



中部電力

浜岡原子力発電所  
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について  
(補足説明資料①)  
(敷地における地震動の増幅特性)

2021年3月24日

# 目次

## 1 敷地における地震動の増幅特性

### 1.1 地震観測

- 補足説明資料①-01：地震観測記録（鉛直アレイ観測）の分析 ……p.2~
- 補足説明資料①-02：地震観測記録（多点連続観測）の分析 ……p.7~
- 補足説明資料①-03：地震観測記録（海底試掘トンネル観測）の分析 ……p.16~

### 1.2 地下構造調査

- 補足説明資料①-04：敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）の調査 ……p.19~
- 補足説明資料①-05：敷地近傍の地下構造（浅部）の調査 ……p.38~
- 補足説明資料①-06：地下構造調査に基づくS波低速度層の分布 ……p.71~
- 補足説明資料①-07：S波低速度層と地質的特徴との対応 ……p.79~

### 1.3 解析検討

- 補足説明資料①-08：深部地下構造モデルの設定及び解析検討 ……p.87~
- 補足説明資料①-09：浅部地下構造モデルの設定及び解析検討 ……p.106~

### 1.4 地震波の伝播経路

- 補足説明資料①-10：地震波の伝播経路に関する検討 ……p.119~

## 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

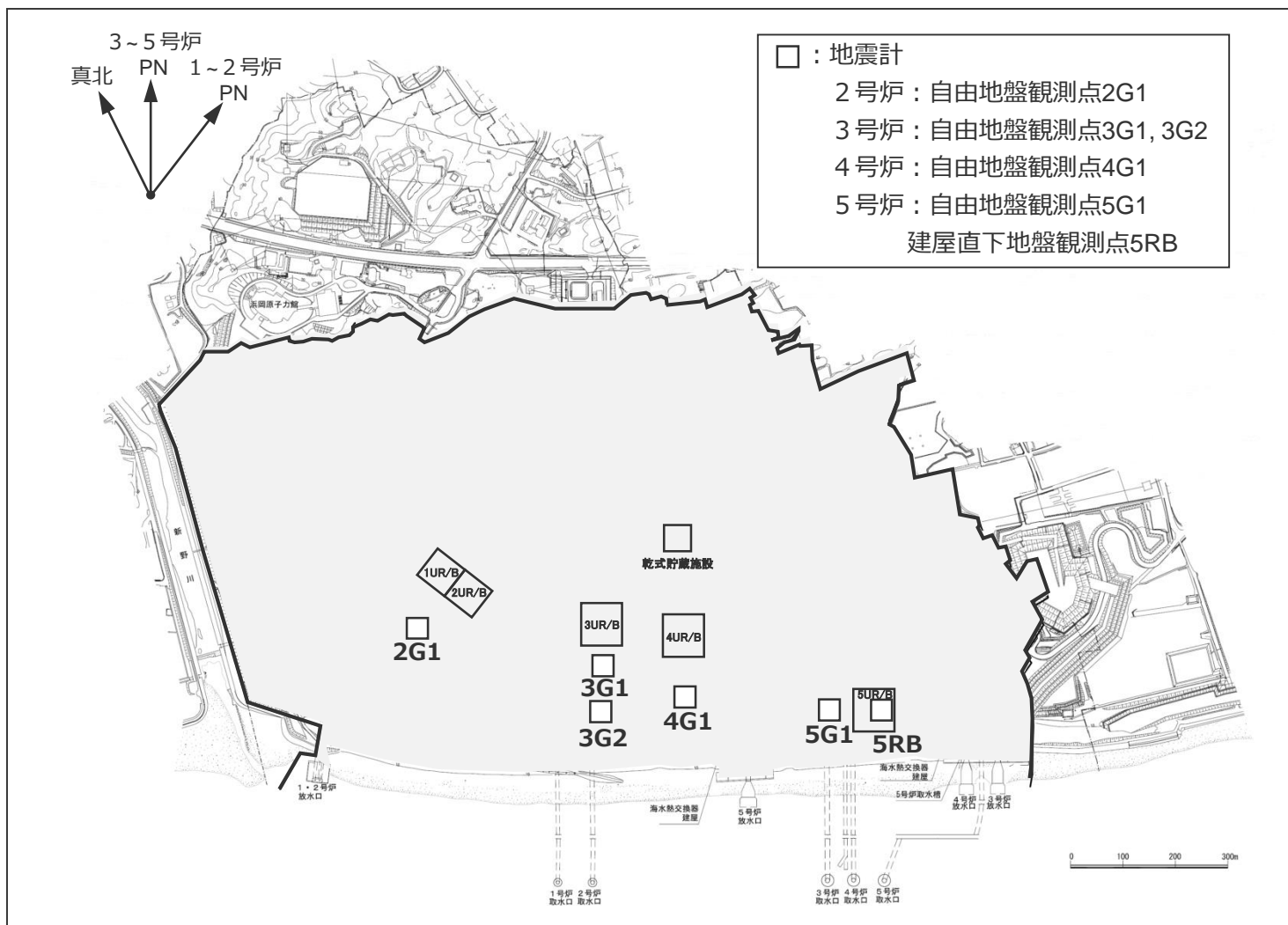
- 補足説明資料①-11：統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定 ……p.146~
- 補足説明資料①-12：波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定 ……p.168~
- 補足説明資料①-13：地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定 ……p.195~

補足説明資料①-01  
地震観測記録（鉛直アレイ観測）の分析

---

# 各号炉周辺における鉛直アレイ観測 （地震計の位置）

○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。





<補足説明資料①-01 地震観測記録（鉛直アレイ観測）の分析>  
各号炉周辺における鉛直アレイ観測  
（地震計の柱状図）

○：地震計設置位置

標高 T.P.(m)	2G1		3G1, 3G2		4G1		5G1		5RB	
	地震計	地層	地震計	地層	地震計	地層	地震計	地層	地震計	地層
+8.0							▽G.L.			
+6.0	▽G.L.		▽G.L.		▽G.L.			砂, 砂礫		原子炉建屋
+4.0	○ G.L.-2m	砂, 砂礫	○ G.L.-2m	砂, 砂礫		砂, 砂礫	○ G.L.-2m			▽基礎スラブ底面
-11.5										
-14.0 <sup>※1</sup>					○ G.L.-20m		○ G.L.-22m		○ G.L.-22m	
-19.0			○ G.L.-25m							
-34.0		砂岩 泥岩 互層	○ G.L.-40m	砂岩 泥岩 互層		砂岩 泥岩 互層		砂岩 泥岩 互層		砂岩 泥岩 互層
-92.0			○ G.L.-100m		○ G.L.-100m		○ G.L.-100m		○ G.L.-100m	
-94.0										

※1: 解放基盤表面 (T.P.-14.0m)

# 各号炉周辺における鉛直アレイ観測記録の分析

（地震波到来方向毎の地盤増幅特性の検討に用いる対象記録）

（諸元）

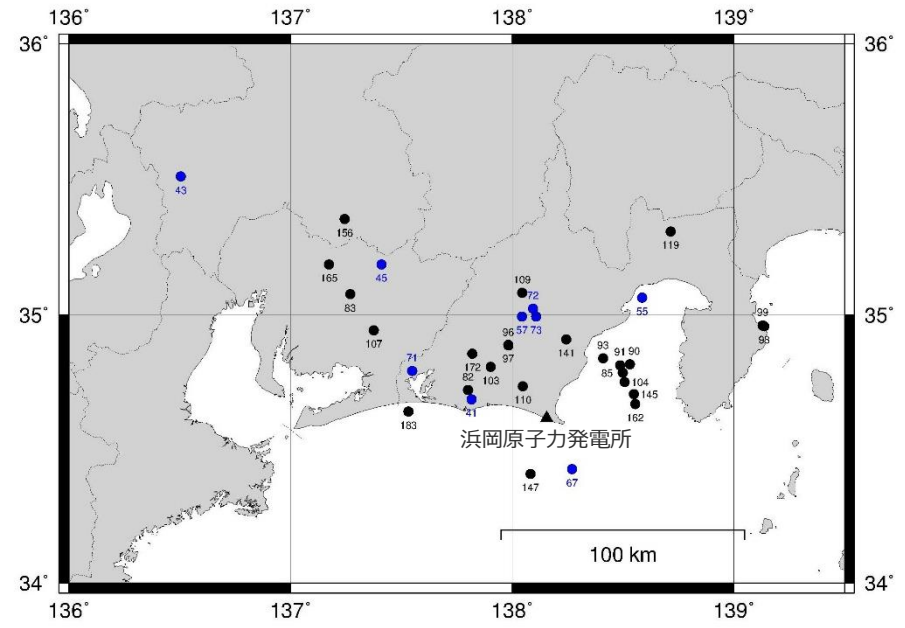
3号炉と4号炉で観測記録が得られた地震

3号炉と5号炉で観測記録が得られた地震

No	震源地	地震発生時刻					北緯		東経		深さ (km)	M
		年	月	日	時	分	度	分	度	分		
41	静岡県西部	1992	7	21	15	4	34	41.2	137	49	41.1	4.2
43	岐阜県美濃中西部	1992	7	30	20	16	35	30.8	136	30.3	37.7	5.4
45	愛知県西部	1993	1	11	9	58	35	11.3	137	24.6	56.1	5.0
55	駿河湾	1995	4	18	20	26	35	3.9	138	35.2	24.1	4.9
57	静岡県中部	1996	10	5	9	51	34	59.7	138	2.6	32.0	4.6
67	駿河湾南方沖	1997	10	11	14	44	34	25.6	138	16.2	34.1	5.1
71	静岡県西部	2001	2	23	7	23	34	47.6	137	32.9	32.0	5.0
72	静岡県中部	2001	4	3	23	57	35	1.5	138	5.7	30.3	5.3
73	静岡県中部	2001	6	1	0	41	34	59.6	138	6.4	30	5.0
82	静岡県西部	2009	5	25	20	26	34	43.3	137	48.0	26	4.7
83	愛知県西部	2009	7	27	9	44	35	4.7	137	16.2	41	4.0
85	駿河湾(本震)	2009	8	11	5	7	34	47.1	138	29.9	23	6.5
90	駿河湾(余震①)	2009	8	11	18	9	34	49.1	138	31.8	20	4.4
91	駿河湾(余震②)	2009	8	13	12	42	34	48.8	138	29.2	19	4.3
93	駿河湾(余震③)	2009	8	13	18	11	34	50.4	138	24.5	23	4.5
96	静岡県西部	2009	12	10	5	55	34	53.3	137	58.9	16	3.7
97	静岡県西部	2009	12	10	6	0	34	53.3	137	58.9	16	3.3
98	静岡県伊豆地方	2009	12	17	23	45	34	57.5	139	8.1	4	5.0
99	静岡県伊豆地方	2009	12	18	8	44	34	57.7	139	8.2	5	5.1
103	静岡県西部	2010	4	22	9	40	34	48.4	137	54.2	29	3.4
104	駿河湾	2010	5	1	0	45	34	45.1	138	30.3	22	3.0
107	愛知県西部	2010	8	26	5	54	34	56.6	137	22.5	39	4.0
109	静岡県西部	2010	10	12	22	40	35	5.0	138	2.6	13	3.8
110	静岡県西部	2010	11	2	4	1	34	44.1	138	2.9	28	3.8
119	静岡県東部	2011	3	15	22	31	35	18.5	138	42.8	14	6.4
141	静岡県中部	2011	7	10	5	58	34	54.5	138	14.6	28	3.8
145	駿河湾	2011	8	1	23	58	34	42.5	138	32.8	23	6.2
147	遠州灘	2011	8	12	4	37	34	24.5	138	4.9	27	5.2
156	岐阜県美濃東部	2011	12	14	13	1	35	21.3	137	14.6	49	5.1
162	駿河湾	2012	4	5	20	56	34	40.2	138	33.3	21	3.6
165	愛知県西部	2012	5	5	18	56	35	11.3	137	10.4	45	4.3
172	静岡県西部	2012	9	9	3	38	34	51.4	137	49.2	28	3.4
183	遠州灘	2013	8	3	9	56	34	38.5	137	31.9	34	4.9

○2009年駿河湾の地震及びその他の地震における観測記録について、3号炉（3G1）を基準として、4号炉（4G1）、5号炉（5G1, 5RB）の最大加速度比及び周期別SI値比を算定し、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討する。

● : 3～5号炉で観測記録が得られた地震  
● : 3号炉と4号炉で観測記録が得られた地震



（震央位置）

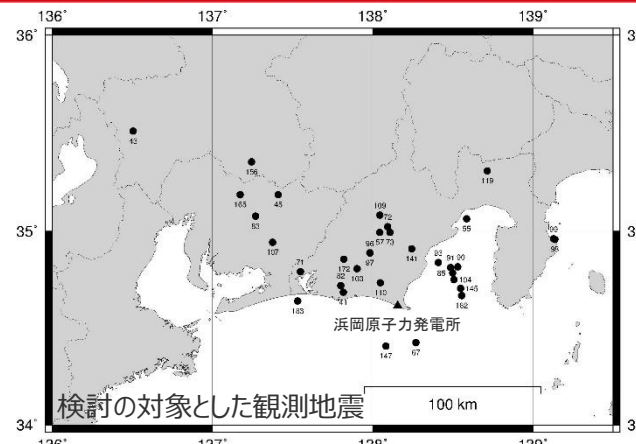
# 各号炉周辺における鉛直アレイ観測記録の分析

（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。

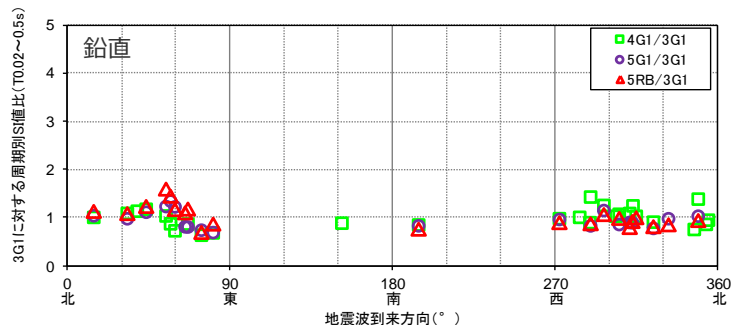
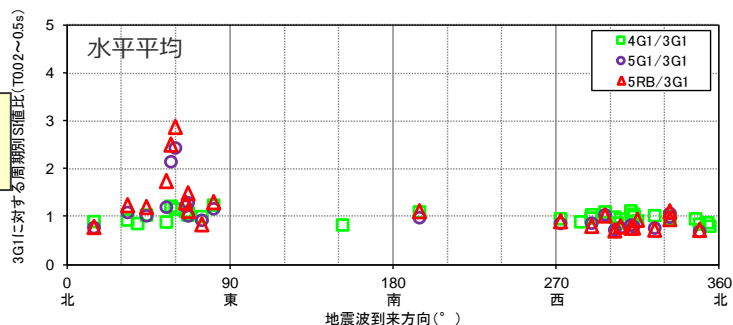
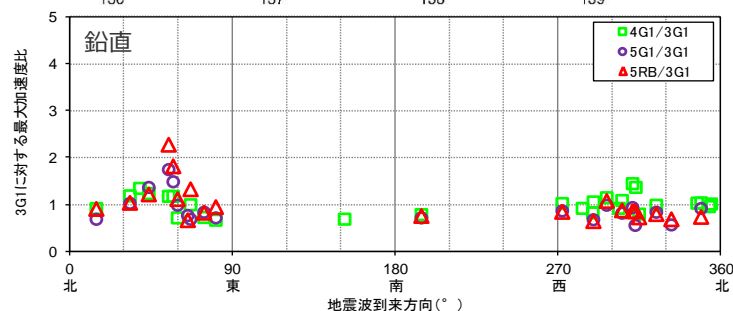
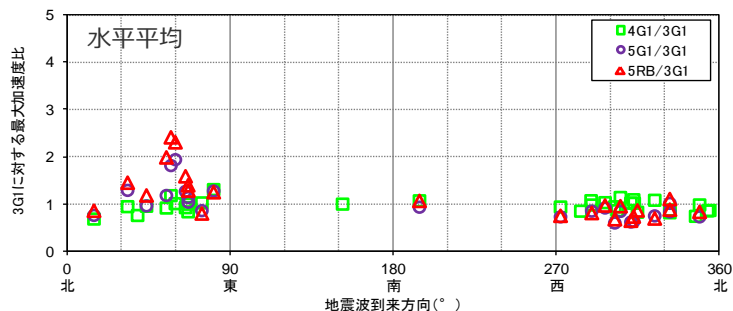
⇒ **3号炉（3G1）に対する5号炉（5G1, 5RB）の比率は、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近では大きい**が、それ以外の地震波到来方向では**1程度**である。



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

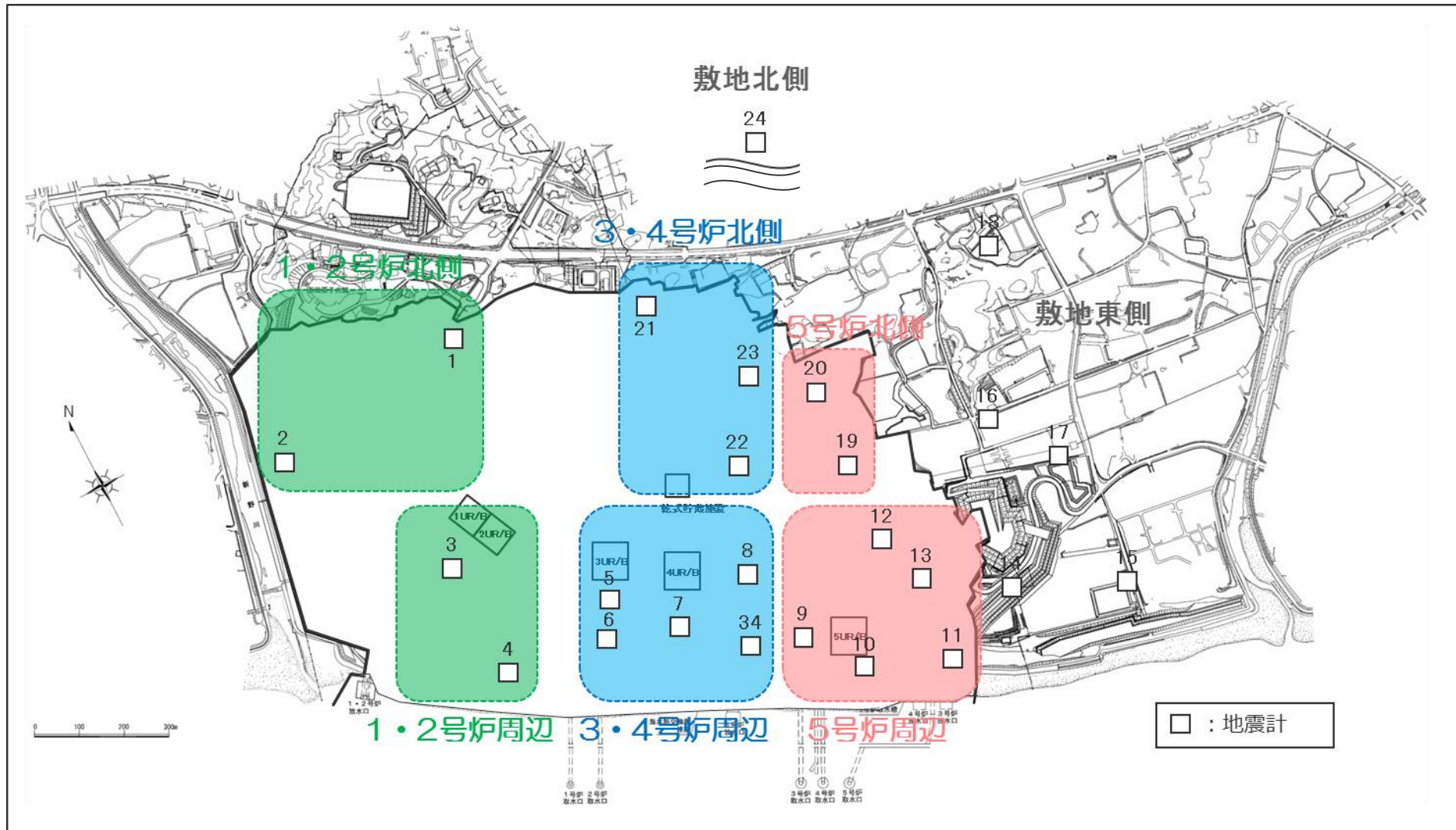
<地震波到来方向毎の最大加速度比、周期別SI値比（4G1/3G1, 5G1/3G1, 5RB/3G1(G.L.-100m）>  
（検討対象記録の観測期間1992年7月21日～2013年8月3日）

補足説明資料①-02  
地震観測記録（多点連続観測）の分析

---

<補足説明資料①-02 地震観測記録（多点連続観測）の分析>  
**敷地全体を対象とした多点連続観測**  
 (地震計の配置)

○敷地では、地表に地震計（2Hz速度計）を多数設置し、連続地震観測を行っている。

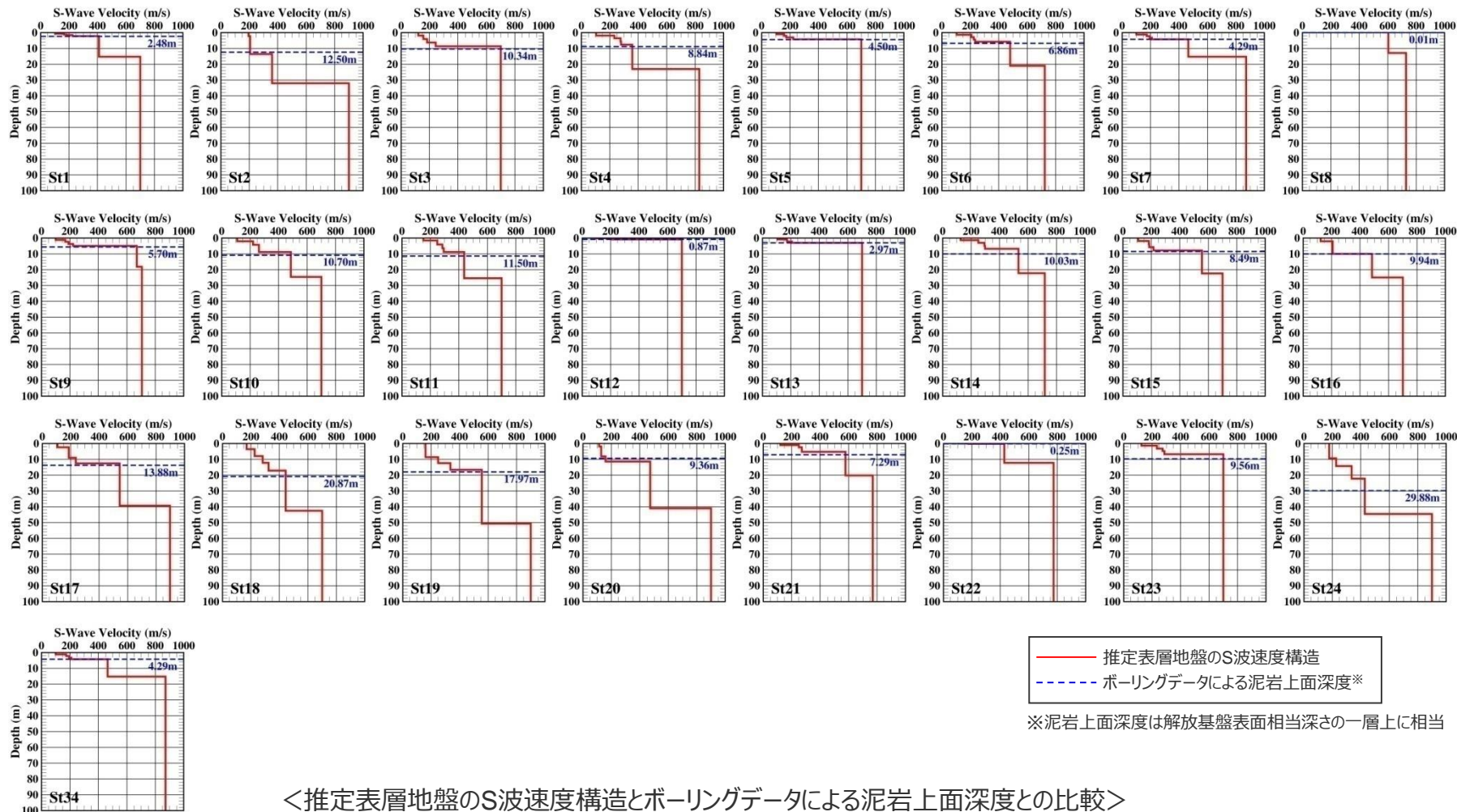




# 敷地全体を対象とした多点連続観測

（表層地盤の推定）

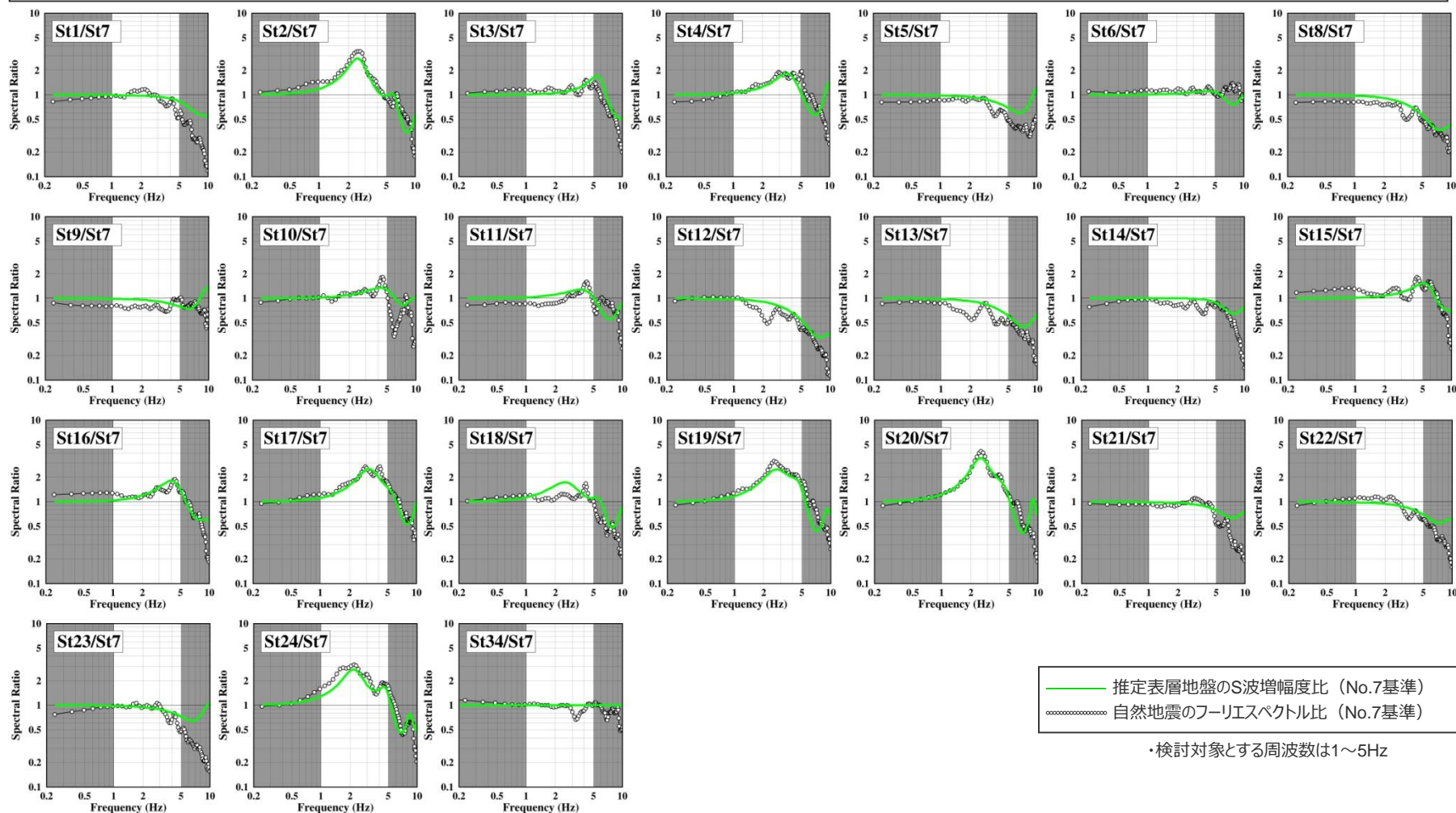
○敷地全体の解放基盤表面相当深さの地盤増幅特性を検討するため、自然地震のフーリエスペクトル、微動アレイ探査の分散曲線、ボーリングデータを用いて、観測点間の地盤構造の連続性を考慮して表層地盤を推定し、地表で得られた観測記録から解放基盤表面相当深さにおける地震動（はざとり波）を推定する。



# 敷地全体を対象とした多点連続観測

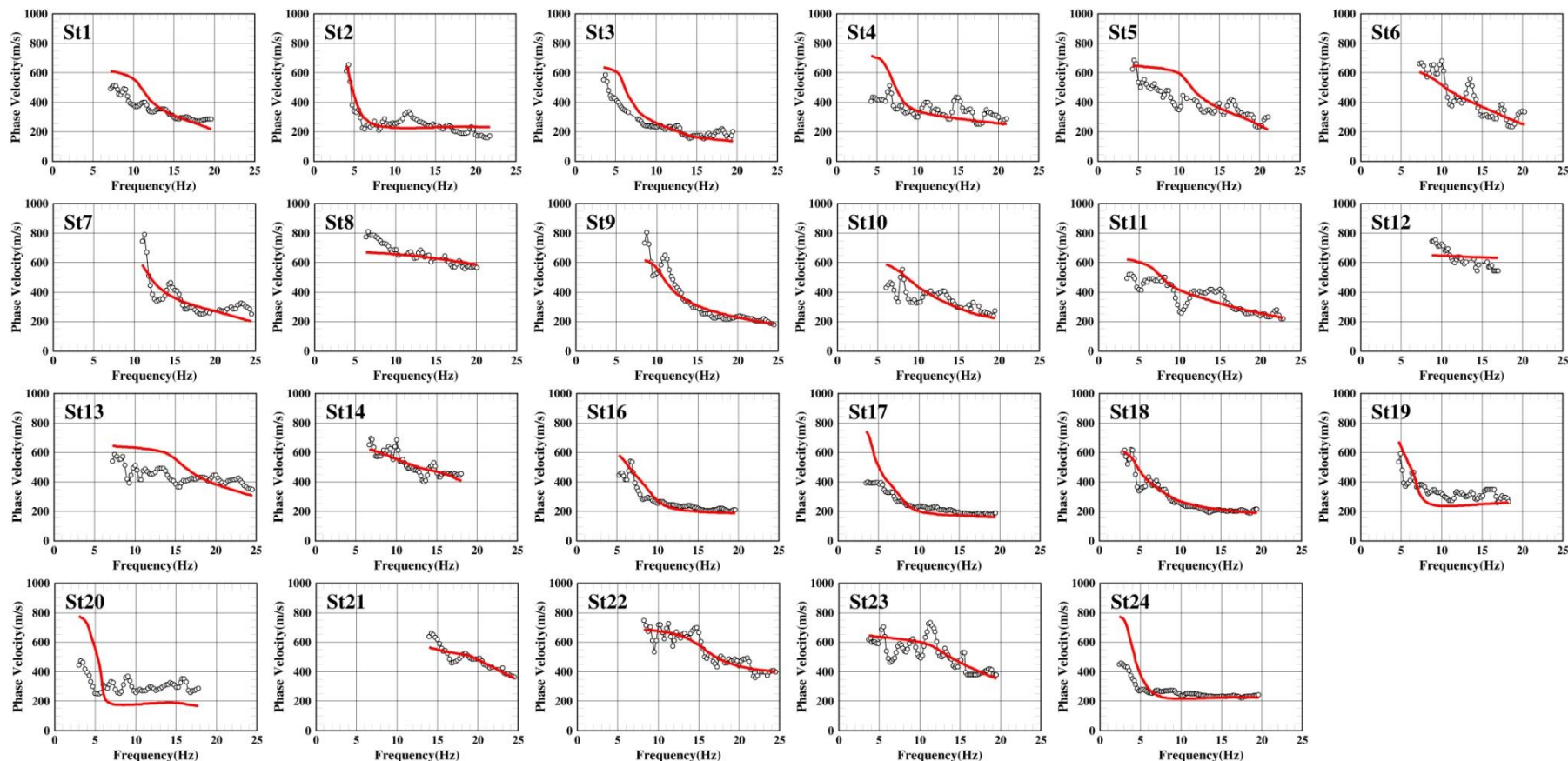
（表層地盤の推定）

○ 5号炉周辺の顕著な増幅が見られた2009年駿河湾の地震の地震波到来方向で発生した地震を除き、敷地の北～西で発生した地震を対象として、敷地のほぼ中央に位置するNo.7を基準とした各観測点のフーリエスペクトル比（水平2方向の平均）を算出した。このフーリエスペクトル比はNo.7に対する各観測点の表層地盤の相対的な増幅特性を表していると考えられる。



<推定表層地盤によるS波増幅度比と自然地震のフーリエスペクトル比との比較>

○表層地盤の推定に際しては、前述の自然地震のフーリエスペクトルを重視するが、観測点近傍において表層地盤を対象に実施した微動アレイ観測による分散曲線のデータも用いる。



・No.15,34はデータ欠測。分散曲線へのフィッティングは地震計設置状況を踏まえ極表層（2m以浅）のみ拘束なし。

— 推定表層地盤の理論分散曲線  
 ..... 微動アレイ探査による分散曲線

<推定表層地盤による理論分散曲線と微動アレイ探査による分散曲線との比較>



# 敷地全体を対象とした多点連続観測記録の分析

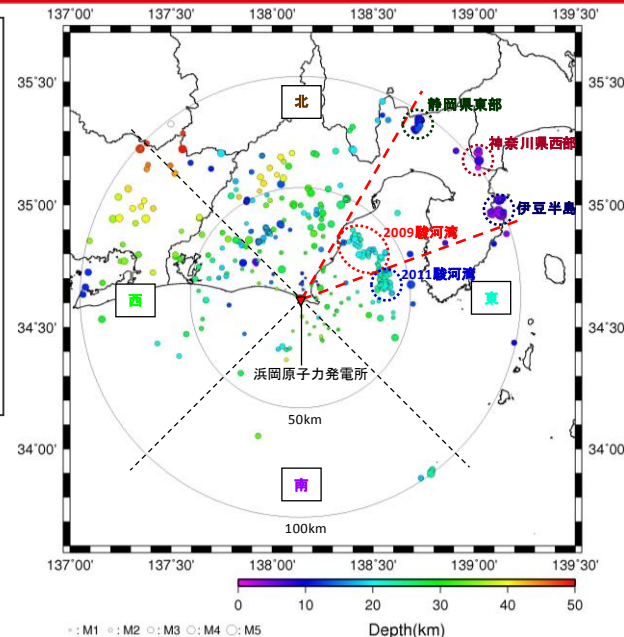
（敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性）

○地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討するため、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。

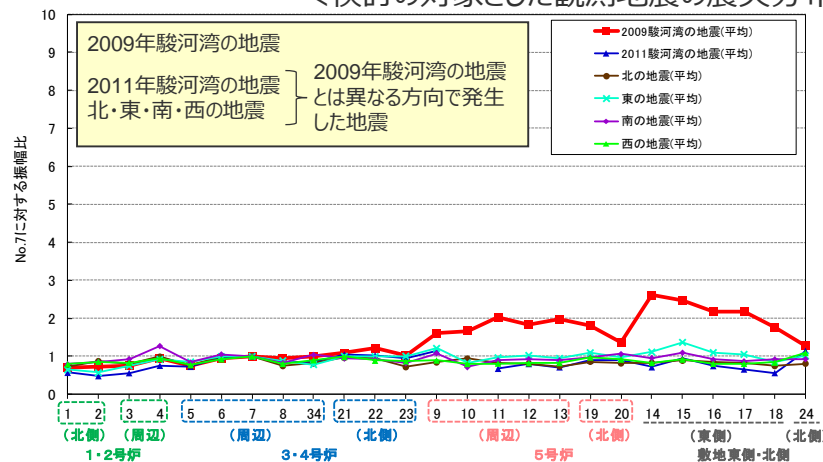
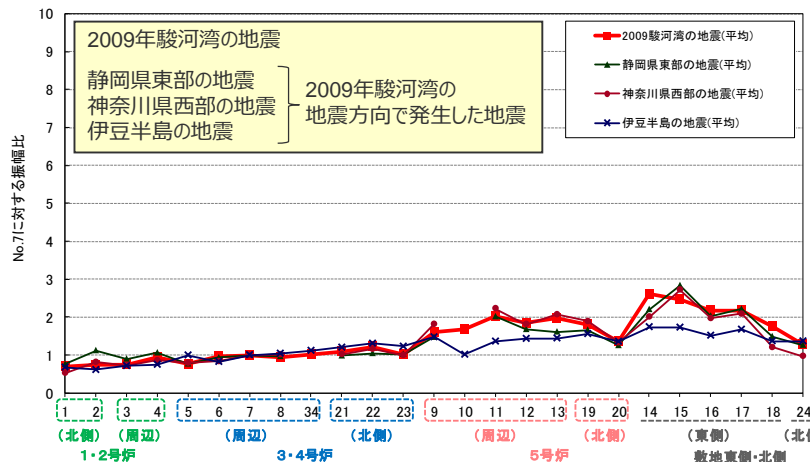
⇒ 5号炉周辺及び敷地東側の観測点では、2009年駿河湾の地震のグループ及びその遠方で発生した地震のグループの振幅比は大きいですが、その他の地震のグループの振幅比は1程度であり、振幅比が最も大きい地震のグループは2009年駿河湾の地震のグループである。

⇒ 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）>（観測期間2009年9月20日～2014年7月26日）

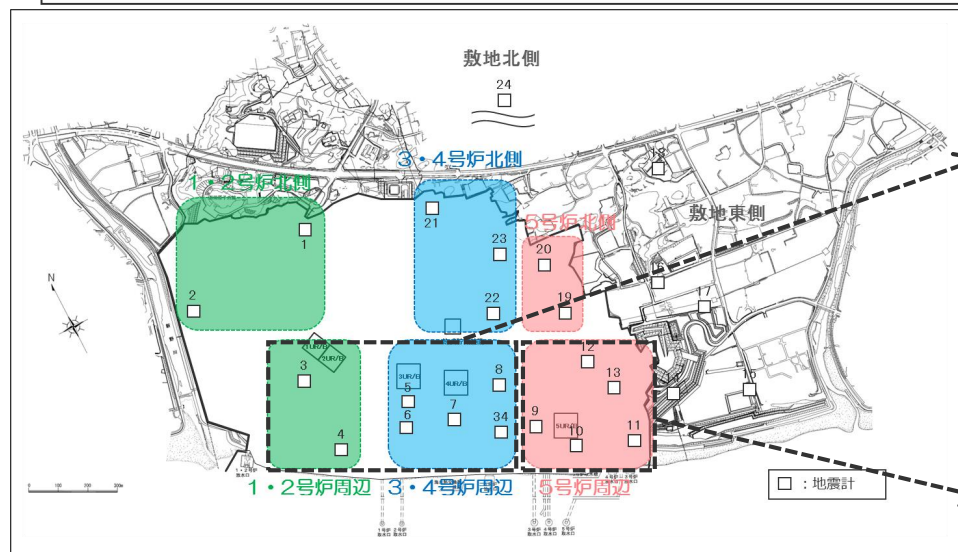
# 敷地全体を対象とした多点連続観測記録の分析

（敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性）

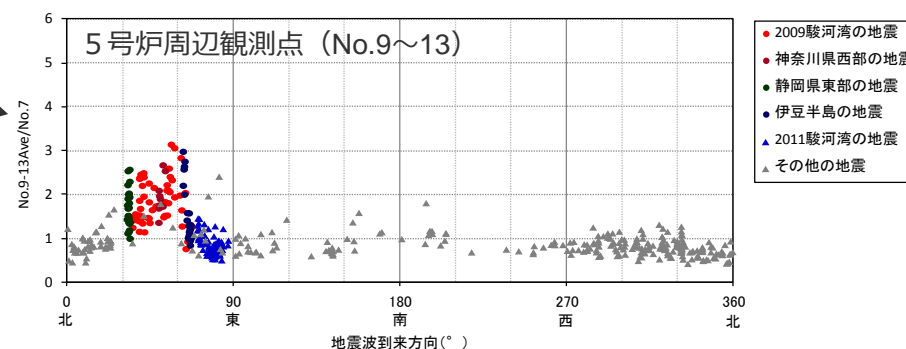
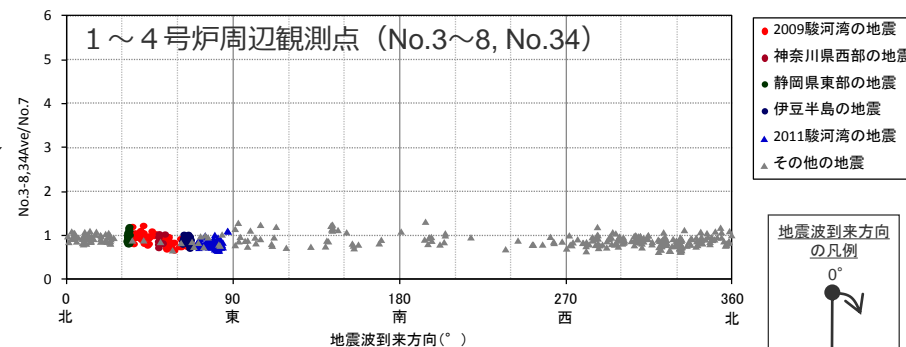
○振幅比が大きい地震のグループが確認された観測点として5号炉周辺（No.9～No.13）を、いずれの地震のグループにおいても振幅比が1程度であった観測点として1～4号炉周辺（No.3～No.8, No.34）をそれぞれグルーピングして、地震波到来方向毎に各地震の振幅比（No.7基準）を算出。

⇒ **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。



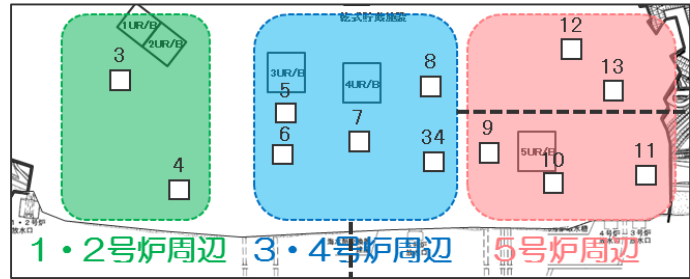
<多点連続地震観測の地震計配置>



<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）（観測期間2009年9月20日～2014年7月26日）

＜補足説明資料①-02 地震観測記録（多点連続観測）の分析＞  
敷地全体を対象とした多点連続観測記録の分析  
（3, 4号炉周辺の地盤増幅特性）

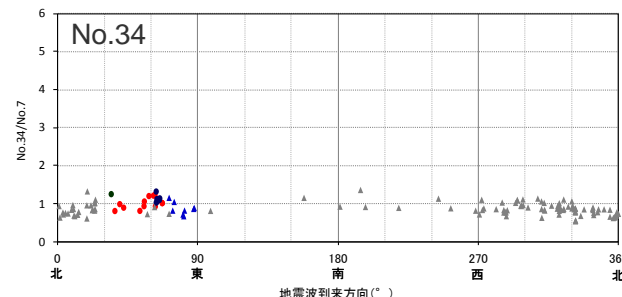
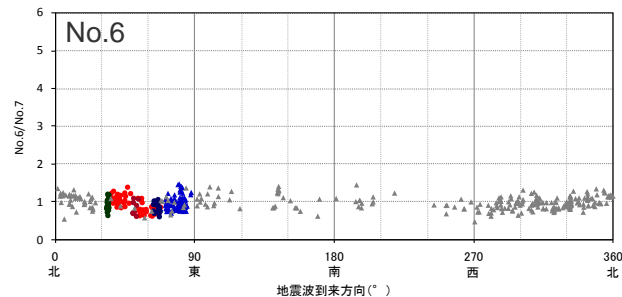
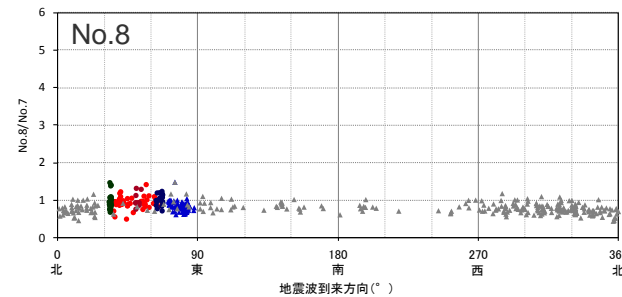
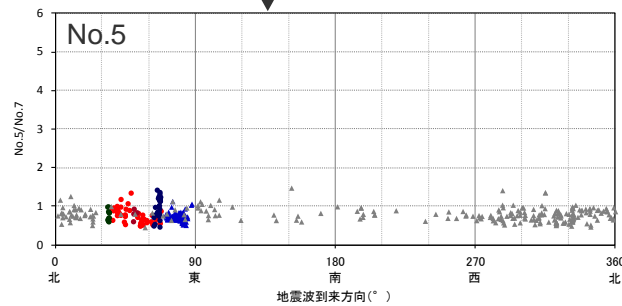
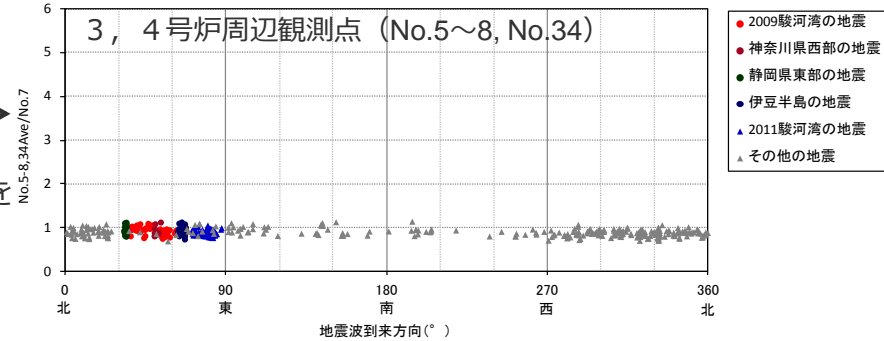
○ 3, 4号炉周辺の観測点（No.5～No.8, No.34）をグルーピングした場合の各地震の振幅比（No.7基準）についても、いずれの地震波到来方向の地震でも振幅比は1程度である。また、3, 4号炉周辺の観測点それぞれの各地震の振幅比（No.7基準）についても、若干のばらつきはあるものの、いずれの地震波到来方向の地震でも振幅比は1程度である。



多点連続地震観測における  
地震計の配置

3, 4号炉周辺の各観測点



3, 4号炉  
周辺の観測点を  
グルーピング





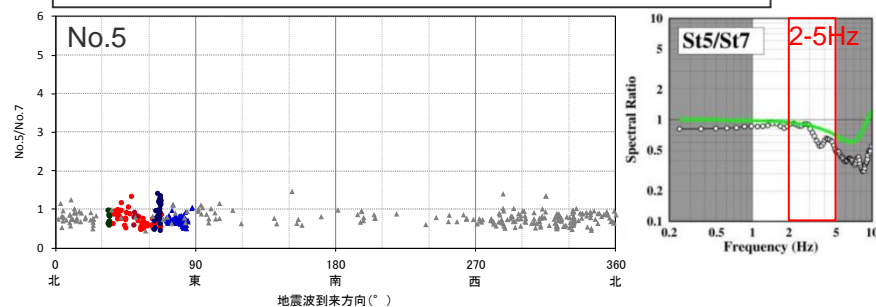
＜各地震の振幅比（No.7基準）と地震波到来方向との関係（水平平均）＞（観測期間2009年9月20日～2014年7月26日）



# 敷地全体を対象とした多点連続観測記録の分析

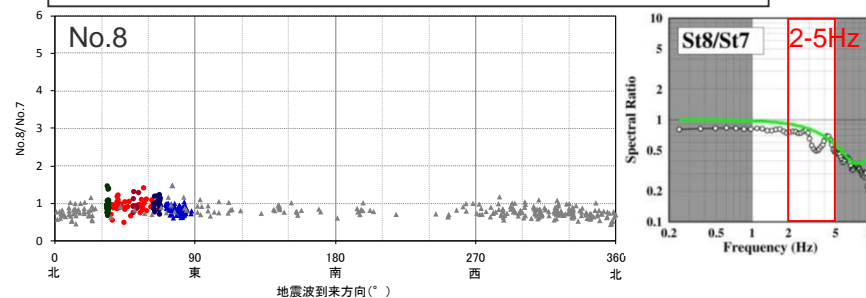
## （3, 4号炉周辺におけるNo.7基準の振幅比に対する考察）



- 観測点間の地盤構造の連続性を考慮して表層地盤を推定しているため、その際に重視している自然地震のフーリエスペクトルにおいて、観測記録（下図の ) と理論値（下図の ) に若干の差が生じる場合があり、その差がNo.7観測点のはざとり波を基準とした各観測点の振幅比に反映される。
- No.5, 8, 34観測点の振幅比（No.7基準）は1より若干小さくなっているが、これは上記の理由によるものであり、有意な特性を示すものではない。また、S波低速度層による影響を受ける場合、特定方向（対象観測点からS波低速度層へ方向）の地震波のみに顕著な増幅が見られることとなるが、そのような傾向も認められない。

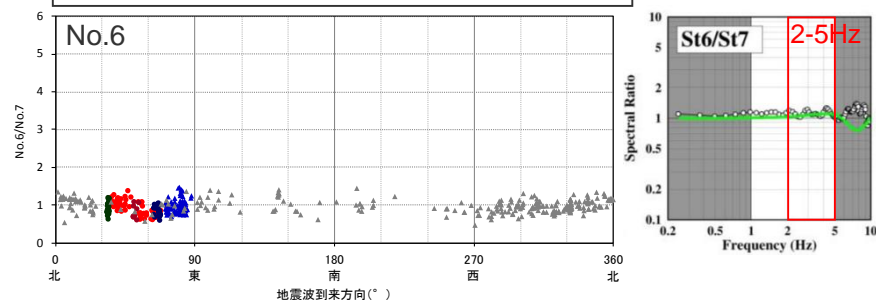
 は  より若干大きい。  
⇒No.5観測点の振幅比（No.7基準）は1より若干小さくなる。





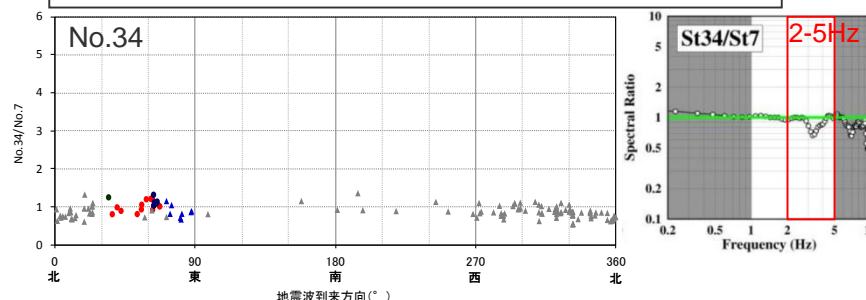
 は  より若干大きい。  
⇒No.8観測点の振幅比（No.7基準）は1より若干小さくなる。





 は  は同程度。  
⇒No.6観測点の振幅比（No.7基準）は1程度。



 は  より若干大きい。  
⇒No.34観測点の振幅比（No.7基準）は1より若干小さくなる。



 推定表層地盤のS波増幅度比（No.7基準）  
 自然地震のフーリエスペクトル比（No.7基準）

<左図：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）>  
<右図：推定表層地盤によるS波増幅度比と自然地震のフーリエスペクトル比との比較>

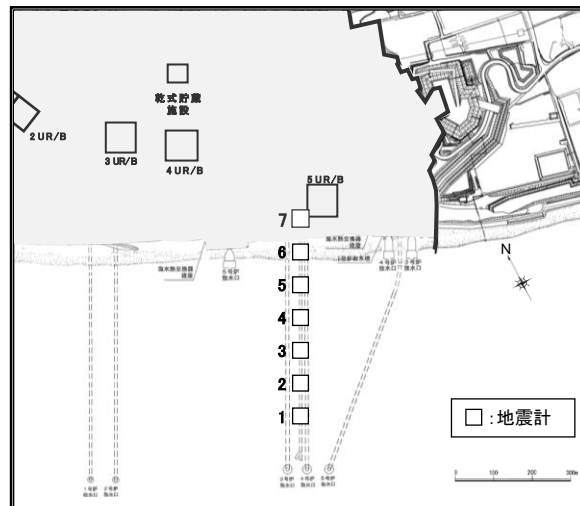
補足説明資料①-03  
地震観測記録（海底試掘トンネル観測）の分析

---

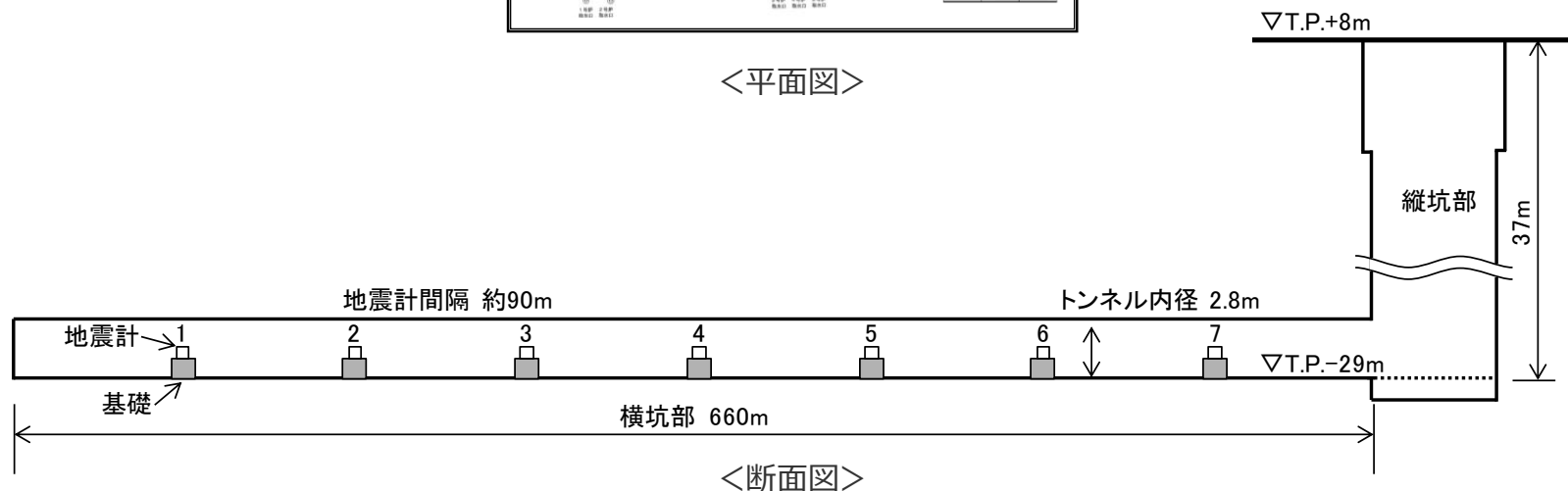
# 海底試掘トンネルにおける連続地震観測

(地震計の配置)

- 敷地では、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、連続地震観測を行っていた。
- 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～No.7）設置していた。



