

電源開発株式会社
大間原子力発電所

はぎとり解析地盤モデルについて

平成18年12月
原子力発電安全審査課

本資料の内容は、平成18年9月19日の原子力安全委員会決定により改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に基づき、[04-大間設C-23]の内容について、必要な修正を加えて作成したものである。

目 次

1. 地盤定数の同定解析	1
2. はぎとり解析	3
3. 最近の地震を用いた検討	4
4. 参考文献	6

敷地における地震観測記録のはぎとり解析に用いる解放基盤相当位置以浅の地盤の速度構造及び減衰定数は、大間地点で観測された代表的な地震観測記録の同定解析に基づき設定している。以下では、大間地点のはぎとり解析地盤モデルの妥当性について検討を行う。

1. 地盤定数の同定解析

(1) 同定解析に用いる観測記録

解析には図-1 に示す敷地内の地震観測点において観測された表-1 に示す代表的な4地震（以下「4地震」という。）で得られた観測記録を用いている。図-2 にT.P.-207.5m（解放基盤相当位置）における4地震の水平成分及び鉛直成分の加速度波形と解析に用いた区間を示す。また、地震観測点における地質構造を図-3 に示す。

(2) 同定解析手法

解析条件および解析手法は、佐藤・他（1994）⁽¹⁾ に基づくとしている。以下に水平成分を例として概要を示す。

- ① S波速度の初期値は、P S検層結果を基に表-2 のように設定する。なお、T.P.-207.5m以深のS波速度は固定値とする。
- ② 単位体積重量はボーリングコアの岩石試験結果に基づき、層厚及び層数はP S検層結果に基づき各々表-2 のように設定し、共に固定値とする。
- ③ 減衰定数としては、次式のように振動数依存型減衰を用いる。

$$h=h_0f^{-\alpha} \quad (1)$$

ここに、 h_0 は1 Hzにおける減衰定数、 α は減衰定数の振動数依存の度合いを表すパラメータである。なお、 h_0 及び α については全層で同一とする。

- ④ 解析は、各地震について成分毎に行う。
- ⑤ S波速度及び減衰定数は、T.P.-207.5mの記録に対する他の5つの深さの記録のフーリエ振幅スペクトル比毎に同定する。

目的関数 $J(\{r\})$ を次式に示す。

$$J(\{r\}) = \frac{\int_{f_s}^{f_e} |H_0(f) - H_t(f, \{r\})|^2 df}{\int_{f_s}^{f_e} |H_0(f)|^2 df} \quad (2)$$

ここに、 r は未知数であるS波速度及び減衰定数、 f は周波数、 $H_0(f)$ は観測記録から得られるフーリエ振幅スペクトル比、 $H_t(f)$ は一次元波動論により求められるフーリエ振幅スペクトル比、 f_s 、 f_e は各々解析対象とする最小、最大周波数とする。なお、フーリエ振幅スペクトル比については、観測、理論共に、バンド幅0.2 HzのParzenウィンドウによる平滑化を行う。

- ⑥ T.P.-207.5mの記録に対する他の5つの深さの記録のフーリエ振幅スペクトル比毎に、図-4に示す手順で同定し、各々5種の同定された地盤モデルを得る。

- ⑦ ⑥で得られた5種の地盤モデルを各々初期値として、⑥と同様

の同定解析を再度行い、各深さのフーリエ振幅スペクトル比毎に更に5種の地盤モデルを同定し、結果として25種の地盤モデルを得る。

- ⑧ 得られた25種の地盤モデルのうち、S波速度がP S検層結果から大きく外れるものを除き、各深さのフーリエ振幅スペクトル比に対する目的関数の総和が最小となる地盤モデルを採用する。

(3) 同定解析結果

4地震について水平及び鉛直成分毎に同定されたS波速度及びP波速度、並びに減衰定数 h ($h_0 f^{-\alpha}$)を図-5に、これらの平均値を表-3に示す。また、フーリエ振幅スペクトル比の比較を図-6～図-9に示す。

4地震について成分毎に同定された地盤モデルによるフーリエ振幅スペクトル比は、図-6～図-9に示すように、観測記録のフーリエ振幅スペクトル比とよく対応しているとしている。

2. はぎとり解析

(1) はぎとり解析に用いる地盤定数

「1. 地盤定数の同定解析」の同定解析結果に基づき、はぎとり解析に用いるS波速度及びP波速度、並びに減衰定数について、各々以下の考え方に基づき表-4のように設定している。

① S波速度及びP波速度

S波速度及びP波速度の同定値は、図-5及び表-3に示すように、

4地震について同定されたS波速度及びP波速度のばらつきが小さく、平均値はP S検層結果とほぼ等しいことから、P S検層によって得られたS波速度及びP波速度を用いる。

② 減衰定数

減衰定数の同定値は、図-5に示すように、水平成分では h_0 は約0.06~0.14、 α は約0.3~0.9、鉛直成分では h_0 は約0.30~0.50、 α は約0.7~1.0の範囲にあり、これらの平均値（水平成分： $h_0=0.115$ 、 $\alpha=0.68$ 、鉛直成分： $h_0=0.400$ 、 $\alpha=0.84$ ）を用いる。

(2) 1993年釧路沖地震観測記録のはぎとり解析結果

「(1) はぎとり解析に用いる地盤定数」に基づき設定された表-4に示す地盤定数を用いた1993年釧路沖地震観測記録のはぎとり解析結果を図-10に示す。また、1993年釧路沖地震観測記録に対する同定結果を地盤定数として用いたのはぎとり解析結果も同図に併せて示すが、両者は良く一致しているとしている。

3. 最近の地震を用いた検討

申請者は、4地震による同定解析結果の妥当性を確認するため、最新の地震観測記録について「1.(2)同定解析手法」に基づき同定解析を実施している。ここで、水平動では2003年宮城県沖の地震(M7.1, $\Delta=305$ km)及び2003年十勝沖地震(M8.0, $\Delta=266$ km)について、鉛直動では2003年宮城県沖の地震の記録が得られていないため、2003年十勝沖地震について同定解析を実施している。図-11及び表-5に同定結

果を，フーリエ振幅スペクトル比の比較を図-12 及び図-13 に示す。


図-11 及び表-5 に示すとおり，2003 年宮城県沖の地震及び 2003 年十勝沖地震の同定解析により得られた S 波速度及び 2003 年十勝沖地震の同定解析により得られた P 波速度は P S 検層結果とほぼ等しく，減衰定数は 4 地震の減衰定数とほぼ同等の範囲内にあることから，同定結果は 4 地震の同定解析結果とおおむね同等であるとしている。

また，S 波速度及び P 波速度を P S 検層結果，減衰定数を 4 地震に上述の地震を加えて平均値とした場合について算定した 1993 年釧路沖地震観測記録のはぎとり波の応答スペクトルは，図-14 に示すとおり，4 地震の平均値とした場合の応答スペクトルとほとんど変わらないことを確認している。

以上のことから，申請者が敷地で得られた 4 つの代表的な地震記録による同定解析結果に基づき設定した大間地点のはぎとり解析地盤モデルは，妥当なものと考えられる。

4. 参考文献

- (1) 佐藤智美・川瀬博・佐藤俊明（1994）：ボアホール観測記録を用いた表層地盤同定手法による工学的基盤波の推定及びその統計的経時特性，日本建築学会構造系論文集 第461号

標高 T.P. (m)	地震計	地層
+32.5	GL±0 (m)	
		第四系
-7.5	○	易固間層上部層
-47.5	○	易固間層下部層
-77.5	○	大間層
-117.5	○	
-207.5	○	

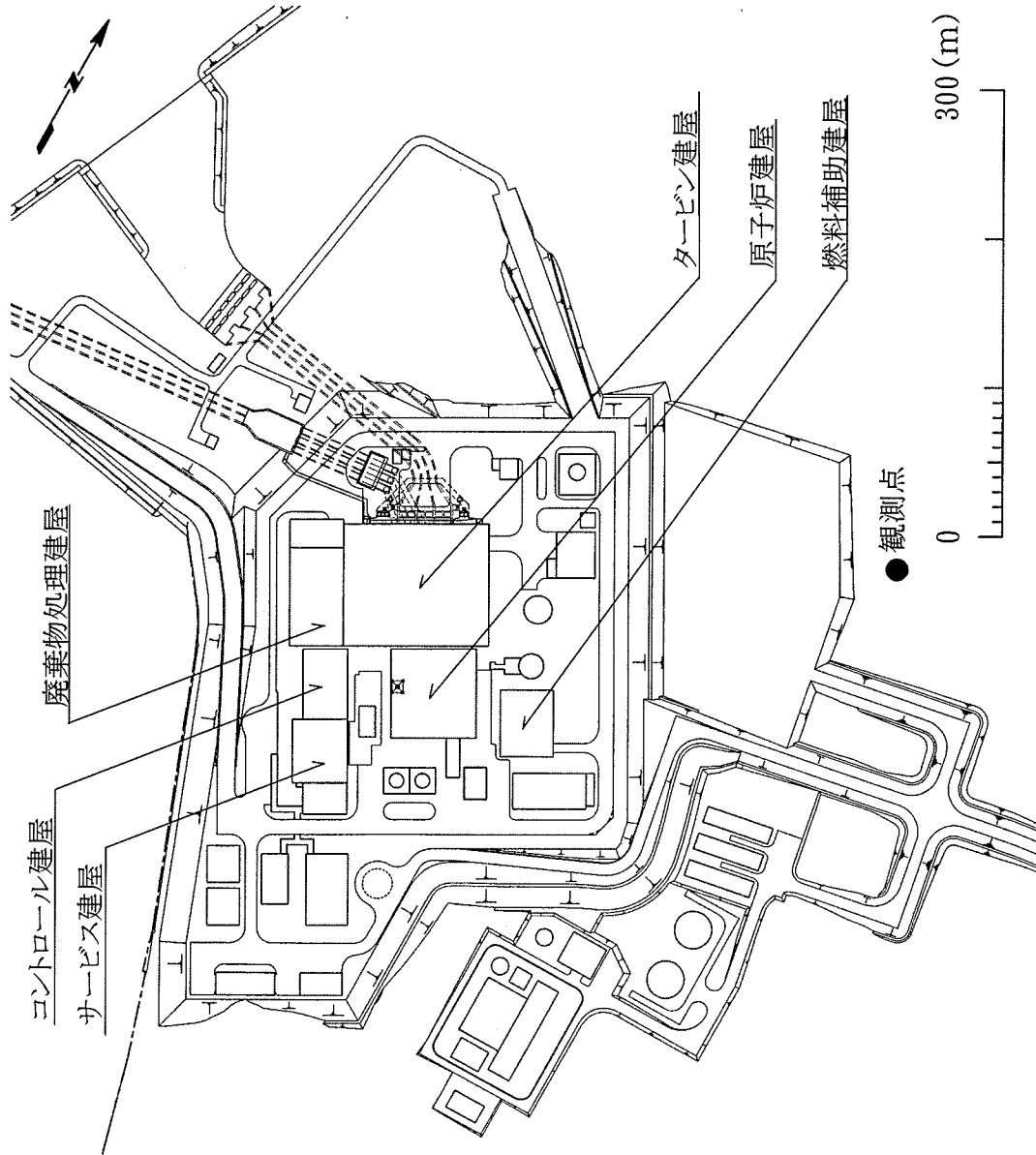
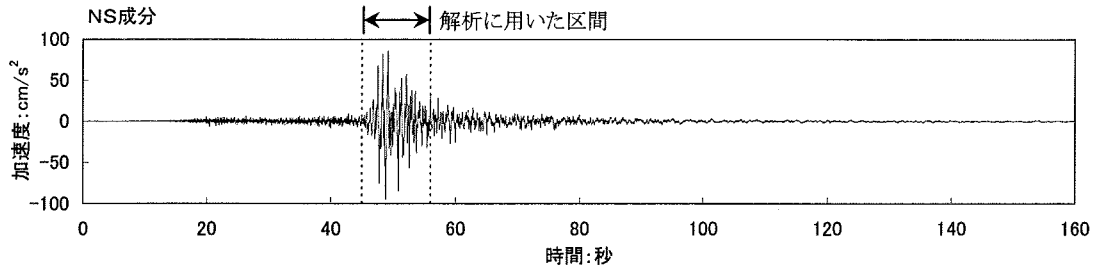


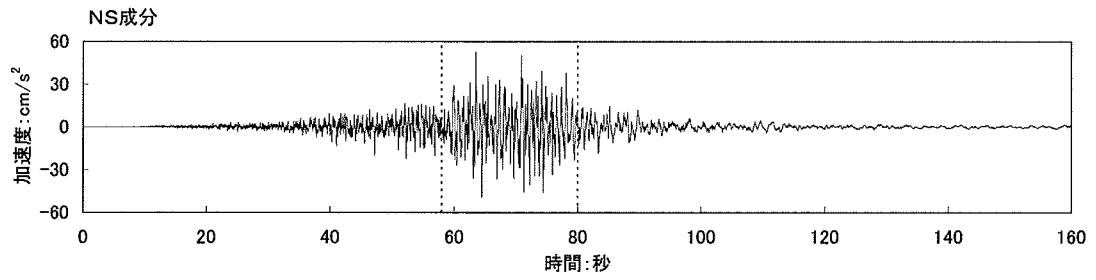
図-1 地震観測点

表-1 同定解析の対象地震

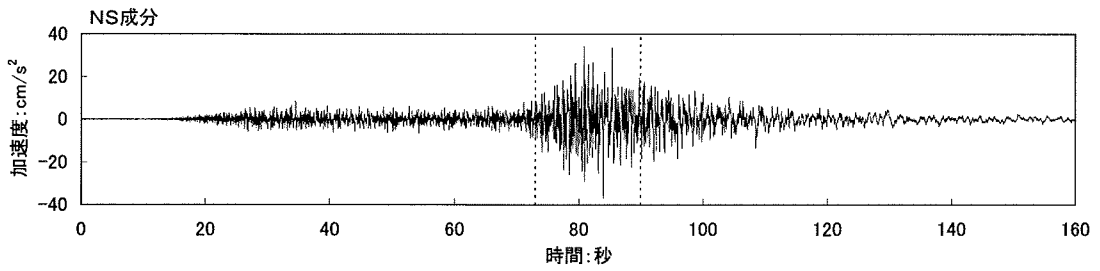
地震名	M	Δ (km)	備考
1993年釧路沖地震	7.5	325	沈み込んだ海洋プレート内地震 (やや深いスラブ内地震)
1993年北海道南西沖地震	7.8	201	日本海東縁部の地震
1994年北海道東方沖地震	8.2	594	沈み込んだ海洋プレート内地震 (やや浅いスラブ内地震)
1994年三陸はるか沖地震	7.6	267	太平洋側のプレート間地震



