

## 岩盤部分の減衰定数に係る検討について

- ・ 文章中の下線部は R0 から R1 への変更箇所を示す。
- ・ 本資料は、4月24日審査会合にて示した、地盤モデル設定に係る因子のうち、岩盤部分の減衰定数に係る検討について説明するものであり、令和5年6月8日に提示した「岩盤部分の減衰定数に係る検討について (R1)」に対し、ヒアリングにおける指摘事項を踏まえた修正を行ったものである。
- ・ 本資料の内容については、今後、補足説明資料「耐震建物 08 耐震設計の基本方針に関する地震応答解析における地盤モデル及び物性値の設定について」への取り込みを検討する。

## 目 次

	ページ
1. はじめに .....	1
2. 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理 .....	2
2.1 JEAG4601-2015 における設定方法 .....	3
2.2 JEAG4601-1987 における設定方法 .....	3
3. 敷地における減衰定数の評価 .....	4
3.1 JEAG4601-1987 に示される評価方法 .....	4
3.1.1 三軸圧縮試験による評価 .....	6
3.1.2 S波検層による評価 .....	6
3.1.3 地震観測記録による評価 .....	7
3.1.4 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて .....	8
3.2 敷地における減衰定数の評価に用いる手法 .....	9
3.2.1 既認可時点における設定の考え方 .....	9
3.2.2 本資料において実施する評価 .....	11
4. 敷地におけるS波検層による評価 .....	12
5. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価 .....	15
5.1 敷地における地震観測の概要 .....	16
5.2 評価に用いる地震観測記録 .....	19
5.3 評価方法 .....	26
5.3.1 初期モデルの設定及び探索範囲 .....	26
5.3.2 目的関数の設定 .....	31
5.3.3 評価方法及び条件 .....	35
5.4 評価結果 .....	36
6. 評価結果に対する考察 .....	47
6.1 既往知見等または評価手法間の整合性 .....	47
6.2 事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルとの関係 .....	49
6.3 シミュレーション解析結果における観測記録との差に関する分析 ..	51
6.4 Ss地震時における非線形性を考慮した減衰定数に係る考察 .....	53
7. まとめ .....	55

## 1. はじめに

本資料は、地盤モデルの設定パラメータとなる4因子のうち、岩盤部分の減衰定数について、既認可時の地盤モデルを踏襲した地盤モデル（以下、「申請地盤モデル」という。）との差分を確認するために、一般的・標準的な地盤物性値の設定手法に基づくデータの整理結果を示すものである。

申請地盤モデルでは、岩盤部分の減衰定数について、既認可における基準地震動 S2 時の設定値である 3% を踏襲して用いているが、今回設工認申請時点にあたっては、既認可時と比較して、地盤の検討に関する知見や、近年発生した地震の観測記録が得られていることを踏まえ、一般的かつ標準的な減衰定数の設定の考え方として、JEAG4601-1987 に示される複数の設定手法から、適切な手法を選定して検討を実施した。

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

## 2. 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理

「1. はじめに」に示したとおり、「申請地盤モデル」において考慮している岩盤部分の減衰定数については、既認可時点において用いている入力地震動算定用の地盤モデルに設定している基準地震動 S2 に対する地盤の減衰定数を踏襲し、岩盤に対して全層一律に、3%として設定している。

このことから、まずは現時点において一般的・標準的な手法である、JEAG4601-2015 及び JEAG4601-1987 に示される評価手法を整理した。

## 2.1 JEAG4601-2015 における設定方法

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

## 2.2 JEAG4601-1987 における設定方法

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

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

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

### 3. 敷地における減衰定数の評価

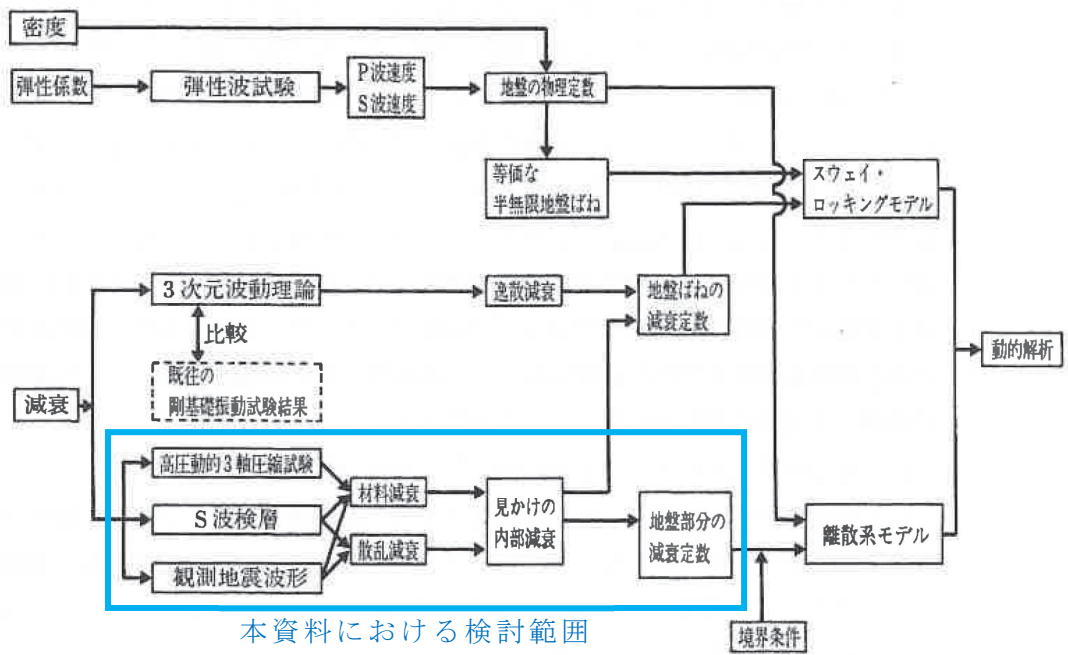
「2. 地盤の減衰定数に係る一般的・標準的な設定手法の整理」を踏まえ、敷地における減衰定数を評価するための一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987に示される手法に従い、敷地における減衰定数を評価する。

#### 3.1 JEAG4601-1987に示される評価方法

第 3.1-1 図に、JEAG4601-1987 に記載の地盤の物性値評価のフローを示す。JEAG4601-1987 では、地震応答解析において検討の対象となる地盤の減衰としては、以下の 2 要因が挙げられており、地盤の減衰はこれらが組み合わせられたものであるとされている。

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

あわせて、JEAG4601-1987 では、3.1.1～3.1.4 に示すとおり、減衰定数の評価手法についても示されており、地盤の減衰定数を評価する手法ごとに、考慮可能な地盤減衰の因子（材料減衰と散乱減衰）が異なるとされている。



第 3.1-1 図 地盤の物性値評価のフロー（JEAG4601-1987 に加筆）

### 3.1.1 三軸圧縮試験による評価

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

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

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

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

### 3.1.2 S波検層による評価

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

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

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

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

第15回地盤振動シンポジウム，日本建築学会，1987.8.27



### 3.1.3 地震観測記録による評価

JEAG4601-1987において、本手法は、観測された地震動波形について、「3.1.2 S波検層による評価」と同様、直達波と判断される部分を取り出し、応答波の入射波に対する比から減衰評価を行うものとされている。また、各種の複雑な波動現象（上述のS波検層にて述べた地盤のモデル上寄与しない薄層や亀裂の影響を含む）を含んだ状態における等価な減衰定数を評価可能とされている。

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

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

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

#### 3.1.4 散乱減衰を考慮可能な手法の違いについて

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

- ・ 両手法においてターゲットとなる周波数レンジを踏まえると、建物・構築物の主要固有周波数帯（数 Hz オーダー）に対しては、地震観測記録を用いた手法の方がより適合する。

なお、一般的に、地盤の減衰定数については周波数依存性を有しており、高振動数側で減衰定数が小さくなる傾向であることから、S波検層のように、高振動数側をターゲットとした場合には、地盤全体の減衰定数を小さく評価する可能性がある。

- ・ 地震観測記録を用いた手法は、当社事業変更許可及び他原子力事業者におけるはぎとり地盤モデルの作成において適用実績のある手法である。
- ・ 敷地における地震観測記録では、S波検層において一般的に得られる振幅レンジよりも大振幅の波形が得られており、振幅の比率を評価する上で、ノイズによる影響が小さく抑えられると考えられる。

### 3.2 敷地における減衰定数の評価に用いる手法

#### 3.2.1 既認可時点における設定の考え方

以下に示すとおり、既認可時点における地盤の減衰定数の設定にあたり、上記にて整理した JEAG4601-1987 と同様の手法を用いての減衰定数の評価実績があるかの確認を行った。

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

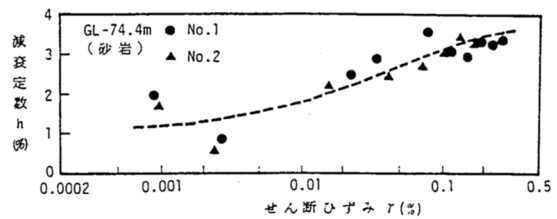
- ・ 嶋ほか（1983）の知見において、いわき地点の砂岩における減衰定数の評価結果として、第 3.2.1-1 図に示すとおり、高圧動的三軸圧縮試験結果より、低ひずみ領域では減衰定数が 1～2%，ひずみ 0.1% 付近では 3% となっていること、また、S 波検層や地震観測記録に基づく減衰定数の評価手法によっては、それよりも大きな値（最大 8% 程度）として評価されていること。
- ・ 中村他（1990）において、富岡地点における泥岩層での Q 値の検討が行われており、下式に示す Q 値の周波数依存性の関係に対し、 $n=1.0$ 、 $\alpha=200$  とした場合に、地震観測記録と整合することが示されていることから、敷地における泥岩層（ $V_s=800\text{m/s}$ ）の減衰定数を算定した結果、建屋の固有振動数（2.5Hz～5Hz）の領域では  $h=2\%$  を上回る値となること。

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

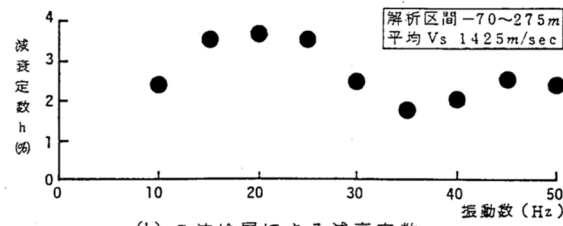
$$\left( \begin{array}{l} Q : Q \text{ 値} \\ h : \text{減衰定数} \\ V_s : S \text{ 波速度} \\ f : \text{周波数} \\ n, \alpha : \text{係数} \end{array} \right)$$

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

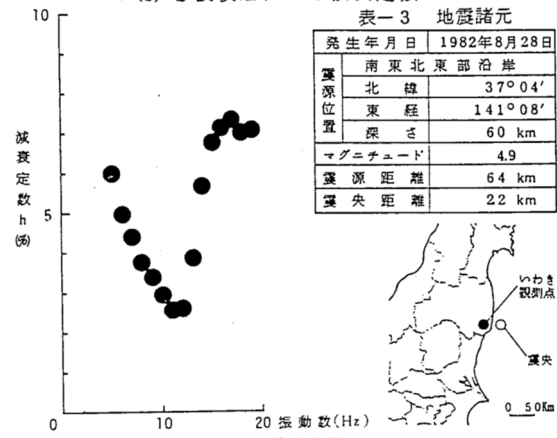
以上のことから、既認可時点においては、JEAG4601-1987 に示される手法に基づき、直接敷地において減衰定数を評価した実績は無いものの、JEAG4601-1987 に示される手法に基づく国内の各種試験結果を敷地に適用した確認を行うことにより、地盤の減衰定数を設定している。



