

第 4.4.3-4 図 評価に用いた地震の震央分布（東側地盤）

4.4.4 初期モデルの設定及び探索範囲

評価にあたっては、事業変更許可申請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 4.4.2-2 図及び第 4.4.2-3 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、S 波速度及び減衰定数を変数として同定を行った。

この際、PS 検層結果による速度構造（S 波速度、P 波速度及びこれらの速度が切り替わる層境界深さ）をそのまま用いて初期モデルとして設定することを基本とするが、地震観測記録と同定された地盤パラメータに基づく理論伝達関数の適合性に課題が生じた場合においては、地震観測地点周辺の地質状況等を確認し、適合度の課題が生じている周期帯に対する影響を考察した上で、初期モデルの S 波速度構造や層厚又は層境界を適宜見直すこととする。

事業変更許可申請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武村ほか(1993)*等の知見に基づき、振動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、速度構造及び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。また、減衰定数の探索範囲は、岩盤部分では 0～10%、表層地盤では 0～20%とし、S 波速度及び P 波速度については、佐藤ほか(2006)において探索範囲を PS 検層結果に基づく地下構造を初期条件として、硬質層 ($V_s 1000\text{m/s}$ 以上) では 10～30%、軟質層 ($V_s 250\text{m/s}$ 及び $V_s 600\text{m/s}$) では約 50%としていることを踏まえ、敷地における PS 検層における速度の大きさや、後述の地震観測位置周辺の地下構造を踏まえて個別に設定した。

ここで、中央地盤観測点については、事業変更許可申請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 波速度も再設定しており、後述の目的関数に合致することを確認していることから、再設定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。

西側地盤及び東側地盤観測点については、事業変更許可申請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 波速度も再設定しており、移設後の位置における S 波速度の再設定は実施していない。「4.4.2 敷地における地震観測の概要」及び「4.4.3 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 4.4.2-3 図）における S 波速度を初期モデルとして設定することとし、減衰定数と S 波速度の両方を変数として設定することとした。

初期モデルの設定にあたっての地震観測位置ごとの考え方を、以下(1)～(3)に示す。

ここで、事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルの作成においては、移設前の地震観測位置の情報に基づく速度構造及び減衰定数の同定により、地震観測記録をよく説明するモデルを作成できたことから、層境界深さについては同定における変数とはしていなかった。

ただし、本資料における検討に際しては、東側地盤及び西側地盤について、移設後の地震観測位置における同定を実施しており、西側地盤及び東側地盤については、上記方針に基づき設定した初期モデルを用いて速度構造及び減衰定数を同定した場合、同定結果と観測記録の伝達関数に差が見られた。このことを踏まえ、許可時点の検討から、移設後の地震観測地点における検討に変更したことにより、地震観測地点の地下構造の特徴についても許可時点から変更となっていることから、これについて改めて考察し、許可時には考慮していなかった層境界深さについても同定時の変数として設定することとした。

具体的には、以下(2)及び(3)に示すとおり、初期モデルの設定にあたり、地震観測地点近傍の地下構造を踏まえ、初期モデルにおいて考

慮する層境界の設定の見直し及び層境界深さを変数とした同定を行っている。

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 4.4.4-1 表～第 4.4.4-3 表に示す。

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.

(1) 中央地盤

中央地盤については、初期モデルの設定にあたり、事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルにおける S 波速度及び P 波速度をそのまま設定している。

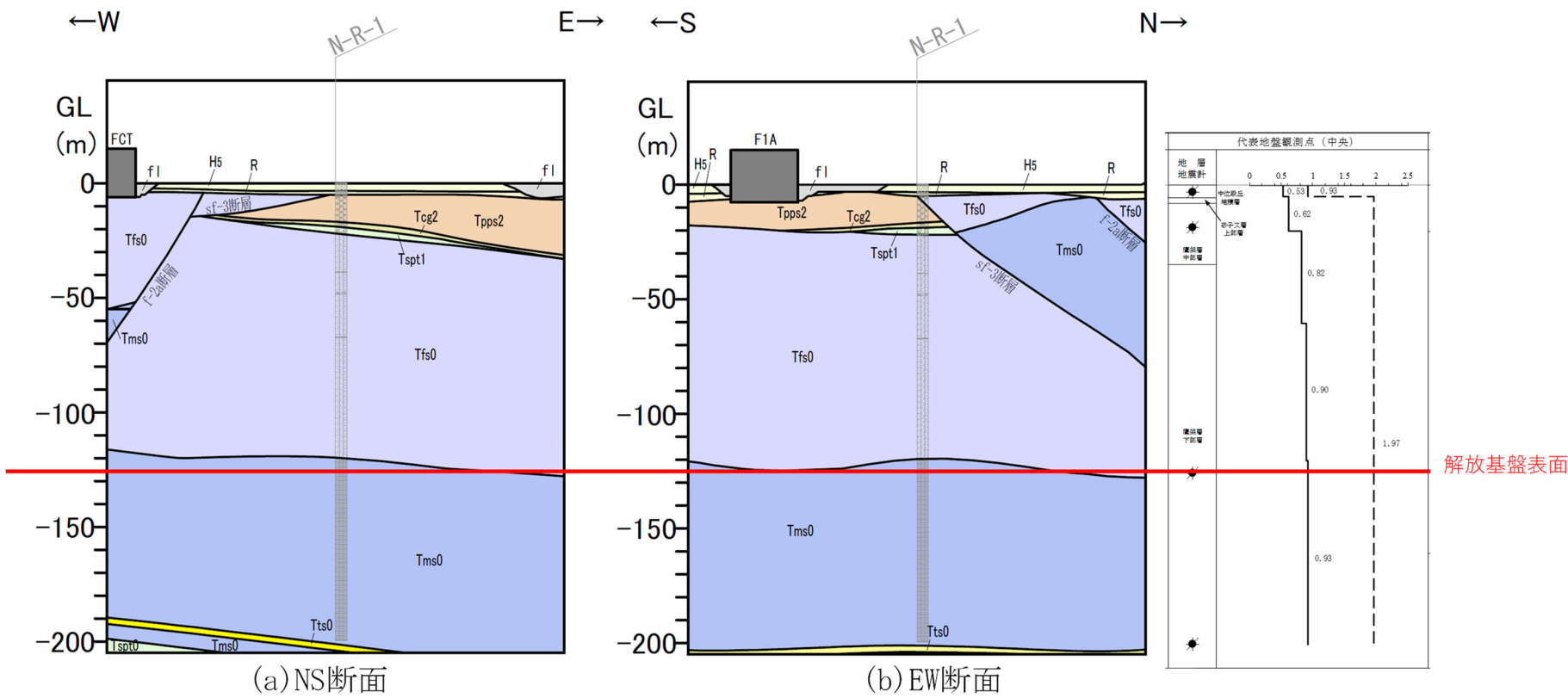
初期モデルの設定にあたっては、地震観測位置近傍の地下構造を確認しており、中央地盤については、第 4.4.4-1 図に示す地質断面図のとおり、約 GL-20m 以深においては、速度構造に大きな違いの無い細粒砂岩と泥岩で構成される鷹架層下部層が広がっており、地震観測位置近傍において、地盤応答に影響を与えるような速度構造の違いはないことを確認している。

一方、約 GL-20m 以浅においては、地震観測位置においては鷹架層中部層が分布していることに対し、地震観測位置近傍に分布する sf-3 断層よりも北側においては、地震観測位置では約 GL-20m 以深に分布する鷹架層下部層が、地表付近まで分布している。

仮に、鷹架層下部層が地表面付近まで分布していることが、地震観測位置における地盤の振動性状に影響を与えているとしても、同定において GL-20m 以浅における S 波速度及び P 波速度を変動させることで、新たに速度境界等を設定せずとも表現が可能であることから、初期モデルの設定にあたっては、地震観測位置における PS 検層結果に基づく S 波速度及び P 波速度をそのまま用いることに問題は無いと判断した。

「4.4.9 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）」に示すとおり、中央地盤について、PS 検層結果に基づく S 波速度を初期モデルとして設定した場合、同定時の S 波速度の変動量に着目すると、GL-20m 以浅における速度構造が、初期地盤モデルでは $V_s 620\text{m/s}$ から、同定後には 720m/s と大きい値に変動している。

この同定結果は、地震観測記録と整合させる上で、地震観測位置近傍において鷹架層下部層が地表面付近まで分布していることも加味されたものとなったと考えられる。



第 4.4.4-1 図 中央地震観測点における地質断面図及び PS 検層結果

(2) 西側地盤

「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「1.1 西側地盤における比較結果」に示したとおり、西側地盤については、PS 検層結果に基づく S 波速度を初期モデルと設定した場合、GL-18m/GL-200m の伝達関数において、0.1 秒よりも短周期側における地震観測記録に対し、同定結果における理論伝達関数では極端に落ち込む周期が見られ、地震観測記録との適合に課題が見られた。

この要因を分析するために、まずは、地盤の固有周期に最も影響を与える層として、初期モデルのうち最も層厚の大きい GL-36.82m～-112.60m ($V_s550\text{m/s}$) の層に着目し、下記のとおり、地震観測地点周辺の地質構造の分析を行った。

西側地盤については、第 4.4.4-2 図に示す地質断面図のとおり、地震観測位置において、岩盤部分の泥岩（上部層）と表層地盤の砂子又層下部層の境界で速度のコントラストを有している。また、その境界については、同図 (a) の南北断面においては、地震観測位置の南側では概ね平坦となっているが、北側に向かって深くなる傾斜を有する傾向を有している。また、同図 (b) の東西断面より、地震観測位置周辺においては、この境界が、西側に向かって深くなる傾斜が現れており、地震観測位置の東側に比べ、西側でその傾斜が大きくなっている。

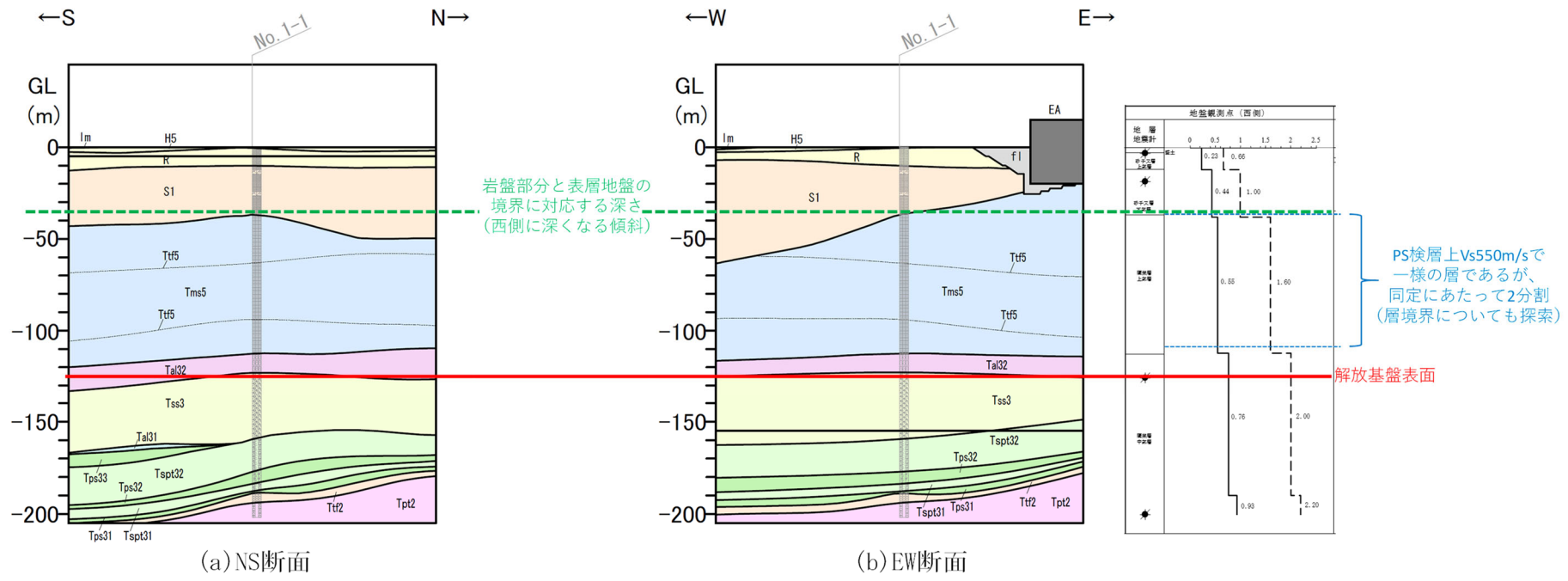
このことから、西側地盤における地震観測位置の地下構造としては、観測位置の北西側に向かって深くなるように岩盤部分と表層地盤の層境界が傾斜しており、高速度を示す岩盤である泥岩（上部層）の上端が、地震観測位置と比較して、その北西側では深部に分布していることにより、西側地盤における地震観測位置において、PS 検層位置の一点における鉛直方向の地盤の速度構造だけでなく、地震観測位置の周辺までを含めた面的な地盤の速度構造が地盤の振動に影響を与えている可能性が示唆される。

これにより、PS 検層結果に基づく初期モデルの設定及び同定の際には、当該層境界を PS 検層結果に基づく深さに固定して同定を行ったことで、観測事実上、高次成分のピークが現れる短周期帯において伝達関数を谷となるように評価されたと考えられる。

以上を踏まえ、西側地盤については、初期モデルの設定にあたり、地震観測位置の周辺までを含めた面的な地盤の速度構造を反映するため

に、PS 検層結果において $V_s550\text{m/s}$ の等速度層としてデータが得られている $\text{GL}-36.82\text{m}\sim-112.60\text{m}$ の層の中間に層境界を新たに考慮することにより、複数の層に細分化するとともに、当該層境界自体も探索対象とした。

さらに、表層地盤のうち、最も低速度層となる領域 ($V_s230\text{m/s}$ の $\text{GL}0\text{m}\sim-10.10\text{m}$) の間についても、周辺に六ヶ所層以外の地盤が分布していることを鑑み、同定の詳細化を目的として、層の細分化を行い、その層境界の深さについても探索対象とした。また、表層地盤の S 波速度及び P 波速度の探索範囲についても $\pm 30\%\sim 50\%$ に拡大した。



第 4.4.4-2 図 西側地震観測点における地質断面図及び PS 検層結果

(3) 東側地盤

「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「1.2 東側地盤における比較結果」に示したとおり、東側地盤については、PS 検層結果に基づく S 波速度を初期モデルと設定した場合、GL-18m/GL-200m の伝達関数の一部周期帯（約 0.4 秒）において、同定結果における理論伝達関数が谷となり、地震観測記録との適合に課題が見られた。

この要因を分析するために、まずは、地盤の固有周期に最も影響を与える層として、初期モデルのうち最も層厚の大きい GL-18.68m～115.73m ($V_s 820\text{m/s}$) の層に着目し、下記のとおり、地震観測地点周辺の地質構造の分析を行った。

東側地盤については、第 4.4.4-3 図に示す地質断面図のとおり、地震観測位置において、敷地内の sf-4 断層が地下に分布している。

地震観測位置は sf-4 断層の下盤側に位置しており、初期モデルとしてまず設定することとなる同位置におけるボーリング調査及び PS 検層結果によれば、高速度を示す岩盤である軽石質砂岩及び細粒砂岩が概ね GL-120m 以深に分布している。

一方で、第 4.4.4-3 図に示すとおり、地震観測位置の北側及び西側近傍においては、同断層の上盤側の地盤が分布しており、高速度を示す岩盤である軽石質砂岩及び細粒砂岩が、浅部（概ね GL-50m 以深）に分布していることが確認できる。

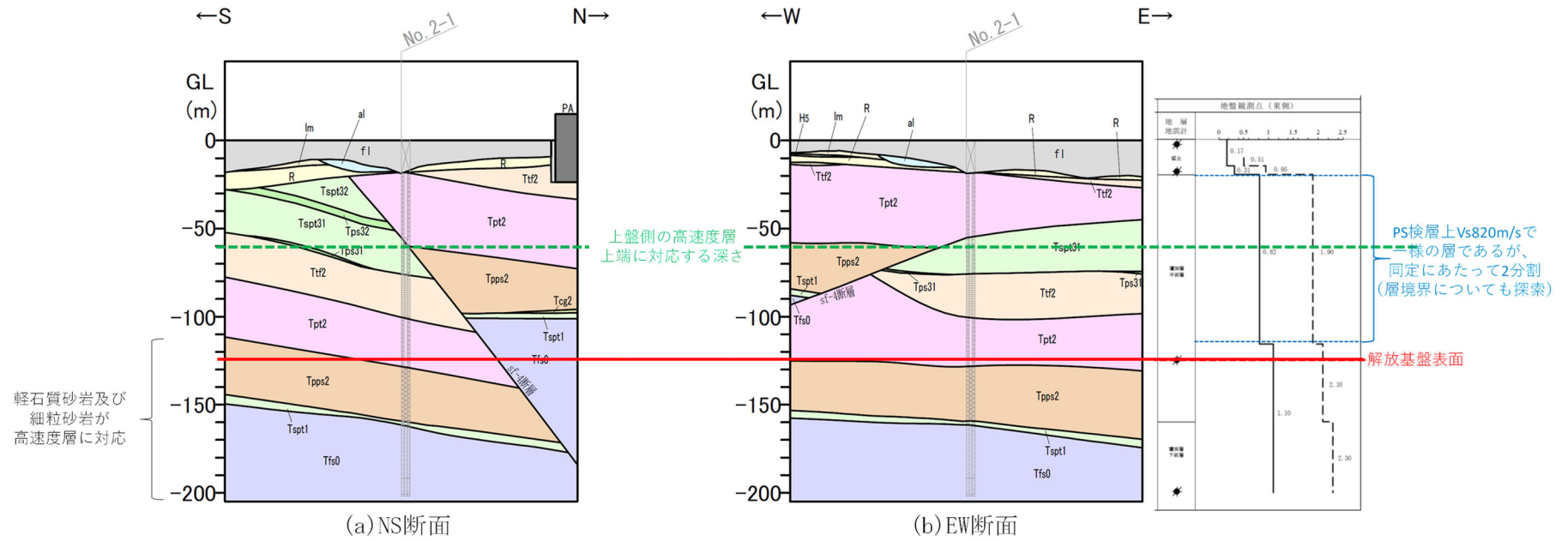
このことから、東側地盤における地震観測位置の地下構造としては、高速度を示す岩盤が浅部に至っている地下構造となっていることにより、東側地盤における地震観測位置において、PS 検層位置の一点における鉛直方向の地盤の速度構造だけでなく、地震観測位置の周辺までを含めた面的な地盤の速度構造が地盤の振動に影響を与えている可能性が示唆される。

これにより、PS 検層結果に基づく初期モデルでは、本来高速度層として考慮すべき層を低速度層として設定したことで、観測事実上、伝達関数上谷とならない周期帯において谷として評価したと考えられる。

以上を踏まえ、東側地盤については、初期モデルの設定にあたり、地震観測位置の周辺までを含めた面的な地盤の速度構造を反映するために、PS 検層結果において $V_s 820\text{m/s}$ の等速度層としてデータが得られている GL-18.68m～115.73m の層の中間に層境界を新たに考慮するこ

とにより、複数の層に細分化するとともに、当該層境界自体も探索対象とした。さらに、探索範囲の設定として、設定した層境界の下部層における S 波速度の探索範囲上限を GL -115.73m 以深の層における PS 検層結果の S 波速度 (1100m/s) の +5% まで拡大して設定した。

さらに、表層地盤のうち、最も低速度層となる領域 (V_s 170m/s の GL0m ~ -14.73m) の間については、盛土が厚く分布し、盛土以外の地盤が分布していることを鑑み、同定の詳細化を目的として、層の細分化を行い、その層境界の深さについても探索対象とした。また、表層地盤の S 波速度及び P 波速度の探索範囲についても $\pm 10\% \sim 30\%$ に拡大した。



第 4.4.4-3 図 東側地震観測点における地質断面図及び PS 検層結果

第 4.4.4-1 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 GL (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	P 波速度 Vp(m/s)	分類	減衰定数 h
地震観測位置→	0	2	1.94	470	1410	表層 1	0~0.2
	-2	1.5					
	-3.5	1.5					
地震観測位置→	-5	13	1.64	720	1640	表層 2	0~0.2
	-18	2					
	-20	40					
地震観測位置→	-60	60	1.75	760	1780	岩盤	0~0.1
			1.85	830	1860		
地震観測位置→	-120	5	1.85	950	1920	基盤	0~0.1
	-125	75					
地震観測位置→	-200	—					

第 4.4.4-2 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)	P波速度 Vp(m/s)	分類	減衰定数 h
	GL 0m	2					
地震観測位置→	-2.00	(*2)	1.73	230 (±50%)	660 (±50%)	表層 1	0~0.2
	(*1)	(*2)					
地震観測位置→	-10.10	7.9	2.02	440 (±50%)	1000 (±30%)	表層 2	0~0.2
	-18.00	18.82					
	-36.82	(*2)	1.59	550 (±20%)	1600 (±10%)	岩盤	0~0.1
	(*1)	(*2)					
地震観測位置→	-112.60	12.40	1.75	760 (±20%)	2000 (±5%)	基盤	0~0.1
	-125.00	63.87					
地震観測位置→	-188.87	11.13	1.57	930 (±20%)	2200 (±5%)		
	-200.00	—					

注記 *1: 地震観測地点の地質構造を踏まえ層境界を設定 (境界深さも同定)

*2: 境界深さの同定結果に応じた層厚を設定

第 4.4.4-3 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)	P 波速度 Vp(m/s)	分類	減衰定数 h
地震観測位置→	0	2	1.69	170 (±30%)	510 (±30%)	表層 1	0~0.2
	-2.00	(*2)	1.69				
	(*1)	(*2)	1.69				
地震観測位置→	-14.73	3.27	1.72	310 (±10%)	950 (±20%)	表層 2	0~0.1
	-18.00	0.68	1.59	310(-10%) ~ 820(+10%)	1900 (±10%)	岩盤	0~0.1
	-18.68	(*2)		820(-10%) ~ 1100(+10%)			
地震観測位置→	-115.73	9.27	1.82	1100 (±10%)	2100 (±5%)	基盤	0~0.1
	-125.00	34.31					
	-159.31	40.69	1.90	1100 (±10%)	2300 (±5%)		
-200.00	—						

注記 *1 : 地震観測地点の地質構造を踏まえ層境界を設定 (境界深さも同定)

*2 : 境界深さの同定結果に応じた層厚を設定

4.4.5 目的関数の設定

同定にあたっては、当社事業変更許可申請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、「4.4.3 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。各観測深さにおける水平成分の地震観測記録については、NS 成分及び EW 成分の地震観測記録に基づき Transverse 成分に変換し、伝達関数の算定を行った。

各観測深さ間の地震個別の伝達関数は、各深さの地震観測記録にフーリエスペクトルに 0.2Hz の Parzen Window を施した上で、2 点間の比として算定している。

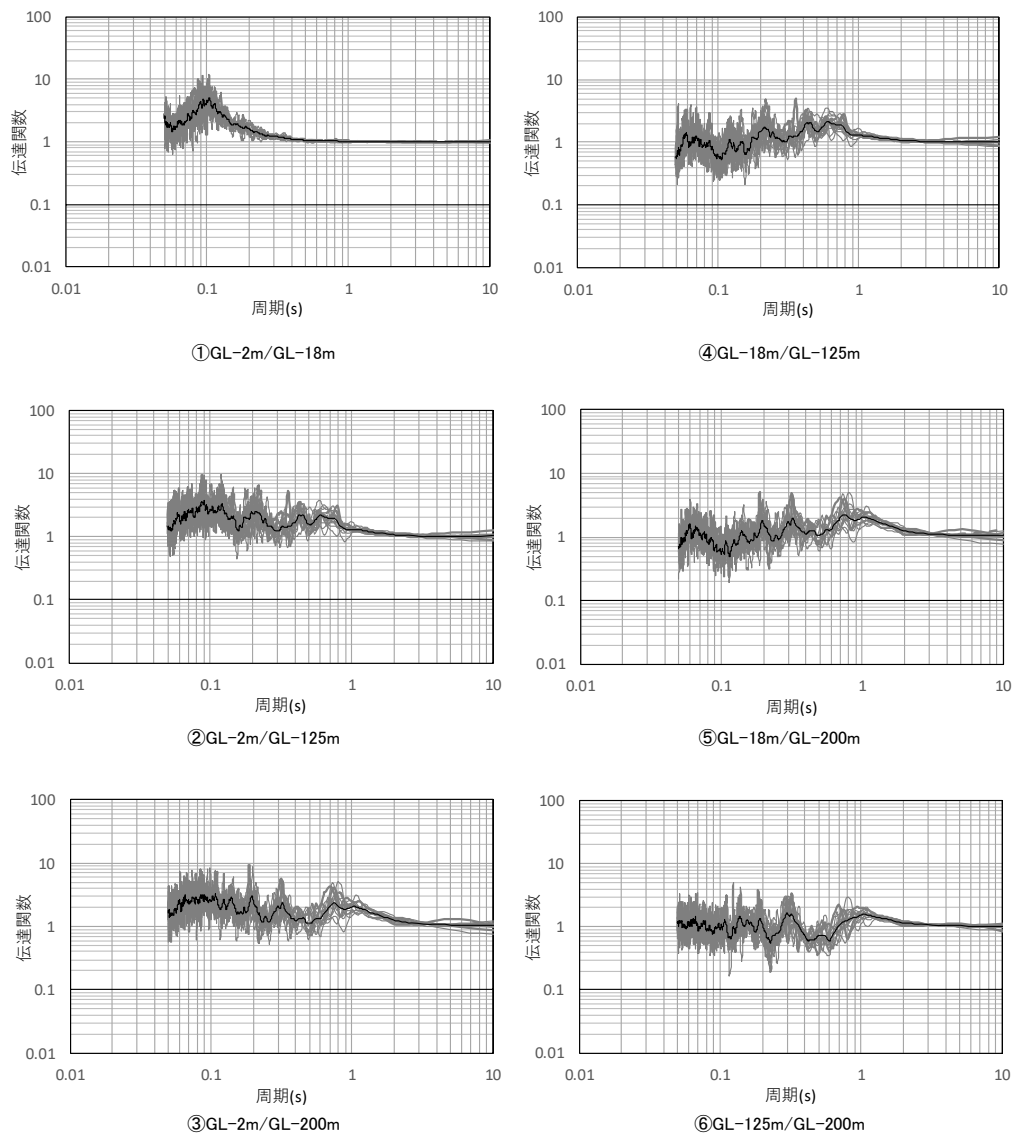
伝達関数は、表層地盤と岩盤部分を個別に同定するために、各観測深さ (GL-200m, GL-125m, GL-18m 及び GL-2m) 間のフーリエスペクトル比 (全 6 組合せ) として算定した。第 4.4.5-1 図～第 4.4.5-6 図に、地震観測記録に基づく、各深さ間の伝達関数の作成結果を示す。

さらに、「4.4.3 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検討に用いた地震の諸元、震央分布及び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「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「2. 地震数を増加させた場合の伝達関数への影響確認」に示す。

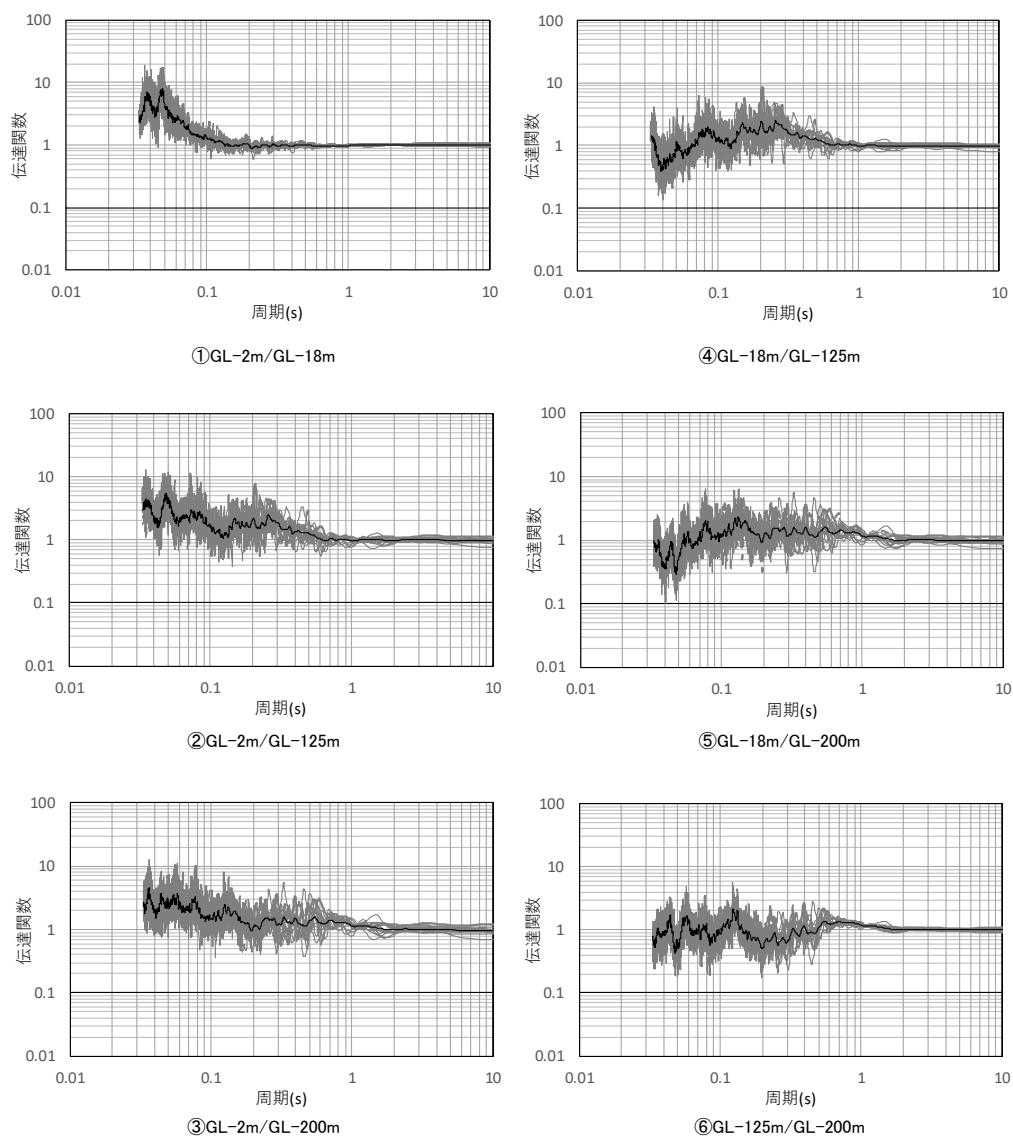
いずれの地点においても、地震数を増やした場合の伝達関数は、本評価に用いる伝達関数と有意な差は無いことから、「4.4.3 評価に用いる地震観測記録」にて選定した各地点における本評価に用いる地震は、敷地の振動特性を捉える上で十分な選定結果となっていることを確認した。

—— 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



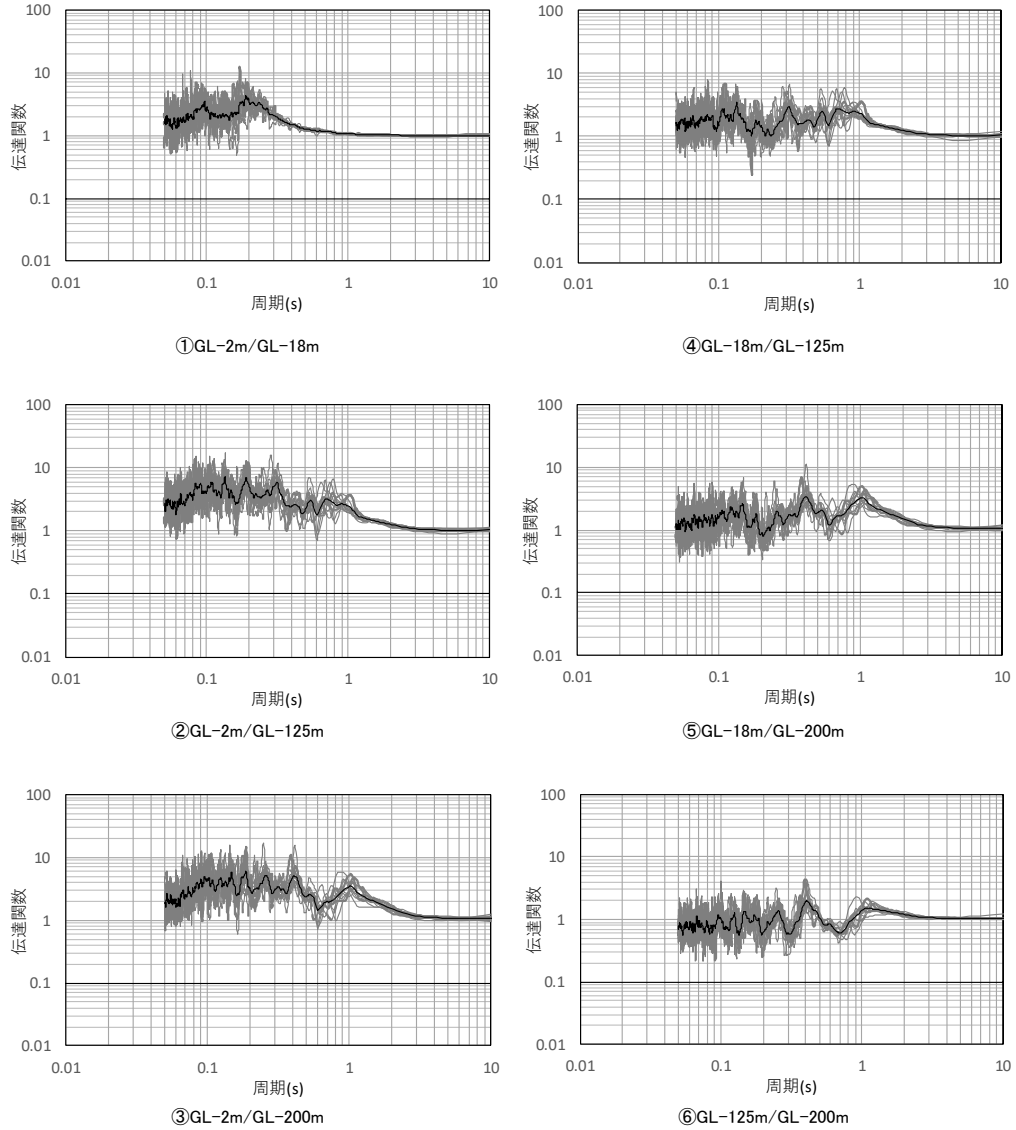
第 4.4.5-1 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （中央地盤観測点，水平）

—— 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



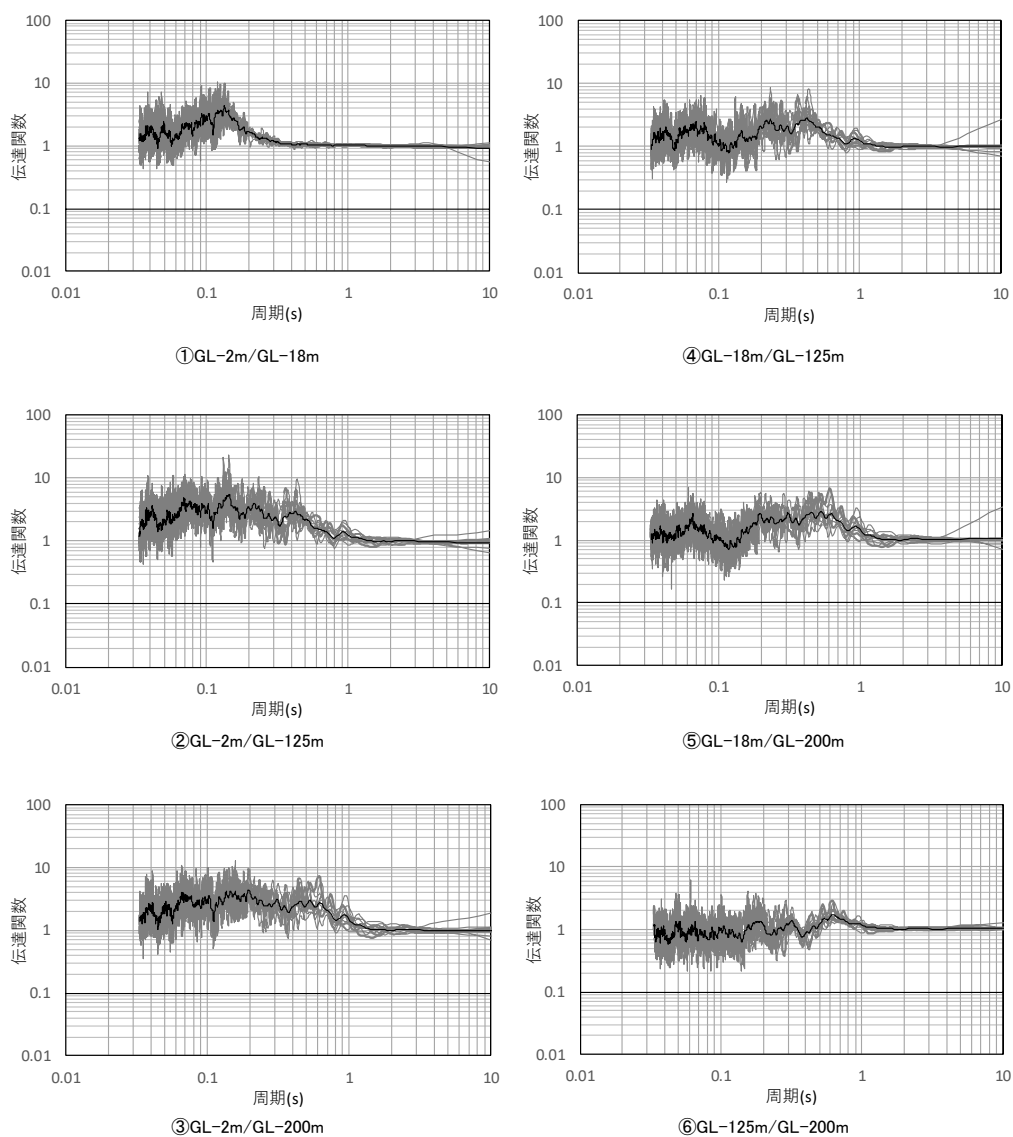
第 4.4.5-2 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （中央地盤観測点，鉛直）

—— 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



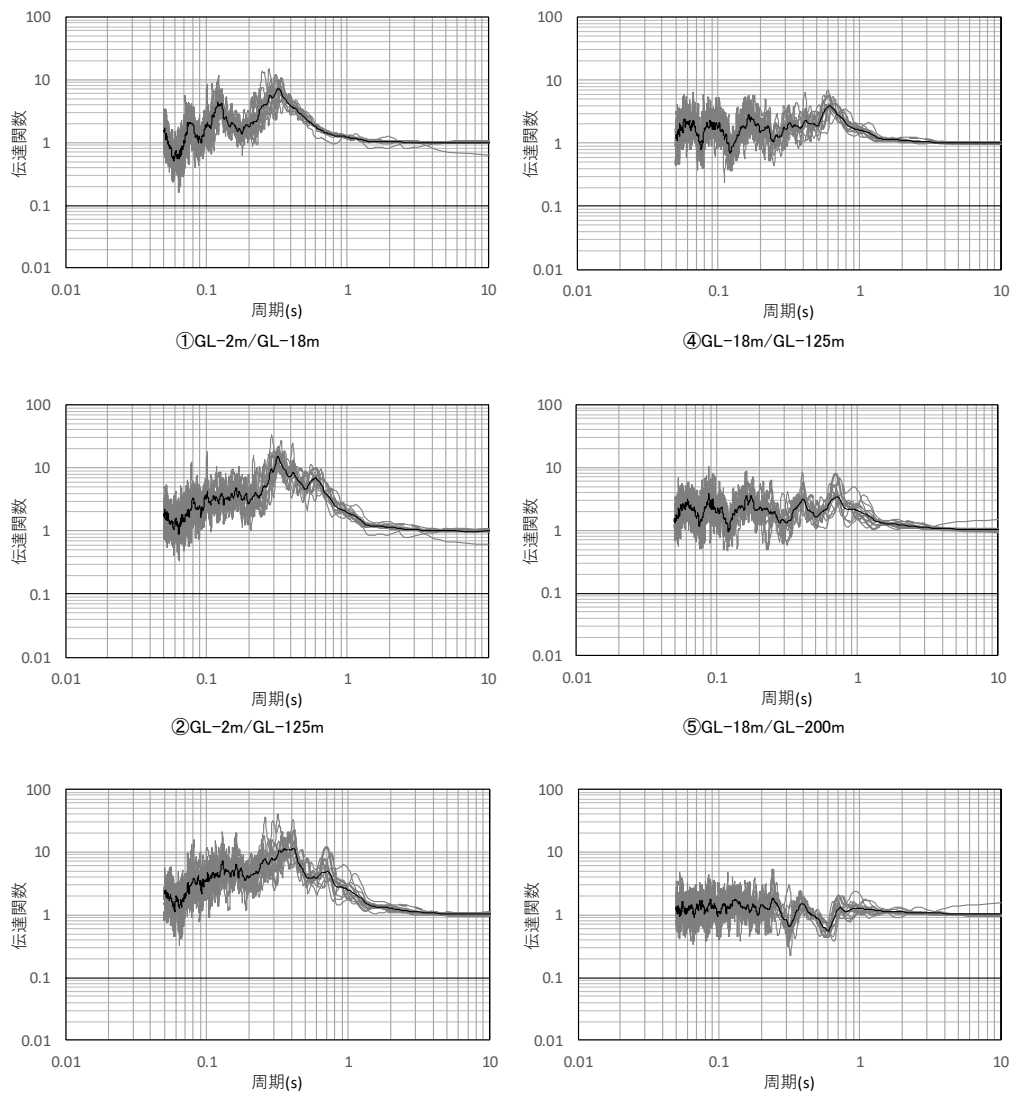
第 4.4.5-3 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （西側地盤観測点，水平）

—— 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



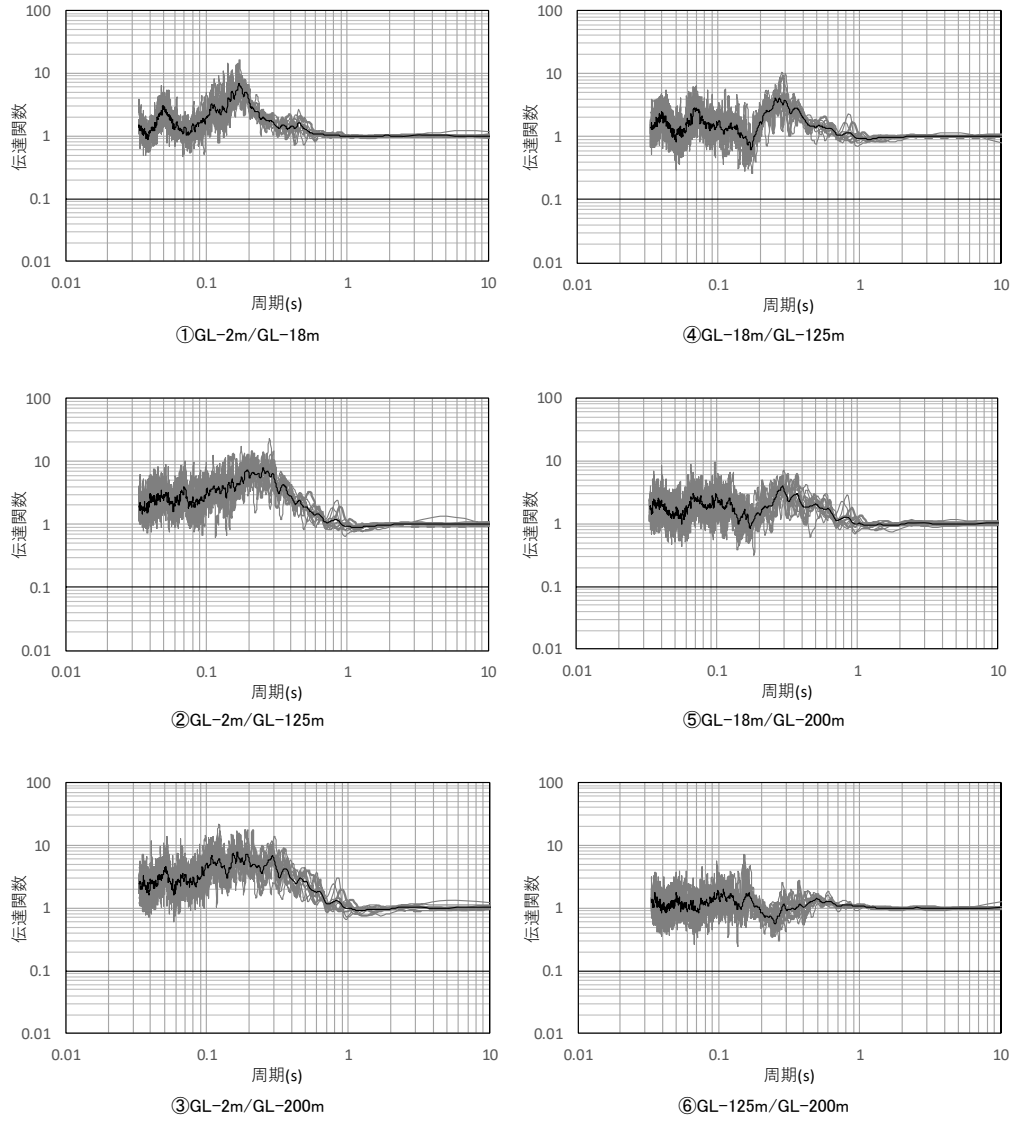
第 4.4.5-4 図 評価に用いた地震観測記録の伝達関数と目的関数
 （西側地盤観測点，鉛直）

—— 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 4.4.5-5 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 4.4.5-6 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）

4.4.6 減衰定数の振動数依存特性の考慮

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，3種類の減衰モデルを考慮した検討を実施する。各減衰モデルの考え方の概要を第4.4.6-1表に示す。

下記(1)及び(2)に示す振動数依存特性を考慮する場合の設定の評価結果については，「4.4.8 振動数依存性を考慮する場合の評価結果」にて，リニア型とバイリニア型の評価結果の比較とともに示す。下記(3)に示す振動数依存性を考慮しない場合の設定の評価結果については，「4.4.9 振動数依存性を考慮しない場合の評価結果」にて，振動数依存性を考慮した場合の評価結果との比較とともに示す。

(1) 振動数依存性を考慮する設定（リニア型）

武村ほか（1993）*等の知見に示されるように，振動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) 振動数依存性を考慮する設定（バイリニア型）

佐藤ほか（2006）*の知見に示されるように、低振動数側では減衰定数が振動数のべき乗に比例（ $h=h_0 \times f^{-n}$ ）し、ある振動数より高振動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。

バイリニア型の減衰定数は、佐藤ほか（2006）において、材料減衰と散乱減衰の両方が考慮されたモデルとされており、高振動になるに従って減少する散乱減衰が、ある振動数以上で、振動数に依存しない材料減衰が支配的になり、一定の値を示すとの考え方に基づいている。すなわち、バイリニア型の減衰定数における低振動数側の振動数に依存する領域を散乱減衰として、高振動数側の一定値となっている減衰定数を材料減衰としてみなしている。

同定にあたっては、S波速度については、各振動数帯における伝達関数のピークについては、「(1) 振動数依存性を考慮する設定（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) 振動数依存性を考慮する設定（リニア型）」のものをを用い、減衰定数のみを変数として同定を実施する。

ここで、同定にあたっては、折れ点の振動数 f_0 を探索パラメータとすることが考えられるが、以下の考え方により、10Hz に固定した条件とする。

敷地の岩盤部分における高振動数側の減衰定数の傾向については、「5. 敷地におけるS波検層による評価結果」に示している。敷地内のS波検層結果によれば、減衰定数の振動数依存性については、西側地盤及び東側地盤では約20Hz以降でやや高振動数側で減衰定数の減少が緩やかになる傾向がみられる。中央地盤では同様の傾向は明瞭に確認できない結果が得られており、少なくとも減衰定数が頭打ちとなるのは、中央地盤のS波検層の評価区間である30Hzよりも高振動数側であると考えられる。

後述のとおり、伝達関数による減衰定数の同定としては、水平方向で0～20Hzの範囲が信頼区間となっていることから、バイリニア型の折れ点の振動数 f_0 は、敷地においては信頼区間外となり、同定の精度が確保できない可能性がある。

以上のことから、本検討におけるバイリニア型の減衰定数の同定は、リニア型の減衰定数の同定結果に対する伝達関数及び応答スペクトルの

感度を比較することを目的とし、佐藤ほか（2006）の知見における f_0 の範囲 10Hz～20Hz のうち、低振動数側の 10Hz 以上の高振動数側で頭打ちすることを仮定することで、上記「(1) 振動数依存性を考慮する設定（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。

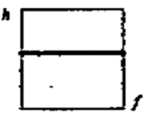

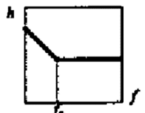
注記 *：佐藤 浩章，金谷 守，大鳥 靖樹：減衰定数の下限値を考慮したスペクトル比の逆解析による同定手法の提案-岩盤における鉛直アレイ記録への適用と減衰特性の評価-，日本建築学会構造系論文報告集第 604 号，p55-62，2006.

(3) 振動数依存性を考慮しない設定

上述のとおり，実際の地盤並びに地震観測記録に見られる特徴に対しては，減衰定数に振動数依存性を考慮した設定が，既往知見においても適合するものとされているが，耐震設計上，一般的に広く用いられている設定である振動数依存性を考慮しない条件における減衰定数を考慮した場合についても，地震観測記録を説明可能な減衰定数の評価を行う。

評価手法及び評価に用いる地震については，振動数依存性を考慮する設定と同様の評価条件とし，減衰定数の同定に係る振動数依存性の条件のみ，全振動数において一定となる条件設定を行った。

第 4.4.6-1 表 減衰定数の振動数依存性の考え方

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。

4.4.7 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 4.4.7-1 表に示す。

なお、対象とする振動数範囲については、水平及び鉛直方向ともに 0 Hz～としており、長周期側も対象として同定を実施している。例えば佐藤ほか（2006）における地震観測記録を用いた地盤物性及び減衰定数の同定解析の実績においては、地盤の 1 次固有周期よりも長周期側については同定の対象外としているが、地盤の 1 次固有周期よりも長周期側の地震動については、地盤の速度構造による増幅による影響は小さく、さらに、長周期地震動は波長が長く、地中を伝播する地震波のサイクル数が短周期側と比較して少なくなることから、減衰定数の設定が伝達関数に及ぼす影響は非常に小さく、増幅率に相当する伝達関数の大きさが概ね 1 に収束することから、佐藤ほか（2006）の実績に対して外挿となる範囲においても適用範囲とすることに問題はないと判断した。

なお、「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「3. 長周期側の減衰定数を一定条件とした場合のシミュレーション解析結果」に、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」に示す振動数依存性を考慮した減衰定数（リニア型）の同定結果に対し、周期 1 秒以降の長周期側の減衰定数を、仮に一定値とした場合に地震観測記録のシミュレーション結果に与える影響を示す。長周期側の減衰定数を一定値とした場合についても、伝達関数及び地震観測記録のシミュレーション結果の応答スペクトルに差が生じないことを確認している。

第 4.4.7-1 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)
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
対象とする振動数範囲	0 ~ 20Hz (水平) 0 ~ 30Hz (鉛直)

4.4.8 振動数依存性を考慮する場合の評価結果

a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）

「4.4.7 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 4.4.8-2 図～第 4.4.8-5 図及び第 4.4.8-8 図～第 4.4.8-9 図（中央地盤）、第 4.4.8-11 図～第 4.4.8-14 図及び第 4.4.8-17～第 4.4.8-18 図（西側地盤）及び第 4.4.8-20 図～第 4.4.8-23 図及び第 4.4.8-26 図～第 4.4.8-27 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 4.4.8-1 図及び第 4.4.8-7 図（中央地盤）、第 4.4.8-15 図及び第 4.4.8-16 図（西側地盤）及び第 4.4.8-24 図及び第 4.4.8-25 図（東側地盤）にグラフとして示す。なお、本グラフについては、「4.4.7 評価方法及び条件」に示した、同定解析上対象とする振動数よりも広い範囲（20Hz よりも高振動数側、0.05 秒よりも短周期側）についても、評価された減衰定数の振動数特性が同様の傾向を示すと仮定し、当該範囲については外挿して示す。

減衰定数の評価結果を確認するにあたっては、入力地震動を算定する上で、応答スペクトルの大きさや周期特性に対して支配的となる地盤の 1 次及び 2 次の伝達関数のピーク周期がよく再現されているかに着目して行う。さらに、本モデル（リニア型・バイリニア型）による同定結果については、1 次及び 2 次のピークにおける伝達関数の大きさについても着目し、地震観測記録と乖離していないことを確認する。

(1) 中央地盤観測点

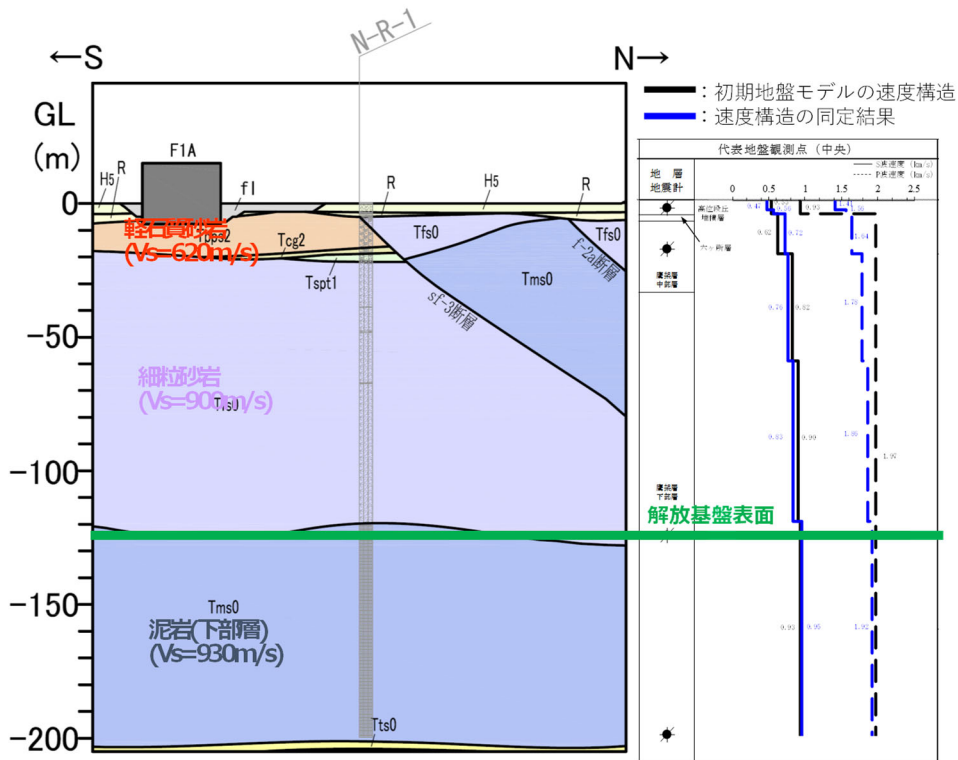
中央地盤における伝達関数による地盤物性及び減衰定数の同定結果について以下に示す。

- ・ 第 4.4.8-1 図に示すとおり、同定された速度構造は、初期地盤モデルにおいて深部に向かって高速度となるもののそのコントラストは小さいとの傾向に対し、途中層での速度の逆転などの特異な結果とはなっていない。その上で、速度構造が寄与する伝達関数の 1 次及び 2 次ピークの周期について良い再現性を示している。また、同定前後のポアソン比の比較を第 4.4.8-1 表に示すが、本同定に当たっては V_s と V_p を個別に同定していることからポアソン比の値は変動しているものの、その値は同定後においても 0.5 を上回ることは無く、物理的に不自然な速度構造とはなっていないことを確認した。
- ・ 水平成分の伝達関数の傾向としては、第 4.4.8-2 図及び第 4.4.8-4 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差異は無い。
- ・ 特に、入力地震動を算定する上で、応答スペクトルの大きさや周期特性に対して支配的となる地盤の 1 次及び 2 次の伝達関数のピークについては、いずれの深さ間の伝達関数においてもよく再現されていることを確認した。
- ・ 鉛直成分の伝達関数の傾向としては、第 4.4.8-3 図及び第 4.4.8-5 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 4.4.8-7 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 4.4.8-6 図及び第 4.4.8-7 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 秒よりも短周期側では、リニア型については約 1%～4% の範囲で長周期側になるに従い大きくなる値が得られ、バイリニア型では約 4% の一定の値として得られた。折れ

点として設定した 0.1 秒よりも長周期側では、リニア型とバイリニア型ともに、建物の固有周期帯である 0.2～0.3 秒で 10～15% 程度の減衰定数が得られた。

- ・ 第 4.4.8-8 図及び第 4.4.8-9 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 秒付近で若干の差異があるものの、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。
- ・ 耐震設計において入力地震動を評価する建物・構築物の周辺は、埋戻し土等が分布しており、地震観測位置とは表層地盤の地下構造が異なるものの、本地震観測点における表層地盤の分布はごく薄く、岩盤部分の減衰定数の評価結果に与える寄与としては小さいと考えられる。

以上のことから、中央地盤について、振動数依存性を考慮した岩盤部分の減衰定数は、地震観測記録をよく再現する値が得られたと考えられる。



第 4.4.8-1 図 同定された速度構造と地下構造の比較 (中央地盤)
(地下構造は NS 断面を代表として示す)

第 4.4.8-1 表 同定結果のポアソン比の確認結果 (中央地盤)

深度 GL (m)	層厚 (m)	ポアソン比 ν^*	
		PS検層結果	同定結果
0	2.00	0.260	0.438
-2.00	1.50	0.260	0.438
-3.50	1.50	0.260	0.426
-5.00	13.00	0.445	0.381
-18.00	2.00	0.445	0.381
-20.00	40.00	0.395	0.389
-60.00	60.00	0.368	0.376
-120.00	5.00	0.357	0.338
-125.00	75.00	0.357	0.338
-200.00	-	0.357	0.338

注記 * : ポアソン比はS波速度及びP波速度に基づき算定

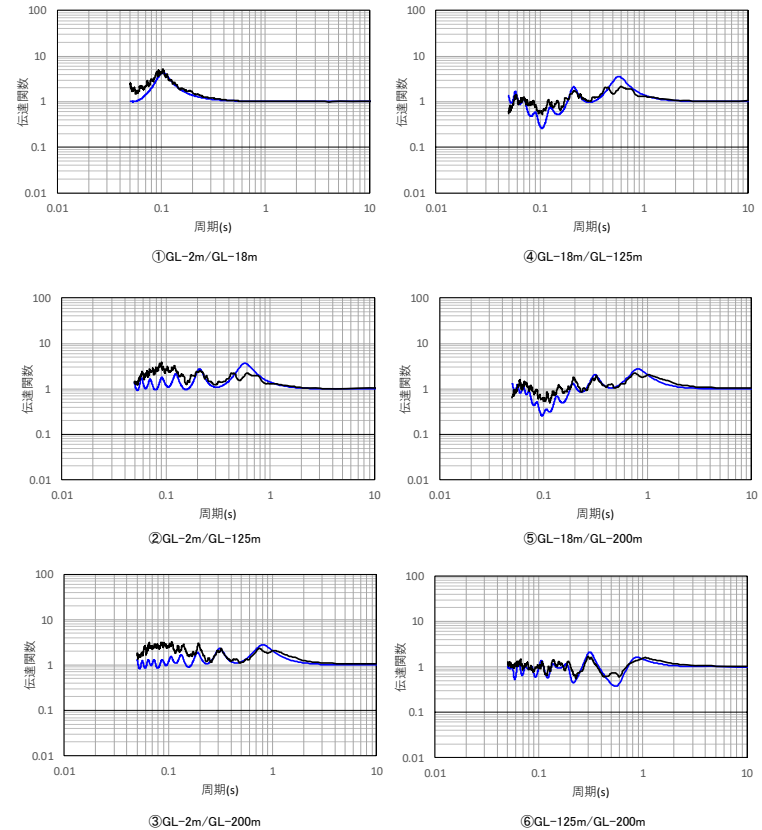
深度 GL (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.94	470	表層 1	0.3	0.8
-2	2	1.5					
-3.5	3	1.5	1.64	720	表層 2	0.5	0.5
-5	4	13					
-18	5	2	1.75	760	岩盤	0.3	0.9
-20	6	40					
-60	7	60	1.85	830	岩盤	0.3	0.9
-120	8	5					
-125	9	75	1.85	950	基盤	0.3	0.9
-200	10	—					

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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=h_0 \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.30$ 、 $n=0.90$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

— 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 4.4.8-2 図 伝達関数による同定結果 (中央地盤観測点: 振動数依存型 (リニア型), 水平)

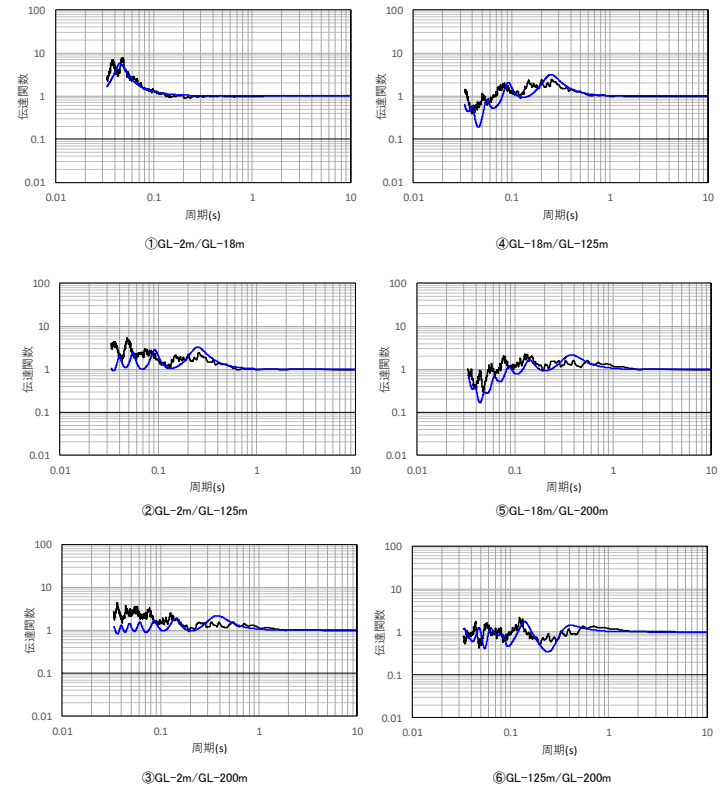
— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
 — 周波数依存型（リニア型）

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL 0m	1	2	1.94	1410	表層 1	0.5	0.8
-2.0	2	1.5					
-3.5	3	1.5					
-5.0	4	13	1.64	1640	表層 2	0.7	0.6
-18.0	5	2					
-20.0	6	40	1.75	1780	岩盤	0.8	1.0
-60.0	7	60	1.85	1860			
-120.0	8	5	1.85	1920			
-125.0	9	75					
-200.0	10	—					

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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h = h_0 \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0 = 0.80$ 、 $n = 1.00$ となり、上記代表値と大きな差は無い。



(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 4.4.8-3 図 伝達関数による同定結果（中央地盤観測点：振動数依存型（リニア型），鉛直）

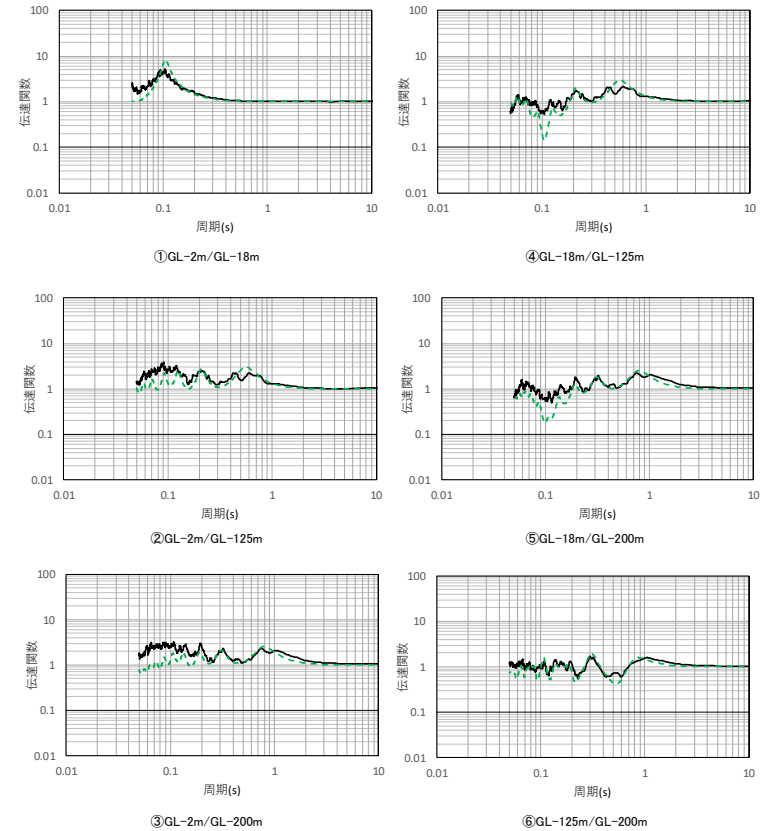
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	ho	n
GL.0m	1	2	1.94	470	表層 1	0.3	0.9
-2.0	2	1.5					
-3.5	3	1.5	1.94	560	表層 2	0.5	0.8
-5.0	4	13					
-18.0	5	2	1.64	720	岩盤	0.4	1.0
-20.0	6	40	1.75	760			
-60.0	7	60	1.85	830			
-120.0	8	5	1.85	950	基盤	0.3	0.9
-125.0	9	75					
-200.0	10	—					

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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L.-120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.40$ 、 $n=1.00$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

—— 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 4.4.8-4 図 伝達関数による同定結果 (中央地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 水平)

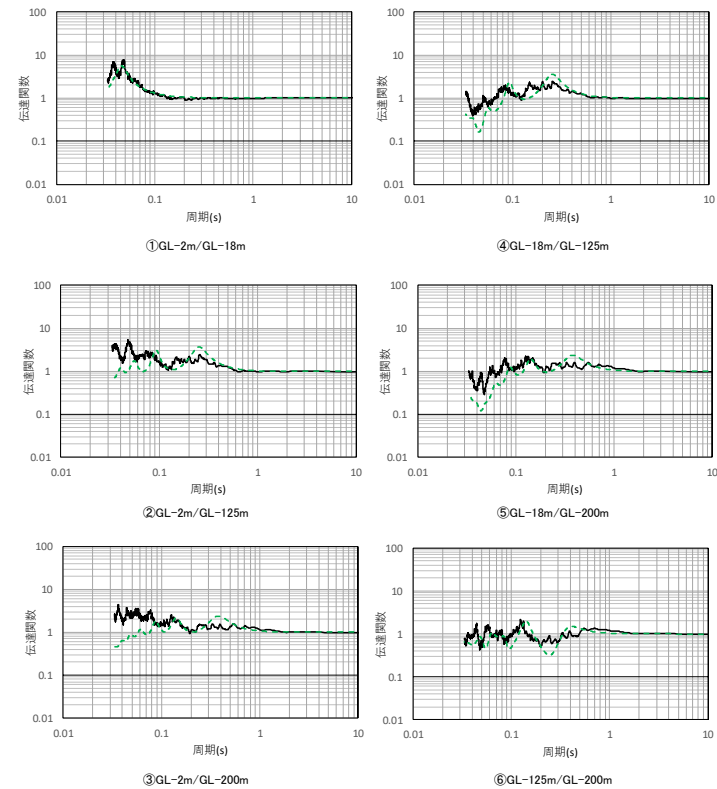
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL.0m	1	2	1.94	1410	表層 1	0.5	0.9
-2.0	2	1.5				0.7	0.8
-3.5	3	1.5	1.64	1640	表層 2	0.7	0.8
-5.0	4	13				0.7	0.8
-18.0	5	2	1.75	1780	岩盤	0.7	1.0
-20.0	6	40					
-60.0	7	60	1.85	1860	岩盤	0.7	1.0
-120.0	8	5					
-125.0	9	75	1.85	1920	基盤	0.8	1.0
-200.0	10	—					

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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=h_0 \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.71$ 、 $n=1.00$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

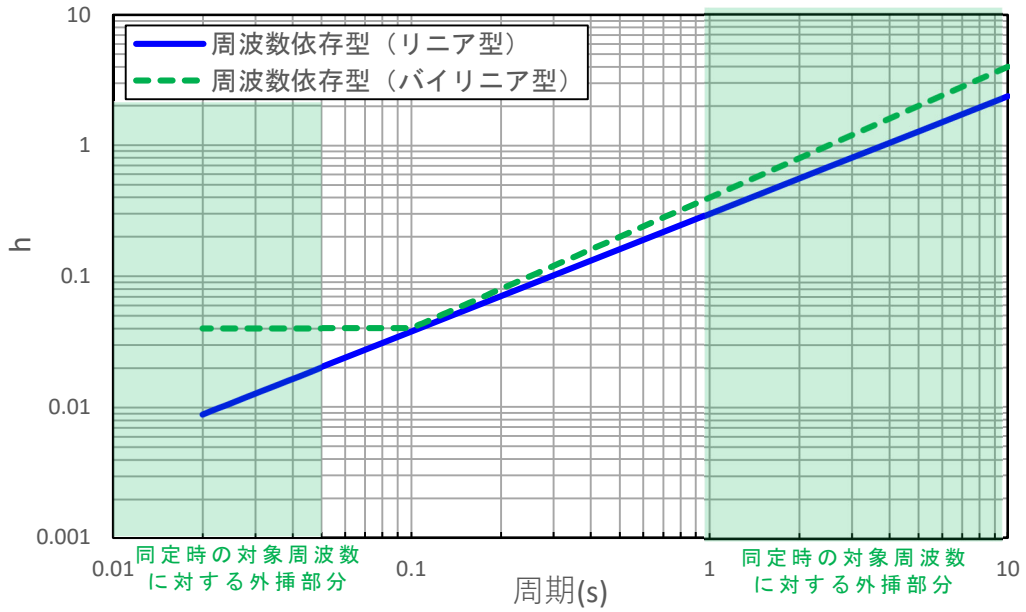
—— 目的関数 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
- - - 周波数依存型 (バイリニア型)



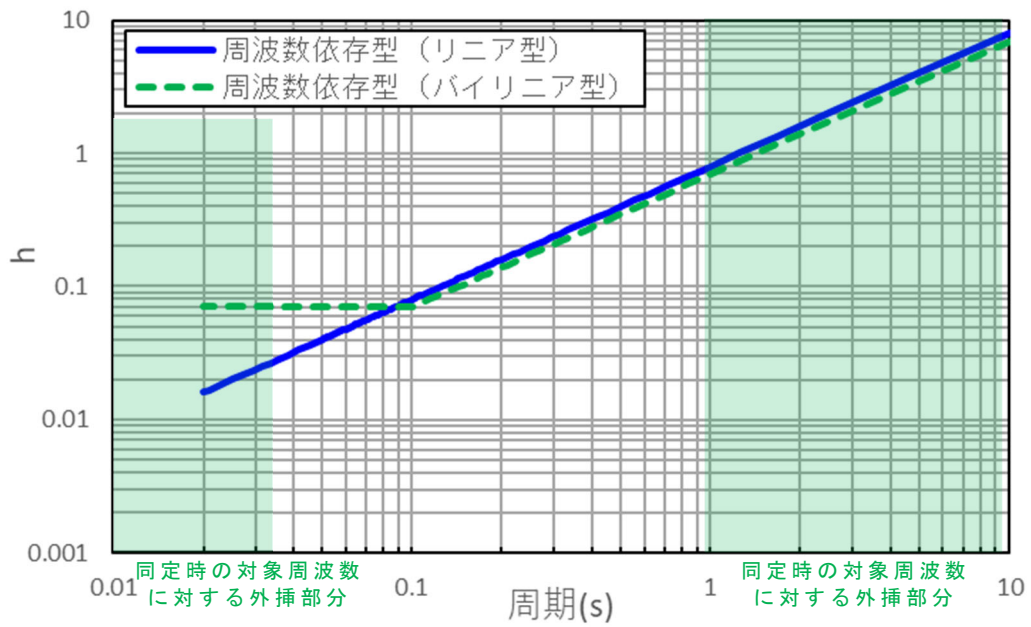
(a) 同定された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-5 図 伝達関数による同定結果 (中央地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 鉛直)