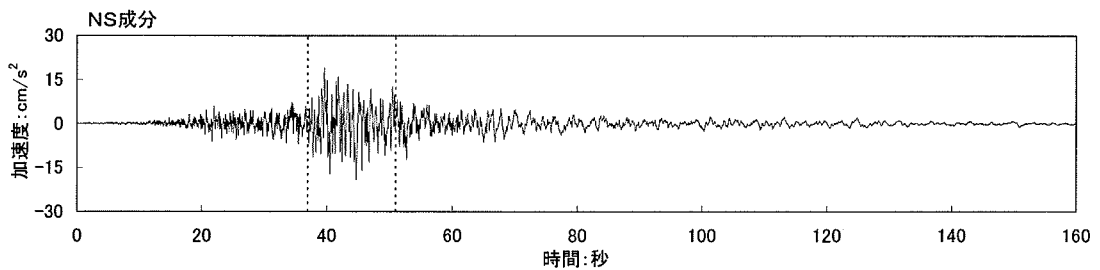
(a) 1993年釧路沖地震



(b) 1993年北海道南西沖地震

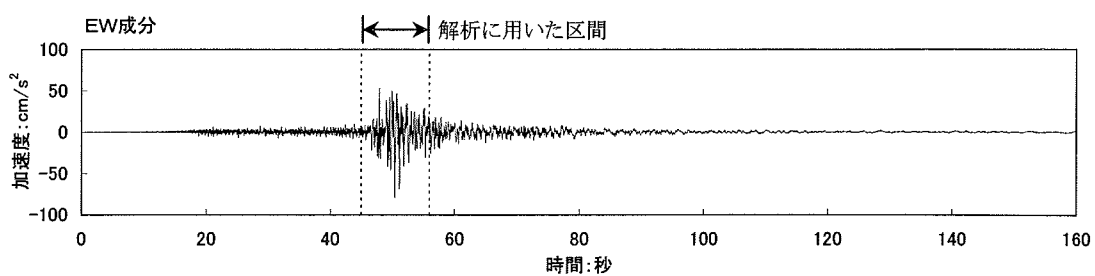


(c) 1993年北海道東方沖地震

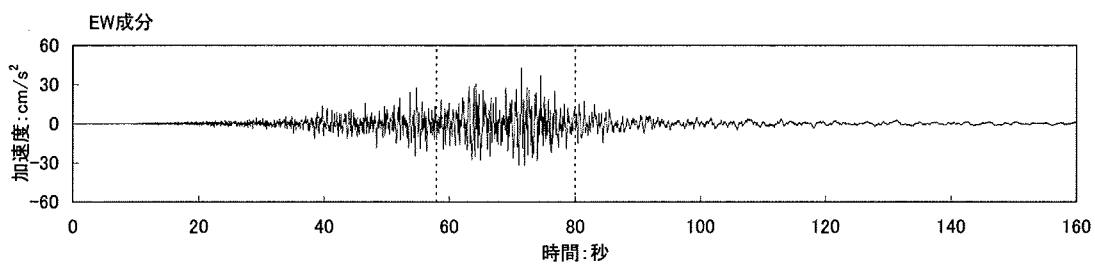


(d) 1994年三陸はるか沖地震

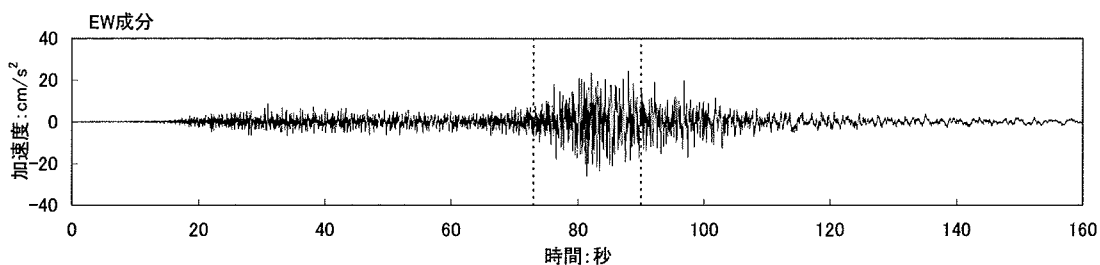
図-2(1) 解析に用いた地震観測記録の加速度波形 (NS成分, T.P.-207.5m)



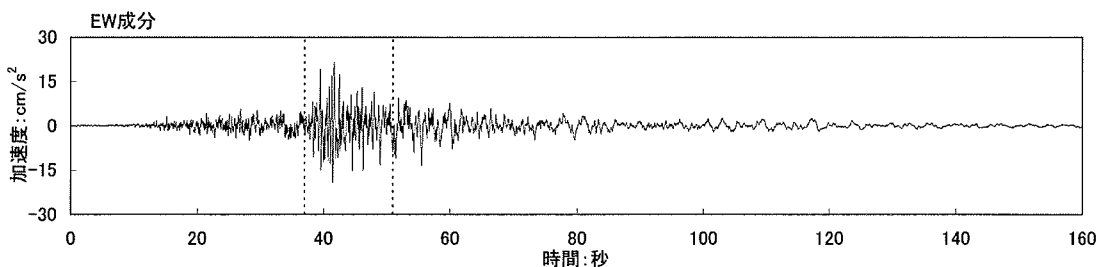
(a) 1993年釧路沖地震



(b) 1993年北海道南西沖地震

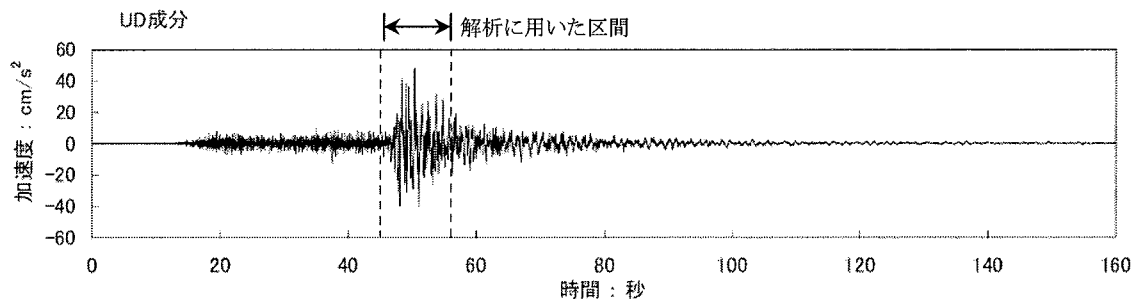


(c) 1993年北海道東方沖地震

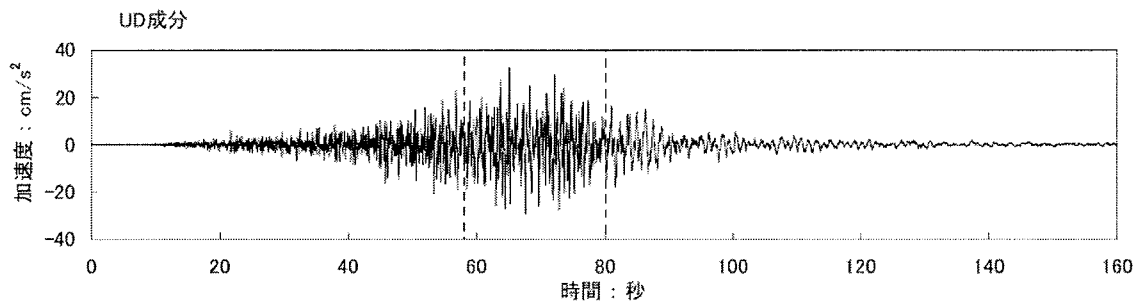


(d) 1994年三陸はるか沖地震

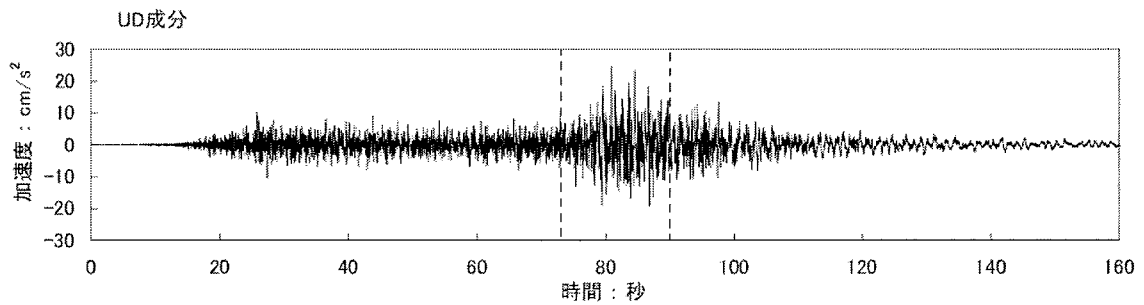
図-2(2) 解析に用いた地震観測記録の加速度波形 (EW成分, T.P.-207.5m)



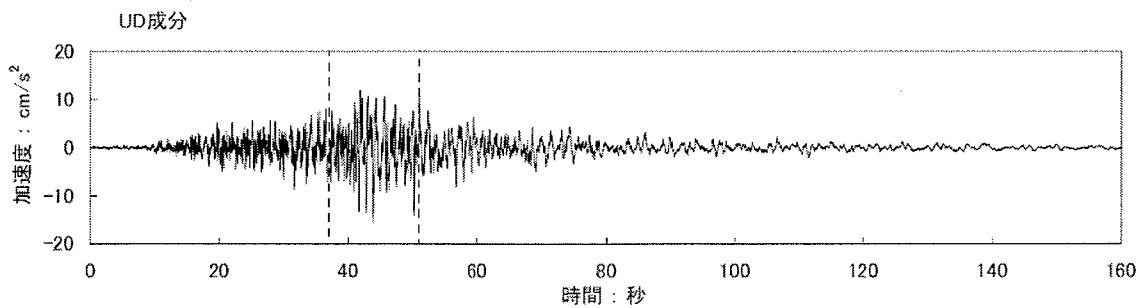
(a) 1993年釧路沖地震



(b) 1993年北海道南西沖地震



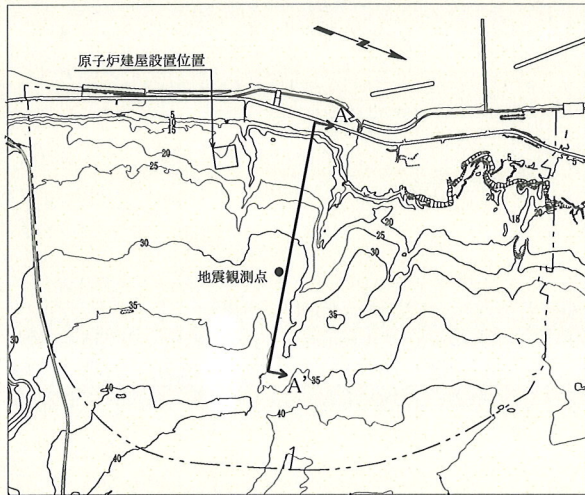
(c) 1993年北海道東方沖地震



(d) 1994年三陸はるか沖地震

図-2(3) 解析に用いた地震観測記録の加速度波形 (UD成分, T.P.-207.5m)

凡 例



断面位置図

0 500m

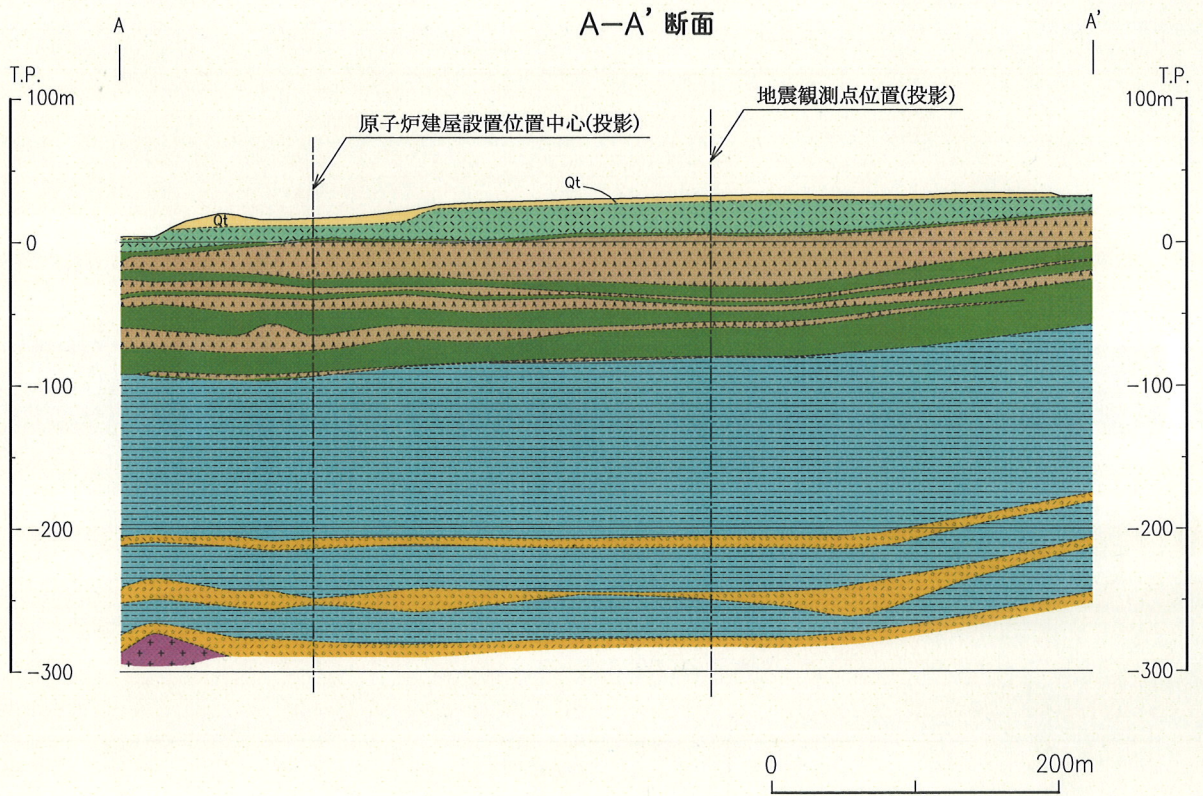
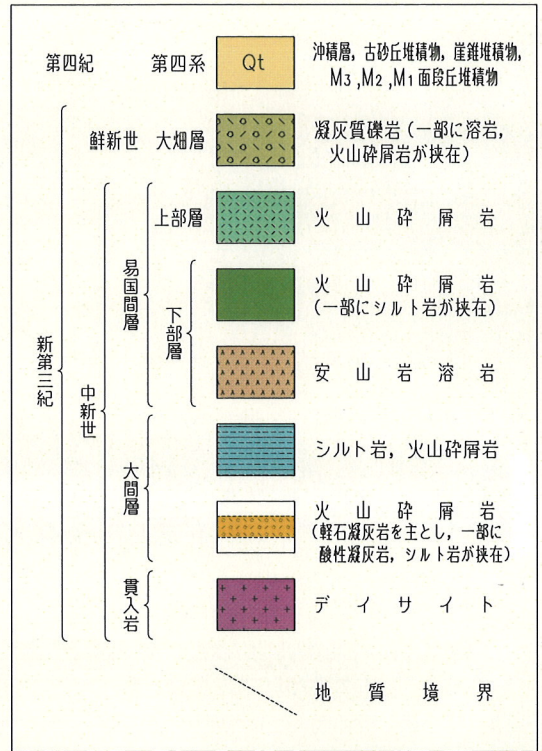


