

電源開発株式会社
大間原子力発電所

1993年釧路沖地震のはぎとり解析について

平成16年8月
原子力発電安全審査課

はざとり解析に用いる解放基盤相当位置以浅の地盤のせん断波速度及び減衰定数は、大間地点で観測された代表的な地震記録の同定解析に基づき設定している。以下では、1993年釧路沖地震観測記録のはざとり解析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NS成分及びEW成分の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。

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	やや深いプレート内地震(やや深発地震)
1993年北海道南西沖地震	7.8	201	日本海側のプレート境界地震
1994年北海道東方沖地震	8.2	594	浅いプレート内地震
1994年三陸はるか沖地震	7.6	267	太平洋側のプレート境界地震

(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。以下に概要を示す。

① せん断波速度の初期値は、PS検層結果を基に表-2のように設

定する。なお、T.P.-207.5m以深のせん断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PS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1Hz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 せん断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 は未知数であるせん断波速度と減衰定数、 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 0.2Hz 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, せん断波速度がPS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地震について成分毎に同定されたせん断波速度及び減衰定数 $h(h_0 f^{-\alpha})$ を図-5 及び表-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せん断波速度及び減衰定数について、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 せん断波速度

せん断波速度の同定値は、図-5 及び表-3 に示すように、4地震について同定されたせん断波速度のばらつきが小さく、平均値はPS検層結果とほぼ等しいことから、PS検層によって得られたせん断波速度を用いる。

② 減衰定数

減衰定数の同定値は、図-5 及び表-3 に示すように、 h_0 は約 0.06~0.14、 α は約 0.3~0.9 の範囲にあり、これらの平均値($h_0 = 0.115$, $\alpha = 0.68$)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。同図に示すように、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、設計用応答スペクトル S_1-D を上回らないことを確認している。なお、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はぎとり解析結果も図-10 に示すように、設計用応答スペクトル S_1-D を上回らないことを確認

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、最近の地震である2003年宮城県沖の地震(M7.1, $\Delta = 305\text{km}$)及び2003年十勝沖地震(M8.0, $\Delta = 266\text{km}$)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。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。

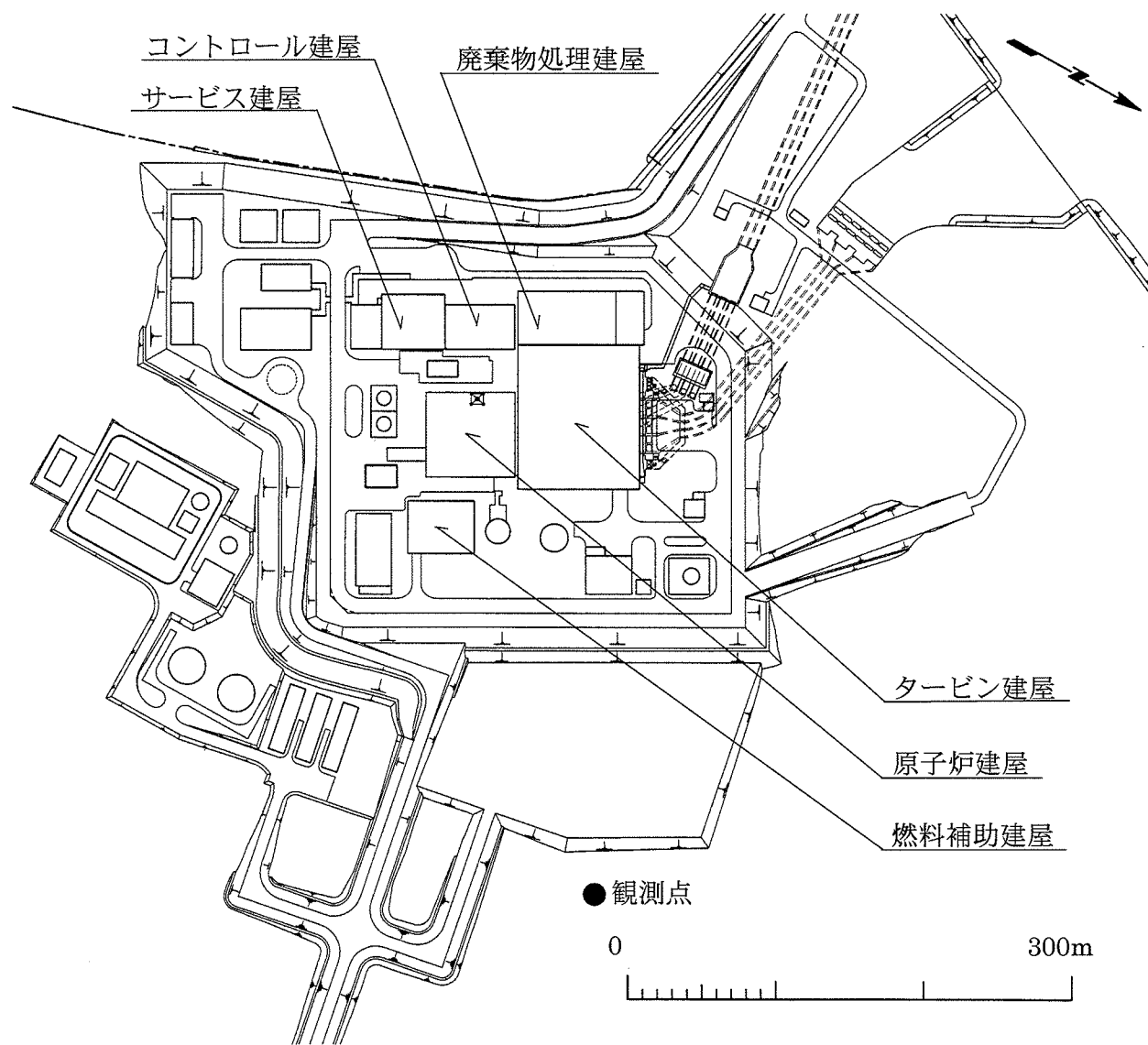
図-11 及び表-5 に示すとおり、2003年宮城県沖の地震及び2003年十勝沖地震の同定解析により得られたせん断波速度はPS検層結果とほぼ等しく、減衰定数は4地震の減衰定数とほぼ同等の範囲内にあることから、同定結果は4地震の同定解析結果とおおむね同等であるとしている。

また、せん断波速度をPS検層結果、減衰定数を4地震に上述の2地震を加えた6地震の平均値($h_0 = 0.122$, $\alpha = 0.71$)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ざ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。

以上により、申請者が実施した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された地盤定数を用いた 1993 年釧路沖地震観測記録のはぎとり解析結果は、妥当なものと考えられる。

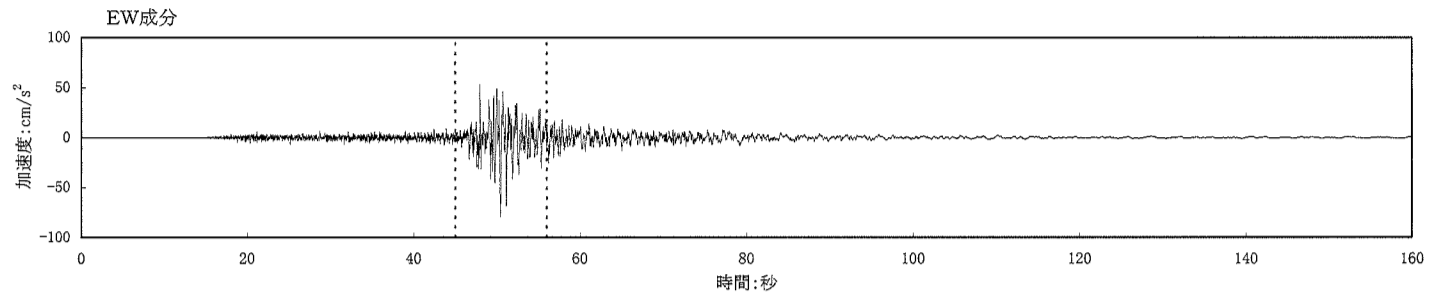
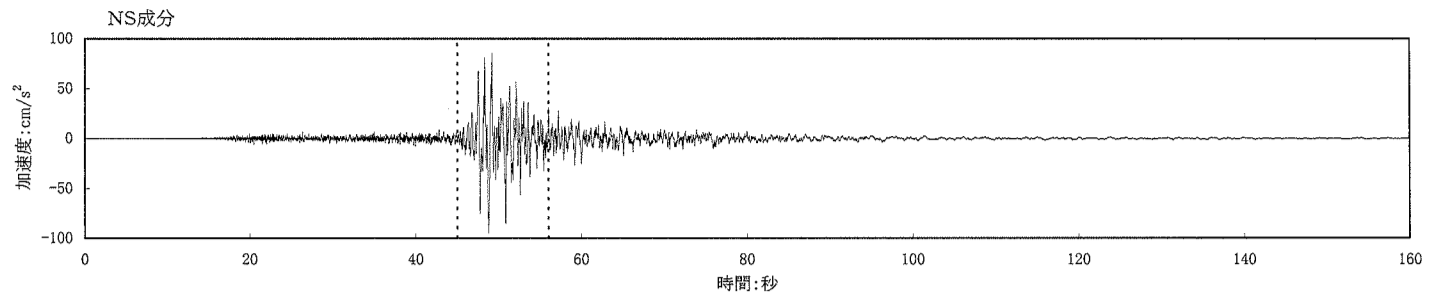
参考文献