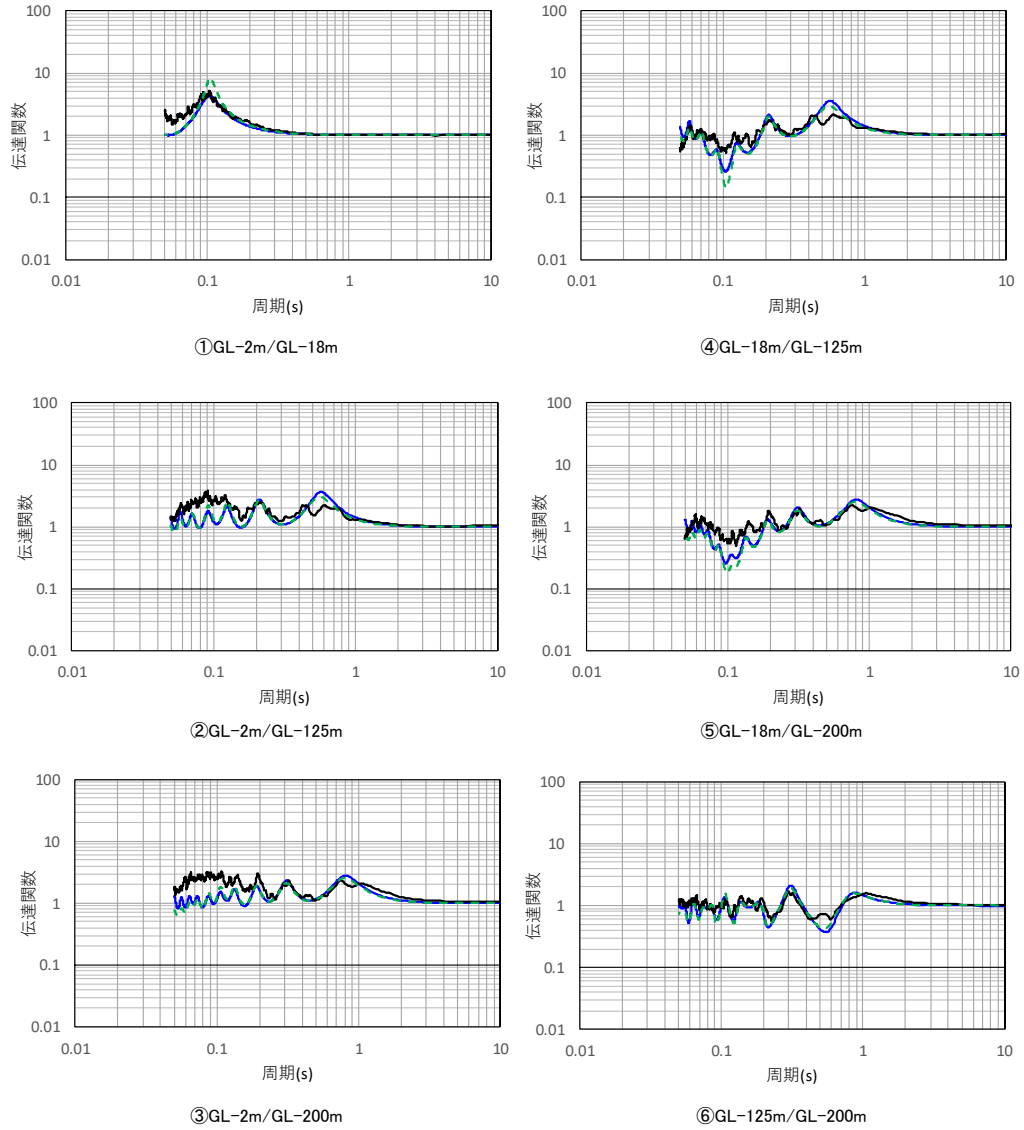


第 4.4.8-6 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(中央地盤観測点, 水平)



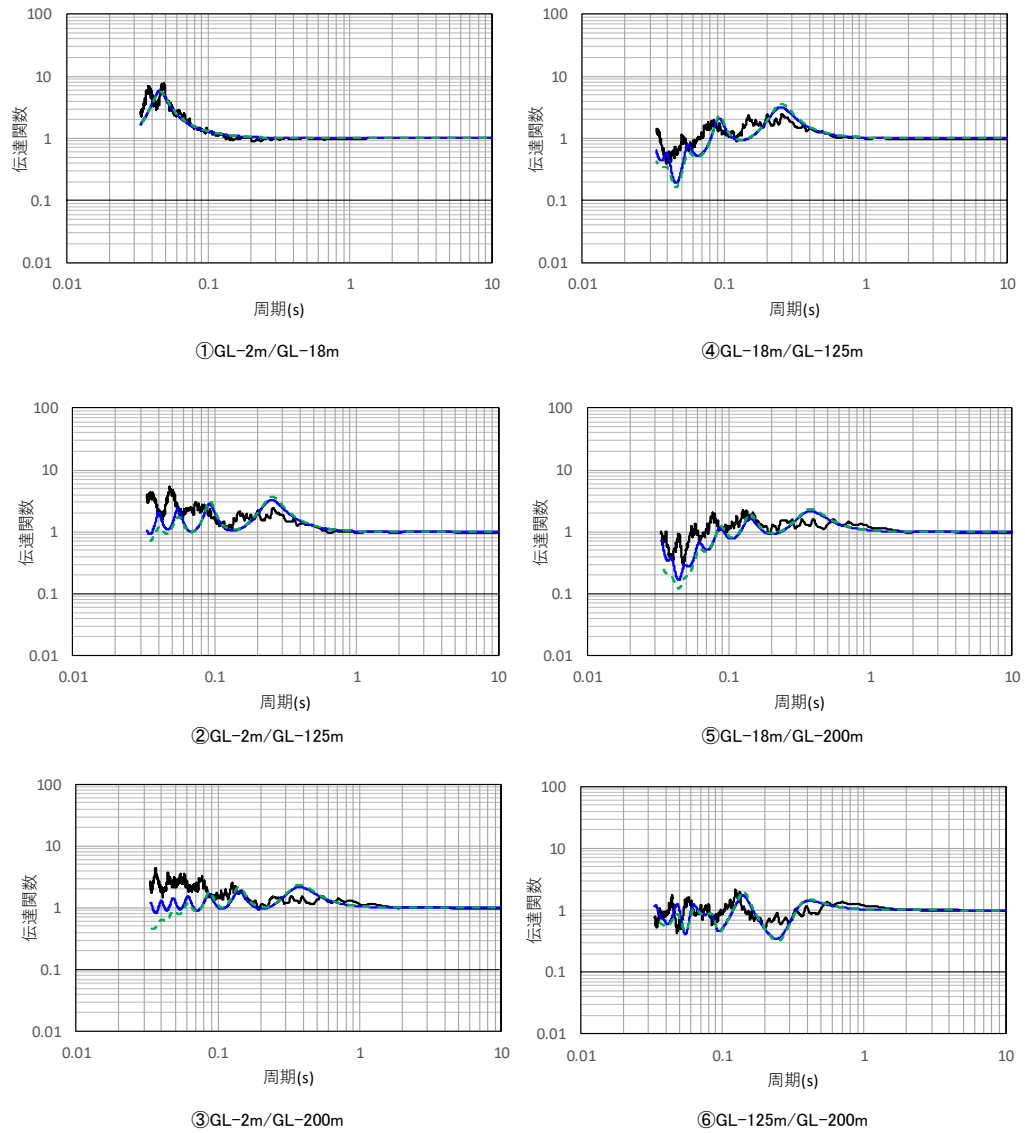
第 4.4.8-7 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(中央地盤観測点, 鉛直)

- 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（リニア型）
- - - 周波数依存型（バイリニア型）



第 4.4.8-8 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（リニア型）
 - - 周波数依存型（パイリニア型）



第 4.4.8-9 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

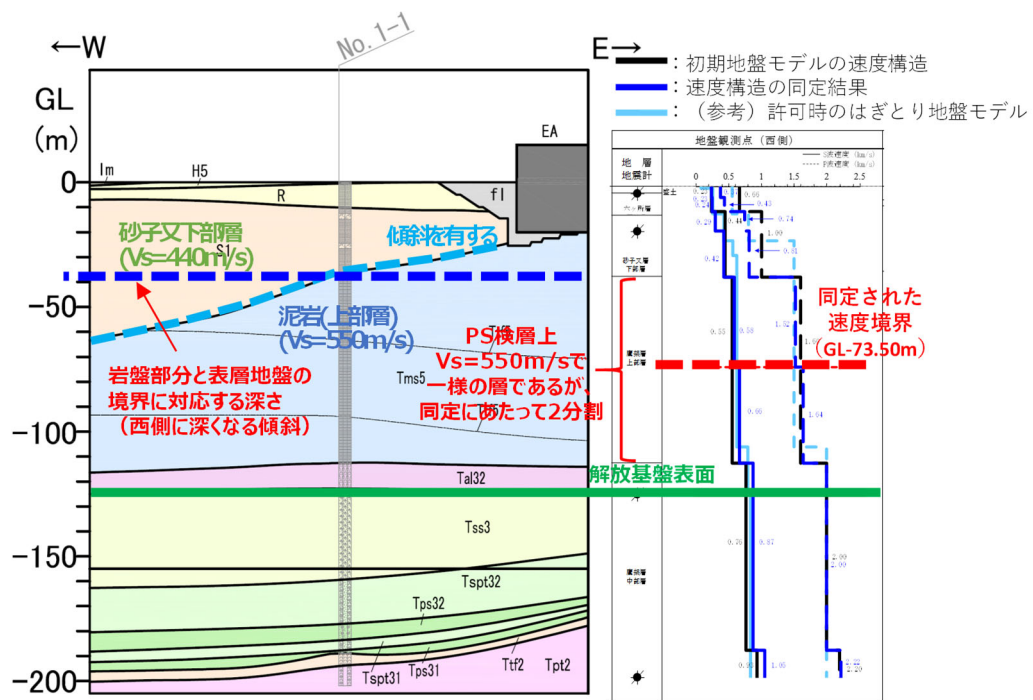
西側地盤における伝達関数による地盤物性及び減衰定数の同定結果について以下に示す。

- ・初期モデルにおいて設定した層境界（GL-36.82m～-112.00mを2分割）については、その境界レベルとしてGL-73.50mに同定され、その上下において速度のコントラストが現れる結果となった。このことから、地震観測位置近傍における岩盤部分（泥岩上部層）と表層地盤（砂子又層下部層）の層境界が観測位置の西側において深部に分布していることを踏まえ、岩盤（泥岩上部層）中に速度境界を与える設定が、地震観測記録に対して整合する結果となった。
- ・第4.4.8-10図に示すとおり、同定された速度構造は、地震観測位置周辺の地下構造と矛盾していないほか、初期地盤モデルにおいて深部に向かって高速度となるとの傾向に対し、途中層での速度の逆転などの特異な結果とはなっておらず、佐藤ほか（2006）での実績と同等の探索範囲を設定した範囲内の結果となっている。また、許可時に作成しているはぎとり地盤モデルの速度構造に対して、岩盤部分における差が小さい。
- ・同定前後のポアソン比の比較を第4.4.8-2表に示すが、本同定に当たっては V_s と V_p を個別に同定していることからポアソン比の値は変動しているものの、その値は同定後においても0.5を上回ることは無く、物理的に不自然な速度構造とはなっていない。
- ・水平成分の伝達関数の傾向としては、第4.4.8-11図及び第4.4.8-13図に示すとおり、リニア及びバイリニア型のいずれについても、各周期帯におけるピークの山谷の大きさが若干地震観測記録と異なるものの、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。
- ・特に、入力地震動を算定する上で、応答スペクトルの大きさや周期特性に対して支配的となる地盤の1次及び2次の伝達関数のピークについては、いずれの深さ間の伝達関数においてもよく再現されていることを確認した。
- ・鉛直成分の伝達関数の傾向としては、第4.4.8-12図及び第4.4.8-14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4.4.8-16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 4.4.8-15 図及び第 4.4.8-16 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 秒よりも短周期側では、リニア型については約 0.4%~2%の範囲で長周期側になるに従い大きくなる値が得られ、バイリニア型では約 2%の一定の値として得られた。折れ点として設定した 0.1 秒よりも長周期側では、振動数依存性の傾きの傾向及び減衰定数の値が同じであり、リニア型とバイリニア型ともに、建物の固有周期帯である 0.2~0.3 秒で 6~10%程度の減衰定数が得られた。
- ・ 第 4.4.8-17 図及び第 4.4.8-18 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、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。
- ・ 「4.4.4 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり、西側地盤については、地震観測位置近傍の地下構造を踏まえて初期地盤モデルの設定を行っているが、「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「1.1 西側地盤における比較結果」に示すとおり、地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合の同定結果に対して、地下構造を考慮した場合の本同定結果は、周期 0.1 秒よりも短周期側の高次成分の伝達関数のピークをよく再現した結果が得られた。
- ・ 耐震設計において入力地震動を評価する建物・構築物の周辺は、埋戻し土等が分布しており、地震観測位置とは表層地盤の地下構造が異なるものの、本地震観測点における同定結果において、岩盤中の地震動の伝播が支配的となる深さ間における伝達関数（各伝達関数グラフにおける④~⑥が該当）について、観測記録をよく再現する結果となっている。

以上のことから、西側地盤について、振動数依存性を考慮した岩盤部分の減衰定数は、地震観測記録をよく再現する値が得られたと考えられる。



第 4.4.8-10 図 同定された速度構造と地下構造の比較 (西側地盤)
(地下構造は EW 断面を代表として示す)

第 4.4.8-2 表 同定結果のポアソン比の確認結果 (西側地盤)

深度 GL (m)	層厚 (m)	ポアソン比 ν^*	
		PS検層結果	同定結果
0	2.00	0.431	0.185
-2	2.34	0.431	0.185
-4.34	5.76	0.431	0.274
-10.10	7.90	0.380	0.409
-18.00	18.82	0.380	0.316
-36.82	36.68	0.433	0.415
-73.50	39.10	0.433	0.403
-112.60	12.40	0.416	0.383
-125.00	63.87	0.416	0.383
-188.87	11.13	0.391	0.356
-200.00	-	0.391	0.356

注記 * : ポアソン比はS波速度及びP波速度に基づき算定

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	ho	n
GL.0m	1	2	1.73	230	表層 1	0.2	0.8
-2.00	2	2.34		240		0.1	0.9
-4.34	3	5.76		290	表層 2	0.8	0.7
-10.10	4	7.9	420	0.1		0.9	
-18.00	5	18.82	2.02	580	岩盤	0.2	1.0
-36.82	6	36.68		660			
-73.5	7	39.1	1.59	870	基盤	0.1	0.9
-112.60	8	12.40					
-125.00	9	63.87	1.75	1050	基盤	0.1	0.9
-188.87	10	11.13					
-200.00	11	—	1.57				

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

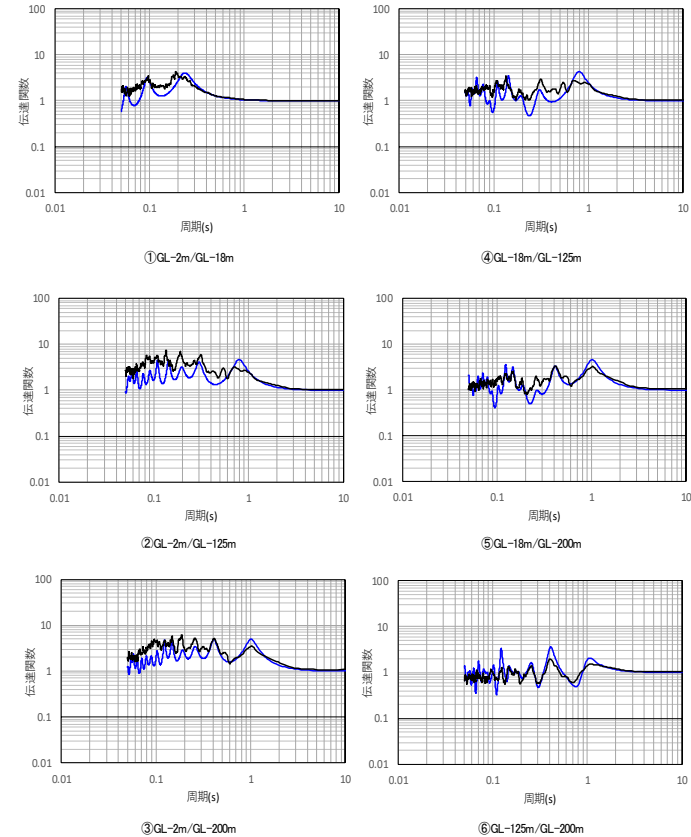
注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.19$, $n=0.99$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

(a) 同定された物性値及び減衰定数

第 4.4.8-11 図 伝達関数による同定結果 (西側地盤観測点: 振動数依存型 (リニア型), 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 (リニア型)



(b) 伝達関数適合状況

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL 0m	1	2	1.73	370	表層 1	0.2	0.6
-2.00	2	2.34				0.3	0.7
-4.34	3	5.76		0.9		0.6	
-10.10	4	7.9	2.02	740	表層 2	0.2	0.8
-18.00	5	18.82		810			
-36.82	6	36.68	1.59	1520	岩盤	0.4	0.7
-73.5	7	39.1		1640			
-112.60	8	12.40	1.75	2000	基盤	0.3	0.7
-125.00	9	63.87					
-188.87	10	11.13	1.57	2220	基盤	0.3	0.7
-200.00	11	—					

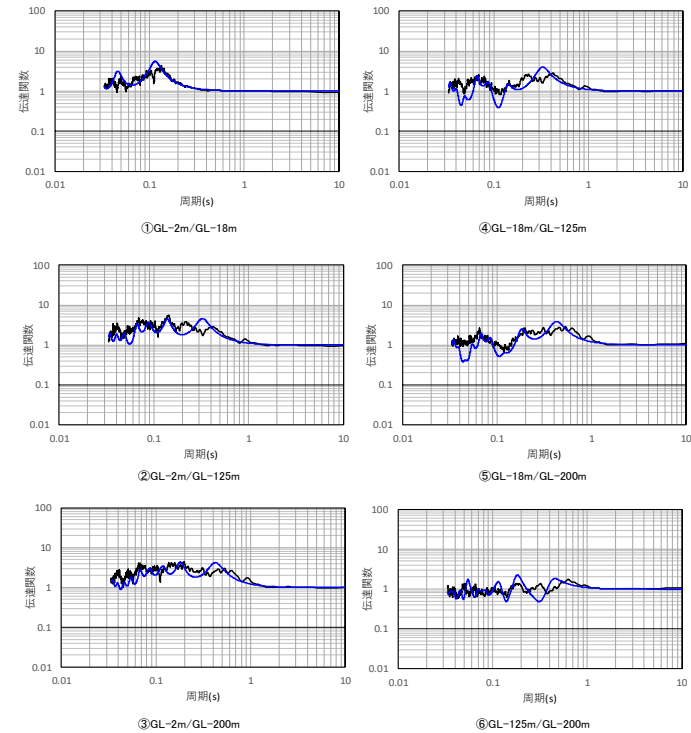
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=h_0 \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.39$, $n=0.70$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

(a) 同定された物性値及び減衰定数

— 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)



(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-12 図 伝達関数による同定結果 (西側地盤観測点: 振動数依存型 (リニア型), 鉛直)

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL.0m	1	2	1.73	230	表層 1	0.1	0.9
-2.00	2	2.34		240		0.1	0.9
-4.34	3	5.76		290	表層 2	0.9	0.8
-10.10	4	7.9	420	0.1		0.9	
-18.00	5	18.82	2.02	580	岩盤	0.2	1.0
-36.82	6	36.68		660			
-73.5	7	39.1	1.75	870	基盤	0.1	0.9
-112.60	8	12.40					
-125.00	9	63.87					
-188.87	10	11.13	1.57	1050	基盤	0.1	0.9
-200.00	11	—					

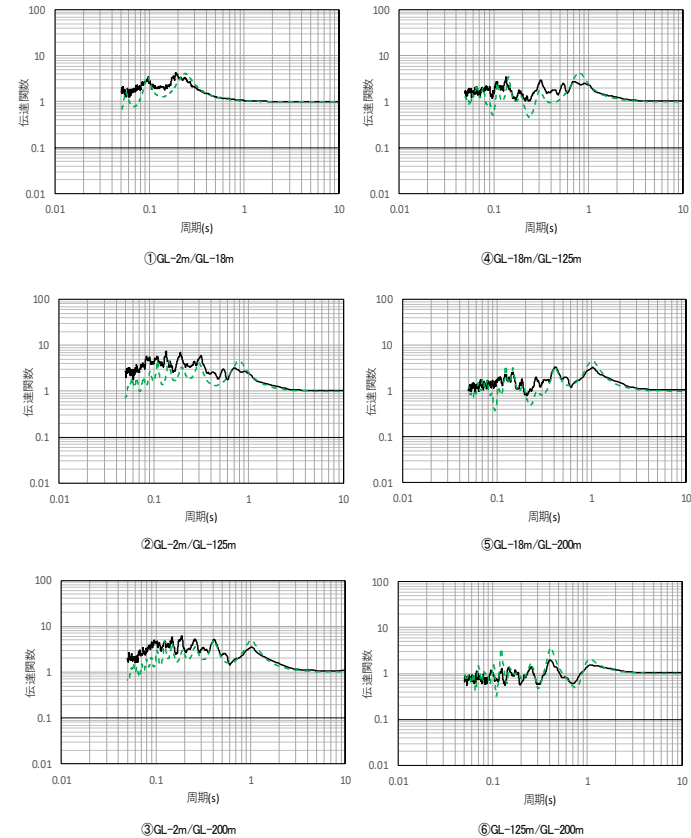
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.19$, $n=0.99$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

(a) 同定された物性値及び減衰定数

—— 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)



(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-13 図 伝達関数による同定結果 (西側地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 水平)

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
GL 0m	1	2	1.73	370	表層 1	0.3	0.7
-2.00	2	2.34				0.3	0.7
-4.34	3	5.76		740	表層 2	0.9	0.7
-10.10	4	7.9	0.3			0.8	
-18.00	5	18.82	2.02	810	岩盤	0.5	0.9
-36.82	6	36.68				1520	1640
-73.5	7	39.1	1.59	2000	0.3		
-112.60	8	12.40				1.75	2220
-125.00	9	63.87	1.57	-	0.3		
-188.87	10	11.13				-	-
-200.00	11	-					

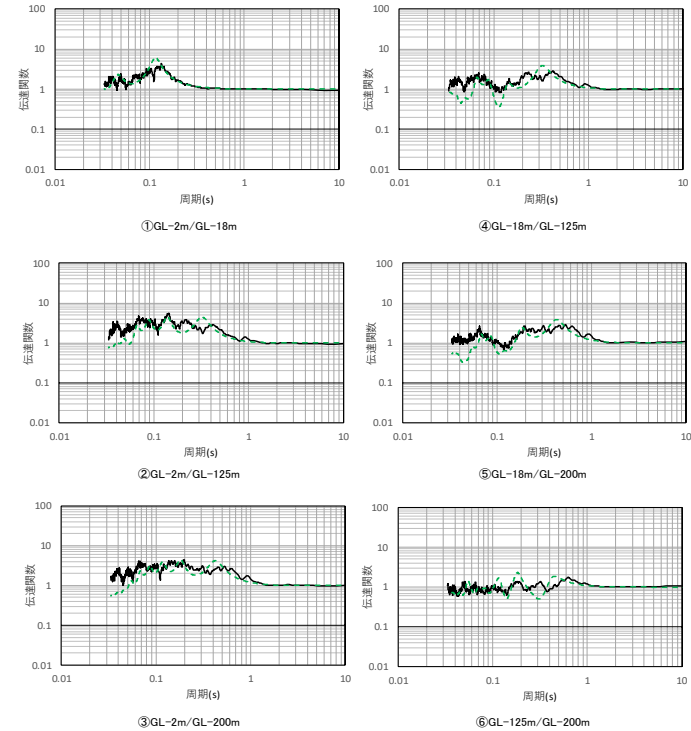
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

注記 *1: 振動数依存減衰 $h = h_0 \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0 = 0.48$, $n = 0.89$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

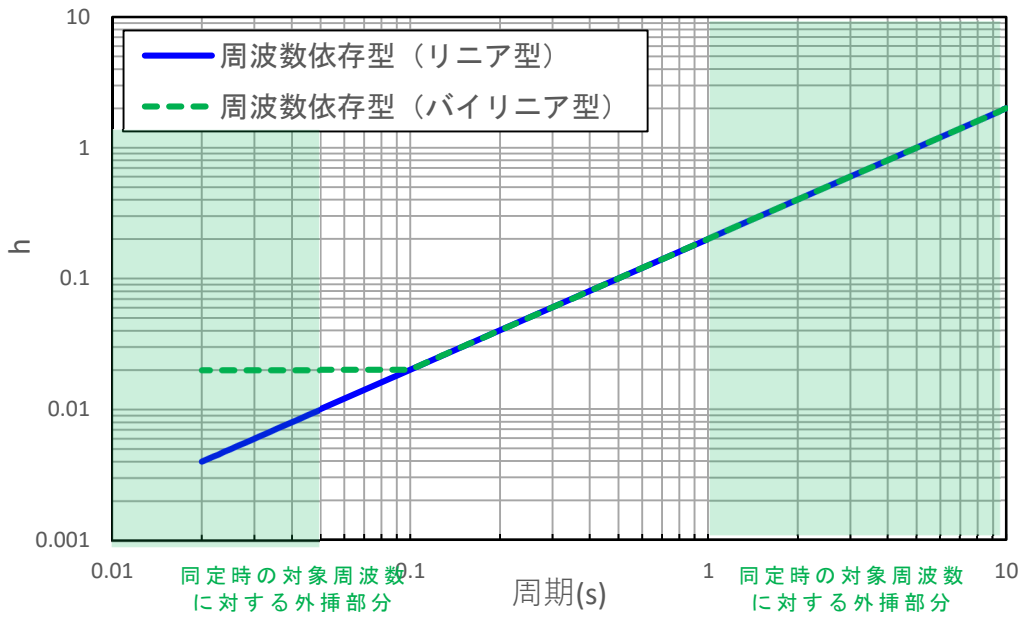
(a) 同定された物性値及び減衰定数

—— 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)

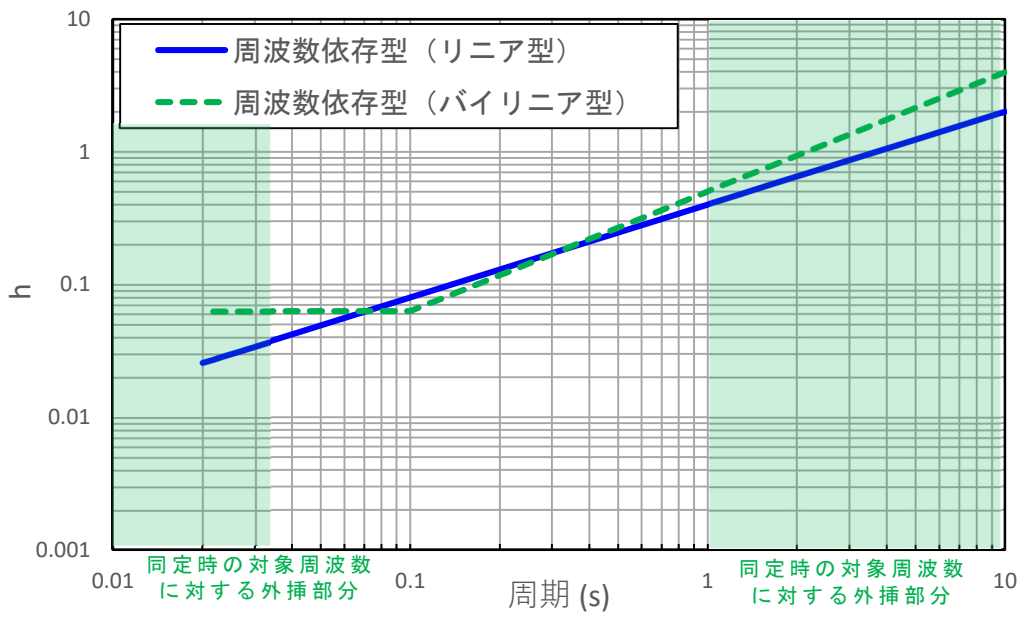


(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-14 図 伝達関数による同定結果 (西側地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 鉛直)

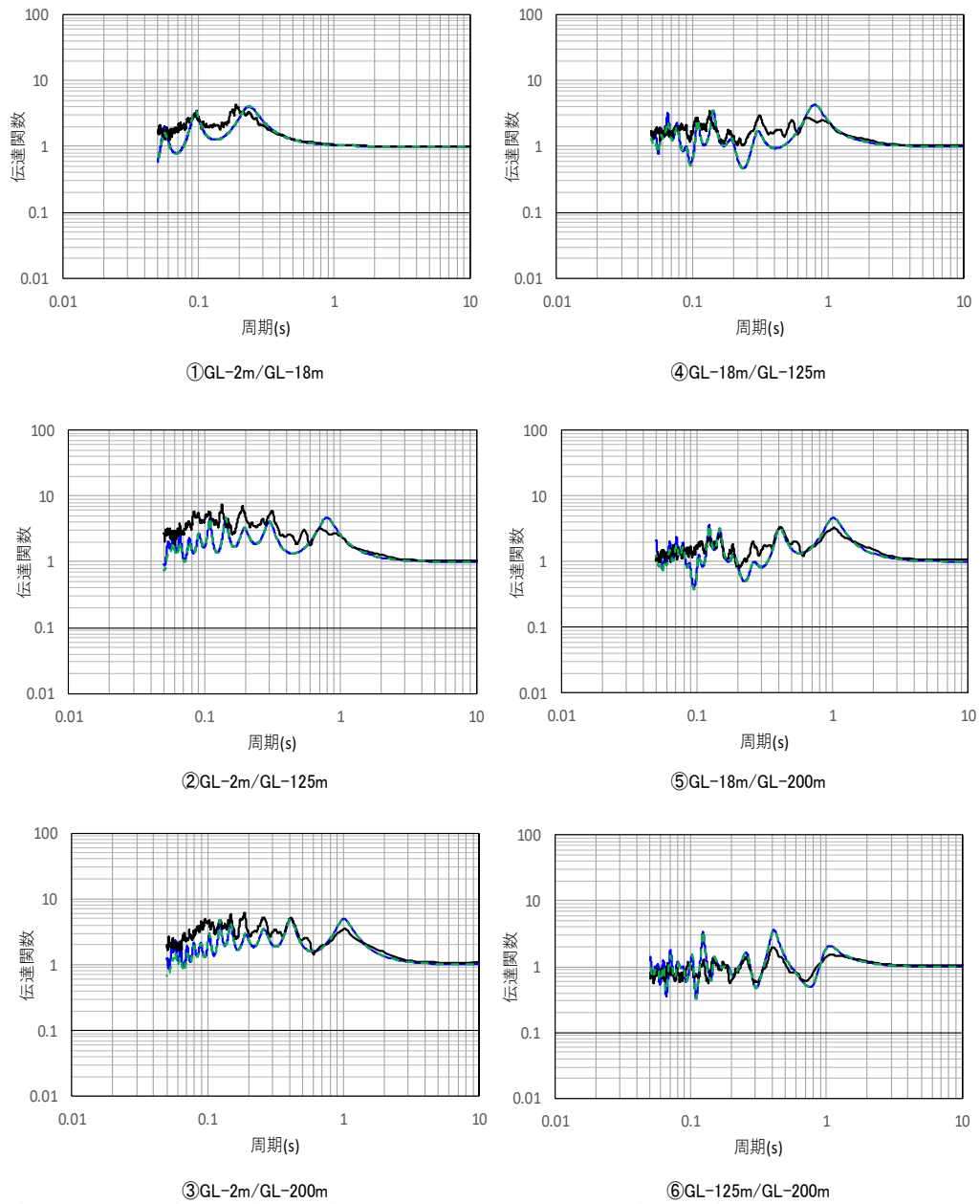


第 4.4.8-15 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(西側地盤観測点, 水平)



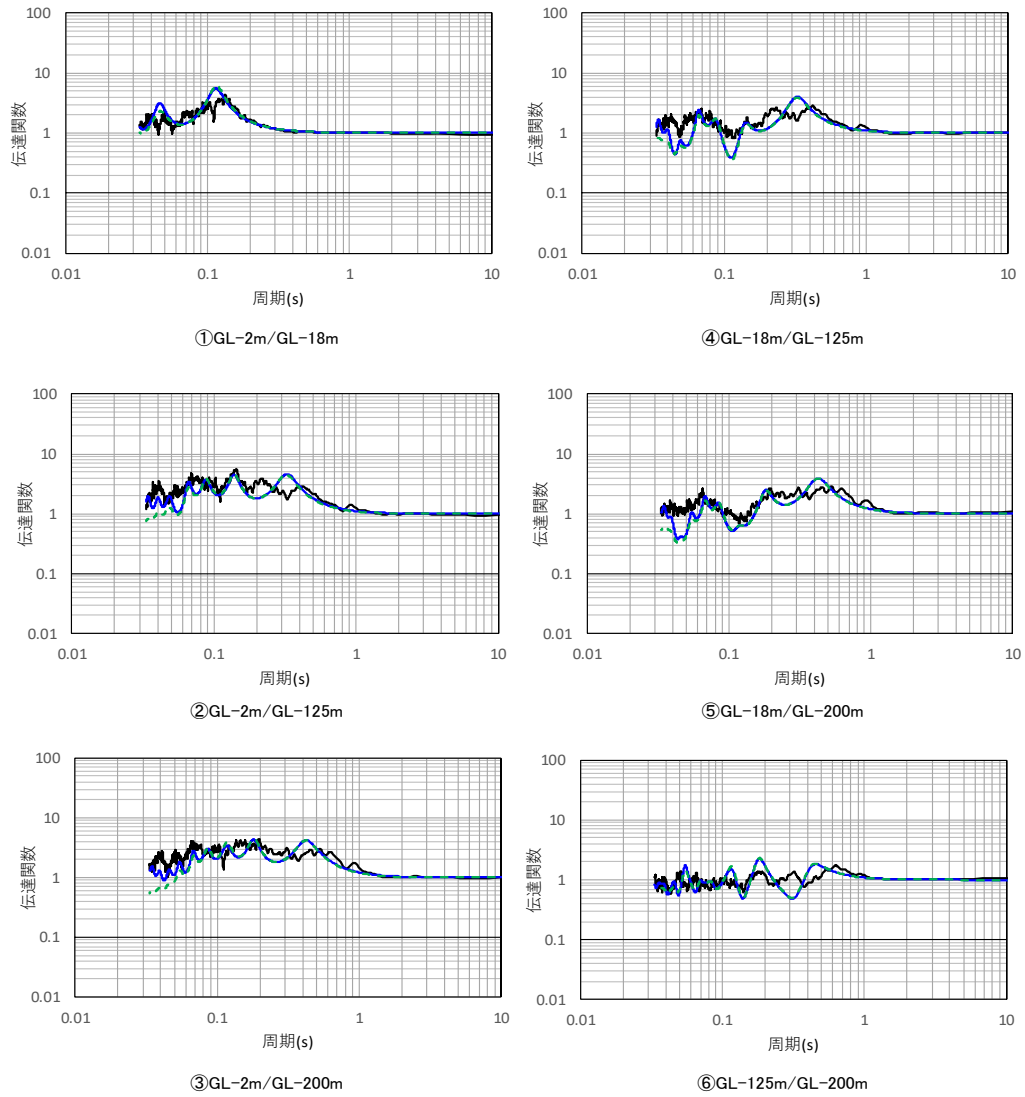
第 4.4.8-16 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(西側地盤観測点, 鉛直)

- 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（リニア型）
- - - 周波数依存型（パイリニア型）



第 4.4.8-17 図 伝達関数の比較結果（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）
 — 周波数依存型（リニア型）
 - - 周波数依存型（パイリニア型）



第 4.4.8-18 図 伝達関数の比較結果（西側地盤観測点，鉛直）

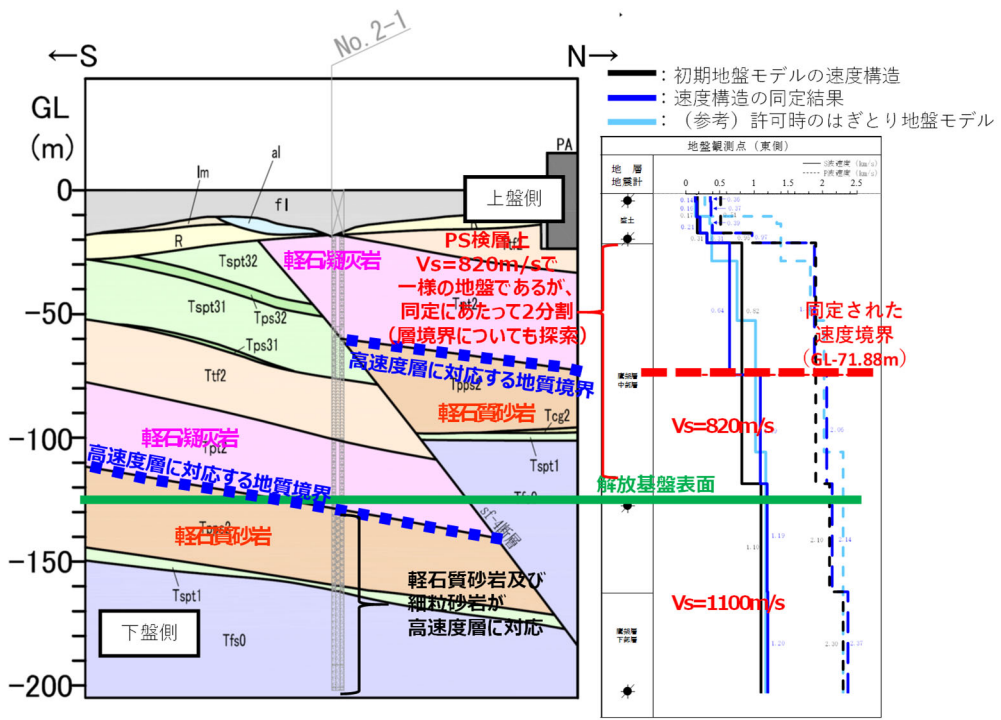
(3) 東側地盤観測点

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。

- ・初期モデルにおいて設定した層境界（GL-18.68m～-115.73mを2分割）については、その境界レベルとしてGL-71.88mに同定された。この深さは、sf-4断層の上盤側における軽石質砂岩（Tpps）及び細粒砂岩（Tfs）の上端レベル（高速度である岩盤上端に対応）に近いことから、東側地盤観測点については、その振動性状として、断層上盤側の地下構造による振動特性が支配的であると考えられる。
- ・第4.4.8-19図に示すとおり、同定された速度構造は、地震観測位置周辺の地下構造と矛盾していないほか、初期地盤モデルにおいて深部に向かって高速度になるとの傾向に対し、途中層での速度の逆転などの特異な結果とはなっておらず、佐藤ほか（2006）での実績と同等の探索範囲を設定した範囲内の結果となっており、許可時に作成しているはぎとり地盤モデルの速度構造に対して、岩盤部分における差が小さい。
- ・同定前後のポアソン比の比較を第4.4.8-3表に示すが、本同定に当たっては V_s と V_p を個別に同定していることからポアソン比の値は変動しているものの、その値は同定後においても0.5を上回ることは無く、物理的に不自然な速度構造とはなっていない。
- ・水平成分の伝達関数の傾向としては、第4.4.8-20図及び第4.4.8-22図に示すとおり、リニア及びバイリニア型のいずれについても、各周期帯におけるピークの山谷の大きさが若干地震観測記録と異なるものの、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。
- ・特に、入力地震動を算定する上で、応答スペクトルの大きさや周期特性に対して支配的となる地盤の1次及び2次の伝達関数のピークについては、いずれの深さ間の伝達関数においてもよく再現されていることを確認した。
- ・鉛直成分の伝達関数の傾向としては、第4.4.8-21図及び第4.4.8-23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4.4.8-25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 4.4.8-24 図及び第 4.4.8-25 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 秒よりも短周期側では，リニア型については約 0.4%～2%の範囲で長周期側になるに従い大きくなる値が得られ，バイリニア型では約 2%の一定の値として得られた。折れ点として設定した 0.1 秒よりも長周期側では，振動数依存性の傾きの傾向及び減衰定数の値が同じであり，リニア型とバイリニア型ともに，建物の固有周期帯である 0.2～0.3 秒で 6～10%程度の減衰定数が得られた。
- ・第 4.4.8-26 図及び第 4.4.8-27 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，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。
- ・「4.4.4 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり，東側地盤については，地震観測位置近傍の地下構造を踏まえて初期地盤モデルの設定を行っているが，「参考 2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「1.2 東側地盤における比較結果」に示すとおり，地震観測位置近傍の地下構造を考慮しない場合の同定結果に対して，地下構造を考慮した場合の本同定結果は，周期 0.4 秒程度の伝達関数のピークをよく再現した結果が得られた。
- ・耐震設計において入力地震動を評価する建物・構築物の周辺は，埋戻し土等が分布しており，地震観測位置とは表層地盤の地下構造が異なるものの，本地震観測点における同定結果において，岩盤中の地震動の伝播が支配的となる深さ間における伝達関数（各伝達関数グラフにおける④～⑥が該当）について，観測記録をよく再現する結果となっている。

以上のことから，東側地盤について，振動数依存性を考慮した岩盤部分の減衰定数は，地震観測記録をよく再現する値が得られたと考えられる。



第 4.4.8-19 図 同定された速度構造と地下構造の比較 (東側地盤)
(地下構造は NS 断面を代表として示す)

第 4.4.8-3 表 同定結果のポアソン比の確認結果

深度 GL (m)	層厚 (m)	ポアソン比 ν^*	
		PS検層結果	同定結果
0	2.00	0.438	0.411
-2	6.33	0.438	0.385
-8.33	6.40	0.438	0.296
-14.73	3.27	0.440	0.443
-18.00	0.68	0.440	0.443
-18.68	53.20	0.386	0.434
-71.88	43.85	0.386	0.306
-115.73	9.27	0.311	0.276
-125.00	34.34	0.311	0.276
-159.31	40.69	0.352	0.328
-200.00	-	0.352	0.328

注記 * : ポアソン比はS波速度及びP波速度に基づき算定

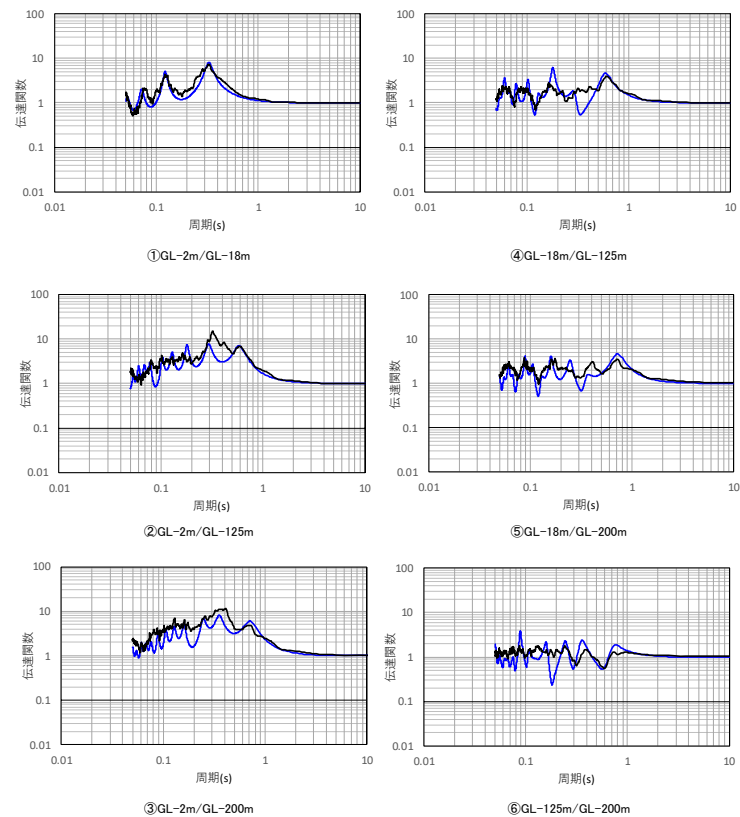
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h^{*1}				
					分類	h_0	n		
0	1	2	1.69	140	表層 1	0.8	0.3		
-2.00	2	6.33		160		0.2	0.9		
-8.33	3	6.4		210					
-14.73	4	3.27	1.72	310	表層 2	0.3	0.8		
-18.00	5	0.68							
-18.68	6	53.2	1.59	640	岩盤	0.2	1.0		
-71.88	7	43.85		1090					
-115.73	8	9.27	1.82	1190	基盤	0.2	0.9		
-125.00	9	34.31							
-159.31	10	40.69	1.90	1200					
-200.00	11	—							

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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -115.73m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0=0.20$, $n=0.99$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

— 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 4.4.8-20 図 伝達関数による同定結果 (東側地盤観測点: 振動数依存型 (リニア型), 水平)

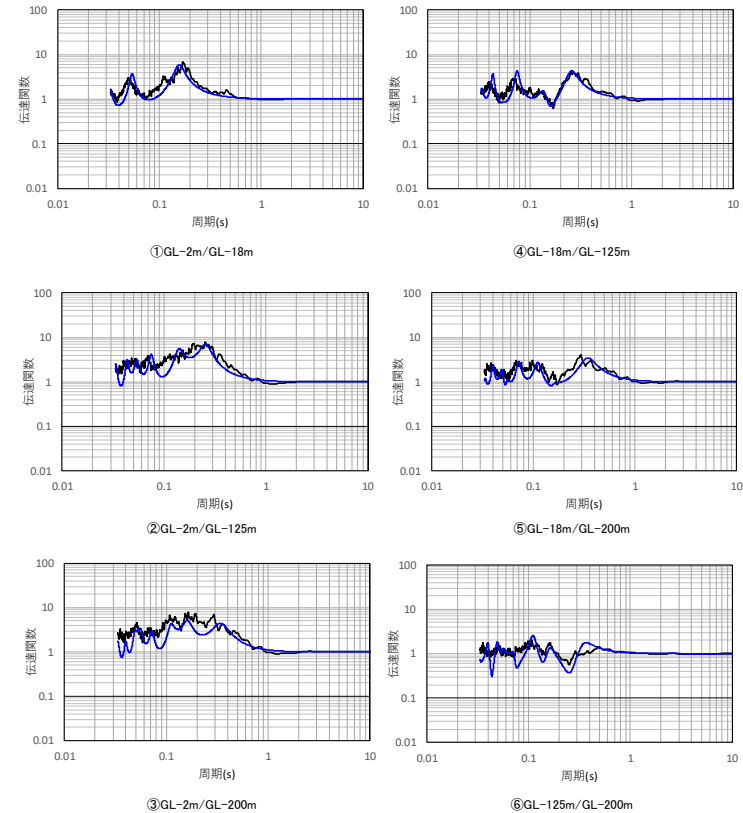
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.69	360	表層 1	0.4	0.7
-2.00	2	6.33		370			
-8.33	3	6.4		390			
-14.73	4	3.27	1.72	970	表層 2	0.4	0.8
-18.00	5	0.68					
-18.68	6	53.2	1.59	1880	岩盤	0.4	0.9
-71.88	7	43.85		2060			
-115.73	8	9.27	1.82	2140	基盤	0.5	0.8
-125.00	9	34.31					
-159.31	10	40.69	1.90	2370			
-200.00	11	—					

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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h = h_0 \cdot f^{-n}$

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -115.73m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0 = 0.41$ 、 $n = 0.89$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

— 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 4.4.8-21 図 伝達関数による同定結果 (東側地盤観測点: 振動数依存型 (リニア型), 鉛直)

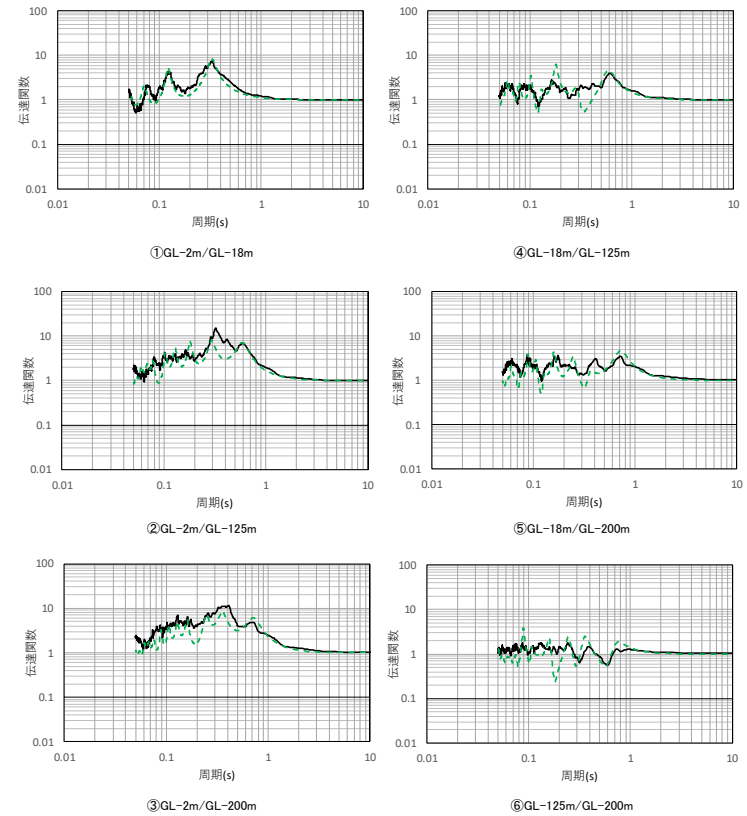
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.69	140	表層 1	0.8	0.2
-2.00	2	6.33		160		0.2	
-8.33	3	6.4		210	表層 2	0.3	0.9
-14.73	4	3.27	310				
-18.00	5	0.68	1.72	640	岩盤	0.2	1.0
-18.68	6	53.2					
-71.88	7	43.85	1.59	1090	岩盤	0.2	1.0
-115.73	8	9.27					
-125.00	9	34.31	1.82	1190	基盤	0.2	1.0
-159.31	10	40.69					
-200.00	11	—	1.90	1200	基盤	0.2	1.0

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

注記 *1: 振動数依存減衰 $h = h_0 \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L. -115.73m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0 = 0.20$, $n = 1.00$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

—— 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 4.4.8-22 図 伝達関数による同定結果 (東側地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 水平)

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h^{*1}		
					分類	h ₀	n
0	1	2	1.69	360	表層 1	0.4	0.8
-2.00	2	6.33		370			
-8.33	3	6.4		390			
-14.73	4	3.27	1.72	970	表層 2	0.3	0.8
-18.00	5	0.68					
-18.68	6	53.2	1.59	1880	岩盤	0.3	0.9
-71.88	7	43.85		2060			
-115.73	8	9.27	1.82	2140	基盤	0.5	0.9
-125.00	9	34.31					
-159.31	10	40.69	1.90	2370			
-200.00	11	—					

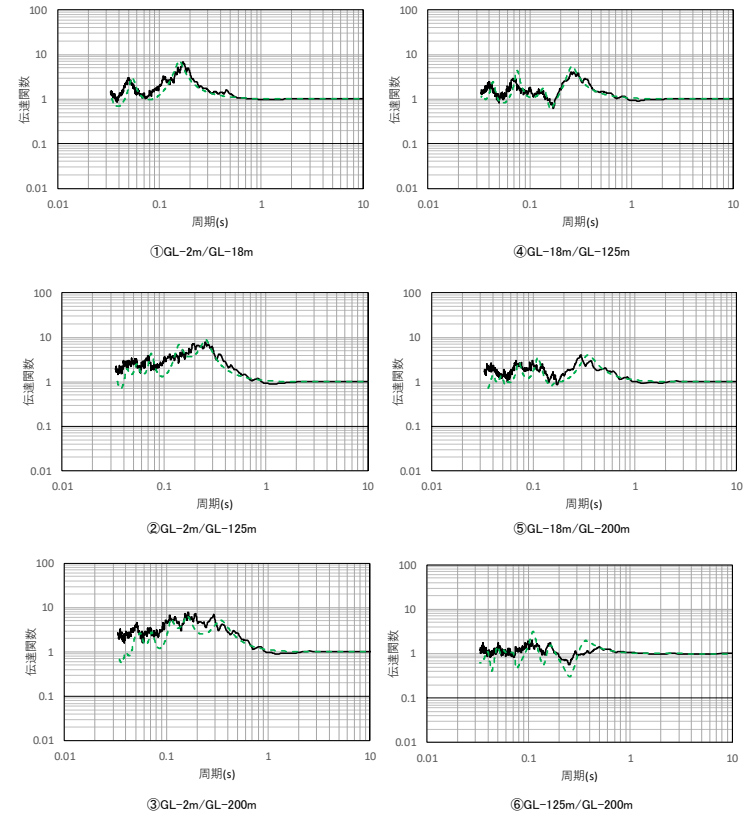
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

注記 *1: 振動数依存減衰 $h = h_0 \cdot f^{-n}$ (10Hz 以上一定)

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -115.73m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h_0 = 0.32$, $n = 0.90$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

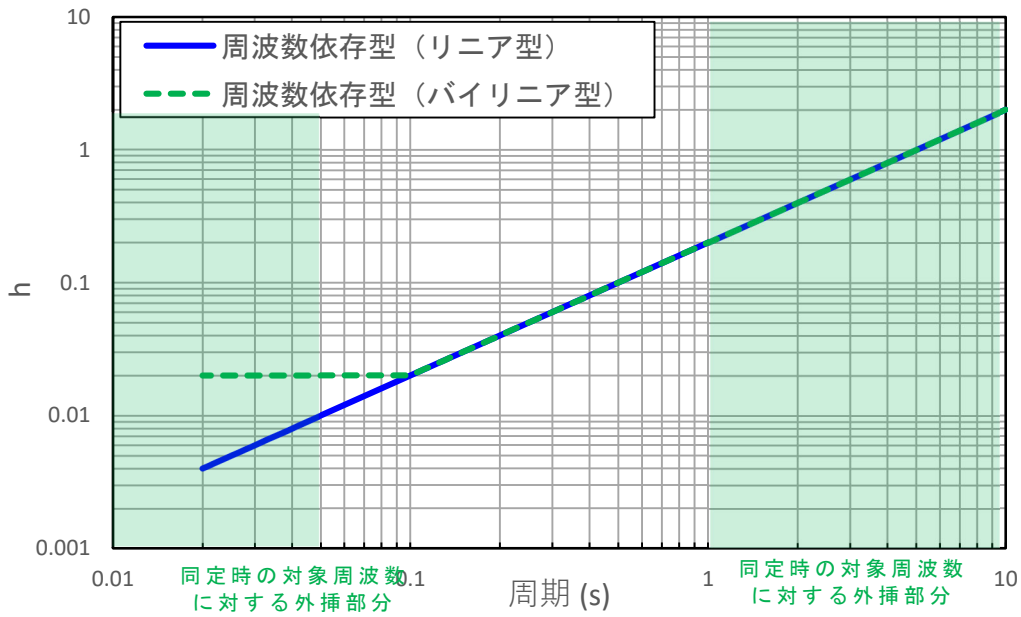
(a) 同定された物性値及び減衰定数

—— 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)

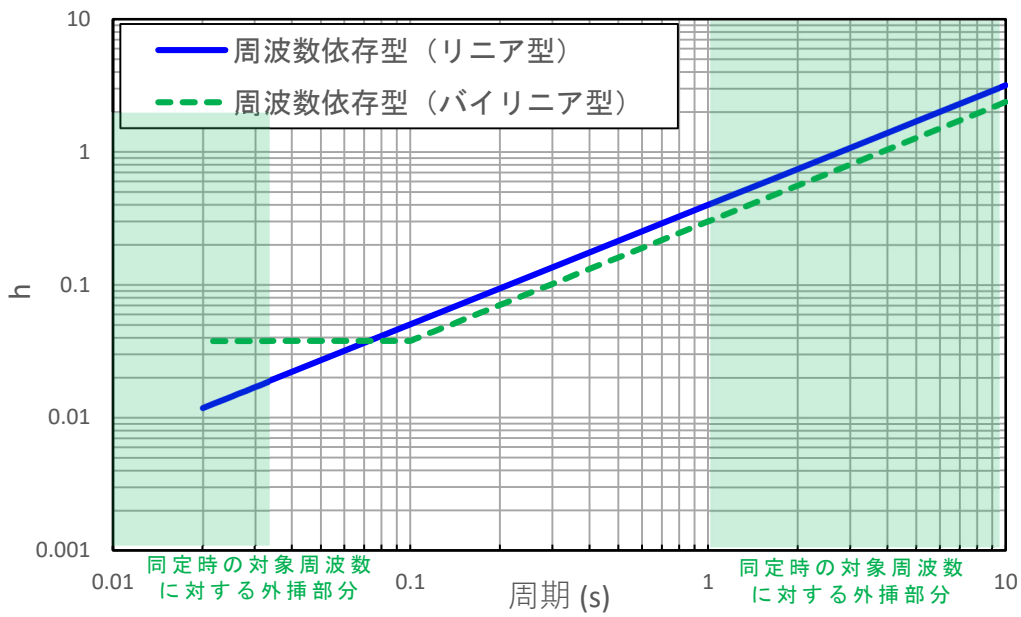


(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.8-23 図 伝達関数による同定結果 (東側地盤観測点: 振動数依存型 (バイリニア型), 鉛直)

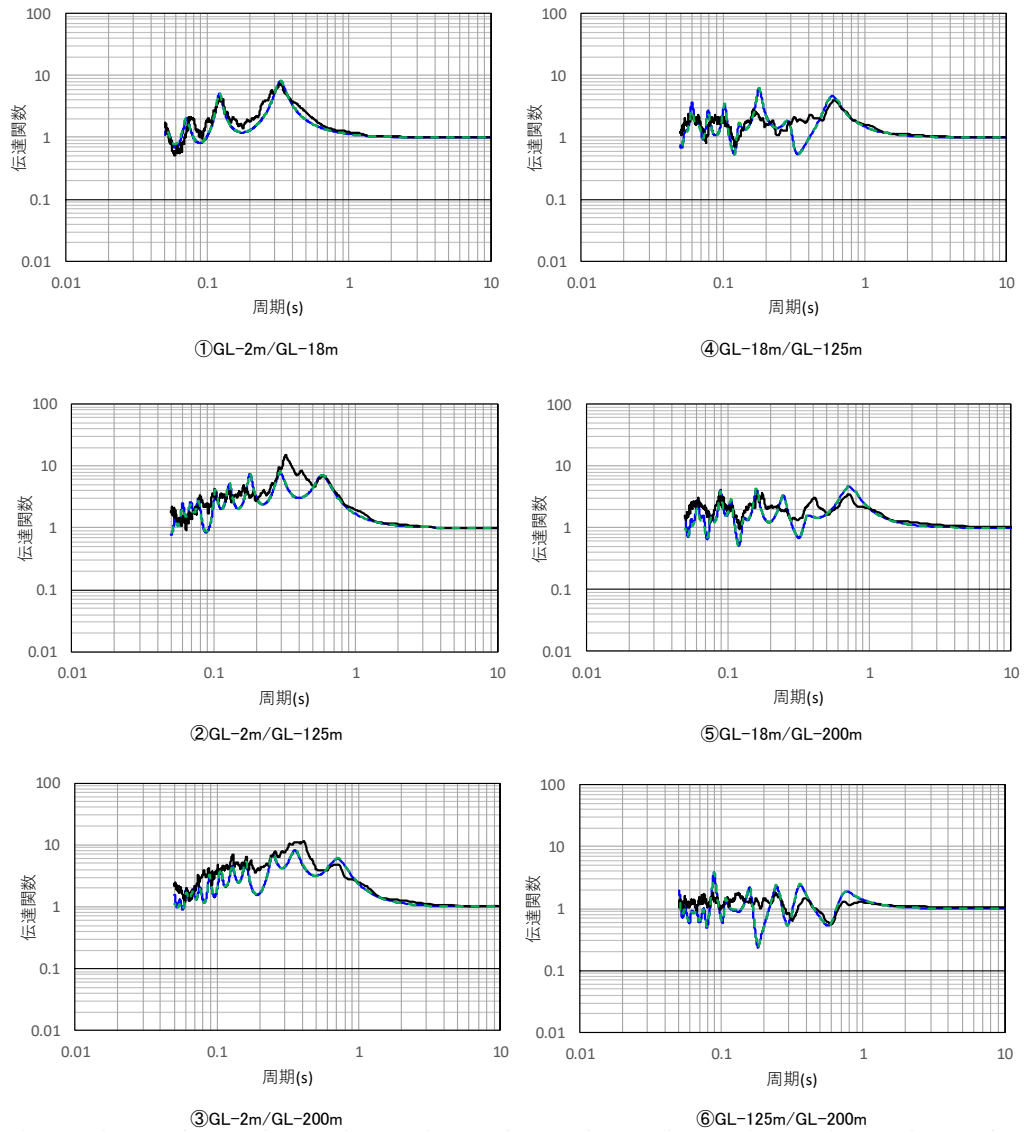


第 4.4.8-24 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(東側地盤観測点, 水平)



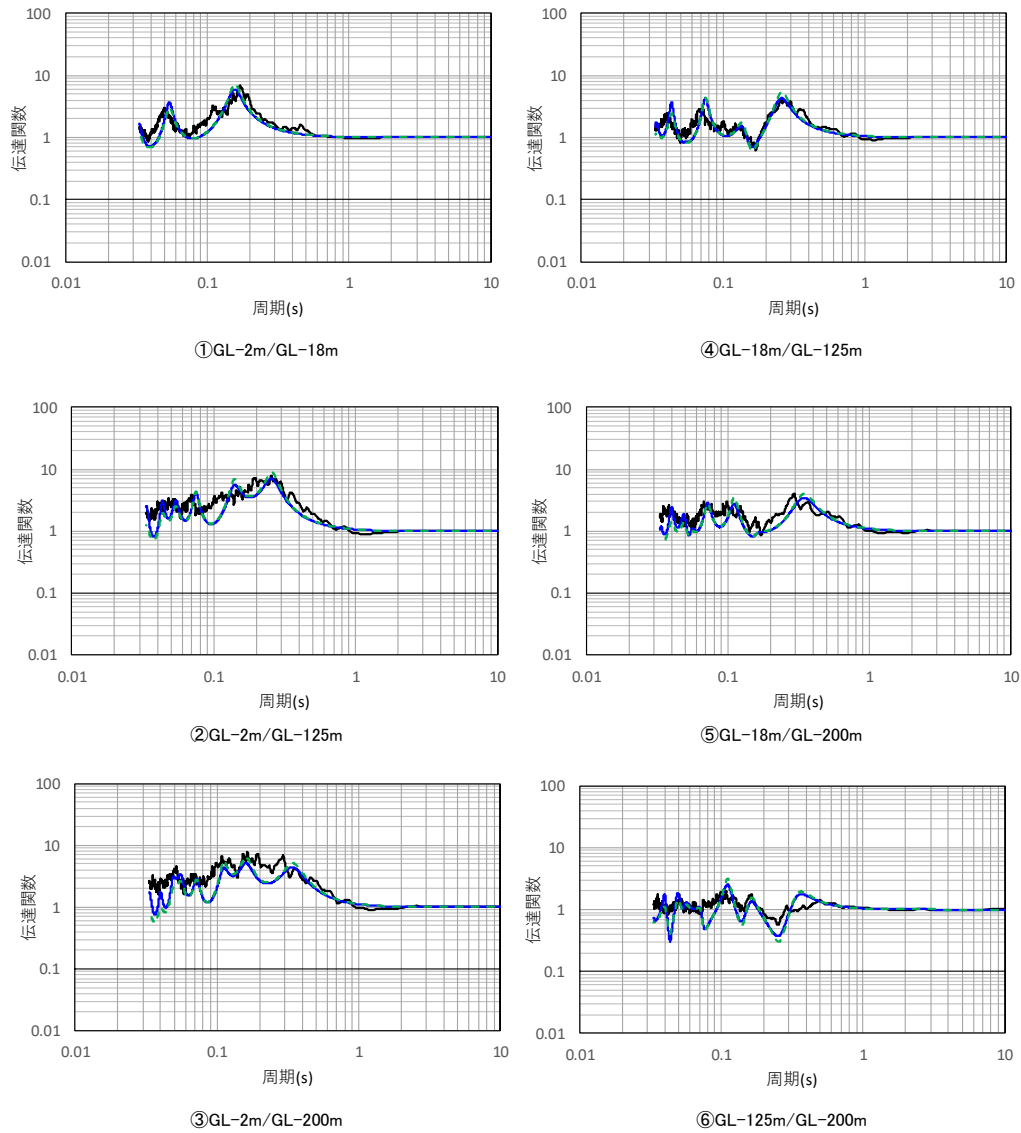
第 4.4.8-25 図 振動数依存特性の差による減衰定数の同定結果
(東側地盤観測点, 鉛直)

- 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（リニア型）
- - - 周波数依存型（パイリニア型）



第 4.4.8-26 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（リニア型）
- - - 周波数依存型（パイリニア型）



第 4.4.8-27 図 伝達関数の比較結果（東側地盤観測点，鉛直）

b. 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性あり）

「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」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、差異がみられる振動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おいて考慮する減衰定数については、各位置において同定された減衰定数の信頼区間周期に対し、その範囲外の周期においても同様の周波数依存性が続くものと仮定し、外挿して減衰定数を設定した。この外挿を行った減衰定数の設定について問題が無いことについても、シミュレーション解析結果より確認することとする。

シミュレーション解析に用いる地震は、第 4.4.3-1 表～第 4.4.3-3 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、振動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 10Hz 以上の高振動数側で減衰定数に差があることが、シミュレーション解析結果の応答スペクトルにも影響を及ぼさないことの念のための確認として、代表的な地震を選定し、シミュレーション解析結果の比較を行うこととした。

具体的には、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、高振動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）を代

表として選定し、これら3地震に対しては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。地震応答解析は線形解析（周波数応答解析）として実施した。また、「4.4.7 評価方法及び条件」に示した同定解析上対象とする振動数よりも広い範囲（水平方向：20Hzよりも高振動数側（0.05秒よりも短周期側）、鉛直方向：30Hzよりも高振動数側（0.033秒よりも短周期側））についても、評価された減衰定数の振動数特性が同様の傾向を示すと仮定し、当該範囲の減衰定数については外挿とする条件とした。

入力地震動の算定にも用いている一次元波動解析では、せん断弾性係数 G は(1)式のような複素剛性 G^* として表されおり、本解析においても同様の考え方を適用している。ただし、(1)式において減衰定数 h は振動数に依存しない一定減衰として扱われていることから、本解析に当たっては、振動数依存型の減衰を考慮するために、この h を(2)式で示すように振動数 f に依存する形で表し、複素剛性 G^* が振動数に依存して変化するものとした。

$$G^* = (1 + 2ih)G \quad \dots \dots (1)$$

ここで、

h : 減衰定数

i : 虚数単位

$$h = h_0 \cdot f^{-n} \quad \dots \dots (2)$$

シミュレーション解析に用いる地盤モデルは、「4.4.4 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 4.4.8-2 図～第 4.4.8-5 図、第 4.4.8-11 図～第 4.4.8-14 図、第 4.4.8-20 図～第 4.4.8-23 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。

(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 4.4.8-28 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地震観測記録と整合しており、その大きさは周期によって大小はあるものの、全周期帯において地震観測記録に対して大きな差異の無いレベルである結果を示している。

なお、一部地震の一部周期帯（例：(1)200112022201 地震の NS 成分 0.1 秒付近、(6)200807240026 地震の EW 成分 0.2 秒付近）において、記録の応答スペクトルを下回る周期帯が見られるが、このような傾向は全地震共通では見られないため、この要因は同定された地盤の速度構造に由来する伝達関数のピーク周期と、各地震固有のピーク周期の差により現れたものであると考えられる。このことから、地震波の地中の伝播において周期特性に影響しない減衰定数については、その同定結果は地震観測記録をよく説明するものとなっていると考えられる。

リニア型及びバイリニア型の比較については、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」において、減衰定数の設定が異なる 10Hz よりも高振動数帯の領域において、減衰定数の評価結果に差を有するよう評価されている。なお、同定結果における伝達関数に差は見られない。

このことから、応答スペクトルによる評価にあたっては、高振動数帯における感度を重点的に確認する観点で、代表として、「4.4.3 評価に用いる地震観測記録」に示した各地震観測地点における地震観測記録のうち、各地点共通に大きな加速度が得られており、高振動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、その結果について、第 4.4.8-28 図の(6)～(8)に緑破線にてリニア型の結果と重ね書きを行った。第 4.4.8-8 図及び第 4.4.8.1-9 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シミュレーション解析結果の応答スペクトルに有意な差は無いことを確認しており、リニア型とバイ

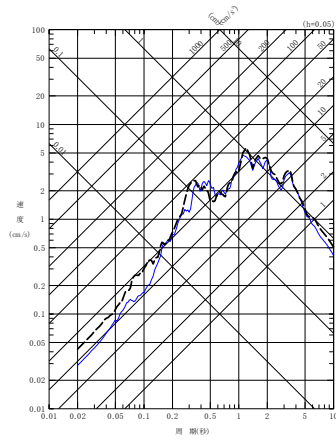
リニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

また、減衰定数の同定における周期方向の信頼区間については、第4.4.7-1表に示した最大周波数（水平方向 20Hz：0.05 秒，鉛直方向 30Hz：0.03 秒）から、地盤の一次固有周期よりも長周期側の範囲（約 1 秒以上）までの範囲となるが、シミュレーション解析を実施する上では、その範囲外の周期においても同様の周波数依存性が続くものと仮定し、外挿して減衰定数を設定している。

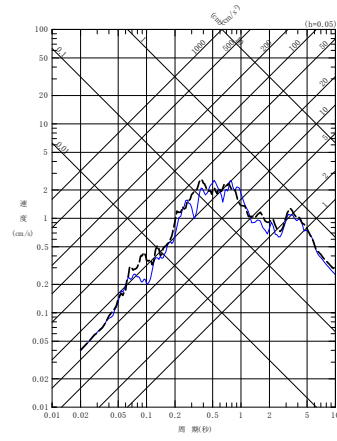
シミュレーション解析結果においては、上記外挿範囲も含む全周期帯において地震観測記録をよく説明することができることから、短周期側及び長周期側ともに、外挿を行った減衰定数の設定について問題が無いことを確認した。

以上のことから、中央地盤観測点については、リニア型、バイリニア型ともに、速度構造及び減衰定数の両方が、地震観測記録をよく再現するパラメータとして評価されていると考えられる。

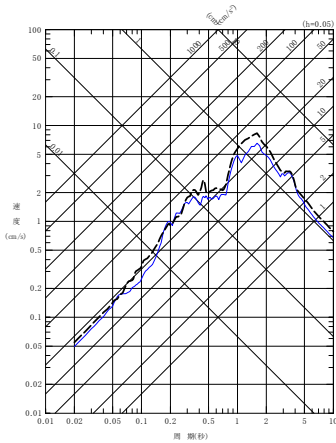
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



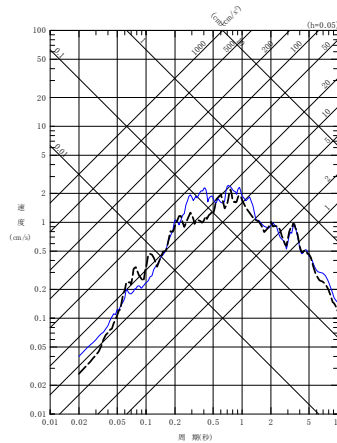
(a) NS 方向



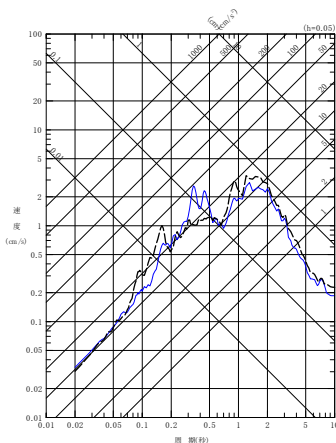
(a) NS 方向



(b) EW 方向

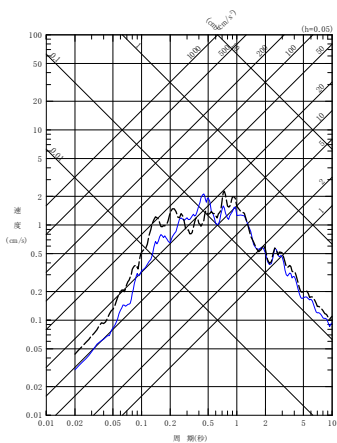


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震



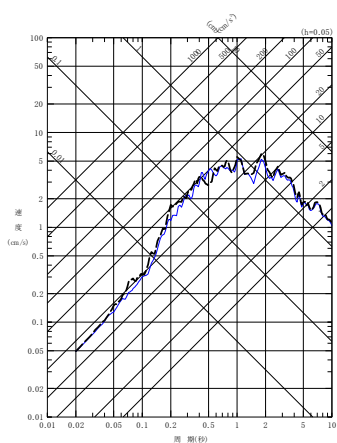
(c) UD 方向

(2) 200210142312 地震

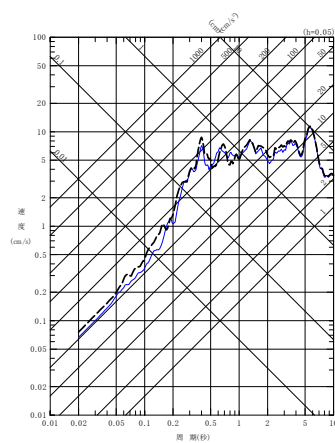
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (1/7)