図-3 地震観測点の地質断面図

表-2 同定解析に用いる地盤モデルの初期値

観測点	T.P.(m)	層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm ³)	S波速度 (m/s)
○	+32.5(地表)			
	+22.5	10	1.59	220
	+7.5	15	1.90	700
○	-7.5	75	2.06	1000
○	-47.5			
	-67.5			
○	-77.5	70	1.51	510
○	-117.5			
	-137.5			
		70	1.52	690
○	-207.5(解放基盤表面相当)			
			1.61	850

単位体積重量, 層厚及び層数は固定値とする

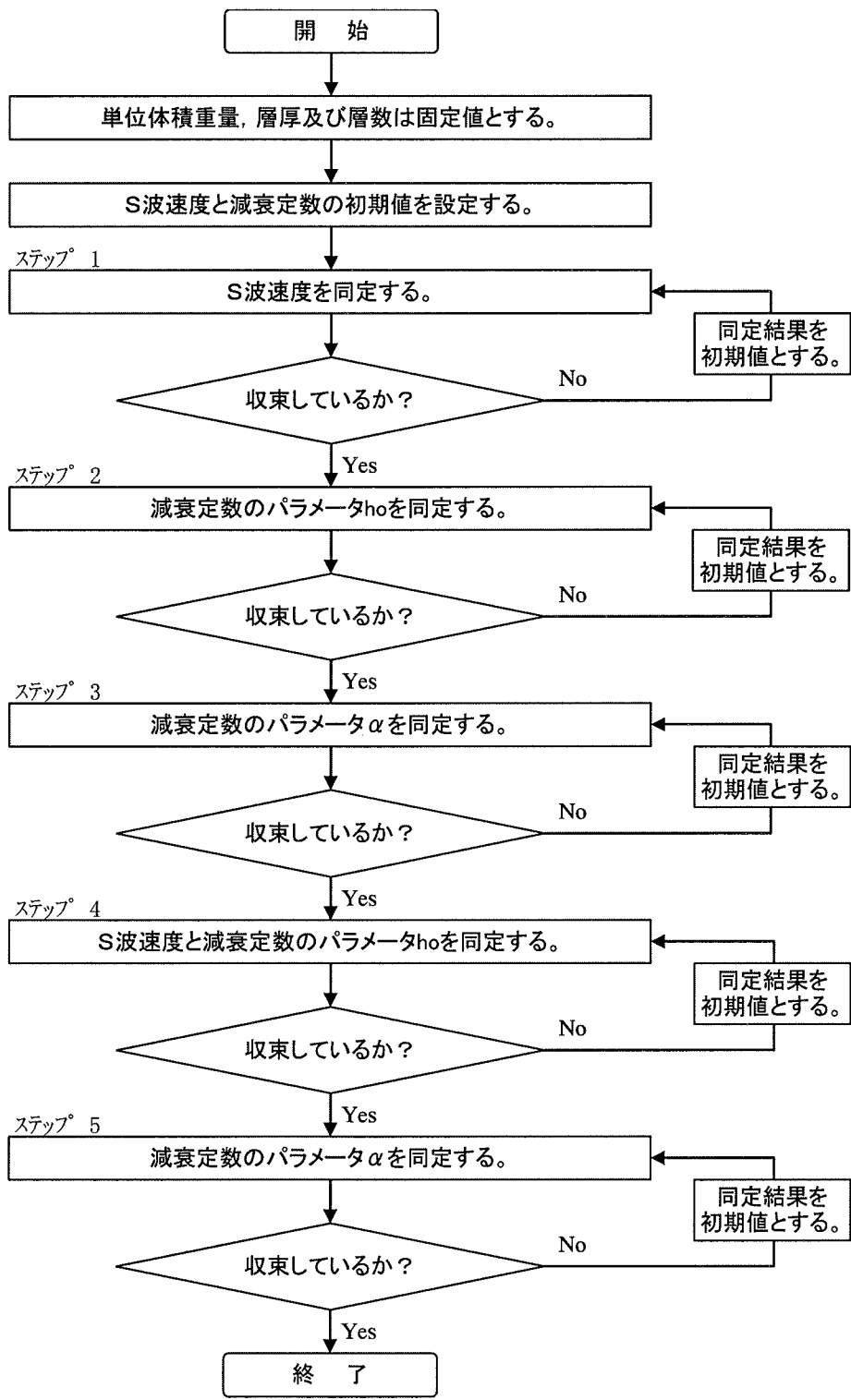


図-4 フーリエ振幅スペクトル比毎の S 波速度及び減衰定数の同定解析手順

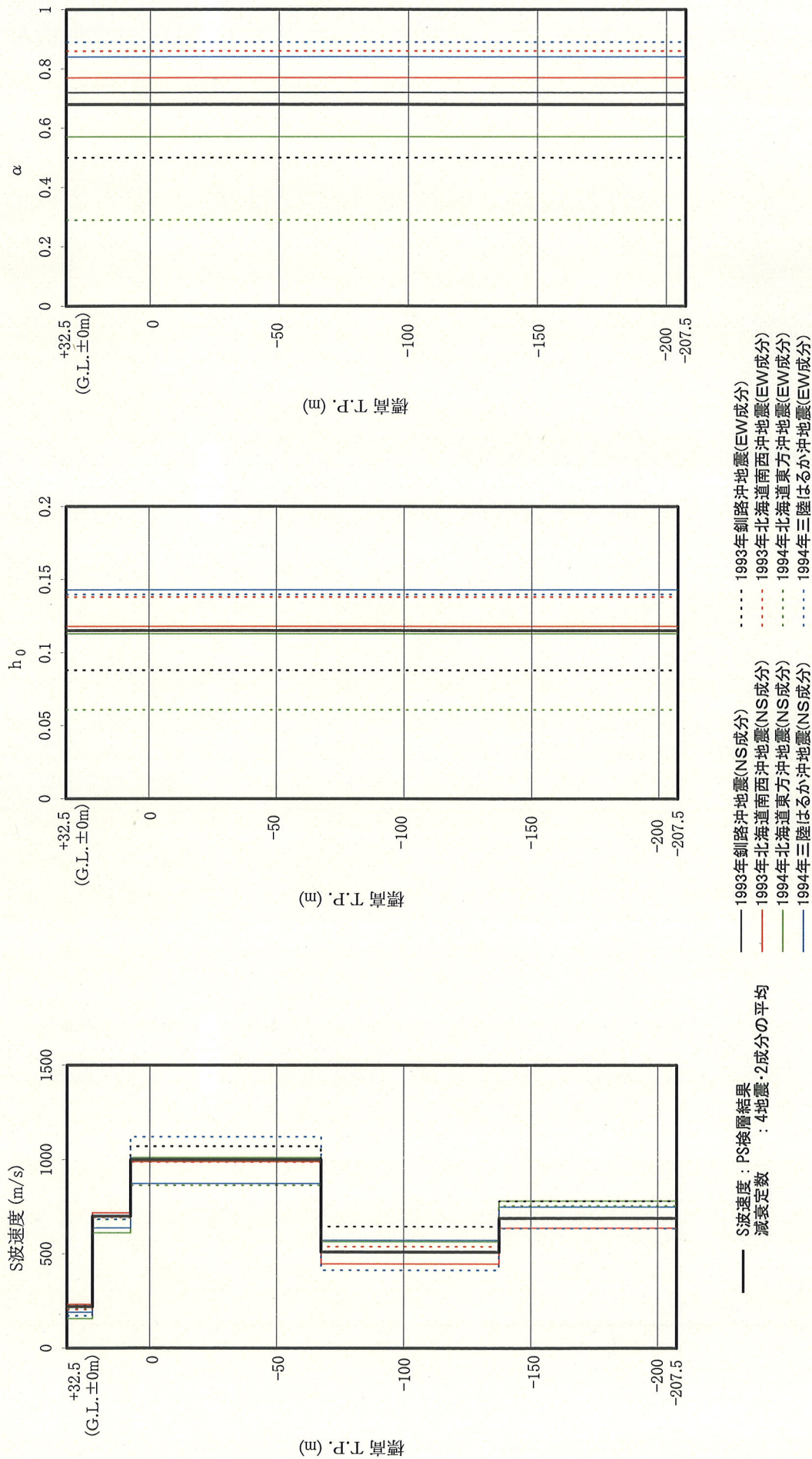


図-5(1) S波速度と減衰定数の同定結果(水平成分)

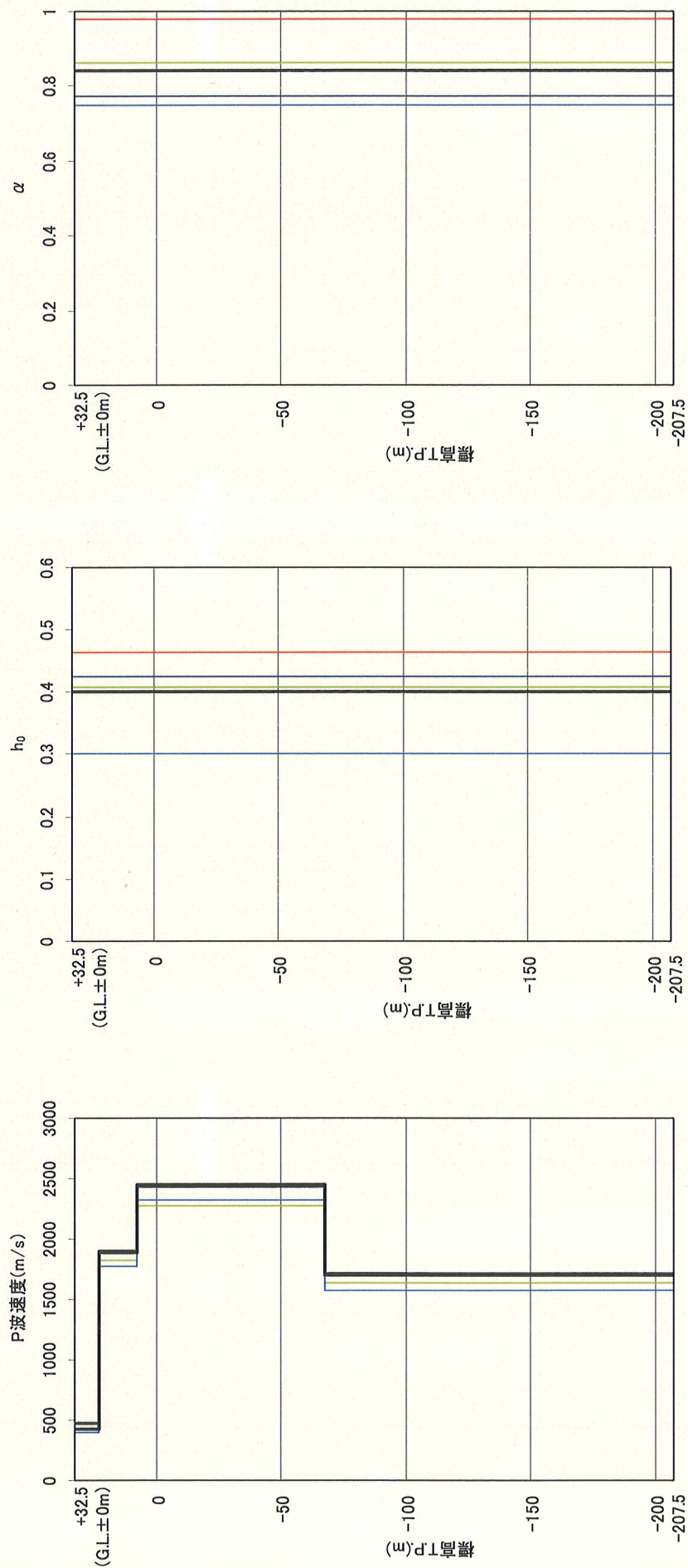


図-5(2) P波速度と減衰定数の同定結果(鉛直成分)

表-3(1) 同定解析結果(水平成分)

同定解析条件			同定解析結果(4地震の平均値)		
層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm ³)	PS検層結果 (m/s)	S波速度 (m/s)	減衰定数 h(f)	
				h ₀	α
10	1.59	220	202	0.115	0.68
15	1.90	700	680		
75	2.06	1000	990		
70	1.51	510	526		
70	1.52	690	715		
▽解放基盤相当位置(T.P.-207.5m)					
—	1.61	850	850		

