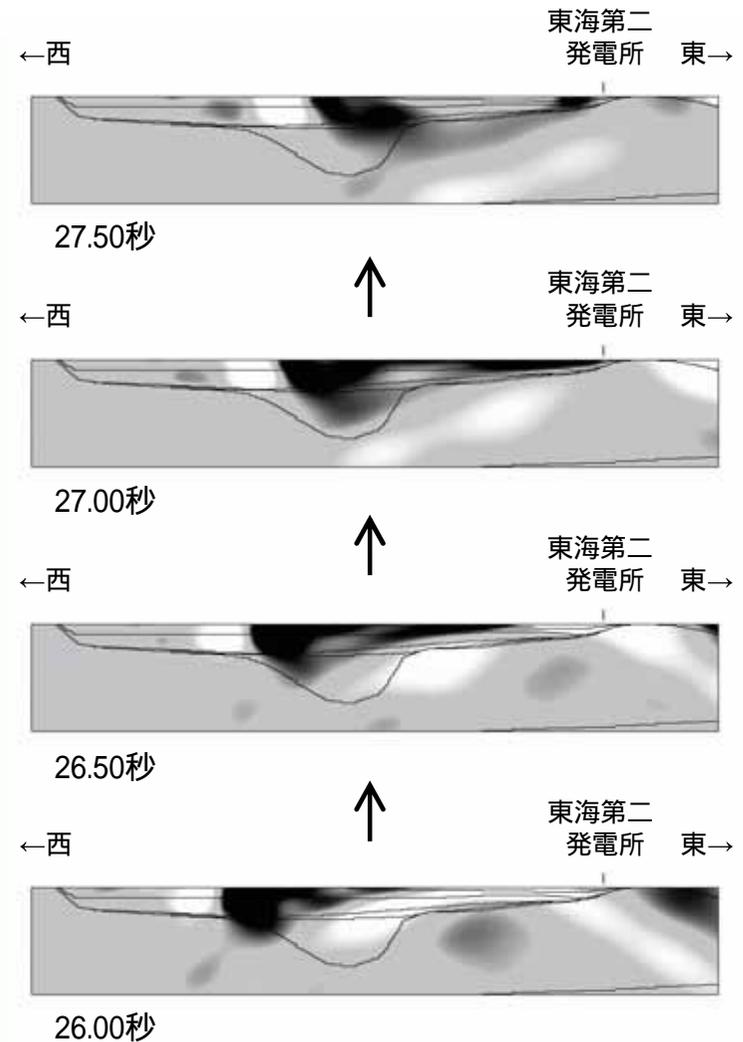
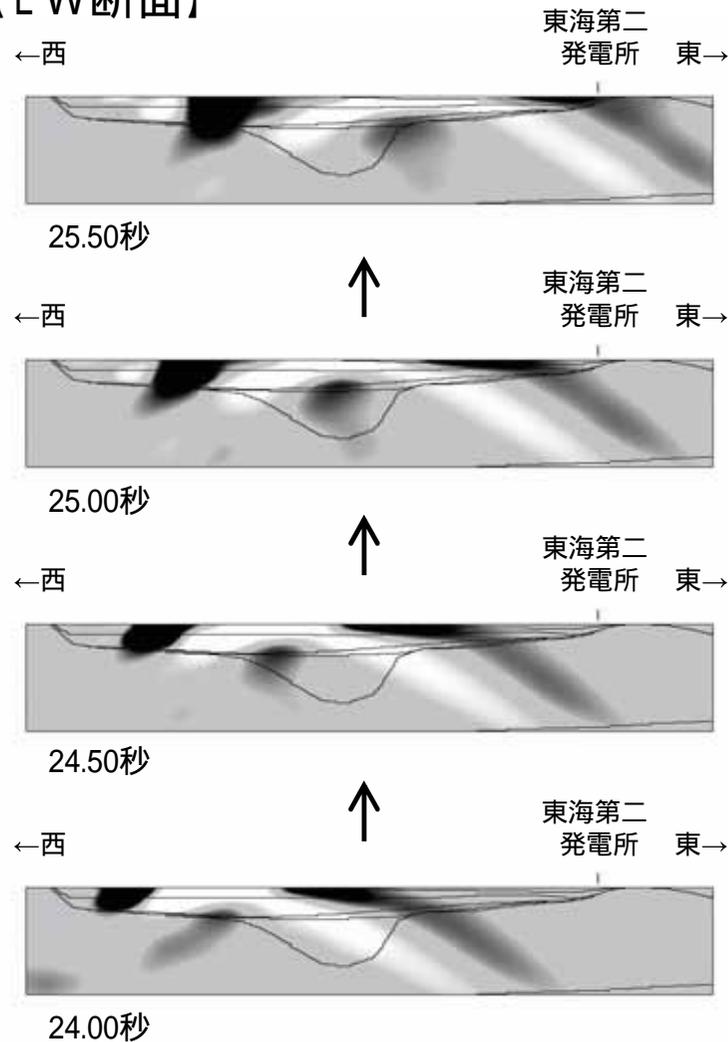


【EW断面】

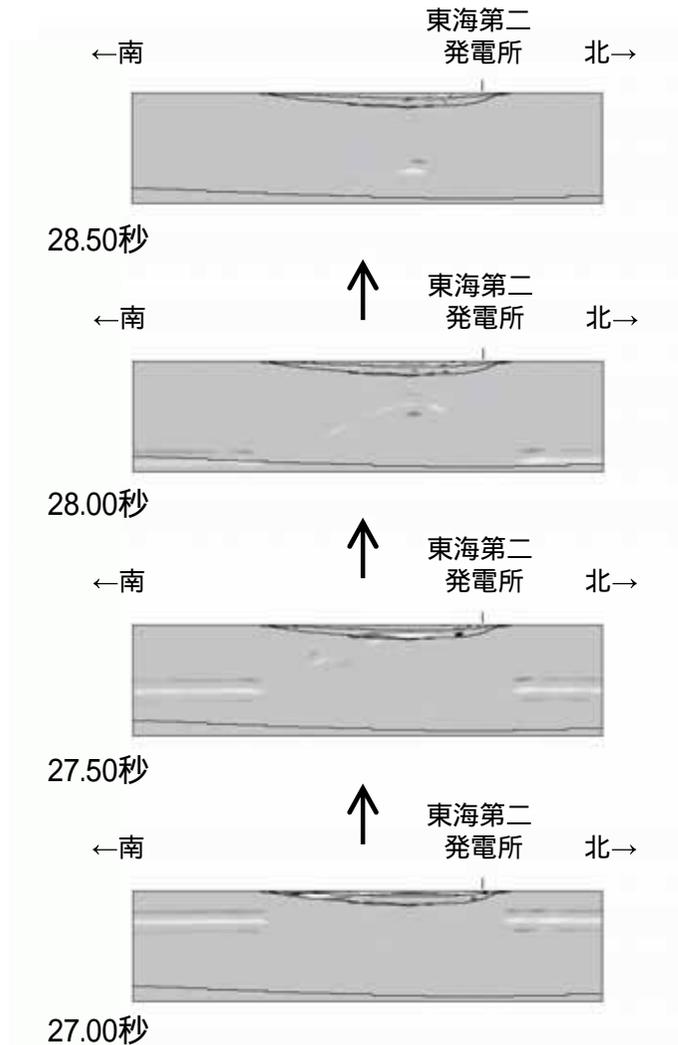
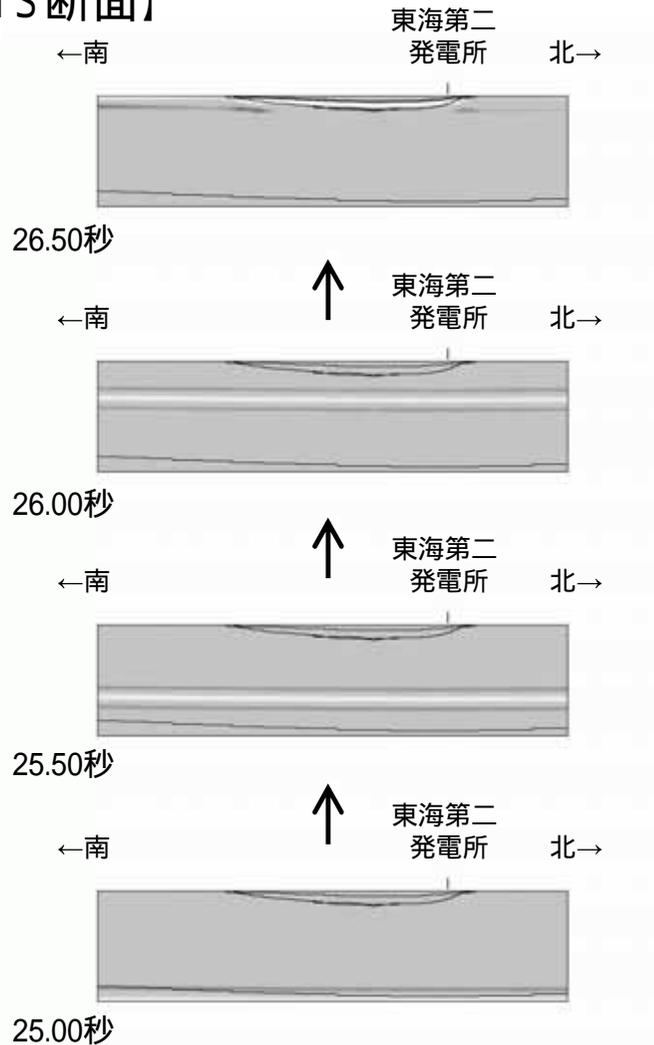


解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角40度)

〔 黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1 〕

# 解析結果 - スナップショット - (13 / 24)

## 【NS断面】

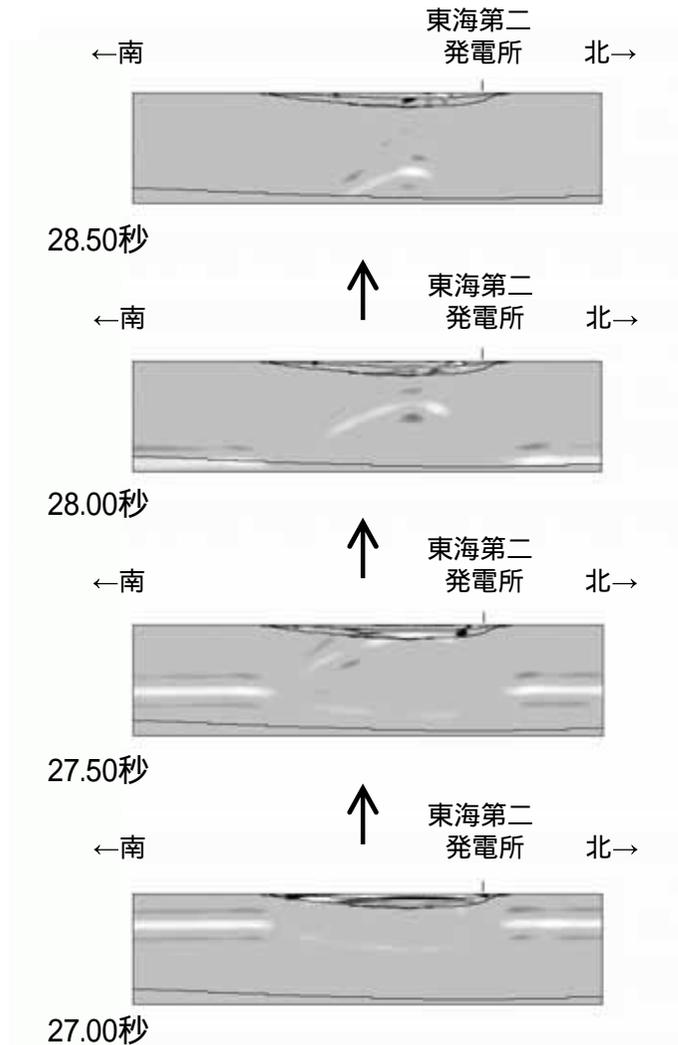
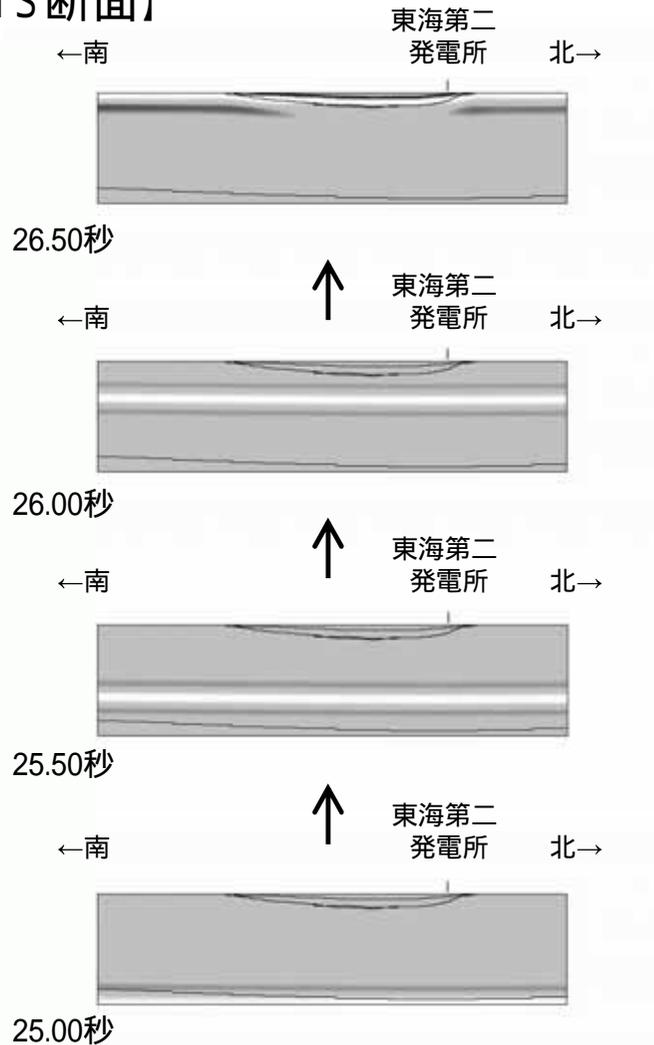


解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角0度)

黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (14 / 24)

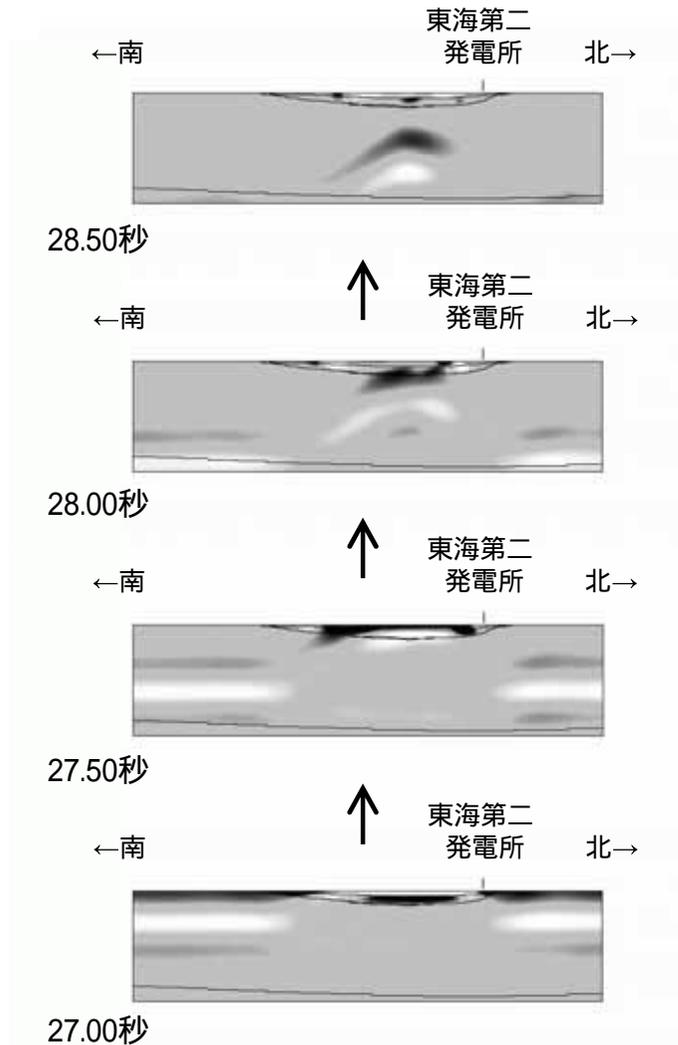
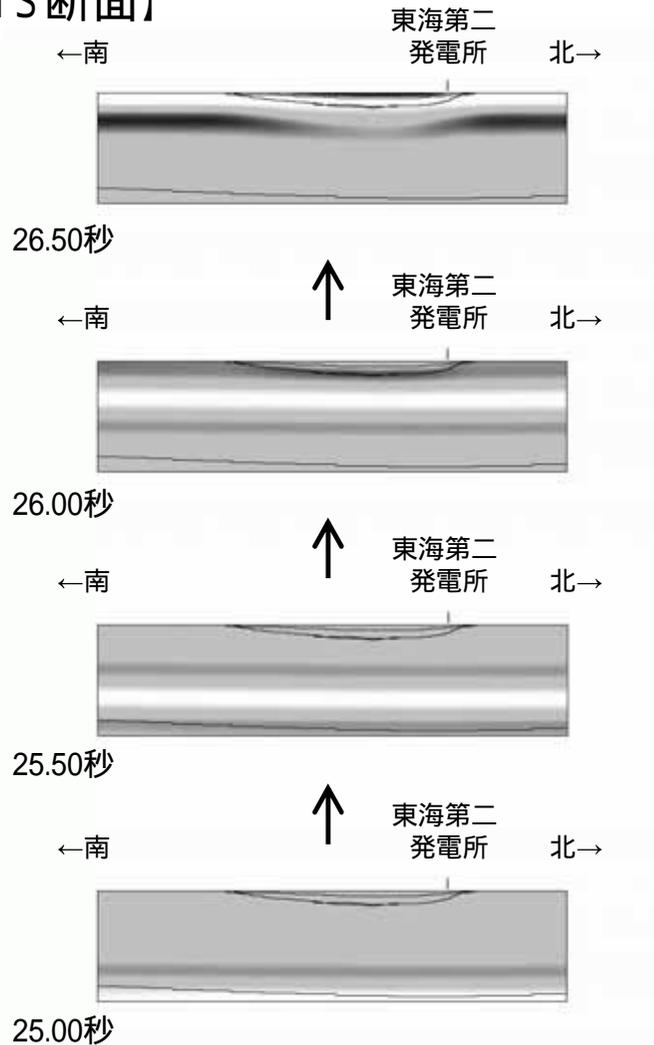
## 【NS断面】



解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角0度)

〔 黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1 〕

【NS断面】

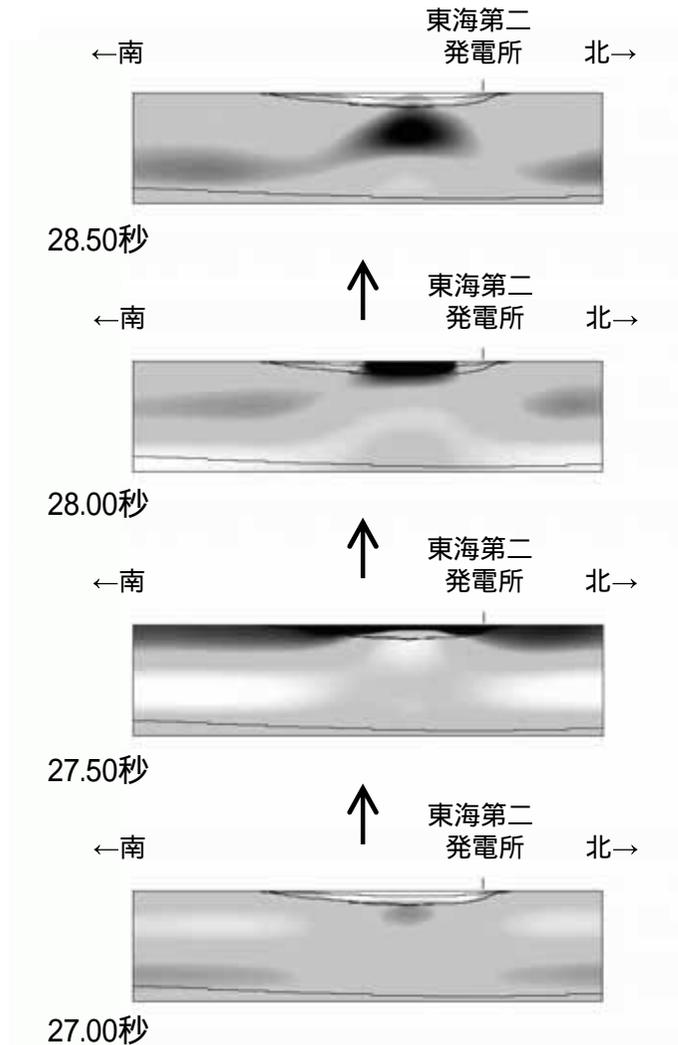
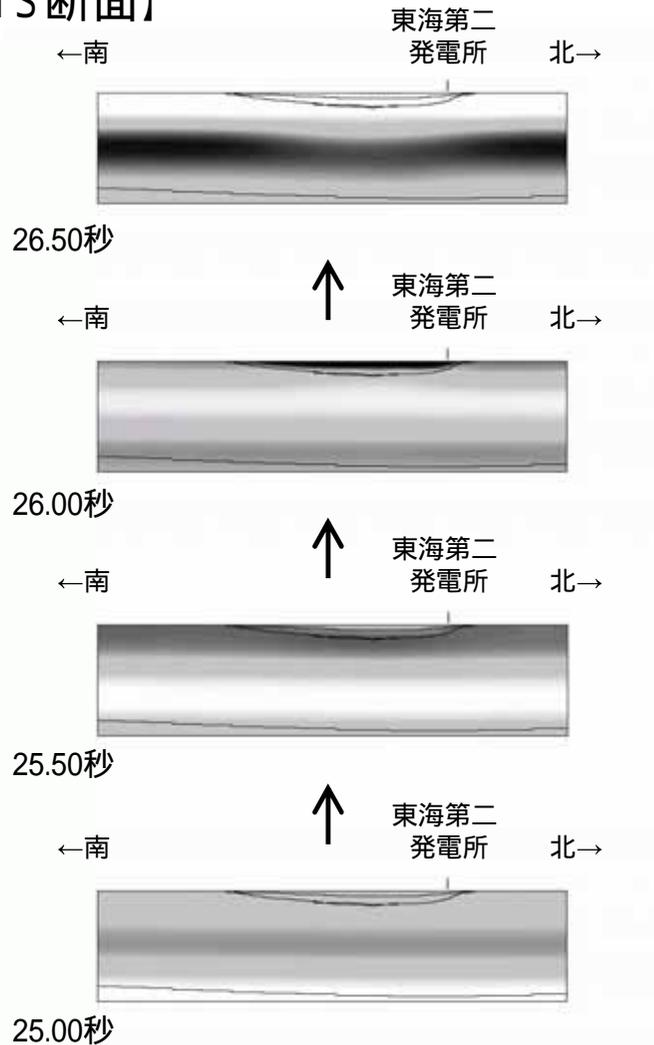


解析結果(入力波:リッカー波,中心周期1.0秒,入射角0度)

黒は+側,白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (16 / 24)

## 【NS断面】

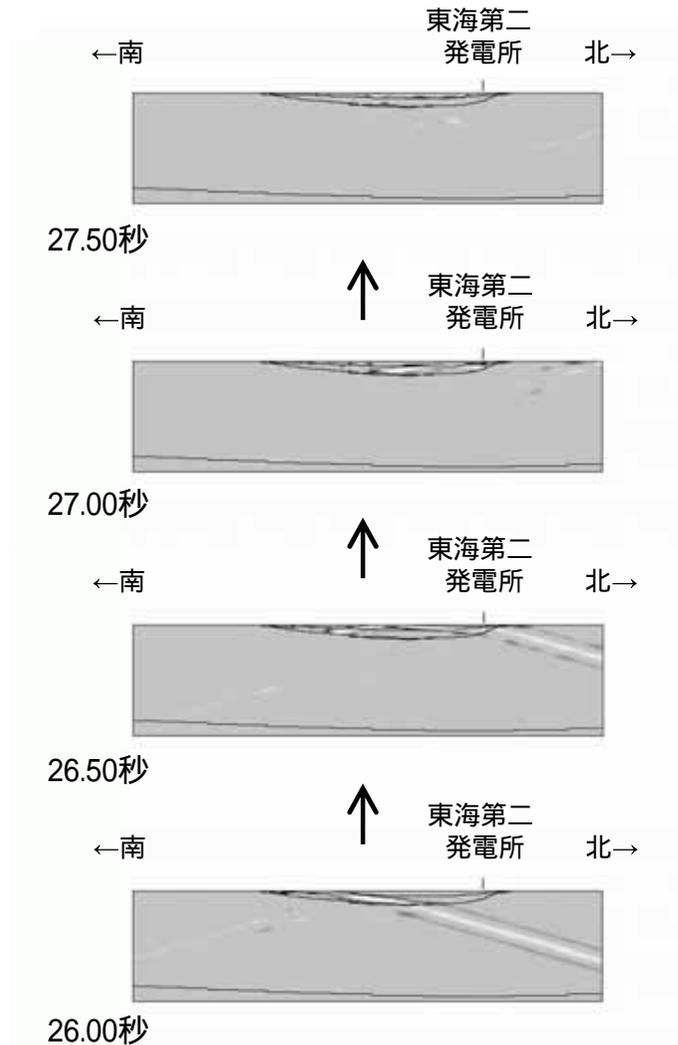
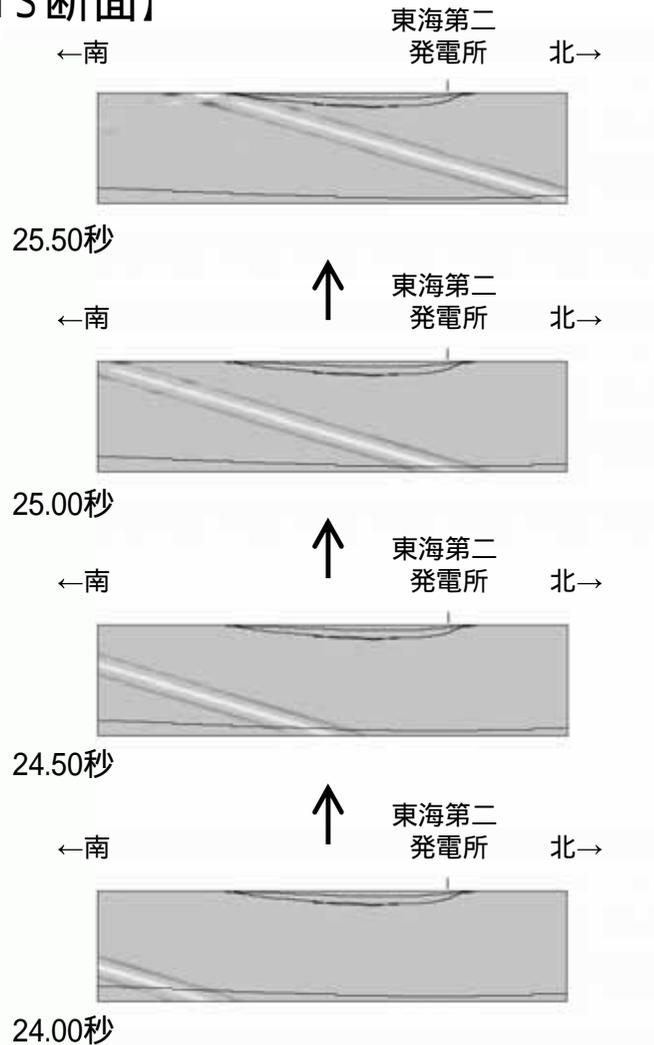


解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角0度)

〔 黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1 〕

# 解析結果 - スナップショット - (17 / 24)

## 【NS断面】

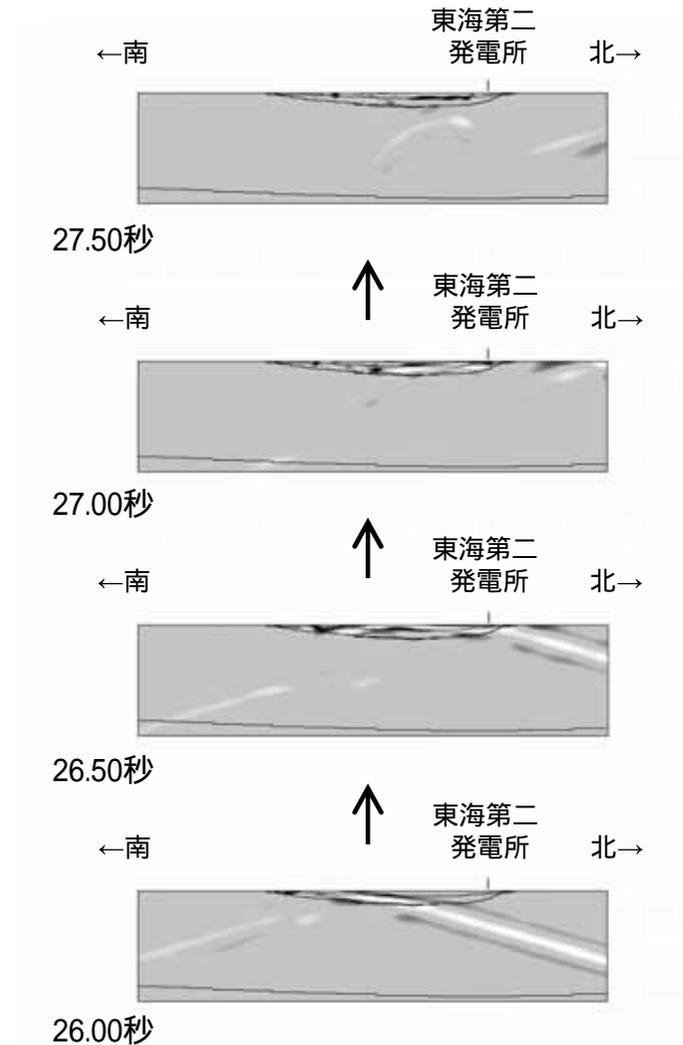
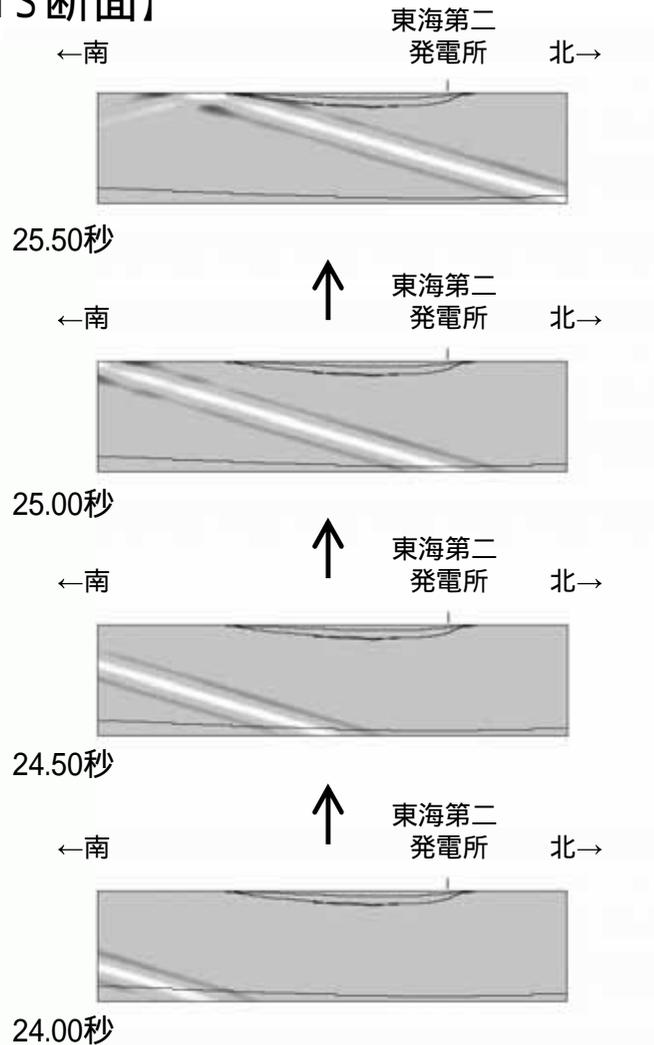


解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角20度)

黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (18 / 24)

## 【NS断面】

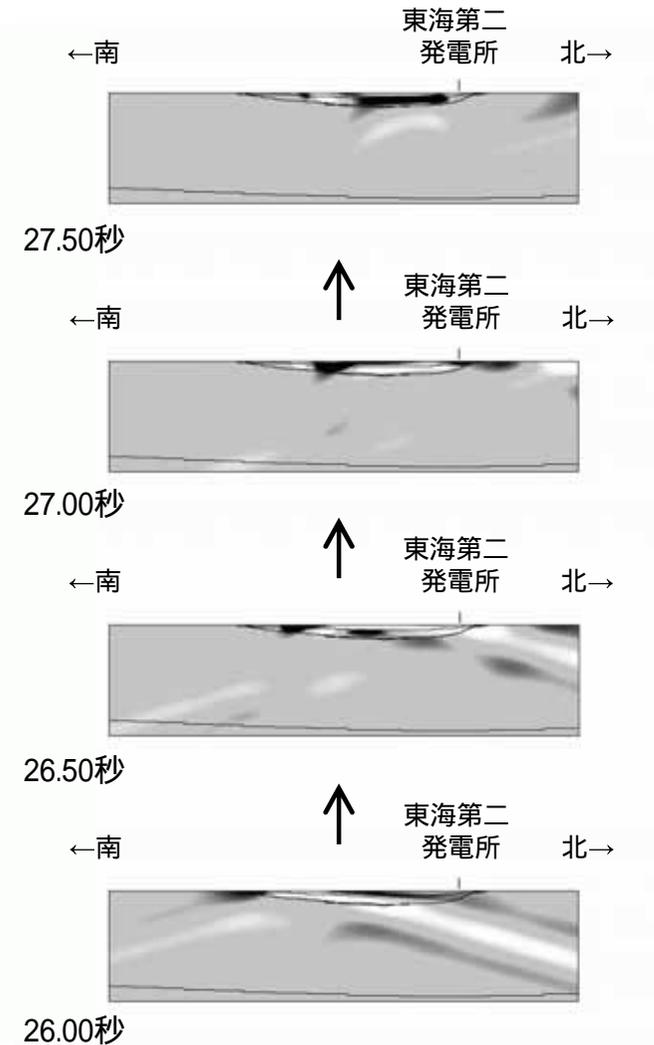
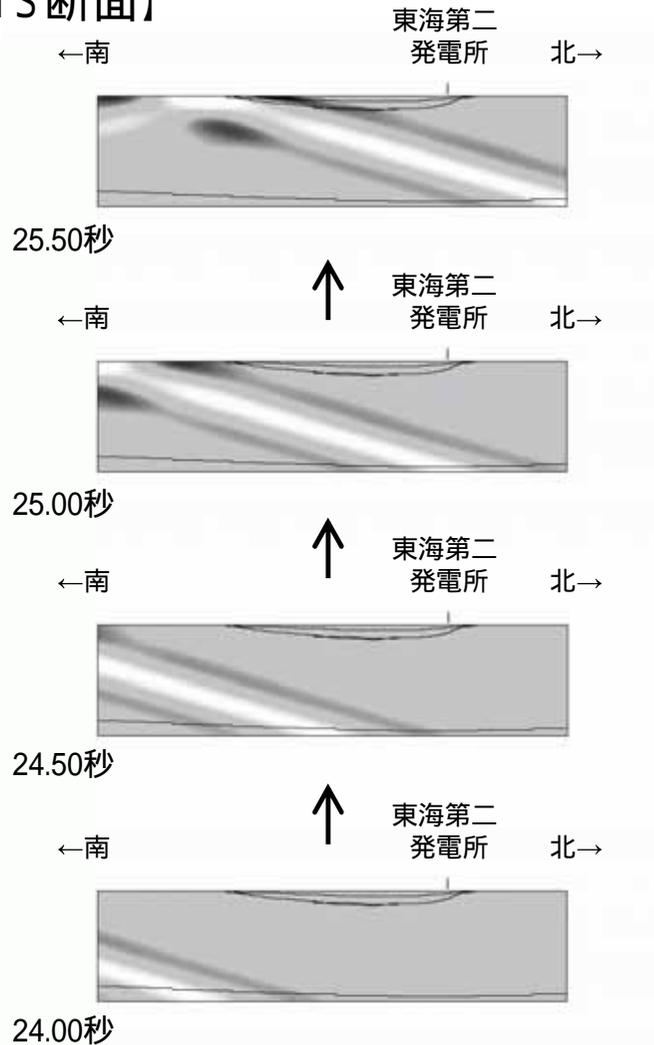


解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角20度)

黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (19 / 24)

## 【NS断面】

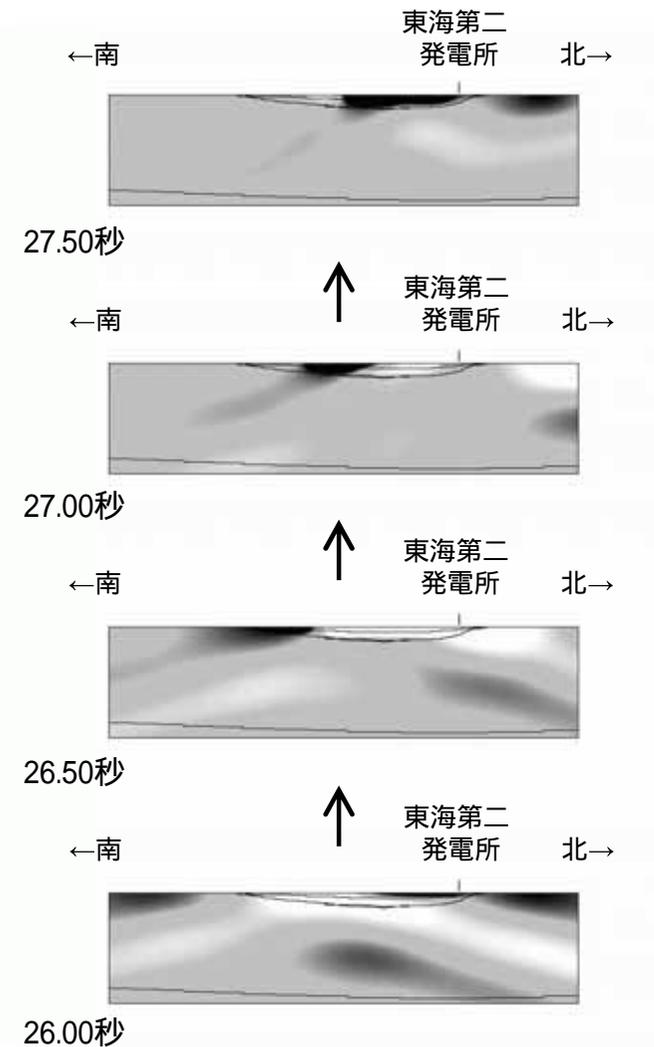
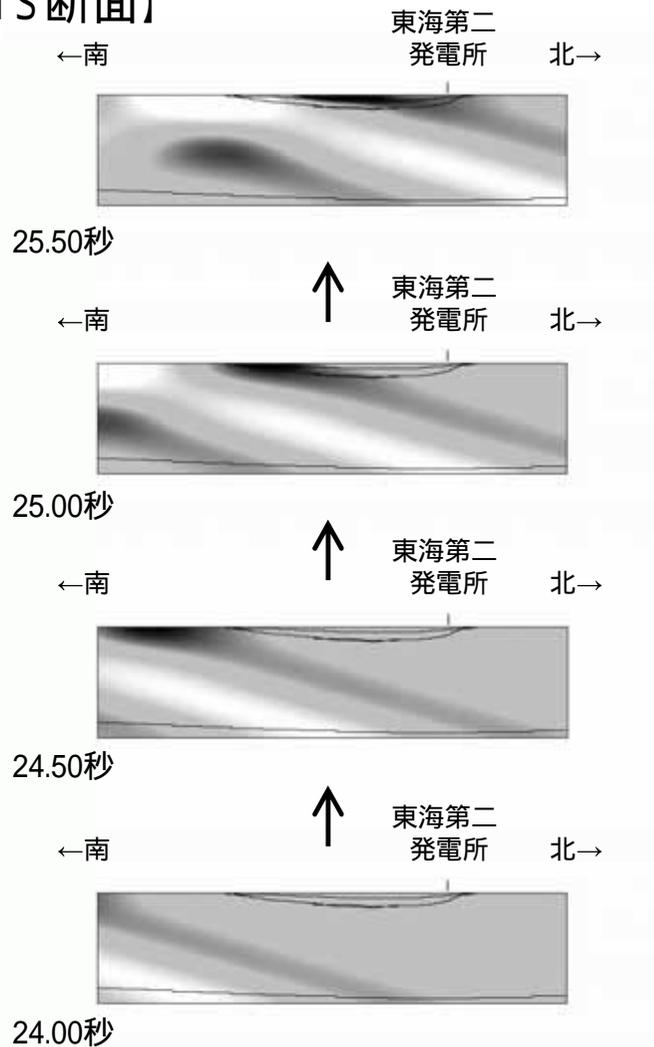


解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角20度)

黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (20 / 24)

## 【NS断面】

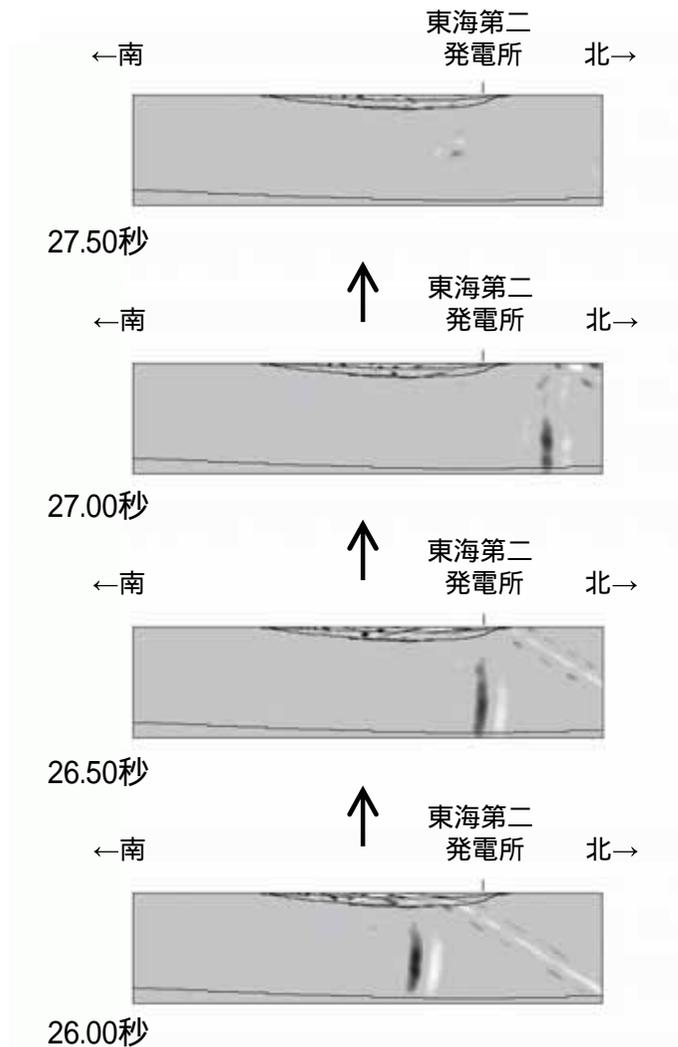
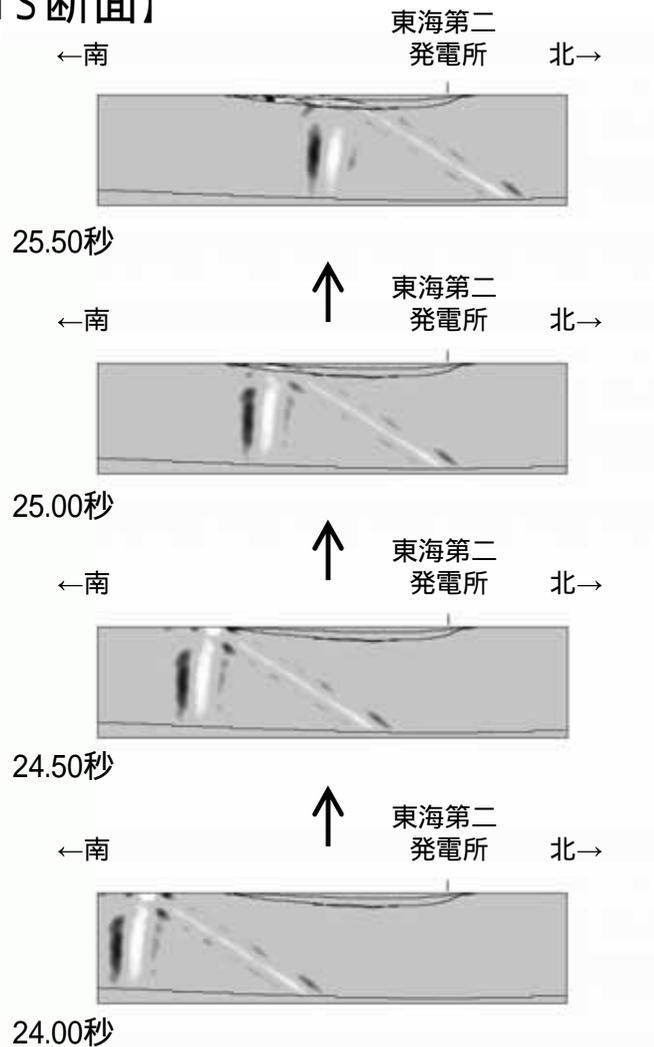


解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角20度)

黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (21 / 24)

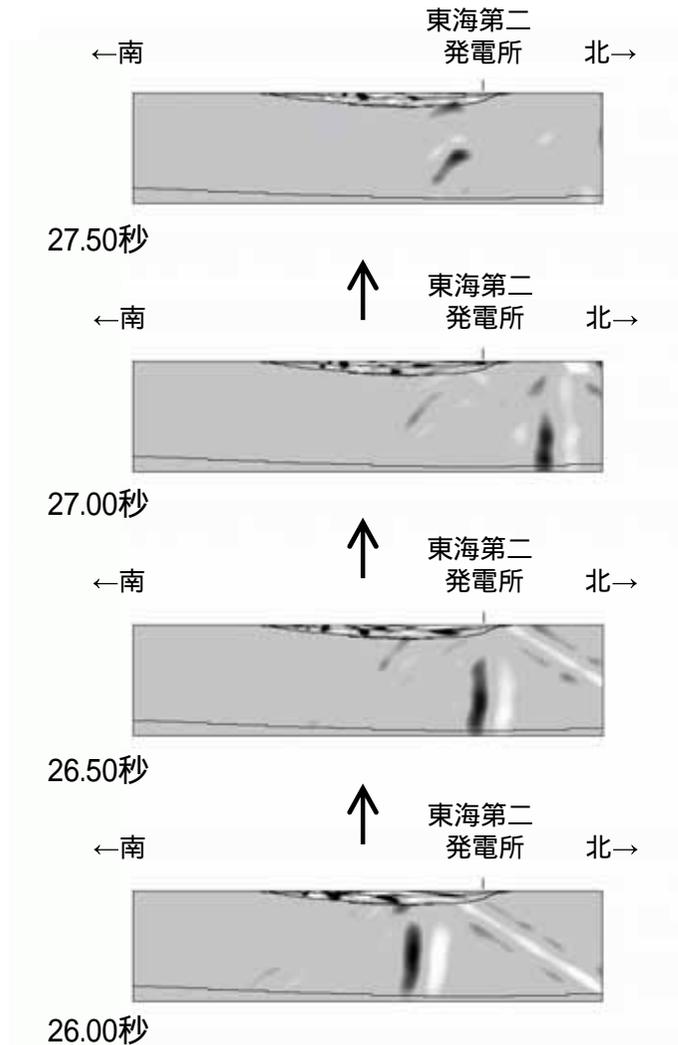
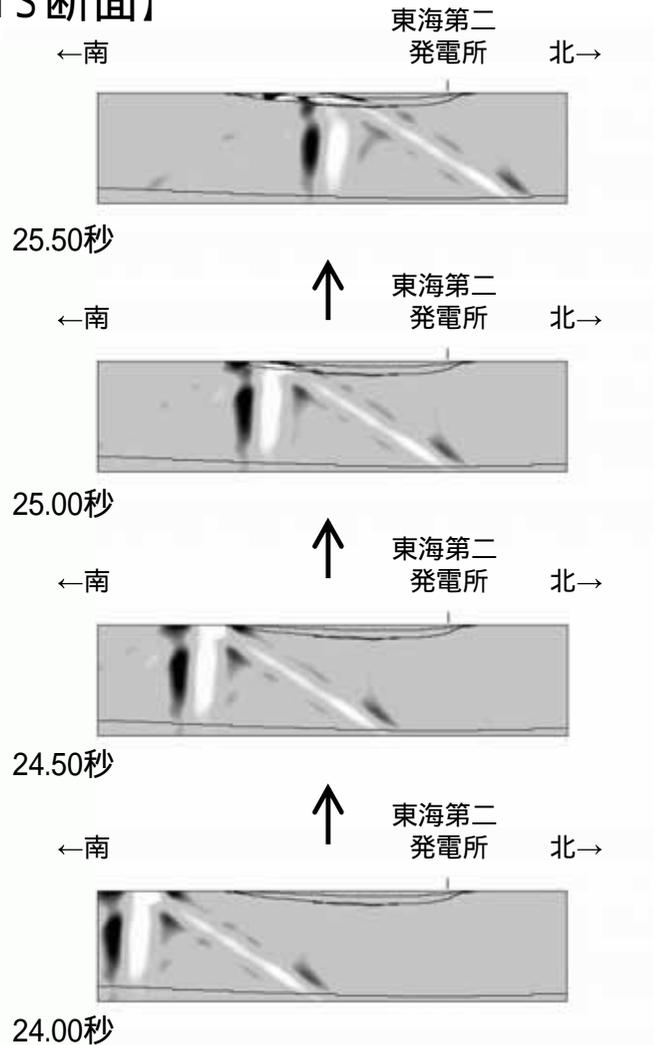
## 【NS断面】



