

大間原子力発電所審査資料	
資料番号	OM1-CA130-R00
提出年月日	2020年7月2日

大間原子力発電所  
地下構造の評価について  
(コメント回答 その2)  
(補足説明資料)

2020年7月

電源開発株式会社

大間原子力発電所  
地下構造の評価について  
(コメント回答 その2)  
(補足説明資料)

2020年7月2日  
電源開発株式会社

○ 「第615回審査会合」及び「第646回審査会合」での資料の誤りに関わる対応を踏まえ、本資料にて過去の審査会合資料を引用する際の注記を下記のとおりとする。

・ 右上の注記

再掲：過去の審査会合資料を、そのまま引用する場合

一部修正：過去の審査会合資料の内容を、一部修正する場合

誤りを修正：過去の審査会合資料の誤りを、正しい記載とする場合

・ 左下の注記

修正した誤りの内容を記載（誤りの修正がある場合）

# 指摘事項

本資料でご説明

次回以降にご説明予定



・本資料では、地下構造の評価に係る下表の指摘事項について回答する。

No.	項目	指摘時期	コメント内容	対応方針	該当箇所
S3-11	地下構造モデルを用いた解析	第822回会合 (R2.1.17)	<p>大間層内のせん断波速度のコントラストや敷地北側のデイサイト等、解放基盤表面より浅部の構造が地震動に与える影響を確認したいので、第2.2章の地下構造モデルを用いた解析に、以下の検討等を加え説明すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・T.P.-260m以浅も含めた三次元地下構造モデルにリッカー波を入力した解析を行い、炉心位置の解放基盤表面のT.P.-260m及び原子炉建屋の支持地盤に近い位置とされているT.P.-7.5mの位置で、一次元水平モデルの最大振幅値との比較を行うこと。</li> <li>・炉心位置の水平成層モデルについて、S波速度、密度及びQ値を明記すること。</li> </ul>	次回以降にご説明予定	
S3-12	基盤の地震動を評価する位置	第822回会合 (R2.1.17)	<p>解放基盤表面、基盤の地震動を評価する位置、鉛直アレイ地震観測点の関係を、以下の内容を含めて整理のうえ、地震動の策定方針を説明すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・T.P.-230m(基盤の地震動を評価する位置)で策定した地震動をT.P.-260m(解放基盤表面)へ入力することとした考え方。</li> <li>・統計的グリーン関数法及び経験的グリーン関数法で用いる地下構造モデルの設定の考え方。</li> <li>・吉田ほか(2005)の知見を踏まえた検討の模式図における基盤の地震動を評価する位置と、解放基盤表面との関係。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解放基盤表面を設定した位置と、基盤の地震動を評価する位置との関係を示した上で、基盤の地震動を評価する位置で評価した地震動を解放基盤表面における地震動として適用する考え方、及び地下構造モデルの設定の考え方も含めて、解放基盤表面における地震動評価方針を示す。</li> <li>・吉田ほか(2005)の知見を踏まえた検討の模式図に、基盤の地震動を評価する位置を示す。</li> </ul>	<p>本編資料 5.1 P.5-3~5-8                      補足説明資料 5-1, 5-2, 5-14</p>
S3-13	地震観測記録	第822回会合 (R2.1.17)	<p>基準化スペクトルに基づく検討に関して、以下について要因を分析し説明すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・南側の観測点において、高周波側で持ち上がる傾向が見られる要因。</li> <li>・基盤位置における検討において、基準化スペクトルに見られる山谷の要因。</li> </ul>	<p>基準化スペクトルに基づく検討に関して、以下の要因を分析した結果を示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・南側の観測点において、高周波側で持ち上がる傾向が見られる要因。</li> <li>・基盤位置における検討において、基準化スペクトルに見られる山谷の要因。</li> </ul>	<p>本編資料 3.2.2 P.3-20, 3-22~3-26                      補足説明資料 3-5</p>
S3-14	地震観測記録	第822回会合 (R2.1.17)	<p>異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討について、以下の検討等を加え説明すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・1秒~2秒付近の変動が2倍程度に増幅している要因。</li> <li>・スペクトル比にする前のT.P.-207.5m及びT.P.-7.5mそれぞれの位置で得られた地震観測記録。</li> </ul>	<p>異なる深度の応答スペクトル比に基づく検討について、周期1秒~2秒付近の変動が2倍程度に増幅している要因を分析した結果を示すとともに、スペクトル比の算定に用いた、T.P.-207.5m及びT.P.-7.5mそれぞれの位置で得られた地震観測記録を、机上配布資料に追加して示す。</p>	<p>本編資料 3.2.3 P.3-35~3-38                      補足説明資料 3-7                      机上配布資料 2章</p>
S3-15	地震観測記録	第822回会合 (R2.1.17)	<p>地震観測を実施しているのはT.P.-207.5mであり、この位置における検討が重要であると考えている。第5.2.5章で実施した「Noda et al.(2002)の手法による地震動を指標とした確認」及び第3.2.2章で実施した「基盤位置における検討」について、T.P.-207.5mの位置で実施すること。</p>	<p>第5.2.5項で実施した「Noda et al.(2002)の手法による地震動を指標とした確認」及び第3.2.2項で実施した「基盤位置における検討」について、地震観測を実施しているT.P.-207.5m位置での検討結果を示す。</p>	<p>本編資料 3.2.2 P.3-19                      本編資料 5.2.5 P.5-23, 5-24</p>

# 目次

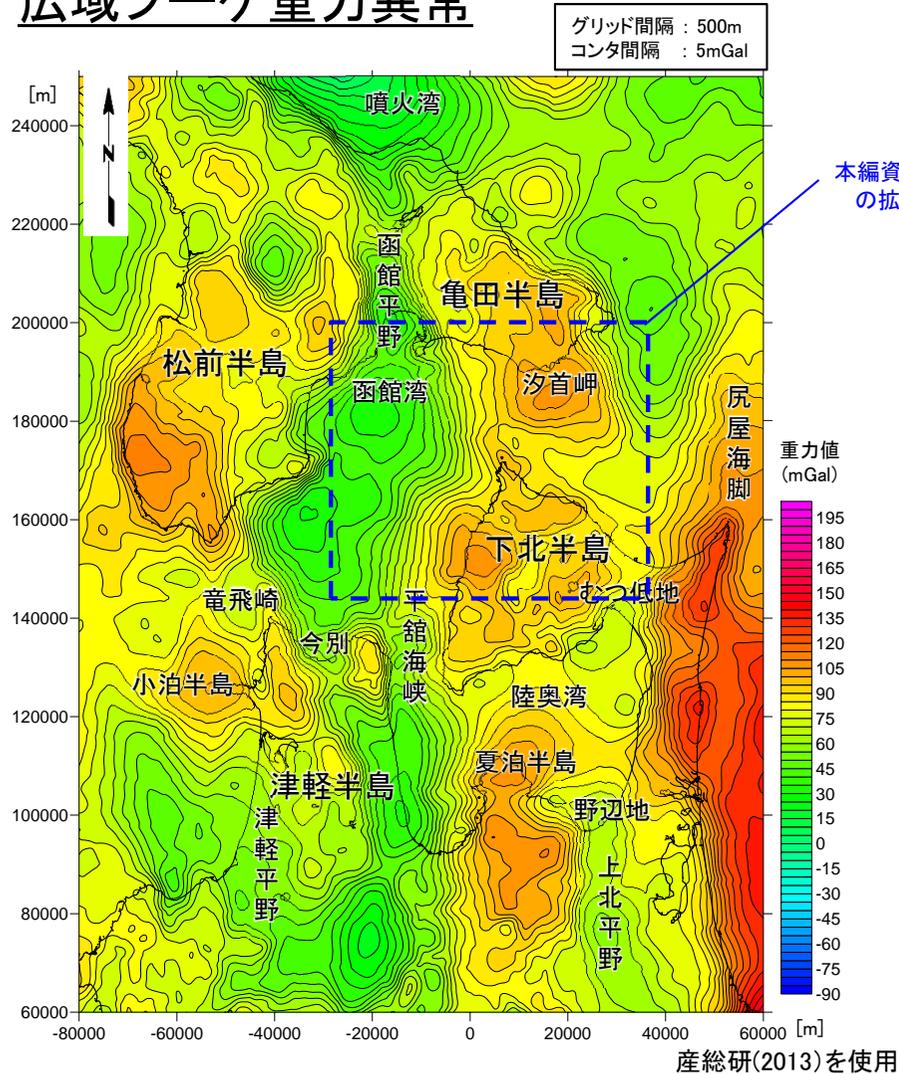
1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
  - 2-1 敷地周辺の重力探査の内容
  - 2-2 各種弾性波探査の内容
    - 2-2-1 各種弾性波探査及びトモグラフィ解析の流れ
    - 2-2-2 敷地周辺陸域の屈折法地震探査の内容
    - 2-2-3 敷地周辺海域の屈折法地震探査の内容
    - 2-2-4 敷地周辺の陸海連続弾性波探査の内容
    - 2-2-5 反射法地震探査及びオフセットVSP探査の内容
    - 2-2-6 各種屈折法地震探査データによるトモグラフィ解析の内容
  - 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真)
  - 2-4 地震基盤付近のカッティングス及びスポットコアによる岩種判定
  - 2-5 デイサイトの分布について
  - 2-6 大間層の性状について
  - 2-7 三次元地下構造モデル作成範囲(30km×40km)全体の作成結果
3. 観測記録による地下構造評価
  - 3-1 検討において対象とした周期帯について
  - 3-2 佐藤ほか(2011)の概要
  - 3-3 各観測点における基準化スペクトルの検討
  - 3-4 基盤位置における基準化スペクトルの算定に用いた地下構造モデル
  - 3-5 各観測点における表土の層厚
  - 3-6 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比
  - 3-7 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比の周期特性の評価
  - 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比
  - 3-9 各観測点の常時微動のH/Vスペクトル比
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
  - 5-1 規制基準・審査ガイドにおける要求事項との関係について
  - 5-2 基盤の地震動を評価する位置の設定の妥当性の確認(補足)
  - 5-3 最適化地盤モデル(浅部)  $V_p \cdot Q_p$ 構造
  - 5-4 観測記録の伝達関数の標準偏差
  - 5-5 観測記録とシミュレーション解析結果との比較
  - 5-6 玄武岩の上面標高
  - 5-7 頭打ちQ値モデルについて
  - 5-8 観測記録のP波部H/Vスペクトル比等の標準偏差
  - 5-9 スペクトルインバージョン解析の概要
  - 5-10 微動アレイ観測における1次高次モードの詳細について
  - 5-11 地震波干渉法による解析の概要について
  - 5-12 最大振幅法によるQ値の測定について
  - 5-13 地震基盤以深のQ値の妥当性について
  - 5-14 地盤モデルの解放基盤表面以浅の有無の影響について
  - 5-15 平成26年12月変更申請時の地下構造モデル
6. まとめ

(余白)

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
  - 2-1 敷地周辺の重力探査の内容
  - 2-2 各種弾性波探査の内容
    - 2-2-1 各種弾性波探査及びトモグラフィ解析の流れ
    - 2-2-2 敷地周辺陸域の屈折法地震探査の内容
    - 2-2-3 敷地周辺海域の屈折法地震探査の内容
    - 2-2-4 敷地周辺の陸海連続弾性波探査の内容
    - 2-2-5 反射法地震探査及びオフセットVSP探査の内容
    - 2-2-6 各種屈折法地震探査データによるトモグラフィ解析の内容
  - 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真)
  - 2-4 地震基盤付近のカッティングス及びスポットコアによる岩種判定
  - 2-5 デイサイトの分布について
  - 2-6 大間層の性状について
  - 2-7 三次元地下構造モデル作成範囲(30km×40km)全体の作成結果
3. 観測記録による地下構造評価
  - 3-1 検討において対象とした周期帯について
  - 3-2 佐藤ほか(2011)の概要
  - 3-3 各観測点における基準化スペクトルの検討
  - 3-4 基盤位置における基準化スペクトルの算定に用いた地下構造モデル
  - 3-5 各観測点における表土の層厚
  - 3-6 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比
  - 3-7 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比の周期特性の評価
  - 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比
  - 3-9 各観測点の常時微動のH/Vスペクトル比
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
  - 5-1 規制基準・審査ガイドにおける要求事項との関係について
  - 5-2 基盤の地震動を評価する位置の設定の妥当性の確認(補足)
  - 5-3 最適化地盤モデル(浅部)  $V_p \cdot Q_p$ 構造
  - 5-4 観測記録の伝達関数の標準偏差
  - 5-5 観測記録とシミュレーション解析結果との比較
  - 5-6 玄武岩の上面標高
  - 5-7 頭打ちQ値モデルについて
  - 5-8 観測記録のP波部H/Vスペクトル比等の標準偏差
  - 5-9 スペクトルインバージョン解析の概要
  - 5-10 微動アレイ観測における1次高次モードの詳細について
  - 5-11 地震波干渉法による解析の概要について
  - 5-12 最大振幅法によるQ値の測定について
  - 5-13 地震基盤以深のQ値の妥当性について
  - 5-14 地盤モデルの解放基盤表面以浅の有無の影響について
  - 5-15 平成26年12月変更申請時の地下構造モデル
6. まとめ

## 2-1 敷地周辺の重力探査の内容

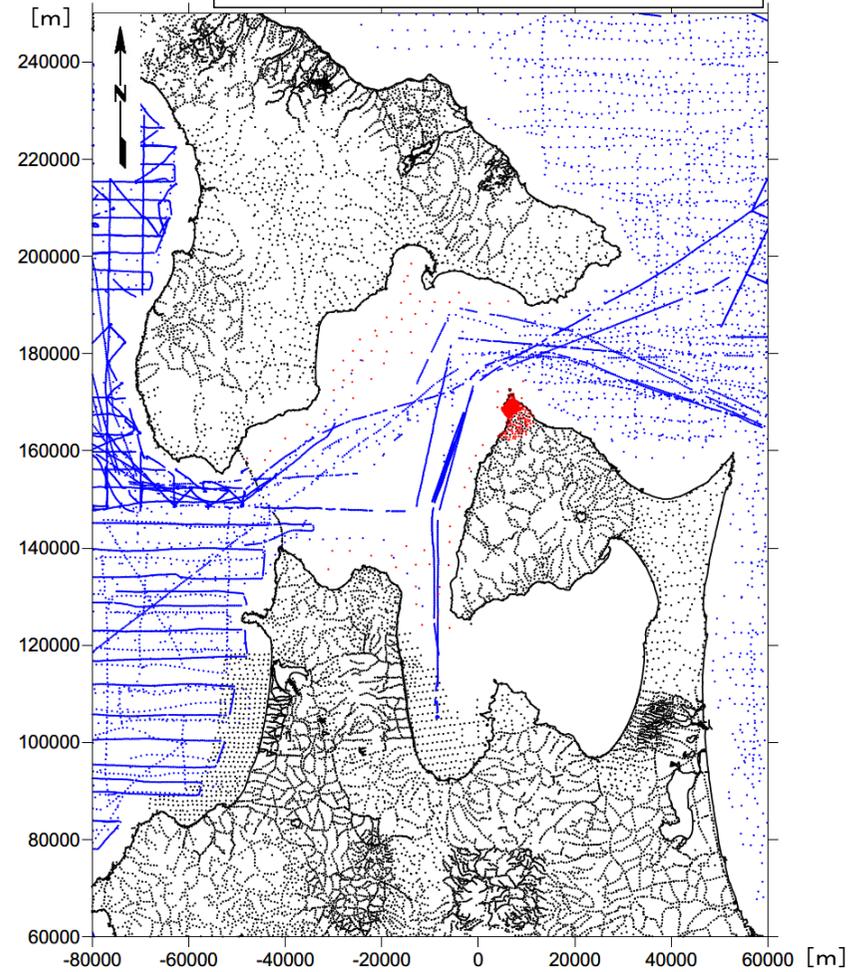
### 広域ブーゲ重力異常



ブーゲ重力異常図(補正密度 $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ )

本編資料P.2-13  
の拡大範囲

測点凡例  
●: 陸上及び海底重力測定点(産総研, 2013)  
●: 陸上及び海底重力測定点(産総研, 2013[当社提供])  
●: 船上重力測定点(産総研, 2013)



重力測点分布図

- 左図は、産総研(2013)<sup>1)</sup>のグリッドデータを用いて作成した、津軽海峡を中心とした広域のブーゲ重力異常図である。右図には、重力測点分布を示した。

注)本編資料P.2-13の重力異常図は、左図のうち下北半島北西部を拡大して表示したものである。

## 2-2-1 各種弾性波探査及びトモグラフィ解析の流れ

本編資料「屈折法・反射法地震探査(本編資料P.2-14～P.2-21参照)」及び「反射法地震探査及びオフセットVSP探査(本編資料P.2-33～P.2-35参照)」に示す、各種弾性波探査データによるトモグラフィ解析の流れを以下に示す。

### 各種弾性波探査及びトモグラフィ解析の流れ

(手順1) 各種弾性波探査によるデータ取得



(手順2) 手順1で取得したデータを用いたトモグラフィ解析による速度構造モデルの作成



(手順3) 手順2で作成した速度構造モデルの妥当性の確認

### 補足説明資料での該当ページ

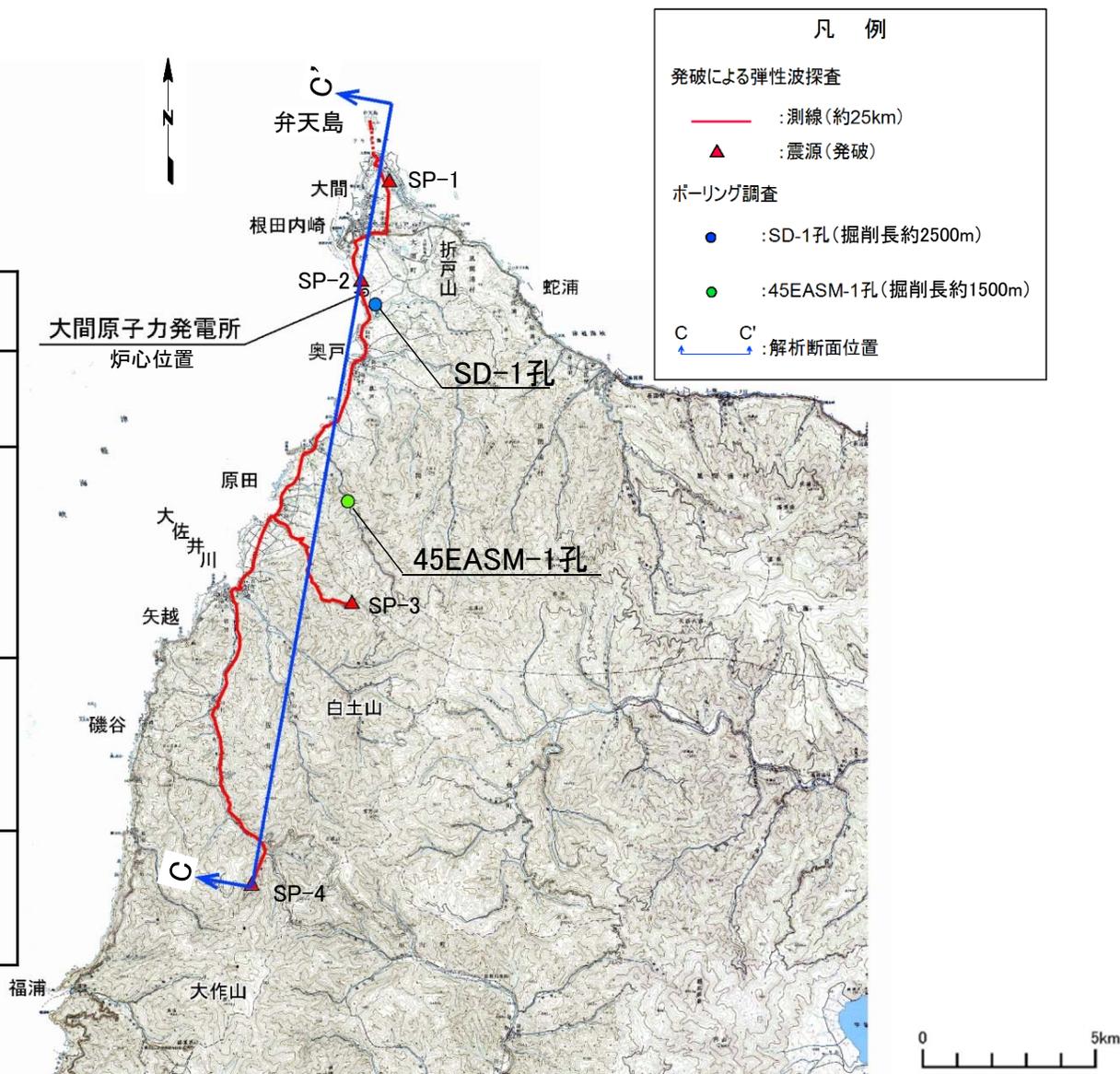
項目		2-2-2 敷地周辺陸域の 屈折法地震探査	2-2-3 敷地周辺海域の 屈折法地震探査	2-2-4 敷地周辺の陸海連 続弾性波探査	2-2-5 反射法地震探査及び オフセットVSP探査
手順1	各種弾性波探査によるデータ取得	P.2-4	P.2-7, P.2-8	P.2-11	P.2-14, P.2-15
手順2	トモグラフィ解析※による速度構造モデル作成	P.2-5	P.2-9	P.2-12	P.2-16
手順3	速度構造モデルの妥当性の検証	P.2-6	P.2-10	P.2-13	P.2-17

※トモグラフィ解析の具体的な内容については、「2-2-6 各種屈折法地震探査データによるトモグラフィ解析の内容(P.2-18～P.2-20)」を参照。

## 調査位置及び仕様

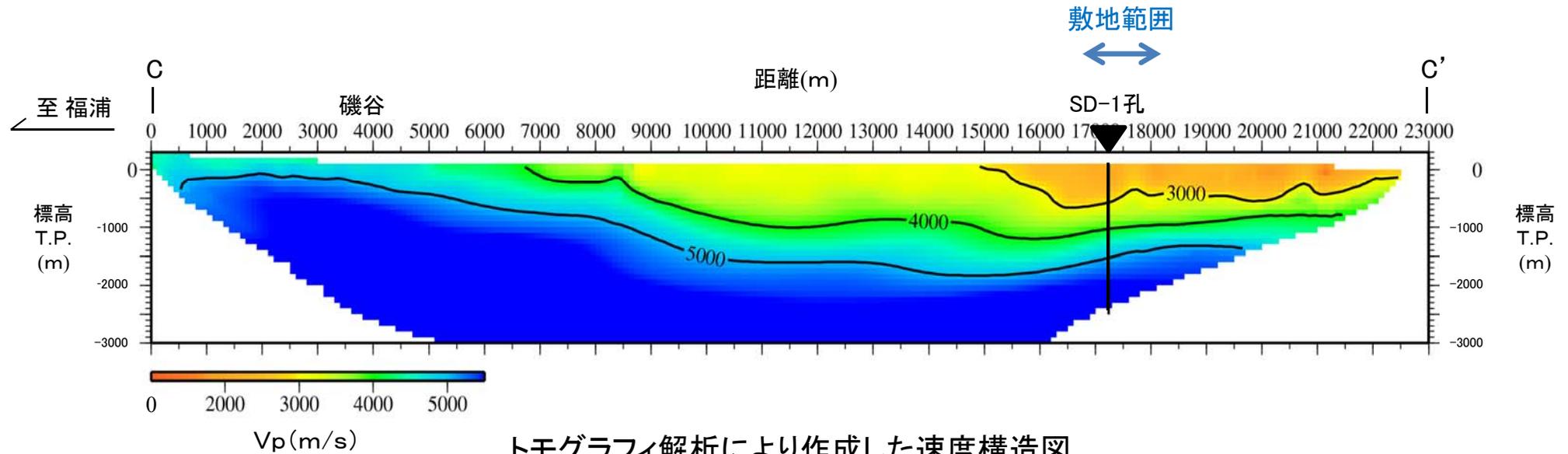
## 陸域での屈折法地震探査の仕様

項目		仕様
測線	測線数 測線長	1測線 約25km
発震系	地点数 薬量 発破孔深度	4地点 北側2地点 54kg/地点 南側2地点 108kg/地点 50m(SP-1地点) 40m(SP-2, 3, 4地点)
受振系	受振器 受振点間隔 受振器数/点 総受振点数	上下動成分受振器(10Hz) 敷地外100m, 敷地内50m 3個/点 246点
記録系	探鉱機 サンプル間隔 記録長	独立型データロガー 4msec 15sec



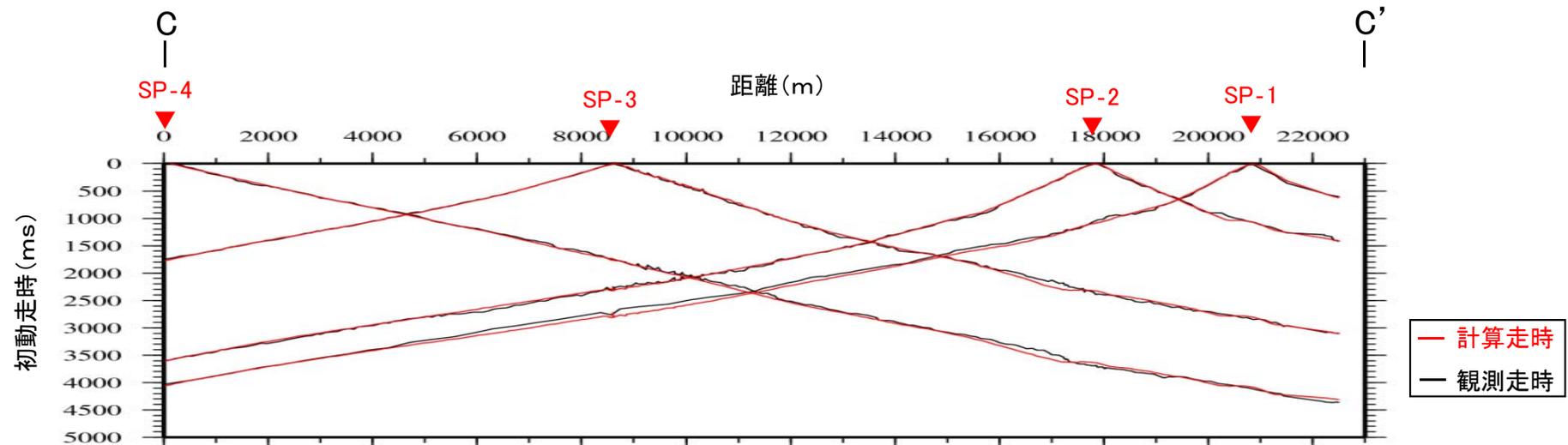
- 表に示す仕様により実施した屈折法地震探査のデータを用い、「2-2-6」に示す手順でモグラフィ解析を行った。

## トモグラフィ解析により作成した速度構造モデル



トモグラフィ解析により作成した速度構造図

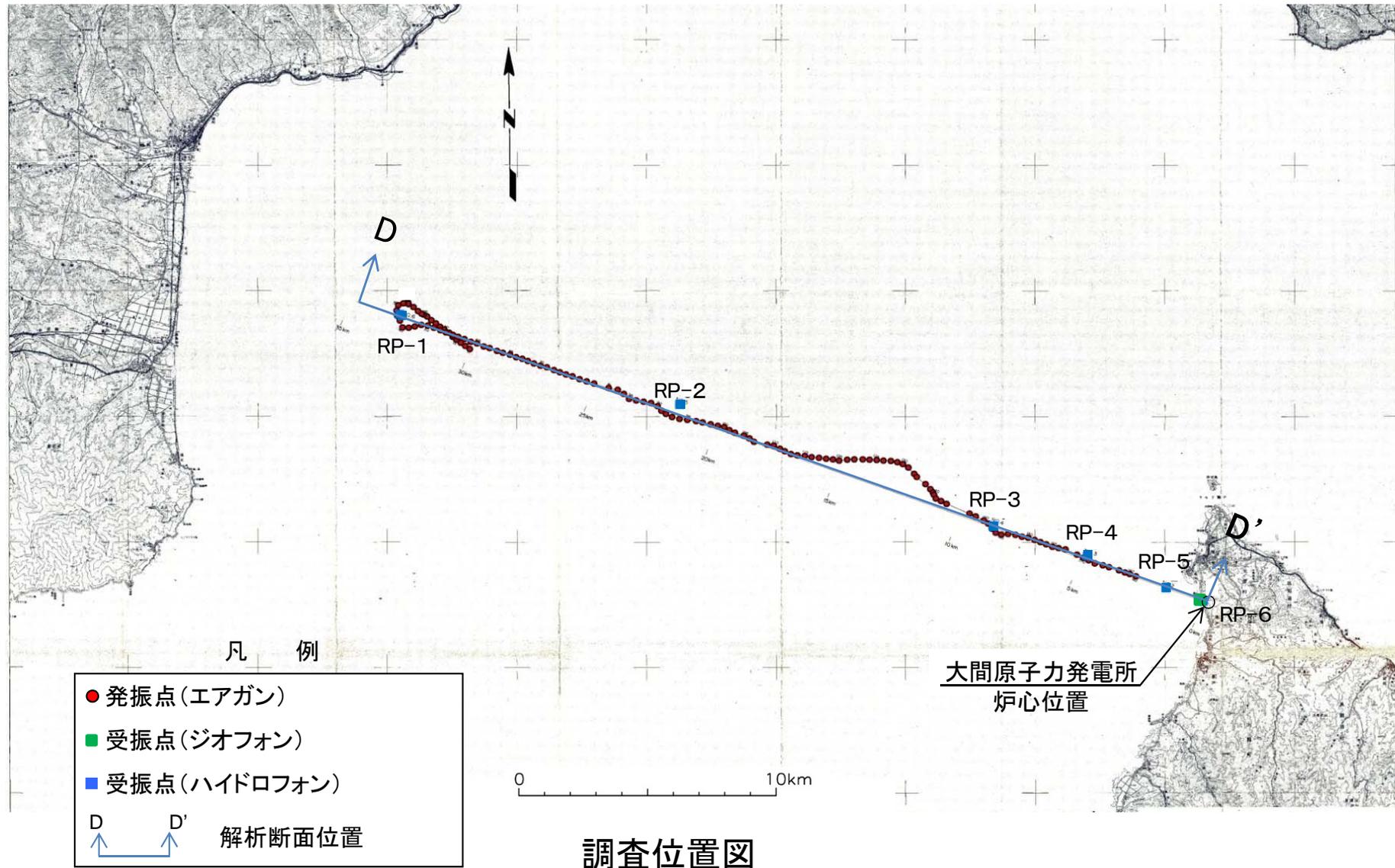
- 屈折法地震探査のデータを用い、「2-2-6」に示す手順でトモグラフィ解析を行うことにより、速度構造モデルを作成した。

トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルの妥当性の確認

トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルでの計算走時と観測走時の比較

- トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルで計算した初動走時と観測による初動走時を比較することで、速度構造モデルの妥当性を確認した。
- トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルによる計算走時は、観測走時を良く再現できていることから、トモグラフィ解析による速度構造モデルは妥当であると判断した。

## 調査位置



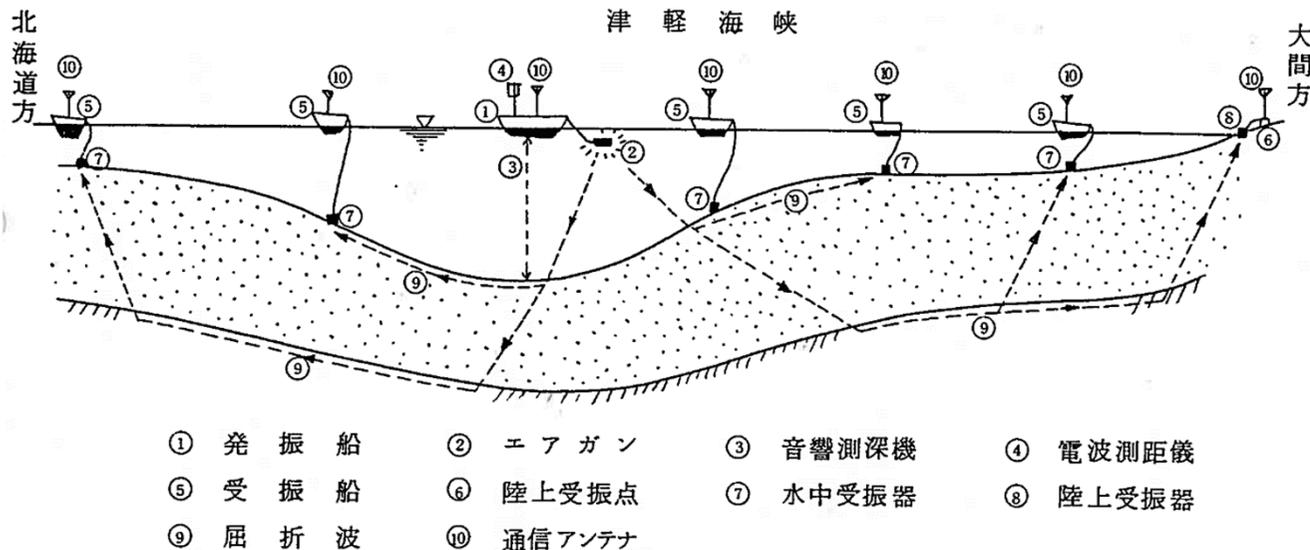
• 敷地西方の速度構造を把握することを目的に、上図に示す調査測線で海域の屈折法地震探査を実施した。

注)本頁は、「敷地周辺海域の屈折法地震探査(本編資料P.2-16, P.2-17参照)」の調査位置を示したものである。

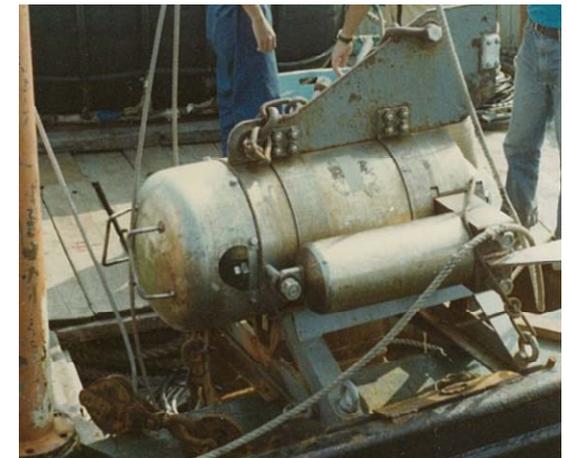
## 調査仕様

発振系		受振系		測線	
発振器	間隔	受振器	測点数	方向	延長
ラumont型エアガン 容量 20ℓ 圧力 約130kg/cm <sup>2</sup> 発振エネルギー 約45万J/回 発振深さ 海面下20m	200~300m	水中部 ハイドロフォン受振器 海底面に設置 (日本物理探鉱 51R)	5点	西北西	30km
		陸上部 感振器(ジオフォン) (GEOSPACE社 GSC-11D)	1点		

沖合部 測定作業模式図



発振器(エアガン)



•表に示す仕様により実施した屈折法地震探査のデータを用い、「2-2-6」に示す手順でトモグラフィ解析を行った。

注)本頁は、「敷地周辺海域の屈折法地震探査(本編資料P.2-16, P.2-17)」の調査仕様を示したものである。

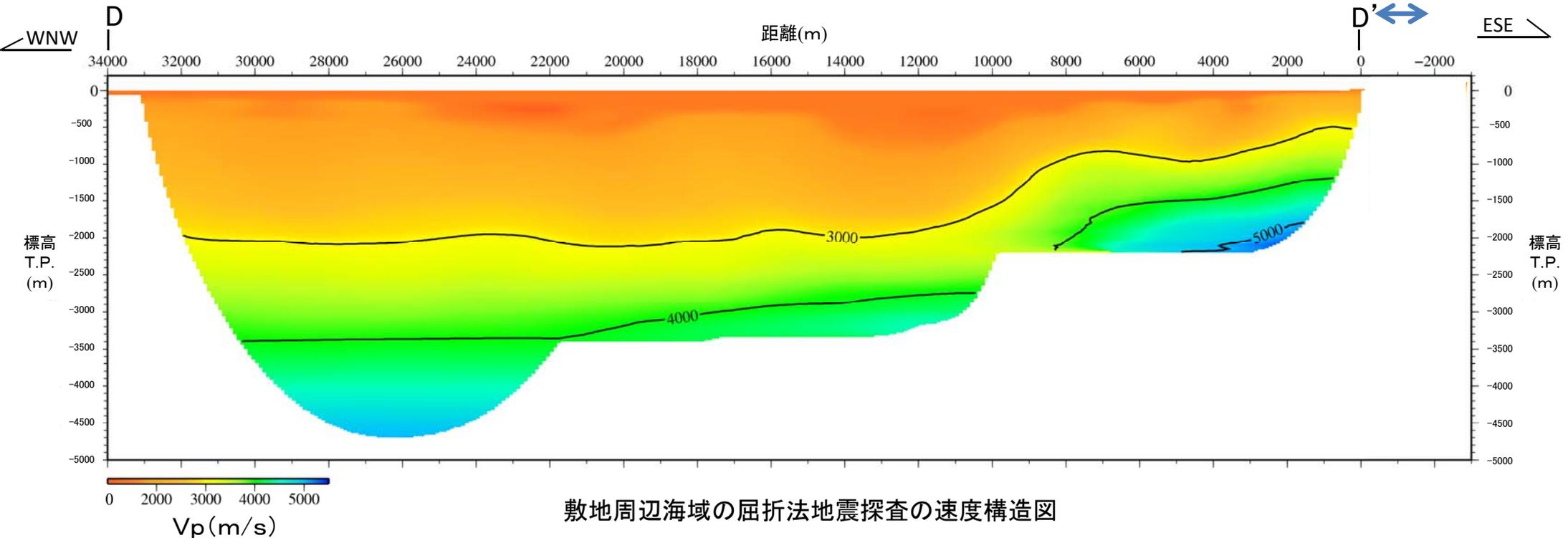
## 2-2-3 敷地周辺海域の屈折法地震探査の内容(3/4)

## トモグラフィ解析により作成した速度構造モデル

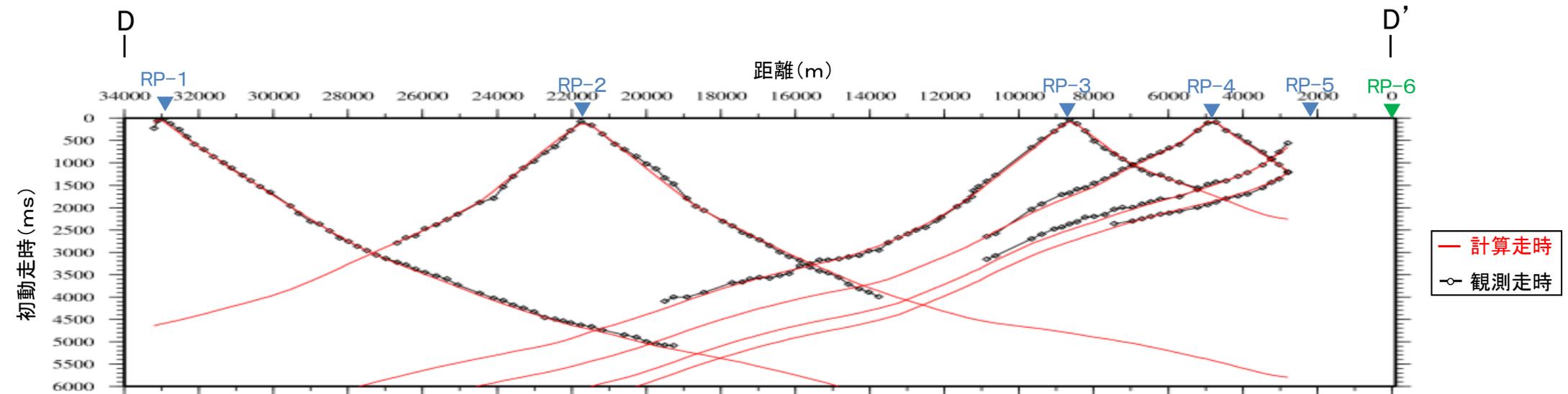
敷地範囲

D' ← →

ESE



- 屈折法地震探査のデータを用い、「2-2-6」に示す手順でトモグラフィ解析を行うことにより、速度構造モデルを作成した。

トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルの妥当性の確認

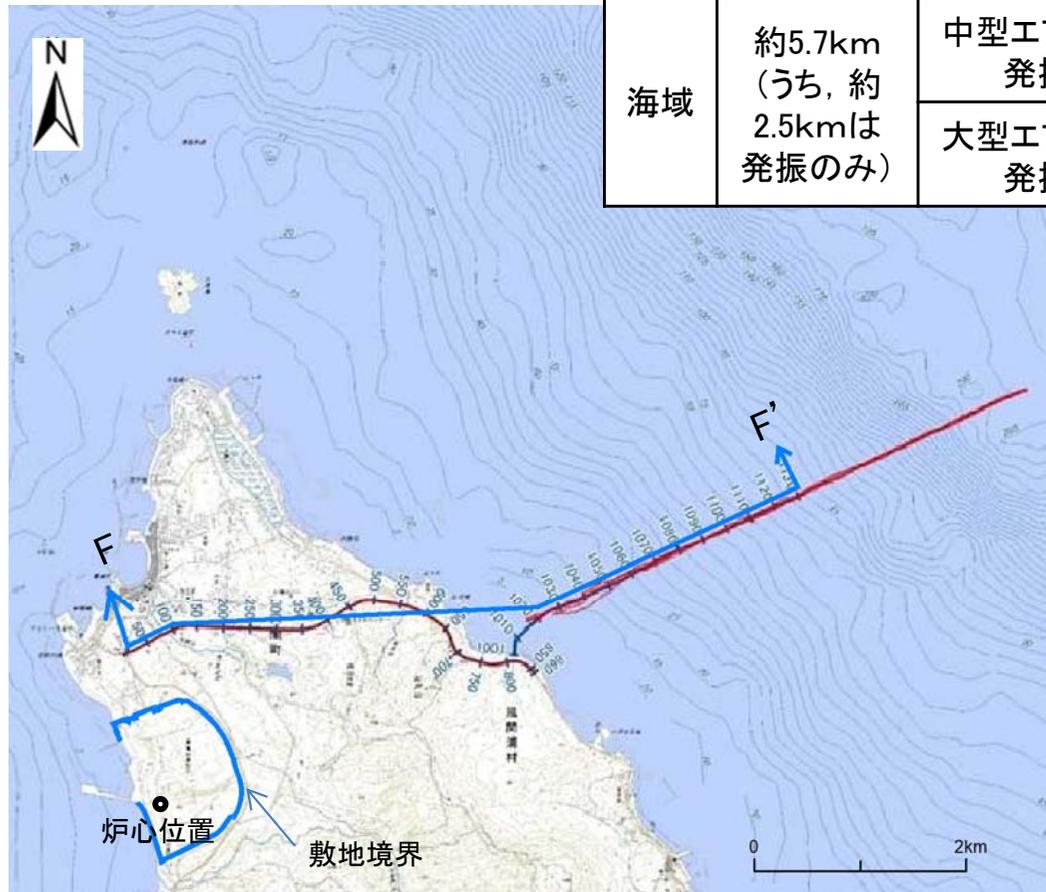
トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルでの計算走時と観測走時の比較

- トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルで計算した初動走時と観測による初動走時を比較することで、速度構造モデルの妥当性を確認した。
- トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルによる計算走時は、観測走時を良く再現できていることから、トモグラフィ解析による速度構造モデルは妥当であると判断した。

## 調査位置及び仕様

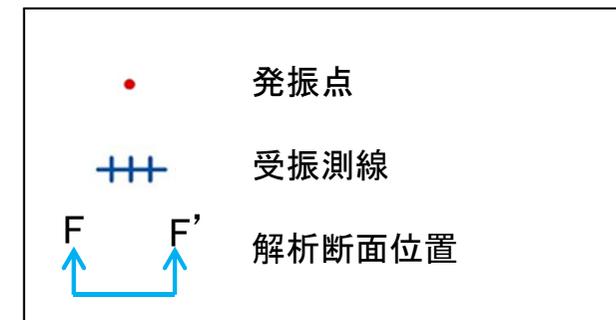
## 陸海連続弾性波探査の主な仕様

種別	測線長	発振系			受振系	
		種別	発振源の仕様	間隔	受振器	間隔
陸域	約4.3km	通常発振	P波中型バイブレータ 1~3台	約10m	ジオフォン	約5m
		稠密発振	P波中型バイブレータ 1台	約5m		
海域	約5.7km (うち、約 2.5kmは 発振のみ)	中型エアガン 発振	容量 480 cu.in. 水深5~15mに適用	約5m	ハイドロフォン 及び 3成分加速度 センサ	約25m
		大型エアガン 発振	容量 1,500 cu.in. 水深15m以上に適用			



調査位置図

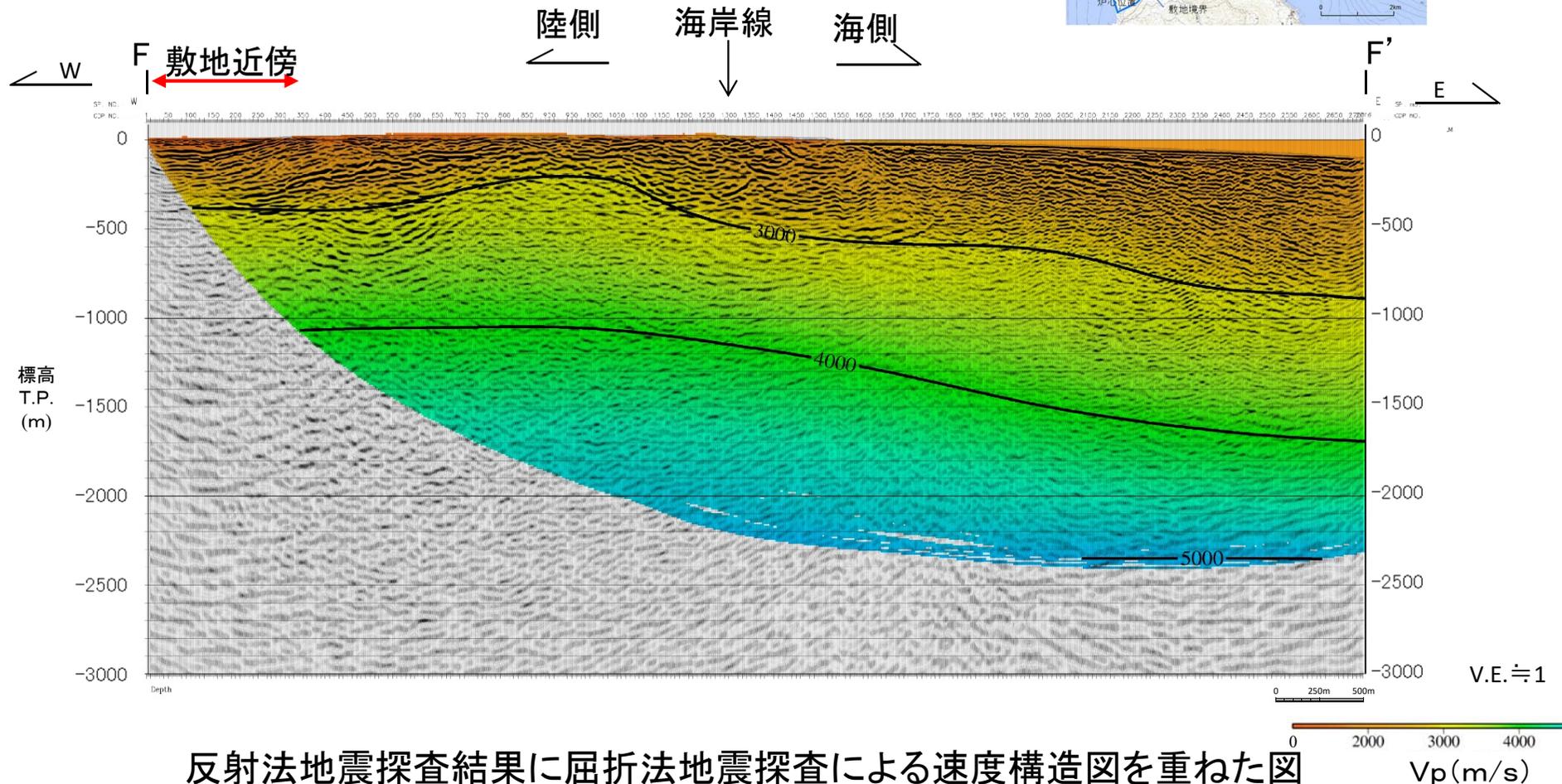
## 凡 例



- 表に示す仕様により実施した陸海連続弾性波探査のデータを用い、「2-2-6」に示す手順でトモグラフィ解析を行った。

注)本頁は、「敷地周辺の陸海連続弾性波探査(本編資料P.2-18, P.2-19参照)」の調査位置及び仕様を示したものである。

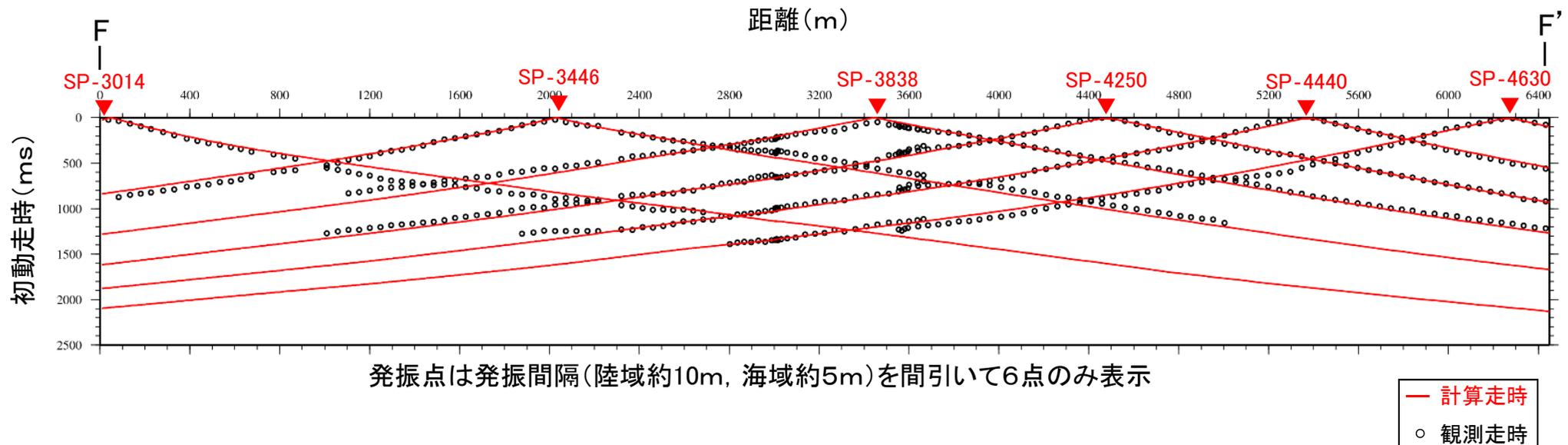
## トモグラフィ解析により作成した速度構造モデル



反射法地震探査結果に屈折法地震探査による速度構造図を重ねた図

- 屈折法地震探査のデータを用い、「2-2-6」に示す手順でトモグラフィ解析を行うことにより、速度構造モデルを作成した。

## トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルの妥当性の確認



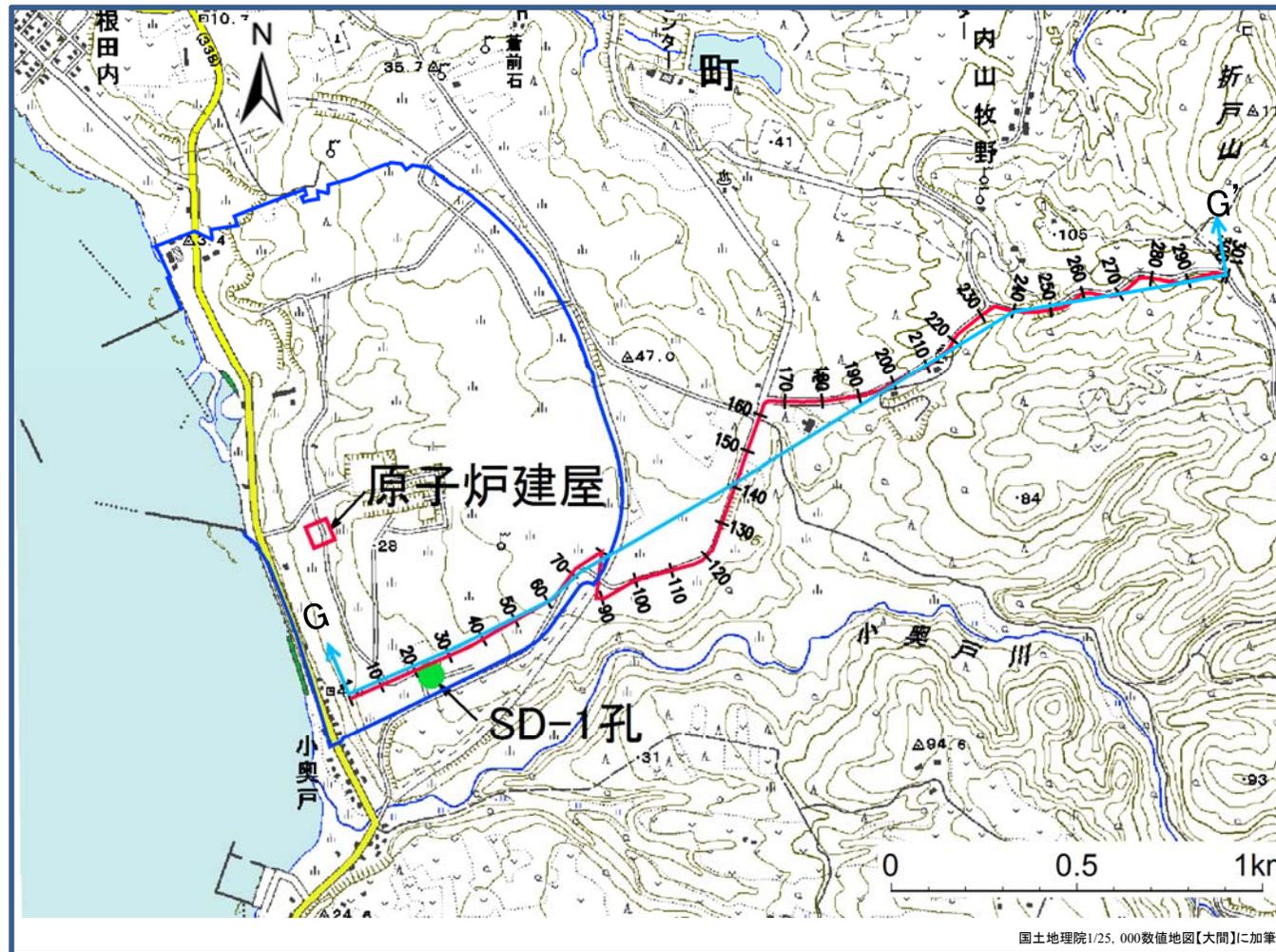
### トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルでの計算走時と観測走時の比較

- トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルで計算した初動走時と観測による初動走時を比較することで、速度構造モデルの妥当性を確認した。
- トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルによる計算走時は、観測走時を良く再現できていることから、トモグラフィ解析による速度構造モデルは妥当であると判断した。

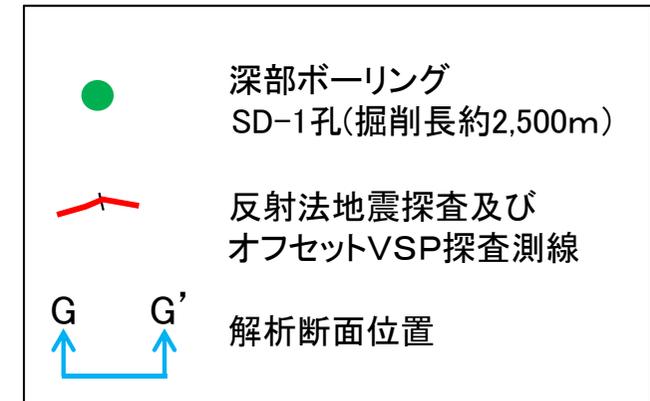
## 2-2-5 反射法地震探査及びオフセットVSP探査の内容(1/4)



## 調査位置



## 凡例



調査位置図

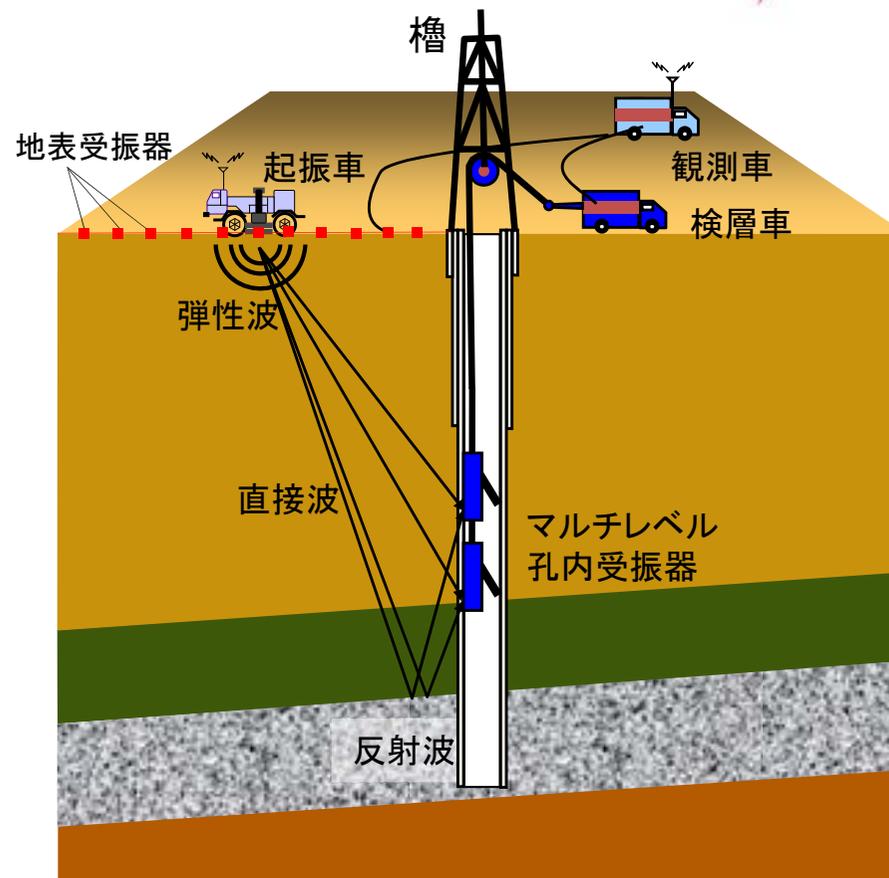
- 地震基盤までの速度構造を把握するために、上図に示す調査測線で反射法地震探査及び深部ボーリングSD-1孔を利用したオフセットVSP探査を実施した。

