

東海第二発電所 基準地震動の策定について

令和5年9月28日

日本原子力発電株式会社

平成26年5月申請時から平成30年9月許可時までの主な変更点(1/2)

地下構造評価

○:考慮, -:未考慮 該当頁

- 申請時(H26.5)の評価
- 敷地地盤の地下構造を水平成層かつ均質とみなして評価できることを確認



- 許可時(H30.9)の評価
- 敷地地盤の地下構造を水平成層かつ均質とみなして評価できることを再確認

プレート間地震

検討ケース	申請時(H26.5)の評価	許可時(H30.9)の評価
応答スペクトル手法	敷地における2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の解放基盤波	敷地における2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の解放基盤波を包絡した応答スペクトル
基本震源モデル	2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)	2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)
SMGA位置の不確かさ	○	○
短周期レベルの不確かさ	○	○
SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳	-	○

海洋プレート内地震

検討ケース	申請時(H26.5)の評価	許可時(H30.9)の評価
基本震源モデル	茨城県南部の地震(Mw7.3) ・中央防災会議(2004)を参考に設定 ・アスペリティの応力降下量21MPa	茨城県南部の地震(Mw7.3) ・中央防災会議(2013)を参考に設定 ・アスペリティの応力降下量62MPa
断層傾斜角の不確かさ	-	○
アスペリティ位置の不確かさ	○	○
応力降下量の不確かさ	-	○
地震規模の不確かさ	-	○

平成26年5月申請時から平成30年9月許可時までの主な変更点(2/2)

内陸地殻内地震

○:考慮, -:未考慮 該当頁

検討ケース	申請時(H26.5)の評価	許可時(H30.9)の評価
基本震源モデル	F1断層～北方陸域の断層による地震(M7.6) ・破壊開始点2箇所 ・断層上端深さ5km	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(M7.8) ・破壊開始点7箇所のうち影響の大きい3箇所を選定 ・断層上端深さ3km
短周期レベルの不確かさ	○	○
断層傾斜角の不確かさ	-	○
アスペリティ位置の不確かさ	-	○

震源を特定せず策定する地震動

- 申請時(H26.5)の評価
- ・加藤他(2004)による応答スペクトル



- 許可時(H30.9)の評価
- ・加藤他(2004)による応答スペクトル
 - ・16地震の整理
 - ・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

基準地震動Ssの策定

- 申請時(H26.5)の評価(基準地震動Ss:3波)
- 【応答スペクトル手法による基準地震動】
- ・振幅包絡線はM7.6, Xeq=25.7km(内陸地殻内地震)で設定
- 【断層モデル手法による基準地震動】
- ・内陸地殻内地震1波, プレート間地震1波



- 許可時(H30.9)の評価(基準地震動Ss:8波)
- 【応答スペクトル手法による基準地震動】
- ・地震動評価の見直しに伴い, スペクトル形状を再設定
 - ・振幅包絡線はM8.3, Xeq=135.8km(プレート間地震)とし, 継続時間が長くなるように設定
- 【断層モデル手法による基準地震動】
- ・内陸地殻内地震4波, プレート間地震2波
- 【震源を特定せず策定する地震動による基準地震動】
- ・2004年北海道留萌支庁南部地震

基準地震動の年超過確率の参照

- 申請時(H26.5)の評価
- ・特定震源モデル及び領域震源モデルに基づき地震ハザード評価を実施



- 許可時(H30.9)の評価
- ・特定震源モデル及び領域震源モデルに基づき地震ハザード評価を実施
 - ・活断層の諸元見直し及び2011年東北地方太平洋沖型地震の追加等

令和3年6月申請時での主な変更点

震源を特定せず策定する地震動

- 許可時(H30.9)の評価
- ・加藤他(2004)による応答スペクトル
 - ・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



- 申請時(R3.6)の評価
- ・加藤他(2004)による応答スペクトル
 - ・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
 - ・蓄積された地震観測記録や減衰定数の下限等の新しい知見を取り入れた標準応答スペクトル用地盤モデルを作成
 - ・標準応答スペクトルに基づき策定した地震動
:振幅包絡線は「全国共通に考慮すべき地震動」を想定して
M6.9, Xeq=10kmで設定

基準地震動Ssの策定

- 許可時(H30.9)の評価(基準地震動Ss:8波)
【震源を特定せず策定する地震動による基準地震動】
- ・2004年北海道留萌支庁南部地震(Ss-31)



- 申請時(R3.6)の評価(基準地震動Ss:9波)
【震源を特定せず策定する地震動による基準地震動】
- ・2004年北海道留萌支庁南部地震(Ss-31)
 - ・標準応答スペクトルに基づき策定した地震動(Ss-32)

基準地震動の年超過確率の参照

- 許可時(H30.9)の評価
- ・震源を特定せず策定する地震動による基準地震動Ss-31の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度



- 申請時(R3.6)の評価
- ・震源を特定せず策定する地震動による基準地震動Ss-31,32の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度

令和3年6月申請時から審査を踏まえた主な変更点

地下構造評価

➤ 申請時(R3.6)の評価

- 大深度ボーリングデータ(ダウンホール法)や既往の知見等に基づき、地震動評価用地盤モデルを設定



➤ 最終評価

- 申請時(R3.6)の地震動評価用地盤モデルを標準応答スペクトル用地盤モデルに更新

震源を特定せず策定する地震動

➤ 申請時(R3.6)の評価

- 加藤他(2004)による応答スペクトル
- 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
- 蓄積された地震観測記録や減衰定数の下限等の新しい知見を取り入れた標準応答スペクトル用地盤モデルを作成
- 標準応答スペクトルに基づく地震動
: 振幅包絡線は「全国共通に考慮すべき地震動」を想定して M6.9, Xeq=10kmで設定



➤ 最終評価

- 2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討結果に保守性を考慮した地震動(留萌波の検討においては留萌用地盤モデルを用いることが適切であることを確認)
- 標準応答スペクトルに基づく地震動
: 振幅包絡線は「全国共通に考慮すべき地震動」を想定して M7.0, Xeq=10kmとし、強震部の継続時間が長くなるように設定

基準地震動Ssの策定

➤ 申請時(R3.6)の評価

【震源を特定せず策定する地震動による基準地震動】

- 2004年北海道留萌支庁南部地震(Ss-31)
- 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動(Ss-32)



➤ 最終評価

【震源を特定せず策定する地震動による基準地震動】

- 2004年北海道留萌支庁南部の地震(Ss-31)
→ 変更なし
- 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動(Ss-32)
→ 振幅包絡線の変更に伴い再設定

基準地震動の年超過確率の参照

➤ 申請時(R3.6)の評価

- 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動Ss-31,32の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度



➤ 最終評価

- 変更なし

目次

: 抜粋範囲

1. 基準地震動の策定の概要	7
2. 敷地周辺の地震発生状況	10
3. 地下構造評価	20
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	128
4.1 プレート間地震	128
4.2 海洋プレート内地震	150
4.3 内陸地殻内地震	183
5. 震源を特定せず策定する地震動	205
6. 地盤モデルの整理	234
7. 基準地震動の策定	241
8. 基準地震動の年超過確率の参照	255
 参考資料	
・震源を特定せず策定する地震動(地域性を考慮する地震動)	281
 参考文献	325

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■震源を特定せず策定する地震動

プレート間地震	海洋プレート内地震	内陸地殻内地震
<p>【検討用地震の選定】</p> <p>2011年東北地方太平洋沖型地震 (Mw9.0)</p>	<p>【検討用地震の選定】</p> <p>中央防災会議 茨城県南部の地震 (Mw7.3)</p>	<p>【検討用地震の選定】</p> <p>F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (M7.8)</p>
<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>強震動予測レシピに基づく震源モデル (Mw9.0)</p>	<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>中央防災会議(2013)等の各種知見に基づく震源モデル (Mw7.3)</p>	<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>地質調査結果や強震動予測レシピに基づく震源モデル (M7.8)</p>
<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既往最大である2011年東北地方太平洋沖地震と同様のMw9.0を想定している。 ・巨大プレート間地震に対して適用性を確認した強震動予測レシピに基づきパラメータを設定している。 ・基本震源モデルによる評価結果は、2011年東北地方太平洋沖地震における敷地観測記録と良く対応していることを確認している。 	<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・想定の基になった中央防災会議(2013)は、フィリピン海プレートに関する最新知見を踏まえたものであり、1855年安政江戸地震の再現モデル(応力降下量52MPa)に2割程度保守性を考慮(応力降下量62MPa)している。 ・フィリピン海プレートの厚さが20km以上となる領域のうち、敷地に近い位置に想定している。 	<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2011年福島県浜通りの地震の知見から、地震発生層の上端深さを3kmと設定している。下端深さについては保守的に18kmとし、断層幅をより厚く想定している。 ・断層傾斜角については、F1断層における音波探査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョンモデルでの傾斜角を参考に西傾斜60度としている。 ・断層全長約58kmを南部と北部に区分けする際、リニアメントが判読されない区間をF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部区間に配置するアスペリティの地震モーメントや短周期レベルを大きくし、安全側の設定としている。
<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・SMGA位置の不確かさ (過去に発生した地震の位置→敷地最短) ・短周期レベルの不確かさ (宮城県沖で発生する地震の短周期励起特性を概ねカバーするレベルとして基本震源モデルの1.5倍を考慮) ・SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳 	<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・断層傾斜角の不確かさ (90度→敷地に向く角度) ・アスペリティ位置の不確かさ (海洋マントル上端→海洋地殻上端) ・応力降下量の不確かさ (62MPa→77MPa) ・地震規模の不確かさ (Mw7.3→Mw7.4) 	<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・短周期レベルの不確かさ (2007年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ基本震源モデルの1.5倍を考慮) ・断層傾斜角の不確かさ (2011年福島県浜通りの地震の震源域での余震分布の形状を考慮し、傾斜角45度を考慮) ・アスペリティ位置の不確かさ (端部1マス離隔あり→端部1マス離隔なし)

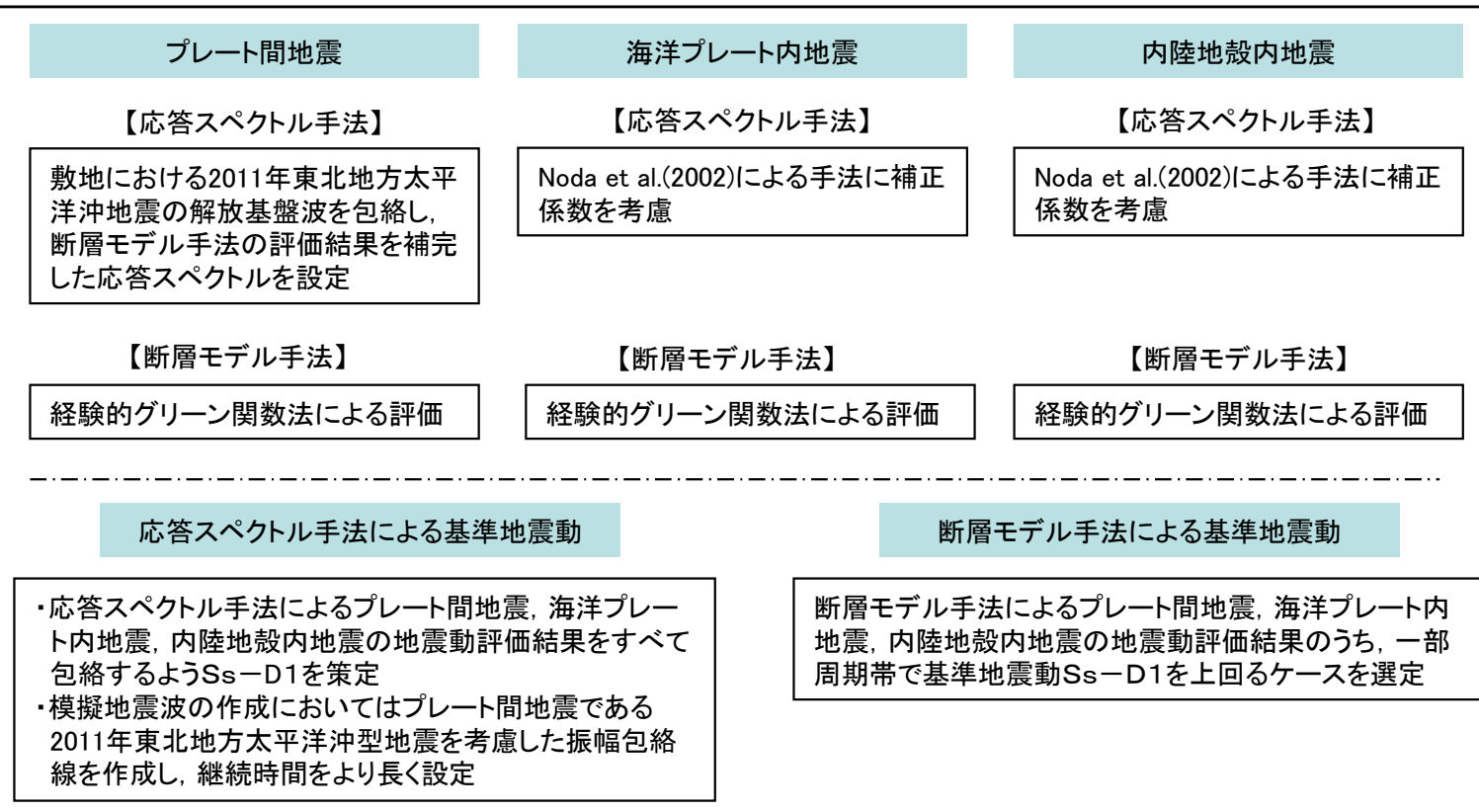
全国共通に考慮すべき地震動
<ul style="list-style-type: none"> ・2004年北海道留萌支庁南部の地震のK-NET港町観測点における観測記録から推定した基盤地震動 ・標準応答スペクトル
地域性を考慮する地震動
<ul style="list-style-type: none"> ・2000年鳥取県西部地震 ・2008年岩手・宮城内陸地震
<p>↓</p> <p>地質・地質構造等に地域差が認められ、いずれの地震も観測記録収集外</p>

↓ 次頁へ

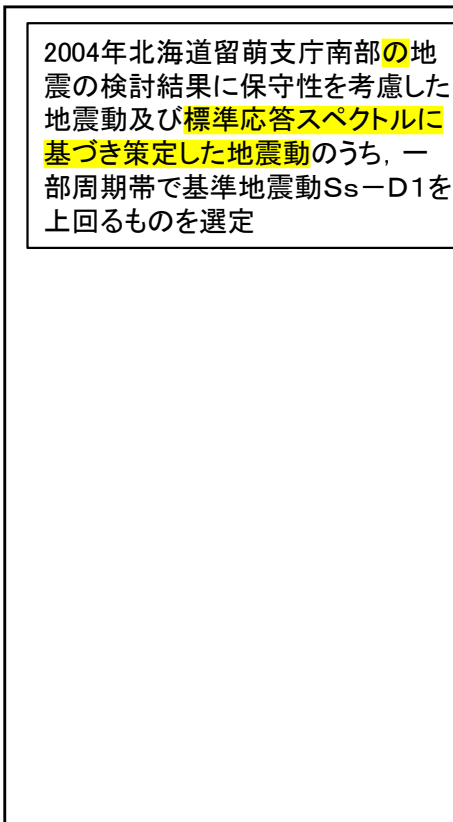
↓ 次頁へ

1. 基準地震動の策定の概要 検討概要(2/2)

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動



■震源を特定せず策定する地震動



■基準地震動Ssの策定

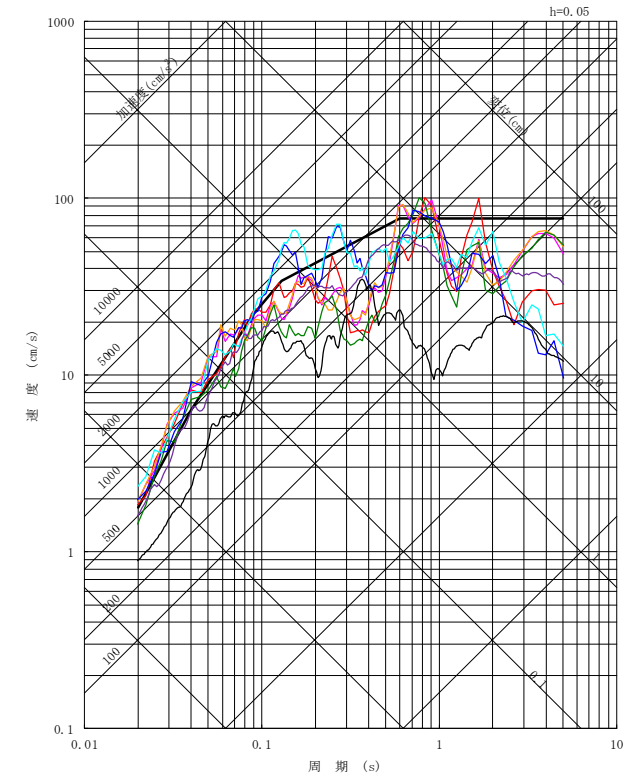
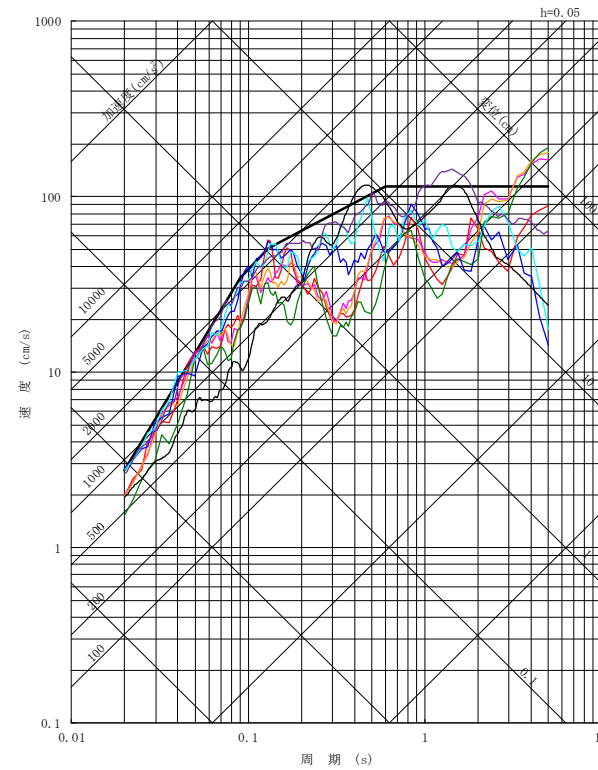
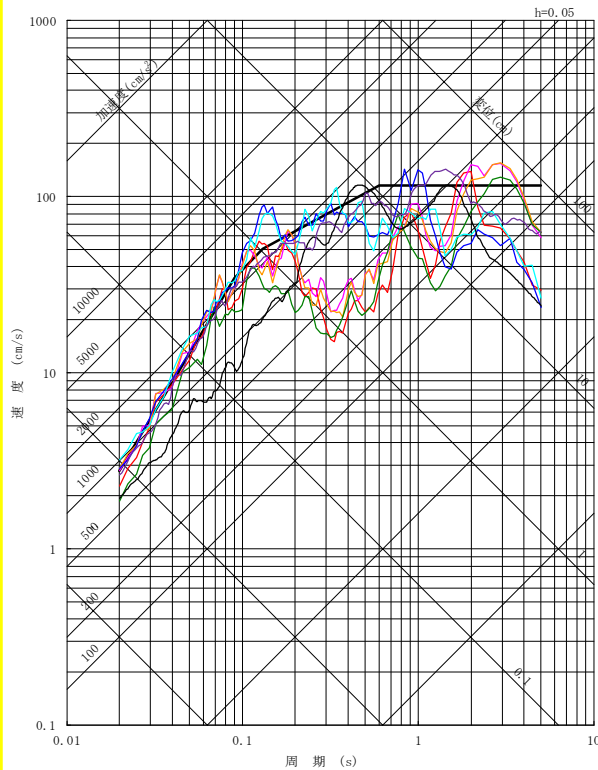
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(M7.8)(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(M7.8)(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(M7.8)(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(M7.8)(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)(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(Mw9.0)(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**

1. 基準地震動の策定の概要

基準地震動Ss

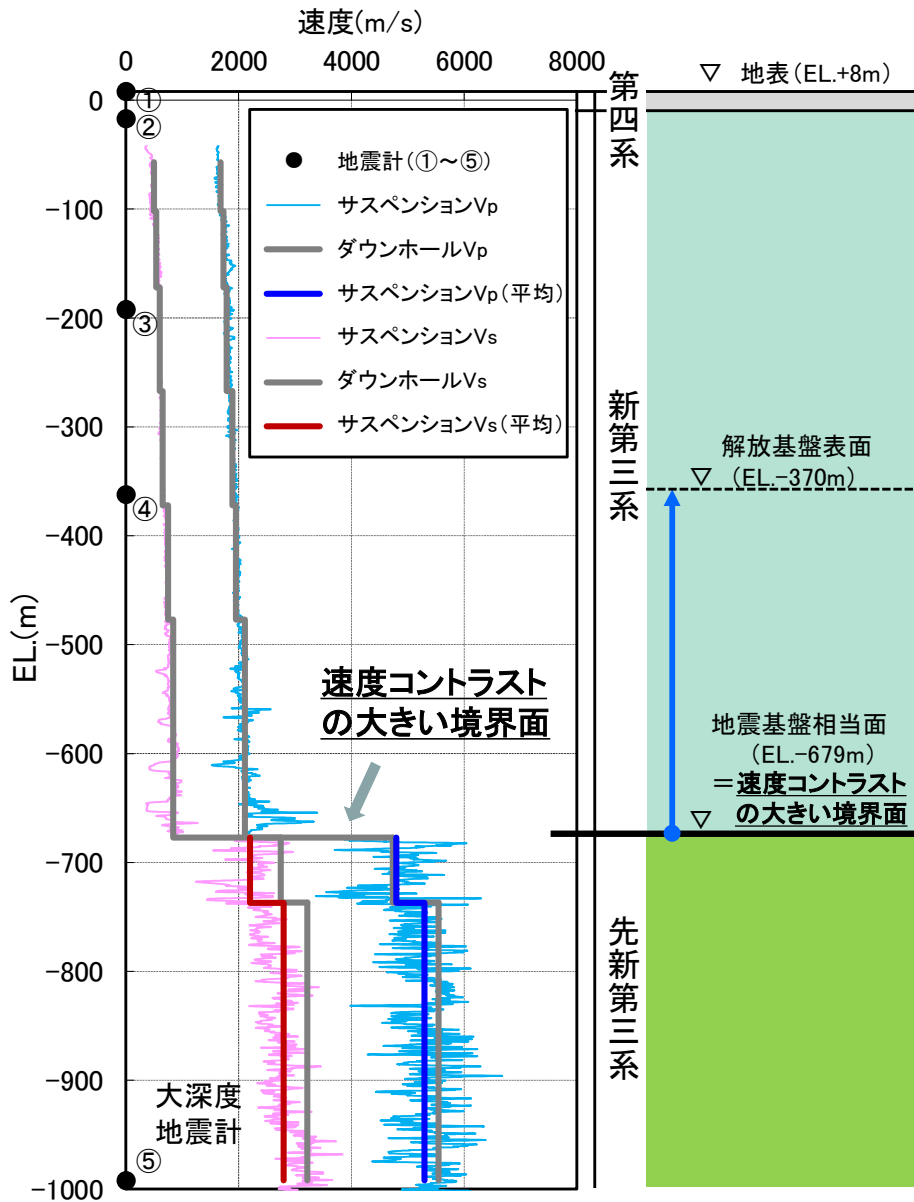
■ 基準地震動Ssを示す。

- 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



1. 基準地震動の策定の概要	.....	7
2. 敷地周辺の地震発生状況	.....	10
3. 地下構造評価	.....	20
3.1 地下構造評価の方針	.....	20
3.2 解放基盤表面の設定について	.....	22
3.3 地震観測記録による地下構造評価	.....	26
3.4 地球物理学的調査による地下構造評価	.....	57
3.5 広域地盤モデルによる深部地下構造の検討	.....	79
3.6 敷地の詳細モデルによる地震動への影響について	.....	95
3.7 敷地の地盤モデル	.....	111
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	.....	128
5. 震源を特定せず策定する地震動	.....	205
6. 地盤モデルの整理	.....	234
7. 基準地震動の策定	.....	241
8. 基準地震動の年超過確率の参照	.....	255
参考資料		
・震源を特定せず策定する地震動(地域性を考慮する地震動)	.....	281
参考文献	.....	325

↑ : 地震動評価に用いる範囲(始点:入力位置, 終点:出力位置)



大深度ボーリングのPS検層結果の例及び地盤モデルの検討イメージ

■従来の統計的グリーン関数法用地盤モデルの設定

従来の統計的グリーン関数法の評価に用いる地盤モデルの設定の際には、敷地の大深度地震観測記録等、データの蓄積が十分でなかったことから、一般的に用いられる手法として、速度構造については大深度ボーリングデータのダウンホール法に基づき設定し、減衰定数については既往の知見に基づき設定していた。

■既許可審査以降の新しい知見等を踏まえた新しい地盤モデルの設定

一方、標準応答スペクトルに基づく地震動評価においては、標準応答スペクトルがVs2200m/s以上となる地震基盤相当面で定義されていることから、地震基盤相当面以深まで掘削している大深度ボーリングデータや地震観測記録を精査する必要があると判断した。

そこで、物理探査結果との整合性の確認や既許可審査以降も蓄積されている地震観測記録等、既許可審査では取り入れていなかった新しい知見や考え方を整理し、今回取り入れることにより、標準応答スペクトルに基づく地震動評価のための地盤モデルを新たに設定した。

■統計的グリーン関数法用地盤モデルの見直し要否

地盤モデルの設定に際しては、着目する地層区分及び深さの範囲の違いを踏まえ、地震動評価の目的に応じた検討を行う必要がある。

ここで、統計的グリーン関数法による検討においても、標準応答スペクトル用地盤モデルの設定の際に着目している、速度コントラストの大きい境界面の影響等、地震基盤相当面以深(先新第三系)から解放基盤表面(新第三系)までの地震波の伝播特性について、既許可審査以降に蓄積された新しい知見等を適切に反映する必要があると判断した。

既許可審査において、経験的グリーン関数法による地震動評価に対する妥当性確認のために用いていた統計的グリーン関数法用地盤モデルについては、既許可審査以降に蓄積された地震基盤相当面以深(先新第三系)からの地震波の伝播特性に関する新しい知見等を取り入れて設定した標準応答スペクトル用地盤モデルに、更新することとする。

地盤モデルの設定方針

- 地震観測記録を用いた地震波の到来方向による検討や、地球物理学的調査に基づき作成した地下構造モデルによる解析的検討の結果より、東海第二発電所の地下構造は水平成層とみなせることを確認したので、地盤調査結果と地震観測記録を用いて、一次元波動論に基づき地盤モデルを設定する。
- 東海第二発電所の敷地では、1993年に深さ380m程度の解放基盤表面までを対象としたボーリング調査を実施するとともに、ボーリング孔を利用した鉛直アレイ地震観測を継続して実施している。その後、2011年までに深さ1000m程度のボーリング調査を追加実施するとともに、ボーリング孔を利用した大深度地震観測を継続して実施している。
- 東海第二発電所の敷地における地震動評価に用いる地盤モデル(地震動評価用地盤モデル)は、以下のとおり設定する。

【速度構造・密度】

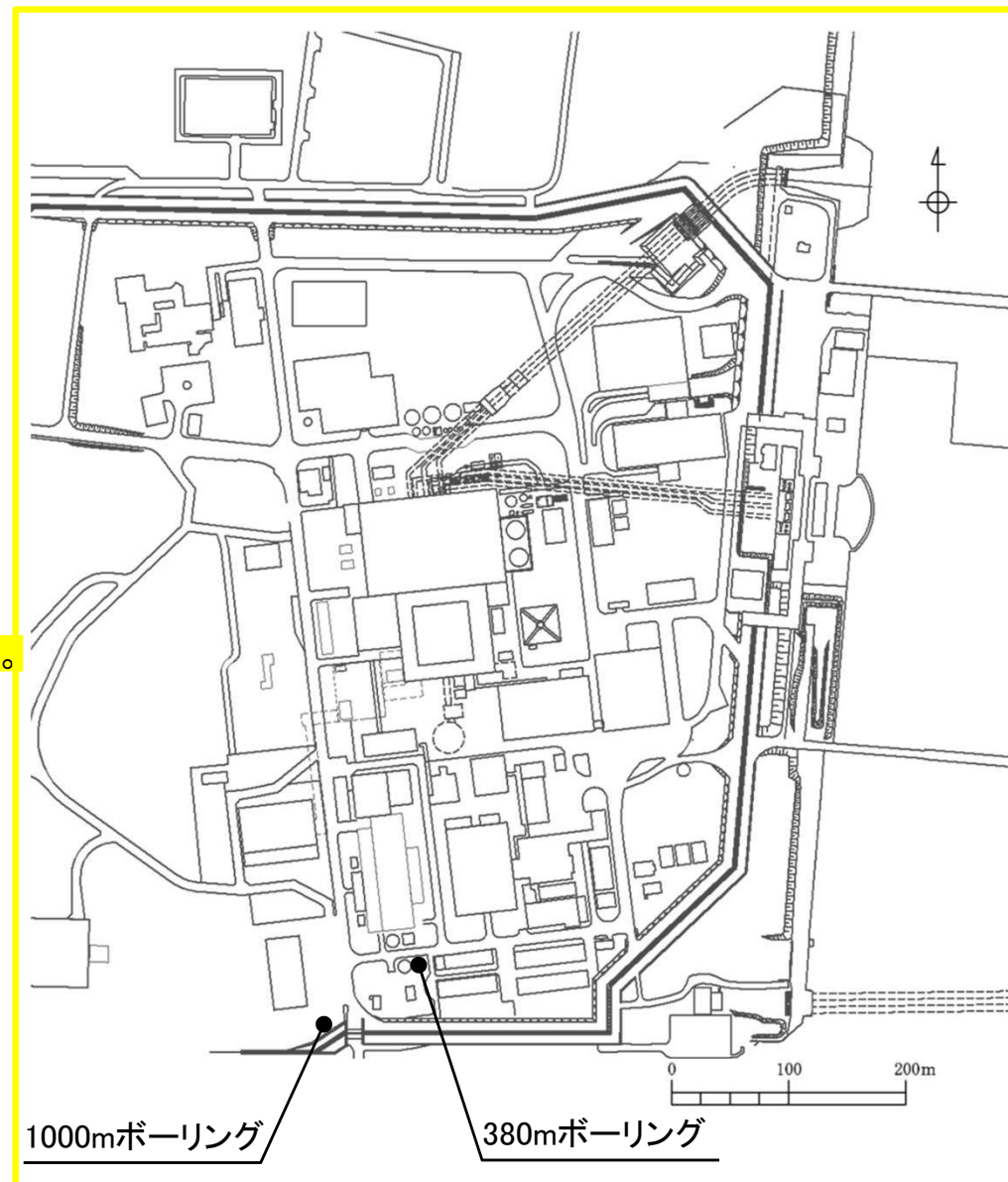
・解放基盤表面以浅については、地表(EL.8m)からEL.-372mで観測した地震記録をもとに地盤同定解析を行い、設定した地盤モデルの物性値を用いる。