(a) 高圧動的三軸圧縮試験による減衰定数



(b) S波検層による減衰定数



(c) 観測地震による減衰定数

震央位置

第 3.2.1-1 図 嶋ほか (1983) におけるいわき地点の減衰定数の評価結果 (嶋ほか (1983) より抜粋)

### 3.2.2 本資料において実施する評価

「3.1 JEAG4601-1987 に示される評価手法」に示したとおり，JEAG4601-1987 には，3 種類の減衰定数の評価手法が示されている。

三軸圧縮試験による評価結果については，前述のとおり，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」における岩種ごとのひずみ依存特性として既に整理されている。

このことから，本資料における検討においては，材料減衰と散乱減衰の両方が含まれた，地震波が地盤を伝播する際の減衰の全体量を評価可能な手法に基づく評価を実施する。

具体的には，「3.1.2 S波検層による評価」及び「3.1.3 地震観測記録による評価」に示したとおり，JEAG4601-1987 において，散乱減衰も含めた減衰定数の評価が可能な手法として，S波検層による手法及び地震観測記録を用いた手法が示されており，これらの手法については，「3.2.1 既認可時点における設定の考え方」に示したとおり，既認可時点においても敷地において実績が無いことから，現時点において得られている最新のデータを用いた評価を，敷地において実施する。

敷地における S波検層による評価方法及び結果を「4. 敷地における S波検層による評価」に，敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価の方法及び結果を「5. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価」に示す。

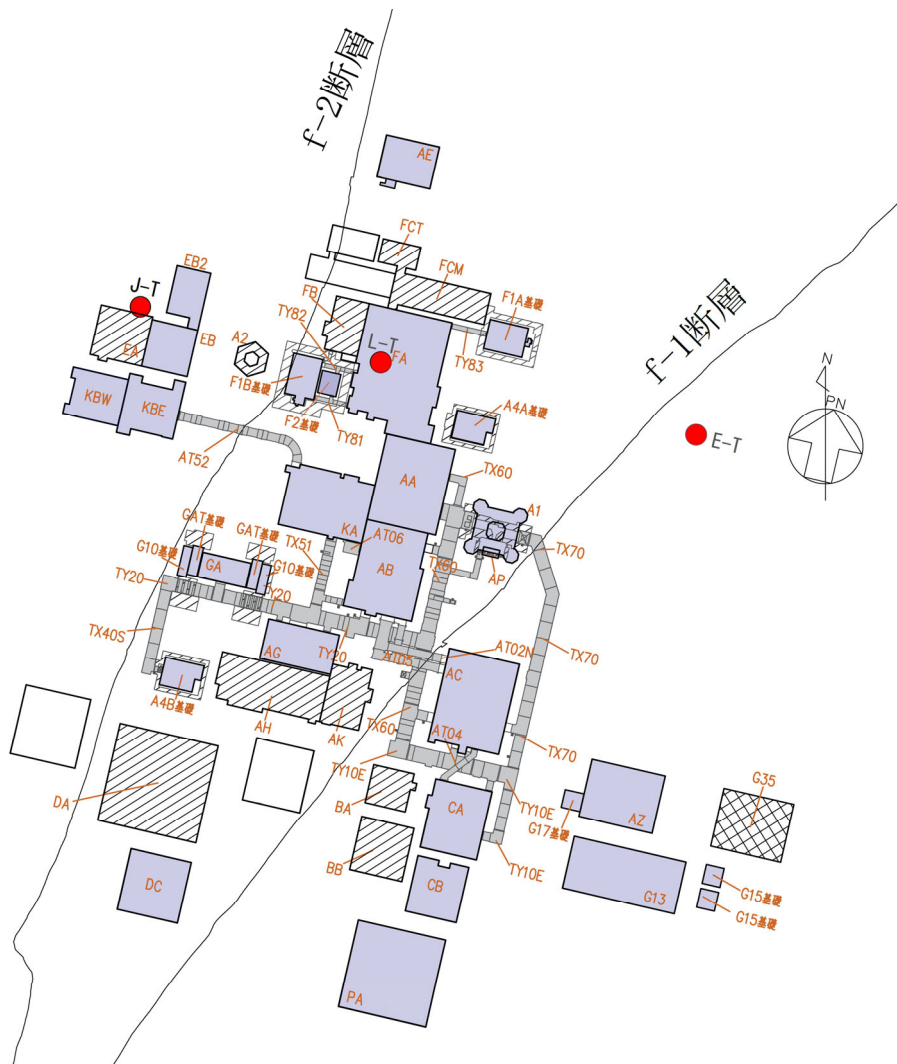
#### 4. 敷地における S 波検層による評価

敷地において、過去のボーリング調査時に、第 4-1 図に示す敷地内の 3 地点（J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔）において、PS 検層に基づく減衰定数の評価が行われていることから、当該評価結果について整理した。

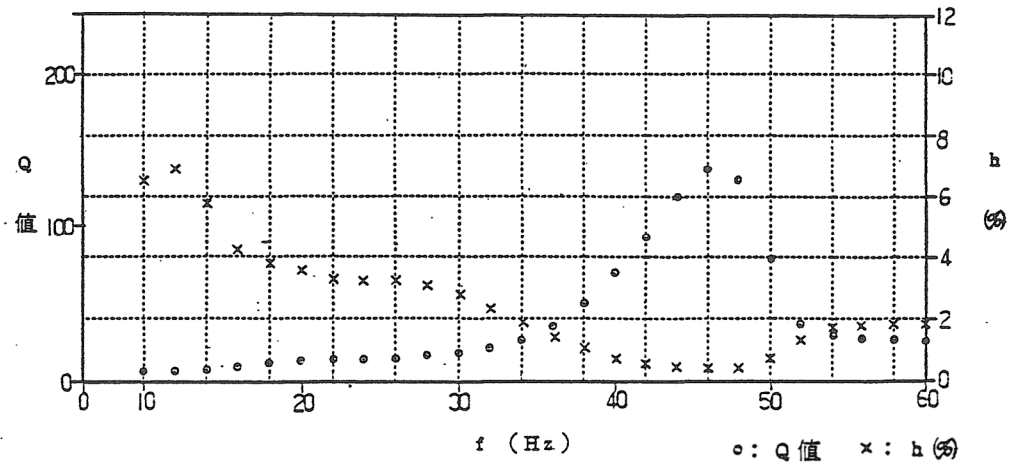
敷地における PS 検層に基づく減衰定数の評価にあたっては、加振波とボーリング孔内観測波の応答スペクトルの振幅比に基づき、当該地点の減衰定数として周波数ごとに評価している。

第 4-2 図に、PS 検層に基づく減衰定数について、J-T 孔，L-T 孔，E-T 孔における主要な岩盤部分に対応する評価結果を示す。PS 検層に基づく減衰定数は、いずれの孔においても、高振動数成分に着目した評価を行っており、ターゲットとしている周波数レンジは 10Hz 又は 20Hz よりも高振動数側の領域としている。

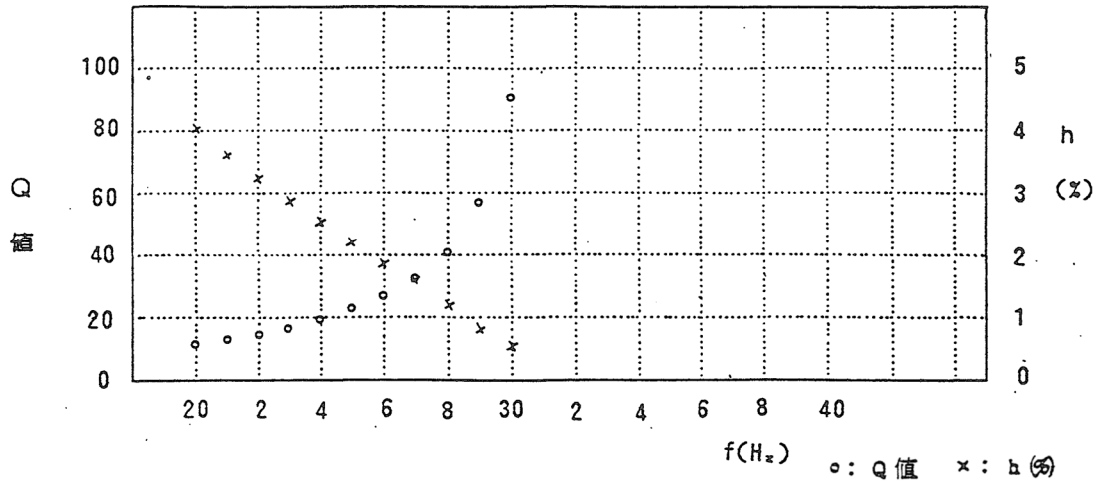
また、減衰定数の大きさの傾向として、振動数に反比例する傾向の周波数依存性を有していることが確認でき、高振動数側では 1 % 未満の非常に小さい減衰定数が得られているが、低振動数側では、西側地盤に対応する J-T 孔で約 6 %，中央地盤に対応する L-T 孔で約 4 % の値が得られている。一方で東側地盤に対応する E-T 孔では 20% 以上の減衰定数が得られており、ばらつきの大きい結果になっていると考えられる。



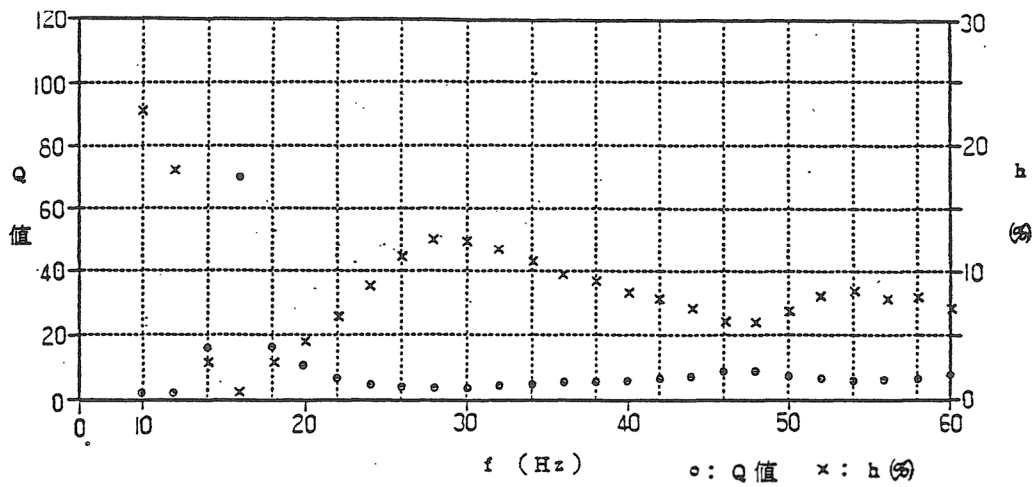
第 4-1 図 S 波検層による減衰定数の評価を実施しているボーリング孔位置



(a) J-T 孔 (西側地盤の泥岩上部層に対応)



(b) L-T 孔 (中央地盤の細粒砂岩及び泥岩下部層に対応)



(c) E-T 孔 (東側地盤の軽石質砂岩に対応)

