資料1

東海第二発電所
標準応答スペクトルを考慮した地震動評価について
（コメント回答：地盤モデルの妥当性）

令和3年11月8日

日本原子力発電株式会社

審査会合コメントリスト（1／2）

新規

No.	日付	回次	内容	回答概要	該当箇所
1	令和3年 7月30日	第994回 審査会合	・PS検層データの扱いに関し，既許可ではダウンホール法の結果を採用しているところ，今回はサスペンション法の結果を用いている点について，考え方を説明すること。 ・また，既許可の審査で用いた物理探査等の結果との整合性も確認すること。	・標準応答スペクトルが地震基盤相当面（Vs2200m/s以上）で定義されている。一方，既許可の地盤モデルの速度構造は，Vsが1000m/s未満から3000m/s近くに急変する特徴があることから地盤モデルの入力層について検討し，調査データに基づいて新たな速度構造を設定している。 ・具体的にはサスペンション法によるデータに基づいて新たな速度構造を設定した上で入力層を検討している。 ・その妥当性については，既往の物理探査結果や地震観測記録との比較により確認している。	・P6 ・P8～15 ・P33
2	令和3年 7月30日	第994回 審査会合	減衰定数の同定に関し，今回，減衰定数の下限を考慮することに至った考え方を説明すること。	減衰定数に関する知見については，従来振動数が大きくなるにつれて減衰定数が小さくなることが指摘されていたところ，現在では下限の存在を示す評価事例が蓄積されてきたことから，減衰定数の同定に際しては下限を考慮している。	・P17～22 ・P34
3	令和3年 7月30日	第994回 審査会合	同定解析の際，3つの地震による観測記録を用いているが，その妥当性については他の地震の記録でも検証すること。	・同定解析に用いる地震の候補として23地震を選定し，その23地震の伝達関数の比較を通して代表性のある5地震を選定している。この5地震の伝達関数に大きな差異は見られないことを確認した上で，最終的に3地震の伝達関数を用いている。 ・以上のとおり，検討に用いる3地震の選定プロセスの段階で，3地震以外の地震の記録での検証を行い，最終的に用いる3地震の記録の妥当性を確認している。	・P23～27 ・P34

審査会合コメントリスト（２／２）

新規

No.	日付	回次	内容	回答概要	該当箇所
4	令和3年 7月30日	第994回 審査会合	標準応答スペクトル用地盤モデルによる既往の断層モデル地震動評価への影響については，基準地震動への影響の観点から，基準地震動に選定しているケースに対しての検討結果を示すこと。	次回以降回答	－
5	令和3年 7月30日	第994回 審査会合	標準応答スペクトル用地盤モデルによるSs-31（留萌波）への影響に関し，保守性を考慮する前の地震動（解放基盤表面上において598cm/s^2）の応答スペクトルも示すこと。	次回以降回答	－
6	令和3年 7月30日	第994回 審査会合	乱数位相を用いた模擬地震波の振幅包絡線の設定で，M6.9，Xeq10kmとした根拠を説明すること。	次回以降回答	－
7	令和3年 7月30日	第994回 審査会合	実観測記録の位相を用いた検討に関し，2011年茨城県北部地震のKiK-net高萩の観測記録を選定した理由や，実際に位相として用いている佐藤他（2019）の基盤地震動の詳細について説明すること。	次回以降回答	－
8	令和3年 7月30日	第994回 審査会合	複数の手法として乱数位相，実観測記録の位相を用いた手法を選定した理由を説明すること。また，この2つの手法の中から，乱数位相の模擬地震波を採用するに至った考え方を詳細に説明すること。	次回以降回答	－

目次

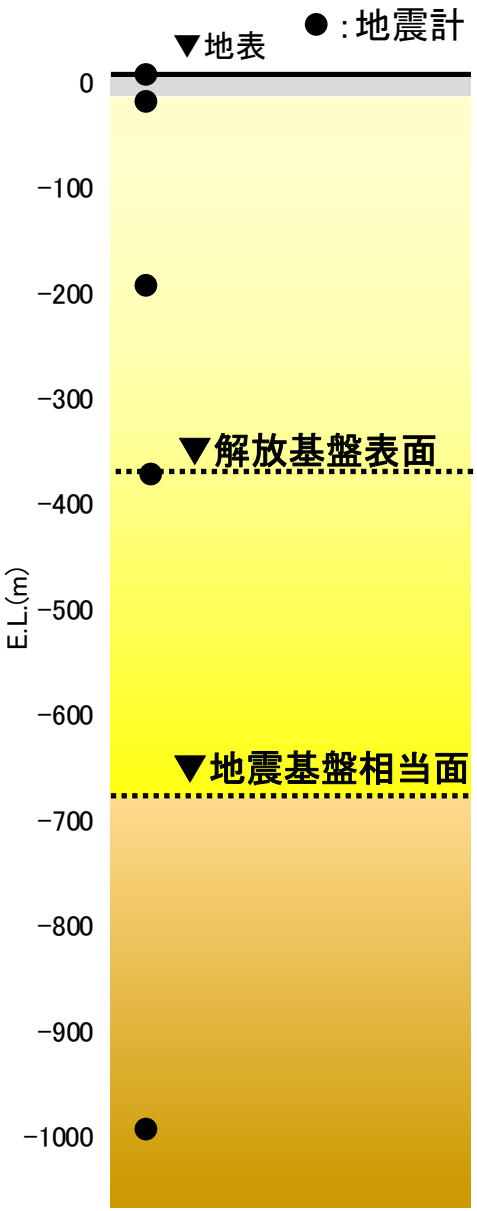
新規

標準応答スペクトルに基づく地震動評価の方針 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5

1. 地盤モデルの設定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

標準応答スペクトルに基づく地震動評価の方針

第994回審査会合
資料1－2修正



■敷地における解放基盤表面はVs700m/s以上となるE.L.−370m位置に設定している。一方，標準応答スペクトルが地震基盤相当面（Vs2200m/s以上の地層）で定義されていることを踏まえ，標準応答スペクトルを解放基盤表面において評価するうえでは，地震基盤相当面から解放基盤表面までの増幅特性を考慮する。

■増幅特性の考慮に際しては，上記地震基盤相当面の設定が重要と考えられるところ，既許可の地盤モデルでは，地震基盤相当面を境にVsが1000m/s未満から3000m/s近くに急変するため，Vs2200m/s層が無い。そこで，大深度ボーリングのPS検層結果を精査し，新たにVs2200m/sの層を設定した地盤モデルを検討した。また，減衰定数についても，既許可の地盤モデル検討時点より，大深度地震計の観測記録が多数得られていること，同定の対象とした範囲を地下1000mの深部から地表まで広げることで精度向上を図った。

■標準応答スペクトルに基づく地震動評価の流れ

1．地盤モデルの設定
（1） 速度構造と地震基盤相当面位置の設定
大深度ボーリング調査結果を含めた地下構造調査結果に基づき，検討に用いる速度構造と地震基盤相当面位置を設定する。
（2） 減衰定数の設定
大深度地震計の地震観測記録を用いた伝達関数の逆解析により，地震基盤相当面から解放基盤表面までの区間を含め，地盤の減衰定数を設定する。

2．模擬地震波の検討
標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を複数の手法により検討する。

3．地盤増幅特性の考慮
地震基盤相当面位置から解放基盤表面までの地盤増幅特性を考慮した地震動を評価する。また，複数の手法により検討した模擬地震波について比較検討を行う。

4．基準地震動Ssの策定
既許可の基準地震動Ssとの比較より，基準地震動Ssを策定する。

左図： 東海第二発電所敷地地盤のイメージ図

速度構造の設定方針

新規

■入力層の検討

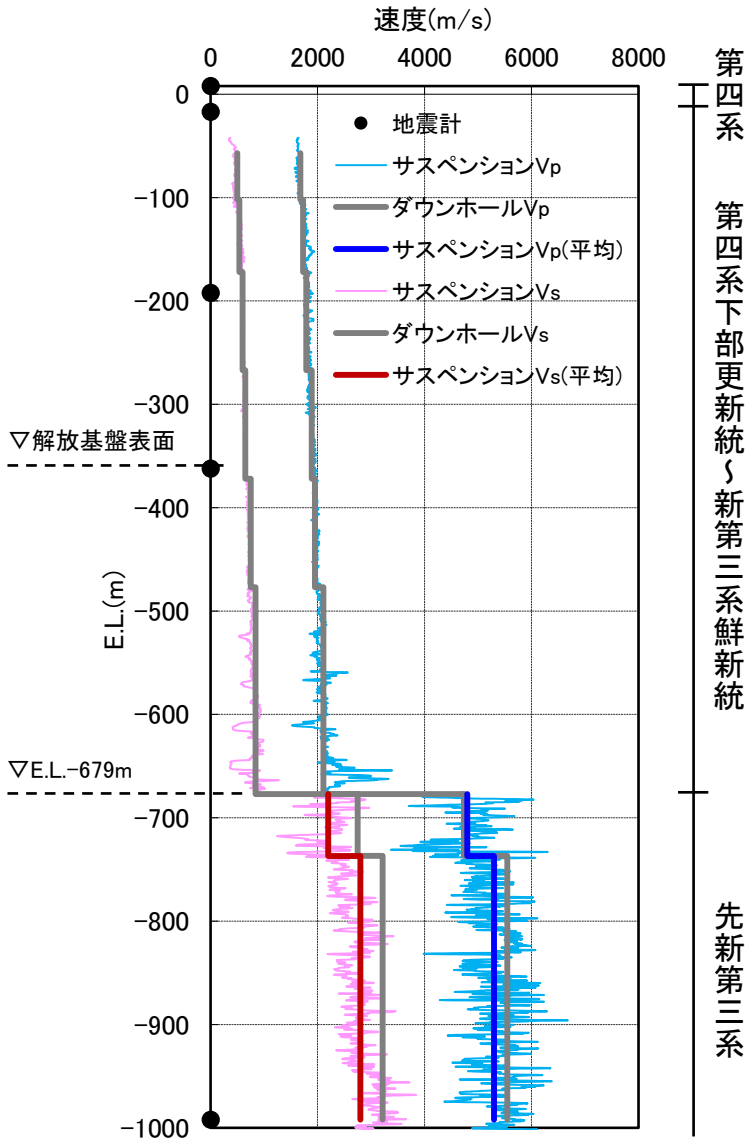
- 標準応答スペクトルが地震基盤相当面（Vs2200m/s以上）で定義されていることを踏まえ，地盤モデルの入力層について検討する。
- 既許可の地盤モデルの速度構造は，E.L.約-680m位置を境にVsが1000m/s未満から3000m/s近くに急変する特徴がある。そこで，大深度ボーリングのPS検層結果を改めて確認して入力層を検討し，地震観測記録の説明性等を確認した上で，標準応答スペクトルの地震動評価に用いる新たな速度構造モデルを設定する。

■新たな速度構造モデルの設定とその妥当性確認は下記の流れで行う。

① E.L.-679m以深においては，サスペンション法の結果がVs2200m/sに近い値を示していることから，同法に準拠した速度構造を設定する。 ⇒ P8

② 新たに設定した速度構造と既往の物理探査結果との比較検討を行い，整合性を確認する。 ⇒ P9～

③ 地震記録（伝達関数）の説明性を確認する。 ⇒ P30～



大深度ボーリングのPS検層結果の例

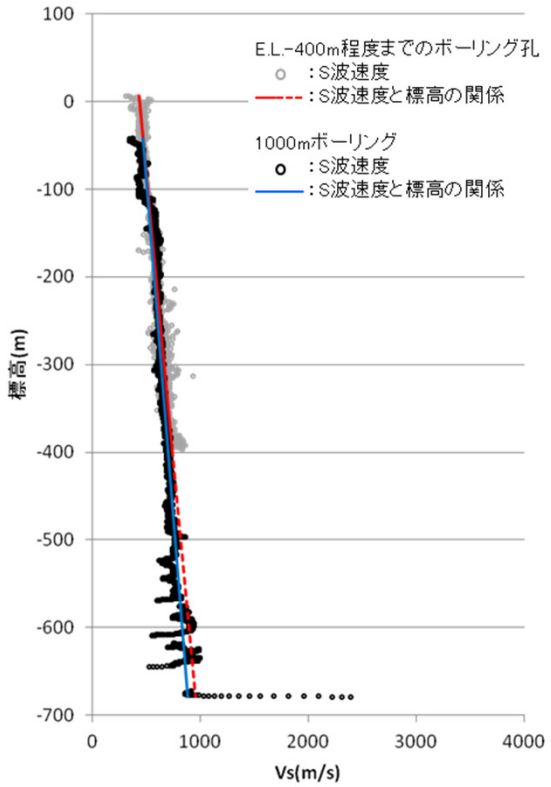
E.L.-679m以浅の速度構造の設定

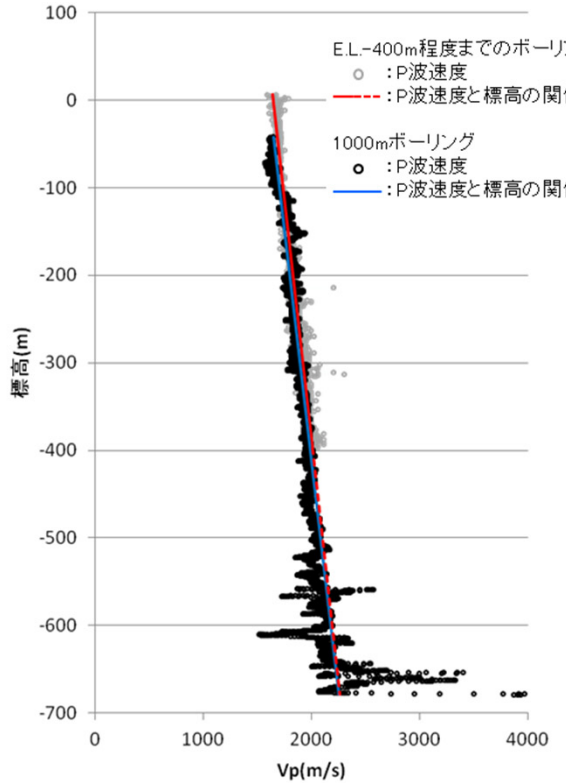
第994回審査会合
資料1－2修正

■E.L.-679m以浅（解放基盤表面～新第三系鮮新統下端）

・Vs，Vpとも深くなるにつれ値が漸増する構造であり，また複数の調査結果と整合していることから，2004年北海道留萌支庁南部地震の検討においては，解放基盤表面からE.L.-679m（新第三系鮮新統下端）までの速度構造を標高依存式により設定している。

・標準応答スペクトルによる地震動の検討に際しても，解放基盤表面からE.L.-679m（新第三系鮮新統下端）までの速度構造は，既許可の2004年北海道留萌支庁南部地震の検討で用いたものを採用する。





久米層における
地盤速度と標高の関係

$Vs = 0.433 - 7.71 \times 10^{-4} \cdot Z$

$Vp = 1.65 - 9.09 \times 10^{-4} \cdot Z$

ここで，Vs：S波速度（km/s）
Vp：P波速度（km/s）
Z：標高（m）

図は第409回審査会合資料より抜粋

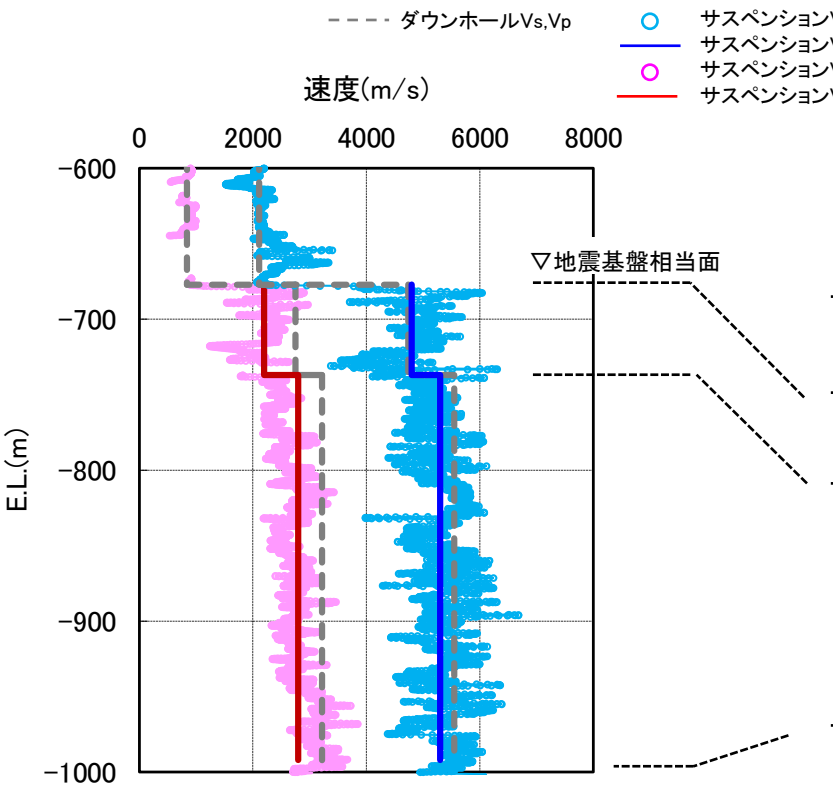
E.L.-679m以深の速度構造の設定

第994回審査会合
資料1－2修正

■E.L.-679m以深（先新第三系）

・標準応答スペクトルが地震基盤相当面（Vs2200m/s以上）で定義されている。一方，大深度ボーリングのPS検層結果のうち，サスペンション法の結果を平均化するとVsが約2200m/sとなる。そこで，標準応答スペクトルに基づく模擬地震波の入力層としては，サスペンション法に準拠した速度構造によるものとする。具体的には，ダウンホール法における同一層内で，サスペンション法のVs，Vpをそれぞれ平均して求めた値を用いる 。

・地震基盤相当面は，E.L.-679mにS波速度2200m/s層の上面として設定する。



標高 (m)	層厚 (m)	ダウンホール法（既許可留萌※）		サスペンション法準拠（今回）		備考
		Vs(m/s)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Vp(m/s)	
-679		(947)	(2256)	(947)	(2256)	標高依存式より算定
-734	55.0	2750	4740	2200	4800	
-992	258.0	3220	5550	2800	5300	
	—	3220	5550	2800	5300	

※ 既許可においては，地盤モデルの層区分との対応が明確なダウンホール法のVs，Vp値を設定

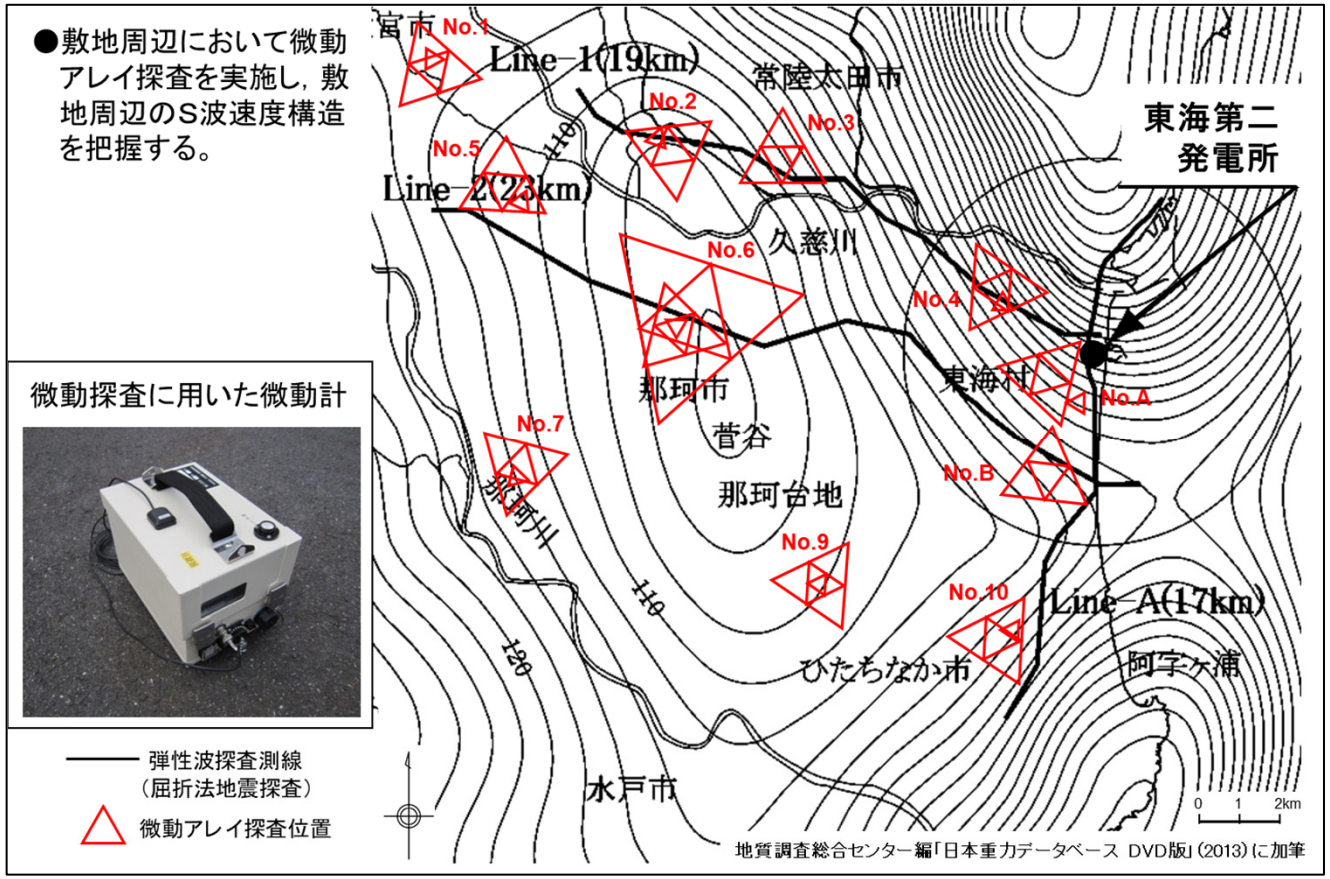
既往の各種物理探査結果との関係： 位相分散曲線（1／6）

新規

■既許可の地下構造審査において，敷地内で実施している微動アレイ探査については，アレイサイズ（底辺長）が約470m以下と小さい。

■一方，敷地周辺では，重力異常域と地下構造の関係を把握するため，屈折法地震探査及び微動アレイ探査を実施しており，この時実施した微動アレイ探査の底辺長は4kmないし2kmであることから地下数kmまで探査範囲が及んでいる。また，これらの探査結果に基づいて3次元地下構造モデルを作成している。

