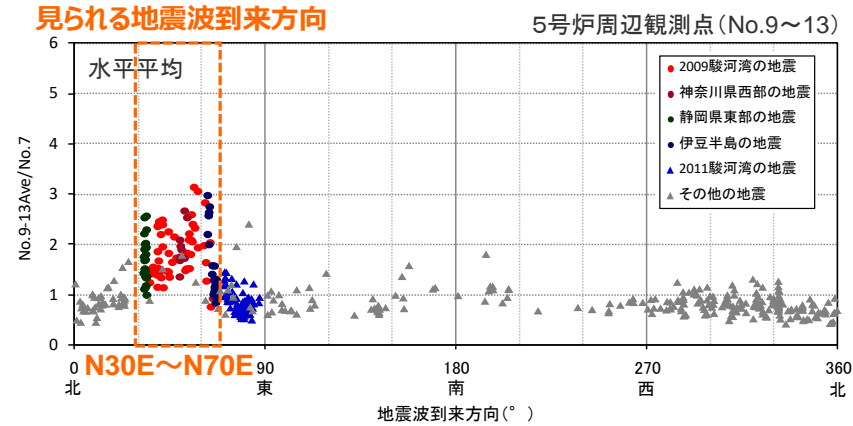
<グリーン関数に乗じる増幅係数>

<2.2.2 地震動評価への反映方法 (2) 地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価>  
断層モデルを用いた手法による地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法  
(検証：地震動の顕著な増幅が見られた観測点の地震観測記録の再現検討)

○増幅の程度が最も大きく、信頼性の高い記録が得られている2009年駿河湾の地震（本震）を対象として、この地震の特性化震源モデルに基づき、前述の反映方法を用いた地震動評価を行い、敷地の観測記録（5号炉）の再現性について検討する。

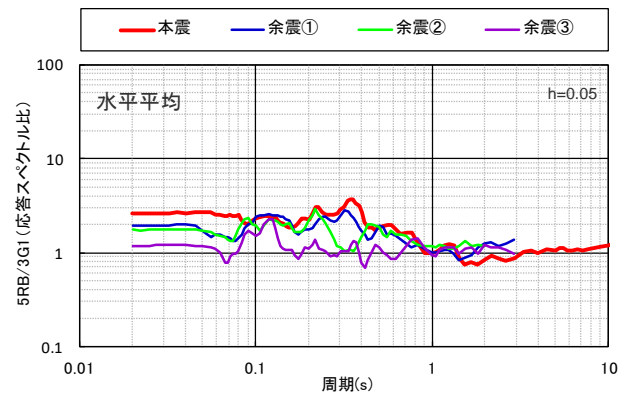
	面積	地震モーメント	応力降下量
アスぺリティ1（南部）	13.0km <sup>2</sup>	6.80×10 <sup>17</sup> Nm	35.7MPa
アスぺリティ2（北部）	23.0km <sup>2</sup>	1.20×10 <sup>18</sup> Nm	27.5MPa

地震動の顕著な増幅が見られる地震波到来方向

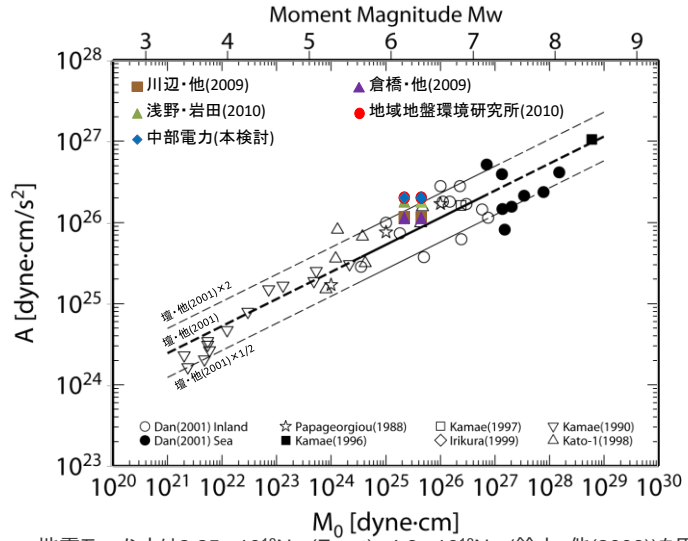


<経験的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震（本震）の特性化震源モデル> (当社作成)

<各地震の振幅比（No.7基準）と地震波到来方向との関係（多点連続地震観測）> (観測分析期間：2009年9月20日～2014年7月26日)



<2009年駿河湾の地震の応答スペクトル比（5RB/3G1）（鉛直アレイ観測）>



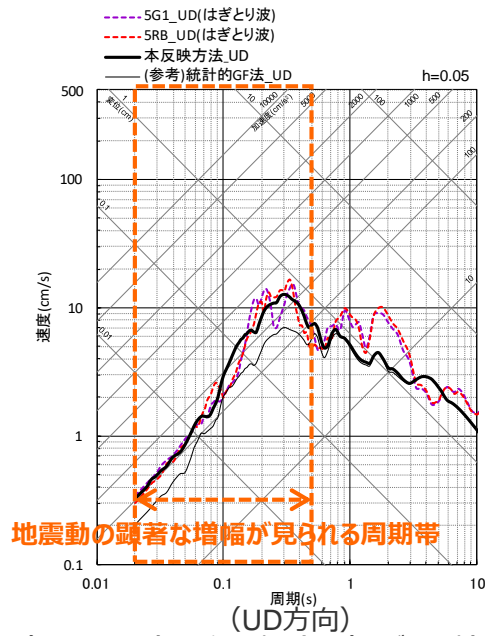
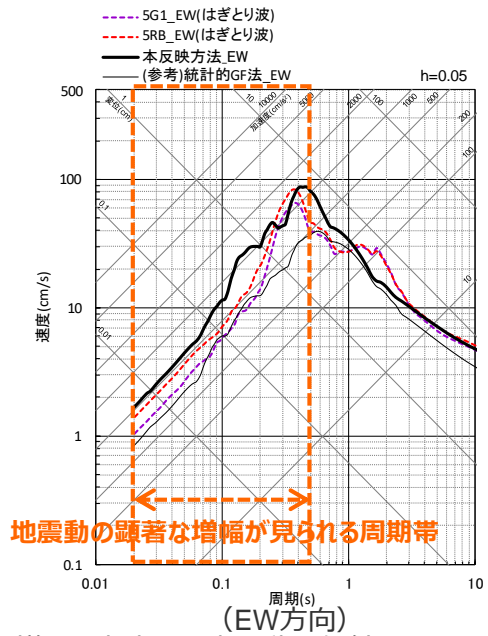
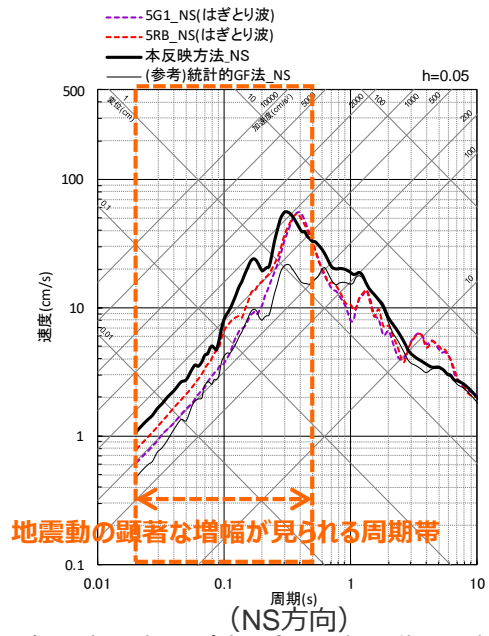
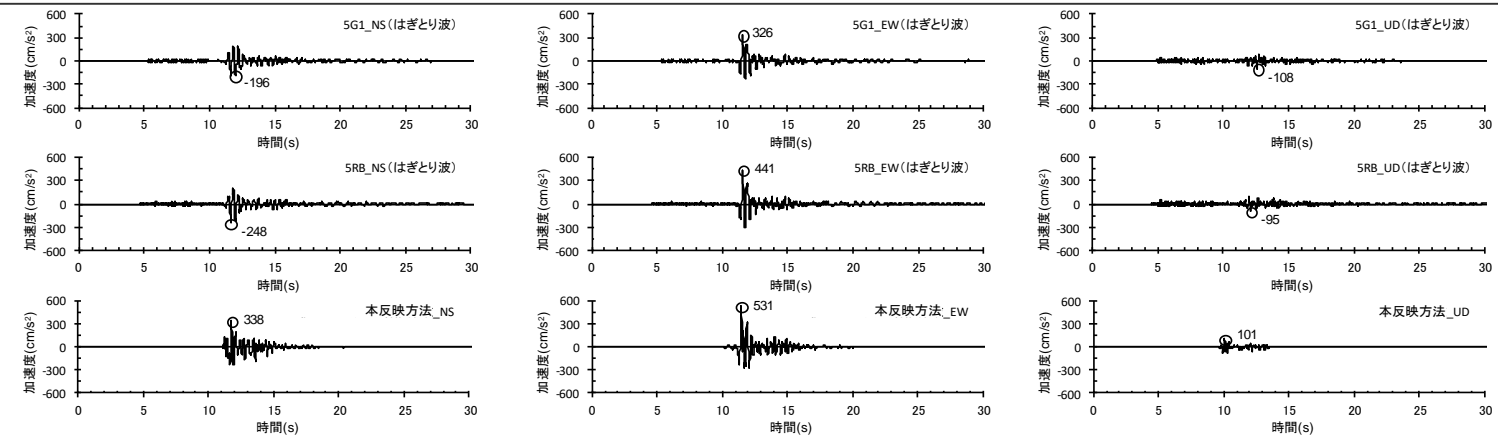
・地震モーメントは2.25×10<sup>18</sup>Nm(F-net)、4.6×10<sup>18</sup>Nm(鈴木・他(2009))を用いる

<2009年駿河湾の地震（本震）のM<sub>0</sub>-A関係>

・経験的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震（本震）の特性化震源モデル（当社作成）は、第1041回審査会合資料2-2-5 補足説明資料③-23参照。

<2.2.2 地震動評価への反映方法 (2) 地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価>  
断層モデルを用いた手法による地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法  
(検証: 2009年駿河湾の地震(本震)の再現検討結果と5号炉(5G1, 5RB)の観測記録(はぎとり波)との比較)

○本反映方法を用いた統計的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震(本震)の地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価結果は、地震動の顕著な増幅が見られる周期帯(0.5秒以下)で5号炉(5G1, 5RB)の観測記録(はぎとり波)を概ね再現している。



<2009年駿河湾の地震(本震)の地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価結果と5号炉(5G1,5RB)の観測記録(はぎとり波)との比較>  
(上図: 加速度時刻歴波形, 下図: 応答スペクトル)

# ＜2.2.2 地震動評価への反映方法（2）地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価＞ 応答スペクトルに基づく地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法 （方針）

## 【応答スペクトルに基づく手法の概要】

- 応答スペクトルに基づく手法は、地震規模や震源距離といった巨視的パラメータにより震源断層全体の地震動を評価する手法である。
- 応答スペクトルに基づく手法では、検討用地震と震源特性、伝播経路特性、地盤増幅特性が同様と見なせる地震の観測記録が得られている場合、その観測記録を用いて、検討用地震と同様の震源特性、伝播経路特性、地盤増幅特性を反映した地震動評価を行うことができる。
- その際、三次元的な地下構造の影響により地震動の顕著な増幅が見られるサイトでは、震源断層面の広がりや地震波到来方向の違いによって地盤増幅特性が異なることから、各検討用地震に応じた敷地固有の地盤増幅特性（地震動の顕著な増幅特性）を適切に反映するためには、各検討用地震と震源断層面の広がりや地震波到来方向が同様と見なせる観測記録を用いる必要がある。

## 【浜岡原子力発電所の観測記録】

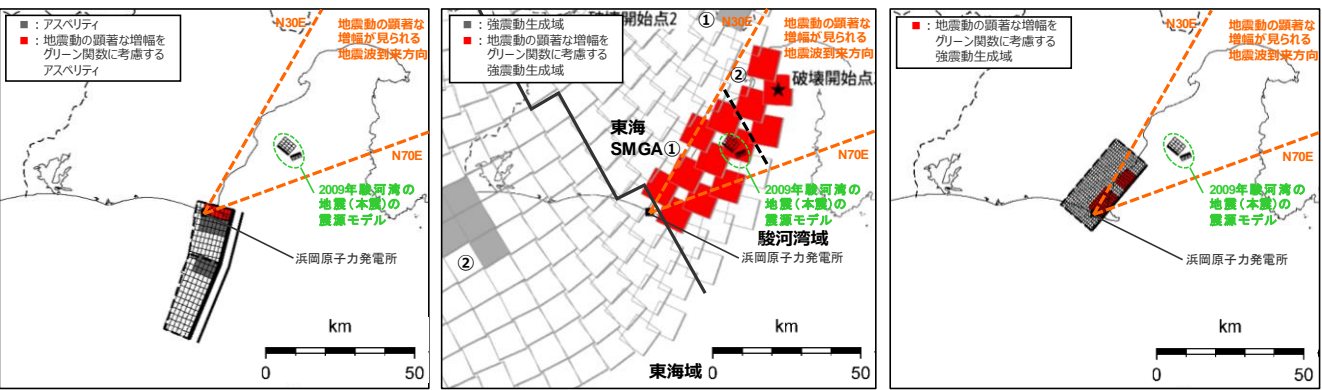
- 浜岡原子力発電所の検討用地震には、内陸地殻内地震、プレート間地震、海洋プレート内地震の3つの地震タイプがあり、敷地への影響が最も大きい地震タイプはプレート間地震である。敷地における観測地震に関し、3つの地震タイプの各検討用地震と震源断層面の広がりや地震波の到来方向が同様と見なせ、**各検討用地震に応じた敷地固有の地盤増幅特性が適切に反映された観測記録は得られていない。**

## 【断層モデルを用いた手法による地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価結果】

- 断層モデルを用いた手法は、震源断層を小断層に分割し、小断層毎に敷地に到来する地震動を詳細に考慮できるため、各検討用地震の震源断層面の広がりや地震波到来方向の違いに応じて、地震観測記録に基づき確認された地震動の顕著な増幅の特性を的確に反映できること、当該反映方法の妥当性は2009年駿河湾の地震（本震）の観測記録の再現検討により検証されていることから、この地震動評価結果には、**各検討用地震に応じた敷地固有の地盤増幅特性が適切に反映されている。**

## 【応答スペクトルに基づく地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法】

- 地震タイプ共通の地震動の顕著な増幅の反映方法として、各検討用地震に応じた敷地固有の地盤増幅特性が適切に反映された『**断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を用いて応答スペクトルに与える影響を求めて反映する方法**』により応答スペクトルに基づく地震動評価を行うこととし、各検討用地震に応じた敷地固有の地盤増幅特性が震源断層全体の地震動の応答スペクトルに与える影響を反映する。
- 検討用地震の地震動評価（地震動の顕著な増幅を考慮）に当たっては、断層モデルを用いた手法による地震動評価に保守性を考慮することで、応答スペクトルに基づく地震動評価にも保守性を考慮する。

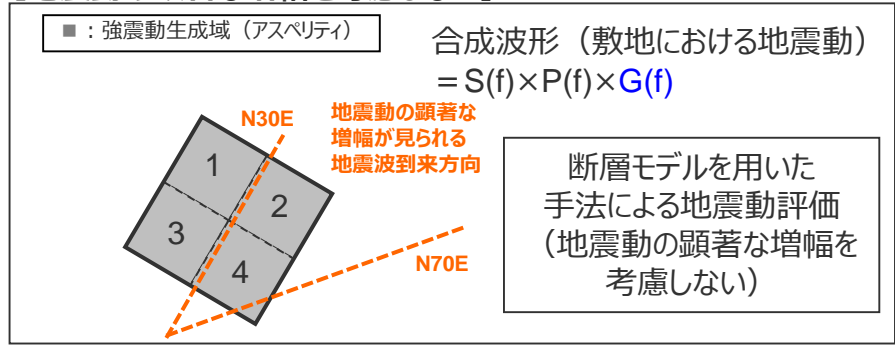


内陸地殻内地震（御前崎海脚西部の断層帯による地震）      プレート間地震（南海トラフ沿いの巨大地震）      海洋プレート内地震（敷地直下の想定サブ内地震）