- (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

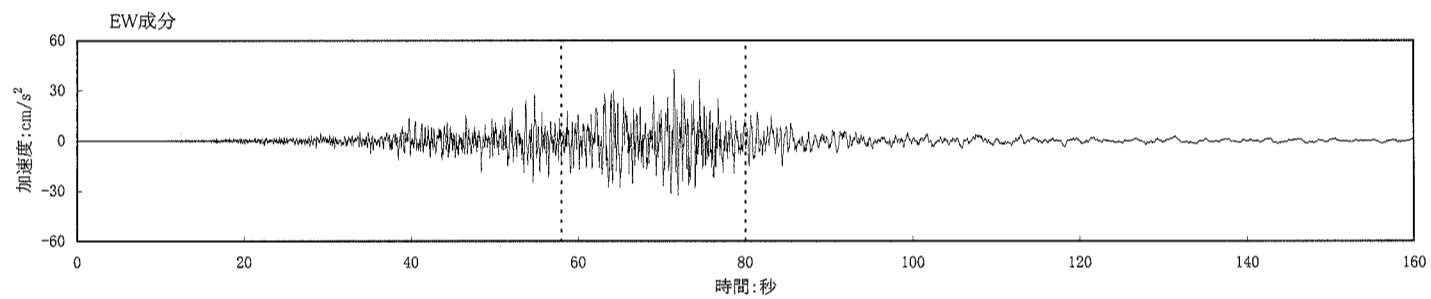
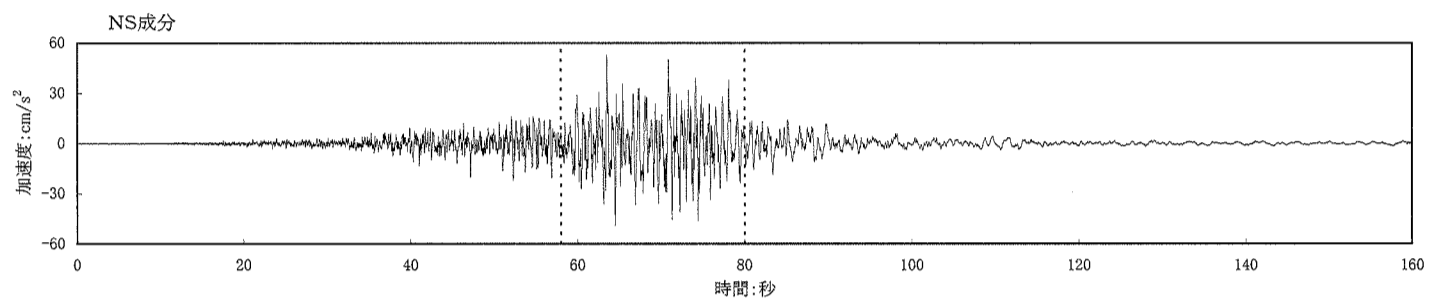


標高 T.P. (m)	地震計	地層
+32.5	GL±0 (m)	
		第四系
		易国間層上部層
-7.5	○	
		易国間層下部層
-47.5	○	
		大間層
-77.5	○	
-117.5	○	
-207.5	○	

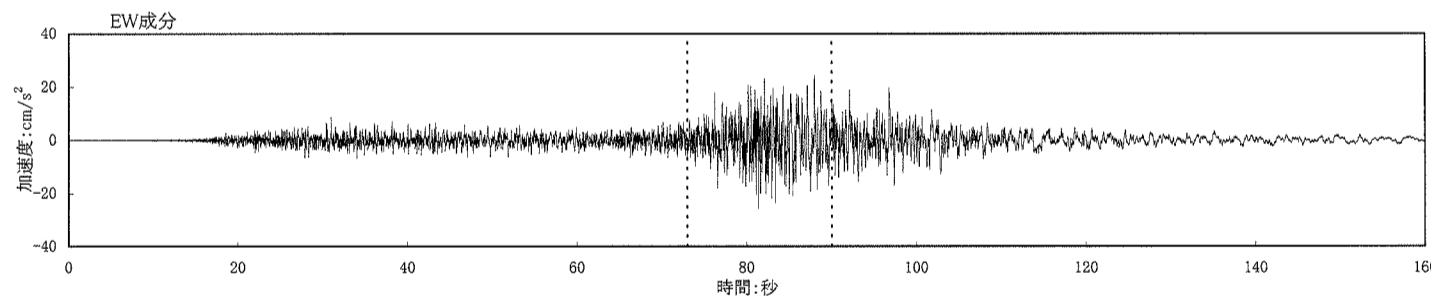
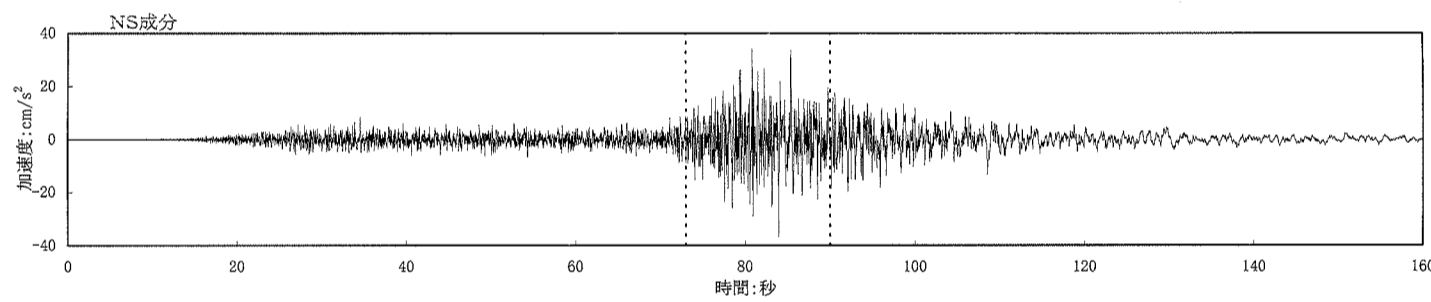
図-1 地震観測点



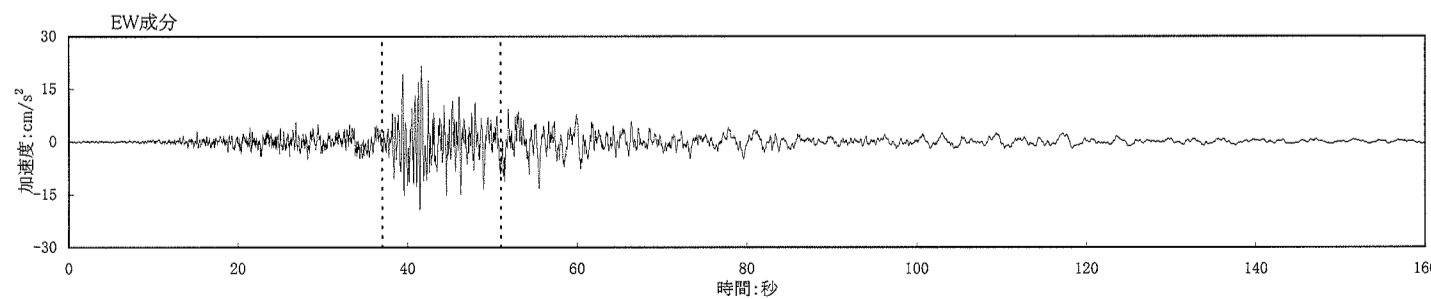
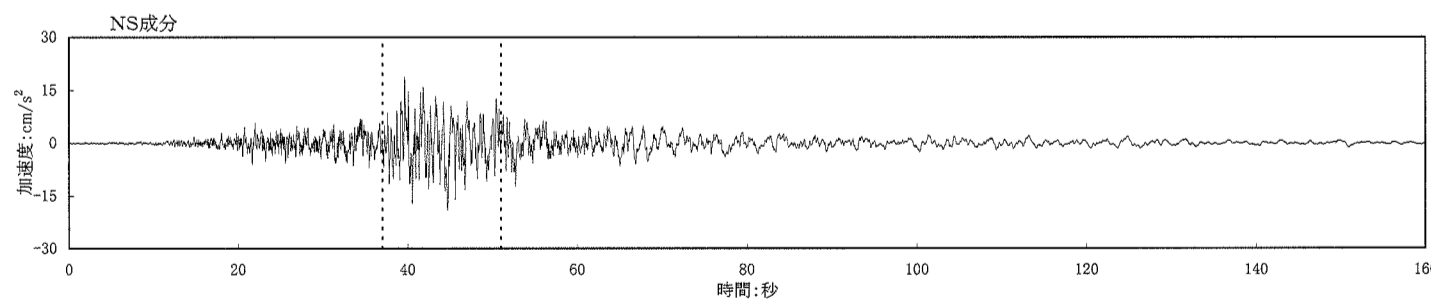
(a) 1993年釧路沖地震



(b) 1993年北海道南西沖地震



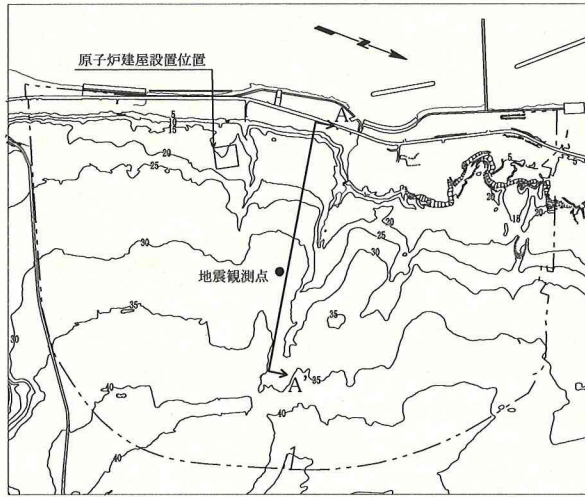
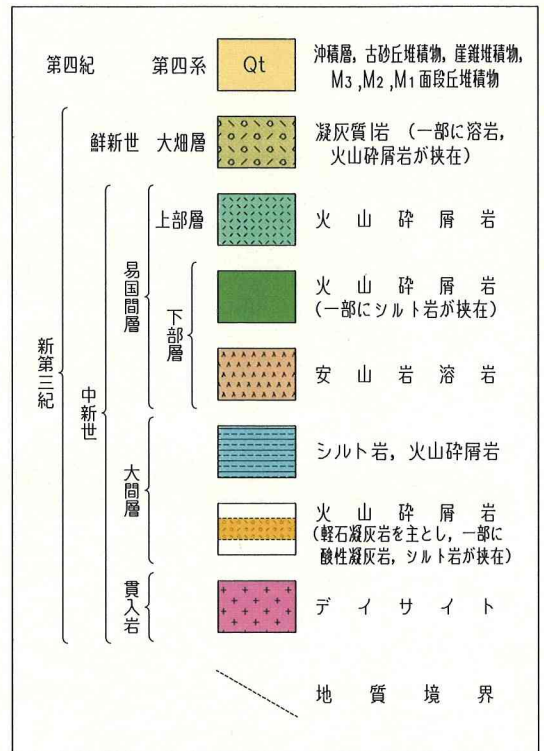
(c) 1994年北海道東方沖地震