・解放基盤表面～EL.-679mについては、新第三系鮮新統～第四系下部更新統(新第三系)の標高依存式に基づき設定する。

・EL.-679m以深については、1000mボーリング調査結果に基づき設定する。

【減衰定数 h 】

・大深度地震計を含む鉛直アレイ地震観測記録を用いた広範囲の地盤同定解析を行い、設定する。



地盤モデルの検討に用いたボーリング位置(平面)

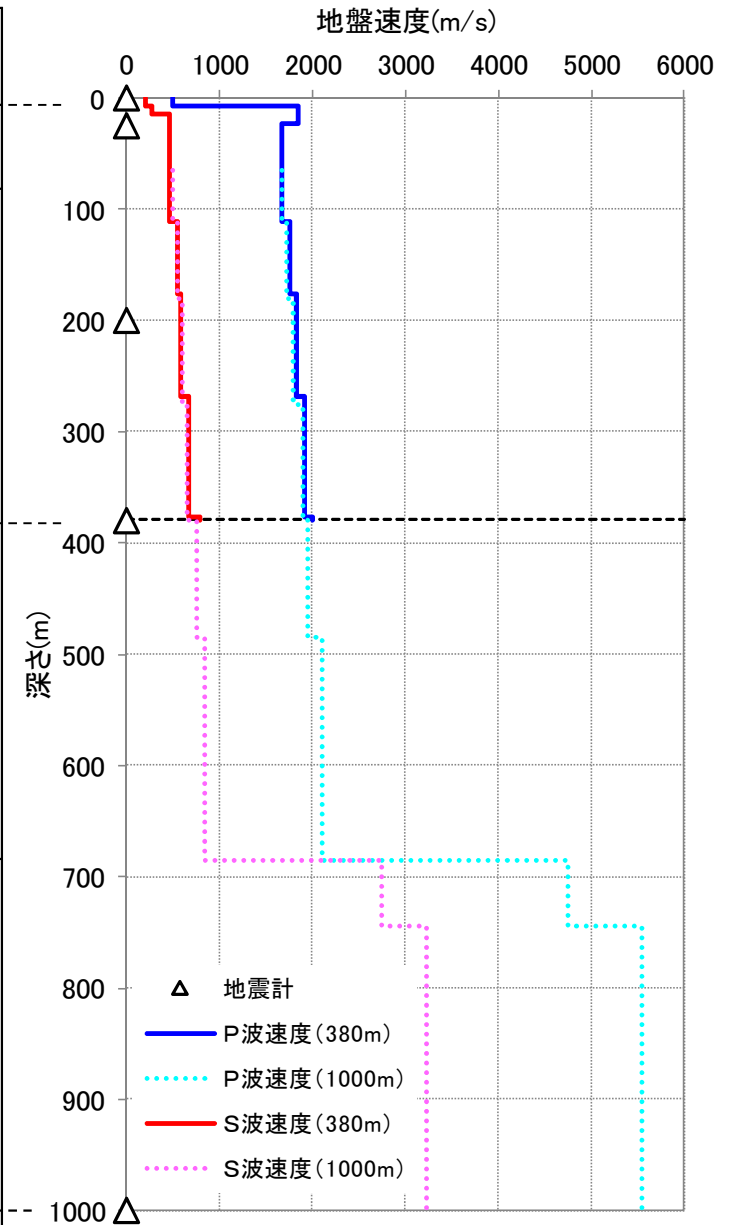
PS検層結果(ダウンホール法)

【380mボーリング】

【1000mボーリング】

上端深さ (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	地層
0	210	500	第四系
7	280	1850	
15	470	1850	
23	460	1680	新第三系
114	540	1760	
176	590	1830	
268	670	1920	
376	790	2000	
380	—	—	

上端深さ (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	減衰定数h		地層
			水平	鉛直	
—	—	—	—	—	—
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	先新第三系
685	2750	4740	0.0725	0.0397	
745	3220	5550	0.0154	0.0102	
1000	—	—	—	—	



※ G.L. = EL.8.0m

注) 1000mボーリングにおける65m以浅のS波速度とP波速度, 485m以浅の減衰定数hは取得していない。

速度構造・密度の設定：解放基盤表面以浅(1/2)

■ 解放基盤表面以浅の速度構造, 密度の値については, 地表(EL.8m)からEL.-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の物性値を用いる。

● 地盤モデルの同定結果(水平動)

- 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。
- 初期値は, 380mボーリングの調査結果とし, S波速度と減衰定数 h について同定した。
- 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。

同定解析における初期値, 探索範囲, 同定結果(水平動)

固定パラメータ					初期値	探索範囲		同定結果	
G.L. (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm ³)	地層区分	地層	S波速度 (m/s)	S波速度	減衰定数 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$	S波速度 (m/s)	減衰定数 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$
▲ 0.0	2.5	1.71	砂	第四系	210	初期値の 0.6~1.2倍	$h_0:0.010\sim 1.000$ $\alpha:0.00\sim 1.00$	130	$h_0:0.236$ $\alpha:0.75$
-2.5	4.5							151	
-7.0	8.0	礫混じり砂	280		308				
-15.0	8.0	シルト	470		478				
-23.0	91.0	1.69	460		477				
-114.0	62.0	1.74	540		557				
▲ -176.0	92.0	1.78	砂質 泥岩	新第三系	590	初期値の 0.8~1.2倍	669	$h_0:0.072$ $\alpha:0.93$	
-268.0	108.0	1.82			670		756		
-376.0	4.0	1.85			790		790		
▽									
▲ -380.0	—								

▲: 地震計設置位置
▽: 解放基盤表面

□ 同定対象

※ G.L. = EL.8.0m

速度構造・密度の設定：解放基盤表面以浅(2/2)

■解放基盤表面以浅の速度構造, 密度の値については, 地表(EL.8m)からEL.-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の物性値を用いる。

●地盤モデルの同定結果(鉛直動)

- 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。
- 初期値は, 380mボーリングの調査結果とし, P波速度と減衰定数 h について同定した。
- 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。

同定解析における初期値, 探索範囲, 同定結果(鉛直動)

固定パラメータ					初期値	探索範囲	同定結果		
G.L. (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm ³)	地層区分	地層	P波速度 (m/s)	P波速度	減衰定数 $h(f)=h_0 \times f^\alpha$	P波速度 (m/s)	減衰定数 $h(f)=h_0 \times f^\alpha$
▲ 0.0	2.5	1.71	砂	第四系	500	100~500 (m/s)	$h_0:0.010\sim1.000$ $\alpha:0.00\sim1.00$	280	$h_0:0.203$ $\alpha:0.21$
-2.5	4.5							403	
-7.0	8.0	礫混じり砂	1850		1589				
-15.0	8.0	シルト	1850		1509				
-23.0	8.0	1.82	砂礫	1850	1850	1509	1753	$h_0:0.203$ $\alpha:0.93$	
▲ -114.0	91.0	1.69	砂質 泥岩	新第三系	初期値の 0.8~1.2倍	$h_0:0.010\sim1.000$ $\alpha:0.00\sim1.00$	1753		
-176.0	62.0	1.74					1760		
-268.0	92.0	1.78					1830		
-376.0	108.0	1.82					1920		
▽ -380.0	4.0	1.85			2000		2000		

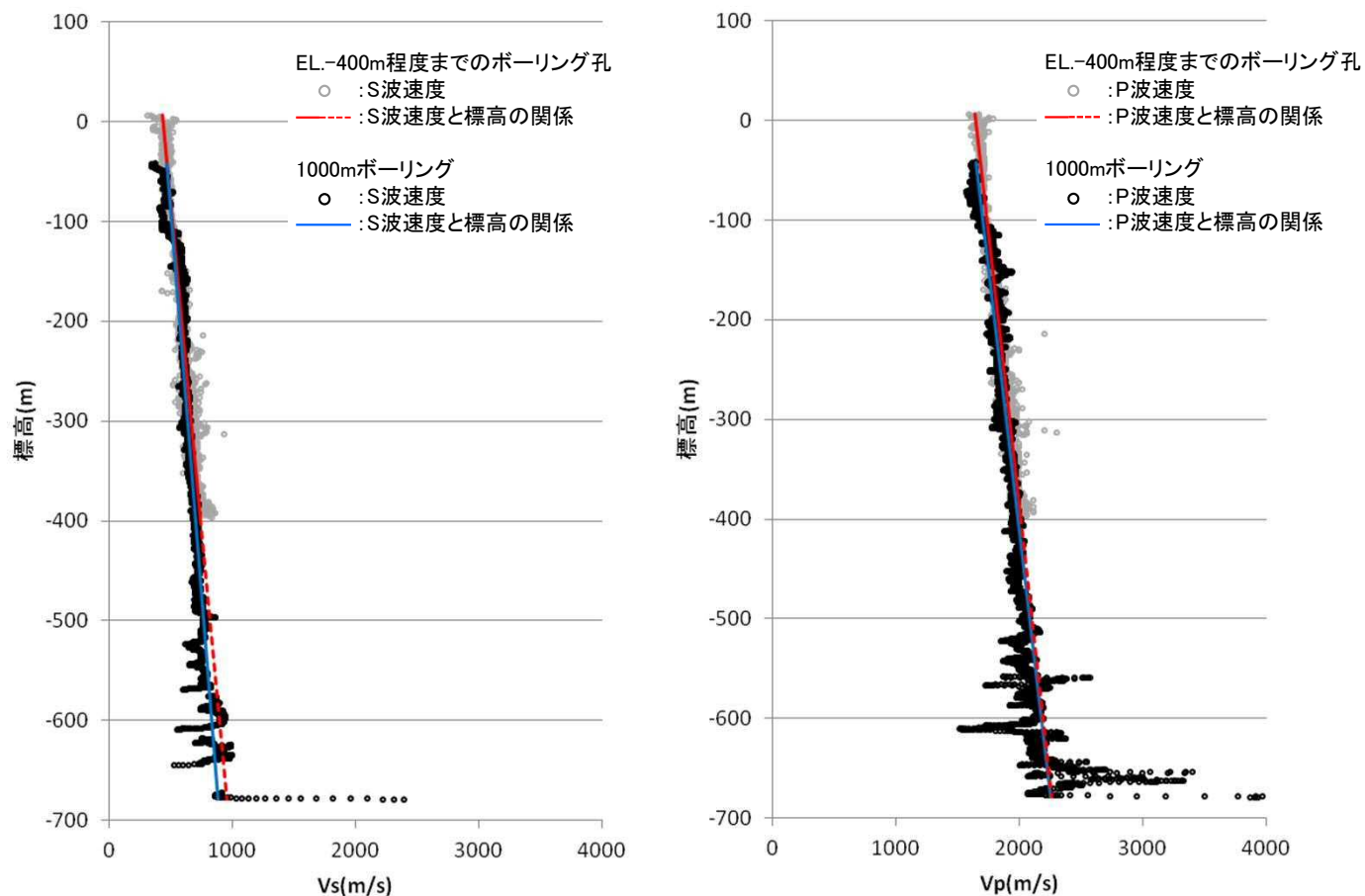
▲:地震計設置位置
▽:解放基盤表面

□ 同定対象

※ G.L. = EL.8.0m

速度構造・密度の設定：解放基盤表面～EL.-679m(新第三系)(1/2)

- ・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

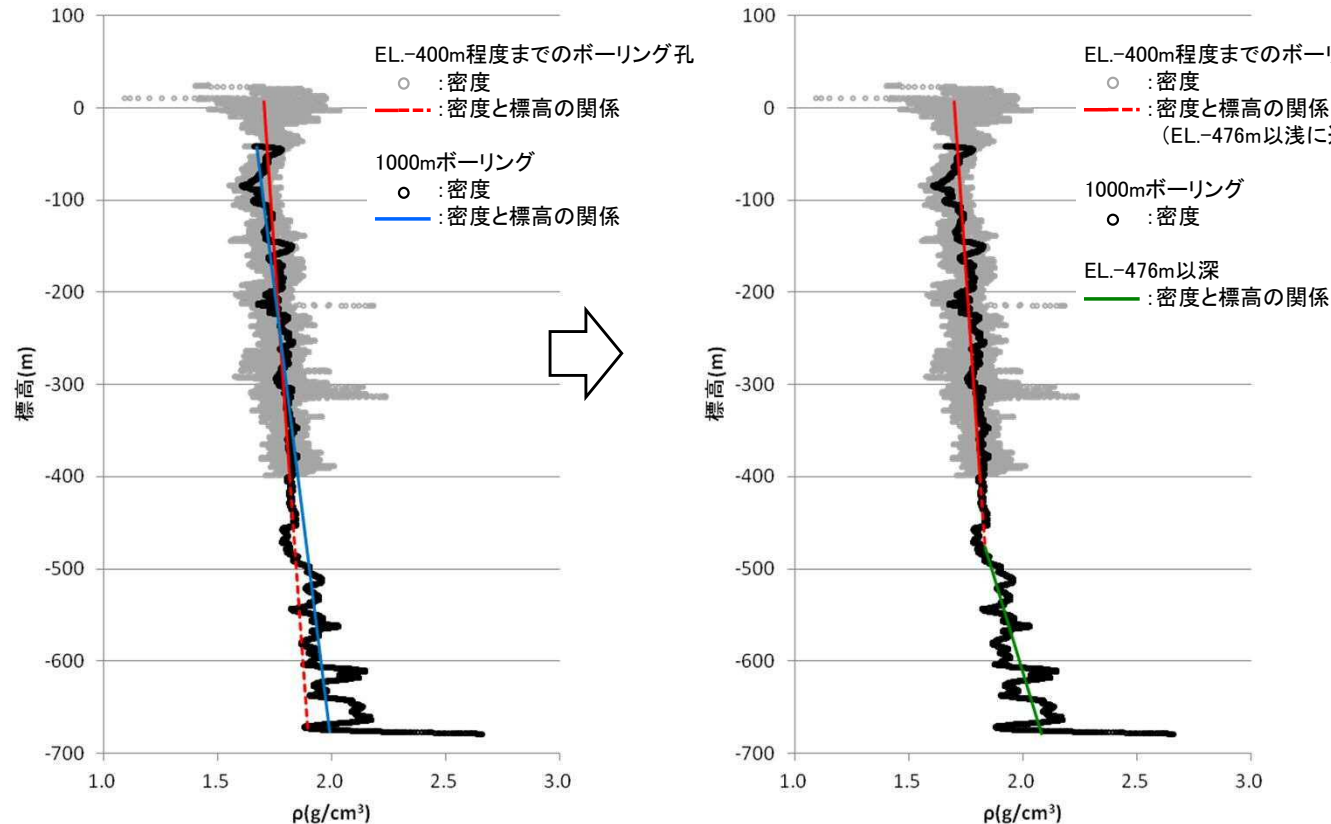
$$V_s = 0.433 - 7.71 \times 10^{-4} \cdot Z$$

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

ここで、 V_s : S波速度 (km/s)
 V_p : P波速度 (km/s)
 Z : 標高 (m)

速度構造・密度の設定：解放基盤表面～EL.-679m(新第三系)(2/2)

- ・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EL.-500m程度まで整合的であるが、EL.-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、EL.-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、EL.-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

$$\rho = 1.702 - 2.828 \times 10^{-4} \cdot Z$$

(EL.-476m 以浅)

$$\rho = 1.253 - 1.220 \times 10^{-3} \cdot Z$$

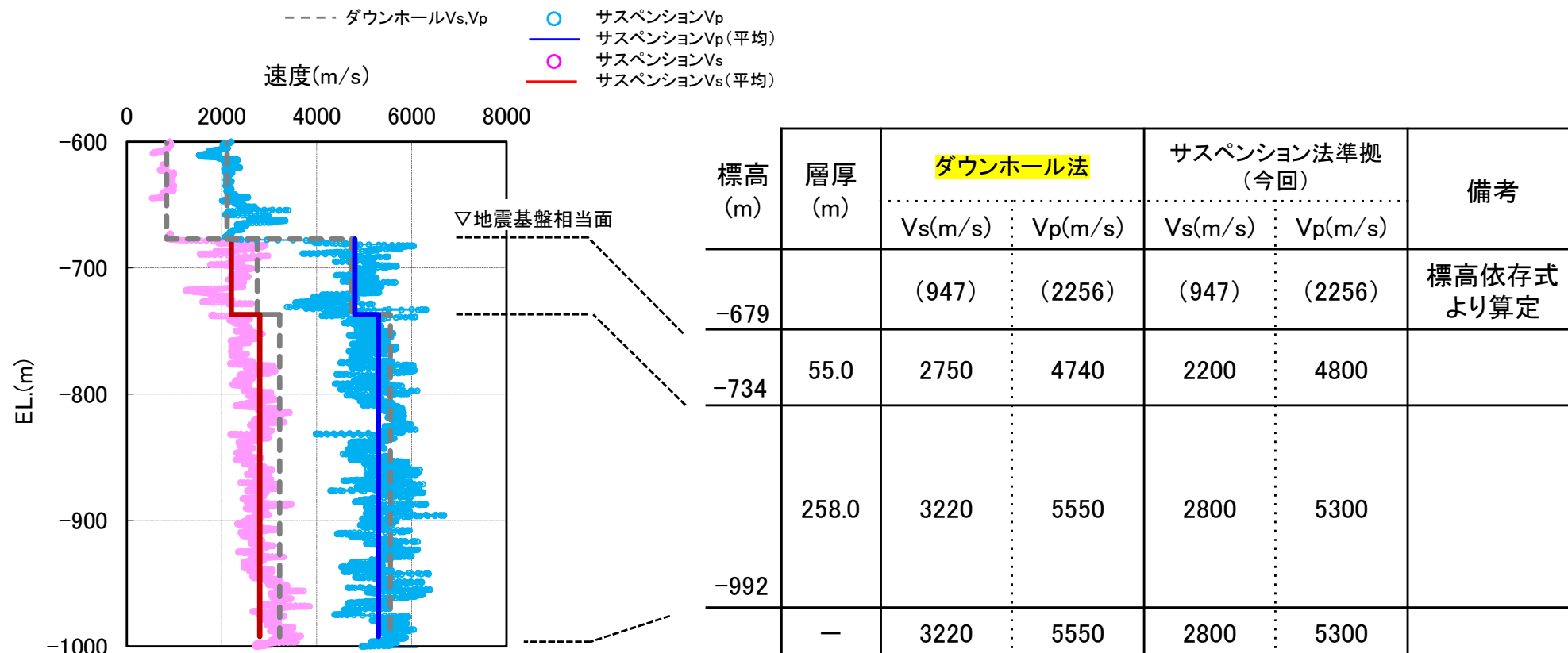
(EL.-476m 以深)

ここで、 ρ : 密度 (g/cm³)
Z : 標高 (m)

速度構造・密度の設定： EL.-679m以深(先新第三系)

■EL.-679m以深(先新第三系)

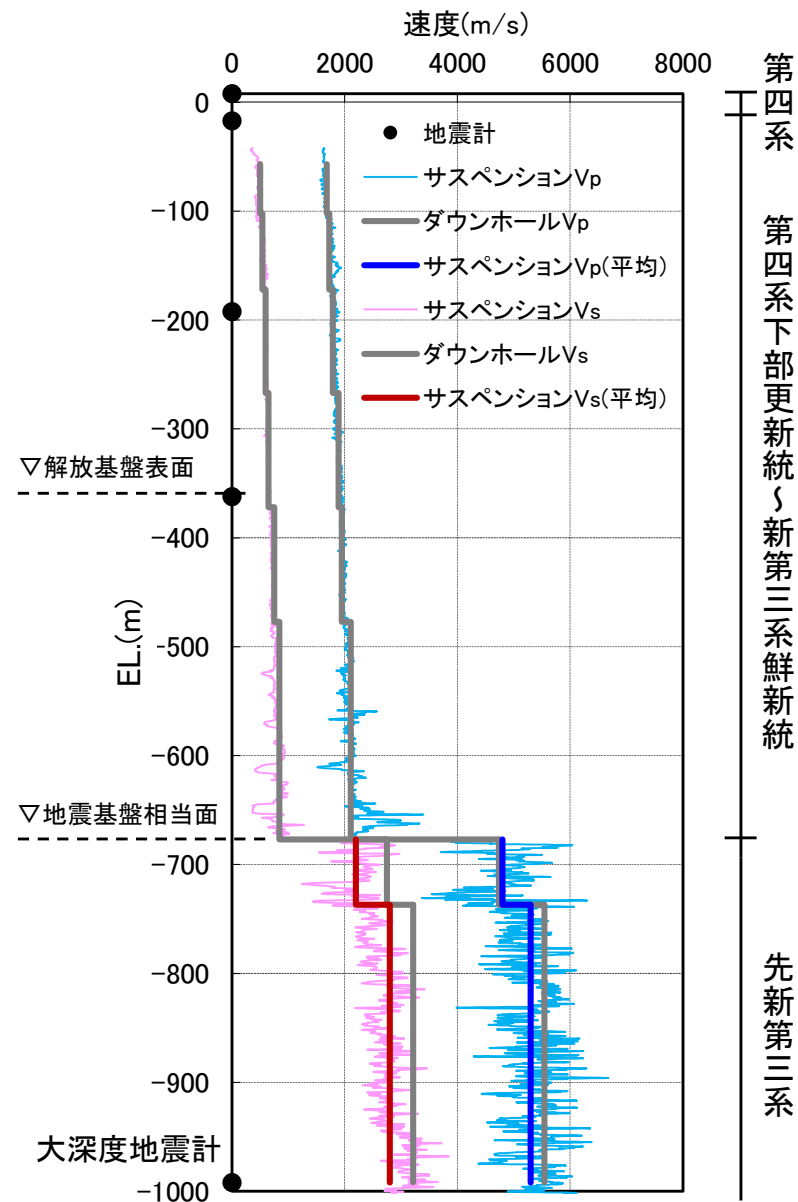
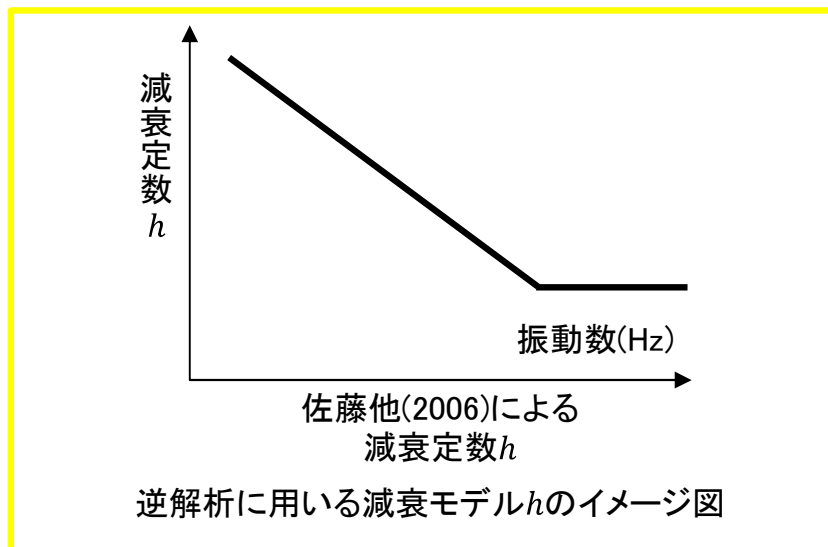
- ・EL.-679m以深では、1000mボーリングのダウンホール法とサスペンション法との結果で差が生じていることから速度構造を再検討する。今回は、サスペンション法に準拠して速度構造を設定する。具体的には、ダウンホール法における同一層内で、サスペンション法のVs, Vpをそれぞれ平均して求めた値を用いる。
- ・密度については1000mボーリングにおける密度検層結果を基に設定する。
- ・地震基盤相当面位置は、Vs2200m/s以上に相当する敷地での層の上面としてEL.-679m(Vs2200m/s)に設定する。
- ・なお、上記のとおり設定した速度構造については、既往の物理探査結果との比較によりその妥当性を確認している。



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(EL.-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(Q値)の同定範囲は地表面からEL.-992mの範囲とする。
- ・地盤の減衰定数 h 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 h 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(武村他(1993), 木下・大池(2002), 佐藤他(2006), Fukushima et al.(2016)), 減衰定数 h の同定に際しては、減衰定数 h の下限を考慮する。



大深度ボーリングのPS検層結果の例

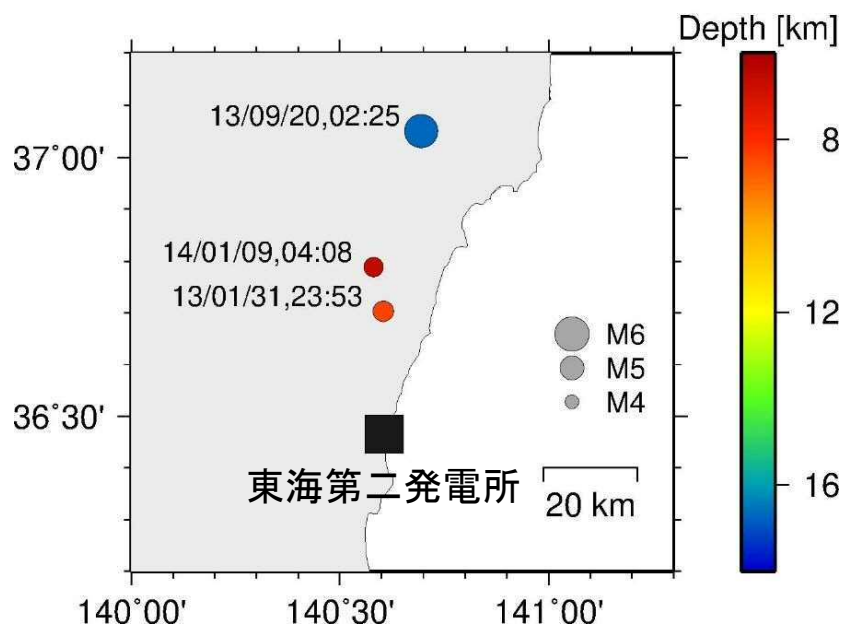
減衰定数の設定： 地盤同定解析に用いる3地震

■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は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は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

検討対象3地震の震央分布図

減衰定数の設定： 解析条件及び探索範囲(1/2)

■ Q値を対象に地盤同定解析を行う。

■ Q値の上限(減衰定数 h 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(V_s)、P波速度(V_p)依存を考慮する。

- ① 地表(EL.8m)からEL.-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の物性値を用いる。
- ② 概ね100m程度を目安に層厚を設定する。
- ③ EL.-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 EL.-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 EL.-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(EL.8m)からEL.-992mで観測した地震記録をもとに地盤同定解析を行う。

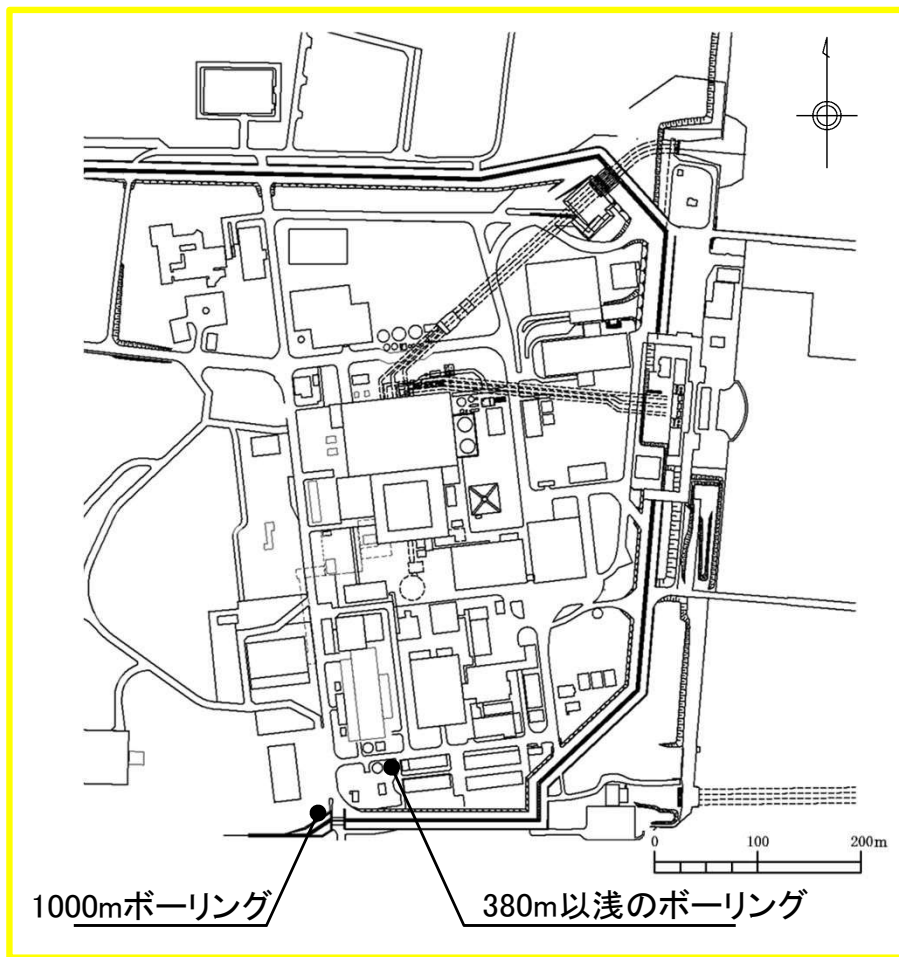
同定解析における探索範囲

固定パラメータ						探索範囲					
EL. (m)	層厚 (m)	地層	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	Q=(V _s /n)(f/f ₀) ^α			Q=(V _p /n)(f/f ₀) ^α		
						水平			鉛直		
						n	α	f ₀	n	α	f ₀
● 8.0	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
5.5	4.5		151	403	1.71						
1.0	8.0		308	1589	1.66						
-7.0	8.0		478	1509	1.82						
● -15.0	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
● -17.0	89.0		557	1742	1.74						
● -106.0	62.0		669	2067	1.78						
● -168.0	24.0		669	2067	1.78						
● -192.0	68.0		756	2256	1.82						
▽解放基盤表面	2.0		790	2000	1.85						
● -372.0	2.0		790	2000	1.85						
● -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	24.0	947	2256	2.07							
● -679.0	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
● -734.0	258.0		2800	5300	2.78						
● -992.0	-		2800	5300	2.78						

●： 地震計位置

減衰定数の設定： 解析条件及び探索範囲(2/2)

- 地震計間の伝達関数には、①EL.+8m/EL.-17m、②EL.-17m/EL.-192m、③EL.-192m/EL.-372m、④EL.-372m/EL.-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

