

3.4 中央地盤・東側地盤・西側地盤の比較

3.1 節～3.3 節の結果を踏まえて、中央地盤、東側地盤及び西側地盤における基準地震動 S_s-A に対する地盤の各岩種の最大有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 の比較結果を第 3.4-1 表に整理する。

中央地盤、G14 を除く東側地盤及び西側地盤では、いずれも最大有効せん断ひずみが 0.04% 程度以内に収まり、剛性低下率 G/G_0 は 0.8 程度以上の範囲にあることを確認した。なお、中央地盤の主要な岩種である泥岩（下部層）及び西側地盤の主要な岩種である泥岩（上部層）については、剛性低下率 G/G_0 は 0.95 程度以上の範囲にあり、その他の岩種と比べ岩盤部分の非線形性の影響がより小さいと考えられる。これは、第 3.4-1 図に示すひずみ依存特性の比較結果のとおり、泥岩（下部層）及び泥岩（上部層）は、他の岩種と比較し、剛性が低下しにくい傾向となっているためであると考えられる。

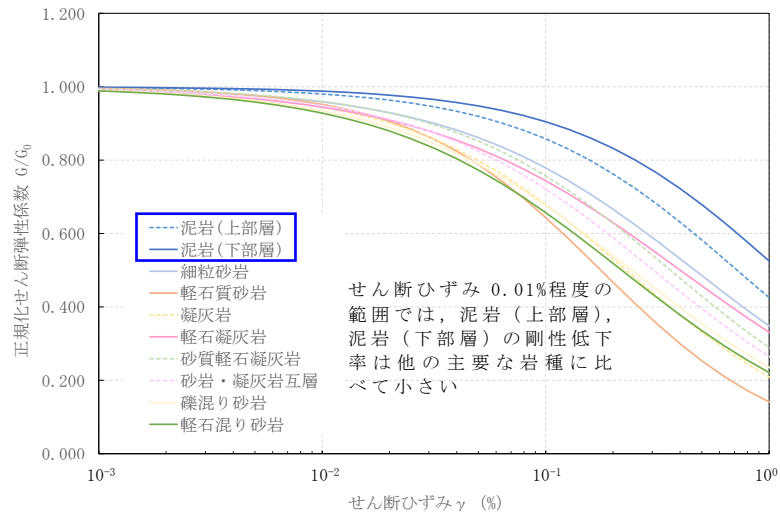
東側地盤の G14 については、3.2 節に示したとおり、軽石凝灰岩の初期せん断弾性係数が他グループと比べ小さいことから、地震時の地盤のせん断ひずみが卓越しやすく、剛性低下が他岩種と比べて大きい傾向であると考えられる。

加速度応答スペクトルへの影響に関しては、中央地盤、東側地盤、西側地盤いずれにおいても、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

底面地盤ばねの剛性への影響に関しては、東側地盤の CA、CB 及び G14 を除く全てのグループで、ばね定数への影響は小さいことを確認した。また、東側地盤の CA、CB 及び G14 については、ばね定数への影響は見られたものの、地震応答解析モデルの固有周期に及ぼす影響は小さいことから、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

第 3.4-1 表 地盤応答解析結果の比較

	最大有効せん断ひずみ	剛性低下率 G/G_0 の 最小値
中央地盤	0.01%～0.03%	0.827
東側地盤（G14 を除く）	0.01%～0.04%	0.851
東側地盤（G14）	0.03%～0.08%	0.774
西側地盤	0.03%～0.04%	0.847



第 3.4-1 図 中央地盤・東側地盤・西側地盤の主要な岩種のひずみ依存特性の比較

4. 1.2×S_s-A の地盤応答解析結果

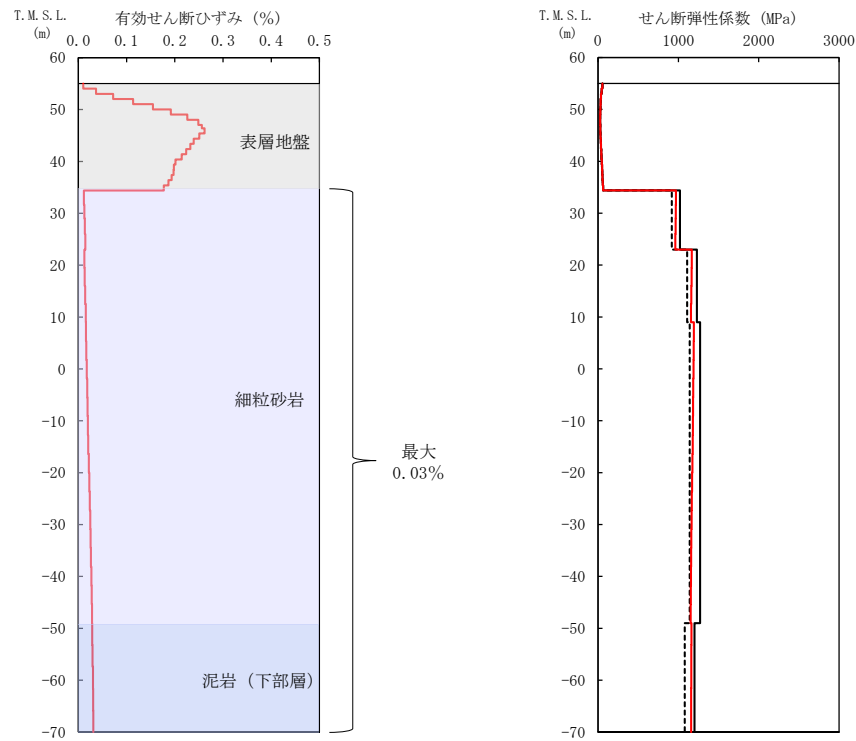
中央地盤、東側地盤及び西側地盤における各グループの 1.2×S_s-A に対する等価線形解析の結果として、地盤の有効せん断ひずみ分布、収束剛性分布、収束物性値及び各建屋の基礎底面レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを第 4-1 図～第 4-12 図に示す。また、地盤の各岩種の最大有効せん断ひずみ及び剛性低下率 G/G_0 の比較結果を基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果と合わせて第 4-1 表に整理する。

いずれのグループにおいても、1.2×S_s-A の地盤応答解析結果は、基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果と比較して、最大有効せん断ひずみの若干の増加に伴い、剛性低下率 G/G_0 の最小値は減少するものの、著しい剛性低下が見られるグループはなかった。また、「3. 基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果」において、底面地盤ばねの剛性への影響及び地震応答解析モデルの固有周期への影響は小さいことから、基準地震動 S_s-A と比較して著しい剛性低下の見られなかった 1.2×S_s-A においても、同様の傾向となると考えられる。上記のことから、岩盤部分の非線形性による剛性低下の影響は小さいものと判断する。

加速度応答スペクトルへの影響に関しては、基準地震動 S_s-A の地盤応答解析結果と同様に、中央地盤、東側地盤、西側地盤いずれにおいても、周期特性に顕著な乖離がないこと、また、建屋の 1 次固有周期において同程度の応答となることから、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

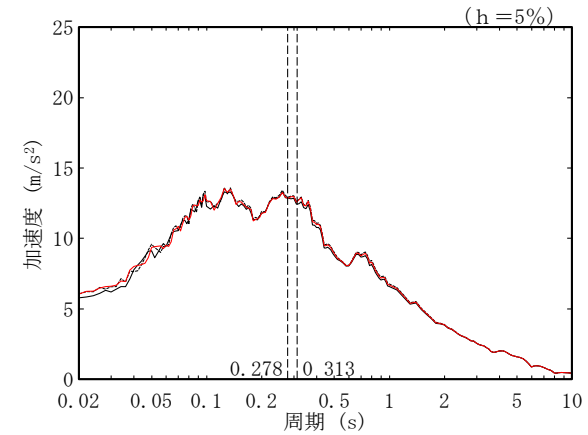
第 4-1 表 地盤応答解析結果の比較

	基準地震動	最大有効 せん断ひずみ	剛性低下率 G/G_0 の 最小値
中央地盤	S _s -A	0.01%～0.03%	0.827
	1.2×S _s -A	0.02%～0.03%	0.809
東側地盤 (G14 を除く)	S _s -A	0.01%～0.04%	0.851
	1.2×S _s -A	0.02%～0.06%	0.820
東側地盤 (G14)	S _s -A	0.03%～0.08%	0.774
	1.2×S _s -A	0.04%～0.10%	0.740
西側地盤	S _s -A	0.03%～0.04%	0.847
	1.2×S _s -A	0.03%～0.05%	0.823



T.M.S.L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AB基礎底面						
34.39	細粒砂岩	18.2	1020	966	0.947	0.03
23.00		18.4	1230	1162	0.945	0.03
9.00		18.0	1270	1173	0.924	0.03
-49.00	泥岩(下部層)	17.5	1200	1160	0.967	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2-1 分離建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS,EW) を示す。

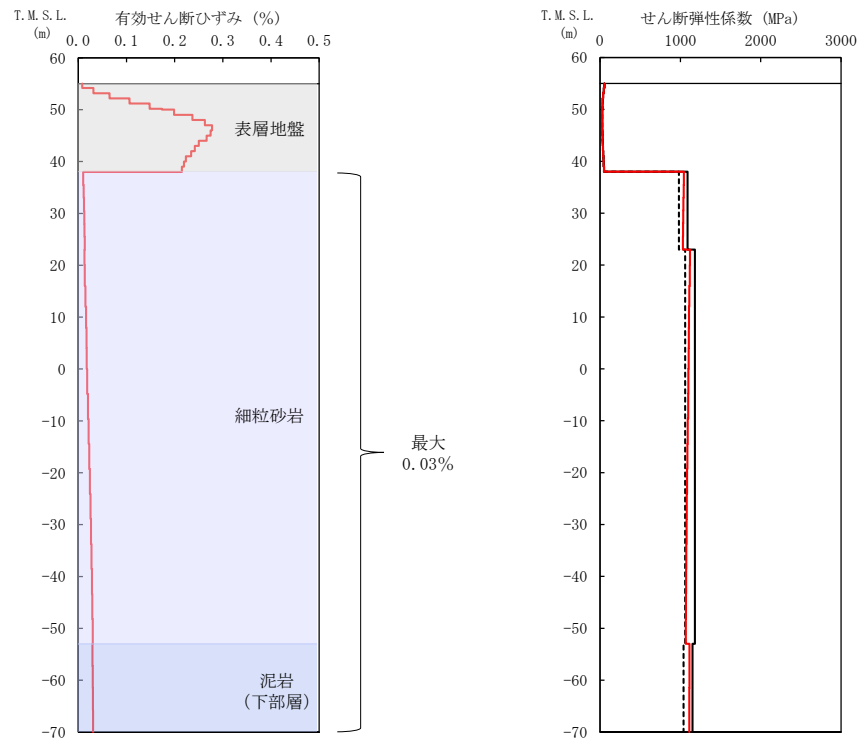
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

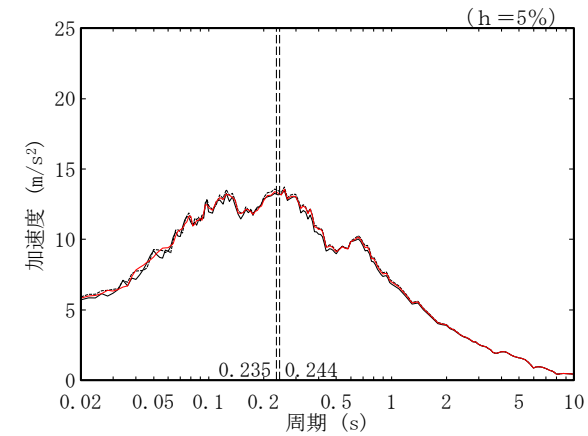
- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-1 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AA 周辺, AB)



T.M.S.L. (m)	岩種	単体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FA基礎底面						
38.00		18.5	1090	1037	0.951	0.03
23.00	細粒砂岩	18.0	1180	1090	0.924	0.03
-53.00	泥岩(下部層)	17.3	1150	1112	0.967	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

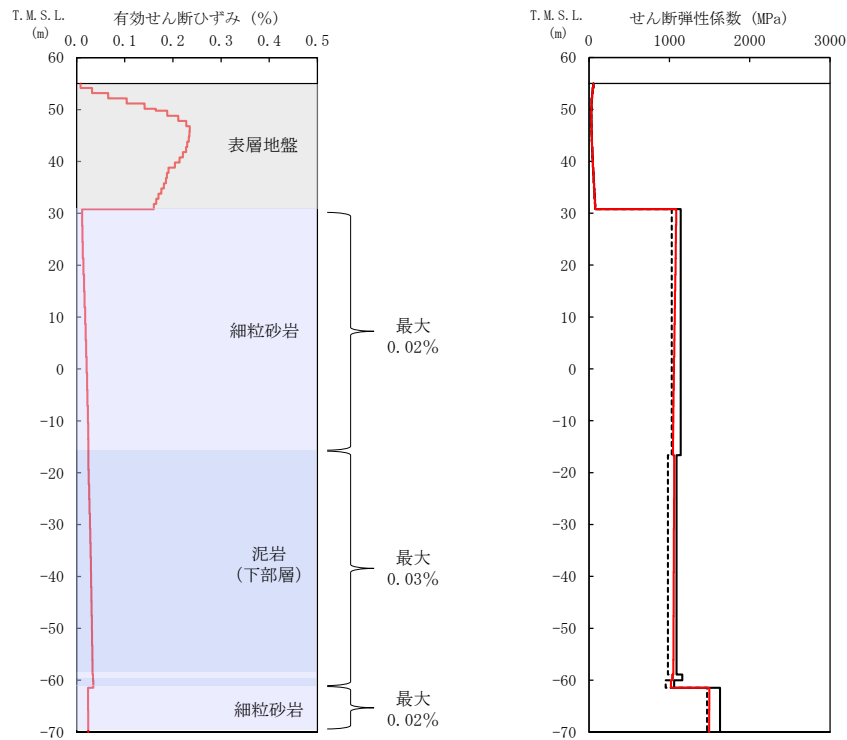
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-2 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, F 施設周辺, FA)



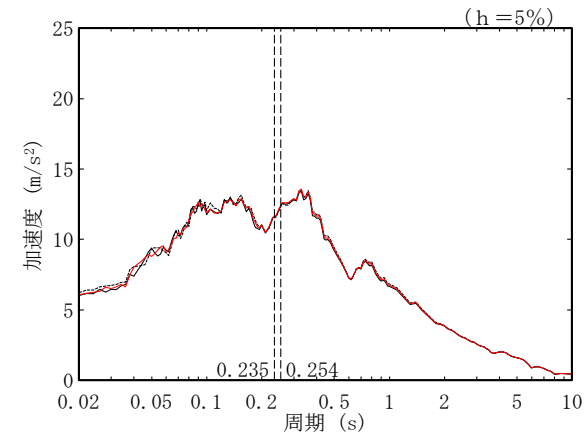
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AE基礎底面						
30.80	細粒砂岩	17.9	1140	1064	0.933	0.03
-16.63	泥岩(下部層)	17.2	1090	1055	0.968	0.03
-58.90	細粒砂岩	18.2	1160	1038	0.895	0.03
-60.02	泥岩(下部層)	16.7	1060	1020	0.962	0.03
-61.46	細粒砂岩	18.4	1630	1497	0.918	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

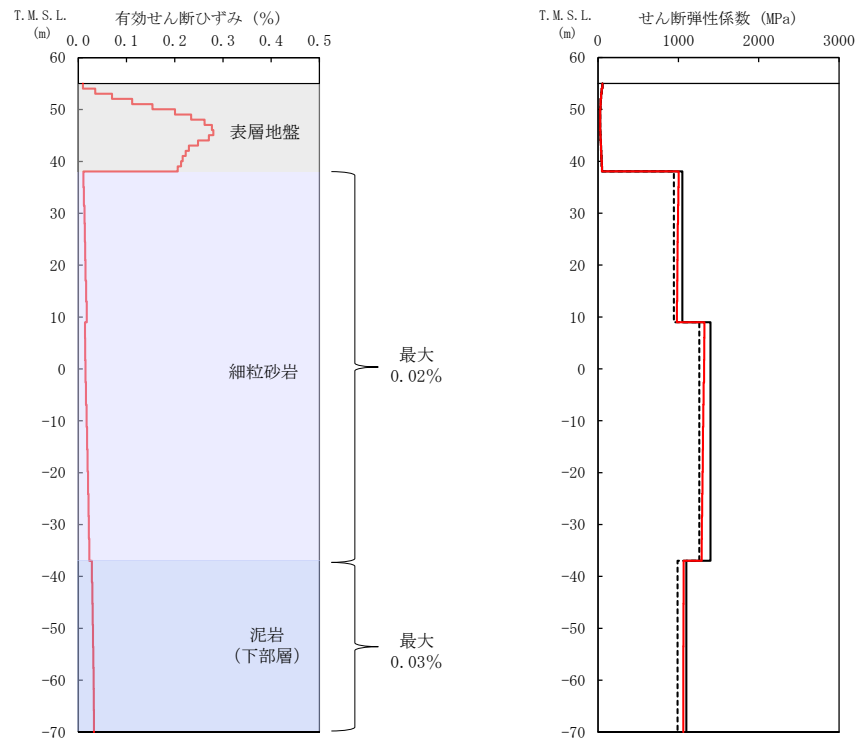
(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-1-1-1 ハル・エンドピース貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

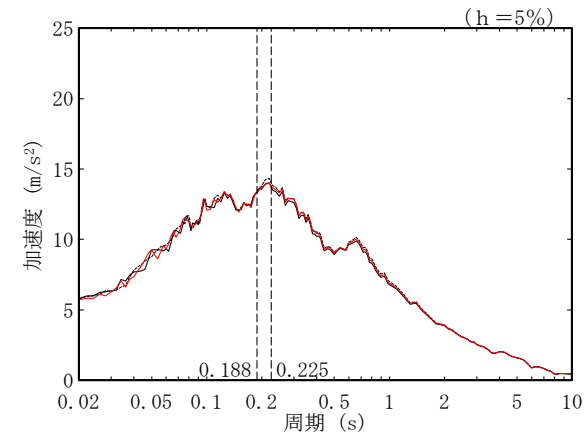
(d) 加速度応答スペクトル

第 4-3 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, AE)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AG基礎底面						
38.05		18.3	1050	992	0.945	0.03
9.00	細粒砂岩	18.1	1400	1307	0.934	0.03
-37.00	泥岩(下部層)	16.9	1100	1063	0.966	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-6-1 制御建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS,EW) を示す。

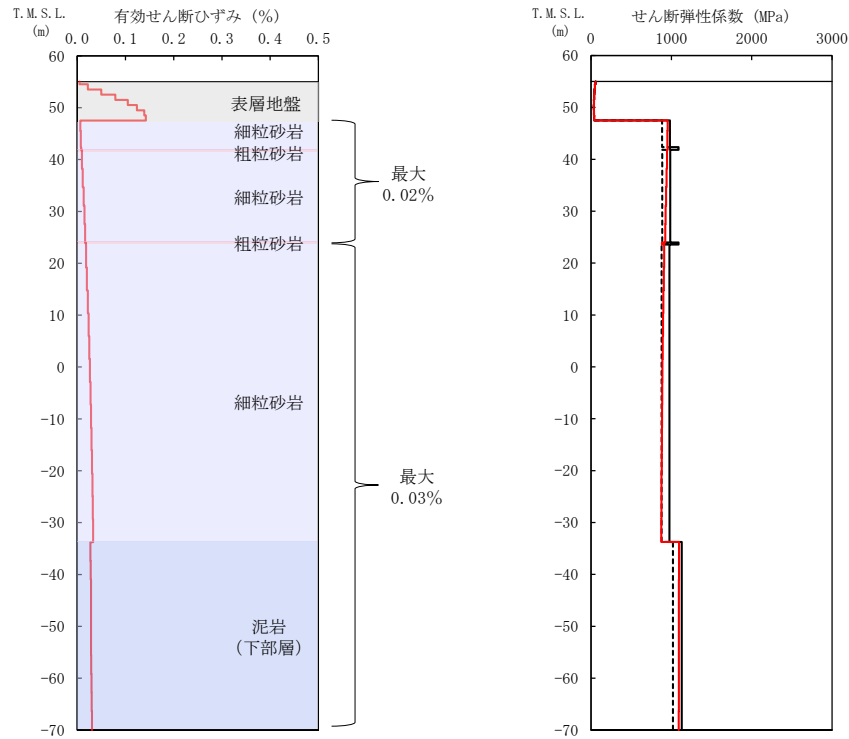
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

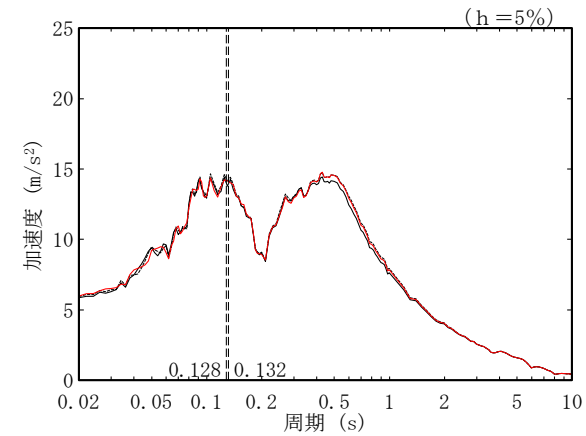
(凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-4 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AG)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽GA基礎底面						
47.50	細粒砂岩	18.1	982	951	0.968	0.03
42.34	粗粒砂岩	20.1	1090	954	0.875	0.03
41.81	細粒砂岩	18.1	986	935	0.948	0.03
23.96	粗粒砂岩	20.1	1090	882	0.809	0.03
23.58	細粒砂岩	18.0	975	889	0.912	0.03
-33.75	泥岩(下部層)	17.4	1130	1094	0.968	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-1-13-1 非常用電源建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS,EW) を示す。

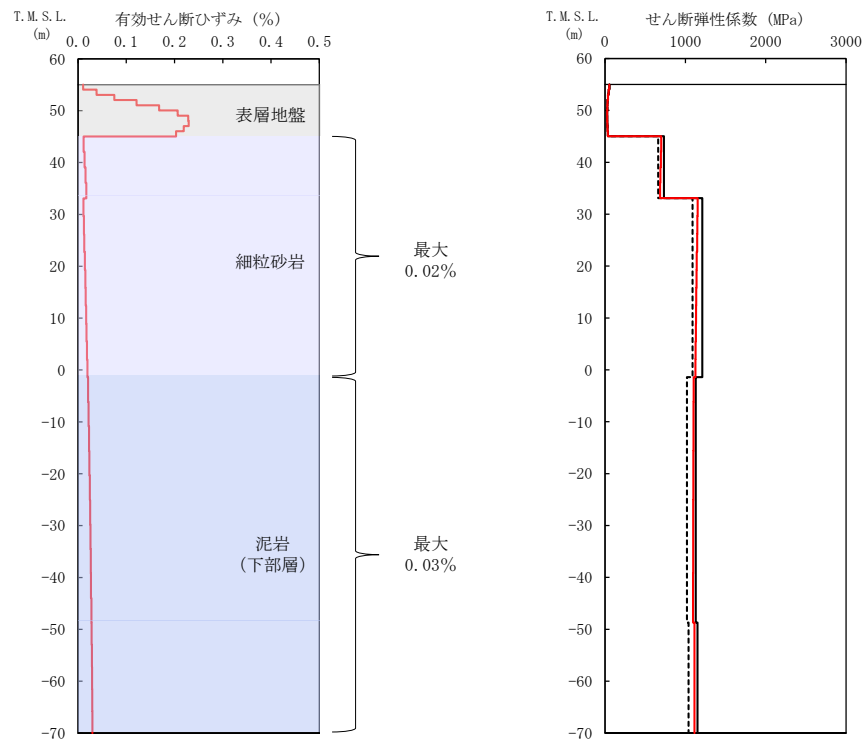
(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-5 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, GA)

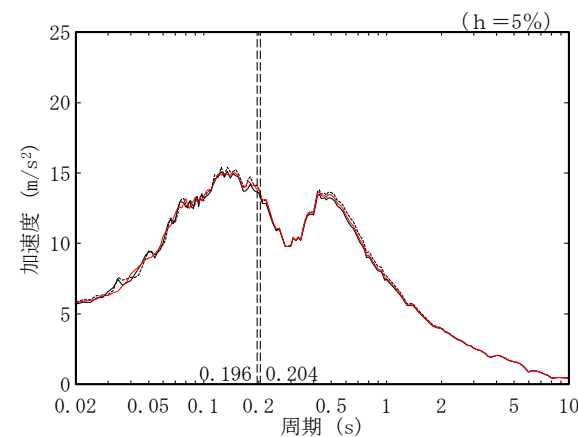


(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h	
▽DC基礎底面	45.03						
	細粒砂岩	18.1	734	693	0.944	0.03	
		33.09	18.0	1210	1138	0.940	0.03
	泥岩(下部層)	-1.41	16.9	1130	1098	0.972	0.03
		-48.71	17.3	1150	1113	0.968	0.03
▽解放基礎表面	-70.00						
	-	17.0	1164	1164	1.000	0.03	

(c) 収束物性値

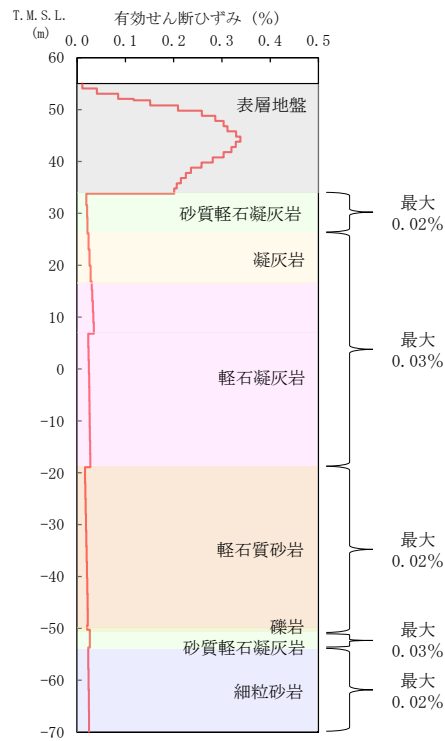


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-10-1 チャンネルボックス・パーナブルポイズン処理建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

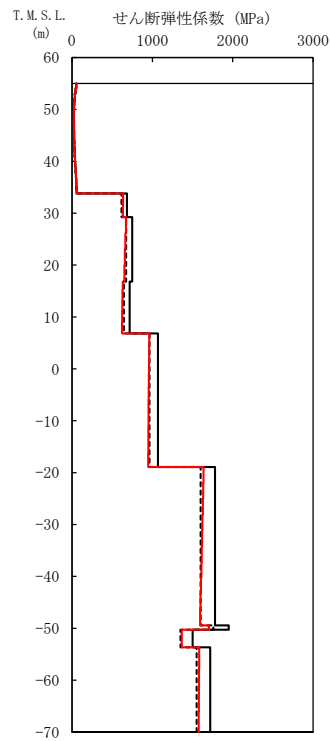
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-6 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s -A, DC)



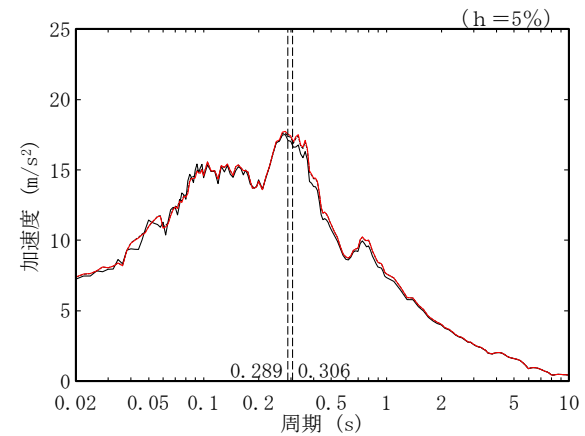
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単体体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AC基礎底面						
33.80	砂質軽石凝灰岩	14.5	684	635	0.928	0.03
29.24	凝灰岩	15.9	749	661	0.883	0.03
16.82	軽石凝灰岩	15.2	717	626	0.873	0.03
6.82		15.3	1070	954	0.892	0.03
-18.93	軽石質砂岩	18.9	1780	1616	0.908	0.03
-49.43	礫岩	20.8	1950	1704	0.874	0.03
-50.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1500	1365	0.910	0.03
-53.68	細粒砂岩	18.3	1720	1579	0.918	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

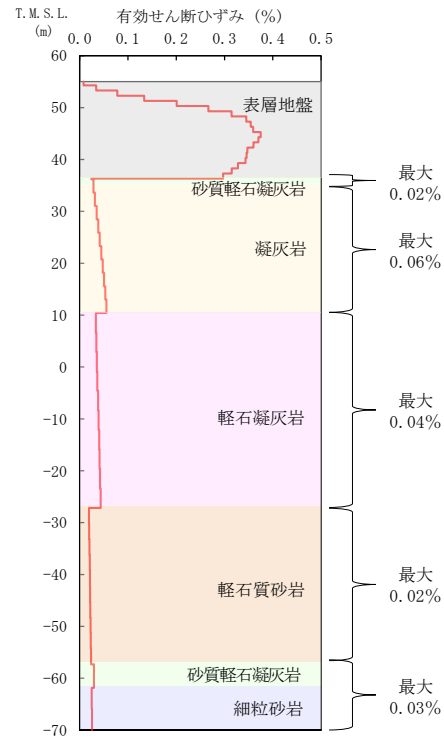


(d) 加速度応答スペクトル

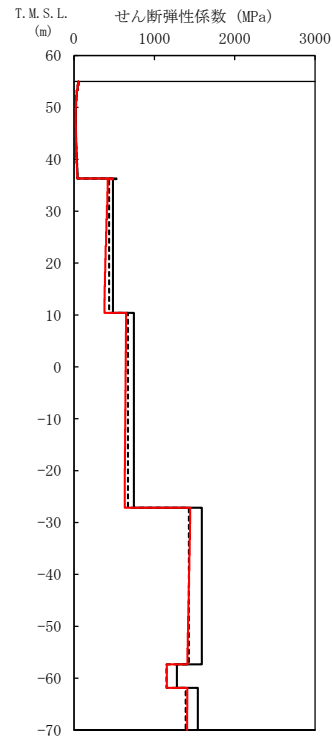
* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-3-1 精製建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS,EW) を示す。

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-7 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AC)



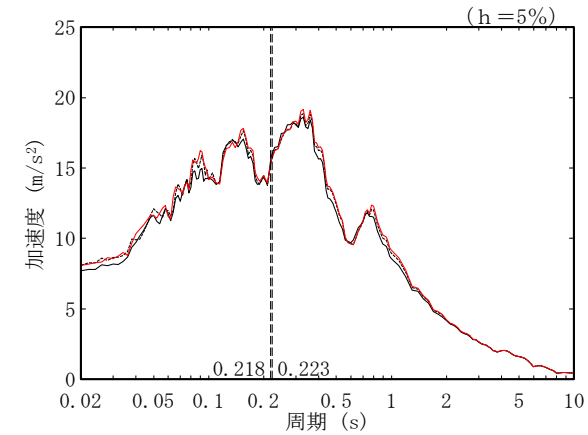
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T.M.S.L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CA基礎底面						
36.30	砂質軽石凝灰岩	17.2	529	483	0.913	0.03
36.19	凝灰岩	15.7	484	397	0.820	0.03
10.42	軽石凝灰岩	14.5	746	639	0.857	0.03
-27.16	軽石質砂岩	18.8	1590	1429	0.899	0.03
-57.33	砂質軽石凝灰岩	15.2	1280	1155	0.902	0.03
-61.86	細粒砂岩	18.2	1540	1409	0.915	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

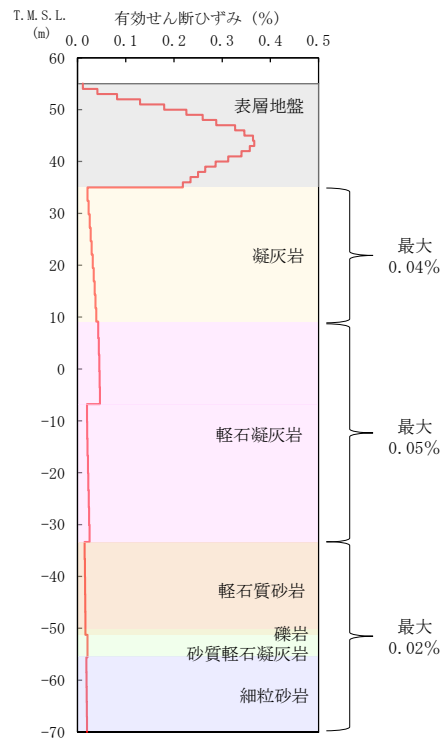


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-4-1 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

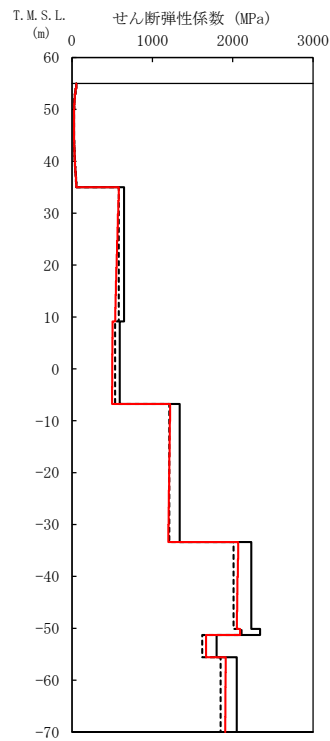
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-8 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s-A, CA)



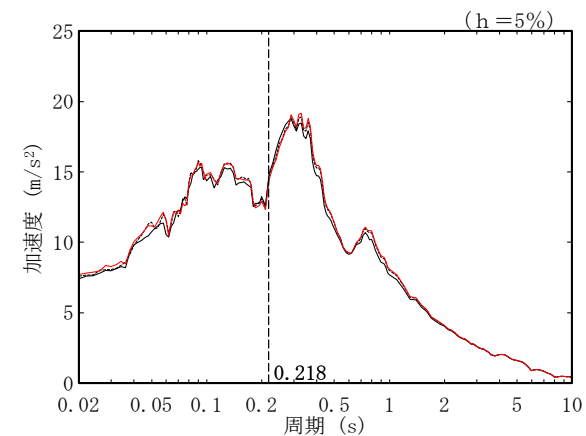
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽CR基礎底面						
35.00	凝灰岩	16.0	647	559	0.864	0.03
9.13	軽石凝灰岩	14.7	595	501	0.842	0.03
-6.77		16.3	1340	1210	0.903	0.03
-33.37	軽石質砂岩	19.8	2230	2059	0.923	0.03
-50.12	礫岩	20.8	2340	2092	0.894	0.03
-51.28	砂質軽石凝灰岩	16.0	1800	1667	0.926	0.03
-55.59	細粒砂岩	18.2	2050	1910	0.932	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

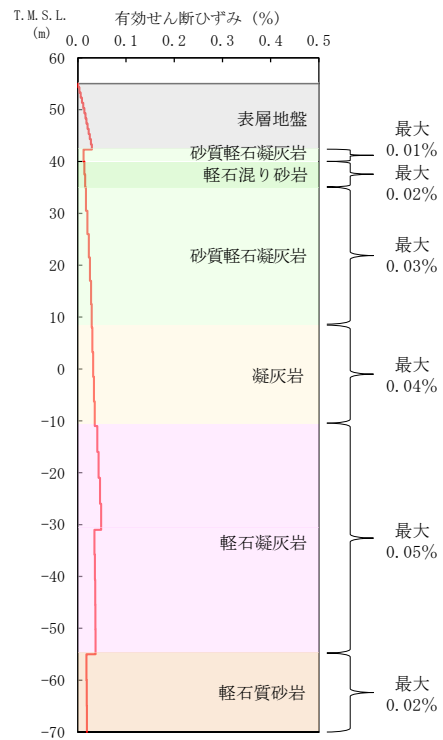


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-5-1 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A の建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

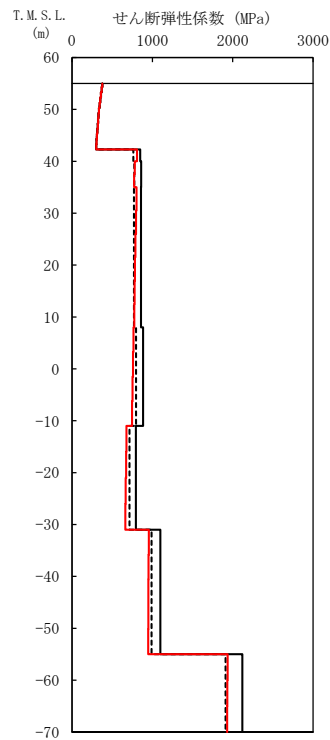
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-9 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, CB)



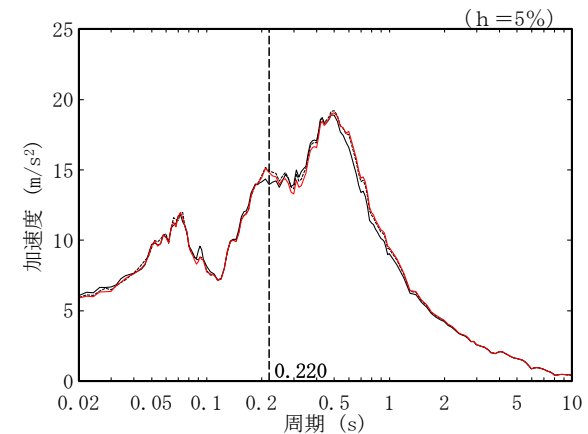
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽AZ基礎底面						
42.30	砂質軽石凝灰岩	14.4	849	809	0.953	0.03
40.00	軽石混り砂岩	14.6	861	777	0.902	0.03
35.00	砂質軽石凝灰岩	15.8	858	788	0.918	0.03
8.00	凝灰岩	16.3	885	756	0.854	0.03
-11.00	軽石凝灰岩	14.6	794	671	0.845	0.03
-31.00		15.6	1100	951	0.865	0.03
-55.00	軽石質砂岩	18.1	2120	1933	0.912	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

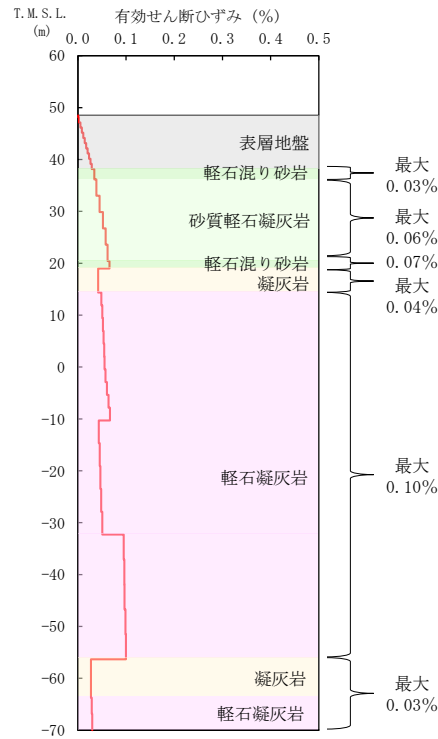


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-2 1-1 緊急時対策建屋の地震応答計算書」に示す Ss-A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

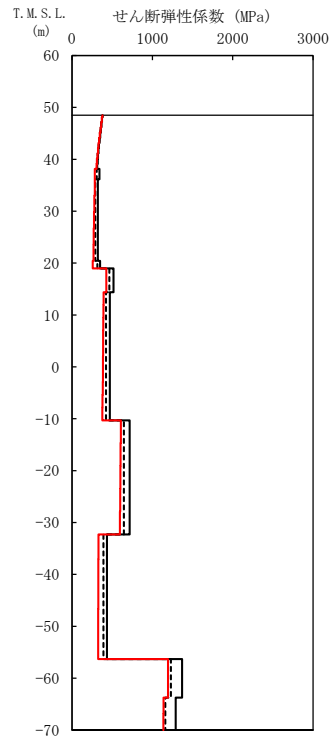
(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例) ——— 初期物性値
 ——— 等価線形解析による収束物性値
 - - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-10 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2×Ss-A, AZ 周辺, AZ)



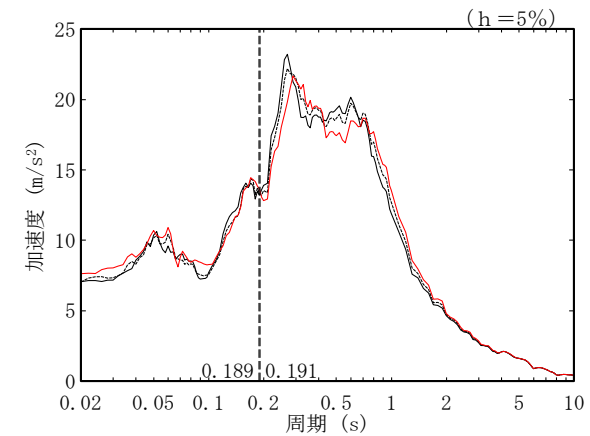
(a) 有効せん断ひずみ



(b) 収束剛性分布

T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	収束せん断 弾性係数 G ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽G14基礎底面						
38.15	軽石混り砂岩	15.8	341	283	0.830	0.03
36.15	砂質軽石凝灰岩	14.9	322	275	0.854	0.03
20.44	軽石混り砂岩	16.2	350	259	0.740	0.03
18.99	凝灰岩	16.2	517	426	0.824	0.03
14.37		14.7	470	386	0.821	0.03
-10.30	軽石凝灰岩	15.2	717	602	0.840	0.03
-32.30		15.2	435	327	0.752	0.03
-56.33	凝灰岩	16.2	1370	1195	0.872	0.03
-63.74	軽石凝灰岩	15.3	1290	1138	0.882	0.03
▽解放基礎表面						
-70.00	—	18.1	1601	1601	1.000	0.03

(c) 収束物性値

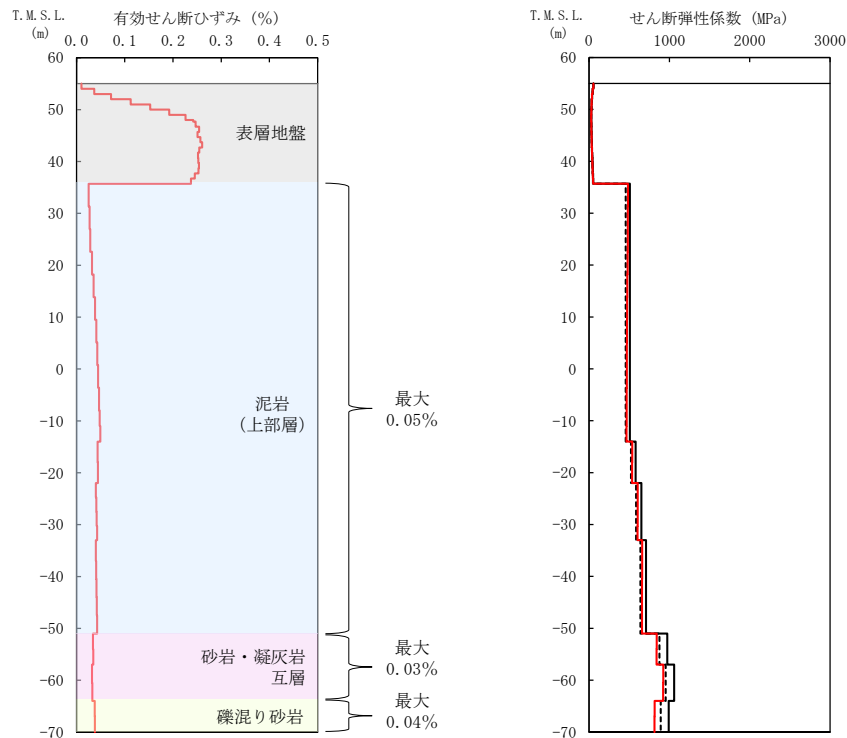


* : 図中の縦点線は、添付書類「IV-2-1-1-1-18-1 第2保管庫・貯水所の地震応答計算書」に示す S_s -Aでの建屋の1次固有周期 (NS, EW) を示す。

(d) 加速度応答スペクトル

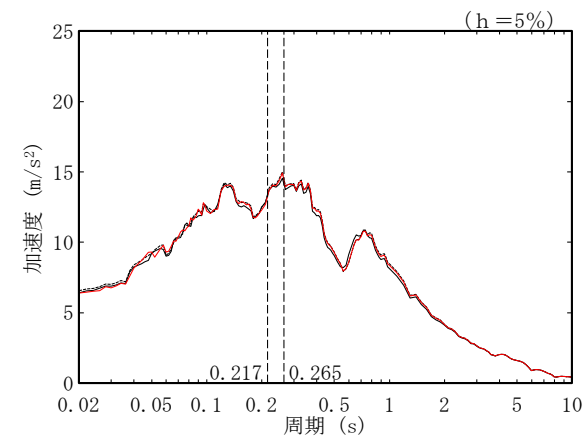
- (凡例) — 初期物性値
 — 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-11 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2× S_s -A, G14)



T. M. S. L. (m)	岩種	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^3$ kN/m ²)	収束せん断弾性係数 G ($\times 10^3$ kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h
▽FR基礎底面						
-35.70	泥岩 (上部層)	15.9	508	475	0.935	0.03
-14.00		15.8	580	537	0.926	0.03
-22.00		16.1	651	606	0.931	0.03
-33.00		16.0	710	660	0.930	0.03
-51.00	砂岩・凝灰岩互層	17.0	973	841	0.864	0.03
-57.00		16.7	1060	922	0.870	0.03
-64.00	礫混り砂岩	15.6	992	816	0.823	0.03
▽解放基盤表面						
-70.00	-	15.9	987	987	1.000	0.03

(c) 収束物性値



* : 図中の縦点線は、添付書類「II-2-1-1-1-1-1 ガラス固化体貯蔵建屋の地震応答計算書」に示す S_s -A での建屋の 1 次固有周期 (NS, EW) を示す。

(a) 有効せん断ひずみ

(b) 収束剛性分布

(d) 加速度応答スペクトル

- (凡例)
- 初期物性値
 - 等価線形解析による収束物性値
 - - - (参考) 10%の剛性低下に対応する物性値

第 4-12 図 地盤の等価線形解析結果 (1.2 \times S_s -A, E 施設周辺, EB)

5. まとめ

本資料においては、岩盤部分の剛性の非線形性が入力地震動に及ぼす影響についての検討を行い、岩盤部分の剛性の非線形性を考慮した場合の影響は小さいことを確認した。

なお、AZ 周辺及び G14 では、加速度応答スペクトルに若干の差がみられることから、その他のパラメータの設定結果も踏まえ、申請時点の耐震評価に用いている入力地震動との比較において、この応答の差についての考察を合わせて行う。

参考 1

固有値解析結果

目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 固有値解析結果	1

1. 概要

底面地盤ばねのばね定数について、等価線形解析による収束物性値の結果が初期物性値による結果に比べて最大で 12%~14%程度小さくなり、岩盤部分の剛性低下による影響が他の建屋に比べて比較的大きいと考えられる CA, CB 及び G14 について、建屋の地震応答解析モデルの固有周期の確認を行う。

2. 固有値解析結果

CA, CB 及び G14 の固有値解析結果及び刺激係数図を第 2-1 表~第 2-12 表に示す。各方向の主要な固有モードにおける固有振動数について、初期物性値による結果と等価線形解析による収束物性値による結果を比較すると、CA 及び CB では最大で 5%程度以内の差であり、G14 では最大で 7%程度以内の差であった。

以上より、地震応答解析モデルの固有周期においては、初期物性値による結果と等価線形解析による収束物性値による結果の差は小さく、剛性低下による影響は小さいものと判断する。

第 2-1 表 CA の固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.236	0.249	4.24	4.01	0.946
2	0.115	0.122	8.72	8.23	0.944
3	0.064	0.065	15.68	15.42	0.983
4	0.048	0.048	20.96	20.88	0.996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(b) EW 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.241	0.255	4.15	3.93	0.947
2	0.117	0.125	8.51	8.02	0.942
3	0.061	0.061	16.53	16.32	0.987
4	0.045	0.045	22.26	22.17	0.996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(c) UD 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.148	0.156	6.75	6.40	0.948
2	0.037	0.037	26.93	26.83	0.996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-2 表 CA の刺激係数図 (NS 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.342$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.326$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.072$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = -0.056$</p>
②	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.324$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.312$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.069$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = -0.048$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

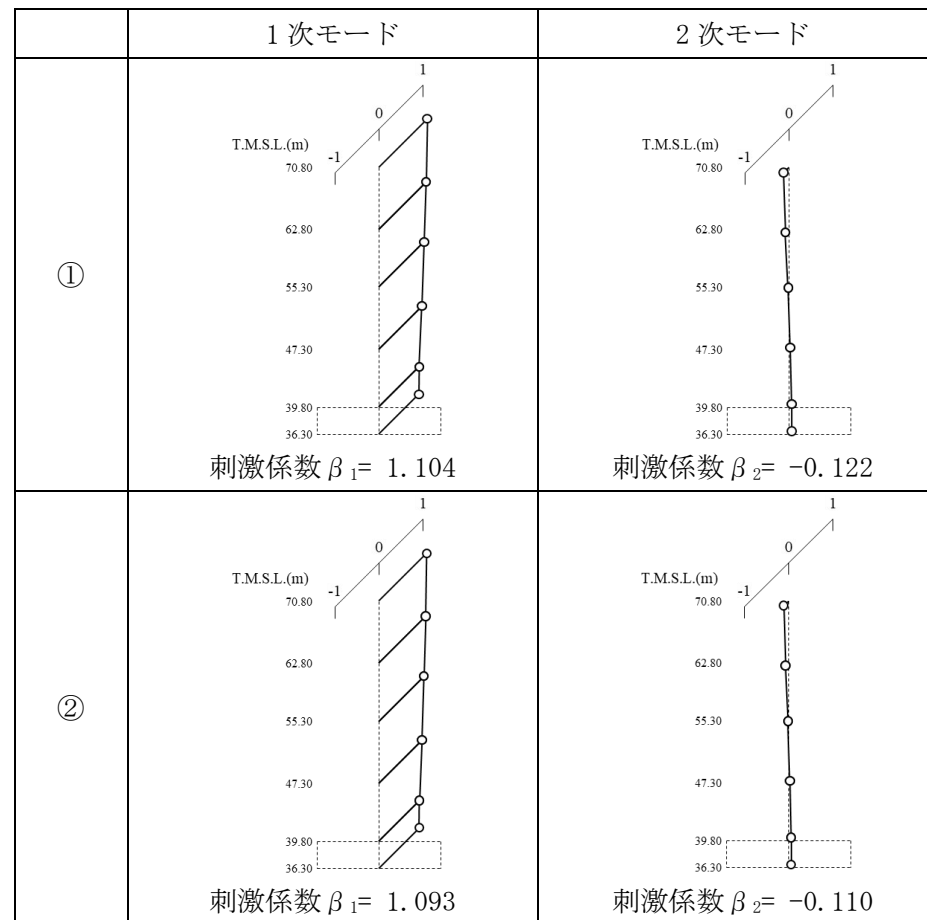
第 2-3 表 CA の刺激係数図 (EW 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.342$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.387$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.073$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = -0.060$</p>
②	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.329$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.379$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.068$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = -0.052$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第2-4表 CAの刺激係数図 (UD方向)



① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-5 表 CB の固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.221	0.233	4.52	4.30	0.951
2	0.108	0.114	9.25	8.75	0.946
3	0.054	0.055	18.46	18.30	0.991
4	0.045	0.045	22.35	22.31	0.998

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(b) EW 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.222	0.233	4.51	4.29	0.951
2	0.108	0.114	9.25	8.76	0.947
3	0.048	0.049	20.76	20.59	0.992
4	0.037	0.037	26.94	26.79	0.994

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(c) UD 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.139	0.147	7.19	6.82	0.949
2	0.030	0.030	33.14	33.03	0.997

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第2-6表 CBの刺激係数図 (NS方向)

	1次モード	2次モード	3次モード	4次モード
①	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.409$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = -0.394$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.185$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.235$</p>
②	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.395$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.382$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.167$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.206$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

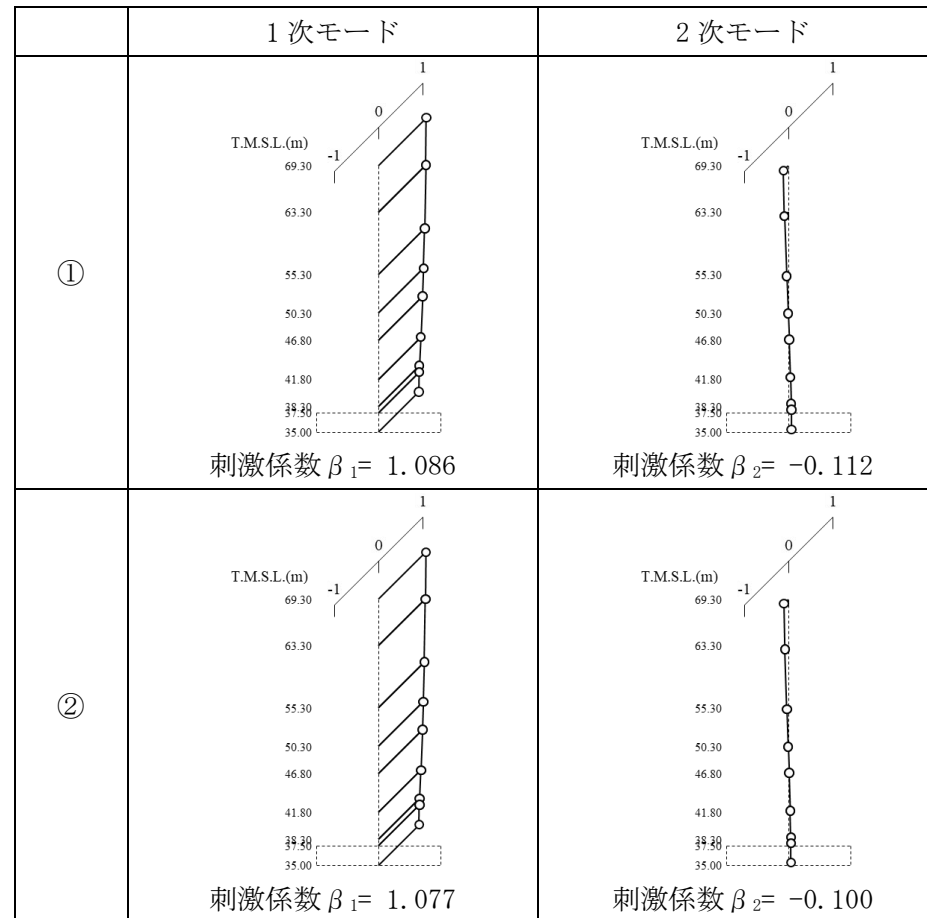
第2-7表 CBの刺激係数図 (EW方向)

	1次モード	2次モード	3次モード	4次モード
①	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.376$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.406$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.080$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.084$</p>
②	<p>刺激係数 $\beta_1 = 1.367$</p>	<p>刺激係数 $\beta_2 = 0.404$</p>	<p>刺激係数 $\beta_3 = -0.073$</p>	<p>刺激係数 $\beta_4 = 0.073$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-8 表 CB の刺激係数図 (UD 方向)



① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-9 表 G14 の固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.228	0.242	4.38	4.14	0.945
2	0.121	0.129	8.30	7.75	0.934
3	0.061	0.061	16.42	16.34	0.995
4	0.044	0.044	22.75	22.74	0.9996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

(b) EW 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.229	0.242	4.37	4.13	0.945
2	0.133	0.143	7.52	6.99	0.930
3	0.059	0.059	16.88	16.84	0.998
4	0.038	0.038	26.41	26.40	0.9996

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

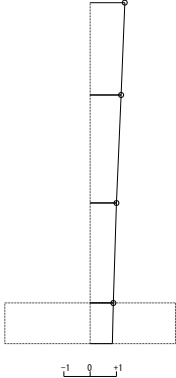
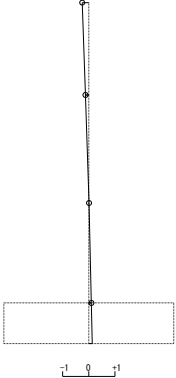
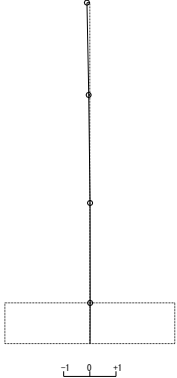
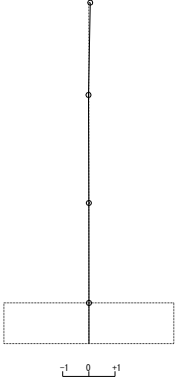
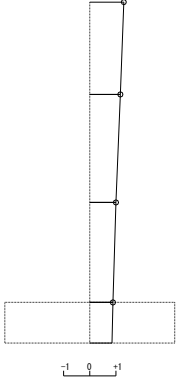
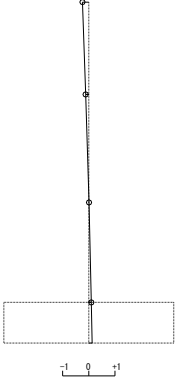
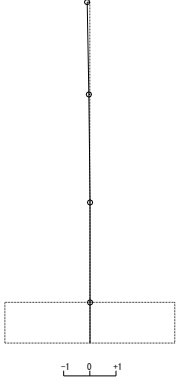
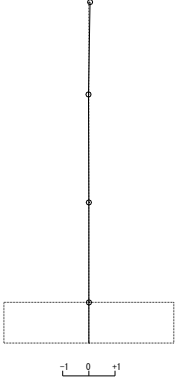
(c) UD 方向

次数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)		
	①	②	①	②	②/①
1	0.166	0.178	6.02	5.63	0.935
2	0.028	0.028	36.36	36.34	0.999

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

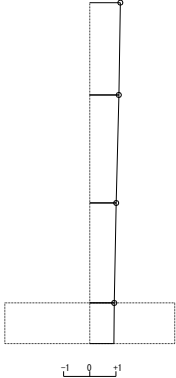
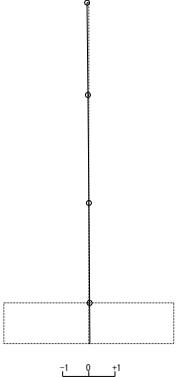
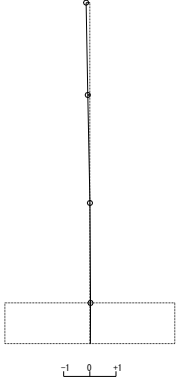
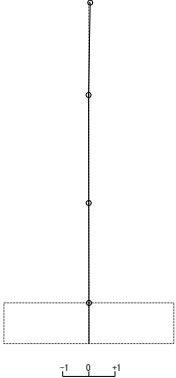
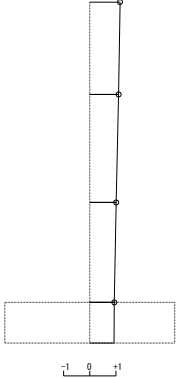
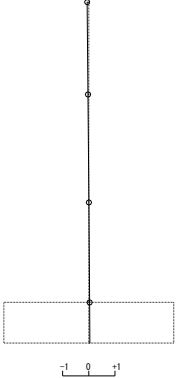
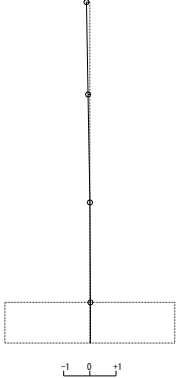
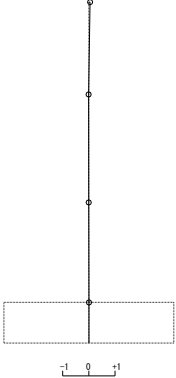
第 2-10 表 G14 の刺激係数図 (NS 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.317$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.254$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.111$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.054$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.301$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.241$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.102$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.048$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

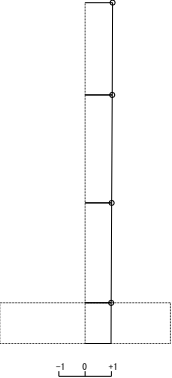
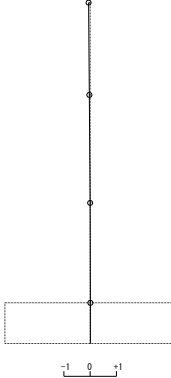
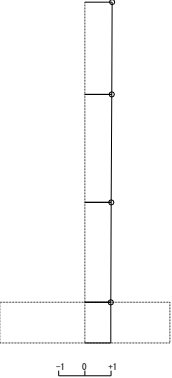
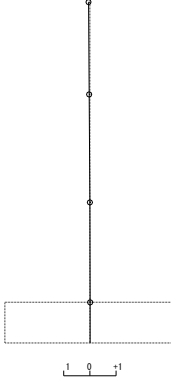
第 2-11 表 G14 の刺激係数図 (EW 方向)

	1 次モード	2 次モード	3 次モード	4 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.171$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.065$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.145$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.054$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.158$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.063$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_3 = -0.128$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_4 = 0.047$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

第 2-12 表 G14 の刺激係数図 (UD 方向)

	1 次モード	2 次モード
①	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.046$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.060$</p>
②	 <p>刺激係数 $\beta_1 = 1.040$</p>	 <p>刺激係数 $\beta_2 = -0.052$</p>

① 初期物性値

② 等価線形解析による収束物性値

別紙 2 - 3

岩盤部分の減衰定数に係る検討について

目 次

	ページ
1. はじめに	1
2. 地盤の実態を考慮したパラメータの評価方針	3
2.1 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理	3
2.1.1 JEAG4601-2015 における設定方法	3
2.1.2 JEAG4601-1987 における設定方法	4
2.2 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて	9
3. 敷地における減衰定数の評価方法	10
3.1 既認可時点における評価の考え方	10
3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方	12
3.3 敷地における減衰定数の評価方法	15
3.3.1 三軸圧縮試験による評価方法	17
3.3.2 S波検層による評価方法	17
3.3.3 地震観測記録による評価方法	18
3.3.4 岩石コア試験及び速度構造による評価方法	19
4. 三軸圧縮試験による評価結果	20
5. 敷地におけるS波検層による評価結果	27
6. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果	31
6.1 地震観測記録を用いた減衰定数の評価方法	32
6.2 敷地における地震観測の概要	33
6.3 伝達関数による検討	36
6.3.1 評価に用いる地震観測記録	36
6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲	47
6.3.3 目的関数の設定	52
6.3.4 減衰定数の周波数依存特性の考慮	68
6.3.5 評価方法及び条件	71
6.3.6 伝達関数による評価結果	72
6.3.7 応答スペクトルによる評価結果	97

6.4	地震波干渉法による検討	106
6.4.1	評価の概要	106
6.4.2	地震観測記録のスタッキング及び評価に用いる観測記録の抽出	107
6.4.3	減衰定数の推定結果	118
6.5	速度構造の相対的な比較に基づく考察	119
7.	地盤の実態を考慮したパラメータの設定	126
7.1	地盤の実態を考慮した減衰定数の値及び周波数特性	126
7.2	地盤の実態を考慮した減衰定数の非線形性	127
8.	「基本地盤モデル」に考慮するパラメータの設定	128
8.1	「基本地盤モデル」に考慮するパラメータの設定	128
8.2	周波数依存特性を考慮しない設定の適用性	129
8.2.1	周波数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価	129
8.2.2	適用性の確認に係る検討方針	133
8.2.3	適用性の確認結果	134
8.3	ひずみ依存特性を考慮しない場合についての検討	142
8.4	鉛直方向の減衰定数の扱い	145
8.5	設計における保守性の観点での設定	146
9.	まとめ	147

1. はじめに

本資料は、第2回申請対象施設における地盤モデルのパラメータのうち、岩盤部分の減衰定数について、その設定の考え方を示すものである。

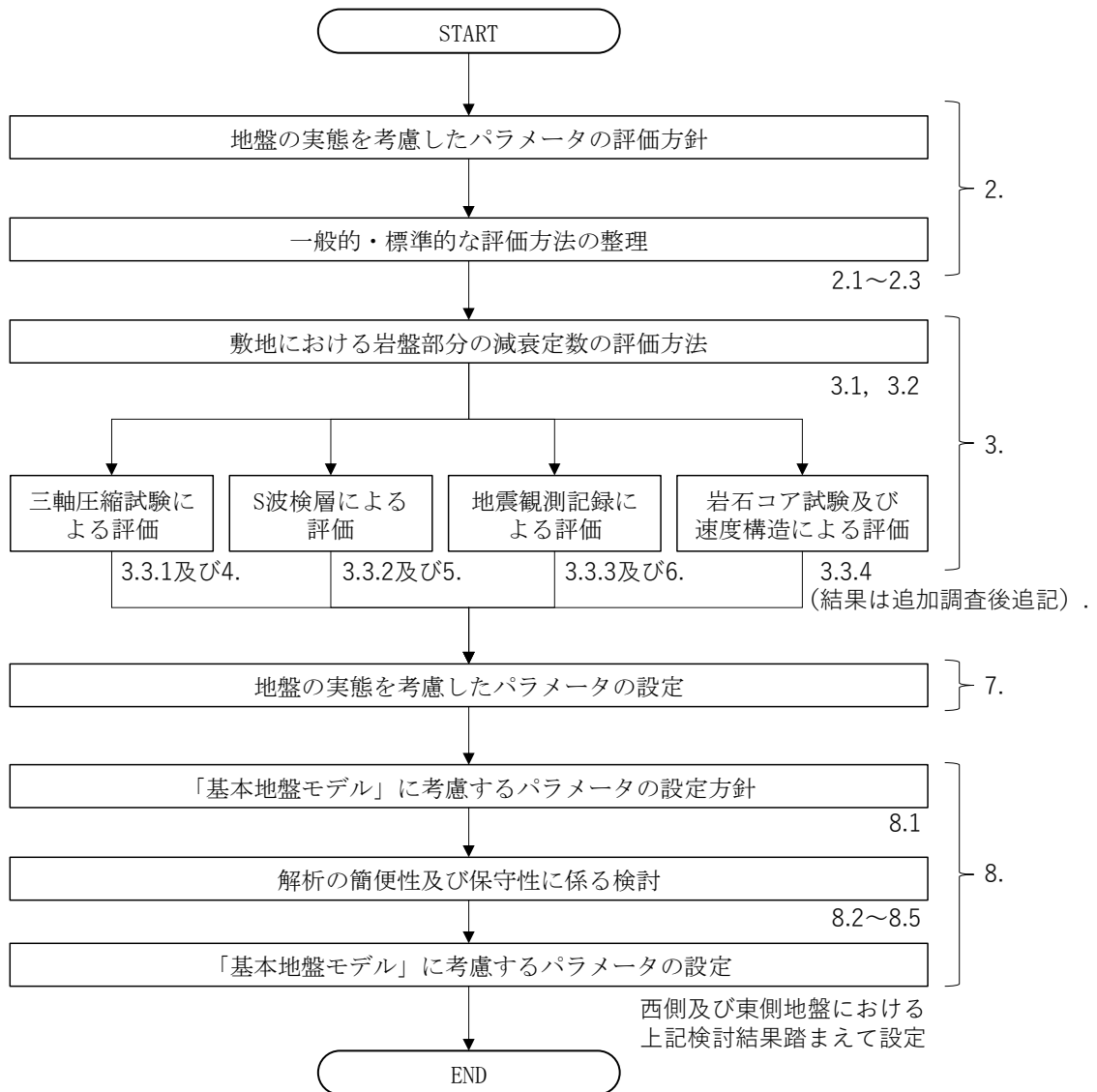
岩盤部分の減衰定数については、本文「3. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定方針」に基づき、まずは、地盤の実態を考慮したパラメータとして、敷地内にて得られている地震観測記録及び各種調査結果をよく説明するモデルとして、一般的・標準的な設定手法に基づく評価方法を用いて設定する。

その上で、また、第2回申請対象施設における「基本地盤モデル」の設定にあたり、解析の簡便性や設計上の保守性を考慮した上で、耐震設計上用いるパラメータを設定する。

上記の検討に係るフローを第1-1図に示す。

既認可時点においては、岩盤部分の減衰定数について、基準地震動 S2 時の設定値として3%としているが、今回設工認においては、地盤の実態を考慮する上で、既認可時と比較して、基準地震動 Ss が増大していることや、地盤の検討に関する知見や近年発生した地震の観測記録が得られていることを踏まえ、一般的かつ標準的な減衰定数の設定の考え方として、JEAG4601-1987 に示される複数の設定手法に基づき検討を実施した。

また、既認可時点においては、岩盤部分の減衰定数について、非線形性を考慮せず、地盤のひずみによらず一定の値を設定しているが、今回設工認においては、地盤の実態を考慮する上で、既認可時と比較して基準地震動 Ss が増大しており、岩盤部分についても非線形化により入力地震動の算定への影響が考えられることから、「別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性に係る検討について」において整理している Ss 地震時の岩盤部分のせん断ひずみレベルに対応する減衰定数を確認し、本資料において評価した敷地地盤における減衰定数との関係性について考察を行った。



注記：図中に付す番号は本資料において対応する章番号を記載している。

第 1-1 表 検討フロー

2. 地盤の実態を考慮したパラメータの評価方針

敷地における地盤の実態を考慮した減衰定数は、規格・基準類に基づく一般的・標準的な手法を用い、地震観測記録や各種調査結果をよく説明する減衰定数の値として設定することとし、敷地において得られた各種調査データ等に基づき評価する。

2.1 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理

岩盤部分の減衰定数の設定に係る一般的・標準的な手法である、JEAG4601-2015 及び JEAG4601-1987 に示される評価手法を整理した。

2.1.1 JEAG4601-2015 における設定方法

JEAG4601-2015 では、地盤の減衰定数の設定について、既設発電所における減衰定数の設定に係る調査に基づく慣用値が示されており、「硬岩では減衰定数として 2～3%，軟岩では 3～5%の範囲の値が用いられている」とされている。

2.1.2 JEAG4601-1987における設定方法

JEAG4601-1987では、動的解析用の地盤の物性値を定める上で、地震観測や振動試験などの動的な実現象と整合することの観点で、地盤の物性値を定めるための試験または評価手法が複数示されている。

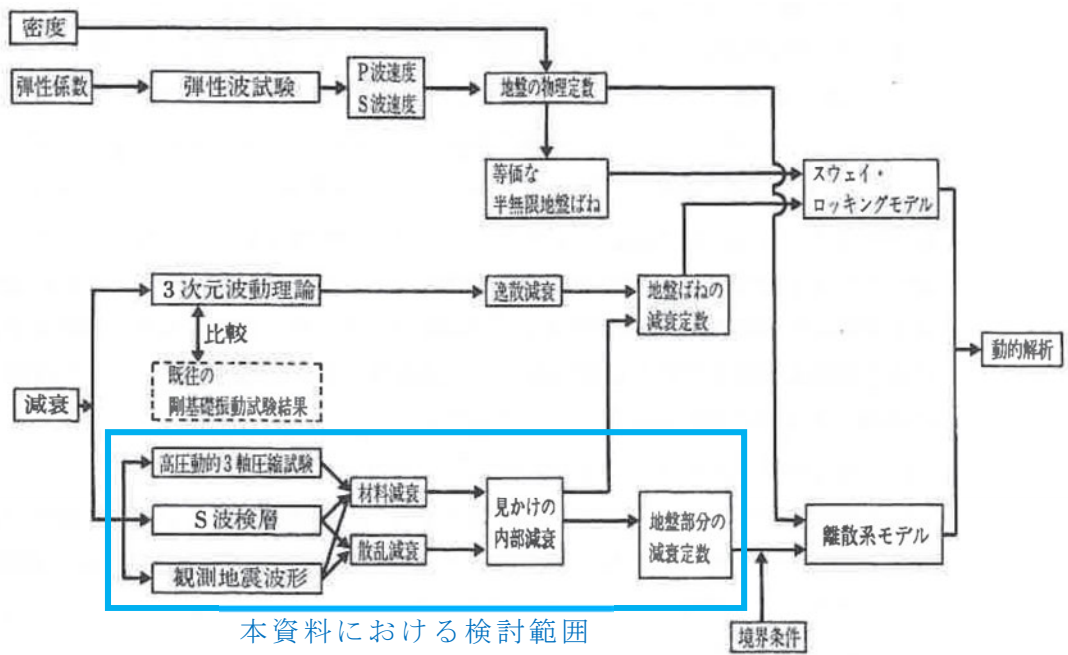
このうち、地盤の減衰定数については、高圧動的三軸圧縮試験（以下、「三軸圧縮試験」という。）、S波検層、地震観測記録に基づく3手法が示されており、それぞれの手法において着目される地盤減衰の因子（材料減衰と散乱減衰）の違いや、既往知見における評価例があわせて示されている。

また、JEAG4601-2015においても、建物・構築物の耐震設計における地震応答解析に用いる地盤の物性値の設定手法について、JEAG4601-1987と同様の3手法が示された上で、地盤の応答解析においては、材料減衰と散乱減衰を含んだものを用いるとされており、また、地震観測結果により減衰定数が算定されている場合には、その減衰定数を参考にすることができるとされている。

第2.1.2-1図に、JEAG4601-1987に記載の地盤の物性値評価のフローを示す。JEAG4601-1987では、地震応答解析において検討の対象となる地盤の減衰としては、以下の2要因が挙げられており、地盤の減衰はこれらが組み合わされたものであるとされている。

- ・材料減衰：地盤内部の非弾性的性質によるもの（ひずみ依存特性に対応）
- ・散乱減衰：地盤の不均質、不連続による境界面での反射などによる波動の逸散によるもの

あわせて、JEAG4601-1987では、(1)～(3)に示すとおり、減衰定数の評価手法についても示されており、地盤の減衰定数を評価する手法ごとに、考慮可能な地盤減衰の因子（材料減衰と散乱減衰）が異なるとされている。



第 2.1.2-1 図 地盤の物性値評価のフロー（JEAG4601-1987 に加筆）

(1) 三軸圧縮試験による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、繰返し三軸圧縮試験により、せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を把握するものとされている。

本手法は、振動1サイクル中の最大ひずみエネルギーとその間に消費されるエネルギー、すなわち履歴減衰を評価しているものであり、地盤減衰の因子のうち、材料減衰に相当していることになる。また、ボーリングコアから得られた供試体を用いた試験によるものであることから、原位置における地盤の不均質・不連続による散乱減衰は考慮されていない。

なお、この手法により評価された減衰定数は、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示している、敷地における三軸圧縮試験結果に基づく岩種ごとのひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）に対応するものである。

また、地盤の実態を考慮したパラメータの設定にあたり、表層地盤の減衰定数については、 S_s 地震時に生じる表層地盤のひずみは大きくなると考えられ、散乱減衰よりも材料減衰による寄与が大きくなると考えられることから、本文に示すとおり、三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）のみを考慮することとしている。

(2) S波検層による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、ボーリング孔において実施したS波検層の記録波形のうち、直達波と判断される部分の振幅の変化率に基づき、振動数ごとに求めた見かけ上の減衰から、地盤のモデルより求めた幾何減衰及び境界面での反射等による影響を差し引くことで、地盤のモデル上寄与しない薄層や亀裂の影響も含まれた減衰量を評価するものとされている。

このことから、S波検層による評価は、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれた減衰定数を評価可能な手法である。

ただし、石田他(1987)*によれば、S波検層による評価は、一般に地震時に比べて、検層時の地盤のひずみレベルが小さく、ターゲットとなる卓越振動数が数十～百数十 Hz レベルであるとされている。

注記 * : 石田他「室内試験, S波検層および観測地震動に基づく地盤の減衰評価」

第15回地盤振動シンポジウム, 日本建築学会, 1987. 8. 27

(3) 地震観測記録による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、観測された地震動波形について、「(2) S波検層による評価」と同様、直達波と判断される部分を取り出し、応答波の入射波に対する比から減衰評価を行うものとされている。また、各種の複雑な波動現象（「(2) S波検層による評価」にて述べた地盤のモデル上寄与しない薄層や亀裂の影響を含む）を含んだ状態における等価な減衰定数を評価可能とされている。

このことから、地震観測記録による評価は、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれ、さらに、実地震の複雑な伝播経路等を踏まえた、実態に近い減衰定数を評価可能な手法である。

石田他（1987）によれば、地震観測記録による評価は、S波検層による評価と比較してターゲットとなる卓越振動数が低周波側にあり、数～数十 Hz レベルとされている。

なお、地震観測記録を用い、その位置ごとの比率を用いて減衰定数を含む地盤のパラメータを評価する手法については、基準地震動 S_s の策定に係る検討において、敷地における地震観測記録を一次元波動論に基づく基盤波を計算するための地盤モデル（以下、「はぎとり地盤モデル」という。）の作成を行う上で、当社事業変更許可及び他サイトにおける実績が多数存在する。

2.2 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて

S波検層による評価及び地震観測記録による評価については、いずれも原位置において測定あるいは観測された実態波データを用いて、材料減衰及び散乱減衰を含めた減衰量の総和を算定する手法である。建物・構築物の入力地震動を算定するための減衰定数を求めることに着目し、S波検層及び地震観測記録の手法の違いについて以下に整理した。

- ・ 両手法において評価に用いるデータの特徴を踏まえると、地震観測記録については広い周波数領域の振動成分を含む地震観測記録（建物・構築物の主要固有周波数帯（数 Hz オーダー））に対して同定が可能であり、基準地震動の策定等に係る他サイトにおける適用実績が豊富である。これに対し、S波検層による評価は、加振方法により対象周波数が限られるものの、任意のボーリング調査位置において測定が可能であり、他サイトにおける適用実績も有している。
- ・ なお、一般的に、地盤の減衰定数については周波数依存性を有しており、高振動数側で減衰定数が小さくなる傾向であることから、S波検層のように、高振動数側をターゲットとした場合には、地盤全体の減衰定数を小さく評価する可能性がある。
- ・ 地震観測記録を用いた手法は、当社事業変更許可及び他サイトにおけるはぎとり地盤モデルの作成において適用実績のある手法である。
- ・ 敷地における地震観測記録では、S波検層における加振波の振幅に対して大振幅の波形が得られており、減衰定数の評価にあたり、深さ方向に異なる観測点間の振幅の比率を評価する上で、各周波数成分における特徴を明瞭に確認することができる。

3. 敷地における減衰定数の評価方法

3.1 既認可時点における評価の考え方

以下に示すとおり、既認可時点における減衰定数の評価に対し、「2.1.2 JEAG4601-1987における評価方法」にて整理した JEAG4601-1987 と同様の手法を用いた減衰定数の評価実績があるか確認を行った。

既認可時点においては、以下の文献調査並びに検討に基づいて地盤の減衰定数を設定している。

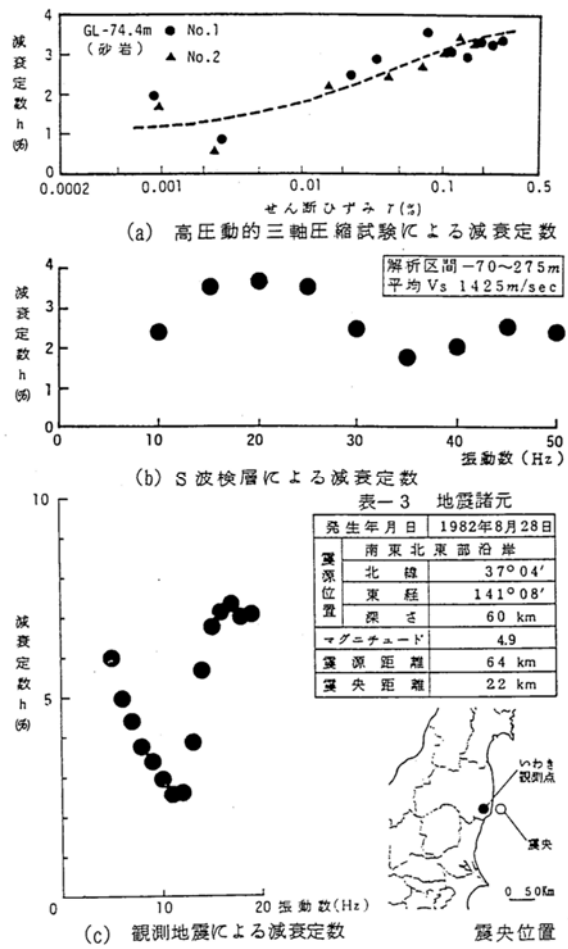
- ・ 嶋ほか（1983）の知見において、いわき地点の砂岩における減衰定数の評価結果として、第 3.1-1 図に示すとおり、高圧動的三軸圧縮試験結果より、低ひずみ領域では減衰定数が 1～2%，ひずみ 0.1%付近では 3%となっていること、また、S波検層や地震観測記録に基づく減衰定数の評価手法によっては、それよりも大きな値（最大 8%程度）として評価されていること。
- ・ 中村他（1990）において、富岡地点における泥岩層での Q 値の検討が行われており、下式に示す Q 値の周波数依存性の関係に対し、 $n=1.0$ 、 $\alpha=200$ とした場合に、地震観測記録と整合することが示されていることから、敷地における泥岩層（ $V_s=800\text{m/s}$ ）の減衰定数を算定した結果、建屋の固有振動数（2.5Hz～5Hz）の領域では $h=2\%$ を上回る値となること。

$$Q = V_s \cdot f^n / \alpha \quad (h = 1/2Q)$$

$$\left(\begin{array}{l} Q : Q \text{ 値} \\ h : \text{減衰定数} \\ V_s : S \text{ 波速度} \\ f : \text{周波数} \\ n, \alpha : \text{係数} \end{array} \right)$$

以上を踏まえ、既認可時点においては、敷地や施設の特徴に配慮した考え方に基づき設定を行っており、設計上考慮する地震動レベル及び建屋の固有振動数を考慮すると、基準地震動 S1 に対しては 2%，基準地震動 S2 で 3% とすることは妥当としている。

以上のことから、既認可時点においては、JEAG4601-1987 に示される手法に基づき、直接敷地において減衰定数を評価した実績は無いものの、JEAG4601-1987 に示される手法に基づく国内の各種試験結果を敷地に適用した確認を行うことにより、地盤の減衰定数を設定している。



第 3.1-1 図 嶋ほか (1983) におけるいわき地点の減衰定数の評価結果
(嶋ほか (1983) より抜粋)

3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方

岩盤部分の減衰定数の設定に当たっては、上述の JEAG4601-1987 に示される手法を用いて評価を実施する。

補足説明資料本文「3. 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定方針」に示したとおり、地盤の実態を考慮したパラメータの設定にあたっては、既認可以降に生じた状態変化を鑑みて設定することとしている。岩盤部分の減衰定数の設定にあたり、各状態変化を踏まえて必要と考える視点を以下に示す。

①敷地における地下構造の特徴を適切に反映する。

- ・敷地地下の地質構造や速度構造の特徴、実現象との整合性の観点で評価を行う。

②基準地震動 S_s が増大したことを踏まえた影響を適切に反映する。

- ・減衰定数の非線形性（ひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 曲線）を適切に評価する。
- ・その上で、減衰定数の設定において S_s 地震時の地盤のひずみ量を踏まえて減衰定数の非線形性の考慮要否を適切に判断する。

③最新のデータを用いて評価する。

- ・敷地において得られている最新の地震観測記録・ボーリング調査結果を用いる。
- ・建物・構築物が広範囲に拡がりを持って配置されるサイトであることや敷地内の地下構造の特徴を踏まえ、十分な量のデータを用いる。

「2.1.2 JEAG4601-1987 における評価手法」に示したとおり、JEAG4601-1987 には、3種類の減衰定数の評価手法が示されていることを踏まえ、第3.2-1表に示すとおり、各手法に対する、敷地における地盤の実態を考慮したパラメータの設定に係る検討内容を整理した。

また、検討内容の整理とあわせて、客観的な視点に基づき設定方法を選定する観点で、これまでの新規制基準における各社地下構造に係る審査における、他サイトにおける減衰定数の設定実績を整理した。

他サイトの設工認における実績としては、地下構造の特徴として軟岩を主体としており、解放基盤表面から建物基礎底面までの地震動の伝播を考

慮して入力地震動を設定しているサイト（東海第二及び柏崎刈羽 6,7 号）を参照した。

また、地盤の減衰定数に係る議論については、他サイト各社の設置変更許可申請においても詳細な議論がなされていることから、至近に審査会合が行われている玄海 3,4 号、また、当社敷地との類似性を踏まえ、地下構造の特徴として軟岩を主体としているサイト（東海第二及び大間サイト）における設置変更許可の審査実績についても参照した。

第 3.2-1 表 地盤の実態を考慮したパラメータの設定に係る検討内容

手法	検討内容	3.2.1 に示した視点①～③を踏まえた留意事項	検討内容	実施サイト (設工認)	実施サイト (設置許可)	
JEAG4601-1987 に基づく方法	三軸圧縮試験による方法	ひずみ依存特性 (h- γ) の評価	①敷地に分布する岩種ごとの試験結果に基づき評価することで敷地地下の地質構造や速度構造の特徴を反映。 ②岩種ごとのひずみ依存特性 (h- γ) として、非線形性を考慮可能。 ③地盤モデルに考慮する岩種を網羅的に評価する必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 三軸圧縮試験による方法による岩盤種別ごとのひずみ依存特性 (h-γ 関係) の整理を行う。 Ss 地震時の非線形の度合いに対し、非線形化が入力地震動の算定結果に影響を及ぼす可能性に配慮した確認を実施する必要があると判断。 	東海第二 柏崎刈羽 6.7 号	—
	S 波検層による方法	ボーリング孔内減衰測定による検討	①敷地における各位置のボーリング調査における原位置試験により敷地地下の地質構造や速度構造の特徴を反映。 ②加振時の振幅が小さいため、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③敷地内において十分な量のデータに基づいて検討を行う必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 施設の固有振動数よりも高振動数側をターゲットとした評価ではあるが、先行発電炉における実績があることから、本方法による減衰定数の評価結果を確認する。 確認にあたっては、測定結果に見られる周波数依存特性の特徴を踏まえ、施設の固有振動数帯における減衰定数との関係性について考察を行う。 ただし、留意事項③に照らし、現時点において敷地内で得られているデータは中央、西側、東側地盤の各 1 地点ずつ計 3 地点のみであることから、さらなる確度の向上のために、データの拡充を行う。 	—	玄海 3, 4 号 東海第二 大間
	地震観測記録による方法	伝達関数 (周波数依存型) による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 事業許可におけるはぎとり地盤モデルを作成する際に、周波数依存型の減衰定数を考慮し、実現象をよく説明する地盤モデルとして作成済み。 ただし、はぎとり地盤モデルは、留意事項③に照らし、西側、東側地盤において用いている地震観測記録が現時点において最新ではない (地震観測位置の移設 (2008 年) 後の情報は含まれていない) との課題があることから、最新の地震観測記録を用いた評価を今回改めて実施する必要があると判断。 	—	玄海 3, 4 号 東海第二 大間
		伝達関数 (バイリニア型) による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 事業許可における深部地盤モデルを作成する際に、解放基盤表面～地震基盤までの増幅特性を考慮するための地盤モデルとして、バイリニア型の減衰定数を設定した実績がある。 ただし、解放基盤表面～建屋基礎底面の岩盤部分については本条件での評価は実施していないことから、上記周波数依存型及びこれまで説明している周波数依存性無しの条件に加え、さらに多角的な検討を行う観点で、今回実施する必要があると判断。 	—	玄海 3, 4 号 大間
		地震波干渉法による検討	①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> 他サイトにて実績はあるが、敷地においてこれまで未実施であったことから、速度構造の仮定によらず減衰定数を評価可能な手法として、新規に実施する必要があると判断。 鉛直アレー観測記録に Fukushima et al. (2016) に基づく地震波干渉法を適用し、評価を実施する。 	—	玄海 3, 4 号
		伝達関数による確認	減衰定数の評価ではなく、地震観測記録を用いて評価した値に対しての実現象との整合性の観点での考察に該当。	<ul style="list-style-type: none"> 上記 3 手法により評価した減衰定数について、実現象との整合性を確認するために、観測記録による伝達関数と評価した減衰定数に基づく伝達関数の比較結果を踏まえた考察を実施する。 	—	玄海 3, 4 号
		応答スペクトルによる確認	減衰定数の評価ではなく、地震観測記録を用いて評価した値に対して、耐震設計において地盤応答解析により入力地震動を算定する上での位置づけの観点での考察に該当。	<ul style="list-style-type: none"> 上記 3 手法により求められた減衰定数に基づく地盤応答の応答スペクトルを算定し、地震観測記録の応答スペクトルとの比較を実施し、その結果を踏まえた考察を実施する。 	—	玄海 3, 4 号
その他	岩石コアを用いた減衰測定による確認	JEAG に示される評価ではないが、他サイトにおいて地震観測記録を用いた手法によりデータが得られない最深部地震計以深の減衰定数の設定根拠として実施されている実績がある。	<ul style="list-style-type: none"> 他サイト実績において、いずれの手法においても、減衰定数の値の直接的な根拠ではなく、地震観測記録が得られていない深部における減衰定数を設定する上で、地震観測記録が得られている浅部との地下構造の相対関係の確認を目的として実施しているもの。 岩石コア試験については、三軸圧縮試験結果における材料減衰との整合性や、その他の評価または調査結果との整合性を確認し、これらによる評価の確度を向上することを目的に、データの取得を実施していく。 速度層断面については、岩盤部分の物性値等により整理されるため、ここで整理された速度層の各 Gr における傾向と、上記評価並びに調査結果の対応を確認する。 	—	玄海 3, 4 号	
	速度層断面による検討	減衰定数の評価ではなく、他サイトにおいて地震観測記録を用いた手法によりデータが得られない最深部地震計以深の減衰定数の設定根拠として実施されている実績がある。		—	玄海 3, 4 号	

3.3 敷地における減衰定数の評価方法

「3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方」に示した手法を用い、敷地における岩盤部分の減衰定数について、以下に示す方針により、地盤の実態を考慮した減衰定数を決定する。

本検討において実施する評価手法について、各評価手法において評価される値の物理的な意味合いを踏まえ、地盤の各深さにおける位置付けを第3.3-1表に整理して示す。それぞれの具体的な考え方については、3.3.1～3.3.4の各章にて示す。

設定にあたっては、「3.2 第2回申請対象施設における評価の考え方」に示した手法による評価結果を踏まえ、各手法において評価される減衰定数の物理的な意味合い、信頼区間及び施設の耐震設計に対して寄与の大きい周波数帯を踏まえて適切な値を設定する。

第 3.3-1 表 各深さにおける評価手法の位置付け

	材料減衰	材料減衰+散乱減衰	備考
▼地表			
表層地盤	<p>以下の理由から、三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性 ($h-\gamma$) を設定。</p> <ul style="list-style-type: none"> Ss地震時の表層地盤の非線形化による材料減衰の増大の寄与が大きい 	<p>以下理由から散乱減衰は考慮しない</p> <ul style="list-style-type: none"> Ss地震時の表層地盤の非線形化による材料減衰の寄与が大きい 解放基盤以浅の地盤全体の中で層厚の占める割合が小さく、散乱の効果が相対的に小さいと考えられる 	—
▼建屋基礎底面レベル相当			
岩盤部分	<ul style="list-style-type: none"> 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性 ($h-\gamma$) 岩石コア試験による確認 <p>S波検層データの追加取得とあわせて実施。上記三軸圧縮試験において評価される材料減衰との比較や、他手法により求められる減衰定数について、位置・深さによる相対的な違いに対する考察に用いる。</p> <p style="text-align: center;">今後データ取得</p>	<ul style="list-style-type: none"> 地震観測記録による方法 ⇒伝達関数(周波数依存型)による検討 ⇒伝達関数(バイリニア型)による検討 ⇒地震波干渉法による検討 S波検層による方法 <p style="text-align: center;">今後データ追加</p>	<ul style="list-style-type: none"> 伝達関数による評価について、<u>実現象をよく説明する減衰定数を評価する観点で周波数依存性を考慮した方法について実施。</u> S波検層による方法について、敷地内中央・西側・東側地盤の3地点におけるデータに加え、各Grにおけるデータを追加取得する。
解放基盤表面 ▼ (G. L. -125m)			
解放基盤表面以深	解放基盤表面レベルと同じ減衰定数が続く設定とする。	解放基盤表面レベルと同じ減衰定数が続く設定とする。	<ul style="list-style-type: none"> 入力地震動の算定時においては解放基盤表面以深を半無限層として設定。 岩盤部分の物性値の設定と整合した設定。

本資料における
設定範囲

3.3.1 三軸圧縮試験による評価方法

本手法による評価結果については、材料減衰並びにその非線形特性を考慮したものであり、敷地における散乱等による減衰は考慮されない。

また、実現象を踏まえると、地盤の減衰定数の非線形特性は、地盤のひずみが大きくなるほど、減衰定数が大きくなる傾向を示すことから、地盤のひずみが大きい領域においては材料減衰が支配的となり、地盤のひずみが小さい領域においては、全体の減衰定数に対する材料減衰の寄与は小さくなり、散乱減衰が支配的となる。

これらの特徴を踏まえ、敷地内のボーリング調査結果により得られた試験体による三軸圧縮試験結果の基づくひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）の結果を確認する、

3.3.2 S波検層による評価方法

「2.1.2 JEAG 4601-1987における設定方法」に示したとおり、地盤の応答解析においては、材料減衰と散乱減衰を含んだものを用いるとされており、本手法は、その両方を含んだ値として、実現象に適合した評価方法である。

本評価は、地震観測記録による評価と同様に、敷地における地盤の内部を伝播・反射する波動データを分析することで減衰定数を評価することが可能であり、評価に用いる地震動の観測状況に左右される地震観測記録による評価に対して、任意の場所または時点における評価が可能な方法である。

減衰定数の値の評価にあたっては、広い範囲の周波数成分の情報を含んだ実地震ではなく、起振車等による加振波の測定データに基づく方法であることから、試験条件を確認の上、適切に周波数の信頼区間を確認した上で、敷地内の岩盤における実測値としての減衰定数及びその周波数依存特性について評価する。

3.3.3 地震観測記録による評価方法

「2.1.2 JEAG4601-1987における設定方法」に示したとおり、地盤の応答解析においては、材料減衰と散乱減衰を含んだものを用いとされているが、本手法は、その両方を含んだ値を評価可能であり、敷地における地盤の内部を伝播・反射する地震動データを分析することで、実現象に適合した値を評価可能な方法である。

地震観測記録による評価にあたっては、当社事業許可及び他サイトにおける実績を踏まえ、敷地内における鉛直アレー地震観測記録による深さ方向の伝達関数を再現する地盤の減衰定数を同定する。

地盤の実態を考慮した減衰定数を同定する上では、地盤の減衰定数については周波数依存特性を有するとの知見があることから、リニア型の周波数依存特性を考慮した評価を実施する。

また、多角的な検討として、周波数依存特性を考慮する上では、第3.2-1表に示したとおり、他サイトにおいてバイリニア型の周波数依存性を考慮していることから、この条件を考慮した場合の減衰定数についても同定を実施する。

地震観測記録による評価においては、第3.2-1表に示したとおり、伝達関数と応答スペクトルの両方の観点からの確認により、地震観測記録との整合性の観点で行う。

また、他サイト実績を踏まえ、地震波干渉法による評価も合わせて実施する。地震波干渉法は、複数の地震観測記録から、地表までの上昇波と、地表で反射した下降波の傾向を捉え、その差を分析することにより地盤の減衰定数を評価する方法である。

地震波干渉法は、上昇波と下降波の傾向を明確に捉える上で、周波数の信頼区間を適切に定める必要があることから、これに留意した上で、上記の伝達関数による検討によって評価された減衰定数との整合性を確認する。

3.3.4 岩石コア試験及び速度構造による評価方法

これまで当社敷地において、本手法による試験は実施されていないが、他サイト実例における実績があることから、確度向上のための取り組みとして、今回実施するS波検層データの追加取得とあわせて実施する。

本手法による試験方法の特性上、弾性領域における材料減衰について考慮したものであることから、他サイト実例においては、上記の地震観測記録による評価またはS波検層による評価により評価される、散乱減衰と材料減衰の両方が含まれた減衰定数の値とは異なる値として評価される。

このことから、本手法による試験結果については、同じ物理的な意味合いをもつ三軸圧縮試験による評価結果における弾性領域における材料減衰とに対しての整合性の確認に用いる。また、三軸圧縮試験による評価結果が岩盤分類ごとに整理されたものであることを踏まえ、コア試験結果を用いてボーリング調査位置ごとの傾向を分析する。

あわせて、上述の地震観測記録による評価及びS波検層による評価より得られる減衰定数の評価結果に対し、平面方向または深さ方向における相対的な差分を分析する。これらの分析にあたっては、「別紙2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」にて設定した速度構造のGr間の違いとの対応も踏まえた考察を行う。

なお、速度構造の違いとの対応を踏まえた考察については、「3.3.3 地震観測記録による評価」に示した方法により評価された減衰定数の値に対し、敷地内の地震観測点間の相対的な速度構造の違いとの対応を踏まえた考察にも用いる。

岩石コア試験結果については、現時点において当社においてデータを有していないことから追加調査にて実施することとする。岩石コアを用いた弾性波速度検層の計画及び実施内容の詳細については、「参考1 岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査」に示す。

本章における岩石コア試験及び速度構造による評価については、 今後追加調査を実施し、その結果を追加する。

4. 三軸圧縮試験による評価結果

JEAG4601-1987に示される方法のうち、三軸圧縮試験による方法については、地盤の材料減衰を主とした方法である。

敷地においては、事業変更許可申請における「添付書類六 4. 地盤」*において、敷地地下に分布する岩盤種別ごとに三軸圧縮試験による方法の結果に基づくひずみ依存特性が設定されている。

ひずみ依存特性は、地盤のせん断ひずみが大きくなるほど減衰定数が増大するとの特徴を示したものであり、地震時の非線形性を表すものである。

三軸圧縮試験については、地盤の剛性がせん断ひずみに応じて低下するとの非線形性についてもあわせて評価されている。

岩種ごとに評価されているひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）は、添付書類「IV-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II-1-1-2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示している。

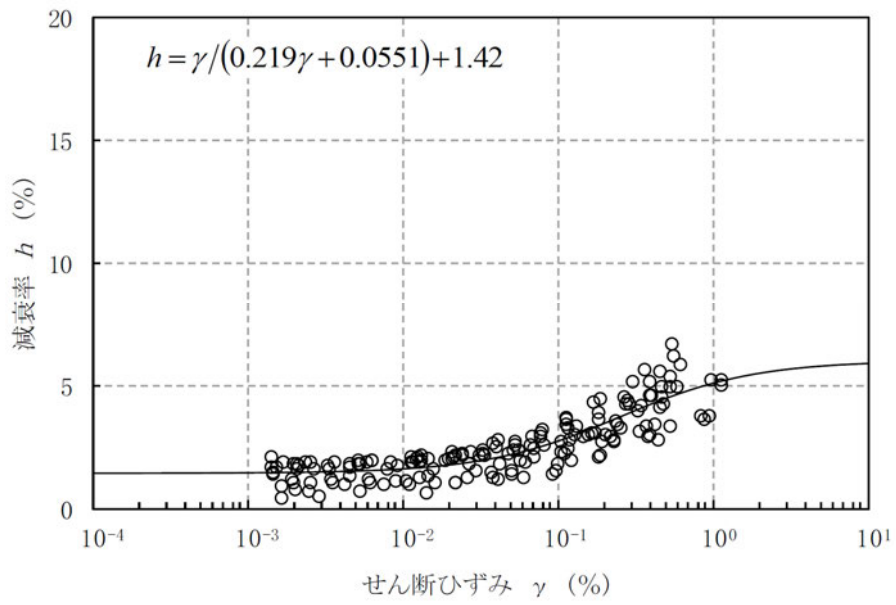
第4-1図～第4-12図に、敷地内の岩盤部分を構成する岩種ごとのひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を示す。