■そこで，この3次元地下構造モデルにおける敷地での位相分散曲線と，既許可の留萌用地盤モデル，今回設定した地盤モデルの位相分散曲線を比較し，関係を整理する。



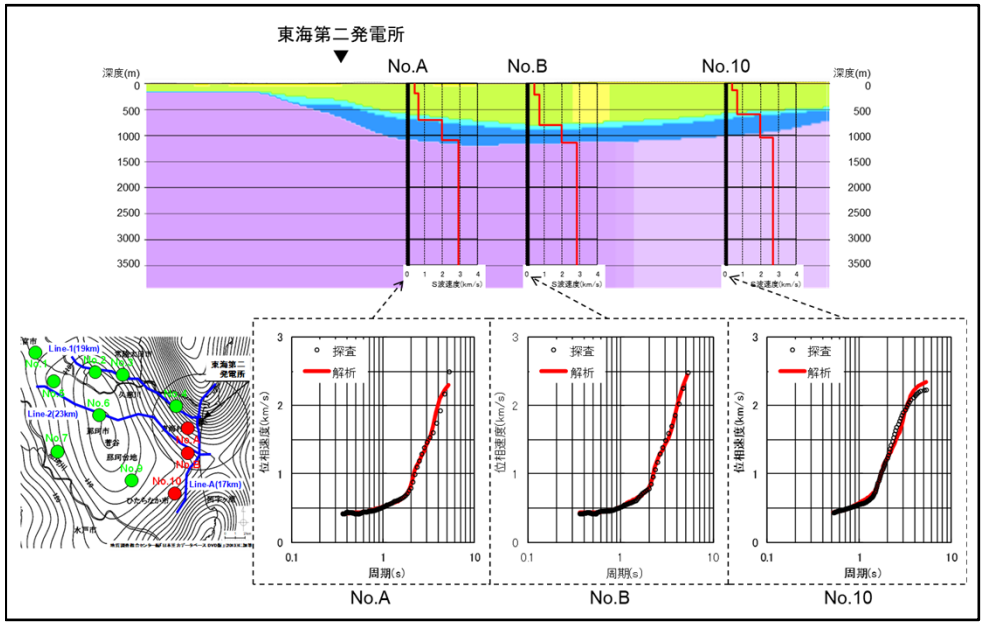
図は第338回審査会合資料より抜粋

既往の各種物理探査結果との関係： 位相分散曲線（2／6）

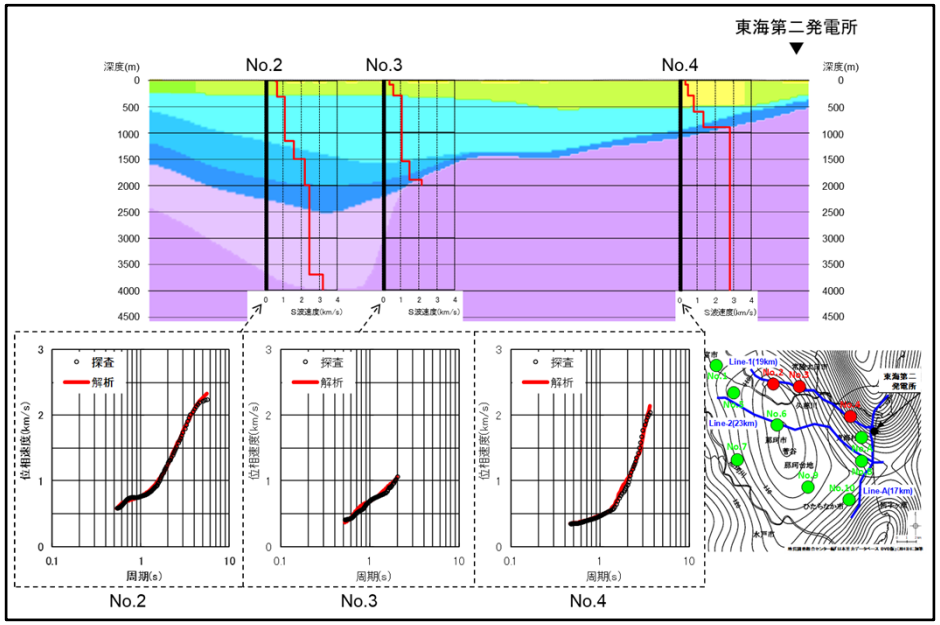
新規

■敷地周辺の微動アレイ探査結果

屈折法地震探査のLine-A測線付近で実施した微動アレイ探査結果及びLine-1測線付近で実施した微動アレイ探査結果を下図に示す。



屈折法地震探査のLine-A測線付近で実施した微動アレイ探査結果



屈折法地震探査のLine-1測線付近で実施した微動アレイ探査結果

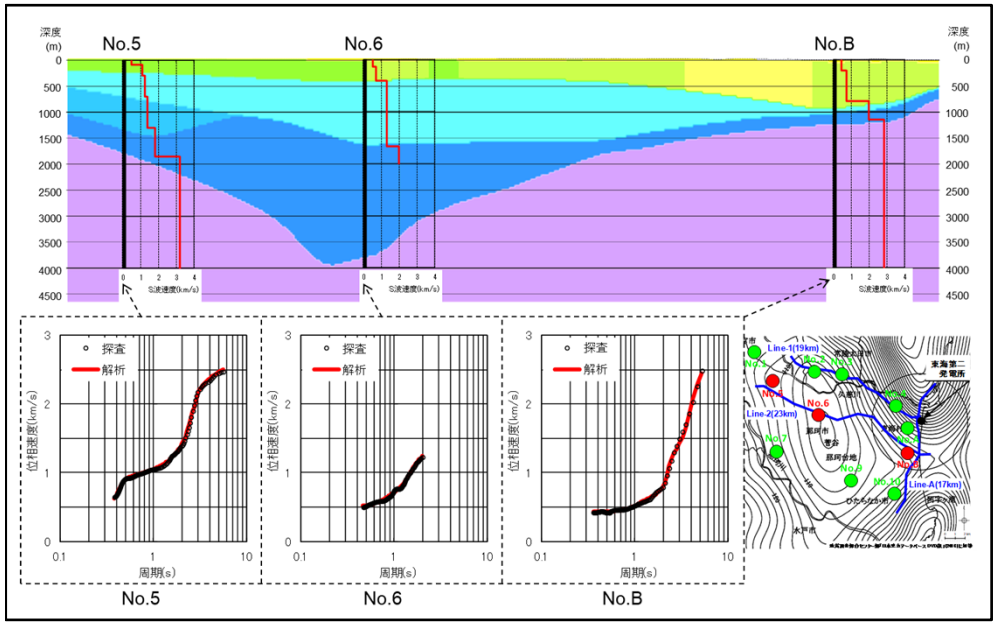
図は第338回審査会合資料より抜粋

既往の各種物理探査結果との関係： 位相分散曲線（3／6）

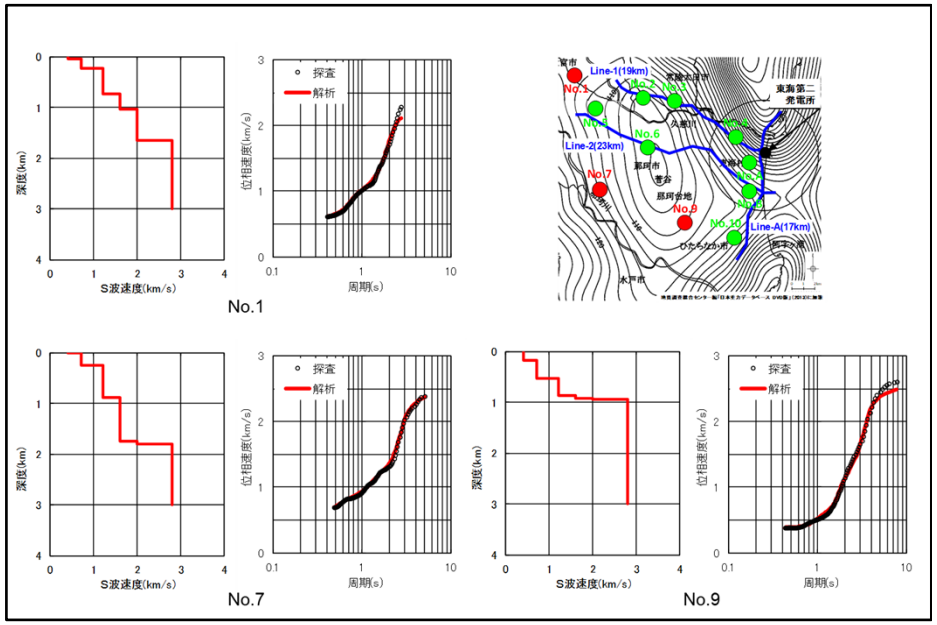
新規

■敷地周辺の微動アレイ探査結果

屈折法地震探査のLine-2測線付近で実施した微動アレイ探査結果及びその他の場所で実施した微動アレイ探査結果を下図に示す。



屈折法地震探査のLine-2測線付近で実施した微動アレイ探査結果



その他の場所で実施した微動アレイ探査結果

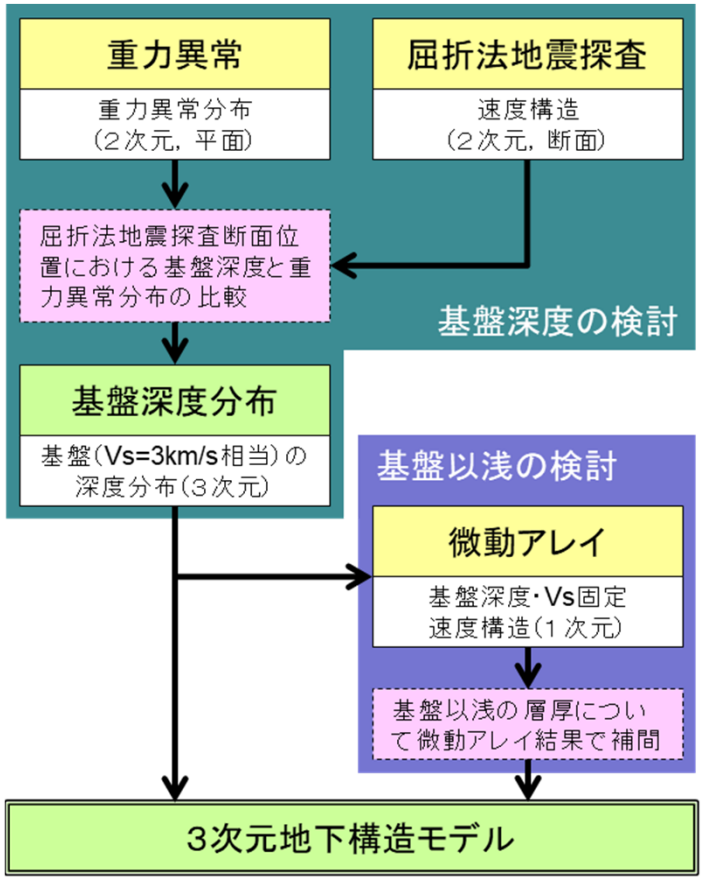
図は第338回審査会合資料より抜粋

既往の各種物理探査結果との関係： 位相分散曲線（4／6）

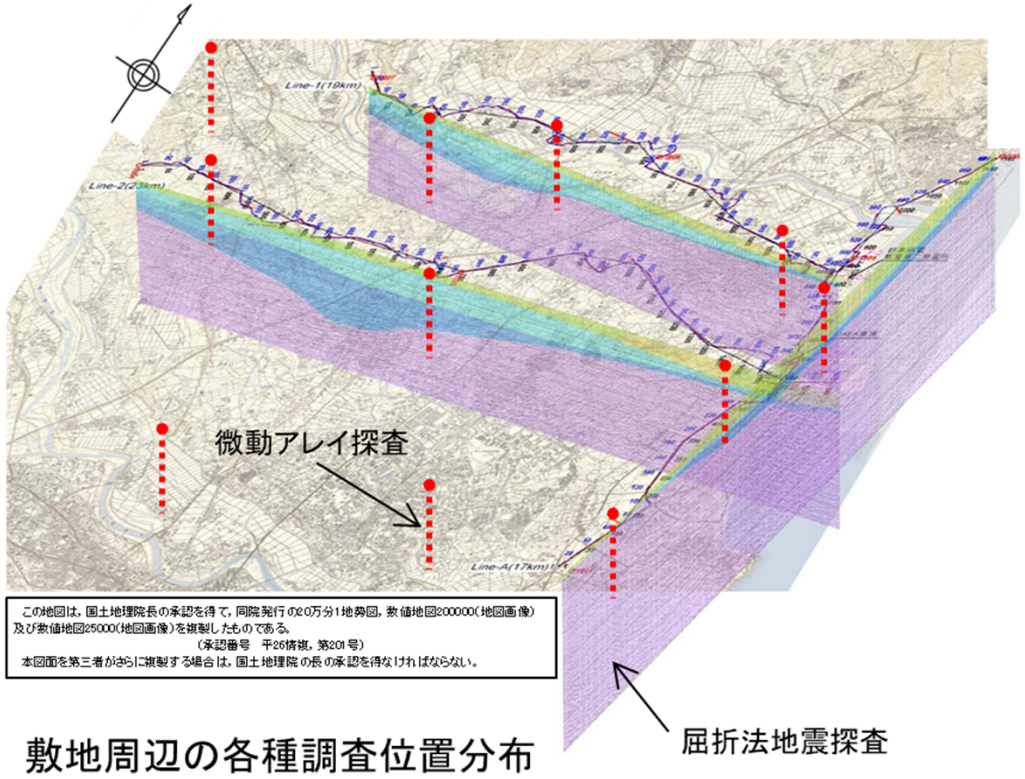
新規

■3次元地下構造モデルの作成

敷地周辺における重力異常分布，屈折法地震探査結果及び微動アレイ探査結果を基に，下記の手順で3次元地下構造モデルを作成している。



3次元地下構造モデル作成手順



敷地周辺の各種調査位置分布

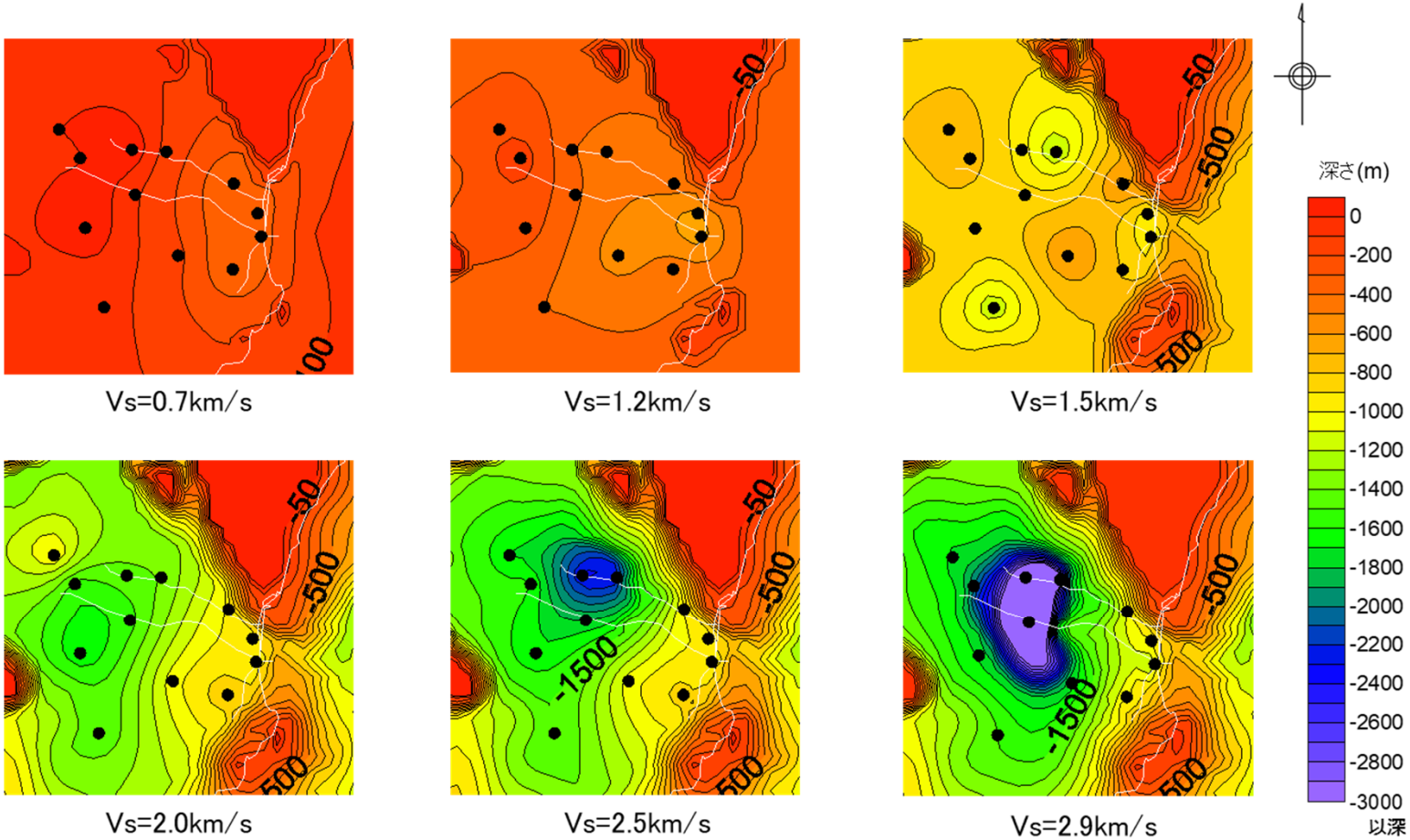
図は第338回審査会合資料より抜粋

既往の各種物理探査結果との関係： 位相分散曲線（5／6）

新規

■作成した3次元地下構造モデル

敷地周辺における重力異常分布，屈折法地震探査結果及び微動アレイ探査結果を基に作成した3次元地下構造モデル（S波速度層の上面深度分布図）を下記に示す。



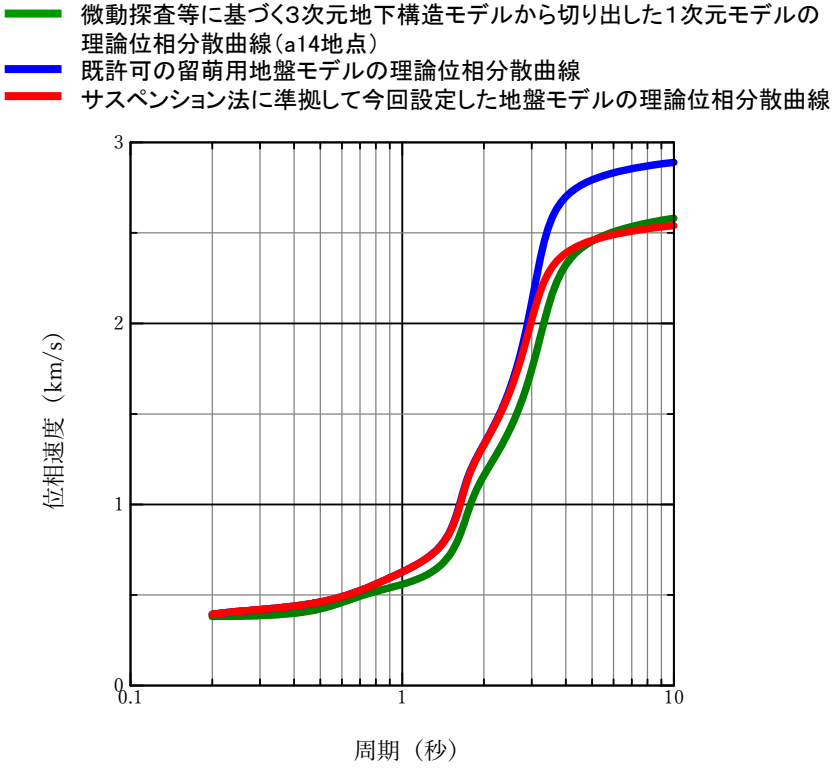
S波速度層の上面深度分布図

図は第338回審査会合資料より抜粋

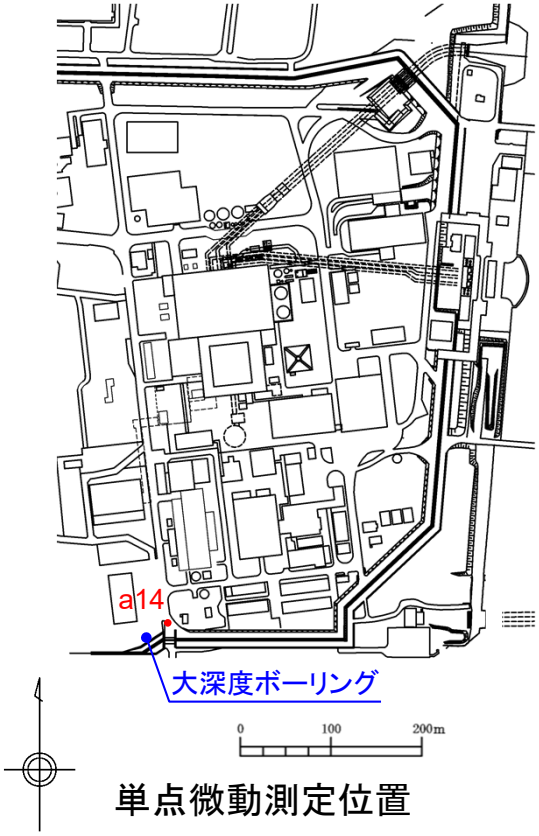
既往の各種物理探査結果との関係： 位相分散曲線（6／6）

新規

■微動探査等に基づく3次元地下構造モデルから敷地（大深度ボーリング位置に近いa14地点）での情報を切り出した1次元モデルによる理論位相分散曲線と，既許可の留萌用地盤モデル，今回設定した地盤モデルの理論位相分散曲線を比較し，関係を整理する。



各モデルの理論位相分散曲線に関する比較



単点微動測定位置

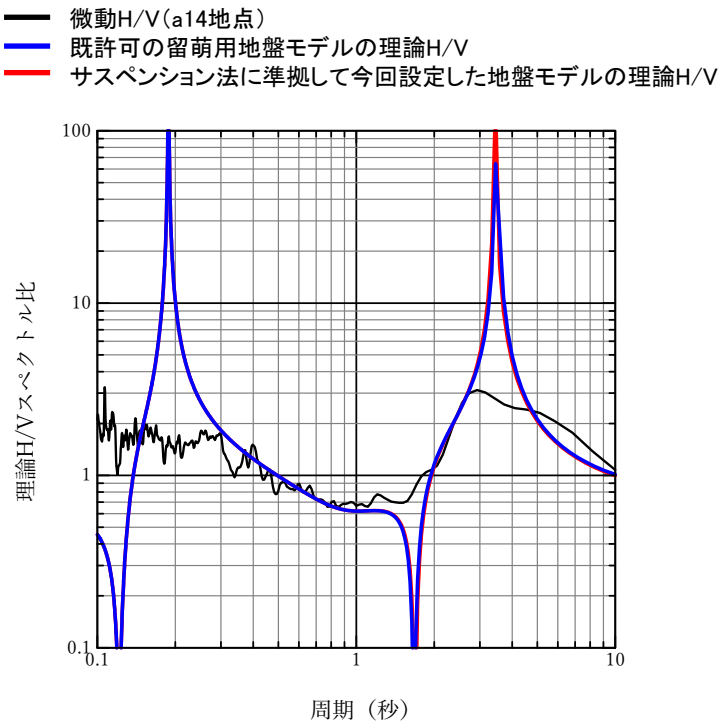
今回設定した地盤モデルと微動探査等に基づく3次元地下構造モデルから切り出した1次元モデルの理論位相分散曲線は，全周期帯において，良く整合していることを確認した。なお，周期3秒よりも長周期側において既許可の留萌用地盤モデルの位相速度が早くなっているのは，地震基盤相当面以深における速度構造の違いによるものと考えられる。

既往の各種物理探査結果との関係： H／Vスペクトル比

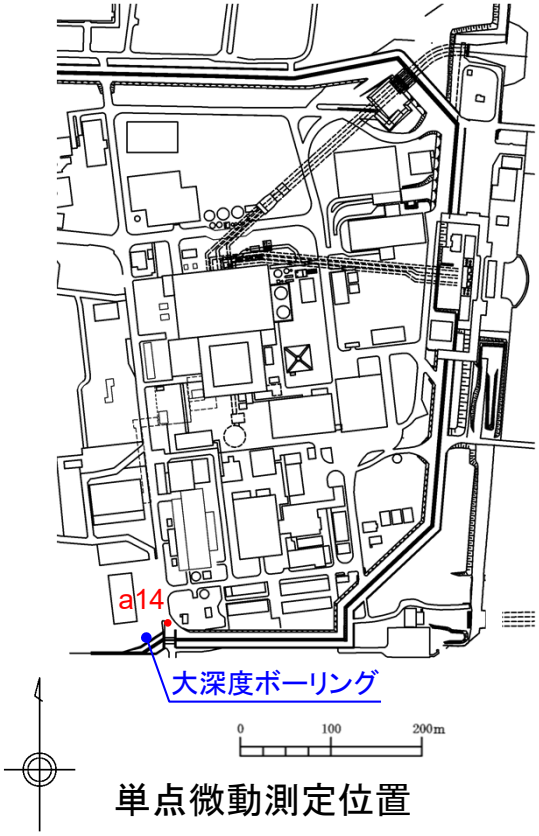
新規

■既許可の地下構造審査においては，敷地内における基盤の広がりを把握するため，敷地内で単点微動測定を実施し，H/Vスペクトル比の空間分布を検討している。

■大深度ボーリング位置に最も近いa14地点でのH/Vスペクトル比と，既許可の留萌用地盤モデル，今回設定した地盤モデルのレイリー波の理論H/Vを比較し，関係を整理する。



探査によるH/Vと2つのモデルのH/Vに関する比較



単点微動測定位置

H/Vスペクトル比に関してはモデルの違いが明瞭には現れず，ほぼ同じ形状を示しており，どちらもa14地点の微動H/Vスペクトル比のピークと同じ周期帯にピークが生じていることを確認した。

（2） 減衰定数の設定： 方針

■大深度地震計を含む鉛直アレイ地震観測記録を用いて減衰定数を設定する。

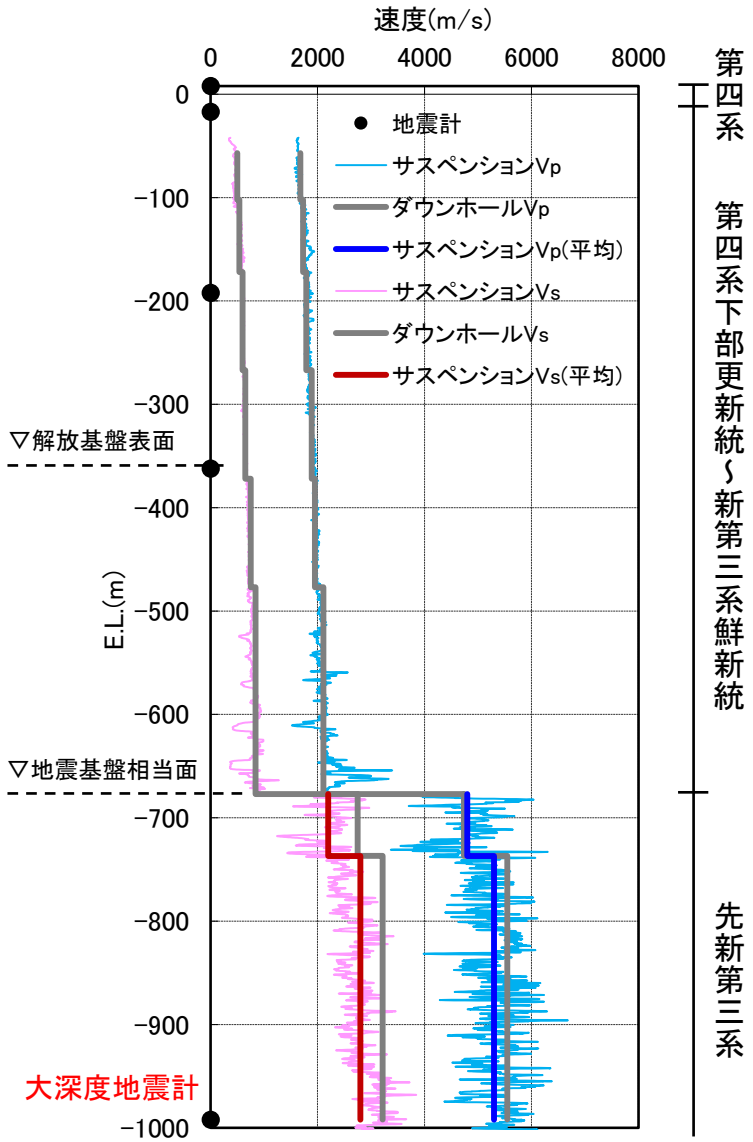
・大深度地震計は地震基盤相当面より深い位置（E.L.-992m）に設置されており，他の鉛直アレイ地震観測記録と併用することで，地震基盤相当面から解放基盤表面までの地震波の伝播の状況を直接調べることができる。そこで，大深度地震計を含めた鉛直アレイ地震観測記録の伝達関数の逆解析により，減衰定数（Q値）を求める。

・伝達関数の逆解析による減衰定数の同定範囲は地表面からE.L.-992mの範囲とする。

・地盤の減衰定数は一般に振動数依存が認められ，高振動数になるほど減衰定数が低下する性質があるが，それには下限が存在すると考えられることから（例えば佐藤他（2006）），減衰定数の同定に際しては，減衰定数の下限を考慮する。

参考　既許可での評価方法との比較

項目		2004年北海道留萌支庁南部地震の検討	本検討
設定方法	地表～解放基盤表面	E.L.-372m以浅の地震観測記録による同定解析	大深度地震観測記録を含めた同定解析
	解放基盤表面～地震基盤相当面	上記結果うち，第四系下部更新統～新第三系鮮新統の値を設定	
	地震基盤相当面以深	大深度地震観測記録を含めた同定解析	
減衰定数のモデル		振動数依存（下限考慮なし）	振動数依存（下限考慮あり）



大深度ボーリングのPS検層結果の例

減衰定数のモデルに関する知見： 武村他(1993)

新規

■概要

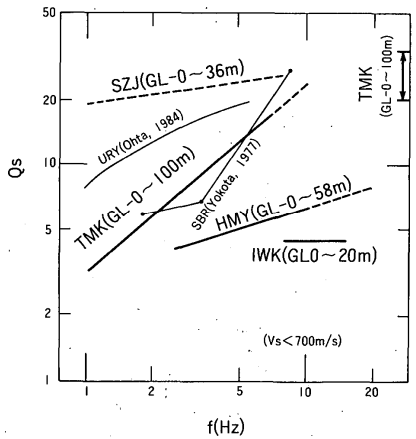
・第四紀層が比較的薄い堆積地盤の鉛直アレイ観測結果を用いて，スペクトル比の逆解析により減衰定数の推定を行った結果，Q値は周波数とともに増加する傾向（周波数依存性）がみられたとされている。

・富岡観測点（TMK）におけるPS検層結果から推定された30Hz付近の値を今回求めた結果と考え合わせると，高周波数側でのQ値の頭打ちがみられたとされている。

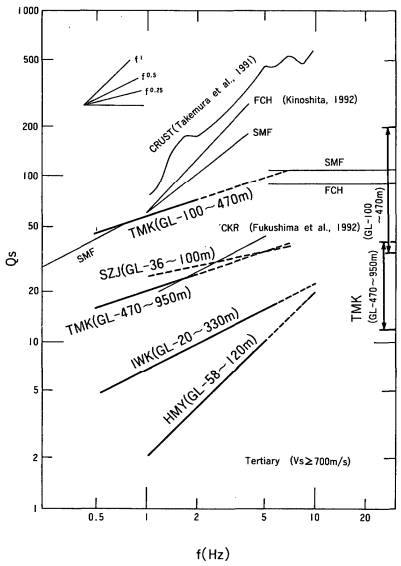
・地震波の減衰については， Intrinsicな減衰（内部減衰） の他に不均質媒質内を地震波が伝わる際の散乱によるみかけの減衰等， 複数の要因が重なり合っているものとされている。

・媒質の応力ーひずみ関係に基づく波動エネルギーの消費が内部減衰の有力な原因の一つと考えられるとしたうえで，「低周波数側でのQ値の周波数依存性が応力ーひずみ関係以外の効果によると考えると，それらの効果が低下する（Q 値が大きくなる）高周波数領域では，周波数に依存しない応力ーひずみ関係に基づくIntrinsicなQ値の影響が現れてくるとの解釈ができるかもしれない」とされている。

下線は当社で記載



Vs700m/s以下の浅部における
Q値の周波数依存性



Vs700m/s以上の深部における
Q値の周波数依存性

本研究
（実線に続く点線はほぼ平均的にスペクトル比のレベルをあわせることができた領域を示す）

既往研究

図は武村(1993)より抜粋，凡例の説明は当社で記載

減衰定数のモデルに関する知見： 福島・翠川(1994)

新規

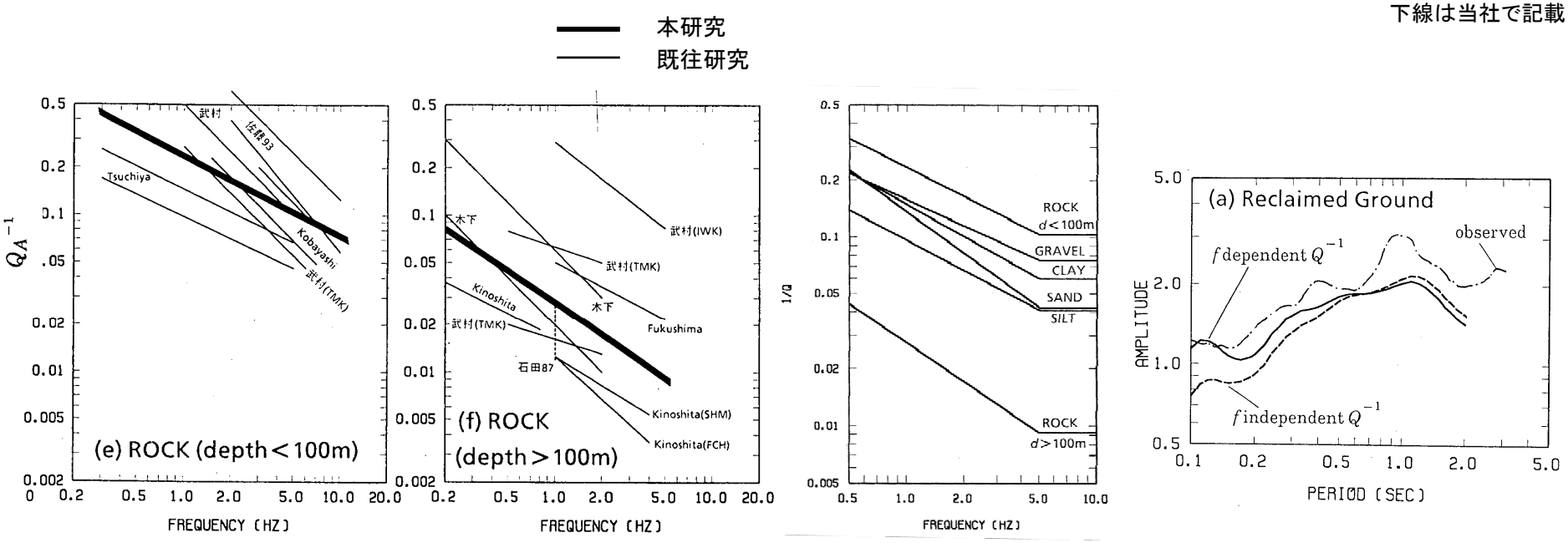
■概要

・地盤の減衰定数に関する数多くの既往研究結果に基づき，地盤の減衰定数の関数モデルとして，対象とする周波数帯域（0.5Hz～5Hz）において周波数依存性を考慮したモデルの提案がなされている。

・5Hz以上の高周波数帯域については，既往研究結果（武村他(1993)等）を踏まえ，減衰定数を一定として設定している。

・周波数依存性を考慮した減衰定数を用いて計算した地盤増幅率は，周波数に依存しない減衰定数を用いた場合に比べて，短周期領域（高周波数帯域）で，強震記録による地盤増幅率をよく説明しているとされている。

下線は当社で記載



土質毎に推定された周波数と
Q^{-1}値（代表的なVsによる値となるよう補正）との関係

土質毎に設定した減衰定数のモデル
（周波数依存を考慮）

地盤増幅率の比較の例

図は福島・翠川(1994)より抜粋，凡例の説明は当社で記載

減衰定数のモデルに関する知見： 木下・大池(2002)