EL.	地震計	地層
+8m (G.L.)		第四系
-17m		第四系 下部更新統 ～ 新第三系 鮮新統
-192m		
-372m		先新第三系
-992m		

● :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

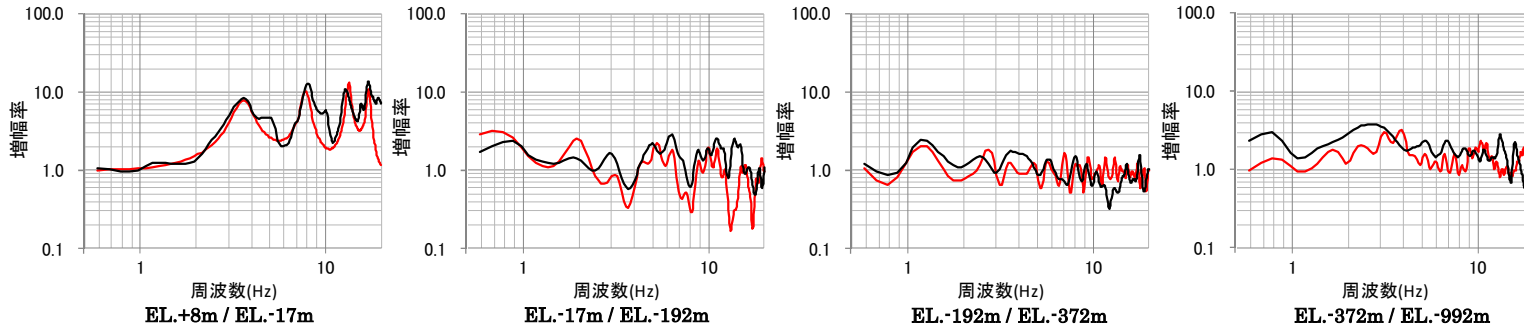
※震源と観測点の位置関係及びEL.-992mの地震計のUD方向-Transverse方向のオービットに基づき設定。

減衰定数の設定： 観測伝達関数と理論伝達関数の比較 (Transverse方向)

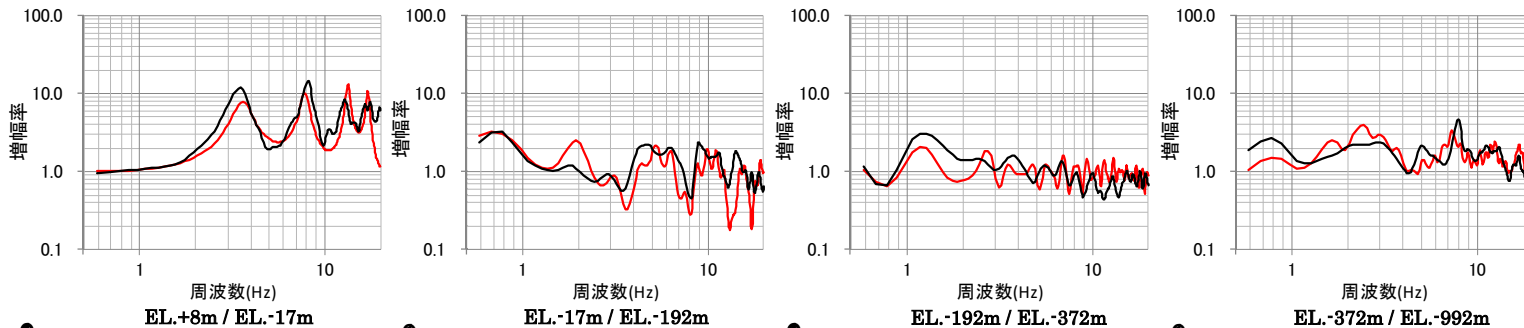
■ 観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数を下記に示す。同定結果は観測記録を再現している。

— 同定結果
— 観測記録

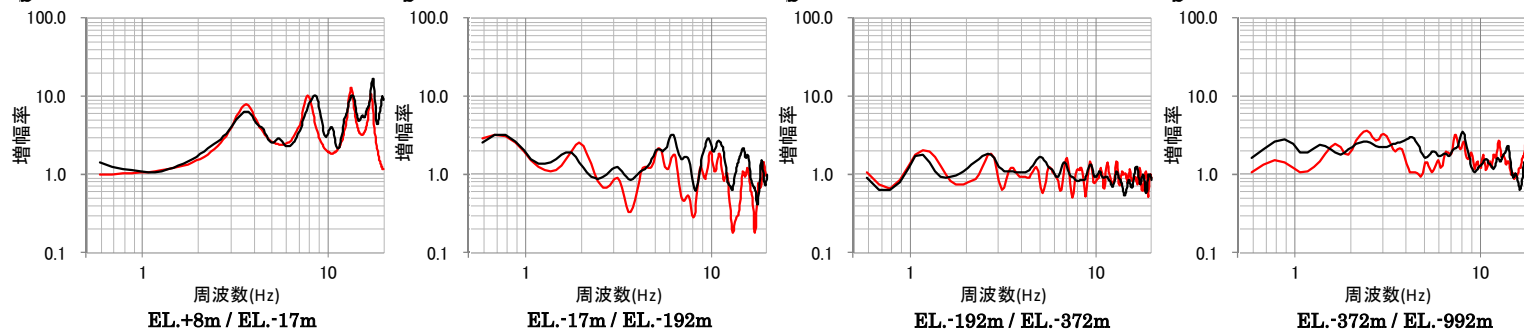
2013年1月31日
入射角: 55.63°



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

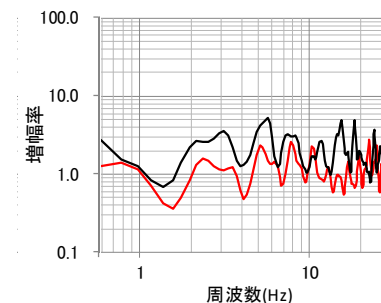
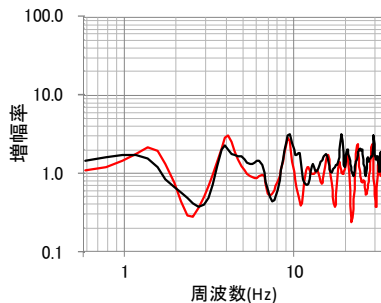
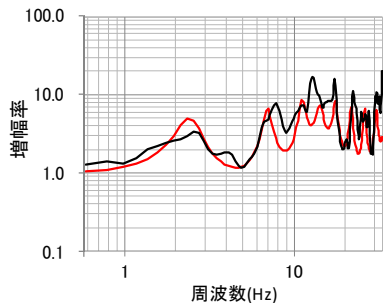
備考

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。

減衰定数の設定： 観測伝達関数と理論伝達関数の比較(UD方向)

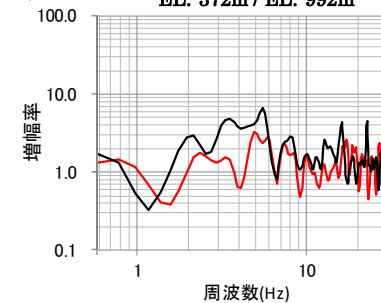
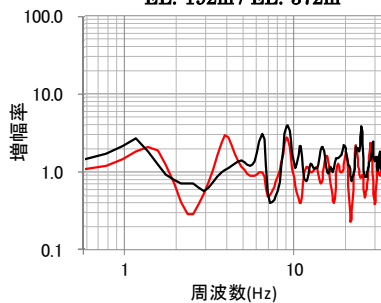
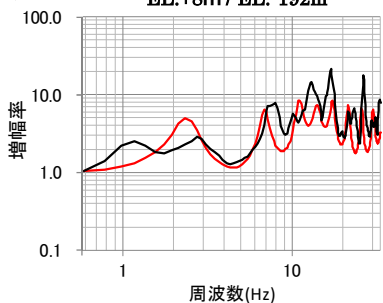
■ 観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数を下記に示す。同定結果は観測記録を再現している。

2013年1月31日
入射角: 60.74°

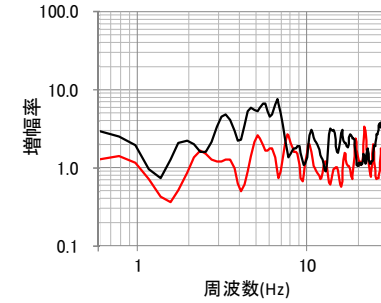
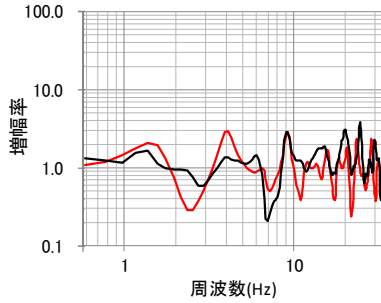
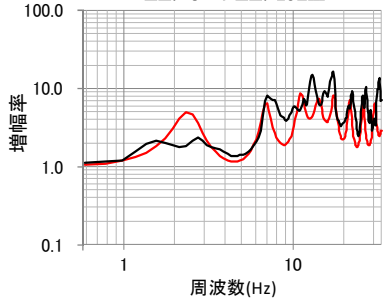


— 同定結果
— 観測記録

2013年9月20日
入射角: 45.27°



2014年1月9日
入射角: 55.99°



観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数

以上より、設定した速度構造及び同定した減衰定数は、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の観点において地盤モデルの妥当性について確認した。

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EL.-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

■ Q値の同定結果を下表に示す。

同定した地盤モデル

(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 (f: 周波数 (Hz))														
EL. (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/fo) ^α			Q=(Vp/n)(f/fo) ^α			減衰定数h(f)								
						水平			鉛直			水平	鉛直							
						n	α	fo	n	α	fo									
●	8.0	第四系	130	280	1.71	5	1.32	18.74	44	0.91	19.45	0.921f ^{1.32} (f≤18.74)	1.170f ^{0.91} (f≤19.45)							
	5.5											0.019 (f>18.74)	0.079 (f>19.45)							
	4.5											0.793f ^{1.32} (f≤18.74)	0.813f ^{0.91} (f≤19.45)							
	1.0											0.017 (f>18.74)	0.055 (f>19.45)							
	8.0											0.389f ^{1.32} (f≤18.74)	0.206f ^{0.91} (f≤19.45)							
-7.0	8.0	478	1509	1.82							0.008 (f>18.74)	0.014 (f>19.45)								
-15.0	8.0	478	1509	1.82							0.250f ^{1.32} (f≤18.74)	0.217f ^{0.91} (f≤19.45)								
												0.005 (f>18.74)	0.015 (f>19.45)							
●	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)	0.301f ^{1.05} (f≤31.74)							
	-17.0											89.0	0.014 (f>6.78)	0.008 (f>31.74)						
-106.0	62.0		557	1742	1.74													0.087f ^{1.05} (f≤6.78)	0.303f ^{1.05} (f≤31.74)	
-168.0	24.0																	0.012 (f>6.78)	0.008 (f>31.74)	
●	-192.0		68.0	669	2067							1.78							0.072f ^{1.05} (f≤6.78)	0.256f ^{1.05} (f≤31.74)
	-260.0		108.0	756	2256							1.82							0.010 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)
▽解放基盤表面	-368.0		2.0	790	2000							1.85							0.064f ^{1.05} (f≤6.78)	0.234f ^{1.05} (f≤31.74)
	-370.0		2.0	790	2000							1.85							0.009 (f>6.78)	0.006 (f>31.74)
	-372.0		2.0	790	2000							1.85							0.061f ^{1.05} (f≤6.78)	0.264f ^{1.05} (f≤31.74)
	-476.0		104.0	790	2000							1.85							0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)
	-566.0	90.0	835	2124	1.89							0.061f ^{1.05} (f≤6.78)	0.264f ^{1.05} (f≤31.74)							
	-655.0	89.0	904	2205	2.00							0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)							
▽地震基盤相当面	-679.0	24.0	947	2256	2.07							0.058f ^{1.05} (f≤6.78)	0.249f ^{1.05} (f≤31.74)							
	-734.0	55.0	2200	4800	2.65							0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)							
	-734.0	258.0	2800	5300	2.78							0.054f ^{1.05} (f≤6.78)	0.240f ^{1.05} (f≤31.74)							
	-992.0	-	2800	5300	2.78							0.007 (f>6.78)	0.006 (f>31.74)							
	-992.0	-	2800	5300	2.78							0.051f ^{1.05} (f≤6.78)	0.234f ^{1.05} (f≤31.74)							
	-992.0	-	2800	5300	2.78							0.007 (f>6.78)	0.006 (f>31.74)							
	-992.0	-	2800	5300	2.78							0.013f ^{0.21} (f≤1.31)	0.004f ^{0.23} (f≤16.46)							
	-992.0	-	2800	5300	2.78							0.012 (f>1.31)	0.002 (f>16.46)							
	-992.0	-	2800	5300	2.78							0.010f ^{0.21} (f≤1.31)	0.004f ^{0.23} (f≤16.46)							
	-992.0	-	2800	5300	2.78							0.009 (f>1.31)	0.002 (f>16.46)							

●: 地震計位置

地震動評価に用いる地盤モデル

■ 地盤同定解析結果を踏まえ、設定した地盤モデルを下表に示す。

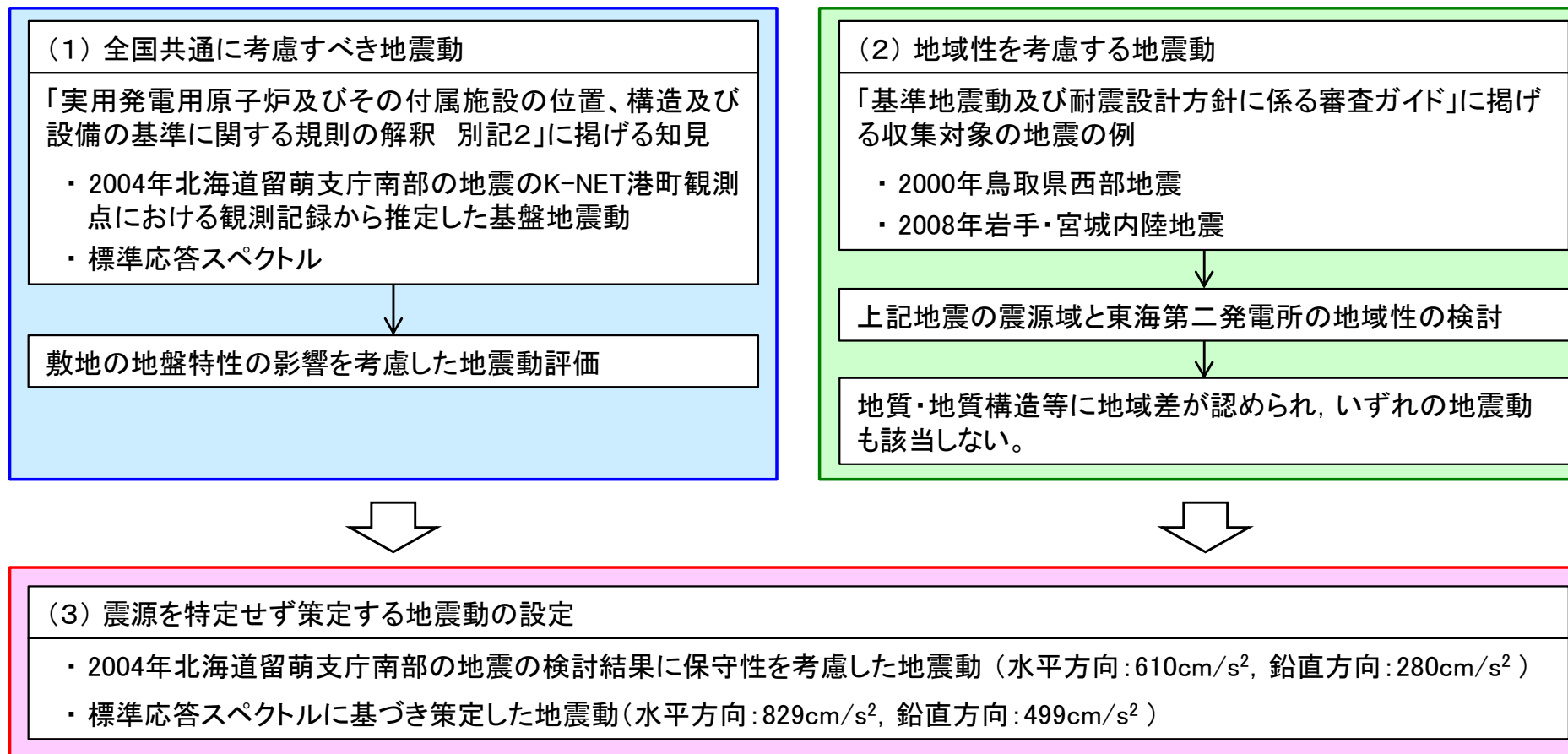
地震動評価に用いる地盤モデル
(地震動評価用地盤モデル)

EL. (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	鉛直
-370.0	106.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ ($f \leq 6.78$)	$0.264f^{-1.05}$ ($f \leq 31.74$)
					0.008 ($f > 6.78$)	0.007 ($f > 31.74$)
-476.0	90.0	835	2124	1.89	$0.058f^{-1.05}$ ($f \leq 6.78$)	$0.249f^{-1.05}$ ($f \leq 31.74$)
					0.008 ($f > 6.78$)	0.007 ($f > 31.74$)
-566.0	89.0	904	2205	2.00	$0.054f^{-1.05}$ ($f \leq 6.78$)	$0.240f^{-1.05}$ ($f \leq 31.74$)
					0.007 ($f > 6.78$)	0.006 ($f > 31.74$)
-655.0	24.0	947	2256	2.07	$0.051f^{-1.05}$ ($f \leq 6.78$)	$0.234f^{-1.05}$ ($f \leq 31.74$)
					0.007 ($f > 6.78$)	0.006 ($f > 31.74$)
-679.0	55.0	2200	4800	2.65	$0.013f^{-0.21}$ ($f \leq 1.31$)	$0.004f^{-0.23}$ ($f \leq 16.46$)
					0.012 ($f > 1.31$)	0.002 ($f > 16.46$)
-734.0	258.0	2800	5300	2.78	$0.010f^{-0.21}$ ($f \leq 1.31$)	$0.004f^{-0.23}$ ($f \leq 16.46$)
					0.010 ($f > 1.31$)	0.002 ($f > 16.46$)
-992.0	-	2800	5300	2.78		

1. 基準地震動の策定の概要	.....	7
2. 敷地周辺の地震発生状況	.....	10
3. 地下構造評価	.....	20
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	.....	128
4.1 プレート間地震	.....	128
4.2 海洋プレート内地震	.....	150
4.3 内陸地殻内地震	.....	183
5. 震源を特定せず策定する地震動	.....	205
6. 地盤モデルの整理	.....	234
7. 基準地震動の策定	.....	241
8. 基準地震動の年超過確率の参照	.....	255
参考資料		
・震源を特定せず策定する地震動(地域性を考慮する地震動)	.....	281
参考文献	.....	325

検討概要

- 震源を特定せず策定する地震動の策定に当たり、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震で得られた震源近傍における観測記録を基に敷地の地盤特性の影響を考慮した地震動を評価する。
- 震源を特定せず策定する地震動として、「全国共通に考慮すべき地震動」及び「地域性を考慮する地震動」の2種類を検討する。



2004年北海道留萌支庁南部の地震(1/4)

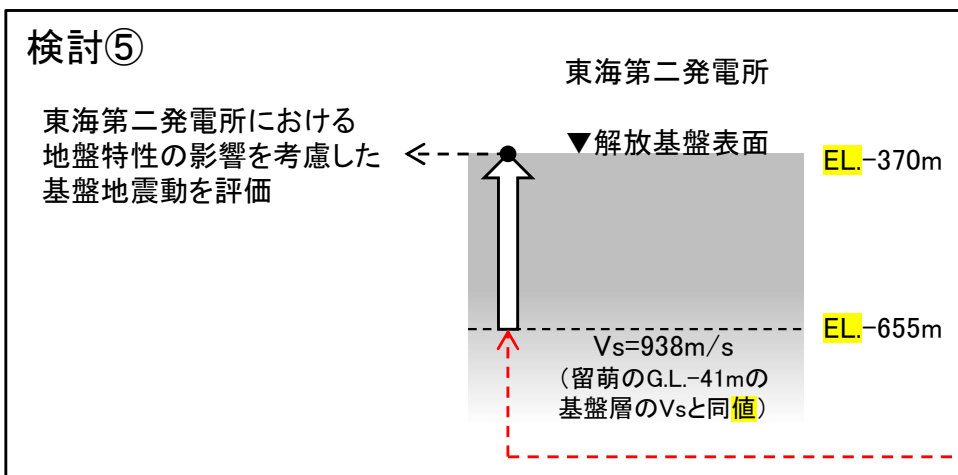
- 佐藤他(2013)では、K-NET観測点のHKD020(港町)について、G.L.-6mまでの室内試験結果を考慮した非線形解析を行い、G.L.-41mの基盤面における基盤地震動を評価している(G.L.-6m以深は線形解析を仮定し、減衰定数 h は1%に設定)。

- 上記の基盤地震動の評価結果について妥当性を確認するため、以下の追加検討を実施する。
 - ①佐藤他(2013)の報告時点以降に、G.L.-6mからG.L.-41mまでの室内試験結果を用い、G.L.-41mまでの非線形性を考慮して基盤地震動(水平方向)を評価する。
 - ②不確かさを考慮した基盤地震動の評価として、G.L.-6mまで非線形、G.L.-6m以深は減衰定数 h 3%として基盤地震動(水平方向)を評価する。
 - ③佐藤他(2013)の報告時点以降に得られたPS検層の再測定結果から、地盤モデルを変更して基盤地震動(鉛直方向)を評価する(解析方法は佐藤他(2013)と同様)。
 - ④HKD020(港町)における地下水位の状況を踏まえ、G.L.-6mまではポアソン比一定、G.L.-6m以深は体積弾性率一定として基盤地震動(鉛直方向)を評価する。
 - ⑤東海第二原子力発電所における地盤物性の影響を考慮した基準地震動(水平方向・鉛直方向)を評価する。

2004年北海道留萌支庁南部の地震(2/4)

■ 2004年北海道留萌支庁南部の地震のK-NET HKD020(港町)観測点の観測記録について、佐藤他(2013)による基盤地震動を震源を特定せず策定する地震動に反映するにあたり、基盤地震動評価結果における地盤物性等の妥当性を確認するため、以下の検討を実施する。

	佐藤他(2013)		検討①	検討②	検討③	検討④
	水平方向	鉛直方向				
G.L. 0m ~ G.L.-6m	室内試験結果を考慮した等価線形解析	体積弾性率一定と仮定した線形解析	室内試験結果を考慮した等価線形解析	室内試験結果を考慮した等価線形解析	表層部のPS検層を再実施し、地盤モデルに反映	地下水位の状況を踏まえポアソン比一定とした線形解析
G.L.-6m ~ G.L.-41m	減衰定数 h を一律1%とした線形解析			減衰定数 h を一律3%とした線形解析		体積弾性率一定と仮定した線形解析	体積弾性率一定と仮定した線形解析
最大加速度	585 cm/s ²	—	561 cm/s ²	609 cm/s ²	—	—
	—	296 cm/s ²	—	+	306 cm/s ²	262 cm/s ²



※ 地盤物性の影響を評価するにあたり、はざとり解析の不確かさ等を考慮して、最も大きい最大加速度値の検討結果を考慮することにより、保守的な設定とする。

5. 震源を特定せず策定する地震動 (1) 全国共通に考慮すべき地震動

2004年北海道留萌支庁南部の地震(3/4)

■ 地盤モデルの設定

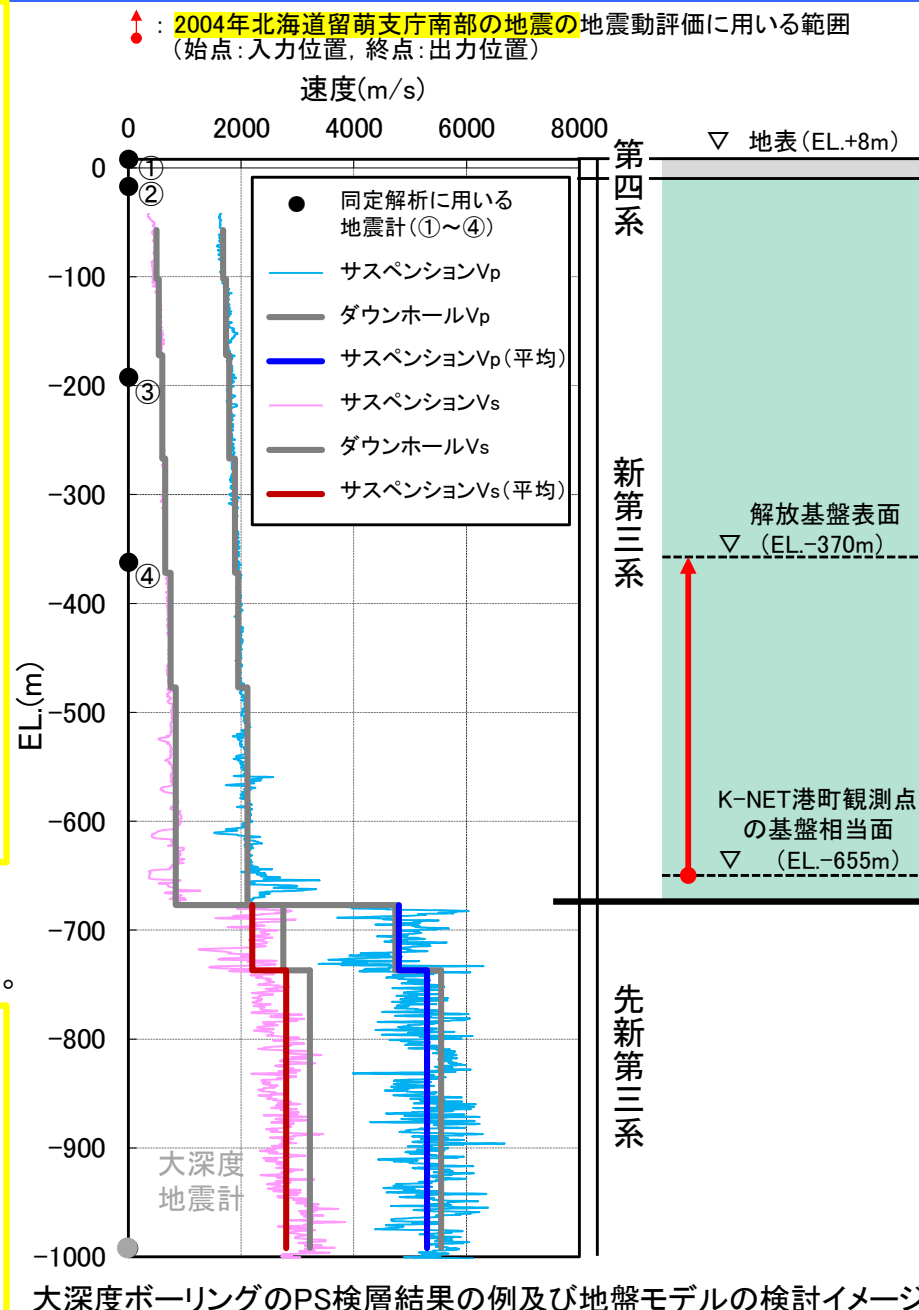
- ・2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討においては、K-NET港町観測点における基盤地震動に敷地の地盤特性を考慮する必要がある。具体的には、基盤地震動を推定した基盤層に相当する層を検討し、その層に基盤地震動を入力して解放基盤表面まで引き上げることにより、敷地の地盤物性を考慮する。
- ・その際には、2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討に特化して設定した地盤モデル(留萌用地盤モデル)を用いることとする。

【速度構造の設定】

- ・敷地に分布する新第三系の久米層の地盤速度は、物理探査等の調査結果から、深度に依存して漸増する一次関数の式(標高依存式)で表現できる。この特徴を踏まえ、より適切な基盤相当層を検討すべく、2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討に特化した速度構造モデルを設定する。
- ・地盤速度や密度の値については、上述の標高依存式により算出する。基盤相当面については、K-NET港町観測点における基盤層と同値となるVs938m/sとして、この標高依存式を用いて、EL.-655m位置に設定する。

【減衰定数hの設定】

- ・新第三系の速度構造については、前述のとおり、地盤速度が物理探査等の調査結果から深度に依存して漸増する一次関数の式(標高依存式)で表現でき、明瞭な速度コントラストが見られないという特徴がある。
- ・2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討においては、敷地の地盤特性を考慮する範囲が新第三系に留まることから、明瞭な速度コントラストの見られない新第三系内の地震波の伝播特性に着目して減衰定数hを設定する。
- ・具体的には、東海第二発電所敷地に設置している地震計①~④(うち、②~④は新第三系内に設置)を用いた多数の伝達関数に基づく同定解析を踏まえ、新第三系としての減衰定数hを一律に設定する。



2004年北海道留萌支庁南部の地震(4/4)

■敷地の地盤特性の影響を考慮した地震動評価

- ・2004年北海道留萌支庁南部の地震のK-NET HKD020(港町)観測点における基盤地震動に東海第二発電所の地盤特性を考慮するため、2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討に特化して設定した地盤モデル(留萌用地盤モデル)を用いて、K-NET HKD020(港町)観測点の基盤層と同値となるS波速度938m/sとして、EL.-655mに基盤地震動を入力し、EL.-370mの解放基盤表面の地震動を評価する。
- ・評価する基盤地震動は、はぎとり解析の不確かさを考慮して、最も大きい最大加速度値の検討結果(水平方向:検討② 609cm/s², 鉛直方向:検討③ 306cm/s²)を考慮することにより、保守的な設定とする。

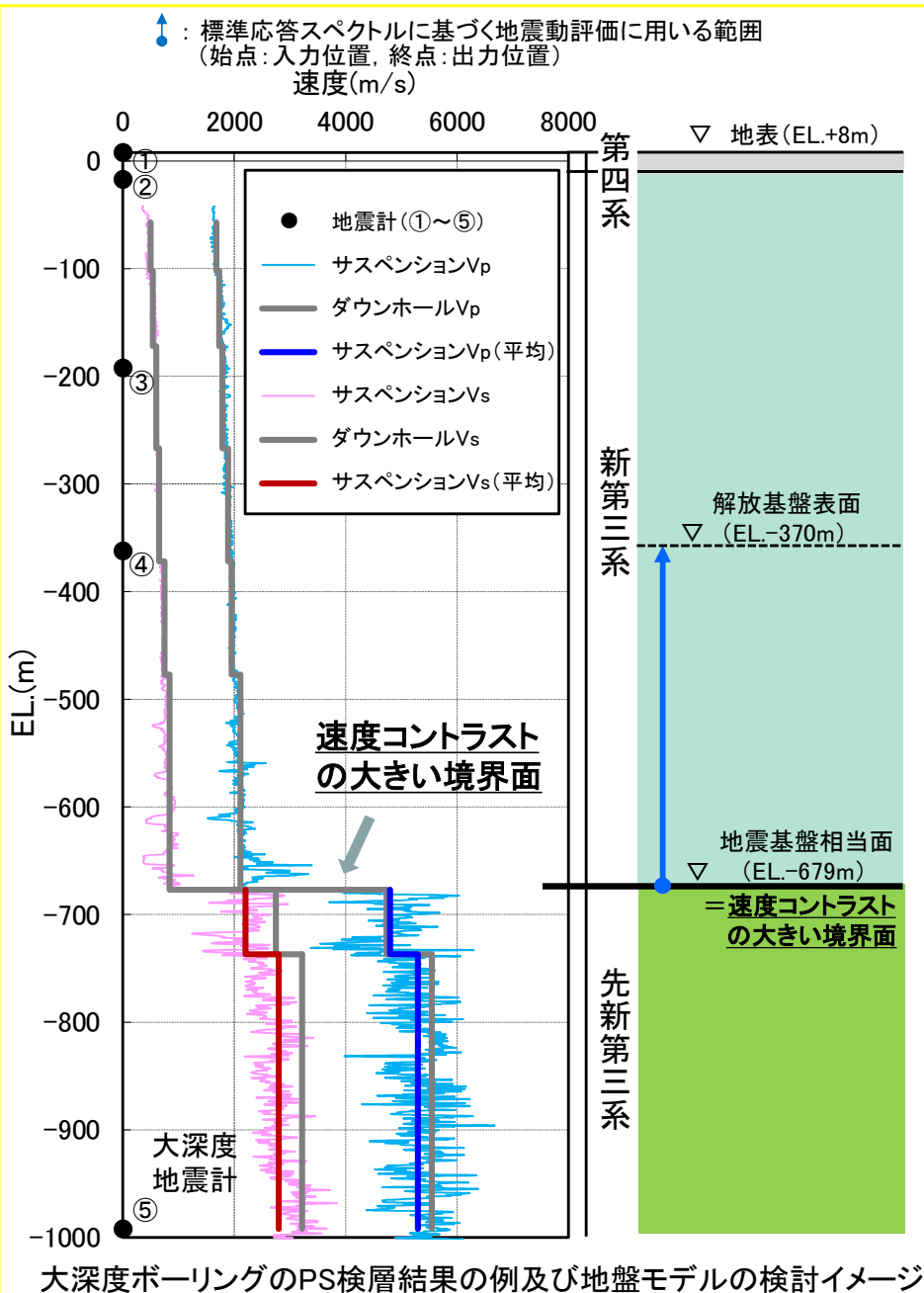
留萌用地盤モデル

EL. (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	鉛直
-370.0	106.0	790	2000	1.85	0.072f ^{-0.93}	0.203f ^{-0.93}
-476.0	90.0	835	2124	1.89		
-566.0	89.0	904	2205	2.00		
-655.0	-	938	2245	2.05		