減衰定数 : $h(f) = h_0 f^{-\alpha}$

層厚,層数 : PS検層による

単位体積重量: ボーリングコアの岩石試験結果による

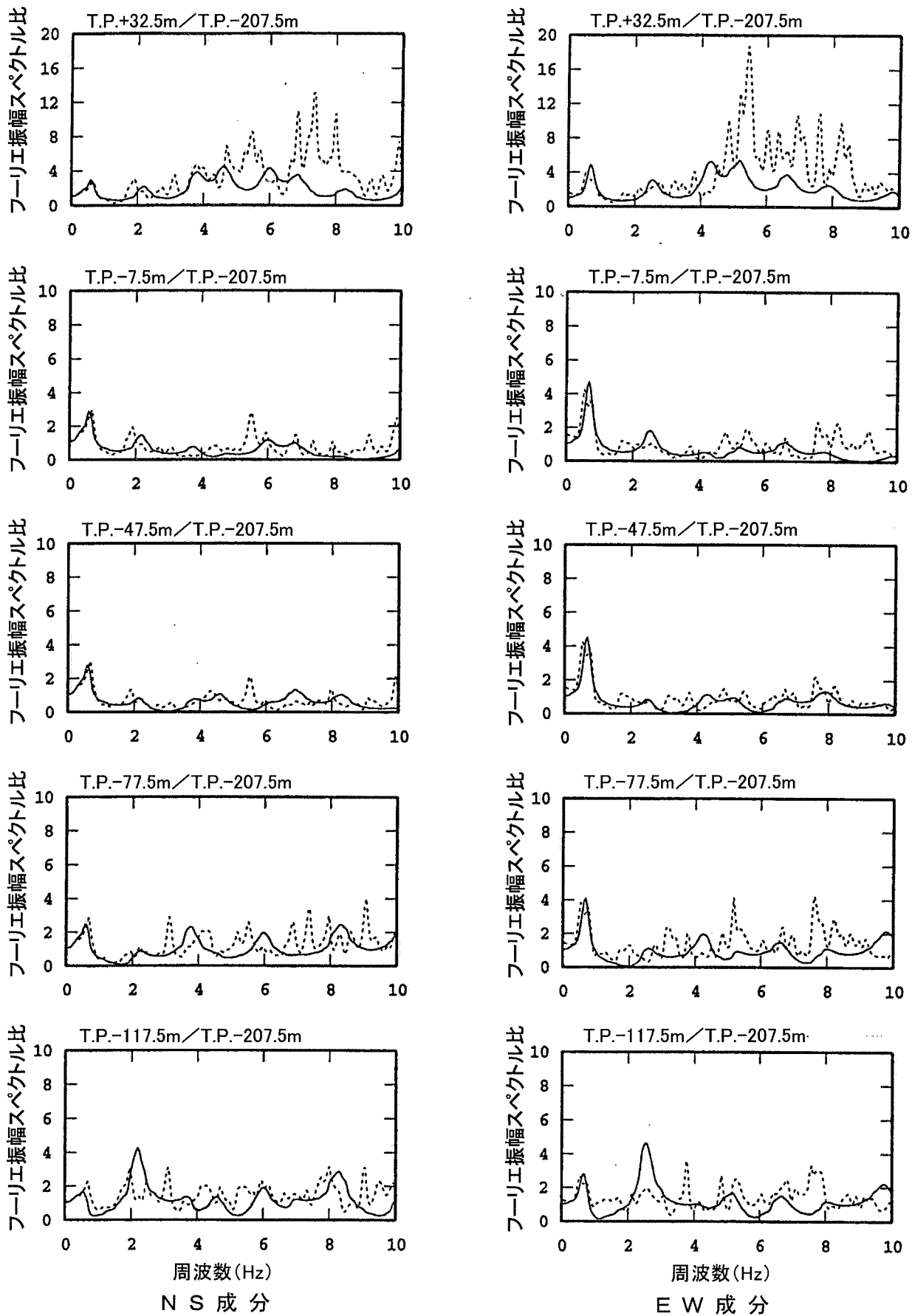
表-3(2) 同定解析結果(鉛直成分)

同定解析条件			同定解析結果(4地震の平均値)		
層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm ³)	PS検層結果 (m/s)	P波速度 (m/s)	減衰定数 h(f)	
				h ₀	α
10	1.59	470	426	0.400	0.84
15	1.90	1890	1846		
75	2.06	2440	2372		
70	1.51	1700	1656		
70	1.52	1700	1656		
▽解放基盤相当位置(T.P.-207.5m)					
—	1.61	2200	2200		

減衰定数 : $h(f) = h_0 f^\alpha$

層厚,層数 : PS検層による

単位体積重量: ボーリングコアの岩石試験結果による



----- : 1993年釧路沖地震観測記録のフーリエ振幅スペクトル比
 ————— : 同定された地盤モデルによるフーリエ振幅スペクトル比

図-6(1) 同定解析結果と観測記録の比較(1993年釧路沖地震, 水平成分)

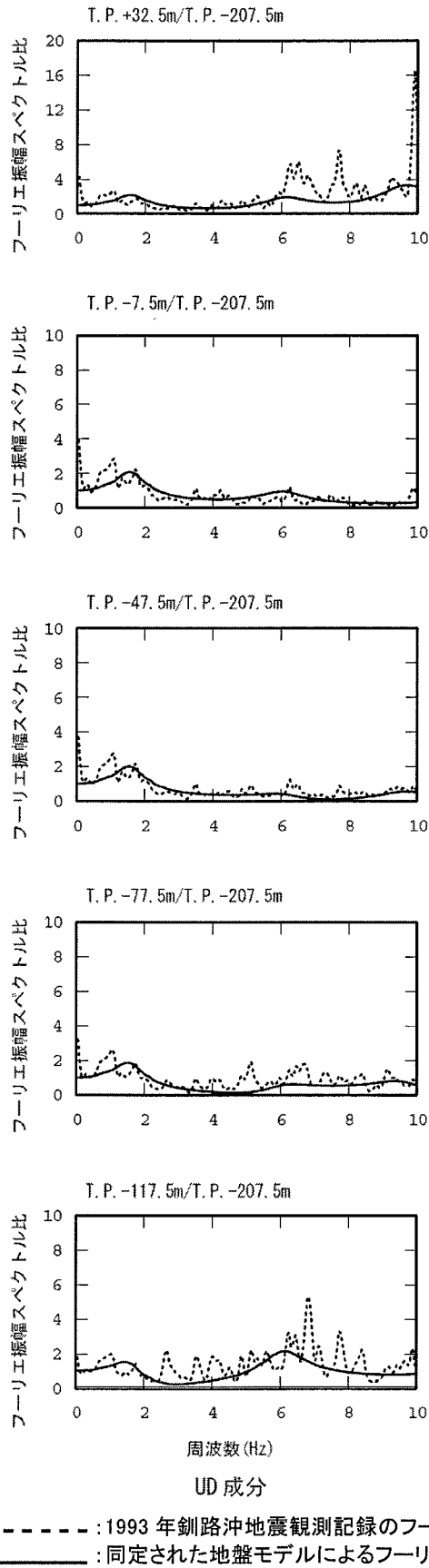


図-6(2) 同定解析結果と観測記録の比較 (1993 年釧路沖地震, 鉛直成分)

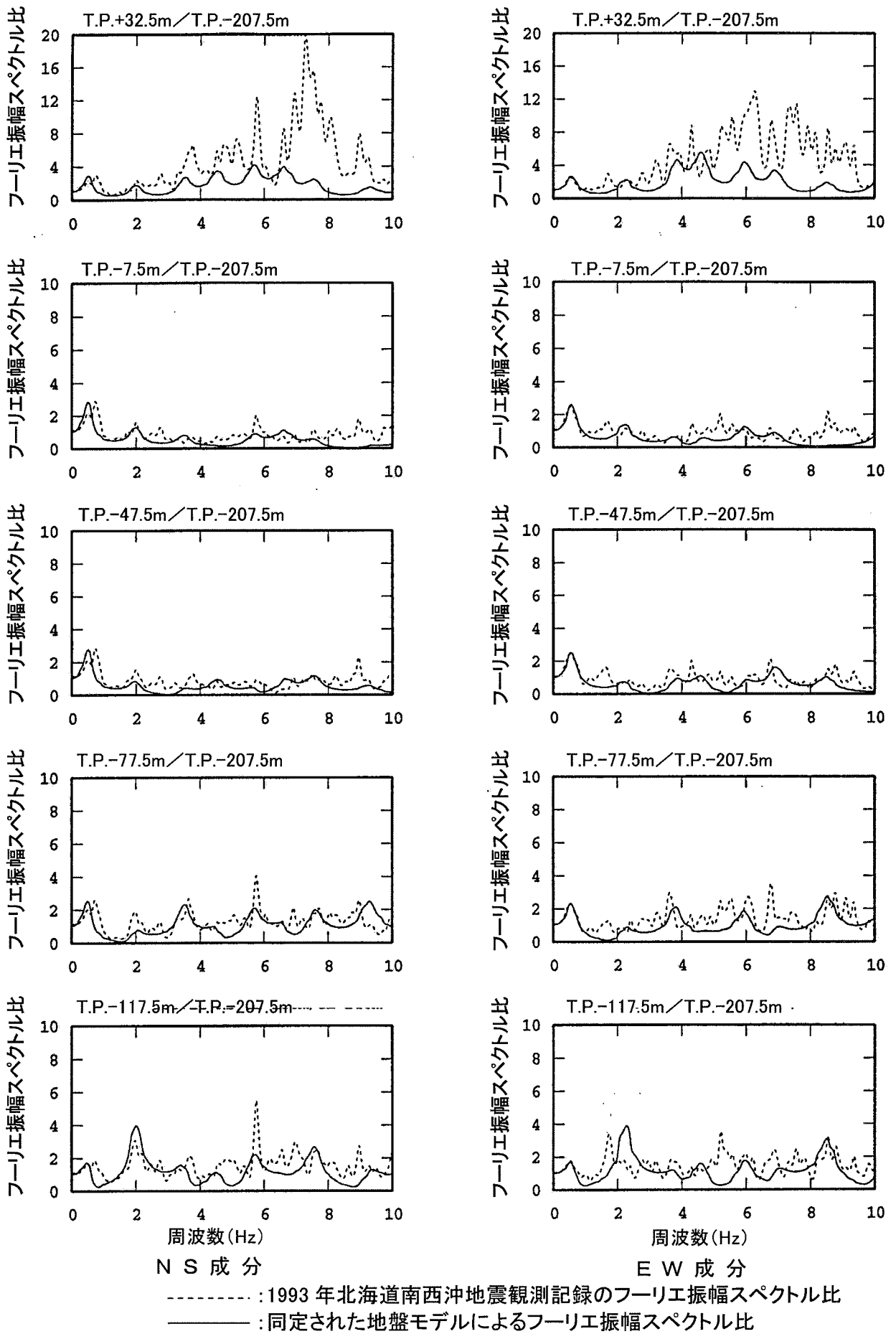
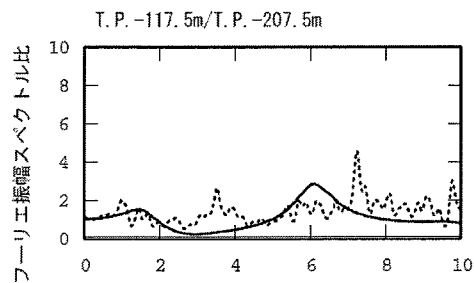
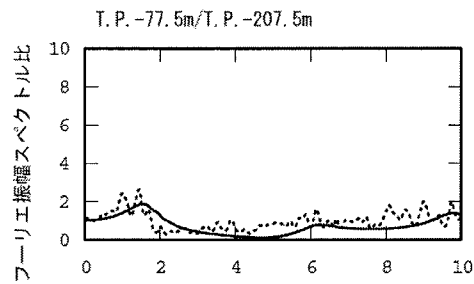
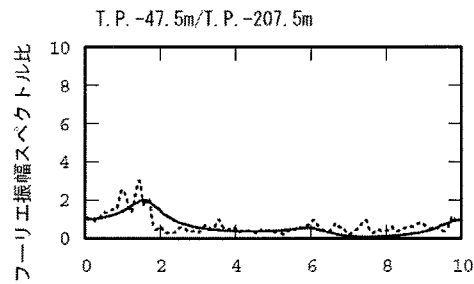
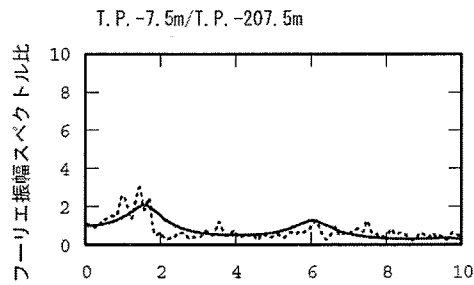
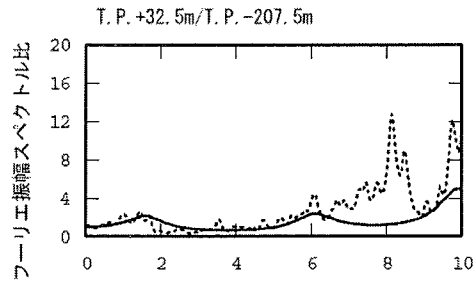


図-7(1) 同定解析結果と観測記録の比較(1993年北海道南西沖地震, 水平成分)



周波数 (Hz)

UD 成分

----- : 1993 年北海道南西沖地震観測記録のフーリエ振幅スペクトル比
 _____ : 同定された地盤モデルによるフーリエ振幅スペクトル比

図-7(2) 同定解析結果と観測記録の比較 (1993 年北海道南西沖地震, 鉛直成分)