第4-1図～第4-12図に示したひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）に示されるとおり、 $h-\gamma$ 曲線は、岩盤種別ごとに、試験結果から得られたデータに対し双曲線型の近似式で表されている。敷地内の岩盤はいずれの岩種においてもデータのばらつきは小さく、適切な設定となっている。

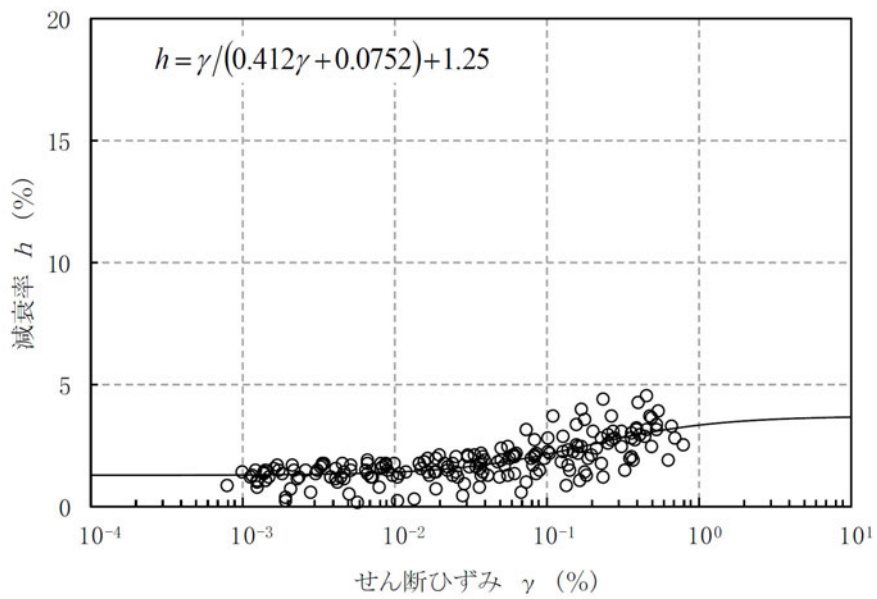
また、いずれの岩種においても、岩盤部分のひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）については、地盤のせん断ひずみが 10^{-2} 程度までは非線形化による減衰定数の変動は小さく、 10^{-2} よりも大きい範囲において減衰定数が増大する傾向となっている。

なお、三軸圧縮試験データについては、ボーリング孔中の各深さにおける試体に対する試験結果で構成されるが、上記のとおり $h-\gamma$ 曲線に対して全体としてデータのばらつきは小さいことから、岩盤分類ごとに深さ方向の材料減衰の違いは有意なものでは無いと考えられる。

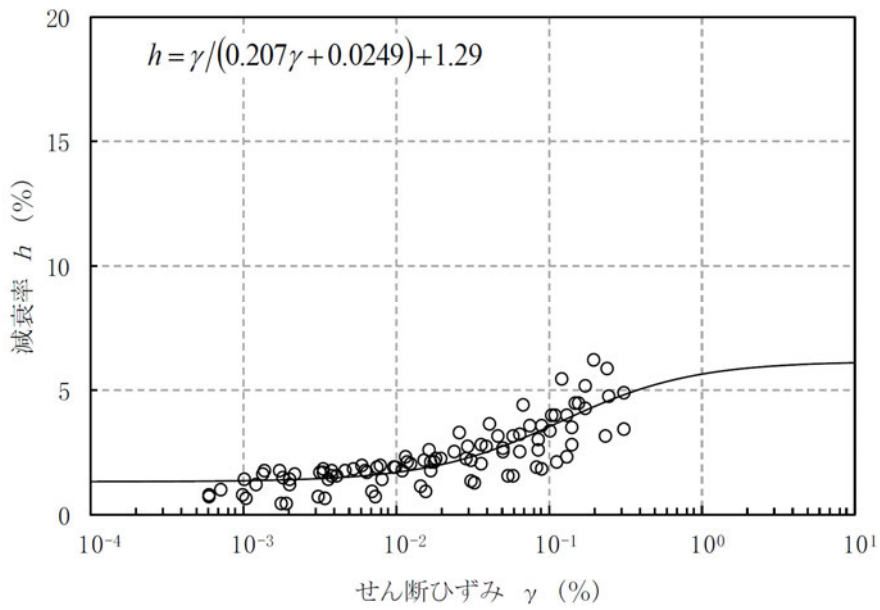
注記 *：事業変更許可の引用部分については、当社事業間で記載内容に差が無いことから、再処理施設事業変更許可申請書における章を代表として記載。



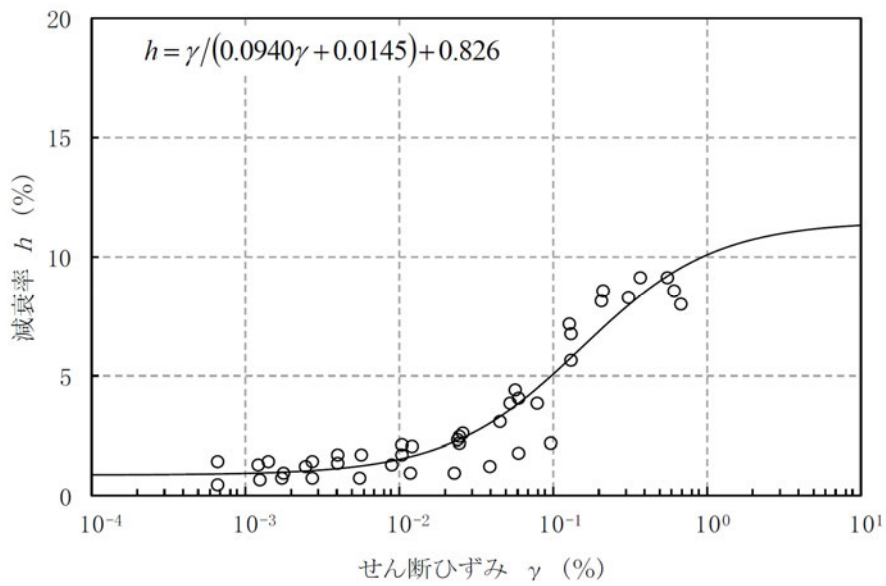
第 4-1 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (上部層))



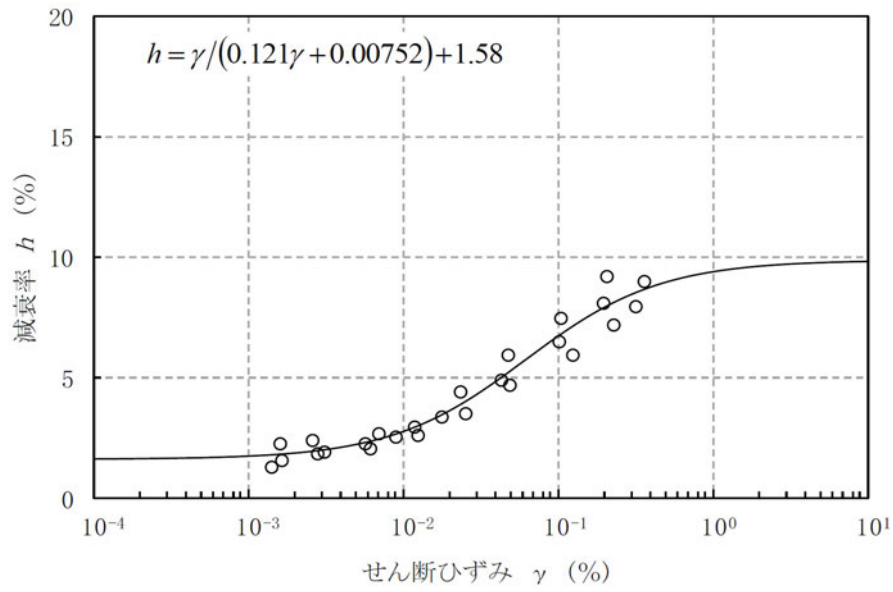
第 4-2 図 ひずみ依存特性 (泥岩 (下部層))



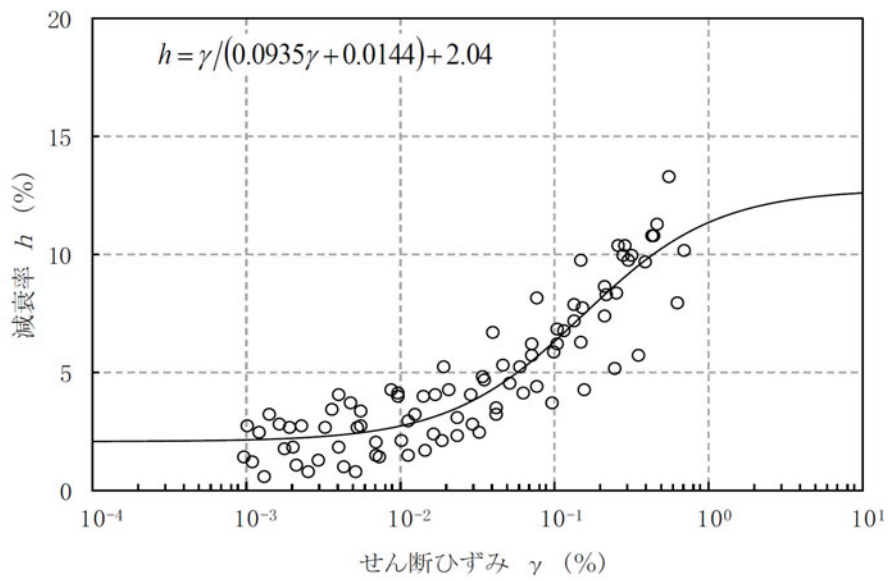
第 4-3 図 ひずみ依存特性 (細粒砂岩)



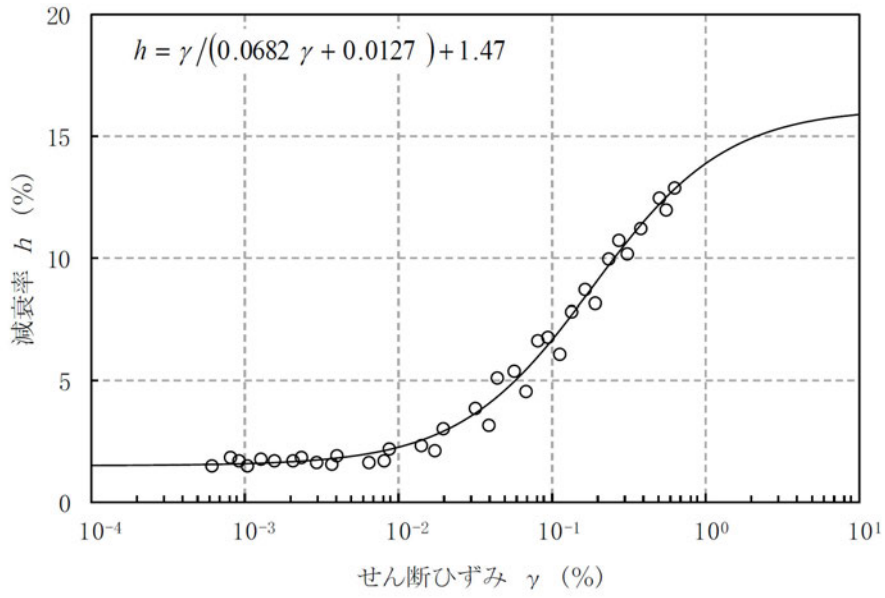
第 4-4 図 ひずみ依存特性 (軽石質砂岩)



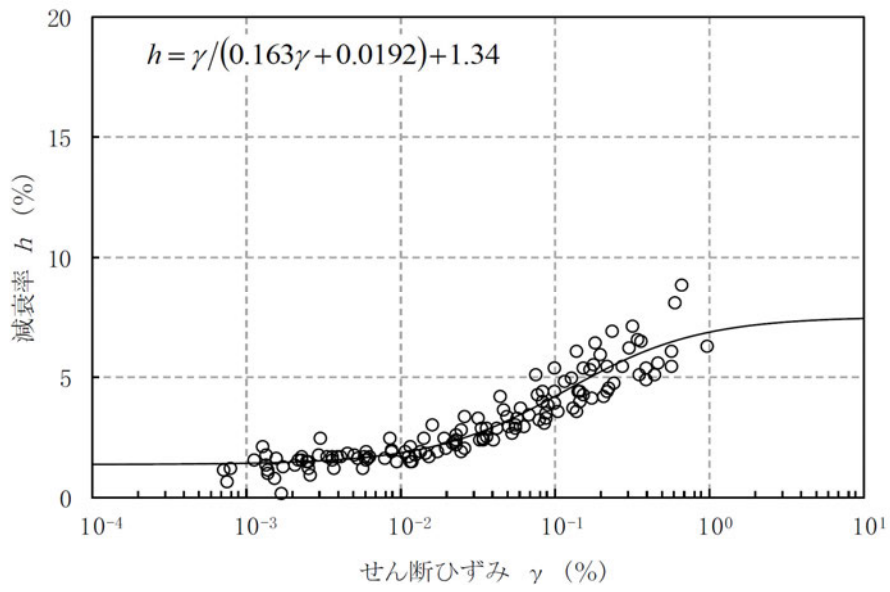
第 4-5 図 ひずみ依存特性 (粗粒砂岩)



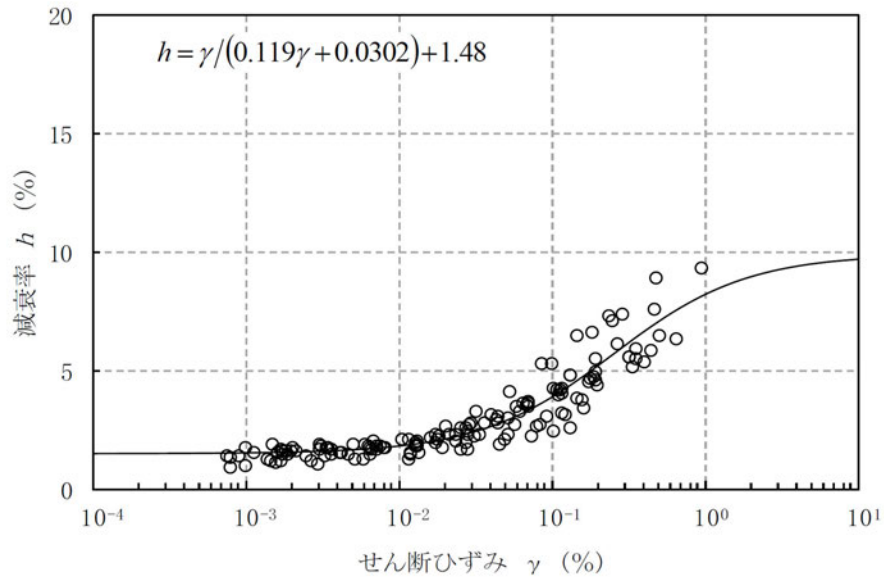
第 4-6 図 ひずみ依存特性 (砂岩・凝灰岩互層)



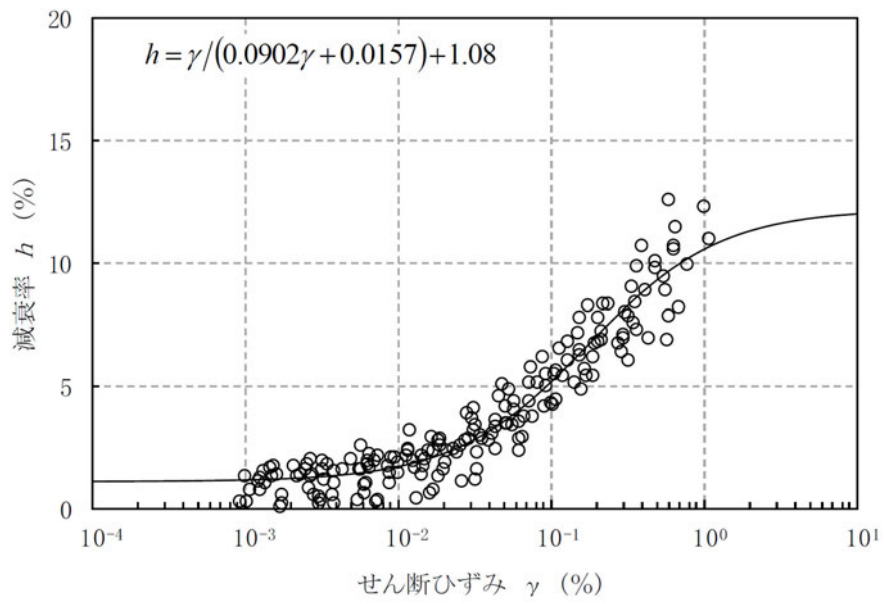
第 4-7 図 ひずみ依存特性 (凝灰岩)



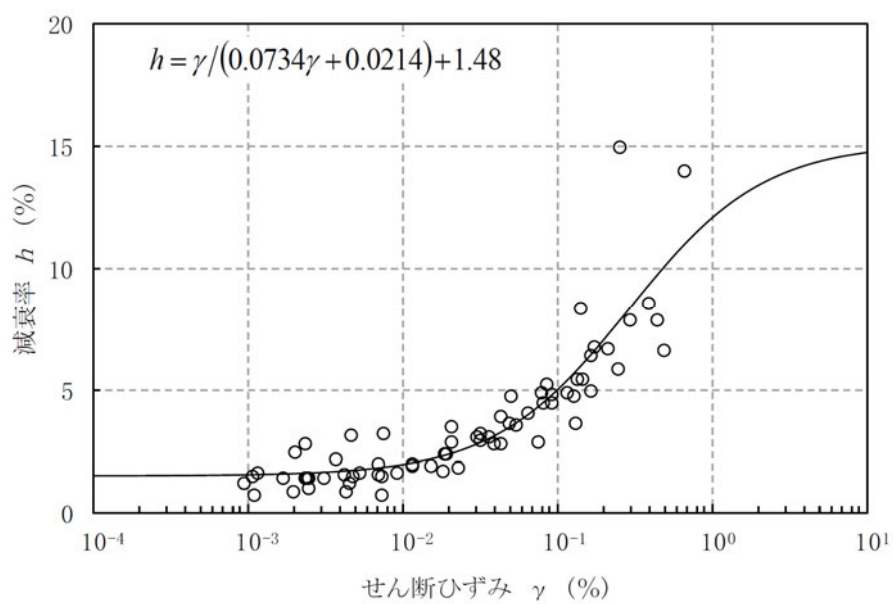
第 4-8 図 ひずみ依存特性 (軽石凝灰岩)



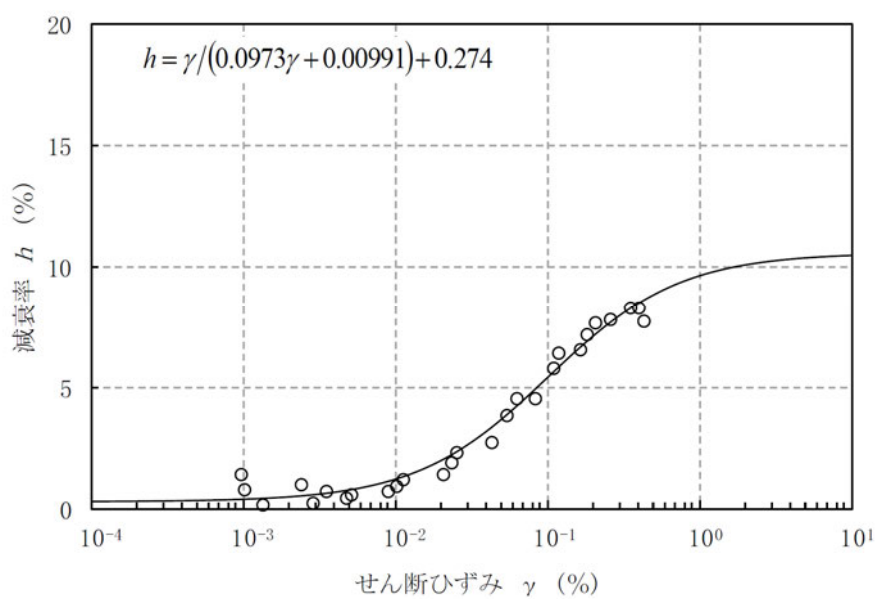
第 4-9 図 ひずみ依存特性 (砂質軽石凝灰岩)



第 4-10 図 ひずみ依存特性 (礫混り砂岩)



第 4-11 図 ひずみ依存特性 (軽石混り砂岩)



第 4-12 図 ひずみ依存特性 (礫岩)

5. 敷地における S 波検層による評価結果

敷地において、過去のボーリング調査時に、第 5-1 図に示す敷地内の 3 地点（J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔）において、PS 検層に基づく減衰定数の評価が行われていることから、当該位置における評価結果について整理した。上記 3 地点については、本文「5.1.1 地質学的に見た敷地内の地質構造」に示したとおり、敷地内の岩盤は f-1 断層と f-2 断層を境界として、大局的に、敷地内の西側，中央，東側の 3 つの地盤に区分され、それぞれの地盤において、地質構造は緩い傾斜はあるものの、概ね水平であるとしていることに対し、区分されたそれぞれの領域におけるデータとして得られており、鷹架層下部層，鷹架層上部層，鷹架層中部層といった主な地質構造の分布としては各領域の特徴を捉えたデータとなっていると考えられる。

敷地における PS 検層に基づく減衰定数の評価にあたっては、加振波とボーリング孔内観測波の応答スペクトルの振幅比に基づき、当該地点の減衰定数として周波数ごとに評価している。

第 5-2 図に、PS 検層に基づく減衰定数について、J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔における主要な岩盤部分に対応する評価結果を示す。PS 検層に基づく減衰定数は、いずれの孔においても、高振動数成分に着目した評価を行っており、周波数方向の信頼区間は 10Hz 又は 20Hz よりも高振動数側の領域としている。

また、敷地における減衰定数の周波数依存性の特徴として、振動数に反比例する傾向を有していることが確認できる、なお、第 3.2-1 表に示したとおり、減衰定数の周波数依存性については、10～20Hz 以上の周波数において頭打ちになるとの知見があるが、本評価結果においては、西側地盤では約 20Hz 以降でやや高周波数側で減衰定数の減少が緩やかになる傾向がみられるが、中央地盤及び東側地盤では同様の傾向は明瞭に確認できない。

敷地における減衰定数の値に着目すると、高振動数側では 1% 未満の非常に小さい減衰定数が得られているが、低振動数側では、西側地盤に対応する J-T 孔で約 6%，中央地盤に対応する L-T 孔で約 4% の値が得られている。一方で東側地盤に対応する E-T 孔では 20% 以上の減衰定数が得られており、ばらつきの大きい結果になっていると考えられる。

上記のとおり、上記の S 波検層による評価については、敷地内の 3 地点において実施されており、これは、既認可時における地盤モデルのエリア設定の考え方（西側地盤，中央地盤，東側地盤の 3 つのエリア）に基づき実施したものである。これに対し、今回、地盤の実態を考慮した減衰定数を設定する

にあたっては、本文に示すとおり、近接する建屋のグループ単位において岩盤部分の物性値等の設定を行う方針としていることを踏まえると、上記の3地点におけるデータが、全12グループにおいても同じ特徴を有しているか確認を行い、S波検層結果の信頼性を向上させる必要があると考えられる。

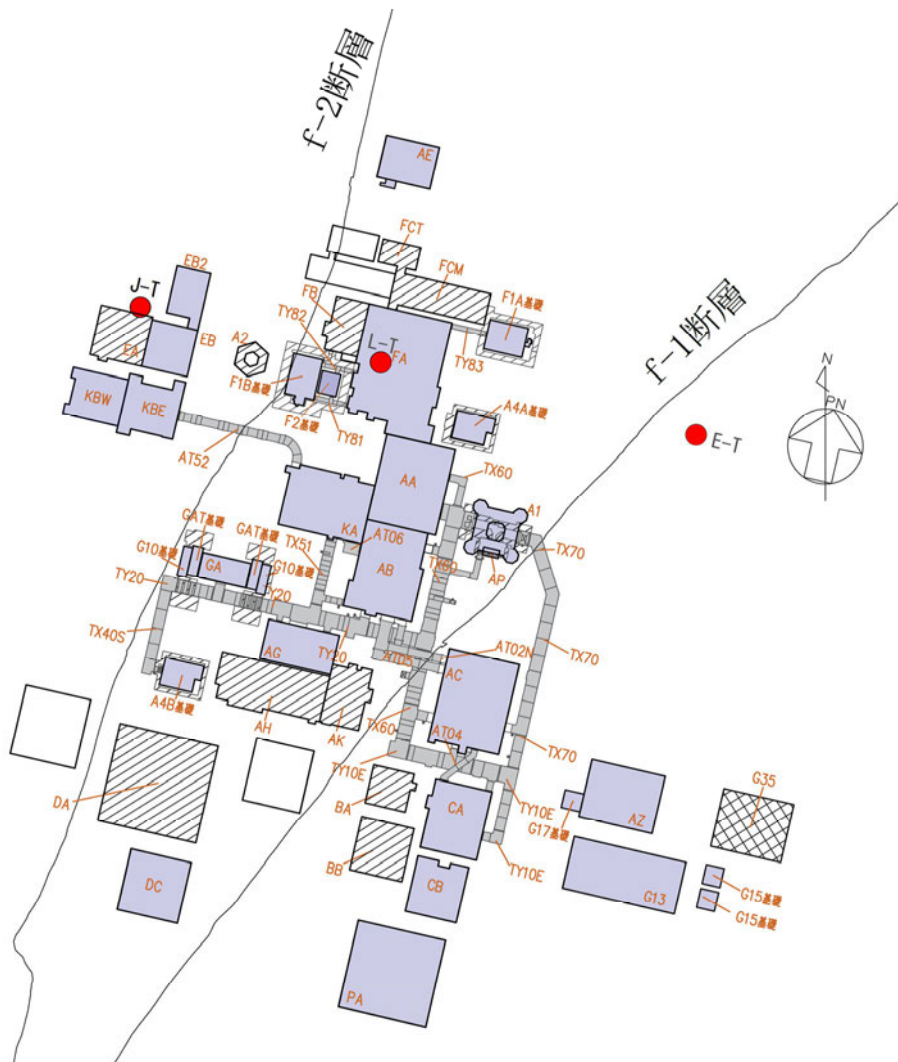
以上のことから、S波検層による評価結果の信頼性向上を目的とし、近接する建屋のグループ単位におけるS波検層の追加調査を実施する。

本追加調査で得られる建屋グループ単位におけるS波検層による評価結果については、上記3地点のデータに対しての相対的な比較を行う。さらに、「6. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価」に示す、地震観測記録に基づく評価結果との整合性を確認する。

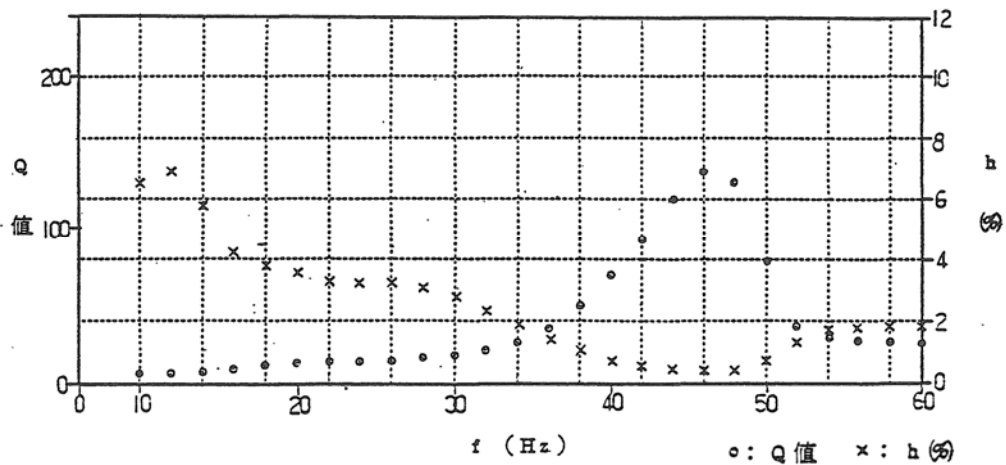
以上の確認により、各建屋グループにおける地盤の実態を把握し、他手法による評価結果との整合性を確認することで、各建屋グループへの適用性の確認を行う。

追加調査にて実施するS波検層の計画及び実施内容の詳細については、「参考1 岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査」に示す。

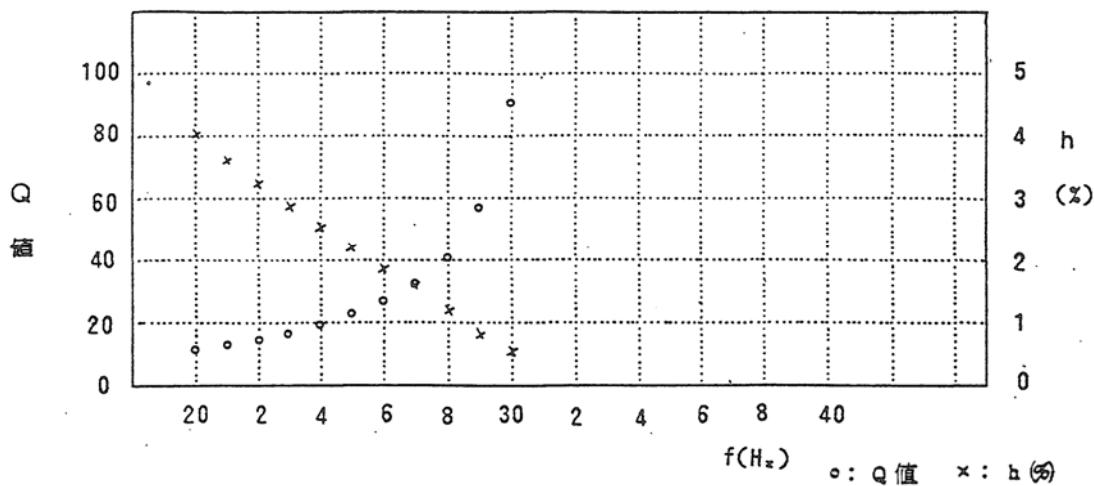
本章におけるS波検層による評価については、今後追加調査を実施し、その結果を追加する。



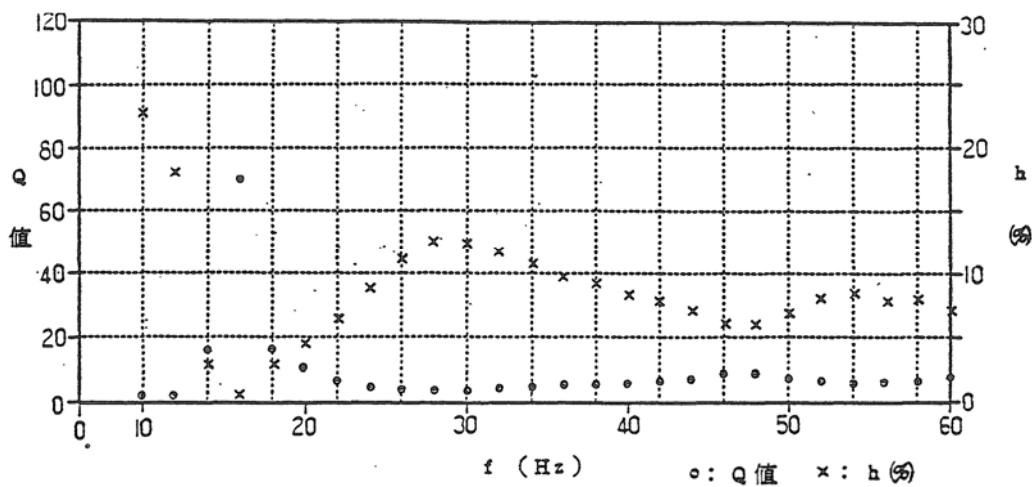
第 5-1 図 S波検層による減衰定数の評価を実施しているボーリング孔位置
(現時点)



(a) J-T 孔 (西側地盤の泥岩上部層に対応)



(b) L-T 孔 (中央地盤の細粒砂岩及び泥岩下部層に対応)



(c) E-T 孔 (東側地盤の軽石質砂岩に対応)

第5-2図 S波検層による減衰定数の評価結果

6. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果

敷地における岩盤部分の減衰定数として、材料減衰及び散乱減衰の両方が含まれた値を、敷地において得られている地震観測記録を用いて同定する。

本検討において用いる地震観測記録は地中波であることから、表層地盤による影響も含まれた情報に基づく評価となるが、本資料における評価の目的が岩盤部分の減衰定数に対する確認であることを踏まえ、表層地盤と岩盤部分を個別に同定することにより、表層地盤における影響を分離した岩盤部分の減衰定数を評価することとした。

また、地震計を設置している敷地内の中央地盤、西側地盤、東側地盤の3地点のそれぞれに対して同定を実施することで、大局的な地下構造の違いによる減衰定数の違いについても確認する。

6.1 地震観測記録を用いた減衰定数の評価方法

本章では、以下の方法により、地震観測記録を用いた敷地における岩盤部分の減衰定数の評価を実施する。

「3.3.3 地震観測記録による評価」に示したとおり、伝達関数による検討については、多角的な検討を行う観点で、周波数依存性について条件を変化させた検討を実施する。また、上記以外の手法として、地盤の速度構造によらず直接地盤の減衰定数を評価する方法として、地震波干渉法による検討を実施する。

伝達関数による検討については「6.3 伝達関数による検討」に、地震波干渉法による検討については「6.4 地震波干渉法による検討」に、それぞれの評価条件及び評価結果を示す。

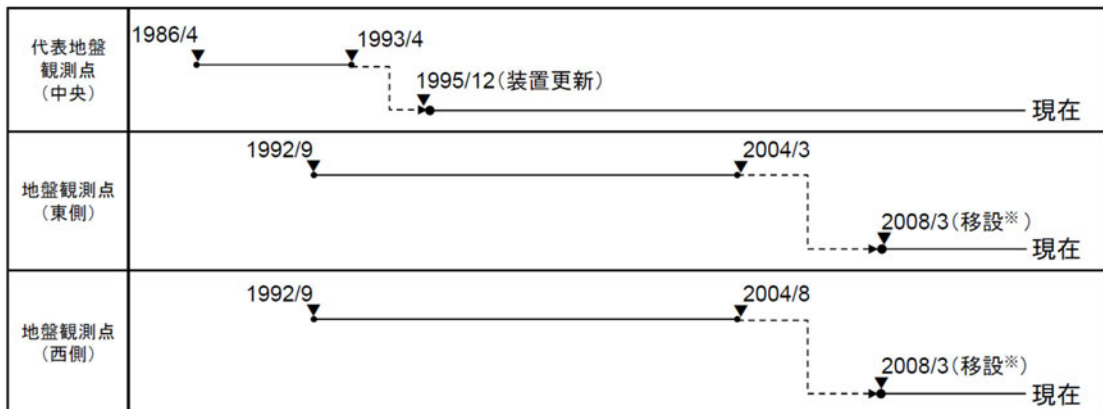
これら複数の考え方に基づく減衰定数の評価を実施し、各方法における地震観測記録の再現性及び周波数特性に着目し、岩盤部分における減衰定数を評価する。

6.2 敷地における地震観測の概要

敷地では、中央、西側、東側地盤の3地点において地震観測記録の収集を行っている。また、第6.2-1図～第6.2-3図に示すとおり、地震観測位置のうち、西側及び東側地盤観測点については、2008年を境に移設を行っている。

西側及び東側地盤観測点における地震観測位置の移設については、事業変更許可において説明を実施しており、移設前後において地下構造が大きく変わらないことを、移設前後のPS検層結果及びはぎとり地盤モデルの速度構造との比較により示している。

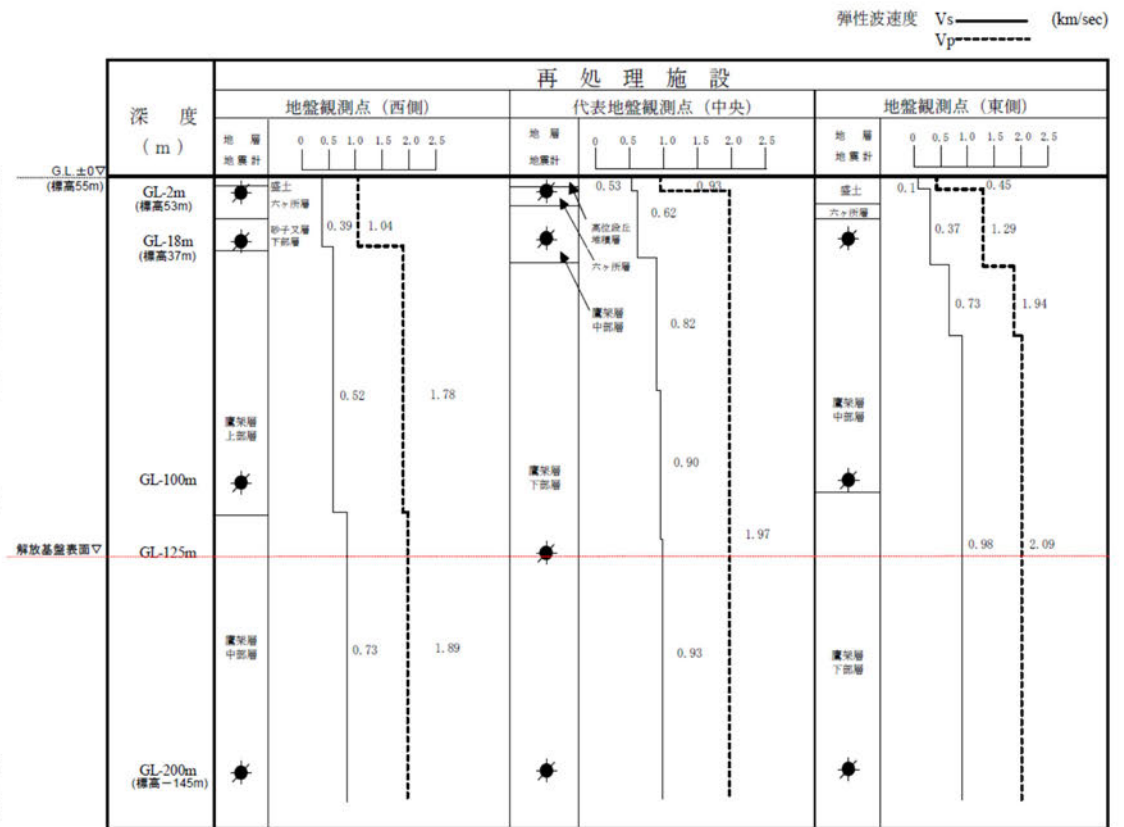
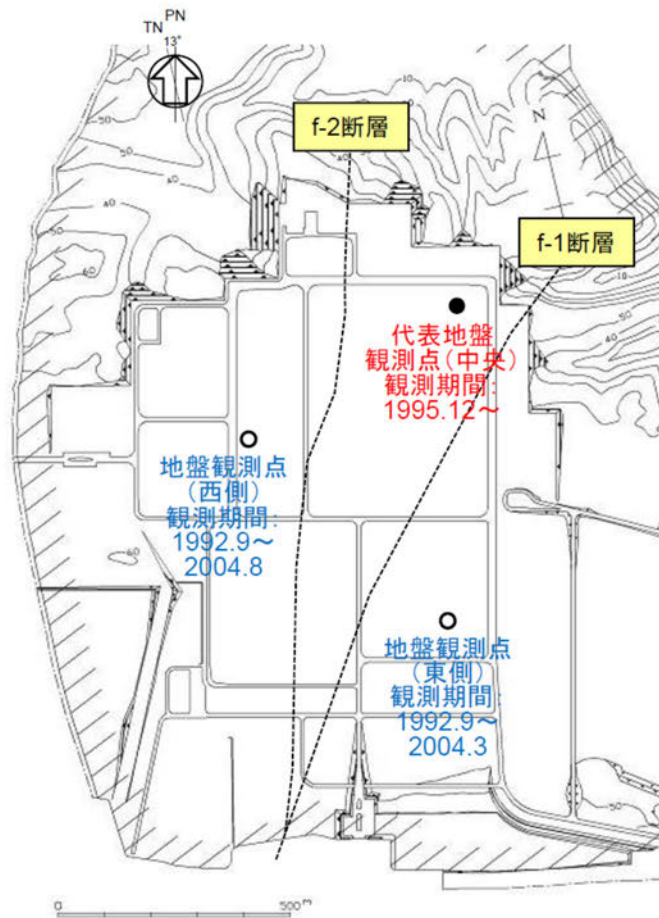
本資料においては、後述のとおり、はぎとり地盤モデルの作成と同様の手法により減衰定数を評価する際、S波速度についても、周波数特性の適合度を向上させる観点で変動させていることから、変動後の速度構造との評価結果との関係性について、「9.2 事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルとの関係」にて事業変更許可申請と同様に速度構造の比較を行う。



※G.L.-100m地震観測点を、G.L.-125mに移設

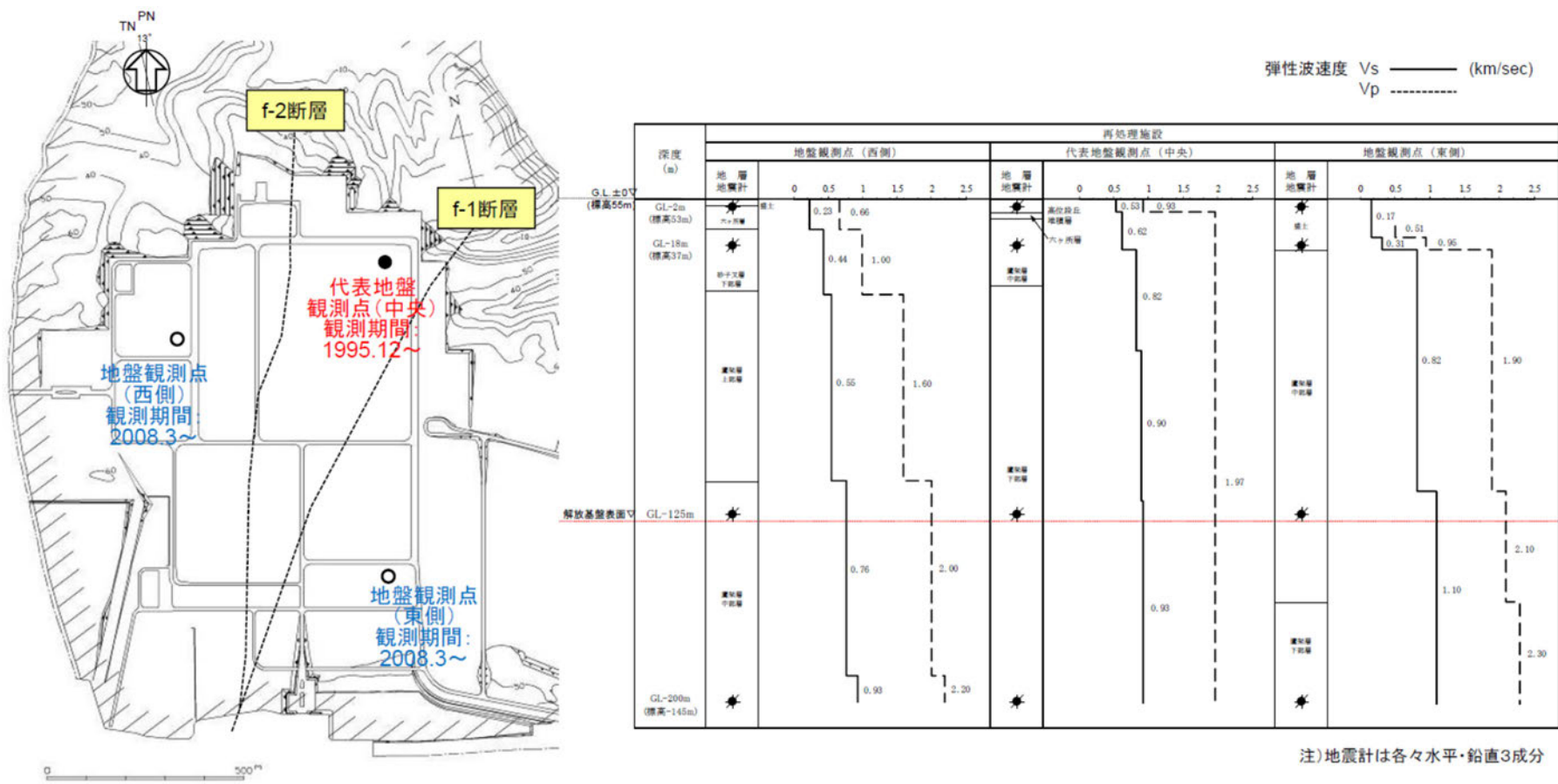
第6.2-1図 敷地内各位置における地震観測期間

(2020年2月21日第339回審査会合 資料1-4-1 p38より抜粋)



注)地震計は各々水平・鉛直3成分

第 6.2-2 図 2004 年以前の地震観測位置
(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-2 p9 より抜粋)



第 6.2-3 図 2008 年以降の地震観測位置(本資料における評価に用いる地震観測位置)
(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-2 p10 より抜粋)

6.3 伝達関数による検討

6.3.1 評価に用いる地震観測記録

評価に用いる地震観測記録について、当社敷地では2011年以降に比較的大加速度の地震観測記録が多く得られていることを踏まえ、中央、西側及び東側地震観測点において、現在の地震観測位置における地震観測記録から選定する。

地震観測記録の選定にあたっては、伝達関数の再現解析を行う上で、地盤の各深さ間の伝達関数に見られるピークを精度よく把握する必要があるため、加速度振幅の大きい地震を選定することとした。

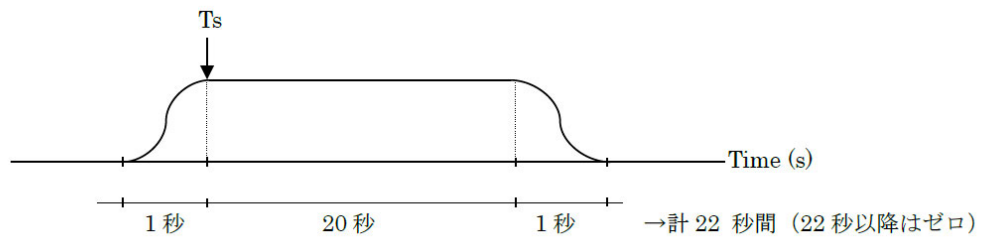
選定する地震数としては、事業変更許可申請において地震動評価に用いるはぎとり地盤モデルを作成する際、2003年までに得られている13地震を対象に、本評価と同様の伝達関数の再現解析を実施していたことを踏まえ、概ね同数の地震を選定することとした。

また、後述の「6.3.3 目的関数の設定」において、上記の考え方により選定した地震が、敷地における地盤の振動特性を把握する上で十分であることを、地震数を増やした場合の伝達関数の平均値への影響の観点で確認する。

上記を踏まえ、中央、西側及び東側地盤観測点のそれぞれについて、第6.2-1図に示した移設後の地震観測期間内で、最深部（GL-200m）において10Gal以上の最大加速度が得られている地震を選定することを基本とし、10Gal以上の地震を選定した結果、その数が10地震に満たない場合は、選定基準を5Gal以上に拡大し、10地震以上のサンプルが得られるよう配慮した。

また、地震観測記録の波形に対する処理としては、直達波による影響を適切に考慮するため、TR成分（各地震の震央方向に直行する方向の成分）に変換した後、第6.3.1-1図に示すように、S波の初動以降を約20秒間切り出したものを用いた。

各地震観測点において評価に用いた地震の選定の考え方及び結果について、以下(1)～(3)に示す。



第 6.3.1-1 図 時刻歴波形の処理概要

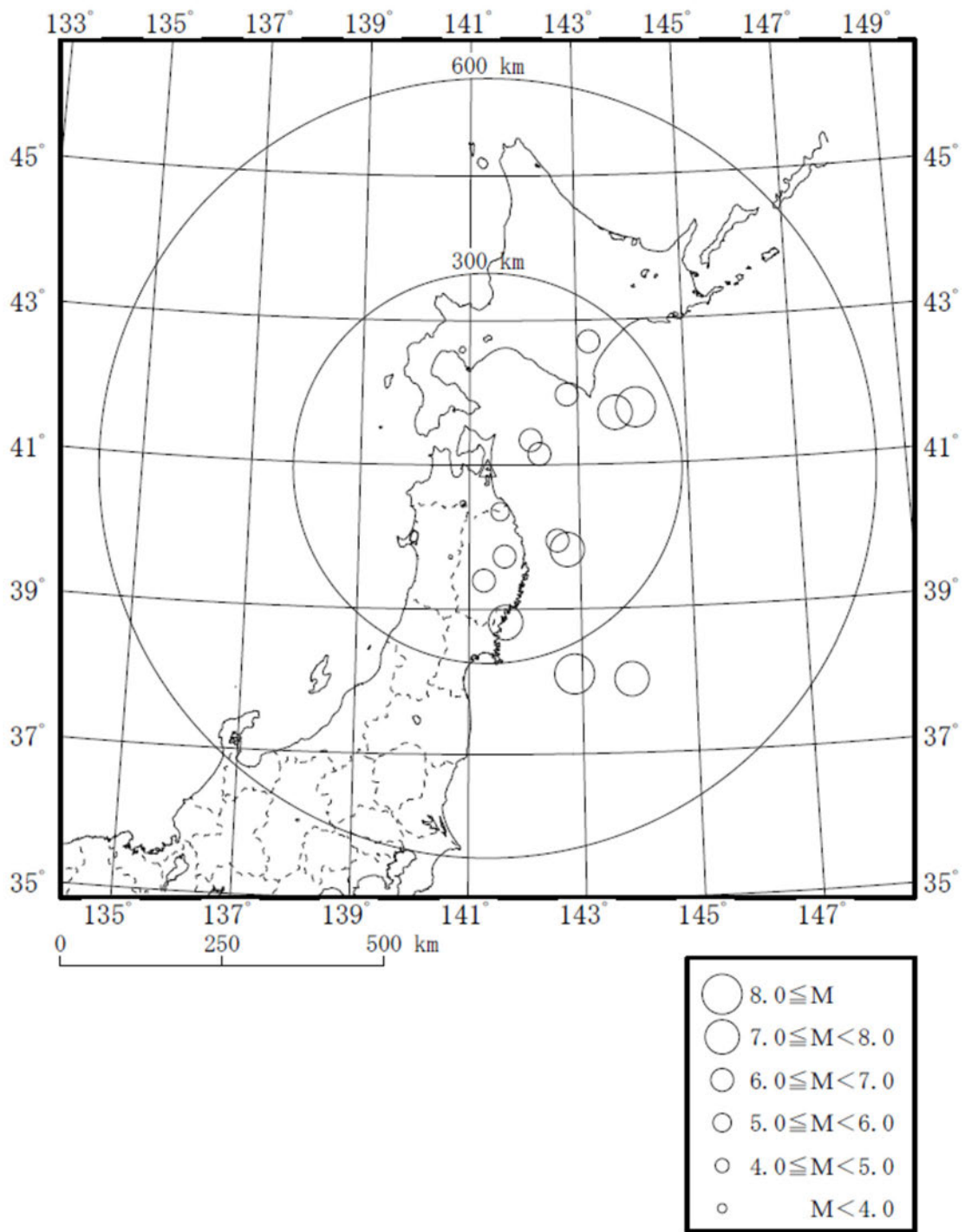
(1) 中央地盤観測点

中央地盤観測点においては、最深部（GL-200m）で 10Gal 以上の記録が得られている地震である 14 地震を選定し、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 6.3.1-1 表に、選定した地震の震央分布を第 6.3.1-2 図に示す。

第 6.3.1-1 表 評価に用いる地震の選定結果（中央地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2001	12	2	22	1	SOUTHERN IWATE PREF	141	15.79	39	23.9	6.4	121.5	174	212	10.10	11.60	6.10
2	2002	10	14	23	12	E OFF AOMORI PREF	142	16.85	41	9.11	6.1	52.71	83	98	12.20	10.60	8.86
3	2003	5	26	18	24	NORTHERN MIYAGI PREF	141	39.04	38	49.26	7.1	72.03	239	250	12.50	12.40	10.50
4	2003	9	26	4	50	SE OFF TOKACHI	144	4.71	41	46.71	8.0	45.07	247	251	18.60	20.20	13.00
5	2003	9	26	6	8	SE OFF ERIMOMISAKI	143	41.49	41	42.59	7.1	21.41	215	216	21.30	17.00	13.20
6	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	39.10	33.90	23.44
7	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	28.99	21.46	17.77
8	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	17.93	18.83	11.97
9	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	23.85	14.72	9.22
10	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.4	41	20.6	6.1	60	79	99	37.98	24.62	16.13
11	2012	12	7	17	18	OFF SANRIKU	143	52	38	1.1	7.3	49	393	396	11.17	11.14	10.32
12	2013	2	2	23	17	SOUTHERN TOKACHI REGION	143	13.6	42	42.1	6.5	102	249	269	10.48	12.00	5.61
13	2015	7	10	3	32	NORTHERN INLAND OF IWATE PREF	141	33.5	40	21.2	5.7	88	70	112	12.41	10.50	5.81
14	2016	1	14	12	25	OFF URAKAWA	142	41	48	58.2	6.7	52	166	174	12.07	13.32	8.62



第 6.3.1-2 図 評価に用いた地震の震央分布（中央地盤）

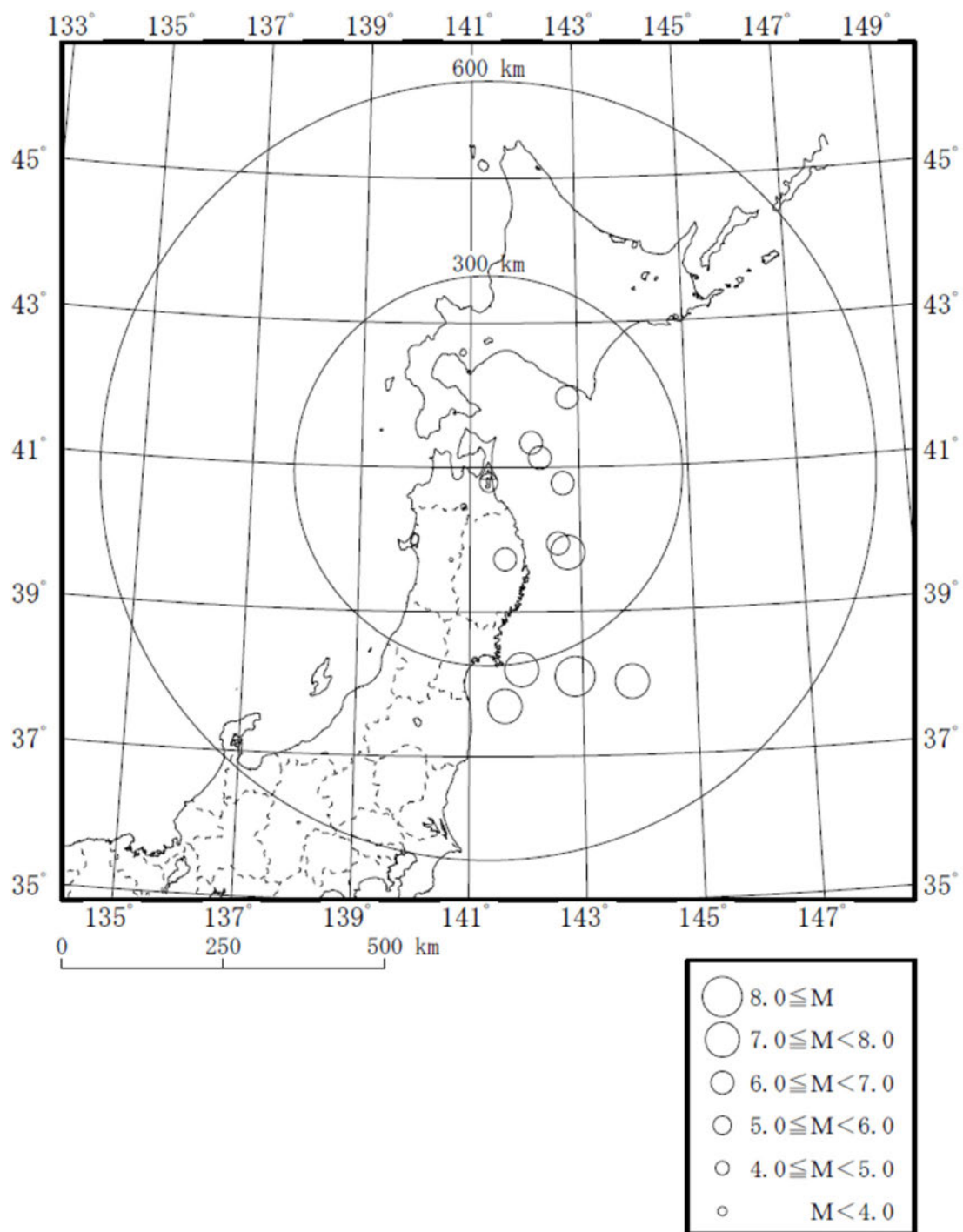
(2) 西側地盤観測点

西側地盤観測点においては、最新部（GL-200m）で 10Gal 以上の地震を選定した結果、NS 方向において 10Gal 以上の記録となっている地震は 9 つであったことから、選定基準を 5Gal に拡大し、全 12 地震を選定したうえで、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 6.3.1-2 表に、選定した地震の震央分布を第 6.3.1-3 図に示す。

第 6.3.1-2 表 評価に用いる地震の選定結果（西側地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	41.72	54.67	24.37
2	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	28.57	21.73	17.18
3	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	23.04	21.22	13.00
4	2011	4	7	23	32	E OFF MIYAGI PREF	141	55.21	38	12.25	7.2	65.89	310	317	10.67	11.23	7.90
5	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	16.72	23.08	13.48
6	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.42	41	20.62	6.1	59.6	79	99	21.84	20.39	14.11
7	2012	12	7	17	18	FAR E OFF MIYAGI PREF	143	52.02	38	1.19	7.3	49	393	396	13.26	12.64	10.46
8	2014	8	10	12	43	E OFF AOMORI PREF	142	16.74	41	8.04	6.1	50.56	82	96	8.06	10.82	6.61
9	2016	1	14	12	25	S OFF URAKAWA	142	48.07	41	58.21	6.7	51.51	166	174	10.18	11.48	10.72
10	2019	8	15	14	32	SHIMOKITA PENINSULA REG	141	20.36	40	47.52	5.5	92.6	19	95	11.53	15.43	11.22
11	2020	12	21	2	23	E OFF AOMORI PREF	142	41.5	40	46.9	6.5	43	117	125	8.14	6.55	6.91
12	2022	3	16	23	36	OFF FUKUSHIMA PREF	141	37.3	37	41.8	7.4	57	363	367	9.00	10.27	7.08



第 6.3.1-3 図 評価に用いた地震の震央分布（西側地盤）

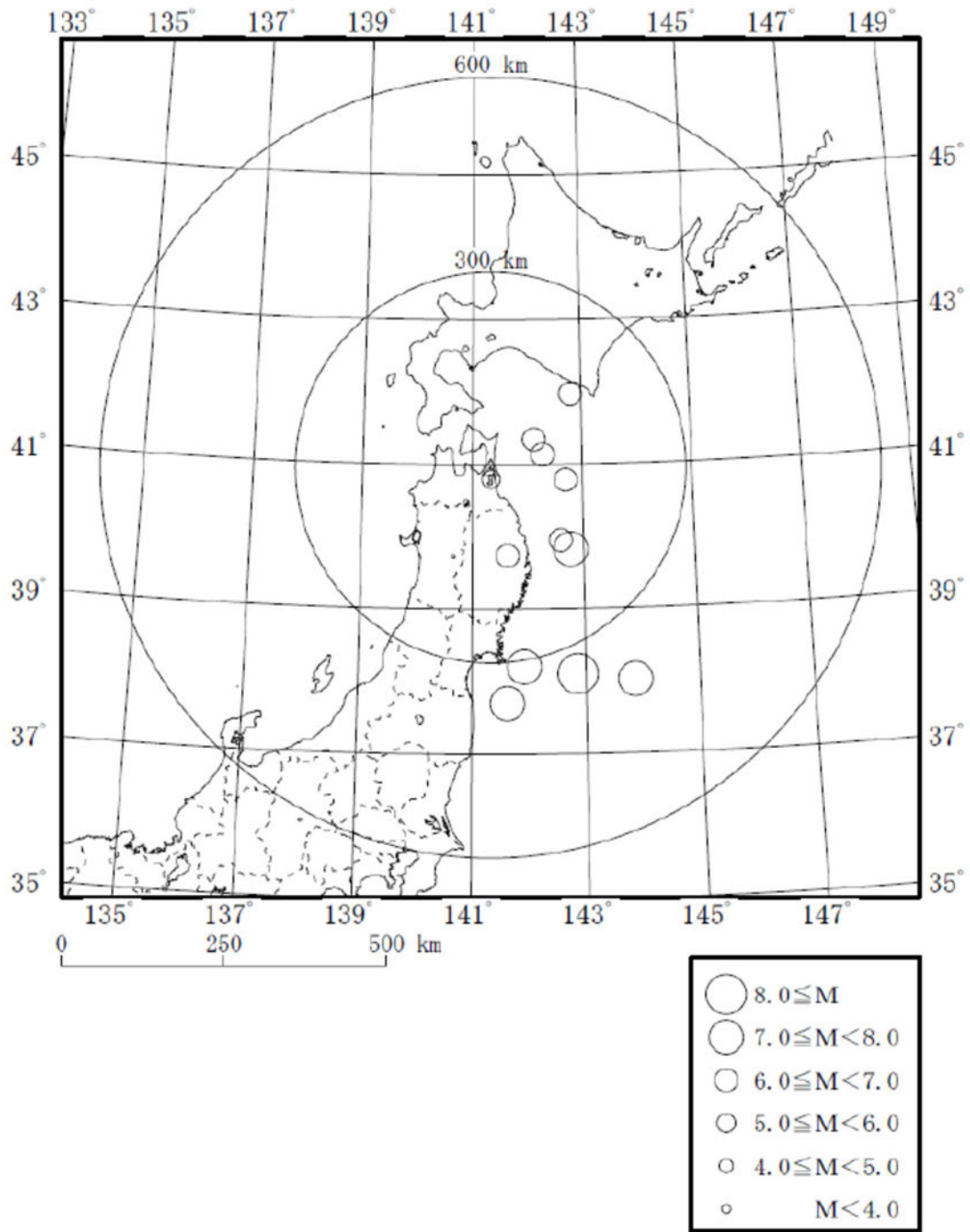
(3) 東側地盤観測点

東側地盤観測点においては、最新部（GL-200m）で 10Gal 以上の地震を選定した結果、NS 方向、EW 方向、UD 方向全てにおいて、10Gal 以上の記録となっている地震は 5 つであったことから、選定基準を 5Gal に拡大し、全 12 地震を選定したうえで、各観測深さ（GL-200m、GL-125m、GL-18m 及び GL-2m）の地震観測記録を評価に用いた。

選定した地震を第 6.3.1-3 表に、選定した地震の震央分布を第 6.3.1-4 図に示す。

第 6.3.1-3 表 評価に用いる地震の選定結果（東側地盤観測点）

No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経		北緯		M	深さ	震央距離	震源距離	GL-200m		
															NS	EW	UD
1	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	26.09	23.88	15.64
2	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	20.74	18.99	19.35
3	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	12.46	17.57	11.74
4	2011	4	7	23	32	E OFF MIYAGI PREF	141	55.21	38	12.25	7.2	65.89	310	317	7.86	7.69	6.70
5	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	13.04	11.57	10.52
6	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.42	41	20.62	6.1	59.6	79	99	19.16	14.87	13.92
7	2012	12	7	17	18	FAR E OFF MIYAGI PREF	143	52.02	38	1.19	7.3	49	393	396	7.87	8.60	7.97
8	2014	8	10	12	43	E OFF AOMORI PREF	142	16.74	41	8.04	6.1	50.56	82	96	6.80	8.17	5.55
9	2016	1	14	12	25	S OFF URAKAWA	142	48.07	41	58.21	6.7	51.51	166	174	9.05	7.75	6.79
10	2019	8	15	14	32	SHIMOKITA PENINSULA REG	141	20.36	40	47.52	5.5	92.6	19	95	9.13	8.59	5.85
11	2020	12	21	2	23	E OFF AOMORI PREF	142	41.5	40	46.9	6.5	43	117	125	5.12	6.56	5.07
12	2022	3	16	23	36	OFF FUKUSHIMA PREF	141	37.3	37	41.8	7.4	57	363	367	7.70	8.56	6.43



第 6.3.1-4 図 評価に用いた地震の震央分布 (東側地盤)

6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲

評価にあたっては、事業許可における基準地震動の策定において、各地震観測点の地震観測記録を再現するように作成しているはぎとり地盤モデルと同様に、第 6.2-2 図及び第 6.2-3 図に示した当該地震観測点における PS 検層結果から得られている密度及び S 波速度を、初期モデルとして設定した。

事業許可におけるはぎとり地盤モデルは、当該観測点の PS 検層結果から得られている密度及び S 波速度を初期モデルとして設定し、地震観測記録の伝達関数を再現するよう S 波速度及び減衰定数を変数として同定を行っている。減衰定数については、地震動評価において一般的に用いられている Takemura et al. (1993)*等の知見に基づき、周波数依存特性を考慮して同定を行っている。

本評価における減衰定数の評価にあたっては、減衰定数を変数とした収束計算を行うことにより、観測記録に適合する減衰定数を同定する。評価を行う上で設定する減衰定数の探索範囲は、建物・構築物の入力地震動を算定する上で用いる設定方法にならい、モデル底面から地表面の全層に対し、全周波数帯において一定値となる条件として、探索範囲を 0～10%の範囲で設定した。

今回評価に用いた初期モデル及び減衰定数の探索範囲を、第 6.3.2-1 表～第 6.3.2-3 表に示す。

ここで、中央地盤観測点については、事業変更許可にてはぎとり地盤モデルを策定する際に、地震観測記録における振動特性を再現するよう、既に現在の地震観測位置における PS 検層データから S 波速度をチューニングしていることから、チューニング後のはぎとり地盤モデルに設定している S 波速度を採用し、減衰定数のみを変数として設定することとした。

また、西側地盤及び東側地盤観測点については、事業変更許可における西側及び東側地盤のはぎとり地盤モデルを作成する際、移設前の地震観測位置の情報に基づいて S 波速度をチューニングしており、移設後の位置における S 波速度のチューニングは実施していない。「6.2 敷地における地震観測の概要」及び「6.3.1 評価に用いる地震観測記録」に示したとおり、西側地盤及び東側地盤観測点における評価では、近年得られた地震観測記録を用いるために、2008 年以降の移設後の地

震観測点における地震観測記録を用いたことから、本評価にあたっては、移設後の地震観測点における PS 検層結果（第 6.2-3 図）における S 波速度を初期モデルとして設定し、減衰定数に加え、S 波速度についても変数として設定することとした。

注記 *：武村 雅之，池浦 友則，高橋 克也，石田 寛，大島 豊，：堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価，日本建築学会構造系論文報告集，446，pp. 1-11，1993.

第 6.3.2-1 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲
中央地盤観測点

	深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 V_s (m/s)	減衰定数 h	
地震観測位置→	GL 0m	2	1.94	470	表層 1	0~0.2
	-2.0	1.5				
	-3.5	1.5	1.94	560	表層 2	0~0.2
地震観測位置→	-5	13	1.64	720	岩盤 1	0~0.15
	-18	2				
	-20	40	1.75	760	岩盤 2	0~0.1
-60	60	1.85	830			
地震観測位置→	-120	5	1.85	950	基盤	0~0.1
	-125	75				
地震観測位置→	-200	—				

第 6.3.2-2 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲

西側地盤観測点

		深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h	
地震観測位置→	GL 0m		2	1.73	230 (±20%)	表層 1	0~0.2
	-2.00	8.1					
地震観測位置→	-10.10		7.9	2.02	440 (±20%)	表層 2	0~0.2
	-18.00	18.82					
	-36.82		75.78	1.59	550 (±5%)	岩盤	0~0.1
地震観測位置→	-112.60		12.40	1.75	760 (±5%)	基盤 1	0~0.1
	-125.00	63.87					
地震観測位置→	-188.87		11.13	1.57	930 (±5%)	基盤 2	
	-200.00	—					

第 6.3.2-3 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲

東側地盤観測点

	深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h	
地震観測位置→	GL 0m	2	1.69	170 (±20%)	表層 1	0~0.2
	-2.00	12.73				
地震観測位置→	-14.73	3.27	1.72	310 (±20%)	表層 2	0~0.2
	-18.00	0.68				
地震観測位置→	-18.68	97.05	1.59	820 (±5%)	岩盤	0~0.1
	-115.73					
地震観測位置→	-125.00	34.31	1.82	1100 (±5%)	基盤 1	0~0.1
	-159.31	40.69				
地震観測位置→	-200.00	—	1.90	1100 (±5%)	基盤 2	

6.3.3 目的関数の設定

同定にあたっては、当社事業変更許可において実績のある、はぎとり地盤モデルと同様に、収束計算に用いる目的関数を以下のとおり設定した。

目的関数は、「6.3.1 評価に用いる地震観測記録」に示した各地盤観測点において得られている地震観測記録に基づき算定した、各観測深さ間の伝達関数の平均値とする。各観測深さ間の地震個別の伝達関数の算定及び平均値の算定にあたっては、関数形状の平滑化等の処理は行わないこととした。

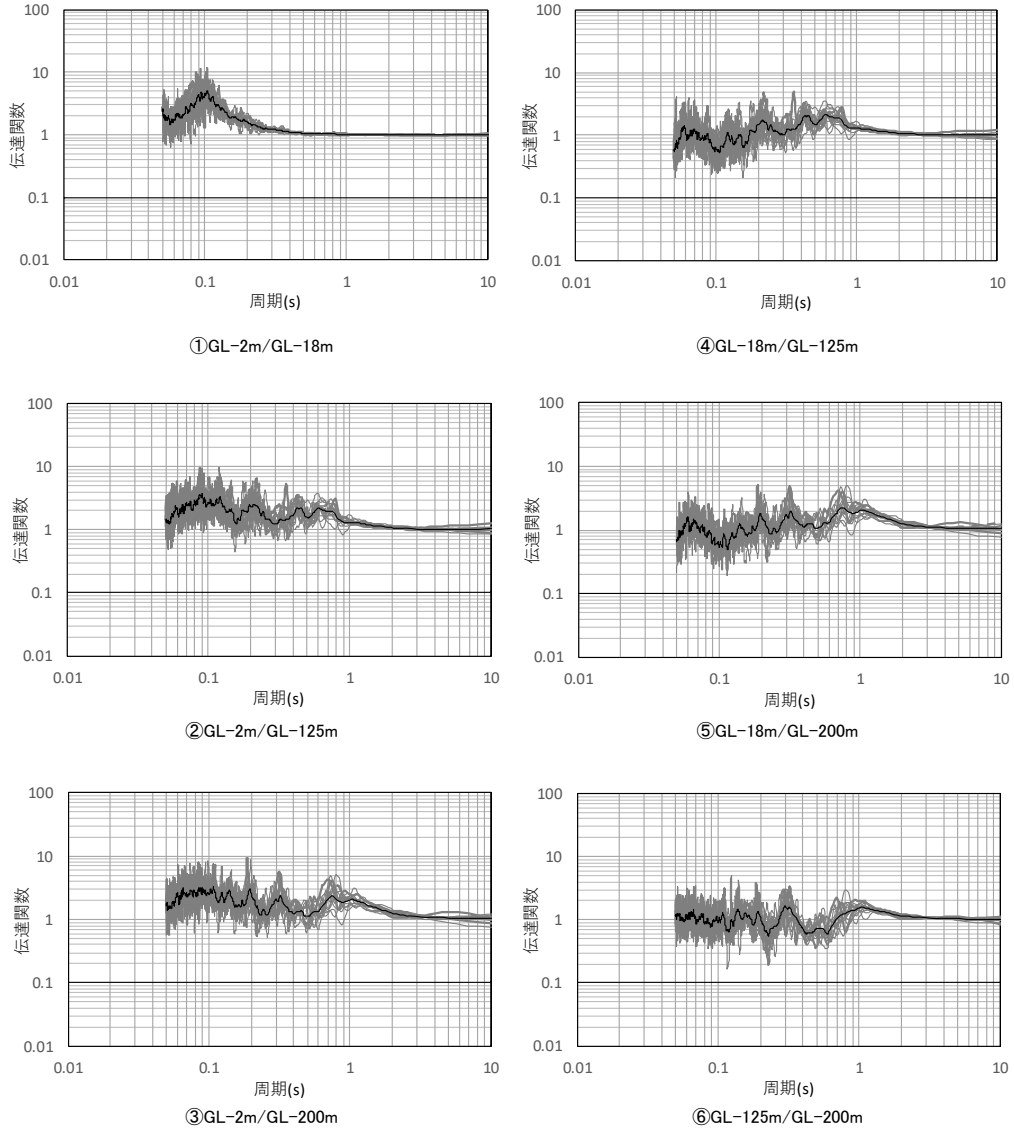
伝達関数は、表層地盤と岩盤部分を個別に同定するために、各観測深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）間のフーリエスペクトル比（全6組合せ）として算定した。第6.3.3-1図～第6.3.3-6図に、地震観測記録に基づく、各深さ間の伝達関数の作成結果を示す。

さらに、「6.3.1 評価に用いる地震観測記録」にて選定した各地点における本評価に用いる地震についての十分性及び妥当性を確認するために、選定時の最大加速度の閾値を考慮せず、地震数を倍程度の30地震に増加させた場合の伝達関数の平均値を算定した。

地震数を増加させた場合の地震の震央分布を第6.3.3-4図～第6.3.3-6図に示す。また、地震数を増加させた場合の伝達関数の平均値と、今回評価に用いる目的関数を比較した図を第6.3.3-7図～第6.3.3-12図に示す。

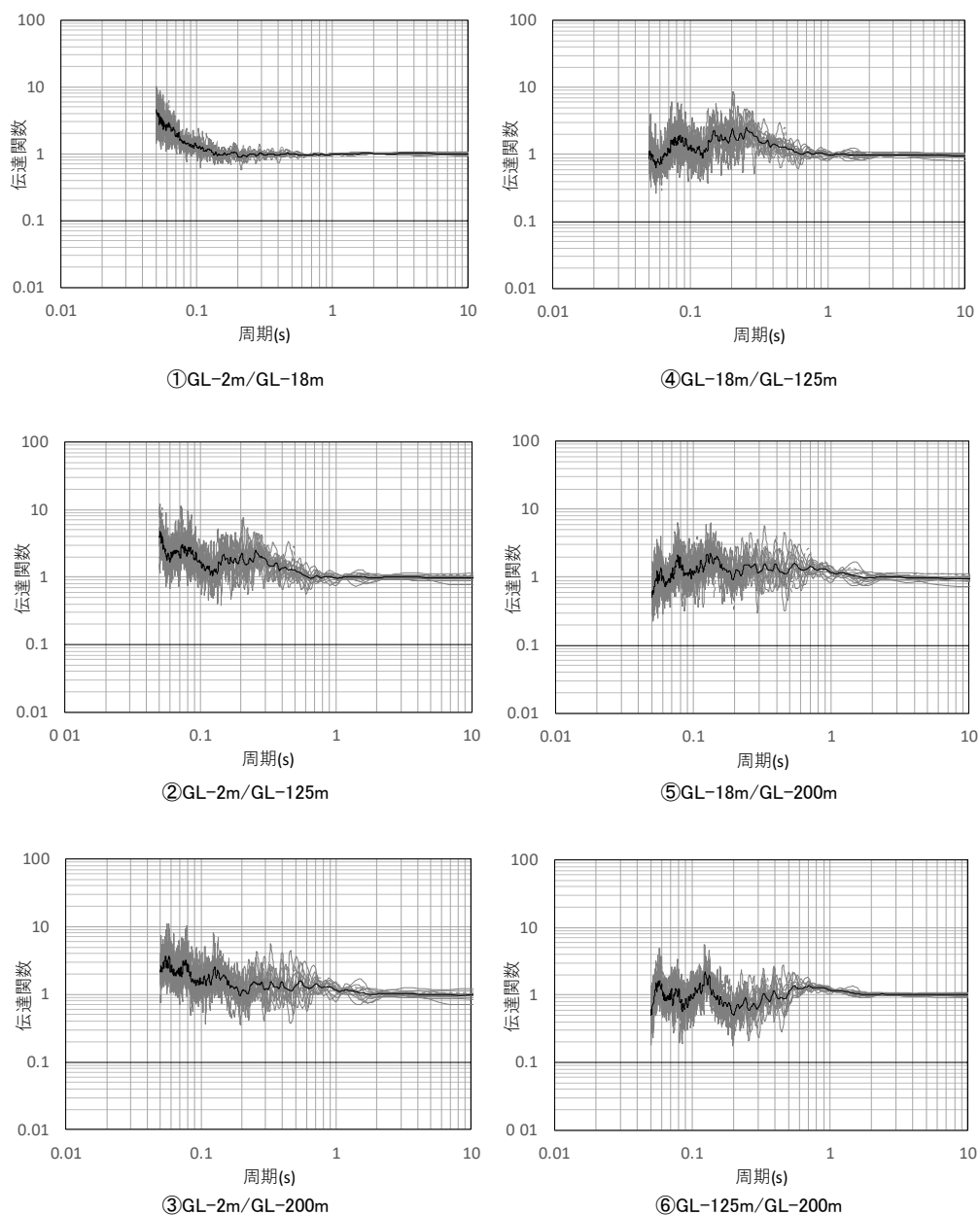
いずれの地点においても、地震数を増やした場合の伝達関数は、本評価に用いる伝達関数と有意な差は無いことから、「6.3.1 評価に用いる地震観測記録」にて選定した各地点における本評価に用いる地震は、敷地の振動特性の実態を捉える上で十分な選定結果となっていることを確認した。

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



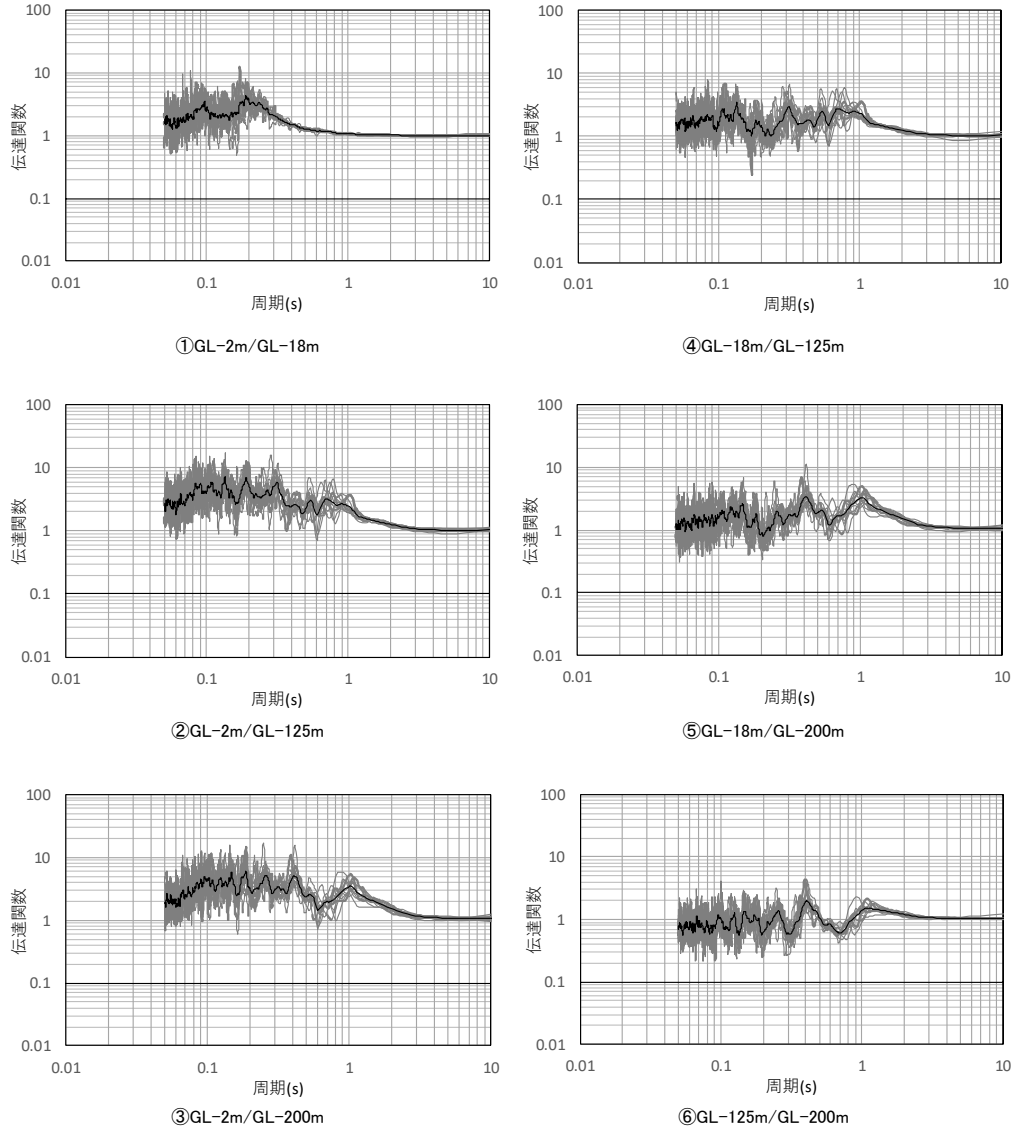
第 6.3.3-1 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （中央地盤観測点，水平）

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



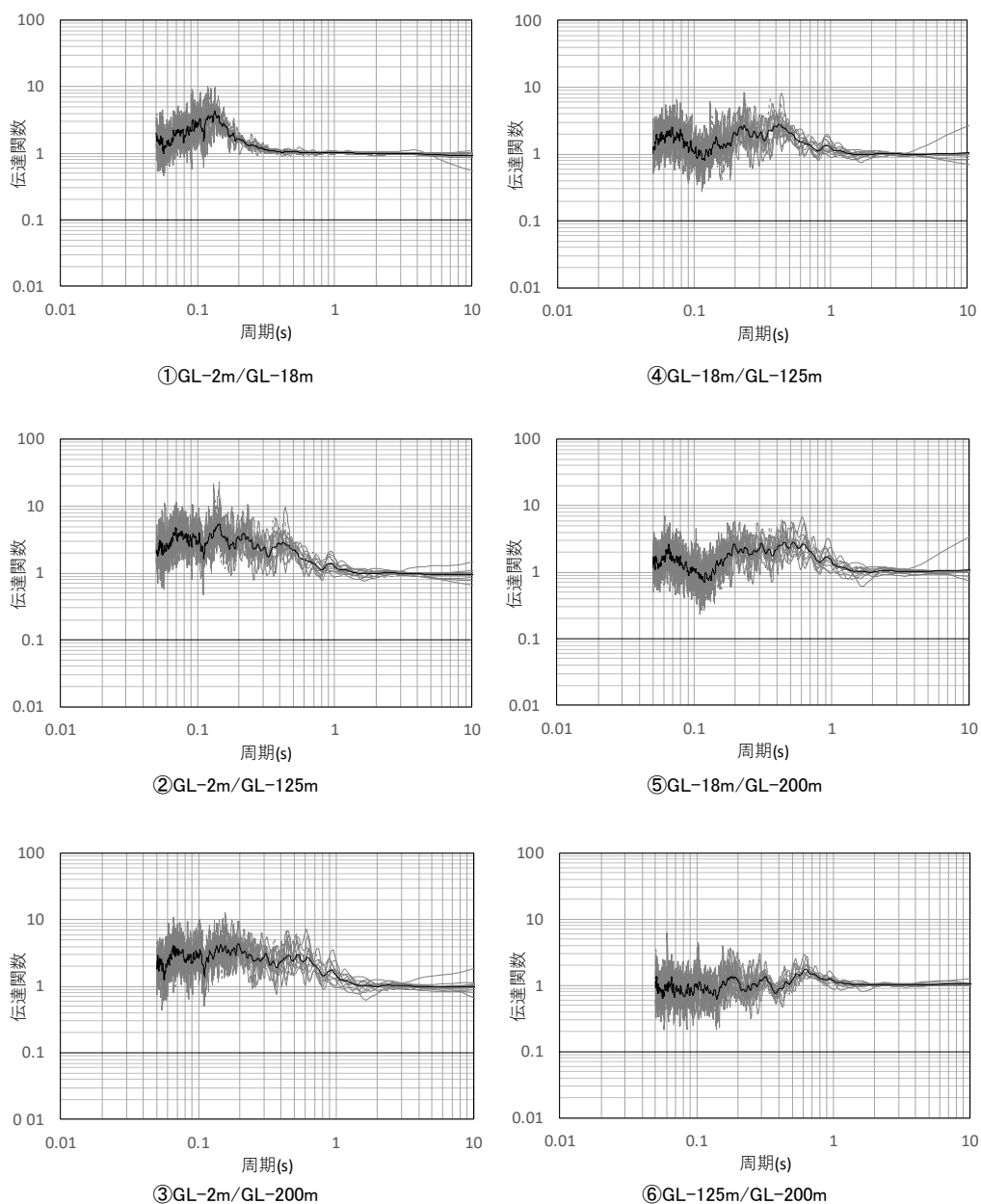
第 6.3.3-2 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （中央地盤観測点，鉛直）

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



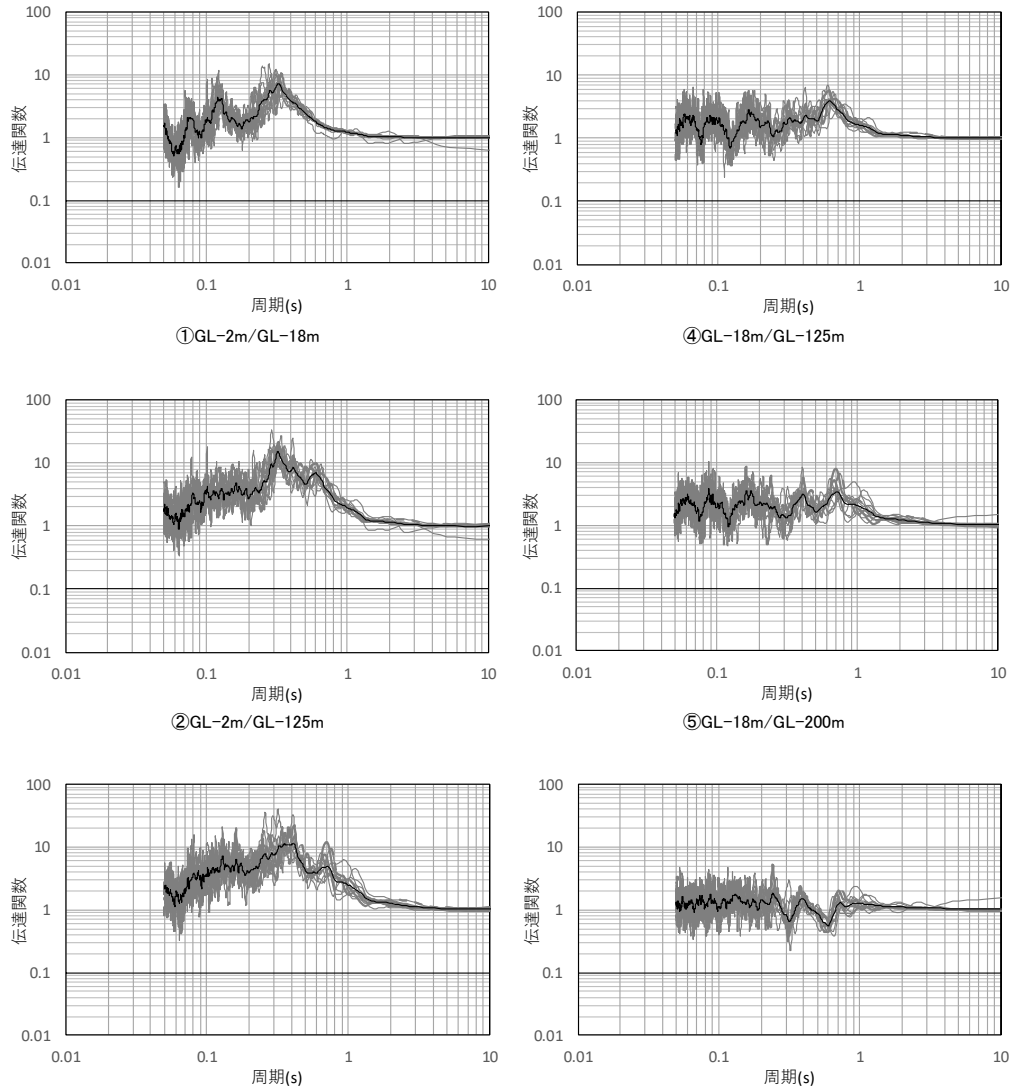
第 6.3.3-3 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （西側地盤観測点，水平）

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



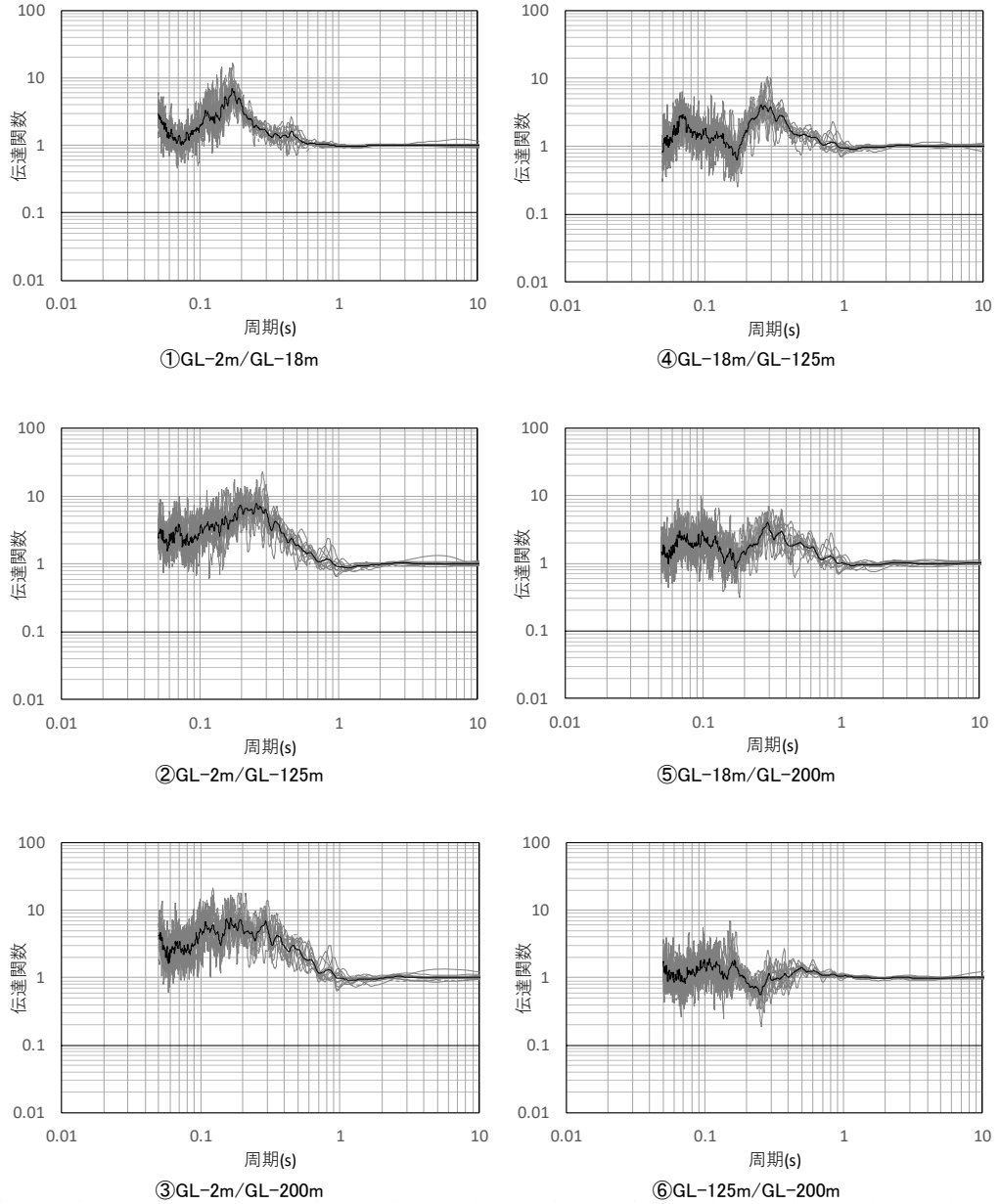
第 6.3.3-4 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （西側地盤観測点，鉛直）

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数

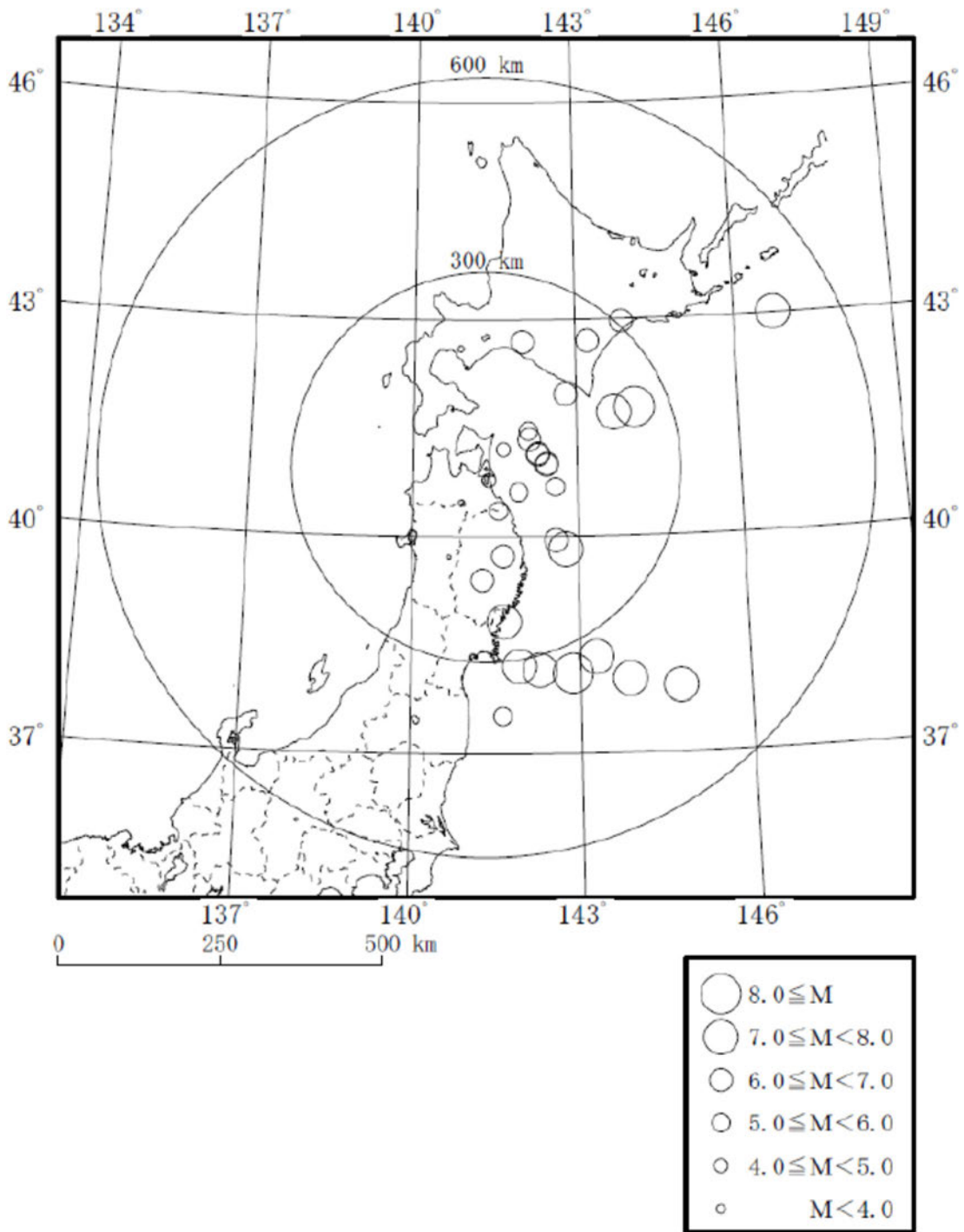


第 6.3.3-5 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （東側地盤観測点，水平）

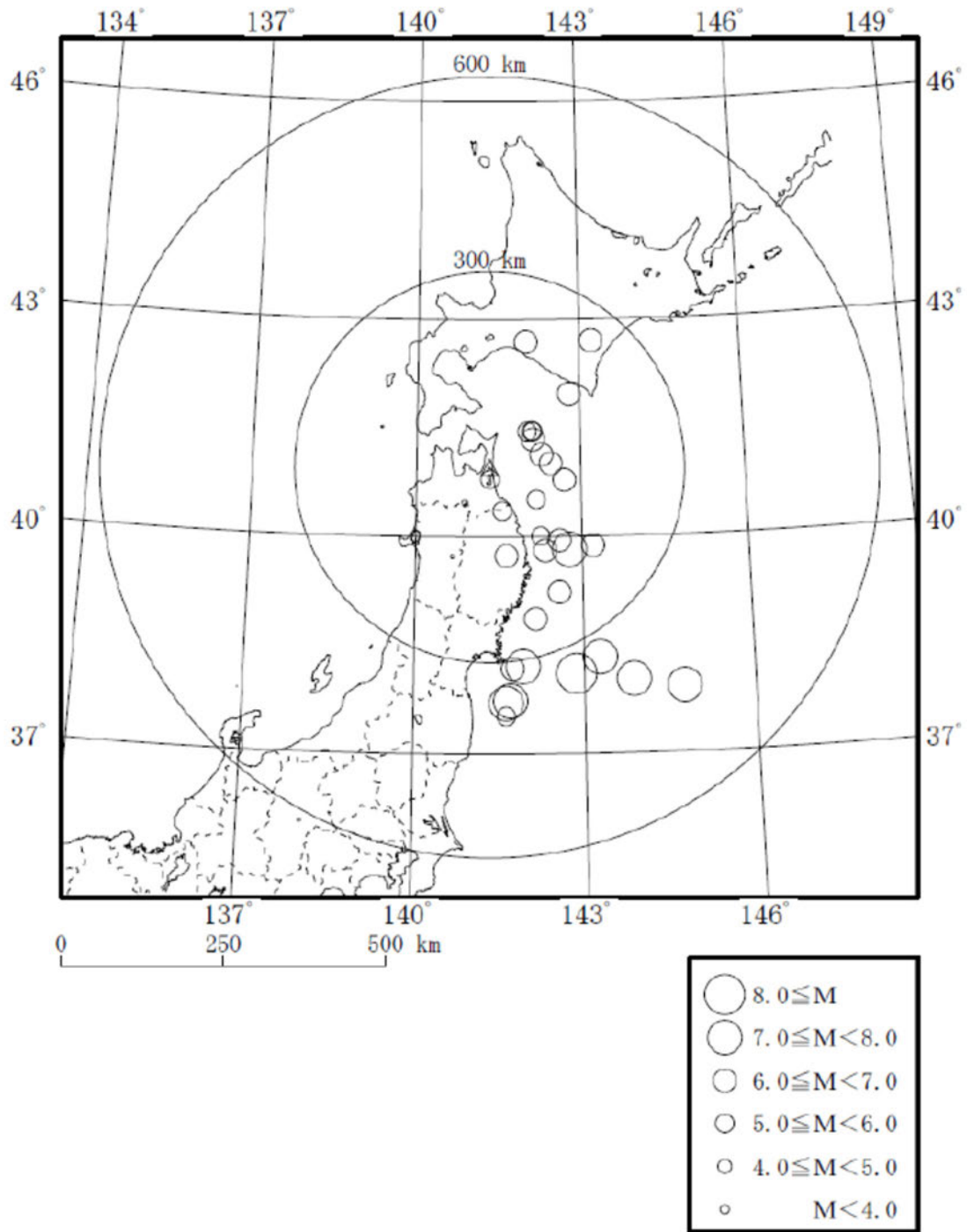
—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 —— 個別地震の観測記録の伝達関数