解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角40度)

黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

【NS断面】

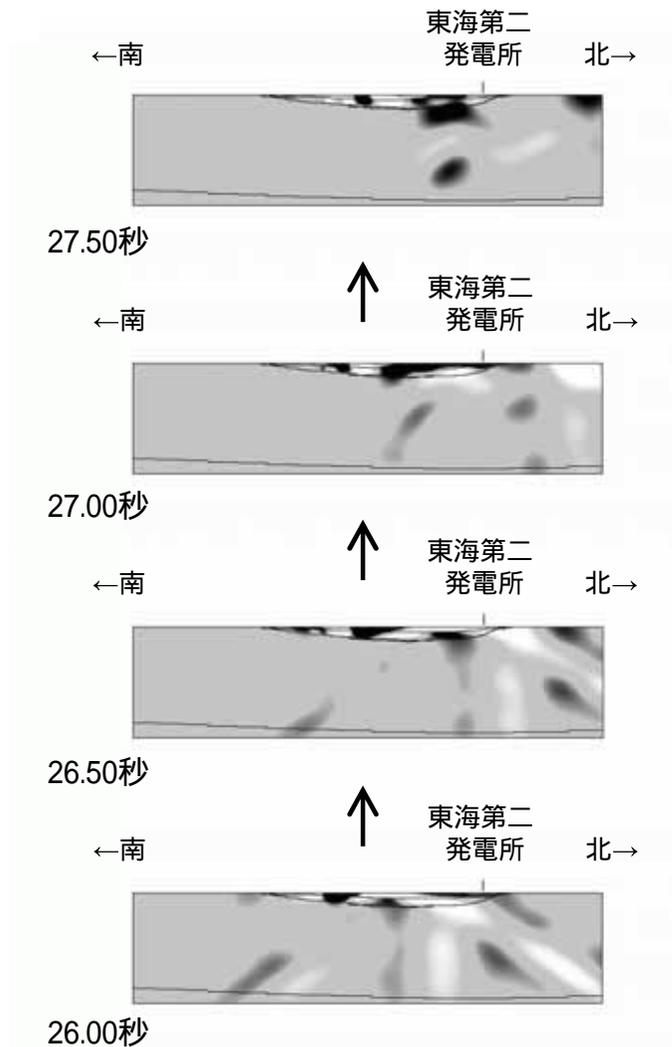
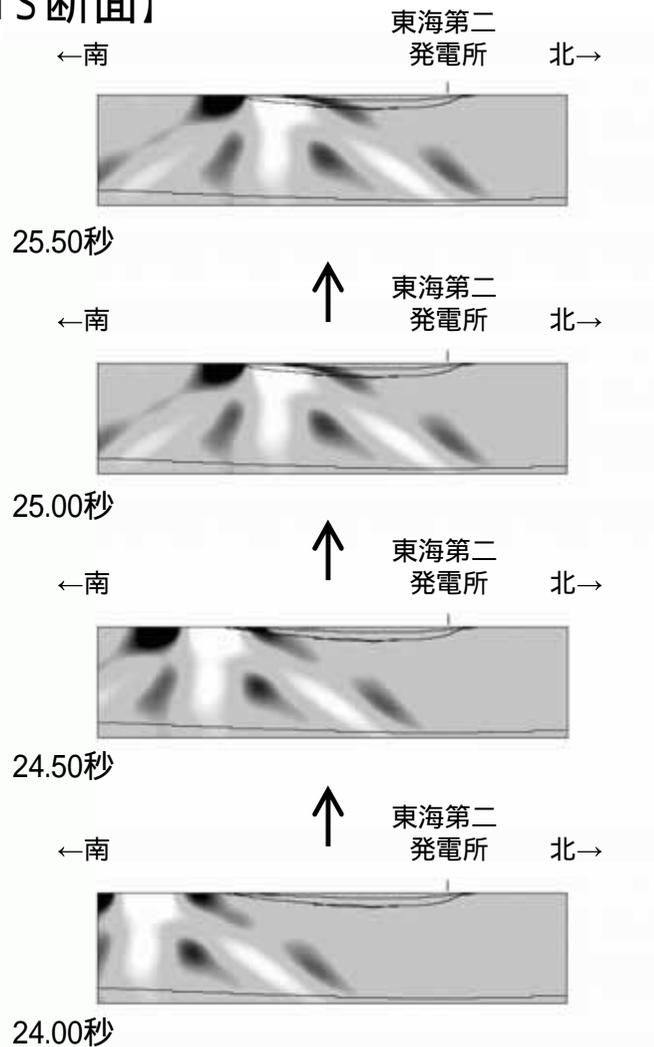


解析結果(入力波:リッカー波,中心周期0.5秒,入射角40度)

黒は+側,白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (23 / 24)

## 【NS断面】

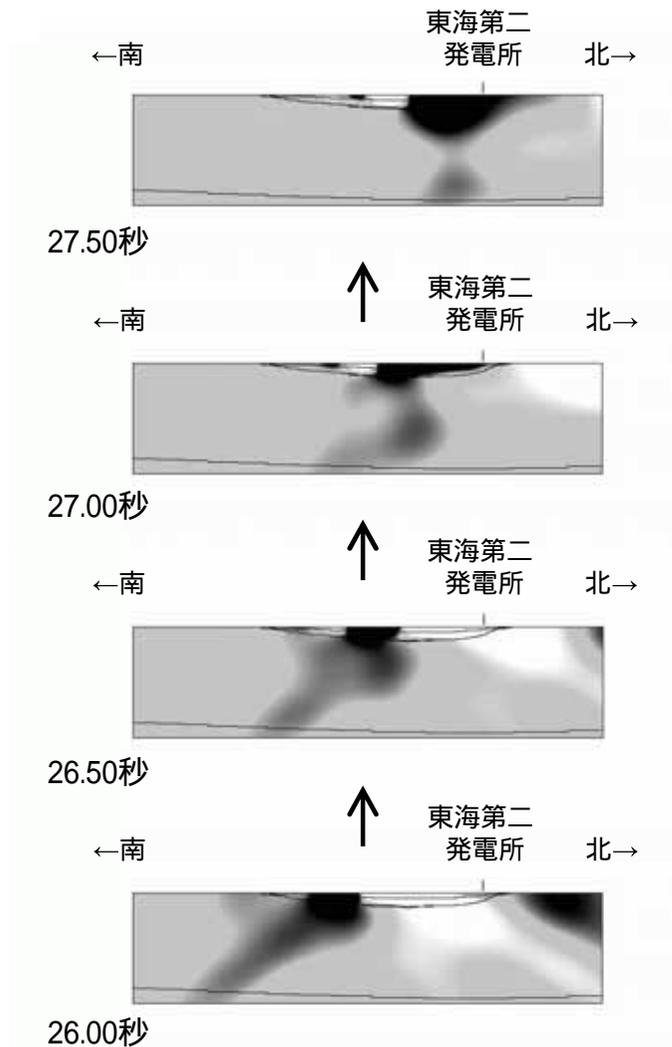
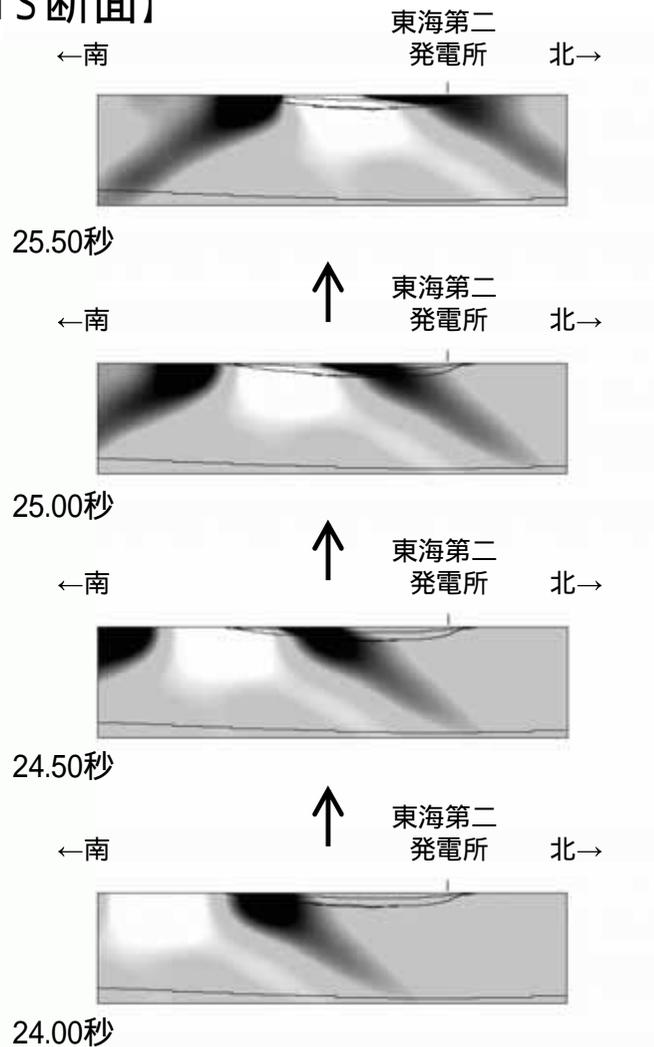


解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角40度)

黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (24 / 24)

## 【NS断面】

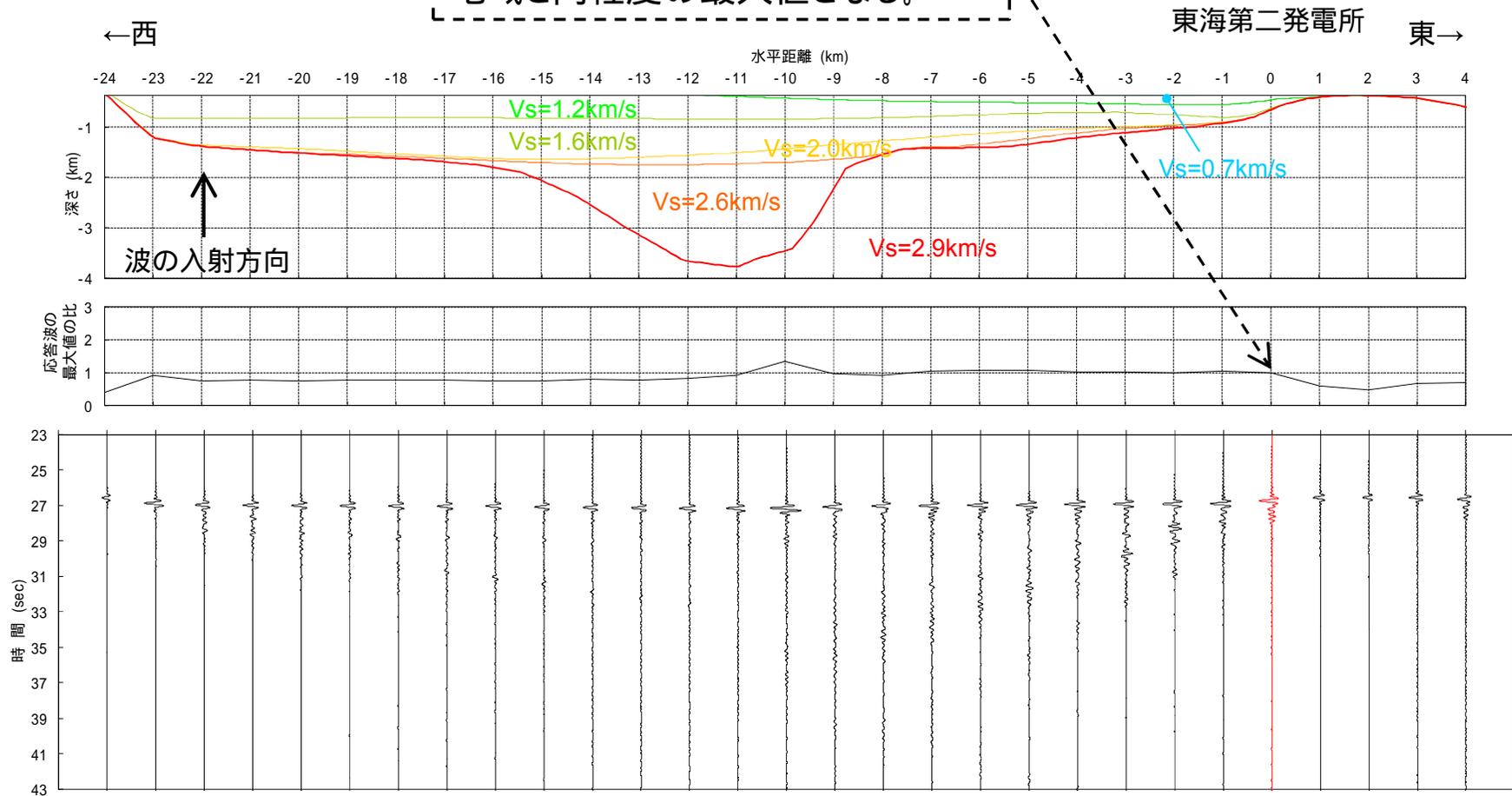


解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角40度)

黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

【EW断面】

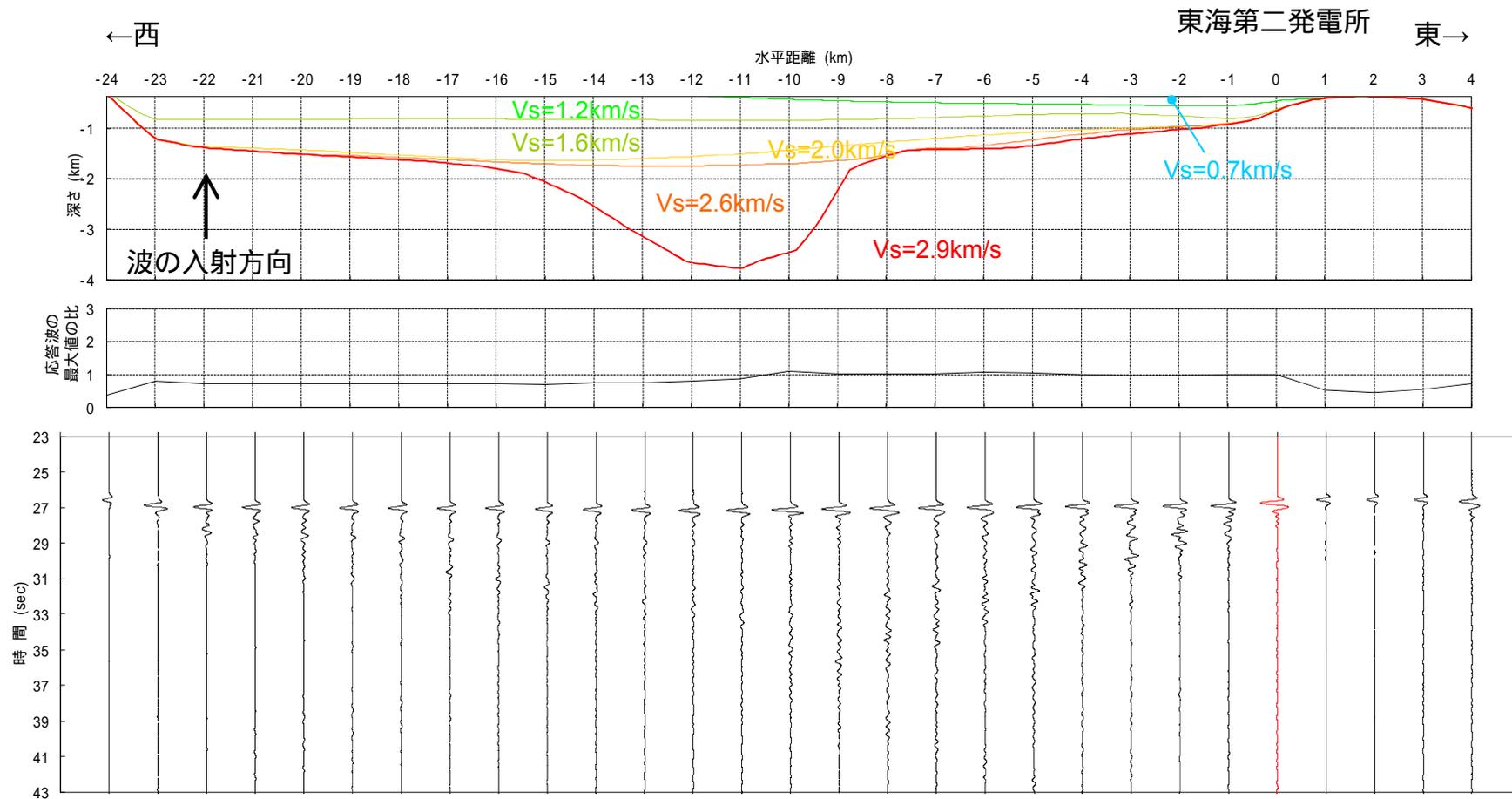
短周期の地震波では, 基盤が深い  
地域と同程度の最大値となる。



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角0度)

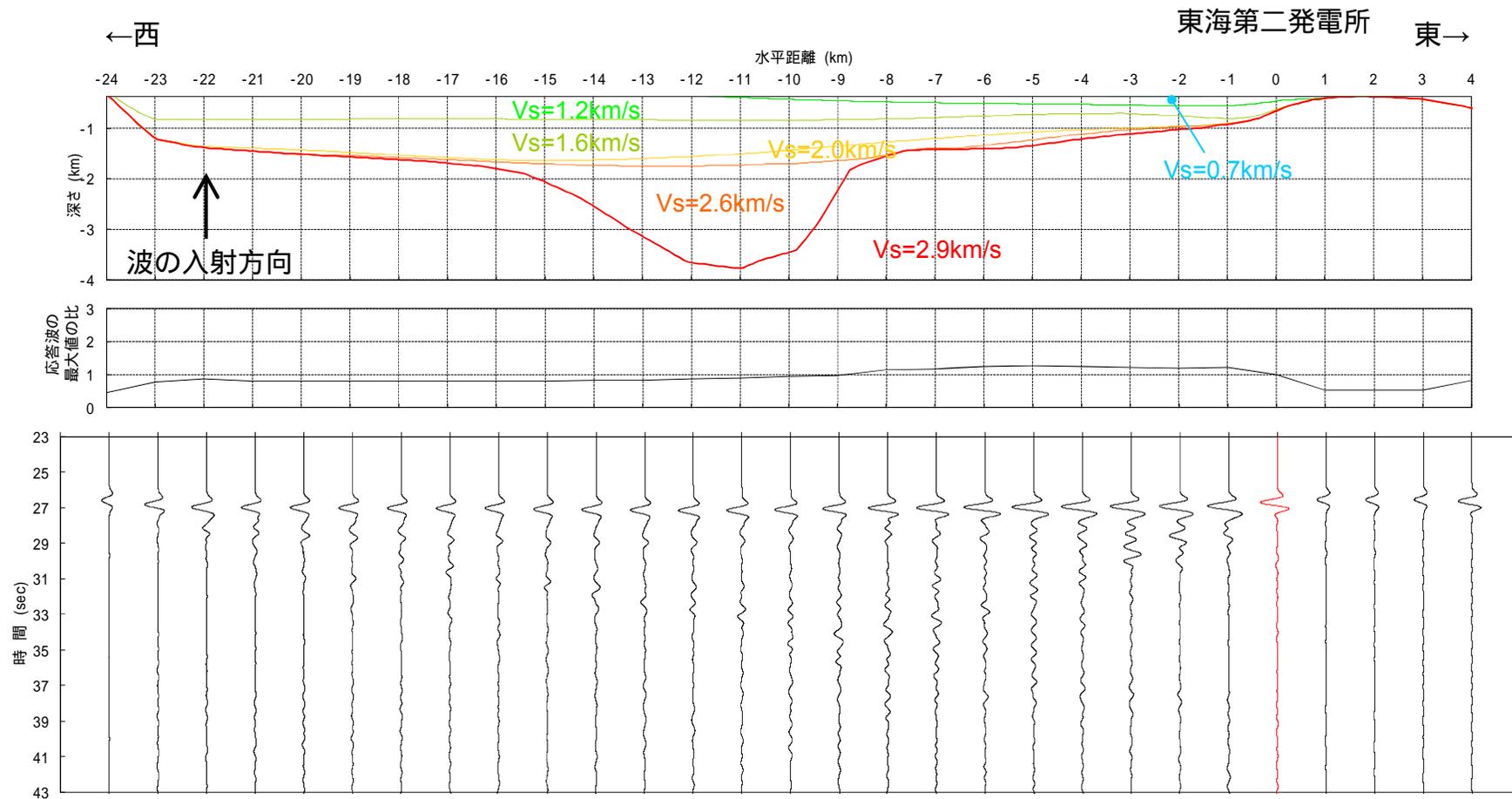
【EW断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角0度)

【EW断面】

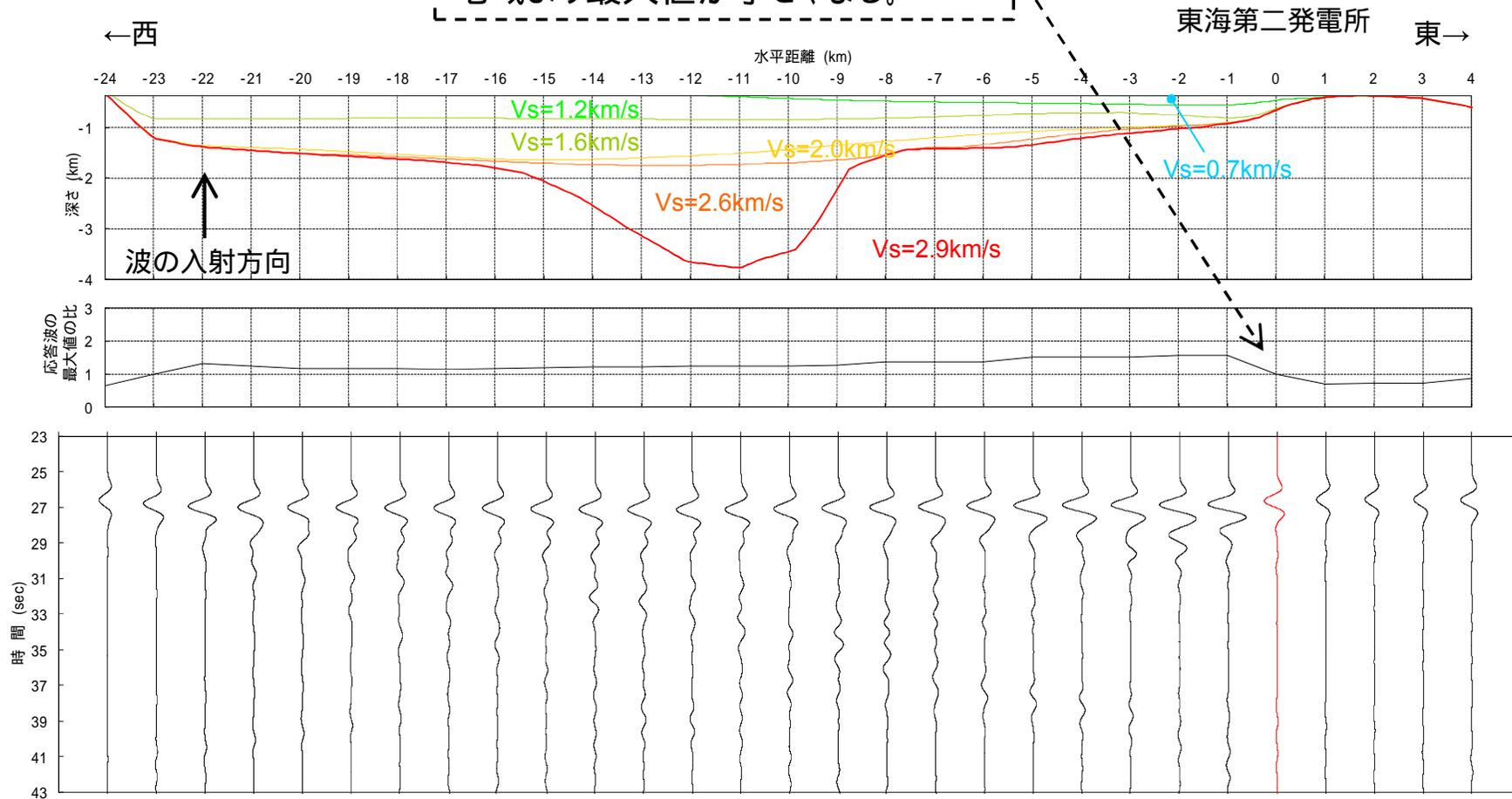


解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角0度)

【EW断面】

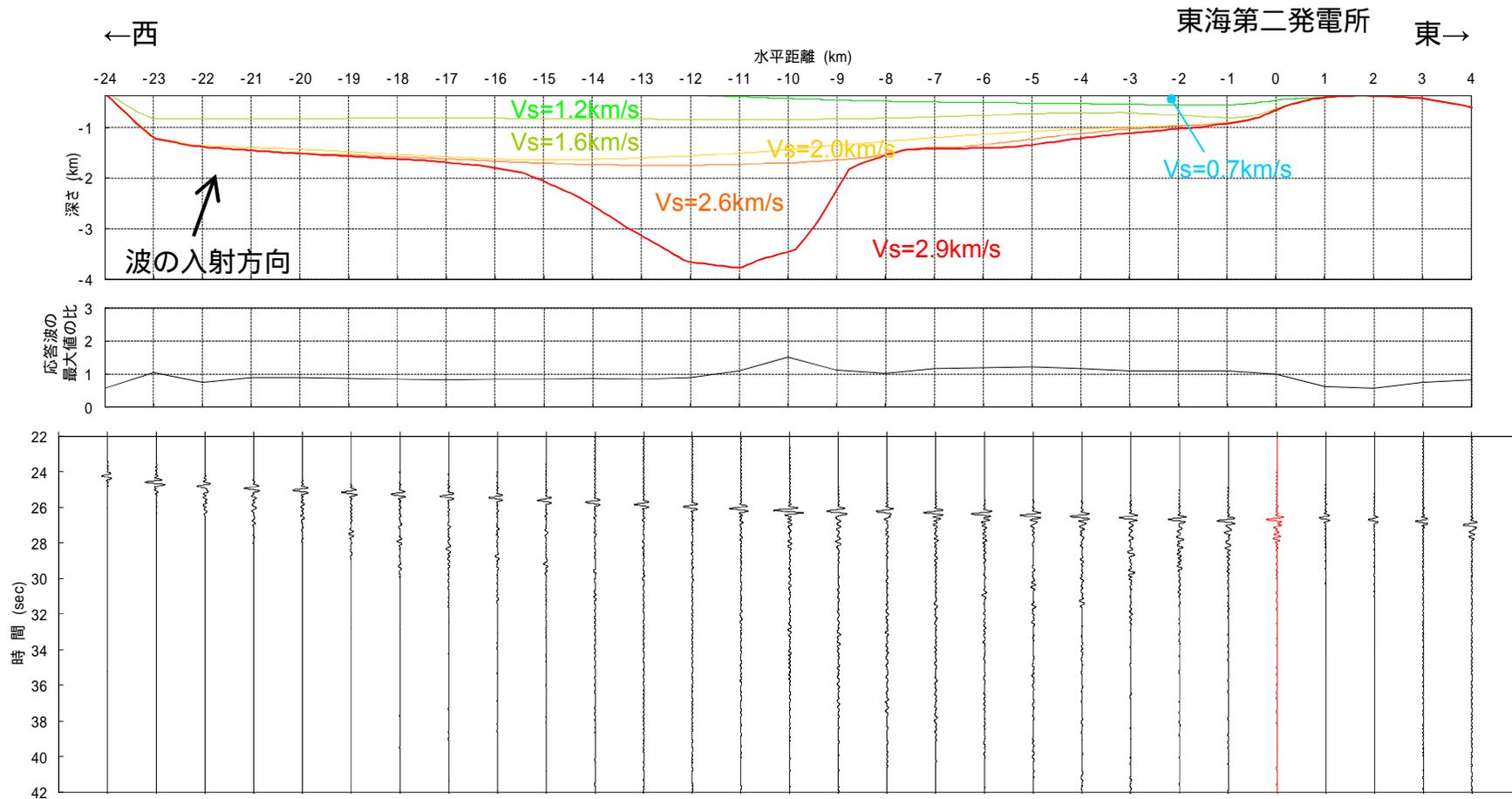
長周期の地震波では, 基盤が深い  
地域より最大値が小さくなる。



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角0度)

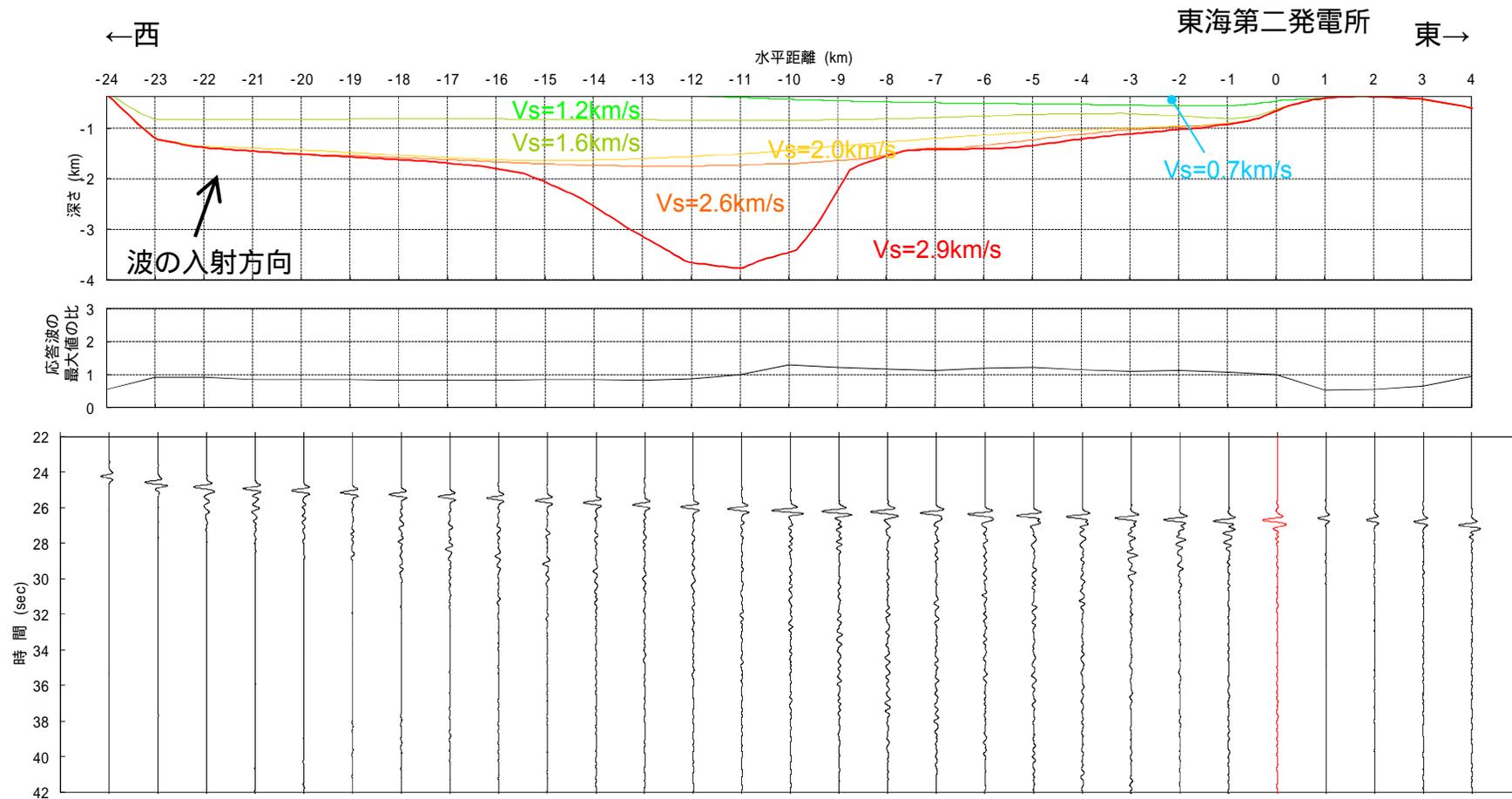
【EW断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角20度)

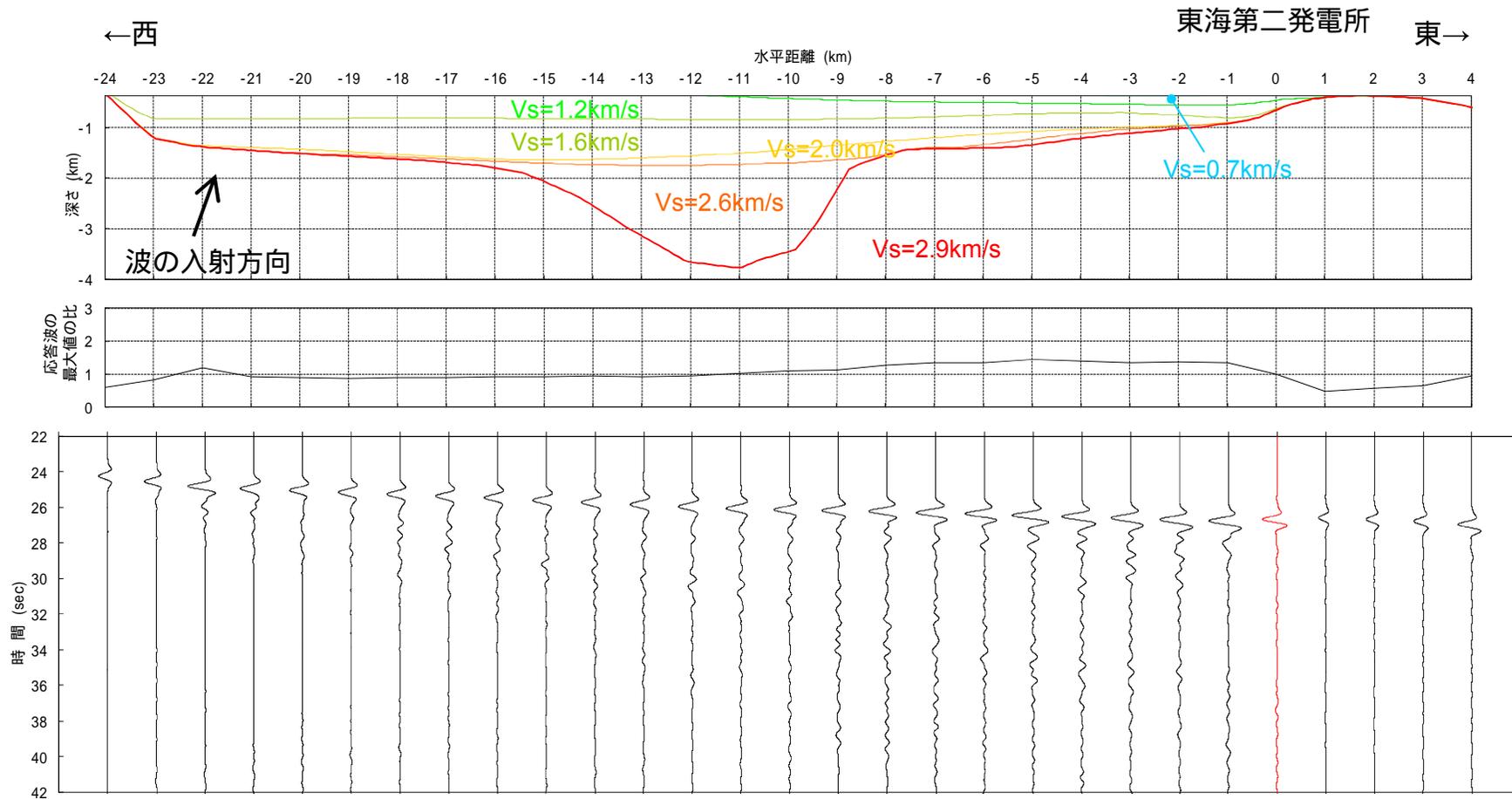
【EW断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角20度)

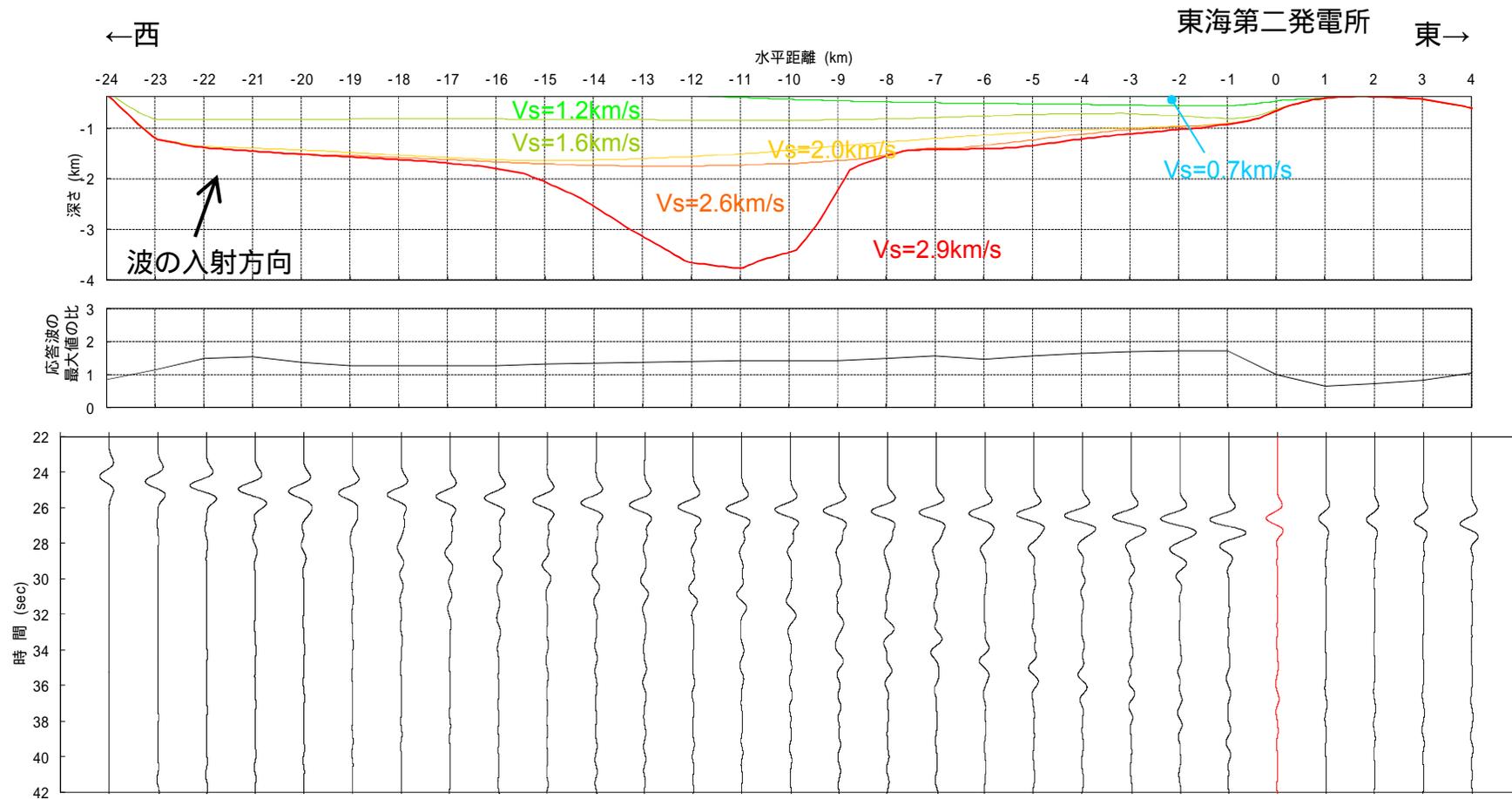
【EW断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角20度)

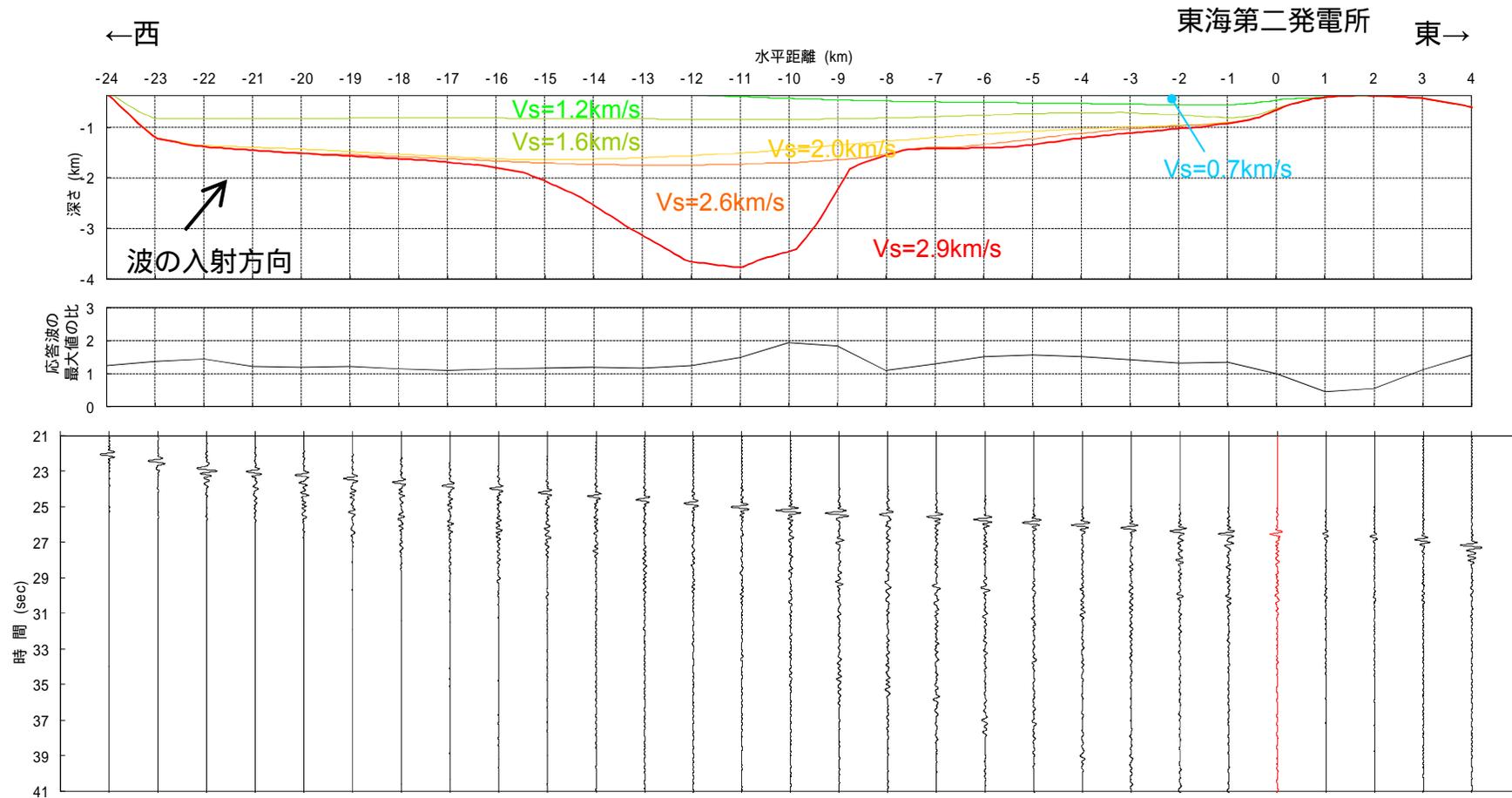
【EW断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角20度)

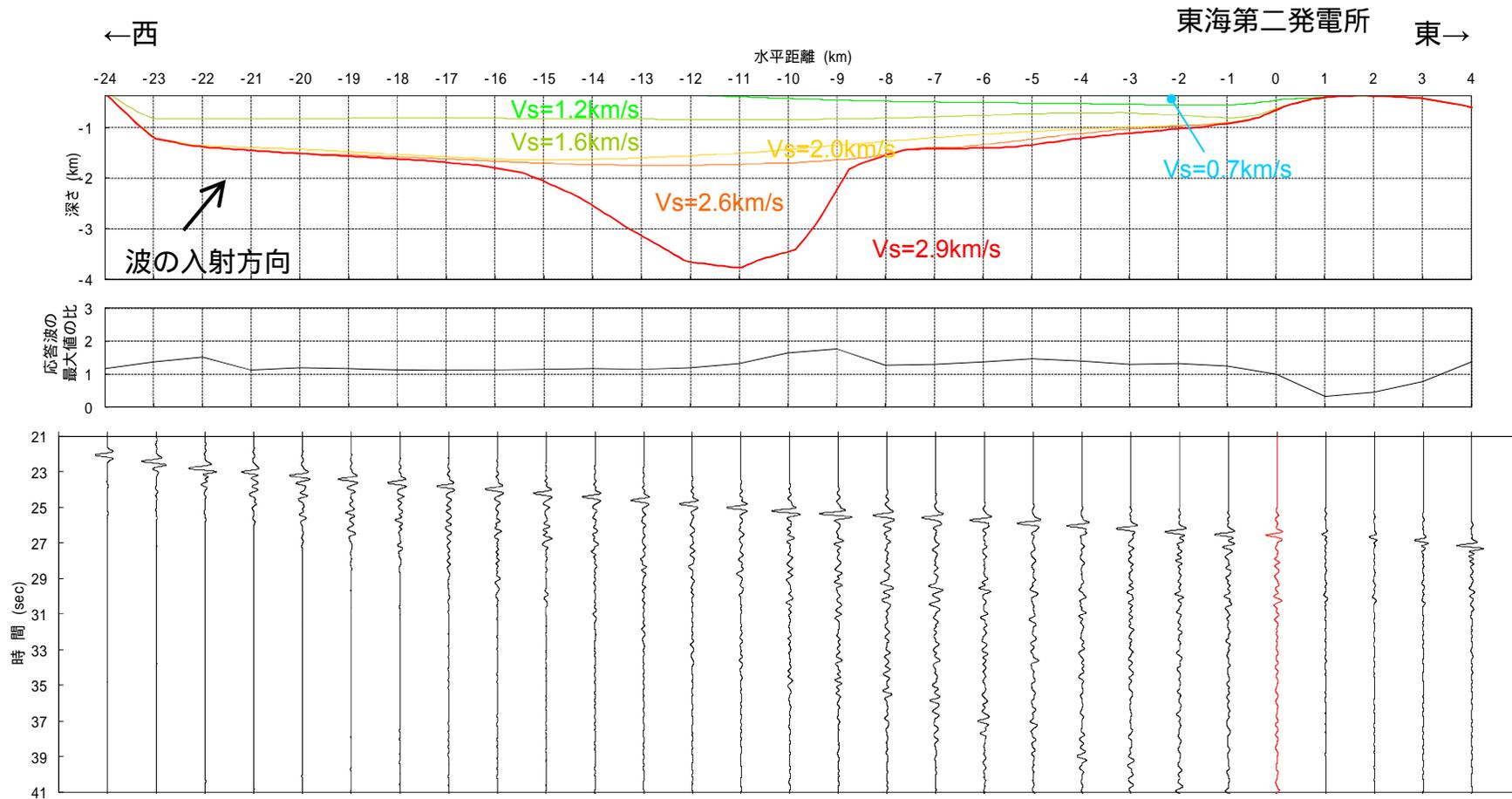
【EW断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角40度)

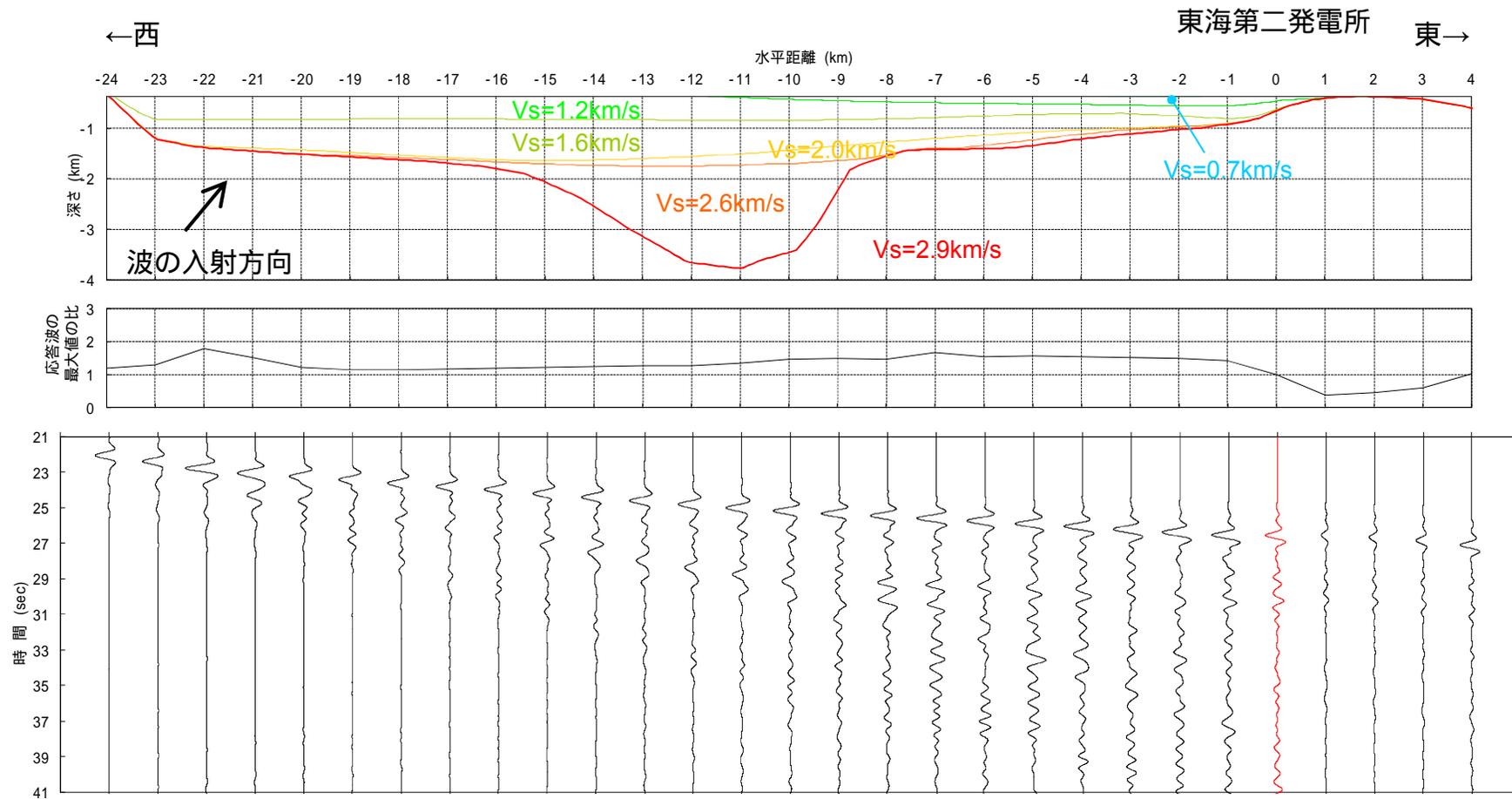
【EW断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角40度)