▼ 解放基盤表面
(出力位置)

▼ K-NET港町観測点
の基盤相当面
(入力位置)

標準応答スペクトルに基づく地震動評価： 検討方針



■ 敷地における地盤増幅特性の考慮

敷地における解放基盤表面はVs700m/s以上となるEL.-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。

■ 標準応答スペクトルに基づく地震動評価の流れ

【地盤モデルの設定】

標準応答スペクトルに対して敷地における地盤増幅特性を考慮する際には、新第三系とは地盤速度が大きく変化する先新第三系上面(地震基盤相当面)へ入力することから、速度コントラストの大きい境界面の影響を適切に評価できるよう、速度構造や減衰定数 h を設定した地盤モデルとして、3.7節の地震動評価用地盤モデルを用いる。

【地震基盤相当面位置における模擬地震波の検討】

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。

【解放基盤表面の地震動評価】

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地震動評価結果について比較検討を行う。

地盤モデルの設定

■ 地盤モデルの設定

- ・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際に用いる, 3.7節の地震動評価用地盤モデルを以下に再掲する。
- ・地震基盤相当面位置は, Vs2200m/s以上に相当する敷地での層の上面としてEL.-679m(Vs2200m/s)に設定する。

地震動評価用地盤モデル

■ :新第三系 ■ :先新第三系

EL. (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	鉛直
-370.0	106.0	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) 0.010 (f > 1.31)	0.004f ^{-0.23} (f ≤ 16.46) 0.002 (f > 16.46)
-992.0	-	2800	5300	2.78	0.010f ^{-0.21} (f ≤ 1.31) 0.010 (f > 1.31)	0.004f ^{-0.23} (f ≤ 16.46) 0.002 (f > 16.46)

▽ 解放基盤表面

地震基盤相当面
= 速度コントラスト
の大きい境界面

模擬地震波の検討：作成方針

■位相の違いによる影響

- ・敷地の地下構造に関しては、標準応答スペクトルが定義されている地震基盤相当面位置(EL.-679m)と解放基盤表面位置(EL.-370m)が異なることから、地震動の位相の違いが地震基盤相当面から解放基盤表面までの伝播の特性に与える影響を検討するため、模擬地震波作成に用いる位相について複数考慮する。
- ・考慮する位相としては、既許可の模擬地震波作成において使用実績のある乱数位相と実現象を評価に反映することができる実観測記録の位相とする。
- ・上記2つの位相による地震動評価結果を比較した上で、標準応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる位相を選定する。

地震動評価位置	乱数位相による検討	実観測記録の位相による検討
解放基盤表面 (EL.-370m)	地震動評価用地盤モデルを用いて解放基盤表面の地震動を評価する。	地震動評価用地盤モデルを用いて解放基盤表面の地震動を評価する。
地震基盤相当面 (EL.-679m)	<ul style="list-style-type: none"> ・乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって模擬地震波を作成する。 ・Noda et al.(2002)に基づき振幅包絡線を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・実観測記録の位相を与えて模擬地震波を作成する。 ・用いる観測記録については、敷地における適切な記録があればこれを用いることとするが、そのような記録がない場合には敷地周辺における観測点の記録を用いる。

地震動の位相の違いが地震基盤相当面から解放基盤表面までの伝播の特性に与える影響を検討し、標準応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる位相を選定。

模擬地震波の検討：乱数位相による検討(1/4)

■ 検討方針

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。振幅包絡線の経時的変化については、Noda et al.(2002)の方法に基づき設定することとし、その設定に必要なMと X_{eq} は下記のとおり設定する。

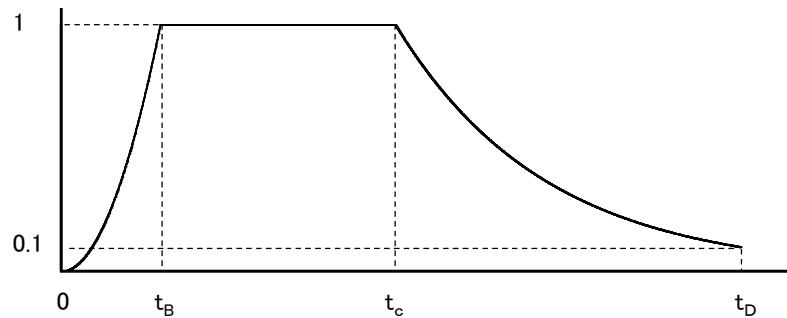
【Mの設定】

審査ガイドにおける「全国共通に考慮すべき地震動」の地震規模は、 $M_w 6.5$ 程度未満と記載されており、武村(1990)の M_o - M 関係及びHanks and Kanamori(1979)の M_o - M_w 関係により $M_w 6.5$ を M に換算すると6.9となる。ここで、審査ガイドでは「 $M_w 6.5$ 程度未満」と幅をもって示されていることから、換算式から求められる M についても幅を持たせ、模擬地震波の特に強震部の継続時間が長めとなるよう保守的に $M 7.0$ として設定する。

【 X_{eq} の設定】

震源近傍で発生する地震を想定したうえ、継続時間が長めとなるよう $X_{eq} = 10\text{km}$ として設定する。

模擬地震波	最大加速度 (cm/s^2)	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	29.80	3.72	16.31	29.80
鉛直方向	400	29.80	3.72	16.31	29.80



振幅包絡線

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

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

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

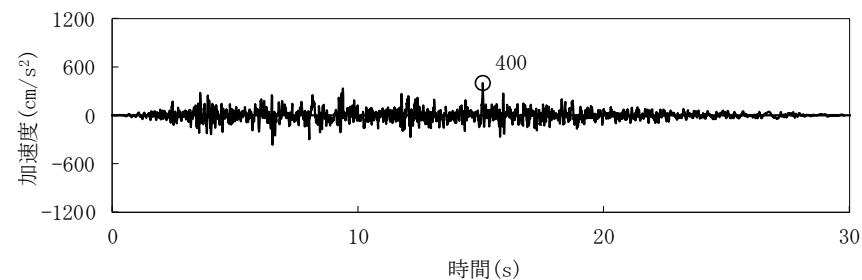
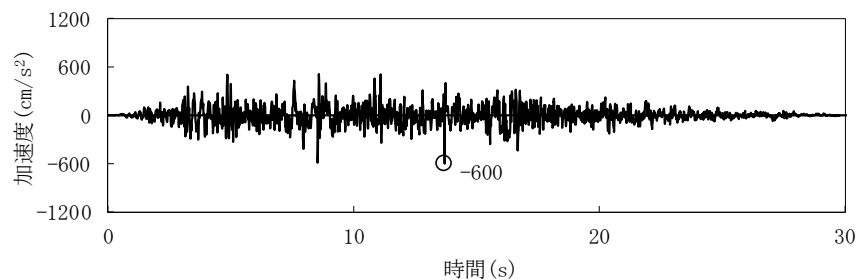
$$E(t) = \begin{cases} (t/t_B)^2 & 0 \leq t \leq t_B \\ 1 & t_B \leq t \leq t_C \\ \exp[(\ln 0.1)(t - t_C)/(t_D - t_C)] & t_C \leq t \leq t_D \end{cases}$$

模擬地震波の検討：乱数位相による検討(2/4)

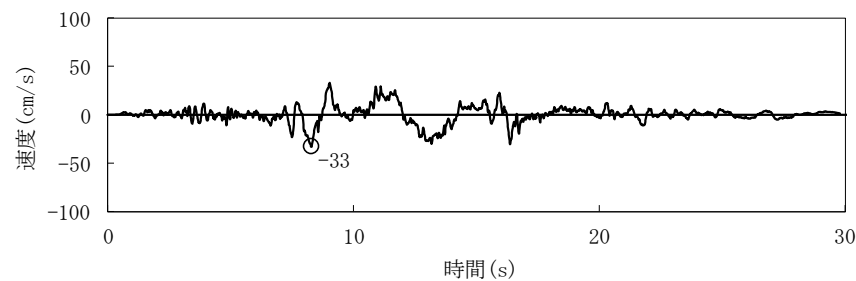
■ 評価結果：時刻歴波形

乱数位相を用いた模擬地震波の時刻歴波形を示す。

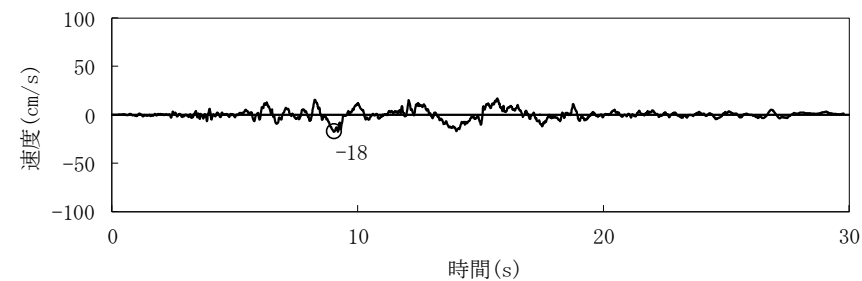
模擬地震波の加速度時刻歴波形



模擬地震波の速度時刻歴波形



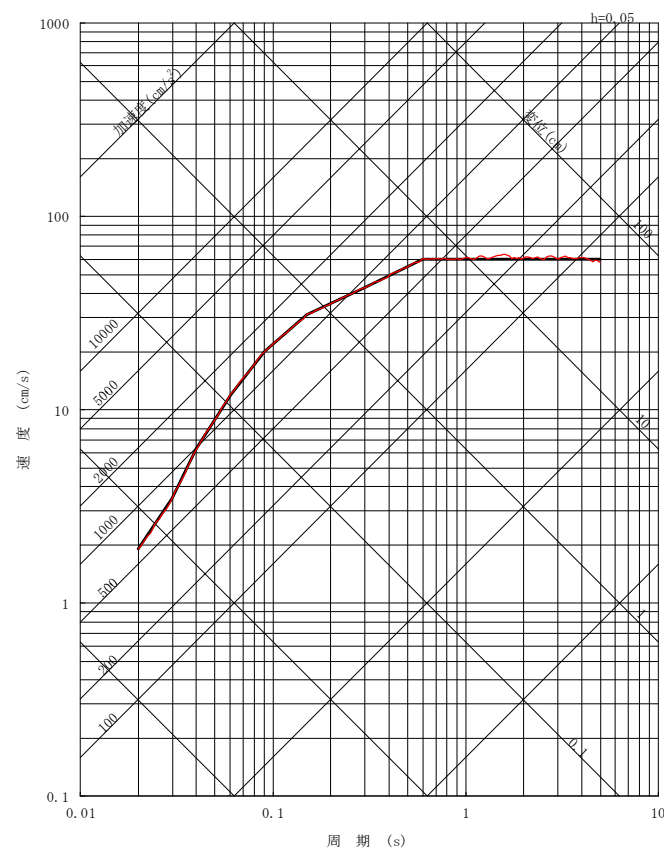
水平方向



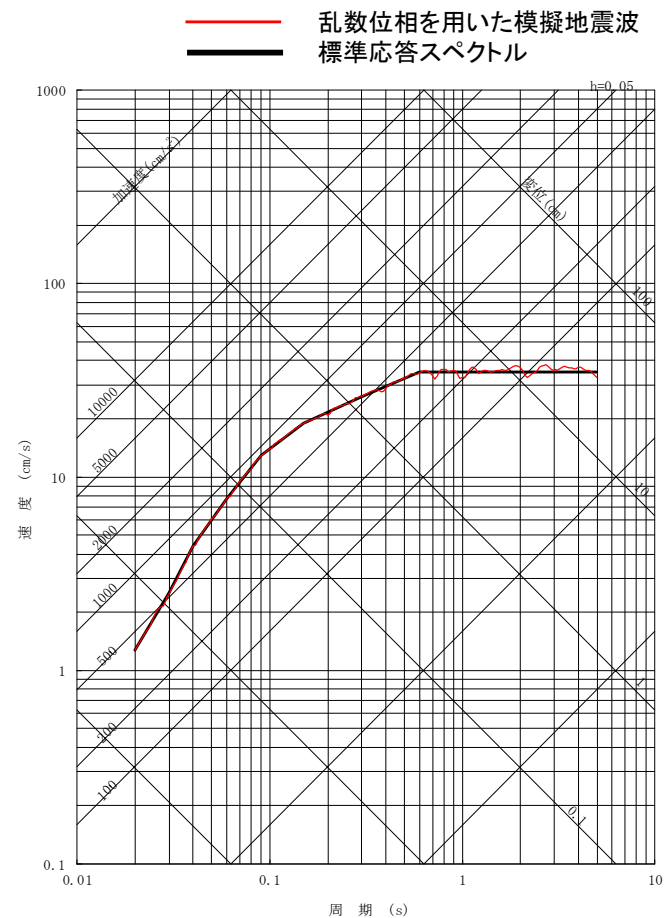
鉛直方向

■ 評価結果: 応答スペクトル

乱数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

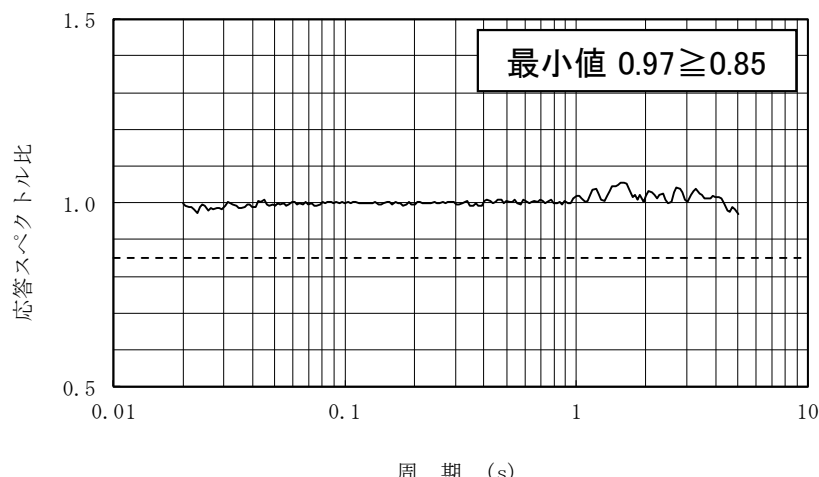
擬似速度応答スペクトル

模擬地震波の検討：乱数位相による検討(4/4)

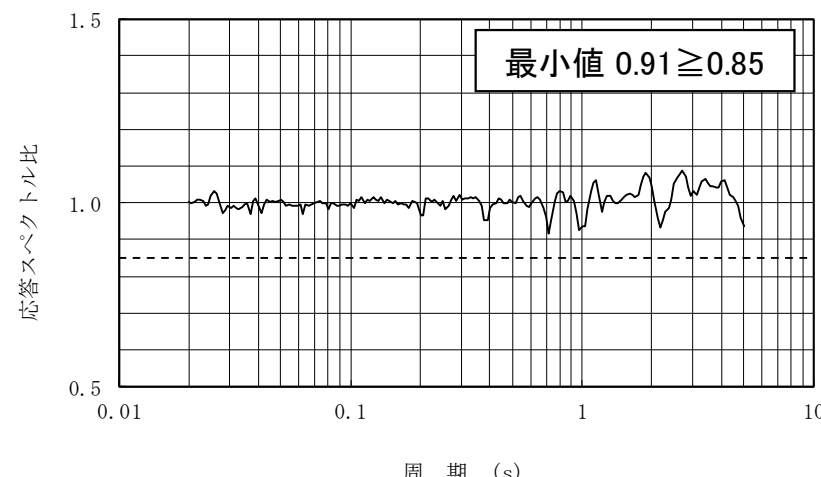
■ 適合度の確認

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



周期 (s)
水平方向



周期 (s)
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	1.017
鉛直方向	1.006

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

ここで、
 S_v : 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。

模擬地震波の検討： 実観測記録の位相による検討(1/7)

■ 検討方針

実観測記録の位相を用いた模擬地震波は、実観測記録の位相を与えて作成する。用いる観測記録の候補としては、敷地に近い位置(震央距離10km以内)で発生した内陸地殻内地震の敷地における観測記録が考えられるが、そのような記録がない場合には、応力場が敷地と類似する周辺の領域における地震基盤相当面($V_s2200\text{m/s}$ 以上)の観測記録とする。

①敷地における観測記録の収集・整理

- ・敷地に近い位置(震央距離10km以内)で発生し、地震の規模がMw6.5程度未満の内陸地殻内地震の揺れについて、敷地で得られた観測記録を収集・整理する。

(該当する記録がない場合)

②敷地周辺における観測記録の収集・整理

- ・敷地周辺は、東北地方太平洋沖地震の発生前後ともに地震活動度は低く、震源メカニズム解が得られていないが、福島県南部から敷地にかけての領域は、南西-北東方向を引張軸とする正断層型の応力場と考えられており、福島県浜通りから茨城県北部にかけての領域で正断層型の地震が多く発生している。
- ・そこで、この領域で発生し、地震の規模がMw6.5程度未満の内陸地殻内地震の揺れについて、敷地周辺のKiK-net観測点で得られた震源近傍における観測記録を収集・整理する。

(該当する記録がある場合)

③実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成

- ・上記①または②で収集・整理した記録の中から、地震基盤相当面($V_s2200\text{m/s}$ 以上)位置における模擬地震波の作成に用いる位相として適切なものを選定し、模擬地震波を作成する。

模擬地震波の検討： 実観測記録の位相による検討(2/7)

①敷地における観測記録の収集・整理

■ 模擬地震波の位相として用いる観測記録としては、敷地に近い位置(震央距離10km以内)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。

敷地で観測された内陸地殻内地震(Mj5.0~7.0, 震央距離30km以内)

【選定条件】	
・地震発生様式	: 内陸地殻内地震
・対象期間	: 2011年3月11日※1~2021年12月
・震源深さ	: 25km以浅
・Mj	: 5.0~7.0
・震央距離	: 10km以内
・対象観測点	: EL-372m地震計, EL-992m地震計※1

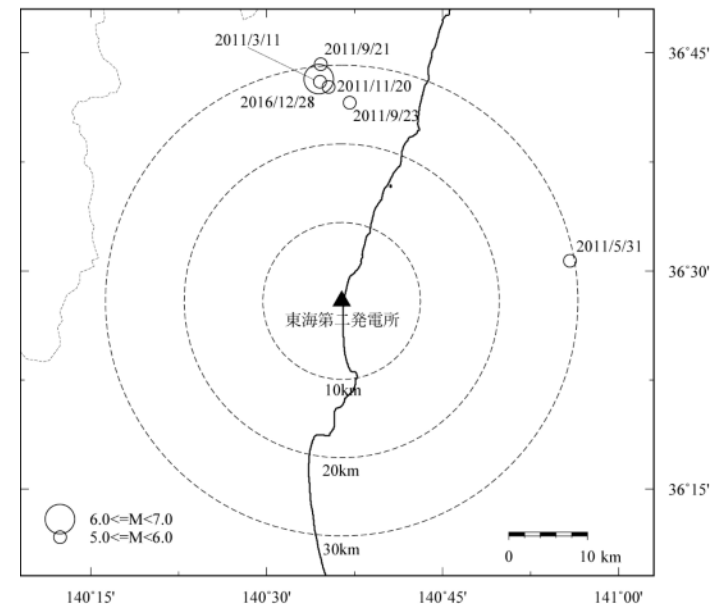
No.	発震日時		震央位置		地震規模		震源深さ(km)	震央距離(km)
			緯度(度)	経度(度)	Mj	Mw※2		
1	2011/03/11	14:54	36.717	140.576	5.7	-	9.1	28
2	2011/05/31	04:36	36.512	140.931	5.0	4.7	15.1	30
3	2011/09/21	22:30	36.737	140.577	5.2	5.0	8.6	30
4	2011/09/23	17:15	36.693	140.618	5.1	4.7	4.2	25
5	2011/11/20	10:23	36.711	140.588	5.3	5.0	9.0	27
6	2016/12/28	21:38	36.720	140.574	6.3	5.9	10.8	28

※1 EL-992m地震計については2012年8月より観測を開始

※2 防災科学技術研究所のF-netによる。”-”は該当する地震情報がないことを示す。

該当する地震なし

・以降では、敷地及び敷地周辺におけるテクトニクス環境下で発生したMw6.5程度未満の内陸地殻内地震であって、敷地周辺の観測点において震源近傍で観測された記録について確認する。



模擬地震波の検討： 実観測記録の位相による検討(3/7)

②敷地周辺における観測記録の収集・整理

■福島県浜通りから茨城県北部にかけての領域で発生した内陸地殻内地震の揺れを震源近傍で観測した記録として、11地震19記録を収集した。得られた記録は、全て正断層型の地震によるものである。

【収集条件】

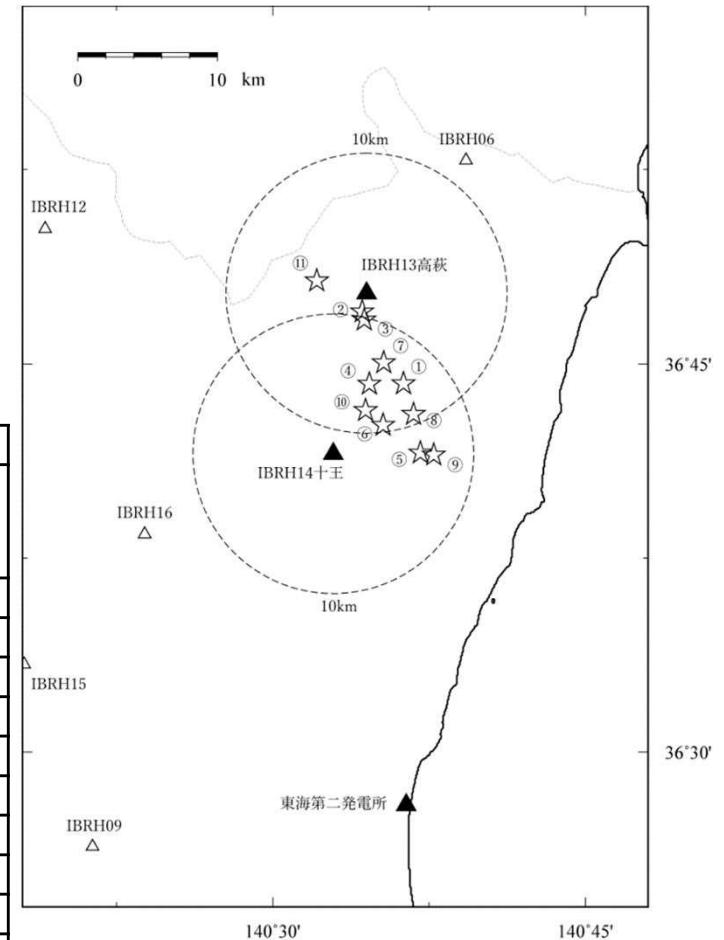
- ・地震発生様式 : 内陸地殻内地震
- ・震央地 : 福島県浜通り, 茨城県北部
- ・震源深さ : 25km以浅
- ・Mj : 5.0~7.0
- ・震央距離 : 10km以内
- ・対象観測点 : KiK-net地中観測点
- ・観測点の地盤条件 : 地震基盤相当面 (Vs2200m/s以上)

収集した敷地周辺のKiK-net観測記録

No.	発震日時	震央位置		地震規模		震源深さ(km)	震央距離(km)	
		緯度(度)	経度(度)	Mj	Mw*		IBRH13(高萩) (Vs3000m/s)	IBRH14(十王) (Vs3200m/s)
①	2011/03/19 08:49	36.7373	140.6045	5.3	5.1	5.0	7	7
②	2011/03/19 18:56	36.7837	140.5715	6.1	5.8	5.4	1	10
③	2011/04/14 07:35	36.7783	140.5732	5.1	4.9	8.8	2	10
④	2011/09/21 22:30	36.7372	140.5772	5.2	5.0	8.6	6	6
⑤	2011/09/23 17:15	36.6928	140.6180	5.1	4.7	4.2	12	6
⑥	2011/11/20 10:23	36.7107	140.5882	5.3	5.0	9.0	9	4
⑦	2012/02/19 14:54	36.7508	140.5887	5.2	4.9	7.2	5	7
⑧	2012/03/10 02:25	36.7177	140.6125	5.4	5.2	6.5	9	6
⑨	2013/12/31 10:03	36.6915	140.6287	5.4	5.0	6.6	12	7
⑩	2016/12/28 21:38	36.7202	140.5742	6.3	5.9	10.8	8	4
⑪	2017/08/02 02:02	36.8035	140.5352	5.5	5.1	8.7	4	12

※ 防災科学技術研究所のF-netによる。

備考 グレーハッチングの記録は震央距離が10kmより遠いため収集対象から除外



収集した内陸地殻内地震の震央位置
及び観測点位置

模擬地震波の検討: 実観測記録の位相による検討(4/7)

③実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成

■模擬地震波の作成に用いる観測記録の選定

- ・収集した地震基盤相当面($V_s2200\text{m/s}$ 以上)の観測記録(11地震19記録)のうち、地震規模が大きく($M_j6.0$ 以上)、より震源に近い位置(震央距離5km以内)で観測された記録は、②2011年茨城県北部地震($M_j6.1$, 正断層型)の揺れを震央距離約1kmで観測したKiK-net観測点IBRH13(高萩)の記録及び⑩2016年茨城県北部地震($M_j6.3$, 正断層型)の揺れを震央距離約4kmで観測したKiK-net観測点IBRH14(十王)の記録の2つである。
- ・模擬地震波の作成に用いる観測記録の位相は、地中観測記録そのものよりも、下降波の影響を除去した露頭基盤波の方が適していると考えているところ、②2011年茨城県北部地震($M_j6.1$, 正断層型)の揺れを震央距離約1kmで観測したKiK-net観測点IBRH13(高萩)の記録については、佐藤他(2019)により、地震基盤相当面($V_s2200\text{m/s}$ 以上)における露頭基盤波が推定されている。

収集した敷地周辺のKiK-net観測記録

No.	発震日時		震央位置		地震規模		震源 深さ (km)	震央距離(km)	
			緯度 (度)	経度 (度)	M_j	M_w^*		IBRH13 (高萩) ($V_s3000\text{m/s}$)	IBRH14 (十王) ($V_s3200\text{m/s}$)
①	2011/03/19	08:49	36.7373	140.6045	5.3	5.1	5.0	7	7
②	2011/03/19	18:56	36.7837	140.5715	6.1	5.8	5.4	1	10
③	2011/04/14	07:35	36.7783	140.5732	5.1	4.9	8.8	2	10
④	2011/09/21	22:30	36.7372	140.5772	5.2	5.0	8.6	6	6
⑤	2011/09/23	17:15	36.6928	140.6180	5.1	4.7	4.2	12	6
⑥	2011/11/20	10:23	36.7107	140.5882	5.3	5.0	9.0	9	4
⑦	2012/02/19	14:54	36.7508	140.5887	5.2	4.9	7.2	5	7
⑧	2012/03/10	02:25	36.7177	140.6125	5.4	5.2	6.5	9	6
⑨	2013/12/31	10:03	36.6915	140.6287	5.4	5.0	6.6	12	7
⑩	2016/12/28	21:38	36.7202	140.5742	6.3	5.9	10.8	8	4
⑪	2017/08/02	02:02	36.8035	140.5352	5.5	5.1	8.7	4	12

※ 防災科学技術研究所のF-netによる。

備考 グレーハッチングの記録は震央距離が10kmより遠いため収集対象から除外
赤字は $M_j6.0$ 以上、震央距離5km以内の観測記録を示す

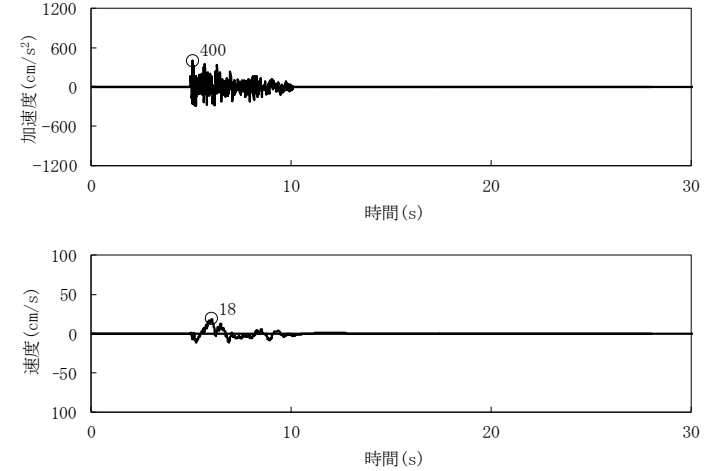
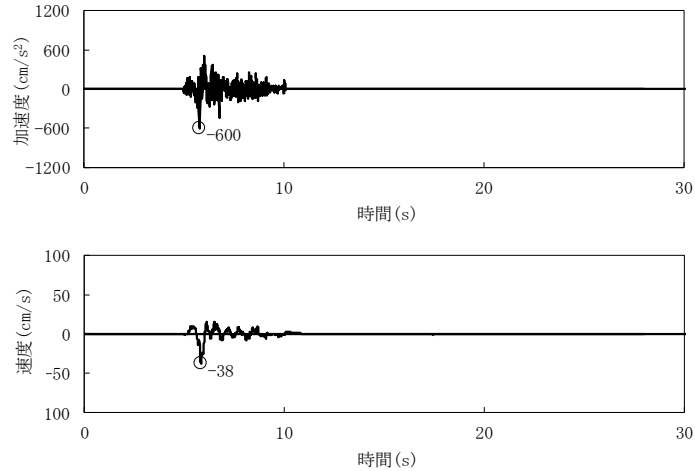
- ・上記整理結果を踏まえ、以降では、佐藤他(2019)により推定されている、②2011年茨城県北部地震($M_j6.1$, 正断層型)の揺れを震央距離約1kmで観測したKiK-net観測点IBRH13(高萩)の記録の基盤地震動の位相を用いて、実観測記録の位相を用いた模擬地震波を作成する。