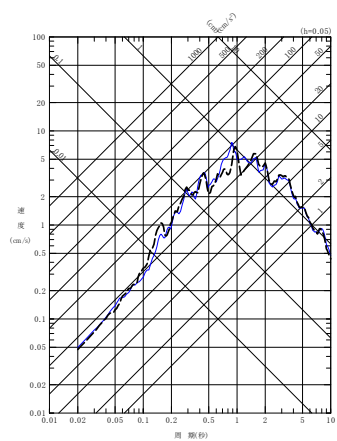
----- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



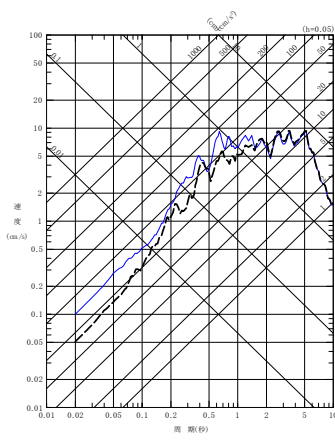
(a) NS 方向



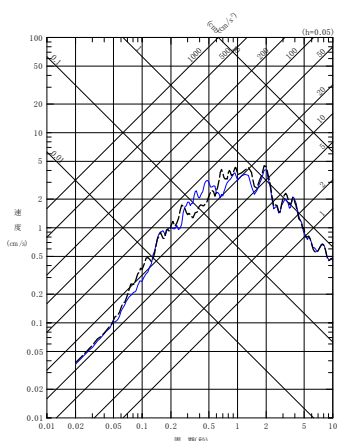
(a) NS 方向



(b) EW 方向

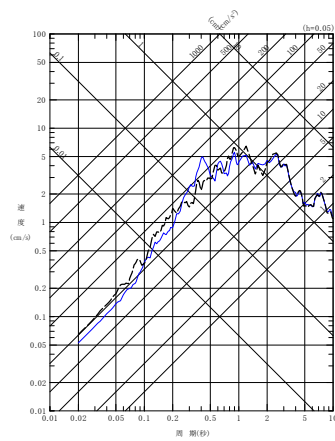


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



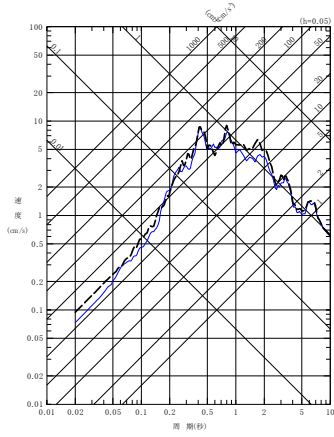
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

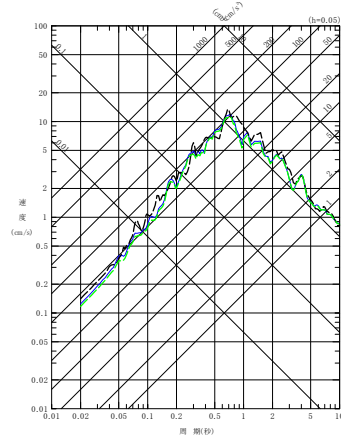
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

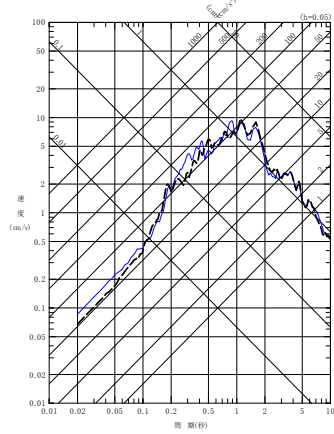
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



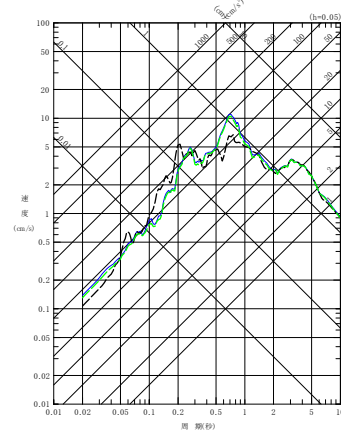
(a) NS 方向



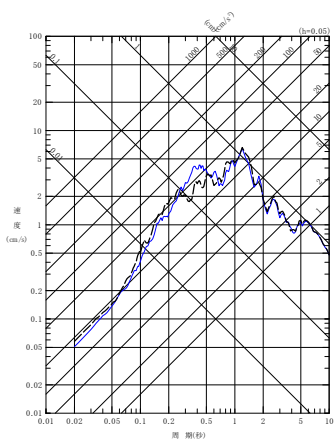
(a) NS 方向



(b) EW 方向

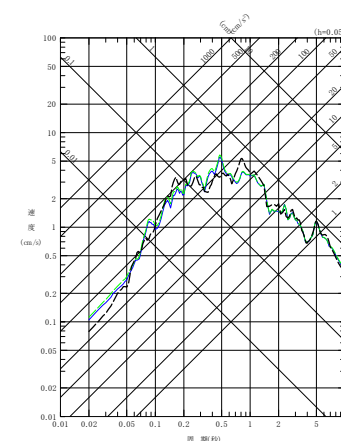


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 200309260608 地震



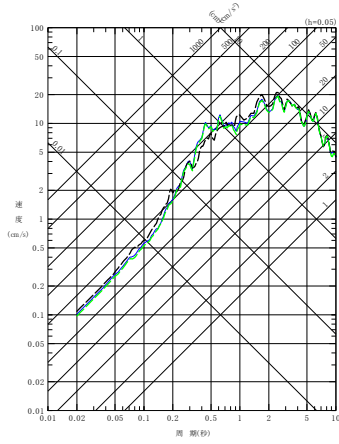
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

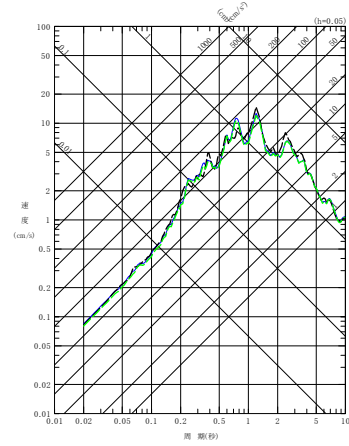
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

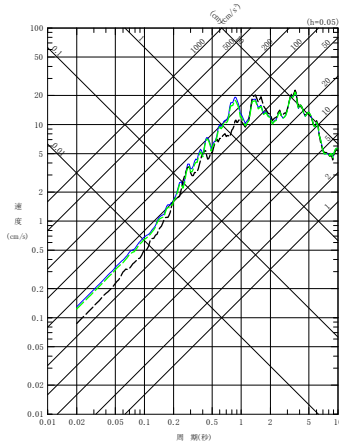
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



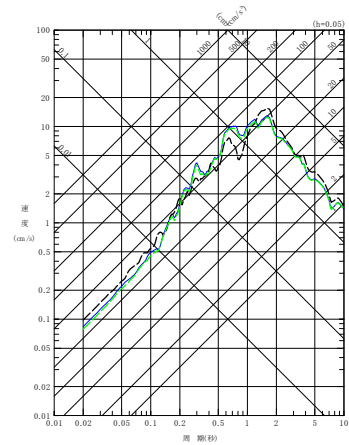
(a) NS 方向



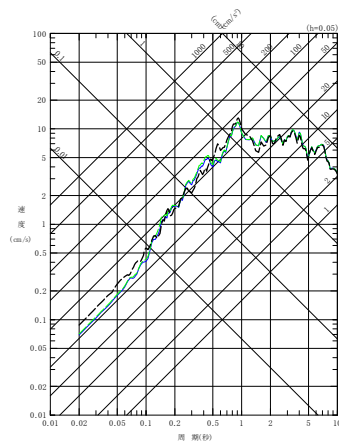
(a) NS 方向



(b) EW 方向

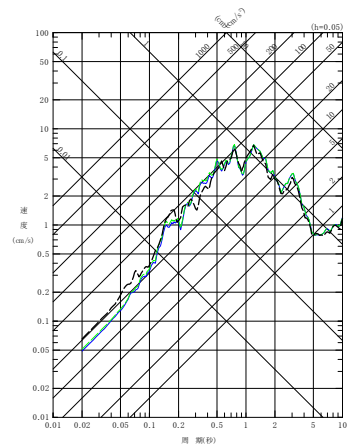


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



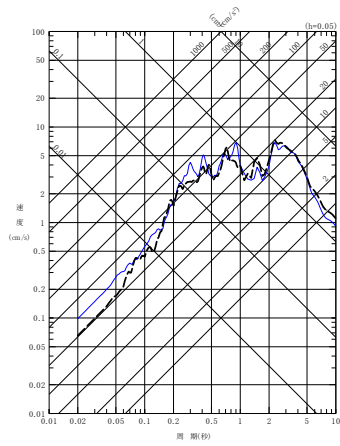
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

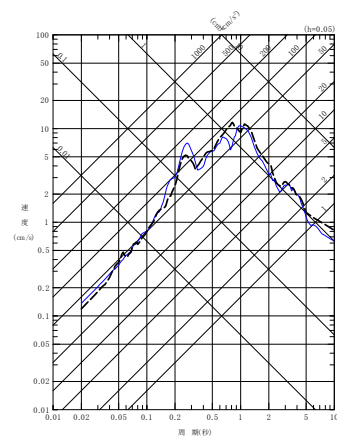
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

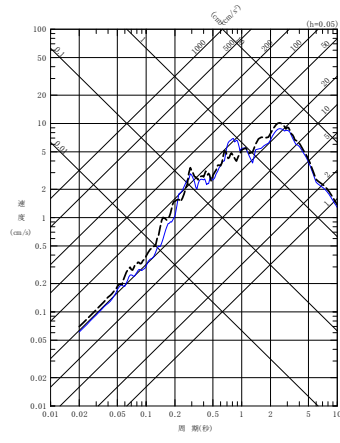
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



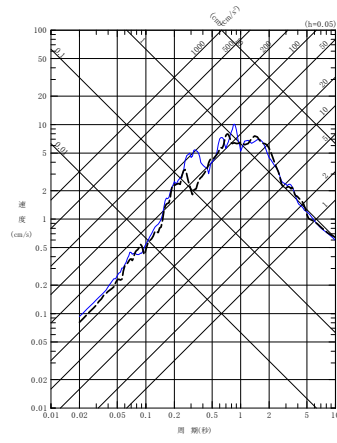
(a) NS 方向



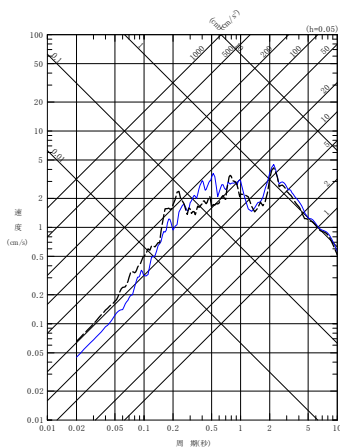
(a) NS 方向



(b) EW 方向

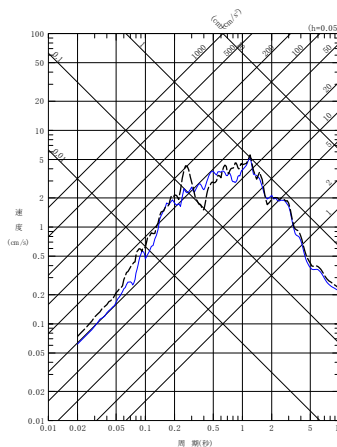


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



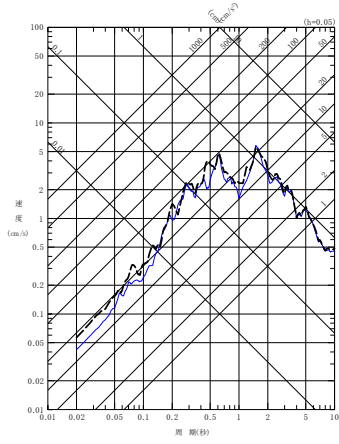
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

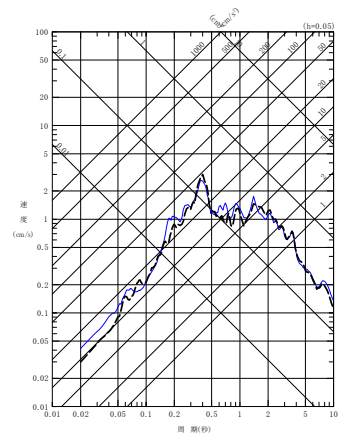
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

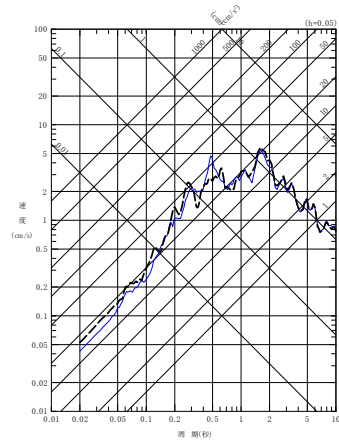
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



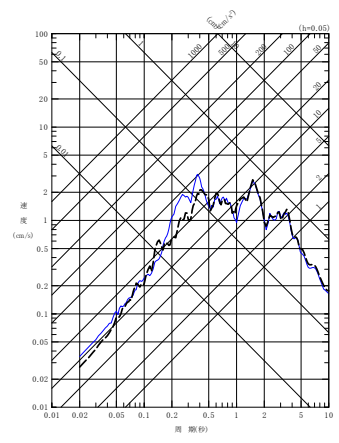
(a) NS 方向



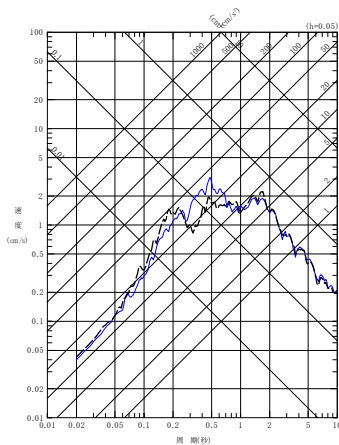
(a) NS 方向



(b) EW 方向

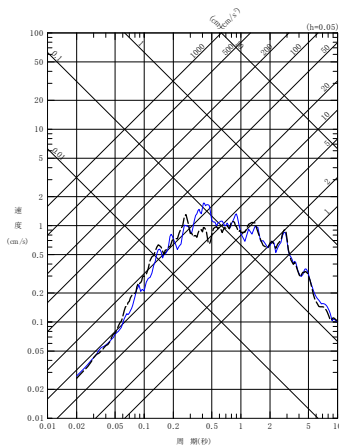


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



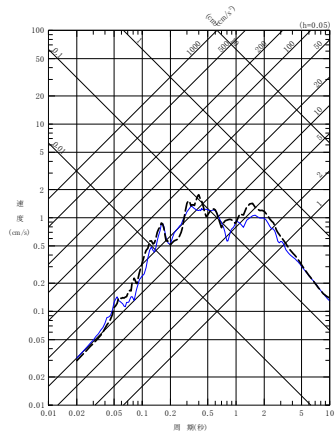
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

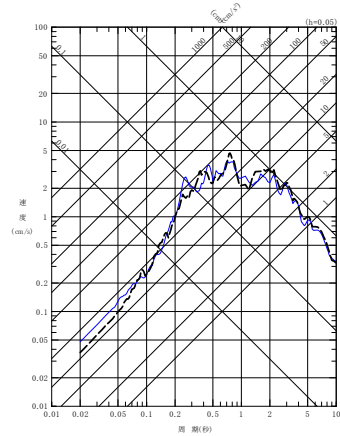
第 4.4.8-28 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

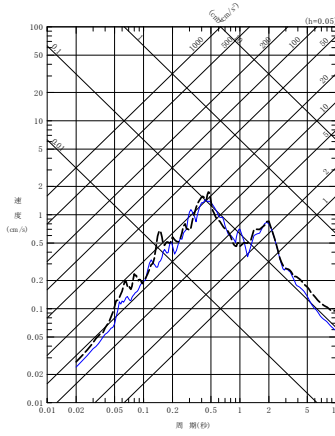
----- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



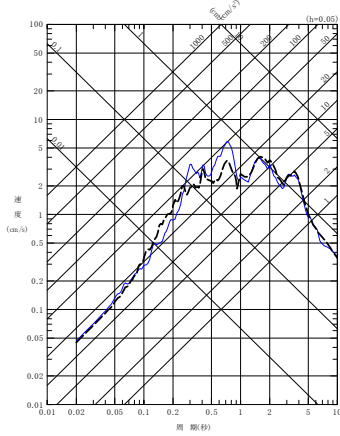
(a) NS 方向



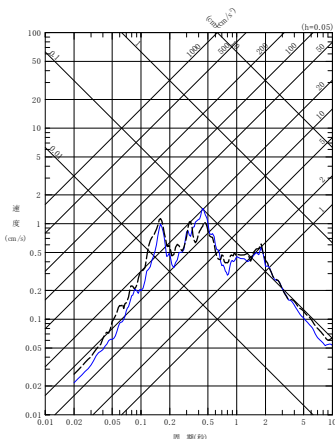
(a) NS 方向



(b) EW 方向

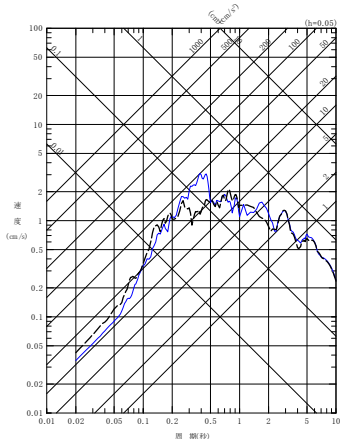


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 4.4.8-28 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)

(2) 西側地盤観測点

西側地盤観測点におけるシミュレーション解析の結果を第 4.4.8-29 図に示す。

シミュレーション解析の結果，西側地盤については，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整合しており，その大きさは周期によって大小はあるものの，全周期帯において地震観測記録に対して大きな差異の無いレベルである結果を示している。

なお，一部地震の一部周期帯（例：(6)201205240002 地震の NS, EW 成分 0.2～0.3 秒付近，(8)201408101243 地震の NS 成分 0.2～0.3 秒付近，(10)201908151432 地震の NS 成分 0.3 秒付近）において，記録の応答スペクトルを下回る周期帯が見られるが，このような傾向は全地震共通では見られない。

この要因は，同定結果における伝達関数のピーク周期と，各地震固有のピーク周期に差があり，第 4.4.8-11 図に示した同定結果において，GL-18m/GL-200m の伝達関数の上記周期で，部分的に同定結果が観測記録を下回っていることにより現れたものであると考えられる。

このことから，地震波の地中の伝播において周期特性に影響しない減衰定数については，その同定結果は地震観測記録をよく説明するものとなっていると考えられる。

リニア型及びバイリニア型の比較については，「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」において，減衰定数の設定が異なる 10Hz よりも高振動数帯の領域において，減衰定数の評価結果に差を有するよう評価されている。なお，同定結果における伝達関数に差は見られない。

このことから，応答スペクトルによる評価にあたっては，高振動数帯における感度を重点的に確認する観点で，代表として，「4.4.3 評価に用いる地震観測記録」に示した各地震観測地点における地震観測記録のうち，各地点共通に大きな加速度が得られており，高振動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，その結果について，第 4.4.8-29 図の(1)～

(3)に緑破線にてリニア型の結果と重ね書きを行った。

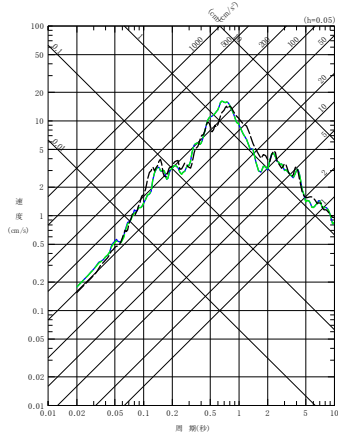
第 4.4.8-17 図及び第 4.4.8-18 図に示した伝達係数の傾向と同様に、リニア型の同定結果を用いたシミュレーション結果に対してシミュレーション解析結果の応答スペクトルに有意な差は無いことを確認しており、リニア型とバイリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

また、減衰定数の同定における周期方向の信頼区間については、第 4.4.7-1 表に示した最大周波数（水平方向 20Hz：0.05 秒、鉛直方向 30Hz：0.03 秒）から、地盤の一次固有周期よりも長周期側の範囲（約 1 秒以上）までの範囲となるが、シミュレーション解析を実施する上では、その範囲外の周期においても同様の周波数依存性が続くものと仮定し、外挿して減衰定数を設定している。

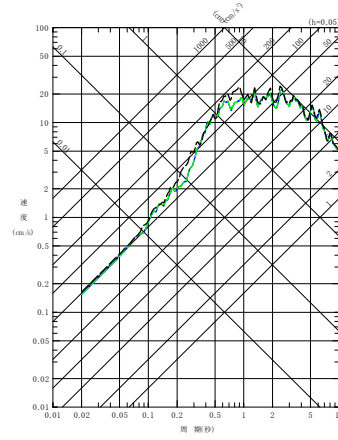
シミュレーション解析結果においては、上記外挿範囲も含む全周期帯において地震観測記録をよく説明することができることから、短周期側及び長周期側ともに、外挿を行った減衰定数の設定について問題が無いことを確認した。

以上のことから、西側地盤観測点については、リニア型、バイリニア型ともに、速度構造及び減衰定数の両方が、地震観測記録をよく再現するパラメータとして評価されていると考えられる。

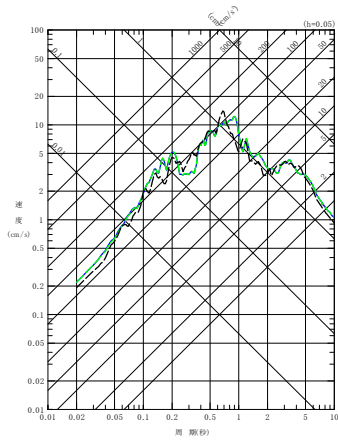
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



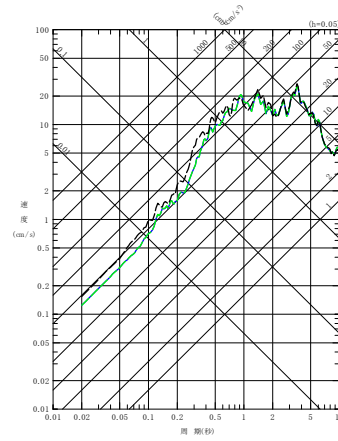
(a) NS 方向



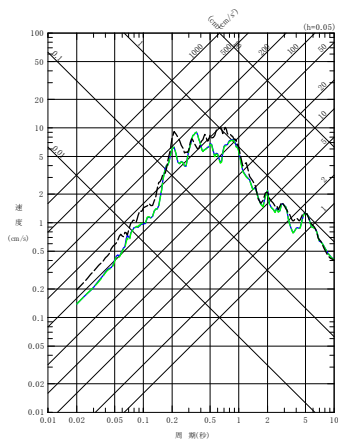
(a) NS 方向



(b) EW 方向

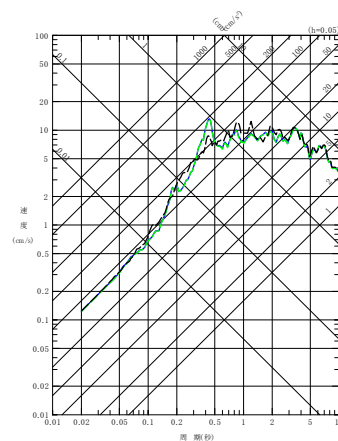


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



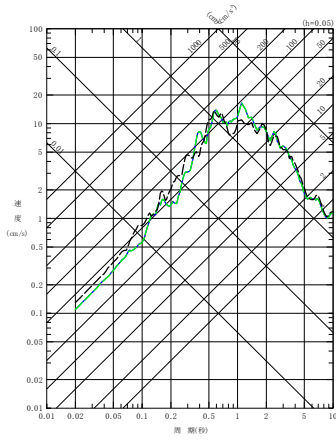
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

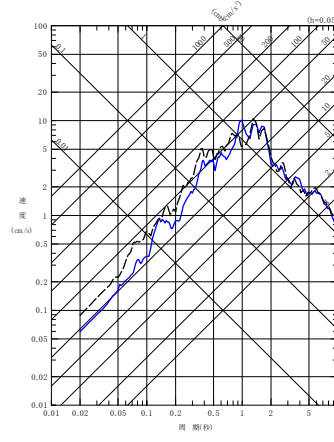
第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (1/6)

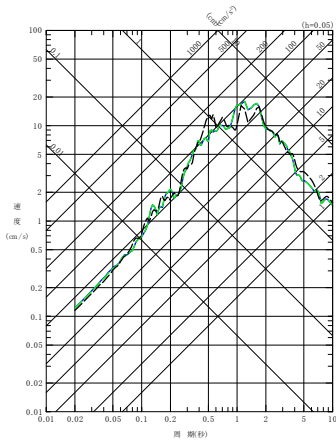
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



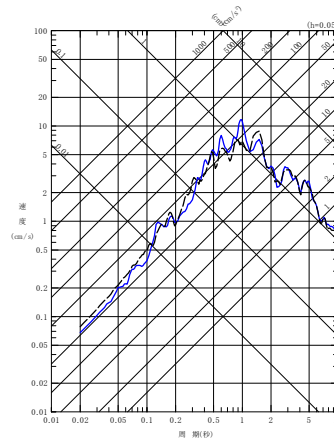
(a) NS 方向



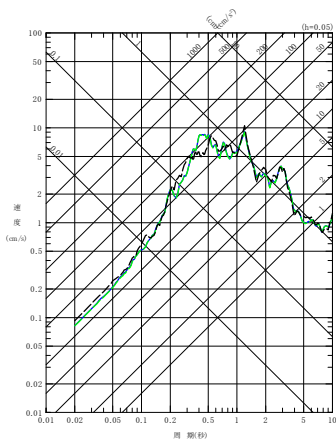
(a) NS 方向



(b) EW 方向

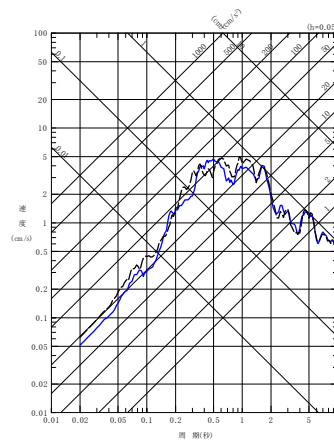


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震



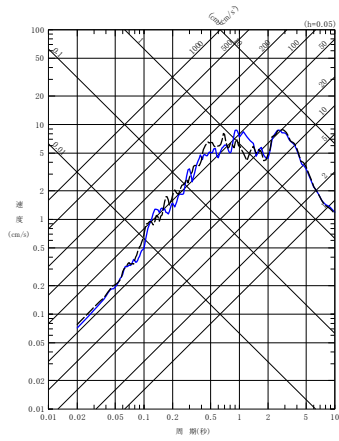
(c) UD 方向

(4) 201104072332 地震

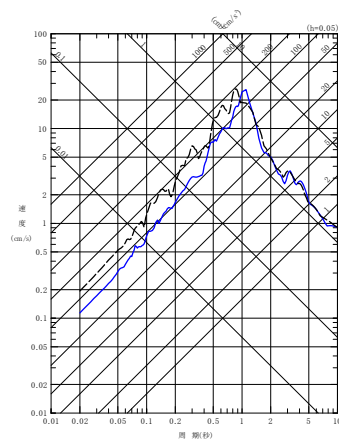
第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (2/6)

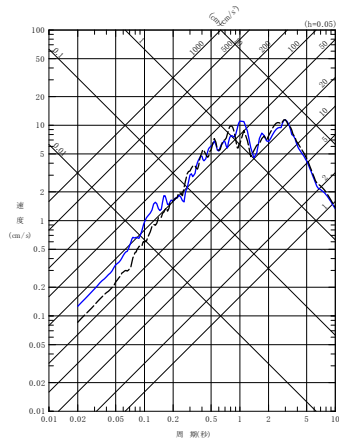
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



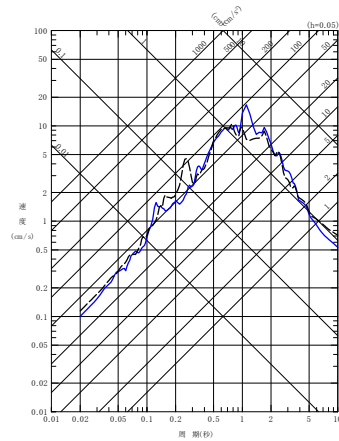
(a) NS 方向



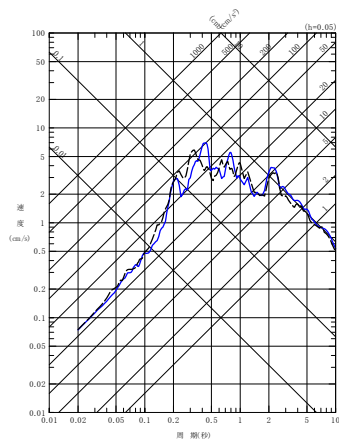
(a) NS 方向



(b) EW 方向

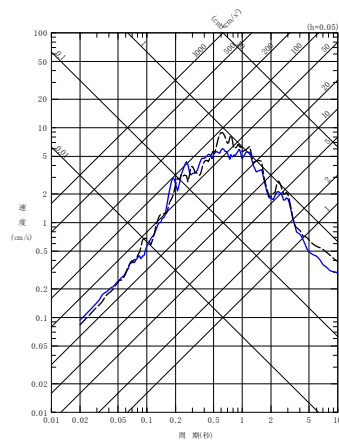


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



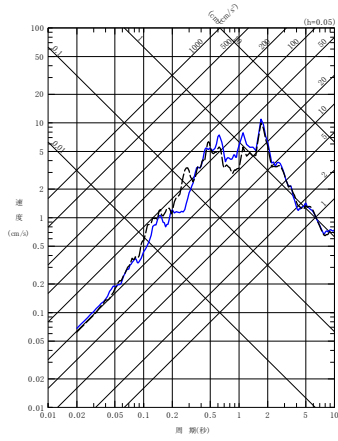
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

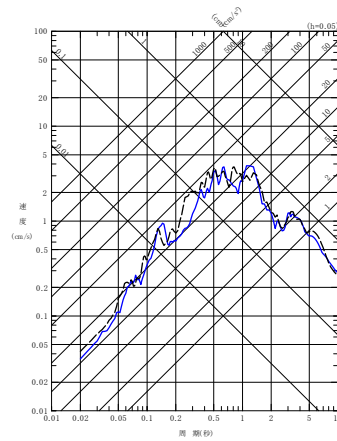
第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (3/6)

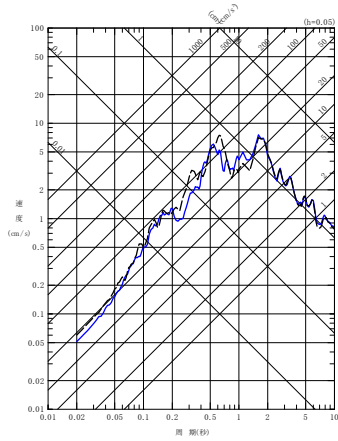
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



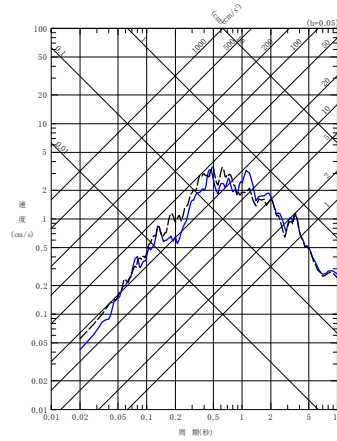
(a) NS 方向



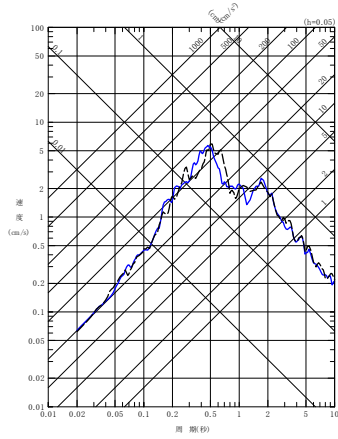
(a) NS 方向



(b) EW 方向

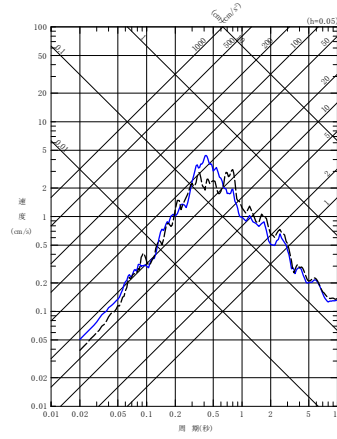


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



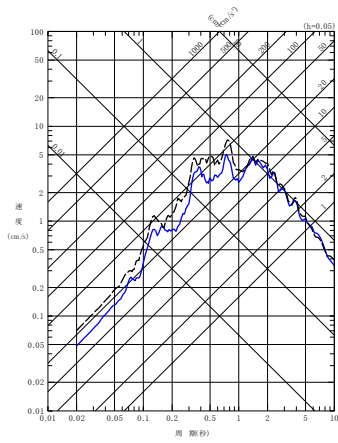
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

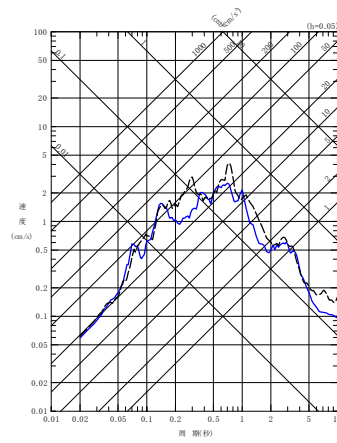
第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (4/6)

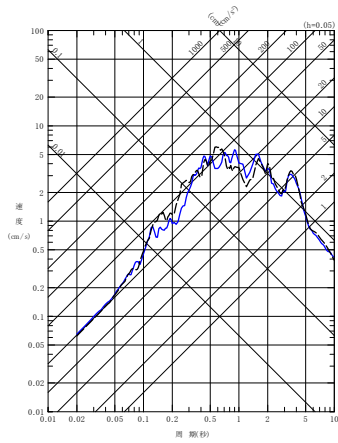
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



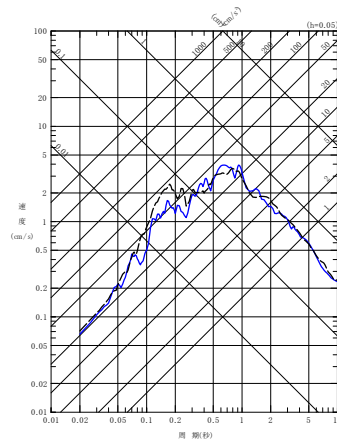
(a) NS 方向



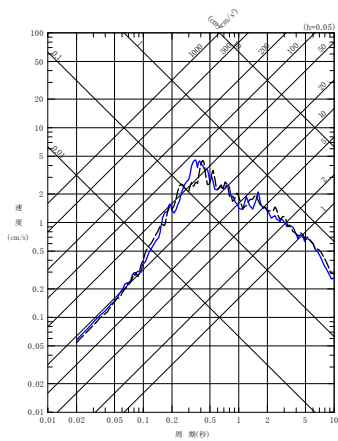
(a) NS 方向



(b) EW 方向

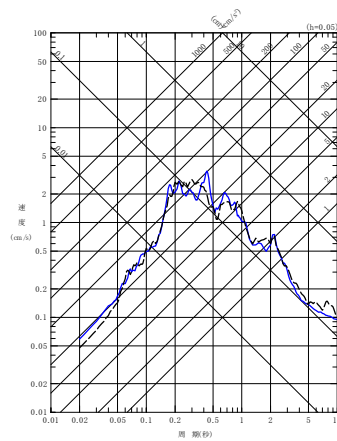


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



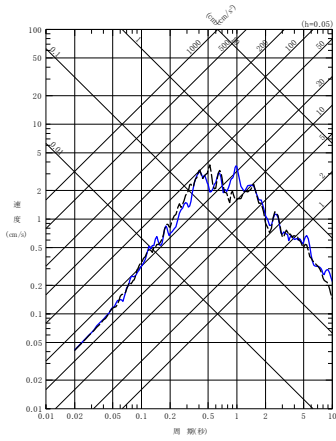
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

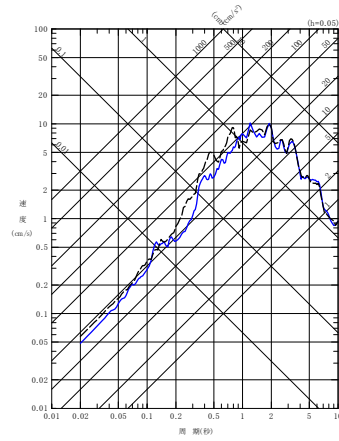
第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (5/6)

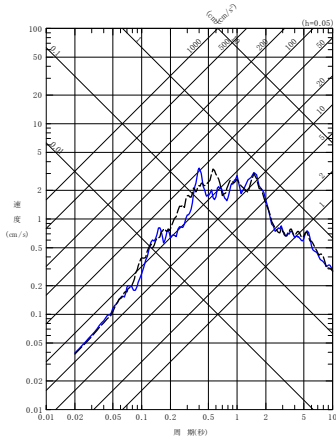
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



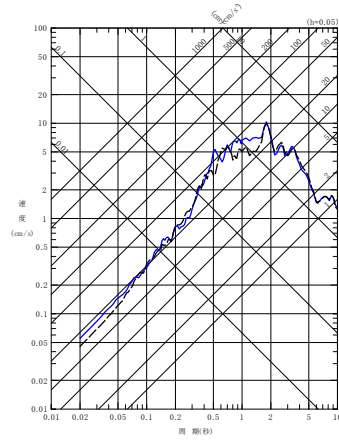
(a) NS 方向



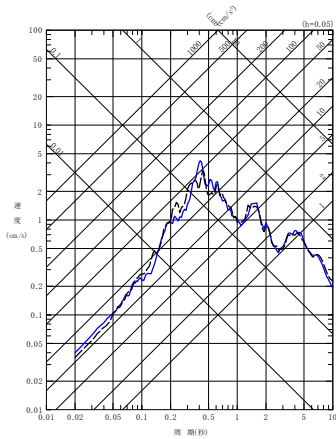
(a) NS 方向



(b) EW 方向

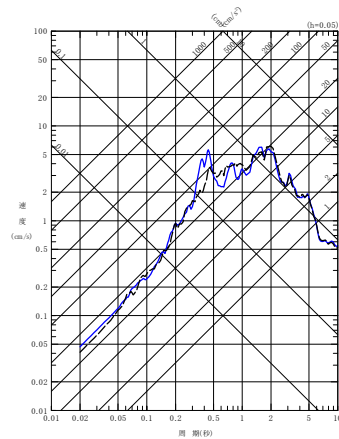


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

第 4.4.8-29 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (6/6)

(3) 東側地盤観測点

東側地盤観測点におけるシミュレーション解析の結果を第 4.4.8-30 図に示す。

シミュレーション解析の結果，東側地盤については，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整合しており，その大きさは周期によって大小はあるものの，全周期帯において地震観測記録に対して大きな差異の無いレベルである結果を示している。

なお，一部地震の一部周期帯（例：(5)201106230650 地震の NS 成分 0.5 秒より短周期側，(8)201408101243 地震の NS,EW 成分 0.5 秒より短周期側秒付近）において，記録の応答スペクトルを下回る周期帯が見られるが，このような傾向は全地震共通では見られない。

この要因は，同定結果における伝達関数のピーク周期と，各地震固有のピーク周期に差があり，第 4.4.8-20 図に示した同定結果において，GL-18m/GL-200m の伝達関数の上記周期で，部分的に同定結果が観測記録を下回っていることにより現れたものであると考えられる。

このことから，地震波の地中の伝播において周期特性に影響しない減衰定数については，その同定結果は地震観測記録をよく説明するものとなっていると考えられる。

リニア型及びバイリニア型の比較については，「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」において，減衰定数の設定が異なる 10Hz よりも高振動数帯の領域において，減衰定数の評価結果に差を有するよう評価されている。なお，同定結果における伝達関数に差は見られない。

このことから，応答スペクトルによる評価にあたっては，高振動数帯における感度を重点的に確認する観点で，代表として，「4.4.3 評価に用いる地震観測記録」に示した各地震観測地点における地震観測記録のうち，各地点共通に大きな加速度が得られており，高振動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，その結果について，第 4.4.8-30 図の(1)～(3)に緑破線にてリニア型の結果と重ね書きを行った。第 4.4.8-26 図及

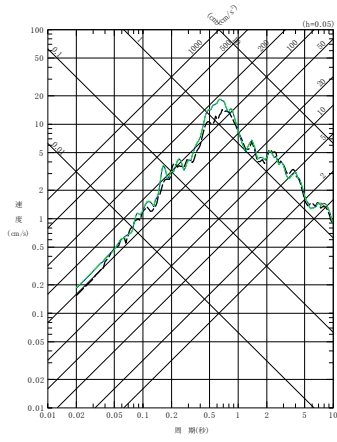
び第 4.4.8-27 図に示した伝達係数の傾向と同様に、リニア型の同定結果を用いたシミュレーション結果に対してシミュレーション解析結果の応答スペクトルに有意な差は無いことを確認しており、リニア型とバイリニア型における短周期側の減衰定数の設定の差はシミュレーション解析結果に影響を与えないことを確認した。

また、減衰定数の同定における周期方向の信頼区間については、第 4.4.7-1 表に示した最大周波数（水平方向 20Hz：0.05 秒，鉛直方向 30Hz：0.03 秒）から、地盤の一次固有周期よりも長周期側の範囲（約 1 秒以上）までの範囲となるが、シミュレーション解析を実施する上では、その範囲外の周期においても同様の周波数依存性が続くものと仮定し、外挿して減衰定数を設定している。

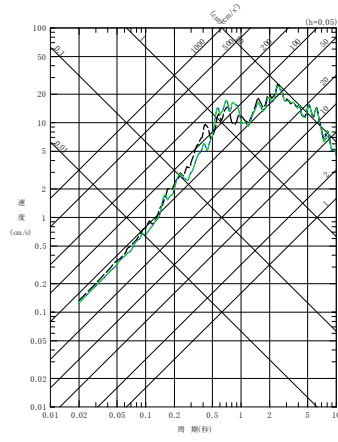
シミュレーション解析結果においては、上記外挿範囲も含む全周期帯において地震観測記録をよく説明することができることから、短周期側及び長周期側ともに、外挿を行った減衰定数の設定について問題が無いことを確認した。

以上のことから、東側地盤観測点については、リニア型、バイリニア型共に、速度構造及び減衰定数の両方が、地震観測記録をよく再現するパラメータとして評価されていると考えられる。

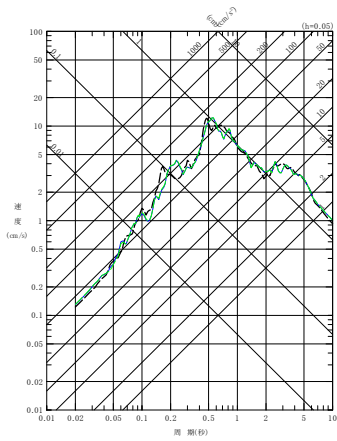
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



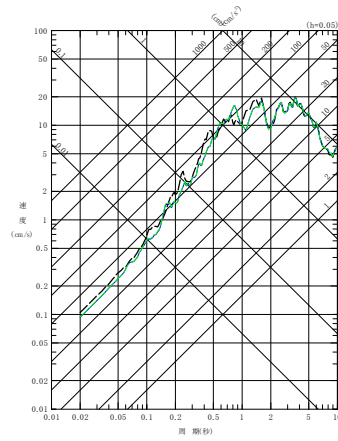
(a) NS 方向



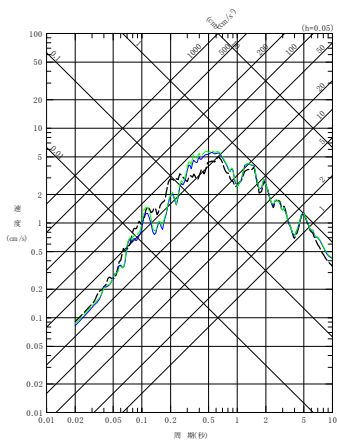
(a) NS 方向



(b) EW 方向

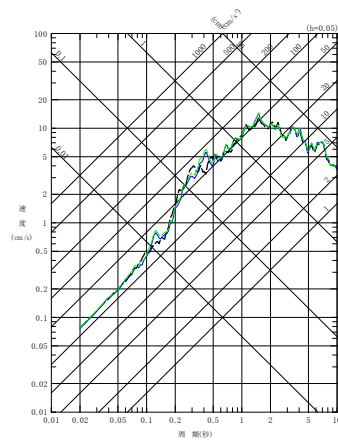


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



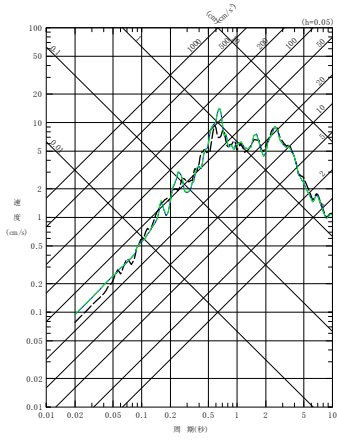
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

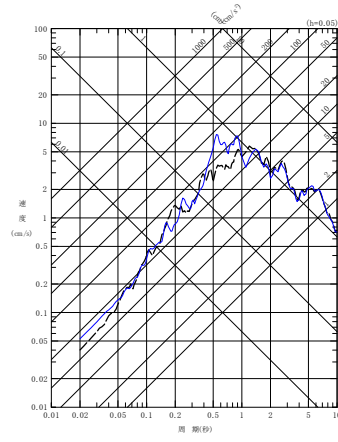
第 4.4.8-30 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (1/6)

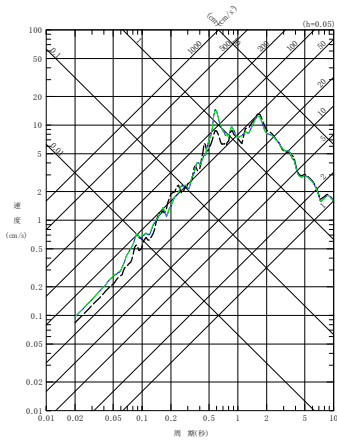
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存型 (バイリニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



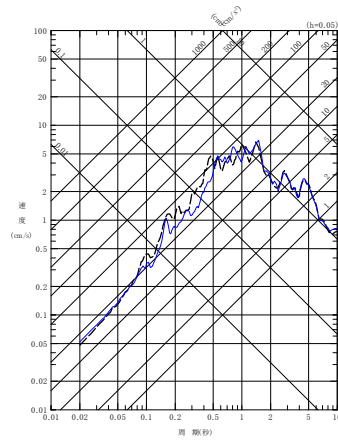
(a) NS 方向



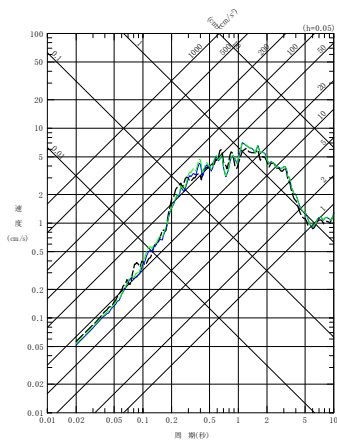
(a) NS 方向



(b) EW 方向

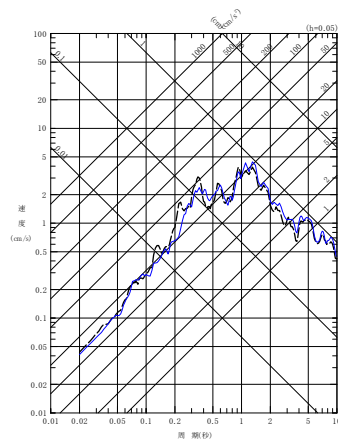


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震

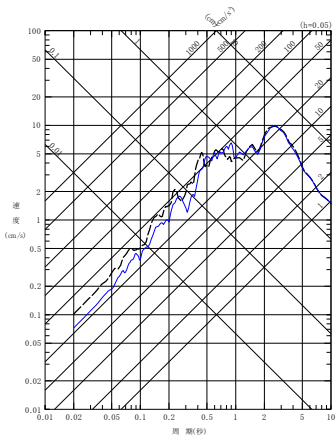


(c) UD 方向

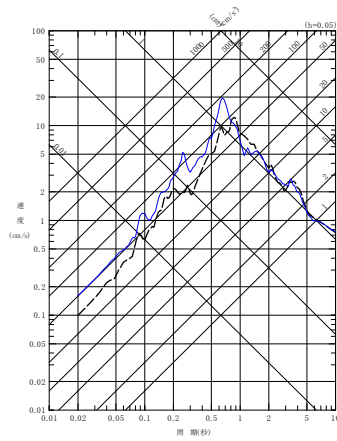
(4) 201104042332 地震

第 4.4.8-30 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 東側地盤観測点 (2/6)

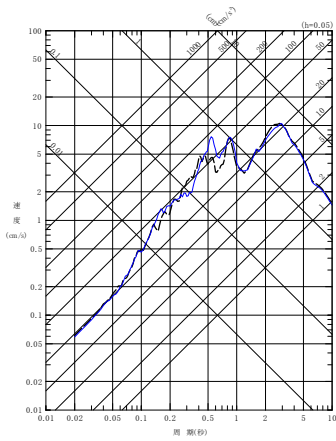
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ——— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



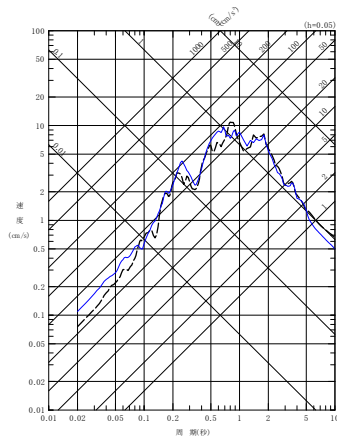
(a) NS 方向



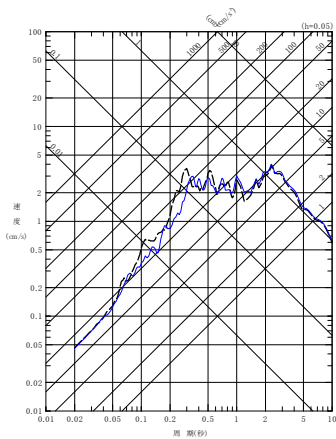
(a) NS 方向



(b) EW 方向

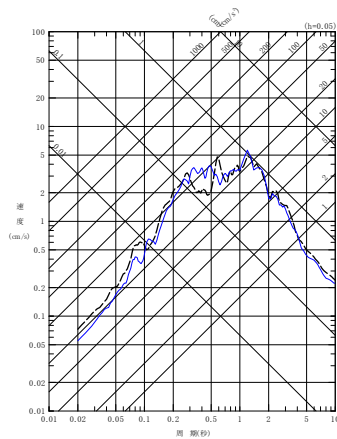


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



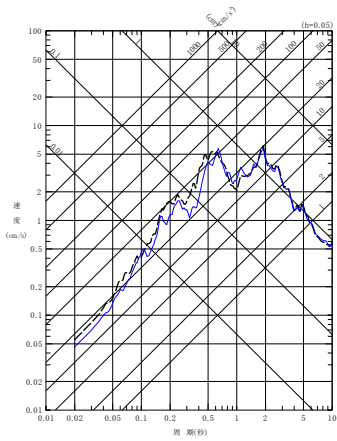
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

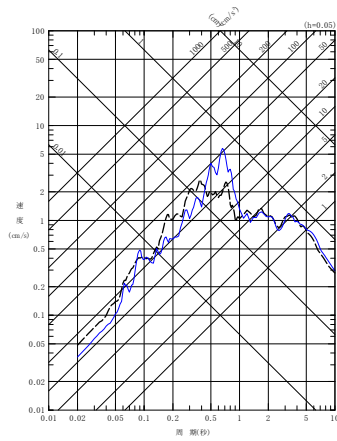
第 4.4.8-30 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (3/6)

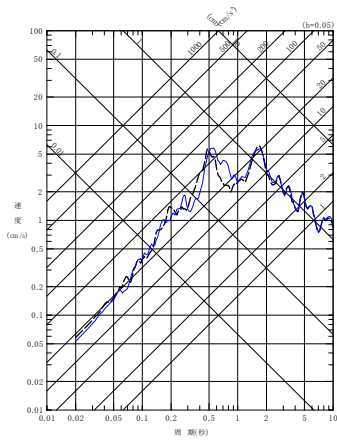
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



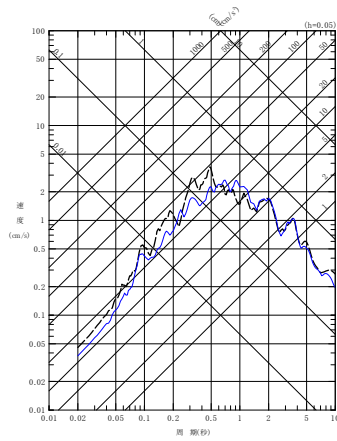
(a) NS 方向



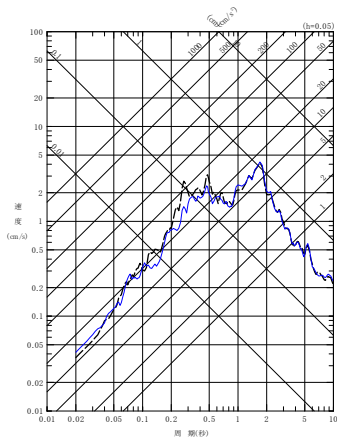
(a) NS 方向



(b) EW 方向

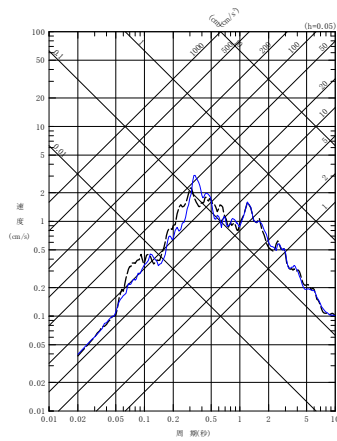


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



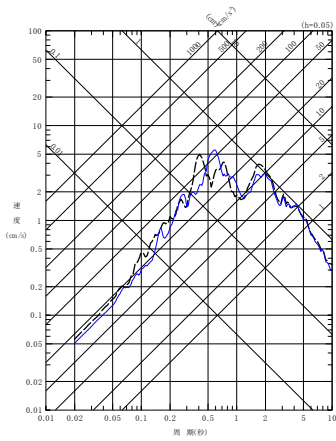
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

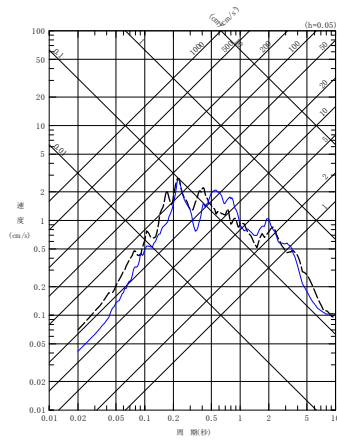
第 4.4.8-30 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (4/6)

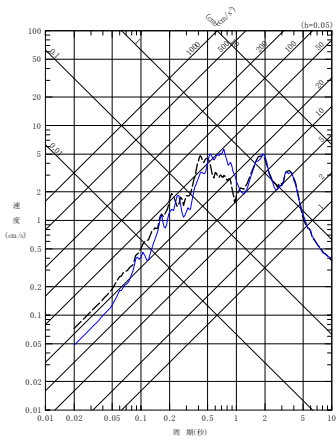
----- 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



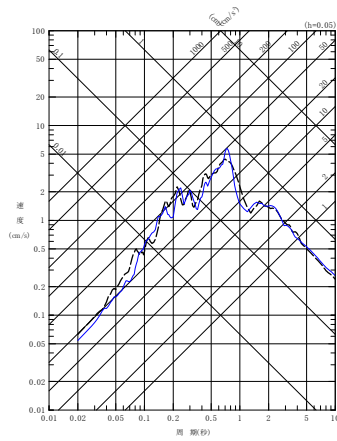
(a) NS 方向



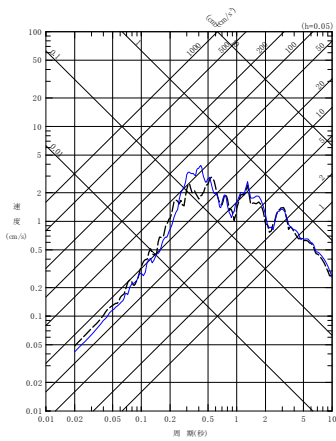
(a) NS 方向



(b) EW 方向

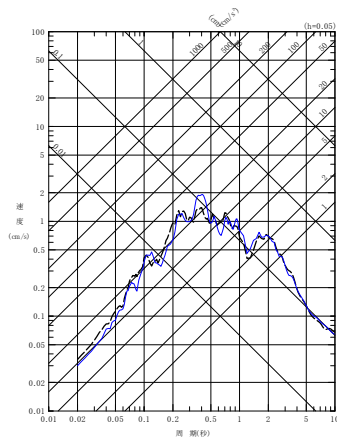


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



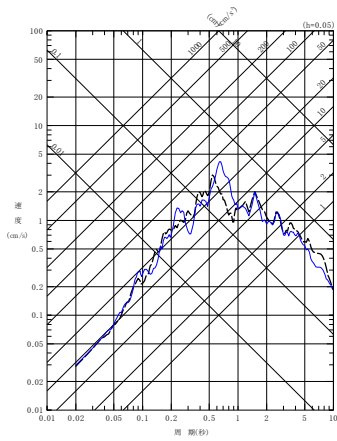
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

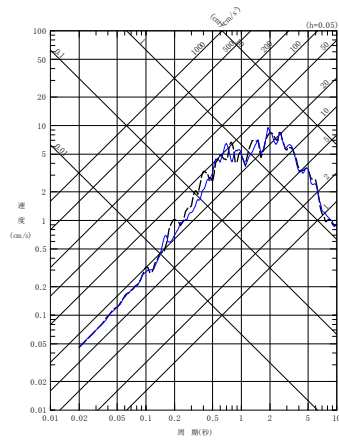
第 4.4.8-30 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (5/6)

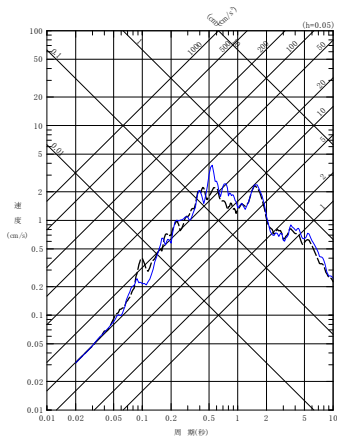
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



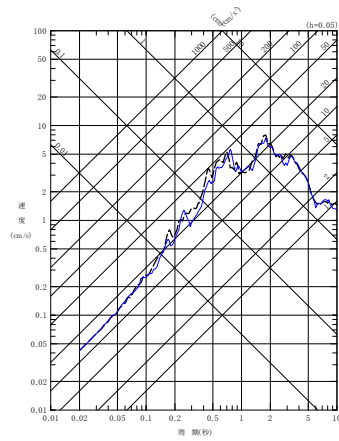
(a) NS 方向



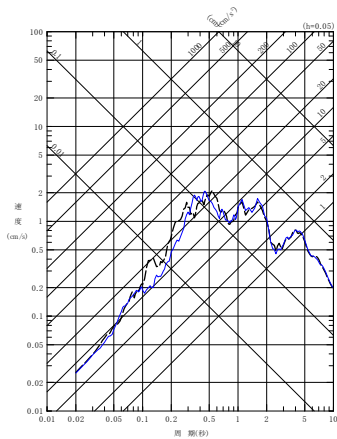
(a) NS 方向



(b) EW 方向

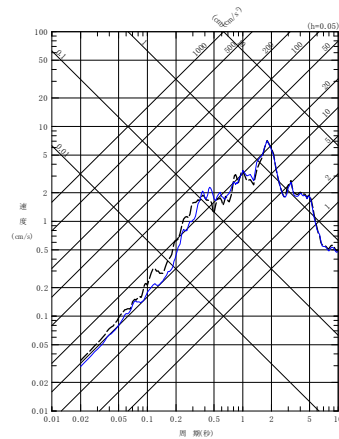


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震



(c) UD 方向

(12) 202203162336 地震

第 4.4.8-30 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (6/6)

4.4.9 振動数依存性を考慮しない場合の評価結果

a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）

「4.4.7 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 4.4.9-1 図及び第 4.4.9-2 図（中央地盤）、第 4.4.9-5 図及び第 4.4.9-6 図（西側地盤）、第 4.4.9-9 図及び第 4.4.9-10 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 4.4.9-3 図及び第 4.4.9-4 図（中央地盤）、第 4.4.9-7 図及び第 4.4.9-8 図（西側地盤）、第 4.4.9-11 図及び第 4.4.9-12 図（東側地盤）にグラフとして示す。

振動数依存性を考慮しない場合の評価結果については、振動数依存性を考慮する場合の評価結果と比較して図示するが、「4.4.8 振動数依存性を考慮する場合の評価結果」にて示したとおり、リニア型とバイリニア型の評価結果について、伝達関数及び応答スペクトルの差は見られないことから、振動数依存性を考慮する場合の評価結果についてはリニア型の動的結果を代表として示す。

なお、本グラフについては、「4.4.7 評価方法及び条件」に示した、同定解析上対象とする振動数よりも広い範囲（20Hz よりも高振動数側、0.05 秒よりも短周期側）についても、評価された減衰定数の振動数特性が同様の傾向を示すと仮定し、当該範囲については外挿して示す。

減衰定数の評価結果を確認するにあたっては、入力地震動を算定する上で、応答スペクトルの大きさや周期特性に対して支配的となる地盤の1次及び2次の伝達関数のピーク周期がよく再現されているかに着目して行う。

さらに、本モデル（振動数依存性なし）による同定結果については、「4.4.6 伝達関数の振動数依存性の考慮」に示したとおり、振動数依存性を有しない設定となり、実観測記録にみられるとされる振動数依存性に対し、長周期側では減衰定数を小さく、短周期側では大きく評価することが考えられる。

このため、1次及び2次のピークにおいて、伝達関数の大きさについては、上記減衰定数の周波数特性の大小関係に対して矛盾していないこと、すなわち長周期側では伝達関数を大きく、短周期側では小さく評価していることの確認まで行い、地震観測記録との整合性については、「4.4.9 b. 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）」による地震観測記録を用いたシミュレーション解析結果にて行う。

(1) 中央地盤観測点

中央地盤観測点における振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価結果を第 4.4.9-1 図～第 4.4.9-4 図に示す。

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、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」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。

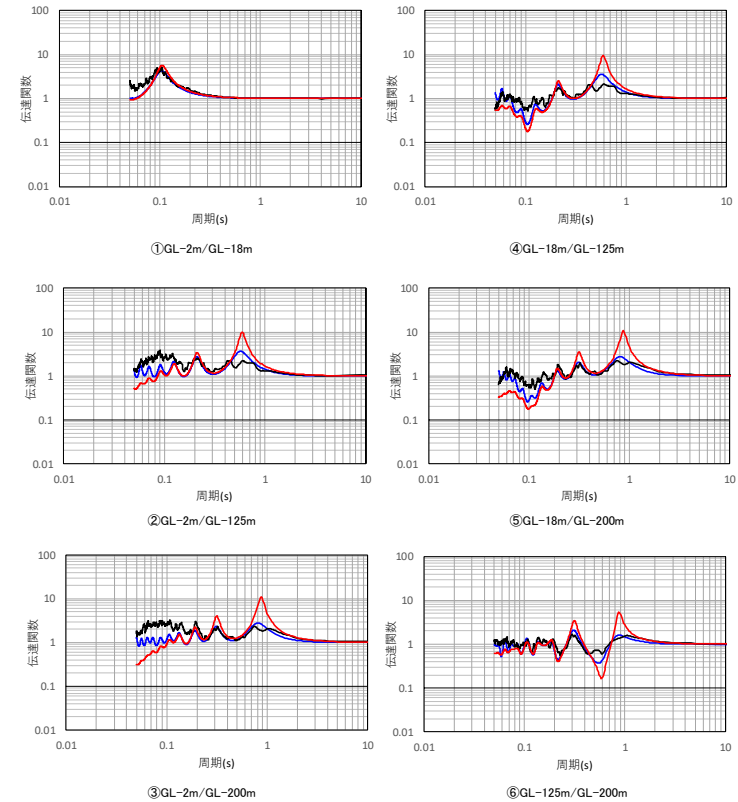
振動数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」にて同定した振動数依存性を考慮した結果と比較して、ピーク振動数については変わらないものの、伝達関数の大きさについては地震観測記録との差異が見られる結果となっており、長周期側では振動数依存性なしの条件による伝達関数が観測記録に対して大きく、短周期側では小さく評価されている。

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.94	470	0.166
-2	2	1.5			
-3.5	3	1.5	1.94	560	0.160
-5	4	13	1.64	720	0.111
-18	5	2			
-20	6	40	1.75	760	0.067
-60	7	60	1.85	830	
-120	8	5	1.85	950	0.055
-125	9	75			
-200	10	—			

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

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G.L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.066$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

— 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

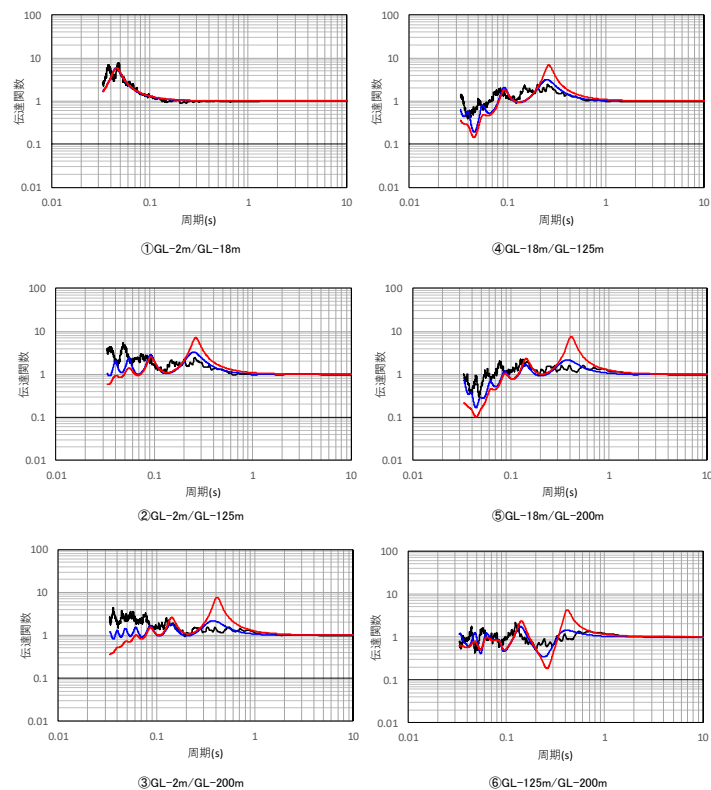
第 4.4.9-1 図 伝達関数による評価結果 (中央地盤観測点: 振動数依存性なし, 水平)

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.94	1410	0.166
-2	2	1.5		1410	
-3.5	3	1.5	1.94	1560	0.137
-5	4	13	1.64	1640	0.106
-18	5	2		1640	
-20	6	40	1.75	1780	0.093
-60	7	60	1.85	1860	
-120	8	5	1.85	1920	0.081
-125	9	75			
-200	10	—			

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

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -120m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.092$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

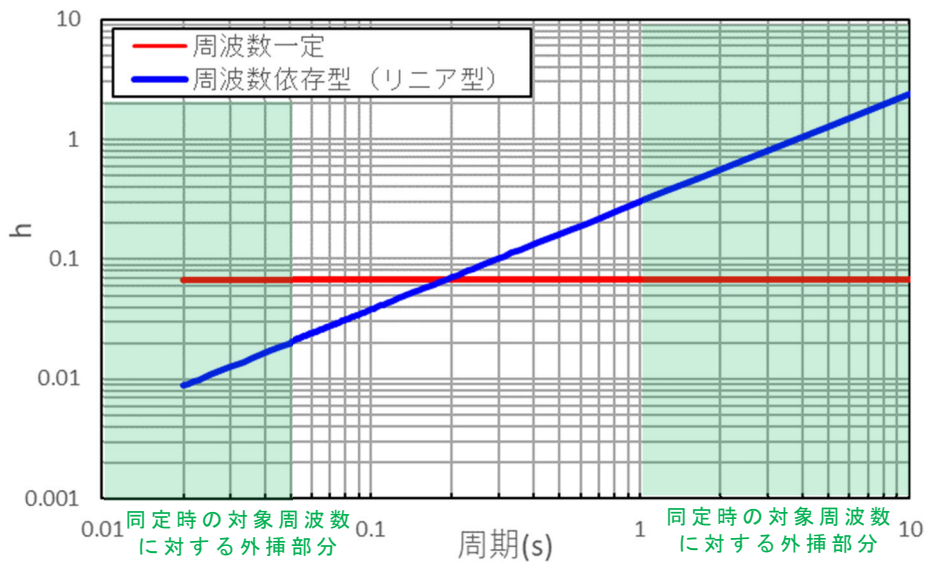
— 目的関数 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
— 周波数依存型 (リニア型)
— 周波数依存なし



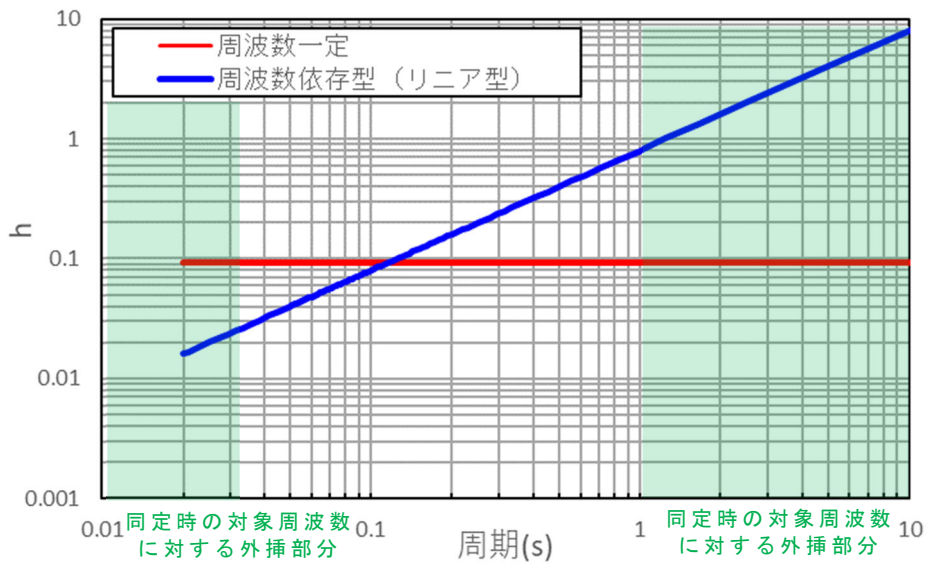
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.9-2 図 伝達関数の比較 (中央地盤観測点: 振動数依存性なし, 鉛直)



第 4.4.9-3 図 減衰定数と周期の関係 (中央地盤観測点, 水平)



第 4.4.9-4 図 減衰定数と周期の関係 (中央地盤観測点, 鉛直)