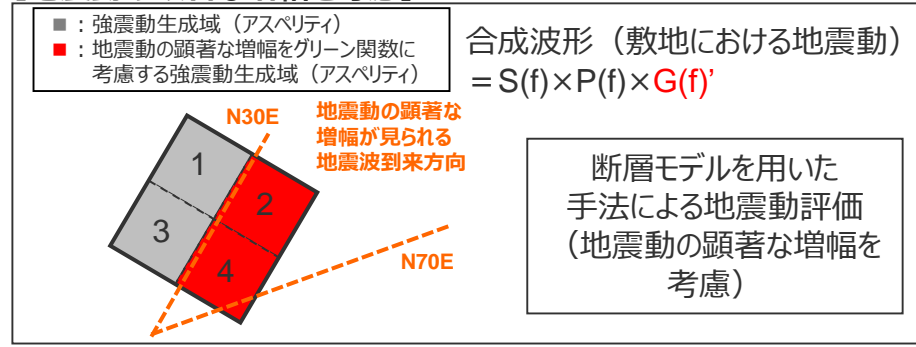
# ＜2.2.2 地震動評価への反映方法（2）地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価＞ 応答スペクトルに基づく地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法 （概要・増幅係数（応答スペクトル比）の算出方法）

- 応答スペクトルに基づく地震動評価は、3つの地震タイプ（内陸地殻内地震、プレート間地震、海洋プレート内地震）の各検討用地震と震源断層面の広がりや地震波の到来方向が同様と見なせ、各検討用地震に応じた敷地固有の地盤増幅特性が反映された観測記録が得られていないことを踏まえ、地震タイプ共通の地震動の顕著な増幅の反映方法として、『各検討用地震に応じた敷地固有の地盤増幅特性が適切に反映された断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を用いて応答スペクトルに与える影響（地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価結果／地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価結果）を求めて反映する方法』により応答スペクトルに基づく地震動評価を行うこととし、各検討地震に応じた敷地固有の地盤増幅特性が震源断層全体の地震動の応答スペクトルに与える影響を反映する。
- 具体的には、検討用地震の震源モデル毎に、上記の影響を求めるため、地震動の顕著な増幅を考慮する場合と考慮しない場合について、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行い、これらの結果による増幅係数（応答スペクトル比：「地震動の顕著な増幅を考慮する場合の平均応答スペクトル（各破壊開始点の平均）」／「地震動の顕著な増幅を考慮しない場合の平均応答スペクトル（各破壊開始点の平均）」※）を水平動・鉛直動それぞれで算出し、応答スペクトルに基づく地震動評価結果（地震動の顕著な増幅を考慮しない）に乗じる。

### 【地震動の顕著な増幅を考慮しない】



### 【地震動の顕著な増幅を考慮】



増幅係数（応答スペクトル比）を算出

$$\left[ \frac{\text{地震動の顕著な増幅を考慮する場合の平均応答スペクトル（各破壊開始点の平均）} \times}{\text{地震動の顕著な増幅を考慮しない場合の平均応答スペクトル（各破壊開始点の平均）} \times} \right]$$

応答スペクトルに基づく地震動評価（地震動の顕著な増幅を考慮）  
 $=$  応答スペクトルに基づく地震動評価結果（地震動の顕著な増幅を考慮しない）  $\times$  増幅係数（応答スペクトル比）

※ 増幅係数（応答スペクトル比）の算出に当たって、「本反映方法により地震動の顕著な増幅を反映した断層モデルを用いた手法による地震動評価結果の応答スペクトル比（地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価結果／地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価結果）」はNS方向とEW方向で同程度となること（第1041回審査会合資料2-2-4、補足説明資料②p.301,356,415~417参照）、応答スペクトルに基づく手法は震源断層全体の地震動を評価する手法であり、Noda et al.(2002)の方法等を含めて一般に距離減衰式を作成する際には水平動はNS方向の観測記録とEW方向の観測記録とを区別せずに回帰分析が行われていることから、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を用いて求める増幅係数（応答スペクトル比）は各破壊開始点の平均、水平動についてはNS方向とEW方向の平均を用いる。

<2.2.2 地震動評価への反映方法 (2) 地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価>

# 応答スペクトルに基づく地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法

(検証：2009年駿河湾の地震 (本震) の観測記録との比較 (概要))

## 【応答スペクトルに基づく地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法の検証 (2009年駿河湾の地震 (本震) の観測記録の再現検討)】

- 断層モデルを用いた手法の検証と同様、2009年駿河湾の地震 (本震) を対象に、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を用いて応答スペクトルに与える影響として増幅係数 (応答スペクトル比) を求めて反映する方法により、応答スペクトルに基づく地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価を行い、地震動の顕著な増幅が見られた観測点 (5G1、5RB) の観測記録との比較を行った。
- 増幅係数 (応答スペクトル比) は、統計的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震 (本震) の観測記録の再現検討における、一次元地下構造モデルを用いた「地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価結果」と、強震動生成域 (アスペリティ) の各小断層のグリーン関数に増幅係数を乗じる方法による「地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価結果」を用いて算出した。
- 増幅係数 (応答スペクトル比) を乗じる応答スペクトルに基づく地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価結果は、2009年駿河湾の地震 (本震) の地震動の顕著な増幅が見られなかった観測点 (3G1、4G1) の観測記録に基づく補正係数を用いてNoda et al.(2002)の方法により求めた (結果として、当該評価結果は2009年駿河湾の地震 (本震M6.5) の地震動の顕著な増幅が見られなかった観測点 (3G1、4G1) の観測記録 (応答スペクトル) となる)。

### 本反映方法

2009年駿河湾の地震 (本震) の地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価

=

2009年駿河湾の地震 (本震) の地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価

×

増幅係数 (応答スペクトル比) : 地震動の顕著な増幅が見られた観測点と見られなかった観測点の地盤増幅特性の比

2009年駿河湾の地震 (本震) の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果に基づく増幅係数 (応答スペクトル比)

Noda et al.(2002)の方法による応答スペクトルに地震動の顕著な増幅が見られなかった観測点の観測記録に基づく補正係数を考慮

||

2009年駿河湾の地震 (本震M6.5) の地震動の顕著な増幅が見られなかった観測点 (3G1,4G1) の観測記録 (応答スペクトル)



2009年駿河湾の地震 (本震) の地震動の顕著な増幅が見られた観測点 (5G1,5RB) の観測記録



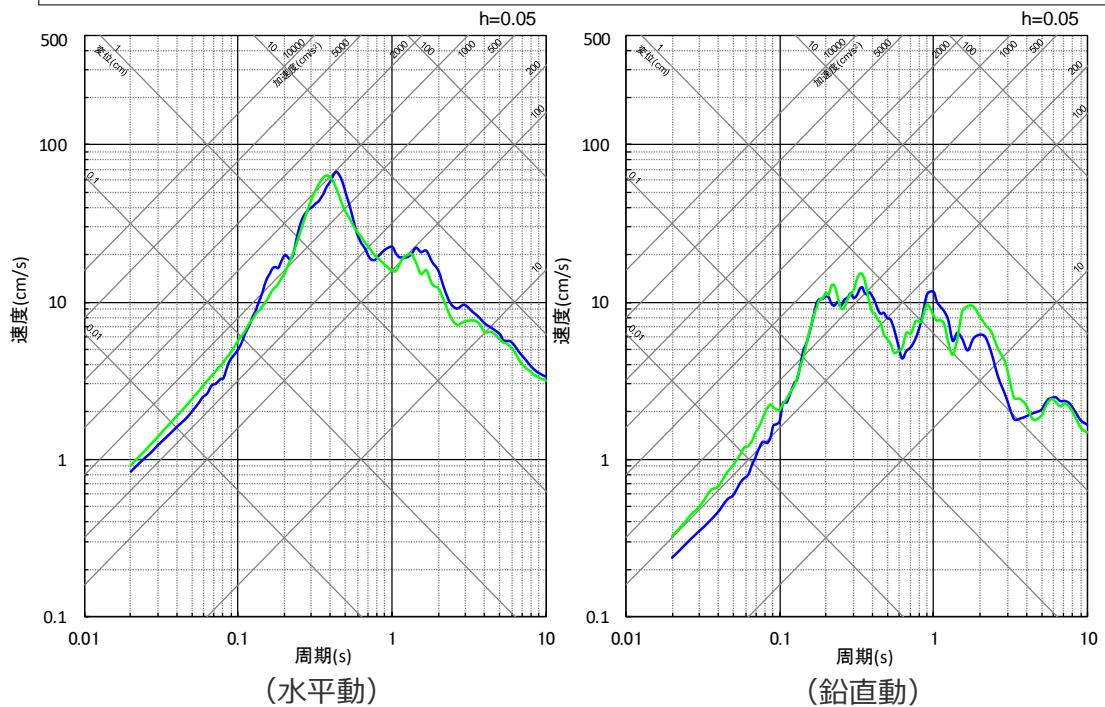
# ＜2.2.2 地震動評価への反映方法（2）地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価＞ 応答スペクトルに基づく地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法

（検証：応答スペクトルに基づく地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価結果と観測記録との比較）

## 【応答スペクトルに基づく地震動評価への地震動の顕著な増幅の反映方法の検証（2009年駿河湾の地震（本震）の観測記録の再現検討）】

- 本反映方法を用いた2009年駿河湾の地震（本震）の応答スペクトルに基づく地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価結果は、地震動の顕著な増幅が見られた観測点（5G1、5RB）の観測記録（はざとり波）の応答スペクトルを概ね再現している。
- なお、各検討用地震の地震動評価（地震動の顕著な増幅を考慮）に当たっては、地震動の顕著な増幅を考慮する強震動生成域（アスペリティ）の小断層の範囲・増幅の程度を地震観測記録の分析結果に対し保守的に設定して断層モデルを用いた手法による保守的な地震動評価を行い、その保守的な断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を反映することにより、応答スペクトルに基づく手法についても保守的な地震動評価を行う。

— 2009年駿河湾の地震（本震）の応答スペクトルに基づく地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価結果※  
— 2009年駿河湾の地震（本震）の地震動の顕著な増幅が見られた観測点（5G1、5RB）の観測記録（はざとり波）の応答スペクトル



※ 2009年駿河湾の地震（本震）の地震動の顕著な増幅が見られなかった観測点（3G1、4G1）の観測記録（はざとり波）の応答スペクトルに、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果に基づく増幅係数（応答スペクトル比）を乗じて算出。

＜2009年駿河湾の地震（本震）の応答スペクトルに基づく地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価結果と地震動の顕著な増幅が見られた観測点（5G1、5RB）の観測記録（はざとり波）の応答スペクトルとの比較＞

# 目次

---

2 敷地における地震動の増幅特性（第1041回審査会合資料2-2-2 （敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ）の2章）	……p.3~
2.1 敷地における地盤増幅特性	……p.5~
2.2 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法	……p.76~
2.3 まとめ	……p.113~

<2.3 まとめ>

# 敷地における地盤増幅特性と地震動評価への反映方法のまとめ

## 【敷地における地盤増幅特性】

地震観測記録及び地下構造調査結果に基づき、2009年駿河湾の地震における5号炉周辺の増幅要因や敷地における地震動の増幅特性を分析。

### <5号炉周辺の増幅要因の分析>

- 5号炉周辺の増幅要因は、5号炉から2009年駿河湾の地震の地震波到来方向である北東方向にかけて**局所的に分布する深さ数百mの浅部地盤のS波低速度層**であり、その増幅メカニズムは、S波低速度層による波面の屈曲により地震波が干渉して増幅するフォーカシング現象と分析。

### <敷地における地震動の増幅特性>

- 敷地における地震動の増幅特性は、**S波低速度層による影響の有無によって地震動の増幅特性が異なる**ことにより、以下のとおり、特定の地震波到来方向（N30E～N70E）付近のみ地震動の顕著な増幅が見られる観測点と、地震動の顕著な増幅が見られない観測点とに分かれる。
  - ・ 5号炉周辺の観測点において、地震動の顕著な増幅は、①特定の到来方向（N30E～N70E）の地震波のみに、②短周期の特定の周期帯（フーリエスペクトルの周期0.2～0.5秒）では見られるが、その他の地震波到来方向では見られない。
  - ・ 1～4号炉周辺の観測点において、地震動の顕著な増幅は、いずれの地震波到来方向でも見られない。

## 【敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法】

### <解放基盤表面の設定>

- 敷地の地下構造調査結果等に基づき、標高-14mを解放基盤表面に設定する。

### <地震動評価への反映方法>

- 敷地における地震動の増幅特性を踏まえ、「**地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価**」と「**地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価**」を実施することとし、観測点毎の地震動の顕著な増幅の有無（地震観測記録の分析）に基づき、S波低速度層の分布及び解析に基づく影響範囲（地下構造調査結果の分析）も踏まえて、「**地震動の顕著な増幅を考慮しない領域**」（1～4号炉周辺）と「**地震動の顕著な増幅を考慮する領域**」（5号炉周辺）とを設定する※1。
- 「**地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価**」は、平行成層地盤と見なして地盤増幅特性を保守的に考慮する。断層モデルを用いた手法では、**一次元地下構造モデル**を設定し、統計的グリーン関数法と波数積分法によるハイブリッド合成法により地震動評価を行う。
- 「**地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価**」では、S波低速度層による三次元的な地下構造の影響を踏まえて地盤増幅特性を保守的に考慮する。敷地固有の地盤増幅特性を詳細に考慮できる断層モデルを用いた手法を重視し、**2009年駿河湾の地震（本震）の観測記録の再現検討により検証した増幅係数を乗じる方法**※2を用いて、地震動の顕著な増幅を反映して地震動評価を行う。

※1 「地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価」は、敷地全体（「地震動の顕著な増幅を考慮しない領域」及び「地震動の顕著な増幅を考慮する領域」）を対象とし、「地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価」は、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近（N30E～N70E）で地震動の顕著な増幅が見られる「地震動の顕著な増幅を考慮する領域」（5号炉周辺）を対象とする。

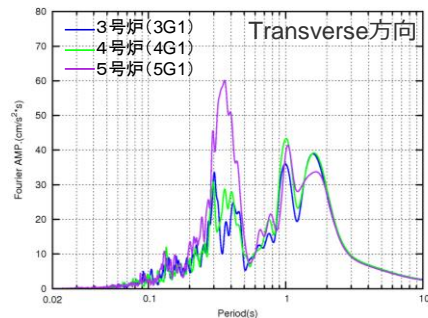
※2 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、2009年駿河湾の地震（本震）の観測記録の再現検討により検証した「地震動の顕著な増幅が見られる地震波到来方向（N30E～N70E）」に位置する強震動生成域（アスペリティ）の各小断層からの地震動（グリーン関数）に増幅係数を乗じる方法を用いて、地震動の顕著な増幅を反映して地震動評価を行う。

<2.3 まとめ>

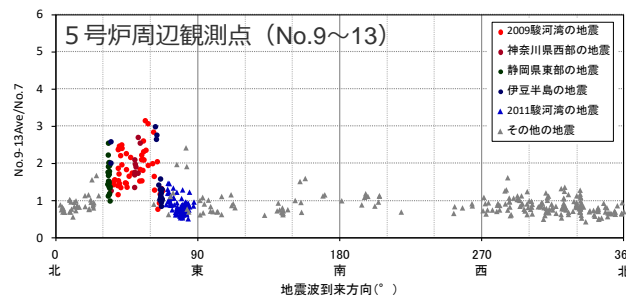
# 地震観測記録の分析結果、地下構造調査結果及び解析検討結果

## 地震観測記録の分析結果（鉛直アレイ観測、多点連続観測、海底試掘トンネル観測）

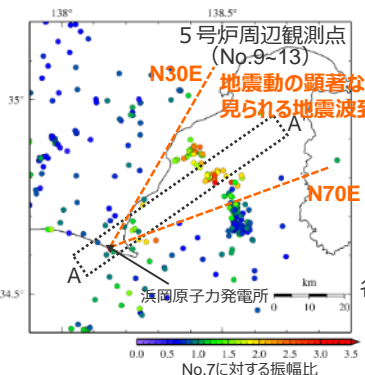
- 5号炉周辺観測点で見られた地震動の顕著な増幅は、時刻歴波形ではS波主要動部のみに見られ、フーリエスペクトルでは周期0.2～0.5秒付近の狭帯域のみに、応答スペクトルでは周期0.5秒以下の短周期側のみに見られ、これ以外の周期帯には見られない。
- 5号炉周辺観測点において、地震動の顕著な増幅は、2009年駿河湾の地震の到来方向（N30E～N70E、「増幅方向」と称す。）の地震波のみに見られ、その他の地震波到来方向では見られない。