第 4-2 図 S 波検層による減衰定数の評価結果



## 5. 敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価

敷地において実現象を最もよく説明する減衰定数として、材料減衰及び散乱減衰の両方が含まれた値を、敷地において得られている地震観測記録を用いて評価する。

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

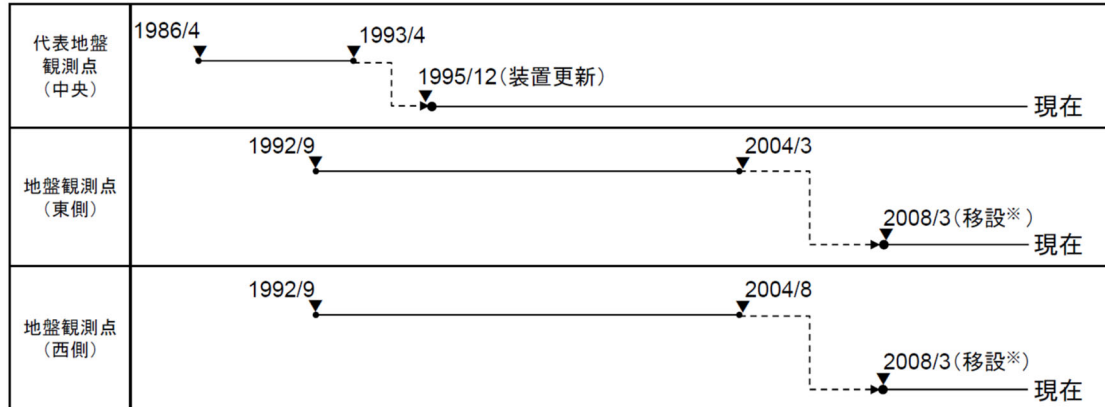
また、地震計を設置している敷地内の中央地盤、西側地盤、東側地盤の3地点のそれぞれに対して評価を実施することで、大局的な地下構造の違いによる減衰定数の違いについても確認する。

## 5.1 敷地における地震観測の概要

敷地では、中央、西側、東側地盤の3地点において地震観測記録の収集を行っている。また、第5.1-1図～第5.1-3図に示すとおり、地震観測位置のうち、西側及び東側地盤観測点については、2008年を境に移設を行っている。

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

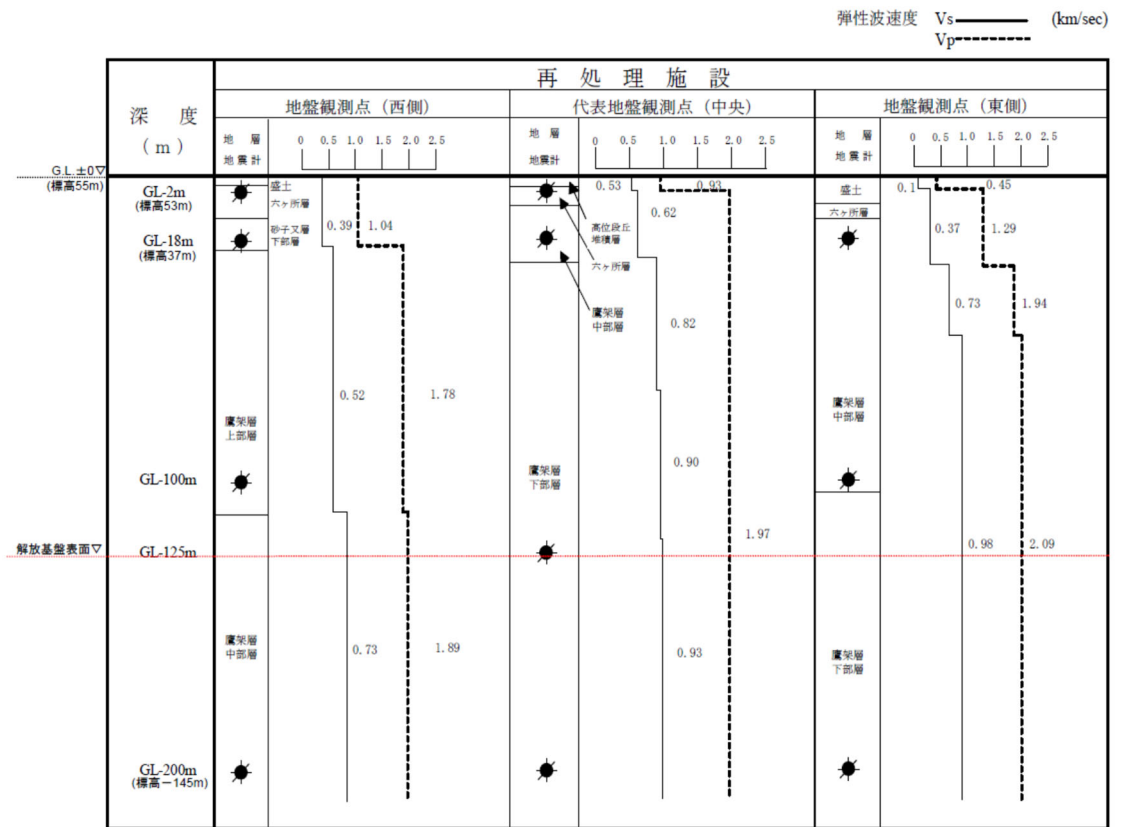
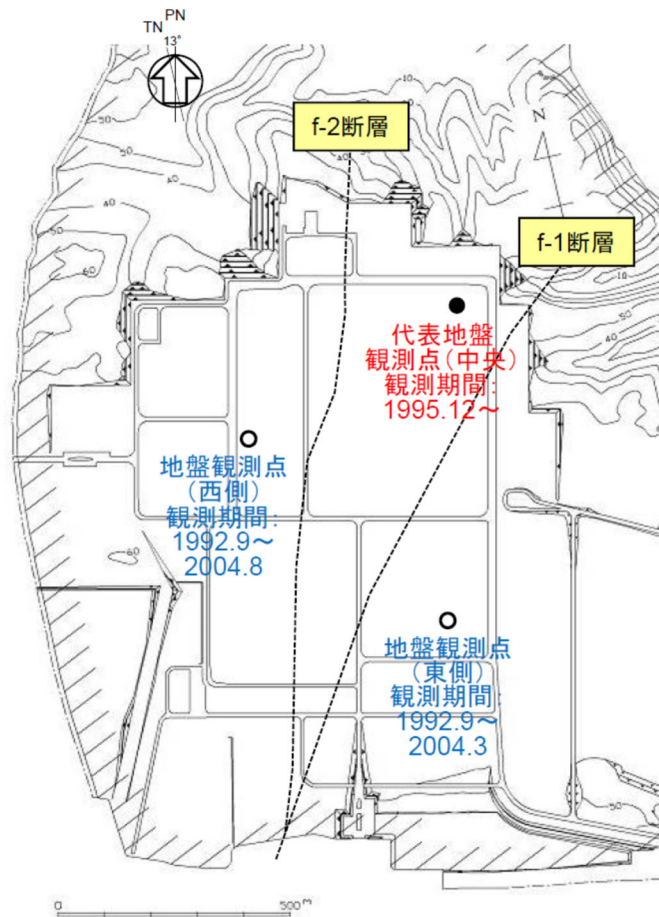
本資料においては、後述のとおり、はざとり地盤モデルの作成と同様の手法により減衰定数を評価する際、S波速度についても、周波数特性の適合度を向上させる観点で変動させていることから、変動後の速度構造との評価結果との関係性について、「6.2 事業変更許可申請におけるはざとり地盤モデルとの関係」にて事業変更許可申請と同様に速度構造の比較を行う。



※G.L.-100m地震観測点を、G.L.-125mに移設

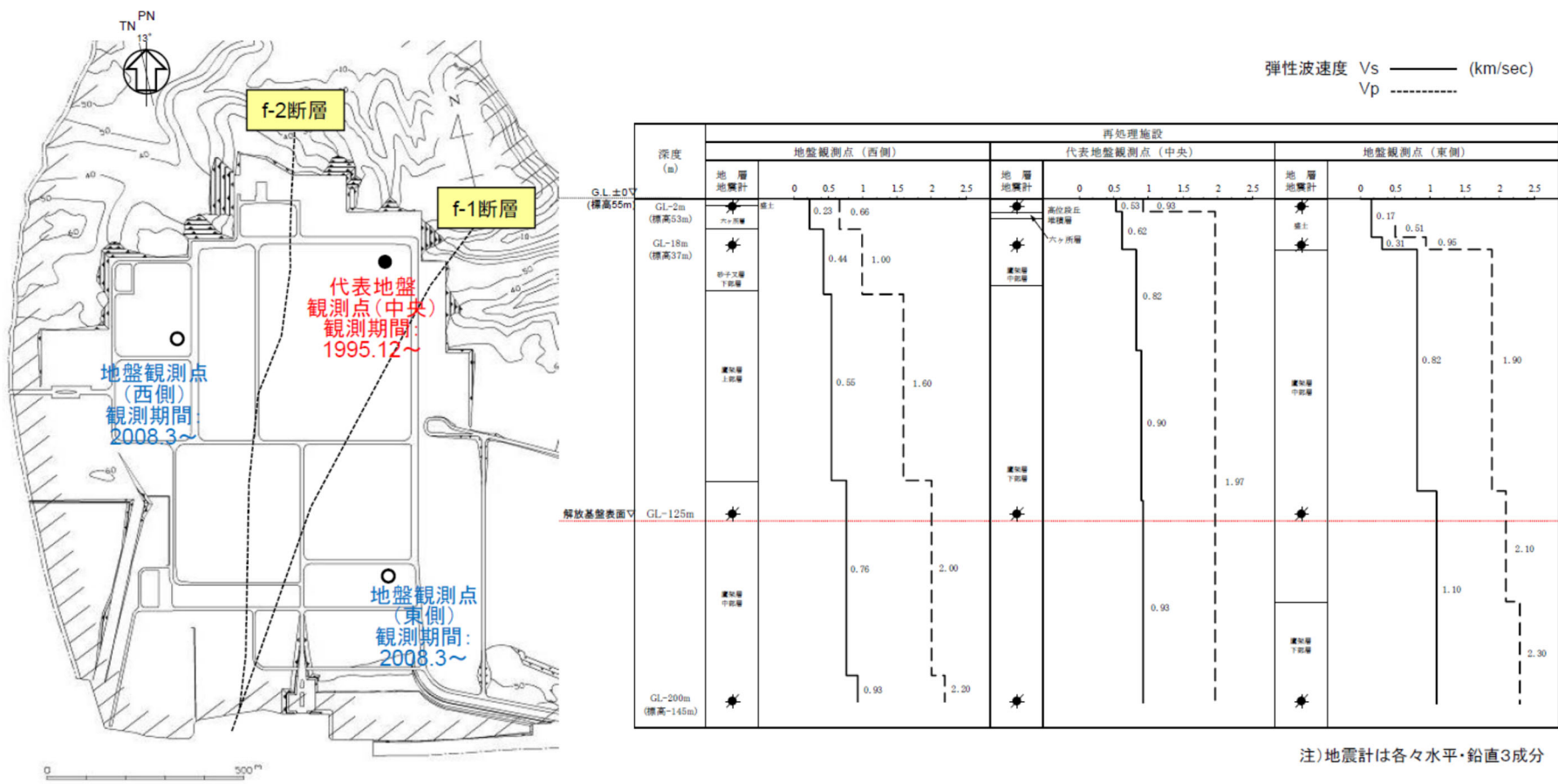
第5.1-1図 敷地内各位置における地震観測期間

(2020年2月21日第339回審査会合 資料1-4-1 p38より抜粋)



注)地震計は各々水平・鉛直3成分

第 5.1-2 図 2004 年以前の地震観測位置  
(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-2 p9 より抜粋)



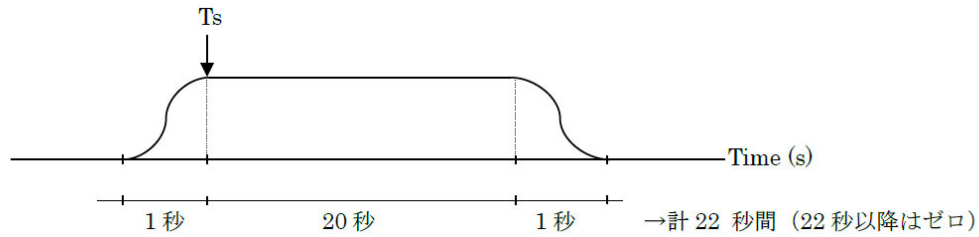
第 5.1-3 図 2008 年以降の地震観測位置(本資料における評価に用いる地震観測位置)  
(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-2 p10 より抜粋)

