

電源開発株式会社
大間原子力発電所

意見聴取会指摘事項について
(地震関係)

平成16年11月
原子力発電安全審査課

目 次

1. はぎとり解析用地盤モデルの減衰定数について

1. はぎとり解析用地盤モデルの減衰定数について

- 1) 地盤モデルの減衰定数について，各地震観測記録毎の同定結果の違いが設計用応答スペクトル S_1-D の設定に及ぼす影響について検討すること。

1.1 はじめに

申請者は、設計用応答スペクトル S_1-D を設定する際に、地震観測記録のはぎとり解析に用いる地盤定数について、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いて硬-軟-硬の地盤特性を反映した地盤モデルを設定している。この際、全層同一の等価な減衰定数(以下「減衰定数」という。)として同定解析を行い、各観測記録による同定結果の平均値を用いている。ここでは、平均値を用いることに関して、各観測記録のNS成分及びEW成分毎に減衰定数を同定した結果の違いを考慮するため、減衰定数の下限値を用いて、設計用応答スペクトル S_1-D の設定に及ぼす影響を検討している。

1.2 設計用応答スペクトル S_1-D の設定に用いたのはぎとり解析用地盤定数

「意見聴取会指摘事項について(地震関係:その1)」(意見聴取会資料「04-大間設C-18-1」)においては、表-1.1 及び図-1.1 に示す大間地点で得られた代表的な4地震(以下「4地震」という。)の観測記録のNS成分及びEW成分に対する同定解析を実施し、はぎとり解析用地盤モデルを設定している。

表-1.1 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

同定解析は佐藤・他(1994)⁽¹⁾に基づいており、図-1.2 に示す手順に従って行い、減衰定数は $h(f) = h_0 f^{-\alpha}$ で表される振動数依存型減衰で全層同一の値としている。

図-1.3 に示すように、4地震に対してそれぞれ同定されたせん断波速度はばらつきが小さく、平均値がPS検層結果とほぼ等しいことから、申請者は、はぎとり解析用地盤モデルのせん断波速度としてPS検層結果を用いることとし、減衰定数については、同定結果の平均値を用いることとしている。表-1.2 に設計用応答スペクトル S_1-D の設定に用いたはぎとり解析用地盤モデルを示す。また、はぎとり解析用地盤モデルのフーリエ振幅スペクトル比と1993年釧路沖地震観測記録のフーリエ振幅スペクトル比を比較して図-1.4 に示す。

1.3 減衰定数の下限値を用いた検討

1.3.1 検討用減衰定数の設定

上述のように、設計用応答スペクトル S_1-D の設定に用いたはぎとり解析用地盤モデルの減衰定数は、4地震の同定結果の平均値を用いることとしているが、各地震毎に同定した減衰定数の違いを考慮するため、減衰定数の下限値を用いて、設計用応答スペクトル S_1-D の設定に及ぼす影響を検討している。減衰定数の下限値は、「意見聴取会指摘事項について(地震関係:その1)」(意見聴取会資料「04-大間設C-18-1」)に示した4地震に対する各々の同定解析結果を基に設定している。

4地震の観測記録のNS成分及びEW成分に対する同定解析により

得られた減衰定数及びそれらの平均値として設定した減衰定数と周波数の関係を図-1.5 に示す。同図には、設計用応答スペクトルの2秒に対応する0.5Hzから同定解析における解析最大周波数である10Hzまでを図示している。図に示すように、各地震毎に同定された減衰定数は概ね同様の傾向を示している。しかしながら、0.5Hz及び10Hzにおける4地震に対する各々の減衰定数に差がみられるため、本検討に用いる減衰定数の設定については図-1.5 に示すように、0.5Hz及び10Hzにおける減衰定数の最小値に基づき、次式のように減衰定数の下限値(以下「検討用減衰定数」という。)を設定している。

$$h(f) = 0.054f^{-0.47}$$

1.3.2 検討用減衰定数を用いたはぎとり解析

(1) 検討地盤モデル

はぎとり解析のための検討用減衰定数を用いた検討地盤モデルを表-1.3 に示す。減衰定数は全層同一減衰として上述の検討用減衰定数を用い、せん断波速度については、「意見聴取会指摘事項について(地震関係:その1)」(意見聴取会資料「04-大間設C-18-1」)と同様にPS検層によって得られたせん断波速度としている。

(2) 1993年釧路沖地震観測記録のはぎとり解析結果

設計用応答スペクトル S_1-D の設定において包絡した1993年釧路沖地震観測記録について、上述の(1)で設定した検討地盤モデルを用いてはぎとり解析を行っている。図-1.6にはぎとり解析結果を示す。

同図に示すように、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、設計用応答スペクトル S_1-D を上回らないとしている。

1.4 まとめ

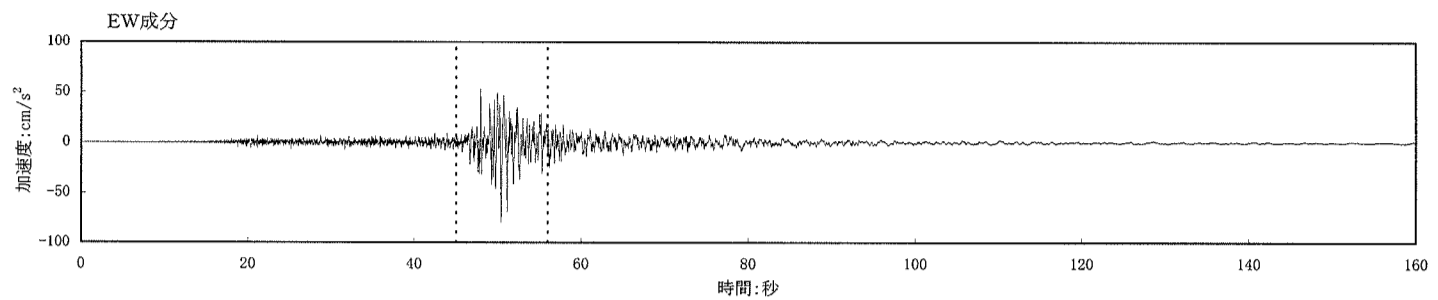
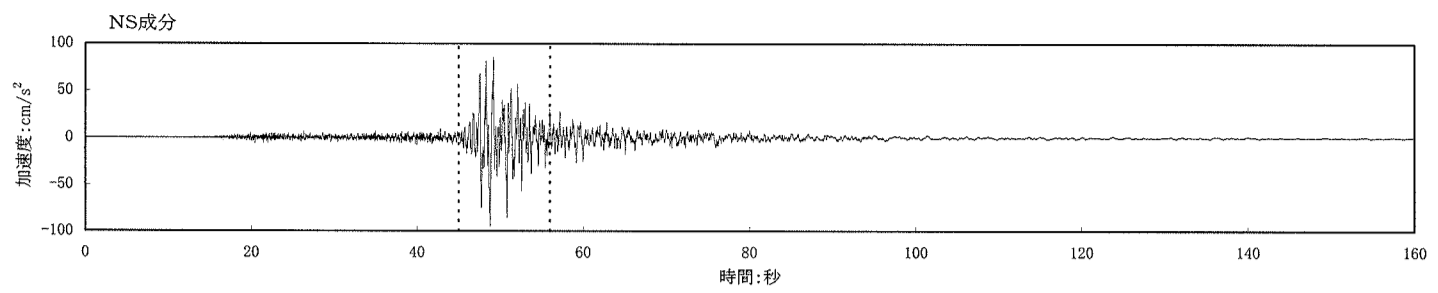
申請者は、各観測記録毎の減衰定数の同定値について、0.5Hz及び10Hzにおける最小値に基づき下限値となる検討用減衰定数を設定し、1993年釧路沖地震観測記録のはざとり解析を行っている。その結果、はざとり波の応答スペクトルは設計用応答スペクトル S_1-D を下回っており、各観測記録毎に同定した減衰定数の違いを考慮しても設計用応答スペクトル S_1-D の設定に及ぼす影響はないとしている。

このことから、申請者は、設計用応答スペクトル S_1-D の設定に際しては、はざとり解析用地盤モデルの減衰定数として、各観測記録のNS成分及びEW成分毎に同定した減衰定数の平均値を用いるとしている。

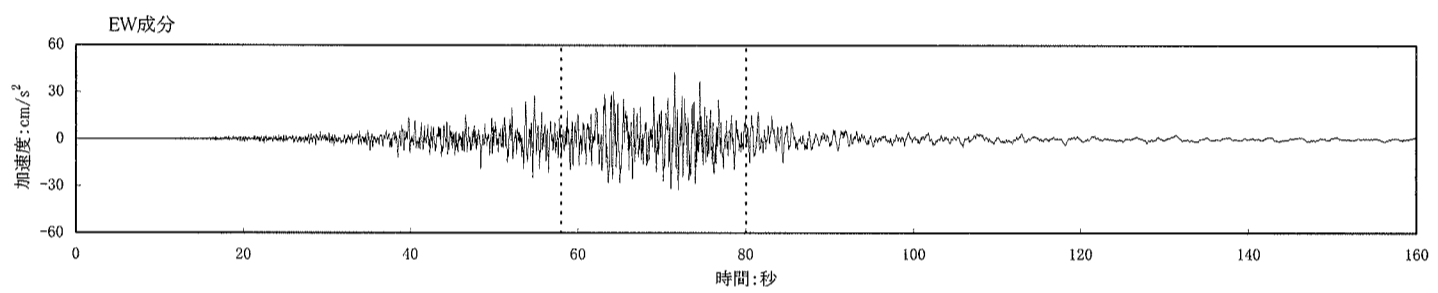
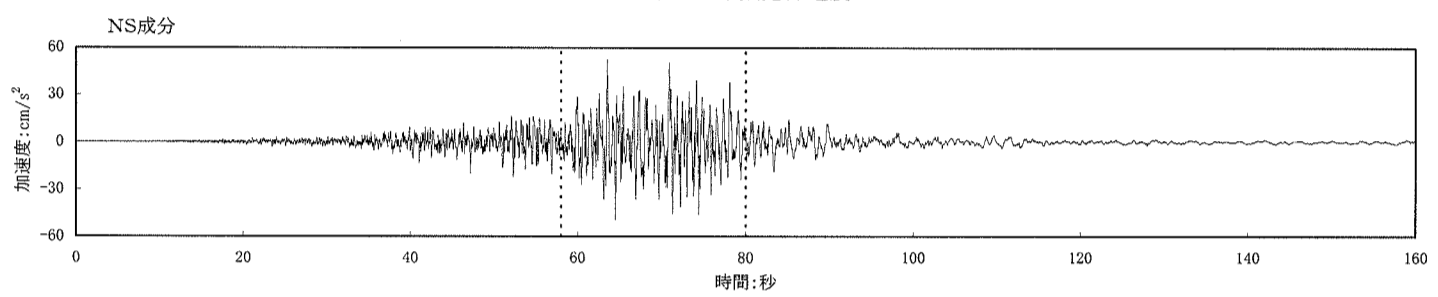
以上のように、4つの代表的な地震記録について同定した減衰定数の違いを考慮しても、1993年釧路沖地震観測記録のはざとり解析結果は設計用応答スペクトル S_1-D を上回らないことを確認した。このことから、申請者が設計用応答スペクトル S_1-D の設定にあたり、はざとり解析用地盤モデルの減衰定数として、各観測記録のNS成分及びEW成分毎に同定した減衰定数の平均値を用いるとしていることは妥当であると考えられる。