■ 評価結果： 時刻歴波形

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。

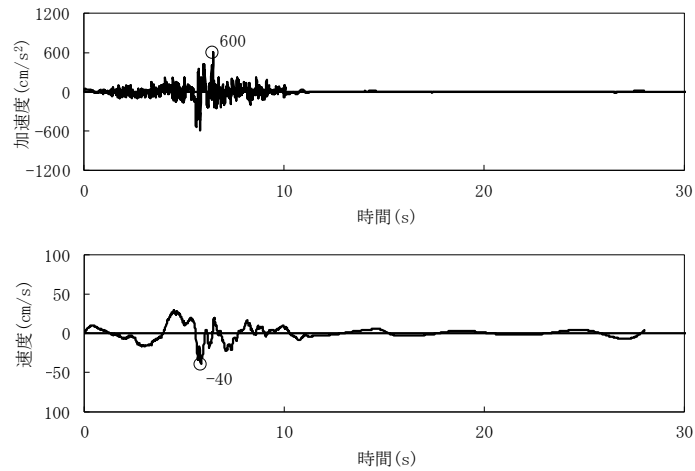
【佐藤他(2019)の地震動※】

※ 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。

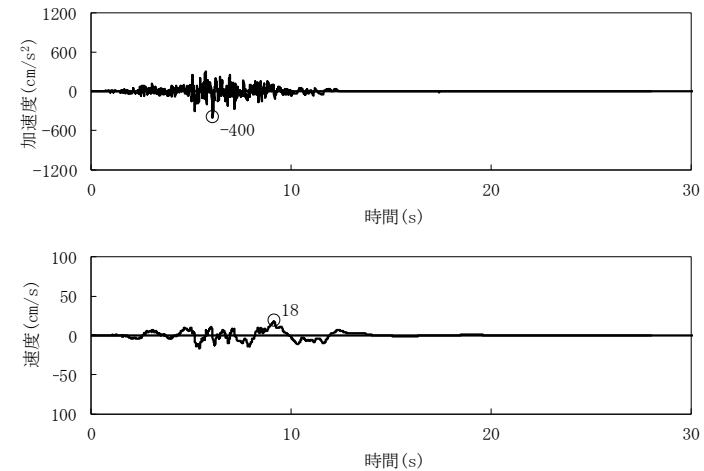


〔鉛直方向については、佐藤他(2019)において実施された地盤調査結果を参考に、別途基盤波を推定〕

【作成した模擬地震波】



水平方向

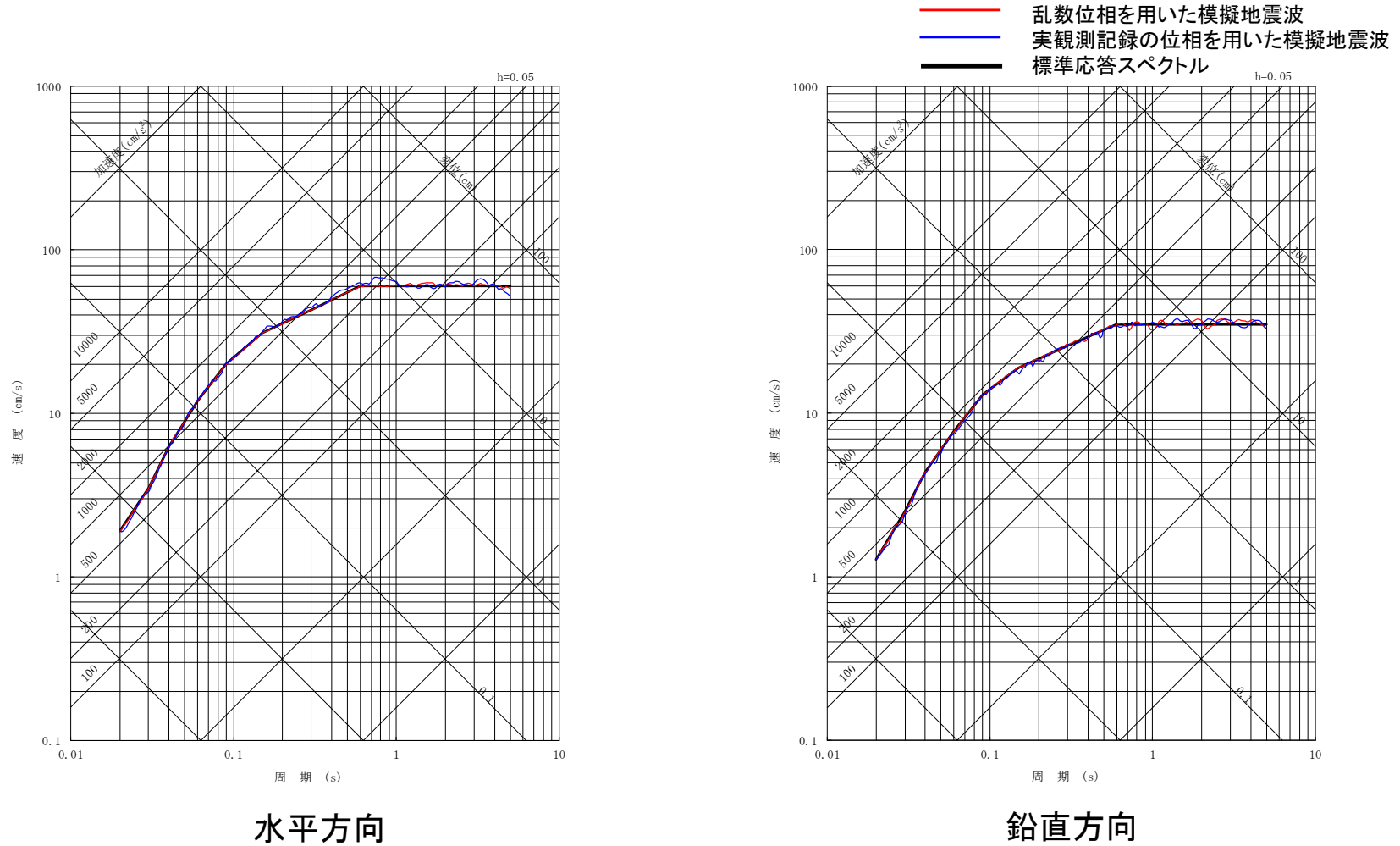


鉛直方向

模擬地震波の検討： 実観測記録の位相による検討(6/7)

■ 評価結果： 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を示す。



水平方向

鉛直方向

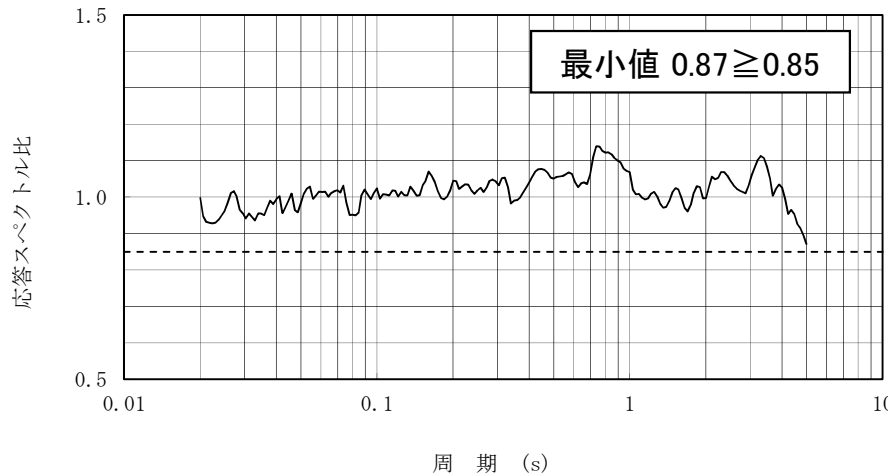
擬似速度応答スペクトル

模擬地震波の検討: 実観測記録の位相による検討(7/7)

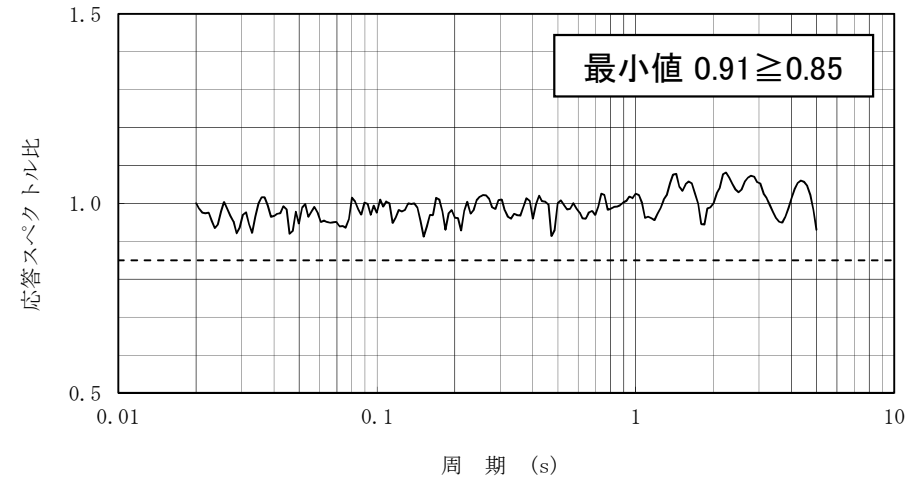
■ 適合度の確認

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

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

ここで、
 S_v : 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。

解放基盤表面の地震動評価(1/6)

- 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 ($V_s 2200\text{m/s}$ 以上) に対応するEL.-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、EL.-370mの解放基盤表面の地震動を評価する。

地震動評価用地盤モデル

EL. (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	鉛直
-370.0	106.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ ($f \leq 6.78$)	$0.264f^{-1.05}$ ($f \leq 31.74$)
-476.0					0.008 ($f > 6.78$)	0.007 ($f > 31.74$)
-566.0	90.0	835	2124	1.89	$0.058f^{-1.05}$ ($f \leq 6.78$)	$0.249f^{-1.05}$ ($f \leq 31.74$)
-655.0	89.0	904	2205	2.00	$0.054f^{-1.05}$ ($f \leq 6.78$)	$0.240f^{-1.05}$ ($f \leq 31.74$)
-679.0	24.0	947	2256	2.07	$0.051f^{-1.05}$ ($f \leq 6.78$)	$0.234f^{-1.05}$ ($f \leq 31.74$)
	—	2200	4800	2.65	$0.013f^{-0.21}$ ($f \leq 1.31$)	$0.004f^{-0.23}$ ($f \leq 16.46$)
					0.012 ($f > 1.31$)	0.002 ($f > 16.46$)

▼
解放基盤表面
(出力位置)

▼
地震基盤相当面
(入力位置)

解放基盤表面の地震動評価(2/6)

■ 比較検討: 方針

乱数位相, 実観測記録の位相による地震動評価結果を比較し, 位相の違いが地震基盤相当面から解放基盤表面までの伝播の特性に与える影響を検討する。

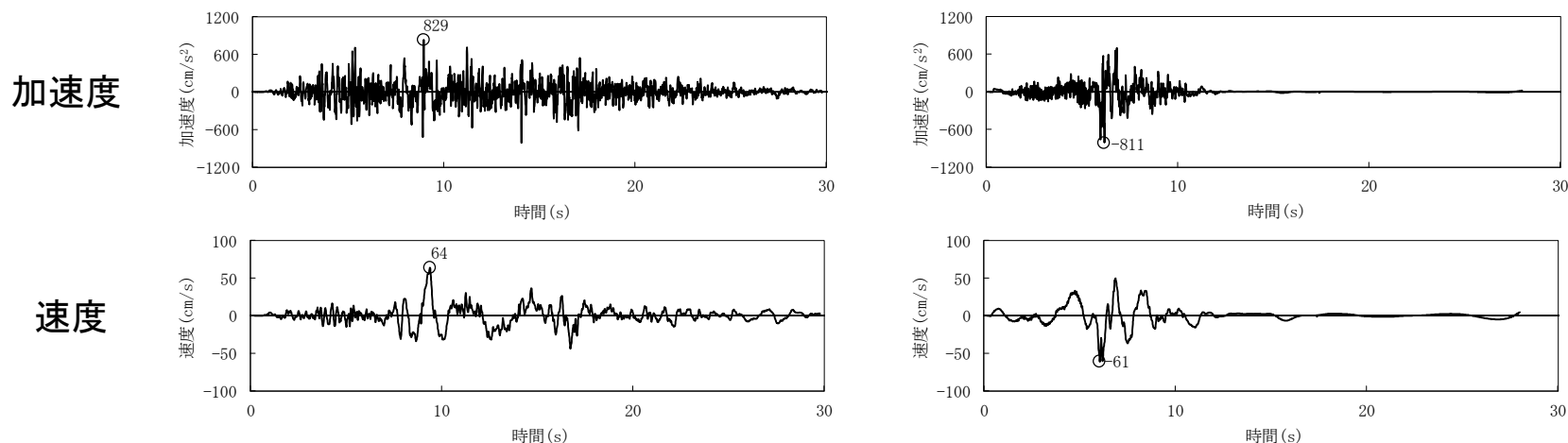
比較検討項目	着眼点
時刻歴波形	強震部の継続時間の長さや振幅包絡形状
応答スペクトル	振幅の大きさ

解放基盤表面の地震動評価(3/6)

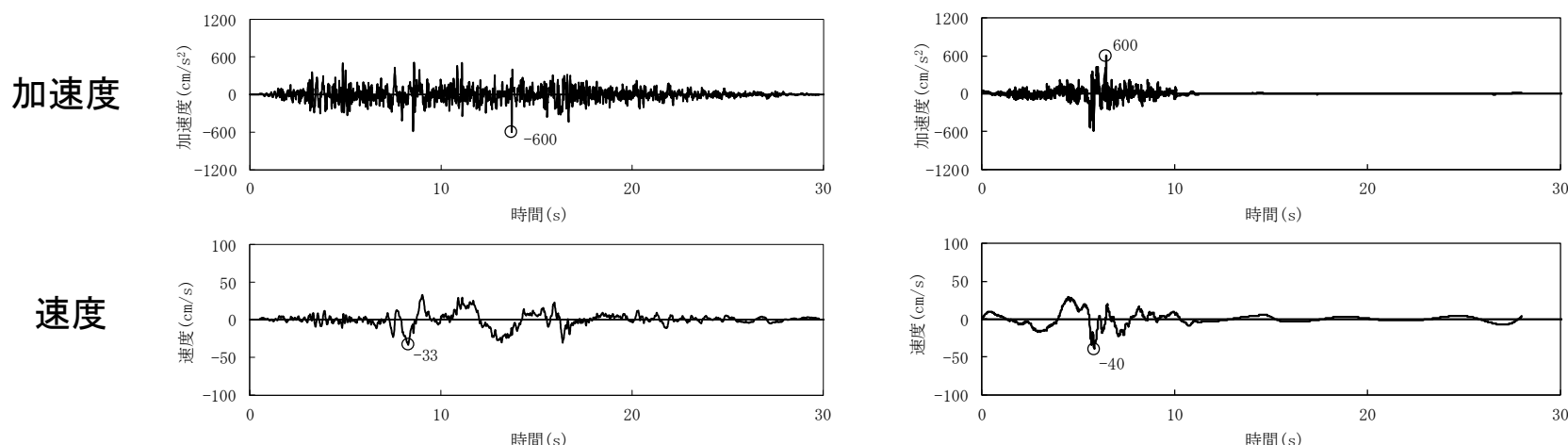
■比較検討: 時刻歴波形(水平方向)

乱數位相, 実観測記録の位相を用いた模擬地震波を解放基盤表面まで伝播させ, 時刻歴波形を比較したところ, 強震部の継続時間については, 地震基盤相当面, 解放基盤表面の両方で乱數位相による時刻歴波形の方が長いことを確認した。また, 振幅包絡形状については, 両位相とも地震基盤相当面と解放基盤表面とで傾向は大きく変わらないことを確認した。

【解放基盤表面】



【地震基盤相当面】



乱數位相による時刻歴波形(水平方向)

実観測記録の位相による時刻歴波形(水平方向)

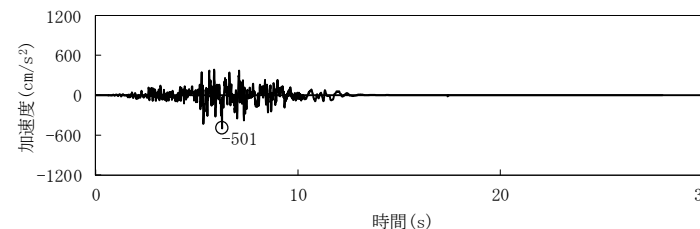
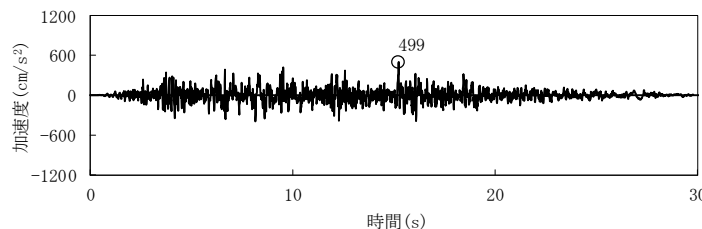
解放基盤表面の地震動評価(4/6)

■比較検討: 時刻歴波形(鉛直方向)

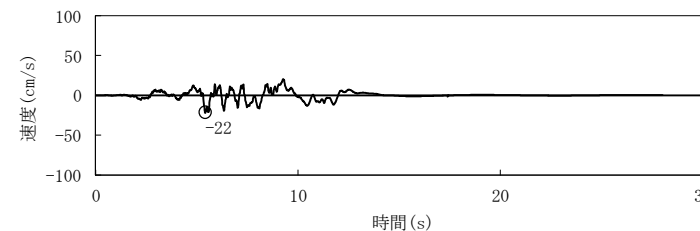
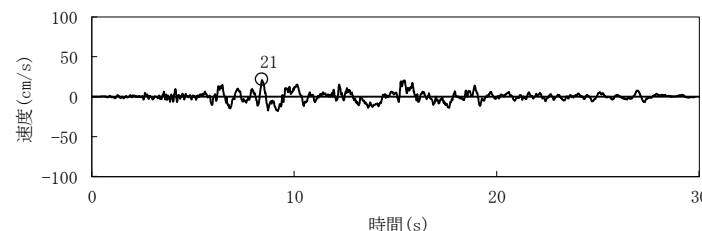
乱数位相, 実観測記録の位相を用いた模擬地震波を解放基盤表面まで伝播させ, 時刻歴波形を比較したところ, 強震部の継続時間については, 地震基盤相当面, 解放基盤表面の両方で乱数位相による時刻歴波形の方が長いことを確認した。また, 振幅包絡形状については, 両位相とも地震基盤相当面と解放基盤表面とで傾向は大きく変わらないことを確認した。

【解放基盤表面】

加速度

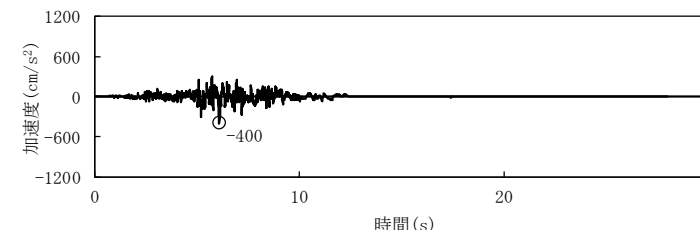
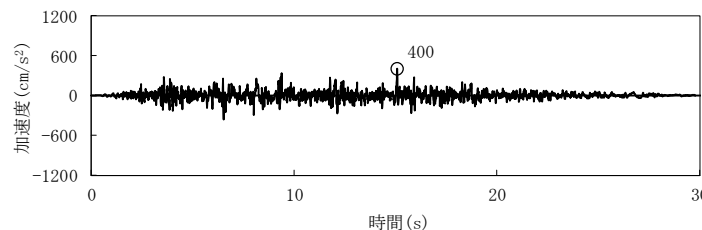


速度

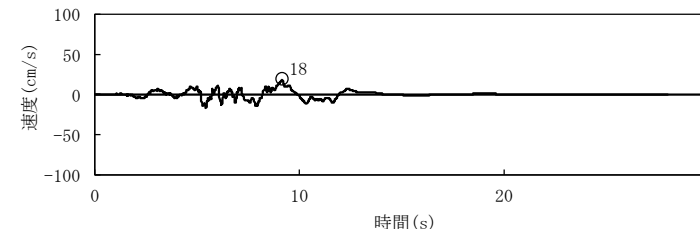
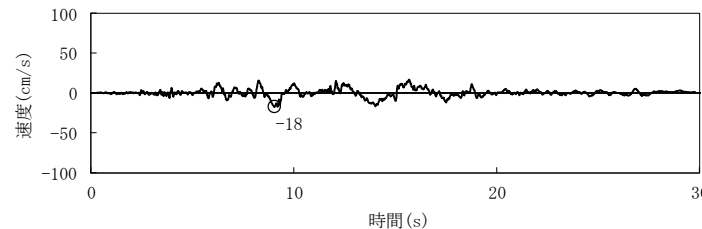


【地震基盤相当面】

加速度



速度



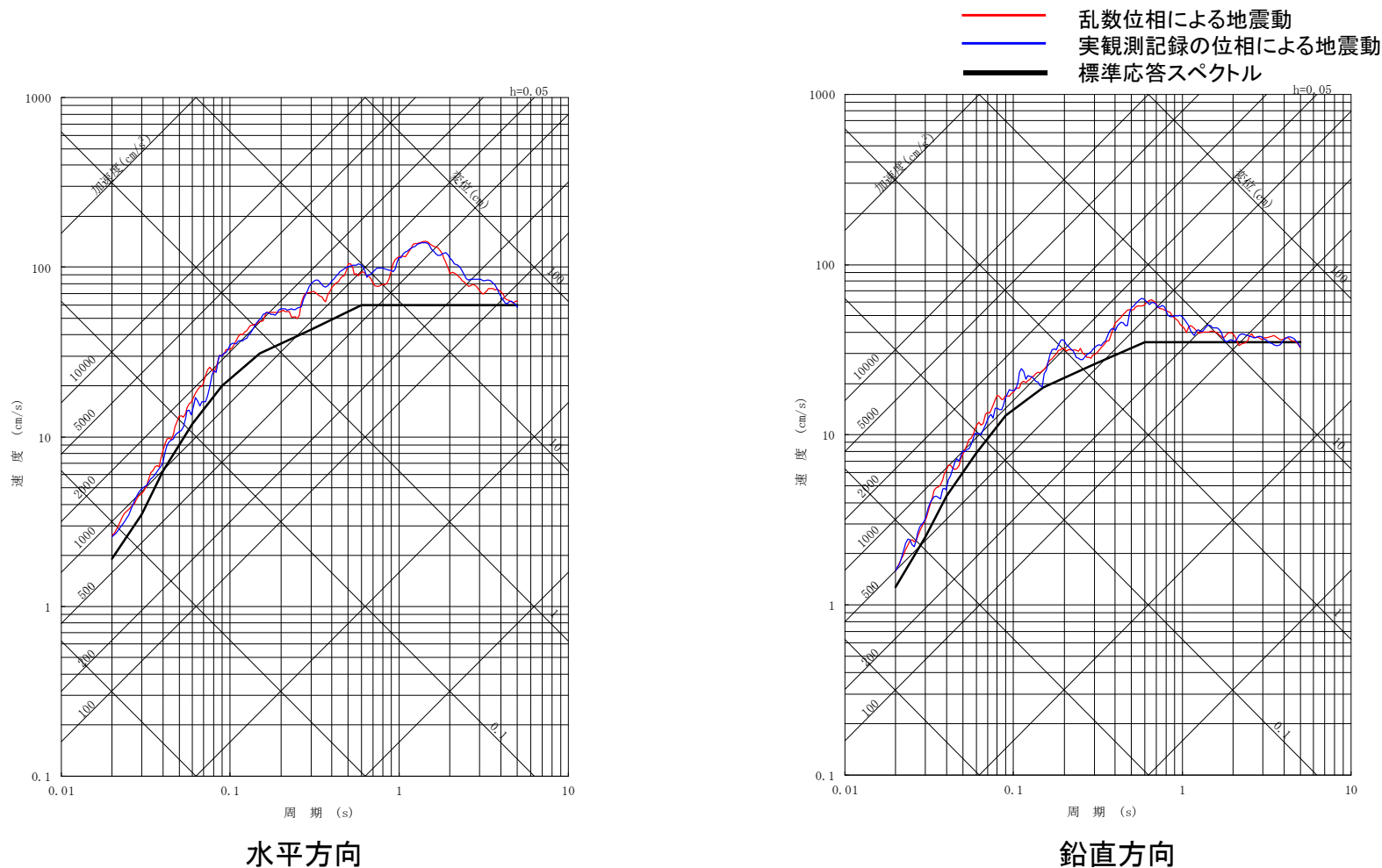
乱数位相による時刻歴波形(鉛直方向)

実観測記録の位相による時刻歴波形(鉛直方向)

解放基盤表面の地震動評価(5/6)

■比較検討: 応答スペクトル

乱数位相, 実観測記録の位相による地震動について, 解放基盤表面における応答スペクトルを比較したところ, 両者は同程度であり, 差が生じていないことを確認した。



擬似速度応答スペクトル

解放基盤表面の地震動評価(6/6)

■比較検討結果

地震基盤相当面から解放基盤表面までの伝播の特性について、乱數位相の場合と実観測記録の位相の場合を比較した結果を下記のとおり整理する。

比較検討項目	比較検討結果
時刻歴波形	<ul style="list-style-type: none"> ・強震部の継続時間については、地震基盤相当面、解放基盤表面の両方で乱數位相による時刻歴波形の方が長い。 ・振幅包絡形状については、乱數位相、実観測記録の位相とも地震基盤相当面と解放基盤表面とで傾向は大きく変わらない。
応答スペクトル	解放基盤表面まで伝播させても、乱數位相による応答スペクトルと実観測記録の位相による応答スペクトルに差は生じていない。



乱數位相、実観測記録の位相による地震動は、応答スペクトルでは差が生じないが、時刻歴波形では乱數位相の方が強震部の継続時間が長いことから、標準応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる位相として、乱數位相を選定する。

(2) 地域性を考慮する地震動：2008年岩手・宮城内陸地震

2008年岩手・宮城内陸地震の震源域と東海第二発電所の比較

【凡例】○類似性あり, △:類似性低い～一部あり, ×:類似性なし

項目	比較結果	2008年岩手・宮城内陸地震震源域	東海第二発電所
地質	△	・ 震源域近傍には、主に中新統～鮮新統の堆積岩・火山岩等、第四系の火山岩類が分布する。	・ 敷地近傍には、中新統の堆積岩、鮮新統の堆積岩、更新統の段丘堆積物等、完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。
地質構造	×	・ 震源域近傍には、中新世以降に形成された褶曲構造が認められる。 ・ カルデラが密集することから、地質構造が複雑である。	・ 敷地近傍に広く分布する新第三系鮮新統～第四系下部更新統(久米層)及びこれを不整合に覆う上部更新統はほぼ水平に分布している。 ・ 敷地近傍にカルデラは分布しない。
変動地形等	×	・ 下記の観点より、震源域近傍は変動地形等の認識が難しい地域である。 - 震源域は山間部に位置し、近傍に河成段丘が一部分布するのみであり、指標となる地形が少ない。 - 大規模地すべりを含めた地すべりが密集している。 ・ 田力他(2009)によると、 <u>爪木立付近には短いながら明瞭な断層変位地形があり、低位段丘礫層堆積期以降に複数回、比較的活発な活動を繰り返していることが明らかとなった。</u>	・ 下記の観点より、敷地近傍は変動地形等が認識しやすい地域である。 - 陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が広く分布している。 - 地すべりが認められない。 - 海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布している。 ・ 変動地形学的調査の結果、敷地近傍陸域に <u>変動地形は認められない。</u>
火山	×	・ 火山フロントに近接する。	・ 火山フロントの遠方に位置する。
地震地体構造	×	・ 東北日本弧内帯(8C)	・ 東北日本弧外帯(8B)
応力場	×	・ 防災科学技術研究所(2013)において、 <u>ひずみ集中帯と指摘されている。</u> ・ <u>東西圧縮の逆断層型が卓越</u>	・ <u>ひずみ集中帯と指摘している文献はない。</u> ・ 敷地周辺の茨城県北部では南西－北東引張の正断層型が卓越

2008年岩手・宮城内陸地震の震源域と東海第二発電所における地質・地質構造等を整理した結果、地域の特徴が下記のとおり大きく異なっていることから、当該地震の観測記録は収集対象外とする。

- ・ 震源域近傍は変動地形等の認識が難しい地域であるのに対し、東海第二発電所敷地近傍は変動地形等が認識しやすい地域である。
- ・ 震源域周辺は東西圧縮の逆断層型が卓越する応力場であるのに対し、東海第二発電所周辺の茨城県北部では南西－北東引張の正断層型が卓越する応力場である。

(2) 地域性を考慮する地震動：2000年鳥取県西部地震

2000年鳥取県西部地震の震源域と東海第二発電所の比較

【凡例】○：類似性あり，△：類似性低い～一部あり，×：類似性なし

項目	比較結果	2000年鳥取県西部地震震源域	東海第二発電所
地質	×	・ 震源域近傍には、主に白亜系～古第三系の花崗岩及び中新統の安山岩～玄武岩の岩脈が分布する。	・ 敷地近傍には、中新統の堆積岩、鮮新統の堆積岩、更新統の段丘堆積物等、完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。
地質構造	×	・ 第四紀中期以降に新たに断層面を形成して、断層が発達しつつあり、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。	・ 敷地近傍に広く分布する新第三系鮮新統～第四系下部更新統(久米層)及びこれを不整合に覆う上部更新統はほぼ水平に分布している。
変動地形等	×	・ 下記の観点より、震源域近傍は変動地形等の認識が難しい地域である。 - 岡田(2002)によると、震源域近傍の活断層の特徴として、第四紀中期以降に新たな断層面を形成して断層が発達しつつあり、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。 ・ 震源域に震源断層の方向とほぼ一致する短く断続するリニアメント群が判読されるとともにリニアメント沿いで水平に近い条線をもつ断層露頭が多く確認され、これらの断層は横ずれ断層に伴うフラー構造を呈して地下では1本の断層に収斂すると推測されている。	・ 下記の観点より、敷地近傍は変動地形等が認識しやすい地域である。 - 陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が広く分布している。 - 地すべりが認められない。 - 海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布している。 ・ 変動地形学的調査の結果、敷地近傍陸域に変動地形は認められない。
火山	×	・ 火山フロントに近接する。	・ 火山フロントの遠方に位置する。
地震地体構造	×	・ 中国山地・瀬戸内海(10C5)	・ 東北日本弧外帯(8B)
応力場	×	・ 西村(2014)において、ひずみ集中帯と指摘されている。 ・ 東西圧縮の横ずれ断層型が卓越	・ ひずみ集中帯と指摘している文献はない。 ・ 敷地周辺の茨城県北部では南西―北東引張の正断層型が卓越