## 5.2 評価に用いる地震観測記録

評価に用いる地震観測記録について、当社敷地では2011年以降に比較的大加速度の地震観測記録が多く得られていることを踏まえ、中央、西側及び東側地震観測点において、現在の地震観測位置における地震観測記録から選定する。中央、西側及び東側地盤観測点のそれぞれについて、第5.1-1図に示した移設後の地震観測期間内で、最深部（GL-200m）において10Gal以上の最大加速度が得られている地震を選定することを基本とし、10Gal以上の地震を選定した結果、その数が10地震に満たない場合は、選定基準を5Gal以上に拡大し、10地震以上のサンプルが得られるよう配慮した。

また、地震観測記録の波形に対する処理としては、直達波による影響を適切に考慮するため、TR成分（各地震の震央方向に直行する方向の成分）に変換した後、第5.2-1図に示すように、S波の初動以降を約20秒間切り出したものを用いた。

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



第 5.2-1 図 時刻歴波形の処理概要

(1) 中央地盤観測点

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

選定した地震を第 5. 2-1 表に示す。

第 5.2-1 表 評価に用いる地震の選定結果（中央地盤観測点）

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

(2) 西側地盤観測点

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

選定した地震を第 5.2-2 表に示す。



第 5.2-2 表 評価に用いる地震の選定結果（西側地盤観測点）

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

(3) 東側地盤観測点

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

選定した地震を第 5.2-3 表に示す。

第 5.2-3 表 評価に用いる地震の選定結果（東側地盤観測点）

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

### 5.3 評価方法

#### 5.3.1 初期モデルの設定及び探索範囲

評価にあたっては、事業許可における基準地震動の策定において、各地震観測点の地震観測記録を再現するように作成しているはぎとり地盤モデルと同様に、第 5.1-2 図及び第 5.1-3 図に示した当該地震観測点における PS 検層結果から得られている密度及び S 波速度を、初期モデルとして設定した。

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

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

今回評価に用いた初期モデル及び減衰定数の探索範囲を、第 5.3.1-1 表～第 5.3.1-3 表に示す。

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

また、西側地盤及び東側地盤観測点については、事業変更許可における西側及び東側地盤のはぎとり地盤モデルを作成する際、移設前の地震観測位置の情報に基づいて S 波速度をチューニングしており、移設後の位置における S 波速度のチューニングは実施していない。「5.1 敷地における地震観測の概要」及び「5.2 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5.1-3図）におけるS波速度を初期モデルとして設定し、減衰定数に加え、S波速度についても変数として設定することとした。

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

第 5.3.1-1 表 初期モデル及び減衰定数の探索範囲

中央地盤観測点

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

第 5.3.1-2 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 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h	
地震観測位置→	GL 0m		2	1.73	230 (±20%)	表層 1	0~0.2
	-2.00	8.1					
地震観測位置→	-10.10		7.9	2.02	440 (±20%)	表層 2	0~0.2
	-18.00	18.82					
地震観測位置→	-36.82		75.78	1.59	550 (±5%)	岩盤	0~0.1
	-112.60	12.40					
	-125.00	63.87					
地震観測位置→	-188.87		11.13	1.75	760 (±5%)	基盤 1	0~0.1
	-200.00	—					
地震観測位置→				1.57	930 (±5%)	基盤 2	

第 5.3.1-3 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 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h	
地震観測位置→		GL 0m	2	1.69	170 (±20%)	表層 1	0~0.2
		-2.00	12.73				
地震観測位置→		-14.73	3.27	1.72	310 (±20%)	表層 2	0~0.2
		-18.00	0.68				
		-18.68	97.05	1.59	820 (±5%)	岩盤	0~0.1
地震観測位置→		-115.73	9.27	1.82	1100 (±5%)	基盤 1	0~0.1
		-125.00	34.31				
地震観測位置→		-159.31	40.69	1.90	1100 (±5%)	基盤 2	
		-200.00	—				



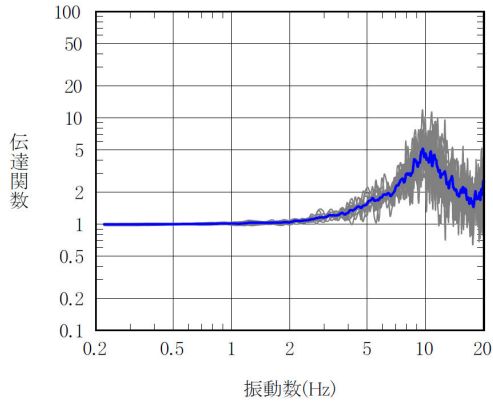
### 5.3.2 目的関数の設定

評価にあたっては、当社事業変更許可において実績のある、はざ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。

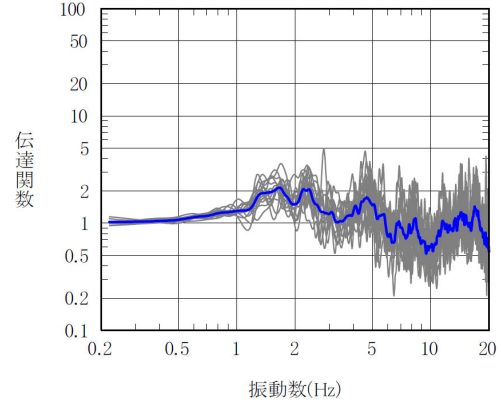
目的関数は、「5.2 評価に用いる地震観測記録」に示した各地盤観測点において得られている地震観測記録に基づき算定した、各観測深さ間の伝達関数の平均値とする。

伝達関数は、表層地盤と岩盤部分を個別に評価するために、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 5.3.2-1 図～第 5.3.2-3 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。

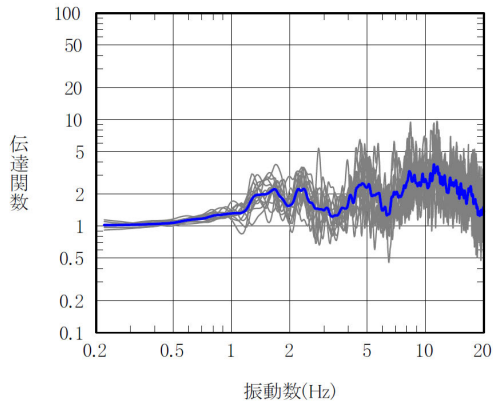
— 観測 (個別)  
 — 観測 (平均)



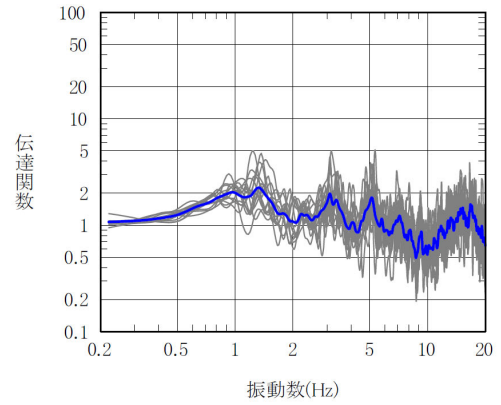
① GL-2m/GL-18m



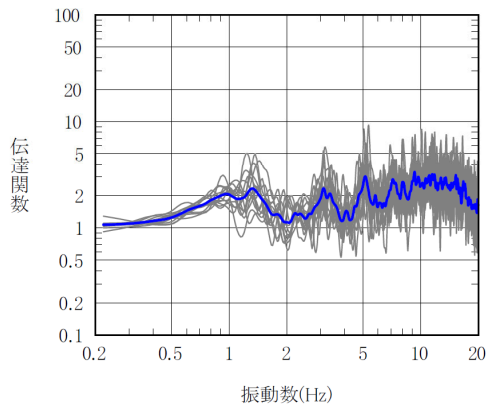
④ GL-18m/GL-125m



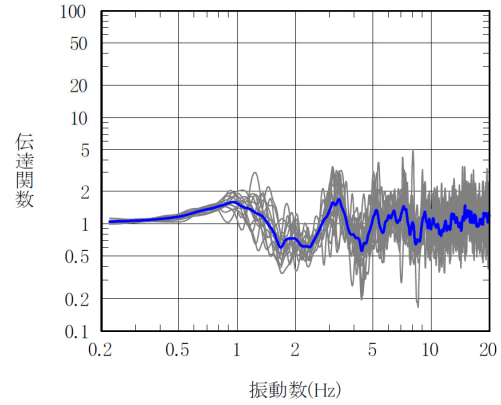
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



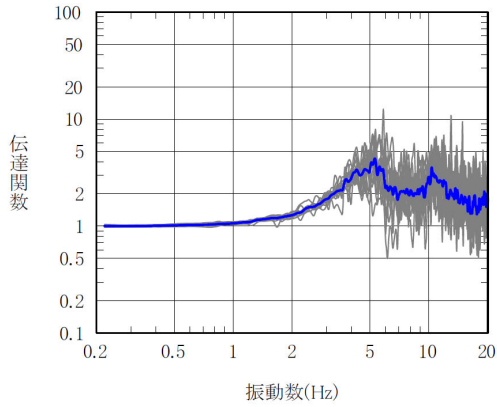
③ GL-2m/GL-200m



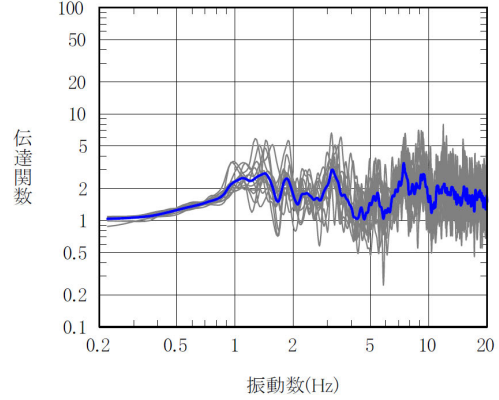
⑥ GL-125m/GL-200m

第 5.3.2-1 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, 灰色線: 個別地震, 青線: 目的関数)

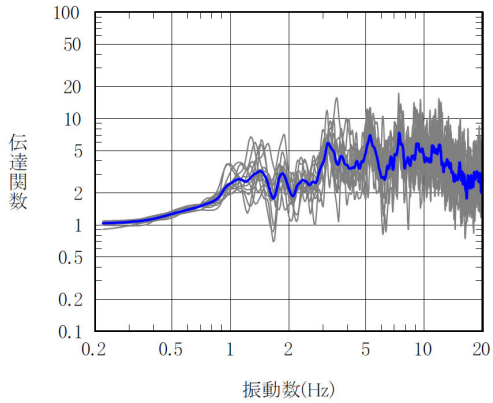
— 観測 (個別)  
 — 観測 (平均)



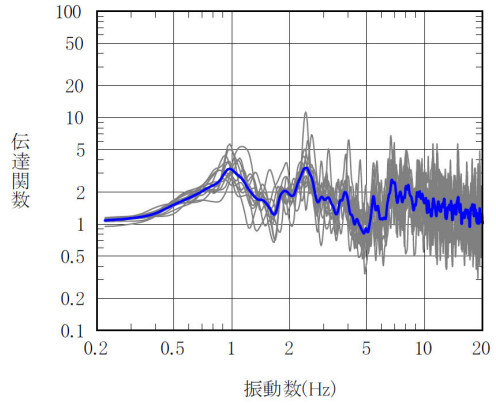
① GL-2m/GL-18m



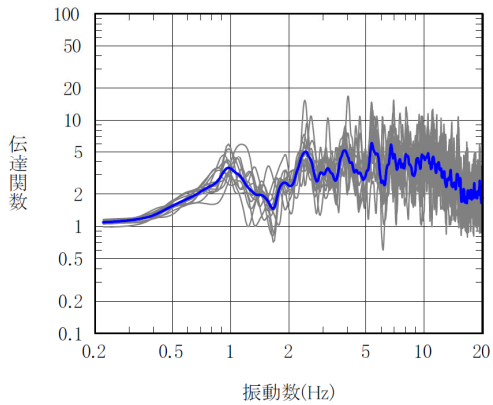
④ GL-18m/GL-125m



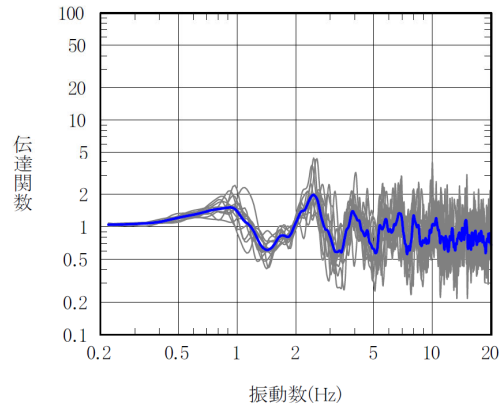
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