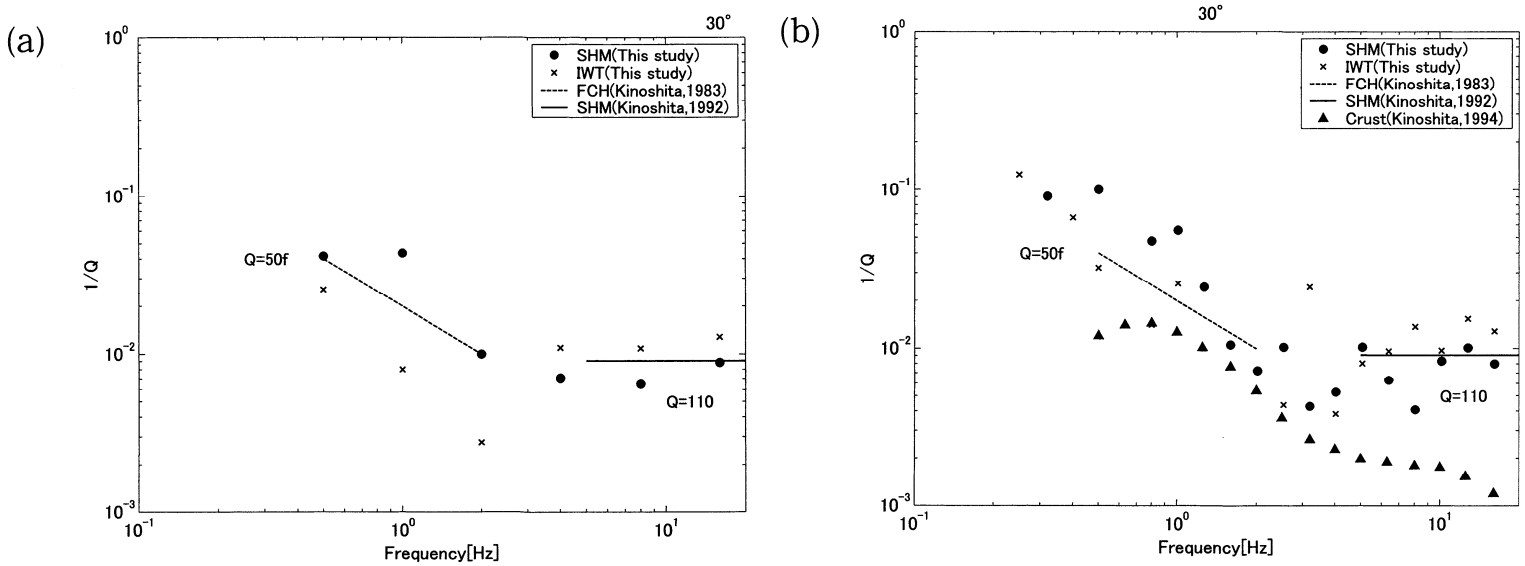
新規

■概要

・関東平野に存在する深層ボーリングでの鉛直アレイを対象に，減衰定数の関数モデルを設定せずに減衰定数の同定を行っている。

・その結果，減衰定数にはある周波数から下限値が存在し，それより高周波数側で周波数依存性が見られなくなることを示している。

下線は当社で記載



（a） フーリエ振幅スペクトルをオクターブ帯域幅で平滑化した場合

（b） フーリエ振幅スペクトルを1/3オクターブ帯域幅で平滑化した場合

同定した減衰定数と既往研究による減衰定数の比較

本研究（基盤への入射角を30° と仮定）：● SHM（下総観測点），× IWT（岩槻観測点））
既往研究：---- FCH（府中観測点）（木下(1983)），── SHM（下総観測点）（Kinoshita(1992)），
▲ 南関東地方の地殻（Kinoshita(1994)）

図は木下・大池(2002)より抜粋，凡例の説明は当社で記載

減衰定数のモデルに関する知見： 佐藤他(2006)

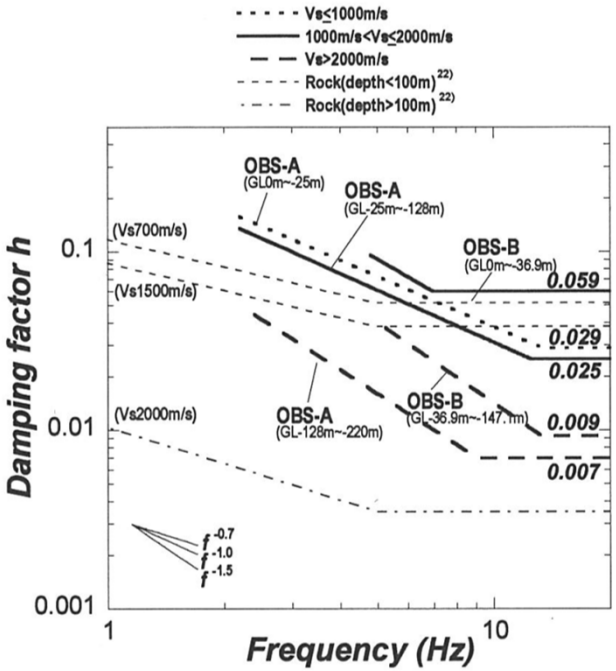
新規

■概要

・岩盤の減衰定数には下限が存在することを示した木下・大池（2002）等の知見を踏まえ，スペクトル比の逆解析による岩盤の減衰定数の同定において，減衰定数の下限値を考慮できる関数モデルの提案がなされている。

・安山岩や凝灰角礫岩で構成される観測点（OBS-A）と砂岩や頁岩などの堆積岩で構成される観測点（OBS-B）を対象に，スペクトル比の逆解析を行い減衰定数の下限を評価したところ，既往の室内試験による微小ひずみの履歴減衰とよく対応しているとされている。

下線は当社で記載



同定した減衰定数と既往研究による減衰定数の比較

本研究： ····· Vs≦1000m/s
── 1000m/s＜Vs≦2000m/s
－－ Vs＞2000m/s
既往研究： －－－ 深さ＜100mの観測点（堆積岩）（福島・翠川(1994)）
－·· 深さ＞100mの観測点（堆積岩）（福島・翠川(1994)）

既往の室内試験による岩盤の微小ひずみの履歴減衰

Rock	Damping facter	Shear strain (%)	Vs (m/s)	Depth (m)	References
Sandstone	0.01~0.02	0.001	1400	74.4	Shima et al. 25)
	0.006*	0.0002	1200	520	Yoshikawa et al. 27)
Mudstone	0.015~0.02	0.002	540	50	Nishi and Esashi 26)
Granite	0.01	0.0001	2800	317	Shima et al. 25)
Granodiorite	0.005*	0.0006	2800	990	Yoshikawa et al. 27)

*±0.005

図は佐藤他（2006）より抜粋，凡例の説明は当社で記載

減衰定数のモデルに関する知見： Fukushima et al.(2016)

新規

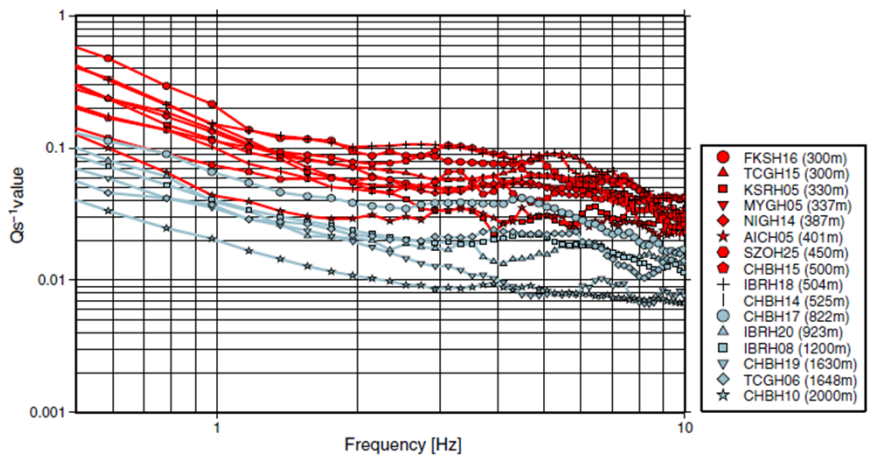
■概要

・ボアホール記録のSH波を用いてQ^{-1}値（減衰定数）を推定する方法として，デコンボリューションを用いた方法を提案し，KiK-netひたちなか（IBRH18）観測点を含む16箇所のKiK-net地中観測点を対象に，Q^{-1}値の推定を行っている。

・その結果，0.5～10Hzで安定してQ^{-1}値が得られ，約2～3 Hzまでの振動数で減少するが，それより高い振動数ではほぼ一定となることを示した。

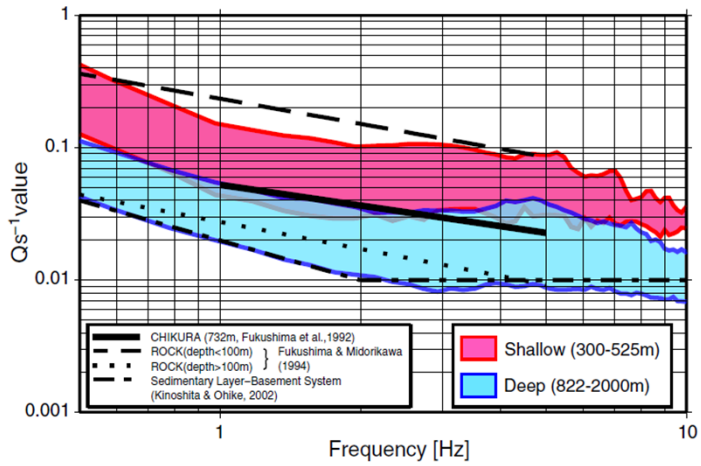
・このようなQ^{-1}値の折れ曲がり（減衰定数の下限）は，岩盤の減衰定数には下限が存在することを示した木下・大池（2002）の結果と共通するとされている。

下線は当社で記載



16箇所のKiK-net地中観測点における減衰定数の推定結果

— 深さ500m以浅の観測点
— 深さ800m以深の観測点



推定した減衰定数と既往研究による減衰定数の比較

本研究： 深さ300～525mの観測点の推定領域
深さ822～2000mの観測点の推定領域
既往研究：—— 千倉観測点（深さ732m）（Fukushima et al.(1992)）
- - - 深さ＜100mの観測点（堆積岩）（福島・翠川(1994)）
····· 深さ＞100mの観測点（堆積岩）（福島・翠川(1994)）
-·- 非常に深い観測点（堆積層-基盤系）（木下・大池(2002)）

図はFukushima et al.(2016)より抜粋，凡例の説明は当社で記載

減衰モデルの考え方

新規

■地震動評価に用いる減衰定数の設定に関する知見の整理

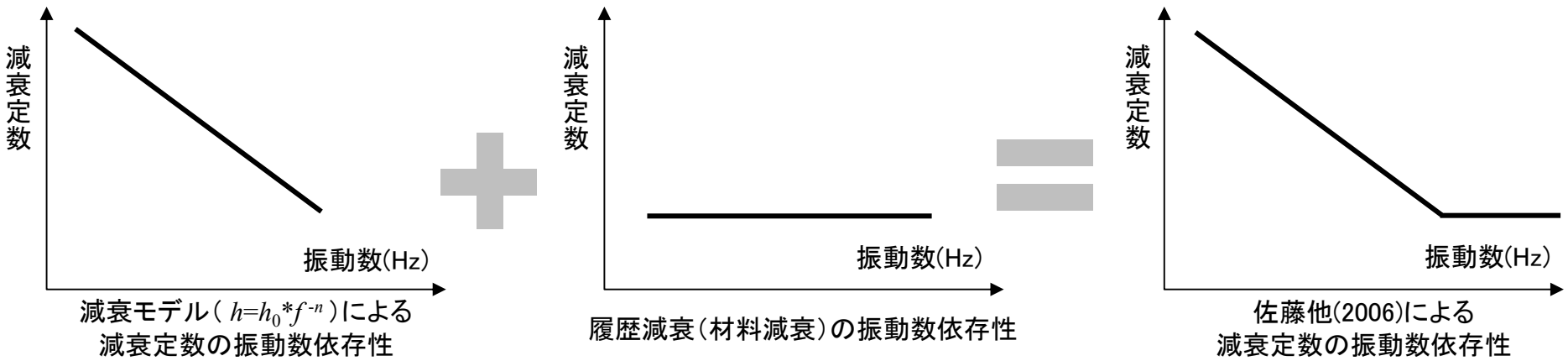
・伝達関数の逆解析に関する既往研究（例えば福島・翠川(1994)）では，対象とする振動数帯域で減衰定数が振動数の負のべき乗に比例する関数モデル（$h=h_0*f^{-n}$）を用いている。

・一方，減衰定数の関数モデルを設定しないで同定を行った木下・大池(2002)によれば，減衰定数にはある振動数から下限値が存在し，それより高振動数側で振動数依存性が見られなくなることを示している。

・高振動数帯で減衰定数が一定となる要因として，振動数に依存しない微小ひずみの履歴減衰（材料減衰）の存在が指摘されている（例えば武村他(1993)，佐藤他(2006)）。

・最近の研究として，複数のKiK-net観測点を対象に地震波のデコンボリューションを用いる方法により減衰定数を推定したFukushima et al.(2016)においても，木下・大池(2002)と同様，減衰定数の下限値の存在が示されている。

以上のように，減衰定数の下限を示す評価事例が蓄積されてきたことから，減衰定数の同定に際しては，振動数依存性と高振動数帯での下限を考慮する。



逆解析に用いる減衰モデルのイメージ図

地盤同定解析に用いる地震の選定

新規

■地盤同定解析に用いる検討対象地震については，標準応答スペクトルの策定において対象とされた地震同様，内陸地殻内地震とし，具体的には下記に示す手順に従って選定する。

【検討対象地震の選定条件】

- 地震発生様式　：内陸地殻内地震
- 対象期間　　：2012年8月～2019年1月　（2012年8月は大深度地震観測の開始時期）
- 震源深さ　　：25km以浅

上記選択条件の地震

↓

P波・S波の初動が明瞭な地震（23地震を選定）

↓

全体の伝達関数を代表する地震（5地震を選定）

↓

マグニチュードの大きい3地震を選定※

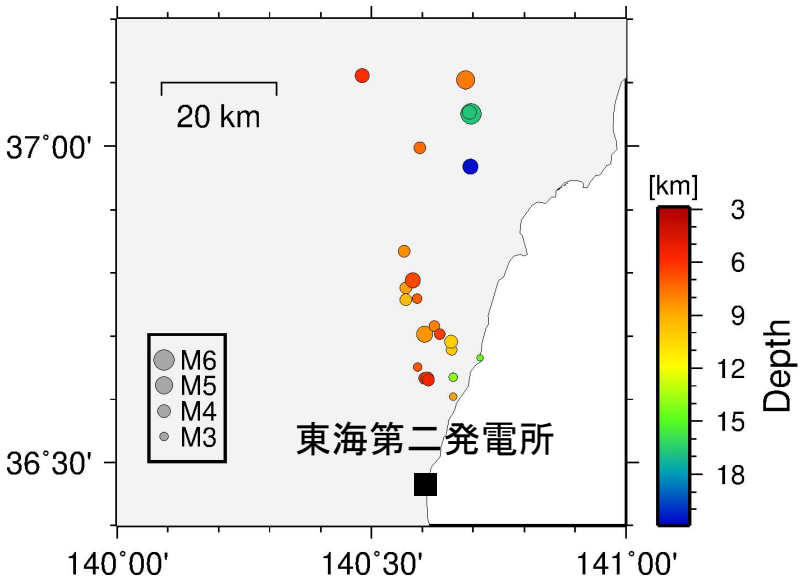
地盤同定解析に用いる地震の選定フロー

※ 比較的規模の大きい地震を選定することで，振幅が大きく，また広帯域の振動数成分が含まれることになる。その結果，S/Nが大きくなり，地盤同定解析に用いる伝達関数の精度が高まる。

地盤同定解析に用いる地震の選定： 23地震の選定

新規

■2012年8月～2019年1月に観測した地震から，P波・S波の初動が明瞭に見られた下記に示す23地震を選定する。



選定した23地震の震央分布図

23地震の諸元

No.	発震日時		震央位置		マグニチュード	震源深さ (km)	震央距離 (km)
			緯度（度）	経度（度）			
1	2012/08/10	07:18	36.7590	140.5900	3.2	7.2	32.6
2	2012/11/12	00:12	36.6350	140.6600	3.0	13.9	19.4
3	2013/01/13	02:54	36.6510	140.5910	3.1	7.0	20.6
4	2013/01/15	09:08	36.6040	140.6600	2.9	8.8	16.1
5	2013/01/31	23:53	36.7030	140.6040	4.7	8.4	26.0
6	2013/02/24	13:55	36.9680	140.6940	4.5	20.6	56.0
7	2013/04/25	16:16	37.1110	140.4820	4.2	6.0	72.5
8	2013/06/04	13:09	36.7580	140.5670	3.7	9.6	32.6
9	2013/07/12	03:18	36.7760	140.5670	3.8	8.7	34.6
10	2013/07/23	12:02	37.1040	140.6850	5.2	7.8	71.2
11	2013/08/14	09:45	36.6330	140.6040	3.8	6.3	18.6
12	2013/08/14	14:31	36.6330	140.6100	4.1	6.3	18.6
13	2013/08/19	11:22	36.6310	140.6120	3.8	5.7	18.3
14	2013/09/20	02:25	37.0510	140.6950	5.9	16.7	65.0
15	2013/09/26	14:44	36.7160	140.6230	3.6	8.0	27.8
16	2013/09/27	07:37	37.0530	140.6920	4.2	16.7	65.6
17	2013/11/12	03:28	36.7030	140.6338	3.6	6.4	26.4
18	2014/01/09	04:08	36.7885	140.5810	4.6	6.6	35.9
19	2014/03/27	14:20	36.8345	140.5643	3.8	8.3	41.1
20	2014/04/01	01:15	36.6780	140.6570	3.6	10.0	24.0
21	2014/07/03	07:57	36.6910	140.6560	4.0	10.2	25.4
22	2014/08/08	03:47	36.6660	140.7130	2.5	14.6	24.2
23	2014/11/17	08:59	36.9970	140.5950	3.8	7.5	59.0

地盤同定解析に用いる地震の選定結果： Transverse方向

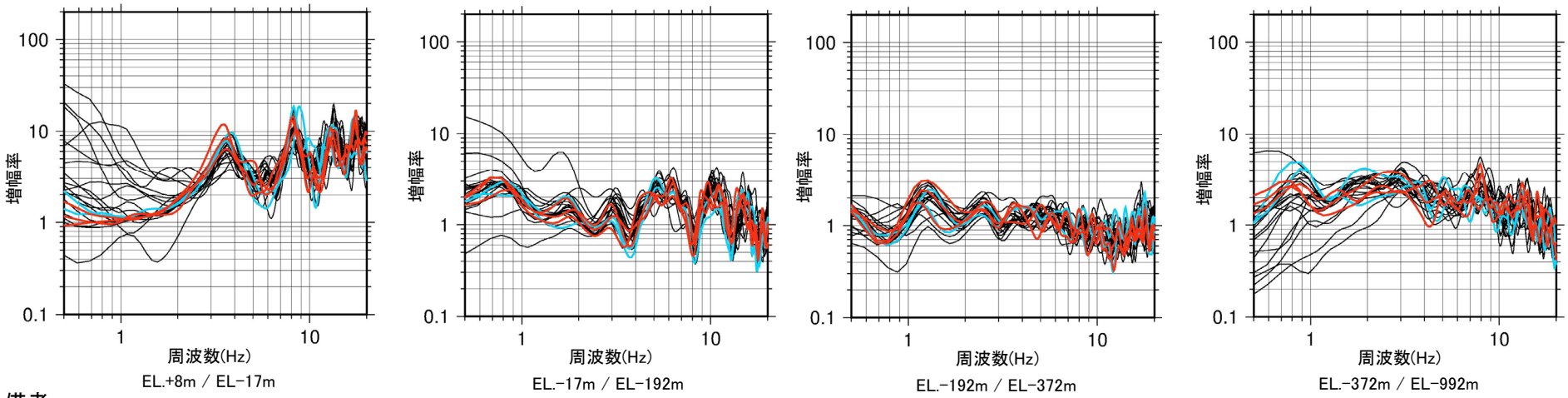
新規

■P波・S波の初動が明瞭に見られた23地震の伝達関数を比較して，全体の伝達関数を代表する地震を5地震選定し，このうちマグニチュードが大きい3地震を地盤同定解析に用いる地震に選定する。

伝達関数を代表する5地震

No.	発震日時		震央位置		マグニチュード	震源深さ (km)	震央距離 (km)
			緯度(度)	経度(度)			
5	2013/01/31	23:53	36.7030	140.6040	4.7	8.4	26.0
6	2013/02/24	13:55	36.9680	140.6940	4.5	20.6	56.0
14	2013/09/20	02:25	37.0510	140.6950	5.9	16.7	65.0
18	2014/01/09	04:08	36.7885	140.5810	4.6	6.6	35.9
21	2014/07/03	07:57	36.6910	140.6560	4.0	10.2	25.4

網掛け： 地盤同定解析に用いる3地震



備考
伝達関数は，0.5HzのParzen windowで平滑化。

23地震の伝達関数（Transverse方向）

・P波・S波の初動が明瞭に見られた23地震の伝達関数については，3Hz以下の周波数帯では，イベント毎のばらつきが大きいものの3Hz以上の周波数帯では小さくなっている。

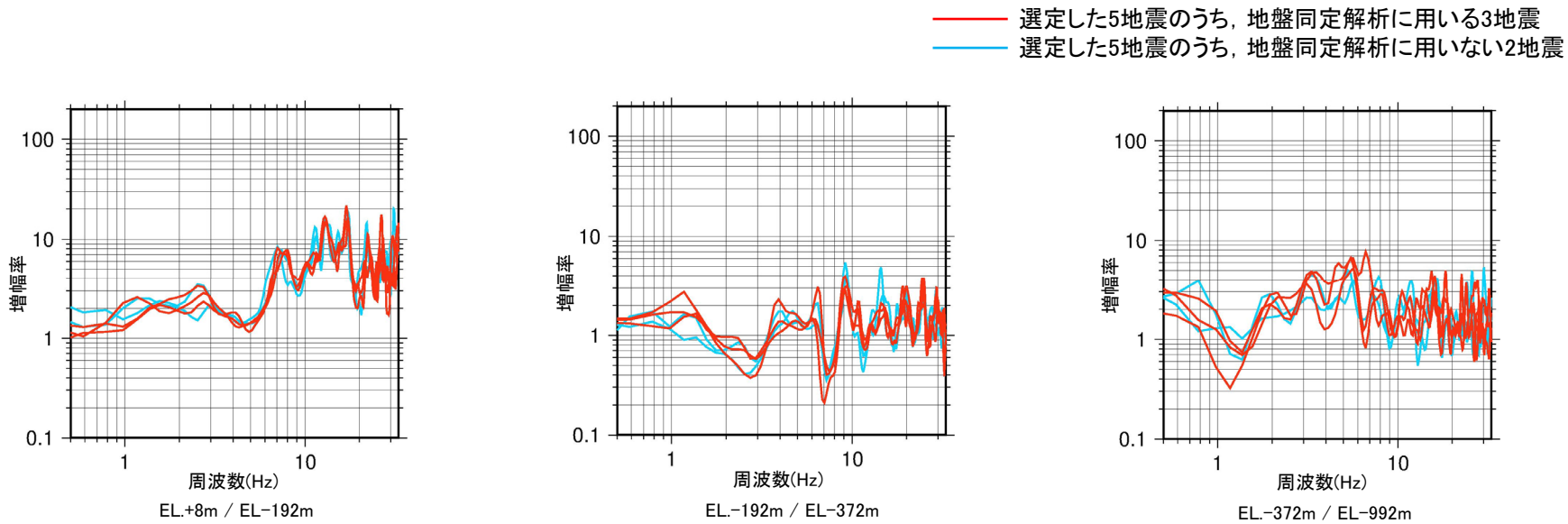
・全体の伝達関数を代表するよう5地震を選定した段階で，3Hz以下も含めた全周波数帯において伝達関数のばらつきは小さくなり，地盤同定解析に用いる3地震と他の2地震の伝達関数に大きな差はない。

地盤同定解析に用いる地震の選定結果： UD方向

新規

■UD方向の地盤同定解析に用いる地震は， Transverse方向の地盤同定解析に用いた地震と同じものを用いる。

■UD方向の伝達関数に関して，Transverse方向の検討で選定した5地震と地盤同定解析に用いる3地震の伝達関数を比較して下に示す。



選定した5地震の伝達関数（UD方向）

備考
・伝達関数は，0.5HzのParzen windowで平滑化。
・UD方向のE.L.-17mの地震計は故障のため欠測。現在は復旧済。

UD方向の伝達関数についても，Transverse方向同様，5地震を選定した段階で，全周波数帯において伝達関数のばらつきは小さく，地盤同定解析に用いる3地震と他の2地震の伝達関数に大きな差はない。

地盤同定解析に用いる3地震について

新規

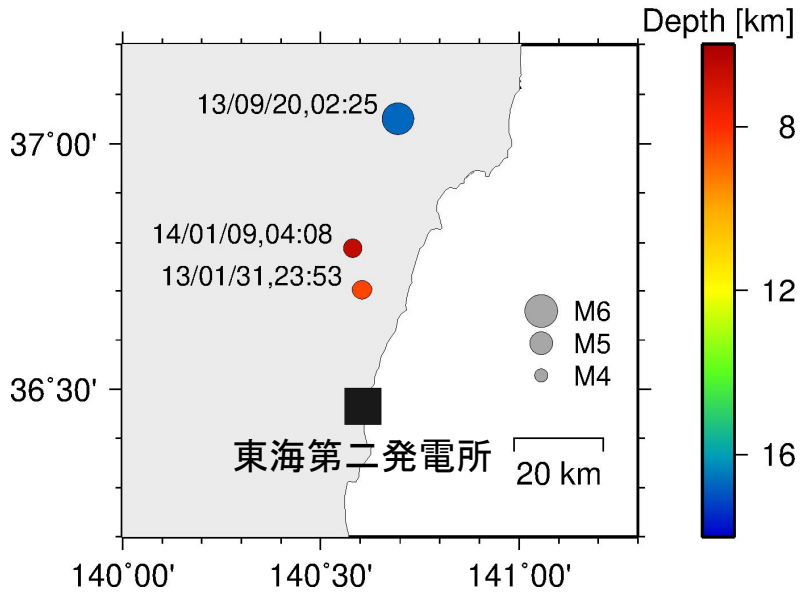
■前頁までの検討により，地盤同定解析に用いる3地震の伝達関数について，以下のとおり整理する。

・P波，S波初動の明瞭な23地震選定の段階では，およそ3Hz以下の低周波数帯でばらつきは大きいものの，3Hz以上の高周波数帯では小さくなり，更に，全体を代表する5地震を選定した段階で全周波数帯でばらつきは小さくなる。

・全体を代表する5地震の伝達関数では，Transverse方向，UD方向とも伝達関数の違いは小さいことを確認した上で，マグニチュードの大きい3地震を地盤同定解析に用いる地震として選定する。

23地震全体の伝達関数の中から代表性のあるものとして5地震の伝達関数を選定し，それらの伝達関数に大きな差はないことを確認している。従って，検討に用いる3地震の選定プロセスの段階で，3地震以外の地震の記録での検証を行い，最終的に用いる3地震の記録の妥当性を確認している。

■地盤同定解析に用いる3地震の諸元を下記に示す。



検討対象3地震の震央分布図

検討対象3地震の諸元

No.	発震日時		震央位置		マグニチュード	震源深さ (km)	震央距離 (km)
			緯度（度）	経度（度）			
5	2013/01/31	23:53	36.7030	140.6040	4.7	8.4	26.0
14	2013/09/20	02:25	37.0510	140.6950	5.9	16.7	65.0
18	2014/01/09	04:08	36.7885	140.5810	4.6	6.6	35.9

解析条件及び探索範囲（1／2）

第994回審査会合
資料1－2再掲

■Q値を対象に地盤同定解析を行う。

■Q値の上限（減衰定数の下限）を考慮したバイリニア型のモデルを用いる。また，Q値のS波速度（Vs），P波速度（Vp）依存を考慮する。

① 地表（E.L.8m）からE.L.-372mで観測した地震記録をもとに地盤同定解析を行い設定した地盤モデルを用いる。

② 概ね100m程度を目安に層厚を設定する。

③ E.L.-372m ～-476mの地盤物性については，上層との連続性を考慮し，上層と同じ値を設定する。

④ E.L.-476m～-679mの地盤物性については，調査結果に基づく標高依存式より算出する。

⑤ E.L.-679m以深のS波速度及びP波速度については，1000mボーリングにおけるPS検層（サスペンション法）結果，密度については1000mボーリングにおける密度検層結果を基に設定する。

⑥ 地表（E.L.8m）からE.L.-992mで観測した地震記録をもとに地盤同定解析を行う。

同定解析における探索範囲

固定パラメータ						探索範囲					
E.L. (m)	層厚 (m)	地層	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	Q=(Vs/n)(f/f0)^α 水平			Q=(Vp/n)(f/f0)^α 鉛直		
						n	α	fo	n	α	fo
● 8.0											
5.5	2.5	第四系	① 130	280	1.71	⑥ 1-50	0.0-1.5	1.0-20.0	1-200	0.0-1.5	1.0-33.3
1.0	4.5		151	403							
-7.0	8.0		308	1589	1.66						
-15.0	8.0		478	1509	1.82						
● -17.0	2.0	第四系下部更新統～新第三系鮮新統	477	1753	1.69	10-80	0.0-1.5	1.0-20.0	10-320	0.0-1.5	1.0-33.3
-106.0	89.0										
-168.0	62.0		557	1742	1.74						
● -192.0	24.0		669	2067	1.78						
-260.0	68.0										
-368.0	108.0		756	2256	1.82						
▽解放基盤表面 -370.0	2.0		790	2000	1.85						
● -372.0	2.0										
-476.0	104.0		② 790	③ 2000	1.85						
-566.0	90.0		835	2124	1.89						
-655.0	89.0		904	④ 2205	2.00						
▽地震基盤相当面 -679.0	24.0		947	2256	2.07						
-734.0	55.0	先新第三系	⑤ 2200	4800	2.65	10-100	0.0-1.5	1.0-20.0	10-400	0.0-1.5	1.0-33.3
● -992.0	258.0		2800	5300	2.78						
	-		2800	5300	2.78						