<2009年駿河湾の地震（本震）の加速度フーリエスペクトル>



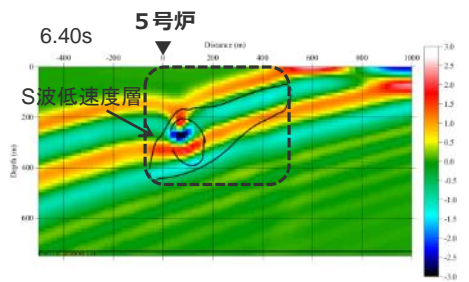
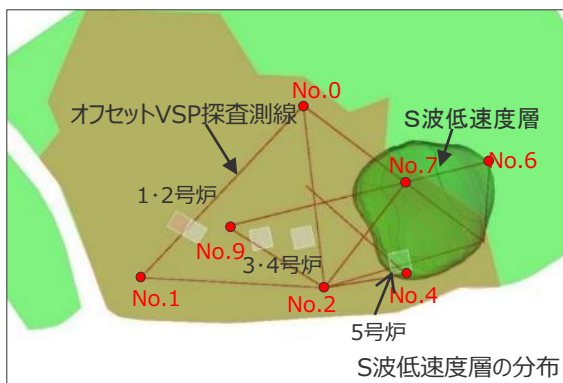
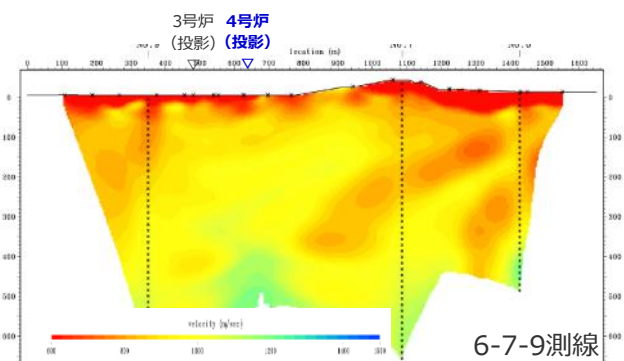
<各地震の振幅比（No.7基準）と地震波到来方向との関係（水平平均）>



<5号炉周辺観測点における各地震の振幅比（No.7基準）の震央分布図>

## 地下構造調査及び解析検討結果

- 速度構造調査（複数のオフセットVSP探査等）により、5号炉から2009年駿河湾の地震の到来方向（北東方向）にかけて**深さ数百mの浅部に局所的に分布するS波低速度層を確認。**
- 局所的に分布するS波低速度層を含む**三次元地下構造モデルを用いた解析検討により、地震観測記録の特徴と整合する結果が得られることを確認し、増幅メカニズムは、S波低速度層による波面の屈曲により地震波が干渉して増幅するフォーカシング現象と分析。**



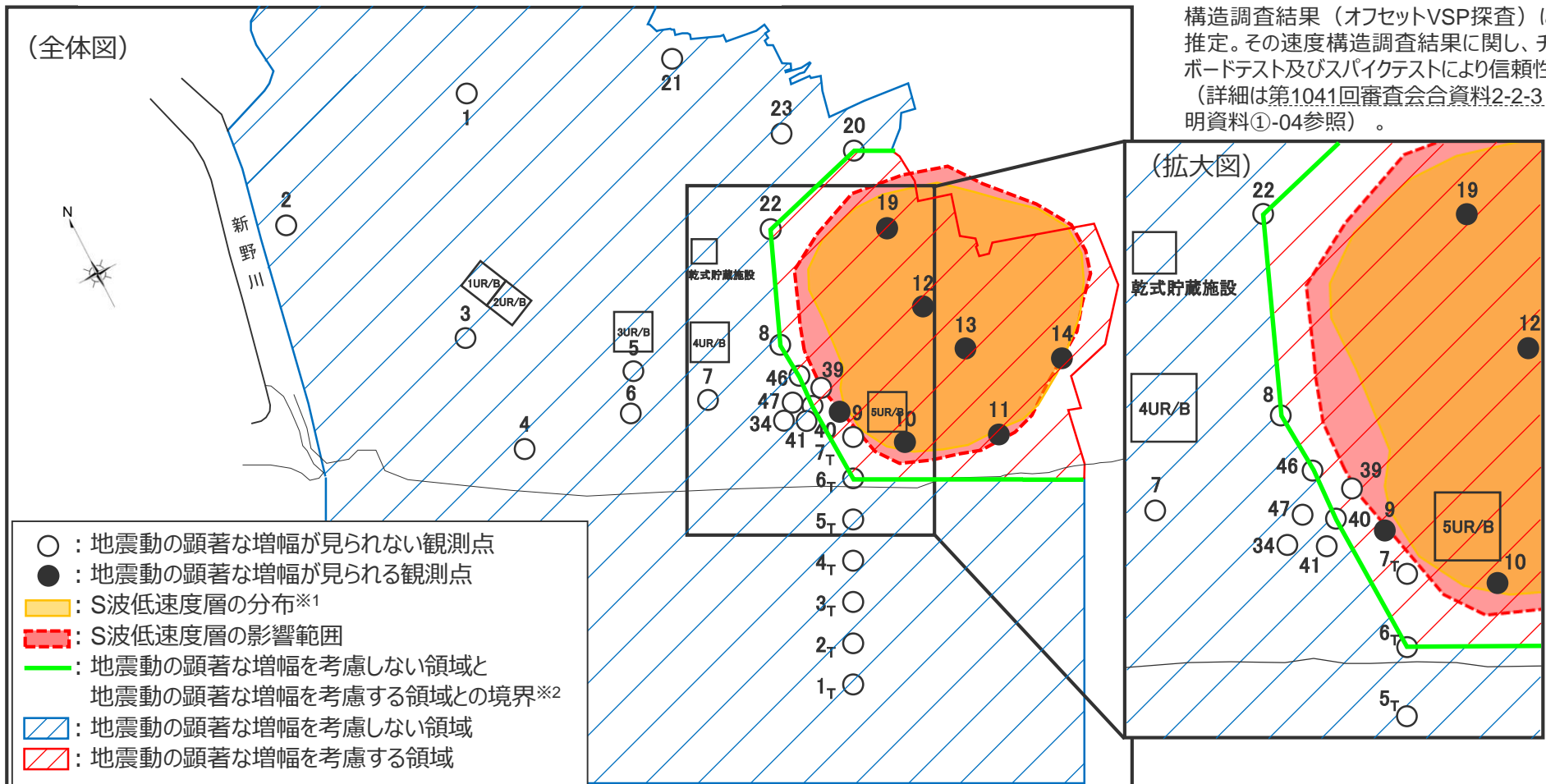
<三次元地下構造モデルを用いた解析検討（スナップショット）>

<2.3 まとめ>

# 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定

○観測点毎の地震動の顕著な増幅の有無（地震観測記録の分析）に基づき、S波低速度層の分布※<sup>1</sup>及び解析に基づく影響範囲（地下構造調査結果の分析）も踏まえて、地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域を設定。

※<sup>1</sup> S波低速度層の分布は、敷地近傍の複数の速度構造調査結果（オフセットVSP探査）に基づき推定。その速度構造調査結果に関し、チェッカーボードテスト及びスパイクテストにより信頼性を確認（詳細は第1041回審査会合資料2-2-3.補足説明資料①-04参照）。



- : 地震動の顕著な増幅が見られない観測点
- : 地震動の顕著な増幅が見られる観測点
- : S波低速度層の分布※<sup>1</sup>
- : S波低速度層の影響範囲
- : 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域との境界※<sup>2</sup>
- ▨ : 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域
- ▨ : 地震動の顕著な増幅を考慮する領域

※<sup>2</sup>「地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域との境界」は、主に地震動の顕著な増幅が見られない観測点に基づき設定することとし、当該境界により設定される地震動の顕著な増幅を考慮する領域が、地震動の顕著な増幅が見られる観測点及びS波低速度層の分布・影響範囲を包絡することを確認。

<2.3 まとめ>

# 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法

- 敷地の地下構造調査結果等に基づき、**標高-14mを解放基盤表面に設定**する。
- 「**地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価**」は、平行成層地盤と見なして地震動評価を行う。断層モデルを用いた手法では、**一次元地下構造モデル**を設定し、統計的グリーン関数法と波数積分法によるハイブリッド合成法により地震動評価を行う。
- 「**地震動の顕著な増幅を考慮する地震動評価**」は、地震観測記録の分析の結果、地震動の顕著な増幅は、特定の到来方向（N30E～N70E）の地震波のみに、短周期の特定の周期帯（フーリエスペクトルの周期0.2～0.5秒）で見られることを踏まえ、この敷地固有の地盤増幅特性を詳細に考慮できる断層モデルを用いた手法を重視し、**2009年駿河湾の地震（本震）の観測記録の再現検討により検証した増幅係数を乗じる方法**（「増幅方向※」に位置する強震動生成域（アスペリティ）の各小断層からの地震動（グリーン関数）に増幅係数を乗じる方法）を用いて、地震動の顕著な増幅を反映して地震動評価を行う。応答ベクトルに基づく手法は、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を用いて応答スペクトルに与える影響を求めて反映して地震動評価を行う。

※「地震動の顕著な増幅が見られる地震波到来方向（N30E～N70E）」について、以降、「増幅方向」と省略して記載する箇所あり。

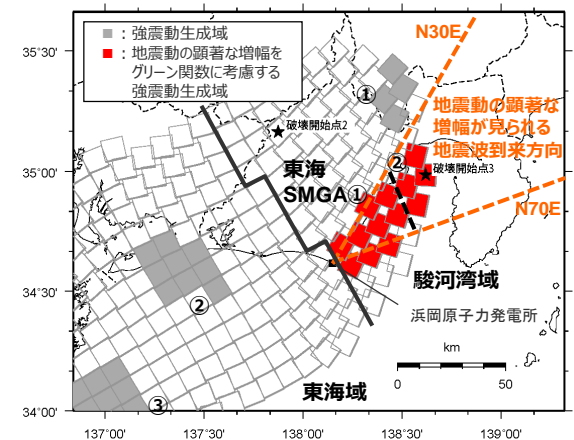
層	標高 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	SGF法※1		波数積分法※2	
					Qs, Qp	Qs	Qp	
1	-14	740	2000	2.07	100f <sup>0.7</sup>	74	148	
2	-32	790	2030	2.08	100f <sup>0.7</sup>	79	158	
3	-62	830	2070	2.09	100f <sup>0.7</sup>	83	166	
4	-92	910	2140	2.11	100f <sup>0.7</sup>	91	182	
5	-192	960	2180	2.12	100f <sup>0.7</sup>	96	192	
6	-354	1100	2110	2.10	100f <sup>0.7</sup>	110	220	
7	-493	1230	2320	2.15	100f <sup>0.7</sup>	123	246	
8	-739	1420	2790	2.25	100f <sup>0.7</sup>	142	284	
9	-1094	1590	3060	2.31	100f <sup>0.7</sup>	159	318	
10	-2050	2150	3990	2.46	100f <sup>0.7</sup>	215	430	
11	-3550	2470	4470	2.53	100f <sup>0.7</sup>	247	494	
12	-5050	2720	4830	2.58	-	272	544	
13	-8240	2880	5130	2.62	-	288	576	
14	-11400	3060	5450	2.66	-	306	612	
15	-14600	3540	6300	2.76	-	354	708	
16	-17800	3990	7100	2.85	-	399	798	
17	-23100	4390	7810	2.91	-	439	878	

解放基盤表面  
↑  
用いる統計的グリーン関数法で地下構造（地震基盤以浅）  
↓  
地震基盤面

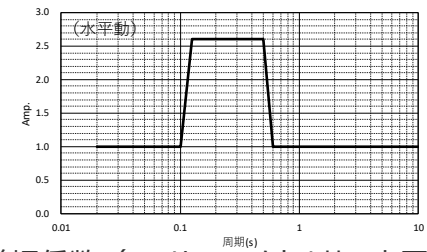
↑  
波数積分法で地下構造（全層）  
↓

※1 統計的グリーン関数法（短周期の地震動評価）、※2 波数積分法（長周期の地震動評価）

<断層モデルを用いた手法による地震動評価で用いる一次元地下構造モデル>



<検討用地震の震源モデルと地震動の増幅を考慮する領域（例）>



<増幅係数（フーリエスペクトル比、水平動）>

# 2

## 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定

(第1041回審査会合資料2-2-3 (敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のまとめ(補足説明資料①))の補足説明資料①-10)

## 補足説明資料①-10

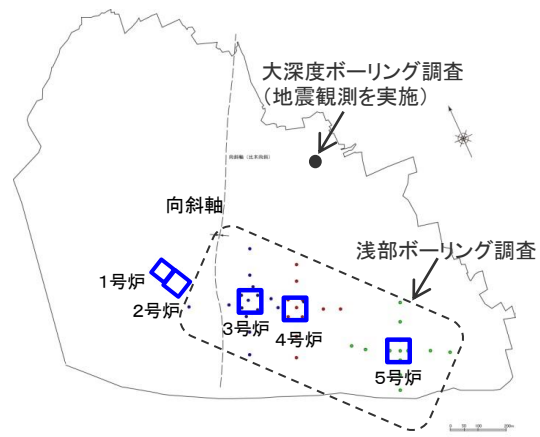
### 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定

---

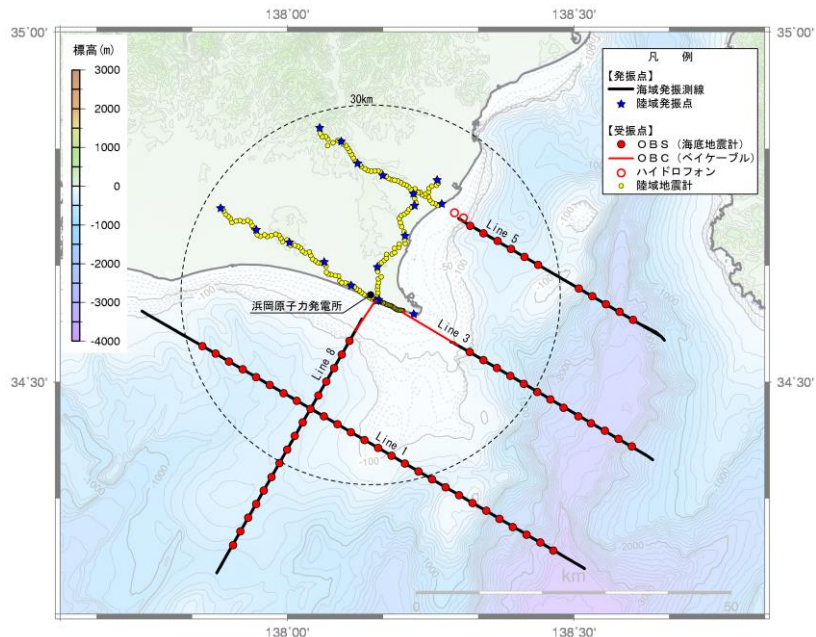


# 一次元地下構造モデルの設定

(設定に用いる調査結果)



<ボーリング調査位置図>

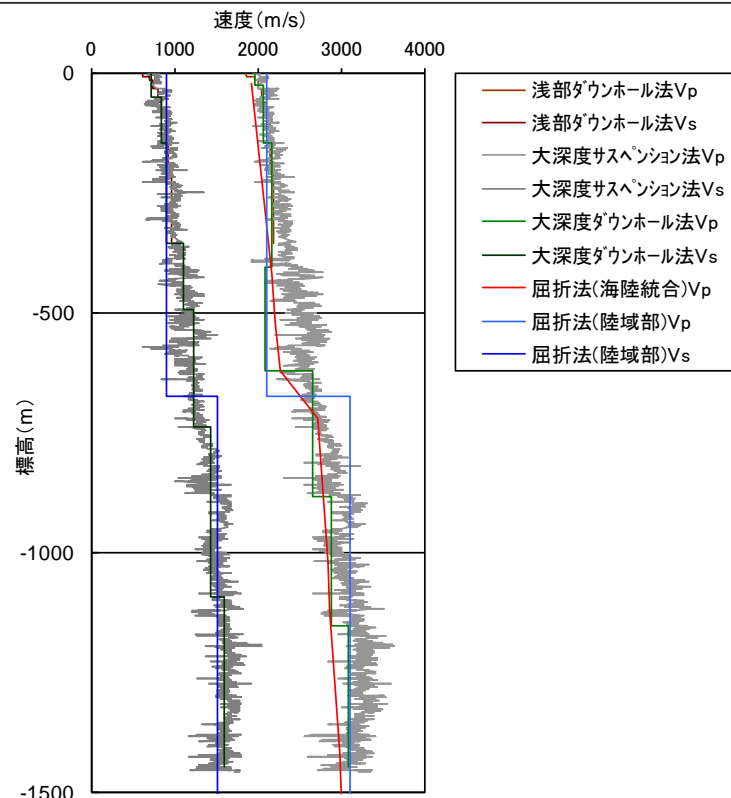


<屈折法地震探査測線図>

## <一次元地下構造モデルの設定に用いる調査結果>

- 浅部ボーリング調査 (標高約-300m以浅) : P波速度、S波速度、密度
- 大深度ボーリング調査 (標高約-1500m以浅) : P波速度、S波速度、密度
- 屈折法地震探査 (陸域部) (標高約-5000m以浅) : P波速度、S波速度
- 屈折法地震探査 (海陸統合) (標高約-23000m以浅) : P波速度