(d) 1994年三陸はるか沖地震

図-2 解析に用いた地震観測記録の加速度波形 (T.P.-207.5m)
(点線は解析区間を示す。)

凡 例



断面位置図

0 500m

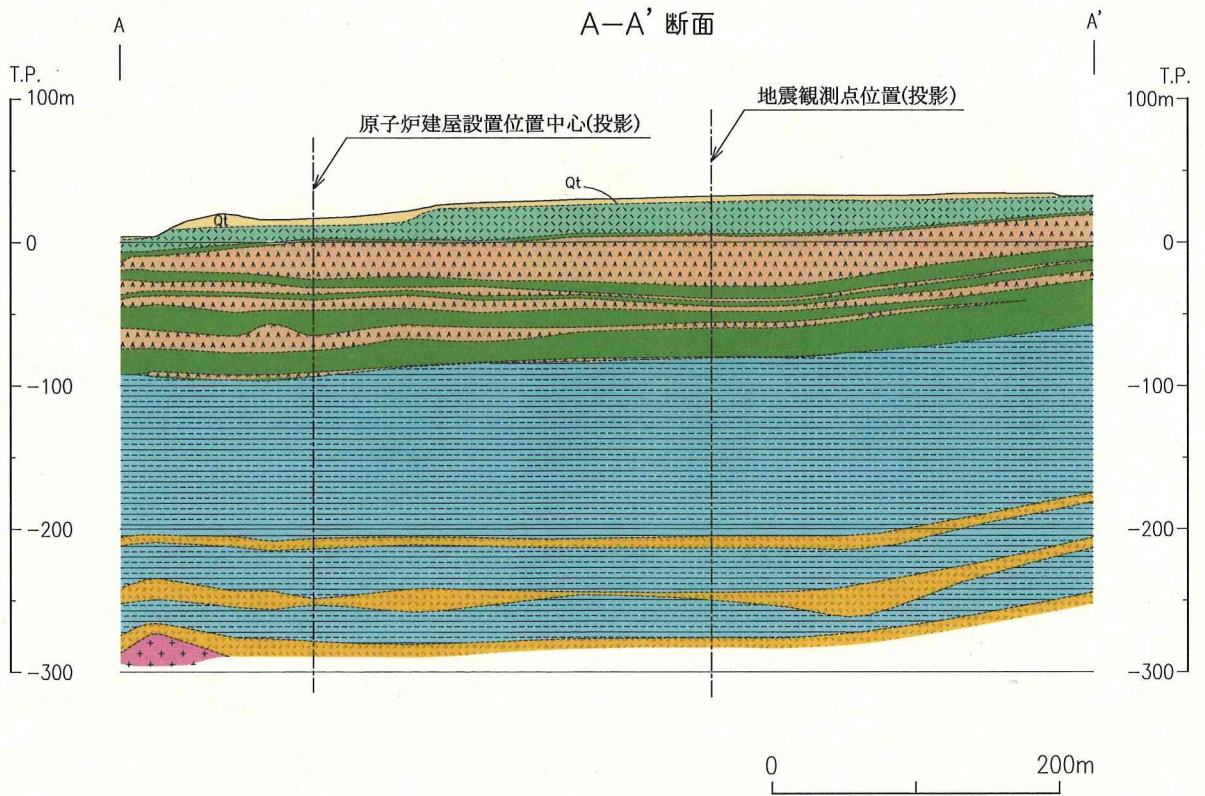


図-3 地震観測点の地質断面図

表-2 同定解析に用いる地盤モデル

T.P.(m)	層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm ³)	せん断波速度 (m/s)
観測点 +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

