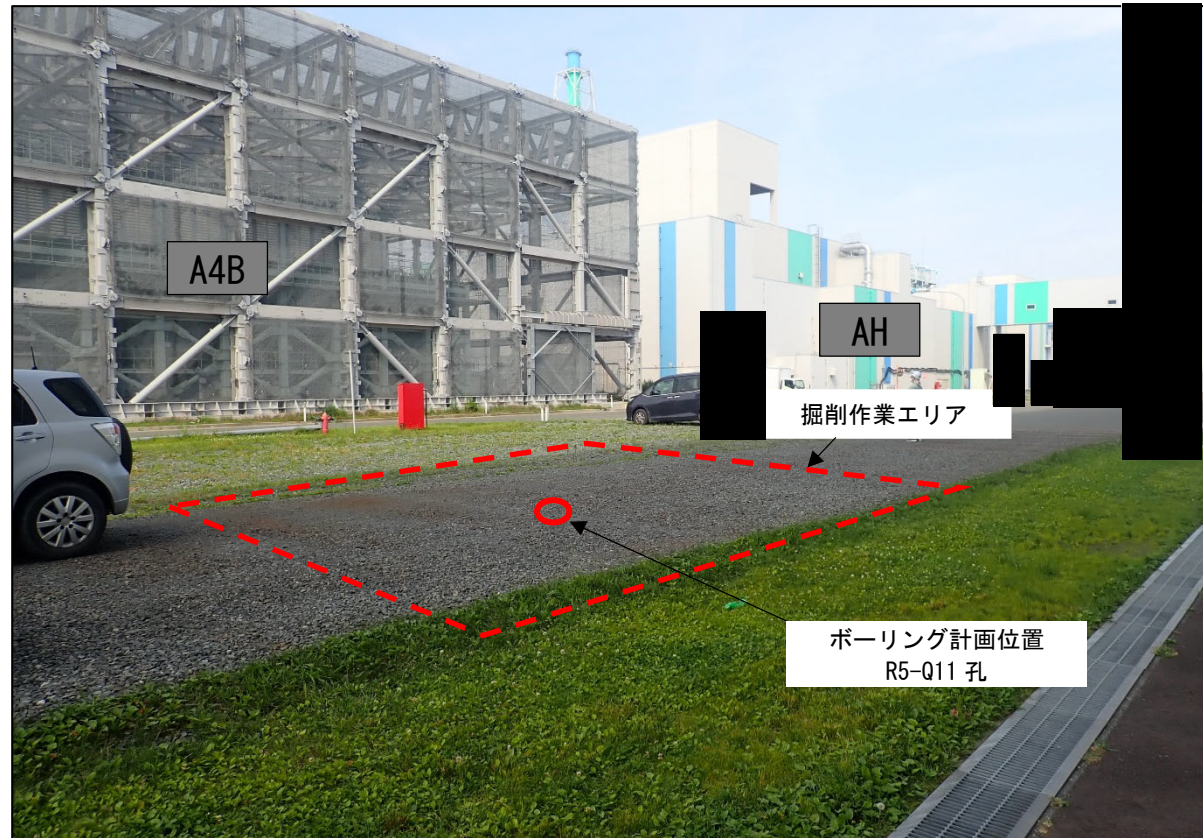


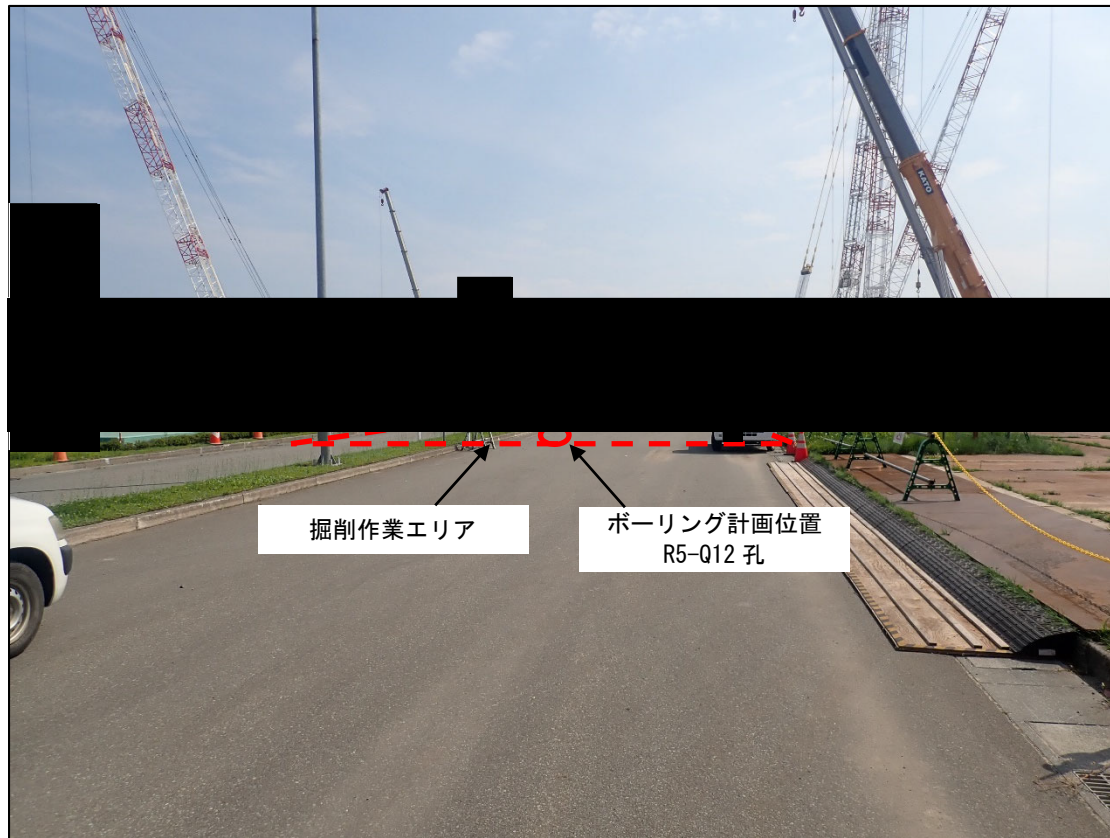
↑ : 矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (11/12)



↑ : 矢視



参考 1-3-3 図 ボーリング位置詳細図 (12/12)

参考 1-3-1 表 ボーリング位置の状況

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

(2) 調査方法

a. 孔内検層による Q 値測定

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

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

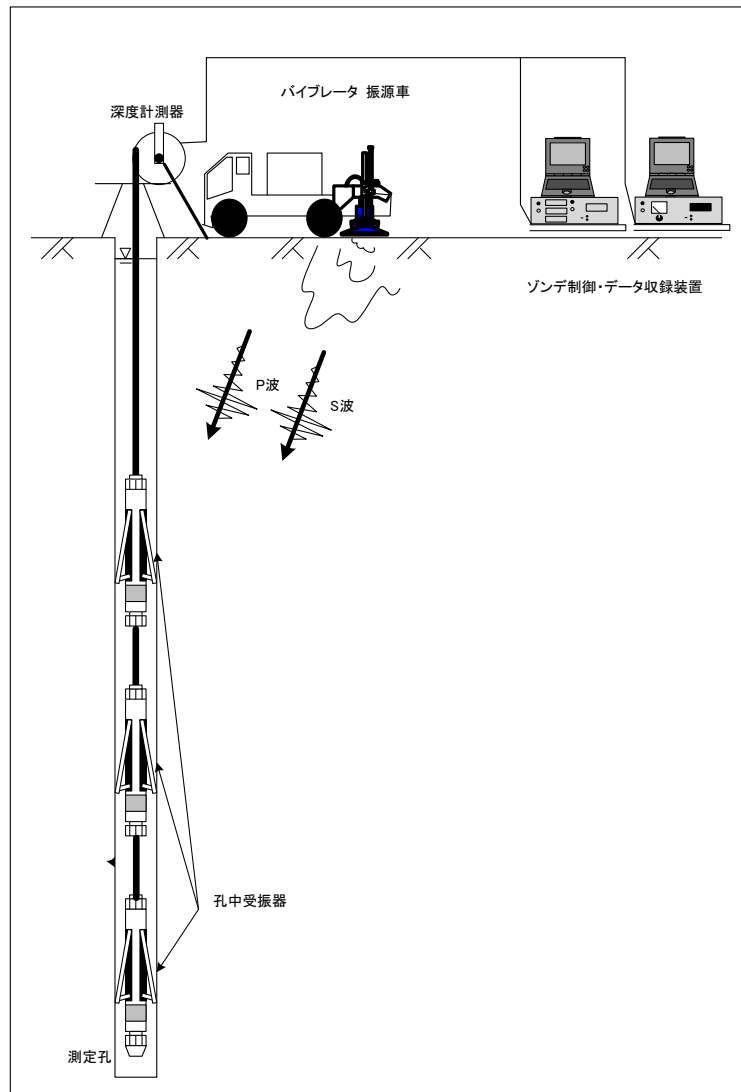
P S 検層（ダウンホール法）は、測定間隔を 1～2m とし、JGS 1122-2012「地盤の弾性波速度検層方法」を参考にして測定・解析を実施する。

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

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

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

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

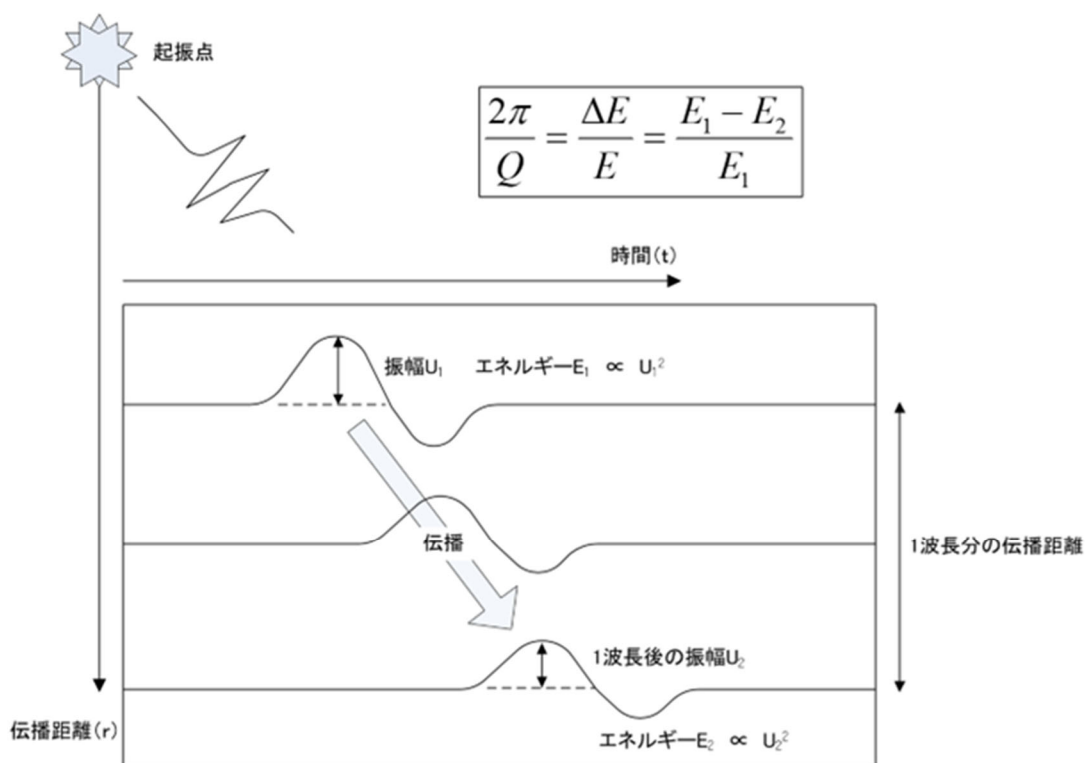


参考 1-3-4 図 P S 検層（ダウンホール法）の測定装置と測定システムの模式図

Q 値測定時のバイブレータ振源からの加振パターンは、10Hz ～80Hz の変調によるスイープ発振（10Hz から 8 秒程度で数段階変調）により実施する。

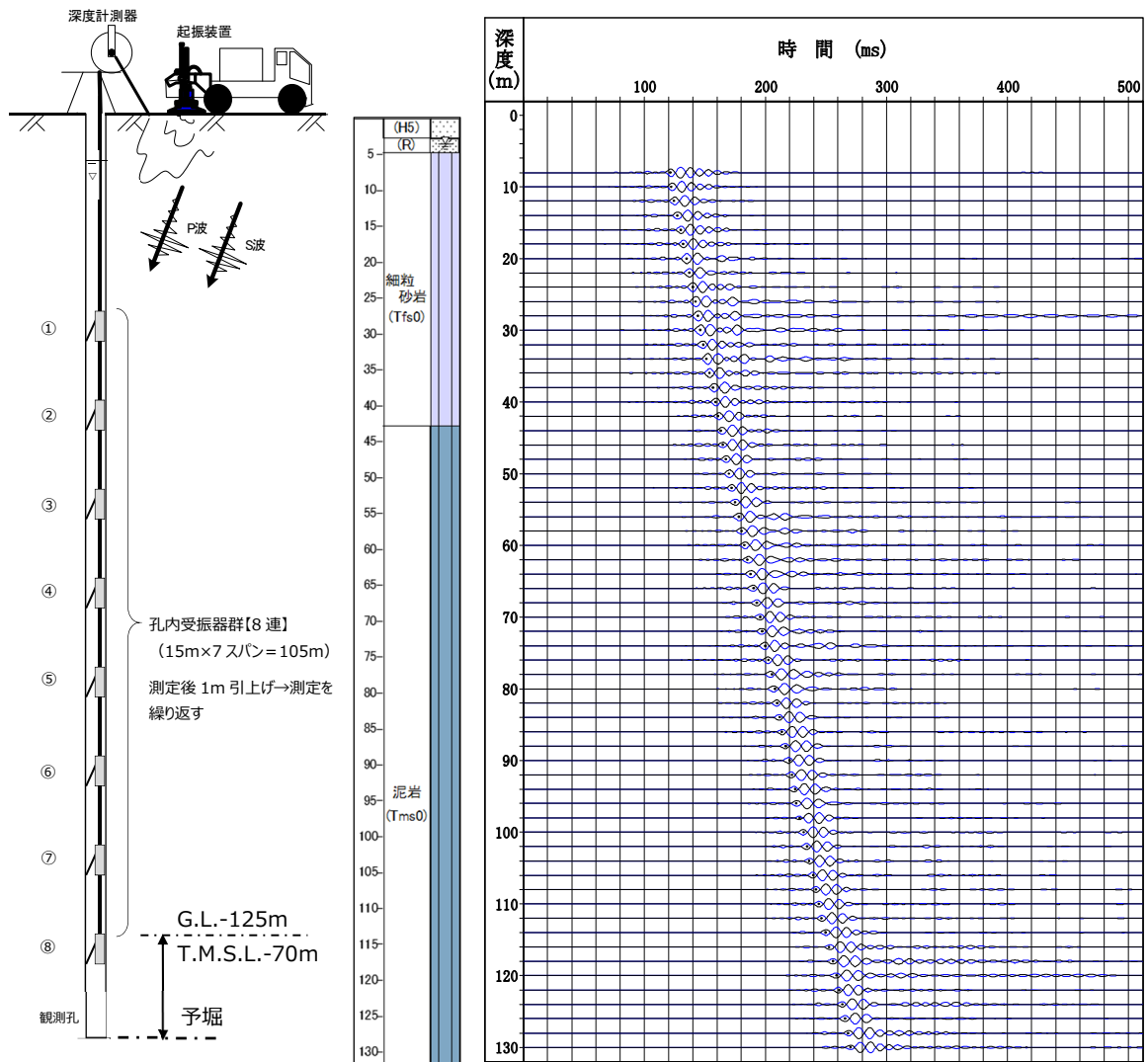
Q 値測定は、ボーリング孔内に設置した受振器に地表で発生させた弾性波（P 波・S 波）を受振させ、その波形の初動付近の振幅値の変化からボーリング孔沿いの地盤の減衰特性を把握する。