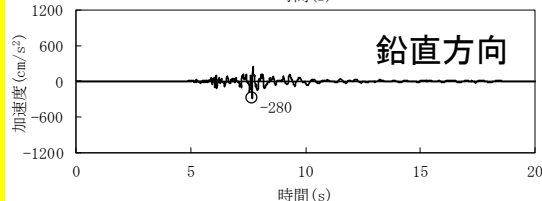
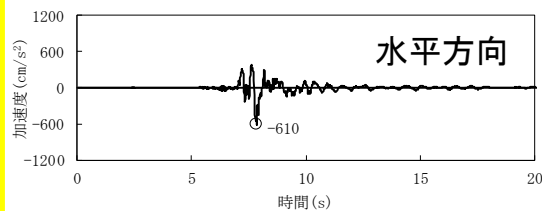
2000年鳥取県西部地震の震源域と東海第二発電所における地質・地質構造等を整理した結果、地域の特徴が下記のとおり大きく異なっていることから、当該地震の観測記録は収集対象外とする。

- ・ 震源域近傍は活断層の発達過程としては未成熟な段階であるとともに花崗岩が分布する地域であり弾性波探査等の調査では断層の存否を確認することは難しく活構造の認識が困難な地域であるのに対し、東海第二発電所敷地近傍は堆積岩が分布する地域であることから弾性波探査等の調査により活構造が認識しやすい地域である。
- ・ 震源域周辺は東西圧縮の横ずれ断層型が卓越する応力場であるのに対し、東海第二発電所周辺の茨城県北部では南西―北東引張の正断層型が卓越する応力場である。

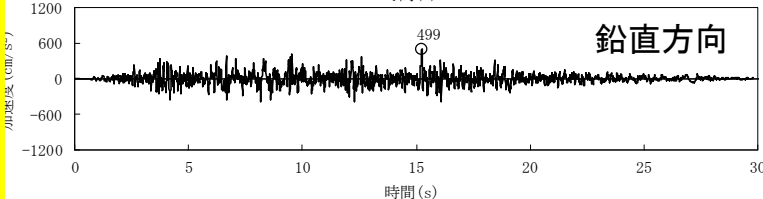
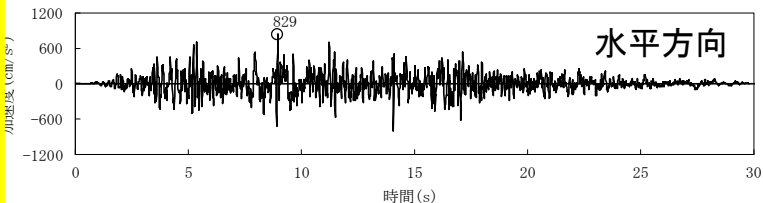
5. 震源を特定せず策定する地震動

(3) 震源を特定せず策定する地震動の設定

■ 2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討結果に保守性を考慮した、水平方向 610cm/s^2 、鉛直方向 280cm/s^2 の地震動、及び、標準応答スペクトルに基づき策定した、水平方向 829cm/s^2 、鉛直方向 499cm/s^2 の地震動を、震源を特定せず策定する地震動として考慮する。



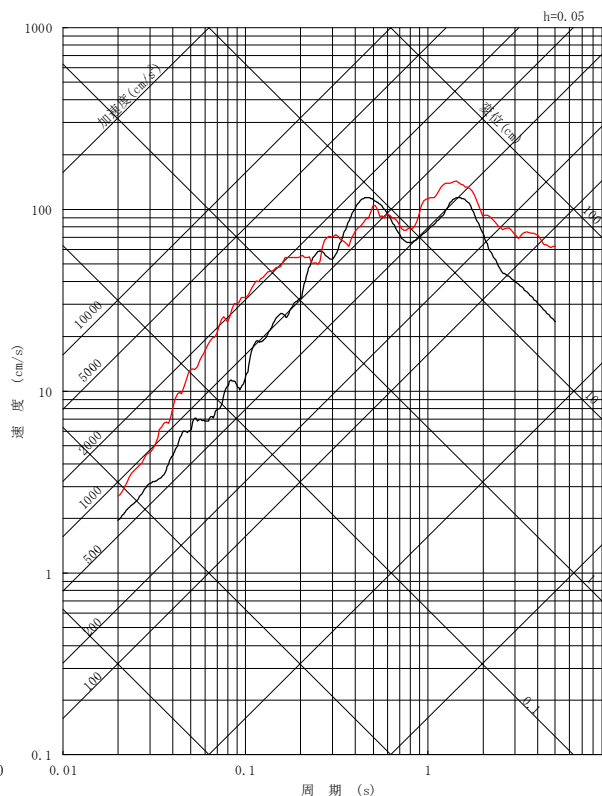
2004年北海道留萌支庁南部の地震の
検討結果に保守性を考慮した地震動



標準応答スペクトルに基づき策定した地震動

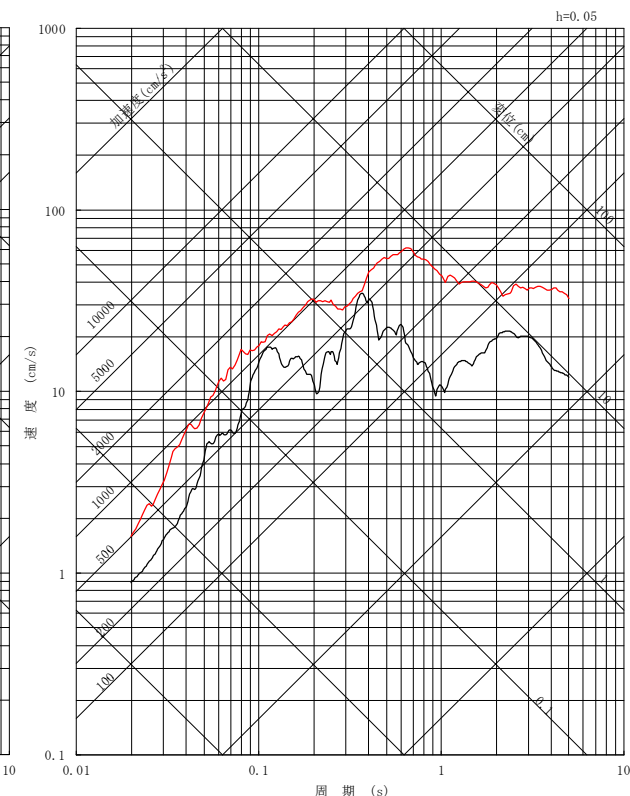
加速度時刻歴波形

— 2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
— 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動



水平方向

擬似速度応答スペクトル



鉛直方向

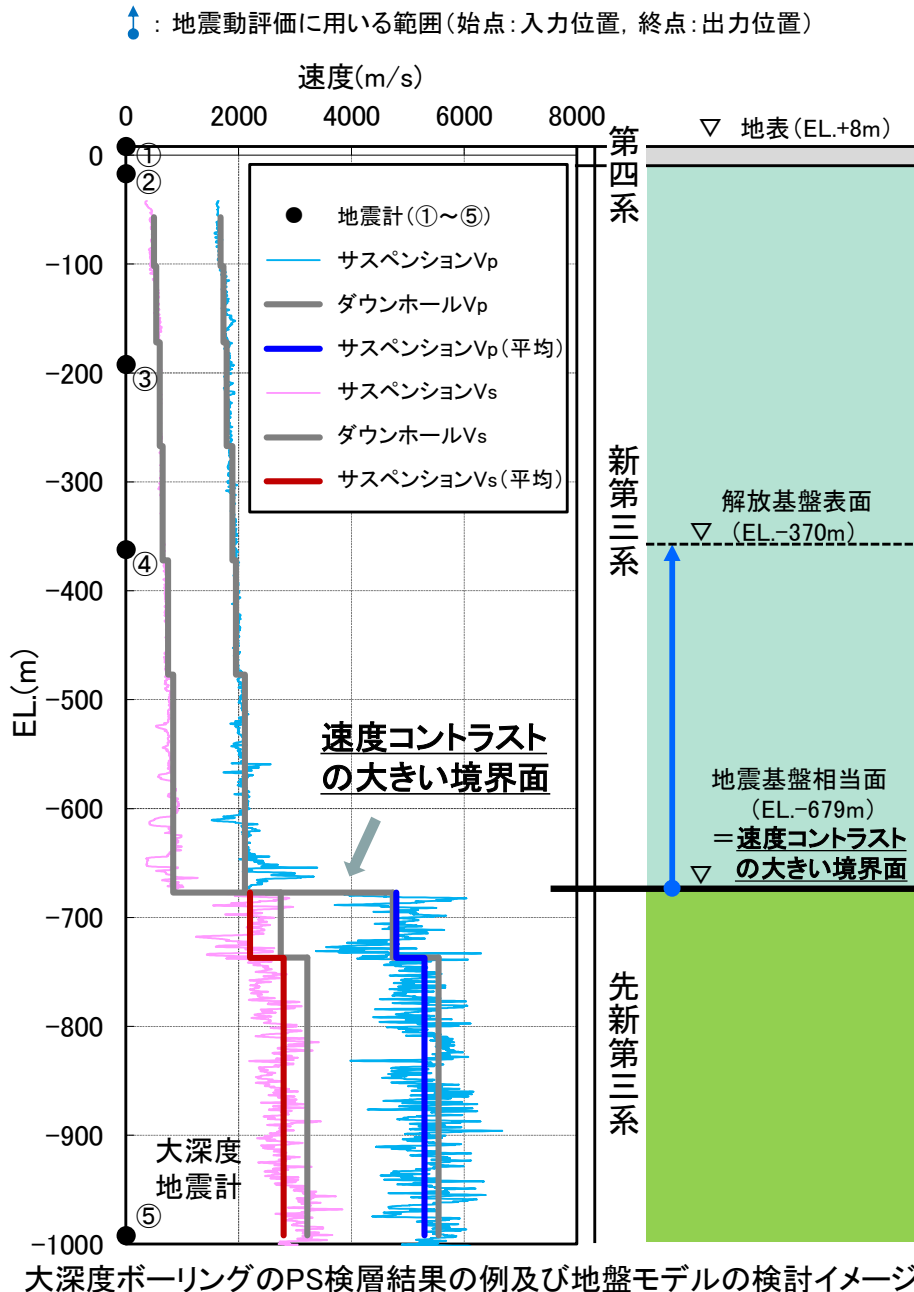
1. 基準地震動の策定の概要	.....	7
2. 敷地周辺の地震発生状況	.....	10
3. 地下構造評価	.....	20
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	.....	128
4.1 プレート間地震	.....	128
4.2 海洋プレート内地震	.....	150
4.3 内陸地殻内地震	.....	183
5. 震源を特定せず策定する地震動	.....	205
6. 地盤モデルの整理	.....	234
7. 基準地震動の策定	.....	241
8. 基準地震動の年超過確率の参照	.....	255

参考資料

・震源を特定せず策定する地震動(地域性を考慮する地震動)	281
------------------------------	-------	-----

参考文献

.....	325
-------	-----



■従来の統計的グリーン関数法用地盤モデルの設定

従来の統計的グリーン関数法の評価に用いる地盤モデルの設定の際には、敷地の大深度地震観測記録等、データの蓄積が十分でなかったことから、一般的に用いられる手法として、速度構造については大深度ボーリングデータのダウンホール法に基づき設定し、減衰定数については既往の知見に基づき設定していた。

■既許可審査以降の新しい知見等を踏まえた新しい地盤モデルの設定

一方、標準応答スペクトルに基づく地震動評価においては、標準応答スペクトルが $V_s 2200\text{m/s}$ 以上となる地震基盤相当面で定義されていることから、地震基盤相当面以深まで掘削している大深度ボーリングデータや地震観測記録を精査する必要があると判断した。

そこで、物理探査結果との整合性の確認や既許可審査以降も蓄積されている地震観測記録等、既許可審査では取り入れていなかった新しい知見や考え方を整理し、今回取り入れることにより、標準応答スペクトルに基づく地震動評価のための地盤モデルを新たに設定した。

■統計的グリーン関数法用地盤モデルの見直し要否

地盤モデルの設定に際しては、着目する地層区分及び深さの範囲の違いを踏まえ、地震動評価の目的に応じた検討を行う必要がある。

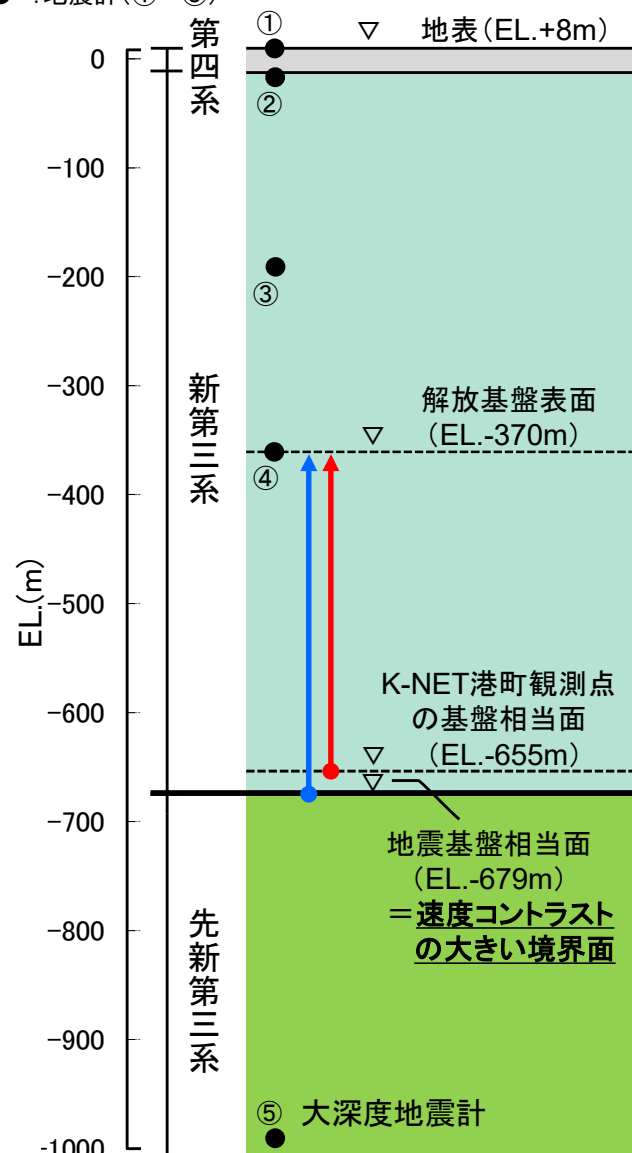
ここで、統計的グリーン関数法による検討においても、標準応答スペクトル用地盤モデルの設定の際に着目している、速度コントラストの大きい境界面の影響等、地震基盤相当面以深(先新第三系)から解放基盤表面(新第三系)までの地震波の伝播特性について、既許可審査以降に蓄積された新しい知見等を適切に反映する必要があると判断した。

既許可審査において、経験的グリーン関数法による地震動評価に対する妥当性確認のために用いていた統計的グリーン関数法用地盤モデルについては、既許可審査以降に蓄積された地震基盤相当面以深(先新第三系)からの地震波の伝播特性に関する新しい知見等を取り入れて設定した標準応答スペクトル用地盤モデルに、更新することとする。

6. 地盤モデルの整理

留萌用地盤モデルの位置づけ

- ↑ : 地震動評価に用いる範囲(始点:入力位置, 終点:出力位置)
(赤:留萌波の地震動評価,
青:標準応答スペクトルに基づく地震動評価)
- : 地震計(①~⑤)



東海第二発電所敷地地盤のイメージ図

■ 標準応答スペクトルに基づく地震動評価では、地震基盤相当面以深の先新第三系に設置した大深度地震計の観測記録の活用等により新たに地盤モデルを設定したことに伴い、既許可の留萌用地盤モデルについて、その見直し要否を以下のとおり検討する。

■ モデル設定の着眼点の違いを踏まえた留萌用地盤モデルの見直し要否に係る検討

・留萌用地盤モデルの検討では、K-NET港町観測点の基盤層が $V_s 938\text{m/s}$ の層であったことから、敷地の速度構造に照らし、K-NET港町観測点の基盤相当面(EL.-655m)が位置する第四系下部更新統～新第三系鮮新統(以降、新第三系)までの深さの範囲(地震基盤相当面(EL.-679m)以浅)に着目している。一方、標準応答スペクトル用地盤モデルの検討では、標準応答スペクトルが $V_s 2200\text{m/s}$ 以上の地震基盤相当面で定義されていることから、敷地の速度構造に照らし、速度コントラストの大きい境界面(地震基盤相当面(EL.-679m))を含む先新第三系の深さまで着目する範囲を拡大している。

・このように地盤モデルの設定に際しては着目する地層区分及び深さの範囲の違いを踏まえたそれぞれの目的に応じて検討を行っている。この点について、両地盤モデルの速度構造や減衰定数の設定の考え方を改めて整理し、留萌用地盤モデルの見直し要否を判断する。

- (1) 速度構造の設定
留萌用地盤モデルと標準応答スペクトル用地盤モデルの考え方を整理し比較する。
- (2) 減衰定数の設定
留萌用地盤モデルと標準応答スペクトル用地盤モデルの考え方を整理し比較する。
- (3) 留萌用地盤モデルの見直し要否
以上の整理結果を踏まえて留萌用地盤モデルの見直し要否を判断する。

留萌用地盤モデルの位置づけ：（1）速度構造の設定

■ 留萌用地盤モデルと標準応答スペクトル用地盤モデル，それぞれの速度構造の設定について，比較して以下に示す。

【速度構造の設定】

両モデル共通：

- ① 層区分については概ね100m程度を目安に設定。
- ② 上層との連続性を考慮し，上層（地表（EL.8m）からEL.-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）と同じ値を設定。
- ③ 調査結果に基づく標高依存式より，当該層の中心位置の値を算出。

留萌用地盤モデル：

- ④ 敷地におけるK-NET港町観測点の基盤相当面位置については，K-NET港町観測点における基盤層と同値となる V_s 938m/sとして，調査結果に基づく標高依存式を用いてEL.-655mに設定した。 V_p 、密度の値についてはEL.-655m位置において標高依存式から得られる値を設定。

標準応答スペクトル用地盤モデル：

- ③' 調査結果に基づく標高依存式より，当該層の中心位置の値を算出。
- ⑤ 大深度ボーリングデータのサスペンション法の結果に準拠し，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 V_s 、 V_p をそれぞれ平均して求めた値を設定。

留萌用地盤モデルの速度構造

	上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)
▽解放基盤表面				
①	-370.0	② 790	2000	1.85
K-NET 港町観測点の ▽基盤相当面	-476.0	③ 835	2124	1.89
	-566.0	904	2205	2.00
④	-655.0	938	2245	2.05

④ : 留萌波の評価に特化した物性値

標準応答スペクトル用地盤モデルの速度構造

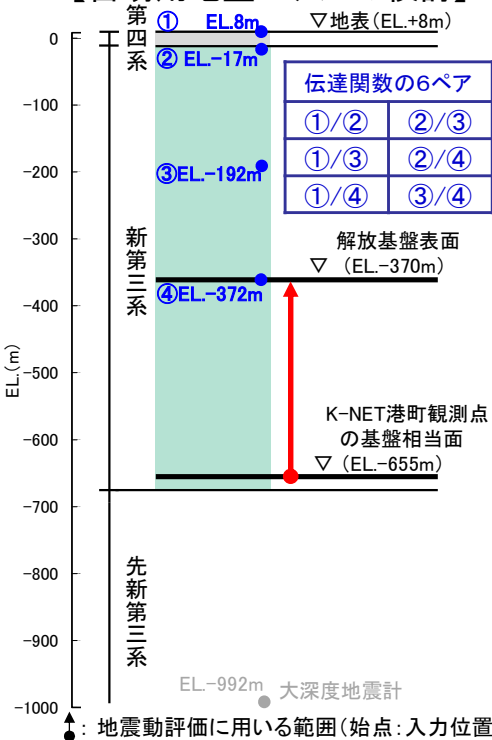
	上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)
①	-370.0	② 790	2000	1.85
	-476.0	③ 835	2124	1.89
	-566.0	904	2205	2.00
▽地震基盤相当面	-655.0	③' 947	2256	2.07
⑤	-679.0	2200	4800	2.65

- ・地震基盤相当面以浅（新第三系）では，留萌用地盤モデルと標準応答スペクトル用地盤モデルの速度構造の基本的な考え方は同じであるが，留萌用地盤モデルの速度構造については，新第三系の久米層の地盤速度が深度に依存して漸増する一次関数の式（標高依存式）で表現できる特徴があることから，この標高依存式を用いて，留萌波の入力位置となる基盤相当面をK-NET港町観測点における基盤層と同値となる V_s 938m/sとしてEL.-655mに設定しており，留萌波の検討に特化したモデルとなっている。
- ・留萌波の地震動評価においては，地盤速度が標高依存式で表現できる特徴を反映し，この評価に特化した留萌用地盤モデルの速度構造を用いることが適切である。

6. 地盤モデルの整理

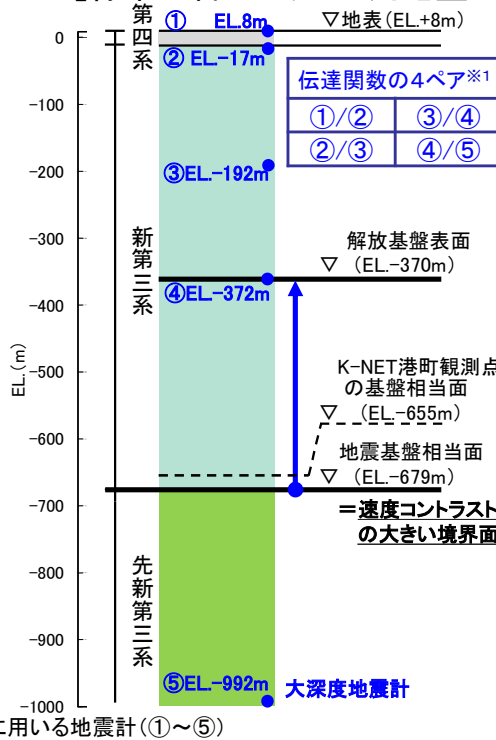
留萌用地盤モデルの位置づけ：(2)減衰定数の設定

【留萌用地盤モデルの検討】



- ・評価対象: 留萌波の地震動評価
 - ・入力位置: 新第三系内
 - ・出力位置: 新第三系内
 - ・減衰モデル h : 振動数依存
 - ・明瞭な速度コントラストの見られない新第三系内の地震波の伝播特性に着目し、新第三系内3点(②~④)を含む合計4点(①~④)の地震計のペアとして最大となる6個の伝達関数を考慮して同定解析を実施
- ⇒ 新第三系としての減衰定数を一律に設定(Ⓐの方法)

【標準応答スペクトル用地盤モデルの検討】



- ・評価対象: 標準応答スペクトルに基づく地震動評価
 - ・入力位置: 先新第三系上面
 - ・出力位置: 新第三系内
 - ・減衰モデル h : 振動数依存(下限考慮)
 - ・速度コントラストの大きい境界面の影響が含まれる, ④EL.-372m地震計と⑤大深度地震計のペア間の伝達関数を考慮した広範囲の同定解析を実施
- ⇒ 新第三系, 先新第三系の減衰定数を細分化した層区分毎に設定(Ⓑの方法)

標準応答スペクトル用地盤モデルで設定した減衰定数を用いて留萌波の検討を行う場合、K-NET港町観測点の基盤相当面(破線)以浅のみの範囲を対象として検討することとなる。

※1 鉛直方向は①/③, ③/④, ④/⑤の3ペア

●: 地震動評価に用いる範囲(始点:入力位置, 終点:出力位置)
(赤: 留萌波の地震動評価, 青: 標準応答スペクトルに基づく地震動評価)

■留萌波の検討に当たり、敷地における速度構造や地震計設置状況を踏まえると、減衰定数の設定方法は以下の2つが考えられる。

- Ⓐ 明瞭な速度コントラストの見られない新第三系内の地震波の伝播特性に着目し、新第三系内3点(②~④)を含む合計4点(①~④)の地震計を用いた多数の伝達関数に基づく同定解析結果を踏まえ、新第三系としての減衰定数を一律に設定する方法(留萌用地盤モデル)
- Ⓑ 速度コントラストの大きい境界面の影響が含まれる、④EL.-372m地震計と⑤大深度地震計のペア間の伝達関数を考慮した広範囲の同定解析により、新第三系, 先新第三系の減衰定数を細分化した層区分毎に設定する方法(標準応答スペクトル用地盤モデル)

■留萌波の地震動評価においては、敷地の地盤増幅特性を考慮する範囲が明瞭な速度コントラストの見られない新第三系内に留まることから、減衰定数の設定方法としては、新第三系内における地震波の伝播特性に着目して実施した同定解析結果を踏まえ、新第三系としての減衰定数を一律に設定する上記Ⓐの方法を採用することが適切であり、留萌用地盤モデルの減衰定数の設定を見直す必要はない。

■なお、同定解析に当たり用いる減衰モデル h については、減衰定数の評価事例の蓄積を踏まえると、標準応答スペクトル用地盤モデルで採用している、高振動数帯で下限を考慮する方法がより現実に則した合理的なモデル設定の方法であると考えられるものの、留萌用地盤モデルで採用している、高振動数帯で下限を考慮せず振動数依存とする方法の方が保守的な設定※2となっている。

※2 一般的に、減衰定数 h が小さいほど地震波の増幅が大きく地震動も大きくなることから、振動数依存の減衰モデル h については、減衰定数 h が低下する高振動数帯において下限を考慮しない方が保守的な設定と言える。



留萌用地盤モデルの位置づけ： 留萌用地盤モデルの見直し要否

■ 結論

- ・以上の整理結果を踏まえると、留萌波の地震動評価においては、その評価に特化した速度構造を設定し、また新第三系内における地震波の伝播特性に着目して減衰定数を設定した留萌用地盤モデルを用いることが適切である。
- ・従って、今回、標準応答スペクトルの取入れに伴い新たに地盤モデルを設定したとしても、**留萌用地盤モデルを見直す必要はない。**

各種の地震動評価に用いる地盤モデルの整理

- 標準応答スペクトルに基づく地震動評価において新たに地盤モデルを設定したことに伴い、各種の地震動評価とその評価に用いる地盤モデルの関係を整理する。
- ・各種の地震動評価においては、検討の目的に応じて設定した地盤モデルを用いることが適切である。
 - ・標準応答スペクトルに基づく地震動評価においては、新第三系とは地盤速度が大きく変化する先新第三系上面に入力することから、速度コントラストの大きい境界面の影響を適切に評価できる速度構造や減衰定数を設定した標準応答スペクトル用地盤モデル(本編3.7節で記載した地盤モデル)を用いることが適切である。
 - ・断層モデル手法による地震動評価のうち、統計的グリーン関数法を用いた地震動評価においては、標準応答スペクトルに基づく地震動評価と同様、新第三系とは地盤速度が大きく変化する先新第三系内に入力して評価することから、その評価には標準応答スペクトル用地盤モデル(本編3.7節で記載した地盤モデル)を用いることが適切である。
 - ・留萌波の地震動評価においては、その評価に特化した速度構造を設定し、また新第三系内における地震波の伝播特性に着目して減衰定数を設定した留萌用地盤モデルを用いることが適切である。

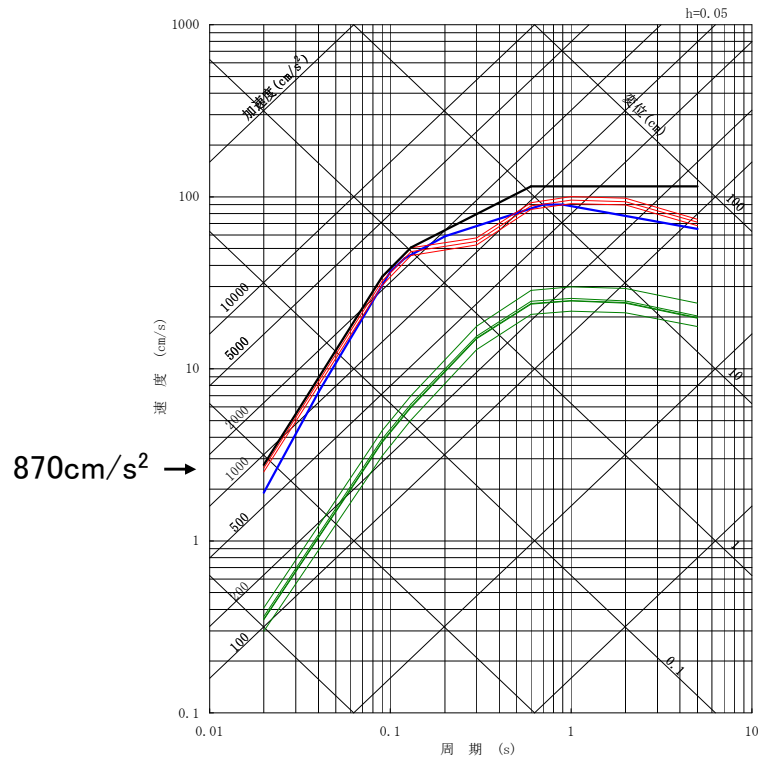
各種の地震動評価とその評価に用いる地盤モデルの関係

評価対象	評価に用いる地盤増幅特性の検討範囲	評価に用いる地盤モデル	
		本資料	2021年6月申請時
標準応答スペクトルに基づく地震動評価	先新第三系～新第三系	標準応答スペクトル用地盤モデル (本編3.7節で記載した地盤モデル)	標準応答スペクトル用地盤モデル
断層モデル手法による地震動評価のうち統計的グリーン関数法を用いた地震動評価			統計的グリーン関数法用地盤モデル
留萌波の地震動評価	新第三系内	留萌用地盤モデル	留萌用地盤モデル

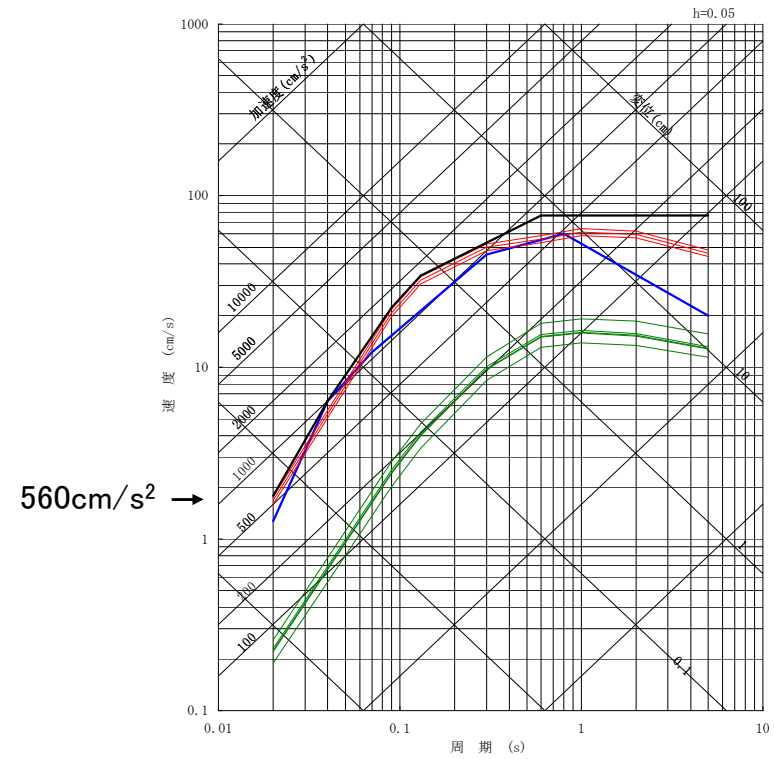
1. 基準地震動の策定の概要	.....	7
2. 敷地周辺の地震発生状況	.....	10
3. 地下構造評価	.....	20
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	.....	128
4.1 プレート間地震	.....	128
4.2 海洋プレート内地震	.....	150
4.3 内陸地殻内地震	.....	183
5. 震源を特定せず策定する地震動	.....	205
6. 地盤モデルの整理	.....	234
7. 基準地震動の策定	.....	241
8. 基準地震動の年超過確率の参照	.....	255
参考資料		
・震源を特定せず策定する地震動(地域性を考慮する地震動)	.....	281
参考文献	.....	325