(2) 西側地盤観測点

西側地盤観測点における振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価結果を第 4.4.9-5 図～第 4.4.9-8 図に示す。

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、西側地盤観測点において 5.5% の減衰定数が得られた。鉛直方向については、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」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。

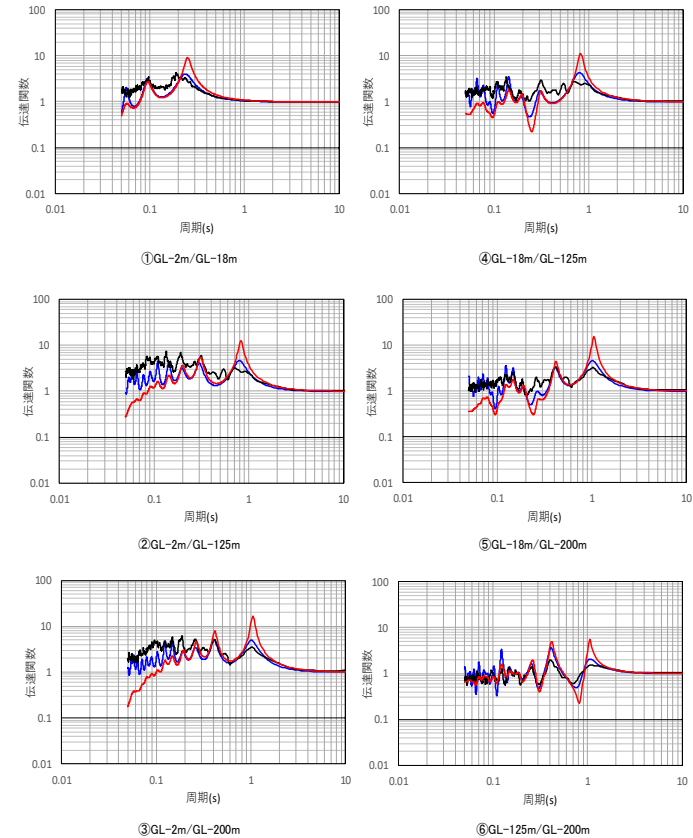
振動数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」にて同定した振動数依存性を考慮した結果と比較して、ピーク振動数については変わらないものの、伝達関数の大きさについては地震観測記録との差異が見られる結果となっており、長周期側では振動数依存性なしの条件による伝達関数が観測記録に対して大きく、短周期側では小さく評価されている。

— 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

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
GL 0m	1	2	1.73	230	0.120
-2.00	2	2.34		240	0.081
-4.34	3	5.76		290	0.067
-10.10	4	7.9	420		
-18.00	5	18.82	2.02	580	0.055
-36.82	6	36.68		660	
-73.50	7	39.1	1.59	870	0.030
-112.60	8	12.4			
-125.00	9	63.87	1.75	1050	0.030
-188.87	10	11.13	1.57		
-200.00	11	—			

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

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.052$ となり、上記代表値と大きな差は無い。



(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 4.4.9-5 図 伝達関数による評価結果（西側地盤観測点：振動数依存性なし，水平）

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h
GL 0m	1	2	1.73	370	0.166
-2.00	2	2.34		430	
-4.34	3	5.76			
-10.10	4	7.9	2.02	740	0.103
-18.00	5	18.82		1520	
-36.82	6	36.68	1.59		1640
-73.50	7	39.1		1.75	2000
-112.60	8	12.4			
-125.00	9	63.87			
-188.87	10	11.13	1.57	2220	0.085
-200.00	11	—			

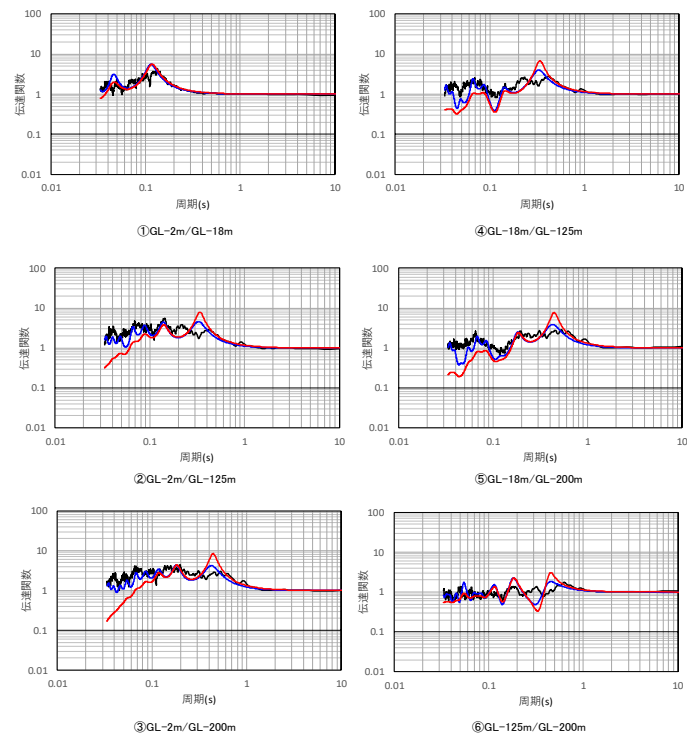
解放基盤表面～
建屋基礎底面相当
レベルの岩盤部分
に相当

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -112.6m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.092$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

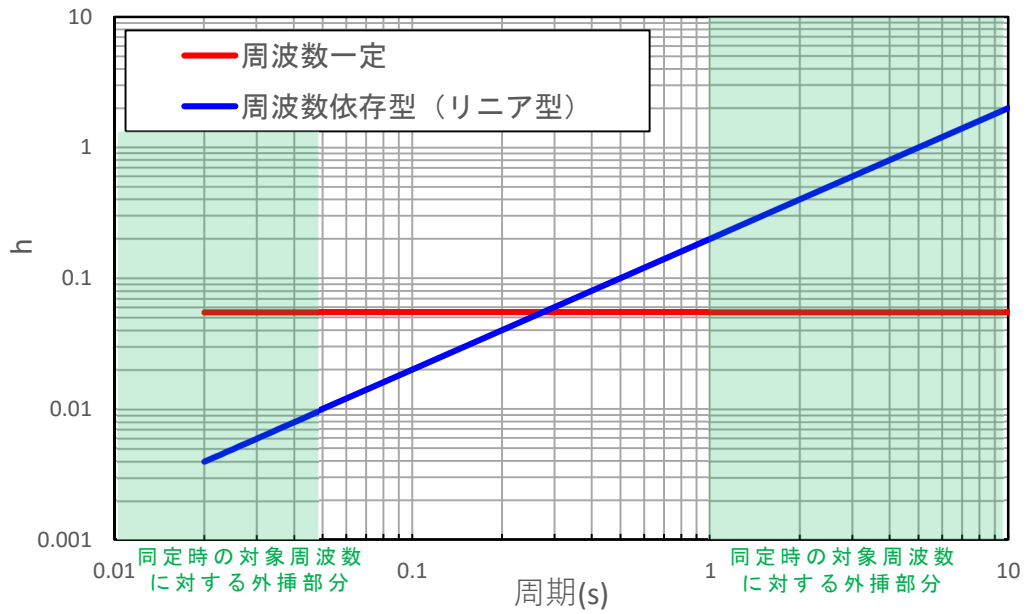
(a) 評価された物性値及び減衰定数

第 4.4.9-6 図 伝達関数の比較 (西側地盤観測点: 振動数依存性なし, 鉛直)

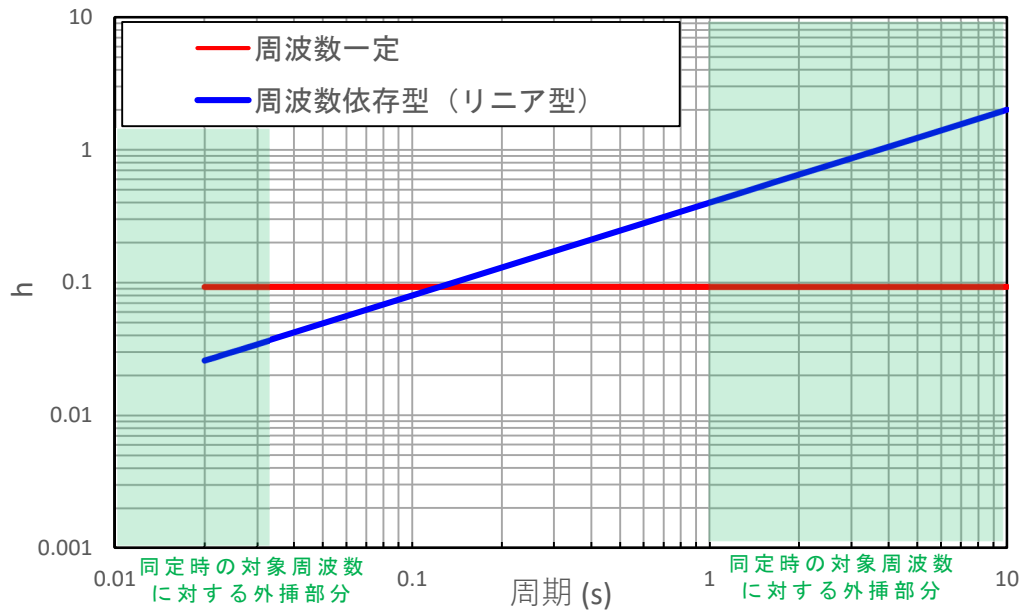
— 目的関数 (観測記録の伝達関数を平均して作成)
— 周波数依存型 (リニア型)
— 周波数依存なし



(b) 伝達関数適合状況



第 4.4.9-7 図 減衰定数と周期の関係（西側地盤観測点，水平）



第 4.4.9-8 図 減衰定数と周期の関係（西側地盤観測点，鉛直）

(3) 東側地盤観測点

東側地盤観測点における振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数の評価結果を第 4.4.9-9 図～第 4.4.9-12 図に示す。

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、東側地盤観測点において 5.5% の減衰定数が得られた。鉛直方向については、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」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。

振動数依存性なしの条件により求められる伝達関数は、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果（振動数依存性あり：リニア型及びバイリニア型）」にて同定した振動数依存性を考慮した結果と比較して、ピーク振動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差異が見られる結果となっており、長周期側では振動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。

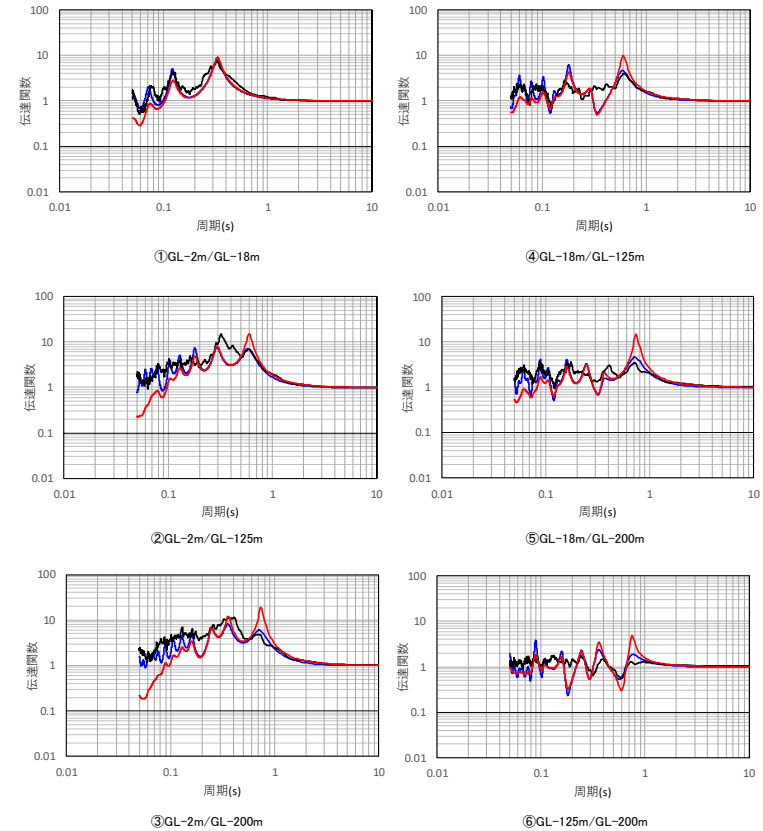
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.69	140	0.136
-2.00	2	6.33		160	0.075
-8.33	3	6.4		210	
-14.73	4	3.27	1.72	310	0.061
-18.00	5	0.68	1.59	640	0.055
-18.68	6	53.2			
-71.88	7	43.85			
-115.73	8	9.27	1.82	1190	0.033
-125.00	9	34.31			
-159.31	10	40.69	1.90	1200	
-200.00	11	—			

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

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近の G. L. -115.73m～-125m の層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.053$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

(a) 評価された物性値及び減衰定数

— 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



(b) 伝達関数適合状況

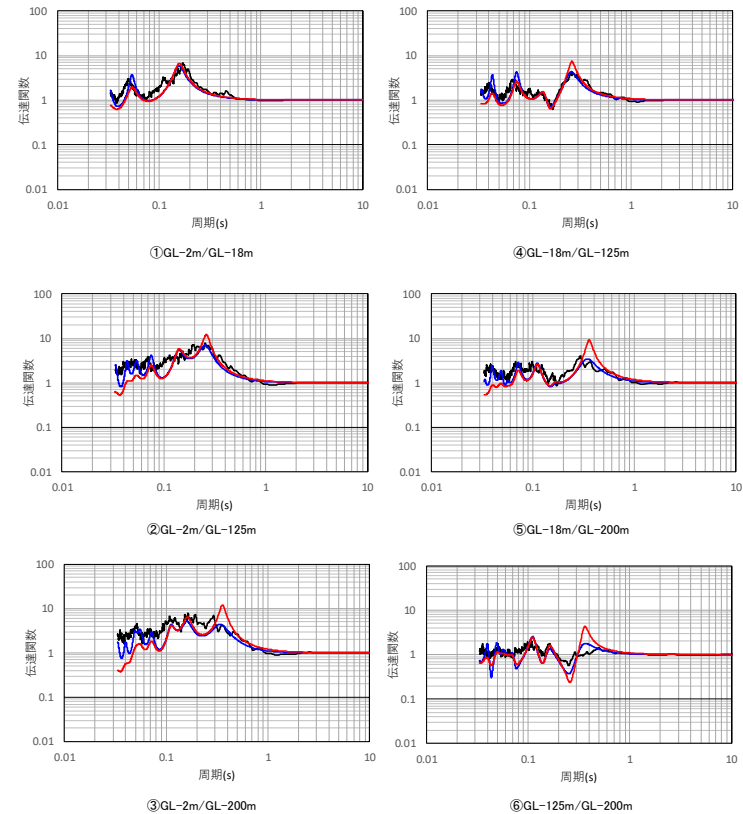
第 4.4.9-9 図 伝達関数による評価結果 (東側地盤観測点: 振動数依存性なし, 水平)

深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	P波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h
0	1	2	1.69	360	0.097
-2.00	2	6.33		370	
-8.33	3	6.4		390	
-14.73	4	3.27	1.72	970	0.081
-18.00	5	0.68			
-18.68	6	53.2	1.59	1880	0.070
-71.88	7	43.85		2060	
-115.73	8	9.27	1.82	2140	0.066
-125.00	9	34.31			
-159.31	10	40.69	1.90	2370	0.066
-200.00	11	—			

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

注) 上記表において解放基盤表面～建屋基礎底面相当レベルの岩盤部分に相当する部分は、当該深さのうち最も層厚が大きく支配的である層を代表して示している。なお、解放基盤表面付近のG.L.-115.73m～-125mの層を考慮した重みづけ平均による値についても、 $h=0.070$ となり、上記代表値と大きな差は無い。

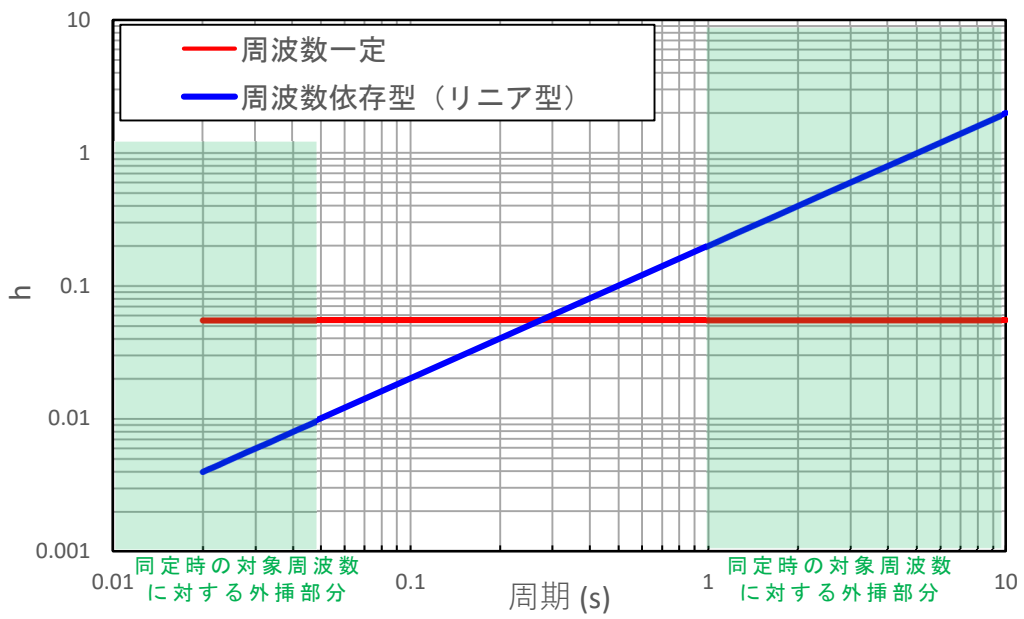
— 目的関数（観測記録の伝達関数を平均して作成）
— 周波数依存型（リニア型）
— 周波数依存なし



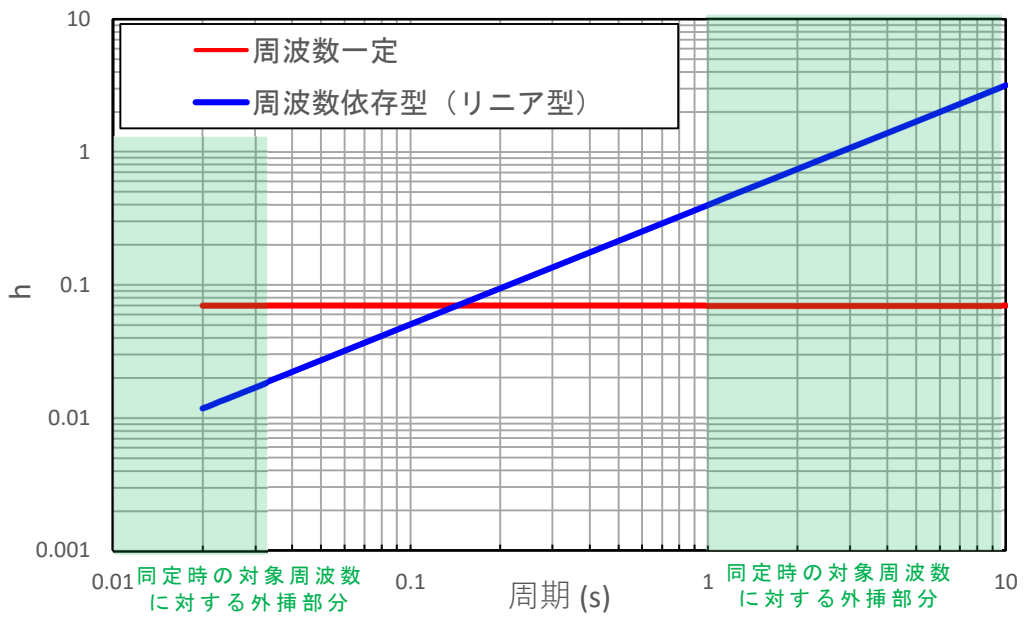
(a) 評価された物性値及び減衰定数

(b) 伝達関数適合状況

第 4.4.9-10 図 伝達関数の比較（東側地盤観測点：振動数依存性なし，鉛直）



第 4.4.9-11 図 減衰定数と周期の関係（東側地盤観測点，水平）



第 4.4.9-12 図 減衰定数と周期の関係（東側地盤観測点，鉛直）

b. 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）

「4.4.9 a.伝達関数による評価結果（振動数依存性なし）」において評価した減衰定数について、振動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差異が、入力地震動の算定結果に対してどのように影響するか、「4.4.8 b.応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性あり）」と同様の方法により、地震観測記録のシミュレーション結果の比較により確認する。

(1) 中央地盤観測点

中央地盤における振動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、振動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 4.4.9-13 図に示す。

中央地盤において、振動数依存性を考慮しない場合は、長周期成分において、振動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、減衰定数を振動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、振動数依存性を考慮した場合と比較して、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、概ねいずれの地震においても、振動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、振動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を上回ることを確認した。

これは、振動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 4.4.9-1 図及び第 4.4.9-2 図に示すとおり、振動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いることによるものと考えられる。

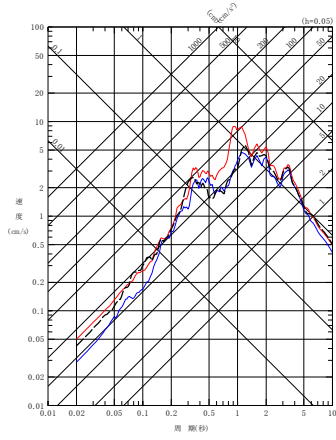
伝達関数は、地震波が有する周期成分ごとの地震動の大きさを直接示したフーリエスペクトルの比率により算定されるが、ある周期成分の地震動は、その周辺の周期帯にも応答として作用することになる。本評価において確認している応答スペクトルは、様々な周期成分をもつ地震動に対する応答の最大値を周期ごとにプロットしたものであることから、前述の同定結果における伝達関数の周期ごとの大小関係とは必ずしも一致しない。

地盤の応答解析において応答スペクトルを評価する際には、特に、地盤応答を評価する上で支配的な、振幅の大きい長周期側（地盤の 1 次及び 2 次の固有周期に該当）の地震波の増幅を大きく評価した場合、短周期側の応答スペクトルを大きく評価することになる。本評価においても、振動数依存性を考慮しない場合には地盤の 1 次及び 2 次固有周期における周期成分の地震動を地震観測記録に対して大きく評価した結果、全周期帯において大きな地震動を与える結果となったものとする。

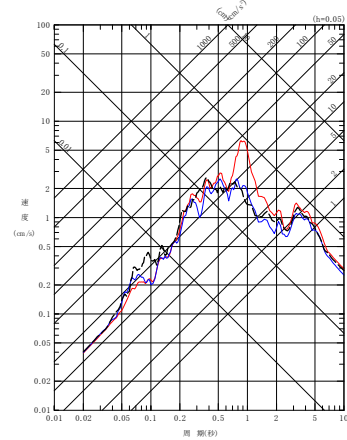
「参考2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「4. シミュレーション解析結果のフーリエスペクトル」に、本シミュレーション解析結果のフーリエスペクトルを示す。フーリエスペクトルは、減衰定数の大小関係と対応するように、短周期側の地震動成分は「周波数依存性あり（リニア型）」>「周波数依存性あり（バイリニア型）」>「周波数依存性なし」と、「周波数依存性なし」とした場合が最も小さくなっているが、長周期側（特に地盤の1次に相当する水平では0.5～1.0秒、鉛直では0.4秒付近の卓越）では、逆に「周波数依存性なし」が最も大きくなっている。

応答スペクトルについては、卓越する周期成分による応答が短周期成分の応答まで影響を与えるため、フーリエスペクトルに見られるような差は直接現れず、むしろ短周期側の応答も「周波数依存性なし」の方が大きくなっている。このような応答スペクトルの特性に加えて、フーリエスペクトルの短周期側の振幅レベルが、長周期側の振幅レベルに対して $10^2 \sim 10^3$ オーダーで小さくなっていることも、短周期側の応答が減衰定数の大小関係と一致しない要因となっている。

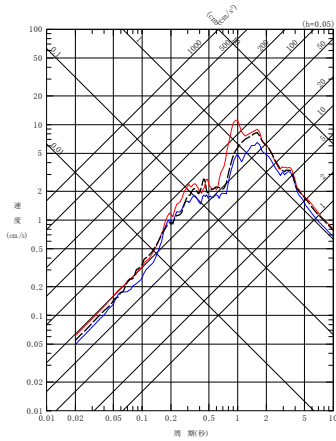
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



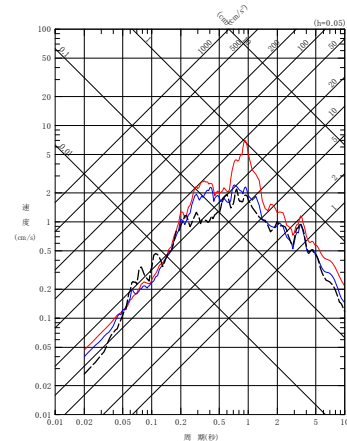
(a) NS 方向



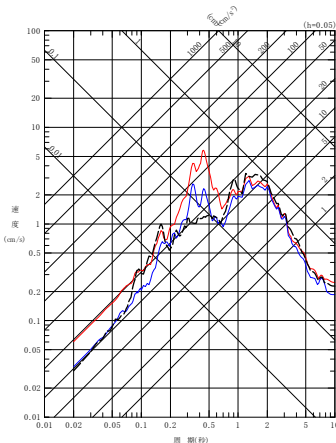
(a) NS 方向



(b) EW 方向

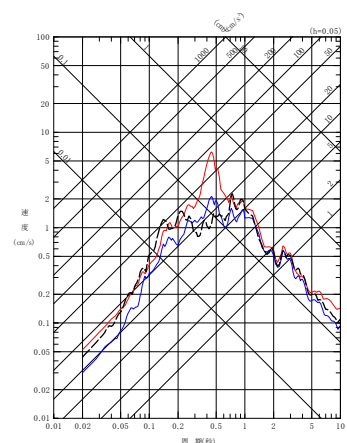


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200112022201 地震



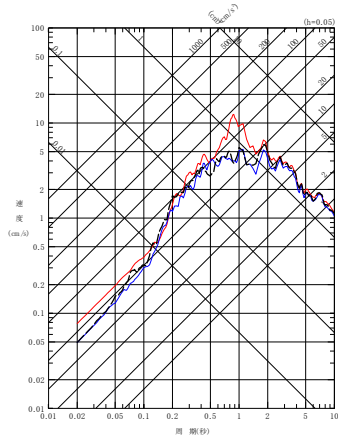
(c) UD 方向

(2) 200210142312 地震

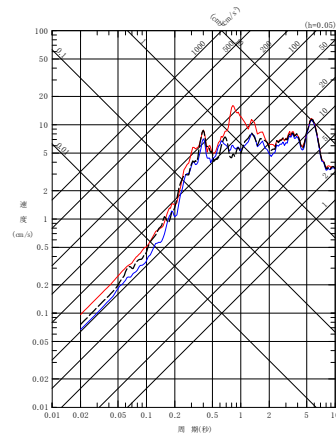
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (1/7)

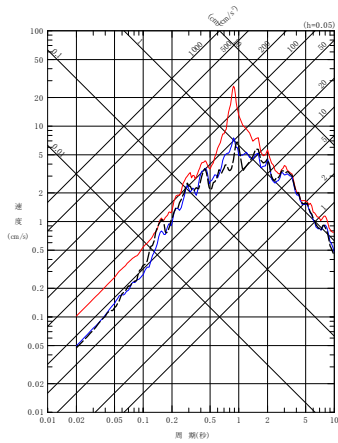
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



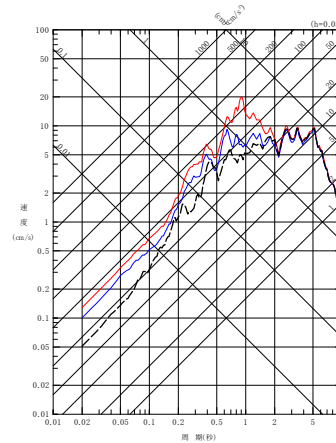
(a) NS 方向



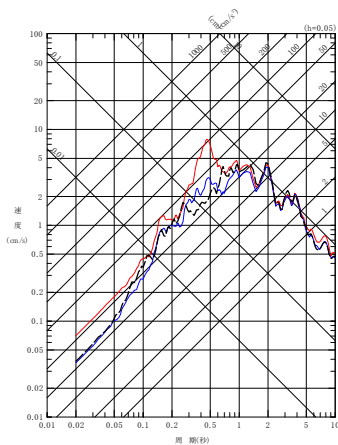
(a) NS 方向



(b) EW 方向

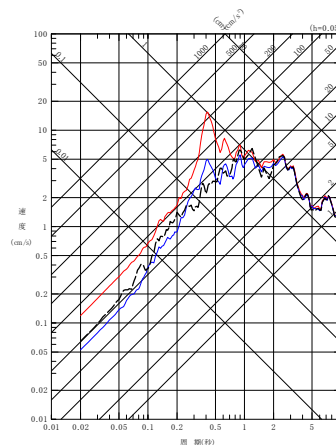


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 200305261824 地震



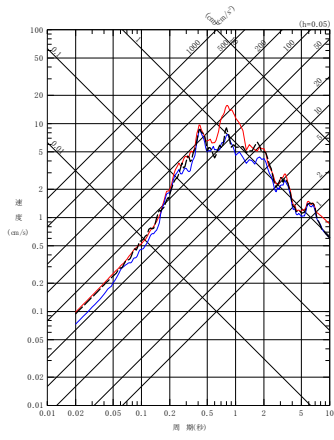
(c) UD 方向

(4) 200309260450 地震

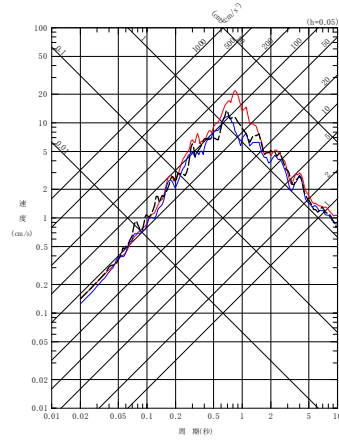
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (2/7)

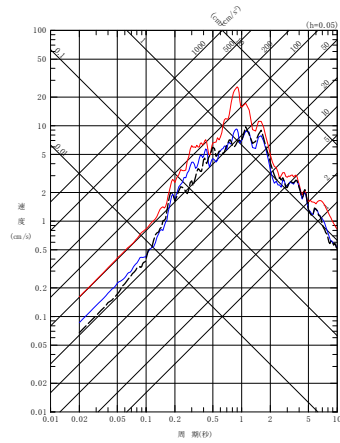
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



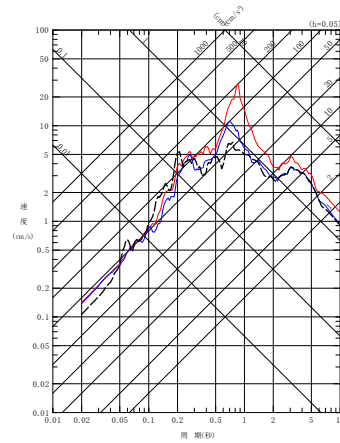
(a) NS 方向



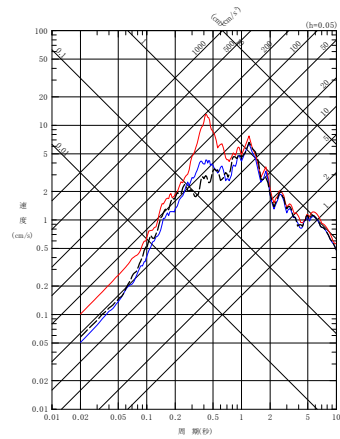
(a) NS 方向



(b) EW 方向

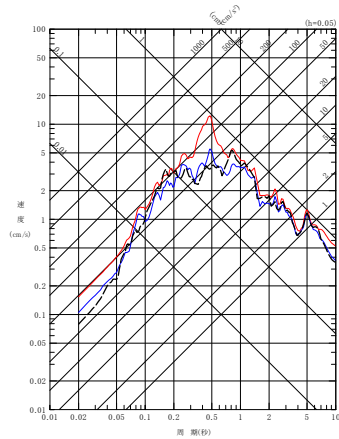


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 2009260608 地震



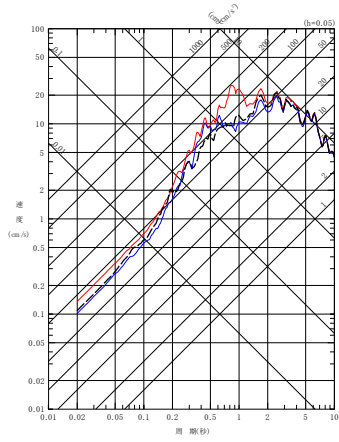
(c) UD 方向

(6) 200807240026 地震

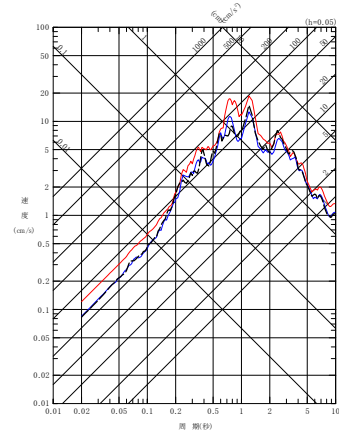
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (3/7)

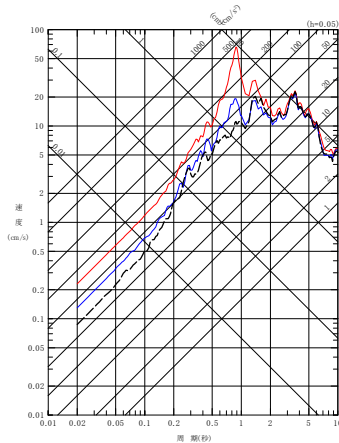
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



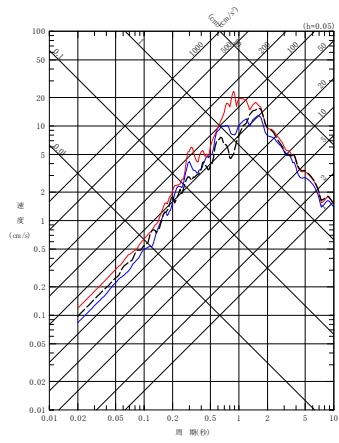
(a) NS 方向



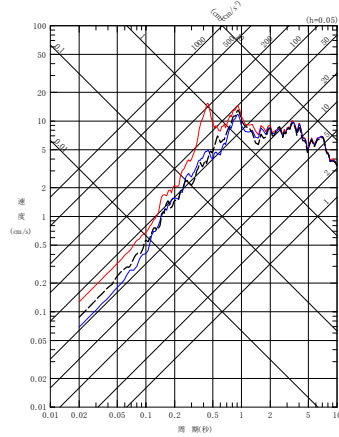
(a) NS 方向



(b) EW 方向

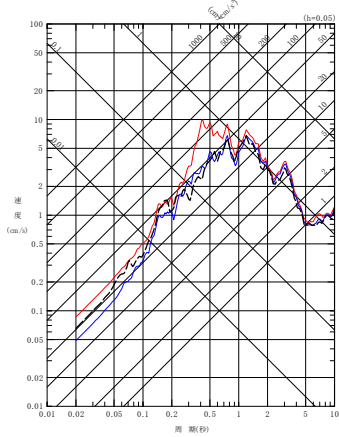


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201103111446 地震



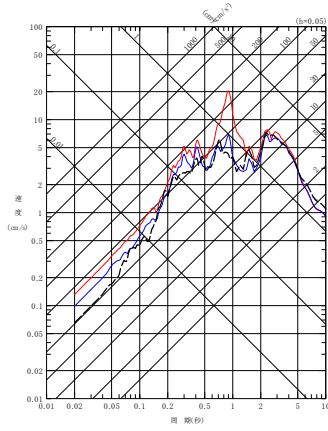
(c) UD 方向

(8) 201103111508 地震

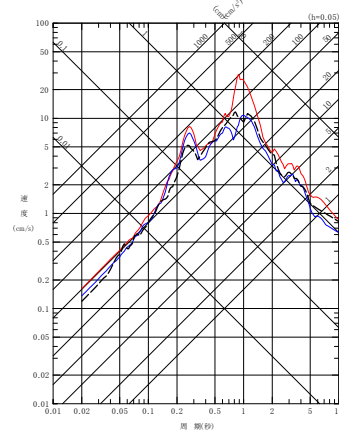
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (4/7)

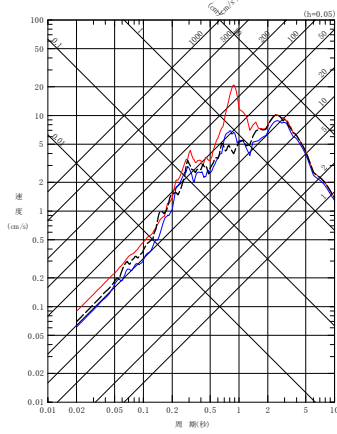
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



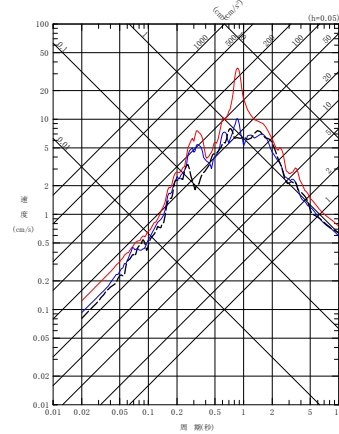
(a) NS 方向



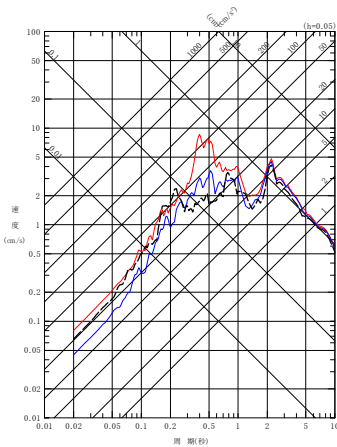
(a) NS 方向



(b) EW 方向

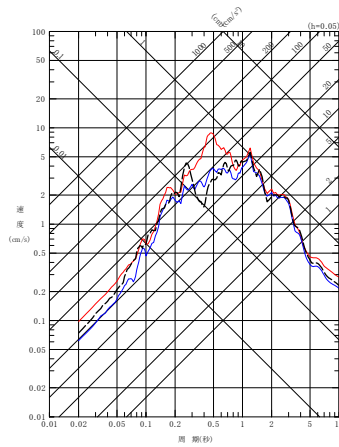


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201106230650 地震



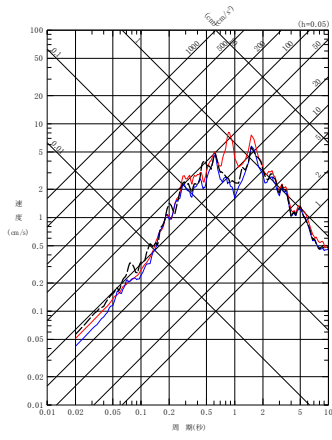
(c) UD 方向

(10) 201205240002 地震

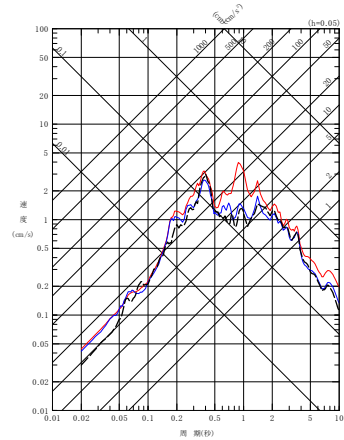
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (5/7)

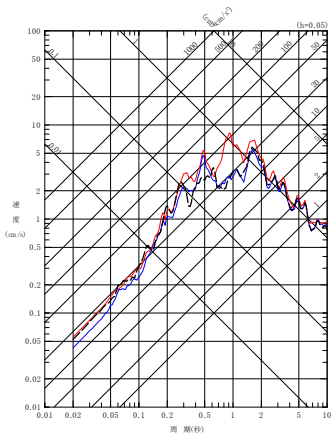
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



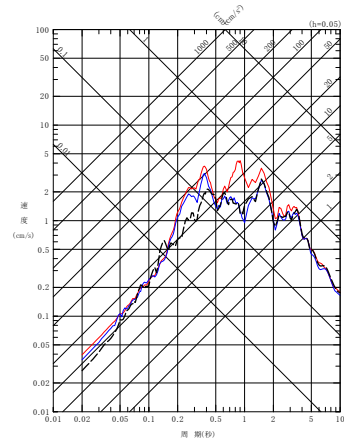
(a) NS 方向



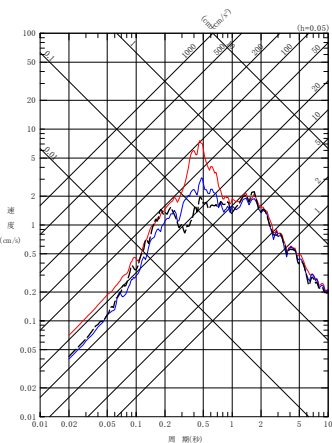
(a) NS 方向



(b) EW 方向

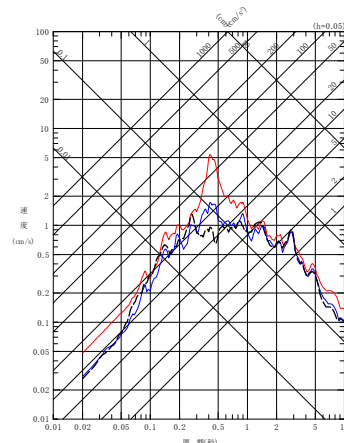


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 201212071718 地震



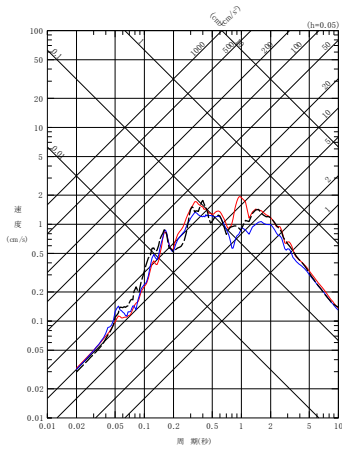
(c) UD 方向

(12) 201302022317 地震

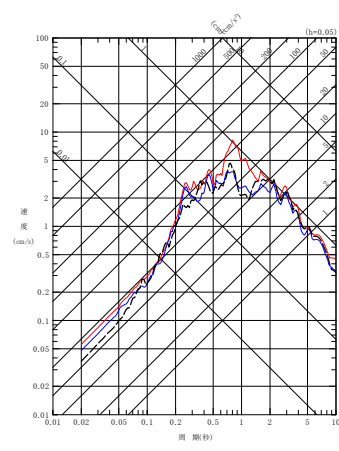
第 4.4.9-13 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

中央地盤観測点 (6/7)

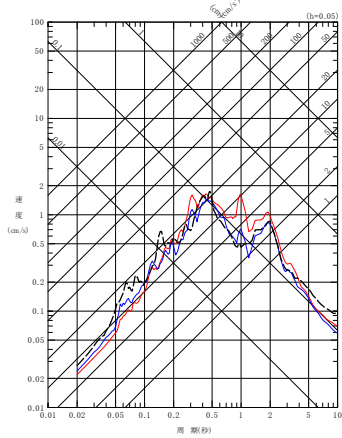
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



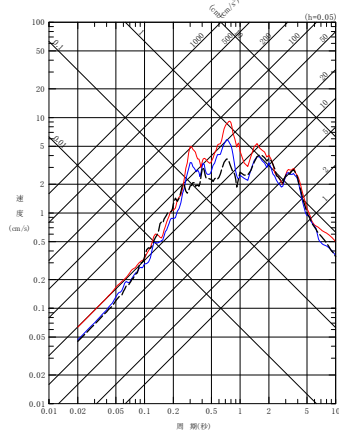
(a) NS 方向



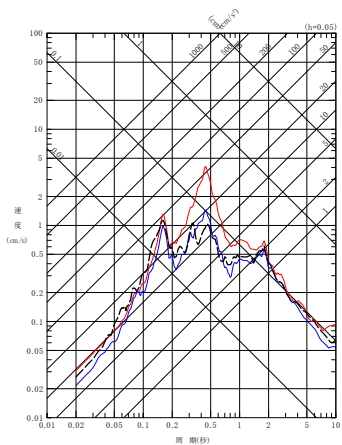
(a) NS 方向



(b) EW 方向

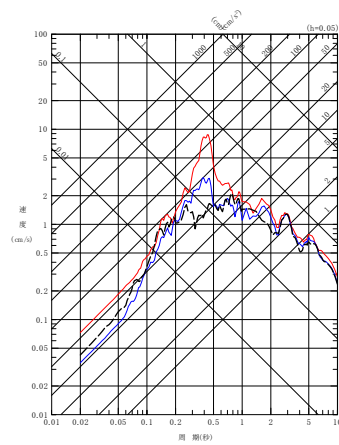


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(13) 201507100332 地震



(c) UD 方向

(14) 201601141225 地震

第 4.4.9-13 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)

(2) 西側地盤観測点

西側地盤における振動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、振動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 4.4.9-14 図に示す。

西側地盤において、振動数依存性を考慮しない場合は、長周期成分において、振動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、減衰定数を振動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、振動数依存性を考慮した場合と比較して、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、概ねいずれの地震においても、振動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、振動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を上回ることを確認した。

これは、振動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 4.4.9-5 図及び第 4.4.9-6 図における同定結果の伝達関数のグラフに示すとおり、振動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いることによるものと考えられる。

伝達関数は、地震波が有する周期成分ごとの地震動の大きさを直接示したフーリエスペクトルの比率により算定されるが、ある周期成分の地震動は、その周辺の周期帯にも応答として作用することになる。本評価において確認している応答スペクトルは、様々な周期成分をもつ地震動に対する応答の最大値を周期ごとにプロットしたものであることから、前述の同定結果における伝達関数の周期ごとの大小関係とは必ずしも一致しない。

地盤の応答解析において応答スペクトルを評価する際には、特に、地盤応答を評価する上で支配的な、振幅の大きい長周期側（地盤の 1 次及び 2 次の固有周期に該当）の地震波の増幅を大きく評価した場合、短周期側の応答スペクトルを大きく評価することになる。本評価においても、振動数依存性を考慮しない場合には地盤の 1 次及び 2 次固有周期における周期成分の地震動を地震観測記録に対して大きく評価した結果、全周期帯において大きな地震動を与える結果となったものと考えられる。

「参考2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「4. シミュレーション解析結果のフーリエスペクトル」に、本シミュレーション解析結果のフーリエスペクトルを示す。フーリエスペクトルは、減衰定数の大小関係と対応するように、短周期側の地震動成分は「周波数依存性あり（リニア型）」>「周波数依存性あり（バイリニア型）」>「周波数依存性なし」と、「周波数依存性なし」とした場合が最も小さくなっているが、長周期側（特に地盤の1次に相当する水平では0.5～1.0秒、鉛直では0.4秒付近の卓越）では、逆に「周波数依存性なし」が最も大きくなっている。

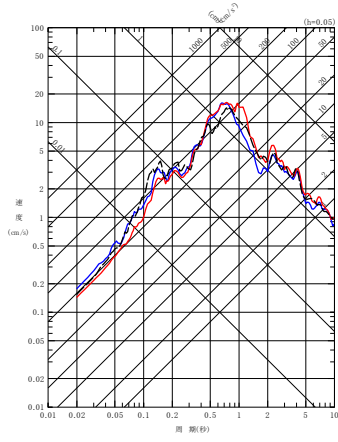
応答スペクトルについては、卓越する周期成分による応答が短周期成分の応答まで影響を与えるため、フーリエスペクトルに見られるような差は直接現れず、むしろ短周期側の応答も「周波数依存性なし」の方が大きくなっている。このような応答スペクトルの特性に加えて、フーリエスペクトルの短周期側の振幅レベルが、長周期側の振幅レベルに対して $10^2 \sim 10^3$ オーダーで小さくなっていることも、短周期側の応答が減衰定数の大小関係と一致しない要因となっている。

なお、一部の地震（(8)201408101243地震のNS,EW成分及び(10)201908151432地震のNS,EW成分）については、リニア型による同定結果に対し、一定減衰を考慮した同定結果に基づくシミュレーション結果が、周期0.2～0.3秒より短周期側の応答スペクトルを小さく評価する。

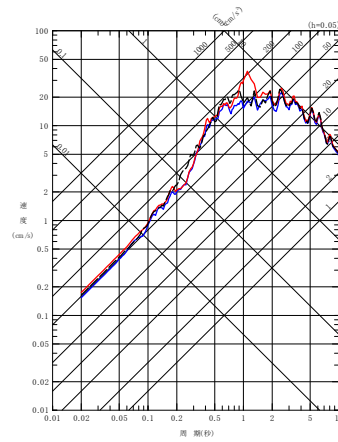
これは、第4.4.9-5図に示した同定結果において、上記周期で部分的にリニア型の同定結果を下回っており、さらに、これらの地震は、基準地震動 S_s において検討用地震として考慮する地震や、検討に用いたその他の地震と比較して地震規模が小さいため（(8)201408101243地震：M6.1、(10)201908151432地震：M5.5）、第4.4.9-15図に示す各地震のフーリエスペクトルのとおり、他地震と比較して長周期側の成分の地震動レベルが小さくなっていることから、上記に示した長周期側の地震動を大きく評価する効果が現れなかったことに起因すると考えられる。

ただし、伝達関数の山谷の周期に対しては、速度構造の同定結果による影響が支配的であり、減衰定数による影響が大きく表れる短周期側の地震動の大きさに対しては上記のとおり大きな地震動を与える傾向を示していることから、減衰定数の同定結果としては、適切なものとなっていると考えられる。

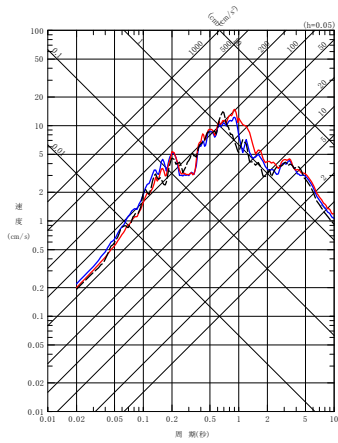
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



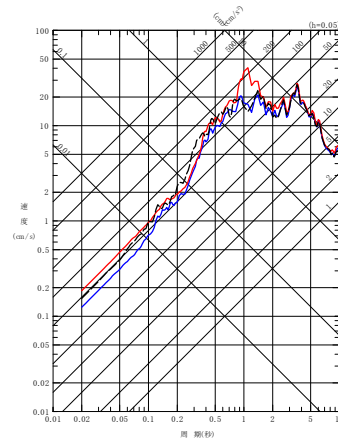
(a) NS 方向



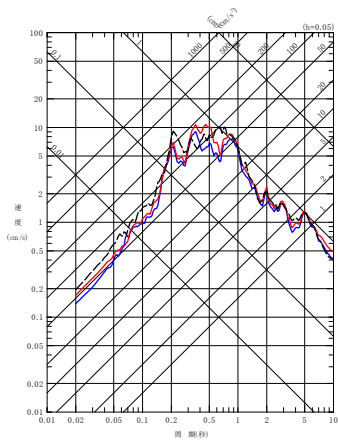
(a) NS 方向



(b) EW 方向

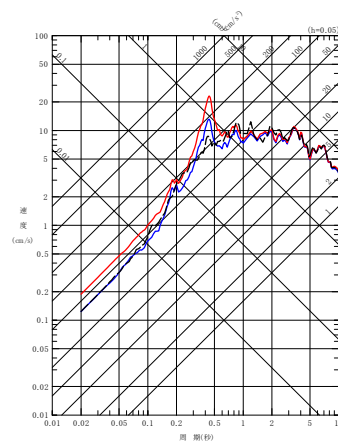


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



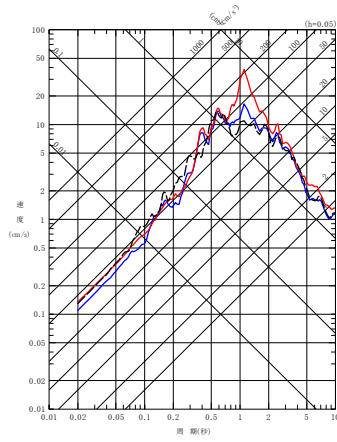
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

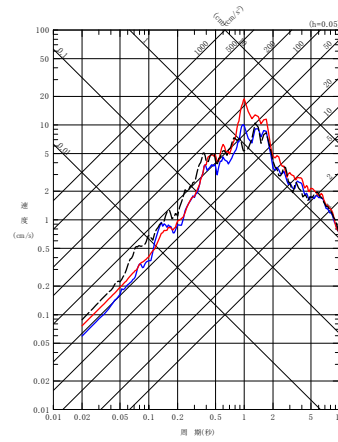
第 4.4.9-14 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (1/6)

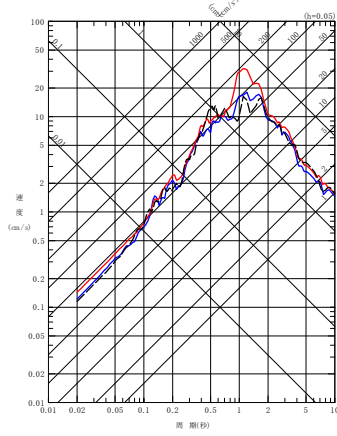
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 — 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 — 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



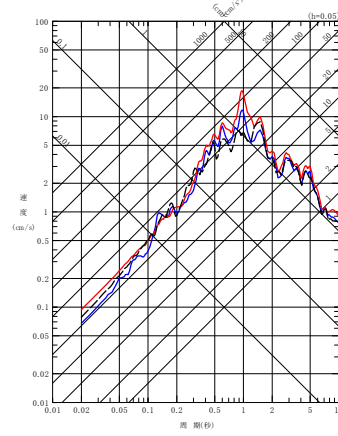
(a) NS 方向



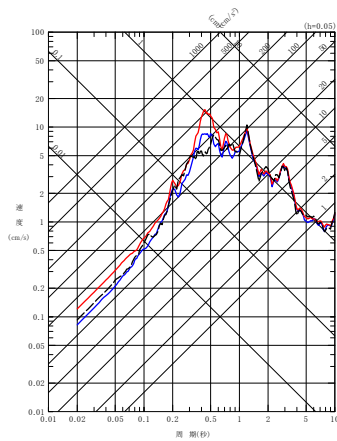
(a) NS 方向



(b) EW 方向

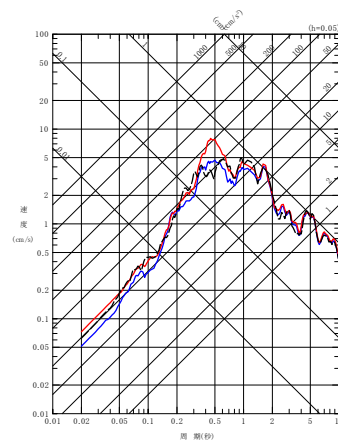


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508



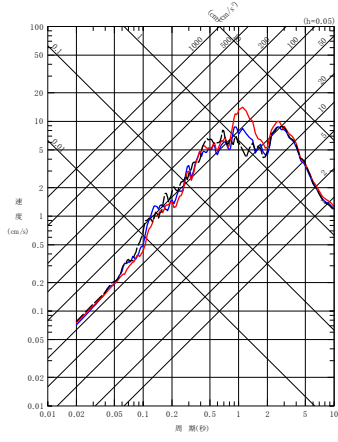
(c) UD 方向

(4) 201104072332 地震

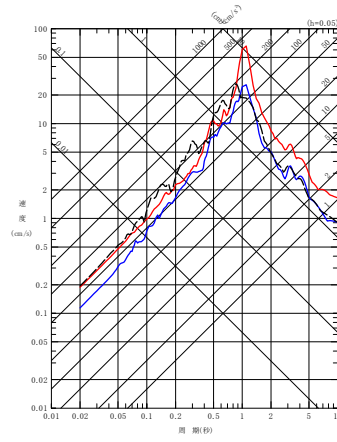
第 4.4.9-14 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (2/6)

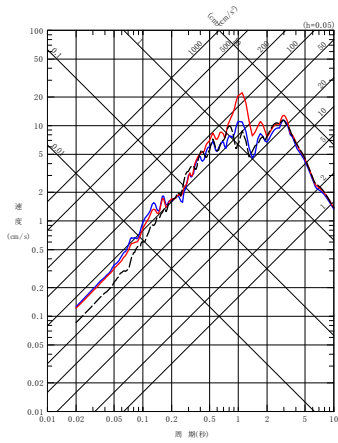
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



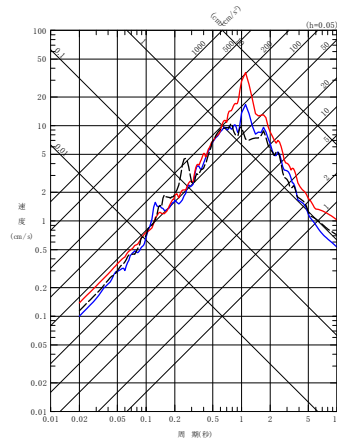
(a) NS 方向



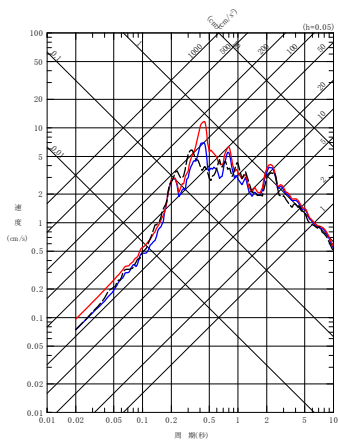
(a) NS 方向



(b) EW 方向

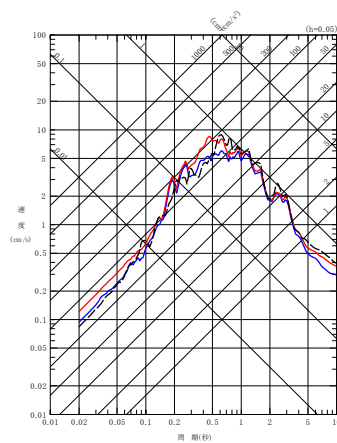


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



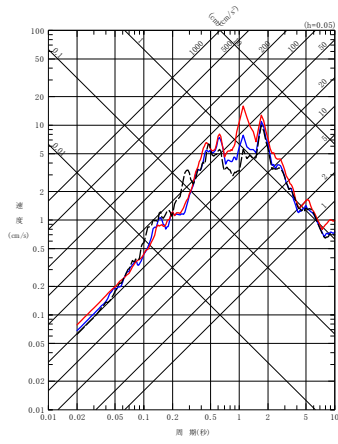
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

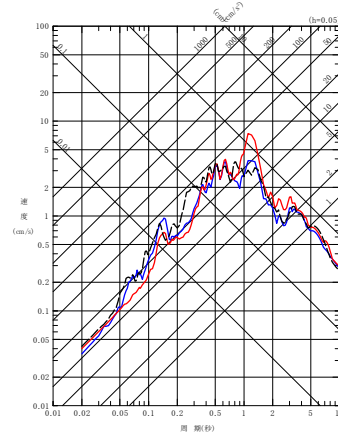
第 4.4.9-14 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (3/6)

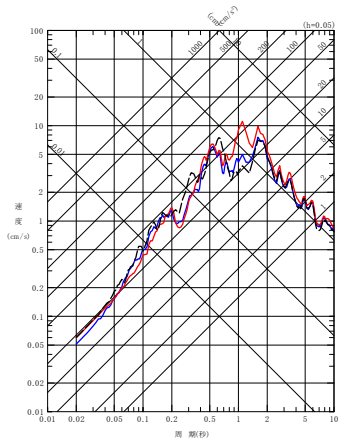
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



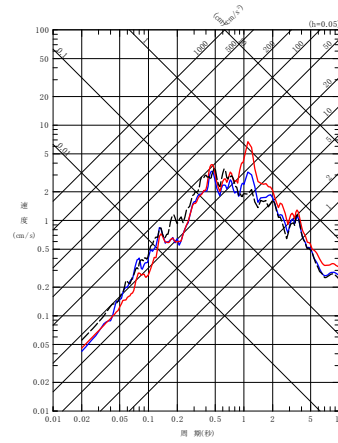
(a) NS 方向



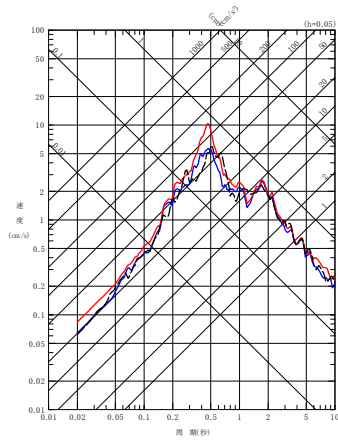
(a) NS 方向



(b) EW 方向

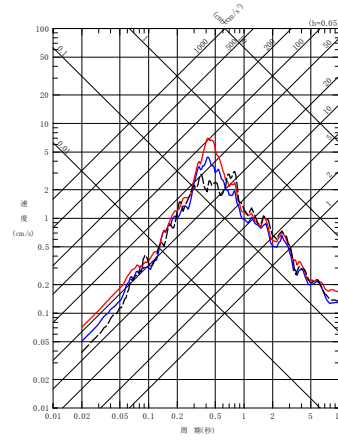


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



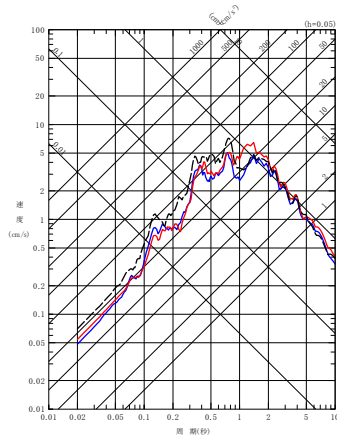
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

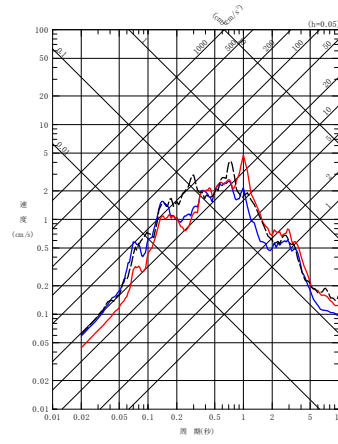
第 4.4.9-14 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (4/6)

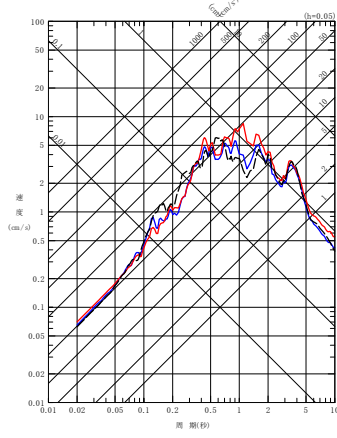
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



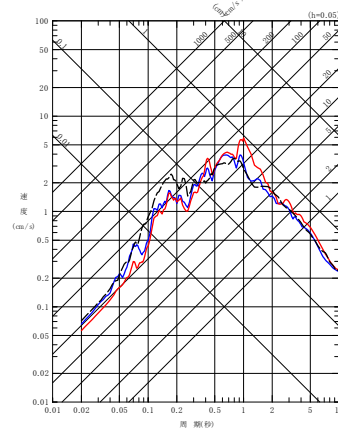
(a) NS 方向



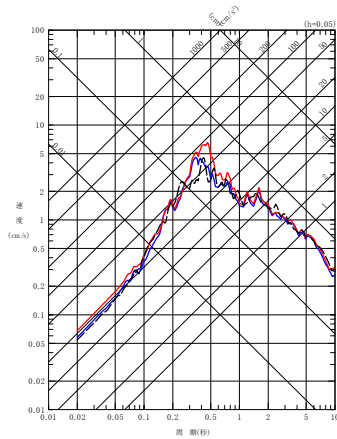
(a) NS 方向



(b) EW 方向

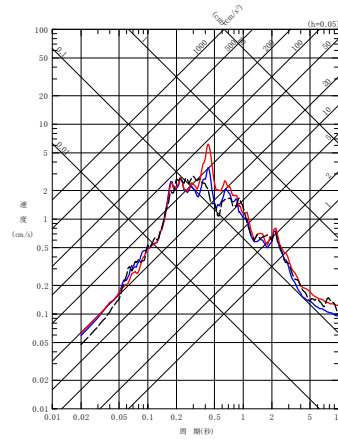


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



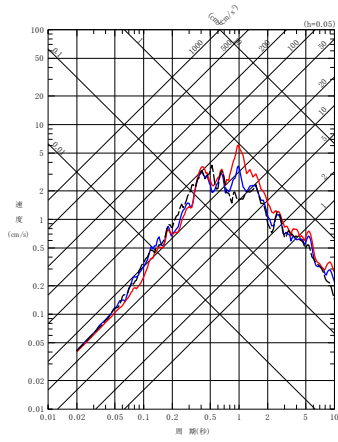
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

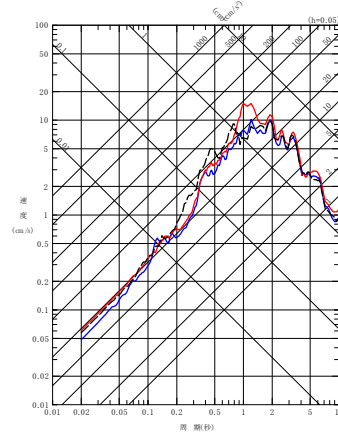
第 4.4.9-14 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (5/6)

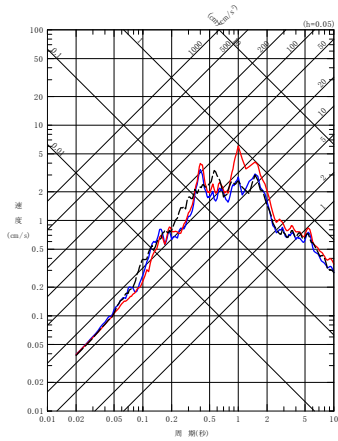
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



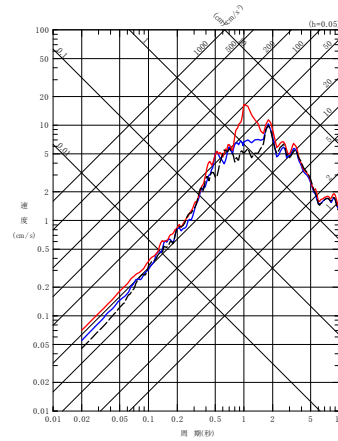
(a) NS 方向



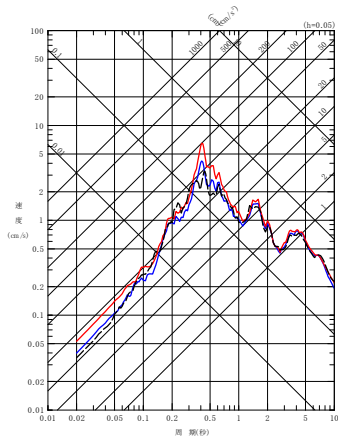
(a) NS 方向



(b) EW 方向

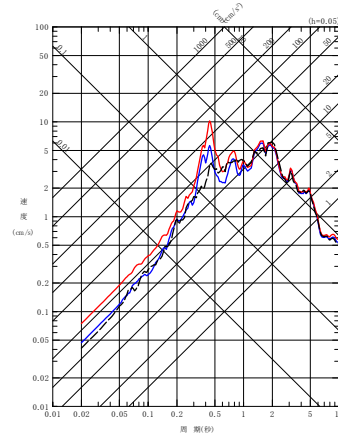


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震

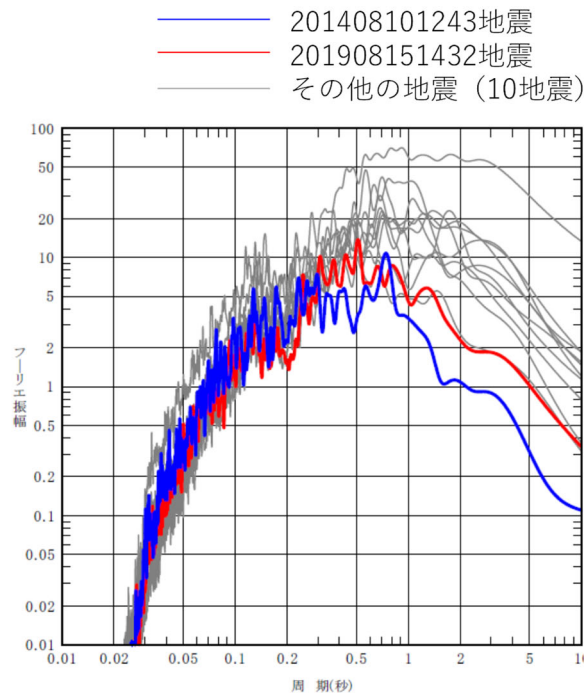


(c) UD 方向

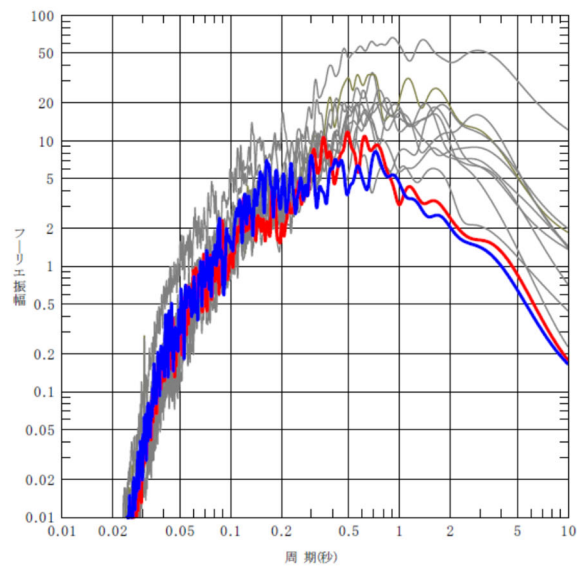
(12) 202203162336

第 4.4.9-14 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

西側地盤観測点 (6/6)



(NS成分)



(EW成分)

第 4.4.9-15 図 検討に用いた地震観測記録のフーリエスペクトル
(西側地盤, GL-18m, Parzen ウィンドウ 0.2Hz)

(3) 東側地盤観測点

東側地盤における振動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、振動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 4.4.9-16 図に示す。

東側地盤において、振動数依存性を考慮しない場合は、長周期成分において、振動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、減衰定数を振動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、振動数依存性を考慮した場合と比較して、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、概ねいずれの地震においても、振動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、振動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を上回ることを確認した。

これは、振動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 4.4.9-9 図及び第 4.4.9-10 図における同定結果の伝達関数のグラフに示すとおり、振動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いることによるものと考えられる。

伝達関数は、地震波が有する周期成分ごとの地震動の大きさを直接示したフーリエスペクトルの比率により算定されるが、ある周期成分の地震動は、その周辺の周期帯にも応答として作用することになる。本評価において確認している応答スペクトルは、様々な周期成分をもつ地震動に対する応答の最大値を周期ごとにプロットしたものであることから、前述の同定結果における伝達関数の周期ごとの大小関係とは必ずしも一致しない。

地盤の応答解析において応答スペクトルを評価する際には、特に、地盤応答を評価する上で支配的な、振幅の大きい長周期側（地盤の 1 次及び 2 次の固有周期に該当）の地震波の増幅を大きく評価した場合、短周期側の応答スペクトルを大きく評価することになる。本評価においても、振動数依存性を考慮しない場合には地盤の 1 次及び 2 次固有周期における周期成分の地震動を地震観測記録に対して大きく評価した結果、全周期帯において大きな地震動を与える結果となったものとする。

「参考2 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価に関する補足検討結果」の「4. シミュレーション解析結果のフーリエスペクトル」に、本シミュレーション解析結果のフーリエスペクトルを示す。フーリエスペクトルは、減衰定数の大小関係と対応するように、短周期側の地震動成分は「周波数依存性あり（リニア型）」>「周波数依存性あり（バイリニア型）」>「周波数依存性なし」と、「周波数依存性なし」とした場合が最も小さくなっているが、長周期側（特に地盤の1次に相当する水平では0.5～1.0秒、鉛直では0.4秒付近の卓越）では、逆に「周波数依存性なし」が最も大きくなっている。