●： 地震計位置

網掛け： 第409回審査会合の2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた値と異なる箇所

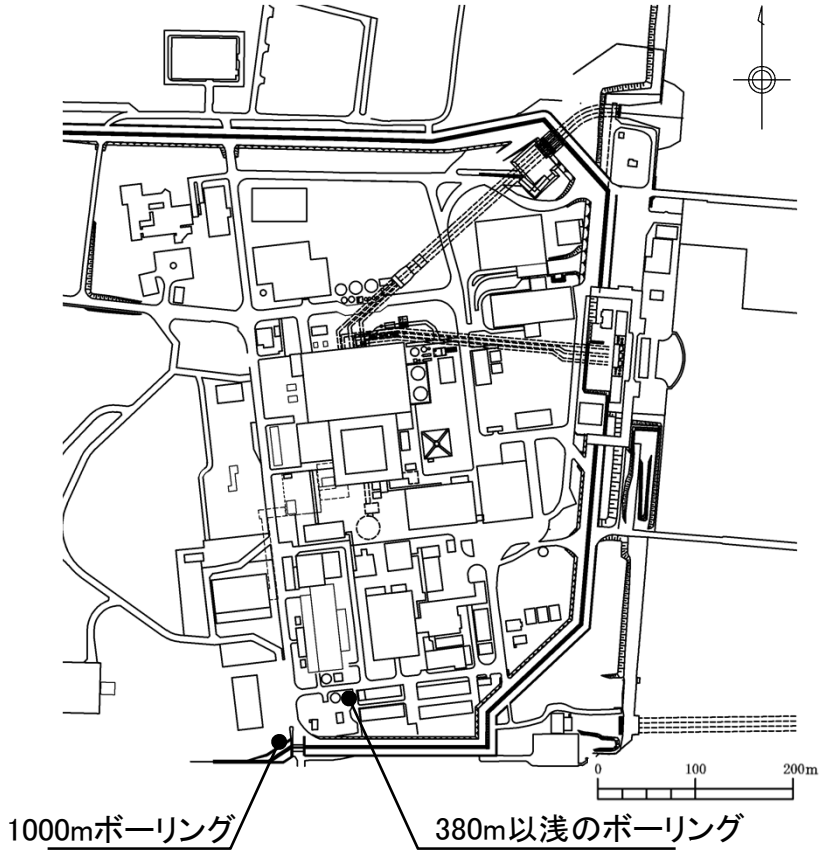
解析条件及び探索範囲（2／2）

第994回審査会合
資料1－2修正

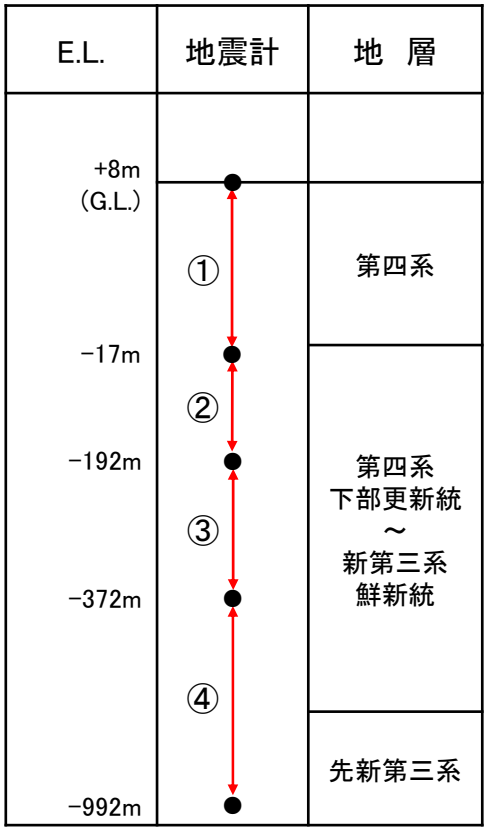
■地震計間の伝達関数には，①E.L.+8m／E.L.-17m，②E.L.-17m／E.L.-192m，③E.L.-192m／E.L.-372m，④E.L.-372m／E.L.-992mの4ペアを用いる。

■前述した3地震の観測記録の伝達関数を同時にフィッティングさせてQ値を同定する。フィッティングに際しては3地震それぞれの入射角も未知数として同定対象とする。

■逆解析については5回の試行を行い，そのうち最小の解を結果とする。



地震計の設置位置



● :地震計

地震計の設置深さ

入射角

No.	地震	入射角探索範囲※	
		Transverse 方向	UD 方向
5	2013/01/31	55-65	60-70
14	2013/09/20	30-40	45-55
18	2014/01/09	25-35	55-65

※震源と観測点の位置関係及びE.L.-992mの地震計のUD方向-Transverse方向のオービットに基づき設定。

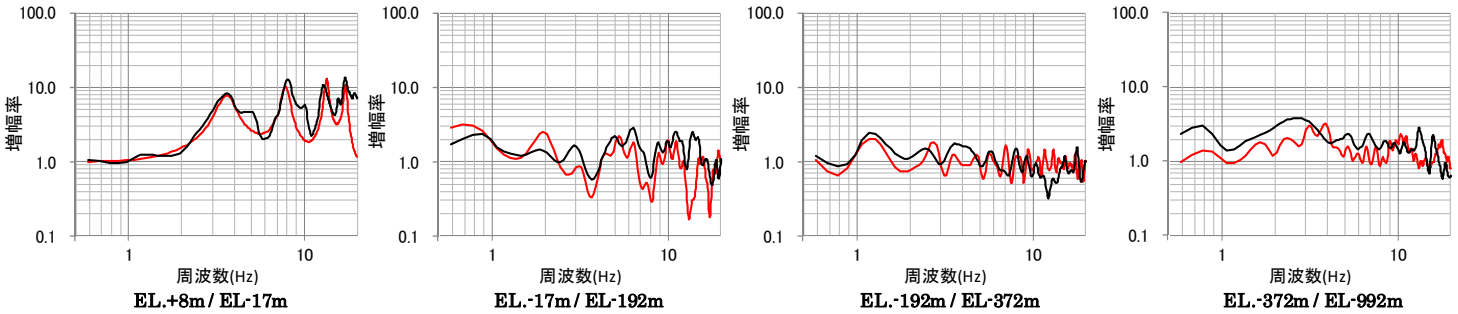
観測伝達関数と理論伝達関数の比較（Transverse方向）

第994回審査会合
資料1－2修正

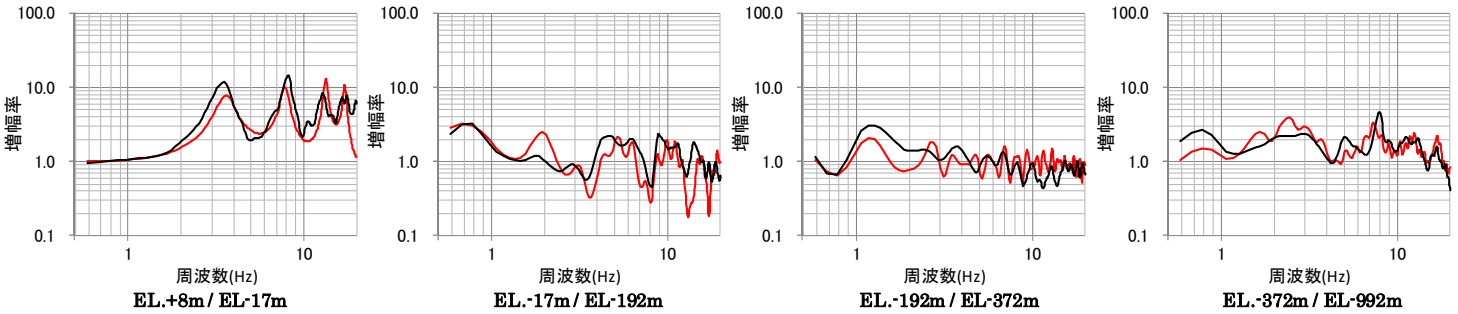
■観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数を下記に示す。同定結果は観測記録を再現している。

同定結果
観測記録

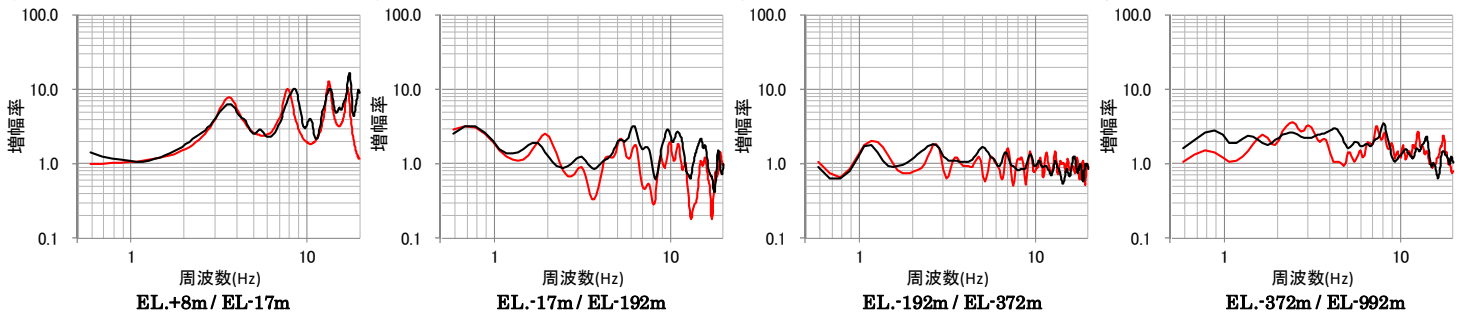
2013年1月31日
入射角：55.63°



2013年9月20日
入射角：30.22°



2014年1月9日
入射角：34.30°



観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数

備考
対象周波数：0.5～20Hz。地震観測記録の伝達関数は，0.5HzのParzen windowで平滑化。

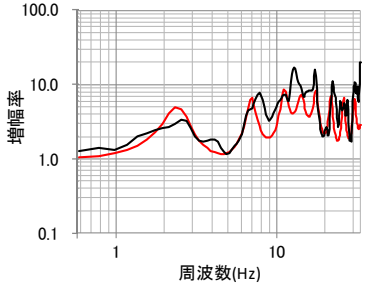
観測伝達関数と理論伝達関数の比較（UD方向）

第994回審査会合
資料1－2修正

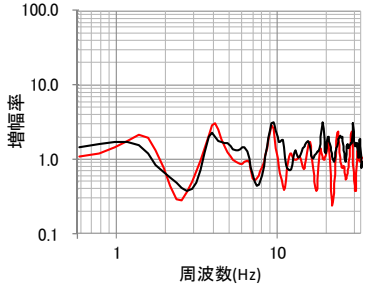
■観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数を下記に示す。同定結果は観測記録を再現している。

同定結果
観測記録

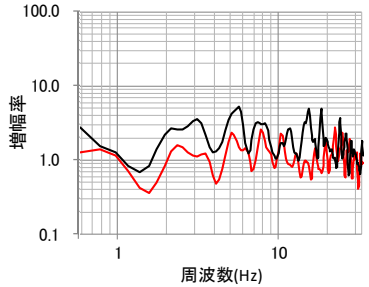
2013年1月31日
入射角：60.74°



EL.+8m / EL.-192m

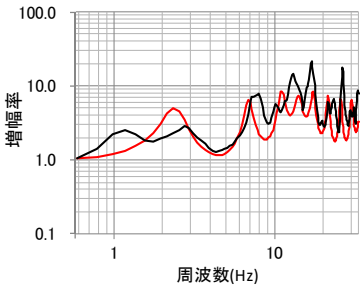


EL.-192m / EL-372m

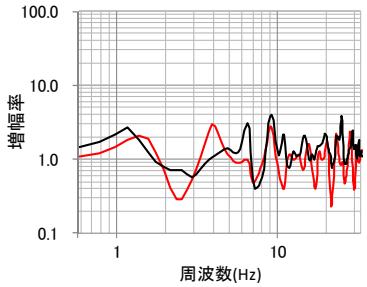


EL.-372m / EL-992m

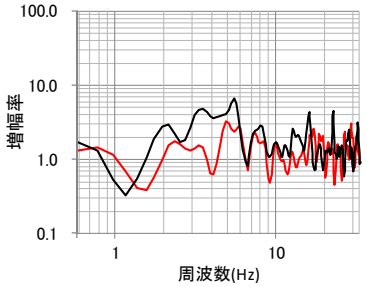
2013年9月20日
入射角：45.27°



EL.+8m / EL.-192m

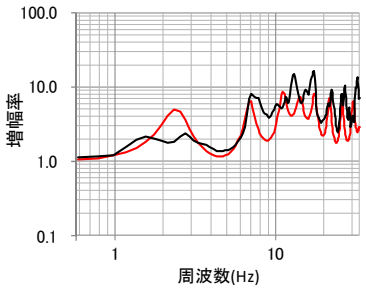


EL.-192m / EL-372m

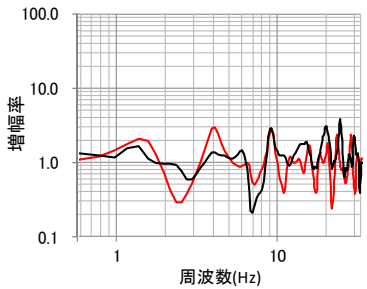


EL.-372m / EL-992m

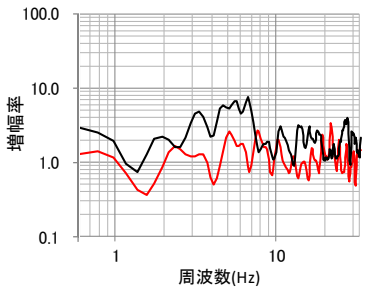
2014年1月9日
入射角：55.99°



EL.+8m / EL.-192m



EL.-192m / EL-372m



EL.-372m / EL-992m

観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数

備考
・対象周波数：0.5～33Hz。地震観測記録の伝達関数は，0.5HzのParzen windowで平滑化。
・UD方向のE.L.-17mの地震計は故障のため欠測。現在は復旧済。

地盤モデルの設定結果

第994回審査会合
資料1－2再掲

■Q値の同定結果及び標準応答スペクトルに基づく地震動評価のために新たに設定した地盤モデルを下表に示す。

新たに設定した地盤モデル

（減衰定数hはQ=1/(2h)の関係より算定）

固定パラメータ							同定結果							
E.L. (m)	層厚 (m)	地層	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	Q=(Vs/n)(f/f0)^α 水平			Q=(Vp/n)(f/f0)^α 鉛直			減衰定数h(f) 水平	減衰定数h(f) 鉛直
						n	α	fo	n	α	fo		
● 8.0													
5.5	2.5	第四系	130	280	1.71	5	1.32	18.74	44	0.91	19.45	$0.921f^{-1.32}$ (f≦18.74) 0.019 (f>18.74)	$1.170f^{-0.91}$ (f≦19.45) 0.079 (f>19.45)
1.0	4.5		151	403								$0.793f^{-1.32}$ (f≦18.74) 0.017 (f>18.74)	$0.813f^{-0.91}$ (f≦19.45) 0.055 (f>19.45)
−7.0	8.0		308	1589	1.66							$0.389f^{-1.32}$ (f≦18.74) 0.008 (f>18.74)	$0.206f^{-0.91}$ (f≦19.45) 0.014 (f>19.45)
−15.0	8.0		478	1509	1.82							$0.250f^{-1.32}$ (f≦18.74) 0.005 (f>18.74)	$0.217f^{-0.91}$ (f≦19.45) 0.015 (f>19.45)
● −17.0	2.0	第四系 下部更新統 ～ 新第三系鮮新統	477	1753	1.69	13	1.05	6.78	28	1.05	31.74	$0.102f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.014 (f>6.78)	$0.301f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.008 (f>31.74)
−106.0	89.0												
−168.0	62.0		557	1742	1.74							$0.087f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.012 (f>6.78)	$0.303f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.008 (f>31.74)
● −192.0	24.0		669	2067	1.78							$0.072f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.010 (f>6.78)	$0.256f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
−260.0	68.0												
−368.0	108.0		756	2256	1.82							$0.064f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.009 (f>6.78)	$0.234f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f>31.74)
▽解放基盤表面 −370.0	2.0		790	2000	1.85							$0.061f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f>6.78)	$0.264f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
● −372.0	2.0											$0.061f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f>6.78)	$0.264f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
−476.0	104.0		790	2000	1.85							$0.061f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f>6.78)	$0.264f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
−566.0	90.0		835	2124	1.89							$0.058f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f>6.78)	$0.249f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
−655.0	89.0		904	2205	2.00							$0.054f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.007 (f>6.78)	$0.240f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f>31.74)
▽地震基盤相当面 −679.0	24.0		947	2256	2.07							$0.051f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.007 (f>6.78)	$0.234f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f>31.74)
−734.0	55.0	先新第三系	2200	4800	2.65	53	0.21	1.31	20	0.23	16.46	$0.013f^{-0.21}$ (f≦1.31) 0.012 (f>1.31)	$0.004f^{-0.23}$ (f≦16.46) 0.002 (f>16.46)
● −992.0	258.0		2800	5300	2.78							$0.010f^{-0.21}$ (f≦1.31) 0.009 (f>1.31)	$0.004f^{-0.23}$ (f≦16.46) 0.002 (f>16.46)
	−		2800	5300	2.78								

●： 地震計位置

（3） まとめ（1／2）

新規

（1）速度構造と地震基盤相当面位置の設定

概　要	コメントNo.1に関連する事項
標準応答スペクトルが地震基盤相当面（Vs2200m/s以上）で定義されている。一方，既許可の地盤モデルの速度構造は，E.L.約-680m位置を境にVsが1000m/s未満から3000m/s近くに急変する特徴があることから地盤モデルの入力層について検討し，調査データに基づいて新たな速度構造を設定した。	①
・ 解放基盤表面からE.L.-679m（新第三系鮮新統下端）までの速度構造は，既許可の2004年北海道留萌支庁南部地震の検討で用いたものを採用した。	
・ E.L.-679m以深においては，サスペンション法の結果がVs2200m/sに近い値を示していることから，同法に準拠した速度構造を新たに設定した。	②
地震基盤相当面位置は，E.L.-679mにS波速度2200m/s層の上面として設定した。	
新たに設定した速度構造については，以下の確認を行って妥当性を確認した。	③
・ 既往の物理探査結果（探査結果に基づいて作成した3次元地下構造モデルから切り出した1次元モデルの位相分散曲線，単点微動のH/Vスペクトル比）との整合性を確認した。	④
・ 観測記録の伝達関数をよく再現しており，地震観測記録の説明性について確認した。	⑤

No.	コメント内容	回答概要
1	PS検層データの扱いに関し，既許可ではダウンホール法の結果を採用しているところ，今回はサスペンション法の結果を用いている点について，考え方を説明すること。	上表①，②のとおり，速度構造の設定にあたり，今回はサスペンション法の結果を用いた考え方を説明した。
	また，既許可の審査で用いた物理探査等の結果との整合性も確認すること。	上表③，④のとおり，今回新たに設定した速度構造モデルについて，既許可での審査で用いた物理探査の結果との整合性を確認した。また，上記⑤のとおり，観測記録の説明性について確認した。

（3） まとめ（2／2）

新規

（2）減衰定数の設定

概　要	コメントに関連する事項	
	No.2関連	No.3関連
減衰定数に関する知見については，従来振動数が大きくなるにつれて減衰定数が小さくなることが指摘されていたところ，現在では下限の存在を示す評価事例が蓄積されてきたことから，減衰定数の同定に際しては下限を考慮することとした。	⑥	
地盤同定解析に用いる地震については下記のとおり選定した。		⑦
・ 地盤同定解析に用いる地震の候補として23地震を選定し，その23地震の伝達関数の比較を通して代表性のある5地震を選定した。この5地震の伝達関数に大きな差異は見られないことを確認した上で，最終的に3地震の伝達関数を用いた。		⑧
・ 以上のとおり，検討に用いる3地震の選定プロセスの段階で，3地震以外の地震の記録での検証を行い，最終的に用いる3地震の記録の妥当性を確認した。		⑨
地盤同定解析は，下記の条件で実施した。		
・ Q値を対象に地盤同定解析を行った。減衰モデルについては，Q値の上限（減衰定数の下限）を考慮したバイリニア型のモデルを用いた。		
・ Q値の同定範囲は，地表（E.L.+8m）～大深度地震計設置位置（E.L.-992m）とした。		
・ 選定した3地震の伝達関数を同時にフィッティングさせて逆解析した。		

No.	コメント内容	回答概要
2	減衰定数の同定に関し，今回，減衰定数の下限を考慮することに至った考え方を説明すること。	上表⑥のとおり，今回，減衰定数の下限を考慮することに至った考え方を説明した。
3	同定解析の際，3つの地震による観測記録を用いているが，その妥当性については他の地震の記録でも検証すること。	上表⑦～⑨のとおり，同定解析に用いる3つの地震以外の地震の記録でも検証した。

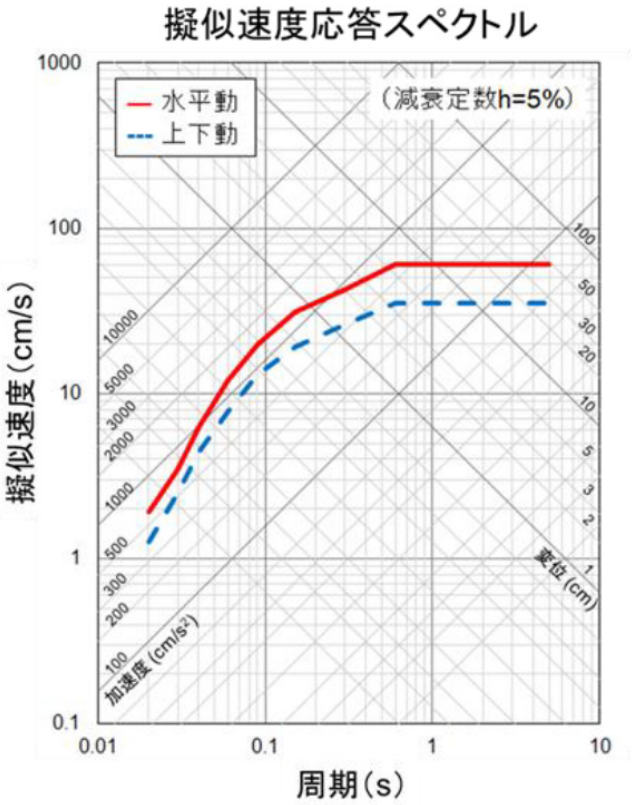
2. 模擬地震波の検討

■標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を作成する。

■作成に際しては，複数の手法として下記の手法による検討を行う。

・Ss-D1の模擬地震波作成において適用実績のある乱数位相を用いた手法

・震源を特定せず策定する地震動の特徴を反映できるよう，内陸地殻内地震におけるMw6.5程度未満の実観測記録の位相を用いた手法



コントロールポイント

周期 (s)	水平動	上下動
	擬似速度 (cm/s)	擬似速度 (cm/s)
0.02	1.910	1.273
0.03	3.500	2.500
0.04	6.300	4.400
0.06	12.000	7.800
0.09	20.000	13.000
0.15	31.000	19.000
0.30	43.000	26.000
0.60	60.000	35.000
5.00	60.000	35.000

標準応答スペクトル

原子力規制委員会（2021）より抜粋

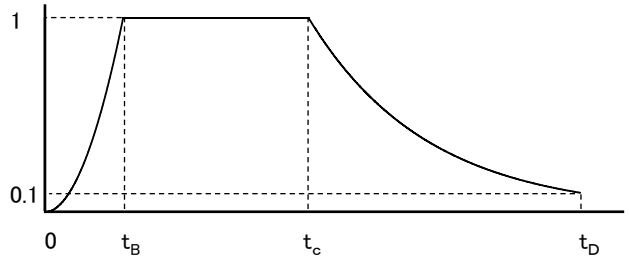
乱数位相を用いた模擬地震波の作成（1／2）

第994回審査会合
資料1－2再掲

■乱数位相を用いた模擬地震波は，乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成するものとし，振幅包絡線の経時的変化については，Noda et al.（2002）の方法に基づき，下記に示す形状とする。

模擬地震波	最大加速度（cm/s²）	継続時間（s）	振幅包絡線の経時的変化（s）		
			t_B	t_C	t_D
水平方向	600	28.03	3.31	15.06	28.03
鉛直方向	400	28.03	3.31	15.06	28.03

地震規模M及び等価震源距離Xeqは，M6.9，Xeq=10.0kmとする。



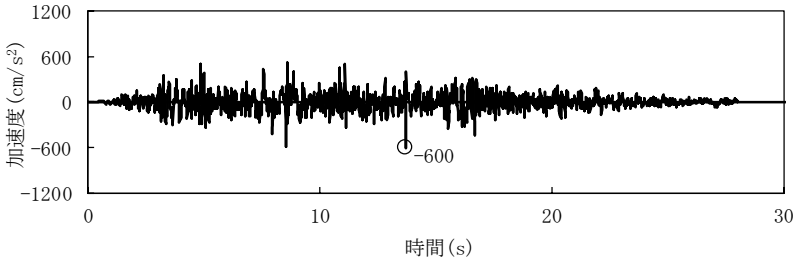
$t_B = 10^{0.5M-2.93}$

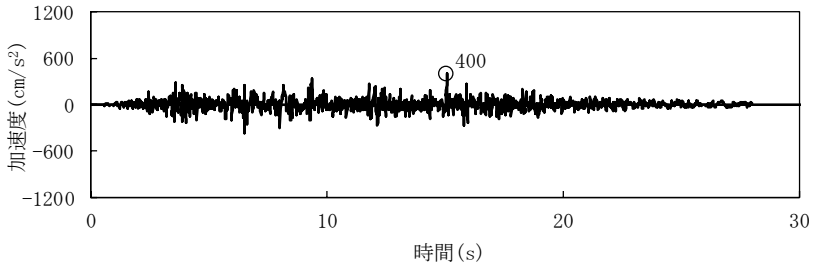
$t_C - t_B = 10^{0.3M-1.0}$

$t_D - t_C = 10^{0.17M+0.54\log Xeq-0.6}$

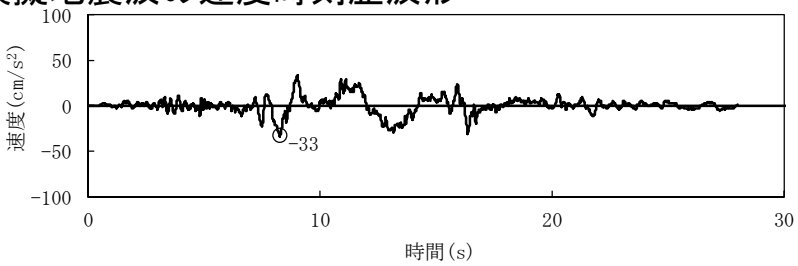
$$E(t) = \begin{cases} (t/t_B)^2 & 0 \le t \le t_B \\ 1 & t_B \le t \le t_C \\ \exp[(\ln 0.1)(t-t_C)/(t_D-t_C)] & t_C \le t \le t_D \end{cases}$$

模擬地震波の加速度時刻歴波形

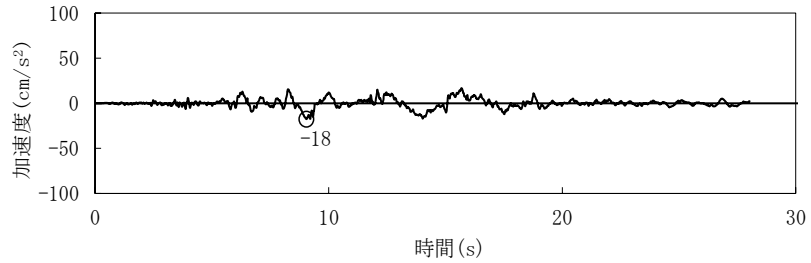




模擬地震波の速度時刻歴波形



水平方向



鉛直方向

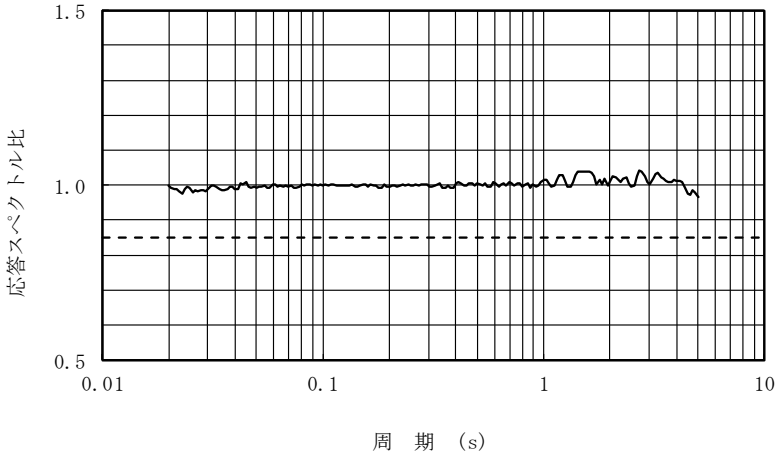
乱数位相を用いた模擬地震波の作成（2／2）

第994回審査会合
資料1－2再掲

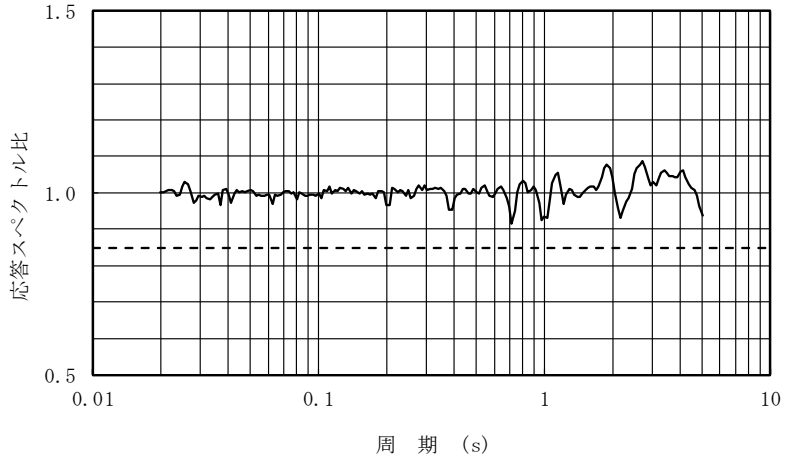
■作成した模擬地震波が，日本電気協会（2015）に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認する。