⇒ 各調査結果は整合しており、これらの調査結果を用いて、地震動評価に用いる一次元地下構造モデルを設定する。



<敷地における各調査結果の比較>

# 一次元地下構造モデルの設定

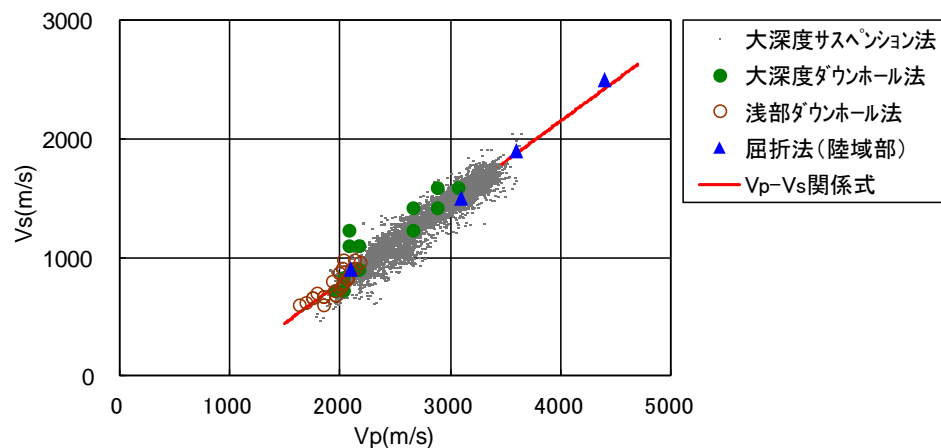
(Vp - Vs、Vp - ρ関係式)

## <Vp - Vs関係式>

- T.P.-2050m～T.P.-5050m (地震基盤面) のS波速度は、サンプル数が多い大深度ボーリング調査のPS検層結果 (サスペンション法) に基づき作成した以下のVp - Vs関係式を用いて、P波速度から推定する。

$$Vp - Vs関係式 : Vs = 0.68Vp - 580(m/s)$$

- この関係式は、浅部及び大深度ボーリング調査のPS検層結果 (ダウンホール法) や屈折法地震探査 (陸域部) の結果と整合している。



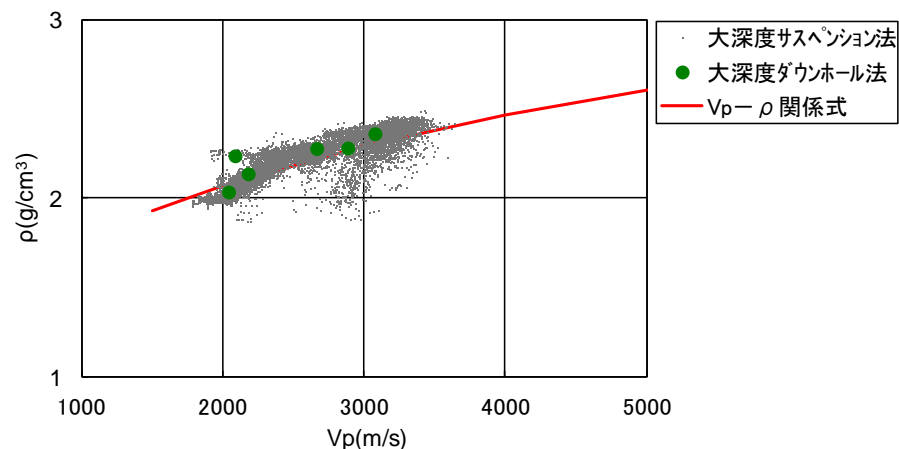
<Vp - Vs関係式と各調査結果との対応>

## <Vp - ρ関係式>

- 密度は、以下のVp - ρ関係式 (Gardner et al.(1974)) を用いて、P波速度から推定する。

$$Vp - \rho関係式 : \rho = 0.31Vp^{0.25}(g/cm^3)$$

- この関係式は、大深度ボーリング調査におけるPS検層結果 (サスペンション法及びダウンホール法) と密度検層結果との関係と整合している。



<Vp - ρ関係式と各調査結果との対応>

# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定 (地震動評価に用いる一次元地下構造モデル (概要))

○断層モデルを用いた手法（統計的グリーン関数法（短周期領域）と波数積分法（長周期領域）によるハイブリッド合成法）による地震動評価に用いる一次元地下構造モデルは、地下構造調査により得られた詳細な地下構造データ等に基づき設定し、敷地の観測記録の再現検討等を踏まえてその妥当性を確認している※1。

### <速度構造>

- T.P.-14m～T.P.-2050mでは、S波速度及びP波速度の両方が得られる浅部及び大深度ボーリング調査のPS検層結果（ダウンホール法）に基づき、S波速度及びP波速度を設定する。
- T.P.-2050m以深について、P波速度は屈折法地震探査結果（海陸統合）に基づき設定し、S波速度は、T.P.-5050m以浅では各調査結果に基づき算定したVp-Vs関係式（ $V_s=0.68V_p-580(m/s)$ ）を、T.P.-5050m以深ではObana et al.(2004)によるVp-Vs関係式（ $V_p/V_s=1.78$ ）を用いて、P波速度から推定する。

### <密度>

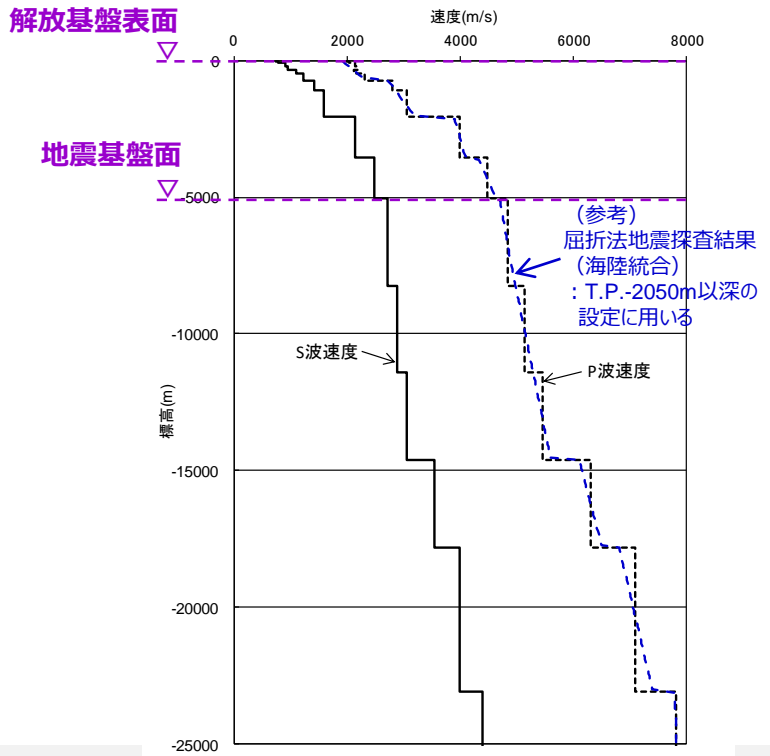
- 各調査結果との対応が良いGardner et al.(1974)のVp-p関係式（ $\rho=0.31V_p^{0.25}(g/cm^3)$ ）を用いて、P波速度から推定する。

### <Q値>

- 統計的グリーン関数法（短周期の地震動評価）： $100f^{0.7} \times 2$ 、波数積分法（長周期の地震動評価）： $Q_s=V_s/10$ 、 $Q_p=2Q_s \times 3$

※1 一次元地下構造モデルの設定に係る妥当性確認等の詳細な説明は、次ページ以降及び第1041回審査会合資料2-2-3 補足説明資料①-11参照。  
※2 中央防災会議(2001a)、※3 原子力安全基盤機構(2007)、新色・山中(2013)。

層	標高 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ρ (g/cm³)	SGF法※4		波数積分法※5	
					Qs, Qp	Qs	Qp	
1	-14	740	2000	2.07	100f <sup>0.7</sup>	74	148	
2	-32	790	2030	2.08	100f <sup>0.7</sup>	79	158	
3	-62	830	2070	2.09	100f <sup>0.7</sup>	83	166	
4	-92	910	2140	2.11	100f <sup>0.7</sup>	91	182	
5	-192	960	2180	2.12	100f <sup>0.7</sup>	96	192	
6	-354	1100	2110	2.10	100f <sup>0.7</sup>	110	220	
7	-493	1230	2320	2.15	100f <sup>0.7</sup>	123	246	
8	-739	1420	2790	2.25	100f <sup>0.7</sup>	142	284	
9	-1094	1590	3060	2.31	100f <sup>0.7</sup>	159	318	
10	-2050	2150	3990	2.46	100f <sup>0.7</sup>	215	430	
11	-3550	2470	4470	2.53	100f <sup>0.7</sup>	247	494	
12	-5050	2720	4830	2.58	-	272	544	
13	-8240	2880	5130	2.62	-	288	576	
14	-11400	3060	5450	2.66	-	306	612	
15	-14600	3540	6300	2.76	-	354	708	
16	-17800	3990	7100	2.85	-	399	798	
17	-23100	4390	7810	2.91	-	439	878	



↑ 統計的グリーン関数法で用いる地下構造 (地震基盤以浅)  
↓ 地震基盤面

↑ 波数積分法で用いる地下構造 (全層)

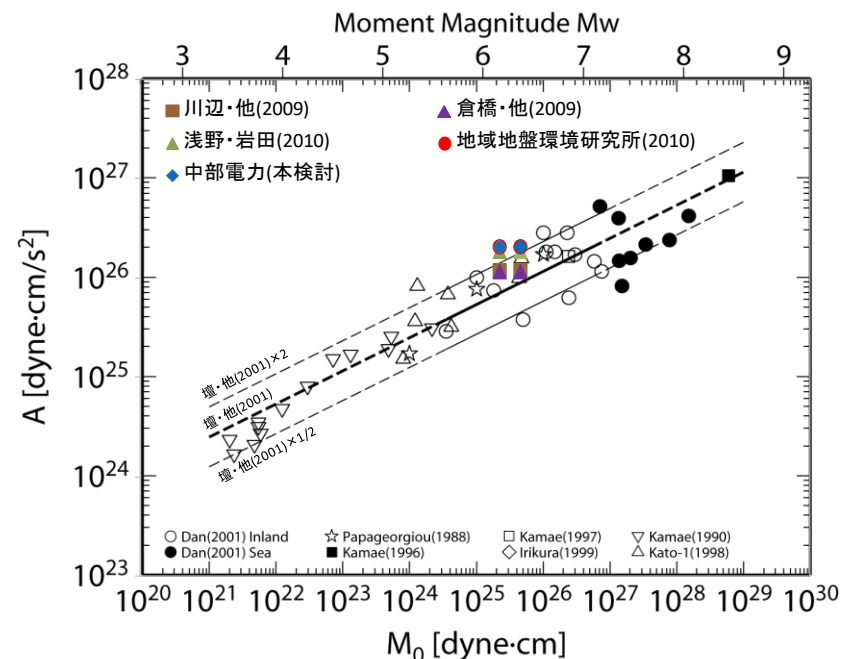
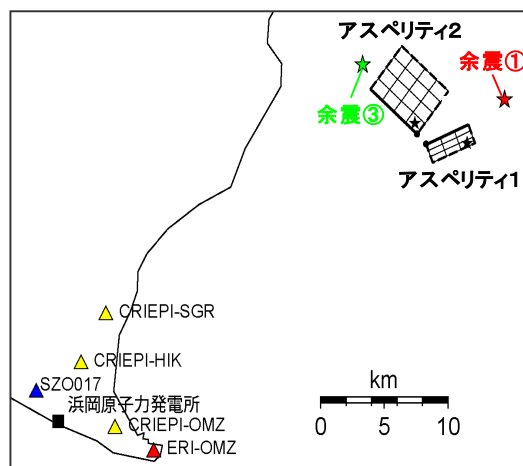
※4 統計的グリーン関数法（短周期の地震動評価）、※5 波数積分法（長周期の地震動評価）

# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定

(地震動の顕著な増幅が見られない観測点の地震観測記録の再現検討)

○振幅レベルが大きく、信頼性の高い記録が得られている2009年駿河湾の地震（本震）を対象として、この地震の特性化震源モデルに基づき、一次元地下構造モデルを用いた統計的グリーン関数法による地震動評価を行い、敷地の観測記録（3号炉及び4号炉）の再現性について検討する。

	面積	地震モーメント	応力降下量
アスペリティ1（南部）	13.0km <sup>2</sup>	6.80×10 <sup>17</sup> Nm	35.7MPa
アスペリティ2（北部）	23.0km <sup>2</sup>	1.20×10 <sup>18</sup> Nm	27.5MPa



・地震モーメントは2.25×10<sup>18</sup>Nm(F-net)、4.6×10<sup>18</sup>Nm(鈴木・他(2009))を用いる

<経験的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震（本震）の特性化震源モデル>  
(当社作成)

<2009年駿河湾の地震（本震）のM<sub>0</sub> - A関係>  
(壇・他(2001)に各文献・当社作成モデルの地震モーメント-短周期レベル関係を加筆)

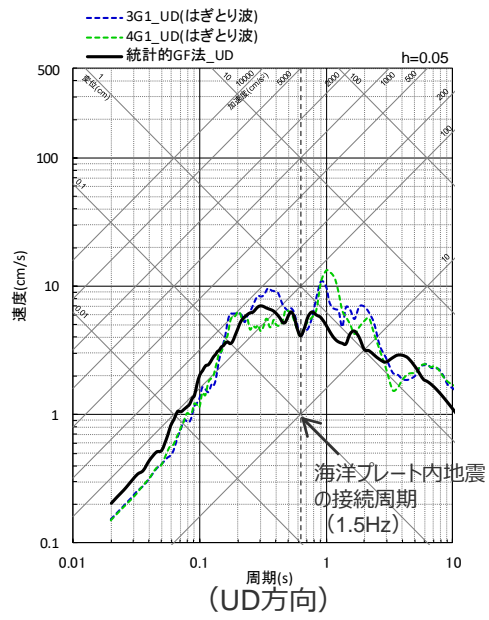
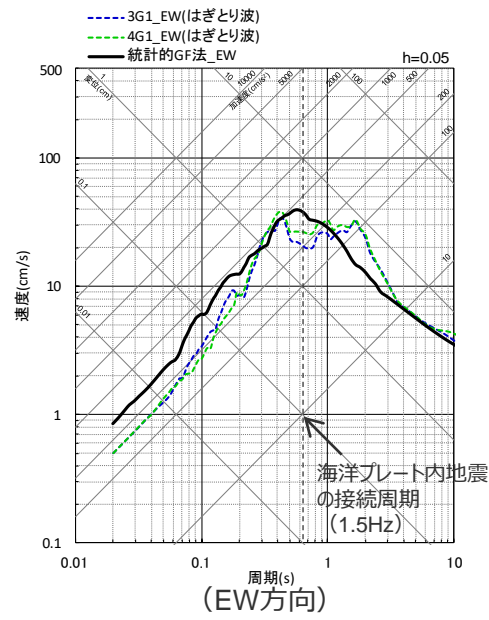
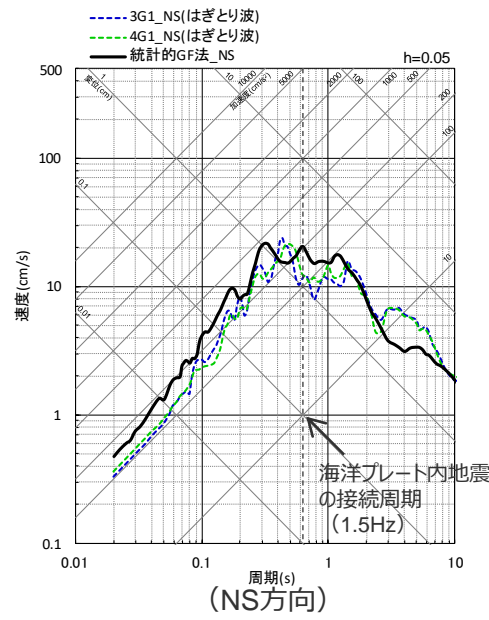
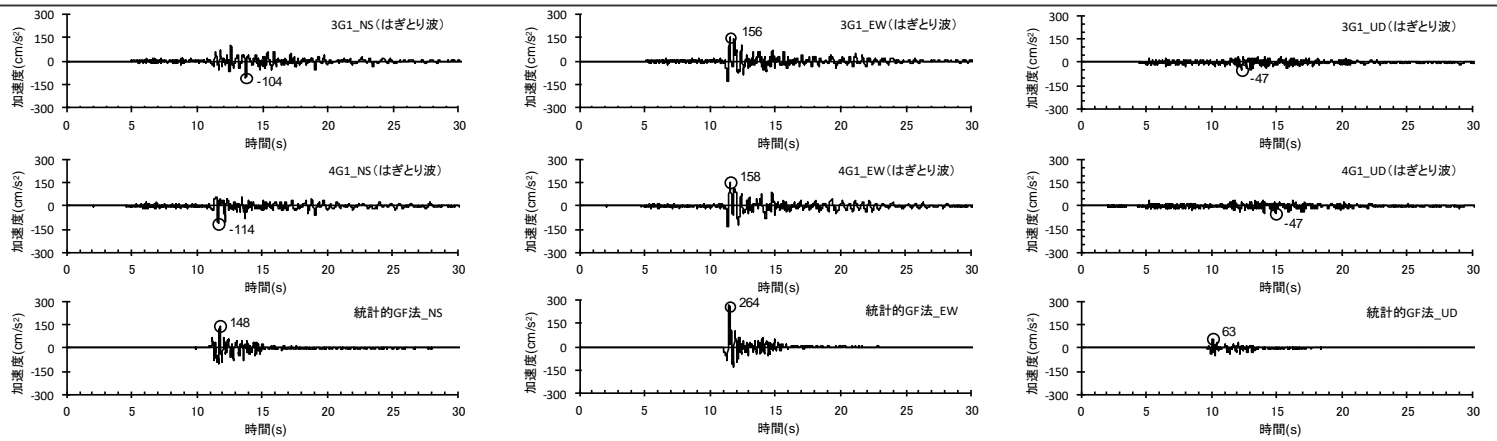
・経験的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震（本震）の特性化震源モデル（当社作成）は、第1041回審査会合資料2-2-5 補足説明資料③-23参照。