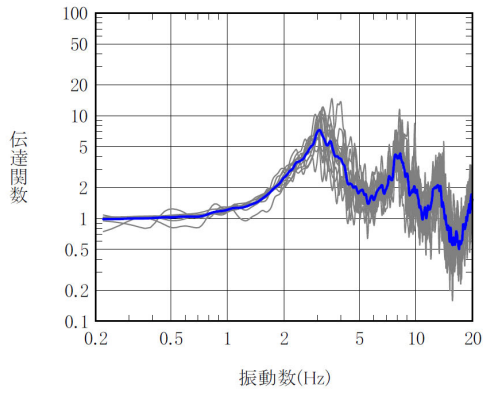
③ GL-2m/GL-200m



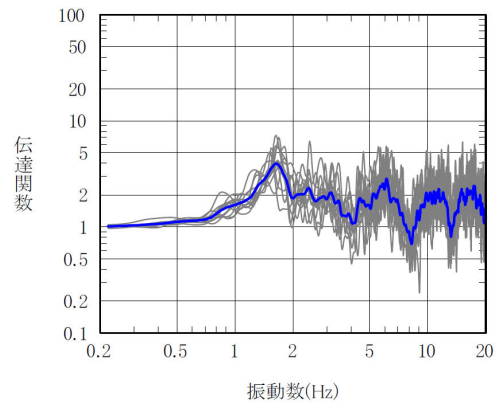
⑥ GL-125m/GL-200m

第 5.3.2-2 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, 灰色線: 個別地震, 青線: 目的関数)

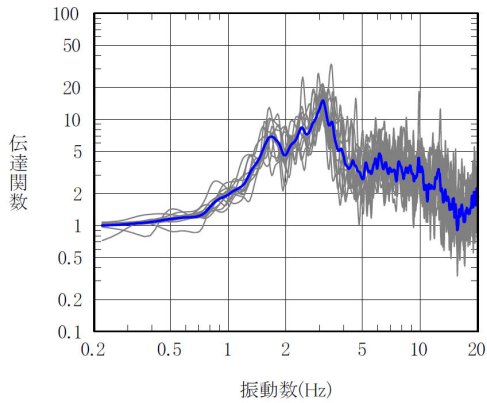
— 観測 (個別)  
 — 観測 (平均)



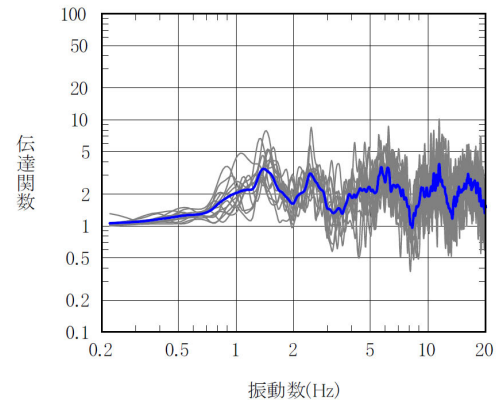
① GL-2m/GL-18m



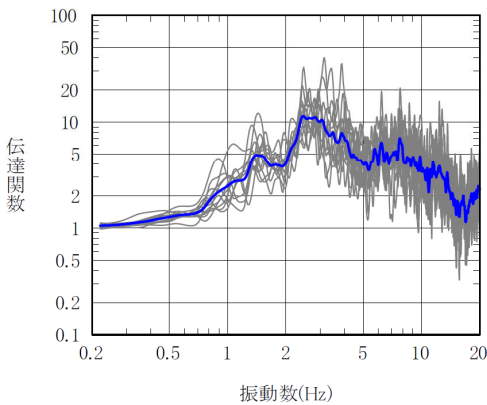
④ GL-18m/GL-125m



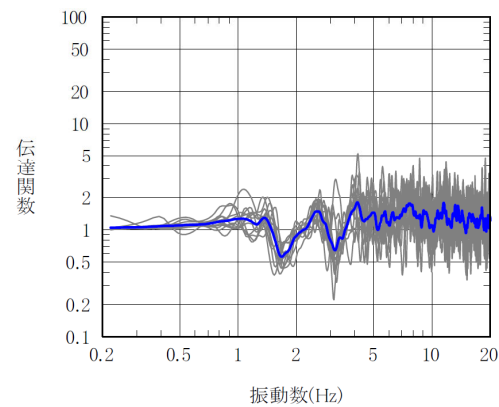
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



③ GL-2m/GL-200m



⑥ GL-125m/GL-200m

第 5.3.2-3 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, 灰色線: 個別地震, 青線: 目的関数)

### 5.3.3 評価方法及び条件

評価としては、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。評価条件を第 5.3.3-1 表に示す。

ここで、評価対象とする減衰定数については、本検討の目的が、建物・構築物の入力地震動を算定する上で地盤モデルに設定する減衰定数を評価するものであることを踏まえ、周波数依存性を考慮しない条件とした。

第 5.3.3-1 表 遺伝的アルゴリズム法による評価条件

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

#### 5.4 評価結果

「3. 敷地における減衰定数の評価」に示した手法に従い、減衰定数を評価した結果及び伝達関数の適合状況を第 5.4-1 表～第 5.4-3 表及び第 5.4-1 図～第 5.4-3 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減衰定数として、中央地盤観測点においては 6.7%、西側地盤観測点においては 6.3%、東側地盤観測点においては 5.9%の減衰定数が得られた。

あわせて、「5.3.2 目的関数の設定」に示した目的関数に対する同定後の伝達関数の比較を示す。評価結果としては、いずれ観測点においても、5 世代目以降で概ね収束した解が得られていること、また、高振動数成分において乖離が見られるものの、建物・構築物の固有振動数帯である 2～3 Hz においては良好な対応を示しているほか、地盤の 1 次及び 2 次ピークの周波数が乖離している状況はみられず概ね整合的であること、さらに、西側及び東側地盤の評価において変動させた S 波速度についても、初期物性から大きく変動はしていないことから、各地震観測点における地下構造の特徴を踏まえた上で、最適な減衰定数が評価されていると考えられる。

ただし、伝達関数における各ピークの振幅比については、乖離の大きい周波数帯もみられることから、評価された減衰定数が妥当であることの確認として、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は、評価された減衰定数を反映した地盤モデルに対し、最新最深部 (GL-200m) にて観測された地震観測記録 (地中波) を入力し、建物・構築物の基礎底面相当レベル (GL-18m) における地盤応答 (地中波) を算出し、同レベルにおける地震観測記録 (地中波) との比較を行うことで実施した。

シミュレーション解析に用いる地盤モデルは、「5.3.1 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 5.4-1 表～第 5.4-3 表に示した減衰定数の評価結果を反映したものとする。また、用いる地震は、各地震観測点において、大きな観測記録が得られている 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の NS 成分及び EW 成分において得られている地震観測記録とした。

シミュレーション解析の結果を第 5.4-4 図～第 5.4-6 図に示す。観測記録

と解析結果は、全周期帯において、概ね同等またはシミュレーション解析結果が観測記録に対して大きな地盤応答を与える結果となった。

以上のことから、今回検討において評価された、地震観測記録に基づく減衰定数は、敷地における地震観測記録をよく再現する値として評価されていることを確認した。

第 5.4-1 表 地震観測記録により評価された減衰定数  
(中央地盤観測点)

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

解放基盤表面～  
建屋基礎底面相当  
レベルの岩盤部分  
に相当



第 5.4-2 表 地震観測記録により評価された減衰定数  
(西側地盤観測点)

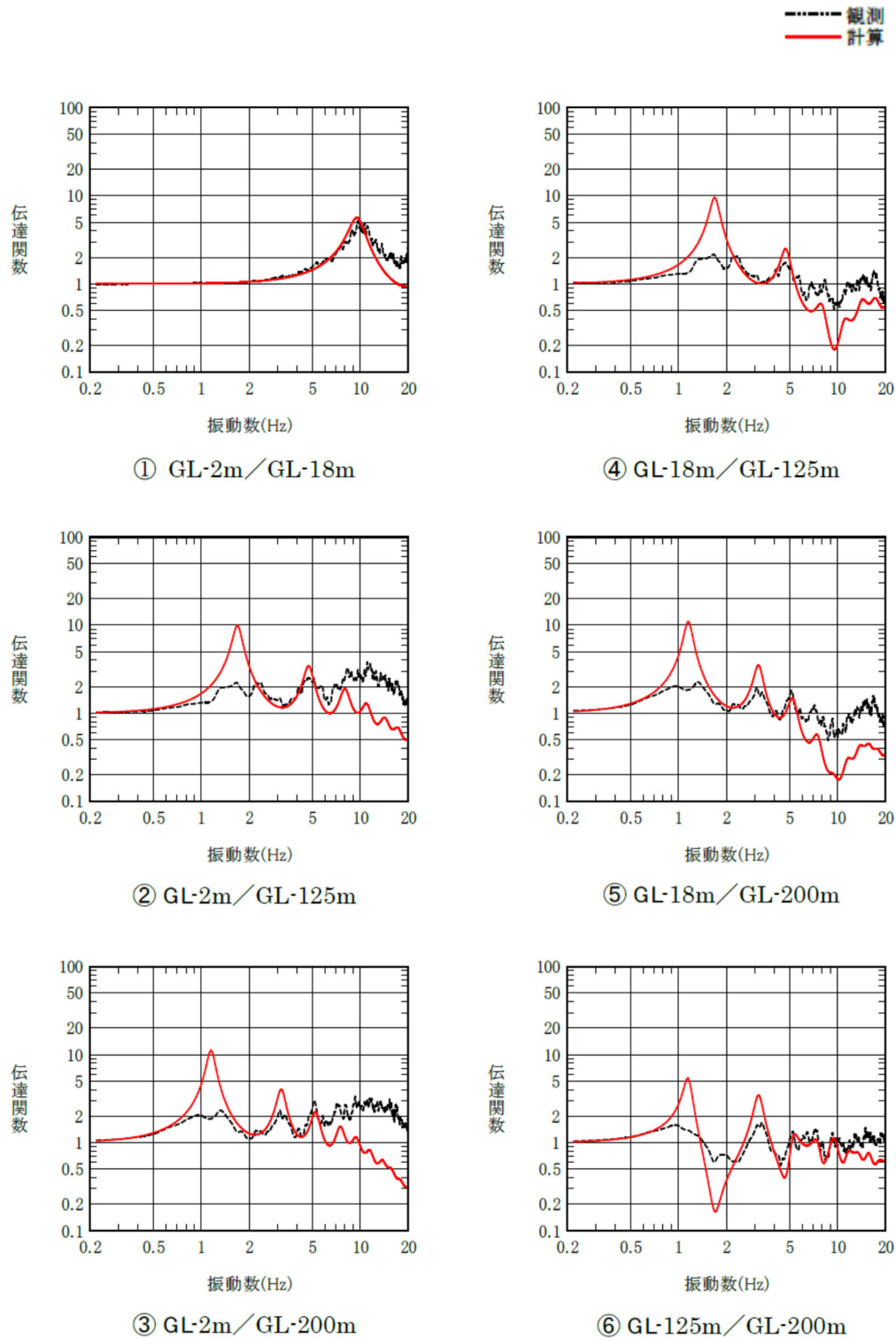
深度 (m)	層厚 (m)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	2	1.73	240	0.164
-2.00	8.1	1.73	240	
-10.1	7.9	2.02	480	0.069
-18.00	18.82	2.02	480	
-36.82	75.78	1.59	590	0.063
-112.60	12.40	1.75	760	0.055
-125.00	63.87	1.75	760	
-188.87	11.13	1.57	960	
-200.00	—	1.57	960	