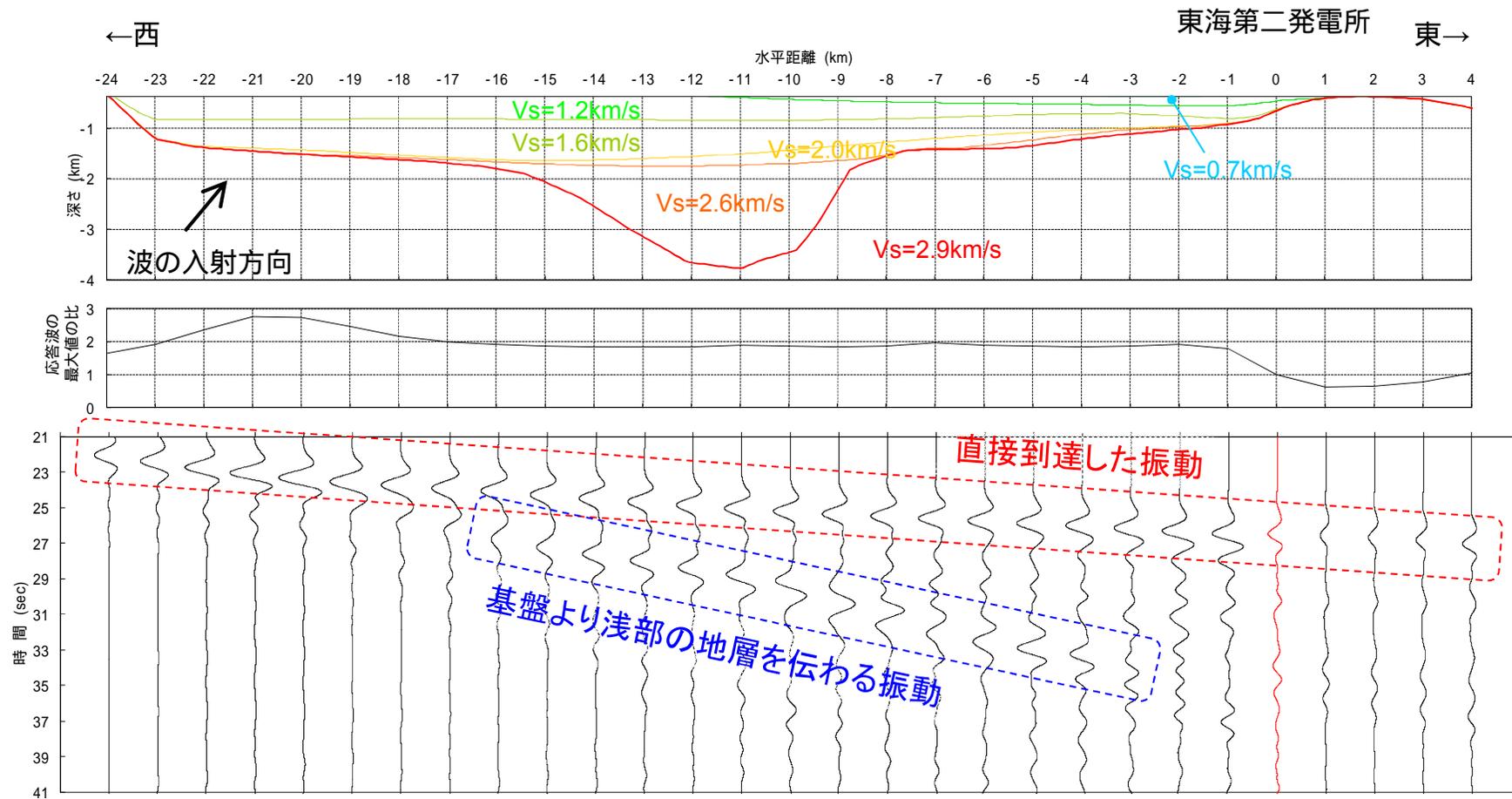
【EW断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角40度)

【EW断面】

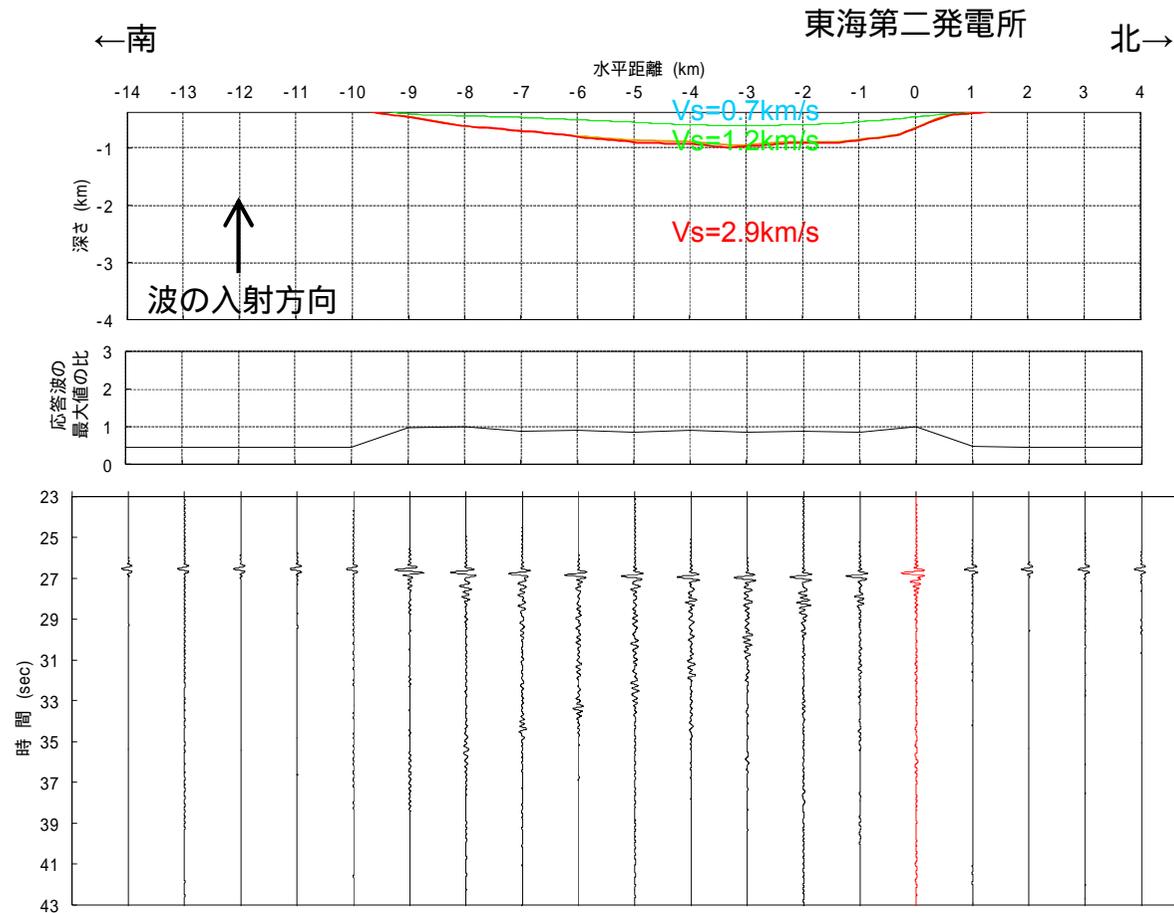


解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角40度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (13 / 24)

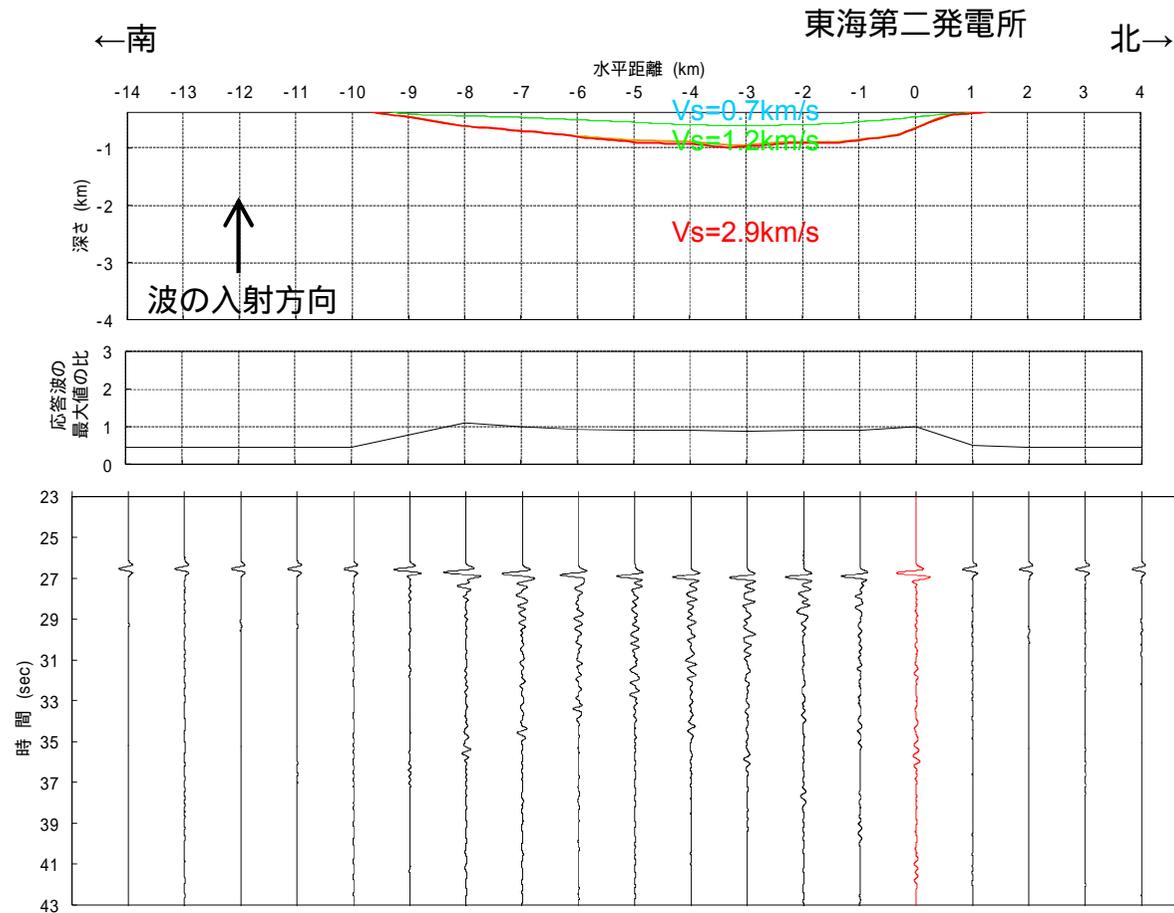
## 【NS断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角0度)

【NS断面】

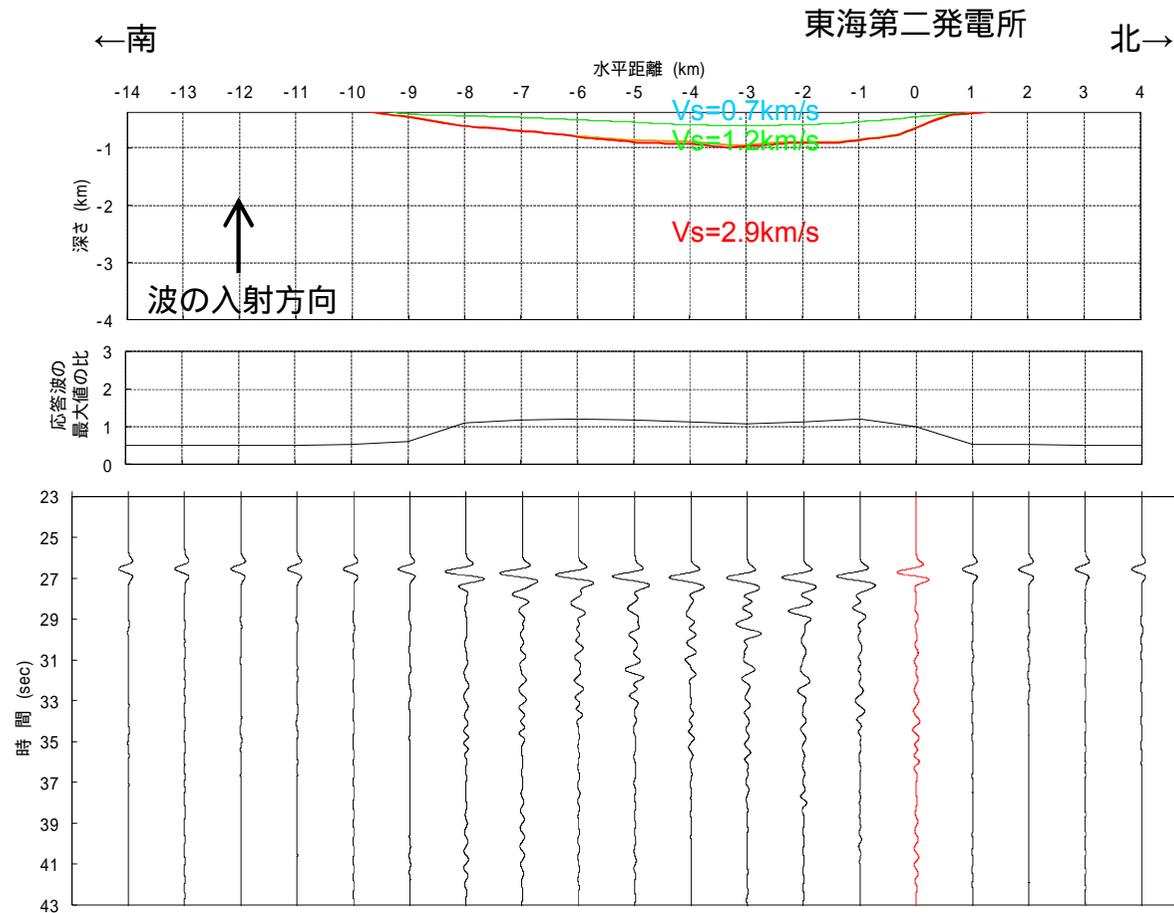


解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角0度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (15 / 24)

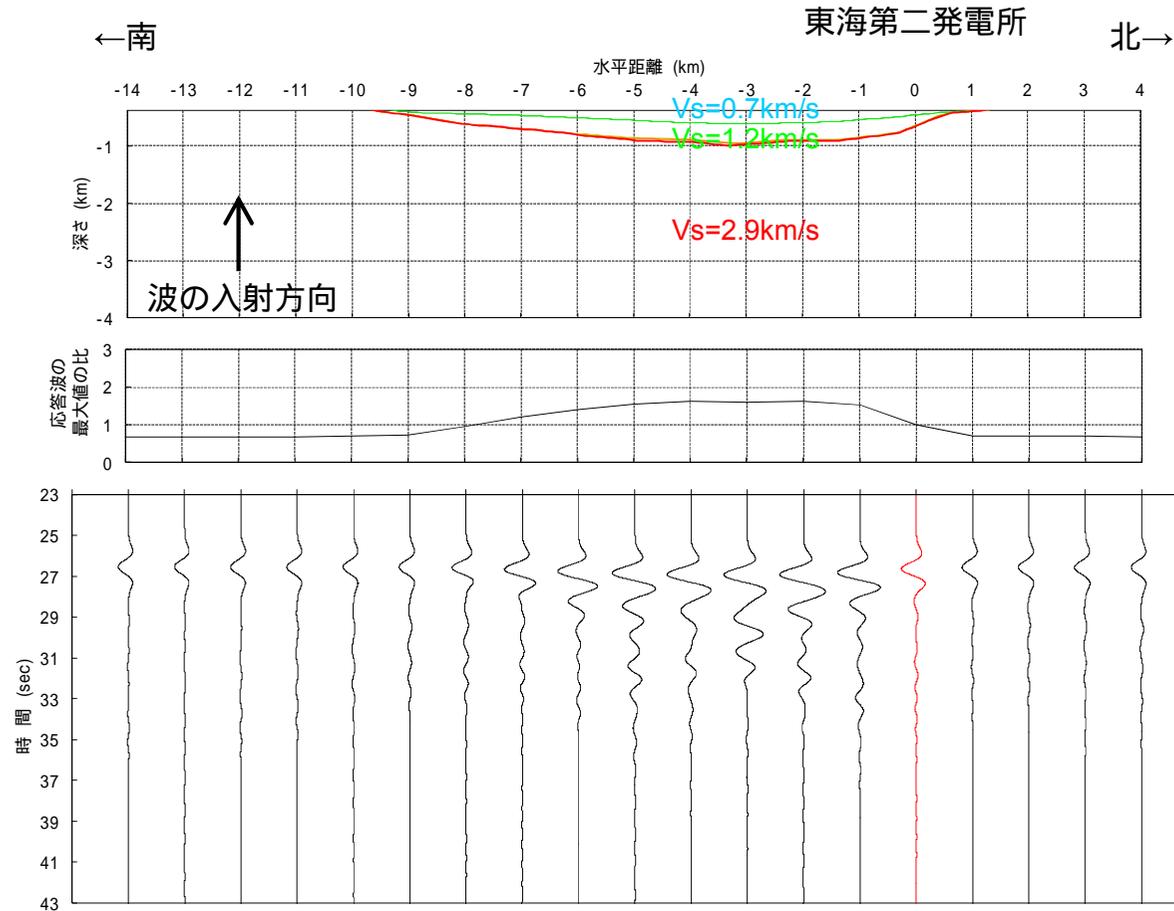
## 【NS断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角0度)

【NS断面】

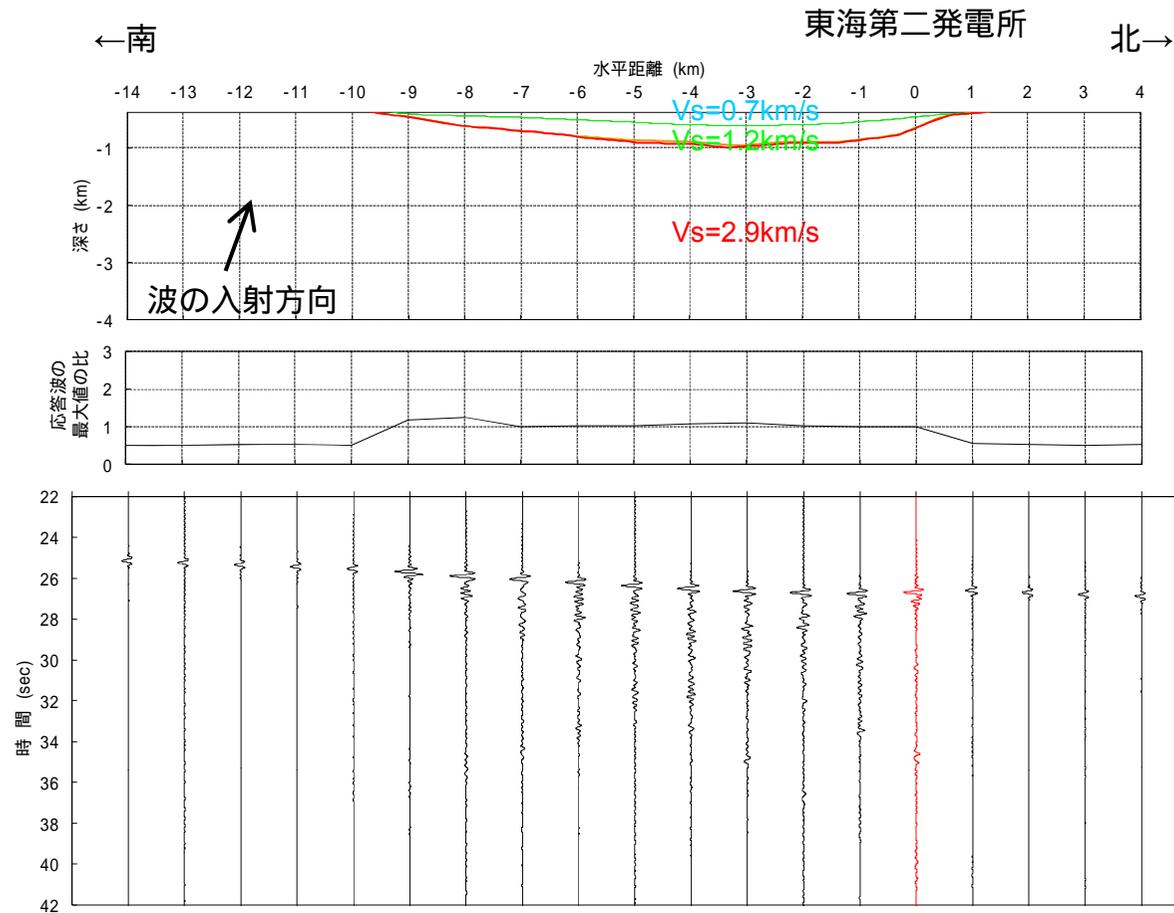


解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角0度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (17 / 24)

## 【NS断面】

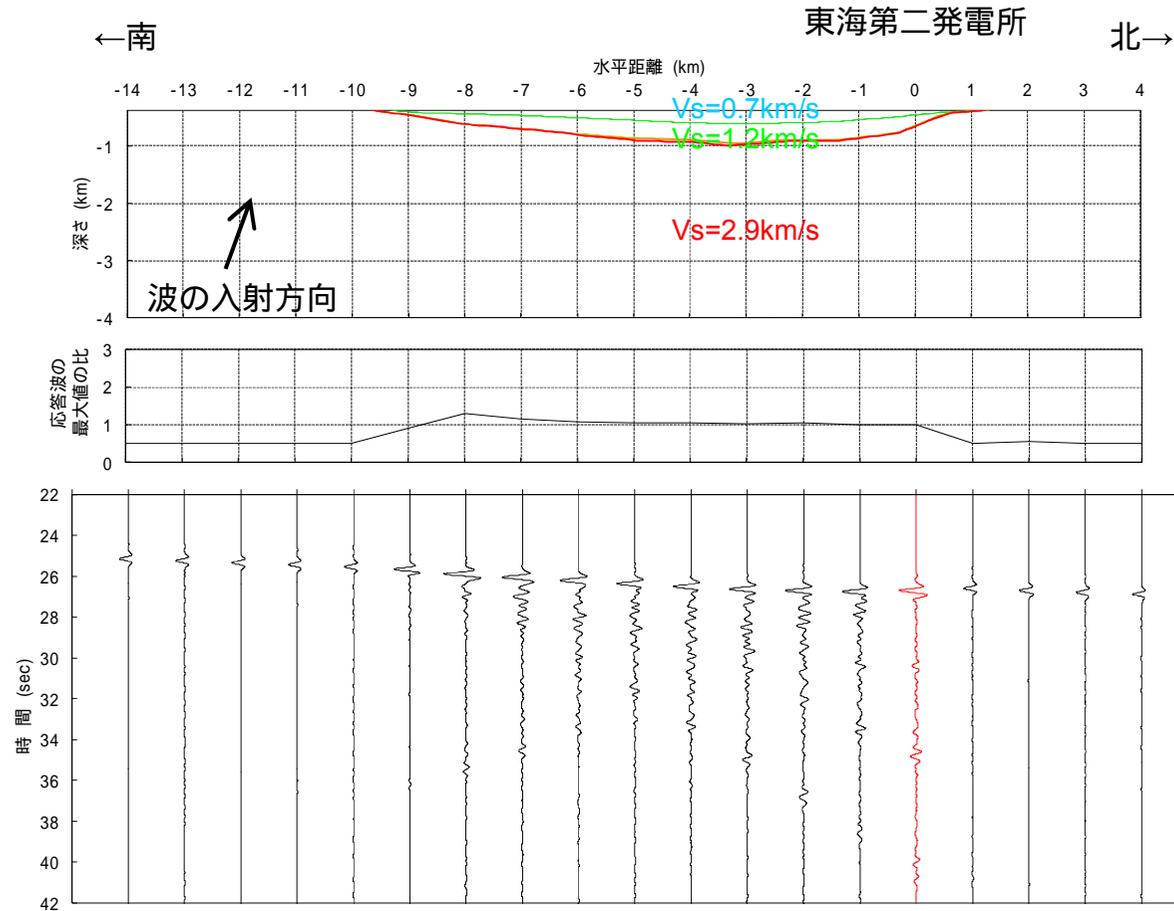


解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角20度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (18 / 24)

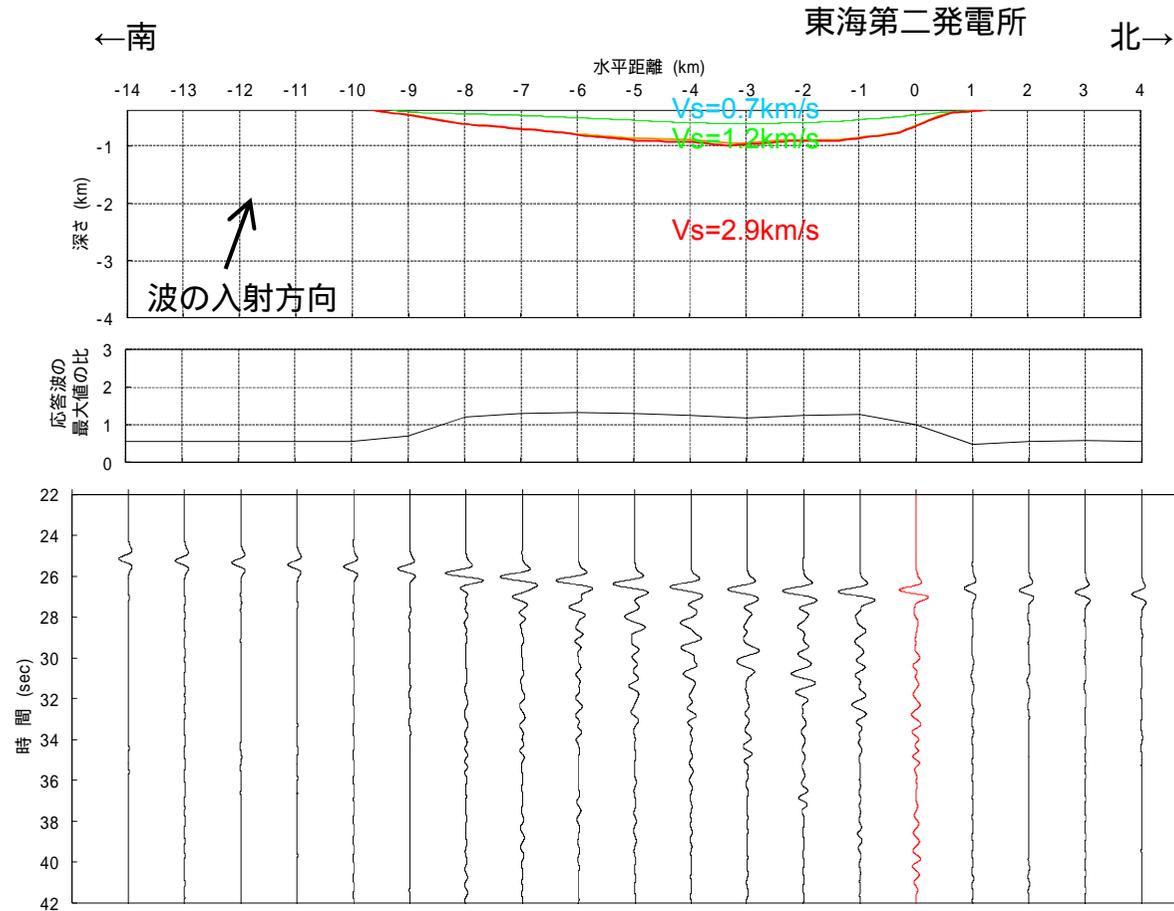
## 【NS断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)  
(入力波: リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角20度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (19 / 24)

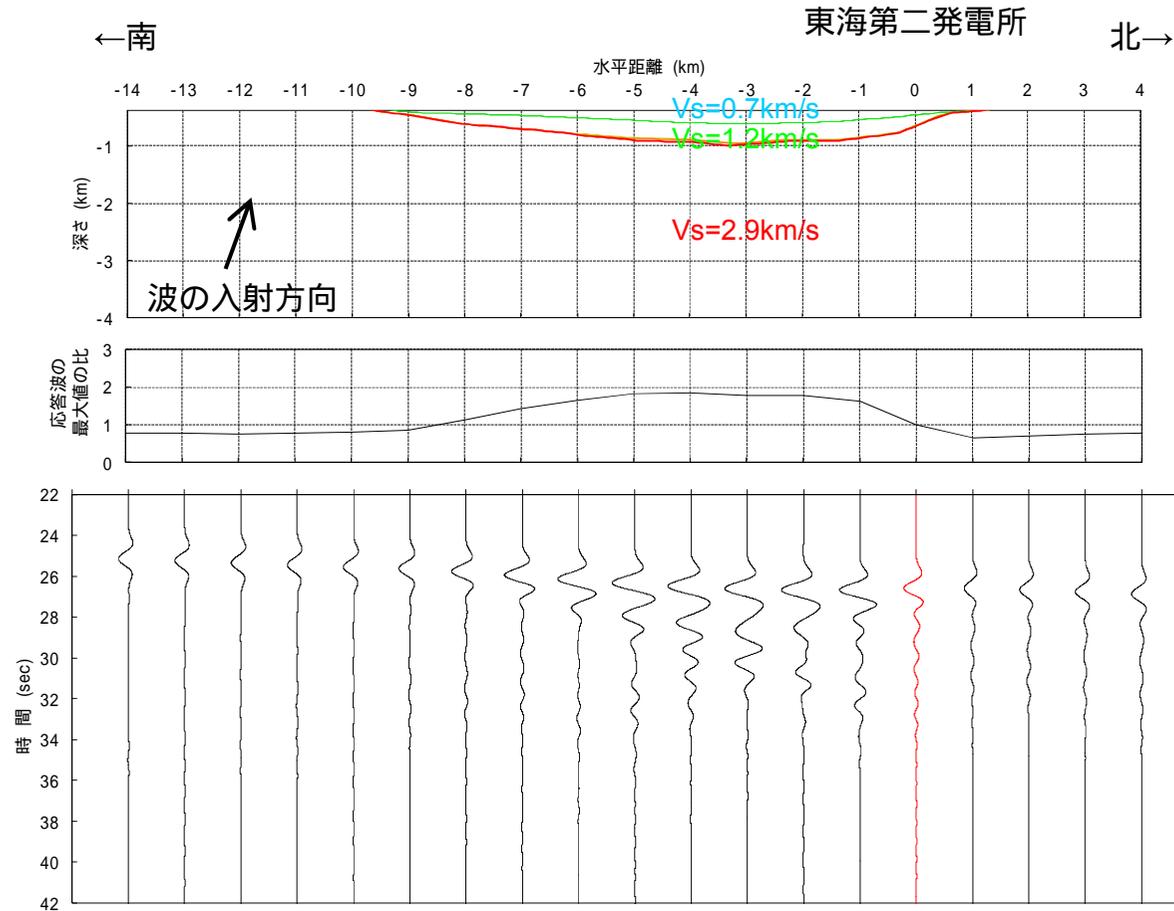
## 【NS断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)  
(入力波: リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角20度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (20 / 24)

## 【NS断面】

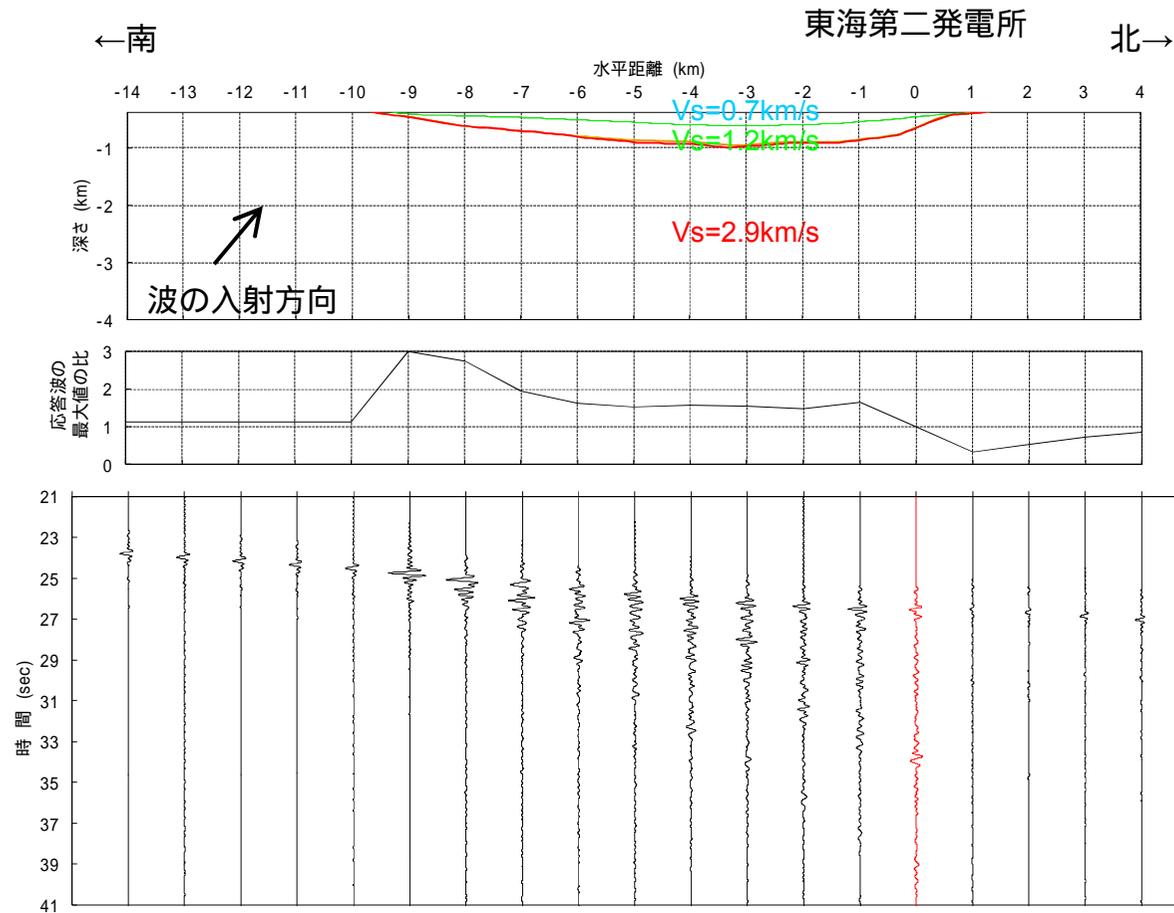


解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角20度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (21 / 24)

## 【NS断面】

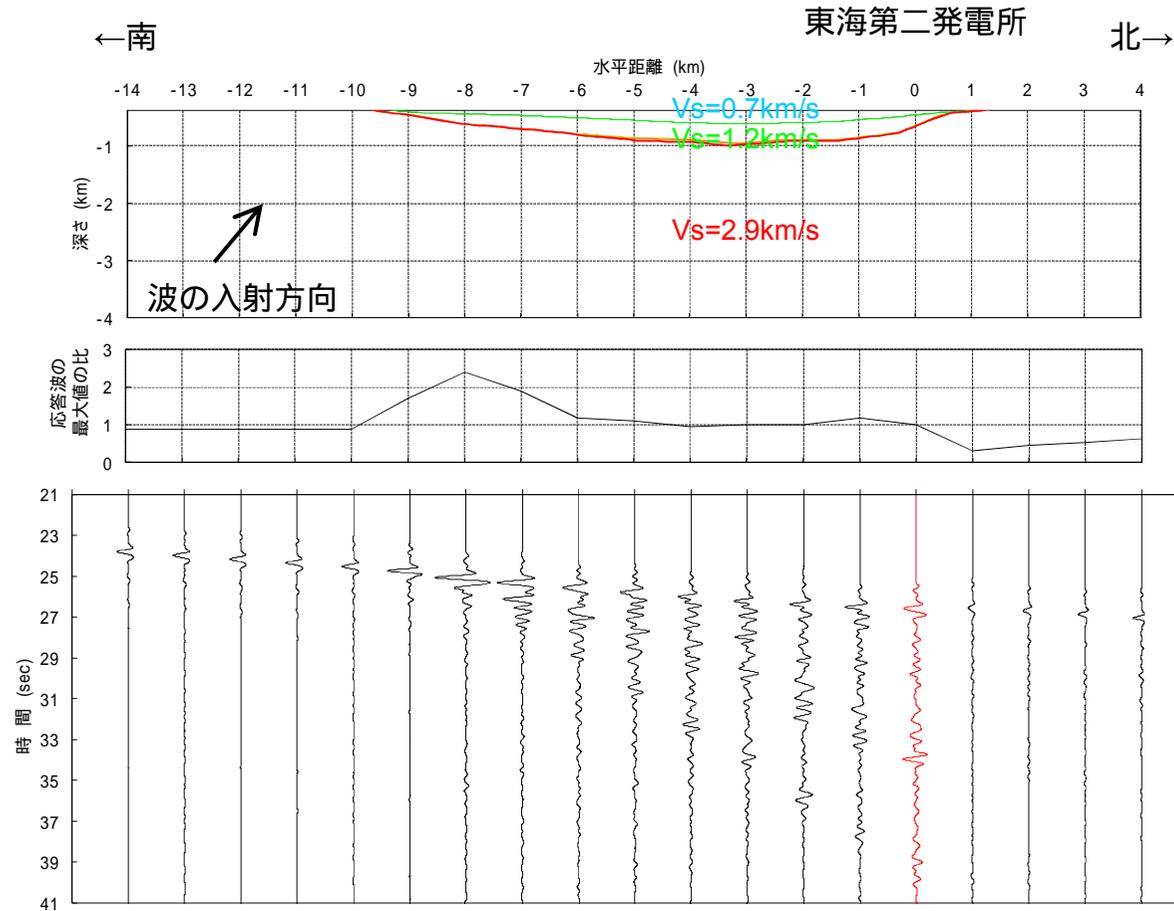


解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角40度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (22 / 24)

## 【NS断面】

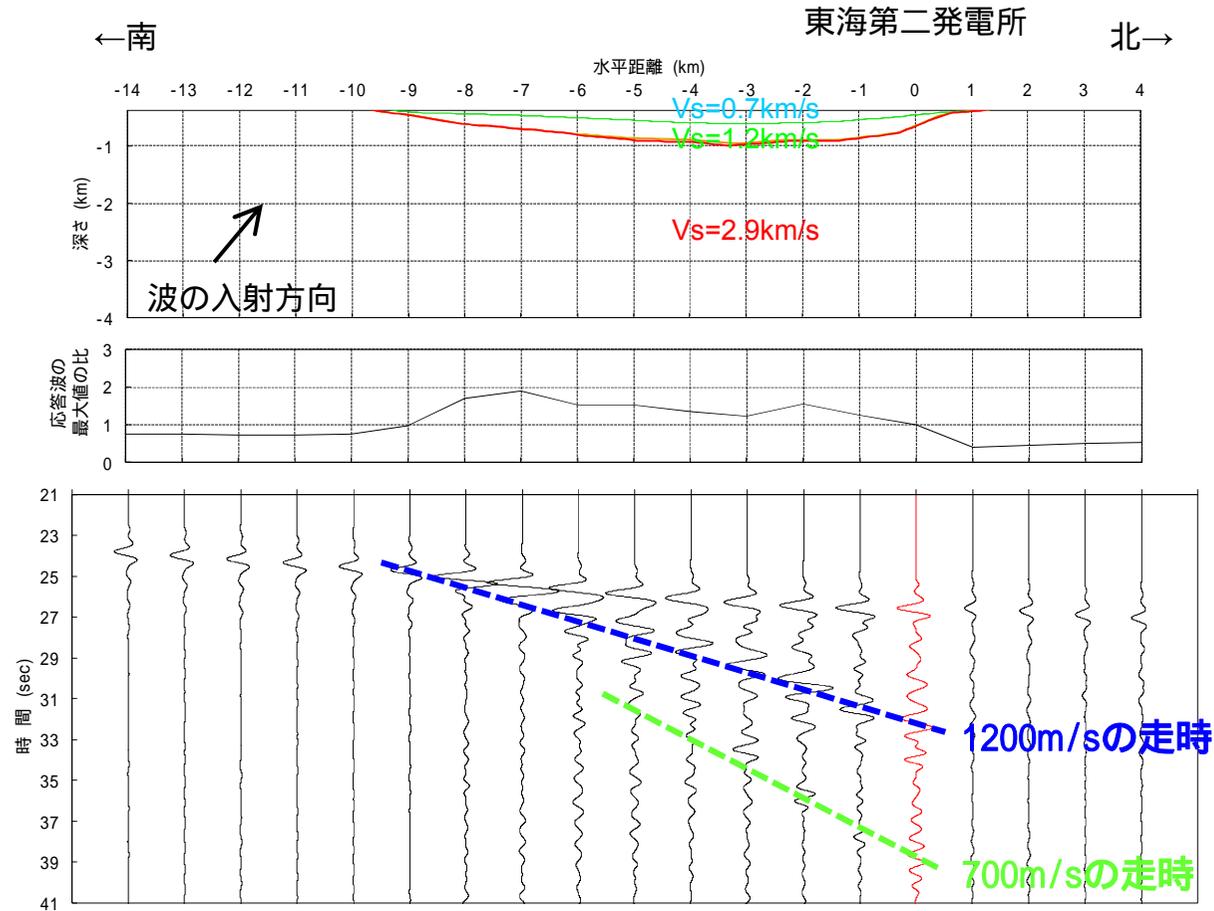


解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角40度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (23 / 24)

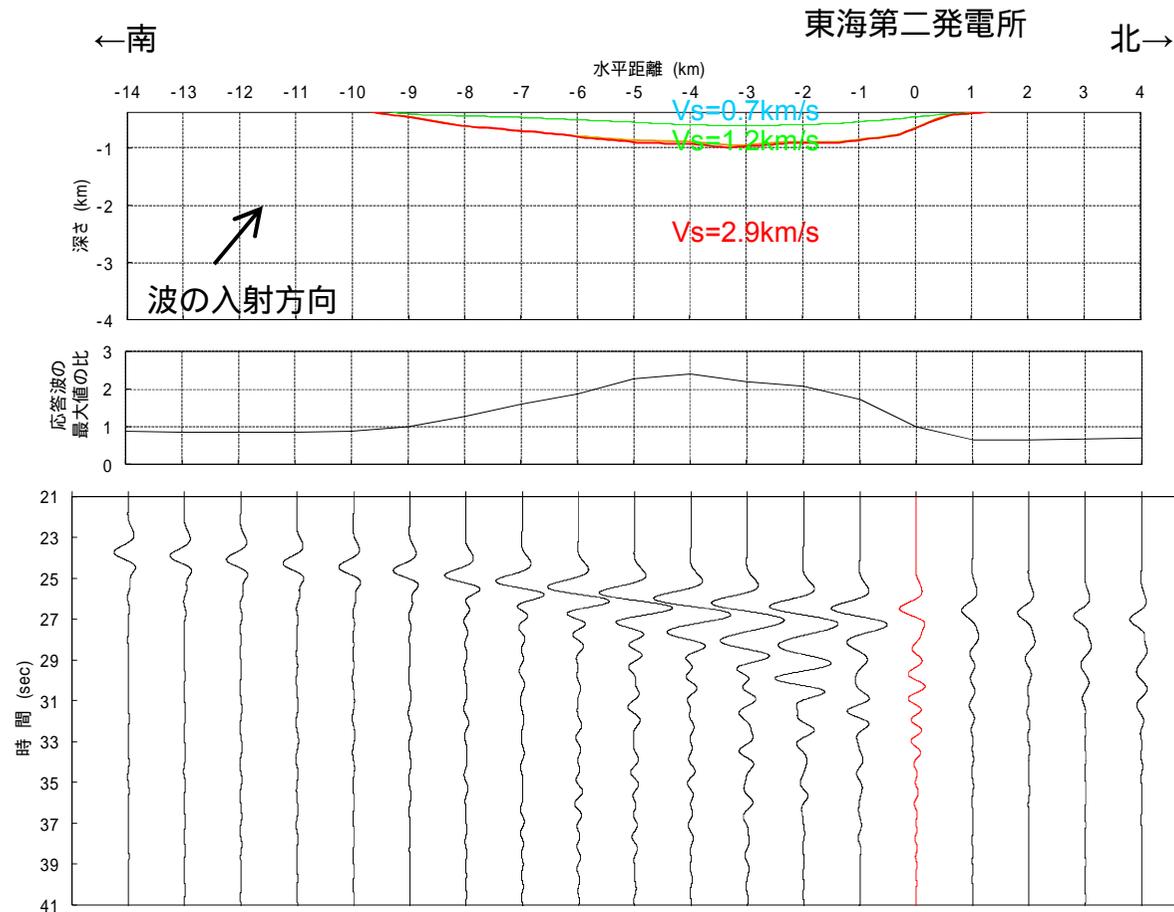
## 【NS断面】



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)  
(入力波: リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角40度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (24 / 24)

## 【NS断面】



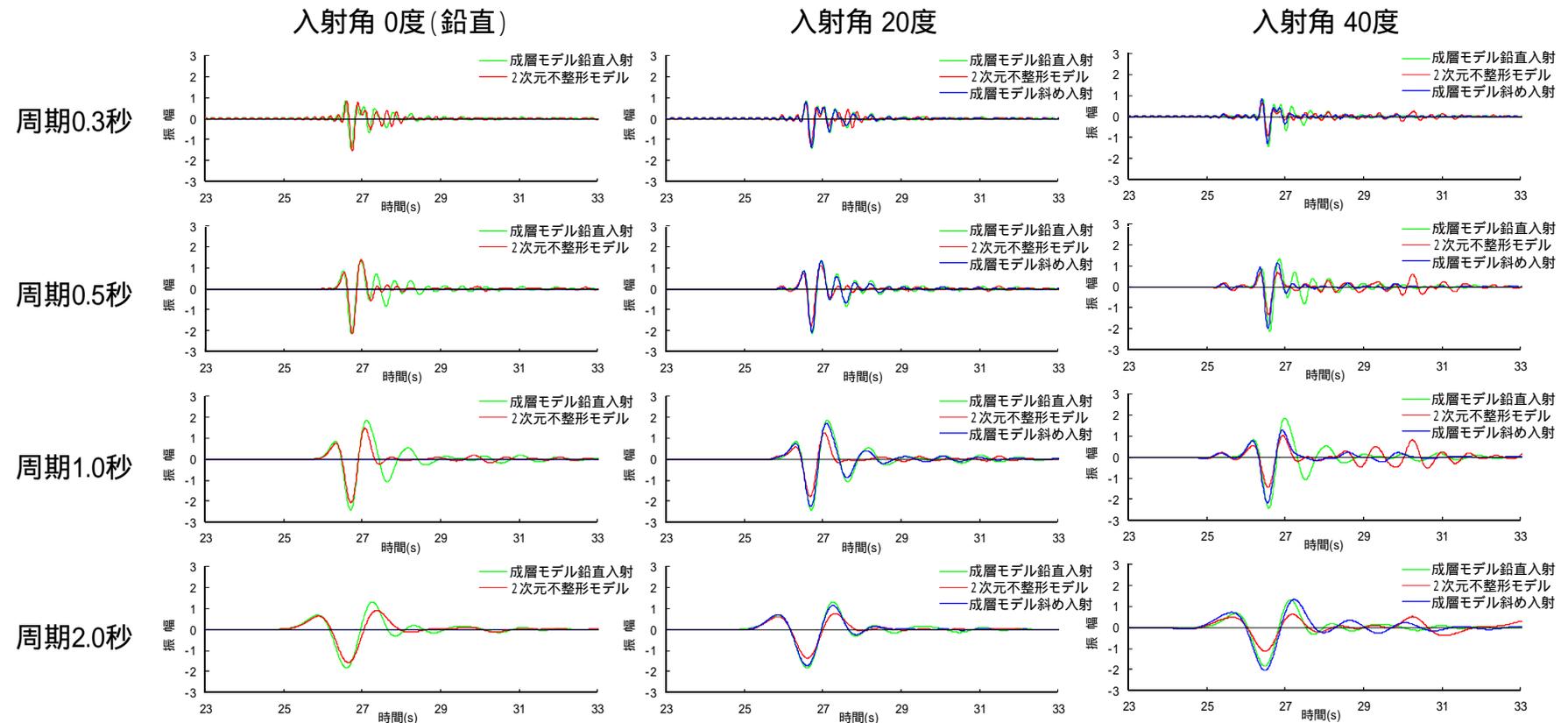
解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角40度)

4.2.1 広域地盤モデルによる深部地下構造の検討

# 解析結果 - 敷地における応答波形の比較 EW断面 -

- ・2次元不整形モデルと成層モデルの解析結果を比較し、敷地の西側及び南側に見られる深い基盤形状による影響を検討した。
- ・以下に成層モデル鉛直入射、成層モデル斜め入射及び2次元不整形モデルの応答波形を示す。
- ・成層モデル鉛直入射、成層モデル斜め入射及び2次元不整形モデルの主要動部における波形(位相)は同様である。
- ・主要動付近の振幅は、成層モデルの鉛直入射と斜め入射が概ね同程度の振幅となり、2次元不整形モデルは同程度またはそれ以下である。