<補足説明資料①-10 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定

(2009年駿河湾の地震 (本震) の再現検討結果と3号炉 (3G1)、4号炉 (4G1) の観測記録 (はぎとり波) との比較)

○統計的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震 (本震) の地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価結果は、その評価対象周期 (短周期) で**3号炉 (3G1)、4号炉 (4G1) の観測記録 (はぎとり波) を概ね再現している。**



<2009年駿河湾の地震 (本震) の地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価結果と3号炉 (3G1)、4号炉 (4G1) の観測記録 (はぎとり波) との比較>

(上図: 加速度時刻歴波形, 下図: 応答スペクトル)

# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

(地震観測記録を用いて推定した地盤モデルによる検証)

## 地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの設定 (前述)

- 地震動評価に用いる一次元地下構造モデル (統計的グリーン関数法) は、地下構造調査により得られた詳細な地下構造データ等に基づき、敷地の観測記録の再現検討を踏まえて設定し、Q値は安全評価上、中央防災会議 (2001a)等の $100f^{0.7}$ を用いる。



## 地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの検証

- 地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの妥当性を検証するため、以下の観点で両モデルの比較検討を行う。
  - ・地盤増幅率
  - ・プレート間地震の地震動評価結果
  - ・観測記録 (Coda波部H/Vスペクトル、微動アレイ観測による分散曲線) との整合性

## 地震観測記録を用いて推定した地盤モデル

- 地震動評価に用いる一次元地下構造モデルを検証するため、異なるアプローチとして、地震観測記録を用いて推定した地盤モデルを2通り設定する。
  - ・アプローチ① : P波部H/Vスペクトル及びレシーバー関数を用いて推定した地盤モデル (地震基盤面以浅)
  - ・アプローチ② : 大深度伝達関数を用いて推定した地盤モデル (G.L.-1500m以浅)



**地震動評価に用いる一次元地下構造モデルについて、周期特性はその他の地盤モデルと同様であり、振幅は保守的になっていること、観測記録と概ね整合していることから、当該一次元地下構造モデルの妥当性を確認。**

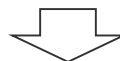
# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

(地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ①))

## <アプローチ①> 地震観測記録を用いた地盤モデルの推定 (地震基盤面以浅)

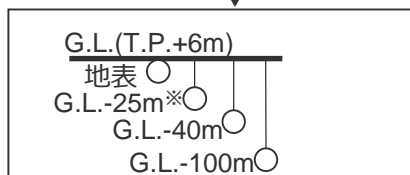
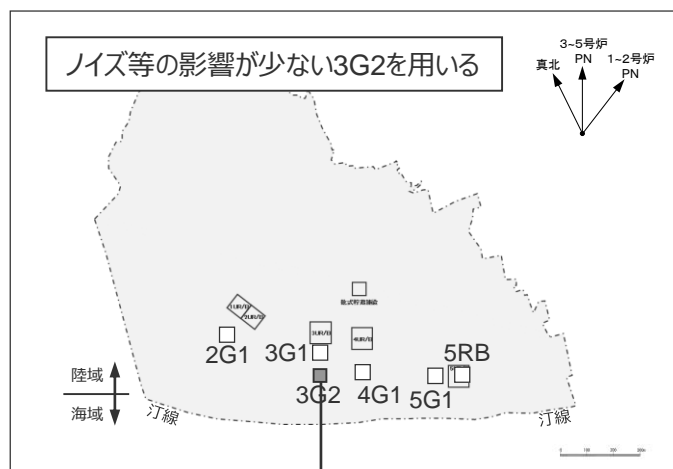
### <浅部地盤モデルの推定>

- ・2009年駿河湾の地震の余震 (6地震) における伝達関数 (G.L.-100m以浅) の観測値と理論値の差が最小となる浅部地盤モデルを推定。

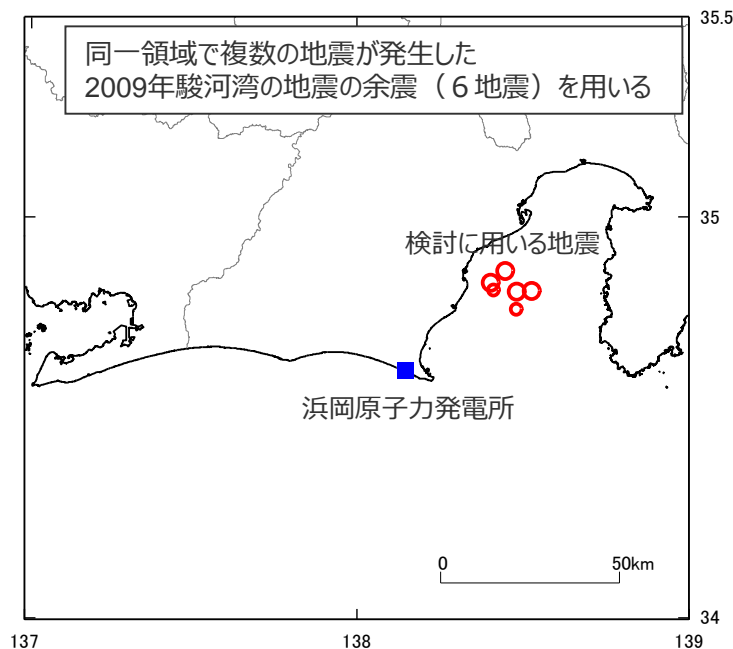


### <深部地盤モデルの推定>

- ・2009年駿河湾の地震の余震 (6地震) におけるP波部HVスペクトル及びレシーバー関数の観測値と理論値の差が最小となる深部地盤モデルを推定。



※解放基盤表面付近



<補足説明資料①-10 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>  
**統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証**  
 (地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ①) )




- <浅部地盤モデルの推定>
- 3号炉PS検層結果に基づき、層モデルと探索範囲を設定。
  - 2009年駿河湾の地震の余震（6地震）における伝達関数（G.L.-100m以浅）の逆解析により浅部地盤モデルを推定。

<層モデルと探索範囲の設定>

層 No.	深度 (m) <sup>※</sup>	層厚 (m)	ρ (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Qs		Vp (m/s)	Qp	
					Qo	n		Qo	n
1	-2	2	1.80	50~400	1~20	0.0~1.0	300~1000	1~20	0.0~1.0
2	-4	2	1.80						
3	-10	6	2.10	50~651	1~20	0.0~1.0	600~1724	1~20	0.0~1.0
4	-20	10	2.10	200~693	1~20	0.0~1.0	1715~1785	1~20	0.0~1.0
5	-25	5	2.10	700~735	1~20	0.0~1.0	1754~1826	1~20	0.0~1.0
6	-30	5	2.10						
7	-40	10	2.10	760~840	1~20	0.0~1.0	1891~1968	1~20	0.0~1.0
8	-60	20	2.10						
9	-100	40	2.10	826~913	1~20	0.0~1.0	1950~2030	1~20	0.0~1.0
10		∞	2.10	910					

<推定した浅部地盤モデル>

層 No.	深度 (m) <sup>※</sup>	層厚 (m)	ρ (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Qs		Vp (m/s)	Qp	
					Qo	n		Qo	n
1	-2	2	1.80	200	8.77	0.85	380	1.16	0.81
2	-4	2	1.80	200	8.77	0.85	380	1.16	0.81
3	-10	6	2.10	320	7.19	0.83	700	1.14	0.71
4	-20	10	2.10	650	1.08	0.61	1760	1.07	0.61
5	-25	5	2.10	720	1.13	0.85	1820	1.10	0.75
6	-30	5	2.10	720	1.13	0.85	1820	1.10	0.75
7	-40	10	2.10	830	5.43	0.88	1960	2.26	0.84
8	-60	20	2.10	830	5.43	0.88	1960	2.26	0.84
9	-100	40	2.10	880	1.10	0.98	2020	2.95	0.82
10		∞	2.10	910	1.10	0.98	2020	2.95	0.82

 地震計の設置位置  
 解放基盤表面  
 浅部地盤モデル推定部

Q値モデル :  $Q(f) = Q_0 f^n$

※層下端深度を示す。

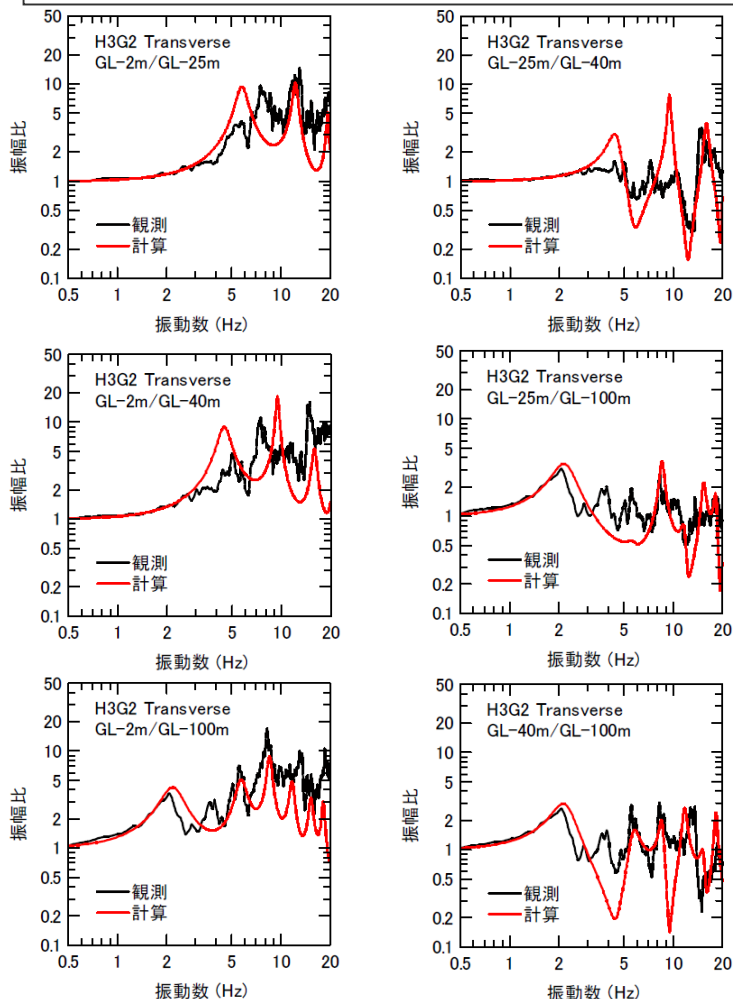


# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

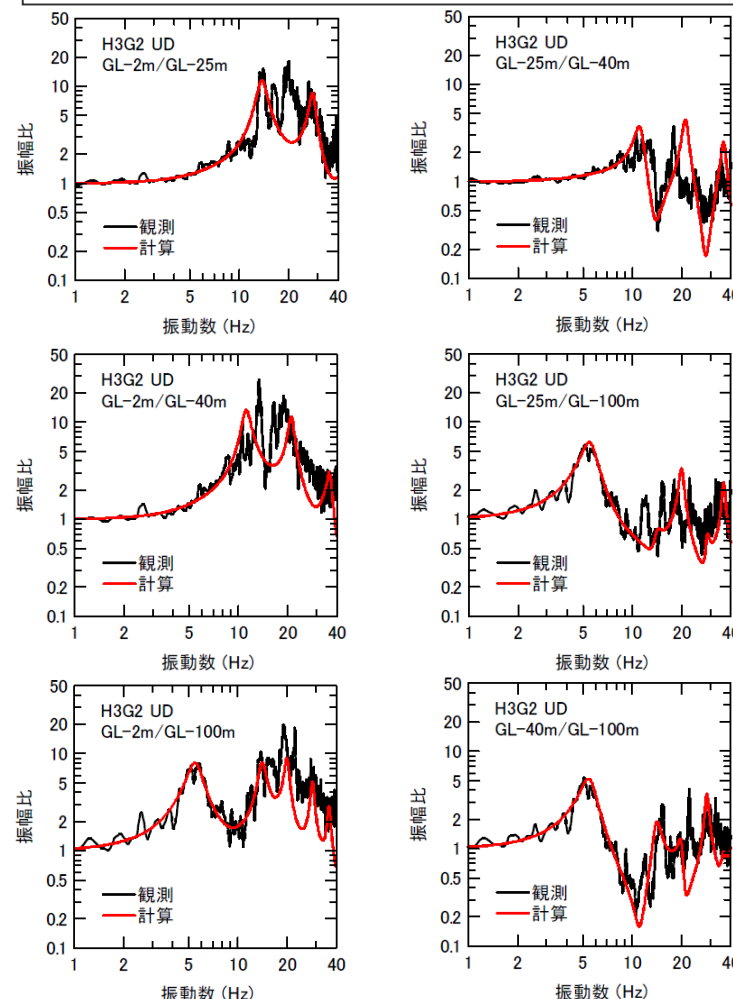
(地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ①) )

○2009年駿河湾の地震の余震（6地震）におけるS波部 Transverse成分の伝達関数の観測値と理論値の差が最小となるよう、浅部地盤モデル (Vs, Qs) を推定。

○2009年駿河湾の地震の余震（6地震）におけるP波部 UD成分の伝達関数の観測値と理論値の差が最小となるよう、浅部地盤モデル (Vp, Qp) を推定。



<S波部Transverse成分の伝達関数の観測値と理論値の比較>



<P波部UD成分の伝達関数の観測値と理論値の比較>

＜補足説明資料①-10 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定＞  
**統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証**  
 (地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ①) )

＜深部地盤モデルの推定＞

- 地震動評価に用いる一次元地下構造モデルに基づき、層モデルと探索範囲を設定。
- 2009年駿河湾の地震の余震（6地震）におけるP波部H/Vスペクトル及びレシーバー関数の逆解析により深部地盤モデルを推定。