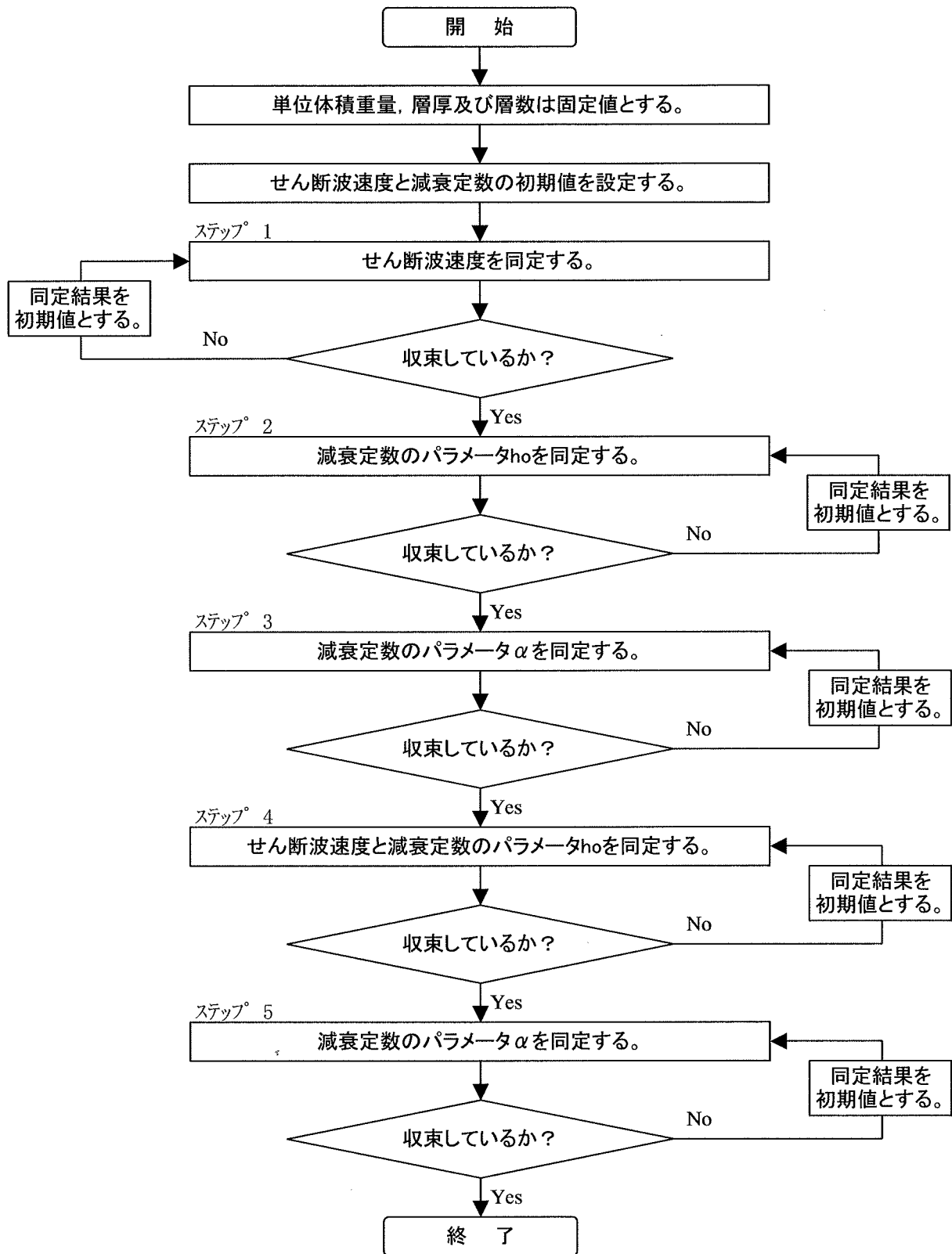


図-4 フーリエ振幅スペクトル比毎のせん断波速度及び減衰定数の同定解析手順

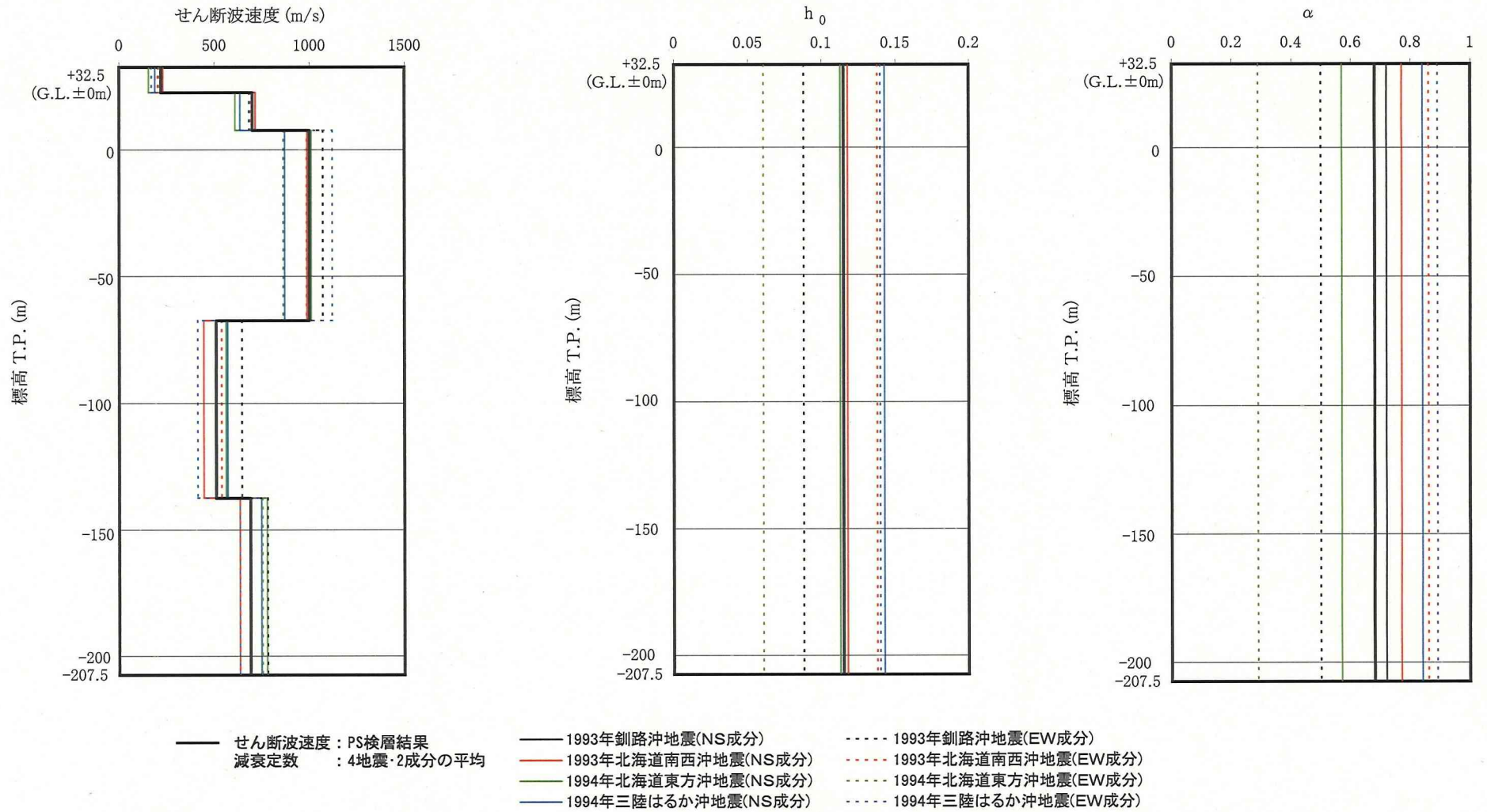


図-5 せん断波速度と減衰定数の同定結果

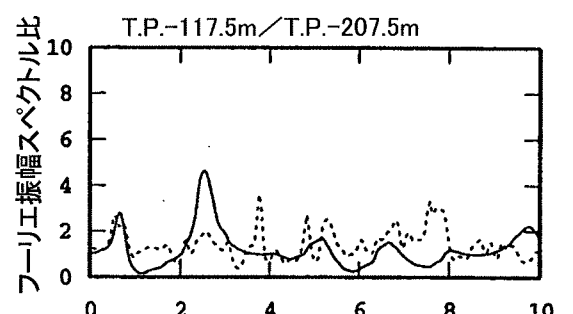
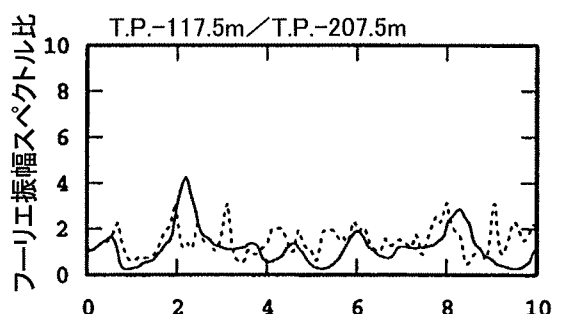
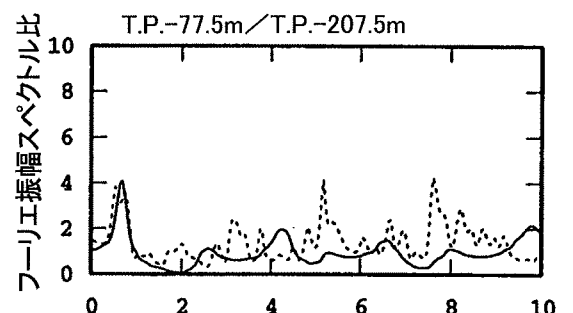
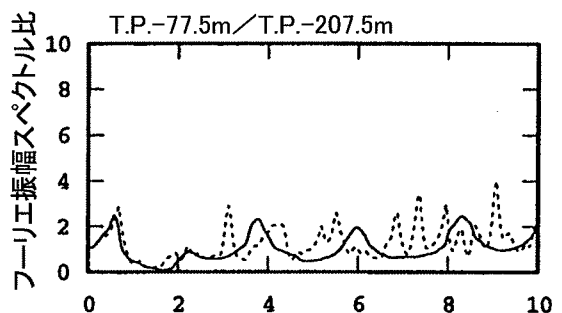
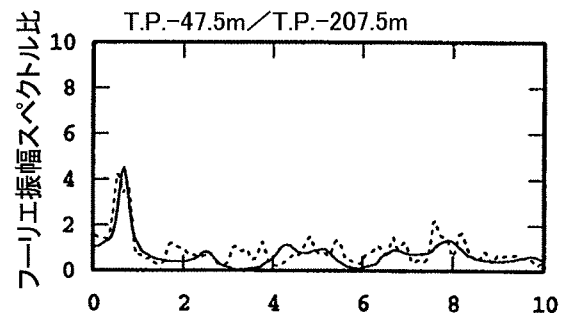
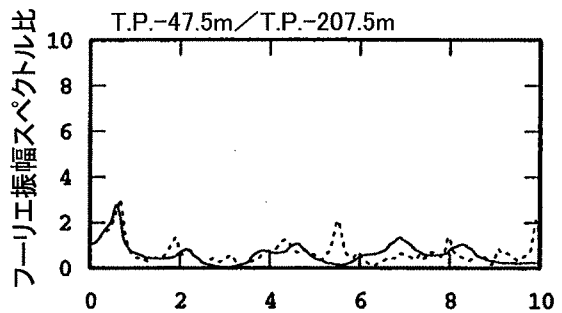
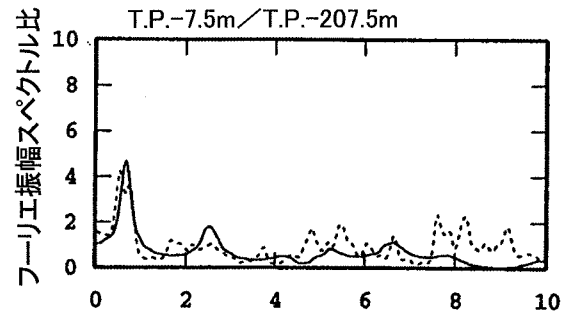
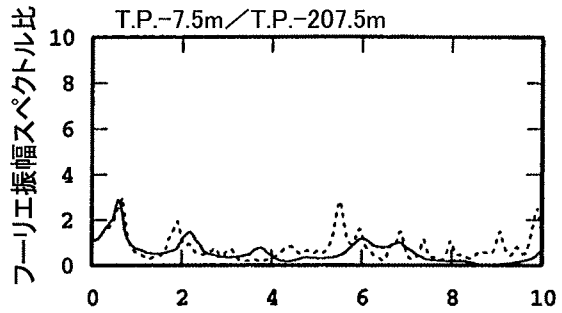
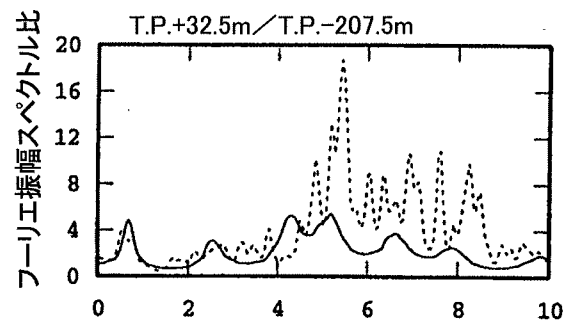
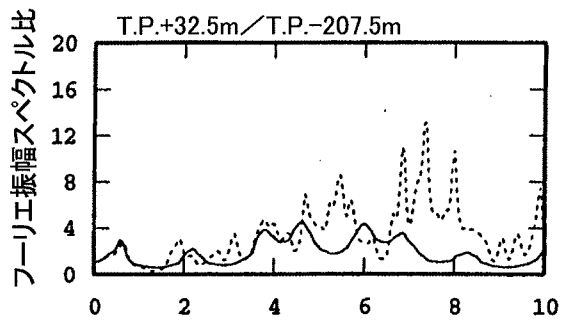
表-3 同定解析結果

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)	せん断波速度 (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 : $h(f)=h_0f^{-\alpha}$