・目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比（応答スペクトル比）が全周期帯で0.85以上

・目標とする応答スペクトル強度値に対する模擬地震波の応答スペクトル強度値の比（SI比）が1.0以上



水平方向



鉛直方向

応答スペクトル比

応答スペクトルの強度値の比（SI比）

模擬地震波	SI比 （周期0.1～2.5秒）
水平方向	1.012
鉛直方向	1.002

スペクトル強度値 $= \int_{T_1}^{T_2} S_v(T, h)dT$

ここで，
Sv　：擬似速度応答スペクトル
T　：周期
h　：減衰定数（5%）

作成した模擬地震波は，日本電気協会（2015）に示される適合度の条件を満足していることを確認した。

実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成（1／3）

第994回審査会合
資料1－2再掲

■考慮する実観測記録の位相について

震源を特定せず策定する地震動のうち全国共通に考慮すべき地震動については，震源が敷地に近いことや地震の規模がMw6.5程度未満であることを念頭に置くと，波形としての特徴は継続時間が短く，数個のパルス状の波形で構成されることが予想される。そのような観測記録の位相情報を用いて模擬地震波を作成することとする。

■実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成に用いる記録の選定

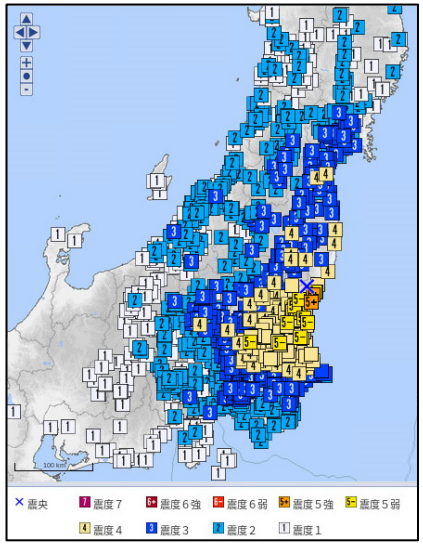
・模擬地震波の位相として用いる観測記録としては，敷地近傍で発生したMw6.5程度未満の内陸地殻内地震の敷地で得られた観測記録が理想的と考えられるが，そのような観測記録は得られていない。

・一方で，敷地周辺の茨城県と福島県の県境付近では2011年東北地方太平洋沖地震以降，正断層型の内陸地殻内地震が多く発生していることから，そのような地域性を考慮することとし，2011年茨城県北部地震（Mw5.8，正断層型）を震央距離約1kmで観測したKiK-net高萩（IBRH13）の記録を用いることとする。

・この地震観測記録については，佐藤他(2019)により基盤地震動が推定されていることから，この基盤地震動の位相を用いて模擬地震波を作成する。

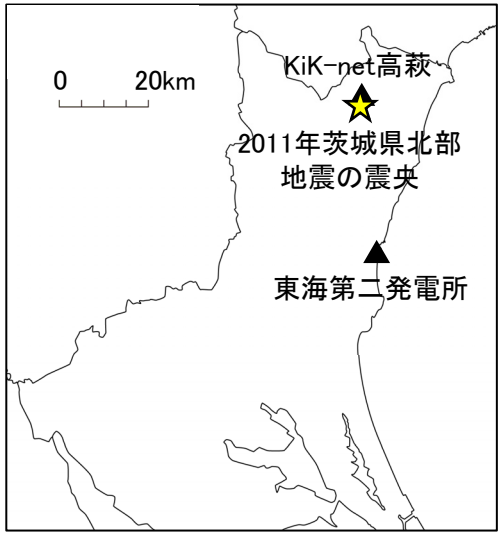
■2011年茨城県北部地震の概要

発生日時：2011/03/19 18:56
地震規模：Mj6.1（Mw5.8）
深さ　　：5km
タイプ　：正断層型
震度5強：茨城県日立市
　　5弱：茨城県常陸太田市，
　　高萩市，笠間市，
　　ひたちなか市
（東海第二発電所周辺は震度4）



左図　気象庁HPより抜粋・加筆

震度分布図



震央と観測点位置

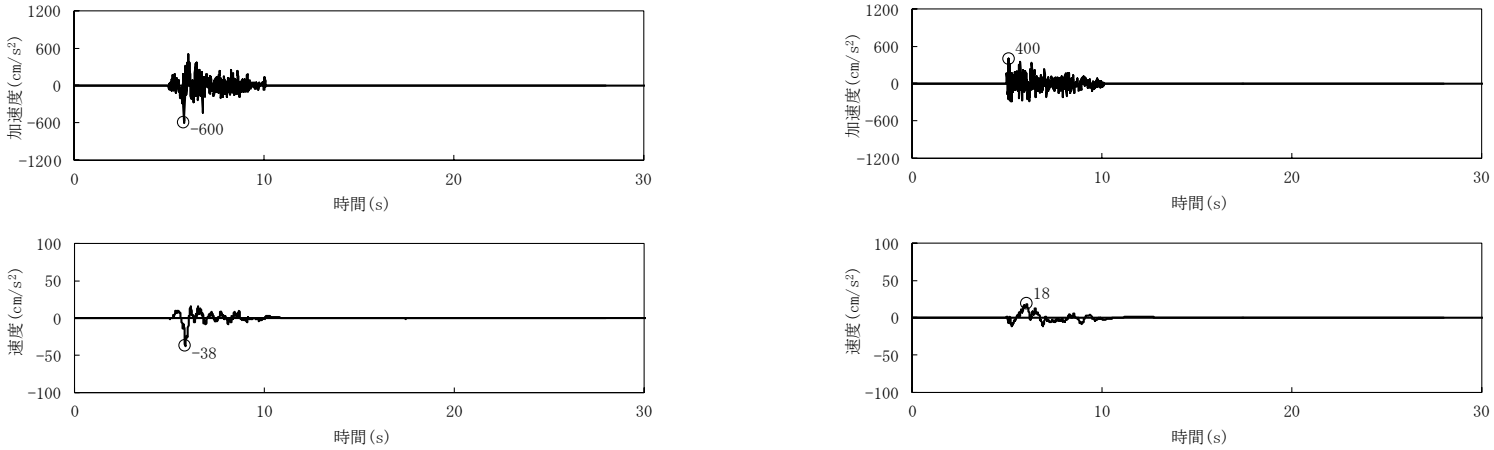
実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成（2／3）

第994回審査会合
資料1－2再掲

■佐藤他(2019)における2011年茨城県北部地震の基盤推定波と，その位相を用いて作成した模擬地震波を下記に示す。

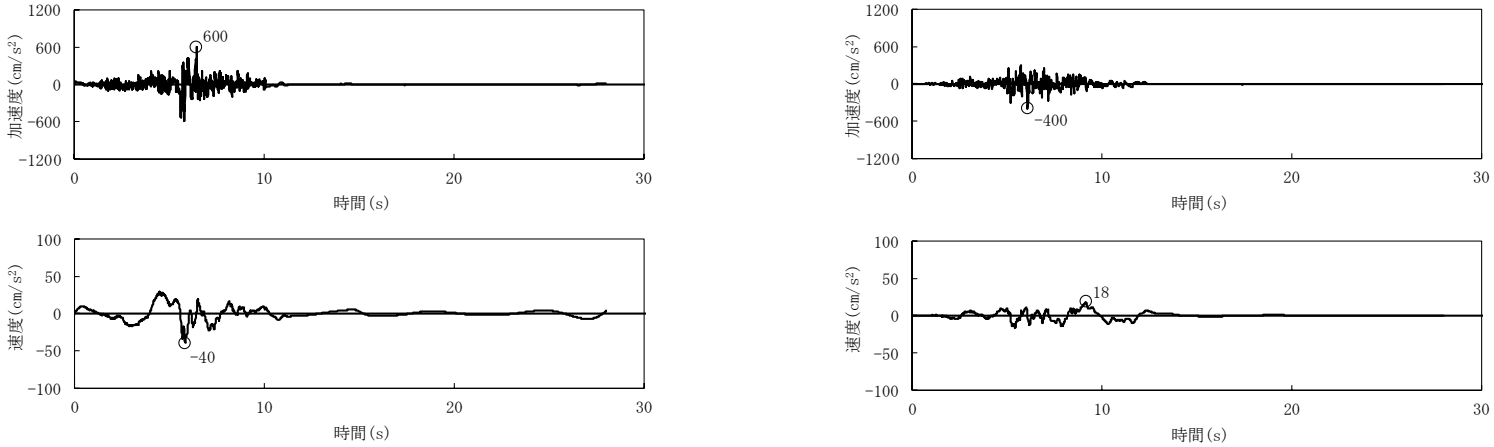
【佐藤他(2019)の地震動※】

※ 図の時刻歴波形は，佐藤他(2019)の結果を標準応答スペクトルの最大加速度に基準化して示している。



鉛直方向については，佐藤他(2019)において実施された地盤調査結果を参考に，別途基盤波を推定

【作成した模擬地震波】



水平方向　　鉛直方向

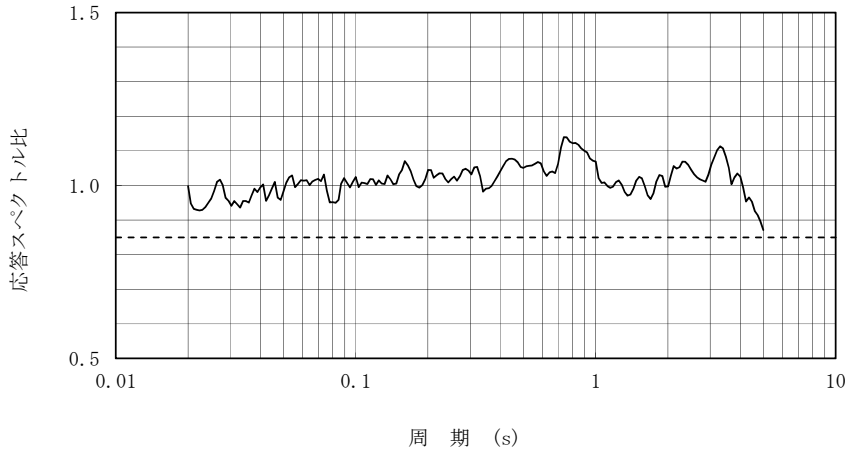
実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成（3／3）

第994回審査会合
資料1－2再掲

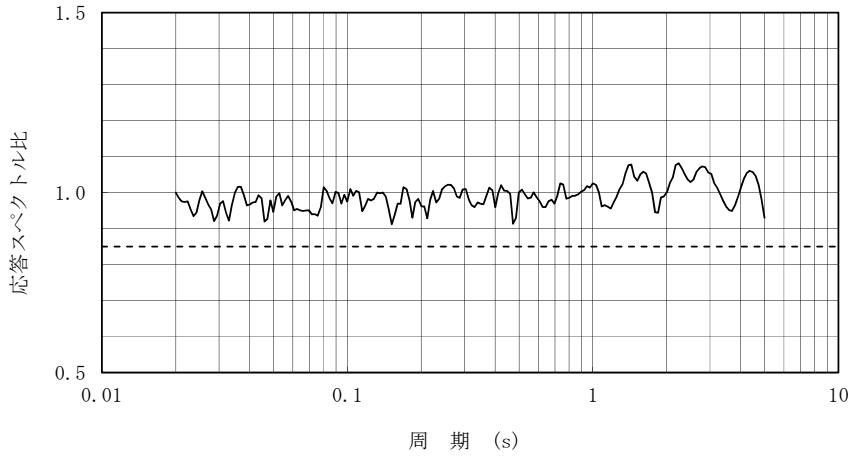
■作成した模擬地震波が，日本電気協会（2015）に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認する。

・目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比（応答スペクトル比）が全周期帯で0.85以上

・目標とする応答スペクトル強度値に対する模擬地震波の応答スペクトル強度値の比（SI比）が1.0以上



水平方向



鉛直方向

応答スペクトル比

応答スペクトルの強度値の比（SI比）

模擬地震波	SI比 （周期0.1～2.5秒）
水平方向	1.034
鉛直方向	1.012

スペクトル強度値 $= \int_{T_1}^{T_2} S_v(T, h)dT$

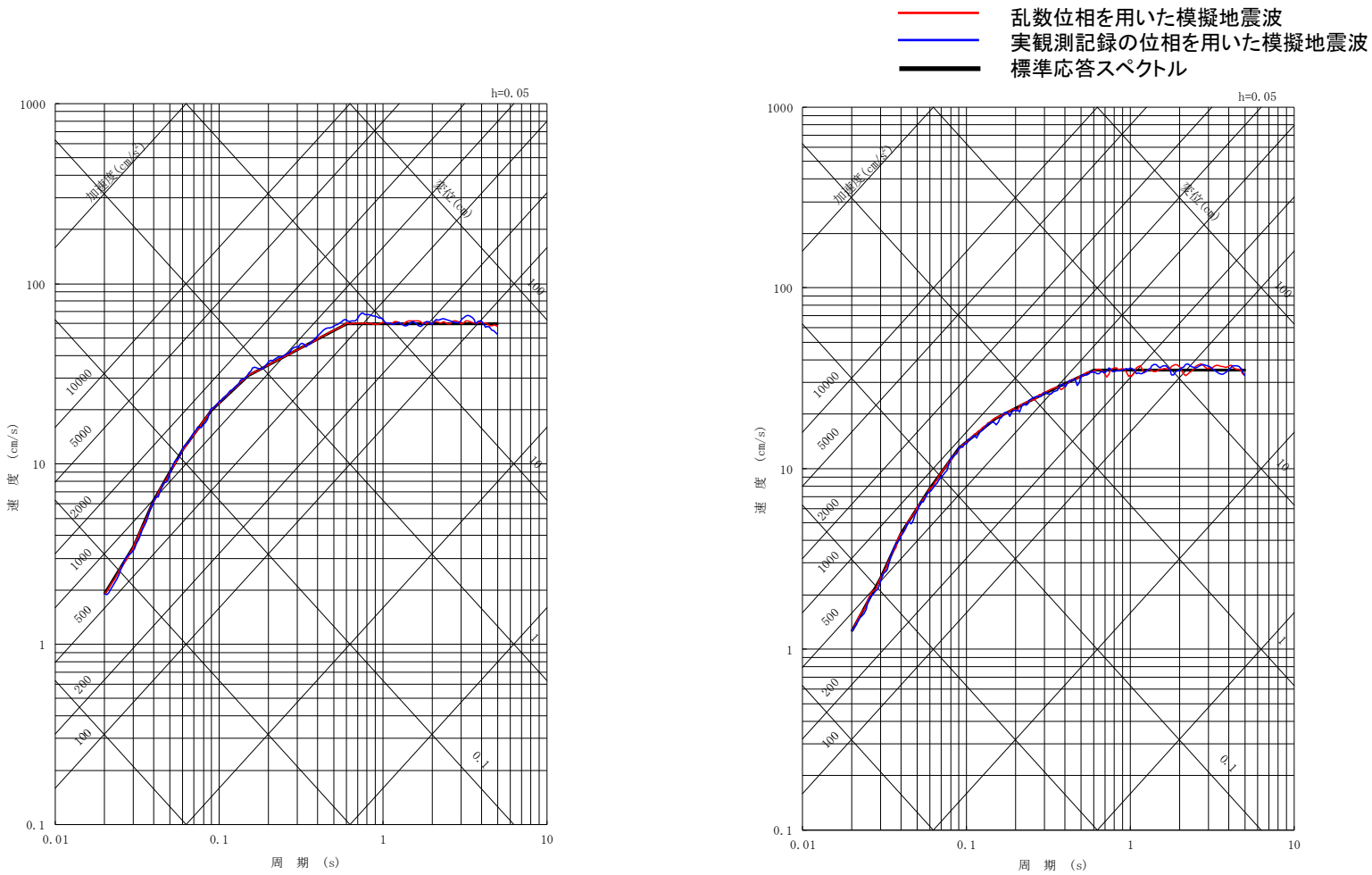
ここで，
Sv　：擬似速度応答スペクトル
T　：周期
h　：減衰定数（5%）

作成した模擬地震波は，日本電気協会（2015）に示される適合度の条件を満足していることを確認した。

地震基盤相当面における模擬地震波の応答スペクトル

第994回審査会合
資料1－2再掲

■乱数位相を用いた模擬地震波と実観測記録の位相を用いた模擬地震波の応答スペクトルを示す。



水平方向

鉛直方向

擬似速度応答スペクトル

3. 地盤増幅特性の考慮

■標準応答スペクトルに敷地の地盤増幅特性を考慮するため，地震基盤相当面（S波速度2200m/s）に対応するE.L.-679mに標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を入力し，E.L.-370mの解放基盤表面の地震動を評価する。

新たに設定した地盤モデル

E.L. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数h(f) 水平	減衰定数h(f) 鉛直
8.0						
	2.5	130	280	1.71	$0.921f^{-1.32}$ (f≦18.74) 0.019 (f>18.74)	$1.170f^{-0.91}$ (f≦19.45) 0.079 (f>19.45)
5.5						
	4.5	151	403		$0.793f^{-1.32}$ (f≦18.74) 0.017 (f>18.74)	$0.813f^{-0.91}$ (f≦19.45) 0.055 (f>19.45)
1.0						
	8.0	308	1589	1.66	$0.389f^{-1.32}$ (f≦18.74) 0.008 (f>18.74)	$0.206f^{-0.91}$ (f≦19.45) 0.014 (f>19.45)
-7.0						
	8.0	478	1509	1.82	$0.250f^{-1.32}$ (f≦18.74) 0.005 (f>18.74)	$0.217f^{-0.91}$ (f≦19.45) 0.015 (f>19.45)
-15.0						
	2.0	477	1753	1.69	$0.102f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.014 (f>6.78)	$0.301f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.008 (f>31.74)
-17.0						
	89.0					
-106.0						
	62.0	557	1742	1.74	$0.087f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.012 (f>6.78)	$0.303f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.008 (f>31.74)
-168.0						
	24.0	669	2067	1.78	$0.072f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.010 (f>6.78)	$0.256f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
-192.0						
	68.0					
-260.0						
	108.0	756	2256	1.82	$0.064f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.009 (f>6.78)	$0.234f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f>31.74)
-368.0						
	2.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f>6.78)	$0.264f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
-370.0						
	2.0					
-372.0						
	104.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f>6.78)	$0.264f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
-476.0						
	90.0	835	2124	1.89	$0.058f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f>6.78)	$0.249f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
-566.0						
	89.0	904	2205	2.00	$0.054f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.007 (f>6.78)	$0.240f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f>31.74)
-655.0						
	24.0	947	2256	2.07	$0.051f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.007 (f>6.78)	$0.234f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f>31.74)
-679.0						
	55.0	2200	4800	2.65	$0.013f^{-0.21}$ (f≦1.31) 0.012 (f>1.31)	$0.004f^{-0.23}$ (f≦16.46) 0.002 (f>16.46)
-734.0						
	258.0	2800	5300	2.78	$0.010f^{-0.21}$ (f≦1.31) 0.009 (f>1.31)	$0.004f^{-0.23}$ (f≦16.46) 0.002 (f>16.46)
-992.0						
	-	2800	5300	2.78		

解放基盤表面 ▼

地震基盤相当面 ▼

標準応答スペクトルに敷地の地盤増幅特性を考慮するための地盤モデル

E.L. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数h(f) 水平	減衰定数h(f) 鉛直
-370.0						
	2.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f>6.78)	$0.264f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
-372.0						
	104.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f>6.78)	$0.264f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
-476.0						
	90.0	835	2124	1.89	$0.058f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f>6.78)	$0.249f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f>31.74)
-566.0						
	89.0	904	2205	2.00	$0.054f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.007 (f>6.78)	$0.240f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f>31.74)
-655.0						
	24.0	947	2256	2.07	$0.051f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.007 (f>6.78)	$0.234f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f>31.74)
-679.0						
	-	2200	4800	2.65	$0.013f^{-0.21}$ (f≦1.31) 0.012 (f>1.31)	$0.004f^{-0.23}$ (f≦16.46) 0.002 (f>16.46)

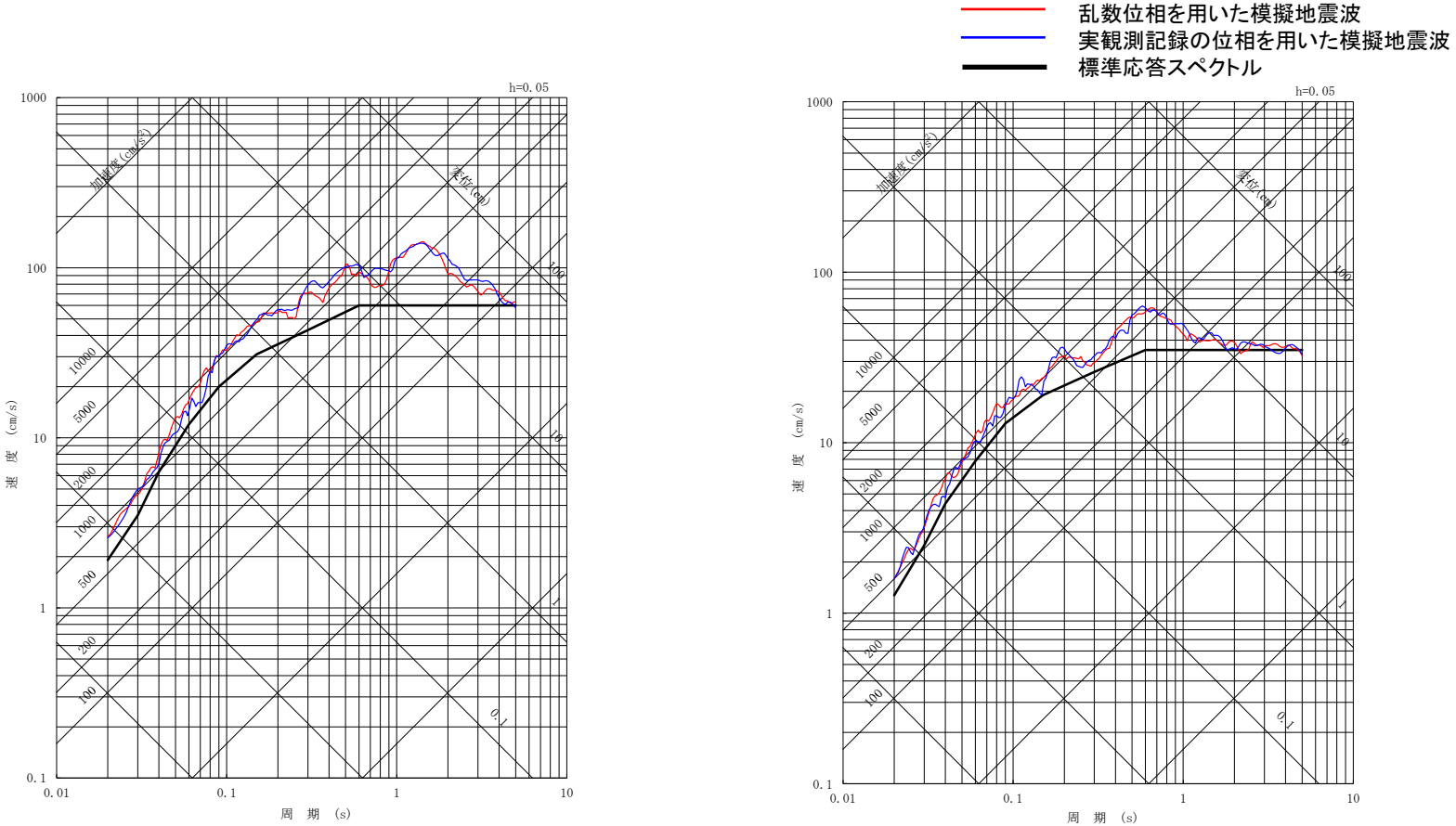
出力位置 ▽

入力位置 ▽

解放基盤表面上における地震動評価結果

第994回審査会合
資料1－2再掲

■乱数位相を用いた模擬地震波と実観測記録の位相を用いた模擬地震波を解放基盤表面上で比較する。



水平方向　　鉛直方向

擬似速度応答スペクトル

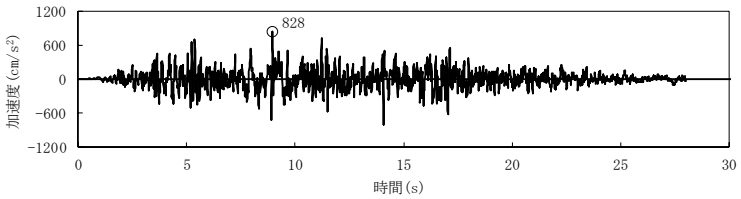
乱数位相を用いた模擬地震波と実観測記録の位相を用いた模擬地震波の応答スペクトルは，概ね同程度である。

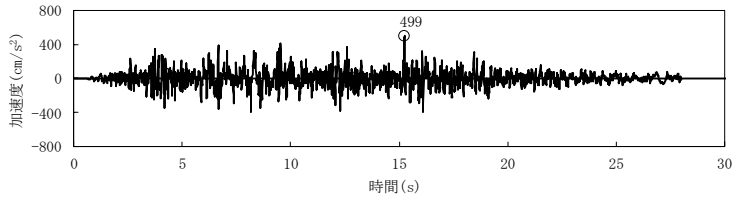
模擬地震波の比較検討（1／2）

第994回審査会合
資料1－2再掲

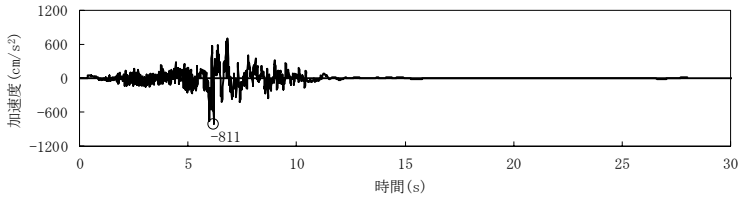
■乱数位相，実観測記録の位相を用いた模擬地震波の時刻歴波形とSs-31（2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動）の時刻歴波形の比較検討を行う。

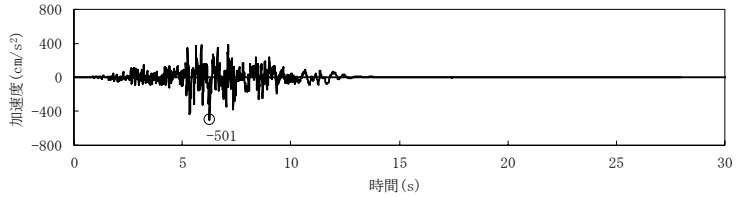
・乱数位相を用いた模擬地震波



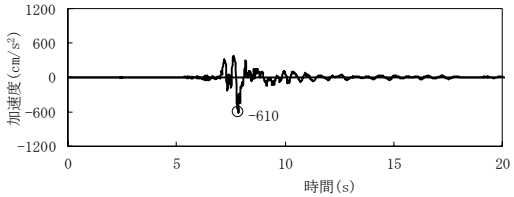


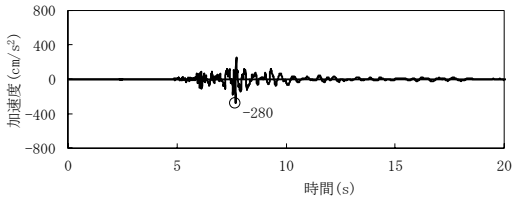
・実観測記録の位相を用いた模擬地震波





・Ss-31（2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動）





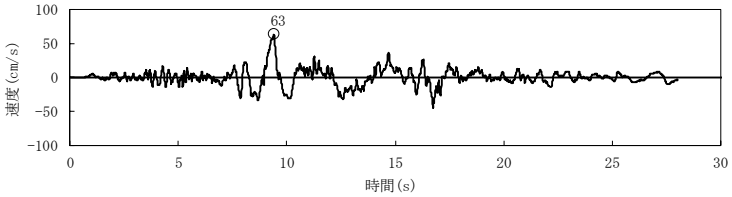
水平方向　　鉛直方向

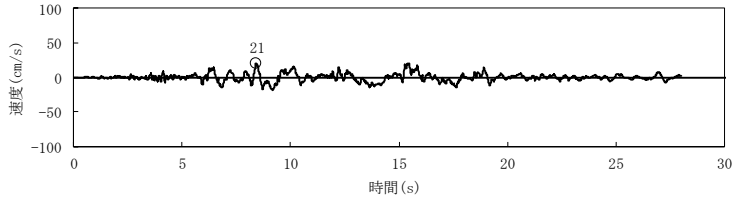
解放基盤表面における加速度時刻歴波形

模擬地震波の比較検討（2／2）

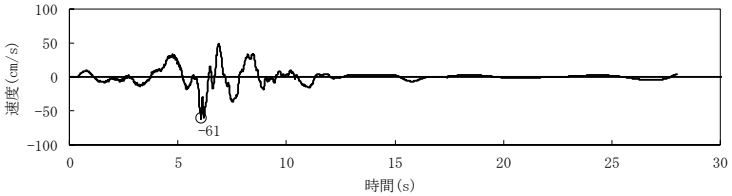
第994回審査会合
資料1－2再掲

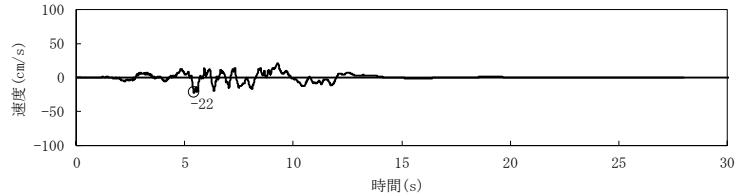
■乱数位相を用いた模擬地震波



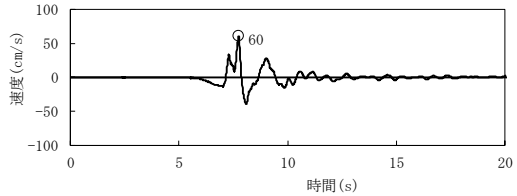


■実観測記録の位相を用いた模擬地震波

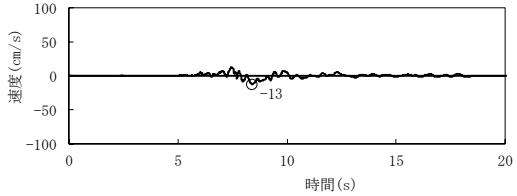




■Ss−31（2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動）



水平方向



鉛直方向

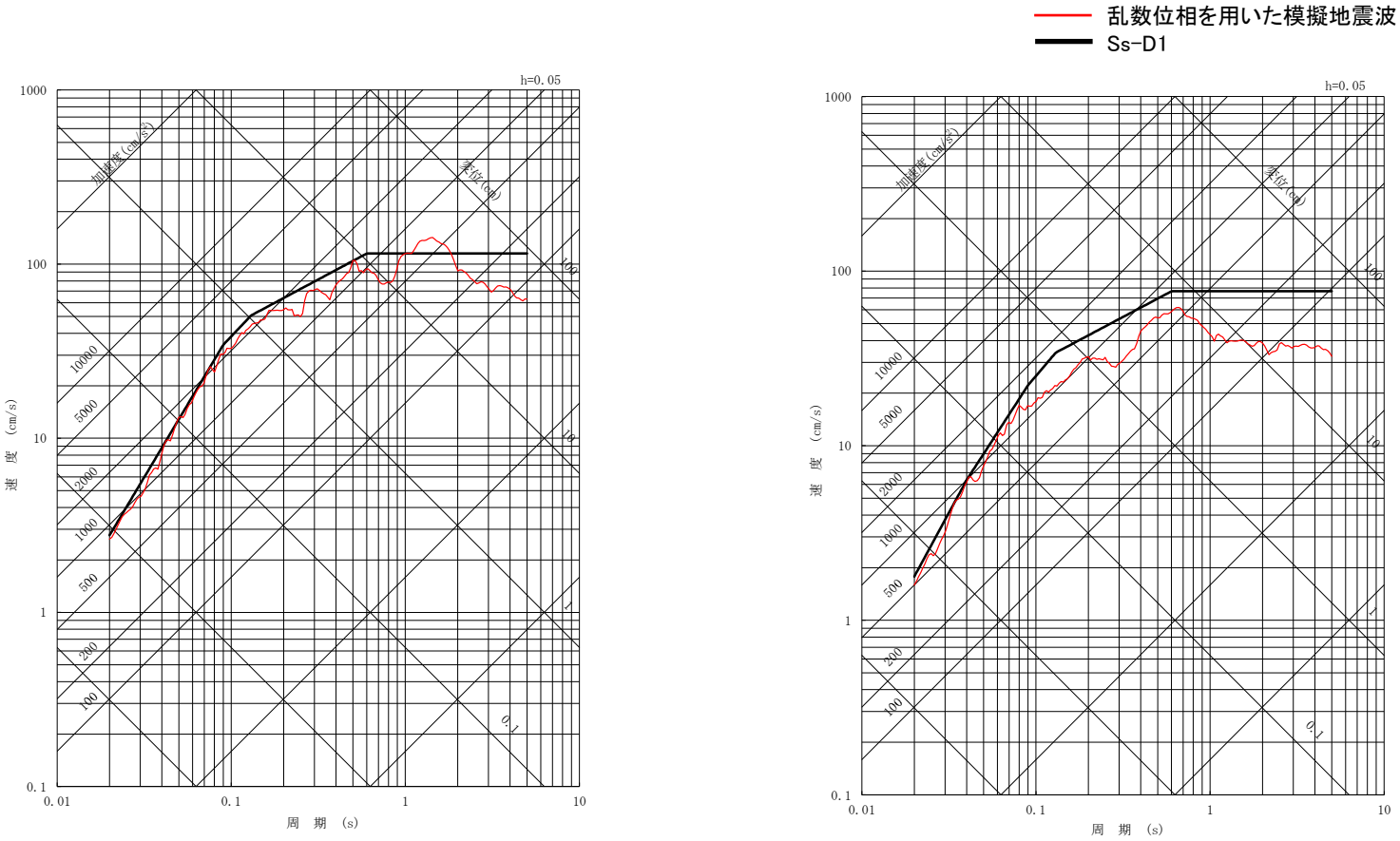
解放基盤表面における速度波形

・実観測記録の位相を用いた模擬地震波とSs−31は，継続時間が短い等の特徴が似ている。一方，乱数位相を用いた模擬地震波は継続時間も長く，他の模擬地震波とは位相特性が異なっている。