＜層モデルと探索範囲の設定＞

層 No.	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
				Qo	n	Qo	n
1	2	200	380	8.77	0.85	1.16	0.81
2	2	200	380	8.77	0.85	1.16	0.81
3	6	320	700	7.19	0.83	1.14	0.71
4	10	650	1760	1.08	0.61	1.07	0.61
5	5	720	1820	1.13	0.85	1.10	0.75
6	5	720	1820	1.13	0.85	1.10	0.75
7	10	830	1960	5.43	0.88	2.26	0.84
8	20	830	1960	5.43	0.88	2.26	0.84
9	40	880	2020	1.10	0.98	2.95	0.82
10	48~148	810~1010	2040~2240	10~50	0.5~1	5~50	0.5~1
11	62~262	860~1060	1980~2380	10~50	0.5~1	5~50	0.5~1
12	39~239	1000~1200	1910~2310	10~50	0.5~1	5~50	0.5~1
13	146~346	1130~1330	2120~2520	10~150	0.5~1	5~150	0.5~1
14	255~455	1220~1620	2590~2990	10~150	0.5~1	5~150	0.5~1
15	856~1056	1390~1790	2860~3260	10~150	0.5~1	5~150	0.5~1
16	1300~1700	1800~2350	3790~4190	10~150	0.5~1	5~150	0.5~1
17	1300~1700	1800~2670	4270~4670	20~150	0.5~1	5~150	0.5~1
18	2990~3390	2520~2920	4630~5030	20~150	0.5~1	10~150	0.5~1
19	∞	2680~3080	4930~5330	20~150	0.5~1	10~150	0.5~1

＜推定した深部地盤モデル＞

層 No.	深度 (m)※	層厚 (m)	ρ (t/m³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
						Qo	n	Qo	n
1	-2	2	1.80	200	380	8.77	0.85	1.16	0.81
2	-4	2	1.80	200	380	8.77	0.85	1.16	0.81
3	-10	6	2.10	320	700	7.19	0.83	1.14	0.71
4	-20	10	2.10	650	1760	1.08	0.61	1.07	0.61
5	-25	5	2.10	720	1820	1.13	0.85	1.10	0.75
6	-30	5	2.10	720	1820	1.13	0.85	1.10	0.75
7	-40	10	2.10	830	1960	5.43	0.88	2.26	0.84
8	-60	20	2.10	830	1960	5.43	0.88	2.26	0.84
9	-100	40	2.10	880	2020	1.10	0.98	2.95	0.82
10	-180	80	2.10	920	2090	15.6	0.76	8.07	0.60
11	-310	130	2.08	1000	2020	20.1	0.72	10.5	0.78
12	-540	230	2.14	1170	2260	22.2	0.73	11.3	0.63
13	-880	340	2.14	1140	2280	33.0	0.82	17.7	0.57
14	-1170	290	2.24	1620	2740	38.2	0.80	26.3	0.63
15	-2150	980	2.28	1650	2950	90.3	0.76	58.8	0.75
16	-3530	1380	2.46	2070	3940	139	0.72	92.7	0.69
17	-5180	1650	2.55	2290	4600	146	0.67	120	0.61
18	-8260	3080	2.57	2820	4720	145	0.78	129	0.73
19		∞	2.60	3010	4960	145	0.78	129	0.73

深部地盤モデル推定部  
 推定した浅部地盤モデル (固定)  
▼ 解放基盤表面  
▽ 地震基盤面

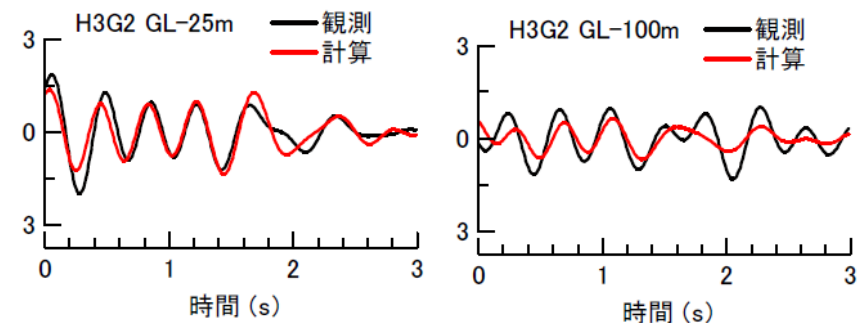
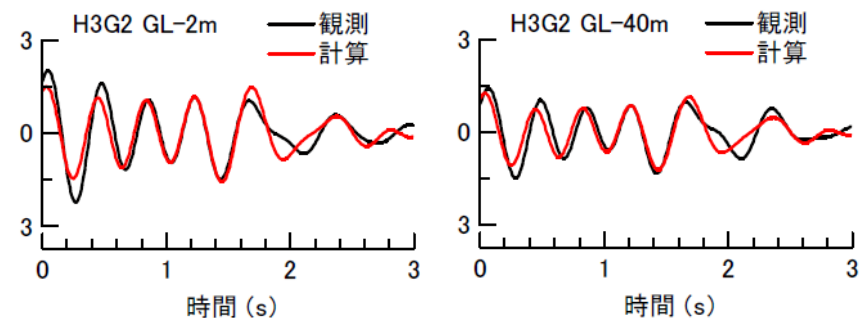
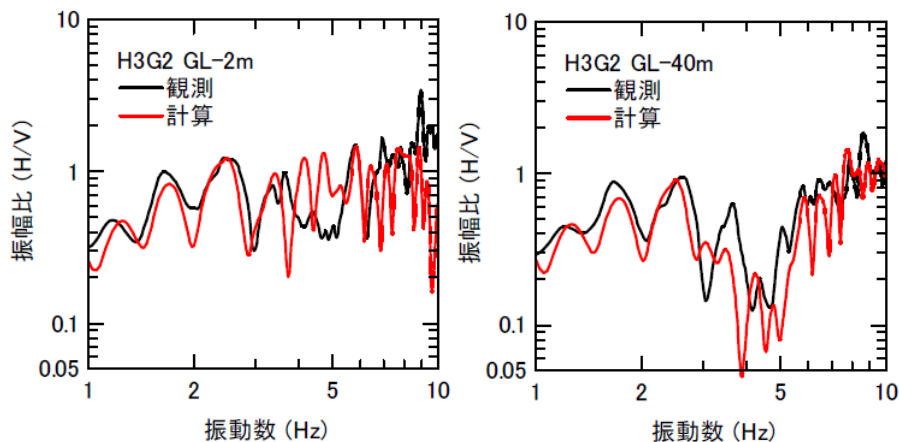
Q値モデル :  $Q(f) = Q_0 f^n$

※層下端深度を示す。

# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

(地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ①) )

○2009年駿河湾の地震の余震 (6地震) におけるP波部H/Vスペクトル及びレシーバー関数の観測値と理論値の差が最小となるよう、深部地盤モデルを推定。



<レシーバー関数の観測値と理論値の比較>

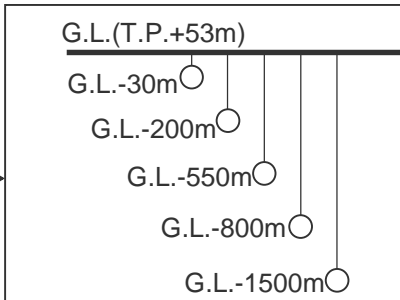
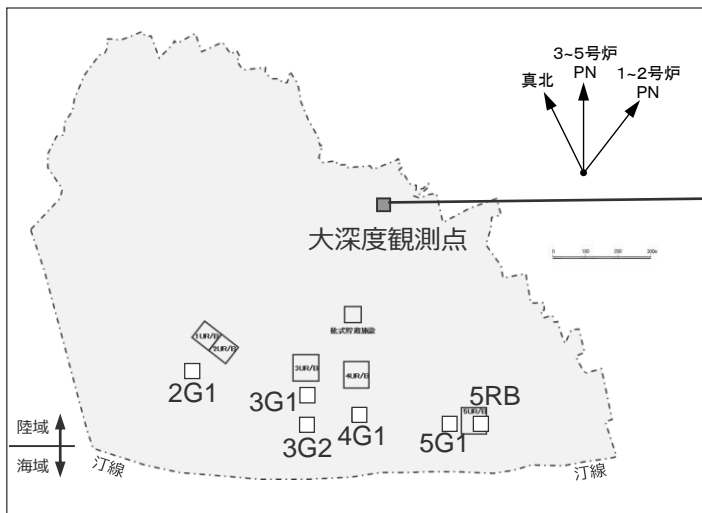
<P波部H/Vスペクトルの観測値と理論値の比較>

# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

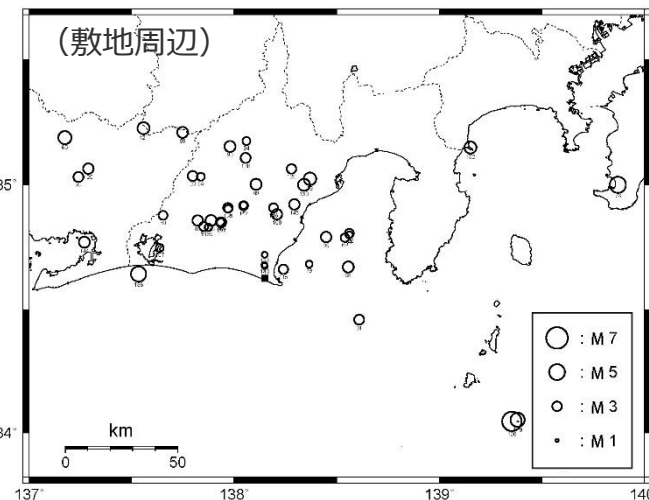
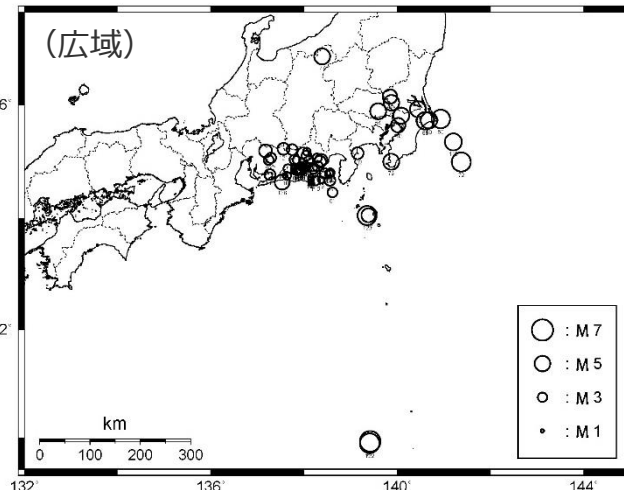
(地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ②))

## <アプローチ②> 地震観測記録を用いた地盤モデルの推定 (G.L.-1500m以浅)

○大深度観測点において、伝達関数 (G.L.-1500m以浅) の観測値と理論値の差が最小となる地盤モデルを推定。

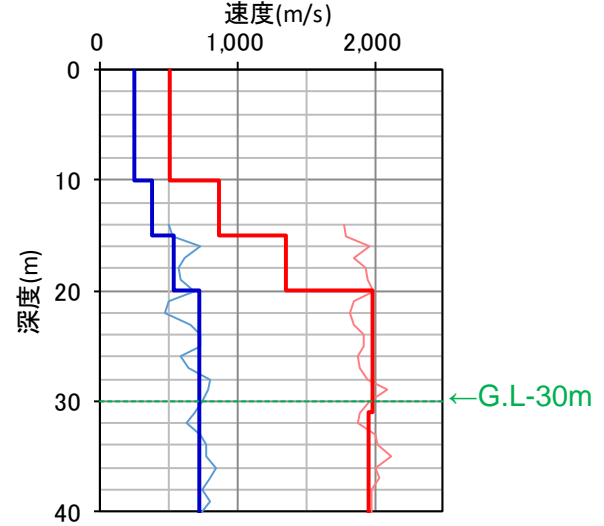
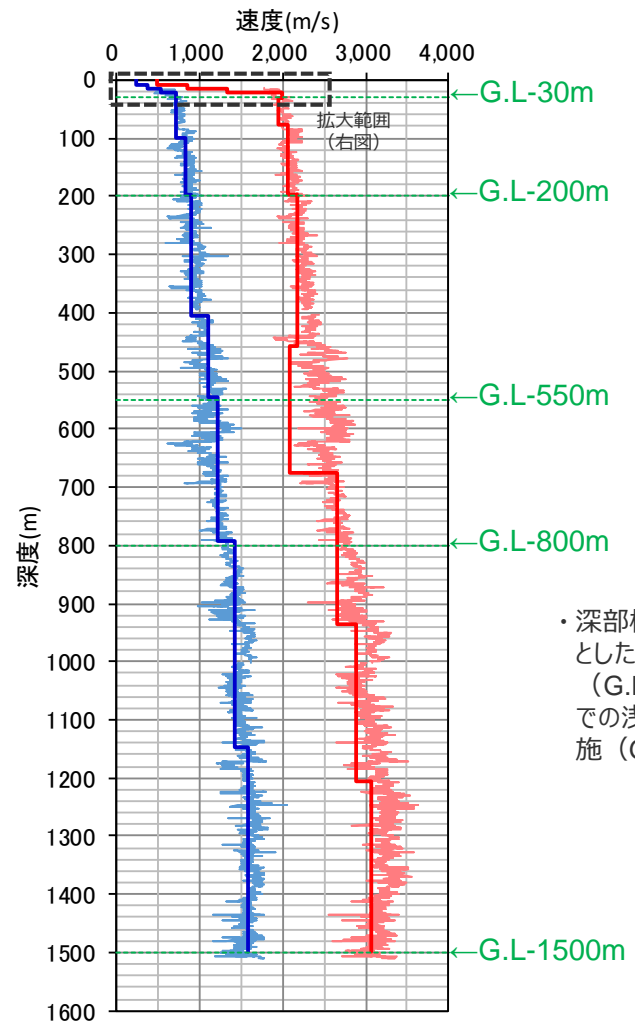
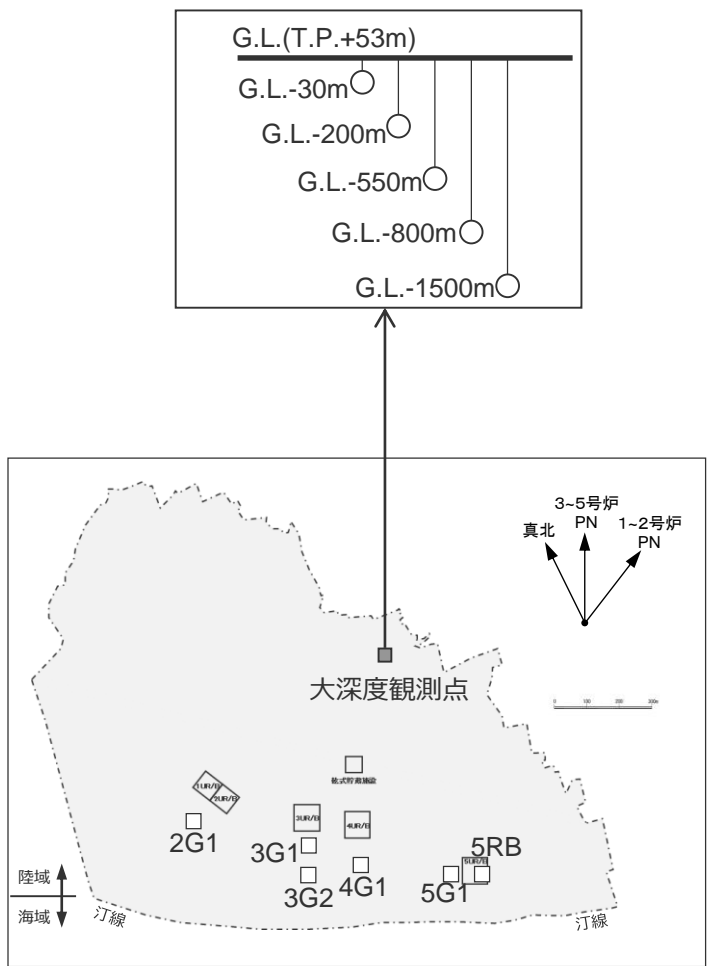


<検討に用いる地震計の配置図 (大深度観測点) >



<検討に用いる観測地震の震央分布>  
(観測分析期間：2012年3月14日～2013年10月6日)

<補足説明資料①-10 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>  
**統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証**  
 (地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ②) )



・深部構造の把握を目的として、G.L.-1500m程度までを対象としたPS検層（ダウンホール法・サスペンション法）を実施（G.L.-30m以深の速度構造）。その後、G.L.-30m程度までの浅部構造を対象としたPS検層（ダウンホール法）を実施（G.L.-30m以浅の速度構造）。

- P波速度 (ダウンホール法)
- P波速度 (サスペンション法)
- S波速度 (ダウンホール法)
- S波速度 (サスペンション法)

<大深度観測点の各地震計設置深さとPS検層結果との関係>

# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

(地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ②))