注)本頁は、「反射法地震探査及びオフセットVSP探査(本編資料P.2-33~P.2-35参照)」の調査位置を示したものである。

## 2-2-5 反射法地震探査及びオフセットVSP探査の内容(2/4)

### 調査仕様

項目		仕様	
		P波発振	S波発振
孔内受振系	受振深度	深度20~2,480m	
	孔内受振点間隔	15m(一部区間100m)	
	受振点数	119点	
	受振器	3成分受振器	
地表受振系	測線長	3.0km	0.86km(敷地内)
	地表受振点間隔	10m	
	受振点数	301点	87点
発振系	発振測線長	3.0km	0.86km(敷地内)
	発振源	大型バイブレータ2台	S波バイブレータ1台
	標準発振点間隔	50m	
	総発振点数	60点	18点(敷地内)



VSP発振風景



孔内3成分受振器



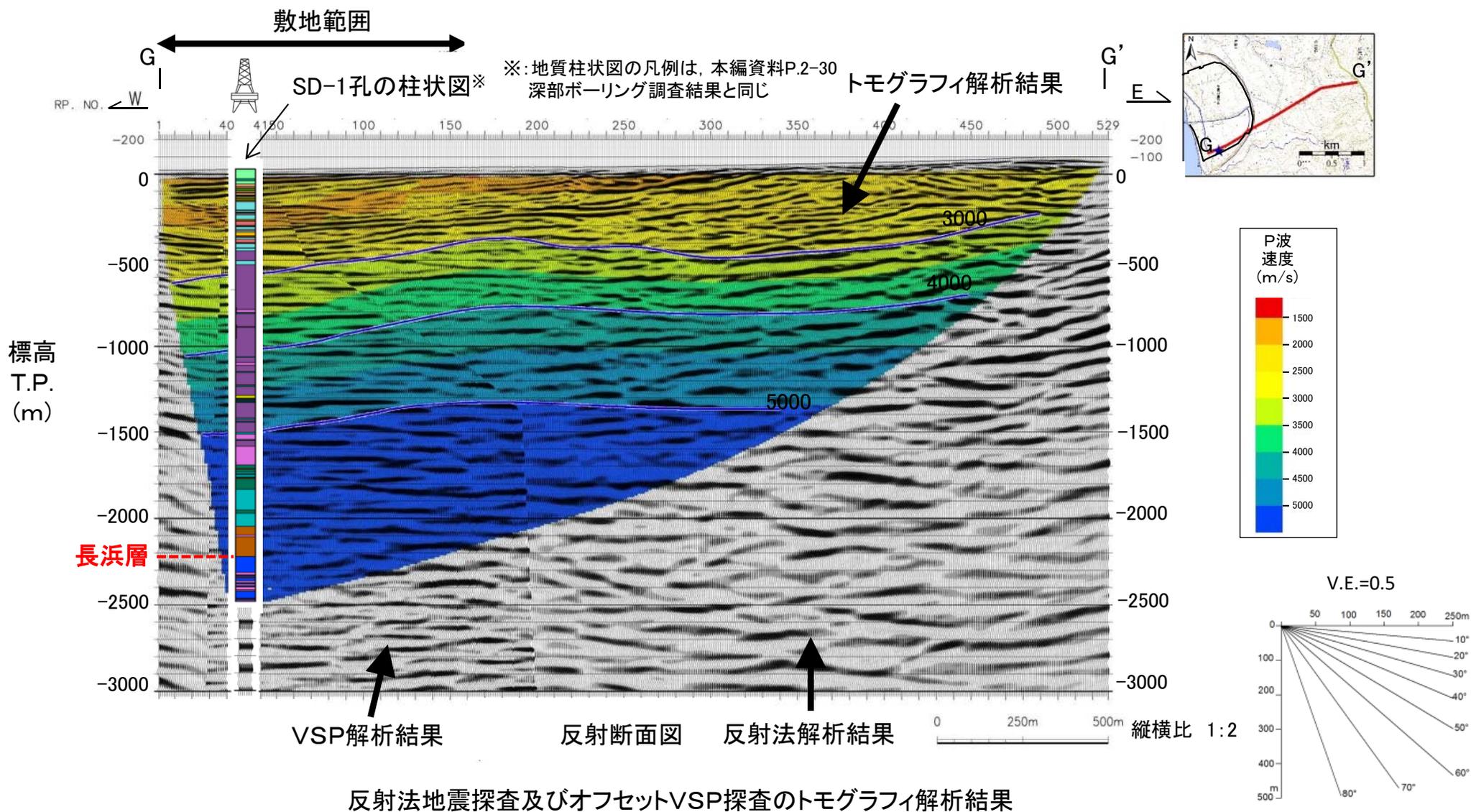
• 表に示す仕様により実施したオフセットVSP探査のデータを用い、「2-2-6」に示す手順でトモグラフィ解析を行った。

注) 本頁は、「反射法地震探査及びオフセットVSP探査(本編資料P.2-33~P.2-35)」の調査仕様を示したものである。



## 2-2-5 反射法地震探査及びオフセットVSP探査の内容(3/4)

### トモグラフィ解析により作成した速度構造モデル

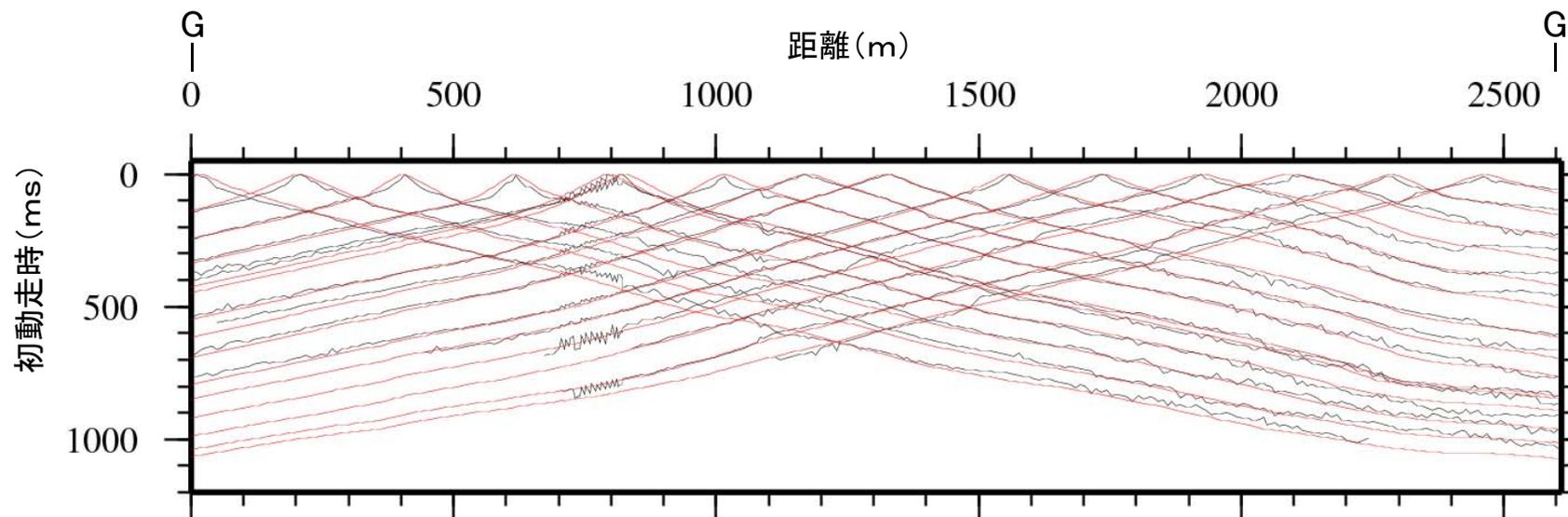


• オフセットVSP探査のデータを用い、「2-2-6」に示す手順でトモグラフィ解析を行うことにより、速度構造モデルを作成した。

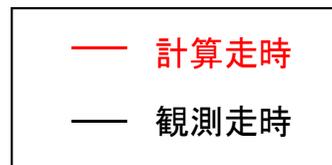
## 2-2-5 反射法地震探査及びオフセットVSP探査の内容(4/4)



## トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルの妥当性の確認



トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルでの計算走時と観測走時の比較  
(地表受振系の初動走時)



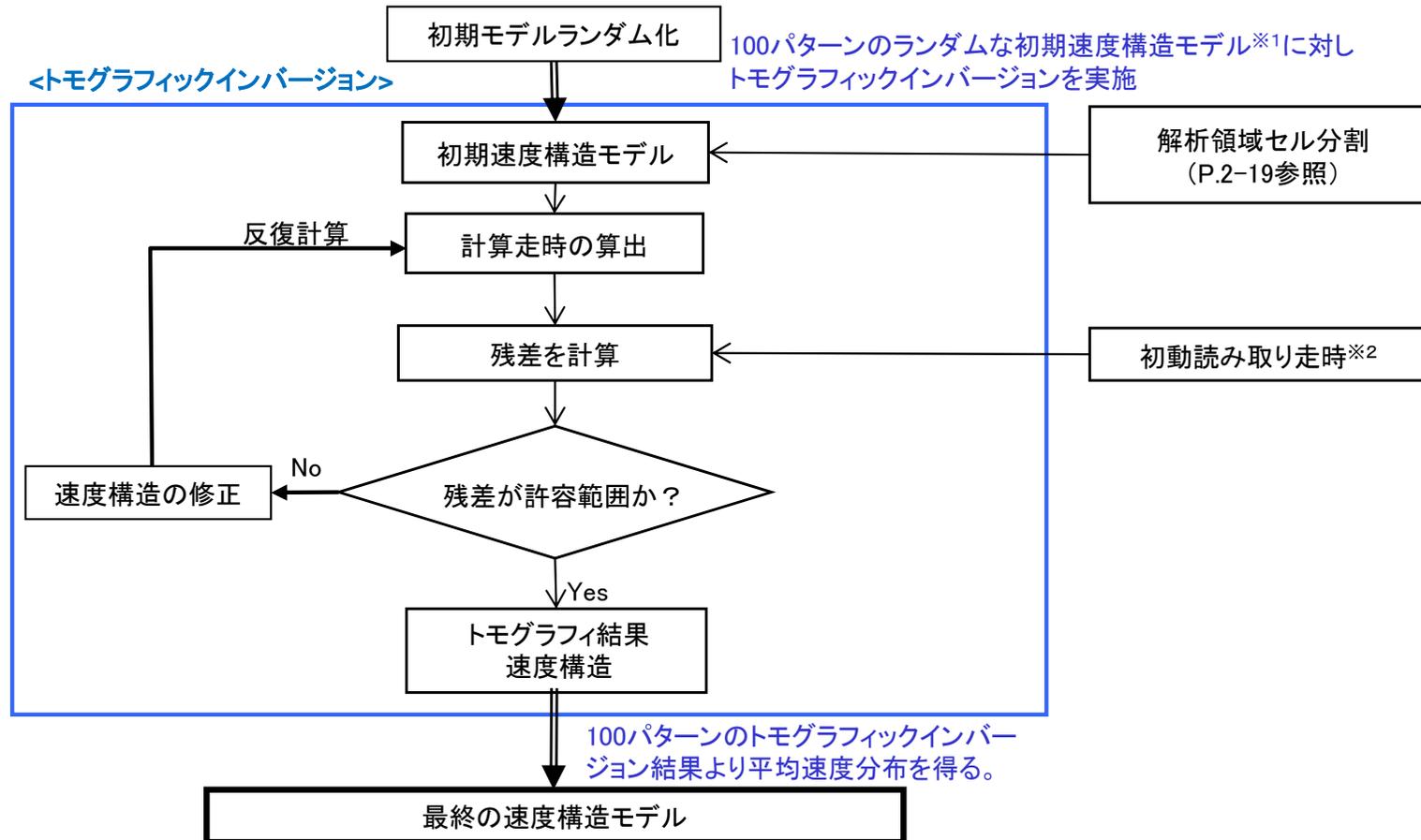
- トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルで計算した初動走時と観測による初動走時を比較することで、速度構造モデルの妥当性を確認した。
- トモグラフィ解析により作成した速度構造モデルによる計算走時は、観測走時を良く再現できていることから、トモグラフィ解析による速度構造モデルは妥当であると判断した。

## 2-2-6 各種屈折法地震探査データによるトモグラフィ解析の内容(1/3)



## 解析手順

第822回審査会合  
資料2-2 P.2-18 再掲



- 「2-2-2」～「2-2-5」に示す、各種弾性波探査で得られたデータを用いたトモグラフィ解析の手順を示す。
- 本フローに示すように、100パターンのランダムな初期速度構造モデル※<sup>1</sup>に対し、トモグラフィックインバージョンを実施し、これにより出来上がった100パターンの収束速度構造を平均した平均速度分布を最終の速度構造モデルとした。

※<sup>1</sup> 100パターンの初期速度構造モデルの詳細については、P.2-19、2-20を参照。

※<sup>2</sup> 初動の読み取りに用いた発振記録については、第822回審査会合資料 机上配布資料3を参照。

## 2-2-6 各種屈折法地震探査データによるトモグラフィ解析の内容(2/3)

## 解析領域セル分割及び初期速度構造モデル

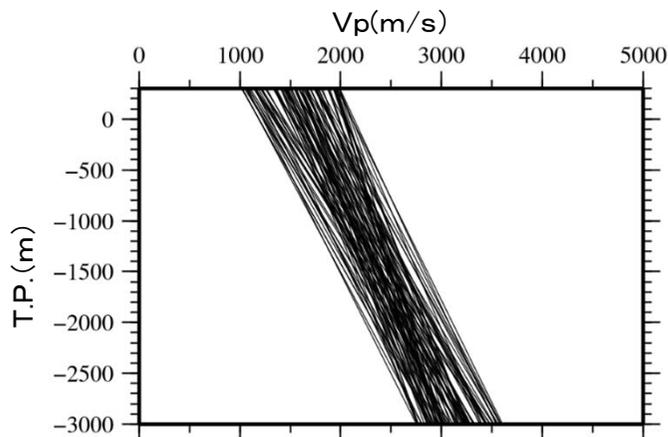
第822回審査会合  
資料2-2 P.2-19 再掲

## 1. 解析領域セル分割

探査名	トモグラフィ解析でのセルのサイズ		備考
	水平方向	鉛直方向	
敷地周辺陸域の屈折法地震探査	100m	100m	受振点間隔(敷地外100m, 敷地内50m)を考慮して設定。
敷地周辺海域の屈折法地震探査	100m	20m	発振点間隔(敷地外200~300m)を考慮して設定。
敷地周辺の陸海連続弾性波探査	10m	10m	発振点間隔(5~10m)を考慮して設定。
反射法地震探査及びオフセットVSP探査	10m	10m	受振点間隔(地表10m, 孔内15m)を考慮して設定。

## 2. 初期速度構造モデルの設定条件

(敷地周辺陸域の屈折法地震探査を例として示す)

初期速度構造モデルの設定条件  
(成層速度モデルの深度と速度の関係)

- ✓ 初期速度構造モデルとして、十分に広い範囲をカバーできるように100パターン of ランダムな速度勾配をもつ成層モデルを設定した。
- ✓ 初期速度構造モデル(成層モデル)の例を次ページに示す。

- 解析領域セル分割でのセルのサイズは、解析精度を確保するために、探査における発振点間隔又は受振点間隔を考慮して設定した。
- 初期速度構造モデルは、一定速度勾配の成層速度構造モデルをランダムに100パターン作成した。

# 2-2-6 各種屈折法地震探査データによるトモグラフィ解析の内容(3/3)



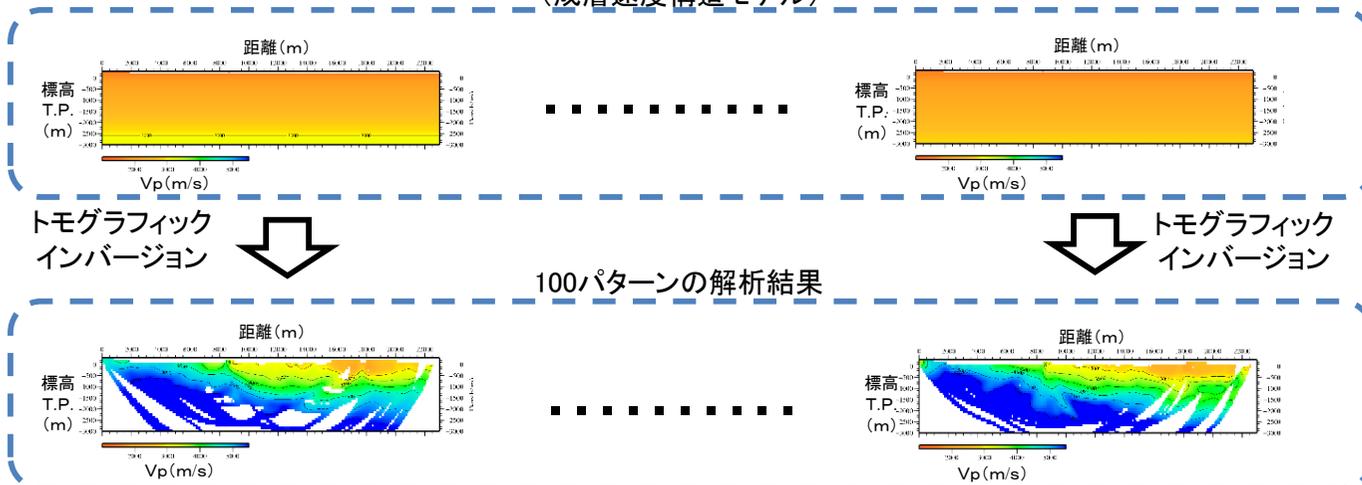
## トモグラフィ解析

(敷地周辺陸域の屈折法地震探査を例として示す)

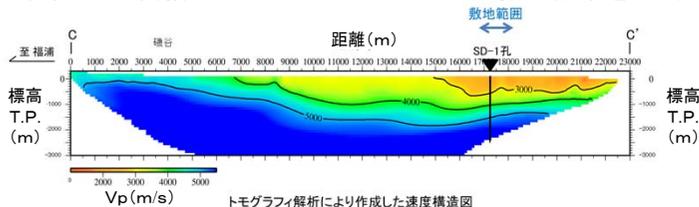
第822回審査会合  
資料2-2 P.2-20 再掲

### 1. 解析例

100パターンの初期速度構造モデル  
(成層速度構造モデル)



最終の速度構造モデル(100パターンの解析結果を平均)

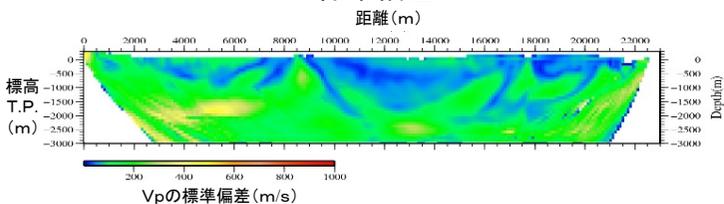


トモグラフィ解析により作成した速度構造図

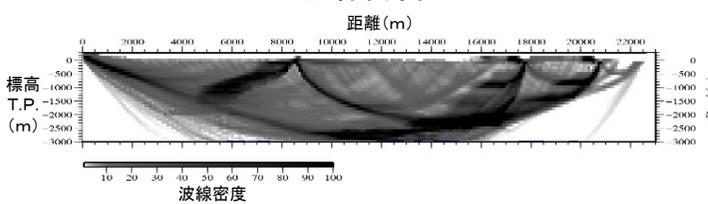
- ランダムな100パターンの初期速度構造モデルに対するトモグラフィックインバージョンを実施し、得られた結果の平均を最終の速度構造モデルとした。
- 最終の速度構造モデルに対する信頼性評価として、100パターンの初期速度構造モデルに対して得られる解析結果のばらつき(標準偏差)と、解析メッシュ毎に通過した波線数を平均した波線密度の分布を整理した。

### 2. 解析の信頼性評価

標準偏差



波線密度



## 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真) (1/7)



### 本節の位置づけ

- 本編資料「深部ボーリング調査結果 ①柱状図(本編資料P.2-30参照)」の詳細として、深部ボーリングSD-1孔の調査で確認した、易国間層、大間層、貫入岩(玄武岩)、桧川層、金八沢層、長浜層について、各層の代表的なコア写真を次頁以降に示す。
- なお、深部ボーリングSD-1孔の地質柱状図及びコア写真については、第822回審査会合資料机上配布資料2の「1.」に示す。



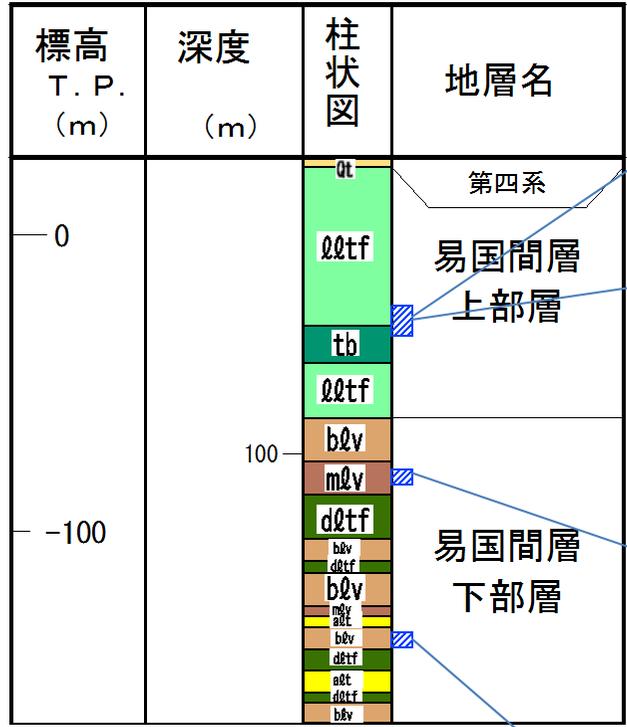
# 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真) (2/7)

## 易国間層の性状

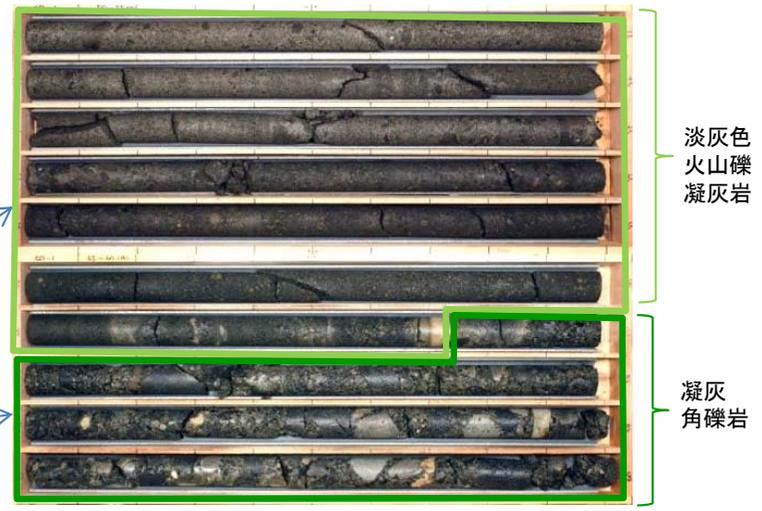
孔口標高T.P.+26.13m

柱状図凡例

第四系	Qt	段丘堆積物、ローム
上部層	QQtf	淡灰色火山礫凝灰岩
	tb	凝灰角礫岩
易国間層	dQtf	暗灰色火山礫凝灰岩
	bQv	安山岩溶岩(角礫状)
	mQv	安山岩溶岩(塊状)
	aQt	粗粒凝灰岩・粗粒凝灰岩・暗灰色火山礫凝灰岩互層
大間層	st	シルト岩
	ctf	粗粒凝灰岩
	atf	酸性凝灰岩
	ptf	峰石凝灰岩
	py	火山砕屑岩
松川層	cg	礫岩
金八沢層	sd	砂岩
長浜層	md	泥岩・頁岩
	sl	粘板岩
溶岩・貫入岩	an	安山岩
	ry	流紋岩
	da	デイサイト
	ba	玄武岩



淡灰色火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩  
T.P.-23.87m~-33.87m(深度50m~60m)



安山岩溶岩(塊状)  
T.P.-78.87m~-83.87m(深度105m~110m)



安山岩溶岩(角礫状)  
T.P.-133.87m~-138.87m(深度160m~165m)



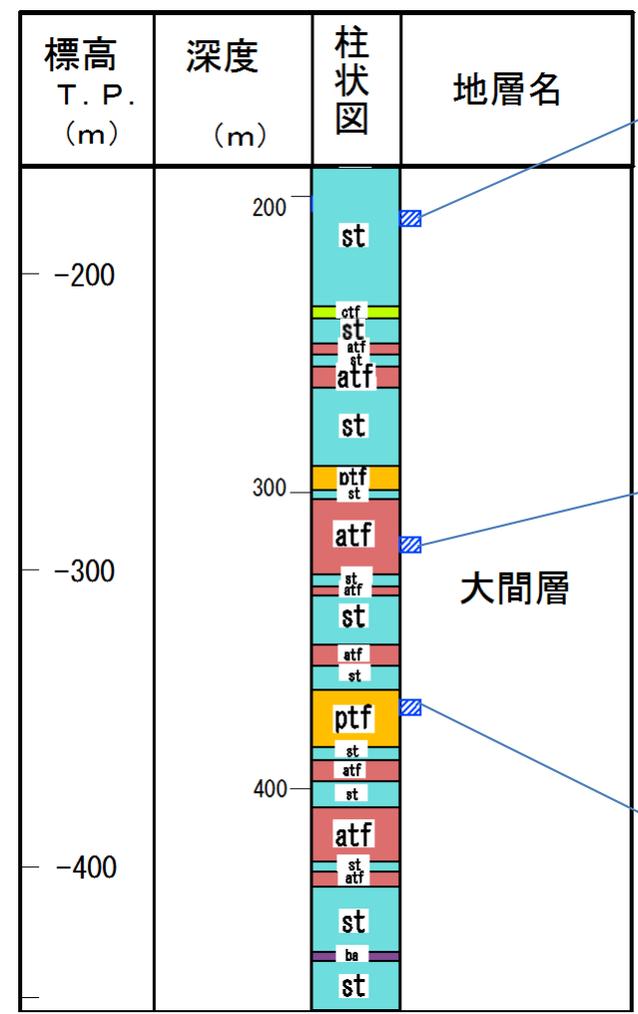


## 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真)(3/7)

### 大間層の性状

柱状図凡例

第四系	Qt	段丘堆積物, ローム
易国間層	d2tf	淡灰色火山礫凝灰岩
	ttb	凝灰角礫岩
	d2tf	暗灰色火山礫凝灰岩
	b2v	安山岩溶岩(角礫状)
大間層	m2v	安山岩溶岩(塊状)
	a2t	細粒凝灰岩・粗粒凝灰岩・暗灰色火山礫凝灰岩互層
大間層	st	シルト岩
	ctf	粗粒凝灰岩
	atf	酸性凝灰岩
	ptf	軽石凝灰岩
椋川層	py	火山碎屑岩
	cg	礫岩
金八沢層	sd	砂岩
長浜層	md	泥岩・頁岩
	sl	粘板岩
	an	安山岩
	ry	流紋岩
貫入岩	da	デイサイト
	ba	玄武岩



シルト岩

T.P.-178.87m~-183.87m(深度205m~210m)



酸性凝灰岩

T.P.-288.87m~-293.87m(深度315m~320m)



軽石凝灰岩

T.P.-343.87m~-348.87m(深度370m~375m)



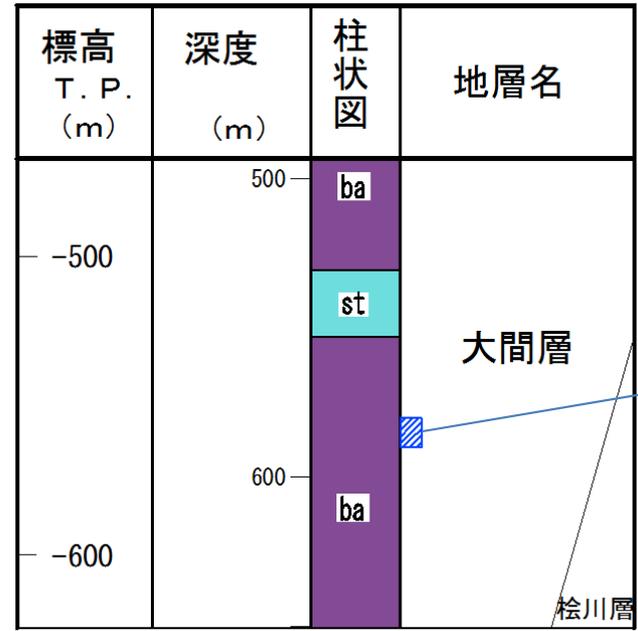


# 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真) (4/7)

## 貫入岩(玄武岩)の性状

柱状図凡例

第四系	Qt	段丘堆積物, ローム	
易国間層	上部層	dtf	淡灰色火山礫凝灰岩
	tb	凝灰角礫岩	
	下部層	dtf	暗灰色火山礫凝灰岩
	bqv	安山岩溶岩(角礫状)	
	mqv	安山岩溶岩(塊状)	
大間層	ast	粗粒凝灰岩・粗粒凝灰岩・暗灰色火山礫凝灰岩互層	
	st	シルト岩	
	ctf	粗粒凝灰岩	
	atf	酸性凝灰岩	
	ptf	珩石凝灰岩	
桧川層	py	火山砕屑岩	
	cg	礫岩	
金八沢層	sd	砂岩	
長浜層	md	泥岩・頁岩	
	sl	粘板岩	
	an	安山岩	
溶岩・貫入岩	ry	流紋岩	
	da	デイサイト	
	ba	玄武岩	



### 貫入岩(玄武岩)

T.P.-553.87m~-563.87m(深度580m~590m)



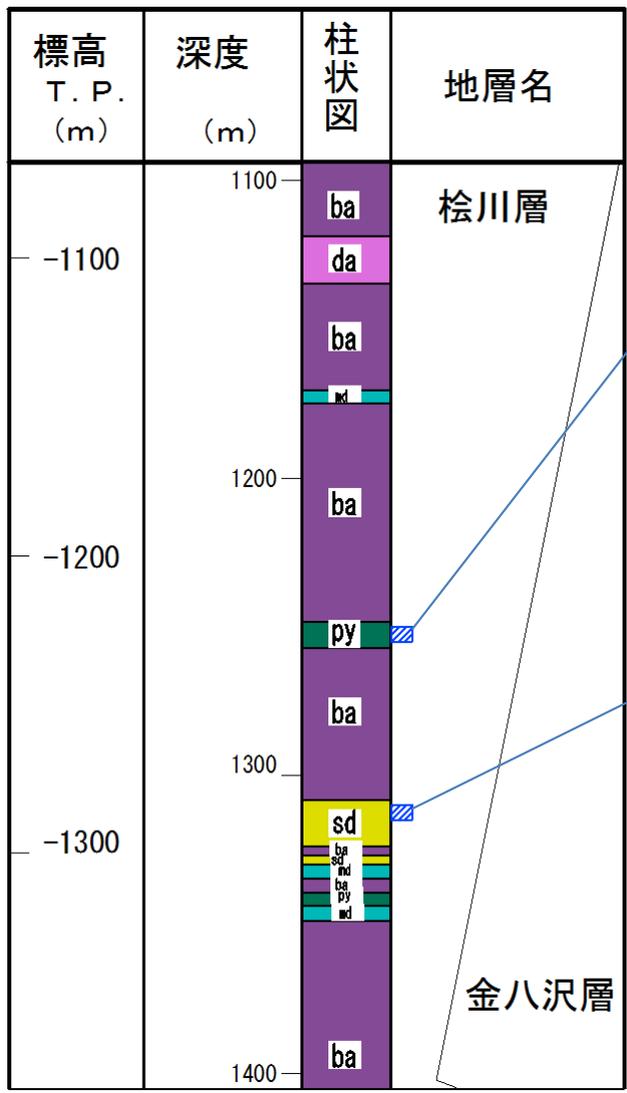


# 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真)(5/7)

## 桧川層の性状

柱状図凡例

第四系	上部層	Qt	段丘堆積物、ローム
	上部層	ettf	淡灰色火山礫凝灰岩
易固間層	上部層	tb	凝灰角礫岩
	下部層	drtf	暗灰色火山礫凝灰岩
	下部層	b@v	安山岩溶岩(角礫状)
	下部層	m@v	安山岩溶岩(塊状)
大間層		adt	粗粒凝灰岩・粗粒凝灰岩・暗灰色火山礫凝灰岩互層
		st	シルト岩
		ctf	粗粒凝灰岩
		atf	酸性凝灰岩
		ptf	蛭石凝灰岩
		py	火山碎屑岩
桧川層		cg	礫岩
金八沢層		sd	砂岩
長浜層		md	泥岩・頁岩
		sl	粘板岩
溶岩・貫入岩		an	安山岩
		ry	流紋岩
		da	デイサイト
		ba	玄武岩



火山碎屑岩

T.P.-1,223.87m~-1,228.87m(深度1,250m~1,255m)



凝灰質砂岩

T.P.-1,283.87m~-1,288.87m(深度1,310m~1,315m)



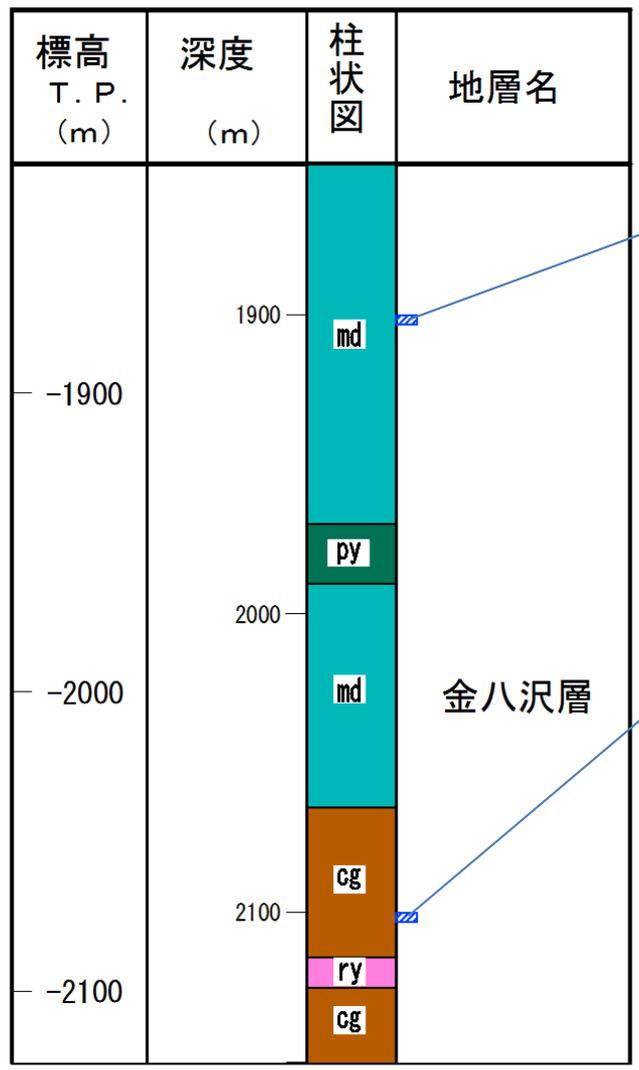


# 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真)(6/7)

## 金八沢層の性状

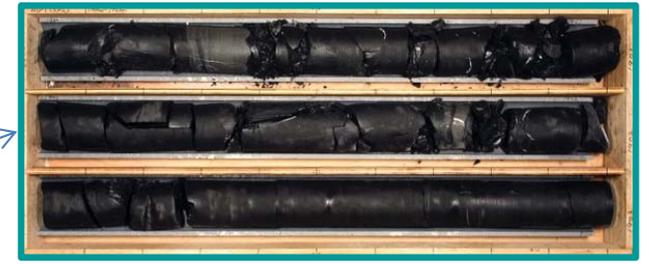
柱状図凡例

第四系	Qt	段丘堆積物、ローム
	dtf	淡灰色火山礫凝灰岩
	rb	凝灰角礫岩
	drtf	暗灰色火山礫凝灰岩
易園間層	bLv	安山岩溶岩(角礫状)
	mLv	安山岩溶岩(塊状)
	adt	細粒凝灰岩・粗粒凝灰岩・暗灰色火山礫凝灰岩互層
大間層	st	シルト岩
	ctf	粗粒凝灰岩
	atf	酸性凝灰岩
	ptf	軽石凝灰岩
捨川層	py	火山砕屑岩
	cg	礫岩
金八沢層	sd	砂岩
	md	泥岩・頁岩
長浜層	sl	粘板岩
	an	安山岩
溶岩・貫入岩	ry	流紋岩
	da	デイサイト
	ba	玄武岩



泥岩・頁岩

T.P.-1,873.87m~-1,876.87m(深度1,900m~1,903m)



礫岩

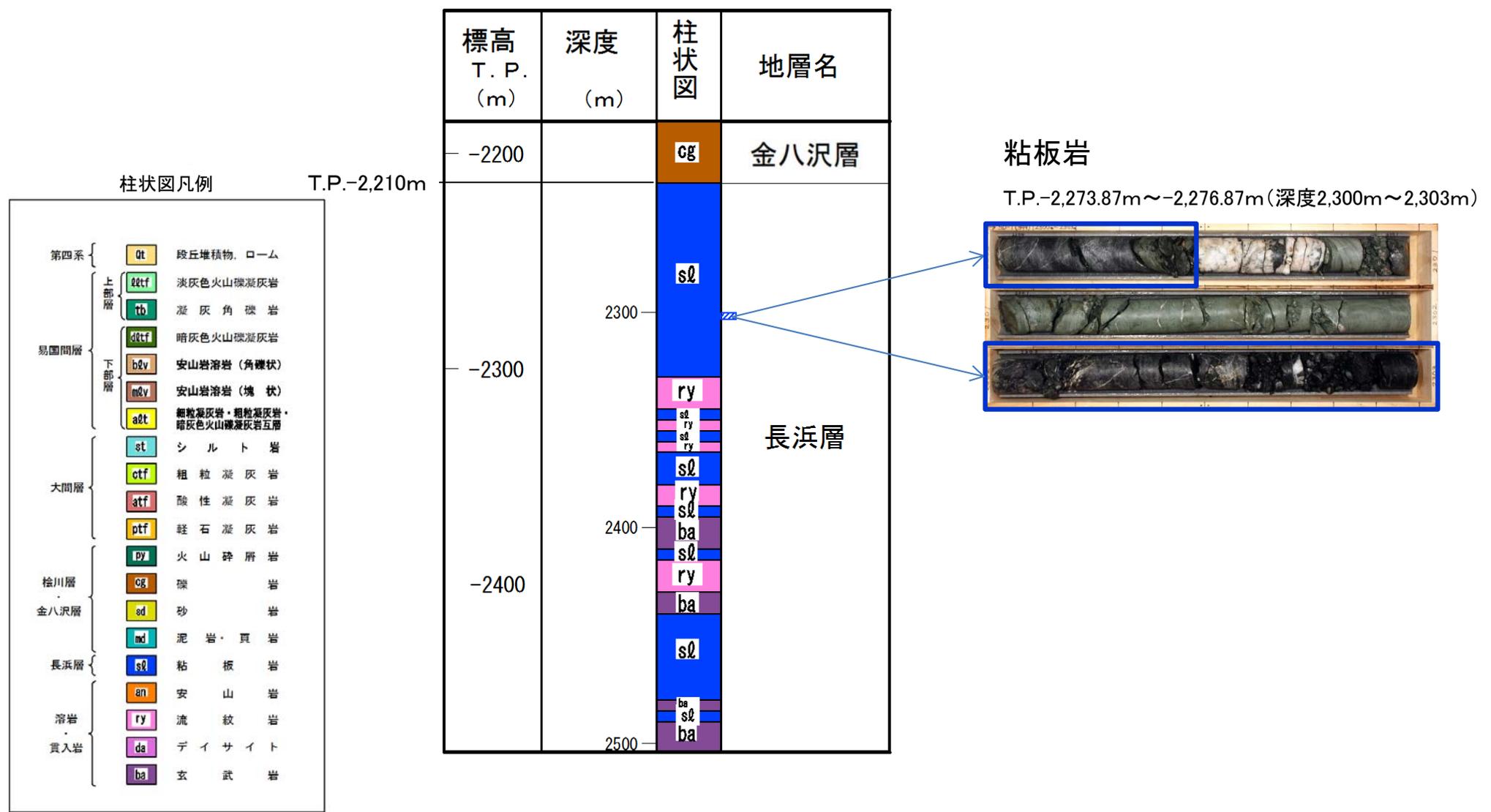
T.P.-2,073.87m~-2,076.87m(深度2,100m~2,103m)





# 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真)(7/7)

## 長浜層の性状

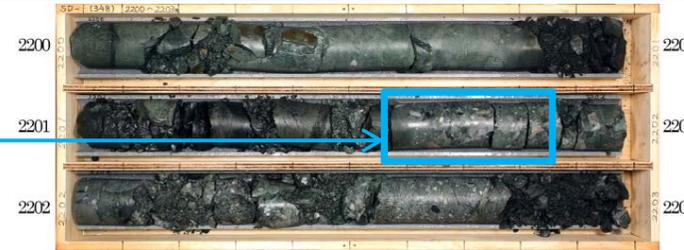


## 2-4 地震基盤付近のカッティングス及びスポットコアによる岩種判定

### SD-1孔 地震基盤(T.P.-2,210m)付近のカッティングス及びスポットコア

第822回審査会合  
資料2-2 P.2-28 再掲

- 本編資料「深部ボーリング調査結果 ②長浜層の確認(本編資料P.2-31参照)」の詳細として、新第三系(金八沢層)と先新第三系(長浜層)の境界部のカッティングスの観察結果とスポットコアによる岩種判定について本頁に示す。



T.P.-2,173.87m～-2,176.87m

(深度2,200m～2,203m)

スポットコア: 礫岩

玄武岩, 珪質岩等の礫からなる礫岩。基質は黒色泥質岩からなる。



T.P.-2,209m (深度2,235m)

カッティングス: 礫岩

黒色泥質岩(bms), 灰色泥質岩(gms), 凝灰岩(tf), 赤色チャート(rch), 白色脈(ww)等が認められ, 岩種は泥質岩を基質とする礫岩と判断される。

新第三系(金八沢層)



T.P.-2,214m (深度2,240m)

カッティングス: 粘板岩

縞模様の組織が特徴的な灰色粘板岩(gsl)のカッティングスが多く認められ, その他に少量の黒色泥質岩(bms), 灰色泥質岩(gms), 白色脈(ww)等が見られる。安山岩, 凝灰岩等のカッティングスは少なく, 岩種は粘板岩と判断される。

先新第三系(長浜層)



T.P.-2,273.87m～-2,276.87m

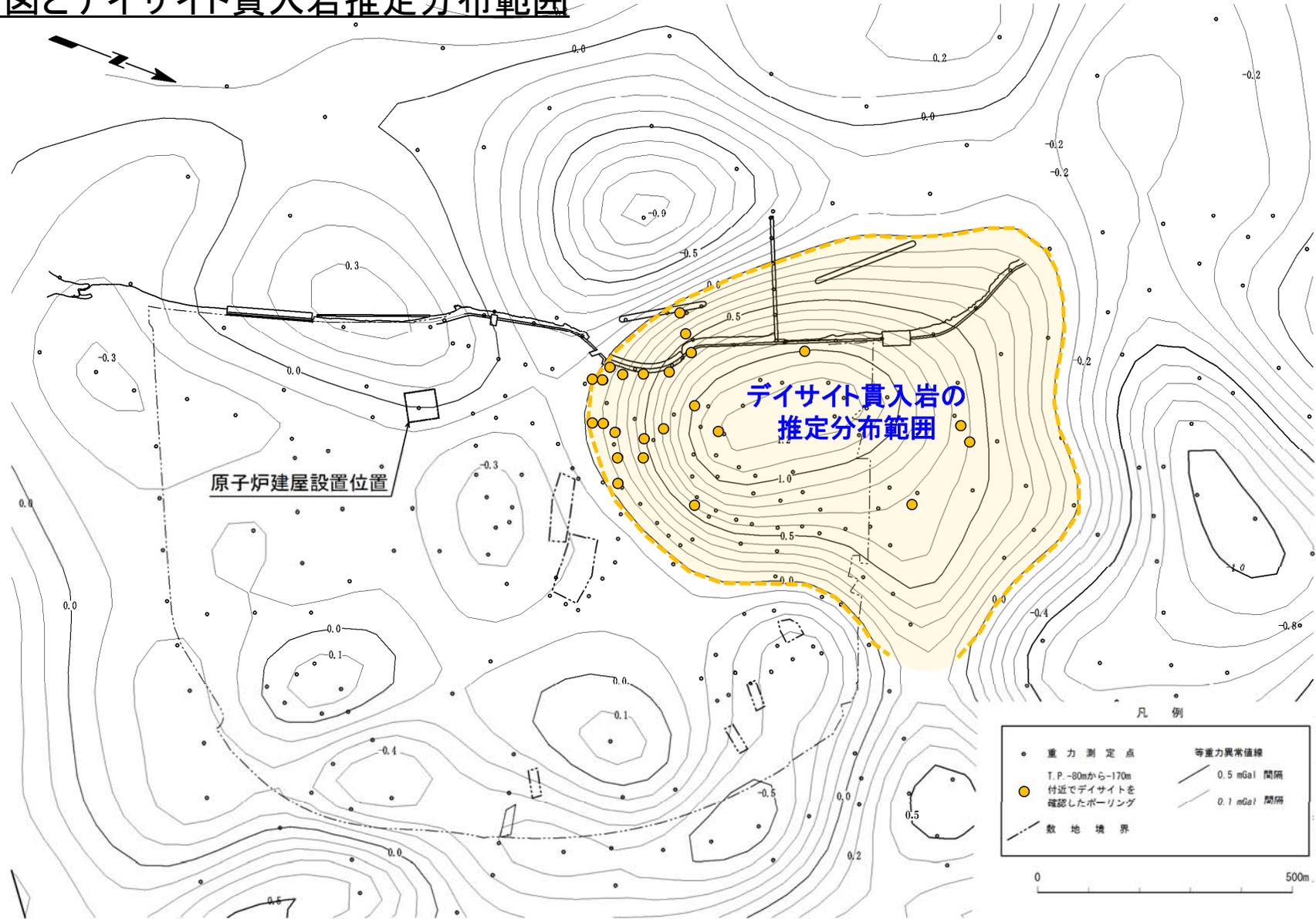
(深度2,300m～2,303m)

スポットコア: 粘板岩

縞状組織を有する珪質な粘板岩からなり, 石英等の白色鉱物脈を伴う。

## 2-5 デイサイトの分布について

### 重力異常図とデイサイト貫入岩推定分布範囲



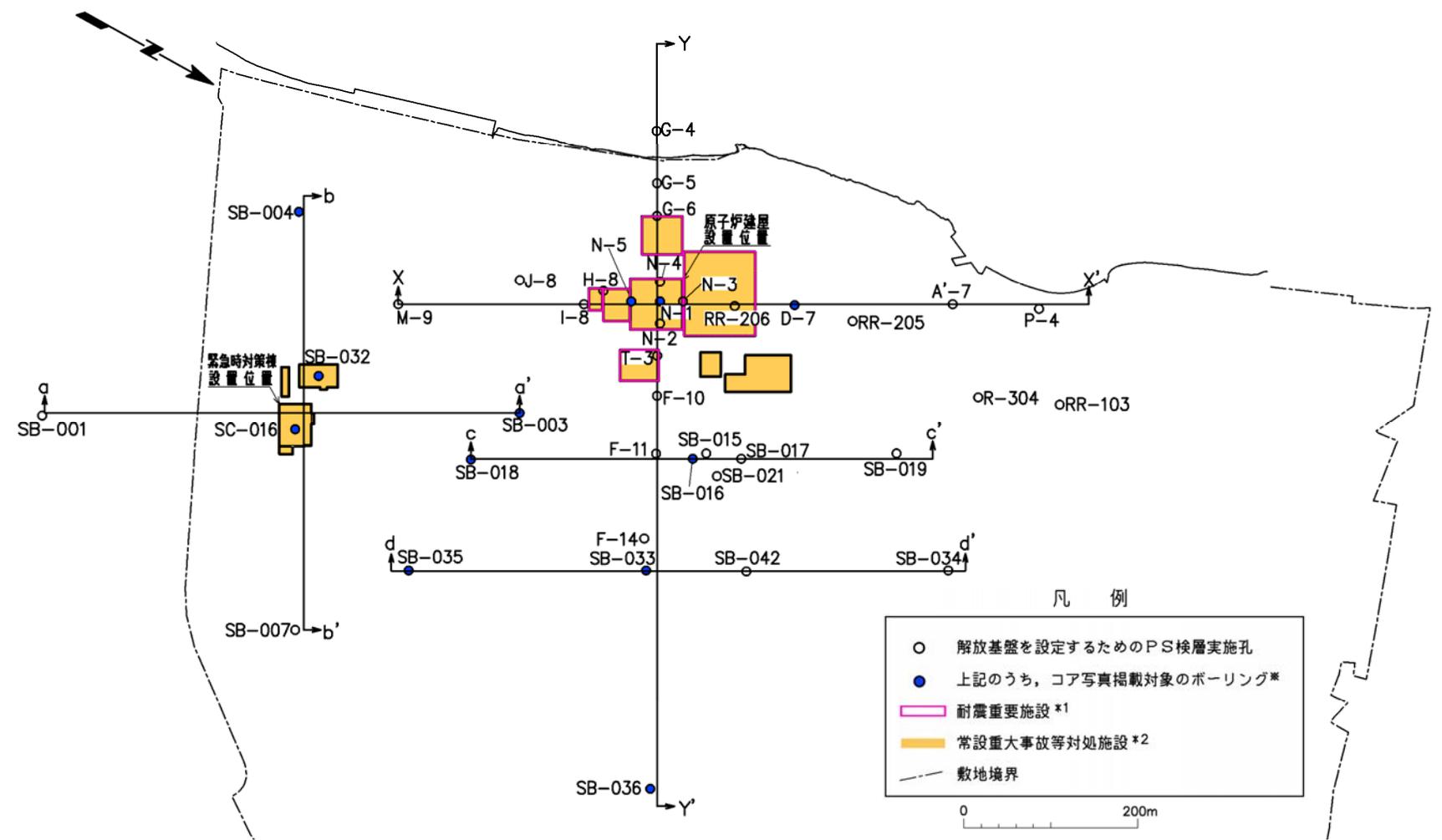
- 重力探査結果によれば、原子炉建屋の北方において南北1km程度、東西0.7km程度の範囲の高重力異常域が分布する。
- ボーリング調査の結果から、この高重力異常域にはデイサイトの貫入岩が餅盤状に分布すると推定される。

注)本頁は、本編資料P.2-40において「デイサイトの分布範囲は、敷地の北部に限定される。」としたことの詳細を示したものである。



## 2-6 大間層の性状について(1/6)

### 大間層のボーリングコア写真掲載の対象孔



● 次頁以降に、図中の青丸印をつけたボーリング孔のうち、X-X'断面を除く5断面(Y-Y'断面, a-a'断面~d-d'断面)のボーリング孔について大間層のボーリングコア写真を示す。

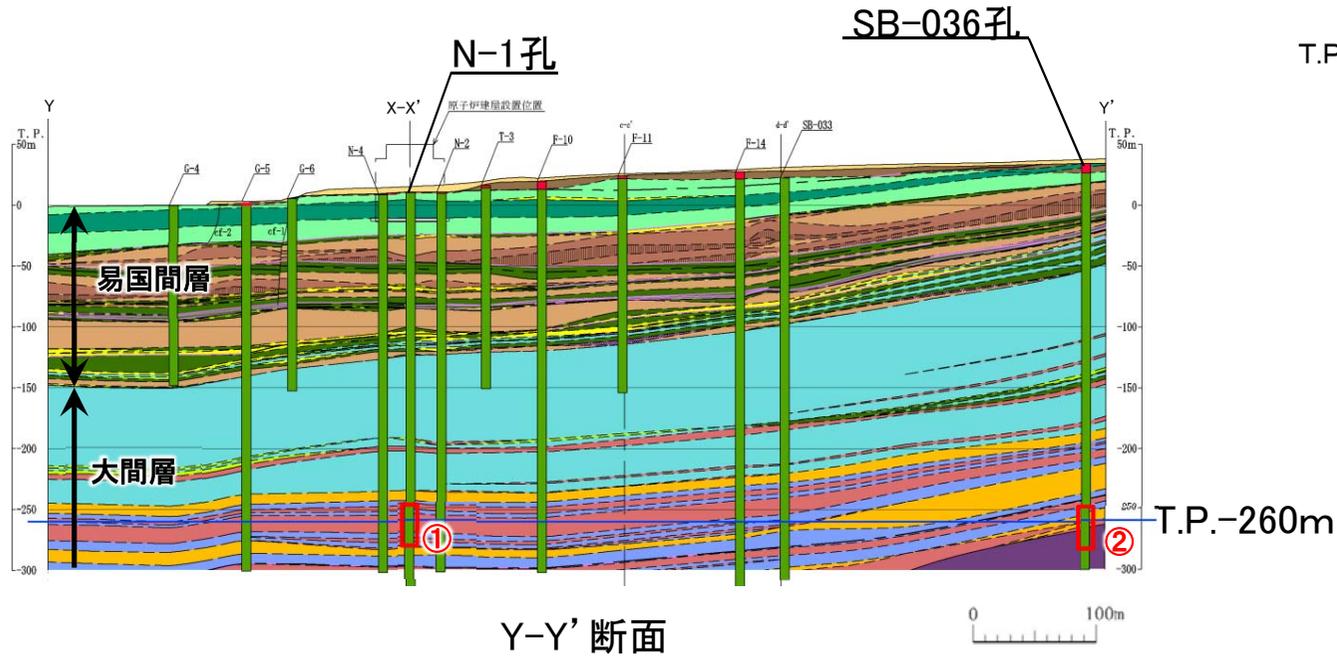
※ X-X'断面上のN-5孔, D-7孔のボーリングコア写真は本編資料P.2-47に示す。

\*1 設置許可基準規則第三条の対象となる耐震重要施設(間接支持構造物を含む)。  
\*2 設置許可基準規則第三十八条の対象となる常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設及び防護上の観点から公開不可の施設を除く)。



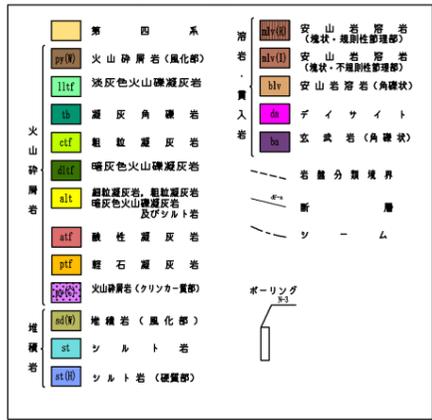
# 2-6 大間層の性状について(2/6)

## N-1孔, SB-036孔



Y-Y' 断面

岩盤分類図凡例

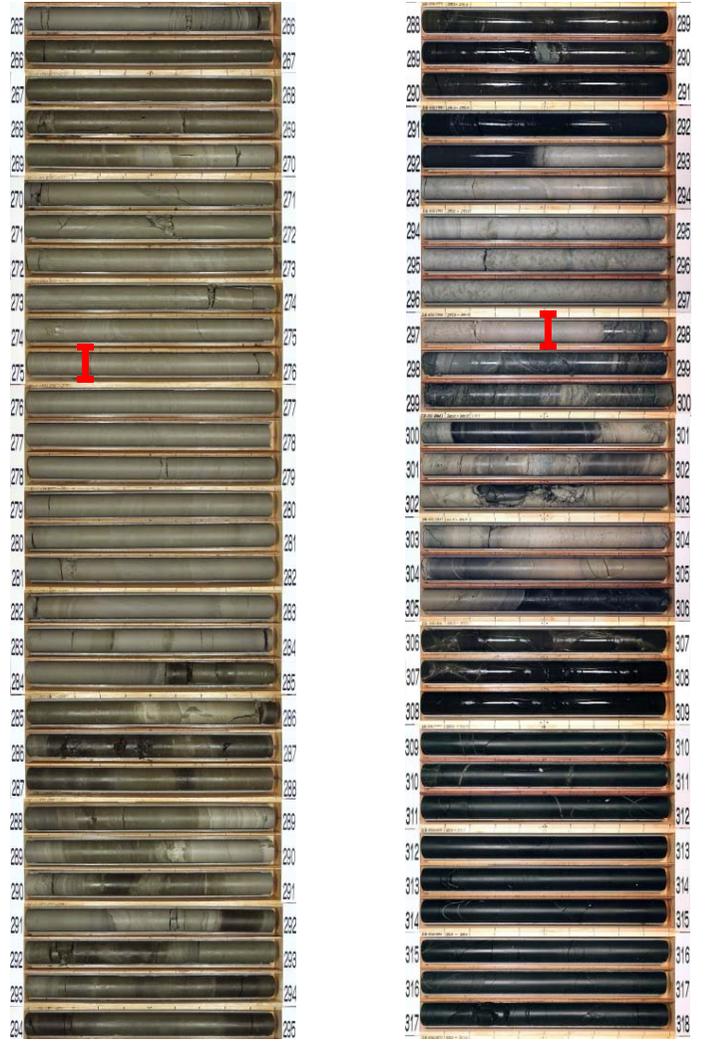


### 風化区分

凡例	風化区分	判定基準
<span style="color: red;">■</span>	風化	風化により褐色化しているもの
<span style="color: green;">■</span>	新鮮	風化が認められないもの