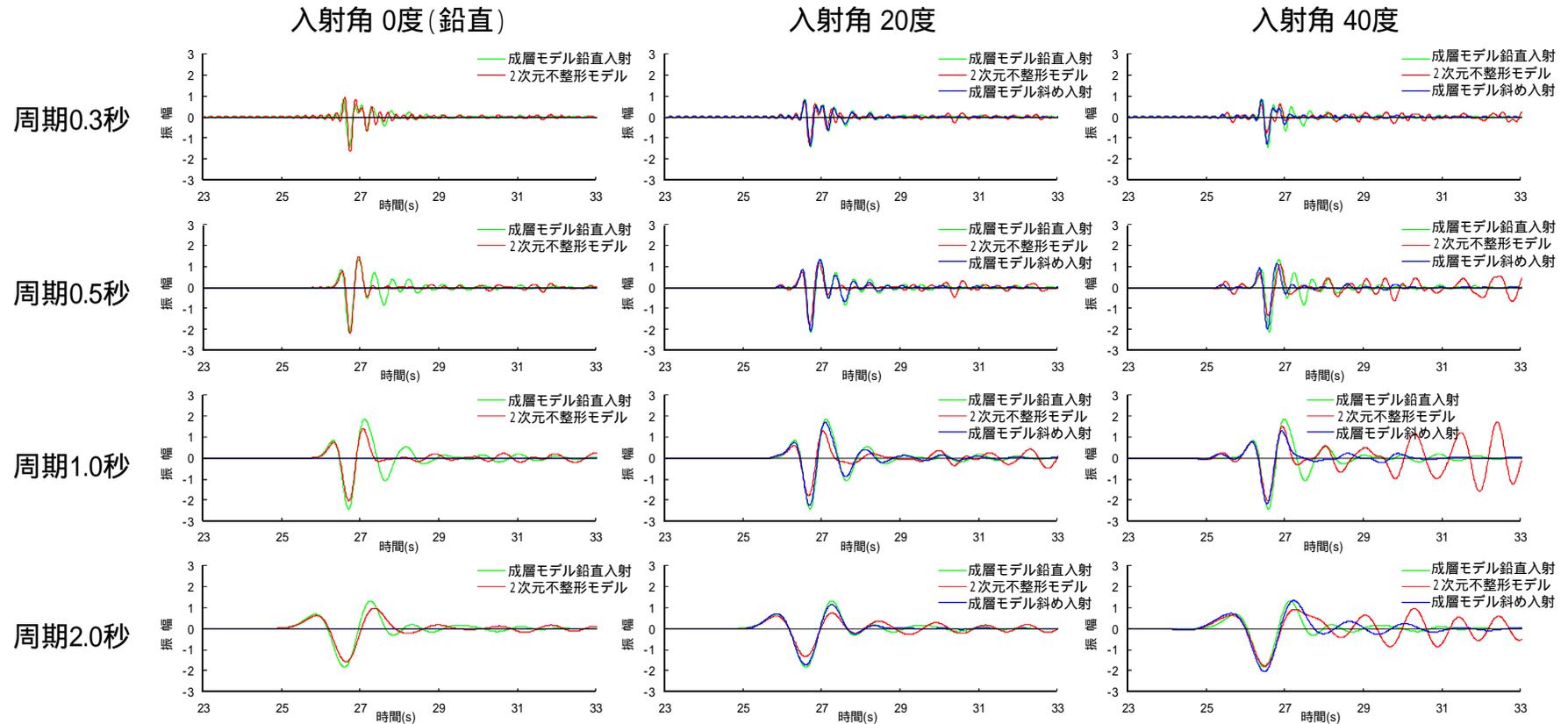


解析結果(応答波形)

4.2.1 広域地盤モデルによる深部地下構造の検討

解析結果 - 敷地における応答波形の比較 NS断面 -

- ・主要動付近の振幅は、成層モデルの鉛直入射と斜め入射が概ね同程度の振幅となり、2次元不整形モデルは同程度またはそれ以下である。
- ・NS断面に中心周期1.0秒のリッカー波を入射角40度で入力すると、他のケースより後続波が顕著に表れる特徴が見られるものの、後続波の振幅は、主要動の振幅と同程度またはそれ以下である。
- ・このように、各ケースにおいて成層モデル鉛直入射の最大振幅が2次元不整形モデルの最大振幅を上回ることより、発電所直下の地下構造を水平成層構造とみなして地震動が評価できることを確認した。

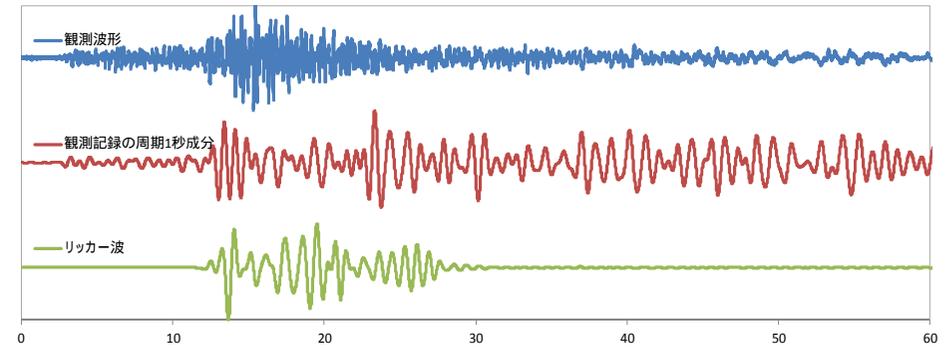
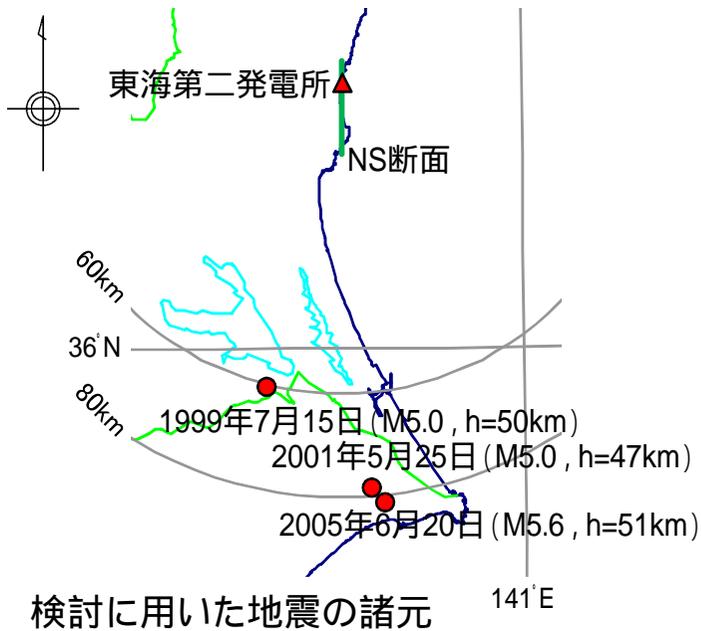


解析結果(応答波形)

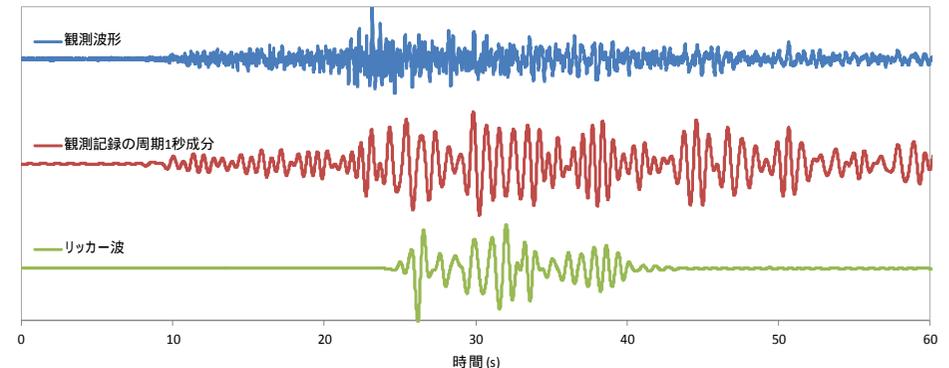
4.2.1 広域地盤モデルによる深部地下構造の検討

解析結果 - 応答波形と地震観測記録の比較 -

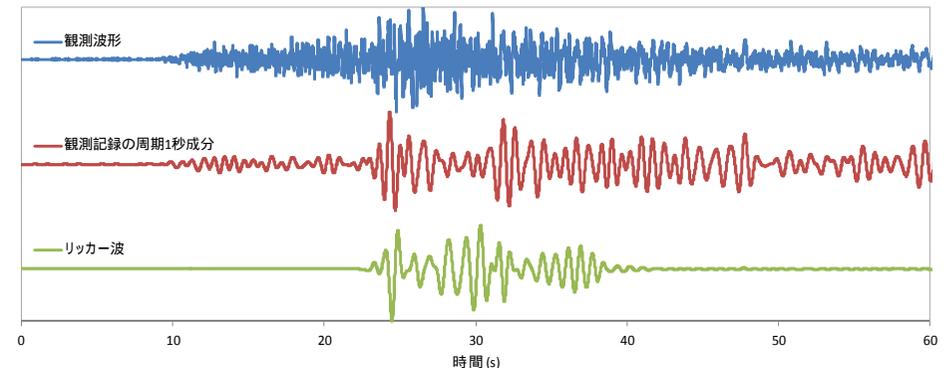
- ・NS断面に中心周期1.0秒のリッカー波を入射角40度で入力すると、他のケースより後続波が顕著に表れる特徴が見られるため、敷地での観測記録に同様の特徴が見られるか検討した。
- ・検討方法は、敷地での地震観測記録に周期1.0秒を強調するバンドパスフィルタ処理を行い、中心周期1.0秒のリッカー波を入射角40度でNS断面に入力した場合の発電所位置での応答波と比較した。
- ・解析結果のような主要動の後に後続波が複数回到達する様子は観測記録にも見られ、解析結果と観測記録が整合していることが確認できた。



1999年7月15日 茨城県南部



2001年5月25日 千葉県北東部



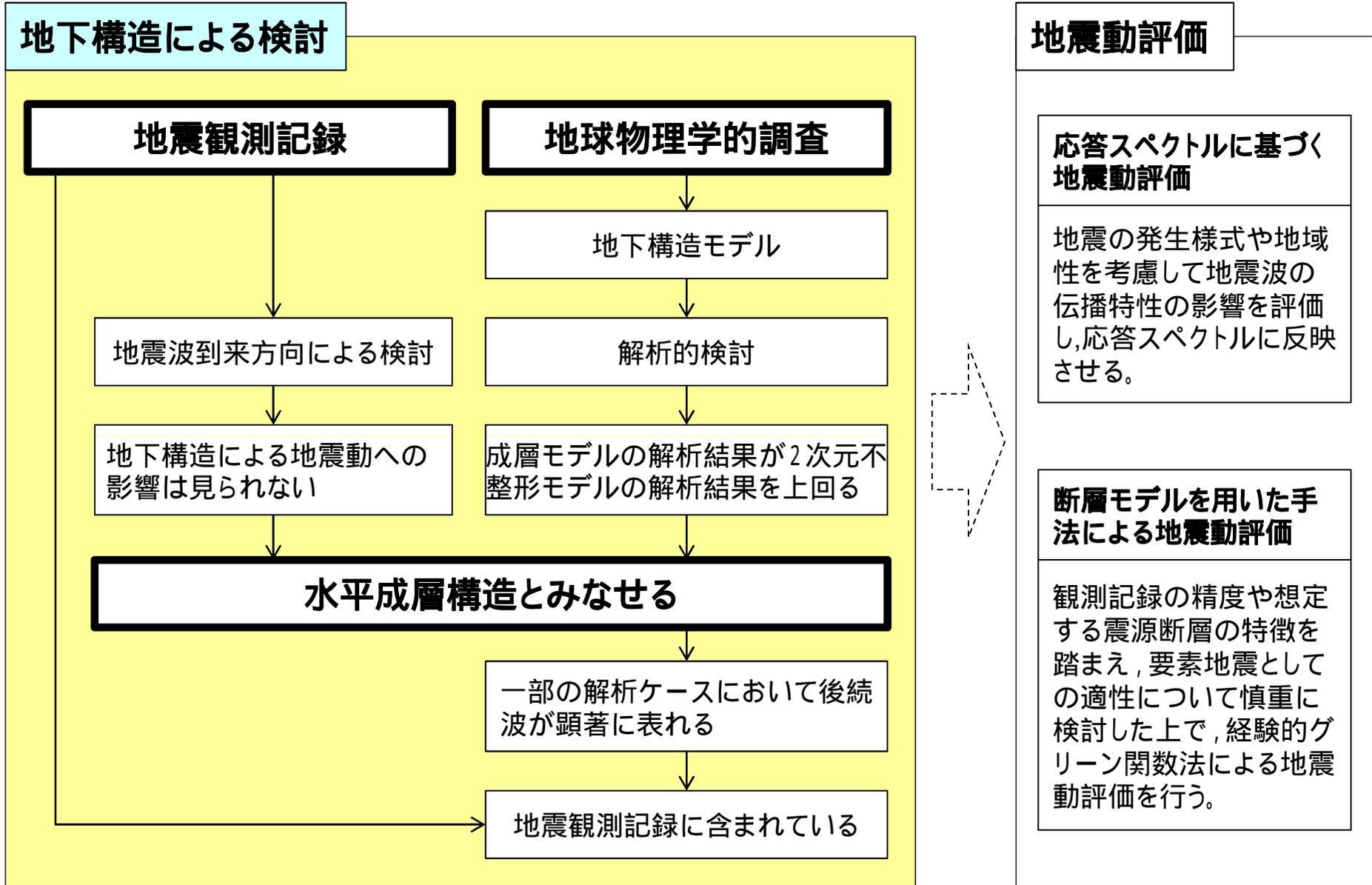
2005年6月20日 千葉県北東部

## 広域地盤モデルによる深部地下構造検討のまとめ

敷地の西側及び南側に見られる基盤 ( $V_s=3\text{km/s}$ 相当) の上面が深くなる基盤形状による影響を地盤モデルを用いた解析により検討し、以下の結果が得られた。

- ・ 発電所位置での短周期入力波の最大振幅は、基盤が深い地域と同程度である。
- ・ 発電所位置での長周期入力波の最大振幅は、基盤が深い地域より小さくなる。
- ・ 1次元モデルと2次元モデルの主要動部における波形(位相)は同様である。
- ・ 主要動付近の振幅は、成層モデル鉛直入射と成層モデル斜め入射が概ね同程度の振幅となり、2次元不整形モデルは同程度またはそれ以下である。
- ・ NS断面に中心周期1.0秒のリッカー波を入射角40度で入力すると、他のケースより後続波が顕著に表れる特徴が見られるものの、後続波の振幅は、主要動の振幅と同程度またはそれ以下である。
- ・ このように、各ケースにおいて成層モデル鉛直入射の最大振幅が2次元不整形モデルの最大振幅を上回ることより、発電所直下の地下構造を水平成層構造とみなして地震動が評価できることを確認した。
- ・ なお、一部の解析ケースにおいて後続波が顕著に表れ、主要動の振幅と同程度またはそれ以下となる特徴については、地震観測記録に含まれており、地震観測記録と解析結果が整合的であることを確認した。

# 広域地盤モデルによる深部地下構造検討のまとめ



---

## 4. 地球物理学的調査による地下構造評価

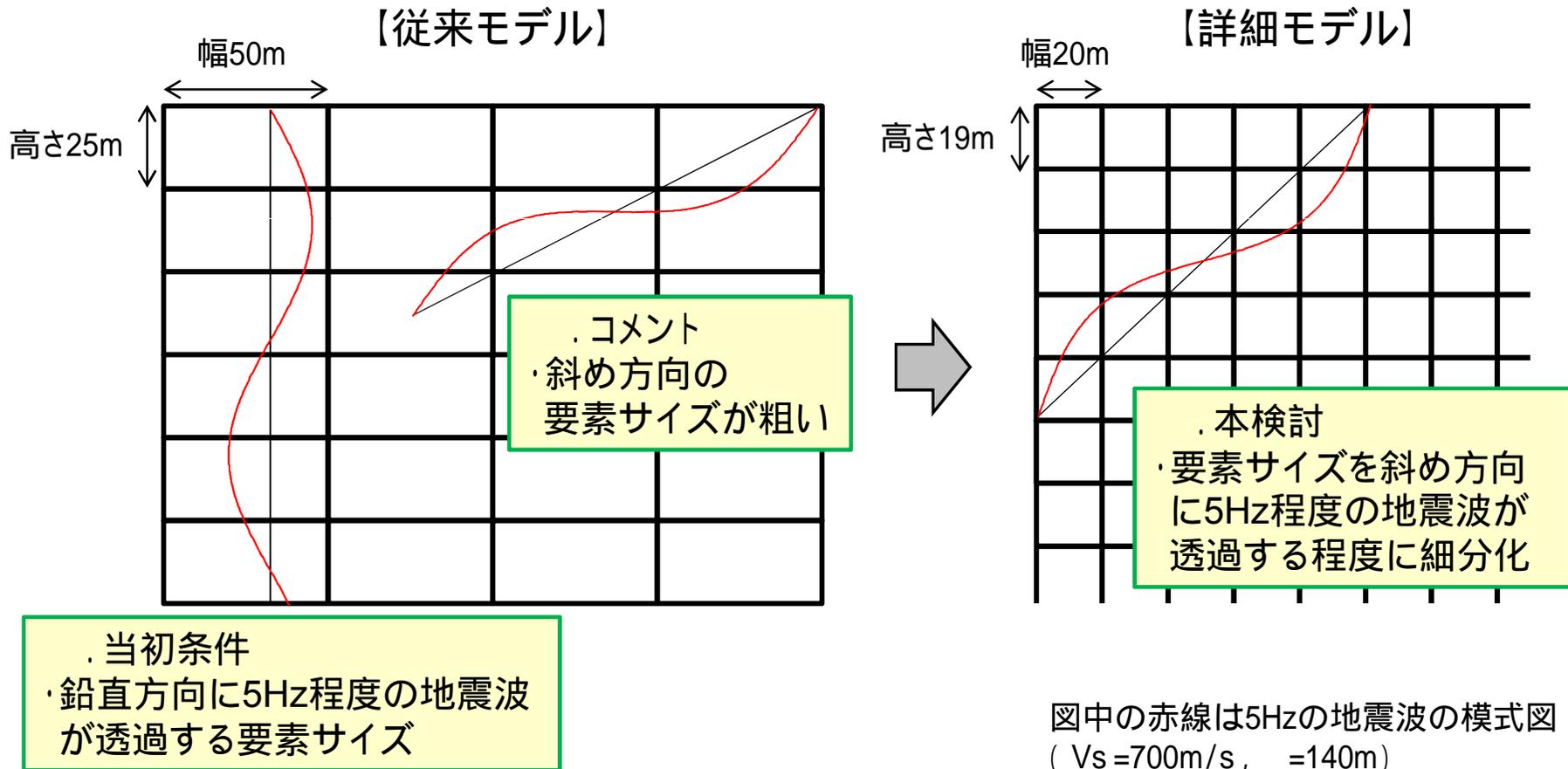
### 4.2 解析による検討

#### 4.2.2 要素サイズによる地震動への影響について

## 検討方針

東海第二発電所敷地及び敷地周辺の地下構造評価のうち、二次元不整形モデルを用いた解析による検討において、鉛直方向に5Hz程度の地震波が透過する要素サイズで解析し、発電所直下の地下構造を水平成層構造とみなして地震動が評価できることを確認した。

しかし、斜め方向への地震波の透過を考えると要素サイズが粗いため、全方向に5Hz程度の地震波が透過する要素サイズの解析モデルを作成し、要素サイズが解析結果に与える影響について検討した。



## 解析内容

要素サイズの違いによる影響を検討するため、要素サイズの細かい「詳細モデル」を作成し、「従来モデル」の解析結果と比較する。なお、本検討は、解析モデルの要素サイズによる地震動への影響の確認を目的としているため、本資料ではNS断面を代表して記載する。

### 二次元不整形モデル【詳細モデル】

- ・解析モデルの物性値を右表に示す。なお、減衰は一律  $Q = 100$  とする。
- ・要素サイズは、全方向に5Hzの地震波が透過する大きさとし、深さ2280m以浅は幅20m × 高さ19m、深さ2280m以深は幅20m × 高さ40mとする。
- ・解析モデルの高さは、解放基盤表面に相当する深さから-4000m程度までをモデル化する。
- ・解析は周波数応答解析を用いて、モデル底面は粘性境界、左右はエネルギー伝達境界を設定する。

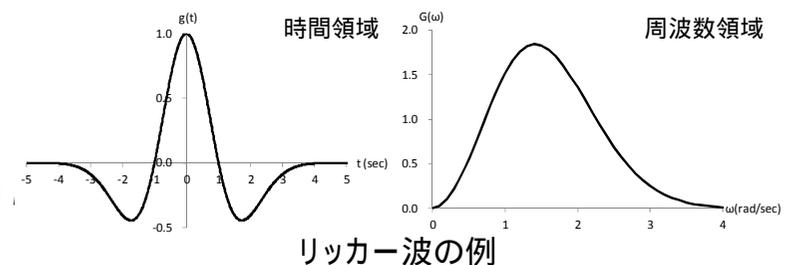
### 入力波

- ・リッカー波の平面波を入力波とし、中心周期を0.3, 0.5, 1.0, 2.0秒、敷地の南側の基盤が深い方角から敷地に向かって来る地震波について検討するため、0度(鉛直)南側から20度、40度の入射角を設定する。

地下構造モデルの物性値

S波速度 Vs(km/s)	密度( ) (g/cm <sup>3</sup> )	発電所直下	
		上端深度 (m)	層厚 (m)
0.70	1.99	-380	83
1.20	2.16	-463	176
1.50	2.26	-639	20
2.00	2.39		
2.50	2.51		
2.90	2.58	-659	3341

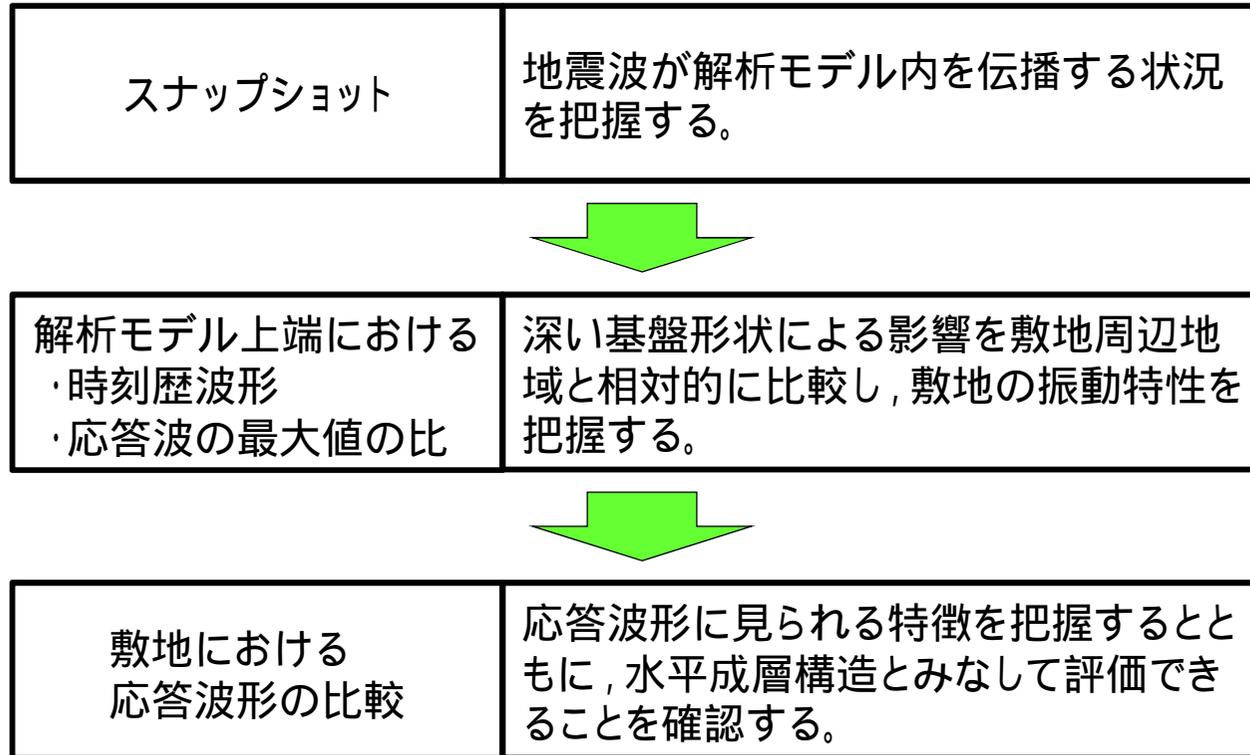
Ludwig, W. J., J. E. Nafe, and C.L. Drake (1970): Seismic Refraction, in "The Sea, Vol.4", edited by A.E. Maxwell, Wiley Interscience, New York, 53-84.



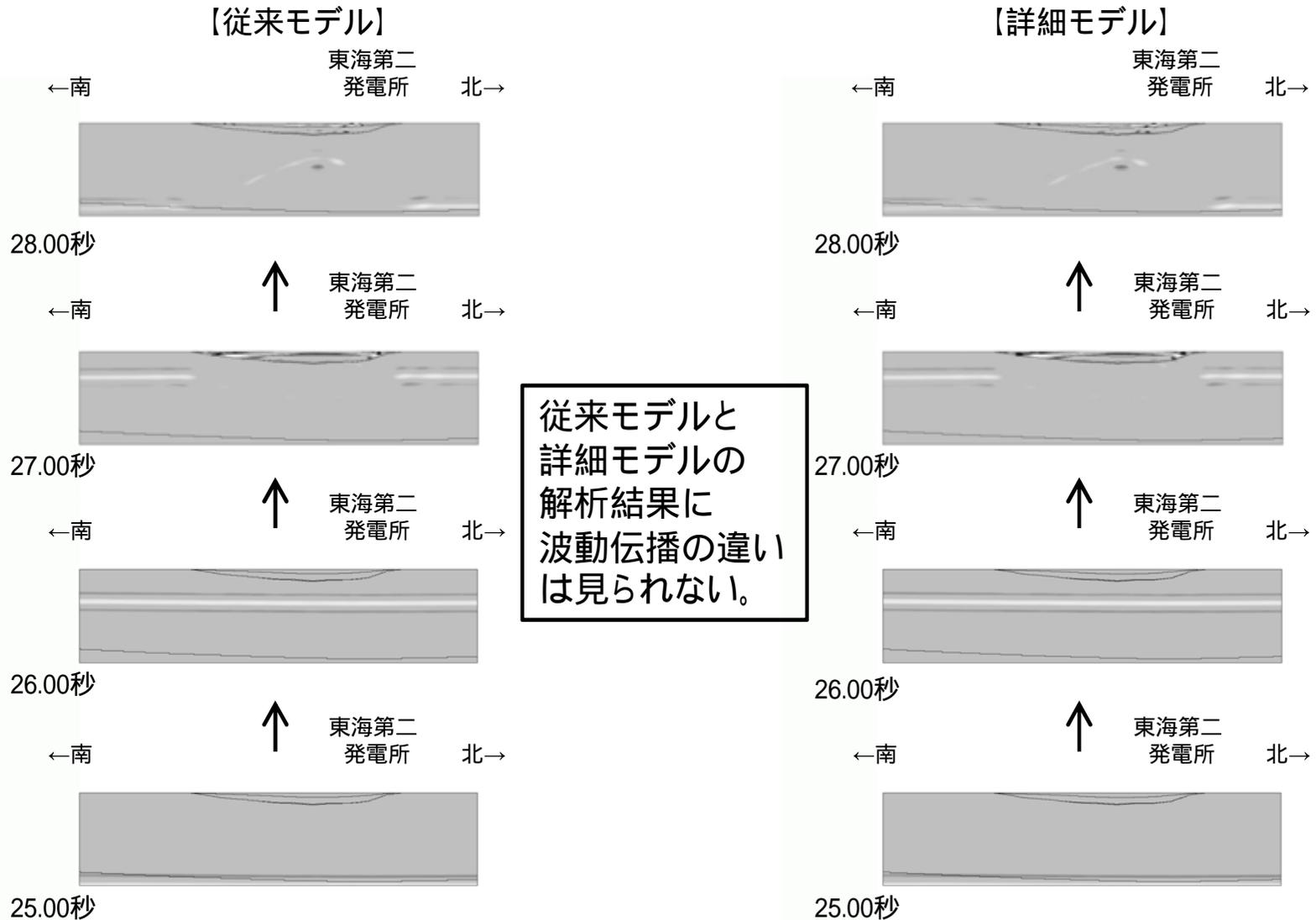
大崎順彦 (1996): 建築振動理論, 彰国社, p157-158

## 解析結果

以下のとおり，二次元不整形モデルによる解析結果を示す。



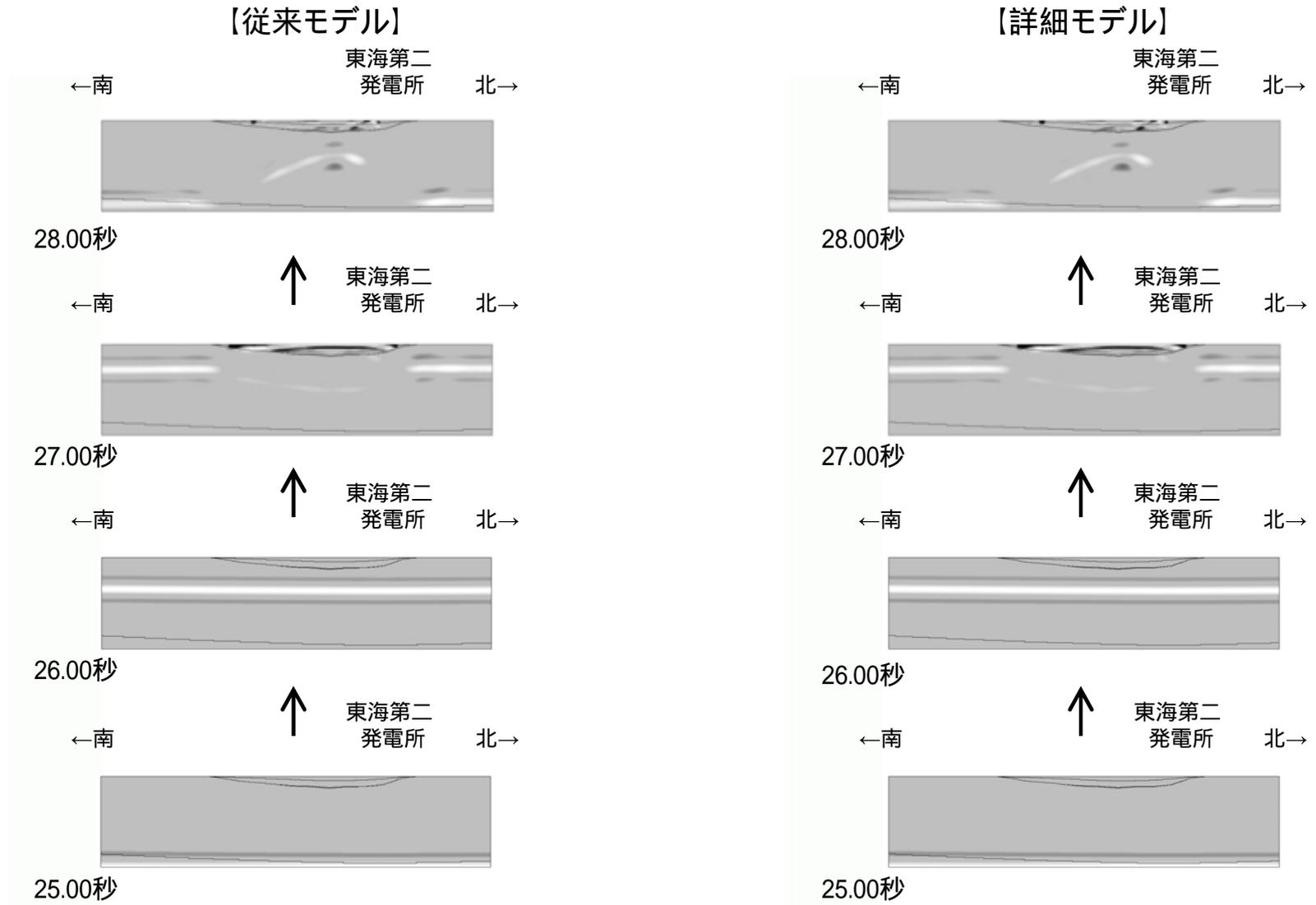
# 解析結果 - スナップショット - (1 / 12)



解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角 0度)

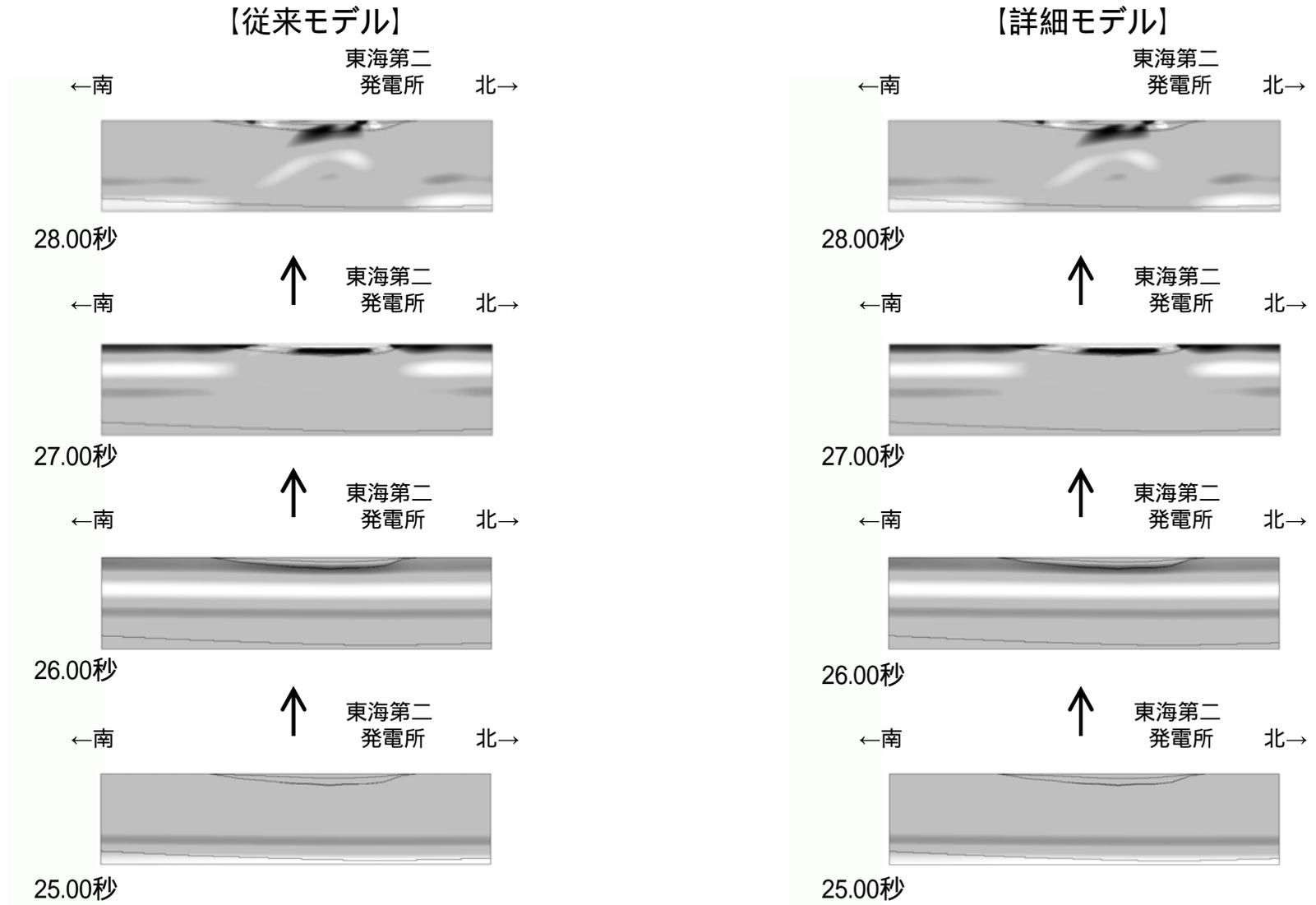
黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (2 / 12)



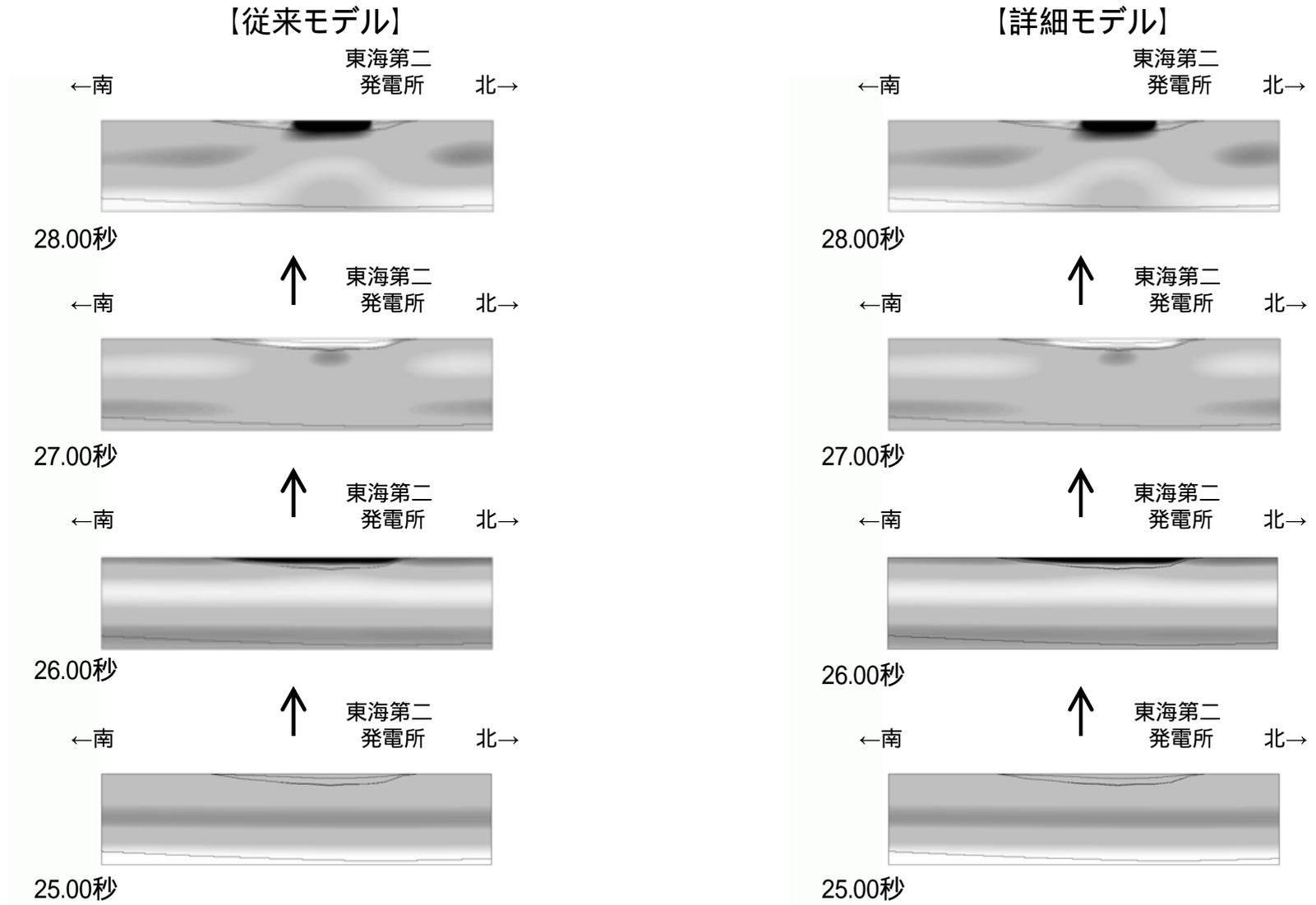
解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角 0度) 黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - ( 3 / 12 )



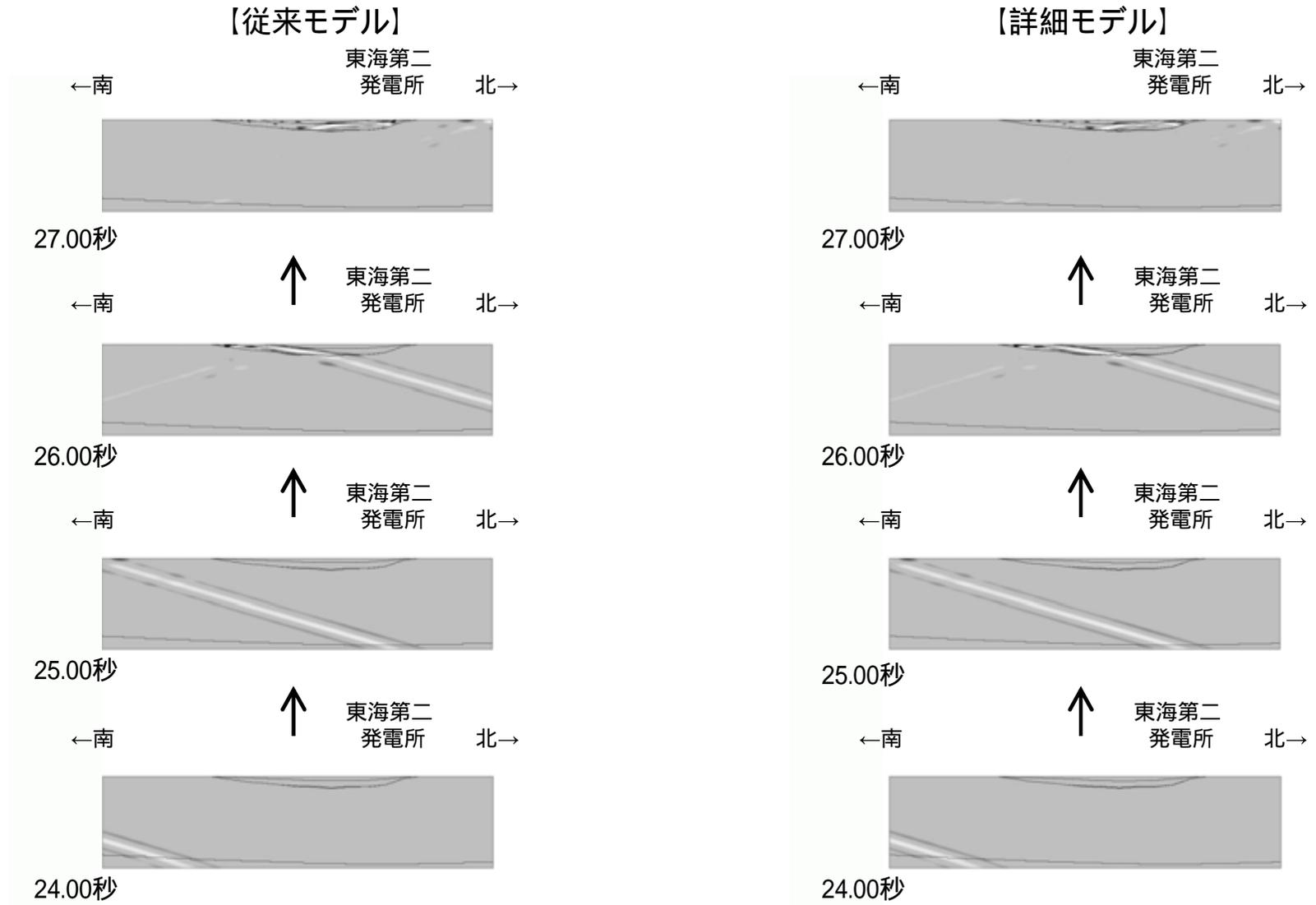
解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角 0度) 黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (4 / 12)



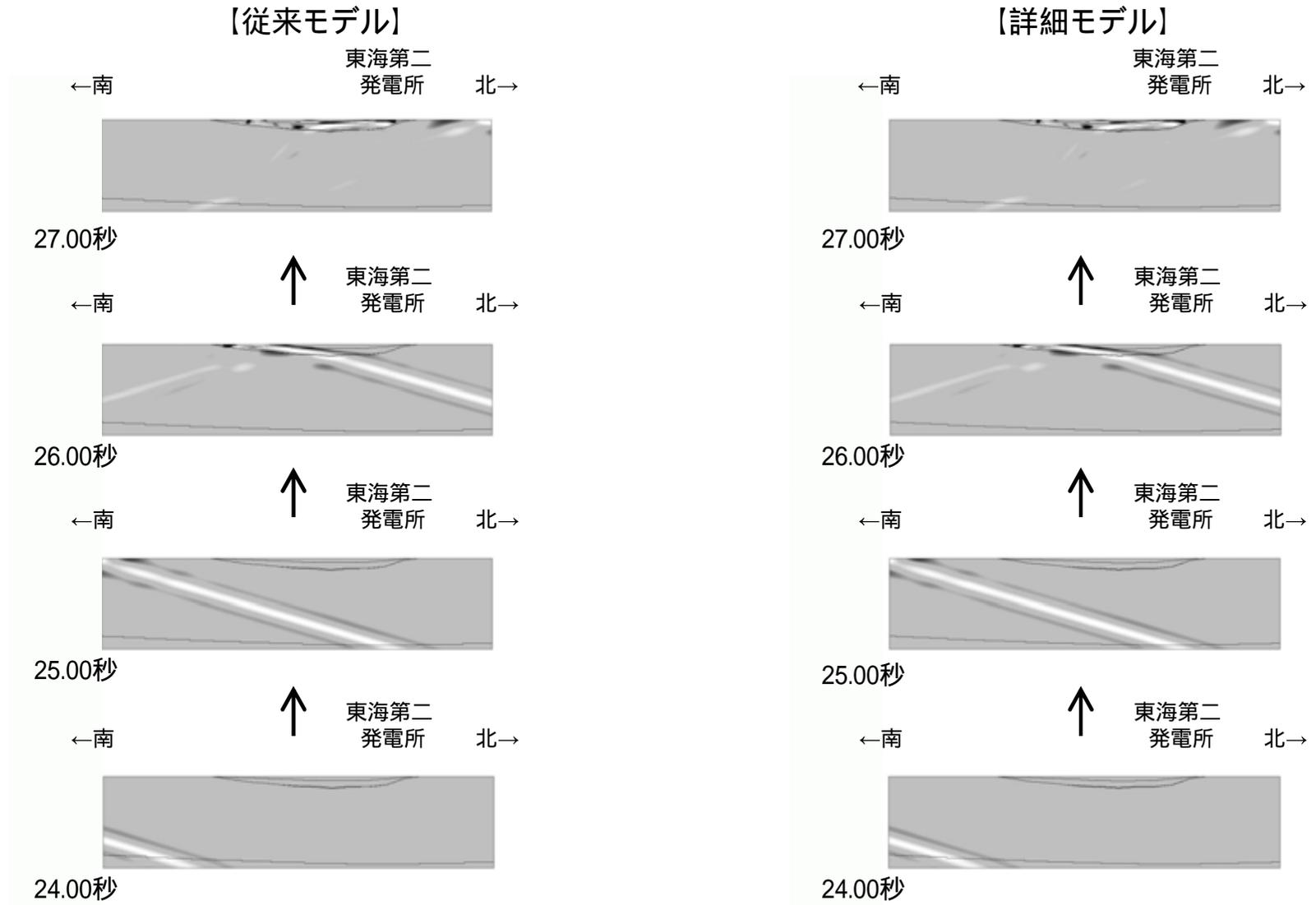
解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角 0度) 黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - ( 5 / 12 )



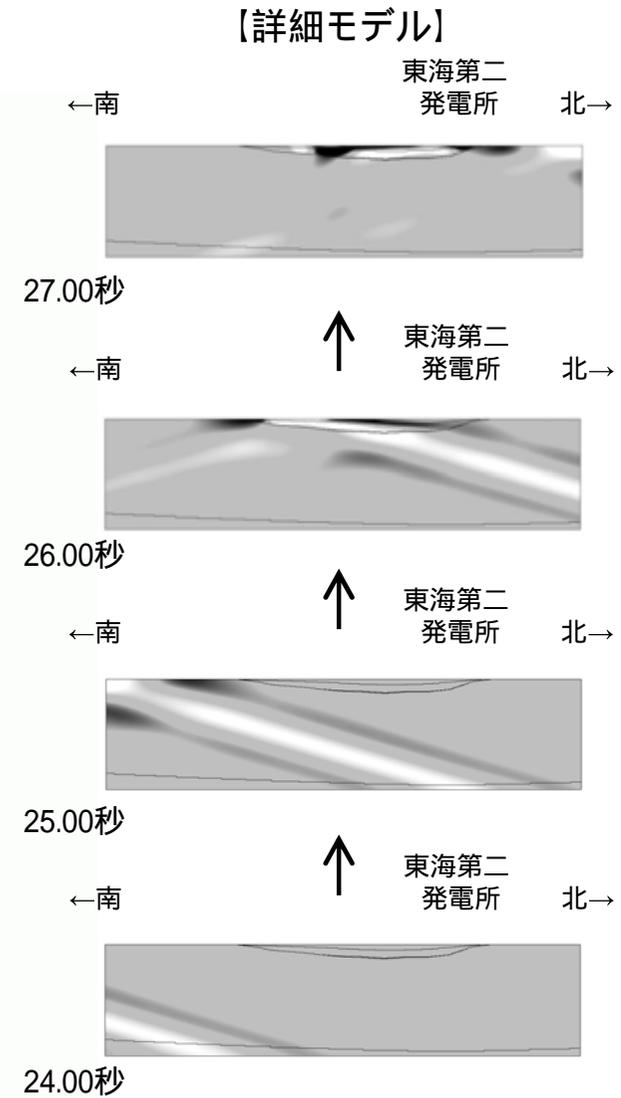
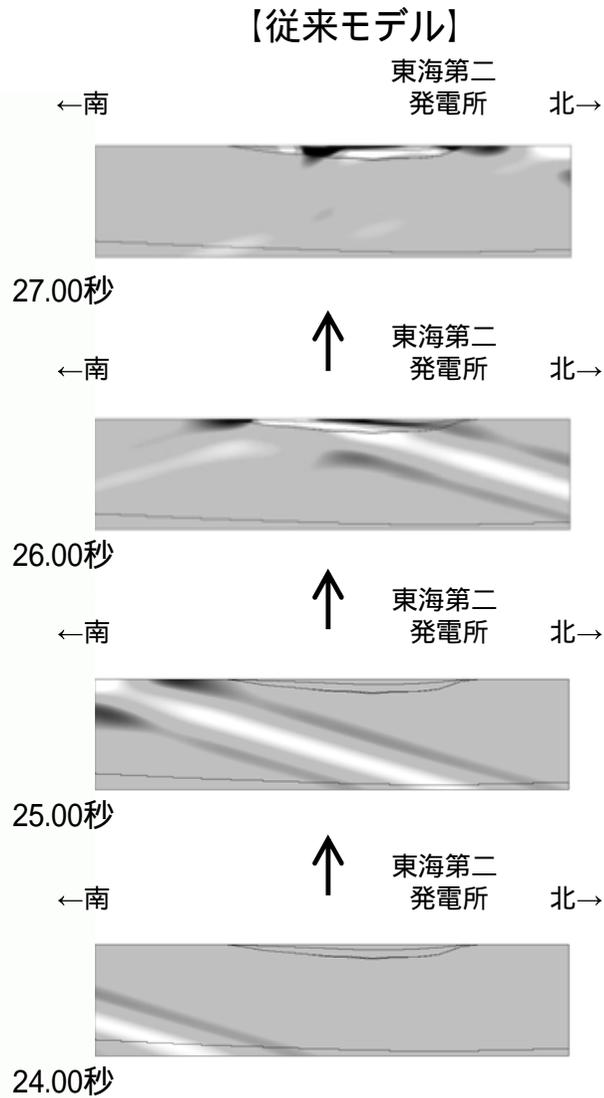
解析結果(入力波:リッカー波,中心周期0.3秒,入射角20度) (黒は+側,白は-側 縦横比=1:1)