Q 値測定における振幅減衰の概念図を参考 1-3-5 図に示す。

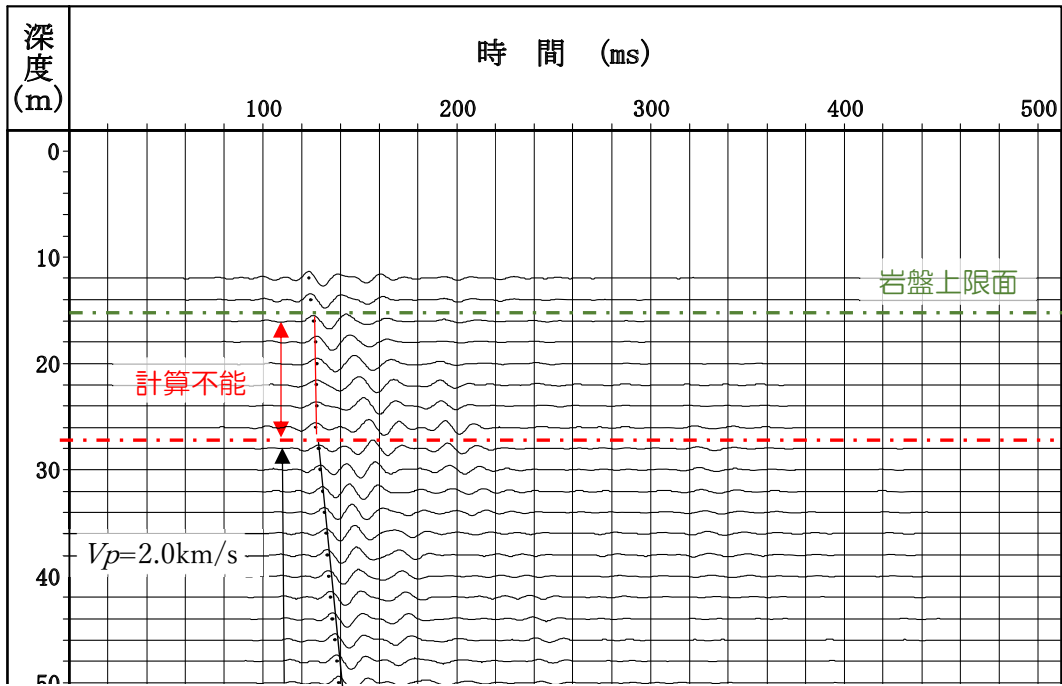


参考 1-3-5 図 振幅減衰の概念図

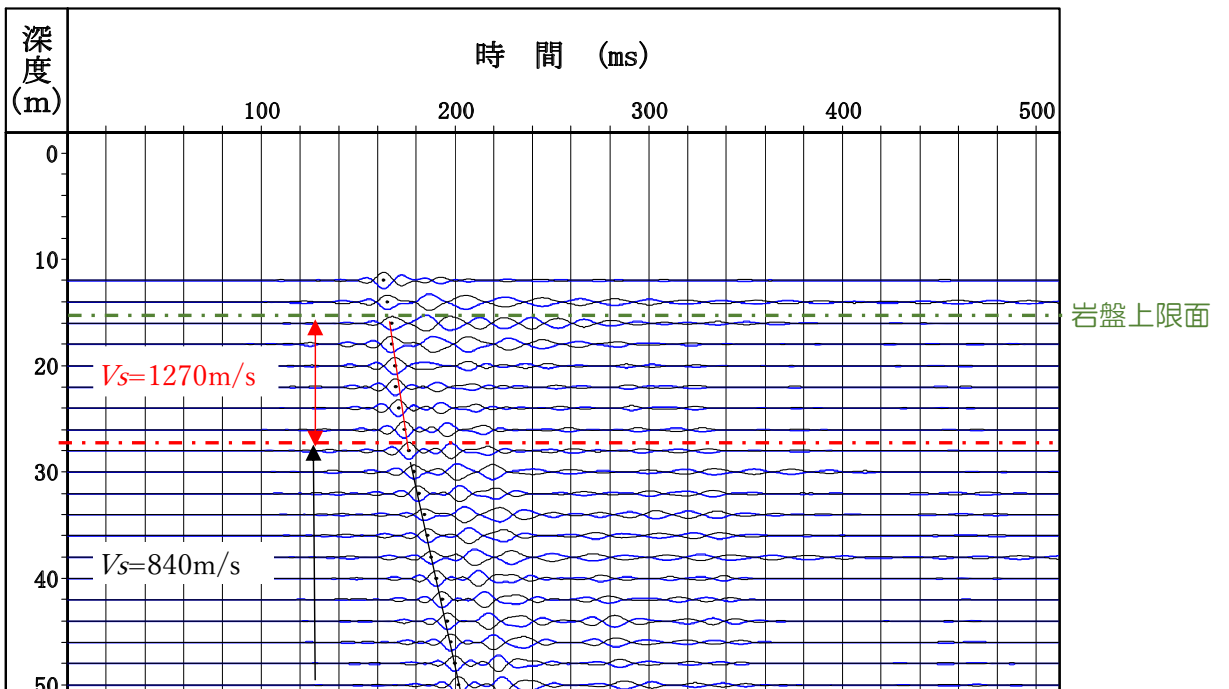
Q 値測定の正常な観測波形の一例として、参考 1-3-6 図に R5-Q6 孔の深度方向のコリレーション処理後の波形を示す。S 波測定の解析に用いる観測深度については、モニター波形との相似性等から判断した表層影響のない岩盤上限面からボーリング孔下端（GL-130m）を対象としている。岩盤上限面の観測波形における建屋近傍あるいは表層地盤の影響の要因については、計測位置と建屋構造及び表層物性・地形との関連を確認中であるが、その特徴として、参考 1-3-7 図、参考 1-3-8 図に示すようなコリレーション処理後の波形から得られる岩盤での P 波速度、S 波速度が対象岩盤の常識的な速度構造と異なることからモニター波形と異なる波形が観測されており、S 波測定の解析から棄却する。



参考 1-3-6 図 Q 値測定観測波形一例 (R5-Q6 孔: 観測深度 GL-8m~130m)



参考 1-3-7 図 表層の影響が考えられる観測波形 (R5-Q10 : コリレーション後 V_p)



参考 1-3-8 図 表層の影響が考えられる観測波形 (R5-Q10 : コリレーション後 V_s)

b. 室内岩石試験

(a) 対象とする岩石コア試料

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

参考 1-3-3 表 地質区分、岩盤分類一覧表および岩種ごとの最小減衰定数

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

■ : 岩石コア試験対象岩種 *1: 薄層, *2: 限定箇所, *3: 深部

□ : 再出現岩種

■ : 試験非実施岩種

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

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

試体による室内岩石試験を実施する。

(b) 試料の準備、供試体整形

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

(c) 弾性波速度測定

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

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

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

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

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

(d) 拘束条件

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

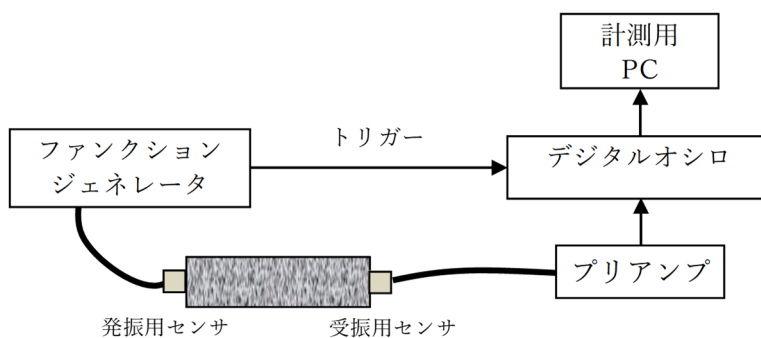
イ. 大気圧下における Q 値測定

コア Q 値測定装置の主な仕様を参考 1-3-4 表に示し、測定装置の概要図を参考 1-3-9 図に示す。超音波波形の収録は、JGS 2564-2020「岩石の弾性波速度計測方法」を参考にして大気圧下で行う。測定手順は以下のとおりである。

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

参考1-3-4表 大気圧下のQ値測定装置の主な仕様

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



参考1-3-9図 Q値測定装置の概要図

ロ. 封圧下における Q 値測定

Q 値測定装置の主な仕様を参考 1-3-5 表に示し、測定装置の概要図を参考 1-3-10 図に示す。

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

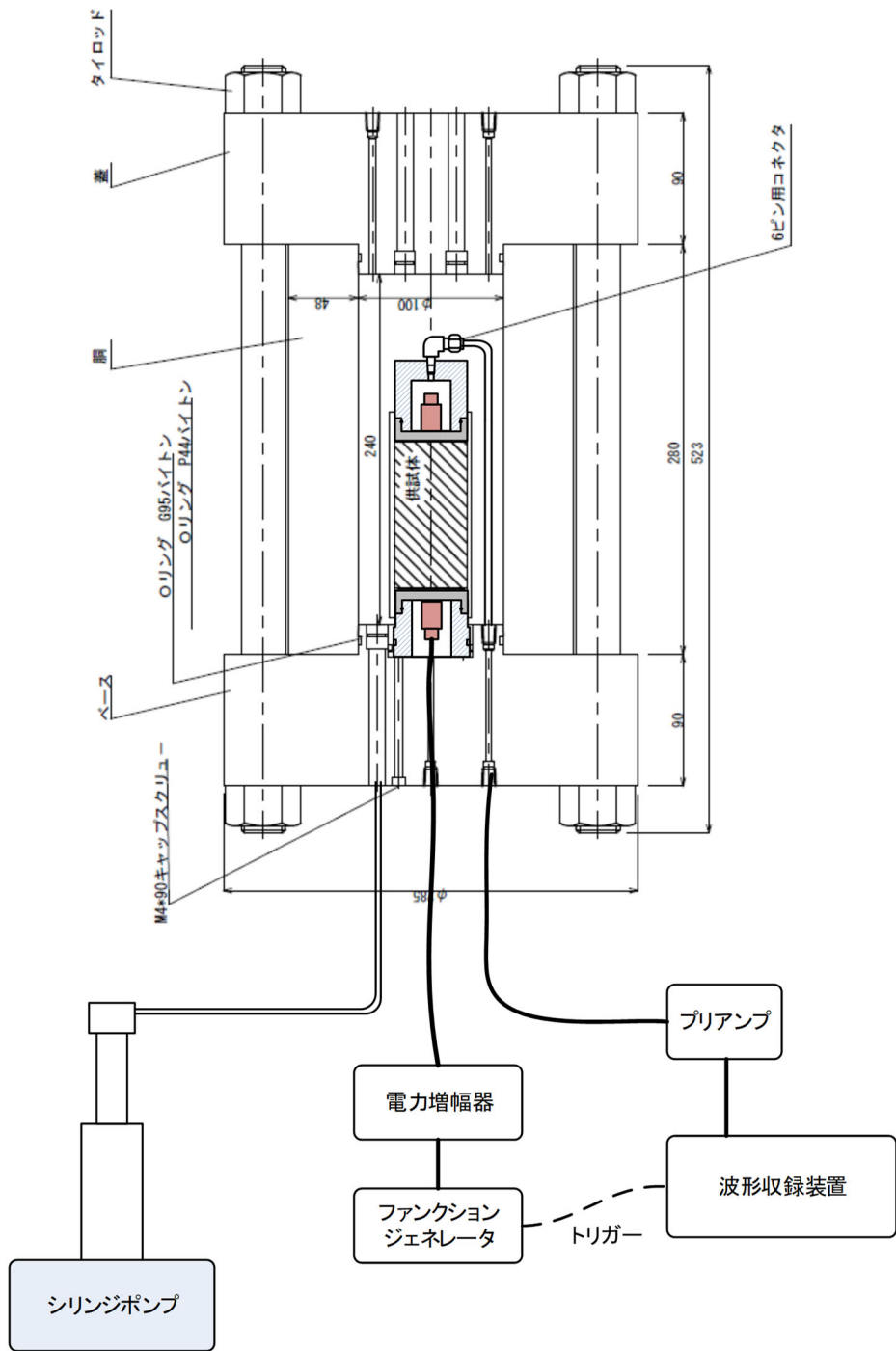
参考 1-3-5 表 封圧下の Q 値測定装置の主な仕様

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

測定手順は以下のとおりである。

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

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



参考 1-3-10 図 封圧下の Q 値測定装置の概要

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

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

標準試料と対象とする試料の平面波の振幅は次のように表される。

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

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

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

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

いま、 α は振動数の線形関数であると考え、3)式で定義する。

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

ここで γ は定数であり Q 値と次の関係がある。

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

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

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

上式の自然対数をとると次式となる。

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

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

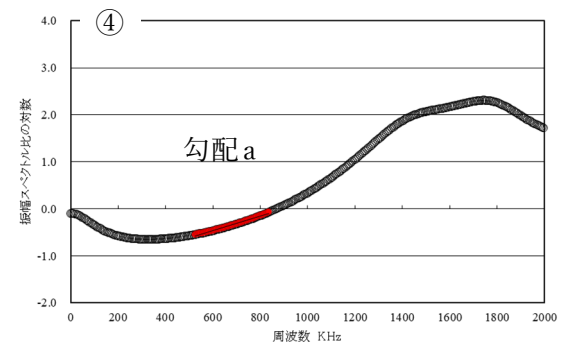
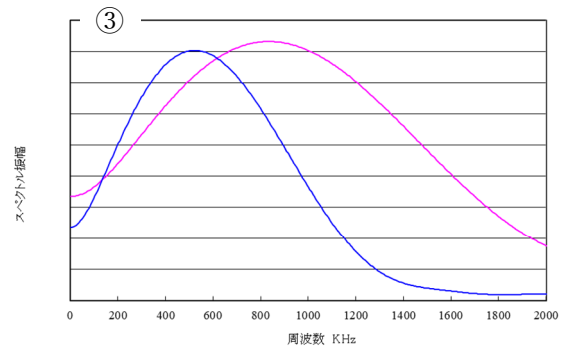
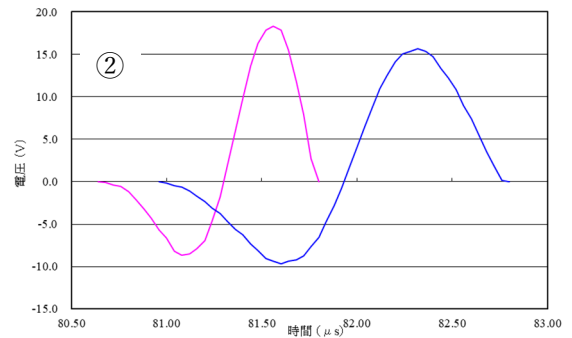
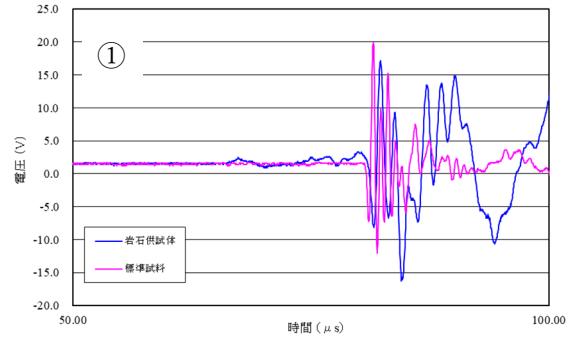
標準試料には岩石供試体と同じ形状のアルミ合金 (A5056) を用い、岩石供試体と同様の方法で透過波形を収録する。なお、Zemanek (1961)によれば、アルミの Q 値は 15×10^4 という大きな値となっているので、 γ_1 は 0 とみなしても誤差はないことになる。

スペクトル比法による Q 値の解析は以下の手順で行う (参考 1-3-11 図参照)。

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

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

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



参考 1-3-11 図 スペクトル比法による Q 値の解析

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

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

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

τ : 伝播波の初動のライズタイム

τ_0 : 入射波のライズタイム

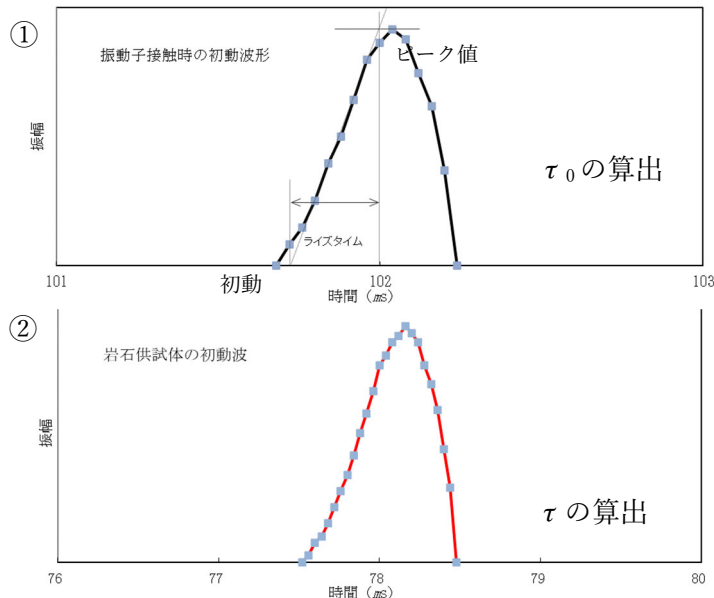
t : 伝播時間

C : 比例定数

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

ライズタイム τ および τ_0 の算出方法については佐藤 (2012) を参考とする。伝播波の初動のライズタイム τ は、参考 1-3-12 図のように初動後のピーク値をピークに至るまでの最急勾配で除して求める。なお最急勾配は、ノイズによる波形の乱れを考慮して、初動からピーク値までの合計データ数の半分 (参考 1-3-9 図①の場合、5 データ) を範囲として求める。入射波のライズタイム τ_0 については、超音波振動子と受振子を直接接触させた場合の振源波形から τ と同様の方法で求める。