参考文献

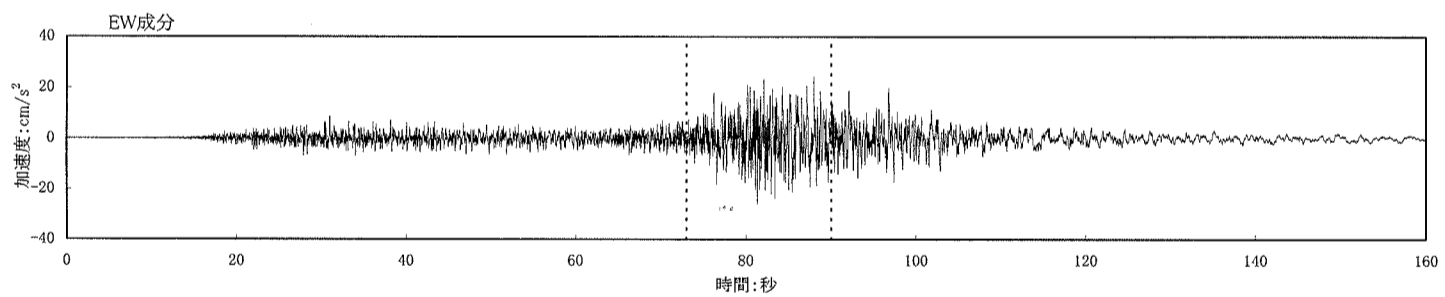
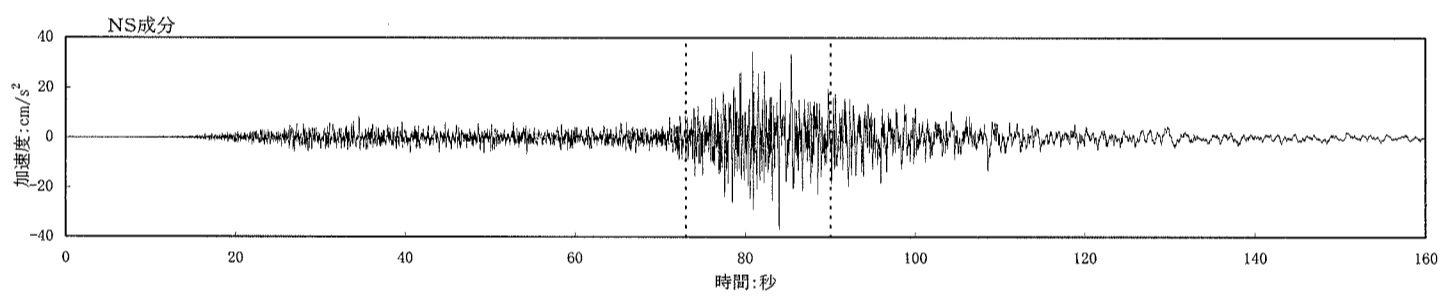
- (1) 佐藤智美・川瀬博・佐藤俊明(1994):ボアホール観測記録を用いた表層地盤同定手法による工学的基盤波の推定及びその統計的経時特性, 日本建築学会構造系論文集 第461号



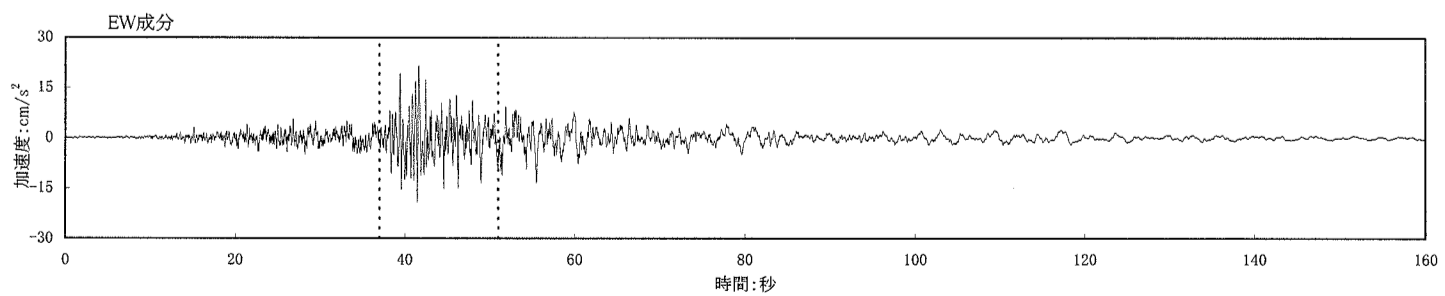
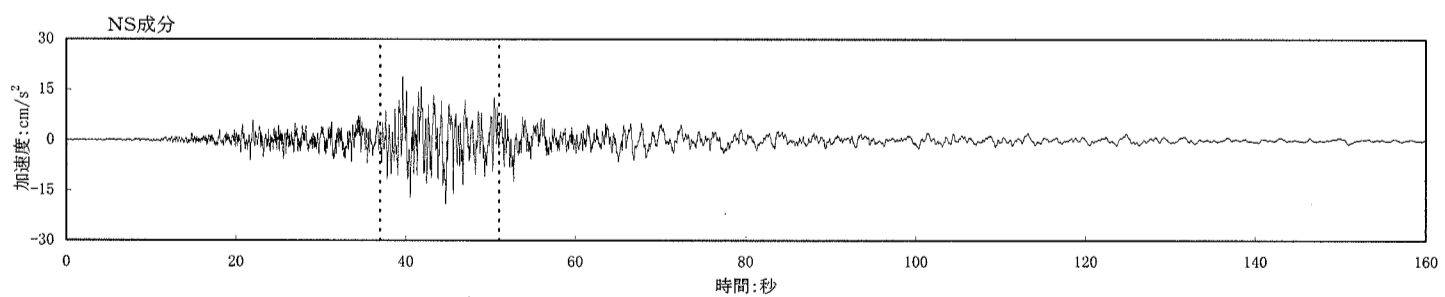
(a) 1993年釧路沖地震



(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-1.1 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。)