・地震動の位相を考える場合，同じ特徴を持つ位相よりも，様々な特徴を持つ位相を地震動に反映した方が多様な地震動が得られるため，震源を特定せず策定する地震動に用いる模擬地震波の位相としては，既に選定されているSs−31とは異なる位相特性を有する乱数位相を採用する。

4. 基準地震動Ssの策定（1／4）

■標準応答スペクトルに基づき策定した地震動は，一部の周期帯において，基準地震動Ss－D1（応答スペクトル手法による基準地震動）を上回るため，新たに基準地震動として追加した。



水平方向　　鉛直方向

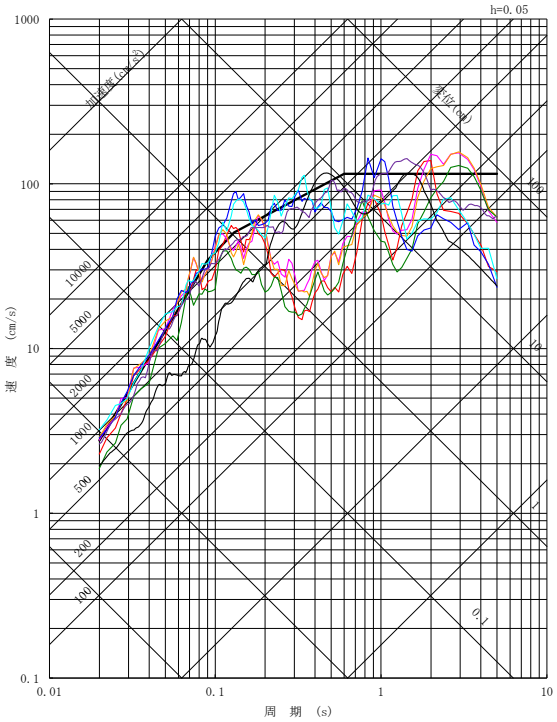
擬似速度応答スペクトル

4. 基準地震動Ssの策定（2／4）

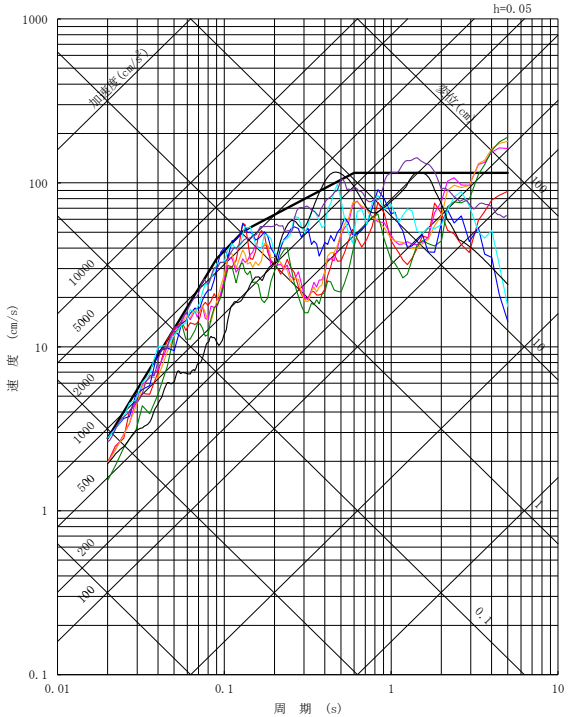
第994回審査会合
資料1－2再掲

■標準応答スペクトルに基づき策定した地震動を基準地震動Ss－32とし，既許可の全ての基準地震動と合わせて下記に示す。

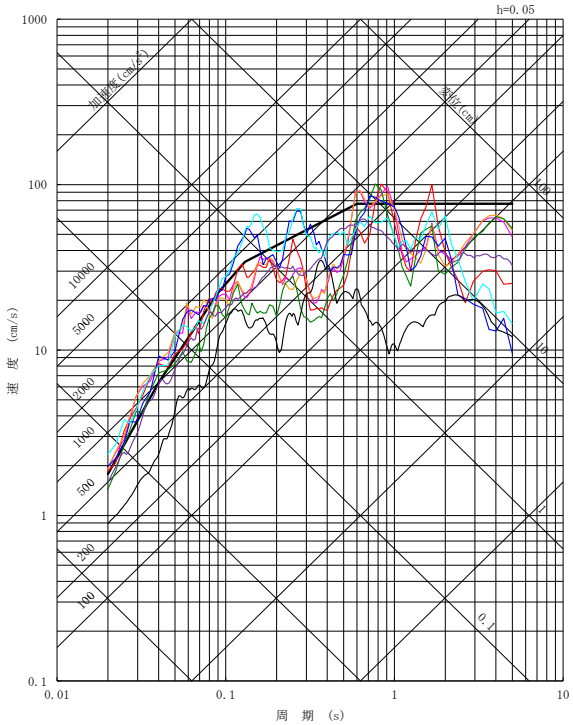
- Ss－D1　応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss－11　F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1）
- Ss－12　F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2）
- Ss－13　F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点3）
- Ss－14　F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震（断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2）
- Ss－21　2011年東北地方太平洋沖型地震（短周期レベルの不確かさ）
- Ss－22　2011年東北地方太平洋沖型地震（SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳）
- Ss－31　2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
- Ss－32　標準応答スペクトルに基づき策定した地震動



NS方向



EW方向

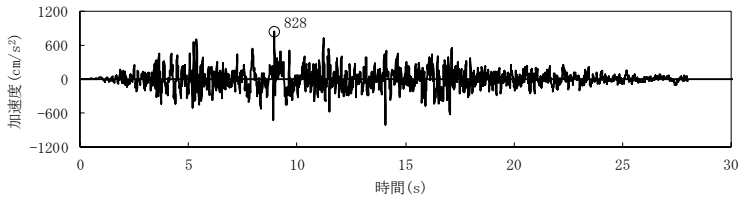


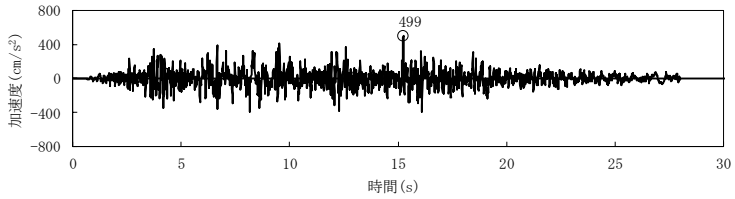
UD方向

4. 基準地震動Ssの策定（3／4）

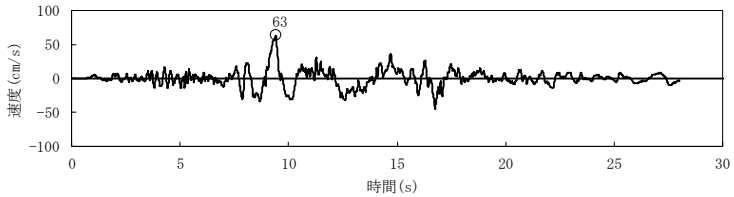
第994回審査会合
資料1－2再掲

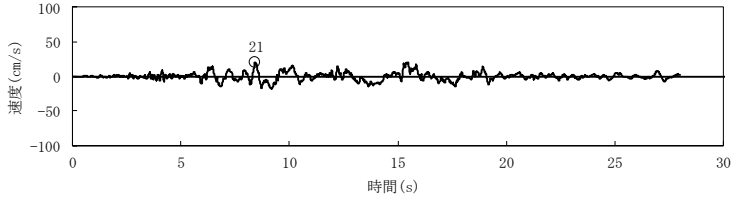
■Ss-32（標準応答スペクトルに基づき策定した地震動）の時刻歴波形を下記に示す。





加速度時刻歴波形





速度時刻歴波形

水平方向　　鉛直方向

解放基盤表面における時刻歴波形

4. 基準地震動Ssの策定（4／4）

■基準地震動Ssの最大加速度の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度（cm/s²）		
		NS方向	EW方向	UD方向
Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
Ss-11	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 （短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1）	717	619	579
Ss-12	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 （短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2）	871	626	602
Ss-13	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 （短周期レベルの不確かさ，破壊開始点3）	903	617	599
Ss-14	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 （断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2）	586	482	451
Ss-21	2011年東北地方太平洋沖型地震 （短周期レベルの不確かさ）	901	887	620
Ss-22	2011年東北地方太平洋沖型地震 （SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳）	1009	874	736
Ss-31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610		280
Ss-32	標準応答スペクトルに基づき策定した地震動	828		499

参考文献

- 武村雅之，池浦友則，高橋克也，石田寛，大島豊(1993)：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，第446号，1-11
- 福島美光，翠川三郎(1994)：周波数依存性を考慮した表層地盤の平均的なQ^{-1}値とそれに基づく地盤増幅率の評価，日本建築学会構造系論文集，第460号，37-46
- 木下繁夫，大池美保(2002)：関東地域の堆積層－基盤系におけるS波の減衰特性　－0.5～16Hz－，地震第2輯，第55巻，19-31頁
- 佐藤浩章・金谷守・大鳥靖樹（2006）：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集，第604号，pp. 55-62
- R. Fukushima, H. Nakahara, and T. Nishimura(2016)：Estimating S-Wave Attenuation in Sediments by Deconvolution Analysis of KiK-net Borehole Seismograms, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 106, No. 2. pp. 552-559, https://doi.org/10.1785/0120150059
- 原子力規制委員会(2021)：第5回原子力規制委員会　資料1　標準応答スペクトルの規制への取り入れのための実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部改正－改正案に対する意見募集の結果及びこれを踏まえた修正並びに今後の対応－
- S. Noda, K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo, and T. Watanabe (2002)：RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct. 16-18, Istanbul.
- 日本電気協会（2015）：原子力発電所耐震設計技術指針
- 佐藤浩章・東貞成・芝良昭・藤原広行・功刀卓(2019)：等価線形解析による非線形サイト特性評価のための有効ひずみ係数の最適化，日本建築学会構造系論文集，第760号，pp. 781-791

① 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル
（第409回審査会合資料の再掲）

② 標準応答スペクトル用地盤モデルによる既往の断層モデル地震動評価への影響

③ 標準応答スペクトル用地盤モデルによるSs-31（留萌波）への影響

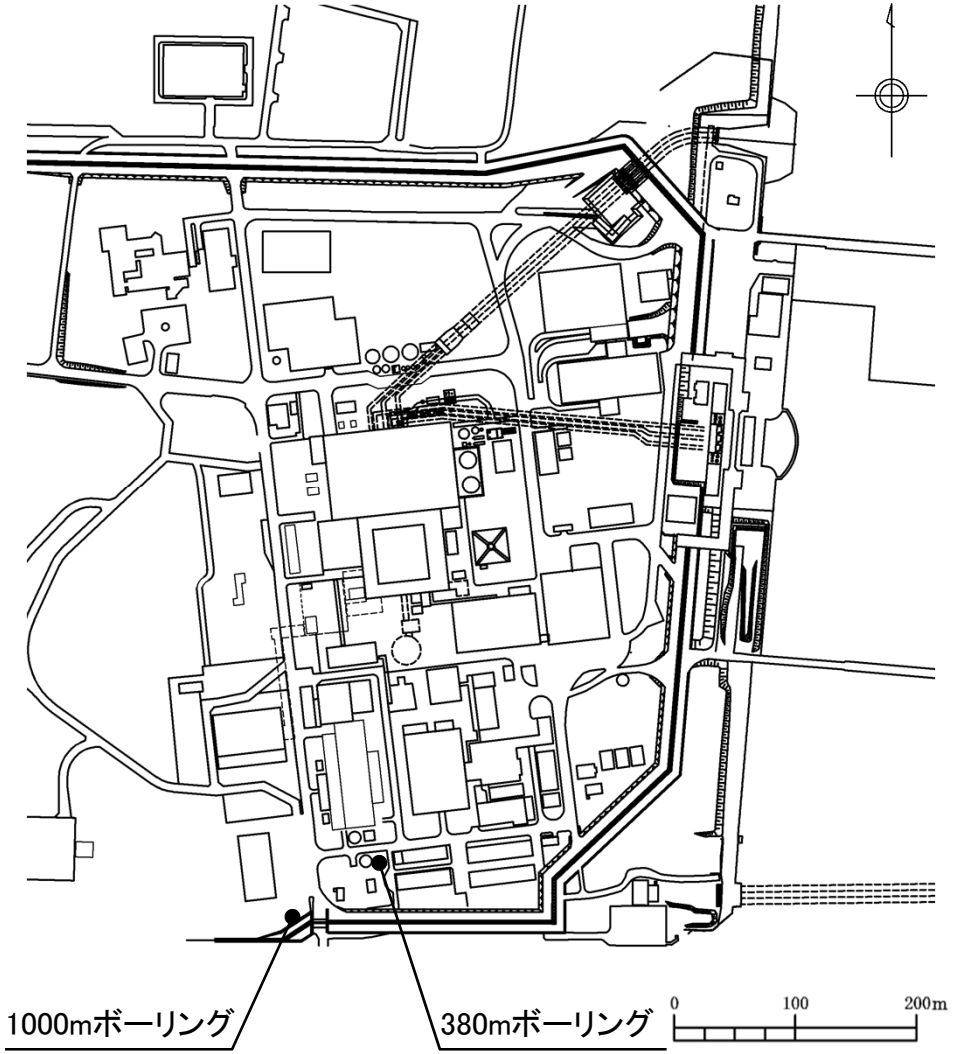
2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（1／11）

補足説明資料①

第994回審査会合
資料1－2再掲

・第338回審査会合において，東海第二発電所で実施した1000mボーリングによる調査結果に基づく地盤モデルについて説明した。

・その後，1000mボーリング孔に設置している地震計による地震観測記録の中から，ノイズや機器の不具合等による影響のないデータを選定し，解放基盤表面以深の地盤モデルについて再検討を実施した。



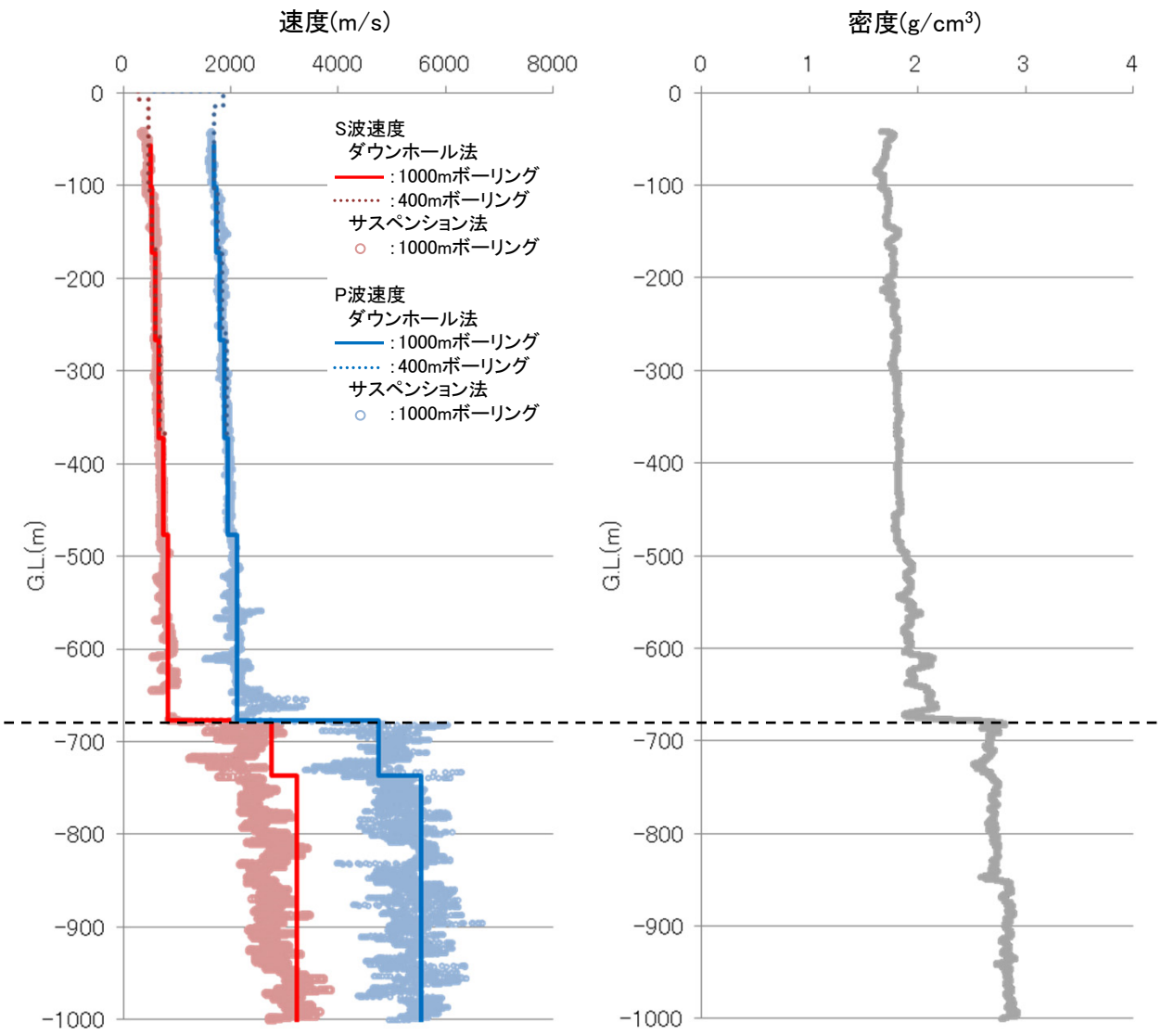
地盤モデルの検討に用いた
ボーリング位置（平面）

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（2／11）

補足説明資料①　第409回審査会合 資料1　148頁　再掲

【1000mボーリング】

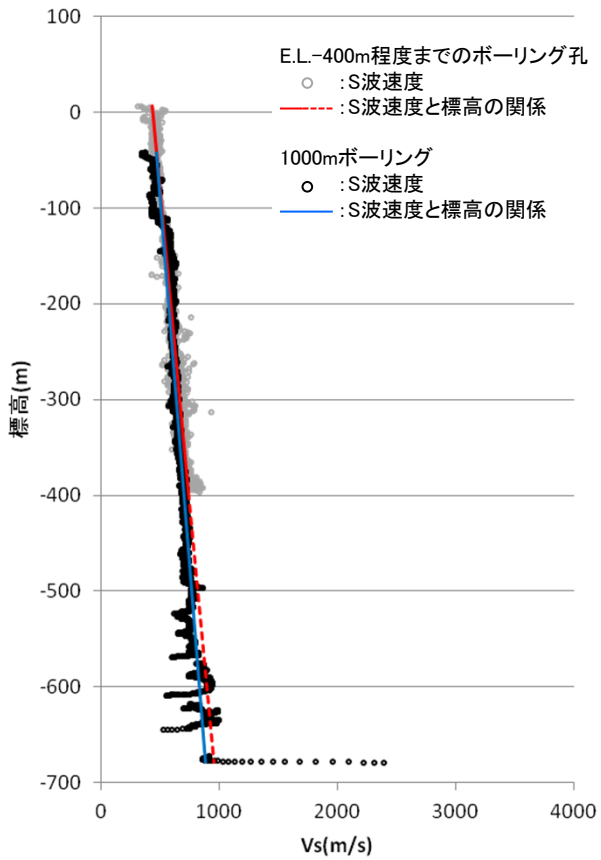
G.L. (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直	地層
	—	—	—	—	—
−65	500	1680			新第三系
−110	540	1730			
−180	600	1790			
−275	650	1890			
−380	750	1950			
−485	840	2110	0.0246	0.0103	
−685	2750	4740	0.0725	0.0397	先新第三系
−745	3220	5550	0.0154	0.0102	
−1000	—	—	—	—	

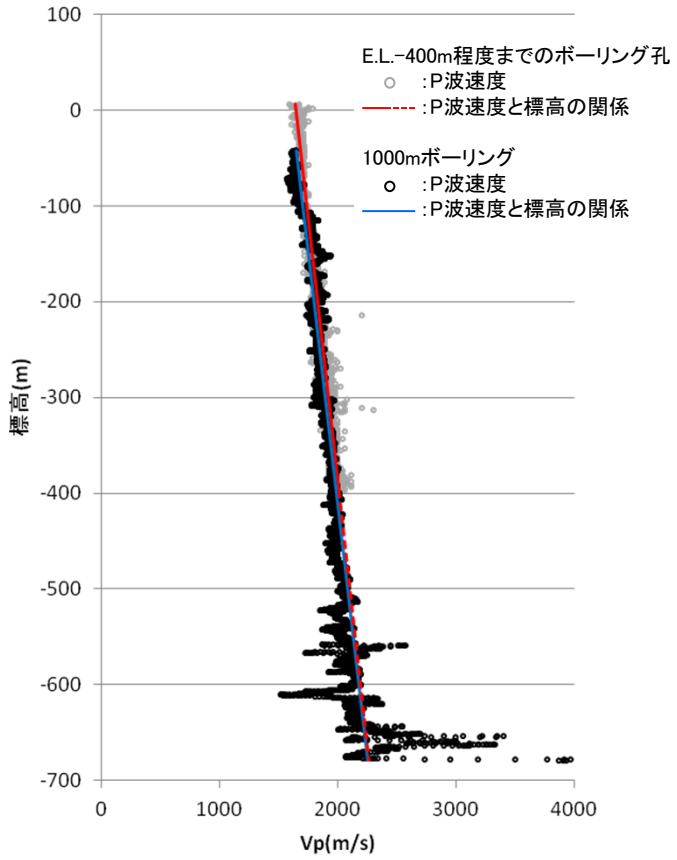


2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（3／11）

補足説明資料①　第409回審査会合 資料1　149頁　再掲

・東海第二発電所敷地に分布する新第三系の久米層の地盤速度は，深度方向に増大する傾向を示す。
・標高-400m程度まで掘削した5孔のボーリング孔で実施したPS検層によって得られた地盤速度と1000mボーリングで実施したPS検層によって得られた地盤速度を以下に示す。また併せて，それぞれのPS検層結果から得られる標高と地盤速度の関係を示す。
・標高-400m程度まで掘削した5孔のボーリング孔で実施したPS検層データを基に作成した地盤速度と標高の関係は，1000mボーリングで実施したPS検層結果と整合的であり，久米層における地盤速度は，標高-400m程度まで掘削した5孔のボーリング孔で実施したPS検層データを基に作成した地盤速度と標高の関係より求める。





久米層における
地盤速度と標高の関係

$Vs = 0.433 - 7.71 \times 10^{-4} \cdot Z$

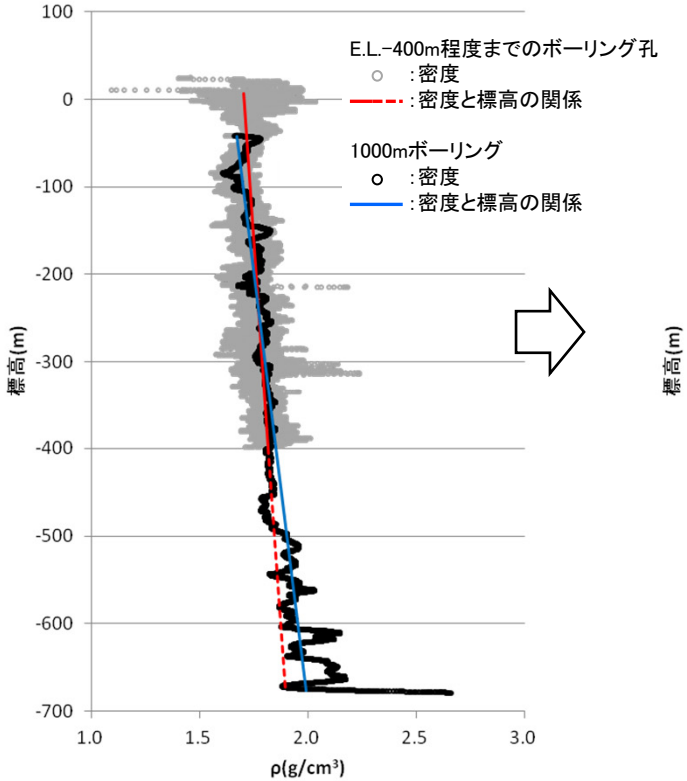
$Vp = 1.65 - 9.09 \times 10^{-4} \cdot Z$

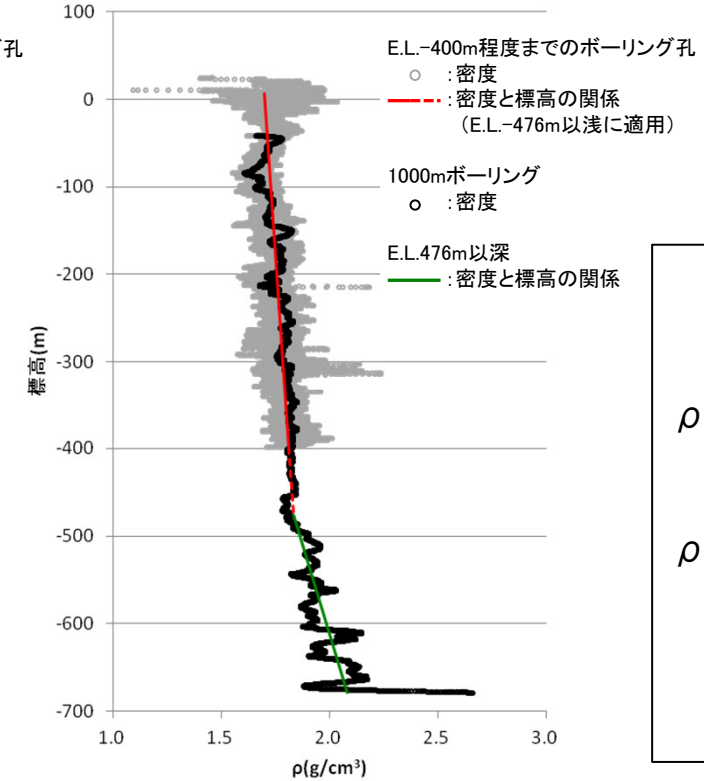
ここで，Vs：S波速度（km/s）
Vp：P波速度（km/s）
Z：標高（m）

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（4／11）

補足説明資料①　第409回審査会合 資料1　150頁　再掲

・東海第二発電所敷地に分布する新第三系の久米層の密度は，深度方向に増大する傾向を示す。
・標高−400m程度まで掘削した5孔のボーリング孔で実施した密度検層によって得られた密度と1000mボーリングで実施した密度検層によって得られた密度を以下に示す。また併せて，それぞれの密度検層結果から得られる標高と密度の関係を示す。
・標高−400m程度まで掘削した5孔のボーリング孔で実施した密度検層データを基に作成した密度と標高の関係は，1000mボーリングで実施した密度検層結果とE.L.−500m程度まで整合的であるが，E.L.−500m以深では密度と標高の関係より密度検層データが大きくなる。
・1000mボーリング結果によると，E.L.−476m以深では砂質泥岩層と乱堆積物層との互層が見られることより，E.L.−476mを境に密度と標高の関係を変えることとした。