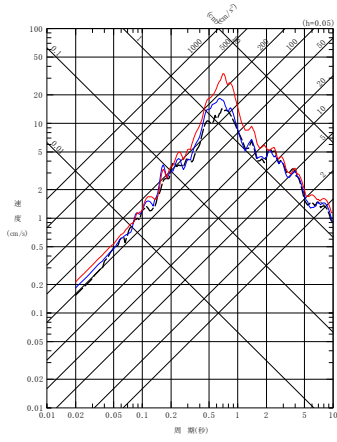
応答スペクトルについては、卓越する周期成分による応答が短周期成分の応答まで影響を与えるため、フーリエスペクトルに見られるような差は直接現れず、むしろ短周期側の応答も「周波数依存性なし」の方が大きくなっている。このような応答スペクトルの特性に加えて、フーリエスペクトルの短周期側の振幅レベルが、長周期側の振幅レベルに対して $10^2\sim 10^3$ オーダーで小さくなっていることも、短周期側の応答が減衰定数の大小関係と一致しない要因となっている。

なお、一部の地震（(8)201408101243地震のNS,EW成分及び(10)201908151432地震のNS成分）については、リニア型による同定結果に対し、一定減衰を考慮した同定結果に基づくシミュレーション結果が、周期0.2～0.3秒より短周期側の応答スペクトルを小さく評価する。

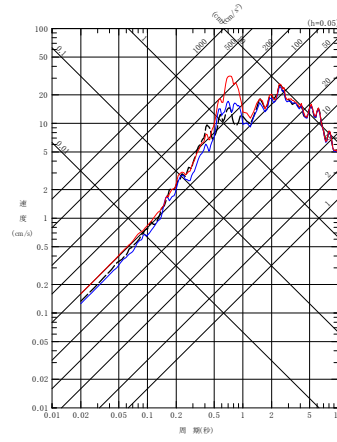
これは、第4.4.9-9図に示した同定結果において、上記周期で部分的にリニア型の同定結果を下回っており、さらに、これらの地震は、基準地震動 S_s において検討用地震として考慮する地震や、検討に用いたその他の地震と比較して地震規模が小さいため（(8)201408101243地震：M6.1、(10)201908151432地震：M5.5）、第4.4.9-17図に示す各地震のフーリエスペクトルのとおり、他地震と比較して長周期側の成分の地震動レベルが小さくなっていることから、上記に示した長周期側の地震動を大きく評価する効果が現れなかったことに起因すると考えられる。

ただし、伝達関数の山谷の周期に対しては、速度構造の同定結果による影響が支配的であり、減衰定数による影響が大きく表れる短周期側の地震動の大きさに対しては上記のとおり大きな地震動を与える傾向を示していることから、減衰定数の同定結果としては、適切なものとなっていると考えられる。

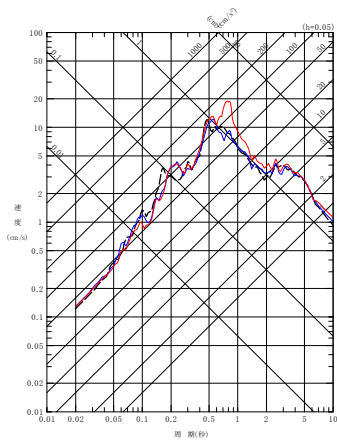
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



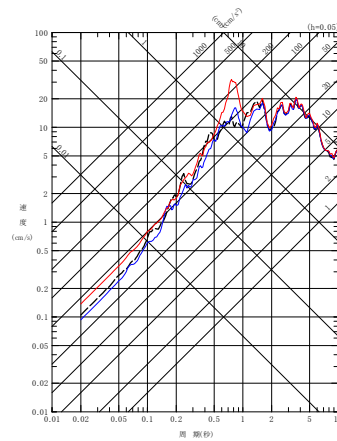
(a) NS 方向



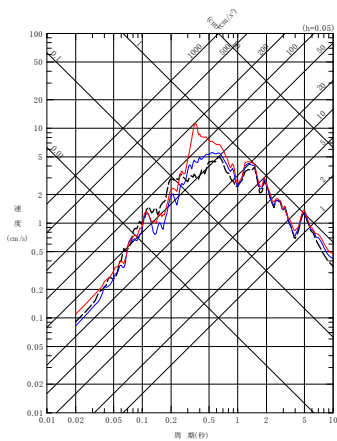
(a) NS 方向



(b) EW 方向

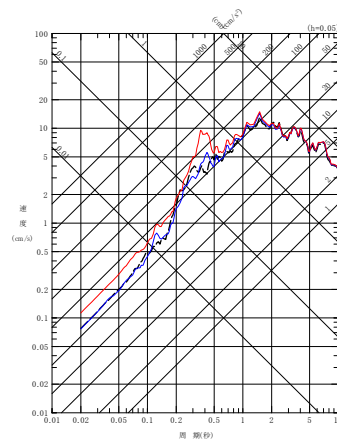


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(1) 200807240026 地震



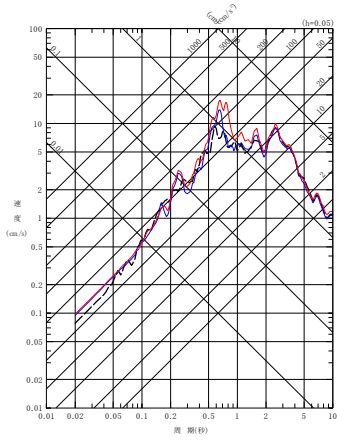
(c) UD 方向

(2) 201103111446 地震

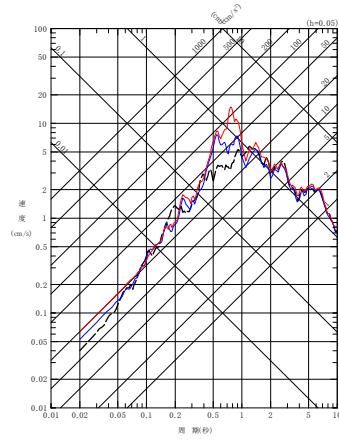
第 4.4.9-16 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (1/6)

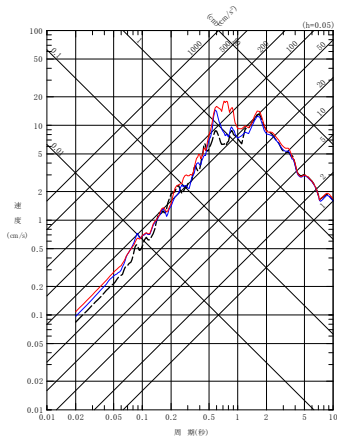
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



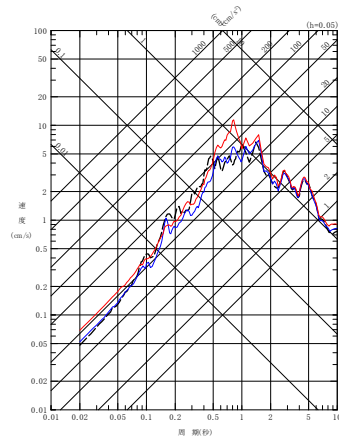
(a) NS 方向



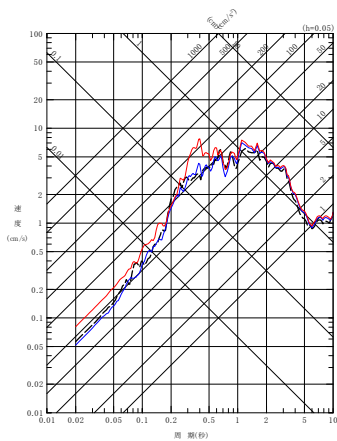
(a) NS 方向



(b) EW 方向

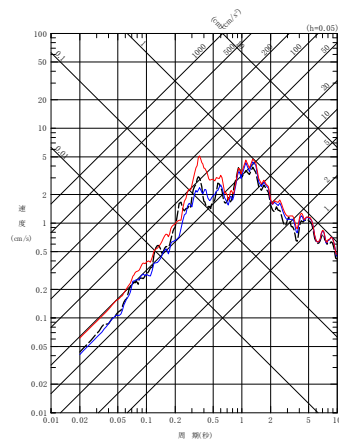


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(3) 201103111508 地震

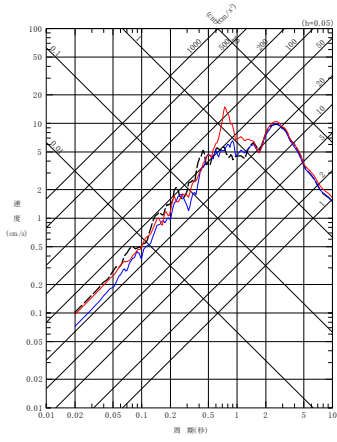


(c) UD 方向

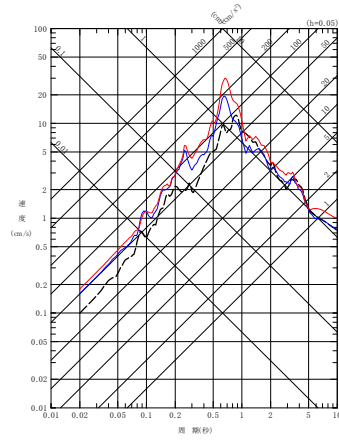
(4) 201104072332 地震

第 4.4.9-16 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果
 東側地盤観測点 (2/6)

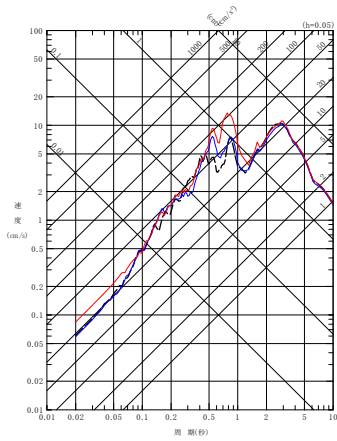
- - - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 ———— 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 ———— 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



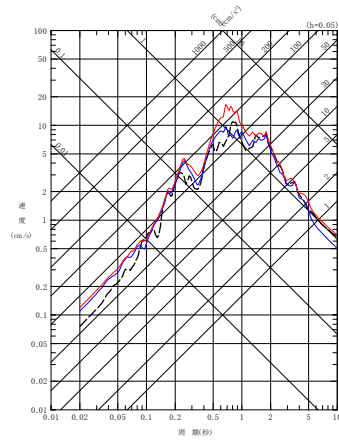
(a) NS 方向



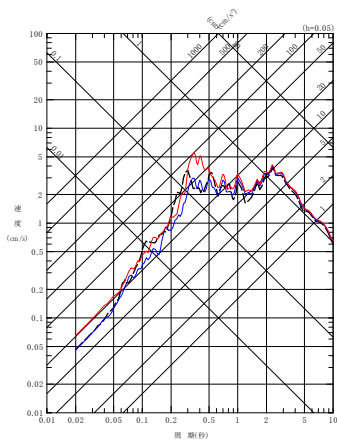
(a) NS 方向



(b) EW 方向

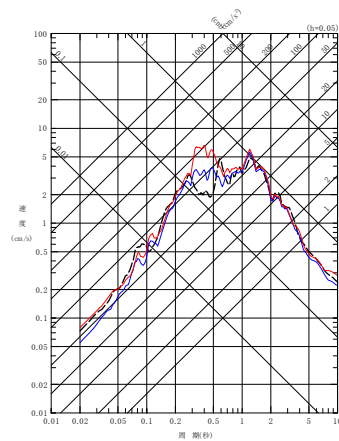


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(5) 201106230650 地震



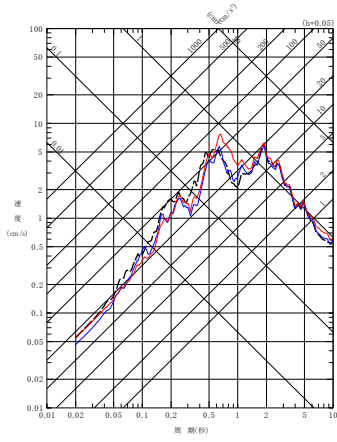
(c) UD 方向

(6) 201205240002 地震

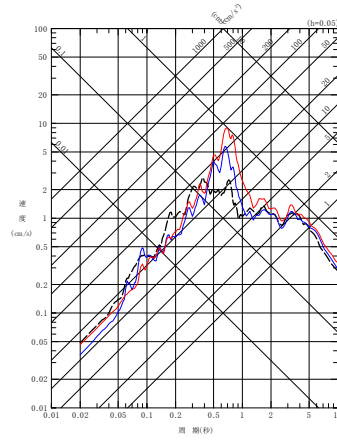
第 4.4.9-16 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (3/6)

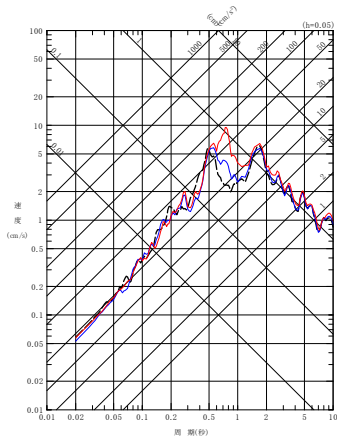
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 - - - 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 - - - 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



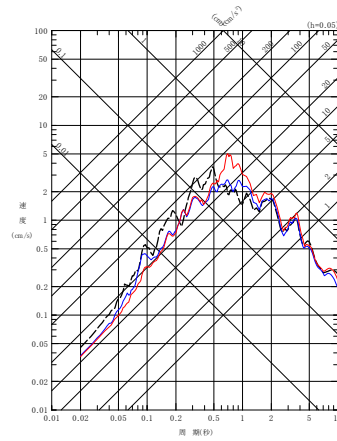
(a) NS 方向



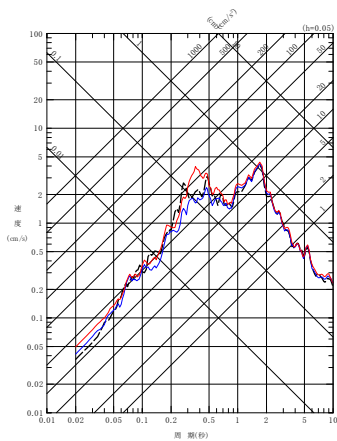
(a) NS 方向



(b) EW 方向

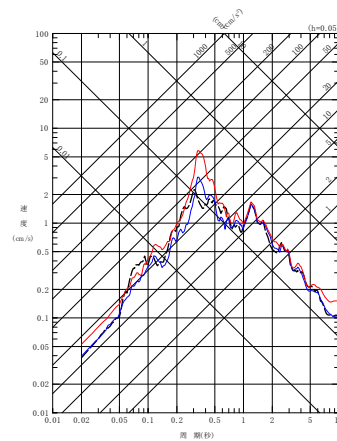


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(7) 201212071718 地震



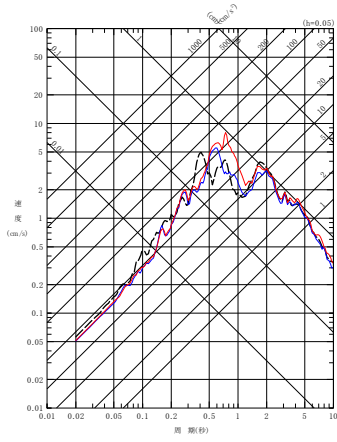
(c) UD 方向

(8) 201408101243 地震

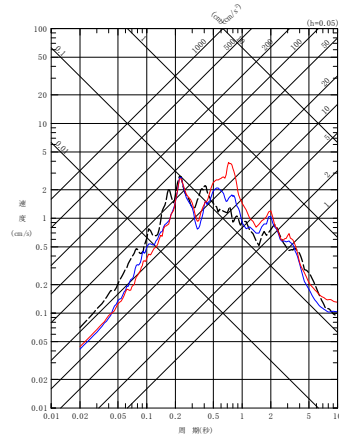
第 4.4.9-16 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (4/6)

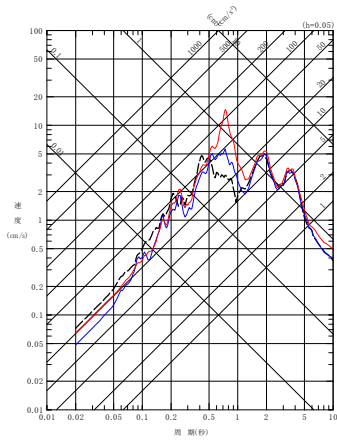
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (リニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



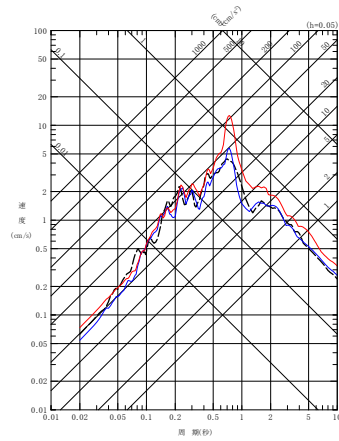
(a) NS 方向



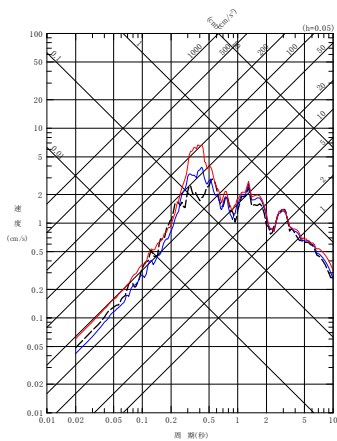
(a) NS 方向



(b) EW 方向

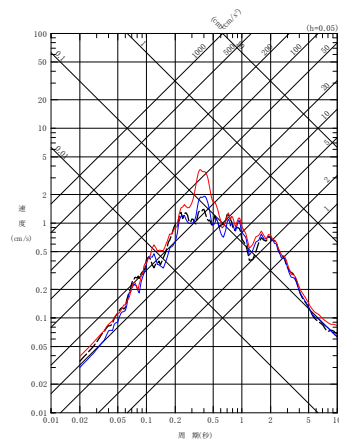


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(9) 201601141225 地震



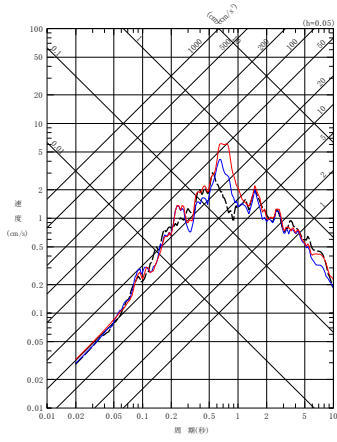
(c) UD 方向

(10) 201908151432 地震

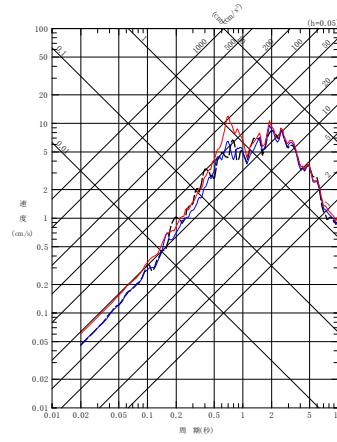
第 4.4.9-16 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (5/6)

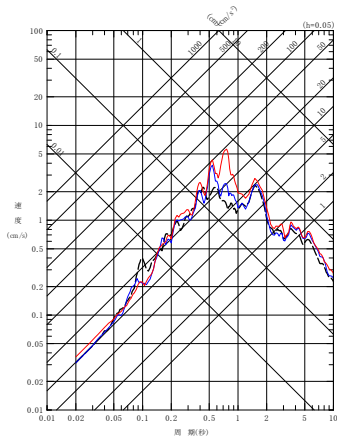
- - - 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録
 〓 周波数依存型 (1)ニア型) の減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答
 〓 周波数依存なしの減衰定数を用いたGL-18mの地盤応答



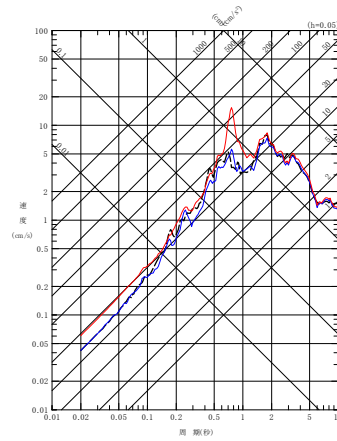
(a) NS 方向



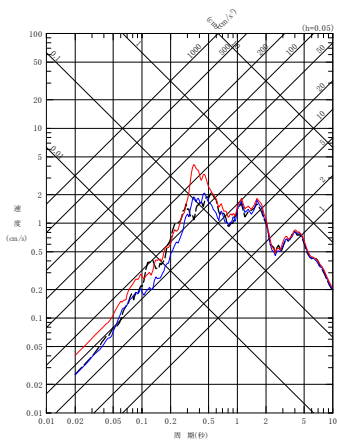
(a) NS 方向



(b) EW 方向

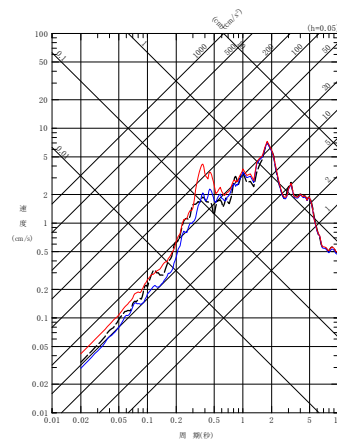


(b) EW 方向



(c) UD 方向

(11) 202012210223 地震

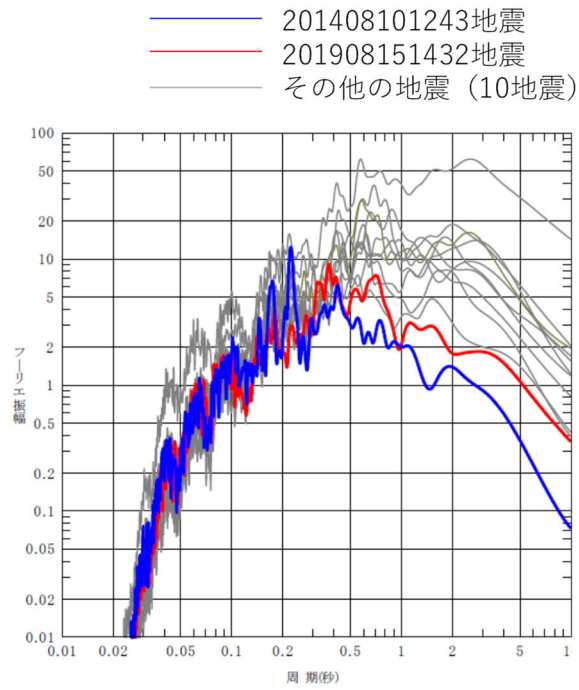


(c) UD 方向

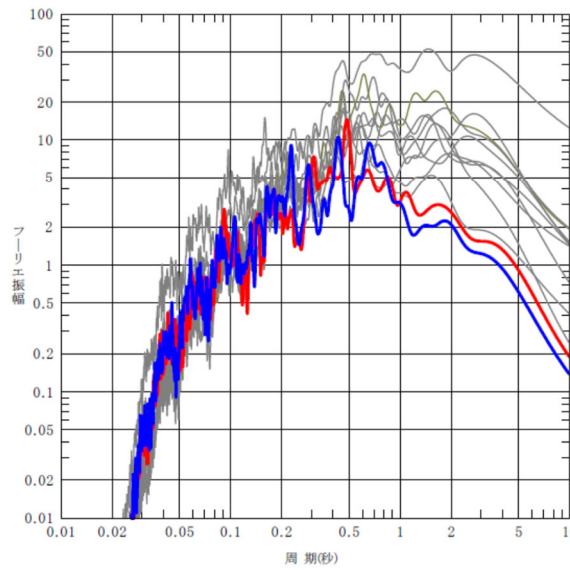
(12) 202203162336 地震

第 4.4.9-16 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

東側地盤観測点 (6/6)



(NS成分)



(EW成分)

第 4.4.9-17 図 検討に用いた地震観測記録のフーリエスペクトル
(東側地盤, GL-18m, Parzen ウィンドウ 0.2Hz)

4.5 地震波干渉法による検討

4.5.1 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。本手法により得られた減衰定数は、地表の地震観測点と地中の地震観測点間の平均的な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（GL-2m）を基準点としたときの解放基盤表面深さ（GL-125m）のデコンボリューション波形において、後述の第4.5.2-3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した。

4.5.2 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。

なお、評価に用いる地震観測記録については、「4.4 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」にて用いた地震観測装置と同じ装置による記録を用いており、信頼性が確保されたものを用いている。

まず、母集団として、第 4.5.2-1 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 (GL-2m) と解放基盤表面レベル (GL-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様ではないため、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 4.5.2-1 表に示すとおり、Anderson(2004)は、GOF の値に応じた適合度を第 4.5.2-1 表のように設定している。第 4.5.2-1 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 4.5.2-2 図に、各地震について、地表面の地震観測深さ (GL-2m) を基準点としたときの、解放基盤表面深さ (GL-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。

中央地盤において作成したスタッキング波形を第4.5.2-3図に示す。第4.5.2-3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、「4.5.1 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。

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、第4.5.2-4図に示すとおりGOFが8以上となる地震が中央地盤と比較して少数となっている。

地震波干渉法については、上部の層による重複反射の影響が小さい、地表における地震観測記録を基準としてデコンボリューション波形を算定する必要があるが、表層地盤における波形が、単純な入射と反射の現象とは異なる傾向を示す地震観測記録を用いる場合には、安定したデコンボリューション波形の算定が困難であることから、東側地盤及び西側地盤における地震観測記録を地震波干渉法に用いることはできないと判断した。

西側地盤及び東側地盤について、この要因の分析を以下のとおり実施した。

(a) 西側地盤

第 4.5.2-5 図 (b) に、地震波干渉法に用いる地震のうち、解放基盤表面 (G. L. -125m) 深さにおける最大速度が大きい 10 地震を代表として西側地盤における速度時刻歴波形を示す。同図 (a) に示すとおり、中央地盤については、最深部の GL-200m から、最浅部の GL-2m まで、概ね時刻歴波形がその経時特性を保ったまま伝播している傾向がみられる。

一方、同図 (b) に示す西側地盤については、岩盤部分の地震観測深さである GL-125m 及び GL-200m と比較して、表層地盤の地震観測深さである GL-2m 及び GL-18m においては、主要動終了後に後続波が確認でき、表層地盤と岩盤部分で異なる経時特性の傾向を示している。

次に、このような傾向がみられることの要因を、地震観測位置における地下構造の状況を踏まえて考察した。

第 4.5.2-6 図 (1/2) に示す各地震観測点の地質構造及び PS 検層結果によれば、中央地盤については、表層地盤に該当する六ヶ所層及び高位段丘堆積層の層厚は数 m 程度と薄く、岩盤である鷹架層中部層との速度のコントラストも小さいものとなっている。

一方で、西側地盤については、地震観測位置において表層地盤が層厚約 30m 程度に厚く分布している。

さらに、西側地盤特有の傾向として、表層地盤を構成する砂子又層上部層及び砂子又下部層の境界で大きなコントラストを有する速度構造となっている。

また、第 4.5.2-6 図 (2/2) (b) に示したとおり、同定解析における初期モデルの作成時に参照した地震計設置位置における地下構造によれば、岩盤部分 (泥岩 (上部層)) と表層地盤 (砂子又層下部層) の境界面では、北西側に向かって深くなる傾斜を有している。

このことから、西側地盤については、岩盤部分を上昇した地震波が、地表において反射し、その下降波が、地震観測点において表層地盤中の速度コントラストを有する境界面及び岩盤部分と表層地盤部分の境界面で再度反射して上昇波となることで表層地盤内で重複反射を繰り返す傾向となり、さらに、岩盤部分と表層地盤部分の境界面における傾斜の影響によりその経時特性が複雑なものとなったために、表

層地盤中の地震観測点における後続波が現れ、岩盤部分と表層地盤部分の経時特性が異なるものとなったと考えられる。

なお、上記の経時特性の特徴は、本地震観測地点が建屋位置よりも西側に位置し、岩盤部分（泥岩（上部層））と表層地盤（砂子又層下部層）の境界面に傾斜が見られる地点であることに起因するものであり、第 4.5.2-6 図(2/2)(b)に示すとおり、建物・構築物の位置する地点においては岩盤（泥岩（上部層））が基礎底面レベルまで達しており、上記のような傾斜構造は有しないことから、本地震観測地点特有のものである。

また、本後続波が、地表の地震観測点固有の地震観測装置または周辺の振動源に起因するノイズではないことを確認するために、「3.3 敷地における減衰定数の評価方法」に示した追加調査として、同地震観測点における常時微動観測記録のデータを取得し、その確認を行った。常時微動観測は、2023年8月27日～2023年9月2日までの7日間、各地震観測深さにおけるデータを取得した。

常時微動観測記録のパワースペクトルを算定し、地震波干渉法に用いた地震との比較を行った結果を第 4.5.2-7 図(b)に示す。敷地に設置している地震観測装置については、定時校正が行われており、装置の異常は確認されていないこと、また、得られた常時微動観測記録には、地震波干渉法に用いる GL-2m 及び GL-125m のいずれの深さにおいても、その大きさは地震波干渉法に用いる地震と比較して十分に小さく、地震観測記録を本解析に用いる上で特異な傾向が無いことが確認できた。

このことから、西側地盤における地表の地震観測記録に、後続波が顕著に表れた要因としては、敷地内の常時微動による影響は無く、上記のとおり、地震観測位置における地下構造による影響であると考えられる。

以上のことから、西側地盤における地震波干渉法の適用については、その手法における前提条件を踏まえると、本地震観測地点における地盤条件及び地震観測記録を用いての評価を行うことは困難であると判断した。

(b) 東側地盤

第 4.5.2-5 図 (c) に、地震波干渉法に用いる地震のうち、解放基盤表面 (G. L. -125m) 深さにおける最大速度が大きい 10 地震を代表として東側地盤における速度時刻歴波形を示す。同図 (a) に示すとおり、中央地盤については、最深部の GL-200m から、最浅部の GL-2m まで、概ね時刻歴波形がその経時特性を保ったまま伝播している傾向がみられる。

一方、同図 (c) に示す東側地盤については、最深部の GL-200m と比較して、主要動終了後、後続波が明瞭に確認できる。この後続波は、岩盤部分を上昇した地震波が、地表において反射し、その下降波が、地震観測点において岩盤部分と表層地盤部分の境界である GL-18m で再度反射して上昇波となり、表層地盤内で重複反射を繰り返す傾向となったためであると考えられる。

次に、このような傾向がみられることの要因を、地震観測位置における地下構造の状況を踏まえて考察した。

第 4.5.2-6 図 (1/2) 及び第 4.5.2-6 図 (2/2) (c) に示す各地震観測点の地質構造及び PS 検層結果によれば、中央地盤については、表層地盤に該当する六ヶ所層及び高位段丘堆積層の層厚は数 m 程度と薄く、岩盤である鷹架層中部層との速度のコントラストも小さいものとなっている。

一方で、東側地盤については、西側地盤と同様に表層地盤が厚く分布している傾向にあり、地震観測位置において盛土が層厚約 20m 程度に厚く分布しており、さらに、東側地盤特有の傾向として、岩盤である鷹架層中部層との速度のコントラストが中央・西側地盤と比較して大きくなっている。

このことから、東側地盤については、中央地盤においてはほぼ見られない、表層地盤内の地震波の重複反射の繰り返しにより、地表の地震観測点における後続波が顕著に表れたものであると考えられる。

なお、上記の経時特性の特徴は、本地震観測地点が大規模掘削の外側に位置し、敷地造成時の盛土が残っている地点であることから、建物・構築物周辺の埋戻し土と比較して剛性の小さい盛土が厚く分布し

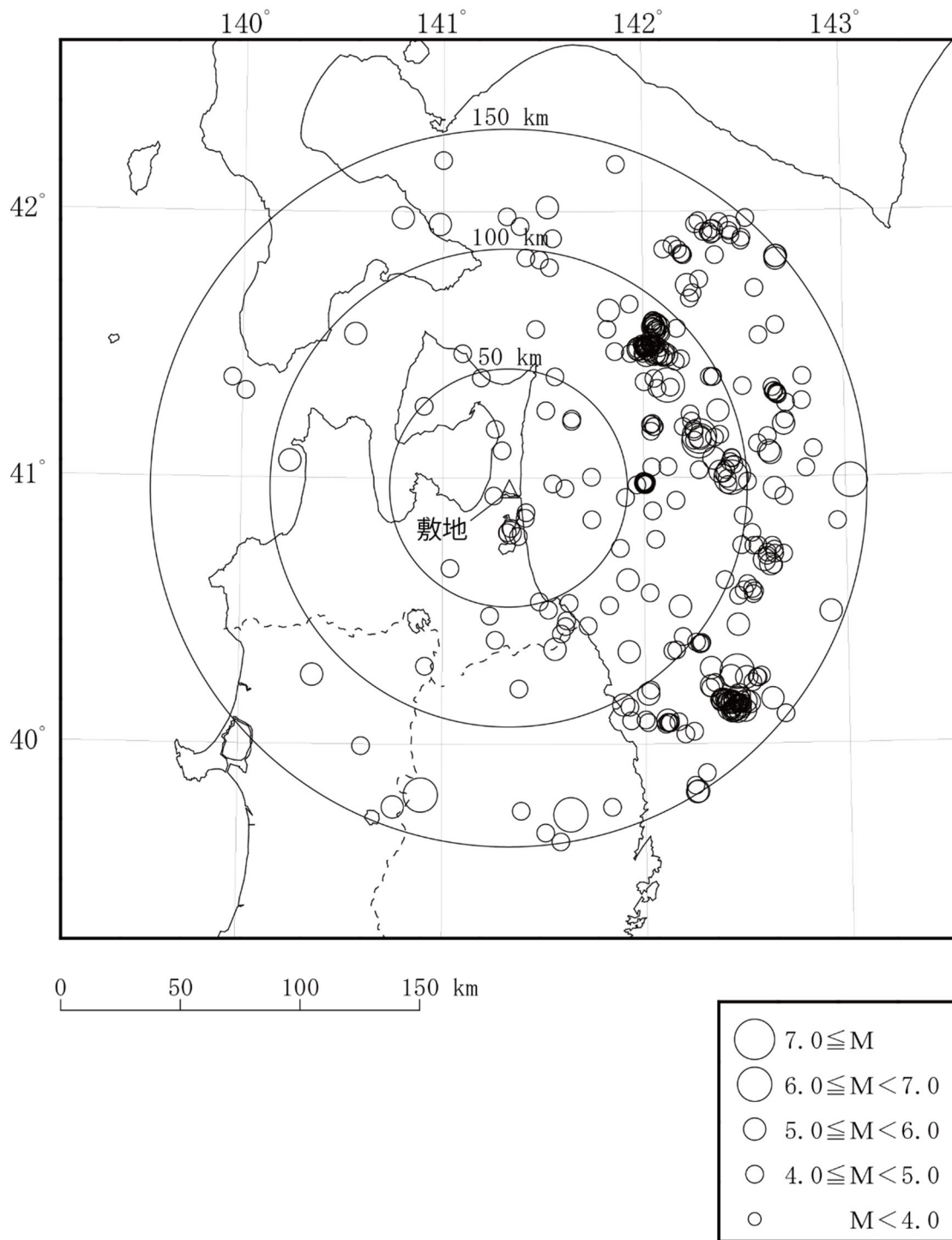
ていることに起因するものであり、本地震観測地点特有のものである。

また、本後続波が、地表の地震観測点固有の地震観測装置または周辺の振動源に起因するノイズではないことを確認するために、「3.3 敷地における減衰定数の評価方法」に示した追加調査として、同地震観測点における常時微動観測記録のデータを取得し、その確認を行った。常時微動観測は、2023年8月27日～2023年9月2日までの7日間、各地震観測深さにおけるデータを取得した。

常時微動観測記録のパワースペクトルを算定し、地震波干渉法に用いた地震との比較を行った結果を第4.5.2-6図(2/2)(c)に示す。敷地に設置している地震観測装置については、定時校正が行われており、装置の異常は確認されていないこと、また、得られた常時微動観測記録には、地震波干渉法に用いるGL-2m及びGL-125mのいずれの深さにおいても、その大きさは地震波干渉法に用いる地震と比較して十分に小さく、地震観測記録を本解析に用いる上で特異な傾向が無いことが確認できた。

このことから、東側地盤における地表の地震観測記録に、後続波が顕著に表れた要因としては、敷地内の常時微動による影響は無く、上記のとおり、地震観測位置における地下構造による影響であると考えられる。

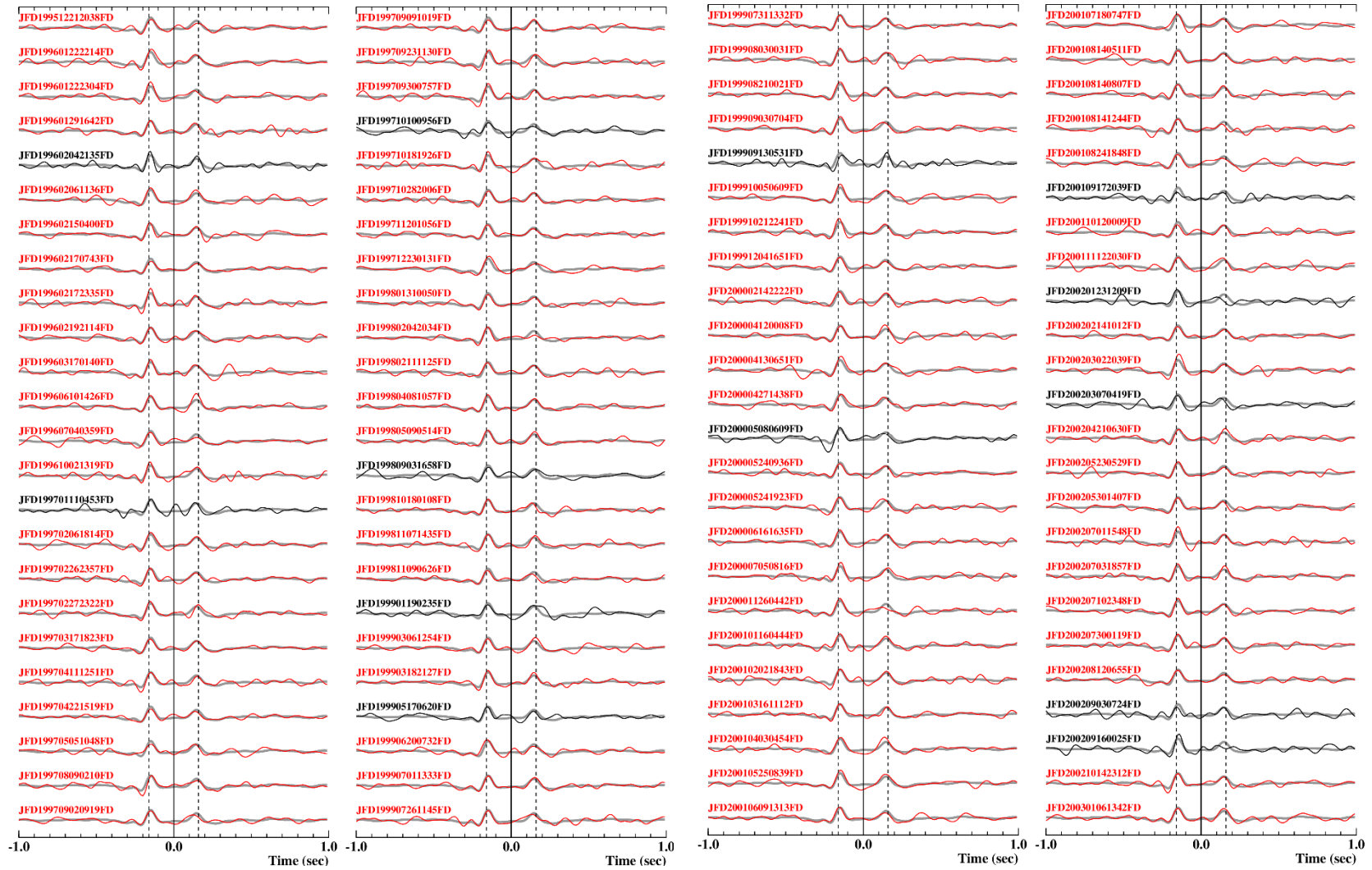
以上のことから、東側地盤における地震波干渉法の適用については、その手法における前提条件を踏まえると、本地震観測地点における地盤条件及び地震観測記録を用いての評価を行うことは困難であると判断した。



第 4.5.2-1 図 評価に用いた地震の震央位置

第 4.5.2-1 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4.5.2-2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）



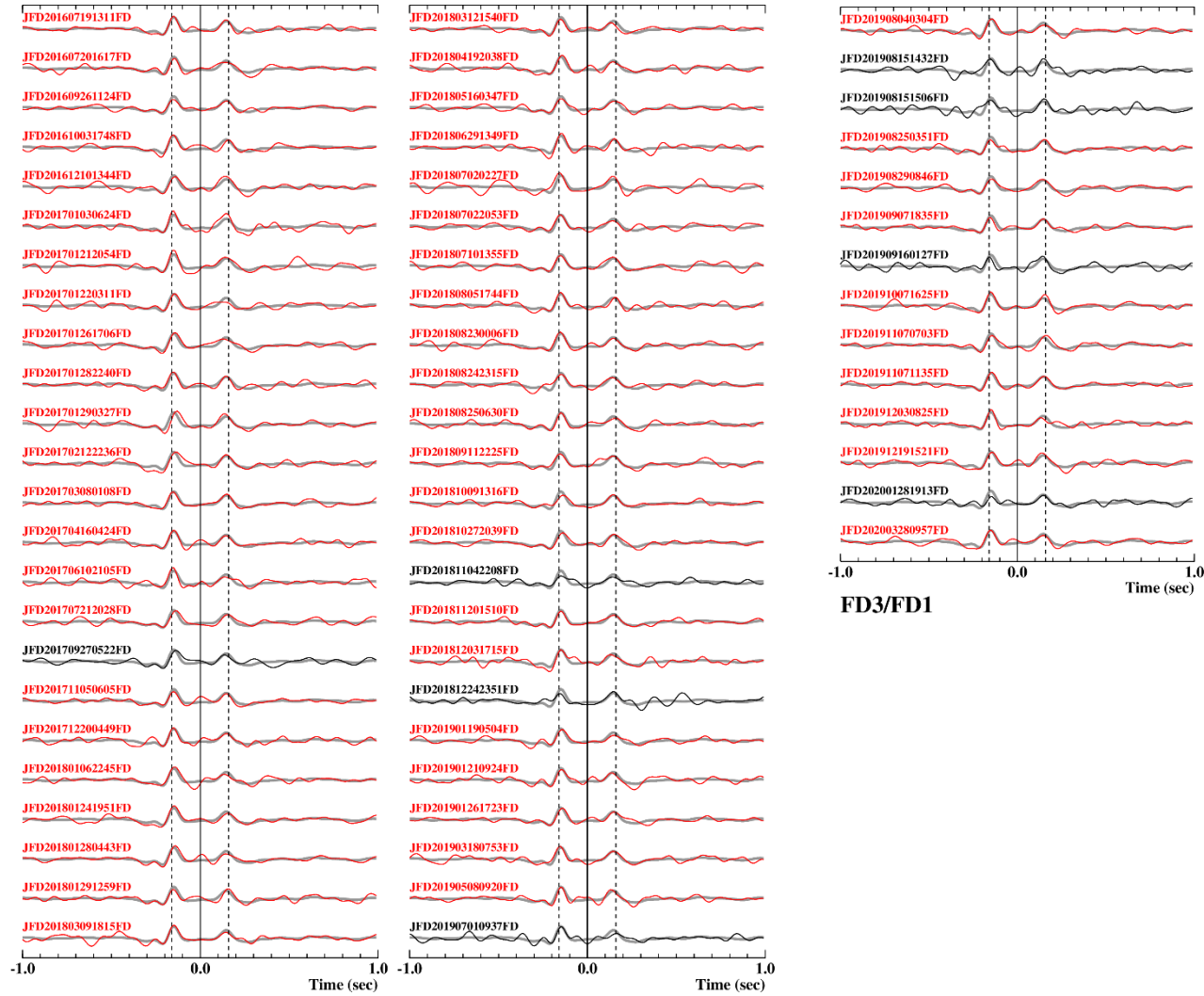
注記：GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

第4.5.2-2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。

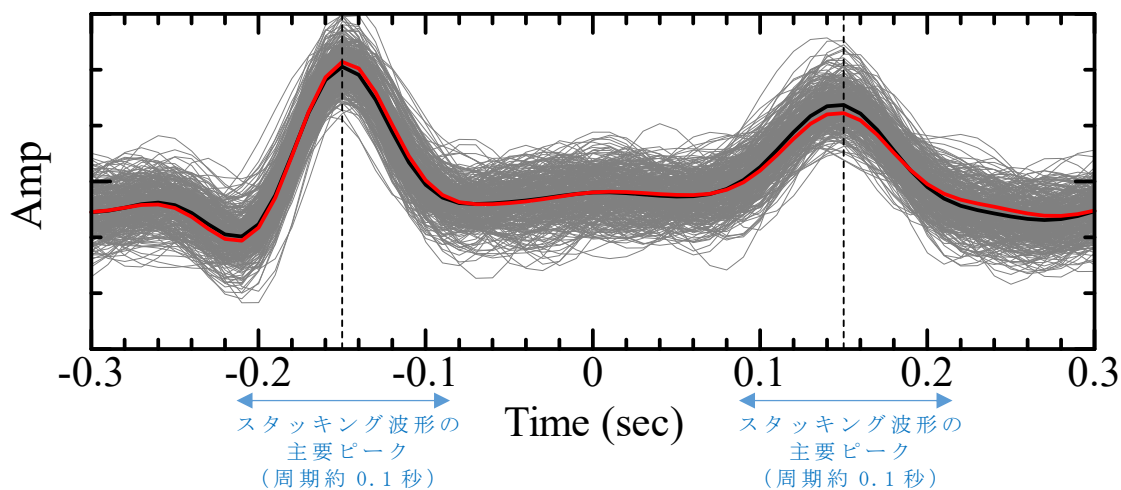
第4.5.2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（3/4）



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。

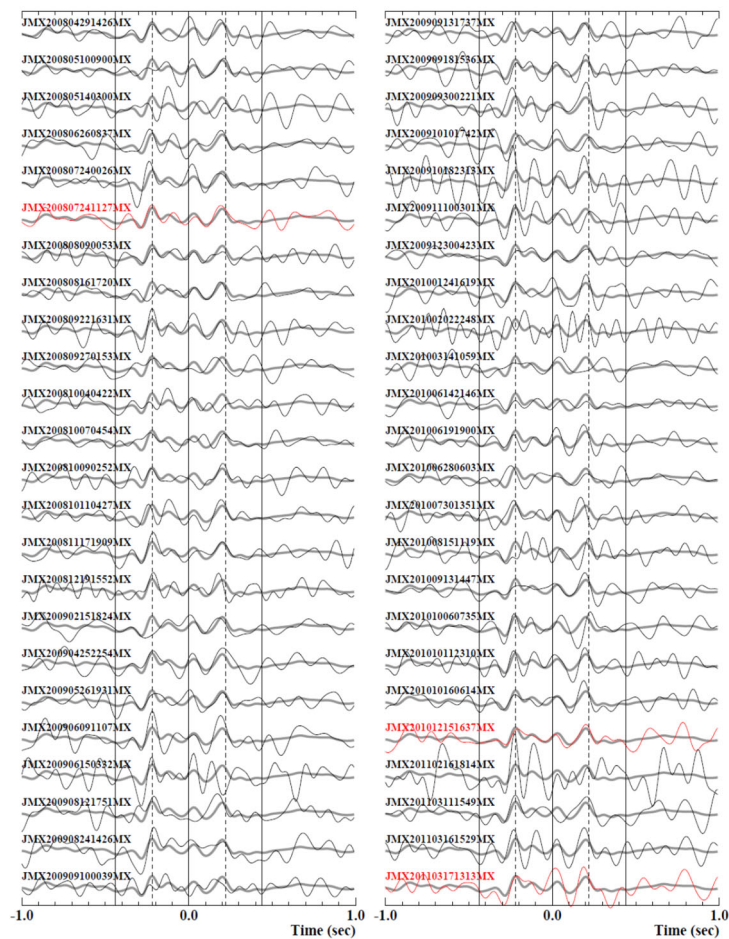
第4.5.2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）（4/4）

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

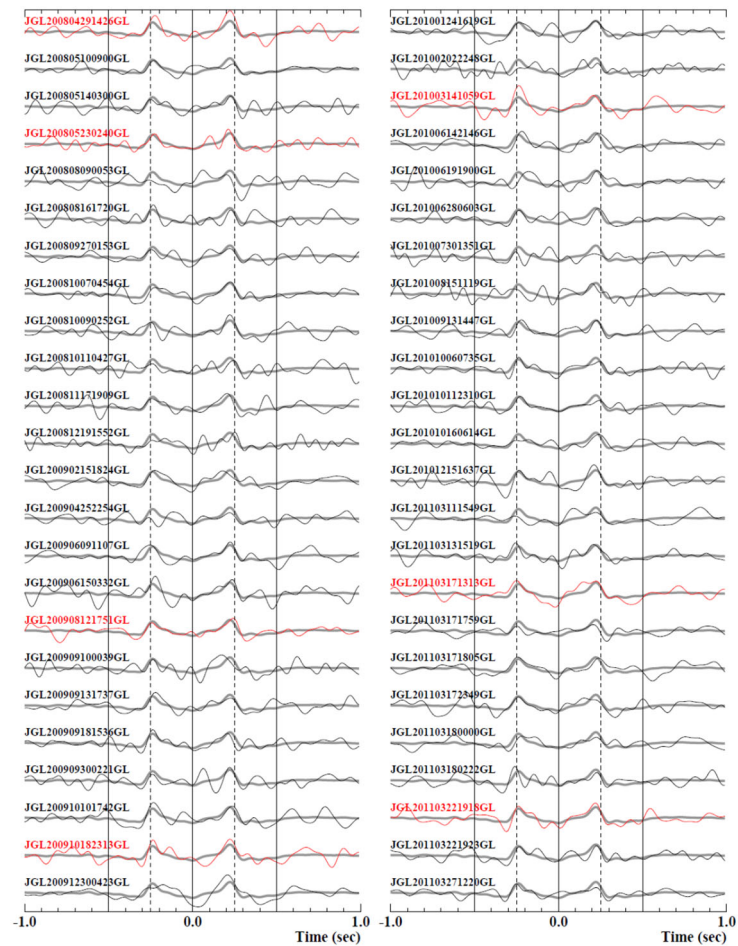


注記：鎖線は、スタッキング波形のピーク時刻（ ± 0.15 秒）を示す。

第 4.5.2-3 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（中央地盤）



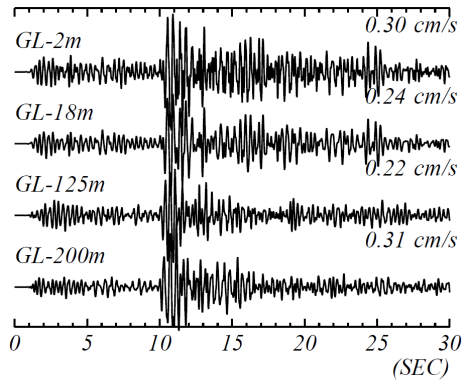
(a) 東側地盤



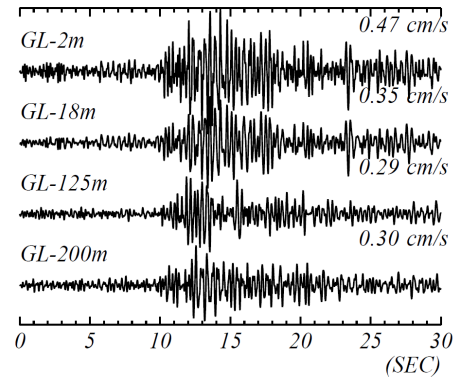
(b) 西側地盤

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。

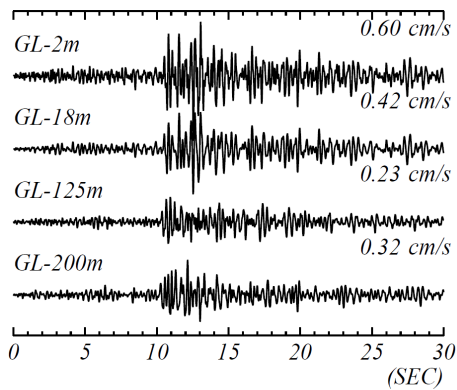
第4.5.2-4図 西側地盤及び東側地盤におけるデコンボリューション波形（一部例）



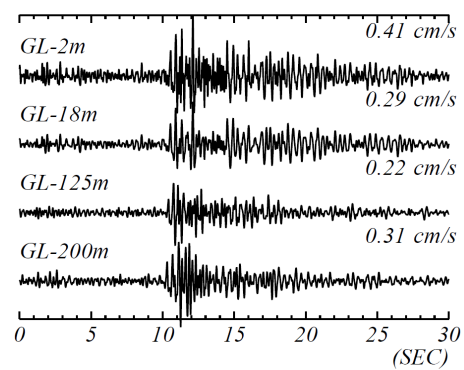
(a) 200104030454



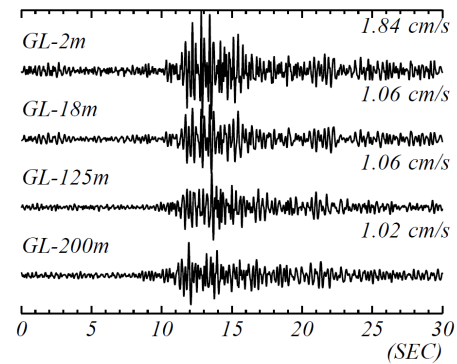
(b) 200108140511



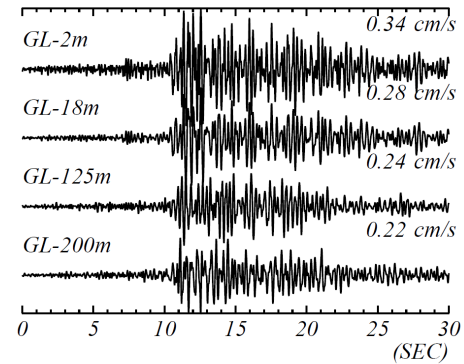
(c) 200210142312



(d) 200502262137



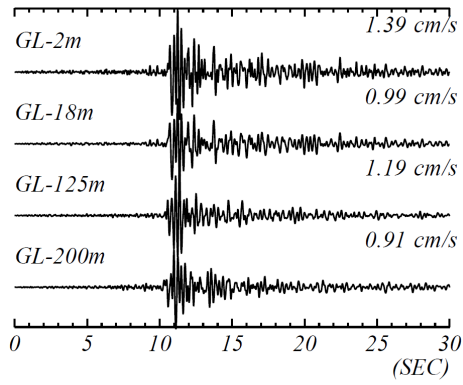
(e) 200807240026



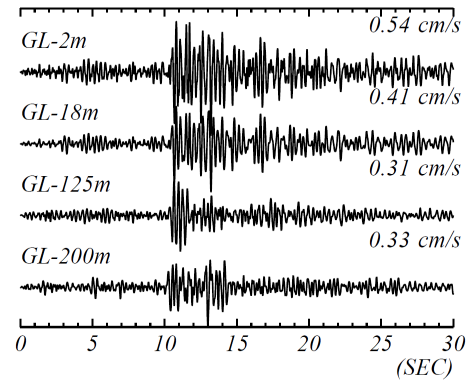
(f) 201009131447

第 4.5. 2-5 図 各深さにおける地震観測記録 (速度時刻歴波形, 中央地盤)

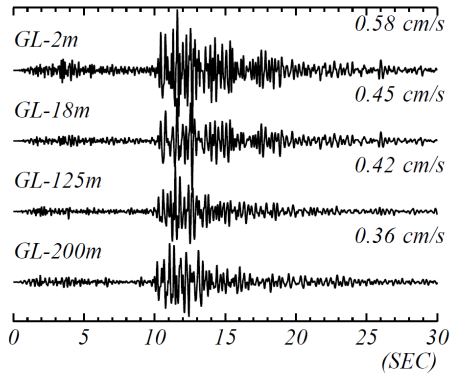
(1/2)



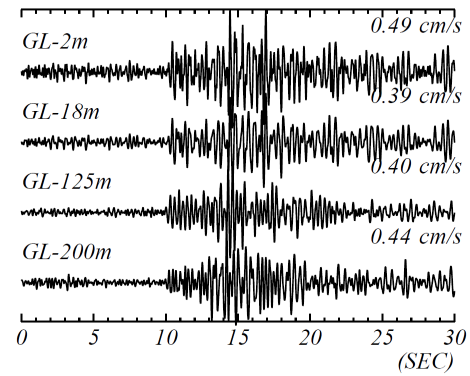
(g) 201205240002



(h) 201408101243



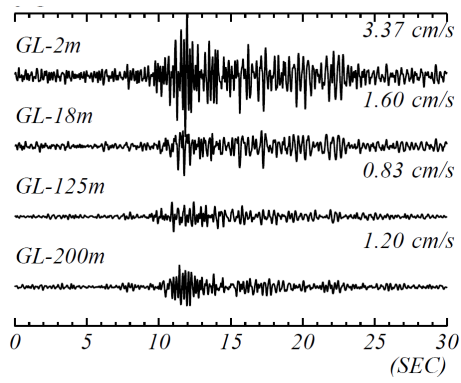
(i) 201908151432



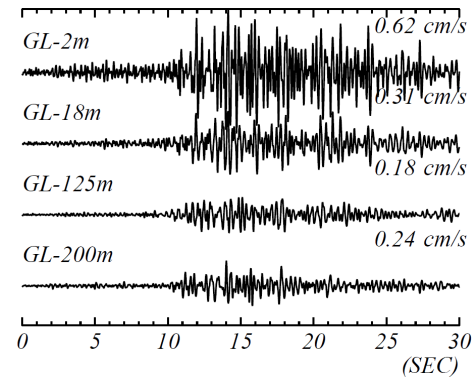
(j) 202012210223

第 4.5.2-5 図 各深さにおける地震観測記録 (速度時刻歴波形, 中央地盤)

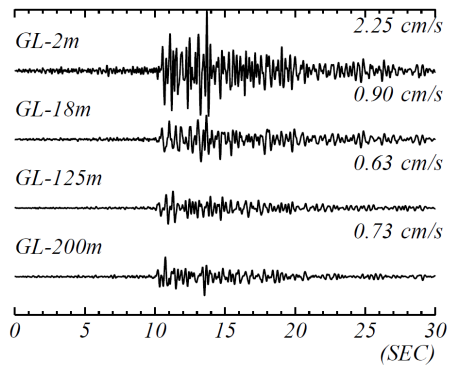
(2/2)



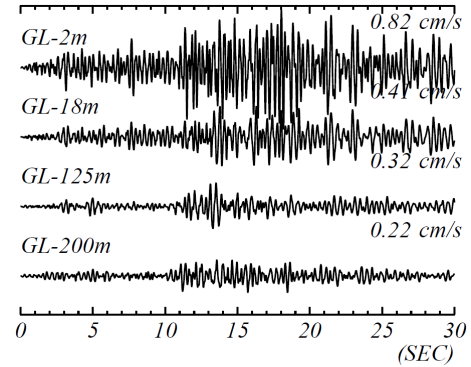
(a) 200807240026



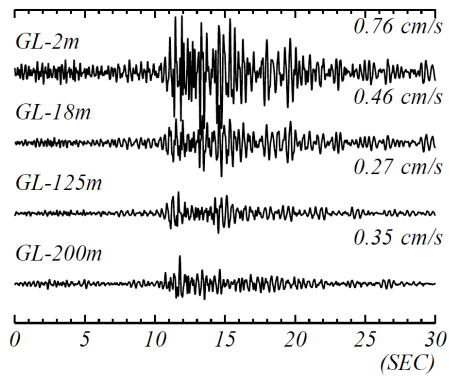
(b) 201009131447



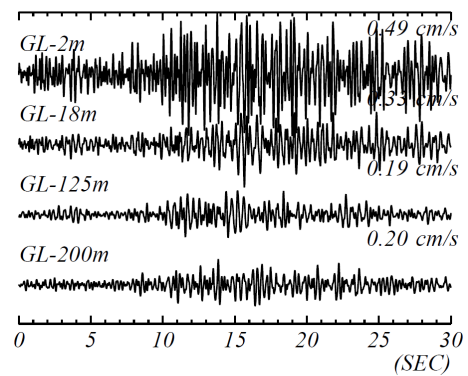
(c) 201205240002



(d) 201408101243



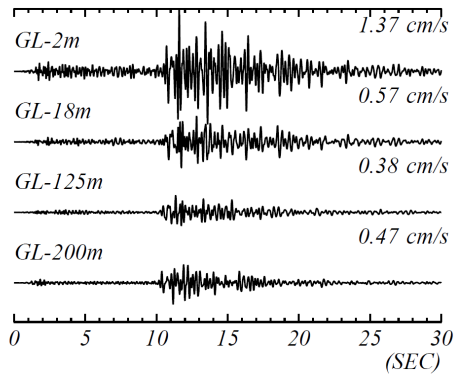
(e) 201507100332



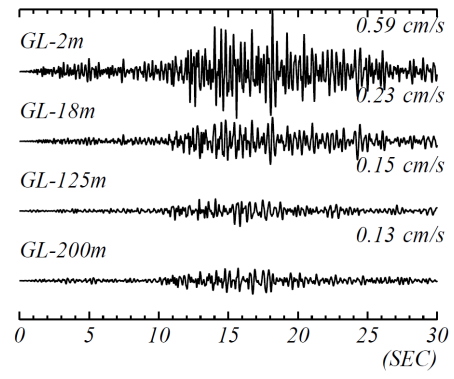
(f) 201801241951

第 4.5.2-5 図 各深さにおける地震観測記録（速度時刻歴波形，西側地盤）

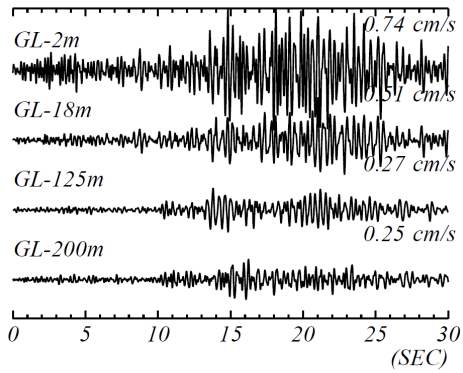
(1/2)



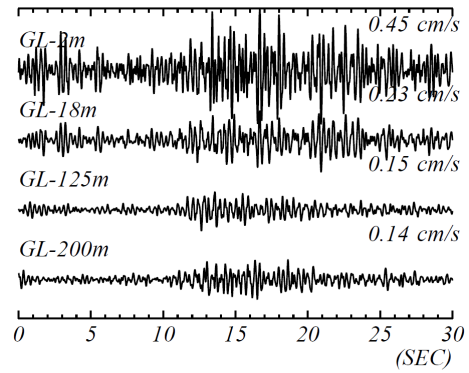
(g) 201908151432



(h) 201912191521



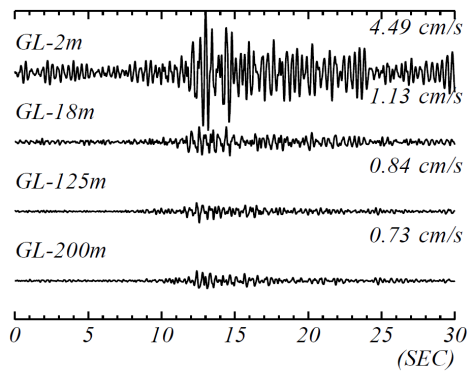
(i) 202012210223



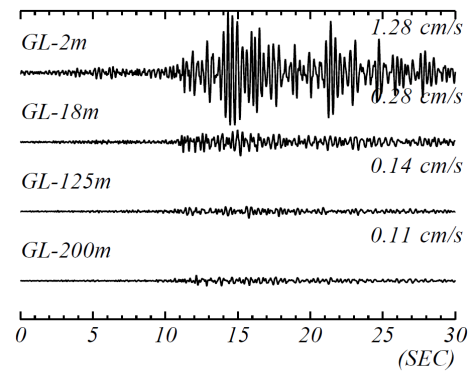
(j) 202110060246

第 4.5.2-5 図 各深さにおける地震観測記録（速度時刻歴波形，西側地盤）

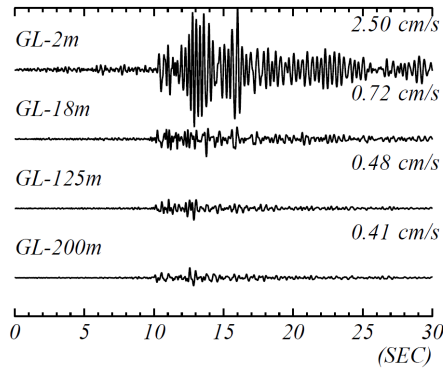
(2/2)



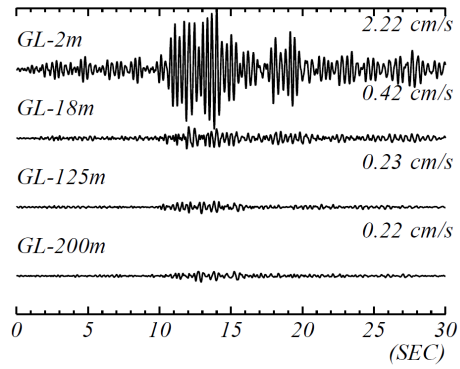
(a) 200807240026



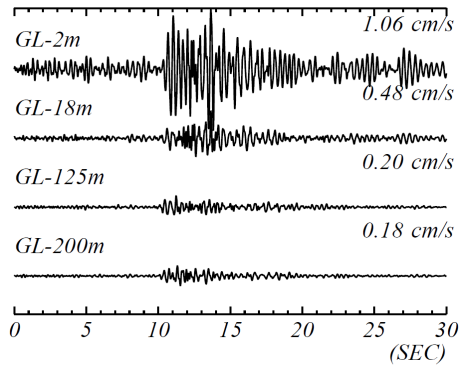
(b) 201009131447



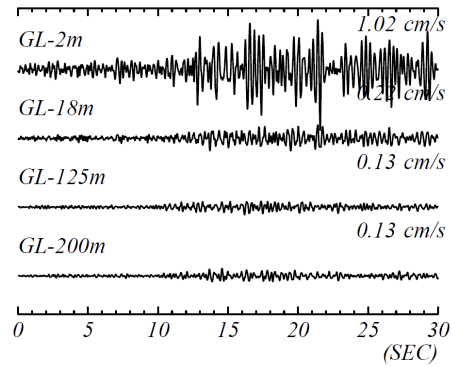
(c) 201205240002



(d) 201408101243



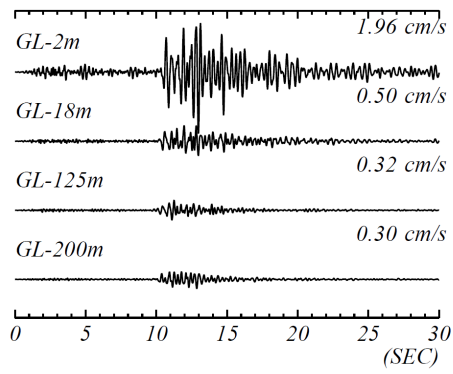
(e) 201507100332



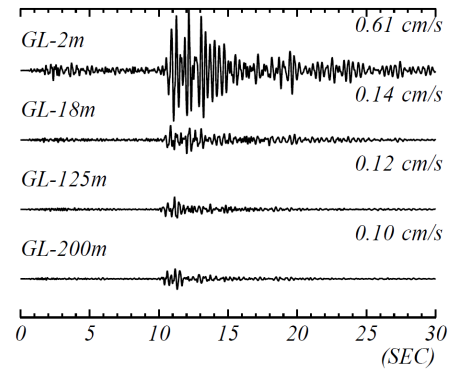
(f) 201801241951

第 4.5.2-5 図 各深さにおける地震観測記録（速度時刻歴波形，東側地盤）

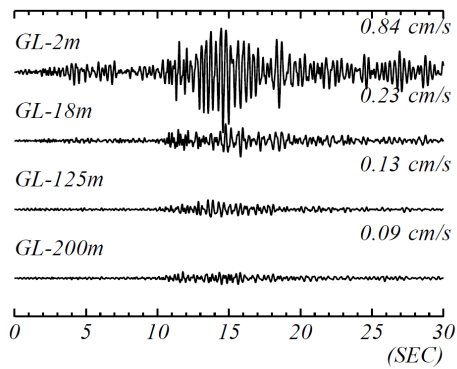
(1/2)



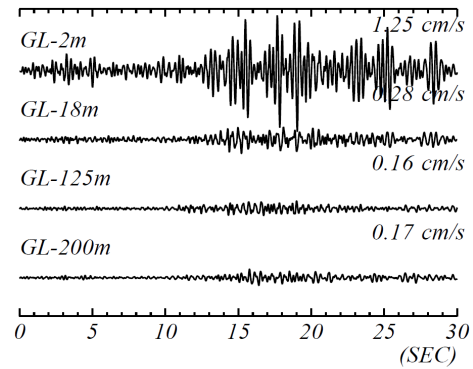
(g) 201908151432



(h) 201908151506



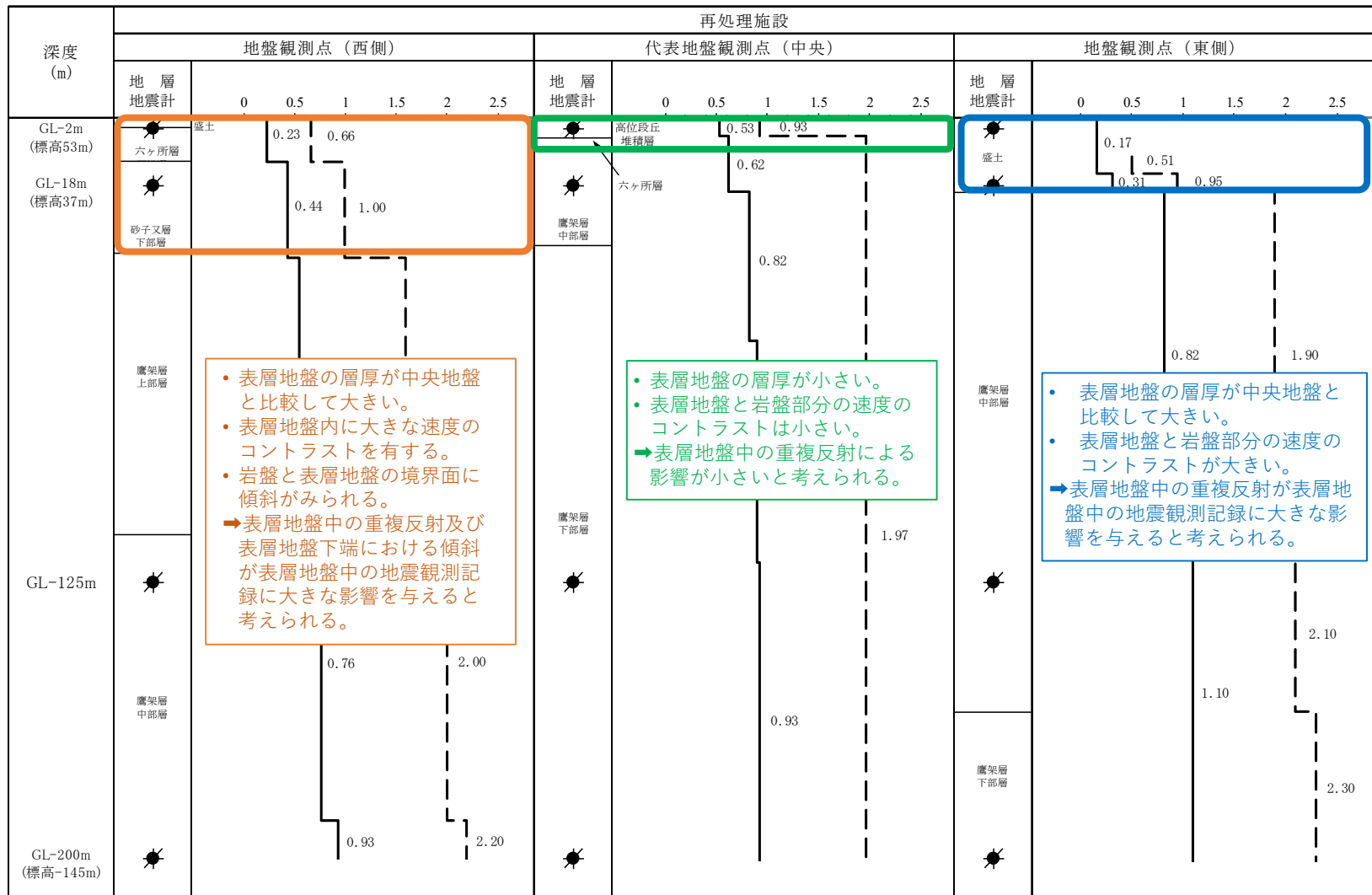
(i) 201912191521



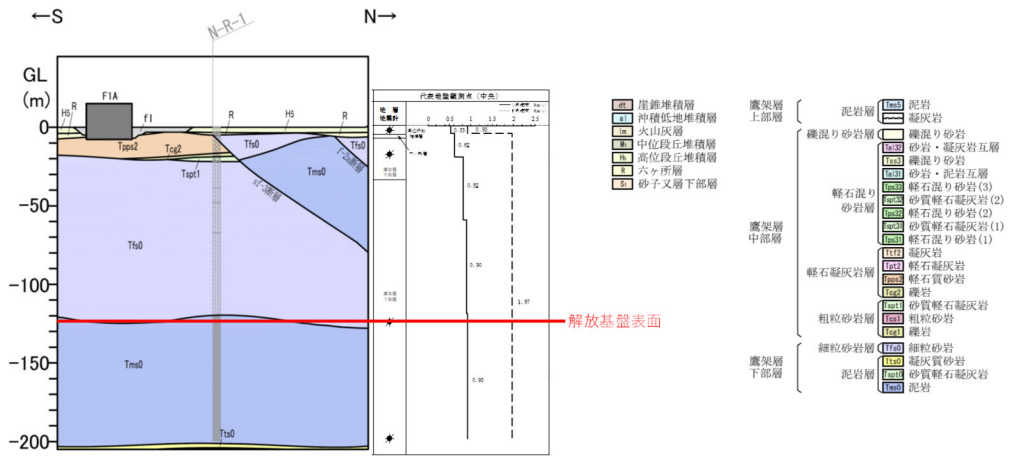
(j) 202012210223

第 4.5.2-5 図 各深さにおける地震観測記録 (速度時刻歴波形, 東側地盤)