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

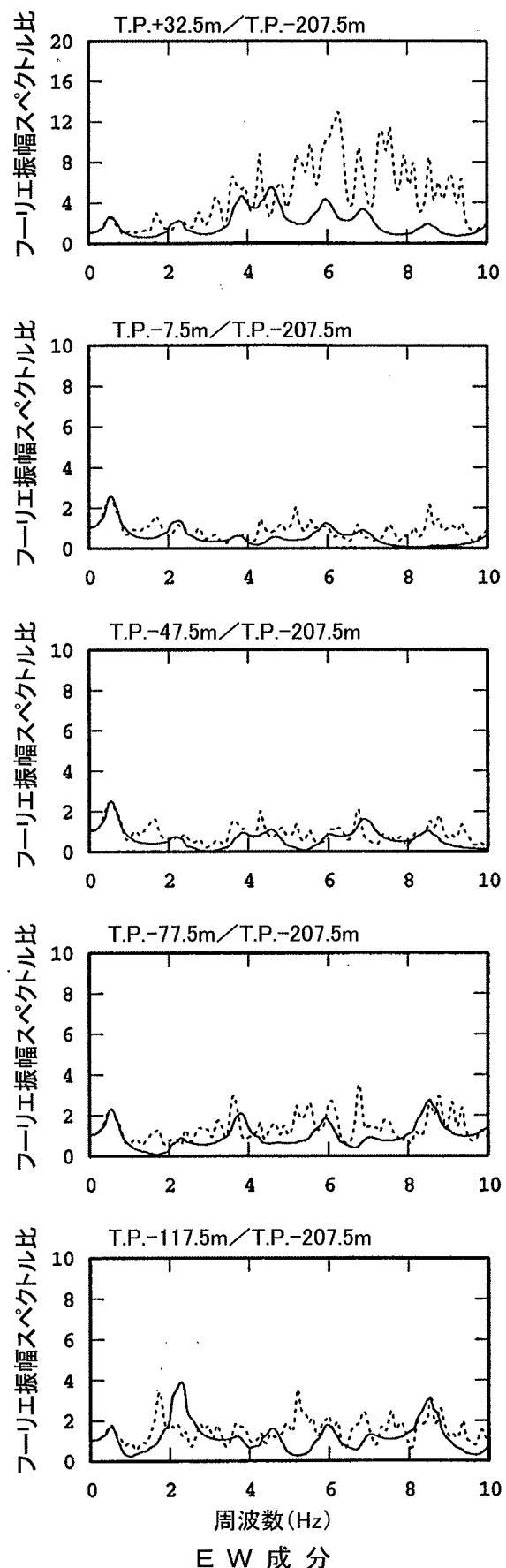
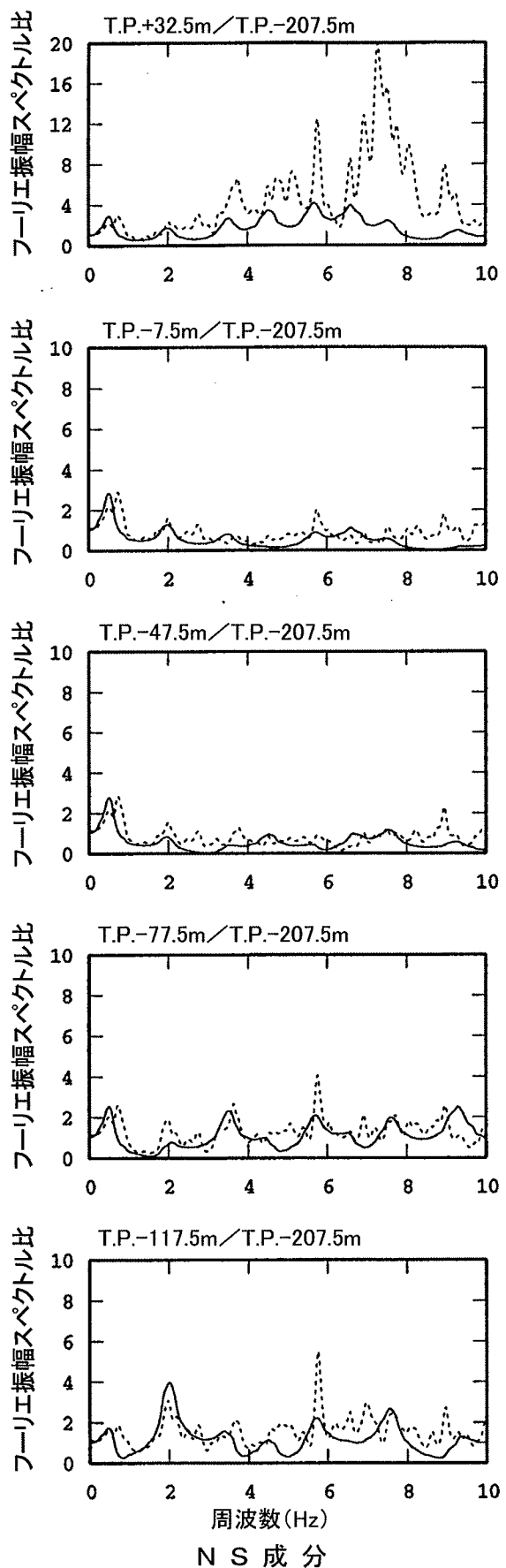


周波数(Hz)
NS 成分

周波数(Hz)
EW 成分

破線: 1993年釧路沖地震観測記録のフーリエ振幅スペクトル比
実線: 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 同定結果(1993年釧路沖地震)

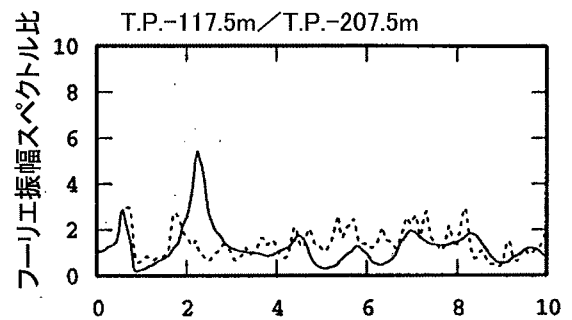
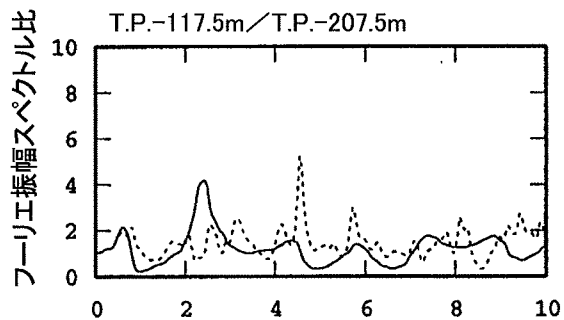
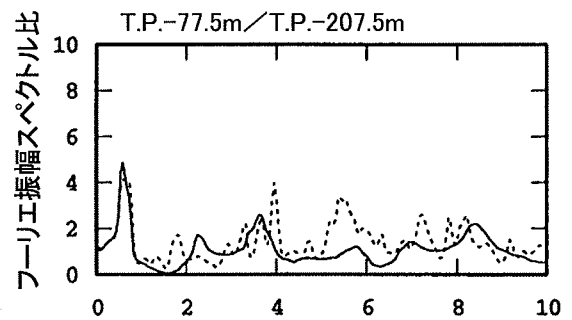
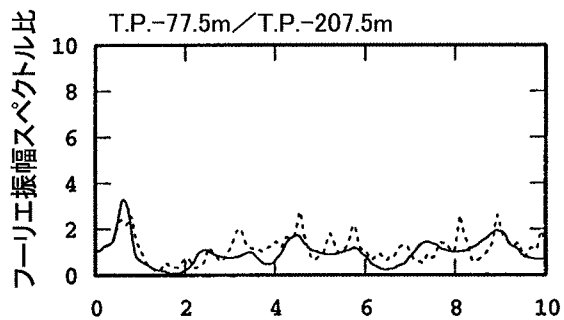
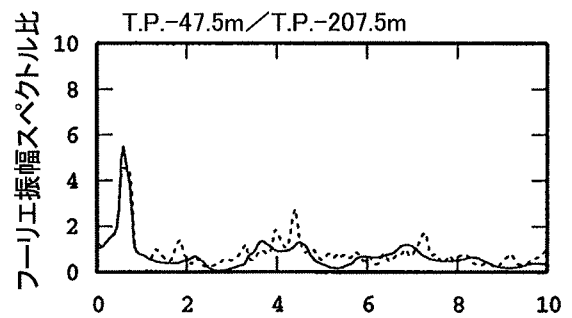
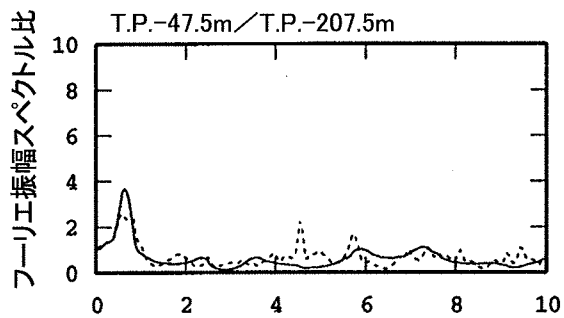
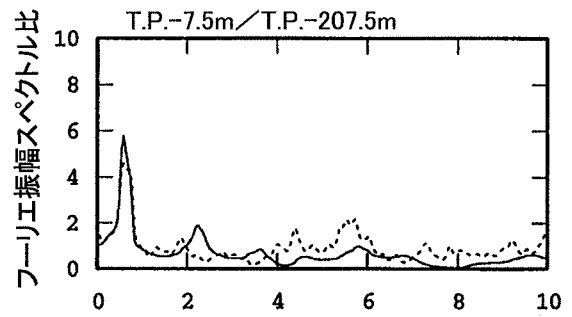
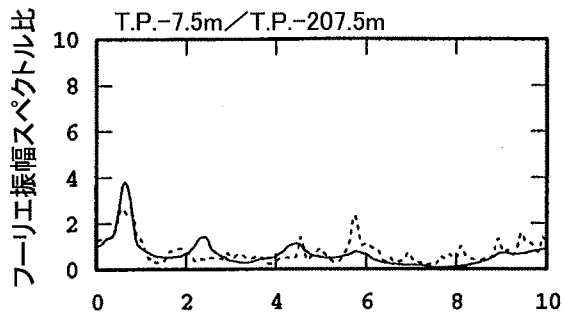
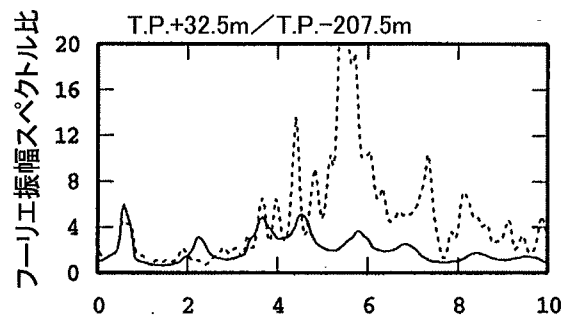
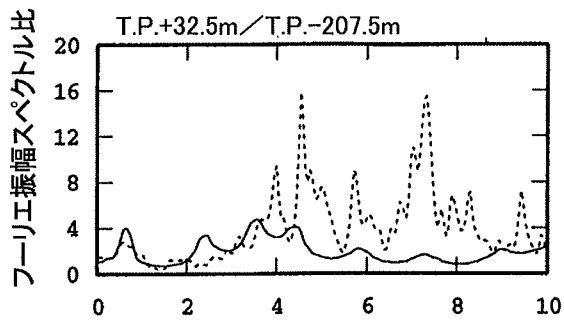


周波数 (Hz)
N S 成分

周波数 (Hz)
E W 成分

破線: 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
実線: 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 同定結果(1993年北海道南西沖地震)



周波数 (Hz)