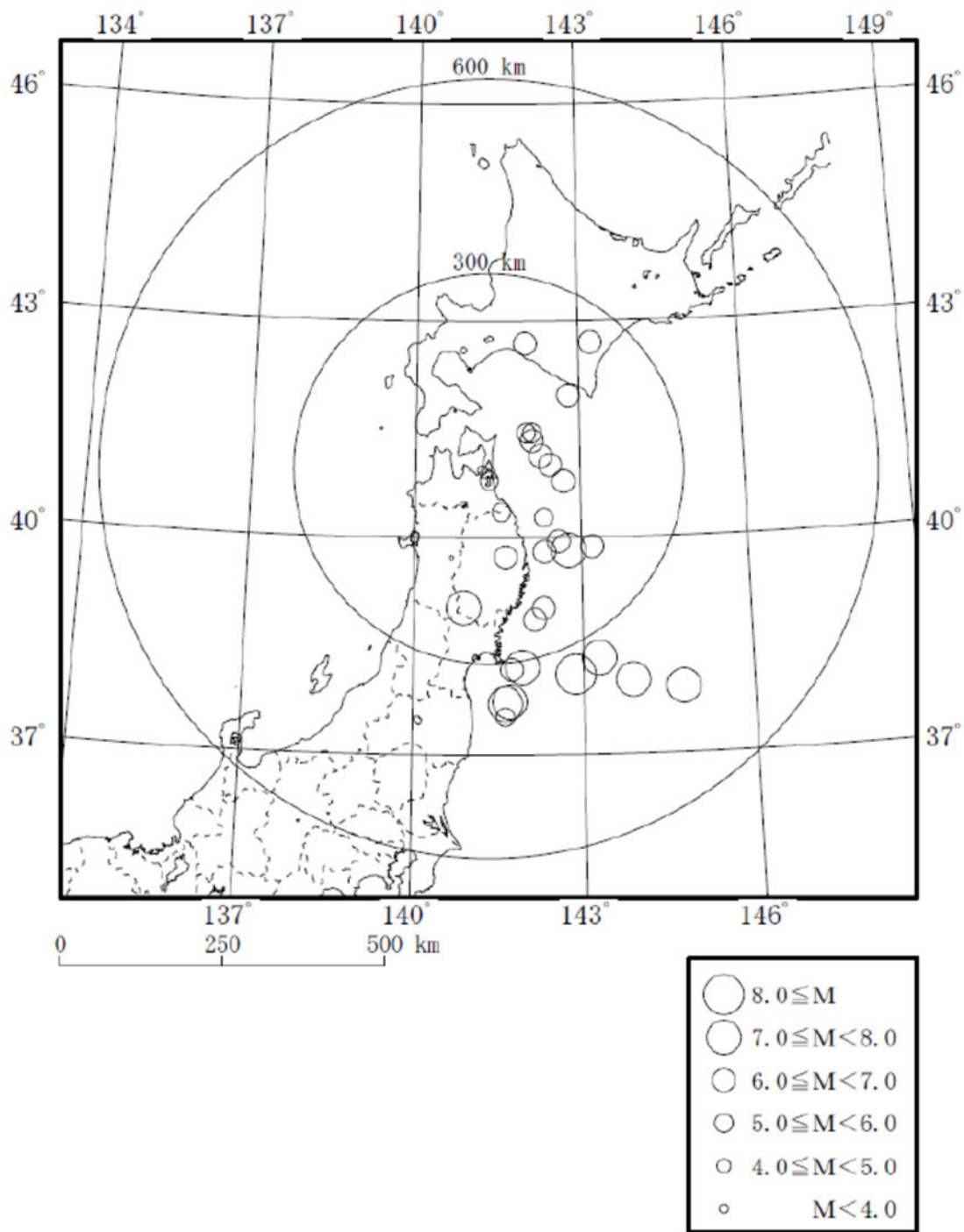
第 6.3.3-6 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （東側地盤観測点，鉛直）



第 6.3.1-4 図 地震数を 30 地震とした評価に用いた地震の震央分布
(中央地盤)

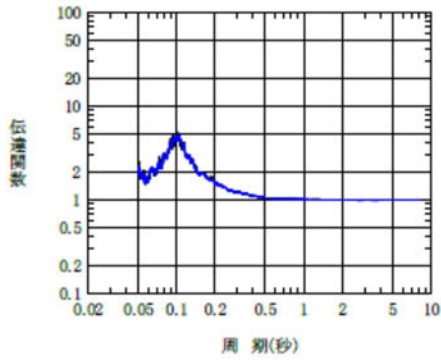


第 6.3.1-5 図 地震数を 30 地震とした評価に用いた地震の震央分布
(西側地盤)

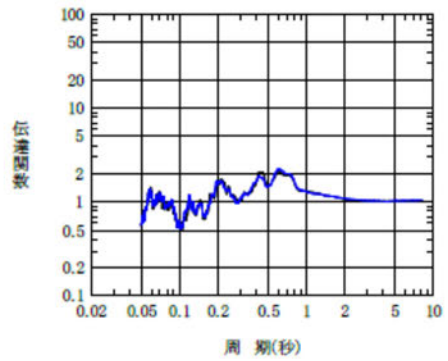


第 6.3.1-6 図 地震数を 30 地震とした評価に用いた地震の震央分布
(東側地盤)

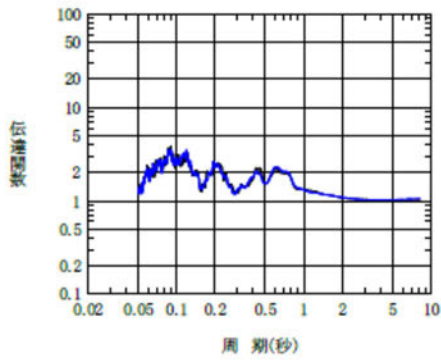
— 14 地震
— 30 地震



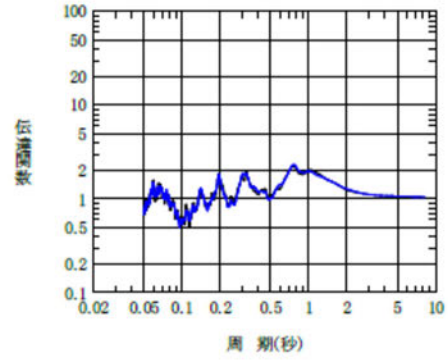
① GL-2m/GL-18m



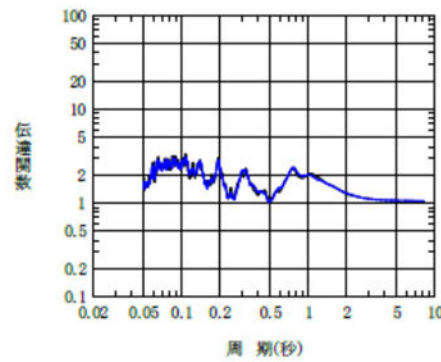
④ GL-18m/GL-125m



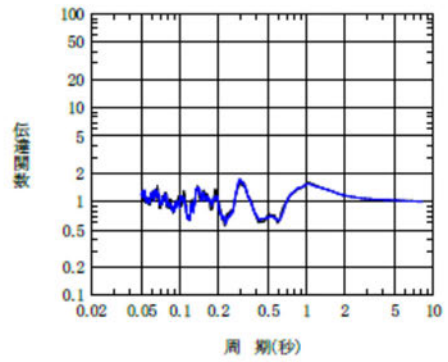
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



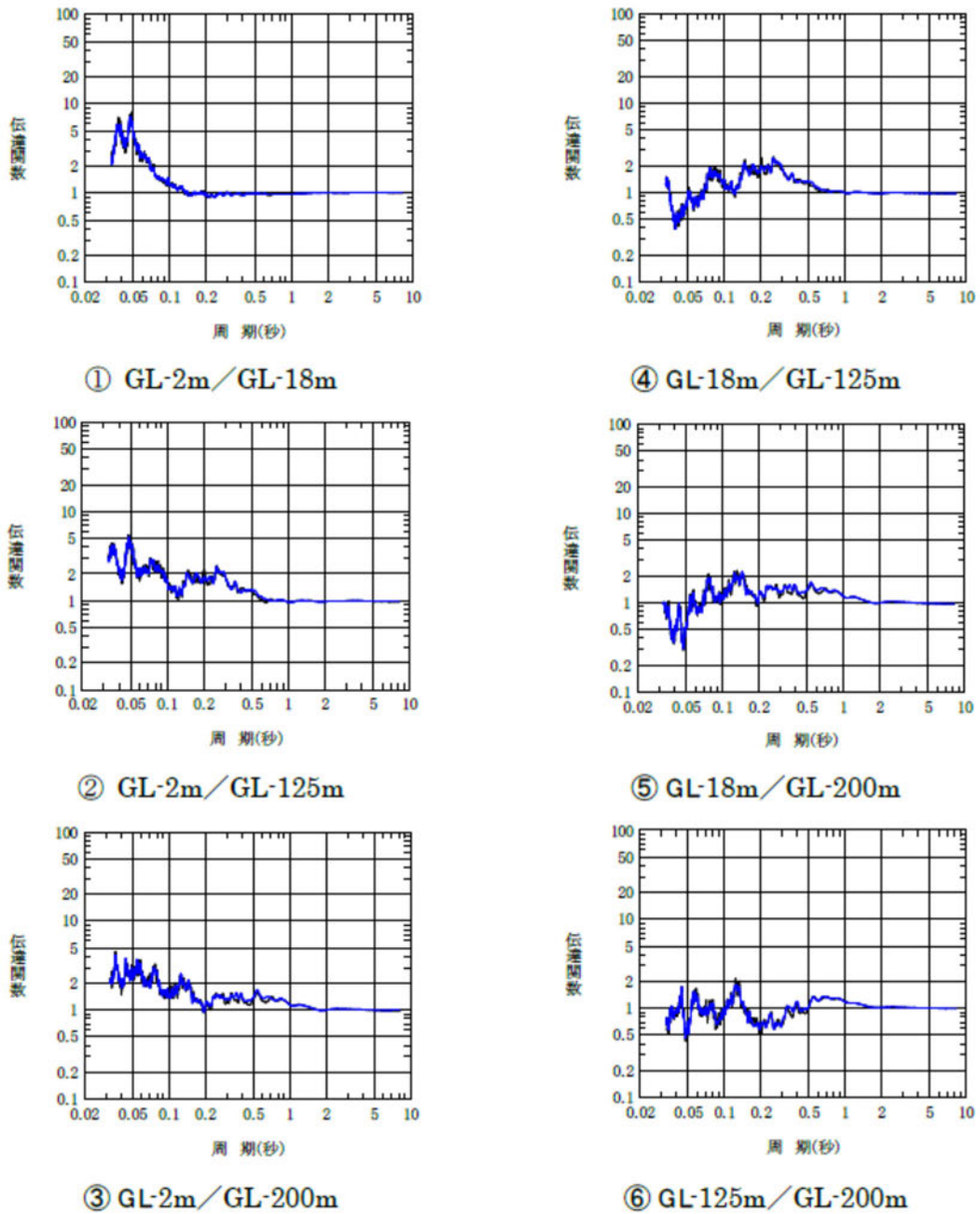
③ GL-2m/GL-200m



⑥ GL-125m/GL-200m

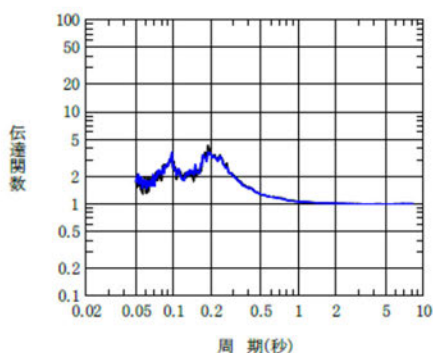
第 6.3.3-7 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(中央地盤観測点, 水平)

— 14 地震
— 30 地震

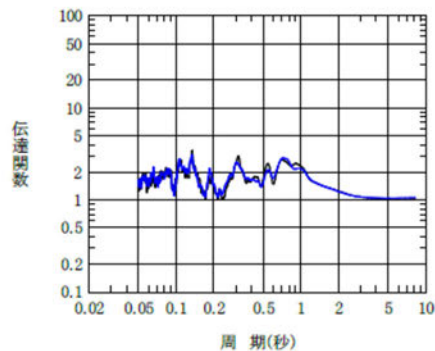


第 6.3.3-8 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(中央地盤観測点, 鉛直)

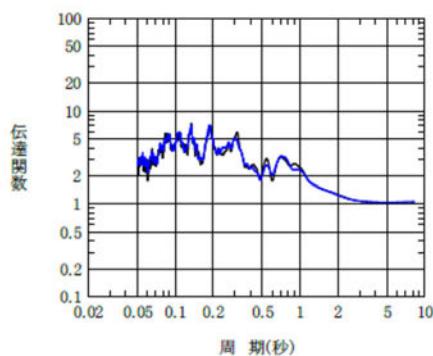
— 12地震
— 30地震



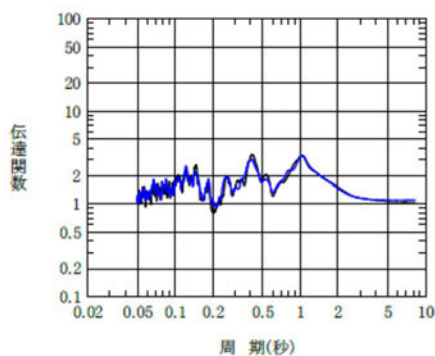
① GL-2m/GL-18m



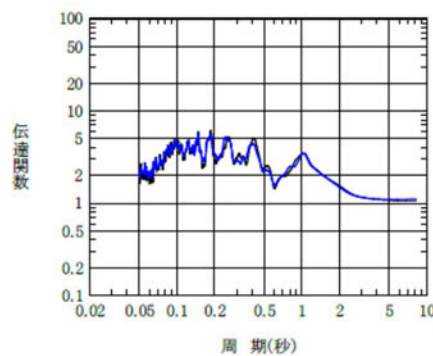
④ GL-18m/GL-125m



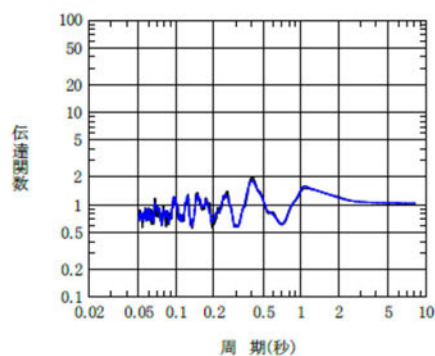
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



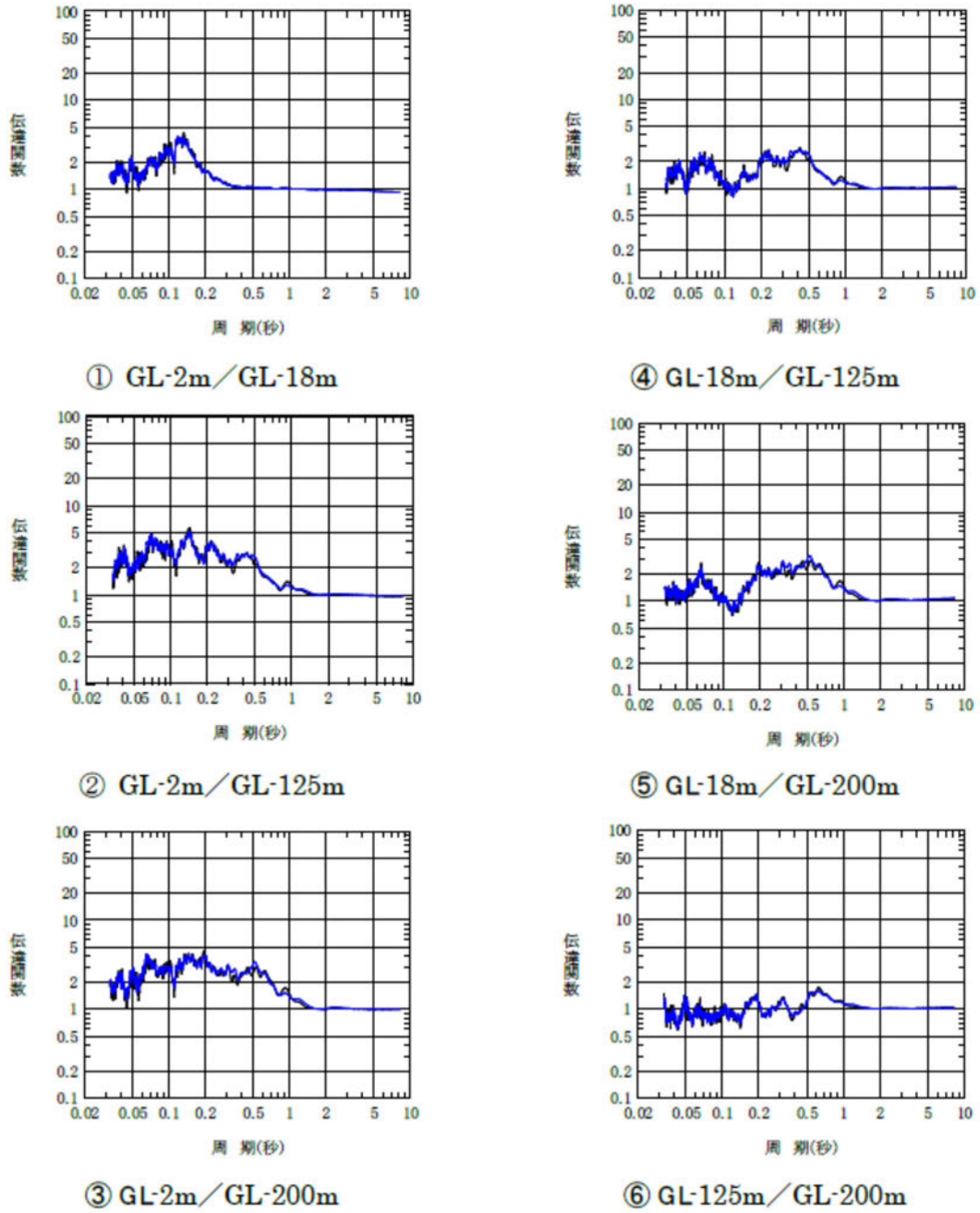
③ GL-2m/GL-200m



⑥ GL-125m/GL-200m

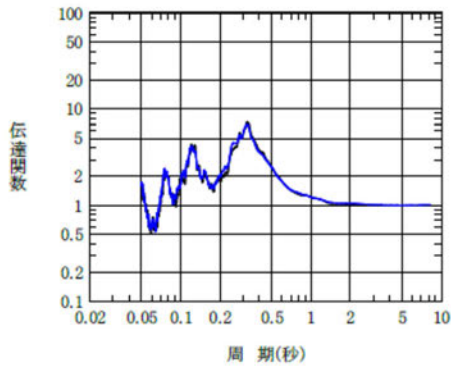
第 6.3.3-9 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(西側地盤観測点, 水平)

— 12地震
— 30地震

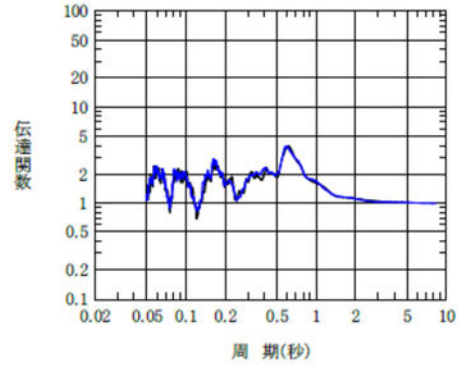


第 6.3.3-10 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(西側地盤観測点, 鉛直)

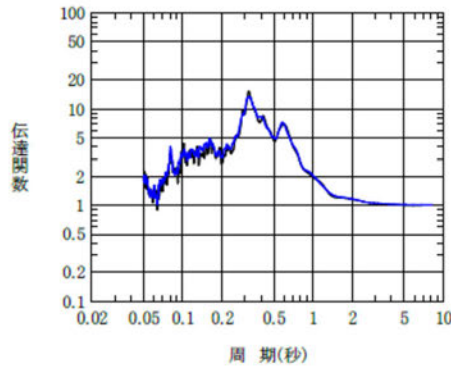
— 12 地震
— 30 地震



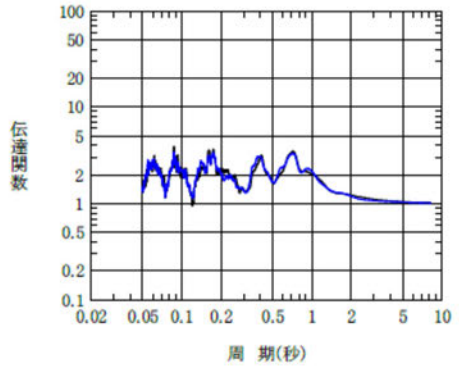
① GL-2m/GL-18m



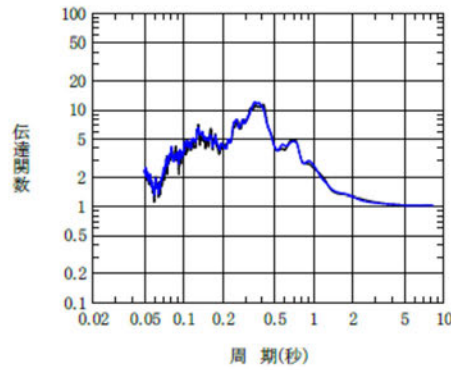
④ GL-18m/GL-125m



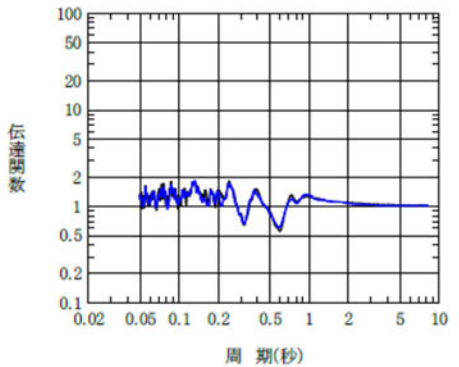
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



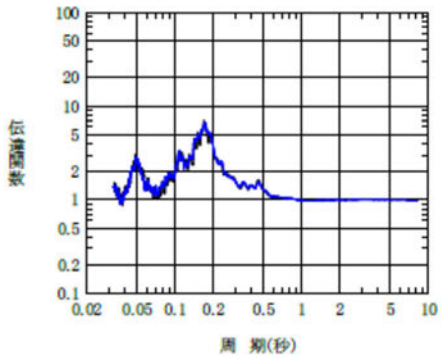
③ GL-2m/GL-200m



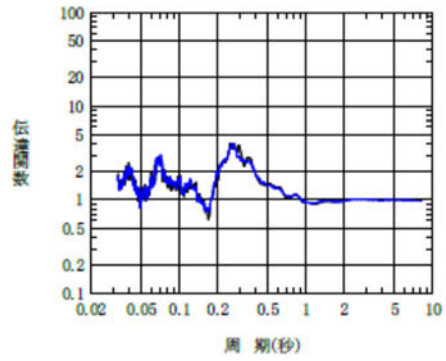
⑥ GL-125m/GL-200m

第 6.3.3-11 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(東側地盤観測点, 水平)

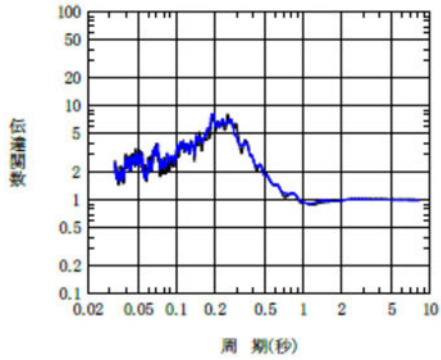
— 12 地震
— 30 地震



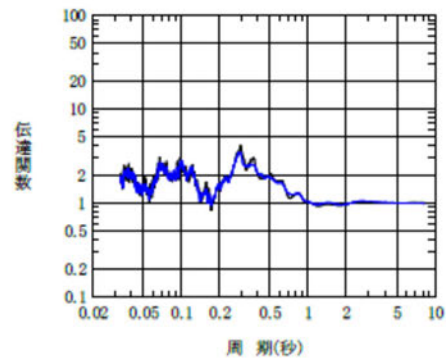
① GL-2m/GL-18m



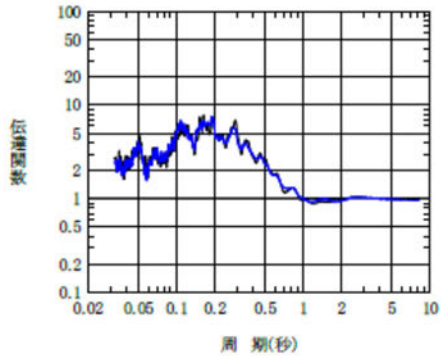
④ GL-18m/GL-125m



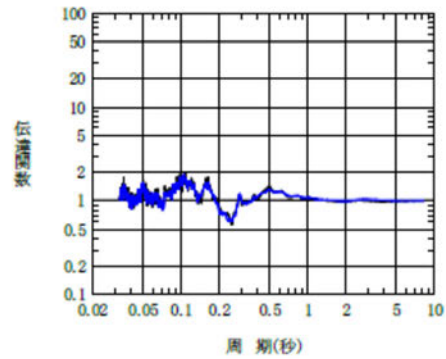
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



③ GL-2m/GL-200m



⑥ GL-125m/GL-200m

第 6.3.3-12 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(東側地盤観測点, 水平)

6.3.4 減衰定数の周波数依存特性の考慮

各深さの地震観測記録に対し，以下のとおり，実現象に対する説明性を考慮し，2種類の減衰モデルを考慮した検討を実施する。各考え方の概要を第6.3.4-1表に示す。

(1) 周波数依存型（リニア型）

Takemura et al. (1993) *等の知見に示されるように，周波数のべき乗に比例する関数モデル ($h=h_0 \times f^{-n}$) を仮定し，減衰定数を同定する。

このモデルは，地震観測記録に基づく地盤の減衰定数の評価に係る各種文献において採用されている設定であり，実観測記録に対する再現性に優れたモデルである。

注記 *：武村 雅之，池浦 友則，高橋 克也，石田 寛，大島 豊，：堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価，日本建築学会構造系論文報告集，446，pp.1-11，1993.

(2) 周波数依存型（バイリニア型）

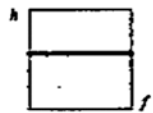

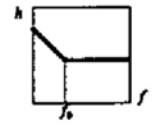
佐藤ほか（2006）*の知見に示されるように，低周波数側では減衰定数が周波数のべき乗に比例（ $h=h_0 \times f^{-n}$ ）し，ある周波数より高周波数側では下限値で頭打ちするバイリニア型関数モデルを仮定し，減衰定数を同定する。

このとき，S波速度については，各周波数帯における伝達関数のピークについては，「(1) 周波数依存型（リニア型）」において再現されるように既に同定が行われていることから，S波速度は「(1) 周波数依存型（リニア型）」のものを用い，減衰定数のみを変数として同定を実施する。

同定にあたっては，折れ点の周波数 f_0 を探索パラメータとすることも考えられるが，本検討においては，上記「(1) 周波数依存型（リニア型）」による検討との差を把握するために，佐藤ほか（2006）の知見における f_0 の範囲 10Hz～20Hz のうち，低周波数側の 10Hz 以上の高周波数側で頭打ちすることを仮定することで，上記「(1) 周波数依存型（リニア型）」における設定との差が最大になるように設定する。

注記 *：佐藤 浩章，金谷 守，大鳥 靖樹：減衰定数の下限値を考慮したスペクトル比の逆解析による同定手法の提案-岩盤における鉛直アレイ記録への適用と減衰特性の評価-，日本建築学会構造系論文報告集第 604 号，p55-62，2006.

第 6.3.4-1 表 減衰定数の周波数依存性の考え方

種別	減衰定数モデル式	モデル形状	文献
周波数依存性なし	$h=h_0$		Ohta(1975) 等
周波数依存型 (リニア型)	$h(f)=h_0f^{-n}$		Takemura et al. (1993)等
周波数依存型 (バイリニア型)	$h(f)=h_0f^{-n} \quad (f \leq f_0)$ $h(f)=h_0f_0^{-n} \quad (f > f_0)$		佐藤ほか (2006)

注記 バイリニア型における f_0 の値は 10Hz と設定。

6.3.5 評価方法及び条件

伝達関数による検討の方法としては、地震観測記録の得られている地盤の各深さ（GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m）間の地震動の増幅特性を最もよく説明する減衰定数を、地震観測点ごとに遺伝的アルゴリズム法により同定し、その値が地震観測記録の応答スペクトルを再現可能であることを確認する。解析条件を第 6.3.5-1 表に示す。

第 6.3.5-1 表 遺伝的アルゴリズム法による解析条件

未知数	減衰定数 (h) (周波数依存性なし)
世代交代数	30 世代
個体数	30 固体
突然変異率	2 %
交差率	70%
未知変数のビット長	8 ビット
対象とする周波数範囲	0 ~ 20Hz

6.3.6 伝達関数による評価結果

「6.3.5 評価方法及び条件」に示した手法に従い，減衰定数を同定した結果及び伝達関数の適合状況を第 6.3.6-1～第 6.3.6-4 図及び第 6.3.6-7 図～第 6.3.6-8 図（中央地盤），第 6.3.6-9～第 6.3.6-12 図及び第 6.3.6-15～第 6.3.6-16 図（西側地盤）及び第 6.3.6-17～第 6.3.6-20 図及び第 6.3.6-23 図～第 6.3.6-24 図（東側地盤）に示す。また，各手法における減衰定数の同定結果を第 6.3.6-5 図及び第 6.3.6-6 図（中央地盤），第 6.3.6-13 図及び第 6.3.6-14 図（西側地盤）及び第 6.3.6-21 図及び第 6.3.6-22 図（東側地盤）にグラフとして示す。

(1) 中央地盤観測点

中央地盤における伝達関数による地盤物性及び減衰定数の同定結果について以下に示す。

- ・ 水平成分の伝達関数の傾向としては、第 6.3.6-1 図及び第 6.3.6-3 図に示すとおり、リニア型及びバイリニア型のいずれについても、建物・構築物の固有周期帯（約 0.2～0.3 秒）を含む周期 0.2 秒よりも長周期側において、伝達関数の各周期帯におけるピークをよく再現している。また、周期 0.2 秒よりも短周期側においては、目的関数に明瞭な周期ごとのピークが明確になっていない傾向となっており、同定結果における高次数ピークと整合しない周期帯があるものの、全体的に伝達関数のレベルに大きな乖離は無い。
- ・ 鉛直成分の伝達関数の傾向としては、第 6.3.6-2 図及び第 6.3.6-4 図に示すとおり、概ね全周期帯において、伝達関数の各周期帯におけるピークをよく再現している。また、第 6.3.6-5 図及び第 6.3.6-6 図に示すとおり、減衰定数の値としては、水平方向よりも大きい値を与えることを確認した。
- ・ 第 6.3.6-5 図及び第 6.3.6-6 図に示すとおり、リニア型とバイリニア型の減衰定数は、折れ点として設定した 0.1 秒よりも長周期側で有意な差は無いことを確認した。
- ・ 第 6.3.6-7 図及び第 6.3.6-8 図に示すとおり、リニア型とバイリニア型による伝達関数を比較すると、周期 0.1 秒付近で若干の乖離があるものの、全体として同等の伝達関数が得られている。特に、今回同定の範囲（0～20Hz）で、かつ減衰定数の設定が異なる 10Hz 以上に対応する周期帯（0.05～0.1 秒）においても伝達関数に対する感度は有していない結果が得られた。

以上のことから、中央地盤については、速度構造及び減衰定数の両方が、地盤の実態をよく再現した結果が得られたと考えられる。

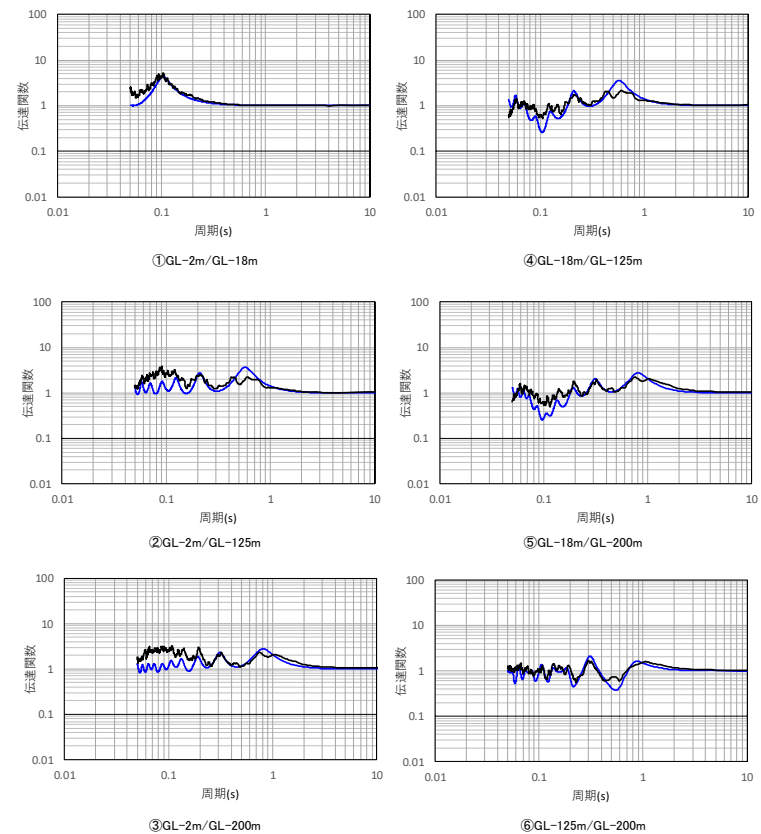
観測記録との整合性がよいと判断した考え方について追記

$$h=h_0 \cdot f^{-n}$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	2	1.94	470	0.3	0.8
-2	1.5	1.94	470		
-3.5	1.5	1.94	560		
-5	13	1.64	720	0.5	0.5
-18	2	1.64	720	0.3	0.9
-20	40	1.75	760		
-60	60	1.85	830		
-120	5	1.85	950	0.3	0.9
-125	75	1.85	950		
-200	—	1.85	950		

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

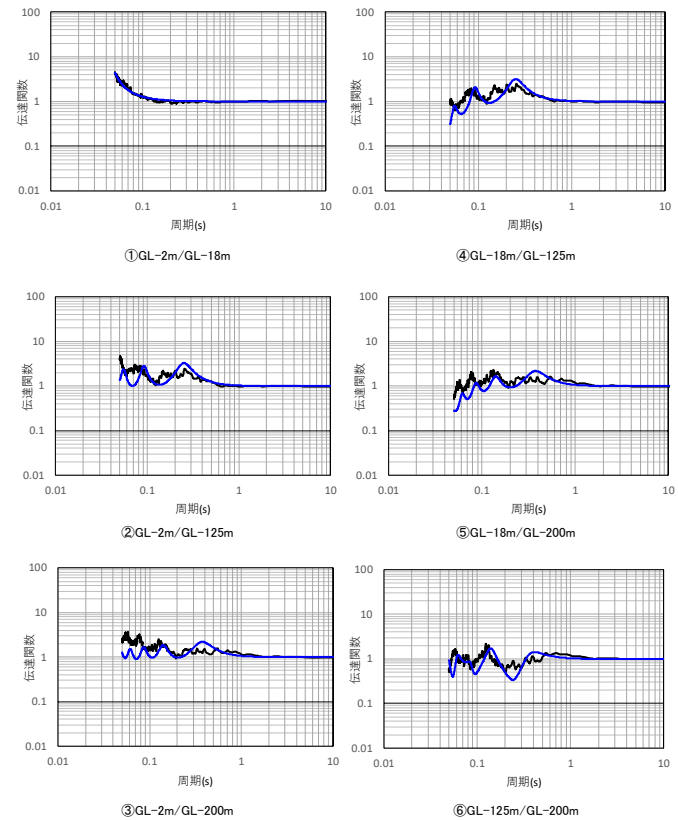
第 6.3.6-1 図 伝達関数による同定結果（中央地盤観測点：周波数依存型（リニア型），水平）

$$h=h_0 \cdot f^{-n}$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vp (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	2	1.94	1410	0.5	0.8
-2	1.5	1.94	1410		
-3.5	1.5	1.94	1560		
-5	13	1.64	1640	0.7	0.6
-18	2	1.64	1640		
-20	40	1.75	1780	0.8	1
-60	60	1.85	1860		
-120	5	1.85	1920	0.8	0.9
-125					
	75	1.85	1920		
-200	—	1.85	1920		

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

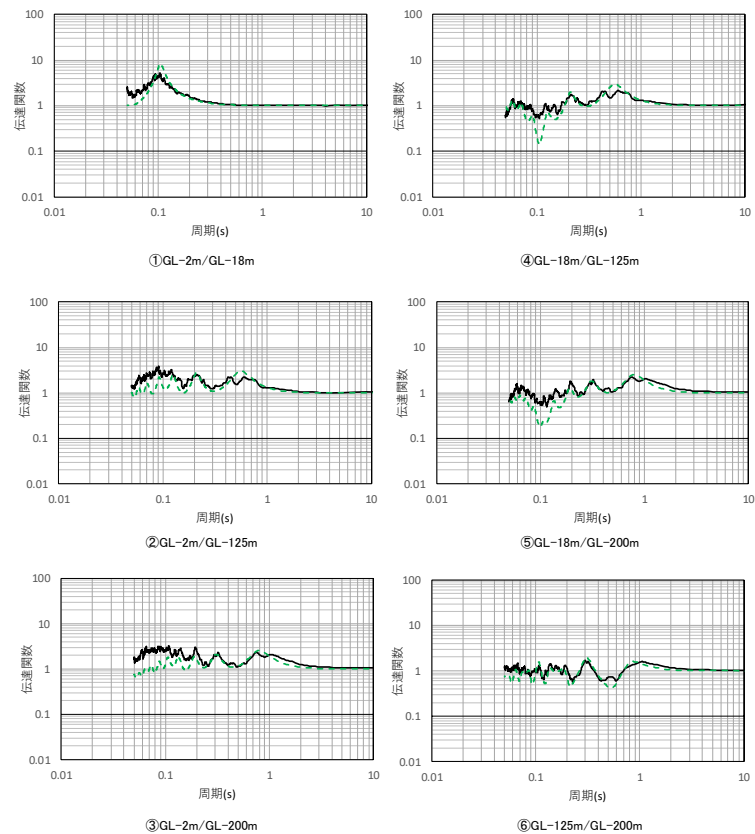
第 6.3.6-2 図 伝達関数による同定結果（中央地盤観測点：周波数依存型（リニア型），鉛直）

$h=h_0 \cdot f^{-n}$ (10Hz以上一定)

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	V_s (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	2	1.94	470	0.3	0.9
-2	1.5	1.94	470		
-3.5	1.5	1.94	560		
-5	13	1.64	720	0.5	0.8
-18	2	1.64	720	0.4	1
-20	40	1.75	760		
-60	60	1.85	830		
-120	5	1.85	950	0.3	0.9
-125	75	1.85	950		
-200					

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
- - - 周波数依存型（バイリニア型）



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

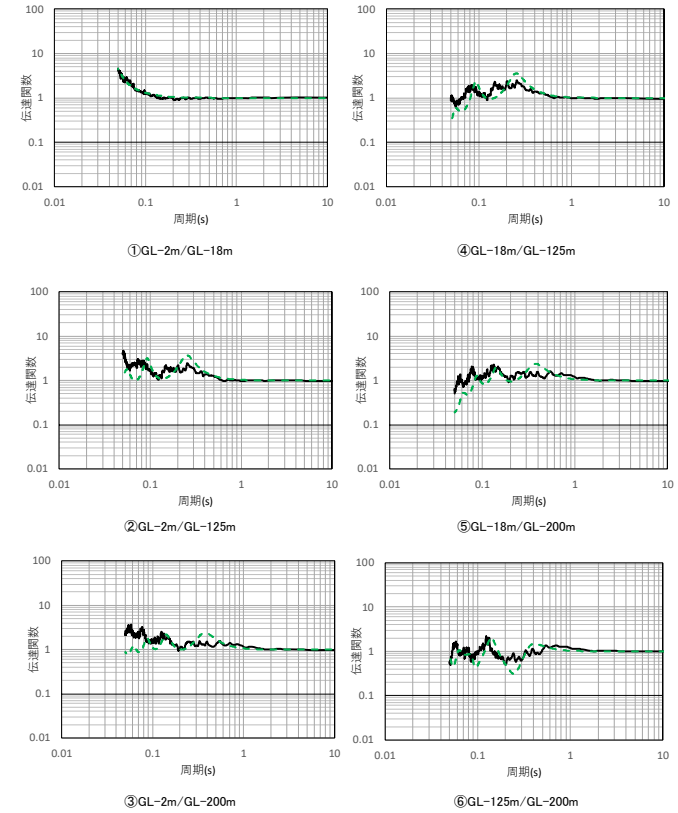
第 6.3.6-3 図 伝達関数による同定結果（中央地盤観測点：周波数依存型（バイリニア型），水平）

$$h=h_0 \cdot f^{-n} \quad (10\text{Hz以上一定})$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vp (m/s)	減衰定数		
				h_0	n	
0	2	1.94	1410	0.5	0.9	
-2	1.5	1.94	1410			
-3.5	1.5	1.94	1560			
-5	13	1.64	1640	0.7	0.8	
-18						2
-20						40
-60	60	1.85	1860	0.7	1	
-120	5	1.85	1920			
-125	75	1.85	1920	0.8	1	
-200						—

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

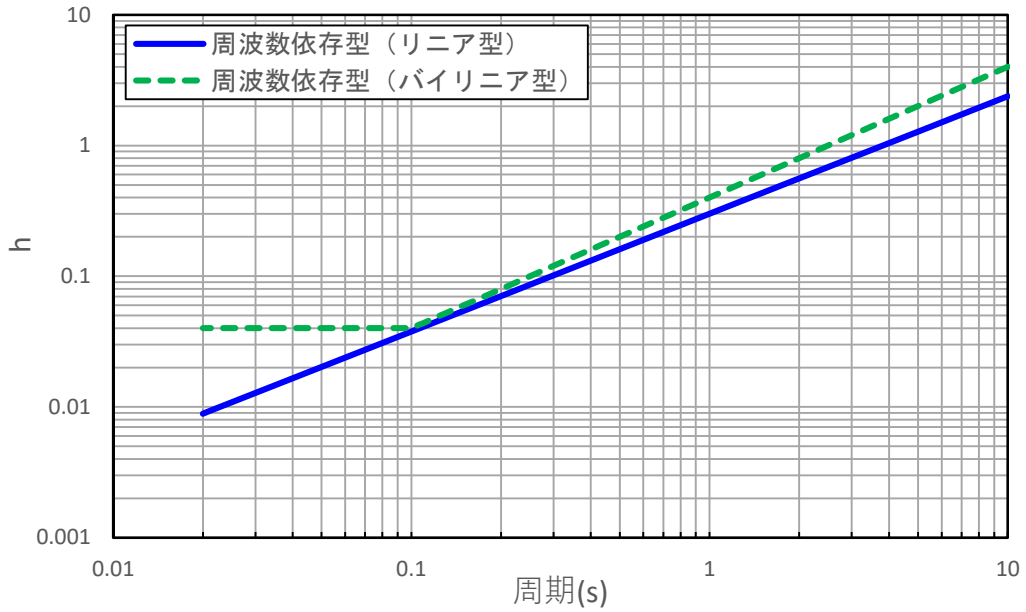
—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
- - - 周波数依存型（バイリニア型）



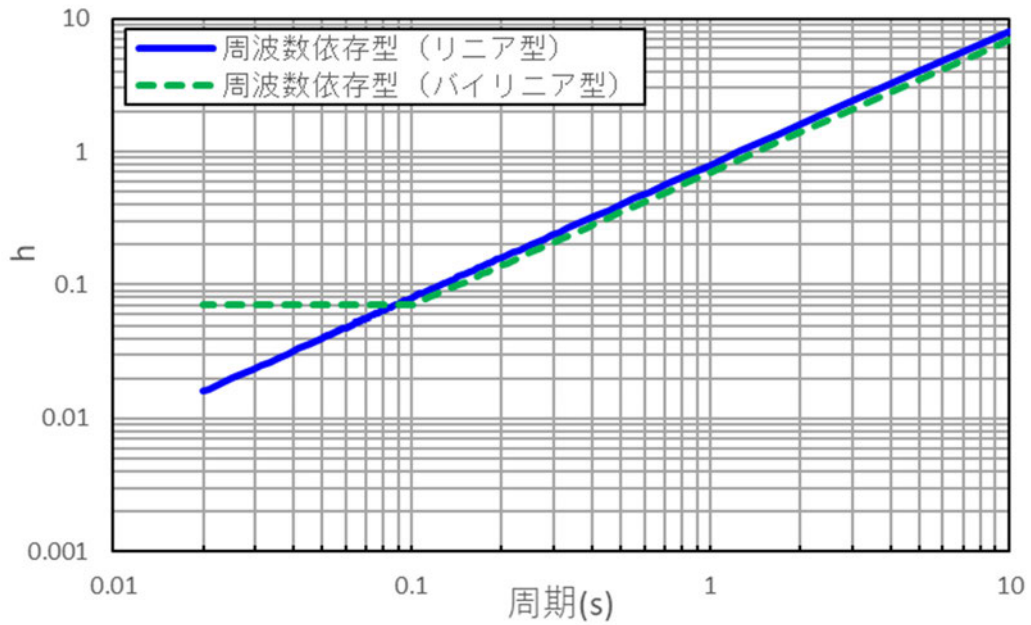
(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.6-4 図 伝達関数による同定結果（中央地盤観測点：周波数依存型（バイリニア型），鉛直）

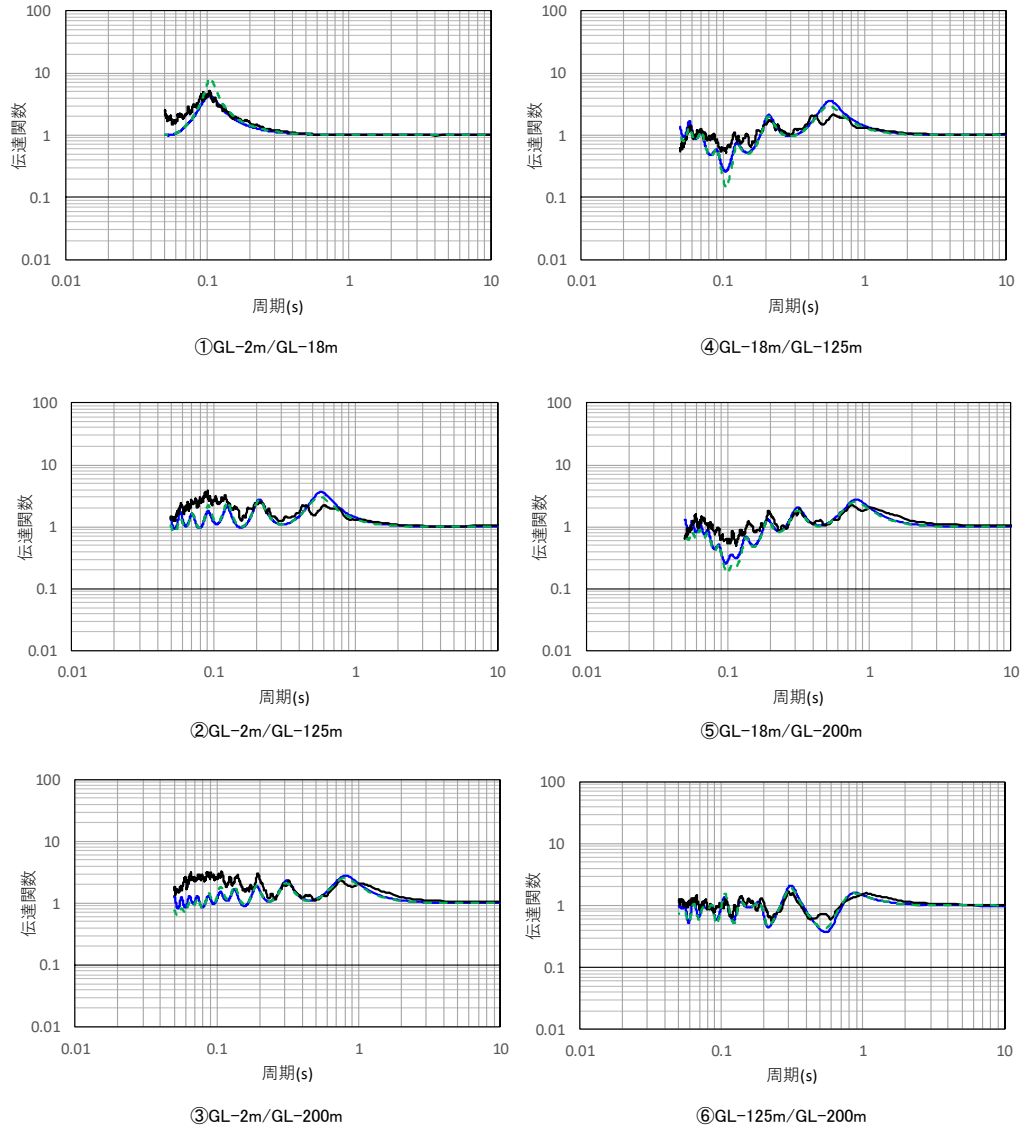


第 6.3.6-5 図 周波数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(中央地盤観測点, 水平)



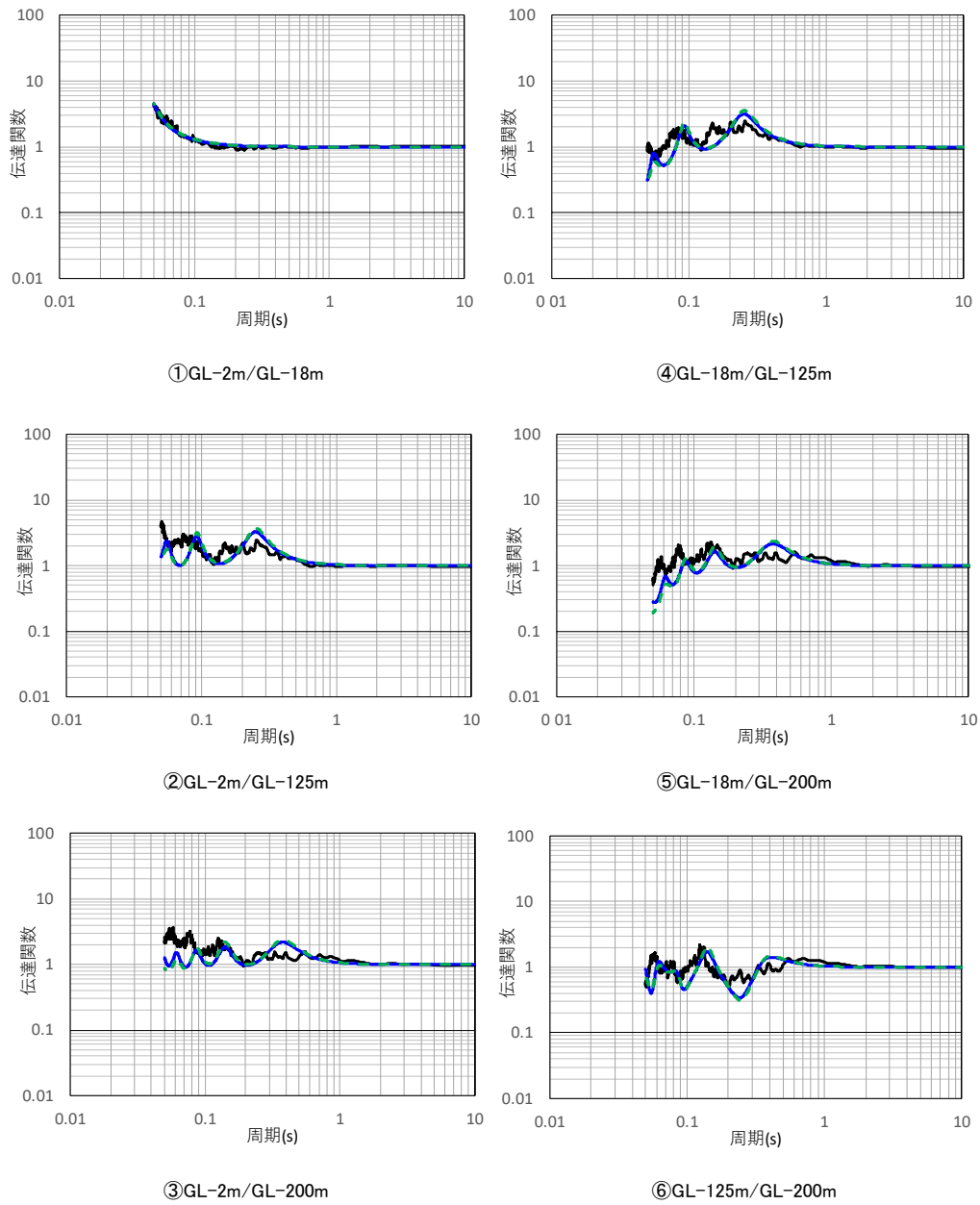
第 6.3.6-6 図 周波数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(中央地盤観測点, 鉛直)

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 — 周波数依存型（バイリニア型）
 - - 周波数依存型（バイリニア型）



第 6.3.6-7 図 伝達関数の比較結果（中央地盤観測点，水平）

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 — 周波数依存型（バイリニア型）
 - - 周波数依存型（バイリニア型）



第 6.3.6-8 図 伝達関数の比較結果（中央地盤観測点，鉛直）

(2) 西側地盤観測点

西側地盤における伝達関数による地盤物性及び減衰定数の同定結果について以下に示す。

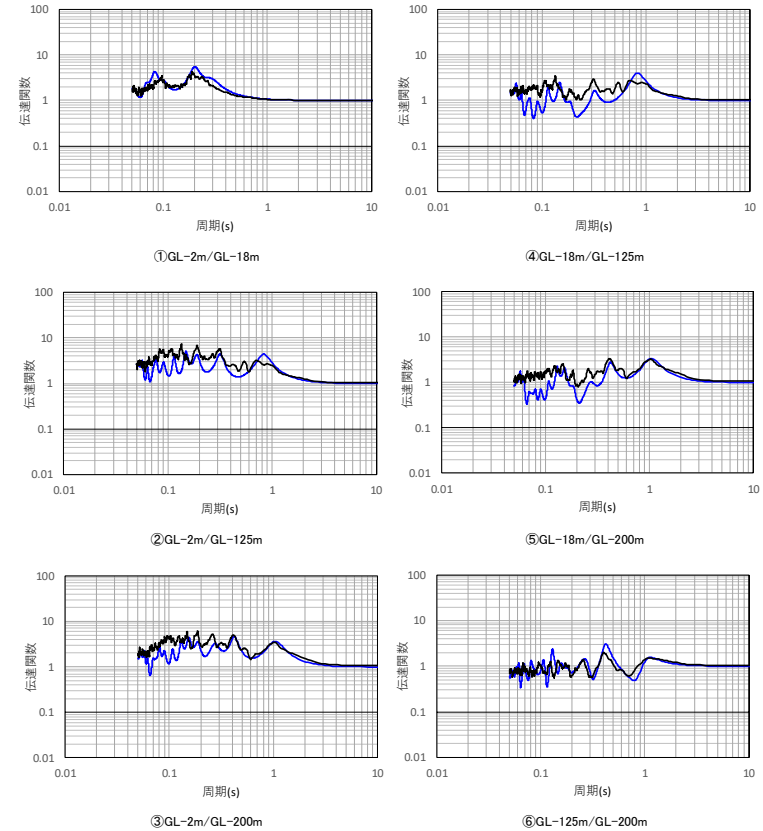
- ・ 水平成分の伝達関数の傾向としては、第 6.3.6-9 図及び第 6.3.6-11 図に示すとおり、周期約 0.4 秒以降の 1 次～2 次の伝達関数のピークについては、地震観測記録による伝達関数をよく説明する結果が得られているものの、一部周期帯（0.1 秒付近及び 0.2 秒～0.4 秒）の高次成分において、観測記録にみられるピークを説明できていないことから、速度構造の同定には課題があると考えられる。
- ・ 鉛直成分の伝達関数の傾向としては、第 6.3.6-10 図及び第 6.3.6-12 図に示すとおり、概ね全周期帯において、伝達関数の各周期帯におけるピークをよく再現している。また、第 6.3.6-13 図及び第 6.3.6-14 図に示すとおり、鉛直方向の減衰定数は、水平方向よりも大きい値を与えることを確認した。
- ・ 第 6.3.6-13 図及び第 6.3.6-14 図に示すとおり、リニア型とバイリニア型の減衰定数は、折れ点として設定した 0.1 秒よりも長周期側で有意な差は無いことを確認した。
- ・ 第 6.3.6-15 図及び第 6.3.6-16 図に示すとおり、リニア型とバイリニア型による伝達関数を比較すると、有意な差が無い結果が得られている。特に、今回同定の範囲（0～20Hz）で、かつ減衰定数の設定が異なる 10Hz 以上に対応する周期帯（0.05～0.1 秒）においても伝達関数に対する感度は有していない結果が得られた。

以上のことから、西側地盤については、地震観測記録に対して高次数側での再現性に課題が残る。

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数				
				h ₀	n			
0	1	1.73	15	0.9	0.8			
1.00	1	1.73	60					
2.00	1	1.73	120	0.2	0.9			
3.00	7.1	1.73	200					
10.1	7.9	2.02	480	0.1	0.9			
18.00	18.82	2.02	480					
36.82	75.78	1.59	590	0.2	1.0			
112.60						12.40	1.75	760
125.00						63.87	1.75	760
188.87	11.13	1.57	960	0.2	0.9			
200.00	—	1.57	960					

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

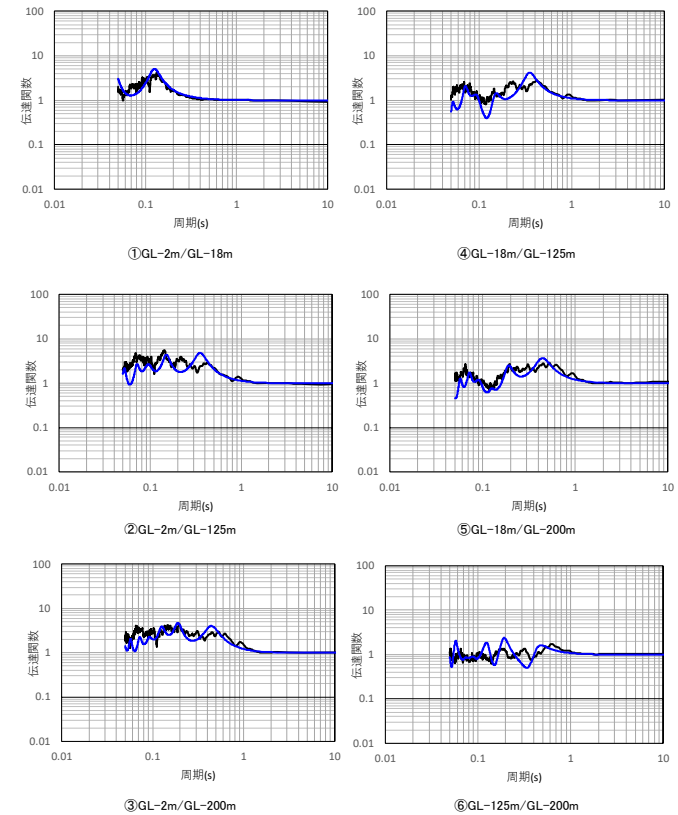
第 6.3.6-9 図 伝達関数による同定結果（西側地盤観測点：周波数依存型（リニア型），水平）

$$h=h_0 \cdot f^{-n}$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vp (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	2	1.73	370	0.4	0.4
-2	8.1	1.73	370		
-10.1	7.9	2.02	750	0.3	0.8
-18	18.82	2.02	750		
-36.82	75.78	1.59	1460	0.4	0.9
-112.6	12.4	1.75	1980	0.4	0.9
-125	63.87	1.75	1980		
-188.87	11.13	1.57	2190		
-200	—	1.57	2190		

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

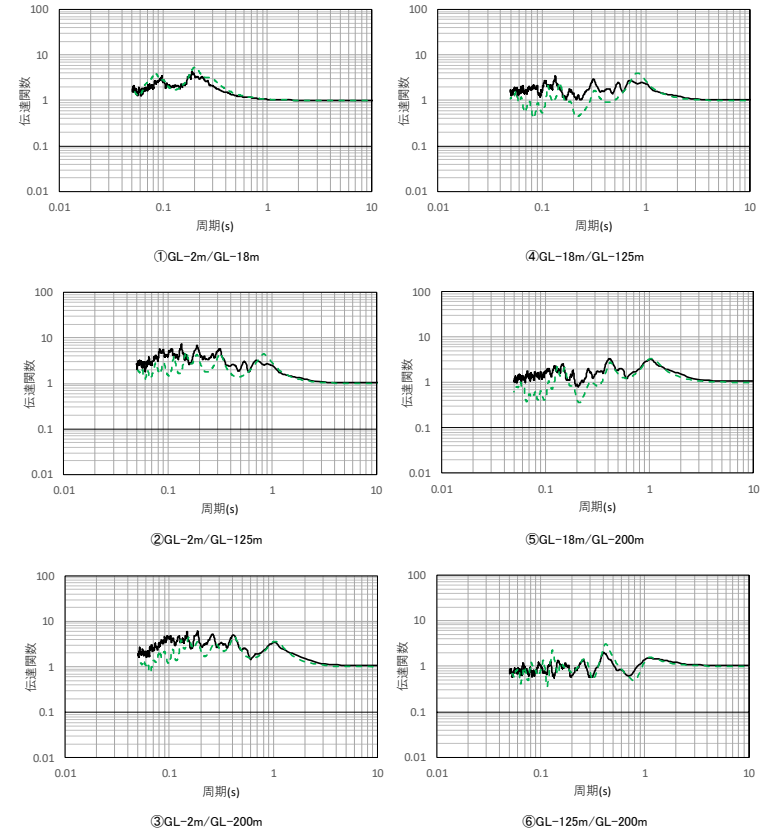
第 6.3.6-10 図 伝達関数による同定結果（西側地盤観測点：周波数依存型（リニア型），鉛直）

$$h=h_0 \cdot f^{-n} \quad (10\text{Hz以上一定})$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 V_s (m/s)	減衰定数				
				h_0	n			
0	1	1.73	15	0.8	0.7			
-1.00	1	1.73	60					
-2.00	1	1.73	120	0.2	0.9			
-3.00	7.1	1.73	200					
-10.1	7.9	2.02	480	0.1	0.9			
-18.00	18.82	2.02	480					
-36.82	75.78	1.59	590	0.2	1.0			
-112.60						12.40	1.75	760
-125.00						63.87	1.75	760
-188.87						11.13	1.57	960
-200.00	—	1.57	960	0.2	0.9			

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
- - - 周波数依存型（バイリニア型）



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

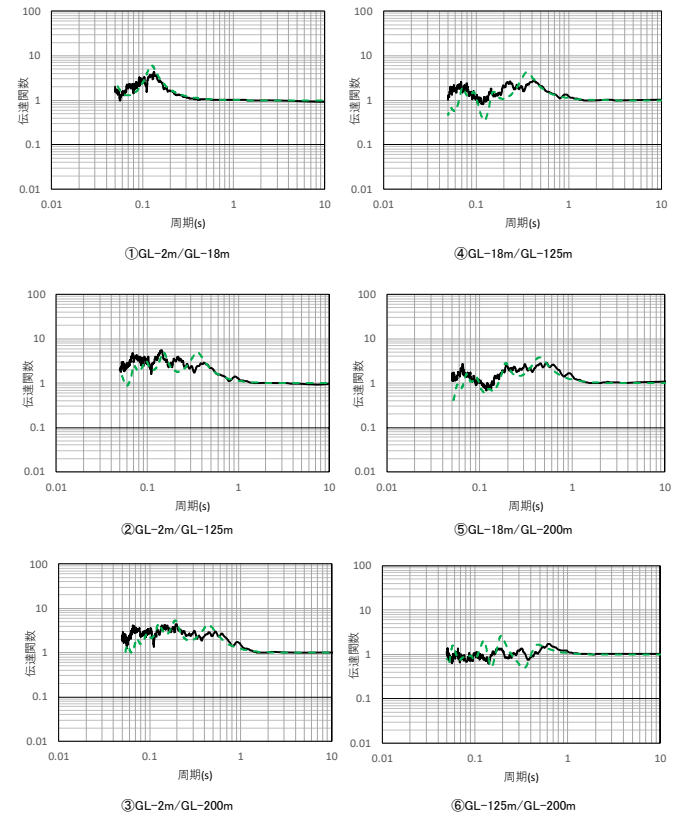
第 6.3.6-11 図 伝達関数による同定結果（西側地盤観測点：周波数依存型（バイリニア型），水平）

$h=h_0 \cdot f^{-n}$ (10Hz以上一定)

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vp (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	2	1.73	370	0.5	0.6
-2	8.1	1.73	370		
-10.1	7.9	2.02	750	0.3	0.9
-18	18.82	2.02	750		
-36.82	75.78	1.59	1460	0.4	0.9
-112.6	12.4	1.75	1980	0.4	1
-125	63.87	1.75	1980		
-188.87	11.13	1.57	2190		
-200	—	1.57	2190		

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

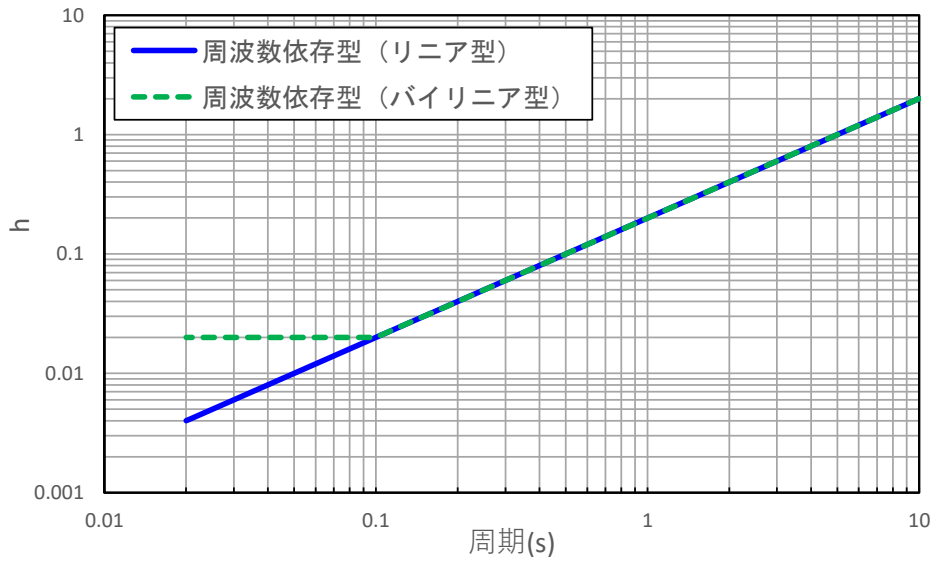
—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
- - - 周波数依存型（バイリニア型）



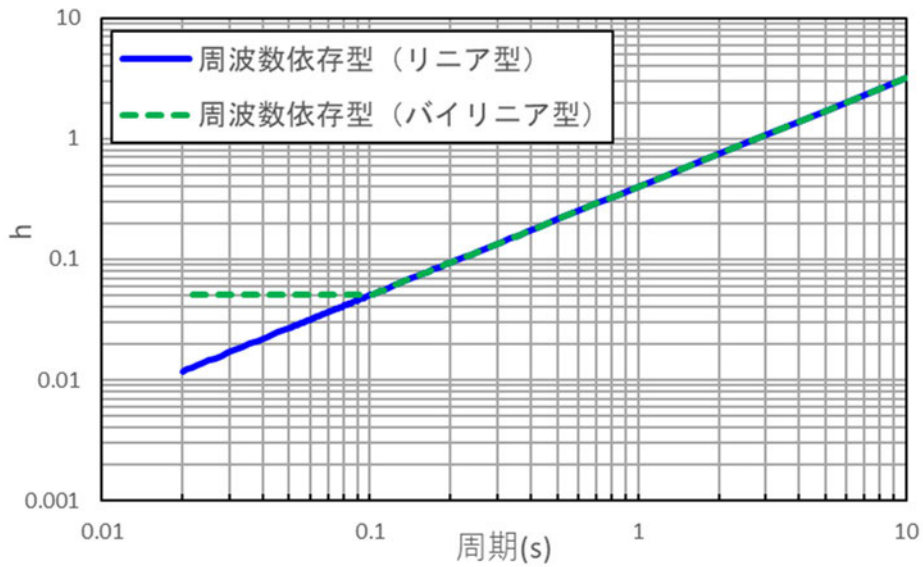
(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.6-12 図 伝達関数による同定結果（西側地盤観測点：周波数依存型（バイリニア型），鉛直）

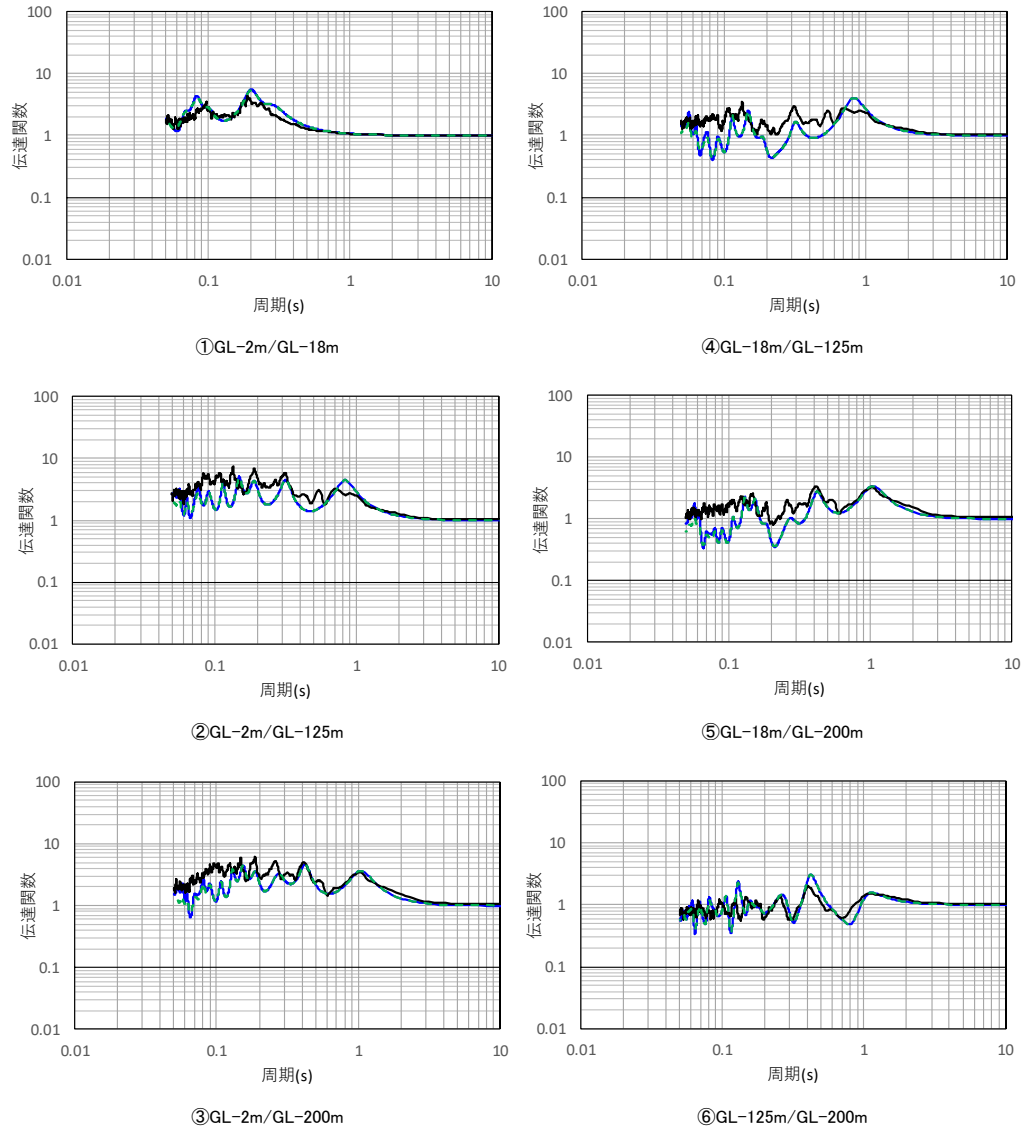


第 6.3.6-13 図 周波数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(西側地盤観測点, 水平)



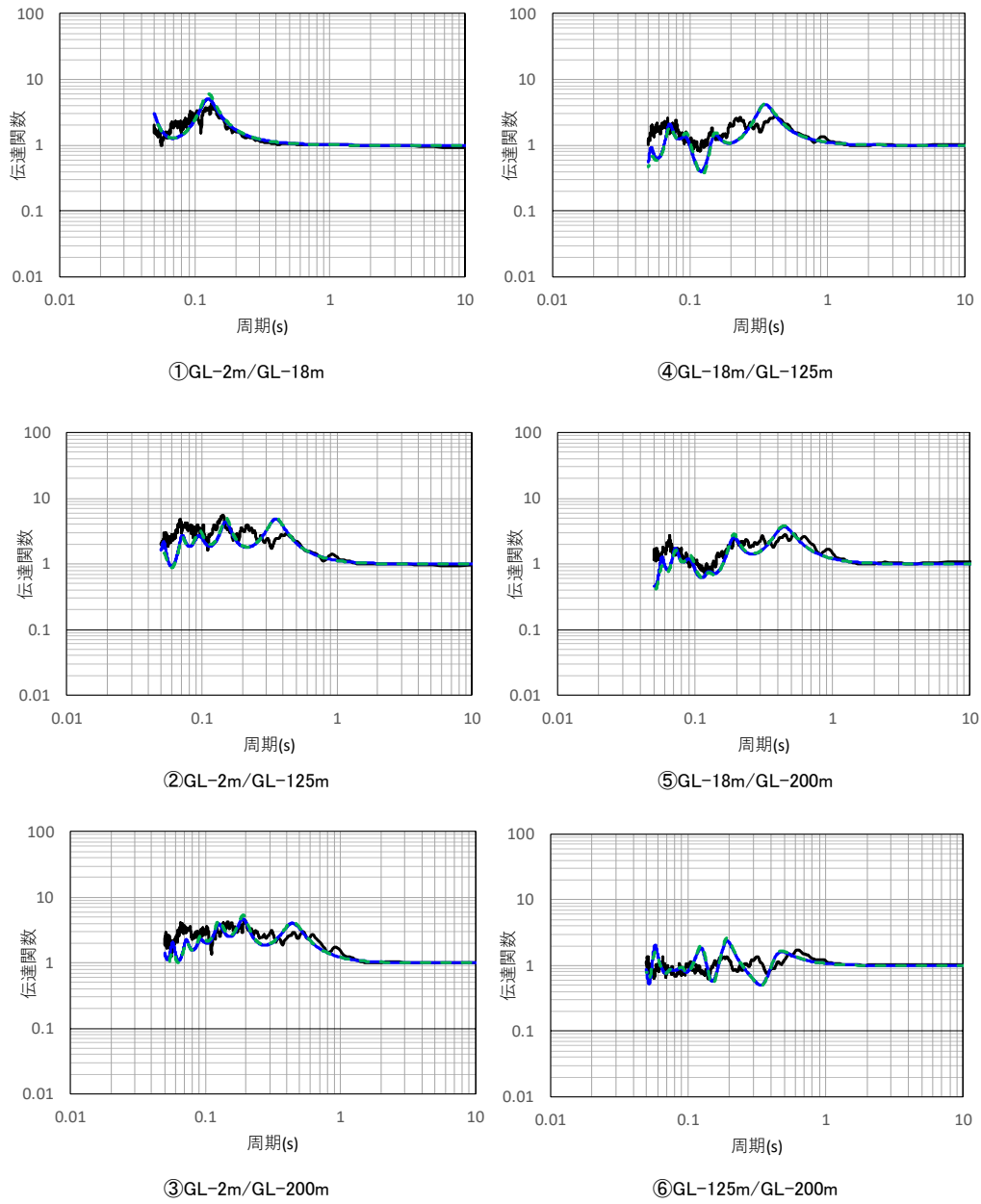
第 6.3.6-14 図 周波数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(西側地盤観測点, 鉛直)

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 — 周波数依存型（バイリニア型）
 - - 周波数依存型（バイリニア型）



第 6.3.6-15 図 伝達関数の比較結果（西側地盤観測点，鉛直）

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 — 周波数依存型（バイリニア型）
 - - 周波数依存型（バイリニア型）



第 6.3.6-16 図 伝達関数の比較結果（西側地盤観測点，鉛直）

(3) 東側地盤観測点

東側地盤における伝達関数による地盤物性及び減衰定数の同定結果について以下に示す。

- ・ 水平成分の伝達関数の傾向としては、第 6.3.6-17 図及び第 6.3.6-19 図に示すとおり、概ね全周期帯において地震観測記録による伝達関数をよく説明する結果が得られているものの、一部周期帯（0.4 秒付近）において、観測記録にみられるピークを説明できていないことから、速度構造の同定には課題があると考えられる。
- ・ 鉛直成分の伝達関数の傾向としては、第 6.3.6-18 図及び第 6.3.6-20 図に示すとおり、概ね全周期帯において、伝達関数の各周期帯におけるピークをよく再現している。また、第 6.3.6-21 図及び第 6.3.6-22 図に示すとおり、鉛直方向の減衰定数は、水平方向よりも大きい値を与えることを確認した。
- ・ 第 6.3.6-21 図及び第 6.3.6-22 図に示すとおり、リニア型とバイリニア型の減衰定数は、折れ点として設定した 0.1 秒よりも長周期側で有意な差は無いことを確認した。
- ・ 第 6.3.6-23 図及び第 6.3.6-24 図に示すとおり、リニア型とバイリニア型による伝達関数を比較すると、有意な差が無い結果が得られている。特に、今回同定の範囲（0～20Hz）で、かつ減衰定数の設定が異なる 10Hz 以上に対応する周期帯（0.05～0.1 秒）においても伝達関数に対する感度は有していない結果が得られた。

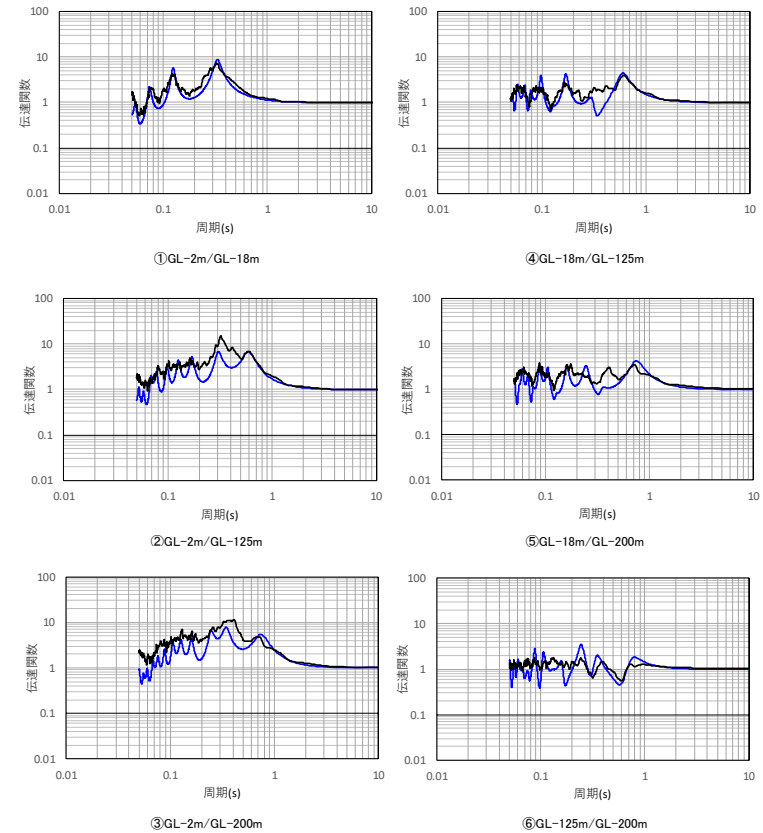
以上のことから、東側地盤については、地震観測記録に対して高次数側での再現性に課題が残る。

$h=h_0 \cdot f^{-n}$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0	2	1.69	140	0.8	0.7
2.00	6.33	1.69	160	0.2	0.9
8.33	6.4	1.69	210		
14.73	3.27	1.72	290	0.2	0.9
18.00	0.68	1.72	290		
18.68	97.05	1.59	830	0.2	0.9
115.73					
125.00					
159.31					
200.00	—	1.90	1150	0.2	0.9

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

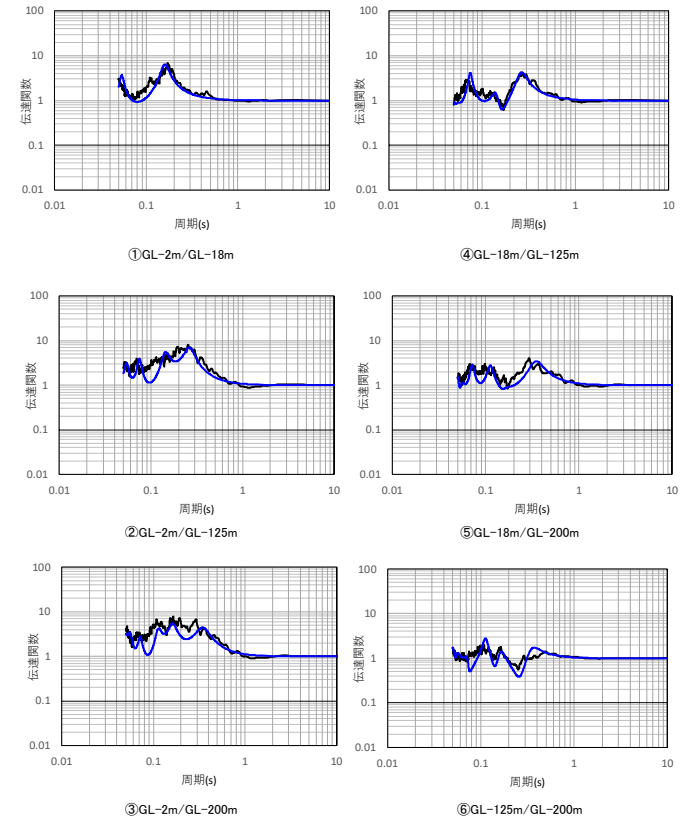
第 6.3.6-17 図 伝達関数による同定結果（東側地盤観測点：周波数依存型（リニア型）、水平）

$$h=h_0 \cdot f^{-n}$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vp (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0.00	2.00	1.69	380	0.3	0.6
-2.00	12.73	1.69	380		
-14.73	3.27	1.72	860	0.3	0.7
-18.00	0.68	1.72	860		
-18.68	97.05	1.59	1930	0.4	0.9
-115.73				0.5	0.8
-125.00					
-159.31					
-200.00	—	1.90	2370		

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

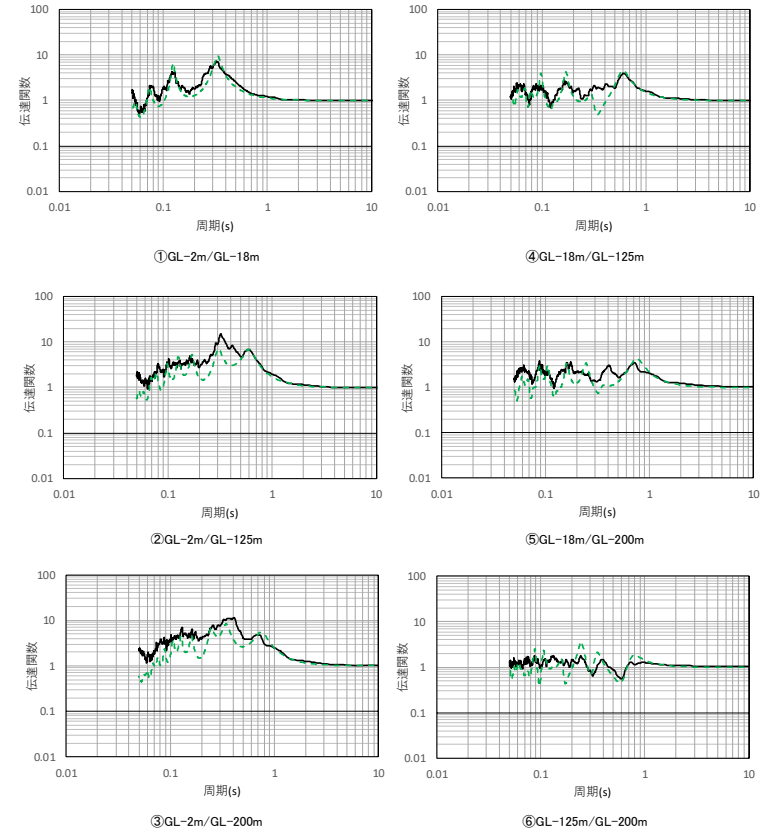
第 6.3.6-18 図 伝達関数による同定結果（東側地盤観測点：周波数依存型（リニア型）、鉛直）

$$h=h_0 \cdot f^{-n} \text{ (10Hz以上一定)}$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 V_s (m/s)	減衰定数				
				h_0	n			
0	2	1.69	140	0.8	0.7			
2.00	6.33	1.69	160	0.2	0.9			
8.33	6.4	1.69	210					
-14.73	3.27	1.72	290	0.1	0.9			
-18.00	0.68	1.72	290					
-18.68	97.05	1.59	830	0.2	0.9			
115.73						9.27	1.82	1140
125.00						34.31	1.82	1140
159.31						40.69	1.90	1150
200.00	—	1.90	1150					

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
- - - 周波数依存型（バイリニア型）



(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

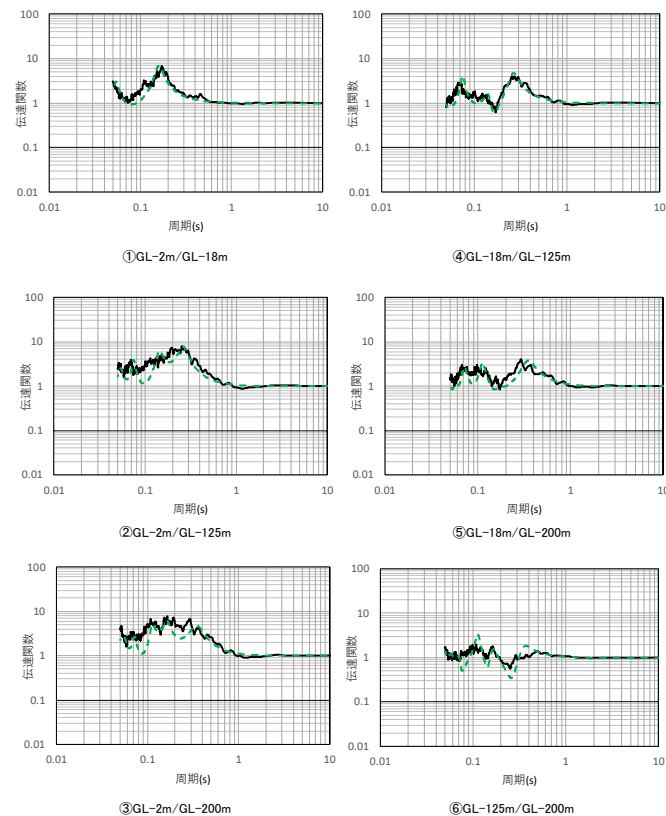
第 6.3.6-19 図 伝達関数による同定結果（東側地盤観測点：周波数依存型（バイリニア型），水平）

$$h=h_0 \cdot f^{-n} \quad (10\text{Hz以上一定})$$

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vp (m/s)	減衰定数	
				h_0	n
0.00	2.00	1.69	380	0.4	0.8
-2.00	12.73	1.69	380		
-14.73	3.27	1.72	860	0.3	0.8
-18.00	0.68	1.72	860		
-18.68	97.05	1.59	1930	0.4	1.0
-115.73					
-125.00					
-159.31					
-200.00	—	1.90	2370	0.5	0.9

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

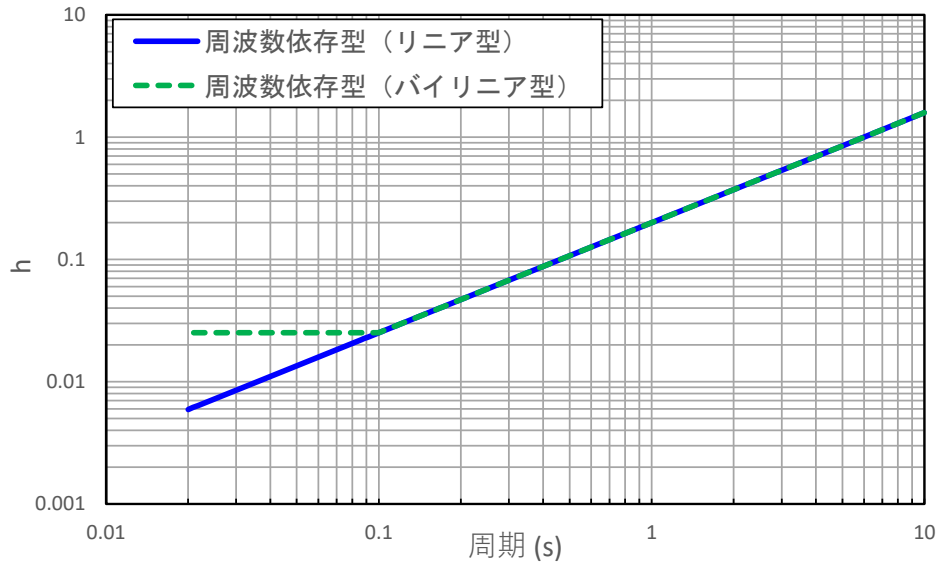
—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
- - - 周波数依存型（バイリニア型）



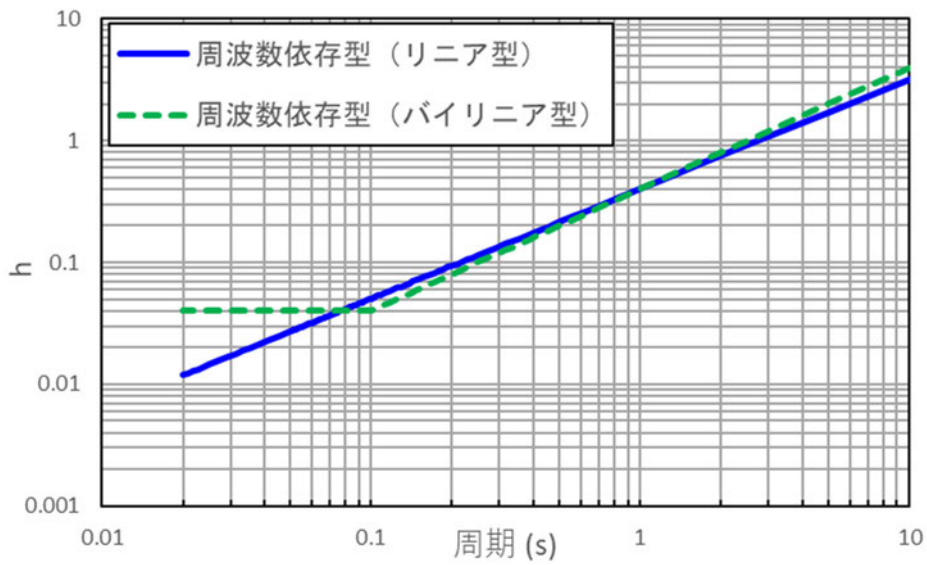
(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 6.3.6-20 図 伝達関数による同定結果（東側地盤観測点：周波数依存型（バイリニア型），鉛直）

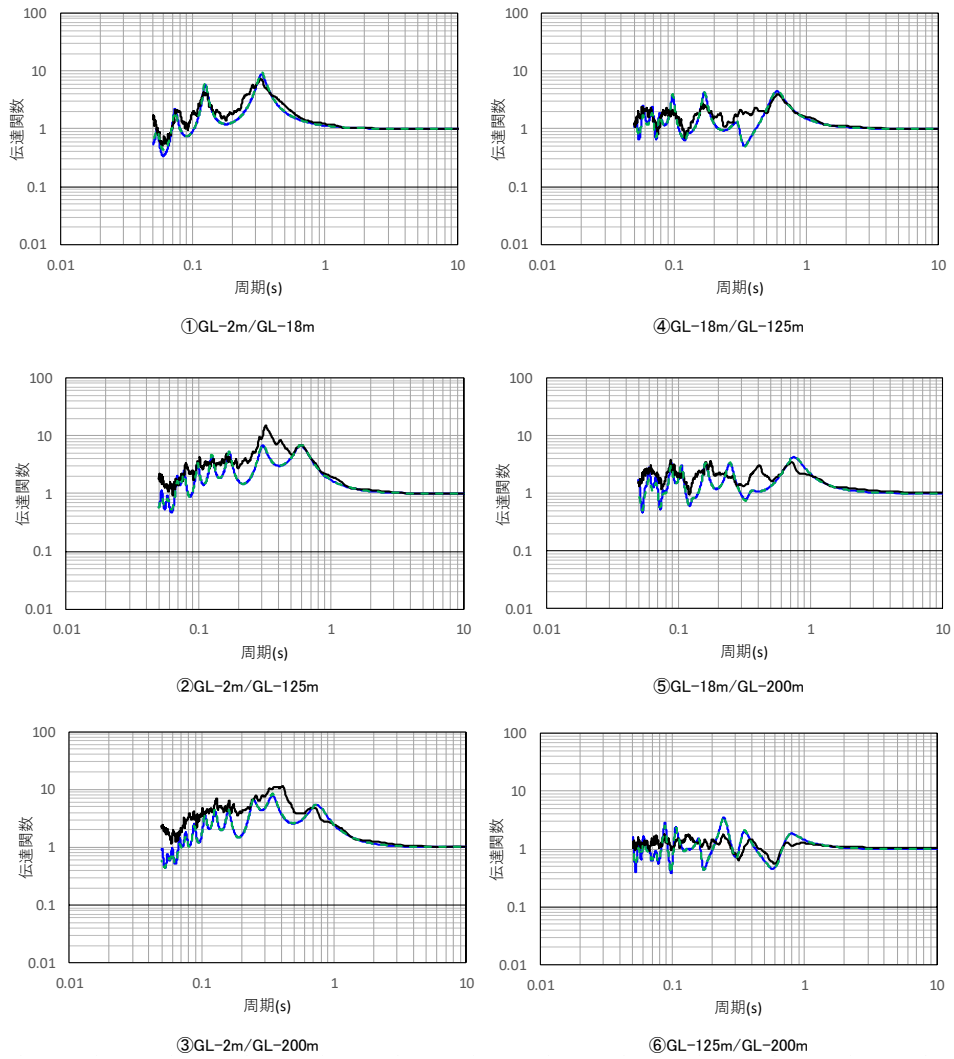


第 6.3.6-21 図 周波数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(東側地盤観測点, 水平)



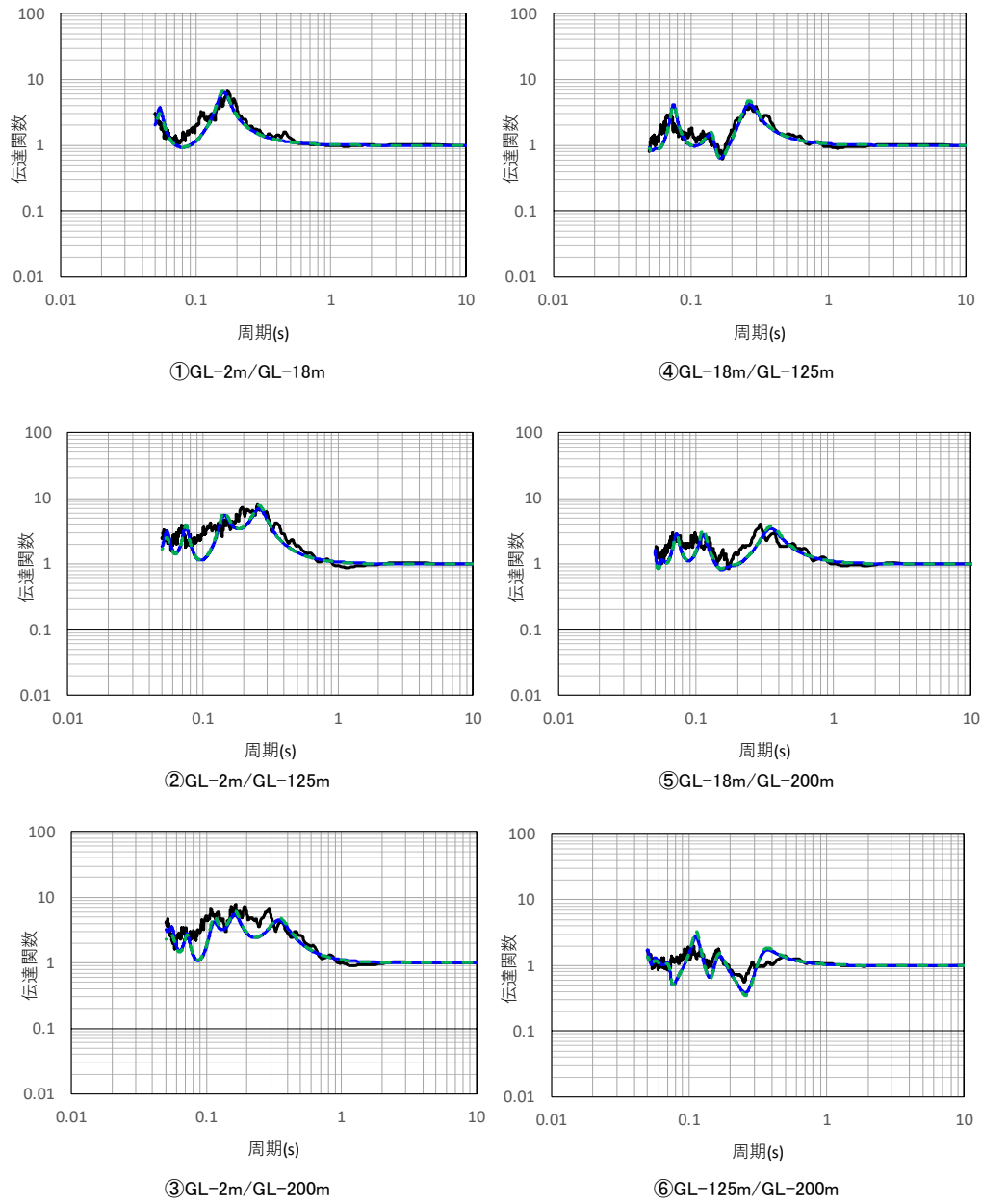
第 6.3.6-22 図 周波数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(東側地盤観測点, 鉛直)

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 — 周波数依存型（バイリニア型）
 - - 周波数依存型（バイリニア型）



第 6.3.6-23 図 伝達関数の比較結果（東側地盤観測点，水平）

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 — 周波数依存型（バイリニア型）
 - - 周波数依存型（バイリニア型）



第 6.3.6-24 図 伝達関数の比較結果（東側地盤観測点，鉛直）

6.3.7 応答スペクトルによる評価結果

「6.3.6 伝達関数による評価結果」に示した評価結果においては、伝達関数における各ピークの振幅比について、乖離の大きい周波数帯もみられることから、評価された減衰定数が妥当であることの確認を、応答スペクトルによる確認により実施する。具体的には、地震観測記録を用いたシミュレーション解析を実施し、地盤応答の応答スペクトルが、地震観測記録とシミュレーション解析結果で整合するかの確認を実施した。