岩石試料を透過した伝播波のライズタイムは、前述のスペクトル比法で収録した超音波透過波の初動波形を用いる (参考 1-3-11 図②) に例を示す)。



参考 1-3-12 図 パルスライズタイム法による解析

4. 予定工程

予定工程を第 4-1 表に示す。

第 4-1 表 予定工程

項 目					2023年																													
					8 月						9 月						10 月						11 月						12 月					
					5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
摘要	孔名	削孔長 ^(注)	仕様	実施班																														
フェーズ 1	中央地盤	R5-Q1	145 m	φ86mm	A班																													
	中央地盤	R5-Q2	145 m		D班																													
	中央地盤	R5-Q6	145 m		C班																													
	AZ	R5-Q8	145 m		B班																													
フェーズ 2	西側地盤	R5-Q5	145 m	φ86mm	A班																													
	東側地盤	R5-Q3	145 m		B班																													
	東側地盤	R5-Q7	145 m		C班																													
	G14	R5-Q4	145 m		D班																													
フェーズ 3	中央地盤	R5-Q9	145 m	φ86mm	A班																													
	中央地盤	R5-Q10	145 m		E班																													
	中央地盤	R5-Q11	145 m		F班																													
	東側地盤	R5-Q12	145 m		D班																													
室内試験																																		
とりまとめ																																		

(注)解放基盤面(標高-70m)を超える深さにQ値用ダウンホールPS検層の余堀分を加えた深度

参考文献

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

参考 2

初期モデルにおいて地震観測位置近傍の
地下構造を考慮しない場合と考慮した場合の
同定結果比較

目 次

	ページ
1. 概要	参考 2-1
2. 比較結果に関する考察	参考 2-2

1. 概要

「6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり，西側地盤及び東側地盤においては，各地震観測点における PS 検層結果の 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とを踏まえ，地震観測位置近傍の地下構造を踏まえ，初期モデルの見直しを行っている。

本資料では，地震観測位置の地下構造を考慮しない場合と考慮した場合それぞれにおける同定結果の比較結果を示す。

2. 比較結果に関する考察

2.1 西側地盤

参考 2-1 図及び参考 2-2 図に、西側地盤における各地震観測深さ間の伝達関数について、地震観測位置の地下構造を考慮せず PS 検層結果による速度構造をそのまま初期モデルとした場合の同定結果と、地震観測位置の地下構造を考慮した初期モデルを用いた場合の同定結果を比較して示す。

地震観測シミュレーション解析において地震動を入力する GL-200m と、GL-18m の間の伝達関数（図中⑤）に着目すると、水平方向及び鉛直方向ともに、周期 0.1 秒よりも短周期側において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。

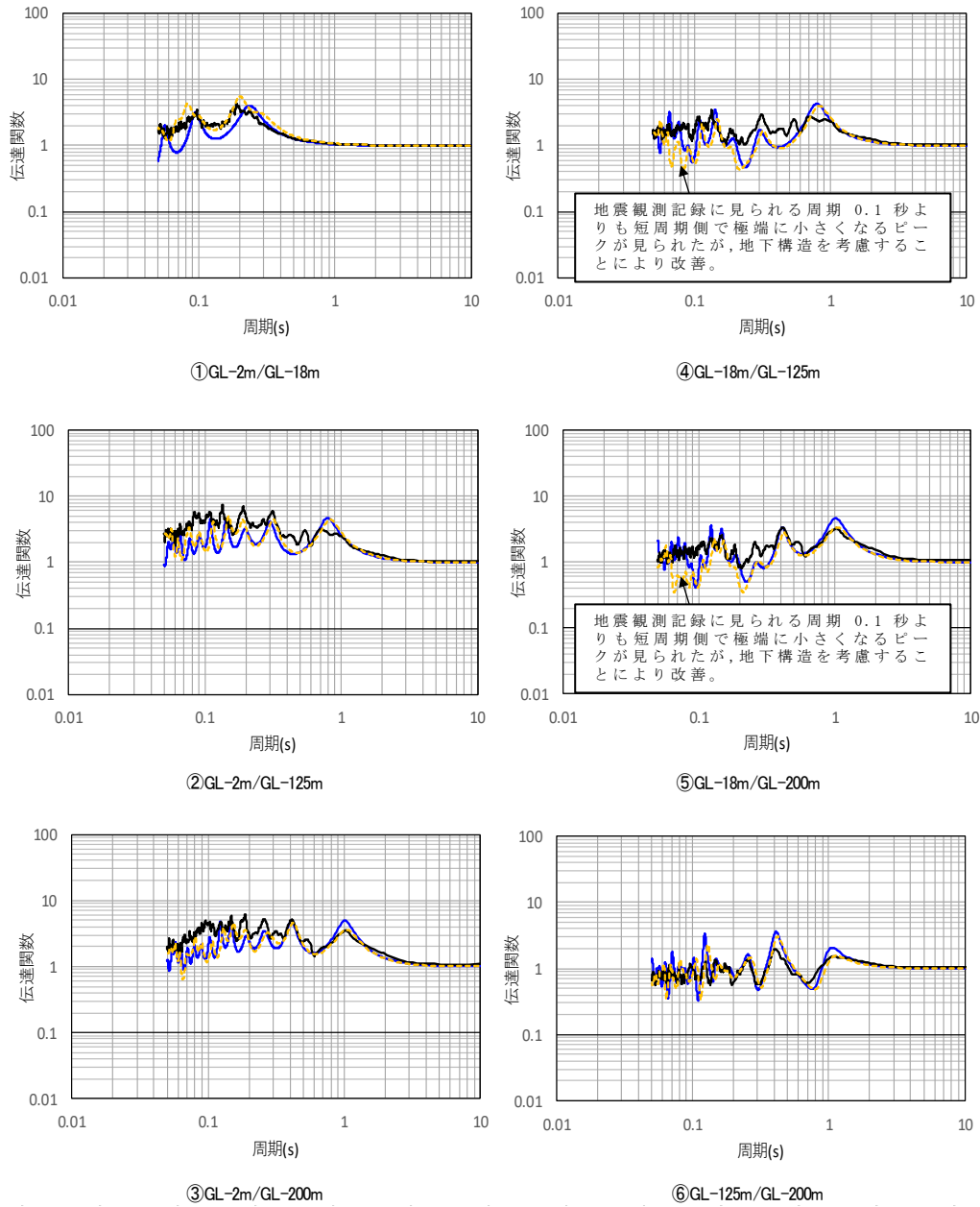
上記を踏まえ、「6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり、初期地盤モデルについて、地震観測位置における地下構造を踏まえ、岩盤部分と表層地盤の層を分割して見直しを行い、再度同定を行った結果、見直し前と比較して鉛直方向においては見直しによる感度は小さい結果となったものの、水平方向においては、上記周期における伝達関数が地震観測記録と概ね整合する結果が得られた。

一方、GL-2m の地表に相当する地震観測地点を含む伝達関数（図中①～③）については、地震観測記録では短周期側においてピークの山は確認できるものの、谷となる周期が明瞭に表れておらず、同定結果における伝達関数の谷が、地震観測記録を下回る傾向がみられる。

この要因としては、西側地盤観測点については、「6.4 地震波干渉法による検討」にも示したとおり、この地点における特徴として、周辺に六ヶ所層以外の地盤が分布していることや、岩盤部分と表層地盤の境界面における傾斜構造が影響し、地表付近では複雑な地震波の伝播の傾向を示す可能性があることに起因していると考えられる。

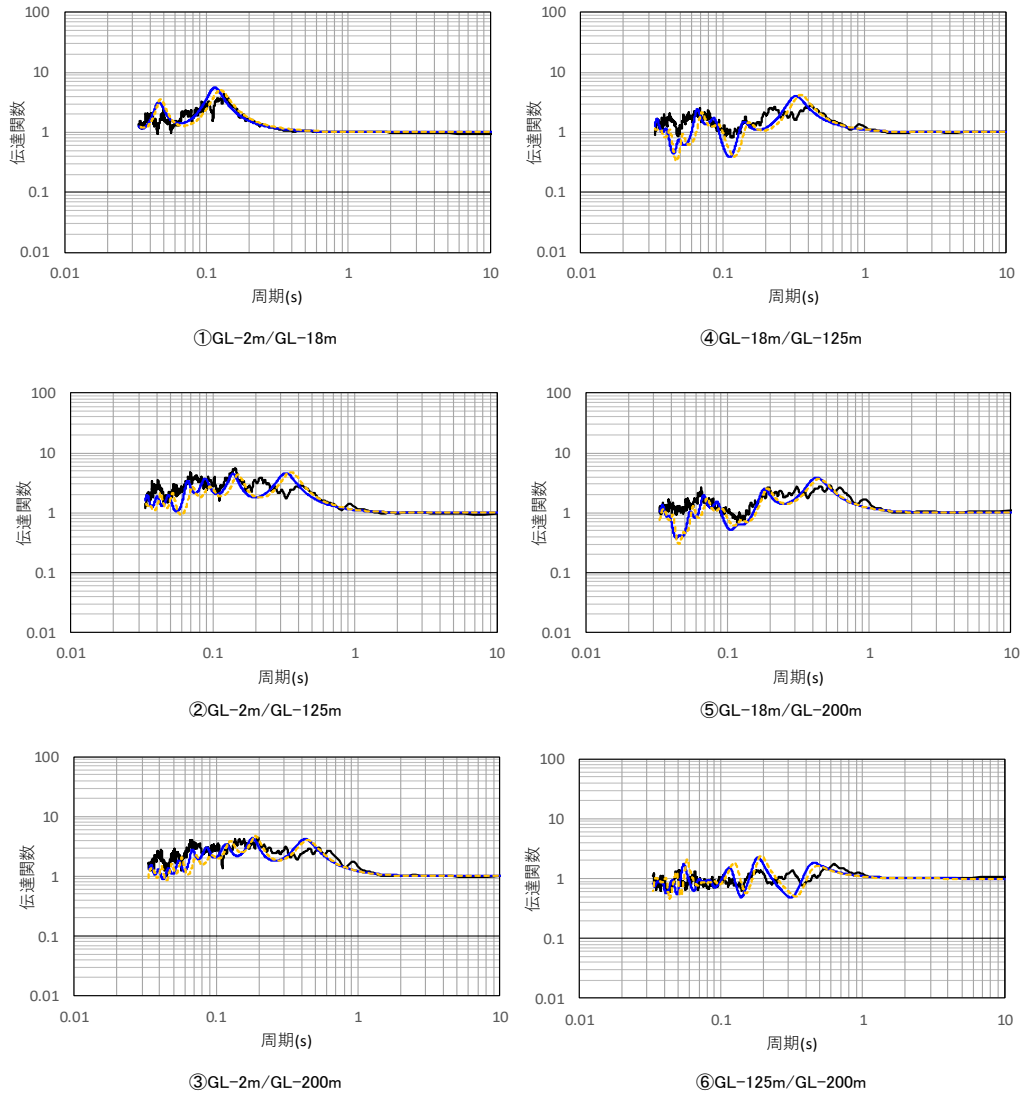
ただし、GL-2m の地震観測点を含まず、岩盤中の伝播経路が支配的な深さ間の伝達関数（④～⑥）ではこのような傾向が見られず、伝達関数の山谷が地震観測記録とよく整合していることを踏まえると、本同定解析において、岩盤中の速度構造及び減衰定数は適切に評価されていると考えられる。

- 目的関数（地震観測記録）
- - - 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
- 地震観測位置近傍の地下構造を考慮した場合の同定結果



参考 2-1 図 伝達関数の比較（西側地盤，水平方向）

— 目的関数（地震観測記録）
 - - - 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
 — 地震観測位置近傍の地下構造を考慮した場合の同定結果



参考 2-2 図 伝達関数の比較（西側地盤，鉛直方向）

2.2 東側地盤

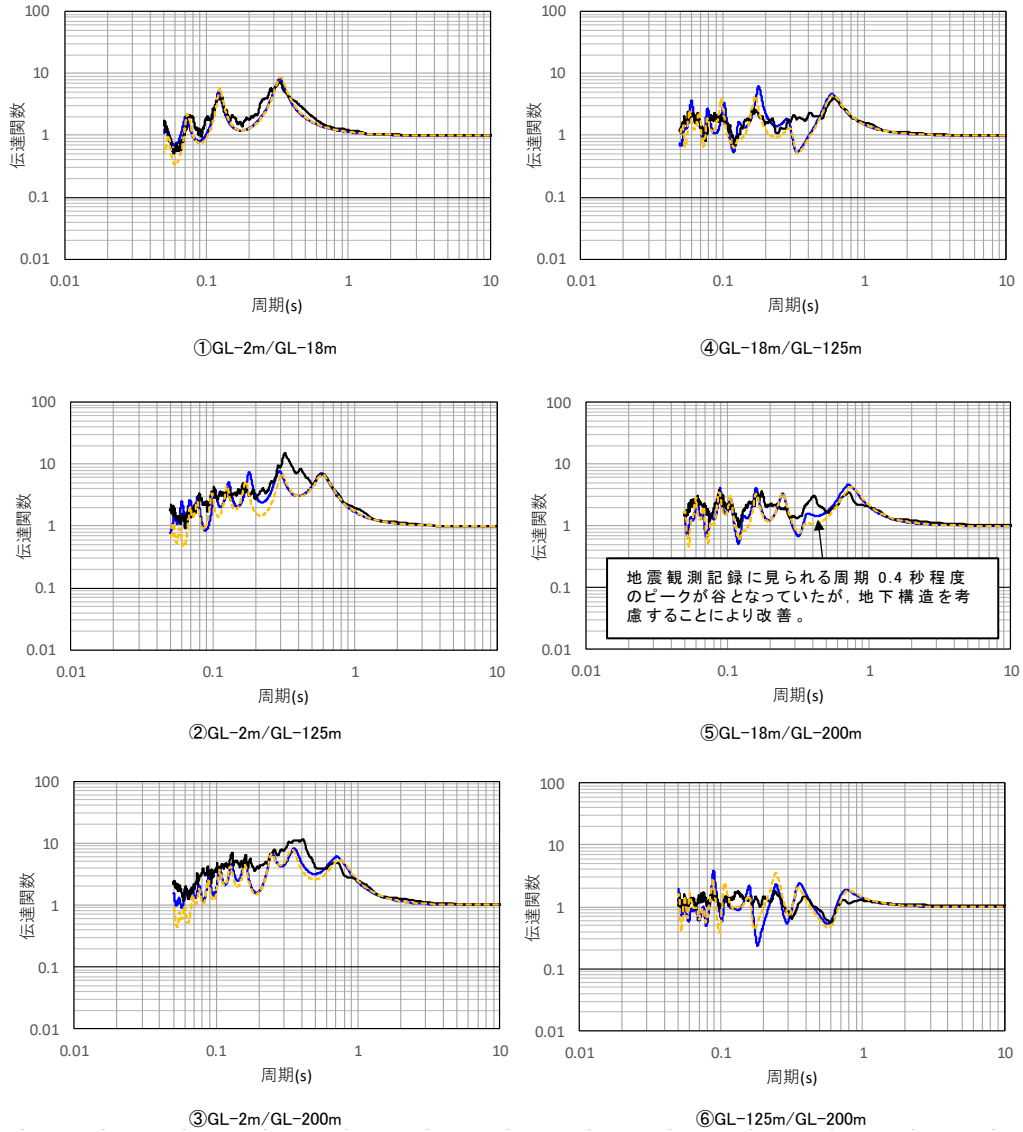
参考 2-3 図及び参考 2-4 図に、東側地盤における各地震観測深さ間の伝達関数について、地震観測位置の地下構造を考慮せず PS 検層結果による速度構造をそのまま初期モデルとした場合の同定結果と、地震観測位置の地下構造を考慮した初期モデルを用いた場合の同定結果を比較して示す。

地震観測シミュレーション解析において地震動を入力する GL-200m と、GL-18m の間の伝達関数（図中⑤）に着目すると、水平方向において、周期 0.4 秒程度において観測記録に見られる伝達関数のピークに対し、地震観測位置の地下構造を考慮しない場合、谷となるような傾向がみられた。

上記を踏まえ、「6.3.2 初期モデルの設定及び探索範囲」に示したとおり、初期地盤モデルについて、地震観測位置における地下構造を踏まえた見直しを行い、再度同定を行った結果、上記周期における伝達関数が山となる傾向が得られ、見直し前と比較して地震観測記録との整合性が改良された結果が得られた。