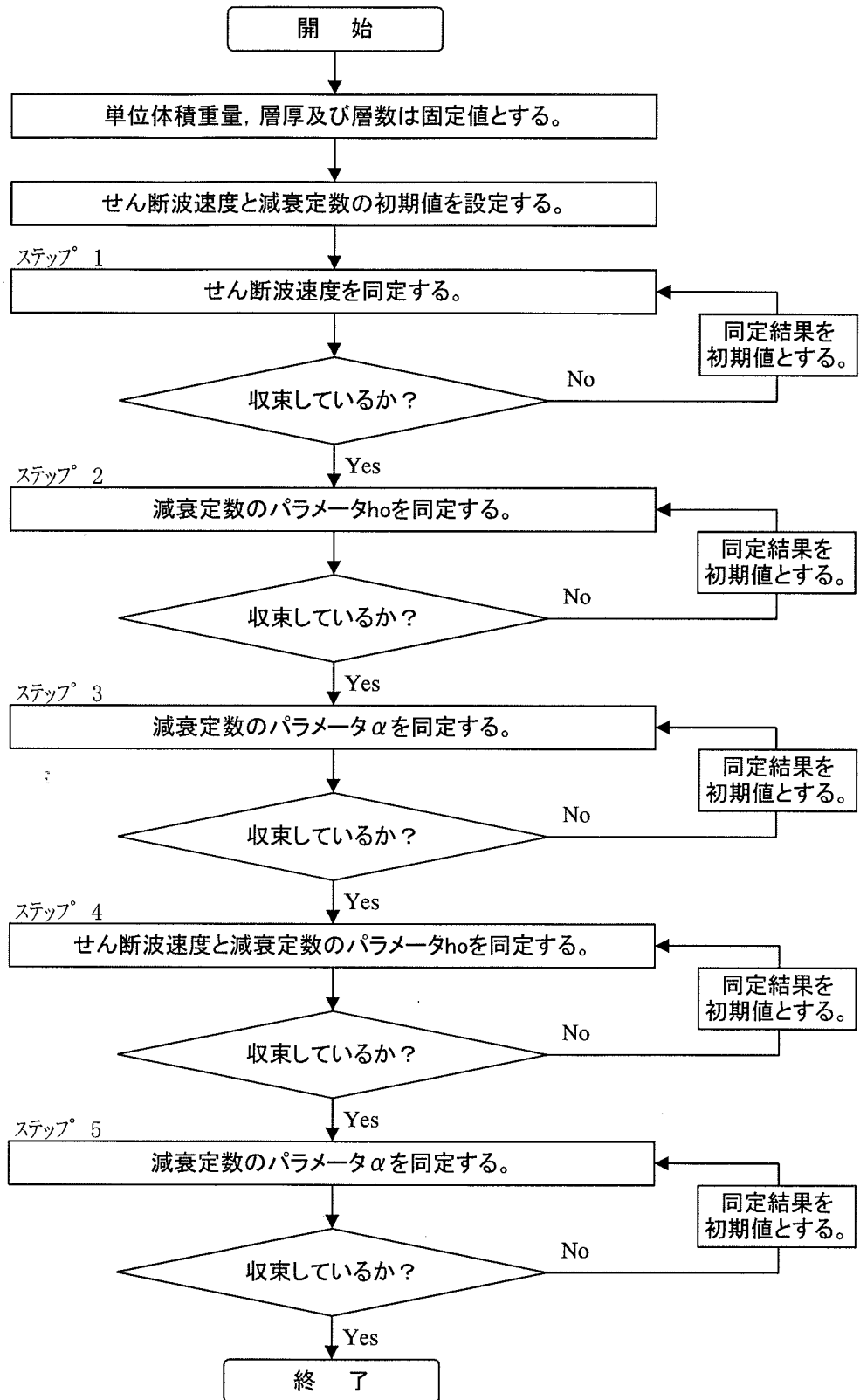


図-1.2 せん断波速度及び減衰定数の同定解析手順

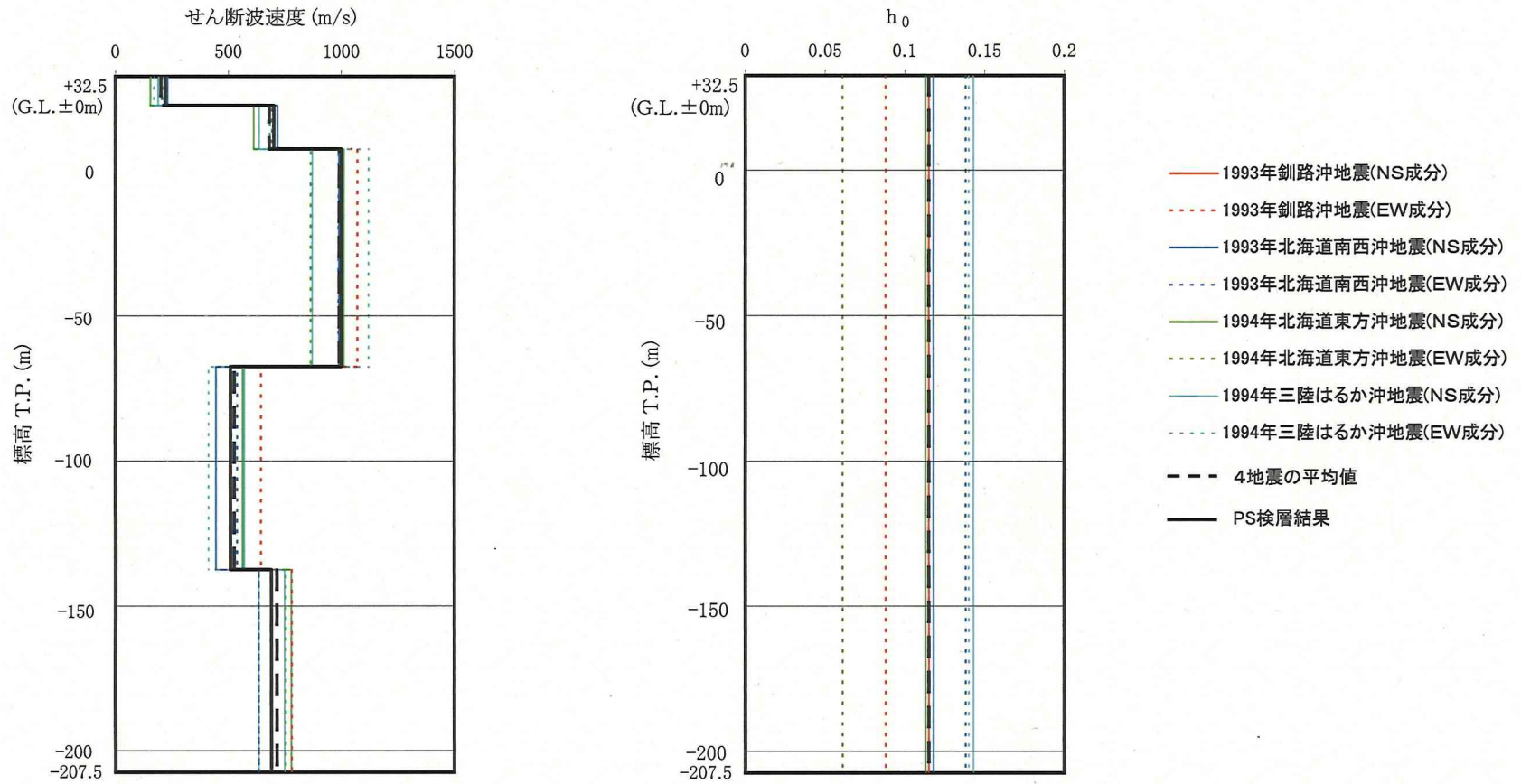


図-1.3 せん断波速度と減衰定数の同定結果(4地震とその平均値)

表-1.2 設計用応答スペクトル S_1-D の設定に用いたはざ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		

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 : PS検層結果

減衰定数 : 4地震の同定結果の平均値, $h(f)=h_0f^{-\alpha}$

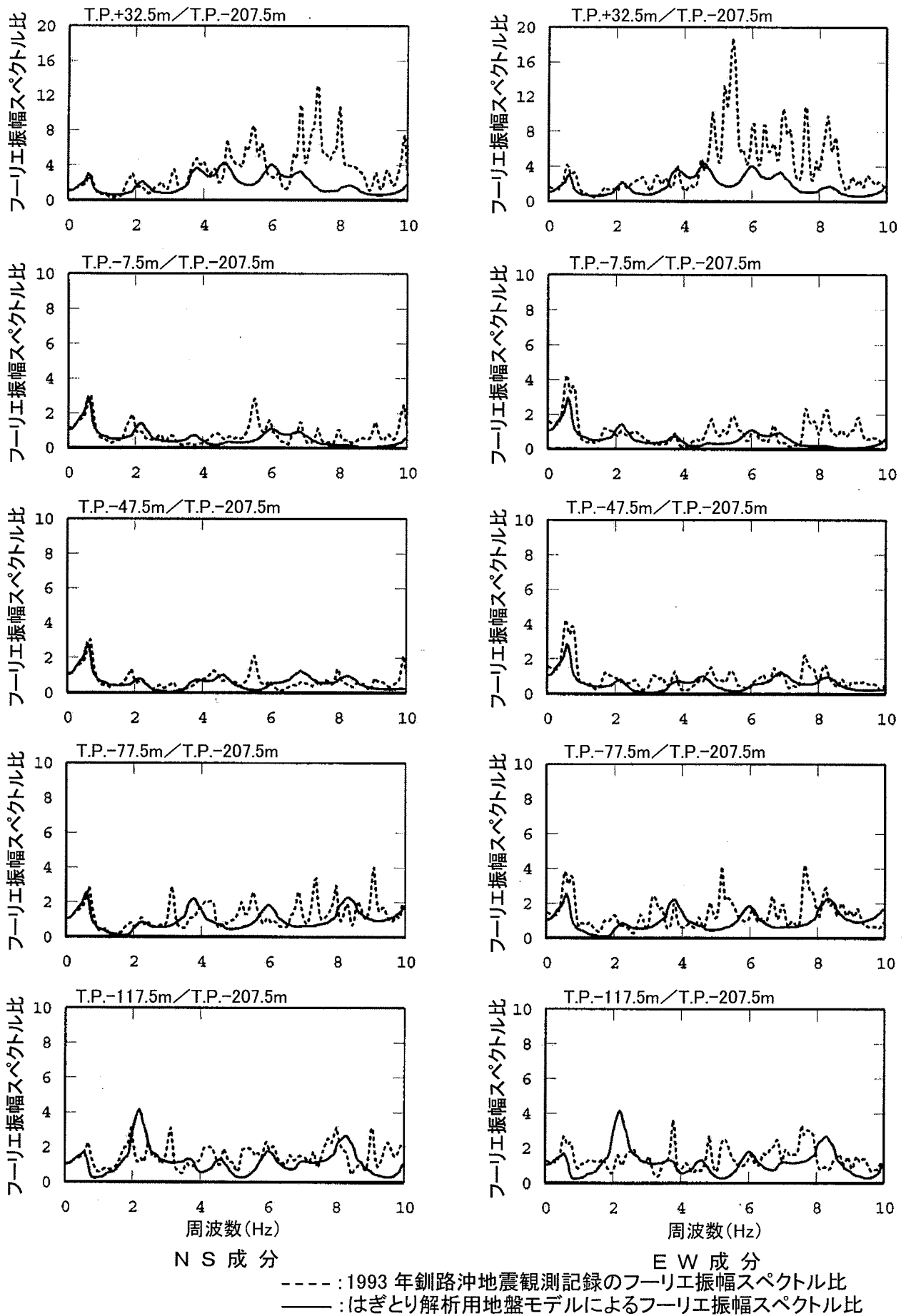


図-1.4 1993 年釧路沖地震観測記録とはぎとり解析用地盤モデルのフーリエ振幅スペクトル比の比較

- 1993年釧路沖地震(NS) - - - 1993年釧路沖地震(EW)
- 1993年北海道南西沖地震(NS) - - - 1993年北海道南西沖地震(EW)
- 1994年北海道東方沖地震(NS) - - - 1994年北海道東方沖地震(EW)
- 1994年三陸はるか沖地震(NS) - - - 1994年三陸はるか沖地震(EW)
- 検討用減衰定数 — 4地震の平均

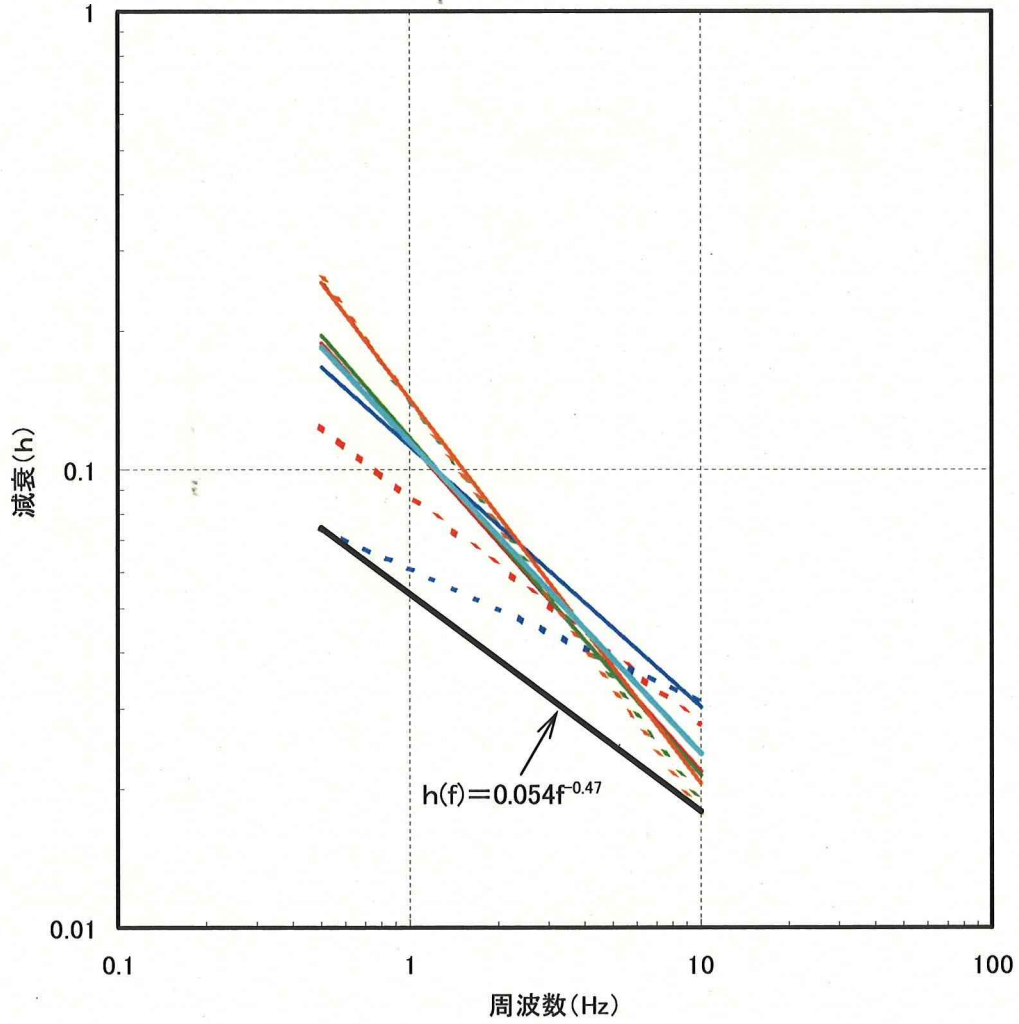


図-1.5 同定解析から得られた減衰定数と周波数の関係

表-1.3 検討用減衰定数を用いた検討地盤モデル

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	0.054 (0.115)	0.47 (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		

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: PS検層結果
 減衰定数 : 検討用減衰定数, $h(f)=h_0f^{-\alpha}$,
 ()は表-1.2に示す4地震の平均値を示す

- 設計用応答スペクトル S_1-D
- 4地震の平均減衰定数を用いた1993年釧路沖地震のはざとり波(NS成分)
- - - 4地震の平均減衰定数を用いた1993年釧路沖地震のはざとり波(EW成分)
- 検討用減衰定数を用いた1993年釧路沖地震のはざとり波(NS成分)
- - - 検討用減衰定数を用いた1993年釧路沖地震のはざとり波(EW成分)