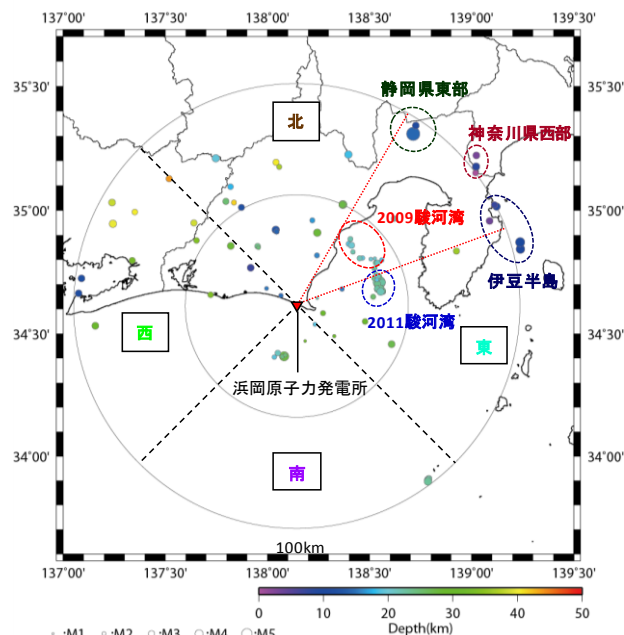
<平面図>



<断面図>

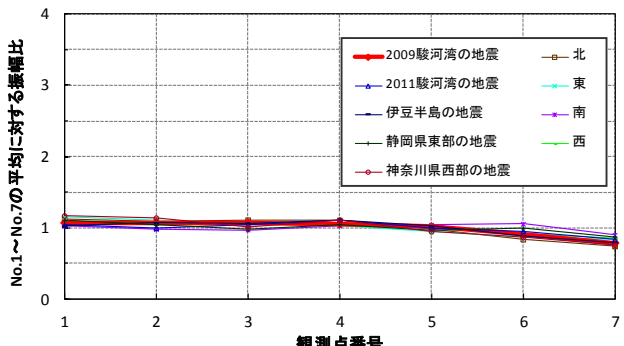


# 海底試掘トンネルにおける連続地震観測記録の分析 (海域部における地震波到来方向毎の地盤増幅特性)

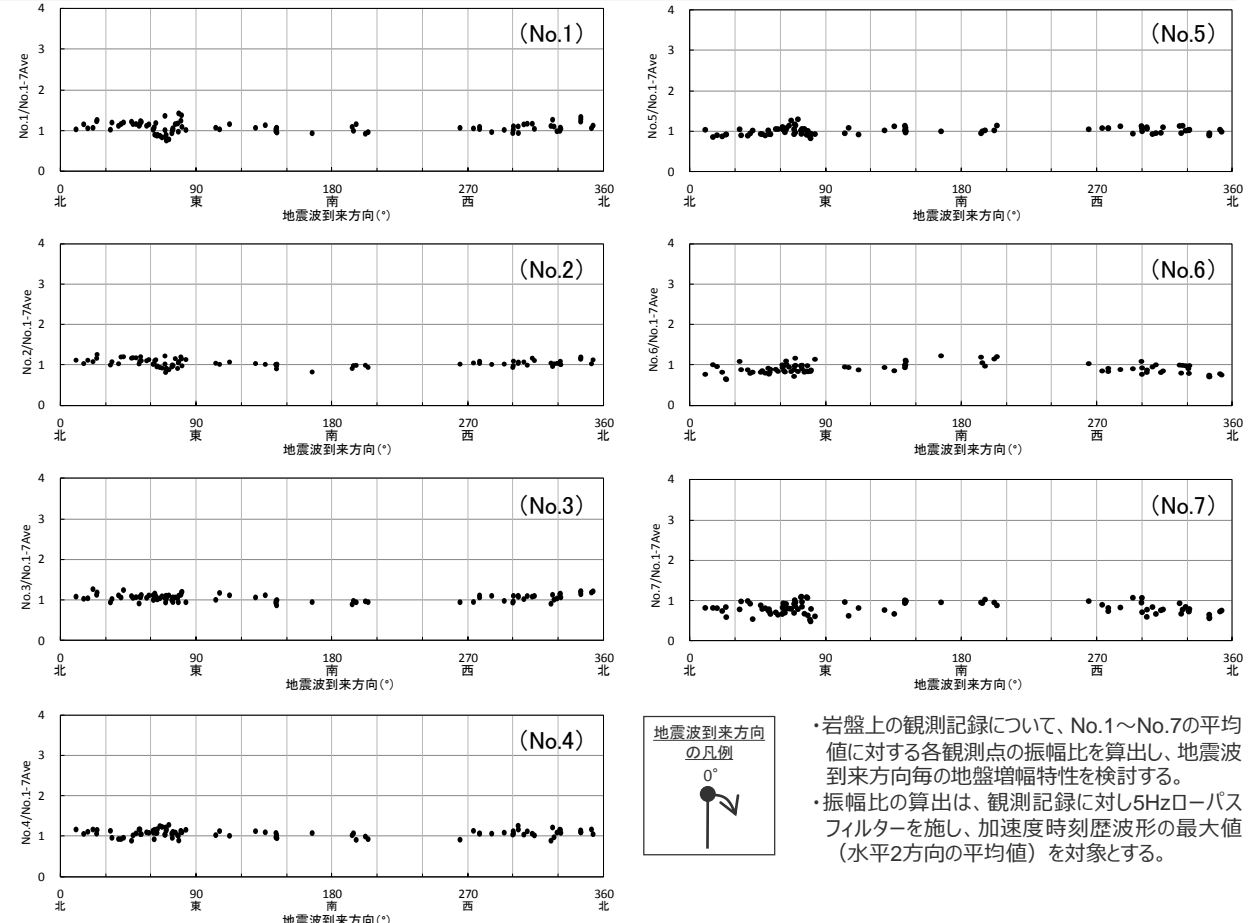


○地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討するため、前述の「多点連続地震観測」と同様、No.1～No.7の平均値に対する各観測点の振幅比を算出。  
⇒2009年駿河湾の地震の地震波到来方向を含めて各観測点の振幅比は1程度である。

＜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（水平平均）＞



・岩盤上の観測記録について、No.1～No.7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。

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

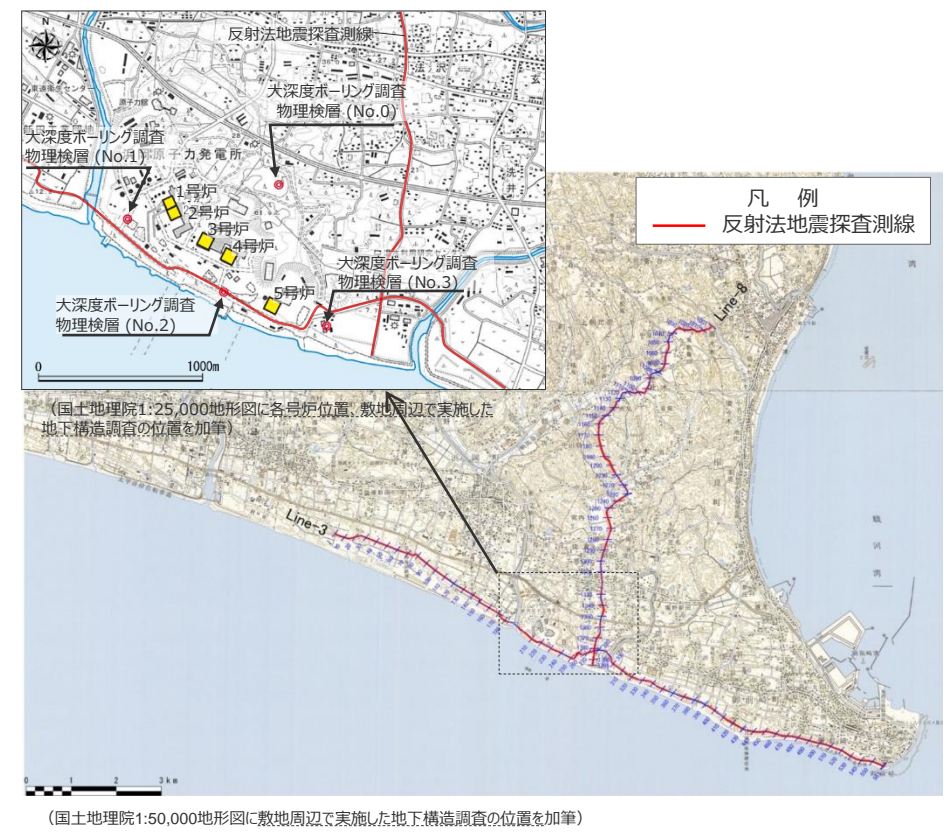
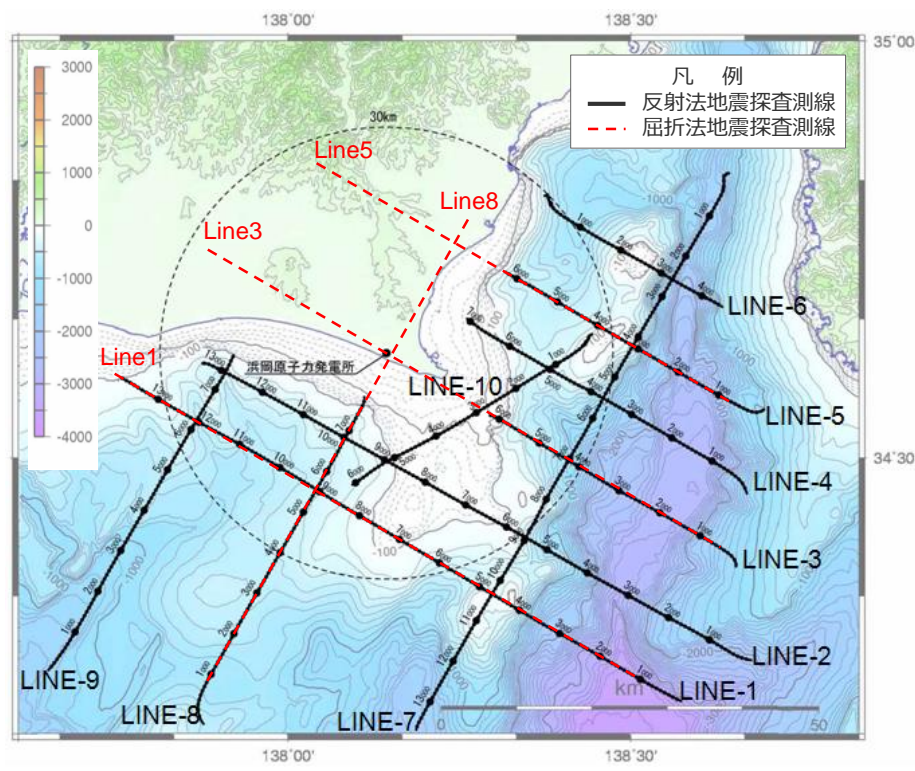
補足説明資料①-04  
敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）の調査

---



<補足説明資料①-04 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）の調査>  
調査概要

○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くなった要因を受け、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を対象として、屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層を実施している。



<補足説明資料①-04 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）の調査>

## 調査の仕様

### ・屈折法地震探査

	発振源	仕様	発振間隔
海域部	チューンドアレイエアガン	7800cu.in (1,950cu.in×4列)	約50m
陸域部	起振車 (バイプロサイズ車) 18t×4台	起振マス : 3t (最大荷重約13.6t) 発振周波数 : 6~30Hz程度 発振時間 : 16秒× (200回程度)	約5km

	受振器	仕様	受振間隔
海域部	OBS (独立式海底地震計)	3成分速度計+圧力センサー	約2.5km
	ハイドロフォン	圧電素子	約2.5km
	OBC (ベイクーブル)	圧電素子	約25m
陸域部	独立式地震計	1成分速度計 (固有周波数: 10Hz)	約500m※

※敷地近傍（反射法地震探査区間）では25m間隔で受振、左記の一部区間では3成分速度計も設置

### ・反射法地震探査

	発振源	仕様	発振間隔
海域部	チューンドアレイエアガン	7800cu.in (1,950cu.in×4列)	約50m
陸域部	起振車 (バイプロサイズ車) 18t×1~4台	起振マス : 3t (最大荷重約13.6t) 発振周波数 : 8~60Hz程度 発振時間 : 16秒× (10回程度)	約50m

	受振器	仕様	受振間隔
海域部	ハイドロフォン	圧電素子	約12.5m
陸域部	独立式地震計	1成分速度計 (固有周波数: 10Hz)	約25m

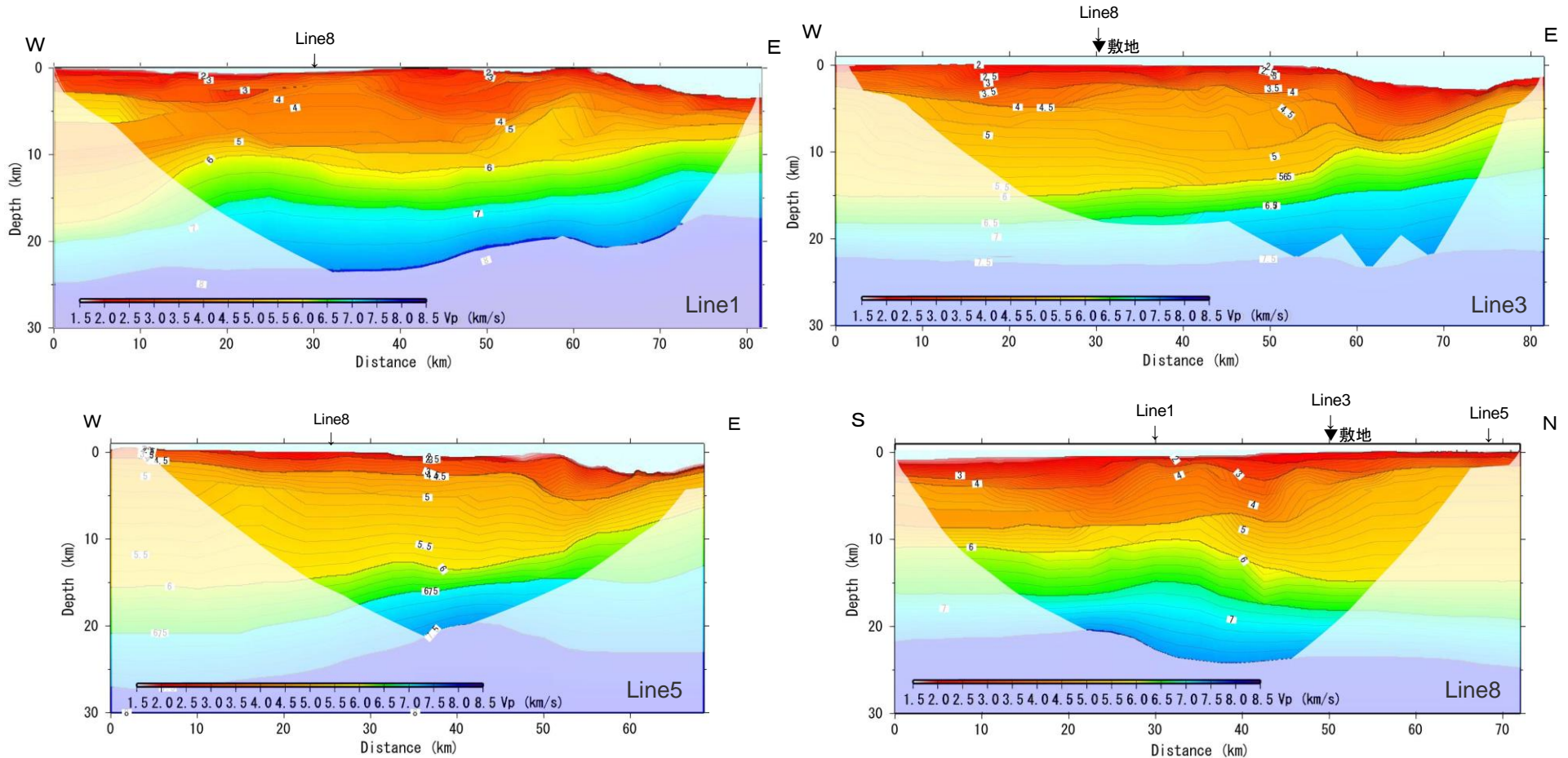
### ・大深度ボーリング調査、物理検層

深度	掘削本数	測定物性
1,500m	4本	PS検層 (ダウンホール法、サスペンション法)、密度検層、温度検層

<補足説明資料①-04 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）の調査>  
敷地周辺の速度構造（屈折法探査結果（海陸統合））

○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ると、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>

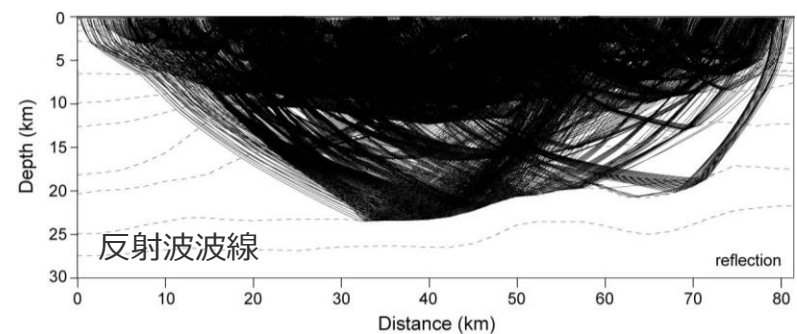
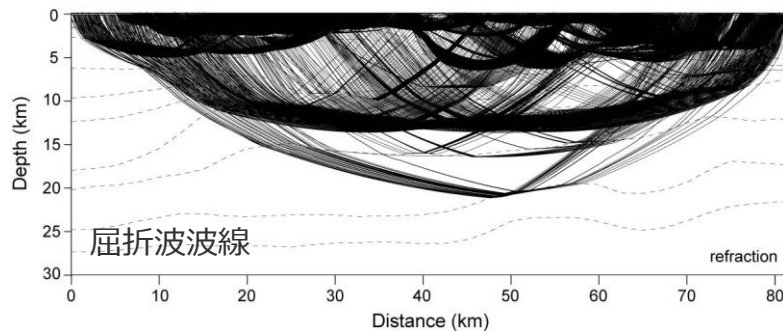
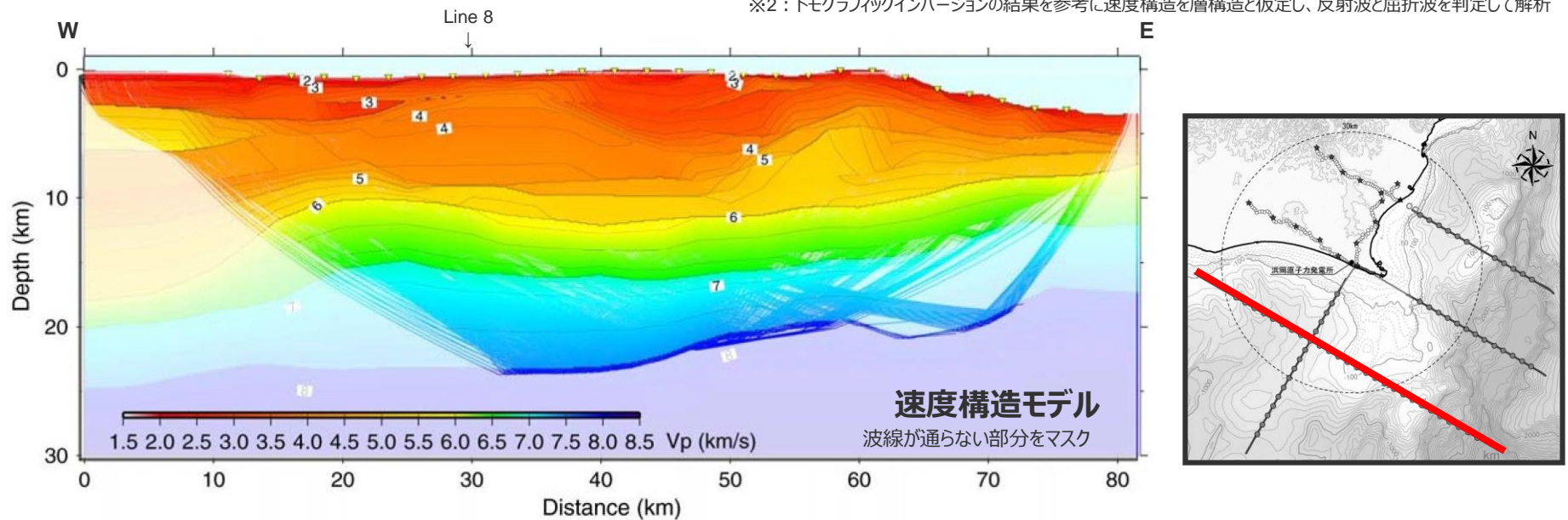


# 敷地周辺の速度構造（屈折法探査結果（海陸統合））

## （P波速度構造（Line1））

- 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※1とフォワードモデリングによる走時解析※2を実施し、P波速度構造を検討。
- 東西方向（駿河トラフのトラフ軸直交方向）の深部からやや浅部のP波速度構造が確認できる。

※1：反射波と屈折波の走時の解釈をせず、最初に到達したフェースを初動として解析  
※2：トモグラフィックインバージョンの結果を参考に速度構造を層構造と仮定し、反射波と屈折波を判定して解析



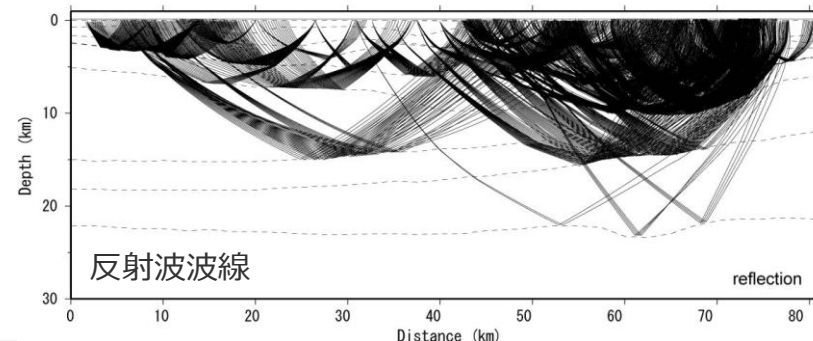
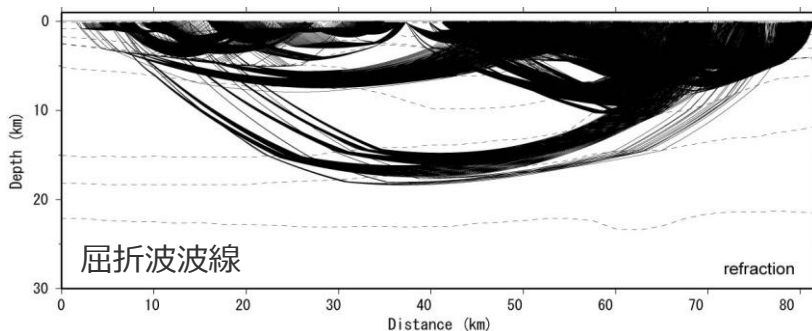
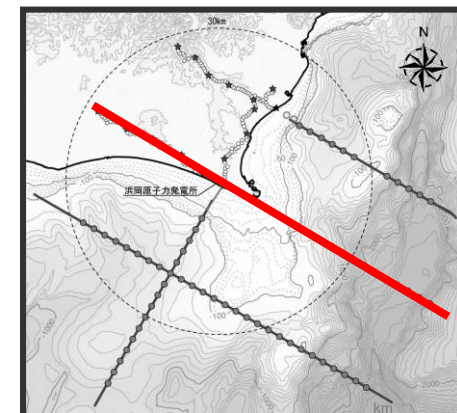
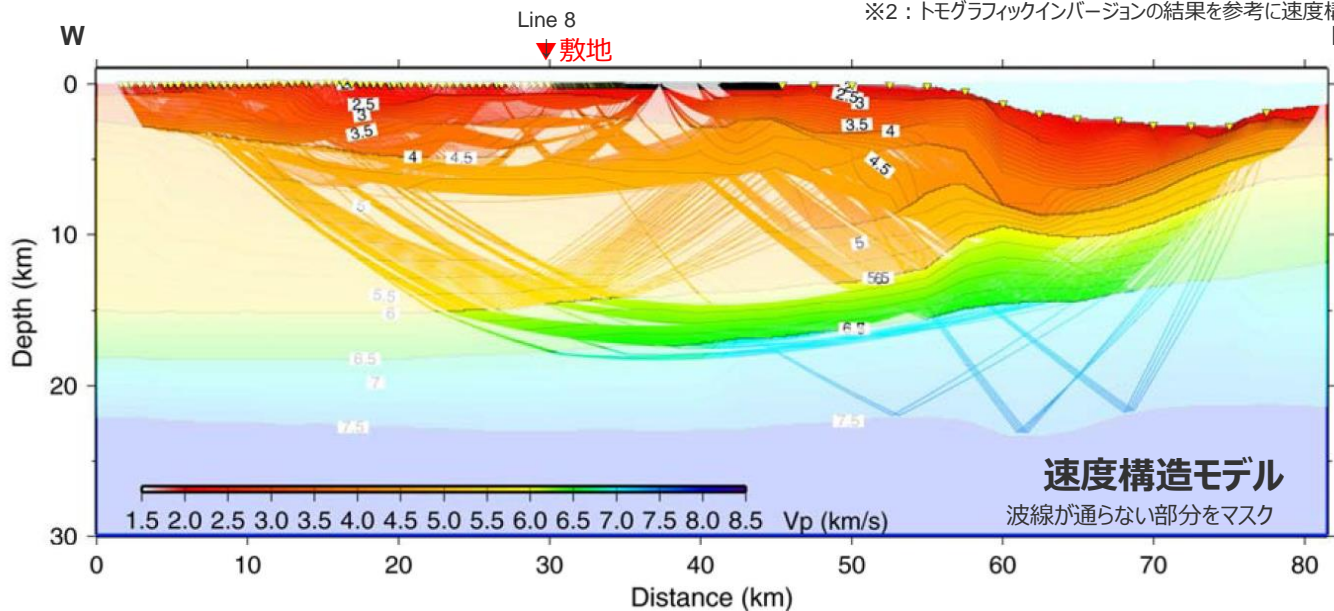
# 敷地周辺の速度構造（屈折法探査結果（海陸統合））

## （P波速度構造（Line3））

- 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※1とフォワードモデリングによる走時解析※2を実施し、P波速度構造を検討。
- 敷地を通る東西方向（駿河トラフのトラフ軸直交方向）の深部からやや浅部のP波速度構造が確認できる。

※1：反射波と屈折波の走時の解釈をせず、最初に到達したフェースを初動として解析

※2：トモグラフィックインバージョンの結果を参考に速度構造を層構造と仮定し、反射波と屈折波を判定して解析



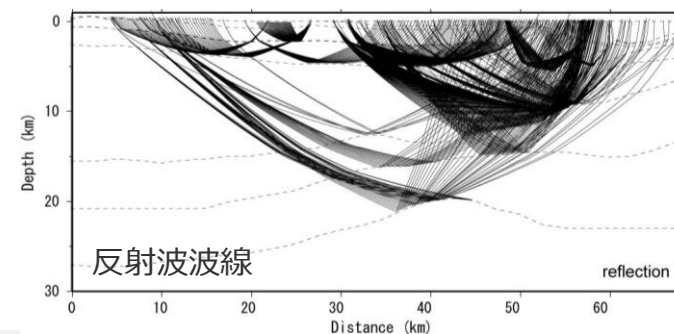
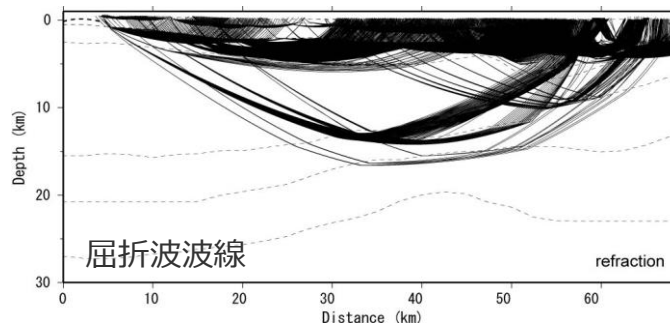
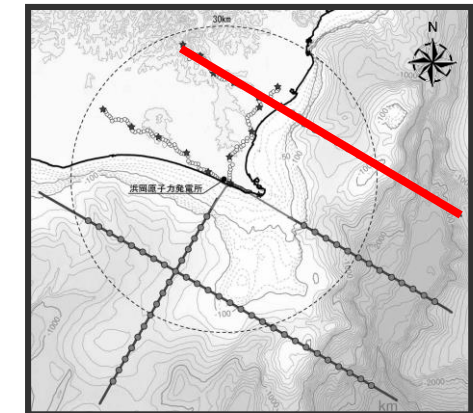
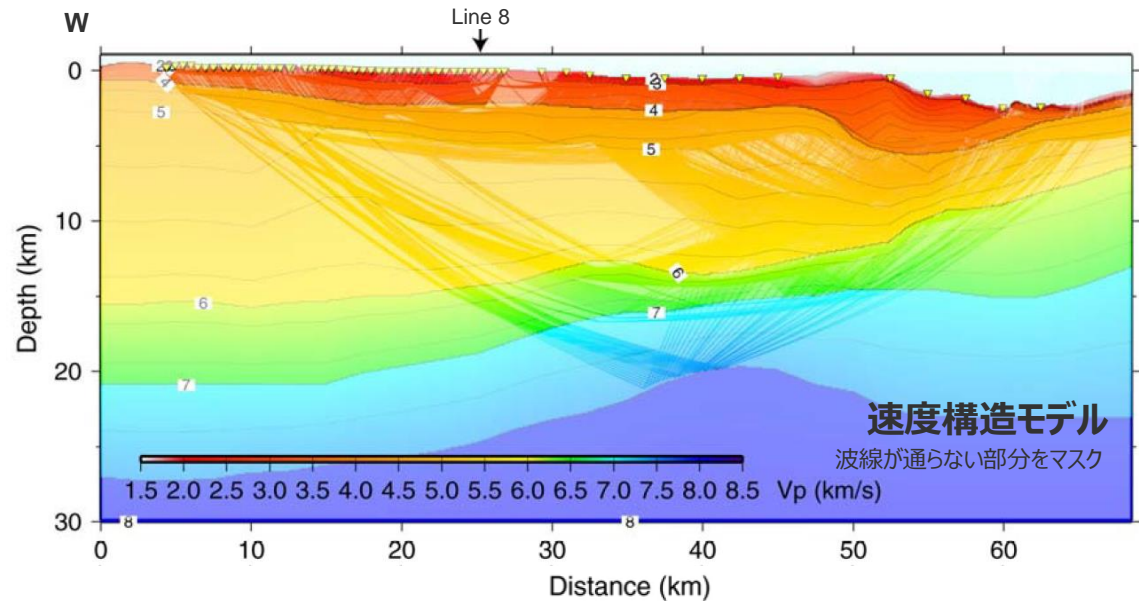


# 敷地周辺の速度構造（屈折法探査結果（海陸統合））

## （P波速度構造（Line5））

- 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※1とフォワードモデリングによる走時解析※2を実施し、P波速度構造を検討。
- 東西方向（駿河トラフのトラフ軸直交方向）の深部からやや浅部のP波速度構造が確認できる。

※1：反射波と屈折波の走時の解釈をせず、最初に到達したフェースを初動として解析  
※2：トモグラフィックインバージョンの結果を参考に速度構造を層構造と仮定し、反射波と屈折波を判定して解析



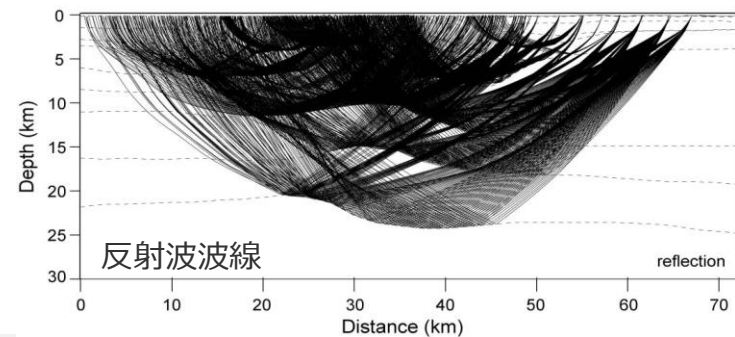
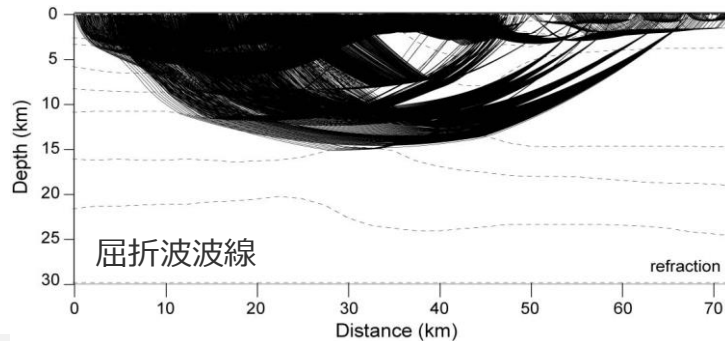
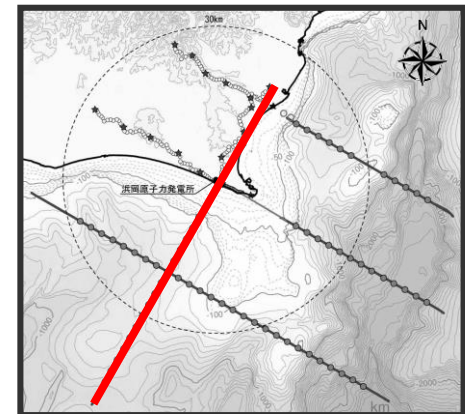
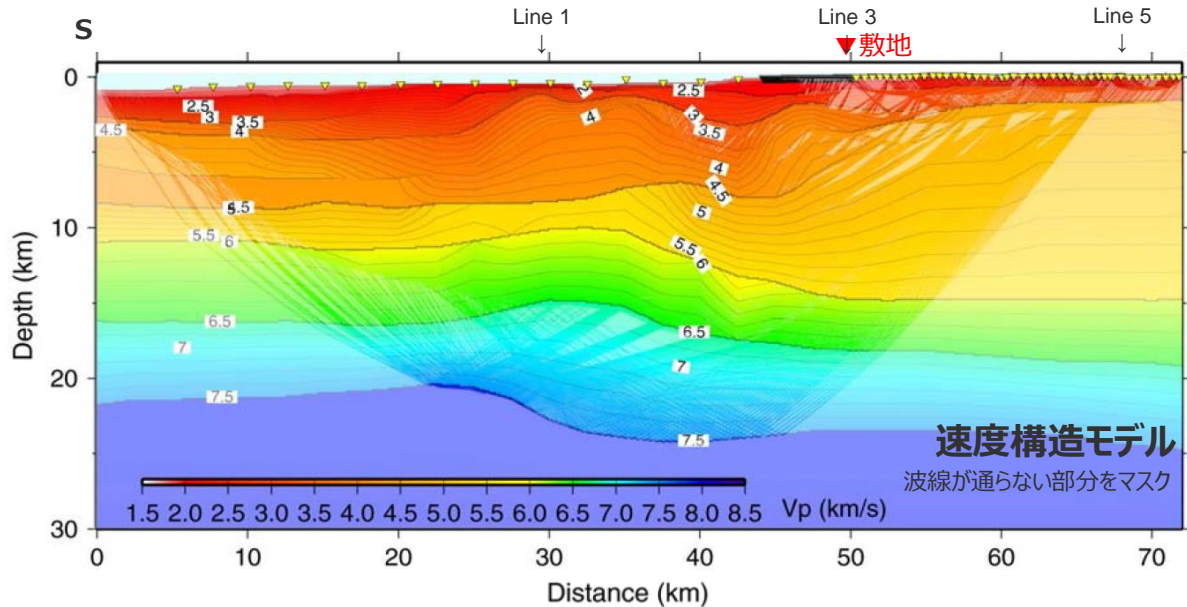
# 敷地周辺の速度構造（屈折法探査結果（海陸統合））

## （P波速度構造（Line8））

- 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※1とフォワードモデリングによる走時解析※2を実施し、P波速度構造を検討。
- 敷地近傍を通る南北方向（駿河トラフのトラフ軸平行方向）の深部からやや浅部のP波速度構造が確認できる。

※1：反射波と屈折波の走時の解釈をせず、最初に到達したフェースを初動として解析

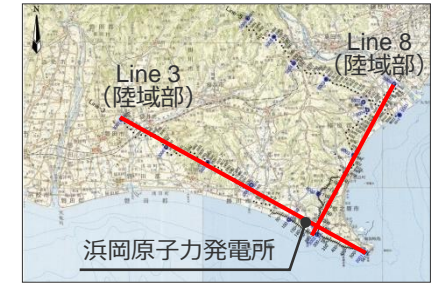
※2：トモグラフィックインバージョンの結果を参考に速度構造を層構造と仮定し、反射波と屈折波を判定して解析





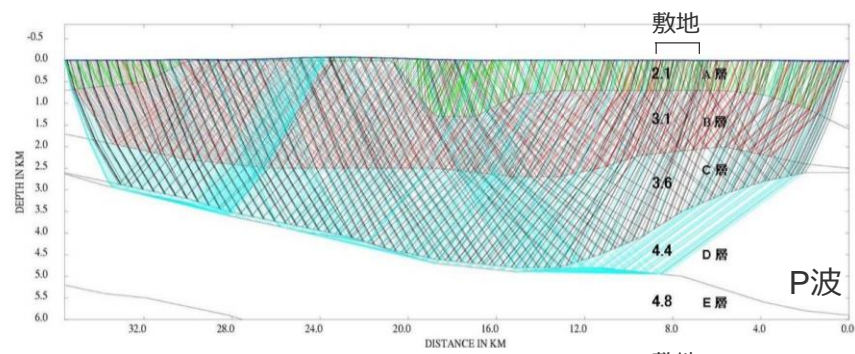
<補足説明資料①-04 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）の調査>  
敷地周辺の速度構造（屈折法探査結果（陸域部））

○速度構造調査として実施した屈折法地震探査のうち、明瞭なSV波が観測されたLine3およびLine8測線の陸域部については、P波及びSV波の走時解析を実施しており、敷地周辺の地震基盤面及びそれ以浅のP波、S波速度構造を把握している。

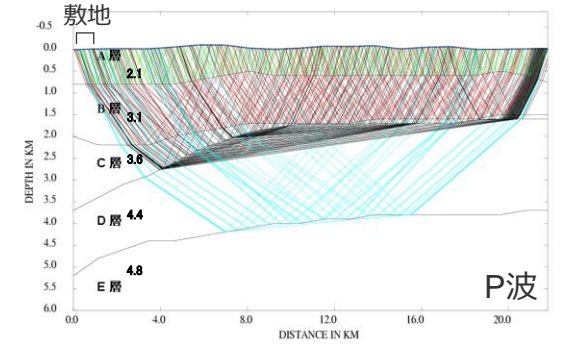
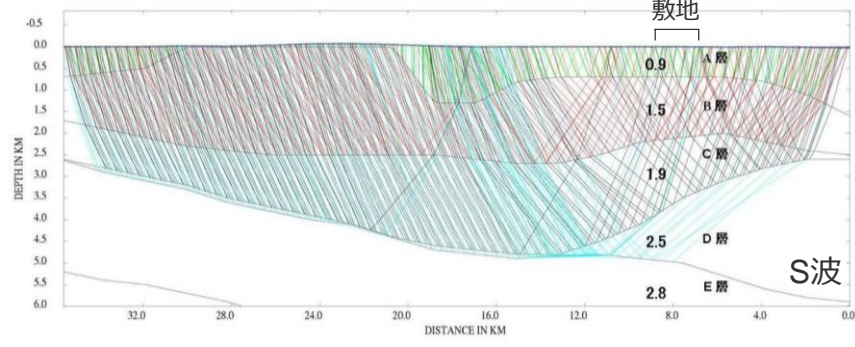


(国土地理院1:200,000地形図に敷地位置、敷地周辺で実施した地下構造調査の位置を加筆)

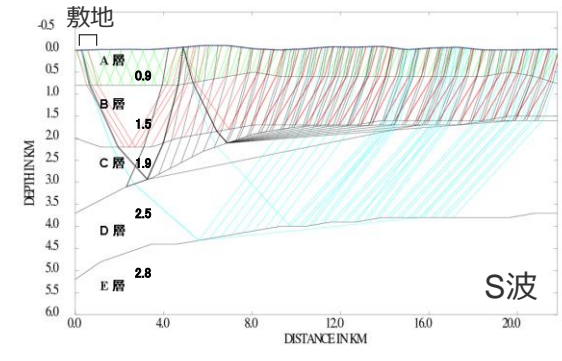
・前述の海陸統合のP波速度構造を踏まえ、5層（A-E層）の多層速度モデルを設定し、レイトレーシング解析によりP波、S波速度構造を検討。



(Line3陸域部)



(Line8陸域部)



<屈折法地震探査（陸域部）のP波・S波速度構造>



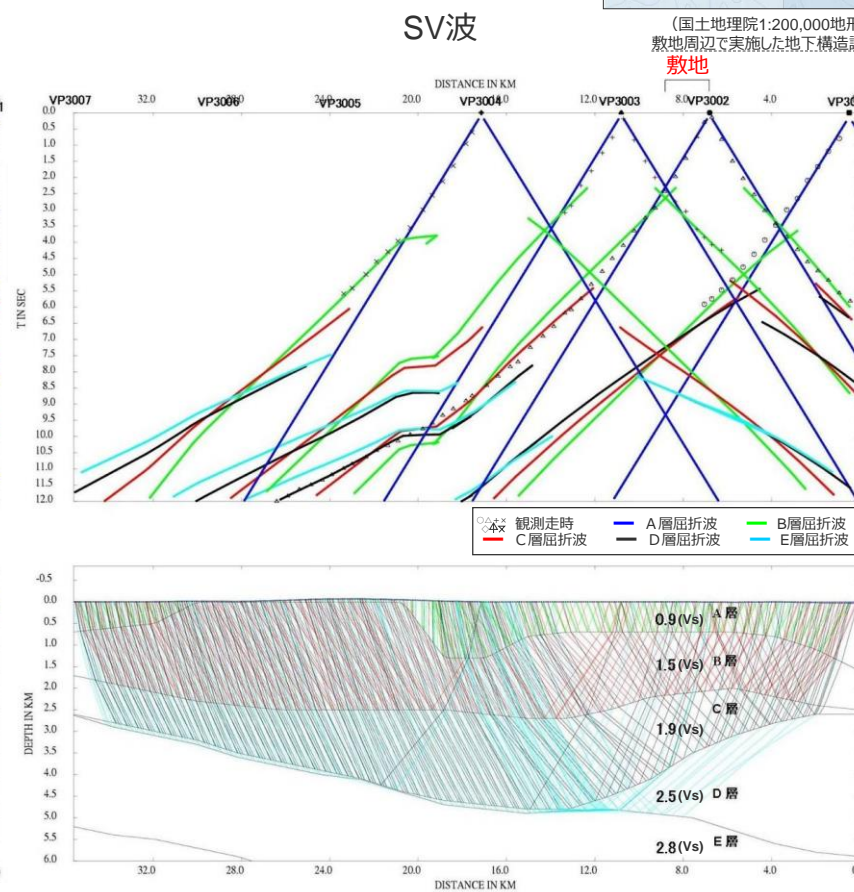
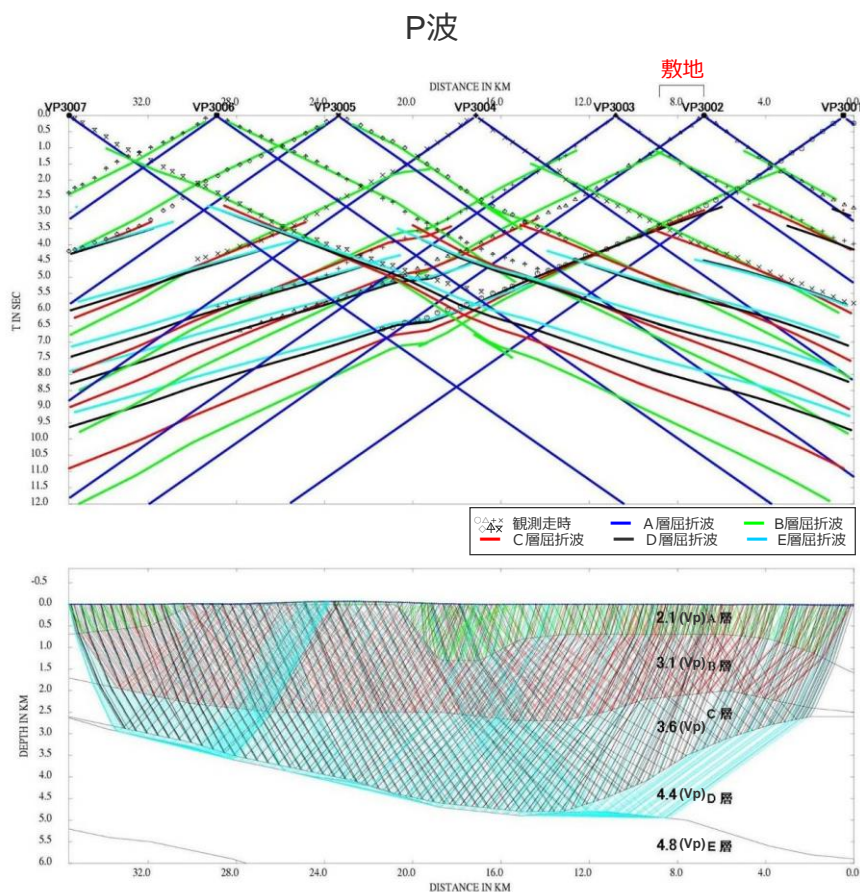
# 敷地周辺の速度構造（屈折法探査結果（陸域部））

（P波、S波速度構造（Line3陸域部））

- 海陸統合の速度構造モデルを踏まえ、速度モデルを5層（A-E層）に層区分し、レイトレーシング解析により各層のP波、S波速度が一様である多層速度モデルを検討。
- 敷地を通る東西方向の地震基盤面とそれ以浅のP波、S波速度構造が確認できる。



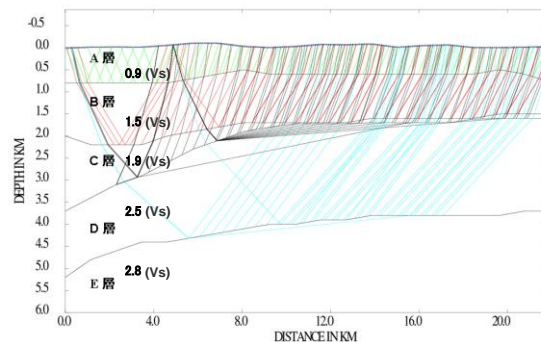
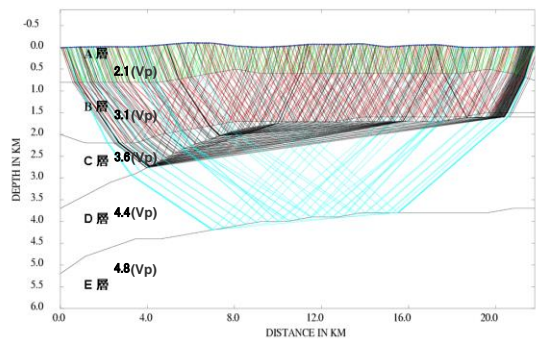
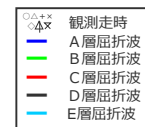
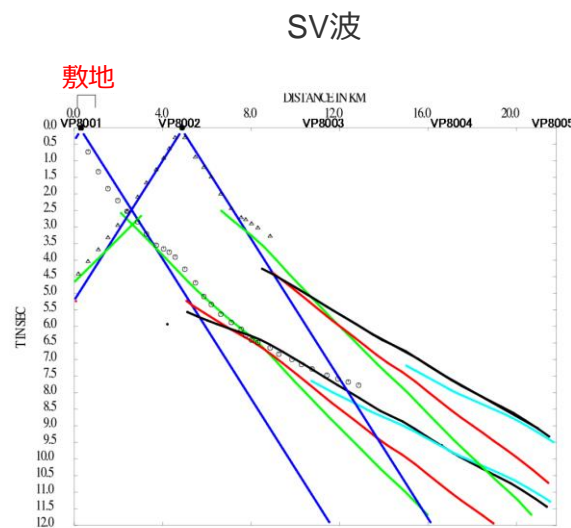
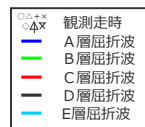
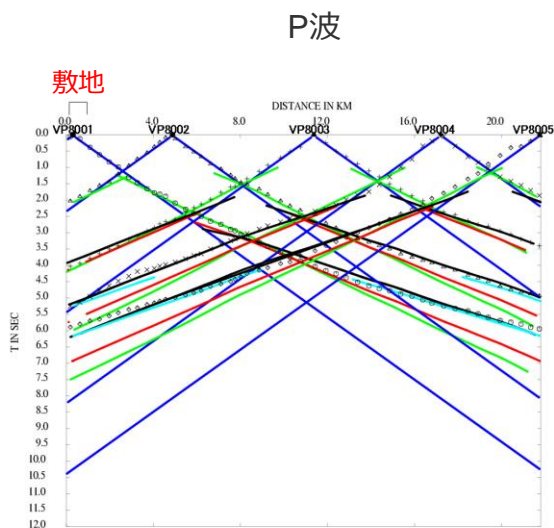
（国土地理院1:200,000地形図に敷地位置、敷地周辺で実施した地下構造調査の位置を加筆）



# 敷地周辺の速度構造（屈折法探査結果（陸域部））

（P波、S波速度構造（Line8陸域部））

- 海陸統合の速度構造モデルを踏まえ、速度モデルを5層（A-E層）に層区分し、レイトレーシング解析により各層のP波、S波速度が一様である多層速度モデルを検討。
- 敷地近傍を通る南北方向の地震基盤面とそれ以浅の速度構造が確認できる。



(国土地理院1:200,000地形図に敷地位置、敷地周辺で実施した地下構造調査の位置を加筆)



# 敷地周辺の速度構造（屈折法探査結果（海陸統合及び陸域部））

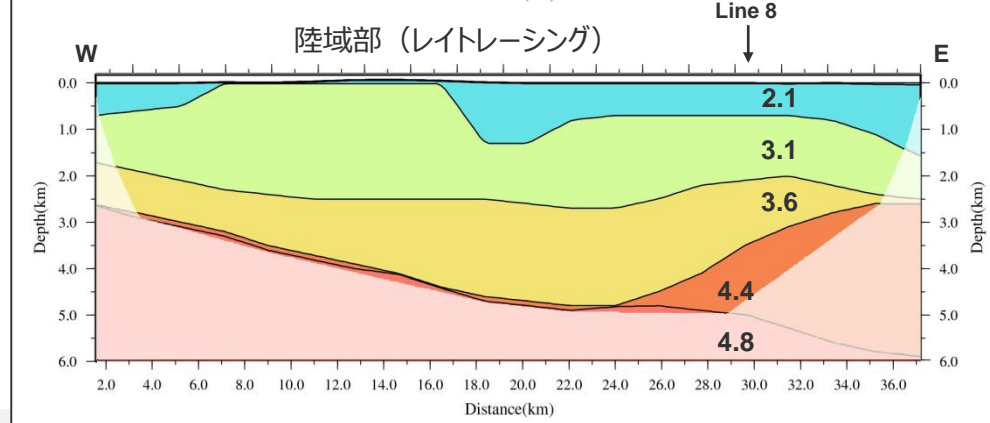
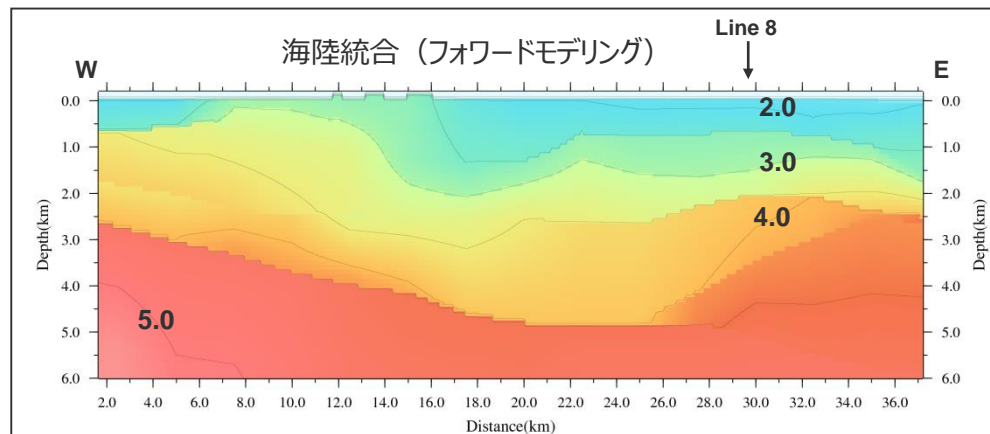
（P波速度構造の比較（海陸統合及び陸域部））

- 海陸統合のフォワードモデリング解析結果と、陸域部のレイトレーシング解析結果を示す。
- フォワードモデリング解析とレイトレーシング解析によるP波速度構造は比較的良く一致する。

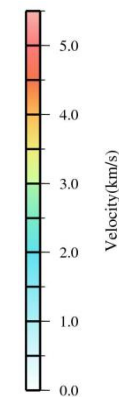
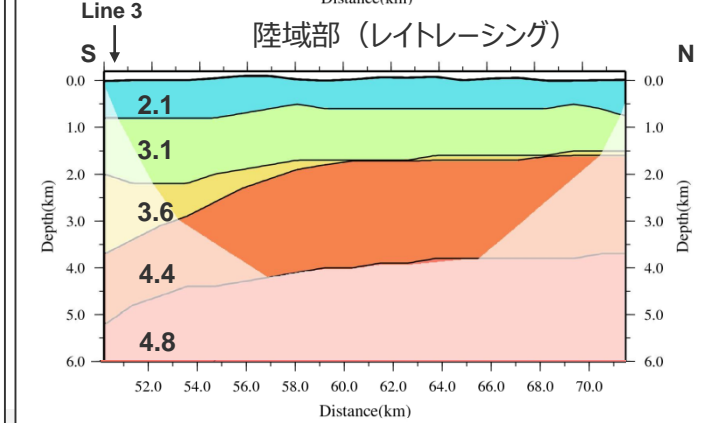
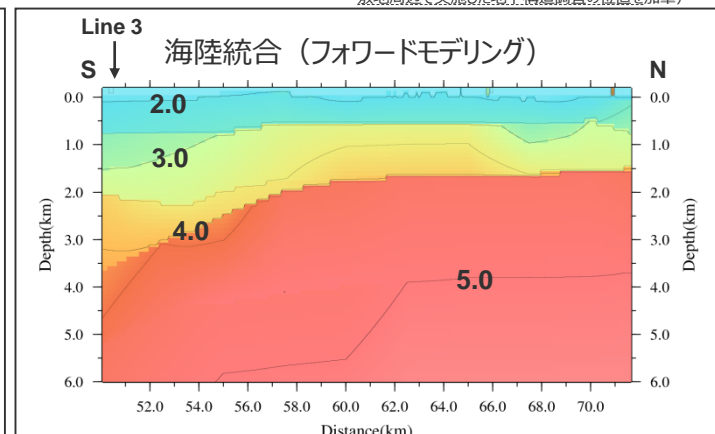


（国土地理院1:200,000地形図に敷地位置、敷地周辺で実施した地下構造調査の位置を加筆）

<Line3>

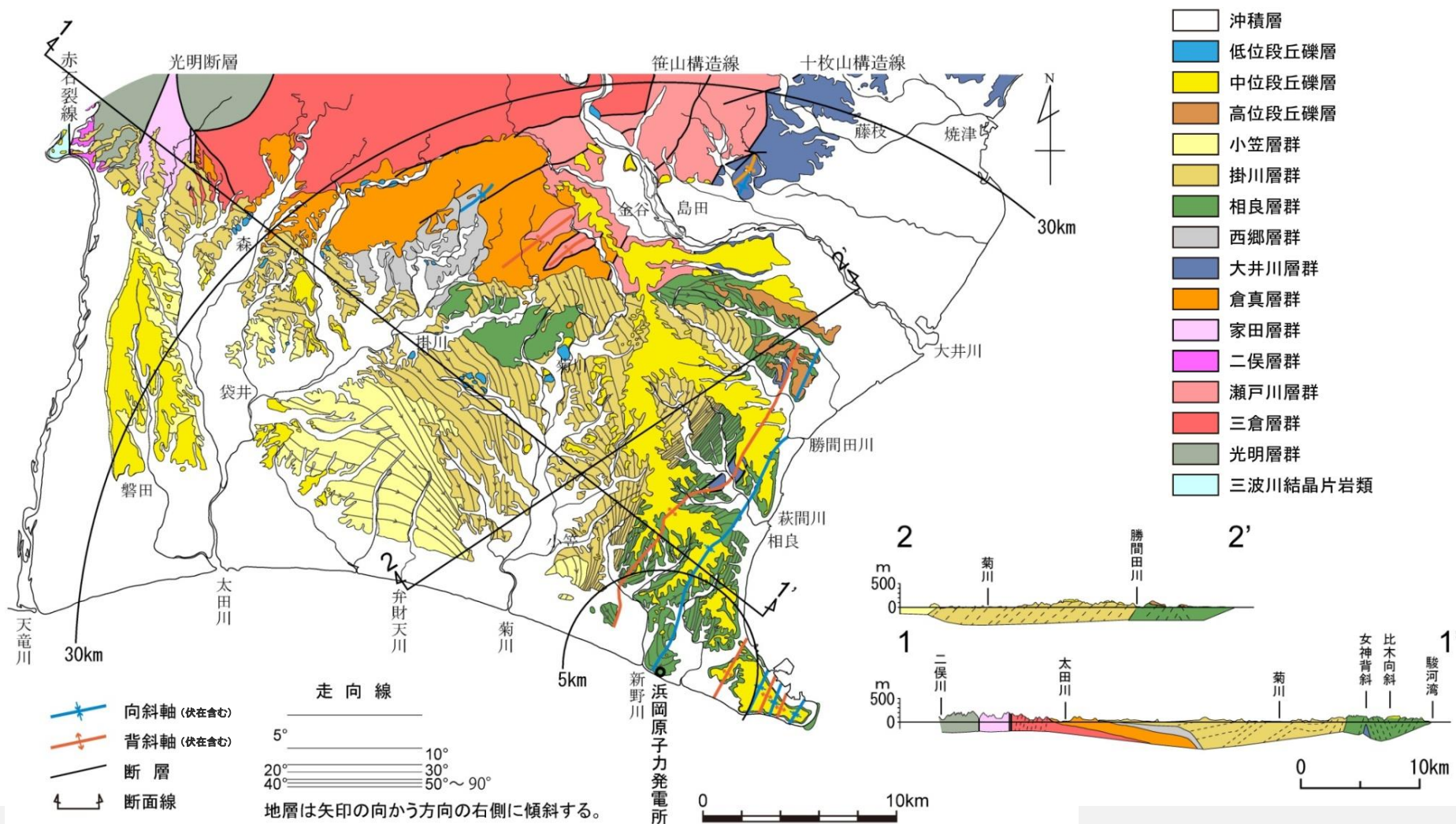


<Line8>

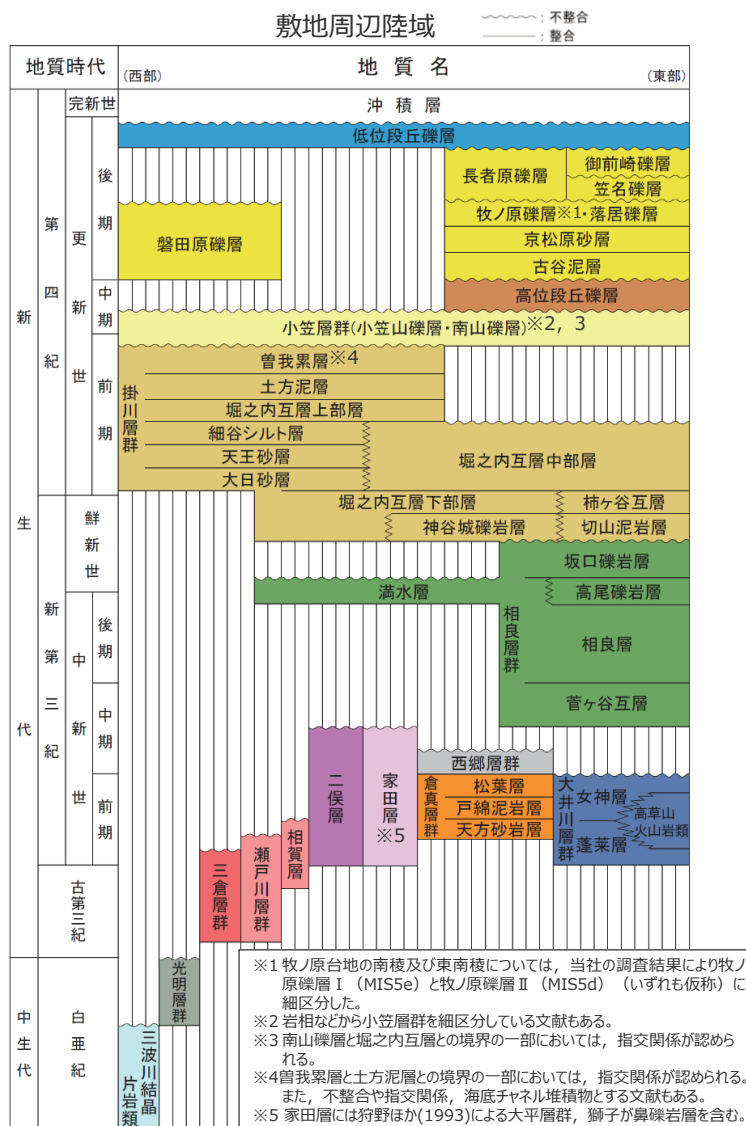


（地質図・地質構造図）

○敷地周辺の陸域に分布する中生代～新生代新第三紀中新世前期の地層は、一般に東西方向で帯状に分布し、北から南に向かって順次新しい地層が分布する。



＜補足説明資料①-04 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）の調査＞  
**敷地周辺の地下構造（敷地から半径約30km）**  
 （地質層序表）