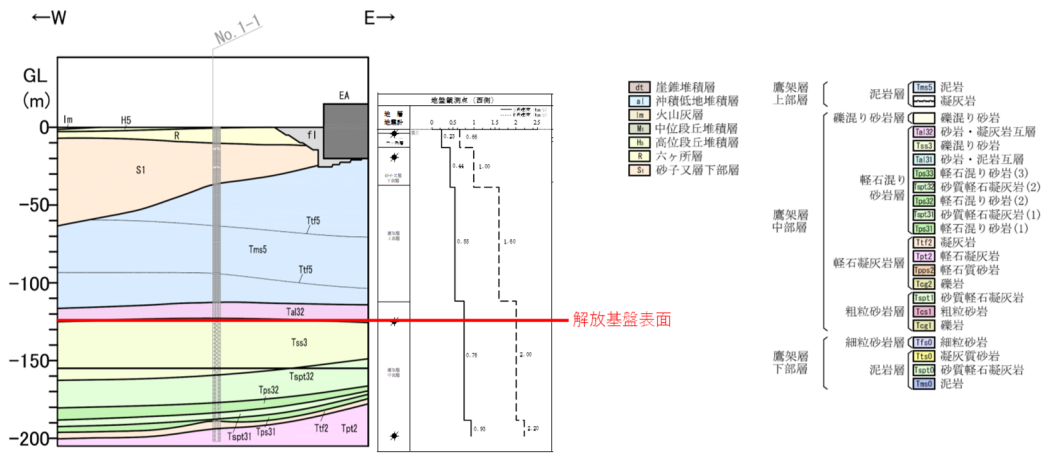
(2/2)



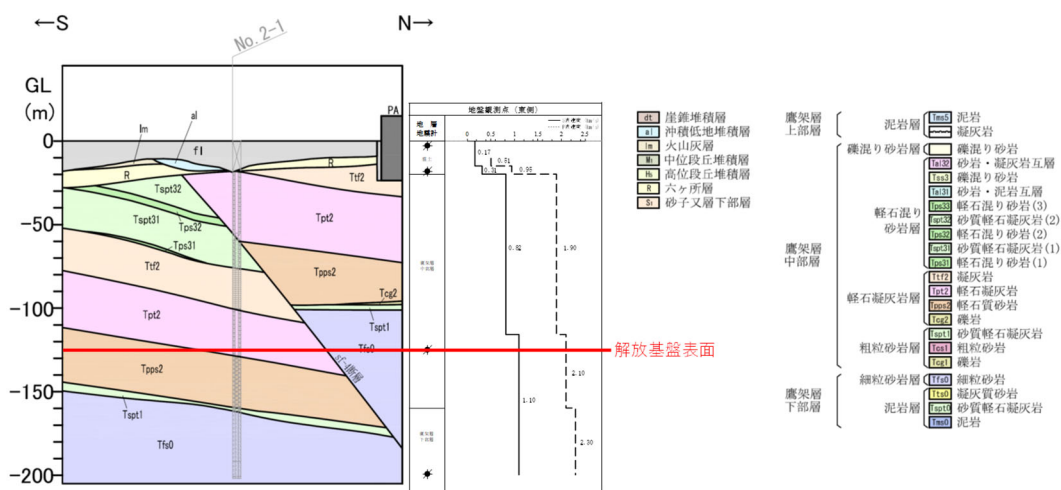
第 4.5.2-6 図 (1/2) 各地震観測位置における表層地盤部分の特徴



(a) 中央地盤（南北断面）

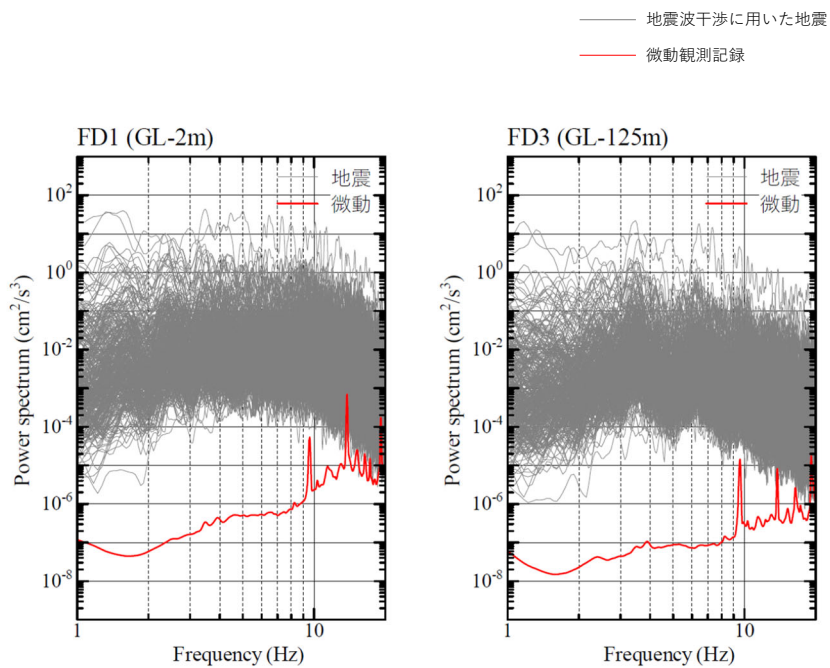


(b) 西側地盤（東西断面）

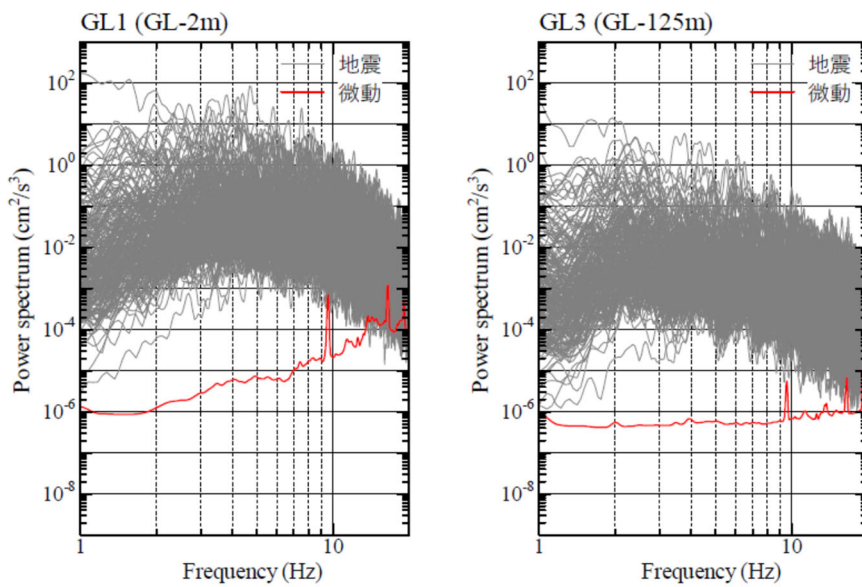


(c) 東側地盤（南北断面）

第 4.5.2-6 図 (2/2) 各地震観測位置における表層地盤部分の特徴

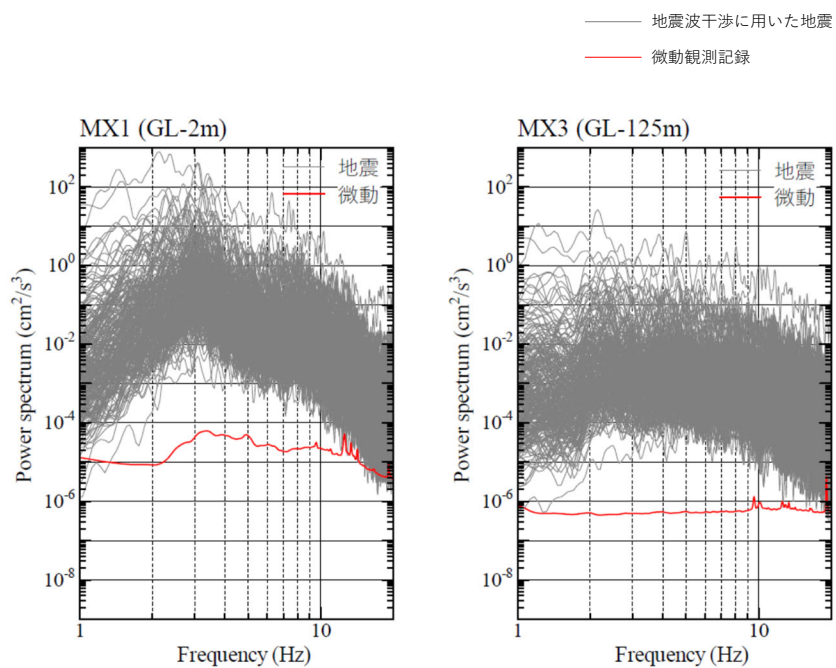


(a) 中央地盤観測点



(b) 西側地盤観測点

第 4.5.2-7 図 常時微動観測結果と地震波干渉法に用いた地震の
パワースペクトル (1/2)



(c) 東側地盤観測点

第 4.5.2-7 図 常時微動観測結果と地震波干渉法に用いた地震の
パワースペクトル (2/2)

4.5.3 減衰定数の推定結果

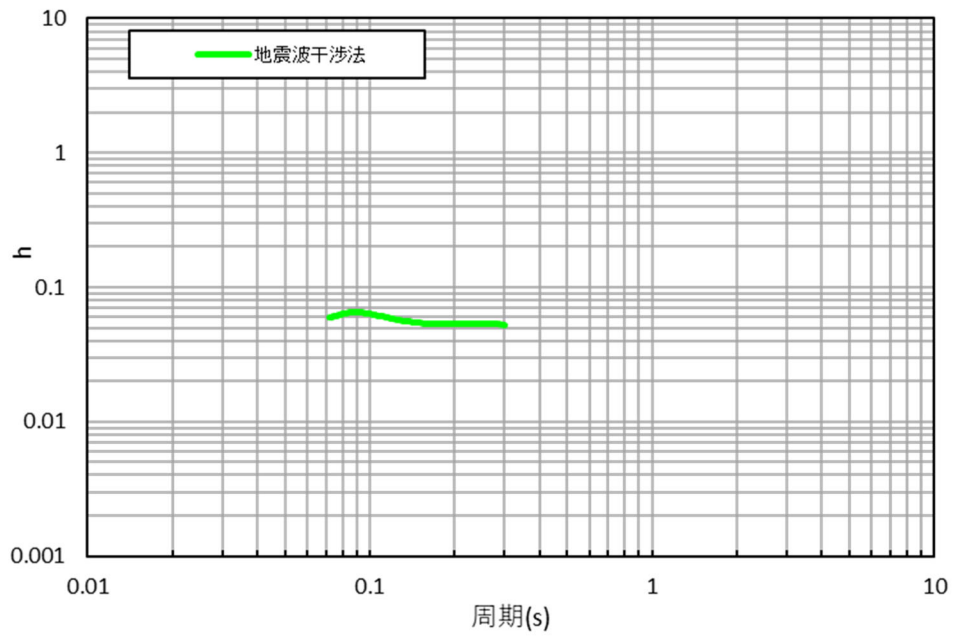
各地震のデコンボリューション波形における、入射波に対する反射波の振幅の比率に基づき減衰定数を評価した結果を第 4.5.3-1 図に示す。

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、「4.4.8 振動数依存性を考慮する場合の評価結果」において同定された減衰定数に見られる振動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。

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、実際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 4.5.2-3 図に示すスタッキング波形において、周期約 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。

また、評価された減衰定数の大きさについては、表層地盤と岩盤部分の両方を含んだ平均的な減衰定数として与えられるものであるが、中央地盤観測点については、表層地盤の厚さは岩盤部分に対して十分に層厚が小さいことから、本評価において評価された減衰定数は、岩盤部分における減衰定数が支配的な値となっていると考えられる。



第4.5.3-1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）

4.6 データの取得結果及び整理結果

ここまで、敷地における岩盤部分の減衰定数に係る各評価手法に基づくデータについて、信頼性を有することを確認したことから、そのまとめを第 4.6-1 表に示す。

まとめにあたっては、取得したデータについて、近接する建屋グループのいずれに属するものであるかに着目して行った。

S 波検層によるデータについては、第 4.3.2-1 図にて示した S 波検層に係る追加調査位置を含むグループのデータを参照するとともに、グループの近傍におけるデータも参照することとしたため、一部孔については、複数グループに対して用いている。

岩種ごとに習得している三軸圧縮試験によるデータについては、当該グループ内に分布する岩種に対応するデータを用いることとした。また、地震観測記録については、敷地内の f-1, f-2 断層により区切られる中央、西側、東側地盤の単位で適用させることとした。

「5. データの分析」においては、各評価手法により得られたデータの物理的な意味合いについて分析するとともに、第 4.6-1 表にて整理した、各種データが得られている位置における地下構造の特徴を踏まえた分析を行った上で、「敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数」を設定する。

第 4.6-1 表 各評価手法により得られたデータの整理結果

グループ	データ取得方法				
	三軸圧縮試験	岩石コア試験	地震観測記録を用いた同定	地震波干渉法	S波検層
AA 周辺グループ	・ 細粒砂岩 ・ 泥岩（下部層）	追而	中央地盤観測点の地震観測記録による同定結果	中央地盤観測点の地震観測記録による評価結果	・ R5-Q2 ・ R5-Q10
F 施設周辺グループ	・ 細粒砂岩 ・ 泥岩（下部層）	追而	中央地盤観測点の地震観測記録による同定結果	中央地盤観測点の地震観測記録による評価結果	・ R5-Q9 ・ R5-Q10
AE グループ	・ 細粒砂岩 ・ 泥岩（下部層）	追而	中央地盤観測点の地震観測記録による同定結果	中央地盤観測点の地震観測記録による評価結果	・ R5-Q6
AG グループ	・ 細粒砂岩 ・ 泥岩（下部層）	追而	中央地盤観測点の地震観測記録による同定結果	中央地盤観測点の地震観測記録による評価結果	・ R5-Q2
GA グループ	・ 細粒砂岩 ・ 泥岩（下部層）	追而	中央地盤観測点の地震観測記録による同定結果	中央地盤観測点の地震観測記録による評価結果	・ R5-Q2
DC グループ	・ 細粒砂岩 ・ 泥岩（下部層）	追而	中央地盤観測点の地震観測記録による同定結果	中央地盤観測点の地震観測記録による評価結果	・ R5-Q1 ・ R5-Q11
AC グループ	・ 砂質軽石凝灰岩 ・ 凝灰岩 ・ 軽石凝灰岩 ・ 軽石質砂岩 ・ 礫岩 ・ 細粒砂岩	追而	東側地盤観測点の地震観測記録による同定結果	*	・ R5-Q7
CA グループ	・ 砂質軽石凝灰岩 ・ 凝灰岩 ・ 軽石凝灰岩 ・ 軽石質砂岩 ・ 細粒砂岩	追而	東側地盤観測点の地震観測記録による同定結果	*	・ R5-Q7 ・ R5-Q12
CB グループ	・ 凝灰岩 ・ 軽石凝灰岩 ・ 軽石質砂岩 ・ 礫岩 ・ 砂質軽石凝灰岩 ・ 細粒砂岩	追而	東側地盤観測点の地震観測記録による同定結果	*	・ R5-Q12
AZ 周辺グループ	・ 砂質軽石凝灰岩 ・ 軽石混り砂岩 ・ 凝灰岩 ・ 軽石凝灰岩 ・ 軽石質砂岩	追而	東側地盤観測点の地震観測記録による同定結果	*	・ R5-Q7 ・ R5-Q8
G14 グループ	・ 軽石混り砂岩 ・ 砂質軽石凝灰岩 ・ 凝灰岩 ・ 軽石凝灰岩	追而	東側地盤観測点の地震観測記録による同定結果	*	・ R5-Q3 ・ R5-Q4
E 施設周辺グループ	・ 泥岩（上部層） ・ 砂岩・凝灰岩互層 ・ 礫混り砂岩	追而	西側地盤観測点の地震観測記録による同定結果	*	・ R5-Q5

注記 * : 「4.5 地震波干渉法による検討」に示したとおり、西側地盤及び東側地震観測地点において評価を行うことは困難であると判断した。

5. データの分析

「4. データの取得及び整理」に示した、敷地内の各地点における岩盤部分の減衰定数に係るデータの整理結果を踏まえ、各データのもつ特徴について考察を行い、敷地における地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数についての検討を行う。

「4.1 三軸圧縮試験による評価結果」及び「4.2 岩石コア試験による評価結果」により得られたデータに対しては、材料減衰について分析を行い、
「4.3 敷地におけるS波検層による評価結果」及び「4.4 敷地における地震観測記録を用いた評価結果」及び「4.5 地震波干渉法による検討」により得られたデータに対しては、散乱減衰を含んだ減衰定数として、その値の大きさ及び周波数依存性の傾きに係る分析を行う。

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」に示したとおり、敷地においては、岩盤種別としては、敷地内に分布するf-1断層、f-2断層を境として、中央地盤、西側地盤、東側地盤のそれぞれにおいて、分布する岩種が同等であることから、S波検層データについては、これらのエリア単位で比較を行った。

分析の着目点としては、「3.3 敷地における減衰定数の評価方法」の第3.3.-2表にて整理した、各調査及び評価ごとの特徴（各地点における地質構造及び速度構造に対する相関性、信頼区間としている周期帯、対象としている地震動の大きさ、データの取得位置）を踏まえ、各データのもつ物理的な意味合いに着目し、これらの分析結果を踏まえ、敷地内の各位置における「敷地の地盤の特徴を捉えた地盤物性」を設定する。

5.1 各データが有する振動数特性に係る分析

5.1.1 散乱減衰を含むデータに係る評価手法間の比較

(1) 中央地盤

まず、「4.4 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」に示した減衰定数と、「4.3 敷地における S 波検層による評価結果」及び「4.5 地震波干渉法による検討」に示した敷地内各位置において得られた減衰定数のデータの比較を、第 5.1.1-1 図において行った。

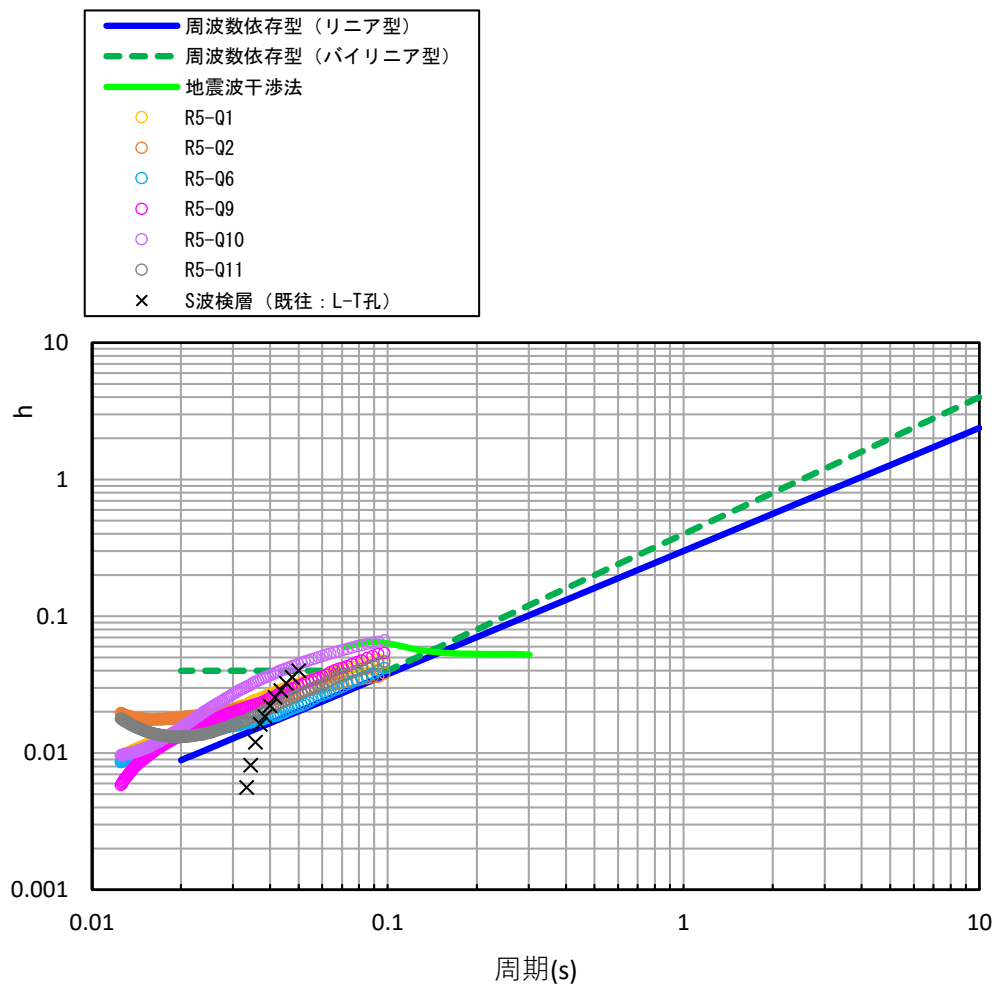
地震観測記録に基づく同定にあたっては、「4.4 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果」に示したとおり、周波数依存性（リニア型及びバイリニア型）を考慮した減衰定数について、地震観測記録をよく説明する値が得られている。

この値は、敷地内のうち、地震観測地点における減衰定数のデータに該当するが、第 5.1.1-1 図に示すとおり、中央地盤内の S 波検層結果（敷地内各位置の追加データ）は、いずれの地点においても中央地盤観測点における減衰定数の同定結果（周波数依存：リニア型）と比較して、周波数特性の傾きがよく整合している。

また、S 波検層結果は、0.01～0.02 秒以下のごく短周期領域からスイング波形の最長周期 0.1 秒までにおいて、周波数依存性を有している傾向が見て取れる。

さらに、中央地盤における各地点間の S 波検層結果の減衰定数の大きさは、データを取得した全周期帯（周期 0.0125～0.1 秒）において、地震観測記録に基づく減衰定数の同定結果よりもやや大きい傾向を示すが、同等オーダーの値となっている。

なお、「4.5 地震波干渉法による検討」にて評価された減衰定数については、評価に用いたスタッキング波形においてパルスが明確に確認できている、周期約 0.1 秒の値に着目すると、地震観測記録を用いた同定結果及び S 波検層結果と整合的であるものの、周波数依存性については明瞭には確認できない、



第 5.1.1-1 図 各手法により得られた減衰定数の比較 (中央地盤)

(2) 西側地盤

まず、「4.4 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」に示した減衰定数と、「4.3 敷地における S 波検層による評価結果」に示した敷地内各位置において得られた減衰定数のデータの比較を、第 5.1.1-2 図において行った。

地震観測記録に基づく同定にあたっては、「4.4 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」に示したとおり、周波数依存性（リニア型及びバイリニア型）を考慮した減衰定数について、地震観測記録をよく説明する値が得られている。

この値は、敷地内のうち、地震観測地点における減衰定数のデータに該当するが、第 5.1.1-2 図に示すとおり、当該地盤内の S 波検層結果（敷地内各位置の追加データ）は、いずれの地点においても西側地盤観測点における減衰定数の同定結果（周波数依存:リニア型）と比較して、周波数特性の傾きがよく整合している。

また、S 波検層結果は、0.01～0.02 秒以下のごく短周期領域からスロー波形の最長周期 0.1 秒までにおいて、周波数依存性を有している傾向が見て取れる。

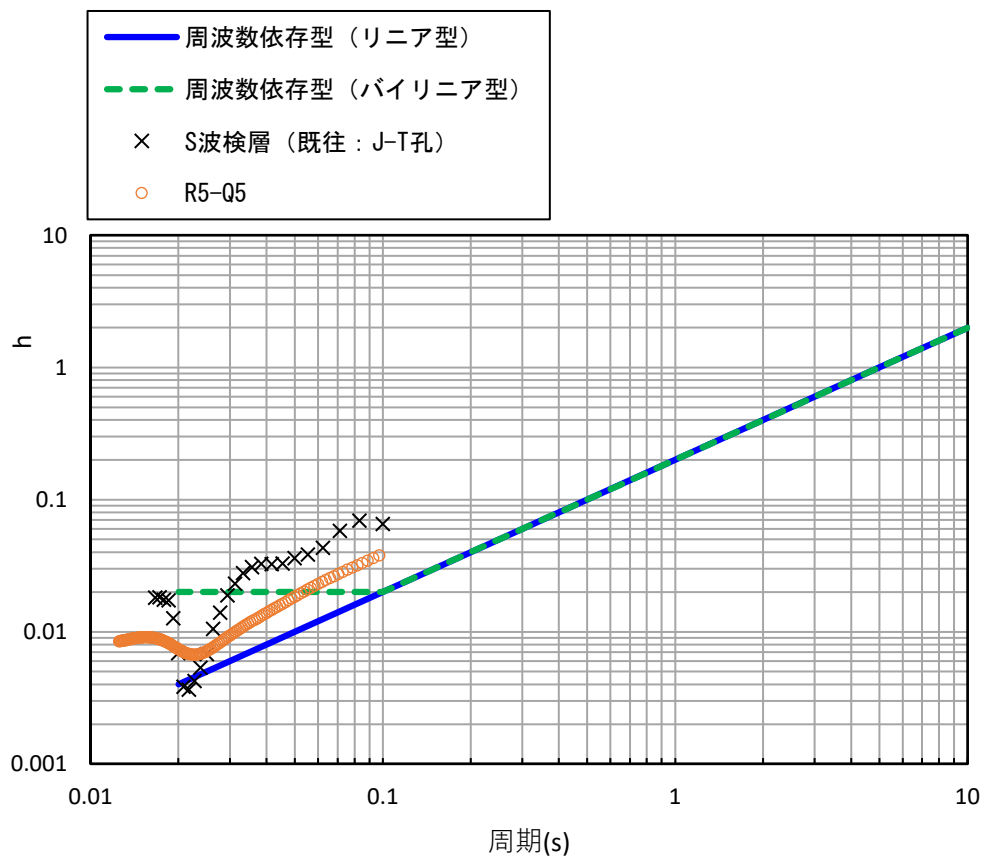
ただし、各地点の S 波検層結果の減衰定数の大きさは、データを取得した全周期帯（周期 0.0125～0.1 秒）において、地震観測記録に基づく減衰定数の同定結果よりも数%程度大きい傾向を示す。

この要因としては、以下のことが考えられる。

「4.4 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、西側地盤の地下構造の傾斜を考慮し、これを鑑みた初期モデルを設定している。

同定にあたっては、1次元地下構造を仮定した条件において、速度構造のコントラストによる地震波の増幅と、減衰定数による地震波の低減の両方による寄与の総量については、各深さの観測装置間の伝達関数を再現できていると考えられるが、それぞれの寄与の割合までは、上記の地下構造の傾斜に起因する地震波の複雑な伝播の状況を再現しきれていない可能性が考えられる。

一方で、S波検層データは、各グループにおけるボーリング孔において直接加振を行った結果に基づく実測値としてデータを取得しているものであることから、各地点の地盤の特徴を表したデータとしては信頼性の高いものになっていると考えられる。



第 5.1.1-2 図 各手法により得られた減衰定数の比較 (西側地盤)

(3) 東側地盤

まず、「4.4 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」に示した減衰定数と、「4.3 敷地における S 波検層による評価結果」に示した敷地内各位置において得られた減衰定数のデータの比較を、第 5.1.1-3 図において行った。

地震観測記録に基づく同定にあたっては、「4.4 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」に示したとおり、周波数依存性（リニア型及びバイリニア型）を考慮した減衰定数について、地震観測記録をよく説明する値が得られている。

この値は、敷地内のうち、地震観測地点における減衰定数のデータに該当するが、第 5.1.1-3 図に示すとおり、当該地盤内の S 波検層結果（敷地内各位置の追加データ）は、いずれの地点においても東側地盤観測点における減衰定数の同定結果（周波数依存:リニア型）と比較して、周波数特性の傾きがよく整合している。

また、S 波検層結果は、0.01～0.02 秒以下のごく短周期領域からスイング波形の最長周期 0.1 秒までにおいて、周波数依存性を有している傾向が見て取れる。

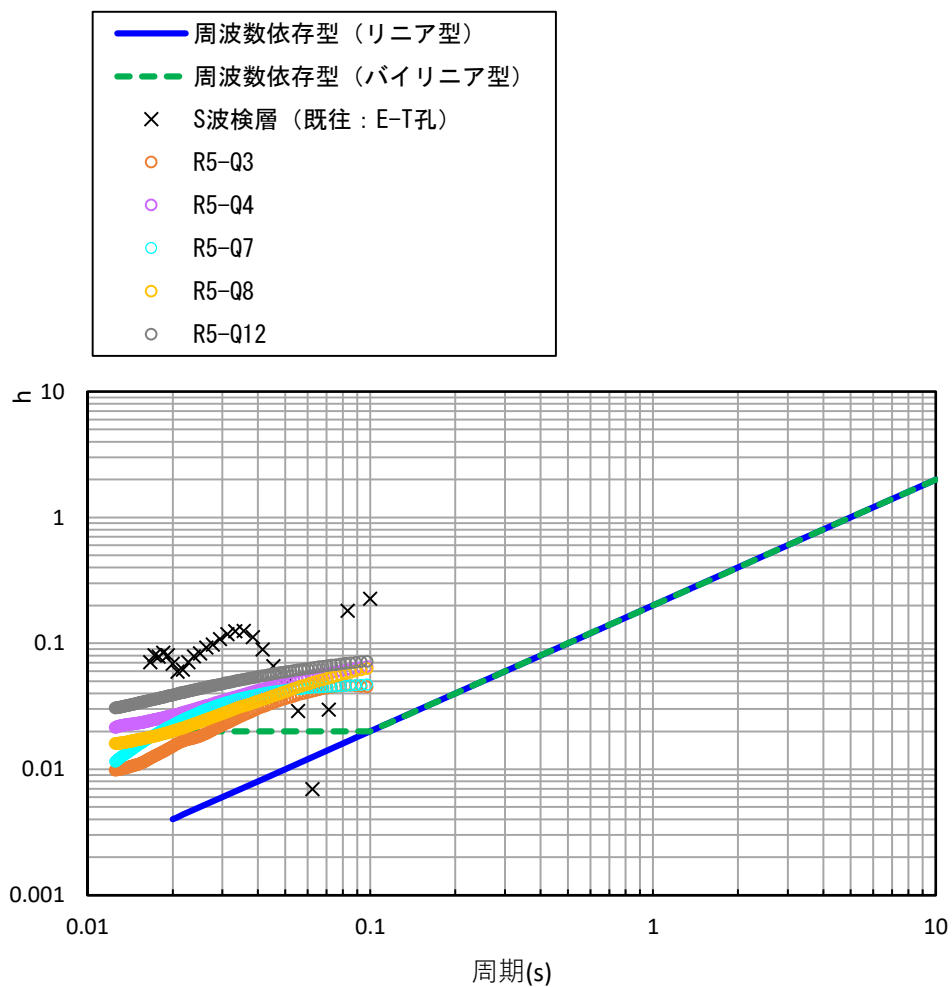
ただし、各地点の S 波検層結果の減衰定数の大きさは、データを取得した全周期帯（周期 0.0125～0.1 秒）において、地震観測記録に基づく減衰定数の同定結果よりも 1 オーダー程度大きくなっており、乖離がみられる。

この要因としては、以下のことが考えられる。

「4.4 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、東側地盤の地震観測地点近傍に分布する断層による地下構造の不連続性を考慮し、これを鑑みた初期モデルを設定している。

同定にあたっては、1次元地下構造を仮定した条件において、速度構造のコントラストによる地震波の増幅と、減衰定数による地震波の低減の両方による寄与の総量については、各深さの観測装置間の伝達関数を再現できていると考えられるが、それぞれの寄与の割合までは、上記の断層による地下構造の不連続性に起因する地震波の複雑な伝播の状況を再現しきれていない可能性が考えられる。

一方で、S波検層データは、各グループにおけるボーリング孔において直接加振を行った結果に基づく実測値としてデータを取得しているものであることから、各地点の地盤の特徴を表したデータとしては信頼性の高いものになっていると考えられる。



第 5.1.1-3 図 各手法により得られた減衰定数の比較 (東側地盤)

5.1.2 既往知見との整合性を踏まえた比較

本章では、「4.4 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」に示した減衰定数と、「4.3 敷地における S 波検層による評価結果」に示した敷地内各位置において得られた減衰定数のデータについて、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。

ここで、佐藤ほか(2006)に示される減衰定数は、第 5.1.2-1 表に示す 2 地点(OBS-A 及び OBS-B)において評価されたものである。

敷地に分布する岩盤は、堆積岩を主体としており、その速度構造は、「4.4.8 a. 伝達関数による評価結果(振動数依存性あり: リニア型及びバイリニア型)」に示したとおり、中央地盤で 760~830m/s、西側地盤で 580~660m/s、東側地盤で 640~1090m/s と同定されている。

なお、敷地内の各位置において追加 S 波検層を実施した位置における速度構造についても、中央地盤で 740~910m/s、西側地盤で 570~730m/s、東側地盤で 630~1080m/s となっており、上記地震観測地点における速度構造と同等である。

第 5.1.2-1 図~第 5.1.2-3 図に、各地点において得られた S 波検層データと、データ取得地点における S 波速度構造を示す。各位置における速度構造は、「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示す、各 S 波検層位置において実施している PS 検層結果を参照する。

このことから、佐藤ほか(2006)における評価地点のうち、速度構造としては、OBS-A における GL0~-25m が敷地と近い条件となっている

が、岩盤種別としては、敷地と同じく堆積岩で構成されている OBS-B が敷地と近い条件となっている。

上記を踏まえ、佐藤ほか(2006)に示される OBS-A における GL0~-25m 及び OBS-B における GL0~-36.9m における評価(図中太点線のうち「OBS-A (GL0~-25m)」), 太実線のうち「OBS-B (GL0~-36.9m)」)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「($V_s700\text{m/s}$)」)を参照し、散乱減衰が卓越する振動数依存性を有する領域における減衰定数の傾き及び大きさについて、中央地盤及び東側地盤において同定された減衰定数との比較を行った。比較の結果を以下(1)~(3)に示す。

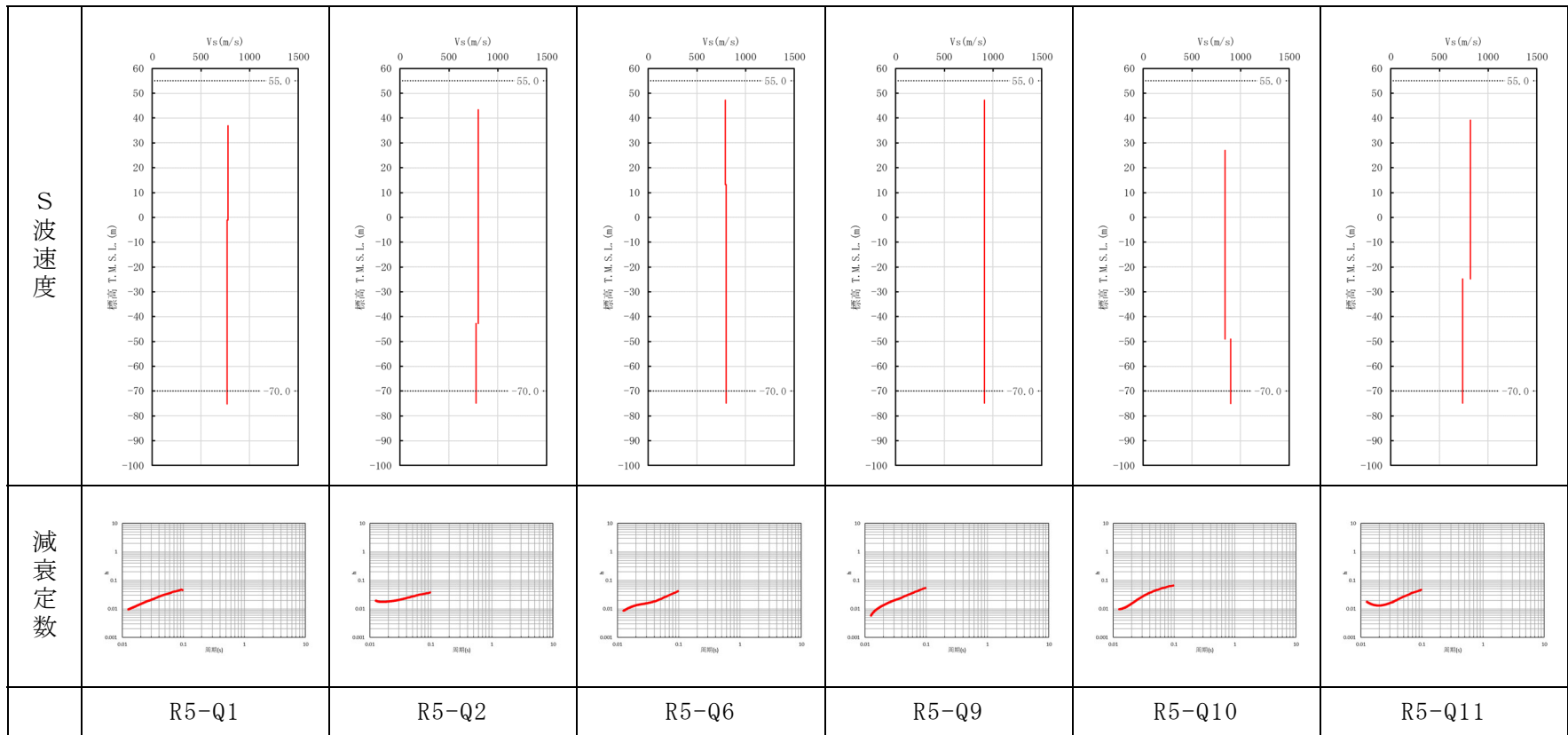
第 5.1.2-1 表 佐藤ほか (2006) にて対象とされている地点の地下構造

(a) OBS-A

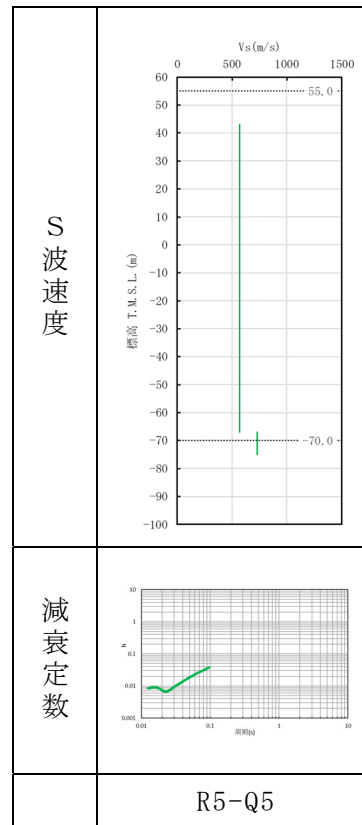
深さ (GL) (m)	S 波速度 (m/s)	主な構成岩種
0 ~ -25	205 ~ 935	安山岩や凝灰角礫岩
-25 ~ -128	1280 ~ 2000	
-128 ~ -220	2397	

(b) OBS-B

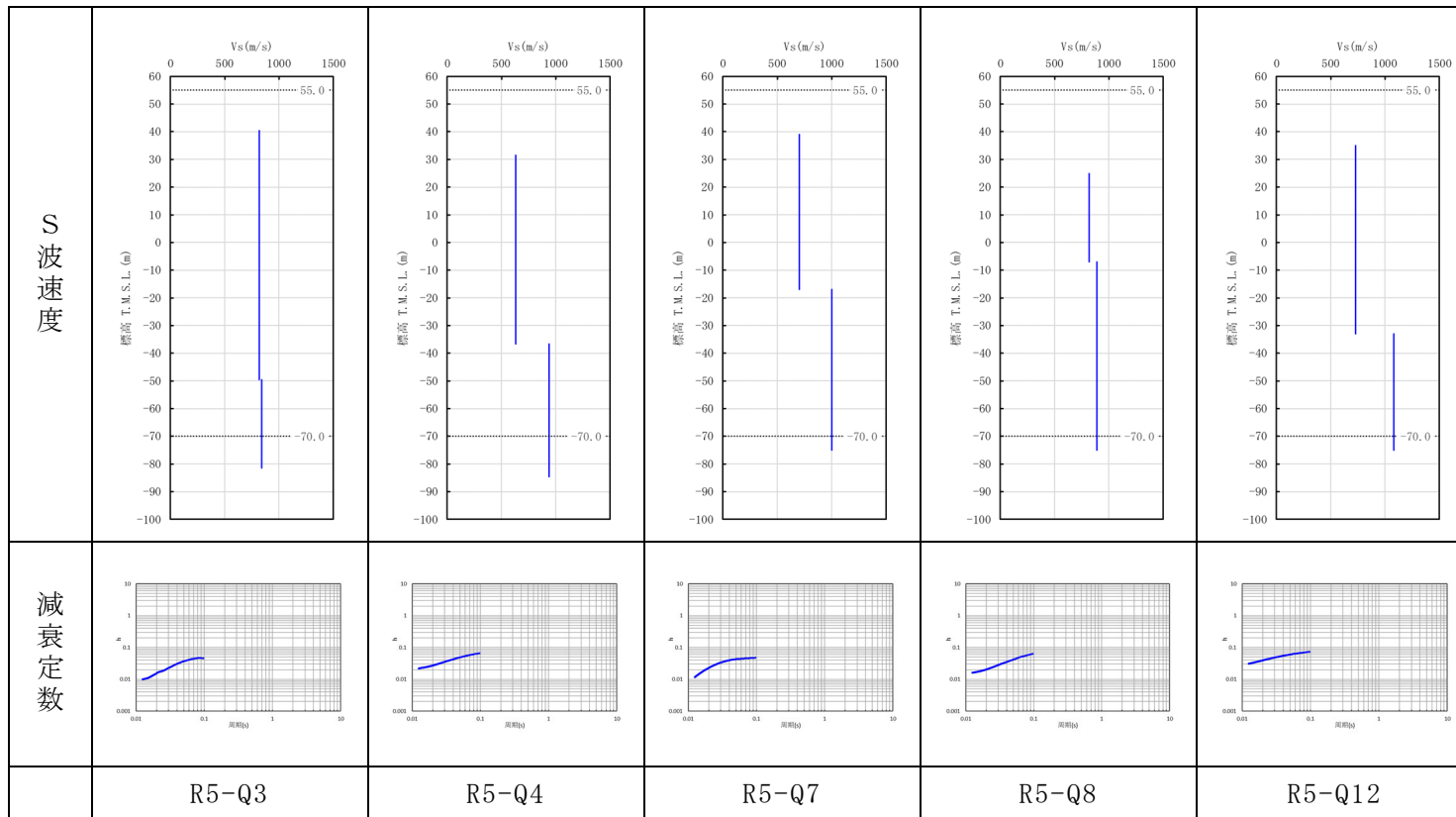
深さ (GL) (m)	S 波速度 (m/s)	主な構成岩種
0 ~ -36.9	1016 ~ 1812	砂岩や頁岩等の堆積岩
-36.9 ~ -147.7	1811 ~ 2610	



第 5.1.2-1 図 追加調査により得られた S 波速度と減衰定数（中央地盤）



第 5.1.2-2 図 追加調査により得られた S 波速度と減衰定数（西側地盤）



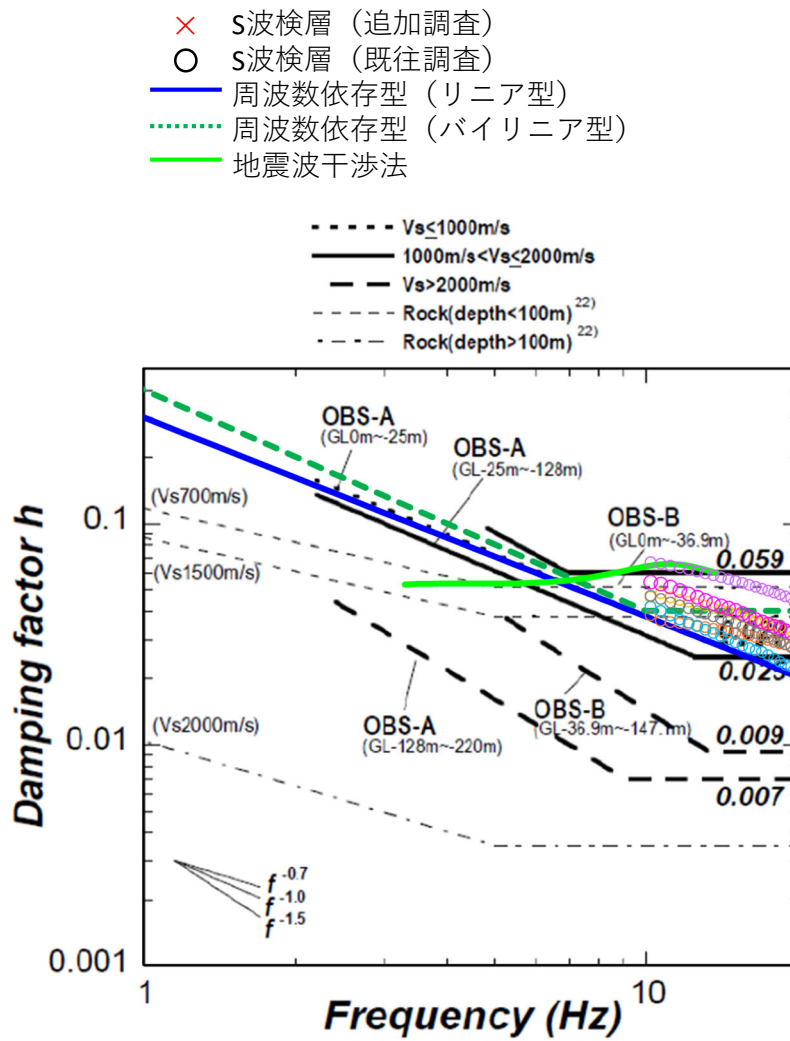
第 5.1.2-3 図 追加調査により得られた S 波速度と減衰定数（東側地盤）

(1) 中央地盤

中央地盤における比較結果を第 5.1.2-1 図に示す。中央地盤については、振動数依存性を考慮した減衰定数（リニア型・バイリニア型）について、振動数依存性の傾きが OBS-A における GL0m～-25m、OBS-B における GL0m～-36.9m における評価結果及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ における経験的な値にみられる振動数依存性の傾きとよく整合している。

S 波検層結果から得られた減衰定数については、高振動数でのみ得られているデータであり、本知見に見られる周波数依存性の頭打ちが見られないものの、その大きさは、いずれの地点におけるデータについても、OBS-A における GL0m～-25m、OBS-B における GL0m～-36.9m の概ね中間に分布しており、既往知見と整合的な減衰定数が得られていることを確認した。

以上のことから、敷地において評価された減衰定数は、地震観測記録を用いた同定結果と S 波検層結果ともに、中央地盤におけるいずれの地点においても、既往知見と整合しており、地盤の実態として、類似地点における一般的な減衰定数と乖離しないものとなっていると考えられる。



第 5.1.2-1 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)

(2) 西側地盤

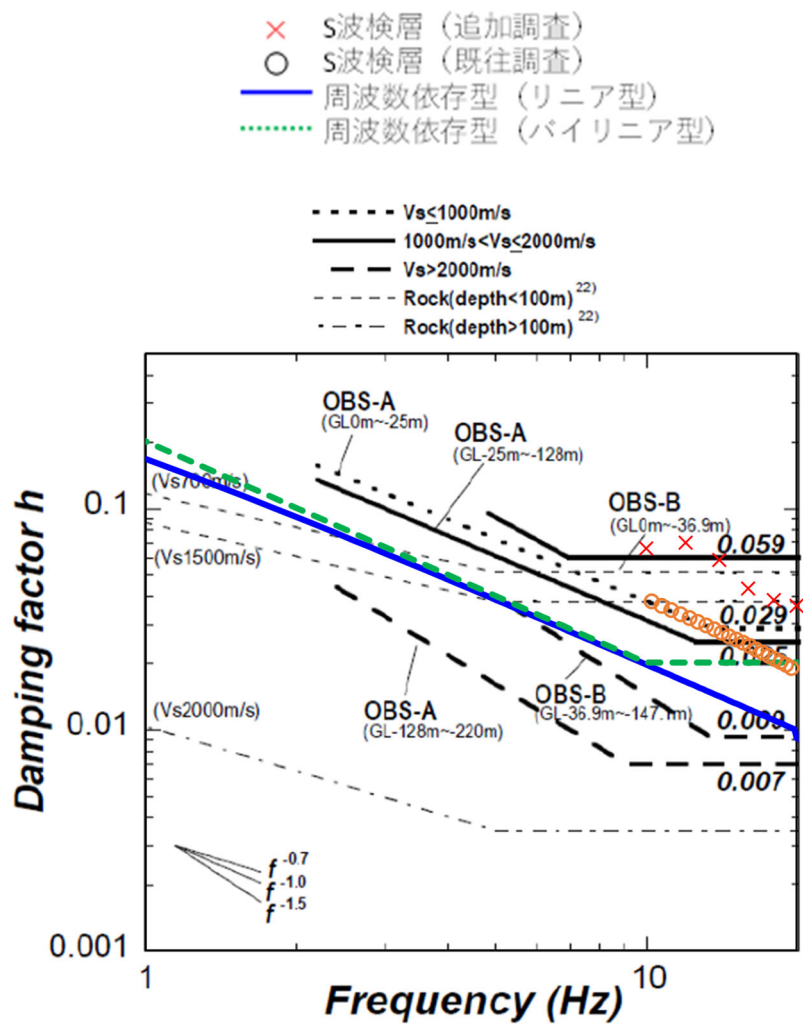
西側地盤における比較結果を第 5.1.2-2 図に示す。西側地盤については、振動数依存性を考慮した減衰定数（リニア型・バイリニア型）について、振動数依存性の傾きが OBS-A における GL0m～-25m、OBS-B における GL0m～-36.9m における評価結果及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ における経験的な値にみられる振動数依存性の傾きとよく整合している。

ただし、減衰定数の大きさについては、上記 2 地点及び経験的な値に対し、値として約 0.5 倍程度に小さい値が得られている傾向となっている。

一方、S 波検層結果から得られた減衰定数については、高振動数でのみ得られているデータであり、本知見に見られる周波数依存性の頭打ちが見られないものの、その大きさは、いずれの地点におけるデータについても、OBS-A における GL0m～-25m、OBS-B における GL0m～-36.9m の中間に分布しており、既往知見と整合的な減衰定数が得られていることを確認した。

これは、「5.1.1 散乱減衰を含むデータに係る評価手法間の比較」に示したとおり、地震観測記録を用いた同定結果が 1 次元地下構造を仮定した条件において速度構造と減衰定数の両方を変数として評価した値であることに対し、S 波検層データは、各グループにおけるボーリング孔において直接加振を行った結果に基づく実測値としてデータを取得しているものであることから、各地点の減衰定数のみに着目したデータとしては信頼性の高いものになっていると考えられる。

以上のことから、敷地における岩盤部分の減衰定数としては、S 波検層結果より得られた減衰定数は十分な信頼性を有しており、S 波検層結果は、西側地盤におけるいずれの地点においても、既往知見とも整合していることから、西側地盤については、地盤の実態として、類似地点における一般的な減衰定数と乖離しないものとなっていると考えられる。



第 5.1.2-2 図 佐藤ほか (2006) による岩盤観測点における減衰定数 h ($h=1/2Q$) 推定結果に対する西側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)

(3) 東側地盤

東側地盤における比較結果を第 5.1.2-3 図に示す。東側地盤については、振動数依存性を考慮した減衰定数（リニア型・バイリニア型）について、振動数依存性の傾きが OBS-A における GL0m～-25m、OBS-B における GL0m～-36.9m における評価結果及び福島ほか(1994)による $V_s=700\text{m/s}$ における経験的な値にみられる振動数依存性の傾きとよく整合している。

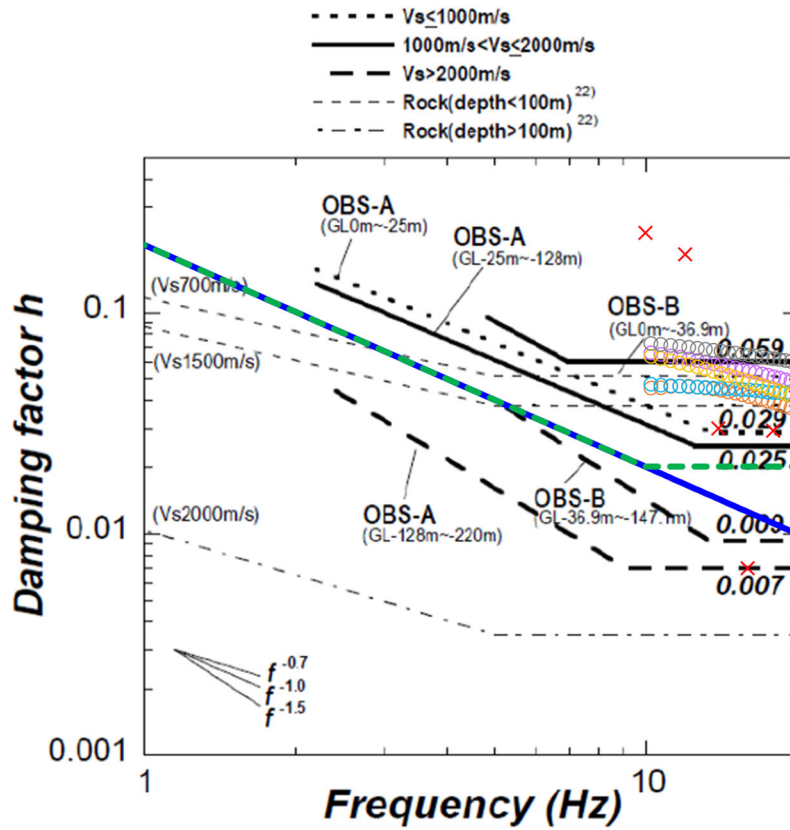
ただし、減衰定数の大きさについては、上記 2 地点及び経験的な値に対し、値として約 0.5 倍程度に小さい値が得られている傾向となっている。

一方、S 波検層結果から得られた減衰定数については、高振動数でのみ得られているデータであり、本知見に見られる周波数依存性の頭打ちが見られないものの、その大きさは、ばらつきの大きい既往データを除き、いずれの地点におけるデータについても、OBS-A における GL0m～-25m、OBS-B における GL0m～-36.9m の中間に分布しており、既往知見と整合的な減衰定数が得られていることを確認した。

「5.1.1 散乱減衰を含むデータに係る評価手法間の比較」に示したとおり、地震観測記録を用いた同定結果が 1 次元地下構造を仮定した条件において速度構造と減衰定数の両方を変数として評価した値であることに対し、S 波検層データは、各グループにおけるボーリング孔において直接加振を行った結果に基づく実測値としてデータを取得しているものであることから、各地点の減衰定数のみに着目したデータとしては信頼性の高いものになっていると考えられる。

以上のことから、敷地における岩盤部分の減衰定数としては、S 波検層結果より得られた減衰定数は十分な信頼性を有しており、S 波検層結果は、東側地盤におけるいずれの地点においても、既往知見とも整合していることから、東側地盤については、地盤の実態として、類似地点における一般的な減衰定数と乖離しないものとなっていると考えられる。

- × S波検層 (追加調査)
- S波検層 (既往調査)
- 周波数依存型 (リニア型)
- ⋯ 周波数依存型 (バイリニア型)



第 5.1.2-3 図 佐藤ほか (2006) による岩盤観測点における減衰定数 h ($h=1/2Q$) 推定結果に対する東側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)

5.1.3 各位置において得られたS波検層データの扱いに関する分析

「5.1.2 既往知見との整合性を踏まえた比較」に示したとおり，中央地盤，西側地盤，東側地盤のいずれについても，S波検層結果の結果については，十分な信頼性を有し，既往知見との比較結果より，敷地における地盤の実態としては，類似地点における一般的な傾向と乖離しないことを確認した。

本章では，敷地における地盤の実態を考慮した減衰定数を設定する上で，S波検層結果が，敷地内で設定した近接する建物グループごとに得られたデータであることを踏まえ，各地点における地質構造と速度構造の両面に着目し，地点間の相対的な類似点または相違点について分析を行う。

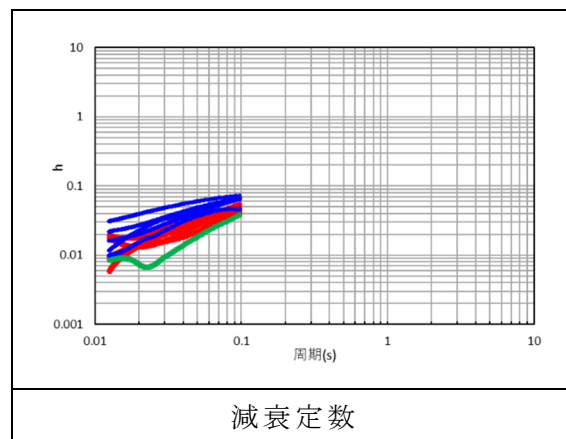
上記分析結果に基づき，敷地内各位置におけるS波検層結果に基づき，適切な範囲ごとに敷地の地盤の特徴を捉えた減衰定数を設定し，その適切性の確認を実施する。

(1) 地質構造の差と減衰定数の関係性の確認

「別紙 2-1 岩盤部分の物性値等の設定について」に示したとおり、敷地においては、岩盤種別としては、敷地内に分布する f-1 断層、f-2 断層を境として、中央地盤、西側地盤、東側地盤のそれぞれにおいて、分布する岩種が同等であることに着目し、これら 3 エリア間における、地質構造と減衰定数の相関性の観点で確認を行った。

第 5.1.3-1 図に示すとおり、減衰定数の大きさは、東側地盤における減衰定数が、中央地盤及び西側地盤と同等オーダーであるものの、データが得られている全周期帯において大きな値となっている。

このことは、中央地盤及び西側地盤では比較的均質な堆積岩が主要な分布岩種であることに対し、東側地盤においては、軽石などの大きな内部構造の不均質さをもつ火山性の堆積物に対応する岩種が多く分布していることにより、層中での散乱が他地点と比較して卓越しやすい傾向になっているためであると考えられる。



第 5.1.3-1 図 追加調査により得られた S 波速度と減衰定数

(赤：中央地盤，青：東側地盤，緑：西側地盤)

(2)速度構造の差と減衰定数に係る相関性の確認

「5.1.2 既往知見との整合性を踏まえた比較」に示したとおり、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、低速度層ほど大きく評価され、高速度層ほど小さく評価される傾向となっていることから、敷地において得られている S 波検層データについて、当該地点における S 波速度と減衰定数を整理し、地点間で相関性を有するか、確認を行った。

確認にあたっては、当該地点の深度方向の S 波速度分布（既往調査及び追加調査）について重みづけ平均した V_s の値に対する減衰定数の大きさをグラフ上にプロットした。参照する減衰定数は、いずれの地点においても周波数依存性の傾きが概ね同等であり、周期によって地点間の減衰定数の大小関係が大きく変動する傾向がデータに見られないこと、ごく短周期側では S 波検層結果に山谷を有するデータが得られていることから、本確認においては、代表として 0.1 秒における S 波速度結果を参照した。

第 5.1.3-2 図に、S 波速度と減衰定数の大きさをプロットしたグラフを示す。仮に、速度構造と減衰定数の大きさについて、既往知見と同様の相関性が見られるとすれば、S 波速度と減衰定数の大きさは負の相関を示し、プロットはグラフ上左上-右下に線状に分布することが考えられるが、敷地内の各地点における S 波検層データによれば、中央地盤、西側地盤、東側地盤のそれぞれのエリア内においても、また、エリア間においてもその傾向は見られない。

このことから、敷地内における地点間の速度構造の差は、減衰定数に対して明確に影響を与えるような差とはなっていないことが確認できた。

また、地盤中の散乱減衰は、地中の速度境界における S 波速度のコントラストが大きい場合に、減衰定数が大きくなる可能性があることから、上記と同様に相関性を確認した。

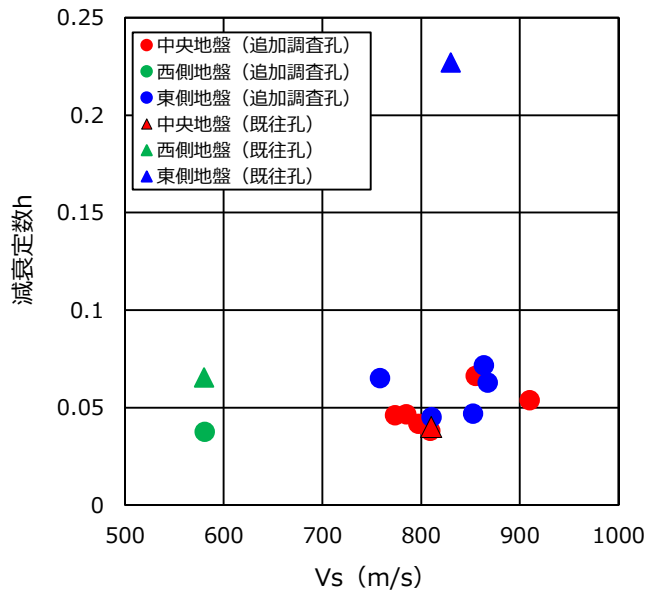
第 5.1.3-3 図に、S 波速度のコントラストと減衰定数の大きさを

ロットしたグラフを示す。仮に、速度構造のコントラストと減衰定数の大きさについて、上記の相関性が見られるとすれば、S波速度のコントラスト（上層 V_s /下層 V_s の値が小さいほどコントラスト大）と減衰定数の大きさは負の相関を示し、プロットはグラフ上左上-右下に線状に分布することが考えられる。

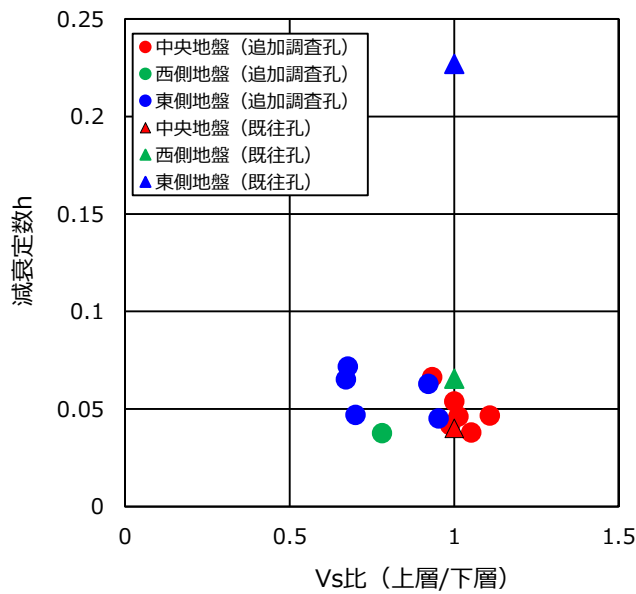
各エリア内におけるデータの特徴に着目すると、中央地盤については、各地点における速度構造のコントラストの差が無く、減衰定数の大きさとの相関性が見られるデータとはなっていない。東側地盤及び西側地盤については、速度構造のコントラストに差があるものの、減衰定数の大きさについてはコントラストの大きさに応じた明瞭な差はみられず、相関性を有していないデータとなっている。

各エリア間におけるデータの特徴に着目すると、各エリアにおける最大値及び最小値に着目すると、コントラストの大きい東側地盤において、減衰定数をやや大きく示す傾向となっているが、全体的な傾向としては明確には確認できない。

このことから、敷地内における地点間の速度構造のコントラストの差については、減衰定数に対して明確に影響を与えるような差とはなっていないことを確認した。



第 5.1.3-2 図 S 波速度と減衰定数の相関性に係る分析



第 5.1.3-3 図 S 波速度のコントラストと減衰定数の相関性に係る分析

5.1.4 各エリアにおける地盤の特徴を捉えた減衰定数の設定に係る検討

(1) S波検層データに基づく減衰定数の設定

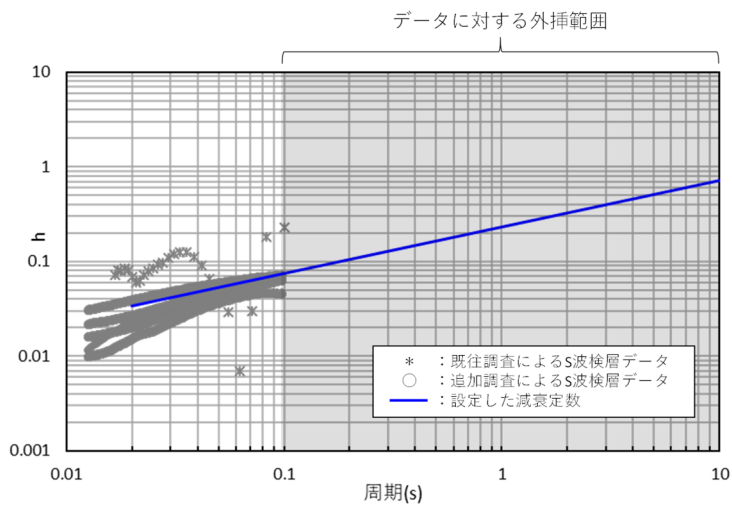
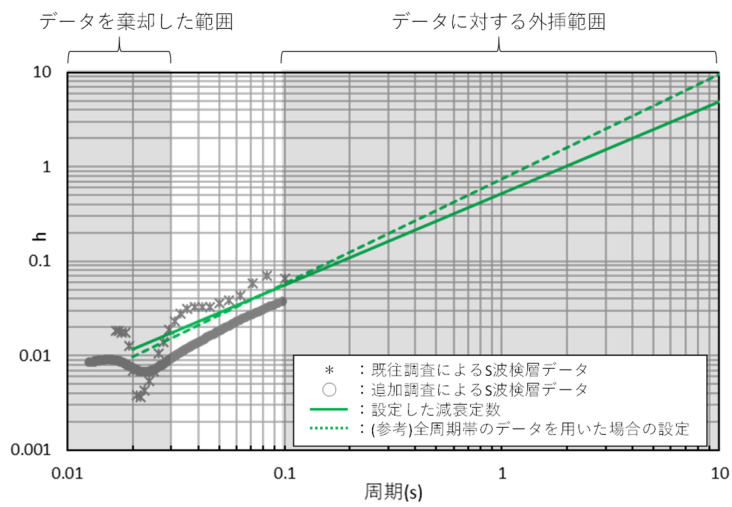
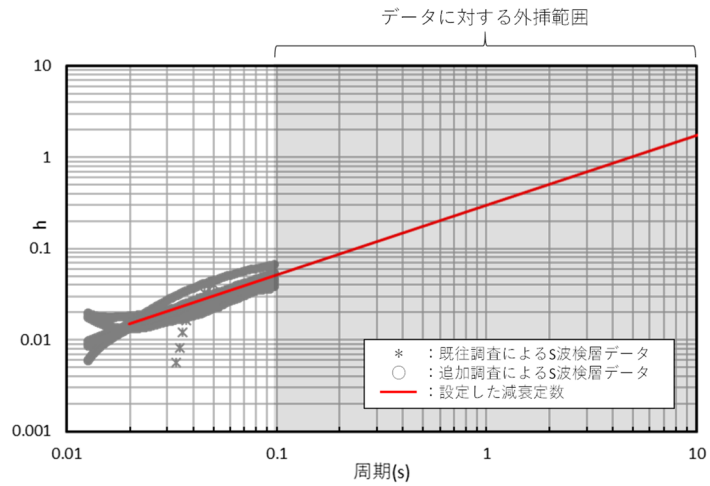
「5.1.3 各位置において得られたS波検層データの扱いに関する分析」に示した分析結果を踏まえると、敷地内における減衰定数については、データを取得した各地点の速度構造の差に起因する傾向の差は無いと考えられるものの、東側地盤については地質構造に起因すると考えられる差は有していると考えられることから、地盤の特徴を捉えた減衰定数の設定にあたっては、まずは、中央地盤、西側地盤、東側地盤のそれぞれにおける既往及び追加調査によるS波検層データを平均化し、第5.1.4-1図に示すとおり周波数依存性を考慮した減衰定数を設定した。

S波検層データについては、0.1秒よりも短周期側で減衰定数が得られており、長周期側のデータは有しないことから、平均化にあたっては長周期側を外挿して設定した。

なお、西側地盤におけるS波検層データについては、周期0.02秒～0.03秒の領域において減衰定数に谷を有し、ごく短周期側で小さい値が評価されていることにより、平均値を算定した場合、外挿領域における周波数依存性の傾きが大きくなり、周期約1秒において減衰定数が1を上回る値となった。

この傾向は、「5.1.2 既往知見との整合性を踏まえた比較」に示した佐藤ほか(2006)に示される傾向とも大きく異なるものであることから、平均化にあたっては、この谷の影響を排除するため、S波検層データにおける0.03s以下のデータを棄却することとした。

西側地盤においては、上記のデータ処理を行っていること、また、入力地震動の算定結果に対しては、地盤の1次固有周期を含む外挿範囲の周期帯における設定による寄与が大きいことから、S波検層結果に基づく減衰定数について外挿を考慮して設定した場合においても、敷地における地震観測記録を説明可能な減衰定数となっていることを確認する目的で、地震観測記録を用いたシミュレーション解析を実施した。



第 5.1.4-1 図 S 波検層データに基づく減衰定数の設定結果

(2)シミュレーション解析による設定した減衰定数の妥当性確認

シミュレーション解析にあたっては、「4.4 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」において同定した中央地盤，西側地盤，東側地盤それぞれにおける速度構造及び減衰定数（周波数依存性考慮（リニア型）を参照）のうち，岩盤部分の減衰定数をS波検層結果に置換する。

ただし，一部の層における減衰定数を置換することにより，表層地盤等も含めた地盤の減衰の総量変動することから，表層と解放基盤表面以深の減衰定数については再同定を行う。再同定は「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」と同じ地震に対し，同じ方法で行う。

岩盤部分に相当する減衰定数をS波速度検層結果に置換し，表層地盤及び解放基盤表面以深の減衰定数について再同定を行った結果を第5.1.4-1表～5.1.4-3表に，地盤の各深さ間の伝達関数を第5.1.4-1図～第5.1.4-3図に示す。再同定を行っても，表層地盤及び解放基盤表面以深の減衰定数に大きな変動はなかったことから，今回反映したS波検層結果に基づく岩盤部分の減衰定数は，観測記録に適合させる上で不自然な値とはなっていないと考えられる。

この再同定結果に基づくシミュレーション解析結果を第5.1.4-4図～第5.1.4-6図に示す。解析結果は，「4.4 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」と同様に，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）との比較として示す。

シミュレーション解析結果については，地震観測記録を用いた同定結果に基づくシミュレーション解析との比較を行うことが目的であること，また，本評価が線形解析であることを踏まえ，同定に用いた地震のうち，いずれの地震観測地点においても大加速度の記録が得られている，201103111446地震及び201205240002地震を代表として確認することとした。