- 大深度観測点におけるPS検層結果等に基づき、初期モデルと探索範囲を設定。
- 観測地震における伝達関数 (G.L.-1500m以浅) の逆解析により、地盤モデルを推定。

深さ GL-(m)	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	初期モデル		探索範囲				最適化結果			
			S波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)		h0		α		S波速度 (m/s)	h0	α
				下限	上限	下限	上限	下限	上限			
0												
2	10	1.88	240	120	480					187		
10	5	1.88	380	190	760	0	1	0	1	296	1.000	0.484
15	5	1.88	540	270	1080					420		
20												
● 30	12	2.07	720	360	1440					560		
32												
▼ 67	69	2.06	720	360	1440					773		
101												
	97	2.09	830	415	1660	0	1	0	1	831	0.065	1.000
198												
● 200	209	2.12	900	450	1800					978		
407												
	139	2.09	1100	550	2200					1045		
546												
● 550	246	2.09	1230	615	2460					1201		
792												
● 800	355	2.27	1420	710	2840					1486		
1147						0	1	0	1		0.022	1.000
	353	2.31	1590	795	3180					1759		
● 1500	-	2.31	1590	795	3180					1759		

● : 地震計

▼ : 解放基盤表面

(水平動)

深さ GL-(m)	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	初期モデル		探索範囲				最適化結果			
			P波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)		h0		α		P波速度 (m/s)	h0	α
				下限	上限	下限	上限	下限	上限			
0												
2	10	1.88	571	571	571							
10	5	1.88	982	982	982	0	1	0	1	982	1.000	0.447
15	5	1.88	1541	1541	1541					1541		
20												
● 30	11	2.07	1991	1991	1991					1991		
31												
▼ 67	46	2.06	1961	1961	1961					1961		
77						0	1	0	1		0.219	1.000
	121	2.09	2239	2239	2239					2239		
198												
● 200	260	2.12	2197	2197	2197					2197		
458												
● 550	216	2.09	2203	2203	2203					2203		
674												
● 800	263	2.23	2525	2525	2525					2525		
937												
	270	2.27	3037	3037	3037	0	1	0	1	3037	0.049	1.000
1207												
	293	2.31	3440	3440	3440					3440		
● 1500	-	2.31	3440	3440	3440					3440		

● : 地震計

▼ : 解放基盤表面

(鉛直動)

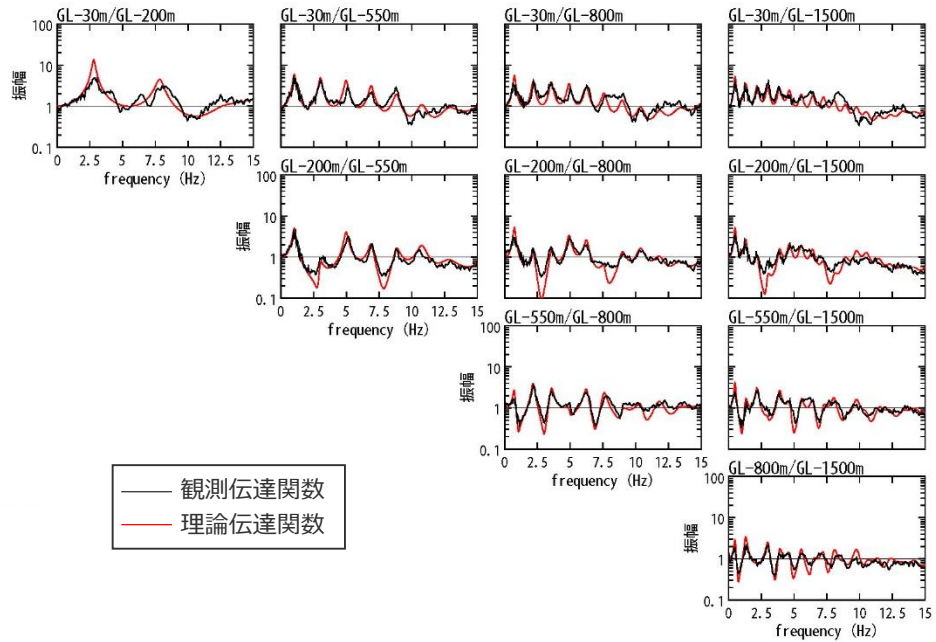
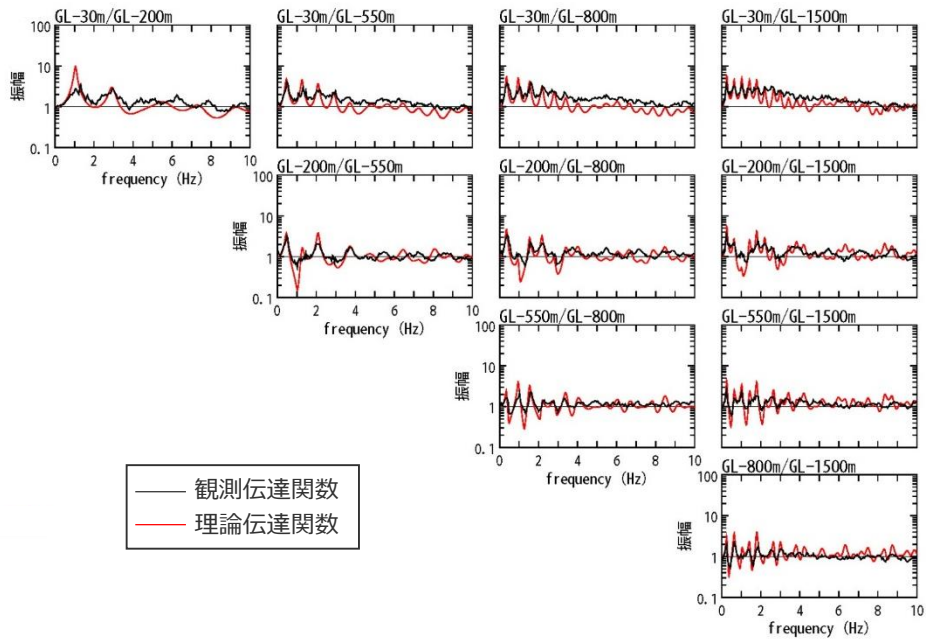
減衰定数モデル :  $h(f)=h_0 f^{-\alpha}$

<推定した地盤モデル>

＜補足説明資料①-10 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定＞  
**統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証**  
 (地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ②) )

○観測地震におけるS波部 (水平平均) の伝達関数の観測値と理論値の差が最小となるよう、地盤モデル ( $V_s$ ,  $Q_s$ ) を推定。

○観測地震におけるP波部 (鉛直成分) の伝達関数の観測値と理論値の差が最小となるよう、地盤モデル ( $V_p$ ,  $Q_p$ ) を推定。



＜S波部 (水平平均) の伝達関数の観測値と理論値の比較＞

＜P波部 (鉛直成分) の伝達関数の観測値と理論値の比較＞

# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

(地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ②))

○鉛直動の地盤モデルは、最適化解析をより安定化させるために、まずP波区間（鉛直成分）の観測伝達関数を用いた逆解析によりP波速度を推定して固定したうえで、S波区間（鉛直成分）の観測伝達関数を用いた逆解析により減衰の値の推定している。

深さ GL-(m)	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	初期モデル		探索範囲				最適化結果										
			P波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)		h0	α		P波速度 (m/s)	h0	α								
				下限	上限		下限	上限				下限	上限						
0																			
● 2	10	1.88	500	250	1000							571							
10	5	1.88	860	430	1720	0	1	0	1			982	1.000	0.501					
15	5	1.88	1350	675	2700							1541							
● 30	11	2.07	1990	995	3980							1991							
31												1961							
▼ 67	46	2.06	1960	980	3920	0	1	0	1			1961	0.128	1.000					
77												2239							
121												2197							
198												2203							
● 200	260	2.12	2170	1085	4340							2203							
458												2525							
● 550	216	2.09	2080	1040	4160							3037	0.078	0.603					
674												3440							
● 800	263	2.23	2660	1330	5320							3440							
937												3440							
270						0	1	0	1			3440							
1207												3440							
293												3440							
● 1500	-	2.31	3070	1535	6140							3440							

深さ GL-(m)	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	初期モデル		探索範囲				最適化結果										
			P波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)		h0	α		P波速度 (m/s)	h0	α								
				下限	上限		下限	上限											
0																			
● 2	10	1.88	571	571	571							571							
10	5	1.88	982	982	982	0	1	0	1			982	1.000	0.447					
15	5	1.88	1541	1541	1541							1541							
● 30	11	2.07	1991	1991	1991							1991							
31												1961							
▼ 67	46	2.06	1961	1961	1961	0	1	0	1			1961	0.219	1.000					
77												2239							
121												2197							
198												2203							
● 200	260	2.12	2197	2197	2197							2525							
458												3037	0.049	1.000					
● 550	216	2.09	2203	2203	2203							3440							
674												3440							
● 800	263	2.23	2525	2525	2525							3440							
937												3440							
270						0	1	0	1			3440							
1207												3440							
293												3440							
● 1500	-	2.31	3440	3440	3440							3440							

減衰定数モデル:  $h(f)=h_0 f^{-\alpha}$

● : 地震計  
▼ : 解放基盤表面

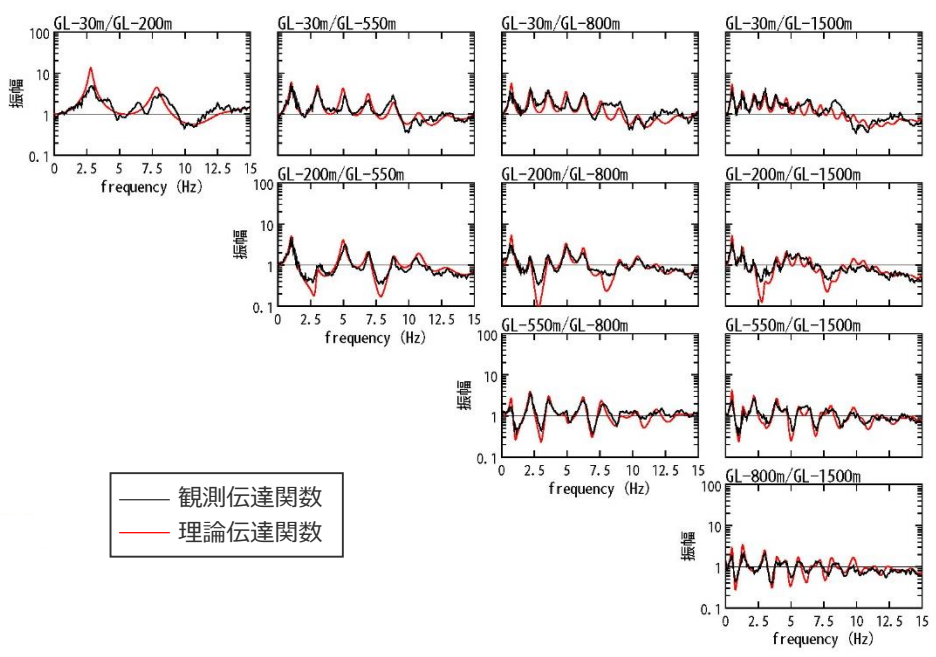
● : 地震計  
▼ : 解放基盤表面

<P波区間（鉛直成分）の伝達関数を対象とした逆解析結果>

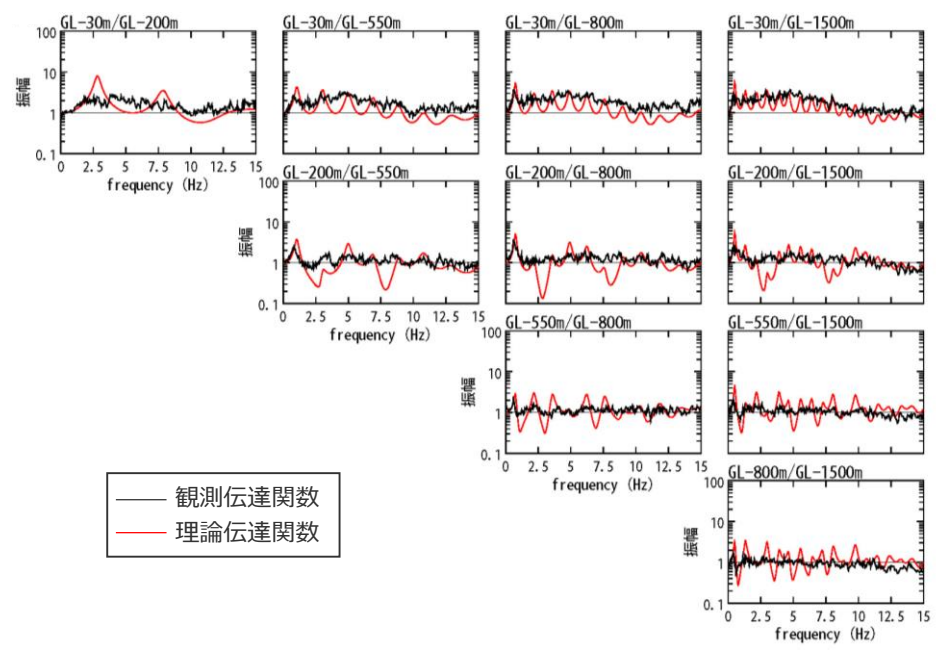
<S波区間（鉛直成分）の伝達関数を対象とした逆解析結果>



＜補足説明資料①-10 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定＞  
**統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証**  
 (地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ②) )



＜P波部 (鉛直成分) の伝達関数の観測値と理論値の比較＞



＜S波部 (鉛直成分) の伝達関数の観測値と理論値の比較＞

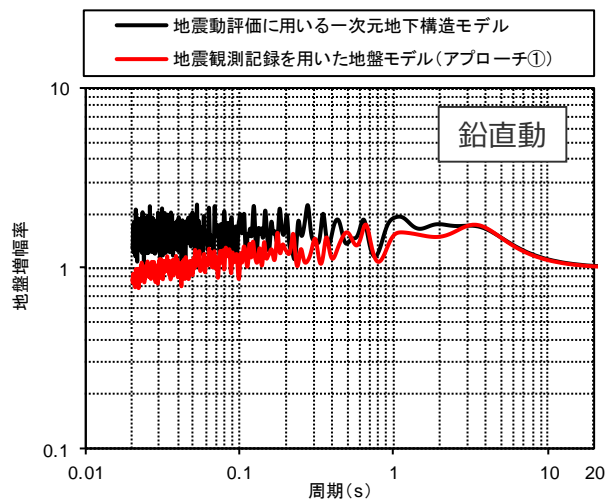
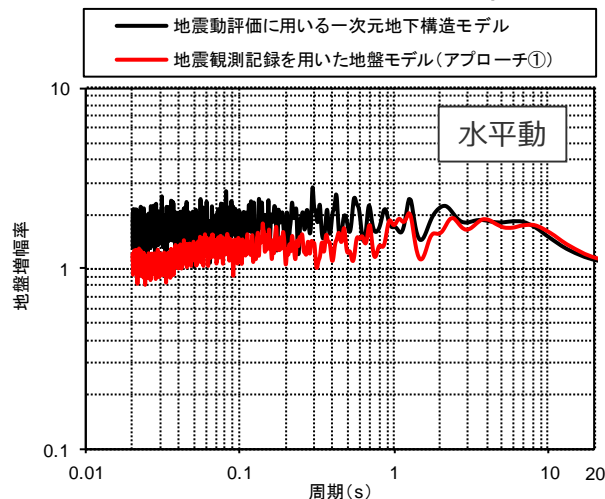
# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

(地盤増幅率の比較検討)