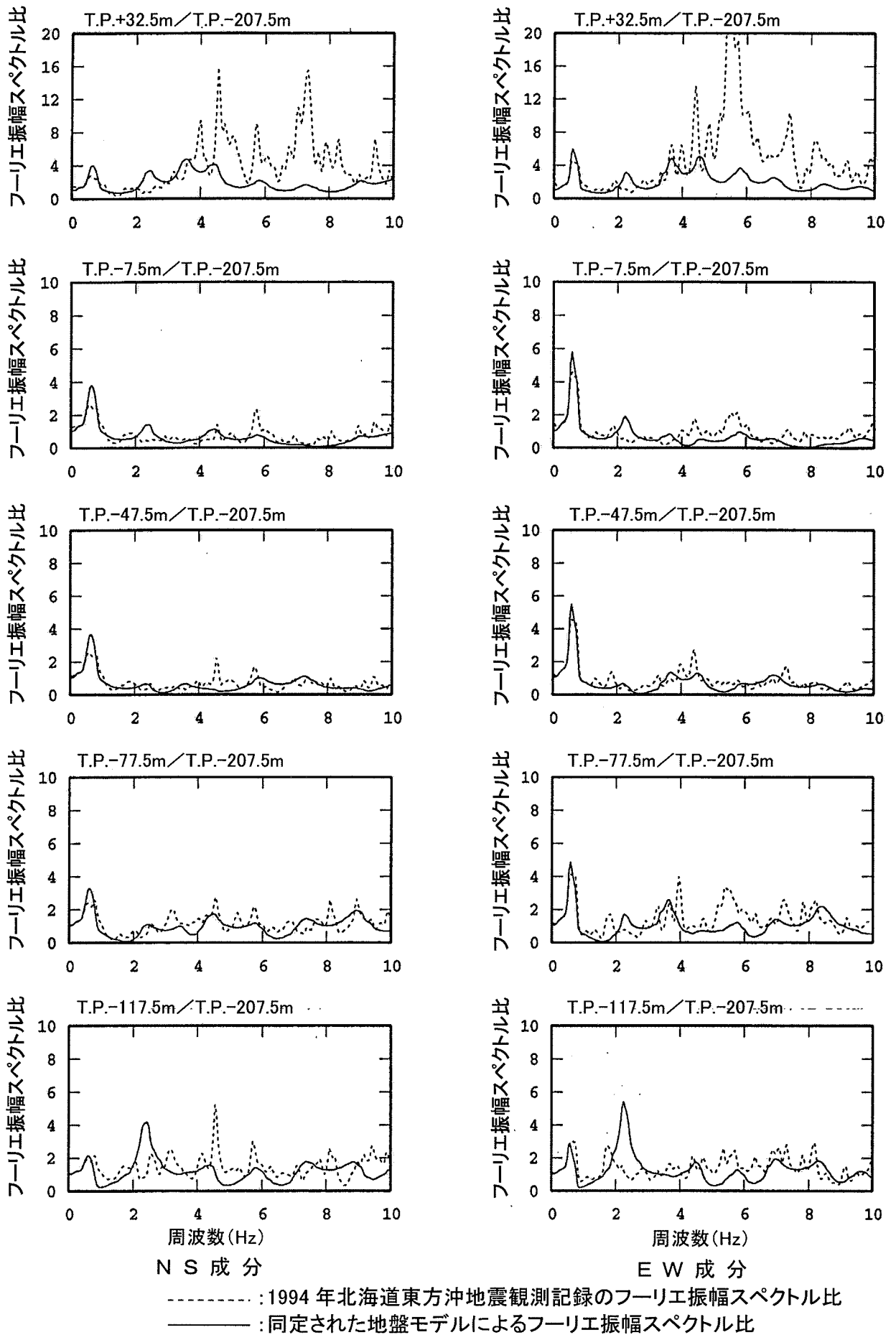
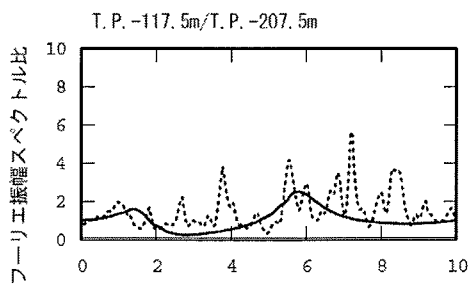
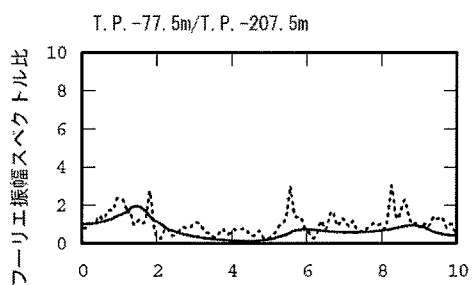
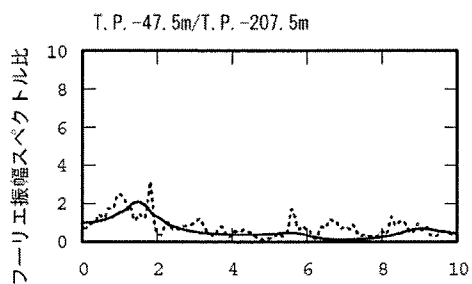
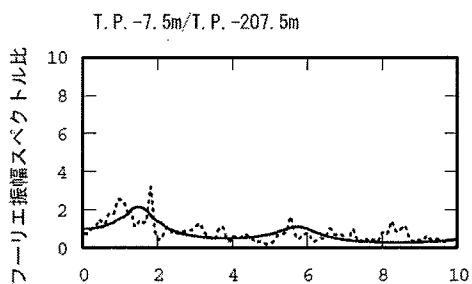
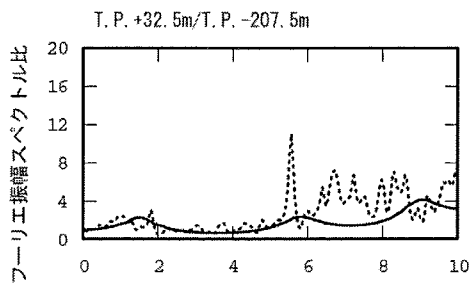


図-8(1) 同定解析結果と観測記録の比較(1994年北海道東方沖地震, 水平成分)



周波数(Hz)

UD 成分

-----: 1994年北海道東方沖地震観測記録のフーリエ振幅スペクトル比
 _____: 同定された地盤モデルによるフーリエ振幅スペクトル比

図-8(2) 同定解析結果と観測記録の比較 (1994年北海道東方沖地震, 鉛直成分)

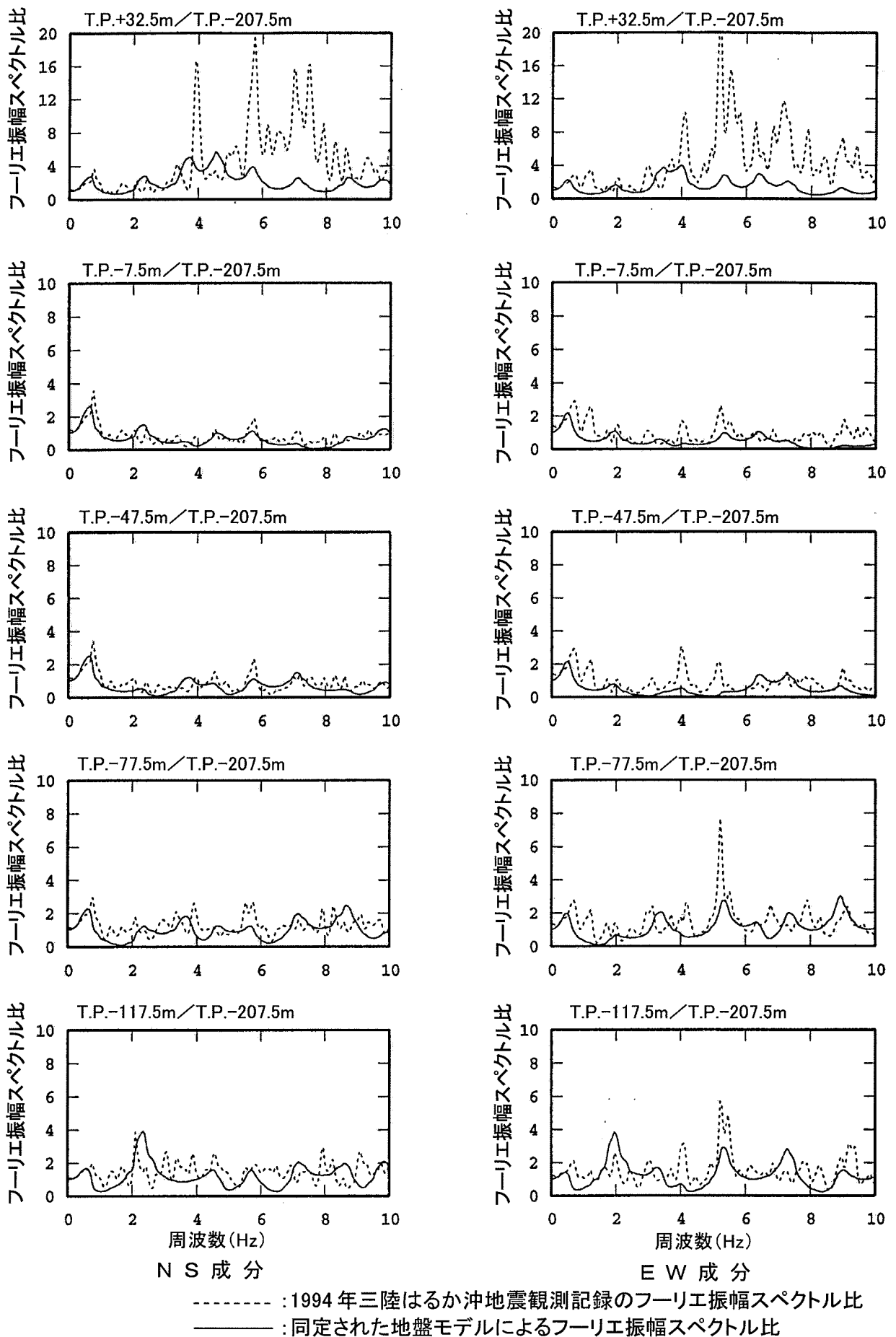


図-9(1) 同定解析結果と観測記録の比較(1994年三陸はるか沖地震, 水平成分)

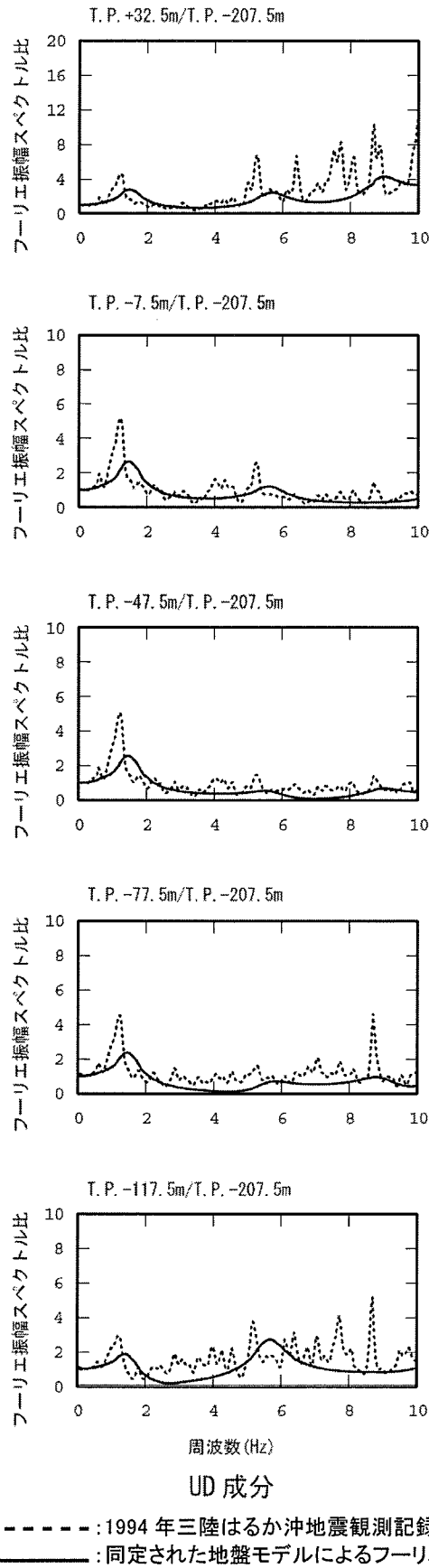


図-9(2) 同定解析結果と観測記録の比較 (1994 年三陸はるか沖地震, 鉛直成分)

表-4(1) はぎとり解析用地盤モデル(水平成分)

層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm ³)	S波速度 (m/s)	減衰定数 h(f)	
			h ₀	α
10	1.59	220	0.115	0.68
15	1.90	700		
75	2.06	1000		
70	1.51	510		
70	1.52	690		
▽解放基盤相当位置(T.P.-207.5m)				
—	1.61	850		

減衰定数 : $h(f) = h_0 f^\alpha$

層厚,層数 : PS検層による

単位体積重量: ボーリングコアの岩石試験結果による

S波速度: PS検層による

減衰定数: 表-3に示す4地震の平均値による

表-4(2) はぎとり解析用地盤モデル(鉛直成分)

層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm ³)	P波速度 (m/s)	減衰定数 h(f)	
			h ₀	α
10	1.59	470	0.400	0.84
15	1.90	1890		
75	2.06	2440		
70	1.51	1700		
70	1.52	1700		
▽解放基盤相当位置(T.P.-207.5m)				
—	1.61	2200		