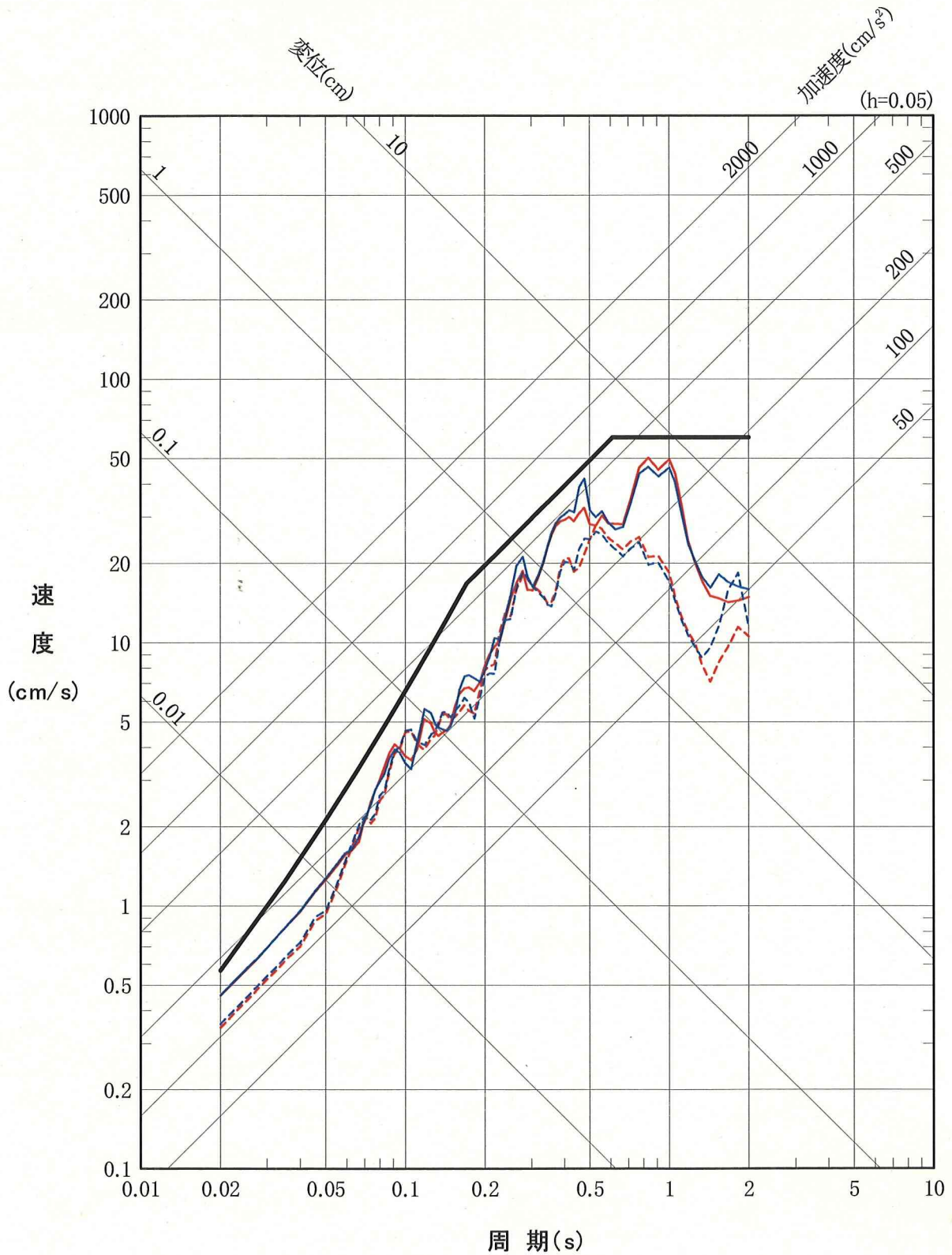


図-1.6 1993年釧路沖地震のはざとり波の応答スペクトル及び設計用応答スペクトル S_1-D (解放基盤相当位置)

(参考資料)

各層毎に減衰定数を同定した地盤モデルによるはぎとり解析について

1. はじめに

申請者は、設計用応答スペクトル S_1-D の設定に用いるはぎとり解析用地盤の減衰定数を全層同一の等価な減衰定数として、敷地で得られた代表的4地震の同定結果の平均値を用いている。ここでは、減衰定数を硬-軟-硬の各層毎に同定した場合について検討を行う。同定解析にあたっては、減衰を各層毎に評価すると未知変数が増えることから、GA(遺伝的アルゴリズム)を手法として用いている。さらに、算定した減衰定数に基づき1993年釧路沖地震観測記録のはぎとり解析を実施し、設計用応答スペクトル S_1-D と比較検討を行った。

2. 地盤定数の同定解析

(1) 同定解析に用いる観測記録

同定解析に用いる観測記録は、表-1に示す代表的な4つの地震(以下「4地震」という。)の敷地で得られた記録であり、減衰定数を全層同一とした場合と同じ地震を用いている。

表-1 同定解析の対象とする地震

代表的な地震	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

(2) 同定解析手法

同定解析は各地震の各成分毎に行い、フーリエ振幅スペクトル比の10Hzより低振動数側の範囲で、一次元波動論による解析結果と観測記録の残差の二乗和が最小になるように、せん断波速度(以下「 V_s 」という。)及び減衰定数を同定している。同定解析の手順を図-1に示し、その概略を以下に示す。

- ① 単位体積重量及び層厚は各々ボーリングコアの岩石試験、PS検層結果に基づき固定値とし、 V_s はPS検層結果を初期値とする。
表-2に初期値とした地盤モデルを示す。
- ② 減衰定数は振動数依存型とし、 $h(f)=h_0f^{-\alpha}$ で与える。
- ③ はじめに減衰定数を全層同一として、 V_s および減衰定数(h_0, α)を同定する。
- ④ 次に③で同定した V_s を固定値として、各層毎に減衰定数(h_0, α)を同定する。

なお、 V_s と減衰定数の検索範囲は次のように設定する。

V_s : PS 検層値 $\pm 20\%$

h_0 : 0.02 ~ 1.0

α : 0.0 ~ 1.0

(3) 各層毎の同定解析結果

4地震の各成分毎に同定された V_s , h_0 及び α と、これらの各層毎の平均値を表-3 及び図-2 に示す。また、フーリエ振幅スペクトル比の同定結果を観測記録と比較して図-3 に示す。

さらに、同定した減衰定数と周波数の関係を図-4 に示す。同図には、各層毎の同定結果の平均値及び全層同一とした場合の同定結果に基づき設定した減衰定数の下限値も併せて示しているが、後者は前者よりも小さいかまたは同等程度になっている。

3. はぎとり解析

(1) 検討ケース

前述の「2.」に基づき、表-4 に示す検討ケースについて、解放基盤相当位置における 1993 年釧路沖地震観測記録のはぎとり解析を行っている。

表-4 はぎとり解析の検討ケース

Case	Vs	減衰定数*1	はぎとり解析に用いる 1993年釧路沖地震 観測記録	
			NS成分	EW成分
1-1	PS検層結果*2	各層毎の4地震の 同定結果の平均値	○	—
1-2	PS検層結果*2	各層毎の4地震の 同定結果の平均値	—	○
2-1	1993年釧路沖地震 観測記録の同定結果 (NS成分)	1993年釧路沖地震 観測記録の同定結果 (NS成分)	○	—
2-2	1993年釧路沖地震 観測記録の同定結果 (EW成分)	1993年釧路沖地震 観測記録の同定結果 (EW成分)	—	○

*1) 各層毎に設定する。

*2) 設計用応答スペクトル S_1-D の設定に用いたはぎとり解析用地盤と同様に、VsはPS検層結果を用いる。

(2) 解析結果

図-5 に 1993 年釧路沖地震観測記録のはぎとり解析結果を設計用
 応答スペクトル S_1-D と比較して示す。同図に示すように、はぎとり波は
 いずれも設計用応答スペクトル S_1-D を下回っている。

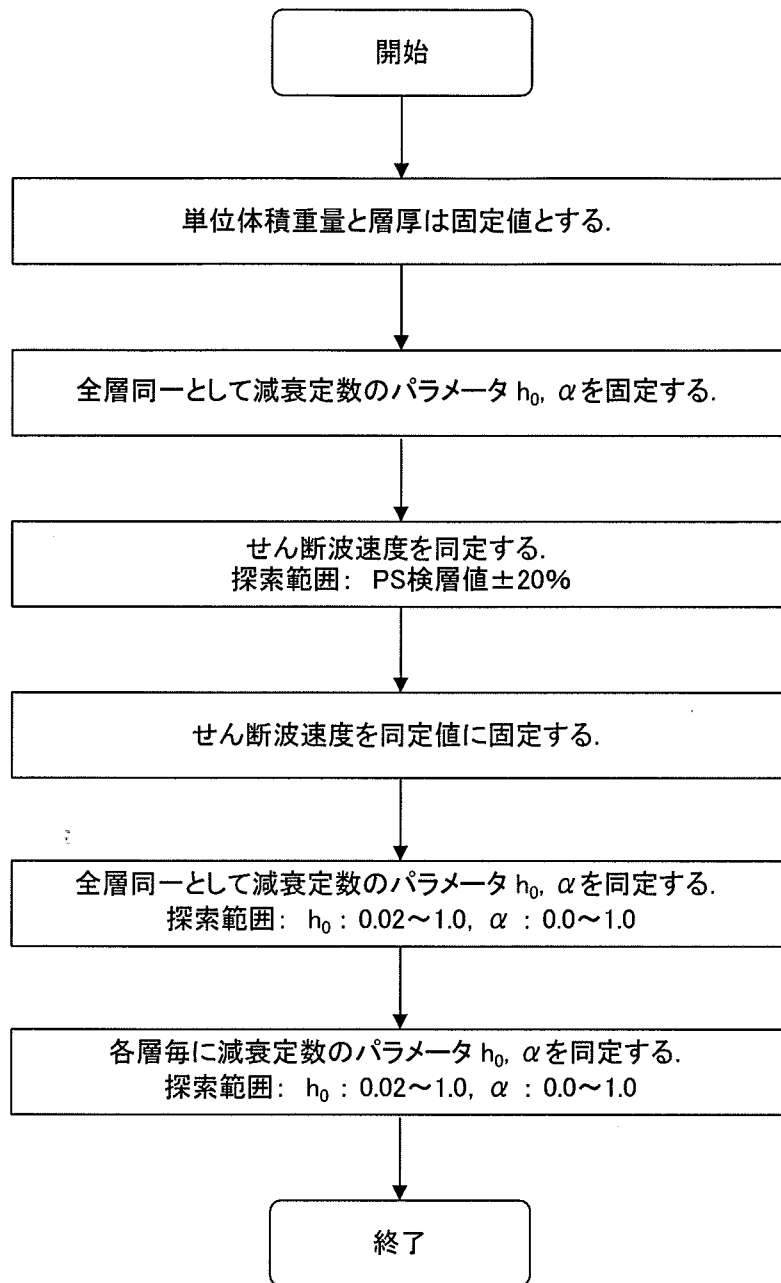


図-1 せん断波速度及び減衰定数の同定解析手順(各層毎に減衰定数を同定)

表-2 同定解析の初期値とした地盤モデル

	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

表-3 減衰定数を各層毎に同定した場合の解析結果

(4地震)