シミュレーション解析に用いる地震は、第 6.3.7-1 表～第 6.3.7-3 表に示す評価に用いたすべての地震について、地震観測記録の NS 成分、EW 成分及び UD 成分を対象とした。

ここで、上記に示したとおり、周波数依存特性を考慮したケースについては、リニア型とバイリニア型による仮定条件の違いが、同定結果及び伝達関数の適合状況に有意な差を与えていないことを確認したため、リニア型を代表としてシミュレーション解析を実施する。

ただし、リニア型とバイリニア型で減衰定数の同定結果に差がある 10Hz 以上の高周波数側の領域に対する念のための確認として、いずれの地震観測点においても大きな加速度が得られており、高周波数帯の地震動の成分を十分に含んでいると考えられる 3 地震（2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分の地震、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の地震及び 2011 年 3 月 11 日 15 時 08 分の地震）に対し、バイリニア型を仮定した同定結果を用いてシミュレーション解析を実施し、リニア型による同定結果との比較を行うこととした。

シミュレーション解析は、評価された減衰定数を反映した地盤モデルに対し、最深部（GL-200m）にて観測された地震観測記録（地中波）を入力し、建物・構築物の基礎底面相当レベル（GL-18m）における地盤応答（地中波）を算出し、同レベルにおける地震観測記録（地中波）との比較を行うことで実施した。

シミュレーション解析に用いる地盤モデルは、「6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示した各地震観測位置における初期モデルに対して第 6.3.6-1 及び第 6.3.6-2 図、第 6.3.6-9 及び第 6.3.6-10 図、第 6.3.6-17 図及び第 6.3.6-18 図に示した減衰定数の評価結果を反映したものとする。

シミュレーション解析の結果及びその結果に対する考察について以下に示す。

なお、現時点においては、「6.3.6 伝達関数による評価結果」に示したとおり、西側地盤及び東側地盤においては、一部周期帯において、同定結果における伝達関数が、観測記録を説明できていない部分があることから、中央地盤における結果のみ示す。

(1) 中央地盤観測点

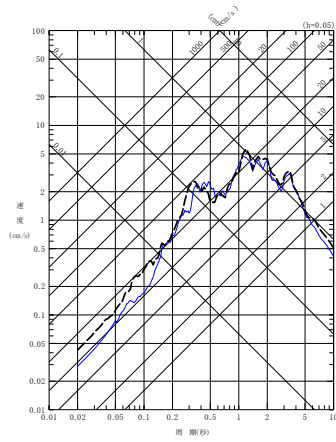
中央地盤観測点におけるシミュレーション解析の結果を第 6.3.7-1 図に示す。

シミュレーション解析の結果、中央地盤については、すべての地震の水平方向、鉛直方向ともに、応答スペクトルに見られるピーク周期は再現されており、その大きさも全周期帯において概ね同等であることから、全周期帯に対して地震観測記録とよく適合する結果が得られた。

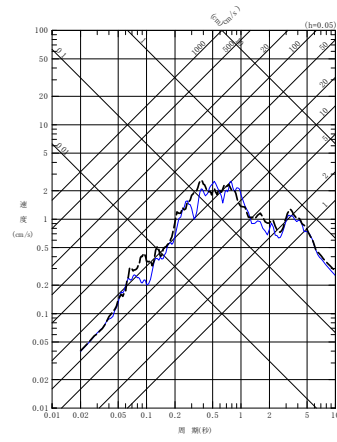
また、高周波数帯の地震動の成分を十分に含んでいると考えられる 3 地震（2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分の地震、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の地震及び 2011 年 3 月 11 日 15 時 08 分の地震）に対し、バイリニア型を仮定した同定結果を用いてシミュレーション解析を実施しているが、第 6.3.6-4 図に示した伝達係数の傾向と同様に、リニア型の同定結果を用いたシミュレーション結果に対して有意な差は無いことを確認しており、リニア型とバイリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

以上のことから、中央地盤観測点については、速度構造及び減衰定数の両方が、地盤の実態が考慮されたパラメータとして評価されていると考えられる。

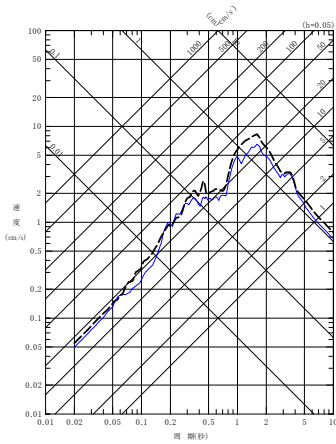
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



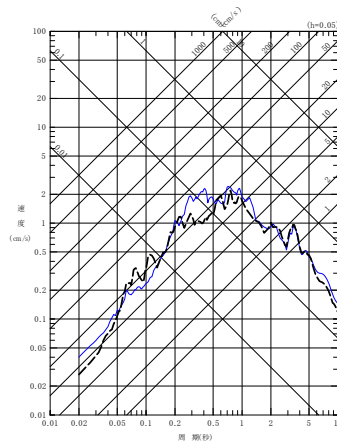
(a) NS 方向



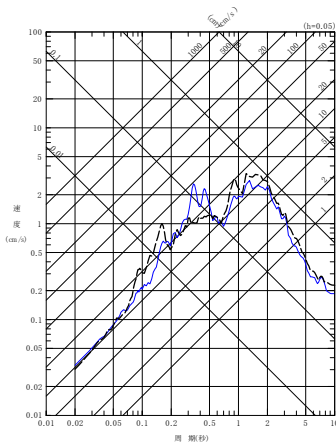
(a) NS 方向



(b) EW 方向

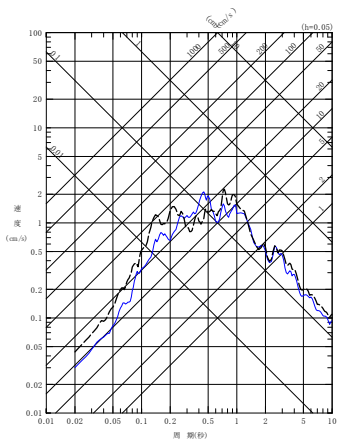


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震



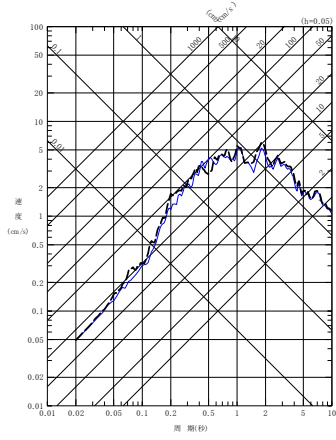
(c) UD 方向

(2) 200210142312 地震

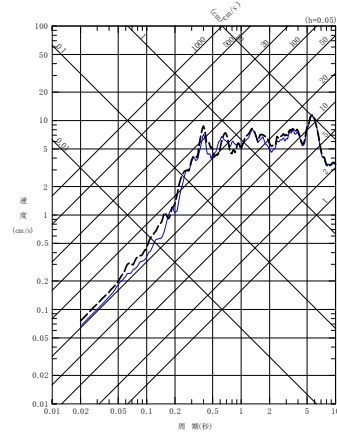
第 6.3.7-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (1/7)

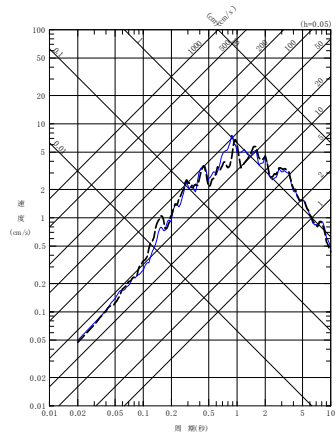
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



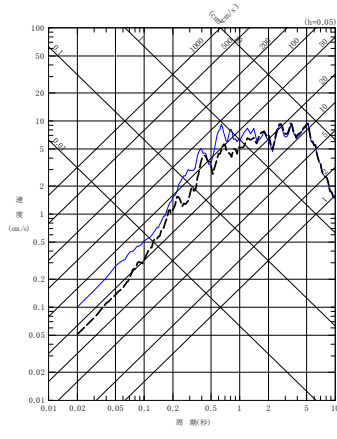
(a) NS 方向



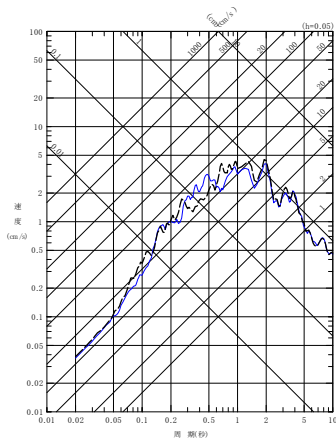
(a) NS 方向



(b) EW 方向

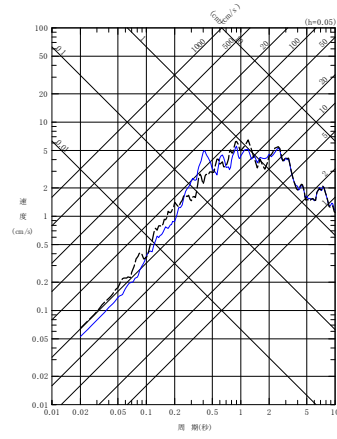


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



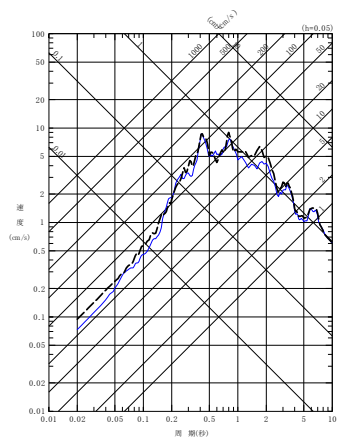
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

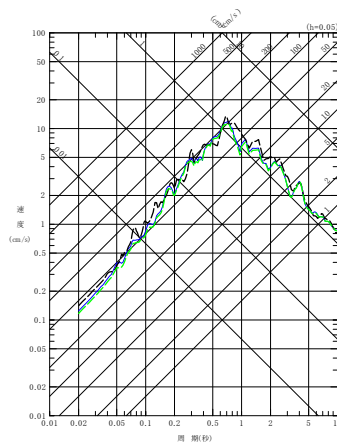
第 6.3.7-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

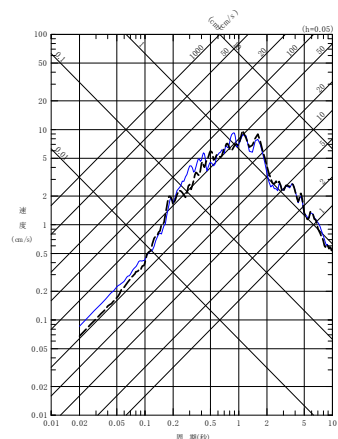
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



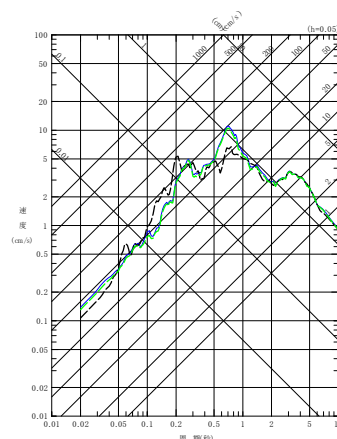
(a) NS 方向



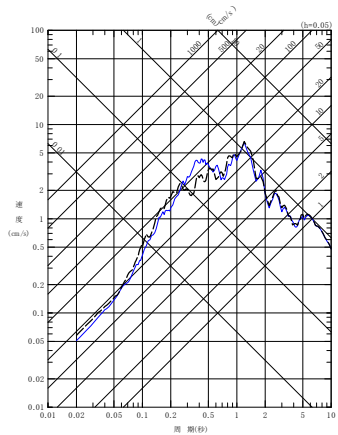
(a) NS 方向



(b) EW 方向

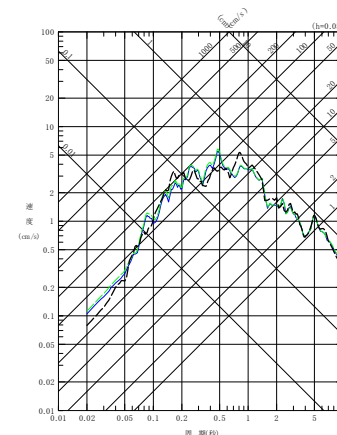


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 200309260608 地震



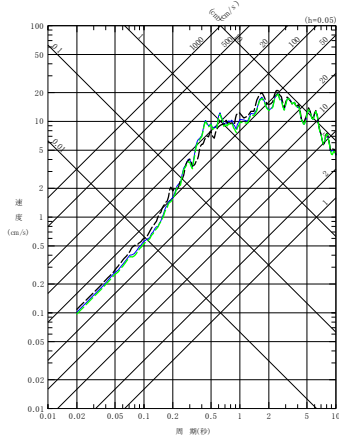
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

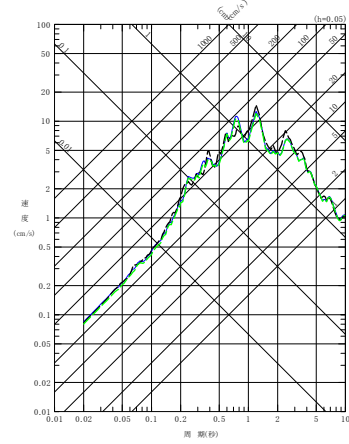
第 6.3.7-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

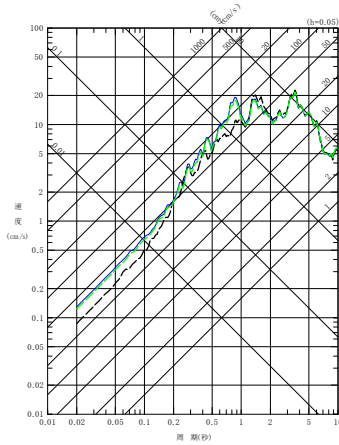
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



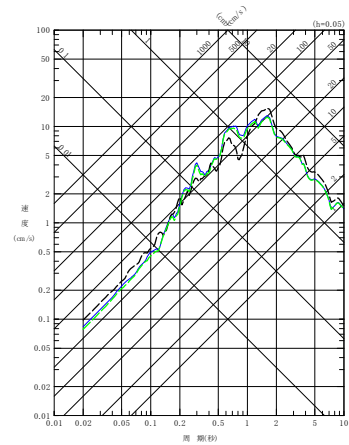
(a) NS 方向



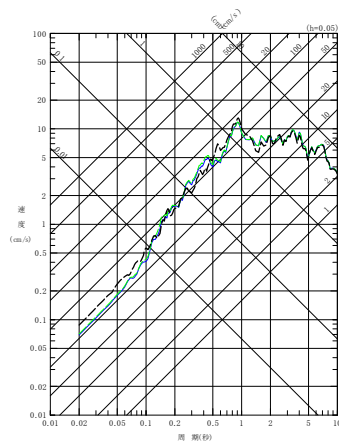
(a) NS 方向



(b) EW 方向

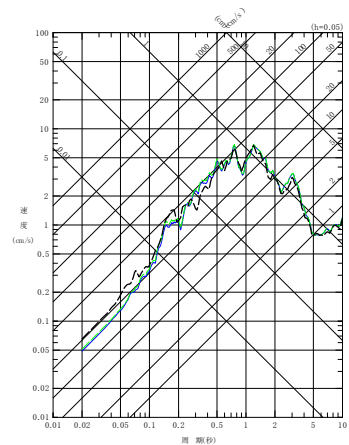


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



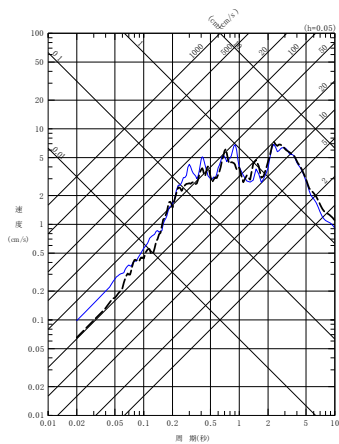
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

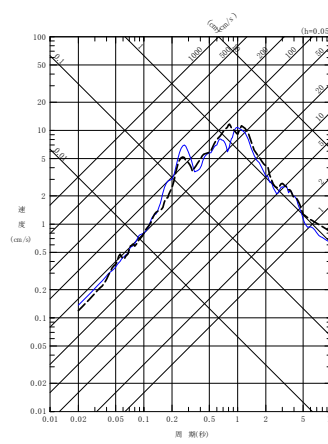
第 6.3.7-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

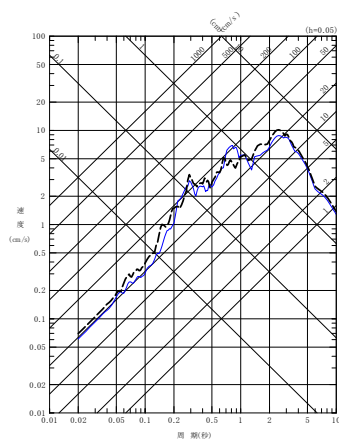
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



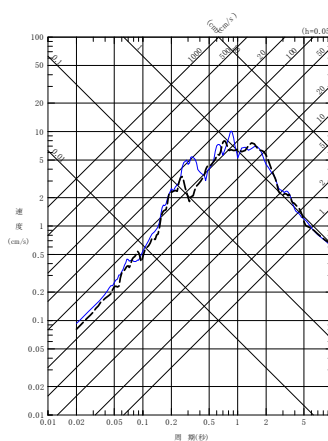
(a) NS 方向



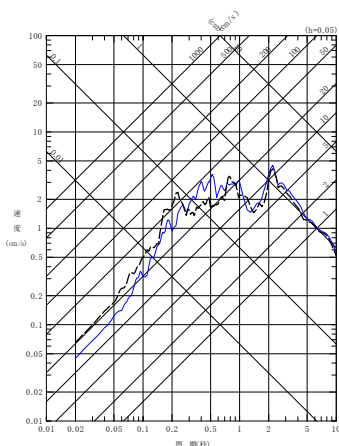
(a) NS 方向



(b) EW 方向

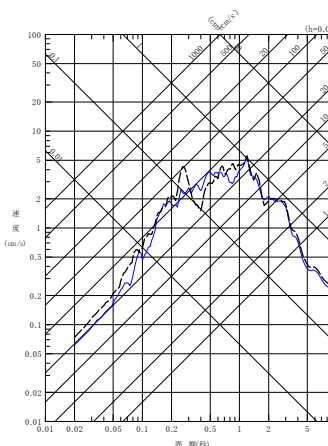


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



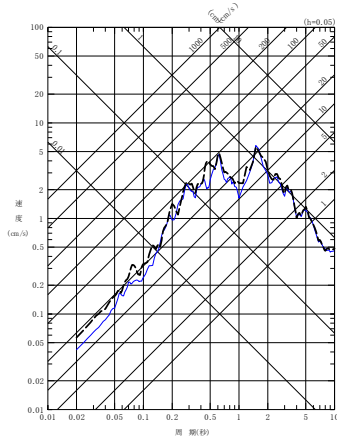
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

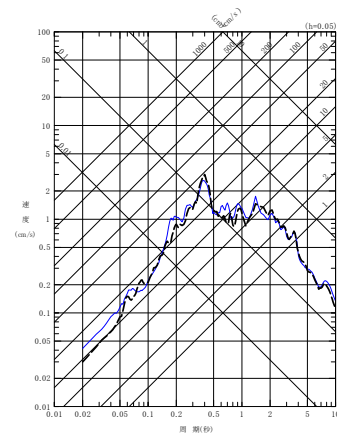
第 6.3.7-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

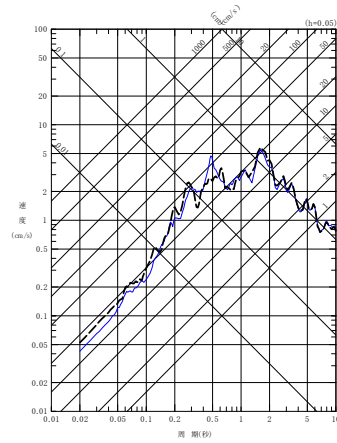
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



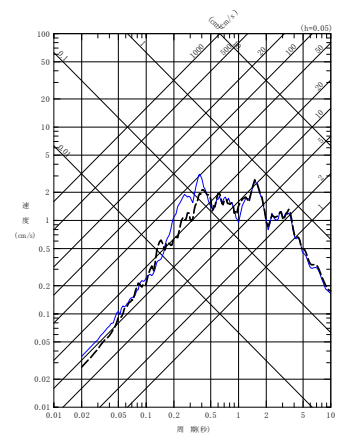
(a) NS 方向



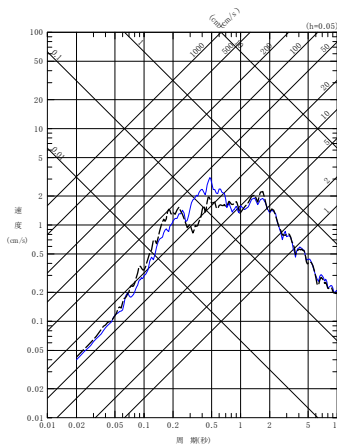
(a) NS 方向



(b) EW 方向

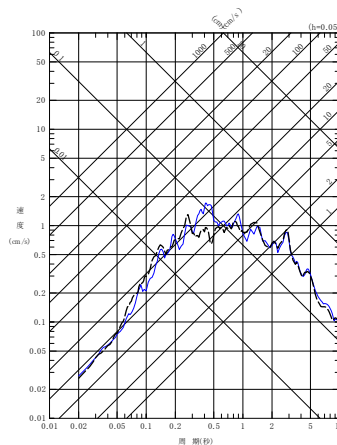


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



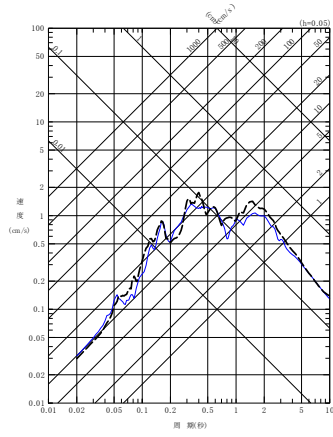
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

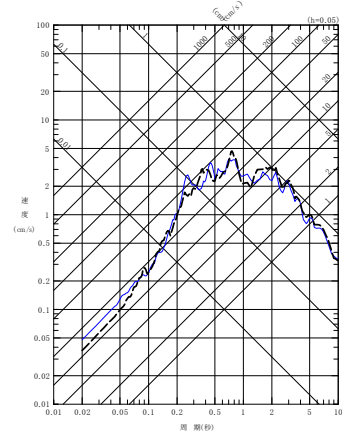
第 6.3.7-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

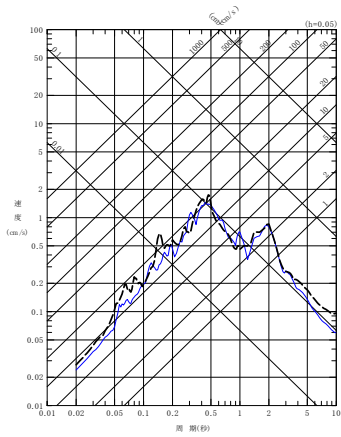
- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
- 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
- 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



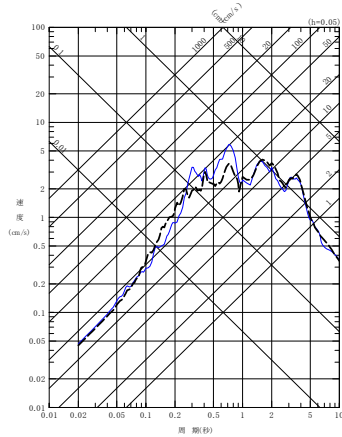
(a) NS 方向



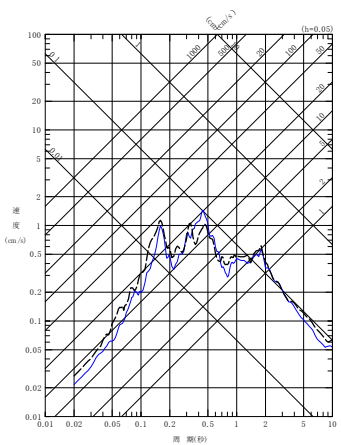
(a) NS 方向



(b) EW 方向

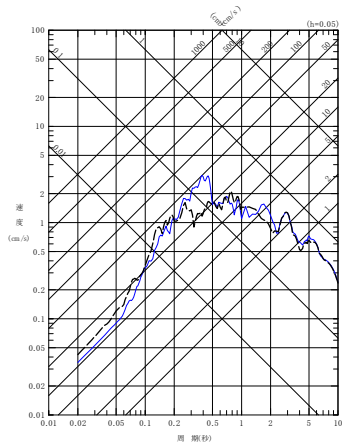


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 6.3.7-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (7/7)

6.4 地震波干渉法による検討

6.4.1 評価の概要

Fukushima et al. (2016)では、地表の観測波形を基準として、地中の観測波形をデコンボリューションした波形に基づき、地震計間の減衰定数を推定する手法を提案している。本手法は、2つの地震計間で一様な地盤を仮定しているため、最終的に得られた減衰定数は、2地点間の平均的なQ値とみなすことができる。

Fukushima et al. (2016)では、この手法の適用性について、以下の条件を示している。

- ① ボアホール地震計の深さが300m以上
- ② ボアホール地震計設置位置のS波速度が3000m/sより小さい。
- ③ ボーリングの検層結果に基づく地表と地中の地震計位置の理論往復走時が0.5秒より大きい。

ただし、Riga et al. (2019)によれば、地震観測記録の分析の結果として、入射波と反射波が分離されていれば、上記の条件を満足しておらずとも、この方法が適用可能であることが示されている。

後述する当社敷地の地震観測記録（中央地盤）に基づく、地表面の地震観測深さ（G.L.-2m）を基準点としたときの解放基盤表面深さ（G.L.-125m）のデコンボリューション波形において、後述の第6.4.2-3図に示すとおり、入射波と反射波が明確に分離されていることを確認したことから、本手法を敷地に適用することに問題はないと考えられる。

6.4.2 地震観測記録のスタッキング及び評価に用いる観測記録の抽出

(1) 検討対象とする地震

評価に用いる地震については、本評価手法が、複数の地震観測記録に共通的にみられる特徴をスタッキングにより確認する方法であることから、広い幅の加速度振幅レベルの地震を対象に、可能な限り多くの地震を用いることに主眼をおいて選定した。

まず、母集団として、第 6.4.2-1 図に示す、敷地からの震央距離 150km 以内で観測された 1995 年 12 月から 2020 年 3 月までの地震のうち、M4 以上かつ地表面 (G.L. -2m) と解放基盤表面レベル (G.L. -125m) の地震計において地震観測記録が得られている地震 (350 地震) とした。

これらの地震には、内陸地殻内地震、プレート境界地震及びプレート内地震が混在し、到来方向や入射角度が一樣ではないため、前述のとおり各地震観測記録に対して、デコンボリューションを行うことにより、震源特性や伝播経路特性による影響は除去されるため、敷地における特性に着目した検討が行えることとなる。

また、各地震観測記録に対しては、S 波を含む 20 秒の区間を切り出して評価を行った。

これらの地震観測記録から、評価に用いる地震動の抽出を、(2) に示すとおり実施した。

(2) 地震観測記録に対する処理

まず、母集団とした地震全てに対し、各地震における地表面を基準とした解放基盤表面レベルにおけるデコンボリューション波形を作成した。また、それぞれのデコンボリューション波形を平均処理した波形（以下、「スタッキング波形」という。）を作成した。

これらの波形に対し、以下の式で定義される Anderson(2004)による GOF (Goodness of fitting) を算出し、各地震におけるデコンボリューション波形とスタッキング波形との相関が高い記録を選定した。

$$\text{GOF} = 10 \times \max[C(a_1(t), a_2(t)), 0]$$
$$C(a_1(t), a_2(t)) = \frac{\int a_1(t)a_2(t)dt}{[\int a_1^2(t)dt]^{1/2}[\int a_2^2(t)dt]^{1/2}}$$

ここで a_1 、 a_2 はスタッキング波形と個々のデコンボリューション波形を表す。

第 6.4.2-1 表に示すとおり、Anderson(2004)は、GOF の値に応じた適合度を第 6.4.2-1 表のように設定している。第 6.4.2-1 表の判断基準を踏まえ、全地震のスタッキング波形に対する各波形の GOF を計算し、GOF の値が 8 以上の記録を用いて解析を行うこととした。GOF 値が 8 以上となっている地震は、全 350 地震中、311 地震であった。

また、Q 値は、スタッキング波形と各デコンボリューション波形から求めた伝達関数を平均した結果から求めるが、GOF の値が 8 以上の地震であっても、地震観測記録に含まれるノイズ等による影響により、各振動数成分の振幅が入射波<反射波となる地震観測記録がある場合、減衰定数を適切に評価することができないことから、これらのデータについては除くこととした。抽出の結果、上記を満足する地震は 180 地震であった。

最終的に Q 値を算定するためのスタッキング波形については、上記により抽出した 180 地震に基づき、改めて求めたものを用いた。減衰定数を求める上では、入射波及び反射波ともに、0 秒から観測相似の 2 倍の区間とした。

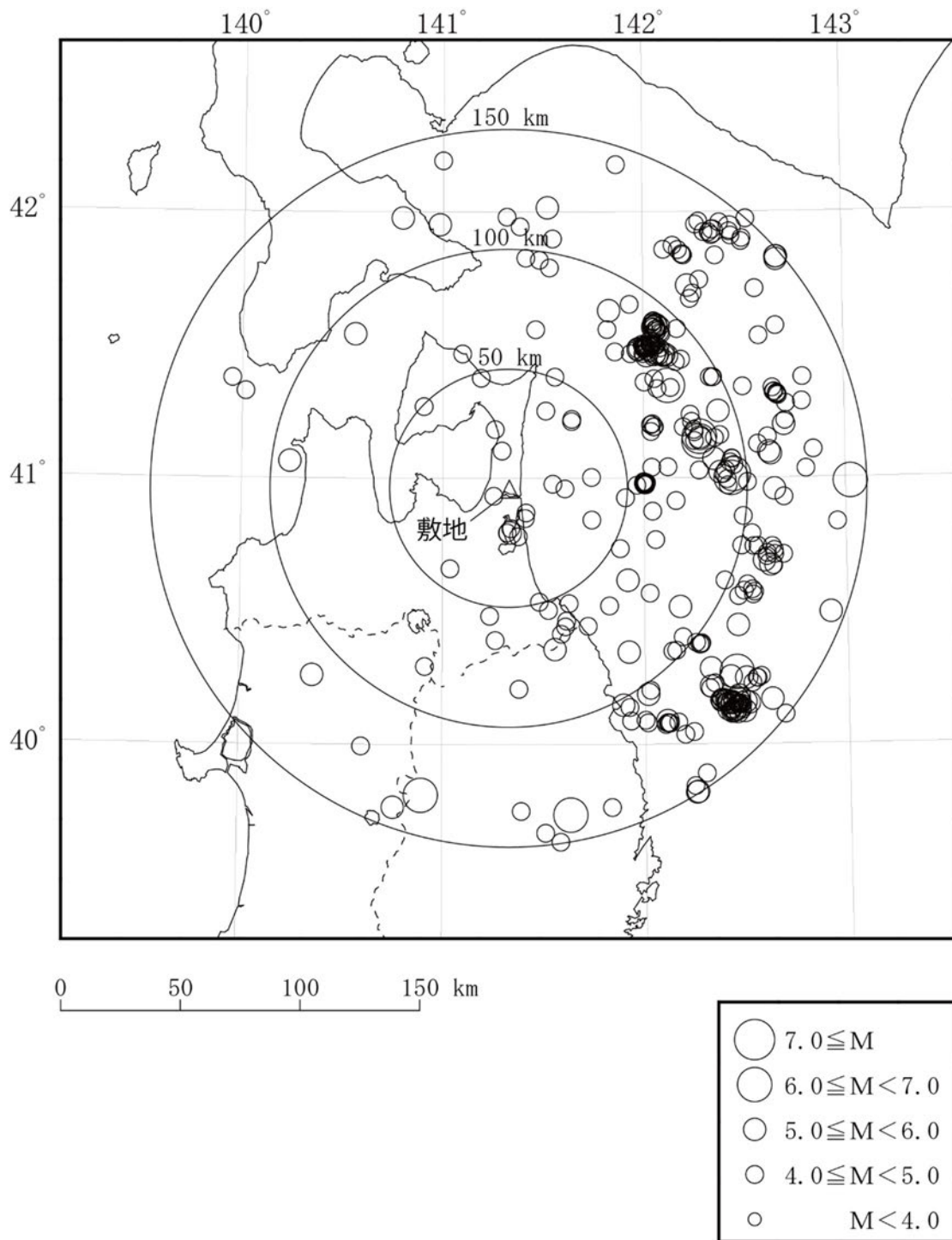
第 6.4.2-2 図に、各地震について、地表面の地震観測深さ (G.L.-2m) を基準点としたときの、解放基盤表面深さ (G.L.-125m) のデコン

ボリューション波形を算定した結果について例を示す。各図には、母集団とした全地震によるスタッキング波形を重ね書きで示している。なお、個々の地震のデコンボリューション波形のうち、図中で赤色で示しているものについては、GOFが8以上である波形であることを示す。

中央地盤については、各地震におけるデコンボリューション波形において、入射波のピークと反射波のピークが明確に分離されており、GOFが8以上となっている記録の割合も多いことを確認した。

一方で、西側地盤及び東側地盤の地震観測記録に基づくデコンボリューション波形については、入射波のピークと反射波のピークが明確に分離されていないこと、GOFが8以上となる地震が中央地盤と比較して少数であることから、ノイズ等による影響が多く含まれていると考え、現時点において減衰定数の評価を行うことは困難であると判断した。

中央地盤において作成したスタッキング波形を第6.4.2-2図に示す。第6.4.2-2図のとおり、中央地盤の地震観測記録に基づくスタッキング波形については、入射波のピークと反射波のピークが明確に分離されていることから、「7.4.1 評価の概要」に示したとおり、Fukushima et al. (2016)における手法を当社敷地に適用することに問題はないと判断した。



第 6.4.2-1 図 評価に用いた地震の震央位置

第 6.4.2-1 表 Anderson(2004)における GOF に対する判定の考え方

GOF の範囲	判定結果
4 以下	a poor fit
4 ~ 6	a fair fit
6 ~ 8	a good fit
8 以上	a excellent fit



注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

第6.4.2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（1/4）



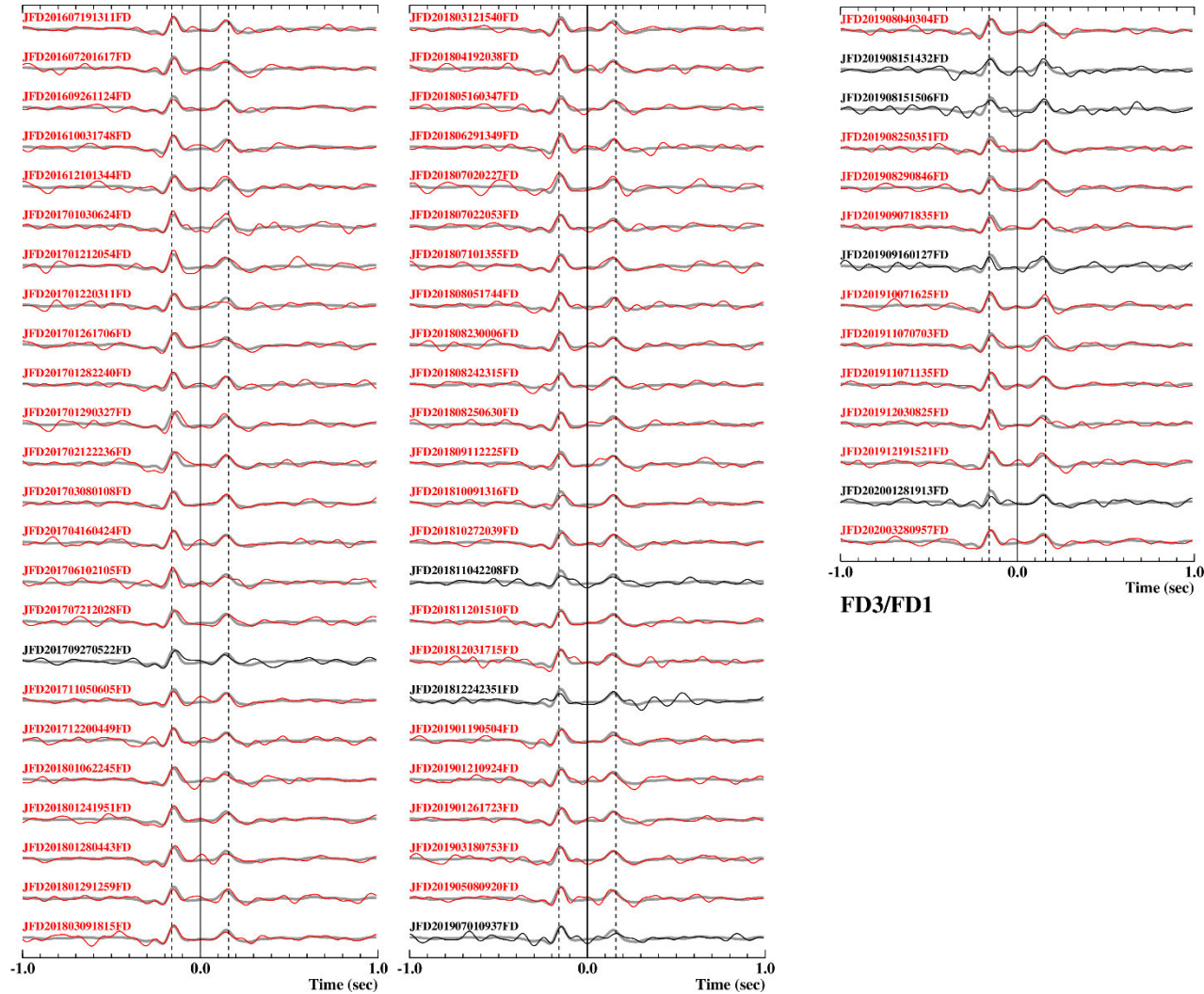
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

第6.4.2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（2/4）



注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

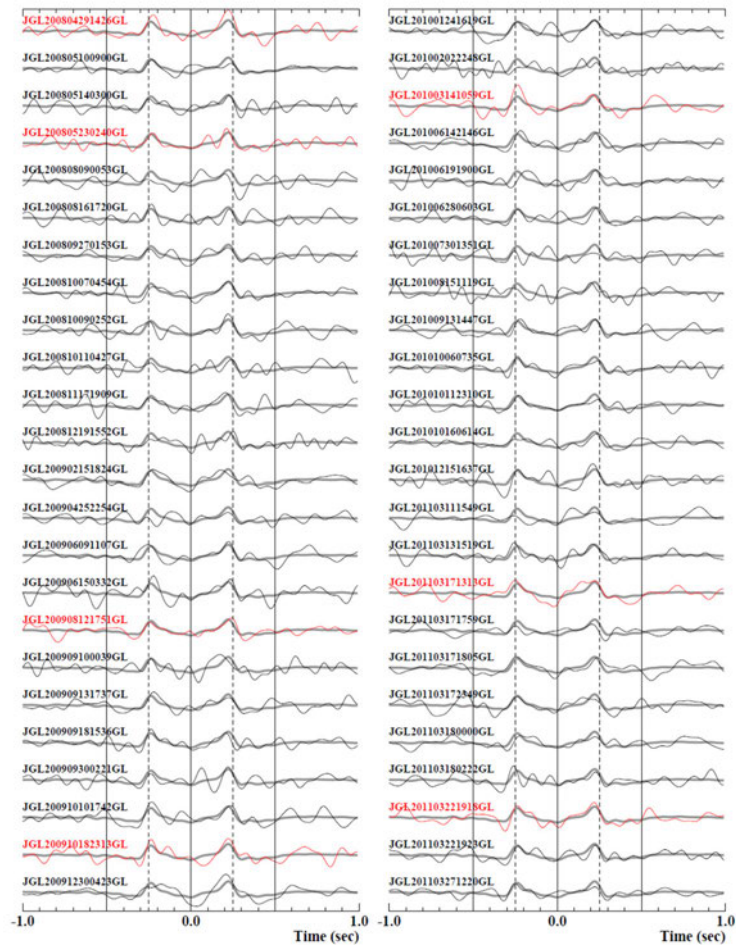
第6.4.2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（3/4）



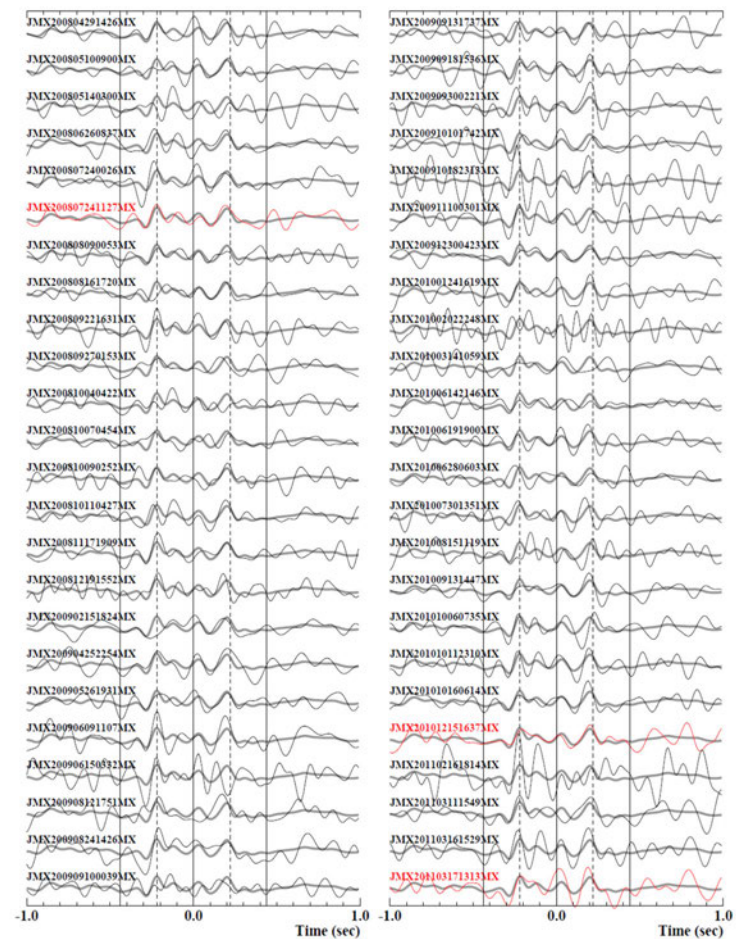
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

第6.4.2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（4/4）

参考：西側地盤及び東側地盤における地震観測記録のデコンボリューション結果及びGOF8以上となる地震の抽出状況



(a) 西側地盤

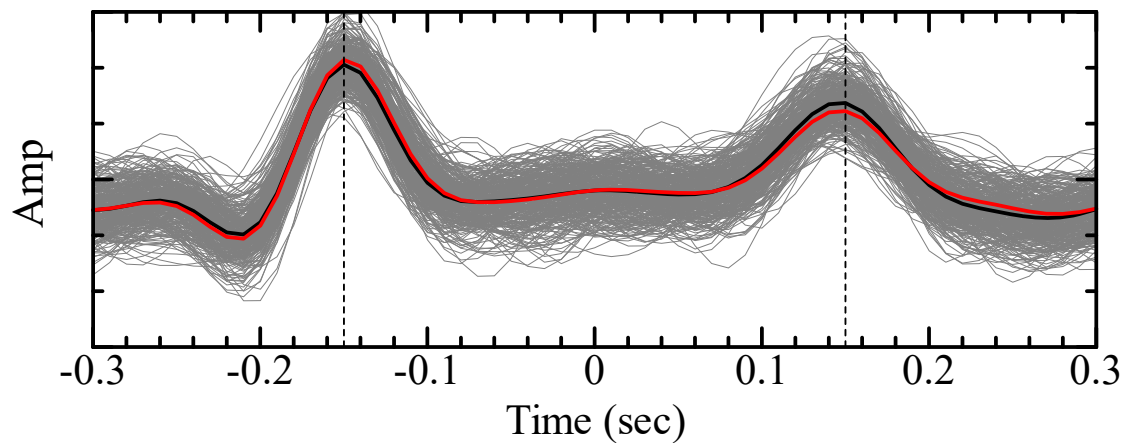


(b) 東側地盤

注記：GOF が8以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

西側地盤及び東側地盤におけるデコンボリューション波形（一部例）

灰線：GOF ≥ 8 の311個の個々の地震記録によるデコンボリューション波形
黒線：311個の地震記録のスタッキング（平均）波形
赤線：311個の地震記録中，入射波 \geq 反射波となる地震記録のスタッキング（平均）波形



注記：鎖線は，スタッキング波形のピーク時刻（ ± 0.15 秒）を示す。

第 6.4.2-3 図 GOF が 8 以上となる各地震のデコンボリューション波形
及びスタッキング波形の作成結果

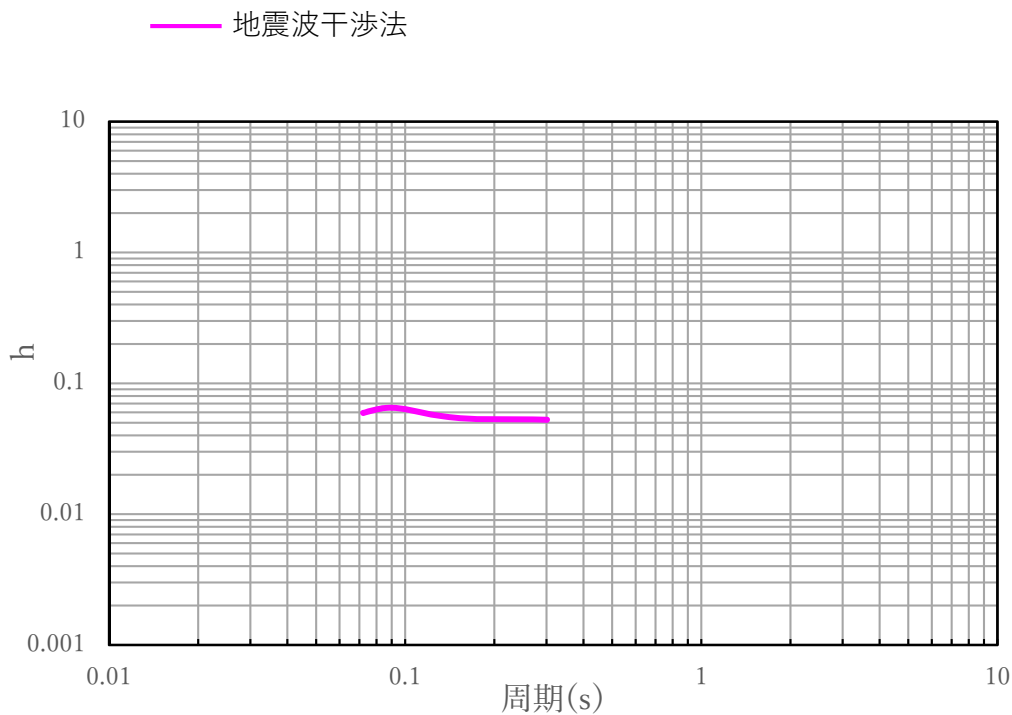
6.4.3 減衰定数の推定結果

各地震のデコンボリューション波形における、入射波に対する反射波の振幅の比率に基づき減衰定数を評価した結果を第6.4.3-1図に示す。

中央地盤における地震波干渉法によって評価された減衰定数は、およそ5~7%の値となっているが、「6.3.6 伝達関数による評価結果」において同定された減衰定数に見られる周波数依存性は地震波干渉法による結果においては明瞭には確認できない。

これは、地震波干渉法による減衰定数の推定方法が半無限空間を仮定した手法であることを踏まえると、今回評価にあたっては、地表における地震観測記録を基準として解放基盤表面深さにおける地震観測記録をデコンボリューションしていることから、実態の地盤における岩盤部分と表層地盤の地盤構造の違い等による影響を受けたためと考えられる。

ただし、第6.4.2-3図に示すスタッキング波形において、振幅約0.1秒のパルスが明確に確認できていることを踏まえると、当該周期帯における減衰定数の値は精度よく得られていると考えられる。



第6.4.3-1図 地震波干渉法による減衰定数の評価結果（中央地盤観測点）

6.5 速度構造の相対的な比較に基づく考察

中央地盤において得られている地震観測記録の伝達関数に基づき減衰定数の同定を行った結果に対し、速度構造の観点で既往知見との照合を行う。

比較にあたっては、佐藤ほか(2006)において、上述のとおり、バイリニア型の減衰モデルが示されているが、あわせて、地盤の速度構造に応じた減衰定数の傾向も示されていることから、佐藤ほか(2006)に示される値と、敷地における速度構造との整合性の観点で行う。

佐藤ほか(2006)による岩盤観測点の減衰定数の評価結果において、複数の地点又は速度層における減衰定数が示されており、浅部または低速度層ほど大きく評価され、深部または高速度層ほど小さく評価される傾向となっている。佐藤ほか(2006)では、福島ほか(1994)における経験的な値も合わせて示されており、この値についても上記と同様の傾向となっている。

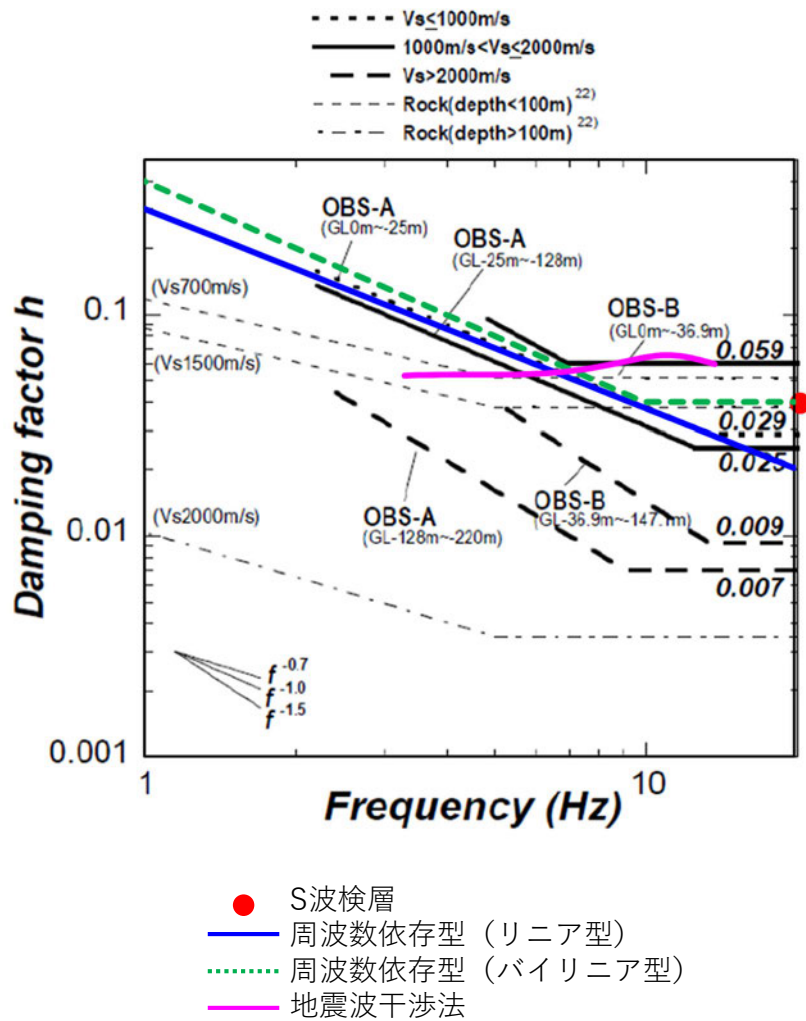
敷地における岩盤のS波速度(中央地盤:720~830m/s)に近い指標として、佐藤ほか(2006)に示される $V_s \leq 1000\text{m/s}$ における評価(図中太点線のうち「OBS-A (GL0~-25m)」)及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ における経験的な値(図中細点線のうち「($V_s=700\text{m/s}$)」)を参照すると、中央地盤において同定された、周波数依存性を考慮した減衰定数の値は、その大きさ及び周波数依存性の傾きともに、よく整合している。

また、地震波干渉法による結果については、周波数依存性は捉えられておらず、短周期側に信頼区間を有した結果であるものの、佐藤ほか(2006)に示される $V_s \leq 1000\text{m/s}$ における評価及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ における経験的な値とよく整合している。

あわせて、短周期側に信頼区間を有するS波検層結果を第6.5-1図に示す。S波検層の結果は、中央地盤については同定された減衰定数と整合的である。

上記に示した既往の知見との比較及び評価手法間の比較結果に基づけば、「6.3.6 伝達関数による評価結果」に示した、中央地盤において同定された周波数依存性を考慮した減衰定数については、類似した速度構造の地盤における減衰定数とほぼ同等の値が得られており、敷地においては特異な減衰定数の傾向を示すような傾向とはなっていないこと、また、評価手法間でも整合的な結果が得られていることを確認した。

以上のことから、中央地盤における、周波数依存性を考慮した減衰定数の同定結果については、地盤の実態を考慮した値となっていると考えられる。



第 6.5-1 図 佐藤ほか (2006) による岩盤観測点における減衰定数 h ($h=1/2Q$) 推定結果に対する中央地盤における同定結果の比較結果 (図中点線は、福島ほか (1994) による減衰定数の経験的な値)

<参考：現時点において同定された西側地盤及び東側地盤の傾向>

「6.3.6 伝達関数による評価結果」に示したとおり、西側地盤及び東側地盤については、水平方向の一部周期帯において伝達関数のピークが再現できておらず、「6.3.7 応答スペクトルによる評価結果」に示したとおり、シミュレーション解析結果についても地震観測記録の再現性に課題がある。

このことから、西側地盤及び東側地盤については、現時点において地盤の実態を捉えた減衰定数の同定を行えているとは言い難いことから、既往知見に基づく減衰定数と速度構造の関係性に着目し、速度構造及び減衰定数の両方が地震観測記録をよく説明している中央地盤との相対的な比較により、西側地盤及び東側地盤における地盤の実態を考慮した減衰定数の値についての考察を以下に示す。

- ・地震観測点ごとの岩盤部分の速度構造（初期モデル）によれば、中央地盤及び東側地盤については、岩盤部分のS波速度はほぼ800m/s前後と同等であることに対し、西側地盤については550m/sと、中央地盤及び東側地盤と比較して小さい値を示している。
- ・現時点において各地震観測点において同定された減衰定数は、中央地盤>東側地盤>西側地盤となっているが、その大きさに大きな差は無く、傾きについても概ね同等なものとなっている。
- ・佐藤ほか(2006)における評価結果において、低速度層ほど減衰定数が大きくなる傾向があることを踏まえれば、敷地における岩盤部分の減衰定数については、その速度構造の相対的な差から、西側地盤>中央地盤≒東側地盤の大小関係となることが考えられるが、上記のとおり、同定された結果は、中央地盤>東側地盤>西側地盤となっており、西側地盤及び東側地盤において同定された値が中央地盤と比較して小さくなっている。
- ・また、敷地における速度構造に近い指標として、佐藤ほかに示される $V_s \leq 1000\text{m/s}$ における評価及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ にお

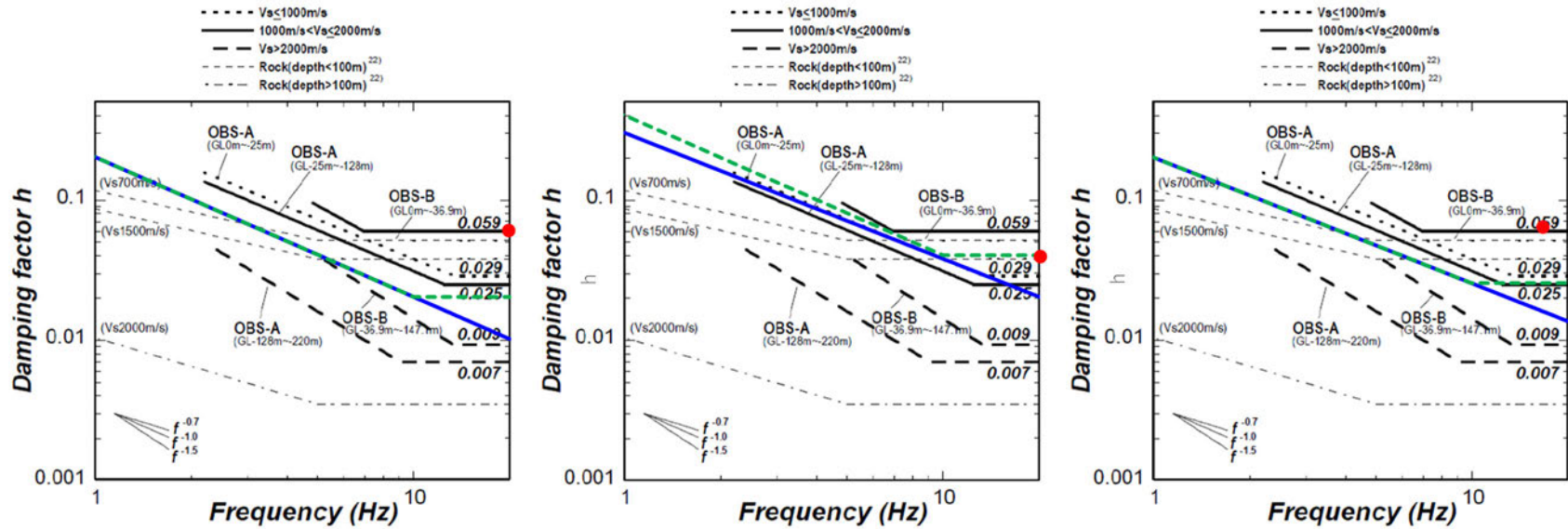
ける経験的な値を参照すると、敷地において同定された減衰定数の値は、中央地盤においてよく整合しており、西側地盤及び東側地盤についても、中央地盤よりもやや小さい値となっているものの、大きな乖離とはなっていない。

- ・短周期側に信頼区間を有する S 波検層の結果は、西側地盤及び東側地盤についても、同定された減衰定数と整合的な中央地盤と大きな差が無い。

参考表 各地震観測地点における岩盤部分の S 波速度

地震観測地点	S 波速度
中央地盤	720～830m/s
西側地盤	550m/s
東側地盤	820m/s

<参考：現時点において同定された西側地盤及び東側地盤の傾向>



(a) 西側地盤

(b) 中央地盤

(c) 東側地盤

注記：東側地盤のS波検層結果については、ばらつきが大きいと考えられる10Hzの値を除外してプロットしている。

参考図 佐藤ほか（2006）による岩盤観測点における減衰定数 h ($h=1/2Q$) 推定結果との比較
 (図中点線は、福島ほか（1994）による減衰定数の経験的な値)

<今後の取り組み>

地震観測記録を用いた評価結果について、西側地盤において、減衰定数が速度構造の相対的な関係性に反して中央地盤と比較して小さく同定された原因としては、以下の内容が挙げられることから、今後、目的関数又は同定手法の見直し、信頼区間の再設定等により、精度の向上を図る。

- ・ 「6.3.3 目的関数の設定」に示した地震観測記録に基づく伝達関数の傾向として、周期約 0.2 秒よりも短周期側において、速度構造に由来するピークの山谷が不明瞭となっている。
- ・ これにより、地盤の高次成分のピークを速度構造のフィッティングにより適合させるのではなく、減衰定数を小さく与え、短周期側の地震動を増大させることで適合するように同定されたと考えられる。
- ・ このことから、信頼区間の設定 (0~20Hz : 0.05 秒より長周期側) について、短周期側を含めて扱うことが適切ではない可能性がある。

また、東側地盤においても、地震観測記録のシミュレーション結果において、いずれの地震に対しても周期約 0.4 秒において地震観測記録を下回ることから、当該周期帯の再現性に着目した速度構造と再評価を行い、同定された減衰定数の信頼性の向上を図る。

なお、東側地盤における地震観測記録のシミュレーション結果では、ごく短周期側においても地震観測記録を下回る場合があるが、この傾向は一部の地震のみにおいて見られるものであることから、周期約 0.4 秒における伝達関数の乖離が、特定の地震のもつピークと合致することにより、最大加速度値に影響を与えたものであると考えられ、短周期成分の地震動全体を小さく評価したものではないと考えられる。

ごく短周期側の減衰定数の差は、リニア型とバイリニア型におけるシミュレーション解析の比較により、結果に有意な影響を与えないことを確認していることから、上記の周期約 0.4 秒における伝達関数の適合度を改善することで、地震観測記録をよく説明可能なシミュレーション結果が得られると考えられる。

7. 地盤の実態を考慮したパラメータの設定

「4. 三軸圧縮試験による評価結果」, 「5. 敷地における S 波検層による評価結果」及び「6. 敷地における地震観測記録を用いた評価結果」に示した各種評価結果に基づき, 敷地における「地盤の実態を考慮したパラメータ」としての岩盤部分の減衰定数に係るパラメータを設定する。

7.1 地盤の実態を考慮した減衰定数の値及び周波数特性

「5. 敷地における S 波検層による評価結果」に示したとおり, 敷地内のボーリング調査位置における S 波検層結果によれば, 岩盤部分における減衰定数には周波数依存性を有しているが, 既往知見において認められる減衰定数が高振動数側で一定になる傾向 (バイリニア型) は明確に見受けられない。

また, 「6.3 伝達関数による検討」において同定した減衰定数において, リニア型とバイリニア型による減衰定数の差は, 敷地における地震観測記録の深さ方向の伝達関数及び「6.3.7 応答スペクトルによる評価結果」に示したシミュレーション解析結果に対して有意な差を与えないことを確認した。

また, 同定した速度構造及び減衰定数による伝達関数及びシミュレーション結果は, 中央地盤においては地震観測記録をよく説明する結果が得られていることから, 減衰定数としては地盤の実態を考慮した値が評価された結果が得られていると考えられる。

設定についての検討は追而

三軸圧縮試験や岩石コア試験に基づく材料減衰の調査結果について、地震観測記録による評価及び S 波検層に基づく材料減衰 + 散乱減衰との関連性の記載を追記

7.2 地盤の実態を考慮した減衰定数の非線形性

「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示したとおり、いずれの岩種においても、岩盤部分のひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）については、地盤のせん断ひずみが 10^{-2} 程度までは非線形化による減衰定数の変動は小さく、 10^{-2} よりも大きい範囲において減衰定数が増大する傾向となっている。

ただし、上記の傾向は材料減衰のみに着目した結果であり、JEAG4601-1987 に示されるように、地盤の減衰定数には材料減衰と散乱減衰が含まれることから、地盤の実態を考慮した場合、地盤のひずみ量に応じて、散乱減衰が支配的となる領域と材料減衰が支配的となる領域を区分して減衰定数を設定する必要がある。

以上を踏まえ、 S_s 地震時の地盤のひずみ量に対し、非線形性による減衰定数の増大に伴う材料減衰の値が、地震観測記録による手法に基づき評価される減衰定数を上回る場合には、岩盤部分の非線形性を考慮した減衰定数の設定が入力地震動への影響があると考えられると判断し、その時のひずみ量よりも大きい領域において、ひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を考慮することが、最も地盤の実態を考慮した設定となると考えられる。

8. 「基本地盤モデル」に考慮するパラメータの設定

8.1 「基本地盤モデル」に考慮するパラメータの設定

本章では、「1.はじめに」に示したとおり、第2回申請対象施設における「基本地盤モデル」の設定にあたり、解析の簡便性や設計上の保守性を考慮した上で、耐震設計上用いるパラメータの設定の考え方について示す。

「4. 三軸圧縮試験による評価結果」、 「5. 敷地におけるS波検層による評価結果」及び「6. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果」による検討結果に基づき、「7. 地盤の実態を考慮したパラメータの設定」に示した岩盤部分の減衰定数のパラメータ設定の考え方に対して、耐震設計を実施する上で、解析の簡便性や設計上の保守性を考慮した「基本地盤モデル」として減衰定数を設定する場合の考え方について検討を行う。

「7. 地盤の実態を考慮したパラメータの設定」に示したとおり、敷地における地盤の実態を考慮すると、岩盤部分の減衰定数は、周波数依存特性とひずみ依存特性が同時に考慮されることとなる。しかしながら、これらを同時に考慮して建物・構築物の入力地震動を算定することは、解析プログラムの制約上困難である。また、JEAG4601-2015に示される慣用値に示されるように、耐震設計においては、減衰定数に周波数依存特性を考慮しないことが一般的な設定である。

また、明らかに減衰定数を小さく設定することとなり、保守的な設定となることが自明となる場合を除き、解析の簡便性及び保守性を考慮したパラメータを設定するにあたっては、新しく設定するパラメータが、地震観測記録等に対して過小評価としないことの確認を実施する。

具体的には、「基本地盤モデル」が耐震設計において建物・構築物の入力地震動を算定するために用いることを踏まえ、建物・構築物の固有周期帯（水平0.2～0.3秒、鉛直0.1秒～0.2秒）において、地盤の実態を考慮したパラメータに基づくシミュレーション解析結果または地震観測記録に対して概ね保守的な値となることを確認する。

以上を踏まえ、岩盤部分の減衰定数の周波数依存特性と、ひずみ依存特性の設定について、地盤の実態を考慮した場合に対し、設計上過小評価としない範囲での簡易的な設定の可否について検討を実施する。

8.2 周波数依存特性を考慮しない設定の適用性

8.2.1 周波数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価

耐震設計上、簡易的な設定となる周波数依存性を考慮しない条件における減衰定数について、まずはその値について把握することとし、敷地内において得られた地震観測記録に適合するように評価する。

評価手法及び評価に用いる地震については、「6.3 伝達関数による検討」と同様の地震を用い、同様の評価条件とし、減衰定数の同定に係る周波数依存性の条件のみ、全周波数において一定となる条件設定を行った。

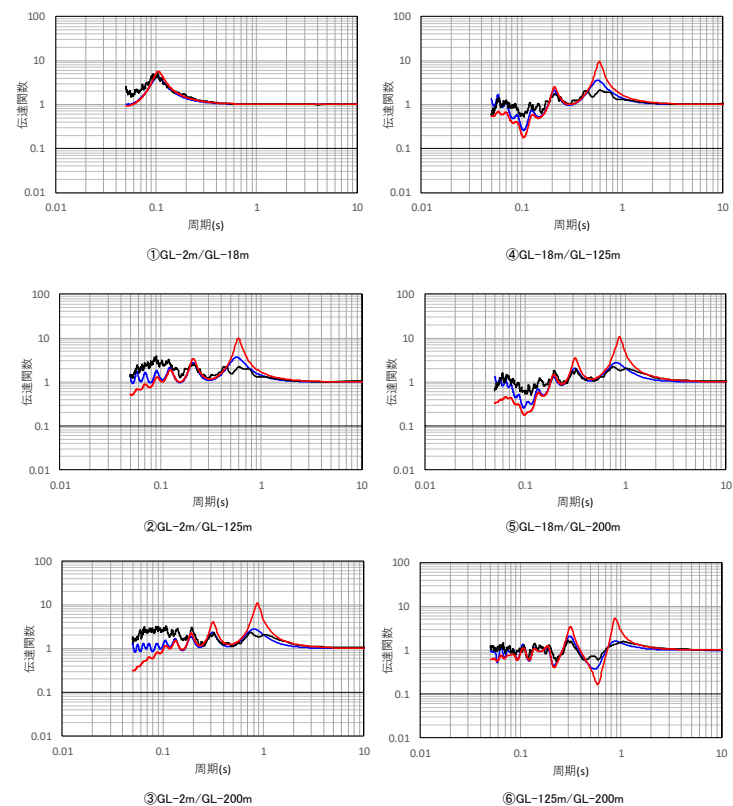
第 8.2.1-1 図～第 8.2.1-4 図に示すとおり、地震観測記録を用いた減衰定数の評価の結果、解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の水平方向における減衰定数として、中央地盤観測点において 6.7% の減衰定数が得られた。鉛直方向については、「6.3.6 伝達関数による評価結果」と同様に、水平方向と比較して大きい値の減衰定数が得られた。

周波数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「6.3 伝達関数による検討」にて同定した波数依存性を考慮した結果と比較して、速度構造はほぼ同一であるため、ピーク周波数については変わらないものの、伝達関数の大きさについては地震観測記録との乖離が大きい結果となっており、長周期側では周波数依存性なしの条件による伝達関数が観測記録に対して大きく、短周期側では小さく評価されている。

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	V _s (m/s)	減衰定数 h
0	2	1.94	470	0.166
-2	1.5	1.94	470	
-3.5	1.5	1.94	560	0.160
-5	13	1.64	720	0.111
-18	2	1.64	720	
-20	40	1.75	760	0.067
-60	60	1.85	830	
-120	5	1.85	950	0.055
-125	75	1.85	950	
-200	—	1.85	950	

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）
— 周波数依存なし



(a) 評価された物性値及び減衰定数

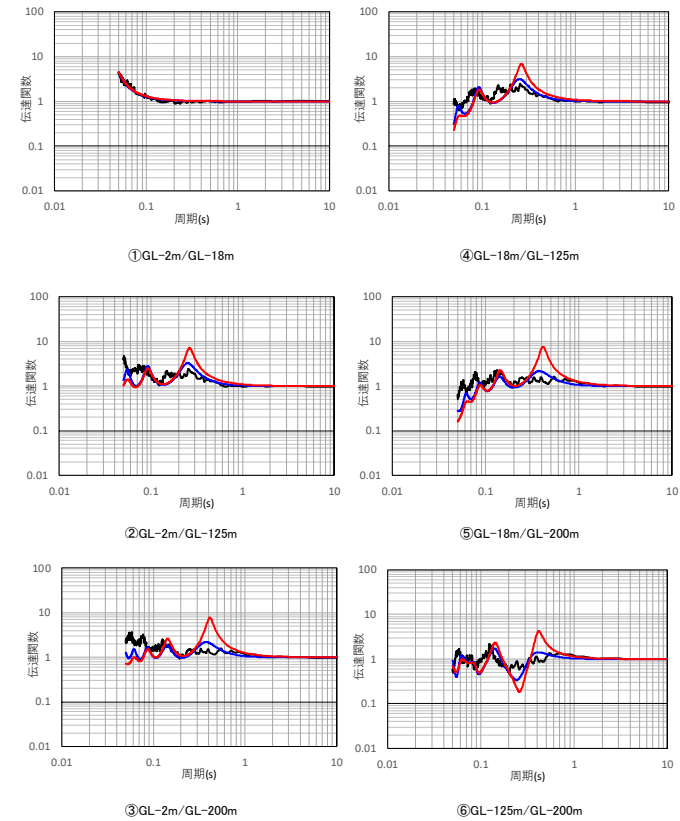
(b) 伝達関数適合状況

第 8.2.1-1 図 伝達関数による評価結果（中央地盤観測点：周波数依存性なし，水平）

深度 (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	V _p (m/s)	減衰定数 h
0	2	1.94	1410	0.166
-2	1.5	1.94	1410	
-3.5	1.5	1.94	1560	0.137
-5	13	1.64	1640	0.106
-18				
-20	40	1.75	1780	0.093
-60	60	1.85	1860	
-120	5	1.85	1920	0.081
-125	75	1.85	1920	
-200				

解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

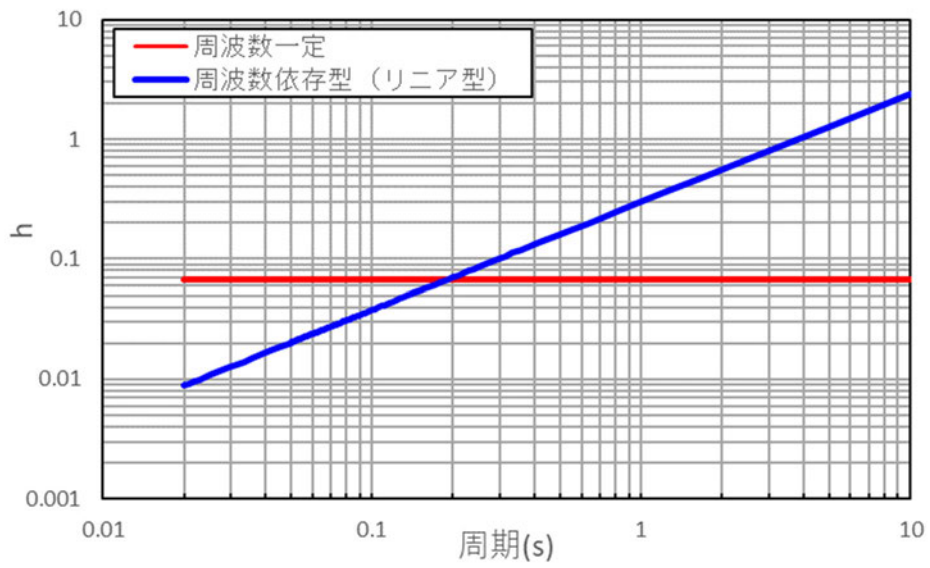
—— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）
— 周波数依存なし



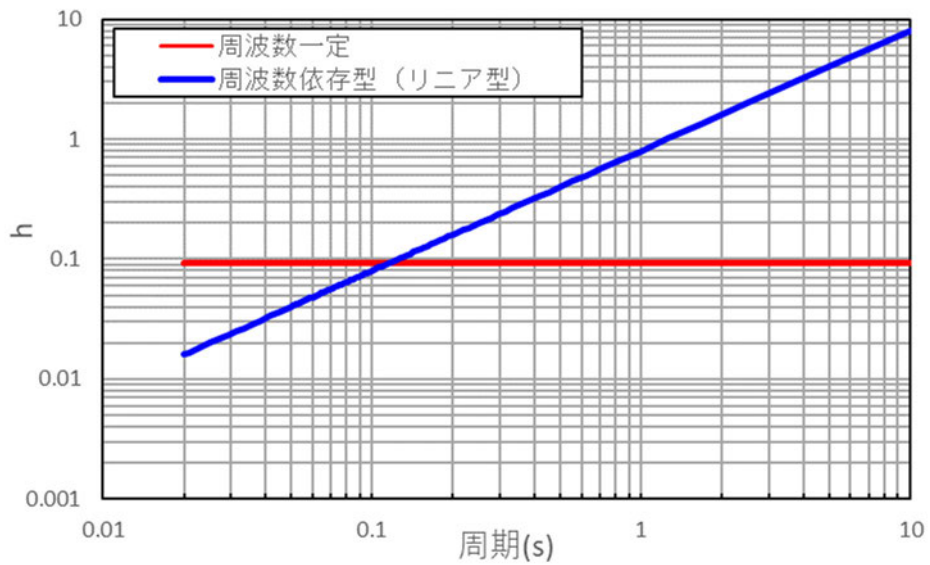
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 8.2.1-2 図 伝達関数の比較（中央地盤観測点：周波数依存性なし，鉛直）



第 8.2.1-3 図 減衰定数と周期の関係 (中央地盤観測点, 水平)



第 8.2.1-4 図 減衰定数と周期の関係 (中央地盤観測点, 鉛直)

8.2.2 適用性の確認に係る検討方針

「8.2.1 周波数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価」において評価した減衰定数について、周波数依存性を考慮する場合としない場合における伝達関数の乖離が、入力地震動の算定結果に対してどのように影響するか、「6.3.7 応答スペクトルによる評価」と同様に、地震観測記録のシミュレーションにより確認を行う。

ここで、周波数依存性を考慮しない条件が、設計上過小評価とならないことを確認する上では、本地盤モデルが、耐震設計において建物・構築物の入力地震動を算定するために用いることを踏まえ、建物・構築物の固有周期帯（水平 0.2～0.3 秒、鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において、周波数依存性を考慮した場合のシミュレーション結果及び地震観測記録に対し、周波数依存性を考慮しない条件によるシミュレーション結果が保守的な値となることの確認により行う。

上記確認により、周波数依存性を考慮しない設定とした場合の地震観測記録のシミュレーション結果が、上記周期帯において保守的な地盤応答を与える場合においては、耐震設計上、周波数依存性を考慮しない設定することに問題は無いと判断する。

8.2.3 適用性の確認結果

周波数依存性を考慮しない場合の条件における地震観測記録のシミュレーション結果を、周波数依存性を考慮した場合の条件における結果とあわせて第 8.2.3-1 図に示す。

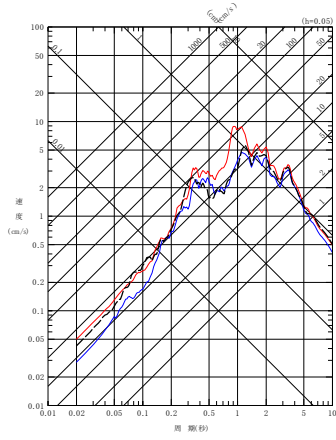
中央地盤において、周波数依存性を考慮しない場合は、長周期成分において、周波数依存特性を考慮する場合に比べて減衰定数を小さく評価することから、長周期成分の地盤応答を大きく与えることを確認した。

短周期側については、減衰定数を周波数依存特性を考慮する場合に比べて大きく評価することになるものの、地盤応答に対しては小さく評価されず、周波数依存性を考慮した場合と比較して、「8.1.2 適用性の確認に係る検討方針」に示した周期帯（水平 0.2～0.3 秒、鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において、概ねいずれの地震においても、周波数依存性を考慮した場合のシミュレーション結果及び地震観測記録に対し、周波数依存性を考慮しない条件によるシミュレーション結果が大きな値となることを確認した。

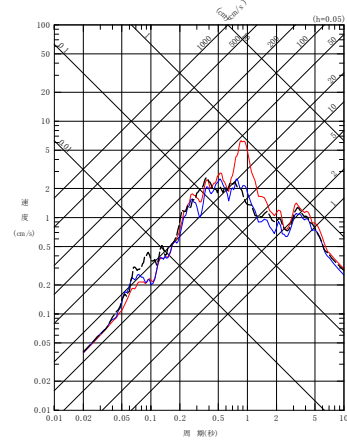
これは、周波数依存性を考慮しない条件により求められる伝達関数は、第 8.2.1-1 図及び第 8.2.1-2 図に示すとおり、周波数依存性を考慮した場合と比較して、長周期側を大きく評価する結果となっており、これに伴い、地盤応答の最大加速度についても大きく評価されることにより、応答スペクトル上、短周期側も合わせて大きく評価されるため、結果として全周期帯において保守的な評価となっているものと考ええる。

設定についての検討は追而

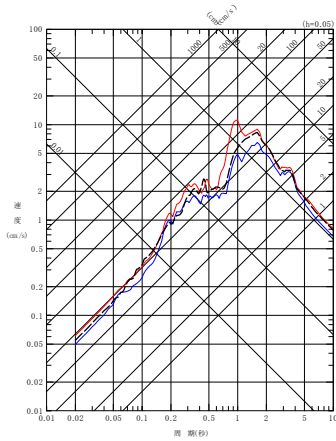
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 — 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



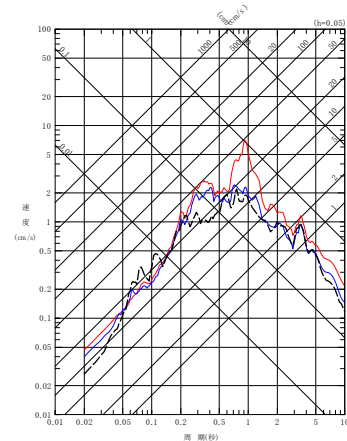
(a) NS 方向



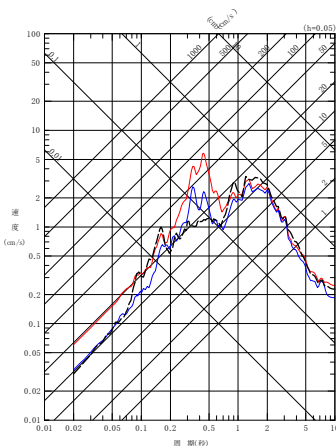
(a) NS 方向



(b) EW 方向

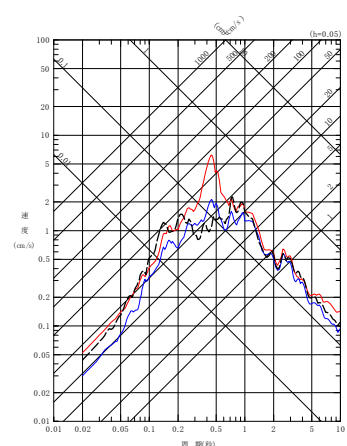


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震



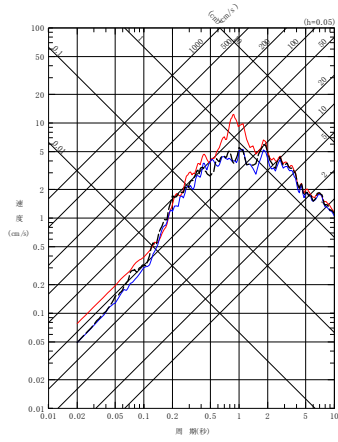
(c) UD 方向

(2) 200210142312 地震

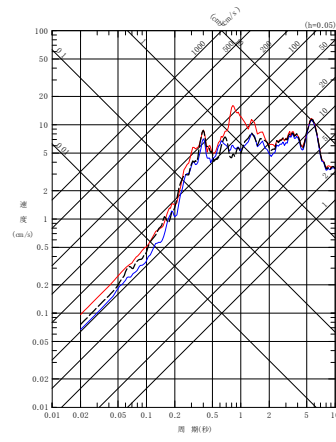
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (1/7)

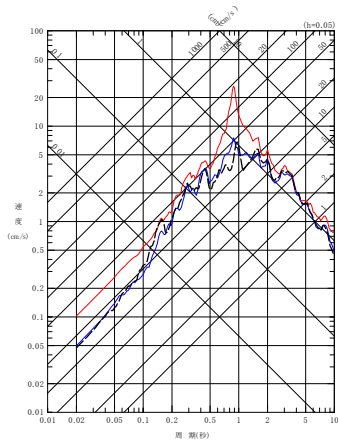
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



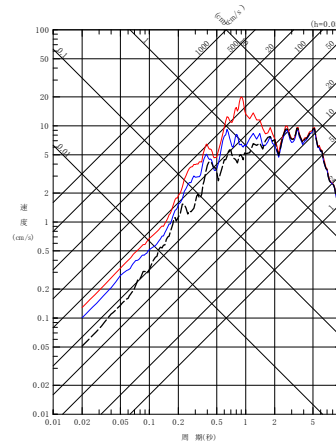
(a) NS 方向



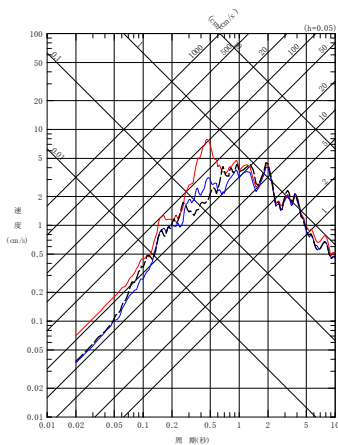
(a) NS 方向



(b) EW 方向

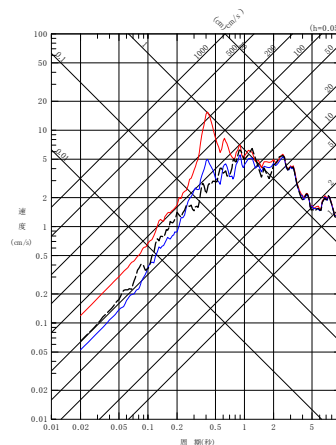


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



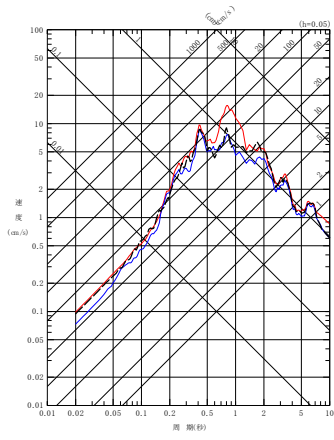
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

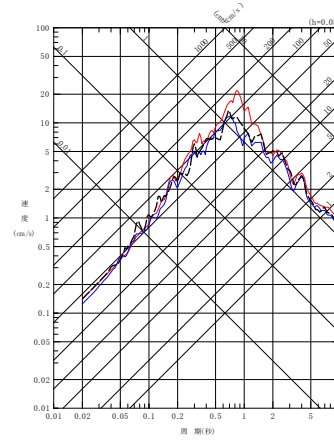
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

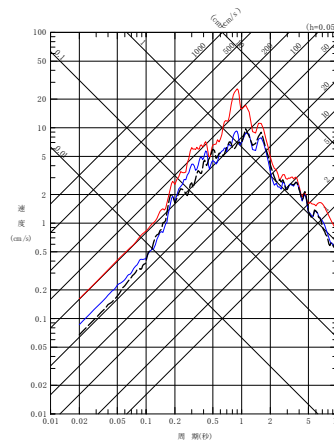
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



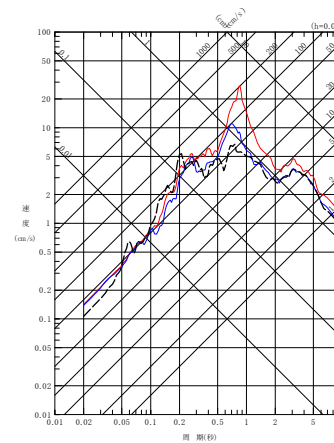
(a) NS 方向



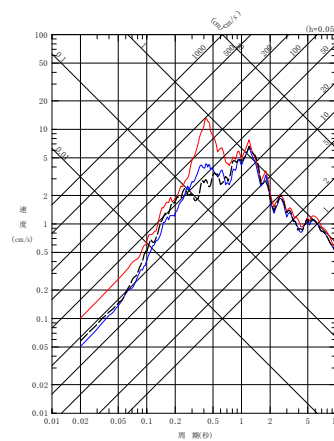
(a) NS 方向



(b) EW 方向

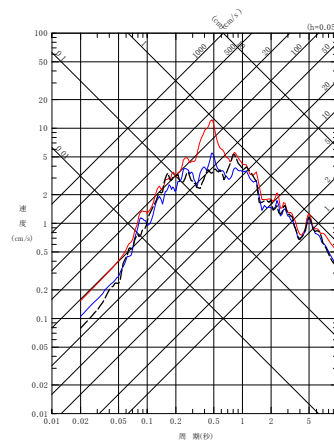


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 2009260608 地震



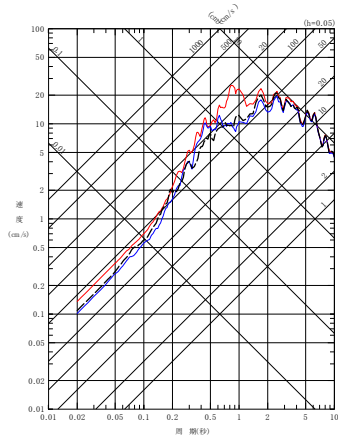
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

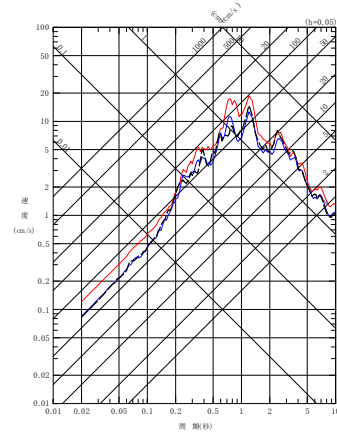
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

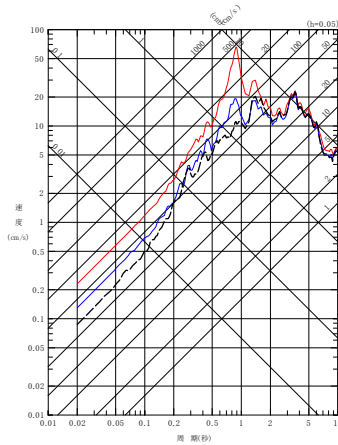
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



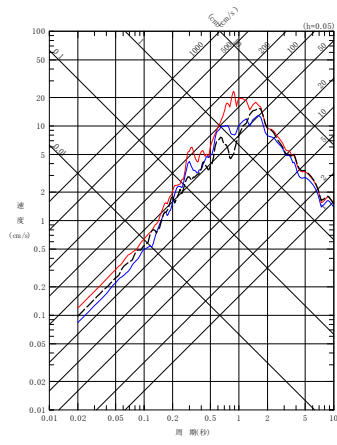
(a) NS 方向



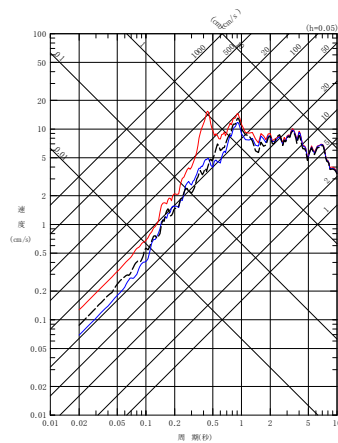
(a) NS 方向



(b) EW 方向

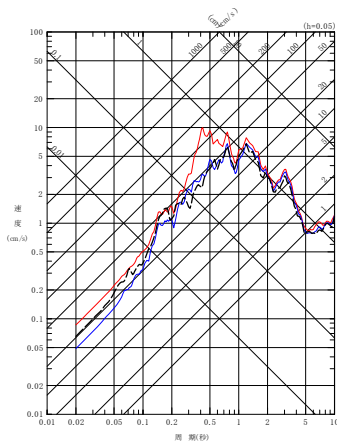


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



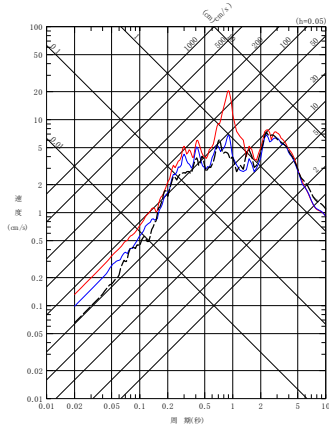
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

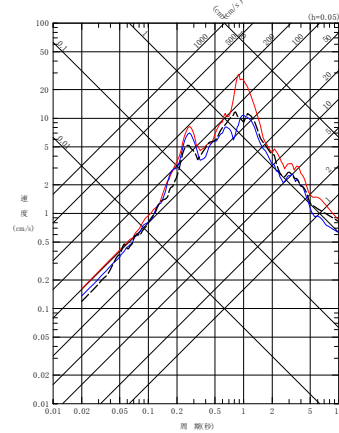
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

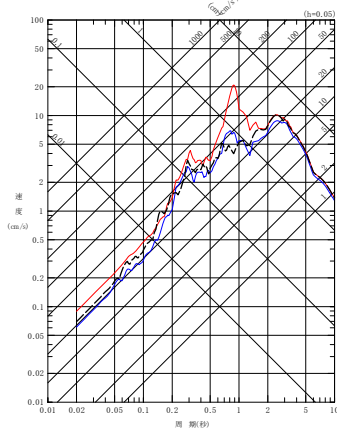
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



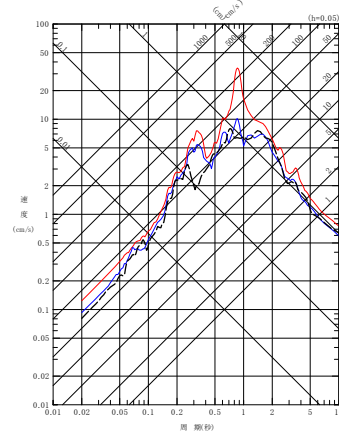
(a) NS 方向



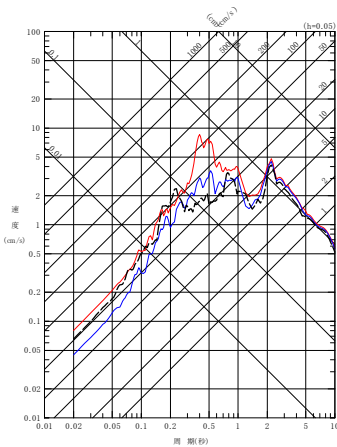
(a) NS 方向



(b) EW 方向

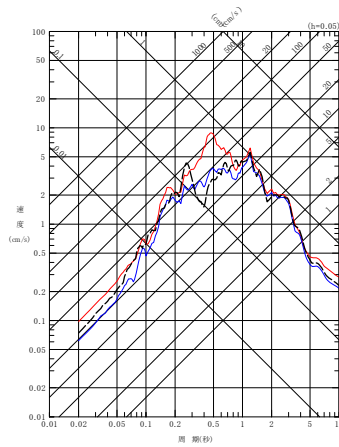


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



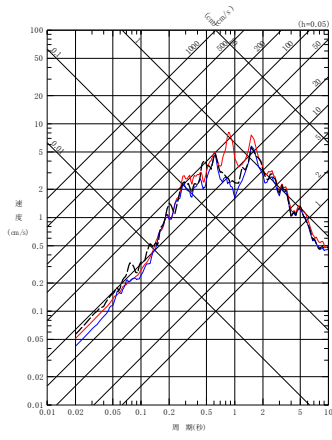
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

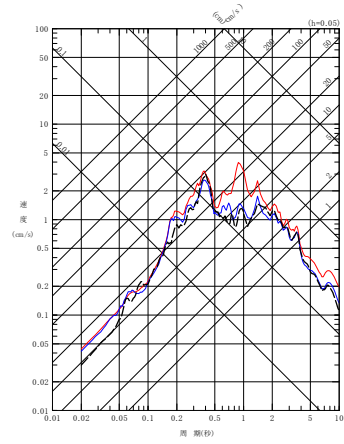
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

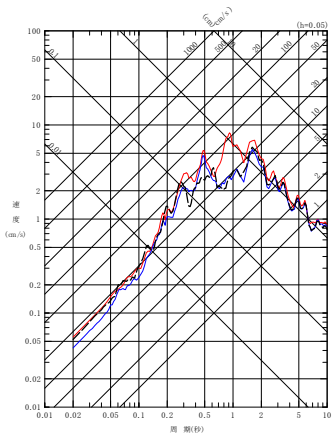
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



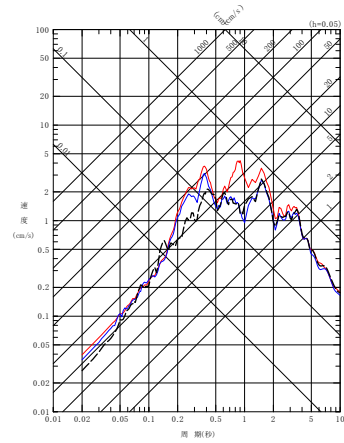
(a) NS 方向



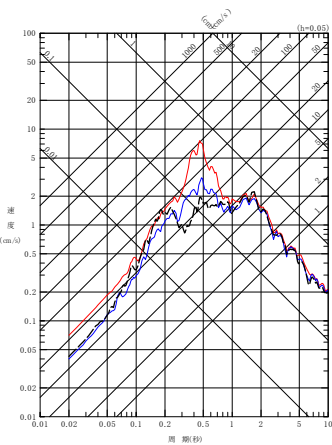
(a) NS 方向



(b) EW 方向

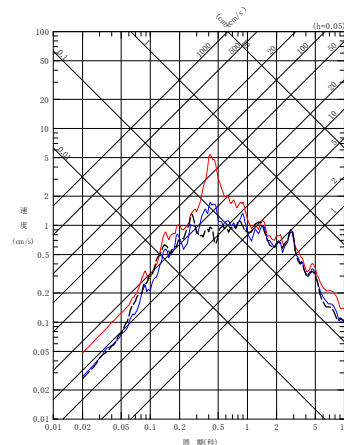


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



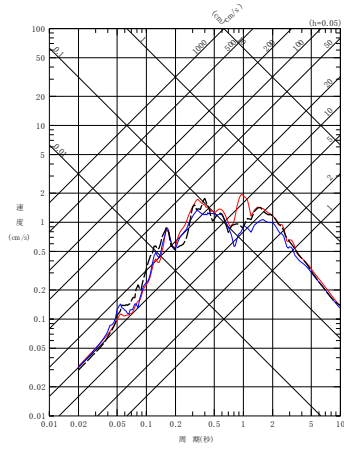
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

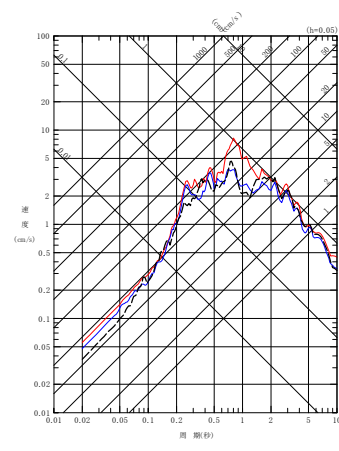
第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

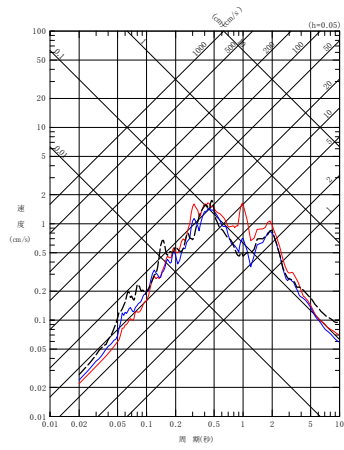
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



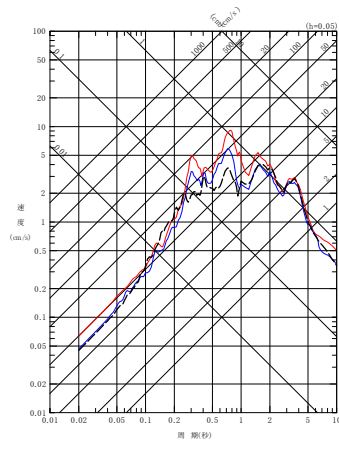
(a) NS 方向



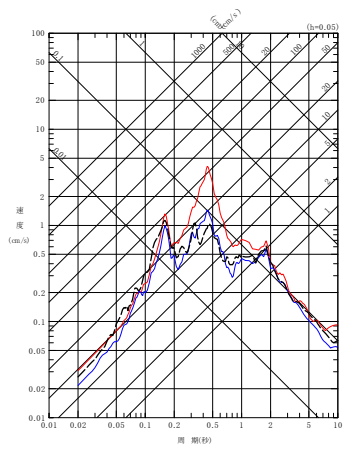
(a) NS 方向



(b) EW 方向

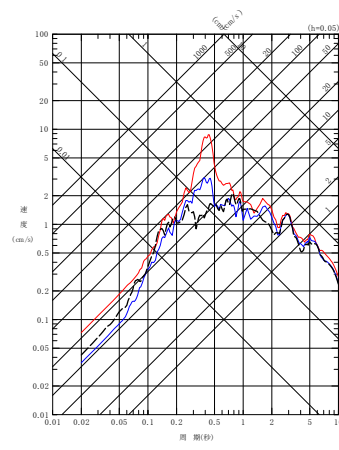


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 8.2.3-1 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (7/7)

8.3 ひずみ依存特性を考慮しない場合についての検討

本資料における減衰定数の評価結果との関係の確認として、「別紙 2-2 岩盤部分の剛性の非線形性に係る検討について」に示す、ひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 曲線）に基づく S_s 地震時の岩盤部分のせん断ひずみに対応した減衰定数に基づく考察を以下に示す。

「6. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果」において、減衰定数の評価に用いた観測記録のうち、最大の加速度を有する地震は、最深部（GL-200m）において 30Gal 程度のものであることから、今回実施した評価では、地盤が線形状態であるときの材料減衰と散乱減衰が含まれた減衰定数を評価していると考えられることから、耐震設計上考慮する地震動のレベルに応じた考察を以下のとおり行った。