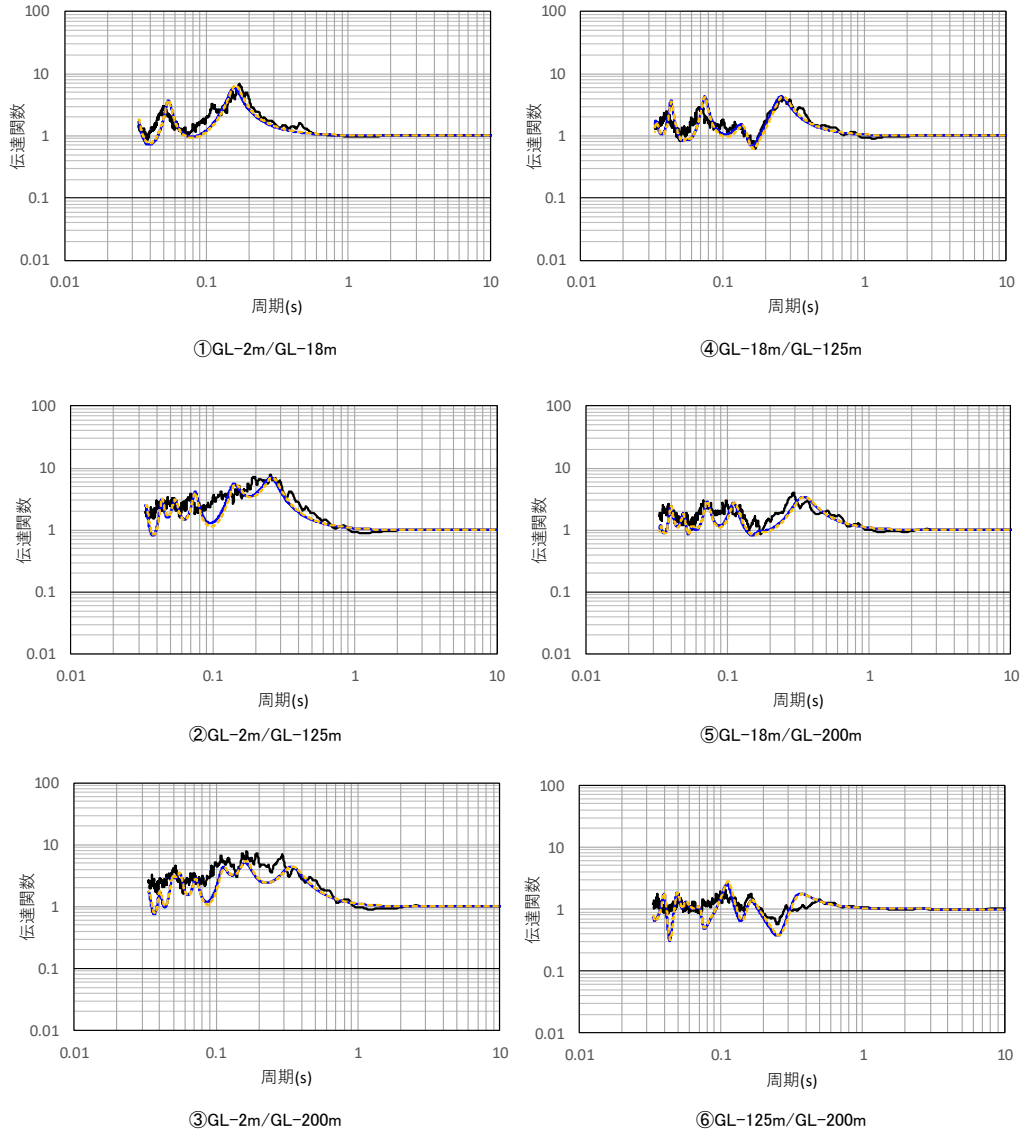
この見直しにより、いずれの深さ間における伝達関数（①～⑥）においても、伝達関数の山谷が地震観測記録とよく整合している結果が得られたことを踏まえると、本同定解析において、岩盤中の速度構造及び減衰定数は適切に評価されていると考えられる。

- 目的関数（地震観測記録）
- 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
- 地震観測位置近傍の地下構造を考慮した場合の同定結果



参考 2-3 図 伝達関数の比較（東側地盤，水平）

- 目的関数（地震観測記録）
- 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
- 地震観測位置近傍の地下構造を考慮した場合の同定結果



参考 2-4 図 伝達関数の比較（東側地盤，鉛直）

参考 3

敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の
評価に関する補足図表等

目 次

	ページ
1. 地震数を増加させた場合の伝達関数への影響確認	1
2. 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	12
3. シミュレーション解析結果のフーリエスペクトル	20

1. 地震数を増加させた場合の伝達関数への影響確認

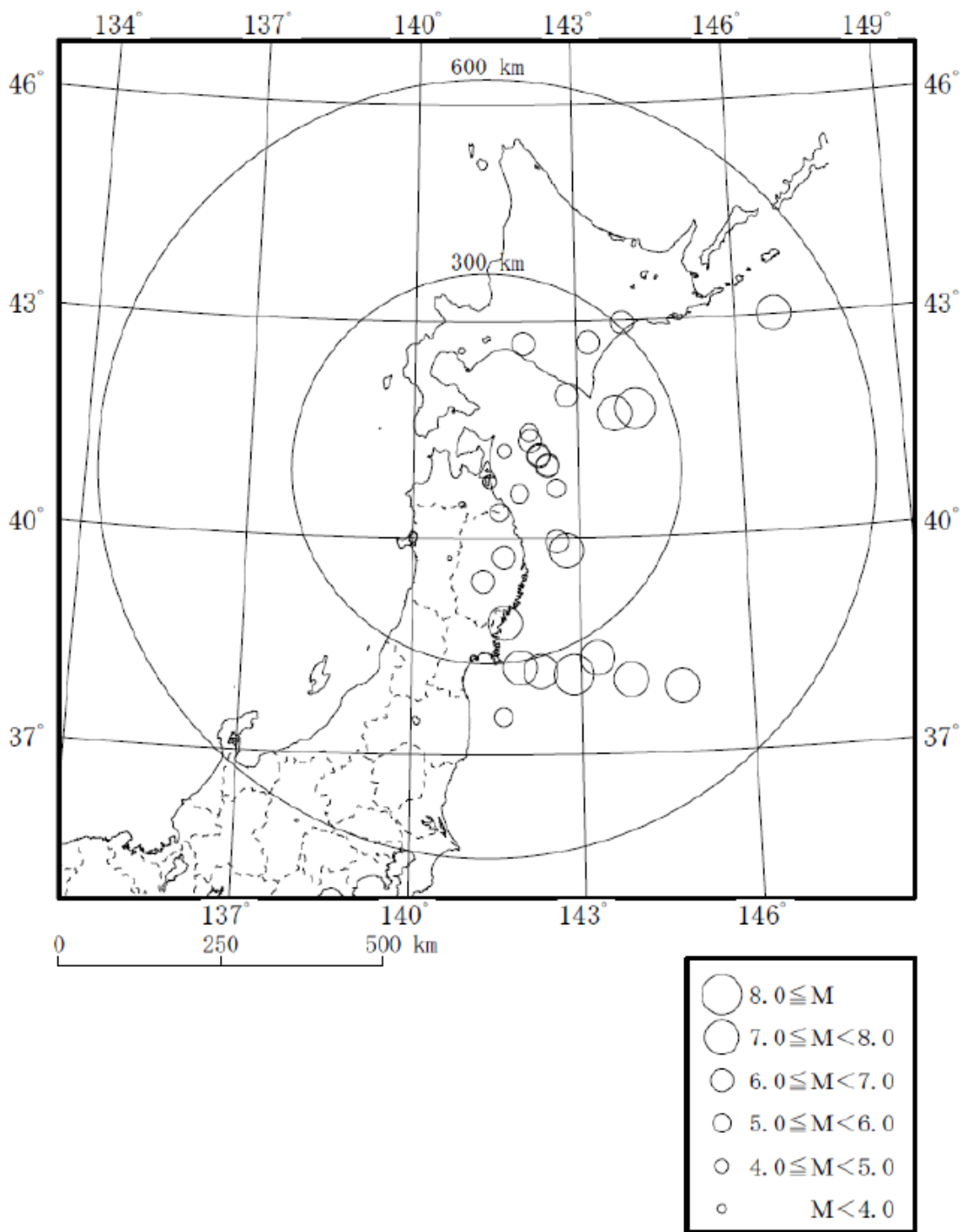
「6.3.3 目的関数の設定」に示したとおり，検討に用いる地震についての十分性及び妥当性を確認するために，選定時の最大加速度の閾値を考慮せず，地震数を倍程度の30地震に増加させた場合の伝達関数の平均値を算定した。

地震数を増加させた場合の地震の諸元を参考 3-1.1 表に，震央分布を参考 3-1.1 図～参考 3-1.3 図に示す。また，地震数を増加させた場合の伝達関数の平均値と，今回評価に用いる目的関数を比較した図を参考 3-1.4 図～参考 3-1.9 図に示す。

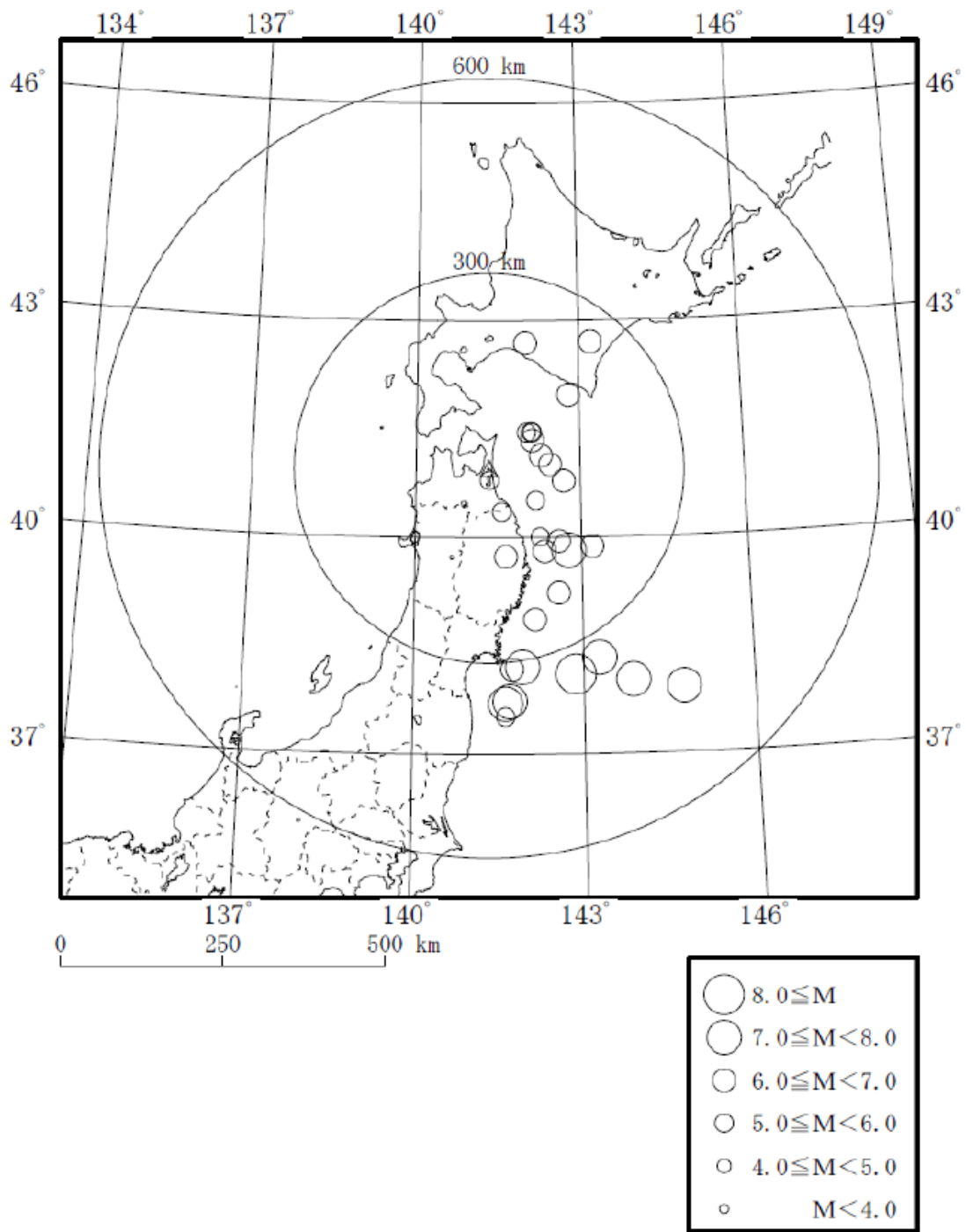
いずれの地点においても，地震数を増やした場合の伝達関数は，本評価に用いる伝達関数と有意な差は無いことを確認した。