NS成分	PS検層	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		
		Vs (m/s)	Vs (m/s)	h_0	α	Vs (m/s)	h_0	α	Vs (m/s)	h_0	α	Vs (m/s)	h_0	α
T.P.+32.5m ~ +22.5m	220	207	0.020	0.39	213	0.052	1.00	213	0.052	0.71	213	0.020	0.84	
+22.5m ~ +7.5m	700	560	0.526	0.94	560	0.241	0.35	560	0.052	0.84	569	0.779	0.81	
+7.5m ~ -67.5m	1000	800	0.526	0.90	852	0.463	1.00	813	0.336	0.87	800	0.336	0.94	
-67.5m ~ -137.5m	510	566	0.083	0.97	605	0.147	0.94	605	0.147	0.97	586	0.147	1.00	
-137.5m ~ -207.5m	690	677	0.052	0.87	775	0.115	0.97	668	0.052	0.71	739	0.052	0.94	

EW成分	PS検層	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		
		Vs (m/s)	Vs (m/s)	h_0	α	Vs (m/s)	h_0	α	Vs (m/s)	h_0	α	Vs (m/s)	h_0	α
T.P.+32.5m ~ +22.5m	220	233	0.115	0.87	219	0.052	0.55	219	0.052	0.68	264	0.178	0.55	
+22.5m ~ +7.5m	700	677	0.083	0.90	569	0.020	0.03	560	0.020	1.00	623	0.020	0.65	
+7.5m ~ -67.5m	1000	826	0.621	1.00	852	0.273	0.74	800	0.463	0.84	890	0.210	0.90	
-67.5m ~ -137.5m	510	612	0.052	0.68	507	0.052	0.65	592	0.052	0.48	612	0.052	0.97	
-137.5m ~ -207.5m	690	828	0.020	0.94	784	0.210	1.00	703	0.052	0.48	810	0.210	0.84	

(平均)

	PS検層	4地震平均			
		Vs (m/s)	Vs (m/s)	h_0	α
T.P.+32.5m ~ +22.5m	220	222	0.067	0.70	
+22.5m ~ +7.5m	700	585	0.218	0.69	
+7.5m ~ -67.5m	1000	829	0.403	0.90	
-67.5m ~ -137.5m	510	586	0.091	0.83	
-137.5m ~ -207.5m	690	748	0.095	0.84	

(8)

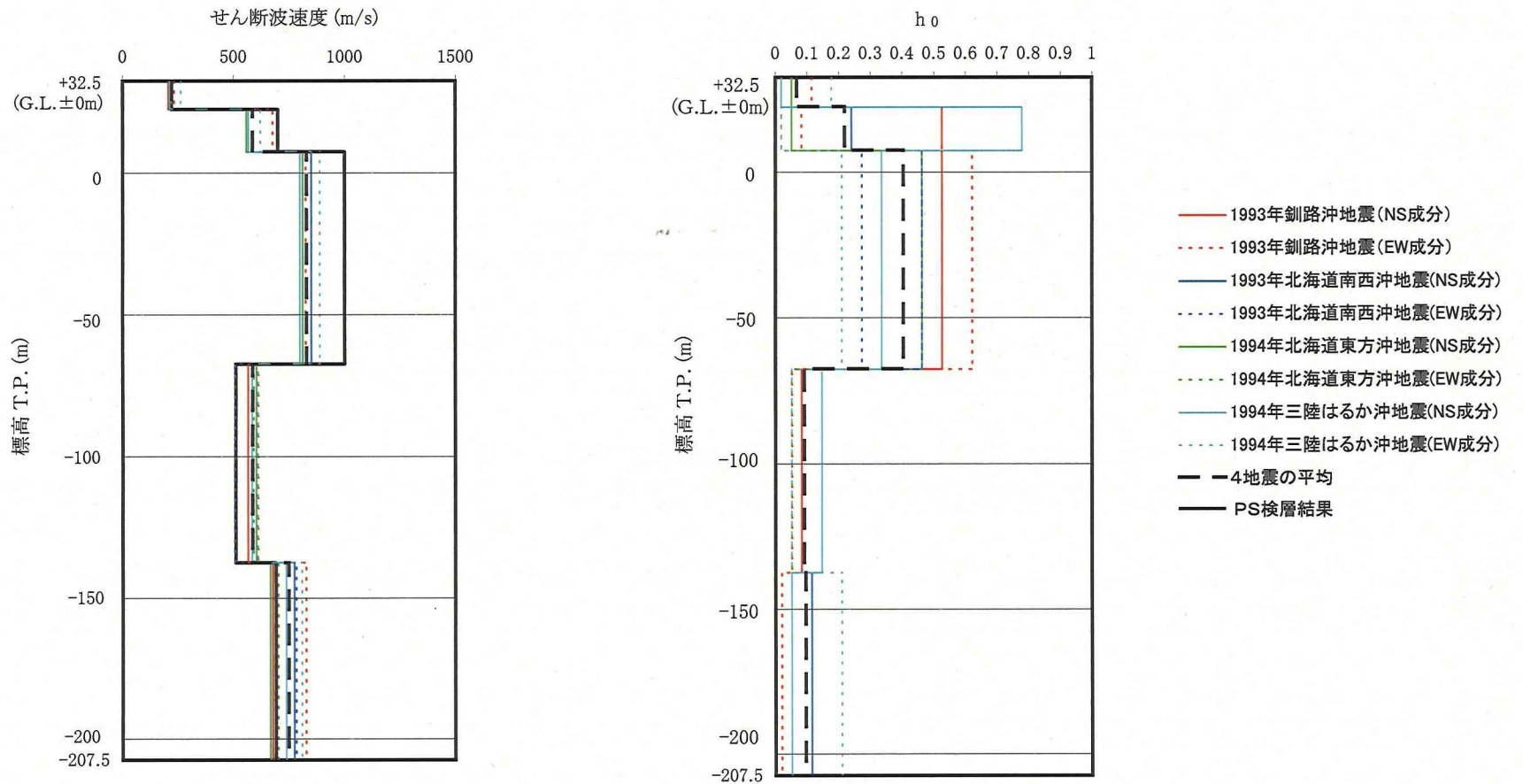
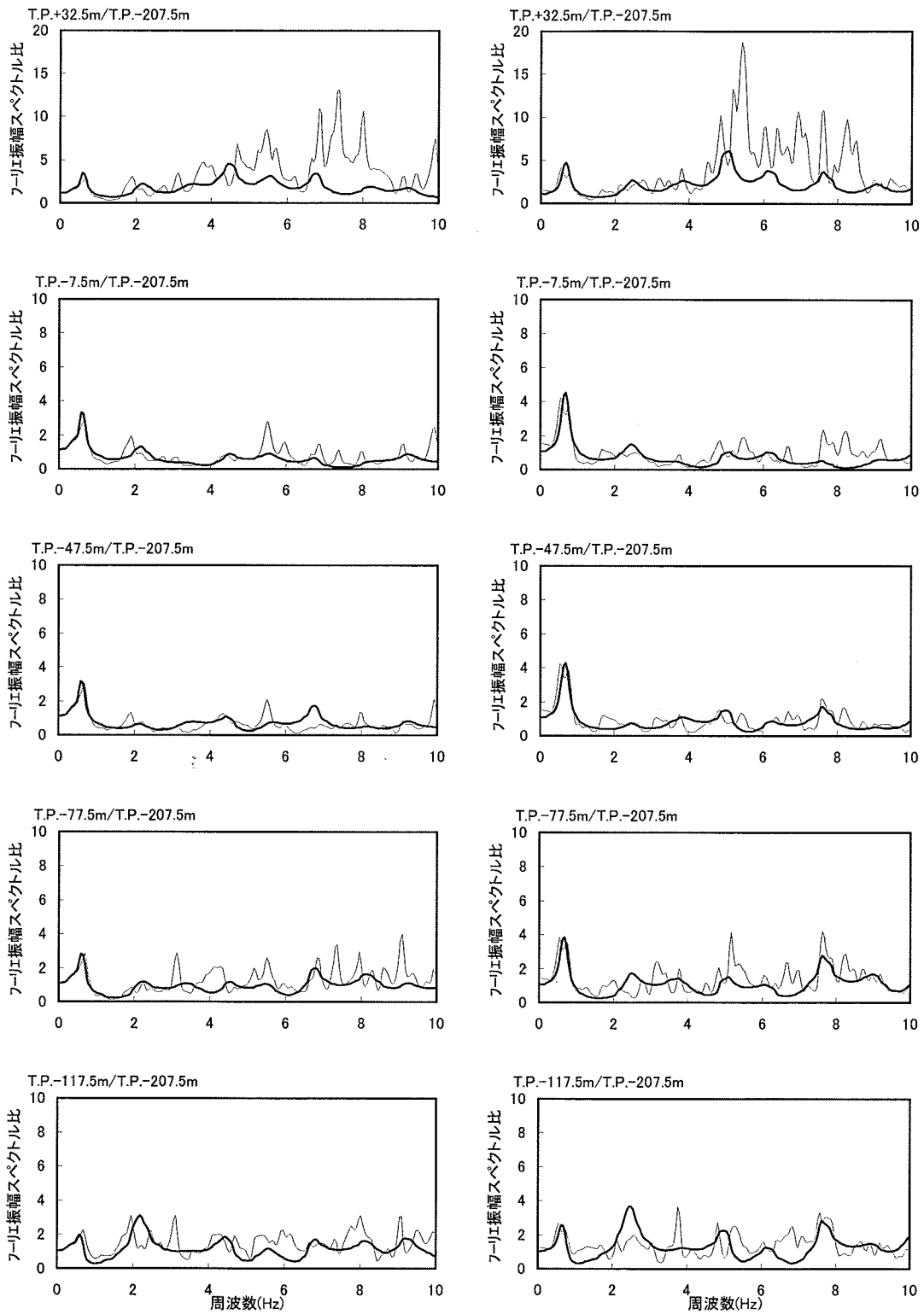


図-2 減衰定数を各層毎に同定した場合の解析結果(4地震とその平均値)