「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示した減衰定数のひずみ依存特性に基づき、中央地盤、東側地盤及び西側地盤の基本地盤モデルに設定している各岩種における S_s 地震時の材料減衰は以下のとおりであり、いずれの岩種においても、地盤の非線形化が進行することで、地盤の材料減衰が大きくなることを確認した。また、基準地震動 S_s を 1.2 倍した地震力に対しては、地盤のひずみは S_s 地震時に対しさらに大きくなることから、材料減衰も大きくなることとなる。

なお、地盤のせん断ひずみに対応する減衰定数については、添付書類「IV - 1 - 1 - 2 地盤の支持性能に係る基本方針」及び「II - 1 - 1 - 2 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す各岩種のひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 曲線）を用いて算定した。

- ・細粒砂岩：線形条件：約 1.3%，非線形条件：約 2.3%
- ・泥岩（下部層）：線形条件：約 1.3%，非線形条件：約 1.6%
- ・粗粒砂岩：線形条件：約 1.6%，非線形条件：約 2.7%
- ・砂質軽石凝灰岩：線形条件：約 1.5%，非線形条件：約 2.9%
- ・凝灰岩：線形条件：約 1.5%，非線形条件：約 4.1%
- ・軽石凝灰岩：線形条件：約 1.3%，非線形条件：約 3.8%
- ・軽石質砂岩：線形条件：約 0.8%，非線形条件：約 2.0%
- ・軽石混り砂岩：線形条件：約 1.5%，非線形条件：約 3.5%
- ・礫岩：線形条件：約 0.3%，非線形条件：約 2.0%
- ・泥岩（上部層）：線形条件：約 1.4%，非線形条件：約 2.0%
- ・砂岩・凝灰岩互層：線形条件：約 2.0%，非線形条件：約 3.8%
- ・礫混り砂岩：線形条件：約 1.1%，非線形条件：約 2.7%

ひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 曲線）により求めた減衰定数については、JEAG 4601-1987 に記載のとおり、地盤の非弾性的性質による材料減衰として示される。

しかし、JEAG4601-1987 においては、地盤の減衰定数について、材料減衰、散乱減衰及び各種波動現象を含んだ減衰定数となっていると言われており、評価手法ごとに、以下の関係性となっている。

$$h_{\text{室内試験}}(\text{材料減衰}) < h_{\text{弾性波探査}}(=\text{材料} + \text{散乱}) < h_{\text{地震観測}}$$

本資料において地震観測記録により評価した減衰定数は、線形条件における材料減衰、散乱減衰及び各種波動現象を含んだ値として評価されているものであり、 S_s 地震時には、上記のうち材料減衰が、線形条件における値（約 0.3%～約 2.0%）から大きくなる（約 1.6%～約 4.1%）ことを踏まえると、非線形状態が見込まれる S_s 地震時には、地震観測により評価した減衰定数は、さらに大きい値となると考えられ、入力地震動は小さく評価されることになる。

以上のことから、敷地の岩盤部分における減衰定数について、非線形性が入力地震動に与える影響を考慮した場合、線形条件とすることで、入力地震動を保守的に算定することになる。

なお、第 1 回申請（PA, A4B）において考慮した地盤の減衰定数については、三軸圧縮試験に基づく材料減衰のみを考慮した減衰定数を設定した。

本来であれば、「1. はじめに」に示した本資料における検討の位置付けと同様に、まずは一般的・標準的な地盤物性値の設定方法に基づき、敷地における岩盤部分の減衰定数として、材料減衰と散乱減衰を含めた減衰定数を把握した上で、パラメータの設定を行う必要があったが、第1回申請においては、本資料に示すような検討までは行わずに、上記の設定結果を示したものである。

ただし、材料減衰のみを考慮することにより、結果的に小さい値の減衰定数を採用していることになるため、一般的・標準的な減衰定数の方法に従った設定を考慮したとしても、第1回申請において算定した入力地震動が非安全側となることはない。

8.4 鉛直方向の減衰定数の扱い

本章では、水平方向と鉛直方向の地盤の実態を考慮したパラメータの値を比較し、「基本地盤モデル」の設定にあたり、いずれかの値に統一することが可能か検討を行う。

「8.2.1 周波数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価」敷地の岩盤部分における減衰定数について、水平方向と鉛直方向における評価結果を比較した表を第 8.4-1 表に示す。

水平方向と比較して鉛直方向の減衰定数が大きく評価されることについては、既往の知見においても同様の傾向が示されており、例えば藤堂ほか（1995）において、 $Q_p=Q_s/2$ または $Q_p=Q_s/1.5$ の関係が示されている。

敷地において同定された減衰定数は、上記知見よりも鉛直方向と水平方向の差が小さいものの、上記知見と同様に、鉛直方向の減衰定数が大きく評価されている。

「7. 地盤の実態を考慮したパラメータの設定」に示したとおり、地盤の実態を考慮したパラメータの設定にあたっては、水平方向と鉛直方向それぞれの評価結果を設定することとしているが、「基本地盤モデル」の設定にあたっては、減衰定数の小さい水平方向の値を、鉛直方向に対しても設定する。

これにより、鉛直方向の入力地震動を算定する上では、保守的なパラメータ設定となる。

第 8.4-1 表 岩盤部分における減衰定数の評価結果

地震観測地点	水平方向	鉛直方向	鉛直/水平
中央地盤	0.067	0.093	1.39

8.5 設計における保守性の観点での設定

「8.2 周波数依存特性を考慮しない設定の適用性」に示したとおり、周波数依存特性を考慮しない設定が、地震観測記録を大きく評価する傾向にあることから、「基本地盤モデル」の設定上は、周波数依存特性を考慮しない設定とすることにより、耐震設計上、入力地震動を設定する上では保守的な設定となる。

また、「8.4 鉛直方向の減衰定数の扱い」に示したとおり、鉛直方向の減衰定数については、水平方向よりも大きな値が評価されているが、「基本地盤モデル」の設定上は、水平方向の評価値に統一することにより、耐震設計上、鉛直方向の入力地震動を設定する上では保守的な設定となる。

以上を踏まえると、各地点における減衰定数は、水平方向及び鉛直方向ともに、中央地盤観測点においては6.7%の値となる。

最終的な「基本地盤モデル」の設定にあたっては、上記の中央地盤における結果に加え、東側地盤及び西側地盤における地盤の実態を考慮したパラメータ及び「8.2 周波数依存特性を考慮しない設定の適用性」～「8.4 鉛直方向の減衰定数の扱い」における確認結果を踏まえて設定する。

9. まとめ

追而

参考 1

岩盤部分の減衰定数の設定に係る追加調査

目 次

	ページ
1. 目的	参考-1
2. 追加調査の項目	参考-2
3. 実施計画	参考-4
4. 予定工程	参考-43

1. 目的

基本地盤モデルにおいて、岩盤部分（建屋基礎底面レベル～解放基盤表面）に対して設定した減衰定数に対し、信頼度向上の取り組みとして、追加ボーリング調査によりデータを取得する。

岩盤部分の減衰定数については、JEAG4601-1987に示される3手法（三軸圧縮試験による方法、弾性波探査（ここでは減衰定数の算出に特化した探査をS波検層と呼ぶ）による方法、地震観測記録による方法）を用い、敷地における減衰定数の値を評価しているが、このうち、S波検層による方法については、現時点において、そのデータが敷地内3地点で実施されているが、近接する建屋のグループ単位において岩盤部分の物性値等の設定を行う方針としていることを踏まえると、上記の3地点におけるデータが、全12グループにおいても同じ特徴を有しているか確認し、3地点におけるS波検層による評価結果との整合性を確認する必要があることから、S波検層による評価結果の信頼性向上の取り組みとして、追加調査を実施する。

また、三軸圧縮試験による方法に基づく減衰定数として、事業変更許可申請書に示すとおり、岩盤種別ごとにひずみ依存特性を設定しているが、他サイトにて実績のある岩石コアを用いた弾性波速度試験を実施し、両者の整合性を確認することで、信頼度の高い減衰定数を設定することができるため、あわせて追加調査を実施する。

本追加調査により得られたデータについては、地震観測記録による方法によって評価した岩盤部分（建屋基礎底面レベル～解放基盤表面）の減衰定数との比較・分析を行い、地震観測記録により評価された値の妥当性を確認することにより、基本地盤モデルに設定する岩盤部分の減衰定数の信頼度の向上を図る。

2. 追加調査の項目

現地における追加調査の項目は、資料「岩盤部分の減衰定数の設定に係る今後の検討内容」（令和5年6月30日）の5頁に示す表の検討手法うち、「ボーリング孔内減衰測定による検討」と「岩石コアを用いた減衰測定による確認」に対応し、孔内検層によるQ値測定及び室内岩石試験を実施する。参考1-2-1表に追加調査の考え方を示す。

ボーリング孔を用いた減衰測定による検討については、敷地内3地点で得られているおり、追加調査も同様の手法（せん断弾性波の地表から深部に向かう振幅の変化）で実施するが、新たな計測方法を適用することで精度は向上するものと考えられる。

また、岩石コアを用いた弾性波速度測定による減衰測定については、繰り返し三軸試験から得られる履歴減衰（材料減衰）との整合性を確認することから敷地内地盤での主要岩種を用いて室内岩石コア試験を実施する。

参考 1-2-1 表 追加調査の考え方

検討手法	これまでの 当社実施状況	追加調査の考え方	(参考) 実施サイト
ボーリング 孔内減衰測 定による 検討	実施 (敷地内 3 地点)	<ul style="list-style-type: none"> ・現時点のデータ (3 地点) に基づき、施設の固有振動数よりも高振動数側をターゲットとした評価ではあるが、地震観測記録による方法により評価した減衰定数の妥当性を補完・補強する位置づけで測定結果を確認している。 ・ただし、現時点において敷地内で得られているデータは中央、西側、東側地盤の各 1 地点ずつ計 3 地点のみであること、また、東側地盤においては、ばらつきの大きいデータとなっていることから、さらなる確度の向上のためにデータの拡充を行う。 ・現時点のデータ+拡充したデータに基づき、測定結果に見られる周波数依存特性の特徴を踏まえ、地震観測記録を用いた評価により評価される施設の固有振動数帯における減衰定数との関係性について考察を行う。 	玄海 3, 4 号 東海第二 大間
岩石コアを用いた減衰測定による確認	未実施	<ul style="list-style-type: none"> ・他サイト実績において、地震観測記録が得られていない深部における減衰定数を設定する上で、地震観測記録が得られている浅部との地下構造の相対関係の確認を目的として実施しているもの。 ・今回検討における減衰定数の評価範囲のうち、建屋基礎底面レベル～解放基盤表面の岩盤部分において、当社は地震観測記録を有しているほか、S 波検層によるデータを有し、更に、確度向上のためデータの拡充を行うこととしていることから、建屋基礎底面レベル～解放基盤表面の岩盤部分における減衰定数の設定に用いるデータは有していると考えられる。 ・ただし、本測定において得られる値の物理的な意味 (材料減衰を主として測定) を踏まえ、地震観測記録及びボーリング孔内減衰測定による検討により評価された減衰定数 (材料減衰と散乱減衰の両方が含まれる) との比較・分析を行うことで、敷地において確度の高い減衰定数を設定することが可能となるため、今回の追加調査において新たなデータの取得を実施する。 	玄海 3, 4 号

3. 実施計画

2. に示した追加調査項目に対する実施計画を以下に示す。

(1) ボーリング調査位置

ボーリング調査位置を参考 1-3-1 図に示す。

ボーリングの仕様は、孔径 86mm (コア径 60~65mm) のオールコアボーリングとし、地質観察により岩盤の種別判定等を適切に行うとともに、採取したコアから室内岩石試験に供する供試体を切り出すものとする。

当該地点は、建物・構築物が広範囲に拡がりを持って配置されるサイトであることを踏まえ、建屋の配置状況に基づき、既往のボーリング調査位置もあわせ、建物・構築物に対して、複数の調査結果を適用できるよう配慮して調査位置を選定する。

具体的には、既往のボーリング調査において、西側地盤、中央地盤、東側地盤の各 1 地点でデータを取得していることから、建屋の配置状況を踏まえて下記の追加調査孔を配置する。

西側地盤：既往 J-T 孔に加え、E 施設周辺 Gr を南北で挟み込むように、R5-Q5 を追加する。

中央地盤：中央地盤は南北に広く建物が分布していることから、GC 建屋群、GA 建屋群に R5-Q1, R5-Q11 を追加、AA 建屋群については、R5-Q2, R5-Q10 を追加、F 施設周辺 Gr には、既往の L-T 孔に加えて R5-Q9 を追加、敷地北側の AE 建屋近傍に R5-Q6 を追加する。

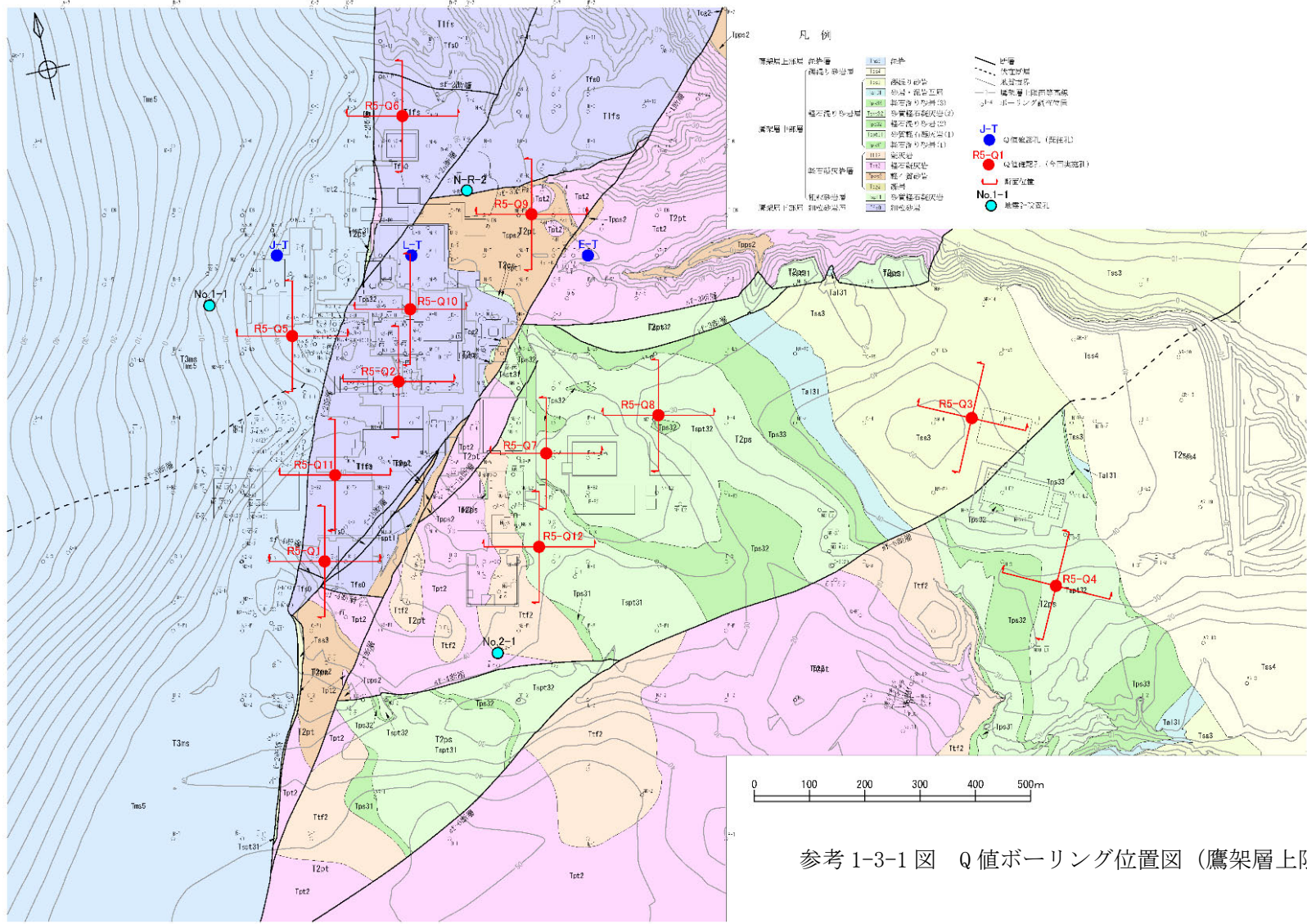
東側地盤：既往 E-T 孔は、建物から離れた位置で実施していること、また、東側地盤は南北に建物が分布していることから、R5-Q7 及び R5-Q12 を追加する。

さらに、敷地東側に新設建屋が設置される Gr がある (AZ 周辺及び G13 周辺) ことから、先の R5-Q7 に加えて、R5-Q8 を追加する。さらに、東側に離れた G14 については、建屋隅角部に出現する sf-6 断層 (面なし断層) の上盤、下盤それぞれ R5-Q3, R5-Q4 を追加する。

Q 値測定孔の敷地内での配置条件としては、弾性波測定であることから伝達速度に影響を与える建物・構築物からの離隔を十分に確保する。

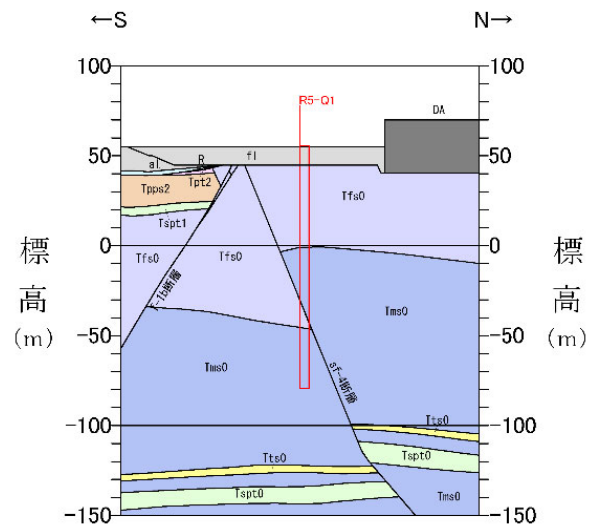
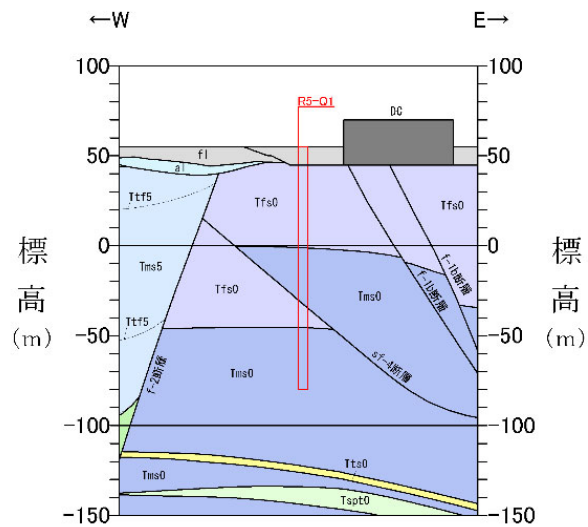
また、上記の Q 値測定孔の地質断面図を参考 1-3-2 図に示す。本検討においては、岩種ごとに減衰定数を区分することはしないが、弾性波速度の速度構造、減衰定数の変化については、岩種境界を配慮することも考える。

選定位置の状況を参考 1-3-3 図及び参考 1-3-1 表に示す。選定したボーリング孔から最寄り建屋までの離隔距離として最も短い R5-Q11 孔は 10m 程度であるが、震源をボーリング孔から建屋の反対方向 (北側) に設定することにより、建屋などの既設構造による反射波等の影響を受けることはない想定している。また、解析に使用する直達波以外の反射波等は時間的に直達波のあとから到達し、その特徴から直達波と分離、除去することが可能である。地表面が舗装されている箇所については、波形に影響がないことを事前に確認し、影響がある場合は舗装の撤去等処理を加えた状態で実施するものとする。

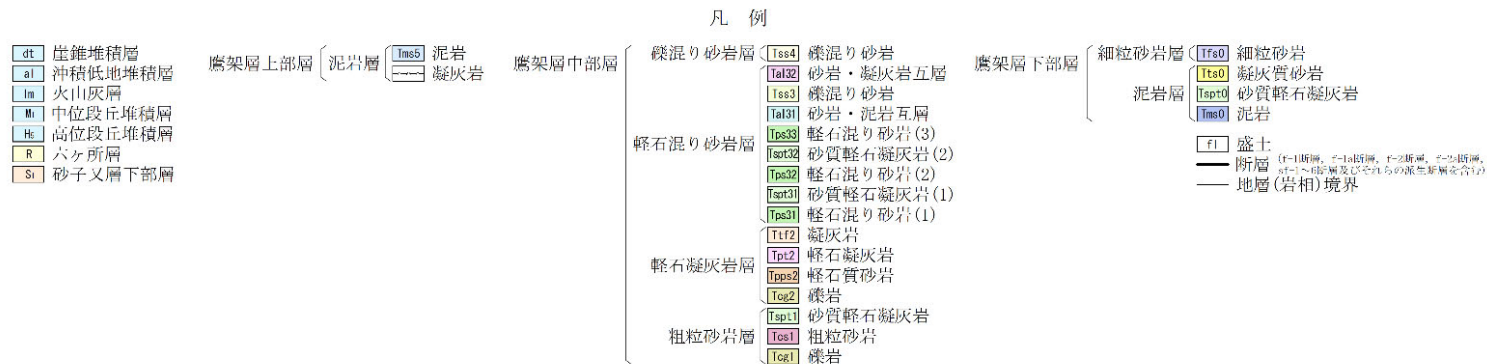


参考 1-3-1 図 Q 値ボーリング位置図（鷹架層上限面）

参考-5

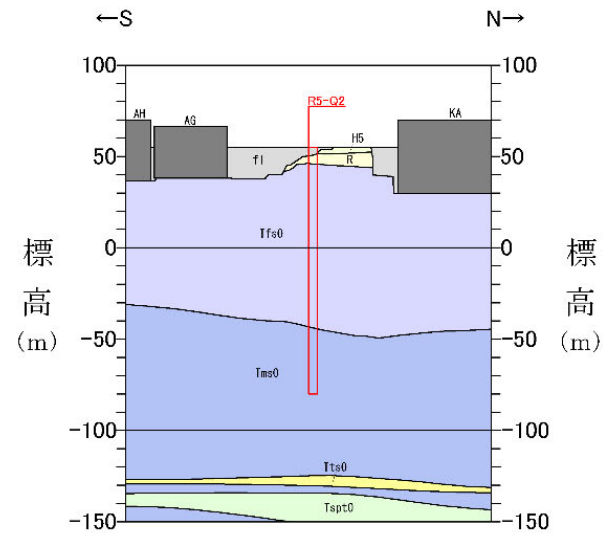
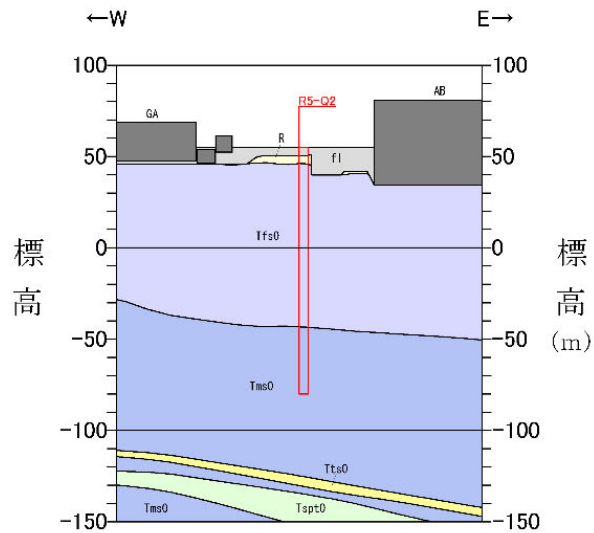


R5-Q1

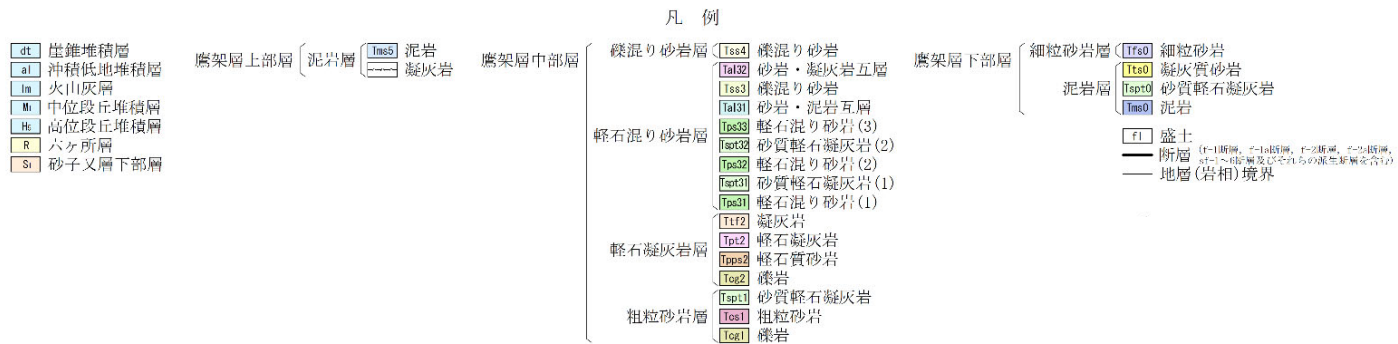


参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (1/12)

参考-6

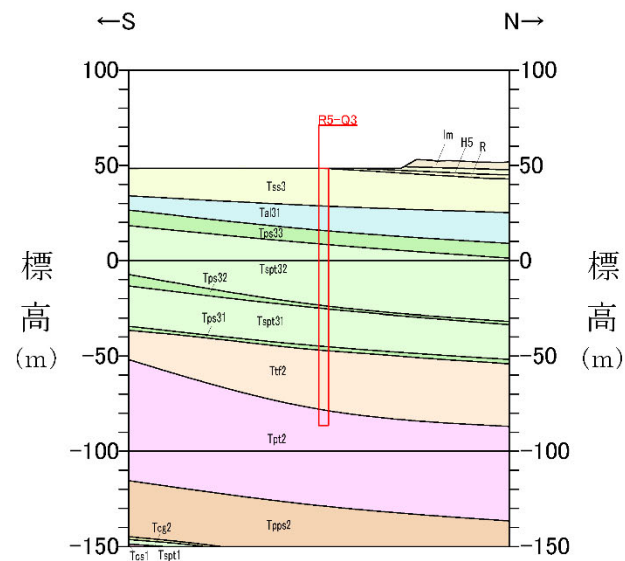
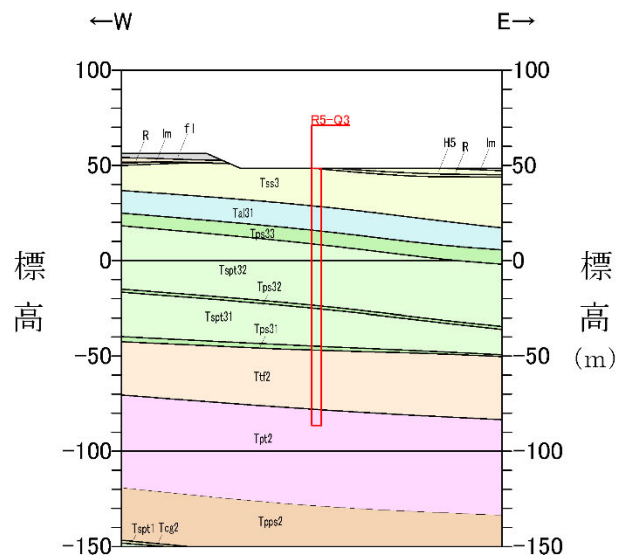


R5-Q2

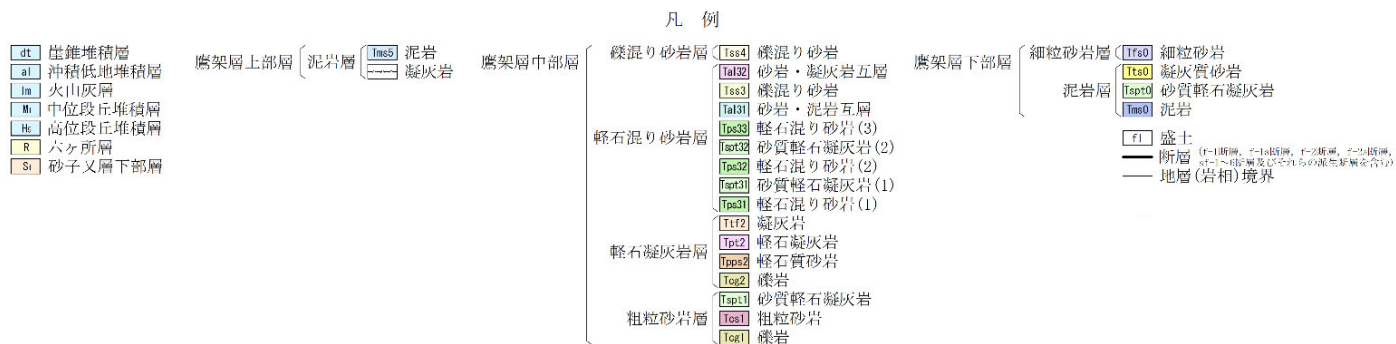


参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (2/12)

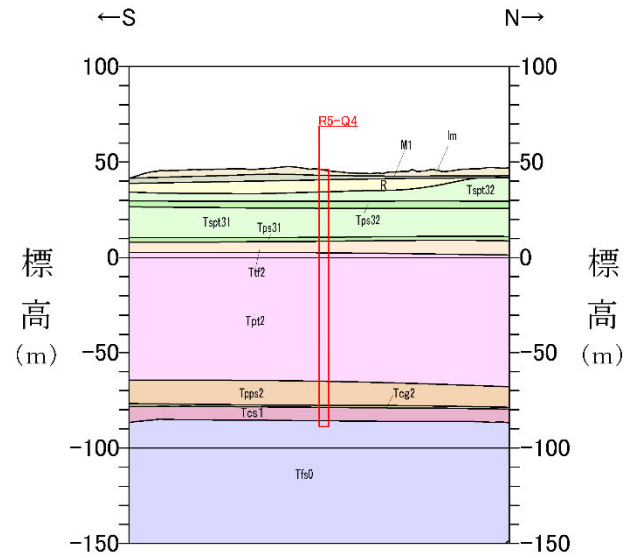
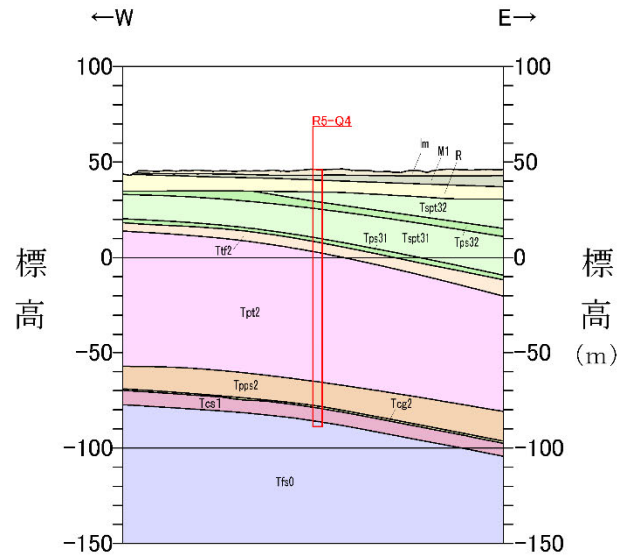
参考-7



R5-Q3



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (3/12)



R5-Q4

- dt 崖堆積層
- al 沖積低地堆積層
- lm 火山灰層
- M1 中位段丘堆積層
- He 高位段丘堆積層
- R 六ヶ所層
- Sr 砂子又層下部層

鷹架層上部層 (泥岩層 凝灰岩)

鷹架層中部層

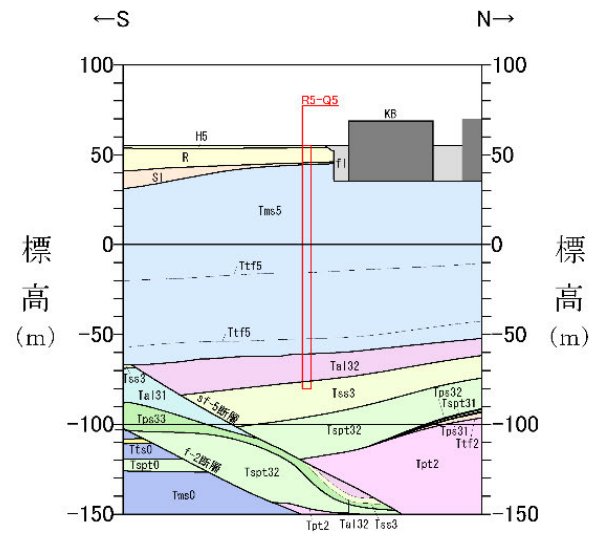
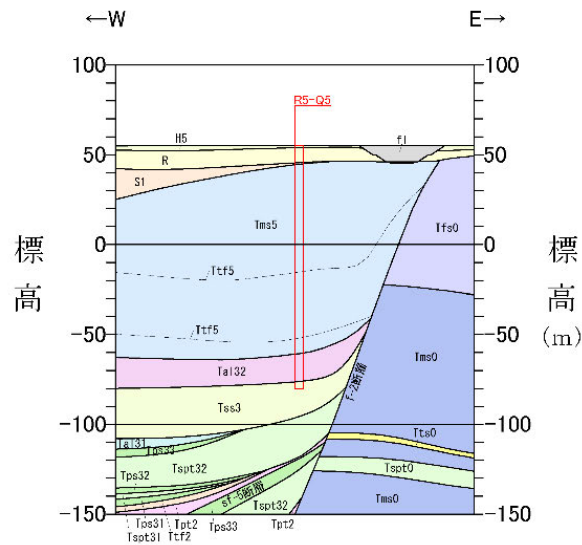
鷹架層下部層

- 礫混り砂岩層
 - Tss4 礫混り砂岩
 - Tal32 砂岩・凝灰岩互層
 - Tss3 礫混り砂岩
 - Tal31 砂岩・泥岩互層
 - Tps33 軽石混り砂岩(3)
 - Tps32 軽石混り砂岩(2)
 - Tspt31 砂質軽石凝灰岩(1)
 - Tps31 軽石混り砂岩(1)
- 軽石凝灰岩層
 - Tlf2 凝灰岩
 - Tpt2 軽石凝灰岩
 - Tpps2 軽石質砂岩
 - Tcg2 礫岩
- 粗粒砂岩層
 - Tsp11 砂質軽石凝灰岩
 - Tcs1 粗粒砂岩
 - Tcg1 礫岩

- 細粒砂岩層 (Tfs0) 細粒砂岩
- 泥岩層 (Tts0) 凝灰質砂岩
- (Tsp10) 砂質軽石凝灰岩
- (Tms0) 泥岩

- f1 盛土
- 断層 (F1断層, F2断層, F3断層, F4断層, F5断層, F6断層, F7断層, F8断層, F9断層, F10断層, F11断層, F12断層, F13断層, F14断層, F15断層, F16断層, F17断層, F18断層, F19断層, F20断層, F21断層, F22断層, F23断層, F24断層, F25断層, F26断層, F27断層, F28断層, F29断層, F30断層)
- 地層(岩相)境界

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (4/12)



R5-Q5

- dt 崖堆積層
- al 沖積低地堆積層
- lm 火山灰層
- ml 中位段丘堆積層
- hl 高位段丘堆積層
- R 六ヶ所層
- S1 砂子又層下部層

- 鷹架層上部層
 - 泥岩層
 - 泥岩
 - 凝灰岩

- 鷹架層中部層

- 礫混り砂岩層
 - Tss4 礫混り砂岩
 - Tal32 砂岩・凝灰岩互層
 - Tss3 礫混り砂岩
 - Tal31 砂岩・泥岩互層
 - Tps33 軽石混り砂岩(3)
 - Tspt32 砂質軽石凝灰岩(2)
 - Tps32 軽石混り砂岩(2)
 - Tal31 砂質軽石凝灰岩(1)
 - Tps31 軽石混り砂岩(1)
- 軽石混り砂岩層
 - Ttf2 凝灰岩
 - Tpt2 軽石凝灰岩
 - Tps2 軽石質砂岩
 - Tes2 礫岩
- 軽石凝灰岩層
 - Tspt1 砂質軽石凝灰岩
 - Tes1 粗粒砂岩
 - Tes1 礫岩

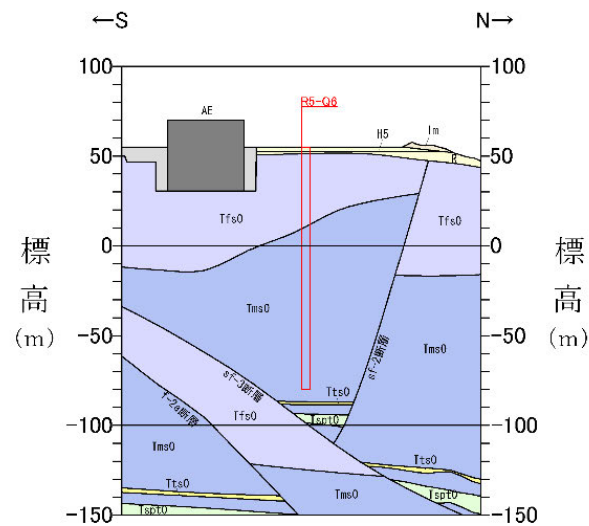
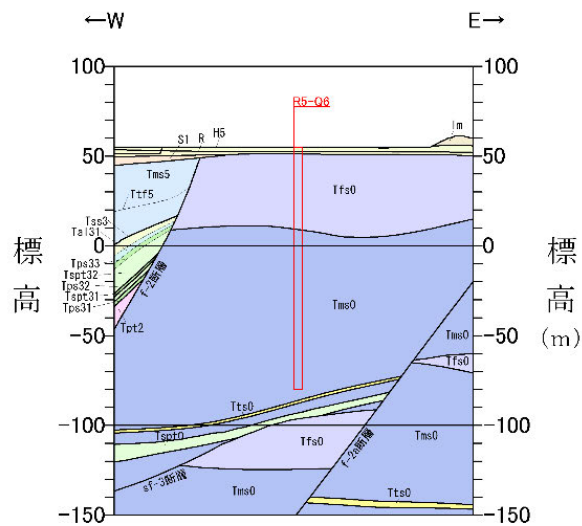
- 鷹架層下部層

- 細粒砂岩層
 - Tfs0 細粒砂岩
 - Tts0 凝灰質砂岩
 - Tspt0 砂質軽石凝灰岩
 - Tms0 泥岩

- f1 盛土

- 断層 (F-1断層, F-1a断層, F-2断層, F-2a断層, F-1~6断層及びそれらの派生断層を含む)
- 地層(岩相)境界

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (5/12)

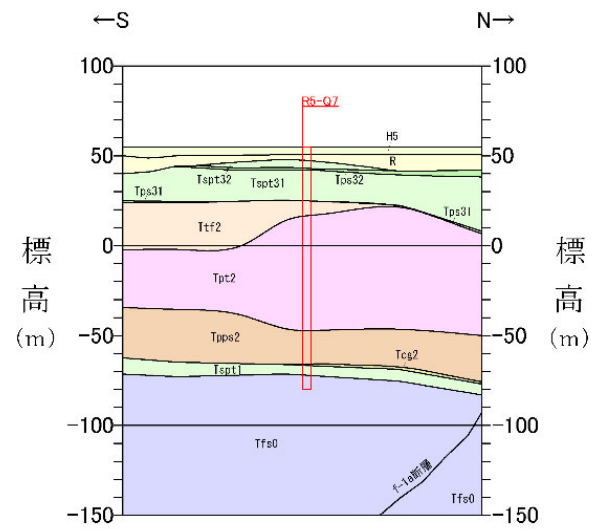
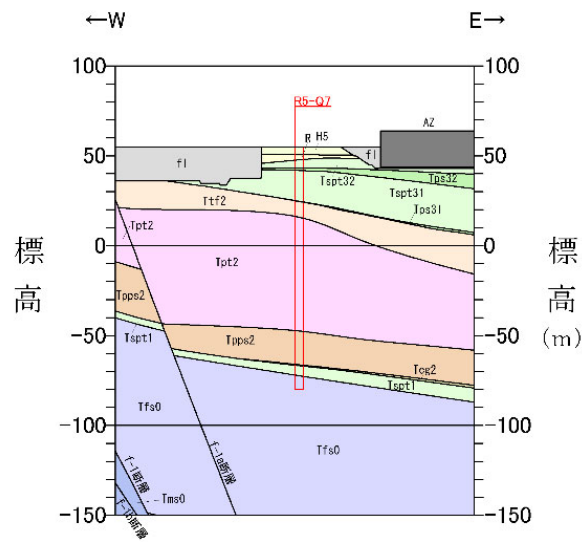


R5-Q6

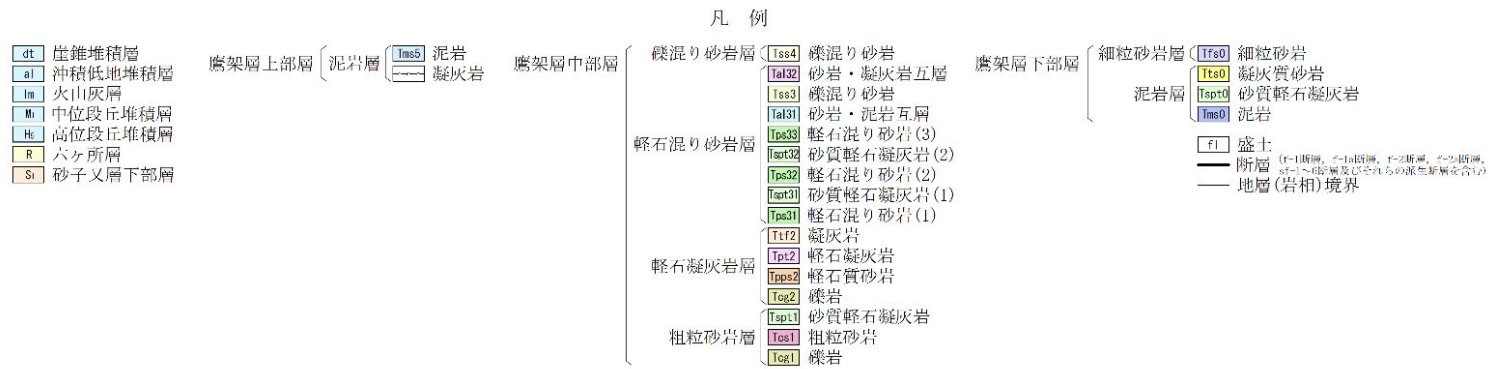
<table border="0"> <tr><td>dt</td><td>崖錐堆積層</td></tr> <tr><td>al</td><td>沖積低地堆積層</td></tr> <tr><td>lm</td><td>火山灰層</td></tr> <tr><td>M</td><td>中位段丘堆積層</td></tr> <tr><td>Hs</td><td>高位段丘堆積層</td></tr> <tr><td>R</td><td>六ヶ所層</td></tr> <tr><td>Sl</td><td>砂子又層下部層</td></tr> </table>	dt	崖錐堆積層	al	沖積低地堆積層	lm	火山灰層	M	中位段丘堆積層	Hs	高位段丘堆積層	R	六ヶ所層	Sl	砂子又層下部層	<table border="0"> <tr><td>泥岩層</td><td>泥岩</td><td>應架層上部層</td></tr> <tr><td>凝灰岩</td><td>凝灰岩</td><td>應架層中部層</td></tr> </table>	泥岩層	泥岩	應架層上部層	凝灰岩	凝灰岩	應架層中部層	<table border="0"> <tr><td>礫混り砂岩層</td><td>Tss4 礫混り砂岩</td><td>應架層下部層</td></tr> <tr><td></td><td>Tal32 砂岩・凝灰岩五層</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Tss3 礫混り砂岩</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Tal31 砂岩・泥岩互層</td><td></td></tr> <tr><td>軽石混り砂岩層</td><td>Tps33 軽石混り砂岩(3)</td><td>細粒砂岩層</td></tr> <tr><td></td><td>Tst32 砂質軽石凝灰岩(2)</td><td>Tfs0 細粒砂岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tps32 軽石混り砂岩(2)</td><td>Tts0 凝灰質砂岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tst31 砂質軽石凝灰岩(1)</td><td>Tsp0 砂質軽石凝灰岩</td></tr> <tr><td></td><td>Tps31 軽石混り砂岩(1)</td><td>Tms0 泥岩</td></tr> <tr><td></td><td>Ttf2 凝灰岩</td><td></td></tr> <tr><td>軽石凝灰岩層</td><td>Tpt2 軽石凝灰岩</td><td>f1 盛土</td></tr> <tr><td></td><td>Tps2 軽石質砂岩</td><td>断層 (F-1断層, F-2断層, F-3断層, F-4断層, F-5断層, F-6断層, F-7断層, F-8断層, F-9断層, F-10断層, F-11断層, F-12断層, F-13断層, F-14断層, F-15断層, F-16断層, F-17断層, F-18断層, F-19断層, F-20断層, F-21断層, F-22断層, F-23断層, F-24断層, F-25断層, F-26断層, F-27断層, F-28断層, F-29断層, F-30断層, F-31断層, F-32断層, F-33断層, F-34断層, F-35断層, F-36断層, F-37断層, F-38断層, F-39断層, F-40断層, F-41断層, F-42断層, F-43断層, F-44断層, F-45断層, F-46断層, F-47断層, F-48断層, F-49断層, F-50断層, F-51断層, F-52断層, F-53断層, F-54断層, F-55断層, F-56断層, F-57断層, F-58断層, F-59断層, F-60断層, F-61断層, F-62断層, F-63断層, F-64断層, F-65断層, F-66断層, F-67断層, F-68断層, F-69断層, F-70断層, F-71断層, F-72断層, F-73断層, F-74断層, F-75断層, F-76断層, F-77断層, F-78断層, F-79断層, F-80断層, F-81断層, F-82断層, F-83断層, F-84断層, F-85断層, F-86断層, F-87断層, F-88断層, F-89断層, F-90断層, F-91断層, F-92断層, F-93断層, F-94断層, F-95断層, F-96断層, F-97断層, F-98断層, F-99断層, F-100断層)</td></tr> <tr><td></td><td>Tog2 礫岩</td><td>地層(岩相)境界</td></tr> <tr><td>粗粒砂岩層</td><td>Tsp11 砂質軽石凝灰岩</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Tos1 粗粒砂岩</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Tos1 礫岩</td><td></td></tr> </table>	礫混り砂岩層	Tss4 礫混り砂岩	應架層下部層		Tal32 砂岩・凝灰岩五層			Tss3 礫混り砂岩			Tal31 砂岩・泥岩互層		軽石混り砂岩層	Tps33 軽石混り砂岩(3)	細粒砂岩層		Tst32 砂質軽石凝灰岩(2)	Tfs0 細粒砂岩		Tps32 軽石混り砂岩(2)	Tts0 凝灰質砂岩		Tst31 砂質軽石凝灰岩(1)	Tsp0 砂質軽石凝灰岩		Tps31 軽石混り砂岩(1)	Tms0 泥岩		Ttf2 凝灰岩		軽石凝灰岩層	Tpt2 軽石凝灰岩	f1 盛土		Tps2 軽石質砂岩	断層 (F-1断層, F-2断層, F-3断層, F-4断層, F-5断層, F-6断層, F-7断層, F-8断層, F-9断層, F-10断層, F-11断層, F-12断層, F-13断層, F-14断層, F-15断層, F-16断層, F-17断層, F-18断層, F-19断層, F-20断層, F-21断層, F-22断層, F-23断層, F-24断層, F-25断層, F-26断層, F-27断層, F-28断層, F-29断層, F-30断層, F-31断層, F-32断層, F-33断層, F-34断層, F-35断層, F-36断層, F-37断層, F-38断層, F-39断層, F-40断層, F-41断層, F-42断層, F-43断層, F-44断層, F-45断層, F-46断層, F-47断層, F-48断層, F-49断層, F-50断層, F-51断層, F-52断層, F-53断層, F-54断層, F-55断層, F-56断層, F-57断層, F-58断層, F-59断層, F-60断層, F-61断層, F-62断層, F-63断層, F-64断層, F-65断層, F-66断層, F-67断層, F-68断層, F-69断層, F-70断層, F-71断層, F-72断層, F-73断層, F-74断層, F-75断層, F-76断層, F-77断層, F-78断層, F-79断層, F-80断層, F-81断層, F-82断層, F-83断層, F-84断層, F-85断層, F-86断層, F-87断層, F-88断層, F-89断層, F-90断層, F-91断層, F-92断層, F-93断層, F-94断層, F-95断層, F-96断層, F-97断層, F-98断層, F-99断層, F-100断層)		Tog2 礫岩	地層(岩相)境界	粗粒砂岩層	Tsp11 砂質軽石凝灰岩			Tos1 粗粒砂岩			Tos1 礫岩	
dt	崖錐堆積層																																																																					
al	沖積低地堆積層																																																																					
lm	火山灰層																																																																					
M	中位段丘堆積層																																																																					
Hs	高位段丘堆積層																																																																					
R	六ヶ所層																																																																					
Sl	砂子又層下部層																																																																					
泥岩層	泥岩	應架層上部層																																																																				
凝灰岩	凝灰岩	應架層中部層																																																																				
礫混り砂岩層	Tss4 礫混り砂岩	應架層下部層																																																																				
	Tal32 砂岩・凝灰岩五層																																																																					
	Tss3 礫混り砂岩																																																																					
	Tal31 砂岩・泥岩互層																																																																					
軽石混り砂岩層	Tps33 軽石混り砂岩(3)	細粒砂岩層																																																																				
	Tst32 砂質軽石凝灰岩(2)	Tfs0 細粒砂岩																																																																				
	Tps32 軽石混り砂岩(2)	Tts0 凝灰質砂岩																																																																				
	Tst31 砂質軽石凝灰岩(1)	Tsp0 砂質軽石凝灰岩																																																																				
	Tps31 軽石混り砂岩(1)	Tms0 泥岩																																																																				
	Ttf2 凝灰岩																																																																					
軽石凝灰岩層	Tpt2 軽石凝灰岩	f1 盛土																																																																				
	Tps2 軽石質砂岩	断層 (F-1断層, F-2断層, F-3断層, F-4断層, F-5断層, F-6断層, F-7断層, F-8断層, F-9断層, F-10断層, F-11断層, F-12断層, F-13断層, F-14断層, F-15断層, F-16断層, F-17断層, F-18断層, F-19断層, F-20断層, F-21断層, F-22断層, F-23断層, F-24断層, F-25断層, F-26断層, F-27断層, F-28断層, F-29断層, F-30断層, F-31断層, F-32断層, F-33断層, F-34断層, F-35断層, F-36断層, F-37断層, F-38断層, F-39断層, F-40断層, F-41断層, F-42断層, F-43断層, F-44断層, F-45断層, F-46断層, F-47断層, F-48断層, F-49断層, F-50断層, F-51断層, F-52断層, F-53断層, F-54断層, F-55断層, F-56断層, F-57断層, F-58断層, F-59断層, F-60断層, F-61断層, F-62断層, F-63断層, F-64断層, F-65断層, F-66断層, F-67断層, F-68断層, F-69断層, F-70断層, F-71断層, F-72断層, F-73断層, F-74断層, F-75断層, F-76断層, F-77断層, F-78断層, F-79断層, F-80断層, F-81断層, F-82断層, F-83断層, F-84断層, F-85断層, F-86断層, F-87断層, F-88断層, F-89断層, F-90断層, F-91断層, F-92断層, F-93断層, F-94断層, F-95断層, F-96断層, F-97断層, F-98断層, F-99断層, F-100断層)																																																																				
	Tog2 礫岩	地層(岩相)境界																																																																				
粗粒砂岩層	Tsp11 砂質軽石凝灰岩																																																																					
	Tos1 粗粒砂岩																																																																					
	Tos1 礫岩																																																																					

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (6/12)

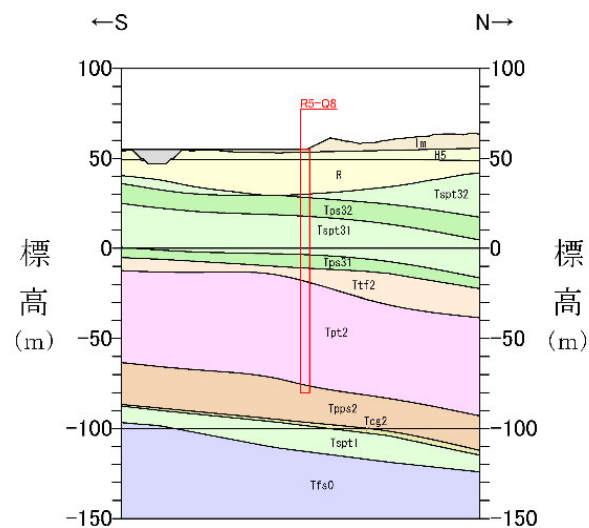
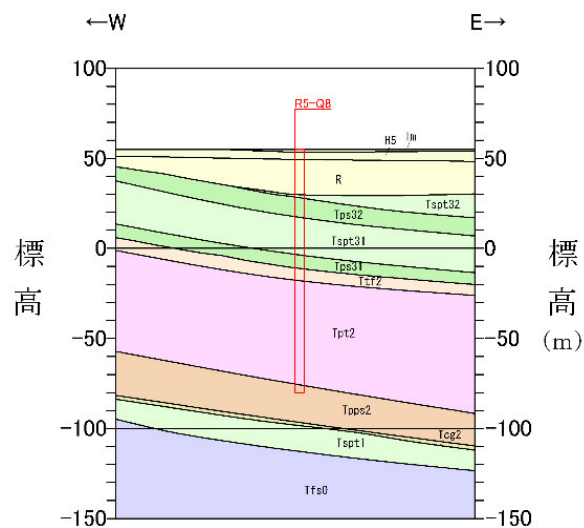
参考-11



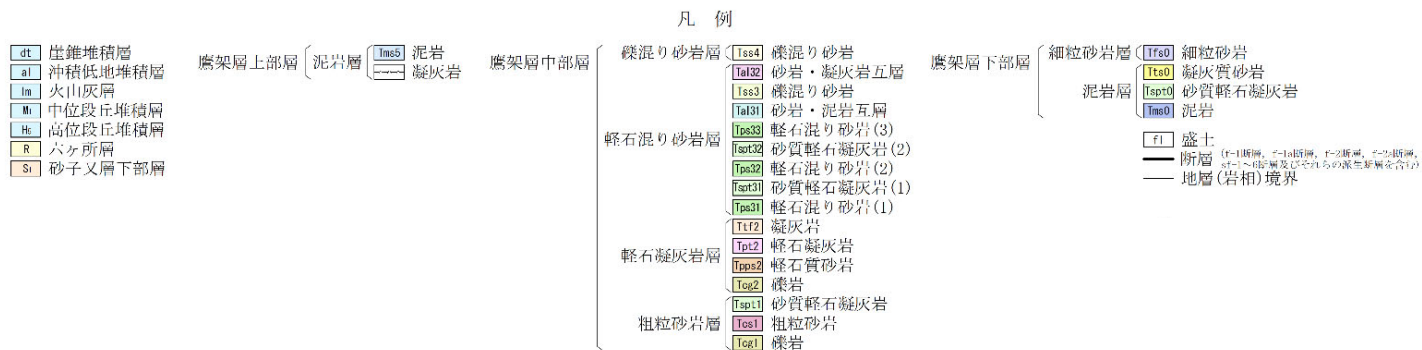
R5-Q7



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (7/12)

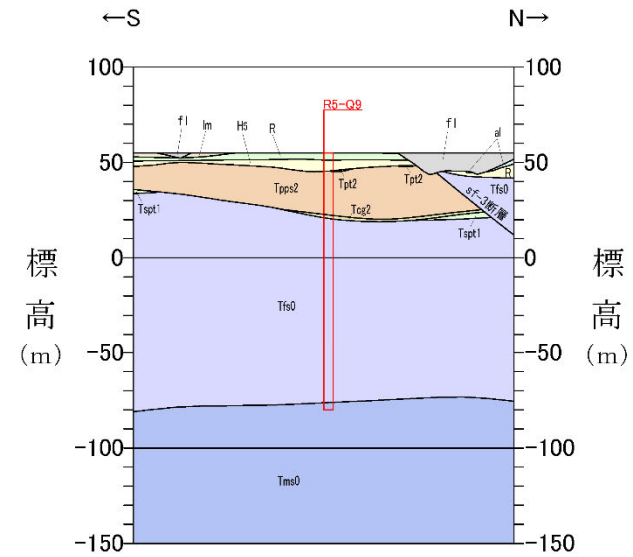
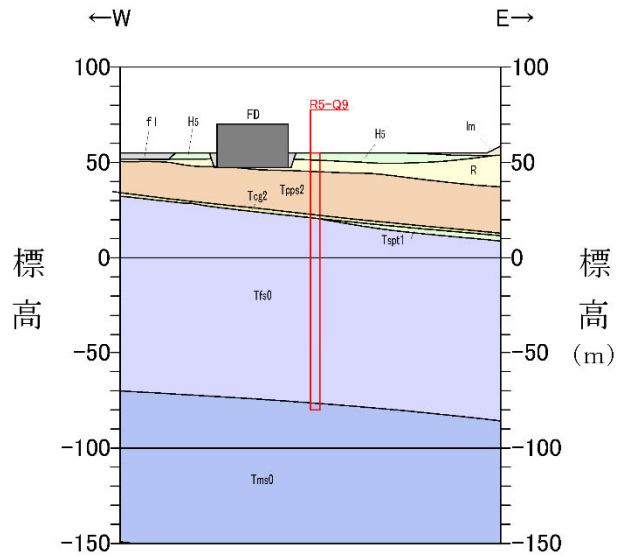


R5-Q8



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (8/12)

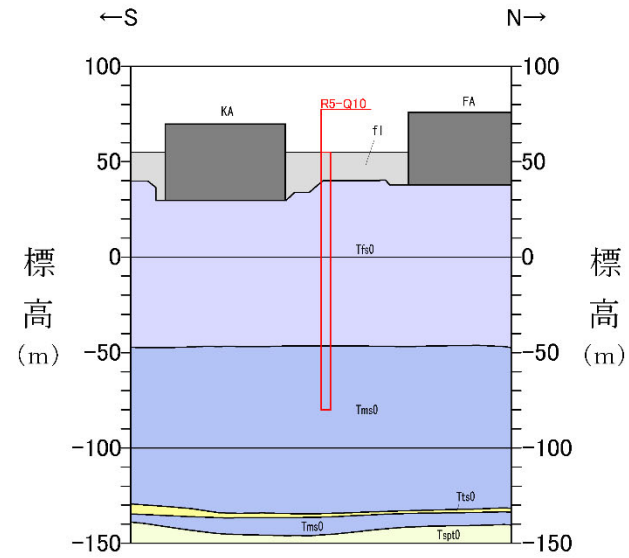
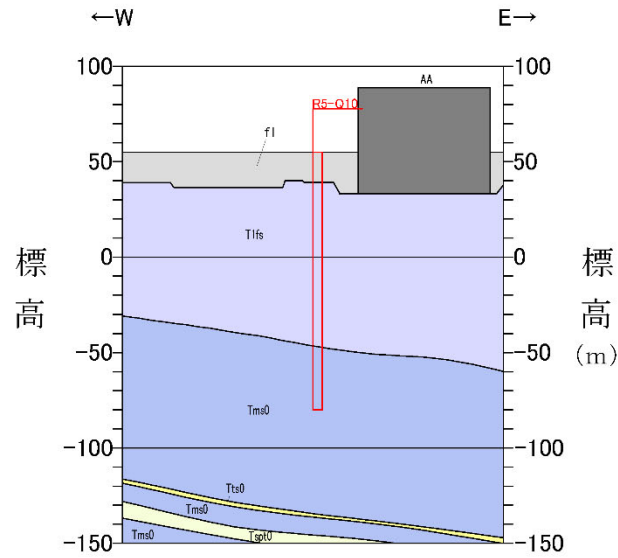
参考-13



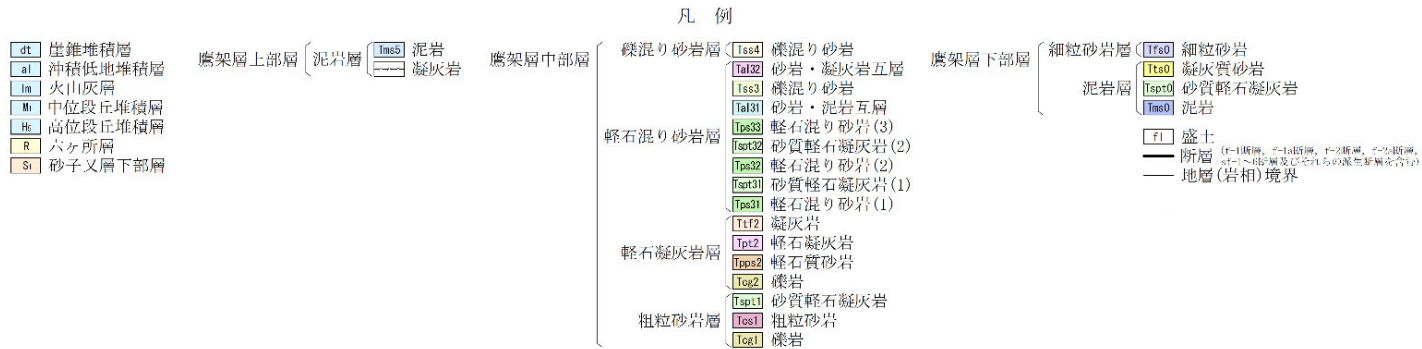
R5-Q9

<table border="0"> <tr> <td>dt</td><td>崖堆積層</td> </tr> <tr> <td>al</td><td>沖積低地堆積層</td> </tr> <tr> <td>lm</td><td>火山灰層</td> </tr> <tr> <td>Mi</td><td>中位段丘堆積層</td> </tr> <tr> <td>Hs</td><td>高位段丘堆積層</td> </tr> <tr> <td>R</td><td>六ヶ所層</td> </tr> <tr> <td>Si</td><td>砂子又層下部層</td> </tr> </table>		dt	崖堆積層	al	沖積低地堆積層	lm	火山灰層	Mi	中位段丘堆積層	Hs	高位段丘堆積層	R	六ヶ所層	Si	砂子又層下部層	<table border="0"> <tr> <td>鷹架層上部層</td><td>泥岩層</td><td>泥岩</td><td>鷹架層中部層</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td>凝灰岩</td><td></td> </tr> </table>	鷹架層上部層	泥岩層	泥岩	鷹架層中部層			凝灰岩		<table border="0"> <tr> <td>鷹架層下部層</td><td>細粒砂岩層</td><td>細粒砂岩</td> </tr> <tr> <td></td><td>泥岩層</td><td>凝灰質砂岩</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td>砂質軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td>泥岩</td> </tr> </table>	鷹架層下部層	細粒砂岩層	細粒砂岩		泥岩層	凝灰質砂岩			砂質軽石凝灰岩			泥岩																							
dt	崖堆積層																																																											
al	沖積低地堆積層																																																											
lm	火山灰層																																																											
Mi	中位段丘堆積層																																																											
Hs	高位段丘堆積層																																																											
R	六ヶ所層																																																											
Si	砂子又層下部層																																																											
鷹架層上部層	泥岩層	泥岩	鷹架層中部層																																																									
		凝灰岩																																																										
鷹架層下部層	細粒砂岩層	細粒砂岩																																																										
	泥岩層	凝灰質砂岩																																																										
		砂質軽石凝灰岩																																																										
		泥岩																																																										
<table border="0"> <tr> <td>凡例</td> <td> <table border="0"> <tr> <td>縹混り砂岩層</td> <td>Tss4</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal32</td> <td>砂岩・凝灰岩互層</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tss3</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal31</td> <td>砂岩・泥岩互層</td> </tr> <tr> <td>軽石混り砂岩層</td> <td>Tps33</td> <td>軽石混り砂岩(3)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt32</td> <td>砂質軽石凝灰岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps32</td> <td>軽石混り砂岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt31</td> <td>砂質軽石凝灰岩(1)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps31</td> <td>軽石混り砂岩(1)</td> </tr> <tr> <td>軽石凝灰岩層</td> <td>Tltf2</td> <td>凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpt2</td> <td>軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpps2</td> <td>軽石質砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog2</td> <td>礫岩</td> </tr> <tr> <td>粗粒砂岩層</td> <td>Tspt1</td> <td>砂質軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tos1</td> <td>粗粒砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog1</td> <td>礫岩</td> </tr> </table> </td> <td> <table border="0"> <tr> <td>盛土</td> <td>f1</td> </tr> <tr> <td>断層</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>地層(岩相)境界</td> <td>—</td> </tr> </table> <p><small>(f1)断層、(f1a)断層、(f1b)断層、(f1c)断層、(f1d)断層、(f1e)断層及びそれらの派生断層を含む。</small></p> </td> </tr> </table>				凡例	<table border="0"> <tr> <td>縹混り砂岩層</td> <td>Tss4</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal32</td> <td>砂岩・凝灰岩互層</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tss3</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal31</td> <td>砂岩・泥岩互層</td> </tr> <tr> <td>軽石混り砂岩層</td> <td>Tps33</td> <td>軽石混り砂岩(3)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt32</td> <td>砂質軽石凝灰岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps32</td> <td>軽石混り砂岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt31</td> <td>砂質軽石凝灰岩(1)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps31</td> <td>軽石混り砂岩(1)</td> </tr> <tr> <td>軽石凝灰岩層</td> <td>Tltf2</td> <td>凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpt2</td> <td>軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpps2</td> <td>軽石質砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog2</td> <td>礫岩</td> </tr> <tr> <td>粗粒砂岩層</td> <td>Tspt1</td> <td>砂質軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tos1</td> <td>粗粒砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog1</td> <td>礫岩</td> </tr> </table>	縹混り砂岩層	Tss4	縹混り砂岩		Tal32	砂岩・凝灰岩互層		Tss3	縹混り砂岩		Tal31	砂岩・泥岩互層	軽石混り砂岩層	Tps33	軽石混り砂岩(3)		Tsrt32	砂質軽石凝灰岩(2)		Tps32	軽石混り砂岩(2)		Tsrt31	砂質軽石凝灰岩(1)		Tps31	軽石混り砂岩(1)	軽石凝灰岩層	Tltf2	凝灰岩		Tpt2	軽石凝灰岩		Tpps2	軽石質砂岩		Tog2	礫岩	粗粒砂岩層	Tspt1	砂質軽石凝灰岩		Tos1	粗粒砂岩		Tog1	礫岩	<table border="0"> <tr> <td>盛土</td> <td>f1</td> </tr> <tr> <td>断層</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>地層(岩相)境界</td> <td>—</td> </tr> </table> <p><small>(f1)断層、(f1a)断層、(f1b)断層、(f1c)断層、(f1d)断層、(f1e)断層及びそれらの派生断層を含む。</small></p>	盛土	f1	断層	—	地層(岩相)境界	—
凡例	<table border="0"> <tr> <td>縹混り砂岩層</td> <td>Tss4</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal32</td> <td>砂岩・凝灰岩互層</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tss3</td> <td>縹混り砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tal31</td> <td>砂岩・泥岩互層</td> </tr> <tr> <td>軽石混り砂岩層</td> <td>Tps33</td> <td>軽石混り砂岩(3)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt32</td> <td>砂質軽石凝灰岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps32</td> <td>軽石混り砂岩(2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tsrt31</td> <td>砂質軽石凝灰岩(1)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tps31</td> <td>軽石混り砂岩(1)</td> </tr> <tr> <td>軽石凝灰岩層</td> <td>Tltf2</td> <td>凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpt2</td> <td>軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tpps2</td> <td>軽石質砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog2</td> <td>礫岩</td> </tr> <tr> <td>粗粒砂岩層</td> <td>Tspt1</td> <td>砂質軽石凝灰岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tos1</td> <td>粗粒砂岩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tog1</td> <td>礫岩</td> </tr> </table>	縹混り砂岩層	Tss4	縹混り砂岩		Tal32	砂岩・凝灰岩互層		Tss3	縹混り砂岩		Tal31	砂岩・泥岩互層	軽石混り砂岩層	Tps33	軽石混り砂岩(3)		Tsrt32	砂質軽石凝灰岩(2)		Tps32	軽石混り砂岩(2)		Tsrt31	砂質軽石凝灰岩(1)		Tps31	軽石混り砂岩(1)	軽石凝灰岩層	Tltf2	凝灰岩		Tpt2	軽石凝灰岩		Tpps2	軽石質砂岩		Tog2	礫岩	粗粒砂岩層	Tspt1	砂質軽石凝灰岩		Tos1	粗粒砂岩		Tog1	礫岩	<table border="0"> <tr> <td>盛土</td> <td>f1</td> </tr> <tr> <td>断層</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>地層(岩相)境界</td> <td>—</td> </tr> </table> <p><small>(f1)断層、(f1a)断層、(f1b)断層、(f1c)断層、(f1d)断層、(f1e)断層及びそれらの派生断層を含む。</small></p>	盛土	f1	断層	—	地層(岩相)境界	—				
縹混り砂岩層	Tss4	縹混り砂岩																																																										
	Tal32	砂岩・凝灰岩互層																																																										
	Tss3	縹混り砂岩																																																										
	Tal31	砂岩・泥岩互層																																																										
軽石混り砂岩層	Tps33	軽石混り砂岩(3)																																																										
	Tsrt32	砂質軽石凝灰岩(2)																																																										
	Tps32	軽石混り砂岩(2)																																																										
	Tsrt31	砂質軽石凝灰岩(1)																																																										
	Tps31	軽石混り砂岩(1)																																																										
軽石凝灰岩層	Tltf2	凝灰岩																																																										
	Tpt2	軽石凝灰岩																																																										
	Tpps2	軽石質砂岩																																																										
	Tog2	礫岩																																																										
粗粒砂岩層	Tspt1	砂質軽石凝灰岩																																																										
	Tos1	粗粒砂岩																																																										
	Tog1	礫岩																																																										
盛土	f1																																																											
断層	—																																																											
地層(岩相)境界	—																																																											

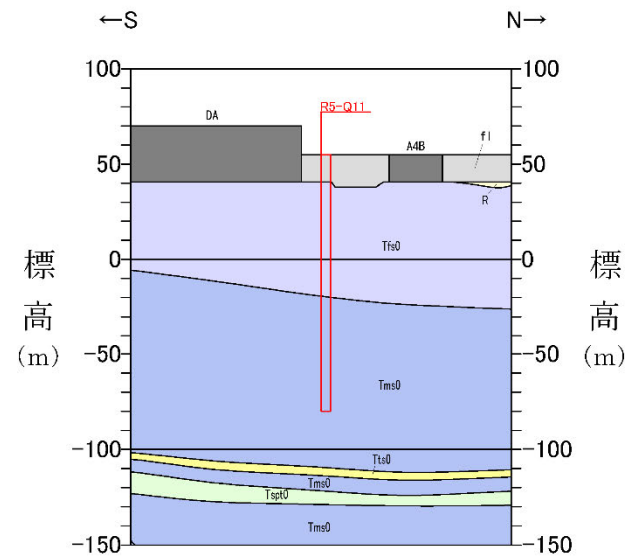
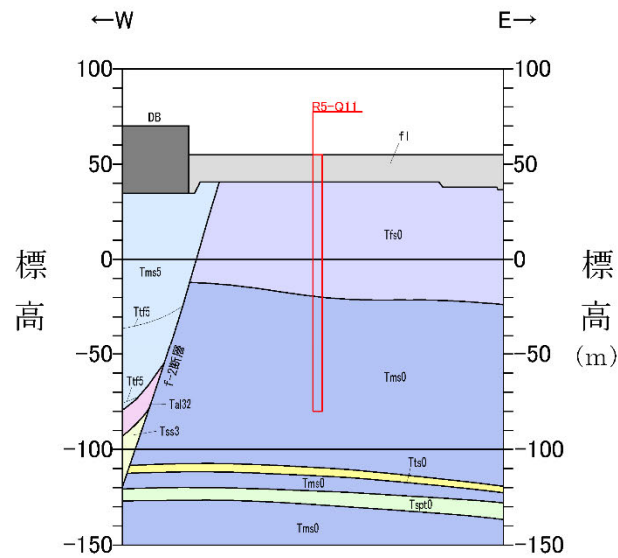
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (9/12)



R5-Q10



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (10/12)



R5-Q11

- dL 崖錐堆積層
- al 沖積低地堆積層
- lm 火山灰層
- Mi 中位段丘堆積層
- Hc 高位段丘堆積層
- R 六ヶ所層
- Si 砂子叉層下部層

- 鷹架層上部層
 - 泥岩層 (Tms0) 泥岩
 - 凝灰岩

- 鷹架層中部層

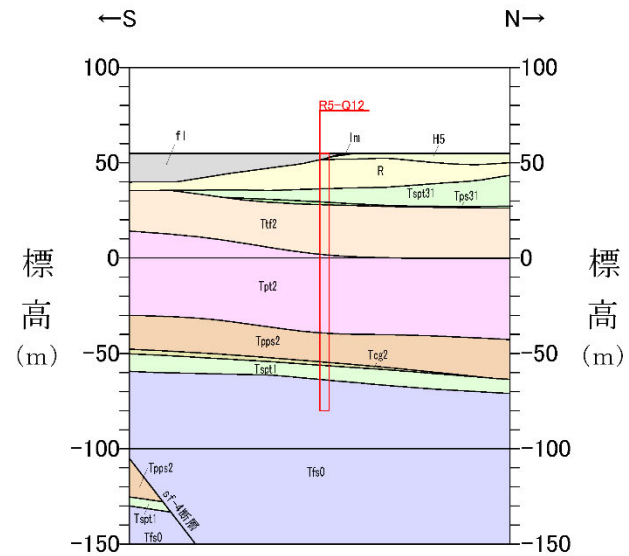
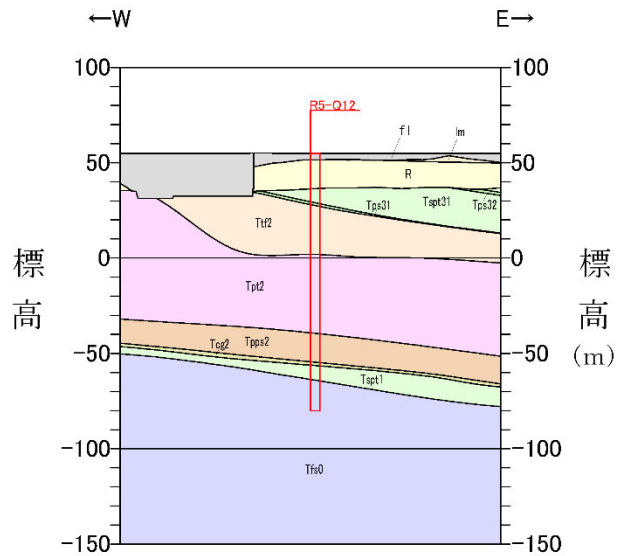
- 鷹架層下部層
 - 細粒砂岩層 (Tfs0) 細粒砂岩
 - 凝灰質砂岩 (Tts0)
 - 砂質軽石凝灰岩 (Tsp0)
 - 泥岩 (Tms0)

凡例

- 鉄混り砂岩層
 - Tts4 鉄混り砂岩
 - Tal32 砂岩・凝灰岩互層
 - Tts3 鉄混り砂岩
 - Tal31 砂岩・泥岩互層
 - Tps33 軽石混り砂岩(3)
 - Tsp32 砂質軽石凝灰岩(2)
 - Tps32 軽石混り砂岩(2)
 - Tps31 砂質軽石凝灰岩(1)
 - Tps31 軽石混り砂岩(1)
- 軽石混り砂岩層
 - Tts2 凝灰岩
 - Tps2 軽石凝灰岩
 - Tps2 軽石質砂岩
 - Tps2 凝灰岩
 - Tps1 砂質軽石凝灰岩
- 軽石凝灰岩層
 - Tps1 粗粒砂岩
 - Tps1 凝灰岩
- 粗粒砂岩層
 - Tps1 粗粒砂岩
 - Tps1 凝灰岩

- fi 盛土
- 断層
- 地層(岩相)境界

参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (11/12)

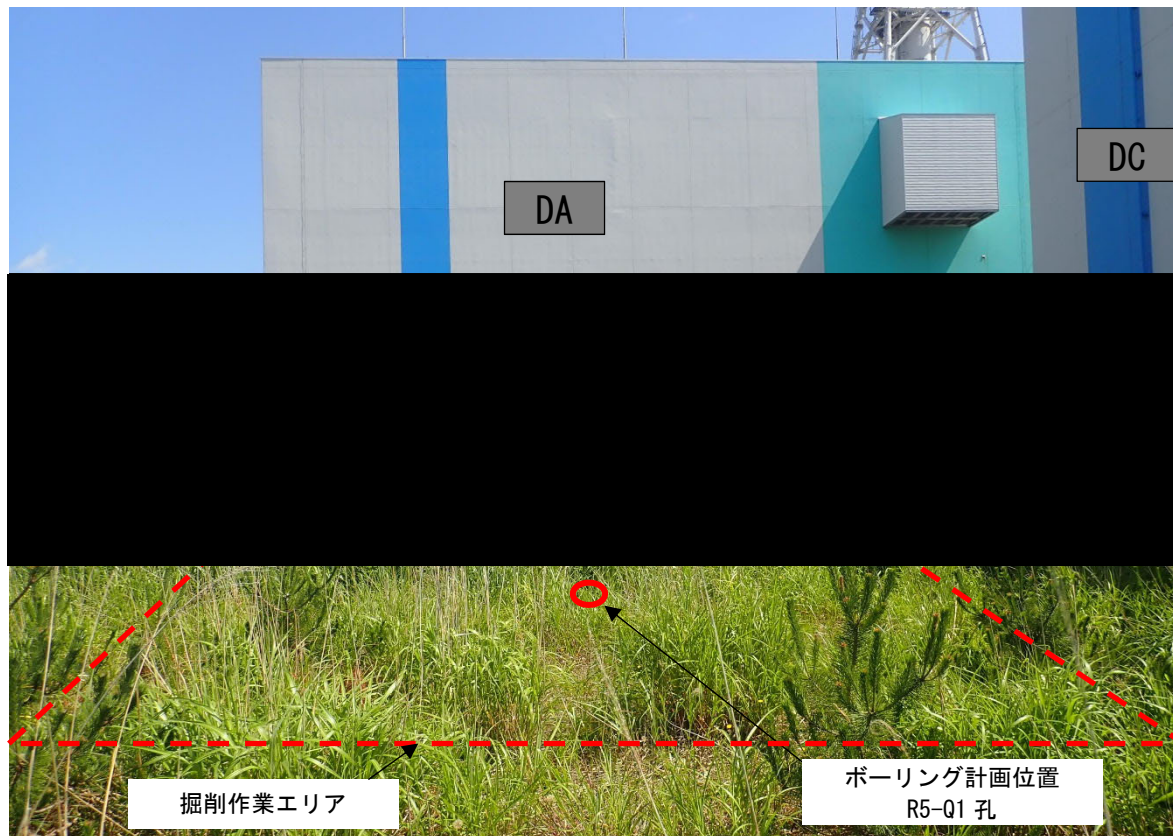
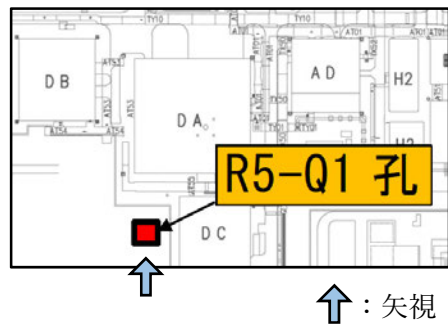


R5-Q12

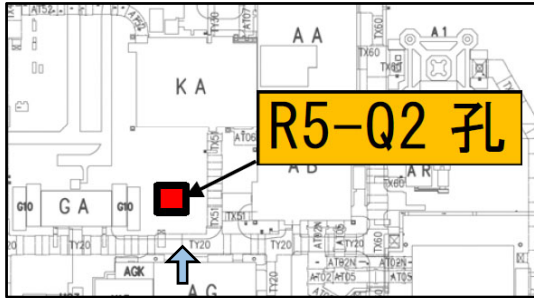
凡 例

<ul style="list-style-type: none"> dL 崖錐堆積層 al 沖積低地堆積層 lm 火山灰層 Mi 中位段丘堆積層 Hc 高位段丘堆積層 R 六ヶ所層 Si 砂子叉層下部層 	<ul style="list-style-type: none"> 鷹架層上部層 泥岩層 凝灰岩 	<ul style="list-style-type: none"> 鷹架層中部層 	<ul style="list-style-type: none"> 凝混り砂岩層 軽石混り砂岩層 軽石凝灰岩層 粗粒砂岩層 	<ul style="list-style-type: none"> Tfs4 凝混り砂岩 Tfs32 砂岩・凝灰岩互層 Tfs33 凝混り砂岩 Tfs31 砂岩・泥岩互層 Tps33 軽石混り砂岩(3) Tspt32 砂質軽石凝灰岩(2) Tps32 軽石混り砂岩(2) Tfs31 砂質軽石凝灰岩(1) Tps31 軽石混り砂岩(1) Ttf2 凝灰岩 Tpt2 軽石凝灰岩 Tpp2 軽石質砂岩 Tcg2 凝灰岩 Tspt1 砂質軽石凝灰岩 Tos1 粗粒砂岩 Tos1 凝灰岩 	<ul style="list-style-type: none"> 鷹架層下部層 細粒砂岩層 泥岩層 	<ul style="list-style-type: none"> Tfs0 細粒砂岩 Tfs0 凝灰質砂岩 Tspt0 砂質軽石凝灰岩 Tfs0 泥岩 	<ul style="list-style-type: none"> fl 盛土 断層 (F-F断層, 1-1断層, 2-1断層, 2-2断層, 2-3断層, 2-4断層, 2-5断層, 2-6断層, 2-7断層, 2-8断層, 2-9断層, 2-10断層, 2-11断層, 2-12断層, 2-13断層, 2-14断層, 2-15断層, 2-16断層, 2-17断層, 2-18断層, 2-19断層, 2-20断層, 2-21断層, 2-22断層, 2-23断層, 2-24断層, 2-25断層, 2-26断層, 2-27断層, 2-28断層, 2-29断層, 2-30断層, 2-31断層, 2-32断層, 2-33断層, 2-34断層, 2-35断層, 2-36断層, 2-37断層, 2-38断層, 2-39断層, 2-40断層, 2-41断層, 2-42断層, 2-43断層, 2-44断層, 2-45断層, 2-46断層, 2-47断層, 2-48断層, 2-49断層, 2-50断層, 2-51断層, 2-52断層, 2-53断層, 2-54断層, 2-55断層, 2-56断層, 2-57断層, 2-58断層, 2-59断層, 2-60断層, 2-61断層, 2-62断層, 2-63断層, 2-64断層, 2-65断層, 2-66断層, 2-67断層, 2-68断層, 2-69断層, 2-70断層, 2-71断層, 2-72断層, 2-73断層, 2-74断層, 2-75断層, 2-76断層, 2-77断層, 2-78断層, 2-79断層, 2-80断層, 2-81断層, 2-82断層, 2-83断層, 2-84断層, 2-85断層, 2-86断層, 2-87断層, 2-88断層, 2-89断層, 2-90断層, 2-91断層, 2-92断層, 2-93断層, 2-94断層, 2-95断層, 2-96断層, 2-97断層, 2-98断層, 2-99断層, 2-100断層) 地層(岩相)境界
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

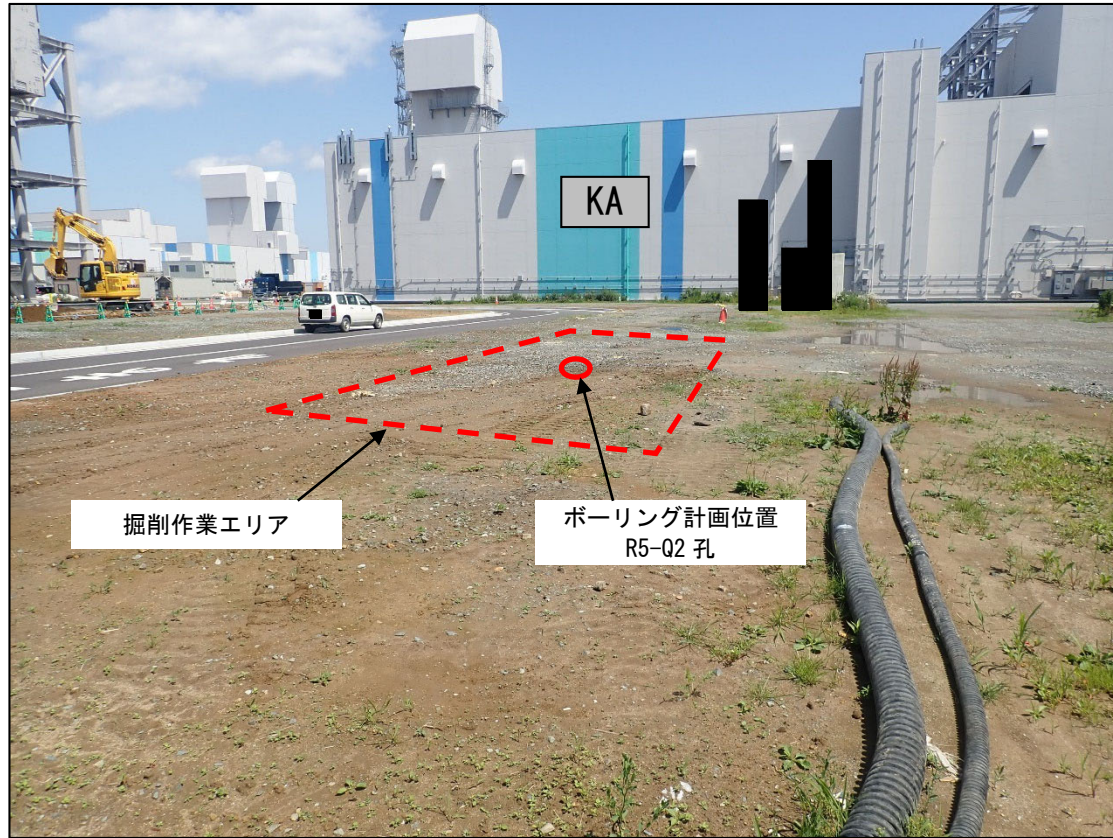
参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (12/12)



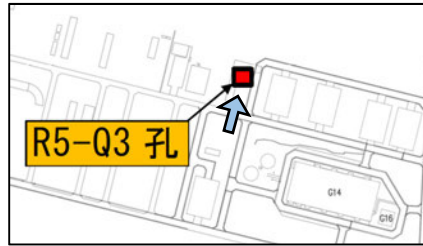
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (1/12)



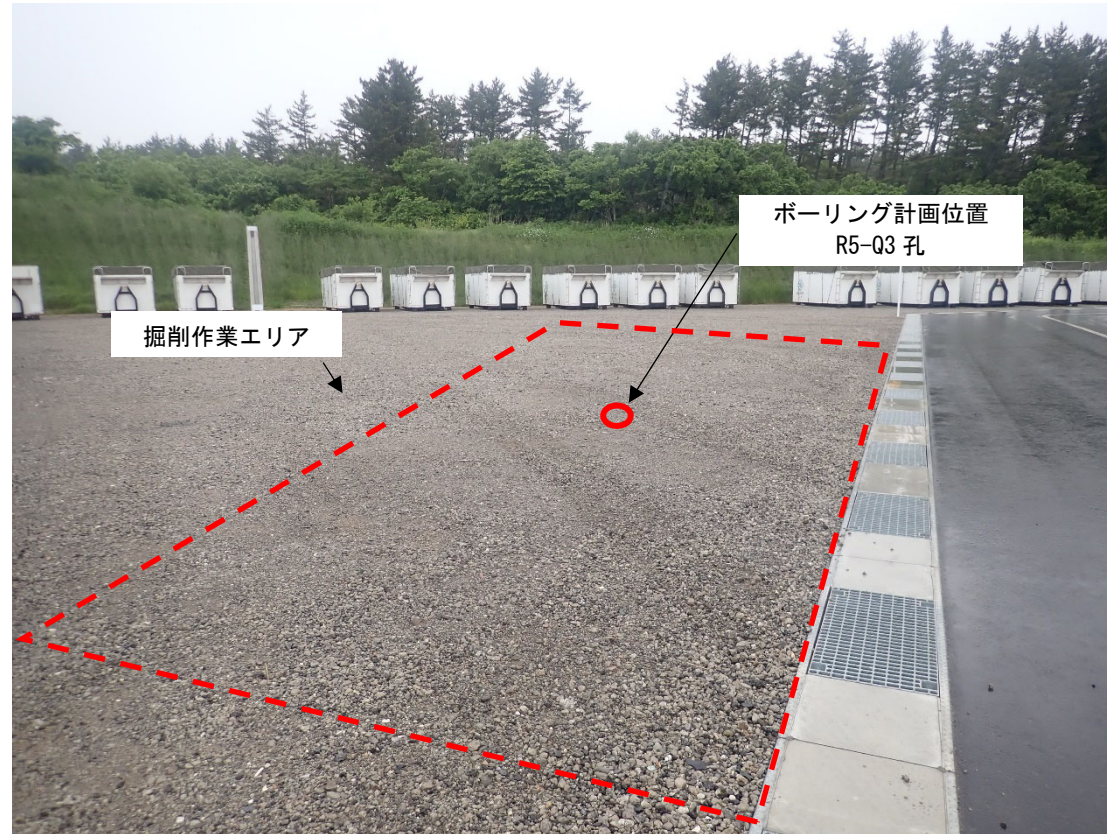
↑ : 矢視



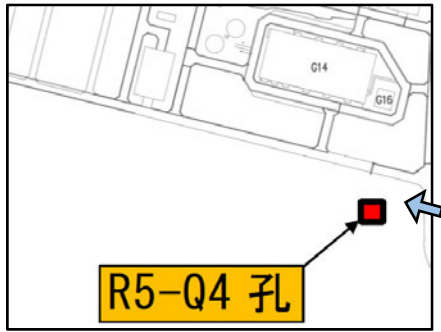
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (2/12)



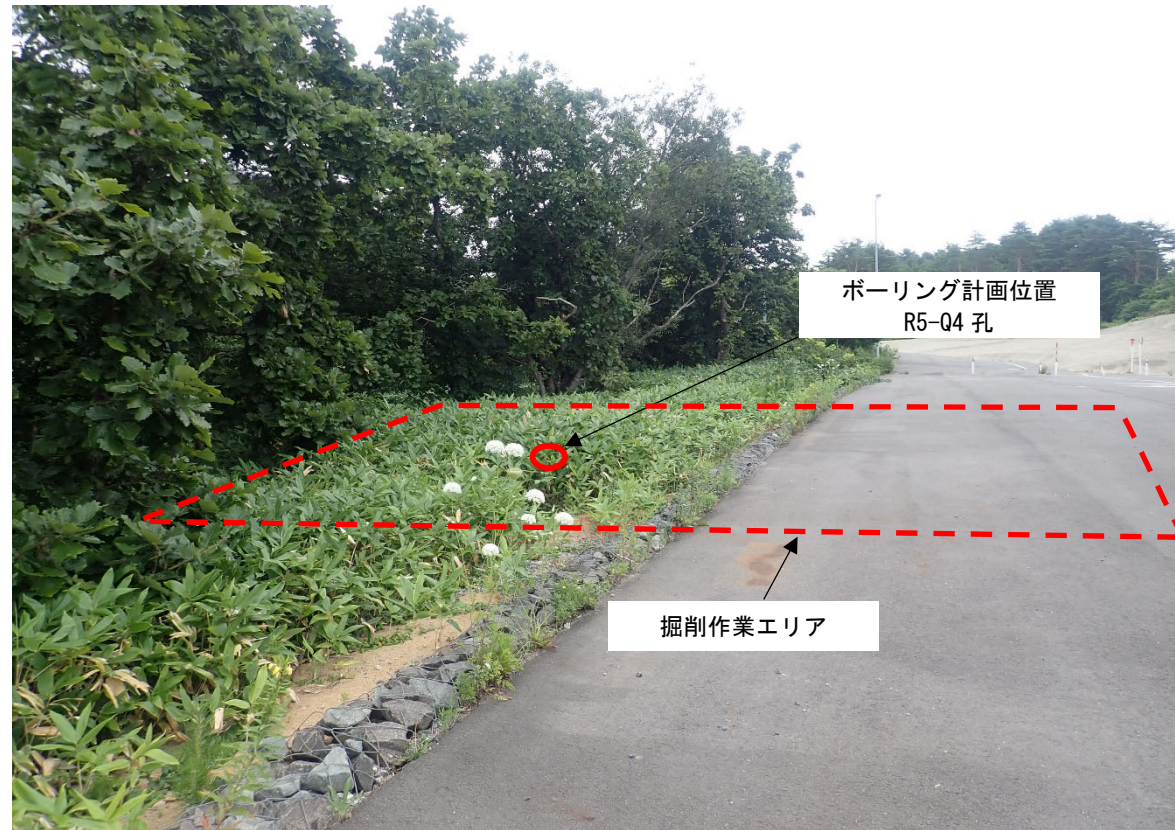
↑：矢視



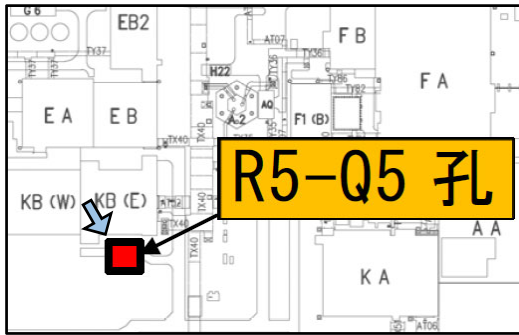
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (3/12)



↑：矢視



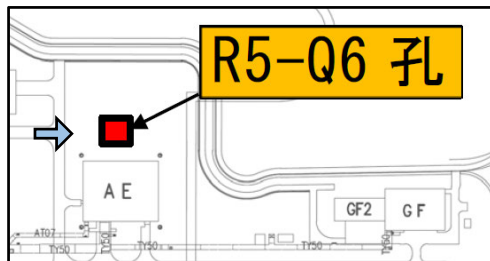
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (4/12)



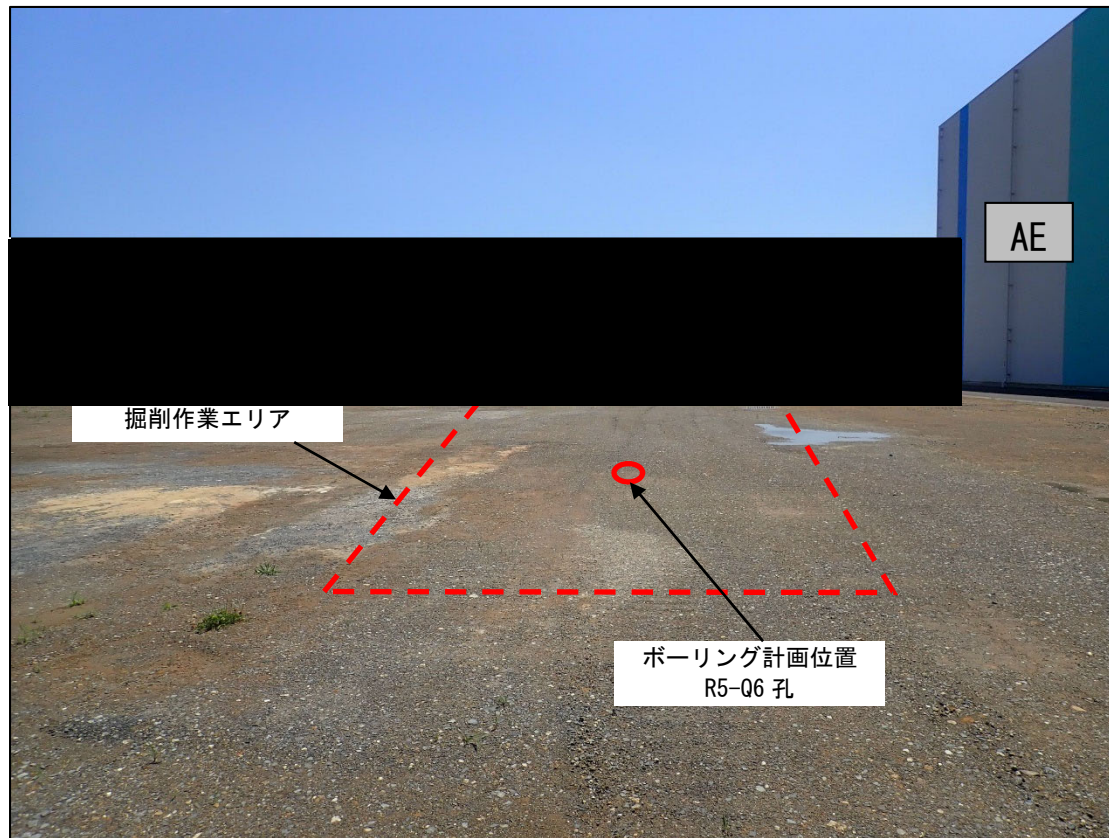
↑ : 矢視



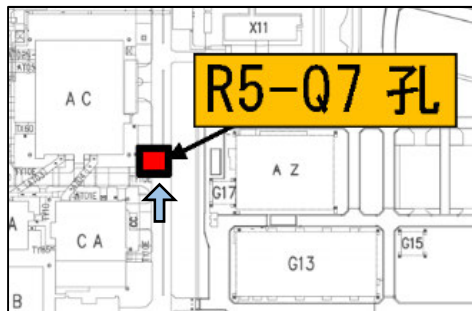
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (5/12)



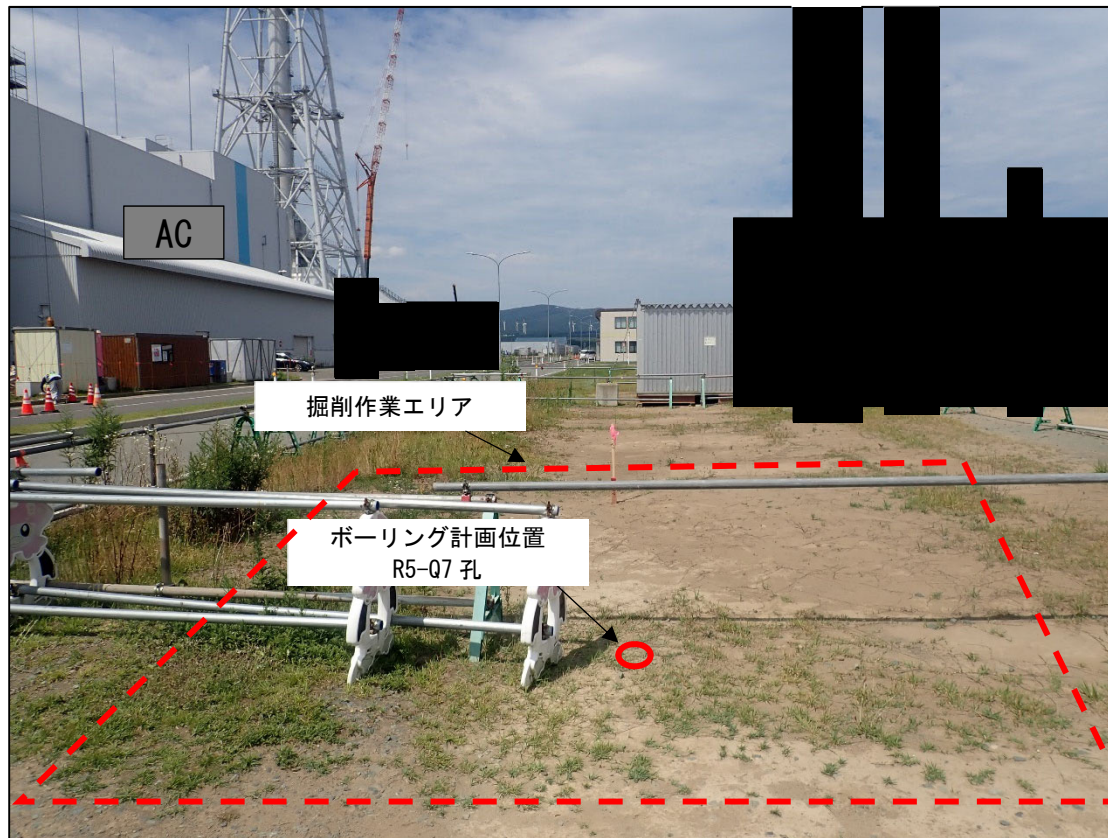
↑ : 矢視



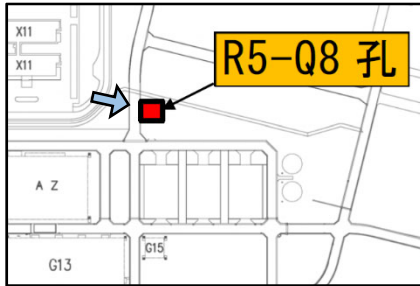
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (6/12)