第5.1.4-4図～第5.1.4-6図に示すとおり，シミュレーション解析結果は，「4.4 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」におけるシミュレーション解析結果に対し，全周期でほぼ同値の

地盤応答が得られ、S波検層結果を考慮した減衰定数は、中央地盤、西側地盤、東側地盤のいずれの領域においても、データに対して外挿を行っている周期0.1秒よりも長周期側も含めて、地震観測記録をよく説明する結果となった。

以上より、中央地盤、西側地盤、東側地盤において得られたS波検層結果を平均化して設定した減衰定数は、敷地の地盤における振動特性をよく説明する値となっており、各エリアにおける地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数として適切な設定となっていることを確認した。

第 5.1.4-1 表 S 波検層結果に基づく減衰定数を反映した再同定結果
(中央地盤)

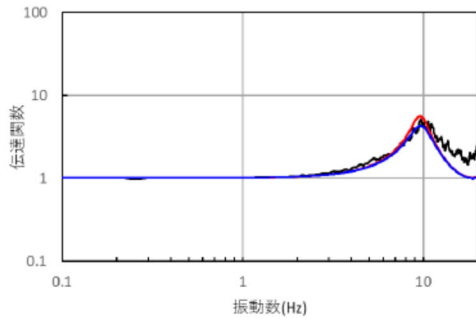
深度 GL (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 $h^{*1 *2}$		
					分類	ho	n
0	1	2	1.94	470	表層 1	0.3	0.9
-2	2	1.5				(0.3)	(0.8)
-3.5	3	1.5	1.94	560		0.5	0.8
-5	4	13	1.64	720	表層 2	(0.3)	(0.8)
-18	5	2				0.7	0.8
-20	6	40	1.75	760	岩盤	(0.5)	(0.5)
-60	7	60	1.85	830		0.3	0.8
-120	8	5	1.85	950	基盤	(0.3)	(0.9)
-125	9	75				0.3	1.0
-200	10	—				(0.3)	(0.9)

S 波検層結果に基づ
く減衰定数を反映

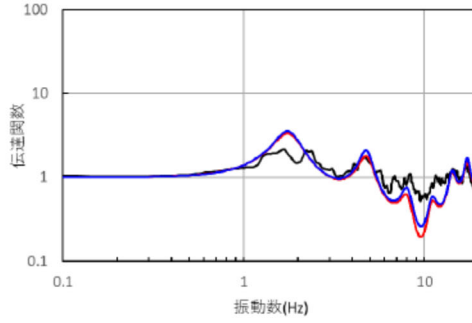
注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$

*2: () 内の値は「4.4 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
おける同定結果 (周波数依存性考慮: リニア型)

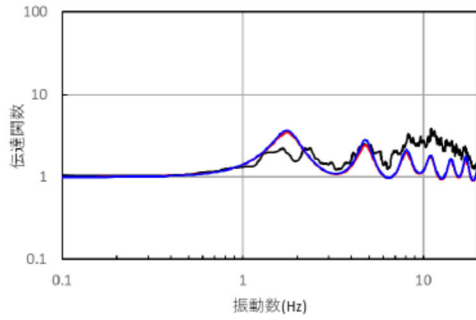
— 地震観測記録
 — 再同定結果
 — 地震観測記録に基づく同定結果



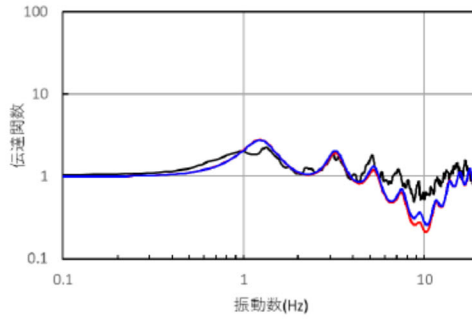
① GL-2m/GL-18m



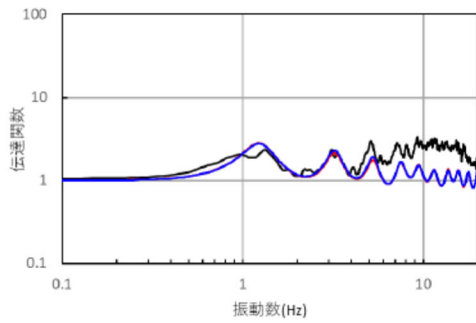
④ GL-18m/GL-125m



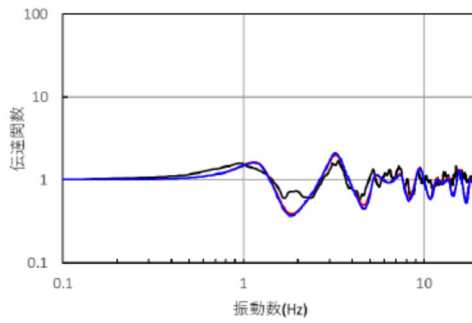
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



③ GL-2m/GL-200m



⑥ GL-125m/GL-200m

第 5.1.4-1 図 S 波検層結果に基づく減衰定数を反映した再同定結果の
伝達関数 (中央地盤)

第 5.1.4-2 表 S 波検層結果に基づく減衰定数を反映した再同定結果
(西側地盤)

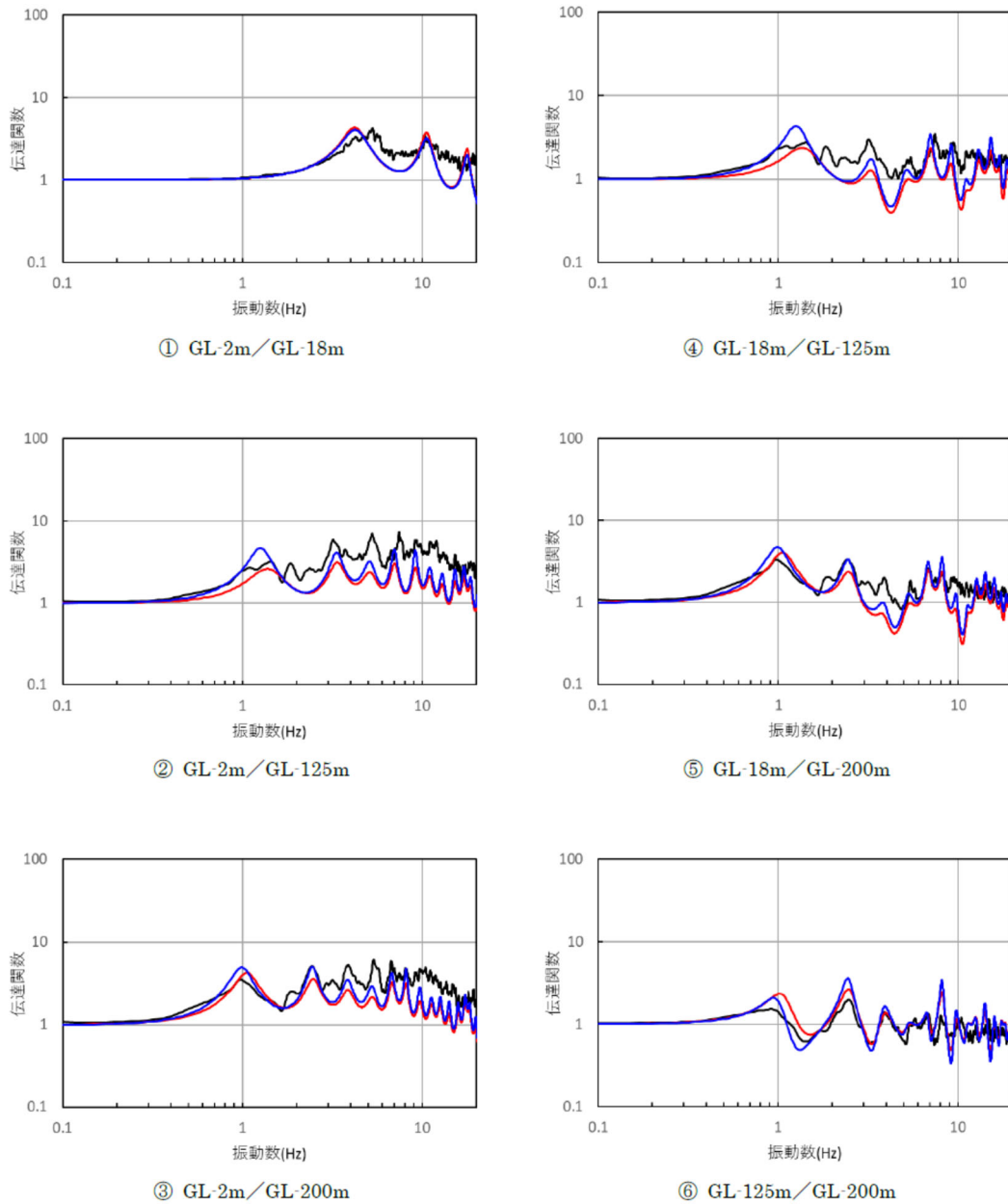
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 $h^{*1 *2}$				
					分類	ho	n		
GL0m	1	2	1.73	230	表層 1	0.2	0.8		
-2.00	2	2.34				(0.2)	(0.8)		
-4.34	3	5.76		240		0.1	0.9		
						(0.1)	(0.9)		
-10.10	4	7.9	2.02	290	表層 2	0.9	0.8		
						(0.8)	(0.7)		
-18.00	5	18.82		420		0.1	0.8		
						(0.1)	(0.9)		
-36.82	6	36.68	1.59	580	岩盤	0.5	1.0		
						(0.2)	(1.0)		
-73.5	7	39.1		660					
-112.60	8	12.40	1.75	870	基盤	0.1	0.9		
-125.00	9	63.87							
-188.87	10	11.13	1.57	1050		(0.1)	(0.9)		
-200.00	11	—							

S 波検層結果に基づく減衰定数を反映

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$

*2: () 内の値は「4.4 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」における同定結果 (周波数依存性考慮: リニア型)

— 地震観測記録
 — 再同定結果
 — 地震観測記録に基づく同定結果



第 5.1.4-2 図 S 波検層結果に基づく減衰定数を反映した再同定結果の
 伝達関数（西側地盤）

第 5.1.4-3 表 S 波検層結果に基づく減衰定数を反映した再同定結果
(東側地盤)

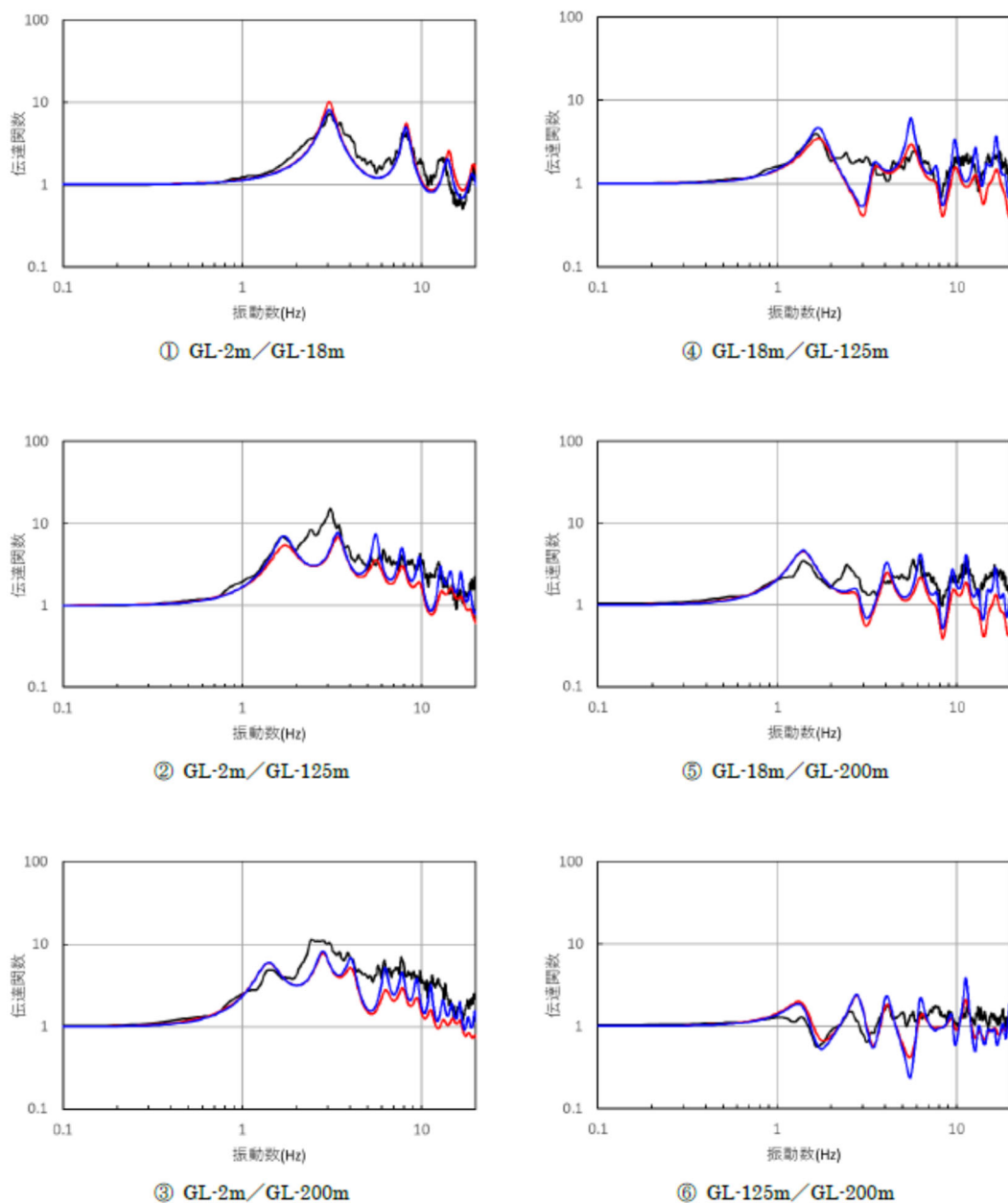
深度 (m)	No.	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 $h^{*1 *2}$		
					分類	ho	n
0	1	2	1.69	140	表層 1	0.8 (0.8)	0.1 (0.3)
-2.00	2	6.33		160		0.1 (0.2)	0.9 (0.9)
-8.33	3	6.4		210			
-14.73	4	3.27	1.72	310	表層 2	0.4 (0.3)	0.7 (0.8)
-18.00	5	0.68					
-18.68	6	53.2	1.59	640	岩盤	0.2 (0.2)	0.5 (1.0)
-71.88	7	43.85		1090			
-115.73	8	9.27	1.82	1190	基盤	0.2 (0.2)	0.9 (0.9)
-125.00	9	34.31					
-159.31	10	40.69					
-200.00	11	—	1.90	1200			

S 波検層結果に基づ
く減衰定数を反映

注記 *1: 振動数依存減衰 $h=ho \cdot f^{-n}$

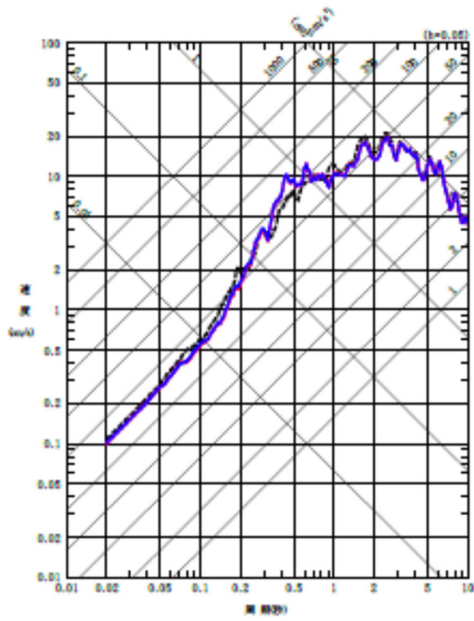
*2: () 内の値は「4.4 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価結果」に
おける同定結果 (周波数依存性考慮: リニア型)

— 地震観測記録
 — 再同定結果
 — 地震観測記録に基づく同定結果

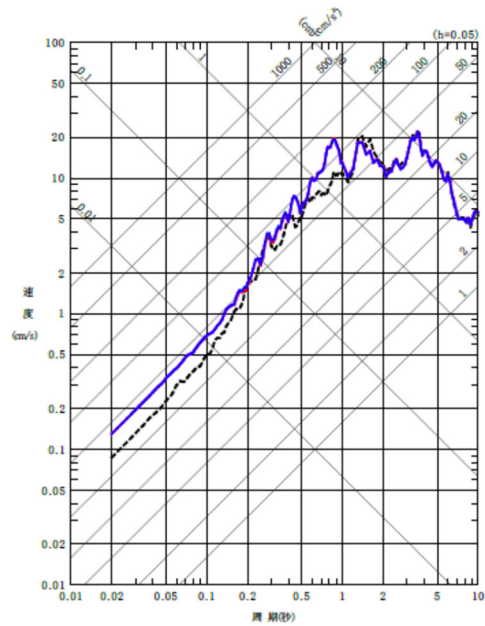


第 5.1.4-3 図 S 波検層結果に基づく減衰定数を反映した再同定結果の
 伝達関数（東側地盤）

— 地震観測記録
 — 再同定結果
 — 地震観測記録に基づく同定結果

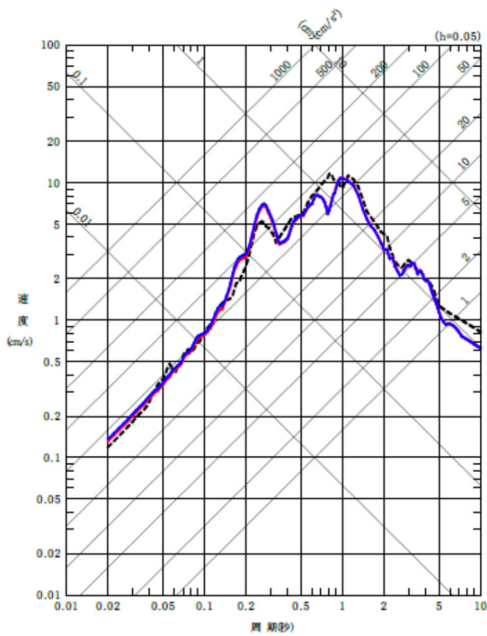


(NS 方向)

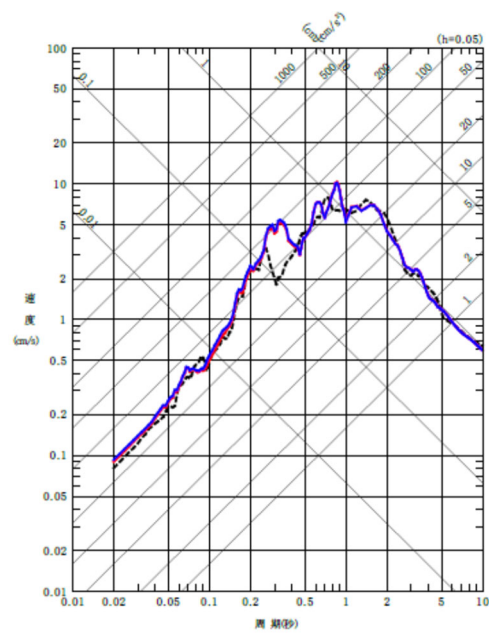


(EW 方向)

(a) 201103111446 地震



(NS 方向)

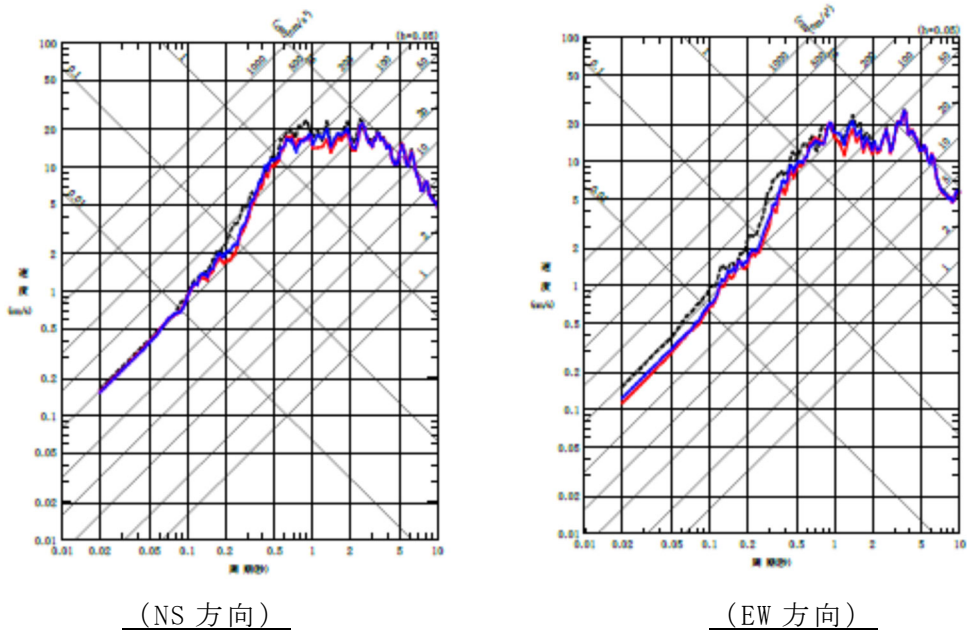


(EW 方向)

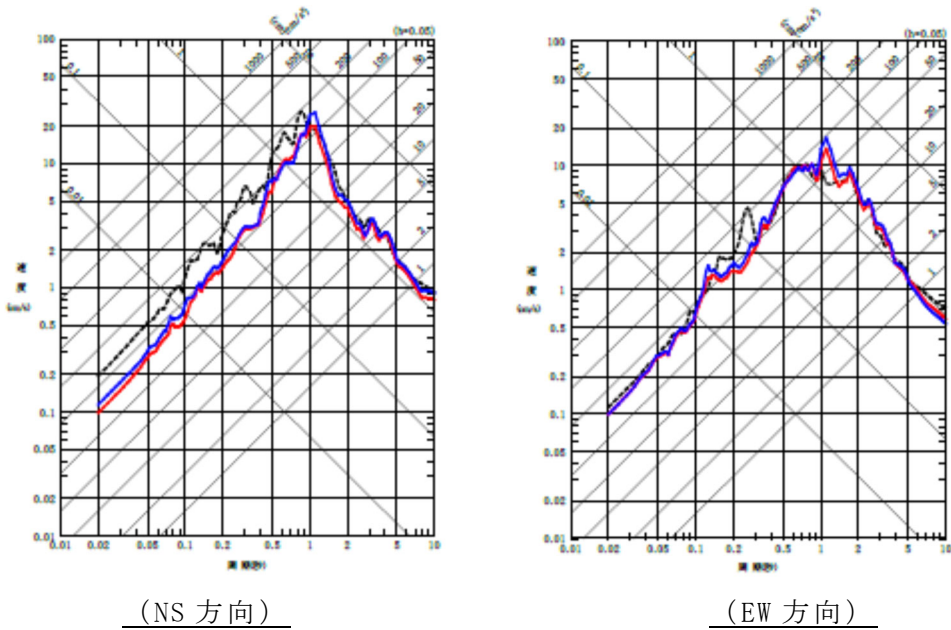
(b) 201205240002 地震

第 5.1.4-4 図 再同定前後のシミュレーション解析結果の比較 (中央地盤)

— 地震観測記録
 — 再同定結果
 — 地震観測記録に基づく同定結果



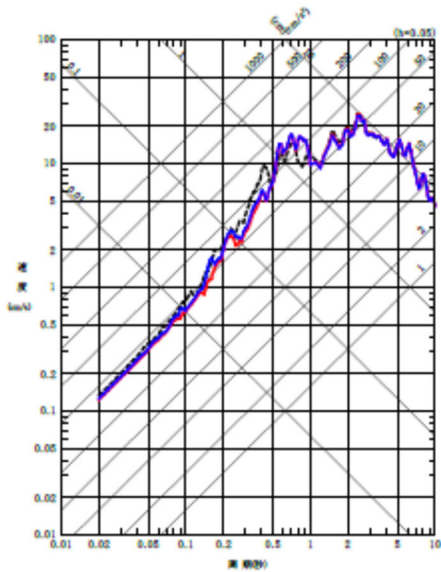
(a) 201103111446 地震



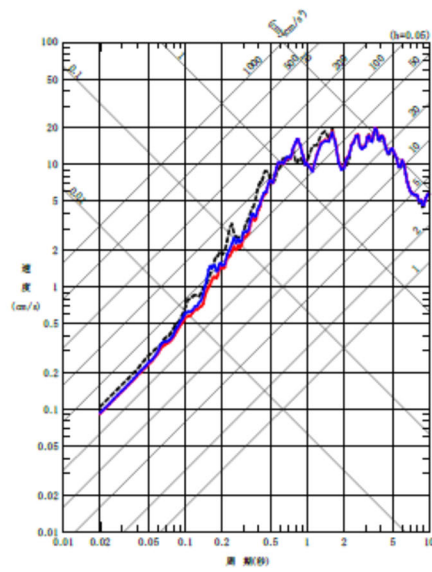
(b) 201205240002 地震

第 5.1.4-5 図 再同定前後のシミュレーション解析結果の比較 (西側地盤)

— 地震観測記録
 — 再同定結果
 — 地震観測記録に基づく同定結果

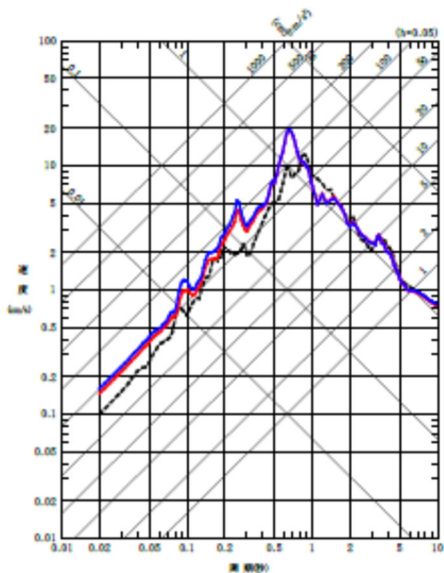


(NS 方向)

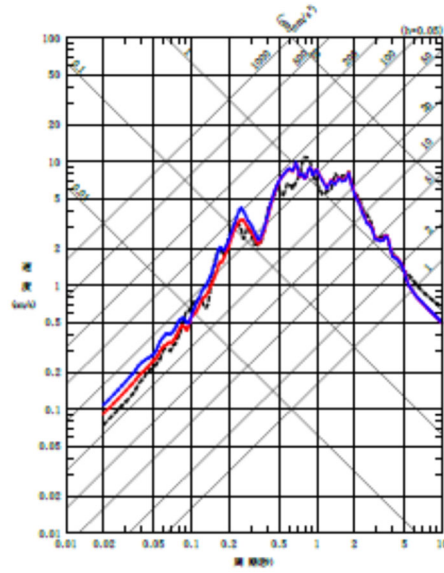


(EW 方向)

(a) 201103111446 地震



(NS 方向)



(EW 方向)

(b) 201205240002 地震

第 5.1.4-6 図 再同定前後のシミュレーション解析結果の比較 (東側地盤)

5.2 材料減衰に係る分析

5.2.1 材料減衰に係るデータの評価手法間の関係性

(1)分析方針

材料減衰に係るデータとしては、「4.1 三軸圧縮試験による評価結果」に示した三軸圧縮試験結果と、「4.2 岩石コア試験による評価結果」に示した岩石コア試験結果を有している。

三軸圧縮試験では、敷地内の各地点における同一岩種ごとの試験結果に対する平均的な値として材料減衰が評価されており、敷地内の地点ごとの違いについては考慮されていないものの、地盤のひずみに応じた材料減衰の増大（ひずみ依存特性 $h-\gamma$ ）が評価されており、非線形性を考慮した材料減衰が得られている。

なお、「4.1 三軸圧縮試験による評価結果」に示したとおり、評価された $h-\gamma$ 曲線に対して、個別の三軸圧縮試験データ全体として、データのばらつきは小さいことから、岩盤分類ごとに得られたデータの地点及び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。

一方、岩石コア試験については、高振動数帯の波形を用いた試験であり、その振幅も非常に小さいことから、ごく微小ひずみ領域における減衰定数が評価されるものとなり、非線形性は考慮されていないが、敷地内の各地点又は深さにおける個別のデータとして材料減衰が得られたものとなっている。

以上の各試験の特徴を踏まえると、三軸圧縮試験結果を参照することにより、敷地における地盤の実態を考慮した減衰定数のうち、材料減衰の成分については考慮可能であると考えられるが、敷地内の各地点又は深さごとに得られた岩石コア試験における傾向と比較することにより、敷地内の材料減衰の地点及び深さ方向の違いの有無について分析を行う。

分析にあたり、岩石コア試験結果については、「4.2 岩石コア試験による評価結果」に示したとおり、スペクトル比法とパルスライズタイム法による2種類の手法を用いて減衰定数を評価しているが、信頼性が高いと考えられるパルスライズタイム法による評価結果を参照する。

(2) 岩石コア試験結果の傾向分析結果

第 5.2.1-1 図に、岩石コア試験結果（パルスライズタイム法）による減衰定数について、各調査地点における地質構造及び速度構造とあわせて示す。

また、比較のため、繰返し三軸圧縮試験による最小減衰定数も示すとともに、参考に、スペクトル比法による減衰定数もあわせて示す。

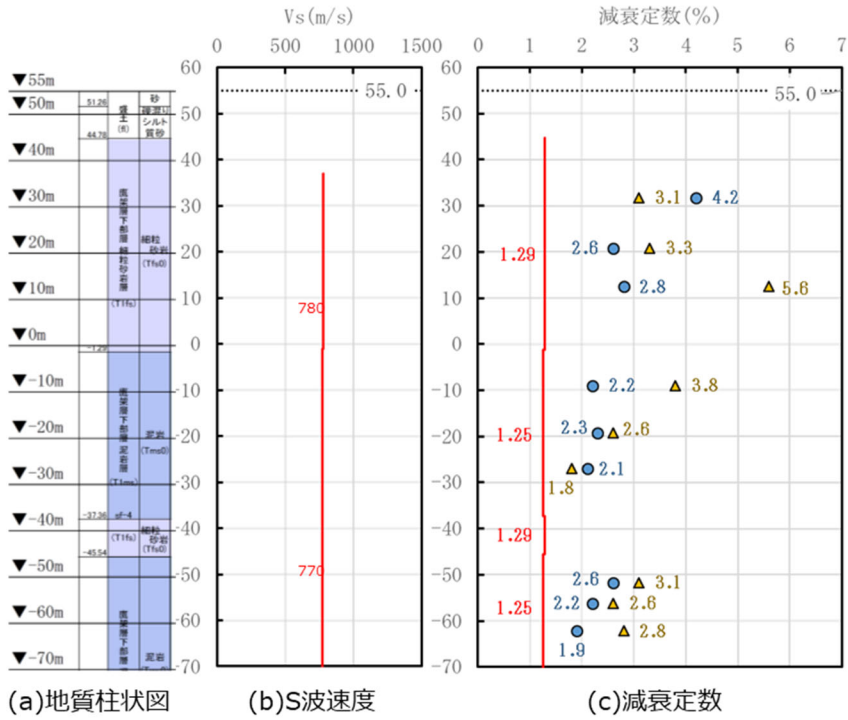
各ボーリング孔ごとの減衰定数の傾向に着目すると、深さ方向に減衰定数が大きくまたは小さく推移するような傾向や、岩種や S 波速度の切り替わりにおいて減衰定数が変動するような傾向については見られない。

次に、同一岩種における地点間の差に係る傾向に着目した分析を行う。

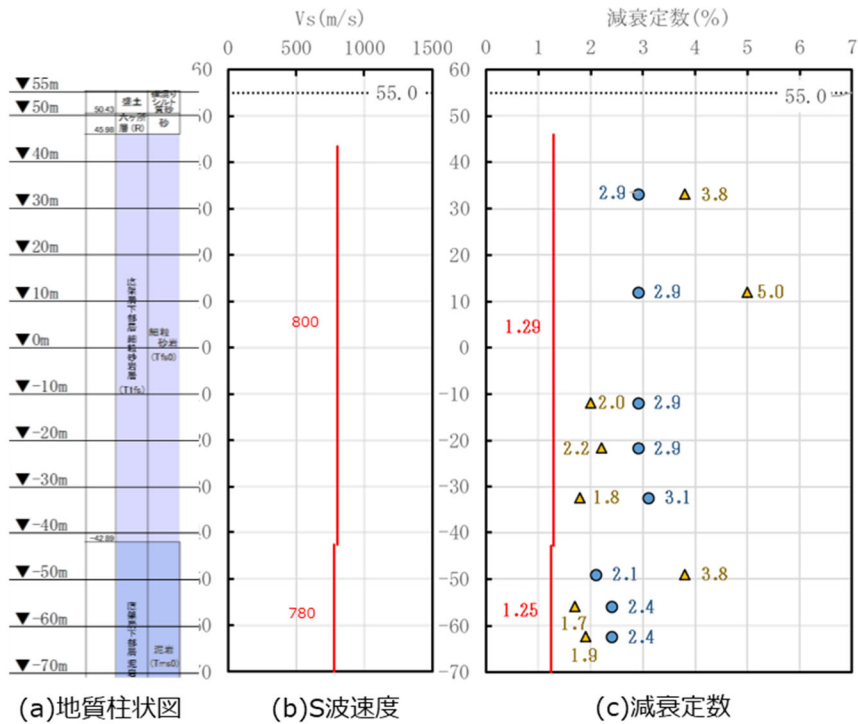
第 5.2.1-1 表に、各地点または深さにおいて得られている個別の岩石コア試験結果を岩種ごとに整理して示す。第 5.2.1-1 表では、各岩種における岩石コア試験の平均値について算出して合わせて示しているが、各調査位置において得られている個別の減衰定数の値は、平均値に対して倍または半分の差にも至っておらず、概ね収束した値として得られていると言える。

なお、最も乖離の大きいデータとして、細粒砂岩の R5-Q2 孔における試験値（平均値 3.7% に対し試験値 2.0%）が得られているが、同じ R5-Q2 孔において、細粒砂岩において 4.4% の値を示すデータも得られていることから、本調査位置の細粒砂岩において特異に小さい減衰定数を示す傾向には無いと考えられる。

以上を踏まえると、敷地における岩盤部分の材料減衰については、岩石コア試験結果からも、岩種ごとに整理することに問題が無いことが言える。



(1) R 5-Q 1 孔

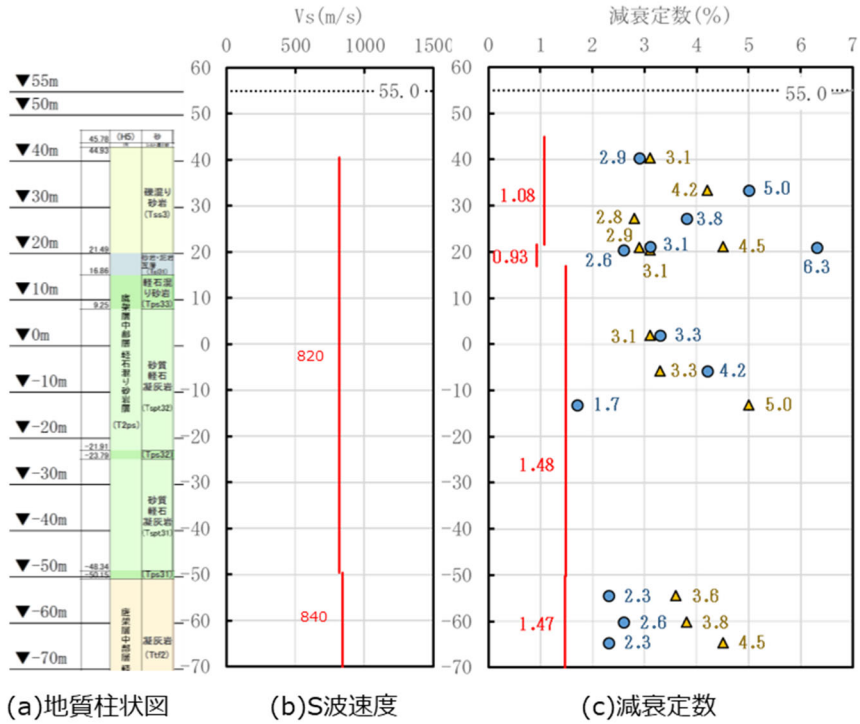


(2) R 5-Q 2 孔

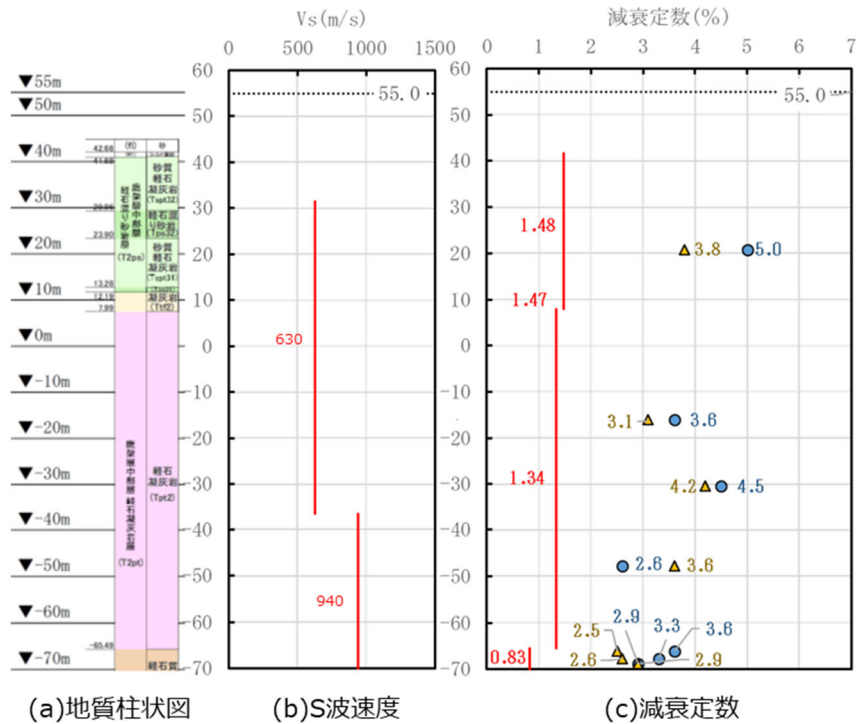
— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 5.2.1-1 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (1/6)



(3) R 5-Q 3 孔

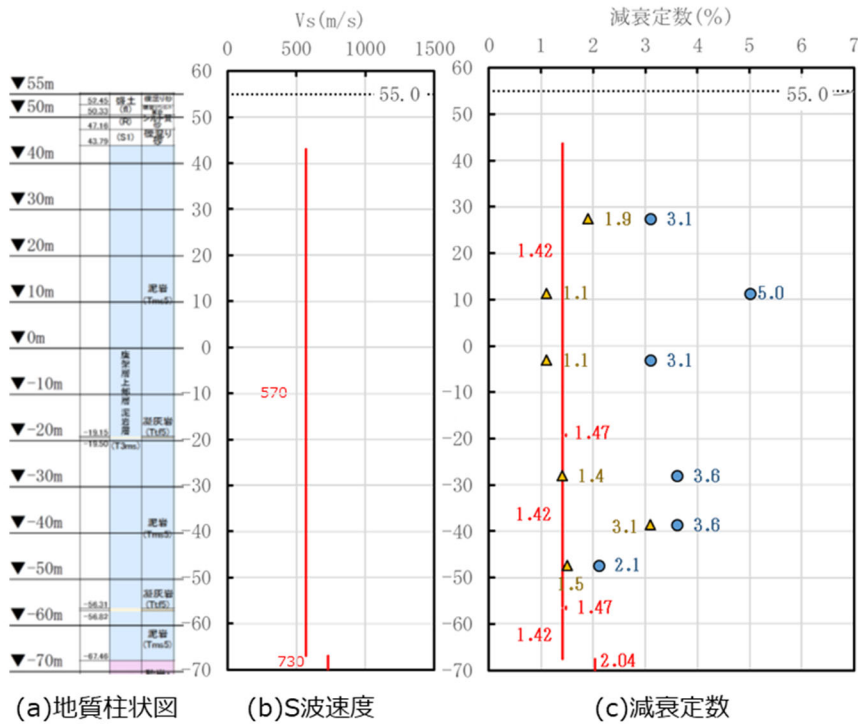


(4) R 5-Q 4 孔

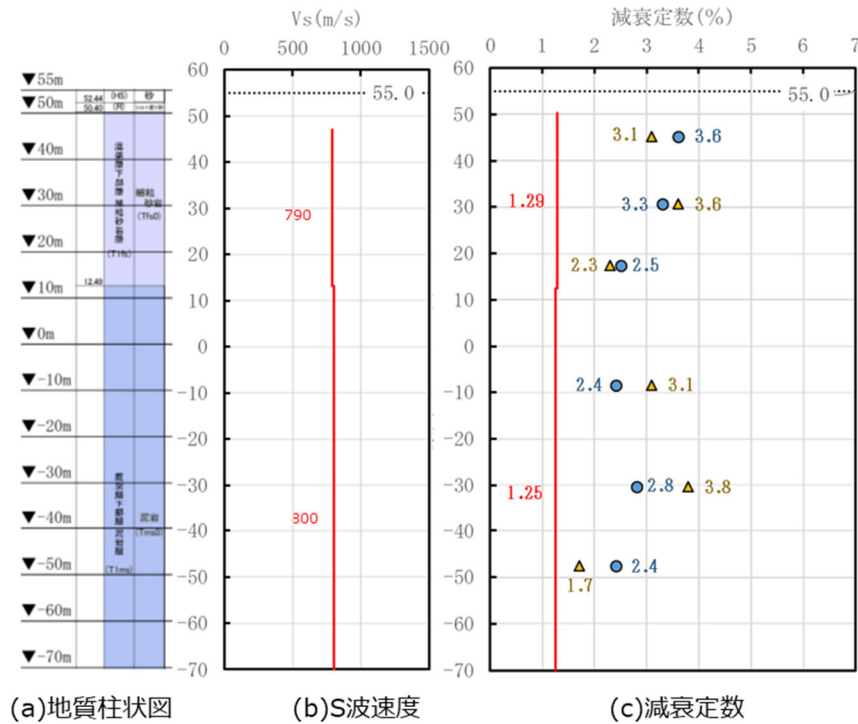
— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 5.2.1-1 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (2/6)



(5) R 5-Q 5 孔

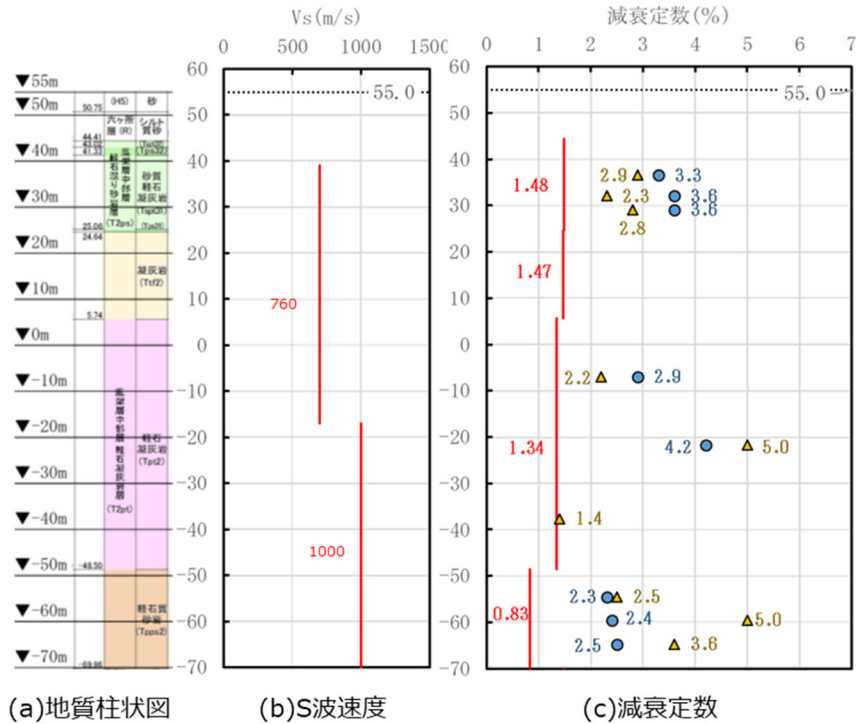


(6) R 5-Q 6 孔

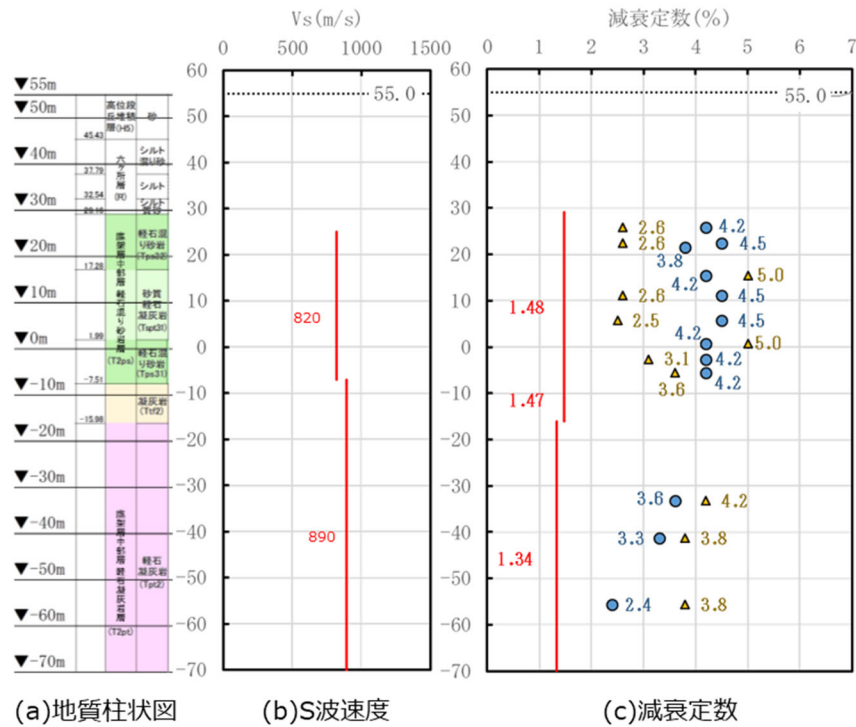
— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 5.2.1-1 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (3/6)



(7) R5-Q7 孔

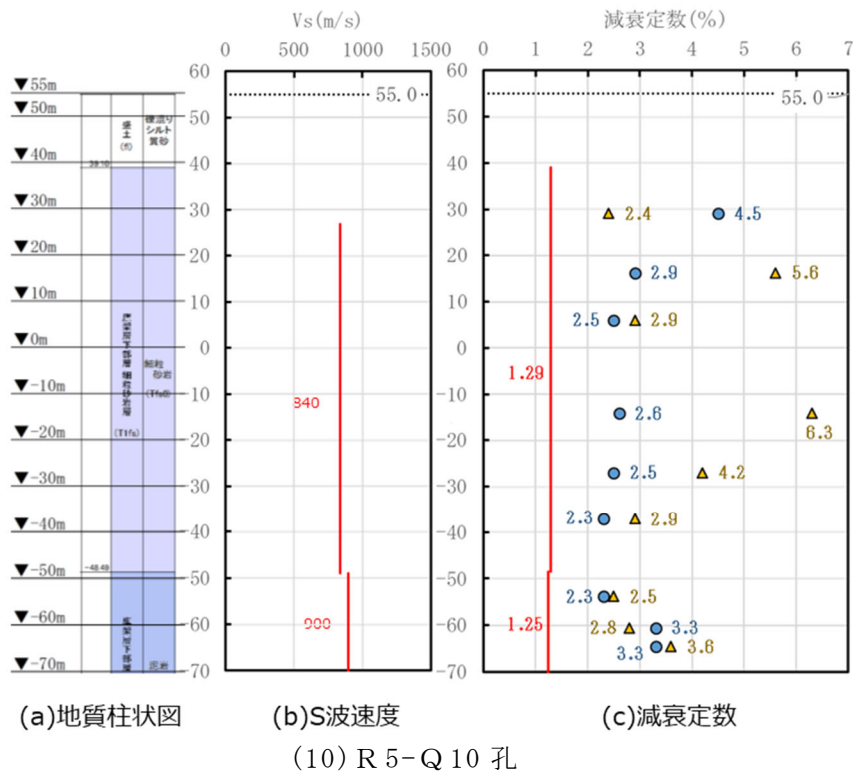
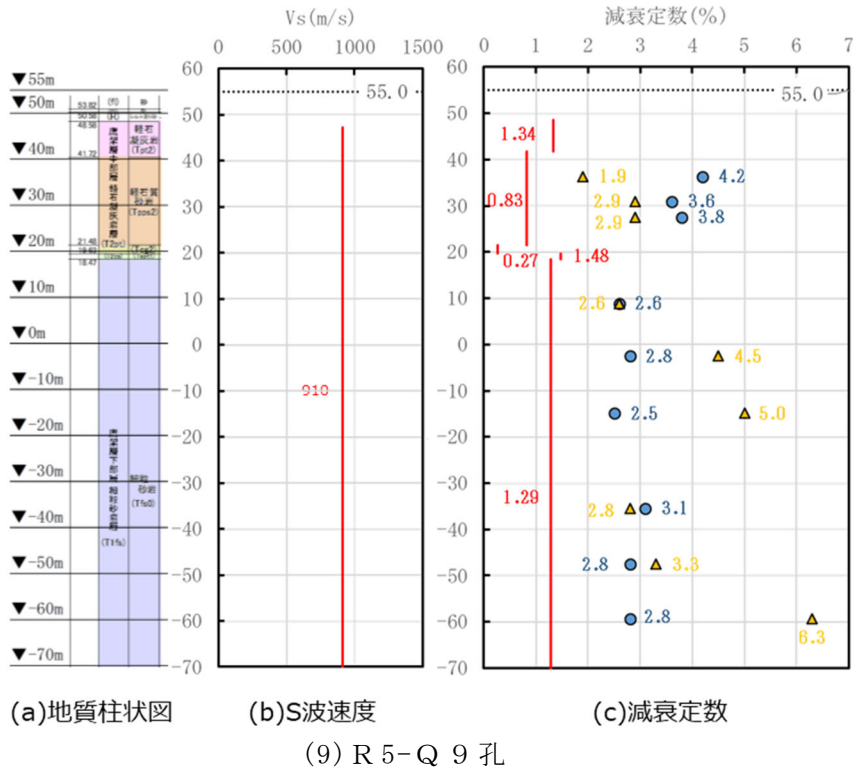


(8) R5-Q8 孔

— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 5.2.1-1 図 減衰定数の比較

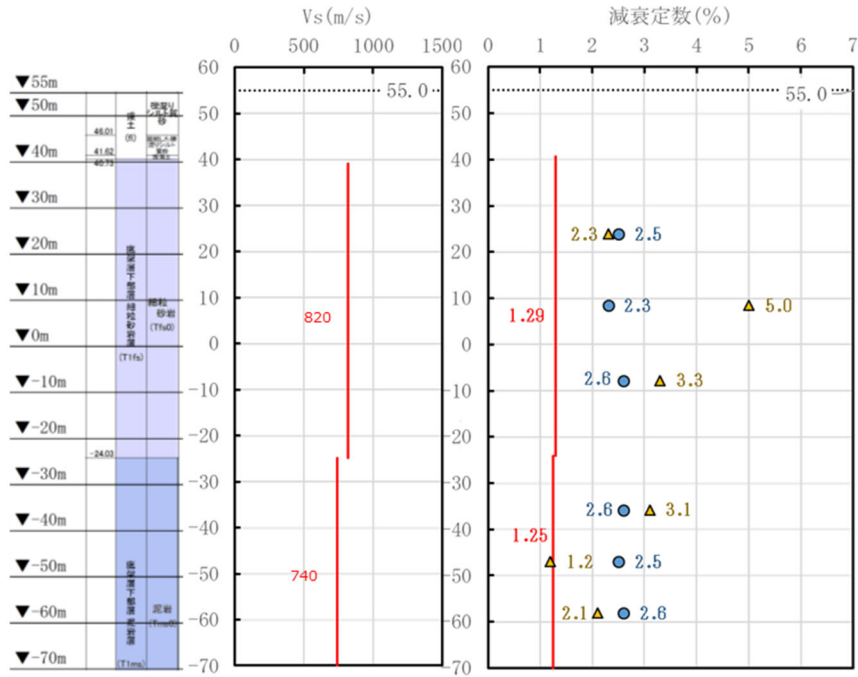
(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (4/6)



— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 5.2.1-1 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (5/6)

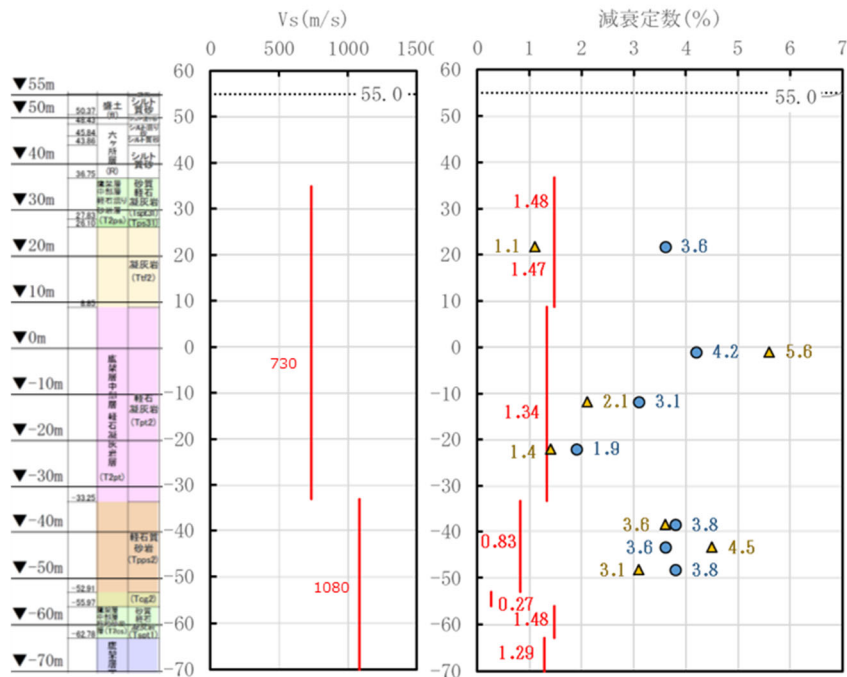


(a)地質柱状図

(b)S波速度

(c)減衰定数

(11) R 5-Q 11 孔



(a)地質柱状図

(b)S波速度

(c)減衰定数

(12) R 5-Q 12 孔

— : 繰返し三軸試験結果の最小減衰定数 ● : コアQ値測定結果の減衰定数(スペクトル比法) ▲ : コアQ値測定結果の減衰定数(パルスライズタイム法)

第 5.2.1-1 図 減衰定数の比較

(三軸圧縮試験, スペクトル比法及びパルスライズタイム法) (6/6)

第 5.2.1-1 表 各地点において得られた岩石コア試験結果の整理

地質区分		岩盤分類(層序)		調査位置	パルス ライズタイム法	平均	
鷹架層上部層	泥岩層	泥岩	mss	R5- Q5	1.4	1.7	
				R5- Q5	2.0		
鷹架層中部層	軽石混り砂岩	砂岩・凝灰岩互層	alst	R5- Q5	1.1	1.1	
		礫混り砂岩	ss	R5- Q3	3.9	3.9	
		砂岩・泥岩互層 ^{*1}	alsm	R5- Q3	4.0	4.0	
		軽石混り砂岩	軽石混り砂岩	ps	R5- Q8	2.6	3.3
					R5- Q8	3.9	
		砂質軽石凝灰岩	砂質軽石凝灰岩	spt	R5- Q3	3.1	3.3
					R5- Q4	3.8	
					R5- Q7	2.7	
					R5- Q8	3.4	
		鷹架層中部層	軽石凝灰岩層	凝灰岩	tf	R5- Q3	2.4
R5- Q12	1.1						
軽石凝灰岩	軽石凝灰岩			pt	R5- Q4	3.6	3.4
					R5- Q7	2.9	
					R5- Q8	4.0	
					R5- Q12	3.0	
軽石質砂岩	軽石質砂岩			pps	R5- Q4	2.7	3.2
					R5- Q7	3.7	
					R5- Q9	2.6	
					R5- Q12	3.7	
鷹架層下部層	細粒砂岩層	細粒砂岩	fs	R5- Q1	4.0	3.7	
				R5- Q2	4.4		
				R5- Q2	2.0		
				R5- Q6	3.0		
				R5- Q9	4.1		
				R5- Q9	4.1		
				R5- Q10	3.6		
				R5- Q10	4.5		
	R5- Q11	3.5					
	泥岩層	泥岩	ms	R5- Q1	2.8	2.7	
				R5- Q1	2.8		
				R5- Q2	2.5		
				R5- Q6	2.9		
				R5- Q10	2.9		
R5- Q11				2.1			

(3) 三軸圧縮試験結果との減衰定数の大きさの比較

(2)にて整理したとおり、岩石コア試験結果については、敷地内の場所によらず、岩種単位で整理することが可能であることから、本章では、岩種ごとの岩石コア試験結果の平均値に対し、三軸圧縮試験結果における減衰定数の大きさとの比較を実施する。

第 5.2.1-2 表に、三軸圧縮試験結果における最小減衰定数と、岩石コア試験結果（パルスライズタイム法）の岩種ごとの平均値を比較して示す。

あわせて、第 5.2.1-2 図に、三軸圧縮試験結果のひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）との比較を示す。

第 5.2.1-2 表及び第 5.2.1-2 図に示したとおり、三軸圧縮試験から得られる最小減衰定数は、0.8～2.0%程度であるのに対して、スペクトル比法では、2.2～4.2%、パルスライズタイム法では、1.1～4.0%といずれの岩種においても大きな値を示す傾向にある。

なお、砂岩・凝灰岩互層については、三軸圧縮試験結果における $h-\gamma$ 関係を下回るものの、 $h-\gamma$ 関係の導出に用いている試験結果の分布範囲内に位置していることから、特異な減衰定数が得られているものではない。

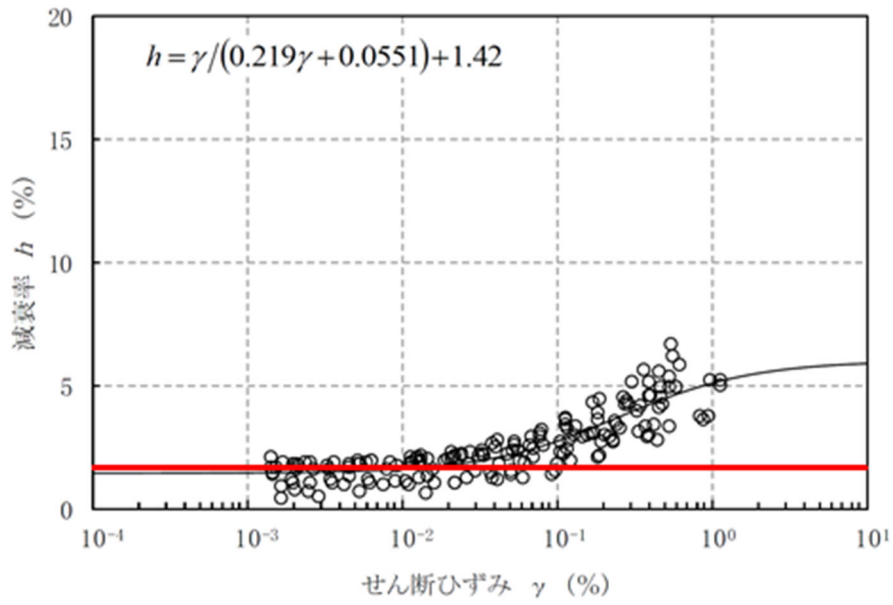
また、第 5.2.1-2 図に示したとおり、三軸圧縮試験においてデータが得られている小ひずみ領域（ 10^{-3} ）にて、複数のデータに共通の傾向として、減衰定数が一定の値に収束している傾向が見られることから、岩石コア試験において対象としているごく小さいひずみ領域における減衰定数の値も、三軸圧縮試験結果に基づく $h-\gamma$ 関係により、地盤の実態を捉えた値として評価されていると考えられる。

上記を踏まえると、岩石コア試験は、岩石コアの透過波形データにおける高次成分または反射等による寄与が小さいパルスライズタイム法を採用したものの、地盤の実態に対して大きい値として評価されていると考えられる。

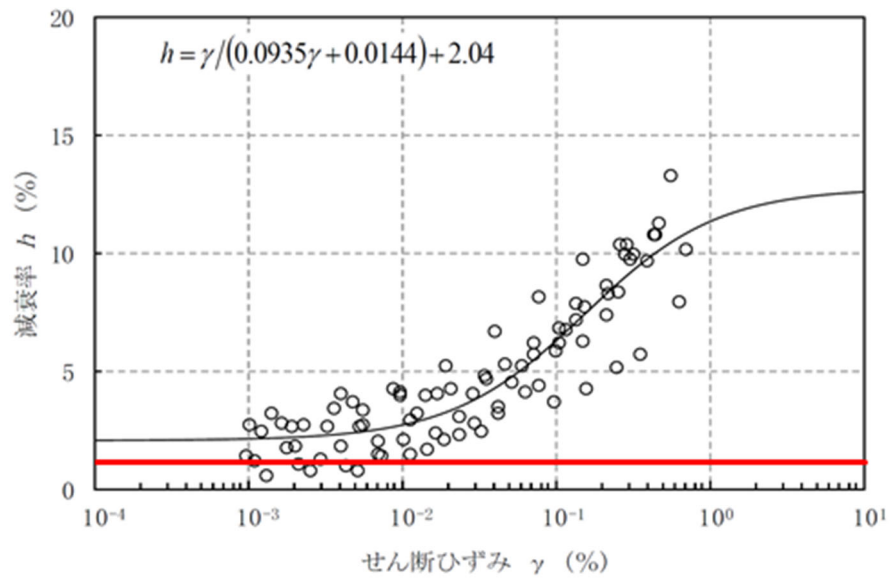
以上のことから、各岩種における地盤の実態を捉えた材料減衰としては、三軸圧縮試験による結果を参照することが適切であると考えられる。

第 5.2.1-2 表 岩石コアによる岩盤分類（層序）毎の Q 値測定結果一覧

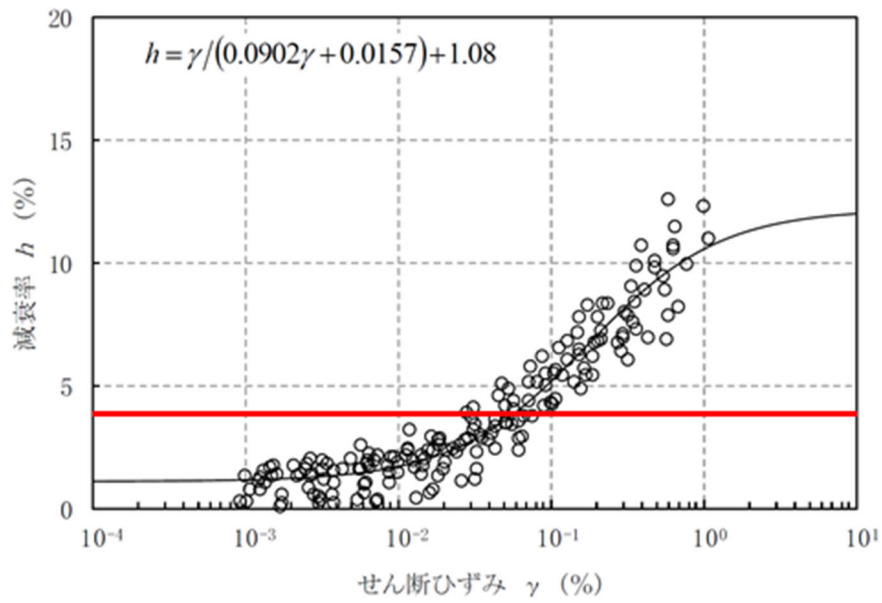
地盤範囲	地質区分		岩盤分類(層序)	繰返し三軸試験結果 の最小減衰定数(%)	コアQ値測定結果の減衰定数(%)	
					(参考) スペクトル比法	パルスライズタイム法
西側地盤	鷹架層上部層	泥岩層	泥岩	1.42	3.5	1.7
			砂岩・凝灰岩互層	2.04	4.1	1.1
東側地盤	鷹架層中部層	軽石混り砂岩	礫混り砂岩	1.08	3.4	3.9
			砂岩・泥岩互層	0.93	3.5	4.0
			軽石混り砂岩	1.48	4.2	3.3
			砂質軽石凝灰岩	1.48	4.2	3.3
		軽石凝灰岩層	凝灰岩	1.47	3.8	1.8
			軽石凝灰岩	1.34	3.4	3.4
			軽石質砂岩	0.83	3.4	3.2
鷹架層下部層	細粒砂岩層	細粒砂岩	1.29	2.9	3.7	
	泥岩層	泥岩	1.25	2.5	2.7	



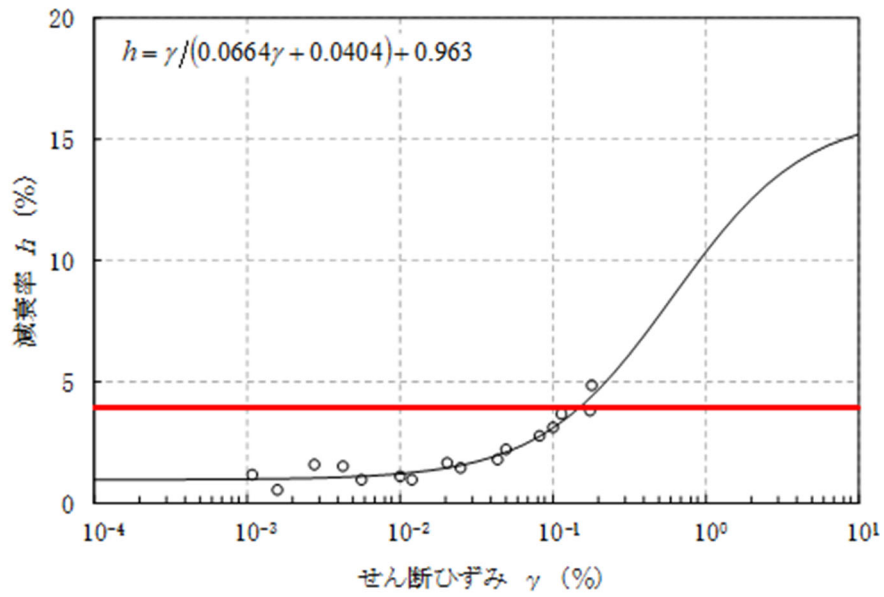
第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較 (泥岩 (上部層))



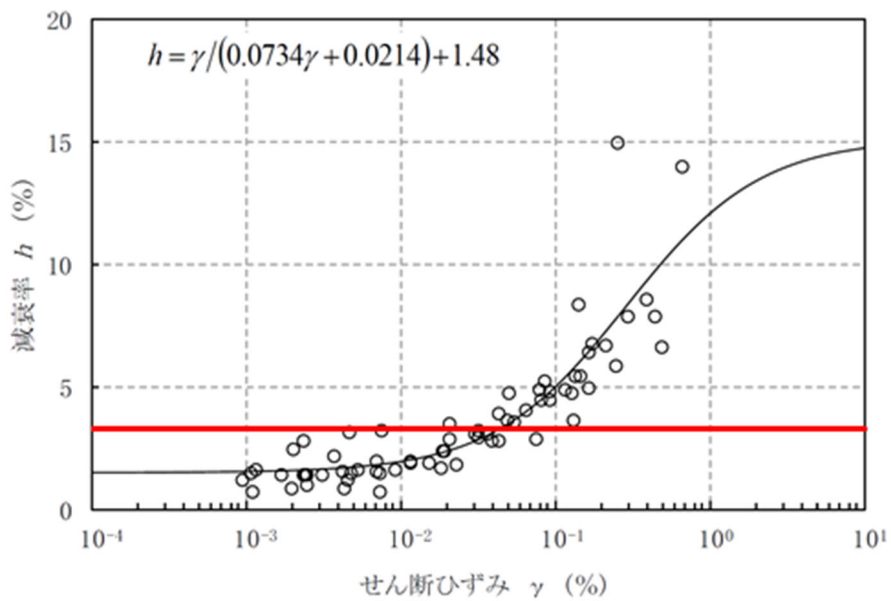
第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較 (砂岩・凝灰岩互層)



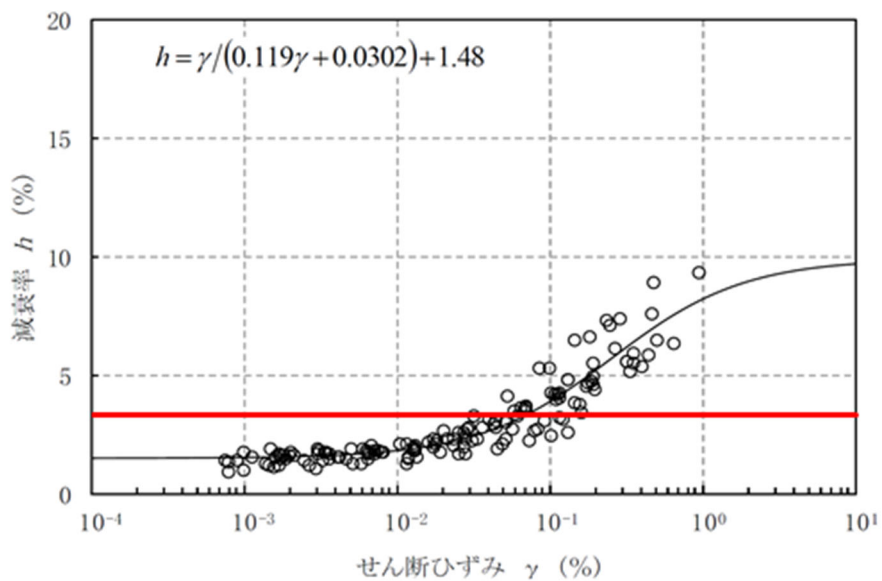
第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較（礫混り砂岩）



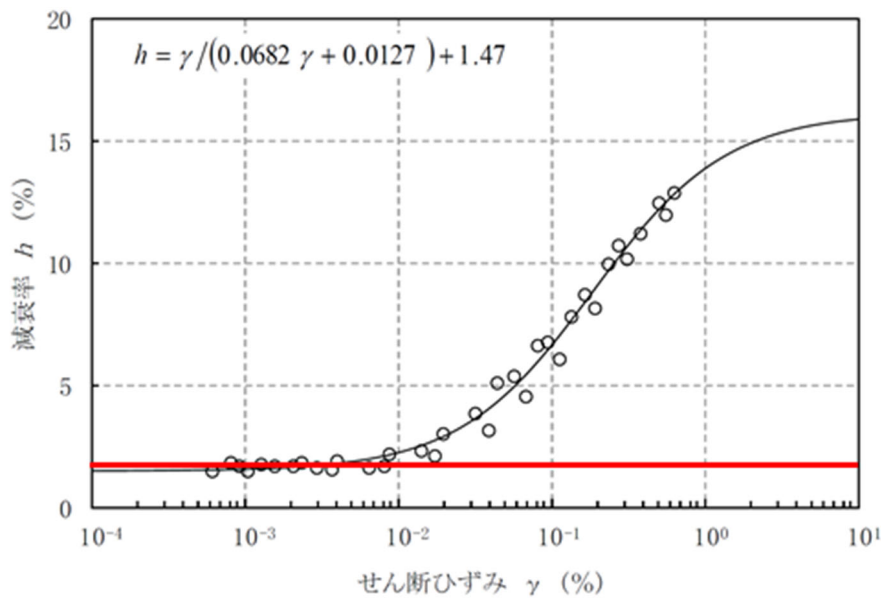
第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較（砂岩・泥岩互層）