解放基盤表面～  
建屋基礎底面相当  
レベルの岩盤部分  
に相当

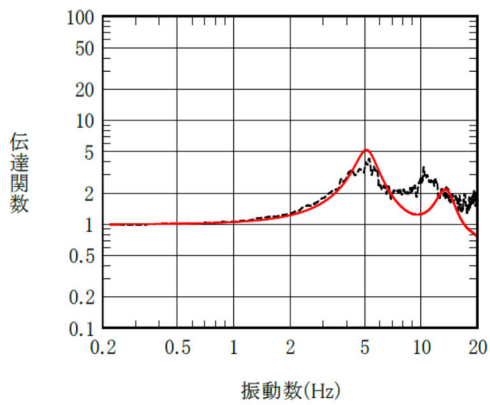
第 5.4-3 表 地震観測記録により評価された減衰定数  
(東側地盤観測点)

深度 (m)	層厚 (m)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	S 波速度 Vs(m/s)	減衰定数 h
0	2	1.69	190	0.079
-2.00	12.73	1.69	190	
-14.73	3.27	1.72	310	0.060
-18.00	0.68	1.72	310	
-18.68	97.05	1.59	850	0.059
-115.73	9.27	1.82	1130	0.049
-125.00	34.31	1.82	1130	
-159.31	40.69	1.90	1150	
-200.00	—	1.90	1150	

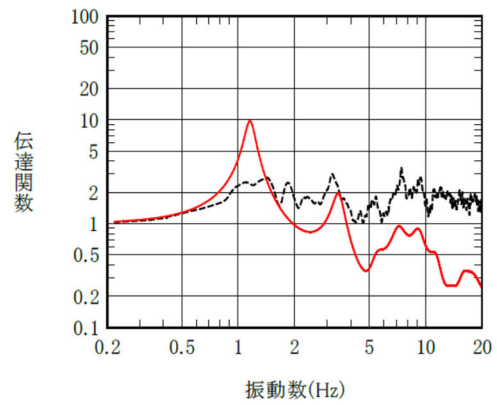
解放基盤表面～  
建屋基礎底面相当  
レベルの岩盤部分  
に相当



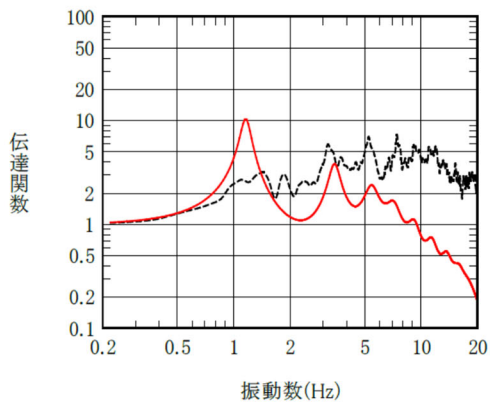
第 5.4-1 図 評価結果 (伝達関数フィッティング結果, 中央地盤観測点)



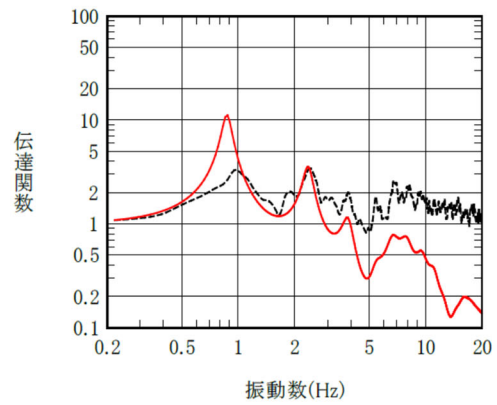
① GL-2m/GL-18m



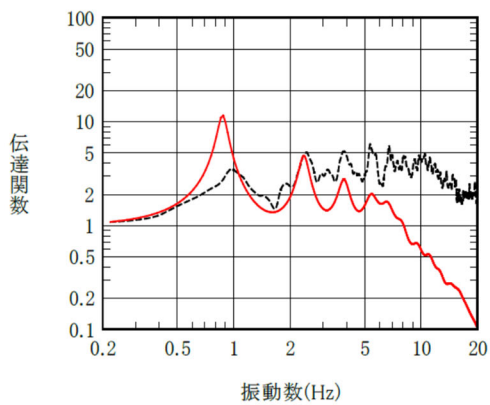
④ GL-18m/GL-125m



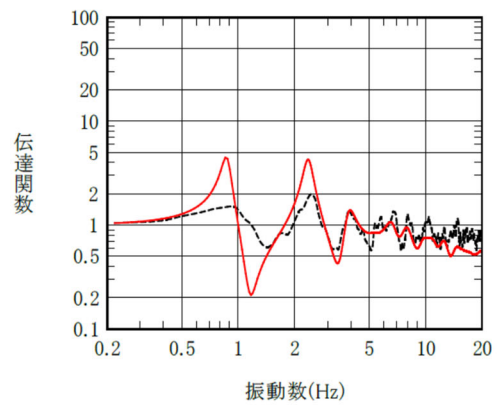
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m



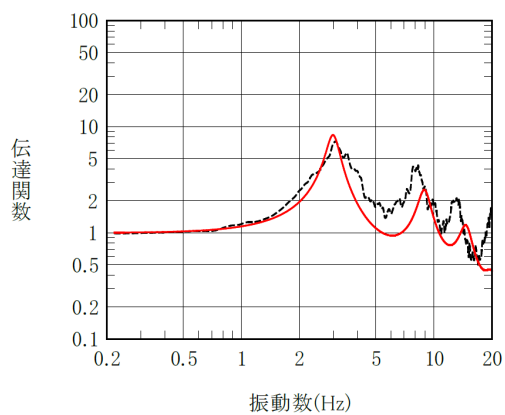
③ GL-2m/GL-200m



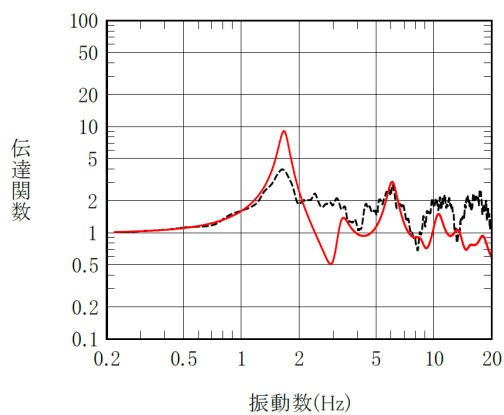
⑥ GL-125m/GL-200m

第 5.4-2 図 評価結果 (伝達関数フィッティング結果, 西側地盤観測点)

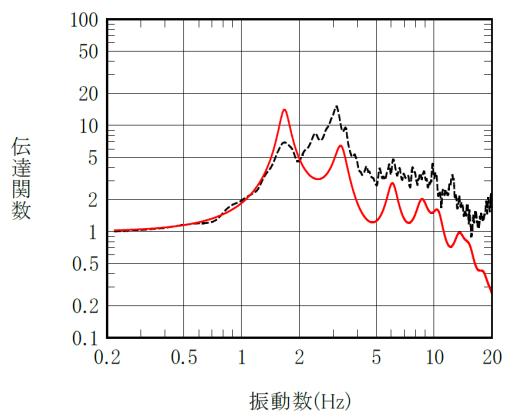
..... 観測  
 ——— 計算



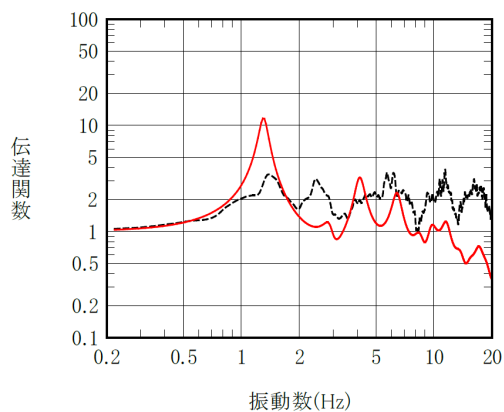
① GL-2m/GL-18m



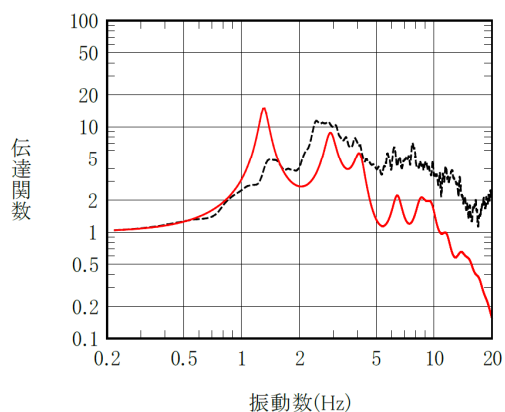
④ GL-18m/GL-125m



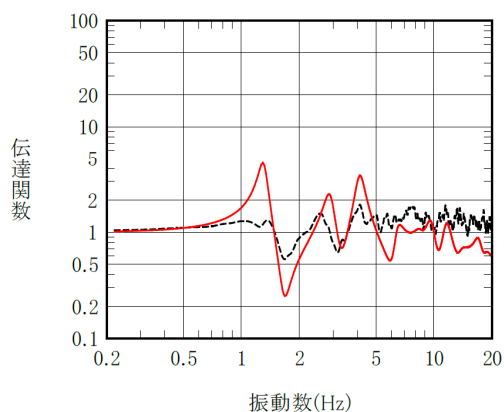
② GL-2m/GL-125m



⑤ GL-18m/GL-200m

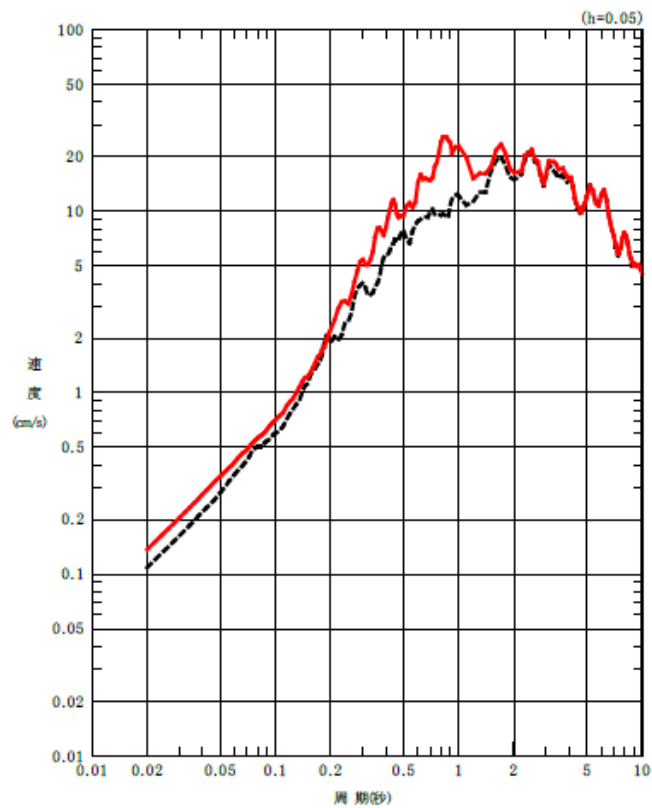


③ GL-2m/GL-200m

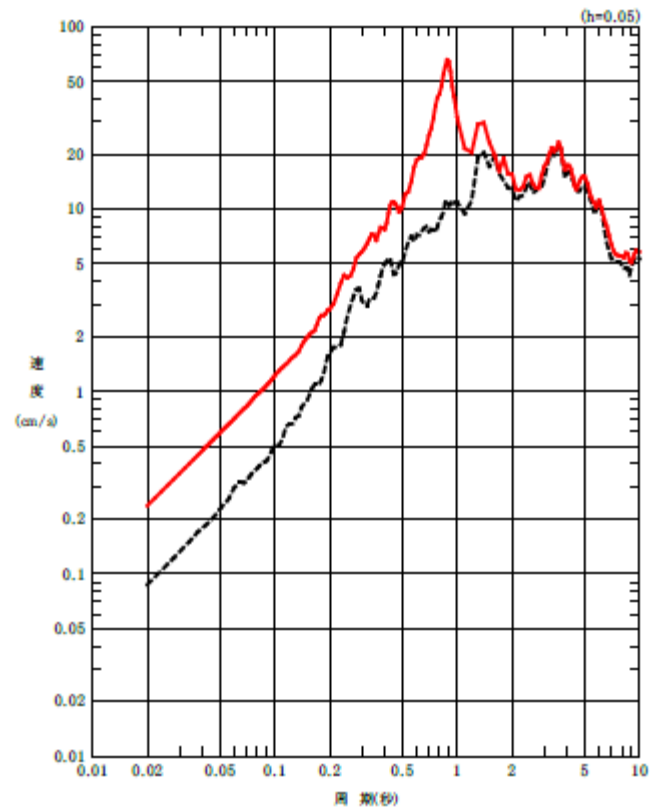


⑥ GL-125m/GL-200m

第 5.4-3 図 評価結果 (伝達関数フィッティング結果, 東側地盤観測点)