参考 3-1.1 表 地震数を 30 地震とした評価に用いた地震の諸元

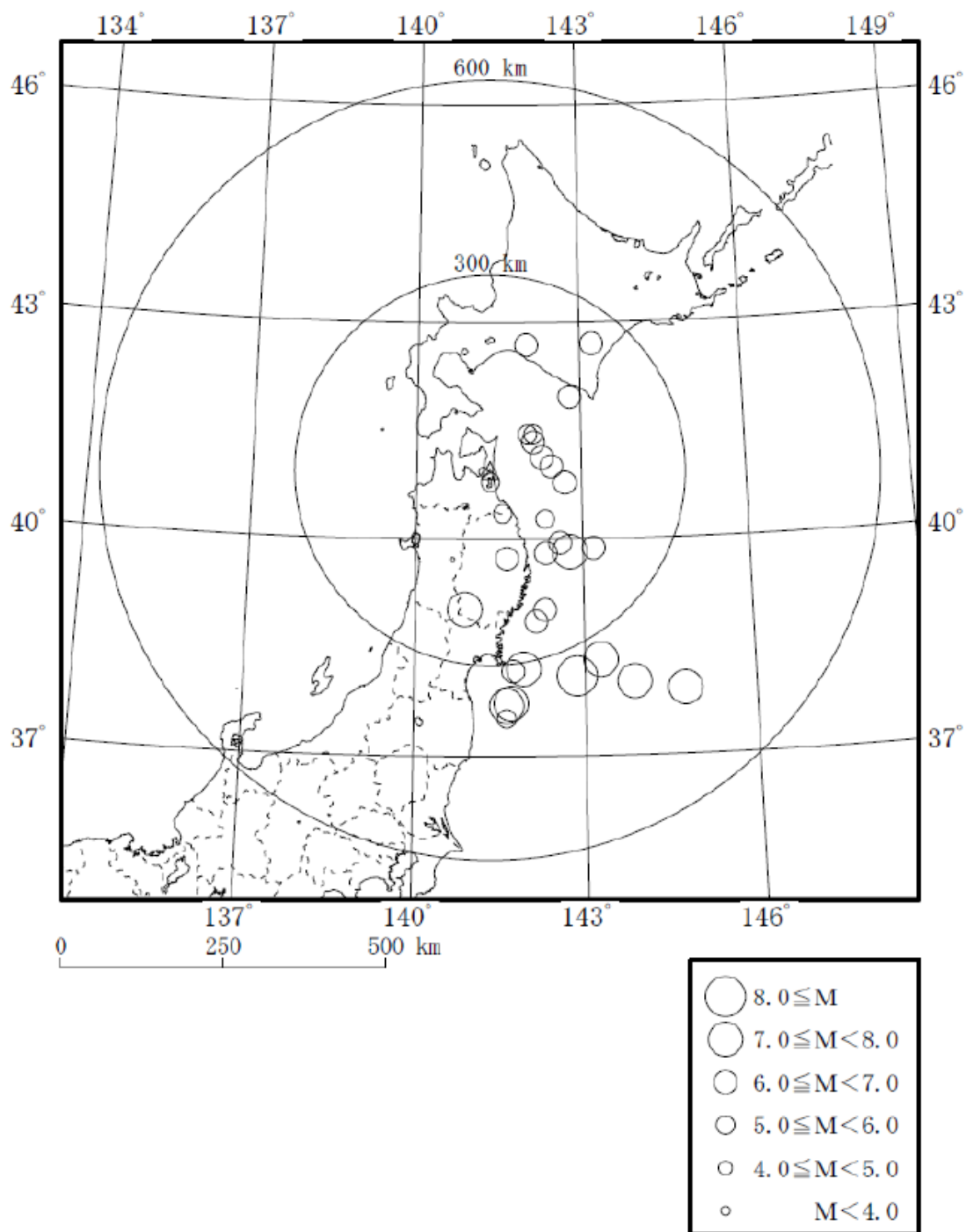
No.	年	月	日	時	分	震源地名	東経	北緯	M	深さ (m)	震央距離 (m)	震源距離 (m)	中央地盤	東側地盤	西側地盤	
1	1996	2	17	23	35	SHIMOKITA PENINSULA REG	141	22.8	40	46.69	4.3	15.25	21	26	○	
2	1999	5	13	2	59	KUSHIRO REGION	143	52.26	42	58.05	6.3	105.99	307	324	○	
3	2000	1	28	23	21	OFF NEMURO PENINSULA	146	44.66	43	0.49	7.0	58.51	503	506	○	
4	2001	4	3	4	54	E OFF AOMORI PREF	141	55.27	40	36.78	5.6	63.39	63	90	○	
5	2001	8	14	5	11	E OFF AOMORI PREF	142	26.19	40	59.73	6.4	37.69	93	101	○	
6	2001	12	2	22	1	SOUTHERN IWATE PREF	141	15.79	39	23.9	6.4	121.5	174	212	○	
7	2002	10	14	23	12	E OFF AOMORI PREF	142	16.85	41	9.11	6.1	52.71	83	98	○	
8	2003	5	26	18	24	NORTHERN MIYAGI PREF	141	39.04	38	49.26	7.1	72.03	239	250	○	
9	2003	9	26	4	50	SE OFF TOKACHI	144	4.71	41	46.71	8.0	45.07	247	251	○	
10	2003	9	26	6	8	SE OFF ERIMOMISAKI	143	41.49	41	42.59	7.1	21.41	215	216	○	
11	2005	2	26	21	37	E OFF AOMORI PREF	142	35.77	40	41.12	5.7	44.65	111	120	○	
12	2005	8	16	11	46	E OFF MIYAGI PREF	142	16.67	38	8.97	7.2	42.04	323	326	○	
13	2008	4	29	14	26	E OFF AOMORI PREF	142	6.5	41	27.78	5.7	61.68	86	106	○	○
14	2008	6	14	8	43	SOUTHERN IWATE PREF	140	52.84	39	1.79	7.2	7.77	218	218		○
15	2008	7	24	0	26	NORTHERN IWATE PREF	141	38.12	39	43.92	6.8	108.08	139	176	○	○
16	2010	1	24	16	19	E OFF AOMORI PREF	141	38.71	41	12.59	4.5	13.63	38	41	○	
17	2010	9	13	14	47	E OFF AOMORI PREF	142	7.31	41	27.36	5.8	63.17	86	107		○
18	2011	3	9	11	45	FAR E OFF MIYAGI PREF	143	16.79	38	19.71	7.3	8.28	337	337	○	○
19	2011	3	11	14	46	FAR E OFF MIYAGI PREF	142	51.66	38	6.21	9.0	23.74	344	345	○	○
20	2011	3	11	15	5	E OFF FUKUSHIMA PREF	141	37.32	37	31.16	5.9	22.48	383	384	○	○
21	2011	3	11	15	8	E OFF IWATE PREF	142	46.01	39	49.24	7.4	32.02	176	179	○	○
22	2011	3	11	15	25	FAR E OFF NORTH HONSHU	144	45.06	37	54.86	7.5	11	449	449	○	○
23	2011	3	11	16	28	E OFF IWATE PREF	142	18.67	39	1.35	6.6	16.97	231	232		○
24	2011	3	11	20	36	E OFF IWATE PREF	142	34.72	39	13.81	6.7	23.6	220	221		○
25	2011	4	7	23	32	E OFF MIYAGI PREF	141	55.21	38	12.25	7.2	65.89	310	317	○	○
26	2011	6	23	6	50	E OFF IWATE PREF	142	35.45	39	56.87	6.9	36.4	155	159	○	○
27	2012	3	27	20	0	OFF IWATE PREF	142	20	39	48.3	6.6	21	154	155		○
28	2012	5	24	0	2	E OFF AOMORI PREF	142	7.4	41	20.6	6.1	60	79	99	○	○
29	2012	12	7	17	18	OFF SANRIKU	143	52	38	1.1	7.3	49	393	396	○	○
30	2013	2	2	23	17	SOUTHERN TOKACHI REGION	143	13.6	42	42.1	6.5	102	249	269	○	○
31	2014	8	10	12	43	E OFF AOMORI PREF	142	16.7	41	8	6.1	51	82	97	○	○
32	2015	2	17	8	6	OFF SANRIKU	143	11.5	39	52.3	6.9	13	199	199		○
33	2015	5	13	6	12	OFF MIYAGI PREF	142	9	38	51.7	6.8	46	244	248		○
34	2015	6	8	15	1	E OFF AOMORI PREF	142	1.1	41	27.3	5.6	66	80	104		○
35	2015	7	10	3	32	NORTHERN INLAND OF IWATE PREF	141	33.5	40	21.2	5.7	88	70	112	○	○
36	2016	1	14	12	25	OFF URAKAWA	142	48	41	58.2	6.7	52	166	174	○	○
37	2018	1	24	19	51	E OFF AOMORI PREF	142	26.8	41	0.5	6.3	34	94	100	○	○
38	2018	8	3	23	39	MUTSU BAY REGION	141	12.7	40	56.2	3.2	9	10	13		○
39	2018	9	6	03	07	MID-EAST IBURI REGION	142	0.4	42	41.4	6.7	37	200	203	○	○
40	2019	1	26	17	23	OFF IWATE PREF	142	19.6	40	16.8	5.6	38	114	120		○
41	2019	8	15	14	32	SHIMOKITA PENINSULA REG	141	20.36	40	47.52	5.5	92.6	19	95		○
42	2019	12	19	15	21	E OFF AOMORI PREF	142	10.71	40	30.79	5.5	50.04	88	101		○
43	2020	12	21	2	23	E OFF AOMORI PREF	142	41.5	40	46.9	6.5	43	117	125		○
44	2021	2	13	23	7	OFF FUKUSHIMA PREF	141	41.9	37	43.7	7.3	55	360	364		○
45	2021	5	1	10	27	OFF MIYAGI PREF	141	44.4	38	10.4	6.8	51	312	316		○
46	2021	10	6	2	46	OFF IWATE PREF	142	15.2	40	0.4	5.9	56	132	143		○
47	2022	3	16	23	36	OFF FUKUSHIMA PREF	141	37.3	37	41.8	7.4	57	363	367		○
合計地震数													30	30	30	



参考 3-1.1 図 地震数を 30 地震とした評価に用いた地震の震央分布
(中央地盤)

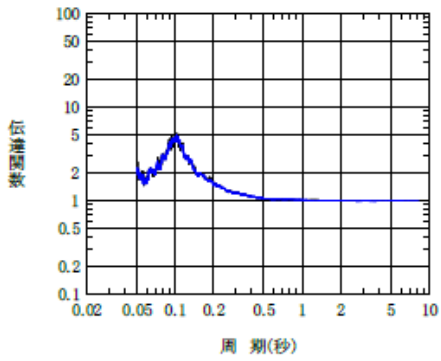


参考 3-1.2 図 地震数を 30 地震とした評価に用いた地震の震央分布
(西側地盤)

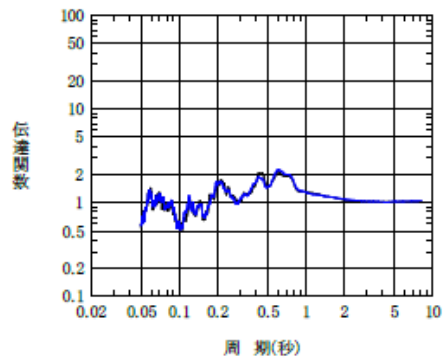


参考 3-1.3 図 地震数を 30 地震とした評価に用いた地震の震央分布
(東側地盤)

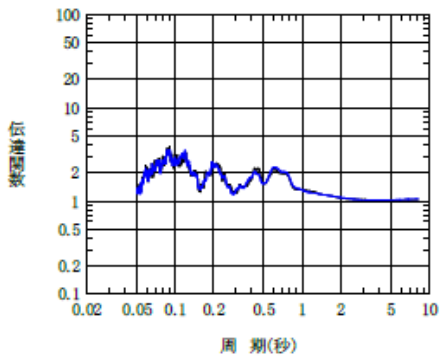
— 14 地震
— 30 地震



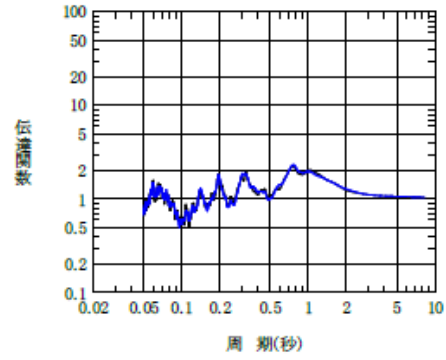
① GL-2m/GL-18m



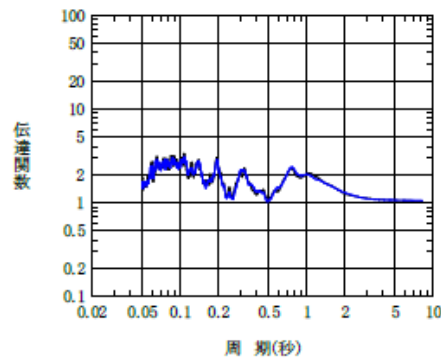
④ GL-18m/GL-125m



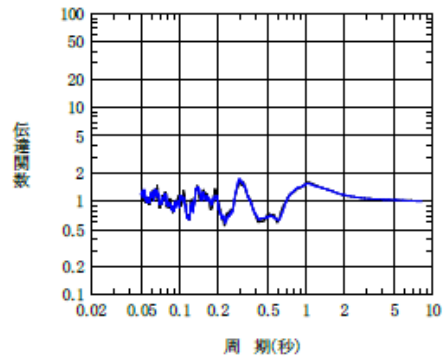
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



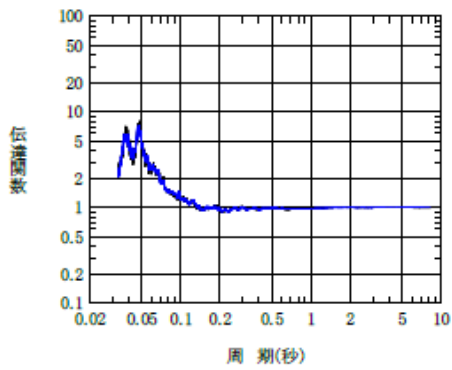
③ GL-2m/GL-200m



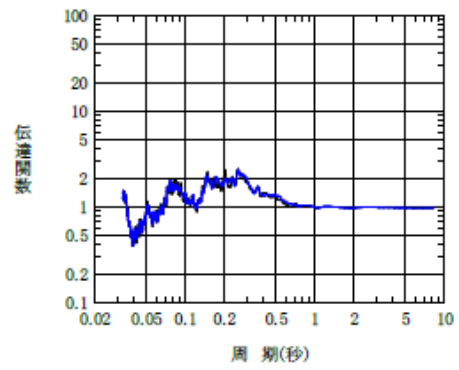
⑥ GL-125m/GL-200m

参考 3-1.4 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(中央地盤観測点, 水平)

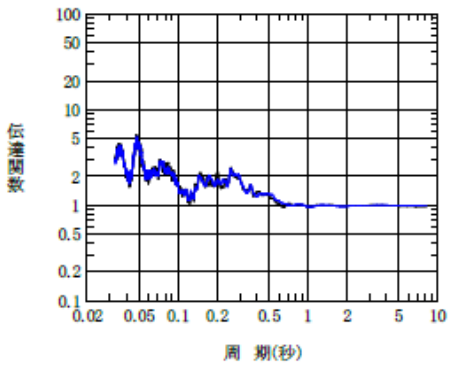
— 14 地震
— 30 地震



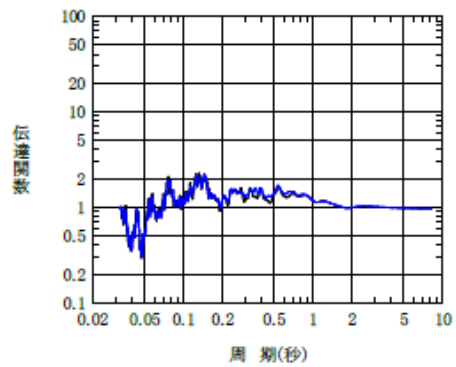
① GL-2m/GL-18m



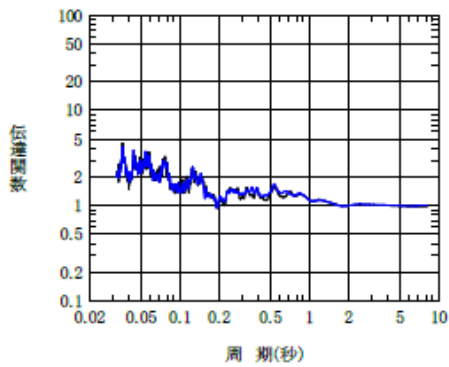
④ GL-18m/GL-125m



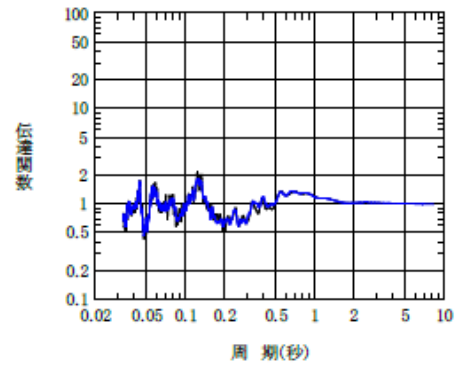
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



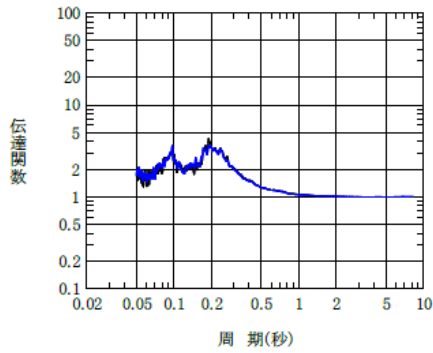
③ GL-2m/GL-200m



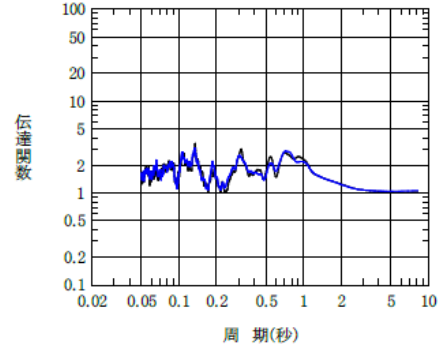
⑥ GL-125m/GL-200m

参考 3-1.5 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(中央地盤観測点, 鉛直)

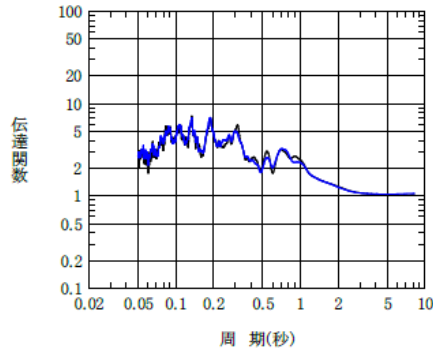
— 12 地震
— 30 地震



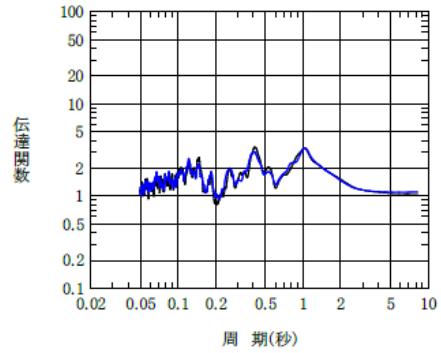
① GL-2m/GL-18m



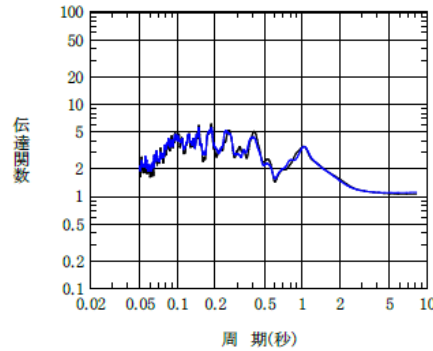
④ GL-18m/GL-125m



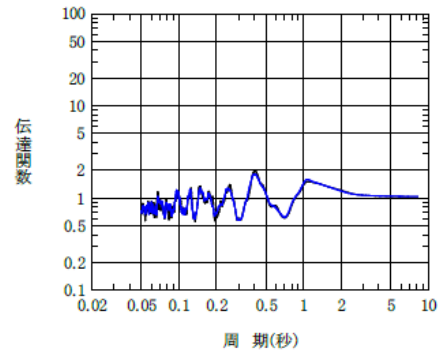
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



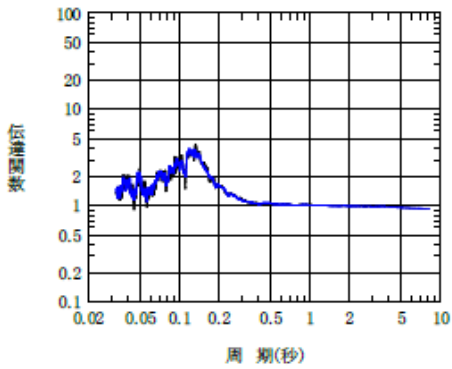
③ GL-2m/GL-200m



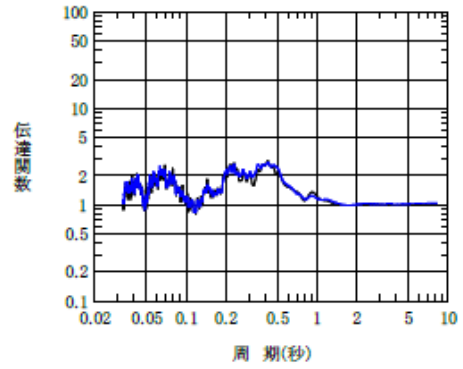
⑥ GL-125m/GL-200m

参考 3-1.6 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(西側地盤観測点, 水平)