NS 成分

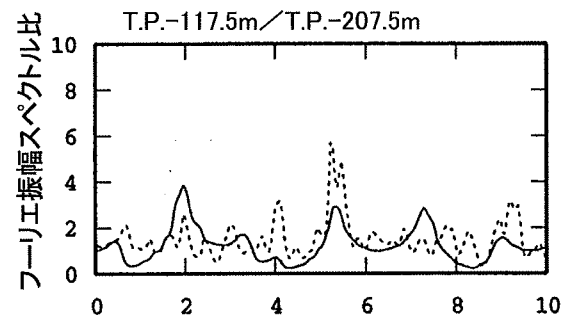
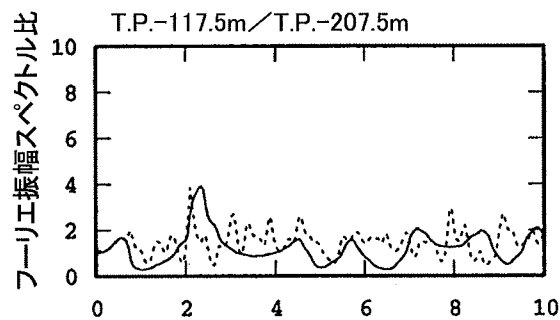
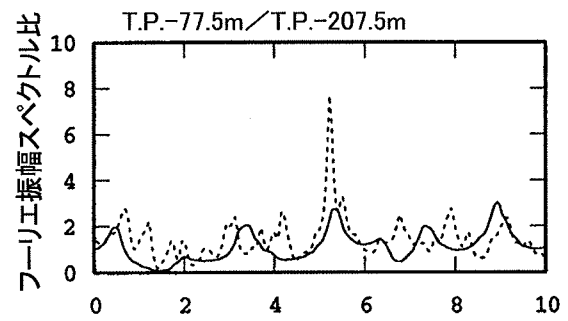
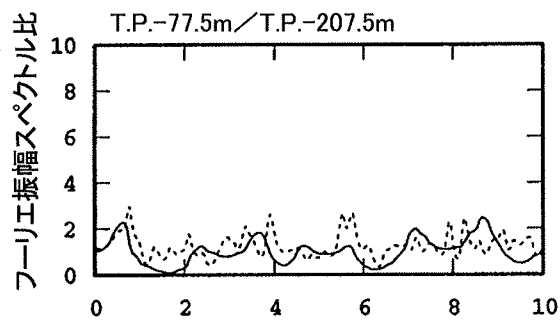
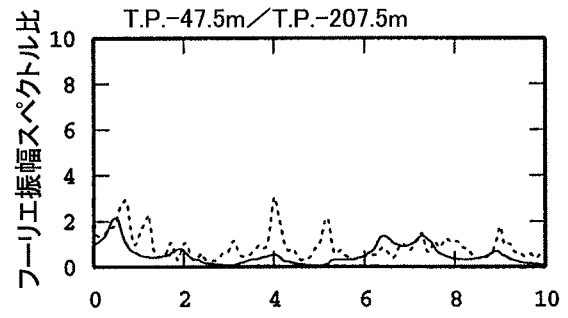
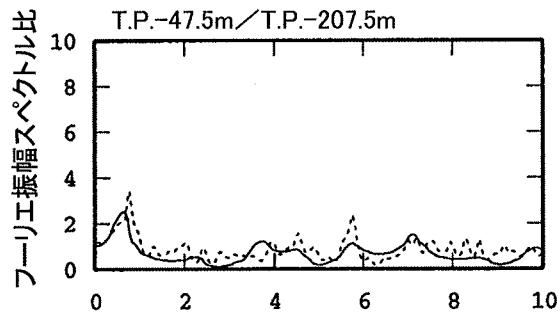
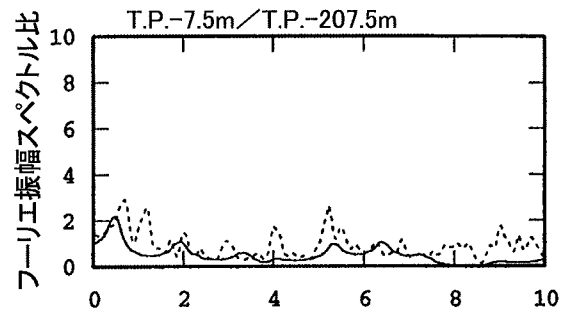
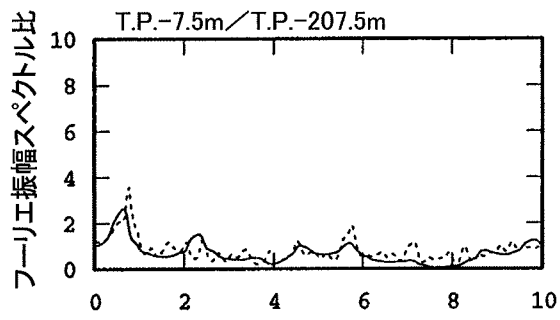
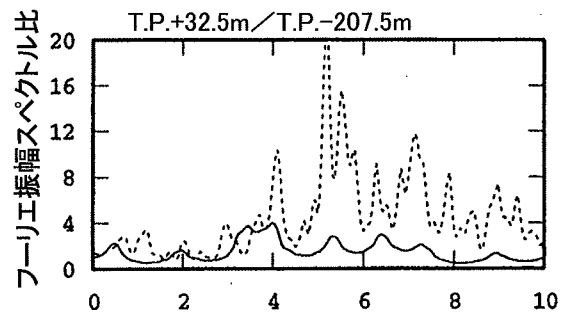
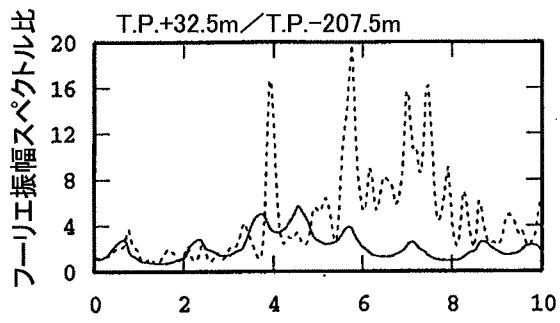
周波数 (Hz)

EW 成分

破線: 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

実線: 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 同定結果(1994年北海道東方沖地震)



周波数(Hz)

周波数(Hz)

NS 成分

EW 成分

破線: 1994年三陸はるか沖地震観測記録のフーリエ振幅スペクトル比
 実線: 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-9 同定結果(1994年三陸はるか沖地震)

表-4 はぎとり解析用地盤モデル

層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm ³)	せん断波速度 (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
 せん断波速度, 減衰定数: 同定解析による

- 1993年釧路沖地震
観測記録のはぎとり波
- ① 表-4の地盤モデルによる(NS成分)
 - ② 表-4の地盤モデルによる(EW成分)
 - ③ 1993年釧路沖地震観測記録の同定結果による(NS成分)
 - ④ 1993年釧路沖地震観測記録の同定結果による(EW成分)
 - 設計用応答スペクトル S_1-D

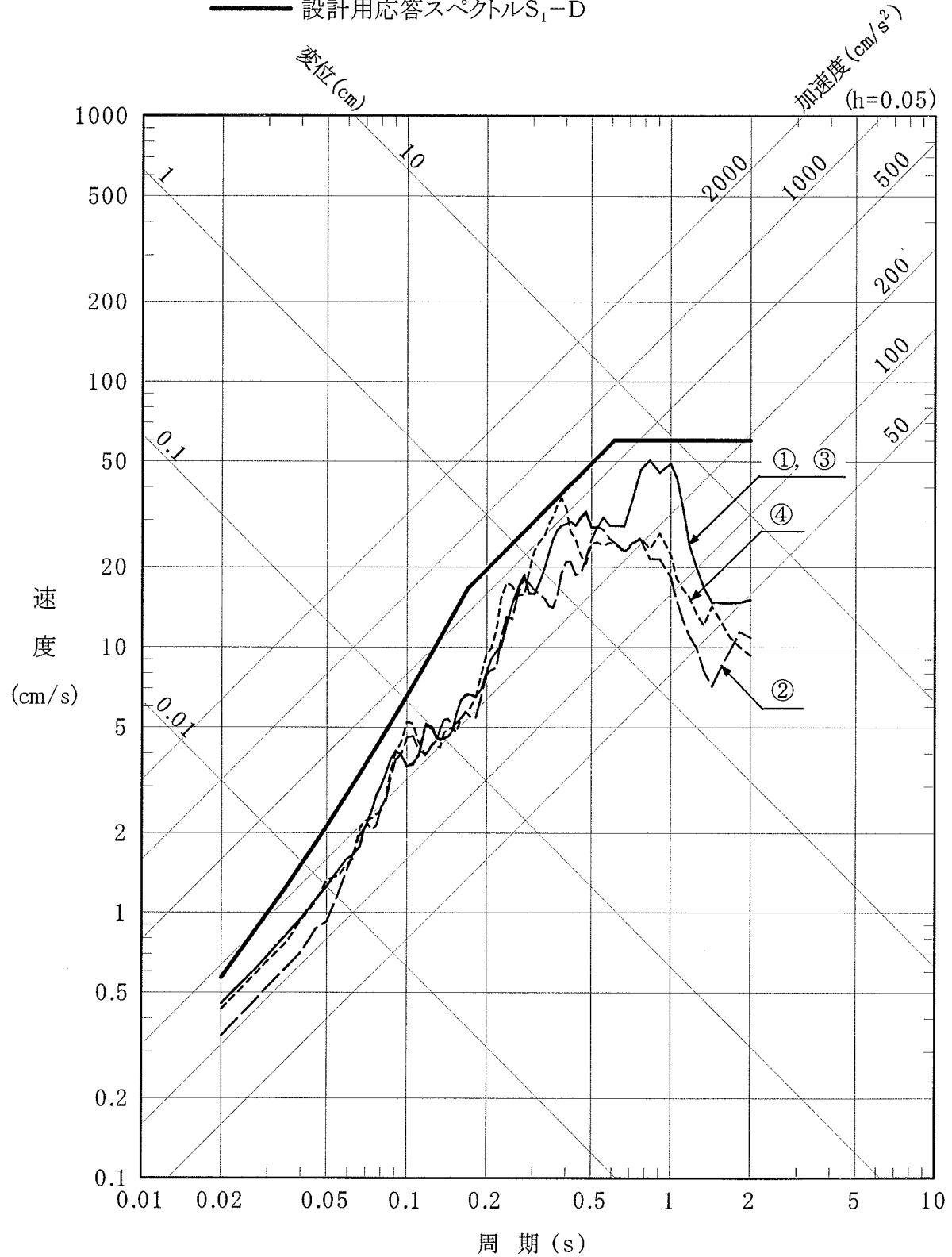
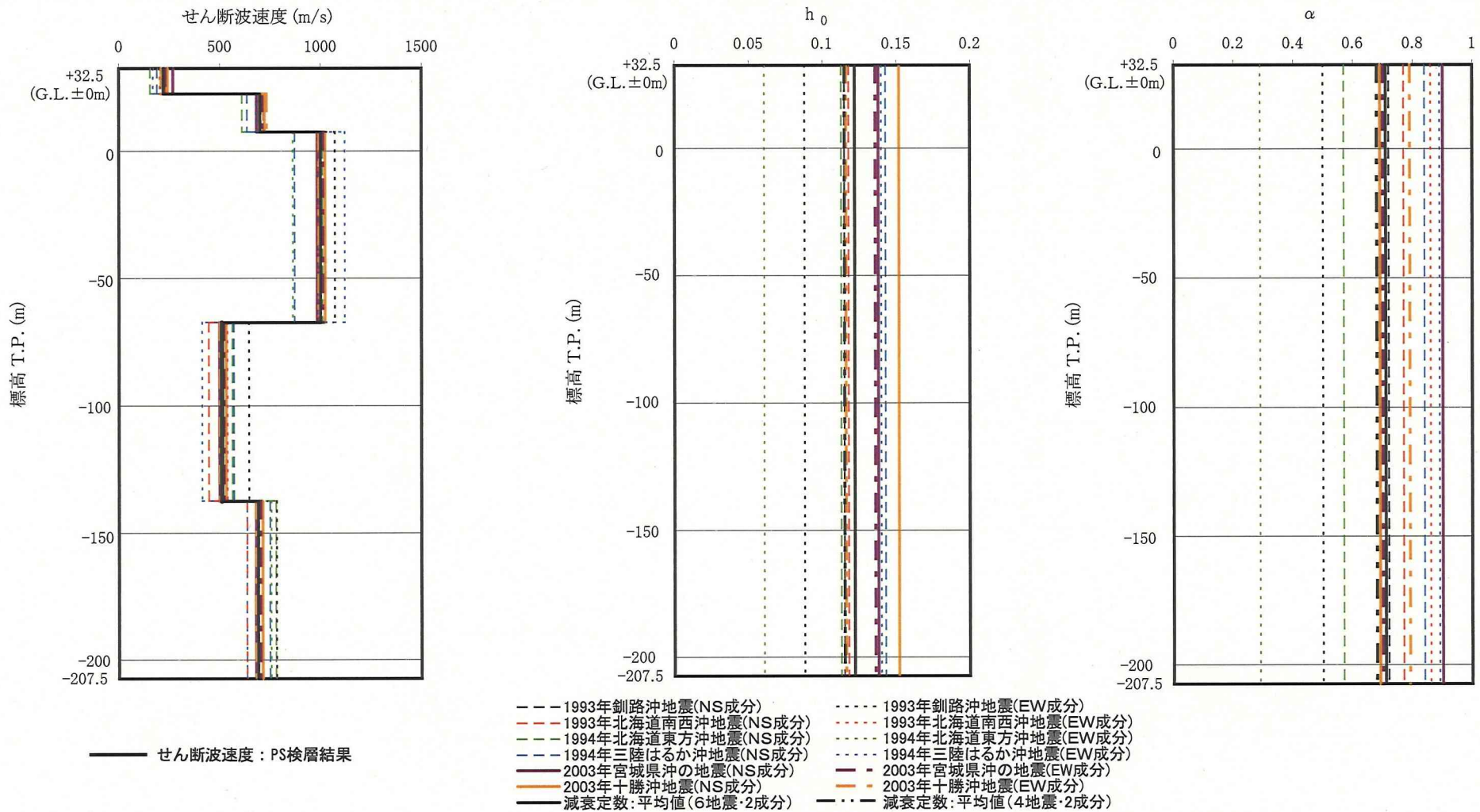