NS成分

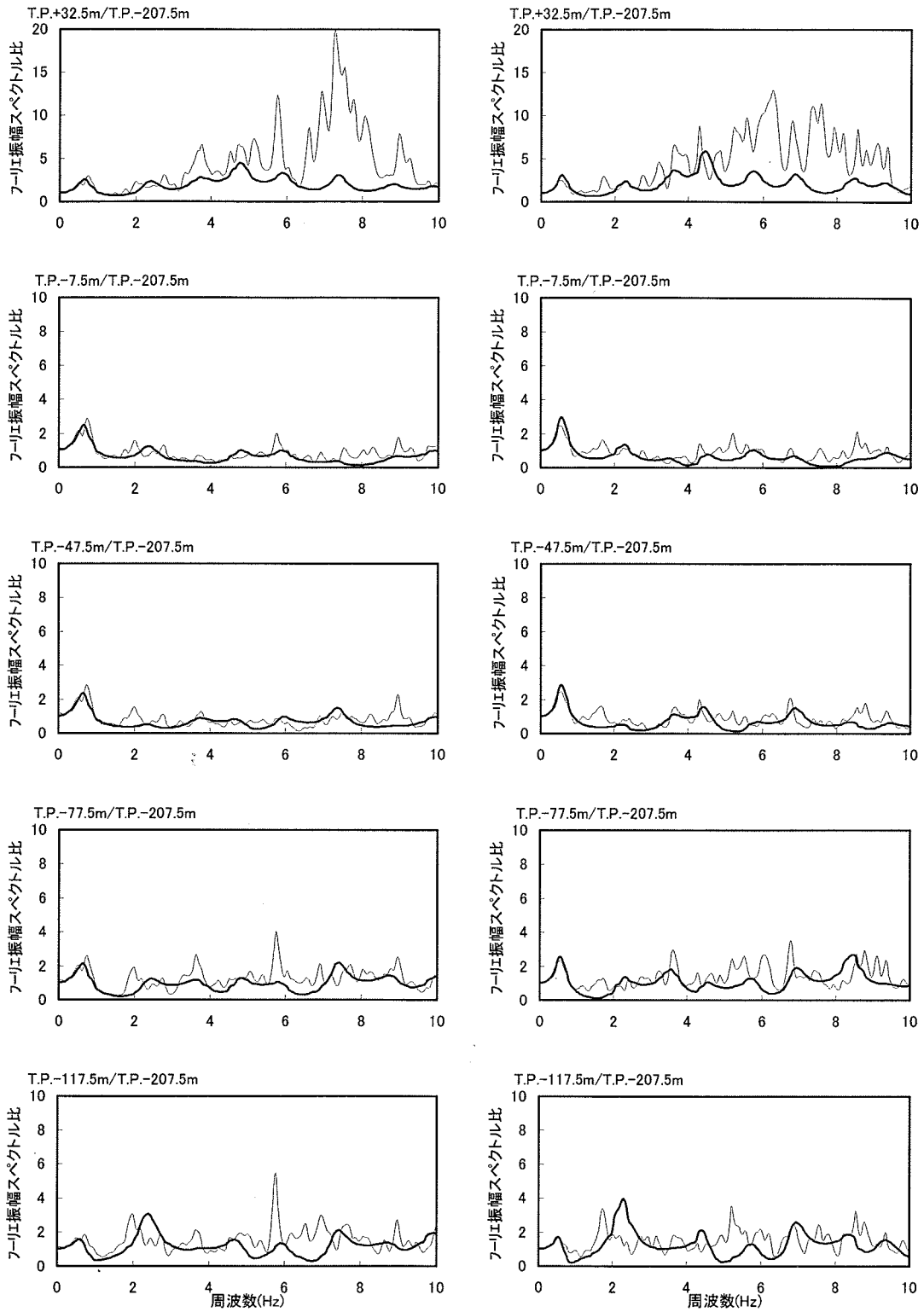
EW成分

—— : 1993年釧路沖地震観測記録のフーリエ振幅スペクトル比

—— : 上記地震記録から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-3(1) 同定解析結果と観測記録の比較

(1993年釧路沖地震)



NS成分

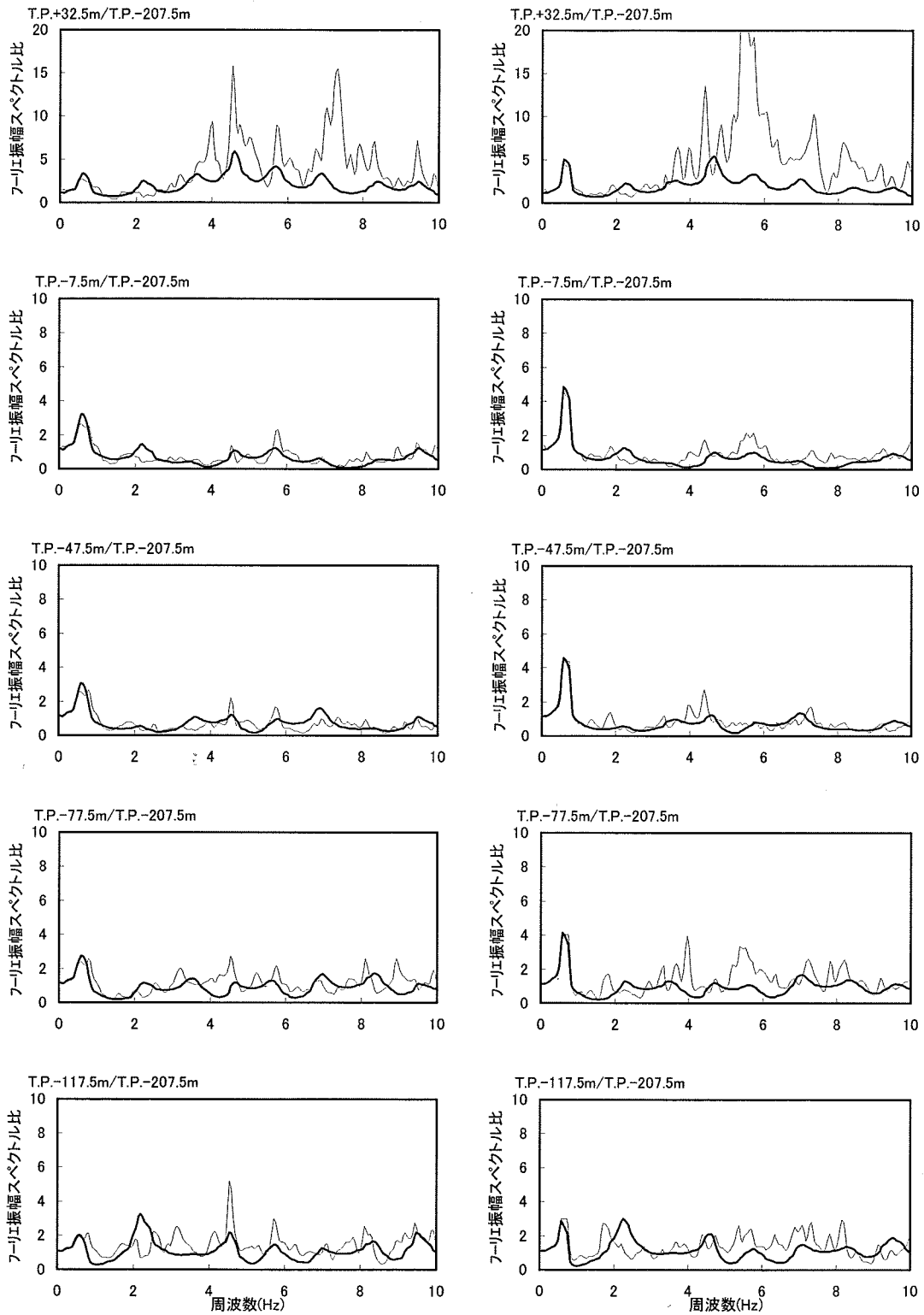
EW成分

—— : 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

—— : 上記地震記録から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-3(2) 同定解析結果と観測記録の比較

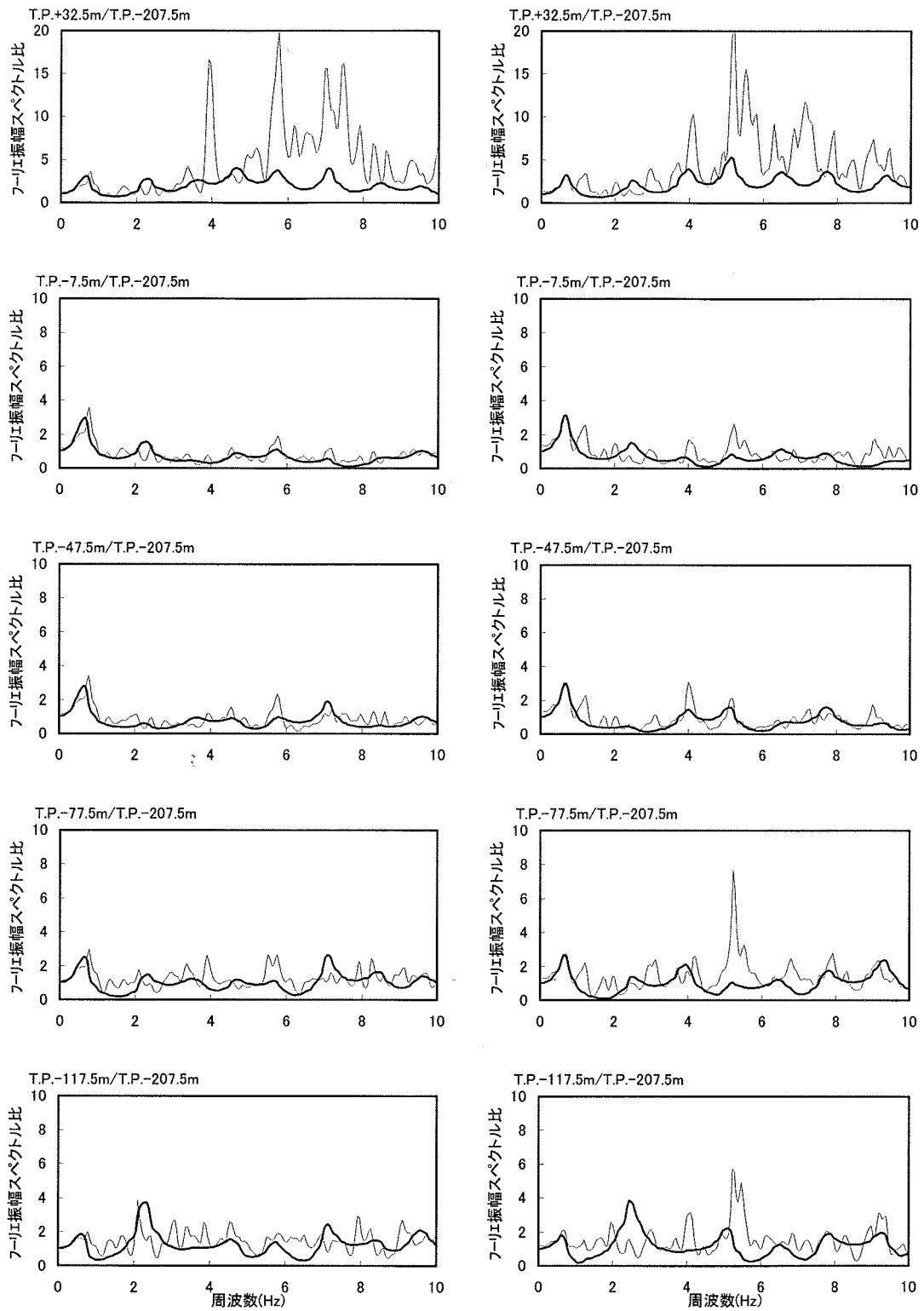
(1993年北海道南西沖地震)



NS成分 EW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
 : 上記地震記録から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-3(3) 同定解析結果と観測記録の比較
(1994年北海道東方沖地震)



NS成分

EW成分

—— : 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

—— : 上記地震記録から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-3(4) 同定解析結果と観測記録の比較

(1994年三陸はるか沖地震)

- 1993年釧路沖地震(NS) - - - 1993年釧路沖地震(EW)
- 1993年北海道南西沖地震(NS) - - - 1993年北海道南西沖地震(EW)
- 1994年北海道東方沖地震(NS) - - - 1994年北海道東方沖地震(EW)
- 1994年三陸はるか沖地震(NS) - - - 1994年三陸はるか沖地震(EW)
- — 各層毎の4地震の減衰定数の平均
- 全層同一とした4地震の減衰定数の下限値(参考)