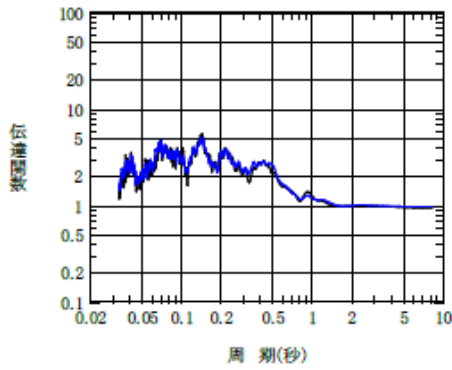
— 12 地震
— 30 地震



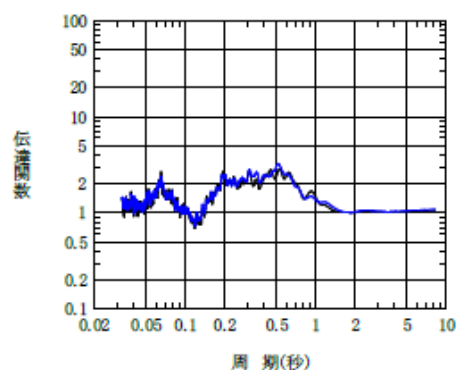
① GL-2m/GL-18m



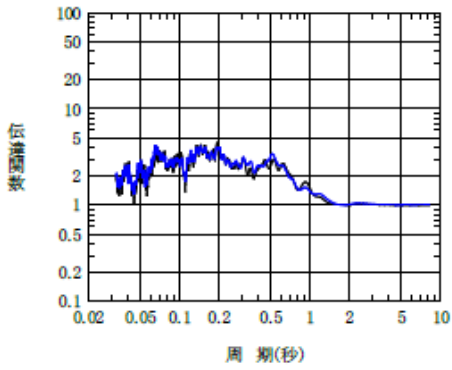
④ GL-18m/GL-125m



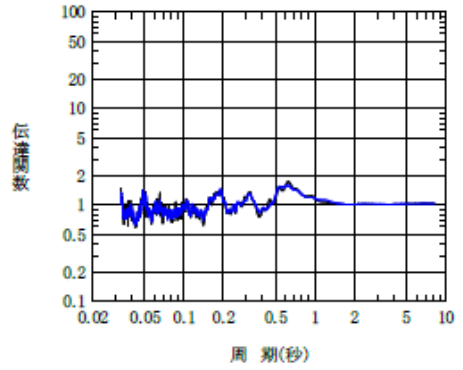
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



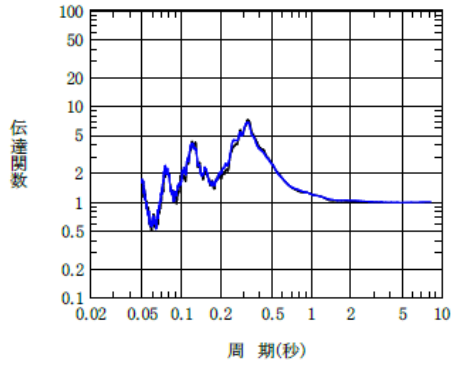
③ GL-2m/GL-200m



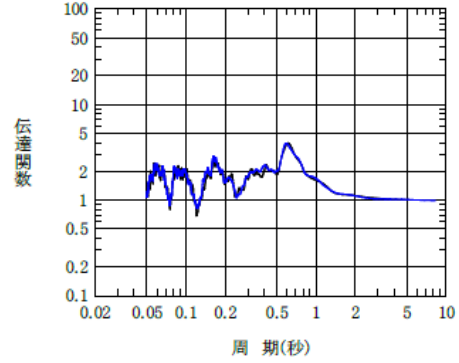
⑥ GL-125m/GL-200m

参考 3-1.7 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(西側地盤観測点, 鉛直)

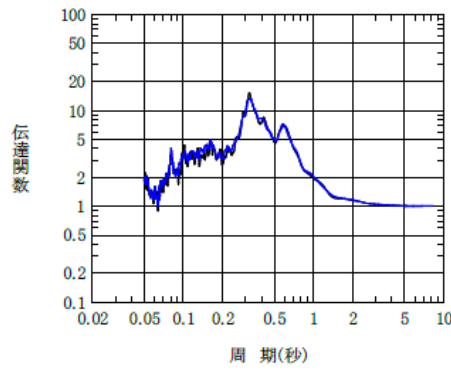
— 12 地震
— 30 地震



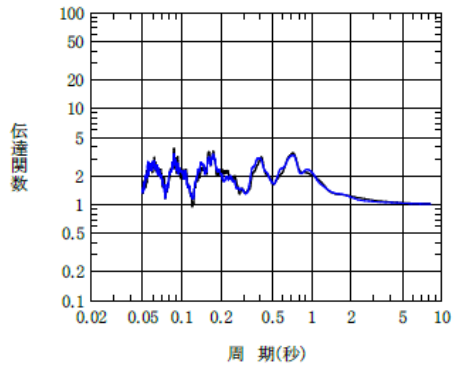
① GL-2m/GL-18m



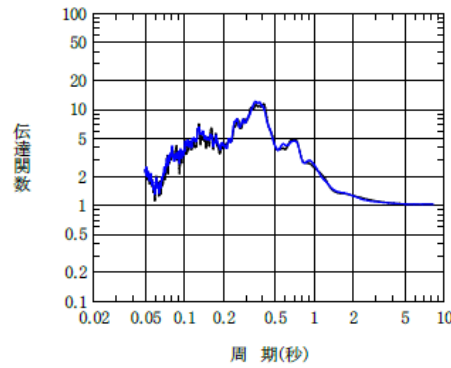
④ GL-18m/GL-125m



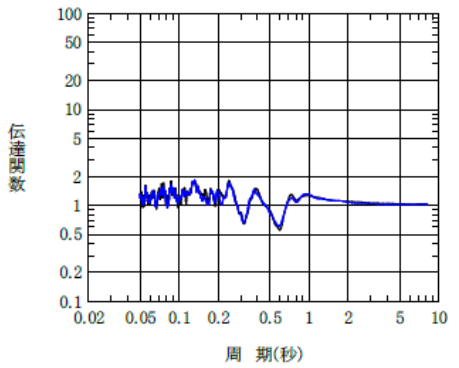
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



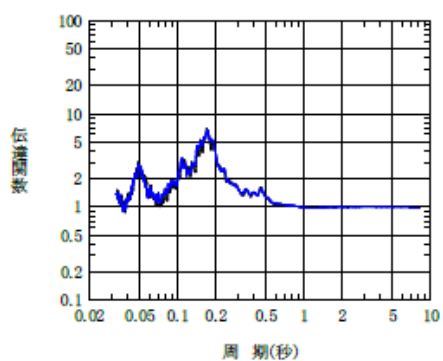
③ GL-2m/GL-200m



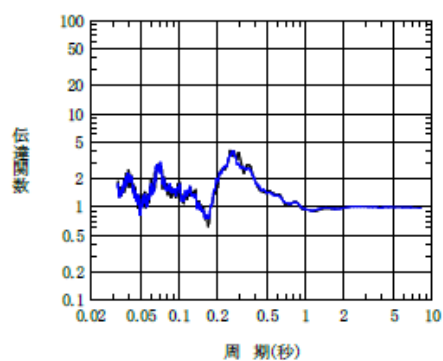
⑥ GL-125m/GL-200m

参考 3-1.8 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(東側地盤観測点, 水平)

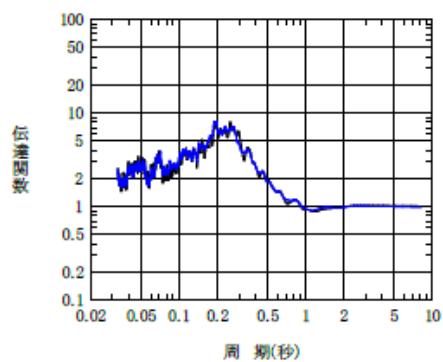
— 12 地震
— 30 地震



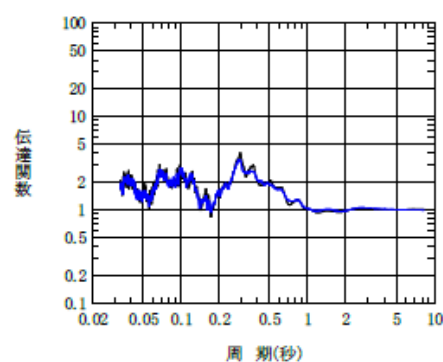
① GL-2m/GL-18m



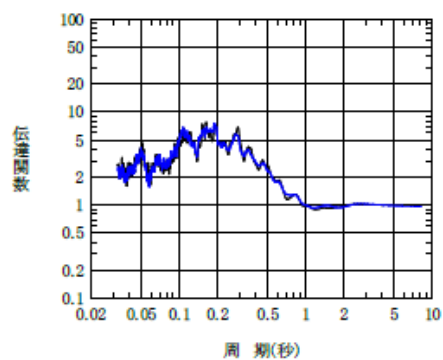
④ GL-18m/GL-125m



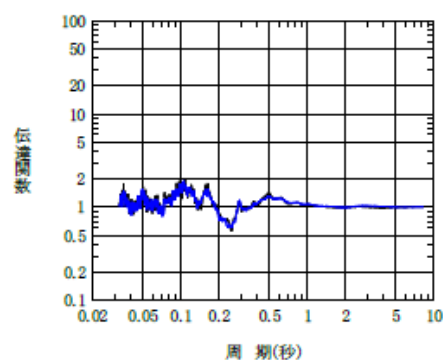
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



③ GL-2m/GL-200m



⑥ GL-125m/GL-200m

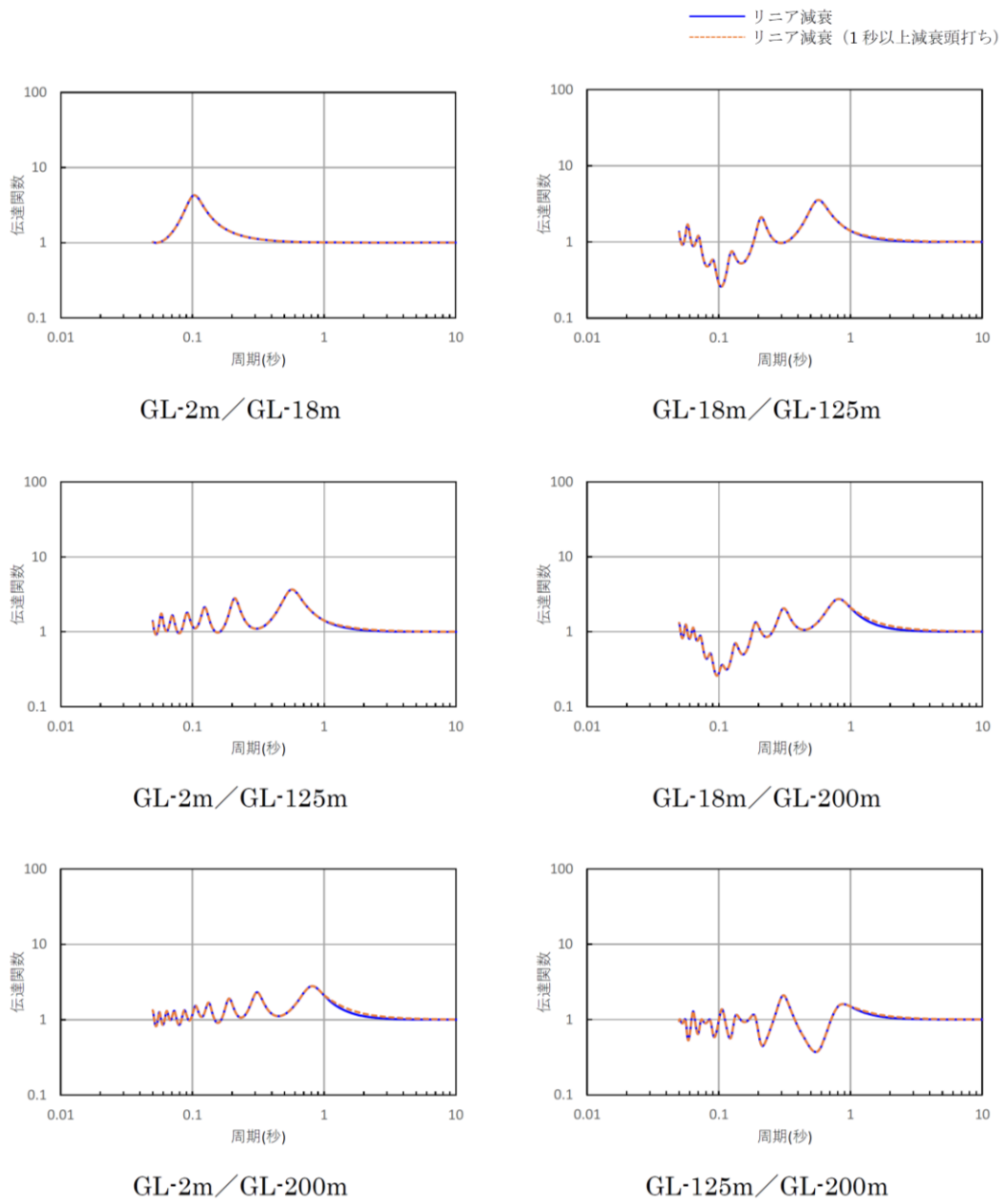
参考 3-1.9 図 地震数を増やした場合の目的関数の変動
(東側地盤観測点, 鉛直)

2. 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

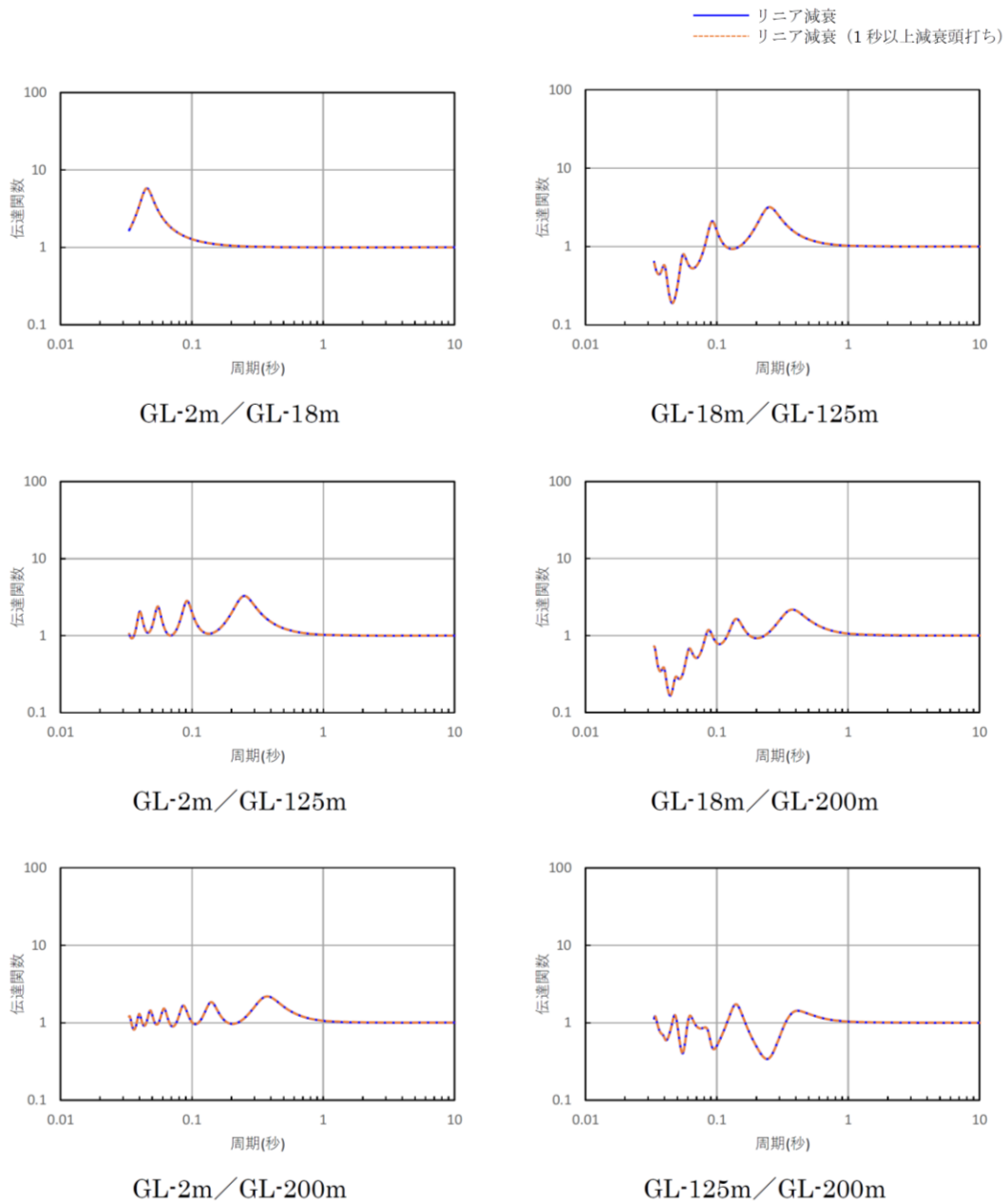
「6.3.5 評価方法及び条件」に示したとおり、減衰定数及びS速度構造の同定対象とする振動数範囲については、水平及び鉛直方向ともに0 Hz～としており。長周期側も対象として同定を実施している。既往知見に基づけば、地盤の1次固有周期よりも長周期側については同定の対象外としている例があるが、地盤の1次固有周期よりも長周期側の地震動については、地盤の速度構造による増幅による影響は小さく、さらに、長周期地震動は波長が長く、地中を伝播する地震波のサイクル数が短周期側と比較して少なくなることから、減衰定数の設定が伝達関数に及ぼす影響は非常に小さく、増幅率に相当する伝達関数の大きさが概ね1に収束することから、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ている。