減衰定数 : $h(f) = h_0 f^{-\alpha}$

層厚,層数 : PS検層による

単位体積重量: ボーリングコアの岩石試験結果による

P波速度: PS検層による

減衰定数: 表-3に示す4地震の平均値による

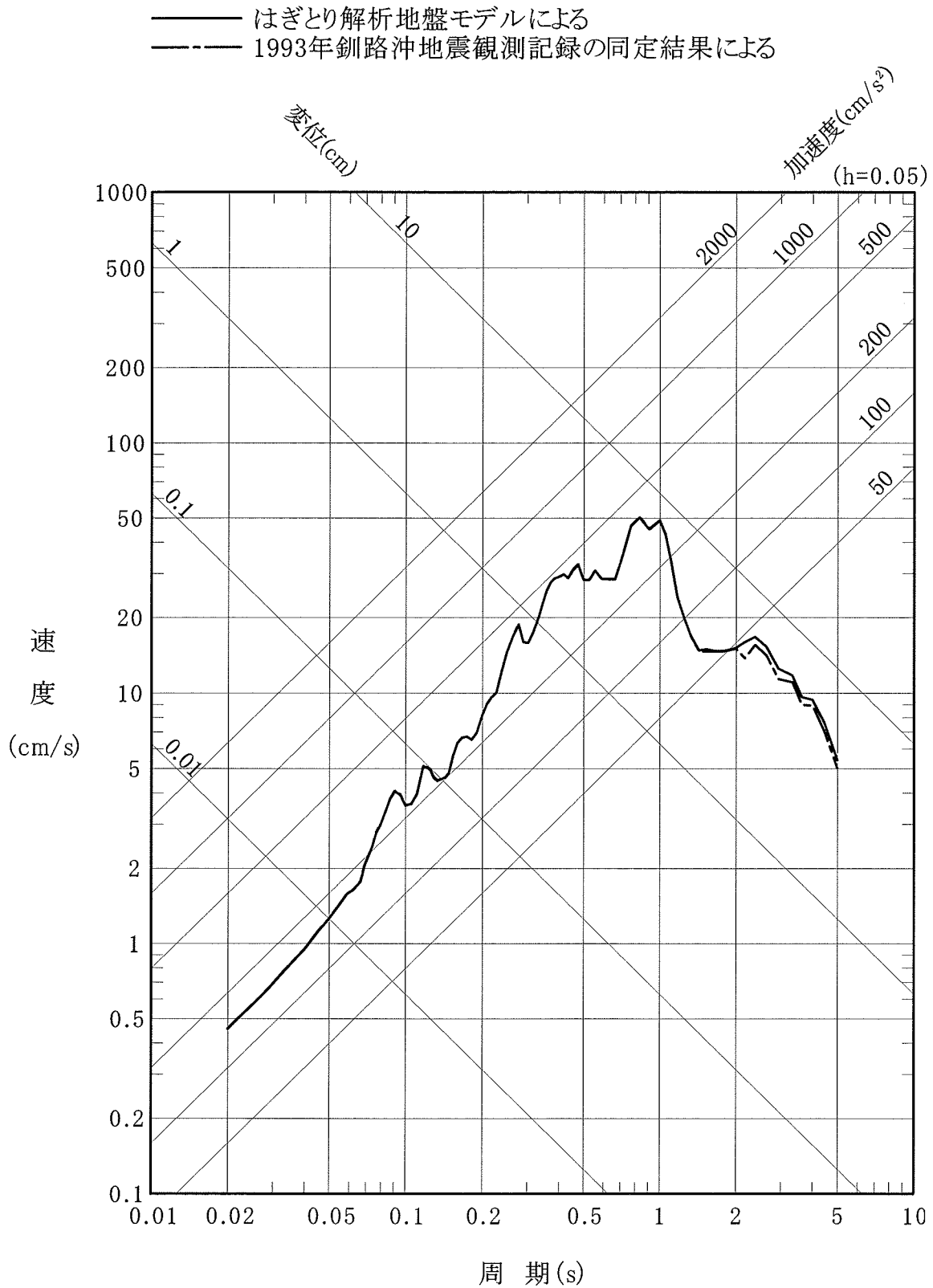


図-10(1) 1993年釧路沖地震観測記録のはぎとり波の応答スペクトル(NS成分)

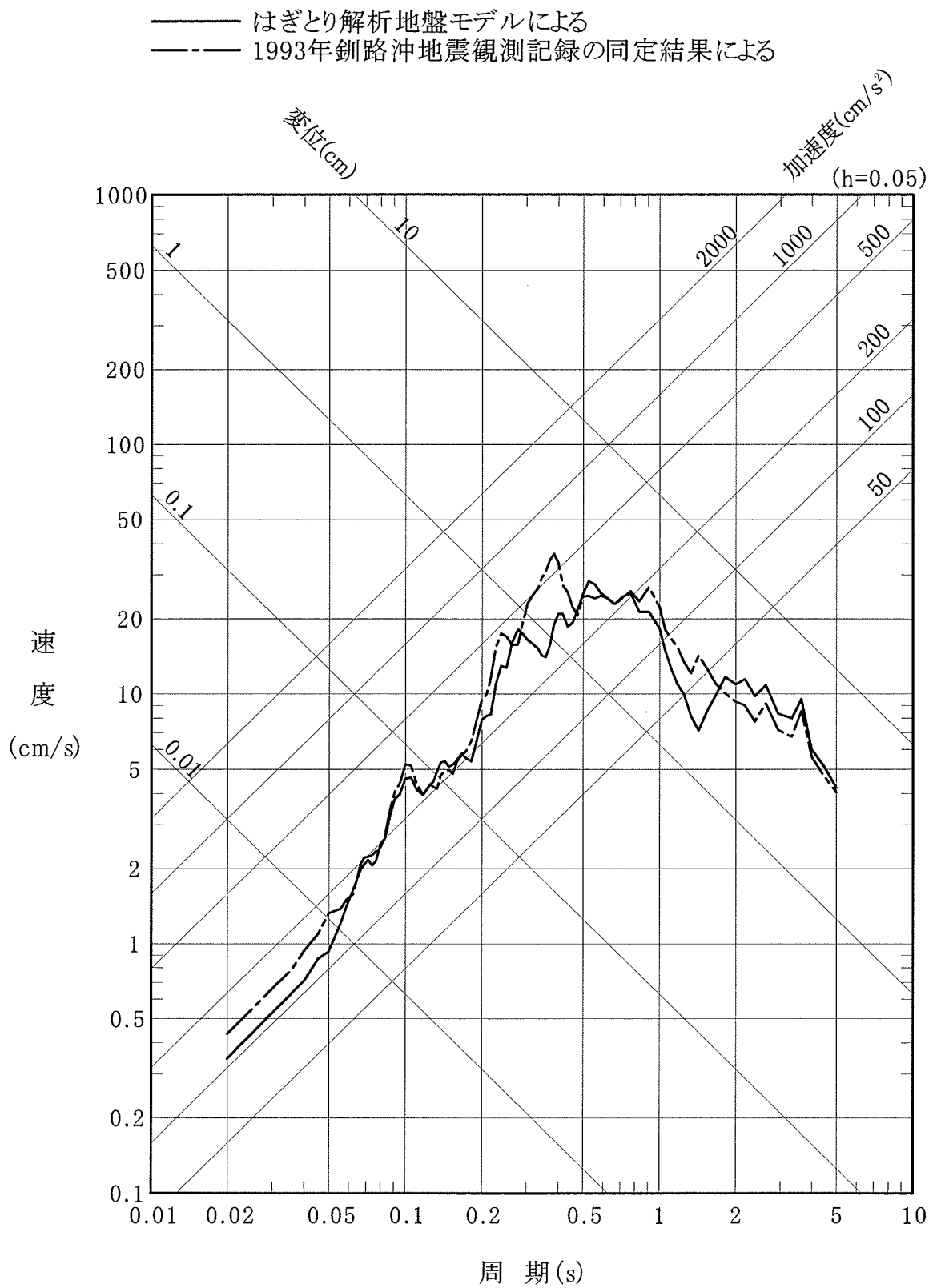


図-10(2) 1993年釧路沖地震観測記録のはぎとり波の応答スペクトル(EW成分)

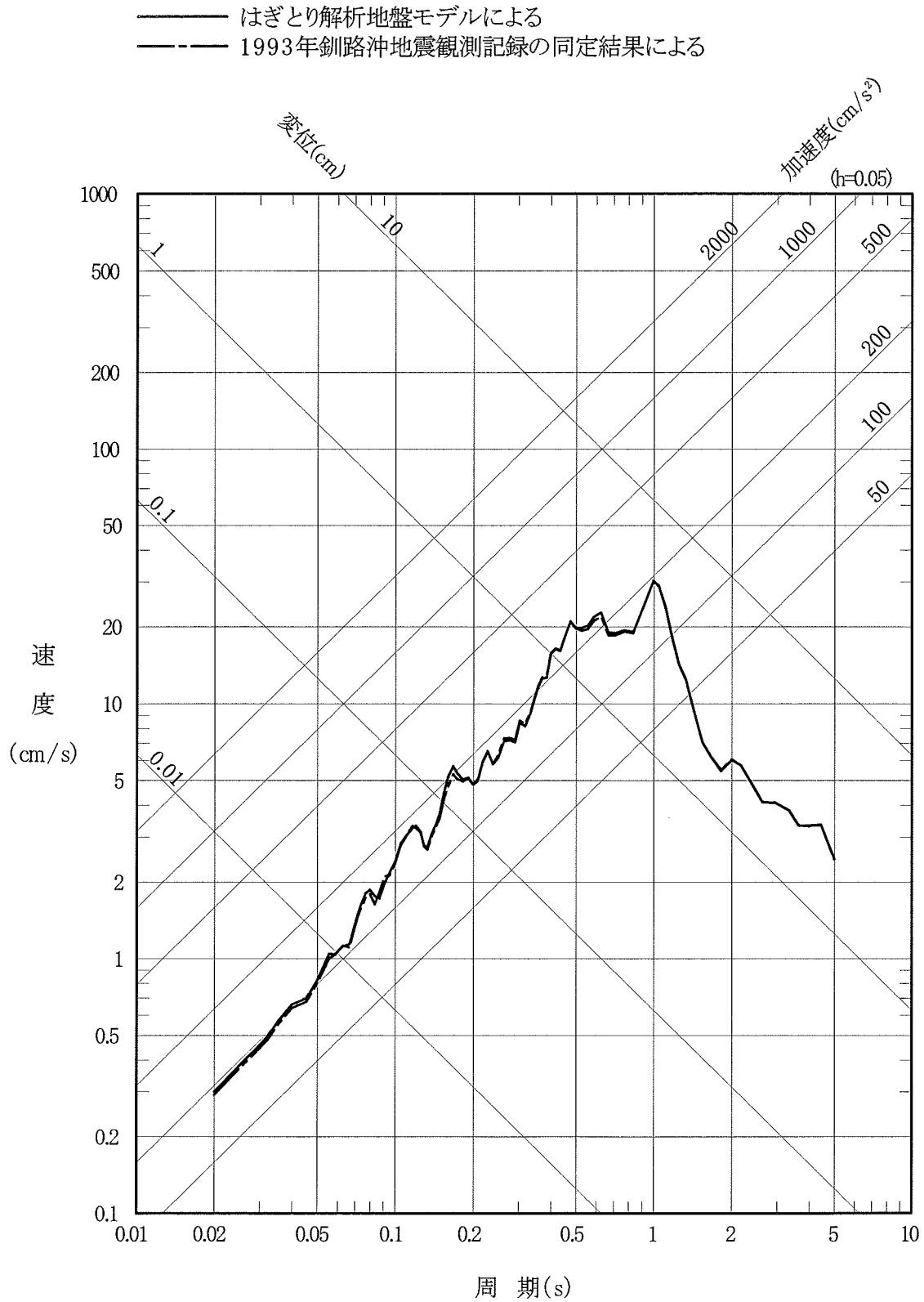
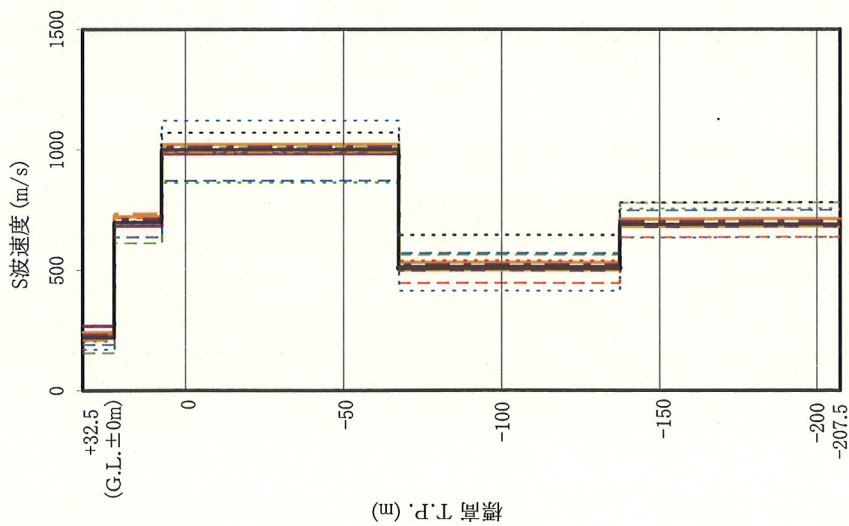
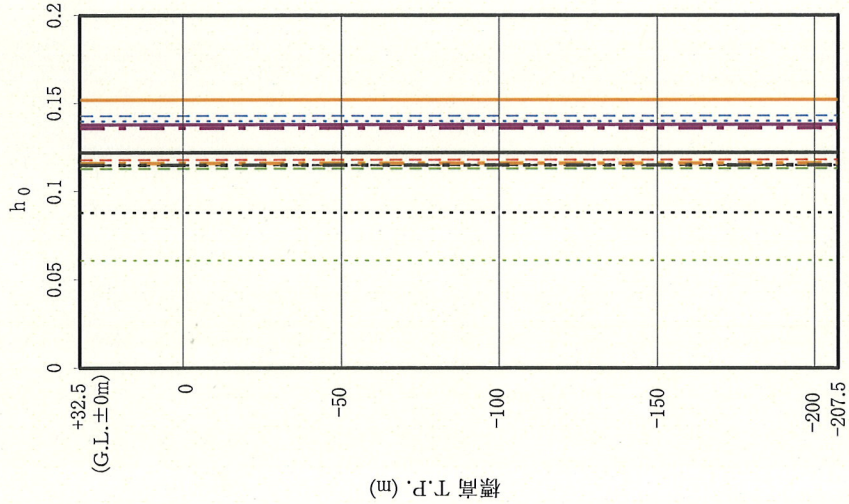


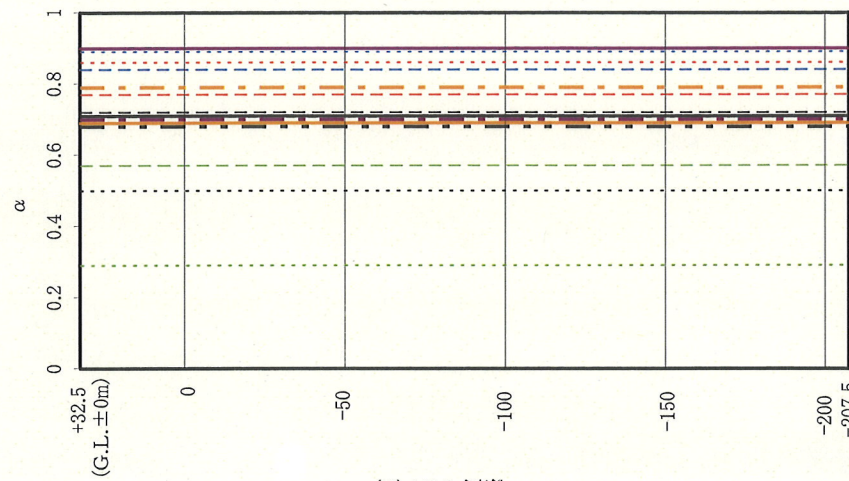
図-10(3) 1993年釧路沖地震観測記録のはぎとり波の応答スペクトル(鉛直成分)



— S波速度: PS換層結果



標高 T.P. (m)