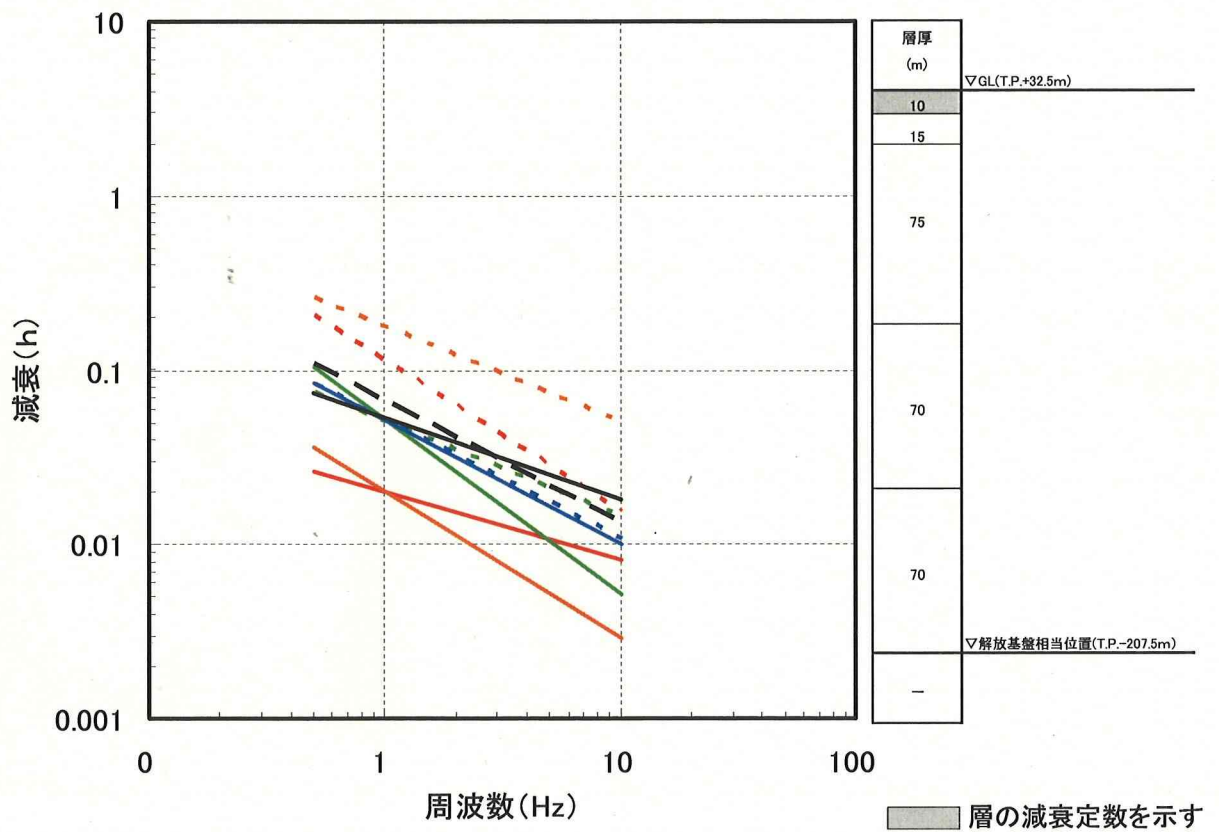


図-4(1) 各層毎の減衰定数と全層同一とした減衰定数の下限値との比較
(T.P.+32.5m~T.P.+22.5m)

- 1993年釧路沖地震(NS) - - - 1993年釧路沖地震(EW)
- 1993年北海道南西沖地震(NS) - - - 1993年北海道南西沖地震(EW)
- 1994年北海道東方沖地震(NS) - - - 1994年北海道東方沖地震(EW)
- 1994年三陸はるか沖地震(NS) - - - 1994年三陸はるか沖地震(EW)
- — 各層毎の4地震の減衰定数の平均
- 全層同一とした4地震の減衰定数の下限値(参考)

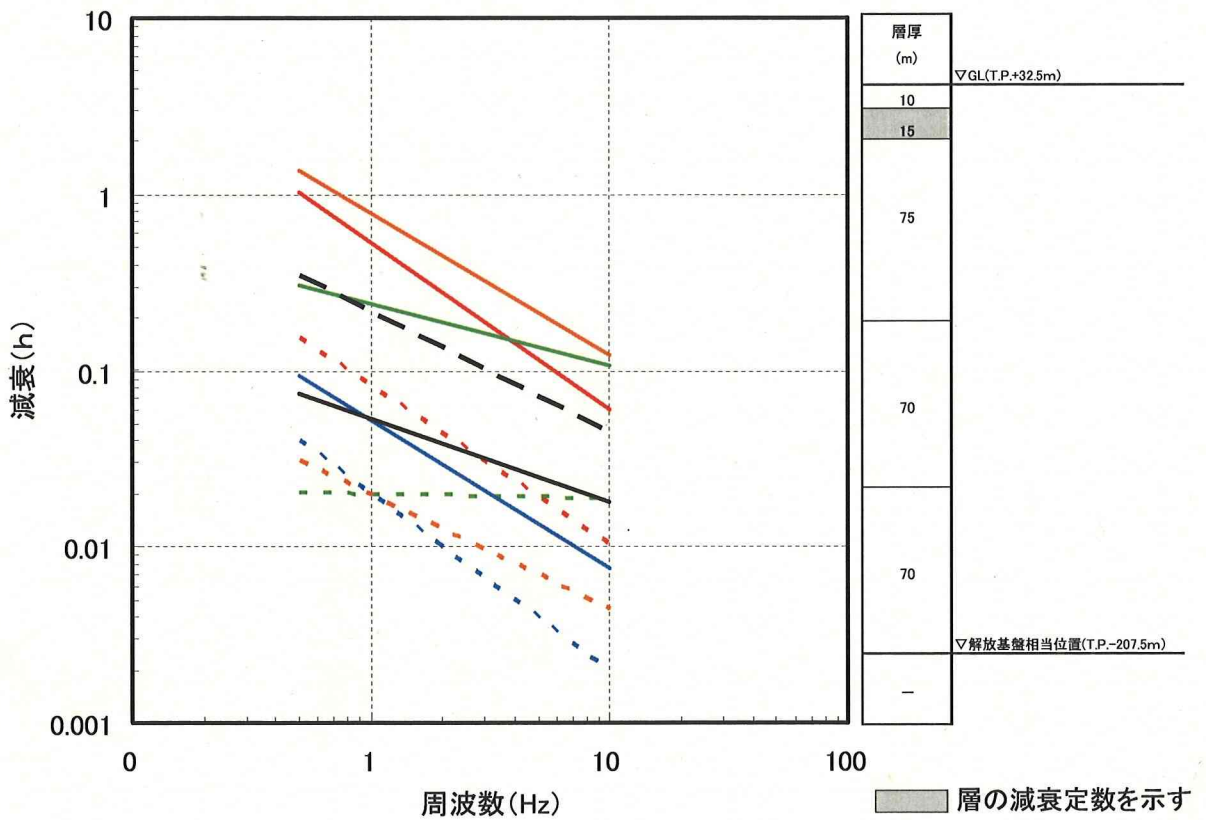


図-4(2) 各層毎の減衰定数と全層同一とした減衰定数の下限値との比較
(T.P.+22.5m~T.P.+7.5m)

- 1993年釧路沖地震(NS) - - - 1993年釧路沖地震(EW)
- 1993年北海道南西沖地震(NS) - - - 1993年北海道南西沖地震(EW)
- 1994年北海道東方沖地震(NS) - - - 1994年北海道東方沖地震(EW)
- 1994年三陸はるか沖地震(NS) - - - 1994年三陸はるか沖地震(EW)
- — 各層毎の4地震の減衰定数の平均
- 全層同一とした4地震の減衰定数の下限値(参考)

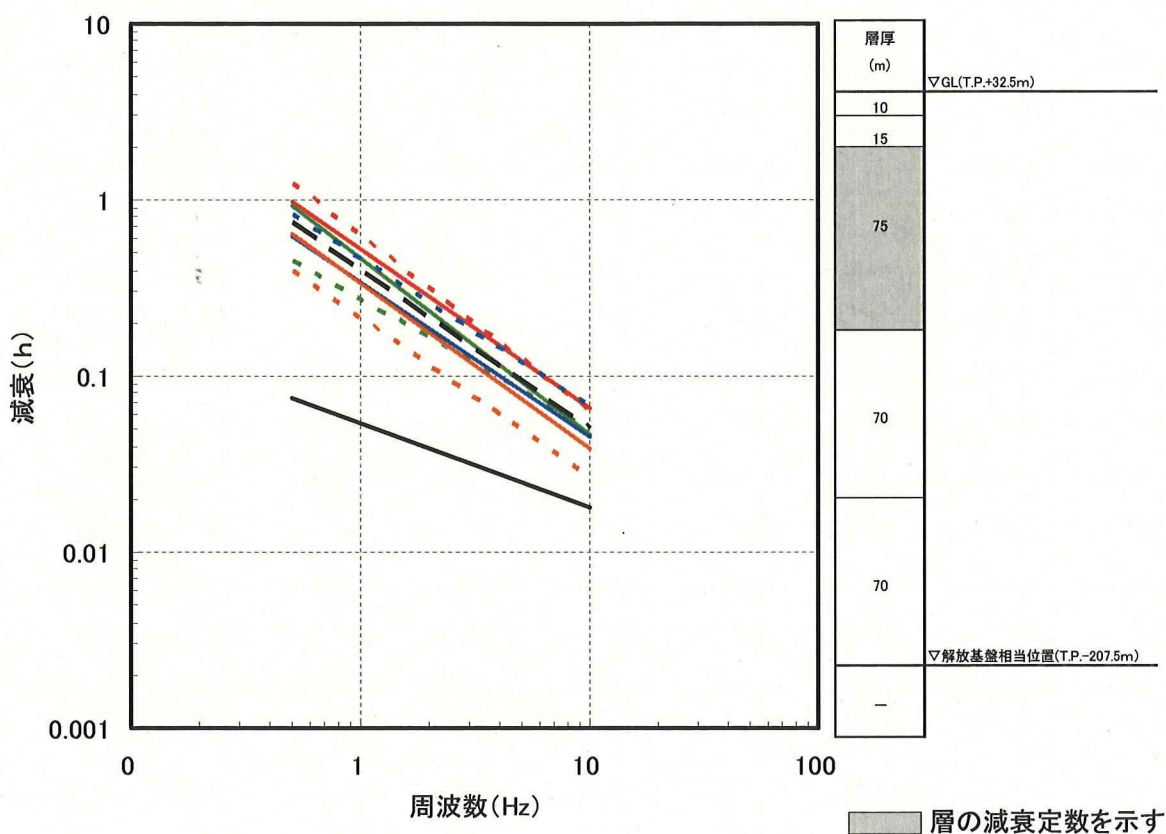


図-4(3) 各層毎の減衰定数と全層同一とした減衰定数の下限値との比較
(T.P.+7.5m~T.P.-67.5m)

- 1993年釧路沖地震(NS) - - - 1993年釧路沖地震(EW)
- 1993年北海道南西沖地震(NS) - - - 1993年北海道南西沖地震(EW)
- 1994年北海道東方沖地震(NS) - - - 1994年北海道東方沖地震(EW)
- 1994年三陸はるか沖地震(NS) - - - 1994年三陸はるか沖地震(EW)
- — 各層毎の4地震の減衰定数の平均
- — 全層同一とした4地震の減衰定数の下限値(参考)