■ 応答スペクトル手法による地震動評価結果をすべて包絡するよう基準地震動Ss-D1のコントロールポイントを設定する。

- 基準地震動Ss-D1
- プレート間地震による評価
- 海洋プレート内地震による評価
- 内陸地殻内地震による評価



水平方向



鉛直方向

応答スペクトル		コントロールポイント				
		A	B	C	D	E
Ss-D1 _H	周期(s)	0.02	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	2.77	34.38	50.69	115.00	115.00

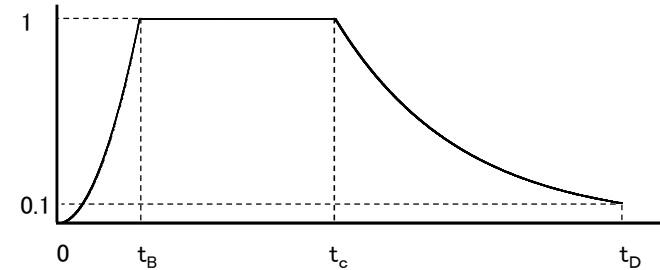
応答スペクトル		コントロールポイント					
		A	B	C	D	E	F
Ss-D1 _V	周期(s)	0.02	0.04	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	1.78	6.37	22.20	34.14	76.67	76.67

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 応答スペクトル手法(2/2)

■基準地震動 $Ss-D1_H$ 及び $Ss-D1_V$ の応答スペクトルに適合する模擬地震波は、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/s^2)	継続時間(s)	振幅包絡線の経時変化(s)		
			t_B	t_C	t_D
$Ss-D1_H$	870	139.28	16.60	47.50	139.28
$Ss-D1_V$	560	139.28	16.60	47.50	139.28

地震規模 M 、等価震源距離 X_{eq} については、基準地震動 $Ss-D1$ に対して支配的な震源となるプレート間地震及び内陸地殻内地震のうち、より継続時間が長くなるよう、プレート間地震の条件を考慮して $M8.3$ 、 $X_{eq}=135.8km$ とする(詳細は次頁で説明)。



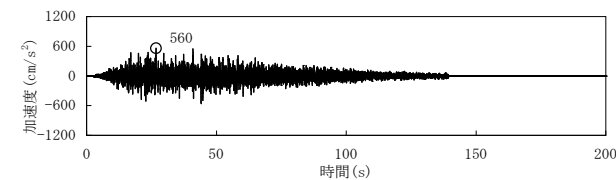
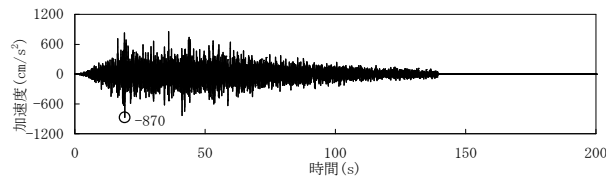
$$t_B = 10^{0.5M - 2.93}$$

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

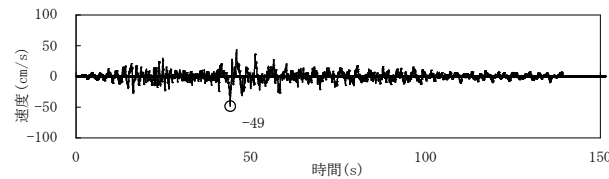
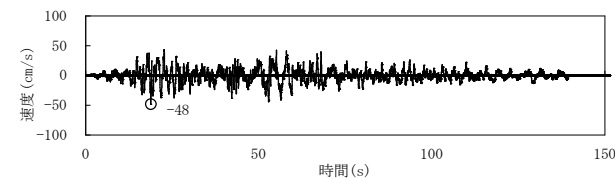
$$t_D - t_C = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$

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

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

 $Ss-D1_H$ (水平方向) $Ss-D1_V$ (鉛直方向)

7. 基準地震動の策定

振幅包絡線の設定に係るマグニチュード(M), 等価震源距離(Xeq)の設定

■基準地震動S_s-D1の応答スペクトルに適合する模擬地震波作成に関し, Noda et al.(2002)の方法に基づく振幅包絡線の設定に必要なM, Xeqについては, 基準地震動S_s-D1に対して支配的な震源となるプレート間地震(2011年東北地方太平洋沖型地震)及び内陸地殻内地震(F1断層~北方陸域の断層~塩ノ平地震断層による地震)のうち, より継続時間が長くなるよう, プレート間地震(2011年東北地方太平洋沖型地震)の条件を考慮して設定する。

・Mの設定

Noda et al.(2002)のマグニチュード(気象庁マグニチュードまたはそれに準ずるもの)に関する上限はM8.5である。具体的には, M7.0までの観測記録を回帰したものに對し実記録との比較を通してM8.0まで適用性を確認したうえで, それ以上の規模に対してはM8.5まで外挿し理論的検討で確認している。

一方, 2011年東北地方太平洋沖型地震の規模はそれを上回るMw9.0であることから, Noda et al.(2002)の適用範囲を外れる。

しかしながら, 司他(2011)では, 2011年東北地方太平洋沖地震を含め, 国内外で発生した超巨大地震(Mw8.3~9.0)における強震動の距離減衰特性の分析結果から, 強震動レベルに見合う地震規模はいずれもMw8.3であることが示されている。

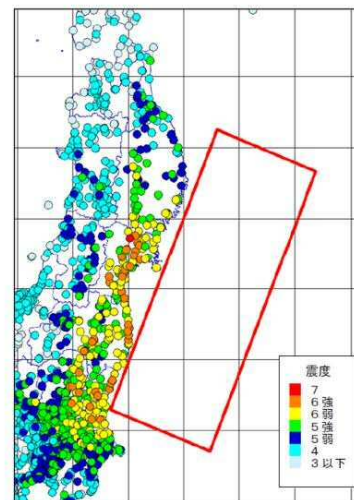
また, 中央防災会議(2012)の知見では, 2011年東北地方太平洋沖地震における震度分布と距離減衰式の関係から求めた地震規模Mwについて「8.2~8.3程度」と指摘されている。

Noda et al.(2002)に適用するマグニチュードについては, Mが8を大きく超えるような地震に関する気象庁マグニチュードは過小評価になることが知られている(気象庁(2012))ことを踏まえ, 安全側にMwの値をMとみなして, 上記知見に基づき, Mw8.3=M8.3として設定する。

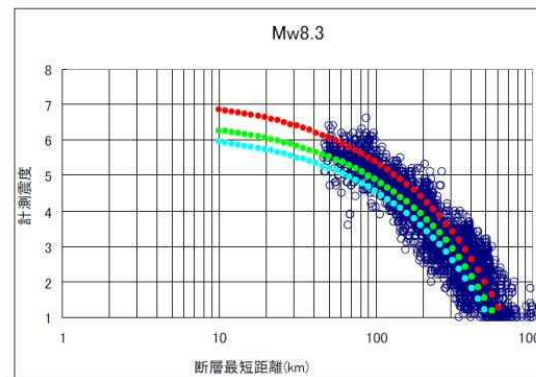
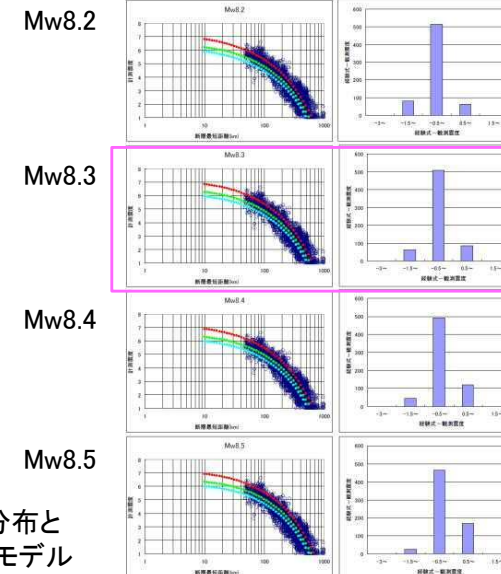
・Xeqの設定

プレート間地震の地震動評価で設定した2011年東北地方太平洋沖型地震の基本震源モデル全体を考慮した等価震源距離Xeq=135.8kmとする。

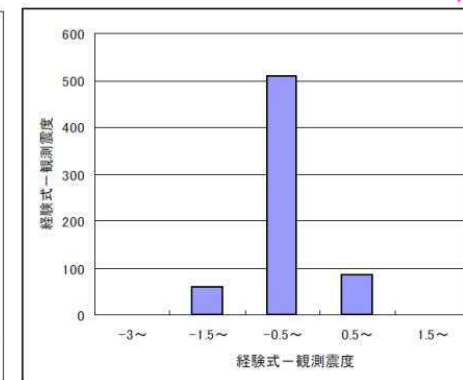
- 2011年東北地方太平洋沖地震の観測震度
- 距離減衰(AVS150m/s)
- 距離減衰(AVS400m/s)
- 距離減衰(AVS700m/s)



2011年東北地方太平洋沖地震の震度分布と断層最短距離の算出に用いた震源断層モデル(赤枠)



2011年東北地方太平洋沖地震の震度と距離減衰



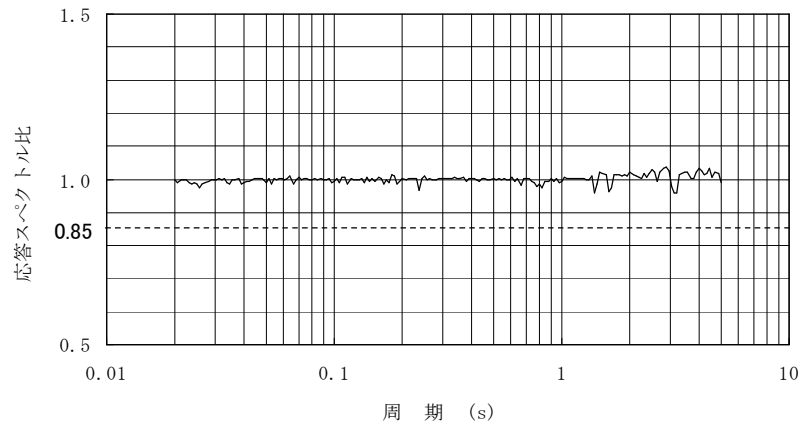
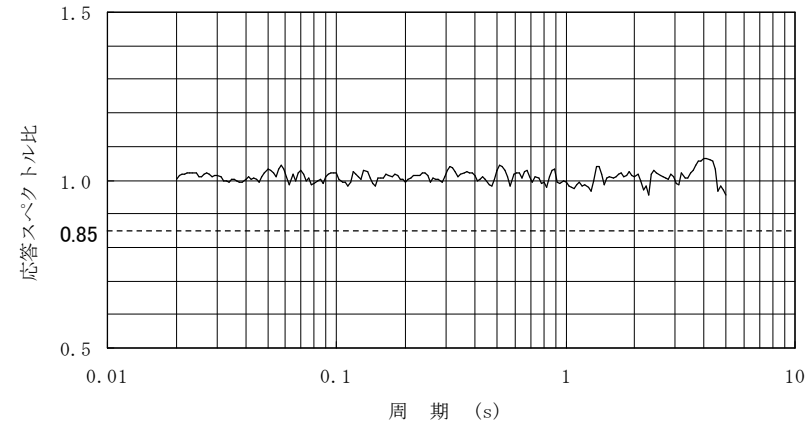
ヒストグラムは計測震度4.5以上を観測した地点について工学的基盤(AVS600m/s)上の震度で比較し作成

振幅包絡線のM, Xeqは, 2011年東北地方太平洋地震に関する知見等に基づきM8.3, Xeq=135.8kmとする。

中央防災会議(2012)に一部加筆

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 応答スペクトル手法

- 作成した模擬地震波が、日本電気協会(2008)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
 - ・ 応答スペクトルの強度値の比(SI比)が1.0以上

Ss-D1_H(水平方向)Ss-D1_V(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)
Ss-D1 _H	1.003
Ss-D1 _V	1.005

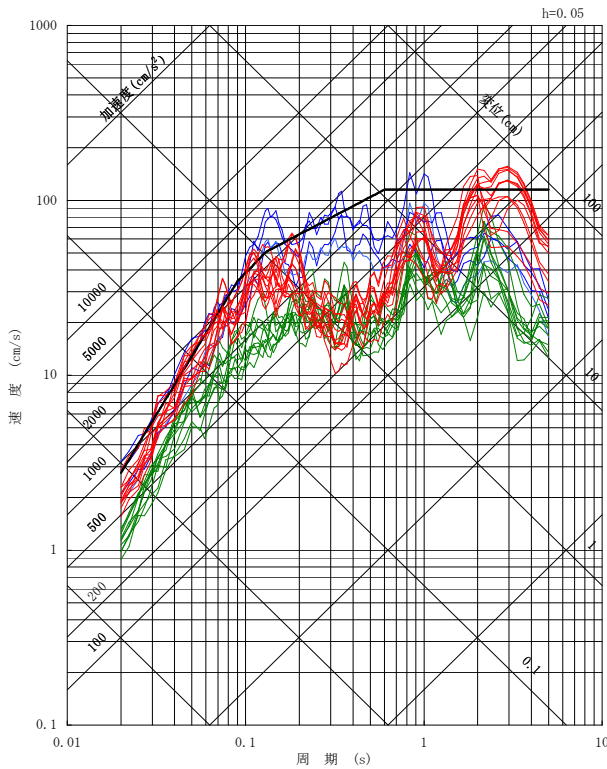
$$\text{スペクトル強度値} = \int_{T_1}^{T_2} S_v(T, h) dT$$

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

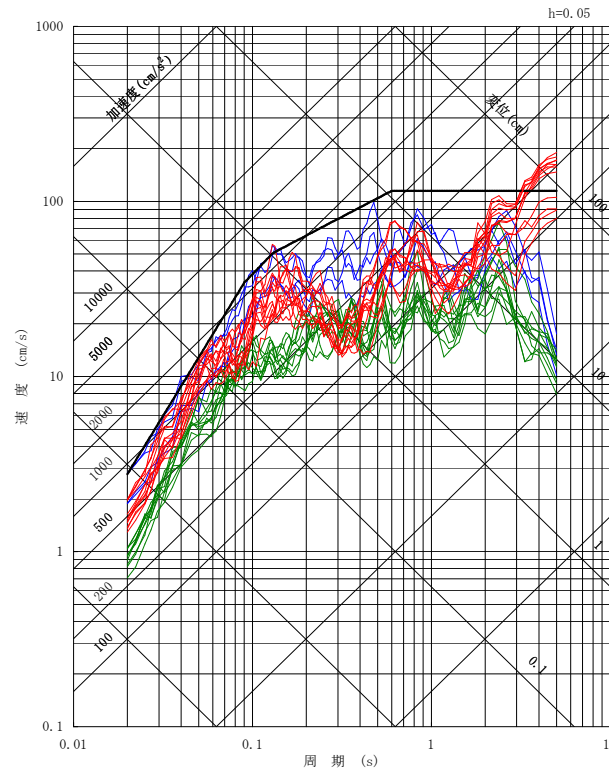
作成した模擬地震波は、日本電気協会(2008)に示される適合度の条件を満足していることを確認した。

■各地震発生様式における断層モデル手法の地震動評価結果(全ケース)と基準地震動S_s-D1を比較する。

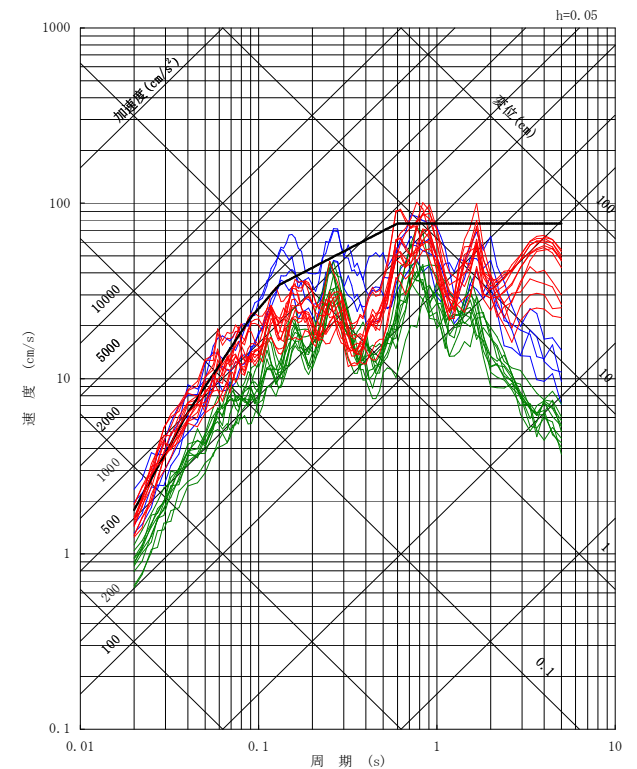
- 基準地震動S_s-D1
- プレート間地震の評価結果
- 海洋プレート内地震の評価結果
- 内陸地殻内地震の評価結果



NS方向



EW方向

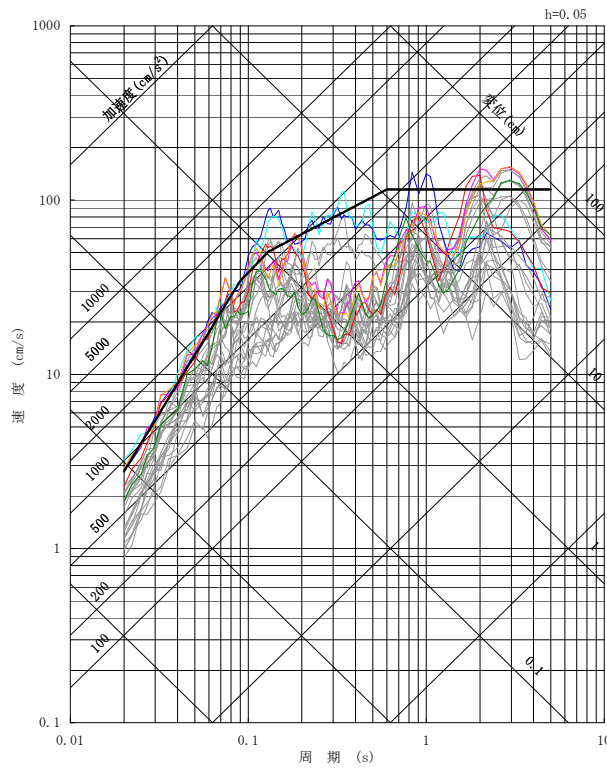


UD方向

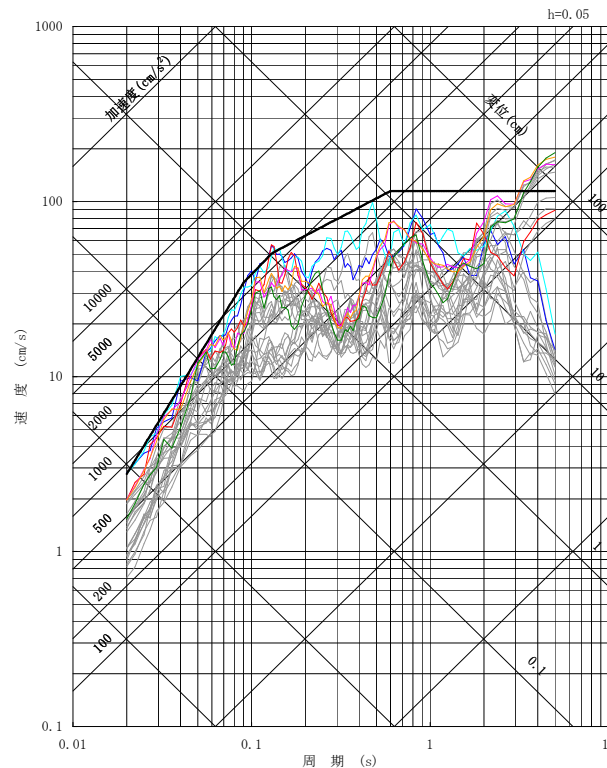
断層モデル手法による各地震動評価結果のうち、プレート間地震及び内陸地殻内地震の評価結果が基準地震動S_s-D1を一部の周期帯で上回る。なお、海洋プレート内地震の地震動評価結果は、基準地震動S_s-D1に包絡されている。

■各地震発生様式における断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動S_s-D1を上回るケースを示す。

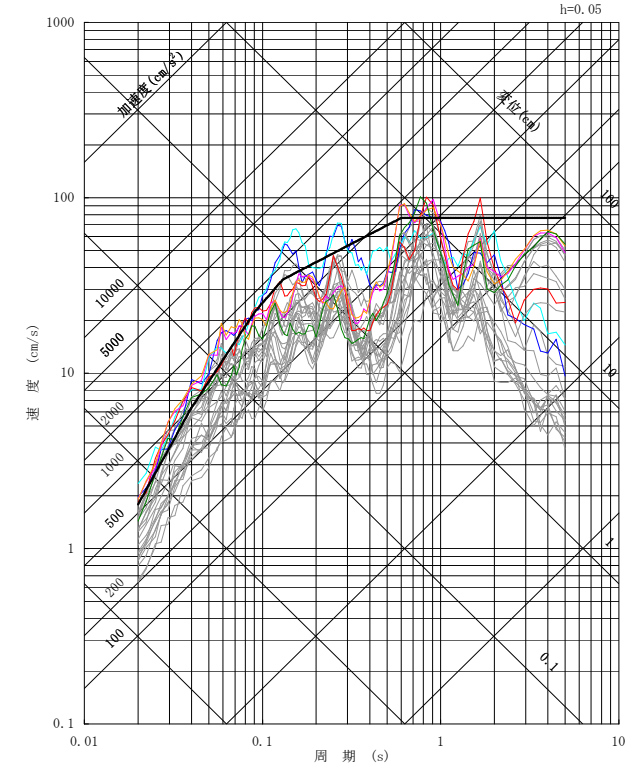
- S_s-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-11 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- S_s-12 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-13 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-14 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- S_s-22 2011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)
- 断層モデル手法の各評価結果



NS方向

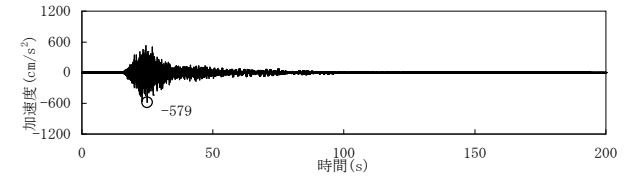
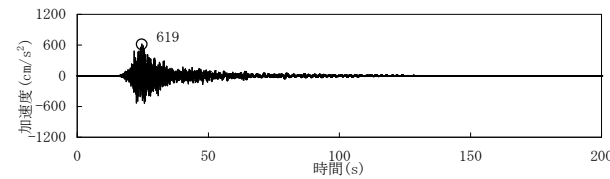
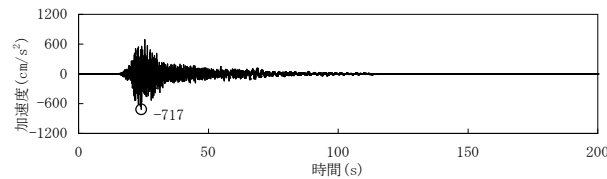
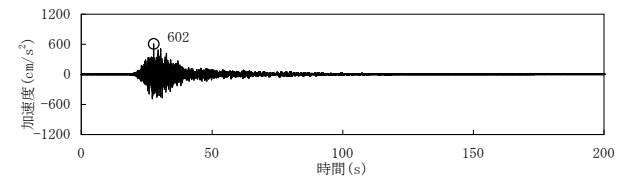
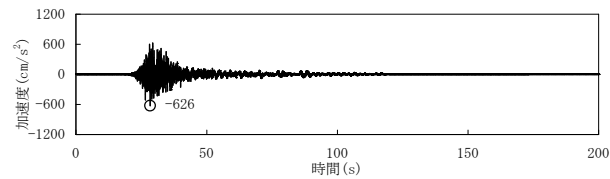
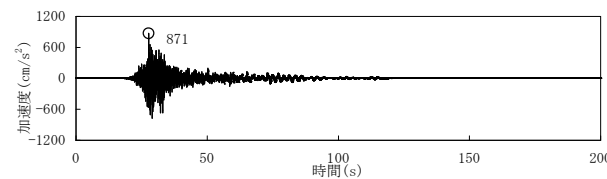
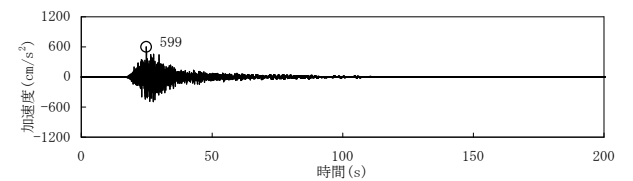
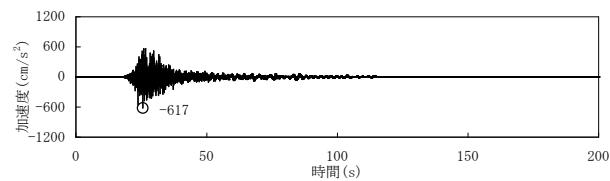
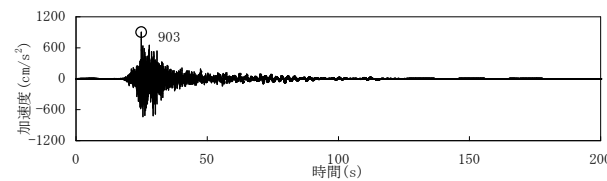
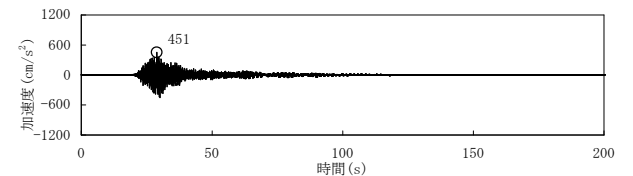
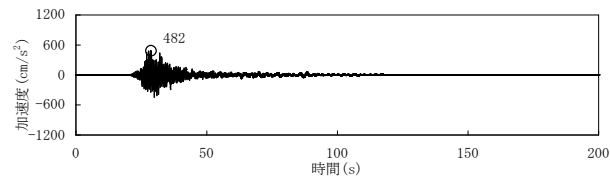
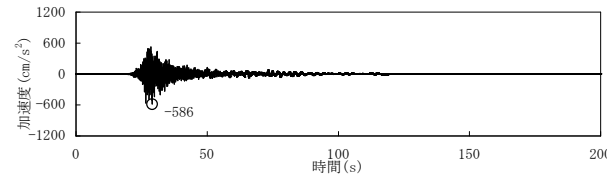


EW方向



UD方向

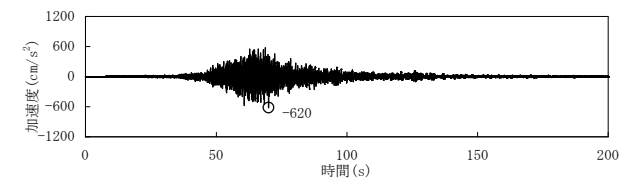
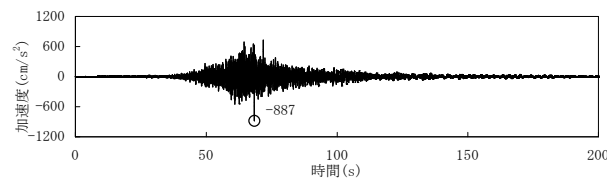
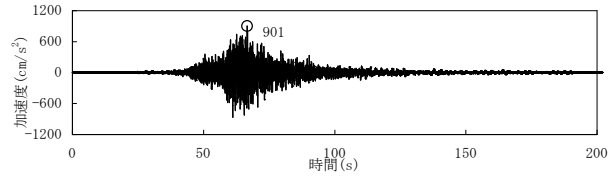
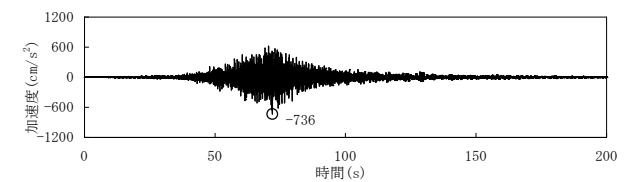
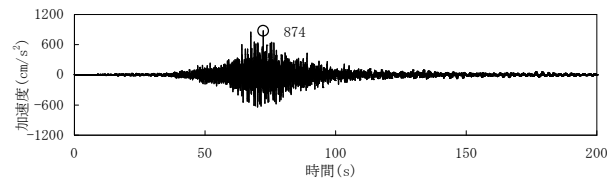
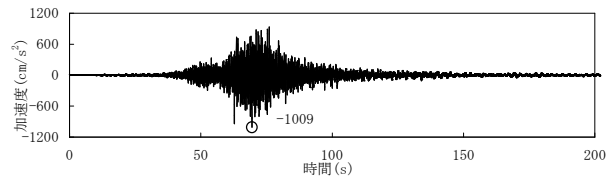
各地震発生様式の断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動S_s-D1を上回る6ケースを断層モデル手法による基準地震動に選定し、それぞれS_s-11, S_s-12, S_s-13, S_s-14, S_s-21, S_s-22とする。

■ 基準地震動S_sの加速度時刻歴波形S_s-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)S_s-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)S_s-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)S_s-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)