① N-1孔  
T.P.-249.75m～T.P.-279.75m  
(深度265m～295m)

② SB-036孔  
T.P.-250.49m～T.P.-280.49m  
(深度288m～318m)



凡例 I : T.P.-260m

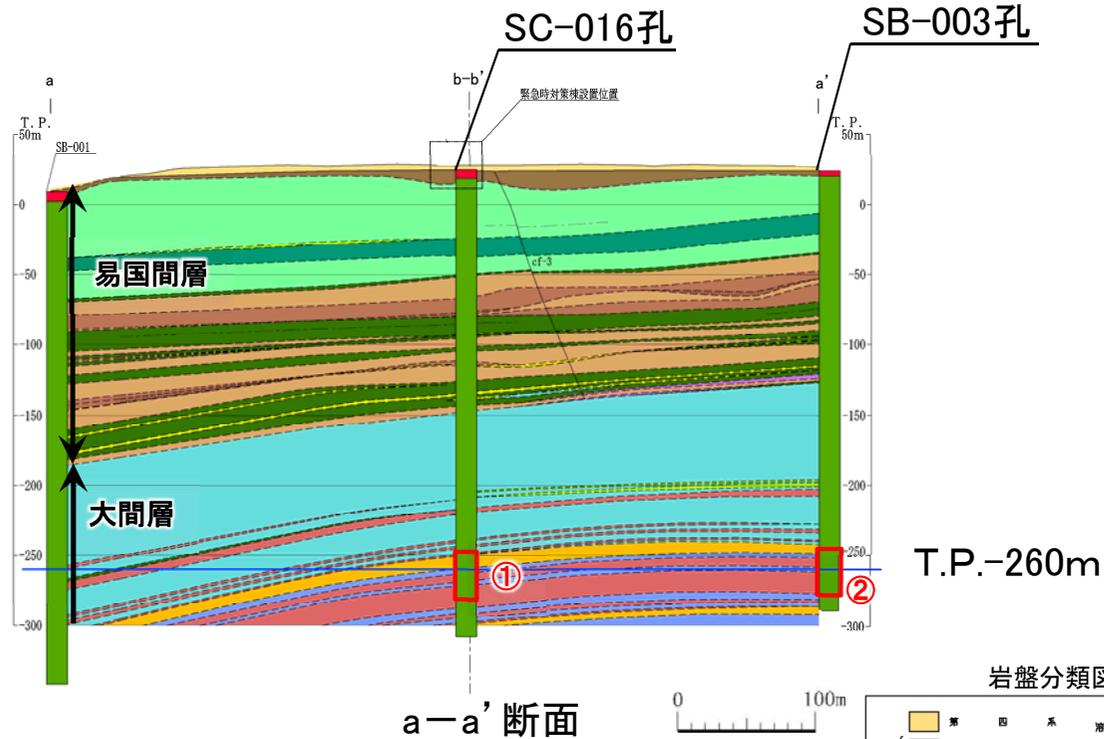
・大間層は新鮮であり，風化は認められない。

※ : 東西方向Y-Y' 断面のボーリング孔でのT.P.-260m付近のコア写真は、第822回審査会合資料 机上配布資料2の「3.3.2」を参照。



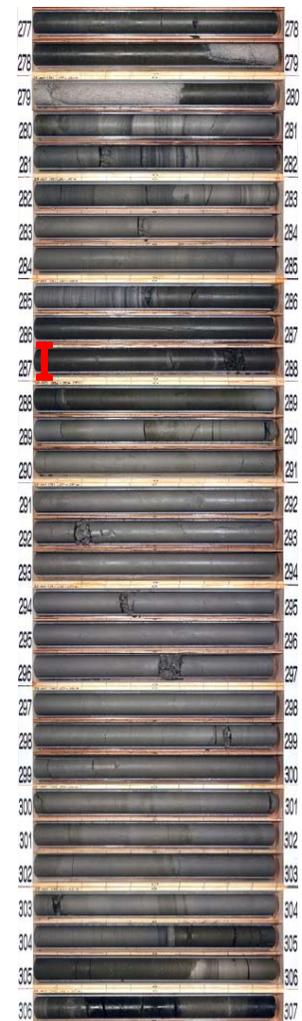
# 2-6 大間層の性状について(3/6)

SC-016孔, SB-003孔



① SC-016孔  
T.P.-249.94m~T.P.-279.94m  
(深度280m~310m)

② SB-003孔  
T.P.-249.97m~T.P.-279.97m  
(深度277m~307m)



T.P.-260m

### 岩盤分類図凡例

第四系	安山岩溶岩 (塊状・塊状・不規則形部)
火山砕岩 (風化部)	安山岩溶岩 (塊状・不規則形部)
淡灰色火山礫凝灰岩	安山岩溶岩 (角礫状)
凝灰角礫岩	デイサイト
凝灰凝灰岩	玄武岩 (角礫状)
暗灰色火山礫凝灰岩	
凝灰凝灰岩、凝灰凝灰岩、暗灰色火山礫凝灰岩、及グント岩	
凝性凝灰岩	
凝石凝灰岩	
火山砕岩 (クリンカ-質部)	
堆積岩 (風化部)	
シルト岩	
シルト岩 (硬質部)	

### 風化区分

凡例	風化区分	判定基準
■	風化	風化により褐色化しているもの
■	新鮮	風化が認められないもの

・大間層は新鮮であり、風化は認められない。

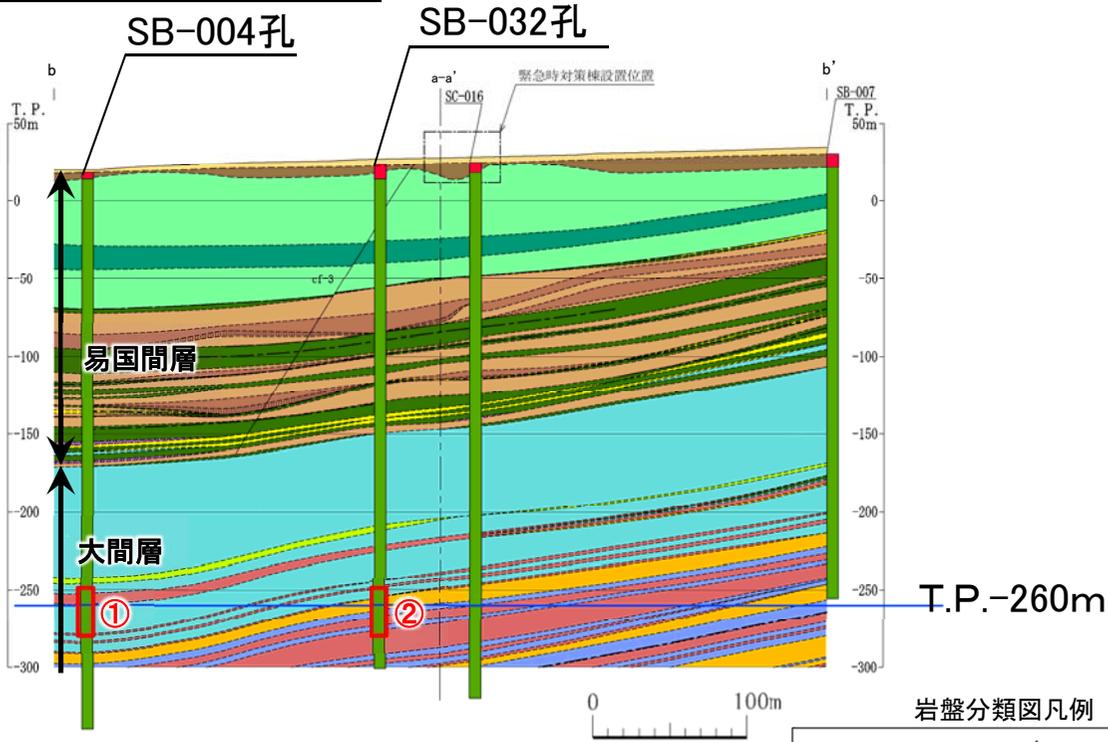
凡例 I : T.P.-260m

※ : 南北方向a-a'断面のボーリング孔でのT.P.-260m付近のコア写真は、第822回審査会合資料 机上配布資料2の「3.3.3」を参照。



# 2-6 大間層の性状について(4/6)

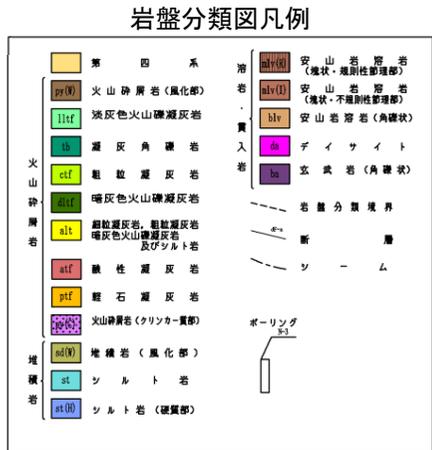
SB-004孔, SB-032孔



b-b' 断面

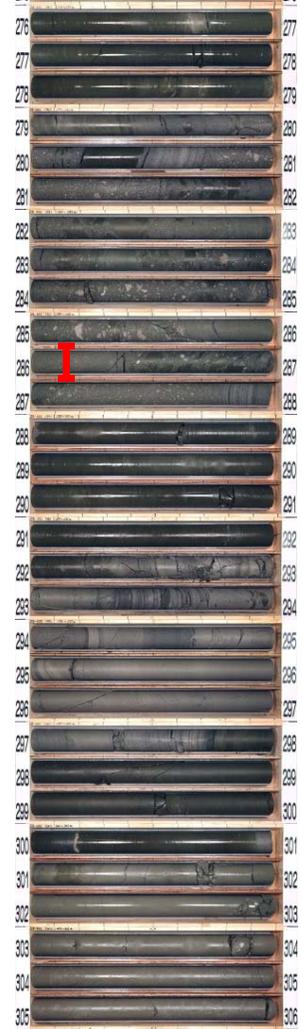
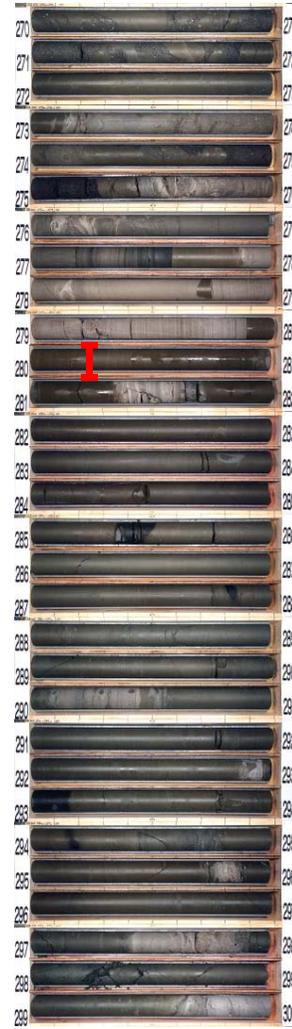
### 風化区分

凡例	風化区分	判定基準
■	風化	風化により褐色化しているもの
■	新鮮	風化が認められないもの



① SB-004孔  
T.P.-249.77m~T.P.-279.77m  
(深度270m~300m)

② SB-032孔  
T.P.-249.87m~T.P.-279.87m  
(深度276m~306m)



凡例 I : T.P.-260m

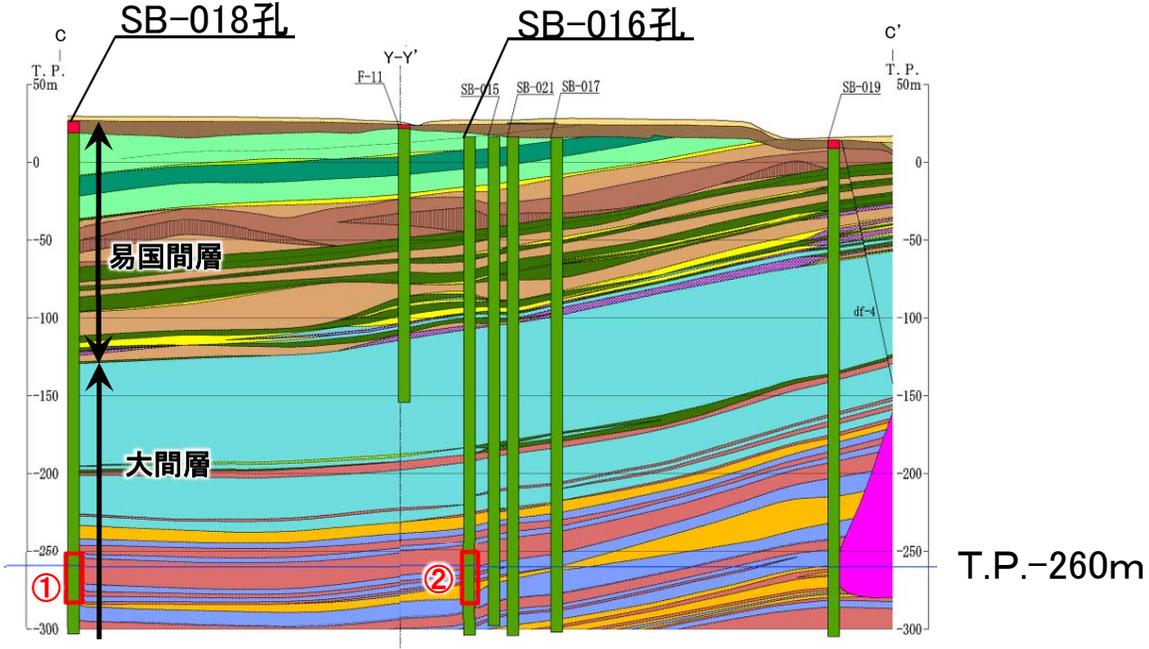
・大間層は新鮮であり, 風化は認められない。

※ : 東西方向b-b'断面のボーリング孔でのT.P.-260m付近のコア写真は, 第822回審査会合資料 机上配布資料2の「3.3.4」を参照。



# 2-6 大間層の性状について(5/6)

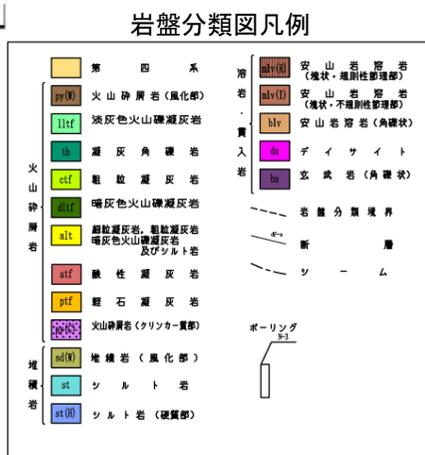
SB-016孔, SB-018孔



c-c' 断面

風化区分

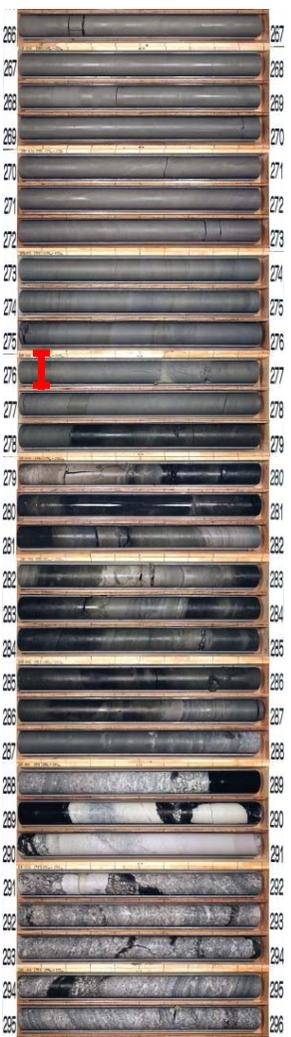
凡例	風化区分	判定基準
<span style="color: red;">■</span>	風化	風化により褐色化しているもの
<span style="color: green;">■</span>	新鮮	風化が認められないもの



① SB-018孔  
T.P.-249.88m～T.P.-279.88m  
(深度277m～307m)



② SB-016孔  
T.P.-249.90m～T.P.-279.90m  
(深度266m～296m)



凡例 I : T.P.-260m

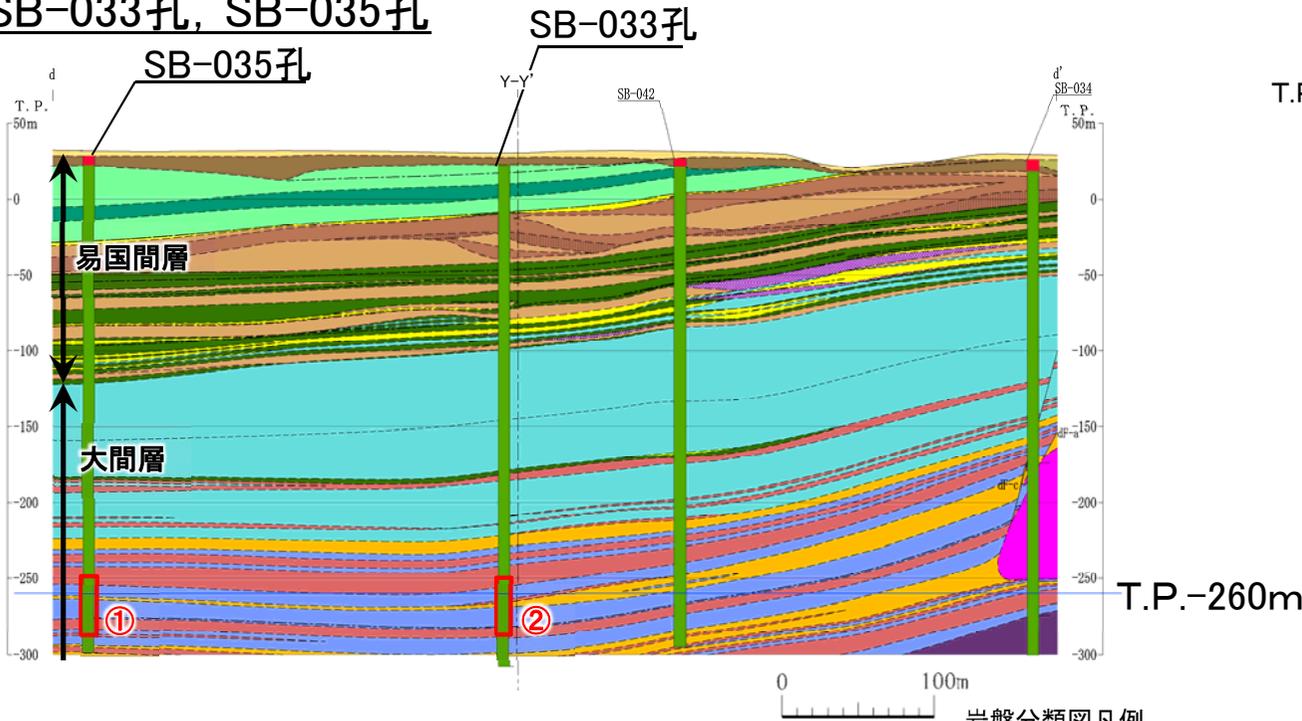
・大間層は新鮮であり、風化は認められない。

※ : 南北方向c-c' 断面のボーリング孔でのT.P.-260m付近のコア写真は、第822回審査会合資料 机上配布資料2の「3.3.5」を参照。



# 2-6 大間層の性状について(6/6)

SB-033孔, SB-035孔

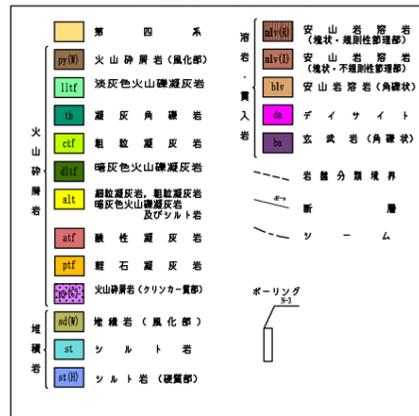


d-d' 断面

### 風化区分

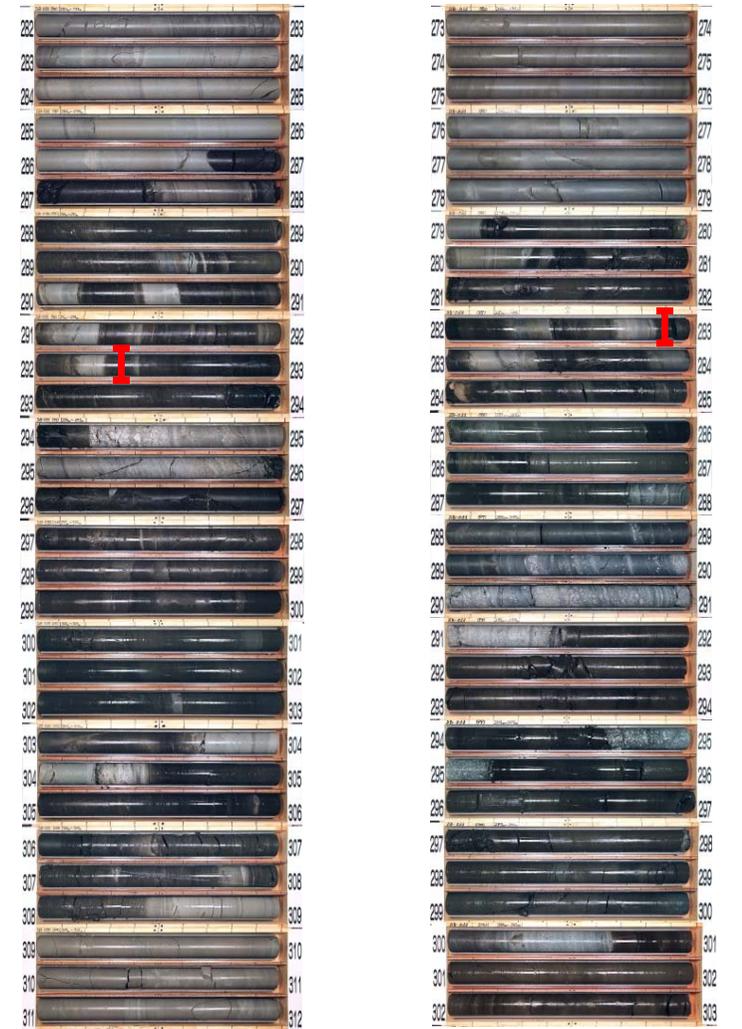
凡例	風化区分	判定基準
■	風化	風化により褐色化しているもの
■	新鮮	風化が認められないもの

### 岩盤分類図凡例



① SB-035孔  
T.P.-249.66m～T.P.-279.66m  
(深度282m～312m)

② SB-033孔  
T.P.-250.10m～T.P.-280.10m  
(深度273m～303m)



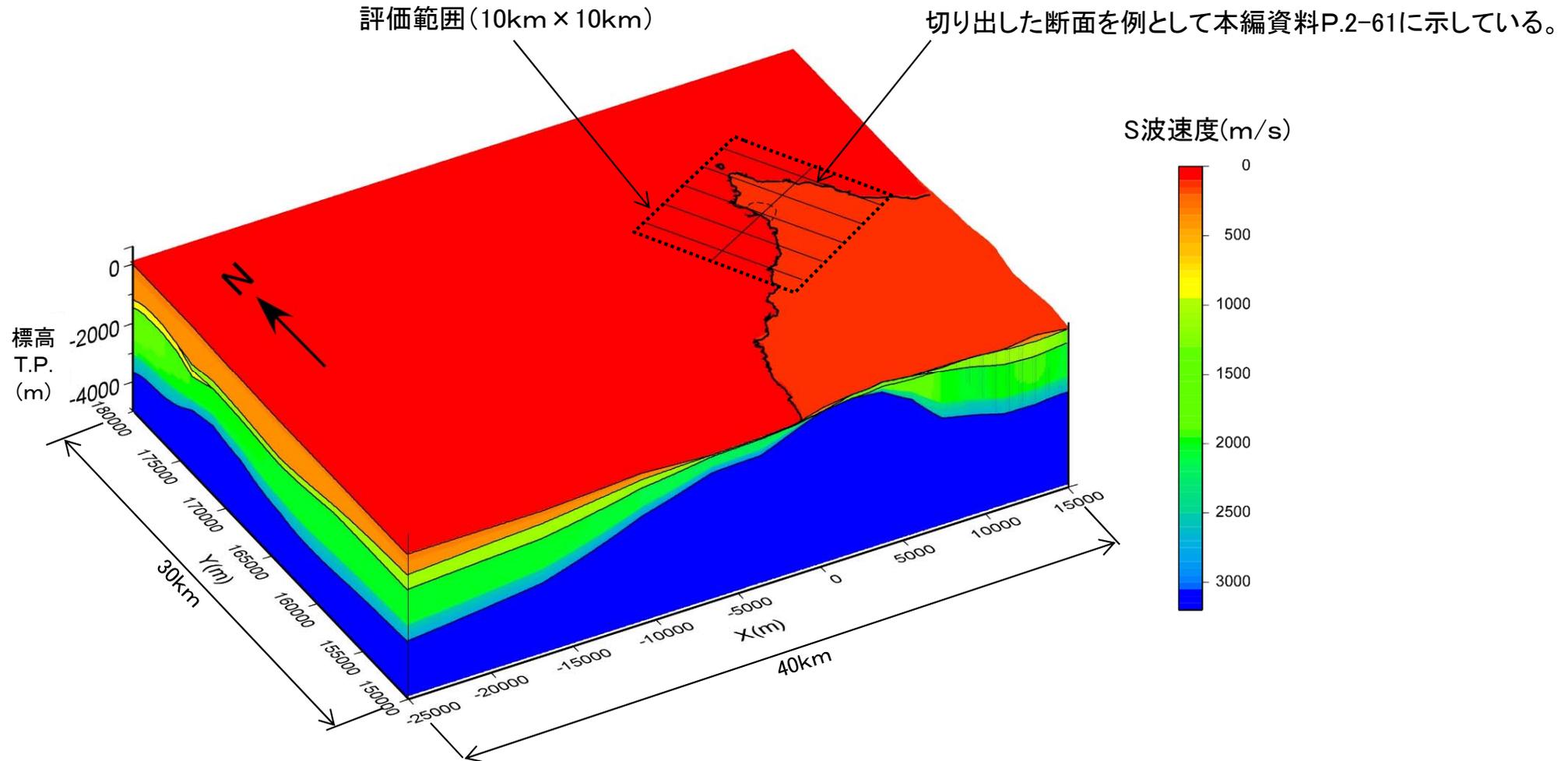
凡例 I : T.P.-260m

・大間層は新鮮であり、風化は認められない。

※ : 南北方向d-d'断面のボーリング孔でのT.P.-260m付近のコア写真は、第822回審査会合資料 机上配布資料2の「3.3.6」を参照。

## 2-7 三次元地下構造モデル作成範囲(30km × 40km)全体の作成結果

第822回審査会合  
資料2-2 P.2-36 再掲



- ジョイントインバージョン解析により作成した三次元地下構造モデル作成範囲(30km × 40km)全体の鳥瞰図を示す。

注) 三次元地下構造モデルのうち、評価範囲(10km × 10km)の鳥瞰図については、本編資料P.2-60を参照。

## 3. 観測記録による地下構造評価

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
  - 2-1 敷地周辺の重力探査の内容
  - 2-2 各種弾性波探査の内容
    - 2-2-1 各種弾性波探査及びトモグラフィ解析の流れ
    - 2-2-2 敷地周辺陸域の屈折法地震探査の内容
    - 2-2-3 敷地周辺海域の屈折法地震探査の内容
    - 2-2-4 敷地周辺の陸海連続弾性波探査の内容
    - 2-2-5 反射法地震探査及びオフセットVSP探査の内容
    - 2-2-6 各種屈折法地震探査データによるトモグラフィ解析の内容
  - 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真)
  - 2-4 地震基盤付近のカッティングス及びスポットコアによる岩種判定
  - 2-5 デイサイトの分布について
  - 2-6 大間層の性状について
  - 2-7 三次元地下構造モデル作成範囲(30km×40km)全体の作成結果
3. 観測記録による地下構造評価
  - 3-1 検討において対象とした周期帯について
  - 3-2 佐藤ほか(2011)の概要
  - 3-3 各観測点における基準化スペクトルの検討
  - 3-4 基盤位置における基準化スペクトルの算定に用いた地下構造モデル
  - 3-5 各観測点における表土の層厚
  - 3-6 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比
  - 3-7 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比の周期特性の評価
  - 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比
  - 3-9 各観測点の常時微動のH/Vスペクトル比
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
  - 5-1 規制基準・審査ガイドにおける要求事項との関係について
  - 5-2 基盤の地震動を評価する位置の設定の妥当性の確認(補足)
  - 5-3 最適化地盤モデル(浅部)  $V_p \cdot Q_p$ 構造
  - 5-4 観測記録の伝達関数の標準偏差
  - 5-5 観測記録とシミュレーション解析結果との比較
  - 5-6 玄武岩の上面標高
  - 5-7 頭打ちQ値モデルについて
  - 5-8 観測記録のP波部H/Vスペクトル比等の標準偏差
  - 5-9 スペクトルインバージョン解析の概要
  - 5-10 微動アレイ観測における1次高次モードの詳細について
  - 5-11 地震波干渉法による解析の概要について
  - 5-12 最大振幅法によるQ値の測定について
  - 5-13 地震基盤以深のQ値の妥当性について
  - 5-14 地盤モデルの解放基盤表面以浅の有無の影響について
  - 5-15 平成26年12月変更申請時の地下構造モデル
6. まとめ

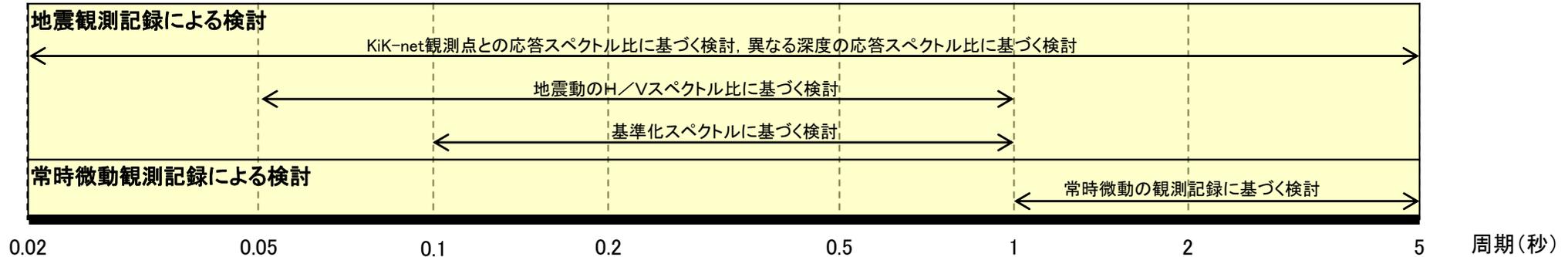
### 4. 地下構造評価のまとめ



# 3-1 検討において対象とした周期帯について

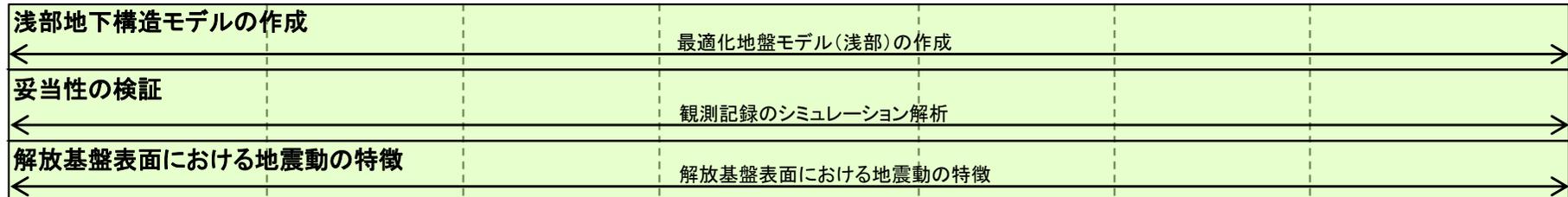
## 地震観測記録による検討及び一次元地下構造モデルの作成において対象とした周期帯

### 地震観測記録による検討 (本編資料3章)



### 一次元地下構造モデルの作成 (本編資料5章)

#### 浅部地下構造モデル



#### 深部地下構造モデル





【既往の知見 Kobayashi et al.(2000)】

P波部のH/Vスペクトル比が堆積層のP波入射による伝達関数に強く依存することに着目。

H/Vスペクトル比の逆解析による地下構造の推定手法を提案。

【既往の知見を踏まえた評価手法の提案】

S波部のH/Vスペクトル比も、敷地の地盤特性に依存すると考えられ、地下構造の不整形性に伴う地震波の到来方向による地震動の増幅特性の差異(異方性)があれば、S波部のH/Vスペクトル比に変動が生じることが期待される。

地震動の増幅特性の異方性を評価する手法として、地震波の到来方向によるS波部のH/Vスペクトル比の変動を指標とすることを提案。

【評価手法の有効性の確認】

評価手法の有効性を関東平野の地震観測記録により確認。

佐藤ほか(2011)における検討の流れ

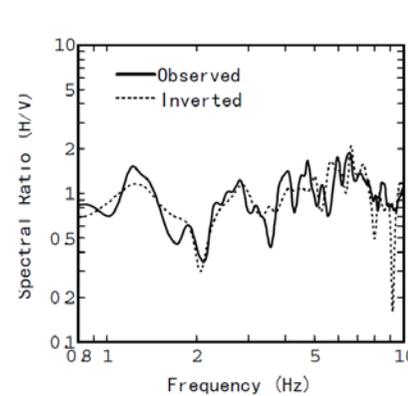


Figure 9: Comparison of spectral ratios in the inversion at Tomioka site

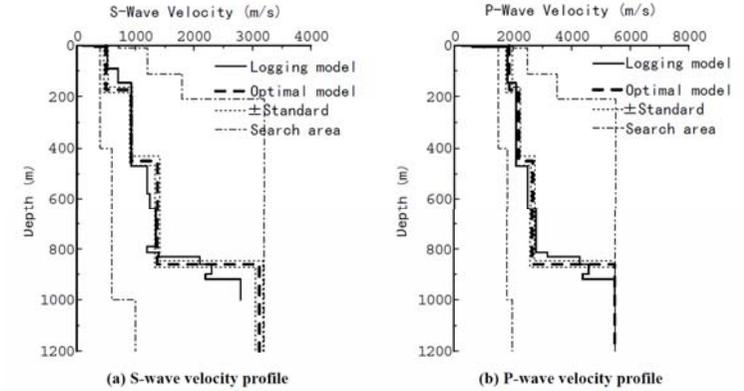


Figure 8: Comparison of the optimal model with the PS-logging model at Tomioka site

Kobayashi et al.(2000)

主要動部の水平 Radial 成分および上下成分のフーリエスペクトルをそれぞれ  $H(\omega)$ ,  $V(\omega)$  とすると、

$$H(\omega) = T_H(\omega) S_S(\omega) \quad (1)$$

$$V(\omega) = T_V(\omega) S_S(\omega) \quad (2)$$

$S_S(\omega)$  は主要動部における基盤入射スペクトル、 $T_H(\omega)$ ,  $T_V(\omega)$  はそれぞれ水平および上下成分の伝達関数で、 $\omega$  は角周波数である。(1)式と(2)式の比は

$$H(\omega)/V(\omega) = T_H(\omega)/T_V(\omega) \quad (3)$$

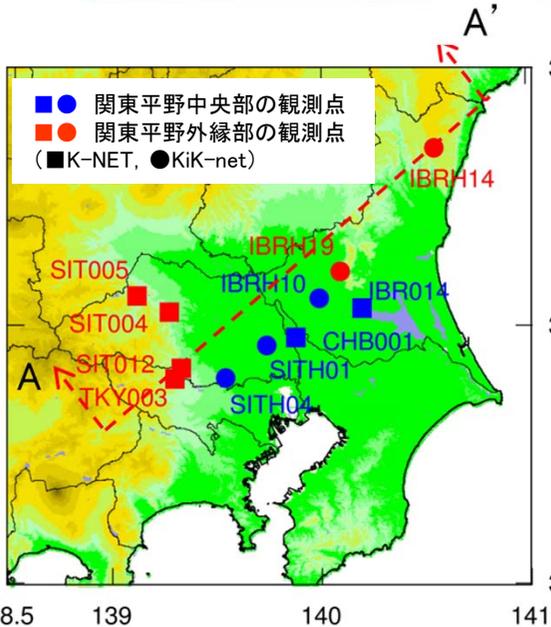
となり、 $S_S(\omega)$  が相殺されて地盤特性に依存する量となる。地盤構造に起因する異方性があれば、H/V比に震央方位による変化が生じることが期待される。

佐藤ほか(2011)(S波入射を仮定)

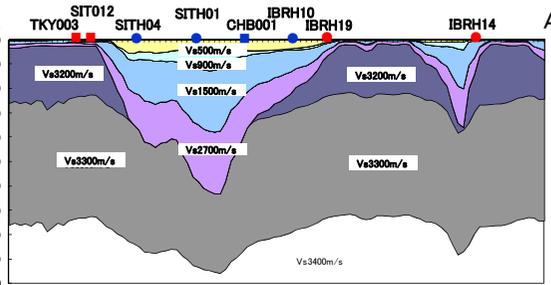
- Kobayashi et al.(2000)<sup>2)</sup>では、P波部のH/Vスペクトル比が、堆積層のP波入射による伝達関数に強く依存することに着目し、H/Vスペクトル比の逆解析により、地下構造を推定する手法が提案されている。
- 佐藤ほか(2011)<sup>3)</sup>では、S波部のH/Vスペクトル比も敷地の地盤特性に依存すると考え、地震動の増幅特性の異方性を評価する手法として、地震波の到来方向によるS波部のH/Vスペクトル比の変動を指標とすることを提案している。
- また、同手法を地下構造が既知の関東平野に適用し、地下構造の不整形性が小さい関東平野中央部の観測点と、不整形性が大きい関東平野外縁部の観測点を対象に、地震観測記録により手法の有効性を確認している。

注)本節は、本編資料3.2.1項に関する補足説明資料。

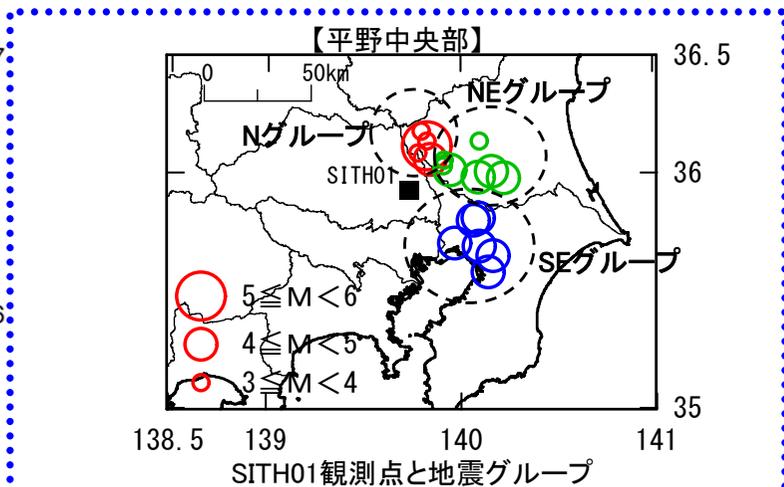
# 3-2 佐藤ほか(2011)の概要 (2/3)



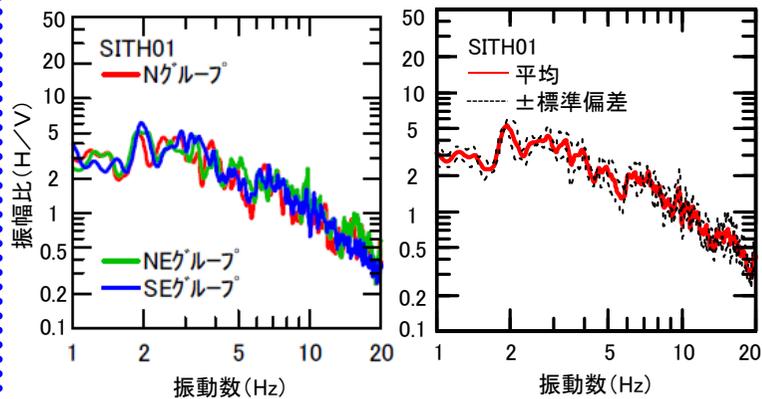
佐藤ほか(2011)の検討に用いられた観測点  
(佐藤ほか(2011)に一部加筆・修正)



A-A'断面の速度構造  
(佐藤ほか(2011)に基づき作成)

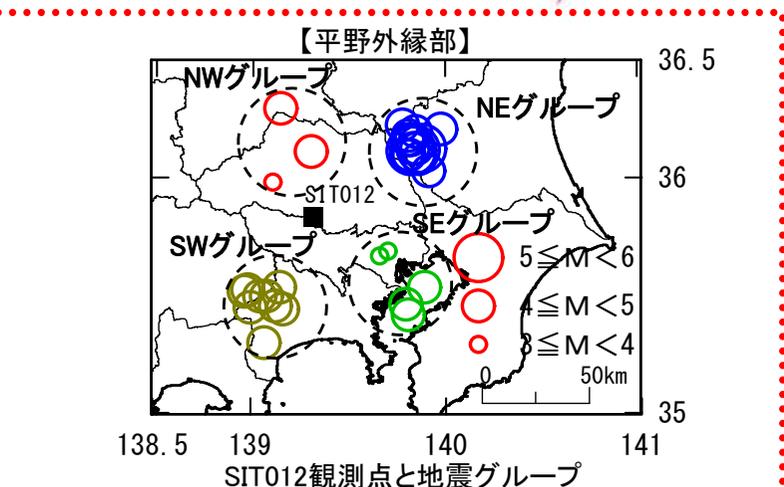


SITH01観測点と地震グループ

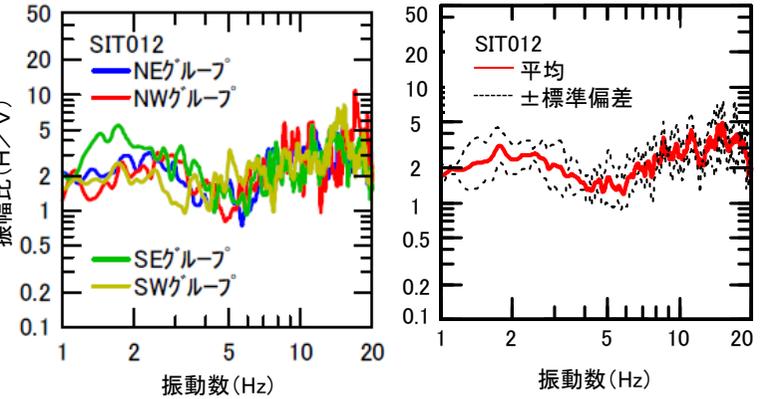


地震グループごとの平均H/Vスペクトル比  
平均H/Vスペクトル比の平均値と標準偏差

関東平野中央部観測点の例  
(佐藤ほか(2011)に一部加筆・修正)



SIT012観測点と地震グループ

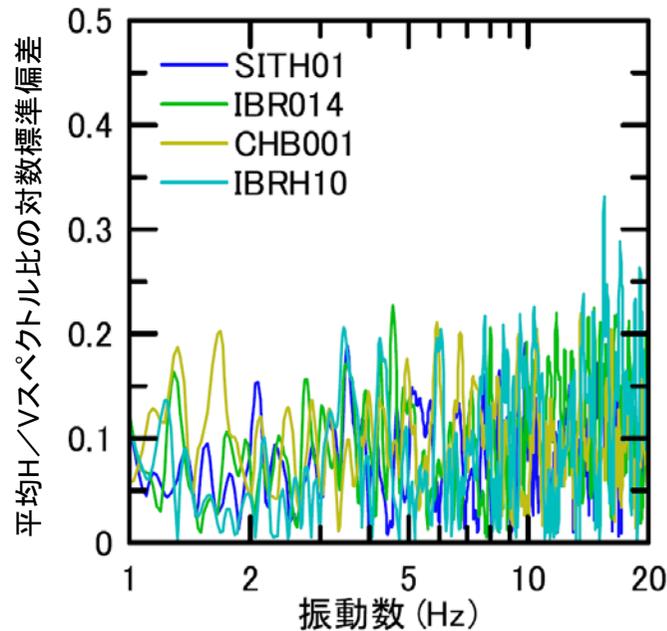


地震グループごとの平均H/Vスペクトル比  
平均H/Vスペクトル比の平均値と標準偏差

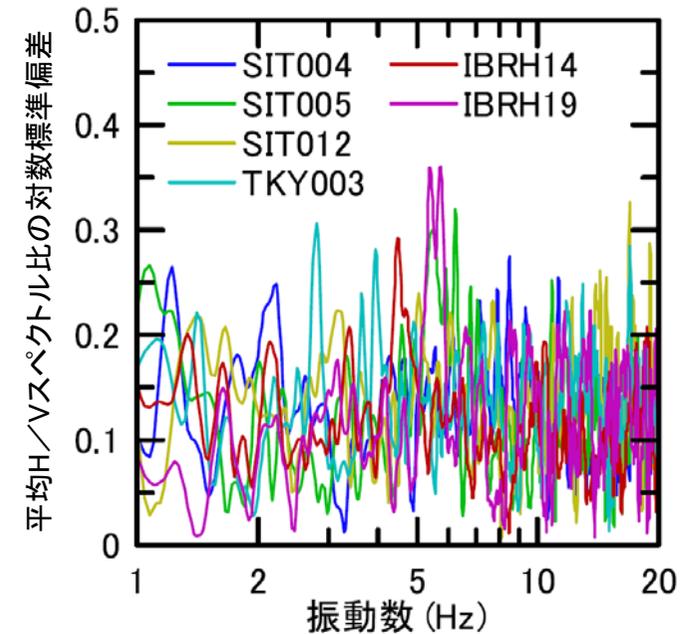
関東平野外縁部観測点の例  
(佐藤ほか(2011)に一部加筆・修正)

• 佐藤ほか(2011)では、地下構造の不整形性が小さい関東平野中央部の観測点※1と、地下構造の不整形性が大きい関東平野外縁部の観測点※2について、それぞれ到来方向による平均H/Vスペクトル比の標準偏差が求められている。

- ※1 : SITH01, IBRH10, IBR014, CHB001
- ※2 : SIT004, SIT005, SIT012, TKY003, IBRH14, IBRH19



(a) 関東平野中央部の観測点



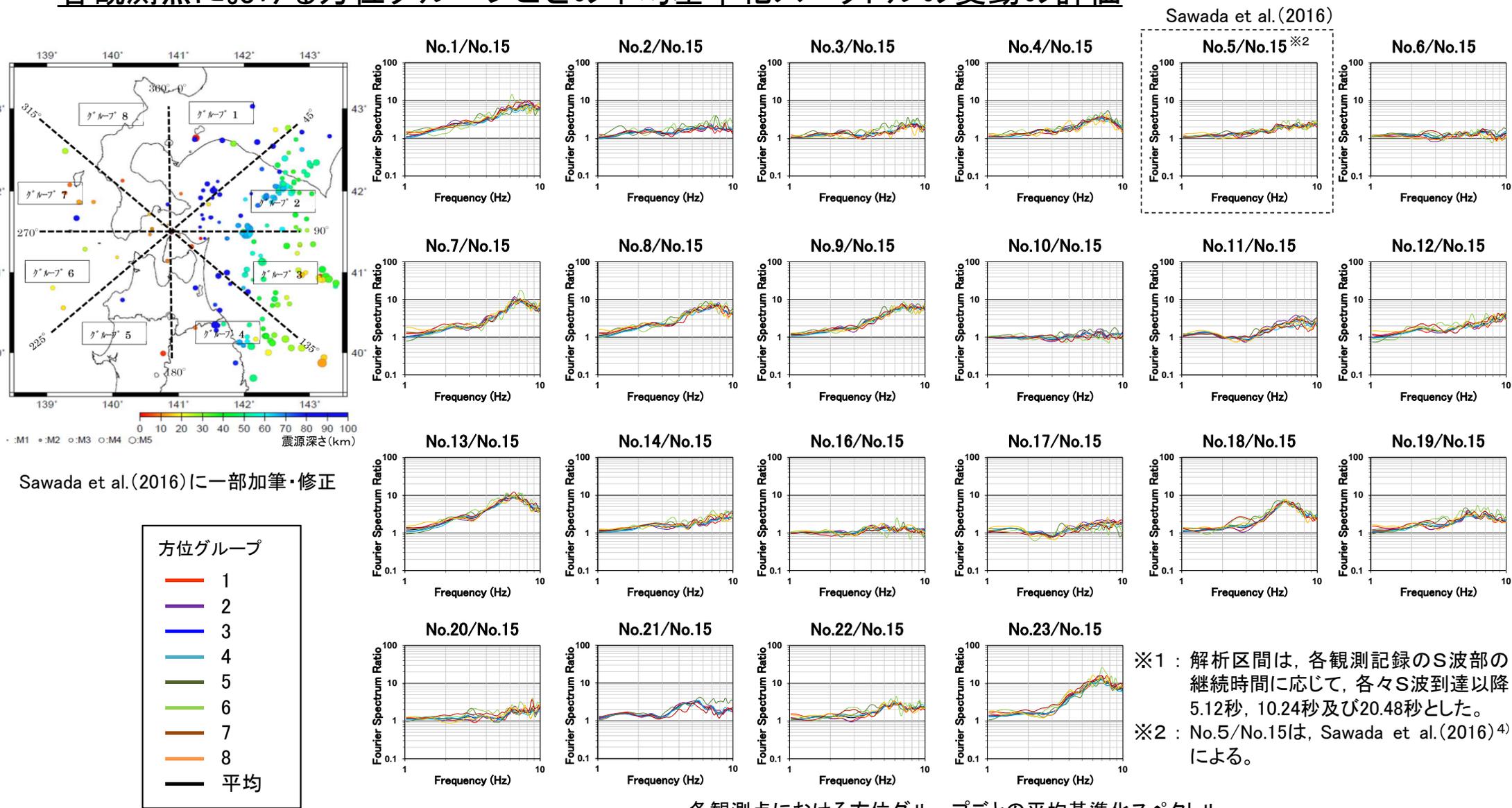
(b) 関東平野外縁部の観測点

佐藤ほか(2011)における平均H/Vスペクトル比の対数標準偏差  
(佐藤ほか(2011)に一部加筆・修正)

- 地下構造の不整形性が小さい関東平野中央部の観測点は、不整形性が大きい関東平野外縁部の観測点と比較して、到来方向による平均H/Vスペクトル比の標準偏差が小さいとされている。



## 各観測点における方位グループごとの平均基準化スペクトルの変動の評価



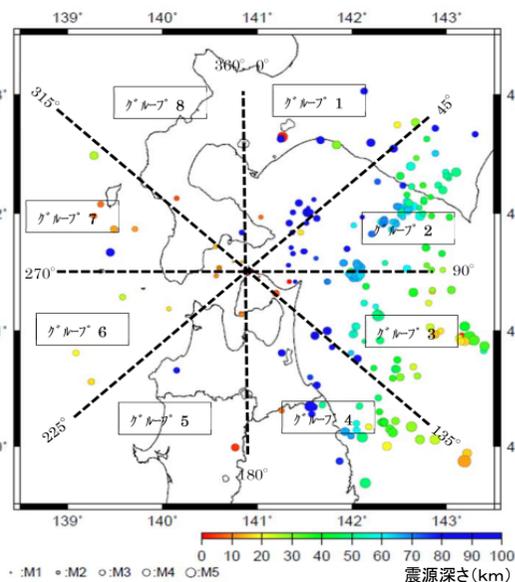
各観測点における方位グループごとの平均基準化スペクトル

- 各観測点における平均基準化スペクトル※1の到来方向によるばらつきは小さい。  
(地表の観測点間の平均基準化スペクトルの高振動数側の相違は、浅部地盤の影響と考えられる。)

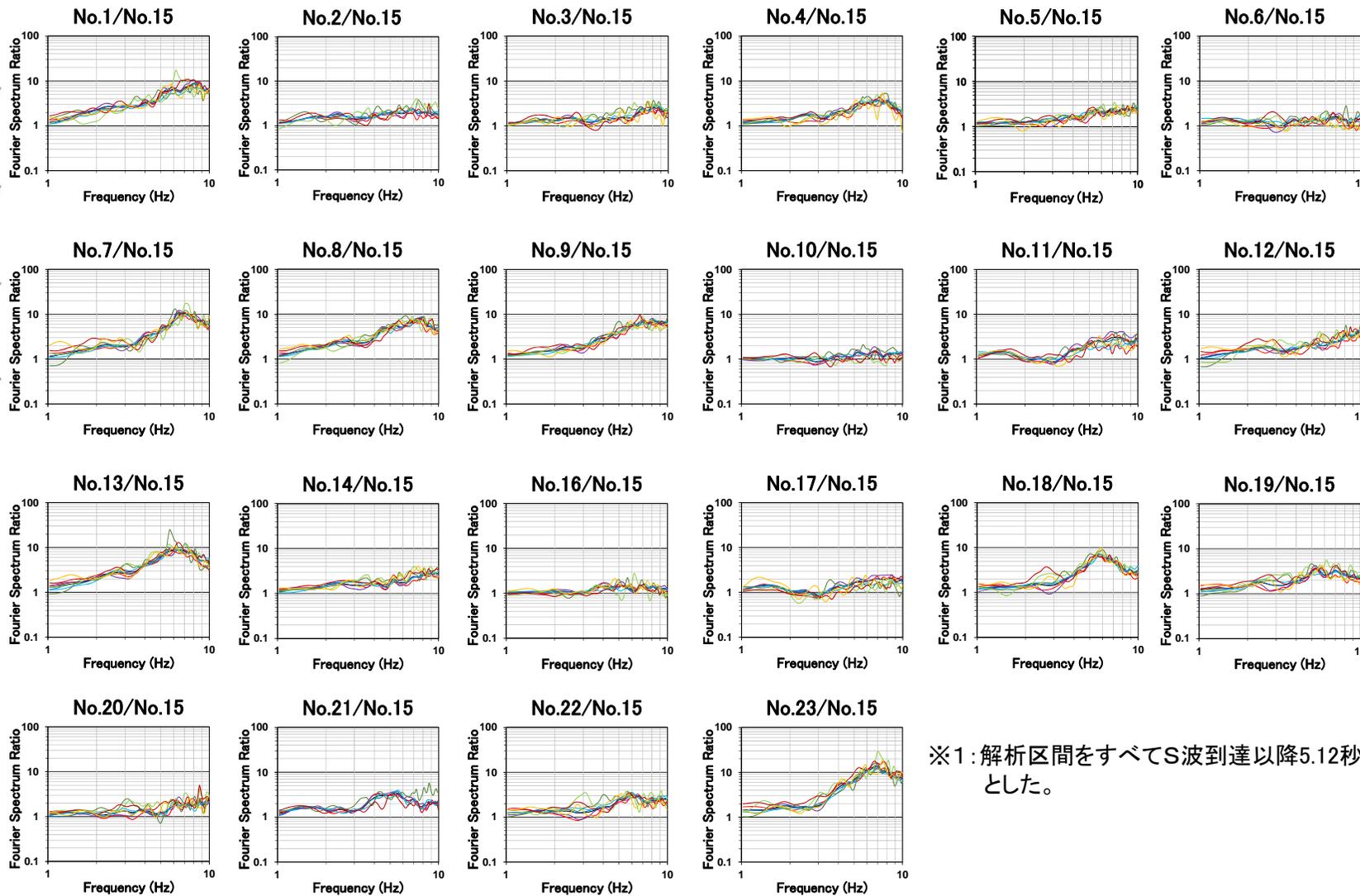
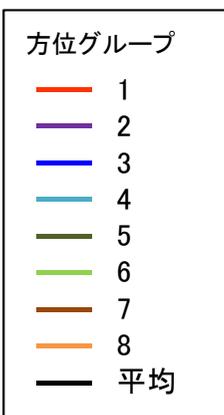
# 3-3 各観測点における基準化スペクトルの検討 (2/4)