# 解析結果 - スナップショット - (6 / 12)



解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角20度) 黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

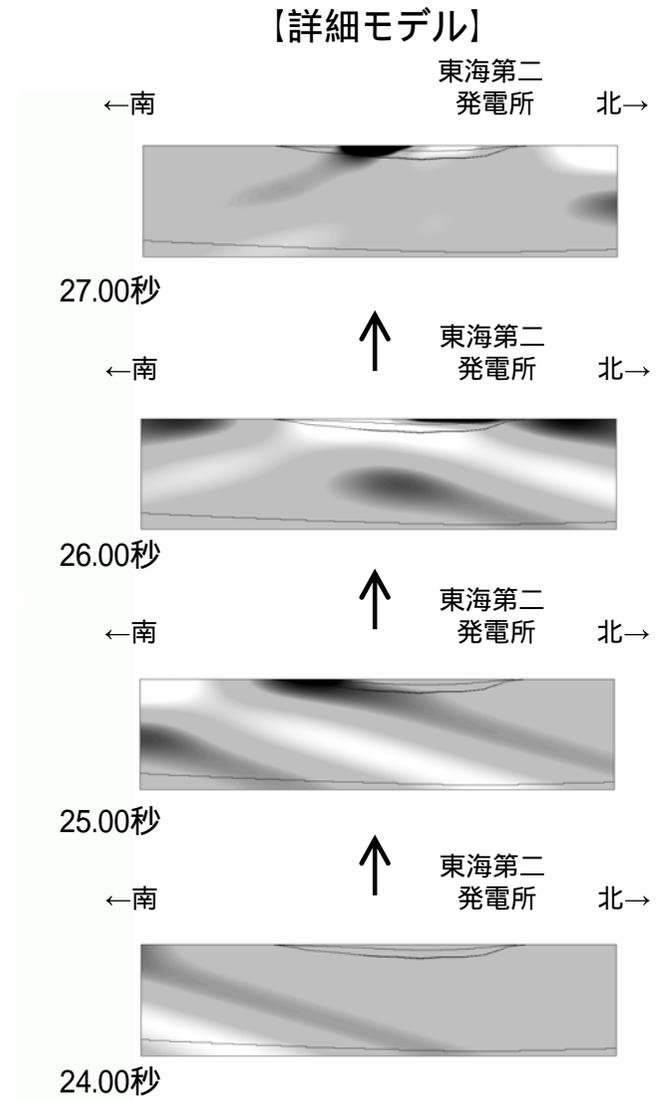
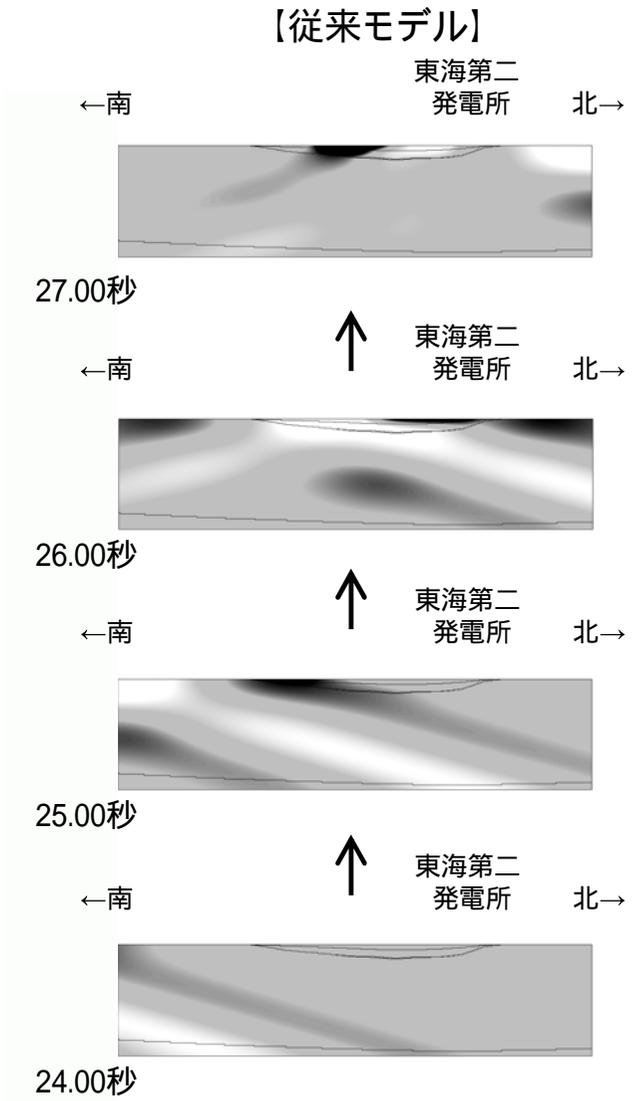
# 解析結果 - スナップショット - (7 / 12)



解析結果(入力波:リッカー波,中心周期1.0秒,入射角20度)

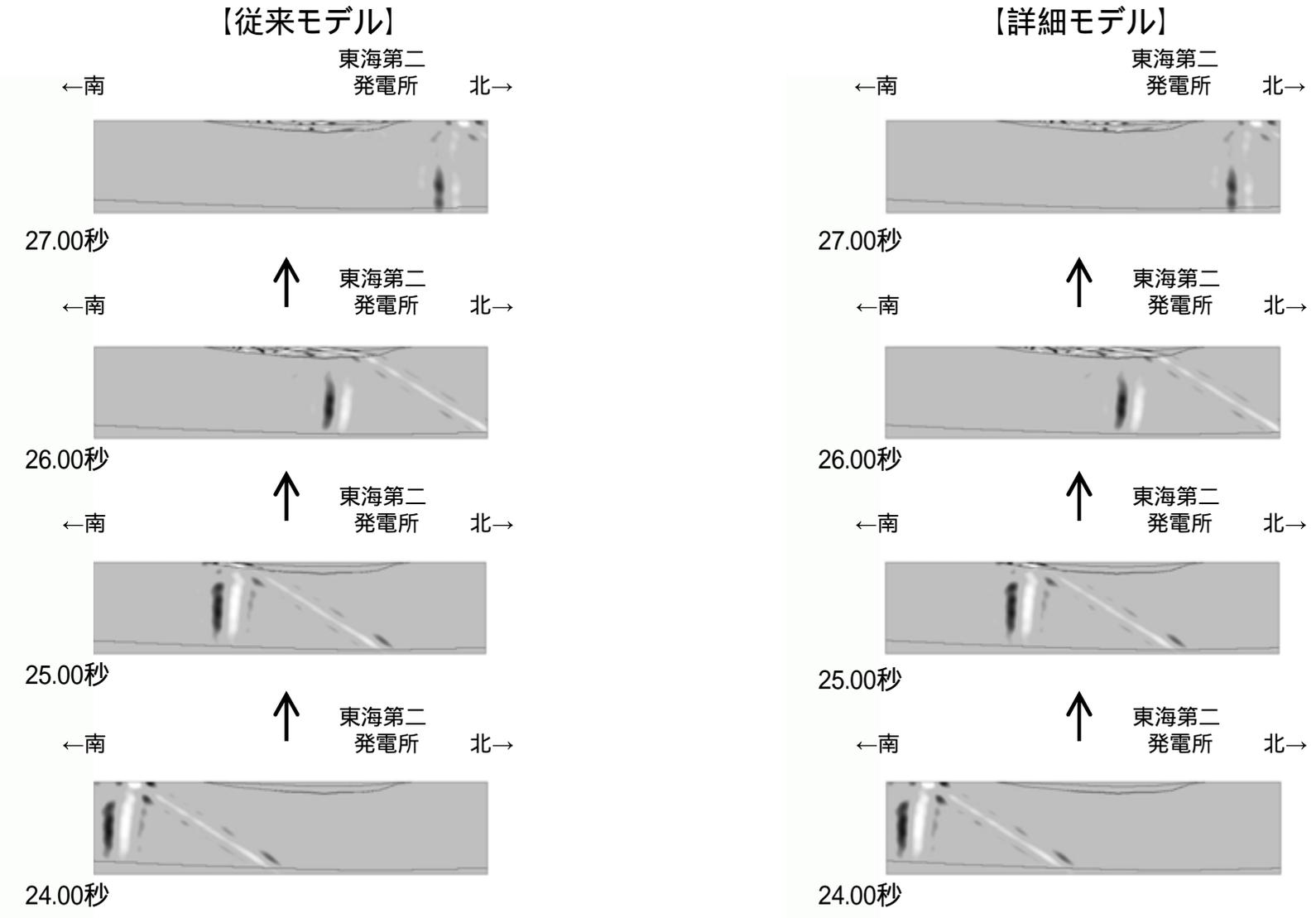
黒は+側,白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - ( 8 / 12 )



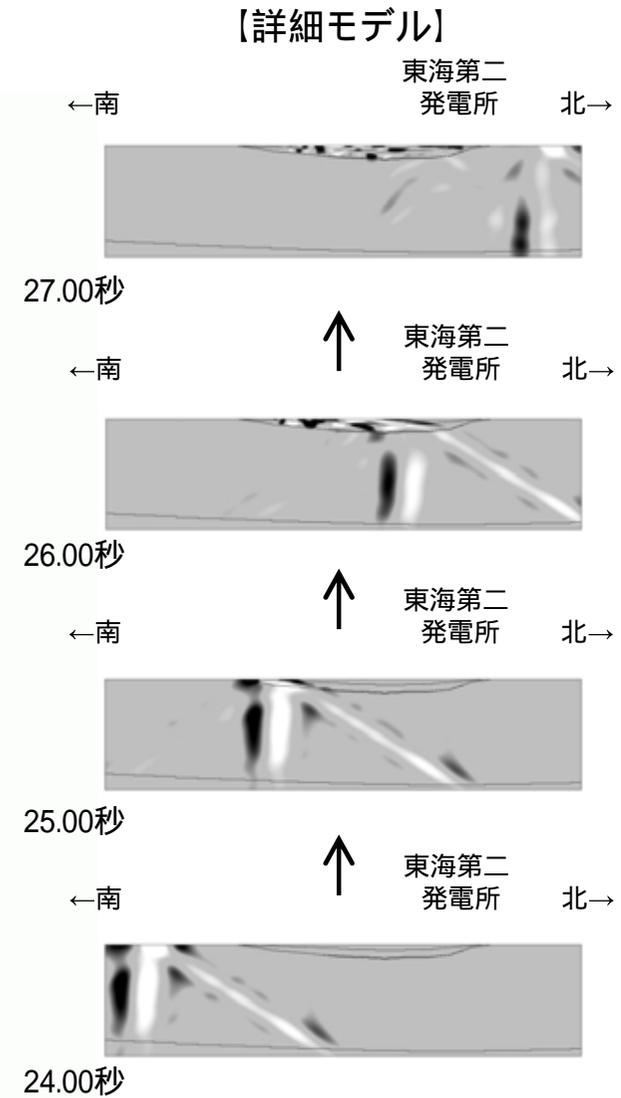
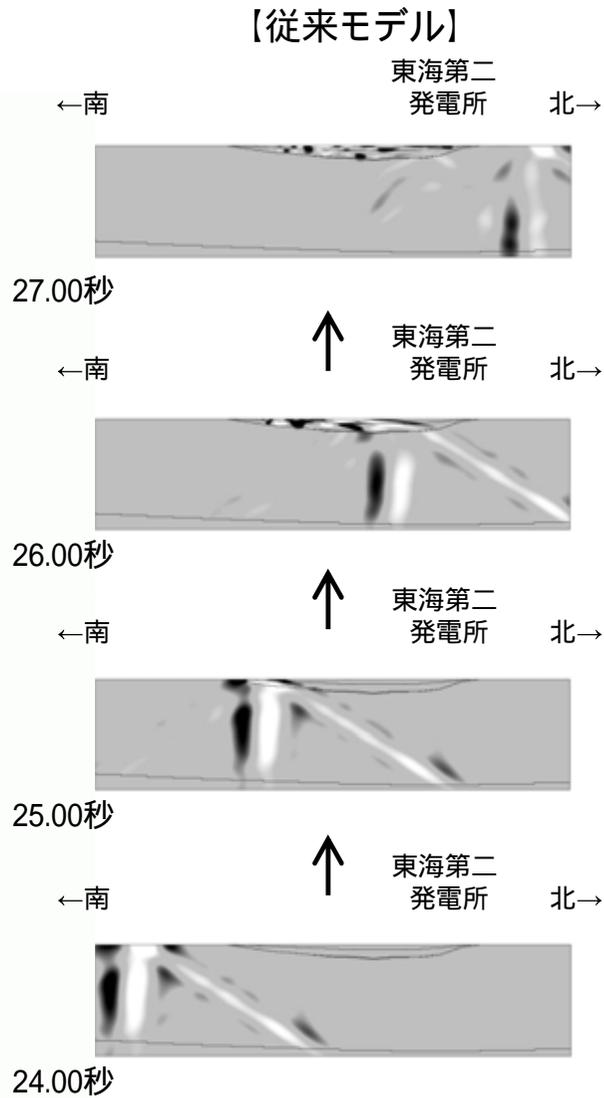
解析結果(入力波:リッカー波,中心周期2.0秒,入射角20度) 黒は+側,白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - ( 9 / 12 )



解析結果(入力波:リッカー波,中心周期0.3秒,入射角40度) 黒は+側,白は-側  
縦横比 = 1:1

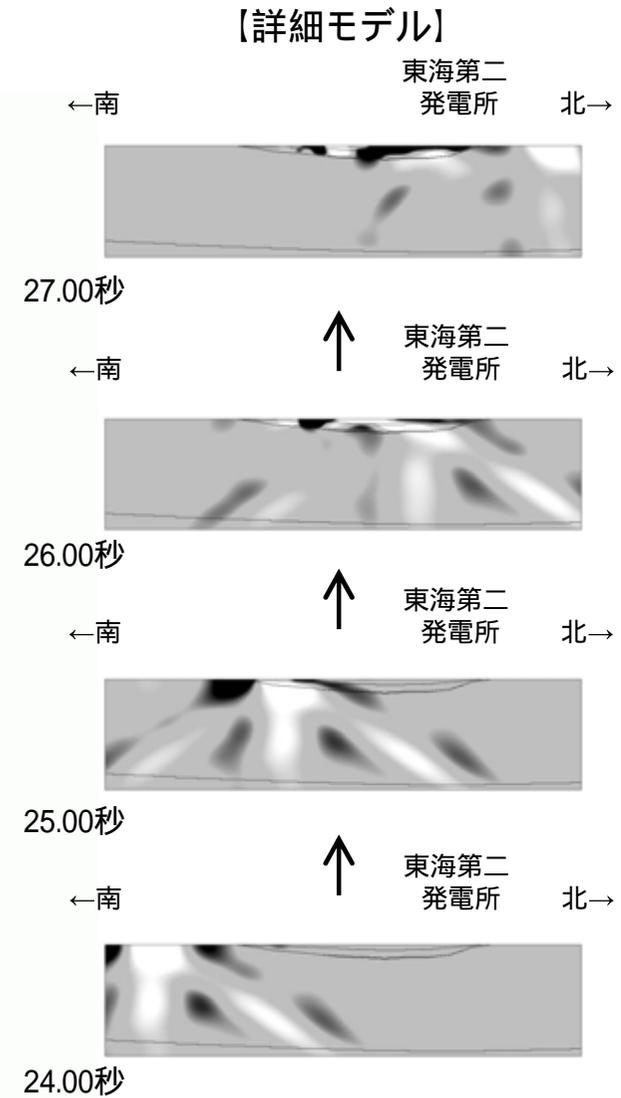
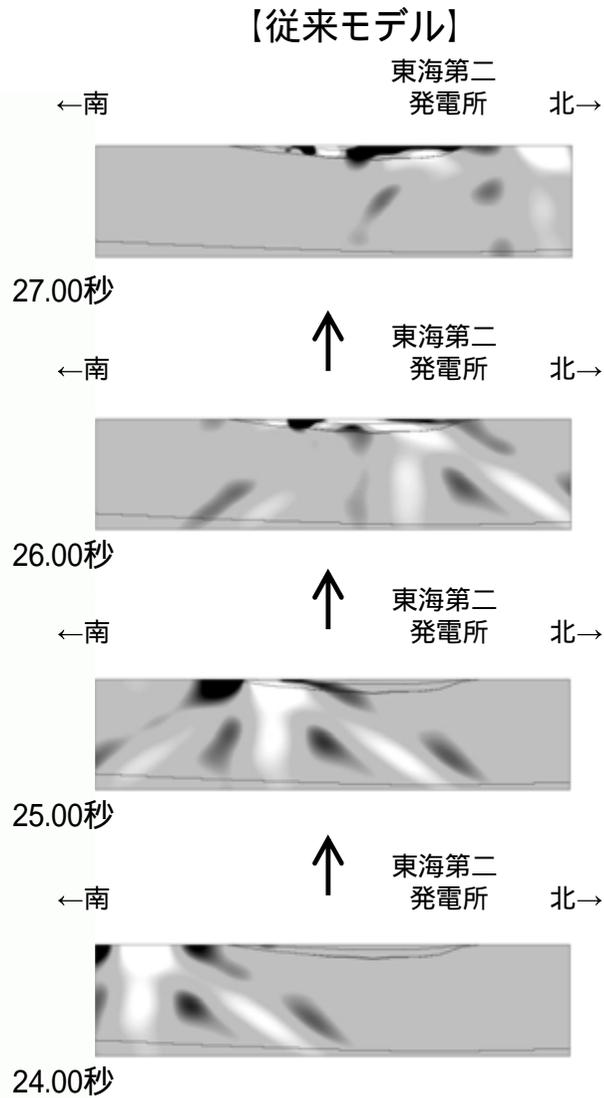
# 解析結果 - スナップショット - (10 / 12)



解析結果(入力波:リッカー波,中心周期0.5秒,入射角40度)

黒は+側,白は-側  
縦横比 = 1:1

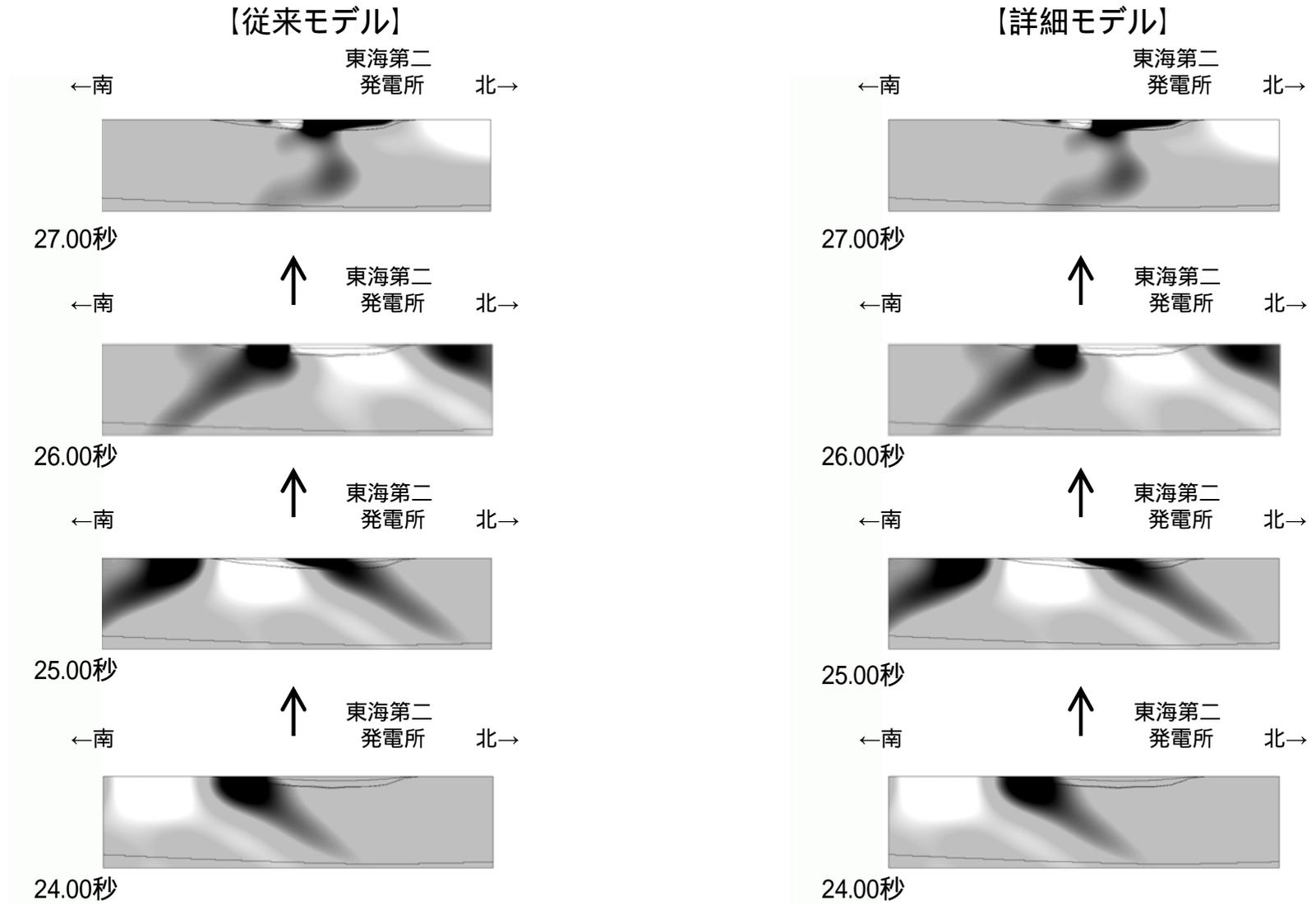
# 解析結果 - スナップショット - (11 / 12)



解析結果(入力波:リッカー波,中心周期1.0秒,入射角40度)

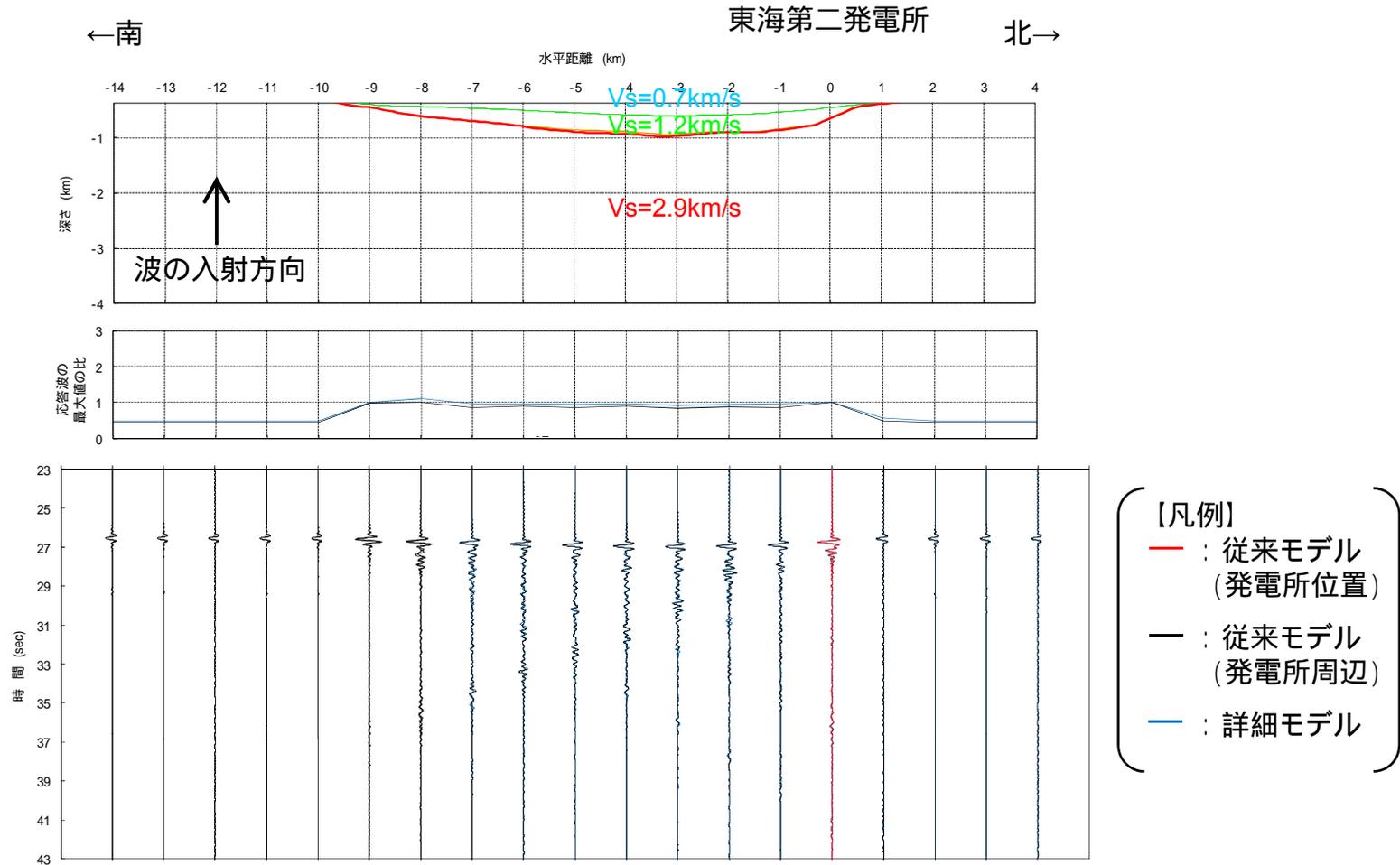
黒は+側,白は-側  
縦横比 = 1:1

# 解析結果 - スナップショット - (12 / 12)



解析結果(入力波:リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角40度) 黒は+側, 白は-側  
縦横比 = 1:1

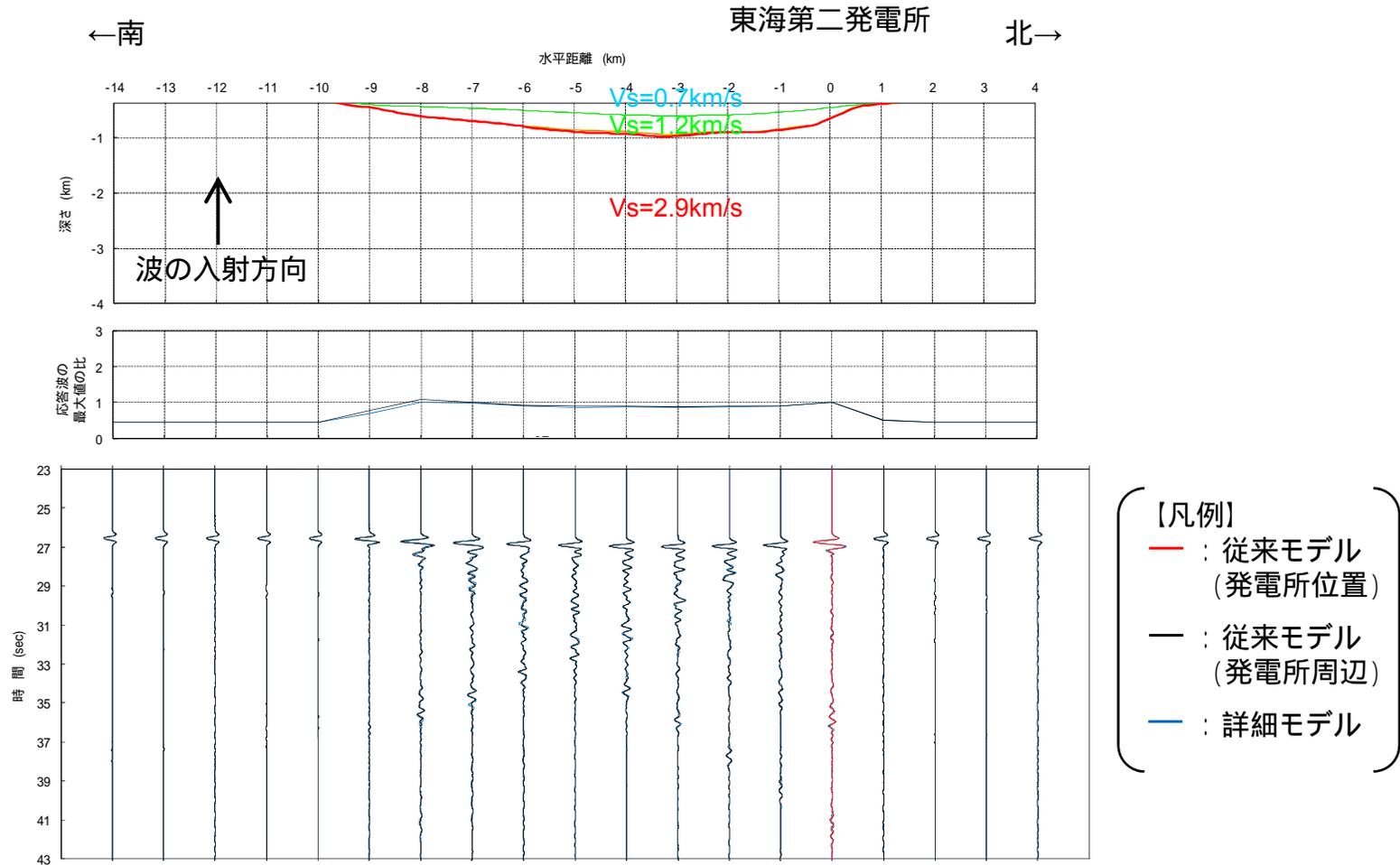
# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (1 / 12)



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角 0度)

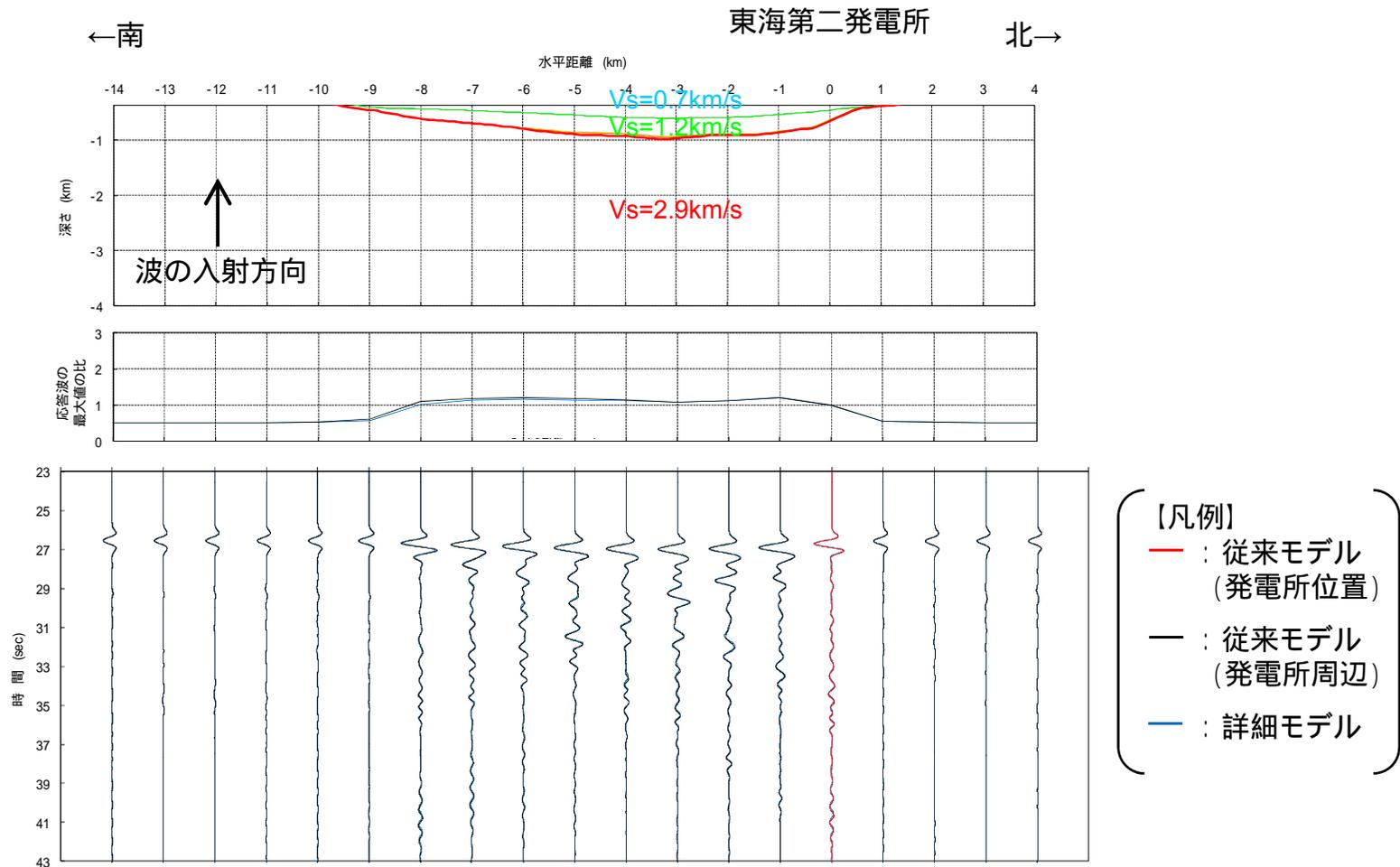
# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (2 / 12)



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角 0度)

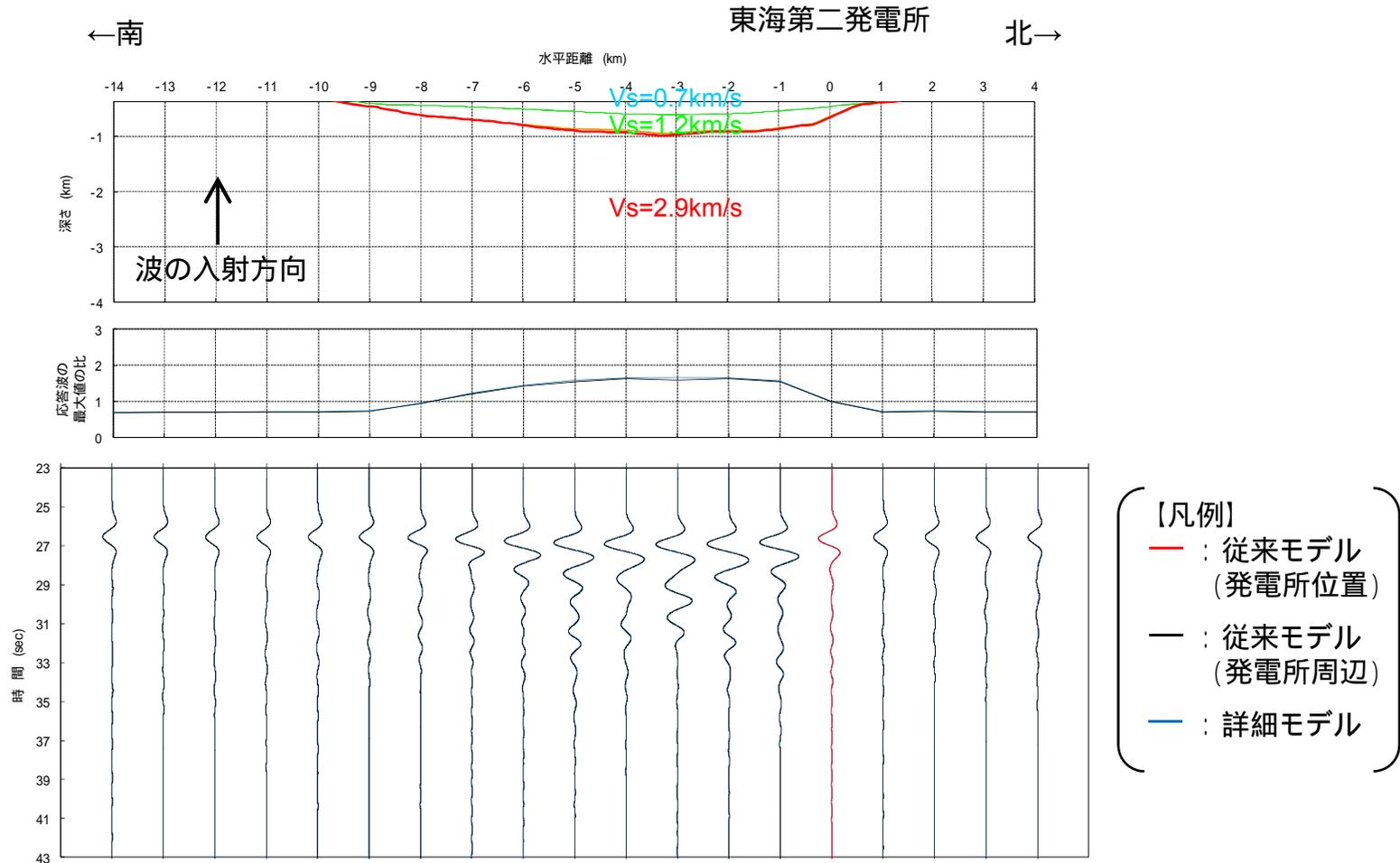
# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (3 / 12)



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角 0度)

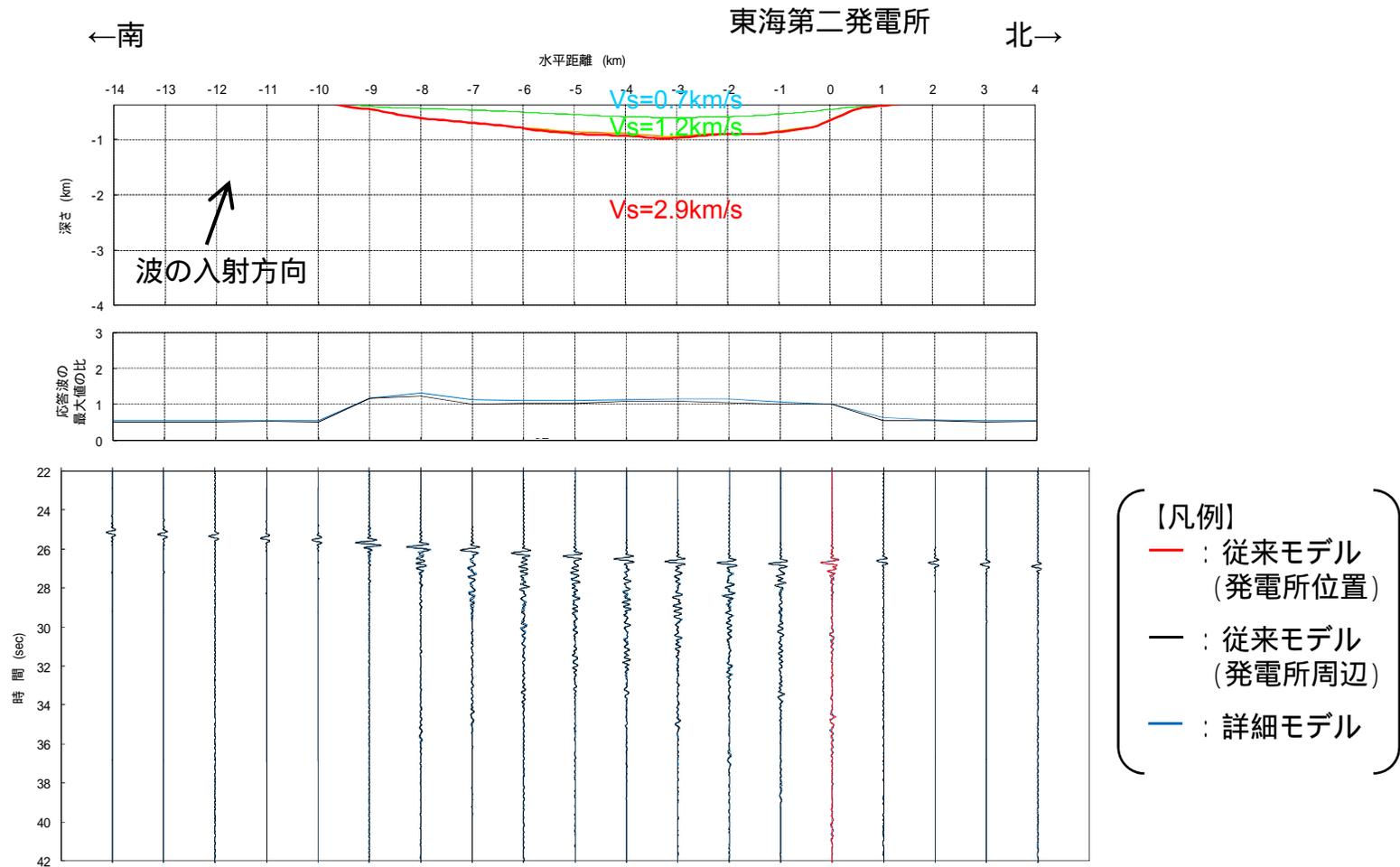
# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (4 / 12)



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角 0度)

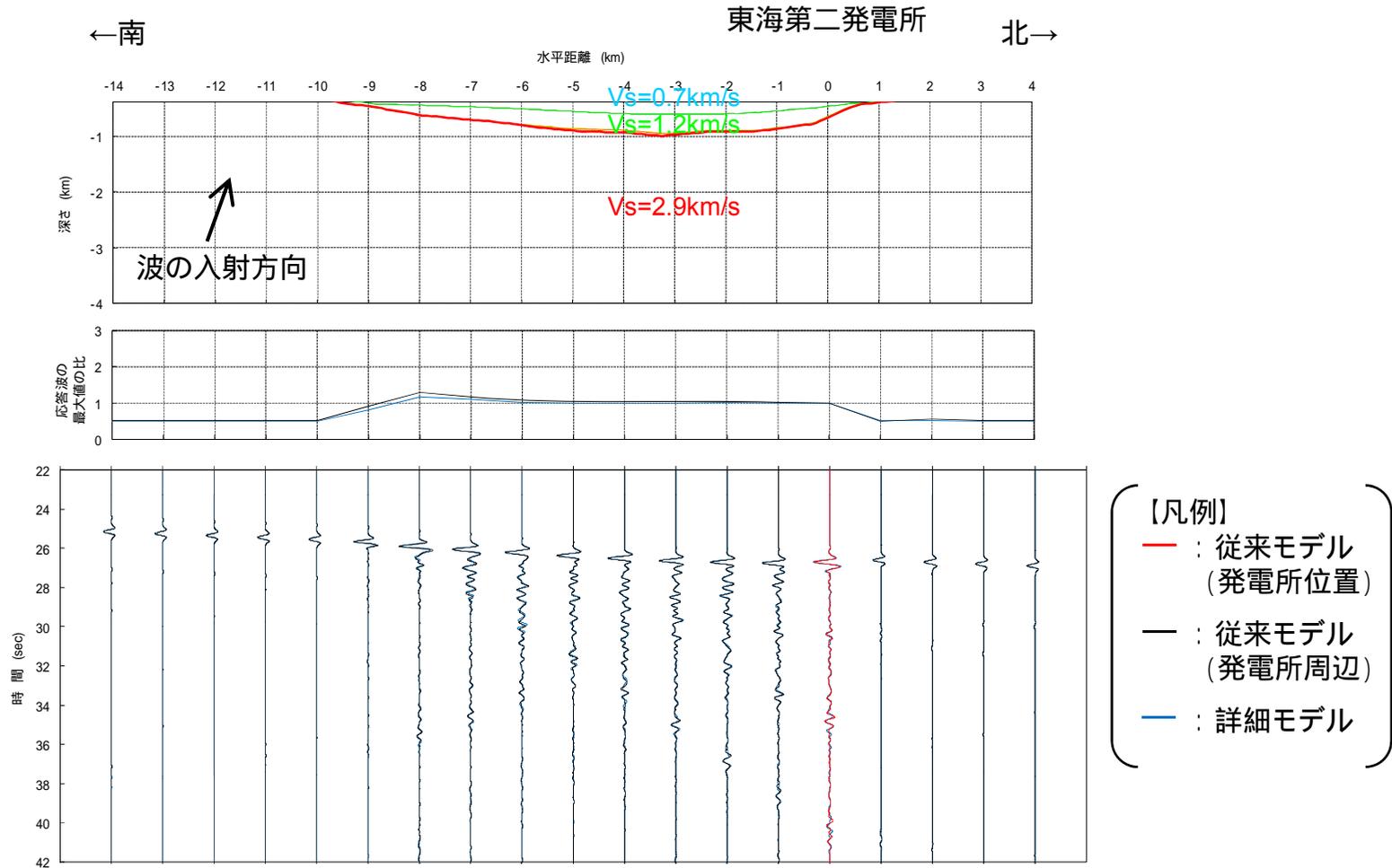
# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (5 / 12)



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角20度)

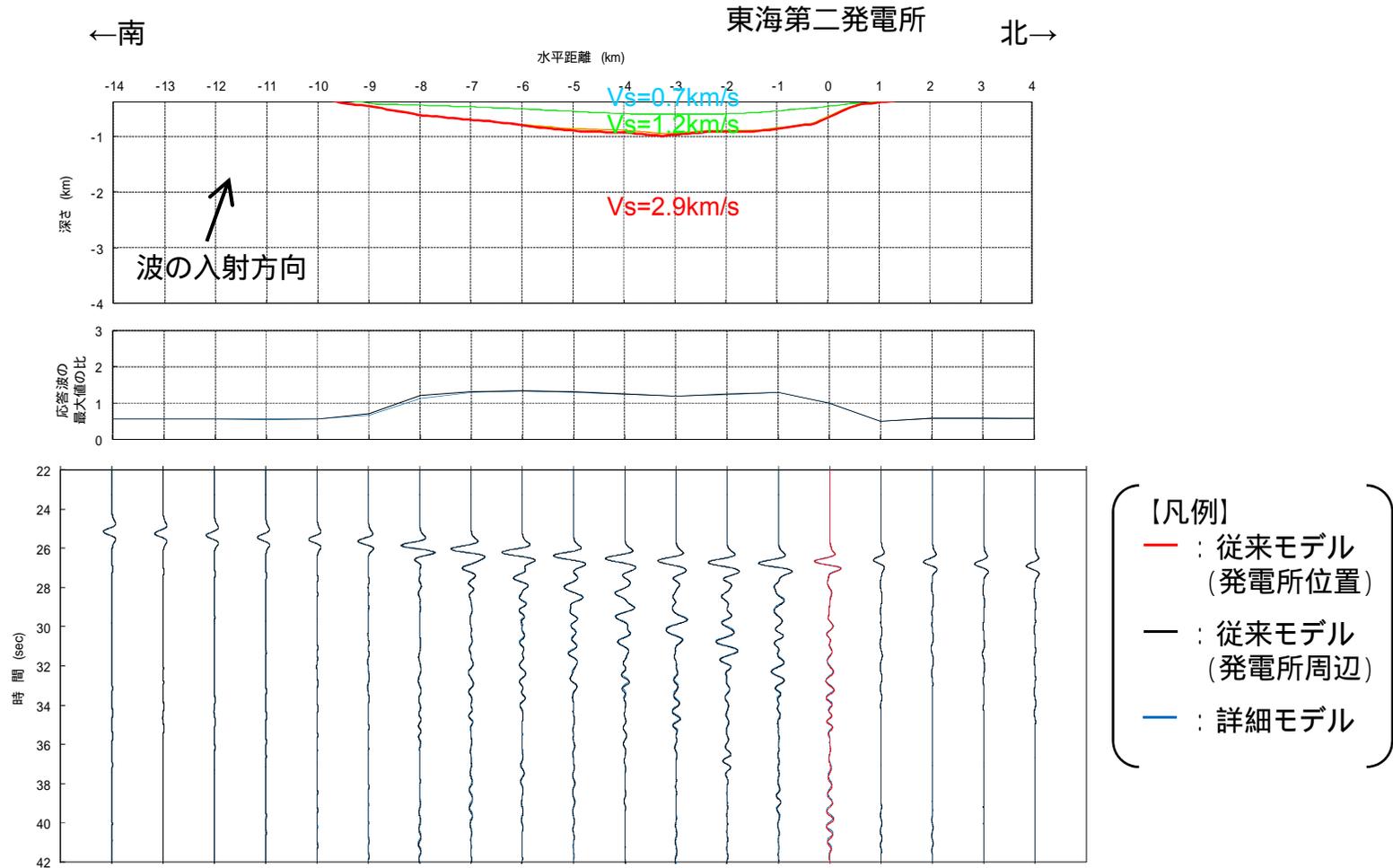
# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (6 / 12)



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角20度)