(a) NS 成分

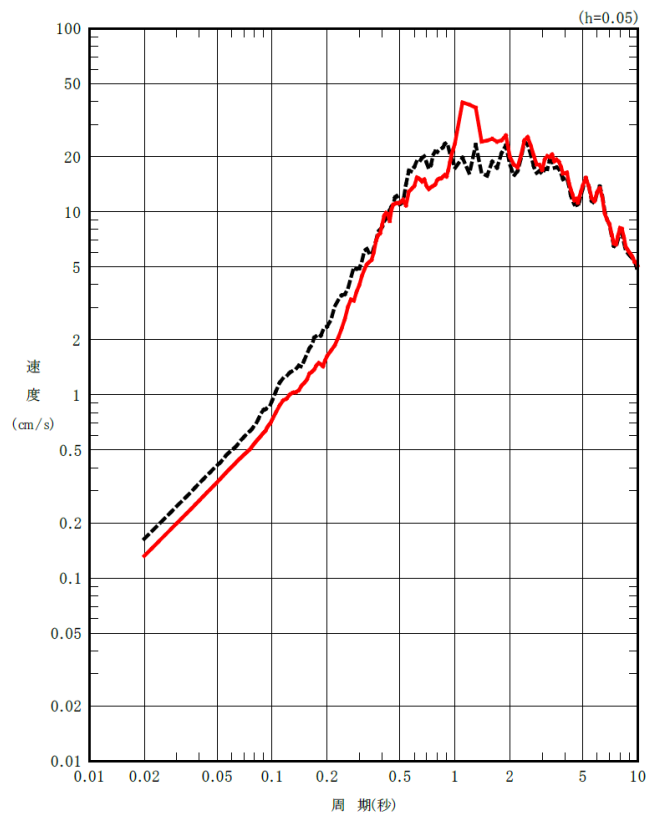


(b) EW 成分

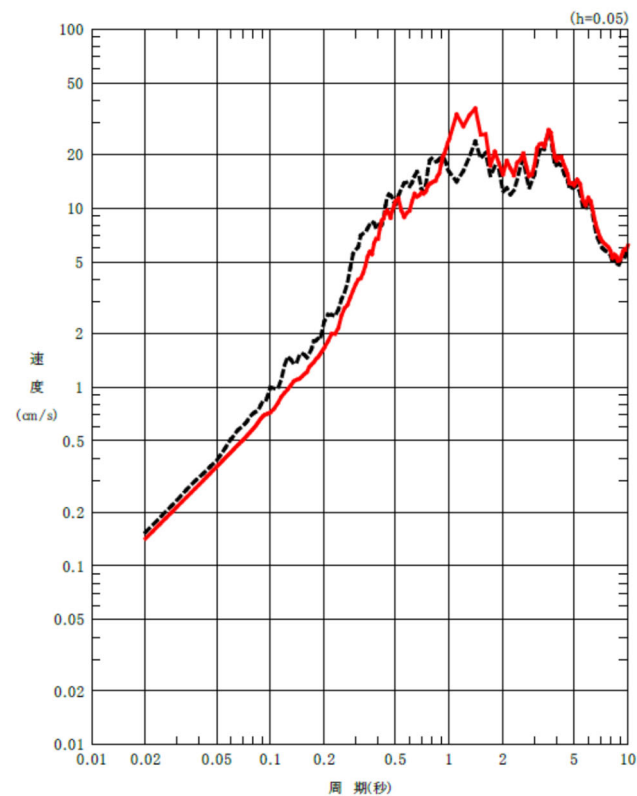
第 5.4-4 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

(中央地盤観測点, 2011.3.11 東北地方太平洋沖地震 NS 成分)

(黒: 建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録, 赤: 同定された減衰定数を用いた GL-18m における解析結果)



(a) NS 成分

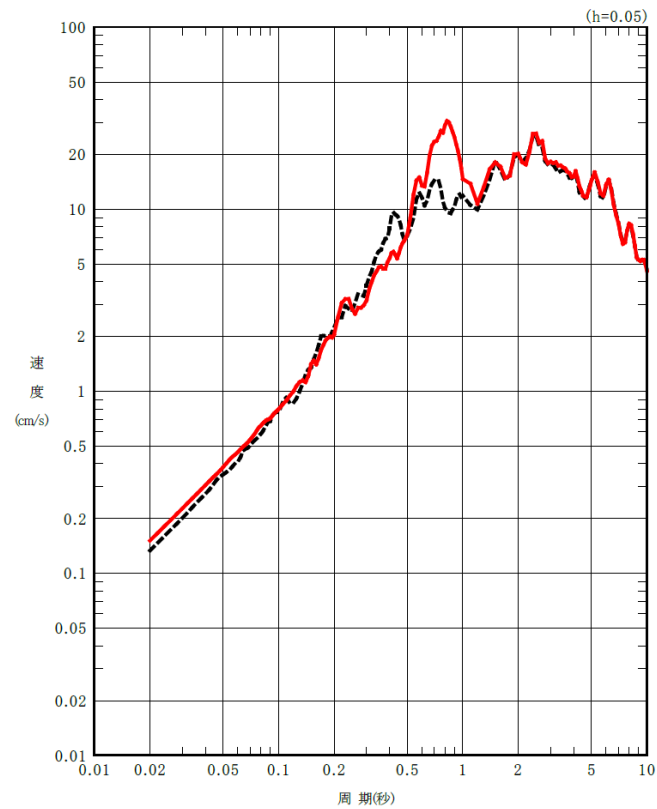


(b) EW 成分

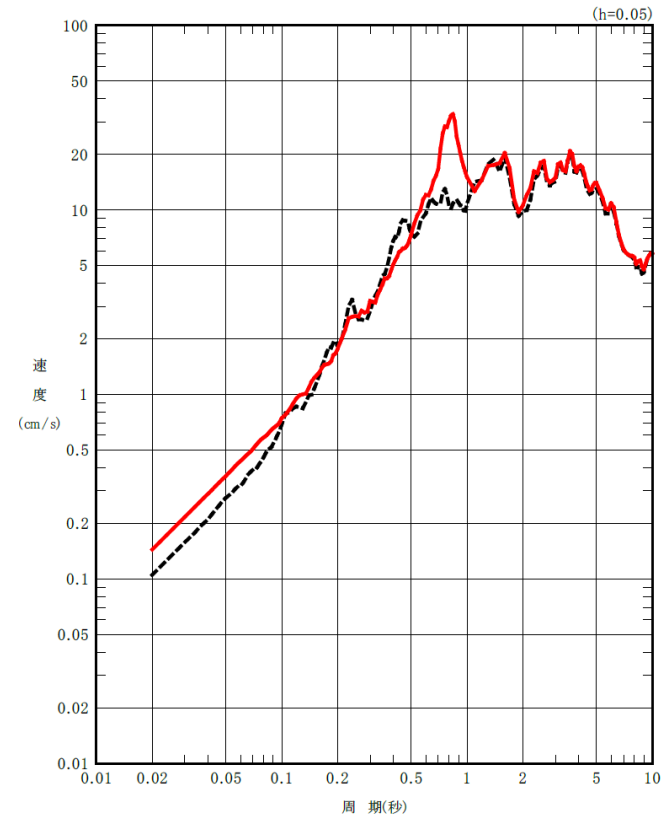
第 5.4-5 図 同定された減衰定数による観測記録の再現確認結果

(西側地盤観測点, 2011.3.11 東北地方太平洋沖地震 NS 成分)

(黒：建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録, 赤：同定された減衰定数を用いた GL-18m における解析結果)



(a) NS 成分



(b) EW 成分

第 5.4-6 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, 2011.3.11 東北地方太平洋沖地震 NS 成分)

(黒：建屋基礎底面相当レベル (GL-18m) における観測記録, 赤：同定された減衰定数を用いた GL-18m における解析結果)



## 6. 評価結果に対する考察

### 6.1 既往知見等または評価手法間の整合性

「5.4 評価結果」に示した、地震観測記録に基づく手法による各地震観測点における解放基盤表面～基礎底面レベルの岩盤部分に相当する層の減衰定数の評価結果について、JEAG4601-1987に示される他の評価手法や、既往知見における値との比較を行う。

地震観測記録を用いた評価結果によれば、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減衰定数として、中央地盤観測点においては6.7%、西側地盤観測点においては6.3%、東側地盤においては5.9%の減衰定数が得られている。この値によれば、敷地内のいずれの地点においても、JEAG4601-2015に示される、既設発電所における減衰定数の設定に係る調査に基づく設計上の慣用値のうち、軟岩サイトにおける範囲（3～5%）よりも大きい値となっている。

一方、今回実施した地震観測記録を用いた減衰定数の評価における知見として、嶋ほか（1983）におけるいわき地点の検討が挙げられるが、当該地点における地震観測記録に基づき定めた減衰定数（第3.2.1-1図）については、最大8%程度の値が得られており、また、建物・構築物の固有振動数帯（2～3Hz）における値を読み取れば、約6%の減衰定数が得られていることから、本検討において評価した岩盤部分の減衰定数は、敷地内のいずれの地点においても、実現象をよく説明する減衰定数の値としては、既往の知見から乖離したものとはなっておらず、適切に評価されていると考えられる。

また、JEAG4601-1987にて示される減衰定数の評価手法のうち、S波検層による評価については、「4. 敷地におけるS波検層による評価」に示したとおり、敷地におけるデータが得られていることから、その結果との比較を行った。

「3.1.2 S波検層による評価」に示したとおり、S波検層による評価は、地震観測記録による評価と同様に、材料減衰と散乱減衰の両方が含まれた減衰定数を評価可能であるが、「4. 敷地におけるS波検層による評価」に示したとおりターゲットとしている周波数レンジは10Hz又は20Hzよりも高振動数側の領域となっている。また、第4-2図に示したとおり、敷地におけるS波検層による評価結果としては、周波数依存性を有し、低周波になるほど減衰定数は大きな値となっており、評価対象周波数のうち最低周波数（10Hzまたは20Hz）においては、4%～6%を上回る減衰定

数が得られている。このことから、建物・構築物の固有振動数帯（2～3 Hz）に着目した減衰定数を鑑みると、上記値よりも大きな値が地震観測記録による評価結果として得られていることは、特異な結果ではないと考えられる。