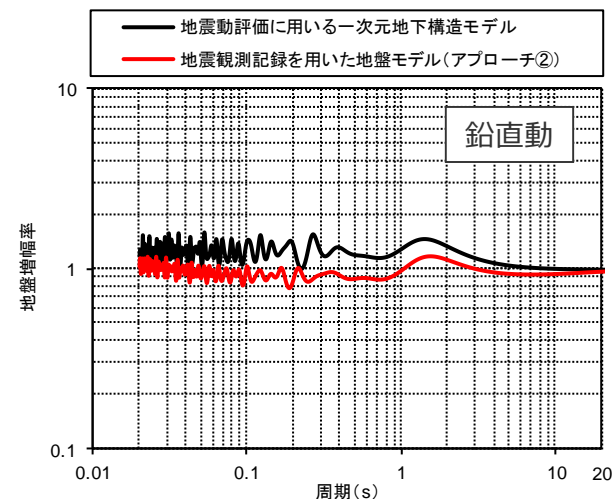
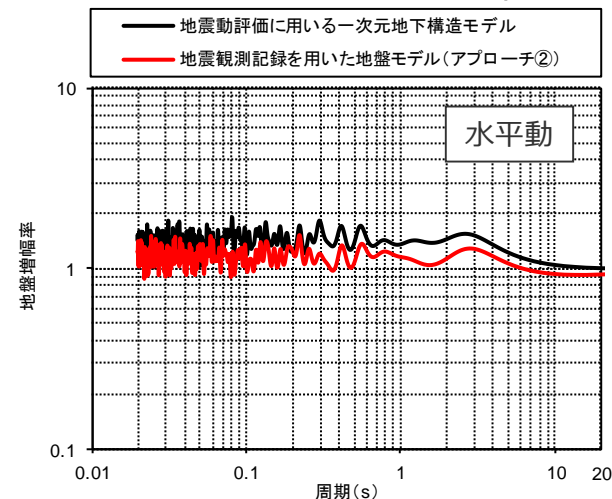
- 地震動評価に用いる一次元地下構造モデルと地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ①及びアプローチ②）との地盤増幅率の比較検討を行った。
- その結果、地盤増幅の周期特性については、両者に明瞭な卓越周期は見られず概ね一致しており、振幅については、地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの方が大きくなっている。

⇒**速度構造については両者が概ね同様**となっており、**Q値については地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの方が地震観測記録を用いて推定した地盤モデルに比べ保守的に設定**されていることを示している。

地震動評価に用いる一次元地下構造モデルと地盤モデル（アプローチ①）との地盤増幅率の比較（解放基盤表面／地震基盤面）



地震動評価に用いる一次元地下構造モデルと地盤モデル（アプローチ②）との地盤増幅率の比較（解放基盤表面／G.L.-1500m）

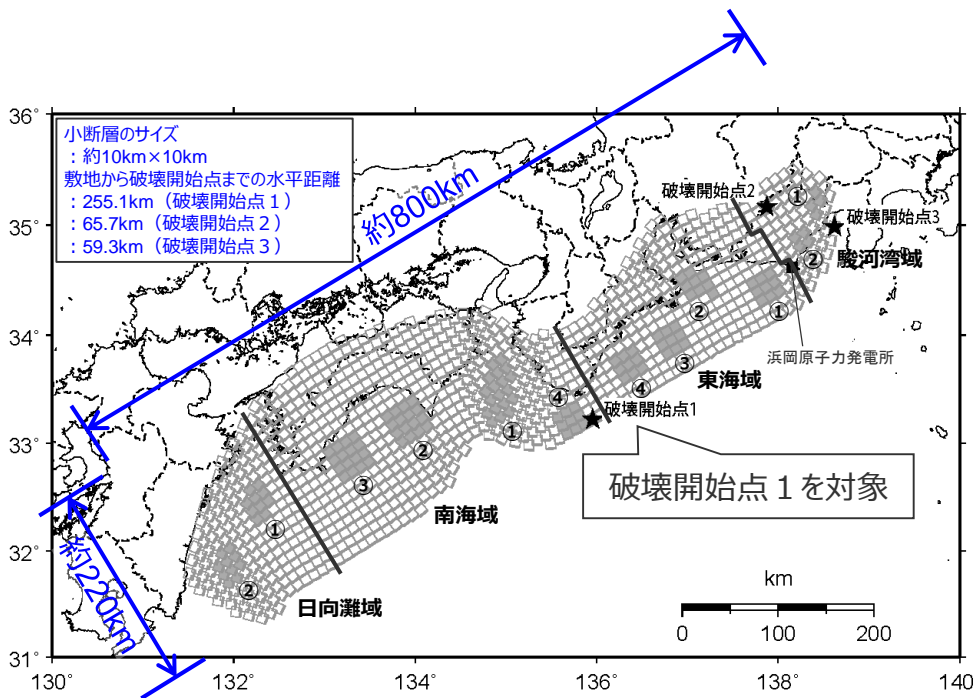


# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

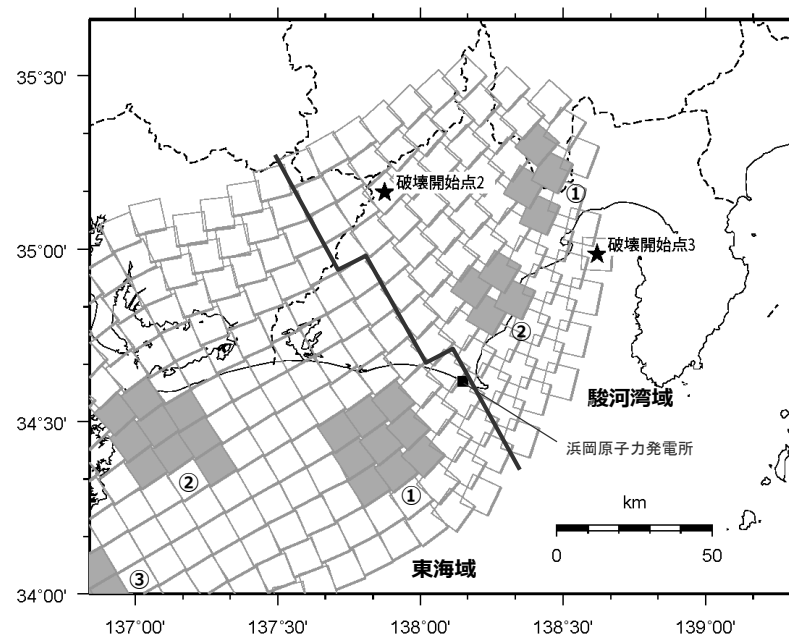
(プレート間地震の地震動評価結果の比較検討)

○プレート間地震の検討用地震である南海トラフ最大クラス地震モデル（基本ケース）を例として、地震動評価に用いる一次元地下構造モデル及び地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ①及びアプローチ②※1）をそれぞれ用いた統計的グリーン関数法による地震動評価を行い、各評価結果の比較検討を行う。

※1：地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ②）はG.L.-1500m以浅のモデルであり、地震動評価に際して、これ以深は地震動評価に用いる一次元地下構造モデルを用いる。



(全体)



(敷地周辺)

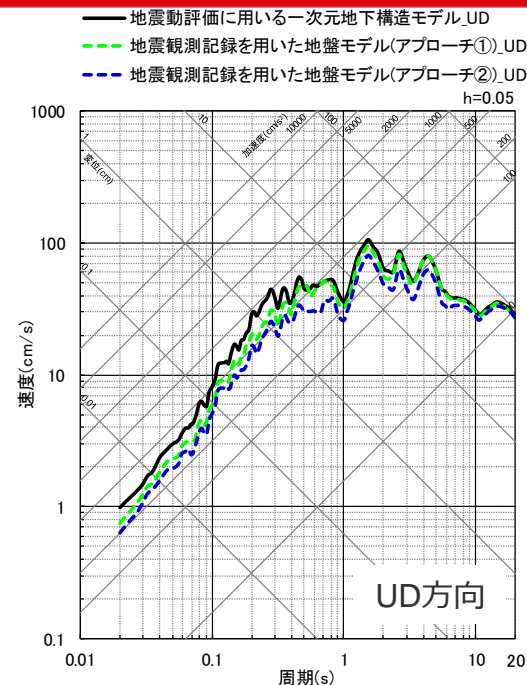
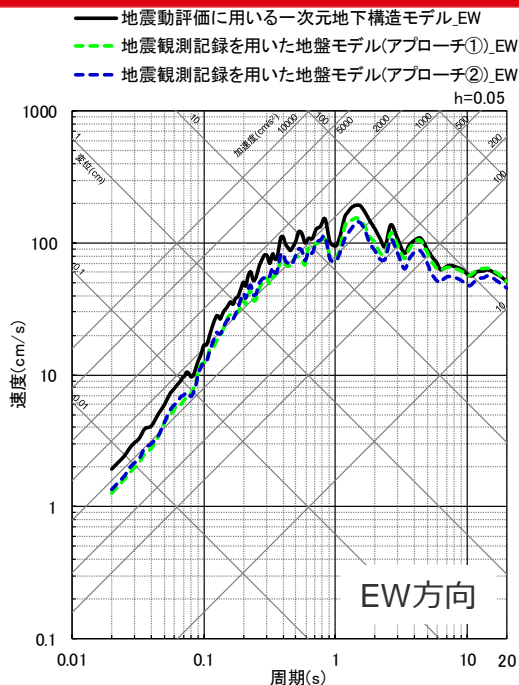
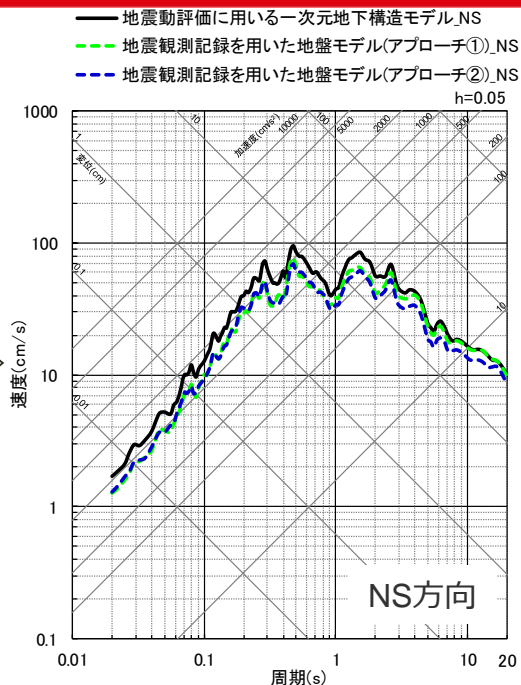
<プレート間地震の検討用地震（南海トラフ最大クラス地震モデル（基本ケース）※2）>

※2：内閣府(2012)の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」で検討された南海トラフで想定される最大クラスの地震の強震断層モデルに基づき設定。

# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

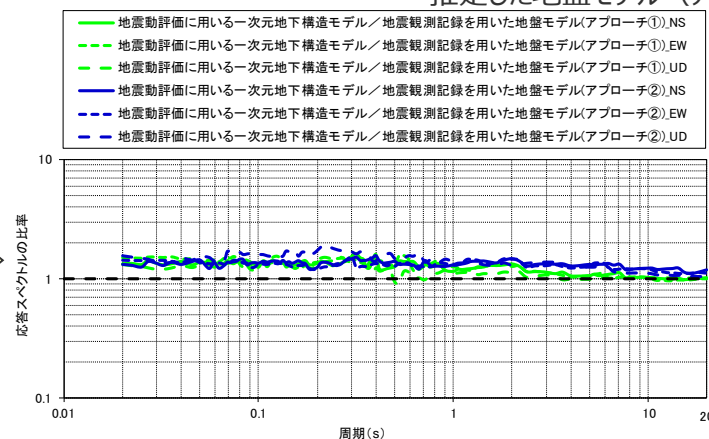
## (プレート間地震の地震動評価結果の比較検討)

地震動  
評価結果  
の比較



地震動評価に用いる一次元地下構造モデルと地震観測記録を用いて推定した地盤モデル (アプローチ①、②) との応答スペクトル比を算出

応答スペク  
トルの比率



○地震動評価結果の周期特性については、いずれも同様となっており、振幅については、地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの方が大きくなっている。

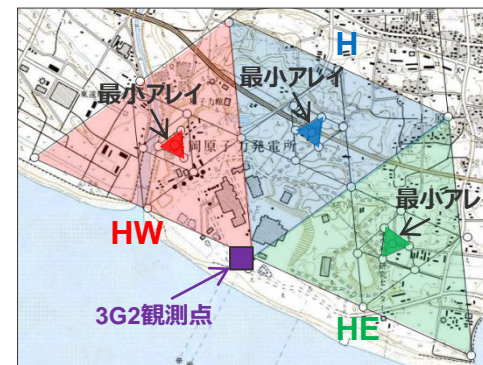
⇒速度構造についてはいずれも概ね同様となっており、**Q値**については地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの方が地震観測記録を用いて推定した地盤モデルに比べ保守的に設定されていることを示している。

# 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

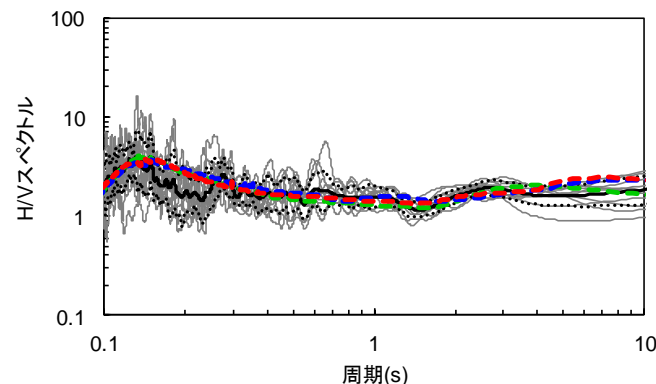
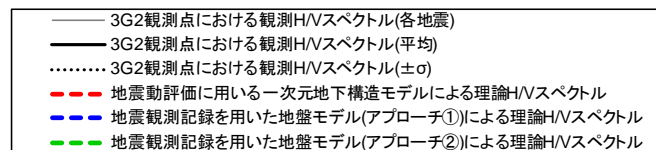
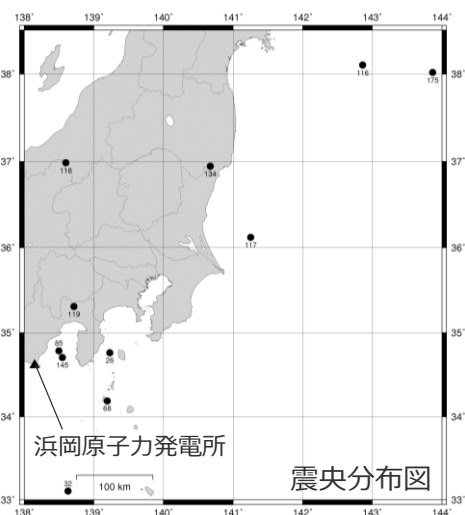
(観測記録 (Coda波部H/Vスペクトル、微動アレイ観測による分散曲線) との整合性)

- Coda波部を対象とした観測H/Vスペクトル (観測値) と各モデルの理論H/Vスペクトル (理論値) との比較検討を行った結果、観測値に明瞭な卓越周期は見られず、各モデルの理論値は同様の傾向となっており、観測値と概ね整合している。
- 微動アレイ観測による観測分散曲線 (観測値) と各モデルの理論分散曲線 (理論値) との比較検討を行った結果、各モデルの理論値は同様の傾向となっており、観測値と概ね整合している。

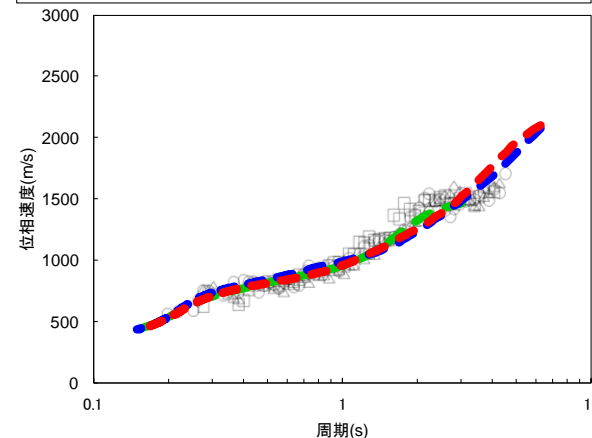
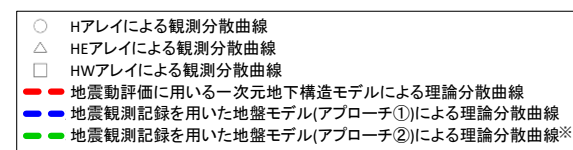
- ・観測H/Vスペクトルは3G2観測点の観測記録に基づき算出しており、各モデルの解放基盤表面以浅の表層地盤には3G2観測点における最適化地盤を用いる。
- ・微動アレイ観測の最小アレイ位置の表層地盤状況を踏まえて、各モデルの解放基盤表面以浅の表層地盤には上記の最適化地盤モデル (3G2観測点) に表層地盤 (Vs200m/s、層厚6m) を付加。



<微動アレイ観測及び3G2観測点の位置図>



<H/Vスペクトルの比較>



<分散曲線の比較>

※地盤モデル (アプローチ②) は、G.L.-1500m以浅のモデルであり、地震基盤面以浅のモデルであるその他のモデルと下端深さが異なるため、描画帯域を変更する。

# 参考文献

---

・参考文献は、本編参照。

---

余白



中部電力