上記を踏まえた念のための確認として、「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)」に示す周波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秒以降の長周期側を仮に一定値とした場合に、伝達関数及び地震観測記録のシミュレーション結果に与える影響を参考3-2.1図～参考3-2.7図に示す。

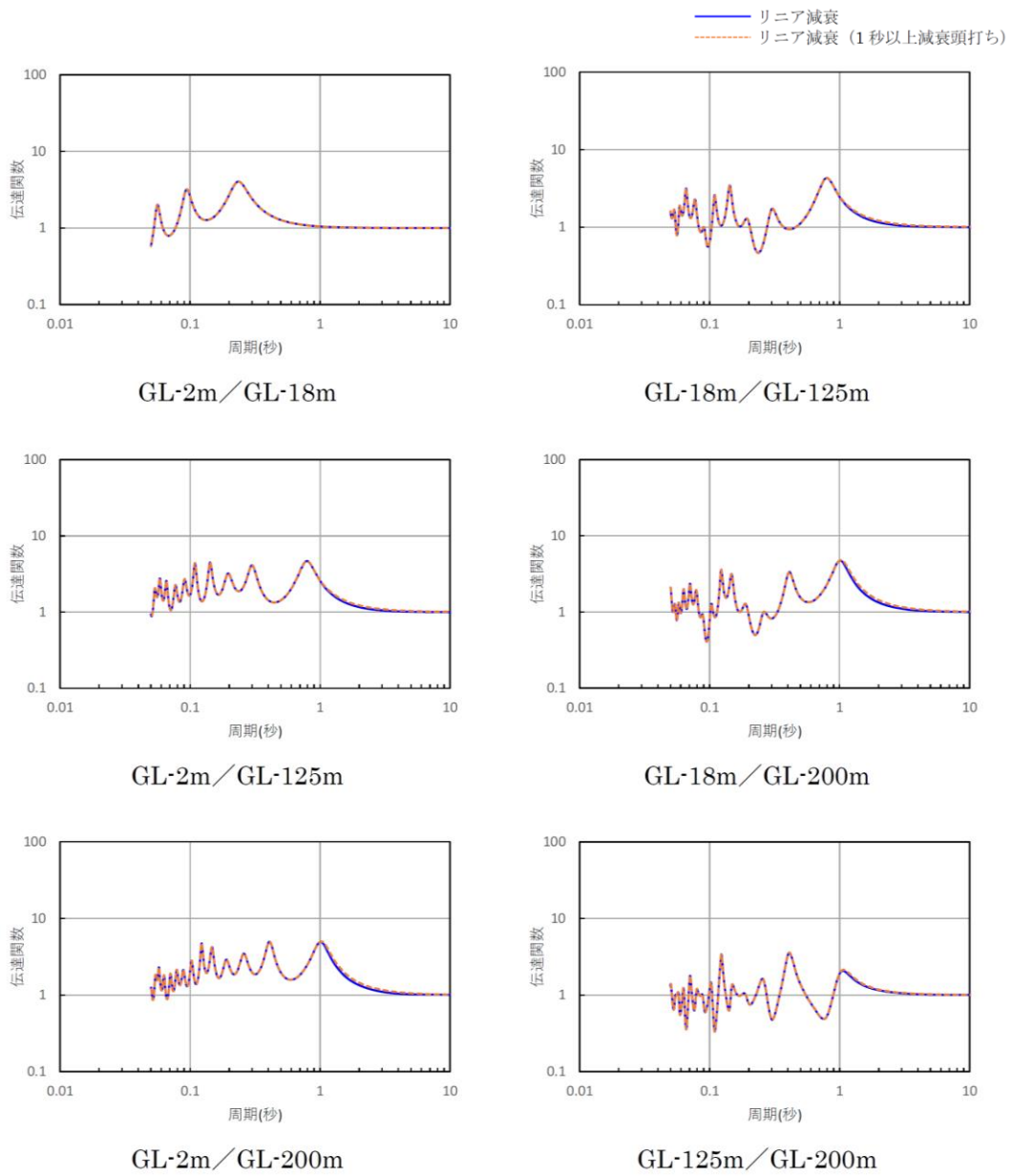
比較の結果、いずれの地震観測点、方向においても、長周期側の減衰定数を一定値とした場合、伝達関数及び地震観測記録のシミュレーション結果の応答スペクトルに差が生じないことを確認した。



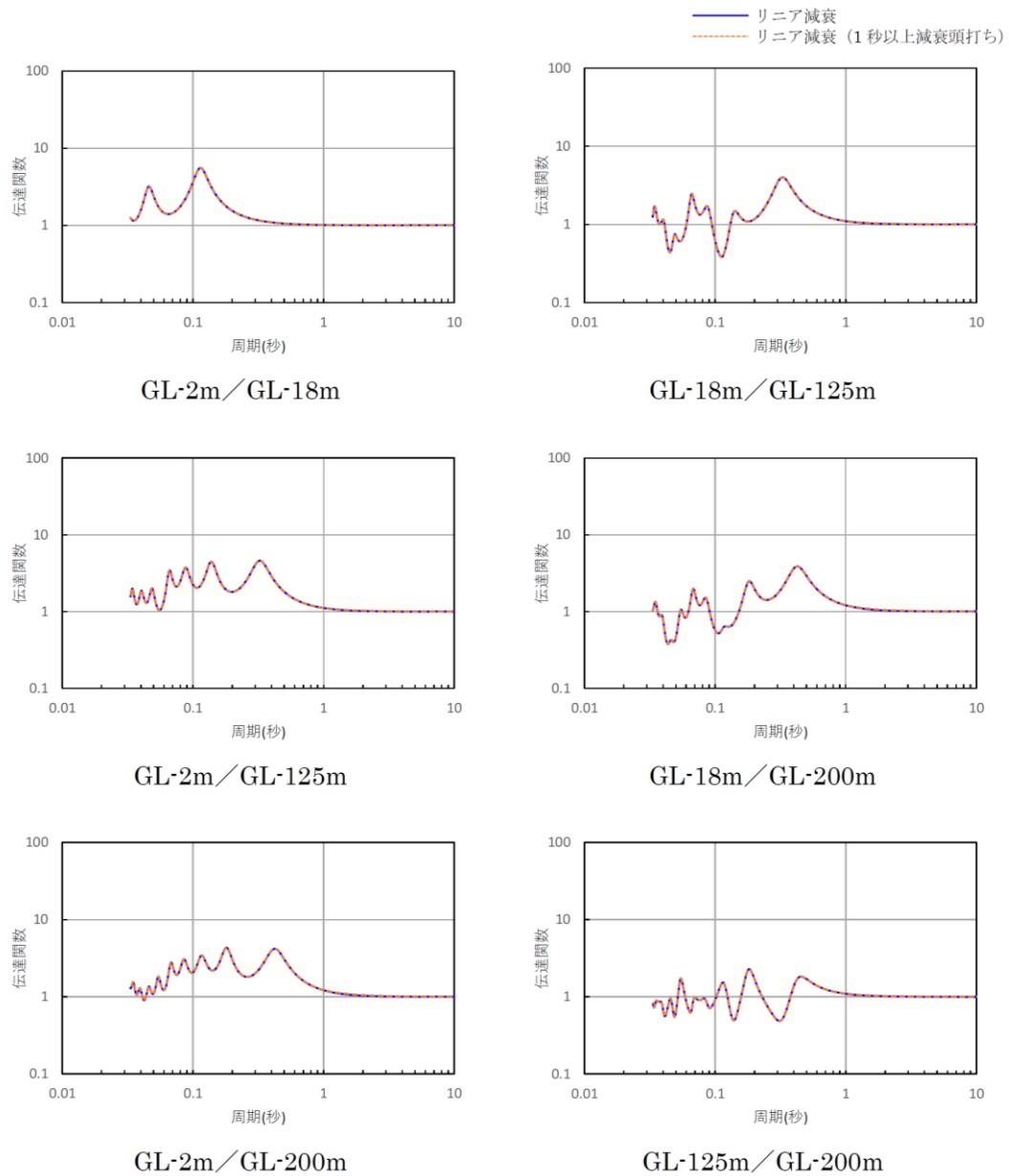
参考 3-2.1 図 伝達関数 (長周期側の減衰定数パラメータスタディ結果)
(中央地盤 水平方向)



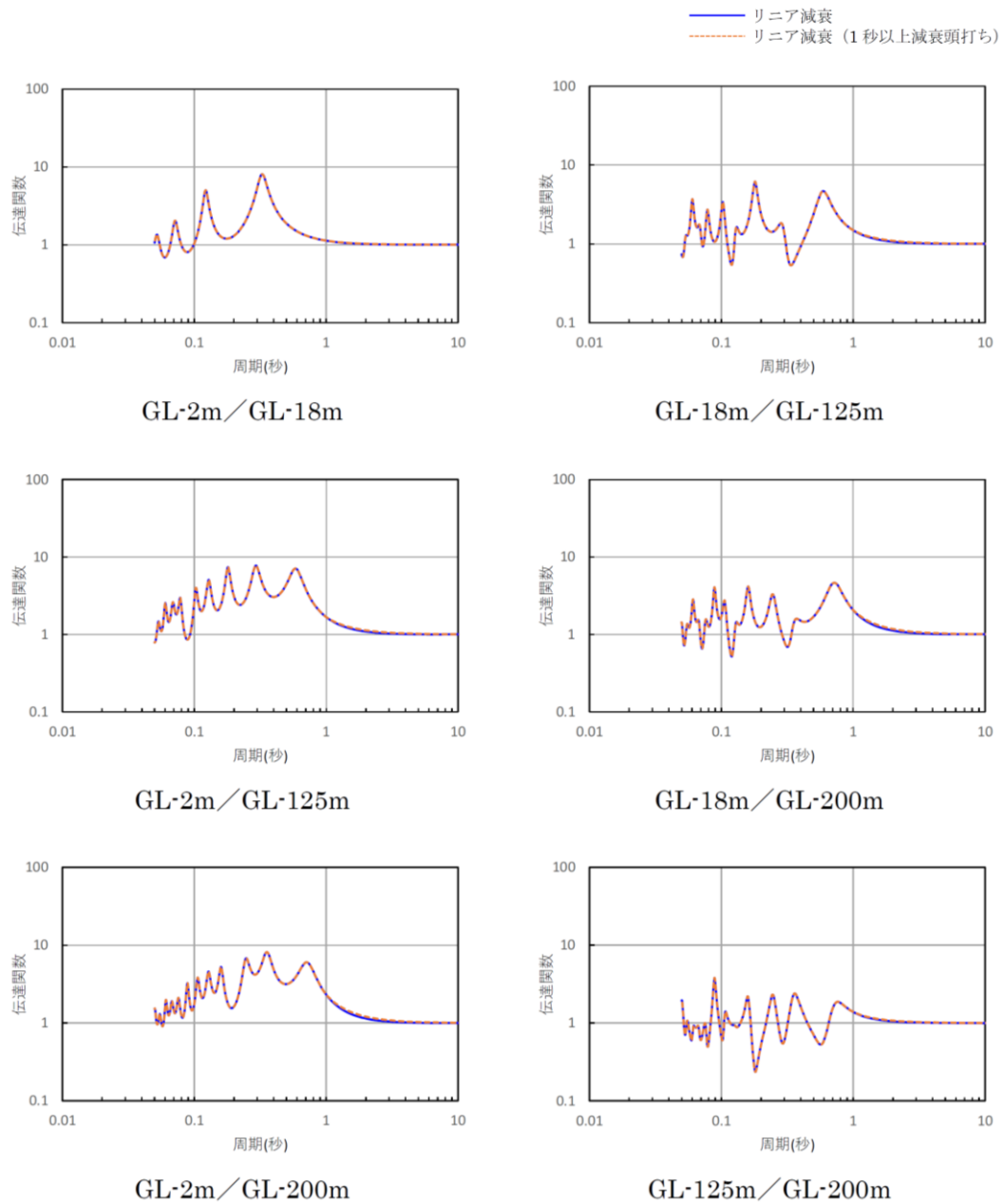
参考 3-2.2 図 伝達関数 (長周期側の減衰定数パラメータスタディ結果)
(中央地盤 鉛直方向)



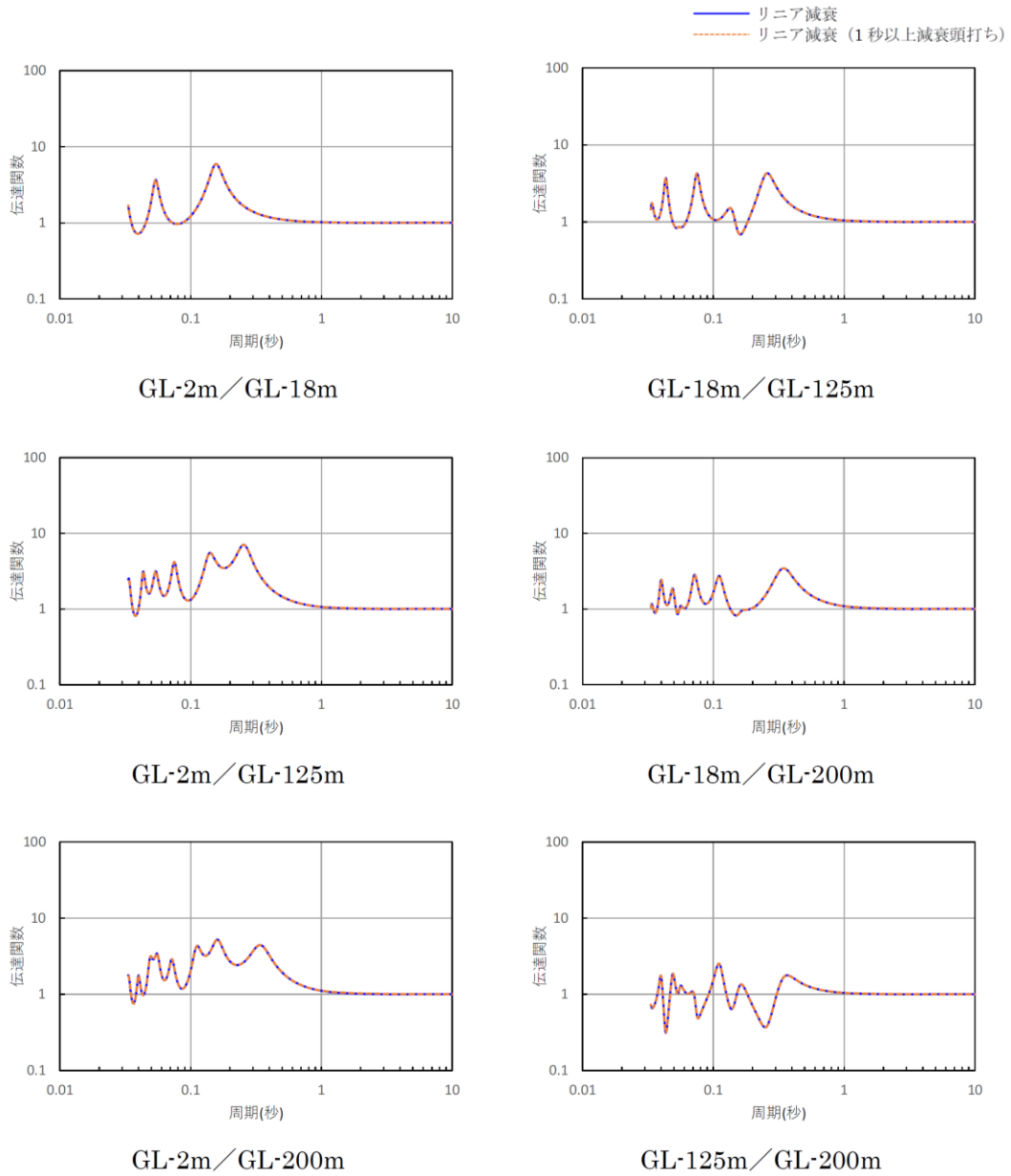
参考 3-2.3 図 伝達関数 (長周期側の減衰定数パラメータスタディ結果)
(西側地盤 水平方向)