## S波の初動部に着目した検討 (すべての観測記録の解析区間を5.12秒とした場合)



Sawada et al. (2016)に一部加筆・修正



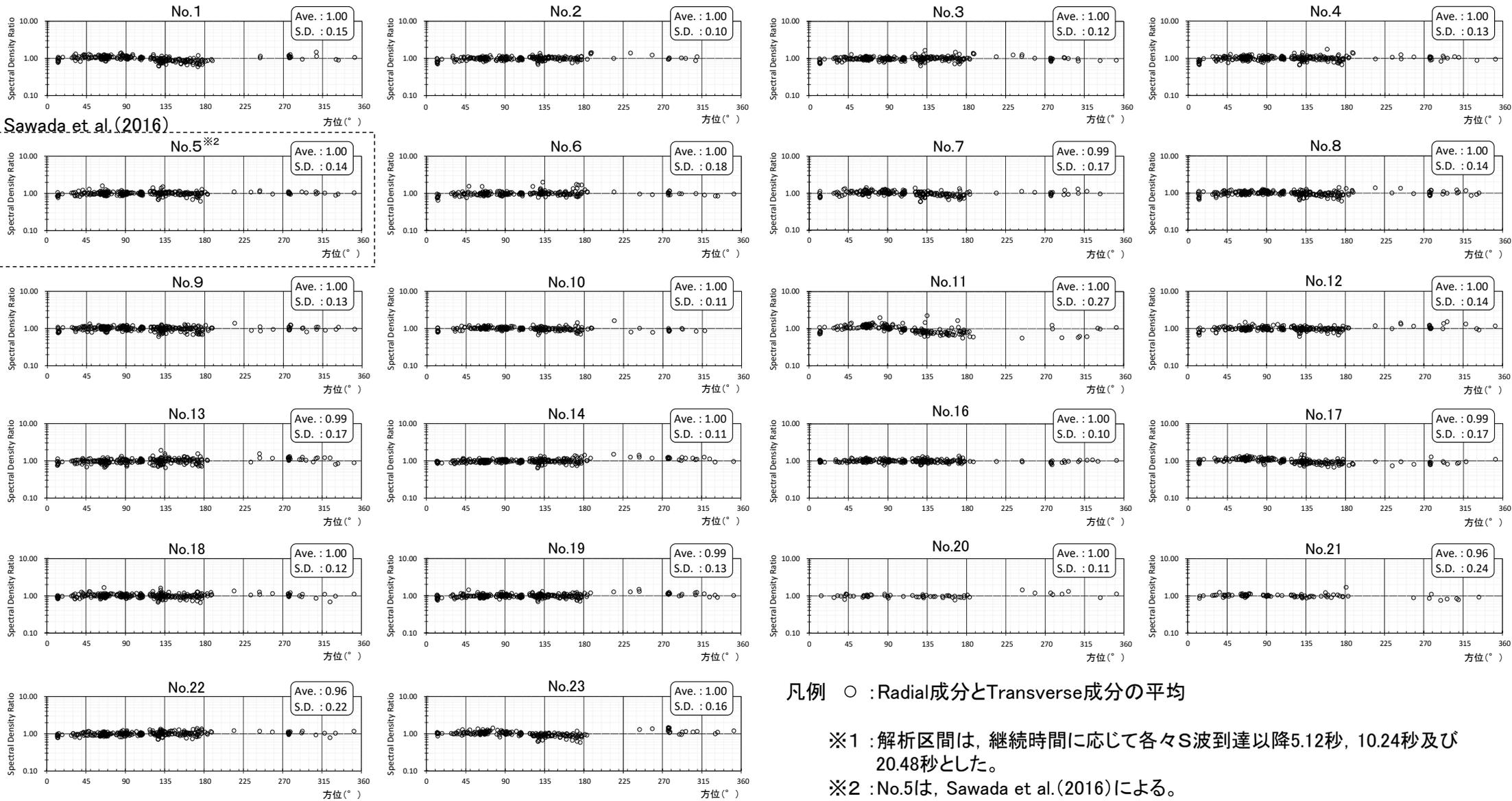
※1: 解析区間をすべてS波到達以降5.12秒とした。

各観測点における方位グループごとの平均基準化スペクトル

解放基盤表面より浅部における地震波の散乱や反射の影響を極力排除するため、S波の初動部に着目し、観測記録の解析区間を短く設定※1して評価した結果、継続時間に応じて評価した場合(P.3-6参照)と同様の結果が得られたことから、浅部の地下構造による地震波の散乱、反射等の影響は小さいと考えられ、敷地の地下構造に地震動の主要動部に影響を及ぼすような不整形はないと考えられる。



## 各観測点における地震ごとのスペクトル密度比の変動の評価



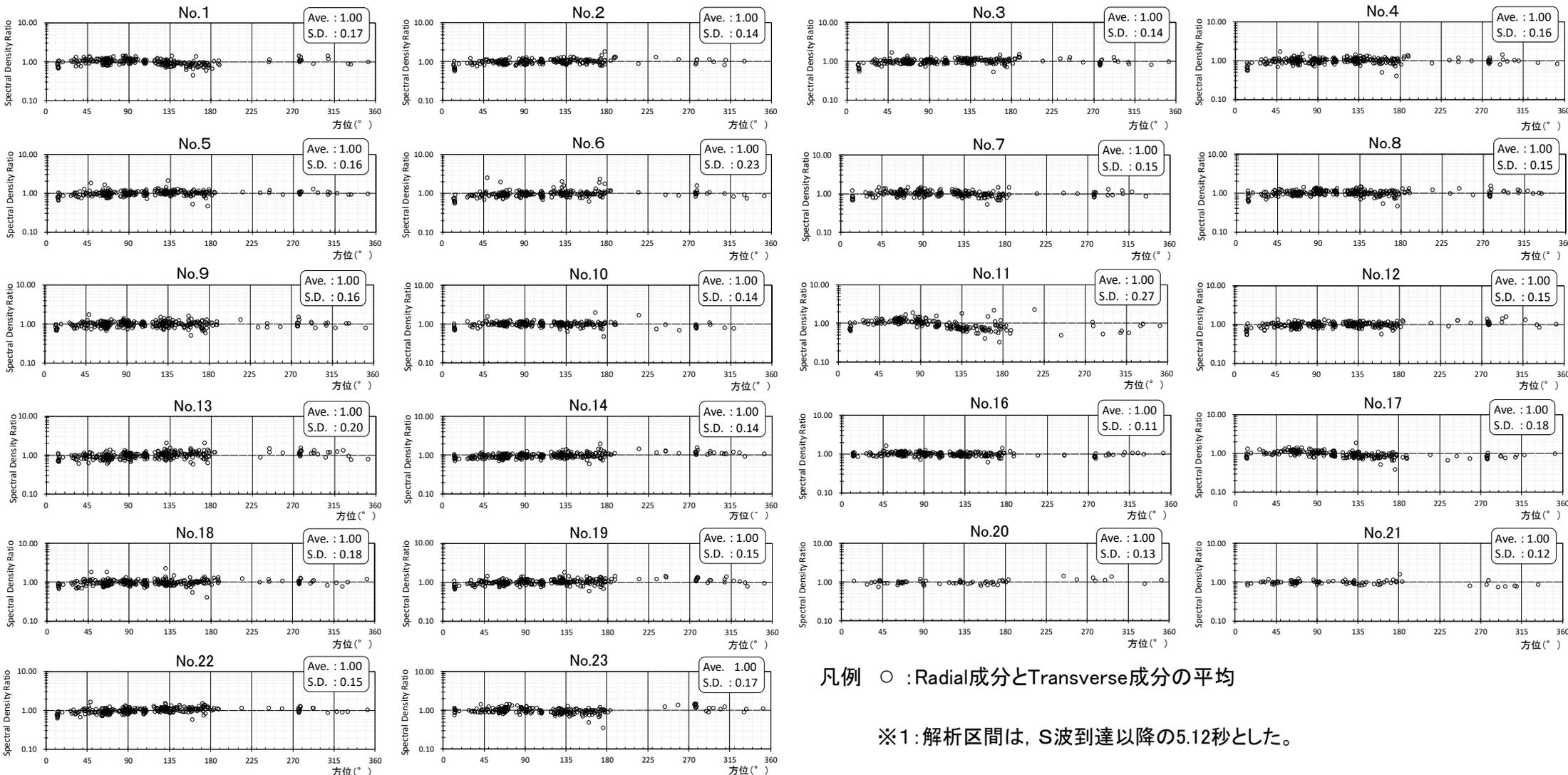
各観測点における方位別にみた地震ごとのスペクトル密度比

- 各観測点における到来方向による地震ごとのスペクトル密度比※1のばらつきは小さい。

# 3-3 各観測点における基準化スペクトルの検討 (4/4)



## S波の初動部に着目した検討 (すべての観測記録の解析区間を5.12秒とした場合)



各観測点における方位別にみた地震ごとのスペクトル密度比

• 解放基盤表面より浅部における地震波の散乱や反射の影響を極力排除するため、S波の初動部に着目し、観測記録の解析区間を短く設定※1して評価した結果、継続時間に応じて評価した場合(P.3-8参照)と同様の結果が得られたことから、浅部の地下構造による地震波の散乱、反射等の影響は小さいと考えられ、敷地の地下構造に地震動の主要動部に影響を及ぼすような不整形はないと考えられる。

# 3-4 基盤位置における基準化スペクトルの算定に用いた地下構造モデル

No.15(基準観測点)

層 No.	上端標高 T.P.(m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	ρ (t/m <sup>3</sup> )	Qs	
					Q <sub>0</sub>	n
1	+12	38	1020	1.95	5.97	0.000
2	-26	94	1230	2.14	1.00	0.999
3	-120	44	550	1.60	2.62	1.000
4	-164	92	650	1.54	11.1	0.997
5	-256	∞	920	1.60	11.1	0.997

No.5観測点

層 No.	上端標高 T.P.(m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	ρ (t/m <sup>3</sup> )	Qs	
					Q <sub>0</sub>	n
1	+8	5	300	1.63	4.40	0.175
2	+3	38	970	1.95	5.97	0.000
3	-35	106	1270	2.14	1.00	0.999
4	-141	40	650	1.60	2.62	1.000
5	-181	74	790	1.54	11.1	0.997
6	-255	∞	1280	1.60	11.1	0.997

No.23観測点  
(はぎとり解析に用いる浅部地下構造モデル)

層 No.	上端標高 T.P.(m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	ρ (t/m <sup>3</sup> )	Qs	
					Q <sub>0</sub>	n
1	+32.5	1	53	1.47	4.47	0.453
2	+31.5	1	93			
3	+30.5	2	150			
4	+28.5	2	220	1.63	4.40	0.175
5	+26.5	6.5	460			
6	+20.0	20	720	1.95	5.97	0.000
7	0.0	64	1020	2.14	1.00	0.999
8	-64.0	68	520	1.60	2.62	1.000
9	-132.0	98	620	1.54	11.1	0.997
10	-230.0	∞	860	1.60	11.1	0.997

No.11観測点

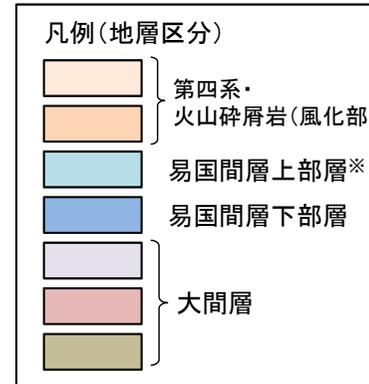
層 No.	上端標高 T.P.(m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	ρ (t/m <sup>3</sup> )	Qs	
					Q <sub>0</sub>	n
1	+12	6	200	1.63	4.40	0.175
2	+6	12	790	1.95	5.97	0.000
3	-6	58	1290	2.14	1.00	0.999
4	-64	24	1370	2.14	1.00	0.999
5	-88	62	510	1.60	2.62	1.000
6	-150	78	590	1.54	11.1	0.997
7	-228	∞	770	1.60	11.1	0.997

No.12観測点

層 No.	上端標高 T.P.(m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	ρ (t/m <sup>3</sup> )	Qs	
					Q <sub>0</sub>	n
1	+26	12	320	1.63	4.40	0.175
2	+14	70	820	1.95	5.97	0.000
3	-56	92	1230	2.14	1.00	0.999
4	-148	34	560	1.60	2.62	1.000
5	-182	72	640	1.54	11.1	0.997
6	-254	∞	790	1.60	11.1	0.997

$$Q(f) = Q_0 \cdot f^n$$

f: 振動数



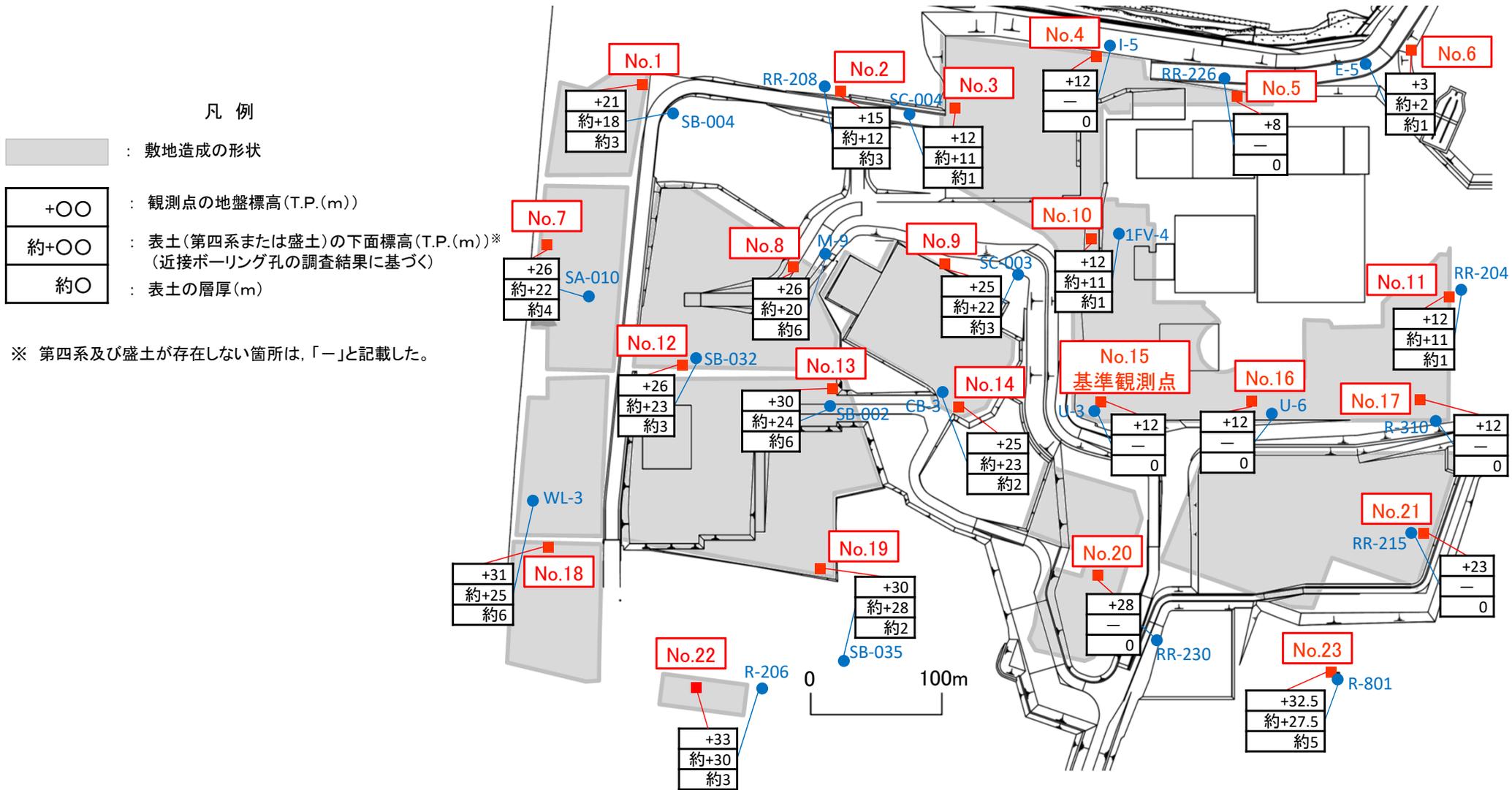
※: 火山碎屑岩(風化部)を除く。  
(岩盤分類図は、本編資料P.2-41参照。)

- 基盤位置における基準化スペクトルの算定に用いた地下構造モデルの速度構造は、観測点近傍のPS検層結果とした。
- 密度(ρ)及び減衰(Qs)の値は、各観測点の地層区分及び速度構造を踏まえ、はぎとり解析に用いる浅部地下構造モデル(本編資料P.5-19参照)の値を参照して設定した。

注)本節は、本編資料3.2.2項(補足2)に関する補足説明資料。

# 3-5 各観測点における表土の層厚

コメントNo.S3-13



各観測点の地盤の標高及び表土の層厚

注)本節は、本編資料3.2.2項(補足3)に関する補足説明資料。

(余白)

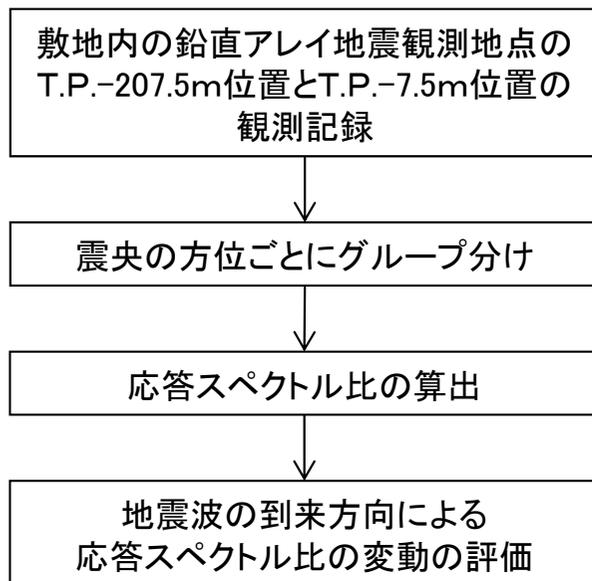


## 検討の目的

敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の最も深い地震計の位置(T.P.-207.5m)より浅部の地盤について、地震動に影響を及ぼすような不整形はないことを確認するために、鉛直アレイ地震観測地点の異なる深度の観測記録を用いて、地震波の到来方向による応答スペクトル比による変動を評価する。

## 検討方法

敷地内の鉛直アレイ地震観測地点において、1989年8月から2018年9月までに得られた地震観測記録のうち、マグニチュード3以上かつ震央距離300km以内の276地震の記録を対象に、最深部(T.P.-207.5m)と原子炉建屋の支持地盤に近い位置(T.P.-7.5m)の記録の加速度応答スペクトル比※1を求め、地震波の到来方向による変動を評価する。



検討フロー

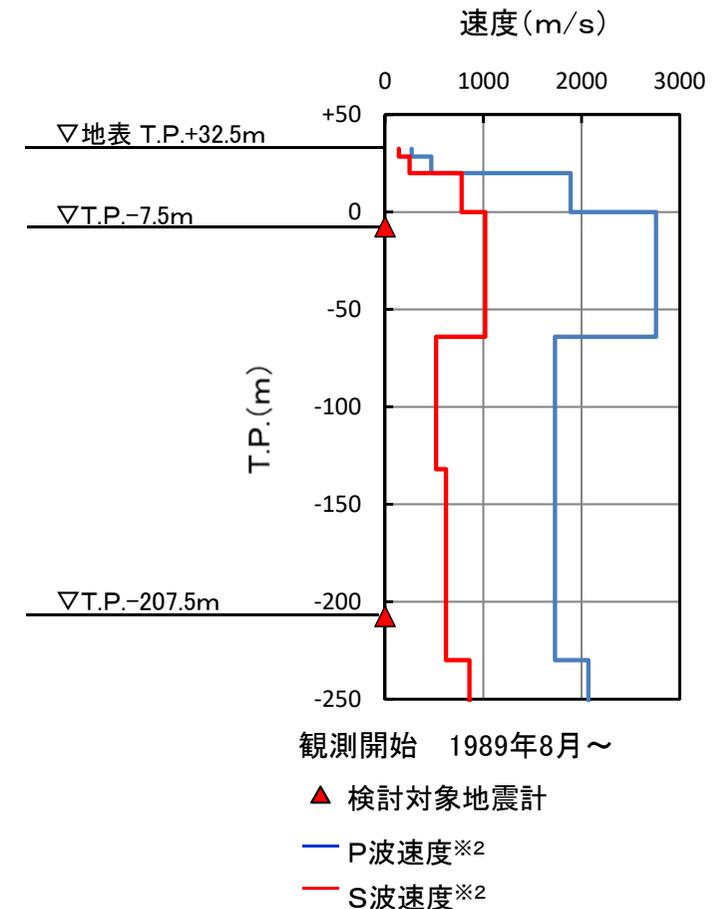
※1 : 応答スペクトル比の評価式

$$R(T) = \frac{S(T.P.-7.5m)(T)}{S(T.P.-207.5m)(T)}$$

- $R(T)$  : 応答スペクトル比
- $S(T.P.-7.5m)(T)$  : 敷地内の鉛直アレイ地震観測点(T.P.-7.5m)の加速度応答スペクトル
- $S(T.P.-207.5m)(T)$  : 敷地内の鉛直アレイ地震観測点(T.P.-207.5m)の加速度応答スペクトル

※2 : SB-042孔におけるPS検層結果

※3 : 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の詳細については本編資料P.5-12を参照



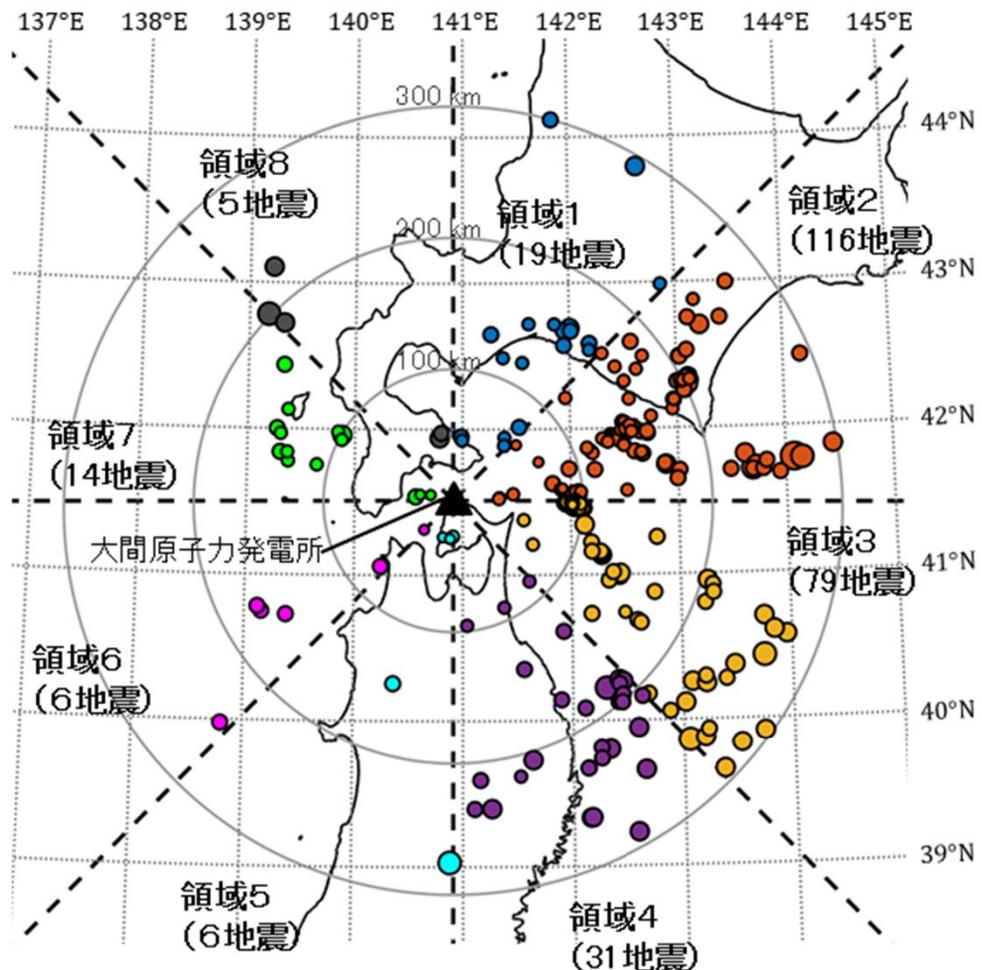
敷地内の鉛直アレイ地震観測地点※3における速度構造と地震計の設置位置

注)本節は、本編資料3.2.3項に関する補足説明資料。



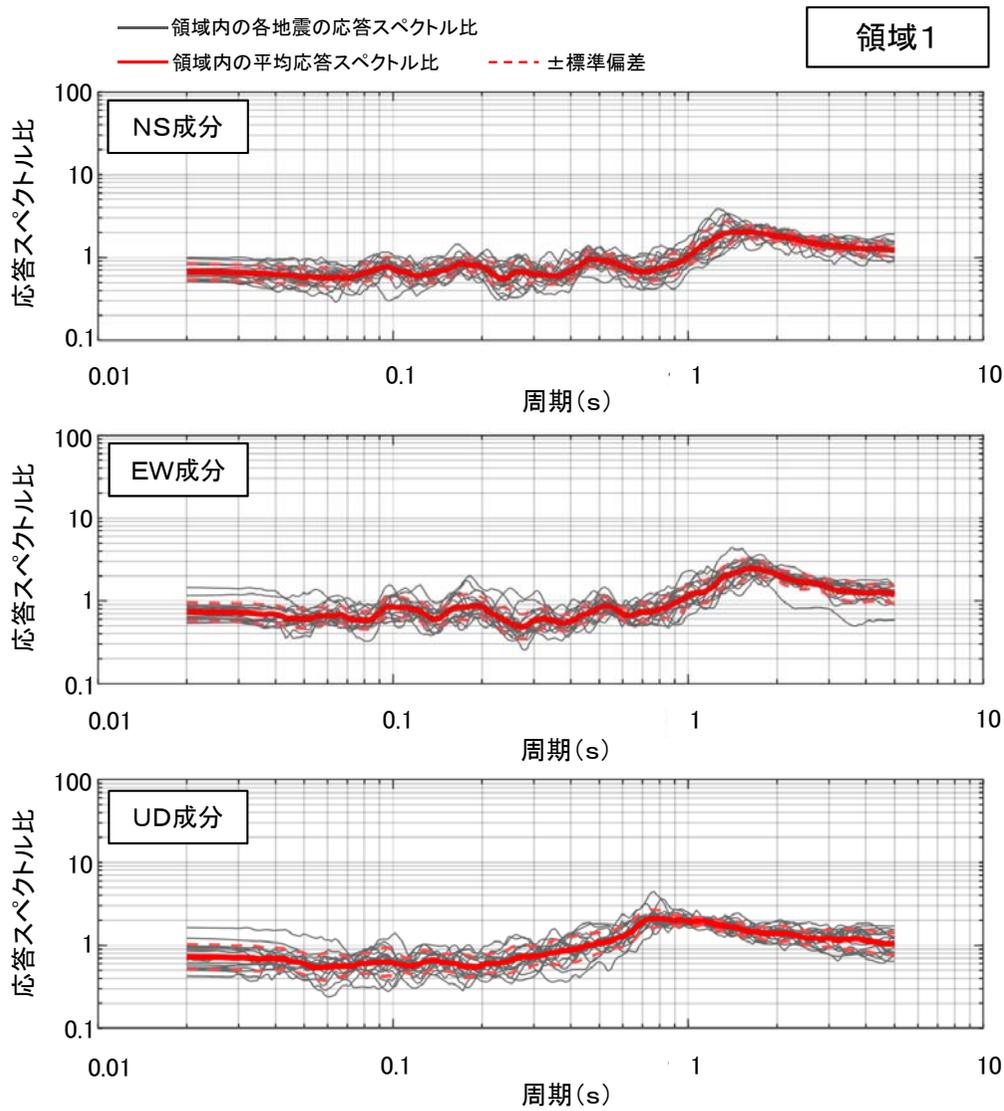
## 検討に用いた地震

- 検討には下記条件を満たす地震の観測記録を用いた。
  - 鉛直アレイ地震観測地点を基準としてマグニチュード3以上かつ震央距離300km以内の地震
  - 十分なS/N比を有する観測記録

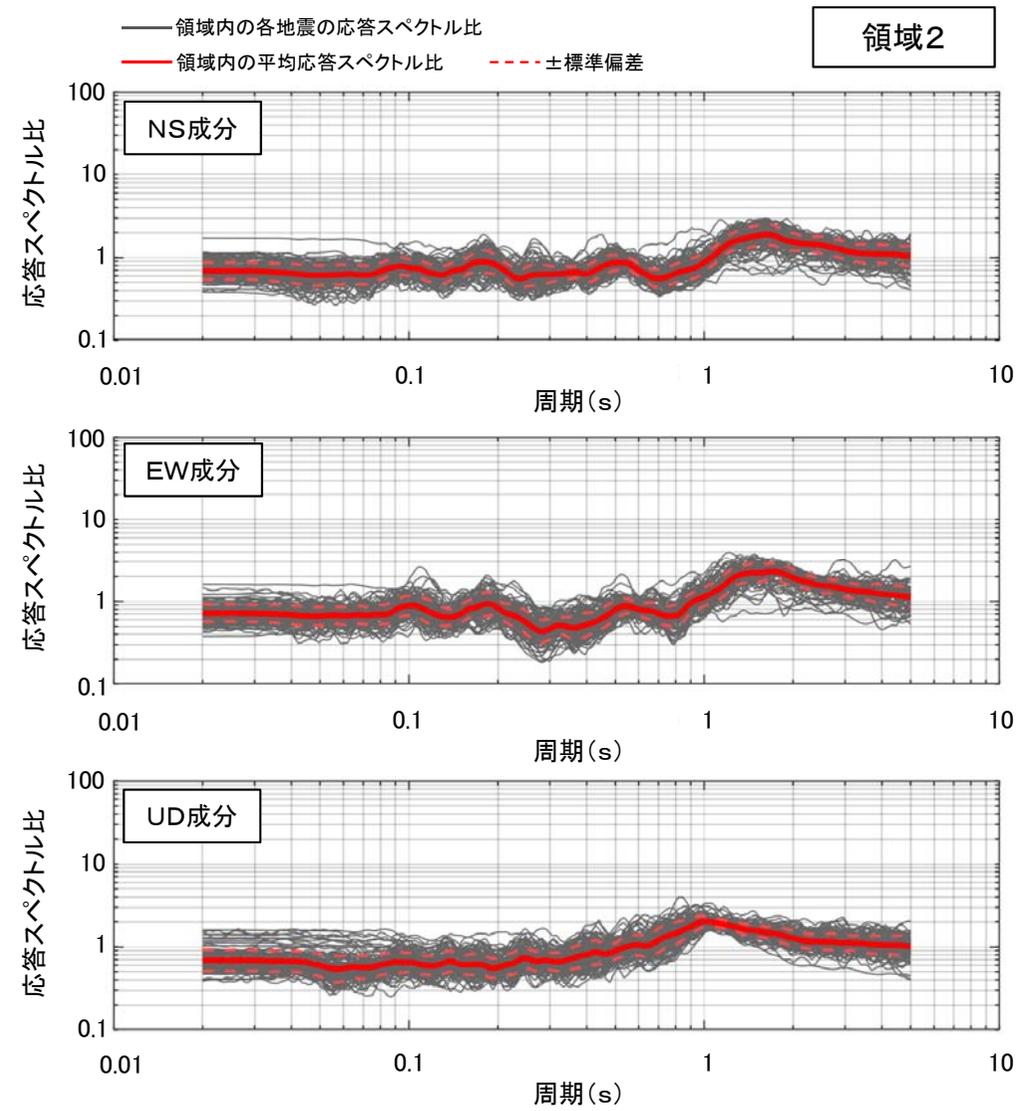


検討に用いた地震の震央分布

# 3-6 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比 (3/6)



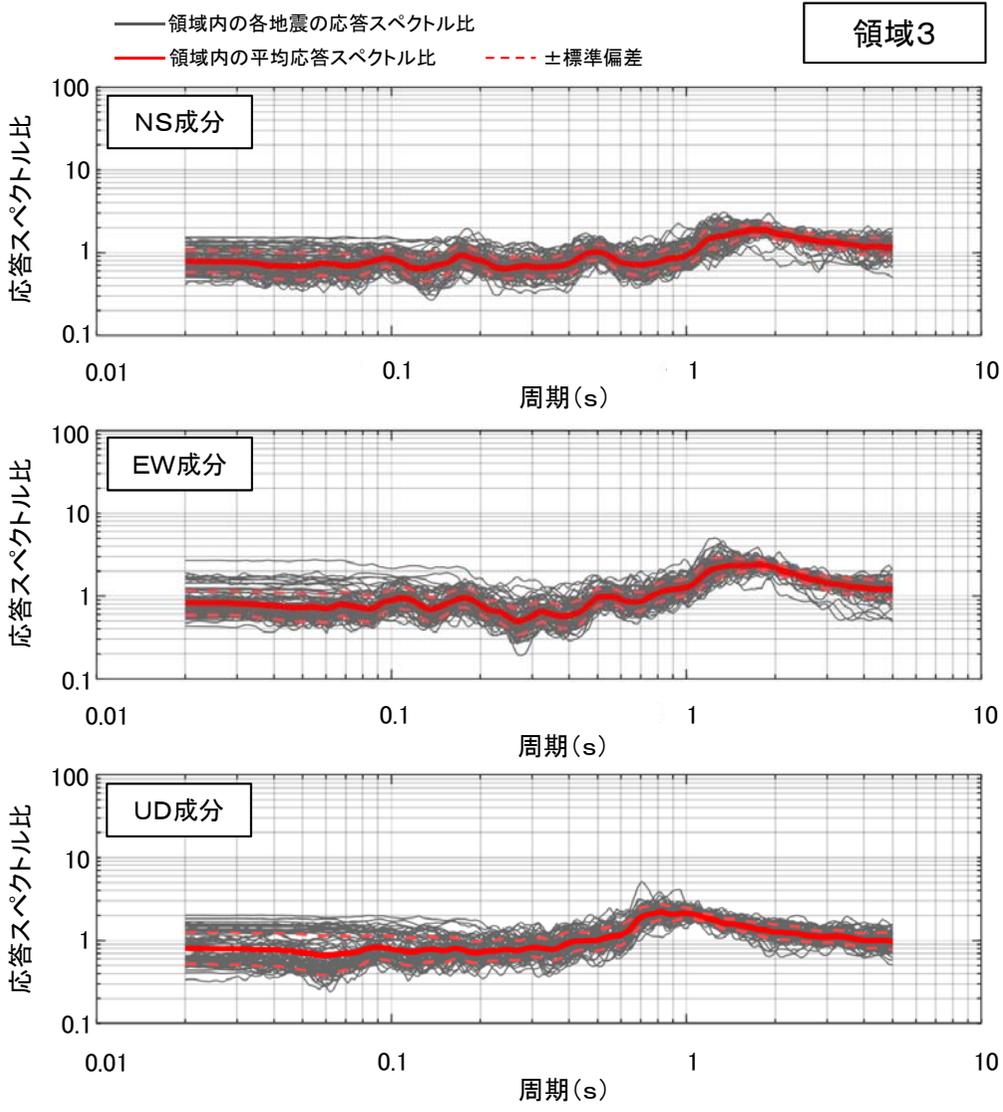
領域1における応答スペクトル比



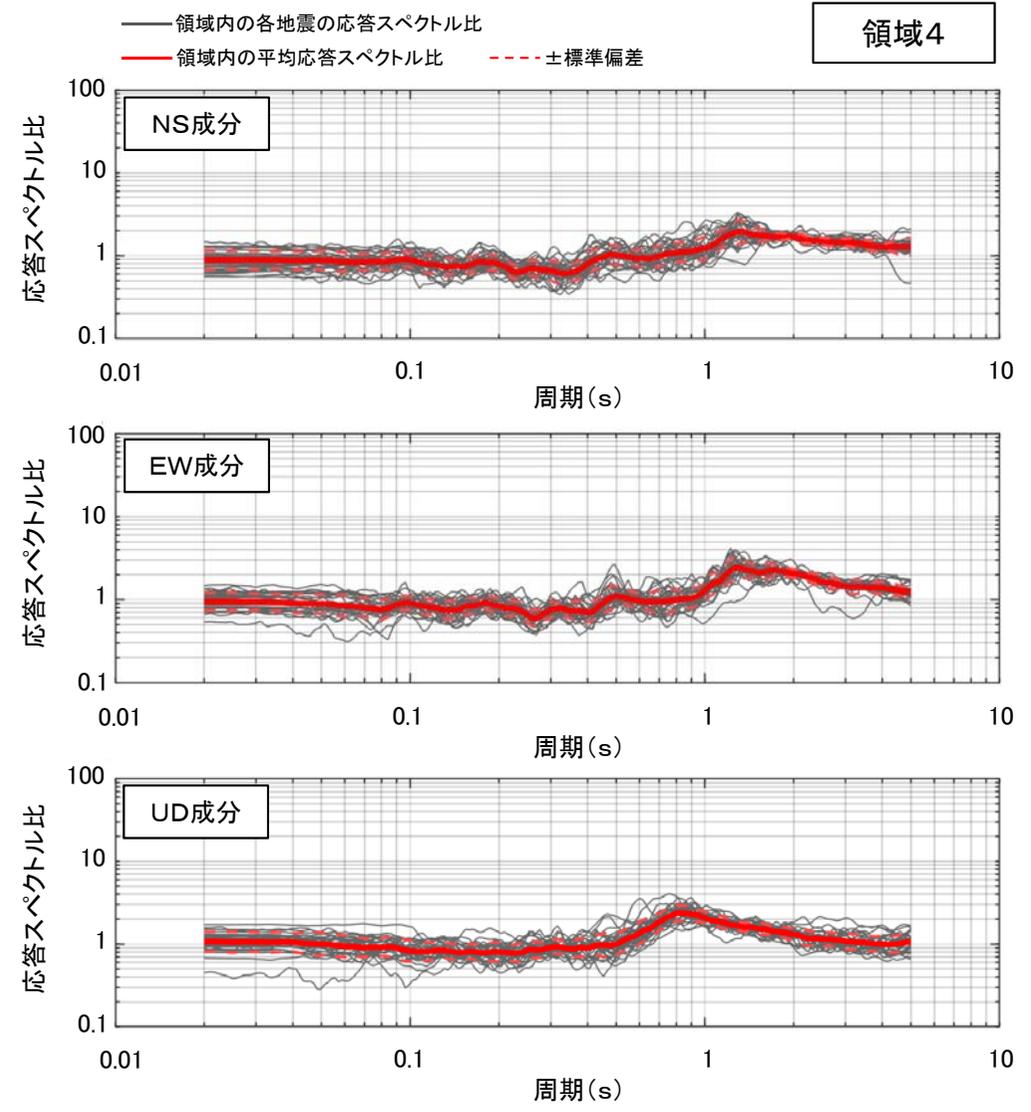
領域2における応答スペクトル比

- 領域1～8において、応答スペクトル比のばらつきは小さく、地震によって特異な傾向は認められない。

# 3-6 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比 (4/6)

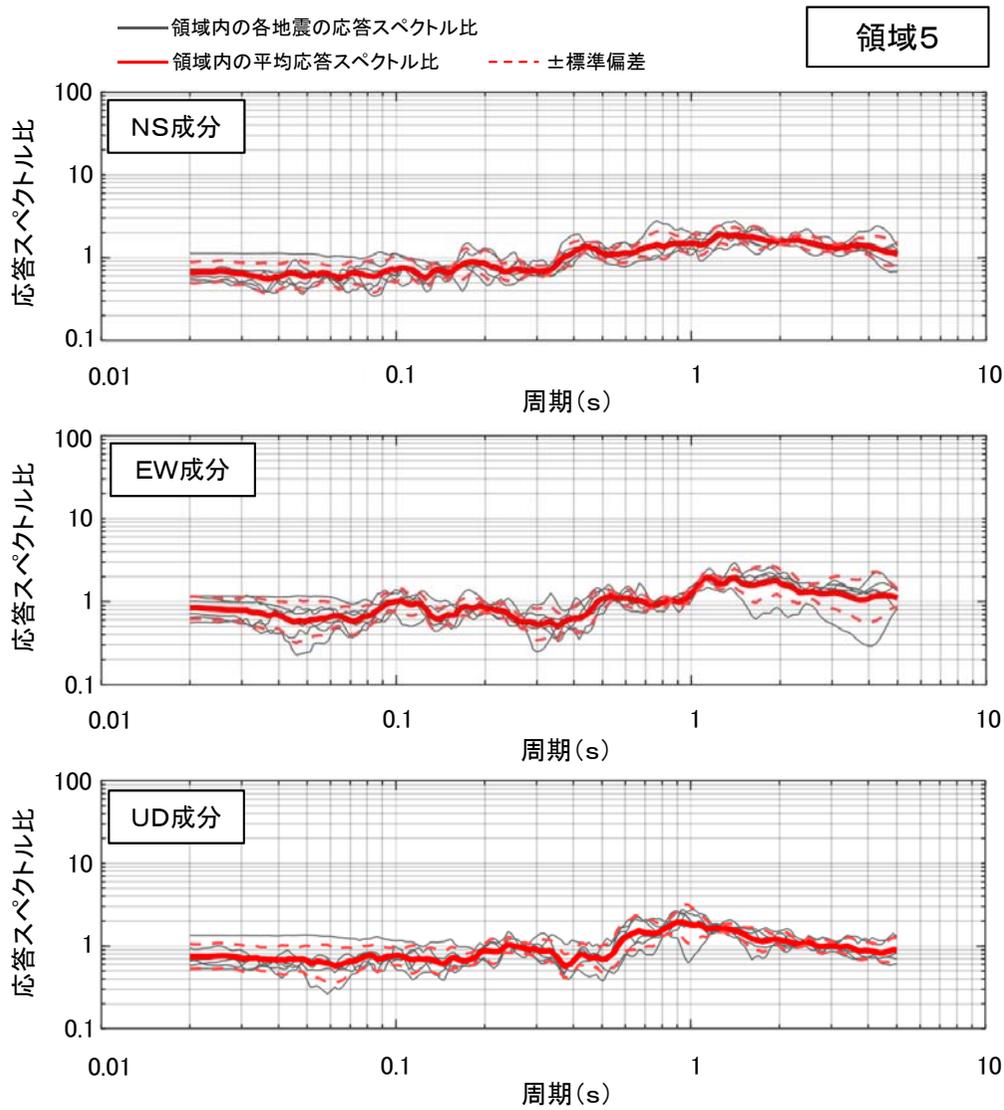


領域3における応答スペクトル比

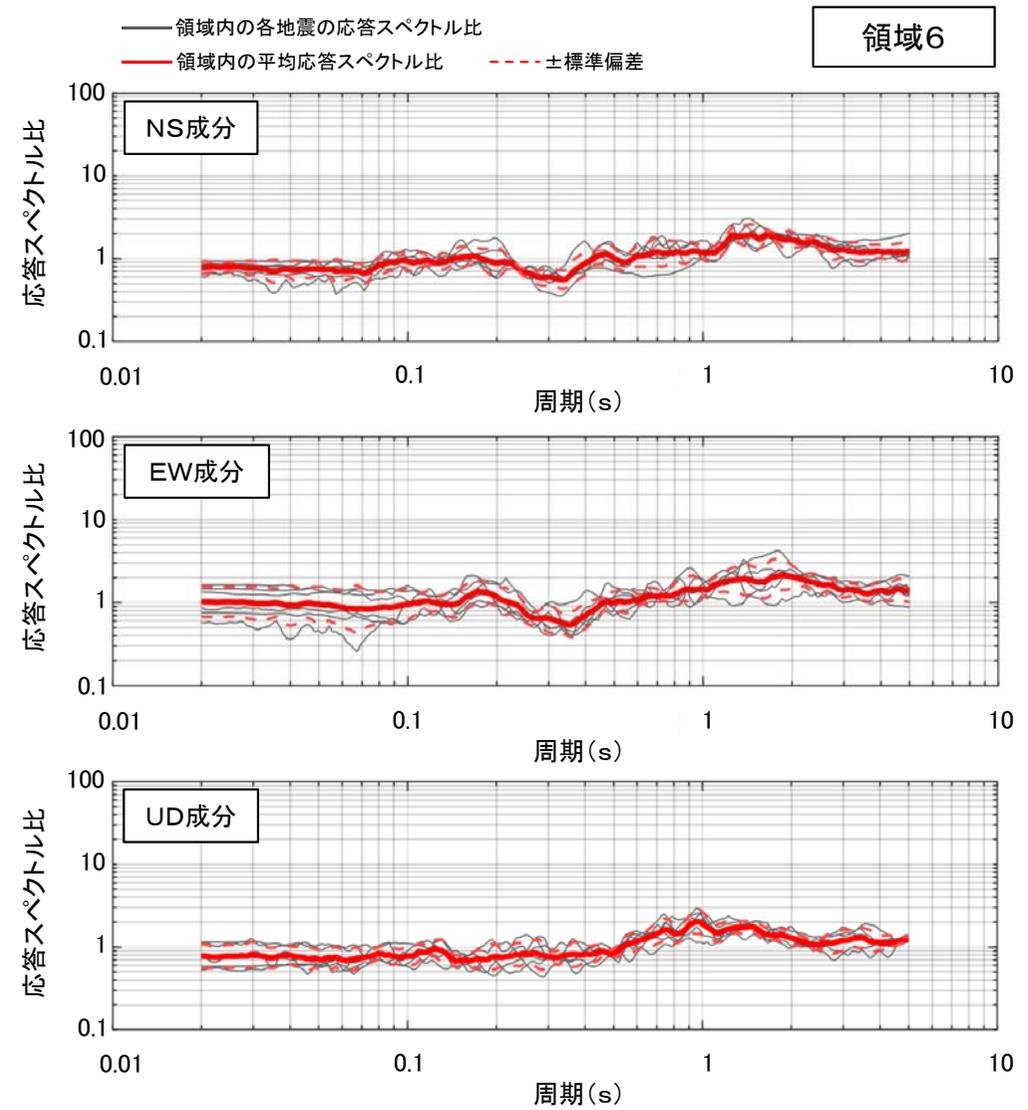


領域4における応答スペクトル比

# 3-6 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比 (5/6)

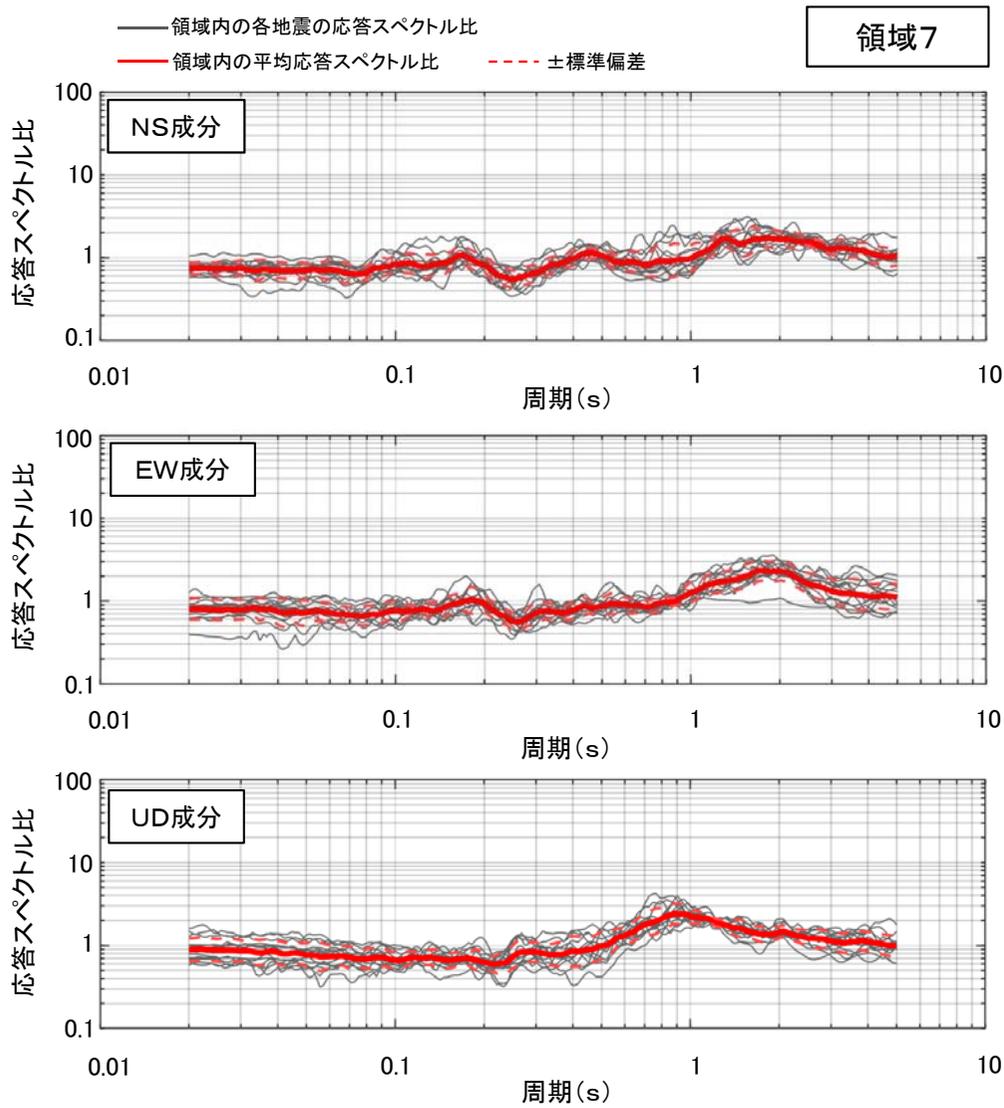


領域5における応答スペクトル比

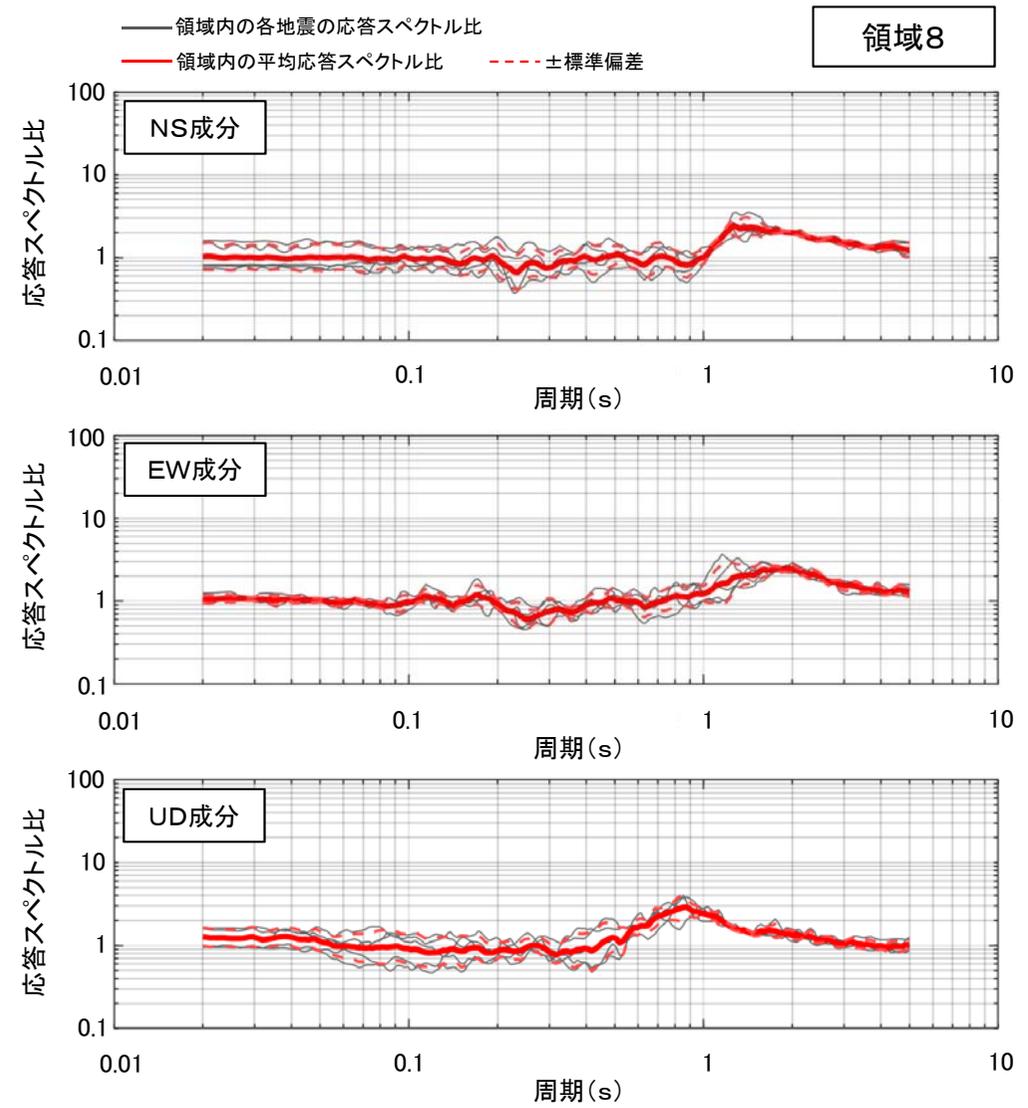


領域6における応答スペクトル比

# 3-6 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比 (6/6)



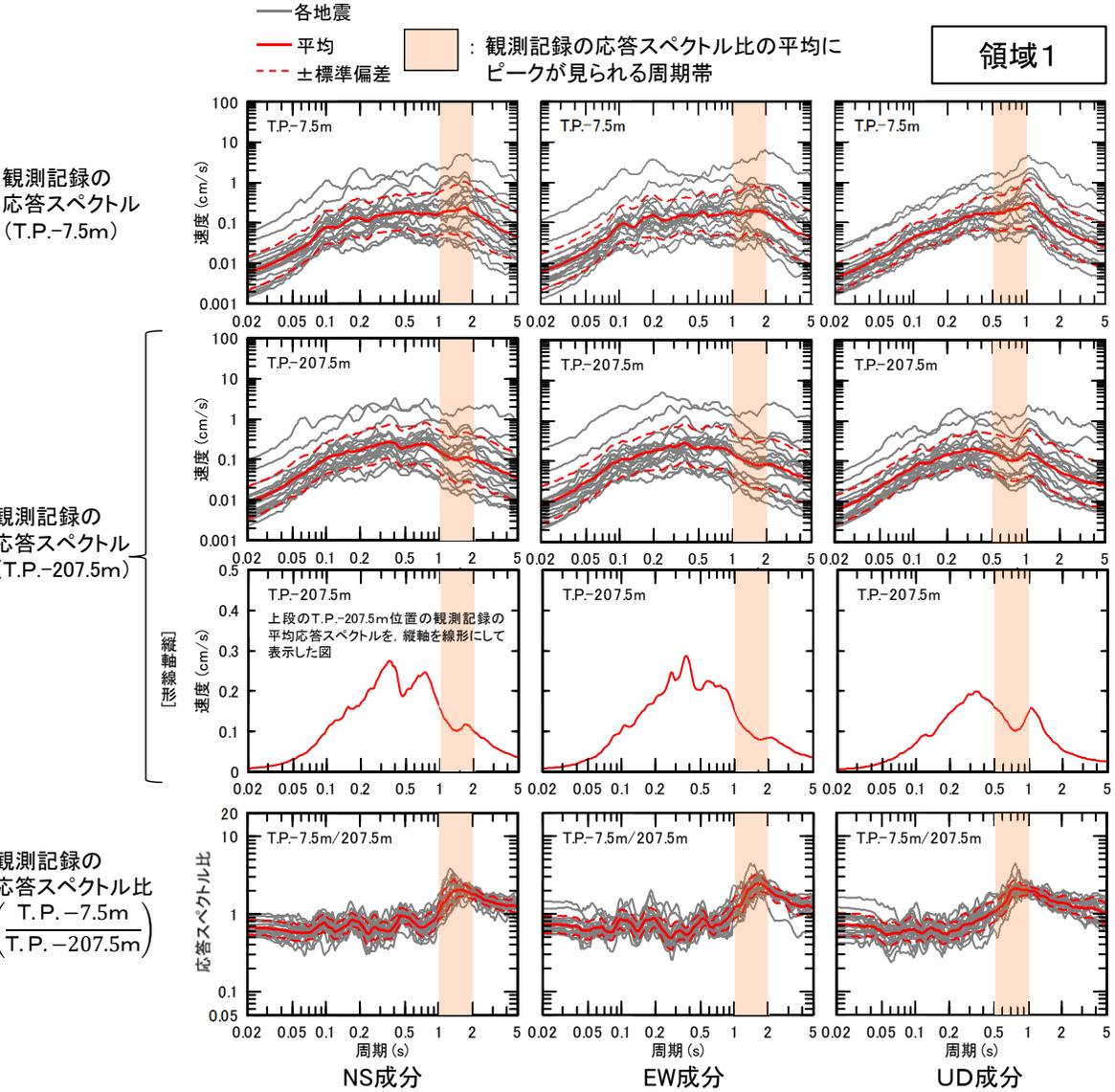
領域7における応答スペクトル比



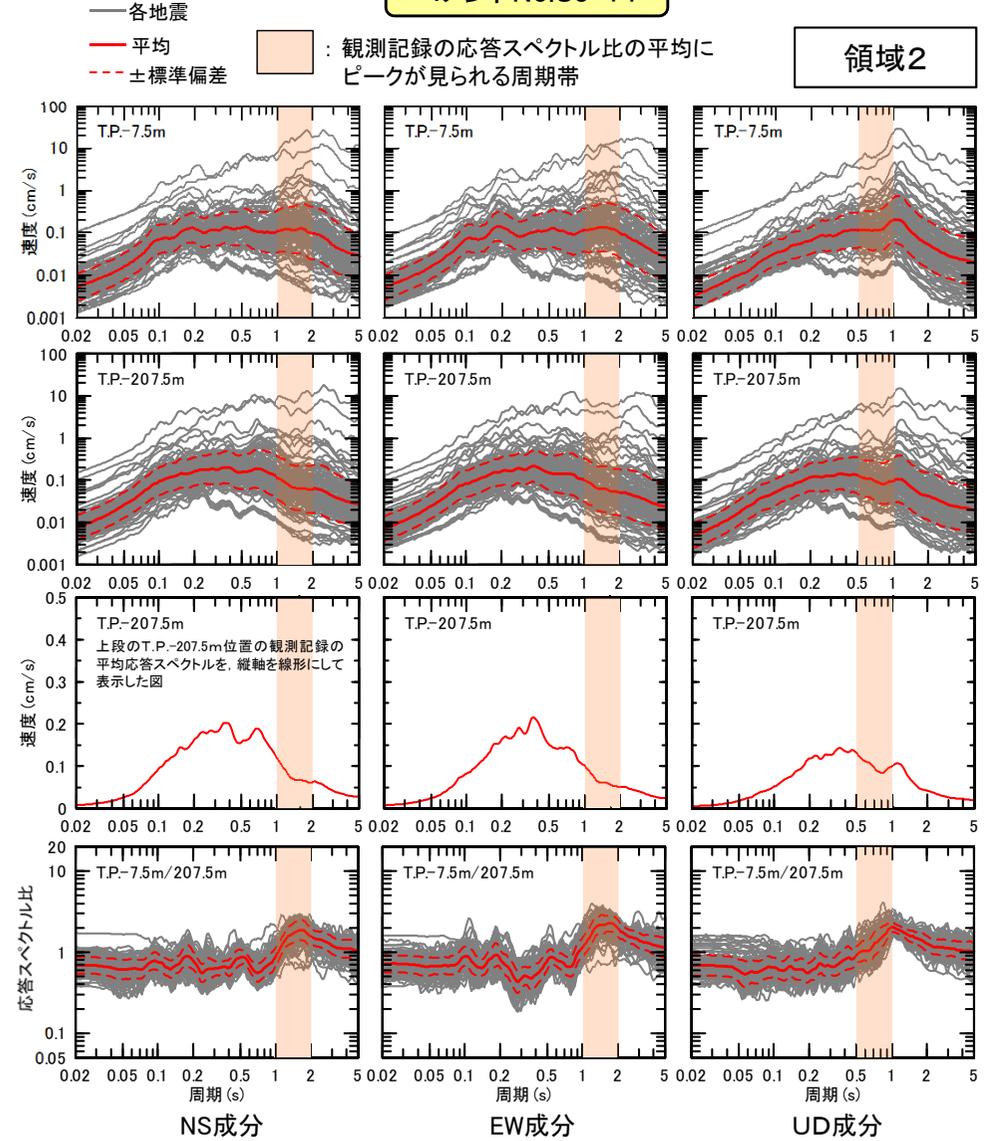
領域8における応答スペクトル比

# 3-7 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比の周期特性の評価 (1/4)

コメントNo.S3-14



領域1における周期特性の確認



領域2における周期特性の確認

観測記録の  
応答スペクトル  
(T.P.-7.5m)