久米層における
密度と標高の関係

$\rho = 1.702 - 2.828 \times 10^{-4} \cdot Z$
（E.L.−476m 以浅）

$\rho = 1.253 - 1.220 \times 10^{-3} \cdot Z$
（E.L.−476m 以深）

ここで，ρ：密度（g/cm³）
Z：標高（m）

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（5／11）

補足説明資料①　第409回審査会合 資料1　151頁　再掲

① E.L.-372m以浅の地盤モデルは，地表（E.L.8m）からE.L.-372mで観測した地震記録をもとに地盤同定解析を行い設定した地盤モデルを用いた。
【第291回審査会合】

② 概ね100m程度を目安に層厚を設定した。

③ E.L.-372m ～-476mの地盤物性については，上層との連続性を考慮し，上層と同じ値を設定した。

④ E.L.-476m～-679mの地盤物性については，調査結果に基づく標高依存式より算出した。

⑤ E.L.-372～-679mの新第三系（久米層）の減衰定数は，上層との連続性を考慮し，上層と同じ値を設定した。

⑥ E.L.-679m以深のS波速度及びP波速度については，1000mボーリングにおけるPS検層（ダウンホール法）結果，密度については1000mボーリングにおける密度検層結果を基に設定した。

⑦ E.L.-679m以深の減衰定数は仮定した。

●初期地盤モデルの理論伝達関数と観測記録による伝達関数を比較する

設定した初期地盤モデル

E.L. (m)	層厚 (m)	地層	密度 (g/cm^3)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直
▼ 8.0							
	① 2.5	第四系	1.71	130	280	$0.236f^{-0.752}$	$0.203f^{-0.21}$
5.5							
	4.5			151	403		
1.0							
	8.0		1.66	308	1589		
-7.0							
	8.0		1.82	478	1509		
-15.0							
	2.0	新第三系					
▼ -17.0			1.69	477	1753	$0.072f^{-0.931}$	$0.203f^{-0.93}$
	89.0						
-106.0							
	62.0		1.74	557	1742		
-168.0							
	24.0						
▼ -192.0			1.78	669	2067		
	68.0						
-260.0							
	108.0		1.82	756	2256		
-368.0							
	2.0						
▽ -370.0			1.85	790	2000		
	2.0						
▼ -372.0							
	② 104.0		③ 1.85	790	2000	⑤	
-476.0							
	90.0		1.89	835	2124		
-566.0						$0.072f^{-0.931}$	$0.203f^{-0.93}$
	89.0		④ 2.00	904	2205		
-655.0							
	24.0		2.07	947	2256		
△ -679.0							
	⑥ 55.0	先新第三系	2.65	2750	4740	⑦	
-734.0							
	258.0		2.78	3220	5550	0.010	0.010
▼ -992.0							
	-		2.78	3220	5550		

▼：地震計位置　▽：解放基盤表面　△：地震基盤

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（６／１１）

補足説明資料①　第409回審査会合 資料1　152頁　再掲

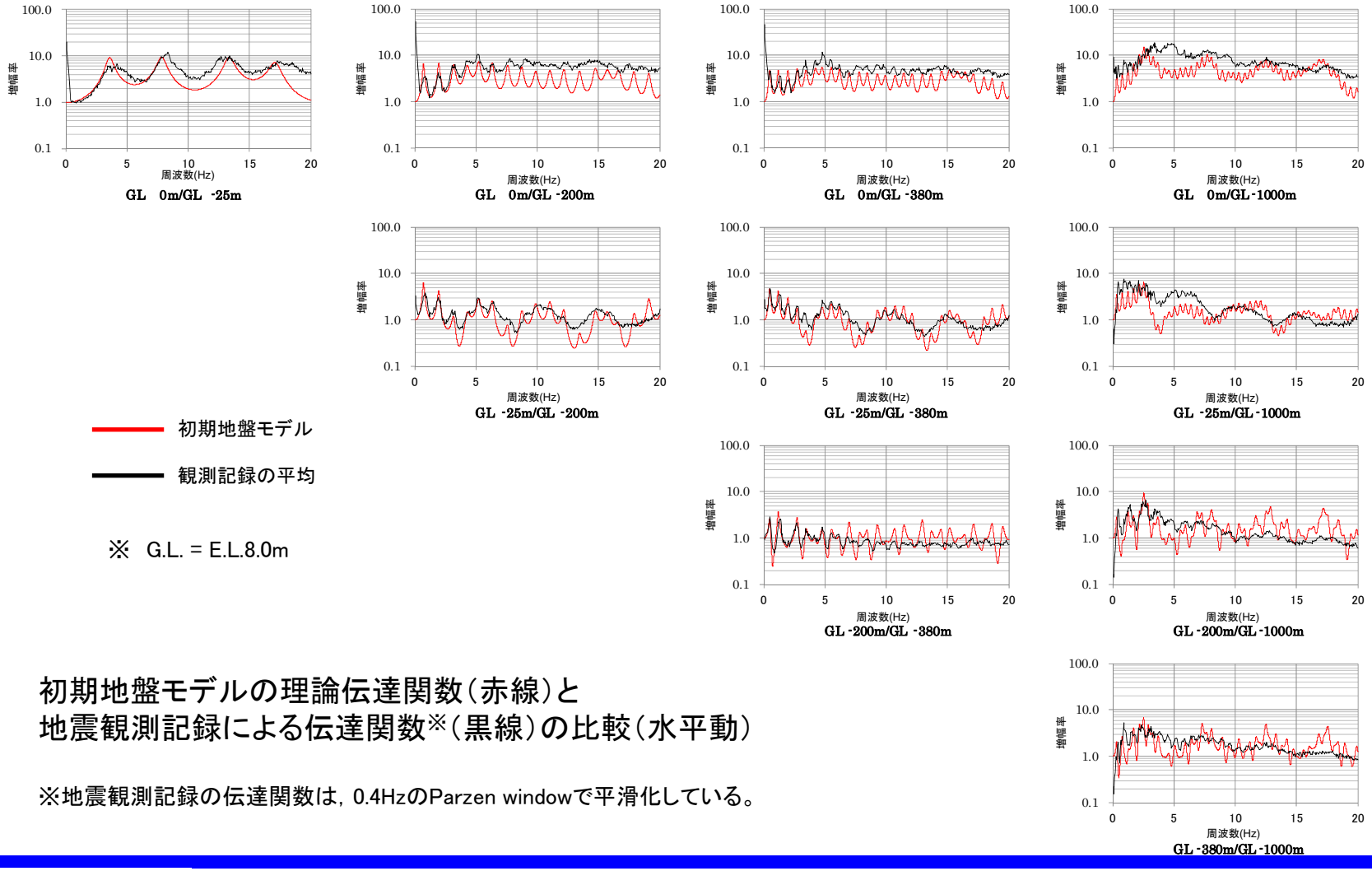
・検討対象期間　:2012年8月～2013年1月
・検討対象地震数:134地震

No.	発震日時		震央位置		震源深さ	マグニチュード	震央距離
			緯度(度)	経度(度)	(km)		(km)
1	2012/08/04	22:08	36.852	140.573	7.3	3.7	43
2	2012/08/05	06:45	36.229	141.139	47.3	3.8	55
3	2012/08/07	03:39	36.411	141.027	45.1	3.3	38
4	2012/08/08	08:54	36.889	141.380	33.2	4.4	84
5	2012/08/10	05:38	36.780	141.270	36.8	4.3	69
6	2012/08/10	07:18	36.759	140.590	7.2	3.2	33
7	2012/08/11	19:30	37.131	141.182	60.0	4.4	90
8	2012/08/12	03:21	36.496	140.642	10.0	2.0	5
9	2012/08/12	18:56	37.083	140.548	4.0	3.8	69
10	2012/08/14	03:41	36.225	141.052	41.0	3.6	48
11	2012/08/14	07:54	36.746	141.087	28.5	3.7	53
12	2012/08/15	01:15	37.053	140.772	9.2	3.6	67
13	2012/08/17	01:53	36.772	140.573	9.4	3.6	34
14	2012/08/17	15:15	37.354	141.866	40.7	4.6	149
15	2012/08/17	20:37	36.655	140.988	88.7	4.3	40
16	2012/08/20	08:26	36.748	140.599	6.2	3.4	31
17	2012/08/20	20:42	35.917	140.442	57.2	5.2	63
18	2012/08/20	21:02	35.938	140.820	26.1	3.6	62
19	2012/08/21	01:42	36.906	141.449	45.7	5.1	90
20	2012/08/25	07:43	36.424	141.083	44.8	3.9	43
21	2012/08/25	08:51	36.294	141.023	44.3	3.6	42
22	2012/08/26	03:36	36.968	141.083	90.0	5.2	70
23	2012/08/28	20:44	36.950	141.350	40.3	4.2	85
24	2012/08/28	22:55	36.396	141.875	27.0	5.0	114
25	2012/08/29	19:19	36.643	141.060	45.2	3.7	45
26	2012/08/30	04:17	36.121	139.850	48.6	4.1	78
27	2012/08/31	03:06	36.846	140.579	8.4	3.4	42
28	2012/08/31	23:26	36.897	140.663	7.3	4.4	48
29	2012/09/01	00:31	37.185	141.381	29.3	4.6	106
30	2012/09/02	11:14	36.620	141.316	46.1	3.7	66
31	2012/09/02	13:33	36.519	140.696	54.2	3.9	10
32	2012/09/03	07:17	36.639	140.929	49.6	3.8	35
33	2012/09/03	18:30	36.939	140.108	96.5	3.6	69
34	2012/09/05	01:26	36.700	140.644	6.0	3.3	26
35	2012/09/06	03:20	36.700	140.606	9.8	3.8	26
36	2012/09/07	14:36	36.415	141.035	45.8	3.5	39
37	2012/09/07	15:17	36.661	141.133	29.8	4.3	52
38	2012/09/11	02:58	36.572	140.592	18.9	2.7	12
39	2012/09/11	08:17	36.776	141.264	32.7	4.4	68
40	2012/09/11	20:12	37.621	141.900	30.2	4.7	172
41	2012/10/24	01:30	36.654	140.609	4.9	3.1	21
42	2012/10/24	16:05	36.534	140.848	51.5	4.5	23
43	2012/10/24	16:26	36.742	141.277	25.6	3.6	67
44	2012/10/24	16:56	36.543	140.847	51.3	4.0	23
45	2012/10/24	23:30	36.311	140.870	36.4	3.4	29
46	2012/10/25	09:51	36.645	140.894	25.9	3.5	33
47	2012/10/27	13:12	37.022	141.130	50.8	4.1	77
48	2012/10/28	18:44	36.539	140.875	50.4	4.3	25
49	2012/10/30	14:50	36.884	141.350	32.2	4.0	81
50	2012/10/30	19:10	36.133	141.256	40.6	3.8	69
51	2012/10/30	19:13	36.157	141.255	38.1	4.0	68
52	2012/10/31	15:50	36.040	139.925	44.2	4.4	77
53	2012/11/03	07:34	37.617	141.749	29.4	5.0	163
54	2012/11/05	05:49	36.330	140.952	38.5	4.3	34
55	2012/11/06	06:59	36.644	141.126	47.6	4.1	51
56	2012/11/07	00:01	35.759	140.989	13.4	4.3	86
57	2012/11/07	00:03	35.766	140.984	13.5	4.1	85
58	2012/11/07	01:44	36.341	140.930	36.6	2.9	32
59	2012/11/07	15:39	36.620	140.983	47.0	3.1	38
60	2012/11/08	08:54	37.007	140.698	10.8	4.2	61
61	2012/11/08	17:59	36.675	140.621	7.0	3.1	23
62	2012/11/09	12:51	36.877	141.380	32.5	5.5	83
63	2012/11/09	13:06	36.870	141.355	35.3	4.2	81
64	2012/11/09	13:49	36.877	141.355	30.9	4.1	81
65	2012/11/09	22:22	37.343	141.351	49.0	4.1	118
66	2012/11/10	21:35	36.889	141.377	32.5	4.4	83
67	2012/11/12	00:12	36.635	140.660	13.9	3.0	19
68	2012/11/14	02:16	36.389	140.796	16.2	2.5	19
69	2012/11/14	02:58	36.662	141.117	16.4	4.2	51
70	2012/11/14	04:34	36.842	141.338	33.0	3.8	78
71	2012/11/15	02:19	36.421	141.005	17.0	4.5	36
72	2012/11/15	18:19	36.488	140.594	61.7	2.8	3
73	2012/11/15	23:54	36.867	141.366	34.5	4.1	81
74	2012/11/16	17:25	35.357	141.230	30.2	5.5	135
75	2012/11/17	14:40	36.428	140.654	52.7	3.7	6
76	2012/11/23	05:13	36.591	140.984	47.2	3.1	37
77	2012/11/24	00:51	36.067	139.878	45.5	4.4	79
78	2012/11/24	17:59	35.638	140.018	72.2	4.8	106
79	2012/11/27	06:12	36.164	141.012	43.9	3.6	50
80	2012/11/27	11:18	36.455	140.767	16.6	3.0	14
81	2012/11/28	00:11	36.741	141.043	42.2	3.8	50
82	2012/11/28	05:17	36.617	141.051	28.5	3.9	43
83	2012/11/30	02:10	36.560	140.839	13.2	3.6	23
84	2012/12/03	13:53	36.591	141.181	27.3	3.0	53
85	2012/12/03	13:57	36.342	140.727	90.9	4.3	18
86	2012/12/03	14:17	36.588	141.186	29.4	4.3	54
87	2012/12/03	19:38	36.890	141.364	30.2	3.9	82
88	2012/12/06	13:00	36.506	140.612	55.0	2.8	5
89	2012/12/06	16:18	37.081	141.226	36.9	4.0	88
90	2012/12/06	19:17	36.431	140.692	52.4	4.3	9
91	2012/12/07	10:03	36.704	141.245	32.6	3.9	63
92	2012/12/07	18:02	35.835	140.976	15.8	4.2	78
93	2012/12/07	18:23	36.706	141.244	33.2	4.0	63
94	2012/12/07	19:40	36.701	141.232	31.6	4.2	62
95	2012/12/10	19:34	36.450	140.579	61.0	2.7	3
96	2012/12/11	13:11	36.233	140.382	64.7	3.0	33
97	2012/12/12	09:19	36.983	141.428	31.8	4.7	93
98	2012/12/12	18:23	36.702	140.621	5.8	3.6	26
99	2012/12/13	01:02	36.629	140.958	49.0	4.0	36
100	2012/12/15	13:27	37.297	141.349	59.0	5.3	114
101	2012/12/15	14:46	36.822	141.209	32.3	5.0	67
102	2012/12/15	17:24	36.267	140.914	44.6	2.9	35
103	2012/12/17	04:55	36.440	141.116	44.8	2.8	46
104	2012/12/18	03:46	36.850	141.346	29.1	4.9	79
105	2012/12/19	11:35	36.334	141.787	53.9	4.6	107
106	2012/12/20	05:16	36.169	140.327	73.6	4.2	41
107	2012/12/21	00:31	37.113	141.106	52.6	4.1	85
108	2012/12/25	06:54	36.913	141.416	30.9	4.2	88
109	2012/12/28	16:30	36.453	140.604	55.5	4.1	1
110	2012/12/29	16:19	37.068	141.183	51.0	5.0	84
111	2012/12/30	08:05	36.963	141.393	35.0	5.1	89
112	2012/12/30	11:33	36.755	141.299	75.9	3.8	70
113	2013/01/03	04:56	37.104	140.605	10.4	3.8	71
114	2013/01/04	13:42	35.748	140.688	49.7	4.5	80
115	2013/01/04	22:52	36.9	141.295	75.4	4.4	78
116	2013/01/08	13:47	36.139	140.958	35.6	3.6	48
117	2013/01/10	21:48	37.514	141.472	48.4	5.0	140
118	2013/01/12	12:05	36.678	140.623	6.6	3.4	24
119	2013/01/13	02:54	36.651	140.591	7.0	3.1	21
120	2013/01/13	22:14	36.888	140.656	8.2	3.8	47
121	2013/01/14	15:53	37.184	141.538	47.0	4.9	115
122	2013/01/15	09:08	36.604	140.66	8.8	2.9	16
123	2013/01/17	06:41	36.251	140.869	45.0	2.9	34
124	2013/01/18	13:04	37.086	140.672	8.4	3.9	69
125	2013/01/19	22:19	36.706	141.24	34.5	4.1	63
126	2013/01/21	11:29	36.868	140.56	7.9	3.9	45
127	2013/01/21	23:19	35.984	141.174	21.6	4.0	74
128	2013/01/22	04:46	35.874	140.937	16.0	5.1	72
129	2013/01/26	09:14	36.307	139.788	111.5	4.0	76
130	2013/01/26	17:47	36.468	140.738	51.8	3.4	12
131	2013/01/28	03:41	36.571	140.56	73.7	4.8	12
132	2013/01/30	01:31	36.38	140.87	41.5	3.0	26
133	2013/01/31	19:57	36.552	141.107	46.0	4.0	46
134	2013/01/31	23:53	36.703	140.604	8.4	4.7	26

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（7／11）

補足説明資料①　第409回審査会合 資料1　153頁　再掲

・初期地盤モデルによる理論伝達関数を算出し，地震観測記録による伝達関数と比較した。
・初期地盤モデルと地震観測記録による伝達関数のピークとトラフは整合しており，初期地盤モデルの層厚と地盤速度の設定は妥当であり，地盤同定解析では減衰定数を解析対象とする。



初期地盤モデル

観測記録の平均

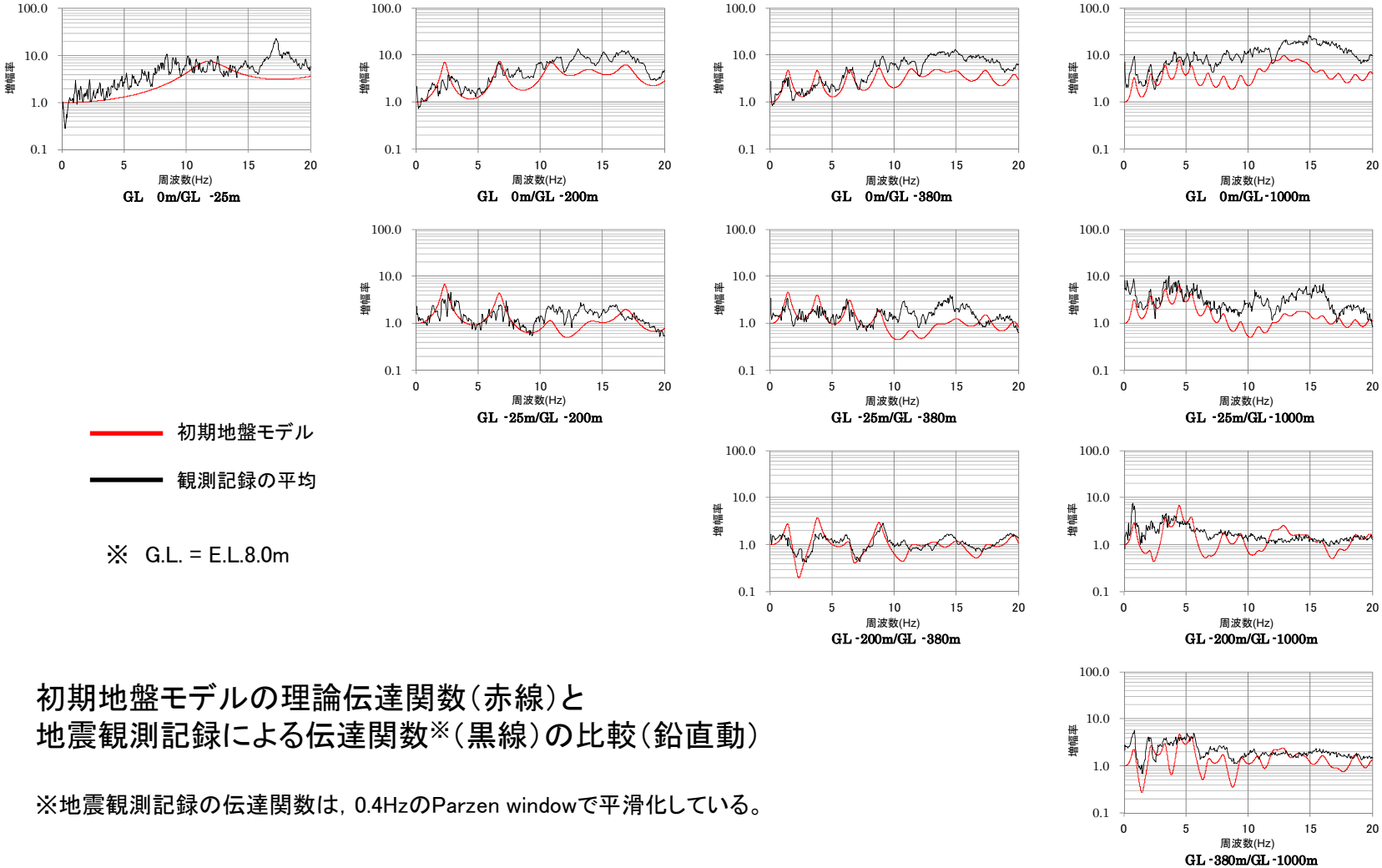
※　G.L. = E.L.8.0m

初期地盤モデルの理論伝達関数（赤線）と
地震観測記録による伝達関数※（黒線）の比較（水平動）

※地震観測記録の伝達関数は，0.4HzのParzen windowで平滑化している。

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（8／11）

補足説明資料①　第409回審査会合 資料1　154頁　再掲



初期地盤モデル

観測記録の平均

※　G.L. = E.L.8.0m

初期地盤モデルの理論伝達関数（赤線）と
地震観測記録による伝達関数※（黒線）の比較（鉛直動）

※地震観測記録の伝達関数は，0.4HzのParzen windowで平滑化している。

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（９／１１）

●地盤モデルの同定結果

・地震観測記録から求めた伝達関数に，一次元波動論に基づく理論伝達特性を当てはめる逆解析により，地盤モデルを同定した。
・減衰定数の初期値は0.01（1%）と仮定した。
・解析手法は遺伝的アルゴリズムを用い，乱数の初期値を変えた5通りの計算結果の平均値を採用した。
・解析パラメータについては，山中・石田(1995)を参考に設定した。

・得られた結果を以下に示す。
　水平成分　h(f)＝0.022
　鉛直成分　h(f)＝0.001×f $^{-1.000}$

同定解析における初期値，探索範囲，同定結果

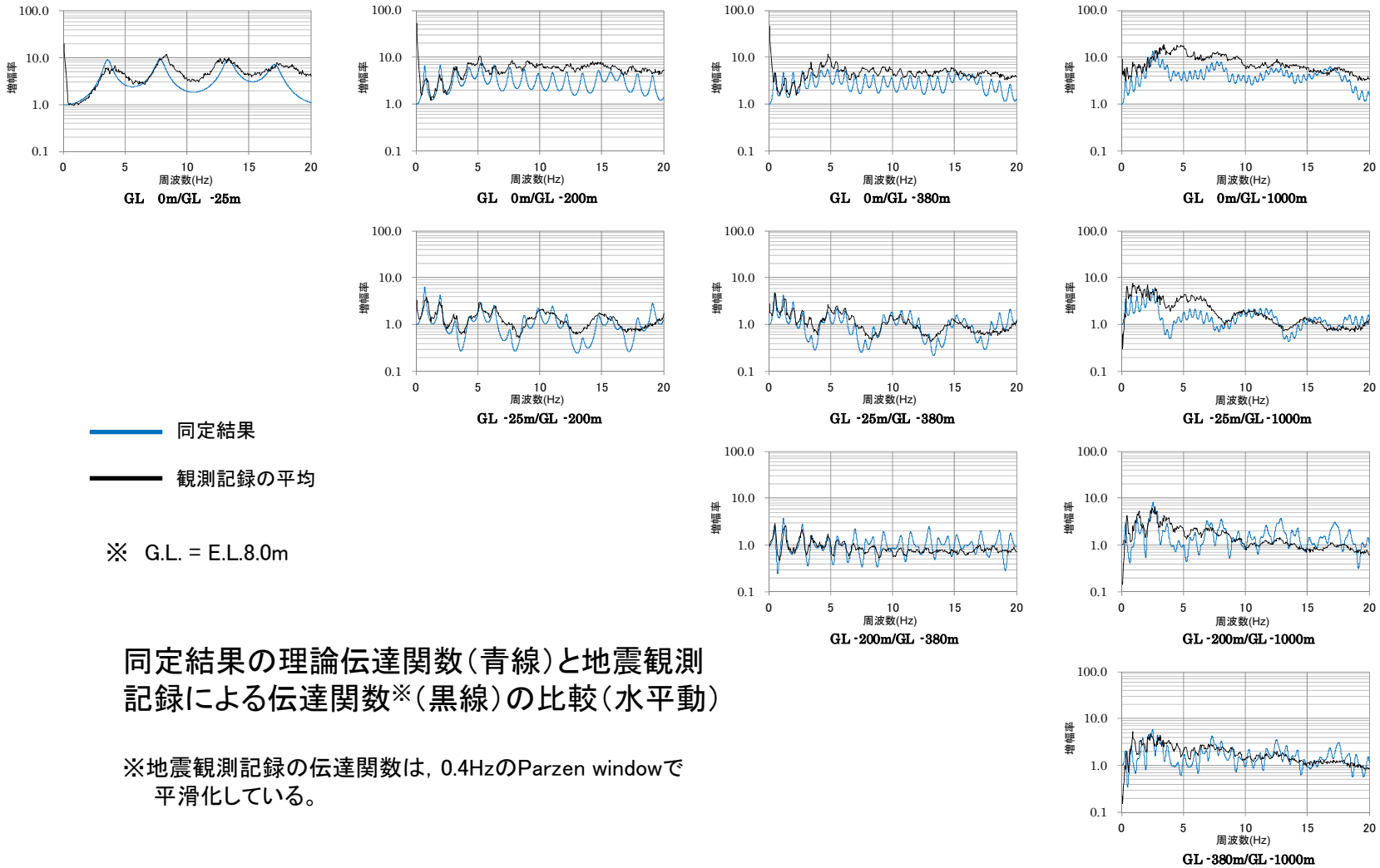
固定パラメータ								探索範囲		同定結果	
E.L. (m)	層厚 (m)	地層	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数h(f)=h_0×f$^{-\alpha}$ 水平	減衰定数h(f)=h_0×f$^{-\alpha}$ 鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直
▼ 8.0											
5.5	2.5	第四系	130	280	1.71	$0.236f^{-0.752}$	$0.203f^{-0.21}$	—			
1.0	4.5		151	403							
−7.0	8.0		308	1589	1.66						
−15.0	8.0		478	1509	1.82						
▼ −17.0	2.0	新第三系	477	1753	1.69	$0.072f^{-0.931}$	$0.203f^{-0.93}$	—			
−106.0	89.0										
−168.0	62.0		557	1742	1.74						
▼ −192.0	24.0		669	2067	1.78						
−260.0	68.0										
−368.0	108.0		756	2256	1.82						
▽ −370.0	2.0		790	2000	1.85						
▼ −372.0	2.0										
−476.0	104.0		790	2000	1.85	$0.072^{f-0.931}$	$0.203f^{-0.93}$	—			
−566.0	90.0		835	2124	1.89						
−655.0	89.0		904	2205	2.00						
△ −679.0	24.0		947	2256	2.07						
−734.0	55.0	先新第三系	2750	4740	2.65	—	—	h_0:0.001～1.000 α:0.000～1.000		h_0:0.022 α:0.000	h_0:0.001 α:1.000
▼ −992.0	258.0		3220	5550	2.78						
	−		3220	5550	2.78						