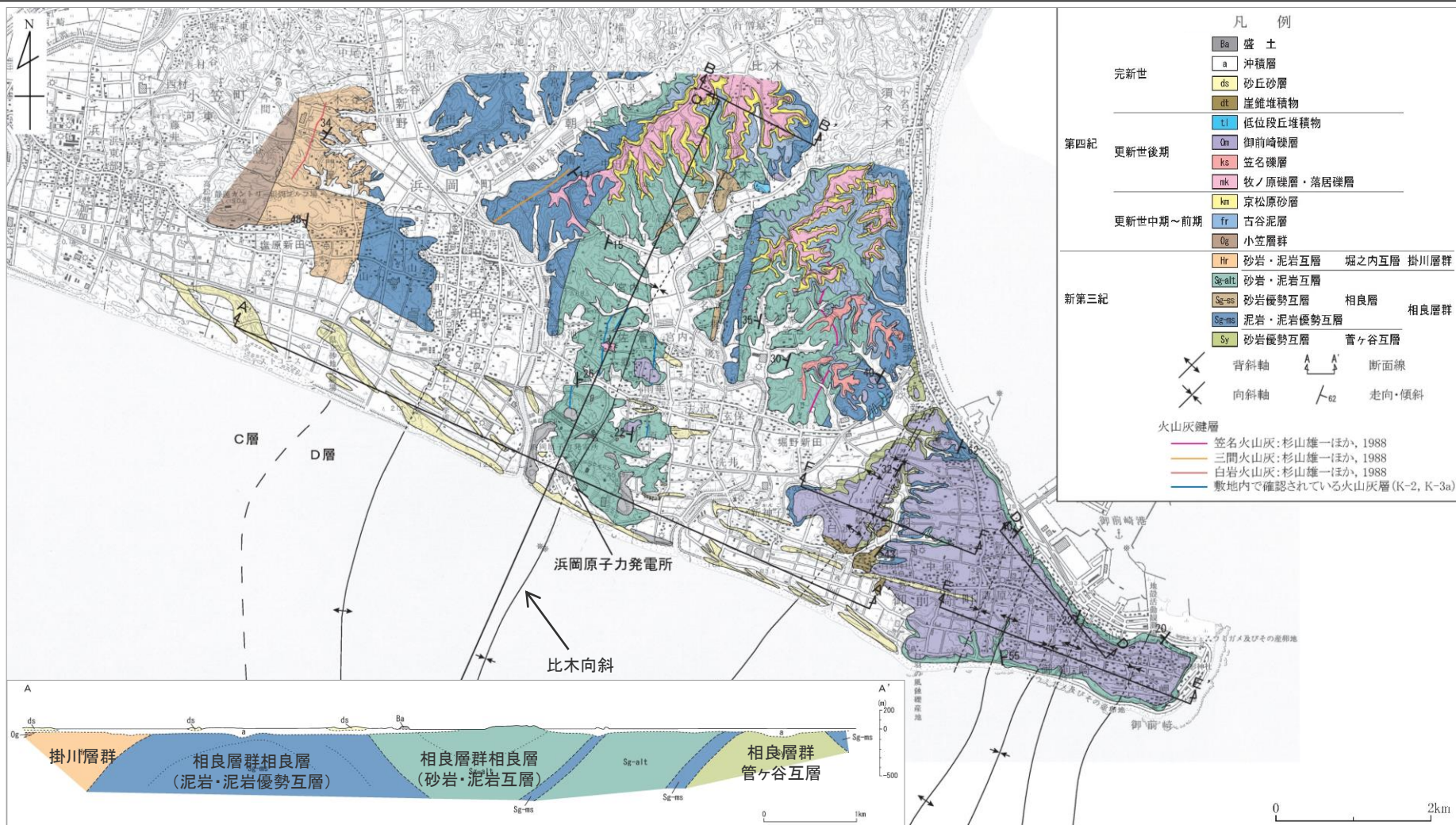
- 敷地周辺の地質は、下位より中生代の三波川帯に属する結晶片岩類及び四万十帯に属する光明層群、古第三紀～新第三紀中新世前期の三倉層群及び瀬戸川層群、新第三紀中新世前期～中期の大井川層群、倉真層群及び西郷層群、新第三紀中新世中期～鮮新世前期の相良層群及び新第三紀鮮新世～第四紀前期の掛川層群から構成される。
- これらは一般に東西方向で帯状に分布し、北から南に向かって順次新しい地層が分布する。



# 敷地周辺の地下構造

(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NNE-SSW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

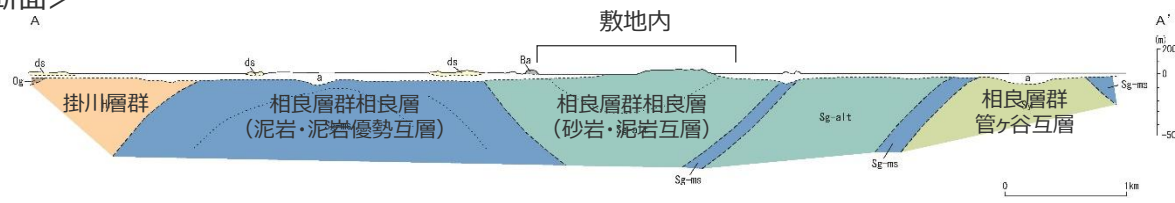


# 敷地周辺の地下構造

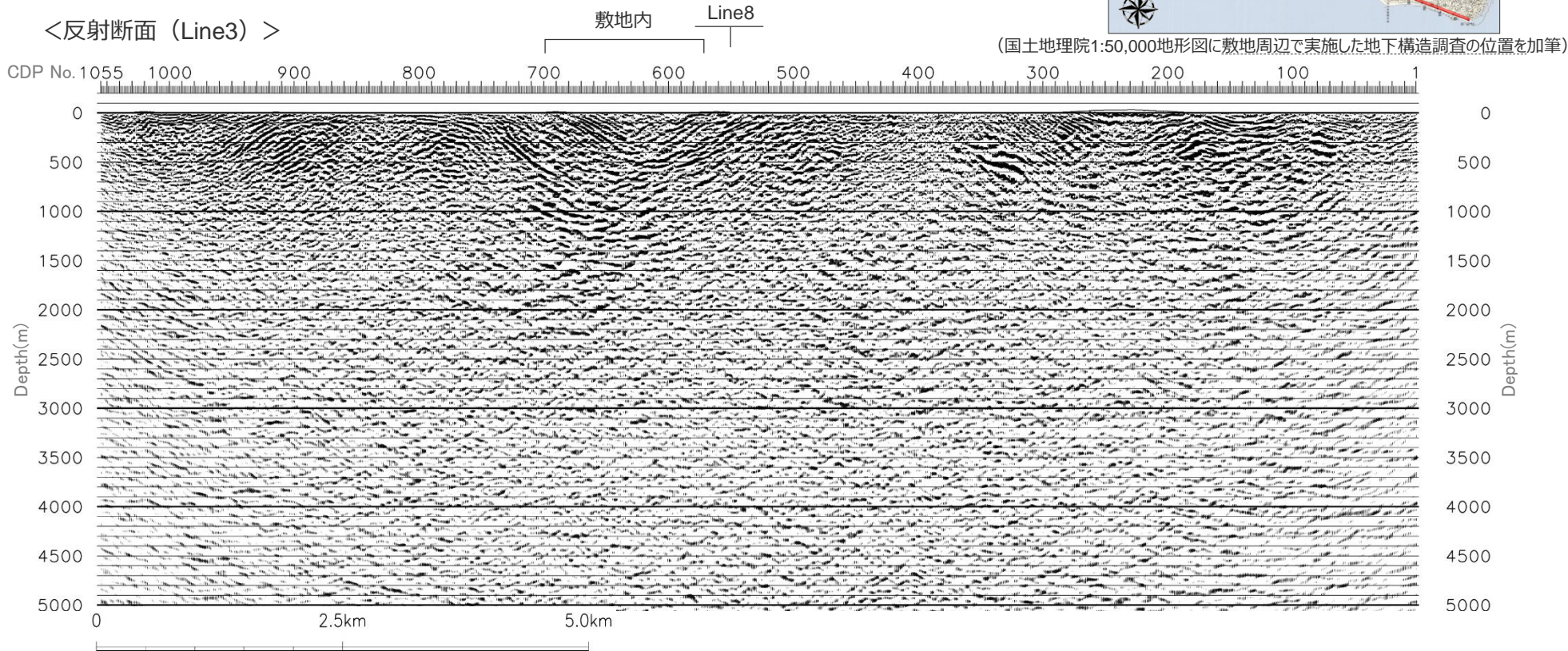
## (反射法地震探査結果)

○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>

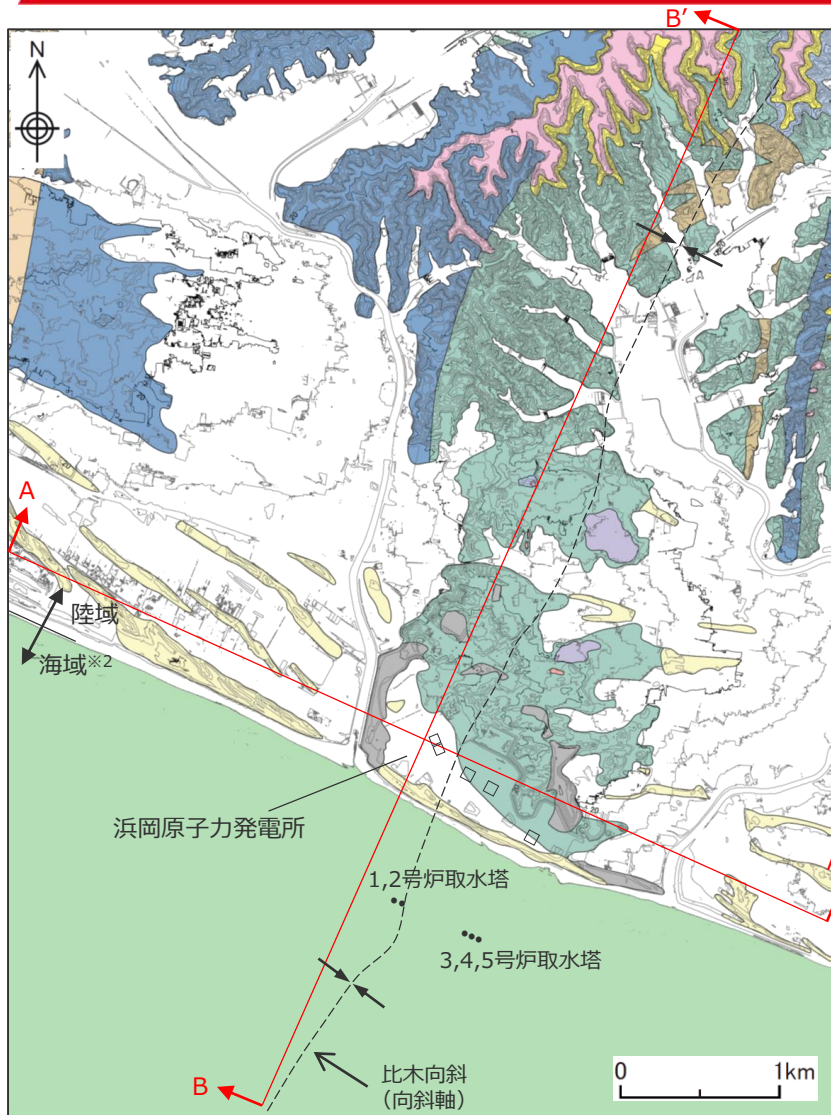


<反射断面 (Line3) >



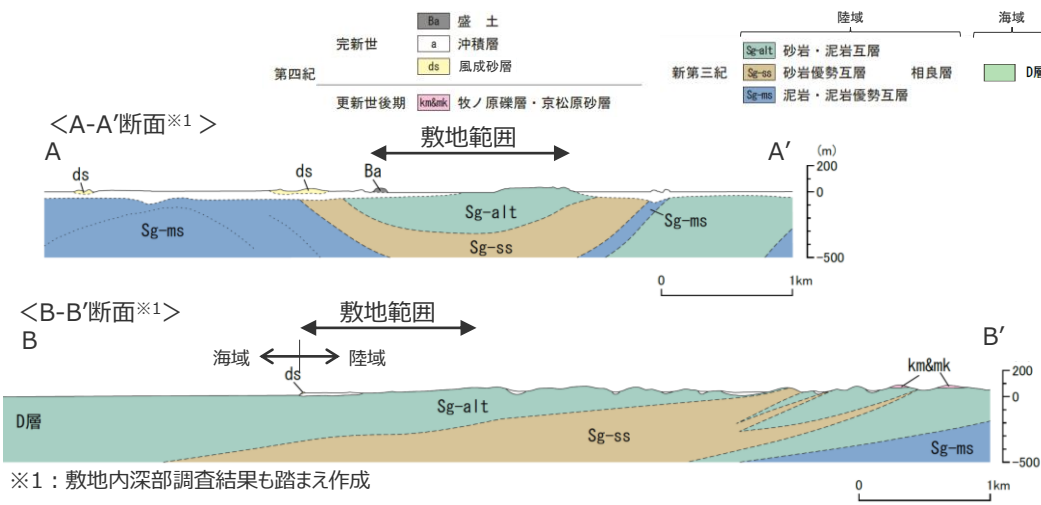
# 敷地周辺の地下構造

## (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 冲積層 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

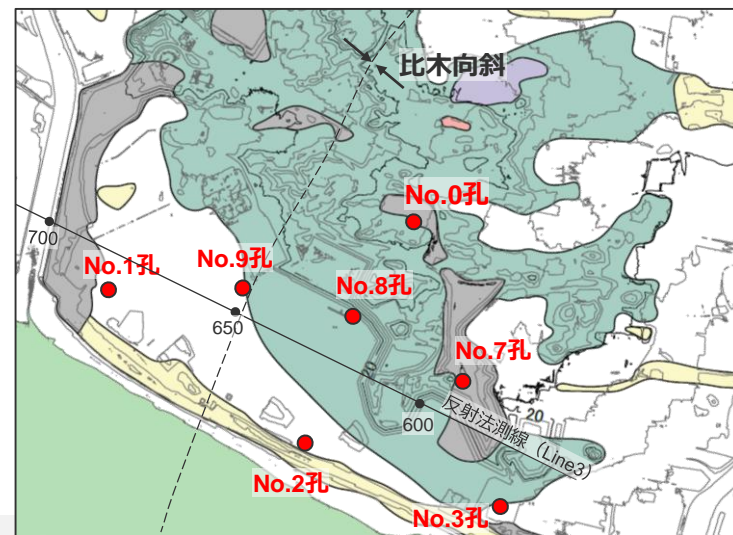
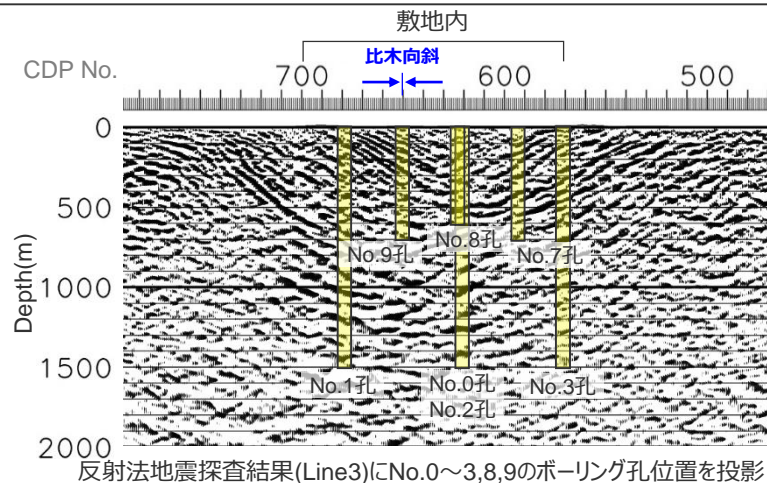
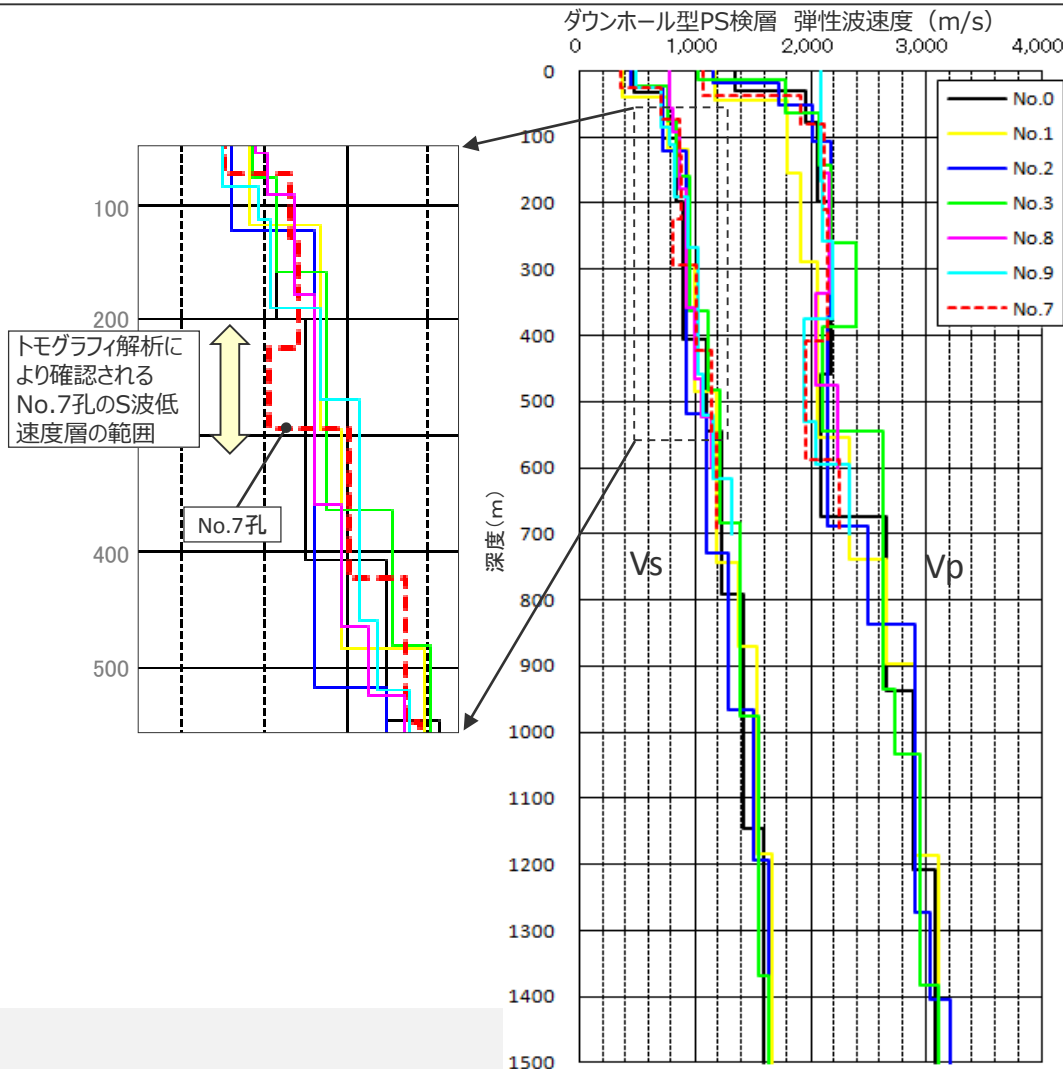
### <敷地の地質図、地質断面図>



# 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）および深度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波低速度層付近に位置する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波低速度層に対応する深度でS波速度の低下が認められる。

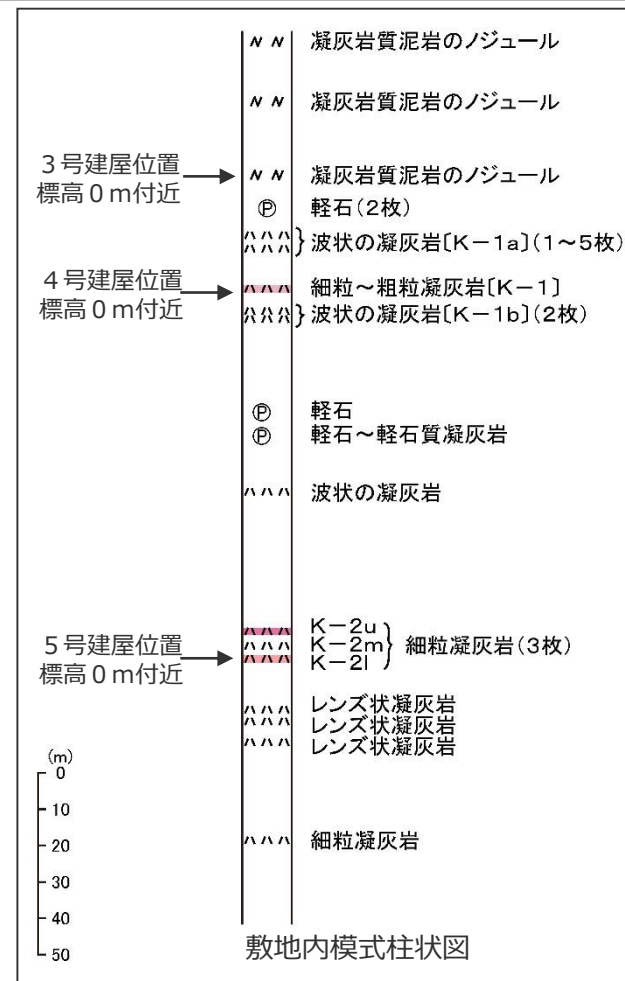
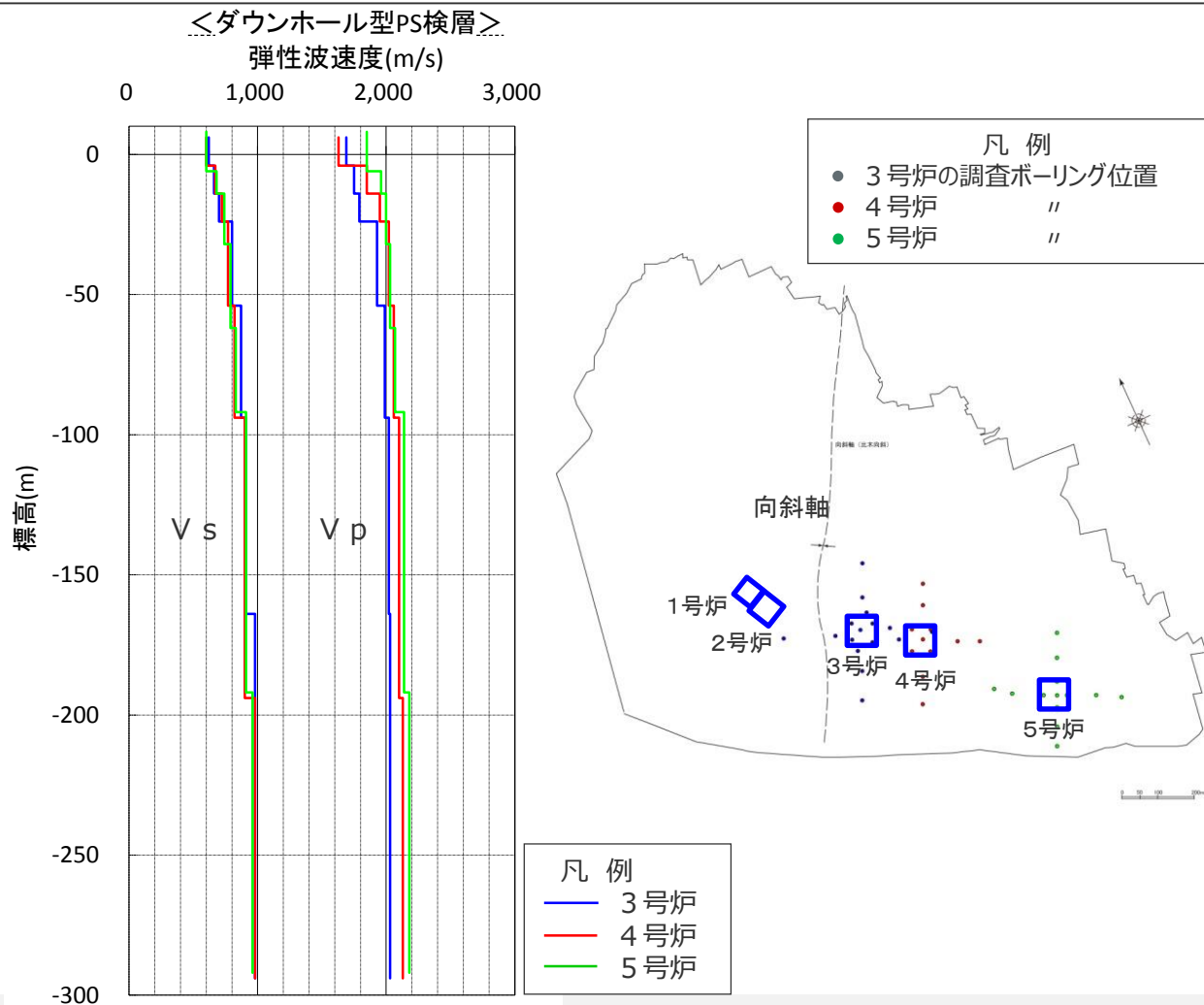


# 敷地周辺の地下構造（深部からやや浅部）

## （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＞

補足説明資料①-05  
敷地近傍の地下構造（浅部）の調査

---





# 調査の仕様

## ●速度構造調査

### ・オフセットVSP探査

	発振源	仕様	発振間隔
P波	起振車（バイプロサイズ車） 18t×1台	起振マス : 3t（最大荷重約13.6t） 発振周波数 : 8～60Hz程度 発振時間 : 20秒×（5～30回）	約100m
S波	起振車（バイプロサイズ車） 18t×1台	起振マス : 0.7t（最大荷重約13.6t） 発振周波数 : 4～30Hz程度 発振時間 : 20秒×（5～30回）	約100m
	受振器	仕様	受振間隔
孔内	多連式孔中3成分受振器	3成分速度計（固有周波数：15Hz）	約15m
地表	独立式地震計	3成分速度計（固有周波数：10Hz）	約50m

### ・海域発振オフセットVSP探査

	発振源	仕様	発振間隔
	エアガン	460cu.in（汀線側の水深が浅い区間は260cu.in）	約50m
	受振器	仕様	受振間隔
孔内	多連式孔中3成分受振器	3成分速度計（固有周波数：15Hz）	約15m

### ・バイケーブル探査

	発振源	仕様	発振間隔
	エアガン	460cu.in（汀線側の水深が浅い区間は260cu.in）	約20m（海底受振）
	受振器	仕様	受振間隔
	OBC（バイケーブル）	圧電素子	約10m

# 調査の仕様

## ●地質構造調査

### ・反射法地震探査

		発振源	仕様	発振間隔
海域部		エアガン	460cu.in 40cu.in（汀線側の水深が浅い区間）	約12.5m（沖合） 約10m（沿岸）
陸域部	P波	起振車（油圧インパクト） 6t×1台	ロッド重量 : 200kg 最大圧力 : 10気圧 総重量 : 6t	約10m
		起振車（バイプロサイズ車） 8t×1台	起振マス : 0.8t（最大荷重約8t） 発振周波数 : 10～110Hz程度 発振時間 : 18秒×（7～10回）	約10m
	S波	起振車（バイプロサイズ車） 18t×1台	起振マス : 0.7t（最大荷重約13.6t） 発振周波数 : 10～50Hz程度 発振時間 : 20秒×（10～20回）	約10m

		受振器	仕様	受振間隔
海域部	沖合	ハイドロフォン	圧電素子	約12.5m
	沿岸	OBC（バイケーブル）	圧電素子	約10m
陸域部		有線式地震計	3成分速度計（固有周波数：10Hz）	約10m（P波） 約20m（S波）

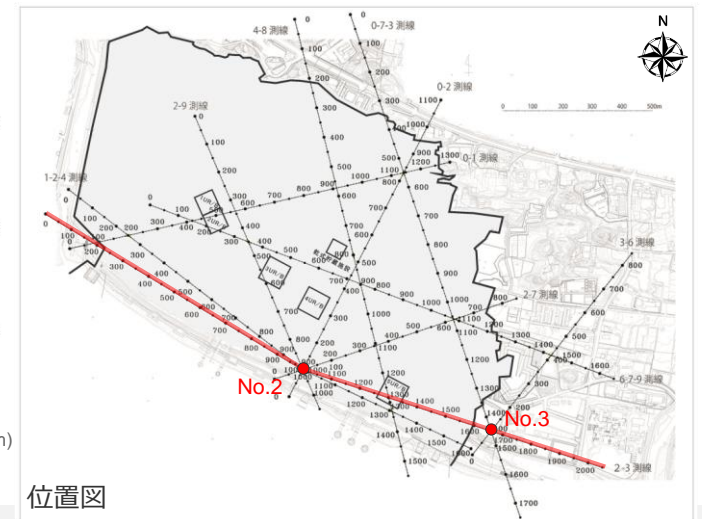
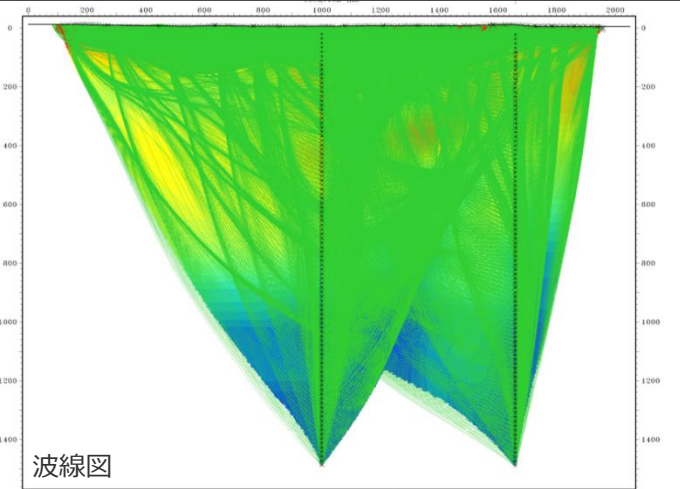
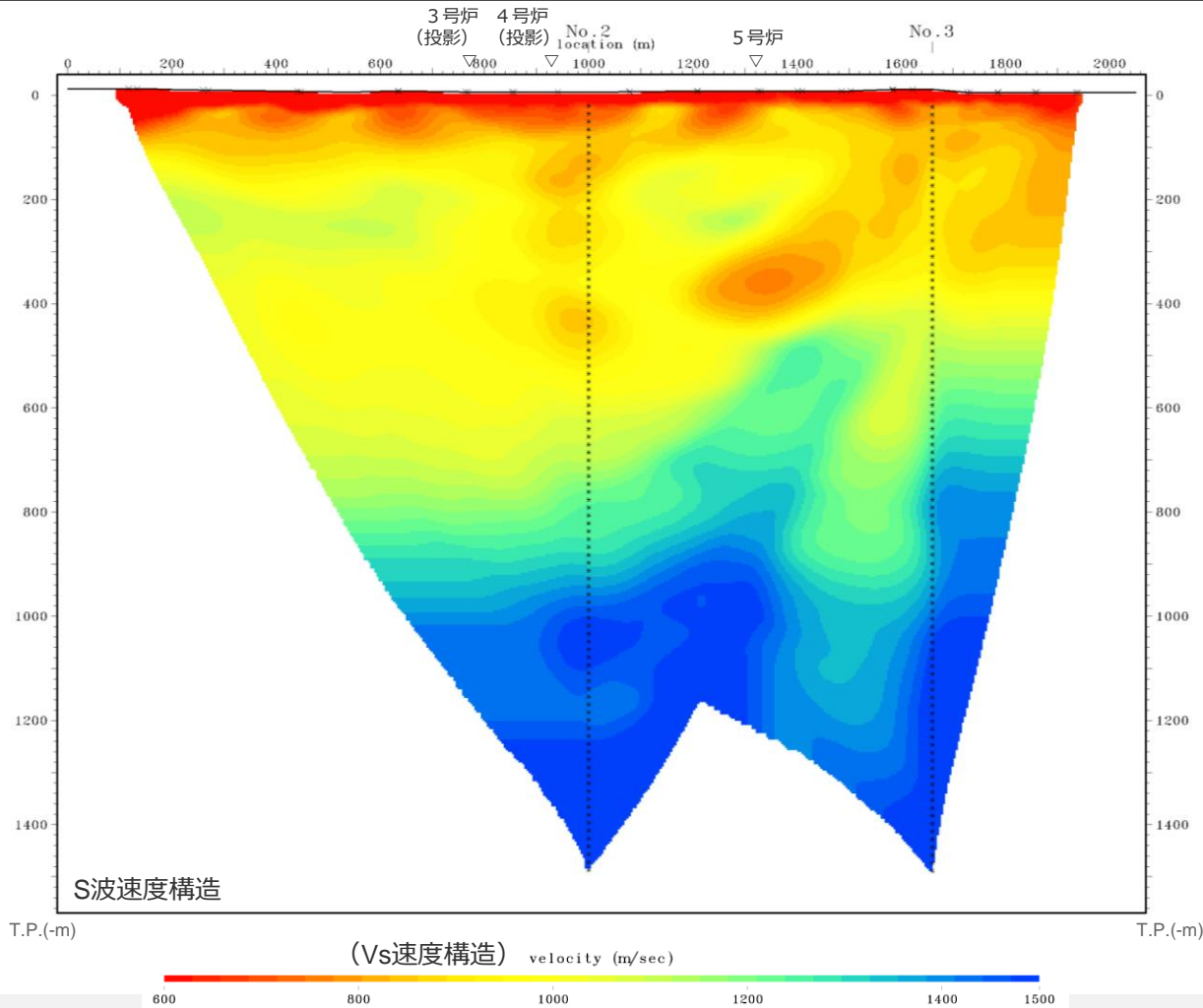
### ・ボーリング調査、物理検層

深度	掘削本数	測定物性
500～700m	6本	PS検層（ダウンホール法、サスペンション法）、密度検層、温度検層

# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

## （S波速度構造（2-3測線））

- No.2孔及びNo.3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。
- 敷地東側を東西方向に位置する2-3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.2孔とNo.3孔の間、深度200～400m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る。

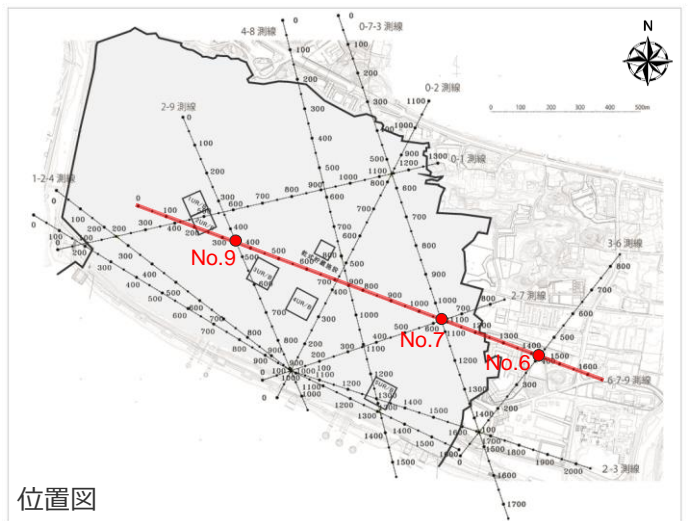
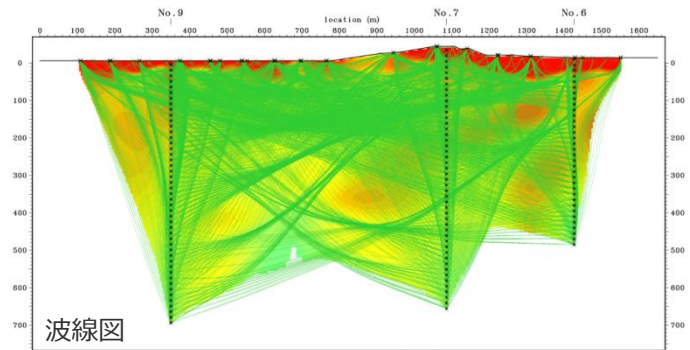
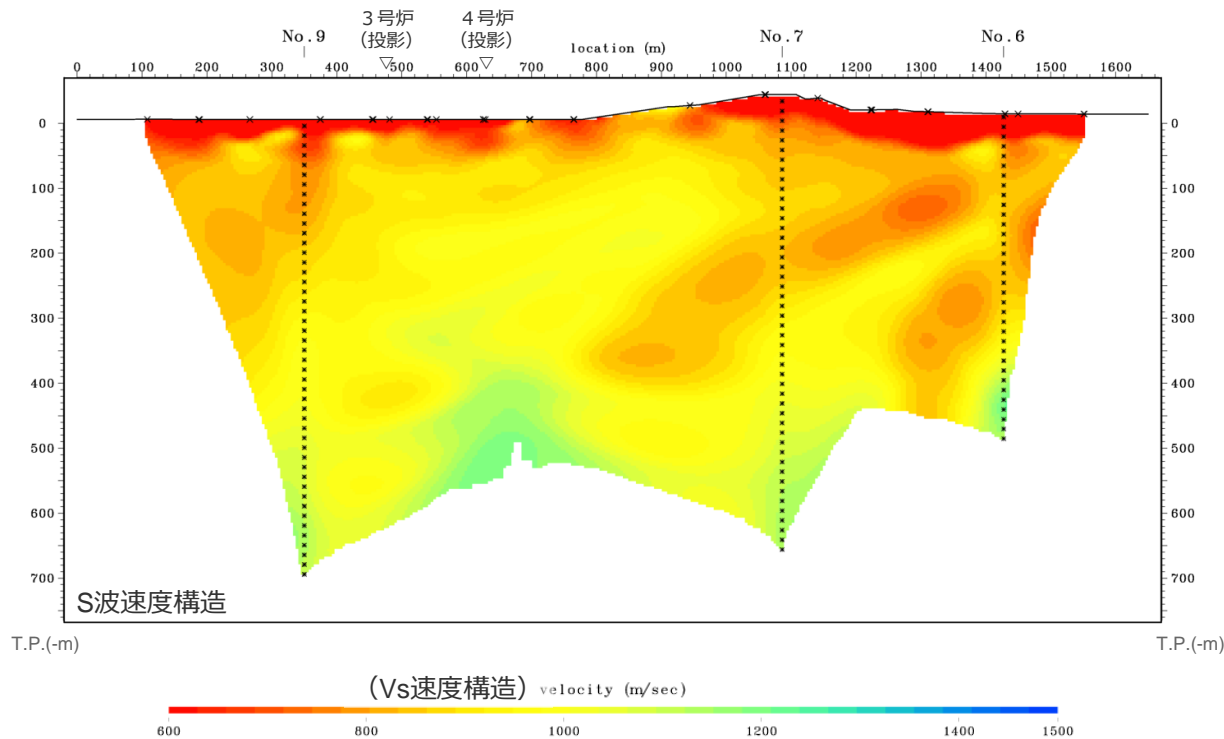




# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

## （S波速度構造（6-7-9測線））

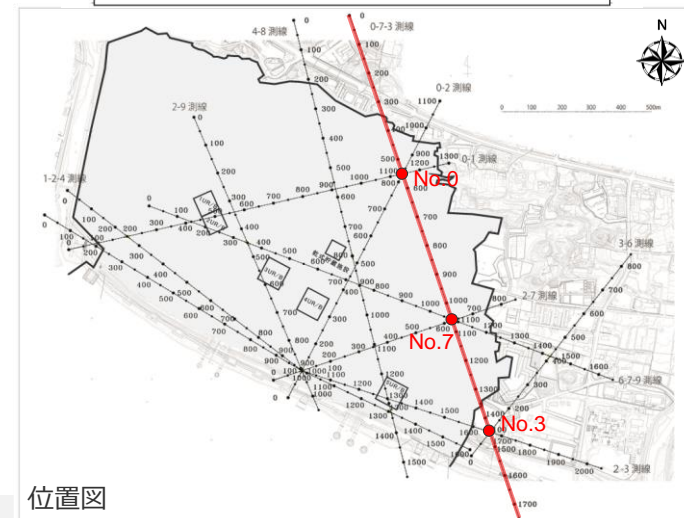
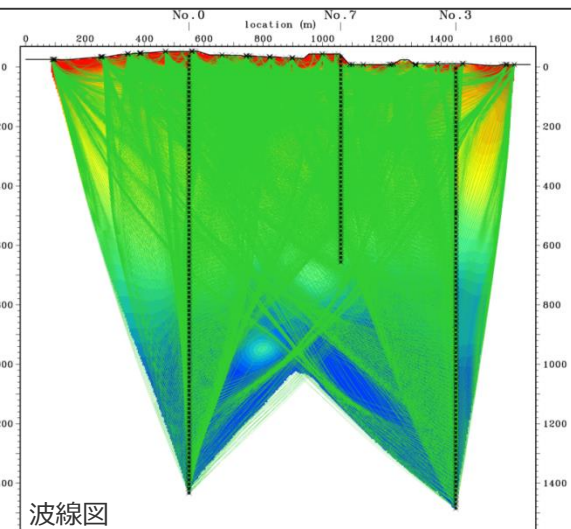
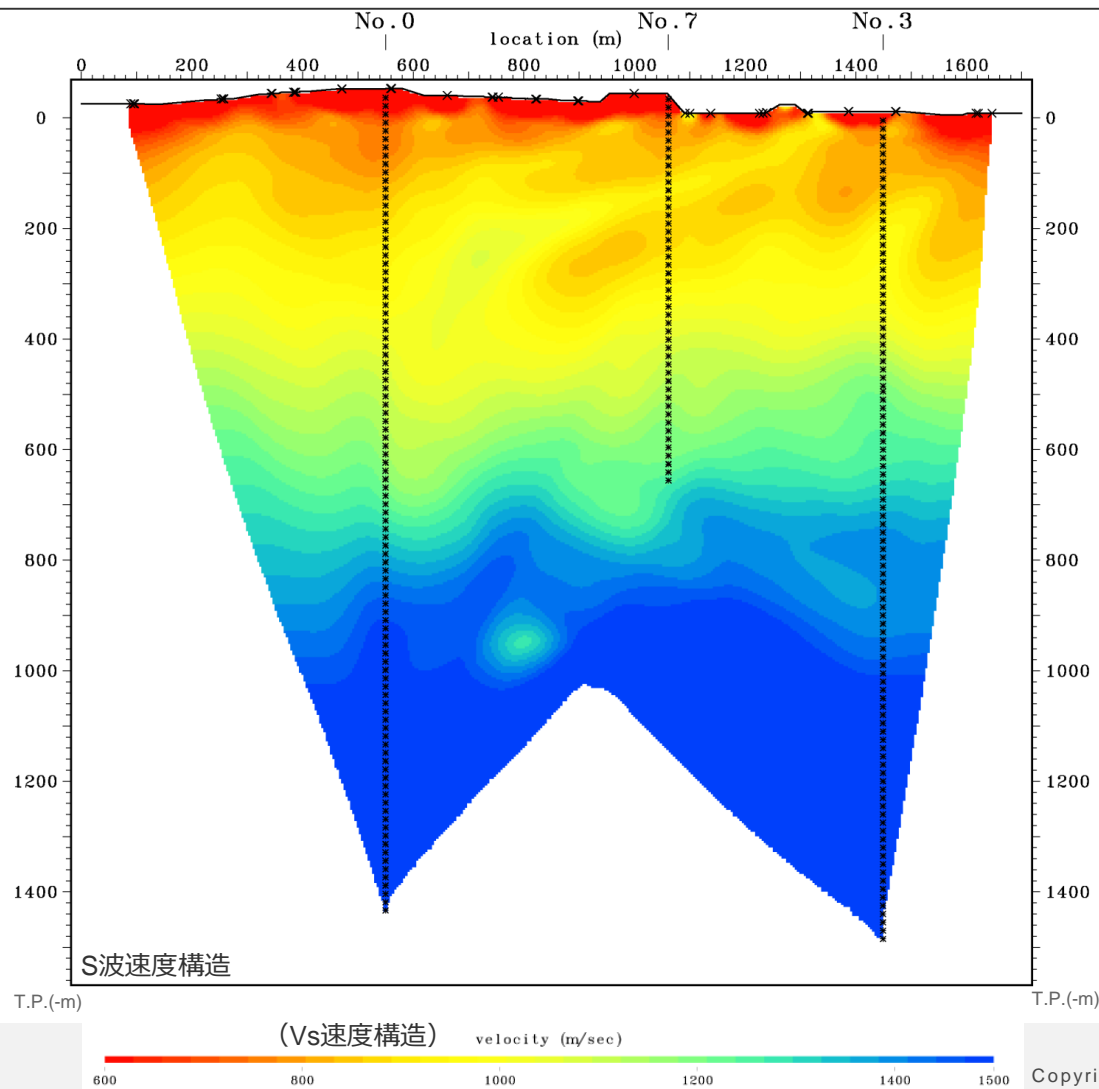
- No.6孔、No.7孔及びNo.9孔を利用し、オフセットVSP（Multi-Well,multi-offset/Walkaway VSP）で収録したS波の初動データを用い、初動トモグラフィックインバージョン解析によりS波速度構造を検討。
- 敷地中央部を東西方向に位置する6-7-9測線のS波初動トモグラフィックインバージョン解析結果によると、No.6孔からNo.7孔の西側にかけての深度100～400m付近に周囲に比べて顕著にS波速度が低下した構造が確認され、その西側は深度方向に漸増している。



# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

## （S波速度構造（0-7-3測線））

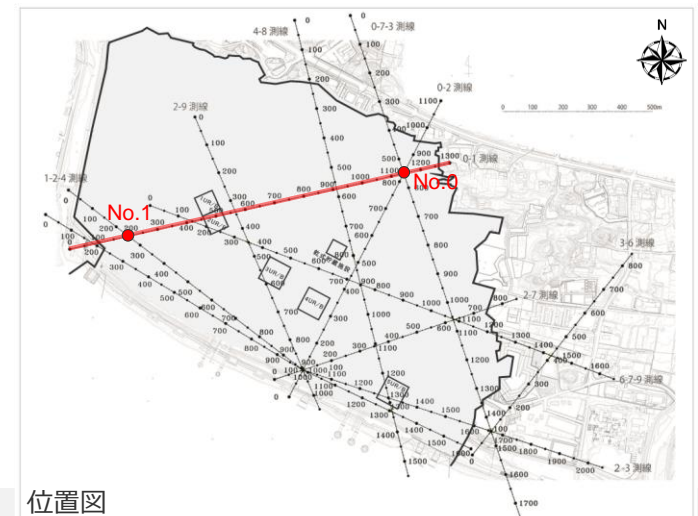
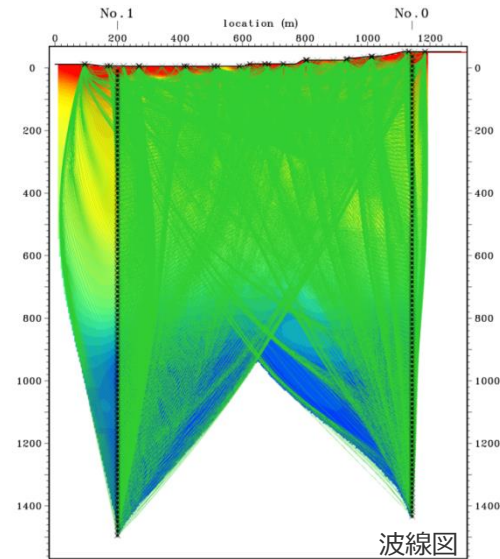
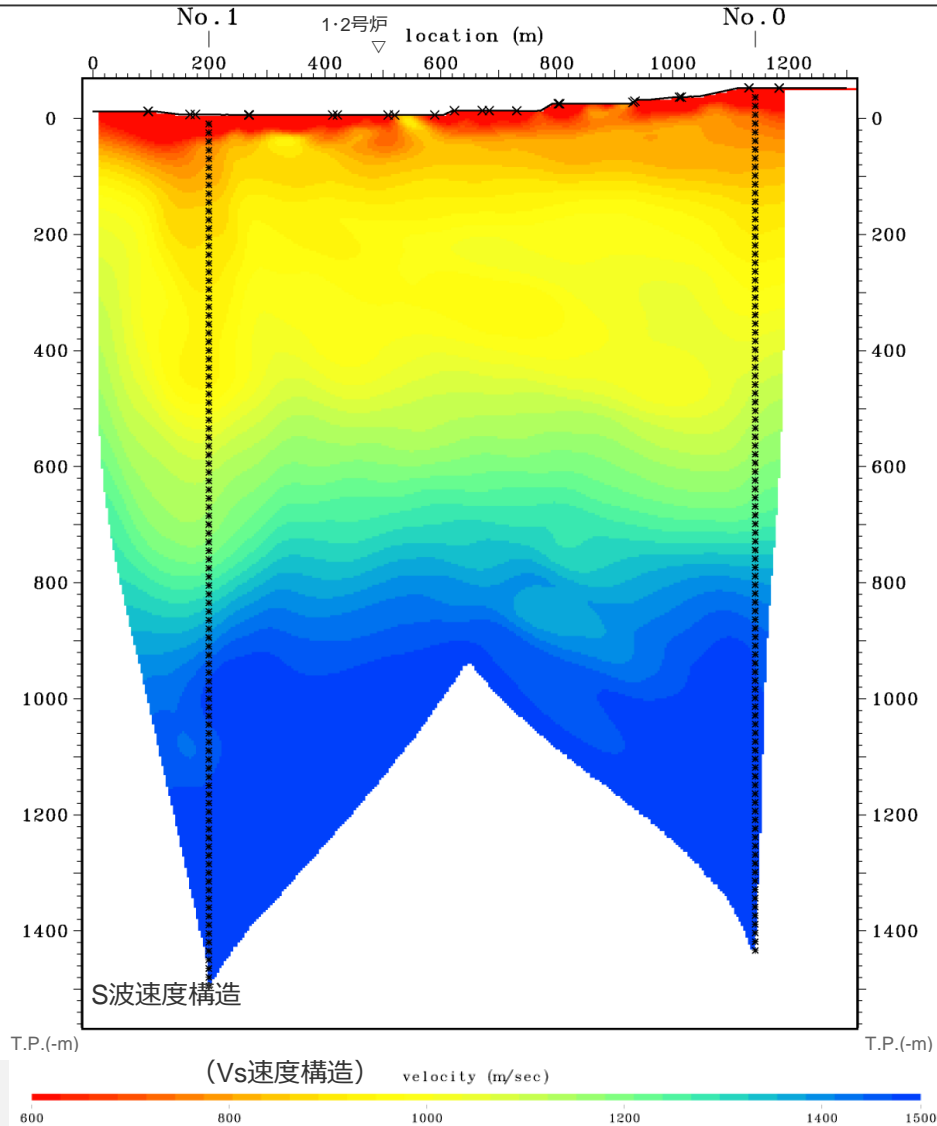
- No.0孔、No.7孔及びNo.3孔を利用し、オフセットVSP（Multi-Well,multi-offset/Walkaway VSP）で収録したS波の初動データを用い、初動トモグラフィックインバージョン解析によりS波速度構造を検討。
- 敷地東側を南北方向に位置する0-7-3測線のS波初動トモグラフィックインバージョン解析結果によると、No.3孔からNo.7孔の北側にかけての深度100～300m付近に周囲に比べてS波速度が低下した構造が確認され、それより北側は深度方向に漸増している。



# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

## （S波速度構造（0-1測線））

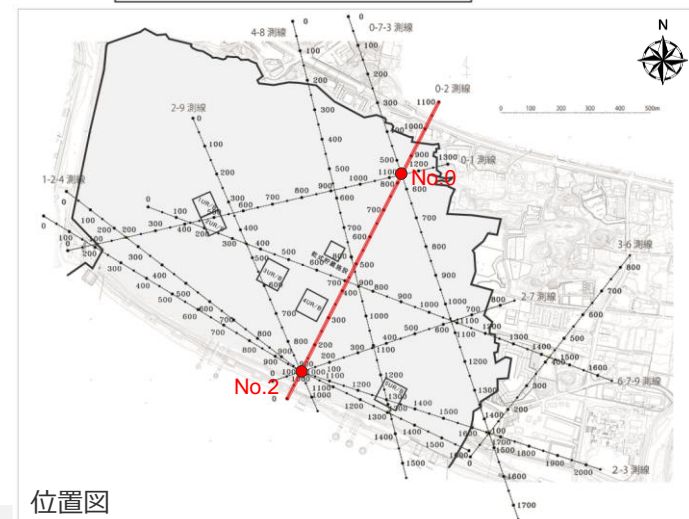
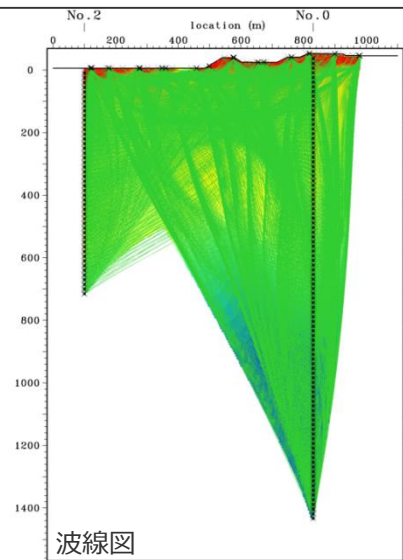
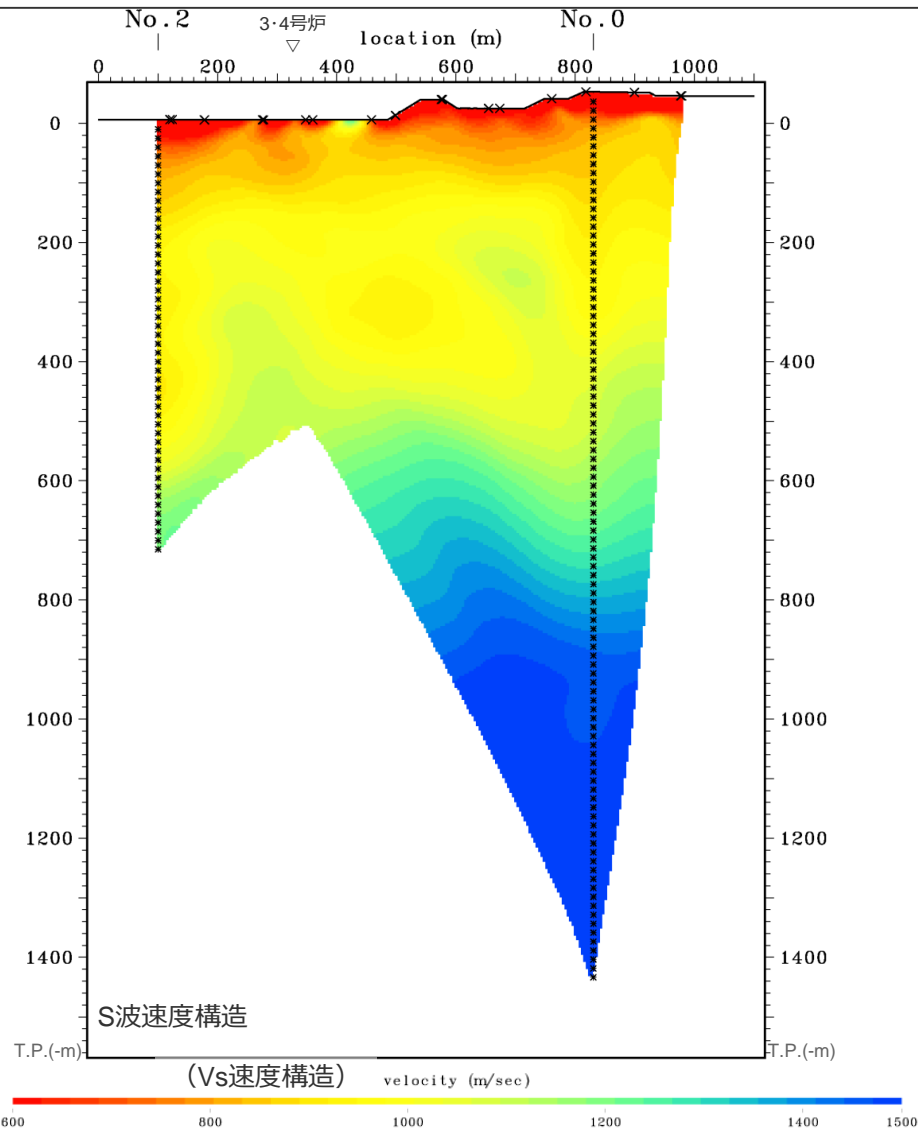
- No.0孔及びNo.1孔を利用し、オフセットVSP（Multi-Well,multi-offset/Walkaway VSP）で収録したS波の初動データを用い、初動トモグラフィックインバージョン解析によりS波速度構造を検討。
- 敷地西側を東西方向に位置する0-1測線のS波初動トモグラフィックインバージョン解析結果によると、S波速度は深度方向に漸増している。



# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

## （S波速度構造（0-2測線））

- No.0孔及びNo.2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。
- 敷地中央を南北方向に位置する0-2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、S波速度は深度方向に漸増している。

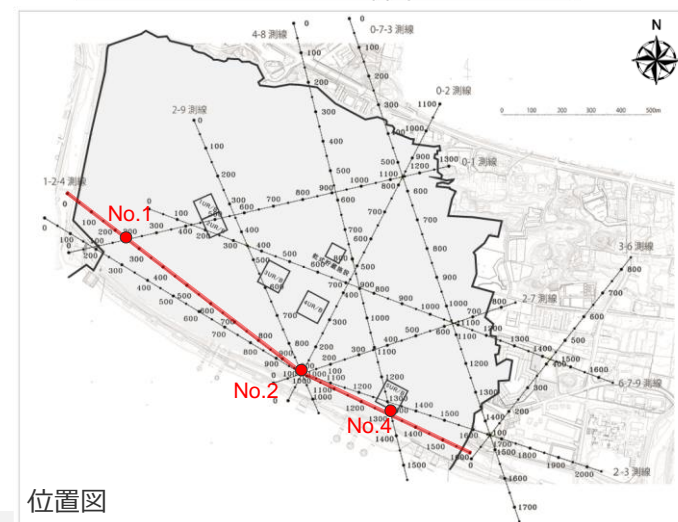
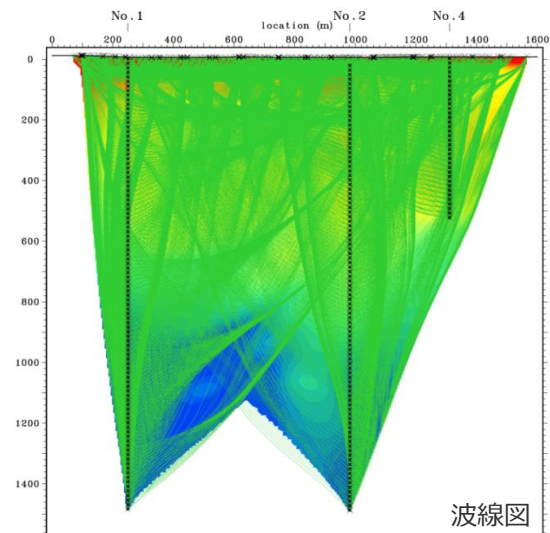
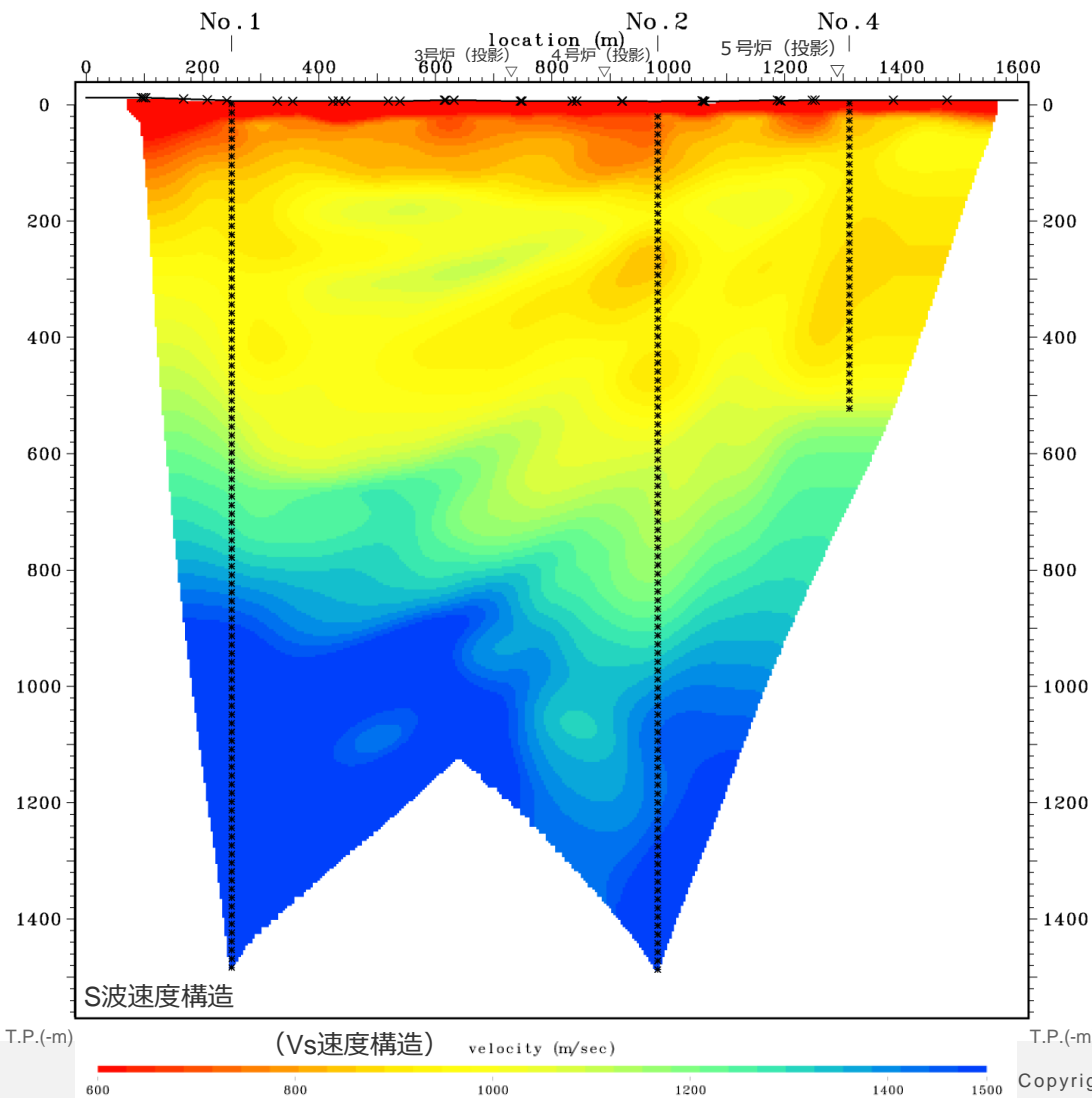




# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

## （S波速度構造（1-2-4測線））

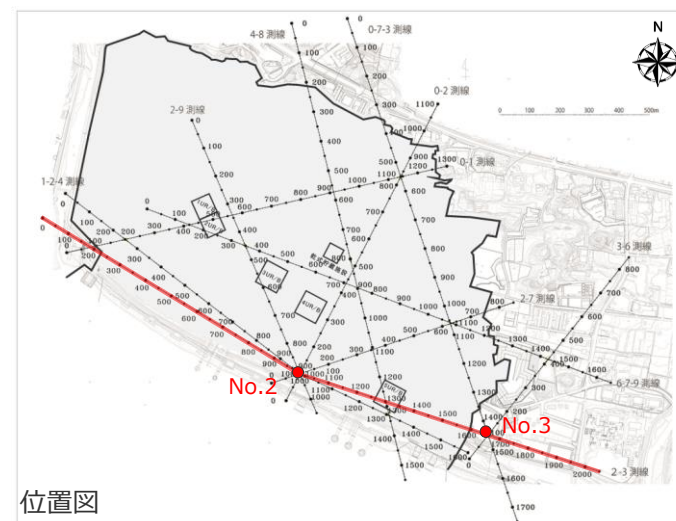
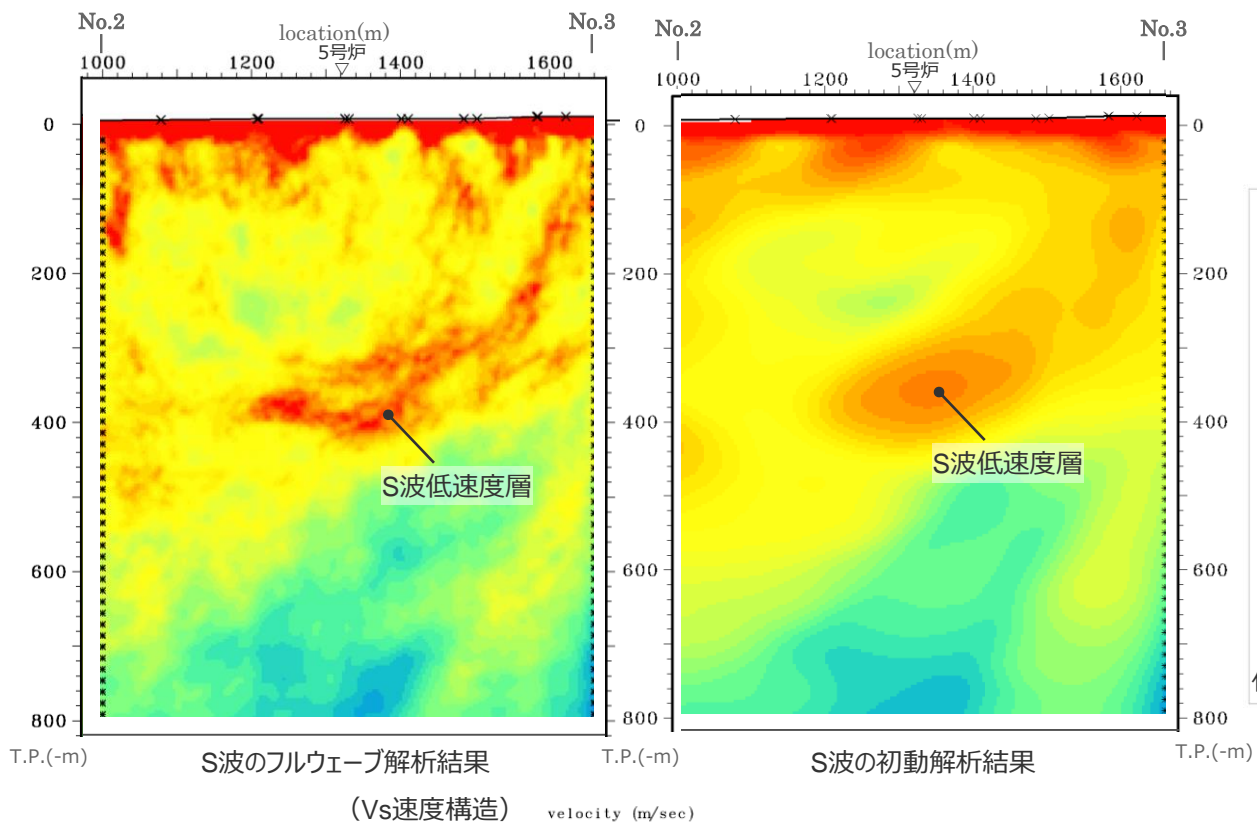
- No.1孔、No.2孔及びNo.4孔を利用し、オフセットVSP（Multi-Well,multi-offset/Walkaway VSP）で収録したS波の初動データを用い、初動トモグラフィックインバージョン解析によりS波速度構造を検討。
- 敷地西側を東西方向に位置する1-2-4測線のS波初動トモグラフィックインバージョン解析結果によると、S波速度は概ね深度方向に漸増している。



# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

（S波速度構造（S波の初動解析とフルウェーブ解析の比較（2-3測線）））

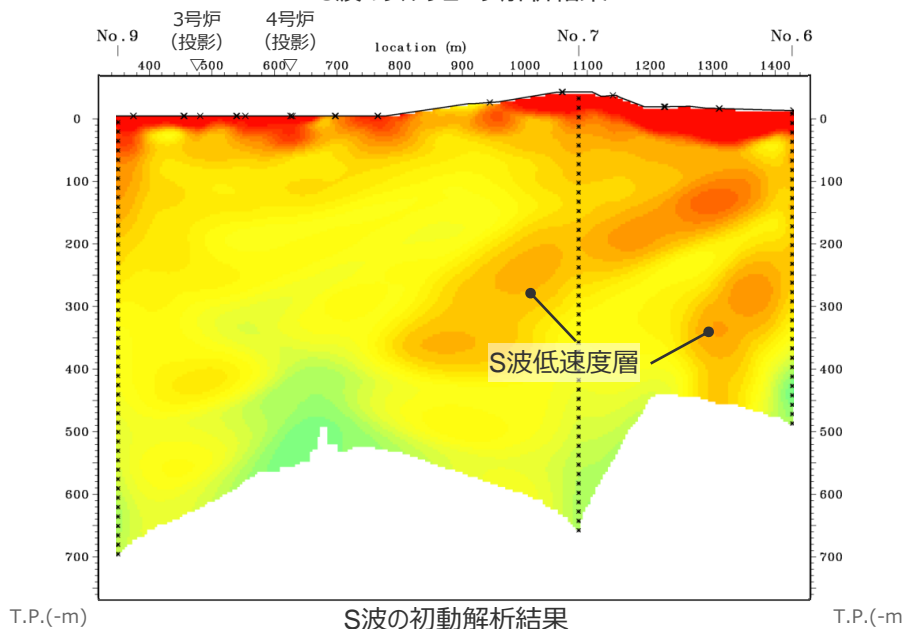
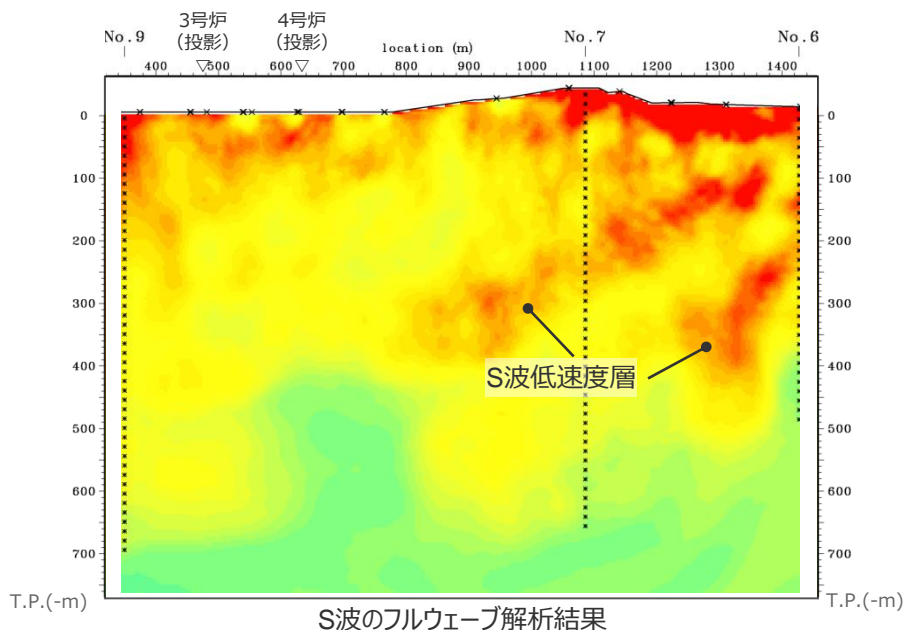
- S波低速度層が確認された2-3測線について、後続波も利用したフルウェーブインバージョン解析を実施し、S波速度構造を検討。
- フルウェーブインバージョン解析結果においても、初動トモグラフィックインバージョン解析結果と同様の位置にS波低速度層が確認される。
- フルウェーブインバージョン解析結果によると、S波低速度層の内部は、一様に分布しているのではなく、濃淡のある不均質な速度構造の集合体として分布しており、初動トモグラフィックインバージョン解析結果に比べて速度が低下している。



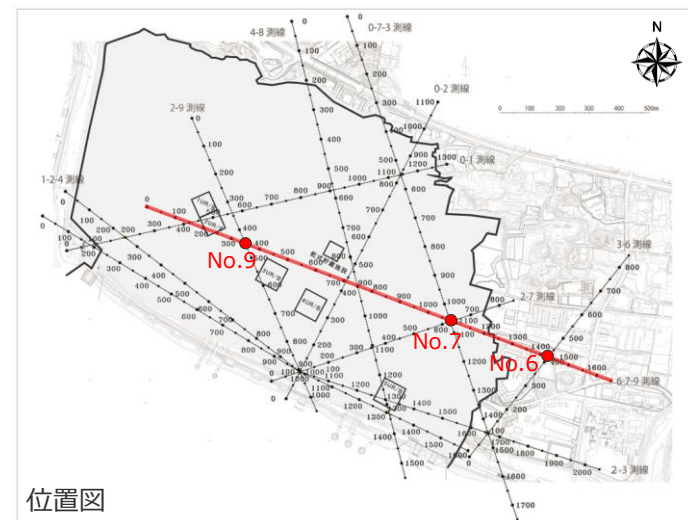
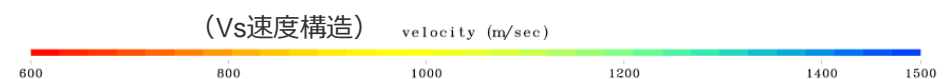


# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

## （S波速度構造（S波の初動解析とフルウェーブ解析の比較（6-7-9測線）））

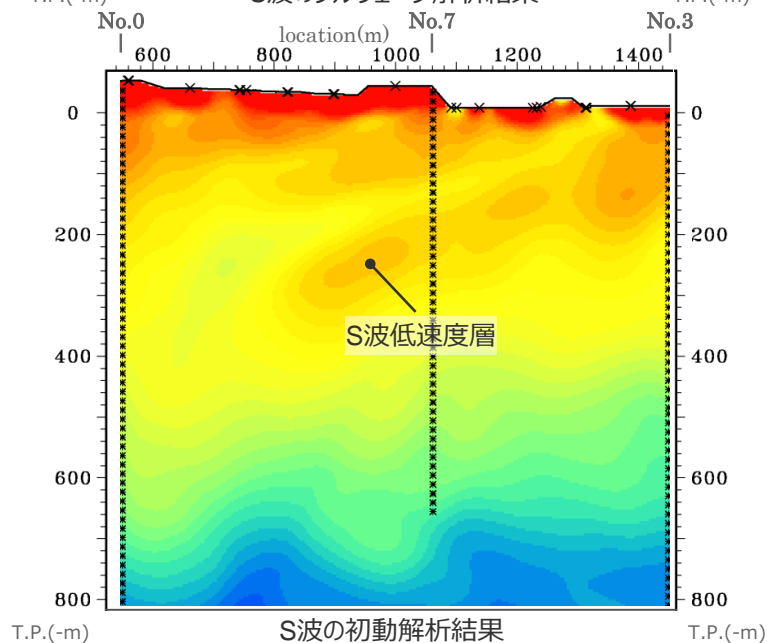
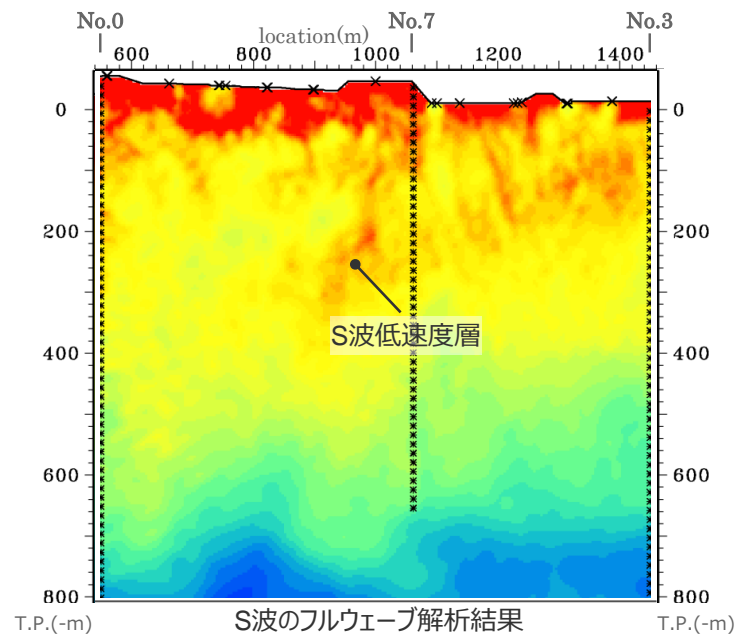


- S波低速度層が確認された6-7-9測線について、後続波も利用したフルウェーブインバージョン解析を実施し、S波速度構造を検討。
- フルウェーブインバージョン解析結果においても、初動トモグラフィックインバージョン解析結果と同様の位置にS波低速度層が確認される。
- フルウェーブインバージョン解析結果によると、S波低速度層の内部は、一様に分布しているのではなく、濃淡のある不均質な速度構造の集合体として分布しており、初動トモグラフィックインバージョン解析結果に比べて速度が低下している。

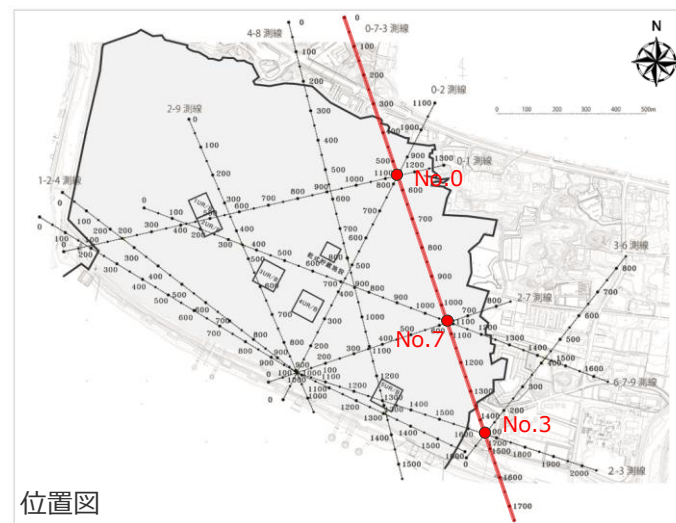
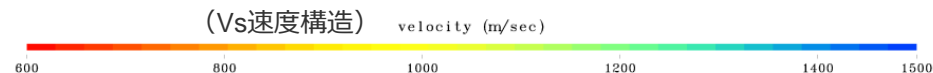


# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

（S波速度構造（S波の初動解析とフルウェーブ解析の比較（0-7-3測線）））



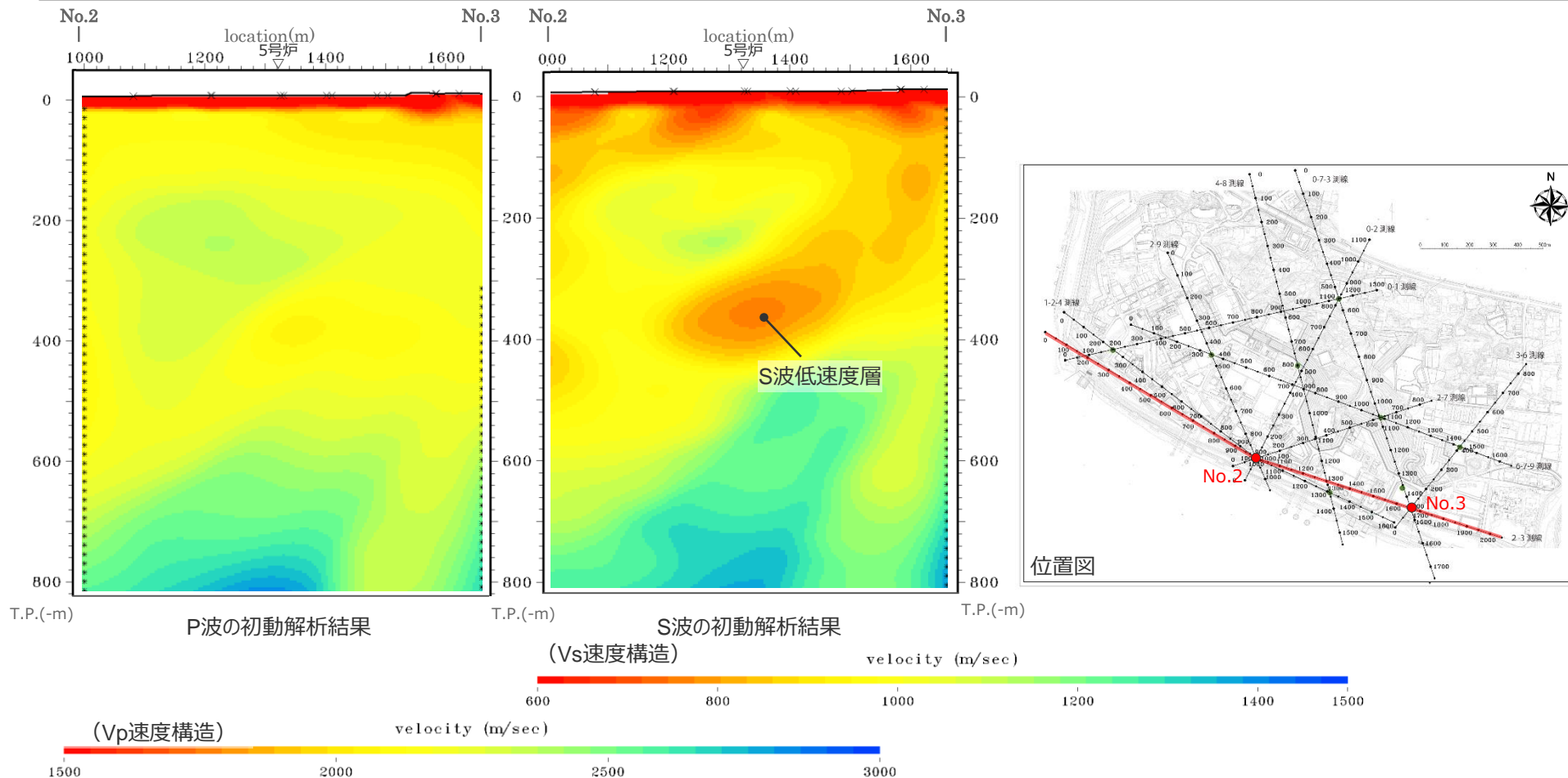
- S波低速度層が確認された0-7-3測線について、後続波も利用したフルウェーブインバージョン解析を実施し、S波速度構造を検討。
- フルウェーブインバージョン解析結果においても、初動トモグラフィックインバージョン解析結果と同様の位置にS波低速度層が確認される。
- フルウェーブインバージョン解析結果によると、S波低速度層の内部は、一様に分布しているのではなく、濃淡のある不均質な速度構造の集合体として分布しており、初動トモグラフィックインバージョン解析結果に比べて速度が低下している。



# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

## （P波速度構造とS波速度構造の比較（2-3測線））

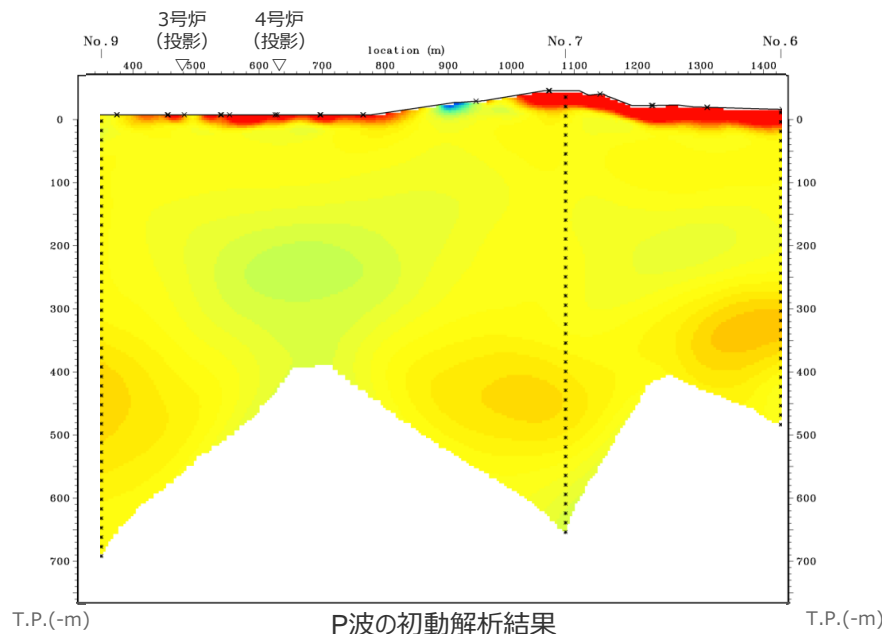
- No.2孔及びNo.3孔を利用し、オフセットVSP（Multi-Well,multi-offset/Walkaway VSP）で収録したP波の初動データを用い、初動トモグラフィックインバージョン解析によりP波速度構造を検討。
- 敷地東側を東西方向に位置する2-3測線のP波初動トモグラフィックインバージョン解析結果によると、P波速度は概ね深度方向に漸増する構造となっており、S波低速層に対応する変化は認められない。



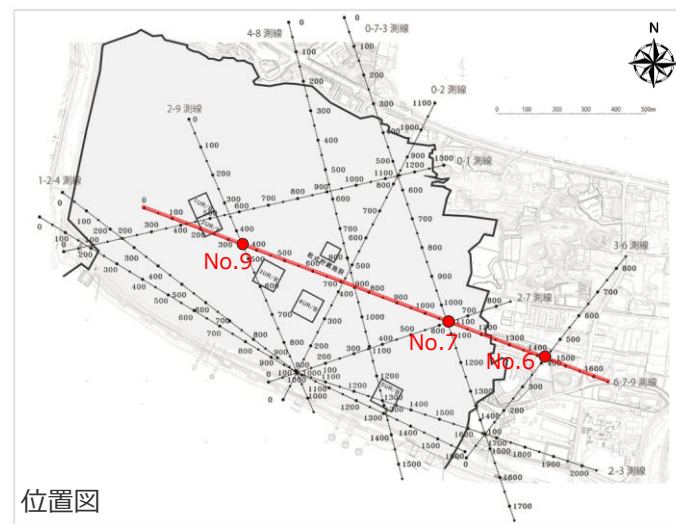
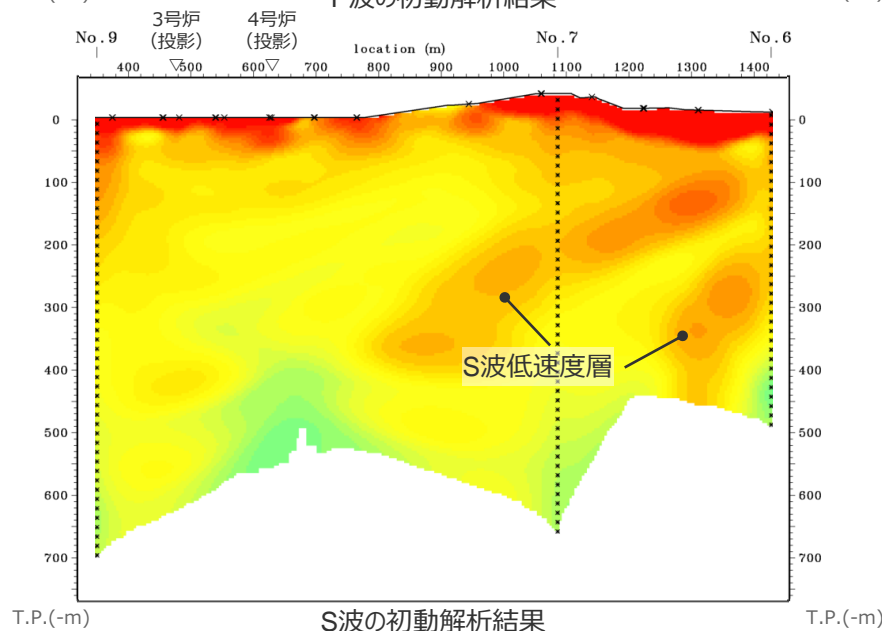
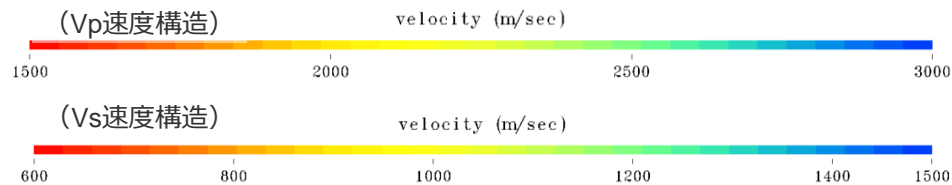


# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

## （P波速度構造とS波速度構造の比較（6-7-9測線））

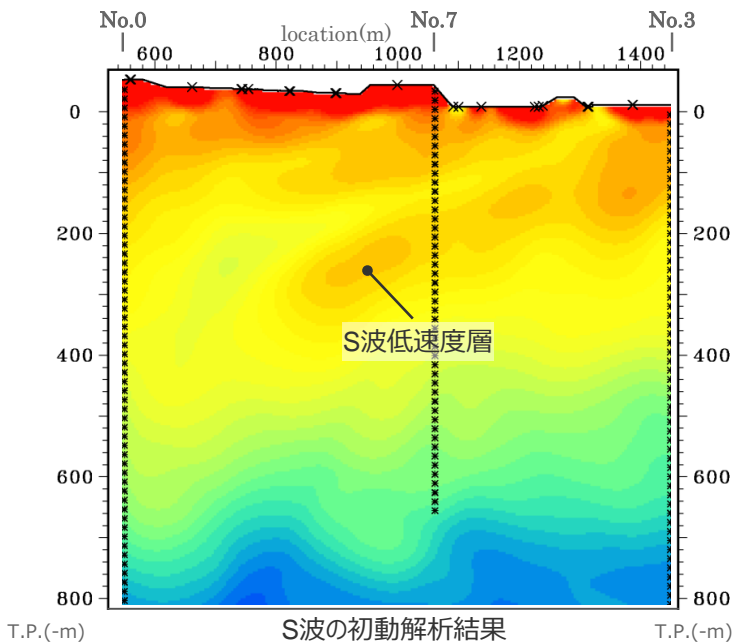
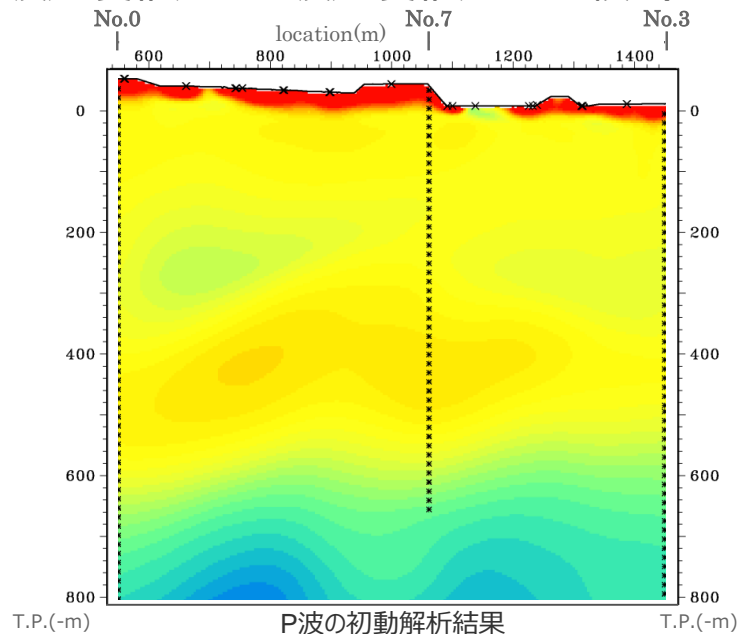


- No.6孔、No.7孔及びNo.9孔を利用し、オフセットVSP（Multi-Well,multi-offset/Walkaway VSP）で収録したP波の初動データを用い、初動トモグラフィックインバージョン解析によりP波速度構造を検討。
- 敷地中央部を東西方向に位置する6-7-9測線のP波初動トモグラフィックインバージョン解析結果によると、P波速度は概ね深度方向に漸増する構造となっており、S波低速度層に対応する変化は認められない。

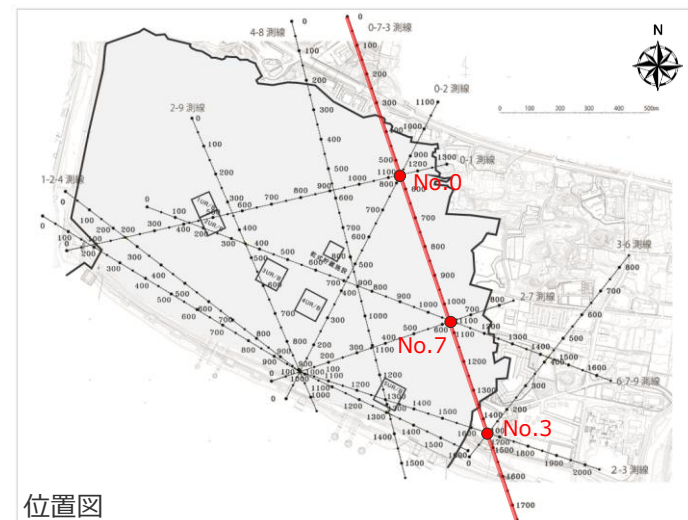
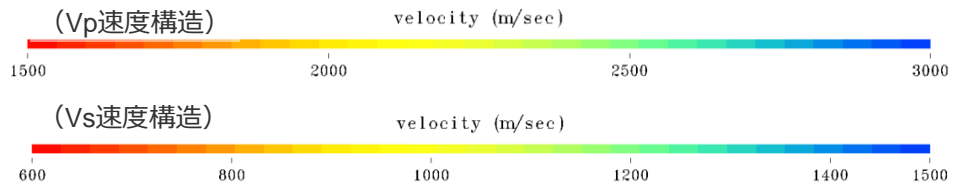


# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

## （P波速度構造とS波速度構造の比較（0-7-3測線））



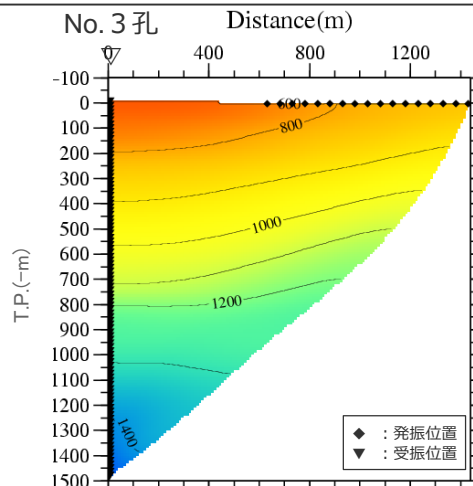
- No.0孔、No.7孔及びNo.3孔を利用し、オフセットVSP（Multi-Well,multi-offset/Walkaway VSP）で収録したP波の初動データを用い、初動トモグラフィックインバージョン解析によりP波速度構造を検討。
- 敷地東側を南北方向に位置する0-7-3測線のP波初動トモグラフィックインバージョン解析結果によると、P波速度は概ね深度方向に漸増する構造となっており、S波低速度層に対応する変化は認められない。



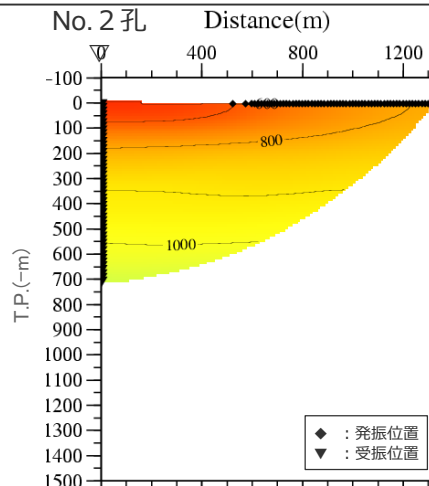
# 敷地近傍の速度構造（海域オフセットVSP探査結果）

## （S波速度構造）

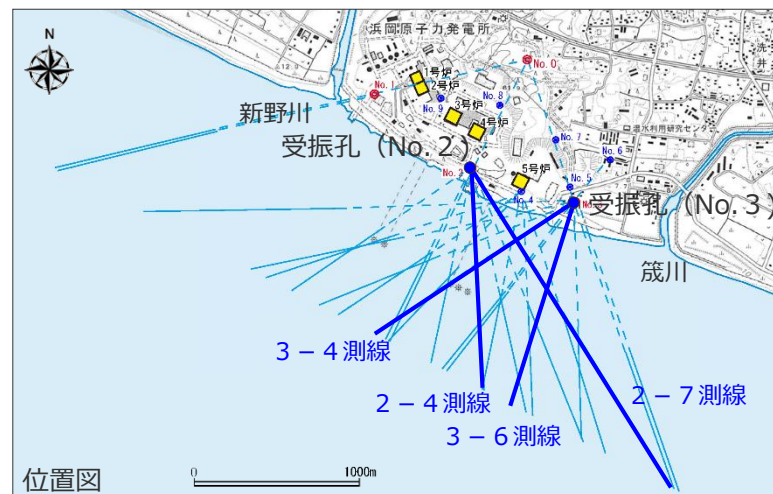
- 陸域のボーリング孔を利用し、オフセットVSP（multi-offset/Walkaway VSP）で収録したエアガンにより発生する変換SV波の初動データを用い、初動トモグラフィックインバージョン解析によりS波速度構造を検討。
- P-SV変換波を用いた初動トモグラフィックインバージョン解析結果によると、いずれの測線においても、概ね深度方向に漸増している。



(3-4測線)

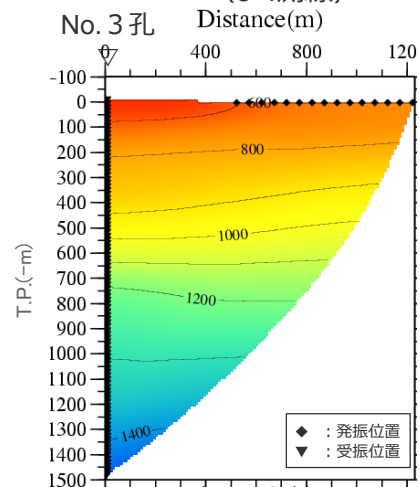


(2-4測線)

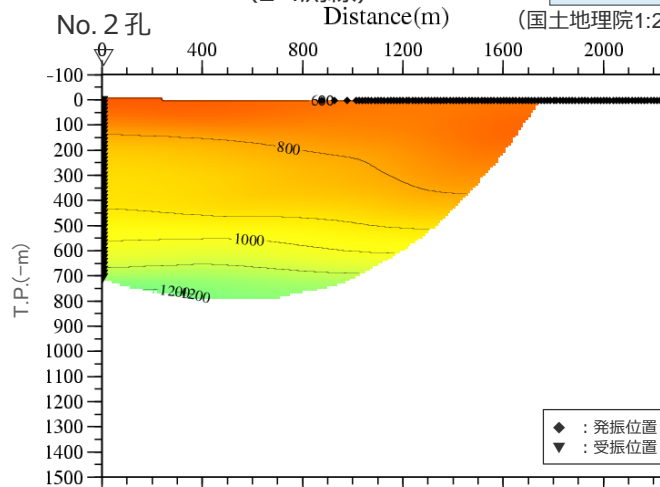


位置図

(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)

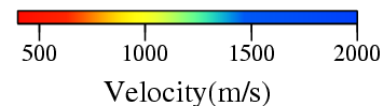


(3-6測線)



(2-7測線)

(Vs速度構造)

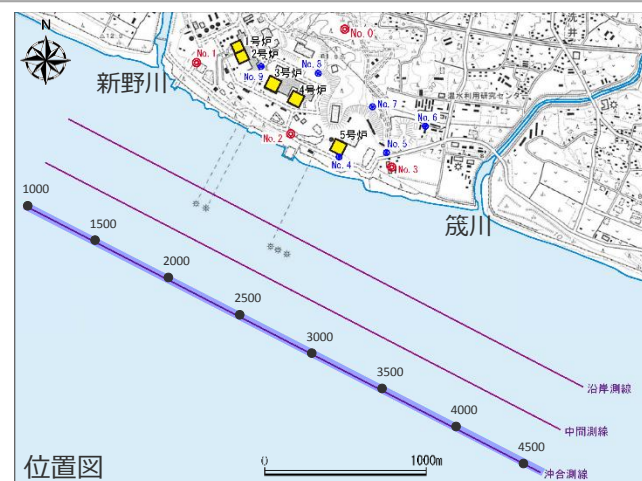
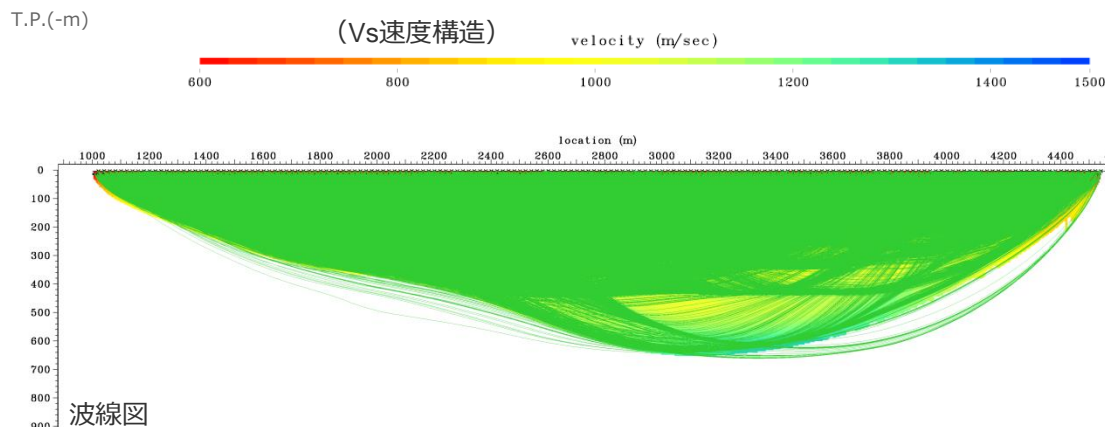
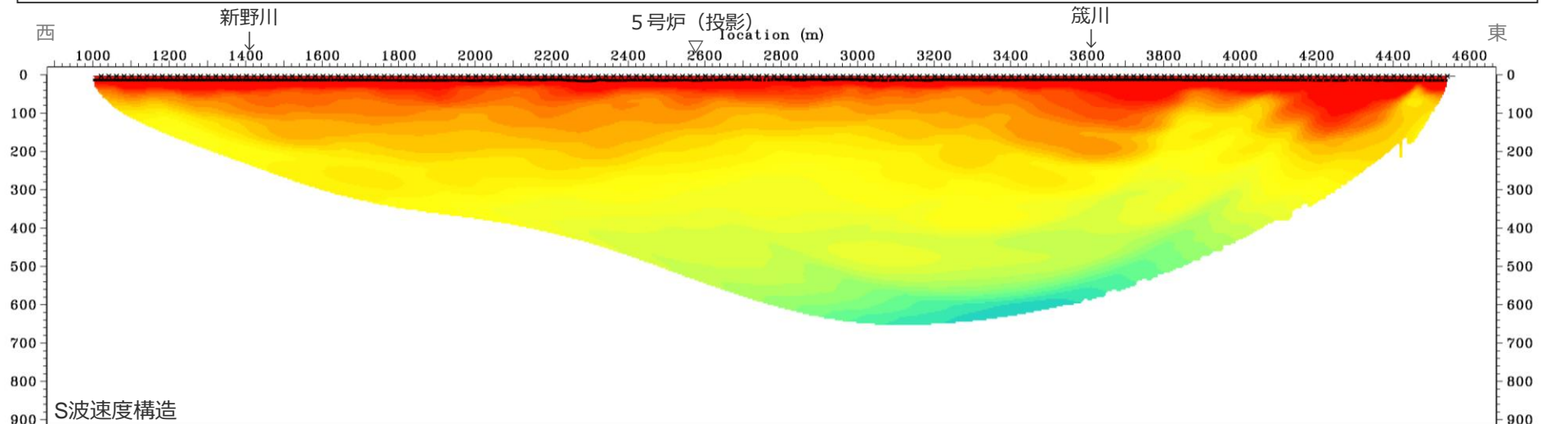




# 敷地近傍の速度構造（バイケーブル探査結果）

## （S波速度構造（沖合測線））

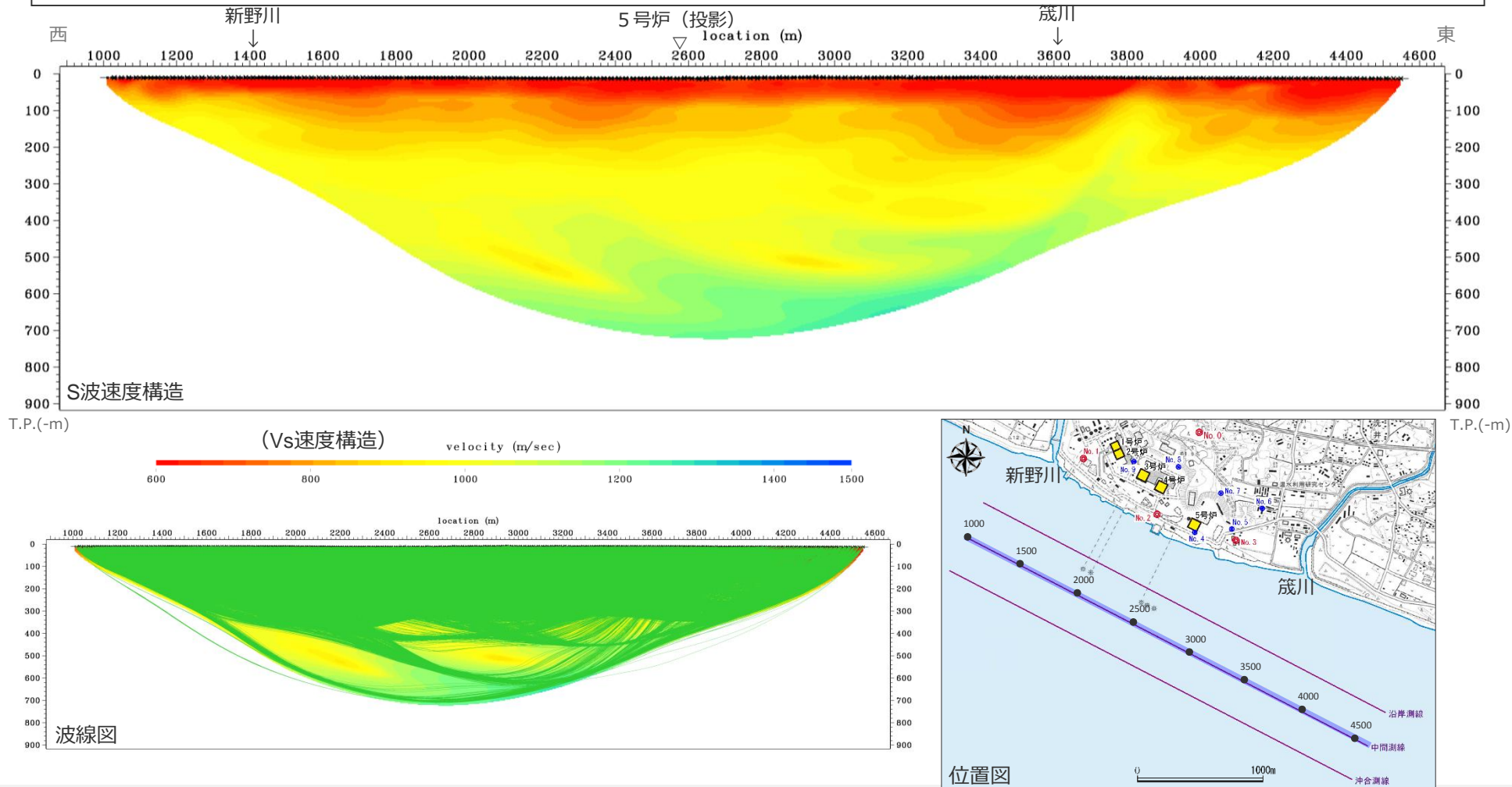
- エアガンにより発生する変換SV波を用いた屈折波トモグラフィ解析を実施し、S波速度構造を検討。
- P-SV変換波を用いた沖合測線の屈折波トモグラフィックインバージョン解析結果によると、河川の河口延長部にあたる海域では速度のやや遅い領域が浅部に見られるが、それ以外は概ね深度方向に漸増している。
- なお、河口付近のやや速度の遅い領域は、河口付近に堆積する表層の影響と思われる。



# 敷地近傍の速度構造（バイケーブル探査結果）

## （S波速度構造（中間測線））

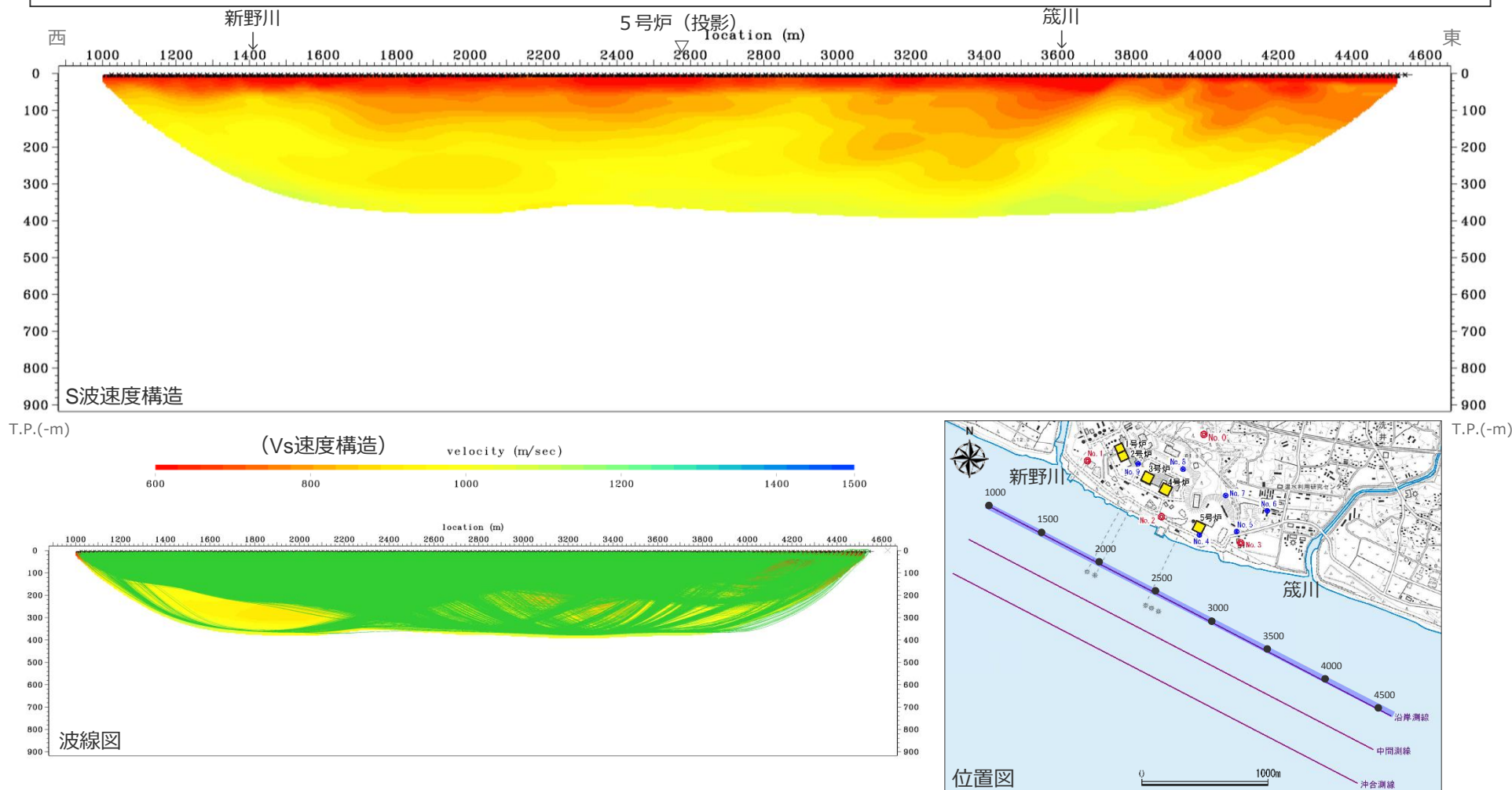
- エアガンにより発生する変換SV波を用いた屈折波トモグラフィ解析を実施し、S波速度構造を検討。
- P-SV変換波を用いた中間測線の屈折波トモグラフィックインバージョン解析結果によると、河川の河口延長部にあたる海域では速度のやや遅い領域が浅部に見られるが、それ以外は概ね深度方向に漸増している。
- なお、河口付近のやや速度の遅い領域は、河口付近に堆積する表層の影響と思われる。



<補足説明資料①-05 敷地近傍の地下構造（浅部）の調査>  
**敷地近傍の速度構造（ベイケーブル探査結果）**

**（S波速度構造（沿岸測線））**

- エアガンにより発生する変換SV波を用いた屈折波トモグラフィ解析を実施し、S波速度構造を検討。
- P-SV変換波を用いた沿岸測線の屈折波トモグラフィックインバージョン解析結果によると、河川の河口延長部にあたる海域では速度のやや遅い領域が浅部に見られるが、それ以外は概ね深度方向に漸増している。
- なお、河口付近のやや速度の遅い領域は、河口付近に堆積する表層の影響と思われる。



# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

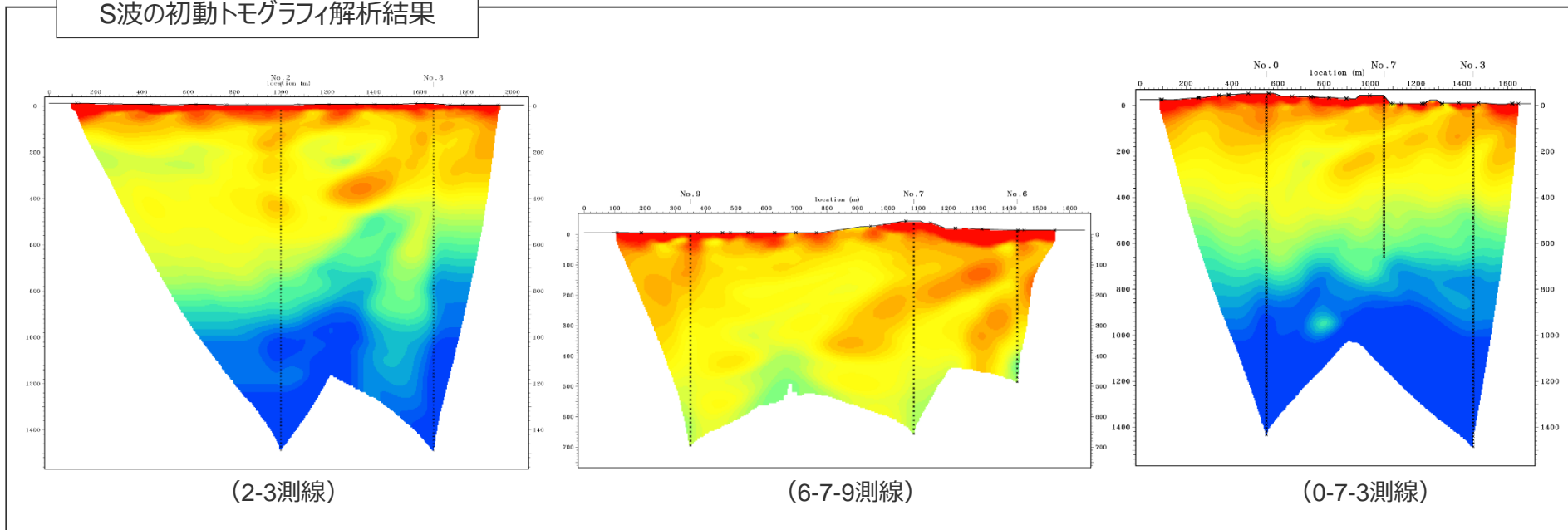
（S波の初動トモグラフィ解析結果に関する検討）

- 陸域の測線（2-3測線、6-7-9測線、0-7-3測線）で確認された、周囲に比べてS波速度が顕著に低下した構造は、地震動の増幅（5号炉周辺の増幅）に影響を及ぼすことが考えられる。
- そこで、これらの構造の信頼性を評価するため、チェッカーボードテスト※1およびスパイクテスト※2による分解能の検討、ならびに解析の初期条件（速度構造）が解析結果に与える影響を検討する。

※1：トモグラフィ解析で得られた速度構造の分解能を評価

※2：トモグラフィ解析で確認されたS波速度が顕著に低下した構造の信頼性を評価

S波の初動トモグラフィ解析結果

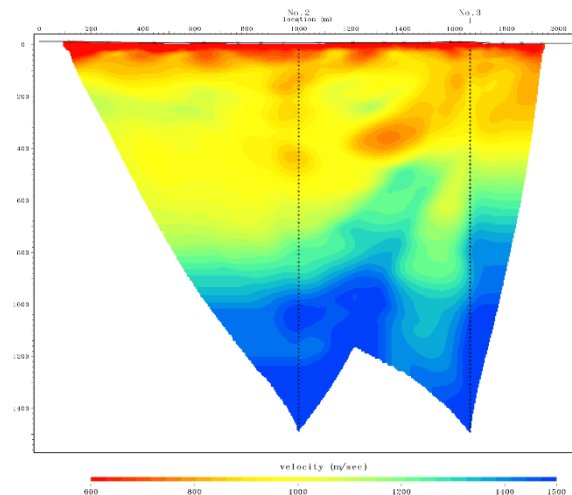




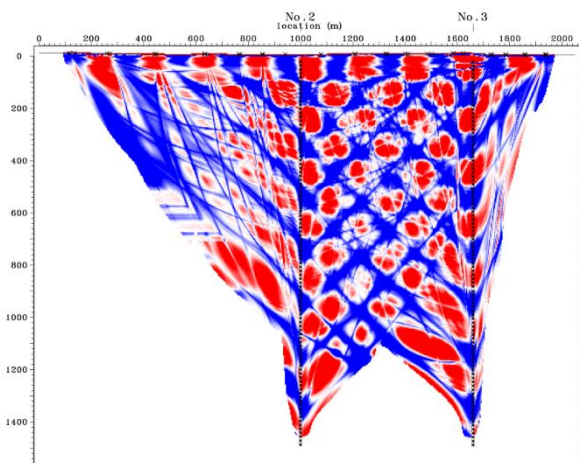
# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果） （S波の初動トモグラフィ解析結果に関する検討（2-3測線））

## ○チェッカーボードテスト

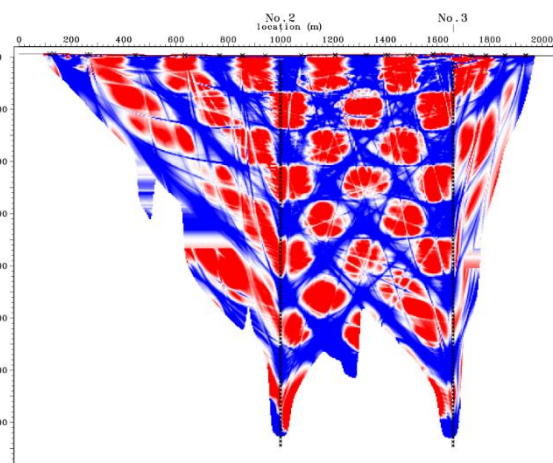
- 初動トモグラフィ解析結果の分解能を検討するため、使用した初期速度構造モデルに±5%の速度変化を格子状（100,140,180m）に与え、観測誤差を考慮しない理論走時でチェッカーボードテストを実施。なお、全波形の誤差のRMSが最少となった時点で解析は終了とした。
- No.2孔とNo.3孔のボーリング孔の間において、標高0m～標高-400mの領域ではチェッカーサイズ140mで、標高-400m～標高-800mの領域ではチェッカーサイズ180mで格子が概ね再現されている。
- これらの結果より、S波の初動解析結果においてNo.2孔とNo.3孔の間、深度200～400m付近に確認される周囲に比べて顕著に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考えられる。
- なお、No.2孔付近にみられる若干速度が低下した構造については、その大きさに応じた格子が再現されていないことから、分解能は低いと考えられる。



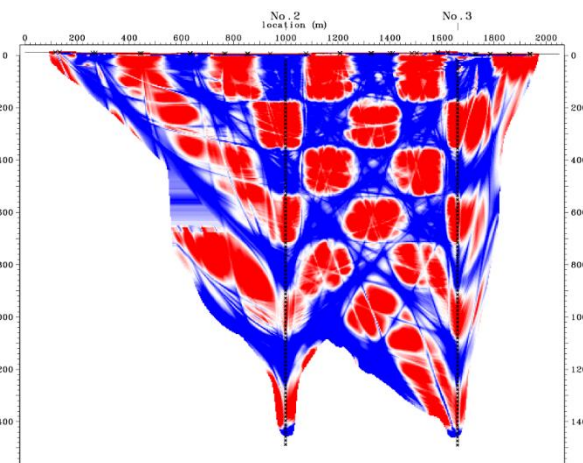
S波の初動解析結果（2-3測線）



CHECKER SIZE = 100m



CHECKER SIZE = 140m



CHECKER SIZE = 180m

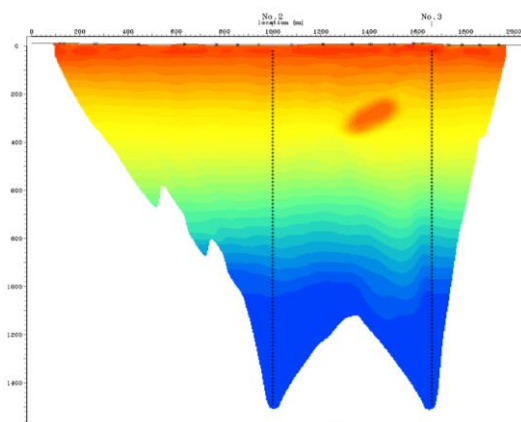
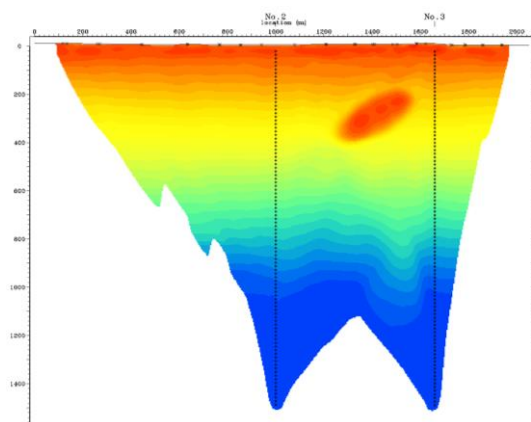
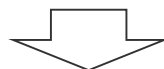
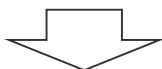
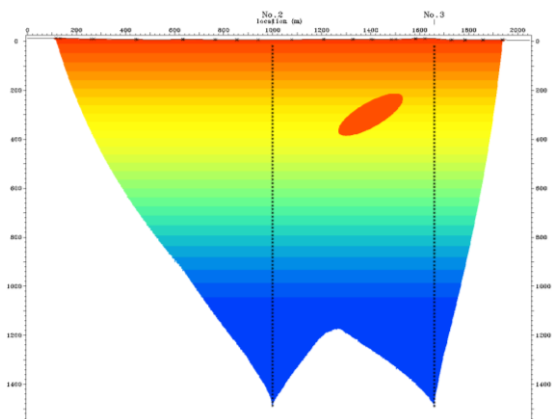
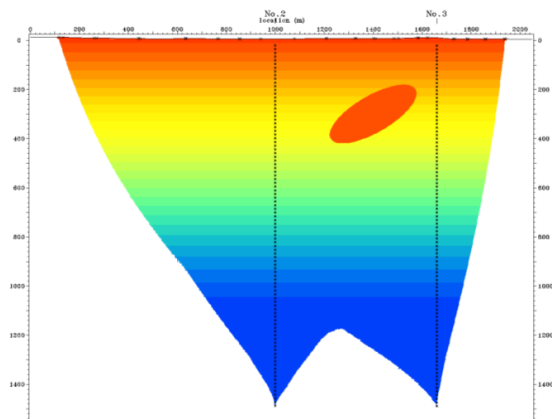


# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果） （S波の初動トモグラフィ解析結果に関する検討（2-3測線））

## ○スパイクテスト

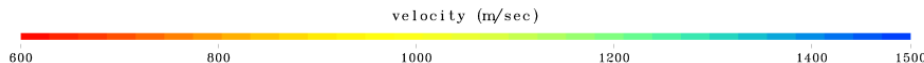
①速度異常域が400m×150m（700m/s）のモデル

②速度異常域が300×100m（700m/s）のモデル



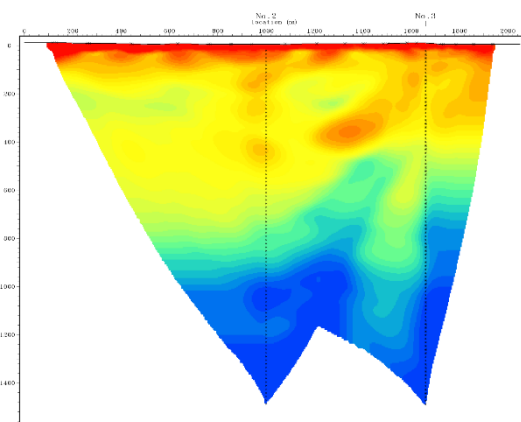
(Vs速度構造)

0m 200m 400m



- 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.2孔とNo.3孔の間、深度200～400m付近に確認された顕著にS波速度が低下した構造については、信頼性が高いと考えられる。

〔 上段：初期速度構造モデル  
下段：トモグラフィ解析結果 〕



S波の初動解析結果（2-3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（2-3測線））

### ○初期速度構造の影響検討 - 1

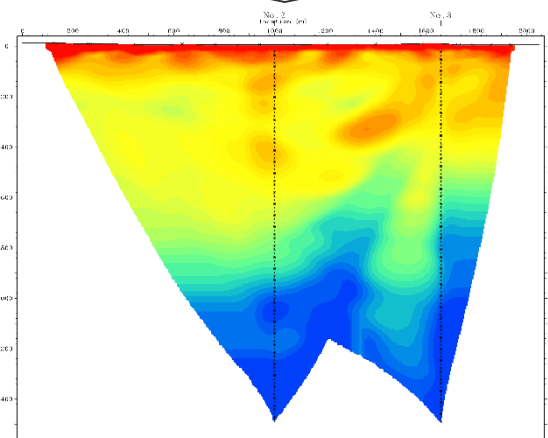
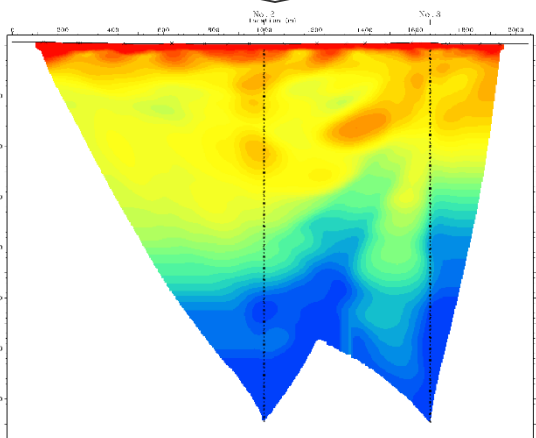
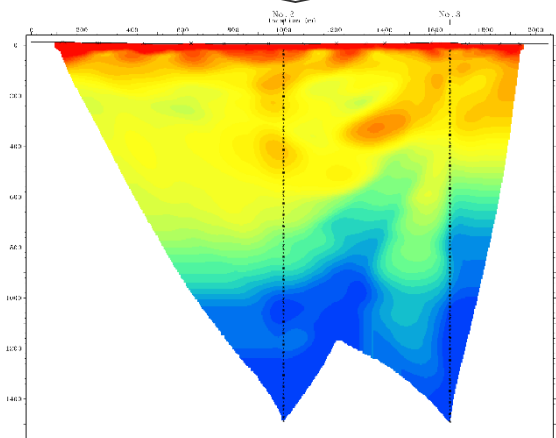
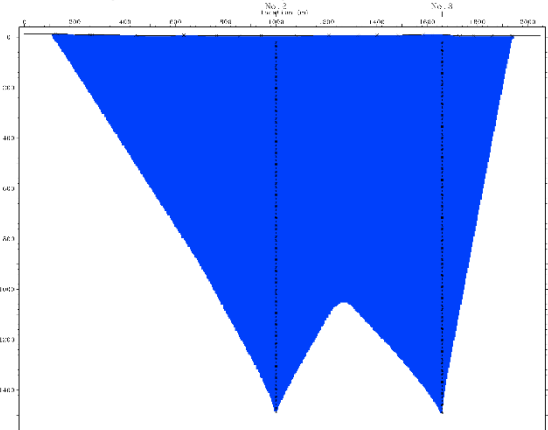
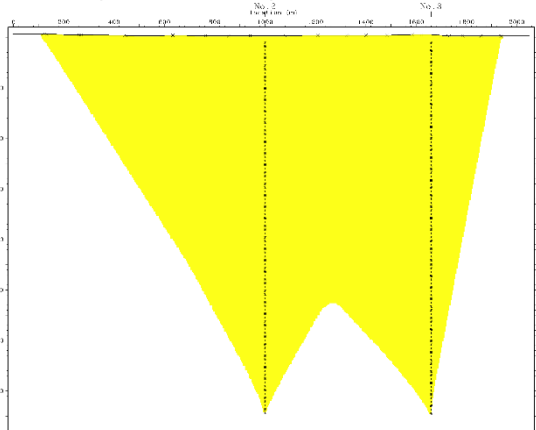
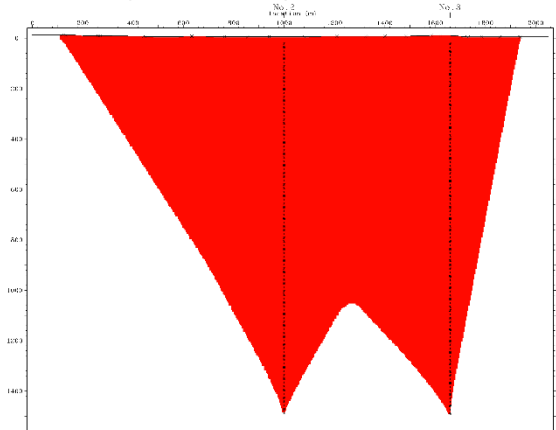
- 解析の初期条件（速度構造）が解析結果に与える影響を検討するため、異なる一様速度構造モデル（500m/s、1000m/s、2000m/s）を用いてトモグラフィ解析を実施した。いずれのケースにおいても、同様の解析結果となっている。

（上段：初期速度構造モデル、下段：トモグラフィ解析結果）

①500m/sの一様速度構造モデル

②1000m/sの一様速度構造モデル

③2000m/sの一様速度構造モデル



0m 200m 400m

(Vs速度構造)

velocity (m/sec)

600 800 1000 1200 1400 1500

# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

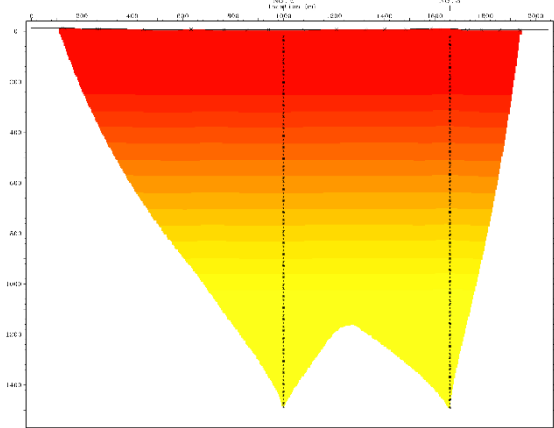
## （S波の初動トモグラフィ解析結果に関する検討（2-3測線））

### ○初期速度構造の影響検討－2

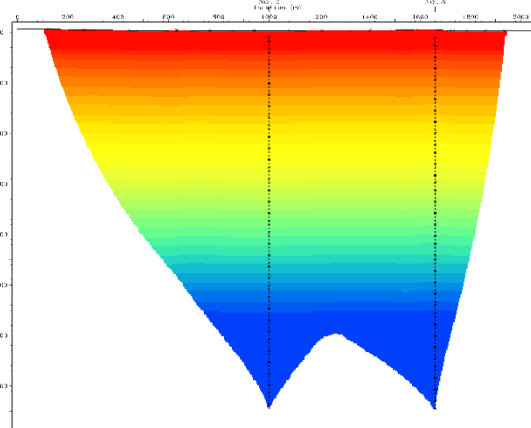
- 解析の初期条件（速度構造）が解析結果に与える影響を検討するため、異なる漸増速度構造モデル（400～1000m/s、400～1500m/s、1000～2000m/s）を用いてトモグラフィ解析を実施した。いずれのケースにおいても、同様の解析結果となっている。

（上段：初期速度構造モデル、下段：トモグラフィ解析結果）

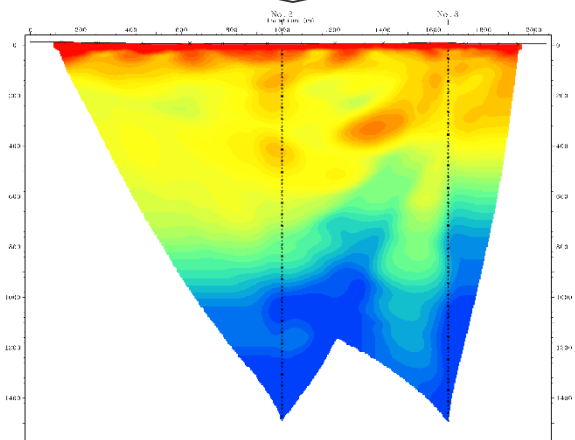
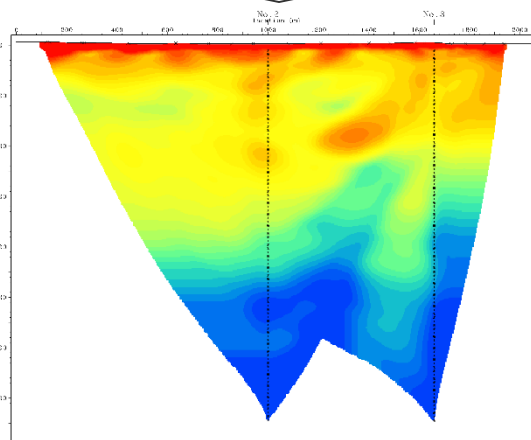
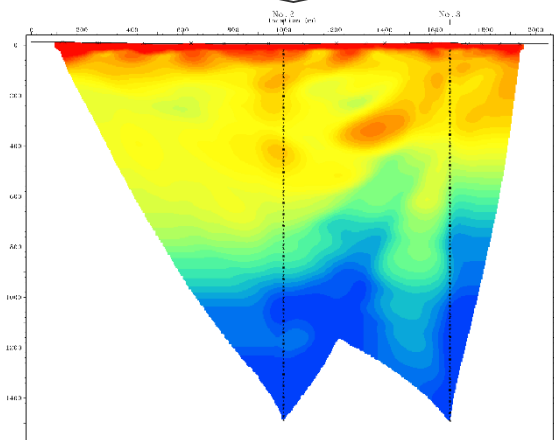
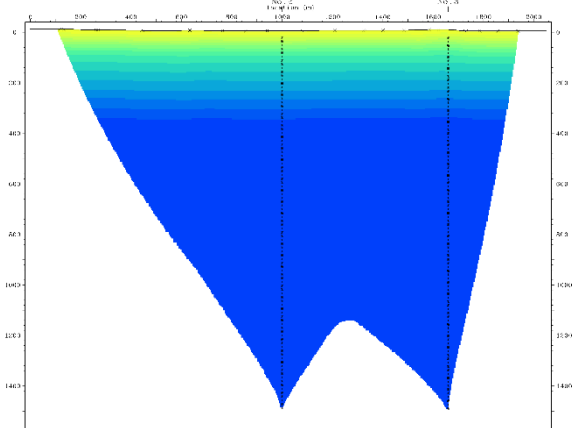
①400～1000m/sの漸増速度構造モデル



②400～1500m/sの漸増速度構造モデル



③1000～2000m/sの漸増速度構造モデル



0m 200m 400m

(Vs速度構造) velocity (m/sec)

600 800 1000 1200 1400 1500

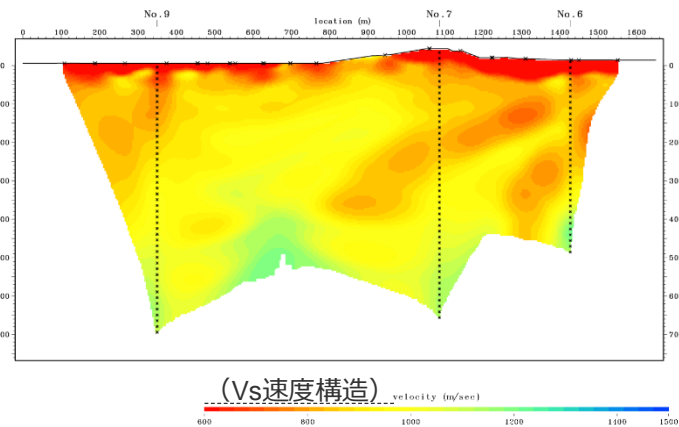
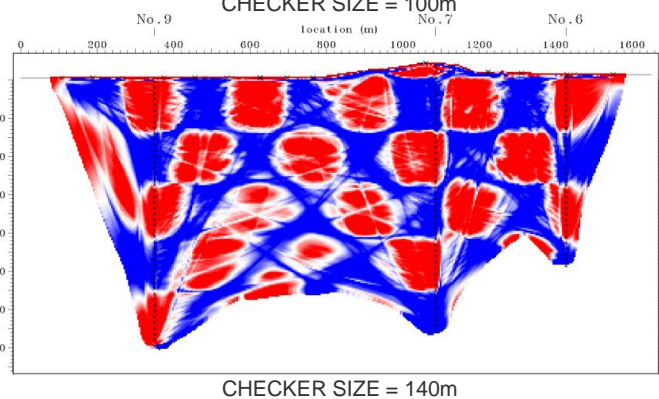
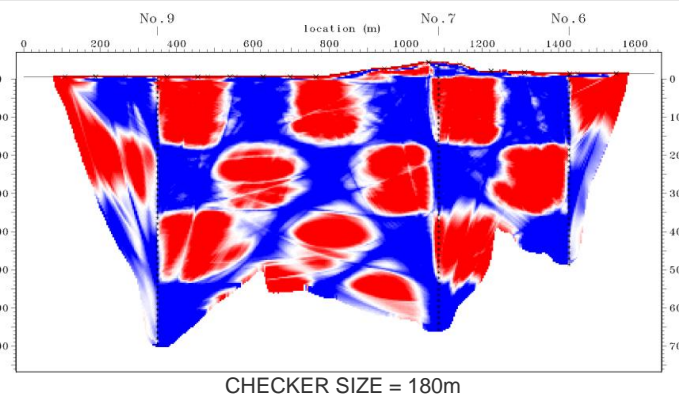
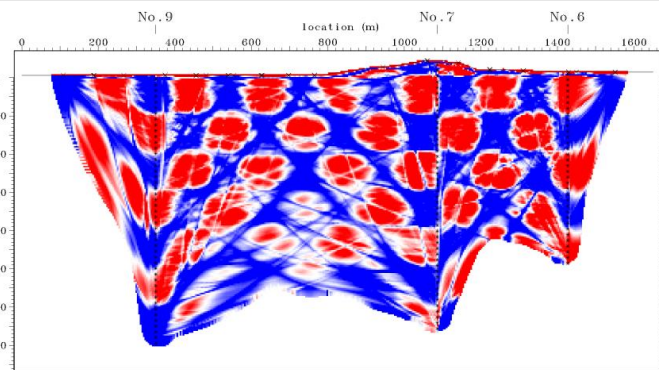


# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

（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

- ・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考えられる。



S波の初動解析結果（6-7-9測線）

<補足説明資料①-05 敷地近傍の地下構造（浅部）の調査>

# 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））

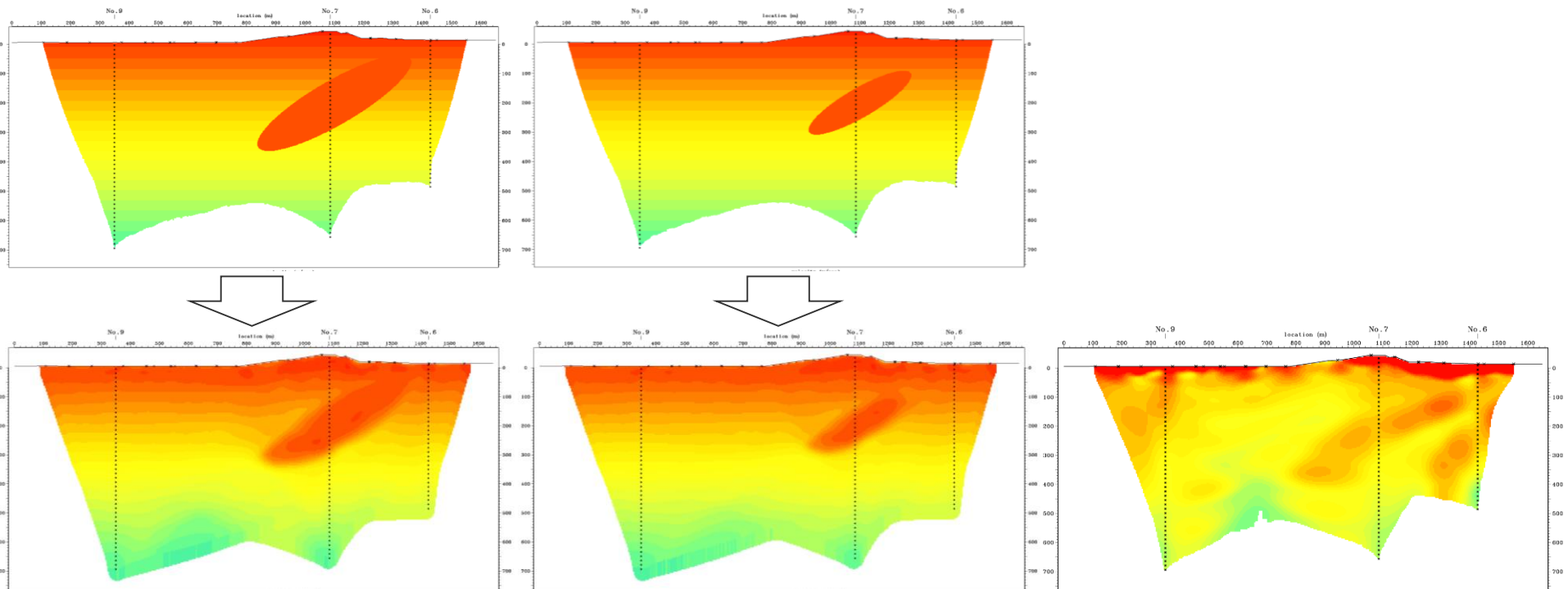
## ○スパイクテスト

- ・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、信頼性が高いと考えられる。

（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）

velocity (m/sec)

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））

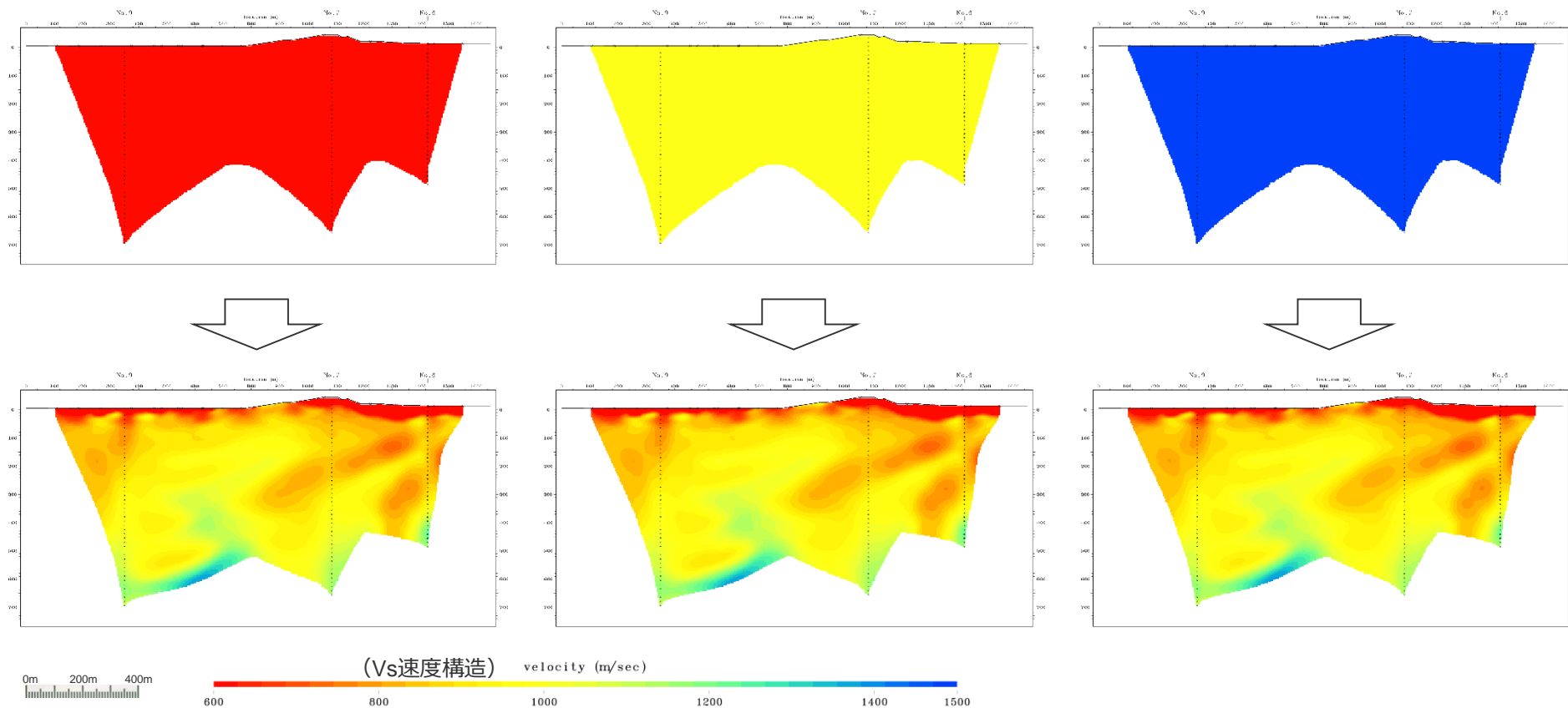
### ○初期速度構造の影響検討

・解析の初期条件（速度構造）が解析結果に与える影響を検討するため、異なる一様速度構造モデル（500m/s、1000m/s、2000m/s）を用いてトモグラフィ解析を実施した。いずれのケースにおいても、同様の解析結果となっている。  
（上段：初期速度構造モデル、下段：トモグラフィ解析結果）

①500m/sの一様速度構造モデル

②1000m/sの一様速度構造モデル

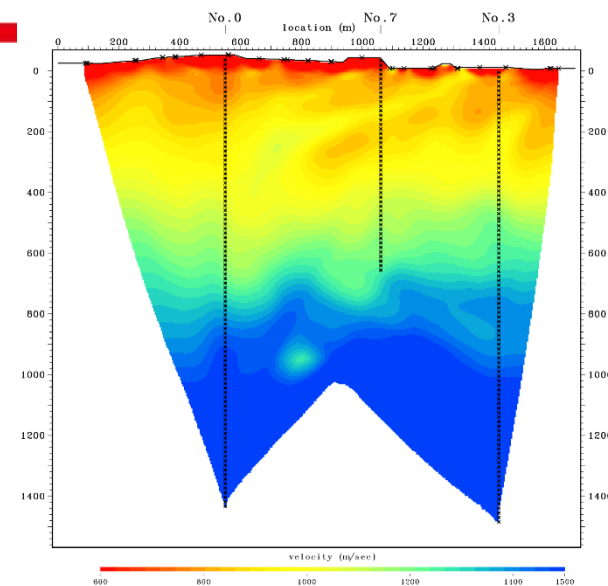
③2000m/sの一様速度構造モデル



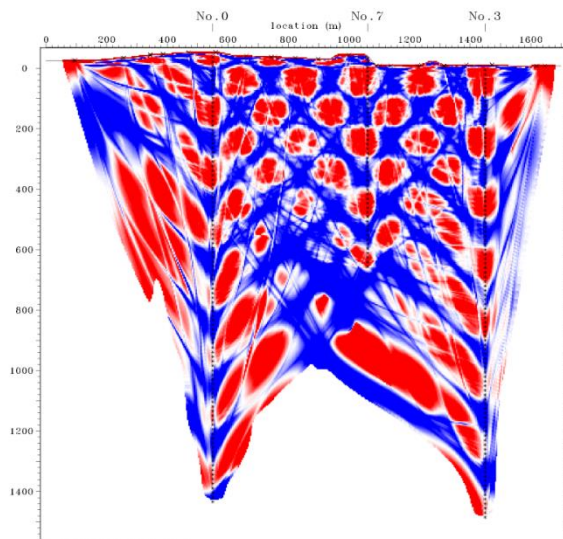
# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果） （S波の初動トモグラフィ解析結果に関する検討（0-7-3測線））

## ○チェッカーボードテスト

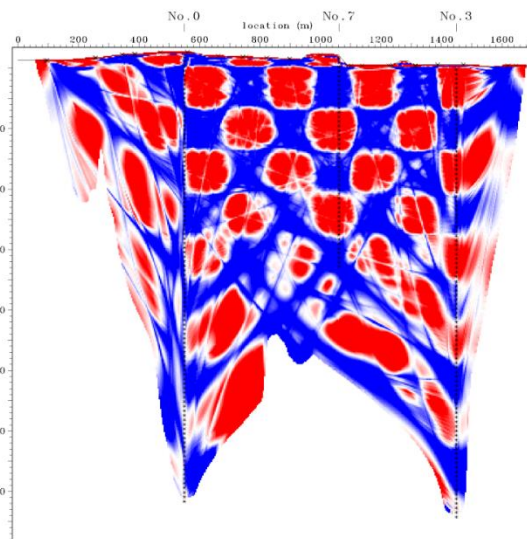
- ・初動トモグラフィ解析結果の分解能を検討するため、使用した初期速度構造モデルに±5%の速度変化を格子状（100,140,180m）に与え、観測誤差を考慮しない理論走時でチェッカーボードテストを実施。なお、全波形の誤差のRMSが最少となった時点で解析は終了とした。
- ・No.0孔、No.7孔、No.3孔のボーリング孔の間において、標高0m～標高-600mの領域では、チェッカーサイズ140mで格子が概ね再現されている。
- ・これらの結果より、S波の初動解析結果において、No.3孔からNo.7孔の北側にかけて、深度100～300m付近に認められる周囲に比べてS波速度が低下した構造については、十分な分解能があると考えられる。



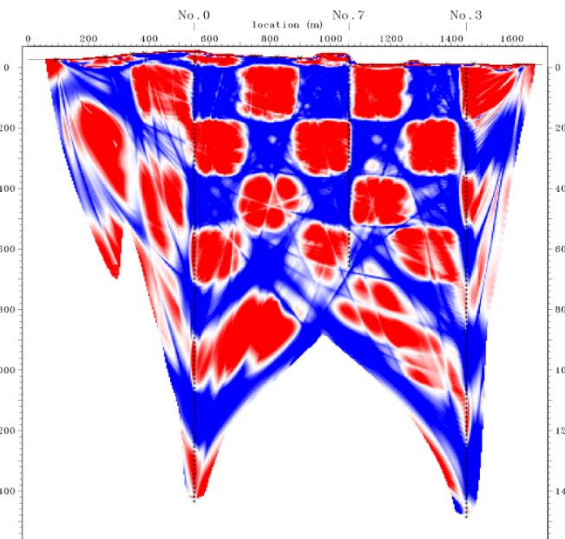
S波の初動解析結果（0-7-3測線）



CHECKER SIZE = 100m



CHECKER SIZE = 140m



CHECKER SIZE = 180m



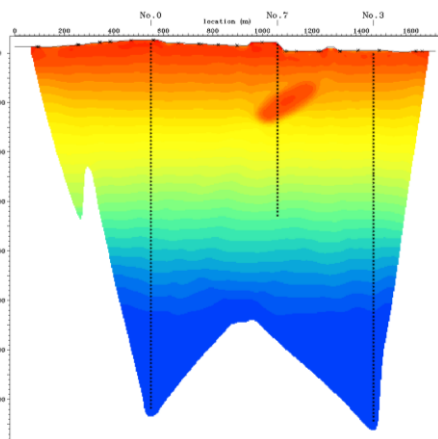
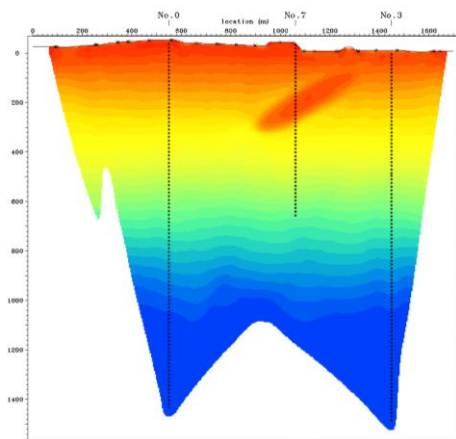
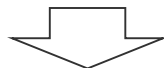
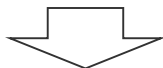
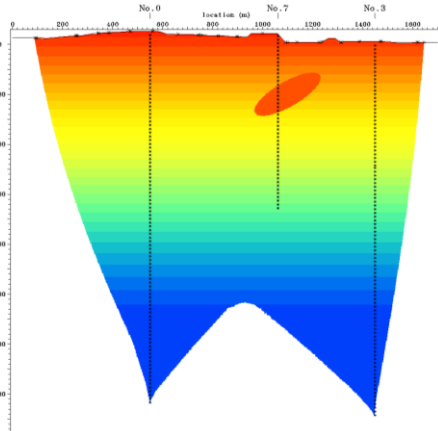
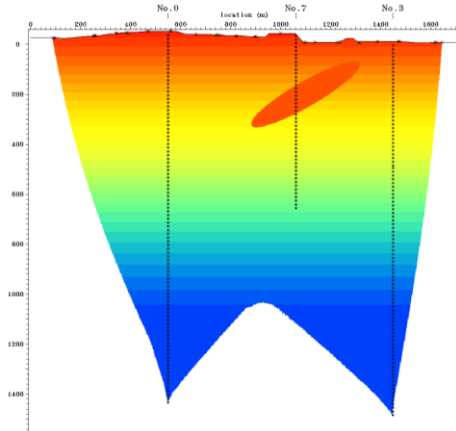


# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果） （S波の初動トモグラフィ解析結果に関する検討（0-7-3測線））

## ○スパイクテスト

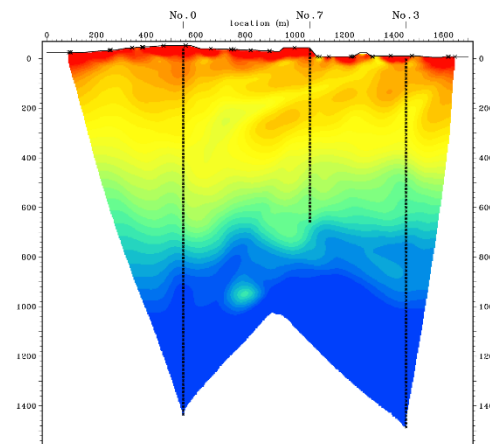
①速度異常域が500m×100m（700m/s）のモデル

②速度異常域が300×100m（700m/s）のモデル

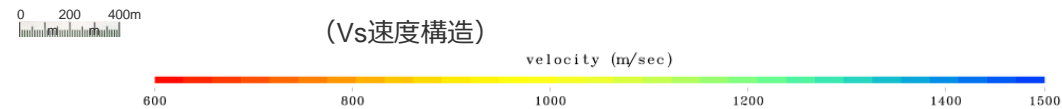


- 初動トモグラフィ解析結果で確認されたS波速度が低下した構造の信頼性を検討するため、この構造を対象に、異なる大きさの速度異常域を有するモデルを設定し、スパイクテストを実施。
- その結果、いずれのモデルにおいても、速度境界は不明瞭になるものの、初期速度構造モデルとほぼ同様の位置に速度異常域が確認される。
- これらの結果から、S波の初動解析結果において確認されたS波速度が低下した構造については、信頼性が高いと考えられる。

〔上段：初期速度構造モデル〕  
〔下段：トモグラフィ解析結果〕



S波の初動解析結果（0-7-3測線）



# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

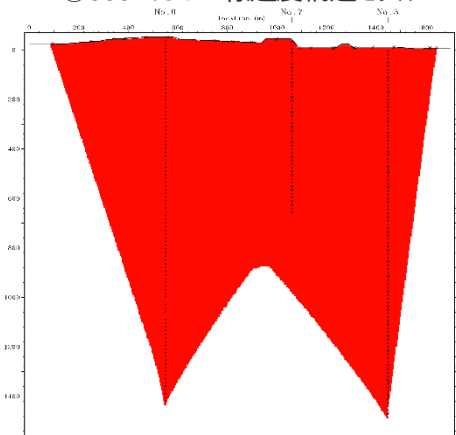
（S波の初動トモグラフィ解析結果に関する検討（0-7-3測線））

## ○初期速度構造の影響検討

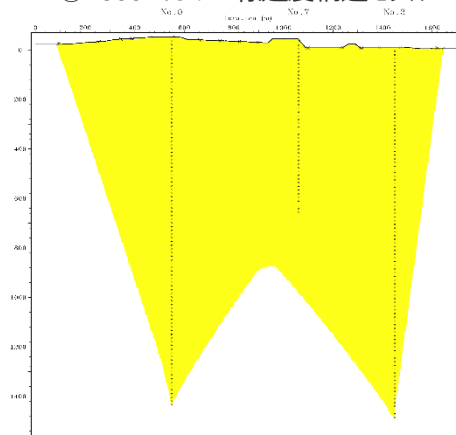
・解析の初期条件（速度構造）が解析結果に与える影響を検討するため、異なる一様速度構造モデル（500m/s、1000m/s、2000m/s）を用いてトモグラフィ解析を実施した。いずれのケースにおいても、同様の解析結果となっている。

（上段：初期速度構造モデル、下段：トモグラフィ解析結果）

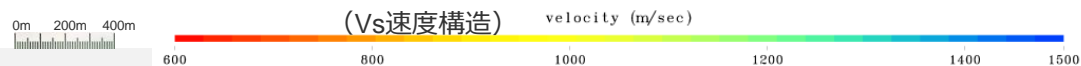
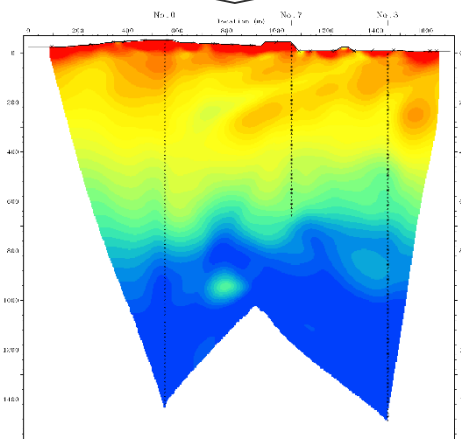
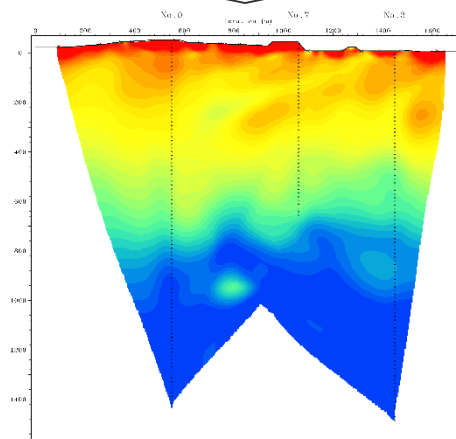
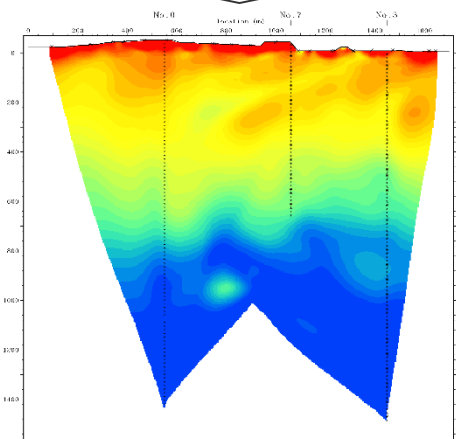
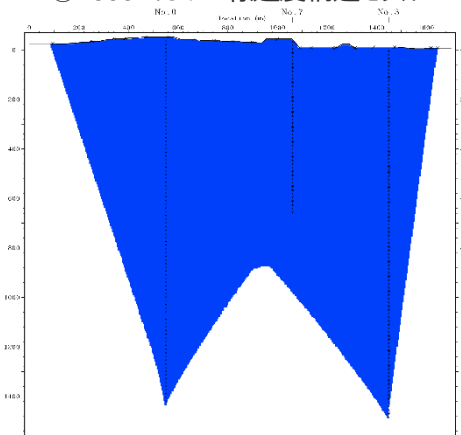
①500m/sの一様速度構造モデル



②1000m/sの一様速度構造モデル



③2000m/sの一様速度構造モデル

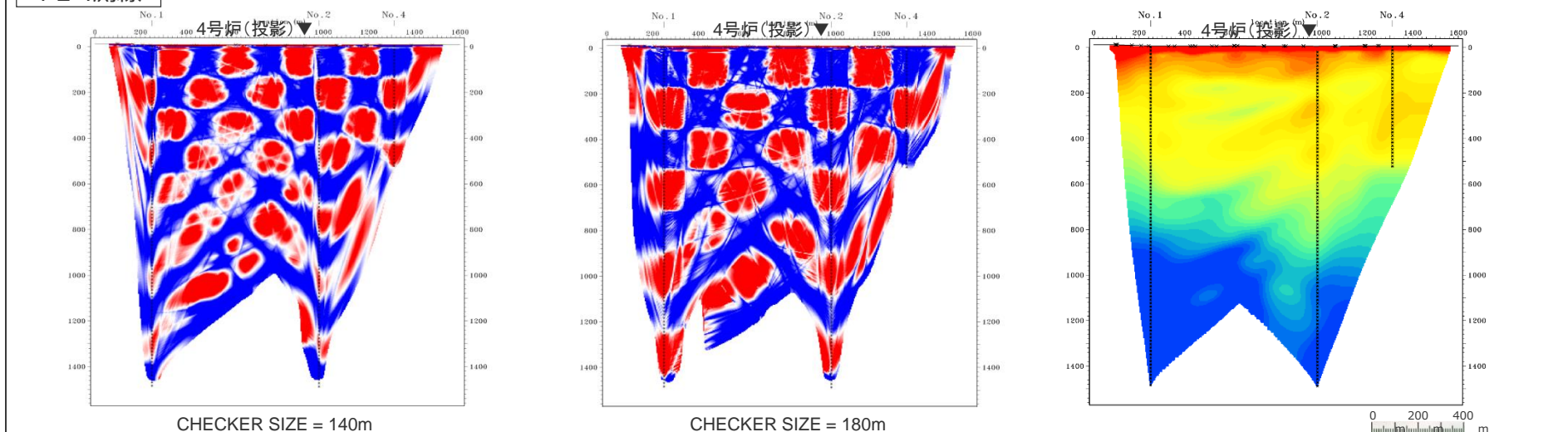


# 敷地近傍の速度構造（オフセットVSP探査結果）

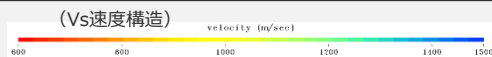
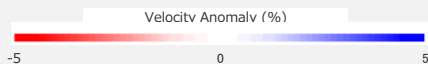
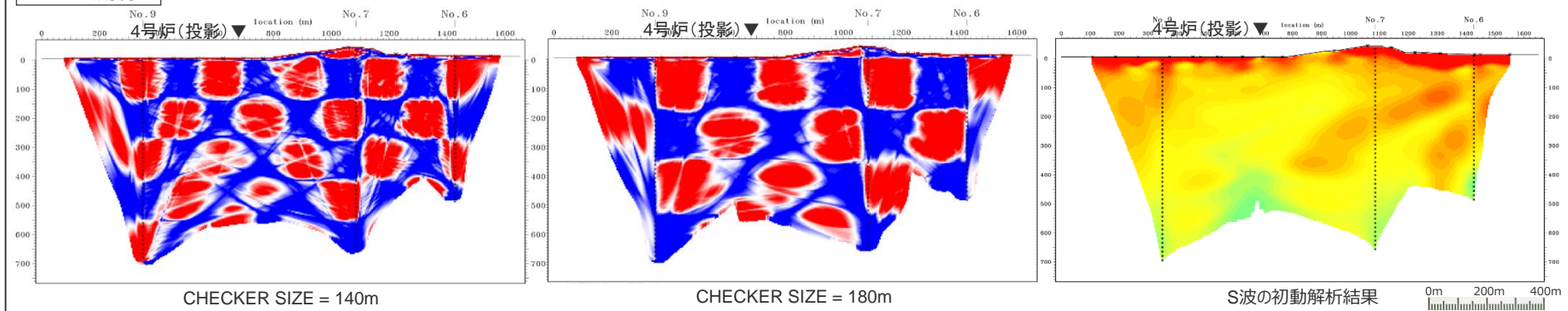
## （S波の初動トモグラフィ解析結果に関する検討（4号炉周辺））

- 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（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。
- 1-2-4測線の4号炉周辺のNo.2孔付近では、チェッカーサイズ140mで格子が概ね再現され、6-7-9測線の4号炉周辺のNo.7孔とNo.9孔のボーリング孔間では、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、4号炉周辺のS波速度構造については、十分な分解能があると考えられる。

1-2-4測線

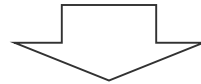


6-7-9測線



## 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（まとめ））

- 陸域の測線（2-3測線、6-7-9測線、0-7-3測線）で確認された、周囲に比べてS波速度が顕著に低下した構造について、その構造の信頼性を評価するため、チェッカーボードテスト及びスパイクテストによる分解能の検討、ならびに解析の初期条件（速度構造）が解析結果に与える影響を検討。



- これらの周囲に比べて顕著にS波速度が低下した構造は、チェッカーボードテスト及びスパイクテストにより、いずれも十分な分解能があり、信頼性が高いと考えられる。また、4号炉周辺のS波速度構造についても、十分な分解能があると考えられる。
- S波の初動トモグラフィ解析結果において、初期条件（速度構造）の違いは解析結果に影響を与えないことを確認。