観測記録の  
応答スペクトル  
(T.P.-207.5m)

[添削番線]

観測記録の  
応答スペクトル比  
( $\frac{T.P.-7.5m}{T.P.-207.5m}$ )

- 応答スペクトル比(T.P.-7.5m/T.P.-207.5m)において、水平動の周期約1秒～約2秒、鉛直動の周期約0.5秒～約1秒にピークが見られ、同周期帯にT.P.-207.5m位置の観測記録の応答スペクトルの谷が見られる。

注)本節は、本編資料3.2.3項(補足)に関する補足説明資料。

# 3-7 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比の周期特性の評価 (2/4)



コメントNo.S3-14

—各地震  
—平均  
- - -土標準偏差  
□ : 観測記録の応答スペクトル比の平均にピークが見られる周期帯

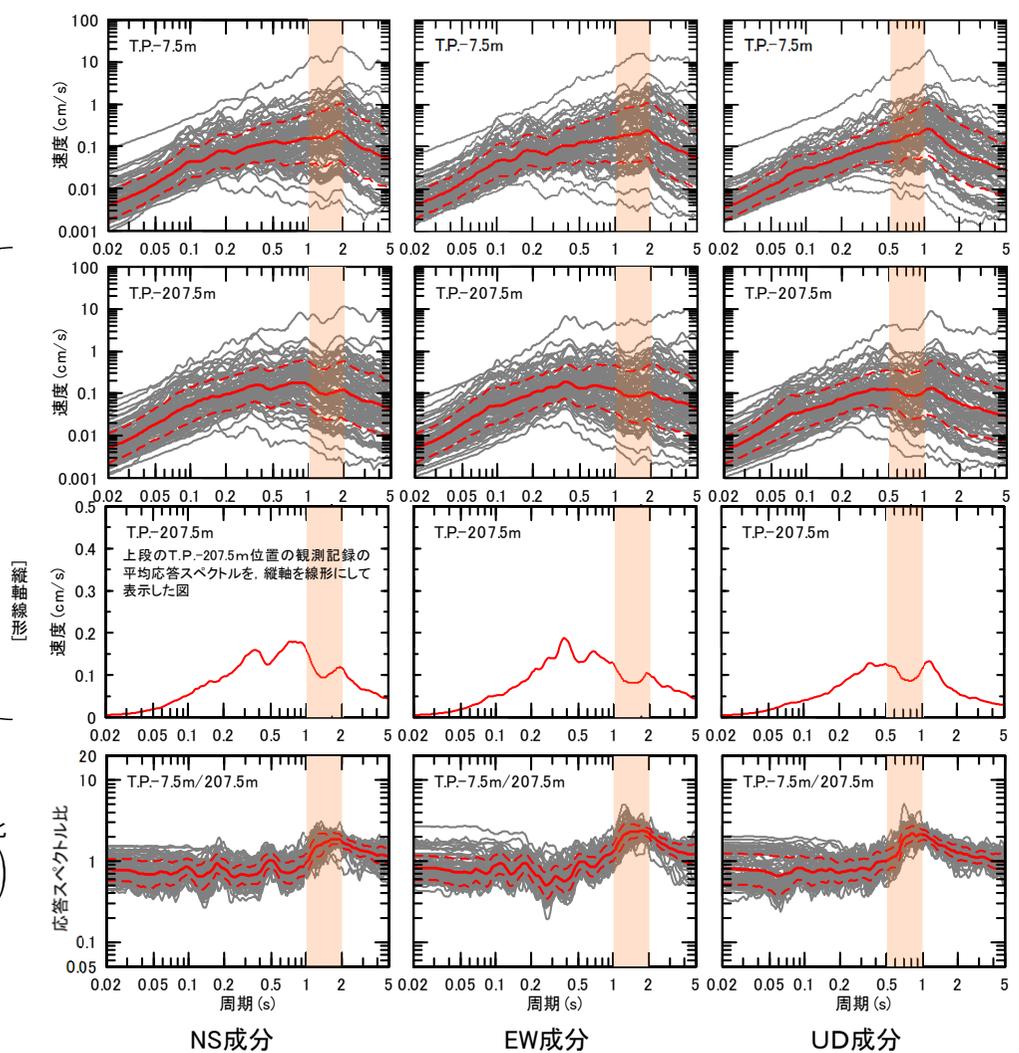
領域3

—各地震  
—平均  
- - -土標準偏差  
□ : 観測記録の応答スペクトル比の平均にピークが見られる周期帯

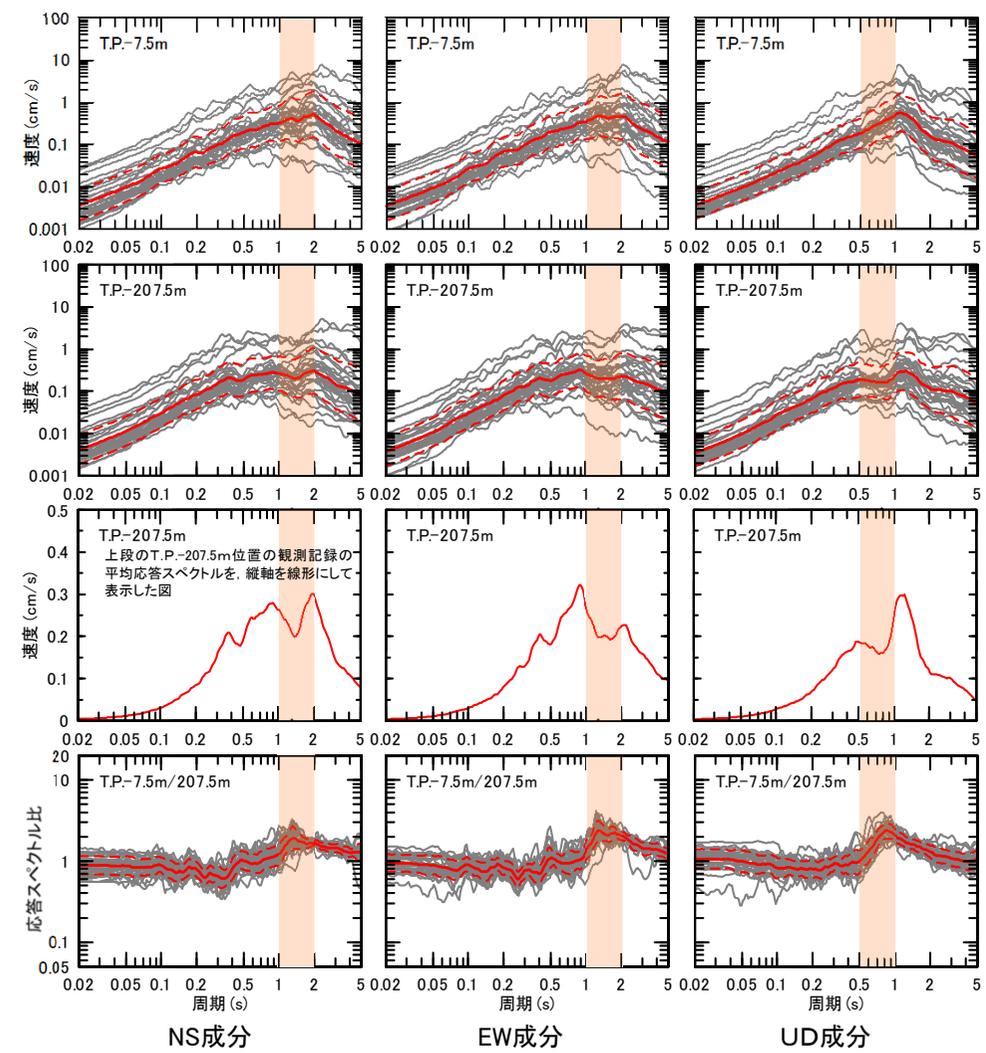
領域4

観測記録の  
応答スペクトル  
(T.P.-7.5m)

観測記録の  
応答スペクトル  
(T.P.-207.5m)



領域3における周期特性の確認



領域4における周期特性の確認

- 応答スペクトル比(T.P.-7.5m/T.P.-207.5m)において、水平動の周期約1秒～約2秒、鉛直動の周期約0.5秒～約1秒にピークが見られ、同周期帯でT.P.-207.5m位置の観測記録の応答スペクトルに谷が見られる。

# 3-7 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比の周期特性の評価 (3/4)



コメントNo.S3-14

—各地震  
—平均  
- - - 土標準偏差

□ : 観測記録の応答スペクトル比の平均にピークが見られる周期帯

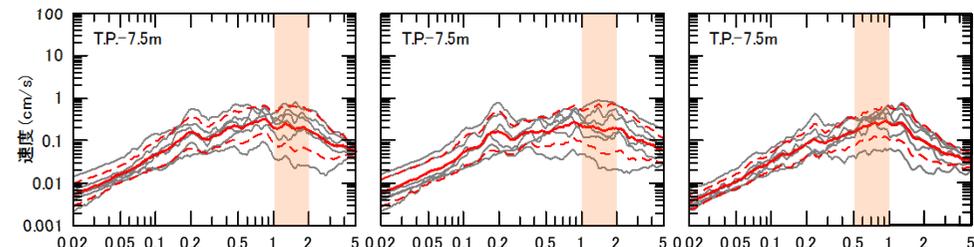
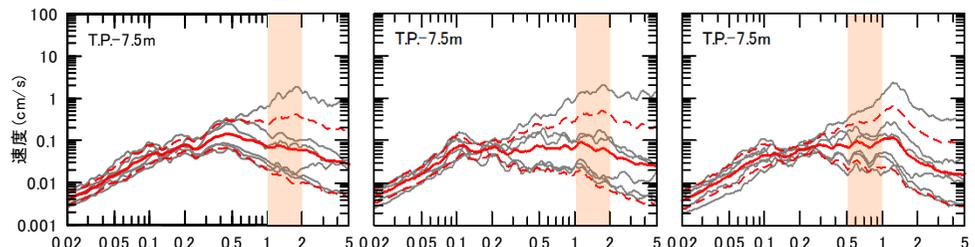
領域5

—各地震  
—平均  
- - - 土標準偏差

□ : 観測記録の応答スペクトル比の平均にピークが見られる周期帯

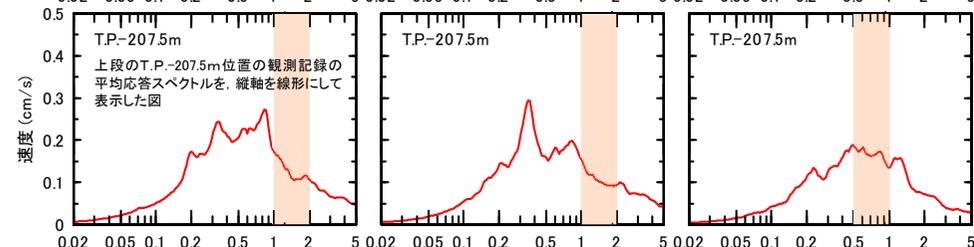
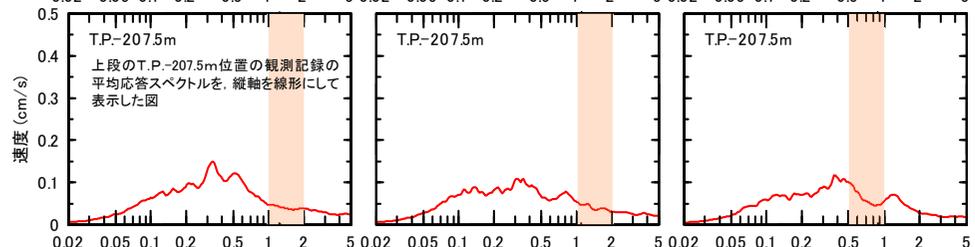
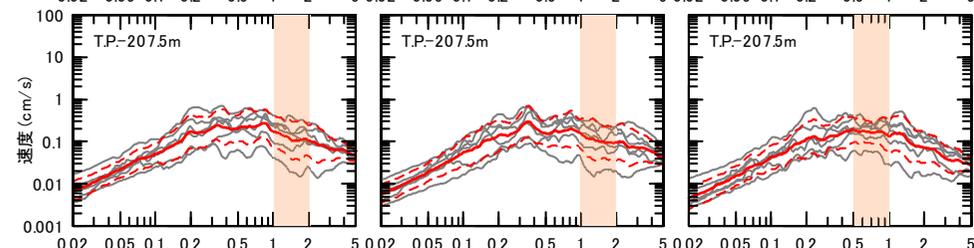
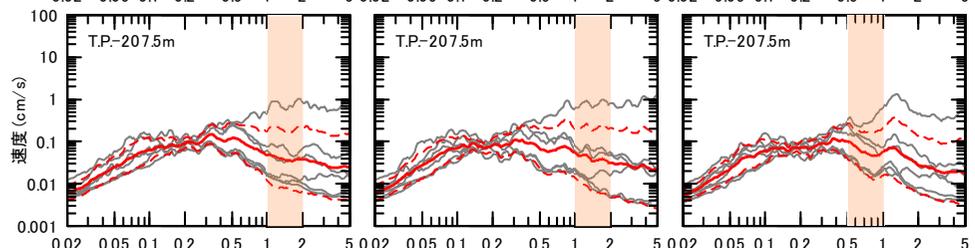
領域6

観測記録の  
応答スペクトル  
(T.P.-7.5m)

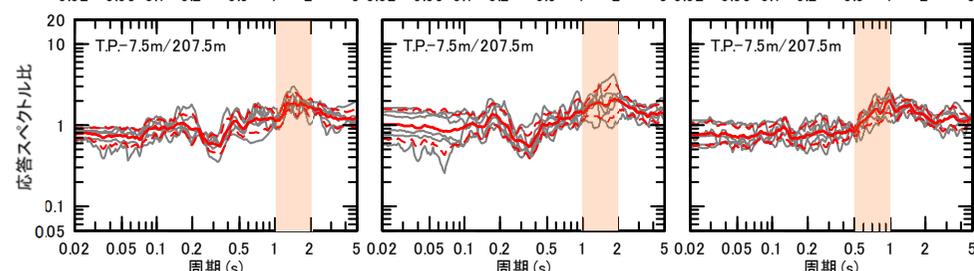
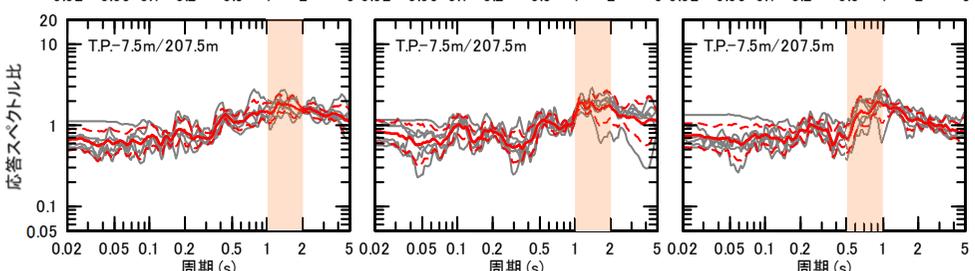


観測記録の  
応答スペクトル  
(T.P.-207.5m)

[形勢描線]



観測記録の  
応答スペクトル比  
( $\frac{T.P.-7.5m}{T.P.-207.5m}$ )



NS成分

EW成分

UD成分

NS成分

EW成分

UD成分

領域5における周期特性の確認

領域6における周期特性の確認

- 領域5及び領域6については、観測記録が少なく、T.P.-207.5m位置の観測記録の応答スペクトルの谷の位置は必ずしも明瞭ではない。
- 応答スペクトル比(T.P.-7.5m/T.P.-207.5m)の傾向は、領域1~4とおおむね同様である。

# 3-7 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比の周期特性の評価 (4/4)



コメントNo.S3-14

—各地震  
—平均  
- - - 標準偏差  
[色付き領域] : 観測記録の応答スペクトル比の平均にピークが見られる周期帯

領域7

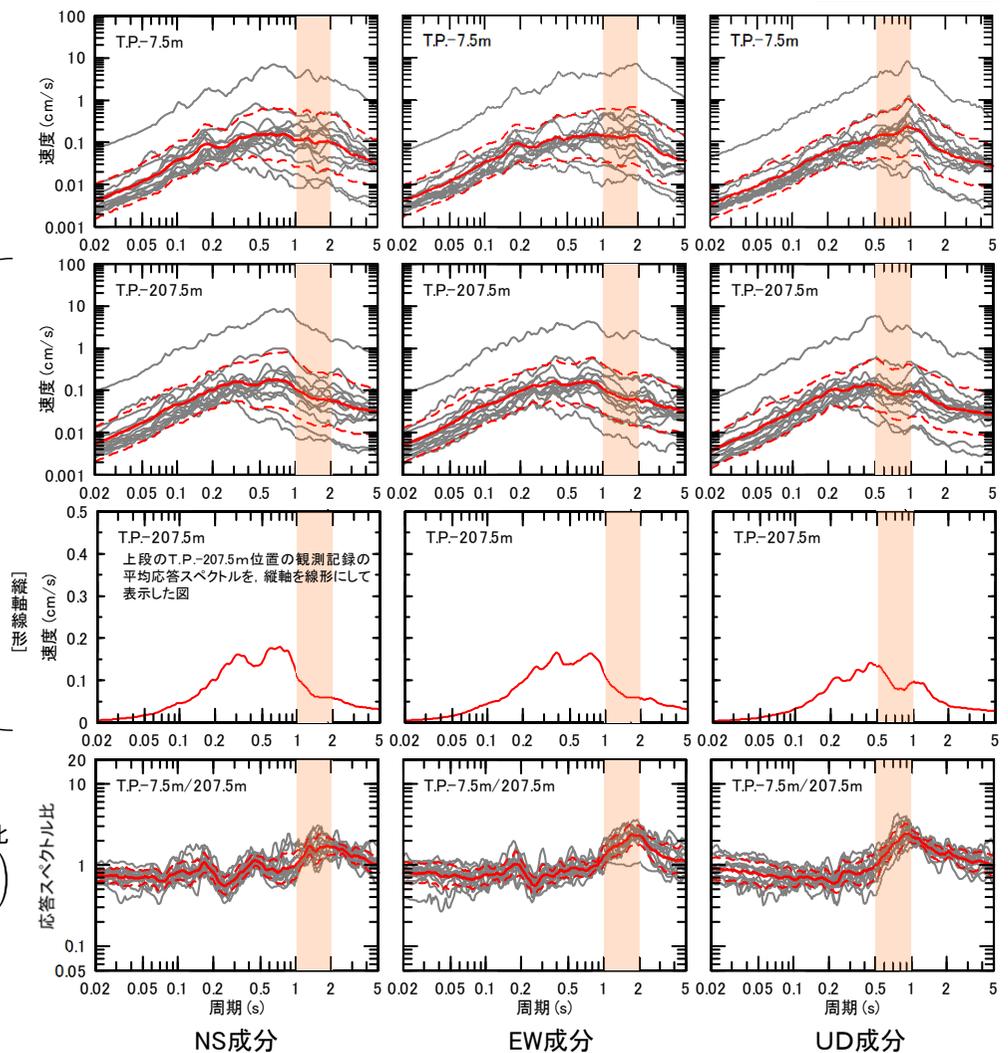
—各地震  
—平均  
- - - 標準偏差  
[色付き領域] : 観測記録の応答スペクトル比の平均にピークが見られる周期帯

領域8

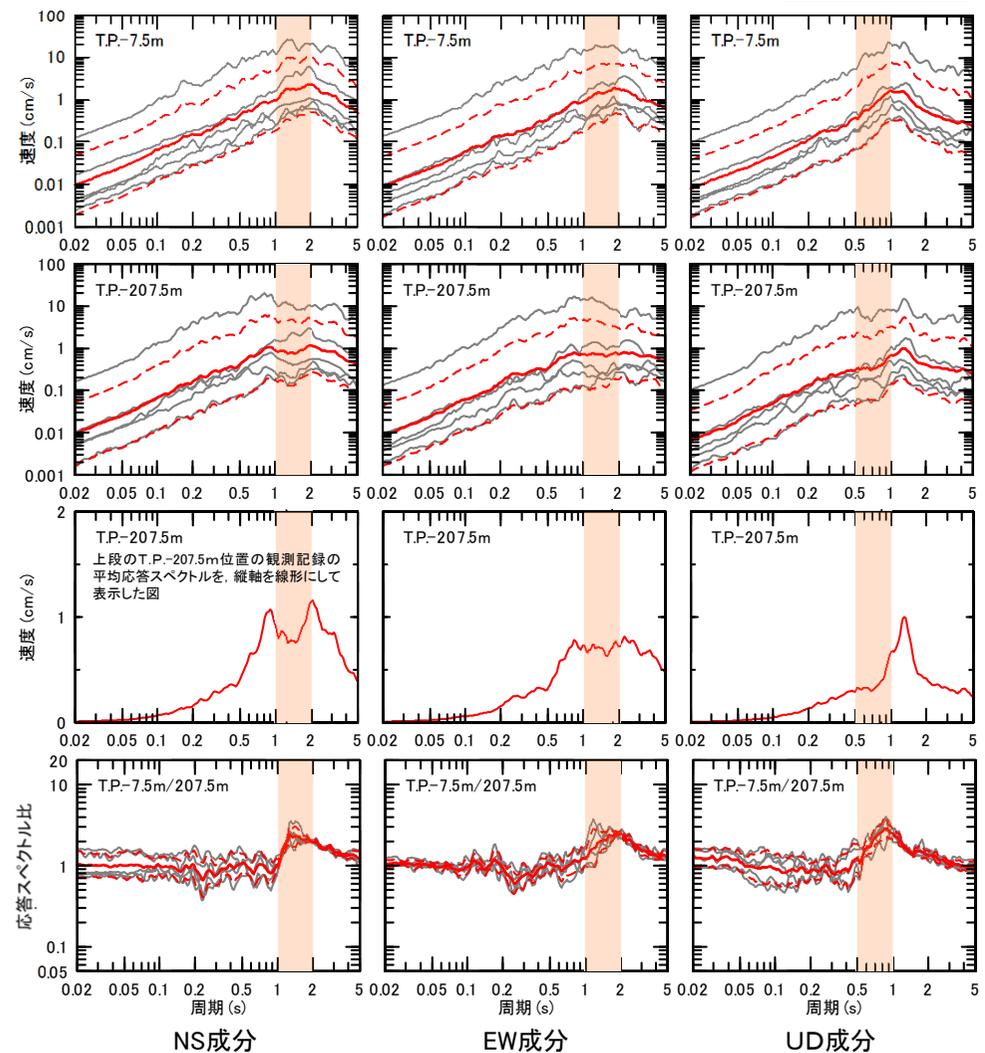
観測記録の  
応答スペクトル  
(T.P.-7.5m)

観測記録の  
応答スペクトル  
(T.P.-207.5m)

観測記録の  
応答スペクトル比  
( $\frac{T.P.-7.5m}{T.P.-207.5m}$ )



領域7における周期特性の確認



領域8における周期特性の確認

- 領域7及び領域8については、領域5及び領域6と同様に観測記録が少なく、T.P.-207.5m位置の観測記録の応答スペクトルの谷の位置は必ずしも明瞭ではない。
- 応答スペクトル比(T.P.-7.5m/T.P.-207.5m)の傾向は、領域1~4とおおむね同様である。

## 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比（1/7）

第822回審査会合  
資料2-2 P.3-16 再掲

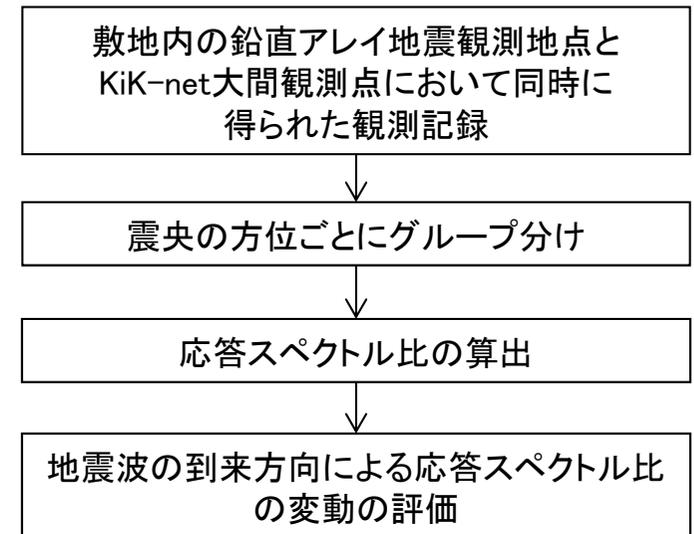
### 検討の目的

敷地周辺の地下構造に、地震動に影響を及ぼすような不整形はないことを確認するために、敷地内の鉛直アレイ地震観測地点及び敷地周辺のKiK-net観測点において同時に得られた観測記録を対象に、地震波の到来方向による応答スペクトル比の変動を評価する。

### 検討方法

敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の地中位置（T.P.-207.5m）及びKiK-net大間観測点の地中位置（標高-91.57m）において同時に観測された、2000年7月から2018年9月までの地震観測記録のうち、マグニチュード3以上かつ震央距離300km以内の172地震の記録を対象に、両観測点における観測記録の応答スペクトル比※を求め、地震波の到来方向による変動を評価する。

KiK-net大間観測点と敷地内の鉛直アレイ地震観測地点との離隔距離は2km程度であり、同一の地震に対してほぼ同じ伝播経路を地震波が伝わってくるとみなすことができる。このため、同一の地震の両観測点における観測記録の応答スペクトル比を計算することにより、震源特性および伝播経路特性による影響を除去することが可能となり、地震波の到来方向による応答スペクトル比の変動を評価することにより、敷地周辺の地下構造による影響を確認することが可能となる。



検討フロー

※応答スペクトル比の評価式

$$R_{\frac{Ohma}{AOMH01}}(T) = \frac{S_{Ohma}(T) \cdot X_{Ohma}}{S_{AOMH01}(T) \cdot X_{AOMH01}}$$

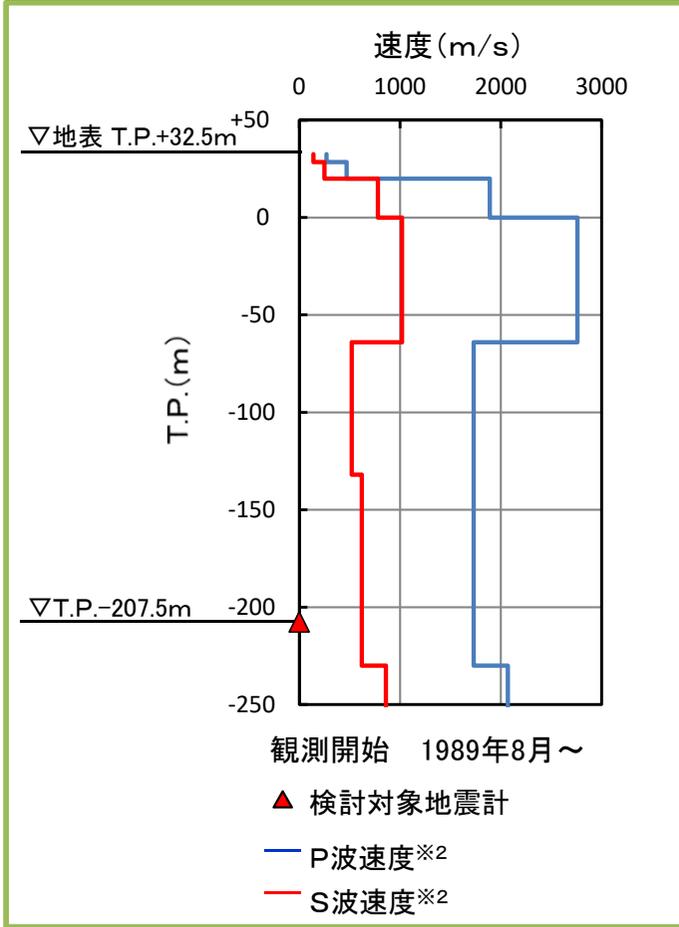
$R_{\frac{Ohma}{AOMH01}}(T)$  : 応答スペクトル比  
 $S_{Ohma}(T)$  : 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の加速度応答スペクトル  
 （地中位置（T.P.-207.5m））  
 $S_{AOMH01}(T)$  : KiK-net大間観測点の加速度応答スペクトル  
 （地中位置（標高-91.57m））  
 $X_{Ohma}$  : 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点からの震源距離  
 $X_{AOMH01}$  : KiK-net大間観測点からの震源距離

# 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比 (2/7)

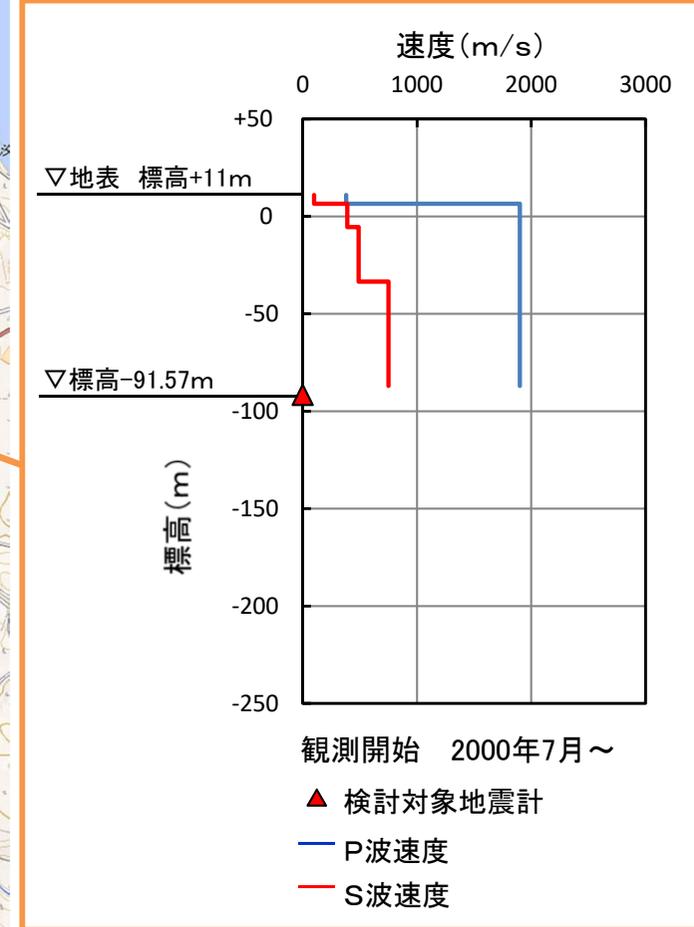
## 地震観測点の速度構造と地震計設置位置

第822回審査会合  
資料2-2 P.3-17 再掲

敷地内の鉛直アレイ地震観測地点※1における  
速度構造と地震計の設置位置



KiK-net大間観測点における  
速度構造と地震計の設置位置



※1 : 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点の詳細については本編資料P.5-12を参照

※2 : SB-042孔におけるPS検層結果

上記の速度構造図は、防災科学技術研究所 強震観測網 (<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>)の観測点情報に基づき作成。

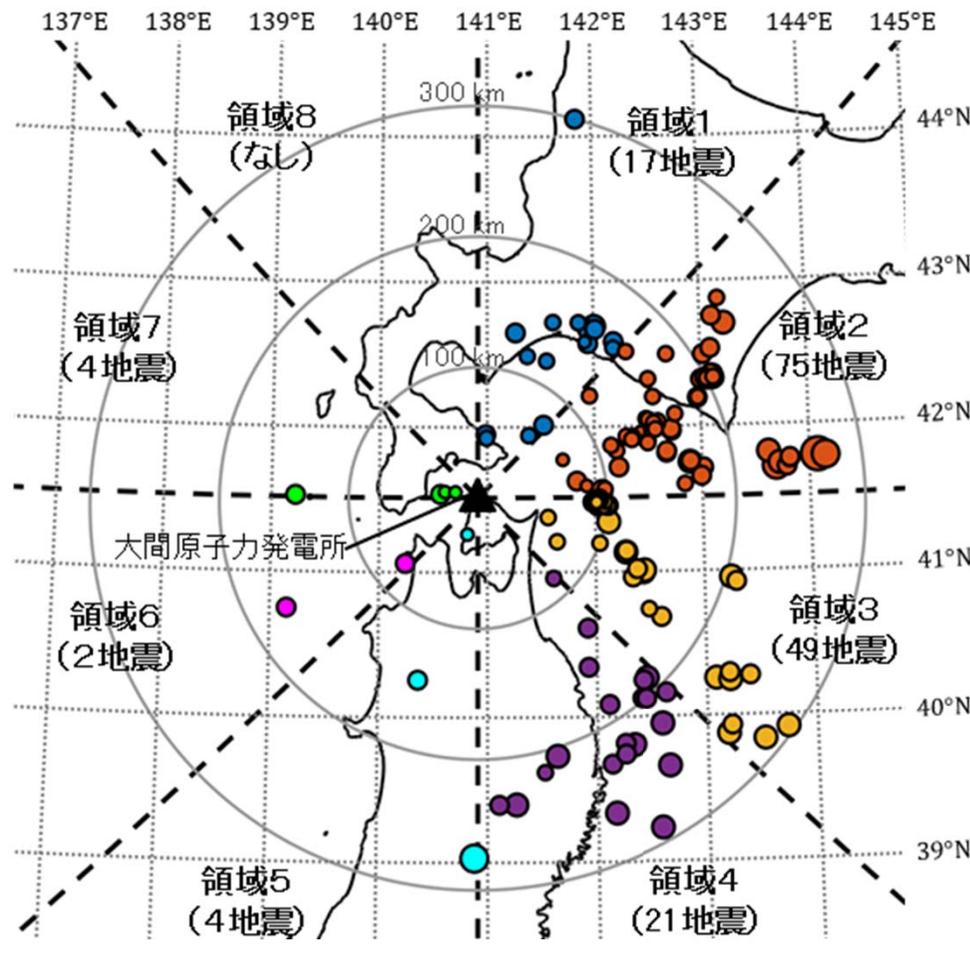
- 本検討においては、敷地内の鉛直アレイ地震観測地点のT.P.-207.5m位置及びKiK-net大間観測点の標高-91.57m位置の地震計において同時に得られた観測記録を用いた。

## 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比 (3/7)

## 検討に用いた地震

- 検討には以下の条件を満たす172地震の観測記録を用いた。
  - KiK-net大間観測点の観測開始(2000年7月)から2018年9月までの地震
  - 鉛直アレイ地震観測地点及びKiK-net大間観測点において、同時に観測記録が得られた地震
  - 鉛直アレイ地震観測地点を基準としてマグニチュード3以上かつ震央距離300km以内の地震
  - 十分なS/N比を有する観測記録

第822回審査会合  
資料2-2 P.3-18 再掲



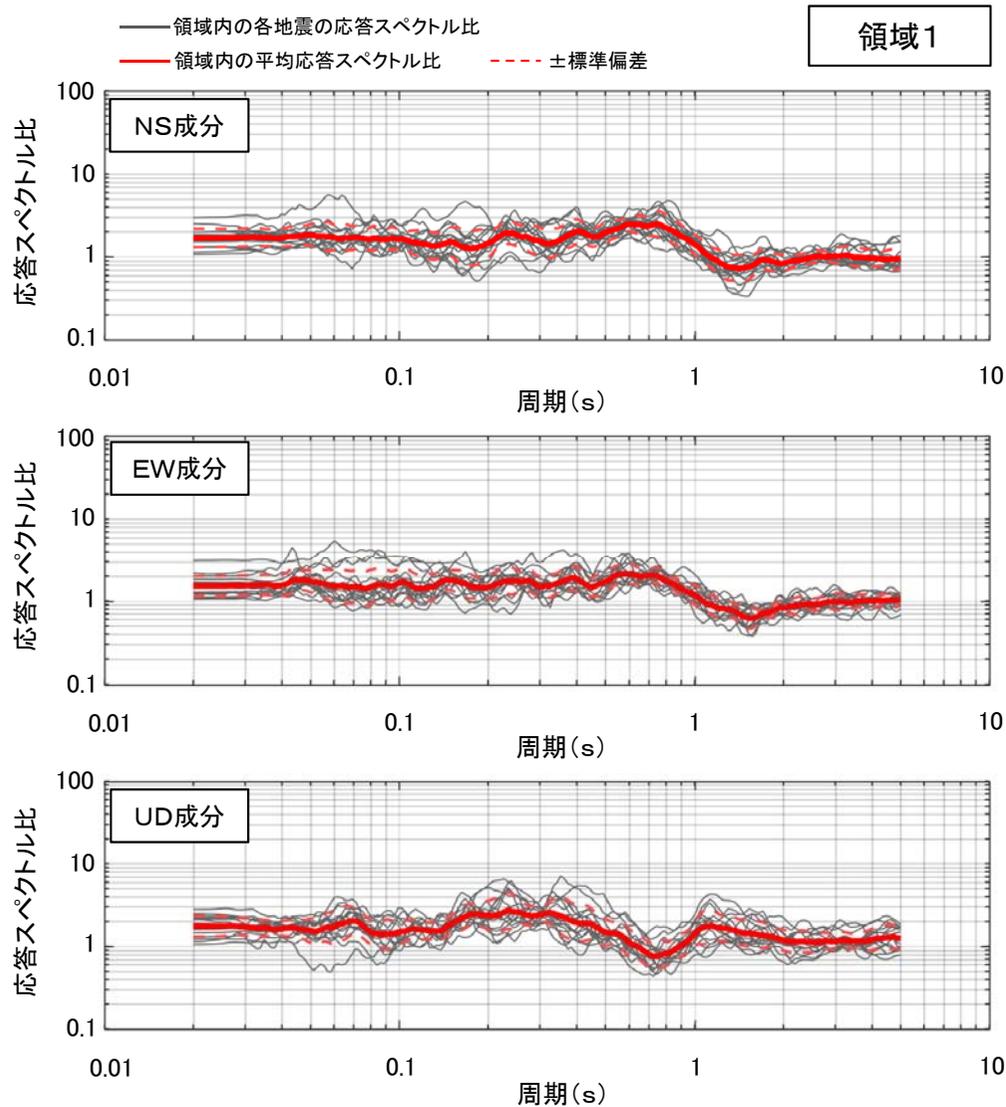
凡例

- |             |       |       |
|-------------|-------|-------|
| ○ 7 ≤ M     | ● 領域1 | ● 領域5 |
| ○ 6 ≤ M < 7 | ● 領域2 | ● 領域6 |
| ○ 5 ≤ M < 6 | ● 領域3 | ● 領域7 |
| ○ 4 ≤ M < 5 | ● 領域4 |       |
| ○ 3 ≤ M < 4 |       |       |

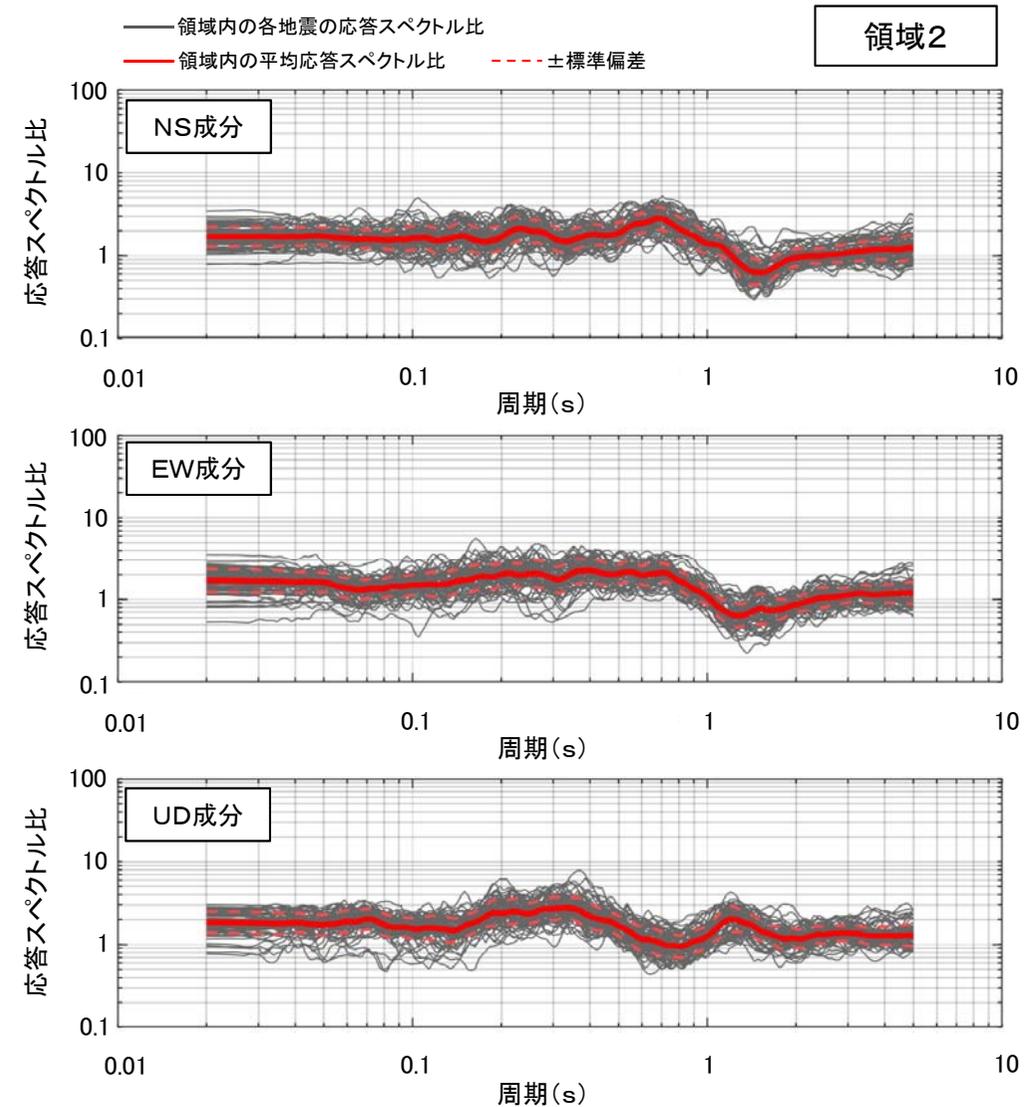
検討に用いた地震の震央分布

## 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比 (4/7)

第822回審査会合  
資料2-2 P.3-19 一部修正



領域1における応答スペクトル比

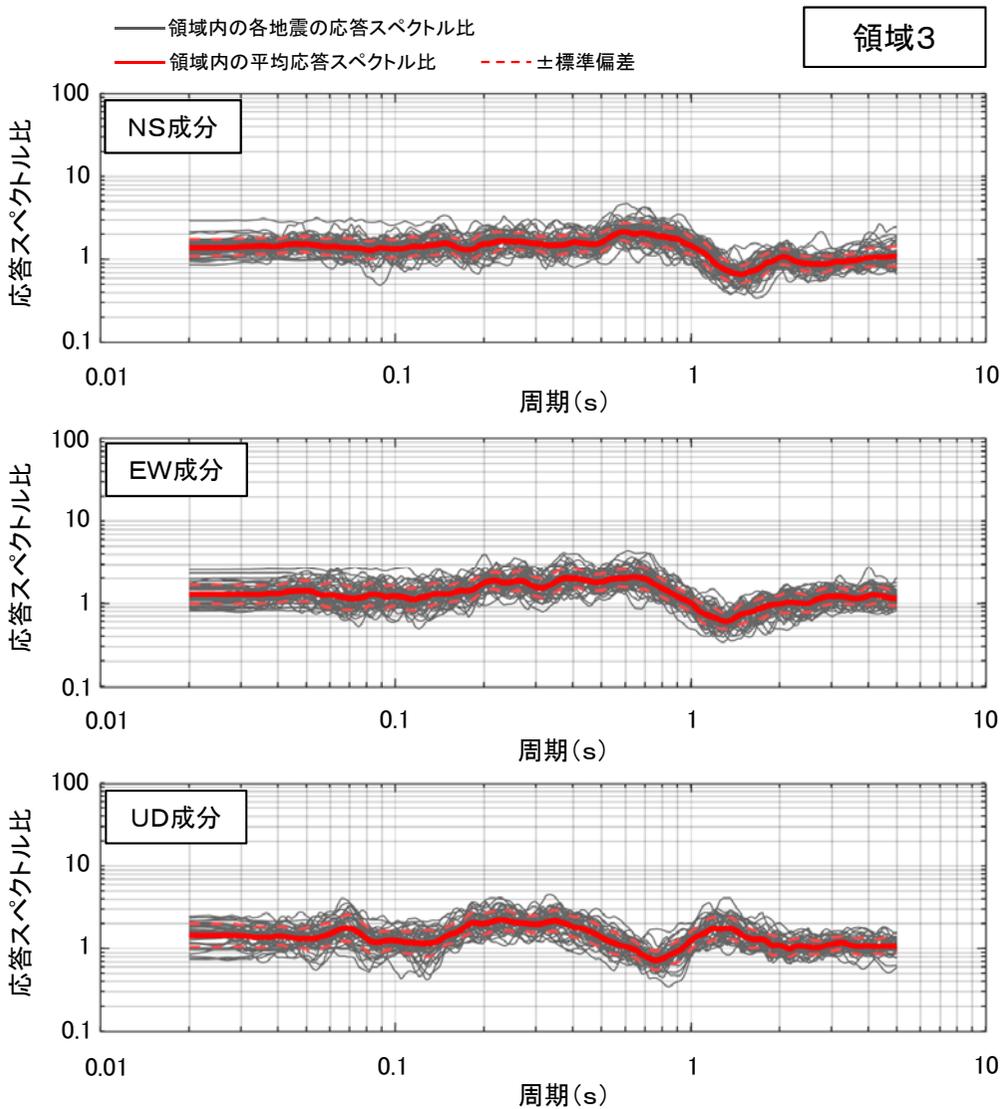


領域2における応答スペクトル比

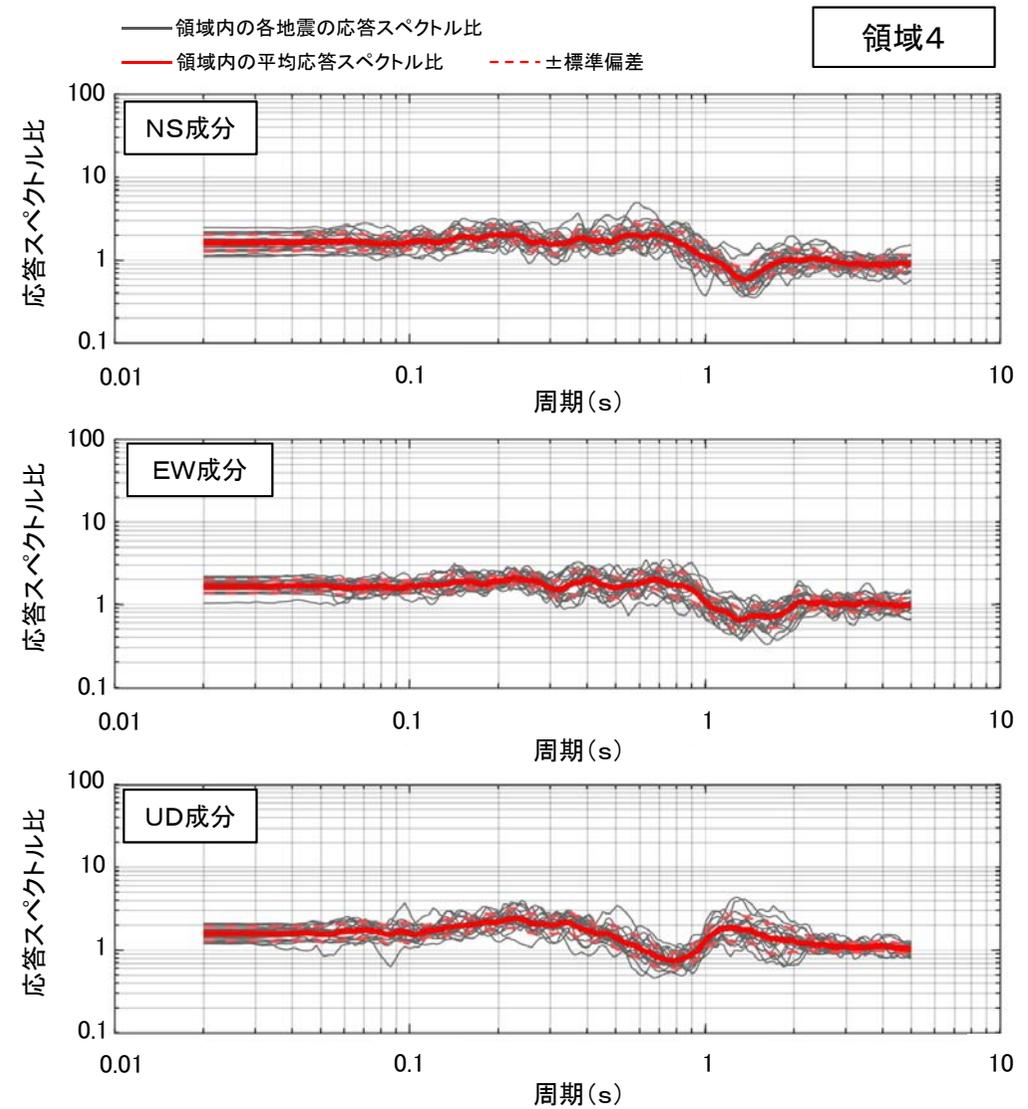
- 領域1～7において、応答スペクトル比のばらつきは小さく、地震によって特異な傾向は認められない。