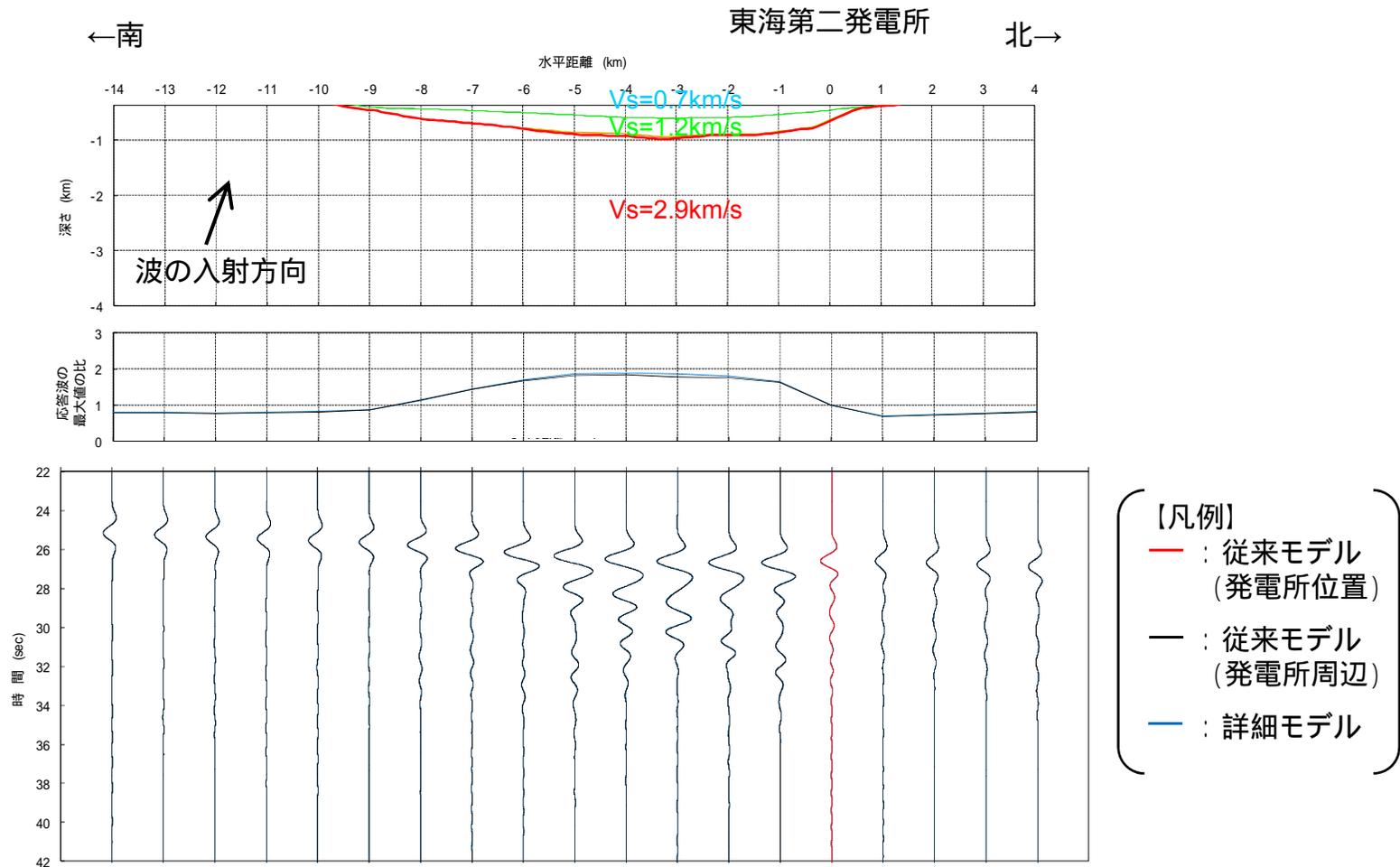
# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (7 / 12)



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角20度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (8 / 12)

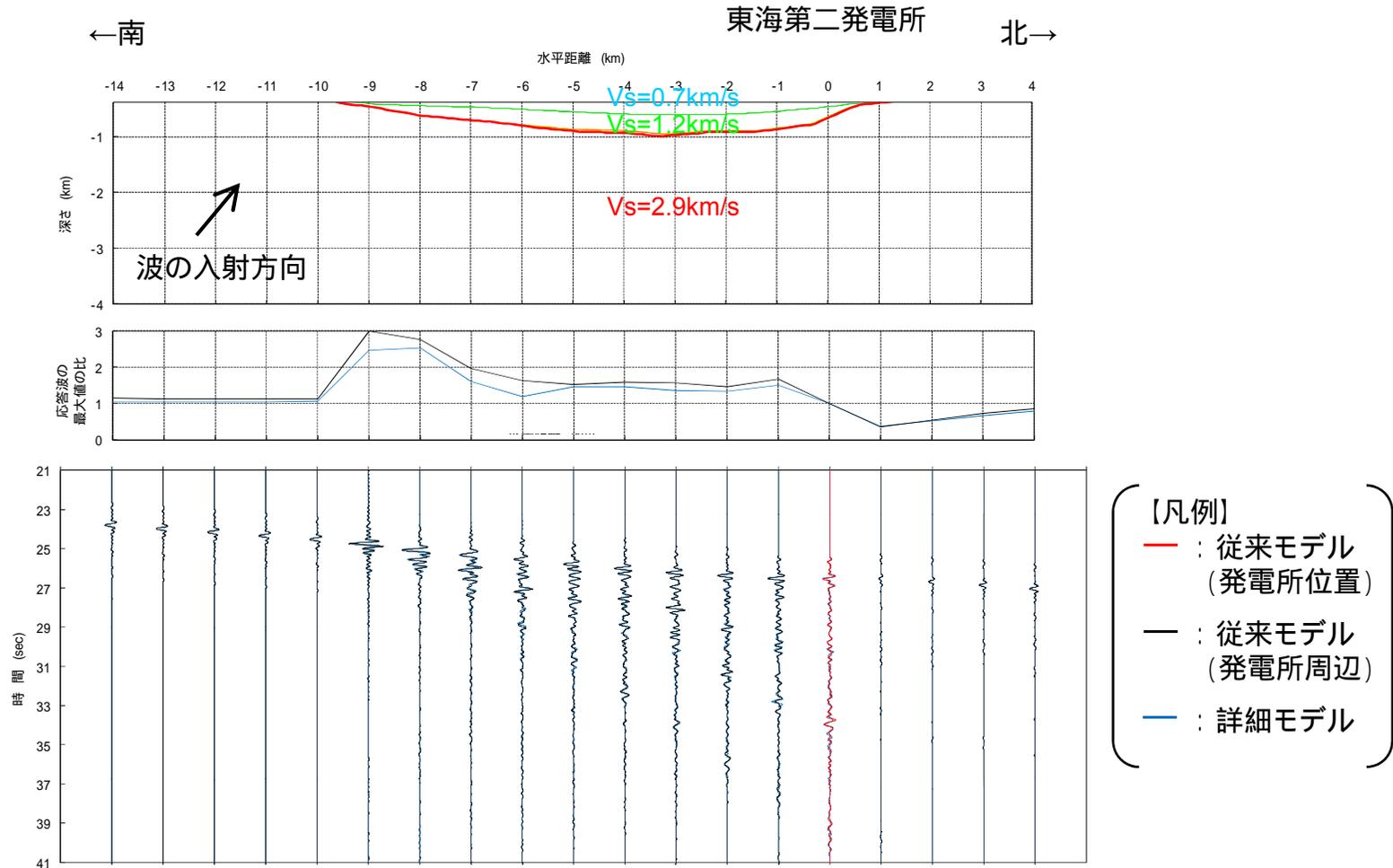


解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角20度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (9 / 12)

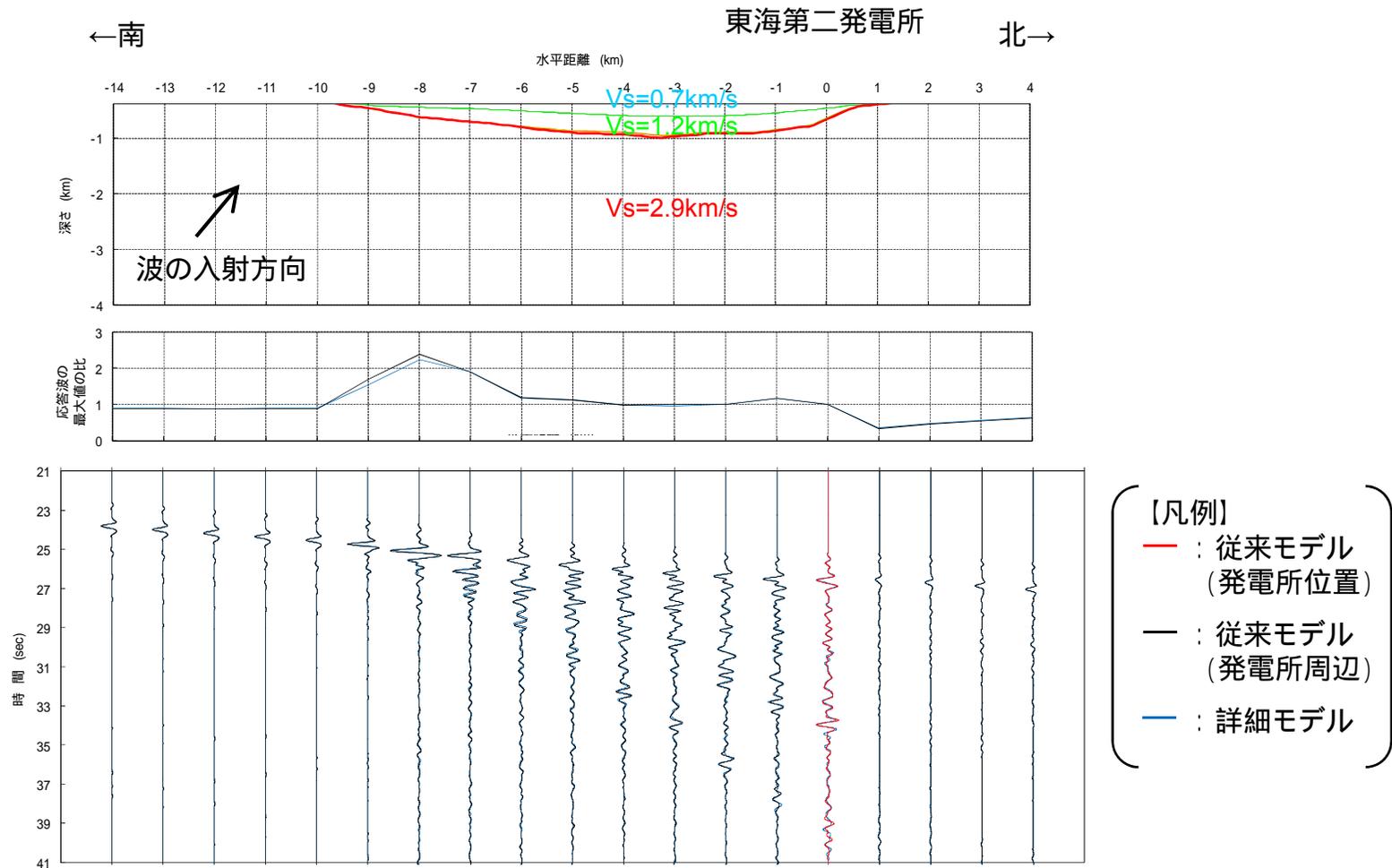
・基盤 ( $V_s=2.9\text{km/s}$ 層) が徐々に浅くなる敷地から南方約6~9kmの位置では, 応答波の最大値の比に従来モデルと詳細モデルの差が見られるが, 相対的な大小関係に大きな違いは見られない。



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.3秒, 入射角40度)

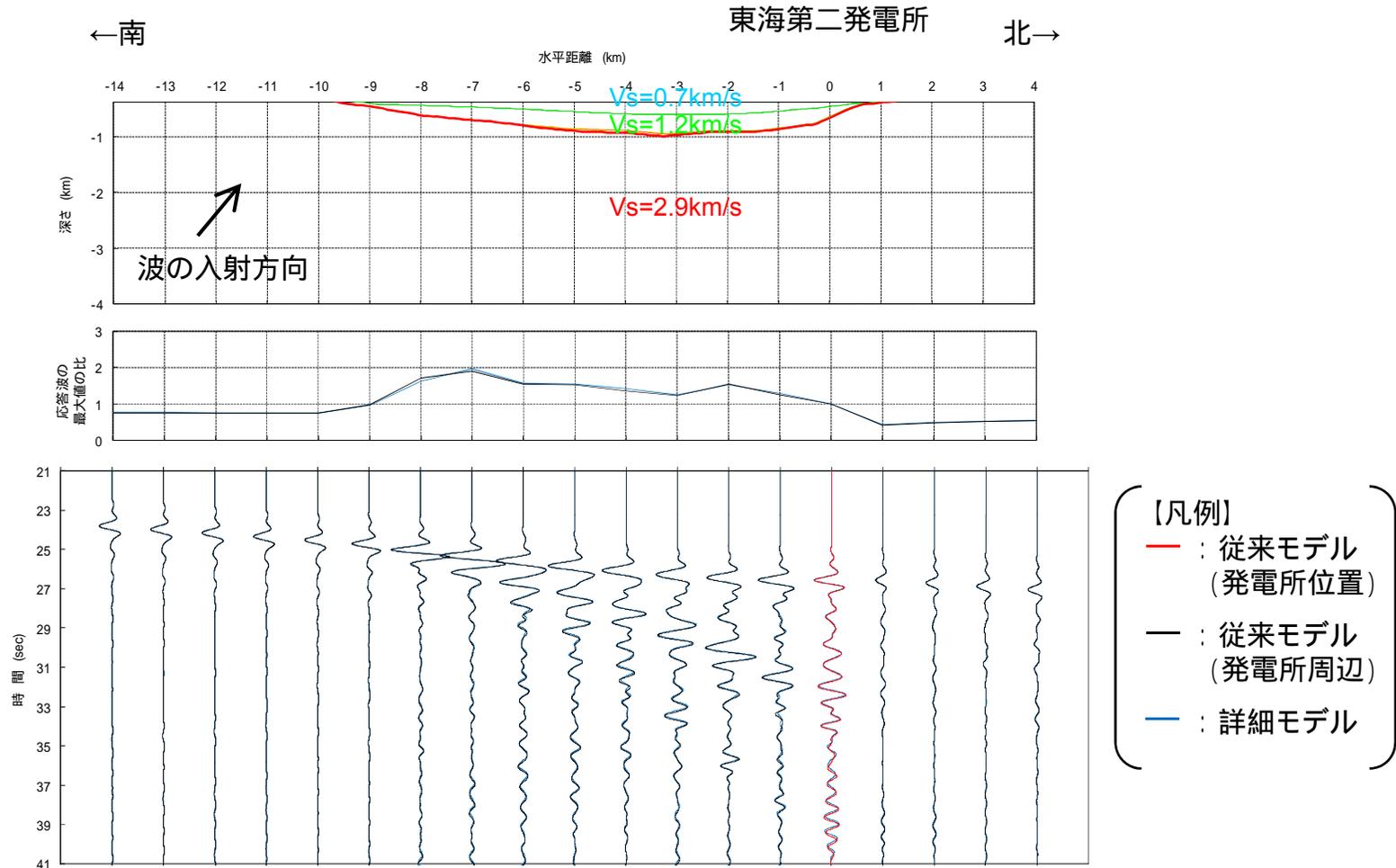
# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (10 / 12)



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期0.5秒, 入射角40度)

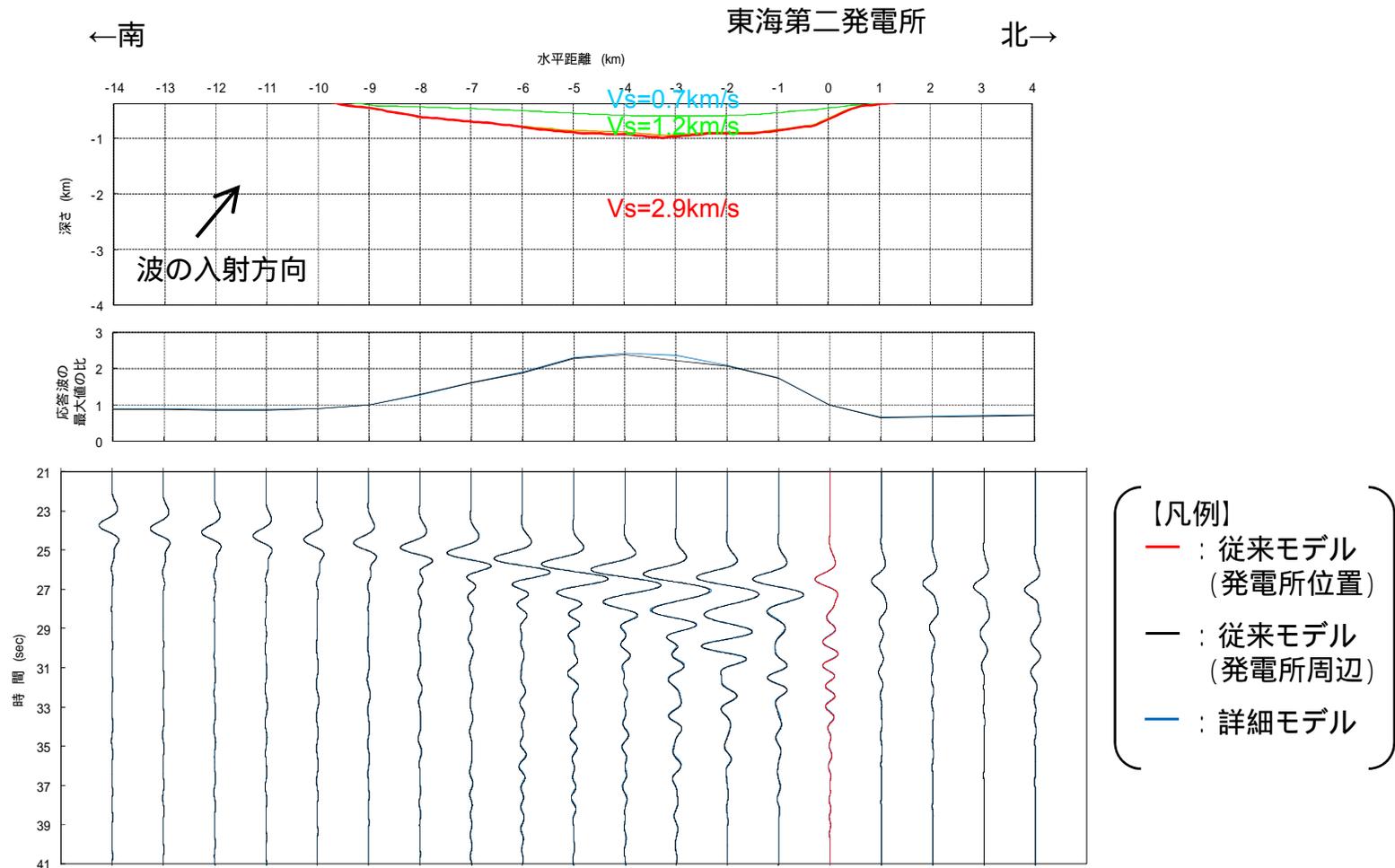
# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (11 / 12)



解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期1.0秒, 入射角40度)

# 解析結果 - 時刻歴波形, 応答波の最大値の比 - (12 / 12)

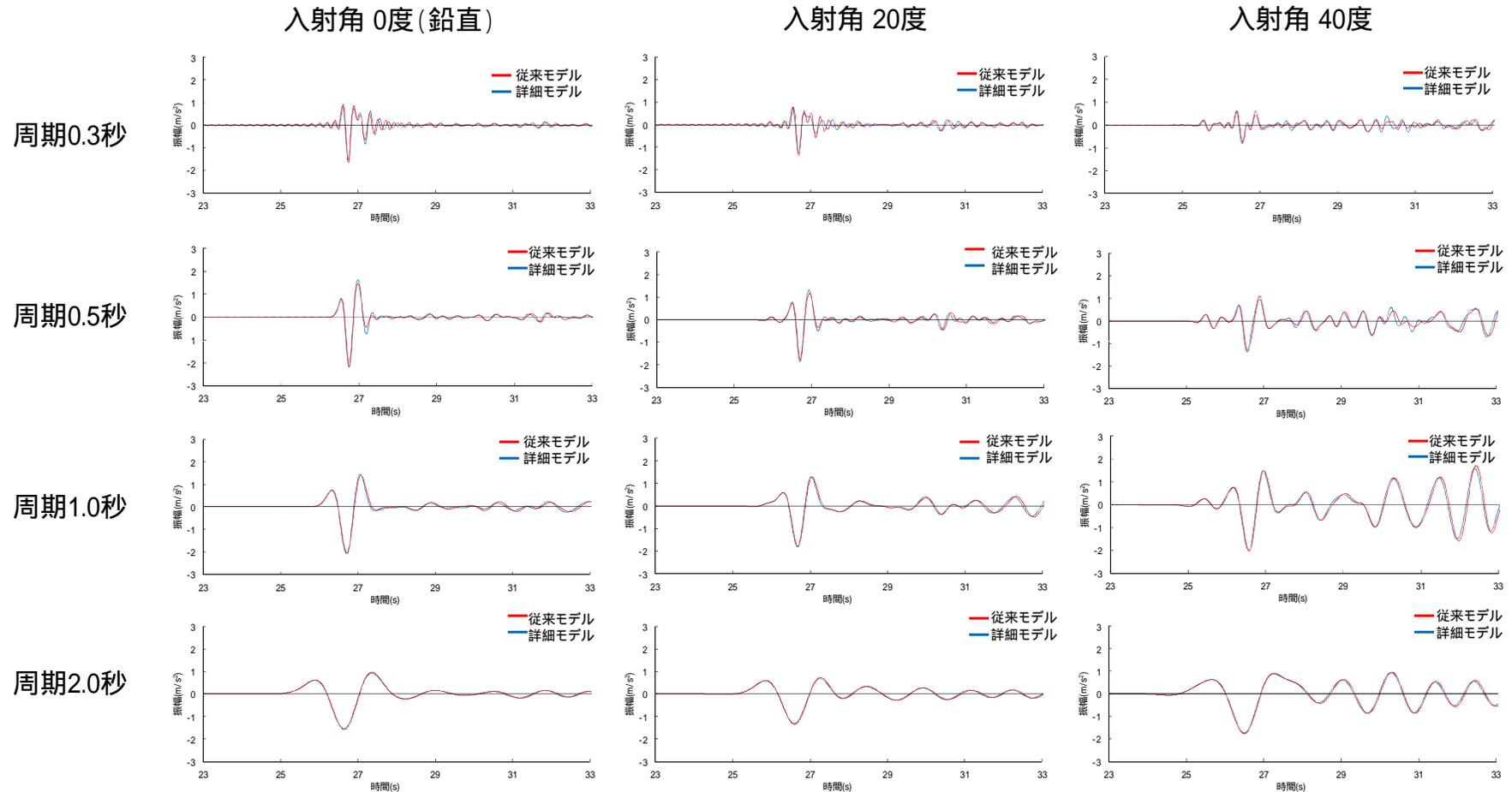


解析結果 (上段: 解析モデル, 中段: 応答波の最大値の比, 下段: 応答時刻歴波形)

(入力波: リッカー波, 中心周期2.0秒, 入射角40度)

## 解析結果 - 発電所位置における応答波形の比較 -

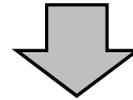
- ・要素サイズの違いによる解析結果のうち、発電所位置における応答波形の比較を以下に示す。
- ・応答波形の振幅及び位相は一致している。



解析結果(応答波形)

## 要素サイズによる地震動への影響についてのまとめ

- ・解析モデルの要素サイズによる地震動への影響を検討するため、要素サイズの細かい詳細モデルを作成し、従来モデルの解析結果と比較した。



スナップショット(波動伝播状況)

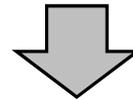
- ・従来モデルと詳細モデルの解析結果に波動伝播の違いは見られない。

時刻歴波形, 応答波の最大値の比

- ・基盤 ( $V_s=2.9\text{km/s}$ の層) が徐々に浅くなる敷地から南方約6~9kmの位置では、応答波の最大値の比に従来モデルと詳細モデルの差が見られるが、相対的な大小関係に大きな違いは見られない。

敷地における応答波形の比較

- ・応答波形の振幅及び位相は一致している。



要素サイズの違いによる解析結果への大きな影響は見られず、従来モデルによる検討結果で地下構造による地震動への影響を把握できていることを確認した。

---

## 5. 敷地の地盤モデル

### 5.1 地盤モデルの設定について

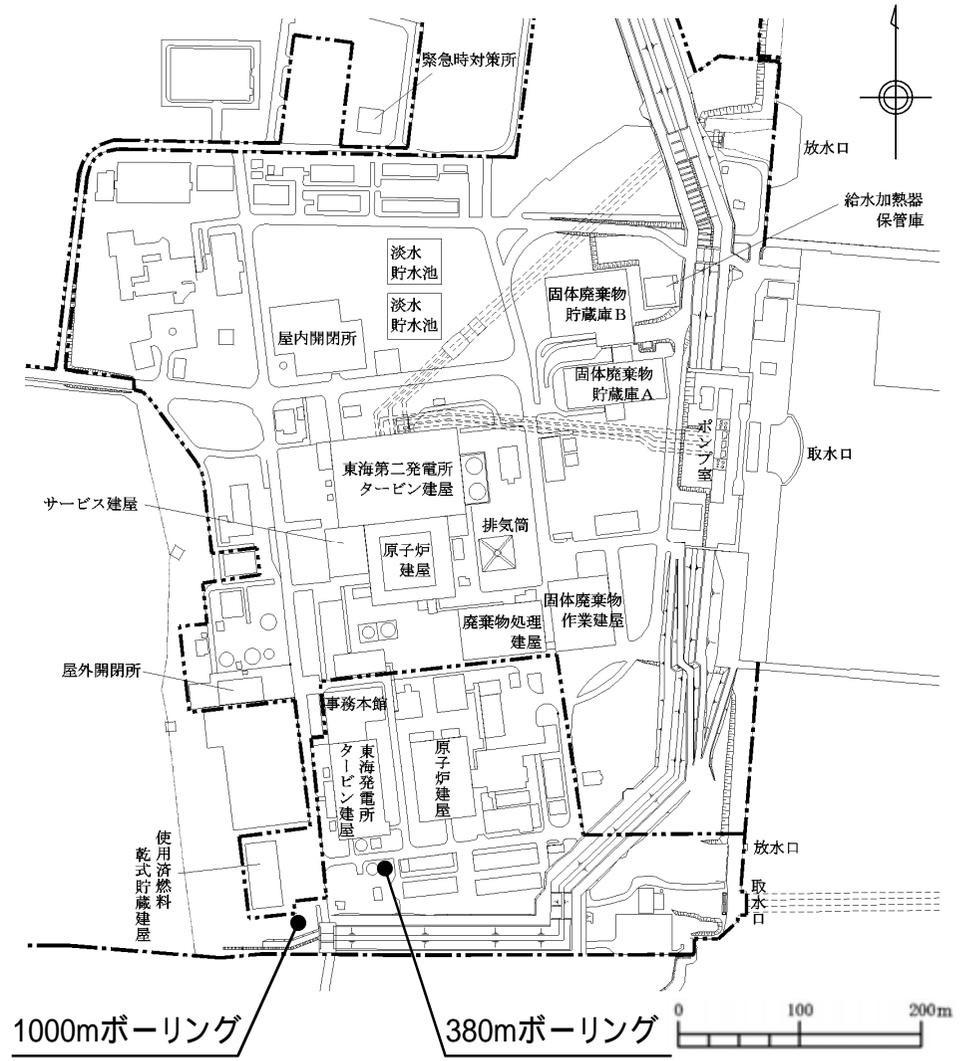
# 地盤モデルの設定方針

地震観測記録を用いた地震波の到来方向による検討や、地球物理学的調査に基づき作成した地下構造モデルによる解析的検討の結果より、東海第二発電所の地下構造は水平成層とみなせることを確認したので、地盤調査結果と地震観測記録を用いて、一次元波動論に基づき地盤モデルを設定する。

東海第二発電所の敷地では、1993年に深さ380m程度の解放基盤表面までを対象としたボーリング調査を実施するとともに、ボーリング孔を利用した鉛直アレイ地震観測を開始した。その後、2011年までに深さ1000m程度のボーリング調査を追加実施した。

解放基盤表面以浅については、ボーリング調査結果と地震観測記録を用いた地盤同定解析を実施した。

東海第二発電所敷地直下の地盤モデルは、解放基盤表面以浅を地震観測記録により同定した解析モデルを用い、解放基盤表面以深に深さ1000m程度のボーリング調査結果を組み合わせ設定することとした。



地盤モデルの検討に用いた  
ボーリング位置(平面)

- 凡例
- 周辺監視区域境界線 (防護壁及び荷揚げ場を含む。)
  - 発電所敷地境界線

# PS検層結果(ダウンホール法)

【380mボーリング】

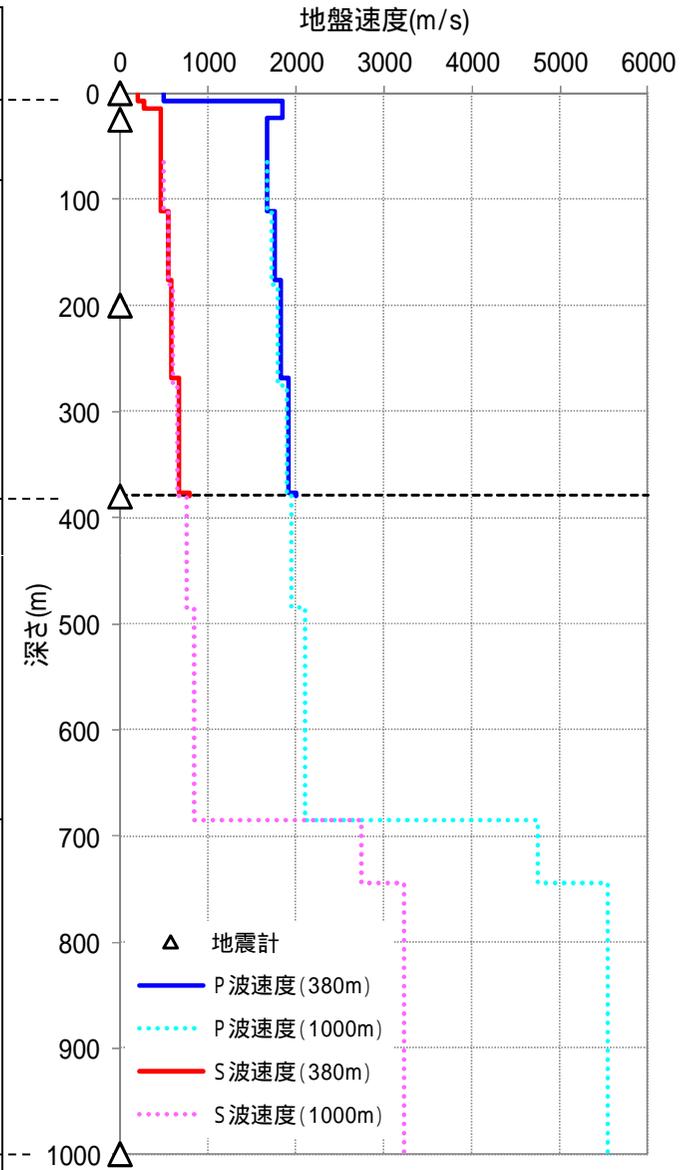
上端深さ (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	地層
0	210	500	第四系
7	280	1850	
15	470	1850	
23	460	1680	新第三系
114	540	1760	
176	590	1830	
268	670	1920	
376	790	2000	
380			

G.L. = E.L.8.0m

注) 1000mボーリングにおける65m以浅のS波速度とP波速度, 485m以浅の減衰定数は取得していない。

【1000mボーリング】

上端深さ (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	減衰定数		地層
			水平	鉛直	
					新第三系
65	500	1680			
110	540	1730			
180	600	1790			
275	650	1890			
380	750	1950			
485	840	2110	0.0246	0.0103	先新第三系
685	2750	4740	0.0725	0.0397	
745	3220	5550	0.0154	0.0102	
1000					



## 浅部地盤の同定解析に用いた地震の諸元(1 / 2)

- ・検討対象期間 : 1996年6月 ~ 2011年6月
- ・検討対象地震数 : 164地震

No.	発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)
			緯度(度)	経度(度)			
1	1996/06/03	02:18	36.339	140.664	60	3.7	14
2	1996/06/08	16:14	36.474	140.611	56	4.0	2
3	1996/09/11	11:37	35.636	141.220	52	6.4	107
4	1996/10/07	06:03	36.393	140.930	35	4.3	30
5	1996/12/21	10:28	36.093	139.864	53	5.4	78
6	1997/04/11	08:30	36.362	140.540	54	4.1	13
7	1997/08/22	05:01	36.423	140.689	51	3.9	8
8	1997/10/20	23:12	36.314	140.917	43	4.1	32
9	1997/11/15	13:42	36.874	141.518	64	4.9	93
10	1998/01/22	05:11	36.515	140.590	59	3.8	6
11	1998/02/10	01:03	36.446	140.615	56	3.6	2
12	1998/02/24	18:41	36.398	141.055	46	4.1	41
13	1998/03/23	18:37	36.370	141.175	45	5.3	52
14	1998/04/09	02:44	36.952	140.891	94	4.6	60
15	1998/04/09	17:45	36.941	141.032	93	5.4	65
16	1998/04/11	19:07	36.438	140.663	55	4.3	5
17	1998/05/01	05:59	36.381	141.117	44	3.8	46
18	1998/06/05	16:55	36.583	141.073	47	3.9	44
19	1998/06/22	06:23	36.336	141.035	42	4.0	41
20	1998/06/24	23:52	36.122	140.106	73	4.6	59
21	1998/08/29	08:46	35.604	140.045	67	5.1	108
22	1998/11/01	03:01	36.459	140.603	56	3.9	1
23	1998/11/05	06:43	36.446	140.541	62	4.2	6
24	1998/11/16	17:25	36.374	141.418	46	4.2	73
25	1998/11/21	01:40	36.429	141.174	46	4.3	51
26	1998/12/17	21:49	36.076	141.376	41	4.9	81
27	1998/12/18	10:27	36.376	141.057	44	4.0	41
28	1999/01/02	01:20	36.219	141.692	52	5.0	101
29	1999/02/07	00:22	36.578	140.904	52	3.8	29
30	1999/03/19	19:33	36.377	140.974	45	4.0	34
31	1999/03/26	08:31	36.455	140.616	58	4.9	1
32	1999/04/25	21:27	36.461	140.630	58	5.1	2
33	1999/07/02	04:17	36.511	140.715	56	3.8	11
34	1999/07/15	07:56	35.924	140.461	56	4.9	61
35	1999/09/14	20:08	36.325	140.998	46	3.7	38
36	1999/09/25	03:05	36.736	141.532	41	4.4	88
37	1999/10/16	17:14	36.468	141.486	34	5.0	79
38	1999/10/19	22:16	36.444	141.518	46	4.7	81
39	2000/01/12	11:09	36.450	140.590	58	4.4	2
40	2000/01/28	20:28	36.598	141.113	48	4.5	48
41	2000/02/04	16:53	36.315	140.613	92	3.4	16
42	2000/03/04	12:35	36.458	140.607	56	3.7	0
43	2000/04/10	06:30	36.187	140.068	55	4.6	57

No.	発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)
			緯度(度)	経度(度)			
44	2000/05/16	19:40	36.442	140.712	51	4.6	9
45	2000/07/06	13:09	36.432	142.402	72	5.0	161
46	2000/07/21	03:39	36.522	141.097	49	6.0	44
47	2000/09/29	19:14	36.457	140.573	56	3.7	3
48	2000/10/04	20:00	36.455	140.632	56	4.0	2
49	2000/10/18	12:58	36.920	139.700	9	4.5	96
50	2000/10/23	17:44	36.458	140.617	56	3.9	1
51	2000/11/16	18:31	37.480	141.605	51	5.0	144
52	2000/11/26	16:30	36.555	140.437	100	3.7	19
53	2001/01/19	08:10	36.520	140.585	57	3.8	7
54	2001/01/29	09:59	36.502	140.483	53	3.7	12
55	2001/02/19	12:55	36.447	140.615	57	3.5	2
56	2001/03/06	14:32	36.628	140.980	52	4.6	38
57	2001/04/12	16:01	37.255	141.717	44	5.0	132
58	2001/05/25	15:55	35.748	140.693	50	4.8	79
59	2001/05/31	08:59	36.183	139.813	55	4.5	78
60	2001/06/01	07:01	36.433	140.670	52	3.5	6
61	2001/07/06	03:57	36.630	140.937	53	4.5	35
62	2001/07/20	06:02	36.167	139.825	56	4.8	78
63	2001/07/31	13:59	36.078	141.627	49	4.9	101
64	2001/08/20	19:42	36.460	140.608	55	4.0	0
65	2001/09/03	00:03	36.387	141.143	45	4.6	49
66	2001/09/04	23:54	36.750	141.502	45	5.2	86
67	2001/09/25	04:57	36.305	140.100	71	4.5	49
68	2001/10/02	17:19	44.250	141.817	41	5.4	177
69	2001/11/25	05:22	37.175	141.415	46	4.8	107
70	2002/01/29	08:45	37.763	141.825	39	4.8	180
71	2002/02/11	10:09	35.782	141.092	35	5.0	87
72	2002/02/12	22:44	36.585	141.085	48	5.5	45
73	2002/02/25	22:14	36.360	140.732	85	4.7	16
74	2002/03/09	12:57	37.103	141.128	51	4.5	85
75	2002/04/17	09:10	36.447	140.617	57	4.1	2
76	2002/06/14	11:42	36.212	139.980	57	4.9	63
77	2002/06/16	04:39	36.623	141.200	45	4.6	56
78	2002/06/16	11:38	36.517	140.587	60	3.8	7
79	2002/06/19	18:16	36.188	141.807	58	5.0	112
80	2002/07/13	21:45	35.995	140.127	65	4.8	67
81	2002/07/24	05:05	37.228	142.318	30	5.7	174
82	2002/07/27	17:58	36.453	140.620	58	4.5	1
83	2002/08/01	19:15	36.448	140.607	57	4.0	1
84	2002/08/15	04:16	36.438	140.618	57	4.1	3
85	2002/10/13	04:28	36.430	140.697	54	4.2	8
86	2002/10/16	13:04	35.832	140.905	34	4.8	75

## 浅部地盤の同定解析に用いた地震の諸元(2 / 2)

No.	発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)
			緯度(度)	経度(度)			
87	2011/03/11	14:51	36.735	142.029	11	6.8	131
88	2011/03/11	14:54	36.717	140.576	9	5.7	28
89	2011/03/11	14:58	37.676	141.911	23	6.4	177
90	2011/03/11	15:05	37.521	141.626	17	5.9	148
91	2011/03/11	15:11	36.864	140.620	8	5.6	44
92	2011/03/11	15:12	37.205	141.660	27	6.1	125
93	2011/03/11	15:17	35.959	141.070	33	5.7	70
94	2011/03/11	15:57	35.854	141.186	23	6.1	86
95	2011/03/11	16:14	36.555	142.069	20	6.7	131
96	2011/03/11	16:28	36.905	141.870	26	6.2	123
97	2011/03/11	16:30	37.356	141.281	27	6.0	116
98	2011/03/11	16:44	36.314	141.944	57	5.6	121
99	2011/03/11	16:49	36.559	141.995	25	5.5	125
100	2011/03/11	16:54	37.672	141.689	29	5.5	165
101	2011/03/11	16:56	37.053	142.527	1	6.2	183
102	2011/03/11	17:04	37.285	142.157	19	6.0	165
103	2011/03/11	17:12	36.588	141.475	29	6.6	79
104	2011/03/11	17:19	36.167	141.752	18	6.8	108
105	2011/03/11	17:31	37.472	141.396	30	5.9	132
106	2011/03/11	17:40	37.425	141.318	27	6.1	124
107	2011/03/11	19:21	37.302	141.960	25	5.5	152
108	2011/03/11	20:00	37.715	141.740	44	5.5	171
109	2011/03/11	20:13	36.321	141.942	20	5.6	121
110	2011/03/11	20:20	36.827	141.473	25	5.5	87
111	2011/03/11	20:44	36.743	142.444	7	5.7	167
112	2011/03/11	20:46	36.083	141.197	39	5.6	68
113	2011/03/11	21:13	37.146	142.212	21	6.1	162
114	2011/03/11	22:16	36.443	141.857	20	5.7	112
115	2011/03/11	22:34	36.317	141.903	0	5.6	118
116	2011/03/11	23:56	36.059	141.574	9	5.8	98
117	2011/03/12	00:13	36.037	142.030	22	6.6	137
118	2011/03/12	00:19	36.338	142.064	15	6.4	132
119	2011/03/12	00:42	36.054	141.963	29	5.6	130
120	2011/03/12	03:11	37.135	142.046	16	6.1	148
121	2011/03/12	03:17	36.275	141.484	25	5.6	82
122	2011/03/12	03:59	36.986	138.598	8	6.7	189
123	2011/03/12	04:24	35.795	141.044	34	5.7	84
124	2011/03/12	04:31	36.949	138.572	1	5.9	190
125	2011/03/12	05:23	35.986	141.887	13	5.5	127

No.	発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)
			緯度(度)	経度(度)			
126	2011/03/12	05:25	37.025	141.790	9	5.5	123
127	2011/03/12	08:59	36.462	141.477	24	5.5	78
128	2011/03/12	09:45	36.205	141.958	19	5.6	125
129	2011/03/15	22:27	37.599	142.298	10	6.2	196
130	2011/03/16	05:30	35.285	141.224	24	5.8	142
131	2011/03/16	12:52	35.837	140.906	10	6.1	75
132	2011/03/16	13:14	37.535	141.581	25	5.6	147
133	2011/03/17	21:32	35.630	140.978	28	5.7	99
134	2011/03/17	21:54	36.738	141.309	47	5.7	70
135	2011/03/18	03:55	37.142	142.523	9	5.7	187
136	2011/03/19	18:56	36.784	140.571	5	6.1	36
137	2011/03/20	10:30	36.939	141.177	29	5.5	73
138	2011/03/22	12:38	35.264	141.237	37	5.9	145
139	2011/03/22	18:19	37.316	141.910	43	6.4	150
140	2011/03/22	21:04	36.231	141.627	48	5.9	95
141	2011/03/22	22:50	35.861	141.781	22	6.0	125
142	2011/03/23	00:03	35.875	141.763	23	5.8	123
143	2011/03/23	07:12	37.085	140.788	8	6.0	71
144	2011/03/23	07:13	37.035	140.769	1	5.8	65
145	2011/03/23	07:34	37.098	140.796	7	5.5	72
146	2011/03/23	07:36	37.063	140.771	7	5.8	68
147	2011/03/29	19:54	37.409	142.470	13	6.6	196
148	2011/03/30	14:29	36.124	142.471	80	6.3	172
149	2011/04/11	17:16	36.946	140.673	6	7.0	54
150	2011/04/11	17:17	36.891	140.715	9	5.7	48
151	2011/04/11	20:42	36.966	140.635	11	5.9	56
152	2011/04/12	07:26	36.819	138.606	0	5.6	183
153	2011/04/12	08:08	35.482	140.868	26	6.4	112
154	2011/04/12	14:07	37.053	140.643	15	6.4	65
155	2011/04/13	10:07	36.915	140.707	5	5.7	51
156	2011/04/14	15:08	35.517	142.465	28	6.0	198
157	2011/04/28	18:27	37.413	141.781	44	5.7	148
158	2011/05/14	08:35	37.328	141.628	41	5.9	132
159	2011/05/20	09:46	35.801	141.176	36	5.8	90
160	2011/05/22	07:06	35.730	140.644	48	5.5	82
161	2011/06/4	01:00	36.990	141.211	30	5.5	79
162	2011/06/9	19:38	36.497	140.971	13	5.7	33
163	2011/06/18	20:31	37.618	141.821	28	6.0	167
164	2011/06/21	17:49	35.760	141.474	21	5.5	111

# 浅部地盤の同定解析【水平動】(1 / 2)

## 地盤モデルの同定結果(水平動)

- ・地震観測記録から求めた伝達関数に、次元波動論に基づく理論伝達特性を当てはめる逆解析により、地盤モデルを同定した。
- ・初期値は、380mボーリングの調査結果とし、S波速度と減衰定数について同定した。
- ・解析手法は遺伝的アルゴリズムを用い、乱数の初期値を変えた5通りの計算結果の平均値を採用した。
- ・解析パラメータについては、山中・石田(1995)を参考に設定した。

同定解析における初期値, 探索範囲, 同定結果(水平動)

固定パラメータ					初期値	探索範囲		同定結果	
G.L. (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	地層区分	地層	S波速度 (m/s)	S波速度	減衰 h(f)=h <sub>0</sub> × f	S波速度 (m/s)	減衰定数 h(f)=h <sub>0</sub> × f
0.0	2.5	1.71	砂	第四系	210	初期値の 0.6 ~ 1.2倍	h <sub>0</sub> :0.010 ~ 1.000 :0.00 ~ 1.00	130	h <sub>0</sub> :0.236 :0.75
-2.5	4.5							151	
-7.0	8.0	礫混じり砂	280		308				
-15.0	8.0	シルト	470		478				
-23.0	91.0	1.69	砂質 泥岩	新第三系	460	初期値の 0.8 ~ 1.2倍	477	h <sub>0</sub> :0.072 :0.93	
-114.0	62.0	1.74			540		557		
-176.0	92.0	1.78			590		669		
-268.0	108.0	1.82			670		756		
-376.0	4.0	1.85			790		790		
-380.0	-								

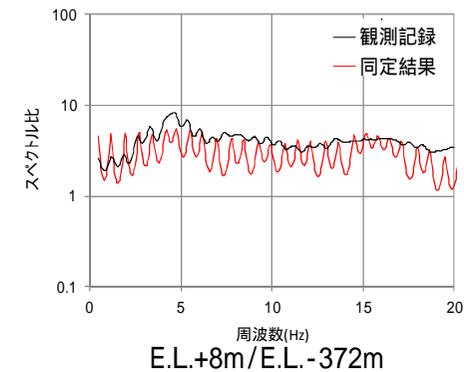
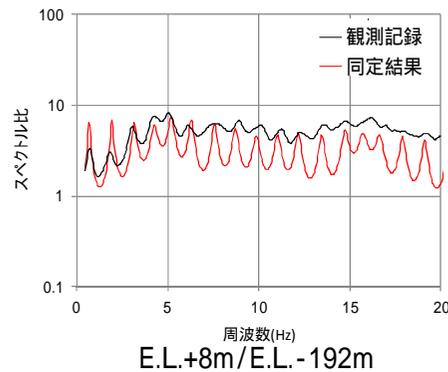
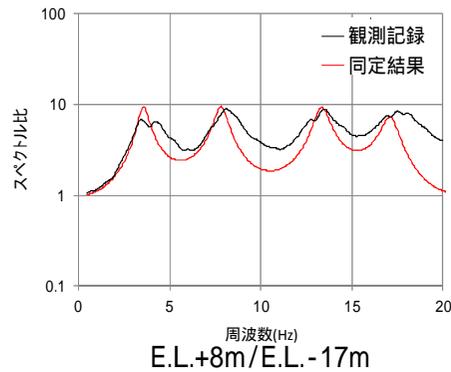
:地震計設置位置  
:解放基盤表面

  同定対象

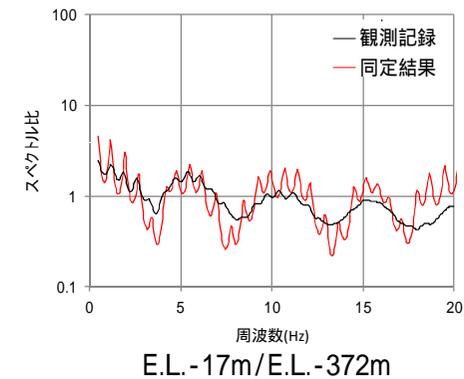
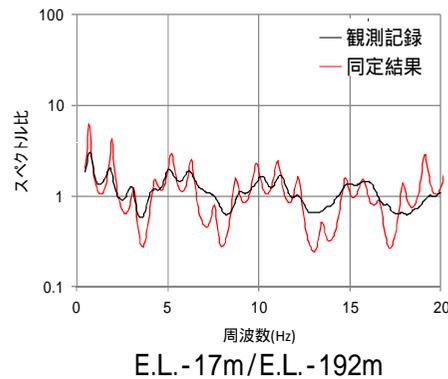
G.L. = E.L.8.0m

# 浅部地盤の同定解析【水平動】(2 / 2)

## 地盤モデルの同定結果(水平動)

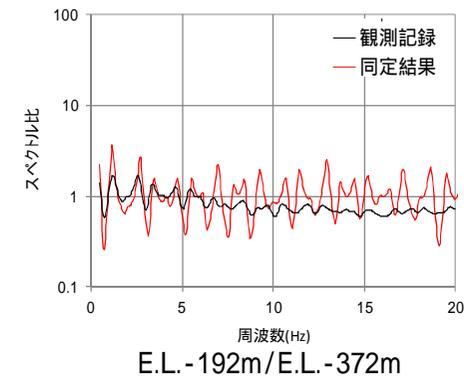


G.L. = E.L.8.0m



地震観測記録による伝達関数 (黒線)と  
同定結果の理論伝達関数(赤線)の比較

地震観測記録の伝達関数は, 0.4HzのParzen windowで  
平滑化している。



# 浅部地盤の同定解析【鉛直動】(1 / 2)

## 地盤モデルの同定結果(鉛直動)

- ・地震観測記録から求めた伝達関数に、次元波動論に基づく理論伝達特性を当てはめる逆解析により、地盤モデルを同定した。
- ・初期値は、380mボーリングの調査結果とし、P波速度と減衰定数について同定した。
- ・解析手法は遺伝的アルゴリズムを用い、乱数の初期値を変えた5通りの計算結果の平均値を採用した。
- ・解析パラメータについては、山中・石田(1995)を参考に設定した。

同定解析における初期値, 探索範囲, 同定結果(鉛直動)