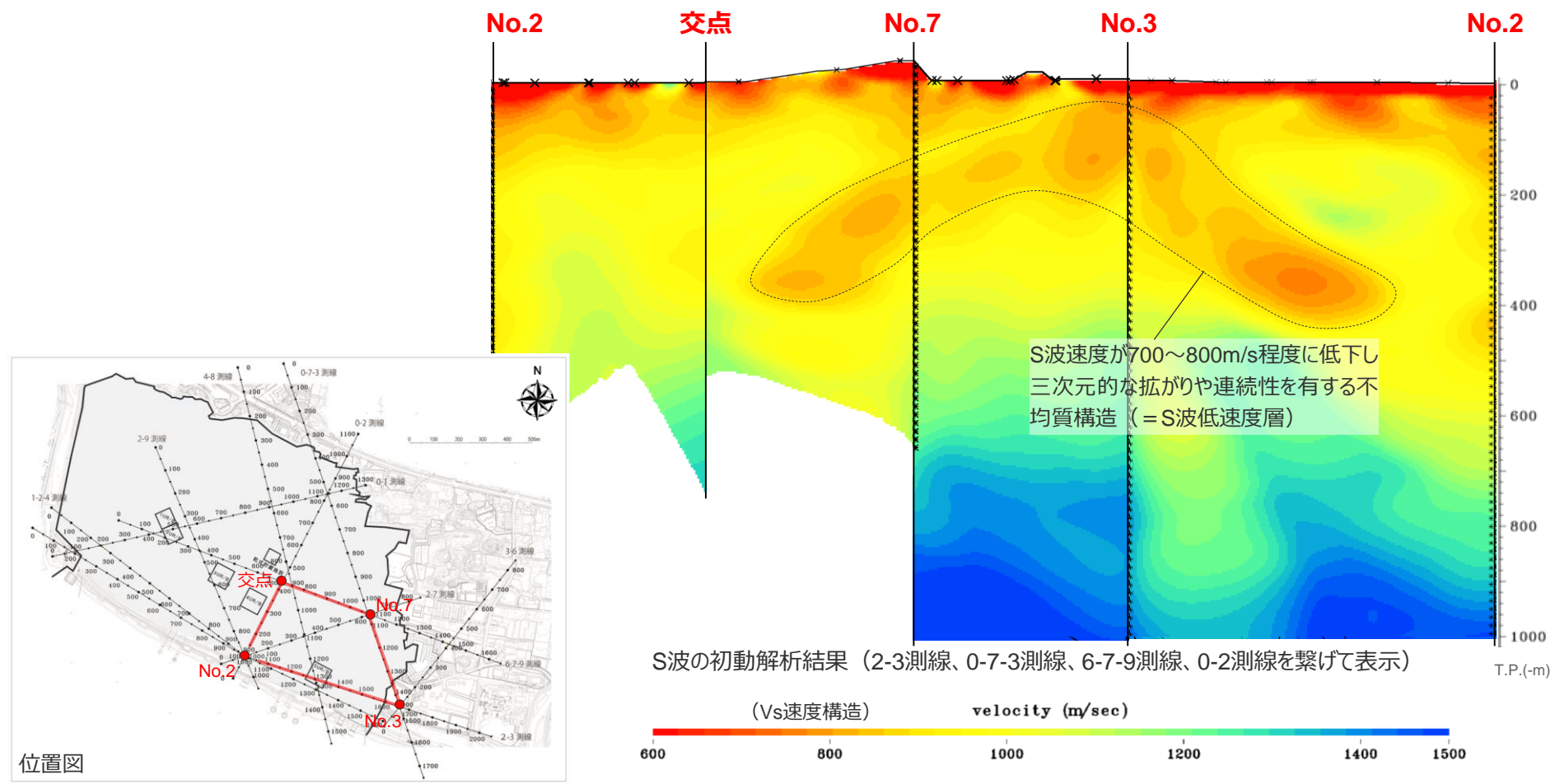
補足説明資料①-06  
地下構造調査に基づくS波低速度層の分布

---

# <補足説明資料①-06 地下構造調査に基づくS波低速度層の分布> 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。

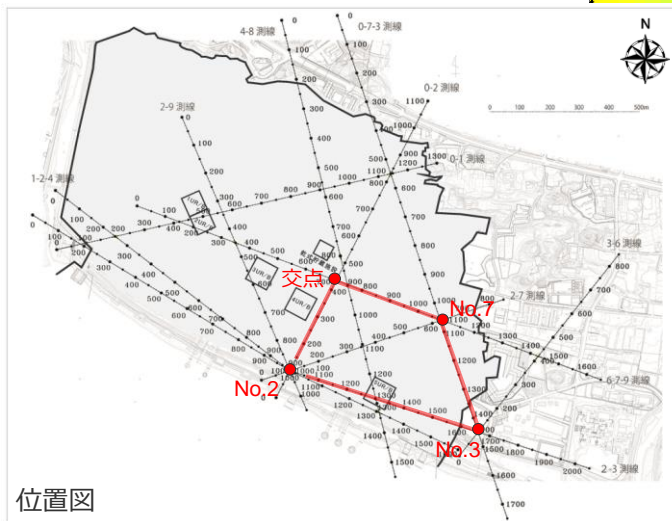
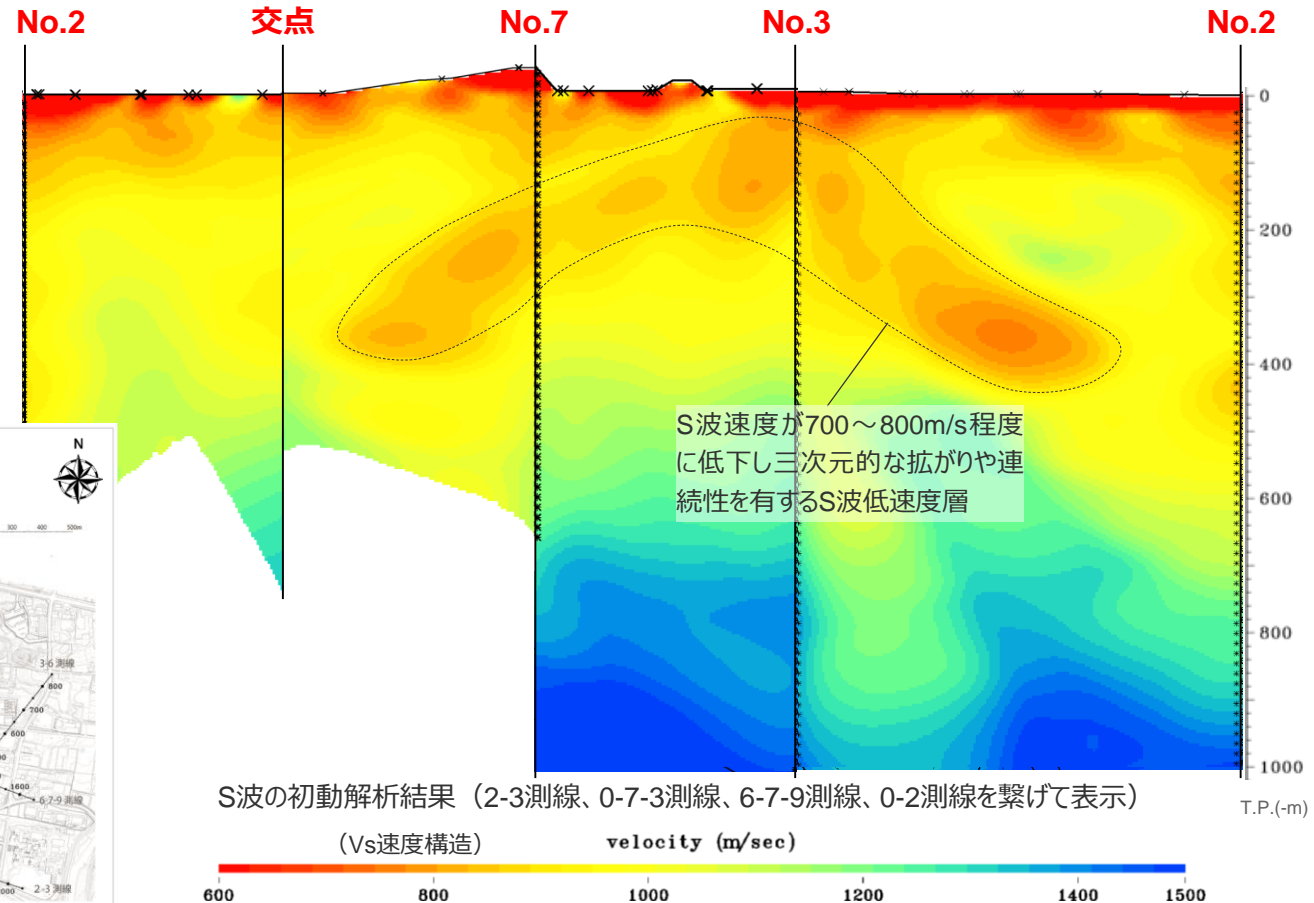
\*周囲に比べて2～3割程度の速度低下を目安とする。



# S波低速度層の分布

(敷地東側)

- 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。
- 上記以外に、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。

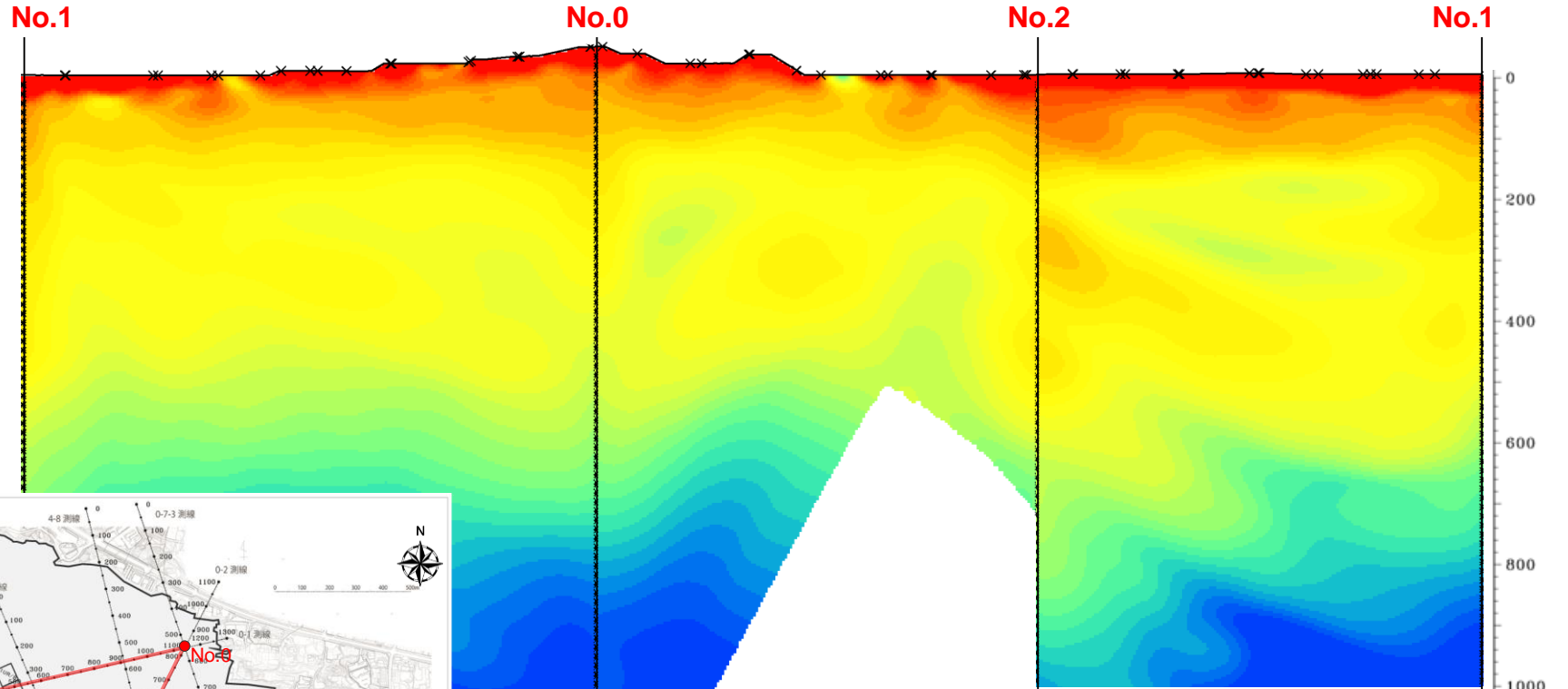


位置図

# S波低速度層の分布

(敷地西側)

- 敷地西側には、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。
- No.2孔付近にS波速度が若干低下した構造が認められるが、顕著な速度低下や直交する0-2測線方向への三次元的な拡がりや連続性は認められない。

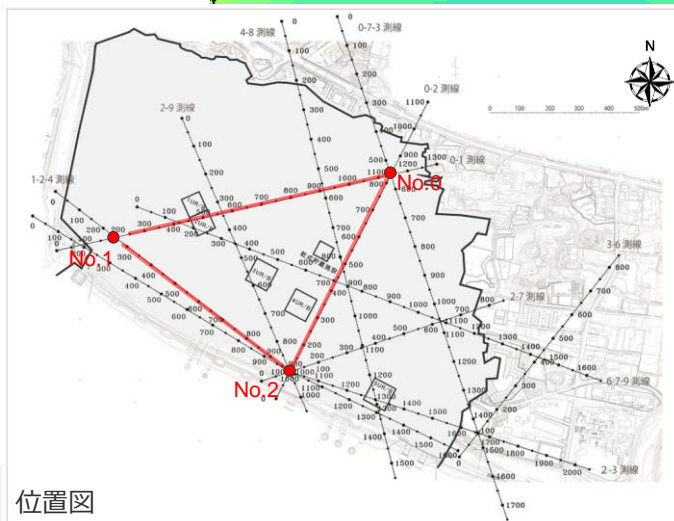


S波の初動解析結果 (0-1測線、0-2測線、1-2測線を繋げて表示)

T.P.(-m)

(Vs速度構造)

velocity (m/sec)

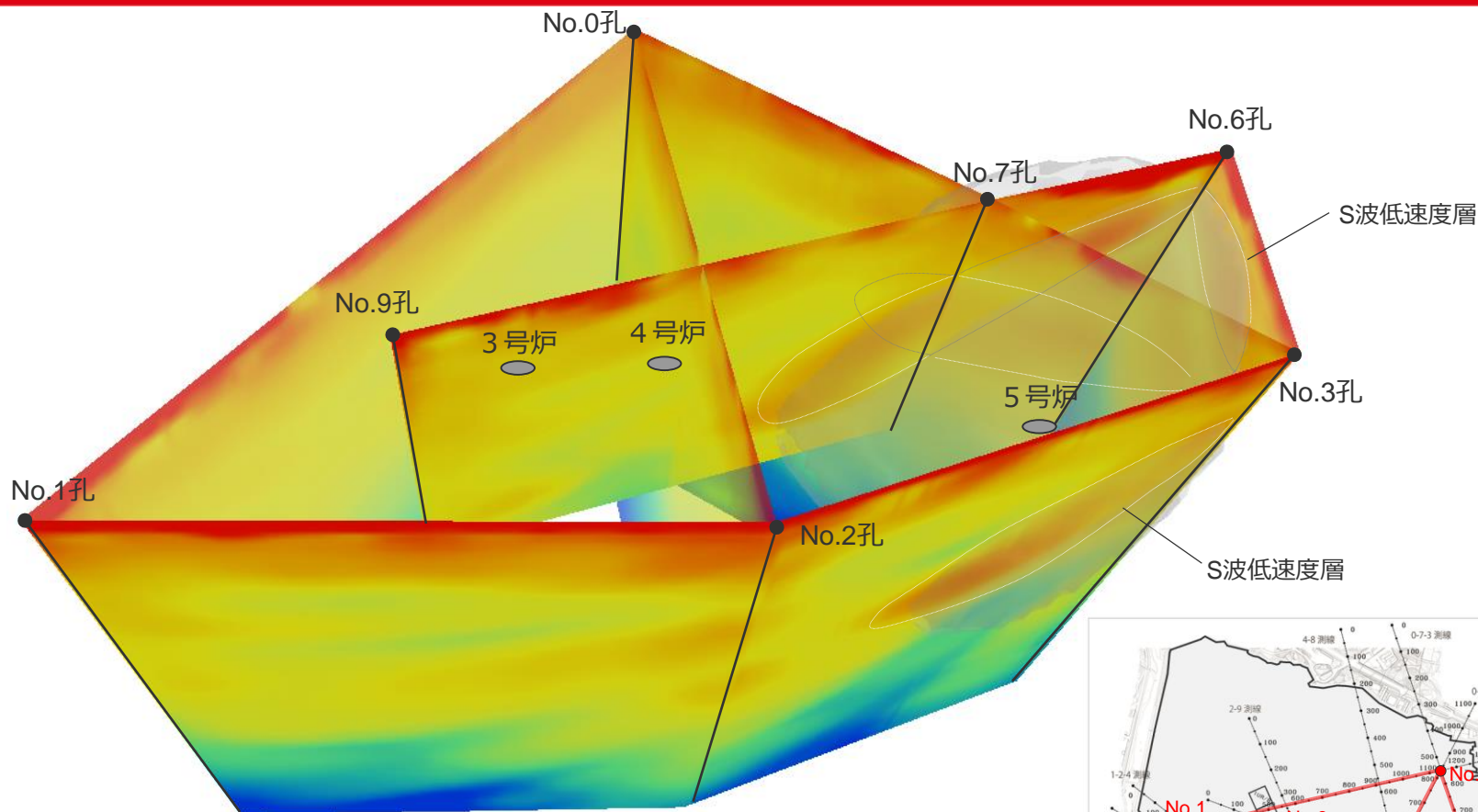


位置図



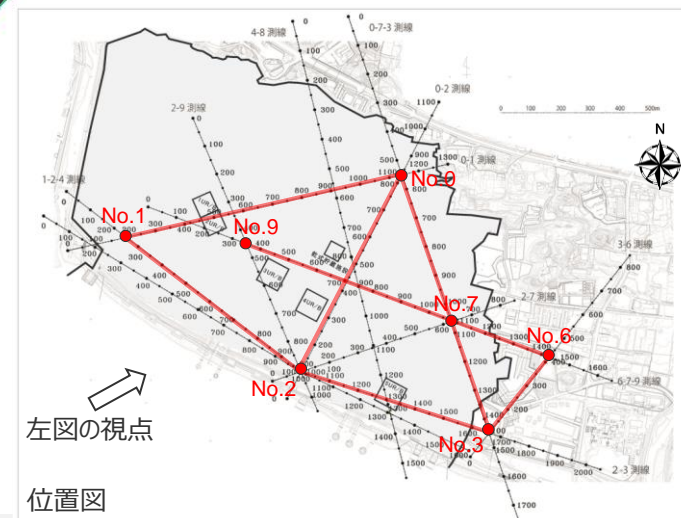
# S波低速度層の分布

(立体図)



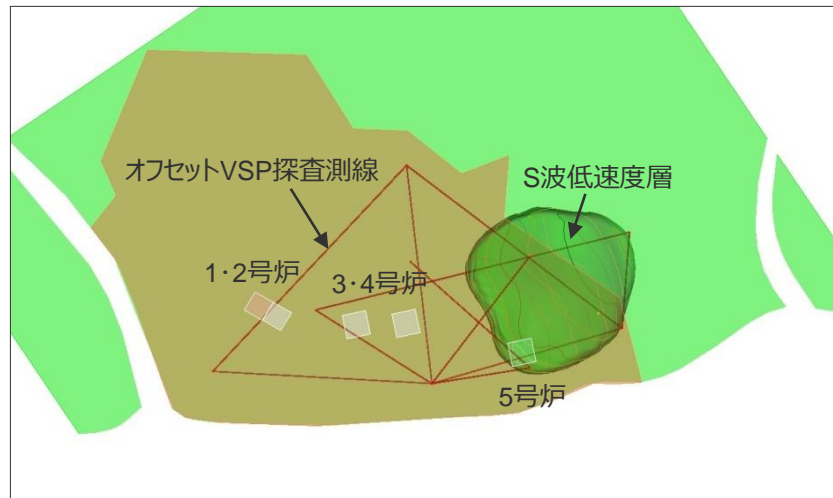
※ 3号炉、4号炉、5号炉は地表面位置を投影

- 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。

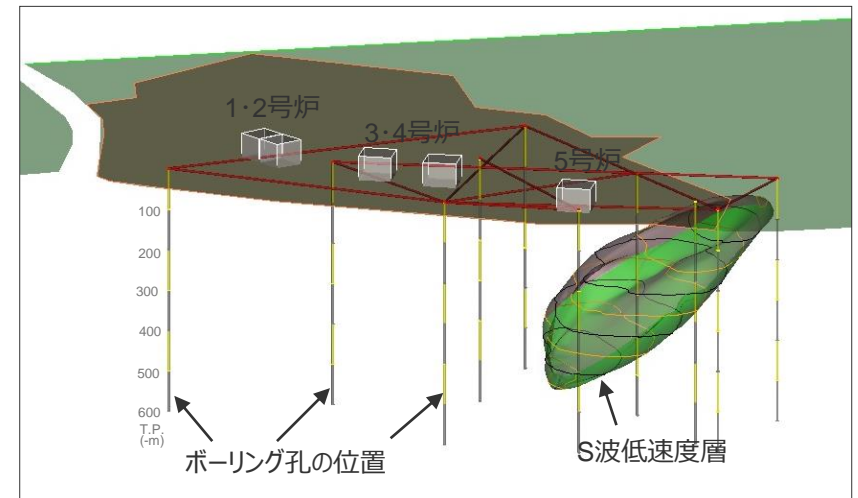


## S波低速度層の三次元分布

- 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と考えられる。



平面分布図

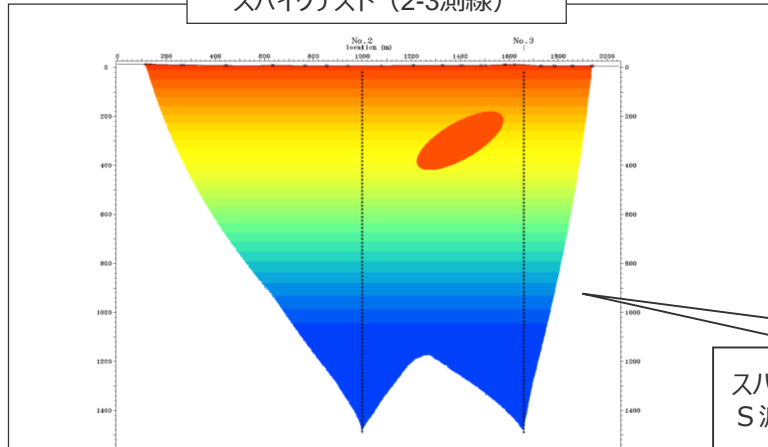


鳥瞰図

<補足説明資料①-06 地下構造調査に基づくS波低速度層の分布>

# スパイクテストにおける速度異常域とS波低速度層の三次元分布との対応

スパイクテスト (2-3測線)



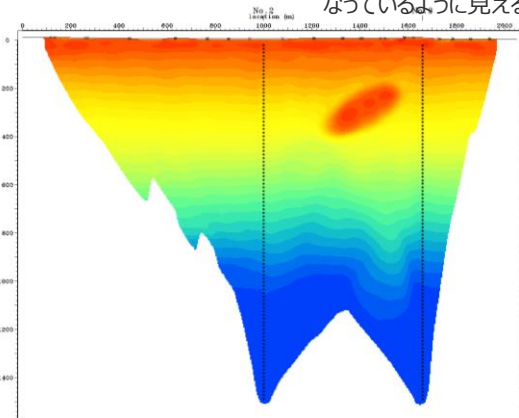
○ スパイクテストのトモグラフィ解析結果では、初期速度構造モデルとほぼ同様の位置に速度異常域が確認されるが、初期速度構造モデルに比べ速度異常域の境界は不明瞭になり、その範囲が若干小さくなっているように見える。

⇒ トモグラフィ解析により、速度異常域の境界は不明瞭になることを踏まえて、初動トモグラフィ解析結果等に基づき設定したS波低速度層の三次元分布について、スパイクテストにおける初期速度構造モデルの速度異常域との対応を検討する。

スパイクテストにおける初期速度構造モデルの速度異常域とS波低速度層の三次元分布との対応について検討

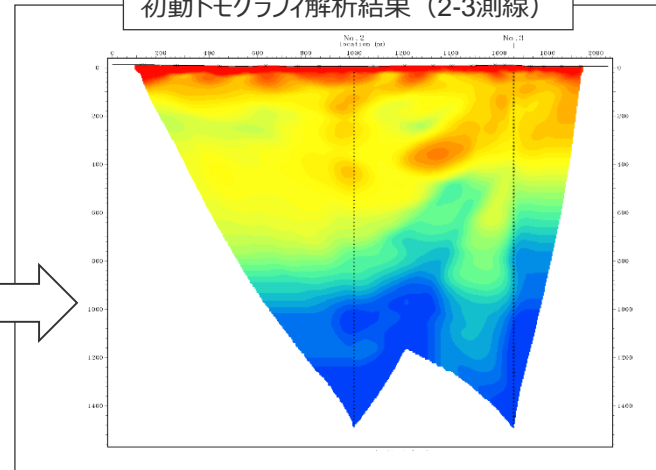
初期速度構造モデル (速度異常域 : 400m × 150m (700m/s))

速度境界は不明瞭  
(速度異常域の範囲が若干小さくなっているように見える)



上記速度構造モデルのトモグラフィ解析結果

初動トモグラフィ解析結果 (2-3測線)

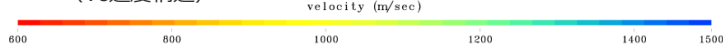


S波速度が低下した  
範囲が概ね同様

・ スパイクテストの初期速度構造モデルについて、その解析結果 (速度異常域) が初動トモグラフィ解析結果におけるS波低速度層の分布範囲と概ね整合するものは以下のとおり。

<2-3測線> 速度異常域 : 400m × 150m      <6-7-9測線> 速度異常域 : 600m × 150m  
<0-7-3測線> 速度異常域 : 500m × 100m

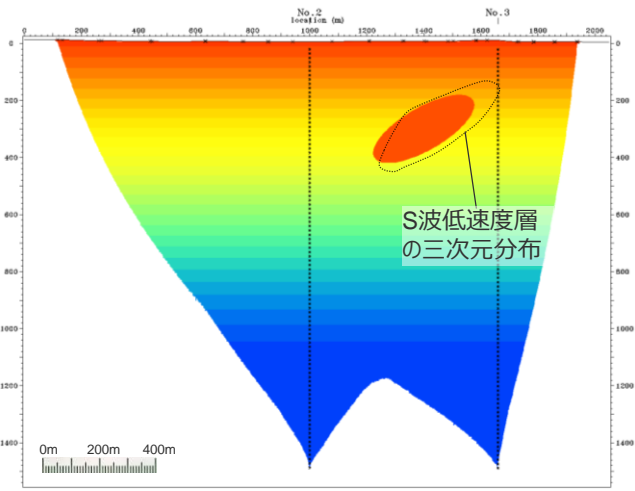
(Vs速度構造)



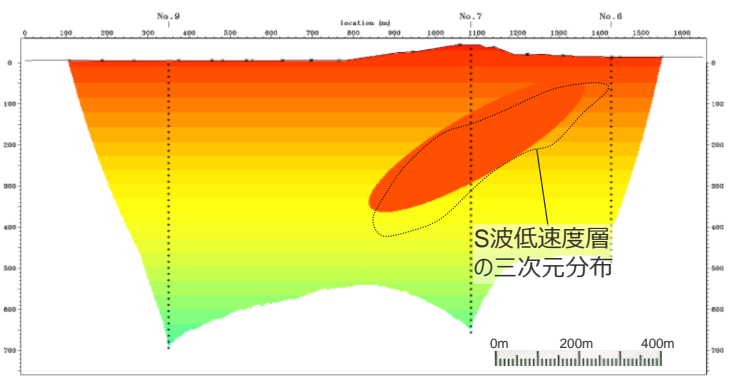
<補足説明資料①-06 地下構造調査に基づくS波低速度層の分布>

# スパイクテストにおける速度異常域とS波低速度層の三次元分布との対応

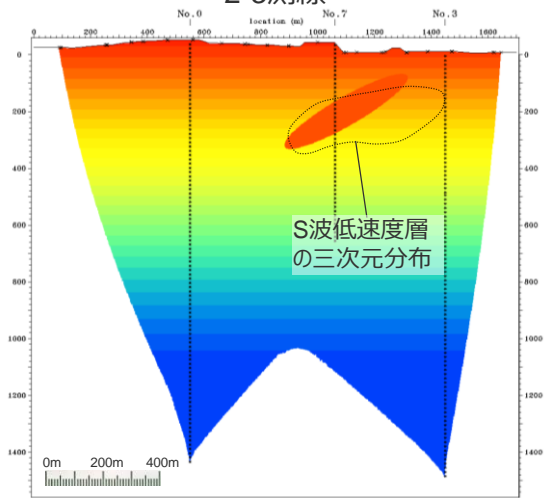
○ S波低速度層は、初動トモグラフィ解析結果等に基づき、三次元的な拡がりや連続性を考慮して設定しており、その三次元分布については、いずれの測線においても、スパイクテストにおける初期速度構造モデルの速度異常域を概ね包含している。



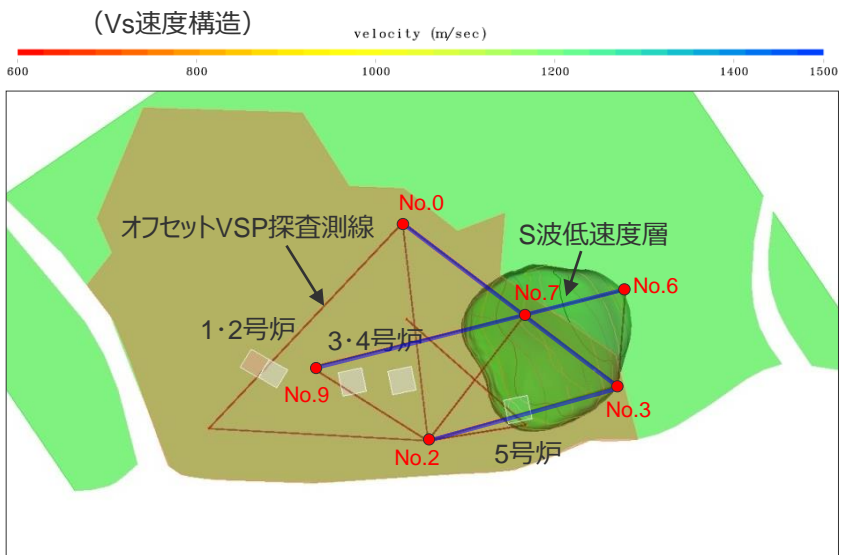
2-3測線



6-7-9測線



0-7-3測線



S波低速度層の分布 (平面図)



## 補足説明資料①-07

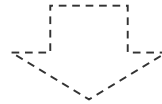
### S波低速度層と地質的特徴との対応

---

## 検討概要

### 速度構造調査結果等に基づくS波低速度層の特徴

- 敷地近傍の複数の速度構造調査結果等によると、周囲に比べて顕著にS波速度が低下した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、その内部は濃淡のある不均質な速度構造の集合体であると考えられる。
- これらの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。

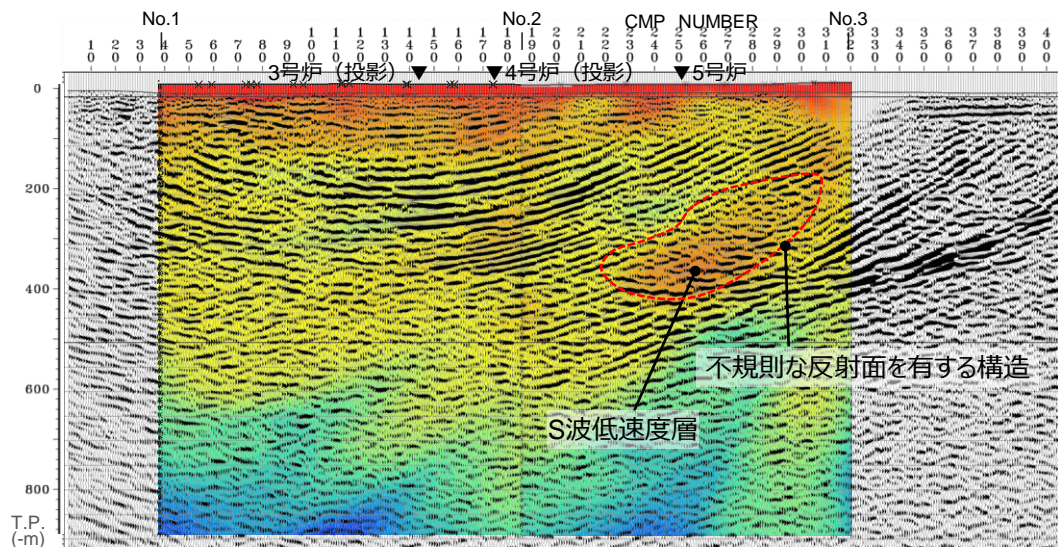


### S波低速度層と地質的特徴との対応

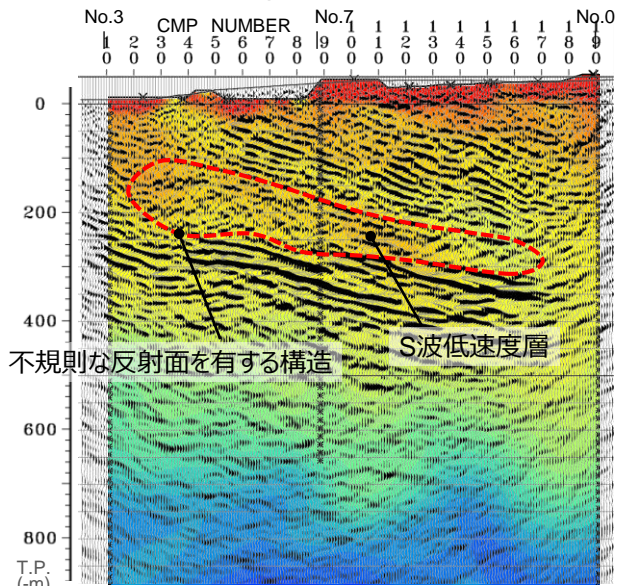
- 以降では、地質構造調査結果（反射断面、ボーリングコア、物理検層、室内試験）を踏まえて、S波低速度層と地質的特徴との対応について検討する。また、参考として、地質的特徴を踏まえたS波低速度層の形成についても考察する。

<補足説明資料①-07 S波低速度層と地質的特徴との対応>

# 反射断面

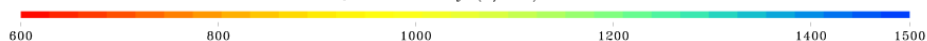


P波の反射断面 (Line5P測線) とS波の初動解析結果 (1-2測線、2-3測線)

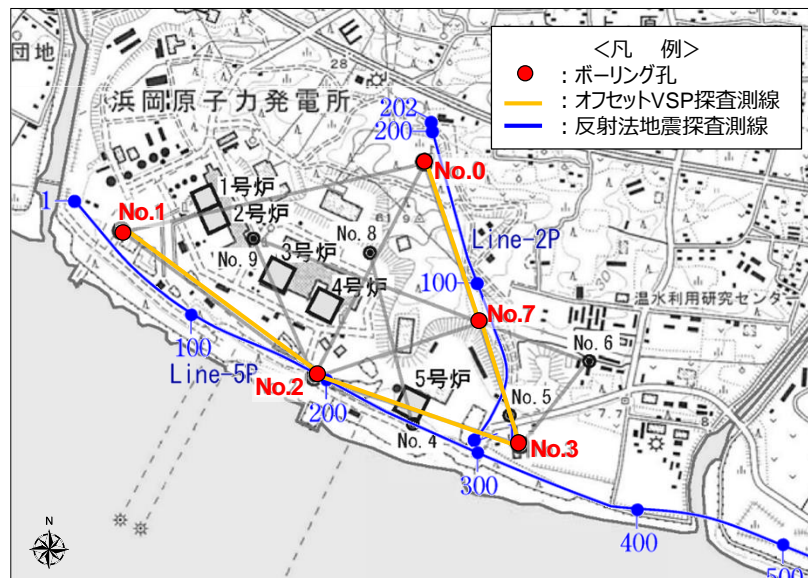


P波の反射断面 (Line2P測線) とS波の初動解析結果 (0-7-3測線)

(Vs速度構造) velocity (m/sec)



- 敷地周辺に一様に分布する相良層群は、褶曲構造が発達しており、敷地近傍の反射法地震探査測線 (Line5P) からも、相良層内の褶曲構造が明瞭に確認される。
- 敷地近傍の地質は、砂岩と泥岩の互層からなり、反射断面は一般的に規則的な反射面を示すのに対して、S波の初動トモグラフィックインバージョン解析結果により確認されたS波低速度層付近の反射断面は、層理面と斜交した不規則な反射面を示している。
- S波低速度層を含む不規則な反射面を有する構造は、褶曲構造と調和的に分布する。



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

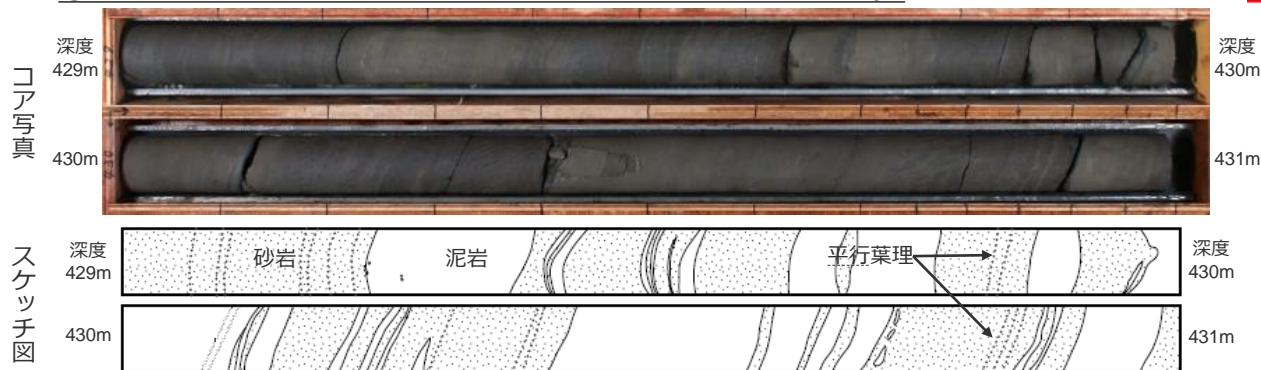
・下線 ( ) は、一部修正箇所を示す。



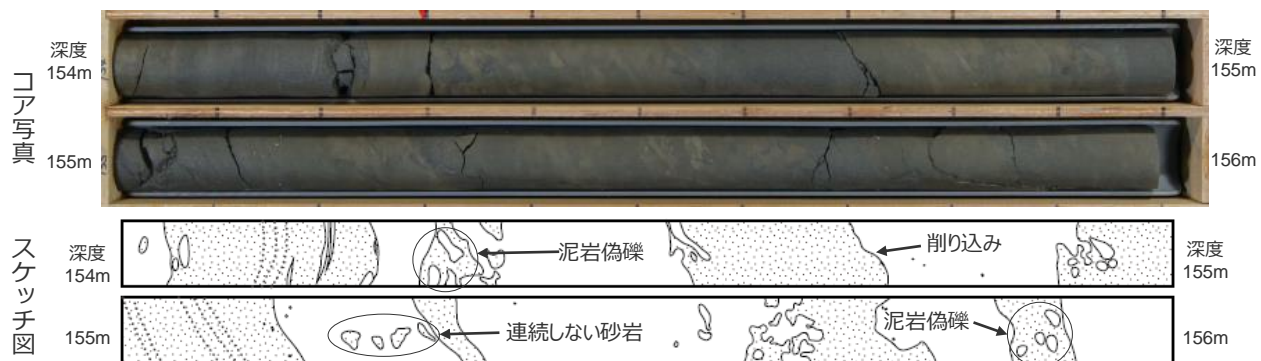
<補足説明資料①-07 S波低速度層と地質的特徴との対応>

# ボーリングコア

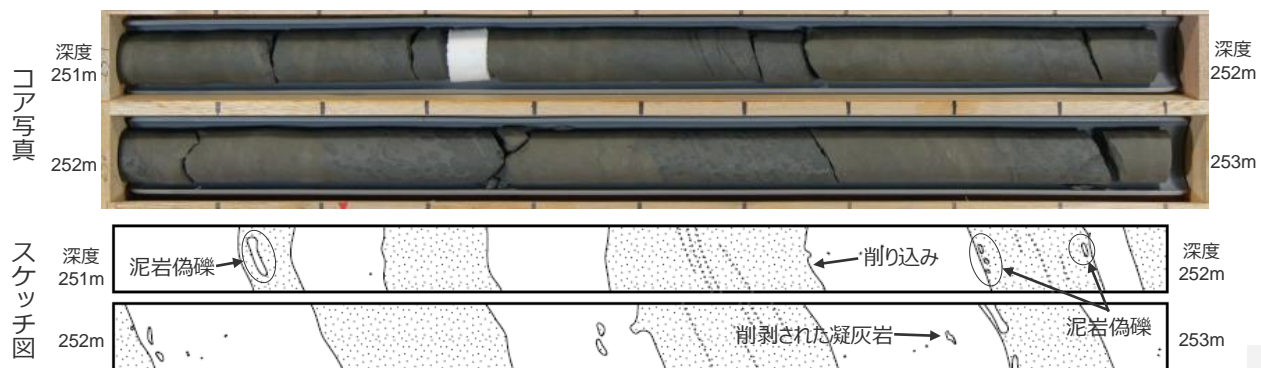
## ①敷地近傍の一般的なボーリングコア (No.0孔：深度429m～)



## ②No.5孔 (S波低速度層付近) のボーリングコア (深度154m～)

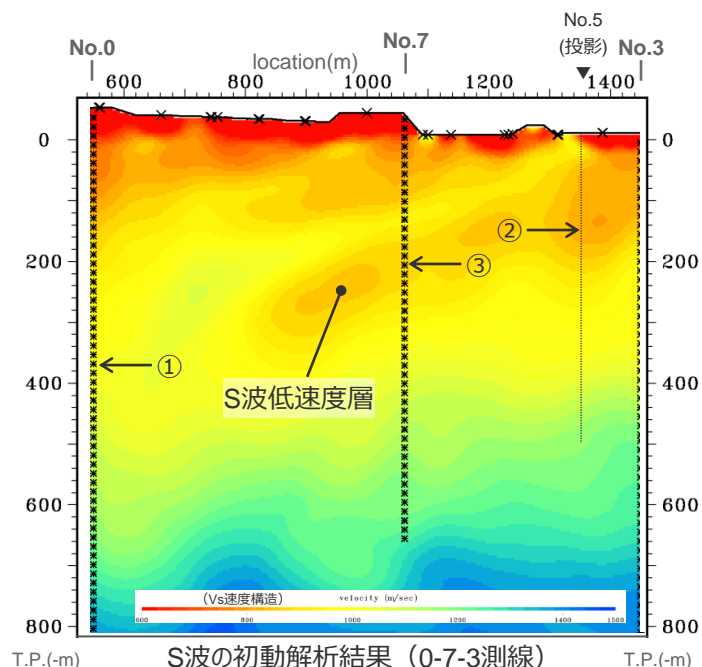


## ③No.7孔 (S波低速度層付近) のボーリングコア (深度251m～)



・S波低速度層から離れたNo.0孔は、泥岩と砂岩の境界が明瞭で級化層理や平行葉理が認められ、層構造が周辺の構造と調和的な整然とした互層を示す。

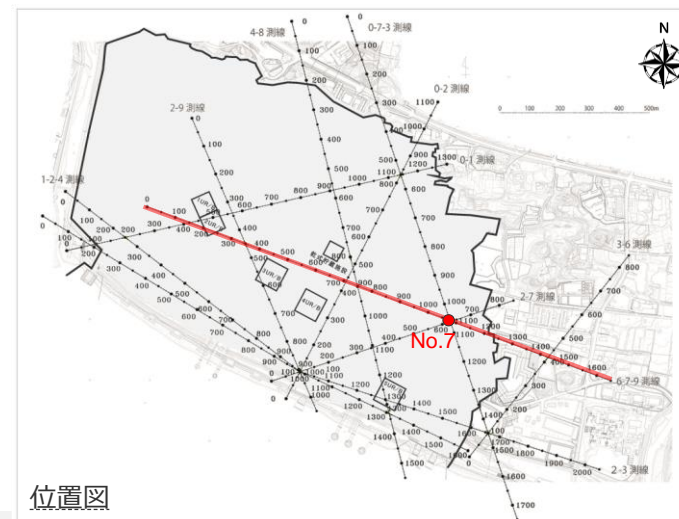
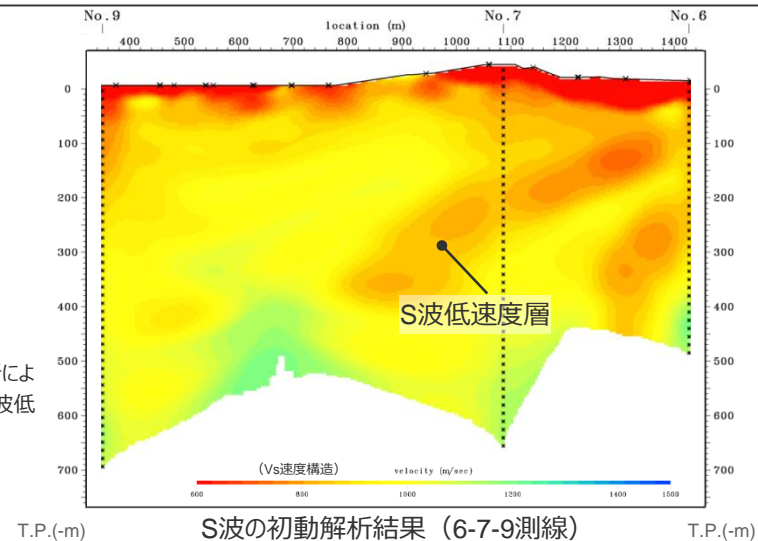
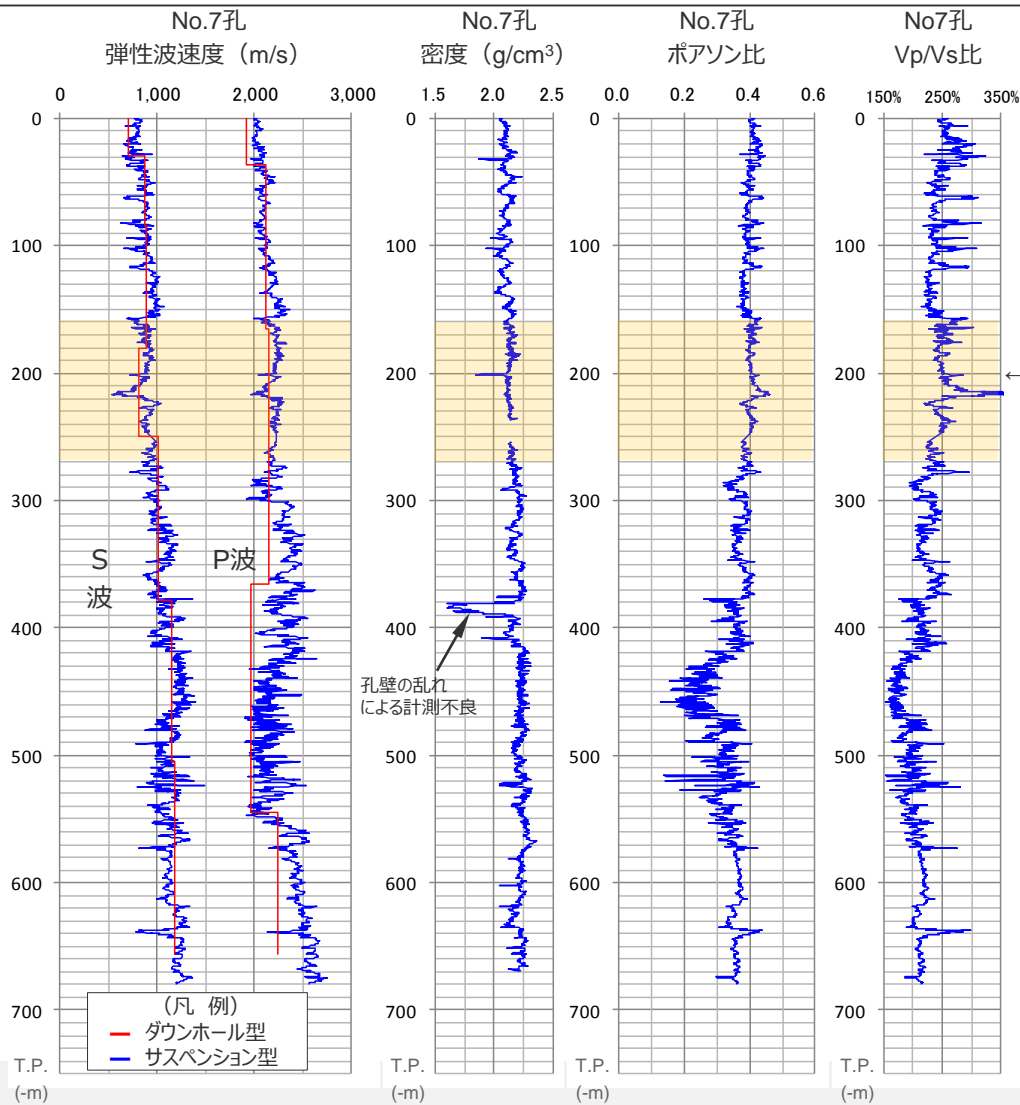
・S波低速度層付近のNo.5孔、No.7孔のボーリングコアは、「泥岩の偽礫やブロック状の泥岩・凝灰岩を含む」、「顕著な削り込みが見られる」、「急傾斜の葉理が見られる」といった堆積構造の乱れが、S波低速度層に対応する深度に連続する傾向が認められる。





# 物理検層

○S波の初動トモグラフィックインバージョン解析結果により確認されたS波低速度層付近に位置するNo.7孔の物理検層結果では、S波低速度層に対応する深さに弾性波速度（S波）の低下が認められ、ポアソン比やVp/Vs比の緩やかな上昇が認められる。

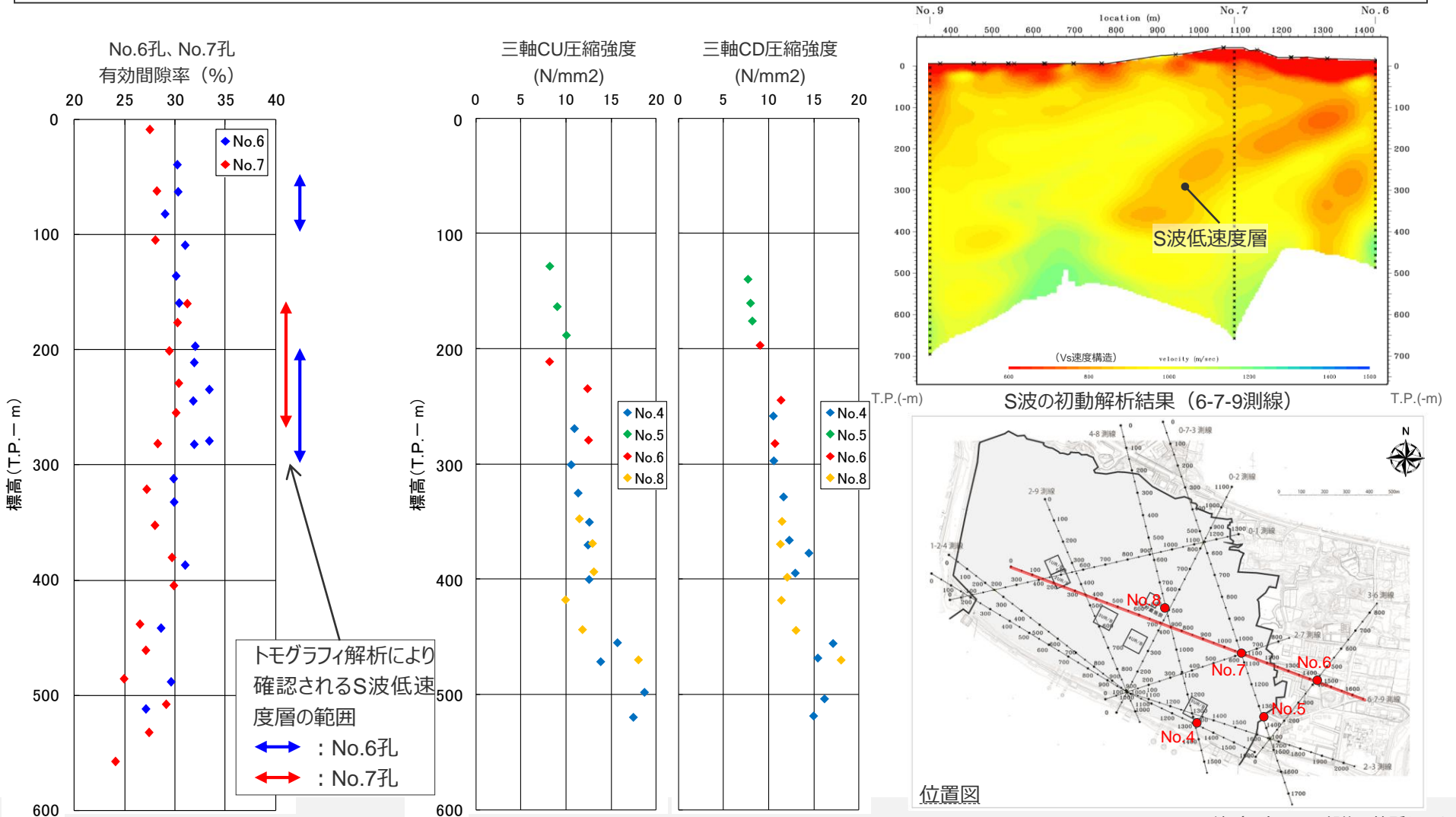


・下線 (.....) は、一部修正箇所を示す。83  
・位置図を修正。

<補足説明資料①-07 S波低速度層と地質的特徴との対応>

室内試験-1

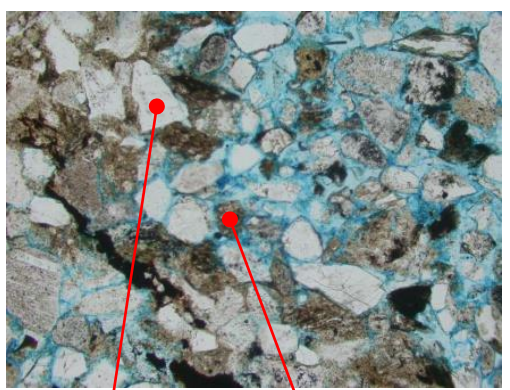
- S波低速度層付近に位置するNo.6孔、No.7孔の砂岩のボーリングコアで実施した室内試験結果によると、有効間隙率の試験結果について、S波低速度層に対応する深さの試料は周辺に比べて数値の高い傾向が認められる。
- 三軸圧縮強度試験 (CU,CD) では、いずれの試料 (砂岩) も深度方向に漸増する傾向が認められ、S波低速度層との対応はみられない。



<補足説明資料①-07 S波低速度層と地質的特徴との対応>  
室内試験-2

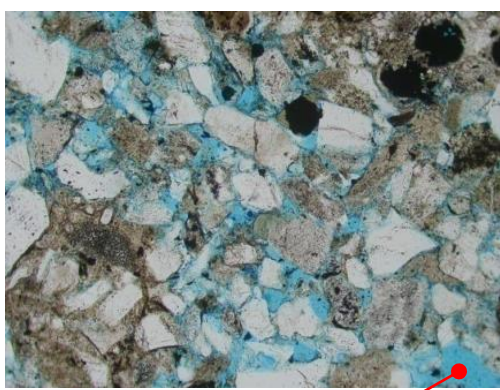
- ブルーレジンを注入した砂岩の薄片をボーリングコアから作成し、顕微鏡による間隙の観察を実施。
- S波低速度層付近に位置するボーリングコア（写真①：No.7孔、写真③：No.6孔）において、S波低速度層に対応する深さに、周辺に比べて間隙（水色着色部）が多い傾向が認められる。また、これら試料には、泥の基質が少なく、泥質の基質の一部は粒子状を呈するといった傾向がみられる。

(①No.7孔 T.P.-221m地点)



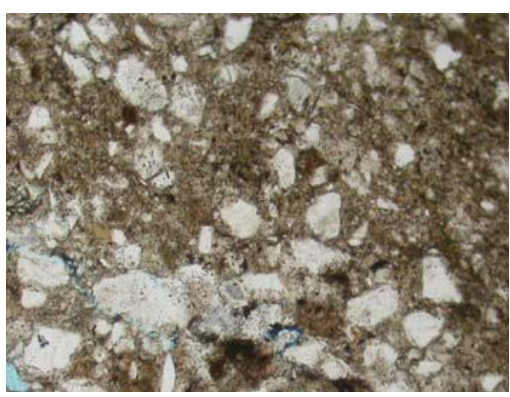
砂の粒      泥岩の粒

(③No.6孔 T.P.-109m地点)

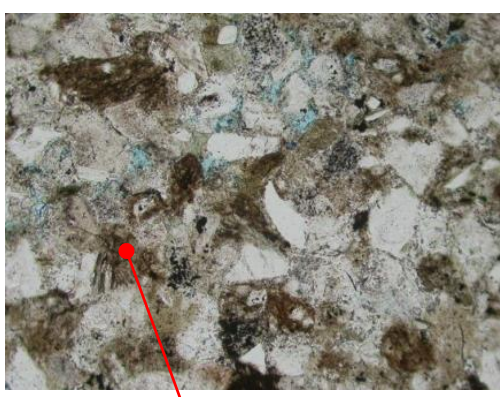


間隙

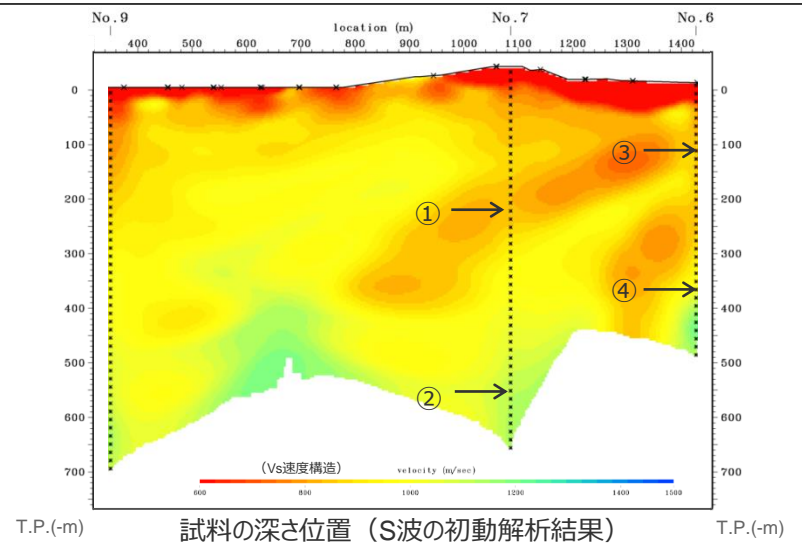
(②No.7孔 T.P.-556m地点)



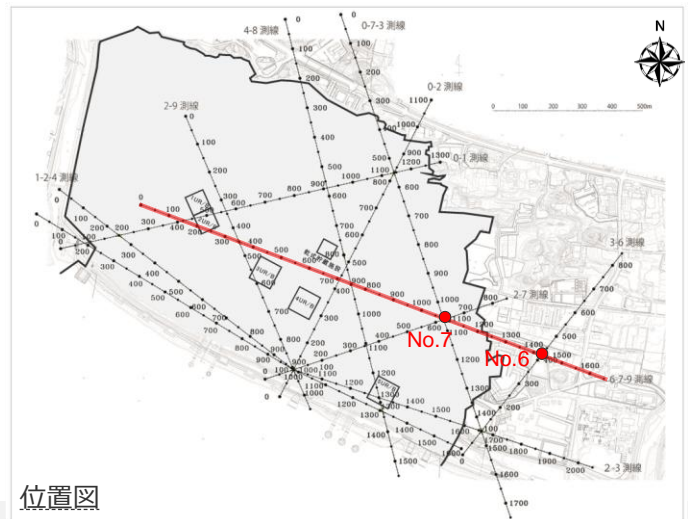
(④No.6孔 T.P.-368m地点)



健全な砂岩では泥質の基質が密に詰まっている



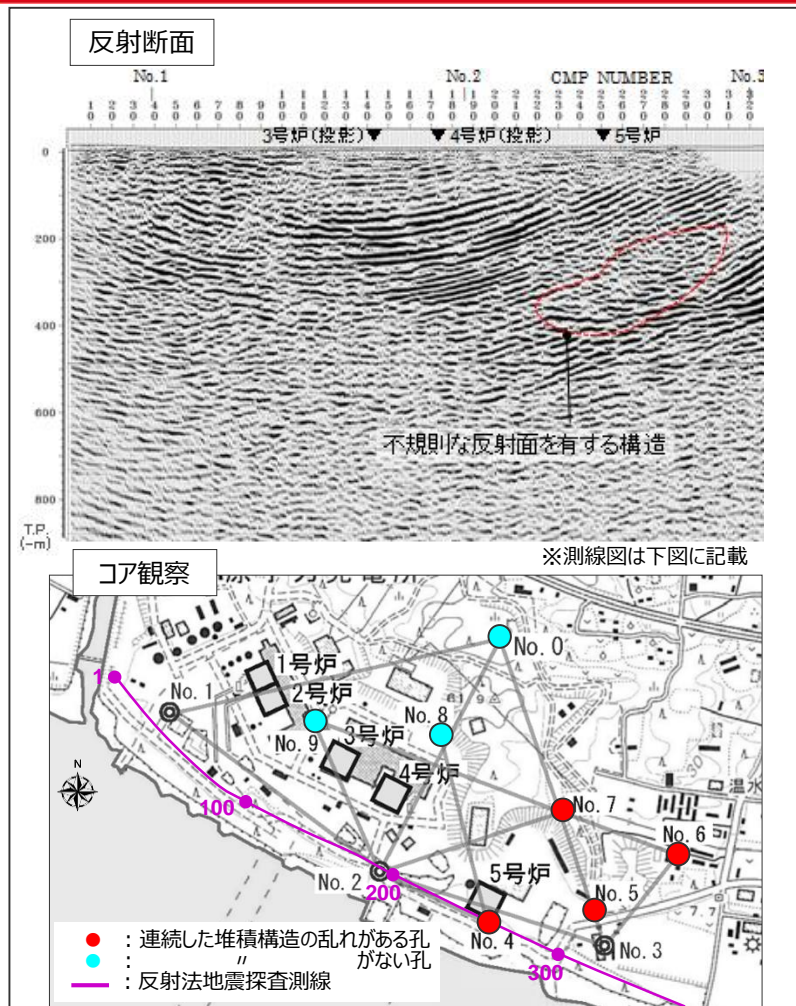
試料の深さ位置 (S波の初動解析結果)