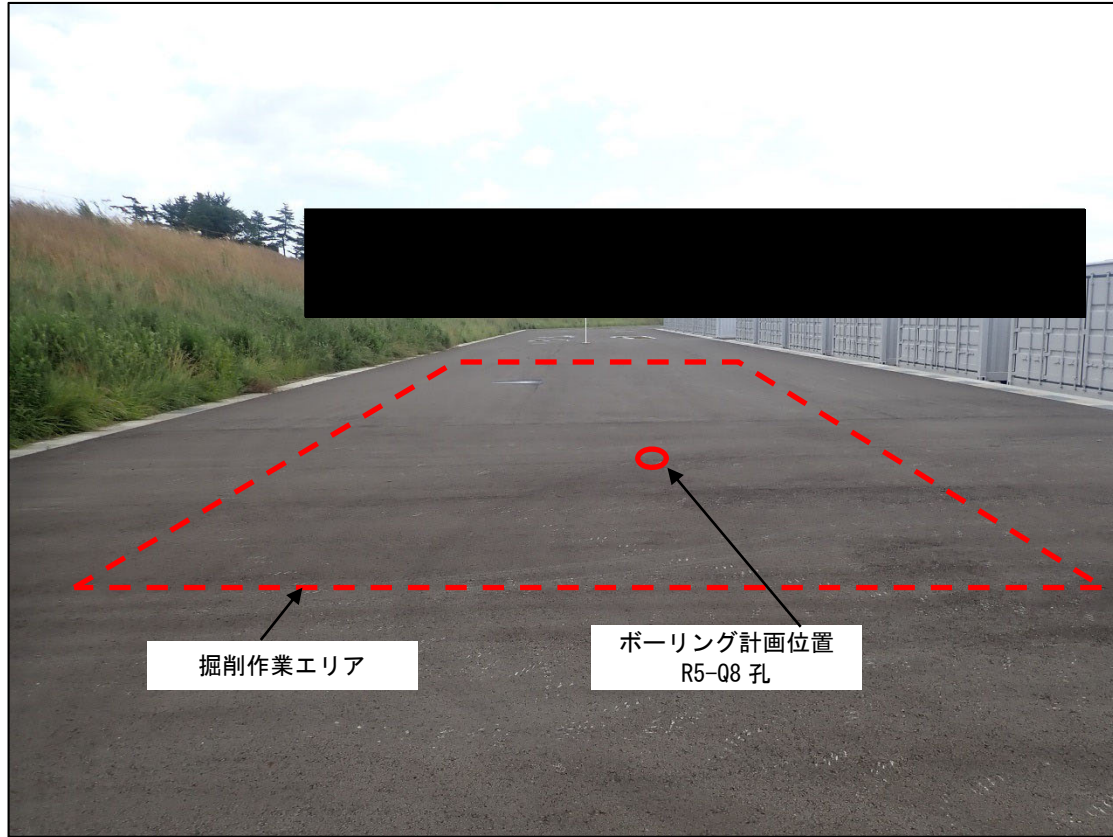
↑：矢視



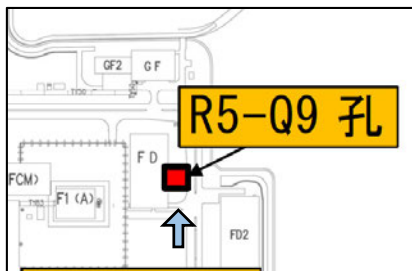
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (7/12)



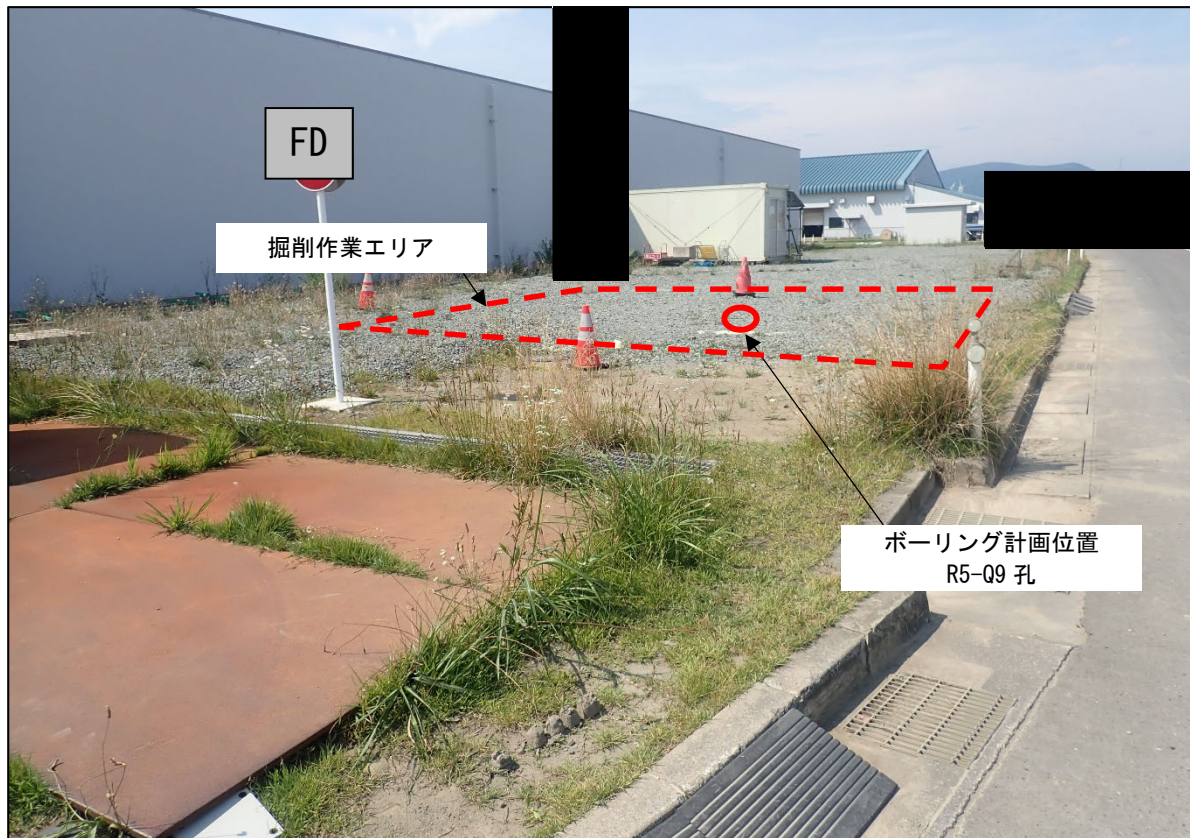
↑ : 矢視



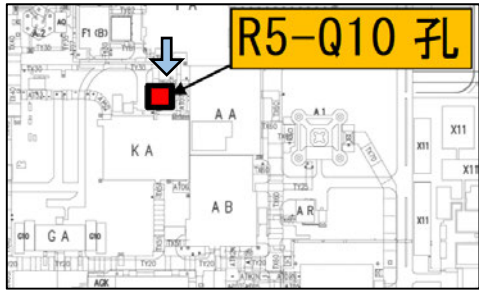
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (8/12)



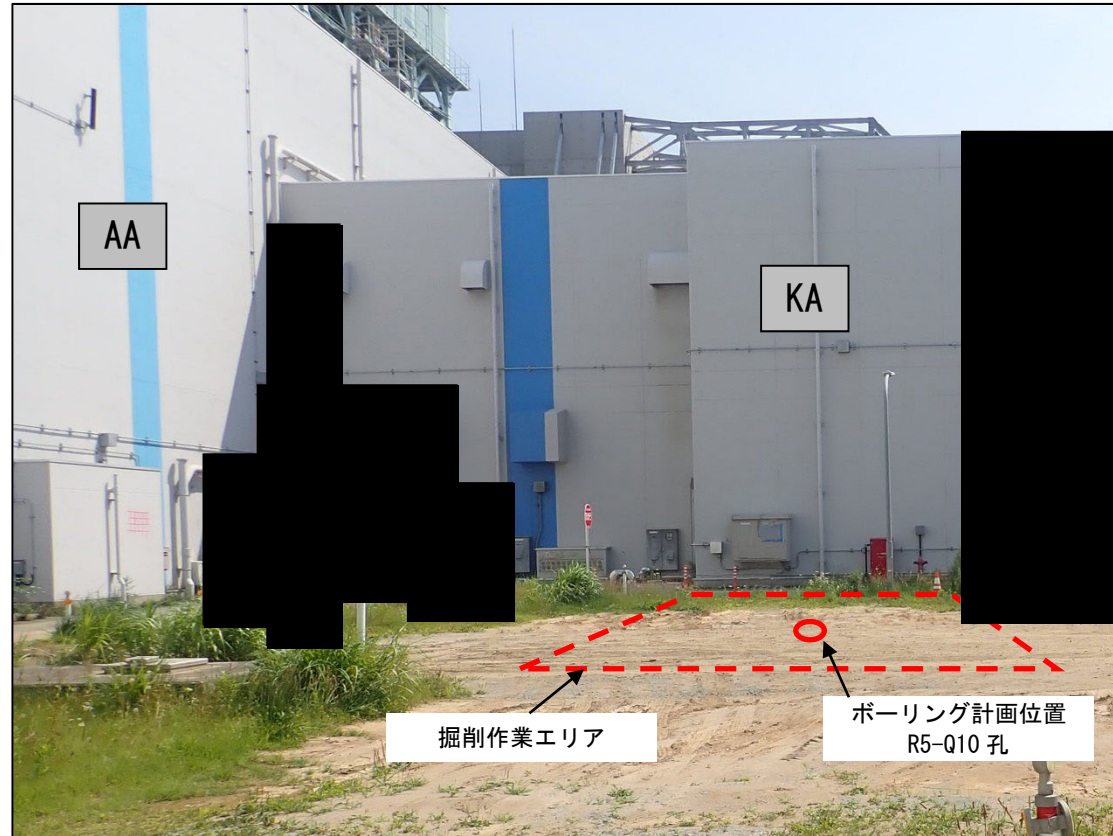
↑：矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (9/12)

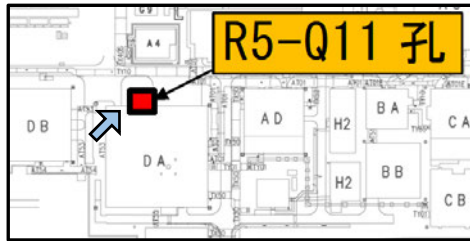


↑: 矢視

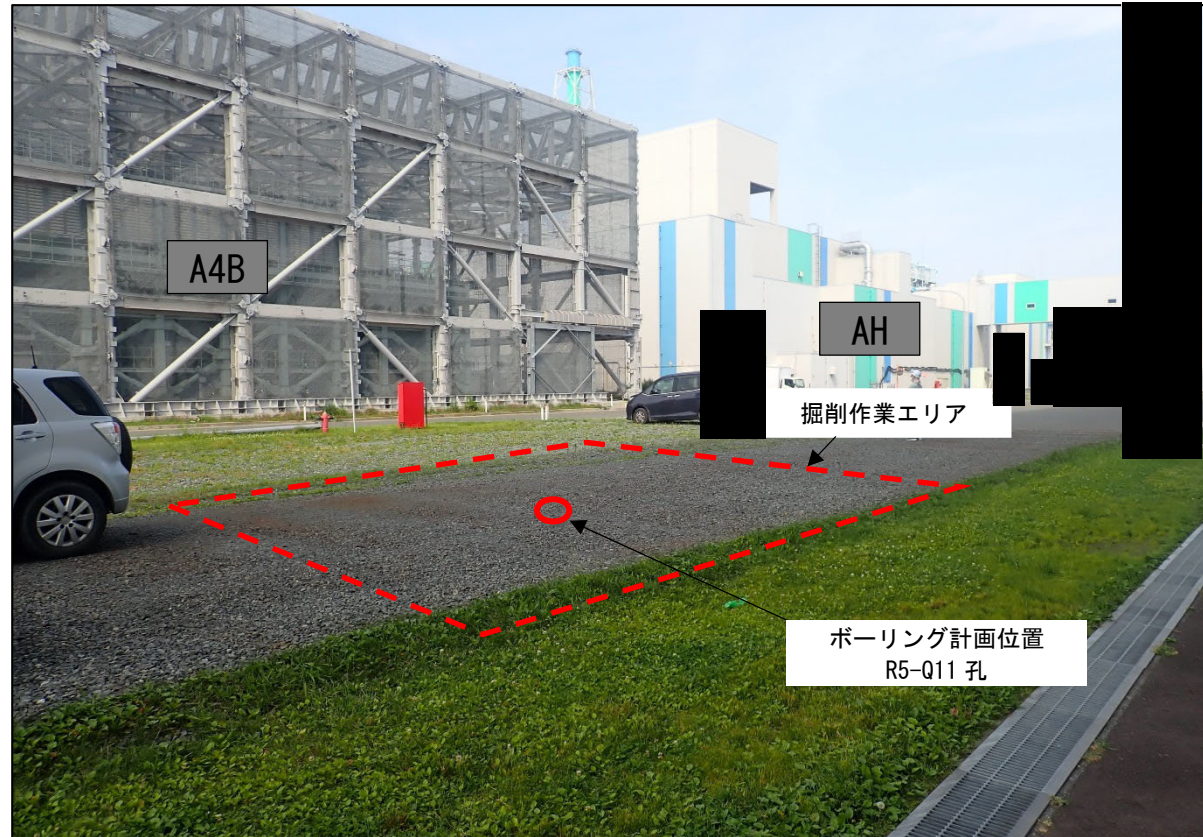


参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (10/12)

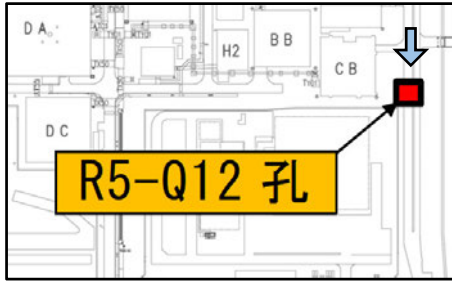
参考-27



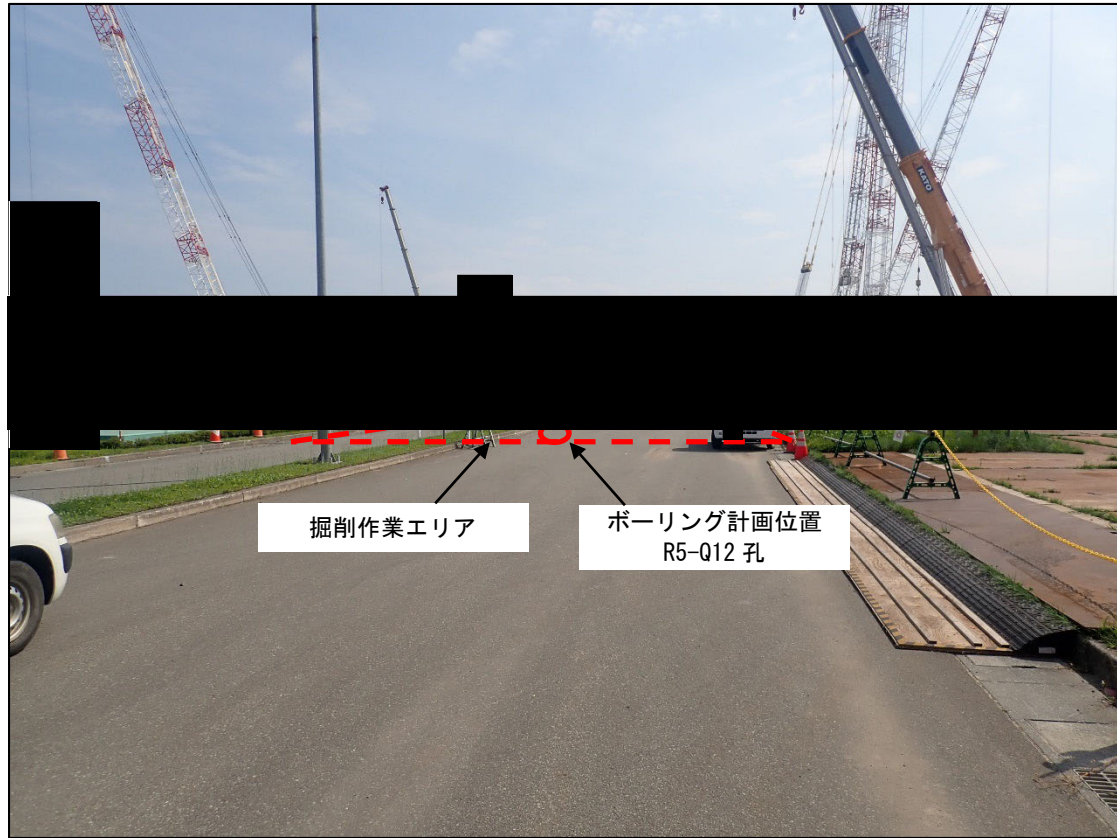
↑ : 矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (11/12)



↑ : 矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (12/12)

参考 1-3-1 表 ボーリング位置の状況

ボーリング孔	最寄り建屋及び その離隔距離	地表面の状況
R5-Q1	DA 建屋：47m DC 建屋：25m	原地山
R5-Q2	AB 建屋：41m KA 建屋：49m G10：37m	埋戻し土
R5-Q3	G14：102m	碎石舗装
R5-Q4	G14：130m	原地山
R5-Q5	KB(E) 建屋：26m	原地山
R5-Q6	AE 建屋：32m	原地山
R5-Q7	AC 建屋：43m	埋戻し土
R5-Q8	AZ 建屋：90m	アスファルト舗装
R5-Q9	FD 建屋：12m	碎石舗装
R5-Q10	AA 建屋：24m KA 建屋：19m	埋戻し土
R5-Q11	DA 建屋：10m	碎石舗装
R5-Q12	CB 建屋：34m	アスファルト舗装

(2) 調査方法

a. 孔内検層による Q 値測定

P S 検層（ダウンホール法）により地盤の減衰特性を測定し、Q 値を求める。

P S 検層（ダウンホール法）は、地表で発生させた弾性波（P 波・S 波）をボーリング孔内に設置した受振器で受振し、ボーリング孔沿いの地盤の弾性波速度分布の把握を目的に実施するものであり、ここでは、特に、地盤の減衰特性の把握を目的とした Q 値測定を実施する。P S 検層（ダウンホール法）の測定装置と測定システムの使用機器の一覧を参考 1-3-2 表に示し、模式図を参考 1-3-4 図に示す。

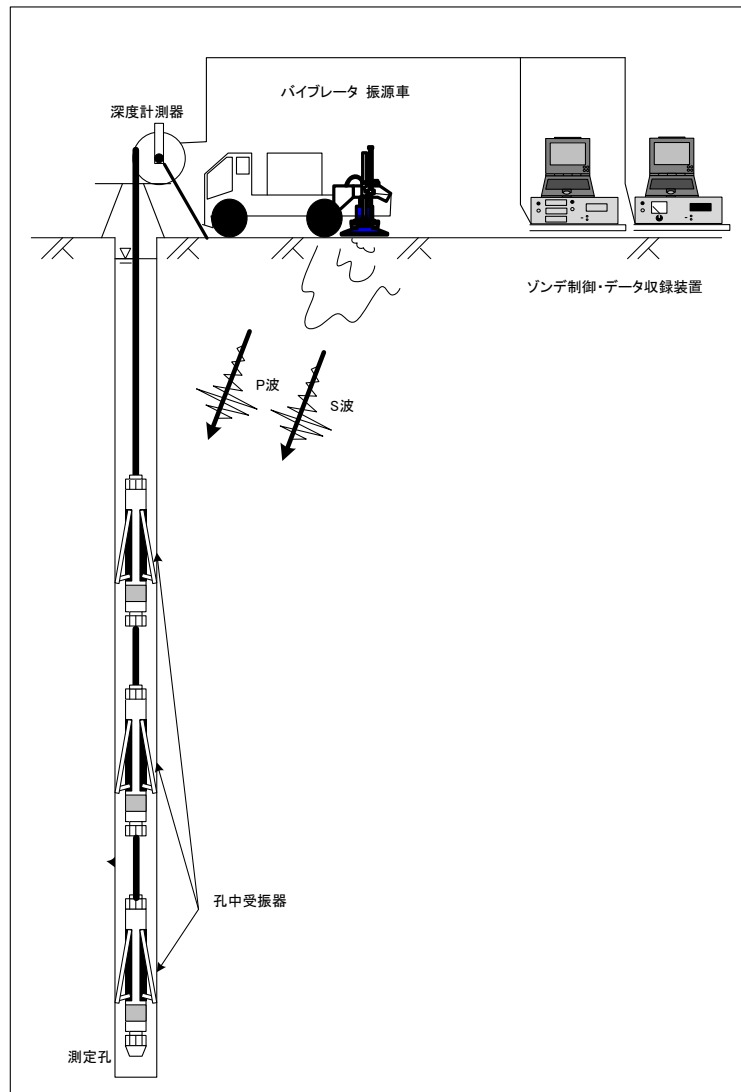
P S 検層（ダウンホール法）は、測定間隔を 1～2m とし、JGS 1122-2012「地盤の弾性波速度検層方法」を参考にして測定・解析を実施する。

測定系は、地表で弾性波を発生させる振源車、孔内に挿入するゾンデ、測定値の記録・表示を行う地上装置（ゾンデ制御・データ収録装置）から構成される。なお、ゾンデ数及び昇降方法については、現場の状況により設定する。

参考 1-3-2 表 P S 検層（ダウンホール法）に使用する機器の仕様等一覧表

孔中受振器	G S R - 1 A S L 社製
固有周波数	15Hz
受振器成分	3 成分（上下動 1 成分，水平動 2 成分），速度型
適用孔径	50mm～140 mm
長さ、直径及び重量	長さ 1135 mm φ 43mm，4.5kg
耐熱温度	200℃
耐圧	約 600 気圧

起振装置	振源車
最大出力荷重	27,000N
積載荷重 (Hold down mass)	44,000N
発振周波数帯	10Hz～550Hz
車両寸法（長さ，幅，高さ）	6.37m，2.13m，2.45m
車両重量	5,990kg

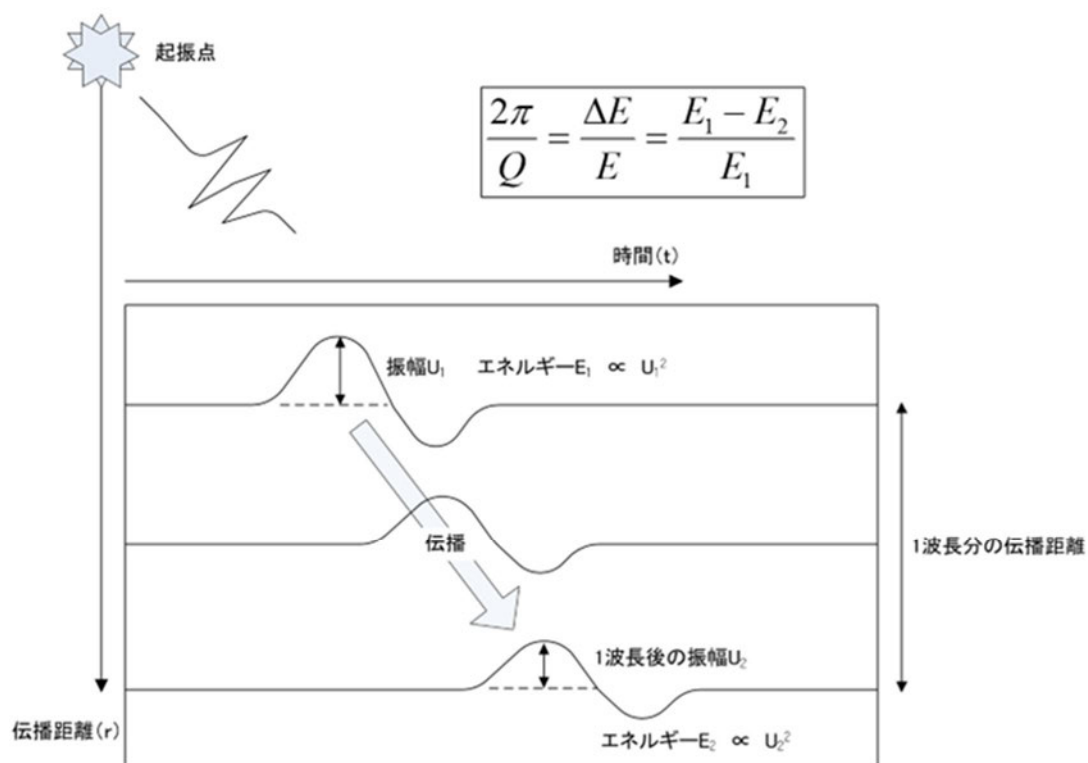


参考 1-3-4 図 P S 検層（ダウンホール法）の測定装置と測定システムの模式図

Q 値測定時のバイブレータ振源からの加振パターンは、10Hz～100Hz の変調によるスイープ発振（10Hz から 10 秒程度で数段階変調）により実施する。

Q 値測定は、ボーリング孔内に設置した受振器に地表で発生させた弾性波（P 波・S 波）を受振させ、その波形の初動付近の振幅値の変化からボーリング孔沿いの地盤の減衰特性を把握する。

Q 値測定における振幅減衰の概念図を参考 1-3-5 図に示す。



参考 1-3-5 図 振幅減衰の概念図

b. 室内岩石試験

(a) 対象とする岩石コア試料

当該地点の地質構造は、f-1 断層、f-2 断層を境界として大きく 3つのエリアに分けられる。また、東側地盤については、さらに東側に第 2 保管庫・貯水所(G14)が位置している。これらの地盤で出現する地質及び岩盤分類（岩種）を参考 1-3-3 表に示す。また、表中には、減衰定数として設定している双曲線近似のバイアスを最小減衰定数 $h(\%)$ として示した。

参考 1-3-3 表 地質区分、岩盤分類一覧表および岩種ごとの最小減衰定数

地盤範囲	地質区分		岩盤分類(層序)		最小減衰定数(%)
西側地盤	鷹架層上部層	泥岩層	泥岩	mss	1.42
		礫混り砂岩層	礫混り砂岩	ss	1.08
	鷹架層中部層	軽石混り砂岩	砂岩・凝灰岩互層	alst	2.04
			礫混り砂岩	ss	1.08
			砂岩・泥岩互層 ^{*1}	alsm	0.93
			軽石混り砂岩	ps	1.48
		砂質軽石凝灰岩	spt	1.48	
		軽石混り砂岩	ps	1.48	
		砂質軽石凝灰岩	spt	1.48	
		軽石混り砂岩	ps	1.48	
鷹架層下部層	軽石凝灰岩層	凝灰岩	tf	1.47	
		軽石凝灰岩	pt	1.34	
		軽石質砂岩	pps	0.83	
		礫岩 ^{*2}	cg	0.27	
中央地盤	細粒砂岩層	細粒砂岩	fs	1.29	
		粗粒砂岩 ^{*2}	cs	1.58	
	泥岩層	泥岩	ms	1.25	
		凝灰質砂岩 ^{*3}	pps	1.06	
		砂質軽石凝灰岩	spt	1.48	

: 岩石コア試験対象岩種 *1: 薄層, *2: 限定箇所, *3: 深部
 : 再出現岩種
 : 試験非実施岩種

当該地点は、高角度の f-1 断層、f-2 断層を境に 3つのエリアで基盤からの地質層が分かれ、解放基盤面 (T.M.S.L. -70m) までの各地盤の地質区分として、西側地盤は鷹架層上部層、鷹架層中部層、中央地盤は鷹架層下部層、東側地盤は鷹架層中部層、鷹架層下部層で構成されている。

各地盤における工学的性質を区分する岩盤分類については、参考 1-3-3 表に示す層序となっており、このうち、薄層の砂岩・泥岩互層、限定箇所にしか出現しない礫岩、粗粒砂岩及び中央地盤での解放基盤面下で出現する凝灰質砂岩を除く、主要な 10 岩種（泥岩(上部層)、礫混り砂岩、砂岩・凝灰岩互層、軽石混り砂岩、砂質軽石凝灰岩、凝灰岩、軽石凝灰岩、軽石質砂岩、細粒砂岩、泥岩(下部層)）について、岩石コア供

試体による室内岩石試験を実施する。

(b) 試料の準備、供試体整形

試験対象となる鷹架層の主要 10 岩種のボーリングコア試料は、乱れの少ない状態の良いものを選定して所定の寸法の供試体に整形し、脱気水槽に入れて飽和化を図る。12 時間以上の水浸、飽和化後、直径、高さ、質量を測定し、密度を算定する。

(c) 弾性波速度測定

まず、スペクトル比法での Q 値算定に使用するため、JGS 2564-2020「岩石の弾性波速度計測方法」に準拠し、P 波速度と S 波速度を測定する。

測定により得られた P 波速度 V_p と S 波速度 V_s から、次式でポアソン比 ν_d 、剛性率 G_d 、ヤング率 E_d を求める。

$$\nu_d = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$$

$$G_d = \rho_t \cdot V_s^2$$

$$E_d = 2(1 + \nu_d) \cdot G_d$$

(d) 拘束条件

当該地点は、軟岩地盤であり、有効応力の影響が考えられることから、室内試験時の拘束圧条件については、大気圧と封圧下の 2 種類を考慮する。

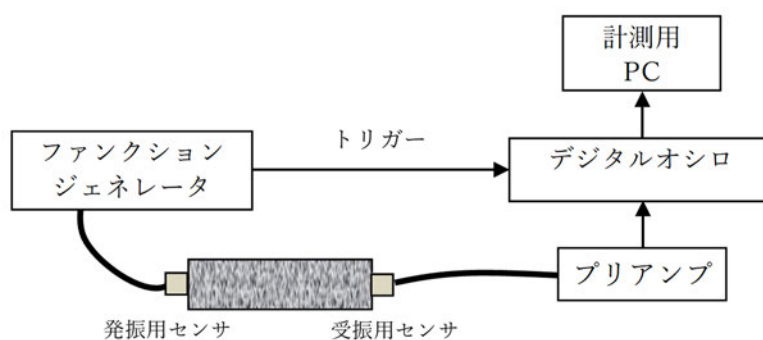
イ. 大気圧下における Q 値測定

コア Q 値測定装置の主な仕様を参考 1-3-4 表に示し、測定装置の概要図を参考 1-3-6 図に示す。超音波波形の収録は、JGS 2564-2020「岩石の弾性波速度計測方法」を参考にして大気圧下で行う。測定手順は以下のとおりである。

- ・ 供試体の上下端面に薄く石膏を塗布して振動子を接着する。
- ・ その際、上下の振動子の感度方向を一致させる。
- ・ S 波の伝播波形を収録する。S 波の発振、受振には同じ形式の振動子を用い、それぞれの透過波形の初動が明瞭になるよう励起電圧と波形収録時のゲインを調整する。

参考1-3-4表 大気圧下のQ値測定装置の主な仕様

名称	主な仕様	型番	メーカー
振動子	名称：横波垂直探触子 共振周波数：1 MHz 質量・寸法：約21g、15×15×20mm	PY 1Z	ジャパンプローブ
ファンクションジェネレータ	周波数範囲：1 μ Hz～20MHz 出力電圧：10mVp-p～20Vp-p 出力波形：正弦波、矩形波他	33220A	アジレント・テクノロジー
プリアンプA	増幅率：55dB (200kHz) 周波数帯域：10kHz～5MHz (-3dB以内) 最大出力電圧：約7Vp-p	A1002	富士セラミックス
プリアンプB	増幅率：20、30、40dB 周波数帯域：2kHz～1.2MHz 最大出力：2Vp-p以上	9917	エヌエフ回路設計ブロック
デジタルオシロ (波形収録)	サンプリング速度：100 MHz アナログ入力：2 CH 垂直分解能：8 bits	NR-350	キーエンス



参考1-3-6図 Q値測定装置の概要図

ロ. 封圧下における Q 値測定

Q 値測定装置の主な仕様を参考 1-3-5 表に示し、測定装置の概要図を参考 1-3-7 図に示す。

封圧はシリンジポンプによって制御する。キャップとペDESTALの中に振動子を組み込み、下端から超音波を発振し上端で透過波を受振する構造である。

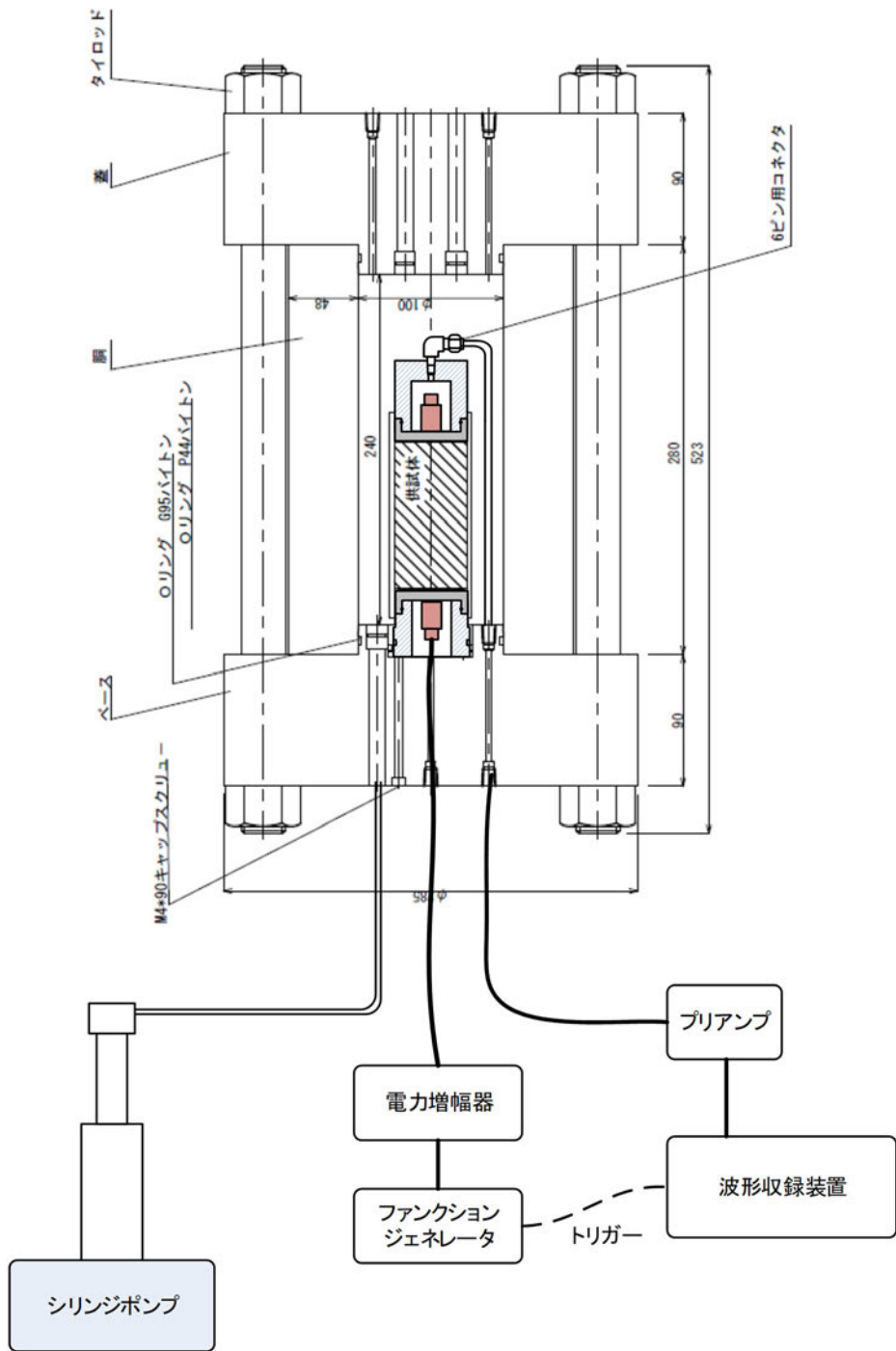
参考 1-3-5 表 封圧下の Q 値測定装置の主な仕様

名称	主な仕様	型番	メーカー
高圧セル	耐圧：150MPa 寸法（内）：φ100×h240mm シリンジポンプによる加圧	—	汎高圧工業
シリンジポンプ	最大加圧力：51.7MPa シリンダ容量：266ml 制御方式：定圧力，定流量	260D	ISCO
振動子	名称：横波垂直探触子 共振周波数：1 MHz 質量・寸法：約 21g, 15×15×20mm	PY 1Z	ジャパンプローブ
ファンクションジェネレータ	周波数範囲：1 μHz～20MHz 出力電圧：10mVp-p～20Vp-p 出力波形：正弦波，矩形波他	33220A	アジレント
電力増幅器	周波数帯域：DC～1 MHz 入力電圧：最大 10V 増幅率：10～100 倍	4005	NF 回路設計ブロック
プリアンプ A	増幅率：55dB (200kHz) 周波数帯域：10kHz～5MHz (-3dB 以内) 最大出力電圧：約 7Vp-p	A1002	富士セラミックス
プリアンプ B	増幅率：20, 30, 40dB 周波数帯域：2kHz～1.2MHz 最大出力：2Vp-p 以上	9917	NF 回路設計ブロック
デジタルオシロ (波形収録)	サンプリング速度：100 MHz アナログ入力：2 CH 垂直分解能：8 bits	NR-350	キーエンス

測定手順は以下のとおりである。

- 供試体の上下端面はペDESTALとキャップに薄く石膏を塗布して接着する。
キャップ、ペDESTALともに、弾性波形測定のための振動子を組み込んでいる。
- 上下のセンサの感度方向（S波の発振方向と受信方向）を一致させる。
- 水圧により封圧するため、供試体との水の出入りを遮断するため、メンブレンを装着する。
- セル（耐圧中空円錐形容器）を組み立てて水を注入する。
- シリンジポンプ（微調整可能な注射器様のポンプ）により所定の拘束圧（採取深度の全応力）を加えて試験時は一定に保持する。
- S波の伝播波形を収録する。受信波形を増幅して、分析を実施する。

なお、S波の発振・受振には同じ振動子を用い、それぞれの透過波形の初動が明瞭になるよう励起電圧（最低の共鳴電圧）と波形収録時のゲインを調整する。



参考 1-3-7 図 封圧下の Q 値測定装置の概要

(d) スペクトル比法による Q 値測定 (拘束条件: 大気圧下, 封圧化下)

スペクトル比法は、減衰が小さい (Q 値が大きい) 標準試料と岩石試料を透過した超音波波形を比較し、両者の FFT スペクトルの比から Q 値を評価する方法である (Toksoz et al., 1979)。

標準試料と対象とする試料の平面波の振幅は次のように表される。

$$A_1(f) = U_0 \cdot e^{-\alpha_1(f)x} \cdot e^{i(2\pi ft - k_1 x)} \cdot G_1 \quad 1) \text{ 式}$$

$$A_2(f) = U_0 \cdot e^{-\alpha_2(f)x} \cdot e^{i(2\pi ft - k_2 x)} \cdot G_2 \quad 2) \text{ 式}$$

$A(f)$: 振幅
 U_0 : 初期振幅
 f : 振動数
 x : 距離, t : 伝播時間
 k : 波数 ($=2\pi f/\nu$)
 ν : 速度
 G : 拡散、反射等を含む幾何学的因子
 $\alpha(f)$: 振動数に依存する減衰係数
添字 1、2 : 標準試料(1)、対象試料(2)を表わす。

式中の $e^{-\alpha(f)x}$ が距離 x を伝播した波の減衰を示す。

いま、 α は振動数の線形関数であると考え、3)式で定義する。

$$\alpha(f) = \gamma f \quad 3) \text{ 式}$$

ここで γ は定数であり Q 値と次の関係がある。

$$Q = \pi/\gamma\nu \quad 4) \text{ 式}$$

対象試料と標準試料が幾何学的に同一 (同一寸法、同じ振動子、同じ配置) で、かつ G_1/G_2 が振動数に依存しないとすれば、フーリエ振幅比は 1)式を 2)式で除すことにより次式で示される。

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{G_1}{G_2} \cdot e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot f \cdot x} \quad 5) \text{ 式}$$

上式の自然対数をとると次式となる。

$$\ln(A_1/A_2) = (\gamma_2 - \gamma_1) \cdot f \cdot x + \ln(G_1/G_2) \quad 6) \text{ 式}$$

6)式で振幅比 $\ln(A_1/A_2)$ を振動数に対してプロットしたときの直線の傾きから $(\gamma_2 - \gamma_1)$ を、切片から $\ln(G_1/G_2)$ を求めることができる。標準試料の Q 値が非常に大きければ γ_1 を 0 とみなせるので対象試料の γ_2 は傾きから直接求めることができ 4)式から Q 値を導くことができる。なお、 G_1/G_2 は測定試料の岩種によって変化し、同一岩種内ではおおむね同様の値を取ると考えられている。

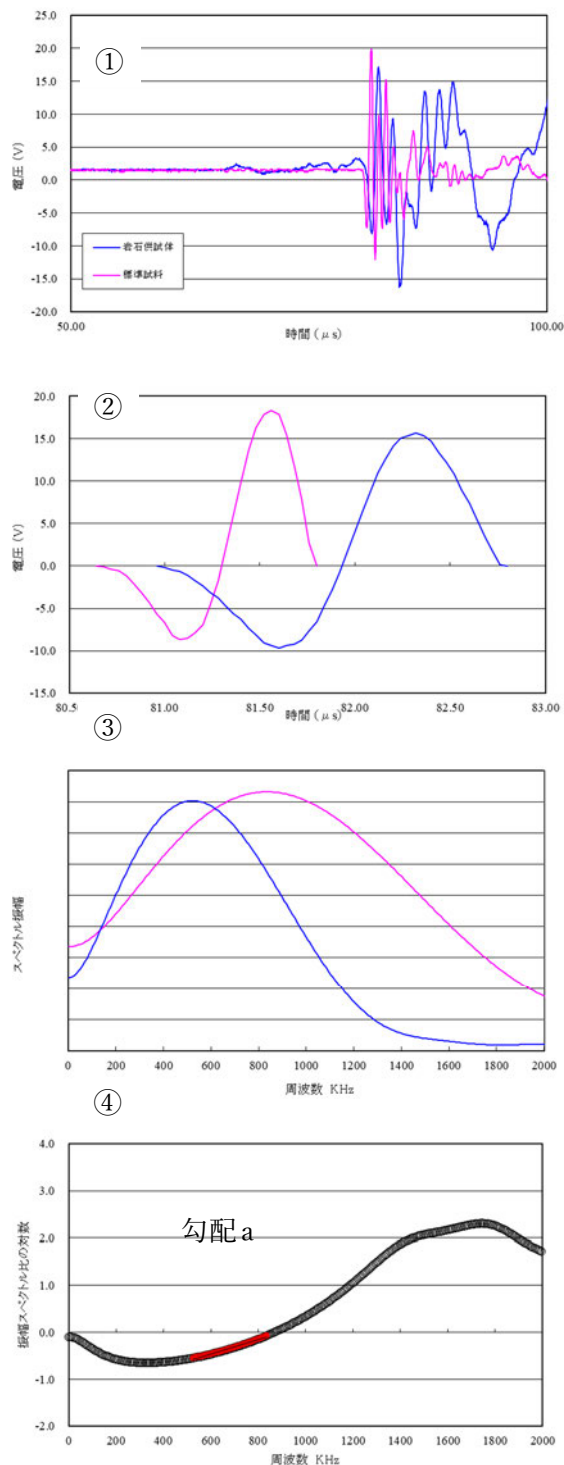
標準試料には岩石供試体と同じ形状のアルミ合金 (A5056) を使い、岩石供試体と同様の方法で透過波形を収録する。なお、Zemanek (1961)によれば、アルミの Q 値は 15×10^4 という大きな値となっているので、 γ_1 は 0 とみなしても誤差はないことになる。

スペクトル比法による Q 値の解析は以下の手順で行う (参考 1-3-8 図参照)。

- ① 標準試料と岩石供試体の波形データをそれぞれプロットし、全体傾向から外れるデータや異常なノイズなどが無いことを確認する。その際、初動が到達する前の信号の平均値を DC 成分として差し引く。
- ② 原則として初動後の1波長分のデータを切り出し、Q 値解析対象とする。
- ③ FFT (Fast Fourier Transform) をかけてフーリエスペクトルを計算する。
- ④ 各周波数においてアルミの標準試料に対する岩石供試体のスペクトル振幅比の対数を求め、周波数との関係でプロットする。佐藤 (2012) を参考に、③で求めたフーリエスペクトルの振幅が、岩石供試体で最大となる周波数から標準試料で最大となる周波数までの区間の勾配 a を求め、次式で Q 値を解析する。(右図の着色プロット区間)

$$Q = \frac{\pi \cdot x}{a \cdot v} \quad 7) \text{ 式}$$

ここでは、 x には供試体の高さを、 v には弾性波速度測定で得られた S 波速度を用いる。



参考 1-3-8 図 スペクトル比法による Q 値の解析

(e) パルスライズタイム法による Q 値測定 (拘束条件: 大気圧下, 封圧化下)

パルスライズタイム法は、岩石試料を透過した超音波パルス透過波形の立ち上がり時間(ライズタイム)から次式で Q 値を評価する方法である (Gladwin & Stacey, 1974)。

$$\tau = \tau_0 + \frac{C \cdot t}{Q} \quad 8) \text{ 式}$$

τ : 伝播波の初動のライズタイム

τ_0 : 入射波のライズタイム

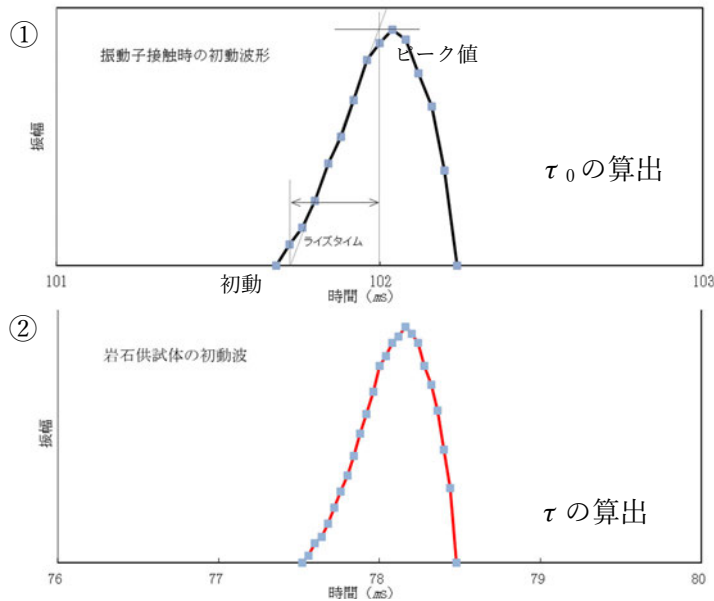
t : 伝播時間

C : 比例定数

比例定数 C については、Gladwin & Stacey (1974) は実験値として 0.53 ± 0.04 を提案しているが、今回は佐藤 (2012) が波形シミュレーションによって求めた 0.293 を採用する。

ライズタイム τ および τ_0 の算出方法については佐藤 (2012) を参考とする。伝播波の初動のライズタイム τ は、参考 1-3-9 図のように初動後のピーク値をピークに至るまでの最急勾配で除して求める。なお最急勾配は、ノイズによる波形の乱れを考慮して、初動からピーク値までの合計データ数の半分 (参考 1-3-9 図①の場合、5 データ) を範囲として求める。入射波のライズタイム τ_0 については、超音波振動子と受振子を直接接触させた場合の振源波形から τ と同様の方法で求める。

岩石試料を透過した伝播波のライズタイムは、前述のスペクトル比法で収録した超音波透過波の初動波形を用いる (参考 1-3-9 図②に例を示す)。



参考 1-3-9 図 パルスライズタイム法による解析

参考文献

- 1) Gladwin M. T. and F. D. Stacey: : Anelastic degradation of acoustic pulses in rock, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, No.2, pp. 133-151, 1974.
- 2) Toksoz M. N., D. H. Johnston, and A. Timur : Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks : I. Laboratory measurements, *GEOPHYSICS*. Vol.44, No.4, pp. 681-690, 1979.
- 3) Zemanek, J., Jr., and Rudnick, J : Attenuation and dispersion of elastic waves in a cylindrical bar, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.33, No.10, pp. 1283-1288, 1961.
- 4) 佐藤浩章 : 地震動評価のための地表に近い岩盤における減衰の測定とそのモデル化, *物理探査* 第65巻第1&2号, pp. 37-51, 2012.

別紙 2-4

表層地盤の物性値等に係る検討について

目 次

	ページ
1. はじめに	別紙 2-4-1
2. 埋戻し土の物性に係る検討	別紙 2-4-2
2.1 均質性及び物性値設定について	別紙 2-4-2
2.1.1 埋戻し土の施工管理状況	別紙 2-4-2
2.1.2 埋戻し土の物性値設定について	別紙 2-4-12
2.1.3 埋戻し土の均質性について	別紙 2-4-14
2.2 数値統計学に基づく埋戻し土の物性値 (G_0) の最尤モデル	別紙 2-4-21
2.3 まとめ	別紙 2-4-24
3. 流動化処理土の物性に係る検討	別紙 2-4-26
3.1 均質性及び物性値設定について	別紙 2-4-26
3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性	別紙 2-4-26
3.1.2 流動化処理土の物性値設定について	別紙 2-4-33
3.2 流動化処理土の物性設定のまとめ	別紙 2-4-35
4. 表層地盤のまとめ	別紙 2-4-36

1. はじめに

本資料は、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子のうち、表層地盤の物性値等について、既認可時の地盤モデルを踏襲した地盤モデル(以下、「申請地盤モデル」という。)との差分を確認するために、一般的・標準的な表層地盤物性値の設定方法に基づく、データの整理結果を示すものである。

建築物の設計において表層地盤の物性値を設定する場合、建築物近傍のボーリング試験により得られたデータに基づき設定することが一般的な考え方である。

当該地点での表層地盤の物性値は、一般的な考え方のおり、建物・構築物の近傍のボーリングデータに基づき設定する。このとき以下の理由によりエリア全体の埋戻し土の物性は一樣のものとして扱えることから設定は全エリアのボーリング孔から得られるデータを用いて設定する。

- ・当該地点の特性として建屋間の連携をとるために、複数の建物・構築物をおおむね同時期に構築することから広範囲な掘削、埋戻しが実施されている。
- ・建物・構築物周辺の埋戻しについては、一定の品質管理の下で均質性を目標として施工されている。

以上のことを踏まえ、本資料では、当該敷地における表層地盤(埋戻し土)の均質性について、施工管理の観点から検討を行う。表層地盤(埋戻し土)の物性値の設定については、本来の土質材料としての力学特性に基づき考察を行い、さらに、数値統計理論により、物性値として与えるべき最適な統計的モデルについて説明する。また、施工管理された埋戻し土においても一定のばらつきを有することを前提とし、埋戻し土が有する確率分布モデル(平均と標準誤差による正規分布)を適用したモンテカルロシミュレーションにより不確かさに関する考察を行った。

なお、表層地盤(流動化処理土)についても、その均質性について施工管理の観点から検討を行い、物性値の設定について検討を行う。

2. 埋戻し土の物性に係る検討

2.1 均質性及び物性値設定について

2.1.1 埋戻し土の施工管理状況

埋戻し土の施工仕様及び管理基準について、施工仕様・基準一覧を第2.1.1-1表に、埋戻し工事の施工ブロック割位置図を第2.1.1-1図に示す。第2.1.1-1表には、主な施工実績として、各工事における施工期間、施工範囲、施工規模及び敷均し・転圧の仕様を示す。敷地内の埋戻し工事は、敷地内北側が1999年以前、敷地内中央部から南側にかけては2000年以降に施工している。また、第2.1.1-2表には、年代別の埋戻し土の材料基準及び力学特性に係る品質管理基準を示す。

埋戻し土の材料基準については、原地山の掘削土として段丘砂、六ヶ所層及び鷹架層の岩ズリの多種の現地発生材をブレンドして埋戻すことから、これらを所定の場所へ運搬する車両のトラフィカビリティー及び強度（締固め度）を確保するため、埋戻し施工前の材料の粒度を物理的に均質になるように設定する。また、材料の均質化にあたっては、埋戻し土が最もよく締まる含水比を確保する必要がある。そのため、自然含水比の高い材料については、ストックパイルヤードにおいて、バックホウにより混合・攪拌・曝気することで粒度及び含水比調整を行う。この粒度及び含水比調整した埋戻し土については、建物・構築物の建設工事の進捗に応じ、対象箇所付近に運搬・仮置きし、場内小運搬により当該所定の場所に設置される。撒出し及び転圧にあたっては、各工事の着手前に実施する試験施工によって管理基準を定めたいうで施工している。この試験施工においては、各工事で分別した掘削土毎に最もよく締まる含水比の確認を行い、得られた最大乾燥密度及び最適含水比から所定の強度及び締固め度を満足する撒出し厚さ、転圧機械及び回数として締固め材料基準を定める。

管理基準については、第2.1.1-1表に示すとおり、近隣施設との配置に基づく施工幅等による制約で使用する重機等の施工方法が異なるが、両者とも最大乾燥密度と最適含水比による締固め材料基準に基づき、締固めエネルギーに応じて撒出し厚さ（20～50 cm/層）や転圧回数（3～6回転圧）を変動させており、敷地全体の埋戻し土の強度及び締固め状態について、埋戻し施工後のトラフィカビリティー及び締固め度を確保するため、可能な限り均質化できるように定めている。

施工プロセスは上記のとおりであるが、品質管理においては、1999年以前はポータブルコーン試験による貫入抵抗、2000年以降は締固め度により、施工結果を確認している。施工年代別の品質管理要領を第2.1.1-2図及び第2.1.1-3図に示す。また、その基準をもとに得られた品質管理記録として、1999年以前におけるコーン貫入抵抗 qc を第2.1.1-4図に、2000年以降における締固め度 Dc を第2.1.1-5図に示す。1999年以前について、一部データはないもののおおむね管理目標値である $qc = 10 \text{ kgf/cm}^2$ ($\approx 0.1 \text{ MPa}$) を満足しており、2000年以降についても基準値である締固め度 $Dc = 90\%$ 以上を満足している。

埋戻し土の粒度分布図を第 2.1.1-6 図に示す。図中には、青線と赤線で施工年代別に粒度分布を示す。図によれば、赤線で示す 2000 年以降の粒度分布と青線で示す 1999 年以前の粒度分布は、施工年代に関わらず同程度の粒度分布範囲に収まっており、品質管理データがない埋戻し工事 B の KT-3 及び KT-9 の粒度分布にも偏りや明瞭な傾向の違いは認められない。一部データがない範囲（埋戻し工事 B、対象となるボーリング孔：KT-3 及び KT-9）について N 値によりデータの補足をする。第 2.1.1-7 図によれば、施工年代別の N 値の平均値及びばらつきは、同程度の範囲に収まっており、品質管理データがない埋戻し工事 B の KT-3 及び KT-9 についてもばらつきの範囲内にあることを確認した。

なお、事業変更許可申請書における強度特性との関連を考察すると、土の締固め管理として 1999 年以前はポータブルコーン試験により、一軸圧縮強度 $qu \geq 0.2 \text{MPa}$ を目標に管理を行っており、せん断強度は、 $\tau = qu / 2 = 0.2 / 2 = 0.1 \text{MPa}$ である。第 2.1.1-8 図に埋戻し土の強度特性として 1999 年以前と 2000 年以降を合わせた非排水せん断強度と圧密応力の関係を示す。埋戻し土の非排水せん断強度は、深度 10m 相当で 0.11MPa 程度の値が得られている。敷地全体の埋戻し土の強度については、第 2.1.1-8 図に示すとおり、1999 年以前と 2000 年以降で同程度の値となっている。

以上のことから、敷地内すべての埋戻し工事における施工プロセスはほぼ同等であり、埋戻し土は均質を目標に施工されており、一定のばらつきの範囲内で管理されている。

第 2.1.1-1 表 再処理施設の主な埋戻し工事における施工基準一覧（埋戻し土）

工事名	時期	施工範囲 (主要な近傍施設)	ボーリング 孔	数量概数 (m ³)	割合	仕様 ^{※1,※2}			品質管理	
						施工方法	敷均し	転圧	管理指標	記録有無
埋戻し工事A	1994年5月～1994年12月	EA, EB	No.7 No.8	133,000	8.0%	大・中規模 BD-21t 50cm/層	敷均し	BD-21t 4回転圧	コーン貫入抵抗 qc	あり
埋戻し工事B	1995年3月～1996年12月	AE, FI(A), FCK, FCM, FA, FB, FI(B), A2, AQ	KT-3 KT-9	222,000	13.3%	大・中規模 BD-21t 50cm/層	敷均し	BD-21t 4回転圧	コーン貫入抵抗 qc	なし
埋戻し工事C	2000年4月～2002年3月	GA, G10, A4, AG, AH, AK, A1, AP, AA, AC	KT-5 a-1 TY20-1 TY20-2 TY20-3 TY20-5	335,000	20.1%	大規模 BD-21t 40cm/層	敷均し	BD-15t 6回転圧		
埋戻し工事D	2000年8月～2002年3月	DA, DC, AD, BA, BB, CA, CB	No.2	308,000	18.4%	中規模 BH-0.6m ³ BD-3t 30cm/層	敷均し	SV-12t 4回転圧	締固め度Dc	あり
埋戻し工事E	2000年4月～2003年10月	KA, AA, AB, AK, AR, AC, BA, CA	a-4	301,000	18.0%	小規模 BH-0.35m ³ CS-0.6m ³ 人力 30cm/層	敷均し	HV-0.8～1.1t TP-60～100kg 4回転圧	締固め度Dc	あり
埋戻し工事F	2002年4月～2003年12月	DA, DB, DC, A4, AD, AH, AK, BA, BB, CA, CB	b-2 b-4	290,000	17.4%	大規模 BD-21t 40cm/層	敷均し	SV-12t 4回転圧		
埋戻し工事G	2002年4月～2002年10月	F3, FCK, FCT	—	4,000	0.2%	中規模 BH-0.6m ³ 人力 30cm/層	敷均し	SV-12t HV-0.8～1.1t 4回転圧	締固め度Dc	あり
埋戻し工事H	2003年5月～2003年11月	AE	—	35,000	2.1%	小規模 CS-0.2m ³ 人力 30cm/層	敷均し	HV-1.0t 4回転圧 TP-60kg 6回転圧 BD-3t 6回転圧	締固め度Dc	あり
埋戻し工事I	2004年5月～2004年10月	KBE	No.9	17,000	1.0%	中・小規模 BH-0.8m ³ BD-7t 30cm/層	敷均し	SV-3t 4回転圧	締固め度Dc	あり
埋戻し工事J	2009年2月～2010年10月	EB2	—	1,000	0.1%	中・小規模 BD-3t 30cm/層	敷均し	SV-3t 4回転圧	締固め度Dc	あり
埋戻し工事K	2012年7月～2012年9月	DC	—	11,000	0.7%	大規模 BH-0.25m ³ , BH-0.7m ³ BD-6t, BD-21t 40cm/層	敷均し	BD-21t SV-3.5t 4回転圧	締固め度Dc	あり
埋戻し工事L	2015年3月～2015年12月	KBW	—	13,000	0.8%	中・小規模 BH-0.8m ³ BD-7t 30cm/層	敷均し	SV TP 4回転圧	締固め度Dc	あり
				1,670,000	100%					
計										

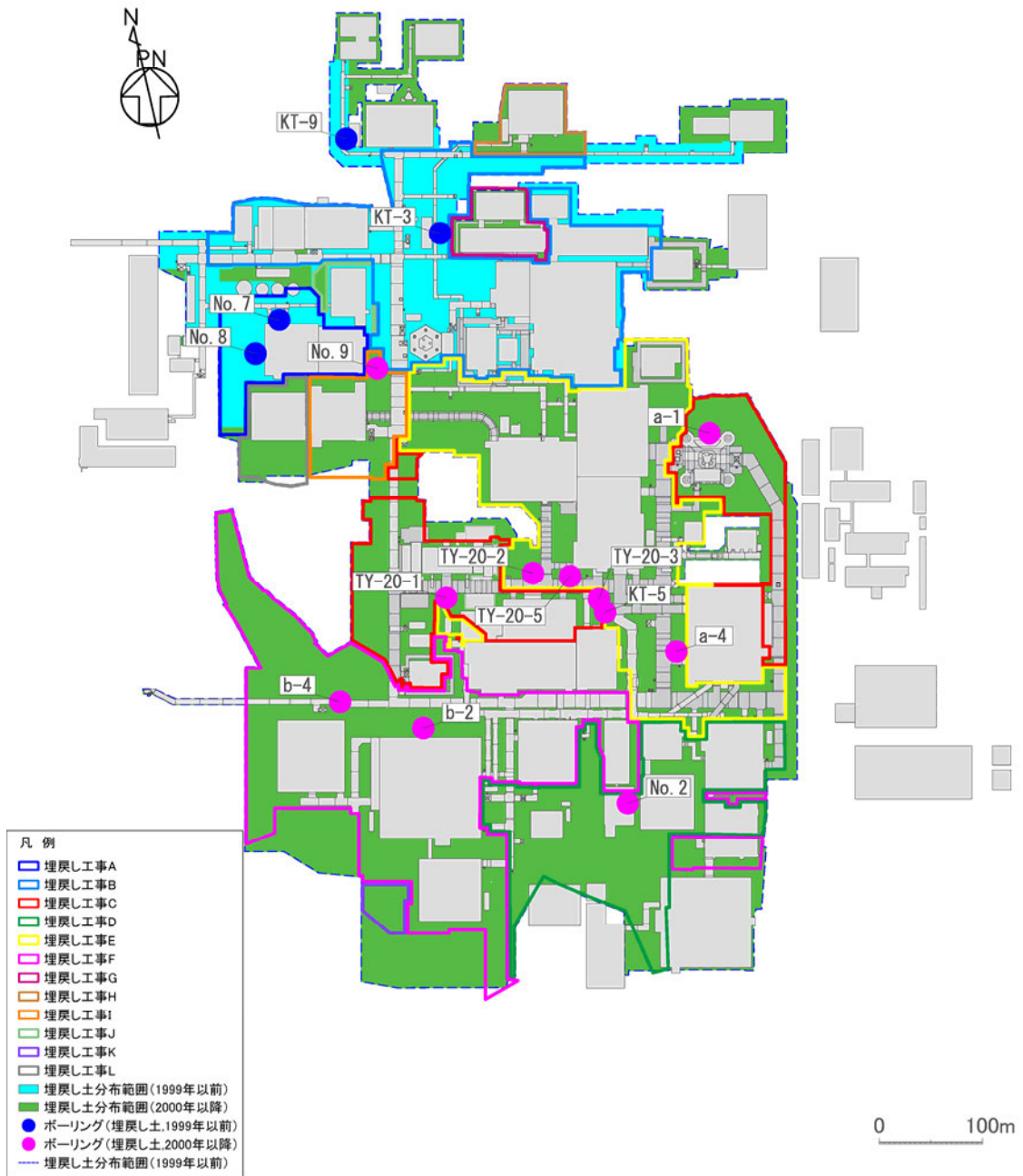
※1 施工方法 大規模:施工上の制約がない平地(施工幅W≧10m), 中規模:建物・構造物及び山留壁近傍(5m≦施工幅W<10m), 小規模:建物・構造物及び山留壁近傍の狭隘部(施工幅W<5m)

※2 使用機械 BD:ブルドーザ, BH:バックホウ, CS:グラブシユエル, HV:ハンドガノ式振動ローラ, TP:タンパ, SV:振動ローラ

第 2.1.1-2 表 埋戻し土の材料基準及び力学特性に係る品質管理一覧
 (設工認に係る補足説明資料 耐震設計の基本方針に関する地盤の支持性能
 について[耐震地盤 01]から引用して加筆)

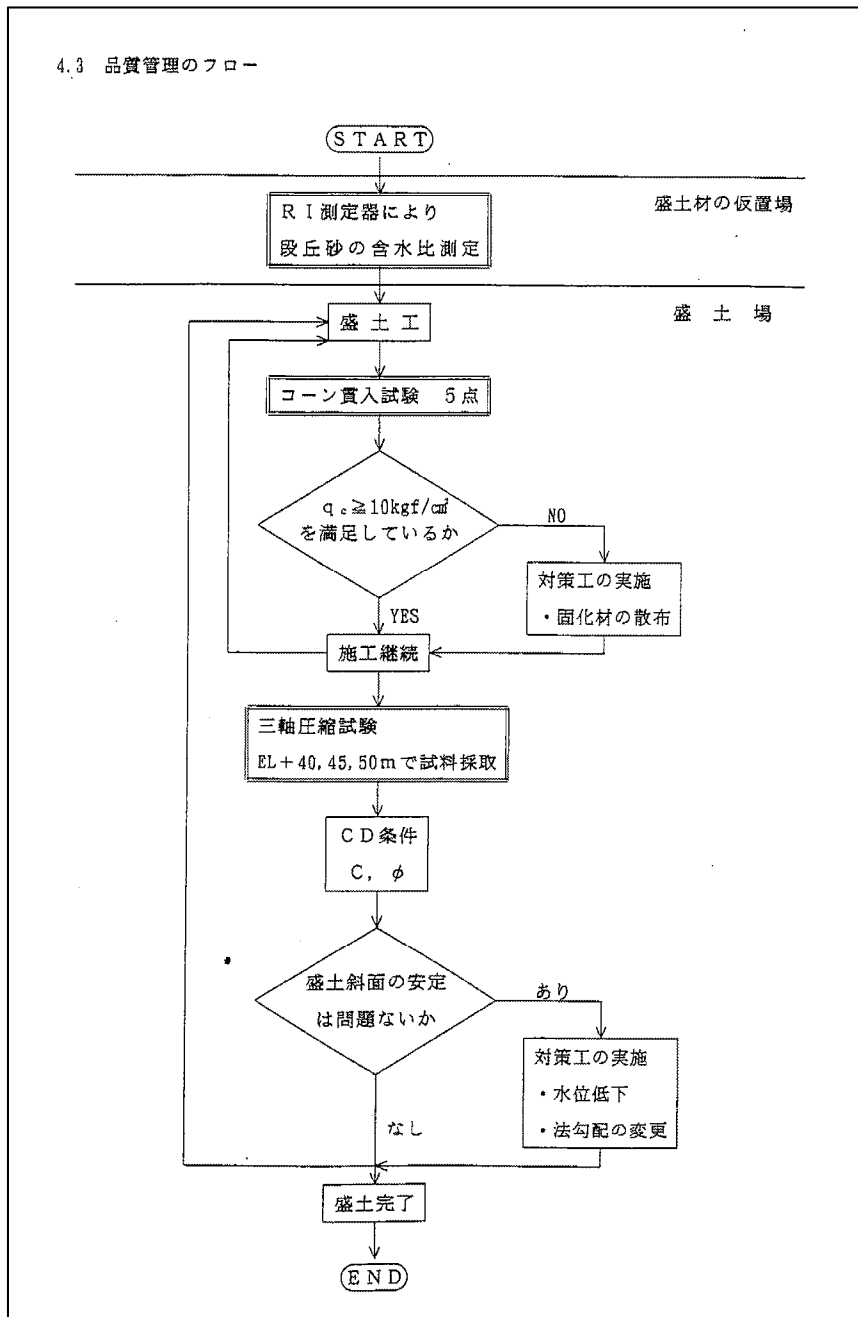
	1999 年以前	2000 年以降
材料基準	段丘砂(中位段丘) 最大乾燥密度, 最適含水比	ブレンド材(鷹架層及び六ヶ所層) 最大乾燥密度, 最適含水比
施工手順	<p>ストックパイルヤード</p> <p>混合・攪拌 (バックホウ)</p> <p>↓</p> <p>積込・運搬 (バックホウ・ダンプ)</p> <p>↓</p> <p>埋戻し箇所付近</p> <p>現場仮置き ← (品質管理) 最大乾燥密度 最適含水比</p> <p>↓</p> <p>小運搬 (バックホウ、ダンプ)</p> <p>↓</p> <p>投入 (バックホウ・クラムシェル)</p> <p>↓</p> <p>撤出し・数均し (ブルドーザ) ← (品質管理) 撤出し厚さ</p> <p>↓</p> <p>転圧 (振動ローラ、タンバ) ← (品質管理) ポータブルコーン貫入試験 転圧回数</p> <p>↓</p> <p>次工程引渡し</p>	<p>ストックパイルヤード</p> <p>混合・攪拌 (バックホウ)</p> <p>↓</p> <p>積込・運搬 (バックホウ・ダンプ)</p> <p>↓</p> <p>埋戻し箇所付近</p> <p>現場仮置き ← (品質管理) 細粒分含有率$F_c = 30\%$以下 最大粒径 150mm以下 最大乾燥密度 最適含水比</p> <p>↓</p> <p>小運搬 (バックホウ、ダンプ)</p> <p>↓</p> <p>投入 (バックホウ・クラムシェル)</p> <p>↓</p> <p>撤出し・数均し (ブルドーザ) ← (品質管理) 撤出し厚さ</p> <p>↓</p> <p>転圧 (振動ローラ、タンバ) ← (品質管理) 締固め度 転圧回数</p> <p>↓</p> <p>次工程引渡し</p>
管理基準	コーン貫入抵抗 $q_c \geq 1.0\text{MPa}$ (目標値) $q_u = 0.2 \times q_c = 0.2 \times 1.0 = 0.2\text{MPa}^{*1}$	締固め度 $D_c \geq 90\%$

※1 再処理施設, 廃棄物管理施設及び MOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書における埋戻し土の強度特性のうち, 非排水せん断強度 $s_u = 0.049 + 0.761p$ (MPa) より
 深度 10m 相当の圧密応力 $p = 0.08\text{MPa}$ のとき, $s_u \cong 0.11\text{MPa}$ となる。



第2.1.1-1図 施工ブロック割位置図

4.3 品質管理のフロー



第2.1.1-2図 1999年以前の品質管理要領

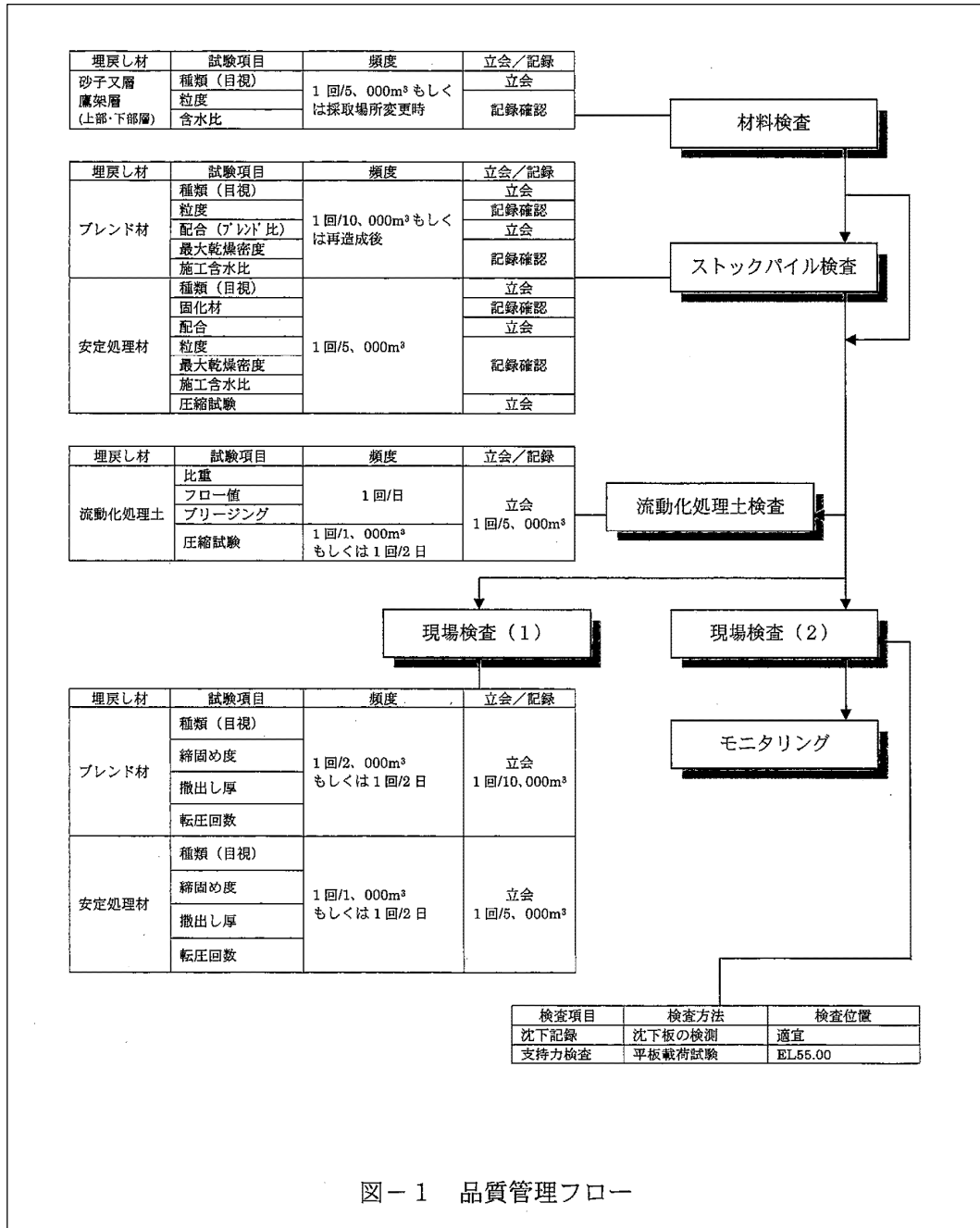
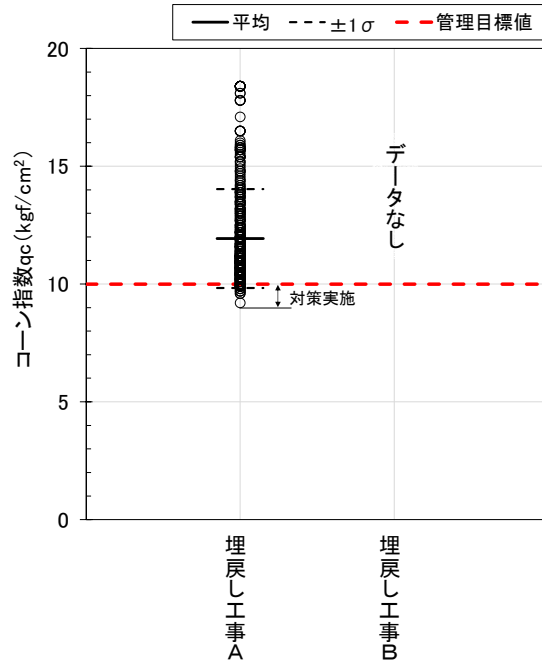
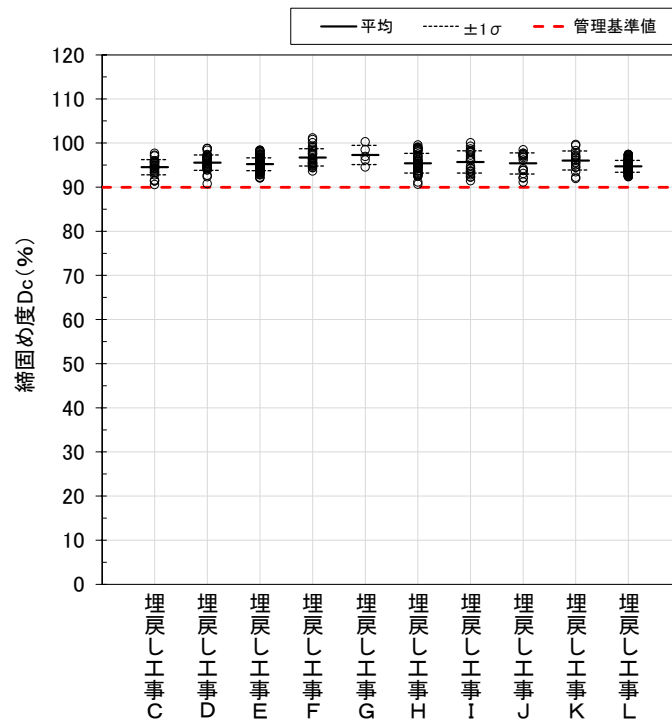


図-1 品質管理フロー

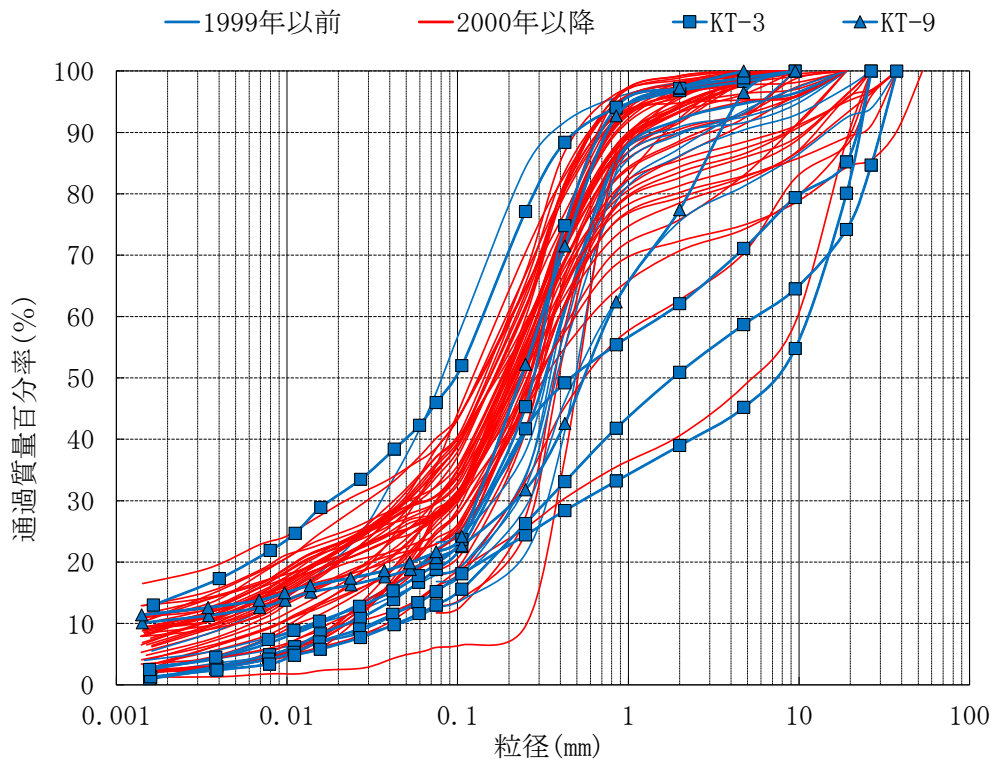
第2.1.1-3図 2000年以降の品質管理要領



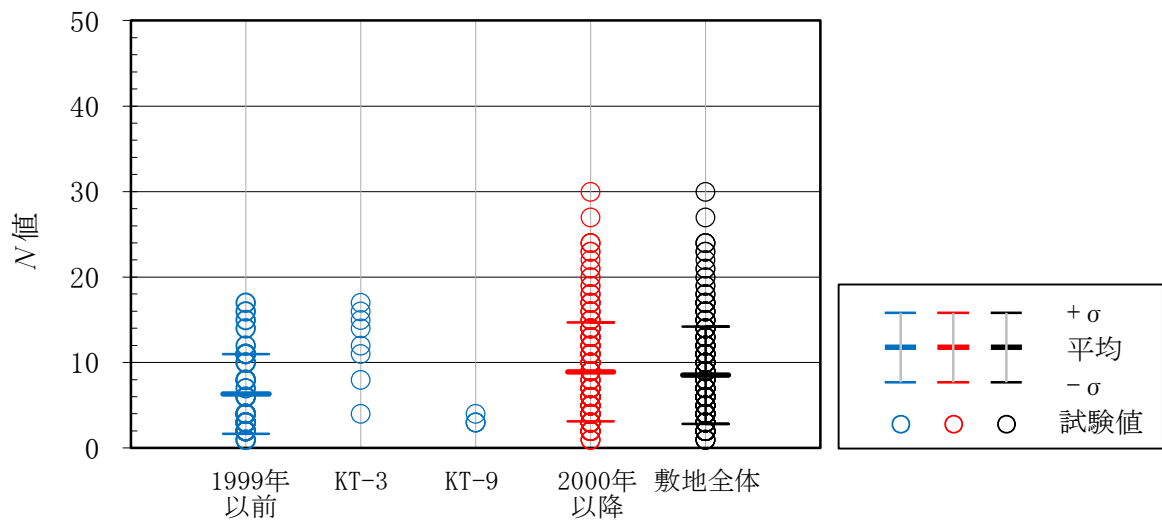
第 2.1.1-4 図 品質管理記録
(1999 年以前, コーン貫入抵抗 q_c)



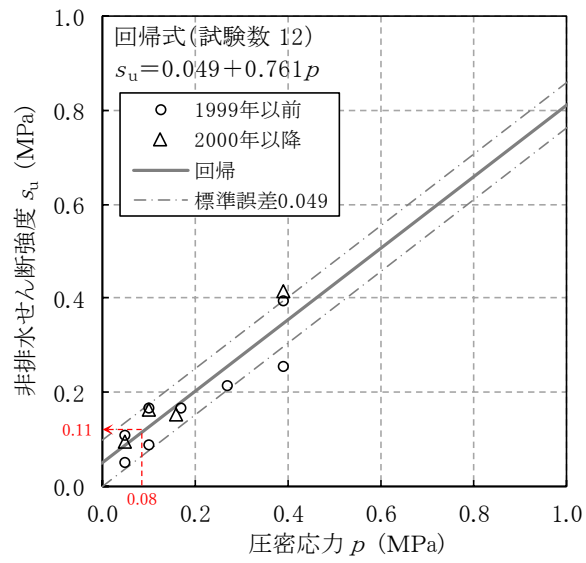
第 2.1.1-5 図 品質管理記録
(2000 年以降, 締固め度 D_c)



第 2.1.1-6 図 施工年代別の粒度分布



第 2.1.1-7 図 施工年代別の N 値

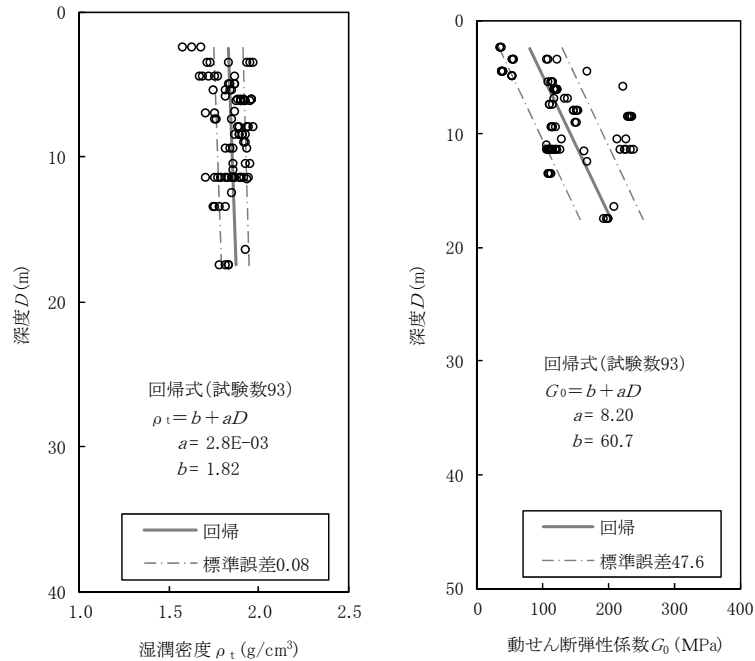


第 2.1.1-8 図 埋戻し土の強度特性（非排水せん断強度と圧密応力の関係）
 （再処理施設，廃棄物管理施設及び MOX 燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋して加筆）

2.1.2 埋戻し土の物性値設定について

埋戻し土については、ボーリング柱状図を確認した上で、物理特性試験及びPS検層に基づき解析物性値を設定している。埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考1に示す。

埋戻し土のせん断波速度 (V_s) は、深くなるとおおむね大きくなる傾向を示しており、土質材料の力学特性における拘束圧依存と整合する結果を示している。

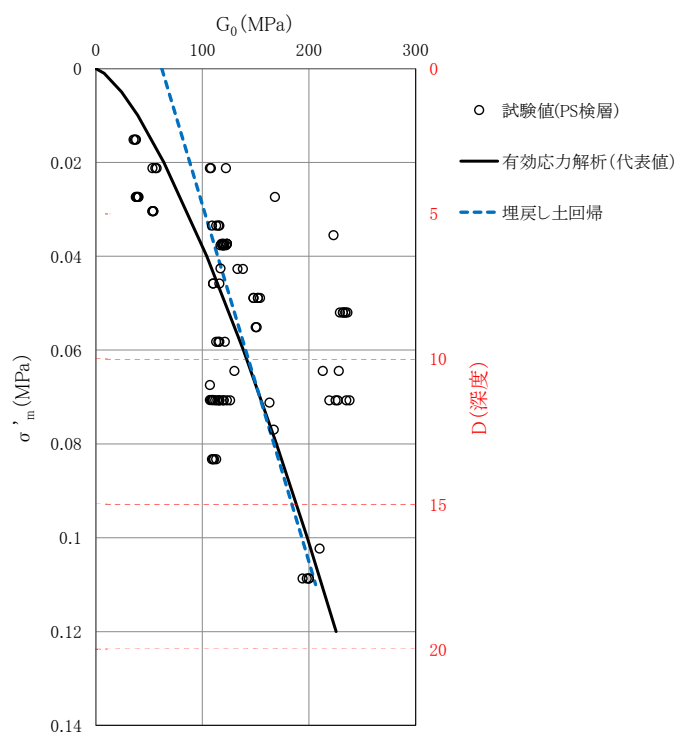


第 2.1.2-1 図 埋戻し土の湿潤密度及び動せん断弾性係数の回帰式と標準誤差
(再処理施設, 廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋)

第 2.1.2-1 図に埋戻し土の解析用物性値のうち、湿潤密度（以下、 ρ_t という。）と動せん断弾性係数（以下、 G_0 という。）を示す。埋戻し土の物性値として、 $\rho_t = 1.82 + 0.0028D$ (g/cm^3), $G_0 = 60.7 + 8.2D$ (MPa) (D =深度: GL+m)を設定した。いずれも深度方向に物性値が増加しており、深度依存の1次回帰により整理できる。 G_0 については、 $G_0 = \rho_t \cdot V_s^2$ で与えられることから、参考1に示した埋戻し土の V_s が一定であっても ρ_t が深度依存していれば、 G_0 は深度方向に大きな値となる。

なお、埋戻し土の解析用物性値については、JEAG4601-2008に基づき、拘束圧の影響を考慮した表示として深度依存式を用いて、「再処理施設, 廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書」における基礎地盤安定性評価において、第2.1.2-1図に示した解析用物性値 (ρ_t と G_0 に深度依存を考慮した回帰式) を適用している。ばらつきについては、母集団の平均値の区間推定であることから標準誤差を深度方向に等差で与えている。

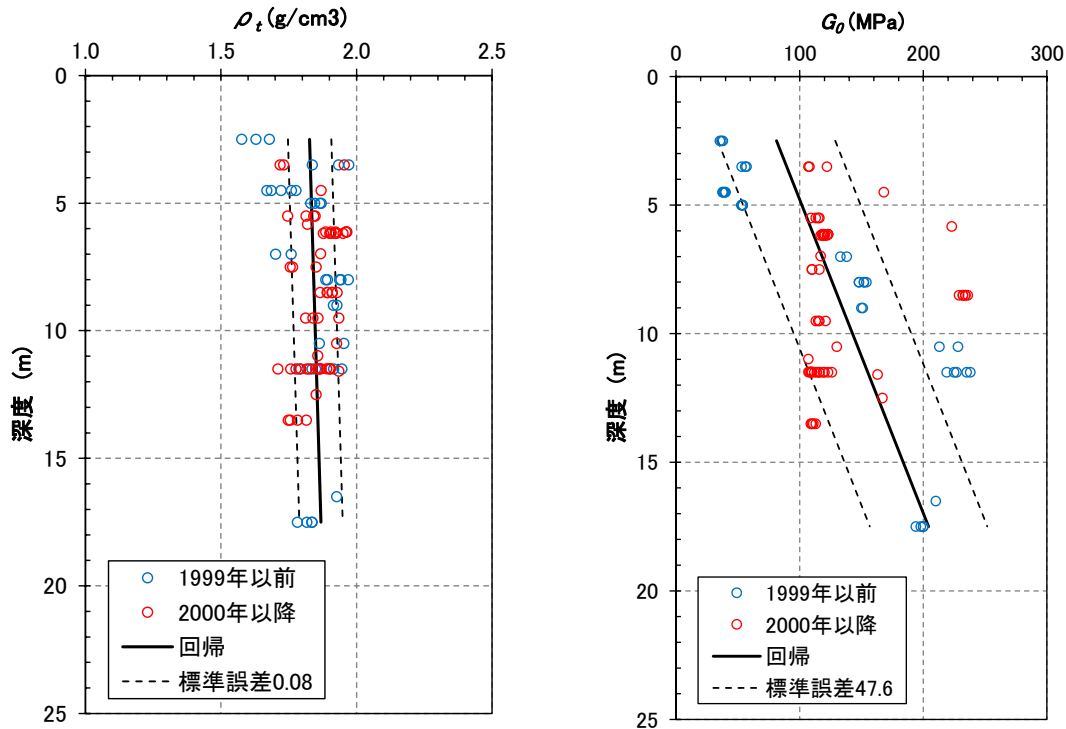
また、第1回申請における安全冷却水B冷却塔（A4B）の竜巻防護ネットの液状化検討（FLIP:砂の応力-ひずみと過剰間隙水圧モデル）においては、第2.1.2-2図に示すとおり、第2.1.2-1図に示した埋め戻し土の G_0 のデータを用いた、有効拘束圧に応じた指数関数の拘束圧依存式（FLIP関数形指定）を適用している。なお、図中には、深度依存の1次回帰も示す。



第2.1.2-2図 液状化応答解析の初期せん断弾性係数 G_0 物性値

2.1.3 埋戻し土の均質性について

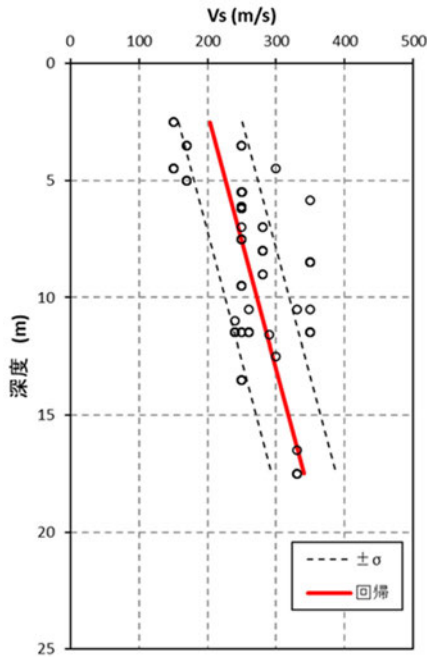
当該地点の埋戻し土は、敷地内北側が1999年以前、敷地内中央部から南側にかけて2000年以降に施工しており、施工時期から大別すると前者が1994年～1996年の3年間、後者が2000年～2003年の4年間で主要な埋戻し工事を実施している。この施工時期の違いに基づき、先述した第2.1.2-1図の埋戻し土の物性値 (ρ_t , G_0) を施工年代別に分類したものを第2.1.3-1図に示す。



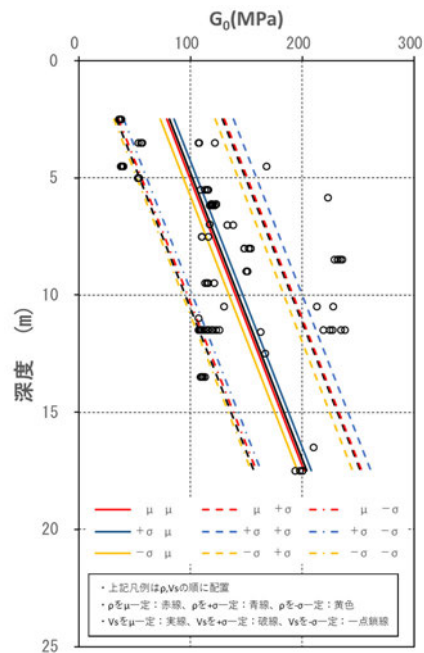
第 2.1.3-1 図 施工年代別の物性値 (ρ_t , G_0)

図に示す値は、PS検層（ダウンホール方式）による V_s と同孔から採取された ρ_t によるデータセット（解析用物性値を算定するための調査・試験結果データ）から算定した値である。図によれば、 ρ_t 及び G_0 の分布は青色の1999年以前と赤色の2000年以降で同様のばらつきの範囲に入っていることがわかる。なお、参考2にボーリング孔毎の G_0 と測定深度の関係を示す。

ここで、 G_0 を算定したデータセットの V_s に着目する。第2.1.3-2図に第2.1.2-1図の G_0 算定時に使用した V_s 分布図を示す。 V_s の回帰式は、埋戻し土の深度範囲2.5m～17.5mでは、0.2km/s～0.35km/sの速度範囲に分布し、深度依存を示す。



第 2.1.3-2 図 埋戻し土の物性値 (V_s)



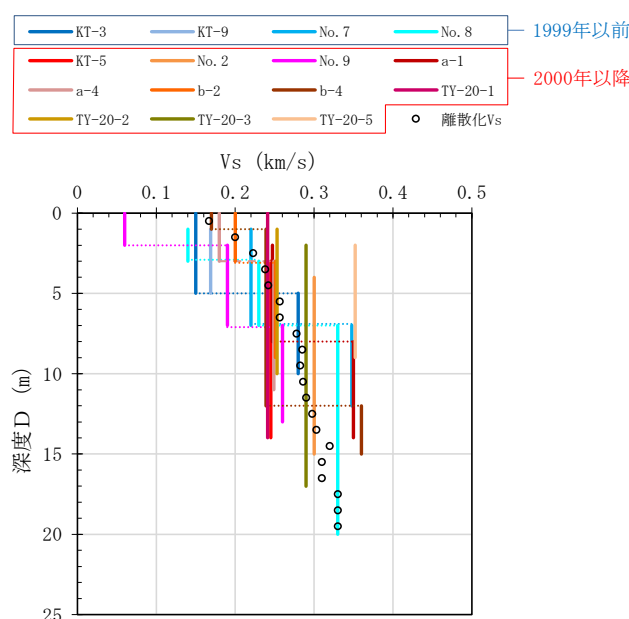
第 2.1.3-3 図 G_0 回帰の比較

計測データによる V_s 分布の回帰及び標準誤差と先の第 2.1.3-1 図の ρ_t の回帰及び標準誤差から当該地点での G_0 の取りうる範囲を想定した。第 2.1.3-3 図に、 ρ_t の μ (平均), $\pm\sigma$ (ばらつき) と V_s の μ (平均), $\pm\sigma$ (ばらつき) の掛け合わせとして 9 組の回帰 (色付き線) とデータセットから得られた G_0 の回帰及び標準誤差 (黒線) を示す。なお、 G_0 の回帰は、 ρ_t (一次式) と V_s^2 (二次式) との掛け算であることから深度方向に向かって発散する 3 次関数となる。事業変更許可申請書における標準誤差 ($\pm 1\sigma$) の回帰は等差 (深度方向に一定の標準誤差) で与えていることから平均値からのばらつきをデータセットから得られた G_0 の深度依存勾配 ($+8.2D$: D =深度) に固定して、 ρ_t と V_s の μ , $\pm\sigma$ の組み合わせの回帰を行った (参考 3)。

図の凡例では、各線について ρ_t に用いた回帰及び V_s に用いた回帰をそれぞれの線色 (赤, 青, 橙) 及び線種 (実線, 破線, 一点鎖線) で表示している。図によれば、それぞれの回帰から算定した G_0 の回帰は、線種で分けた V_s の回帰に依存しており、それぞれで ρ_t が $+\sigma$ の場合には、 G_0 が若干大きくなる傾向を示し、 ρ_t が $-\sigma$ の場合には、 G_0 が若干小さくなる傾向となっている。ここでは、 ρ_t の回帰と V_s の回帰におけるばらつきの全ケースを算定したが、均質を目標とした材料であることから ρ_t は平均値が推定量として相応しいものとした場合、 V_s の $+1\sigma$ (赤破線), -1σ (赤一点鎖線) は、データセットから得られた G_0 の μ (平均), $\pm\sigma$ (ばらつき) 回帰と一致する。したがって、当該地点での G_0 の取りうる範囲は、データセットから得られた G_0 の μ (平均), $\pm\sigma$ (ばらつき) 回帰に収まることを確認した。

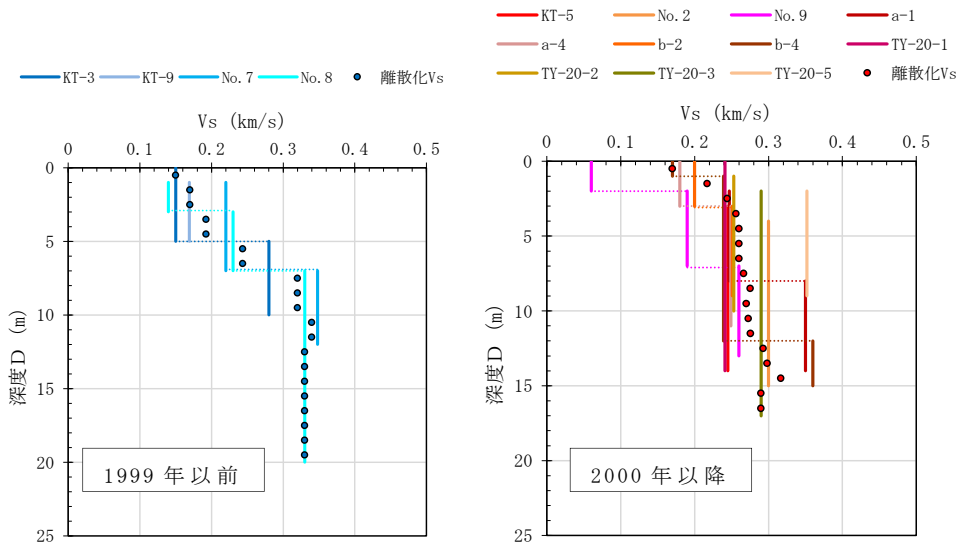
次に、データセットのうち偏りが見られた ρ_t に回帰の平均値を用いて、

離散的な V_s から得られる G_0 分布について考察する。第 2.1.3-1 図に示した埋戻し土のエリア全体のデータサンプリングにおいては、均質を目標として施工したものであることから、平面的・深さを含め網羅的に行っており、統計的に十分なデータセット (ρ_t, G_0) が得られている。しかし、年代別に分けた時には、それぞれのデータセットのうち、 ρ_t の深度に関するサンプリング範囲が限定的であるため、 G_0 を対象として両施工年代の物性値を比較評価することが難しいものとなっている。そこで、全ボーリング孔の埋戻し土範囲で共通に計測されている PS 検層 (ダウンホール方式) の V_s を用いて施工年代別の V_s 分布の整理を実施した。