# 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比 (5/7)

第822回審査会合  
資料2-2 P.3-20 一部修正



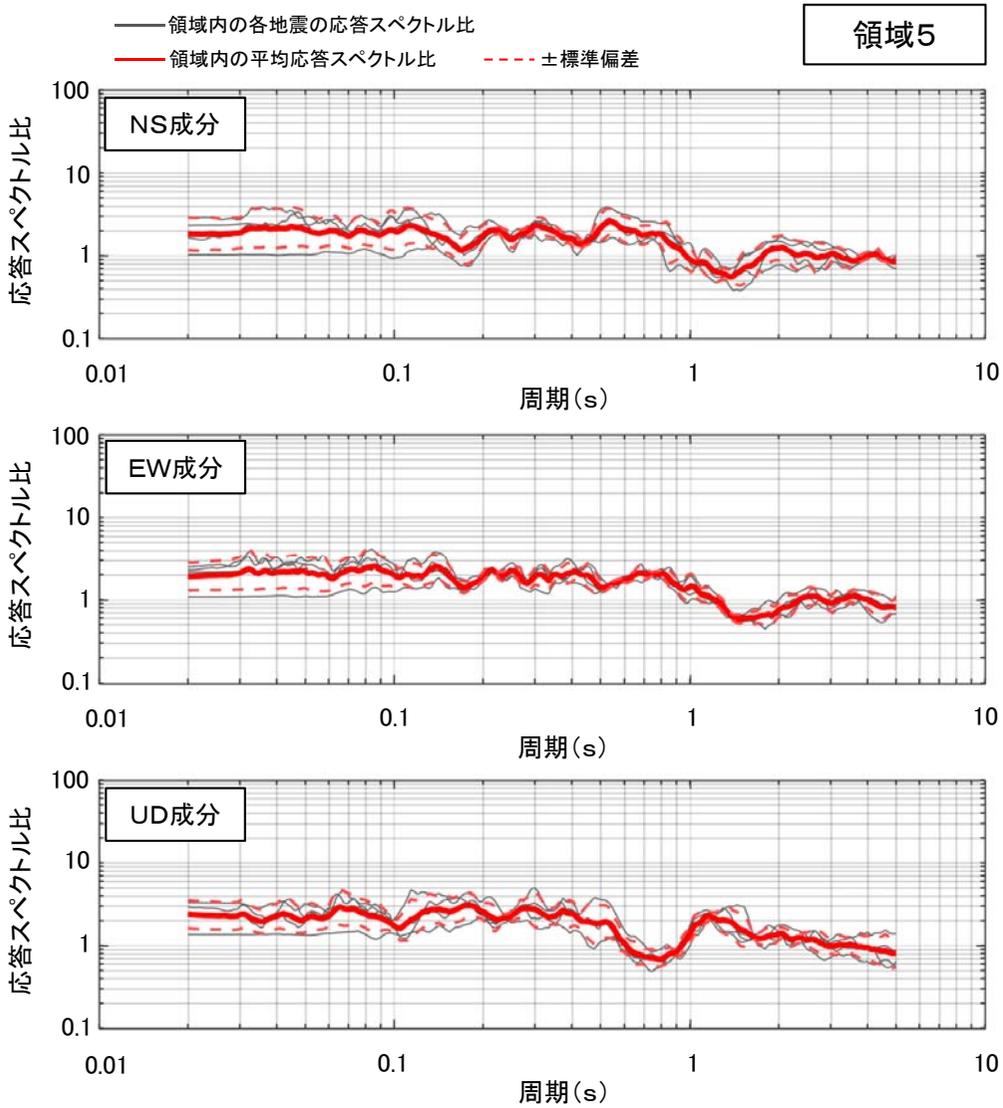
領域3における応答スペクトル比



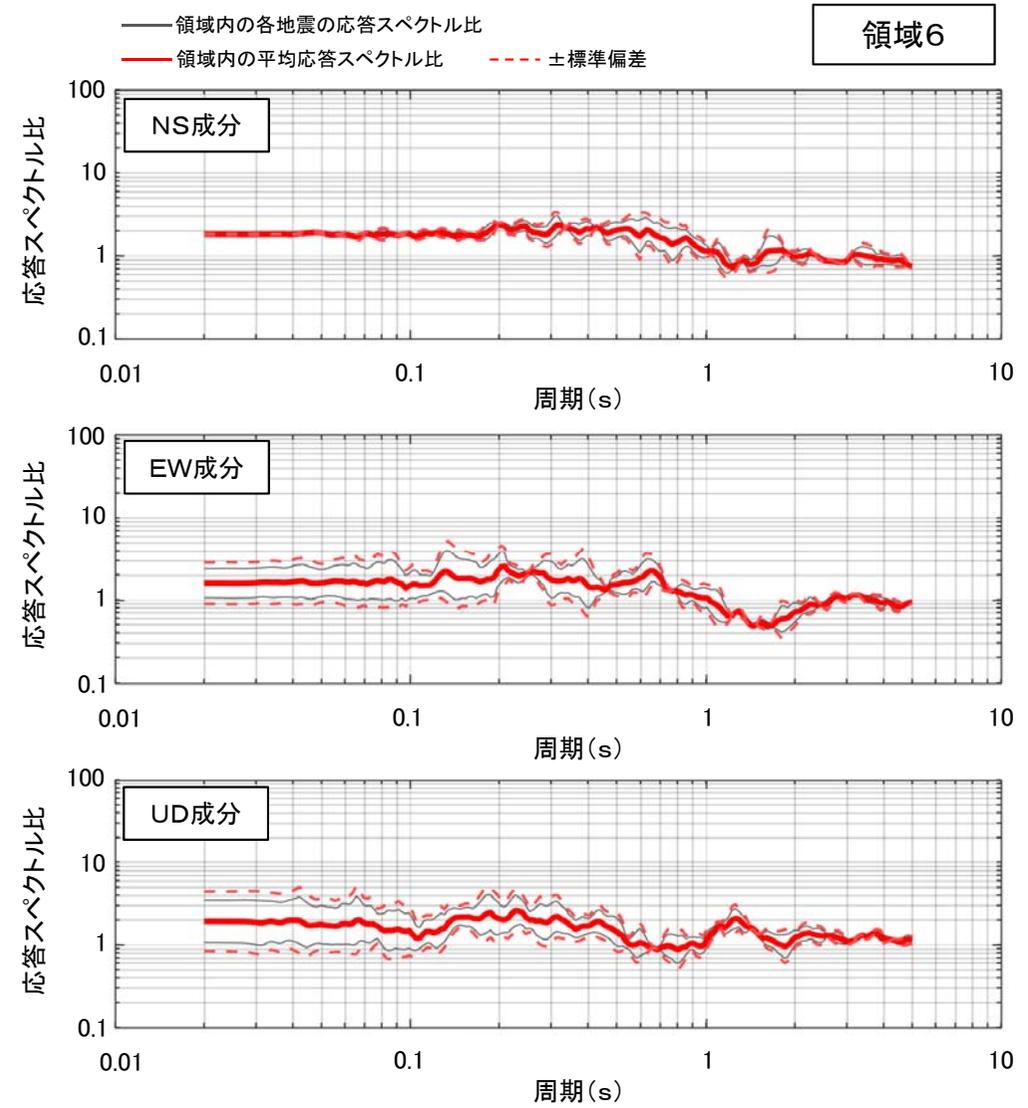
領域4における応答スペクトル比

# 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比 (6/7)

第822回審査会合  
資料2-2 P.3-21 一部修正



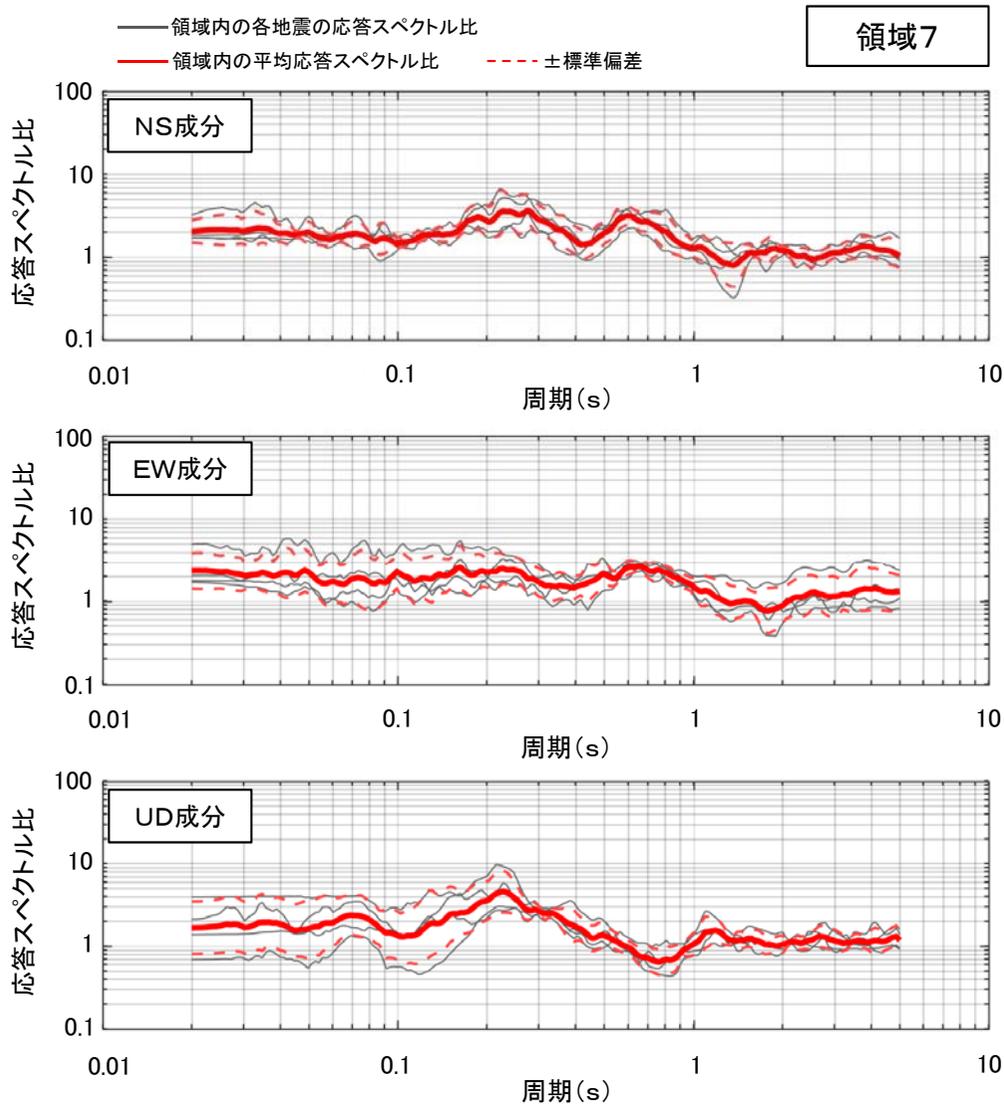
領域5における応答スペクトル比



領域6における応答スペクトル比

# 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比 (7/7)

第822回審査会合  
資料2-2 P.3-22 一部修正

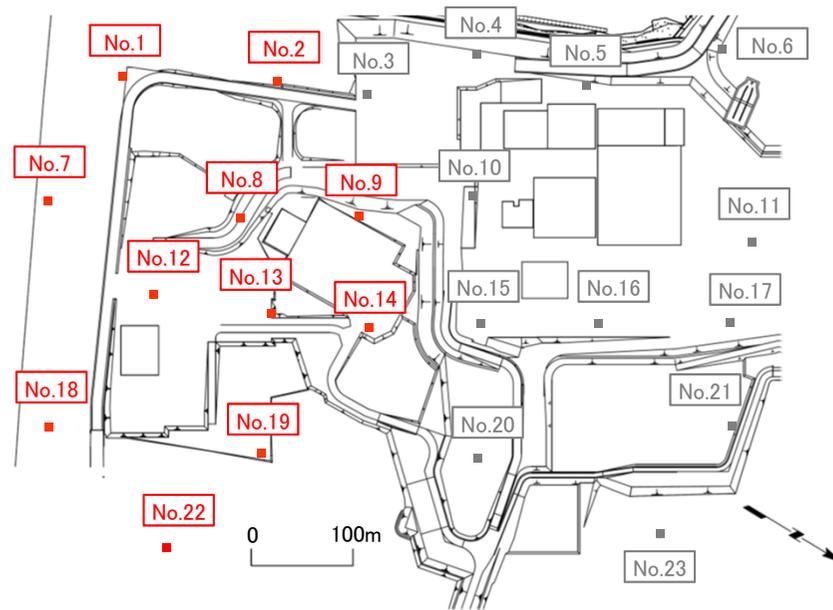
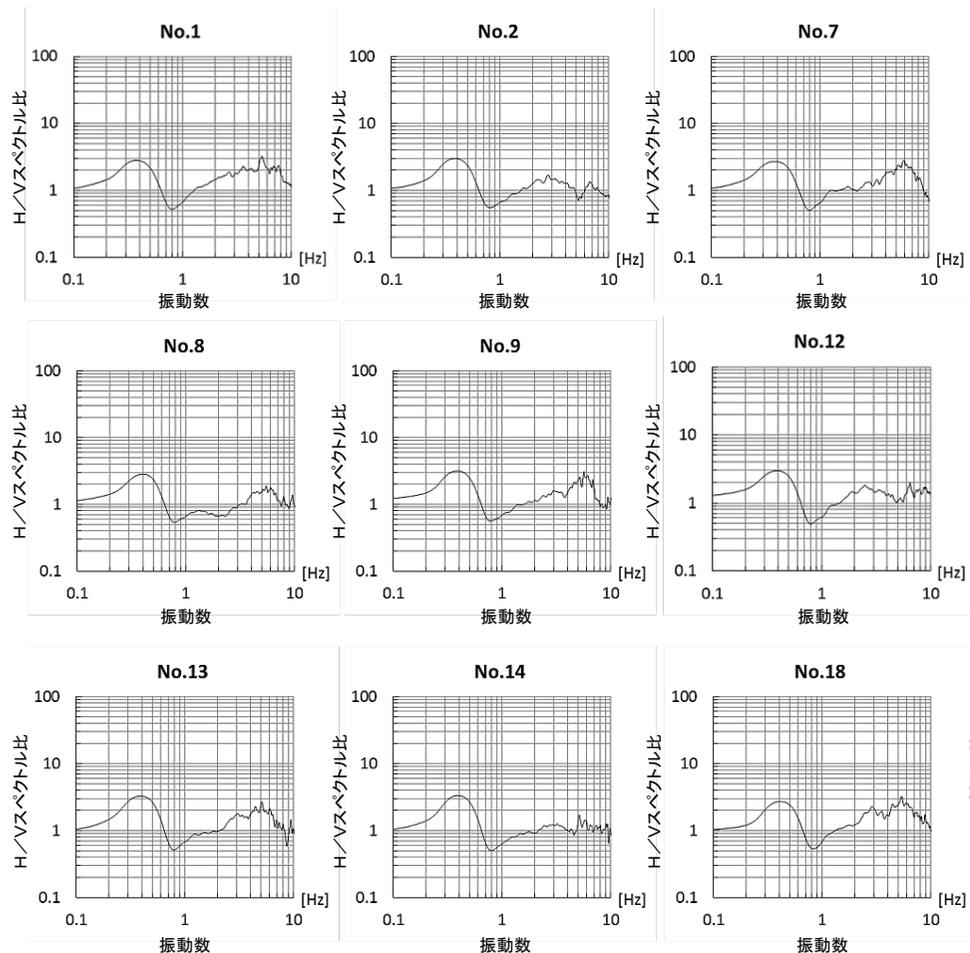


領域8は対象地震なし

領域7における応答スペクトル比



## 各観測点の常時微動のH/Vスペクトル比の検討結果 (1/2)



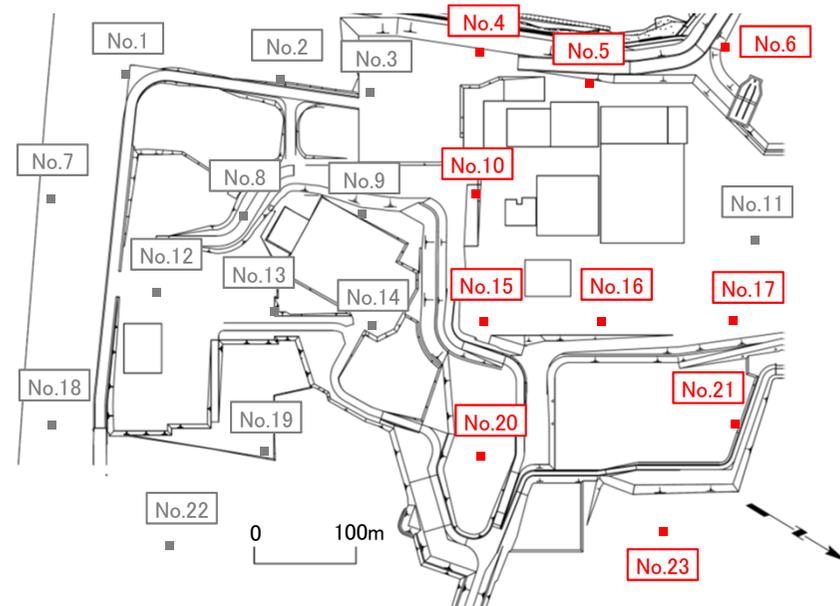
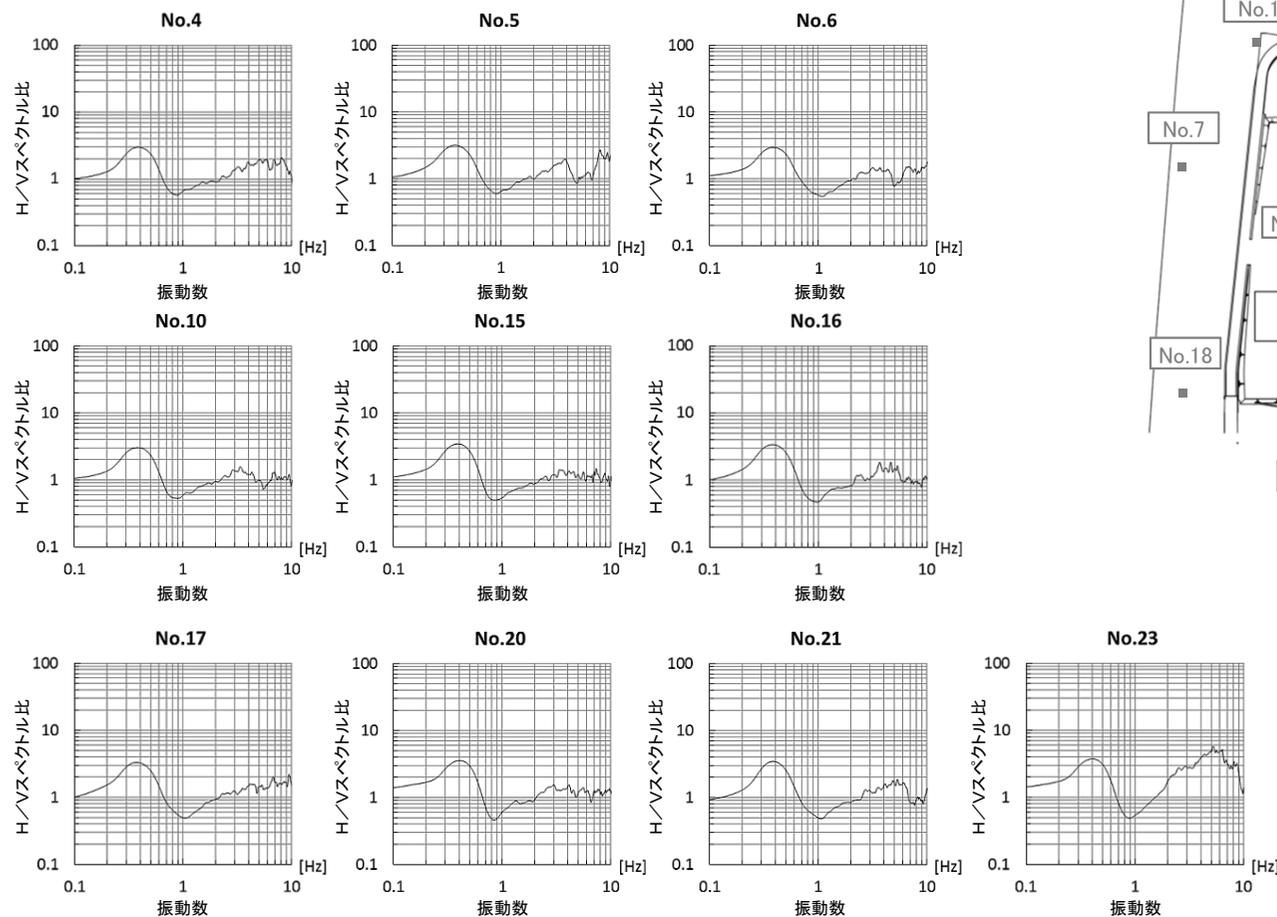
平面アレイ微動観測点

- H/Vスペクトル比の観測点位置の違いによる変動は小さく、深部構造はおおむね同様であると考えられる。
- 一方、高振動数側ではH/Vスペクトル比の変動がみられるが、各観測点における表層の違いによるものと考えられる。

注)本節は、本編資料3.3節に関する補足説明資料。



## 各観測点の常時微動のH/Vスペクトル比の検討結果 (2/2)



平面アレイ微動観測点

- H/Vスペクトル比の観測点位置の違いによる変動は小さく、深部構造はおおむね同様であると考えられる。
- 一方、高振動数側ではH/Vスペクトル比の変動がみられるが、各観測点における表層の違いによるものと考えられる。

※ : No.3は欠測, No.11はノイズの影響がみられるため、評価に用いていない。

## 5. 一次元地下構造モデルの作成

1. 地震動評価に用いる地下構造モデルの作成の流れ
2. 地質調査及び地球物理学的調査による地下構造評価
  - 2-1 敷地周辺の重力探査の内容
  - 2-2 各種弾性波探査の内容
    - 2-2-1 各種弾性波探査及びトモグラフィ解析の流れ
    - 2-2-2 敷地周辺陸域の屈折法地震探査の内容
    - 2-2-3 敷地周辺海域の屈折法地震探査の内容
    - 2-2-4 敷地周辺の陸海連続弾性波探査の内容
    - 2-2-5 反射法地震探査及びオフセットVSP探査の内容
    - 2-2-6 各種屈折法地震探査データによるトモグラフィ解析の内容
  - 2-3 深部ボーリングの調査結果(柱状図及びコア写真)
  - 2-4 地震基盤付近のカッティングス及びスポットコアによる岩種判定
  - 2-5 デイサイトの分布について
  - 2-6 大間層の性状について
  - 2-7 三次元地下構造モデル作成範囲(30km×40km)全体の作成結果
3. 観測記録による地下構造評価
  - 3-1 検討において対象とした周期帯について
  - 3-2 佐藤ほか(2011)の概要
  - 3-3 各観測点における基準化スペクトルの検討
  - 3-4 基盤位置における基準化スペクトルの算定に用いた地下構造モデル
  - 3-5 各観測点における表土の層厚
  - 3-6 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比
  - 3-7 領域ごとの異なる深度の応答スペクトル比の周期特性の評価
  - 3-8 領域ごとのKiK-net大間観測点との応答スペクトル比
  - 3-9 各観測点の常時微動のH/Vスペクトル比
4. 地下構造評価のまとめ
5. 一次元地下構造モデルの作成
  - 5-1 規制基準・審査ガイドにおける要求事項との関係について
  - 5-2 基盤の地震動を評価する位置の設定の妥当性の確認(補足)
  - 5-3 最適化地盤モデル(浅部)  $V_p \cdot Q_p$ 構造
  - 5-4 観測記録の伝達関数の標準偏差
  - 5-5 観測記録とシミュレーション解析結果との比較
  - 5-6 玄武岩の上面標高
  - 5-7 頭打ちQ値モデルについて
  - 5-8 観測記録のP波部H/Vスペクトル比等の標準偏差
  - 5-9 スペクトルインバージョン解析の概要
  - 5-10 微動アレイ観測における1次高次モードの詳細について
  - 5-11 地震波干渉法による解析の概要について
  - 5-12 最大振幅法によるQ値の測定について
  - 5-13 地震基盤以深のQ値の妥当性について
  - 5-14 地盤モデルの解放基盤表面以浅の有無の影響について
  - 5-15 平成26年12月変更申請時の地下構造モデル
6. まとめ

## 5-1 規制基準・審査ガイドにおける要求事項との関係について (1/3)

## 規制基準・審査ガイドにおける要求事項

コメントNo.S3-12

第822回審査会合  
資料2-2 P.5-2 再掲

【耐震設計に関する要求事項】

【地下構造評価に関する要求事項】

## 規則 第四条 第3項

耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力(以下「基準地震動による地震力」という。))に対して安全機能が損われるおそれがないものでなければならない。

## 規則の解釈(別記2) 第4条 第5項の一

基準地震動は、(中略)解放基盤表面における(中略)地震動として(中略)策定すること。

上記の「解放基盤表面」とは、基準地震動を策定するために、基盤面上の表層及び構造物が無いものとして仮想的に設定する自由表面であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な拡がりを持って想定される基盤の表面をいう。ここでいう上記の「基盤」とは、おおむねせん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ 以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていないものとする。

## 規則の解釈(別記2) 第4条 第5項の四

1. 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の地震動評価においては、適用する評価手法に必要な特性データに留意の上、地震波の伝播特性に係る次に示す事項を考慮すること。
  - ① 敷地及び敷地周辺の地下構造(深部・浅部地盤構造)が地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造を評価するとともに、地震基盤の位置及び形状、岩相・岩質の不均一性並びに地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を評価すること。なお、評価の過程において、地下構造が成層かつ均質と認められる場合を除き、三次元的な地下構造により検討すること。
  - ② 上記①の評価の実施に当たって必要な敷地及び敷地周辺の調査については、地域特性及び既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査並びに二次元又は三次元の物理探査等を適切な手順と組合せて実施すること。

## 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド I, 3.3.2 断層モデルを用いた手法による地震動評価

- (3) 統計的グリーン関数法及びハイブリッド法(理論的手法と統計的あるいは経験的グリーン関数法を組み合わせたものをいう。以下同じ。)による地震動評価においては、地質・地質構造等の調査結果に基づき、各々の手法に応じて地震波の伝播特性が適切に評価されていることを確認する。
- (4) 経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法、ハイブリッド法以外の手法を用いる場合には、その手法の妥当性が示されていることを確認する。
- ③ 統計的グリーン関数法及びハイブリッド法による地震動評価
  - 1) 統計的グリーン関数法やハイブリッド法による地震動評価においては、震源から評価地点までの地震波の伝播特性、地震基盤からの増幅特性が地盤調査結果等に基づき評価されていることを確認する。
- ⑤ 地下構造モデルの設定
  - 2) 地震動評価において、震源領域から地震基盤までの地震波の伝播特性に影響を与える「地殻・上部マントル構造」、地震基盤から解放基盤までの「広域地下構造」、解放基盤から地表面までの「浅部地下構造」を考慮して、地震波速度及び減衰定数等の地下構造モデルが適切に設定されていることを確認する。(中略)
  - 3) 地下構造モデルの設定においては、地下構造(深部・浅部地下構造)が地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、地層の傾斜、断層、褶曲構造等の地質構造を評価するとともに、地震発生層の上端深さ、地震基盤・解放基盤の位置や形状、地下構造の三次元不整形性、地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性が適切に評価されていることを確認する。

- 規制基準・審査ガイド(以下「規制基準等」という。)における要求事項について、耐震設計に関する事項と地下構造評価に関する事項に分類して整理した。
- 各色の要求事項に対する地下構造モデルの設定方針をP.5-3に示す。

注)本節は、本編資料5.1節に関する補足説明資料。

## 5-1 規制基準・審査ガイドにおける要求事項との関係について (2/3)

## 規制基準等における要求事項に対する地下構造モデルの設定方針

コメントNo.S3-12

第822回審査会合  
資料2-2 P.5-3 一部修正

## 【耐震設計に関する事項】

重要な安全機能を有する施設※1に作用する地震力の評価

## ① 解放基盤表面の位置

- 規制基準等において、**重要な安全機能を有する施設※1は、基準地震動による地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければなりませんとされている。**
- 当該事項を踏まえ、重要な安全機能を有する施設に作用する地震力は、基準地震動に基づき評価するため、基準地震動を定義する**解放基盤表面の位置**は、ほぼ水平で相当な拡がりを持ち、風化が認められない大間層にて、おおむね $V_s=700\text{m/s}$ 以上となる位置に設定し、**重要な安全機能を有する施設※1の基礎地盤におけるT.P.-260mの位置とする。**

※1：重要な安全機能を有する施設とは、耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設をいう。

- 規制基準等における要求事項※2を踏まえ、解放基盤表面の位置や基盤の地震動を評価する位置の設定の考え方等について、整理した。

※2：①～⑤の各項目の**赤字**は、規制基準等の要求事項を示す。また、各項目の配色は、P.5-2に示した規制基準等の要求事項に対応させた。

- 地下構造モデルの設定方針について、模式図をP.5-4に示す。

## 【地下構造評価に関する事項】

鉛直アレイ地震観測地点における地震動評価に用いる地下構造モデルの作成

## ② 地震観測記録の活用

- 規制基準等において、**地盤の減衰特性を適切に評価するための調査として、地震観測記録の分析を実施することとされている。**
- 当該事項を踏まえ、地震波の伝播特性を適切に評価するために、地震観測記録に基づき地下構造モデルを作成することとし、**地震観測記録の得られた鉛直アレイ地震観測地点において、地下構造モデルの最適化を行う。**

## ③ 基盤の地震動を評価する位置

- 規制基準等において、**敷地及び敷地周辺の地下構造(深部・浅部 地盤構造)が地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜等の地質構造や地盤の減衰特性を適切に評価するとされている。**
- 当該事項を踏まえ、敷地の地質構造を評価すると、重要な安全機能を有する施設※1の基礎地盤における解放基盤表面(T.P.-260m)は、敷地全体でおおむね水平に分布する地層(大間層)にある。原子炉建屋付近では $V_s=900\text{m/s}$ 程度となる酸性凝灰岩層にあり、この層は、鉛直アレイ地震観測地点へ緩やかに傾斜して連続し、同地点のT.P.-230m位置に分布するとともに、原子炉建屋付近と同等の地震波速度( $V_s=860\text{m/s}$ )となっている。
- 原子炉建屋設置位置の解放基盤表面(T.P.-260m)と、鉛直アレイ地震観測地点におけるT.P.-230m位置の、地震基盤からの増幅特性は整合的である。
- 以上の敷地の地質構造および速度構造を踏まえ、鉛直アレイ地震観測地点における解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、**T.P.-230m位置を、基盤の地震動を評価する位置とする。**

## ④ 地下構造モデルの作成

- 規制基準等において、**震源領域から地震基盤までの「地殻・上部マントル構造」、地震基盤から解放基盤までの「広域地下構造」、解放基盤から地表面までの「浅部地下構造」を考慮して、地下構造モデルが適切に設定されていることを確認するとされている。**
- 当該事項を踏まえ、基盤の地震動を評価する位置より浅部の「浅部地下構造モデル」及び深部の「深部地下構造モデル」をそれぞれ作成する。

水平成層仮定が成り立つことの確認

## ⑤ 水平成層仮定が成り立つことの確認

- 規制基準等において、**地下構造が成層かつ均質と認められるか確認するとされている。**
- 当該事項を踏まえ、下記の検討を行い、水平成層仮定が成り立つことを確認する。
  - 地質調査、地球物理学的調査。
  - 三次元地下構造モデルの作成及びそこから切出した二次元不整形FEMモデルによる解析的検討。
  - 観測記録に基づく、地震波の到来方向及び敷地内の位置の違いによる地盤増幅特性の変動の評価。

# 5-1 規制基準・審査ガイドにおける要求事項との関係について (3/3)

コメントNo.S3-12

第822回審査会合  
資料2-2 P.5-4 一部修正

## 地下構造モデルの設定方針の模式図

【耐震設計に関する事項】

【地下構造評価に関する事項】

重要な安全機能を有する施設に作用する地震力の評価

鉛直アレイ地震観測地点における地震動評価に用いる地下構造モデルの作成

水平成層仮定が成り立つことの確認

原子炉建屋等の重要な安全機能を有する施設

②地震観測記録の活用  
観測記録

設計用入力地震動の算定

PS検層

地質・地質構造調査

PS検層

①解放基盤表面の位置

解放基盤表面は、ほぼ水平で相当な拡がりを持ち、風化が認められない大間層にて、原子炉建屋等の重要な安全機能を有する施設の基礎地盤において、おおむね  $V_s=700\text{m/s}$  以上となる T.P.-260m 位置に設定する。(原子炉建屋付近では酸性凝灰岩層、 $V_s=900\text{m/s}$  程度)

解放基盤表面 (T.P.-260m) は、敷地全体でおおむね水平に分布する地層 (大間層) にある。原子炉建屋付近では酸性凝灰岩層にあり、この層は、鉛直アレイ地震観測地点へ緩やかに傾斜して連続している。

③基盤の地震動を評価する位置

鉛直アレイ地震観測地点における解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、T.P.-230m 位置を、基盤の地震動を評価する位置とする。(酸性凝灰岩層、 $V_s=860\text{m/s}$ )

⑤水平成層仮定が成り立つことの確認

水平成層仮定が成り立つことを確認

地質調査及び地球物理学的調査

3次元地下構造モデルの作成及びそこから切出した2次元不整形FEMモデルによる解析的検討

観測記録に基づく、地震波の到来方向及び敷地内の位置の違いによる地盤増幅特性の変動の評価

④地下構造モデルの作成

基盤の地震動を評価する位置より浅部の「浅部地下構造モデル」及び深部の「深部地下構造モデル」をそれぞれ作成する。

設計用入力地震動の算定に当たり入力

基準地震動の策定

検討用地震の地震動評価

• P.5-3に示す地下構造モデルの設定方針について、模式図に示す。(P.5-3に示す設定方針の各項目について、番号及び色を揃えて示す。)

## 5-2 基盤の地震動を評価する位置の設定の妥当性の確認(補足)

### 基盤の地震動を評価する位置の設定に係る補足

コメントNo.S3-12

- 原子炉建屋設置位置における解放基盤表面(T.P.-260m)と、鉛直アレイ地震観測地点における基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)、及びT.P.-260m位置の、それぞれの地震基盤からの増幅特性を、地下構造モデルを用いて確認した。
- 原子炉建屋設置位置の深部地下構造モデルは、三次元地下構造モデル(本編資料P.2-61参照)から切り出した原子炉建屋設置位置の一次元地下構造モデル(表1、図1参照)とした。また、鉛直アレイ地震観測地点のT.P.-260m以深の深部地下構造モデルは、当該位置において作成した地震動評価に用いる深部地下構造モデルに基づき設定した(表2、図1参照)。
- 鉛直アレイ地震観測地点において、原子炉建屋設置位置の解放基盤表面(T.P.-260m)における増幅特性と、より整合的な増幅特性となるのは、T.P.-230m位置である。(図2参照)
- 以上のことから、鉛直アレイ地震観測地点における解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置としては、本編資料5.1節に示すとおり、T.P.-230m位置がより適切であると考えられる。

表1 原子炉建屋設置位置の  
深部地下構造モデル

上端標高 T.P.(m)	層厚 (m)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	$V_s$ (m/s)	$Q_s$ ※1
-260	18	1.85	879	50
-278	20	1.86	884	
-298	20	1.86	889	
-318	20	1.87	894	
-339	14	1.88	904	
-353	14	1.89	920	80
-367	87	2.23	1541	
-453	87	2.26	1618	
-540	87	2.30	1695	
-627	87	2.33	1772	
-713	87	2.36	1848	290
-800	944	2.45	2080	
-1744	76	2.58	2534	
-1821	76	2.59	2588	
-1897	76	2.61	2642	
-1973	76	2.62	2696	550
-2050	76	2.63	2750	
-2126	84	2.69	3148	
-2210	-	2.69	3148	

表2 鉛直アレイ地震観測地点の  
深部地下構造モデル※2

上端標高 T.P.(m)	層厚 (m)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	$V_s$ (m/s)	$Q_s$
-260	70	1.6	860	50
-330	490	2.3	1700	80
-820	950	2.5	2200	290
-1770	440	2.7	2700	
-2210	-	2.7	3200	550

※1:  $Q_s$ は表2に示す深部地下構造モデルの値を参照して設定した。

※2: 本編資料P.5-39に示す深部地下構造モデルに基づき設定。

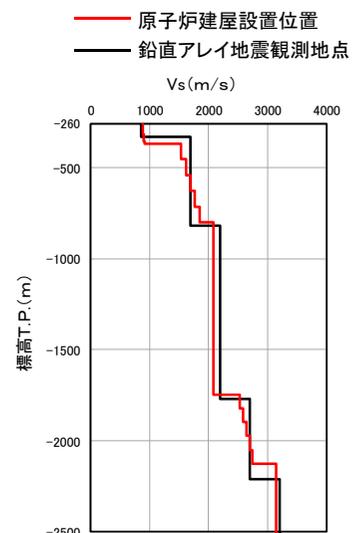


図1 原子炉建屋設置位置及び鉛直アレイ地震観測地点の速度構造( $V_s$ )の比較

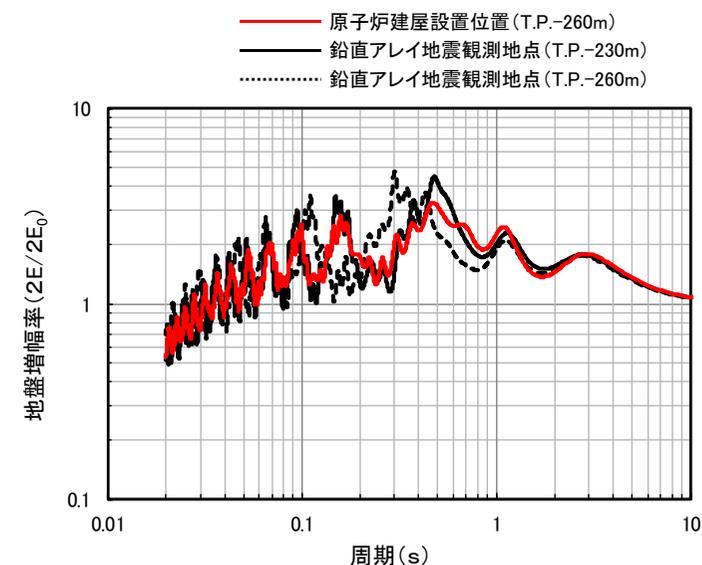


図2 原子炉建屋設置位置及び鉛直アレイ地震観測地点の地盤増幅率の比較  
(評価位置の $2E$ /地震基盤位置の入力波 $2E_0$ )

注)本節は、本編資料5.1節に関する補足説明資料。



## 5-3 最適化地盤モデル(浅部) Vp・Qp構造 (1/5)

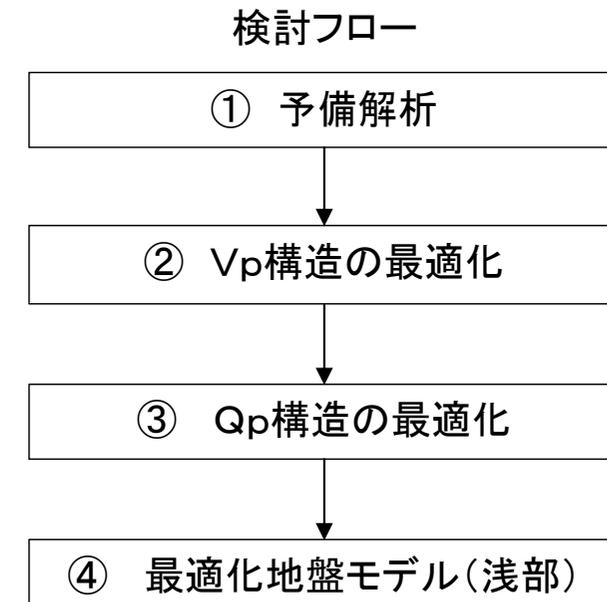
### 最適化地盤モデル(浅部) Vp・Qp構造の検討フロー

	層No.	層厚 (m)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	PS検層 Vp(m/s)
T.P.+32.5m (GL±0)	1	1	1.47	270
	2	1		
	3	2		
	4	2	1.63	470
	5	6.5		
	6	20	1.95	1890
T.P.-7.5m T.P.-47.5m	7	64	2.14	2760
T.P.-77.5m T.P.-117.5m	8	68	1.60	1730
T.P.-207.5m	9	98	1.54	1730
基盤の地震動を評価する位置 T.P.-230m	10	∞	1.60	2070

● :地震観測点

・層厚,  $\rho$  (密度), PS検層は, SB-042孔の調査結果による。

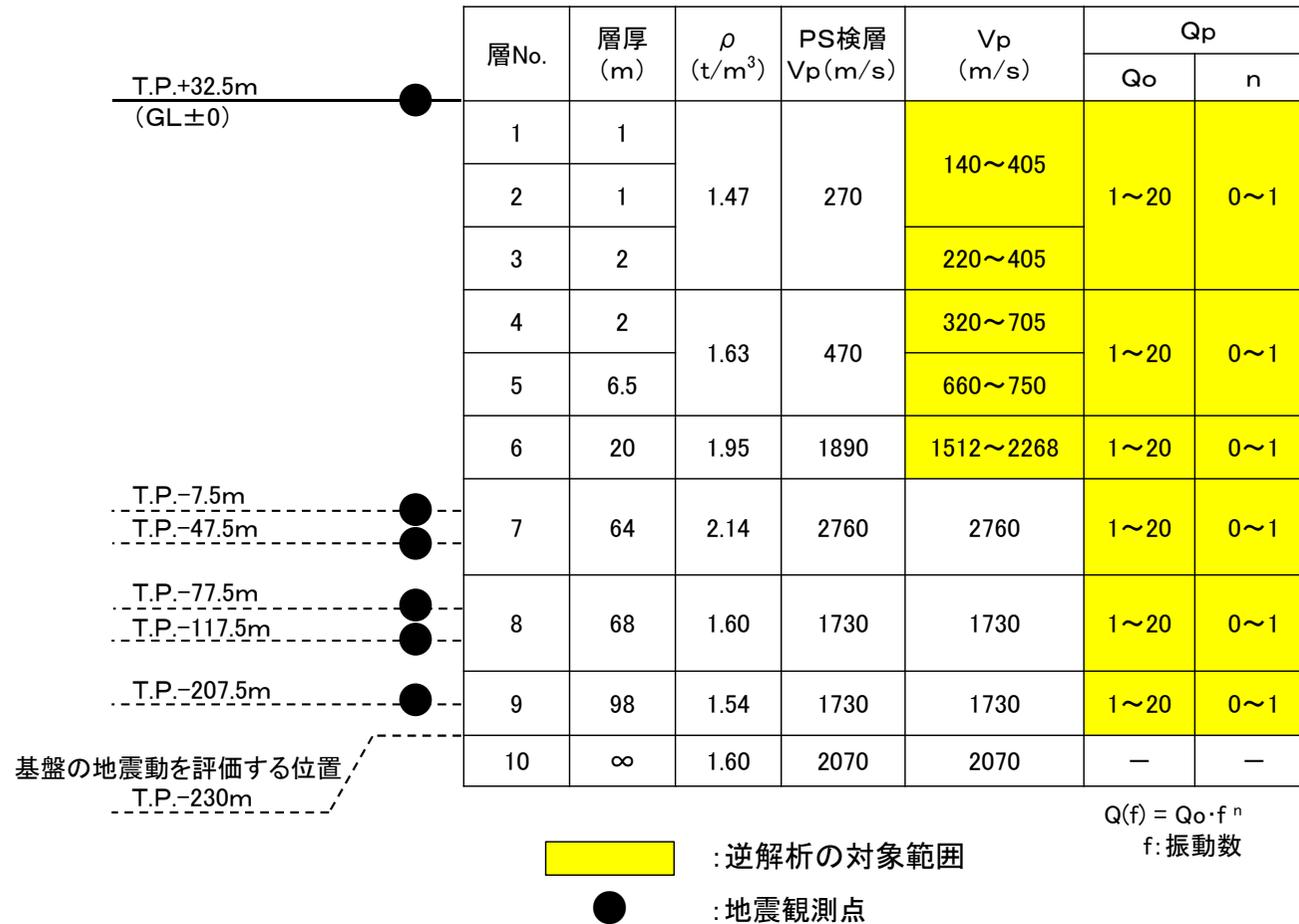
予備解析により決定した速度構造区分



- 浅部のVp・Qp構造については、観測記録に基づき、以下の手順で最適化を行った。
  - 速度構造区分をPS検層値で固定した予備解析により、P波部の鉛直成分の伝達関数の観測値と理論値が整合するように、一部の層について細分化し、速度構造区分を決定した。
  - Vp構造は、P波部の鉛直成分の伝達関数に基づき、GAを用いた逆解析により、最適化を行った。
  - Qp構造は、主要動のはぎとり解析に用いることを踏まえ、②で最適化されたVpの値を固定した上で、S波部の鉛直成分の伝達関数に基づき、GAを用いた逆解析により、最適化を行った。

# 5-3 最適化地盤モデル(浅部) Vp・Qp構造 (2/5)

## 最適化地盤モデル(浅部)の探索範囲(Vp構造の最適化)

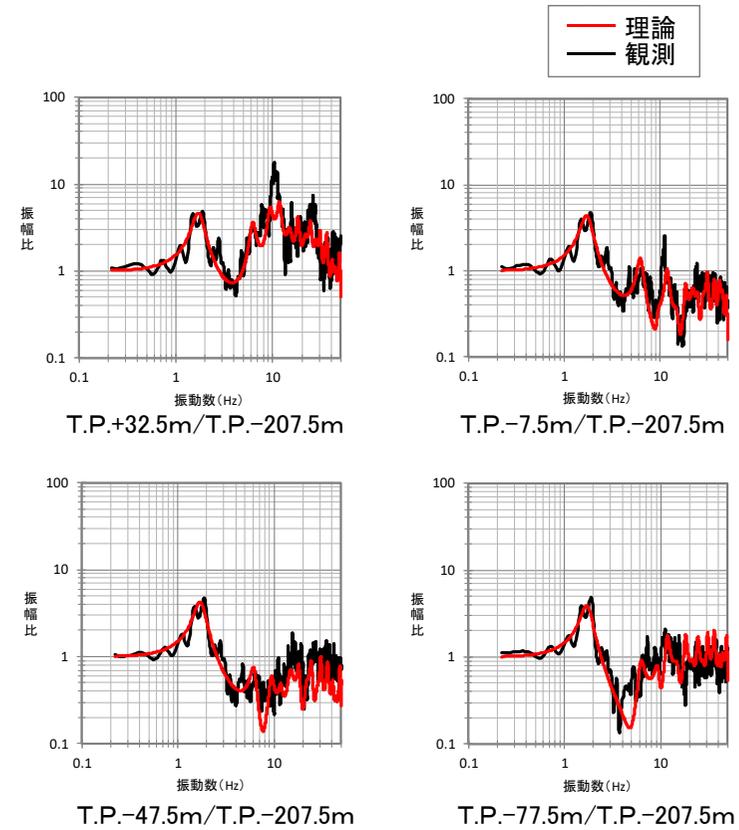
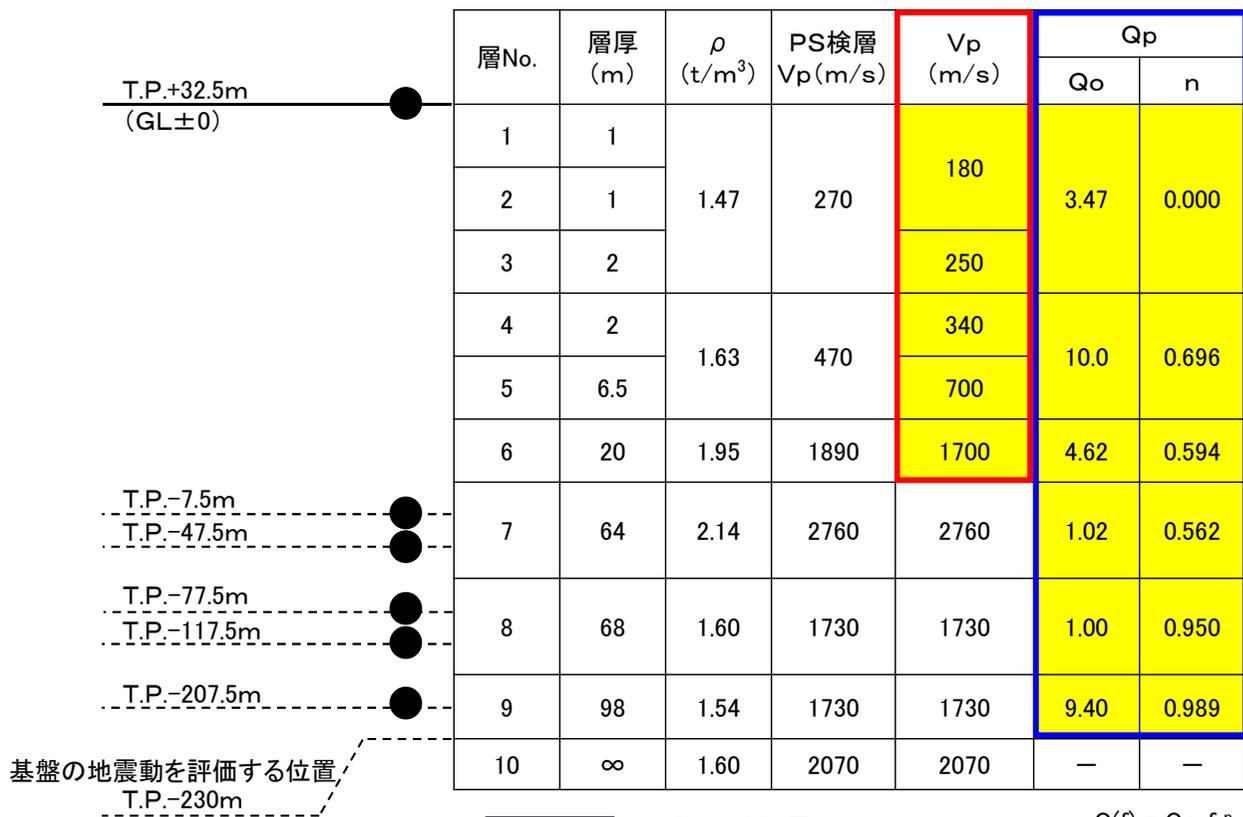


・層厚,  $\rho$  (密度), PS検層(Vp)は, SB-042孔の調査結果による。

- 速度構造をPS検層値で固定した予備解析により, P波部の伝達関数の観測値と理論値が整合するように, 一部の層について細分化し, 速度構造区分を決定した上で, 探索範囲を設定した。



## 作成した最適化地盤モデル(浅部) Vp構造



最適化地盤モデルの理論伝達関数と観測記録に基づく伝達関数の比較

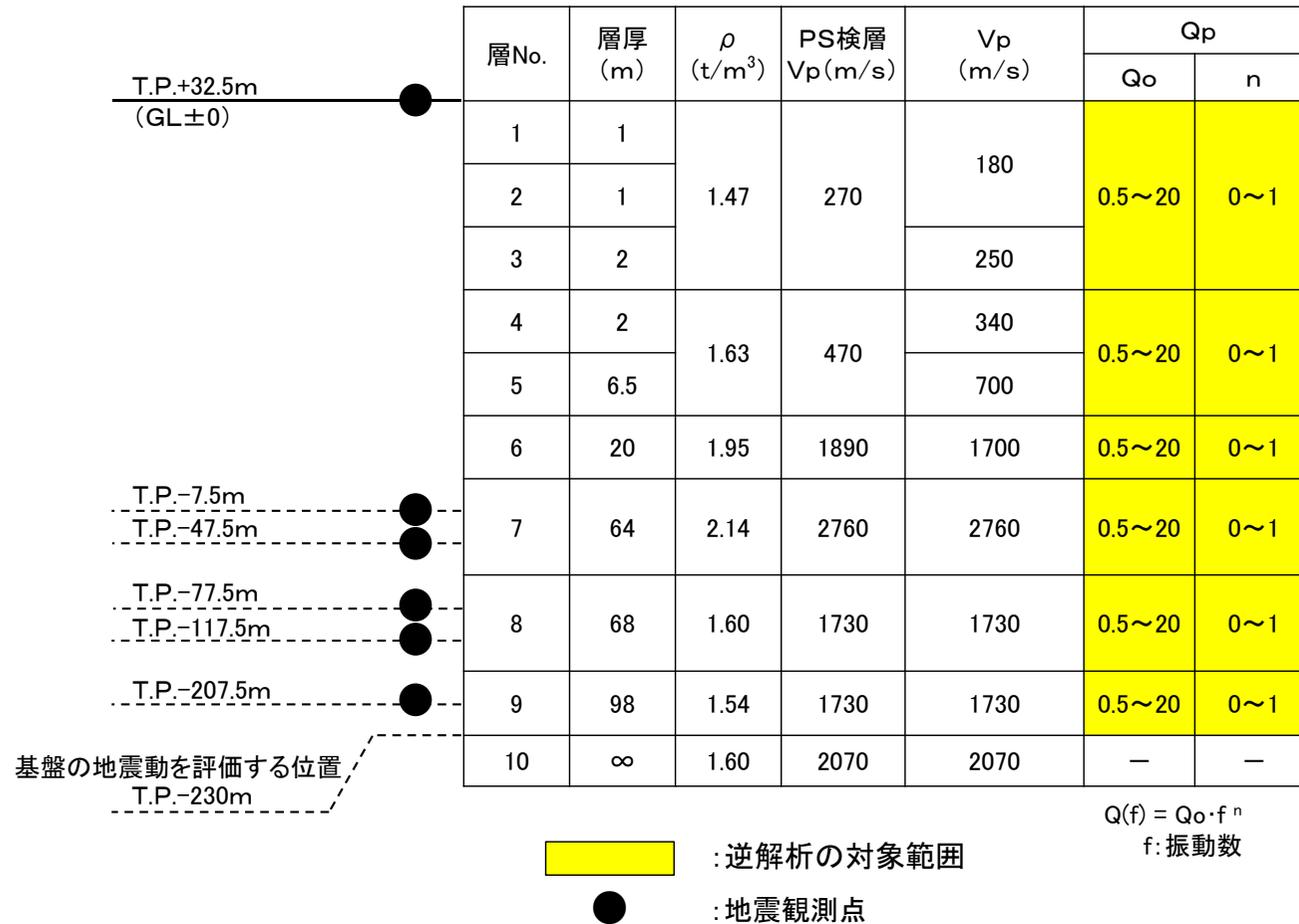
- GAを用いた逆解析により、Vp構造の最適化を行った。
- 最適化地盤モデルに基づき理論的に算定される伝達関数は、観測記録(P波部の鉛直成分)に基づく伝達関数<sup>※1</sup>とよく整合している。

※1: 観測記録に基づく伝達関数の標準偏差は、P.5-12参照。



# 5-3 最適化地盤モデル(浅部) Vp・Qp構造 (4/5)

## 最適化地盤モデル(浅部)の探索範囲(Qp構造の最適化)



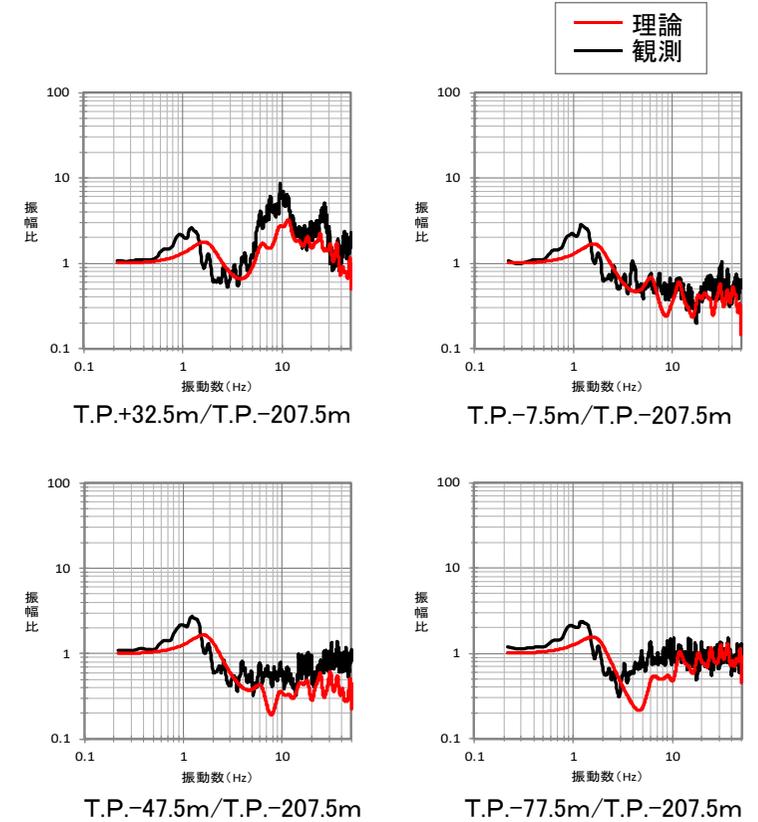
• Vp構造の最適化の結果を踏まえ、Qp構造の探索範囲を設定した。



## 作成した最適化地盤モデル(浅部) Qp構造

層No.	層厚 (m)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	PS検層 Vp(m/s)	Vp (m/s)	Qp	
					Qo	n
1	1	1.47	270	180	1.18	0.350
2	1					
3	2					
4	2	1.63	470	340	3.07	0.997
5	6.5					
6	20	1.95	1890	1700	0.630	0.641
7	64	2.14	2760	2760	0.500	0.750
8	68	1.60	1730	1730	0.503	1.000
9	98	1.54	1730	1730	1.12	1.000
10	$\infty$	1.60	2070	2070	1.12	1.000

: 逆解析結果  
 : 地震観測点  
 ・第10層のQ値は、第9層のQ値と同じ値とした。



最適化地盤モデルの理論伝達関数と観測記録に基づく伝達関数の比較

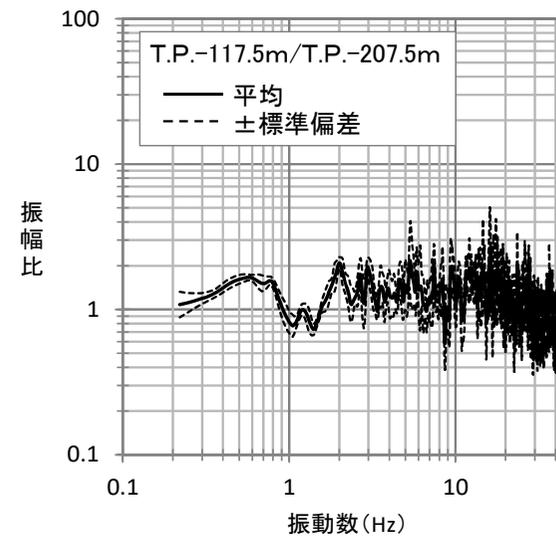
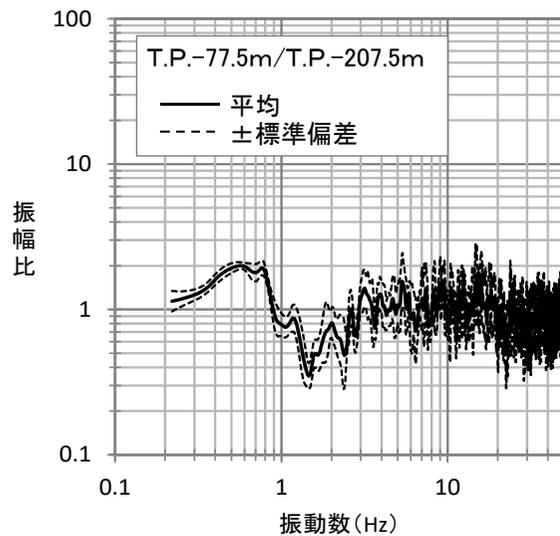
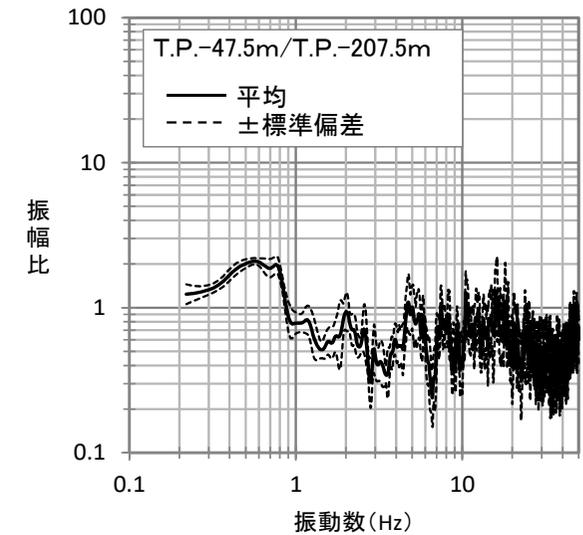
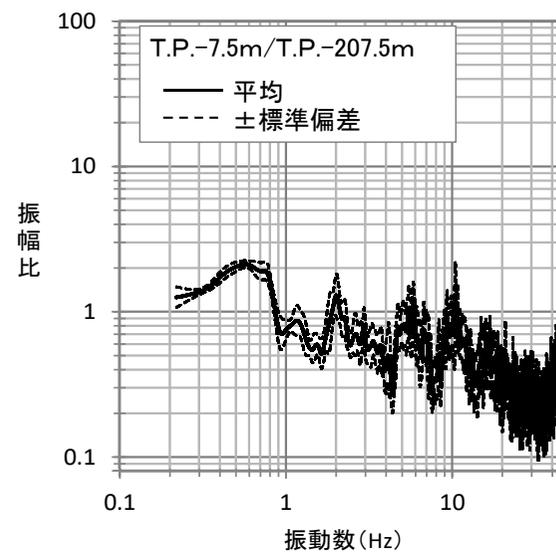
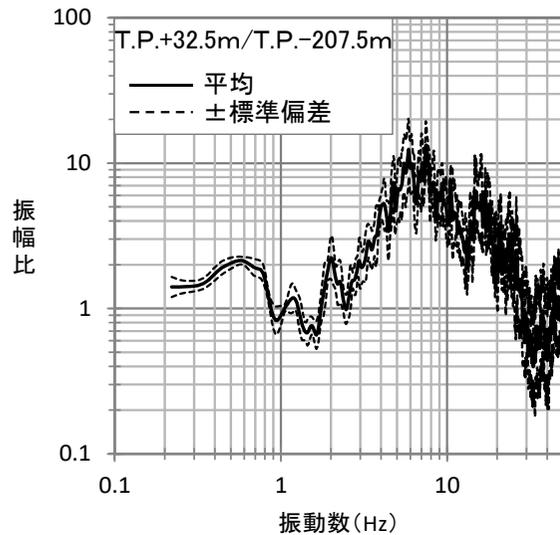
- GAを用いた逆解析により、Qp構造の最適化を行った。
- 最適化地盤モデルに基づき理論的に算定される伝達関数は、観測記録(S波部の鉛直成分)に基づく伝達関数※1とおおむね整合している。