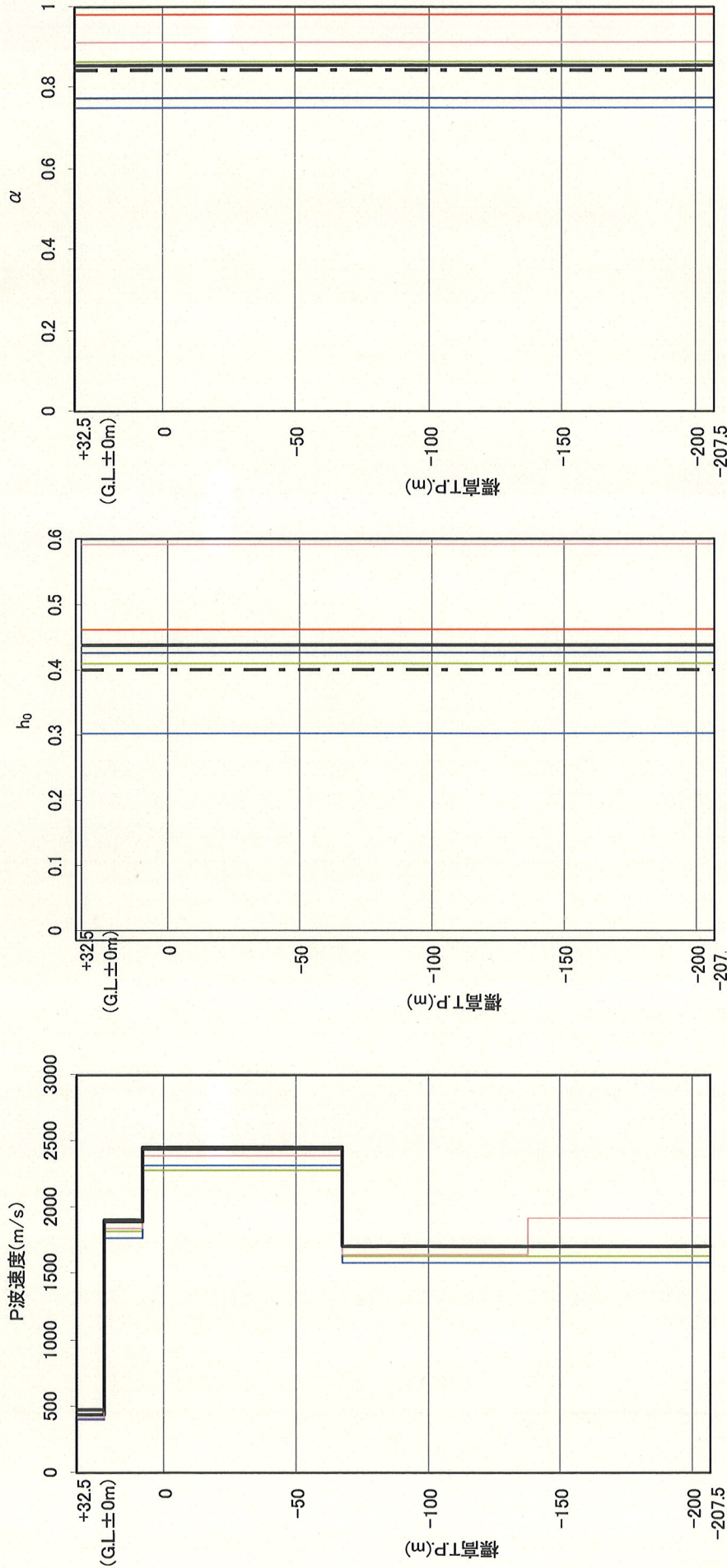


標高 T.P. (m)

- 1993年釧路沖地震(NS成分)
- 1993年北海道南西沖地震(NS成分)
- 1994年北海道東方沖地震(NS成分)
- 1994年三陸沖沖地震(NS成分)
- 2003年宮城県沖の地震(NS成分)
- 2003年十勝沖地震(NS成分)
- 減衰定数: 平均値(6地震・2成分)
- 1993年釧路沖地震(EW成分)
- 1993年北海道南西沖地震(EW成分)
- 1994年北海道東方沖地震(EW成分)
- 1994年三陸沖沖地震(EW成分)
- 2003年宮城県沖の地震(EW成分)
- 2003年十勝沖地震(EW成分)
- 減衰定数: 平均値(4地震・2成分)

※4地震とは、1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震、1994年三陸沖地震を示す。
 ※6地震とは、4地震に2003年宮城県沖の地震、2003年十勝沖地震を加えた6地震を示す。

図-11(1) S波速度と減衰定数の同定結果(水平成分)



※ 4 地震とは、1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震、1994年三陸はるか沖地震を示す。
 ※ 5 地震とは、4 地震に 2003 年十勝沖地震を加えた 5 地震を示す。

図-11 (2) P 波速度と減衰定数の同定結果 (鉛直成分)

表-5(1) 6地震による同定解析結果(水平成分)

同定解析条件			同定解析結果(平均値)		
層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm ³)	PS検層結果 (m/s)	S波速度*1 (m/s)	減衰定数 h(f)*1	
				h ₀	α
10	1.59	220	215 (202)	0.122 (0.115)	0.71 (0.68)
15	1.90	700	691 (680)		
75	2.06	1000	994 (990)		
70	1.51	510	522 (526)		
70	1.52	690	708 (715)		
▽解放基盤相当位置(T.P.-207.5m)					
—	1.61	850	850		

減衰定数 : $h(f)=h_0f^{-\alpha}$

層厚, 層数 : PS 検層による

単位体積重量 : ボーリングコアの岩石試験結果による

*1) ()内は 4 地震(1993 年釧路沖地震,1993 年北海道南西沖地震,

1994 年北海道東方沖地震,1994 年三陸はるか沖地震)の同定結果の平均値を示す。

表-5(2) 5地震による同定解析結果(鉛直成分)

同定解析条件			同定解析結果(平均値)		
層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm ³)	PS検層結果 (m/s)	P波速度*1 (m/s)	減衰定数 h(f)*1	
				h ₀	α
10	1.59	470	424 (426)	0.438 (0.400)	0.85 (0.84)
15	1.90	1890	1844 (1846)		
75	2.06	2440	2375 (2372)		
70	1.51	1700	1654 (1656)		
70	1.52	1700	1707 (1656)		
▽解放基盤相当位置(T.P.-207.5m)					
—	1.61	2200	2200		

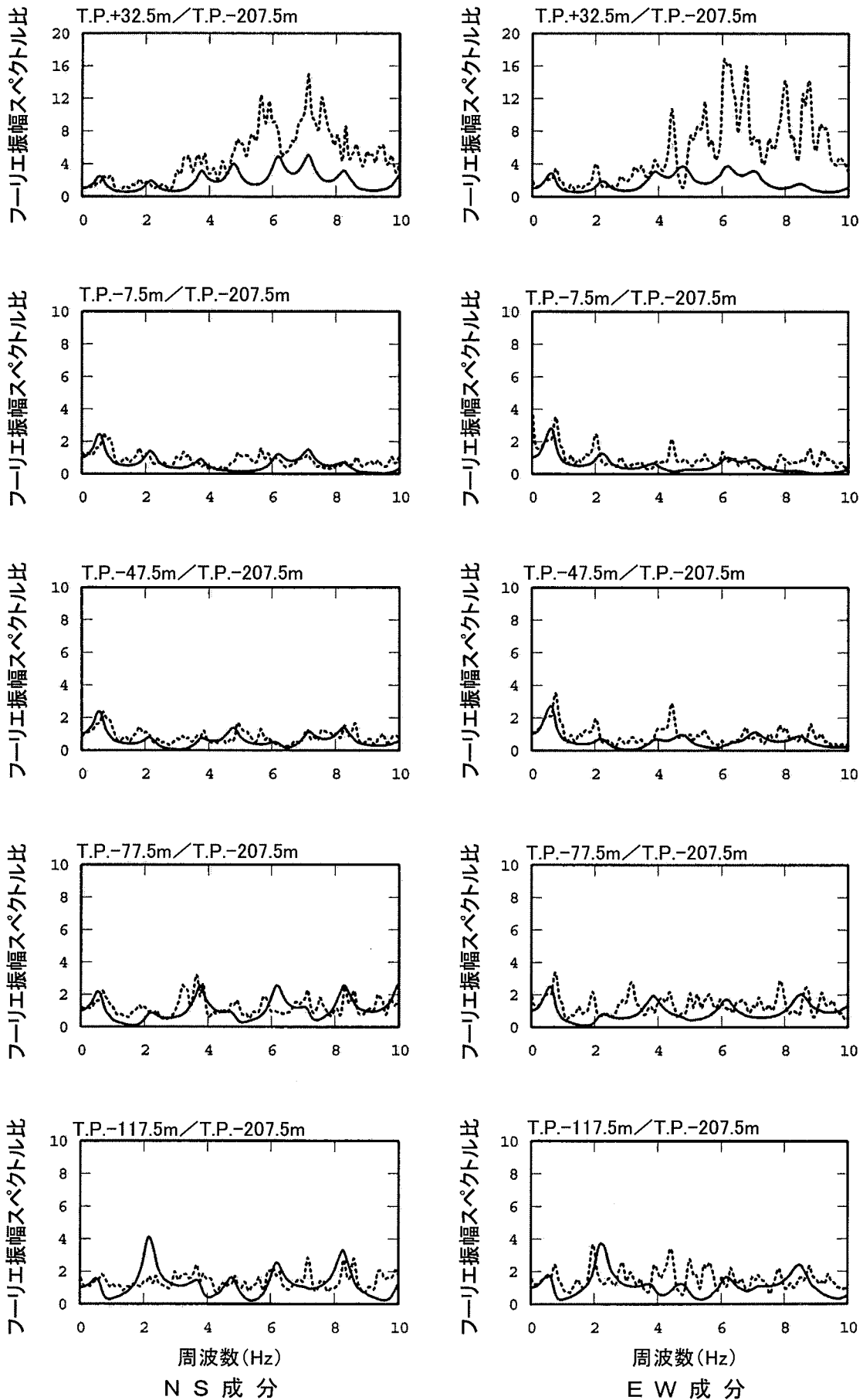
減衰定数 : $h(f)=h_0f^\alpha$

層厚, 層数 : PS 検層による

単位体積重量 : ボーリングコアの岩石試験結果による

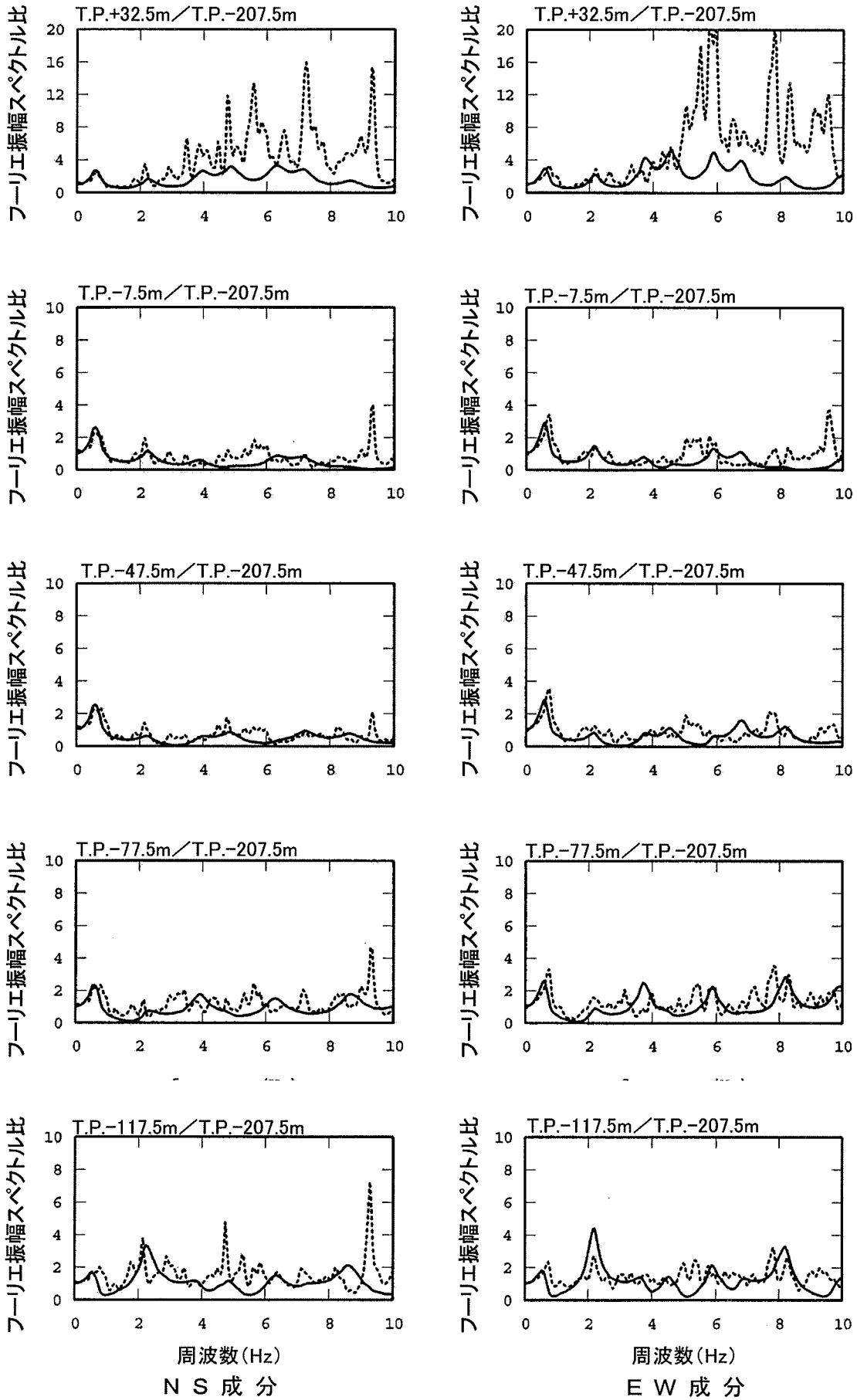
*1) ()内は 4 地震(1993 年釧路沖地震,1993 年北海道南西沖地震,

1994 年北海道東方沖地震,1994 年三陸はるか沖地震)の同定結果の平均値を示す。



----- : 2003年宮城県沖の地震観測記録のフーリエ振幅スペクトル比
 ————— : 同定された地盤モデルによるフーリエ振幅スペクトル比

図-12 同定解析結果と観測記録の比較(2003年宮城県沖の地震, 水平成分)