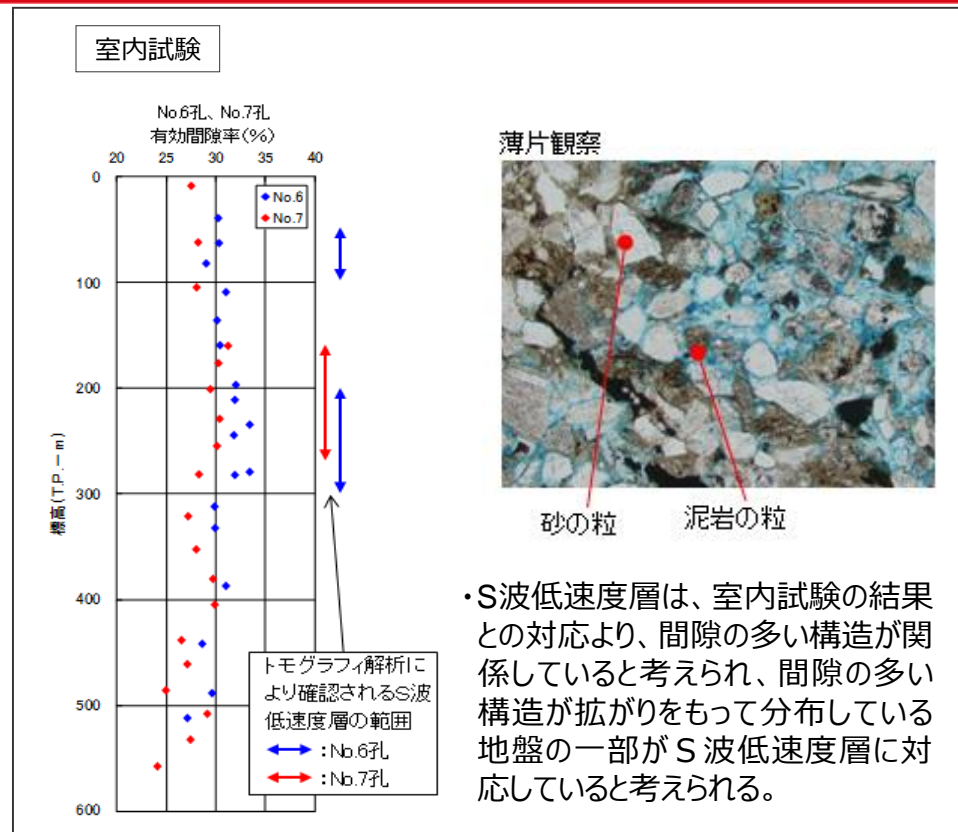
位置図



# S波低速度層の時空間的变化に関する考察



- S波低速度層は、反射断面より、不規則な反射面を有する構造と対応し、コアの観察より、堆積構造の乱れが連続する傾向と対応する。
- 不規則な反射面や堆積構造の乱れが連続する傾向は、3、4号炉周辺では認められない。



- S波低速度層は、室内試験の結果との対応より、間隙の多い構造が関係していると考えられ、間隙の多い構造が拡がりをもって分布している地盤の一部がS波低速度層に対応していると考えられる。

- S波低速度層と対応する不規則な反射面や堆積構造の乱れが連続する傾向は、3、4号炉周辺では認められない。
- S波低速度層は、間隙の多い構造が関係していると考えられることから、時空間的に変化するものではないと考えられる。なお、地盤は飽和していることから、水の移動は低速度層の時空間的な変化に影響を及ぼさないと考えられる。



補足説明資料①-08  
深部地下構造モデルの設定及び解析検討

---

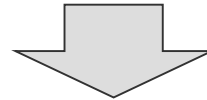
## 検討概要

### <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受けて、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。



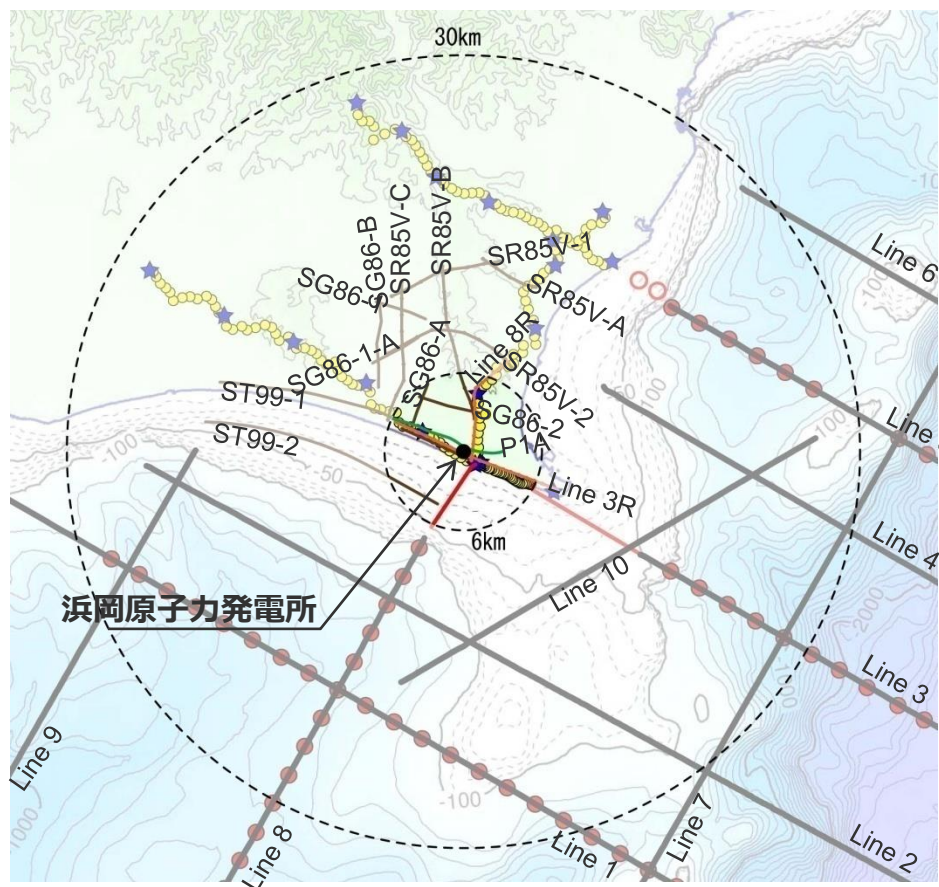
### <二次元有限差分法による解析検討>

- 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

## (層境界の設定)

- 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。
- 二次元有限差分法による解析モデルの範囲は敷地から半径6km程度とするが、広域の地下構造との連続性の観点から、敷地から半径30kmを検討対象とする。



測線名	発振・受振
Line 1～10	発振：エアガン（7800in <sup>3</sup> ）、発振間隔50m 受振：444chストリーマーケーブル
Line 3R、8R	発振：パイロサイズ（18t）4台、発振間隔50m 受振：1成分速度計25m間隔
P1A	発振：パイロサイズ（6t）1台、発振間隔10m 受振：1成分速度計10m間隔
SR85V	発振：パイロサイズ（18t）4台、発振間隔50m 受振：1成分速度計25m間隔
SG86	発振：ダイナマイト、発振間隔50m 受振：1成分速度計12.5m間隔
ST99-1	発振：パイロサイズ（18t）4台、発振間隔12.5m 受振：1成分速度計25m間隔
ST99-2	発振：エアガン（1500in <sup>3</sup> ）、発振間隔25m 受振：OBC（25m間隔ハイドロフォン）

- ・Line1・3・5・8では屈折法地震探査を実施。
- ・Line1～10、Line3R・8R、P1Aの実施者は中部電力。  
SR85V、SG86、ST99-1、ST99-2の実施者は石油公団。

<層境界の設定に用いた反射法地震探査>

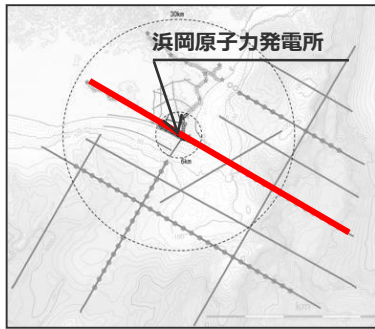
# 深部地下構造モデルの設定

## (層境界の設定)

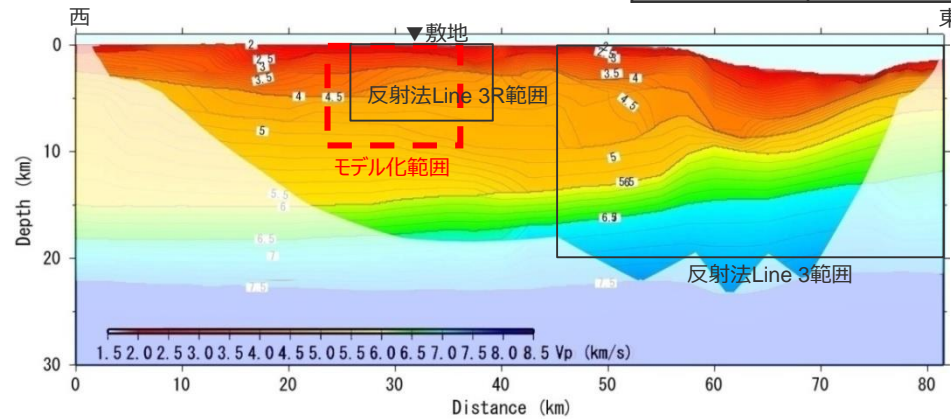
○屈折法地震探査結果を基に、反射法地震探査結果等を参照して、A層（解放基盤表面相当）～E層（地震基盤面）の5層の層境界を設定する。

<層境界の設定>

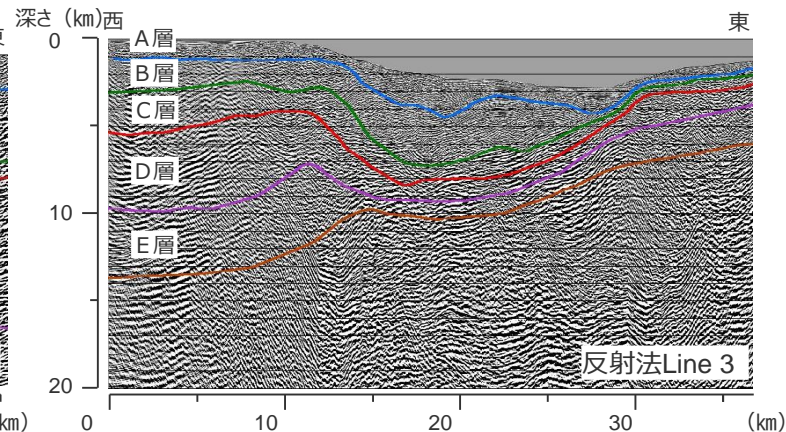
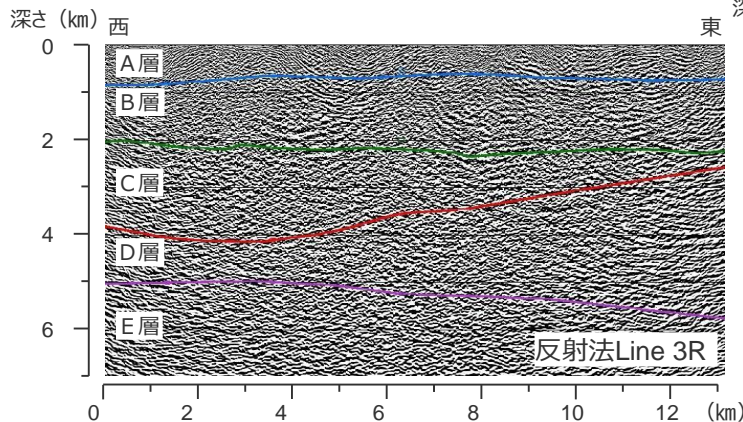
速度層	主に対比される地層
— A層下面	掛川層群、相良層群上部
— B層下面	相良層群中部・下部、西郷層群
— C層下面	倉真層群、大井川層群、三倉層群
— D層下面	四万十累層群上部
— E層下面	四万十累層群下部



<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、Line3Rの層境界>

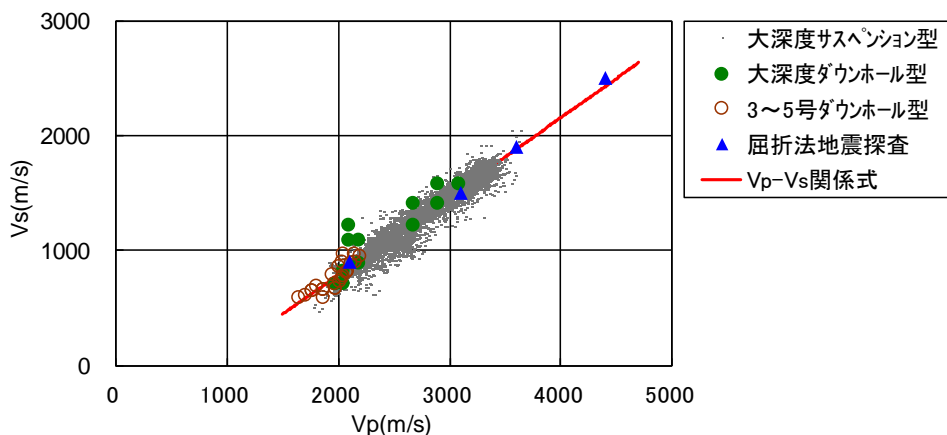


# 深部地下構造モデルの設定

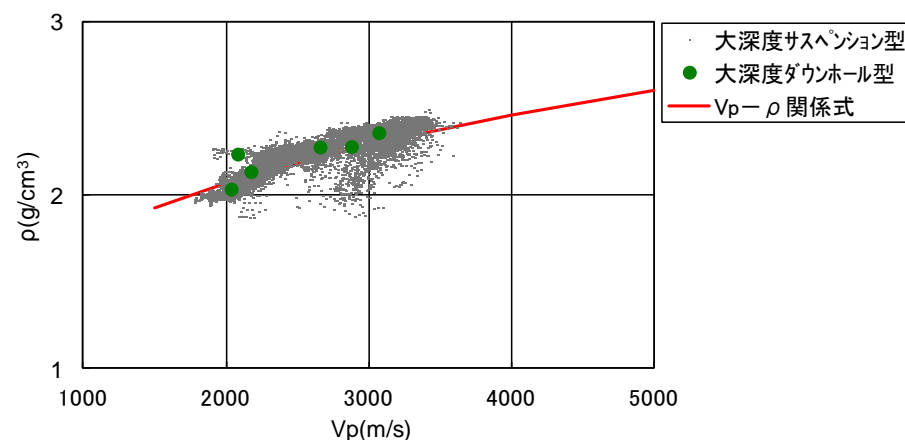
## (物性値の設定)

### <各層の物性値の設定方法>

層	物性値	設定方法
A層～B層	P波速度	・大深度ボーリングのPS検層結果を用いて設定する。
	S波速度	
	密度	・各調査結果との対応が良いVp-ρ関係式を用いてP波速度から推定する。 Vp-ρ関係式： $\rho=0.31Vp^{0.25}(g/cm^3)$ (Gardner et al.(1974) <sup>(5)</sup> )
C層～E層	P波速度	・屈折法地震探査結果を用いて設定する。
	S波速度	・各調査結果に基づき作成したVp-Vs関係式を用いてP波速度から推定する。 Vp-Vs関係式： $Vs=0.68Vp-580(m/s)$
	密度	・A層～B層の設定方法と同じ。



<Vp-Vs関係式と各調査結果との対応>



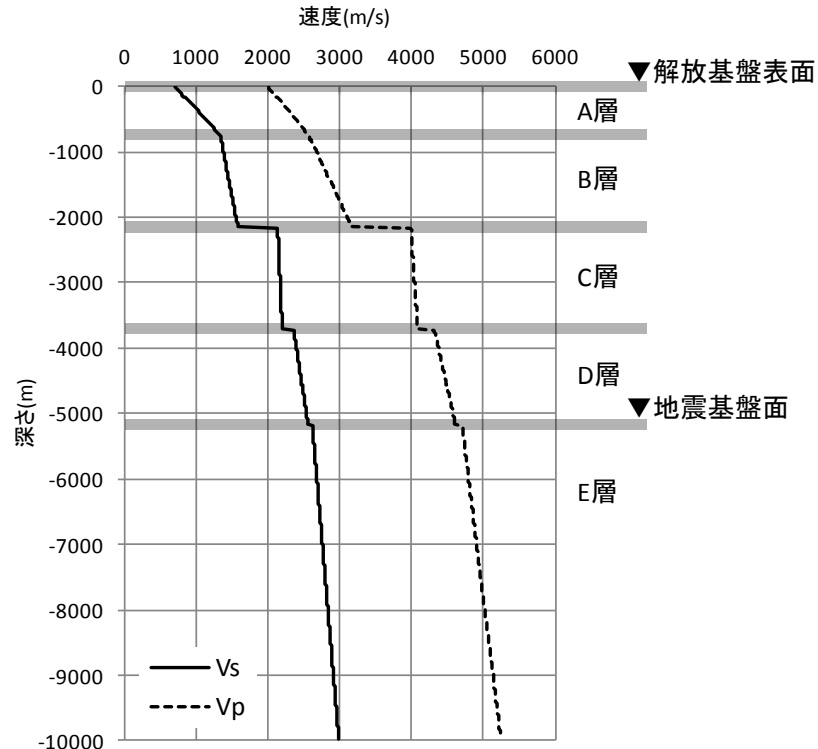
<Vp-ρ関係式と各調査結果との対応>

# 深部地下構造モデルの設定

(物性値の設定)

<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



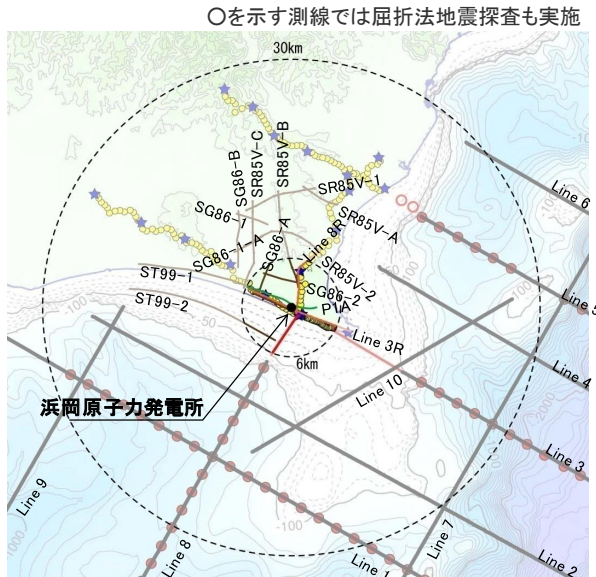
<層区分 (例：敷地直下の速度構造) >

# 深部地下構造モデルの設定

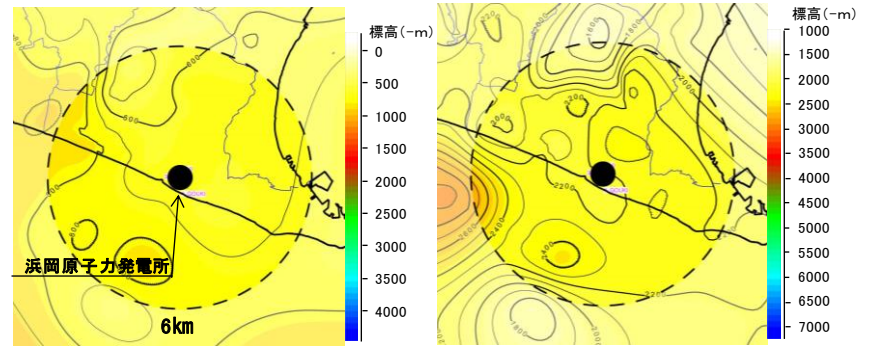
○敷地周辺の深部からやや浅部を対象とした地下構造調査（屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層、既往調査等）の結果に基づき、敷地周辺の地震基盤以浅の深部三次元地下構造モデルを作成。

<各層の物性値>

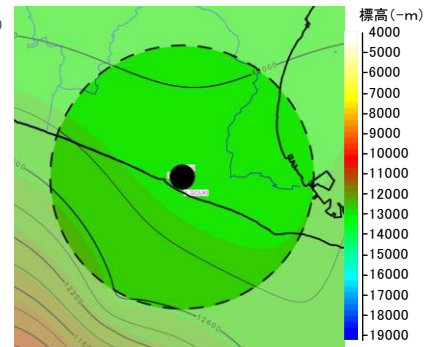
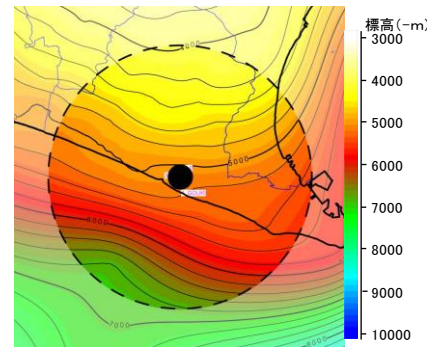
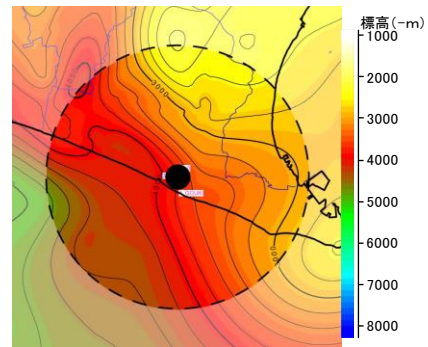
層区分	上面			下面		
	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
A層	700	2000	2.07	1330	2560	2.21
B層	1330	2560	2.21	1580	3180	2.33
C層	2130	3990	2.46	2200	4080	2.48
D層	2350	4310	2.51	2560	4610	2.56
E層	2620	4700	2.57	3230	5600	2.68



深部三次元地下構造モデルの作成



<敷地周辺の地下構造調査>  
(反射法地震探査の例)



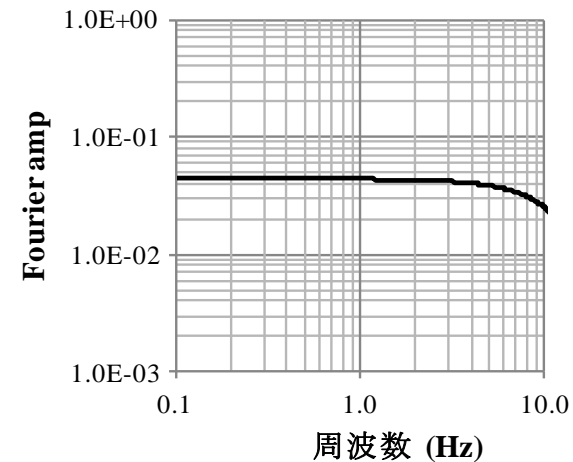
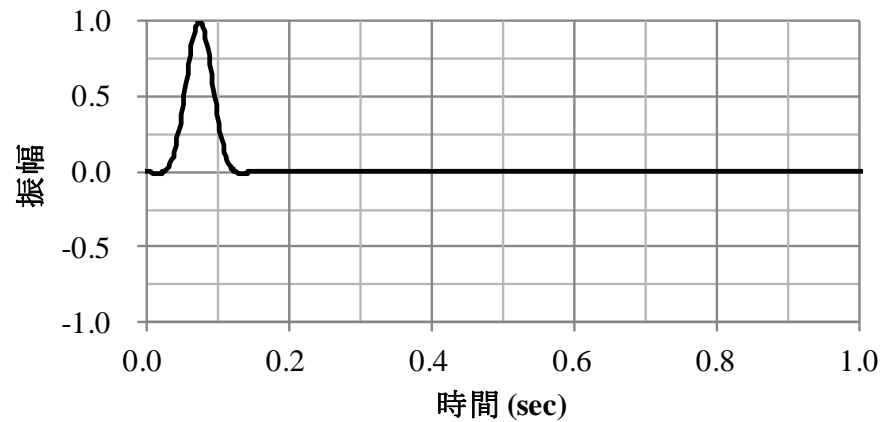
<各層境界のコンター>

# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析諸元）

<解析諸元>

解析手法	二次元有限差分法
解析モデル範囲	水平： $-6\text{km} \leq x \leq 6\text{km}$ 鉛直： $-10\text{km} \leq y \leq 0\text{km}$
解析対象周波数	上限5Hz
メッシュサイズ	25m
入力波	BELL型単独波（SH波、SV波）
入射角	$-45^\circ$ 、 $-30^\circ$ 、 $-15^\circ$ 、 $0^\circ$ （鉛直下方入射）、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ *1

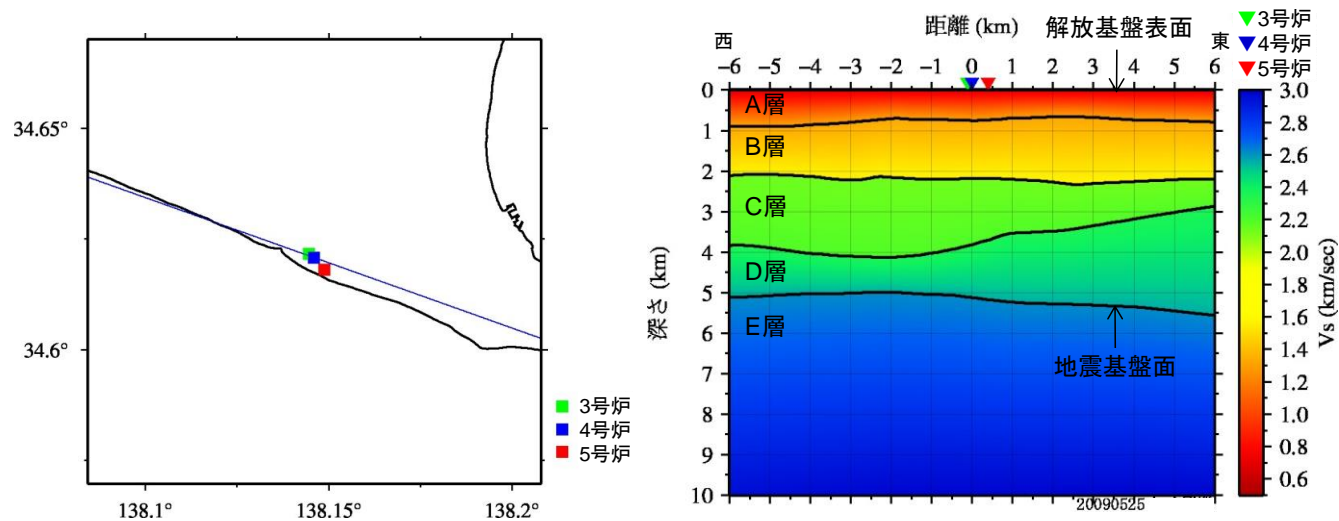


<入力波：BELL型単独波>  
(左図：時刻歴波形、右図：フーリエスペクトル)

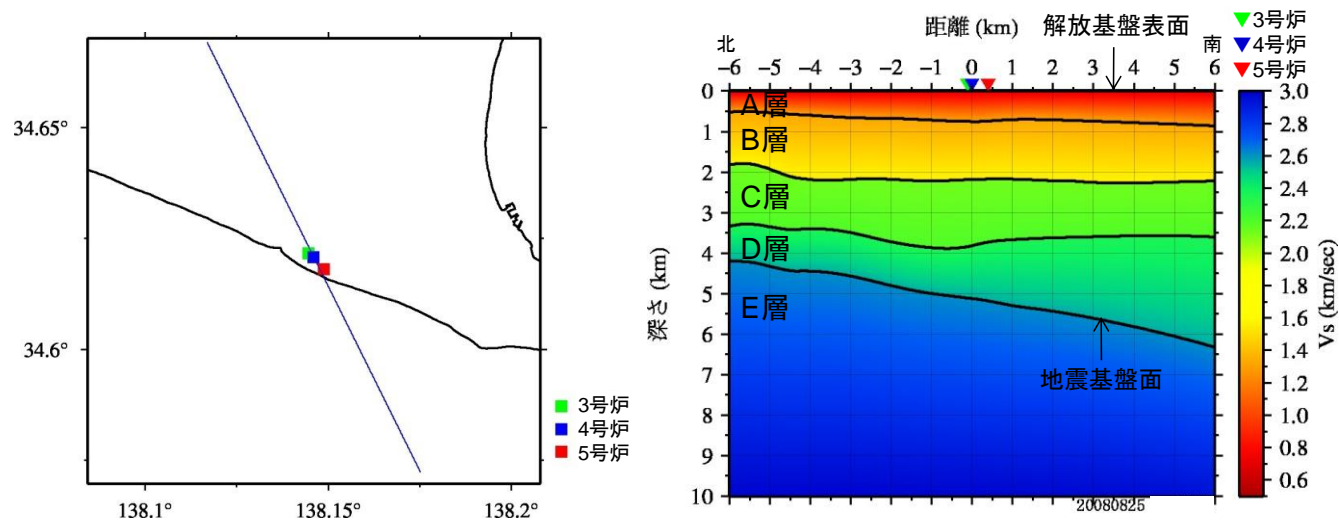


# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析断面の位置及び解析断面（ケース①、②））



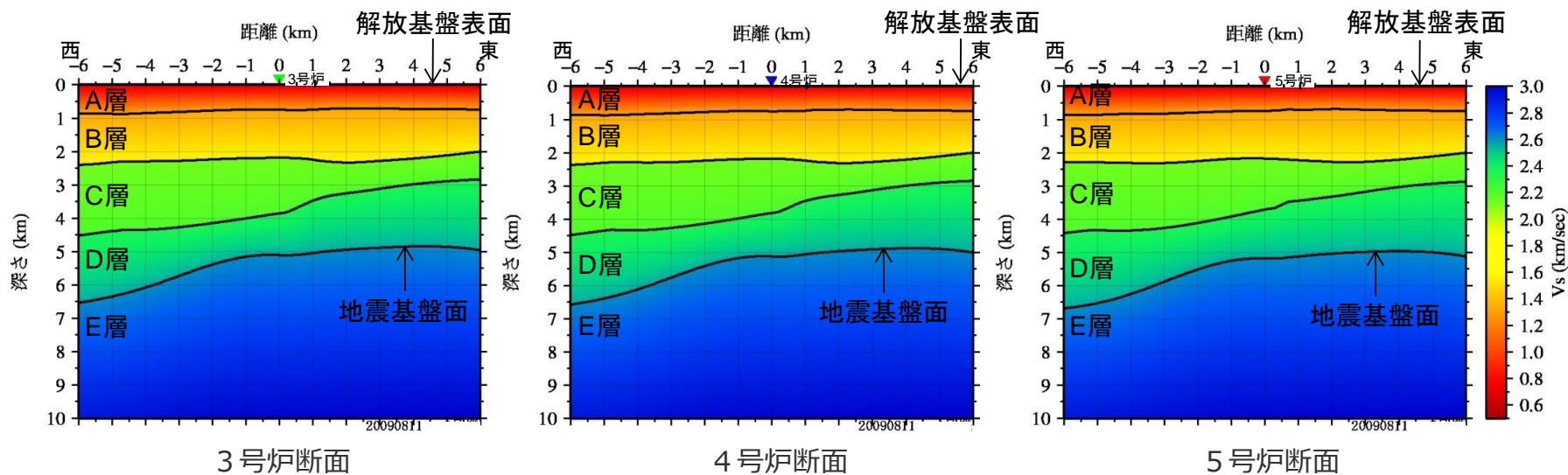
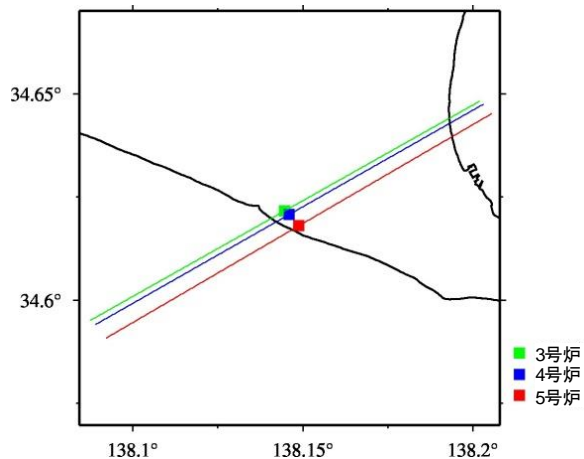
<ケース①（左図：解析断面の位置、右図：解析断面）>



<ケース②（左図：解析断面の位置、右図：解析断面）>

# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

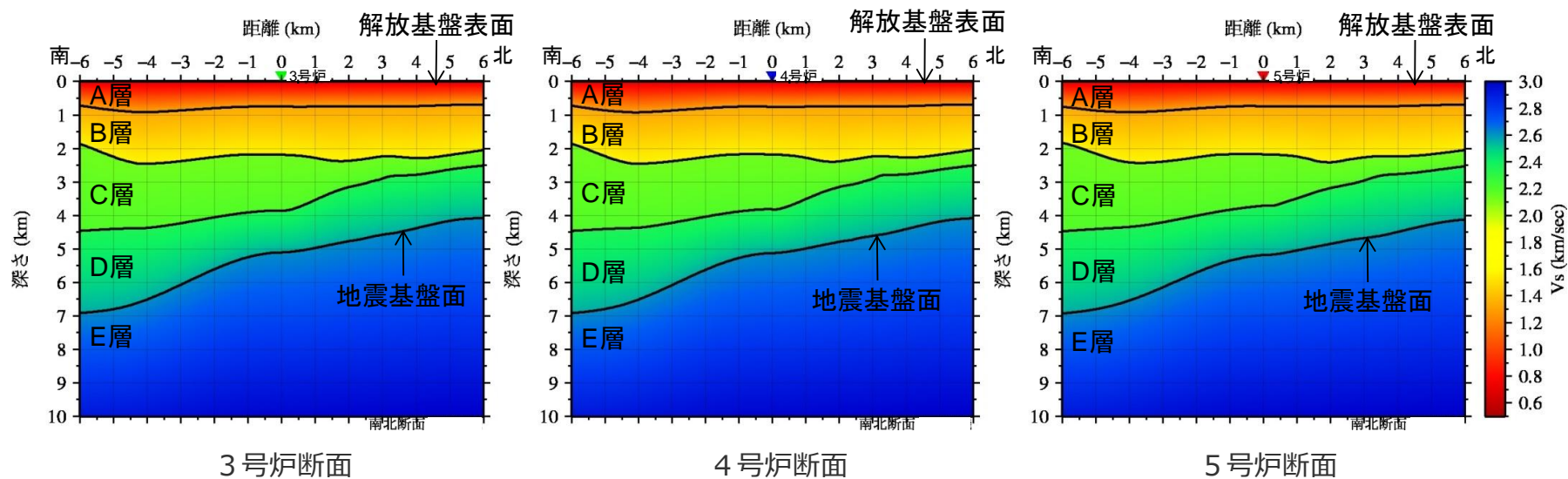
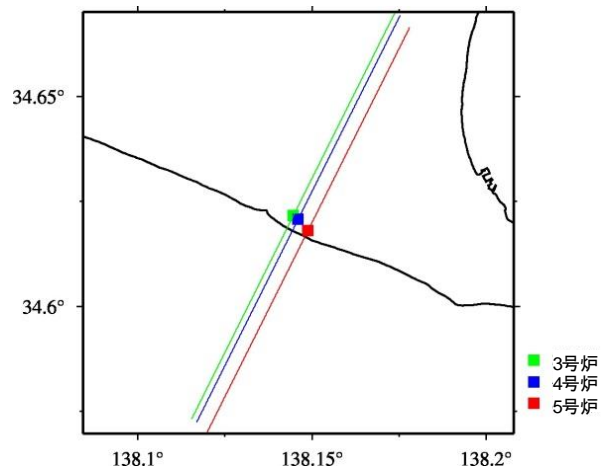
（解析断面の位置及び解析断面（ケース③））



<ケース③（上図：解析断面の位置、下図：解析断面）>

# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

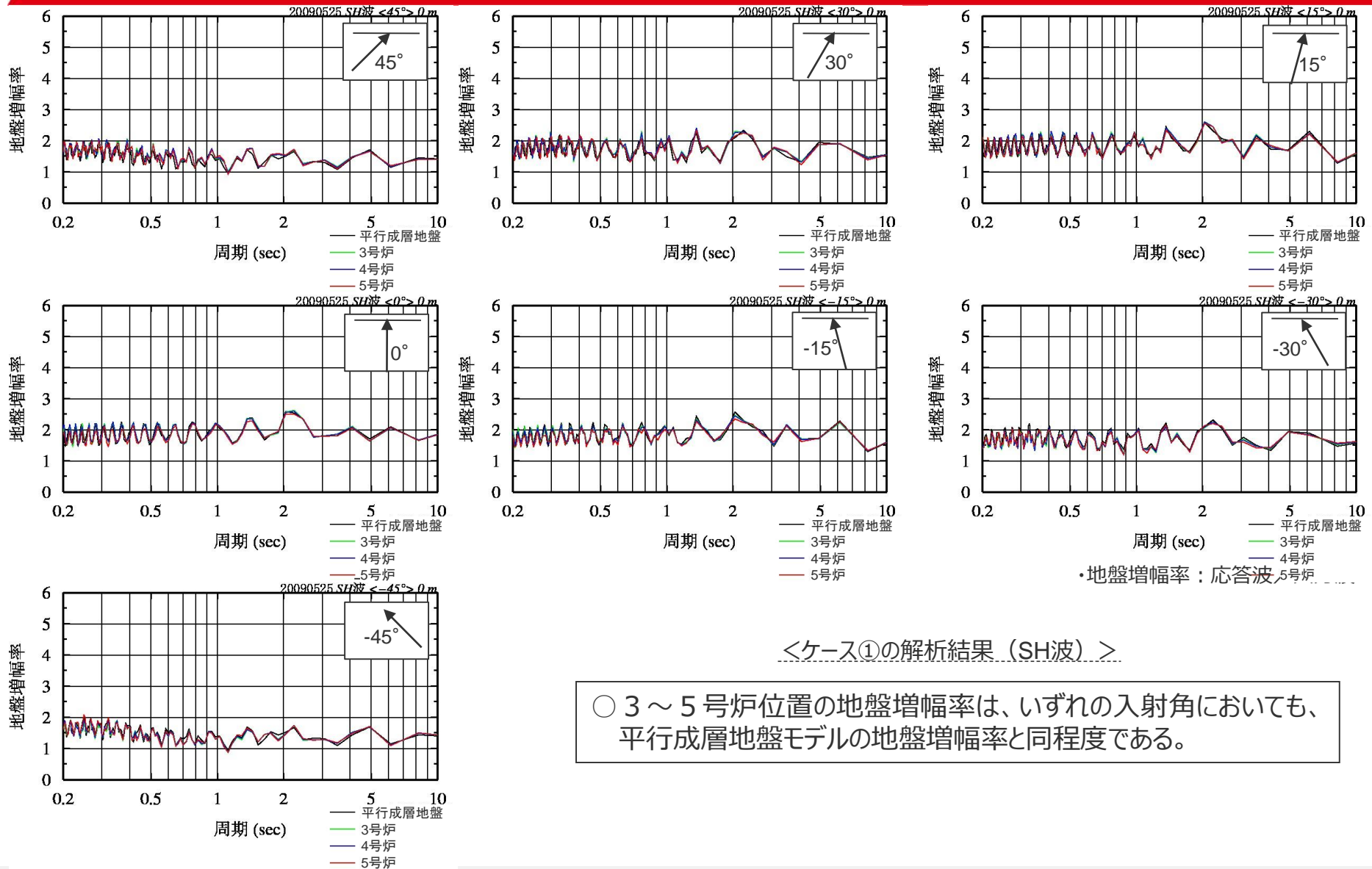
（解析断面の位置及び解析断面（ケース④））



<ケース④（上図：解析断面の位置、下図：解析断面）>

# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース①（SH波）））



・地盤増幅率：応答波

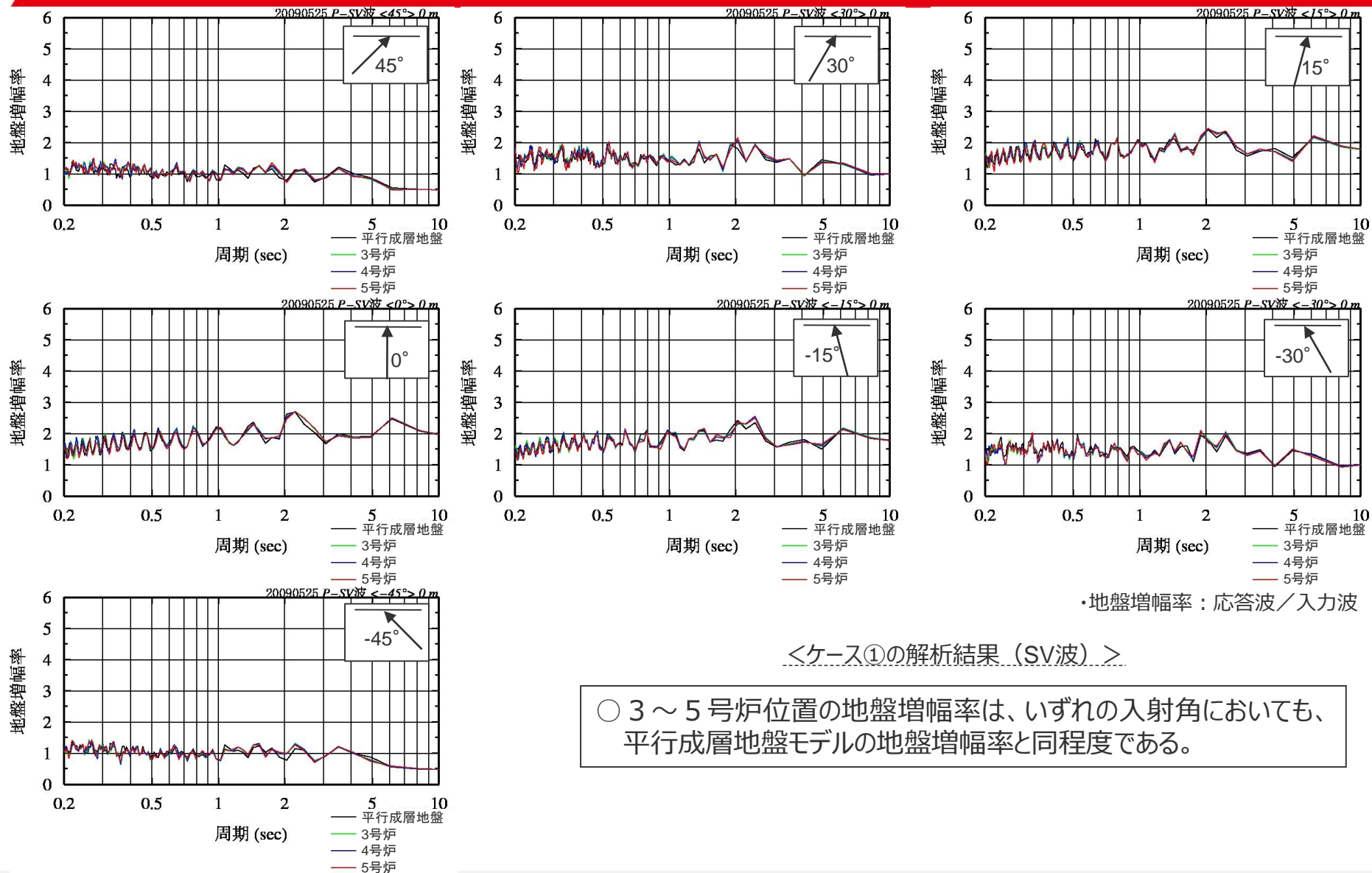
<ケース①の解析結果（SH波）>

○ 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、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。



# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース①（SV波）））



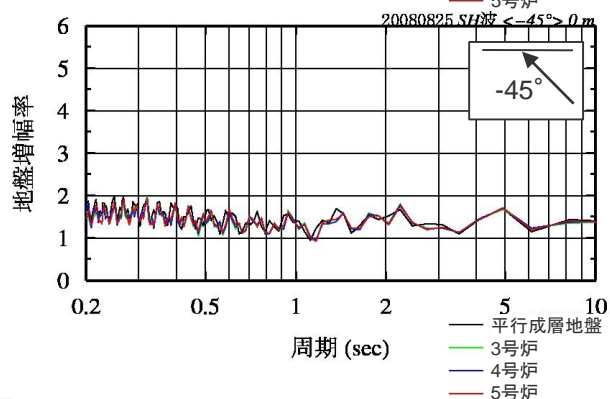
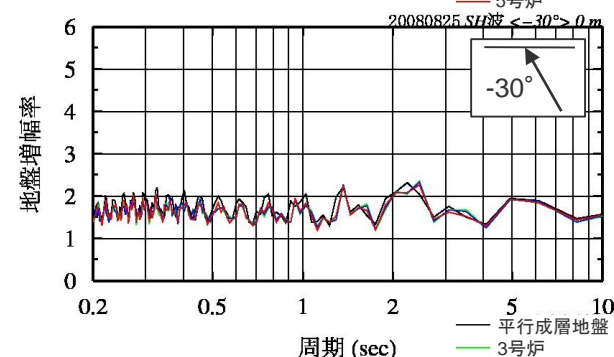
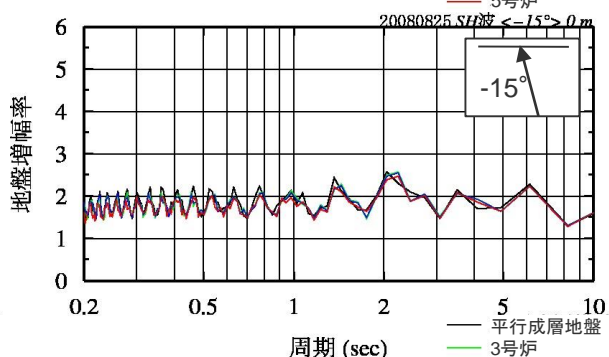
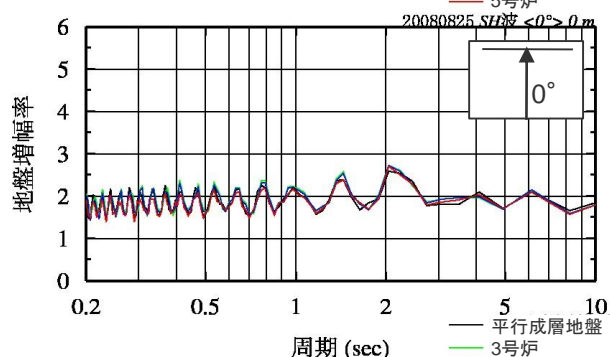
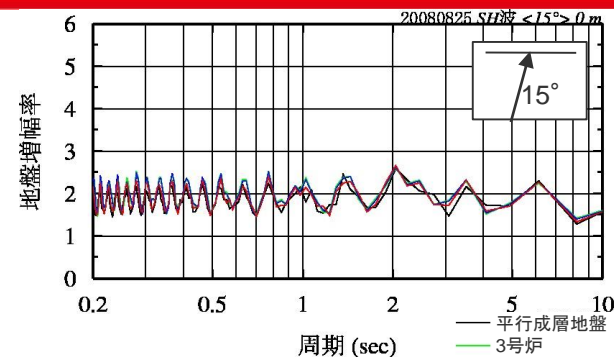
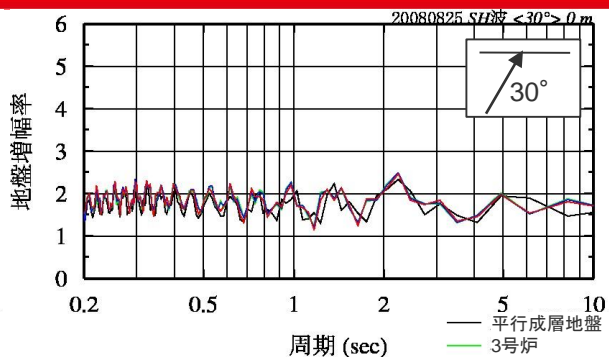
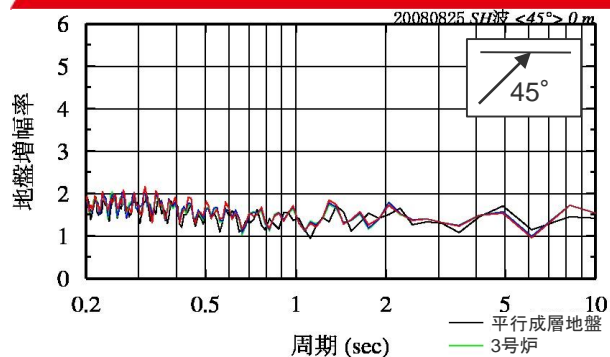
・地盤増幅率：応答波／入力波

## <ケース①の解析結果（SV波）>

○ 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、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース②（SH波）））



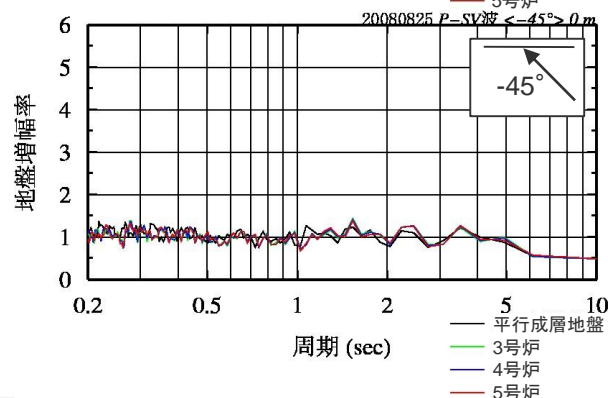
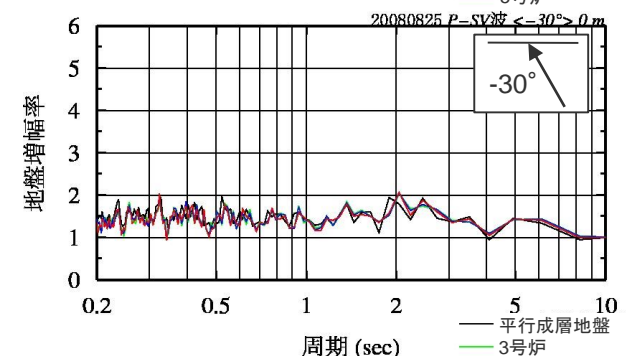
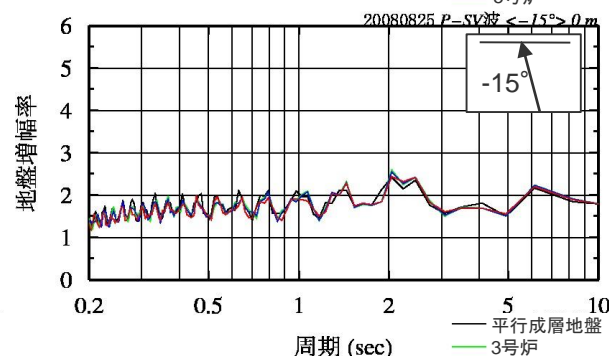
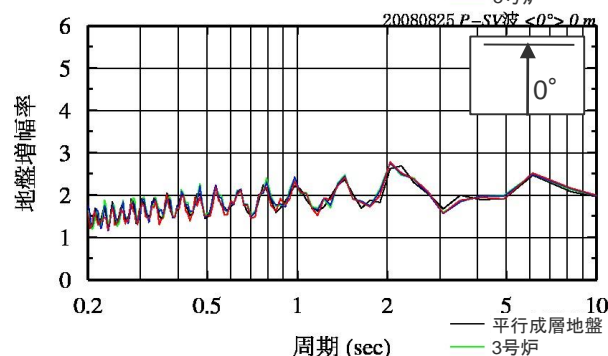
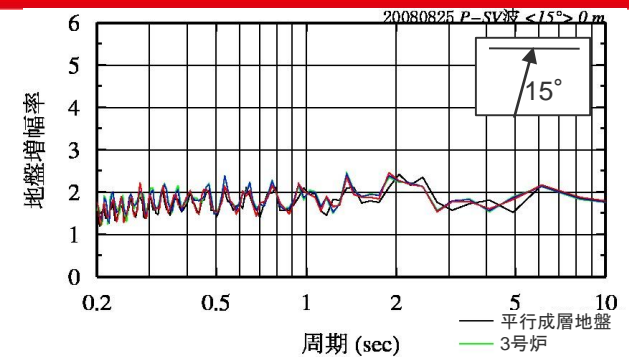
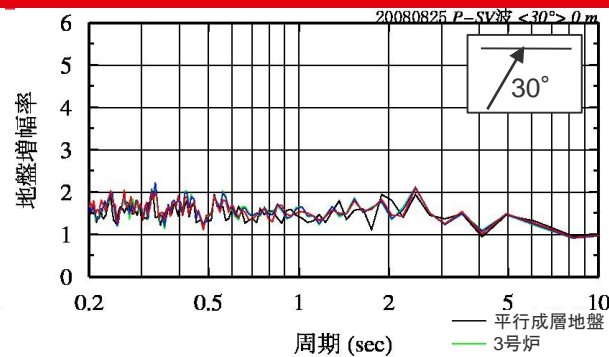
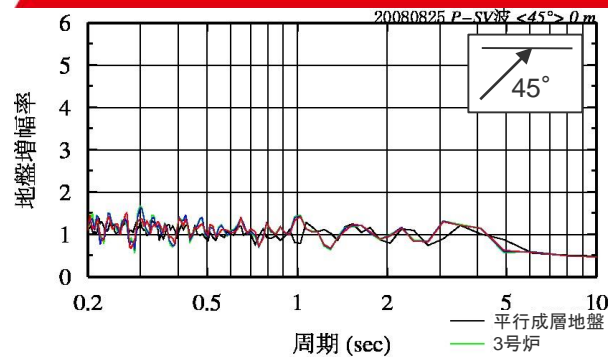
・地盤増幅率：応答波／入力波

<ケース②の解析結果（SH波）>

○ 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、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース②（SV波）））



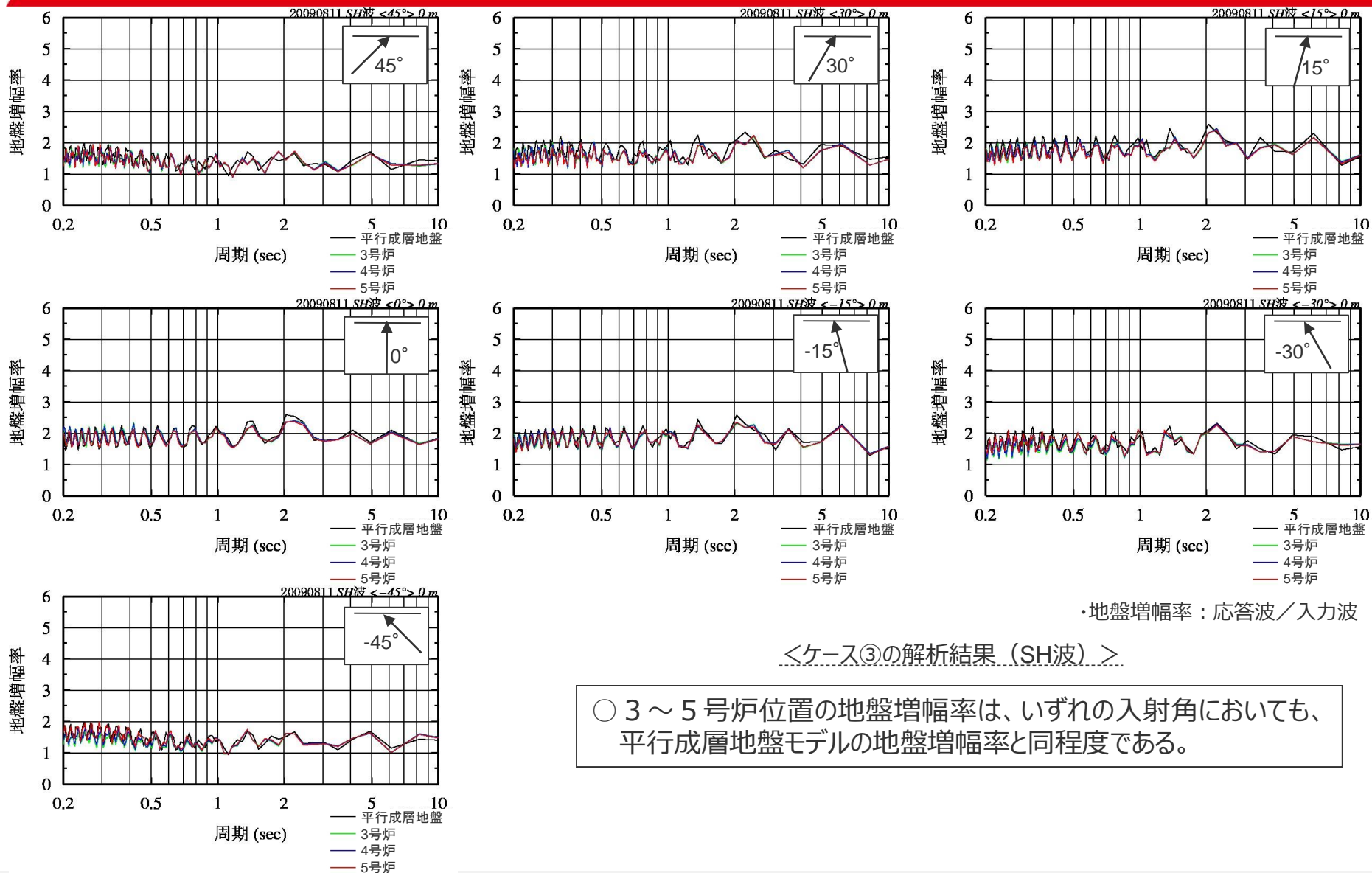
・地盤増幅率：応答波／入力波

<ケース②の解析結果（SV波）>

○ 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、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース③（SH波）））