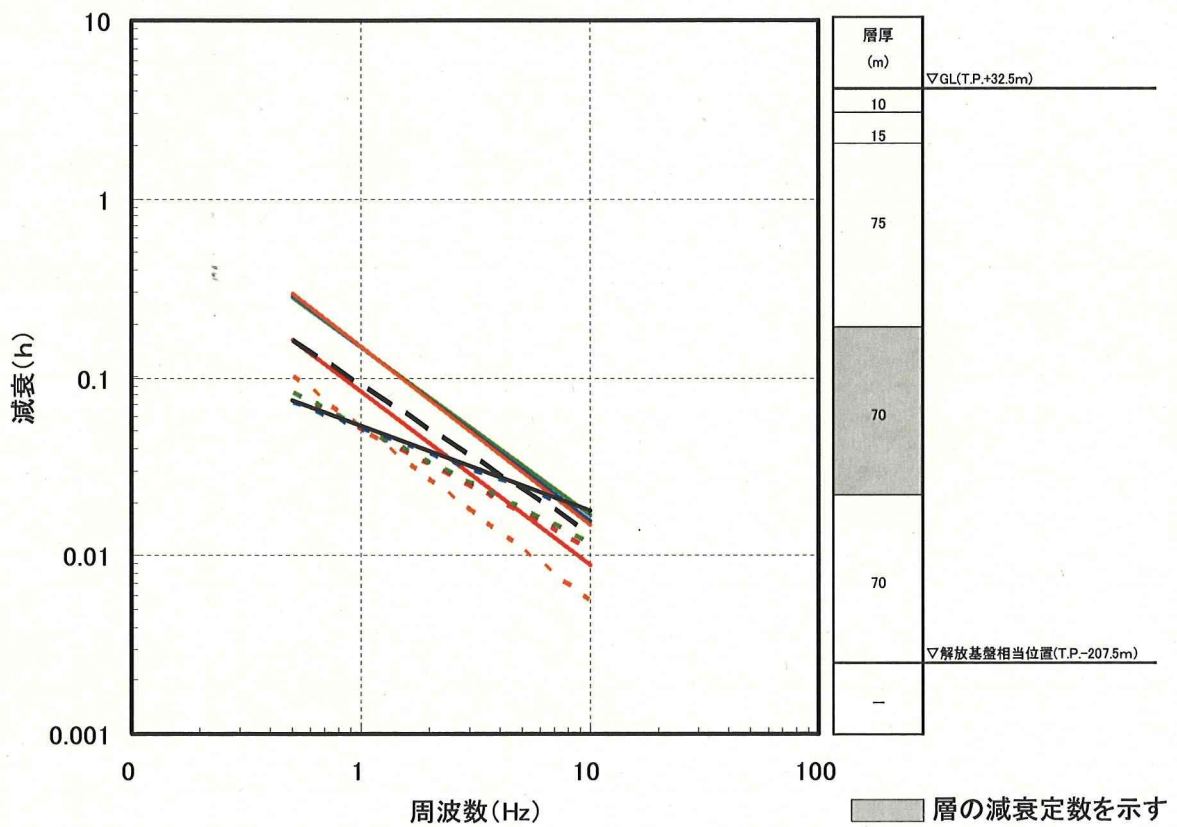


図-4(4) 各層毎の減衰定数と全層同一とした減衰定数の下限値との比較
(T.P.-67.5m~T.P.-137.5m)

- 1993年釧路沖地震(NS) - - - 1993年釧路沖地震(EW)
- 1993年北海道南西沖地震(NS) - - - 1993年北海道南西沖地震(EW)
- 1994年北海道東方沖地震(NS) - - - 1994年北海道東方沖地震(EW)
- 1994年三陸はるか沖地震(NS) - - - 1994年三陸はるか沖地震(EW)
- 各層毎の4地震の減衰定数の平均
- 全層同一とした4地震の減衰定数の下限値(参考)

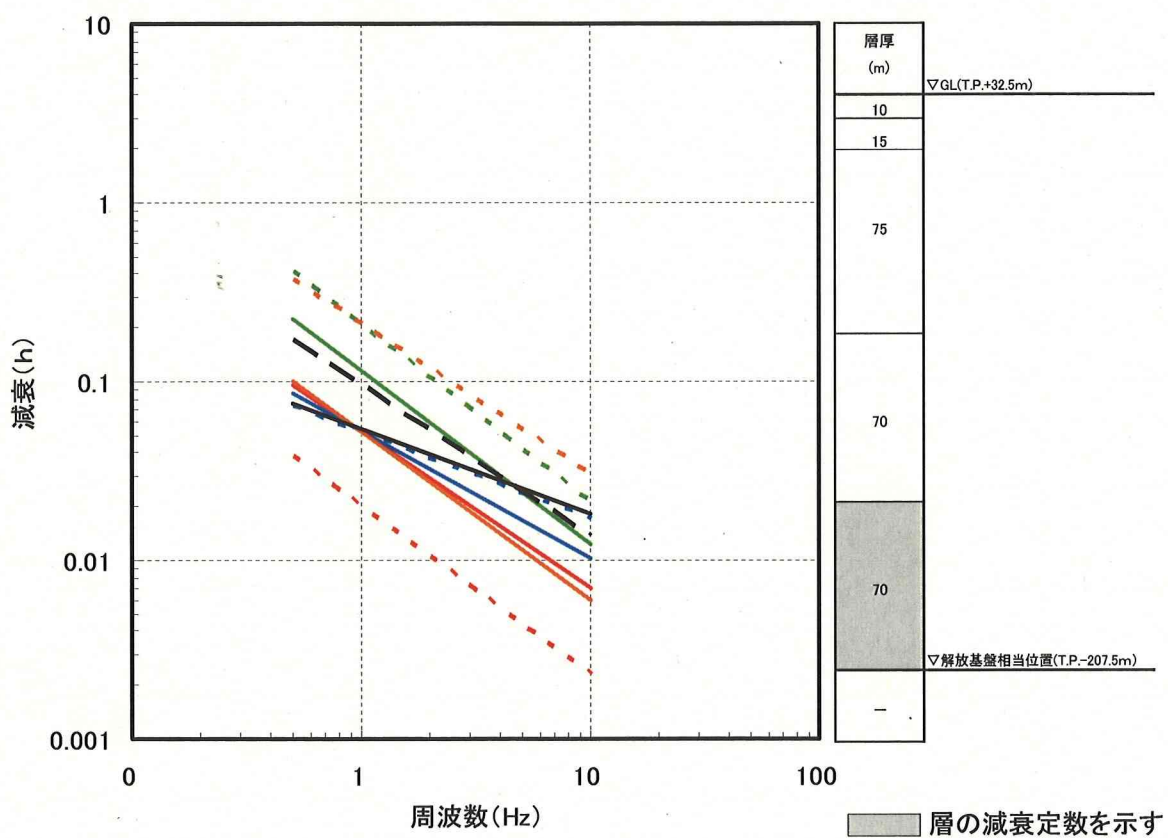


図-4(5) 各層毎の減衰定数と全層同一とした減衰定数の下限値との比較
(T.P.-137.5m~T.P.-207.5m)

- 設計用応答スペクトル S_1-D
- Case1-1 1993年釧路沖地震のはざとり波(NS成分)
(h:各層毎の4地震平均, V_s :PS検層)
- - - Case1-2 1993年釧路沖地震のはざとり波(EW成分)
(h:各層毎の4地震平均, V_s :PS検層)
- Case2-1 1993年釧路沖地震のはざとり波(NS成分)
(h, V_s とも1993年釧路沖地震のNS成分に対する同定結果)
- - - Case2-2 1993年釧路沖地震のはざとり波(EW成分)
(h, V_s とも1993年釧路沖地震のEW成分に対する同定結果)

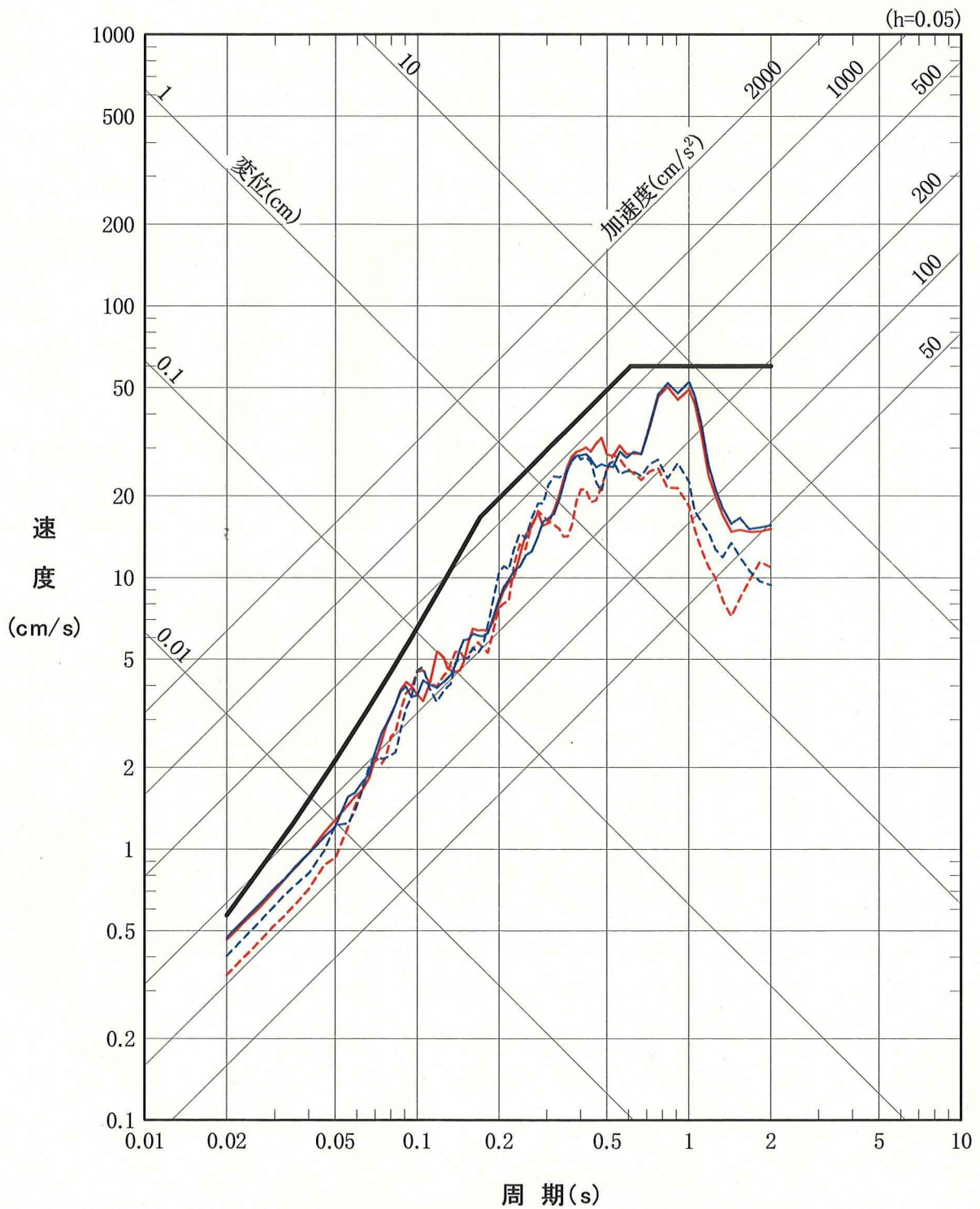


図-5 1993年釧路沖地震観測記録のはざとり波の応答スペクトルと設計用応答スペクトル S_1-D との比較(解放基盤相当位置)
(はざとり解析用地盤の減衰定数は各層毎に設定)