図-10 1993年釧路沖地震観測記録のはぎとり波の応答スペクトル及び設計用応答スペクトル S_1-D



※ 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。
 ※ 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 せん断波速度と減衰定数の同定結果

表-5 6地震による同定解析結果

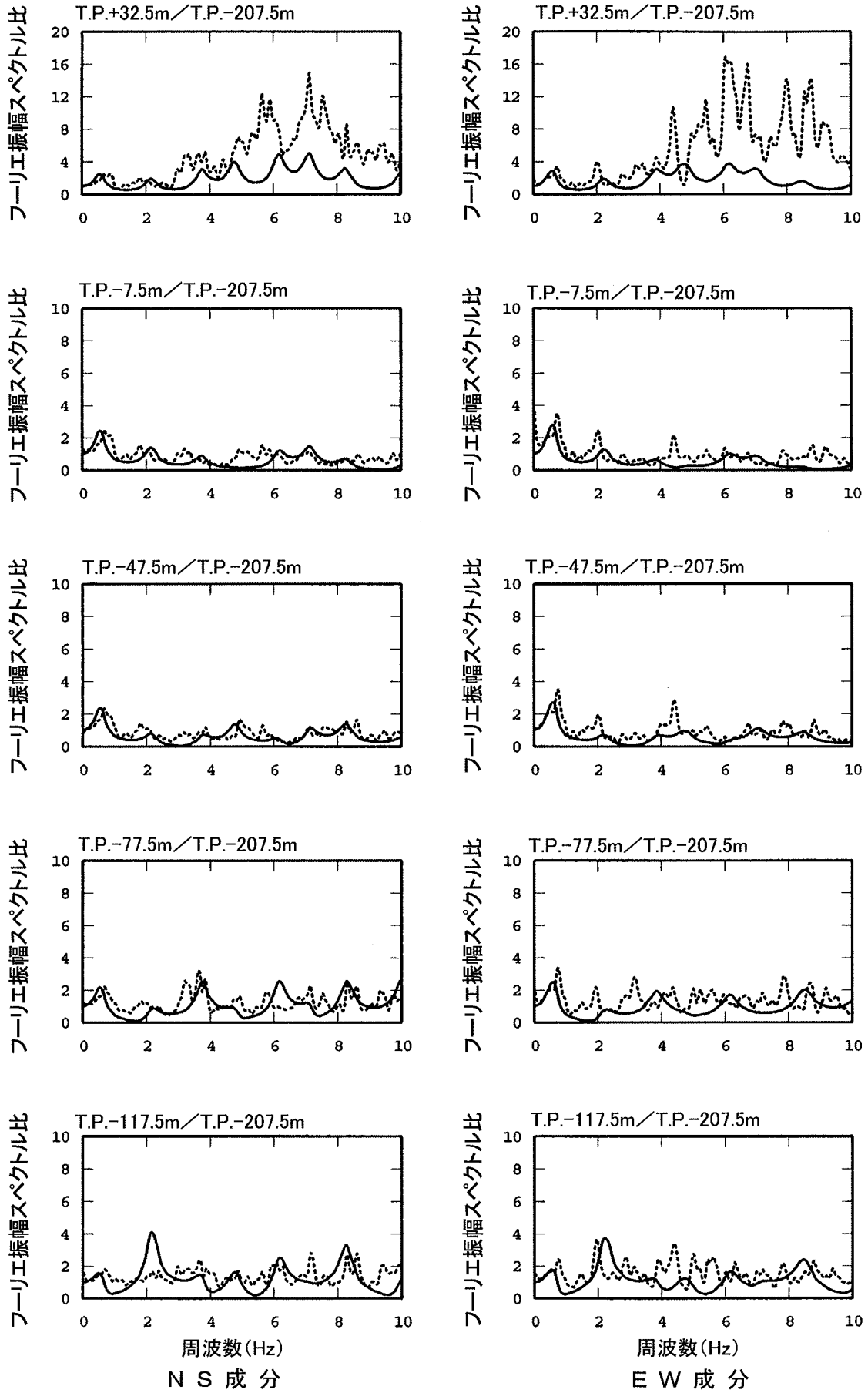
同定解析条件			同定解析結果(平均値)		
層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm ³)	PS検層結果 (m/s)	せん断波速度* (m/s)	減衰定数 h(f)*	
				h ₀	α
10	1.59	220	215 (202)	0.122 (0.115)	0.71 (0.68)
15	1.90	700	691 (680)		
75	2.06	1000	994 (990)		
70	1.51	510	522 (526)		
70	1.52	690	708 (715)		
▽解放基盤相当位置(T.P.-207.5m)					
—	1.61	850	850		