▼:地震計位置　▽:解放基盤表面　△:地震基盤

□:同定対象

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（10／11）

補足説明資料①　第409回審査会合 資料1　156頁　再掲



同定結果

観測記録の平均

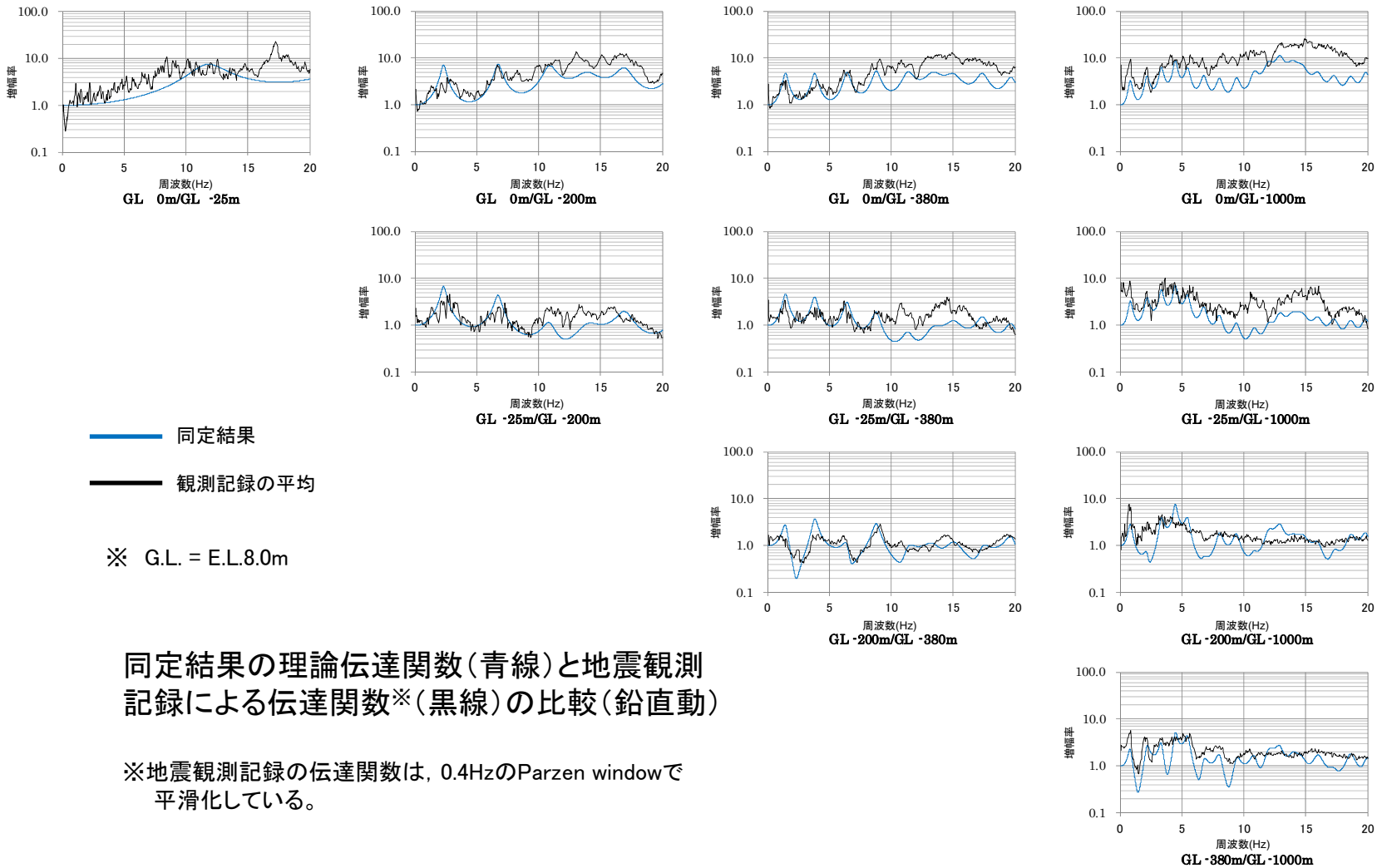
※　G.L. = E.L.8.0m

同定結果の理論伝達関数（青線）と地震観測記録による伝達関数※（黒線）の比較（水平動）

※地震観測記録の伝達関数は，0.4HzのParzen windowで平滑化している。

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル（11／11）

補足説明資料①　第409回審査会合 資料1　157頁　再掲



同定結果

観測記録の平均

※　G.L. = E.L.8.0m

同定結果の理論伝達関数（青線）と地震観測記録による伝達関数※（黒線）の比較（鉛直動）

※地震観測記録の伝達関数は，0.4HzのParzen windowで平滑化している。

既往の断層モデル地震動評価への影響（1／4）

補足説明資料②

第994回審査会合
資料1－2再掲

■「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の断層モデル手法による地震動評価は，全て経験的グリーン関数法で実施しているが，結果の妥当性確認のため統計的グリーン関数法（SGF法）による地震動評価も行っている。

■そこで，検討用地震である，2011年東北地方太平洋沖型地震，F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震及び茨城県南部の地震（プレート内地震）の基本震源モデルを対象に，標準応答スペクトル用地盤モデルでSGFの評価を行い，従来のSGFの評価結果に与える影響を検討する。

■また，2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデルでのSGFの評価も行い，併せて結果を示すこととする。

SGF用地盤モデル

	上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直
解放基盤表面	−370.0	790	2000	1.85	0.02	0.01
	−477.0	840	2110	1.96		
地震基盤相当面	−677.0	2750	4740	2.63	$Q=110f^{0.69}$	

留萌用地盤モデル

:SGF用地盤モデルと異なる物性値

上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直
−370.0	790	2000	1.85	$0.072f^{-0.93}$	$0.203f^{-0.93}$
−476.0	835	2124	1.89		
−566.0	904	2205	2.00		
−655.0	947	2256	2.07		
−679.0	2750	4740	2.65	0.022	$0.001f^{-1.00}$

標準応答スペクトル用地盤モデル

:留萌用地盤モデルと異なる物性値

上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直
−370.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f＞6.78)	$0.264f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f＞31.74)
−476.0	835	2124	1.89	0.058f−1.05 (f≦6.78) 0.008 (f＞6.78)	$0.249f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f＞31.74)
−566.0	904	2205	2.00	$0.054f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.007 (f＞6.78)	$0.240f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f＞31.74)
−655.0	947	2256	2.07	$0.051f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.007 (f＞6.78)	$0.234f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f＞31.74)
−679.0	2200	4800	2.65	$0.013f^{-0.21}$ (f≦1.31) 0.012 (f＞1.31)	$0.004f^{-0.23}$ (f≦16.46) 0.002 (f＞16.46)

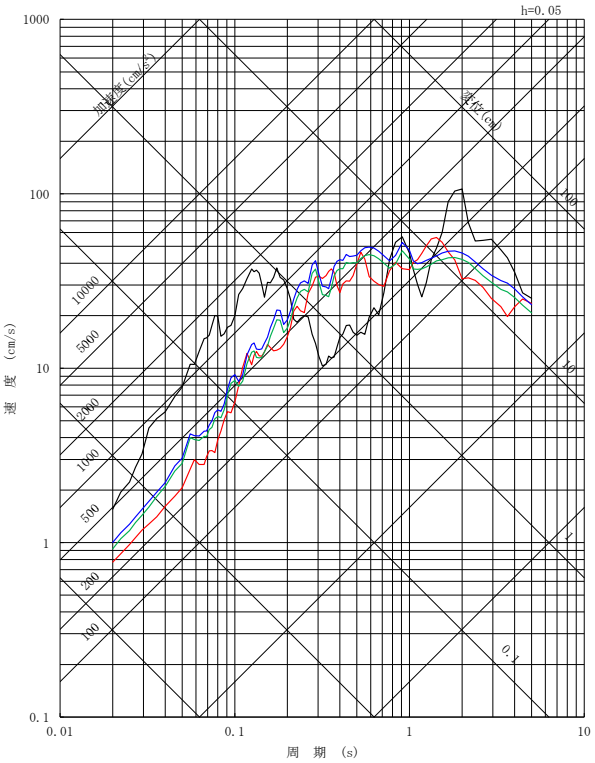
既往の断層モデル地震動評価への影響（2／4）

補足説明資料②

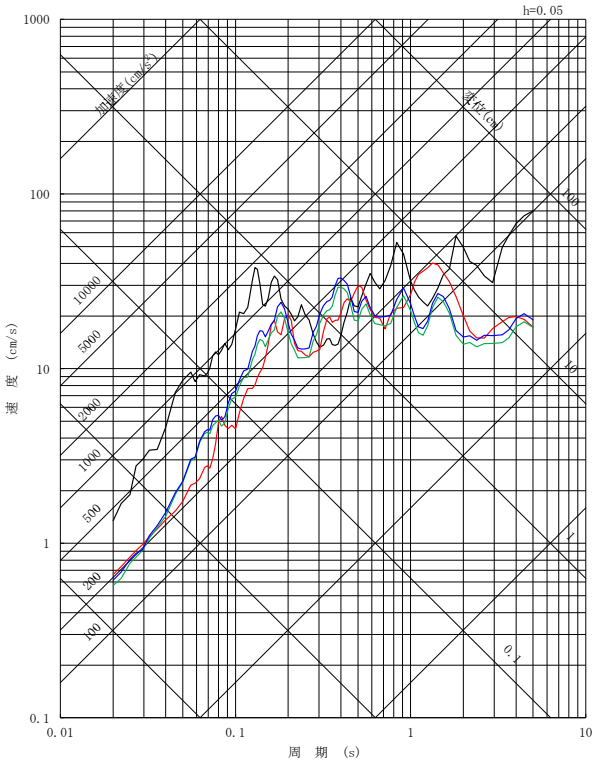
第994回審査会合
資料1－2再掲

■ F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震
（基本震源モデル，破壊開始点1の例）

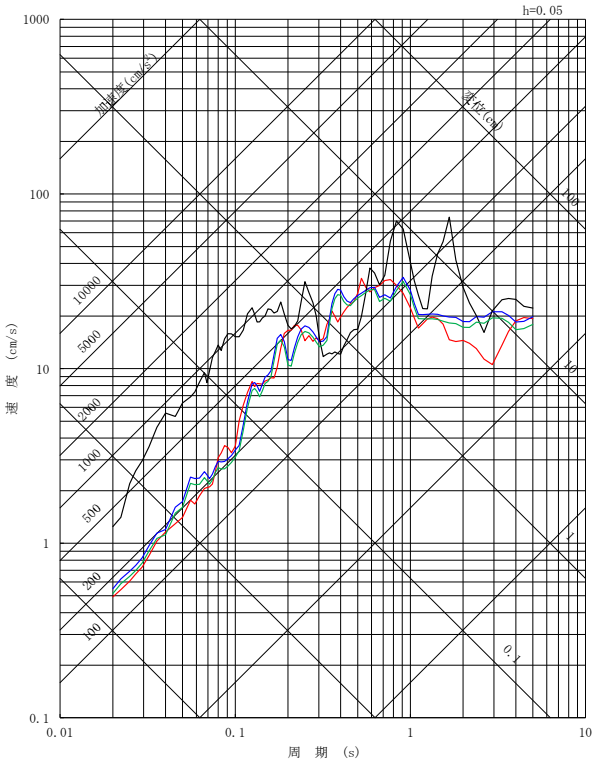
EGF
SGF用地盤モデル
留萌用地盤モデル
標準応答スペクトル用地盤モデル



NS方向



EW方向



UD方向

擬似速度応答スペクトル

標準応答スペクトル用地盤モデルを用いたSGFの評価結果は，従来のSGF用地盤モデルを用いたSGFの評価結果とほぼ同等である。

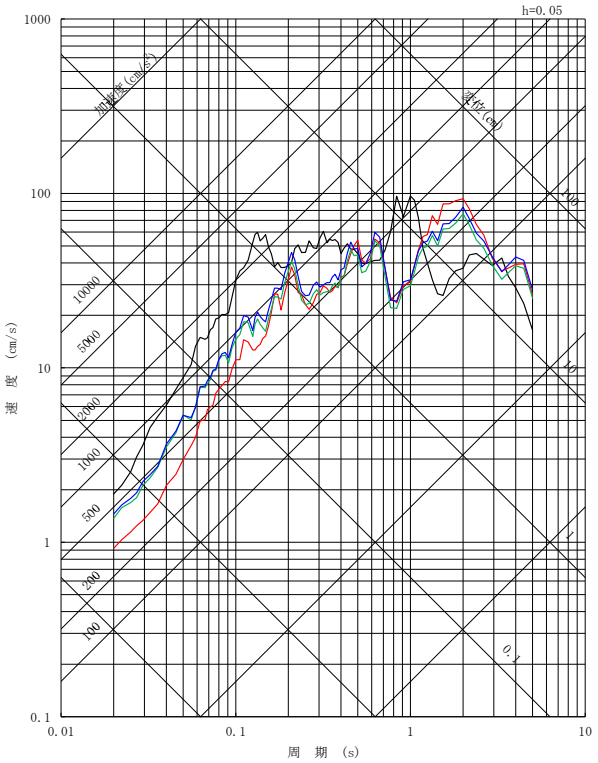
既往の断層モデル地震動評価への影響（3／4）

補足説明資料②

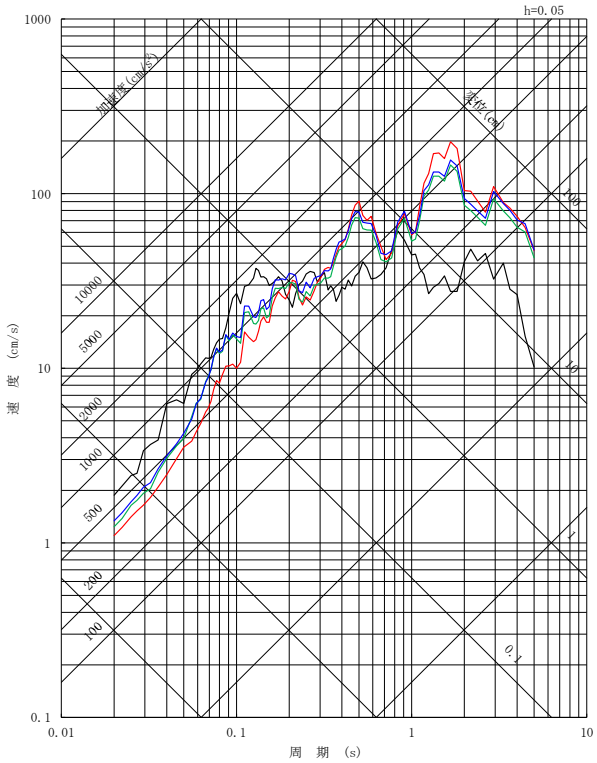
第994回審査会合
資料1－2再掲

■ 2011年東北地方太平洋沖型地震
（基本震源モデル，破壊開始点1の例）

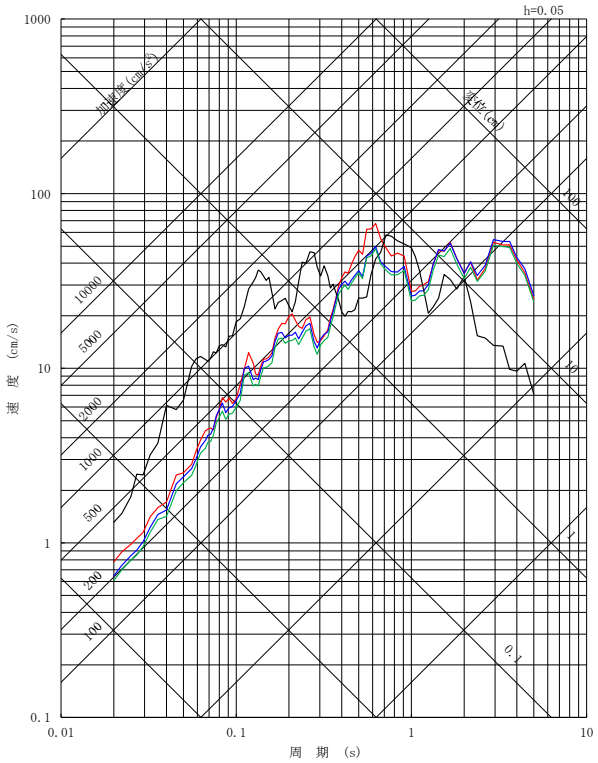
EGF
SGF用地盤モデル
留萌用地盤モデル
標準応答スペクトル用地盤モデル



NS方向



EW方向



UD方向

擬似速度応答スペクトル

標準応答スペクトル用地盤モデルを用いたSGFの評価結果は，従来のSGF用地盤モデルを用いたSGFの評価結果とほぼ同等である。

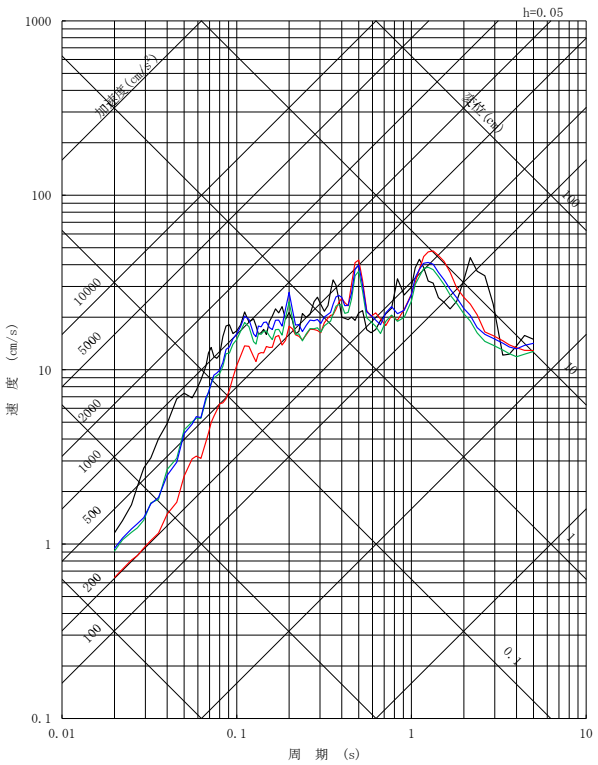
既往の断層モデル地震動評価への影響（4／4）

補足説明資料②

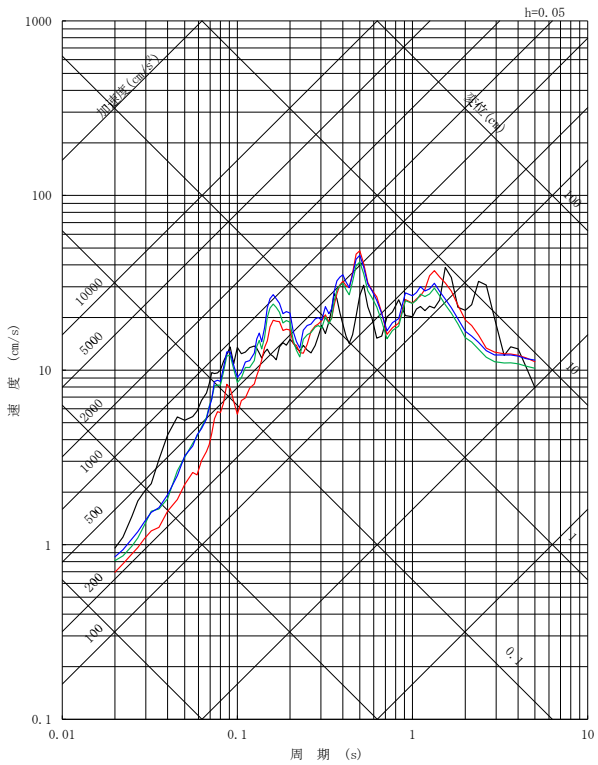
第994回審査会合
資料1－2再掲

■茨城県南部の地震（プレート内地震）
（基本震源モデル，破壊開始点1の例）

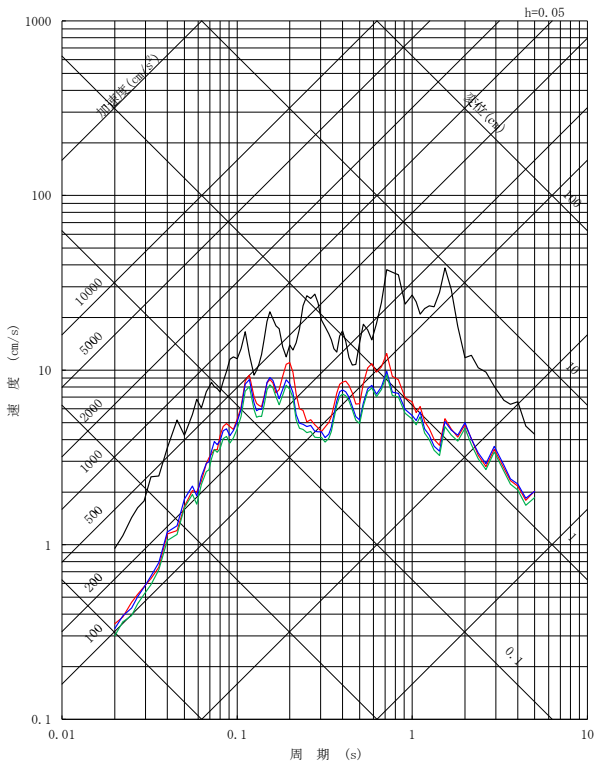
EGF
SGF用地盤モデル
留萌用地盤モデル
標準応答スペクトル用地盤モデル



NS方向



EW方向



UD方向

擬似速度応答スペクトル

標準応答スペクトル用地盤モデルを用いたSGFの評価結果は，従来のSGF用地盤モデルを用いたSGFの評価結果とほぼ同等である。

Ss-31（留萌波）への影響（1／3）

補足説明資料③

第994回審査会合
資料1－2修正

■2004年北海道留萌支庁南部地震による検討では，SGF用地盤モデルとは別に設定した地盤モデル（留萌用地盤モデル）を用いて地盤増幅特性の検討を行っている。

■そこで，標準応答スペクトル用地盤モデルで2004年北海道留萌支庁南部地震の検討を行い，従来の評価結果に与える影響を検討する。

留萌用地盤モデル

	上端標高（m）	S波速度（m/s）	P波速度（m/s）	密度（g/cm^3）	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直
解放基盤表面	−370.0	790	2000	1.85	$0.072f^{-0.93}$	$0.203f^{-0.93}$
	−476.0	835	2124	1.89		
	−566.0	904	2205	2.00		
基盤地震動推定位置	−655.0	938	2245	2.05		

標準応答スペクトル用地盤モデル

:留萌用地盤モデルと異なる物性値

上端標高（m）	S波速度（m/s）	P波速度（m/s）	密度（g/cm^3）	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直
−370.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.008 (f＞6.78)	$0.264f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f＞31.74)
−476.0	835	2124	1.89	0.058f−1.05 (f≦6.78) 0.008 (f＞6.78)	$0.249f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.007 (f＞31.74)
−566.0	904	2205	2.00	$0.054f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.007 (f＞6.78)	$0.240f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f＞31.74)
−655.0	938	2245	2.05	$0.051f^{-1.05}$ (f≦6.78) 0.007 (f＞6.78)	$0.234f^{-1.05}$ (f≦31.74) 0.006 (f＞31.74)

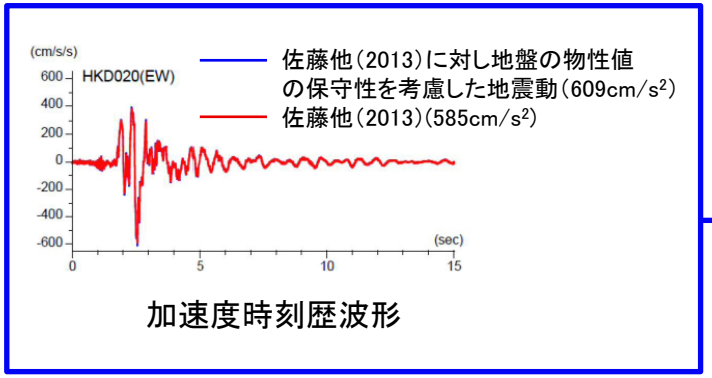
備考
・基盤地震動推定位置は，K-NET港町観測点においてはぎとり波が推定された基盤とVsが同等の基盤の位置
・P63の留萌用地盤モデル，標準応答スペクトル用地盤モデルにおける地震基盤相当面以浅のVs，Vp，密度についてはP54，P55に示す標高依存式により，当該層の中心位置で求めた値をそれぞれ設定している。一方，本ページにおける基盤地震動推定位置直下のVs，Vp，密度は，標高依存式によりE.L.−655m位置で求めた値を設定している。

Ss-31（留萌波）への影響（2／3）

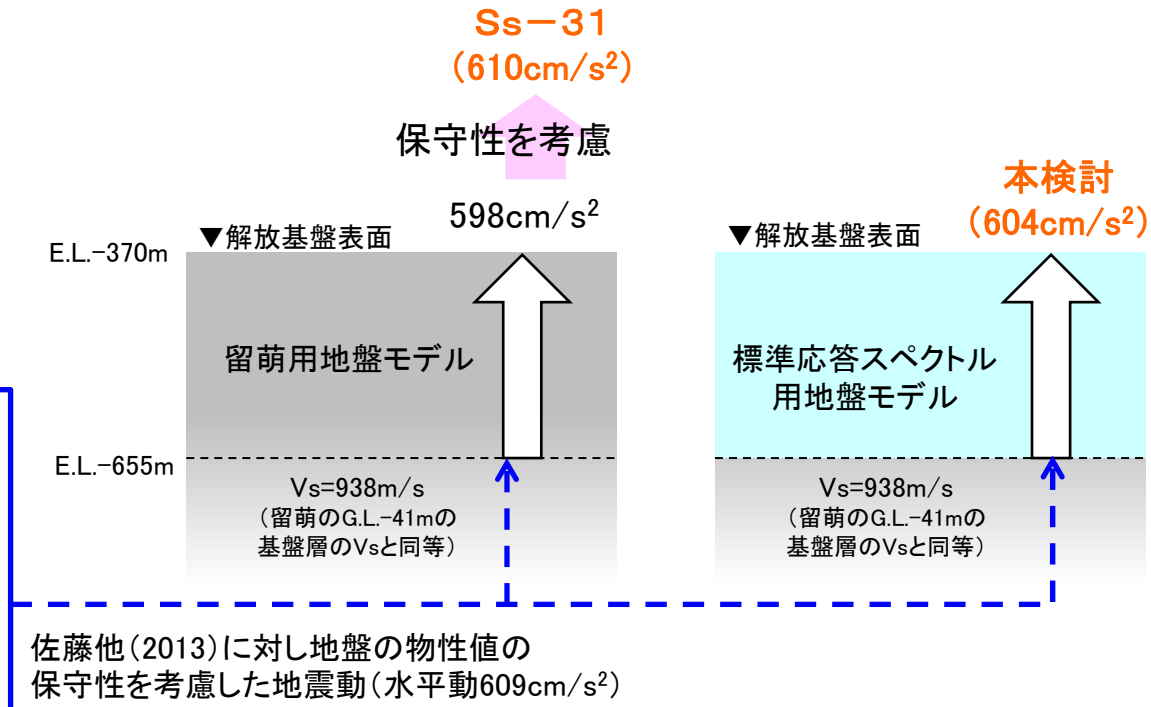
補足説明資料③

第994回審査会合
資料1－2再掲

■Ss-31（留萌波）のもとになった，佐藤他（2013）に対し地盤の物性値の保守性を考慮した地震動を標準応答スペクトル用地盤モデルに入力して解放基盤表面における地震動を評価する。



加速度時刻歴波形



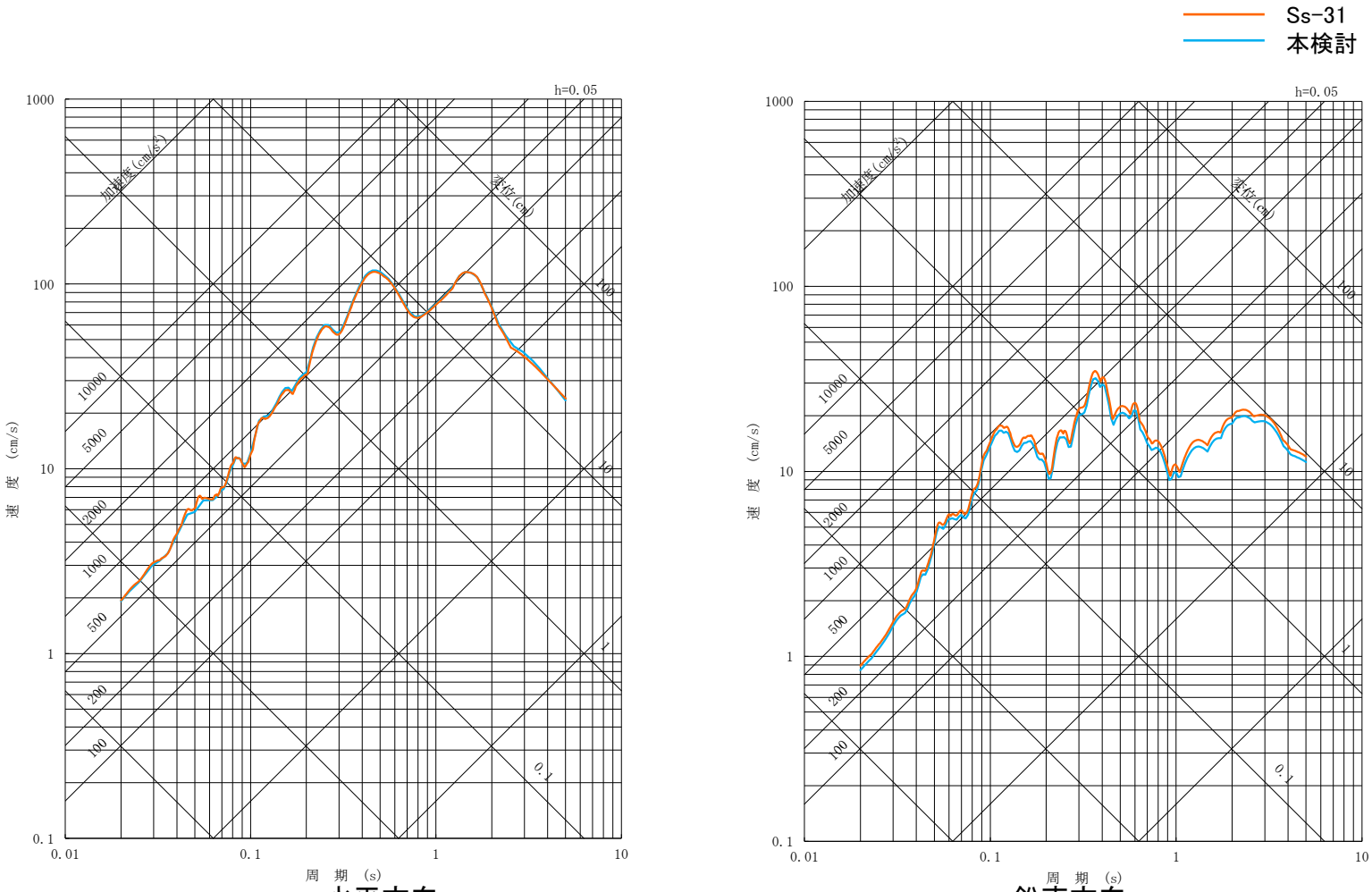
佐藤他（2013）に対し地盤の物性値の
保守性を考慮した地震動（水平動609cm/s²）

Ss-31（留萌波）への影響（3／3）

補足説明資料③

第994回審査会合
資料1－2再掲

■佐藤他（2013）に対し地盤の物性値の保守性を考慮した地震動を標準応答スペクトル用地盤モデルに入力した結果，Ss-31には影響はないことを確認した。



擬似速度応答スペクトル