固定パラメータ					初期値	探索範囲		同定結果	
G.L. (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	地層区分	地層	P波速度 (m/s)	P波速度	減衰 h(f)=h <sub>0</sub> × f	P波速度 (m/s)	減衰定数 h(f)=h <sub>0</sub> × f
0.0	2.5	1.71	砂	第四系	500	100 ~ 500 (m/s)	h <sub>0</sub> :0.010 ~ 1.000 :0.00 ~ 1.00	280	h <sub>0</sub> :0.203 :0.21
-2.5	4.5							403	
-7.0	8.0	礫混じり砂	1850		1589				
-15.0	8.0	シルト	1509						
-23.0	91.0	1.69	砂質 泥岩	新第三系	1680	初期値の 0.8 ~ 1.2倍		1753	h <sub>0</sub> :0.203 :0.93
-114.0	62.0				1760			1742	
-176.0	92.0				1830			2067	
-268.0	108.0				1920			2256	
-376.0	4.0				2000			2000	
-380.0	-	1.85							

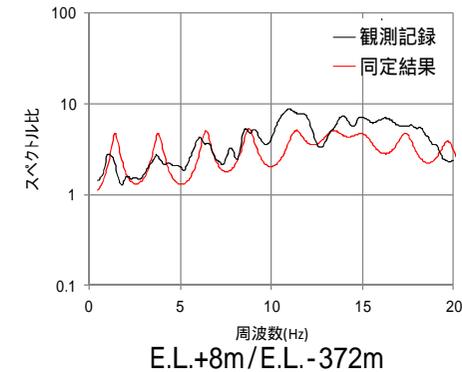
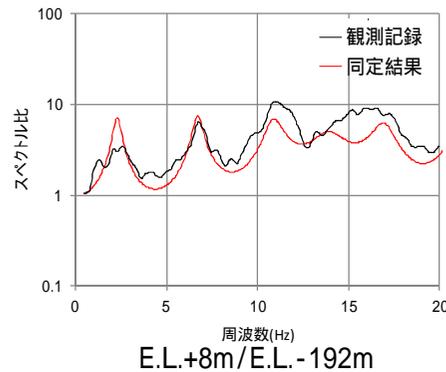
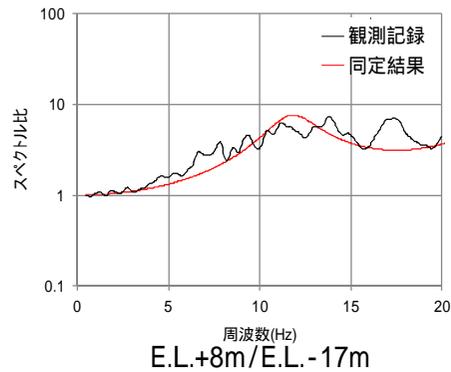
:地震計設置位置  
:解放基盤表面

  同定対象

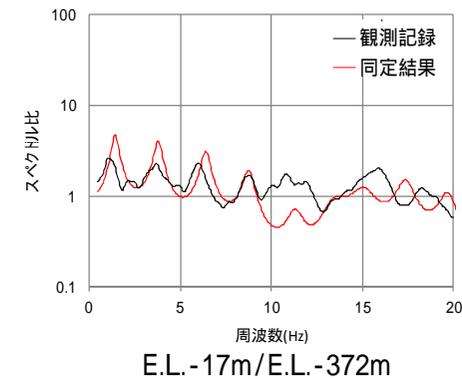
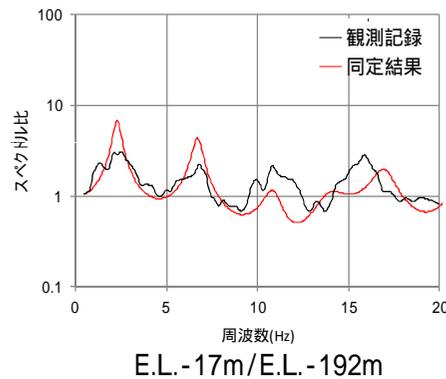
G.L. = E.L.8.0m

# 浅部地盤の同定解析【鉛直動】(2 / 2)

## 地盤モデルの同定結果(鉛直動)

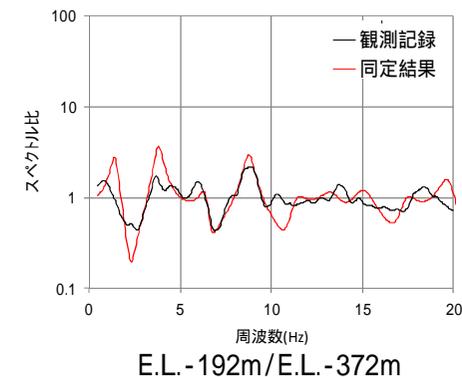


G.L. = E.L.8.0m



地震観測記録による伝達関数 (黒線)と  
同定結果の理論伝達関数(赤線)の比較

地震観測記録の伝達関数は, 0.4HzのParzen windowで  
平滑化している。



5.1 地盤モデルの設定について  
**地盤モデルの設定**

解放基盤表面以浅の地盤モデルは、地盤同定解析結果を基に設定した。

解放基盤表面以深の地盤モデルは、1000mボーリングの調査結果を基に設定した。

なお、解放基盤表面以深の最上層のS波速度、P波速度及び密度については、地盤モデルにおける物性値の連続性を考慮し、解放基盤表面以浅の地盤モデルにおける最下層の数値とした。

減衰定数については、解放基盤表面から地震基盤までは信岡ほか(2012)、地震基盤以深については佐藤ほか(1994)に基づき設定した。

解放基盤表面 (E.L.-370m)

地震基盤 (E.L.-677m)

設定した地盤モデル

E.L. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	減衰定数	
					水平	鉛直
8.0	2.5	130	280	1.71	0.236f <sup>-0.752</sup>	0.203f <sup>-0.21</sup>
5.5	4.5	151	403			
1.0	8.0	308	1589			
-7.0	8.0	478	1509	1.82	0.072f <sup>-0.931</sup>	0.203f <sup>-0.93</sup>
-15.0	91.0	477	1753	1.69		
-106.0	62.0	557	1742	1.74		
-168.0	92.0	669	2067	1.78		
-260.0	108.0	756	2256	1.82		
-368.0	2.0	790	2000	1.85	0.02	0.01
-370.0	107.0	790	2000	1.85		
-477.0	200.0	840	2110	1.96		
-677.0	60.0	2750	4740	2.63		
-737.0	265.0	3220	5550	2.70		
-1002.0	-	3220	5550	2.70	Q=110f <sup>0.69</sup>	

G.L. = E.L.8.0m

---

## 5. 敷地の地盤モデル

### 5.2 地盤モデルによる振動特性の検討

# 吉田ほか(2005)の概要

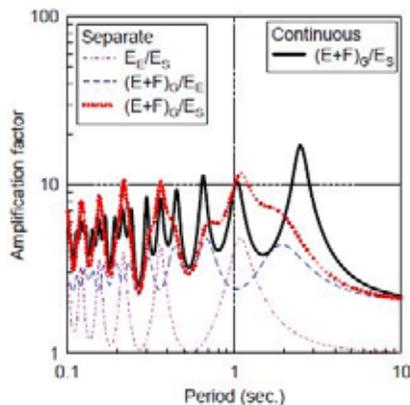
地震基盤から地表までの地盤を工学的基盤で分離し、別々に解析を行う方法の妥当性について検討した結果として、以下の内容をまとめている。

- ・地盤を分離すると、それぞれの持つ振動特性は全体系の一部とは異なるため、分離したものが全体系と同じになることはない。
- ・分離した一方が他方に比べて十分に小さいと、分離した影響は大きくない。例えば、表層が薄いこと、地震基盤が浅いことなどがこのようなケースである。

表1 地盤モデル<sup>3)</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	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

↑ 一体解析  
↑ 分離解析



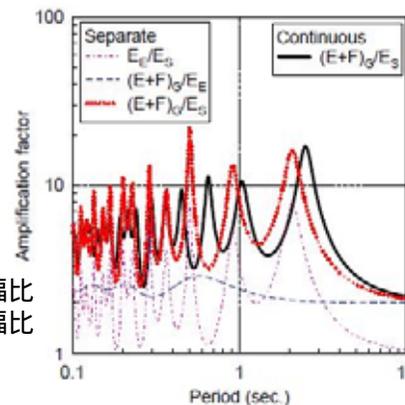
地震基盤～工学的基盤と工学的基盤～地表の厚さが同程度である場合、地表における地震波のピークが異なる結果となる。

黒実線：地盤を一体解析して計算した増幅比  
赤点線：地盤を分離解析して計算した増幅比

表1 地盤モデル<sup>3)</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	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

↑ 一体解析  
↑ 分離解析



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。

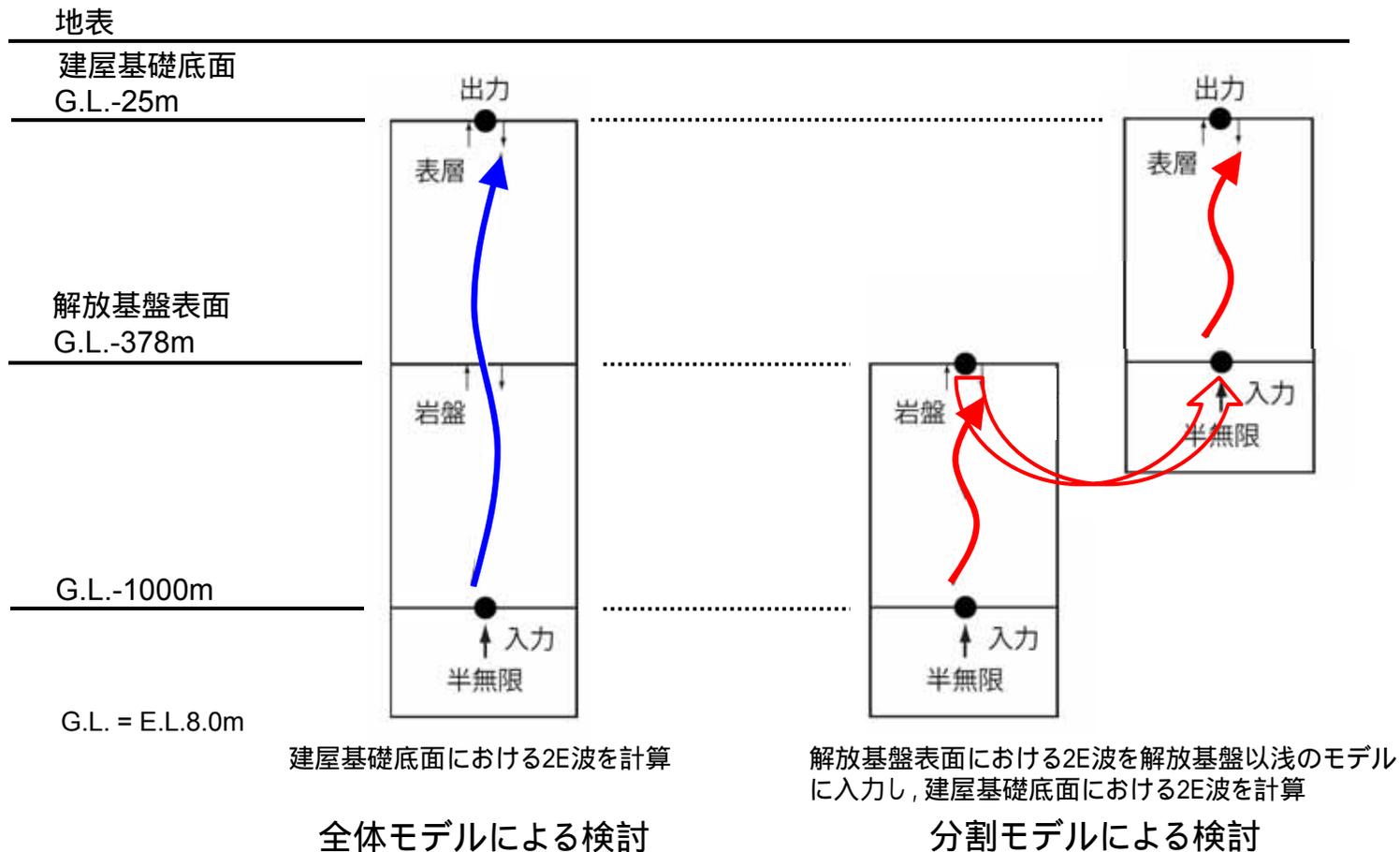
黒実線：地盤を一体解析して計算した増幅比  
赤点線：地盤を分離解析して計算した増幅比

吉田ほか(2005)に一部加筆

## 吉田ほか(2005)に基づく検討方針

原子力発電所の耐震設計においては、解放基盤表面で基準地震動を策定し、設定された基準地震動を浅部の地盤モデルに入力し、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、G.L.-1000mから建屋基礎底面までを一体解析する「全体モデル」による建屋基礎底面のG.L.-25mの地震動と、深部モデルを用いて求めた解放基盤表面の2E波を浅部モデルに入力して解析する「分割モデル」によるG.L.-25mの地震動とを比較する。



## 検討に用いる地盤モデル

以下に、吉田ほか(2005)に基づく検討に用いる地盤モデルを示す。

浅部モデルは、敷地で観測された地震記録を用いた地盤同定の結果に基づき設定し、深部モデルは、1000mボーリングの調査結果に基づき設定した。

### 【全体モデル】

No.	G.L. (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 (m/s)	減衰定数	
					$h_0$	
1	-25.0	89.0	1.69	477	0.072	-0.931
2	-114.0	62.0	1.74	577	0.072	-0.931
3	-176.0	24.0	1.78	669	0.072	-0.931
4	-268.0	108.0	1.82	756	0.072	-0.931
5	-376.0	2.0	1.85	790	0.072	-0.931
6	-378.0	107.0	1.85	790	0.02	0.01
7	-485.0	200.0	1.96	840	0.02	0.01
8	-685.0	60.0	2.63	2750	Q=110f <sup>0.69</sup>	
9	-745.0	265.0	2.70	3220		
10	-1000.0	-	2.70	3220		

G.L. = E.L.8.0m

### 【分割モデル】

#### 浅部モデル

No.	G.L. (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 (m/s)	減衰定数	
					$h_0$	
1	-25.0	89.0	1.69	477	0.072	-0.931
2	-114.0	62.0	1.74	577	0.072	-0.931
3	-176.0	24.0	1.78	669	0.072	-0.931
4	-268.0	108.0	1.82	756	0.072	-0.931
5	-376.0	2.0	1.85	790	0.072	-0.931
6	-378.0	-	1.85	790	0.02	0.01

#### 深部モデル

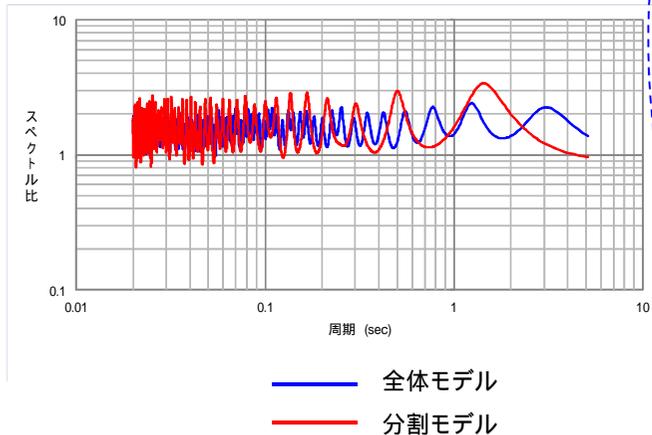
No.	G.L. (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 (m/s)	減衰定数	
					$h_0$	
1	-378.0	107.0	1.85	790	0.02	0.01
2	-485.0	200.0	1.96	840	0.02	0.01
3	-685.0	60.0	2.63	2750	Q=110f <sup>0.69</sup>	
4	-745.0	265.0	2.70	3220		
5	-1000.0	-	2.70	3220		

## 検討結果 - 地震観測記録を用いた場合 -

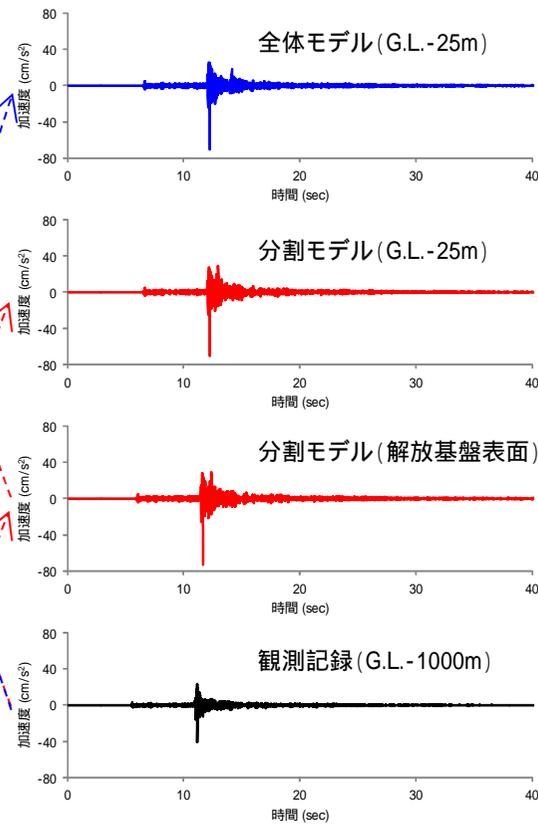
- ・G.L.-1000mで観測した地震記録を全体モデルと分割モデルに入力し、建屋基礎底面に相当するG.L.-25mの地震動を算出する。以下に、G.L.-1000mに対するG.L.-25mのフーリエスペクトル比、加速度時刻歴波形及び応答スペクトルを示す。
- ・フーリエスペクトル比では、周期0.8秒付近より長周期側において分割モデルの卓越周期が短周期側に移動するものの、応答スペクトルでは、全体モデルと分割モデルの違いによる差は小さい。

### 検討に用いた観測記録の地震諸元

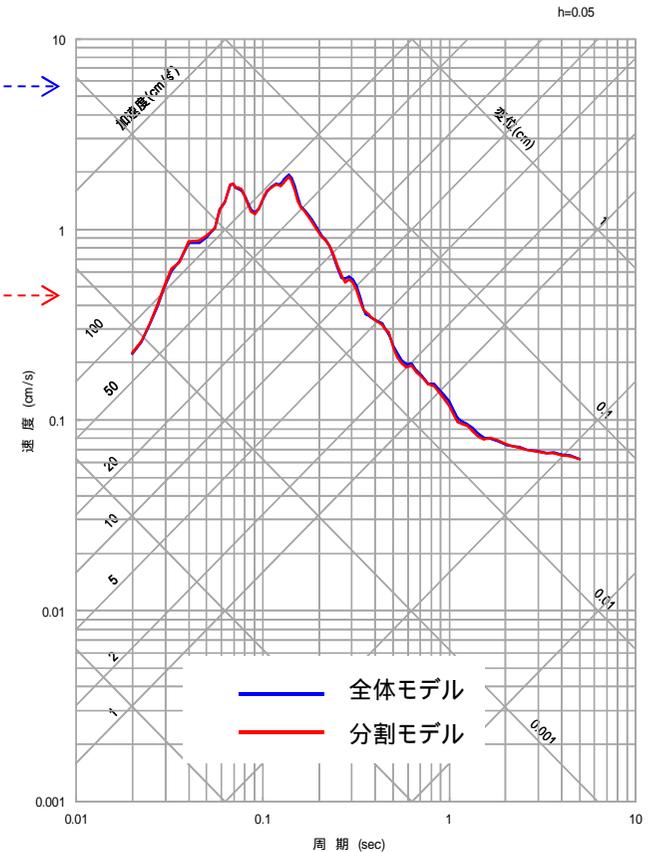
- ・発震日時：2013年3月18日 6時53分
- ・地震規模：M4.4
- ・震源深さ：56km
- ・震源地：茨城県北部



フーリエスペクトル比



加速度時刻歴波形

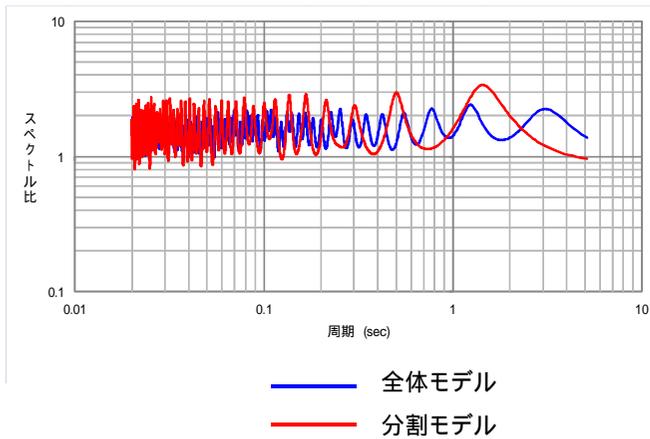


応答スペクトル (G.L.-25m)

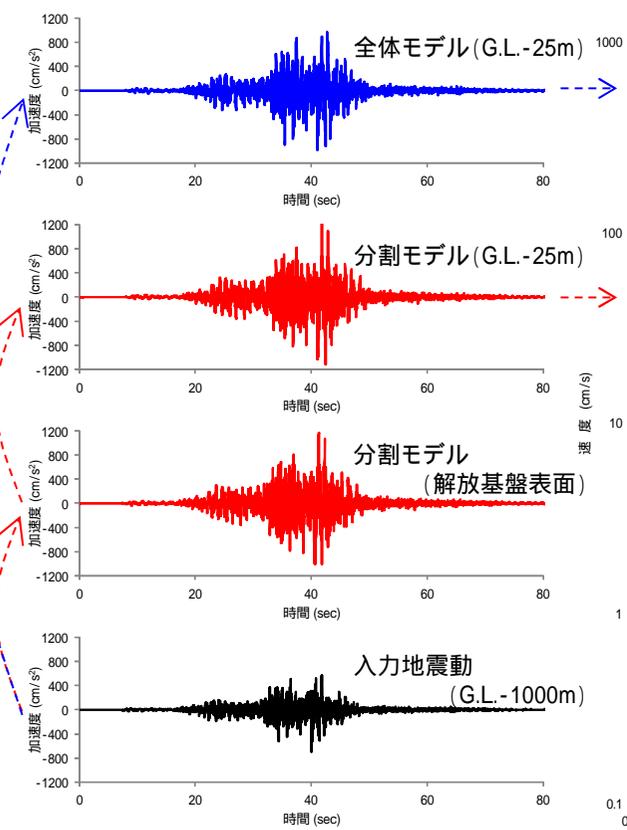
# 検討結果 - 東北地方太平洋沖地震の再現波を用いた場合 -

- ・諸井ほか(2013)による東北地方太平洋沖地震の東海第二発電所の解放基盤表面における再現波( )を全体モデルと分割モデルのG.L.-1000mに入力し, 建屋基礎底面に相当するG.L.-25mの地震動を算出する。以下に, G.L.-1000mに対するG.L.-25mのフーリエスペクトル比, 加速度時刻歴波形及び応答スペクトルを示す。
- ・前記の地震観測記録を用いた検討結果と同様に, 応答スペクトルでは全体モデルと分割モデルの違いによる差は小さい。

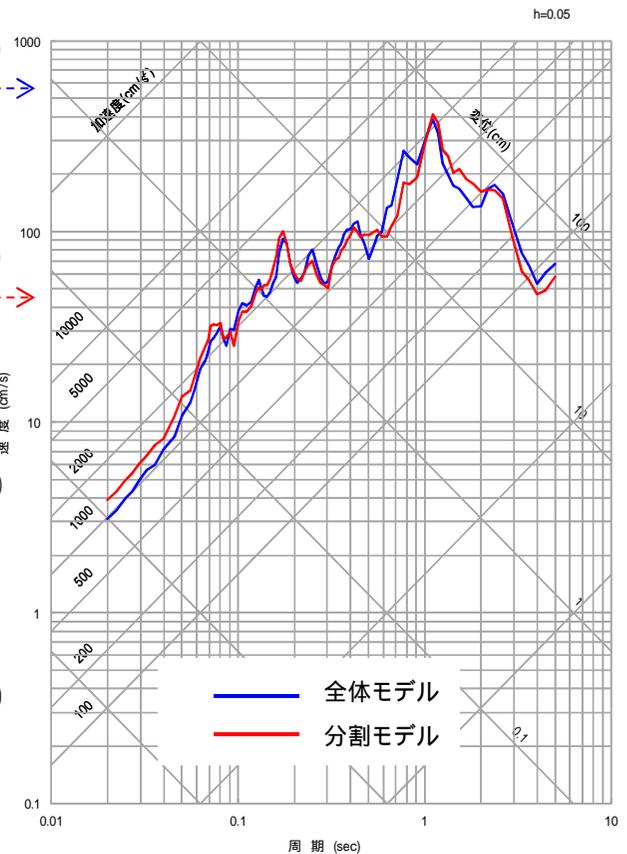
第243回審査会合 資料1 - 1  
東海第二発電所 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうちプレート間地震について(P.57)



フーリエスペクトル比



加速度時刻歴波形



応答スペクトル(G.L.-25m)

## 6. 参考文献

---

- ・地質調査総合センター編: 日本重力データベース DVD版, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 数値地質図 p.2, 2013.
- ・山中浩明・石田寛: 遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析, 日本建築学会構造系論文集, p.436-444, 1995.
- ・信岡大・川里健・生玉真也: 人工振源を用いた軟岩サイトにおけるQ値測定, 物理探査学会第127回学術講演会論文集, p.102-105, 2012.
- ・佐藤智美・川瀬博・佐藤俊明: 表層地盤の影響を取り除いた工学的基礎波の統計的スペクトル特性 - 仙台地域のボアホールで観測された多数の中小地震記録を用いた解析 - , 日本建築学会構造系論文集, p.79-89, 1994.
- ・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.
- ・諸井孝文・広谷浄・石川和也・水谷浩之・引間和人・川里健・生玉真也・釜田正毅: 標準的な強震動レシピに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現, 日本地震工学会第10回年次大会梗概集, p.381-382, 2013.

---

## 7. 補足説明資料

### 目次

7.1	KiK-netひたちなか観測点の ボーリング柱状図と周辺の状況	・・・	191
7.2	敷地周辺の地質	・・・	193
7.3	地震観測記録の入射角について	・・・	195
7.4	屈折法地震探査発振記録	・・・	197
7.5	重力異常分布のフィルタ処理について	・・・	209
7.6	耐震バックチェックに用いた地盤モデルについて	・・・	213
7.7	解析に用いた入力地震波について	・・・	215

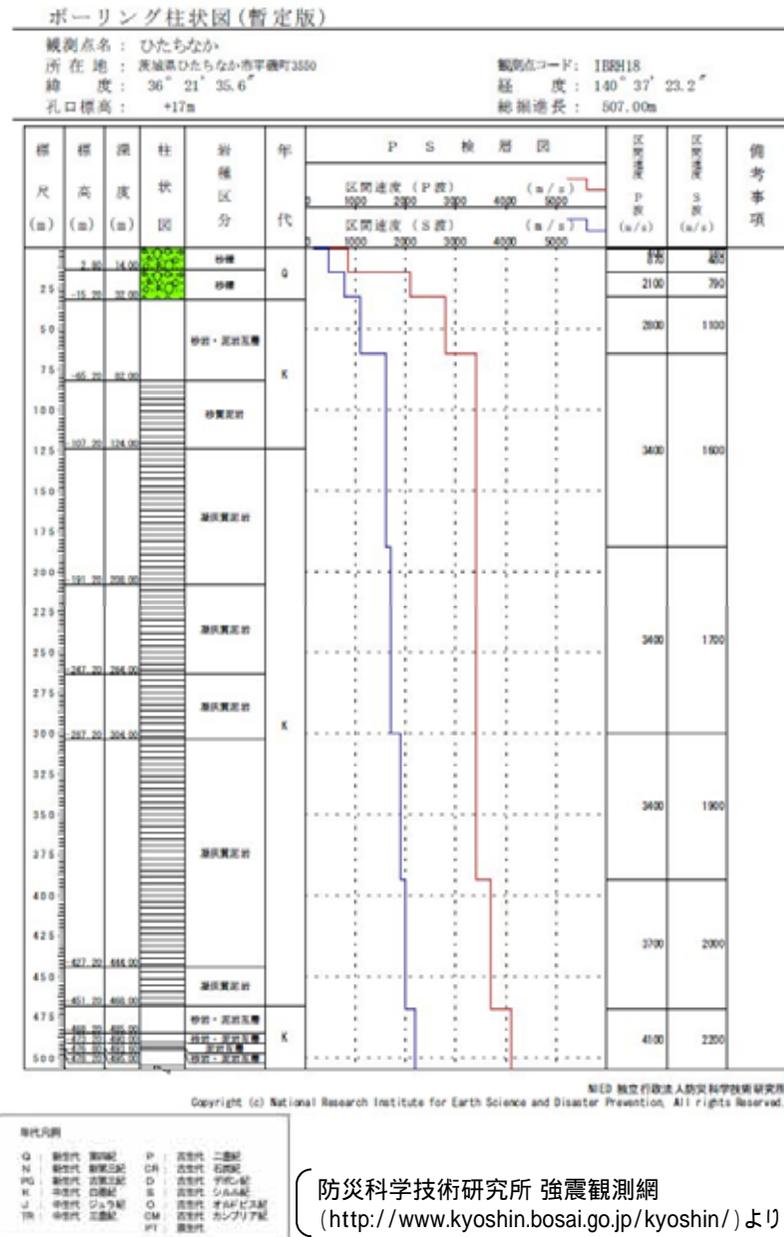
---

## 7. 補足説明資料

### 7.1 KiK-netひたちなか観測点の ボーリング柱状図と周辺の状況

# KiK-netひたちなか観測点のボーリング柱状図と周辺の状況

第232回審査会合  
資料1-2-2再掲



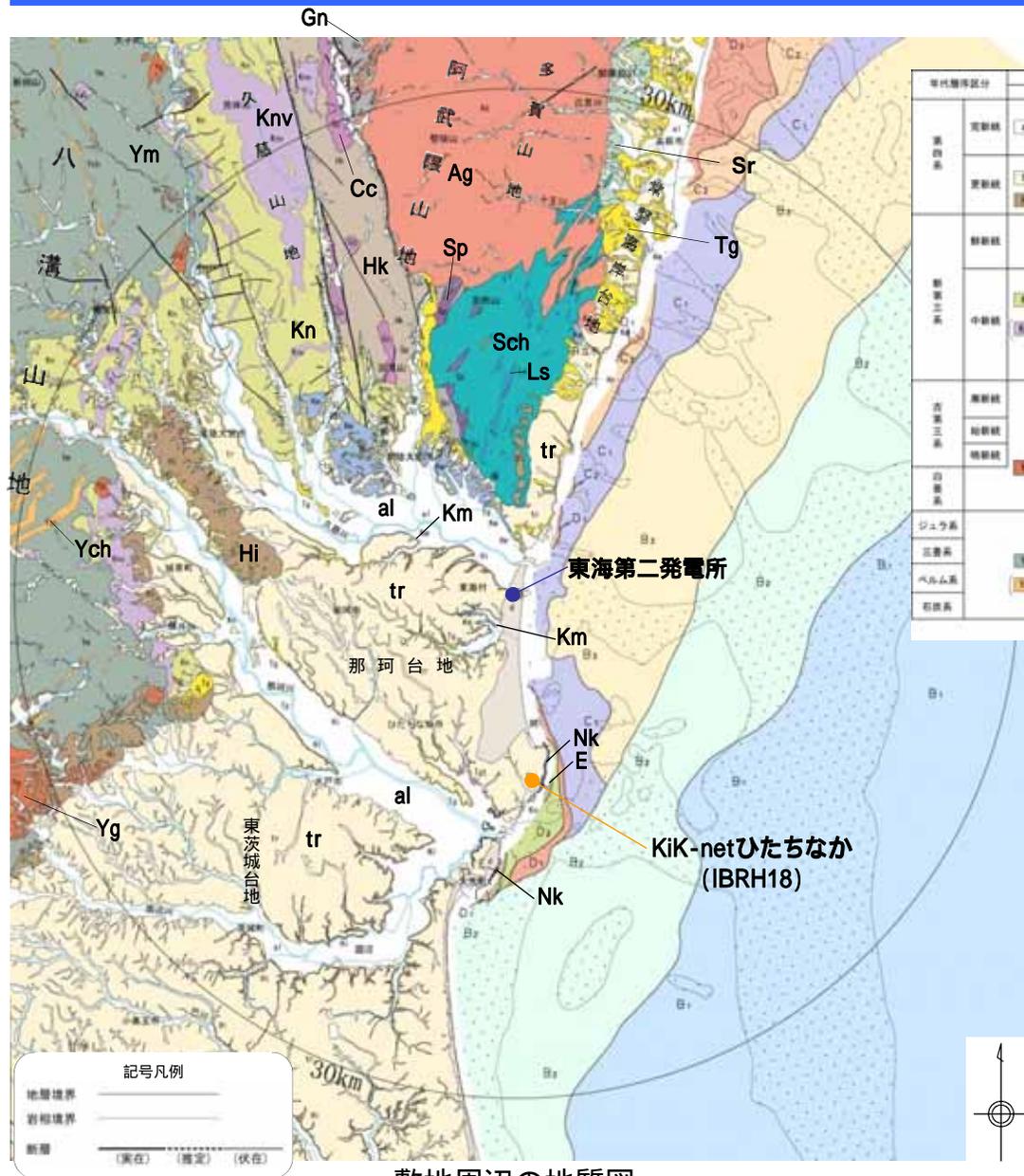
この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。  
(承認番号 平26情復 第201号)  
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院長の承認を得なければならない。

---

## 7. 補足説明資料

### 7.2 敷地周辺の地質

# 敷地周辺の地質



敷地周辺の地質図

## 陸域の地質

年代階層区分	八溝山地		大井山地		多賀山地		那珂台地周辺	
	地層名	主な層種・岩種	地層名	主な層種・岩種	地層名	主な層種・岩種	地層名	主な層種・岩種
第四系	更新統	al 沖積層	al 沖積層	砂・シルト・礫	al 沖積層	砂・シルト・礫	al 沖積層	砂・シルト・礫
	更新統	tr 扇状地堆積物 東茨城層群	tr 扇状地堆積物 東茨城層群	tr 扇状地堆積物 東茨城層群	砂・シルト・礫 砂・シルト・礫	tr 扇状地堆積物 東茨城層群	tr 扇状地堆積物 東茨城層群	tr 扇状地堆積物 東茨城層群
新第三系	鮮新統		鮮新統	久米層	砂質泥岩	鮮新統	久米層	砂質泥岩
	中新統	al 金砂層群 al 火山岩類・ 火山砕屑岩類	al 金砂層群 al 火山岩類・ 火山砕屑岩類	al 多賀層群 al 扇状地	砂質泥岩 礫質・砂質	al 多賀層群 al 扇状地	al 多賀層群 al 扇状地	al 多賀層群 al 扇状地
古第三系	漸新統					漸新統	白木層群	砂質・泥質・礫質・砂岩
	始新統							
	中新統	tr 八溝花崗岩類	tr 阿武隈花崗岩類	tr 阿武隈花崗岩類	tr 阿武隈花崗岩類	tr 阿武隈花崗岩類	tr 阿武隈花崗岩類	tr 阿武隈花崗岩類
白堊系		al 阿武隈花崗岩類 al カラクラサイト	al 阿武隈花崗岩類 al カラクラサイト				al 阿武隈花崗岩類 al カラクラサイト	
ジュラ系								
三畳系								
ペルム系								
石炭系								

□ : 深成岩類及び変成岩類

## 海域の地質

- 完新統 **A** A層
- 上部更新統 **B<sub>1</sub>** B<sub>1</sub>層
- 中部更新統 **B<sub>2</sub>** B<sub>2</sub>層
- 下部更新統 **B<sub>3</sub>** B<sub>3</sub>層
- 鮮新統 **C<sub>1</sub>** C<sub>1</sub>層
- C<sub>2</sub>** C<sub>2</sub>層
- 中新統 **D<sub>1</sub>** D<sub>1</sub>層
- D<sub>2</sub>** D<sub>2</sub>層
- 先新第三系 **D<sub>3</sub>** D<sub>3</sub>層
- E** E層

---

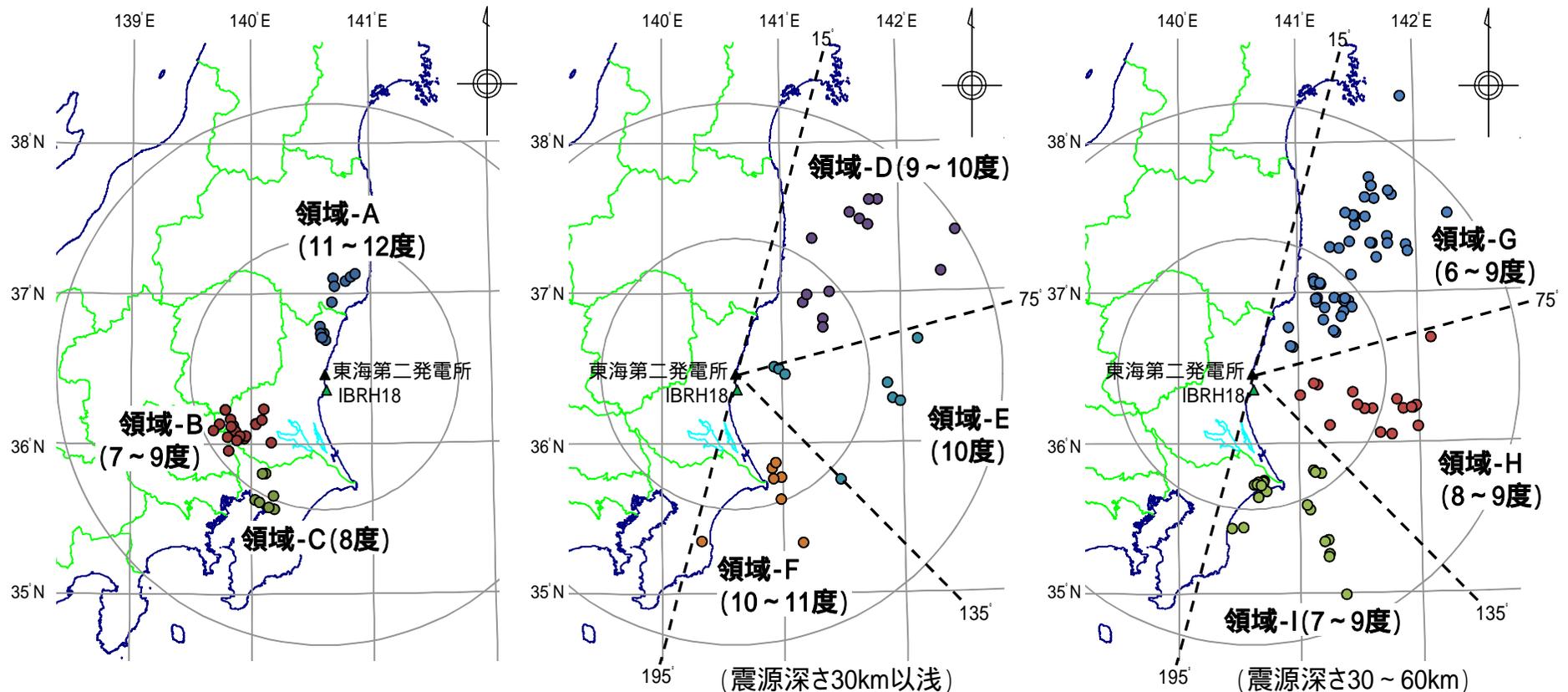
## 7. 補足説明資料

### 7.3 地震観測記録の入射角について

# 地震動の入射角について

- ・解放基盤表面に入射する地震動の入射角について，地震波到来方向の検討で用いた9領域毎に求めた。
- ・気象庁による「JMA2001対応の射出角表」<sup>(1)</sup>と波線理論<sup>(2)</sup>を用いて，E.L.-370m，S波速度700m/sでの入射角を算定した。
- ・解放基盤表面における入射角は最大12度程度であり，おおむね鉛直入射と見なせる。

- 1 気象庁：JMA2001対応の射出角表，  
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/catalog/appendix/trtime/toff2001.zip>
- 2 宇津徳治(2001)：地震の事典[第2版]，p.92-93

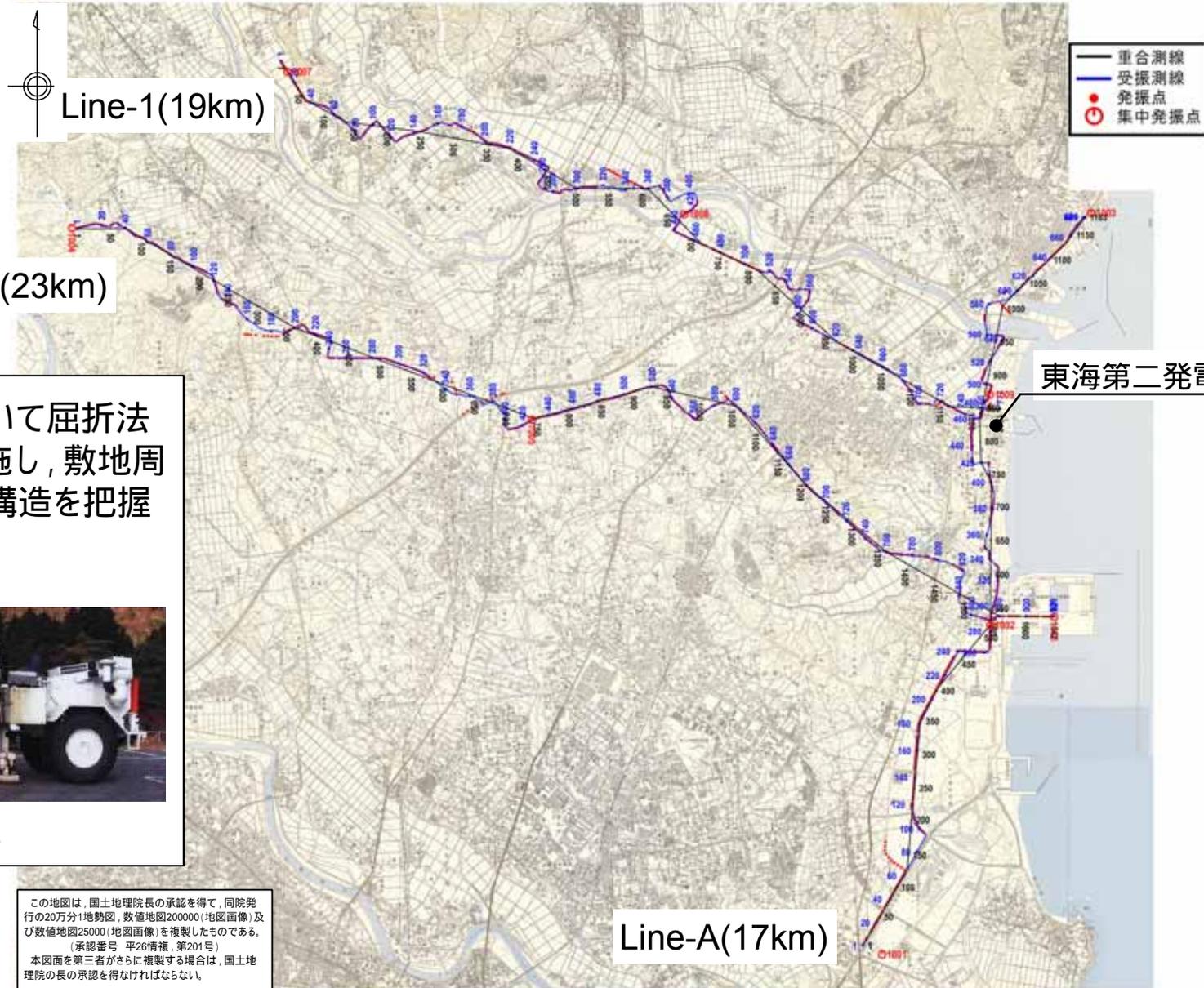


---

## 7. 補足説明資料

### 7.4 屈折法地震探査発振記録

# 屈折法地震探査測線



敷地周辺において屈折法地震探査を実施し、敷地周辺地盤の速度構造を把握する。



起振車

## < 仕様 >

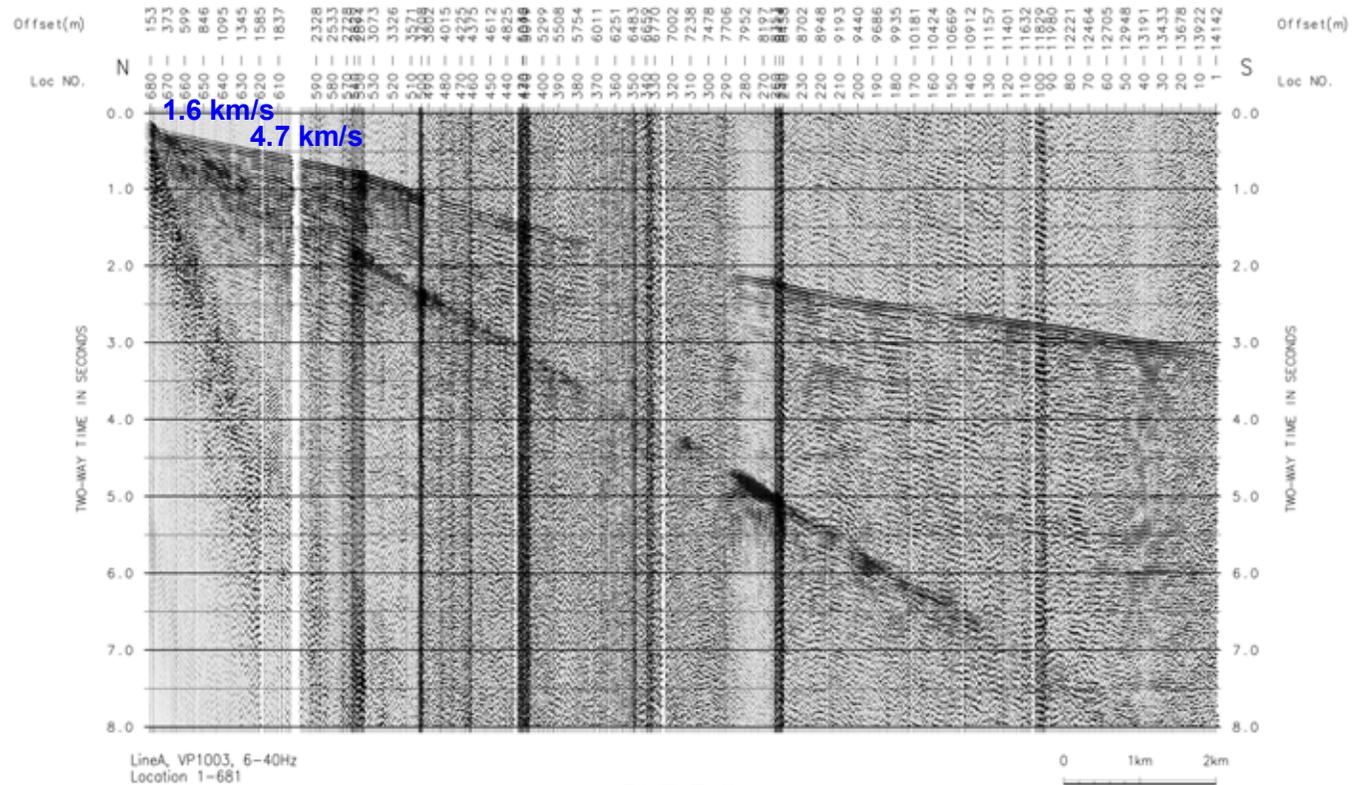
発振源	起振車(バイプロサイズ車) 18t × 4台	起震マス : 3t(最大荷重約13.6t) 発振周波数: 6 ~ 40Hz 発振時間 : 16秒( × 100 ~ 200回程度)
受振器	独立式地震計	1成分速度計(固有周波数: 10Hz) 受振点間隔: 約25m

## < Line-A (北側発振) >

この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。  
(承認番号 平26情複, 第201号)  
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院長の承認を得なければならない。



東海第二発電所



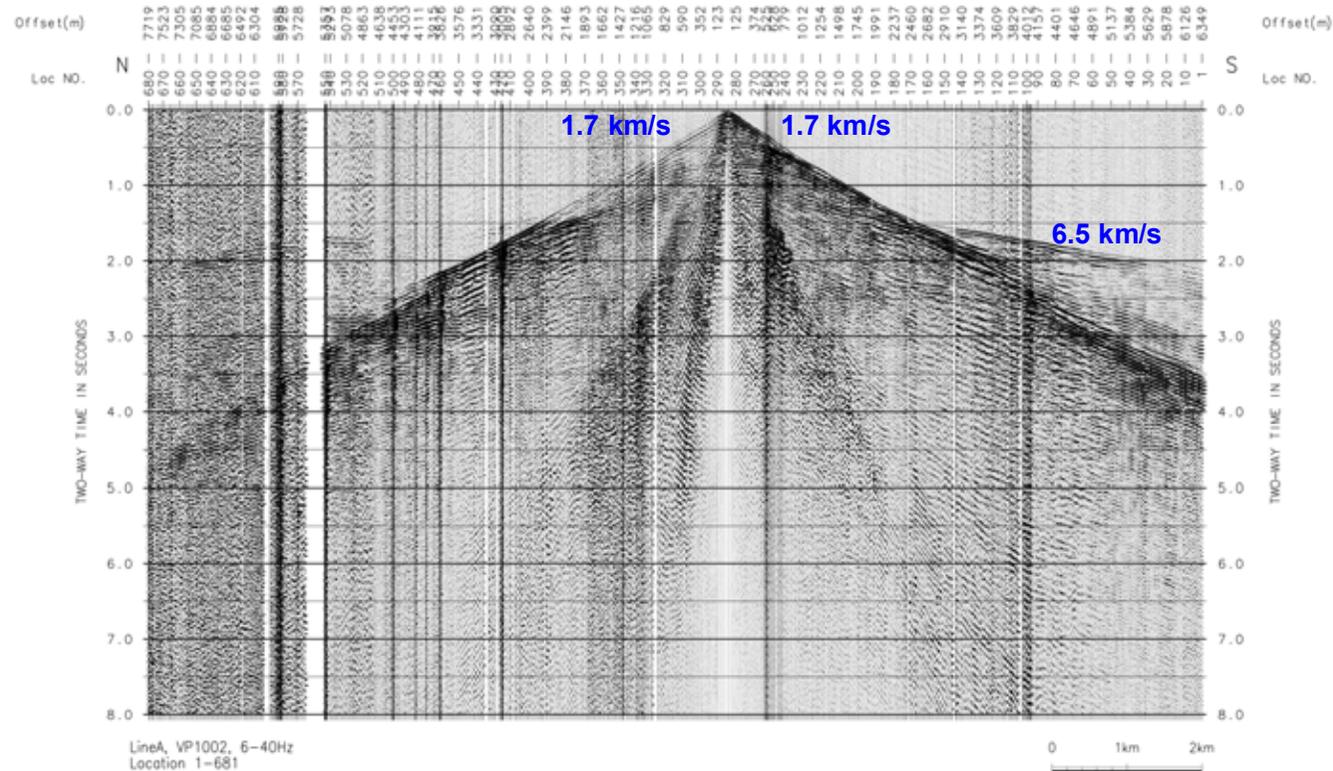
発振記録

## < Line-A (中央発振) >

この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。  
(承認番号 平26情複, 第201号)  
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院の長の承認を得なければならない。