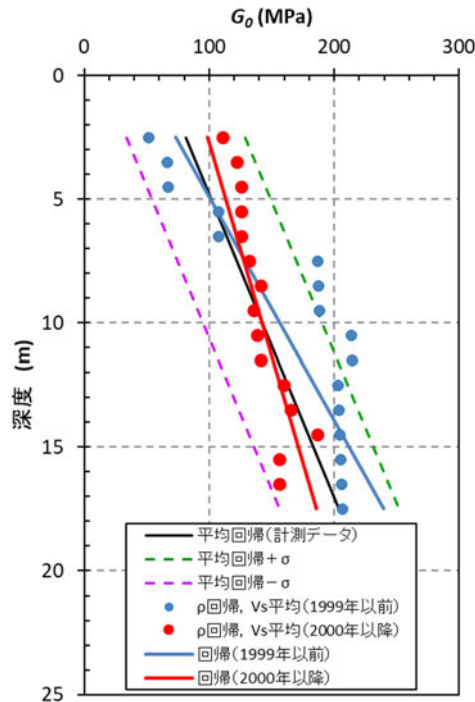
第 2.1.3-4 図 ボーリング柱状図による V_s と離散化 V_s (全 15 孔)

埋戻し土の V_s について、参考 1 の埋戻し土の柱状図から全ボーリング孔 (15 孔) 及び施工年代別に整理した結果を第 2.1.3-4 図に示す。なお、図中には、深度 1 m 区間ごとの V_s (離散化 V_s と呼ぶ) の平均値を ○ 印で示している。図によれば、寒色系で示す 1999 年以降の V_s 分布と暖色系で示す 2000 年以降の V_s 分布は、施工年代にかかわらず 0.1 km/s 程度から 0.35 km/s の速度範囲で分布し、離散化 V_s の平均値 (○ 印) は深度依存の傾向を示している。



第2.1.3-5図 施工年代別の V_s と離散化 V_s

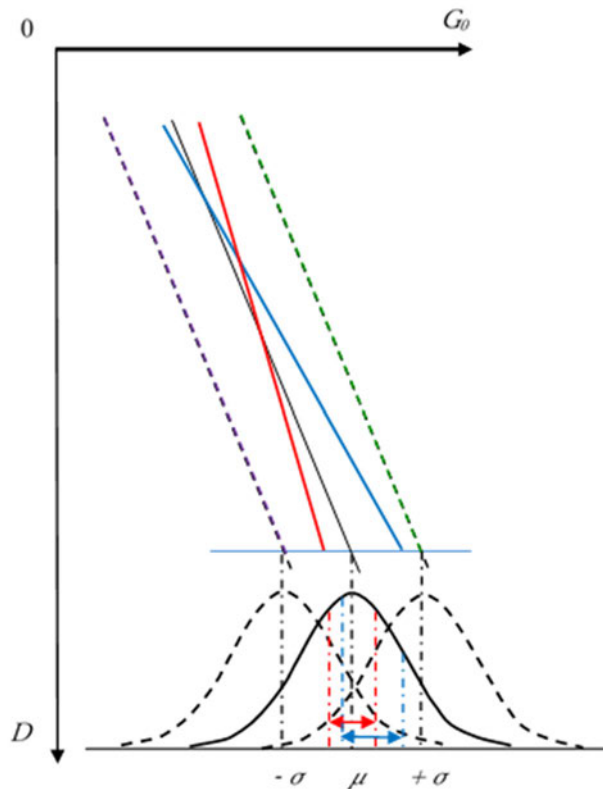
第2.1.3-5図には、施工年代別の V_s 分布とそれぞれの離散化 V_s の平均値を●印で示す。図によれば、施工年代別には、深度依存の傾向が若干異なること、2000年以降のPS検層は17m程度の浅層となっていることから、施工年代別の G_0 を同程度のデータ数により評価するため、先の第2.1.3-1図に示したデータセットによる ρ_t の平均値回帰を用いて V_s 分布による離散化 V_s の平均値から補完した1m毎の G_0 (補完 G_0 と呼ぶ) を両施工時期で比較することとした。第2.1.3-6図に1999年以前、2000年以降の補完 G_0 の値をそれぞれ青●印、赤●印、補完 G_0 の深度回帰を青線と赤線で示す。また、先の第2.1.2-1図に示した事業許可申請書に記載している計測データセットから算定した G_0 の物性値及び標準誤差 ($\pm 1 \sigma$) の深度回帰を黒線及び緑・紫破線で示している。



第 2.1.3-6 図 施工年代別の V_s 平均から求められる G_0 分布と回帰

図によれば、1999 年以前、2000 年以降の G_0 の分布は、各施工時期いずれも深度依存を示すとともに、敷地内全体平均の標準誤差 ($\pm \sigma$) の $\pm 1 \sigma$ 程度のばらつきになっている。

せん断弾性波 (S 波) は、表層地盤を伝播する際に周辺岩盤を包絡した平均的な挙動を示すことがモンテカルロシミュレーション結果 (参考 4 (1)) から得られており、それぞれの平均値である回帰分布がばらつきの範囲に収まっていることから、埋戻し土の物性値は、図中の黒線で示す平均値の回帰で与えられるものとする。また、2000 年以降の G_0 には、標準誤差をわずかに超えるものもあるが、当該地点の確率密度分布を考慮したモンテカルロシミュレーション (参考 4 (2)) に基づけば、第 2.1.3-7 図に示す概念図のとおり、1999 年以前と 2000 年以降の回帰は、平均の標準誤差のばらつき内の青矢印の範囲、赤矢印の範囲に収まっている。黒線で示す平均値に標準誤差の確率密度分布を与えてもほぼ平均値と等しくなることから、 $+1 \sigma$ に同様の確率密度分布のばらつきを与えても $+1 \sigma$ の深度依存回帰を与えたものと加速度応答と等しくなる。

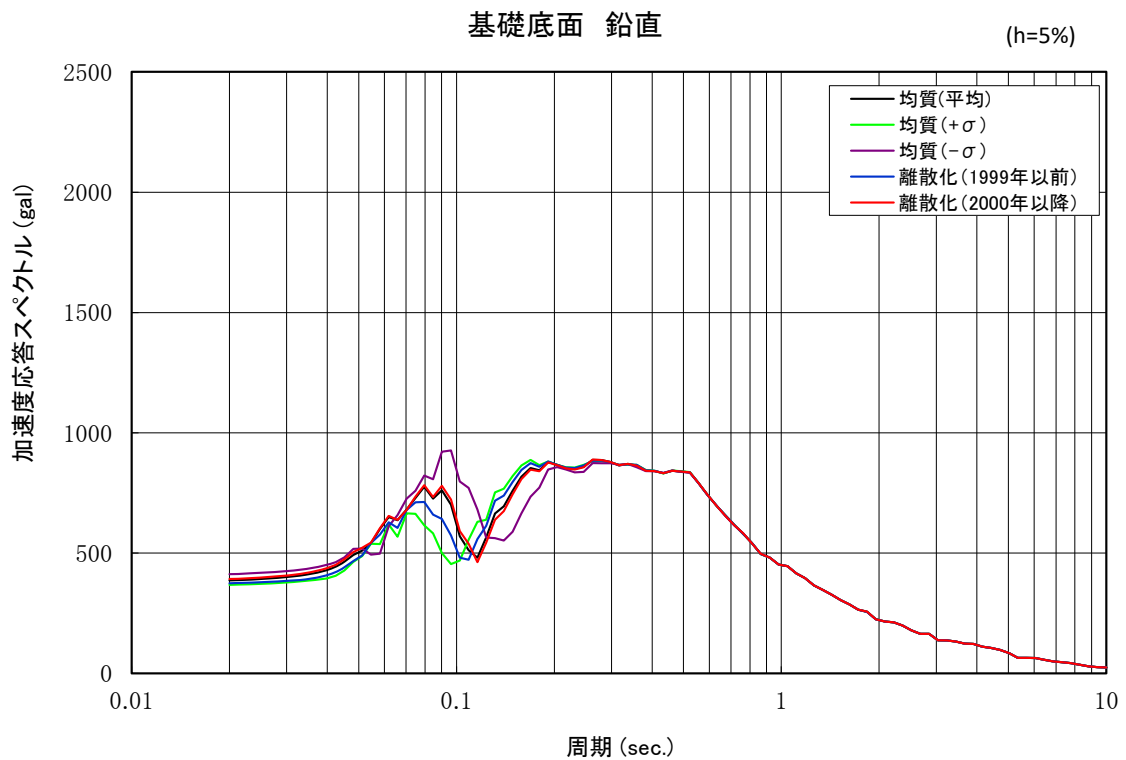
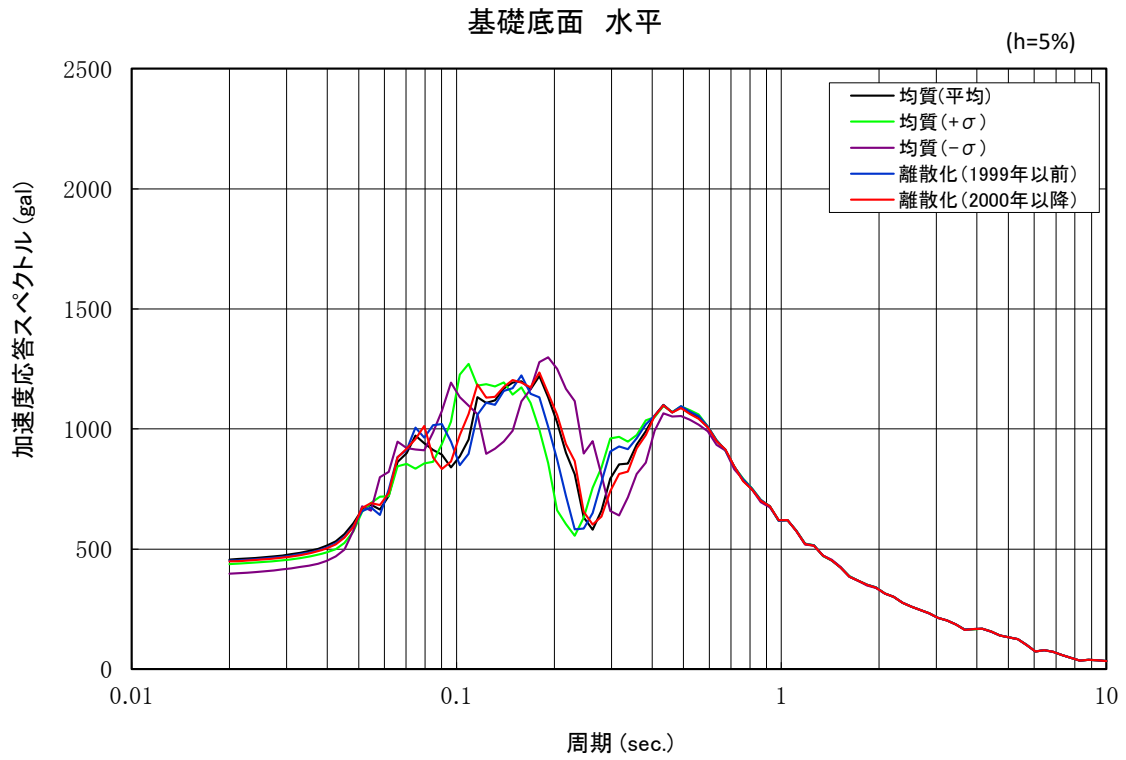


第 2.1.3-7 図 標準誤差範囲の確率密度分布の概念図

上記のことを確認するため、第 2.1.3-6 図に示した 1999 年以前、2000 年以降の G_0 の分布を用いて、2 次元周波数応答解析を実施した（参考 4 (3)）。

第 2.1.3-8 図に、計測データによる G_0 の平均及び標準誤差 $\pm 1\sigma$ 回帰と 1999 年以前、2000 年以降の補完 G_0 (V_s を用いて離散化した G_0) による基礎底面位置での加速度応答スペクトルの比較を示す。図によれば、2000 年以降の G_0 分布による加速度応答スペクトル（赤線）は、建屋の固有周期帯である $0.2s \sim 0.33s$ 区間では計測データの平均による加速度応答スペクトル（黒線）とほぼ一致している。1999 年以前の G_0 分布による加速度応答スペクトル（青線）は、計測データの平均による加速度応答スペクトル（黒線）に比べて短周期側に水平にシフトするものの計測データによる G_0 の標準誤差 $\pm 1\sigma$ （緑線： $+\sigma$ ，紫線： $-\sigma$ ）の加速度応答スペクトルに包絡されることが確認できた。

これらのことから、施工年代別の G_0 分布の回帰が標準誤差 $\pm 1\sigma$ 以内に収まっていれば、設計時に標準誤差を考慮することで G_0 分布回帰の年代別の差異は包絡できるものとする。



第 2.1.3-8 図 各 G_0 回帰による加速度応答スペクトルの比較

2.2 数値統計学に基づく埋戻し土の物性値 (G_0) の最尤モデル

2.1.1 に述べたように当該地点の埋戻し土は、均質な施工管理が実施されており、動的変形特性については、深度方向依存の物性値を示している。そこで、得られた試験データから現状における統計学的に最も適した物性値の設定方法について検討を行った。

得られたデータからその元となる構造を推定する、あるいは、将来、起こることを予測する手法は統計的モデリング*1 と呼ばれている。統計的モデリングは、客観的に存在するものではなく、解析する対象に関する知識や期待、経験や過去のデータに基づく知識から解析の目的に応じて作られる。統計的モデルによって、特定のモデルが得られても実際の対象物が厳密にそのモデルに従って変動しているわけではなく、他の要因の影響も受けると考えるべきである。しかし、統計的モデルは真の構造を正確に表現しているかどうかではなく、必要とする情報を取り出すために適当かどうかということである。良いモデルを用いれば良い結果が得られるが、不適切なモデルを用いれば、良い結果が期待できない。そのモデリングでは、正確さ（偏りとばらつき）、複雑さ（適用のしやすさやパラメータの数）、物理的意味との整合性などの種々の視点があり、出来具合にも優劣がある。この場合、パラメータの数や次数を増やせば増やすほど、その測定データとの適合度を高めることができるが、その反面、ノイズなどの偶発的な（測定対象の構造と無関係な）変動にも無理に合わせてしまうため、同種のデータには合わなくなることもある。

そのようなモデルの良さの評価を行う手法として、情報量規準があり、主観性を持ったモデルの良さを客観的に評価するものである。

代表的な情報量規準として AIC (Akaike Information Criterion: 赤池情報量基準*1) があり、以下の式で表される。

$$AIC = -2 \cdot \ln L + 2k$$

ここで L は最大尤度、 k は自由パラメータの数である。
各標本（観測データ）の確率分布が正規分布の場合、

$$AIC = \sum_{i=0}^n \ln(2\pi\sigma_i^2) + 2k = \sum_{i=0}^n \ln\sigma_i^2 + 2k + n \ln 2\pi$$

$$AIC = \sum_{i=0}^n \ln\sigma_i^2 + 2k$$

と表せる。 n は標本サイズ、 σ_i は各標本の標準誤差である。2行目は、定数項を省略した値である。それに加えさらに、各標本の標準誤差が等しい場合は、

$$AIC = n \ln(2\pi\sigma^2) + 2k = n \ln \sigma^2 + 2k + n \ln 2\pi$$

$$AIC = n \ln \sigma^2 + 2k$$

AICは、数理統計理論を駆使して編み出したモデル選択指標のパラダイムであり、この値が小さいほど良いモデル（＝選択すべきモデル）という基準を定量的に示すものである*2。

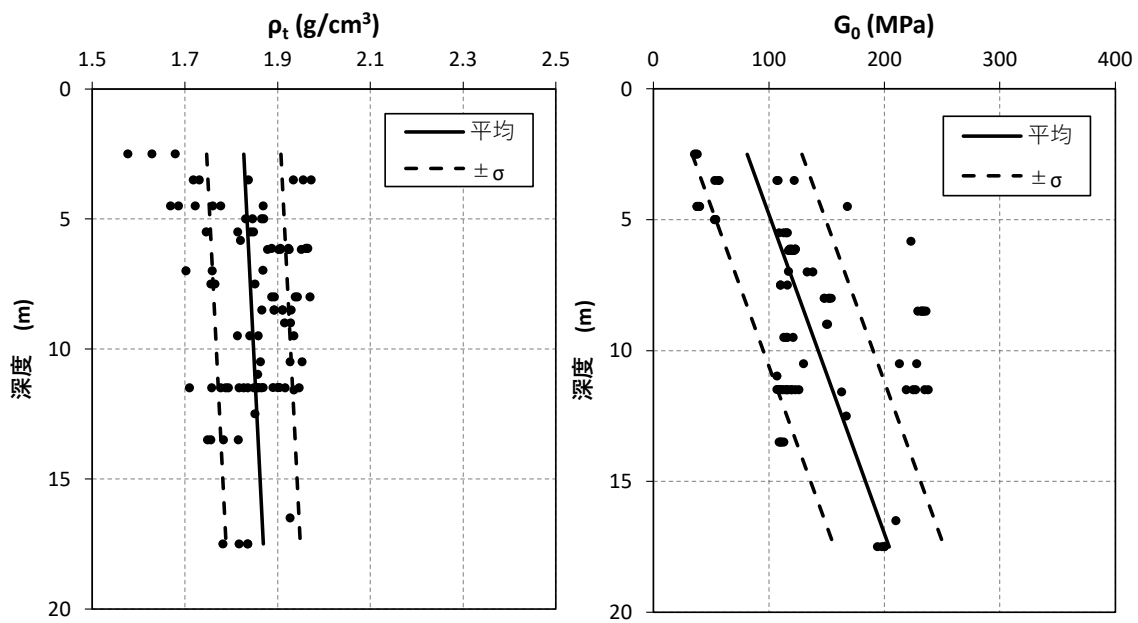
先述したように、パラメータを多くすると残差平方和を小さくできるが、統計的モデリングにおいてはバランスが大事であり、誤差が同じ程度なら予測値との乖離を少なくするにはパラメータ数の少ないモデルを選ぶべきである。

上記のAICを埋戻し土の G_0 の深度依存回帰の指標に適用し、現状の試験結果の統計情報からモデルに与えるべき最適（最尤：最も尤もらしい）な地盤物性値モデルを検討した。

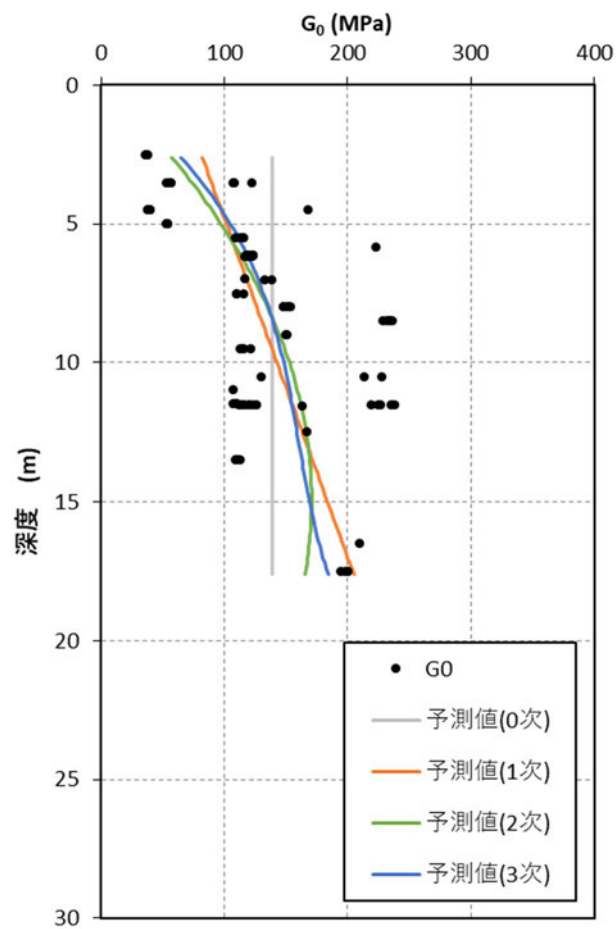
第2.2-1図（第2.1.3-1図の主要箇所拡大図）に、埋戻し土の動的変形特性として用いる ρt 、 G_0 の深度分布と深度依存回帰式を示す。第2.2-2図に既往データの0次（平均）、1次関数回帰、2次関数回帰のフィッティングと回帰式（最小二乗法）を示す。数値統計学的なフィッティングの良否を定量的に評価するため、第2.2-3図に各次数に対するAIC（オレンジ線）と残差平方和（青線）を示す。AICは、0次（平均）に比べると1次回帰で大きく減少し、2次、3次と次数が増えるのに伴い緩やかに減少する。誤差（残差平方和）が同程度であれば、パラメータの少ないモデルが適切と考えられる。

（参考文献）

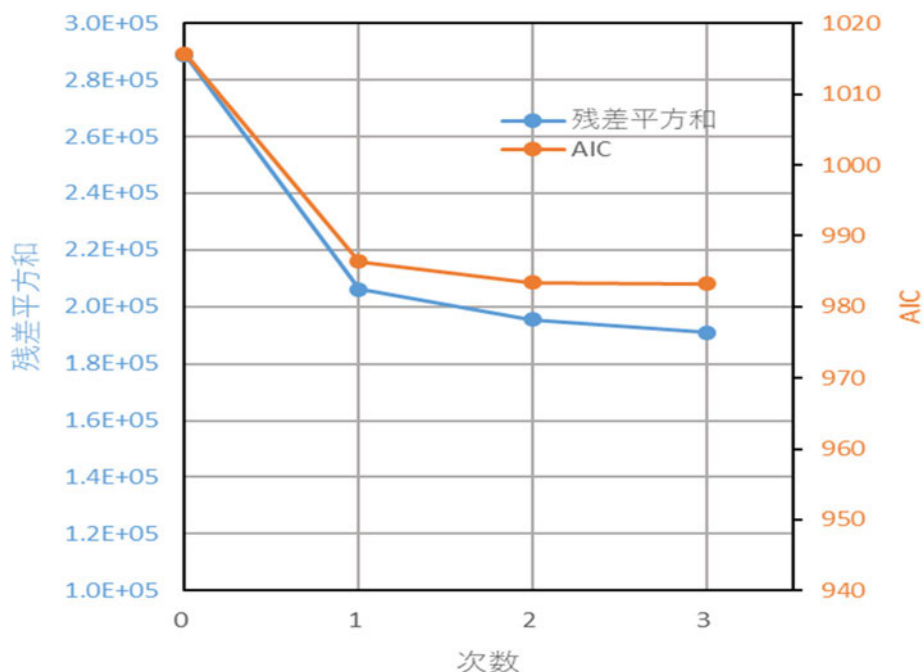
- *1 小西貞則，北川源四郎：情報量規準，シリーズ予測と発見の科学2，朝倉書店，208pp，2004
- *2 唐沢好男：AIC(赤池情報量規準)を学ぶ，Technical Report YK-048，電気通信大学，http://www.radio3.ee.uec.ac.jp/ronbun/TR_YK_048_AIC.pdf，19pp，2020.



第 2.2-1 図 埋戻し土の湿潤密度と動せん断弾性係数の回帰式と標準偏差



第 2.2-2 図 動せん断弾性係数 G_0 の任意次数回帰



第 2.2-3 図 既往データによる AIC の算定結果 (AIC・残差～次数関係)

2.3 まとめ

当該地点の埋戻し土の動的変形特性のうち G_0 については、一般的な土質材料であることから土質力学的には拘束圧依存を示し、品質管理された均質材料であることから深度依存(均質であれば深度方向に拘束圧が大きくなる)を示すものと判断される。

埋戻し土は、材料基準及び管理基準に基づき均質を目標に施工されており、動的変形特性は一定のばらつきに収まっている。

数理統計理論に基づく AIC による最尤推定モデルとしては、0 次(平均)よりも 1 次回帰(深度依存)の方が小さな値となり、2 次、3 次と次数が増えるのに伴い緩やかに減少するものの誤差(残差平方和)が同程度であれば、パラメータの少ないモデルが適切であることと合わせると 1 次関数回帰式がより選択すべきモデルとの指標が得られ、統計的(予測)モデルとしては最適と考える。

せん断弾性波(S波)は、面的に周辺の地盤特性を取り込みながら伝播するため、埋戻し土の深度範囲での G_0 の平均値となる G_0 回帰が $\pm 1\sigma$ 内に収まれば、設計時にばらつきを考慮することによりその影響を包絡できるものとする。

埋戻し土の物性値については、均質を目標として施工されており、全敷地範囲における埋戻し土の統計データ(15 孔, 93 個(G_0))としては満足しているものの、平面的に採取されていない箇所や第 2.1.3-1 図における 1999 年以前の 12m~16m, 2000 年以降の 14m 以深などの深部データに一部

偏りがあるため、設定した物性値の特性を補足することを目的として追加調査を実施する（参考5）。

取得データにより、平面的に一定のばらつきに収まっていること及び深度依存性を確認する。なお、取得データは、新たなデータとして物性値に加えて変更するものではなく、今回設定した物性値について、ばらつき及び深度依存特性が同等であることを確認し、信頼性の向上を図るものである。

3. 流動化処理土の物性に係る検討

3.1 均質性及び物性値設定について

3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性

流動化処理土は、建物・構築物の基礎掘削を行った地下部の埋戻しに際し、施設近傍や狭隘部における施工性向上を目的に適用している。流動化処理土の施工仕様及び管理基準について、施工仕様・基準一覧を第 3.1.1-1 表に、埋戻し工事の施工ブロック割位置図を第 3.1.1-1 図に示す。図中には、流動化処理土の PS 検層ボーリング孔位置も示す。なお、先に示した第 2.1.1-1 図は埋戻し土を施工した当初の位置状況を示しており、その後、現在に至るまで施設建設及び地盤改良が実施され更新されている。

流動化処理土は、流動化処理土 B を除いて、品質管理指標の違いにより 2 つのグループに分かれるものと考えられる。第 1 グループは、品質管理指標 qu が 0.2MPa~0.3MPa、第 2 グループは、品質管理指標 $qu \geq 0.6$ MPa 以上である。

第 1 グループは、第 3.1.1-1 図の流動化処理土の施工ブロック割位置図において、ハッチングの入っていないライトブルーで示す流動化処理土の埋戻し工事範囲である。図中には事業変更許可申請書において、流動化処理土（事業変更許可申請書における名称：流動化処理土 A）の解析用物性値を算定したボーリング位置を示しているが、いずれも第 1 グループである。第 2 グループは、同図において、ライトブルーに斜めハッチあるいはドットで示している範囲で DB 建屋、DC 建屋、BB 建屋、CB 建屋の南側表層地盤及び緊急時対策建屋（AZ）、第 1 保管庫・貯水所（G13）、第 2 保管庫・貯水所（G14）周辺の埋戻し工事で用いている。

流動化処理土の材料基準及び力学特性に係る品質管理基準を第 3.1.1-2 表に示す。流動化処理土の施工・品質管理は、所定の材料基準、施工手順及び管理基準により実施され、一定の品質となるよう材料基準（第 1 グループ：固化材（セメント）65~95kg/m³程度、第 2 グループ固化材（セメント）120、150kg/m³添加）を定め、施工を行っている。

流動化処理土の施工については、施設近傍のクレーン架台基礎及び狭隘部施工あるいは架台埋戻しを目的としているため、掘削した六ヶ所層に所定のセメントを添加させた置換工法を採用している。

流動化処理土の品質管理要領を第 3.1.1-2 図に示す。流動化処理土においては、品質確認頻度及び一軸圧縮強度 qu による品質確認方法が規定されている。

品質管理としては、第 1 グループでは一軸圧縮強度 qu が 3.0kgf/cm²（≒ 0.3MPa）以上（一部管理値を 0.2MPa と設定している箇所あり）になるよう管理が行われている。第 2 グループでは、一軸圧縮強度 qu が 6.5kgf/cm²（≒ 0.66MPa）以上（一部管理値を 0.6MPa と設定している箇所あり）になるよう管理が行われている。

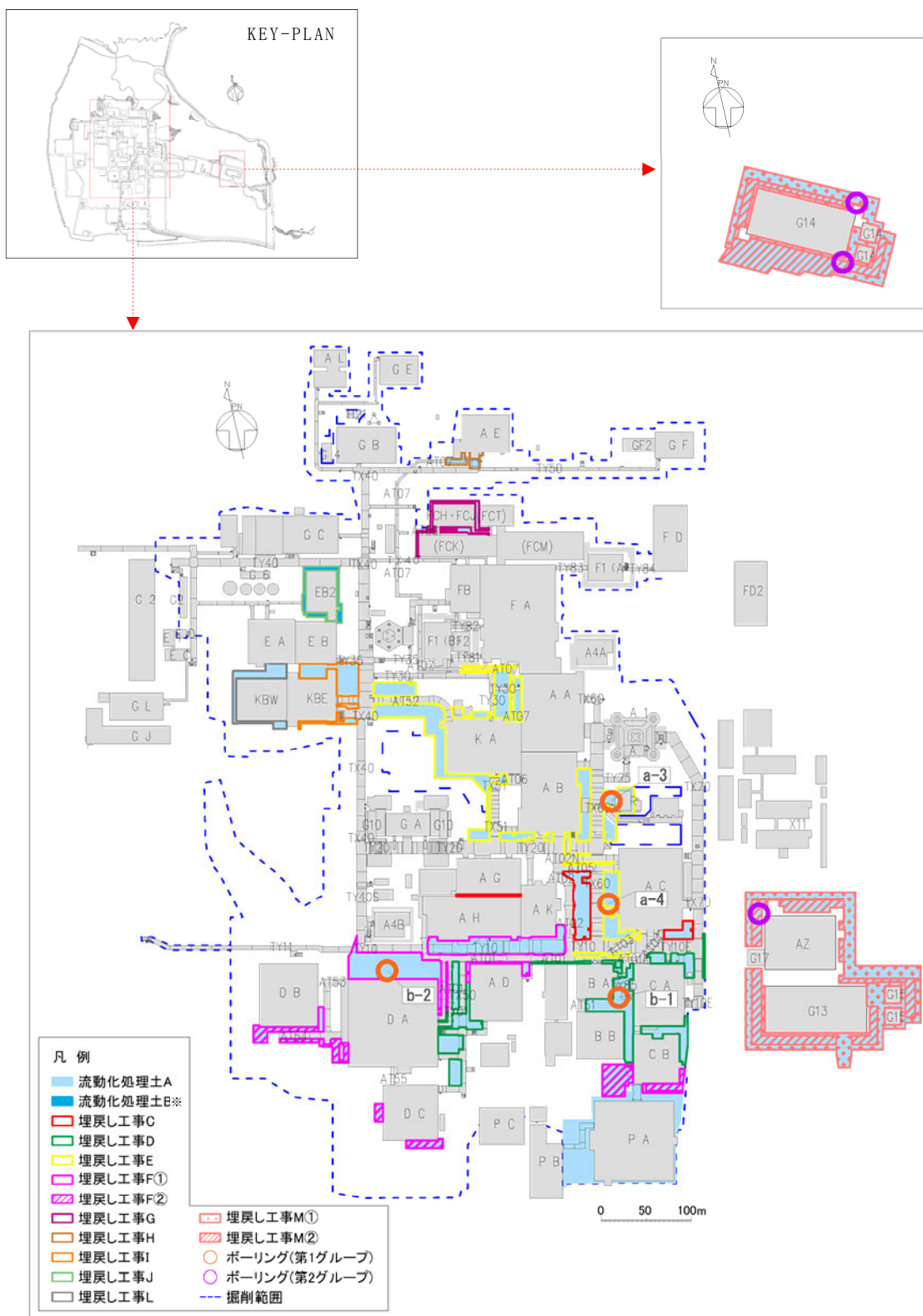
第 3.1.1-3 図に第 1 グループの流動化処理土（ $qu \geq 3.0$ kgf/cm²）及び第 2 グループの流動化処理土（ $qu \geq 6.5$ kgf/cm²）の品質確認結果を示す。第

1 グループの一軸圧縮強度 qu の平均値は、0.43～0.68MPa の範囲に仕上がっており、第2グループの一軸圧縮強度 qu の平均値では、埋戻し工事F②で1.1MPa(10.8kgf/cm²)、埋戻し工事M①で1.2MPa、埋戻し工事M②で1.3MPaの値となっており、第1グループの平均値よりも高い値となっている。

第 3.1.1-1 表 再処理施設の主な埋戻し工事における施工基準一覧（流動化処理土）

工事名	時期	施工範囲 (主要な近傍施設)	ボーリング 孔	数量概数 (m ³)	割合	仕様 (セメント配合量)	品質管理	
							管理指標	記録有無
埋戻し工事C	2000年4月～2002年3月	AG, AH, AK, AC	—	11,000	3.3%	65～70kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 2.2kgf/cm ²	あり
埋戻し工事D	2000年8月～2002年3月	DA, DC, AD, BA, BB, CA, CB	b-1	48,000	14.5%	85～95kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 3.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事E	2000年4月～2003年10月	KA, AA, AB, AK, AR, AC, BA, CA	a-3 a-4	76,000	22.9%	75kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 3.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事F	2002年4月～2003年12月	DA, DB, DC, A4, AD, AH, AK, BA, BB, CA, CB	b-2	85,000	25.6%	① 87kg/m ³ ② 120kg/m ³ **	一軸圧縮強度 ① qu ≧ 3.0kgf/cm ² ② qu ≧ 6.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事G	2002年4月～2002年10月	F3, FCK, FCT	—	2,000	0.6%	87kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 3.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事H	2003年5月～2003年11月	AE	—	1,000	0.3%	87kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 3.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事I	2004年5月～2004年10月	KBE	—	23,000	6.9%	87kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 3.0kgf/cm ²	あり
埋戻し工事L	2015年3月～2015年12月	KBW	—	13,000	3.9%	84kg/m ³	一軸圧縮強度 qu ≧ 200kN/m ²	あり
埋戻し工事M	2019年1月～2023年6月	AZ, G13, G14	—	73,000	22.0%	① 80～100kg/m ³ ② 150kg/m ³ **	一軸圧縮強度 qu ≧ 660kN/m ²	あり
				計	332,000	100%		

※ 埋戻し工事F②及び埋戻し工事M②については施工性(クレーン荷重を考慮)を踏まえたセメント配合量としている。



※流動化処理土BについてはEB2 廻りに限定的に使用している。

第 3.1.1-1 図 施工ブロック割位置図

第 3.1.1-2 表 流動化処理土の密度及び力学特性に係る品質管理一覧

<p>材料 基準</p>	<p>使用材料：六ヶ所層 セメント添加：65～95kg/m³程度（第1グループ） 120, 150kg/m³程度（第2グループ）</p>
<p>施工 手順</p>	<pre> graph TD subgraph 仮置きヤード A[購入砂 運搬・ストック] --> B[小運搬 (バックホウ、ダンプ)] end subgraph 流動化処理土製造ヤード C[製造プラント機材 搬入・組立] --> D[キャリブレーション] E[流動化処理土製造] F[固化材搬入 (セメント)] --> E G["(品質管理) ・超音波速度試験 ・一軸圧縮試験 ・透水試験"] --> E end B --> E D --> E E --> H[埋戻し箇所付近] H --> I[運搬 (ミキサー車)] H --> J[圧送・打設 (定置式コンクリートポンプ)] I --> K[打設 (コンクリートポンプ車)] J --> K K --> L[次工程引渡し] </pre>
<p>管理 基準</p>	<p>第1グループ：$q_u \geq 3.0\text{kgf/cm}^2 \approx 0.3\text{MPa}$ (一部 $q_u \geq 0.2\text{MPa}$) 第2グループ：$q_u \geq 6.5\text{kgf/cm}^2 \approx 0.66\text{MPa}$ (一部 $q_u \geq 0.6\text{MPa}$)</p>

(1)品質確認頻度

工法に対する諸基準・指針における必要調査箇所数を参考1表に示す。工法における品質確認頻度は、参考1表に示す諸基準・指針の必要調査箇所数を満足するように、各構造物の改良地盤の施工数量に応じて設定する。

参考1表 諸基準・指針における必要調査箇所数

対象施設	工法	基準略称	必要調査箇所数
飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）	掘削置換工法 （流動化処理土置換工法）	流動化処理土マニュアル	打設する際、1日に1回の測定

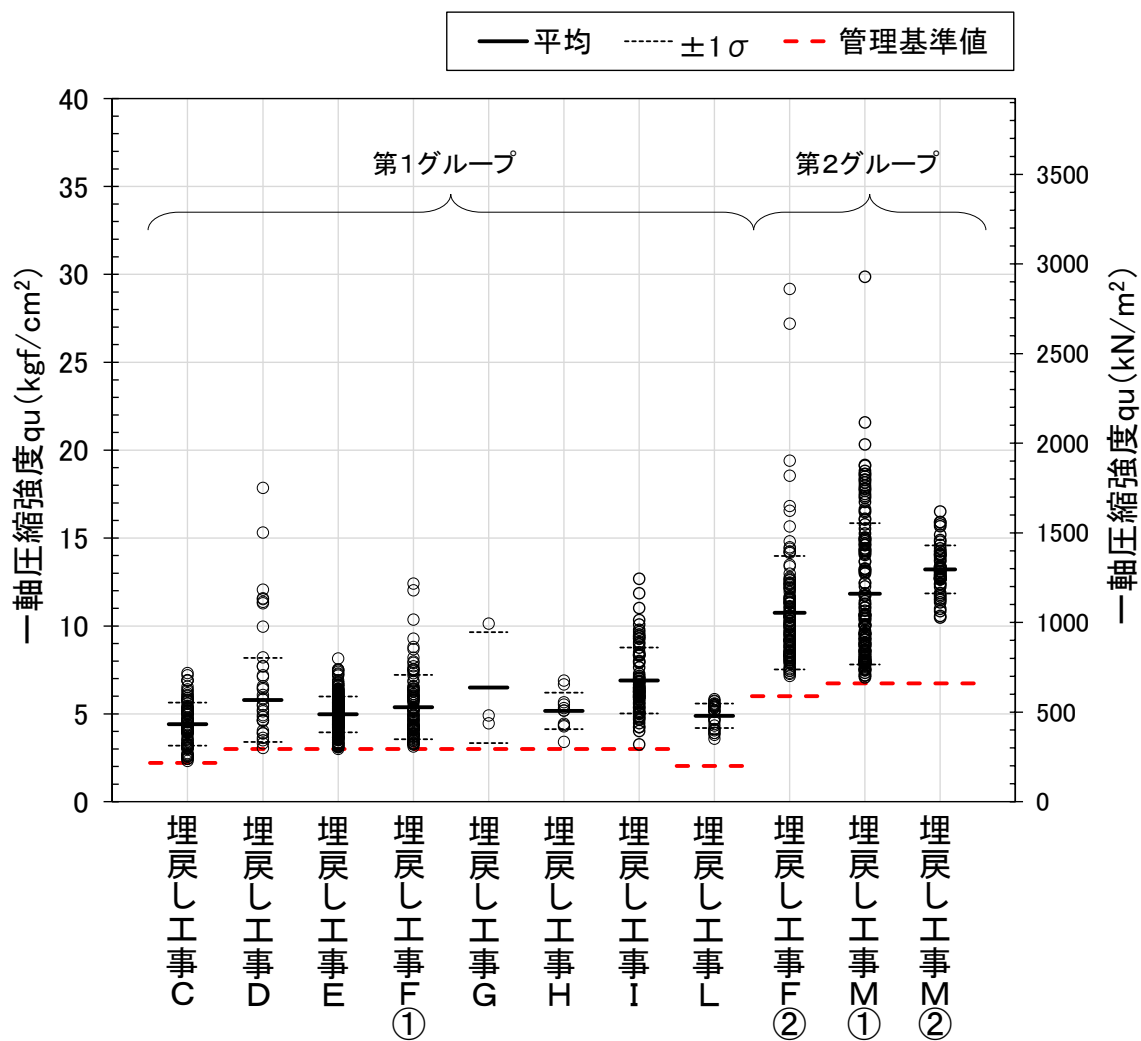
(2)品質確認方法

飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B）における流動化処理土の品質確認方法及び基準値を参考2表に示す。

参考2表 改良地盤の品質確認方法及び基準値

対象施設	改良地盤種別	工法	品質確認項目		品質確認試験	基準値
飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）	流動化処理土A	掘削置換方法 （流動化処理土置換工法）	強度	一軸圧縮強度 （kgf/cm ² ）	一軸圧縮試験 （JGS 2521）	3.0

第3.1.1-2図 流動化処理土に関する品質管理要領
（設工認に係る補足説明資料 耐震設計の基本方針に関する建物・構築物周辺の設計用地下水位の設定について〔耐震建物13〕から引用）



第 3. 1. 1-3 図 流動化処理土に関する品質確認結果

3.1.2 流動化処理土の物性値設定について

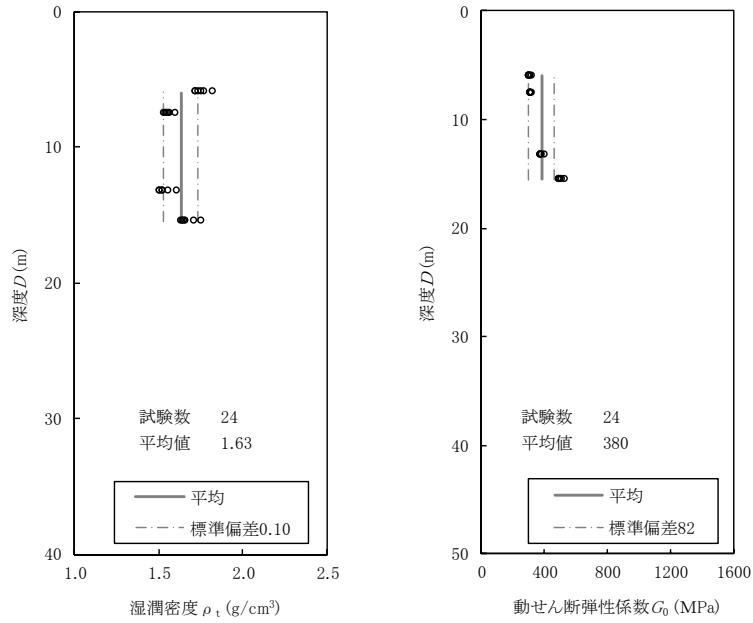
流動化処理土については、ボーリング柱状図を確認した上で、物理特性試験及びPS検層に基づき解析物性値を設定している。流動化処理土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考6に示す。

流動化処理土のせん断波速度 (V_s) には、顕著な深度方向への依存性は認められず、4孔の平均として480m/s (標準偏差 50.5) の値が得られている。

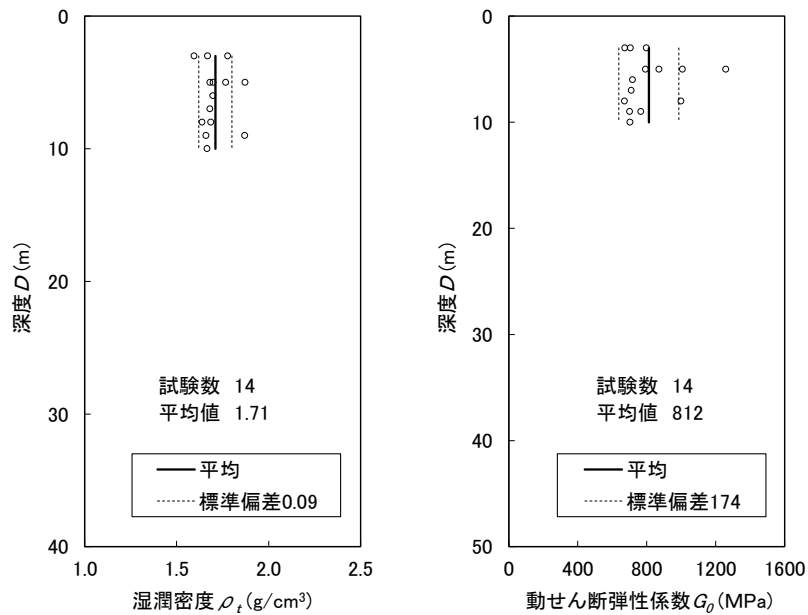
第3.1.2-1図に流動化処理土(第1グループ)の解析用物性値のうち、 ρ_t と G_0 の値を示す。 ρ_t は、深さ方向に関係なくばらつきを有しており、 V_s と ρ_t から算出した G_0 は、深度方向に剛性が高くなる傾向が見られるものの、流動化処理土はセメント添加による人工材料であるため、一般的に土質材料のような拘束圧依存による深度依存は見られないと考えられることから、第3.1.2-1図に示すように、 G_0 の平均値380MPaを設定している。

第3.1.2-2図に流動化処理土(第2グループ)の解析用物性値のうち、 ρ_t と G_0 の値を示す。 ρ_t は、第1グループと同様に深さ方向に関係なくばらつきを有している。 V_s と ρ_t から算出した G_0 については深さ方向に関係なくばらつきを有しており、深度依存は見られず、 G_0 の平均値は812MPaとなっており、 ρ_t 、 G_0 ともに平均値を設定する。

なお、流動化処理土(第1グループ)の解析用物性値については、「再処理施設、廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書」における基礎地盤安定性評価において、第3.1.2-1図に示した解析用物性値(湿潤密度と動せん断弾性係数)を平均値として適用している。



第3.1.2-1 図 流動化処理土（第1グループ）の湿潤密度及び動せん断弾性係数の平均と標準偏差
 （再処理施設，廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設の事業変更許可申請書より抜粋）



第3.1.2-2 図 流動化処理土（第2グループ）の湿潤密度及び動せん断弾性係数の平均と標準偏差

3.2 流動化処理土の物性設定のまとめ

第1グループ及び第2グループの流動化処理土は、規定範囲のセメント添加による人工材料で一定の品質管理の下で施工されていることを確認した。セメント添加材料であることから土質材料のような拘束圧依存による深度依存は見られないと考えられることから、材料（セメント添加量、母材等）としてのばらつきと考え、深度依存のない平均値として地盤物性値を設定した。

4. 表層地盤のまとめ

本資料においては、一般的・標準的な手法による表層地盤の物性値等を設定した。今後、基本地盤モデルの設定にあたっては、上記の設定結果を用いる。また、基本地盤モデルの設定においては、一部建屋において、実際に表層地盤に埋め込まれているものの、埋め込みを考慮していない建屋については、埋め込みを考慮した状態で設定する。

なお、緊急時対策建屋（AZ）、第1保管庫・貯水所（G13）及び第2保管庫・貯水所（G14）は、参考7（1）に示すとおりオープン掘削による広がりをもった掘削範囲の内側は流動化処理土により埋め戻されており、外側には地山（高位段丘層、六ヶ所層等）が存在することから、流動化処理土の特徴を考慮し、「基本地盤モデル」における表層地盤を設定する。

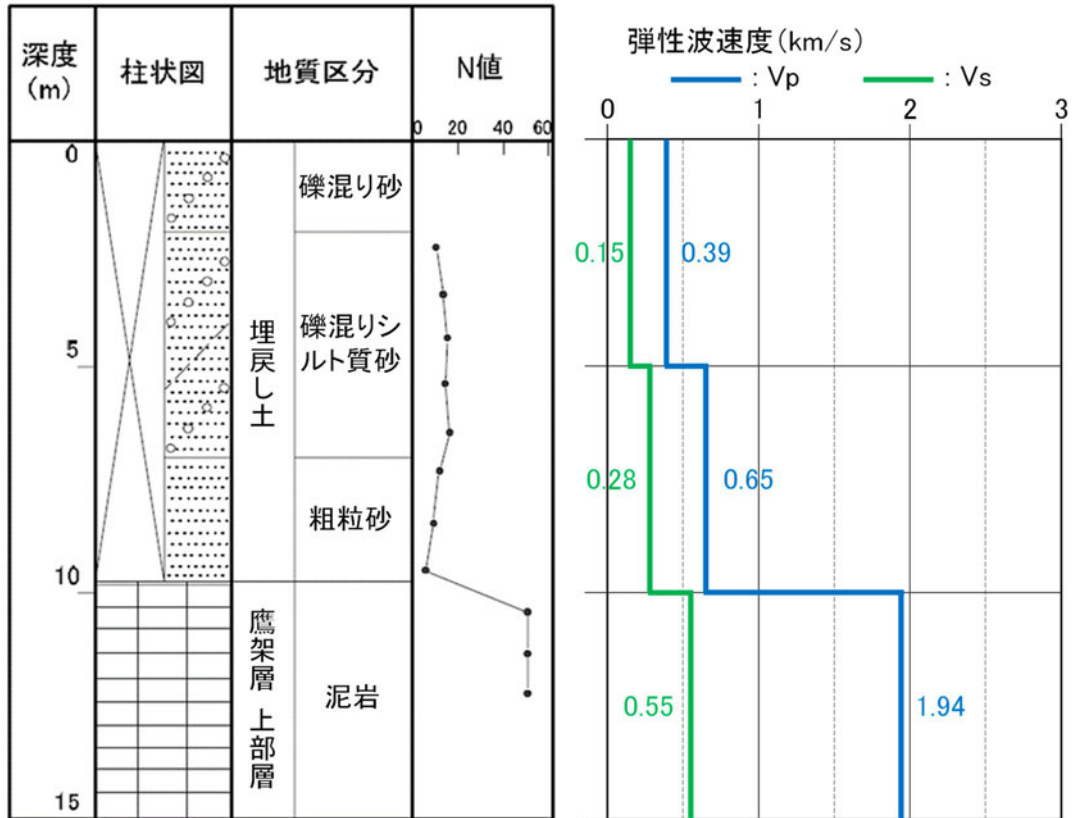
表層地盤の設定について、2次元周波数応答解析手法によりその影響検討を実施した。当該位置の流動化処理土は、前述の第2グループであることから基礎地盤安定解析での表層物性値（地山）に流動化処理土（第2グループ）の動的変形特性を用いて影響検討を実施した（参考7（2））。その結果、建屋近傍の掘削領域のみを流動化処理土で置換したケースと表層全領域（側方境界まで）を流動化処理土としたケースでは、基礎岩盤の応答に顕著な違いがないことから周辺地盤の影響よりも流動化処理土の物性値が支配的であることを確認した。

参考 1

埋戻し土のボーリング柱状図について

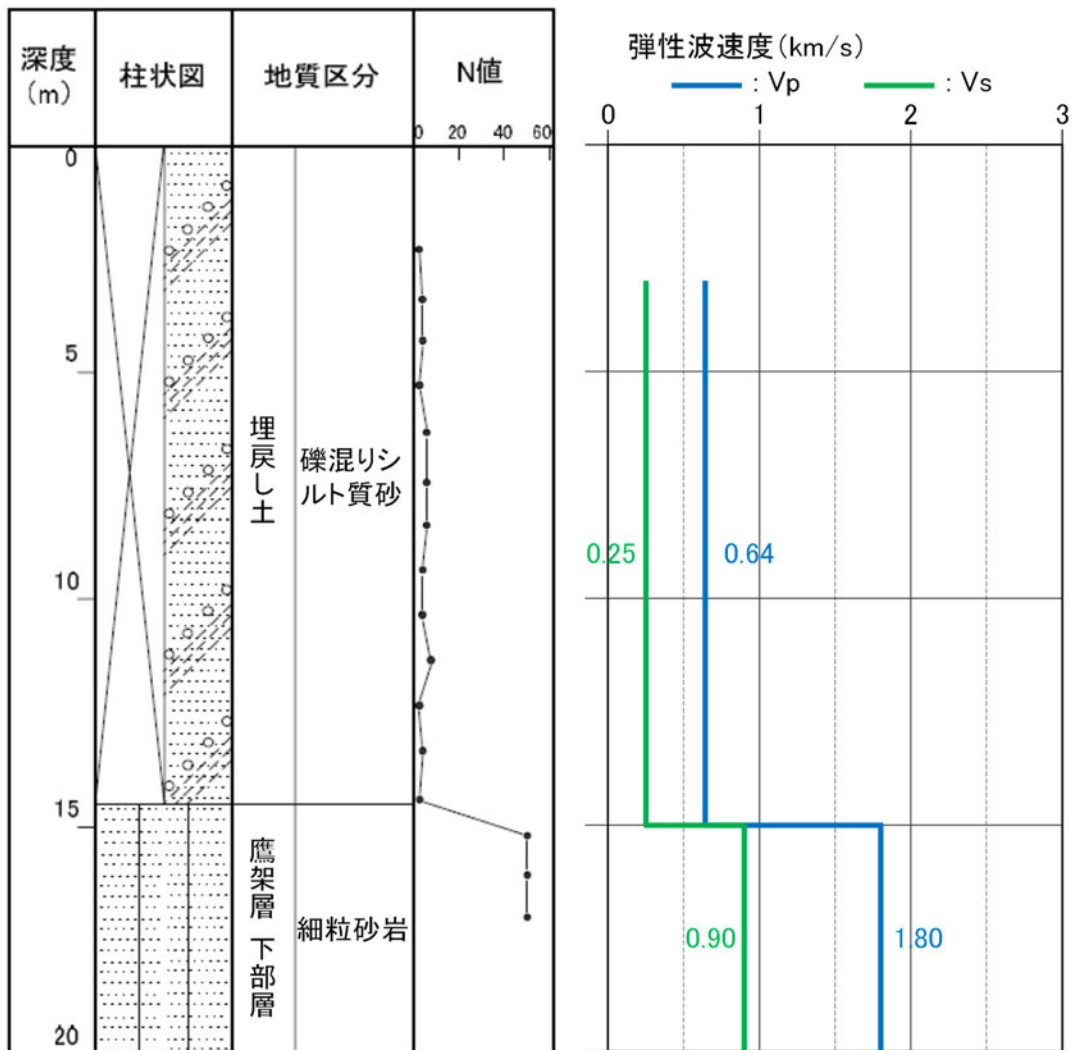
本編 2.1.2 埋戻し土の物性値設定の検討における事業変更許可申請書で設定した埋戻し土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 1-1 図～参考 1-15 図に示す。

KT-3 (孔口標高 55.17m)



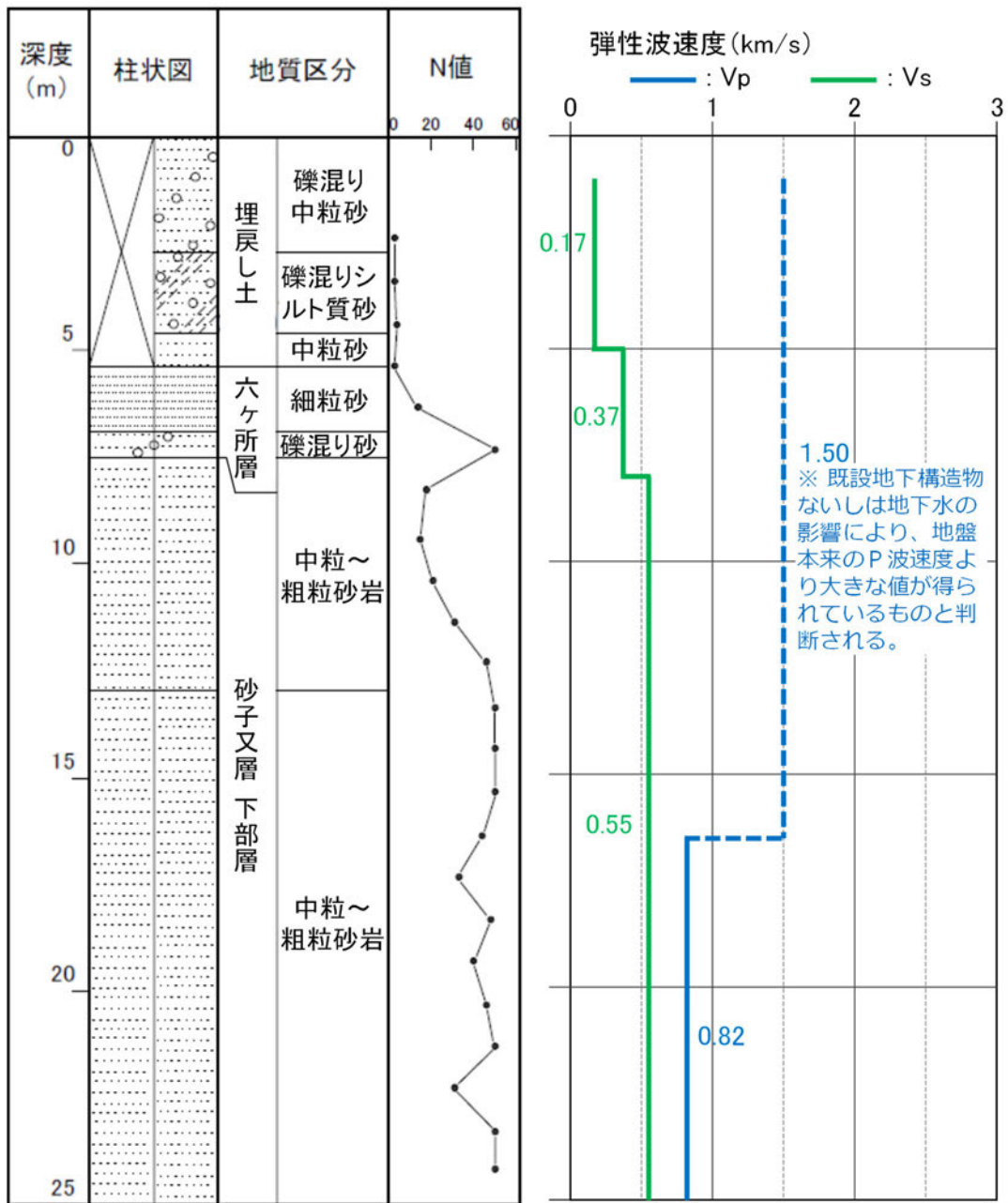
参考1-1図 ボーリング柱状図 (KT-3孔)

KT-5 (孔口標高 54.93m)



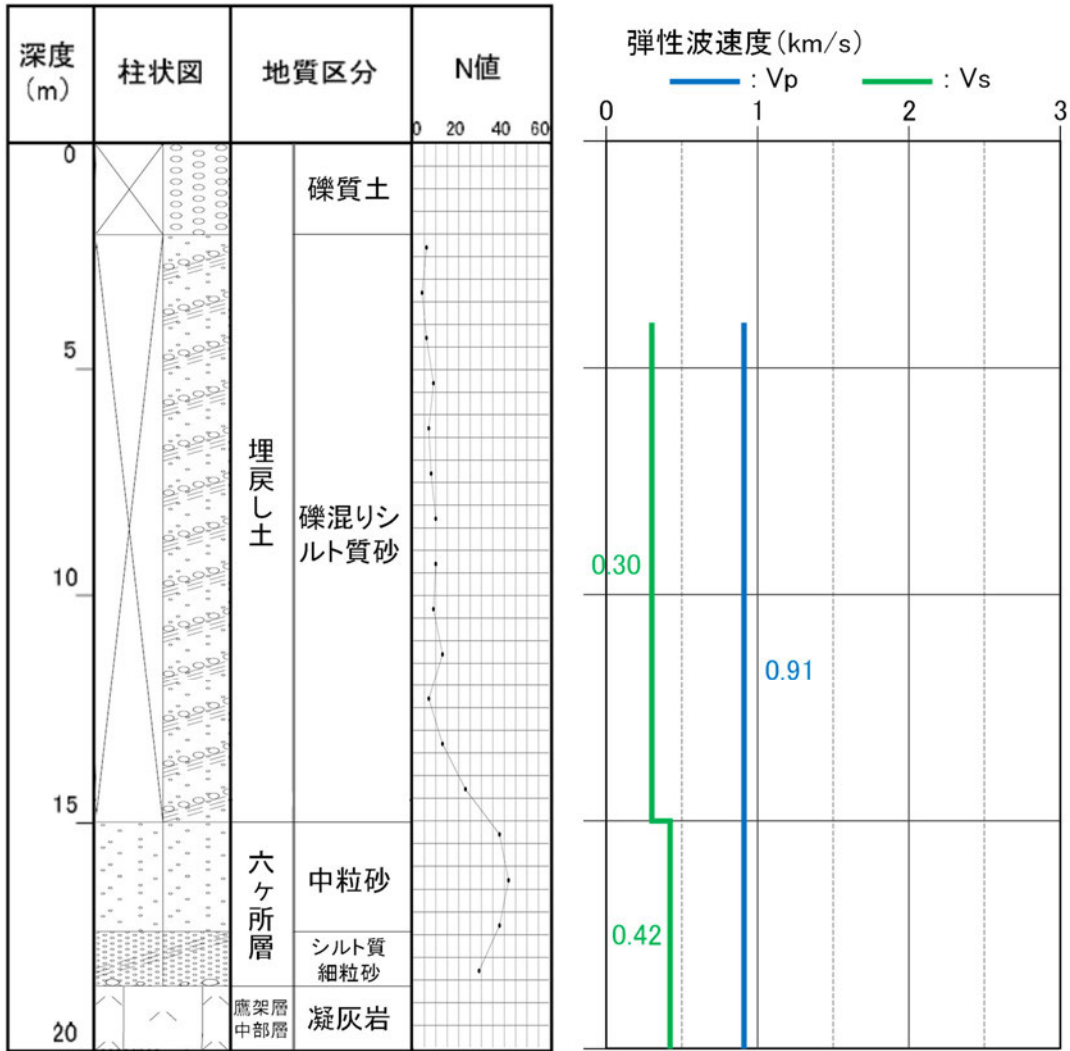
参考1-2図 ボーリング柱状図 (KT-5孔)

KT-9 (孔口標高 54.94m)



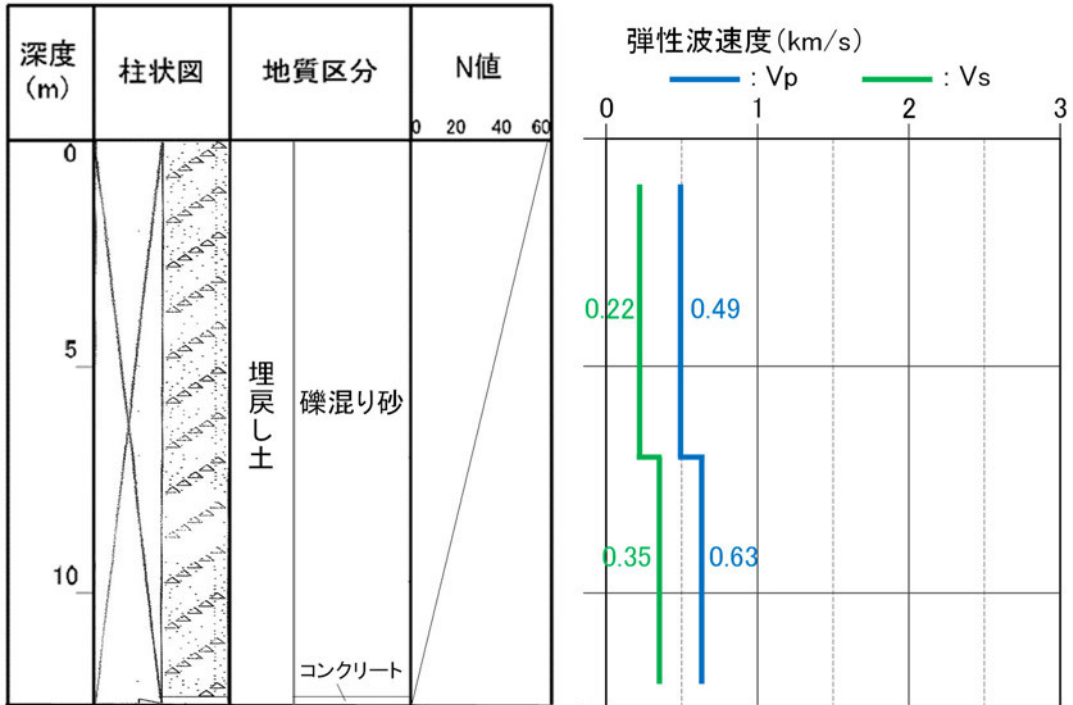
参考1-3図 ボーリング柱状図 (KT-9孔)

No.2 (孔口標高 54.99m)



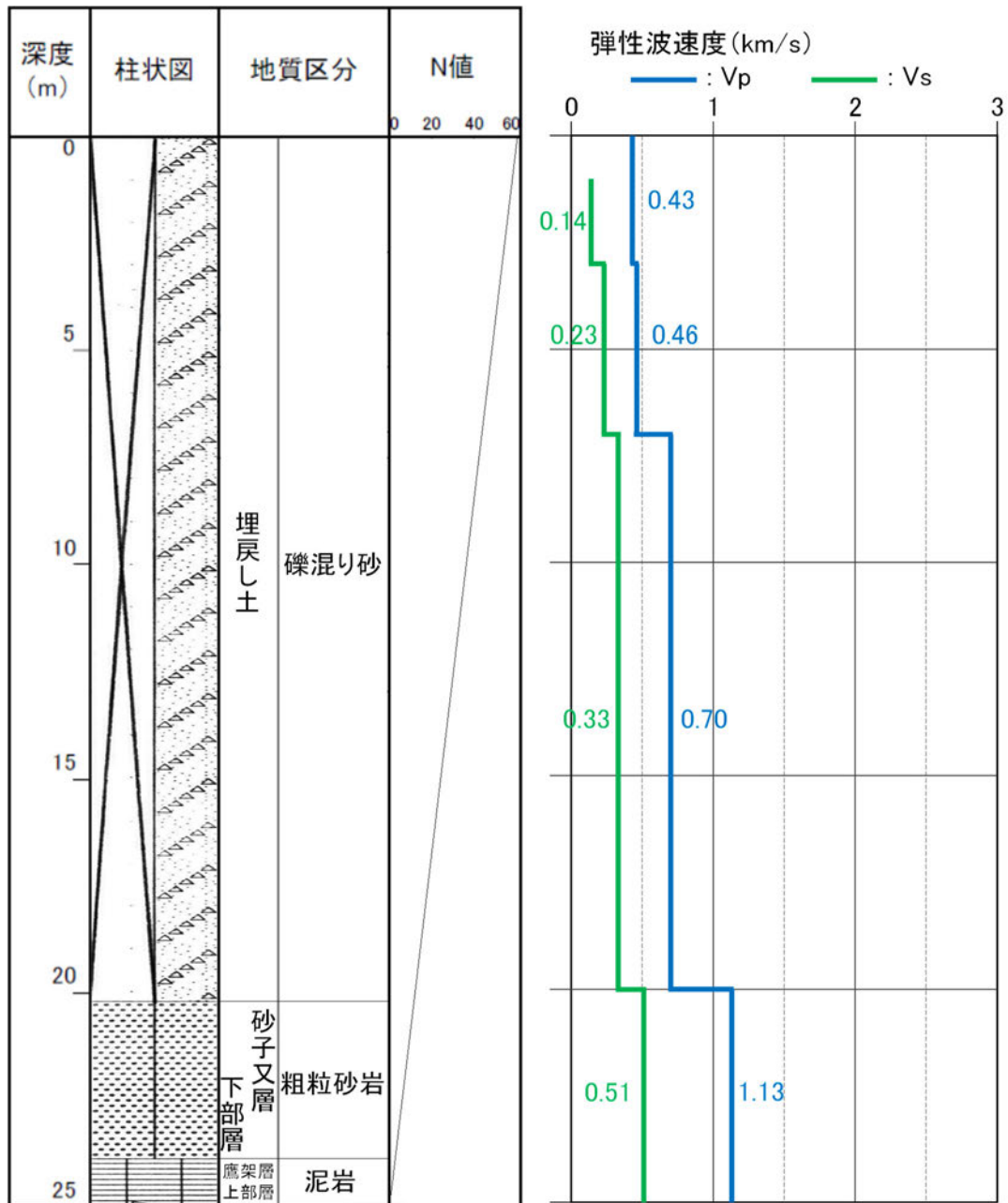
参考1-4図 ボーリング柱状図 (No. 2孔)

No.7 (孔口標高 55.20m)



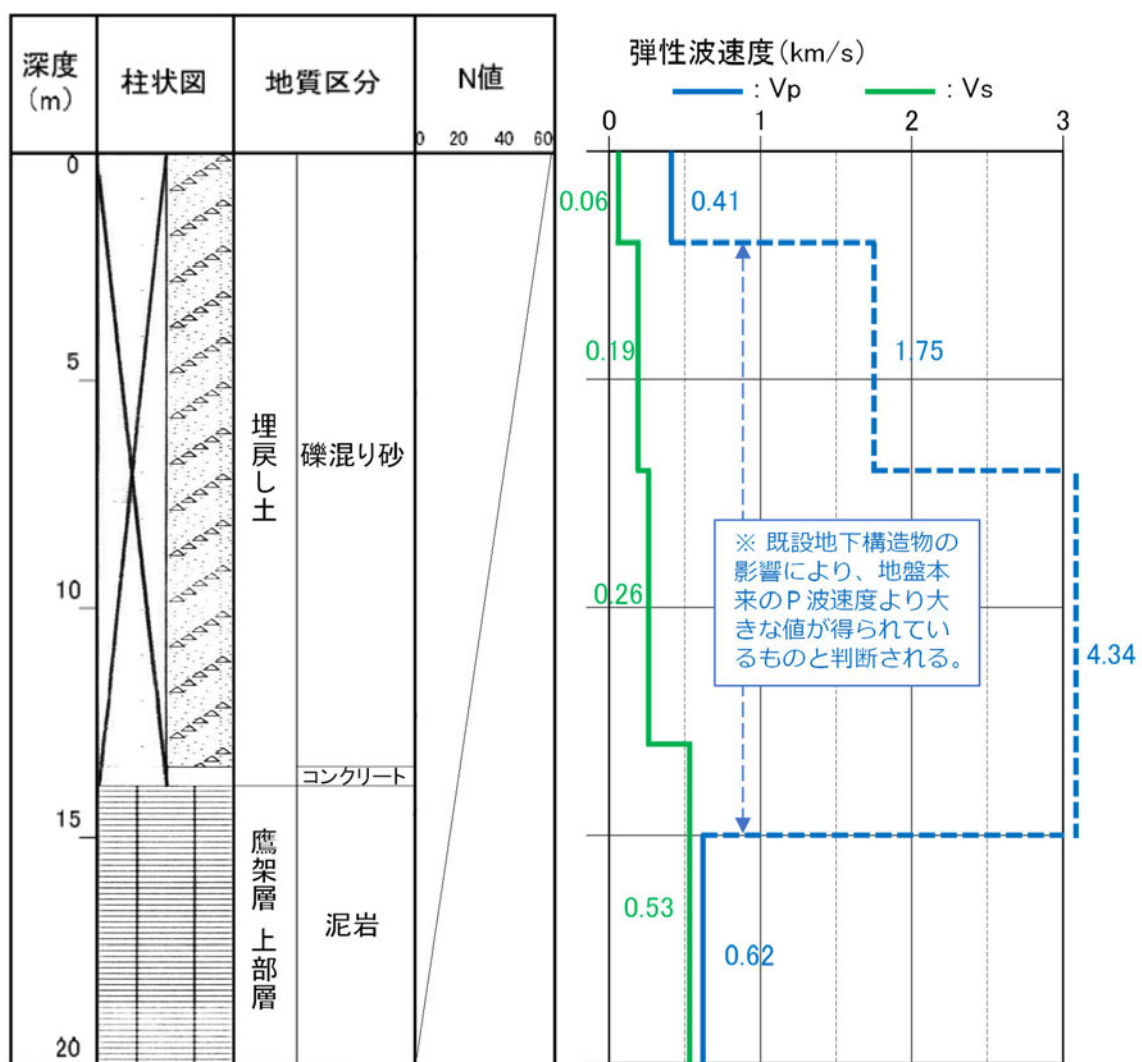
参考1-5図 ボーリング柱状図 (No.7孔)

No.8 (孔口標高 55.03m)



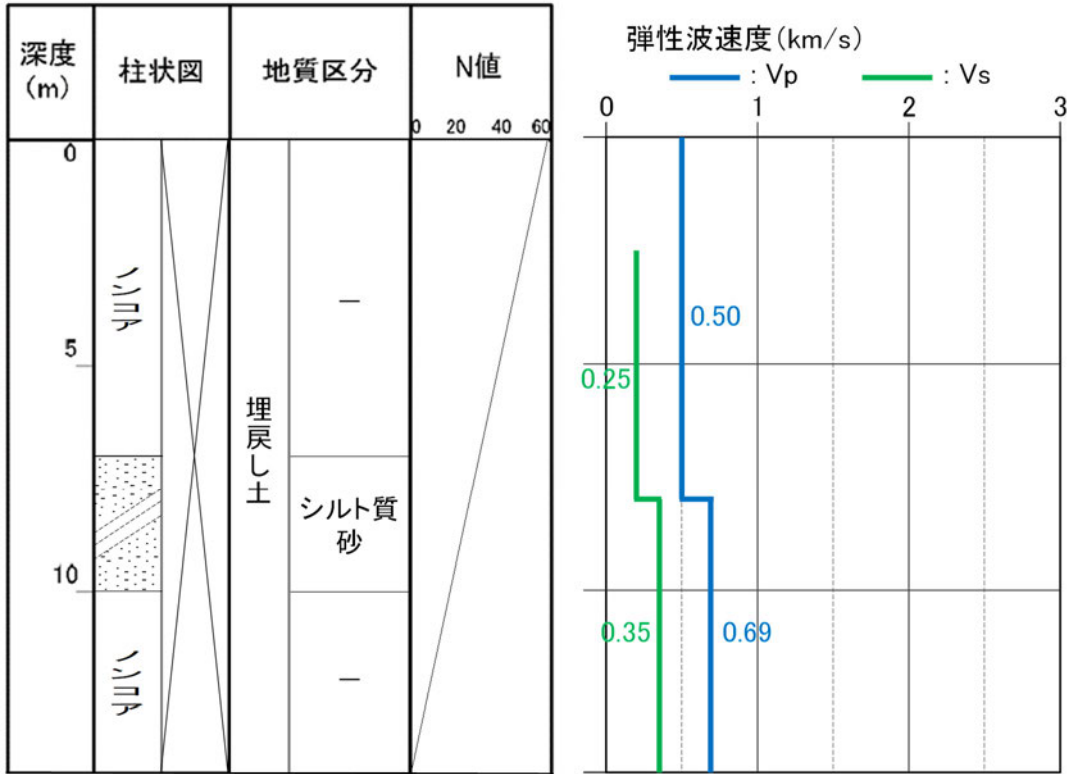
参考1-6図 ボーリング柱状図 (No. 8孔)

No.9 (孔口標高 55.10m)



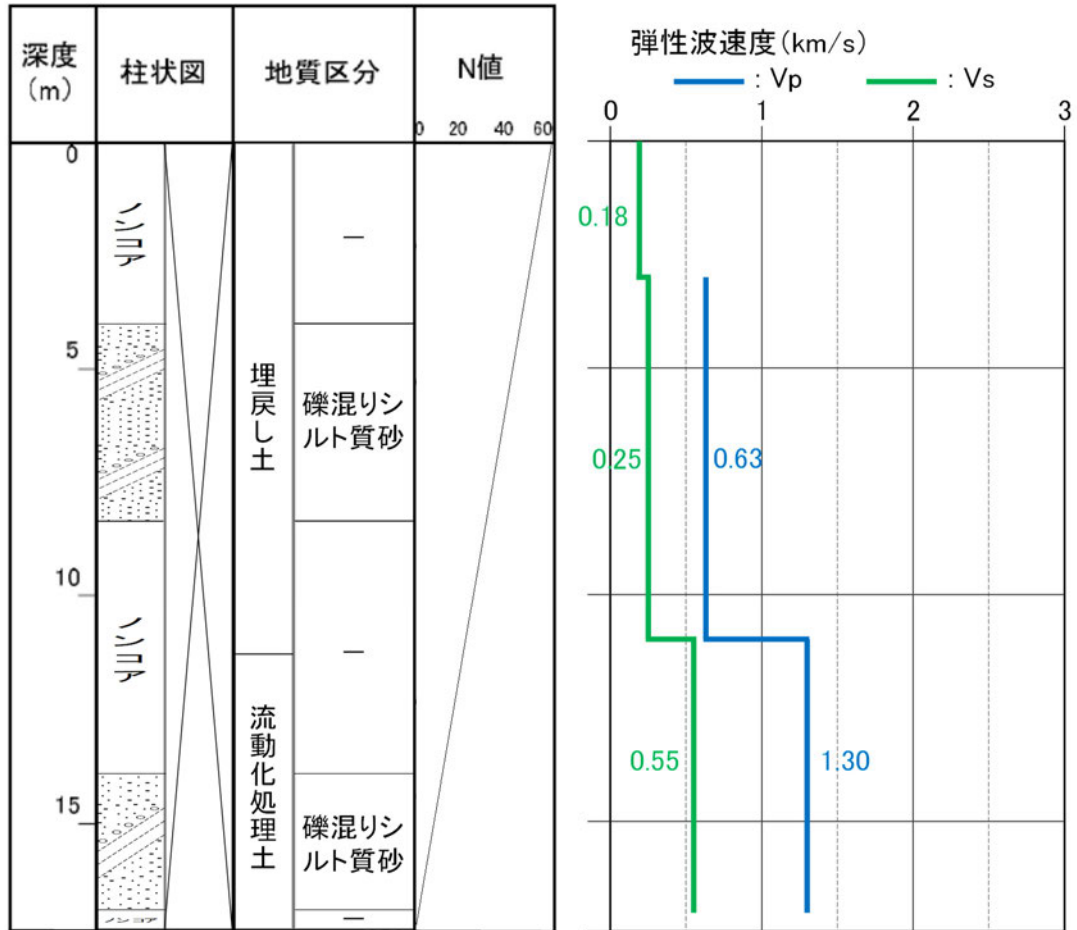
参考1-7図 ボーリング柱状図 (No.9孔)

a-1 (孔口標高 55.03m)



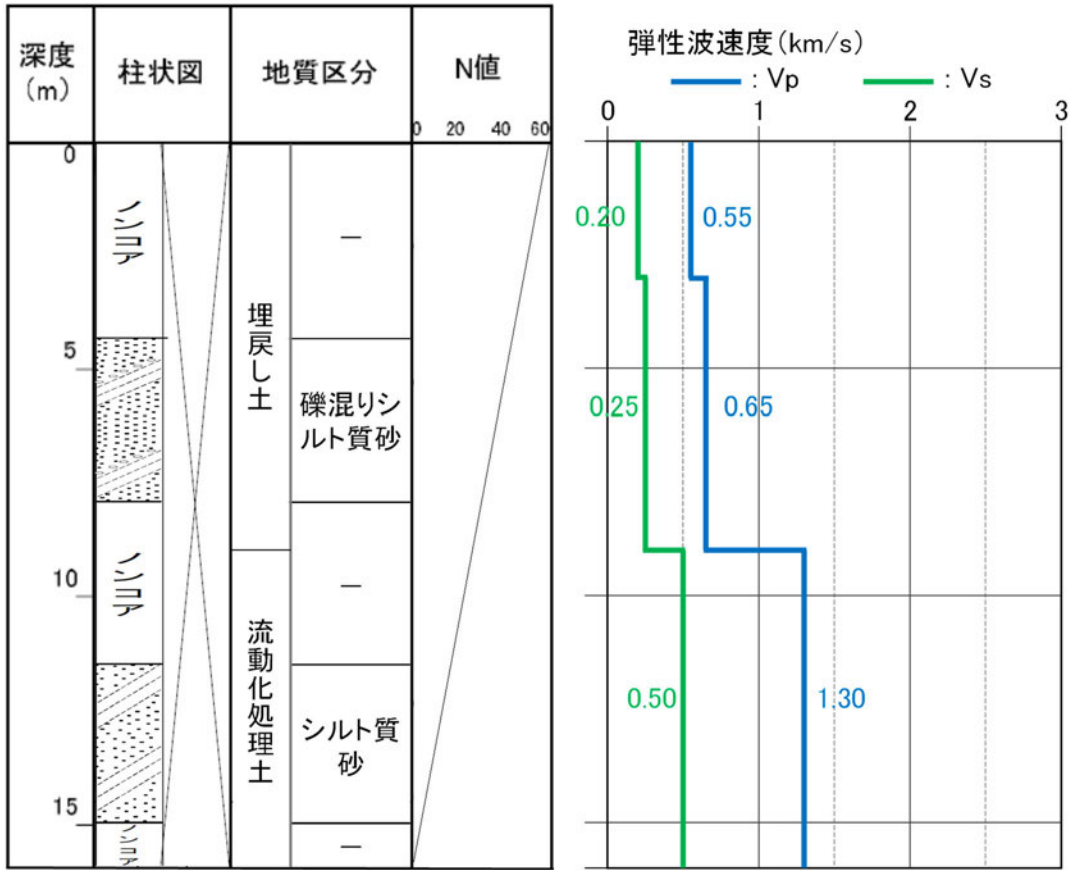
参考1-8図 ボーリング柱状図 (a-1孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



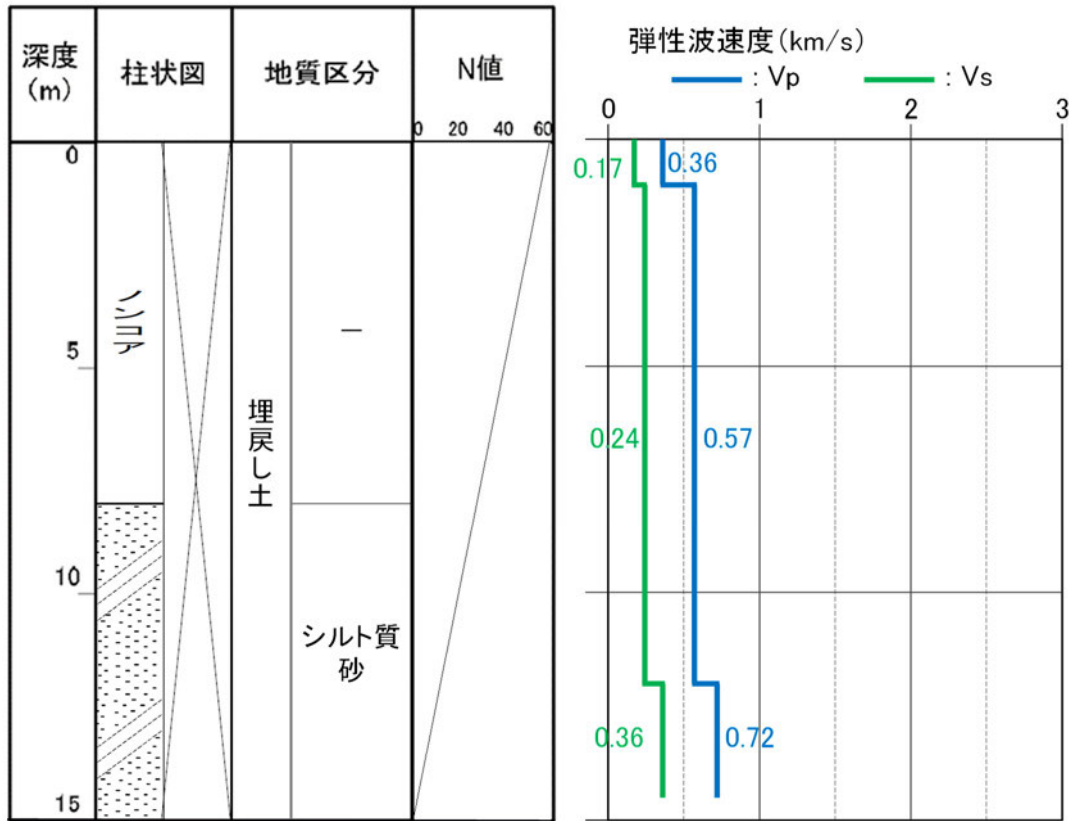
参考1-9図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



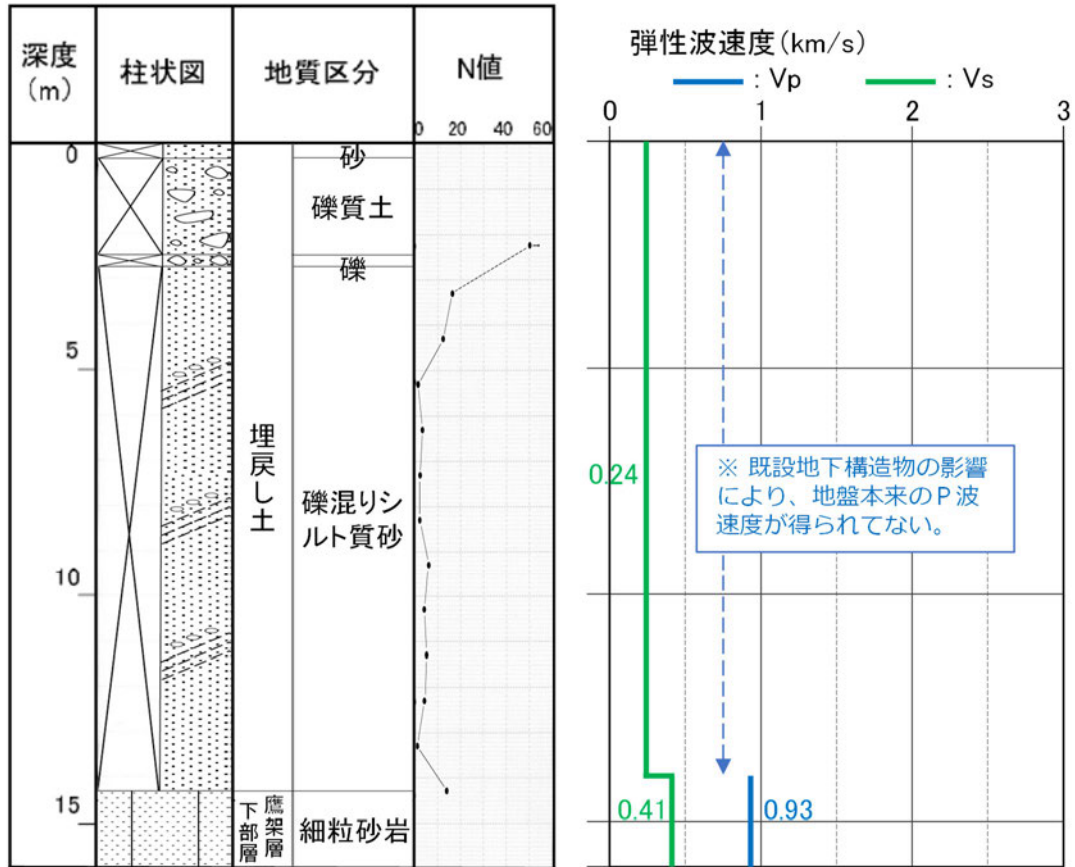
参考1-10図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

b-4(孔口標高 54.95m)



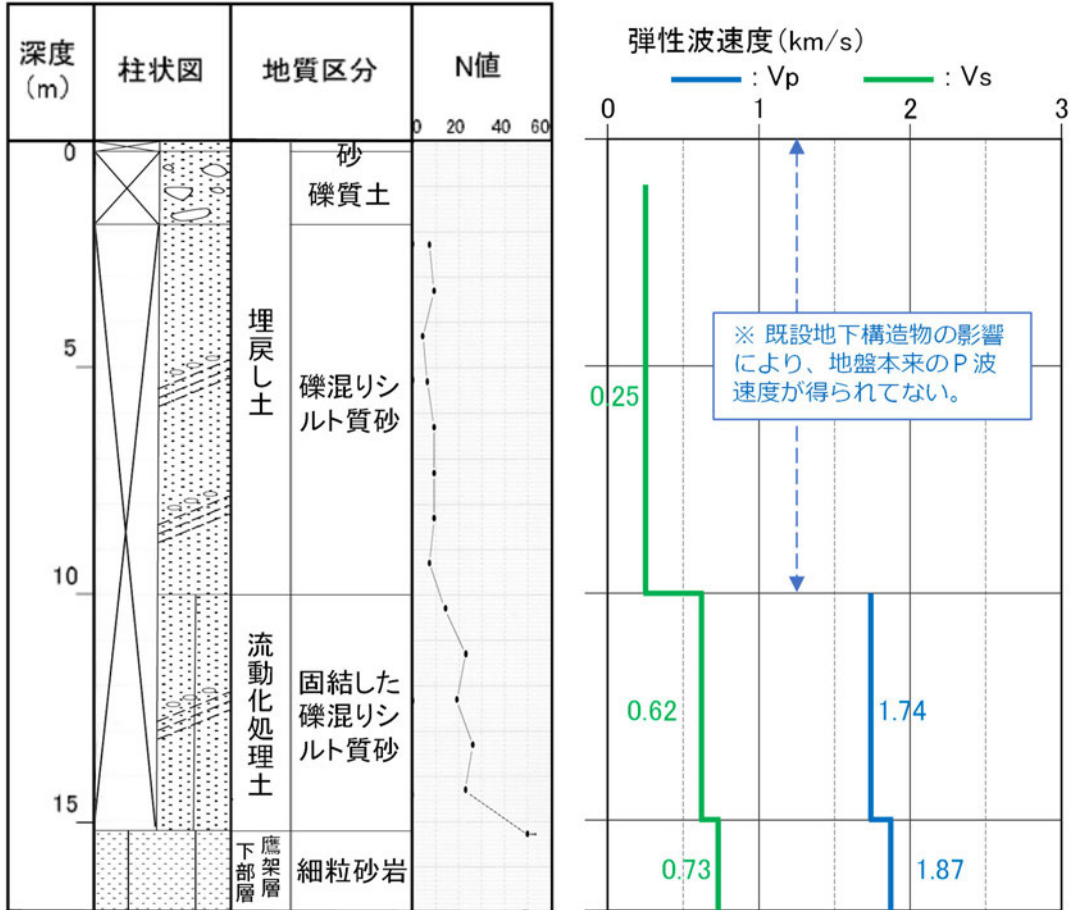
参考1-11図 ボーリング柱状図 (b-4孔)

TY-20-1 (孔口標高 54.98m)



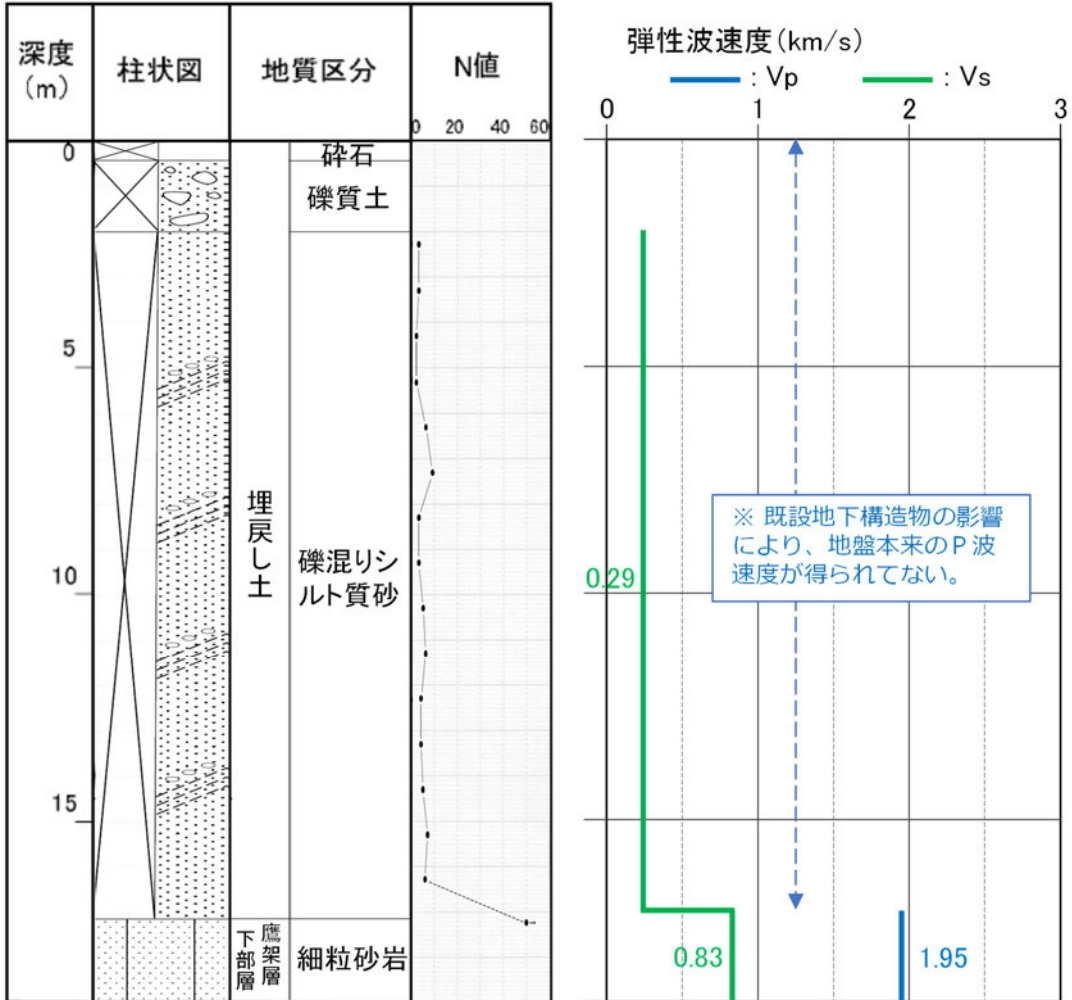
参考1-12図 ボーリング柱状図 (TY-20-1孔)

TY-20-2 (孔口標高 55.08m)



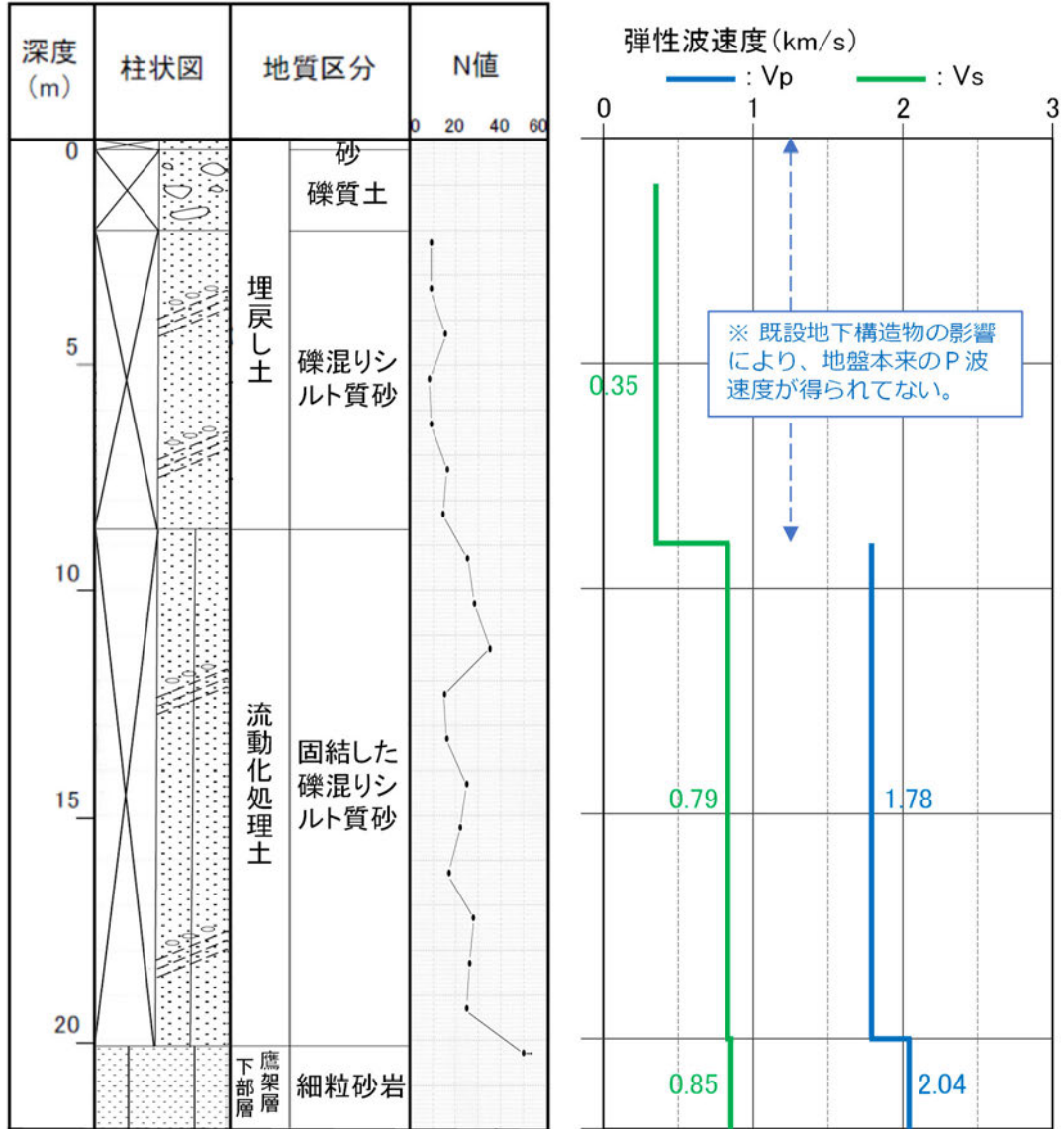
参考1-13図 ボーリング柱状図 (TY-20-2孔)

TY-20-3 (孔口標高 54.83m)



参考1-14図 ボーリング柱状図 (TY-20-3孔)

TY-20-5 (孔口標高 55.01m)

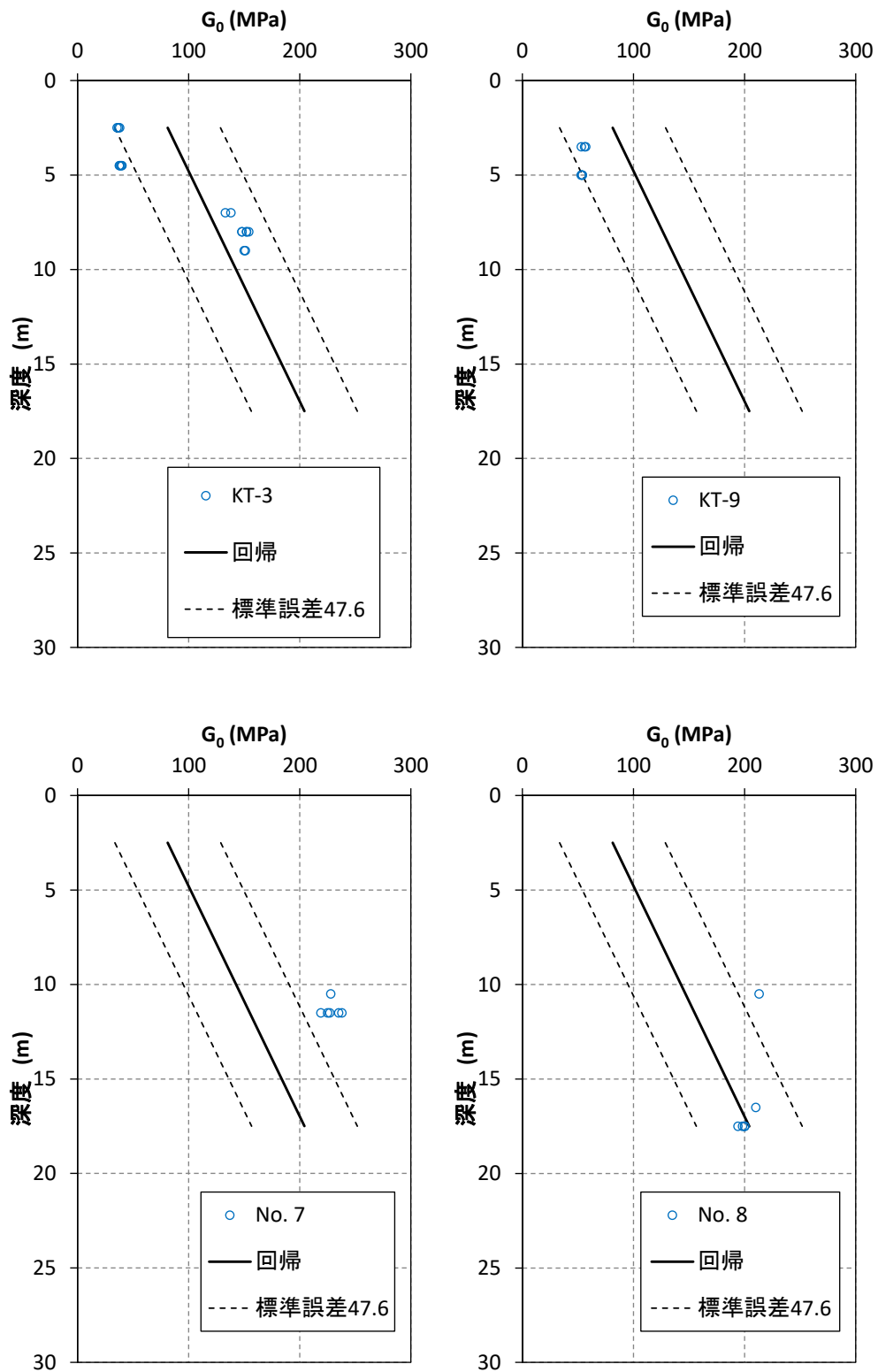


参考1-15図 ボーリング柱状図 (TY-20-5孔)