## 6.2 事業変更許可申請におけるはぎとり地盤モデルとの関係

本資料における減衰定数の評価にあたって用いる初期地盤モデルについては、中央地盤観測点位置においては、事業変更許可にて示したはぎとり地盤モデルの速度構造を用いている。すなわち、地震観測記録の振動特性を説明できるようにチューニングが行われている速度構造を用いている。

このことから、中央地盤観測点については、本資料における検討結果とはぎとり地盤モデルの差異は、「5.3.1 初期モデルの設定及び探索範囲」に示した、減衰定数に対する周波数特性の考慮の有無の違いのみとなる。

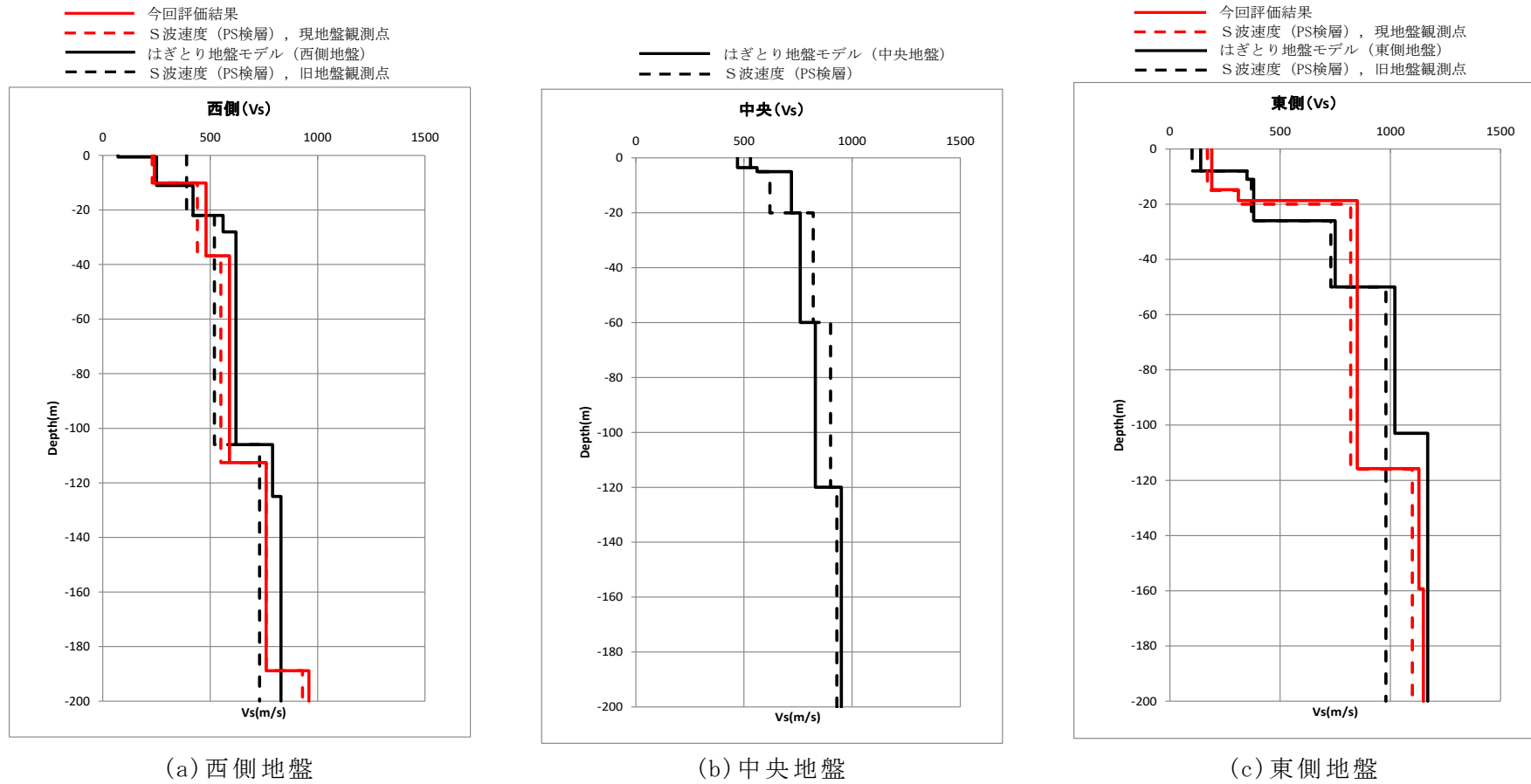
一方で、西側地盤観測点及び東側地盤観測点位置において、事業変更許可にて示しているはぎとり地盤モデルについては、「5.1 敷地における地震観測の概要」に示した 2004 年以前の地震観測位置の地盤データ及び地震観測記録に基づいて作成しているが、本資料における評価にあたっては、比較的大振幅の地震観測記録が得られている 2008 年以降の地震観測位置における地盤データを初期地盤モデルとして用い、減衰定数の評価とあわせて、地震観測記録の振動特性を説明できるように速度構造のチューニングを今回行っている。

このことから、西側地盤観測点及び東側地盤観測点については、本資料における検討結果とはぎとり地盤モデルの差異は、「5.3 評価方法」に示した、減衰定数の周波数特性の考え方の違いに加え、速度構造も異なる。

事業変更許可においては、地震観測位置の移設前後で、PS 検層結果に大きな差異は認められず、また、推定されたはぎとり地盤モデルとも概ね整合していることを説明している。今回評価を行った 2008 年以降の地震観測位置についてチューニングされた速度構造についても同様の比較を行った結果を第 6.2-1 図に示す。

結果として、今回評価を行った 2008 年以降の地震観測位置について、西側及び東側地盤観測点においてチューニングされた速度構造についても、地震観測位置の移設前後における PS 検層結果及び事業変更許可にて示した 2004 年以前の地震観測位置におけるはぎとり地盤モデルと概ね同等となっていることを確認した。

以上のことから、本資料において、2008 年以降の地震観測位置における地盤データに基づいて速度構造をチューニングした結果については、事業変更許可における説明とも整合していることを確認した。



第 6.2-1 図 今回評価した地震観測点における PS 検層結果

及びはぎとり地盤モデルの速度構造の比較

(2020 年 2 月 21 日第 339 回審査会合 資料 1-4-1 p48 に加筆修正)

### 6.3 シミュレーション解析結果における観測記録との差に関する分析

「5.4 評価結果」に示したとおり、地震観測記録を用いた評価にあたっては、伝達関数のフィッティング結果に対する検証として、地震観測記録を用いたシミュレーション解析を実施している。

地震観測記録を用いたシミュレーション解析においては、地震観測記録よりも地震動を大きく評価する等の乖離が一部方向や周期帯において見られる。具体的な状況を以下①及び②に示す。これらの要因について考察を実施した。

①中央、西側、東側地盤共通の特徴としては、周期 1 秒付近において、観測記録よりもシミュレーション解析結果が大きく評価される。

②中央地盤においては、NS 成分と比較して、EW 成分における観測記録とシミュレーションの乖離が大きい。

考察にあたっては、シミュレーション解析を基礎底面相当レベルである GL-18m の地盤応答の比較として実施していることから、GL-18m までの上昇波による影響が支配的であると考え、GL-18m/GL-200m の伝達関数のフィッティング状況に着目して行った。

#### (1) 上記①に対する考察

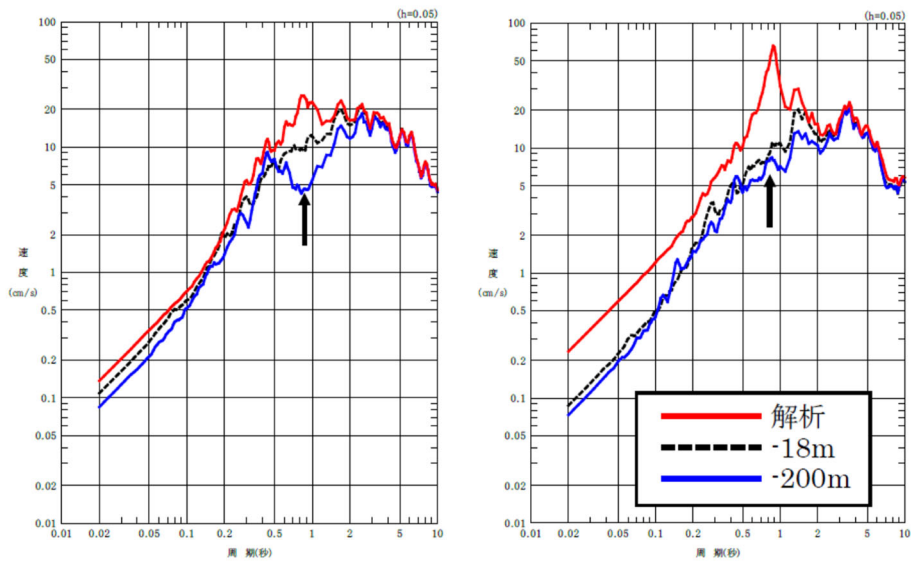
第 5.4-4 図～第 5.4-6 図に示すとおり、シミュレーション解析結果は、周期約 1 秒において、地震観測記録では見られないピークが発生している傾向となっており、その傾向は、中央地盤観測点、西側地盤観測点及び東側地盤で共通となっている。

第 5.4-1 図～第 5.4-3 図の⑤に示した、各位置の GL-18m/GL-200m における地震観測記録から得られた伝達関数（目的関数）は、周期 1 秒に相当する 1Hz の周波数帯にて、1 次のピークを有する傾向となっており、各位置で共通的な特徴となっている。

一方、フィッティングの結果によれば、約 1Hz の周波数帯のピークの位置についてはよく再現しているものの、伝達関数を約 5 倍程度大きく評価している。この傾向は、今回検討にあたり評価する減衰定数を、建物・構築物の入力地震動を算定することを目的とした設定として、低周波ほど大きくなるような周波数依存性を考慮しない条件としたために、低周波側の伝達関数を大きく評価する結果となったものと考えられる。

(2) 上記②に対する考察

中央地盤において、NS 方向と比較して、EW 方向の方が観測記録よりも大きなシミュレーション解析結果が得られている要因としては、第 6.3-1 図に示すとおり、GL-200m において周期 0.9 秒付近で NS 成分のみ応答スペクトルの谷が見られるという当該地震固有の特徴があることから、(1)に示した周期約 1 秒を大きく評価する傾向と相まって、応答スペクトル上の短周期領域までを大きく評価したと考えられる。



第 6.3-1 図 GL-200m 地中観測記録とシミュレーション解析結果の比較

#### 6.4 Ss 地震時における非線形性を考慮した減衰定数に係る考察

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、「岩盤部分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 Ss 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。

今回、減衰定数の評価に用いた 19 地震の観測記録のうち、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減衰定数を評価していると考えられる。

中央地盤、東側地盤及び西側地盤の各岩種におけるひずみ依存特性により求めた減衰定数は以下のとおりであり、地盤の非線形化が進行することで、地盤の減衰定数が大きくなることを確認した。

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、Ss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 Ss 地震時においては、地震観測により評価した減衰定数は、さらに大きい値となると考えられる。

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

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

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



## 7. まとめ

本資料において整理した、一般的・標準的な手法による岩盤部分の減衰定数の設定に係る検討結果は以下のとおりである。

### ①JEAG4601-2015に示される岩盤の減衰定数

・軟岩サイトにおける慣用値として、3～5%の値が示されている。

### ②JEAG4601-1987に示される手法に基づく検討結果

・敷地におけるS波検層による減衰定数の評価として、20Hzにおいて約4%以上の減衰定数が得られている。

・敷地における地震観測記録を用いた減衰定数の評価として、中央地盤観測点においては6.7%、西側地盤観測点においては6.3%、東側地盤観測点においては5.9%の減衰定数が得られた。

基本地盤モデルのうち、岩盤部分の減衰定数については、他のデータ拡充の可否を含めた検討を実施した上で設定する。