東海第二発電所



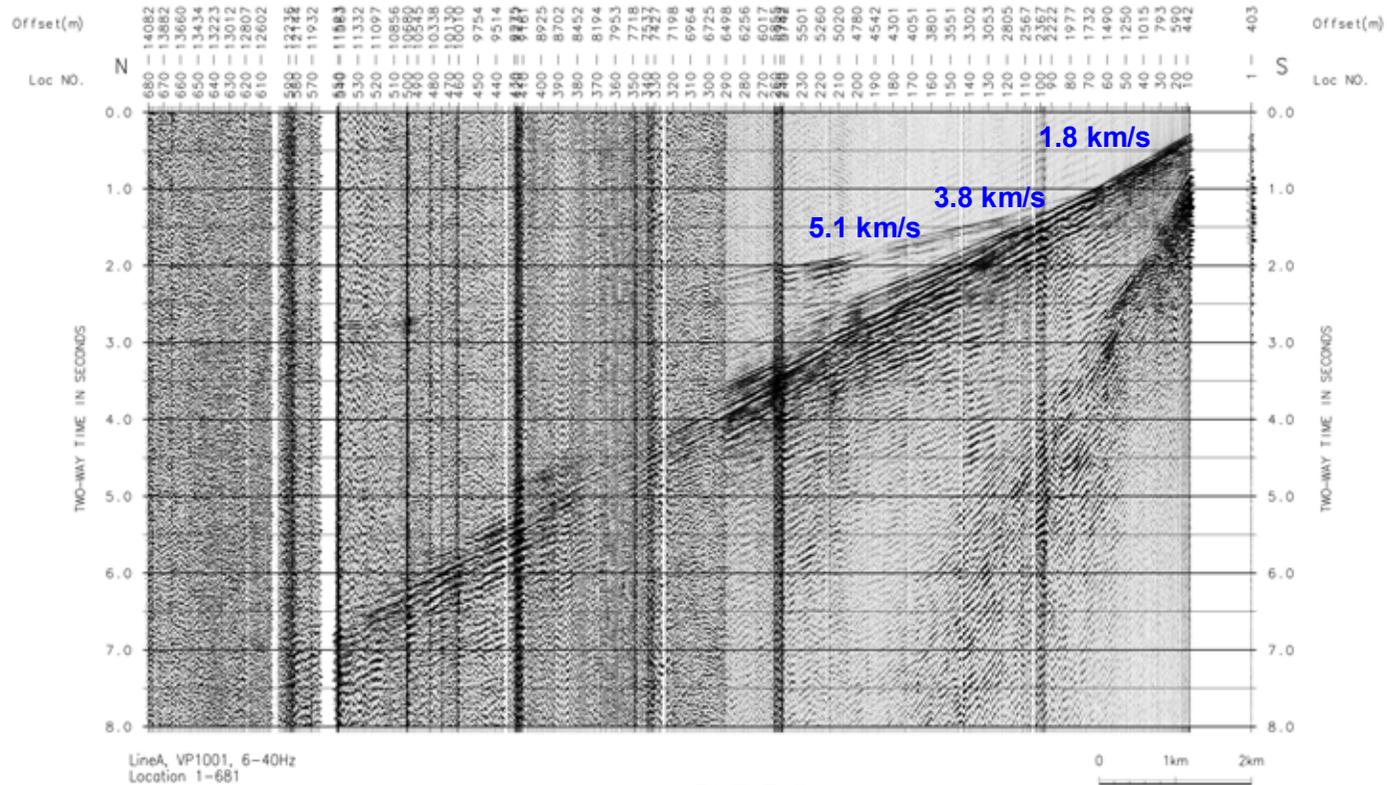
発振記録

## < Line-A (南側発振) >

この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。  
(承認番号 平26情複 第201号)  
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院長の承認を得なければならない。

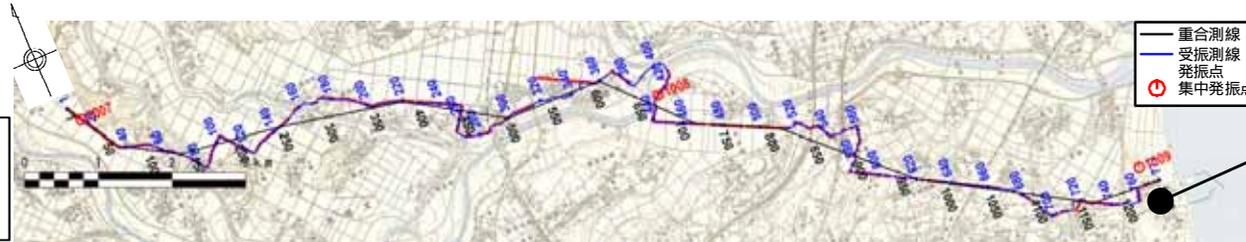


東海第二発電所

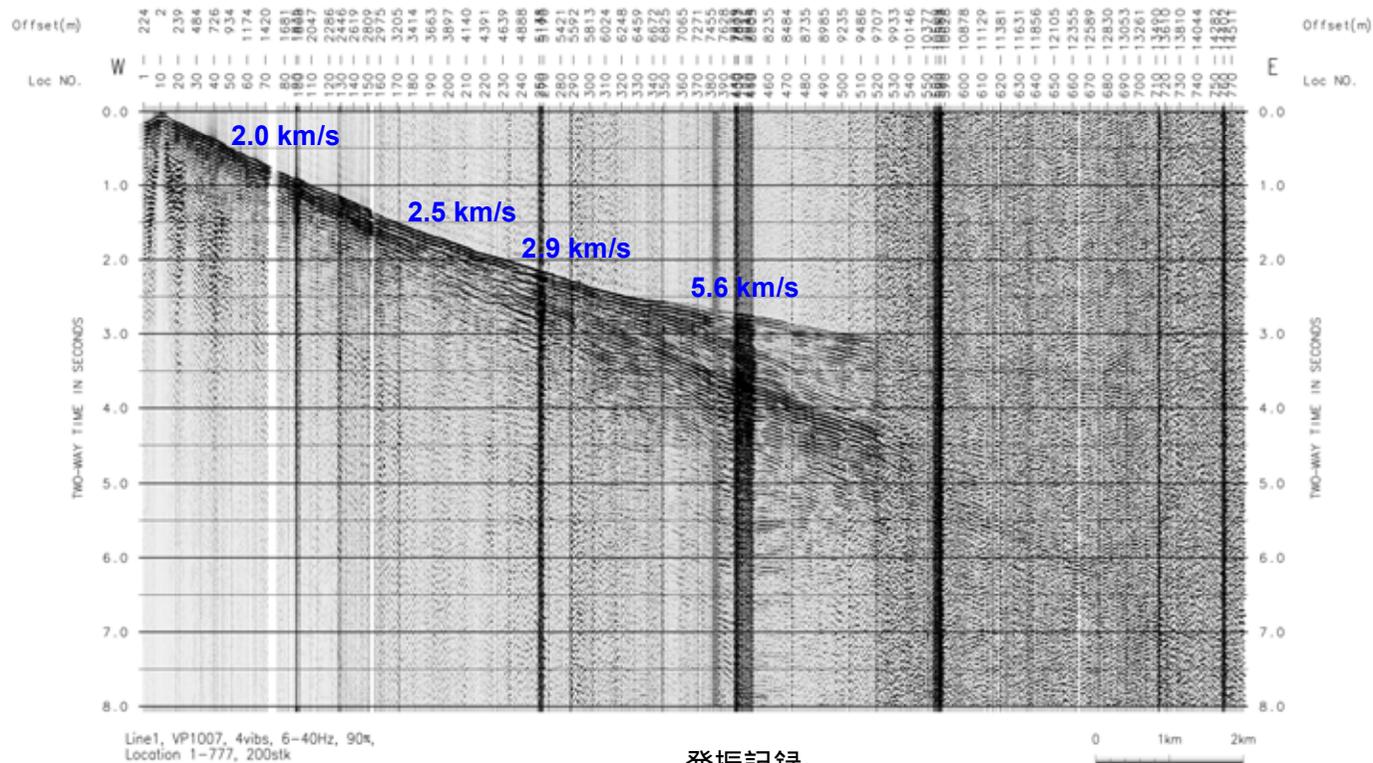


発振記録

## < Line-1 (西側発振) >



この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。  
(承認番号 平26情視, 第201号)  
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院長の承認を得なければならない。



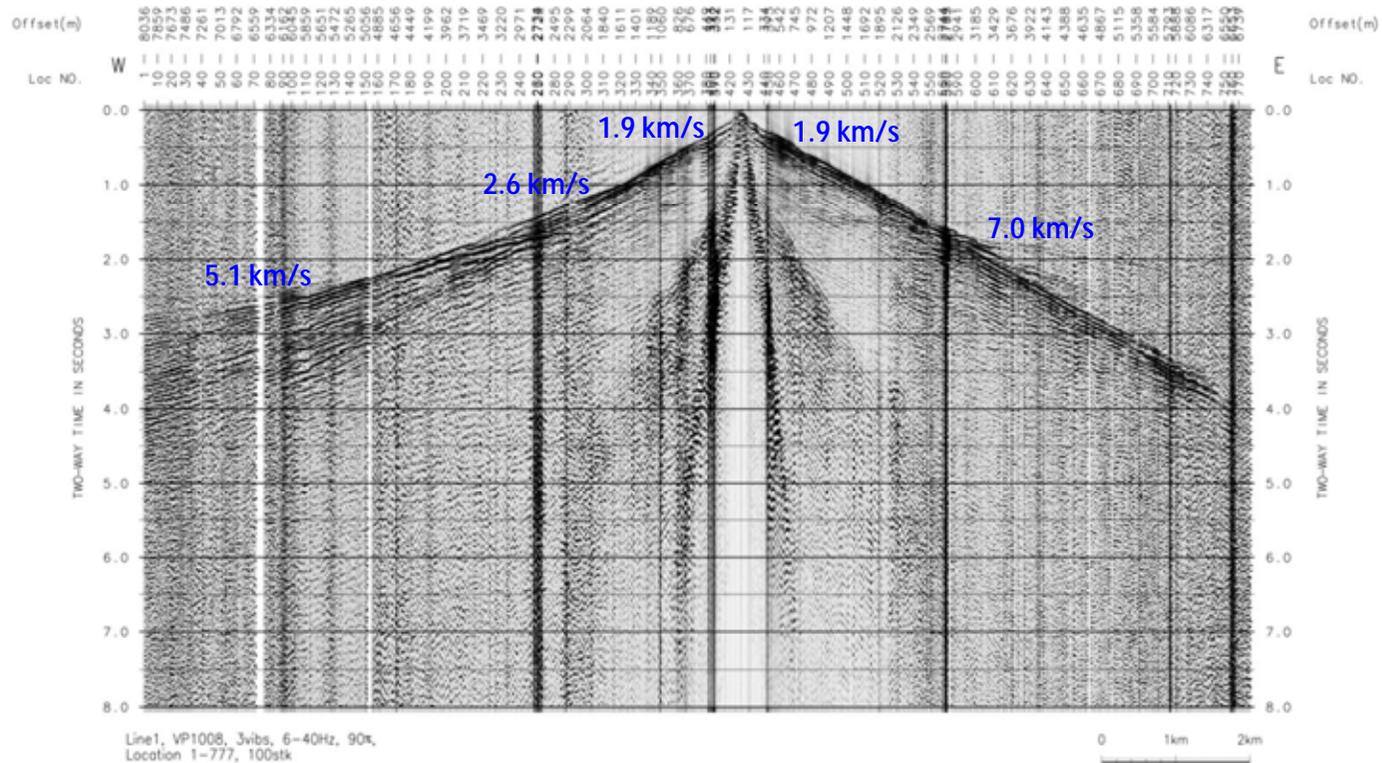
発振記録

## < Line-1 (中央発振) >

この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。  
(承認番号 平26情複, 第201号)  
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院長の承認を得なければならない。



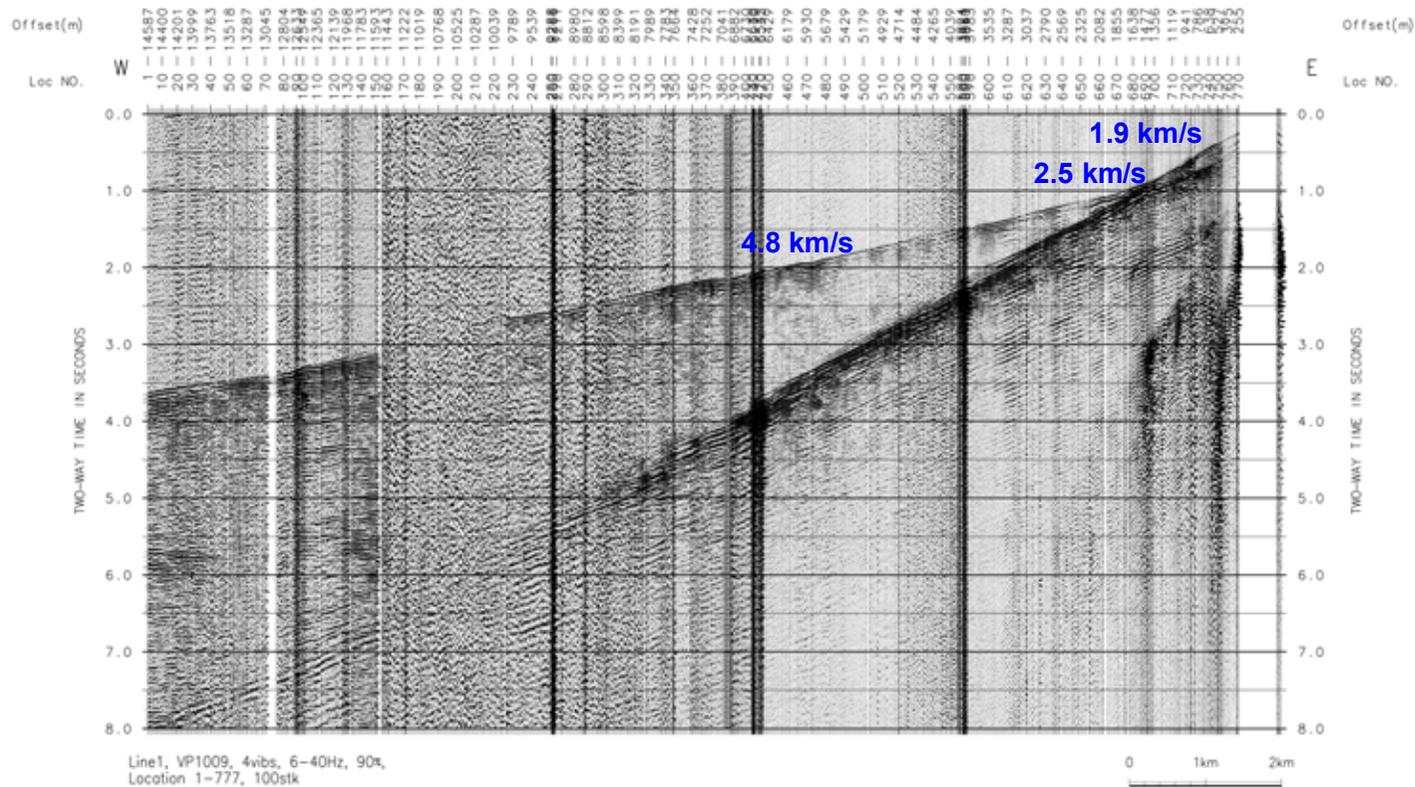
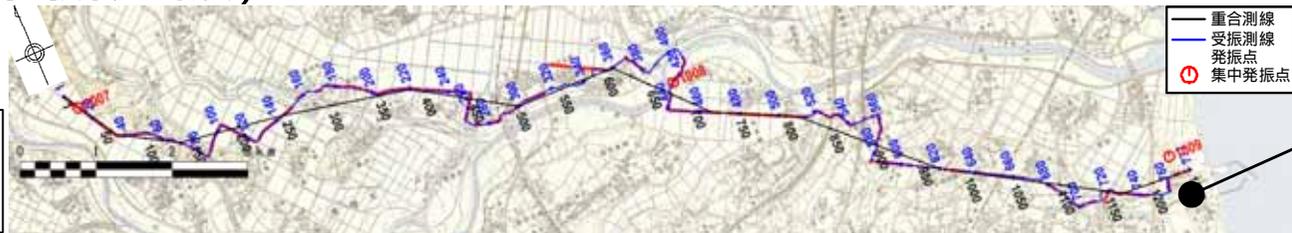
東海第二発電所



発振記録

## < Line-1 (東側発振) >

この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。  
(承認番号 平26情復、第201号)  
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院長の承認を得なければならない。

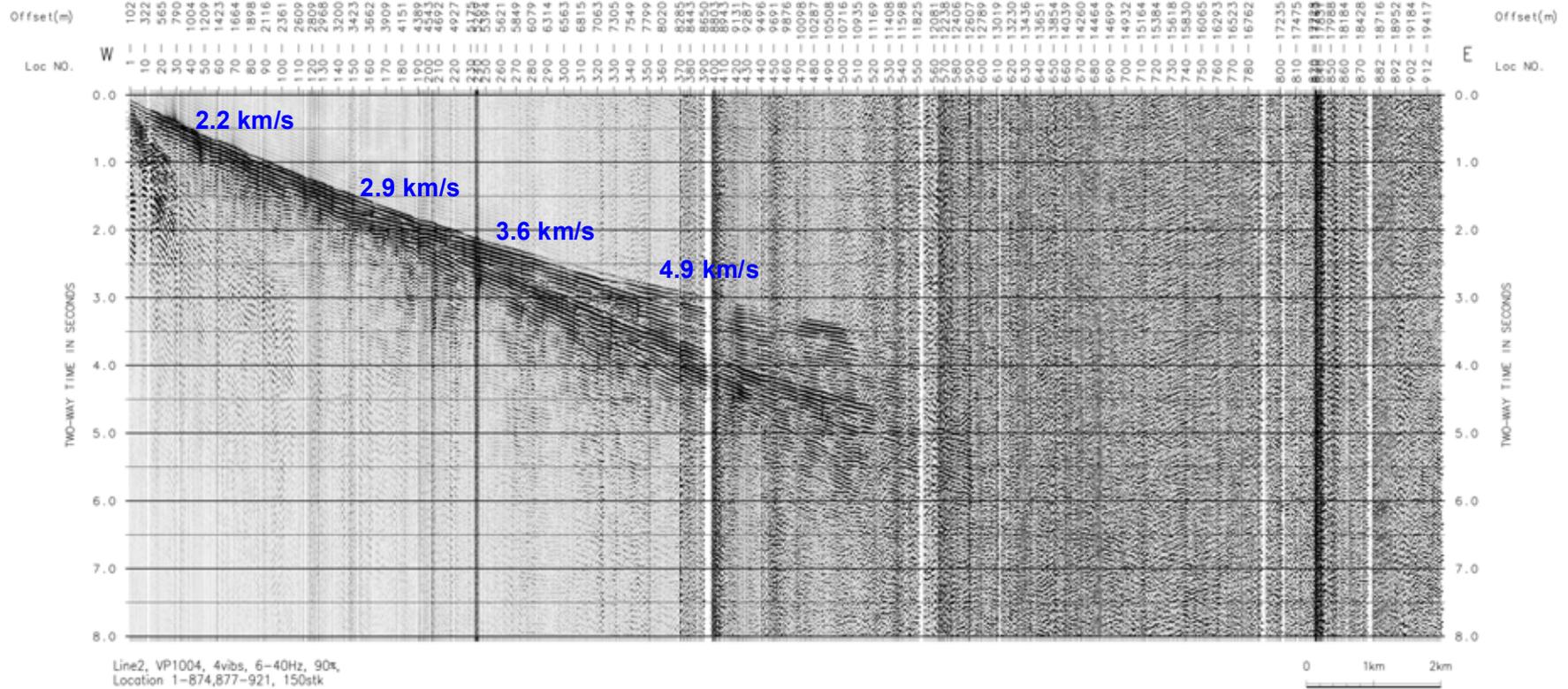


発振記録

# 屈折法地震探査 発振記録 (7 / 9)

第232回審査会合  
資料1-2-2再掲

## < Line-2 (西側発振) >

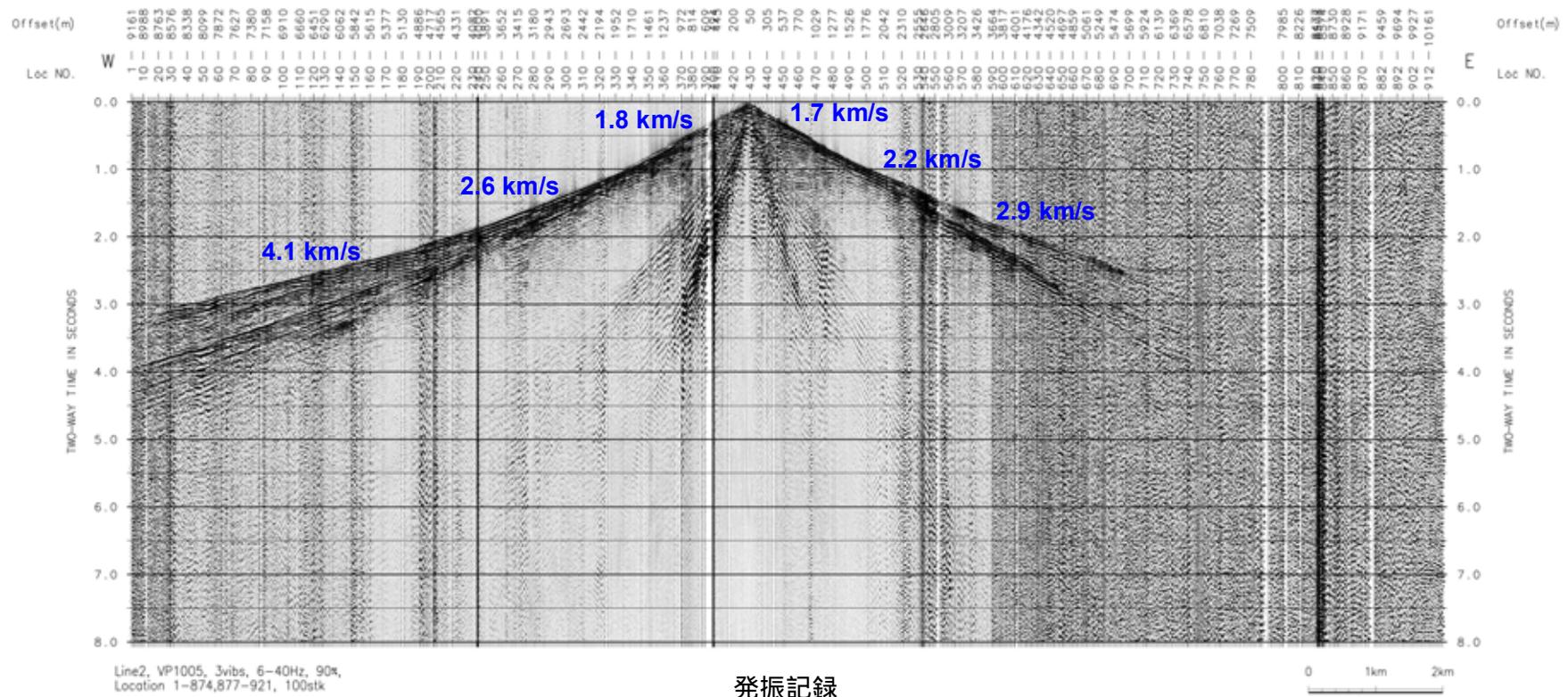


発振記録

# 屈折法地震探査 発振記録 ( 8 / 9 )

第232回審査会合  
資料1-2-2再掲

## < Line- 2 ( 中央発振 ) >

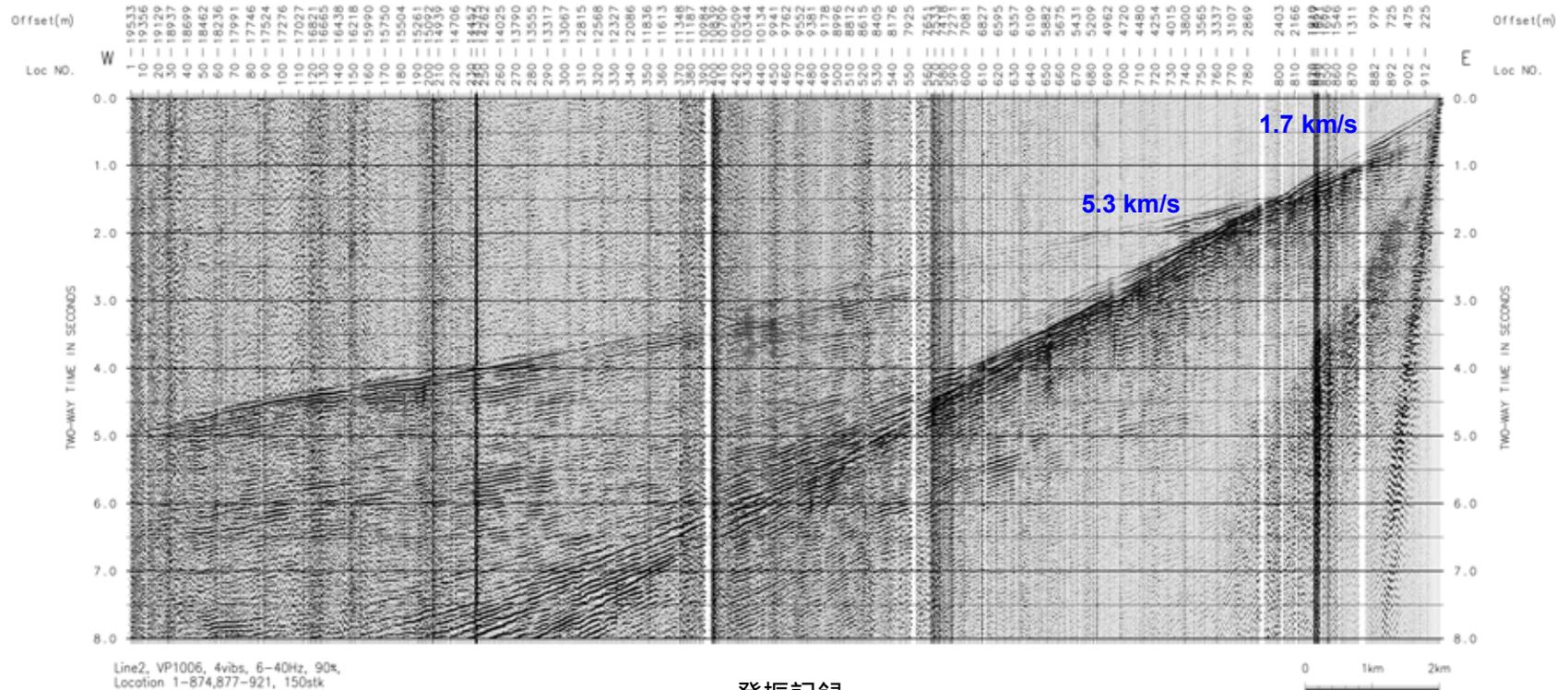


# 屈折法地震探査 発振記録 (9 / 9)

第232回審査会合  
資料1-2-2再掲

## < Line- 2 (東側発振) >

この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。  
(承認番号 平26情複, 第201号)  
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院の長の承認を得なければならない。



発振記録

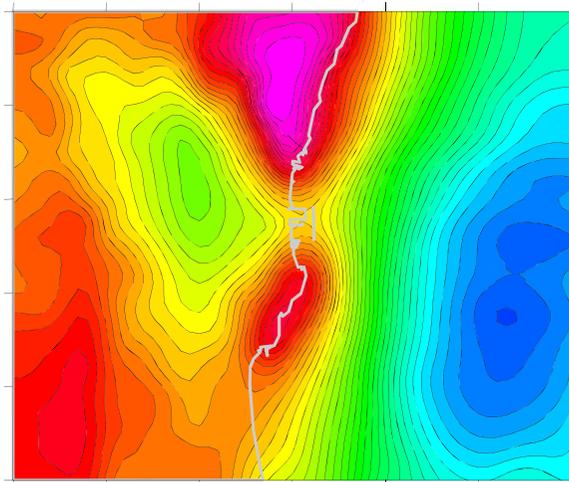
---

## 7. 補足説明資料

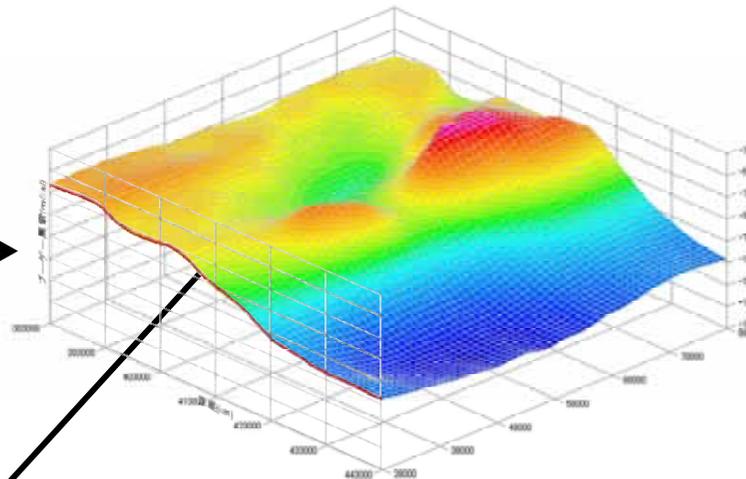
### 7.5 重力異常分布のフィルタ処理について

# 重力異常分布のフィルタ処理について(1 / 3)

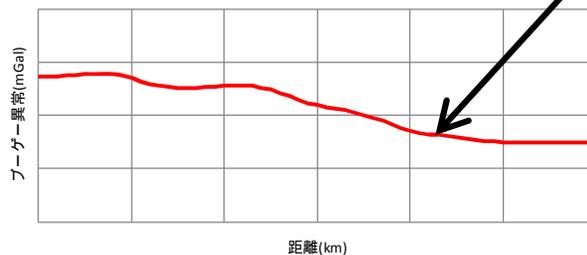
- ・東海第二発電所の3次元地下構造モデルにおける基盤形状は、屈折法地震探査によるP波速度断面図の基盤形状 ( $V_s=3.0\text{km/s}$ 相当)に整合するように、重力異常分布にフィルタ処理を行い求めている。
- ・はじめに、ブーゲー重力異常分布( )に対し2次元フーリエ解析を行い、振幅と波長のスペクトル( )を求める。



ブーゲー重力異常分布図  
(仮定密度:  $2.67\text{g/cm}^3$ )

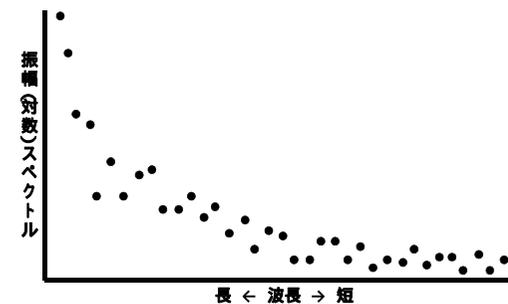


ブーゲー重力異常分布図のメッシュ分割



重力異常断面の抽出

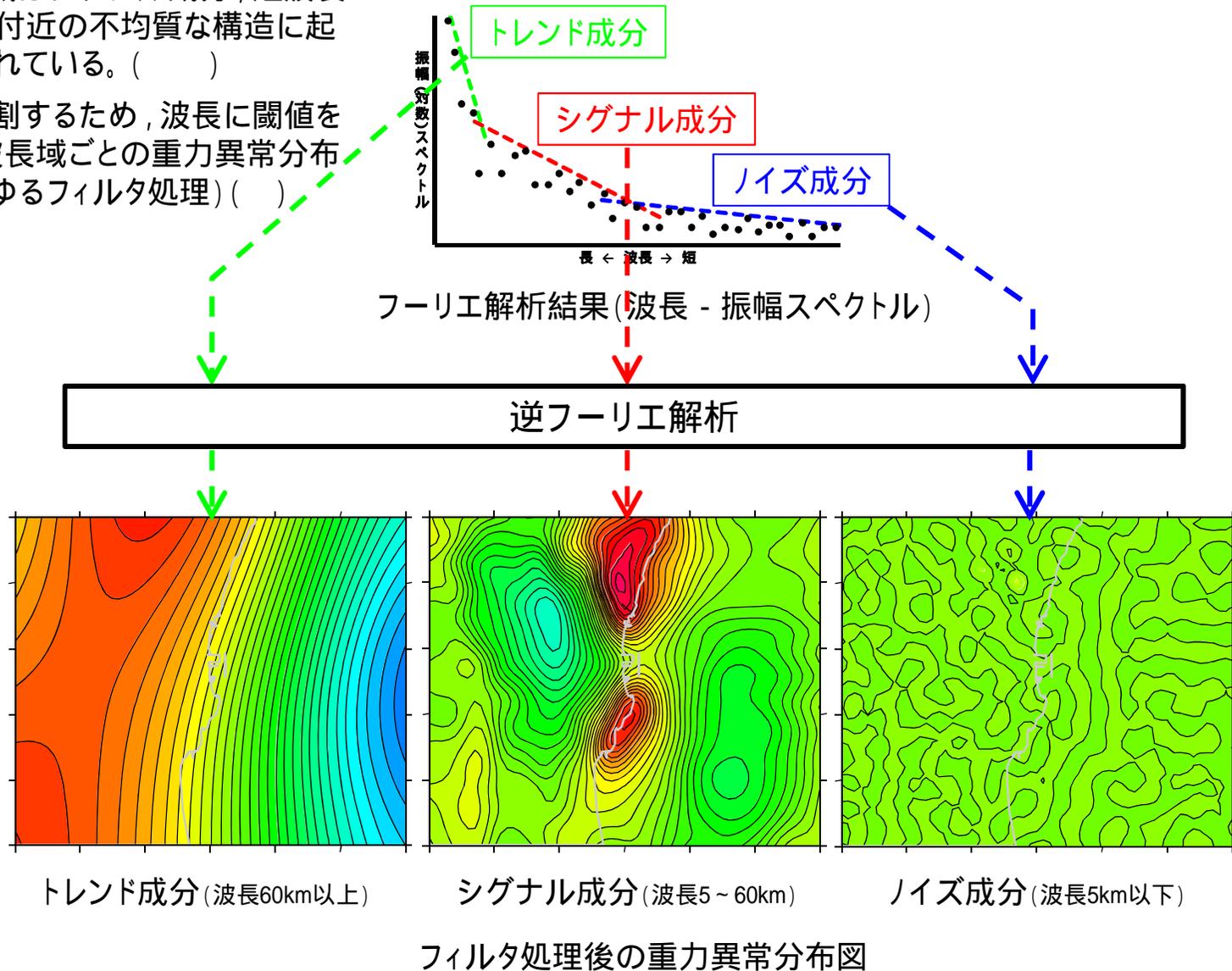
2次元フーリエ解析



フーリエ解析結果(振幅 - 波長スペクトル)

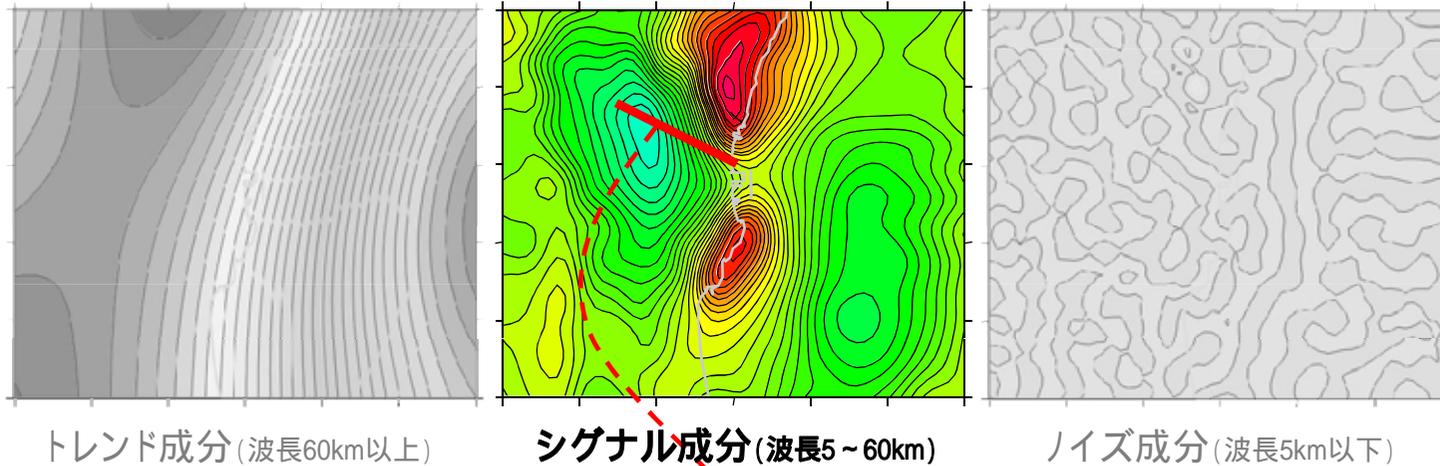
# 重力異常分布のフィルタ処理について(2 / 3)

- ・スペクトル図の長波長域は深い構造に起因するトレンド成分, 中波長域はシグナル成分, 短波長域は測定誤差や地表付近の不均質な構造に起因するノイズ成分とされている。( )
- ・それぞれの成分に分割するため, 波長に閾値を設定し, それぞれの波長域ごとの重力異常分布図を作図する。(いわゆるフィルタ処理)( )

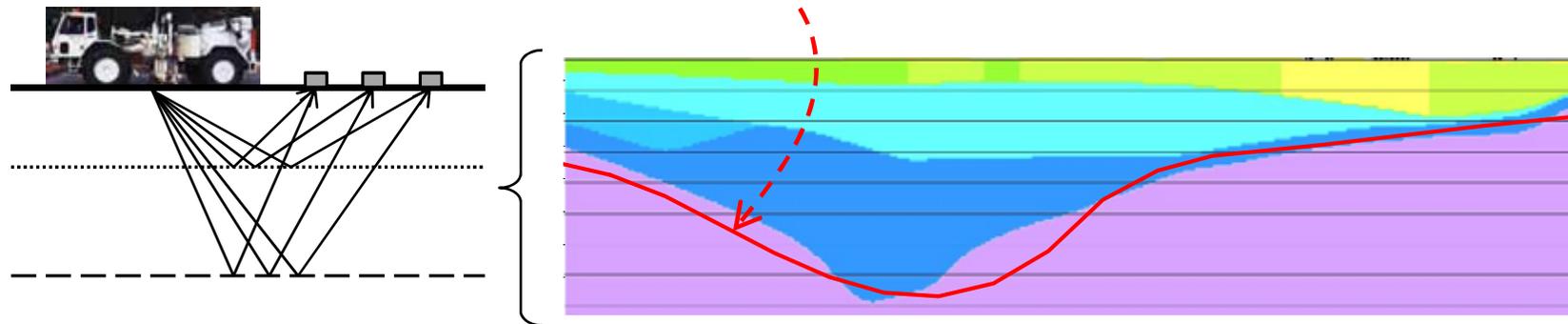


# 重力異常分布のフィルタ処理について(3 / 3)

- ・波長域ごとに作図した重力異常分布図のうちシグナル成分の重力異常分布図( )から、屈折法地震探査測線沿いの重力異常断面図を作図し、屈折法地震探査によるP波速度断面図の基盤形状( $V_s=3.0\text{km/s}$ 相当)と比較する。  
( )
- ・シグナル成分における波長の閾値を変化させ、基盤形状との整合性を確認しながら最適な閾値を求める。
- ・最適な閾値から作図された重力異常分布を基盤形状の分布とする。



フィルタ処理後の重力異常分布図



屈折法地震探査結果とフィルタ処理後の重力異常断面の整合性確認

---

## 7. 補足説明資料

### 7.6 耐震バックチェックに用いた地盤モデルについて

- 耐震バックチェックでは、右表に示す地盤モデルを設定し、内陸地殻内地震として選定した敷地南方のF3～F4断層について、統計的グリーン関数法による地震動評価を行っている。
- G.L.-5000m以浅の層厚とS波速度については、敷地及び敷地周辺で実施した屈折法地震探査法や微動アレイ探査により設定した。なお、P波速度はYoshimura et al (1982)<sup>(1)</sup>、密度はLudwig et al (1970)<sup>(2)</sup>により換算した。
- G.L.-5000m以深の層厚については、敷地周辺の地震発生状況や他機関による地下構造調査結果を参考に設定した。S波速度及びP波速度については、地震波速度トモグラフィにより設定した。密度については、iasp91<sup>(3)</sup>を参考に設定した。
- 浅部のQ値については、保守的に一律Q=100とした。深部のQ値については、佐藤他(1994)<sup>(4)</sup>を参考に設定した。

耐震バックチェックに用いた地盤モデル(深部)

G.L. (m)	層番号	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	Q値
-378	解放基盤表面					
-474	1	96	1.898	700	1855	100
-674	2	200	2.112	1200	2608	
-5000	3	4326	2.656	2900	5492	110f <sup>0.69</sup>
-18000	4	13000	2.700	3600	5960	
	5	-	2.800	4170	6810	

東海第二発電所「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書(改訂) ,平成22年9月, P.4-55

- Masayoshi Yoshimura, Seishi Fujii, Kenji Tanaka, and Ken Morita (1982): On the relationship between P and S-wave velocities in soft rock, SEG Expanded Abstracts 1, 143.
- Ludwig, W. J., J. E. Nafe, and C.L. Drake (1970): Seismic Refraction, in "The Sea, Vol.4", edited by A.E. Maxwell, Wiley Interscience, New York, 53-84.
- Kennett, B. L. N. and E. R. Engdahl (1991): Traveltimes for global earthquake location and phase identification, Geophys. J. Int., 105, 429-465.
- 佐藤智美・川瀬博・佐藤俊明(1994): 表層地盤の影響を取り除いた工学的基盤波の統計的スペクトル特性, 仙台地域のボアホールで観測された多数の中小地震記録を用いた解析, 日本建築学会構造系論文集, 第462号, pp.79-89.

---

## 7. 補足説明資料

### 7.7 解析に用いた入力地震波について

- ・「4.2 解析による検討」において、平面波を入力地震動とする2次元FEM解析(周波数応答解析)を実施しているが、解析モデルの水平方向がEW方向で28km、NS方向で18kmと大きく、入力地震動に球面波を用いた場合との違いについて検討した。
- ・検討方法としては、平面波と球面波が解析モデル下端に到達する時刻の違いについて着目した。
- ・球面波について検討するには、震源を特定しなければならないが、東海第二発電所の地震動評価において発電所の西側には震源を想定していない。そこで本検討においては、図1に示すように震源を発電所の西側の太平洋プレート上面に仮定した。

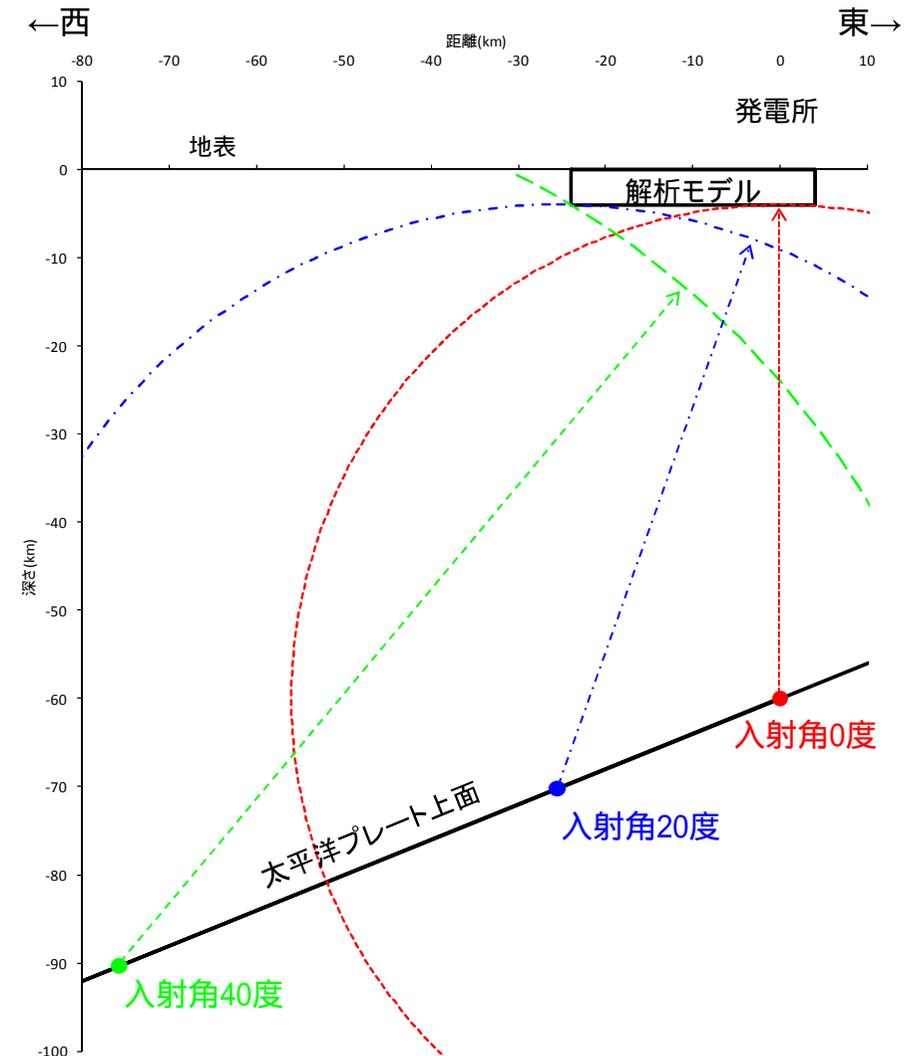


図1 解析モデルに入射する球面波のイメージ

# 解析に用いた入力地震波について (2 / 2)

- ・平面波と球面波が解析モデル底面に到達する時刻を図2に示す。
- ・入射角0度の場合，発電所周辺10km程度では，大きな違いはない。
- ・入射角20度の場合は発電所周辺15km程度，入射角40度の場合はほぼ全域において，入射波の解析モデル底面への到達時刻差(傾き)が同等であり，平面波と球面波の違いはない。
- ・以上より，発電所周辺では平面波と球面波の違いはなく，解析に平面波を用いても大きな影響はないことが確認できた。

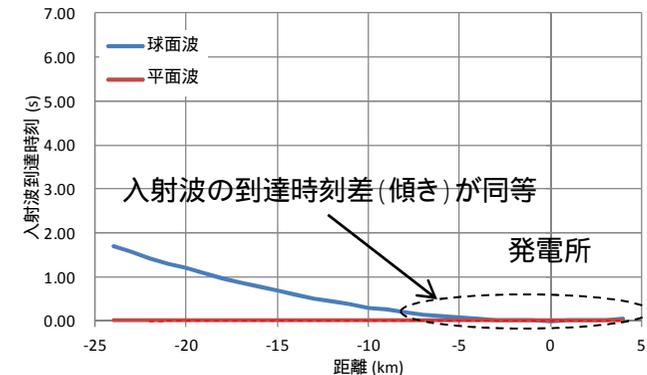


図2.1 平面波入射角0度(震央距離0km, 深さ60km)

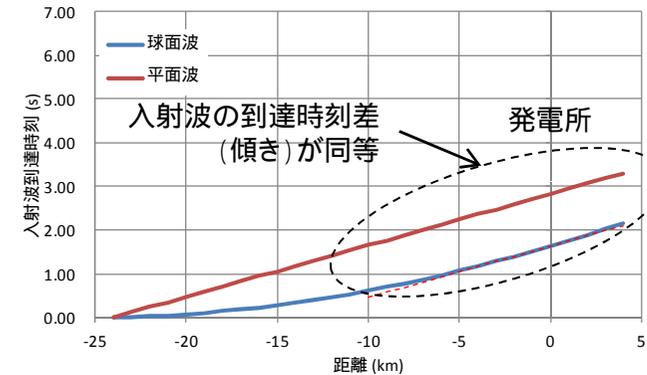


図2.2 平面波入射角20度(震央距離26km, 深さ70km)

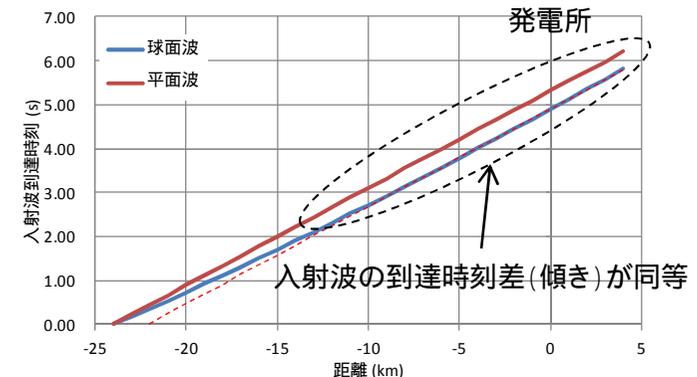


図2.3 平面波入射角40度(震央距離76km, 深さ90km)