減衰定数 : $h(f)=h_0f^{-\alpha}$

層厚,層数 : PS検層による

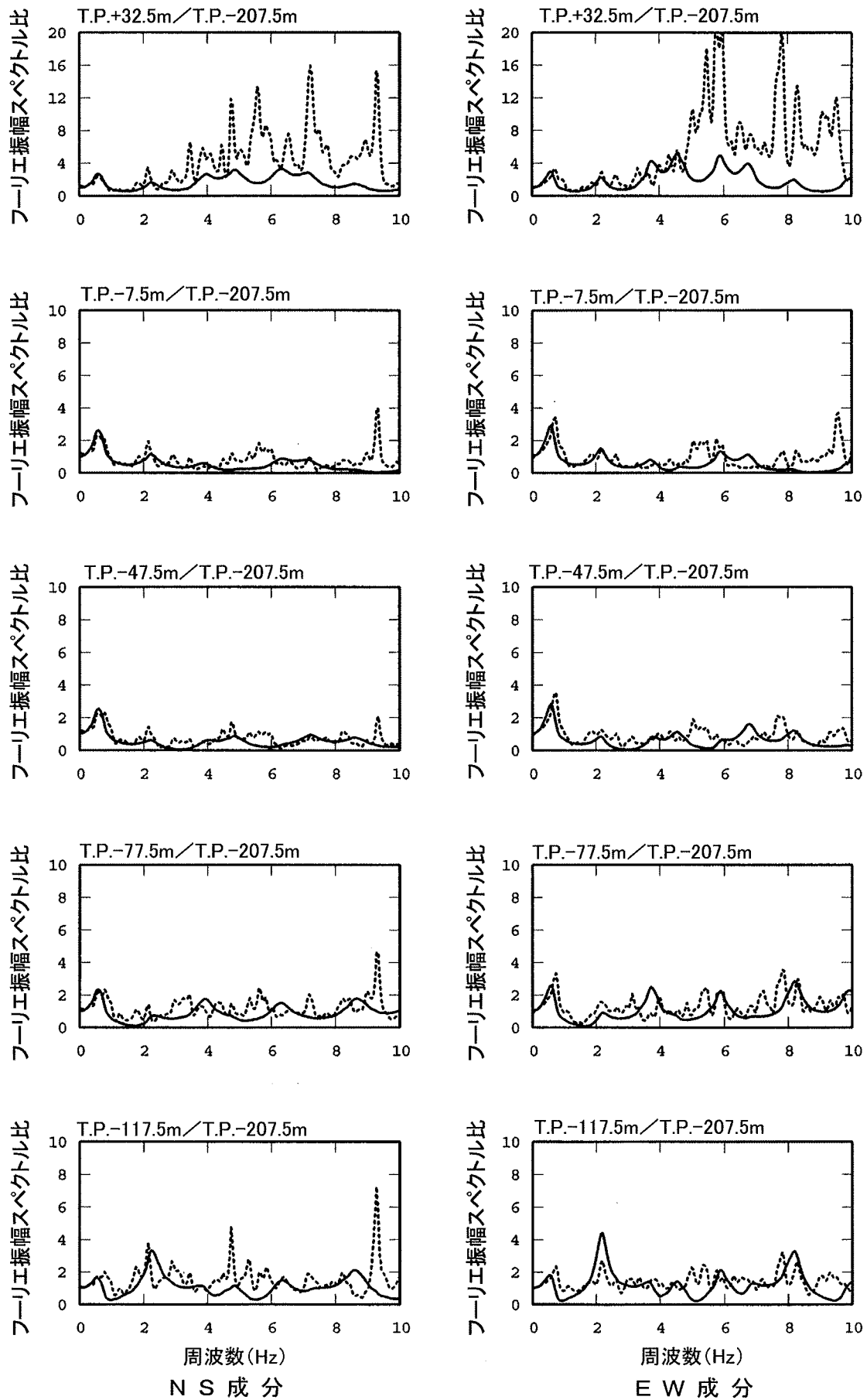
単位体積重量: ボーリングコアの岩石試験結果による

* : ()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)の同定結果を示す。



破線: 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
 実線: 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 同定結果(2003 年宮城県沖の地震)



破線: 2003年十勝沖地震観測記録のフーリエ振幅スペクトル比
 実線: 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 同定結果(2003年十勝沖地震)

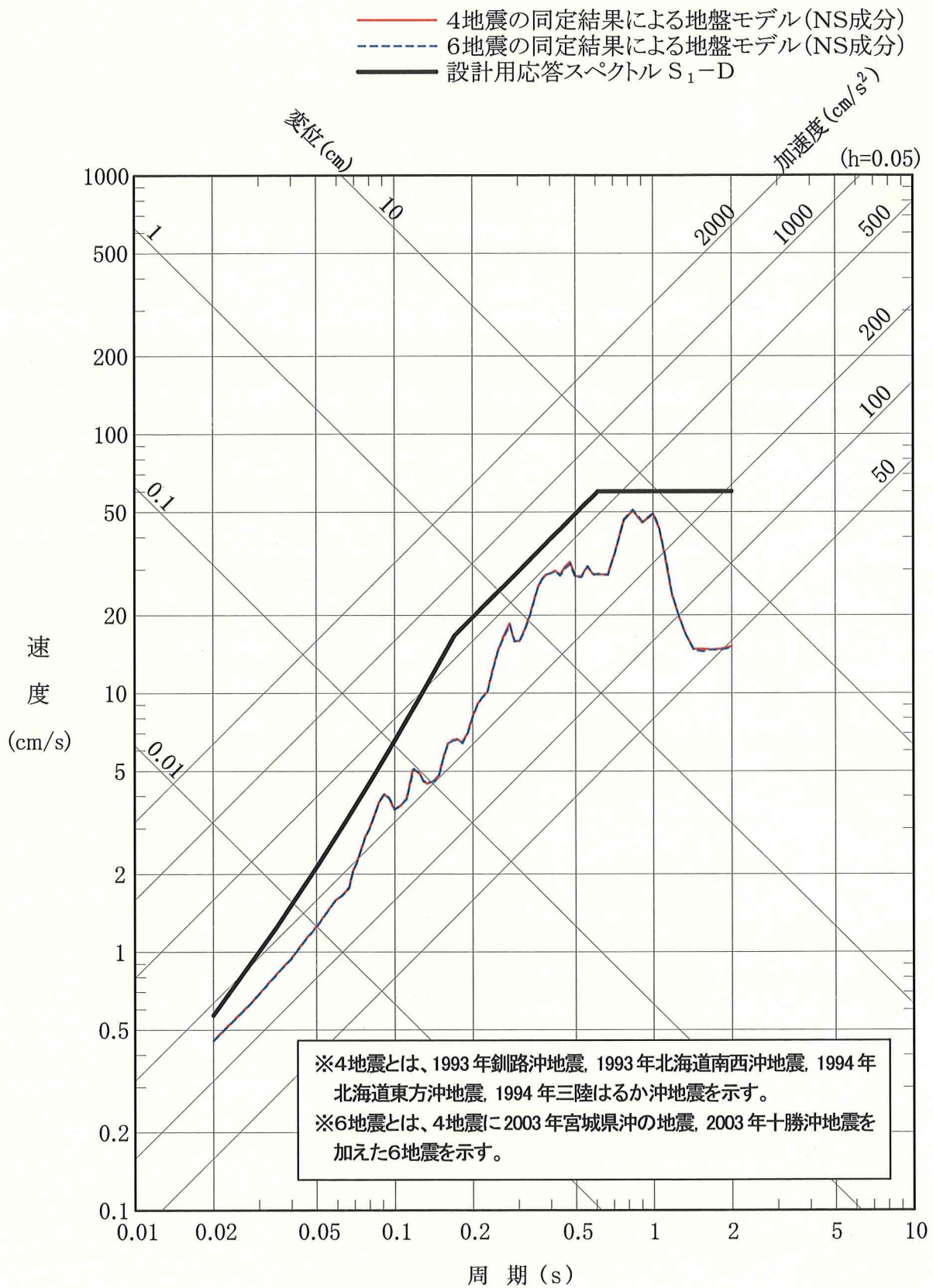


図-14(1) 1993年釧路沖地震観測記録のはざとり波の応答スペクトル(NS成分)及び設計用応答スペクトル S_1-D

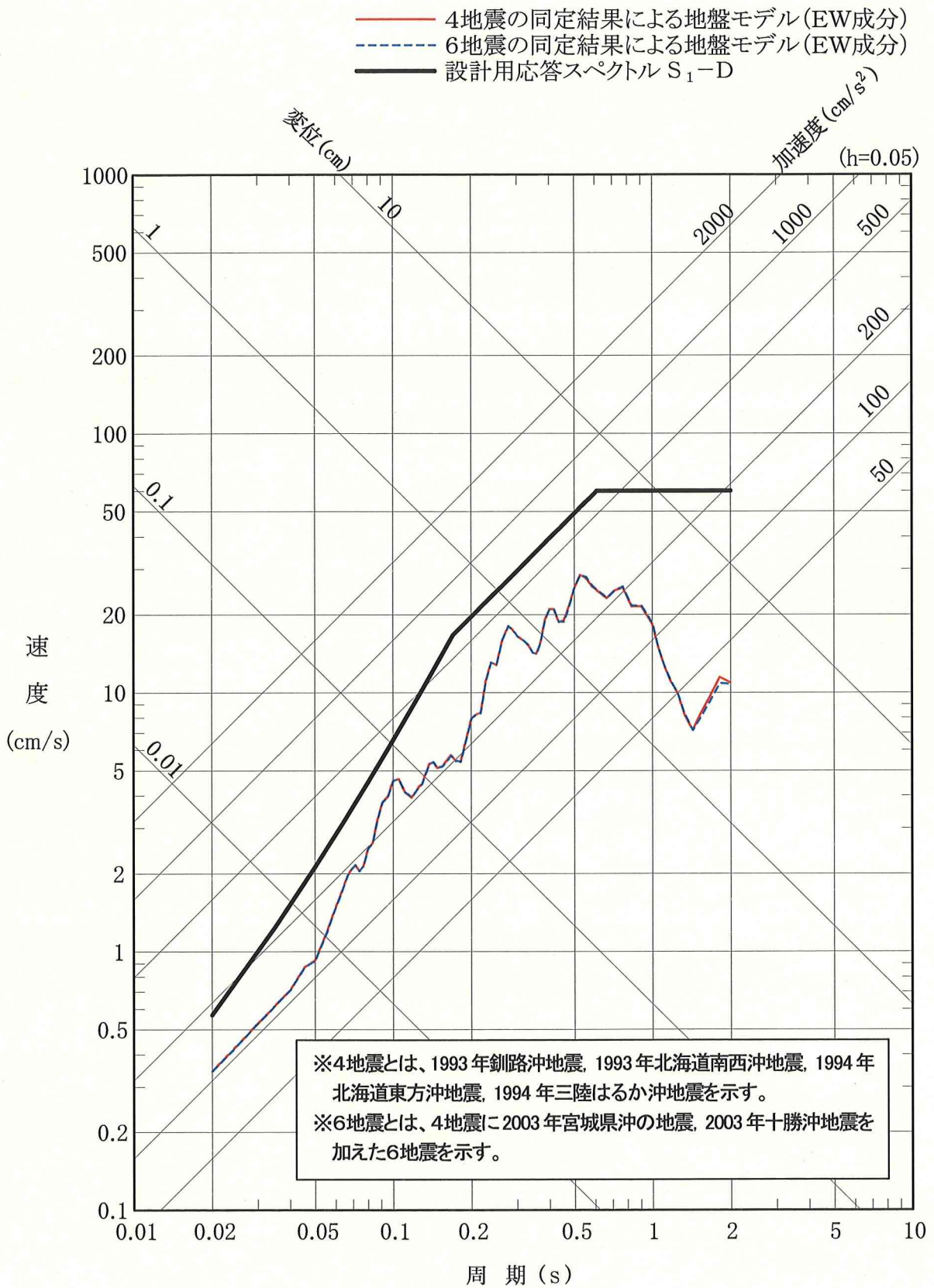


図-14(2) 1993年釧路沖地震観測記録のはざとり波の応答スペクトル(EW成分)及び設計用応答スペクトル S_1-D