参考 3-2.4 図 伝達関数 (長周期側の減衰定数パラメータスタディ結果)
(西側地盤 鉛直方向)

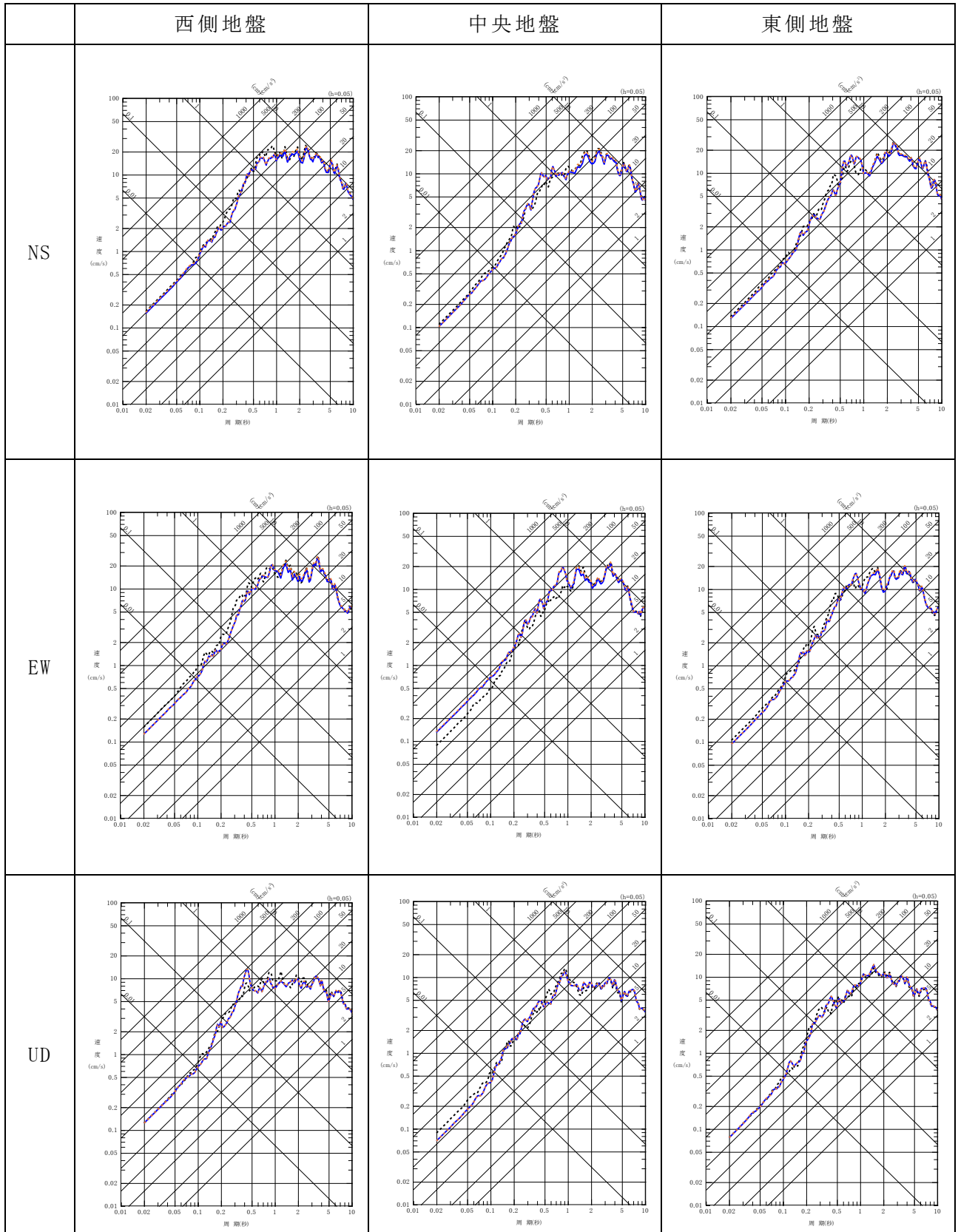


参考 3-2.5 図 伝達関数 (長周期側の減衰定数パラメータスタディ結果)
(東側地盤 水平方向)



参考 3-2.6 図 伝達関数 (長周期側の減衰定数パラメータスタディ結果)
(東側地盤 鉛直方向)

- - - 観測記録
 — リニア減衰
 - - - リニア減衰 (1秒以上減衰頭打ち)



参考 3-2.7 図 シミュレーション解析結果 (長周期側に係るパラメータスタディ結果)

3. シミュレーション解析結果のフーリエスペクトル

「6.3.7.2 応答スペクトルによる評価結果（振動数依存性なし）」に示したシミュレーション解析結果について、減衰定数のちがいによる地盤応答の応答スペクトルを示しているが、参考に、フーリエスペクトル（Parzen ウィンドウ（0.2Hz）で平滑化）を比較した図を、参考 3-3.1 図～参考 3-3.3 図に示す。フーリエスペクトルについては、3 地盤共通で最大加速度が大きい 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分の地震を代表として示すが、地震観測記録のシミュレーション解析は、用いる地震動の加速度を踏まえて線形条件の周波数応答解析として実施していることから、その傾向は地震動によらず変わらないと考えられる。

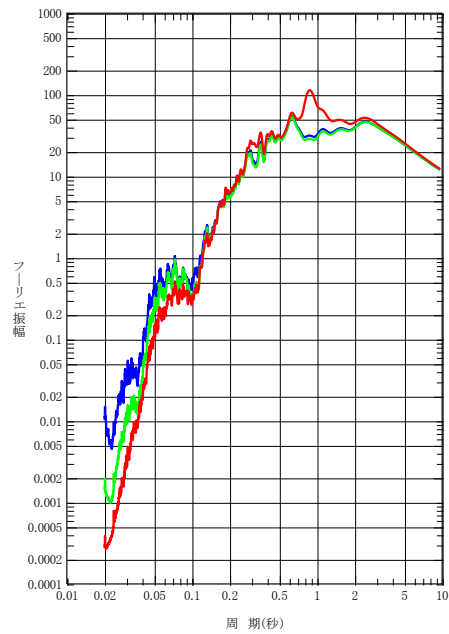
比較の結果、減衰定数の大小関係と対応するように、短周期側の地震動成分は周波数依存性あり（リニア型）＞周波数依存性あり（バイリニア型）＞周波数依存性なしとなっているが、長周期側と比較してフーリエ振幅は $10^2 \sim 10^3$ オーダーで小さくなっているが、長周期側（特に地盤の 1 次に相当する水平では 0.5～1.0 秒，鉛直では 0.4 秒付近の卓越）では、逆に「周波数依存性なし」が最も大きくなっている。

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。

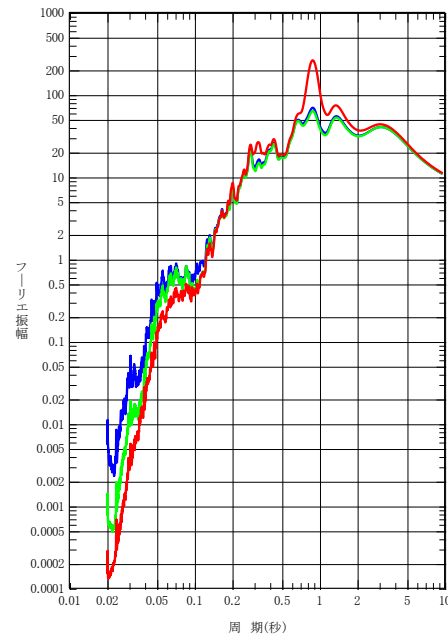
このような傾向は、佐藤ほか（1998）*に示されるように、フーリエスペクトルはその周波数成分のみの振幅を表現するが、応答スペクトルは相対的にフーリエ振幅の小さい周期領域では、卓越するほかの周期領域の影響を受けるとされていること、また、このような特徴を有する周期帯では、応答はフーリエよりも大きくなる場合が多いとの知見とも整合している。

注記 *：佐藤智美 ほか：地震観測記録の応答スペクトルとフーリエスペクトルの関係係数の違いとその解釈，日本建築学会構造系論文集，506，pp. 83-92，1998

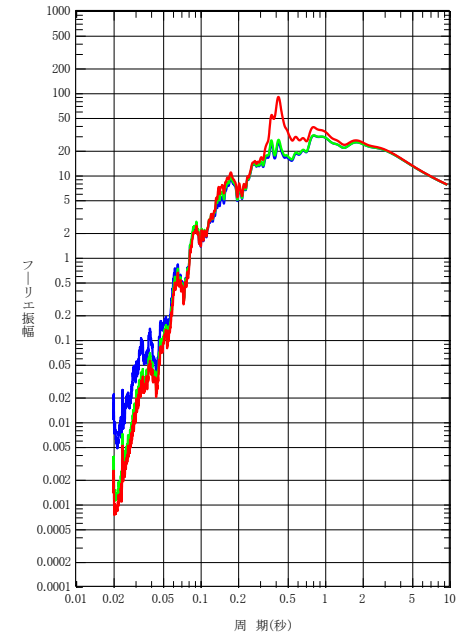
— リニア減衰
— バイリニア減衰
— 一定減衰



(a) NS 方向

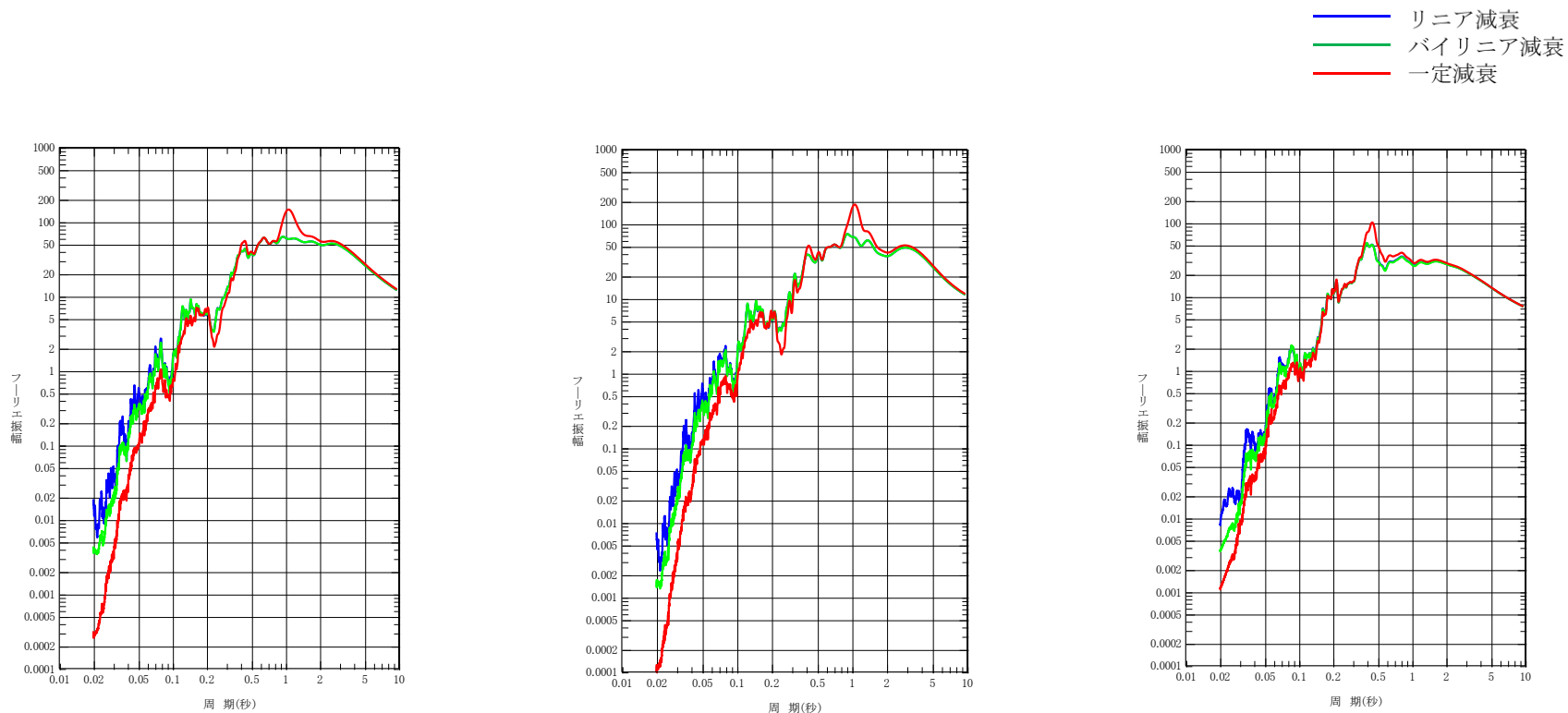


(b) EW 方向

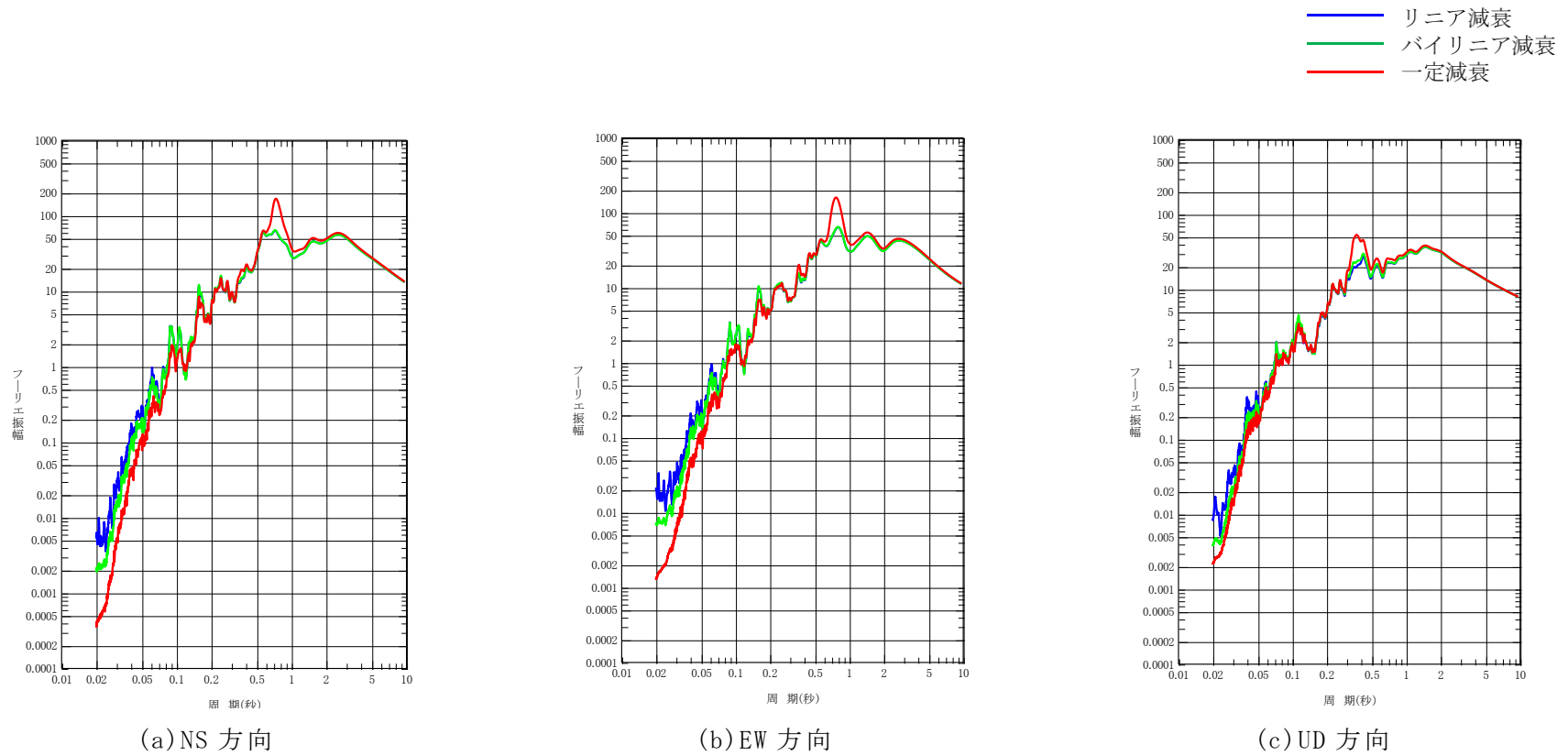


(c) UD 方向

参考 3-3.1 図 地震観測記録のシミュレーション解析結果のフーリエスペクトル (中央地盤)



参考 3-3.2 図 地震観測記録のシミュレーション解析結果のフーリエスペクトル (西側地盤)



参考 3-3.3 図 地震観測記録のシミュレーション解析結果のフーリエスペクトル (東側地盤)