----- : 2003 年十勝沖地震観測記録のフーリエ振幅スペクトル比
 ————— : 同定された地盤モデルによるフーリエ振幅スペクトル比

図-13(1) 同定解析結果と観測記録の比較(2003 年十勝沖地震, 水平成分)

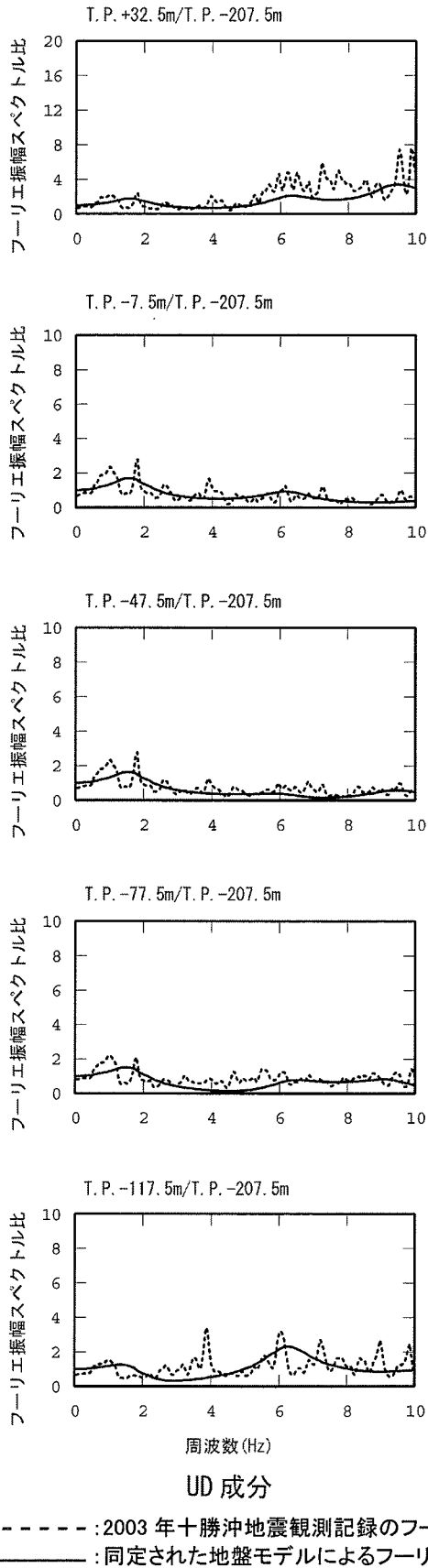


図-13(2) 同定解析結果と観測記録の比較 (2003年十勝沖地震, 鉛直成分)

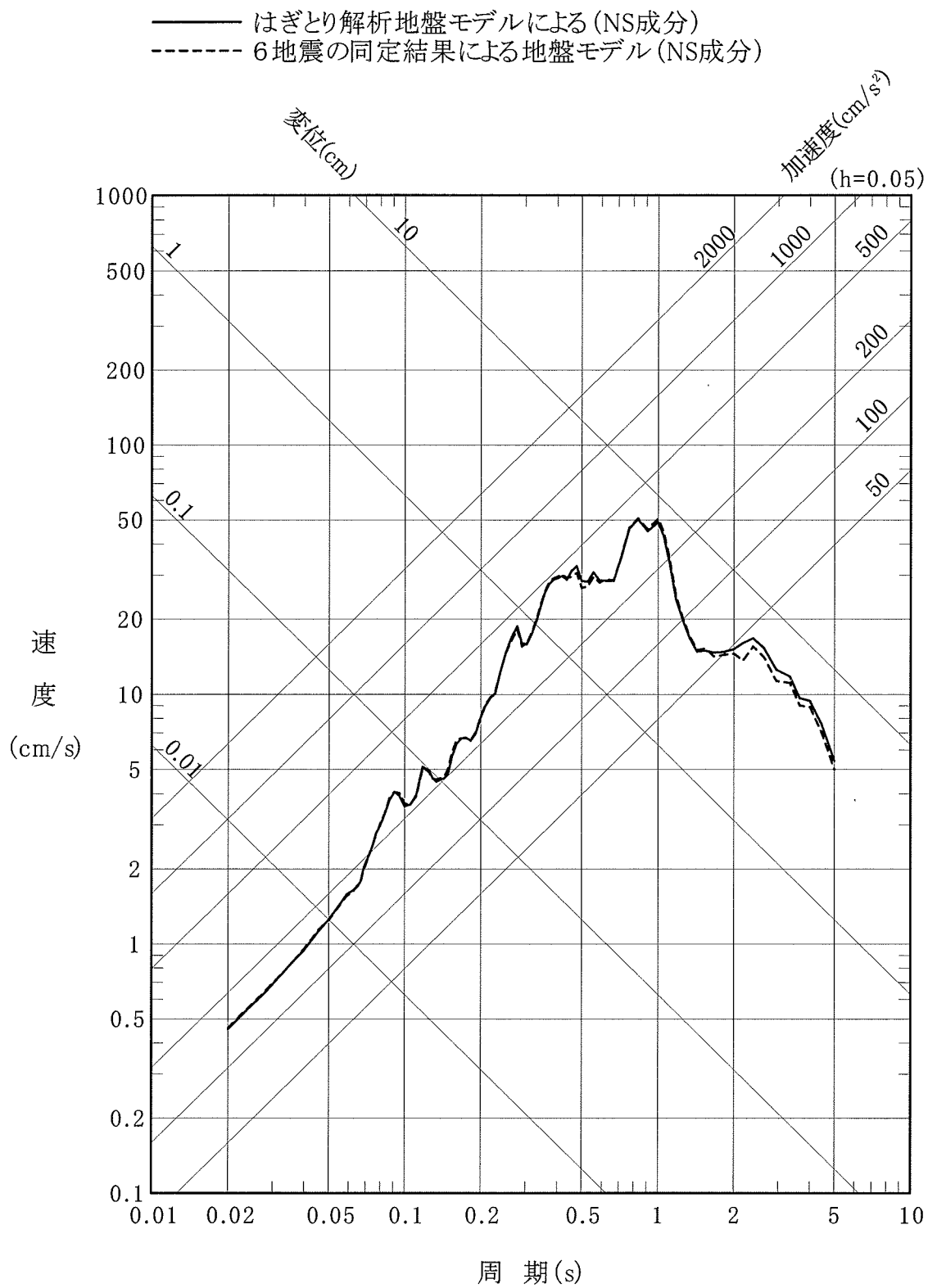


図-14(1) 1993年釧路沖地震観測記録のはぎとり波の応答スペクトル(NS成分)

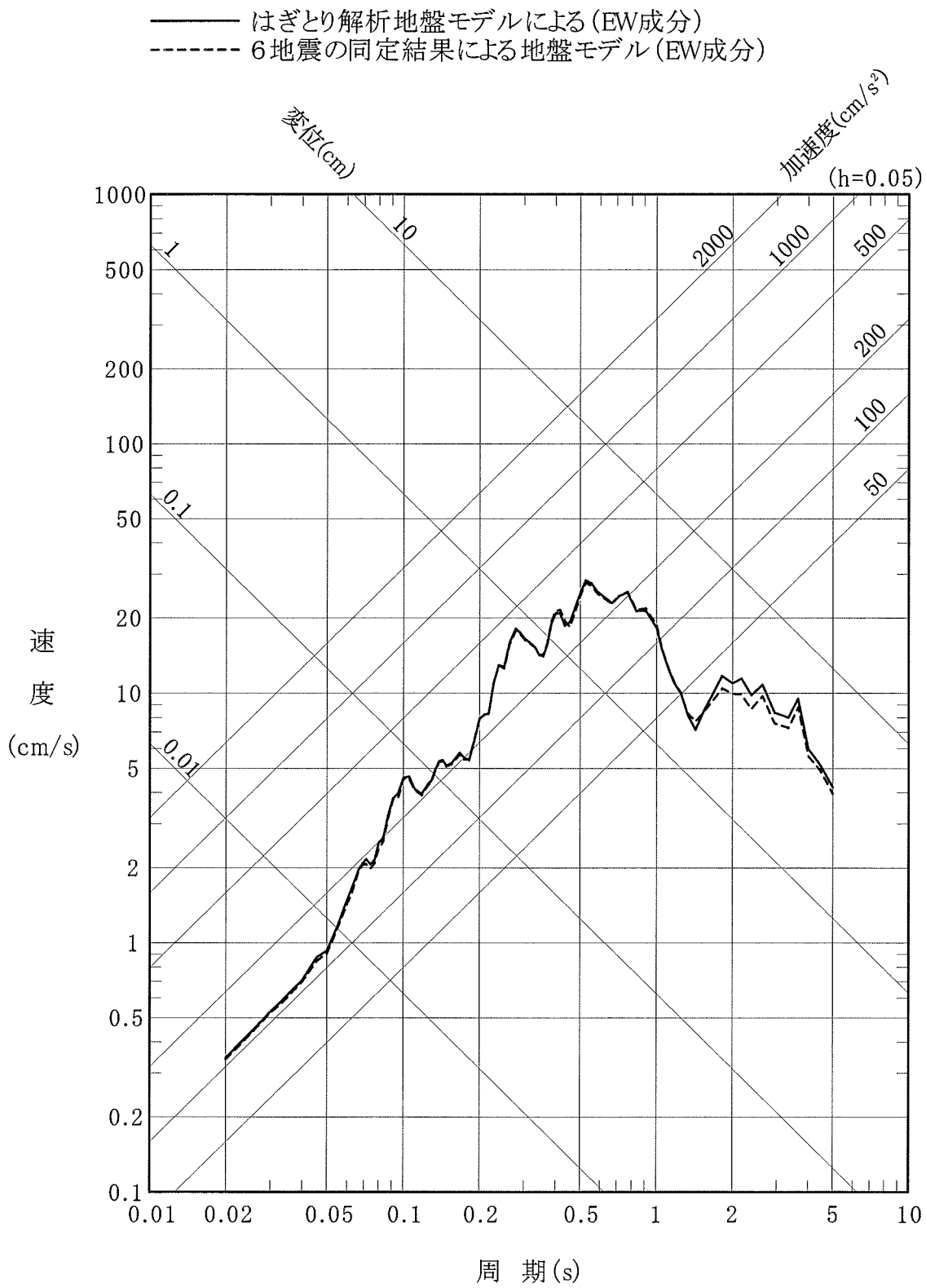


図-14(2) 1993年釧路沖地震観測記録のはぎとり波の応答スペクトル(EW成分)

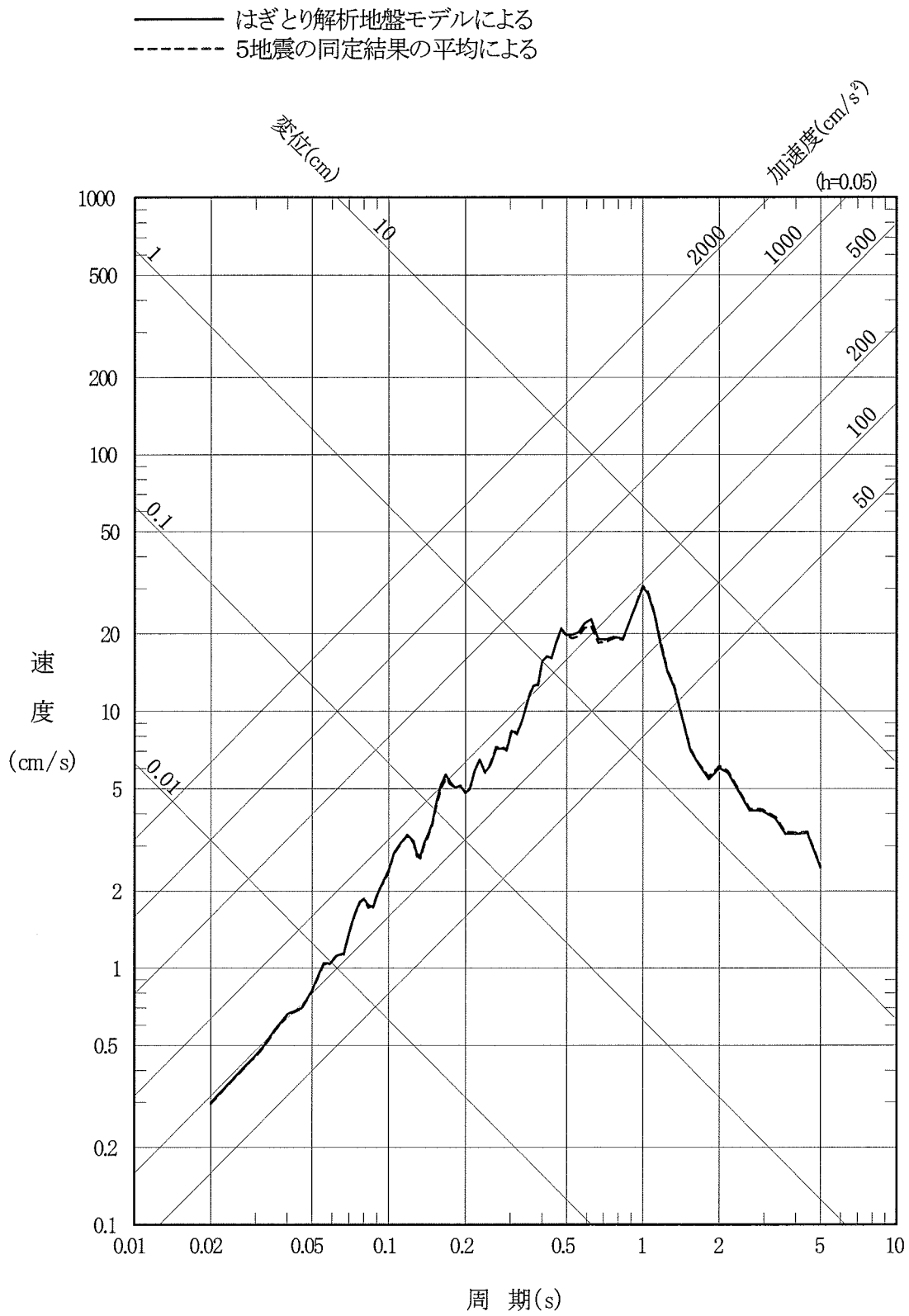


図-14(3) 1993年 釧路沖地震観測記録のはぎとり波の応答スペクトル(鉛直成分)