※1: 観測記録に基づく伝達関数の標準偏差は、P.5-13参照。



## 5-4 観測記録の伝達関数の標準偏差 (1/3)

### S波部のTransverse成分の伝達関数



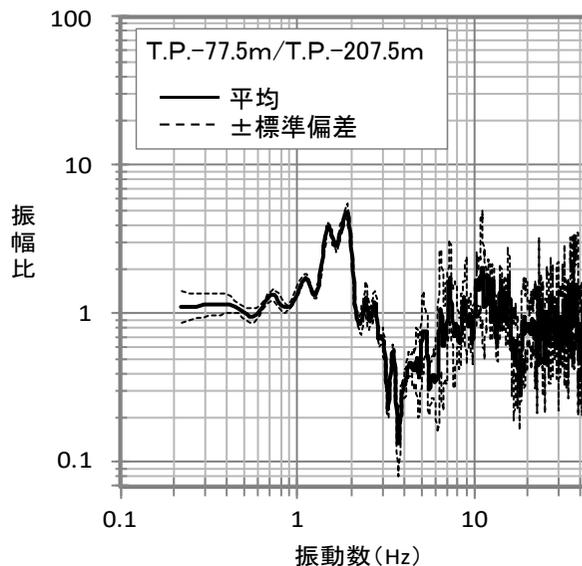
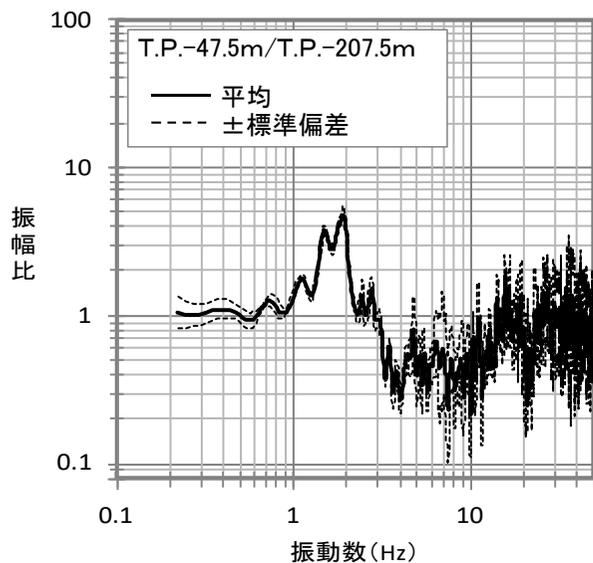
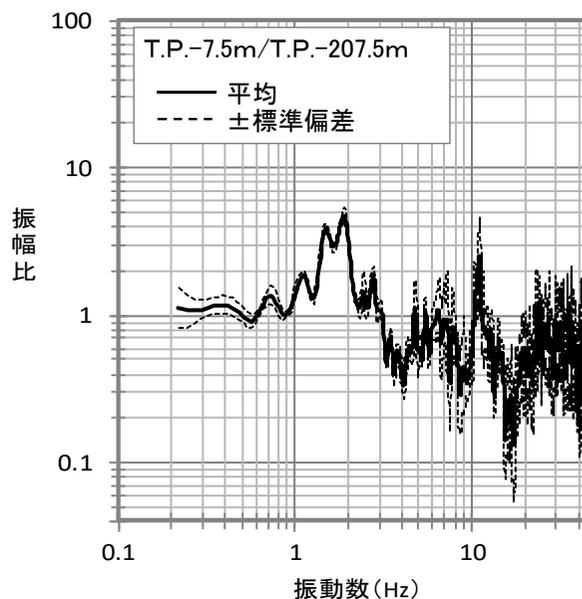
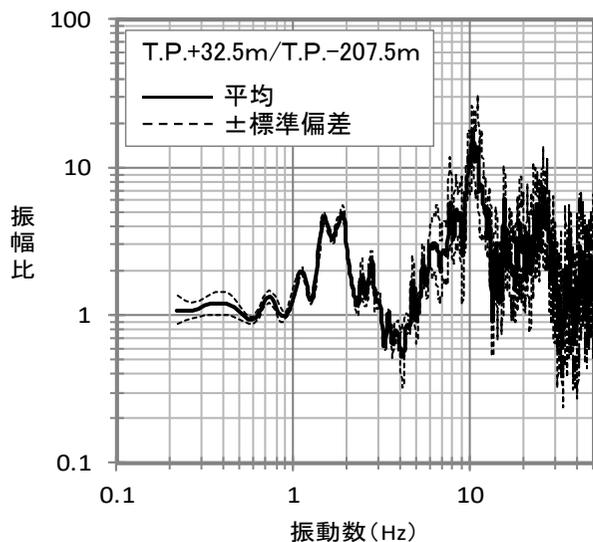
※1:解析区間は、S波初動到達1秒前から30秒間とした。

- 観測記録<sup>※1</sup>の伝達関数の標準偏差は小さい。

注)本節は、本編資料5.2.2項に関する補足説明資料。



## P波部の鉛直成分の伝達関数

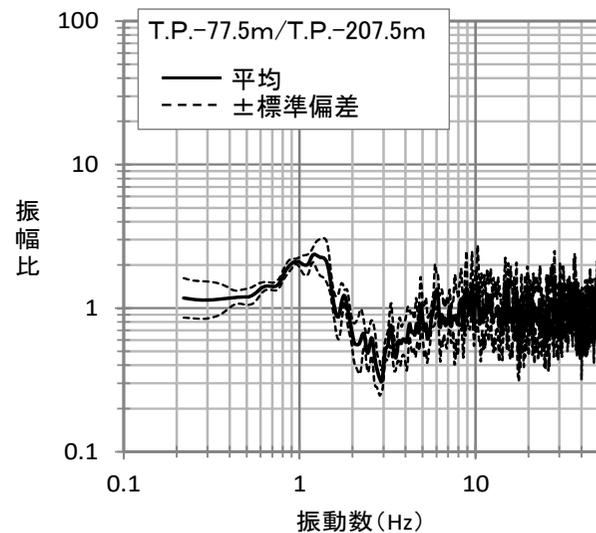
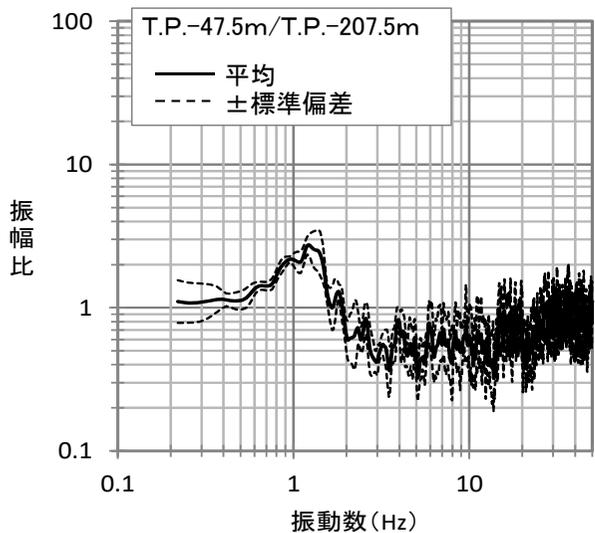
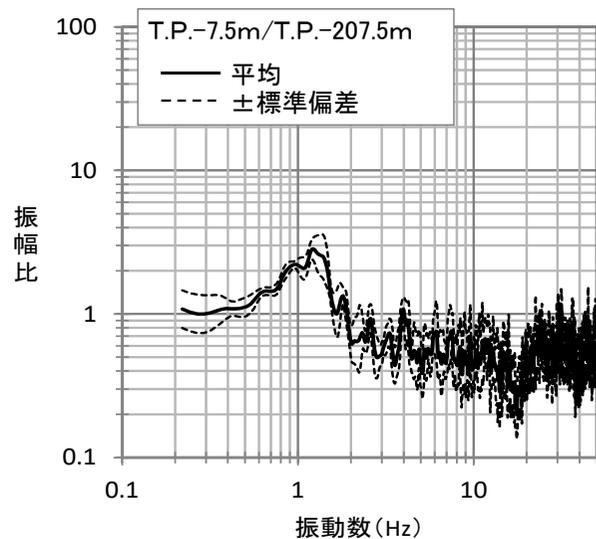
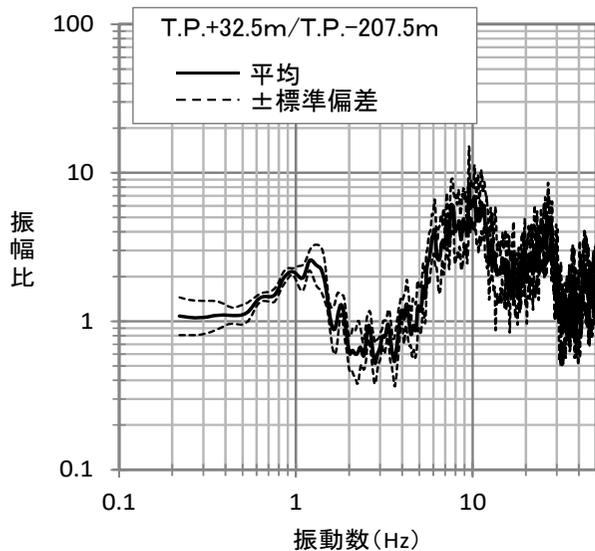


• 観測記録<sup>※1</sup>の伝達関数の標準偏差は小さい。

※1: 解析区間は、P波初動到達1秒前から5秒間を基本とした。



## S波部の鉛直成分の伝達関数

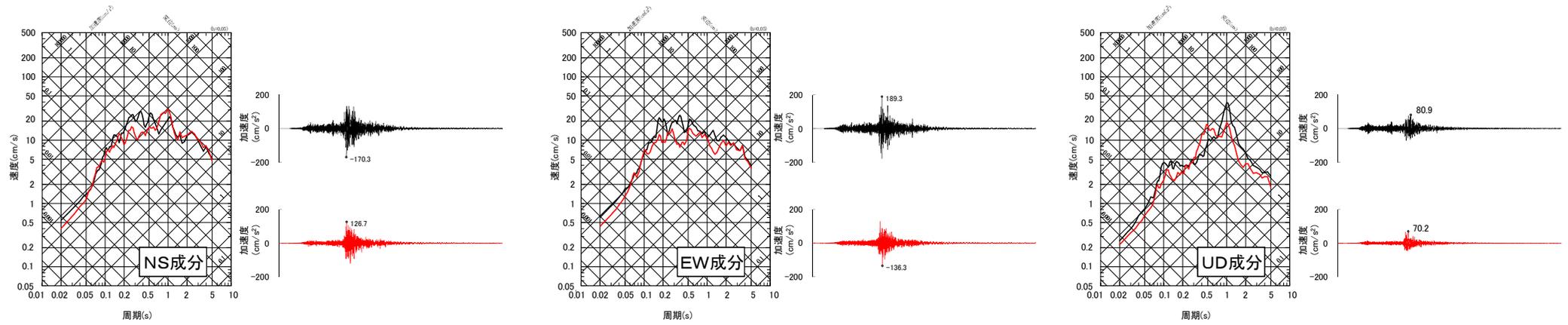


- 観測記録<sup>※1</sup>の伝達関数の標準偏差は小さい。

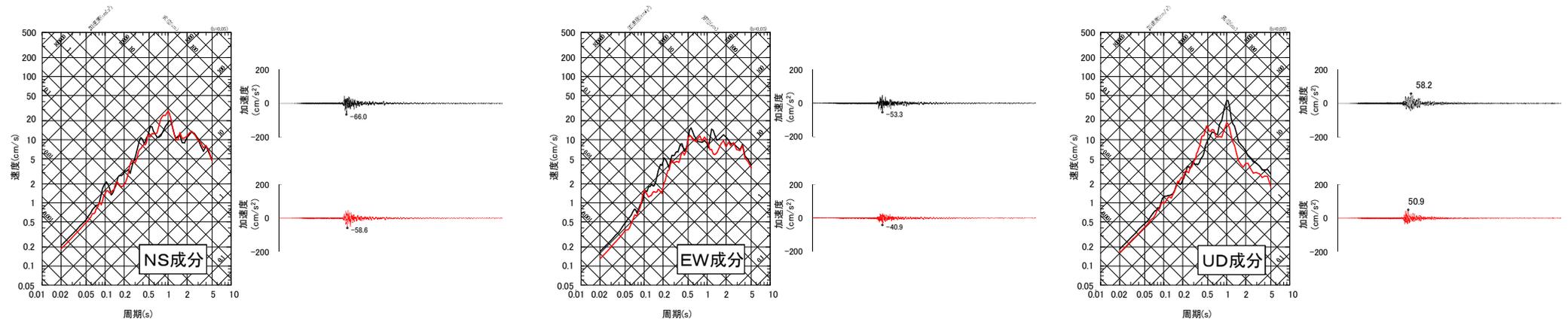
※1: 解析区間は, S波初動到達1秒前から30秒間とした。



## ①平成5年(1993年)釧路沖地震 (1/3)



T.P.+32.5m※



T.P.-7.5m※

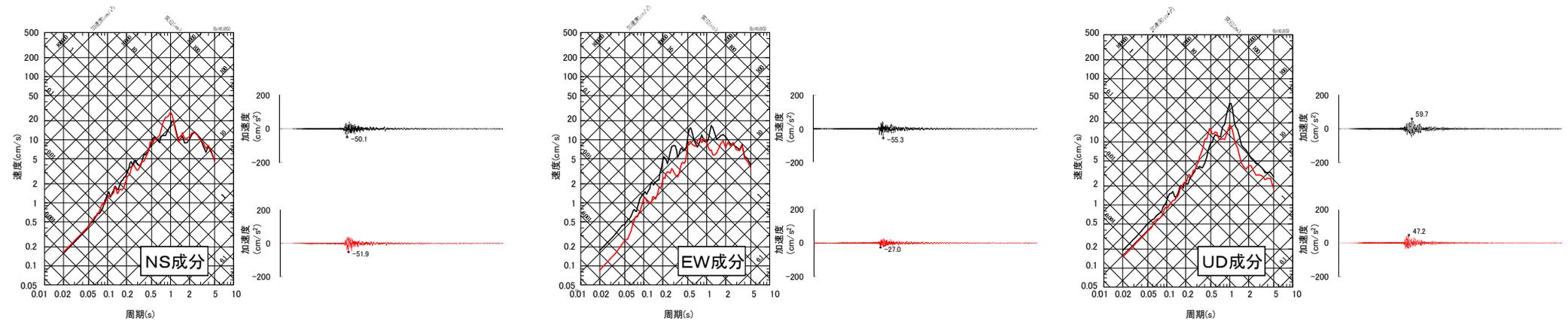
※ : 地震計の位置については, 本編資料P.5-12を参照。

注) 本節は, 本編資料5.2.3項に関する補足説明資料。

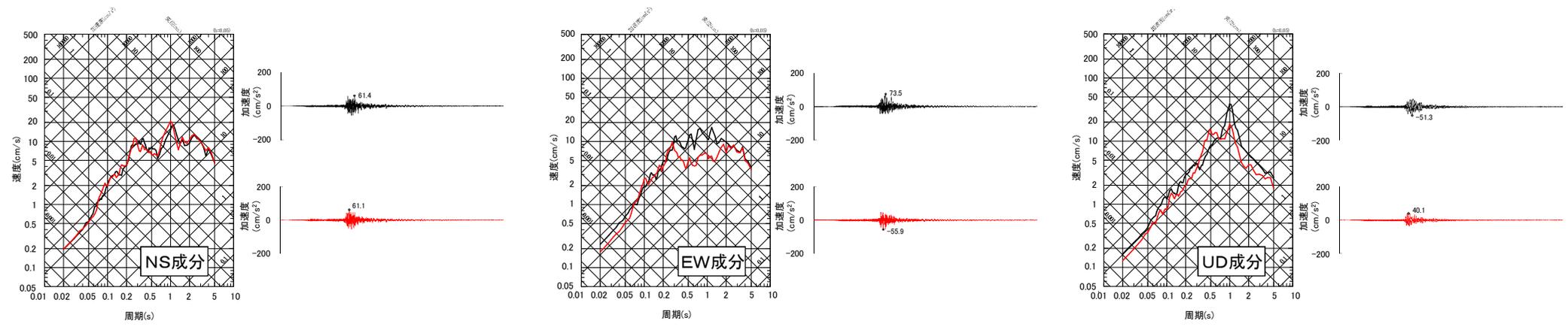


## ①平成5年(1993年)釧路沖地震 (2/3)

— 観測記録  
— シミュレーション



T.P.-47.5m※

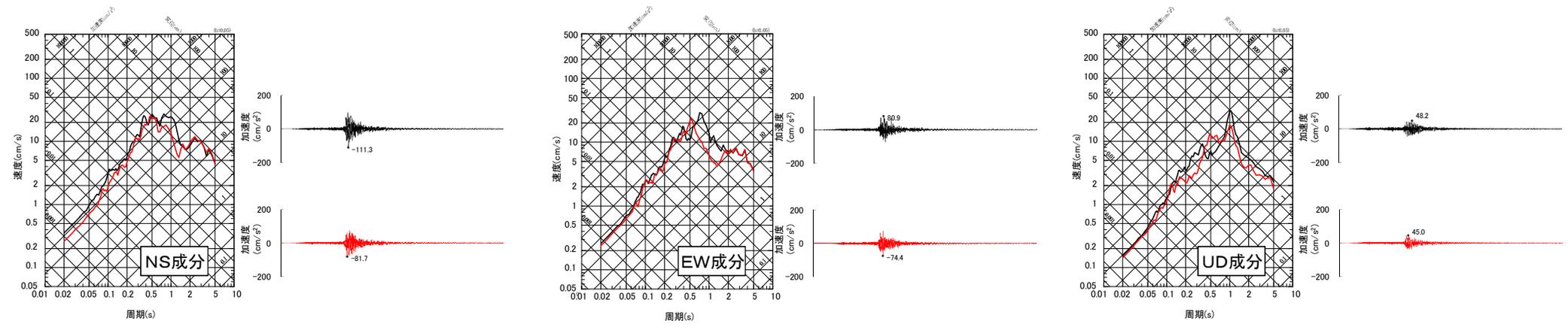


T.P.-77.5m※

※ :地震計の位置については、本編資料P.5-12を参照。



## ①平成5年(1993年)釧路沖地震 (3/3)



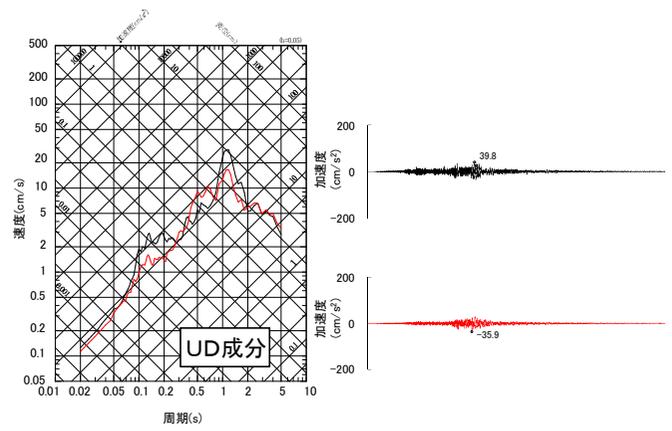
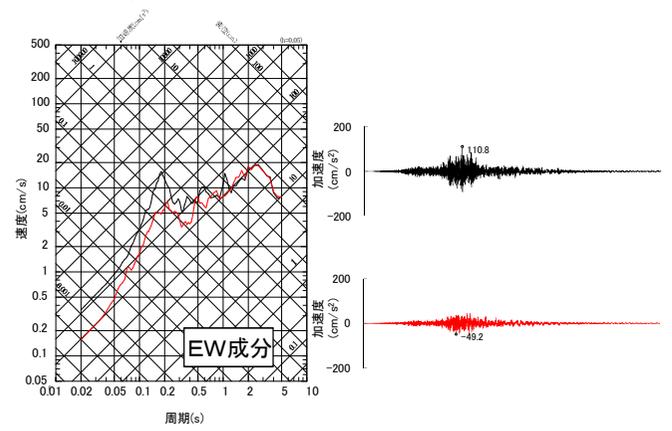
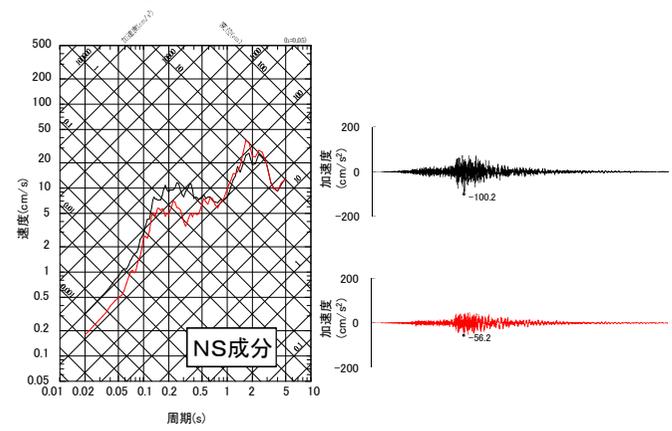
T.P.-117.5m※

※ :地震計の位置については、本編資料P.5-12を参照。

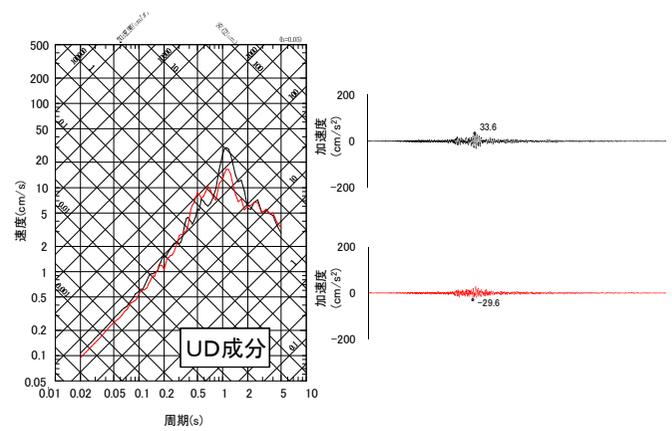
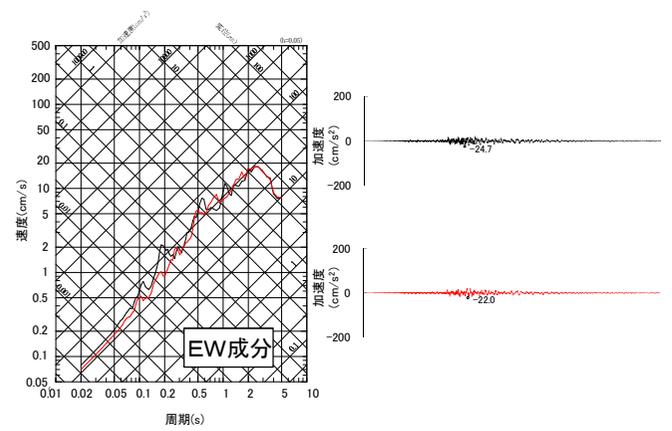
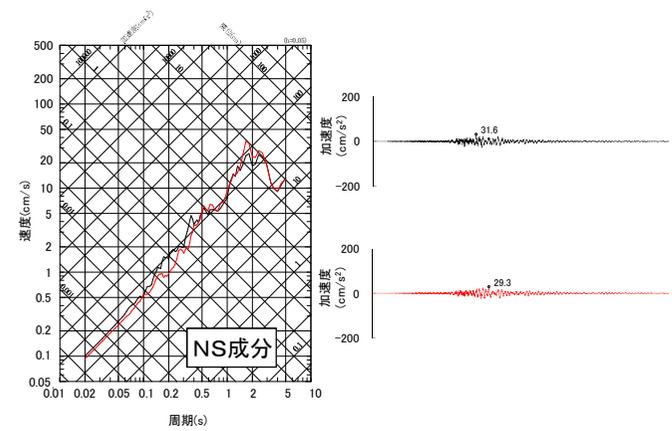


## ②平成15年(2003年)十勝沖地震 (1/3)

— 観測記録  
— シミュレーション



T.P.+32.5m※



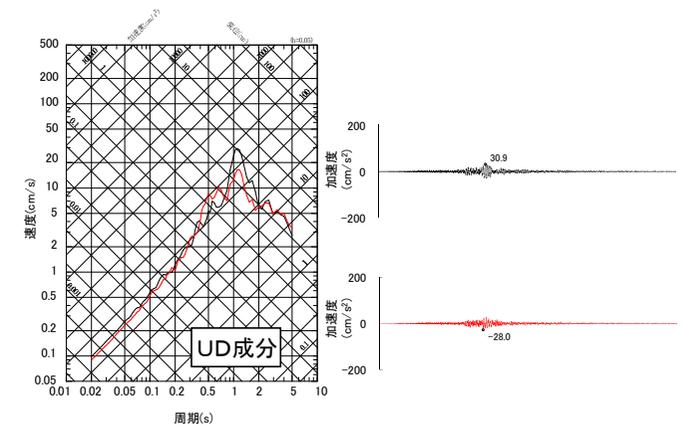
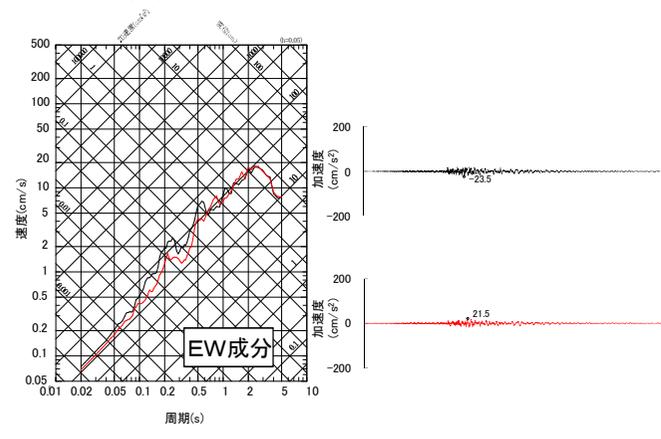
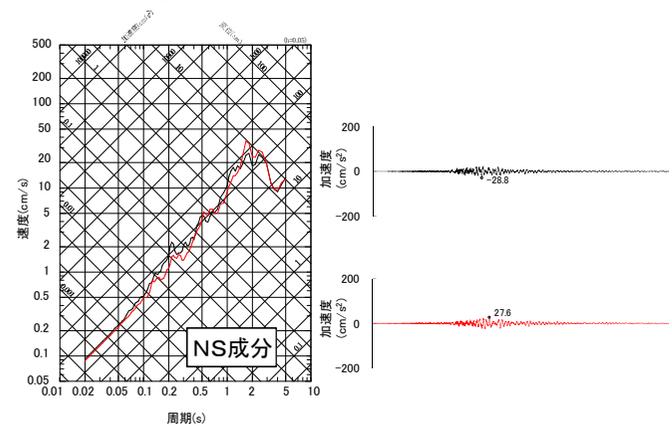
T.P.-7.5m※

※ :地震計の位置については、本編資料P.5-12を参照。

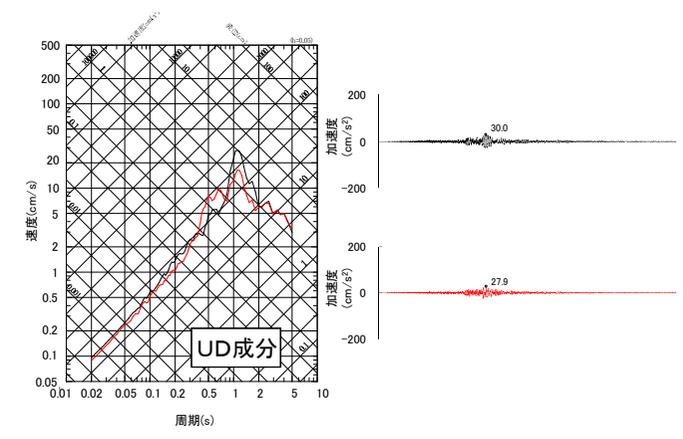
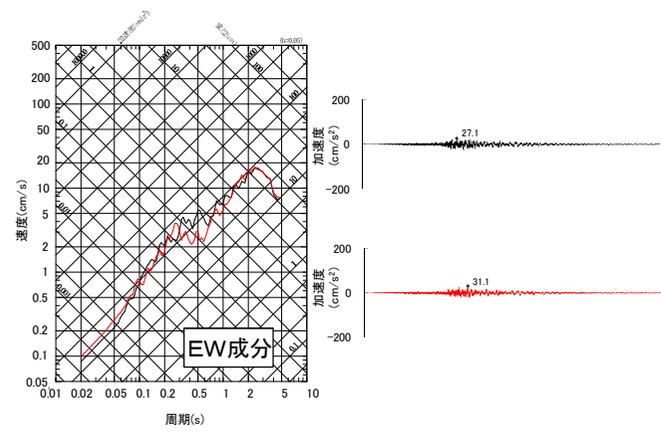
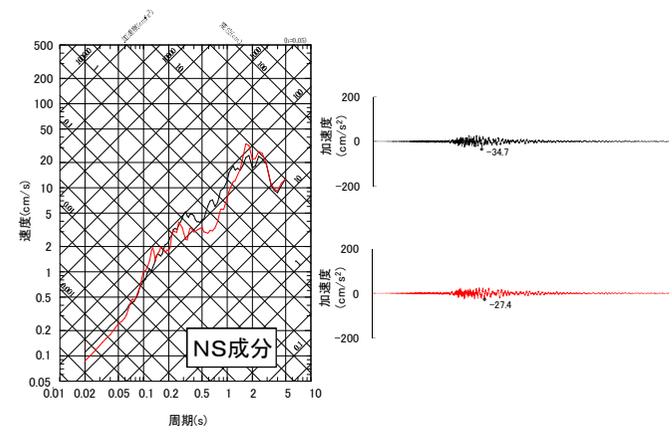


## ②平成15年(2003年)十勝沖地震 (2/3)

— 観測記録  
— シミュレーション



T.P.-47.5m※

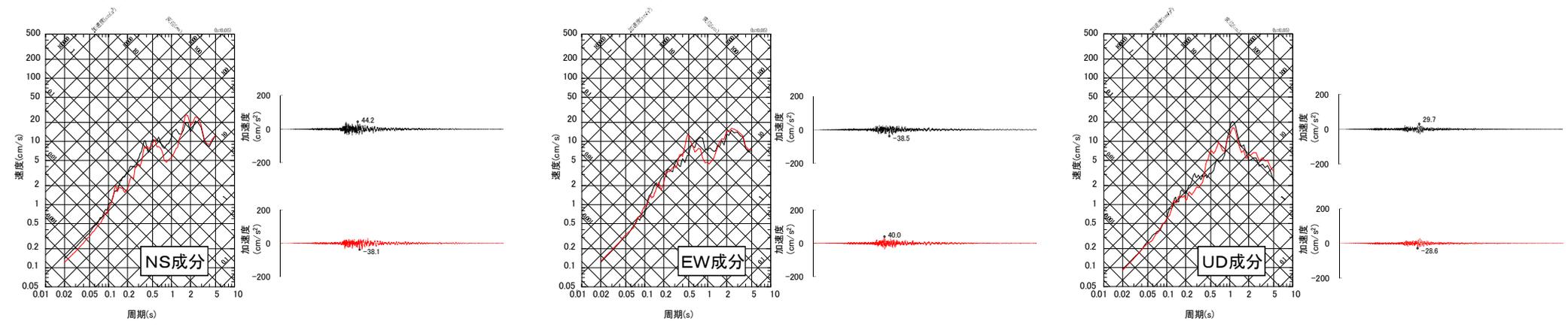


T.P.-77.5m※

※ : 地震計の位置については、本編資料P.5-12を参照。



## ②平成15年(2003年)十勝沖地震 (3/3)

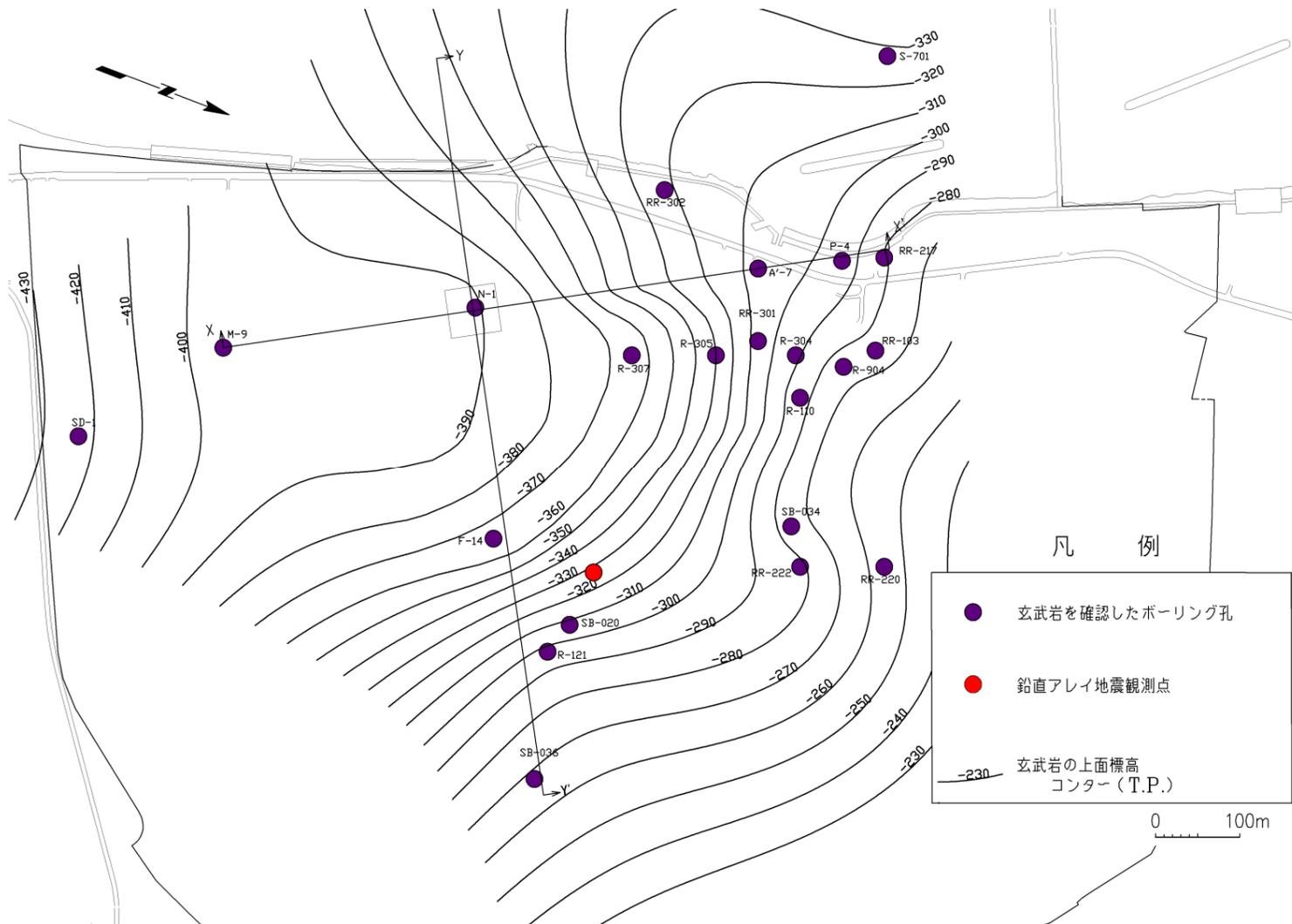


T.P.-117.5m※

※ :地震計の位置については、本編資料P.5-12を参照。



## 鉛直アレイ地震観測地点における玄武岩の上面標高



• ボーリング調査結果に基づく玄武岩の上面標高コンターにより、鉛直アレイ地震観測地点における最適化地盤モデル(深部)の第2層(玄武岩)の上面標高をT.P.-330mと推定した。

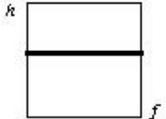
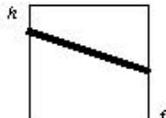
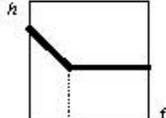
注)本節は、本編資料5.3.2項に関する補足説明資料。

## 5-7 頭打ちQ値モデルについて (1/3)

### 減衰定数の関数モデルについて

- 地盤の減衰定数については、内部減衰(材料減衰, 粘性減衰等を含む)のほか、地盤の不均質や不連続に伴う散乱減衰の影響を受けることが、各種文献にて述べられている。
- 佐藤ほか(2006)<sup>5)</sup>では、下表のとおり、既往の減衰定数の関数モデルについて、比較を行っている。
- 佐藤ほか(2006)によると、No.④のモデルは、高振動数側において減衰定数の傾きが穏やかになり、振動数依存性を示さない材料減衰の値に近づいていく特徴をもち、物理的にも明快であるため、減衰特性の解釈に有効であると考えられている。
- 佐藤ほか(2006)では、既往の減衰定数が高振動数側で一定となる経験式との対応が容易な、減衰定数の下限値を考慮したNo.⑤のモデルを提案している。

佐藤ほか(2006)に基づく減衰定数の関数モデルの比較

No.	減衰定数の関数モデル	関数モデルの形状	文献	解説
①	$h = h_0$		太田(1975) <sup>6)</sup> 等	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 振動数に依存しないモデル。</li> <li>• 減衰定数として材料減衰のみを仮定しており、高振動数での観測スペクトル比との適合に限界がある。</li> </ul>
②	$h(f) = h_0 \cdot f^{-\alpha}$		武村ほか(1993) <sup>7)</sup> 等	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 減衰定数が振動数の負のべき乗に比例するモデル。</li> <li>• 観測スペクトル比に対する理論伝達関数の説明性が、特に高振動数側で大きく向上するが、振動数に依存しない材料減衰の特性を考慮できないという課題がある。</li> </ul>
③	$h(f) = (n/V_S) \cdot f^{-\alpha}$		Kobayashi et al.(1992) <sup>8)</sup> 等	<ul style="list-style-type: none"> <li>• S波速度依存性を仮定したモデル。</li> </ul>
④	$h(f) = h_0 \cdot f^{-\alpha} + h_i$ or $h(f) = 1/V_S \cdot (a \cdot f^{-\alpha} + b)$		小林ほか(1999) <sup>9)</sup> 梅田ほか(2014) <sup>10)</sup> 等 (小林ほか(1999)では $\alpha=1$ としている)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 減衰定数が、材料減衰と散乱減衰の和で表すことができるという観点によりモデル化された多項式のモデル。</li> <li>• S波速度依存性を仮定したモデルも提案されている。</li> </ul>
⑤	$h(f) = h_0 f^{-\alpha} \quad (f \leq f_0)$ $h(f) = h_0 f_0^{-\alpha} \quad (f > f_0)$		佐藤ほか(2006)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 減衰定数がある振動数を境に、低振動数側では振動数に依存し、高振動数側では一定となることを表現したモデル。</li> </ul>

注)本節は、本編資料5.3.2項に関する補足説明資料。



## 佐藤ほか(2006)の概要

- 佐藤ほか(2006)では、減衰定数の下限値を考慮した以下の減衰定数モデル(P.5-21 No.⑤と同じ)を仮定し、国内の2観測点(OBS-A, OBS-B)において得られた地震観測記録を用いて、それぞれの地点の地盤構造及び減衰特性の同定を行っている。

$$h(f) = h_0 f^{-n} \quad (f \leq f_0), \quad h(f) = h_0 f_0^{-n} \quad (f > f_0)$$

- 上記モデルは、減衰定数が高振動数側で一定となるモデル、すなわち特定の振動数( $f_0$ )以上で減衰定数の振動数依存性が無くなるようなモデルとなっている。
- 同定対象としている2地点の地盤は、それぞれ $V_s=200\text{m/s} \sim 2,400\text{m/s}$ 程度及び $V_s=990\text{m/s} \sim 2,610\text{m/s}$ 程度の地盤であり、敷地の地下構造を構成する $V_s$ とおおむね適合した地盤における評価となっている。
- 結果的に、上記モデルを用いて同定されたQ値による伝達関数の計算値は、地震観測記録による伝達関数とよく対応していることが確認された。
- 以上より、佐藤ほか(2006)によれば、減衰定数の関数モデルとしては、減衰定数の下限値を考慮したモデルの方が従来の振動数に依存したモデルよりも適しているとされている。これは、小林ほか(1999)や梅田ほか(2014)のモデルと、考え方は同じものである。

OBS-Aにおける地盤構造と同定結果

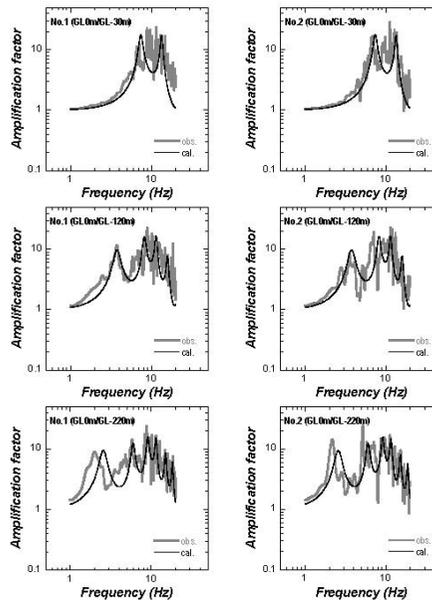
Layer	Thickness (m)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Damping			Incident angle (deg.)		
				h <sub>0</sub>	α	f <sub>0</sub> (Hz)	A-1	A-2	
PS-log. identified									
1	5	2.20	250 (100-400)	205	0.33	0.94	13.4	0.2	15.1
2	20	2.00	600 (400-1200)	935					
3	35	2.37	1430 (1000-1800)	1280	0.29	0.97	12.5		
4	68	2.37	1750 (1600-2000)	2000					
5	92	2.38	1960 (1800-2400)	2397	0.15	1.39	9.1		
6	-		-	-	-	-	-		

( ): search limits for SA inversion

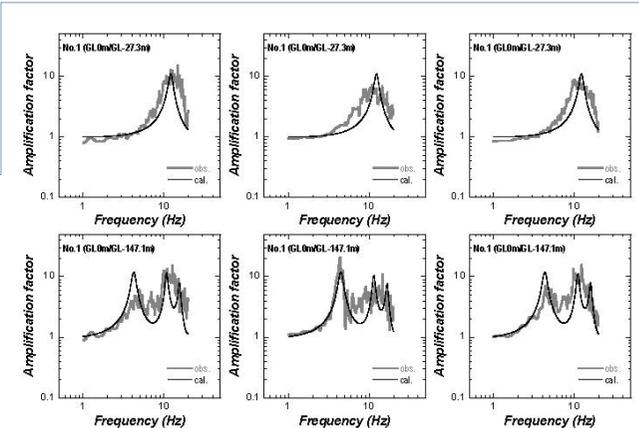
OBS-Bにおける地盤構造と同定結果

Layer	Thickness (m)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Damping			Incident angle (deg.)			
				h <sub>0</sub>	α	f <sub>0</sub> (Hz)	B-1	B-2	B-3	
PS-log. identified										
1	1.7	2.1	990 (792-1188)	1016	0.68	1.25	7.0	12.8	28.8	19.3
2	17	2.1	1510 (1208-1812)	1812						
3	8.6	2.55	2010 (1608-2412)	2358	0.45	1.50	13.3	-	-	-
4	9.6	2.55	2210 (1768-2652)	1811						
5	18	2.66	2610	2610	-	-	-	-	-	-
6	25	2.7	2610	2610	-	-	-	-	-	-
7	27	2.68	2610	2610	-	-	-	-	-	-
8	40.2	2.68	2610	2610	-	-	-	-	-	-
9	-	2.68	2610	2610	-	-	-	-	-	-

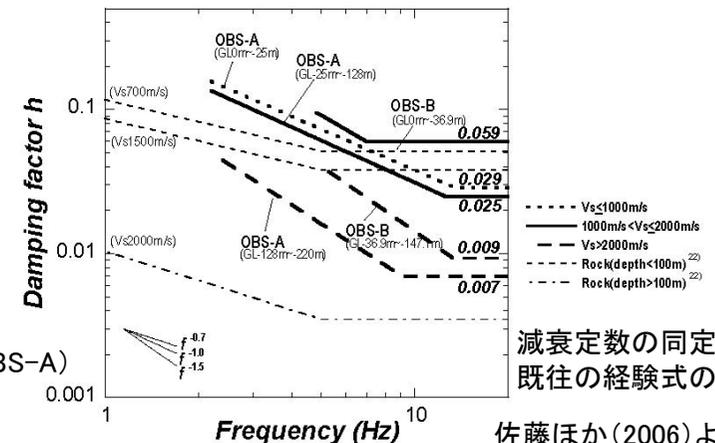
( ): search limits for SA inversion



観測スペクトル比と同定結果による伝達関数の比較(OBS-A)



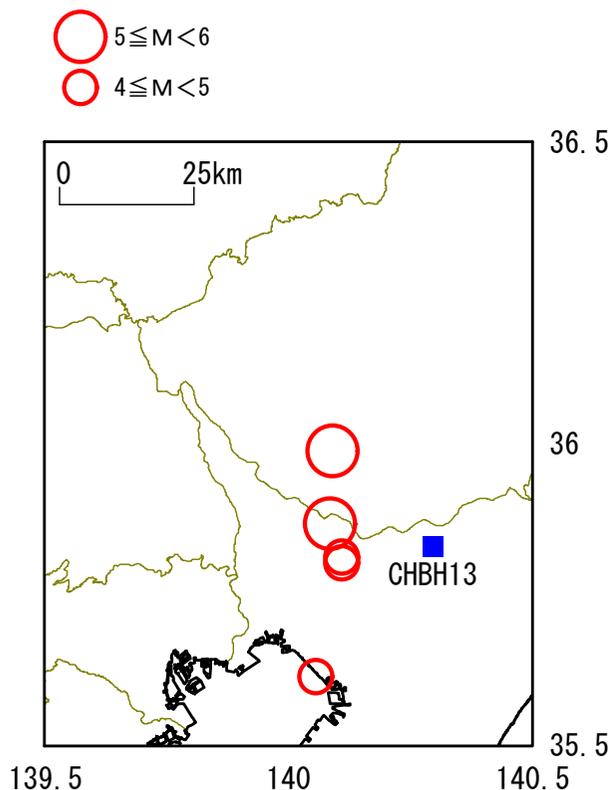
観測スペクトル比と同定結果による伝達関数の比較(OBS-B)



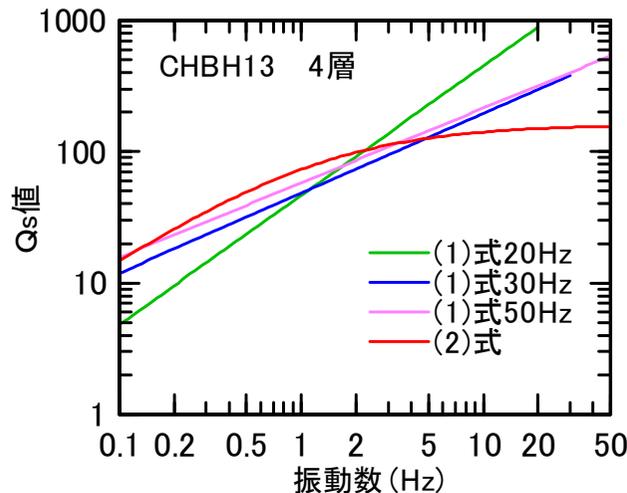
減衰定数の同定結果と既往の経験式の比較

佐藤ほか(2006)より抜粋

## 梅田ほか(2014)の概要



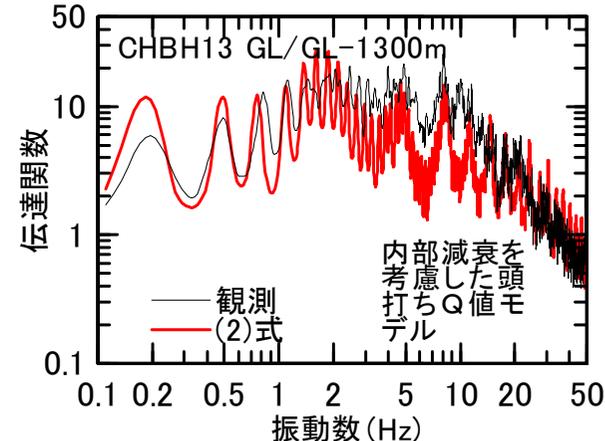
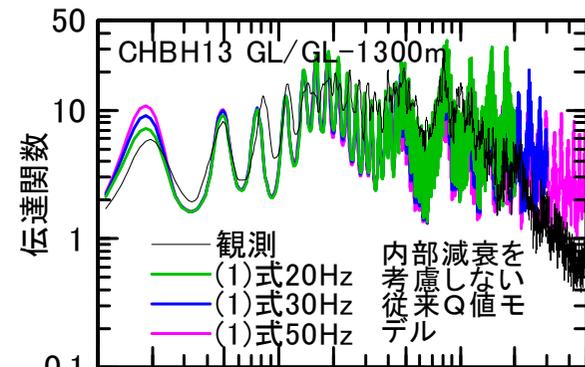
検討に用いた震央分布(CHBH13)



$$Q(f) = Q_0 \cdot f^n \quad (1)$$

$$1/Q(f) = 1/(Q_0 \cdot f^n) + 1/Q_i \quad (2)$$

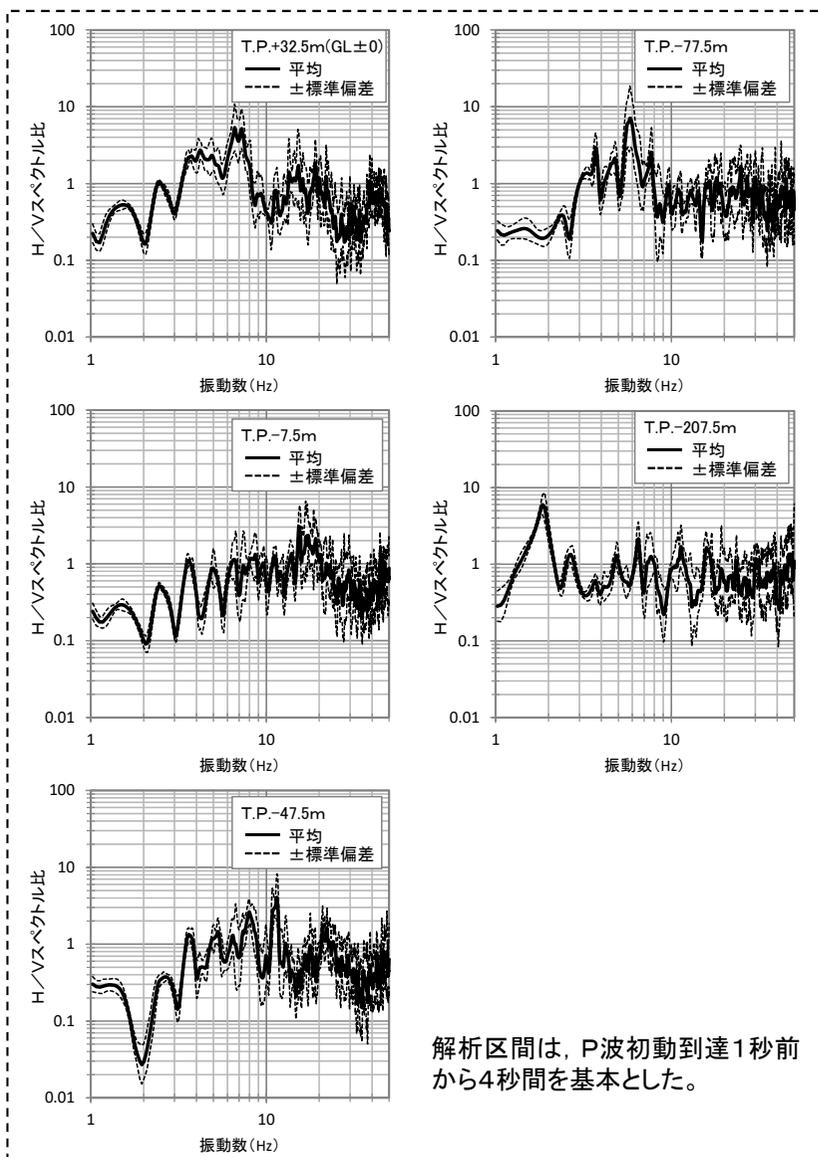
逆解析Q値の一例(CHBH13)  
[(1)式は内部減衰を考慮しない従来Q値モデル, (2)式は考慮した頭打ちQ値モデルであり, (1)式の数値は解析振動数の上限を表す]



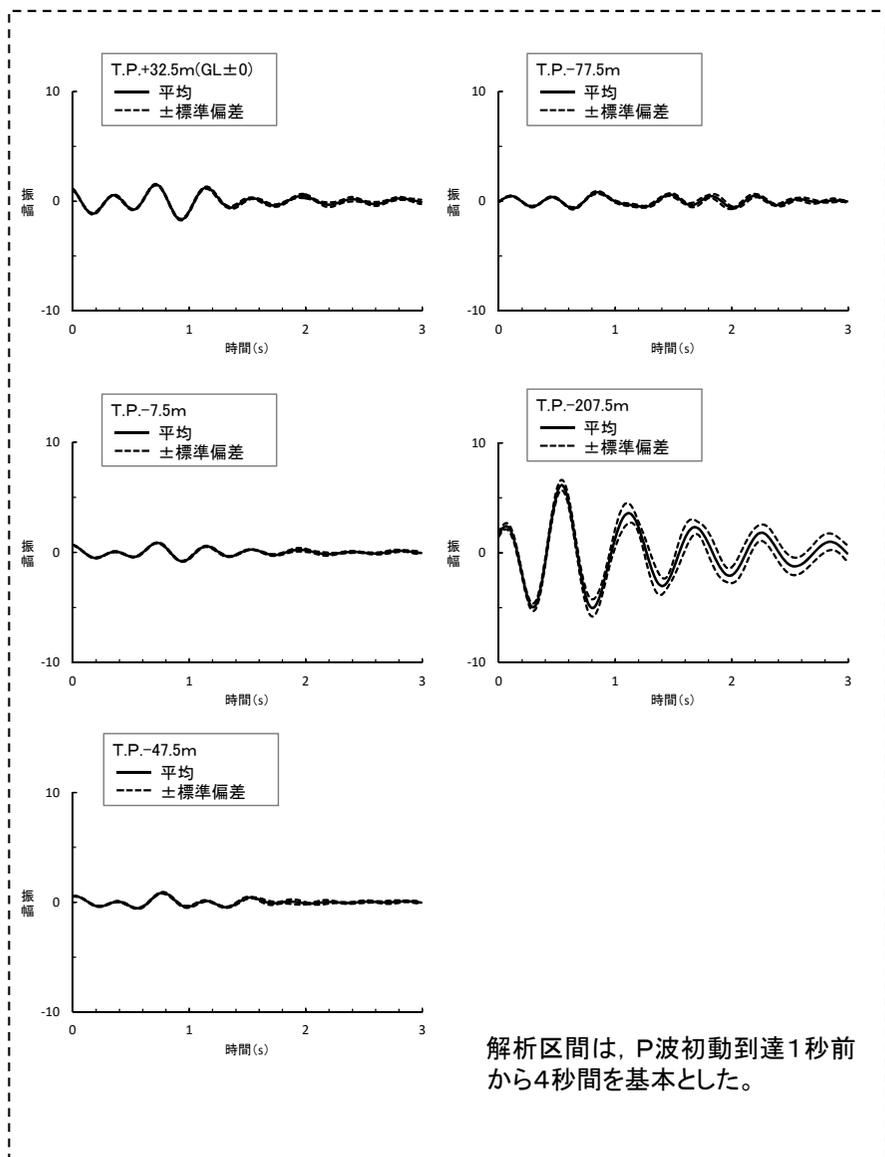
伝達関数の観測値と理論値の比較(CHBH13)

梅田ほか(2014)に一部加筆・修正

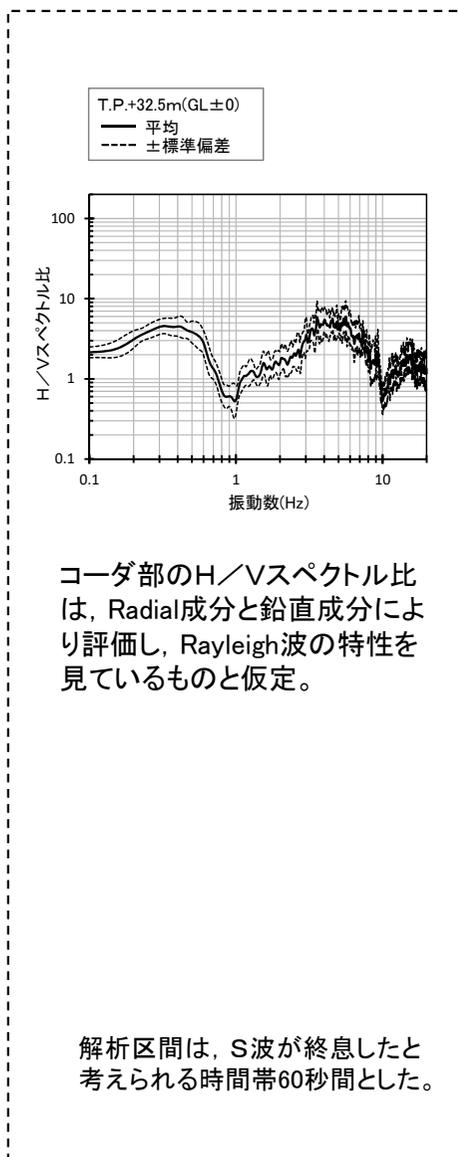
- 梅田ほか(2014)では, 内部減衰と散乱減衰を考慮した頭打ちQ値モデルと, 振動数のべき乗に比例する従来Q値モデルを用いて, 遺伝的アルゴリズム(GA)に基づいた探索法で, KiK-netのCHBH13(成田)とGIFH09(羽島)のQ値構造の逆解析を実施している。
- 頭打ちQ値モデルは従来Q値モデルと比較して, より高振動数まで観測伝達関数を説明できることが確かめられている。



解析区間は、P波初動到達1秒前から4秒間を基本とした。



解析区間は、P波初動到達1秒前から4秒間を基本とした。



コーダ部のH/Vスペクトル比は、Radial成分と鉛直成分により評価し、Rayleigh波の特性を見ているものと仮定。

解析区間は、S波が終息したと考えられる時間帯60秒間とした。

P波部H/Vスペクトル比\*

P波部レシーバ関数\*

コーダ部H/Vスペクトル比

• P波部H/Vスペクトル比, P波部レシーバ関数及びコーダ部H/Vスペクトル比とも、標準偏差は小さい。

※ : T.P.-117.5mの観測記録は、感度劣化が見られる期間があることから使用していない。  
注)本節は、本編資料5.3.2項に関する補足説明資料。

## 検証方法

### ①解析手法

- 岩田・入倉(1986)<sup>11)</sup>の方法によるスペクトルインバージョン解析を行い、下式で表されるS波の振幅スペクトルを震源特性・伝播経路特性・地盤特性に分離した。

$$O_{ij}(f) = R_{ij}^{-1} \cdot S_i(f) \cdot G_j(f) \cdot \exp\left(-\frac{\pi f R_{ij}}{Q_s(f) V_s}\right)$$