・地盤増幅率：応答波／入力波

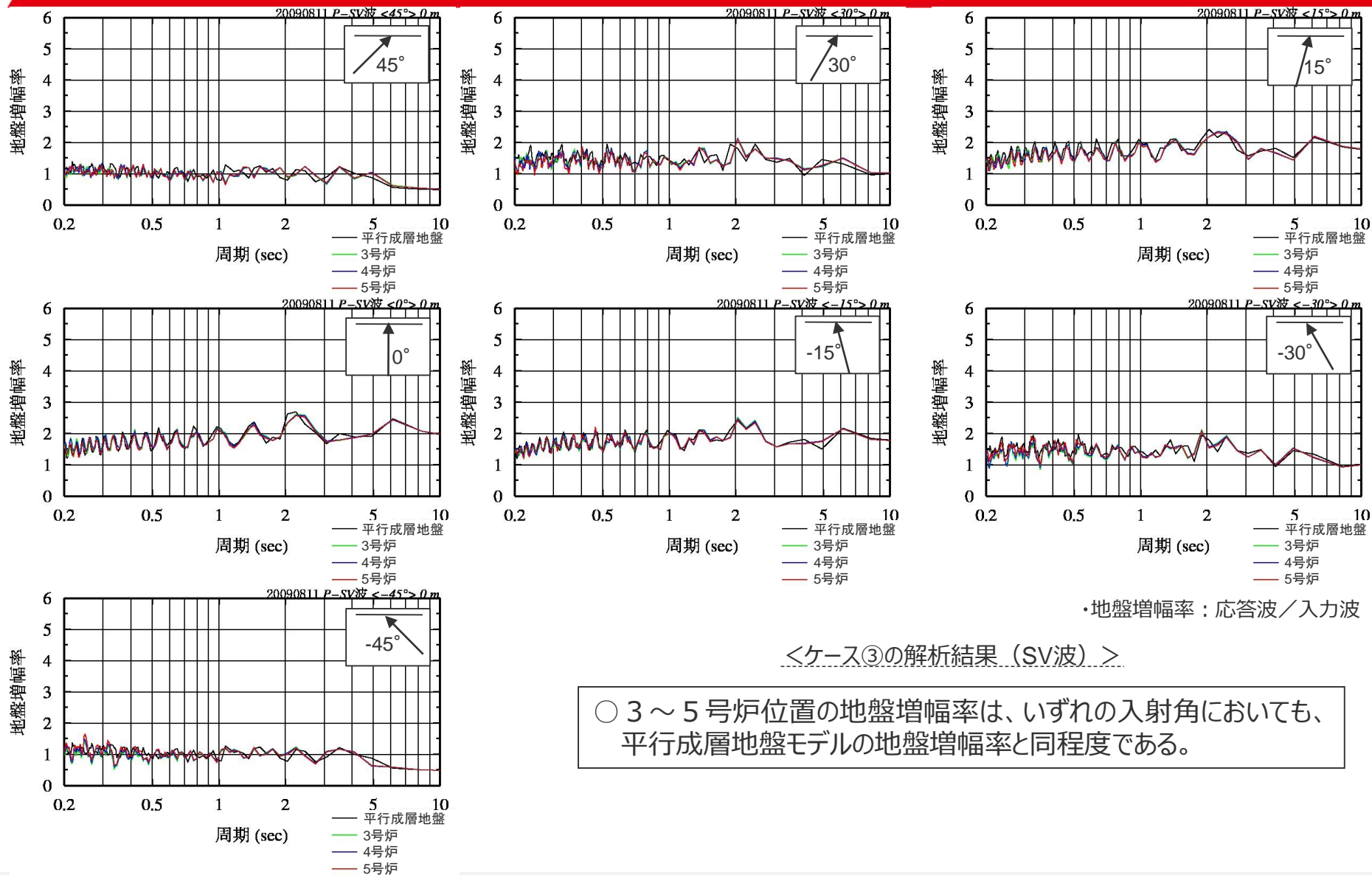
<ケース③の解析結果（SH波）>

○ 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、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。



# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース③（SV波）））



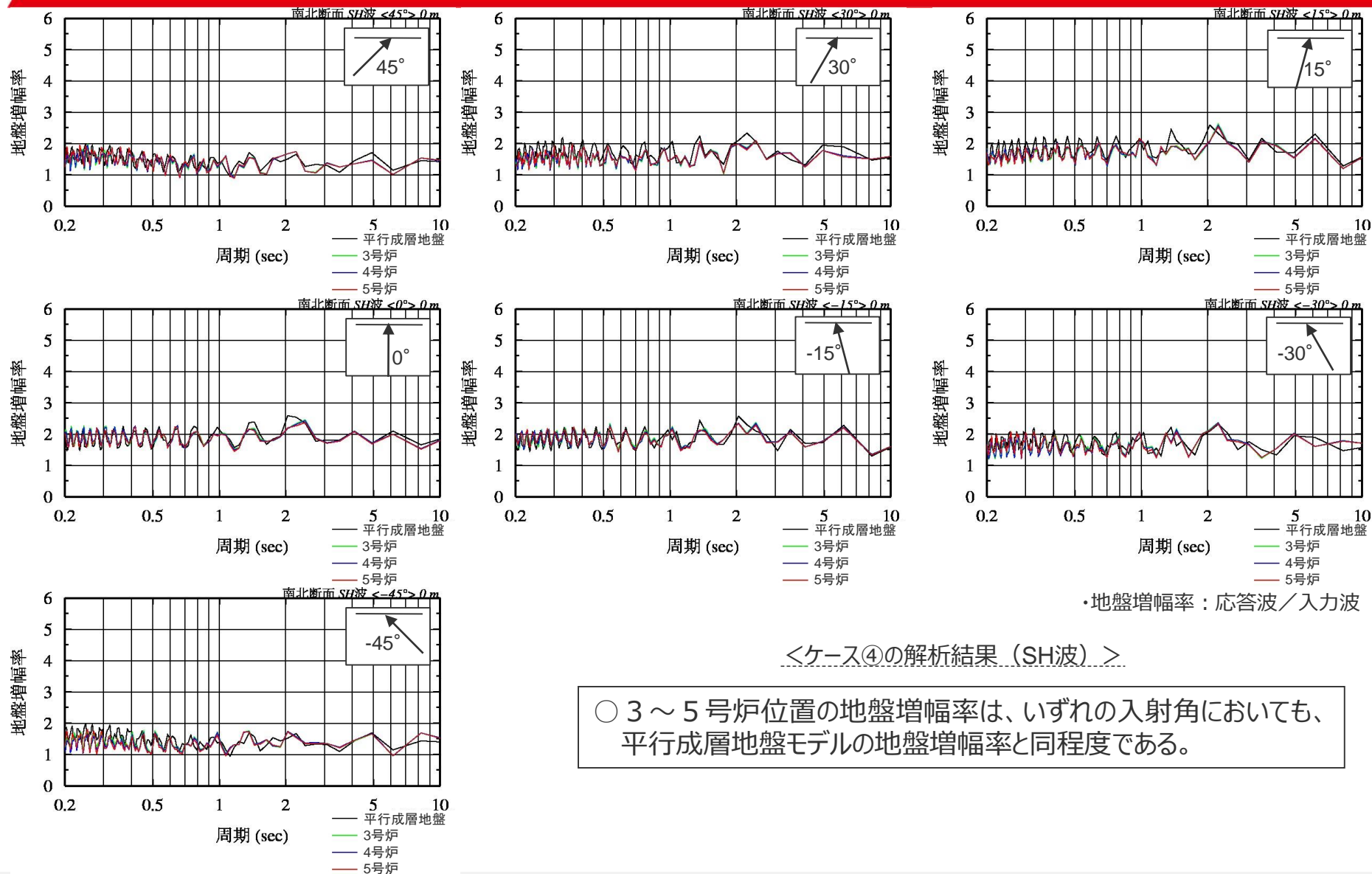
・地盤増幅率：応答波／入力波

## <ケース③の解析結果（SV波）>

○ 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、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース④（SH波）））



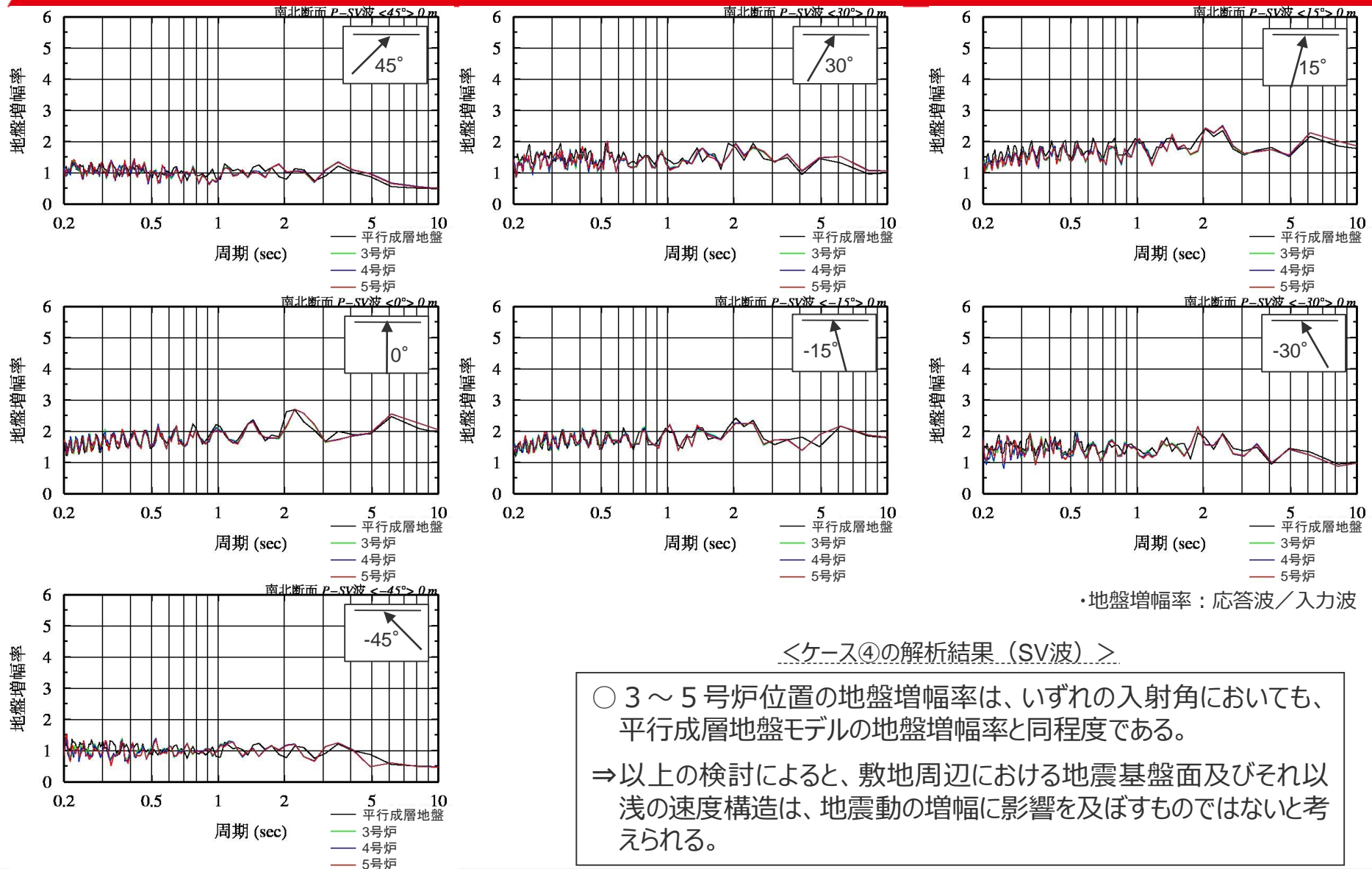
・地盤増幅率：応答波／入力波

## <ケース④の解析結果（SH波）>

○ 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、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

# 深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース④（SV波）））



・地盤増幅率：応答波／入力波

## <ケース④の解析結果（SV波）>

○ 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、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。  
 ⇒ 以上の検討によると、敷地周辺における地震基盤面及びそれ以下の速度構造は、地震動の増幅に影響を及ぼすものではないと考えられる。

補足説明資料①-09  
浅部地下構造モデルの設定及び解析検討

---



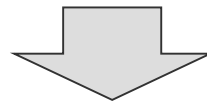
## 検討概要

### <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、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。



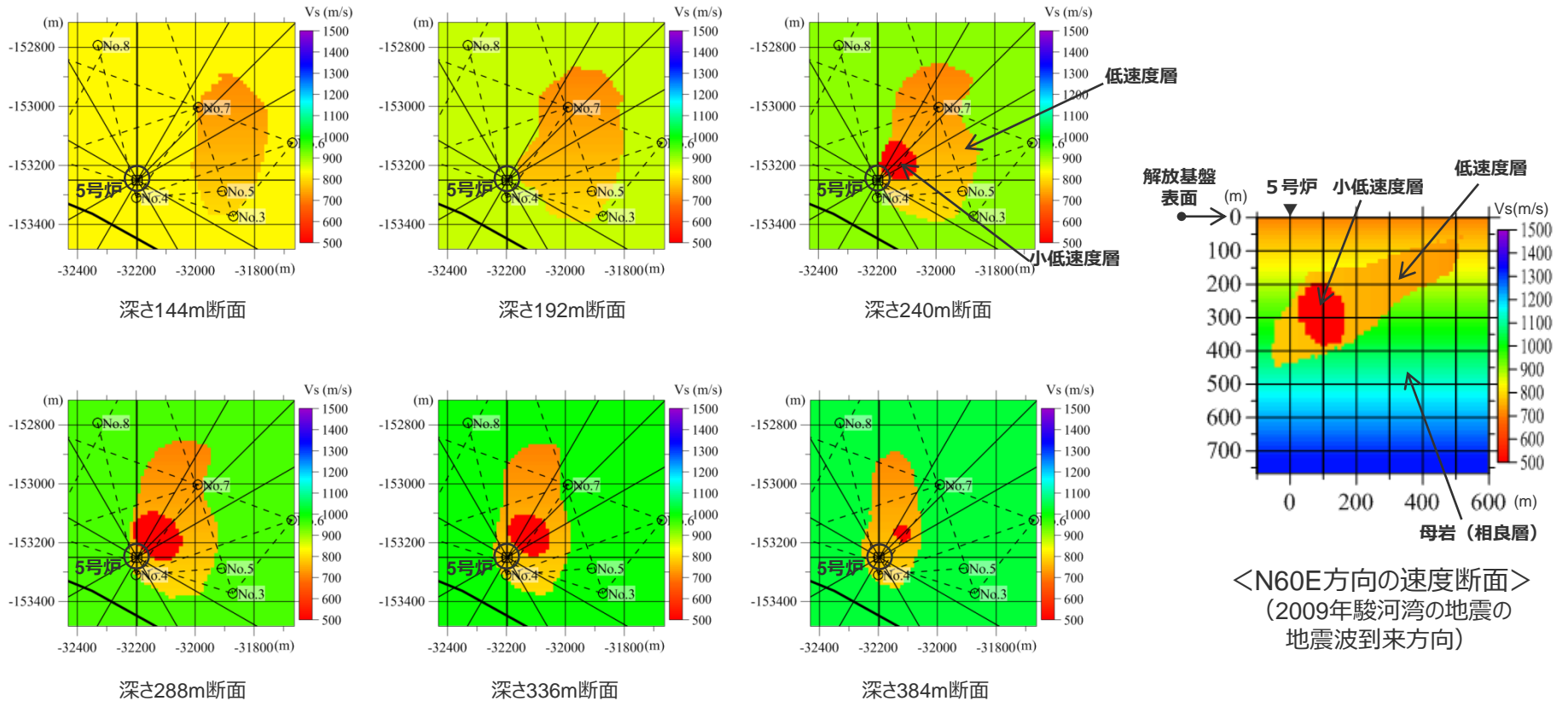
### <三次元有限差分法による解析検討>

- 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。

# ＜補足説明資料①-09 浅部地下構造モデルの設定及び解析検討＞ 浅部地下構造モデルの設定

○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探查結果によると、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。



＜N60E方向の速度断面＞  
（2009年駿河湾の地震の地震波到来方向）

＜深さ毎の速度断面＞

# 浅部地下構造モデルの設定

## (物性値の設定)

### <S波速度>

- オフセットVSP探査結果等に基づき、低速度層は700～800m/s、小低速度層は500m/s、母岩（相良層）は深さ方向に漸増する速度構造とする。

### <P波速度及び密度>

- 地下構造調査結果において低速度層に対応する変化は認められないことから、低速度層、小低速度層ともに母岩（相良層）と同じ設定とする。

### <母岩（相良層）>

深度 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度(g/cm <sup>3</sup> )
0(モデル上面)	700	2000	2.07
∫	直線補間	直線補間	直線補間
-732(モデル下面)	1330	2560	2.21


### <低速度層及び小低速度層>

	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度(g/cm <sup>3</sup> )
低速度層	700～800	母岩と同じ	母岩と同じ
小低速度層	500	母岩と同じ	母岩と同じ

# 浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（解析諸元）

## <解析諸元>

解析手法	三次元有限差分法
解析対象周波数	上限8Hz
メッシュサイズ	12m（最小）
入力波	BELL型単独波, BELL型連続波
入射角	20°※1 
入射方向	0°（北）, 30°, 60°※2, 90°（東）, 120°, 150°, 180°（南）, 210°, 240°, 270°（西）, 300°, 330°

※1：2009年駿河湾の地震のレイトレーシング解析結果に基づく。

（前述の深部三次元地下構造モデルに基づき、2009年駿河湾の地震の震源位置まで拡張し、レイトレーシング解析を実施。）

※2：2009年駿河湾の地震の地震波到来方向。

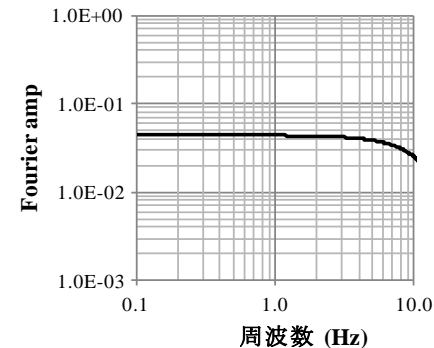
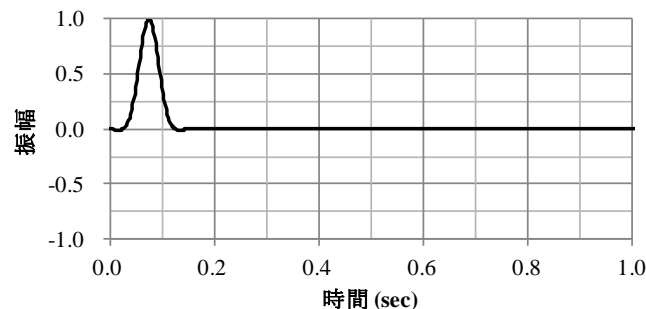
### <入力波1：BELL型単独波>

（左図：時刻歴波形、右図：フーリエスペクトル）

⇒地盤増幅率（応答波／入力波）の検討に用いる。

#### ・解析結果①（周波数特性）

：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



### <入力波2：BELL型連続波>

（左図：時刻歴波形、右図：フーリエスペクトル）

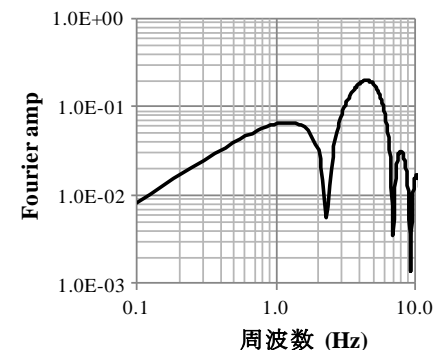
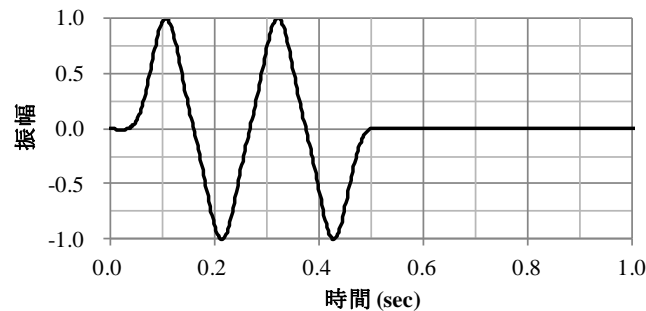
⇒時刻歴波形の検討に用いる。

#### ・解析結果②（経時特性）

：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

#### ・解析結果③（地震波到来方向毎の増幅特性）

：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



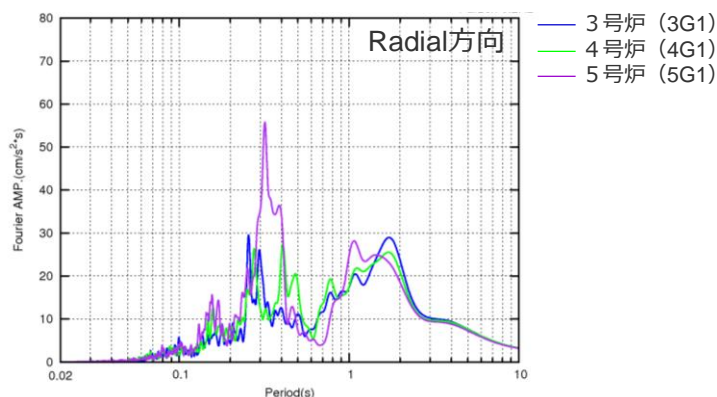
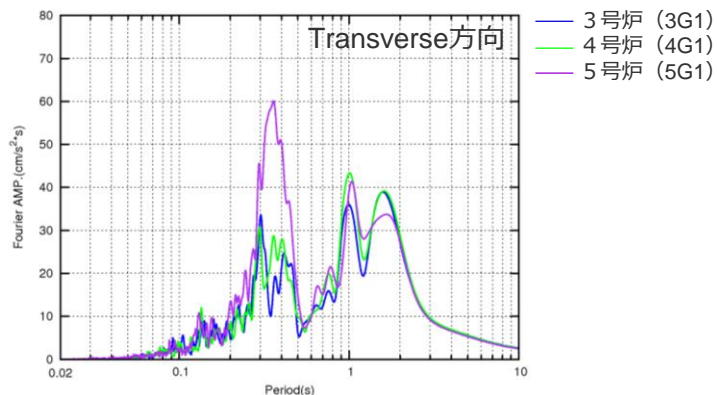


# 浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（地震観測記録の特徴と浅部地下構造モデルを用いた解析結果との比較（周波数特性））

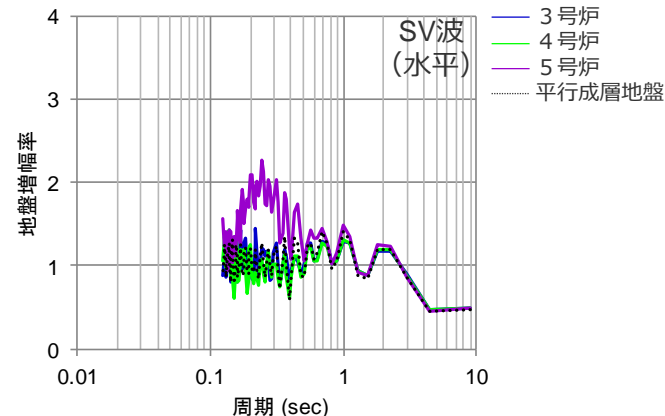
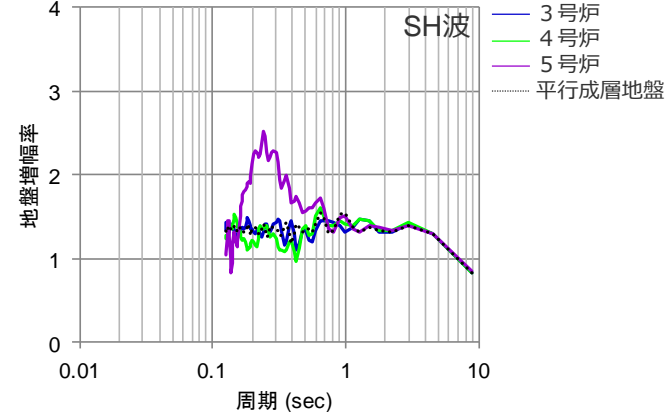
- 地震観測記録として2009年駿河湾（本震）の地震の加速度フーリエスペクトルと、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果として入射方向N60E（2009年駿河湾の地震の地震波到来方向に相当）とした3～5号炉位置の地盤増幅率を示す。
- 地震観測記録の特徴として、5号炉周辺の顕著な増幅は周期0.2～0.5秒付近の狭帯域に見られ、解析結果においても、5号炉位置では周期0.2～0.5秒付近で増幅しており、両者は概ね整合している。

## 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>  
(3G1, 4G1, 5G1(G.L.-100m))

## 解析結果



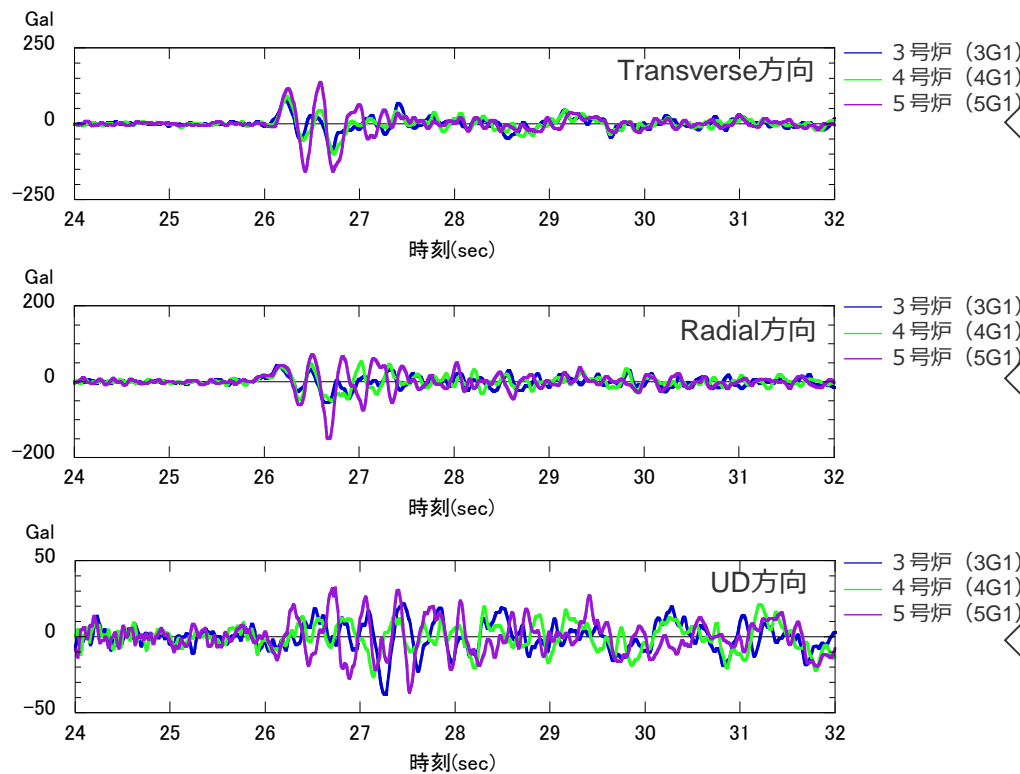
<3～5号炉位置の地盤増幅率（応答波／入力波）>  
(入力波：BELL型単独波、入射方向：N60E方向、入射角：20°)

# 浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（地震観測記録の特徴と浅部地下構造モデルを用いた解析結果との比較（経時特性））

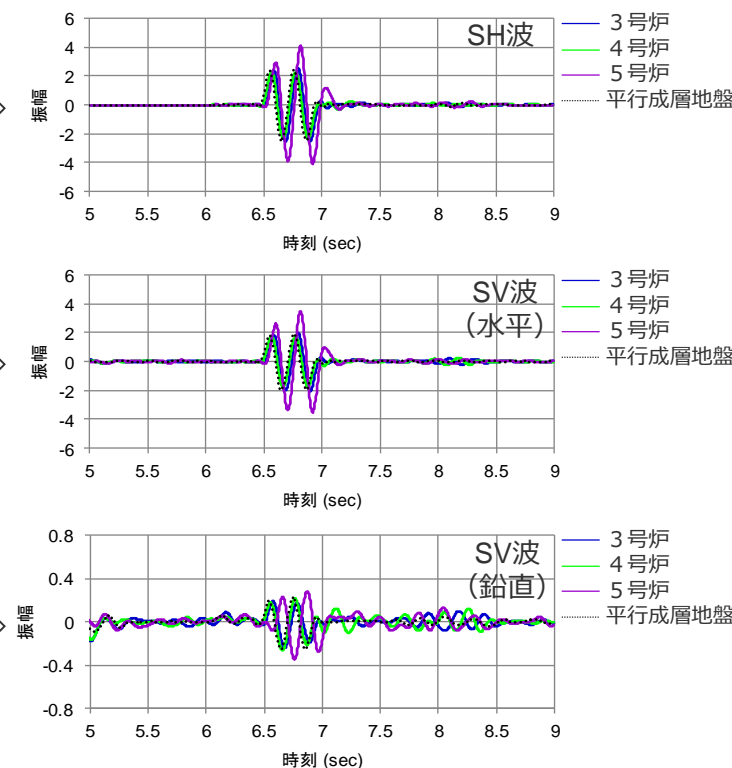
- 地震観測記録として2009年駿河湾の地震（本震）の加速度時刻歴波形と、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果として入射方向N60E（2009年駿河湾の地震（本震）の地震波到来方向に相当）とした3～5号炉位置の応答波形を示す。
- 地震観測記録の特徴として、水平動では、S波主要動部で5号炉周辺の顕著な増幅が見られ、若干の位相遅れを伴うとともに、一波目より二波目以降でより増幅が大きい。また、鉛直動の位相特性はランダムになっている。
- 解析結果において、5号炉位置では水平動でやや位相遅れを伴い、一波目より二波目以降でより増幅が大きい。また、鉛直動の位相特性はランダムになっており、地震観測記録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

## 地震観測記録



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

## 解析結果

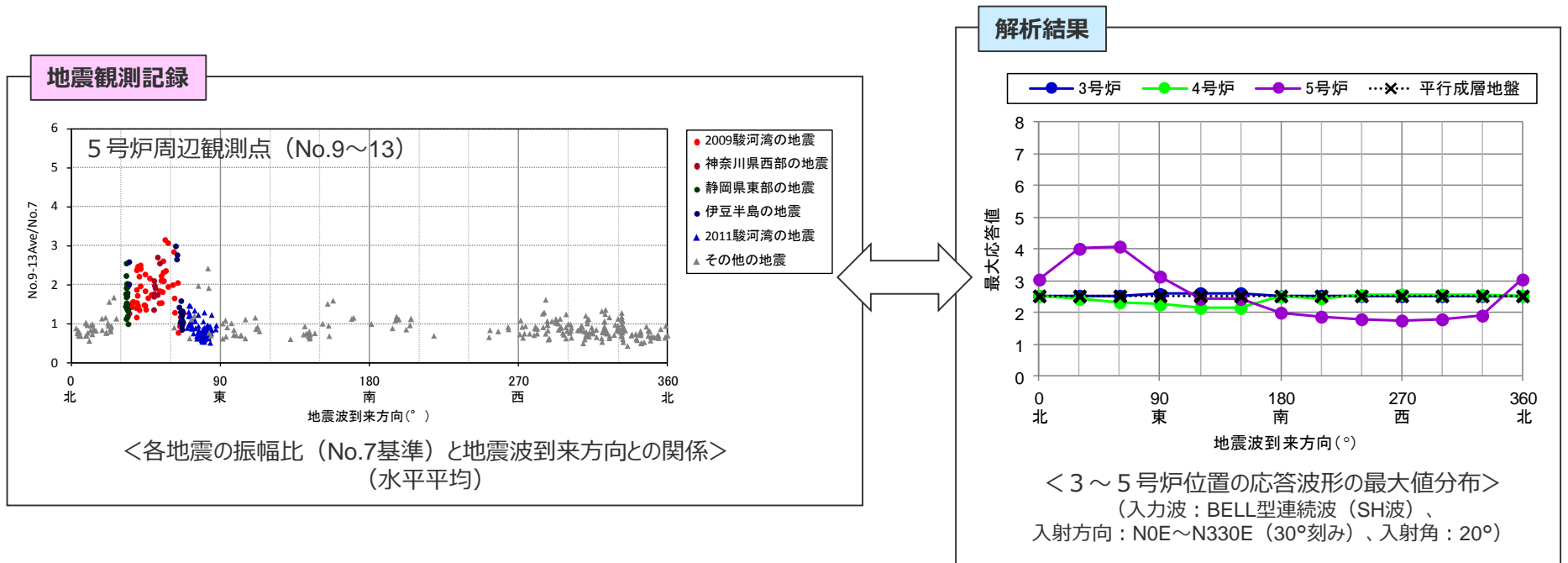


<3～5号炉位置の応答波形>  
(入力波：BELL型連続波、入射方向：N60E方向、入射角：20°)

# 浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（地震観測記録の特徴と浅部地下構造モデルを用いた解析結果との比較（地震波到来方向毎の増幅特性））

- 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考えられる。

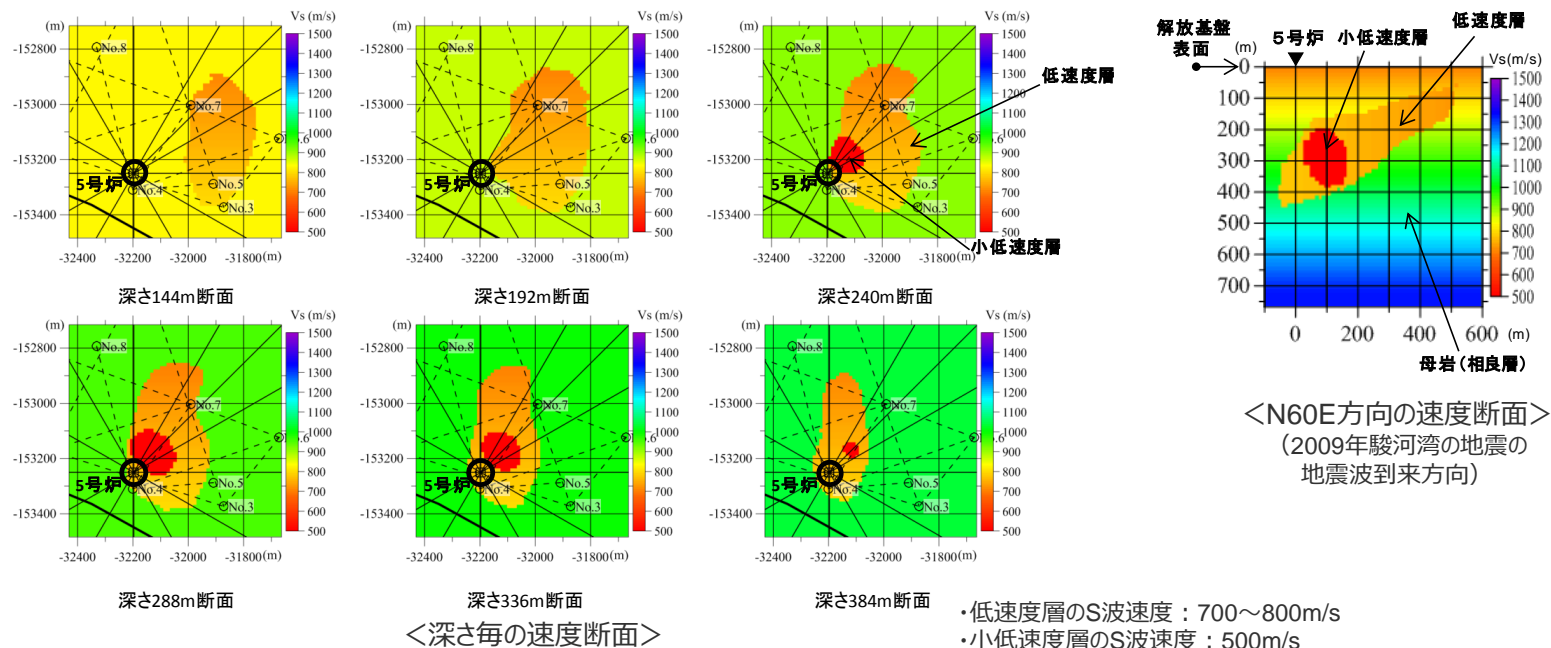


# 浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（小低速度層に関するパラメータスタディ（検討概要））

## 作成した浅部三次元地下構造モデル

○前述のとおり、低速度層、小低速度層、母岩から成る浅部三次元地下構造モデルは、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している（以降の検討では、「チューニングモデル」という）。



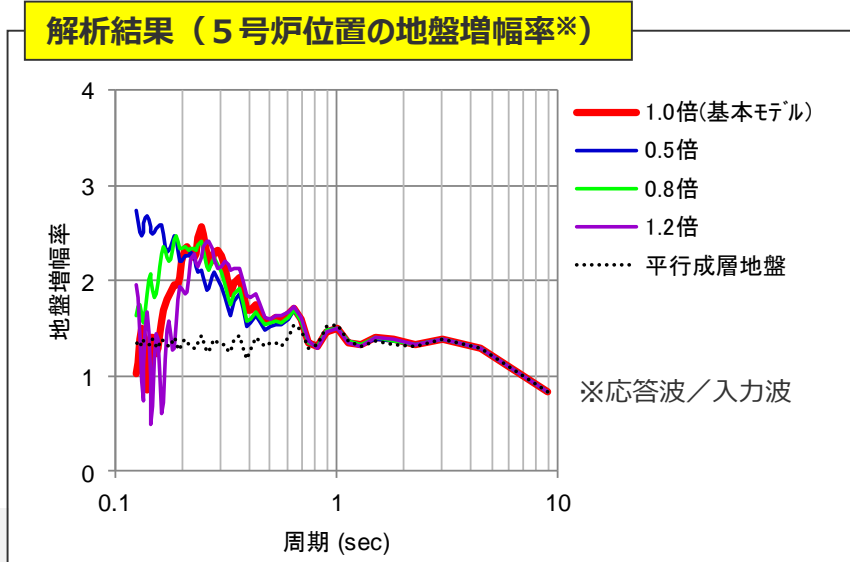
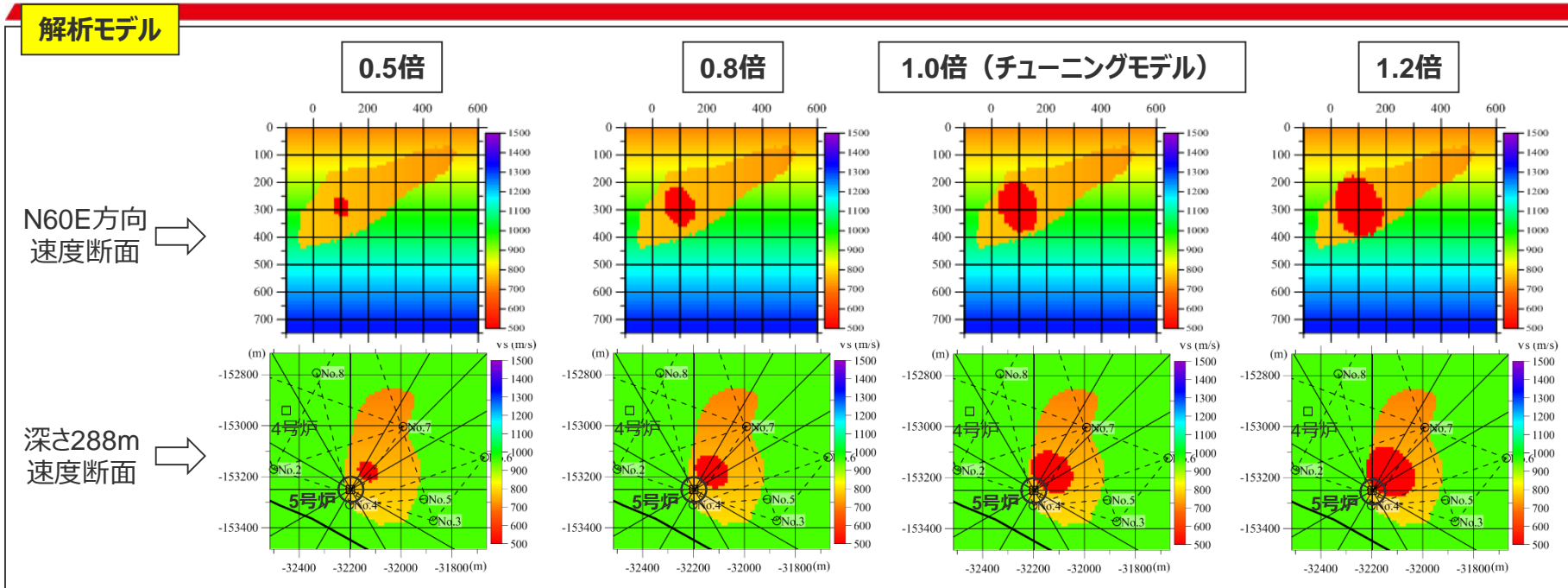
## 小低速度層に関するパラメータスタディ

○小低速度層に関して、「サイズ」、「物性値（S波速度）」、「位置」、「形状」に関するパラメータスタディを行い、観測記録の特徴との整合性を検討する。



# 浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（小低速度層に関するパラメータスタディ（サイズ））



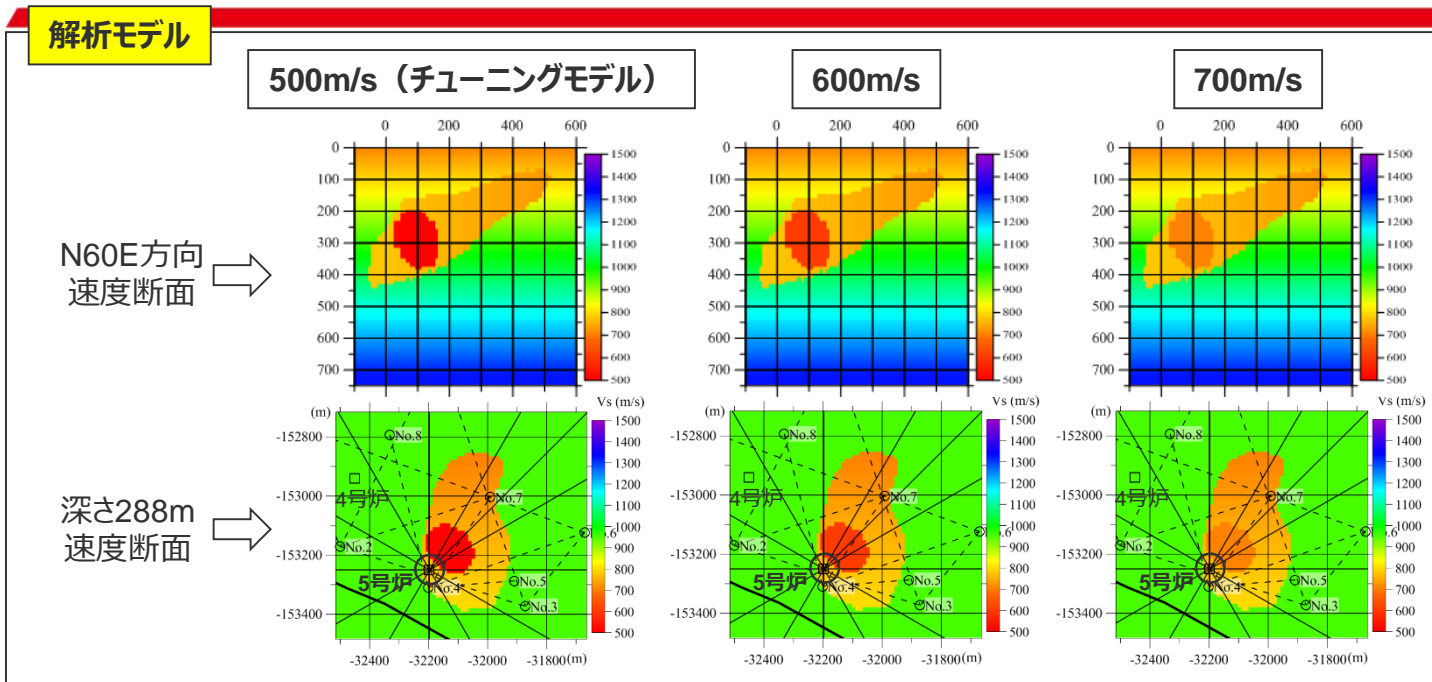
○チューニングモデルの小低速度層（1.0倍）に対して、全体のサイズを0.5倍、0.8倍、1.2倍とした場合のパラメータスタディを実施。

○小低速度層のサイズが小さくなると、チューニングモデルに比べて、増幅が見られる周期帯は限定されない傾向がある。

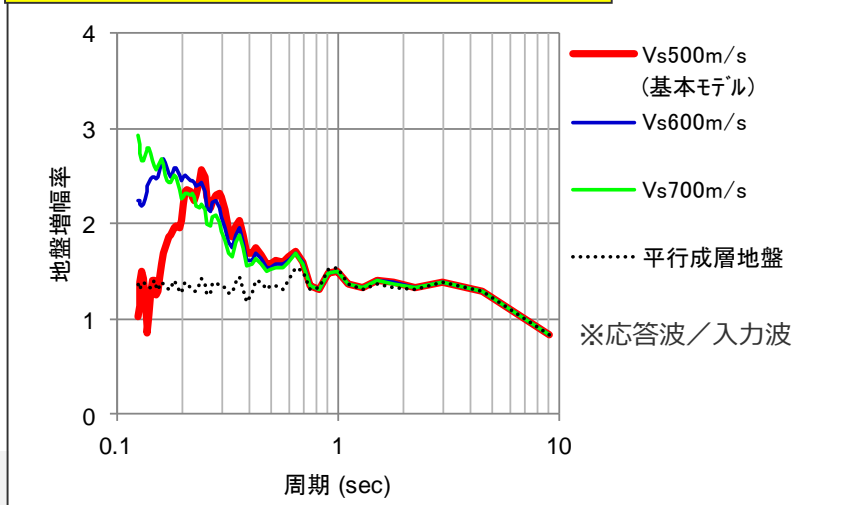
- ・入力波：BELL型単独波（SH波）
  - ・入射角：20°
  - ・入射方向：60°
- 2009年駿河湾の地震の地震波の入射角、到来方向に基づく

# 浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（小低速度層に関するパラメータスタディ（物性値））



**解析結果（5号炉位置の地盤増幅率※）**

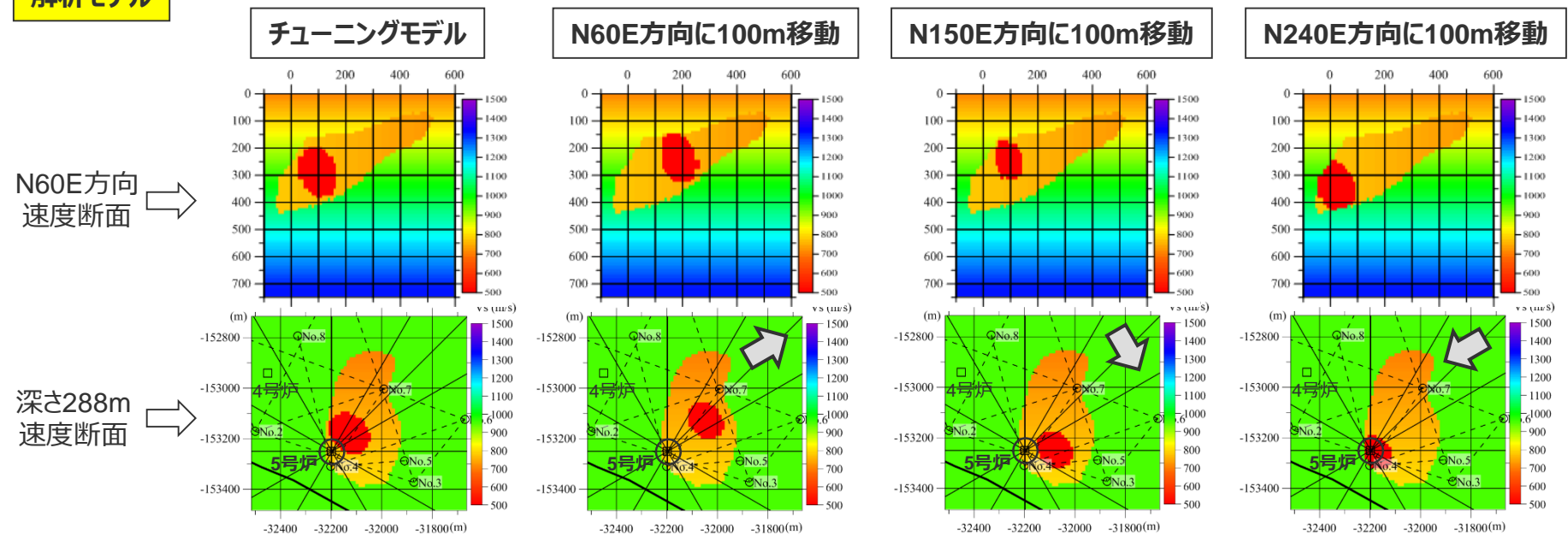


- チューニングモデルの小低速度層（Vs500m/s）に対して、S波速度を600m/s、700m/sとした場合のパラメータスタディを実施。
- 小低速度層のS波速度が大きくなると（速度コントラストが小さくなると）、チューニングモデルに比べて、増幅が見られる周期帯は限定されない傾向がある。

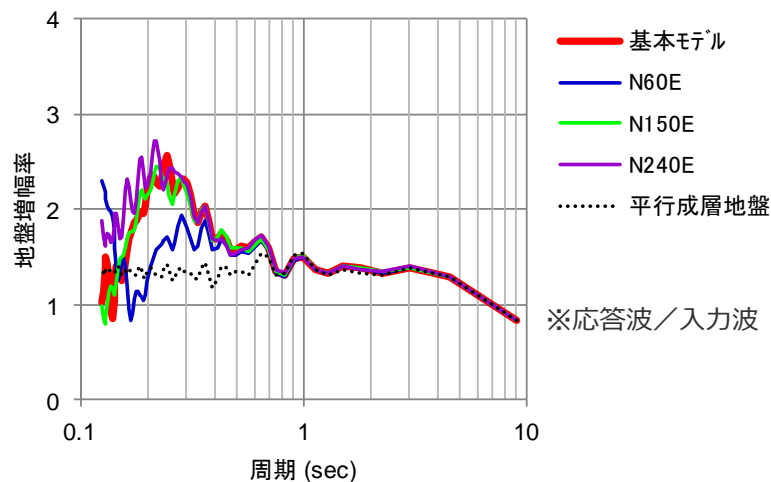
# 浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（小低速度層に関するパラメータスタディ（位置））

## 解析モデル



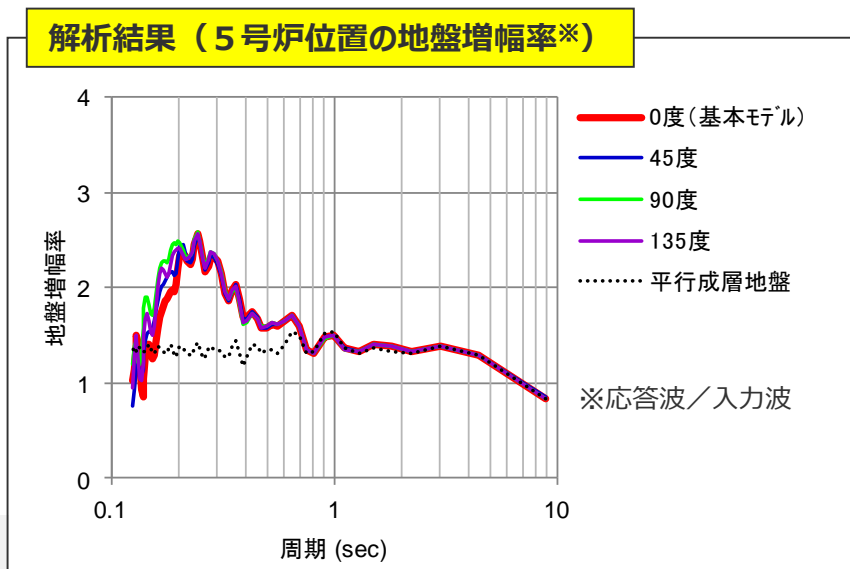
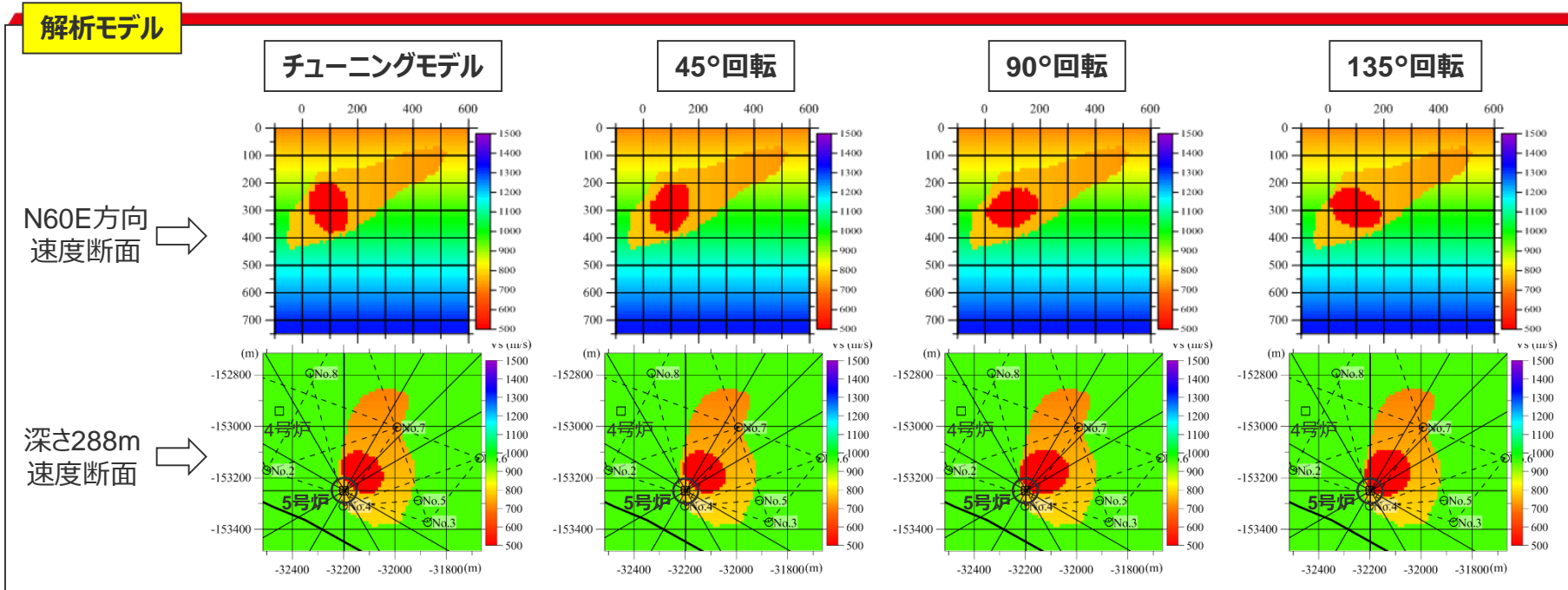
## 解析結果（5号炉位置の地盤増幅率※）



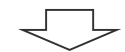
- チューニングモデルの小低速度層に対して、N60E方向（2009年駿河湾の地震方向）、N150E方向（2009年駿河湾の地震方向と直交方向）、N240E方向（2009年駿河湾の地震方向と逆方向）へそれぞれ100m移動した場合のパラメータスタディを実施。
- N60E方向へ移動したモデルでは、チューニングモデルより増幅率は小さくなり、これと逆方向（N240E方向）に移動したモデルでは、チューニングモデルより増幅が見られる周期帯は限定されない傾向がある。また、N150E方向へ移動したモデルでは、チューニングモデルの増幅率と同等になっている。

# 浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（小低速度層に関するパラメータスタディ（形状））



○チューニングモデルの小低速度層に対して、2009年駿河湾の地震方向にそれぞれ45°、90°、135°回転させた場合のパラメータスタディを実施。  
○いずれの解析結果もチューニングモデルと大きく変わらないが、増幅が見られる周期帯は若干短周期側に広がっている。



○以上のパラメータスタディによると、小低速度層の「サイズ」、「物性値（S波速度）」、「位置」、「形状」によって地盤増幅率は変化するが、チューニングモデルの解析結果は地震観測記録の特徴と整合しており、このパラメータスタディを踏まえても、チューニングモデルの妥当性に支障はない。