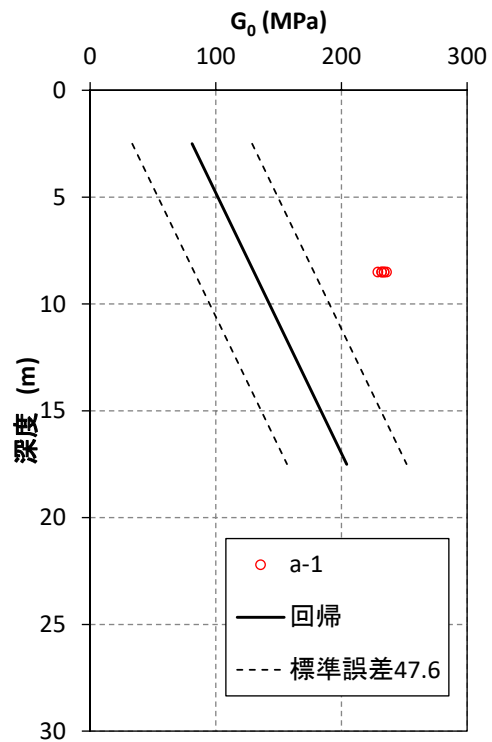
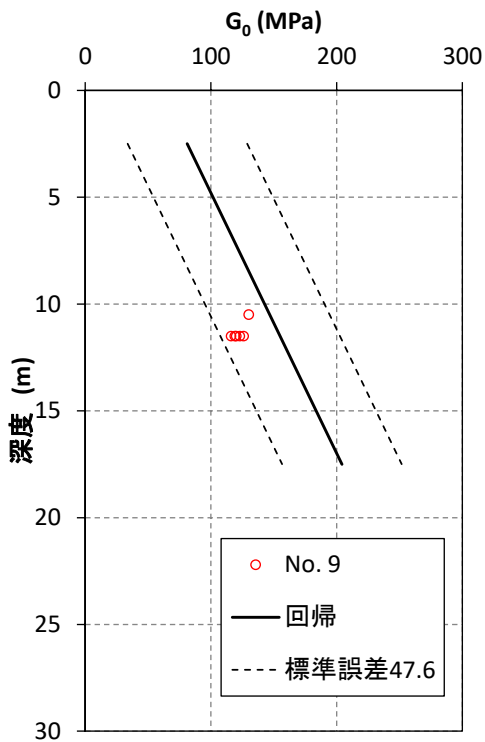
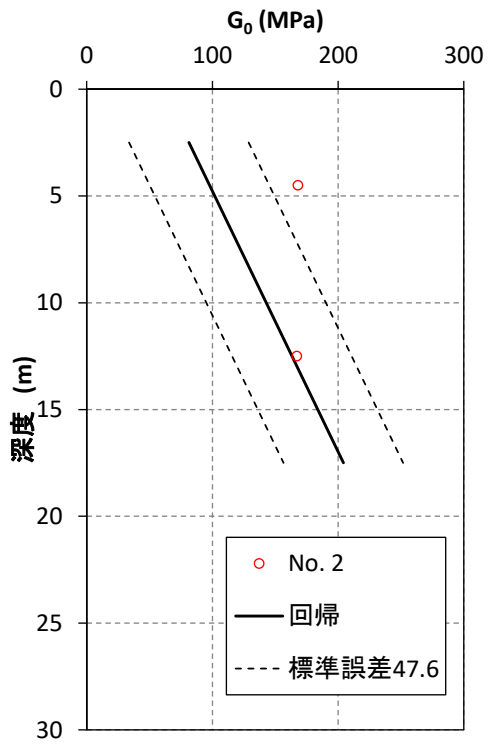
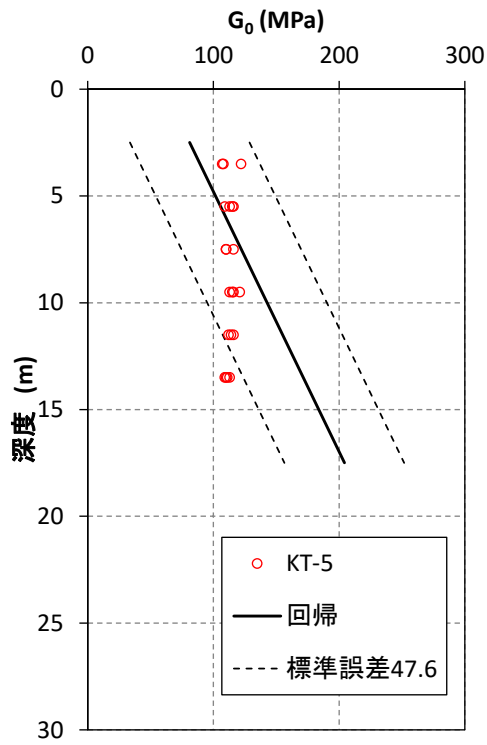
参考 2

埋戻し土のボーリング孔における G_0 と測定深度の
関係について

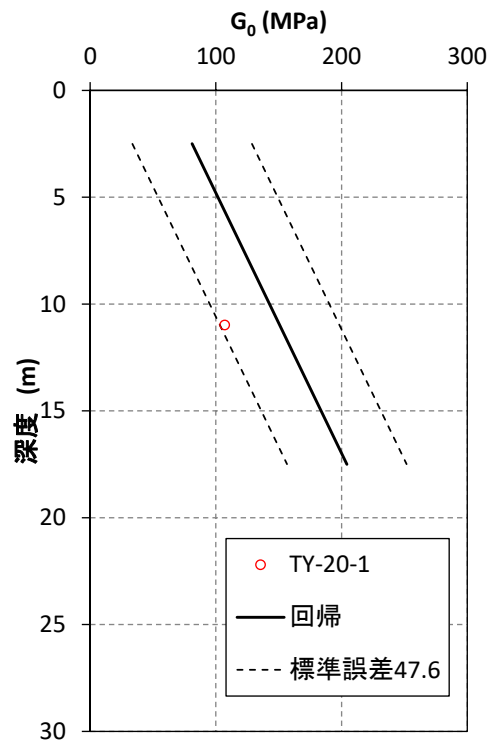
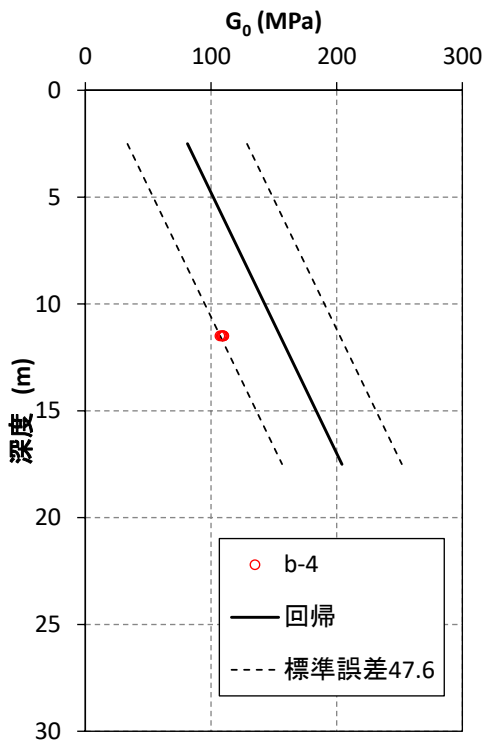
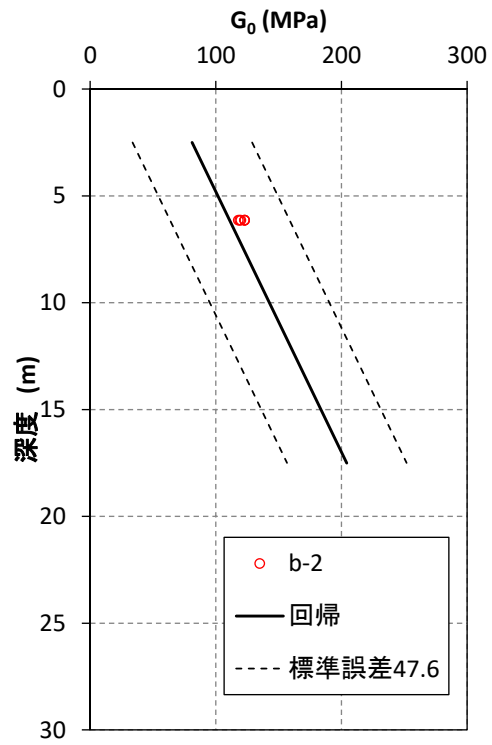
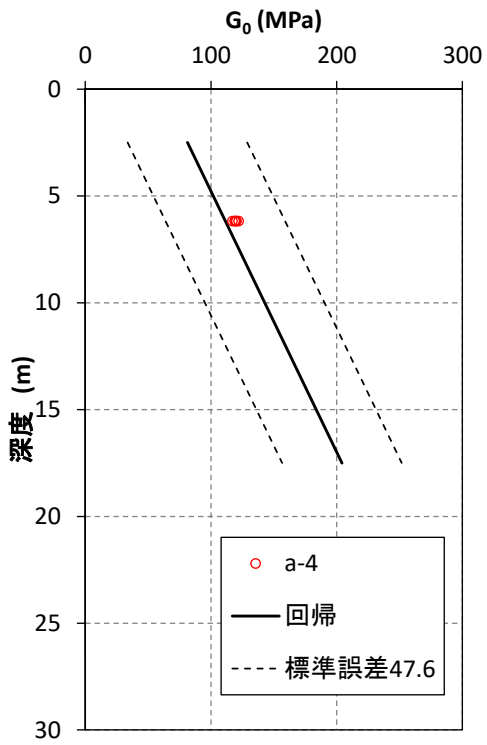
本編 2.1.3 埋戻し土の均質性の検討における埋戻し土のボーリング孔における G_0 と測定深度の関係について参考 2-1 図～参考 2-2 図に示す。



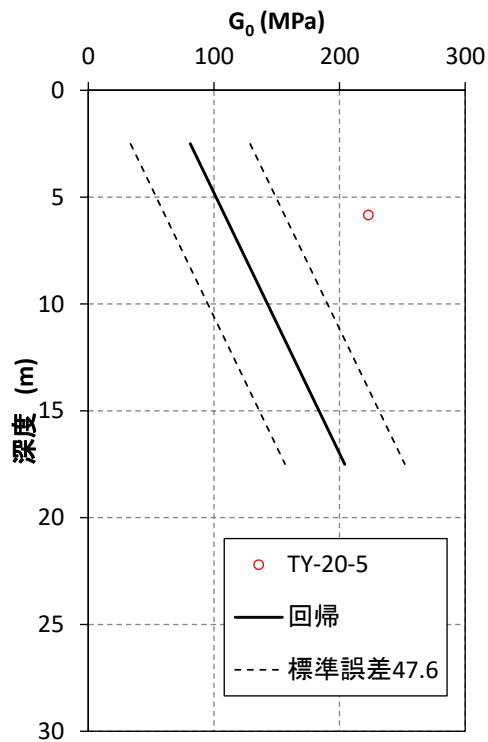
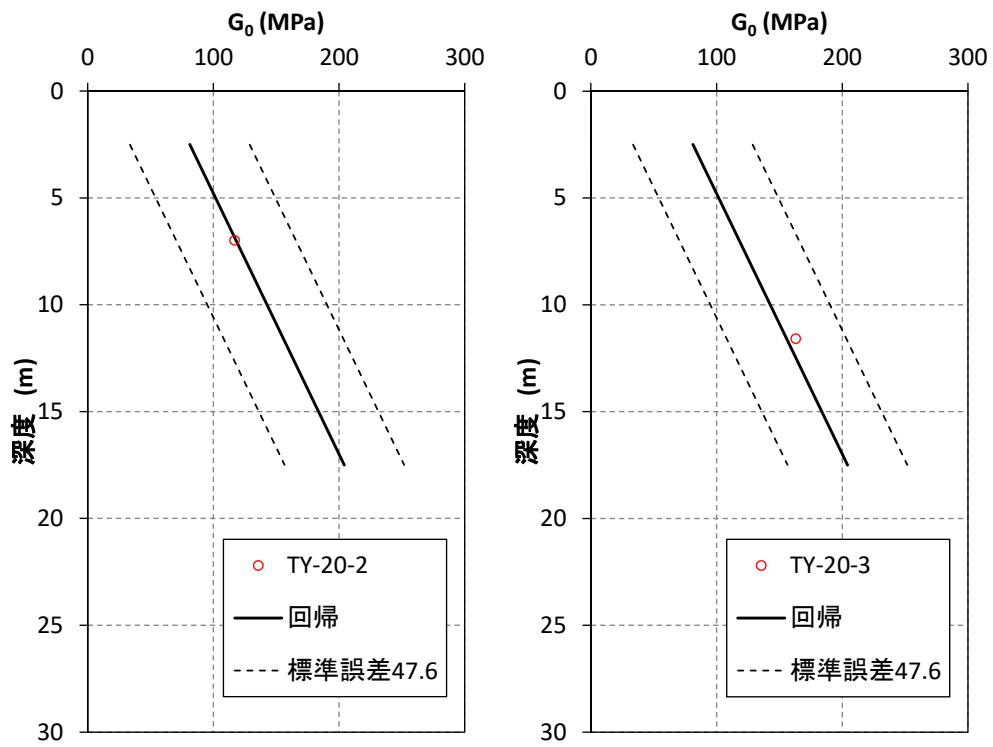
参考 2-1 図 ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (1999 年以前)



参考 2-2 図(1) ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (2000 年以降)



参考 2-2 図 (2) ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (2000 年以降)



参考 2-2 図 (3) ボーリング孔毎の埋戻し土の G_0 (2000 年以降)

参考 3

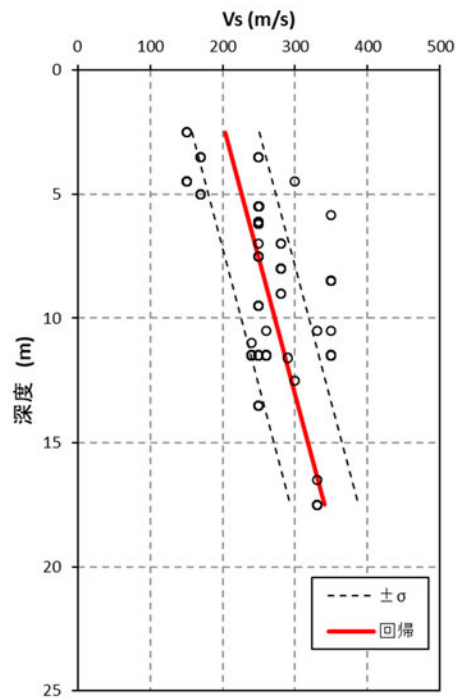
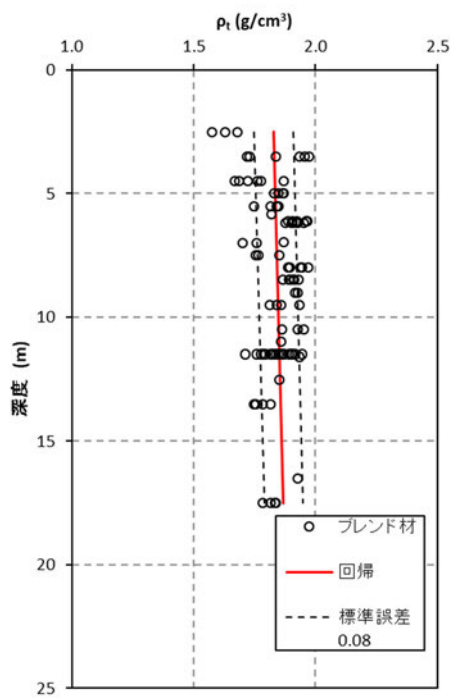
データセットの V_s による G_0 回帰について

本編2.1.3 埋戻し土の均質性の検討で示したデータセットの V_s による G_0 の回帰方法について説明する。

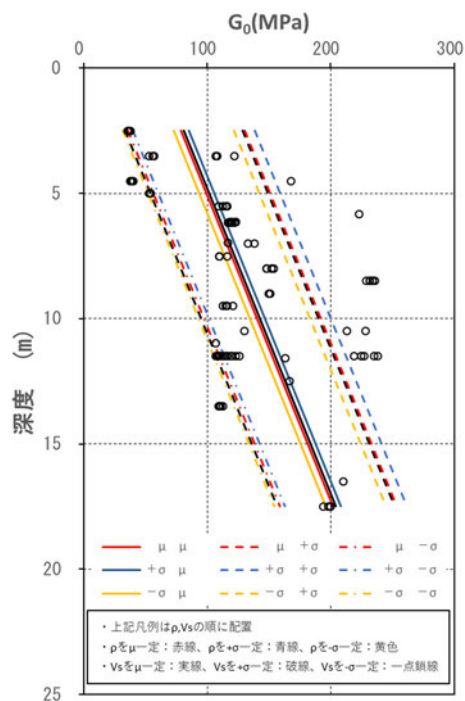
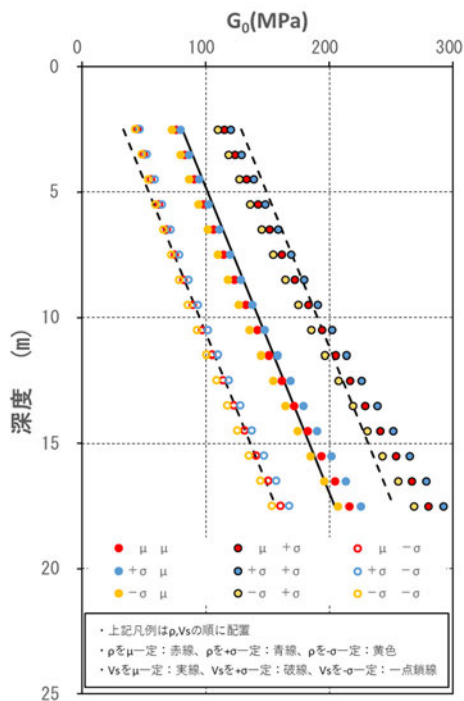
動的変形特性に用いる G_0 は、参考3-1図に示すPS検層（ダウンホール方式）による V_s と同孔から採取された ρ_t （ノギス法）によるデータセットから算定した値の統計量（平均，標準偏差）として表されるのが一般的である。ここでは， G_0 を算出する元データである ρ_t と V_s の統計量の観点からそれぞれの平均と標準誤差の組み合わせから得られる G_0 の分布について整理を行った。

参考3-1図には， ρ_t と V_s の値を○印で平均値の回帰を赤線，標準誤差を黒破線で示した。これらの ρ_t の μ （平均）， $\pm\sigma$ （ばらつき）と V_s の μ （平均）， $\pm\sigma$ （ばらつき）の掛け合わせとして9組の回帰とデータセットから得られる離散化した G_0 の平均及び標準誤差を参考3-2図示す。離散化した G_0 は， ρ_t （一次式）と V_s^2 （2次式）との式から深度方向に発散する3次関数となる。一般的に，標準誤差は，等差で与えることから事業許可申請における標準誤差（ $\pm 1\sigma$ ）の回帰も等差で与えており，平均値の G_0 の深度依存勾配を固定して， ρ_t と V_s の μ ， $\pm\sigma$ の組み合わせの回帰を行った。

参考3-3図にそれぞれの回帰の組み合わせによる回帰結果を示す。図の凡例では，各線の前表示が ρ_t に用いた回帰，後表示が V_s に用いた回帰でそれぞれの線色（赤，青，橙），線種（実線，破線，一点鎖線）で表示している。図によれば，それぞれの回帰から算定した G_0 の回帰は，線種（実線：平均 V_s ，破線： $+\sigma V_s$ ，一点鎖線： $-\sigma V_s$ ）で分けた V_s の回帰に依存しており，それぞれの V_s に対して ρ_t が $+\sigma$ の場合には， G_0 が若干大きくなる傾向を示し， ρ_t が $-\sigma$ の場合には， G_0 が若干小さくなる傾向となる。



参考 3-1 図 ρ_t , V_s の深度分布図 (データセット)



参考 3-2 図 G_0 分布図 (離散化)

参考 3-3 図 G_0 回帰図 (深度依存固定)

参考 4

物性値の不確実性に関するパラメータスタディ

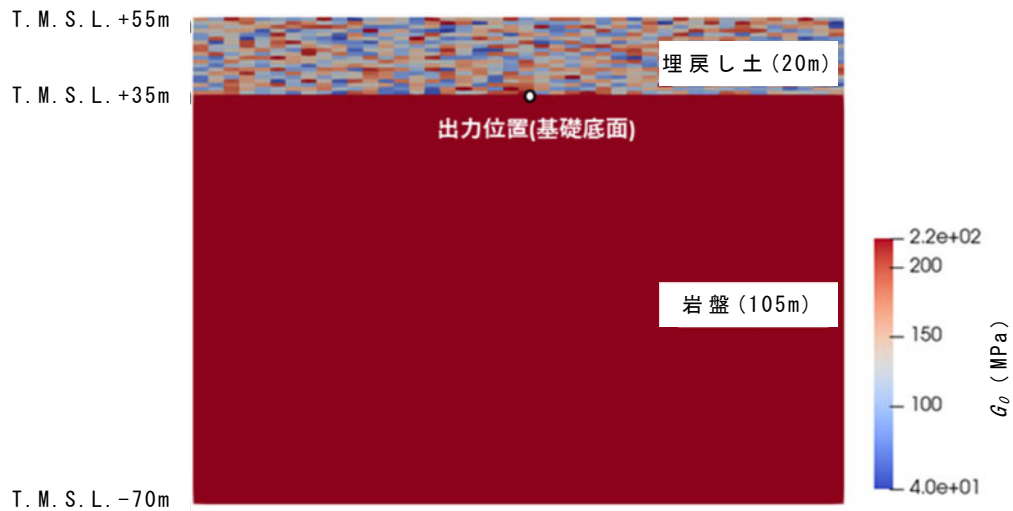
(1) ばらつきを有する表層地盤の加速度応答

地震時のせん断弾性波（S波）は、地表面に向かって面的に振動しながら伝播してくる。当該地点の埋戻し土は平面的にも均質な品質となるように管理されていることから地盤の加速度応答は、周辺岩盤を包絡した平均的な挙動を呈するものと考えられる。

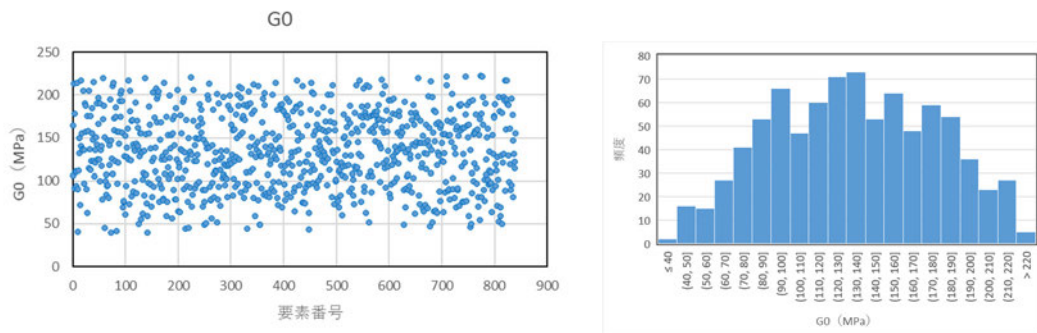
そこで、表層地盤（埋戻し土）のばらつきの確率密度分布を表層部にランダムに与えた場合の加速度応答による平均とばらつきの比較及び表層地盤（埋戻し土）の深度依存も考慮した場合の不確からしさ（ばらつきの特徴）についてモンテカルロシミュレーションを用いて検討した。

この検討では、参考4-1図に示すような簡易的に地表から20mを表層地盤（埋戻し土）、T.M.S.L.+35m～-70mの層厚105mを岩盤部としたモデルを設定した。解析手法は、2次元周波数応答解析の解析コード（Super FLUSH/2D）を用いて、建屋の基礎底面相当位置（岩盤上限面）での応答加速度の考察を行った。解析に用いた物性値を参考4-1表に示す。

表層地盤については、埋戻し土の G_0 の全データ（ $N=93$ ）について、平均値と標準偏差を算定すると、それぞれ $G_0=131\text{MPa}$ 、 $\sigma=56\text{MPa}$ が算出される。この統計量に基づき、参考4-2図に示すような正規分布による標準偏差 $\pm 1\sigma$ の物性値を表層地盤要素840個に対してランダムに設定した。岩盤部については、平均的な岩盤の細粒砂岩層の解放基盤面相当の G_0 を一様に与え、表層地盤20mに対しては、埋戻し土の統計的な確率密度を用いて、モンテカルロシミュレーション（ $N=200$ 回）を実施した。



参考4-1図 解析モデル図 (深度方向依存なし)

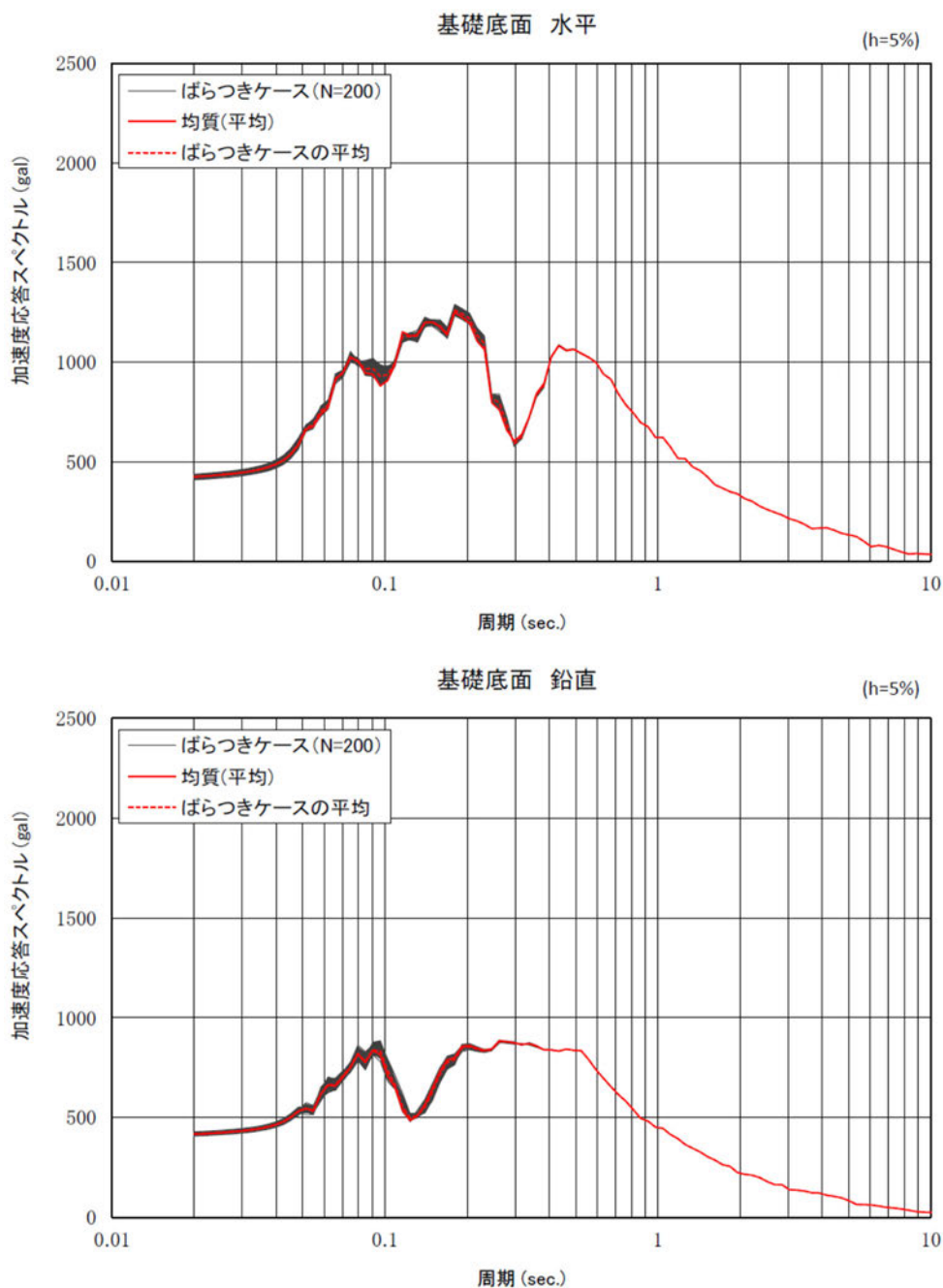


参考4-2図 表層地盤の確率密度分布の例 (G_0 分布, ヒストグラム)

参考4-1表 解析モデル物性諸元

項目	仕様	備考
モデルサイズ	幅168m×深さ125m	
要素数	埋戻し土： 840 鷹架層：1176	
境界条件	側方：自由境界 底盤：粘性境界	
表層物性値 (200モデル)	$G_0 = 131$ (MPa) $\sigma = 56$ (MPa) $\nu d = 0.39$ $h = 0.03$	G_0 の平均, 標準偏差は, 全サンプル (N=93) の 平均値
岩盤物性値	$G_0 = 1600$ MPa $\nu d = 0.38$ $h = 0.03$	細粒砂岩解放基盤相当
入力地震動	SS-A (T.M.S.L. -70m : 2E入力)	

解析結果として、参考4-3図に岩盤上限面(参考4-1図における出力位置)の加速度応答スペクトルを示す。参考4-1図の岩盤上限面の加速度応答スペクトルの結果によれば、表層地盤20mに埋戻し土の有する確率密度分布で独立に物性値を与えたとしても、図中赤線で示す平均値の均質地盤の加速度応答スペクトルとおおむね一致し、平均値とばらつきの関係が確認された。

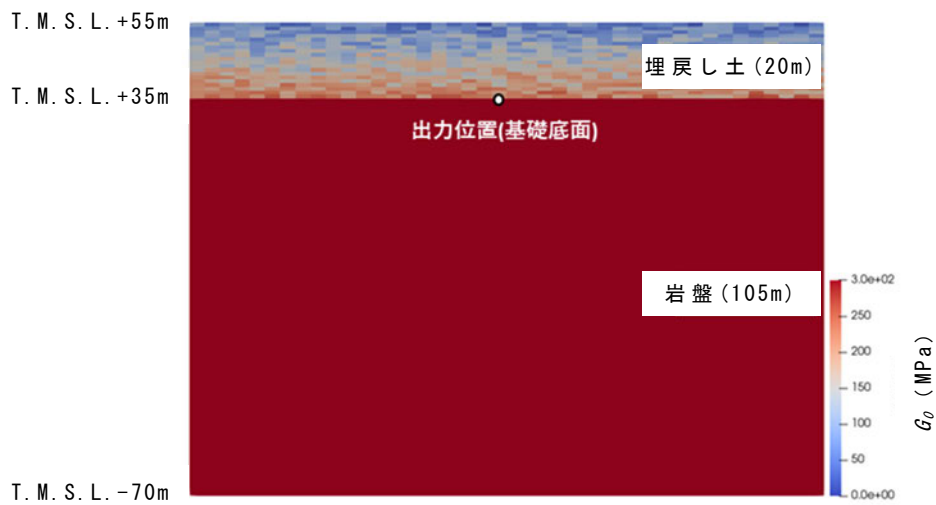


参考4-3図 モンテカルロシミュレーションにおける加速度応答スペクトル

(2) ばらつきを有する地盤の実現象範囲

表層地盤の G_0 を深度依存と考えたモデルにおいて、起こりうる事象の範囲についてパラメータスタディを実施した。

ここでは、表層地盤について、深度毎（1メッシュ毎）に $\pm 1\sigma$ の標準誤差の確率密度を平面的にランダムに与えたモデルと深度方向依存の平均値及び $\pm 1\sigma$ を与えたモデルの岩盤上限面の加速度応答スペクトルを比較する。参考4-4図に解析モデル図、参考4-2表に解析に用いた物性諸元を示す。



(1) 深度方向依存ランダムモデル例



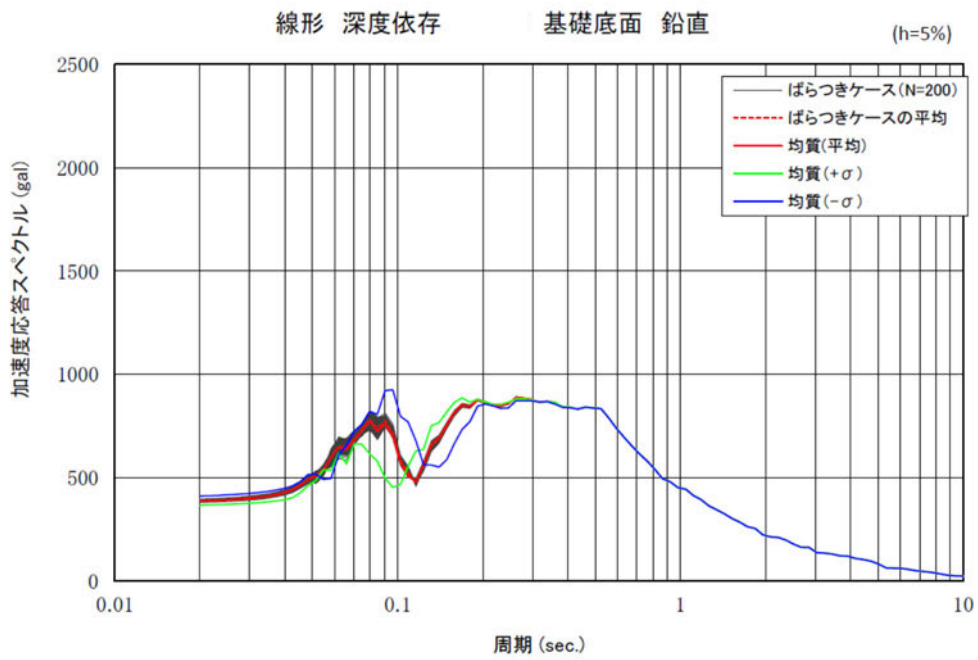
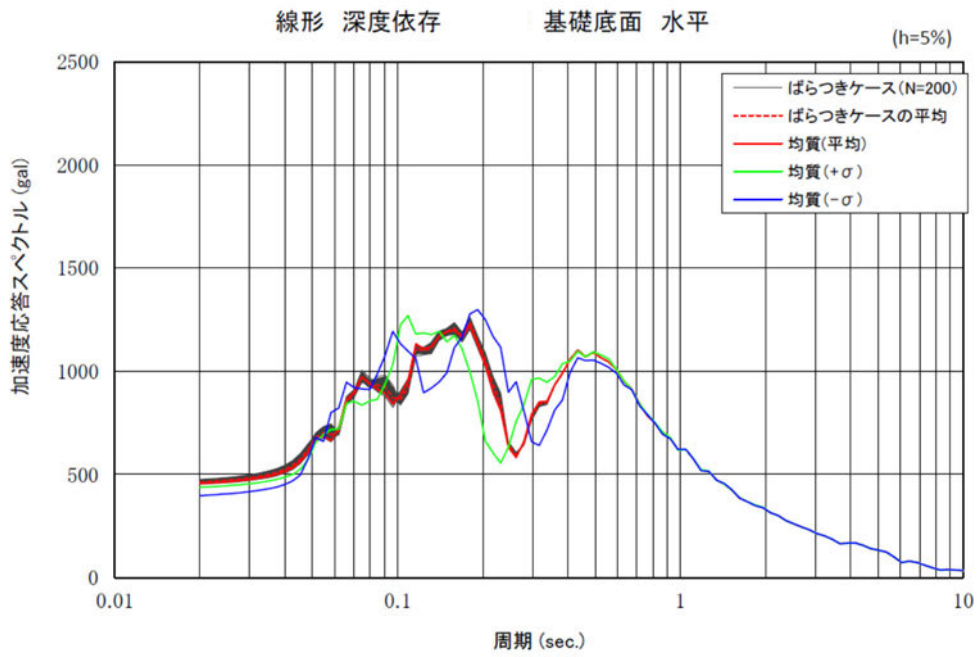
(2) 深度方向依存平均モデル例(+1 σ)

参考4-4図 解析モデル図（深度方向依存考慮）

参考4-2表 解析モデル物性諸元

項目	仕様	備考
モデルサイズ	幅168m×深さ125m	
要素数	埋戻し土：840 鷹架層：1176	
境界条件	側方：自由境界 底盤：粘性境界	
表層物性値 (200モデル)	$G_0 = 60.7 + 8.20D$ (MPa) G_0 標準誤差 = 47.6 (MPa) D : 深度 (m) $\nu d = 0.39$ $h = 0.03$	正規分布 (事業変更許可申請において設定した物性値)
岩盤物性値	$G_0 = 1600$ MPa $\nu d = 0.38$ $h = 0.03$	細粒砂岩解放基盤相当
入力地震動	Ss-A (T. M. S. L. - 70m : 2E入力)	

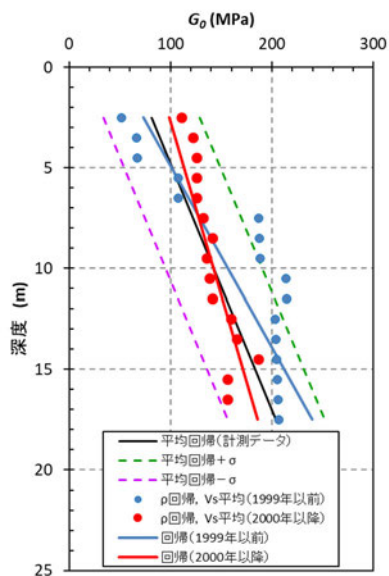
解析結果として、参考4-5図に岩盤上限面（参考4-4図における出力位置）の加速度応答スペクトルを示す。表層地盤に深度方向依存のばらつきを与えたケース（赤線：均質，グレー：ばらつき）においても加速度応答スペクトルは、平均値を均質に与えた加速度応答スペクトルとおおむね一致することを確認した。また、表層地盤に深度方向依存の $\pm 1\sigma$ を均質物性として与えたケース（ $+\sigma$ ：緑線， $-\sigma$ ：青線）の加速度応答スペクトルは、それぞれ表層地盤の固有周期が変化する方向（ $+\sigma$ は低周期側， $-\sigma$ は高周期側）へおおむね平行に移動する。平均値の赤線とばらつきのグレーがほぼ一致することから、 $\pm 1\sigma$ でばらつきを有していても加速度応答スペクトルはこの範囲にほぼ収まることが確認できた。



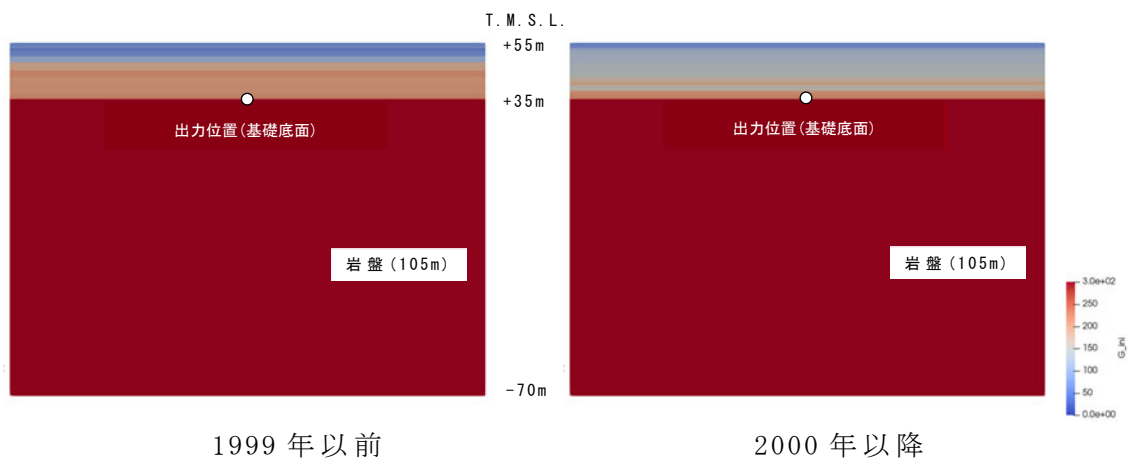
参考4-5図 モンテカルロシミュレーションにおける加速度応答スペクトル

(3) 施工年代別の補完 G_0 による加速度応答スペクトルの比較

参考 4-6 図に示す 1999 年以前, 2000 年以降の補完 G_0 の分布を用いて, 2 次元周波数応答解析を実施し, 加速度応答スペクトルの比較を実施した。



参考 4-6 図 施工年代別の V_s 平均から求められる G_0 分布と回帰



1999 年以前

2000 年以降

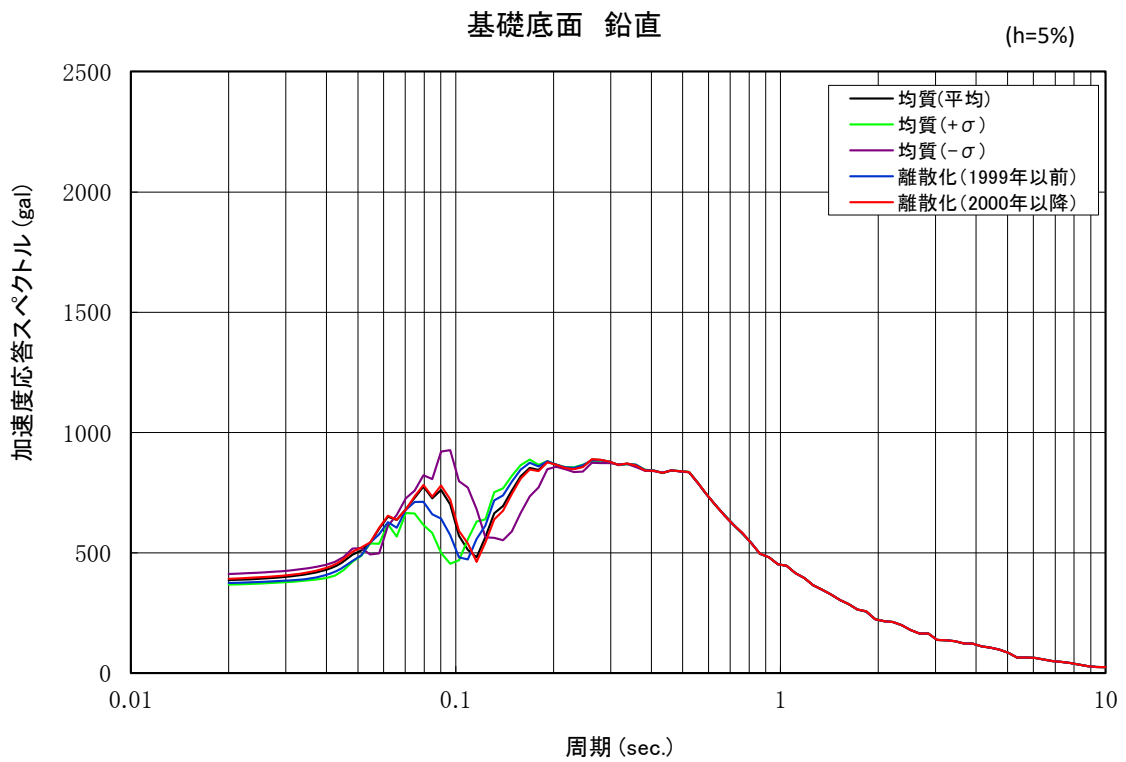
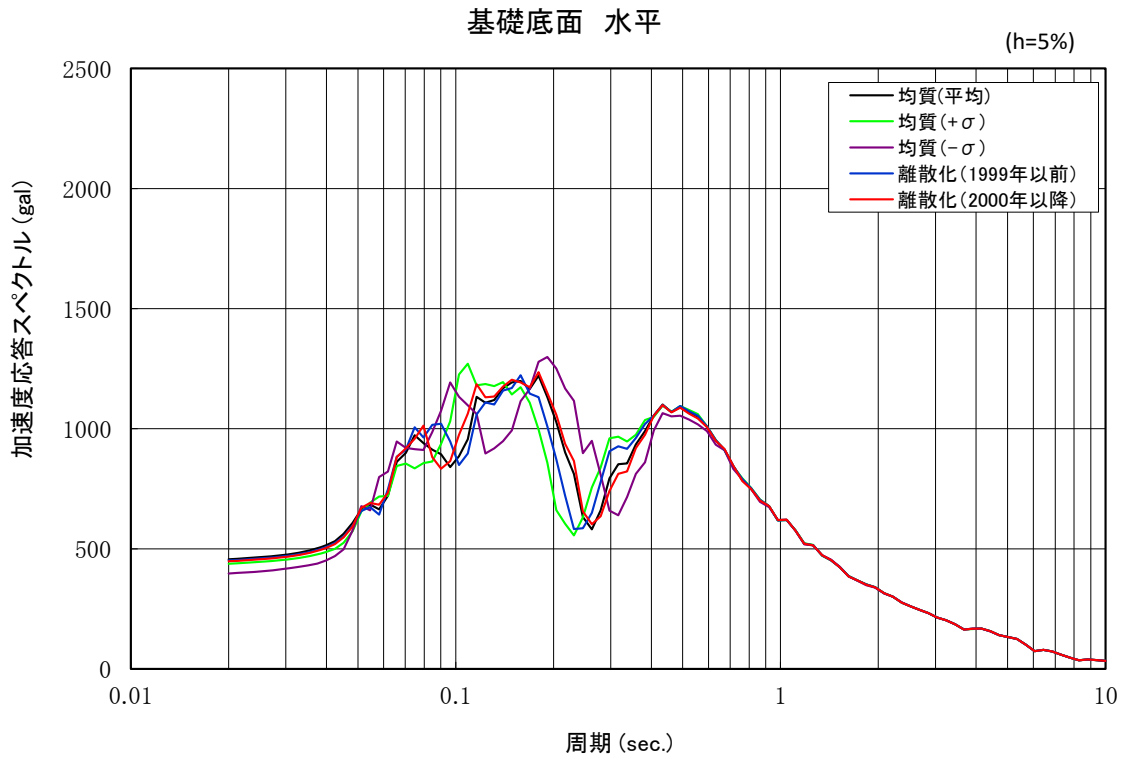
参考 4-7 図 解析モデル図 (深度方向依存考慮)

参考 4-7 図に解析モデル図, 参考 4-3 表に解析に用いた物性諸元を示す。なお, 計測データによる G_0 の平均回帰モデルについては, 前述の参考 4-2 表の回帰平均及び標準誤差 $\pm 1\sigma$ の物性諸元と同様である。

参考 4-3 表 解析モデル物性諸元

項目	仕様	備考
モデルサイズ	幅168m×深さ125m	
要素数	埋戻し土： 840 鷹架層：1176	
境界条件	側方：自由境界 底盤：粘性境界	
表層物性値	1999年以前の G_0 (1m離散平均) 2000年以降の G_0 (1m離散平均) $\nu d=0.39$ $h=0.03$	参考4-6図参照
岩盤物性値	$G_0=1600\text{MPa}$ $\nu d=0.38$ $h=0.03$	細粒砂岩解放基盤相当
入力地震動	Ss-A (T.M.S.L. - 70m : 2E入力)	

参考 4-8 図に、計測データによる G_0 の平均回帰及び標準誤差 $\pm 1\sigma$, 1999 年以前, 2000 年以降の V_s を用いて離散化した補完 G_0 による基礎底面位置での加速度応答スペクトルの比較を示す。図によれば, 2000 年以降の G_0 分布による加速度応答スペクトル (赤線) は, 計測データの平均回帰による加速度応答スペクトル (黒線) とほぼ一致 (建屋固有周期帯の 0.2s~0.5s では一致) している。1999 年以前の G_0 分布による加速度応答スペクトル (青線) は, 計測データの平均回帰による加速度応答スペクトル (黒線) に比べて短周期側に水平にシフトするものの計測データによる G_0 の標準誤差 $\pm 1\sigma$ 回帰 (緑線 : $+\sigma$, 紫線 : $-\sigma$) の加速度応答スペクトルにおおむね包絡されることが確認できた。



参考4-8図 各 G_0 回帰による加速度応答スペクトルの比較

(4) まとめ

表層地盤（埋戻し土）の平均値とばらつきを考慮したモンテカルロシミュレーションの結果から表層地盤全体の G_0 が一定の確率密度分布（品質管理下の限定的なばらつき）を有していれば、平均値で与えた均質地盤の加速度応答スペクトルとおおむね一致することが確認できた。また、施工年代別の補完 G_0 分布の回帰が標準誤差 $\pm 1\sigma$ 以内に収まっていれば、標準誤差を考慮することで加速度応答スペクトルはほぼ包絡される。

参考 5

表層地盤の物性値等に係る追加調査について

本編 2.3 埋戻し土のまとめにおけるボーリング調査データの追加取得について、調査計画を以下に示す。

(1) 埋戻し土の物性調査

埋戻し土の G.L. -20m までの動的変形特性に係る物性値について、敷地全体における施工年代も合わせた深度依存特性及びばらつきの分布性状を把握する。調査結果については、基本地盤モデルに適用する埋戻し土の解析用物性値のばらつき及び深度依存特性が同等であることを確認し、信頼性の向上を図る。

(2) 調査内容

動せん断弾性係数 G_0 については、「2.1.2 埋戻し土の物性値設定について」で示した埋戻し土の物性設定において、平面的に採取されていない箇所及び埋戻し土の深部における湿潤密度 ρ_t とせん断波速度 V_s のデータ取得に係る調査・試験を実施する。試験方法は既往のデータ取得と同様に JIS A 1225 「土の湿潤密度試験方法」及び JGS 1122-2012 「地盤の弾性波速度検層方法」を参考とする。

(3) 調査位置

調査候補位置を参考 5-1 図に示す。選定の考え方については、以下のとおりとする。なお、図に示す埋戻し土の範囲は、埋戻し工事直後の形状のため、現状では、施設または設備が設置された箇所あるいは地盤改良が実施された箇所もあり、変更あるいは実施できない可能性がある。

- ・平面的に既往孔と間隔が空いているところ
- ・深度依存特性を把握するため、深部まで埋戻し土が施工されているところ

上記を踏まえ、以下に示す箇所を追加調査候補地として選定する。各年代における選定数の振り分けについては、第 2.1.1-1 表に示すとおり、施工量として 1999 年以前は全体に対し 2 割程度、2000 年以降は 8 割程度であり、比例的であることから妥当であると考えられる。

a. 1999 年以前 (3 孔程度)

- ・平面的に採取されていない領域である KT-3 孔と KT-9 孔の間において埋戻し土施工深さが深いと想定される箇所 (追加③)
- ・KT-3 孔と No. 7 及び No. 8 の間において埋戻し土施工深さが深いと想定される箇所 (追加④及び追加⑤)

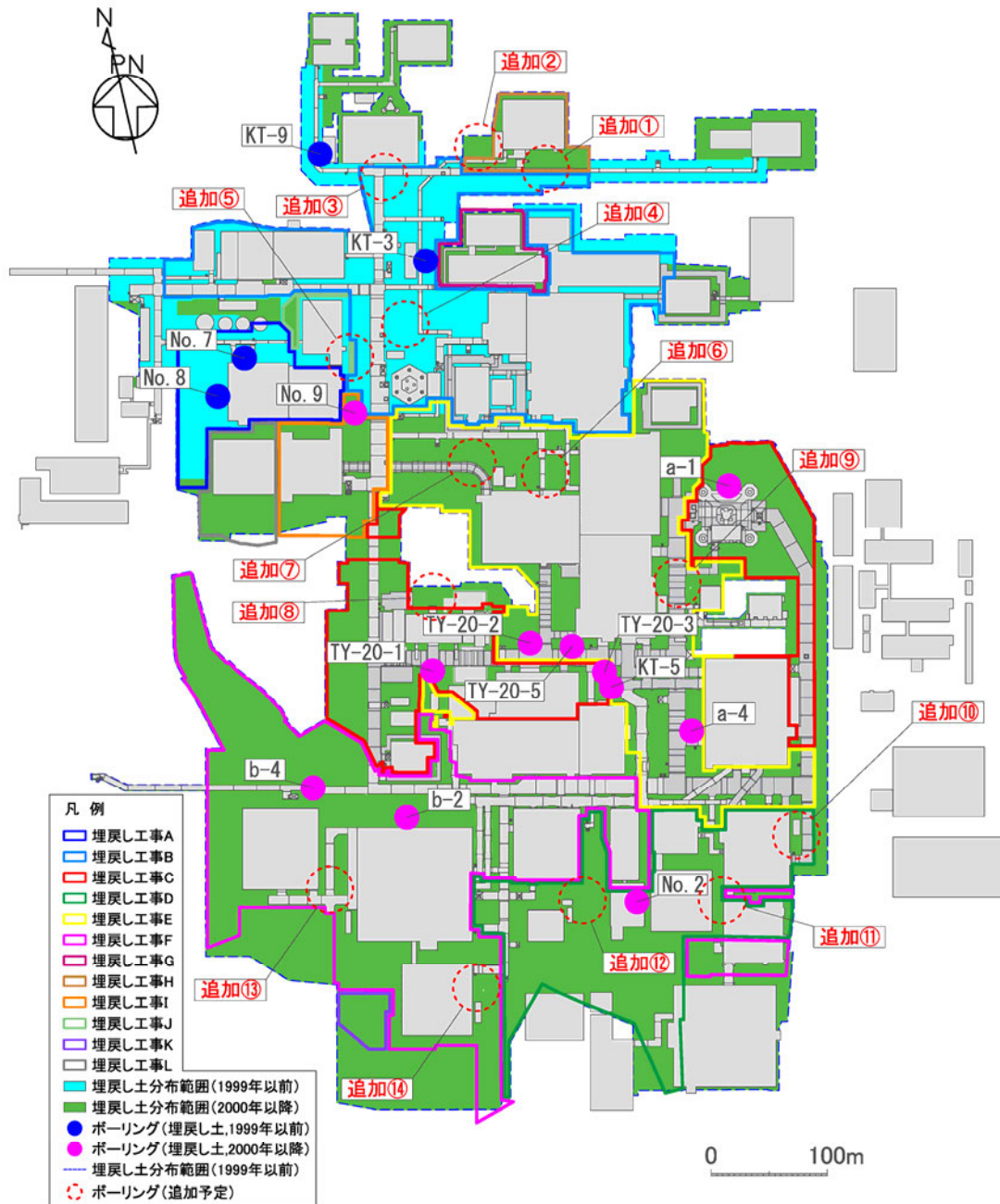
b. 2000 年以降 (11 孔程度)

- ・掘削領域北側の AE 建屋廻りにおいて埋戻し土施工深さが深い箇所 (追加①及び追加②)
- ・掘削領域中央部の平面的に採取されていない領域である KA 建屋北側及び AA 建屋西側 (追加⑥及び追加⑦)、GA 建屋北側 (追加⑧) 及び AB 建屋東側 (追加⑨)
- ・掘削領域東側の平面的に採取されていない領域である CA 建屋東側 (追加⑩)

- ・掘削領域南側の平面的に採取されていない CB 建屋西側（追加①）、AD 建屋南側（追加②）、DA 建屋西側（追加③）及び DC 建屋東側（追加④）

（4）調査工程

調査工程を参考 5-1 表に示す。本調査は別紙 2-3 に示す岩盤の減衰定数に係る調査と併せて実施する。



参考 5-1 図 調査位置図

参考 5-3

参考 5-1 表 調査工程

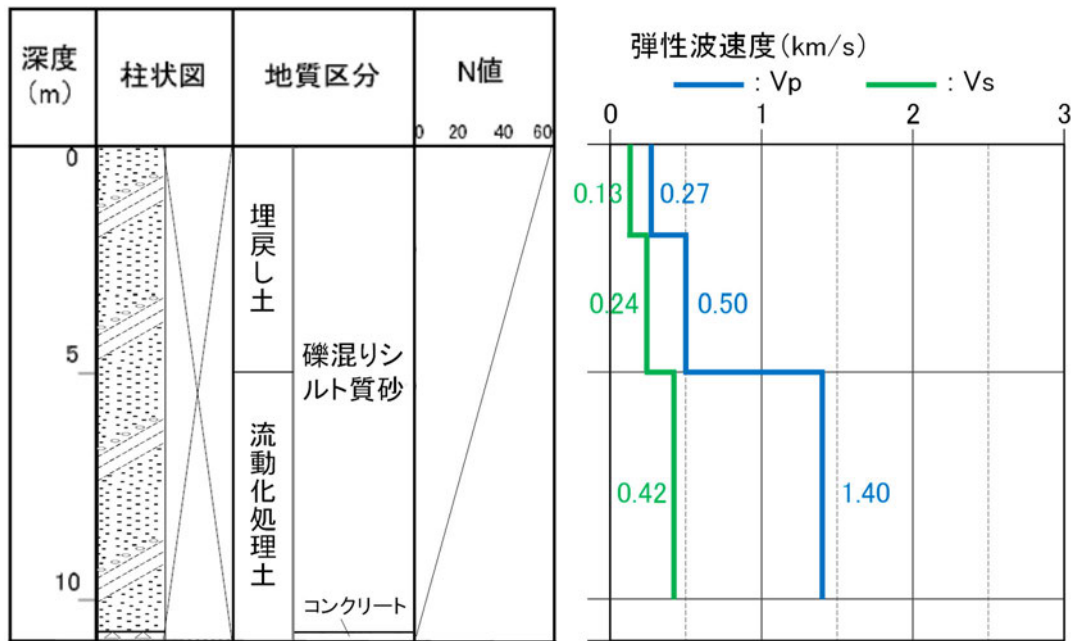
項目		2023年																													
		8月					9月					10月					11月					12月									
摘要	仕様	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
事務手続き		着手準備																													
仮設・削孔	20m/孔程度													14孔程度																	
弾性波速度検層	JGS-1122													14孔程度																	
とりまとめ																															

参考 6

流動化処理土のボーリング柱状図について

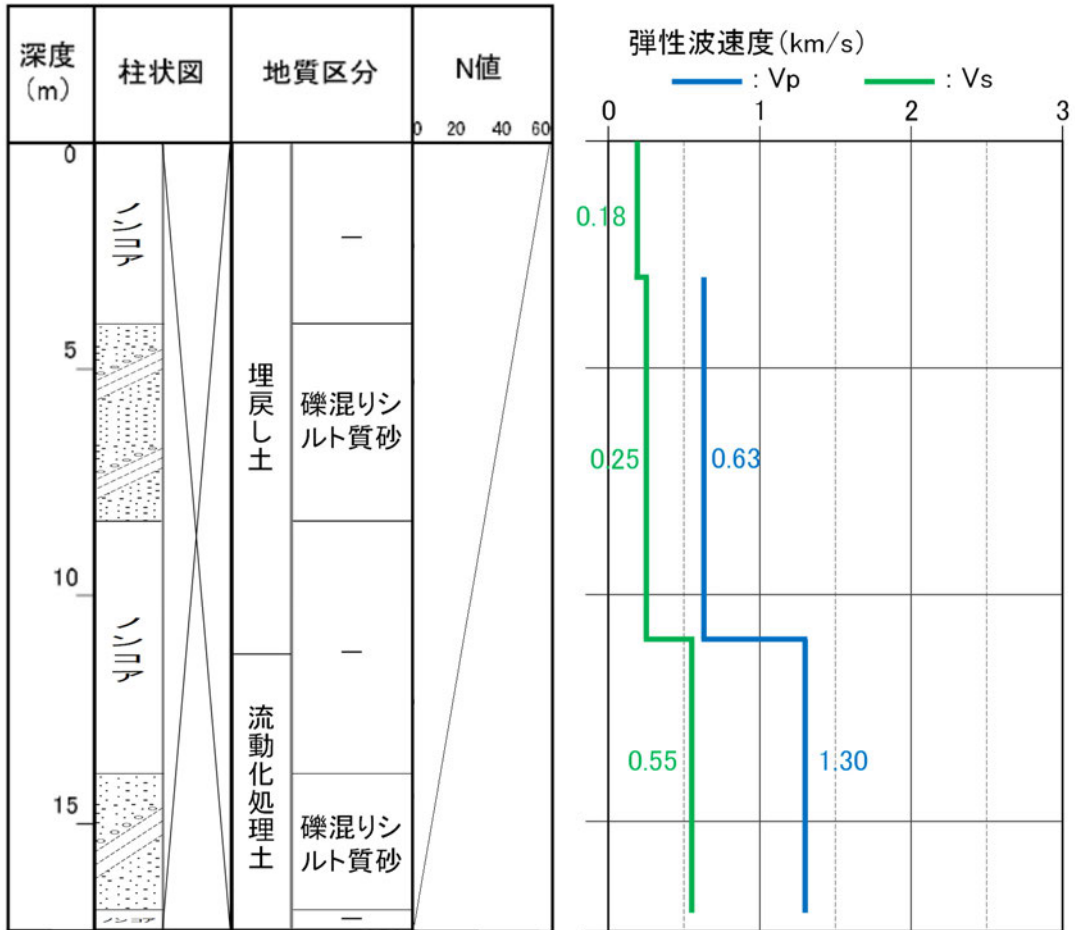
本編 3.1.1 流動化処理土の施工管理状況及び均質性の検討における事業変更許可申請書で設定した流動化処理土のボーリング柱状図及び物理・力学特性を参考 6-1 図～参考 6-4 図に示す。

a-3 (孔口標高 54.91m)



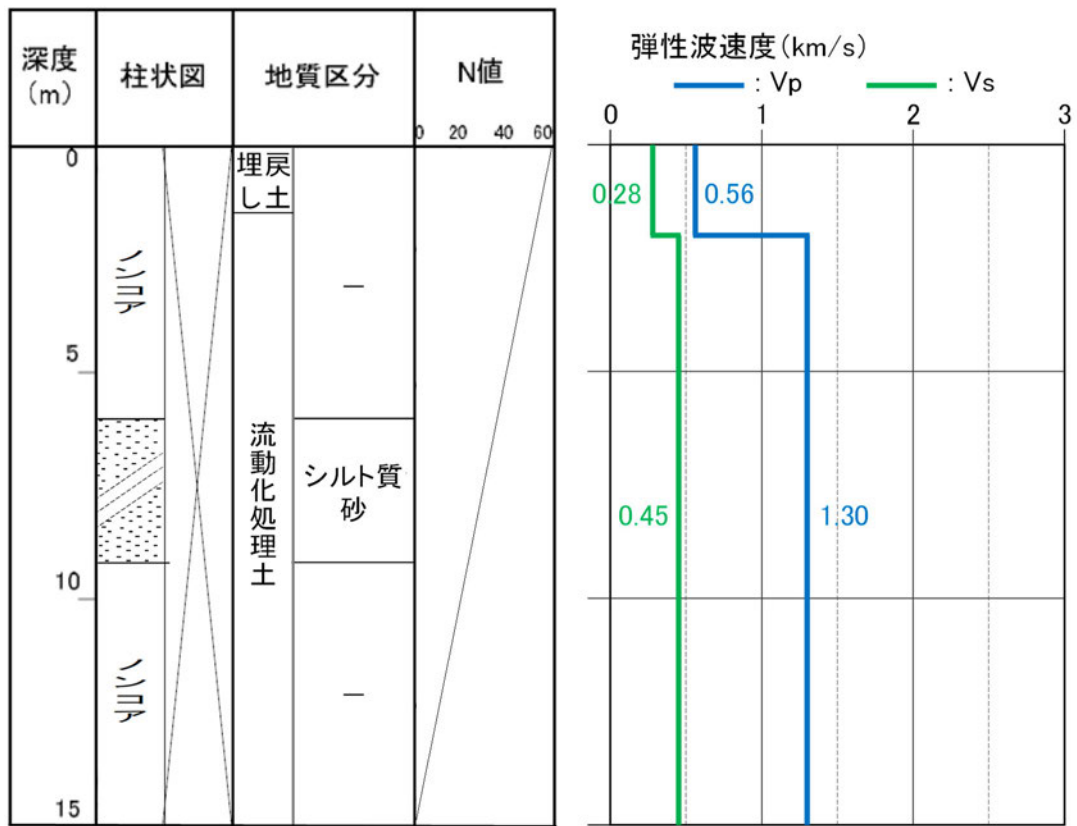
参考6-1図 ボーリング柱状図 (a-3孔)

a-4 (孔口標高 55.06m)



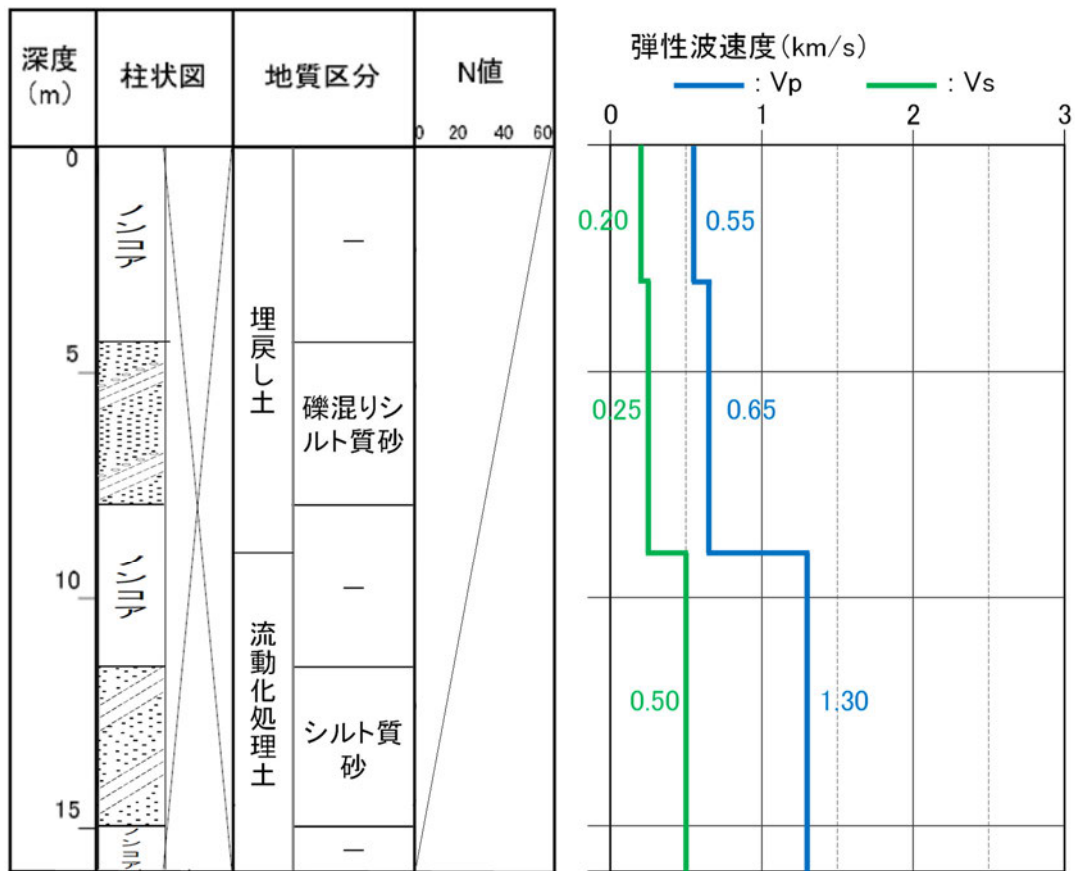
参考6-2図 ボーリング柱状図 (a-4孔)

b-1 (孔口標高 55.04m)



参考6-3図 ボーリング柱状図 (b-1孔)

b-2 (孔口標高 55.04m)



参考6-4図 ボーリング柱状図 (b-2孔)

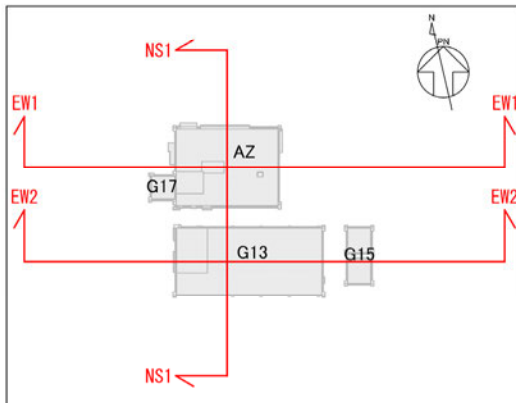
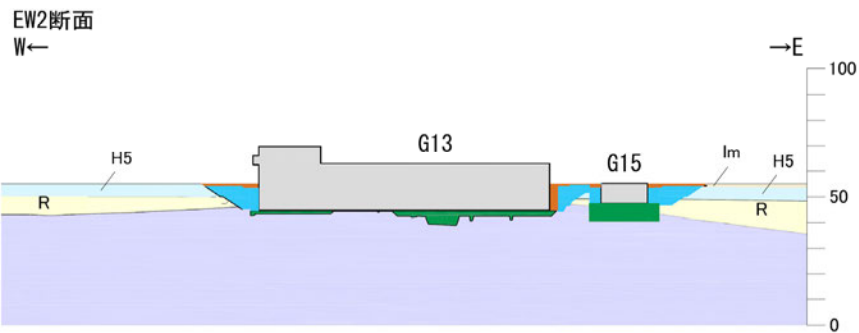
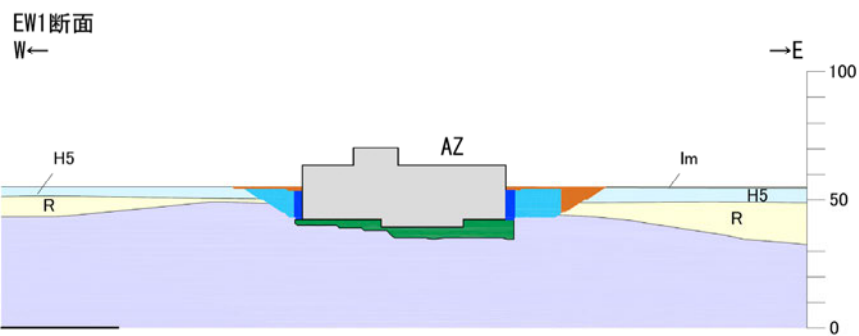
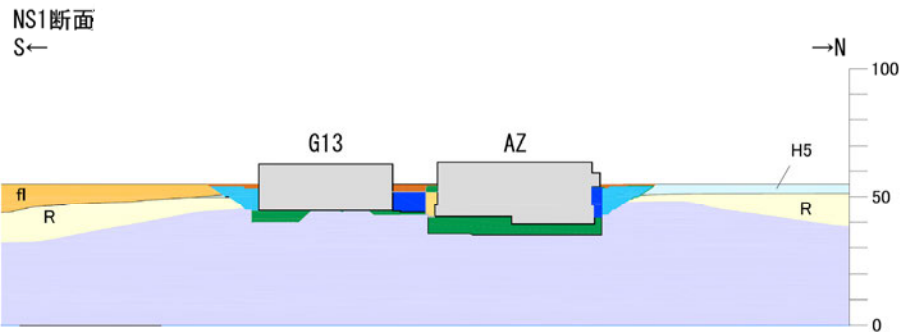
参考 7

緊急時対策建屋 (AZ), 第 1 保管庫・貯水所 (G13)

及び第 2 保管庫・貯水所 (G14) の表層地盤

- (1) 緊急時対策建屋 (AZ), 第 1 保管庫・貯水所 (G13) 及び第 2 保管庫・貯水所 (G14) の配置断面図

緊急時対策建屋 (AZ), 第 1 保管庫・貯水所 (G13) 及び第 2 保管庫・貯水所 (G14) 周辺の流動化処理土については, 施工プロセスによる入り組んだ打設構造となっていることから周囲の地山状況 (六ヶ所層, 高位段丘堆積層, 中位段丘堆積層等) も合わせ参考 7-1 図に各断面図を示す。

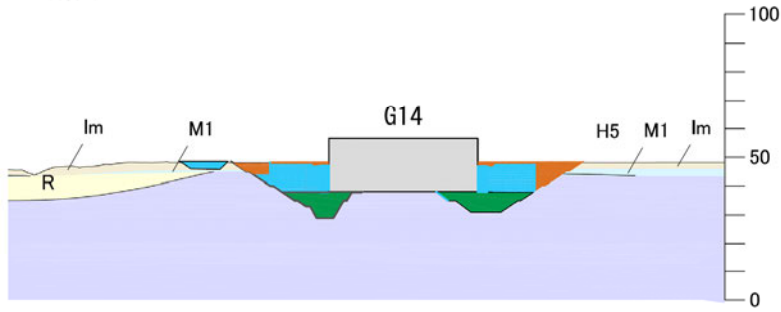


凡例

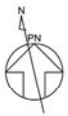
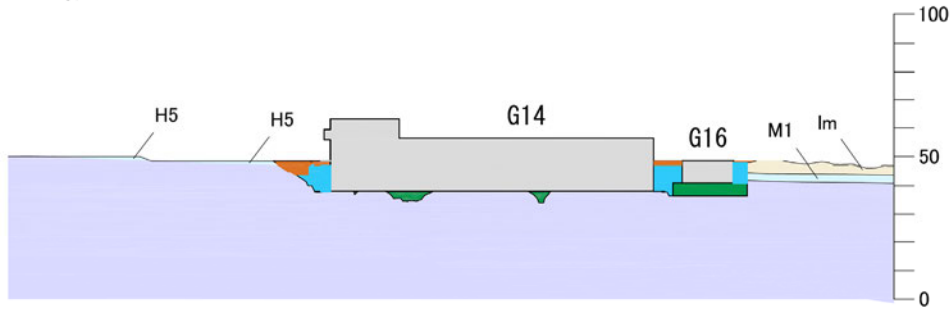
bk	埋戻し土	流動化処理土
fl	造成盛土	MNR
a1	沖積低地堆積層	改良地盤A
Im	火山灰層	改良地盤B
Hs	高位段丘堆積層	竜巻基礎
M1	中位段丘堆積層	エアモルタル
R	六ヶ所層	ベントナイト混合土
S1	砂子又層下部層	建物及び構築物
	底架層	高配合流動化処理土

参考 7-1 図(1) 建物・構築物の周囲にある表層の配置断面図 (AZ・G13)

NS断面

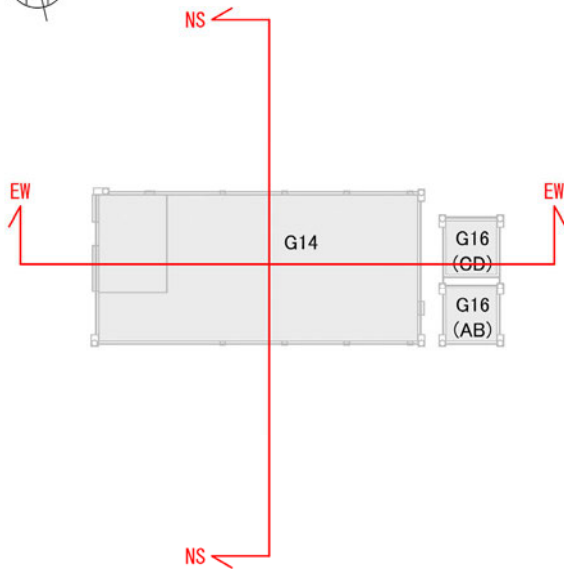


EW断面



凡例

bk	埋戻し土		流動化処理土
fl	造成盛土	MMR	MMR
al	沖積低地堆積層		改良地盤A
Im	火山灰層		改良地盤B
Hs	高位段丘堆積層		電巻基礎
M1	中位段丘堆積層		エアモルタル
R	六ヶ所層		ペントナイト混合土
S1	砂子又層下部層		建物及び構築物
	鷹架層		高配合流動化処理土



参考 7-1 図(2) 建物・構築物の周囲にある表層の配置断面図 (G14)

(2) 2次元周波数応答解析による表層地盤の影響検討

東側地盤の緊急時対策建屋（AZ）、第1保管庫・貯水所（G13）及び第2保管庫・貯水所（G14）においては、オープン掘削による広がりをもった掘削範囲の内側は流動化処理土等により埋め戻されており、外側には地山（高位段丘層、六ヶ所層等）が存在する。これらの特徴を考慮し、「基本地盤モデル」における表層地盤の設定方法について検討する。

ここでは、2次元周波数応答解析手法を用いて、本来の建屋近傍の流動化処理土とその周辺地山の等価な表層地盤と一次元波動論で設定する一様地盤での応答加速度スペクトルを比較する。

参考7-1表に解析に用いた物性値一覧を示す。鷹架層については、暫定的に東側地盤の平均的な G_0 分布を適用し、表層部については、建屋周辺の掘削部のみを流動化処理土（第2グループ）としたものと解析モデルの表層地盤全領域に渡って流動化処理土（第2グループ）に設定した2ケースとした。なお、建屋はモデル化していない。

参考7-1表にAZ建屋基礎地盤に与えた解析用物性値を示す。解析モデルには、事業許可申請と同様の値を設定した。また、流動化処理土（第2グループ）は、第3.1.2-2図に示す ρt と G_0 の平均値を用いた。なお、動的変形特性のうち、 $G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ のひずみ依存特性は、流動化処理土（第1グループ）の値を流用した。

参考7-2図には、解析モデルの設定物性値の違いを確認するため、AZ建屋のNS方向断面及びEW方向断面の V_s 分布図を示す。図によれば、建屋近傍の流動化処理土とその周辺地山を用いたケースでは、等価線形化法により収束した $V_s(G_0$ 換算)は小さな値となって、境界近傍まで分布する。

参考7-3図にAZ建屋底盤位置の岩盤（MMR上限）の加速度応答スペクトルを示す。解析結果によれば、参考7-3図(1)に示すAZ建屋NS断面の水平方向の加速度応答スペクトルは、両ケースで顕著な差は認められない。参考7-3図(2)に示すAZ建屋EW断面の加速度応答スペクトルについても水平方向、鉛直方向ともにほぼ同様の値を示している。

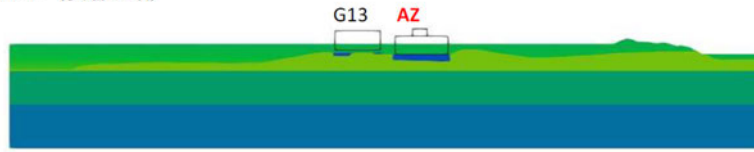
上記のことから両ケースの応答に顕著な違いがないことから建屋底盤位置での加速度応答は、周辺地盤の影響よりも建屋周辺の流動化処理土の物性値が支配的であることを確認した。

参考 7-1 表 解析用物性値

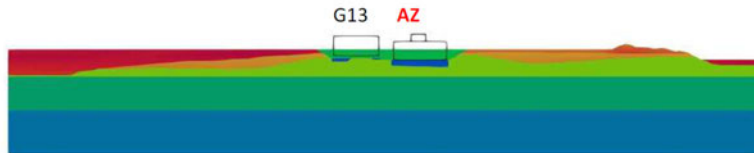
		G_0 (MPa)	ρ_t (g/cm ³)	ν_d	$G/G_0 \sim \gamma$ (%)	$h \sim \gamma$ (%)
表層	PH (1m, M1, H5)	189	1.89	0.45	$\frac{1}{1 + 15.4 \cdot \gamma^{0.891}}$	$\frac{\gamma}{0.0570\gamma + 0.00824} + 1.81$
	R	303	1.73	0.41	$\frac{1}{1 + 5.91 \cdot \gamma^{0.758}}$	$\frac{\gamma}{0.0829\gamma + 0.00582} + 1.18$
	f1	32.4+4.02·D	1.66+3.3×10 ⁻³ ·D	0.42	$\frac{1}{1 + 9.27 \cdot \gamma^{0.992}}$	$\frac{\gamma}{0.0438\gamma + 0.0150} + 1.74$
	流動化処理土	812	1.71	0.40	$\frac{1}{1 + 9.63 \cdot \gamma^{1.01}}$	$\frac{\gamma}{0.0798\gamma + 0.0150} + 1.48$
鷹架層	凝灰岩 (~T. M. S. L+23.0m)	538	1.60	0.435	線形	3
	軽石凝灰岩 (T. M. S. L+23m~-18m)	855	1.56	0.407	線形	3
	軽石質砂岩 (T. M. S. L-18m~-70m)	1403	1.77	0.381	線形	3
	細粒砂岩 (解放基盤)	1601	1.85	0.37	線形	3
MMR		9000	2.35	0.167	線形	5

・Dは深度 (G. L. -m) を示す。

流動化処理土（表層全域）

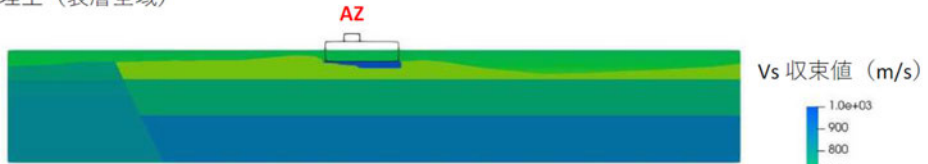


流動化処理土（建屋掘削部）+ 地山（周辺表層）

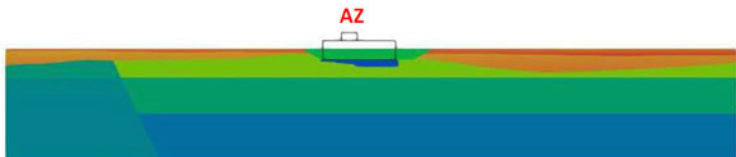


参考 7-2 図(1) AZ 建屋（NS 方向）解析断面 Vs 分布図

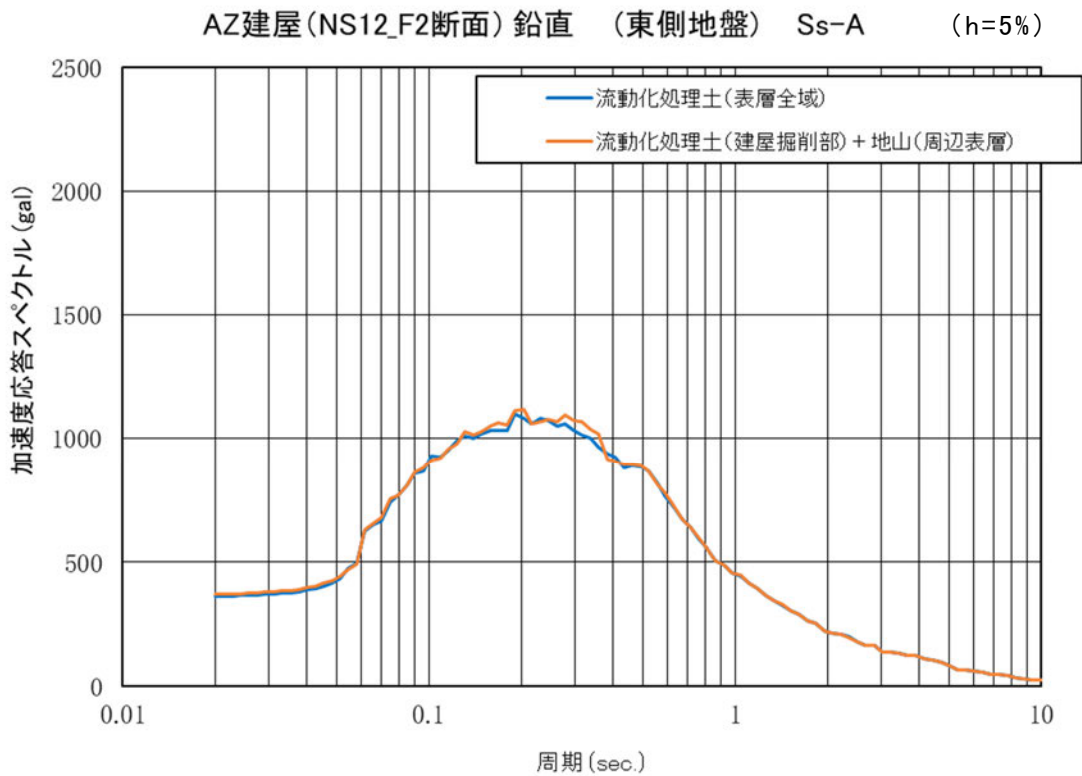
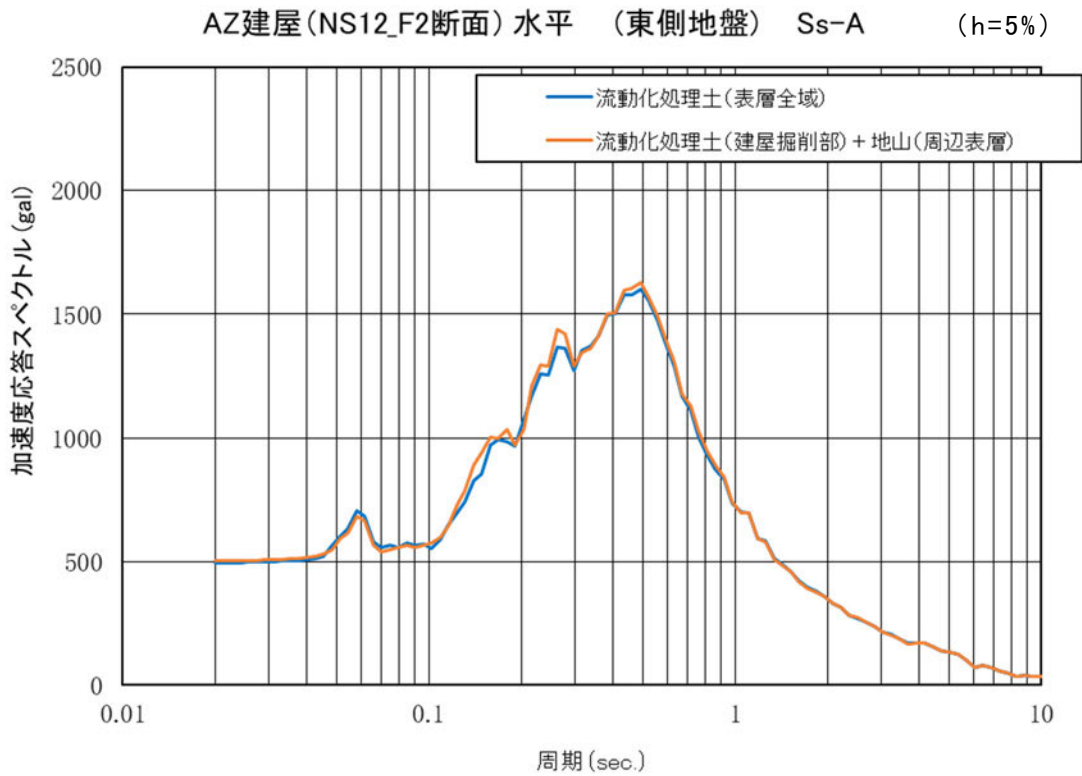
流動化処理土（表層全域）



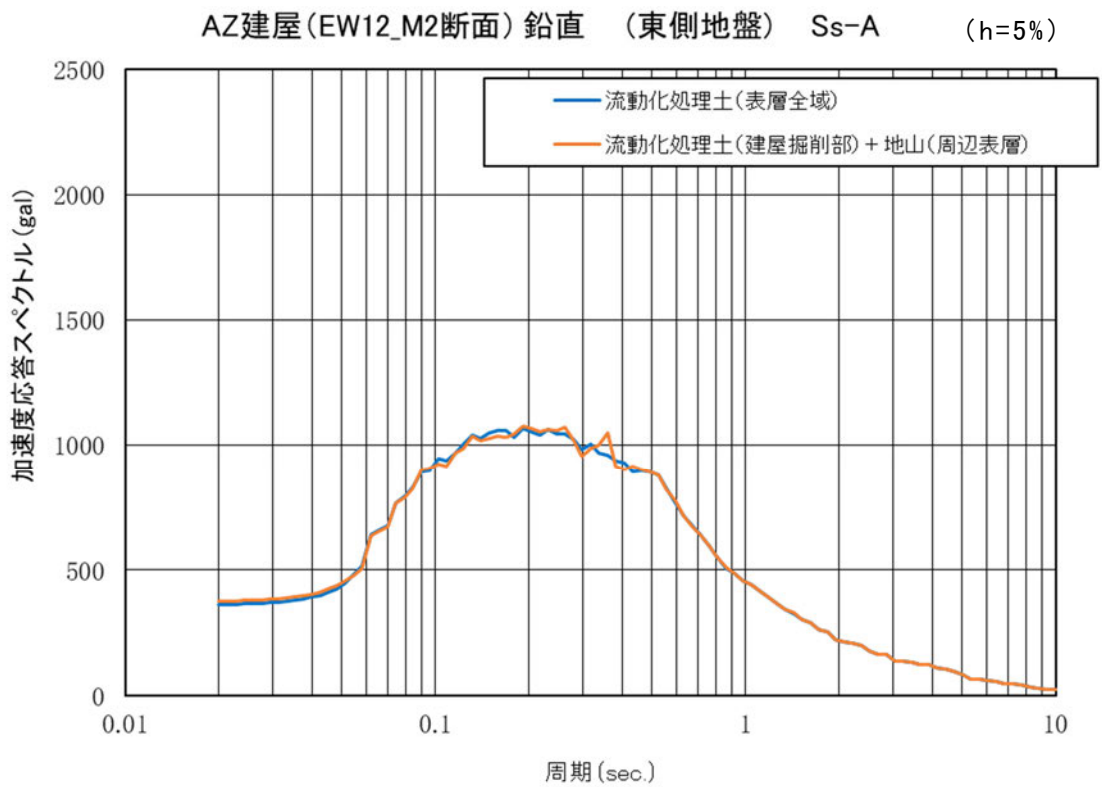
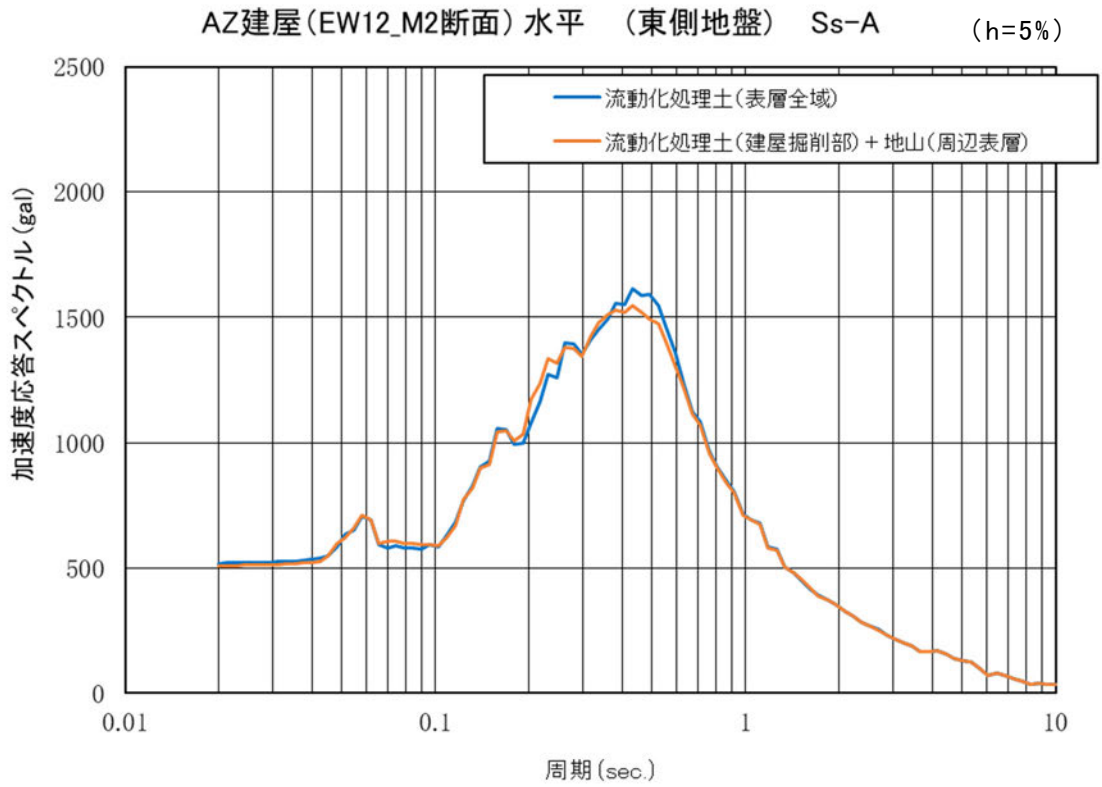
流動化処理土（建屋掘削部）+ 地山（周辺表層）



参考 7-2 図(2) AZ 建屋（EW 方向）解析断面 Vs 分布図



参考 7-3 図(1) AZ 建屋 (NS 方向) 底盤位置の応答スペクトル比較



参考 7-3 図(2) AZ 建屋 (EW 方向) 底盤位置の応答スペクトル比較

参考 8

表層地盤の物性値の与え方による影響について

令和 5 年 4 月 22 日審査会合において，表層地盤の物性値に係る感度分析にあたって，一定の仮定を設けた直下物性を設定した場合の入力地震動の算定結果を示した。感度分析結果における直下物性と平均物性による入力地震動の算定結果の差について，参考 8-1 図及び参考 8-2 図に示す結果より以下のとおり考察した。

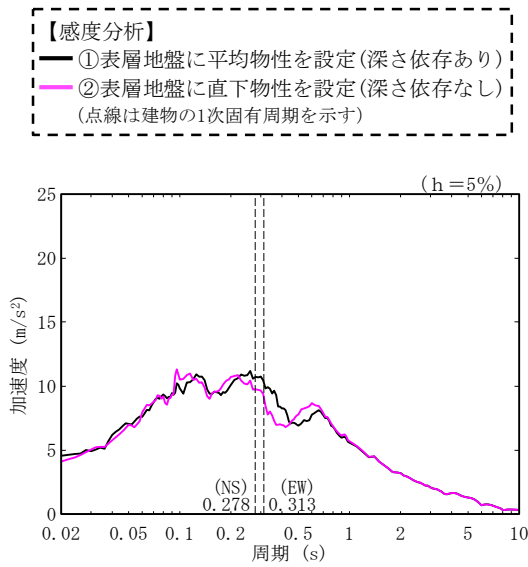
感度分析において考慮した物性値設定のうち，平均物性については，埋戻し土が人工材料であることを踏まえ，敷地内における調査結果等に基づき，深度依存性を考慮した平均的な物性値を設定している。

一方，直下物性としている建屋近傍の単独孔における物性値については，PS 検層データに基づき，参考 8-1 図 (b) 及び参考 8-2 図 (b) に示す赤線または青線のとおり，回帰式による深度依存性が無い条件を仮定して設定している。

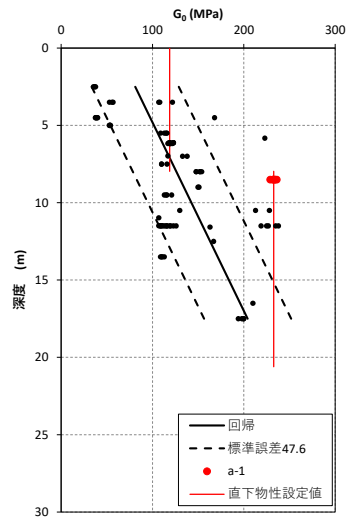
AB 建屋については，埋戻し土の G_0 は計測深度で平均 $\pm 1\sigma$ を超えているにもかかわらず，平均深度依存回帰の加速度応答スペクトルは近似している。また，AC 建屋の埋戻し土は， G_0 は計測深度で平均値に等しいにもかかわらず加速度応答スペクトルは乖離している。

この結果は，AB 建屋，AC 建屋で設定した物性値による表層地盤の固有周期と鷹架層境界と表層地盤境界のインピーダンス（弾性波速度差）の違いによるもので，AB 建屋は，2 段階で設定した埋戻し土の固有周期と平均回帰による固有周期が，たまたま一致したことで鷹架層境界と表層地盤境界（T.M.S.L.+35m）のインピーダンス比が一致したためと考えられる。AC 建屋は，計測深度で平均値に等しいが一定値を用いているため， G_0 が低くなることから応答スペクトルは長周期側にシフトし，鷹架層境界と表層地盤境界（T.M.S.L.+35m）のインピーダンス比が大きいことから振幅も大きくなっている。

表層地盤（埋戻し土）は，人工材料であり，均質を目標に施工されていることから，単独孔からの取得データはばらつきの中の 1 つの値であり，一般的に拘束圧依存性を有し，深度方向に G_0 が大きくなることから埋戻し土の物性値を統計的な数値として平均値の深度依存回帰を用いた値を用いて入力地震動を算定することが適切であると考えられる。

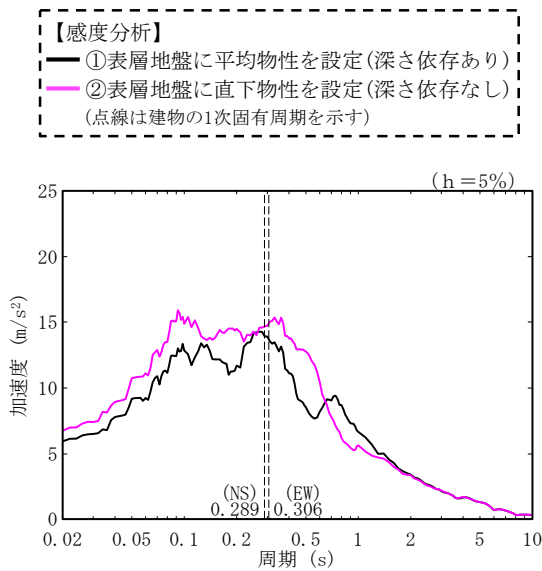


(a) 感度分析結果

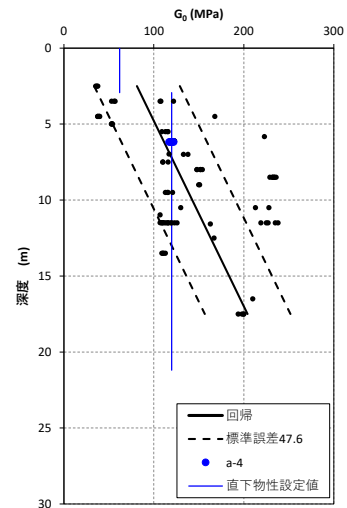


(b) 平均物性と直下物性の
設定値の違い

参考 8-1 図 入力地震動の感度分析結果 (AB 建屋)



(a) 感度分析結果



(b) 平均物性と直下物性の
設定値の違い

参考 8-2 図 入力地震動の感度分析結果 (AC 建屋)