$O_{ij}(f)$  : 地震  $i$  による観測点  $j$  におけるS波の振幅スペクトル

$S_i(f)$  : 震源スペクトル,  $Q_s(f)$  : 伝播経路のQ値,  $G_j(f)$  : 観測点  $j$  における地盤増幅特性,

$R_{ij}$  : 地震  $i$  から観測点  $j$  までの震源距離,  $V_s$  : 伝播経路のS波速度

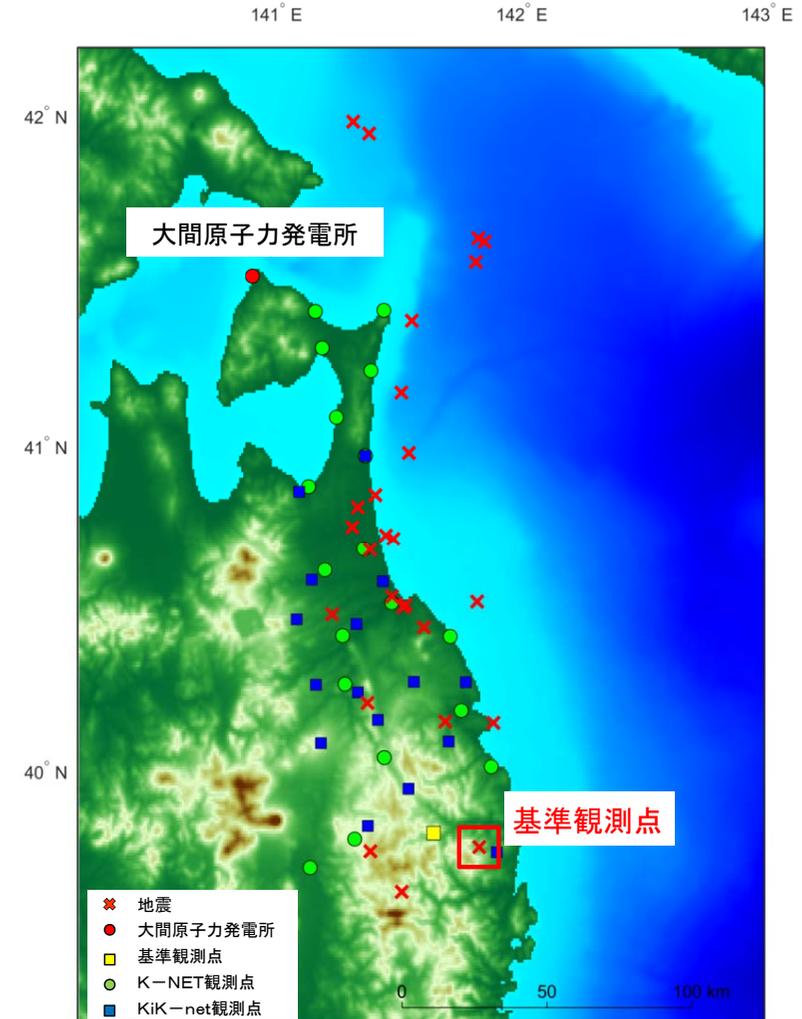
- スペクトルインバージョン解析で必要となる拘束条件は、基準観測点の増幅特性とした。

### ②解析対象とした観測点と地震

- 観測点は、火山フロントを境とした減衰構造の変化を極力避けるため、火山フロントより東側の観測点を選定した。
- 解析対象地震は、観測点付近の26地震を選定した。  
(震源深さ50km以深, M3.5~M5.5, 観測期間2001年7月~2012年4月)

### ③基準観測点

- 地中の地震計が地震基盤と同等の岩盤 ( $V_s=2,800\text{m/s}$ ) に設置されている, IWTH03岩泉観測点とした。
- IWTH03岩泉観測点 (GL±0m/GL-100m) の観測記録の逆解析により、最適化地盤モデルを設定し、地震基盤における基盤波を推定した。



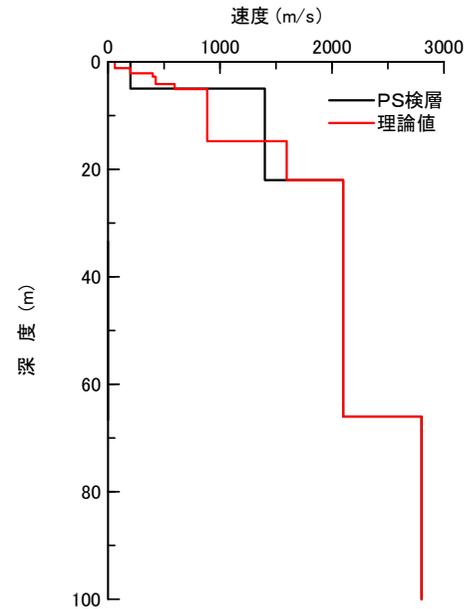
スペクトルインバージョン解析に使用した観測点と震源の分布

## 基準観測点の最適化地盤モデル

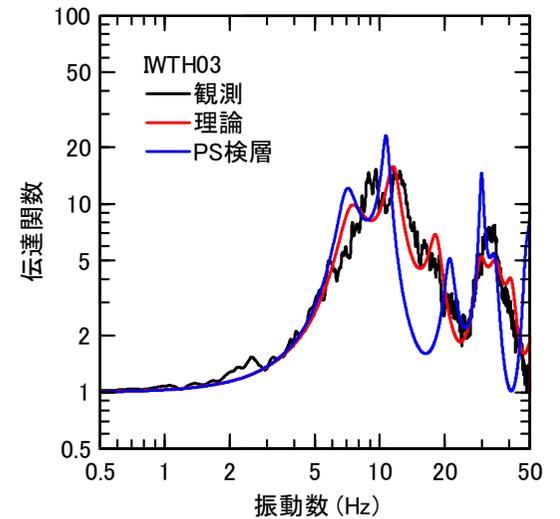
IWTH03の最適化地盤モデル

層No.	深度 (m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	Qs		
					Qo	n	Qi
	0						
1	-1.1	1.1	59	1.56	5.36	0.561	10.7
2	-2.1	1.0	200	1.70	18.4	0.752	125
3	-2.8	0.7	400	1.82	13.9	0.662	281
4	-4.1	1.3	420	1.84	8.22	0.730	63.9
5	-5.0	0.9	600	1.92	14.6	0.858	141
6	-14.7	9.7	880	2.03	31.1	0.793	155
7	-22.0	7.3	1600	2.25	21.4	0.866	133
8	-66.0	44	2100	2.37	1.07	0.535	208
9	-100.0	34	2800	2.52	27.1	0.767	13.9
10	$\infty$						

$$1/Q_s(f) = 1/(Q_o \cdot f^n) + 1/Q_i$$



PS検層結果との比較



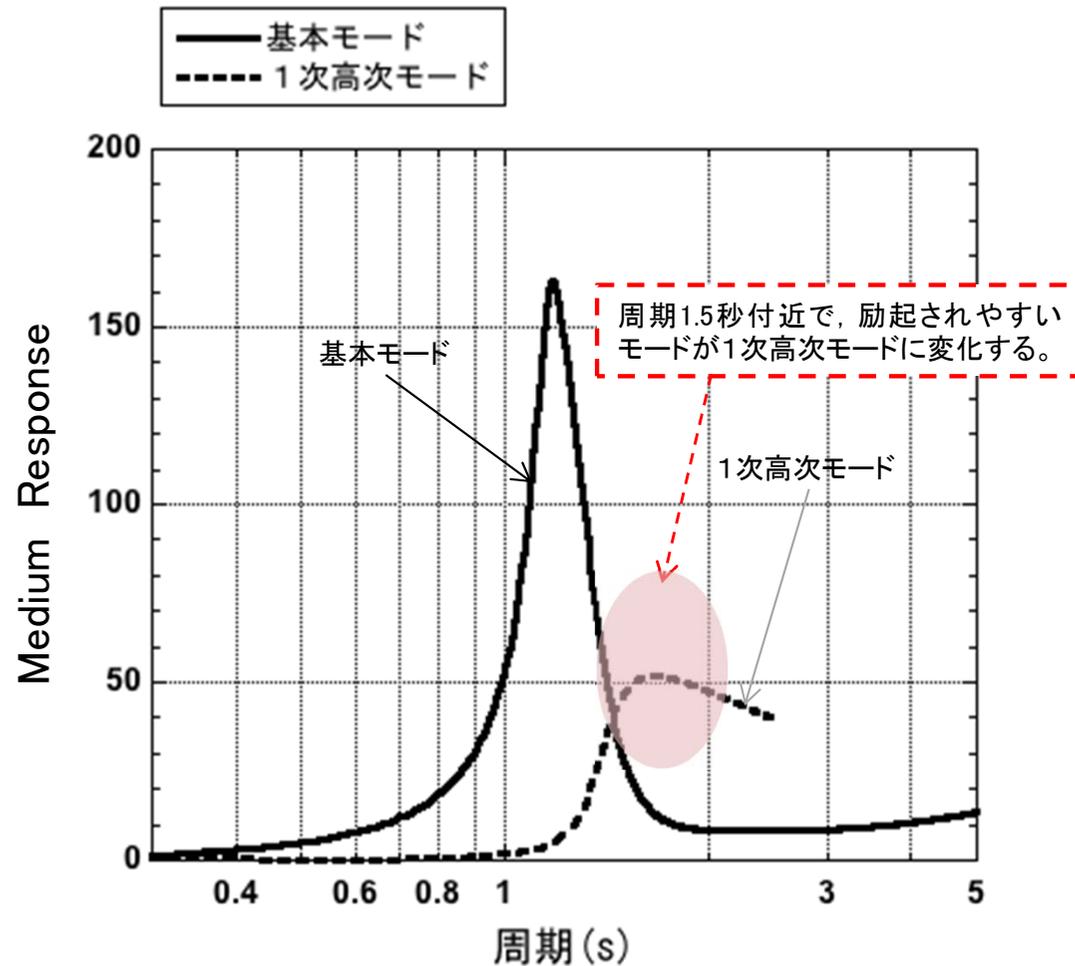
逆解析結果と観測記録の  
伝達関数の比較

### 最適化地盤モデルの作成

- 基準観測点の最適化地盤モデルは、地表 (GL±0m) 及び地中 (GL-100m) の観測記録の伝達関数 (フーリエ振幅スペクトル比) を用いた逆解析により作成した。
- 逆解析には遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた。
- 作成した最適化地盤モデルの理論伝達関数は、観測記録の伝達関数とよく整合している。

## 5-10 微動アレイ観測における1次高次モードの詳細について

第822回審査会合  
資料2-2 P.5-26 再掲



最適化地盤モデルの理論的なRayleigh波の  
Medium Response(励起特性)

## Medium Responseについて

- Medium Responseは、地下構造モデルに固有の量であり、表面波のMedium Responseは、地表加振に対する表面波の応答を表す。
- Medium Responseは、各モードごと・振動数ごとに決まる相対的な表面波振幅の一種と考えられるため、Medium Responseの大きなモードの波は、他のモードの波よりも振幅が卓越することが予想される。

- Medium Responseの1次高次モードが卓越する地下構造モデルは、その卓越する周期帯域では1次高次モードの位相速度も卓越するものと考えられることができる。
- Rayleigh波のMedium Responseによると、最適化地盤モデルは、周期約1.5秒から約2秒付近で、1次高次モードが励起されやすい特徴を有している。



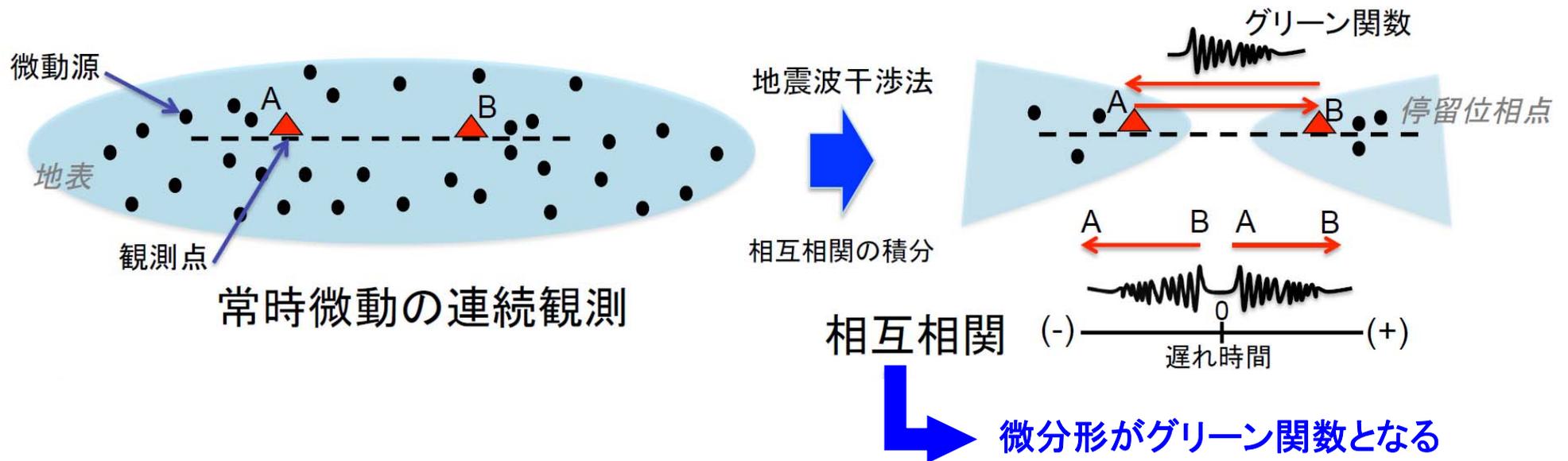
## 地震波干渉法の原理

地表の2点間で観測された波動場の相互相関によって、一方の観測点にインパルス信号を与え、もう一方の観測点で観測した際の記録(グリーン関数)を合成できる。  
(Wapenaar (2004)<sup>12)</sup>)



常時微動への適用  
Shapiro and Campillo(2004)<sup>13)</sup>

無数の振源で囲まれた領域中の2点間で微動を計測し、各振源による相互相関をすべて積分すると、停留位相点と呼ばれる領域以外の成分は打ち消し合い、2点間のグリーン関数のみが残る。

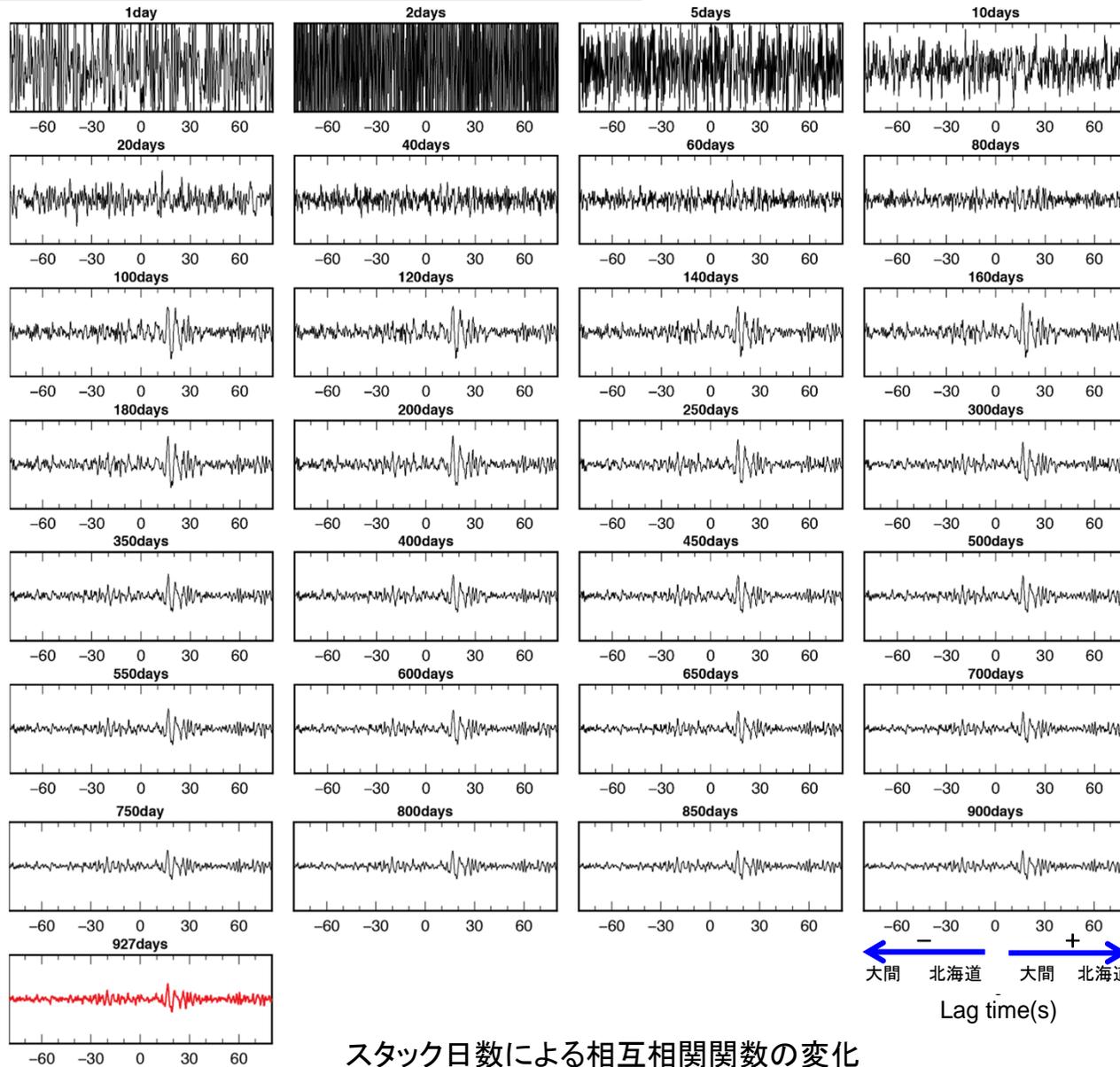


注)本節は、本編資料5.3.3項に関する補足説明資料。



## スタック日数による相互相関関数の変化

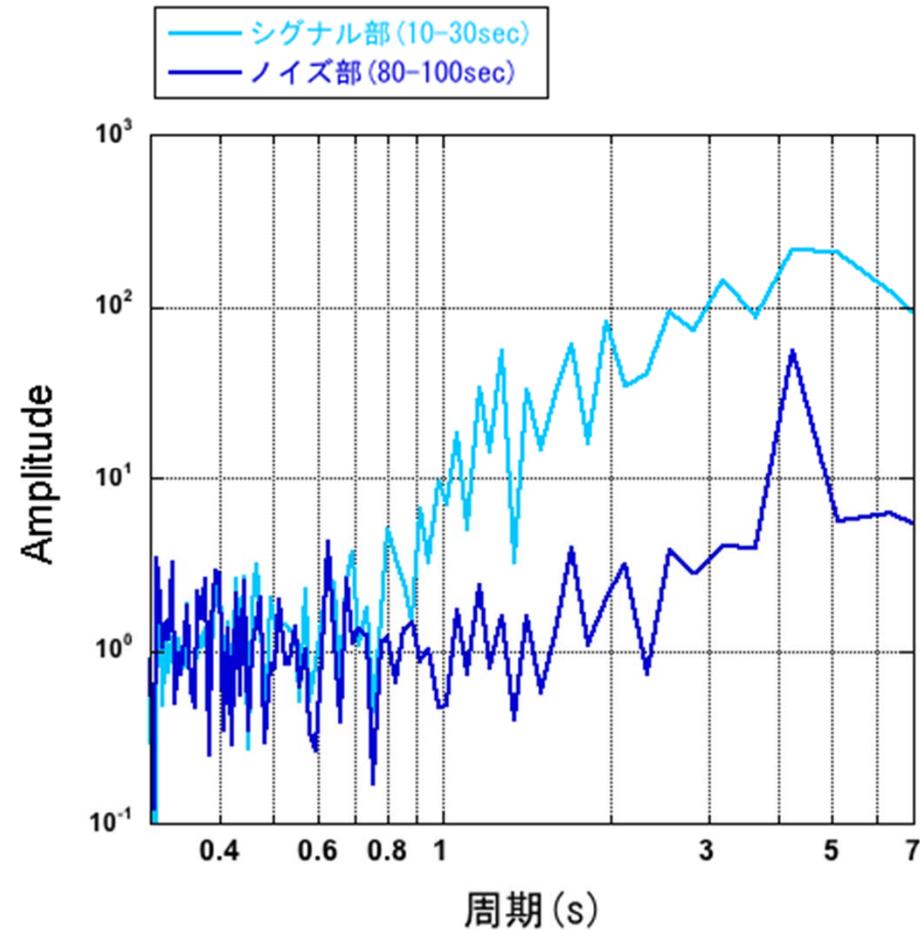
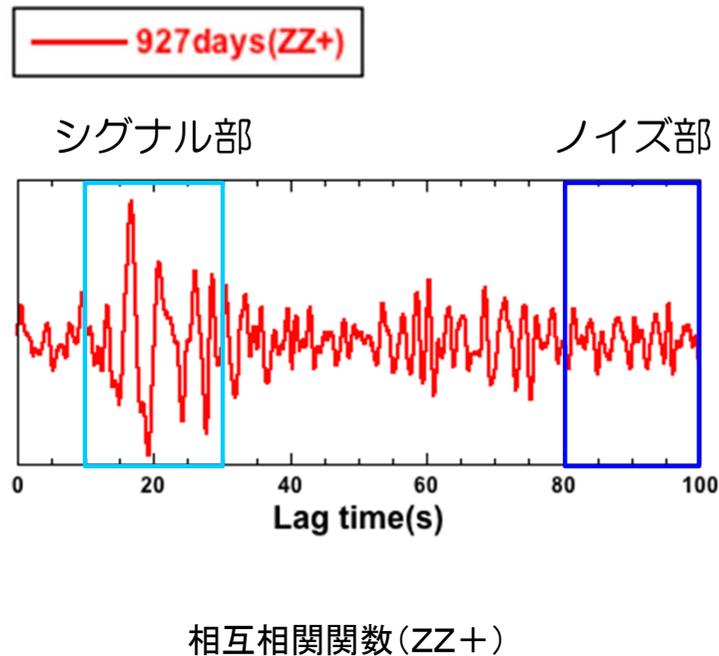
(ZZ)



スタック日数による相互相関関数の変化

- UD成分の正側(ZZ+)の相互相関関数において、スタック日数100日目以降、シグナルと思われるものが見え始め、解析には927日分のデータを用いた。

シグナルの検出



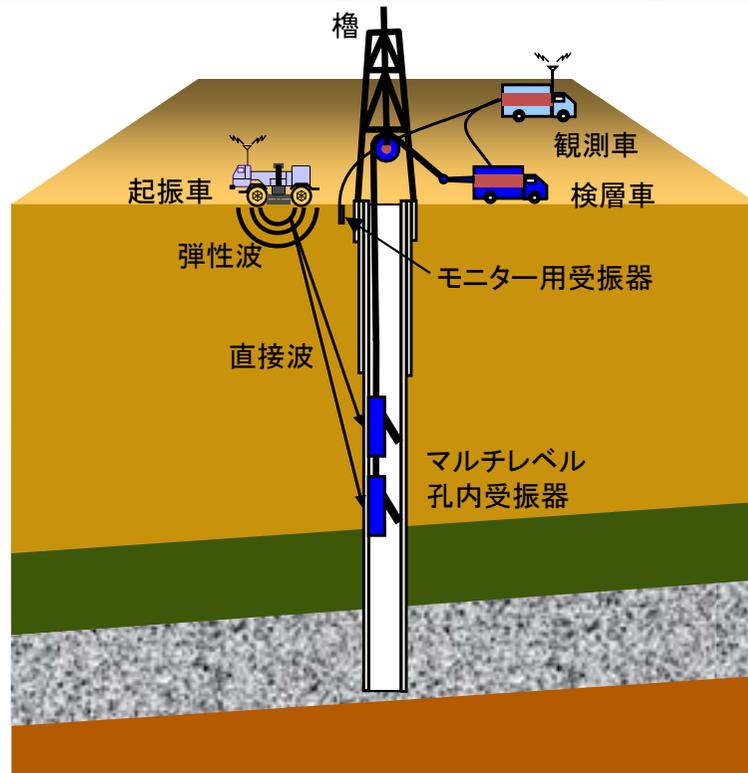
シグナル部とノイズ部のフーリエ振幅スペクトルの比較

- UD成分の正側(ZZ+)の相互相関関数について、シグナル部とノイズ部のフーリエ振幅スペクトルを比較すると、シグナル部の周期約0.8秒以上の成分で違いが見られ、ノイズ部よりもおおむね大きくなっていることから、グリーン関数が得られているものと解釈した。

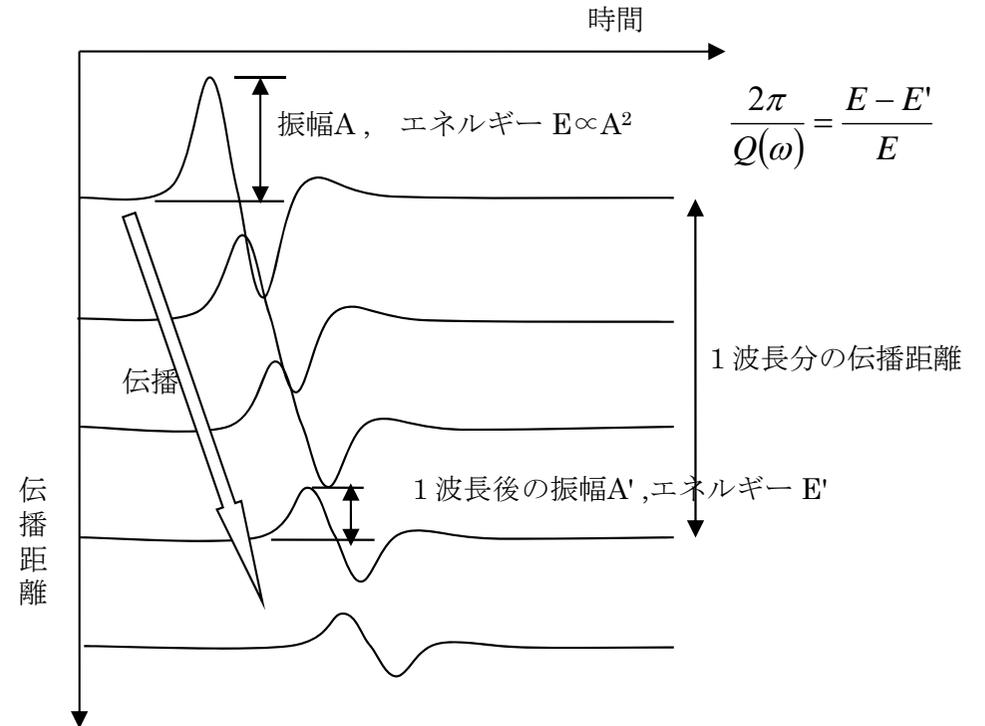
## 最大振幅法によるQ値の測定方法

PS検層(ダウンホール法)の調査仕様

発振源		孔内受振系		
		測定範囲	間隔	受振器
P波	大型バイブレータ1台	T.P.+10m~	5m	3成分受振器
S波	S波バイブレータ1台	T.P.-2,450m		



PS検層(ダウンホール法)での波動伝播と減衰の概念図



Q値は、蓄えられる最大のエネルギーEと、1波長(1サイクル)で消費されるエネルギーΔE(=E-E')により、

$$\frac{1}{Q(\omega)} = \frac{\Delta E}{2\pi E} \quad \text{で定義される。}$$

$$\frac{2\pi}{Q(\omega)} = \frac{E - E'}{E}$$

- 深部ボーリングSD-1孔でのPS検層(ダウンホール法)で得られる波形記録による伝播距離と振幅との関係からQ値を算出した。
- 各起振ごとの起振力のばらつきを補正するために、測定孔のそばの地表にモニター用受振器を固定観測点とし、孔内の受振器と同時に記録を取得した。

注)本節は、本編資料5.3.4項に関する補足説明資料。

## 5-12 最大振幅法によるQ値の測定について(2/2)

### 最大振幅法によるQ値の測定結果

最大振幅法によるQ値(S波)

標高 T.P.(m)	層No.※	卓越振動数 (Hz)	Q値 (Q <sub>s</sub> )	減衰定数 h(%)
4 ~ -424	1	30	29	1.72
-429 ~ -824	2	30	29	1.72
-829 ~ -2,454	3~5	30	109	0.46

最大振幅法によるQ値(P波)

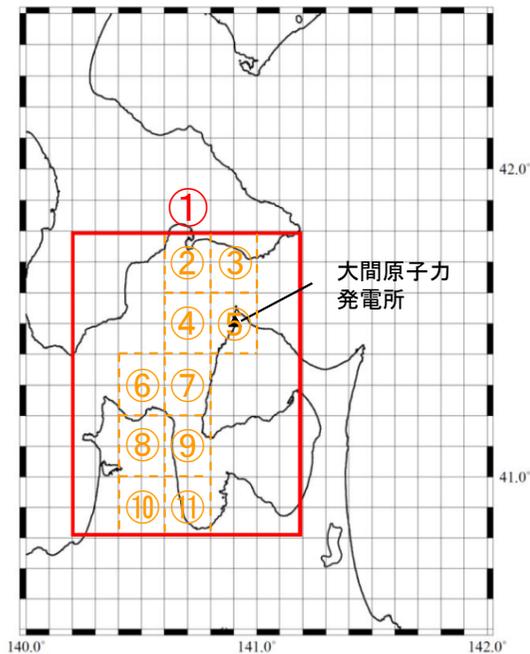
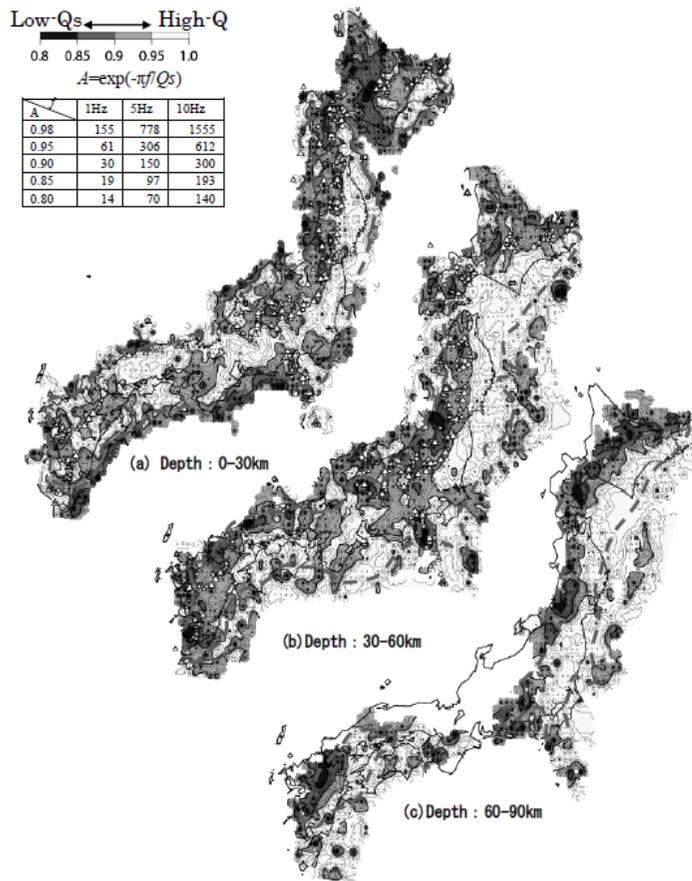
標高 T.P.(m)	層No.※	卓越振動数 (Hz)	Q値 (Q <sub>p</sub> )	減衰定数 h(%)
4 ~ -424	1	30	59	0.85
-429 ~ -824	2	30	9	5.56
-829 ~ -2,454	3~5	30	74	0.68

※ : 層No.は、本編資料P.5-31に示す最適化地盤モデル(深部)の層No.に対応する。

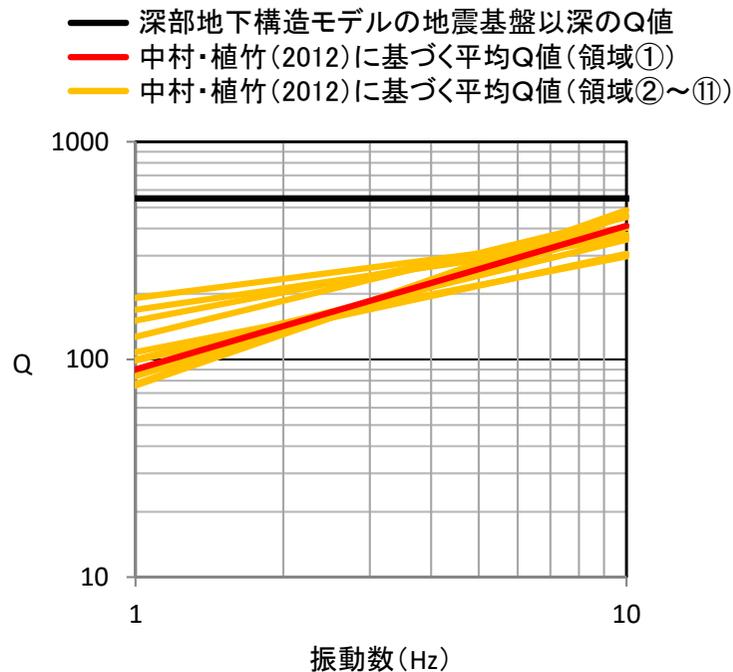
- 深部ボーリングSD-1孔での最大振幅法によるQ値の測定結果を上表に示す。
- 最適化地盤モデル(深部)の各層に対しQ値を求めた。



## 三次元Q値に基づく敷地周辺のQ値との比較



平均Q値の評価範囲



中村・植竹(2012)に基づく平均Q値及び  
深部地下構造モデルにおける設定値との比較

Fig.4. Comparison of the attenuation structure in the different depths at 10 Hz. The gray dashed curve denote are well recreated the checkerboard resolution test patterns. The large and small triangles are denote the active volcanoes (Japan Meteorological Agency,2005) and the Quaternary volcanoes (Committee for Catalog of Quaternary

### 中村・植竹(2012)による地殻・上部マントルのQ構造 (10Hz)

- 中村・植竹(2012)<sup>14)</sup>において、トモグラフィ手法を用いて、地殻・上部マントルのQ値が評価されている。
- 中村・植竹(2012)によるQ構造に基づく敷地付近の平均Q値に対して、深部地下構造モデルの地震基盤以深のQ値の方が大きく、地震動評価上保守的な設定となっていることを確認した。

注)本節は、本編資料5.3.4項に関する補足説明資料。

# 5-14 地盤モデルの解放基盤表面以浅の有無の影響について (1/4)

吉田ほか(2005)の概要

第822回審査会合  
資料2-2 P.5-33 再掲

表1 地盤モデル<sup>5)</sup>

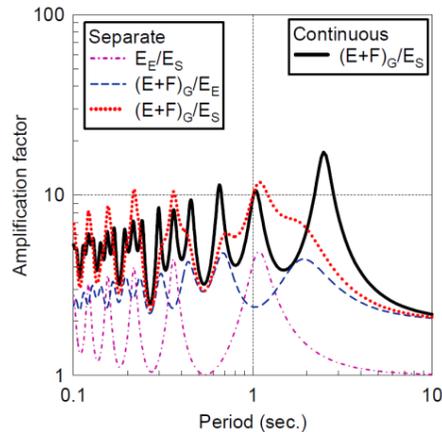
地表	No.	h (m)	$V_s$ (m/s)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	Q	備考
	1	2.0	107	1.80	14	
	2	4.0	176	1.80	13	
	3	6.5	201	1.90	12	
	4	9.0	193	1.90	12	
	5	15.5	239	1.70	12	
	6	22.0	234	1.70	9	
	7	32.0	248	1.80	7	
	8	40.0	309	1.80	7	
	9	50.0	378	1.80	7	EB2
工学的基盤①	10	180.0	379	1.70	100	
	11	360.0	690	2.00	100	EB1
	12	380.0	1100	2.10	100	
	13		2800	2.50	200	SB

一体モデル 分割モデル

表1 地盤モデル<sup>5)</sup>

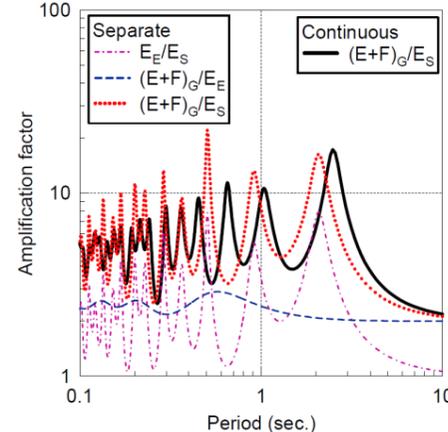
地表	No.	h (m)	$V_s$ (m/s)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	Q	備考
	1	2.0	107	1.80	14	
	2	4.0	176	1.80	13	
	3	6.5	201	1.90	12	
	4	9.0	193	1.90	12	
	5	15.5	239	1.70	12	
	6	22.0	234	1.70	9	
	7	32.0	248	1.80	7	
工学的基盤②	8	40.0	309	1.80	7	
	9	50.0	378	1.80	7	EB2
	10	180.0	379	1.70	100	
	11	360.0	690	2.00	100	EB1
	12	380.0	1100	2.10	100	
	13		2800	2.50	200	SB

一体モデル 分割モデル



工学的基盤～地表の厚さが、地震基盤～工学的基盤と同程度である場合、地表における地震波のピークが異なる結果となる。

黒実線：地盤を一体として計算した増幅比  
赤点線：地盤を分割して計算した増幅比



工学的基盤～地表の厚さが、地震基盤～工学的基盤と比較して十分小さい場合、地表における地震波のピークの変化は小さい結果となる。

黒実線：地盤を一体として計算した増幅比  
赤点線：地盤を分割して計算した増幅比

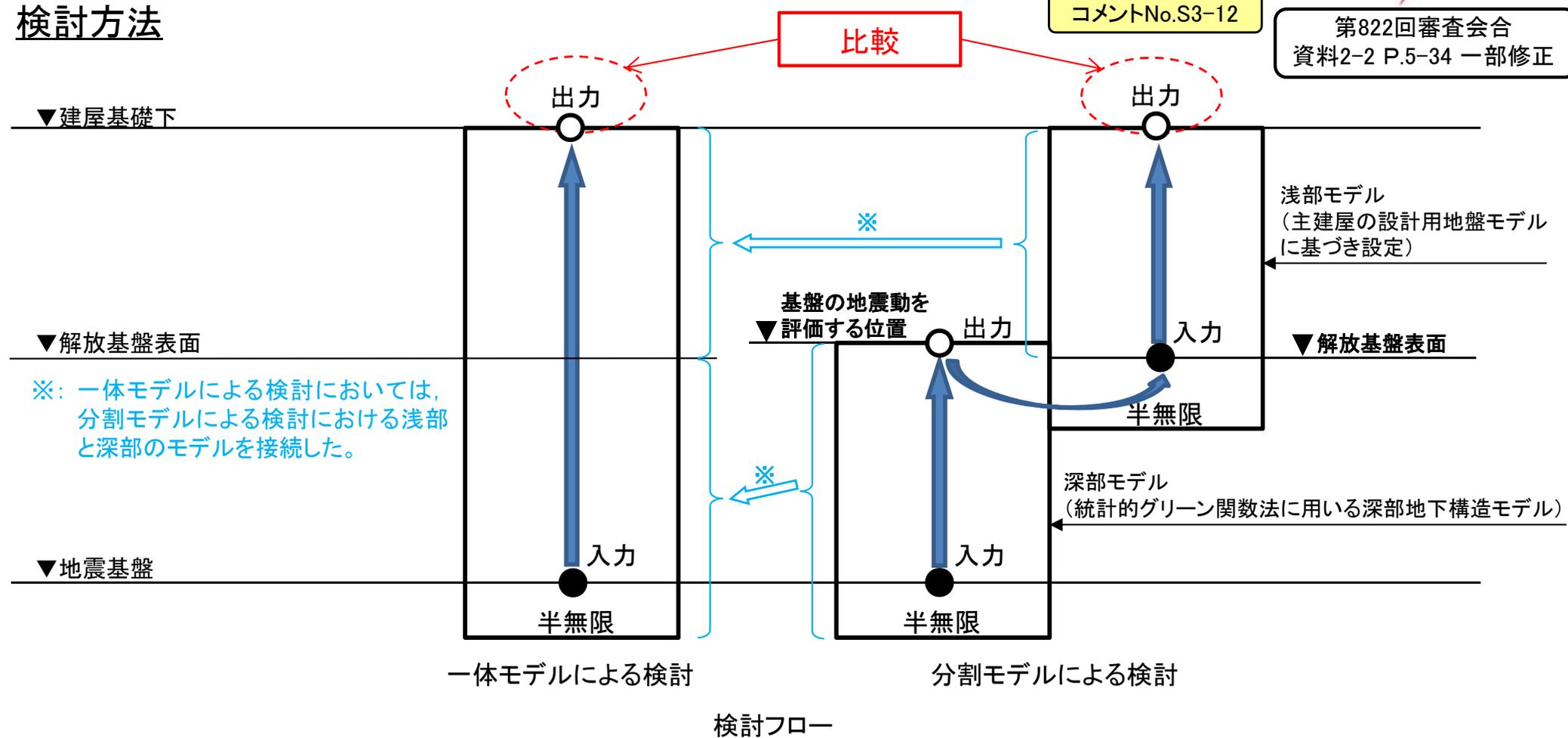
吉田ほか(2005)より抜粋

- 吉田ほか(2005)<sup>15)</sup>は、地震基盤から地表までの地盤を工学的基盤で分離し、別々に解析を行う方法の妥当性について検討した結果として、以下の内容をまとめている。
- 地盤を分離すると、個々の振動特性は全体系の一部とは異なるため、分離したものは全体系と同じにはならない。
- 分離した一方が他方に比べて十分小さい場合、分離した影響は小さくなる。例えば、表層が薄い場合や、地震基盤が浅い場合がこれに当てはまる。

## 5-14 地盤モデルの解放基盤表面以浅の有無の影響について (2/4)

## 検討方法

コメントNo.S3-12

第822回審査会合  
資料2-2 P.5-34 一部修正

- 原子力発電所の耐震設計では、解放基盤表面において基準地震動を定義した上で、建屋への入力地震動を算定している。
- 吉田ほか(2005)の知見を踏まえ、地震基盤から建屋基礎下位置までを一体とした「一体モデル」と、解放基盤表面で分割した「分割モデル」を作成し、地震基盤で入力した際の建屋基礎下位置での応答を比較した。
- 入力波には、F-14断層による地震の地震動評価結果※を用いた。

## 5-14 地盤モデルの解放基盤表面以浅の有無の影響について (3/4)

## 検討に用いる地盤モデル

コメントNo.S3-12

第822回審査会合  
資料2-2 P.5-35 一部修正

## 一体モデル

▼建屋基礎下	標高T.P. (m)	層厚 (m)	$\rho$ ※1 (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Qs
	-13.7	14.0	1.85	820	25
	-27.7	95.8	2.05	1120	25
	-123.5	40.6	1.48	560	25
▼解放基盤表面	-164.1	95.9	1.53	660	25
	-260	100.0	1.6	860	50
	-360	490.0	2.3	1700	80
	-850	950.0	2.5	2200	290
▼地震基盤	-1800	440.0	2.7	2700	290
	-2240	∞	2.7	3200	550

※1 :  $\rho$  は、平均密度とする。

※2 : 一体モデルによる検討においては、分割モデルによる検討における浅部と深部のモデルを接続した。

## 分割モデル

## 浅部モデル

▼建屋基礎下	標高T.P. (m)	層厚 (m)	$\rho$ ※1 (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Qs
	-13.7	14.0	1.85	820	25
	-27.7	95.8	2.05	1120	25
	-123.5	40.6	1.48	560	25
▼解放基盤表面	-164.1	95.9	1.53	660	25
	-260	∞	1.6	860	50

## 深部モデル

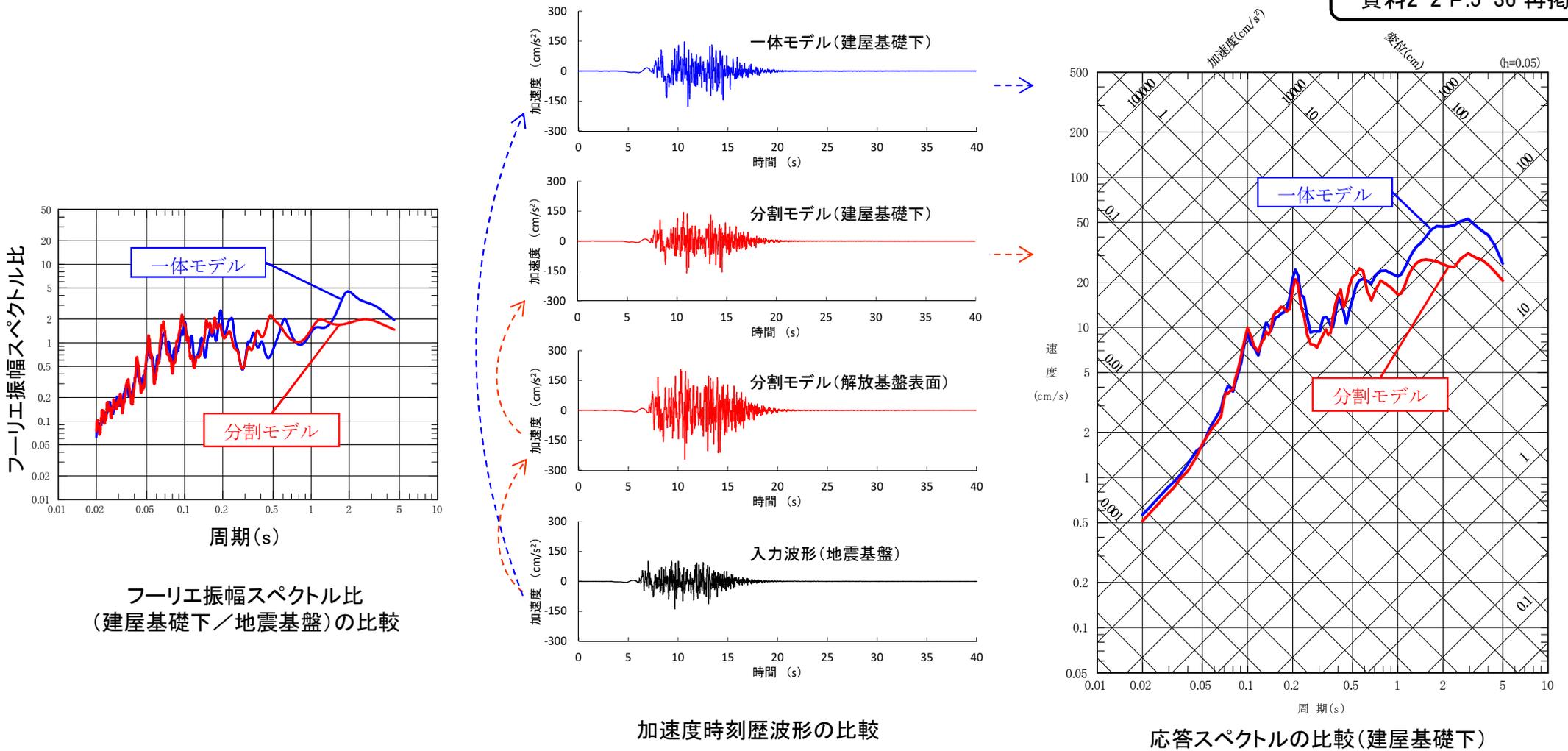
基盤の地震動を ▼評価する位置	標高T.P. (m)	層厚 (m)	$\rho$ ※1 (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Qs
	-230	100.0	1.6	860	50
	-330	490.0	2.3	1700	80
	-820	950.0	2.5	2200	290
▼地震基盤	-1770	440.0	2.7	2700	290
	-2210	∞	2.7	3200	550

- 地震基盤から解放基盤表面までの深部モデルは、統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルとした。
- 解放基盤表面から建屋基礎下位置までの浅部モデルは、主建屋の設計用地盤モデルに基づき設定した。

# 5-14 地盤モデルの解放基盤表面以浅の有無の影響について (4/4)

## 検討結果

第822回審査会合  
資料2-2 P.5-36 再掲



- 一体モデル及び分割モデルについて、地震基盤に地震波を入力した場合の、建屋基礎下における地震動を比較した結果、重要施設の主要周期帯となる短周期域について、フーリエスペクトル比(建屋基礎下/地震基盤)及び建屋基礎下における応答スペクトルの差は小さい。



# 5-15 平成26年12月変更申請時の地下構造モデル (1/2)

## 浅部地下構造モデル

平成26年12月変更申請時における  
はぎとり解析に用いる浅部地下構造モデル

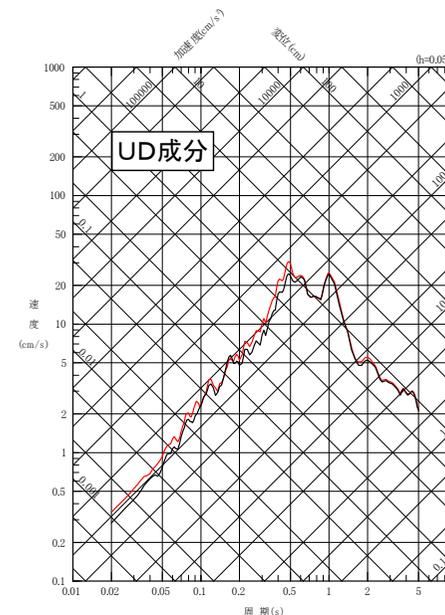
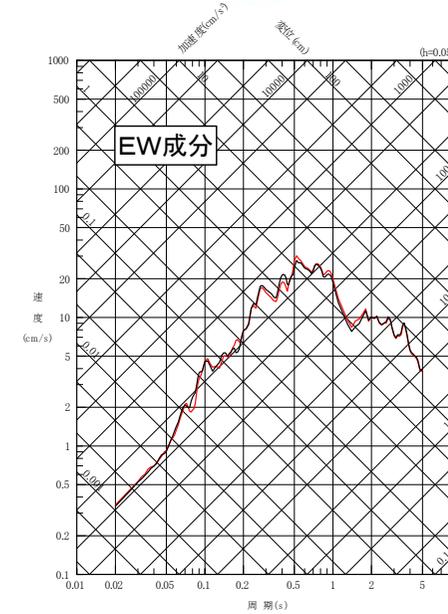
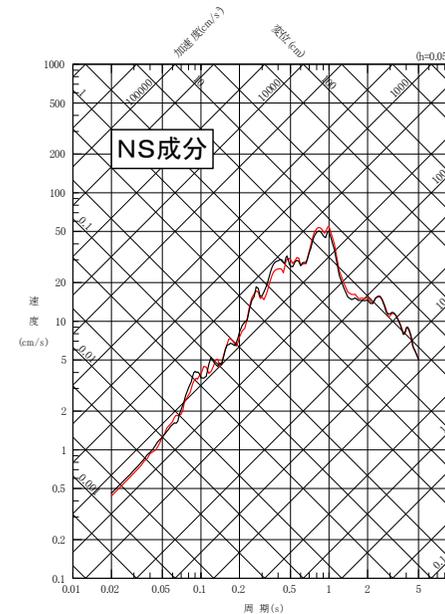
層厚 (m)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs(f) (hs(f))		Qp(f) (hp(f))	
				Qo (ho(f))	n ( $\alpha$ )	Qo (ho(f))	n ( $\alpha$ )
10	1.59	220	470	4.35 (0.115)	0.68 (0.68)	1.25 (0.40)	0.84 (0.84)
15	1.90	700	1890				
75	2.06	1000	2440				
70	1.51	510	1700				
70	1.52	690	1700				
$\infty$	1.61	850	2200				

基盤の地震動を  
評価する位置  
T.P.-207.5m  
▼

$$Q(f) = Q_0 \cdot f^n$$

$$h(f) = h_0 \cdot f^{-\alpha}, \quad h(f) = 1/2Q(f)$$

- 鉛直アレイ地震観測地点の任意の2点間による観測記録の伝達関数(フーリエ振幅スペクトル比)を用いた逆解析により、最適化地盤モデルを作成し、はぎとり解析に用いる浅部地下構造モデルとして設定した。
- 平成5年(1993年)釧路沖地震について、平成26年12月変更申請時と今回説明の浅部地下構造モデルの基盤の地震動を評価する位置におけるはぎとり波を比較するとよく整合しており、地下構造モデルの変更によるはぎとり波への影響は見られない。



— 平成26年12月変更申請時の  
浅部地下構造モデル  
— 今回説明の浅部地下構造モデル  
(本編資料P.5-19参照)

観測記録の基盤の地震動を評価する位置のはぎとり波の比較  
(平成5年(1993年)釧路沖地震)



# 5-15 平成26年12月変更申請時の地下構造モデル (2/2)

## 深部地下構造モデル

平成26年12月変更申請時における  
統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル

層厚 (m)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs(f)			Qp(f)		
				Qo	n	Qi	Qo	n	Qi
150	1.6	880	2380	31.5	1.10	338	15.3	1.04	338
390	2.1	1210	2830	28.1	1.02	409	26.8	1.05	419
310	2.3	1720	3530	21.3	1.22	463	31.5	1.04	387
$\infty$	2.6	3160	5520						

$$1/Q(f) = 1/(Q_o \cdot f^n) + 1/Q_i$$

平成26年12月変更申請時における  
理論計算に用いる深部地下構造モデル

層厚 (m)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q(f)		
				Qo	n	Qi
150	1.6	880	2380	31.5	1.10	338
390	2.1	1210	2830	28.1	1.02	409
310	2.3	1720	3530	21.3	1.22	463
1910	2.6	3160	5520	300	0.00	
4500	2.6	3410	5900			
5000	2.6	3520	6100			
7500	2.6	3710	6420			
12000	2.8	3850	6660			
33000	3.2	4360	7550			
33000	3.2	4380	7590			
33000	3.2	4490	7780			
$\infty$	3.2	4490	7780			

$$1/Q(f) = 1/(Q_o \cdot f^n) + 1/Q_i$$

- 鉛直アレイ地震観測地点で得られた観測記録によるP波部のH/Vスペクトル比を用いた逆解析により、最適化地盤モデルを作成した。
- 最適化地盤モデルを、統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルとして設定した。
- 理論計算に用いる地下構造モデルについては、地震基盤以深の速度構造、密度、Q値について、佐藤ほか(1989)<sup>16)</sup>及び福山ほか(1998)<sup>17)</sup>に基づき設定した。

地震基盤  
T.P.約-1100m  
▼

- 1) 地質調査総合センター:数値地質図P-2 日本重力データベース DVD版, 独立行政法人産業技術総合研究所, 2013
- 2) Kobayashi, K., T.Uetake, M.Mashimo and H.Kobayashi: ESTIMATION OF DEEP UNDERGROUND VELOCITY STRUCTURES BY INVERSION OF SPECTRAL RATIO OF HORIZONTAL TO VERTICAL COMPONENT IN P-WAVE PART OF EARTHQUAKE GROUND MOTION, 12WCEE2000, 2658
- 3) 佐藤吉之・小林喜久二・平原謙司・坂本大輔・横野敬二: S波主要動部の水平/上下スペクトル振幅比による地震動の異方性評価, 日本地震工学会大会梗概集, pp.464-465, 2011
- 4) Sawada, Y., Y.Tazawa, H.Yajima, S.Sasaki and S.Noguchi: INVESTIGATION ABOUT DIRECTIONAL DEPENDENCE OF EARTHQUAKE AMPLIFYING CHARACTERISTICS BASED ON HIGH-DENSITY SEISMIC OBSERVATION, 5<sup>th</sup> IASPEI/IAEE International Symposium, 2016
- 5) 佐藤浩章・金谷守・大鳥靖樹: 減衰定数の下限値を考慮したスペクトル比の逆解析による同定手法の提案—岩盤における鉛直アレイ記録への適用と減衰特性の評価—, 日本建築学会構造系論文集, 第604号, pp.55-62, 2006
- 6) 太田裕: 地震工学への最適化法の適用 1. 八戸港湾SMAC設置点の地下構造推定, 日本建築学会論文報告集, 第229号, pp.35-41, 1975
- 7) 武村雅之・池浦友則・高橋克也・石田寛・大島豊: 堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価, 日本建築学会構造系論文報告集, 第446号, pp.1-11, 1993
- 8) Kobayashi, K., F.Amaike and Y.Abe: ATTENUATION CHARACTERISTICS OF SOIL DEPOSITS AND ITS FORMULATION, International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Vol.1, pp.269-274, 1992
- 9) 小林喜久二・久家英夫・植竹富一・真下貢・小林啓美: 伝達関数の多地点同時逆解析による地盤減衰の推定 その3 Q値の基本式に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 構造II, pp.253-254, 1999
- 10) 梅田尚子・佐藤吉之・小林喜久二: 逆解析による地盤のQ値モデルの適用性に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.401-402, 2014
- 11) 岩田知孝・入倉孝次郎: 観測された地震波から, 震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み, 地震, 第2輯, 第39巻, pp.579-593, 1986
- 12) Wapenaar, K.: Retrieving the Elastodynamic Green's Function of an Arbitrary Inhomogeneous Medium by Cross Correlation, PHYSICAL REVIEW LETTERS, doi:10.1103/PhysRevLett.93.254301, 2004
- 13) Shapiro, N. M. and M.Campillo: Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL.31, L07614, doi:10.1029/2004GL019491, 2004
- 14) 中村亮一・植竹富一: 地殻・上部マントルでの減衰—トモグラフィ手法によるQ値評価とその利用—, 物理探査, 第65巻, 第1&2号, pp.67-77, 2012
- 15) 吉田望・篠原秀明・澤田純男・中村晋: 設計用地震動の設定における工学的基盤の意義, 土木学会地震工学論文集, 第28巻, Paper No.170, 2005
- 16) 佐藤魂夫・中山耕治・田中和夫・長谷見晶子: 東北地方北部の三次元P波速度構造, 地震, 第2輯, 第42巻, pp.419-437, 1989
- 17) 福山英一・石田瑞穂・Douglas S.DREGER・川井啓廉: オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震, 第2輯, 第51巻, pp.149-156, 1998