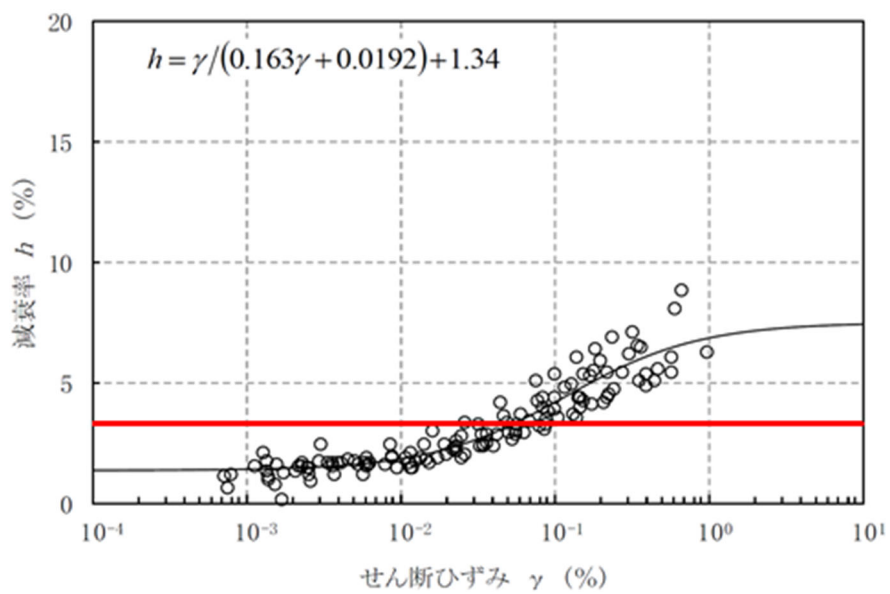
第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較 (軽石混り砂岩)



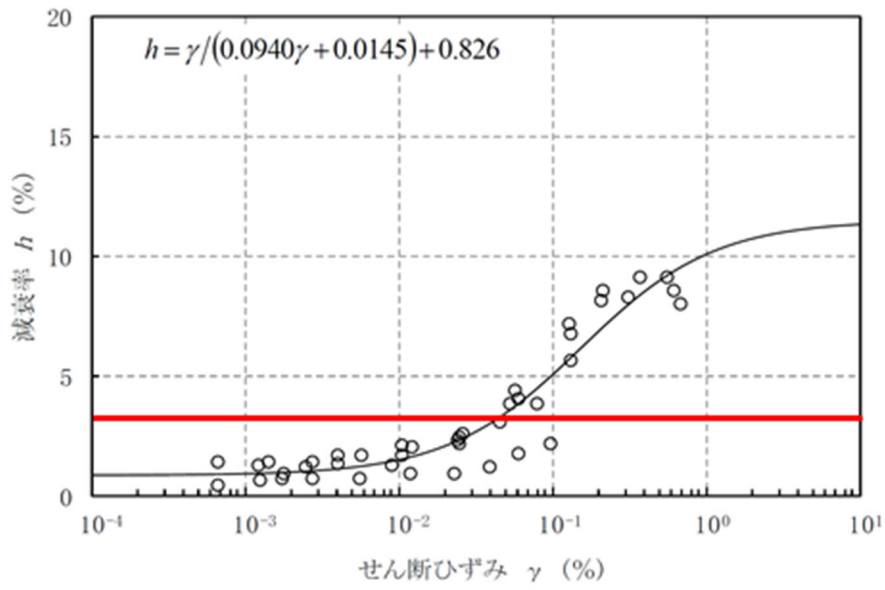
第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較 (砂質軽石凝灰岩)



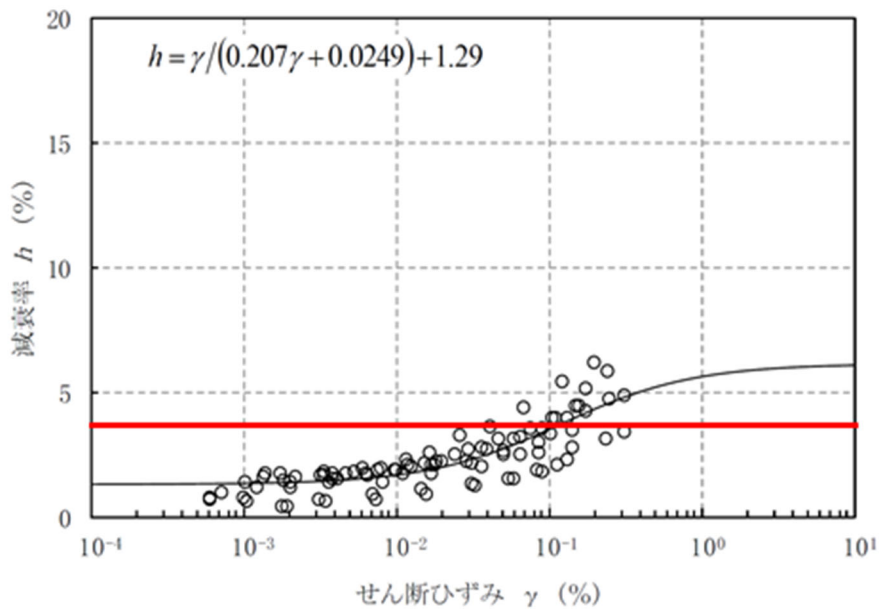
第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較（凝灰岩）



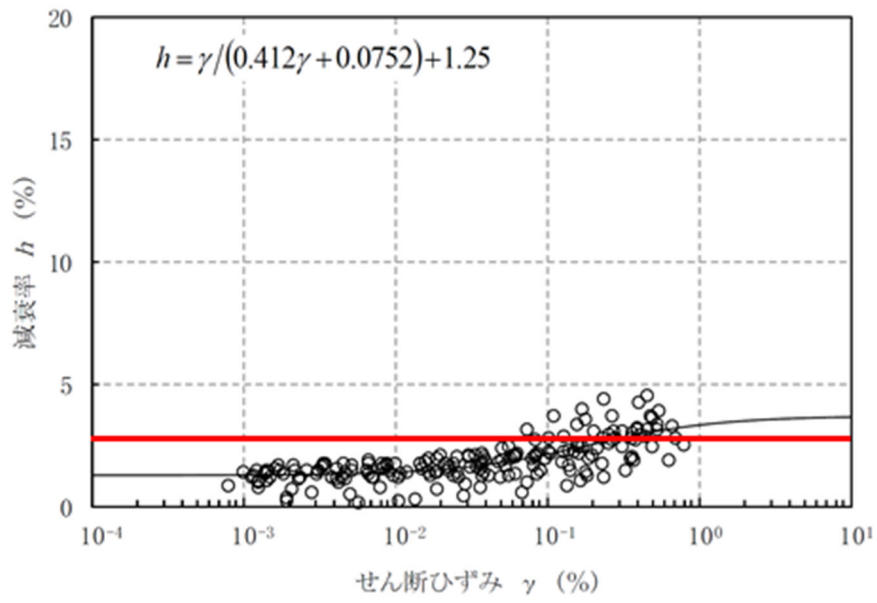
第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較（軽石凝灰岩）



第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較 (軽石質砂岩)



第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較 (細粒砂岩)



第 5.2.1-2 図 三軸圧縮試験と岩石コア試験の結果の比較（泥岩（下部層））

5.2.2 各手法により評価された材料減衰と散乱減衰に係る考察

「2.1.2 JEAG4601-1987における評価手法」に示したとおり、地盤の実態としては、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれるが、「3.3 敷地における減衰定数の評価方法」に示した各検討項目のとおり、敷地においては、材料減衰のみを考慮可能な手法として、三軸圧縮試験結果及び岩石コア試験結果を取得しているが、「5.2.1 材料減衰に係るデータの評価手法間の関係性」に示したとおり、三軸圧縮試験結果により、敷地における地盤の実態を考慮した材料減衰を考慮することが可能であると考えられる。

上記を踏まえ、本章では、「5.1.4 各エリアにおける地盤の特徴を捉えた減衰定数の設定に係る検討」において設定及び適切性の確認を行った減衰定数に対し、三軸圧縮試験によって得られている材料減衰が、物理的にどのような関係にあるか考察を行う。

散乱減衰と材料減衰の物理的な関係を示した知見として、「4.4.6 (2) 振動数依存性を考慮する設定（バイリニア型）」に示した、佐藤ほか（2006）による、バイリニア型の減衰モデルが挙げられる。このモデルは、散乱減衰は振動数依存性を有し、高振動数側になるに従って減少する傾向をもつが、ある一定の振動数よりも高振動数側においては、振動数特性を有しない材料減衰が支配的となり、減衰定数として一定の値に頭打ちするものとされている。

このことから、「5.1.4 各エリアにおける地盤の特徴を捉えた減衰定数の設定に係る検討」において設定した、材料減衰と散乱減衰の両方が考慮された周波数依存性を有する減衰定数は、ごく高振動数側では、敷地の岩盤部分における材料減衰と等価な値になっていると考えられる。

以上の考え方を踏まえ、中央地盤、西側地盤、東側地盤のそれぞれにおいて設定した、敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数について、材料減衰との物理的な関係を分析した。

なお、地盤の特徴を捉えた減衰定数の設定に用いた S 波検層については、敷地地盤に対する加振により減衰定数を評価しているが、その振幅は十分に小さく、岩盤部分における加振時に非線形性が卓越していることは無いと考えられることから、三軸圧縮試験による評価結果については、各岩種の線形領域における値（「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示す $h - \gamma$ 関係式におけるせん断ひずみ $\gamma = 0$ 時の値）を参照する。

(1) 中央地盤

中央地盤における主要岩種について、「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示したひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 関係）に基づく線形領域の材料減衰の値を以下に示す。

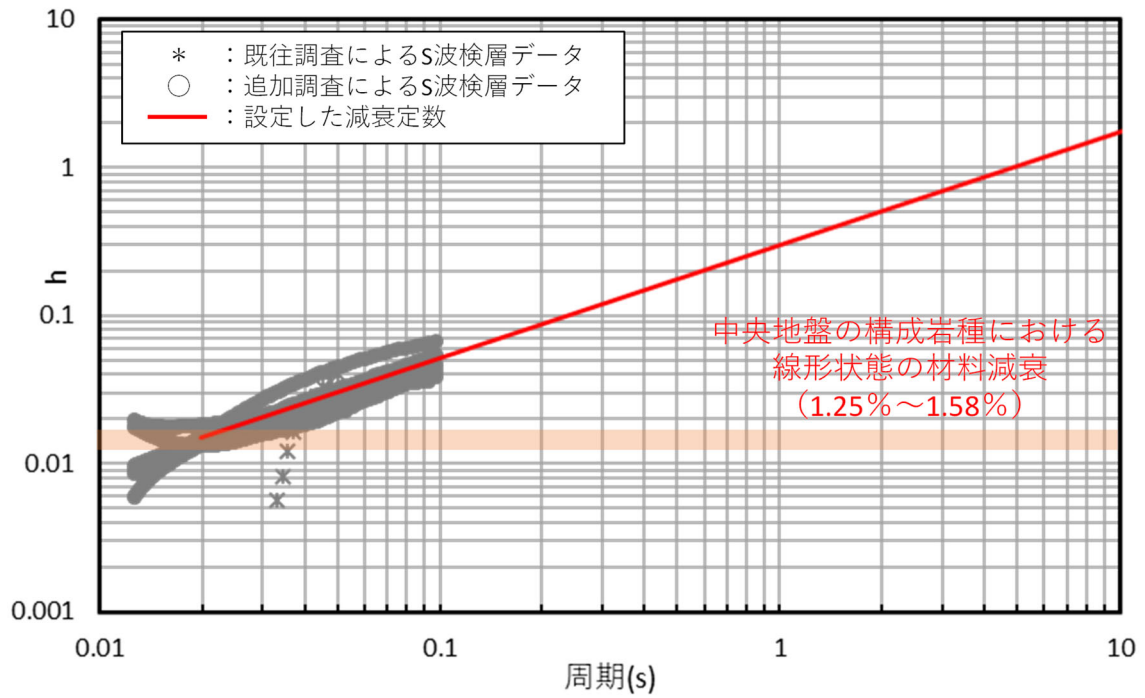
- ・ 細粒砂岩：1.29%
- ・ 泥岩（下部層）：1.25%
- ・ 粗粒砂岩：1.58%

中央地盤における敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数と、上記材料減衰の対応関係を第 5.2.2-1 図に示す。

三軸圧縮試験結果に基づく材料減衰は、敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数の値におけるごく短周期側（約 0.02 秒）における減衰定数と整合的である。

また、「5.1 各データが有する振動特性に係る分析」に示したとおり、各位置における S 波検層結果において、信頼区間である 0.1 秒よりも短周期側においても、明瞭な振動数依存特性が確認できること、さらに、低振動数側に対する地震観測記録との適合性を考慮した、伝達関数による評価結果によれば、振動数依存性を考慮した減衰定数が地震観測記録との適合性がよいことを踏まえると、中央地盤においては、線形条件においては、ごく短周期側の領域まで、振動数依存性を有する散乱減衰が卓越していると考えられる。

このことから。中央地盤における各グループの地盤個別の特徴としても、振動数依存性を有する散乱減衰が卓越していると言える。



第 5.2.2-1 図 敷地における地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数と
材料減衰の比較（中央地盤）

(2) 西側地盤

西側地盤における主要岩種について、「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示したひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 関係）に基づく線形領域の材料減衰の値を以下に示す。

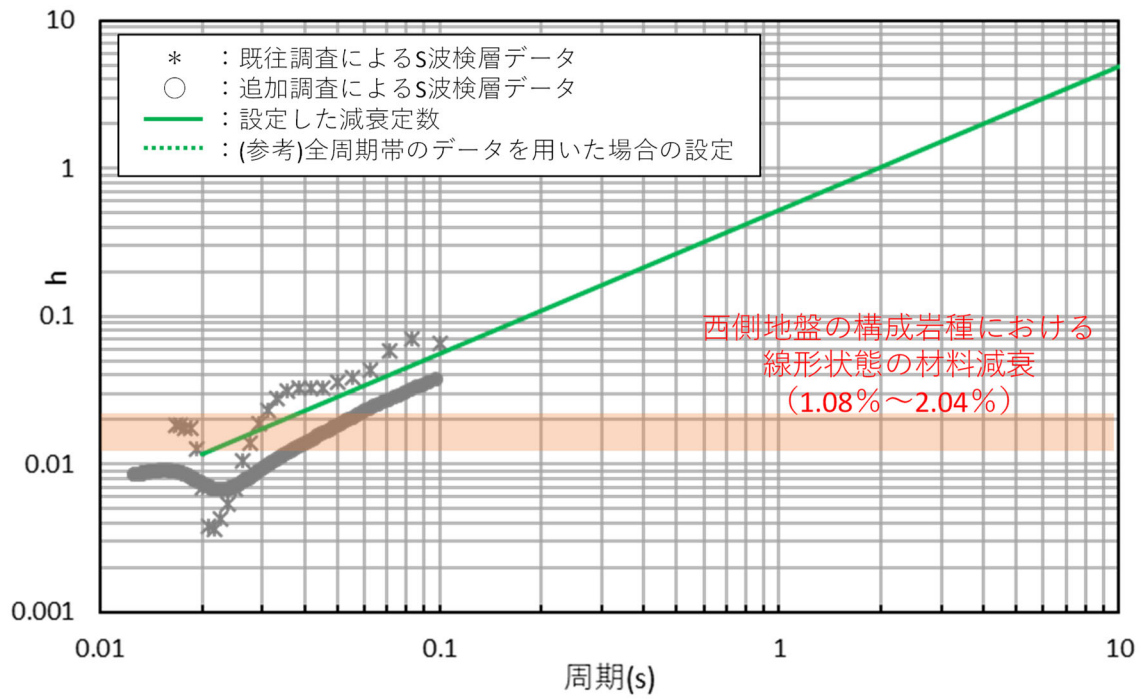
- ・ 泥岩（上部層）：1.42%
- ・ 砂岩・凝灰岩互層：2.04%
- ・ 礫混り砂岩：1.08%

西側地盤における敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数と、上記材料減衰の対応関係を第 5.2.2-2 図に示す。

三軸圧縮試験結果に基づく材料減衰は、敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数の値におけるごく短周期側（約 0.02 秒）における減衰定数と整合的である。

また、「5.1 各データが有する振動特性に係る分析」に示したとおり、各位置における S 波検層結果において、信頼区間である 0.1 秒よりも短周期側においても、明瞭な振動数依存特性が確認できること、さらに、低振動数側に対する地震観測記録との適合性を考慮した、伝達関数による評価結果によれば、振動数依存性を考慮した減衰定数が地震観測記録との適合性がよいことを踏まえると、西側地盤においては、線形条件においては、ごく短周期側の領域まで、振動数依存性を有する散乱減衰が卓越していると考えられる。

このことから。西側地盤における各グループの地盤個別の特徴としても、振動数依存性を有する散乱減衰が卓越していると言える。



第 5.2.2-2 図 敷地における地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数と
 材料減衰の比較 (西側地盤)

(3) 東側地盤

東側地盤における主要岩種について、「4. 三軸圧縮試験による評価結果」に示したひずみ依存特性（ $h - \gamma$ 関係）に基づく線形領域の材料減衰の値を以下に示す。

- ・ 砂質軽石凝灰岩：1.48%
- ・ 凝灰岩：1.47%
- ・ 軽石凝灰岩：1.34%
- ・ 軽石質砂岩：0.826%
- ・ 軽石混り砂岩：1.48%
- ・ 礫岩：0.274%
- ・ 細粒砂岩：1.29%

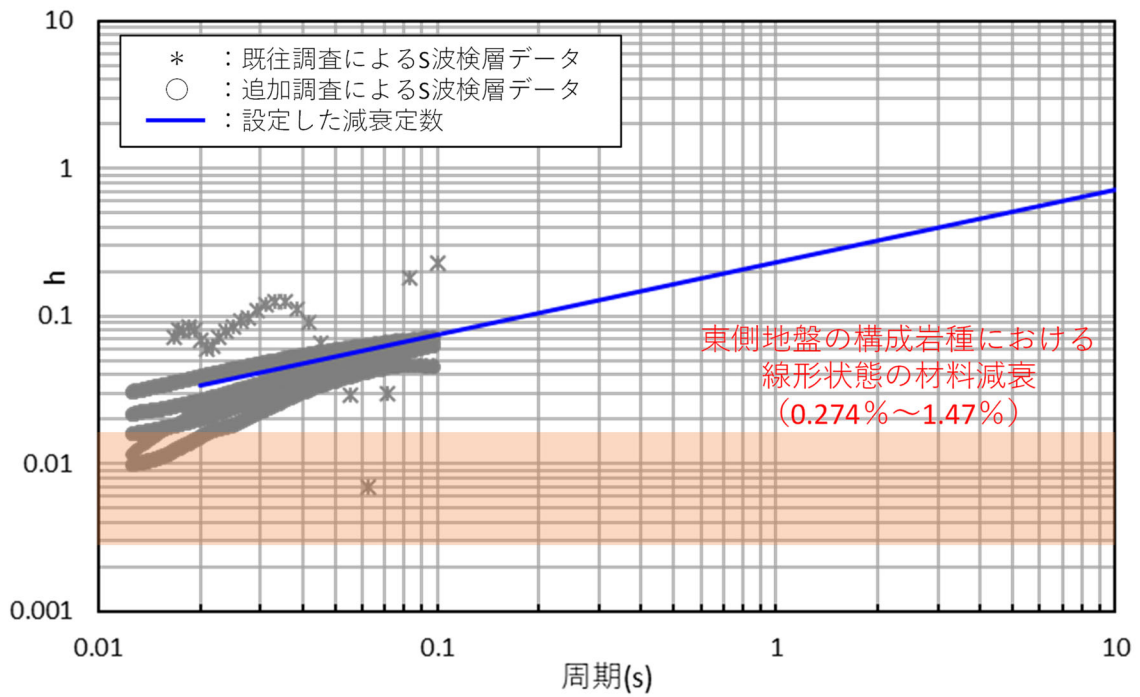
東側地盤における敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数と、上記材料減衰の対応関係を第 5.2.2-3 図に示す。

三軸圧縮試験結果に基づく材料減衰は、敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数の値におけるごく短周期側（約 0.02 秒）における減衰定数に対し、大きい傾向を示している。

この要因としては、「5.1.3 各位置において得られた S 波検層データの扱いに関する分析」に示したとおり、地質構造として、東側地盤においては、軽石などの大きめな内部構造の不均質さをもつ火山性の堆積物に対応する岩種が多く分布していることにより、層中での散乱が他地点と比較して卓越しやすい傾向になっていることにより周波数依存性を有する散乱減衰が支配的な構成となっており、ごく短周期側まで材料減衰が支配的とはなっていないためであると考えられる。

また、「5.1 各データが有する振動特性に係る分析」に示したとおり、各位置における S 波検層結果において、信頼区間である 0.1 秒よりも短周期側においても、明瞭な振動数依存特性が確認できること、さらに、低振動数側に対する地震観測記録との適合性を考慮した、伝達関数による評価結果によれば、振動数依存性を考慮した減衰定数が地震観測記録との適合性がよいことを踏まえると、東側地盤においては、線形条件においては、ごく短周期側の領域まで、振動数依存性を有する散乱減衰が卓越していると考えられる。

このことから。東側地盤における各グループの地盤個別の特徴としても、振動数依存性を有する散乱減衰が卓越していると言える。



第 5. 2. 2-2 図 敷地における地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数と
材料減衰の比較 (東側地盤)

5.2.2 地盤の特徴を捉えた減衰定数の非線形性に係る設定

「4.1 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いものの、 10^{-2} よりも大きい範囲においては、減衰定数が有意に増大する傾向となっている。

このことから、敷地において、岩盤部分の非線形化が大きくなるような地震を考慮する場合においては、散乱減衰が支配的なものとなっている「5.1.4 各エリアにおける地盤の特徴を捉えた減衰定数の設定に係る検討」にて設定した周波数依存性を考慮した減衰定数に対し、三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性（ $h-\gamma$ 曲線）を考慮した材料減衰の増大を考慮することが、敷地の地盤の特徴を捉えた設定になると考えられる。

5.3 敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数

「5.1 各データが有する振動数特性に係る分析」及び「5.2 材料減衰に係る分析」における分析結果を踏まえ、敷地における地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数については、以下(1)及び(2)に示すとおり設定する。

(1) 散乱減衰を考慮した減衰定数

- ・ 敷地内の各位置において得られている S 波検層データについて、中央地盤、西側地盤、東側地盤のそれぞれにおいて平均化した、周波数依存性を考慮した減衰定数を設定する。
- ・ S 波検層結果は、周期 0.1 秒よりも短周期側にのみデータを有するが、長周期側にその傾きが維持されるものとして、外挿して設定する。

(2) 非線形状態における減衰定数

- ・ 岩盤部分のひずみが進行するような地震動を考慮する場合においては、敷地内各位置における岩種の分布に対応した、三軸圧縮試験結果に基づくひずみ依存特性に基づき、材料減衰の増加を考慮する。

6. 「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、一般的に耐震設計において広く用いられている設定の適用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。

「5.3 敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数」に示した敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数の設定に対して、耐震設計を実施する上で、一般的に耐震設計において広く用いられている設定の適用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。

「5.3 敷地の地盤の特徴を捉えた岩盤部分の減衰定数」に示した設定に対し、今後、設計に用いる上での周波数依存性の考え方、非線形性の考え方を整理し、Ss地震時の地盤応答の大きさの比較等を行い、「基本地盤モデル」を設定する。

6.1 振動数依存特性を考慮しない設定の適用性

「5. データの分析」に示したとおり、敷地における地盤の特徴としては、岩盤部分の減衰定数は、振動数依存特性を有している。なお、大地震時には、振動数依存性の無い材料減衰の非線形性を考慮した減衰定数の増大が考慮されることとなる。

一方で、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、減衰定数に振動数依存特性を考慮しない設定が、一般的に広く採用されており、他サイトにおける設計での採用実績も有していることから、その設定に関し、設計上の妥当性・信頼性も確保されていると考えられる。

また、振動数依存特性とひずみ依存特性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。

このことから、本章では、一般的に耐震設計において広く用いられている設定として、振動数依存特性を考慮しない設定の適用性について、地盤の実態を考慮した減衰定数の傾向を踏まえて検討する。

本資料では、敷地における岩盤部分の減衰定数を、地震観測記録を用いた方法により振動数依存性を考慮する場合としない場合の両方に対して評価を行っており、「4.4.8(b) 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）」に示すとおり、地震観測記録によるシミュレーション解析結果の応答スペクトルについては、振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数は、リニア型の振動数依存性を考慮した減衰定数に対し、特に建物・構築物の固有周期帯（水平 0.2～0.3 秒，鉛直 0.1 秒～0.2 秒）において応答を大きく評価しており、地盤の実態に対して過小評価することのない値であることを確認している。

以上のことを踏まえ、敷地において、建物・構築物の入力地震動を算定する上では、設計上の保守性両方の観点からも、「基本地盤モデル」に対しては、一般的に広く耐震設計にて用いられている設定である、振動数依存性を考慮しない場合の減衰定数を設定することは可能であると考えられる。

<p><u>設計に用いる地盤モデルを設定する上で考慮する、周波数依存性を考慮しない減衰定数の大きさについて検討を実施し、今後その結果を追加予定。</u></p>
--

なお、第 1 回設工認申請にて入力地震動の算定に用いた地盤モデルの減衰定数については、岩盤部分について、三軸圧縮試験に基づく材料減衰のみを考慮しているが、高振動数側で振動数依存性を考慮しない小さい値を低振動数側まで外挿し、地盤の実態として低振動数側に見られる散乱減衰は考慮しない設定としていることから、入力地震動を算定する上では小さい減衰定数を与えていることとなる。

6.2 減衰定数の非線形性についての検討

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。

別紙 2-2 における、剛性の非線形性を考慮したときの地盤のひずみの算定結果に基づく分析であり、別紙 2-2 での各グループにおける地盤応答解析結果に基づく値を今後反映。

「4.4 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、西側地盤及び東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、短周期側で大きい値となると考えられる。

以上を踏まえ、設計に用いる地盤モデルの設定にあたっては、設計に用いる地震動の大きさを踏まえた非線形性を適切に考慮し、三軸圧縮試験結果から得られる地震時のひずみに応じた減衰定数の大きさを踏まえ、減衰定数を設定する必要がある。

設計に用いる地盤モデルに設定する減衰定数について周波数依存性を有する減衰定数に対して非線形性を考慮する場合の具体的な考え方について今後追加予定。

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。

6.3 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。

「4.4.9 振動数依存性を考慮しない場合の評価結果」において、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の両方を評価しているが、以下のとおり、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ている。

中央地盤：水平方向 6.7% 鉛直方向 9.3% (鉛直/水平=1.39)

西側地盤：水平方向 5.5% 鉛直方向 9.3% (鉛直/水平=1.69)

東側地盤：水平方向 5.5% 鉛直方向 7.0% (鉛直/水平=1.27)

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、西側地盤においては上記知見の範囲内であり、中央地盤及び東側地盤において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. 各手法により得られたデータに対する分析」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。

6.4 「基本地盤モデル」に用いるパラメータの設定結果

本章では、「6.1 振動数依存特性を考慮しない設定の適用性」，「6.2 ひずみ依存特性を考慮しない場合についての検討」，「6.3 鉛直方向の減衰定数の扱い」に示した，一般的に耐震設計において広く用いられている設定の適用性や保守性に関する検討結果を踏まえ，「基本地盤モデル」に設定する岩盤部分の減衰定数の値を示す。

今後、「6.1」～「6.3」に示した耐震設計上の配慮事項を踏まえた減衰定数を設定し、「5.」にて設定した地盤の特徴を捉えた減衰定数を設定した場合との地盤応答の比較等を行った上で、耐震設計に用いる上で適切な減衰定数を、基本地盤モデルとして設定することとする。

7. 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 1-1
2. 追加調査の項目	参考 1-2
3. 実施計画	参考 1-4

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。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。したがって、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。

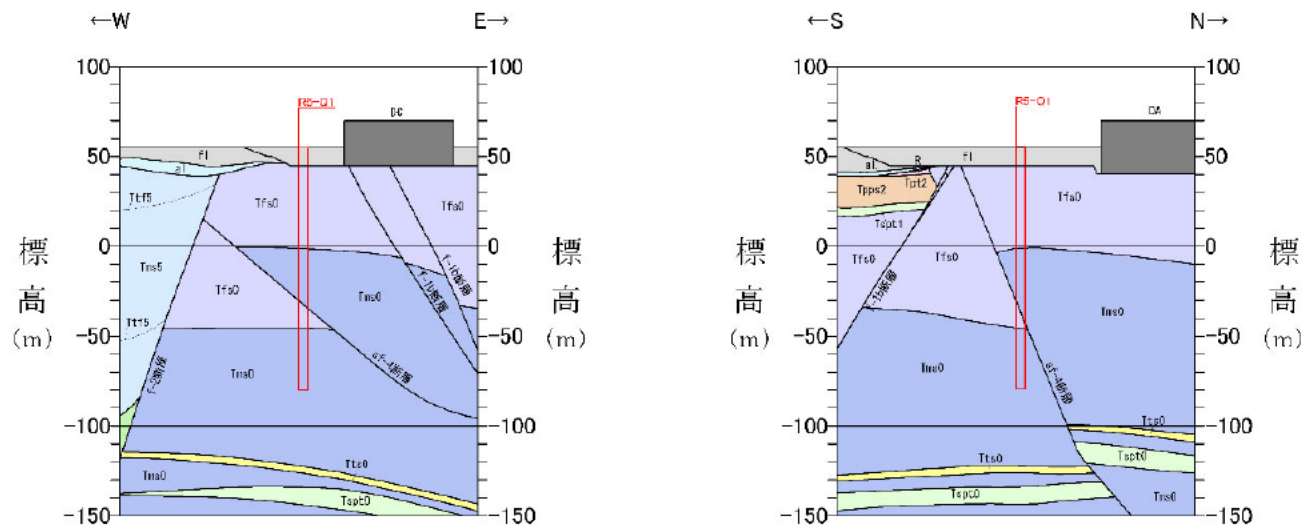
東側地盤：既往 E-T 孔は、建物から離れた位置で実施していること、また、東側地盤は南北に建物が分布していることから、R5-Q7 及び R5-Q12 を追加する。

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。

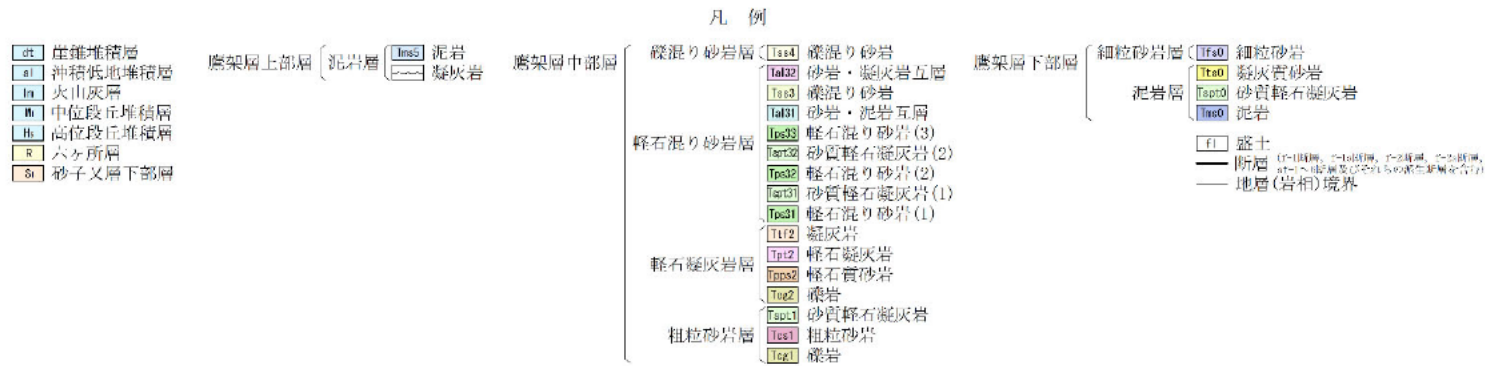
Q 値測定孔の敷地内での配置条件としては、弾性波測定であることから伝達速度に影響を与える建物・構築物からの離隔を十分に確保する。

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。

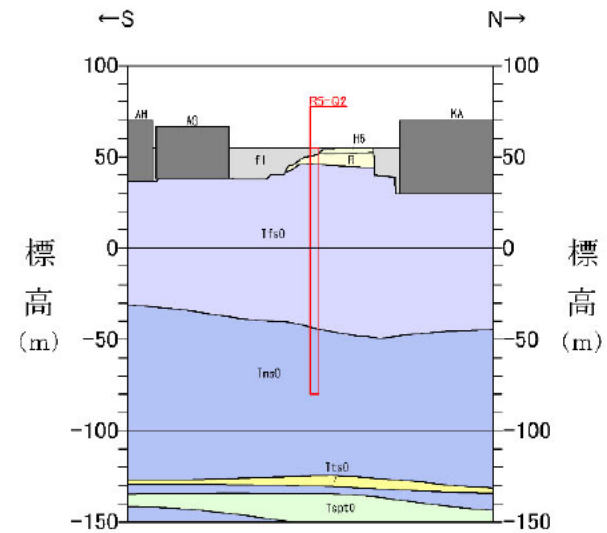
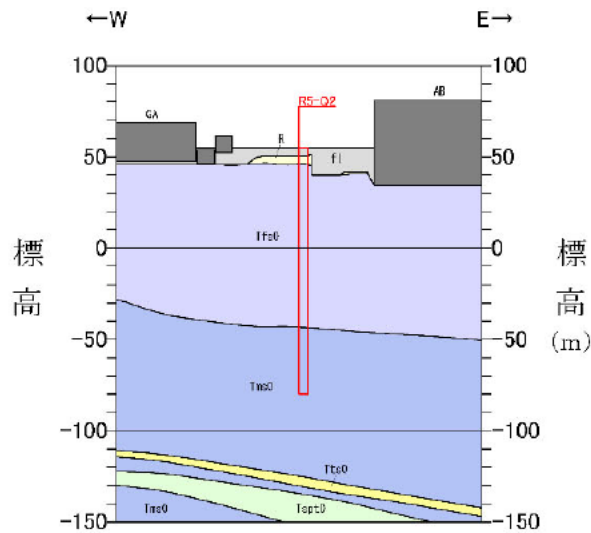


R5-Q1



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (1/12)

参考 1-6

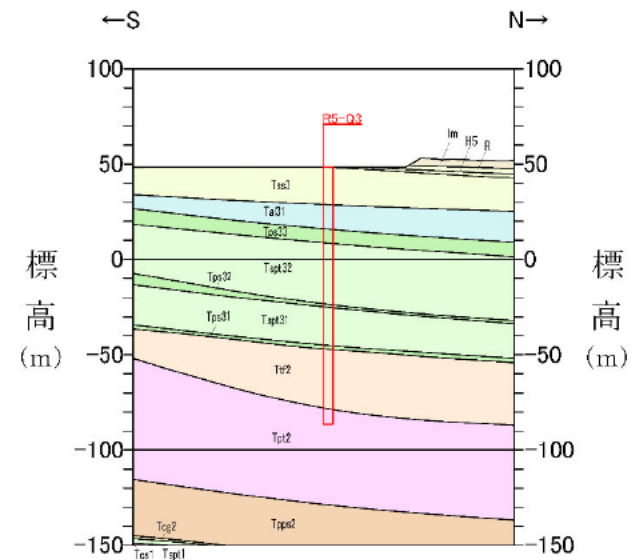
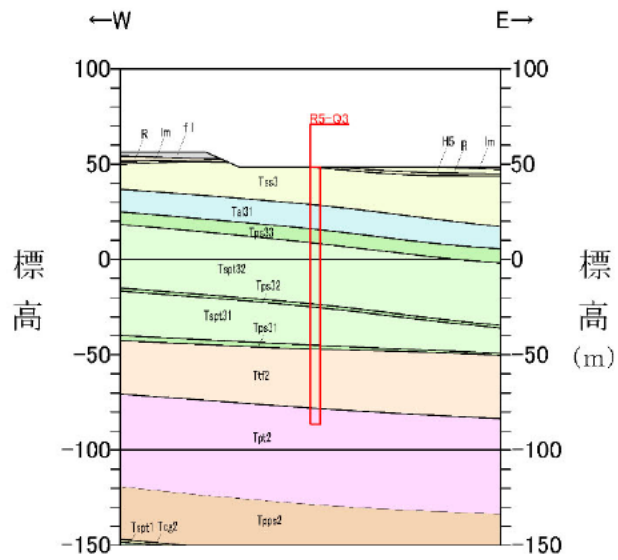


R5-Q2



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (2/12)

参考 1-7

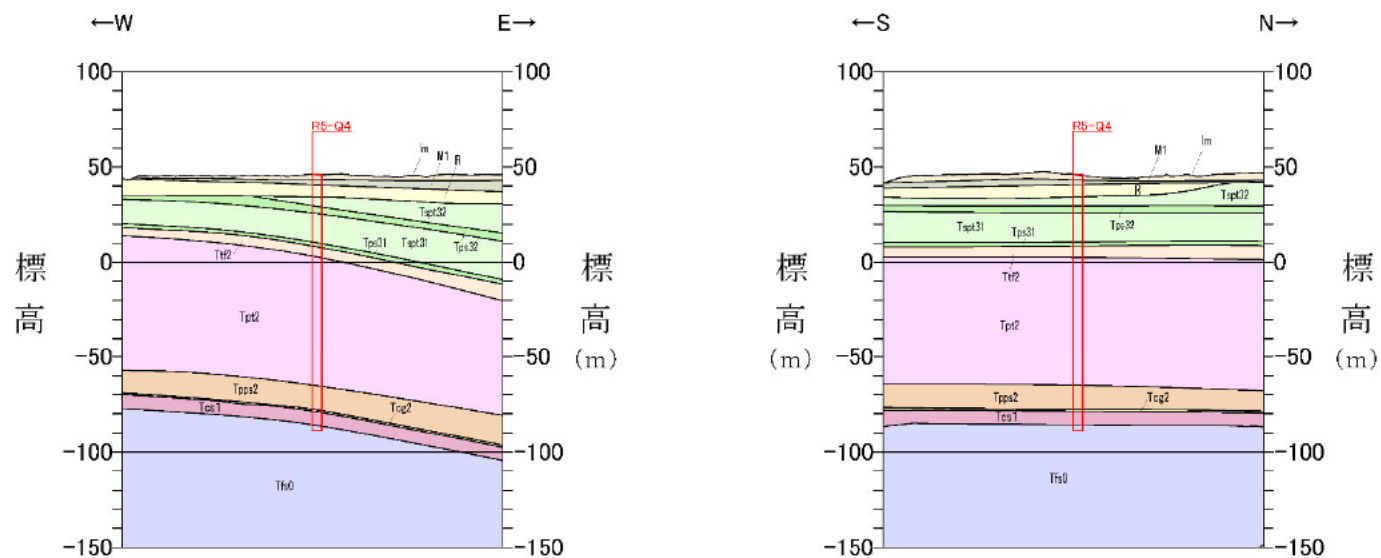


R5-Q3



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (3/12)

参考 1-8

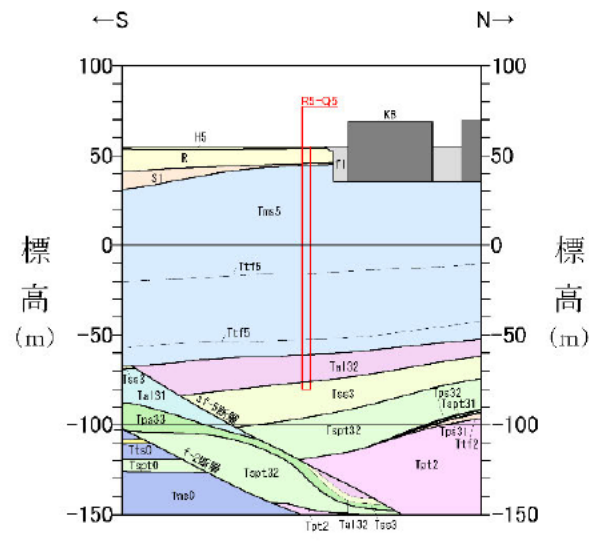
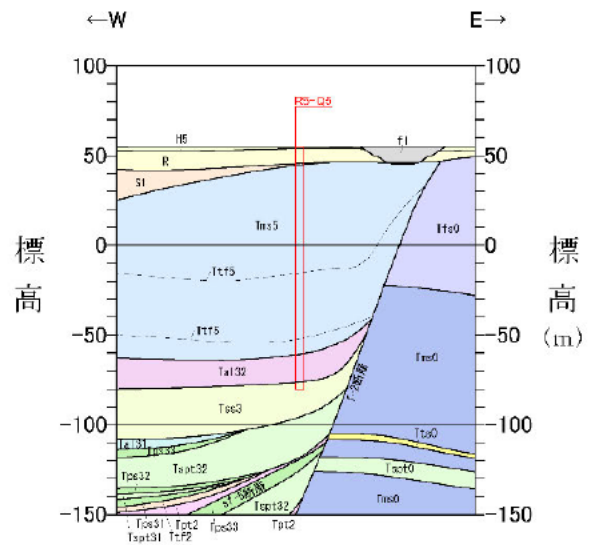


R5-Q4



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (4/12)

参考 1-9



R5-Q5

- [ot] 崖堆積層
- [ei] 沖積低地堆積層
- [ln] 火山灰層
- [th] 中位段丘陵堆積層
- [Hs] 高位段丘陵堆積層
- [R] 六分所層
- [Si] 砂子又層下部層

應架層上部層 (泥岩層) 泥岩 凝灰岩

應架層中部層

- | | | |
|---------|-------------------|-------------------|
| 礫混り砂岩層 | [Tsa4] 礫混り砂岩 | [Tsa2] 砂岩・凝灰岩互層 |
| | [Tsa3] 礫混り砂岩 | [Tsa1] 砂岩・泥岩互層 |
| 軽石混り砂岩層 | [Tps3] 軽石混り砂岩(3) | [Tps2] 砂質軽石凝灰岩(2) |
| | [Tps1] 軽石混り砂岩(2) | [Tps0] 軽石混り砂岩(1) |
| | [Tps0] 砂質軽石凝灰岩(1) | [Tps1] 軽石混り砂岩(1) |
| | [Tps1] 凝灰岩 | [Tps0] 凝灰岩 |
| 軽石凝灰岩層 | [Tps1] 軽石凝灰岩 | [Tps2] 軽石質砂岩 |
| | [Tps2] 凝灰岩 | [Tps1] 凝灰岩 |
| | [Tps0] 砂質軽石凝灰岩 | [Tps1] 粗粒砂岩 |
| 粗粒砂岩層 | [Tps1] 粗粒砂岩 | [Tps0] 凝灰岩 |

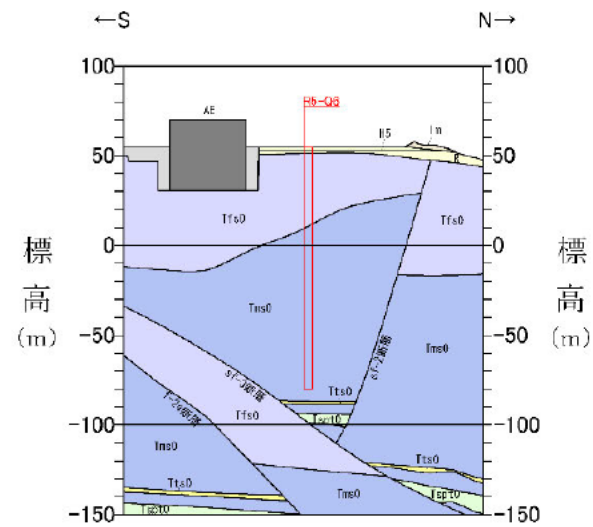
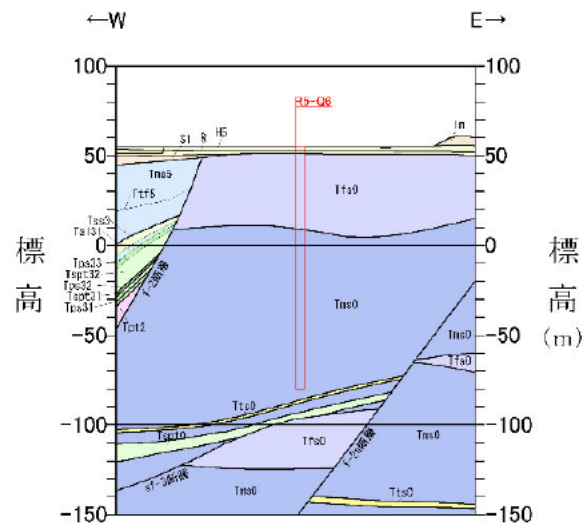
應架層下部層

- | | |
|-------|----------------|
| 細粒砂岩層 | [Tsa0] 細粒砂岩 |
| 泥岩層 | [Tsa0] 凝灰質砂岩 |
| | [Tsa0] 砂質軽石凝灰岩 |
| | [Tsa0] 泥岩 |

- [fl] 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 (5/12)

参考 1-10

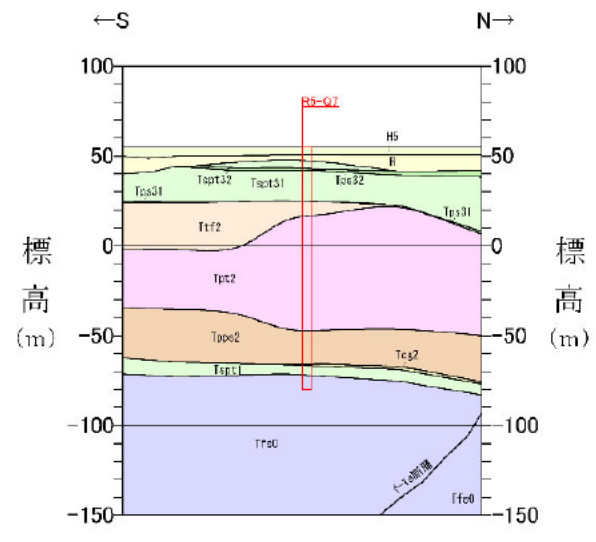
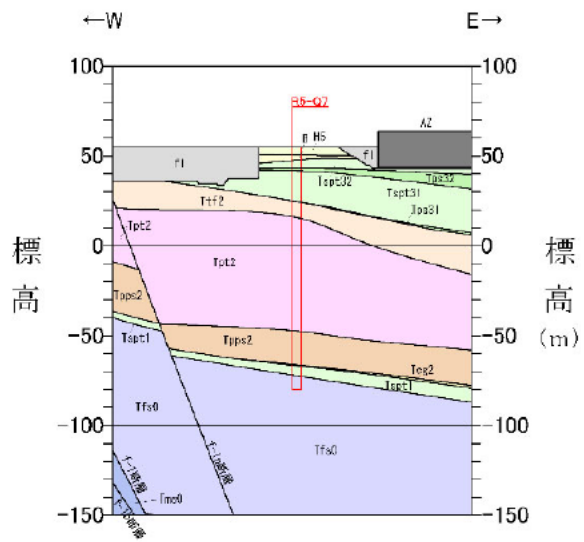


R5-Q6



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (6/12)

参考 1-11

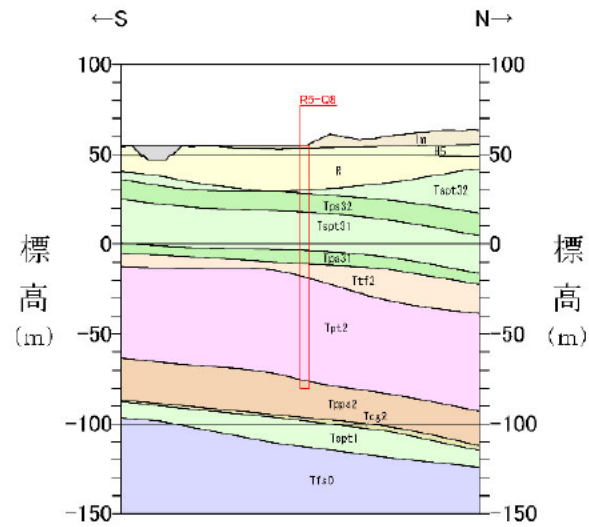
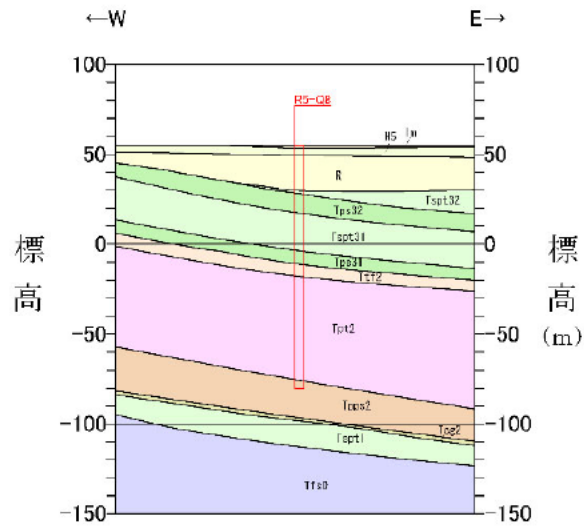


R5-Q7

- 凡例
- | | | | |
|---|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> at 崖堆積層 al 沖積低地堆積層 ln 火山灰層 ln 中位段丘堆積層 Hs 高位段丘堆積層 R 穴ヶ所層 Ss 砂子又層下部層 | <ul style="list-style-type: none"> 應架層上部層 (泥岩層) Ums0 泥岩 應架層中部層 應架層下部層 | <ul style="list-style-type: none"> 礫混り砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tsa4 礫混り砂岩 Tsa3 砂岩・凝灰岩互層 Tsa2 礫混り砂岩 Tsa1 砂岩・泥岩互層 軽石混り砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tps3 軽石混り砂岩(3) Tps2 砂質軽石凝灰岩(2) Tps1 軽石混り砂岩(2) Tps0 砂質軽石凝灰岩(1) 軽石凝灰岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tps3 軽石凝灰岩 Tps2 凝灰岩 Tps1 軽石凝灰岩 Tps0 軽石質砂岩 粗粒砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tps2 凝灰岩 Tps1 砂質軽石凝灰岩 Tps0 粗粒砂岩 | <ul style="list-style-type: none"> 細粒砂岩層 (Tfs0) 細粒砂岩 泥岩層 (Tps0) 凝灰質砂岩 (Tps1) 砂質軽石凝灰岩 (Tps2) 泥岩 |
|---|---|---|--|
- fl 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 (7/12)

参考 1-12

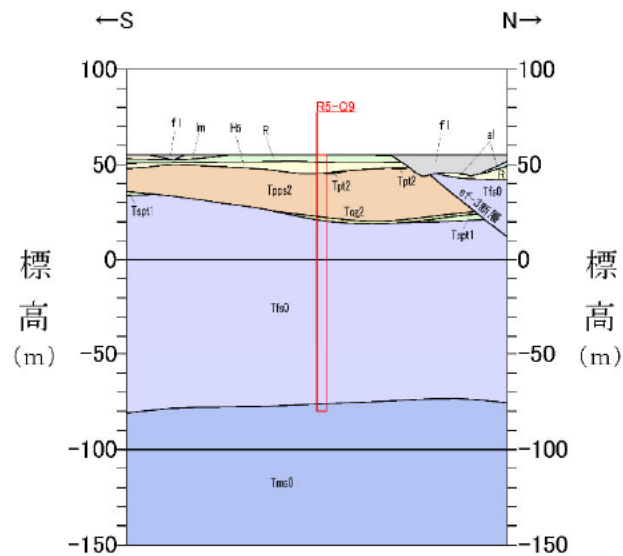
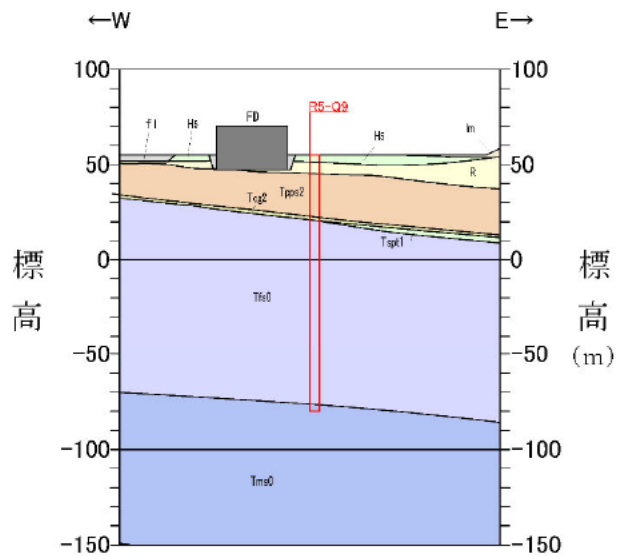


R5-Q8



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (8/12)

参考 1-13

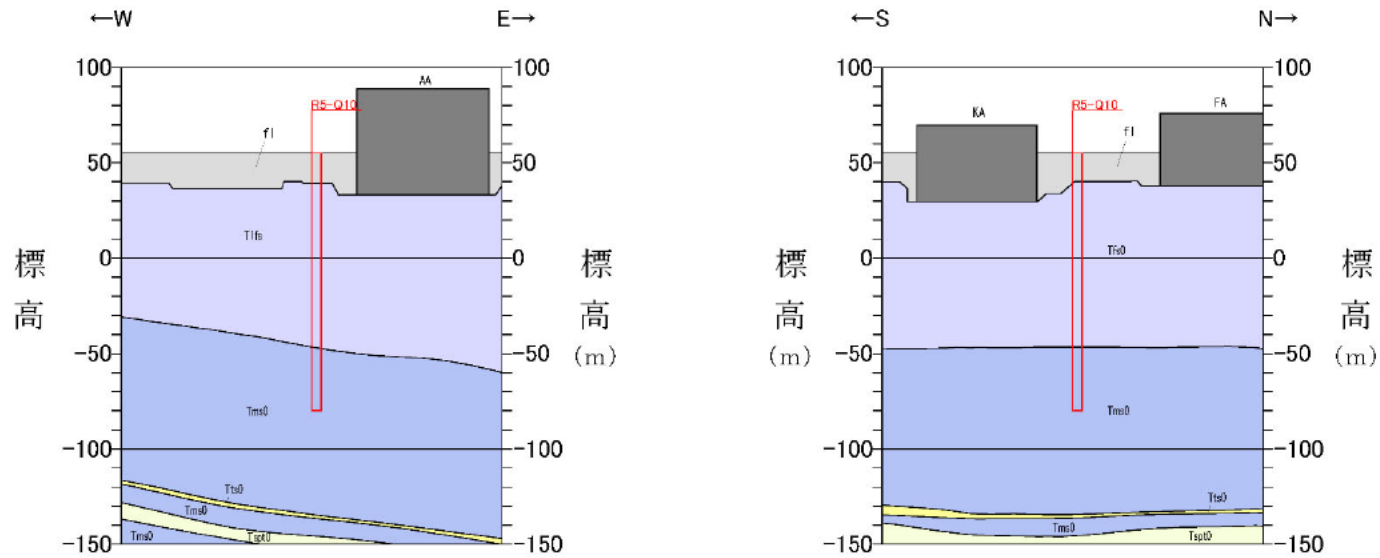


R5-Q9

- 凡 例
- | | | | |
|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> et 堆積堆積層 al 沖積低地堆積層 lm 火山灰層 W 中位段丘堆積層 Hs 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"> 腐架層上部層 泥岩層 凝灰岩 腐架層中部層 | <ul style="list-style-type: none"> 鐵混り砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Ttsa4 鐵混り砂岩 Ttsa2 砂岩・凝灰岩互層 Ttsa3 鐵混り砂岩 Ttsa1 砂岩・泥岩互層 軽石混り砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Ttsc3 軽石混り砂岩(3) Ttsc2 砂質軽石凝灰岩(2) Ttsc1 軽石混り砂岩(2) Ttsa3 砂質軽石凝灰岩(1) Ttsc1 軽石混り砂岩(1) 軽石凝灰岩層 <ul style="list-style-type: none"> Ttcf2 凝灰岩 Ttcf1 軽石凝灰岩 Ttca2 軽石質砂岩 Ttca1 凝灰岩 粗粒砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Ttsa1 砂質軽石凝灰岩 Ttsa1 粗粒砂岩 Ttsa1 凝灰岩 | <ul style="list-style-type: none"> 腐架層下部層 細粒砂岩層 泥岩層 凝灰質砂岩 砂質軽石凝灰岩 泥岩 |
|--|--|--|--|
- fl 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 (9/12)

参考 1-14

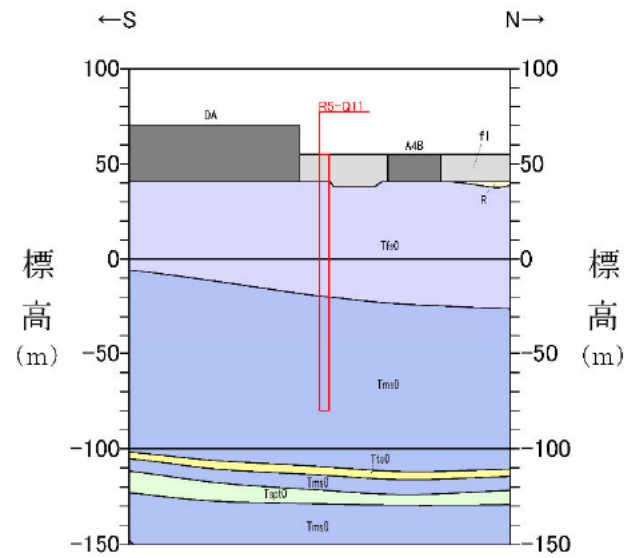
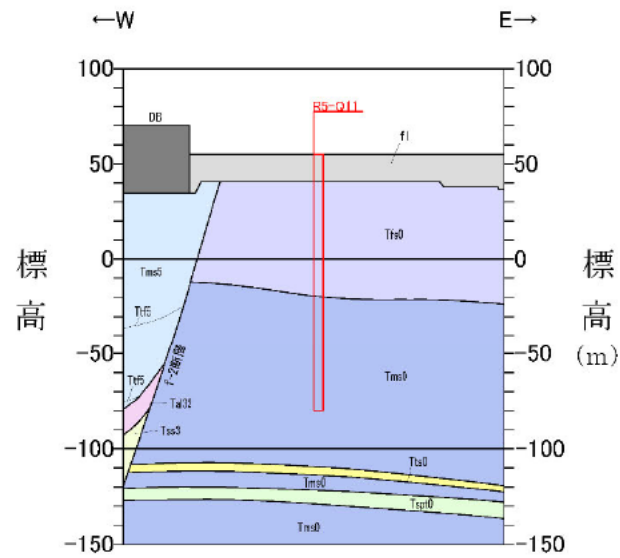


R5-Q10



参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (10/12)

参考 1-15

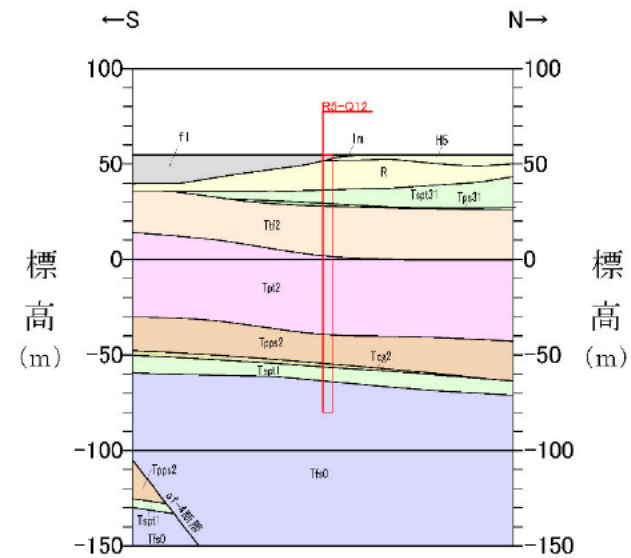
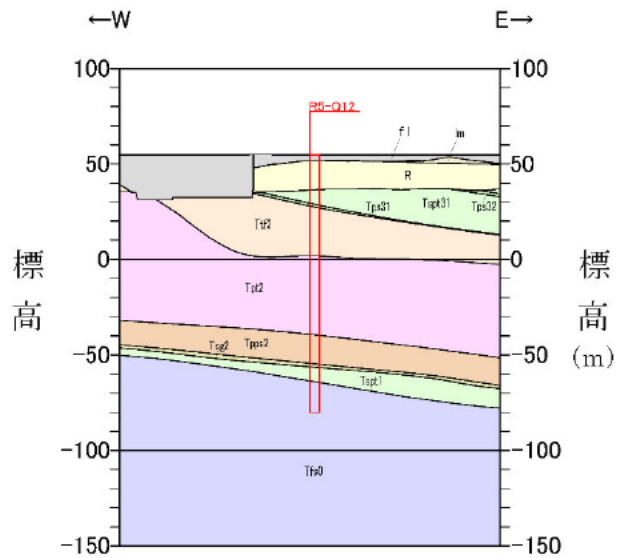


R5-Q11

凡 例

<ul style="list-style-type: none"> st 堆積堆積層 al 沖積低地堆積層 lm 火山灰層 W 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 	<ul style="list-style-type: none"> 腐架層上部層 <ul style="list-style-type: none"> lmsb 泥岩 凝灰岩 	<ul style="list-style-type: none"> 腐架層中部層 <ul style="list-style-type: none"> Tsa4 凝混り砂岩 Tsa0 砂岩・凝灰岩互層 Tsa3 凝混り砂岩 Tsa1 砂岩・泥岩互層 Tsa3 軽石混り砂岩(3) Tsa3 砂質軽石凝灰岩(2) Tsa2 軽石混り砂岩(2) Tsa3 砂質軽石凝灰岩(1) Tsa1 軽石混り砂岩(1) Tsa2 凝灰岩 Tsa2 軽石凝灰岩 Tsa4 軽石質砂岩 Tsa2 凝岩 Tsa1 砂質軽石凝灰岩 Tsa1 粗粒砂岩 Tsa1 凝岩 	<ul style="list-style-type: none"> 腐架層下部層 <ul style="list-style-type: none"> 細粒砂岩層 <ul style="list-style-type: none"> Tfs0 細粒砂岩 Tfs0 凝灰質砂岩 Tfs0 砂質軽石凝灰岩 Tfs0 泥岩 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)

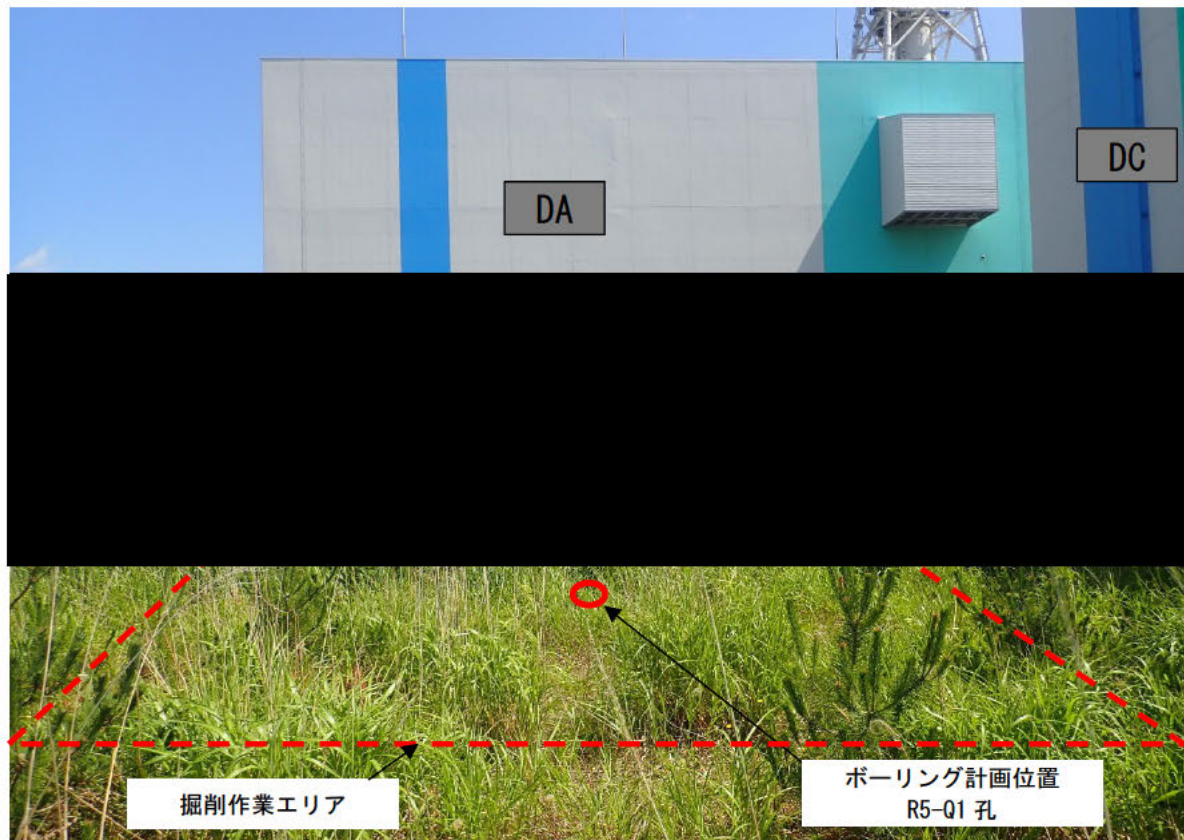
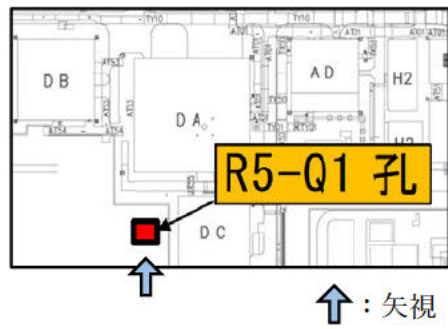


R5-Q12

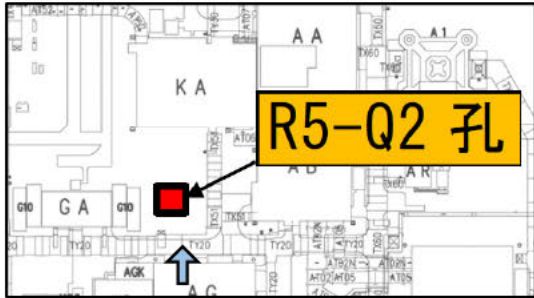


参考 1-3-2 図 Q 値ボーリング断面図 (12/12)

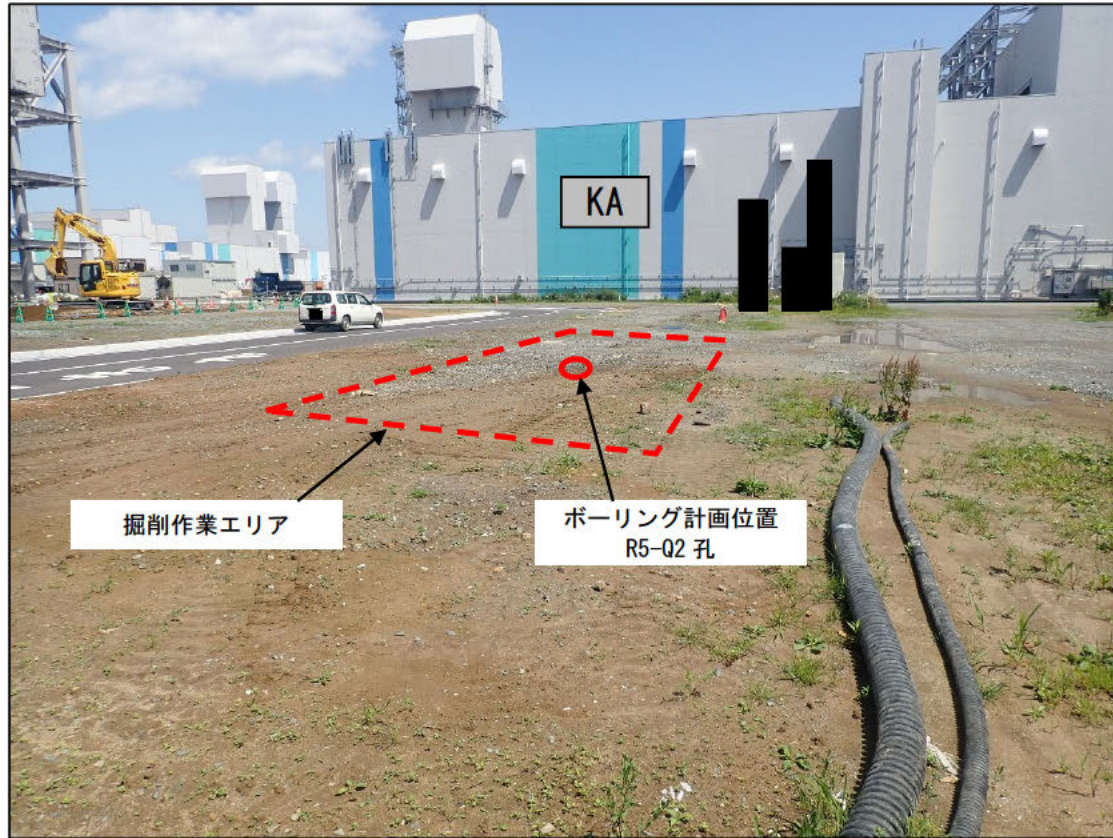
参考 1-17



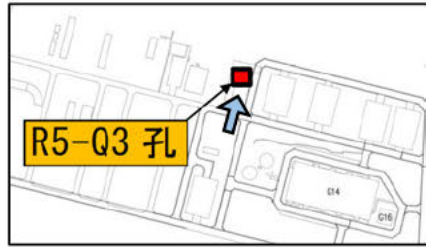
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (1/12)



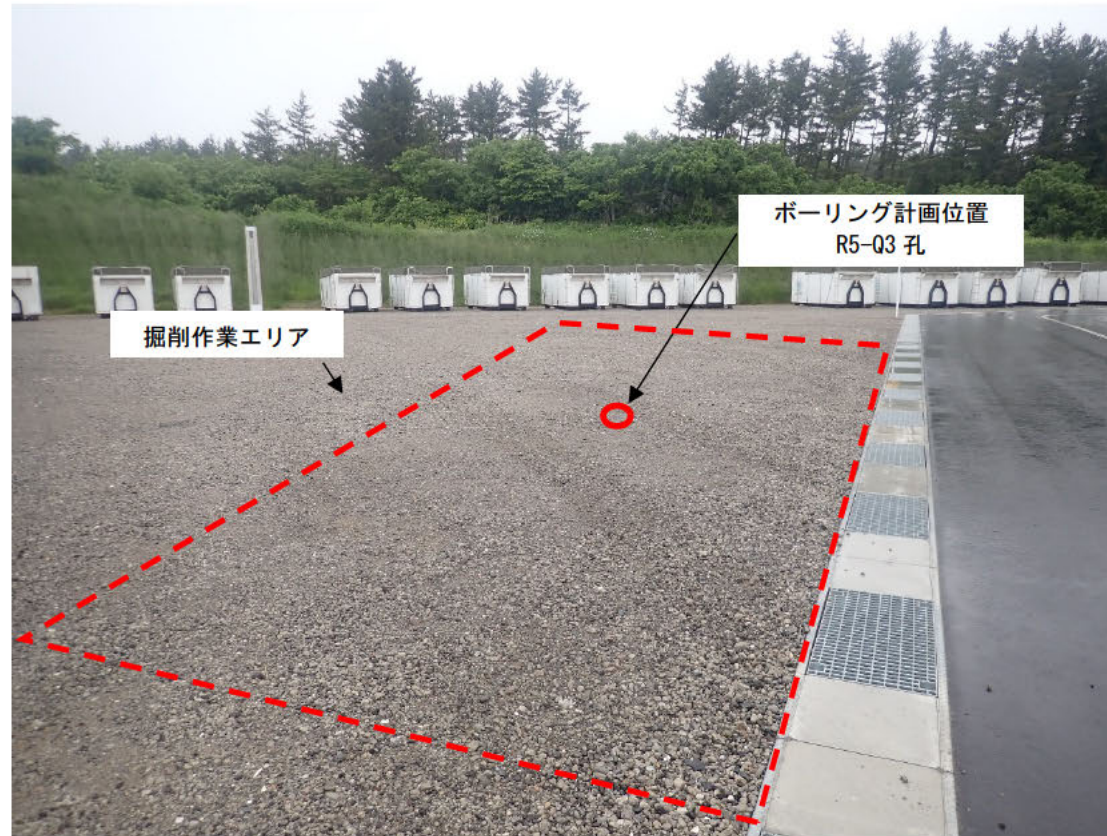
↑ : 矢視



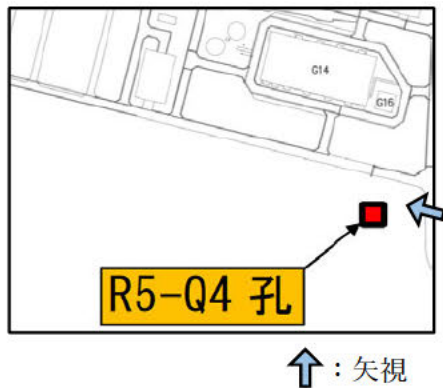
参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (2/12)



↑：矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (3/12)



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (4/12)