NS方向

EW方向

UD方向

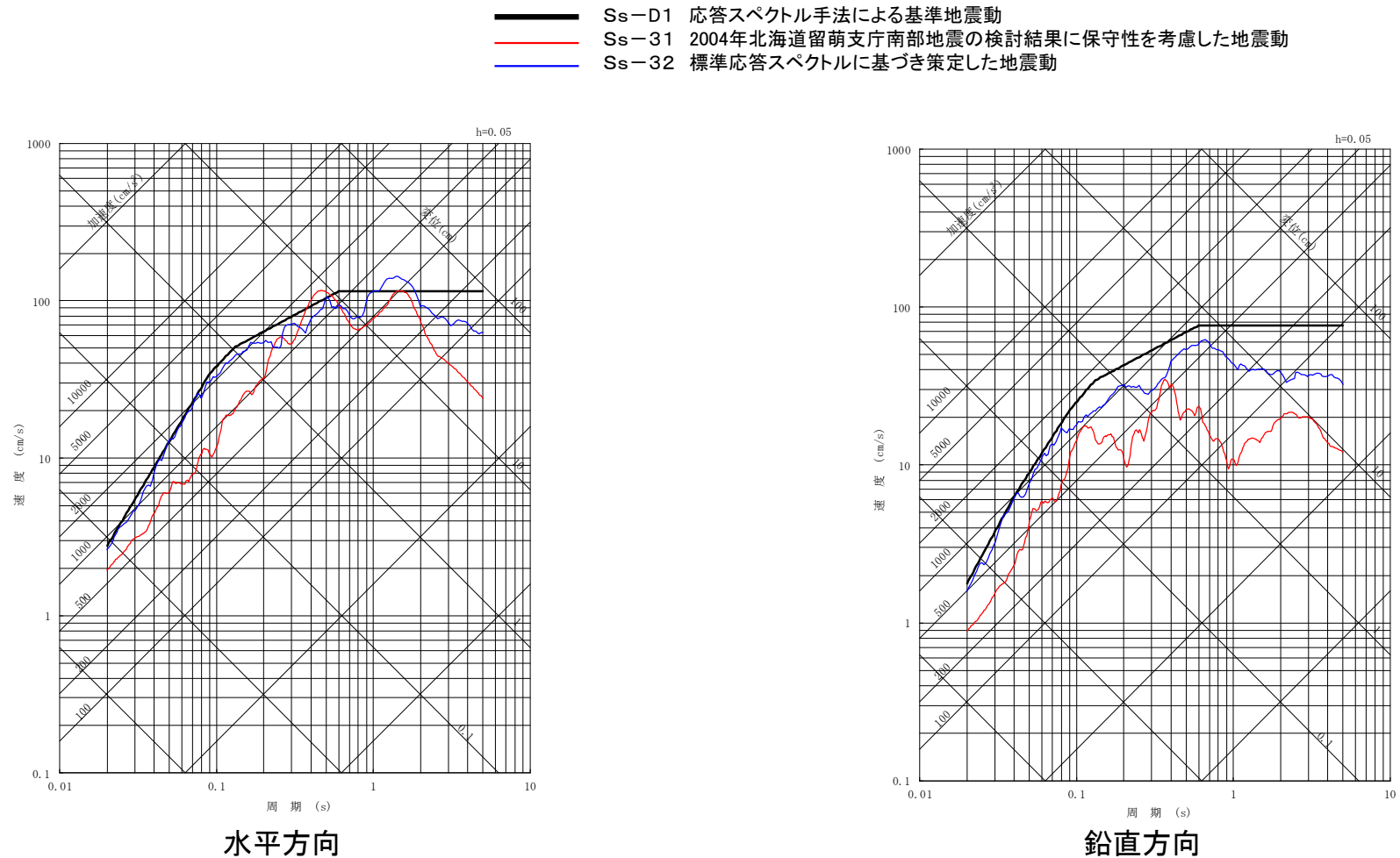
■ 基準地震動S_sの加速度時刻歴波形S_s-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)S_s-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)

NS方向

EW方向

UD方向

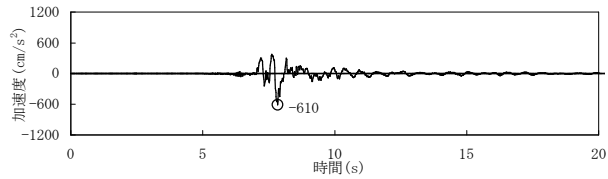
■ 震源を特定せず策定する地震動と基準地震動 S_s-D1 を比較する。



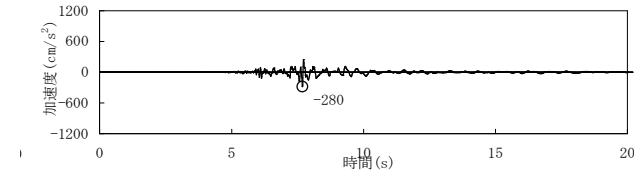
2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討結果に保守性を考慮した地震動及び標準応答スペクトルに基づき策定した地震動は、一部周期帯で基準地震動 S_s-D1 を上回るため、基準地震動に選定する。

■ 基準地震動Ssの加速度時刻歴波形

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

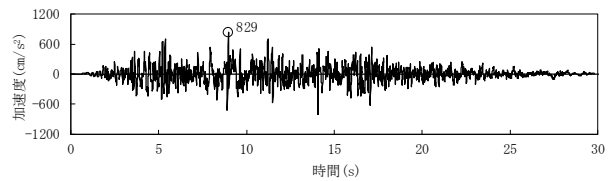


水平方向

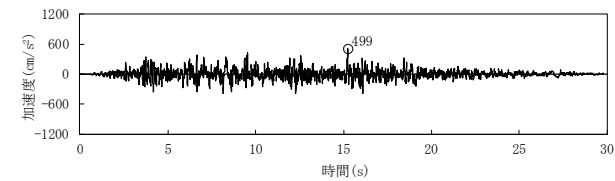


鉛直方向

Ss-32 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動



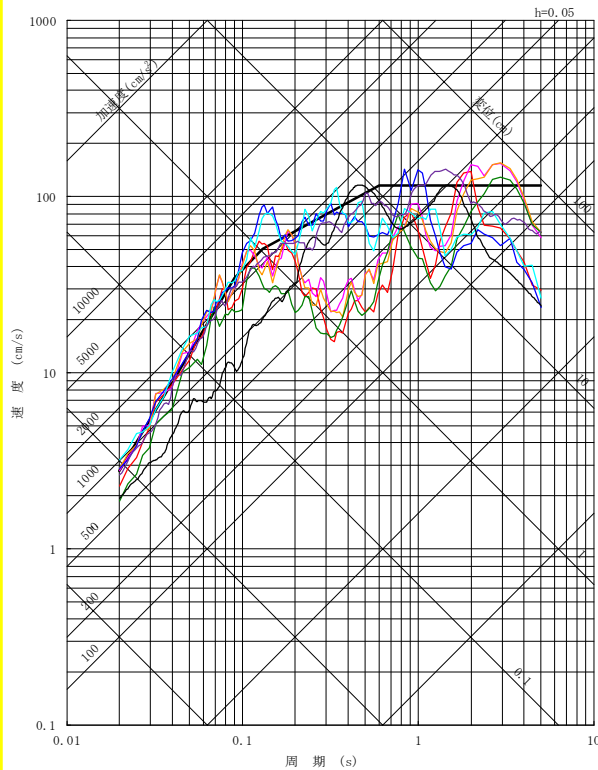
水平方向



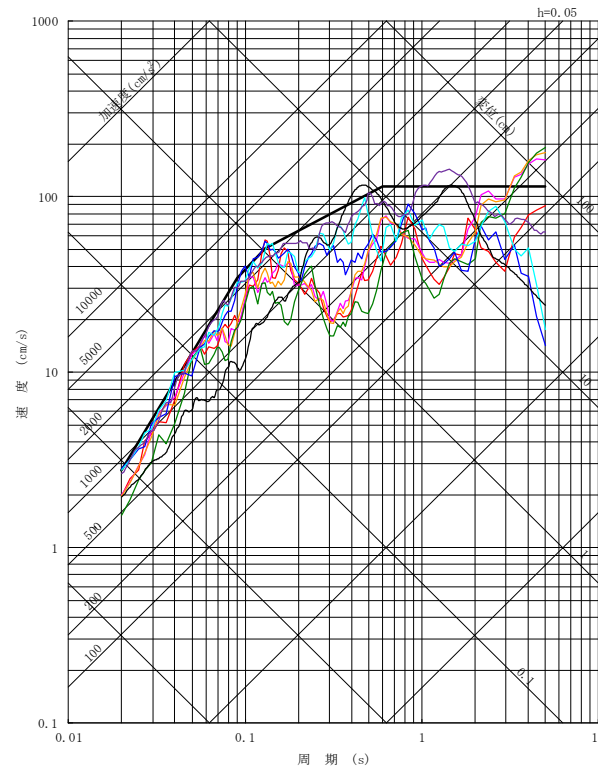
鉛直方向

■ 基準地震動S_sを示す。

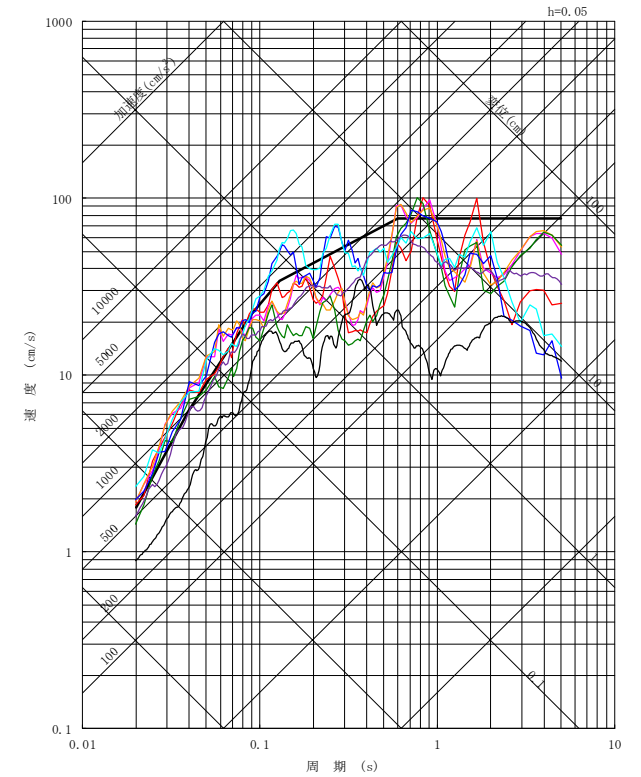
- S_s-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-11 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- S_s-12 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-13 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-14 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- S_s-22 2011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)
- S_s-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
- S_s-32 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動



NS方向



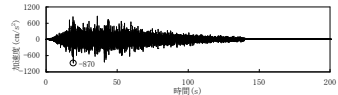
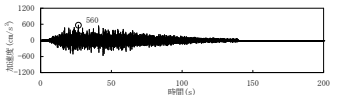
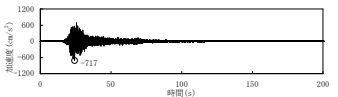
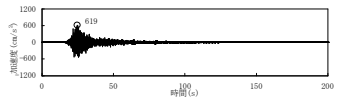
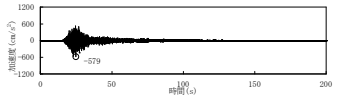
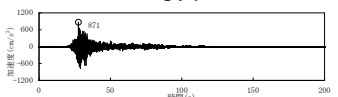
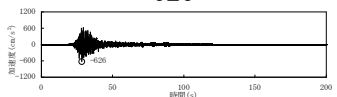
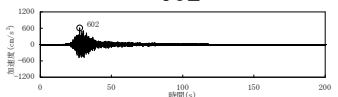
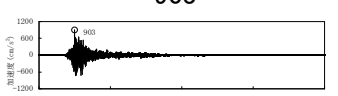
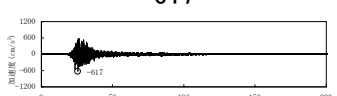
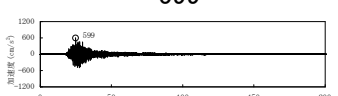
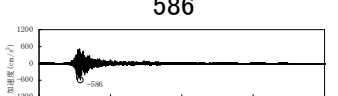
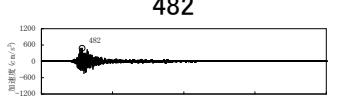
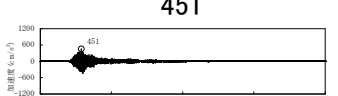
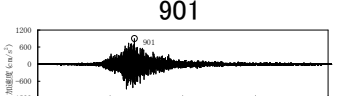
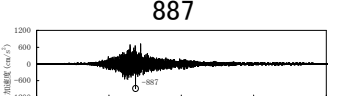
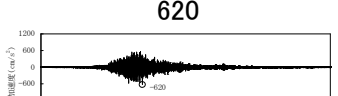
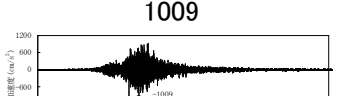
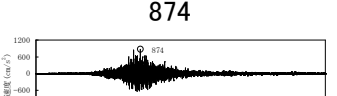
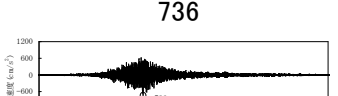
EW方向



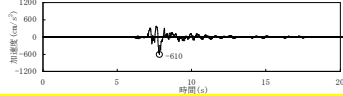
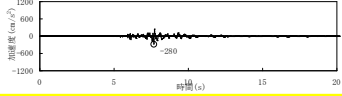
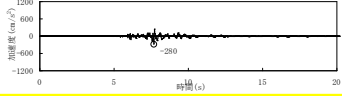
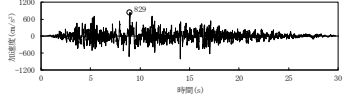
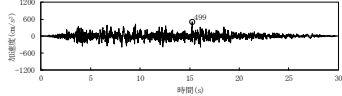
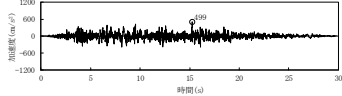
UD方向

7. 基準地震動の策定 基準地震動S_s(2/3)

■ 基準地震動S_sの最大加速度の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		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 

■ 基準地震動S_sの最大加速度の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS方向	EW方向	UD方向
S _s -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 	280 
S _s -32	標準応答スペクトルに基づき策定した地震動	829 	499 	499 

1. 基準地震動の策定の概要	.....	7
2. 敷地周辺の地震発生状況	.....	10
3. 地下構造評価	.....	20
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	.....	128
4.1 プレート間地震	.....	128
4.2 海洋プレート内地震	.....	150
4.3 内陸地殻内地震	.....	183
5. 震源を特定せず策定する地震動	.....	205
6. 地盤モデルの整理	.....	234
7. 基準地震動の策定	.....	241
8. 基準地震動の年超過確率の参照	.....	255

参考資料

・震源を特定せず策定する地震動(地域性を考慮する地震動)	281
------------------------------	-------	-----

参考文献

.....	325
-------	-----

参考文献：地下構造評価について

1. 地質調査総合センター編(2013): 日本重力データベース DVD版, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 数値地質図 pp. 2
2. Ludwig, W. J., J. E. Nafe, and C.L. Drake (1970): Seismic Refraction, in “The Sea, Vol. 4”, edited by A.E. Maxwell, Wiley Interscience, New York, pp. 53–84.
3. 山中浩明・石田寛(1995): 遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析, 日本建築学会構造系論文集, pp. 436–444
4. 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
5. 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
6. 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
7. 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>

参考文献：震源を特定して策定する地震動のうちプレート間地震について(1/2)

1. 気象庁：地震年報2016年版他
2. 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013)：日本被害地震総覧599－2012, 東京大学出版会
3. 宇津徳治(1982)：日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表, 1885年～1980年, 東京大学地震研究所彙報, Vol. 57
4. 気象庁・消防庁(2009)：震度に関する検討会報告書, 平成21年3月
5. 村松郁栄(1969)：震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻, 第3号, pp. 168-176
6. 勝又謙・徳永規一(1971)：震度Ⅳの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応, 験震時報, 第36巻, 第3, 4号, pp.1-8
7. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012)：三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について, 平成24年2月9日変更
8. Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide 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 Analysis, Oct.16-18, Istanbul.
9. 諸井孝文・広谷浄・石川和也・水谷浩之・引間和人・川里健・生玉真也・釜田正毅(2013)：標準的な強震動レシビに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現, 日本地震工学会第10回年次大会梗概集, pp. 381-382
10. 佐藤智美(2010)：逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第651号, pp. 923-932
11. 片岡正次郎・佐藤智美・松本俊輔・日下部毅明(2006)：短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木工学会論文集A, Vol. 62, No. 4, pp. 740-757
12. 長谷川昭・中島淳一・内田直希・弘瀬冬樹・北佐枝子・松澤暢(2010)：日本列島下のスラブの三次元構造と地震活動, 地学雑誌119(2), pp. 190-204
13. Naoki Uchida, Toru Matsuzawa, Junichi Nakajima, and Akira Hasegawa (2010): Subduction of a wedge-shaped Philippine Sea plate beneath Kanto, central Japan, estimated from converted waves and small repeating earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 115.
14. 佐竹健治(2013)：第197回地震予知連絡会 重点検討課題「世界の巨大地震・津波」概要, 地震予知連絡会 会報 第89巻
15. 西村卓也(2013)：測地データから推定された環太平洋地域のプレート間カップリング, 地震予知連絡会 会報 第89巻
16. Thorne Lay, Hiroo Kanamori, Charles J. Ammon, Keith D. Koper, Alexander R. Hutko, Lingling Ye, Han Yue, and Teresa M. Rushing(2012)：Depth-varying rupture properties of subduction zone megathrust faults, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 117, B04311.
17. 東日本大震災合同調査報告書編集委員会(2014)：東日本大震災合同調査報告, 共通編1, 地震・地震動
18. Koketsu, K., Y. Yokota, N. Nishimura, Y. Yagi, S. Miyazaki, K. Satake, Y. Fujii, H. Miyake, S. Sakai, Y. Yamanaka, and T. Okada (2011)：A unified source model for the 2011 Tohoku earthquake, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 310, Issues 3-4, pp. 480-487.
19. 内閣府(2012)：南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告)巻末資料, 南海トラフの巨大地震モデル検討会
20. Kenji Satake, Yushiro Fujii, Tomoya Harada, and Yuichi Namegaya(2013)：Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 2B, pp. 1473-1492.
21. Asano, K. and T. Iwata (2012)：Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1-10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, Earth Planets Space, 64, pp. 1111-1123.
22. Susumu Kurahashi and Kojiro Irikura(2013)：Short-Period Source Model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 2B, pp. 1373-1393.
23. 川辺秀憲・釜江克宏(2013)：2011年東北地方太平洋沖地震の震源のモデル化, 日本地震工学会論文集 第13巻, 第2号(特集号)
24. 佐藤智美(2012)：経験的グリーン関数法に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデルプレート境界地震の短周期レベルに着目してー 日本建築学会構造系論文集 第77巻 第675号, pp. 695-704

参考文献：震源を特定して策定する地震動のうちプレート間地震について(2/2)

25. Chihiro Hashimoto, Akemi Noda, Takeshi Sagiya and Mitsuhiro Matsu'ura (2009) : Interplate seismogenic zones along the Kuril-Japan trench inferred from GPS data inversion, NATURE GEOSCIENCE , Vol. 2, pp. 141-144.
26. Loveless, J. P. and B. J. Meade (2015): Kinematic Barrier Constraints on the Magnitudes of Additional Great Earthquakes Off the East Coast of Japan, 202 Seismological Research Letters Vol. 86, No. 1, pp. 202-209.
27. 釜江克宏・川辺秀憲(2011): 2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の震源のモデル化(強震動生成域), 日本地球惑星科学連合2011年大会
28. 入倉孝次郎・倉橋奨(2011): 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動生成域のための震源モデル, 日本地球惑星科学連合2011年大会
29. 中央防災会議(2012): 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告)
30. 文部科学省 科学技術・学術審議会測地学分科会地震火山部会(2013): 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成24年度 年次報告(成果の概要)
31. 海洋研究開発機構(2012): 東北地方太平洋沖地震, 震源域南限の地下構造, プレスリリース
32. Shinohara, M., T. Yamada, K. Nakahigashi, S. Sakai, K. Mochizuki, K. Uehira, Y. Ito, R. Azuma, Y. Kaiho, T. No, H. Shiobara, R. Hino, Y., Murai, H. Yakiwara, T. Sato, Y. Machida, T. Shinbo, T. Isse, H. Miyamachi, K. Obana, N. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaneda, K. Hirata, S., Yoshikawa, K. Obara, T. Iwasaki, and N. Hirata (2011): Aftershock observation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake by using ocean bottom seismometer network, Earth Planets Space, 63, pp. 835-840.
33. Naoki Uchida, Junichi Nakajima, Akira Hasegawa, Toru Matsuzawa (2009) : What controls interplate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone, Earth and Planetary Science Letters 283, pp. 111-121.
34. 長谷川昭・中島淳一・内田直希・海野徳仁(2013): 東京直下に沈み込む2枚のプレートと首都圏下の特異な地震活動, 地学雑誌, 122(3), pp. 398-417
35. 中央防災会議(2013): 首都直下地震モデル検討会「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」, 平成25年12月
36. 田島礼子・松元康広・司宏俊・入倉孝次郎(2013): 内陸地殻内および沈み込みプレート境界で発生する巨大地震の震源パラメータに関するスケーリング則の比較研究, 地震, 第2輯, 第66巻(2013), pp. 31-45
37. 中央防災会議(2012): 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)強震断層モデル編—強震断層モデルと震度分布について—, 平成24年8月29日
38. 壇一男・石井やよい・宮腰淳一・高橋広人・護雅史・福和伸夫(2014): マグニチュード9クラスのプレート境界地震による強震動と津波の予測のための統一断層モデルの設定方法, 第14回日本地震工学シンポジウム(2014)
39. 入倉孝次郎(2012): 海溝型巨大地震の強震動予測のための震源モデルの構築, 第40回地盤震動シンポジウム(2012)

参考文献：震源を特定して策定する地震動のうち海洋プレート内地震について

1. 気象庁：地震年報2012年版他
2. 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013)：日本被害地震総覧599－2012，東京大学出版会
3. 宇津徳治(1982)：日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885年～1980年，東京大学地震研究所彙報，Vol. 57
4. 気象庁・消防庁(2009)：震度に関する検討会報告書，平成21年3月
5. 村松郁栄(1969)：震度分布と地震のマグニチュードとの関係，岐阜大学教育学部研究報告，自然科学，第4巻，第3号，pp. 168-176
6. 勝又謙・徳永規一(1971)：震度IVの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応，験震時報，第36巻，第3，4号，pp. 1-8
7. 中央防災会議(2004)：首都直下地震対策専門調査会(第12回)「地震ワーキンググループ報告書」，平成16年11月17日
8. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2009)：全国地震動予測地図
9. Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide 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 Analysis, Oct.16-18, Istanbul.
10. 佐藤智美(2000)：観測記録に基づく地震波放射特性の周波数依存性の分析とモデル化に関する検討，日本建築学会大会 学術講演梗概集，pp. 157-158
11. Toshimi Satoh(2002)：Empirical Frequency-Dependent Radiation Pattern of the 1998 Miyagiken-Nanbu Earthquake in Japan, Bull.Seismol.Soc.Am, Vol. 92, No. 3, pp. 1032-1039.
12. 佐藤智美(2003)：中小地震の応力降下量の断層タイプ・震源深さ依存性及び地域性に関する研究，土木学会地震工学論文集，2003年12月
13. 長谷川昭・中島淳一・内田直希・弘瀬冬樹・北佐枝子・松澤暢(2010)：日本列島下のスラブの三次元構造と地震活動，地学雑誌119(2)，pp. 190-204
14. Naoki Uchida, Toru Matsuzawa, Junichi Nakajima, and Akira Hasegawa (2010)：Subduction of a wedge-shaped Philippine Sea plate beneath Kanto, central Japan, estimated from converted waves and small repeating earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 115, B07309.
15. 中央防災会議(2013)：首都直下地震モデル検討会「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」，平成25年12月
16. 東京大学地震研究所，(独)防災科学技術研究所，京都大学防災研究所(2012)：文部科学省委託研究 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 総括成果報告書，平成24年3月
17. 萩原尊禮(1982)：古地震－歴史史料と活断層からさぐる－
18. 熊原 康博(2013)：関東平野北部の活断層“太田断層”の認定と周辺の古地震・地盤災害との関係，2013年 日本地理学会春季学術大会 公開シンポジウム
19. 田中広明(2014)：弘仁地震の被害と復興，そして教訓，学術の動向 2014年 09月
20. 地震調査研究推進本部(2015)：関東地域の活断層の長期評価(第一版)，平成27年4月24日
21. 長谷川昭・中島淳一・内田直希・海野徳仁(2013)：東京直下に沈み込む2枚のプレートと首都圏下の特異な地震活動，地学雑誌，122(3)，pp. 398-417
22. 石辺岳男・西山昭仁・佐竹健治・島崎邦彦(2009)：南関東で発生したM7級地震に対する既往研究とデータの収集－1921年茨城県南部の地震，1922年浦賀水道付近の地震および1987年千葉県東方沖地震－，地震研究所彙報，Vol. 84，pp. 183-212
23. 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川昭(2008)：Double-Difference Tomography法による関東地方の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定，地震第2輯，第60巻(2008)，pp. 123-138
24. 笹谷努・森川信之・前田宜浩(2006)：スラブ内地震の震源特性，北海道大学地球物理学研究報告，69，pp. 123-134

参考文献：震源を特定して策定する地震動のうち内陸地殻内地震について

1. 地震調査研究推進本部(2017):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
2. 地震調査研究推進本部(2016):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
3. 地震調査研究推進本部(2009):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
4. 気象庁:地震年報2012年版他
5. 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013):日本被害地震総覧599-2012, 東京大学出版会
6. 宇津徳治(1982):日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表:1885年~1980年, 東京大学地震研究所彙報, Vol. 57
7. 気象庁・消防庁(2009):震度に関する検討会報告書, 平成21年3月
8. 村松郁栄(1969):震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻, 第3号, pp. 168-176
9. 勝又謙・徳永規一(1971):震度IVの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応, 験震時報, 第36巻, 第3, 4号, pp. 1-8
10. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震第2輯, 第28巻, pp. 269-283
11. Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide 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 Analysis, Oct.16-18, Istanbul.
12. 原子力安全基盤機構(2004):地震記録データベースSANDEL のデータ整備と地震発生上下限層深さの評価に関する報告書(平成15年度), JNES/SAE04-017
13. 三浦誠一・小平秀一・仲西理子・鶴哲郎・高橋成実・金田義行(2000):エアガンー海底地震計データによる日本海溝・福島沖前弧域の地震波速度構造, JAMSTEC深海研究, 第16号
14. Dapeng Zhao ,Shigeki Horiuchi, Akira Hasegawa (1992):Seismic velocity structure of the crust beneath the Japan Islands, Tectonophysics 212.
15. Akio Katsumata(2010):Depth of the Moho discontinuity beneath the Japanese islands estimated by travelttime analysis, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 115, B04303.
16. Akiko Tanaka,Yuzo Ishikawa(2005):Crustal thermal regime inferred from magnetic anomaly data and its relationship to seismogenic layer thickness: The Japanese islands case study, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 152.
17. 青柳恭平・上田圭一(2012):2011年東北地方太平洋沖地震による阿武隈南部の正断層型誘発地震の特徴ー臨時余震観測に基づく震源分布と速度構造ー, 電力中央研究所報告 N11048, 平成24年4月
18. Aitaro Kato, Toshihiro Igarashi, Kazushige Obara, Shinichi Sakai, Tetsuya Takeda, Atsushi Saiga, Takashi Iidaka, Takaya Iwasaki, Naoshi Hirata, Kazuhiko Goto, Hiroki Miyamachi, Takeshi Matsushima, Atsuki Kubo, Hiroshi Katao, Yoshiko Yamanaka, Toshiko Terakawa, Haruhisa Nakamichi, Takashi Okuda, Shinichiro Horikawa, Noriko Tsumura, Norihito Umino, Tomomi Okada,Masahiro Kosuga, Hiroaki Takahashi, Takuji Yamada(2013): Imaging the source regions of normal faulting sequences induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, Vol. 40, pp. 1-6.
19. 芝良昭・野口科子(2012):広帯域地震動を規定する震源パラメータの統計的特性ー震源インバージョン解析に基づく検討ー, 電力中央研究所報告, 研究報告N11054
20. 引間和人(2012):2011年4月11日福島県浜通りの地震(Mj7.0)の震源過程ー強震波形と再決定震源による2枚の断層面の推定ー, 地震, 第64巻(2012), pp. 243-256
21. Miho Tanaka, Kimiyuki Asano, Tomotaka Iwata, Hisahiko Kubo(2014):Source rupture process of the 2011 Fukushima-ken Hamadori earthquake: how did the two subparallel faults rupture?, Earth, Planets and Space 2014, 66:101.
22. Aitaro Kato, Shin'ichi Sakai, and Kazushige Obara (2011):A normal-faulting seismic sequence triggered by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake: Wholesale stress regime changes in the upper plate , Earth Planets Space, 63, pp. 745-748.
23. Kazutoshi Imanishi, Ryosuke Ando, and Yasuto Kuwahara(2012):Unusual shallow normal-faulting earthquake sequence in compressional northeast Japan activated after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, Vol. 39, L09306.
24. 気象庁(2016):4月11日福島県浜通りの地震ー近地強震波形による震源過程解析(暫定)ー, 気象庁ホームページ, 2016/01/15更新
25. Hemphill-Haley, M.A. and R. J. Weldon II (1999): Estimating prehistoric earthquake magnitude from point measurements of surface rupture, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 89, No. 5, pp. 1264-1279.
26. I. Manighetti, M. Campillo, C. Sammis, P. M. Mai, G. King (2005): Evidence for self-similar, triangular slip distributions on earthquakes: Implications for earthquake and fault mechanics, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol.110, B05302.
27. 糸井達哉・翠川三郎・鬼頭順三・三浦弘之・内山泰生・坂本成弘(2009):統計的グリーン関数法で評価した地殻内地震の応答スペクトルのバラツキ, 日本地震工学会論文集 第9巻, 第1号, pp. 128-142
28. 平田直・佐藤比呂志(2007):2007年能登半島地震の意味 防災のための活断層の考え方, 科学, 2007年6月号
29. 佐藤智美・堤英明(2012):2011年福島県浜通り付近の正断層の地震の短周期レベルと伝播経路・地盤増幅特性, 日本地震工学会論文集 第12巻, 第7号
30. 岩切一宏・川添安之・長谷川嘉臣(2014):地震波形を用いた気象庁の震源過程解析ー解析方法と断層すべり分布のスケーリング則ー, 験震時報 第78巻, pp. 65-91

参考文献：震源を特定せず策定する地震動について(1/2)

1. 原子力規制委員会(2021): 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
2. 原子力規制委員会(2021): 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド
3. 佐藤浩章・芝良昭・東貞成・功刀卓・前田宜浩・藤原広行(2013): 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点(HKD020)の基盤地震動とサイト特性評価, 電力中央研究所報告N13007
4. Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide 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 Analysis, Oct.16-18, Istanbul.
5. 武村雅之(1990): 日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震第2輯, 第43巻, 257-265頁
6. T. C. Hanks, H. Kanamori (1979): A Moment Magnitude Scale, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.84, No.B5, pp.2348-2350.
7. 日本電気協会(2015): 原子力発電所耐震設計技術指針
8. 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
9. 田力正好・池田安隆・野原壯(2009): 河成段丘の高度分布から推定された, 岩手・宮城内陸地震の震源断層, 地震第2輯, 第62巻, pp. 1-11
10. 防災科学技術研究所(2013): ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究 総括成果報告書, 平成25年5月
11. 岡田篤正(2002): 山陰地方の活断層の諸特徴, 活断層研究, 22, (松田時彦先生古稀記念号), pp. 17-32
12. 西村卓也(2014): 山陰地方のGNSSデータに認められるひずみ集中帯, 日本地球惑星科学連合2014年大会, SSS31-06
13. 気象庁(2008): 平成20年6月地震・火山月報(防災編), 特集「平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震」について
14. 国土地理院(2008): 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(第2報), <http://www.gsi.go.jp/johosystem/johosystem60032.html>
15. 気象庁(2008): 地震月報(カタログ編), 資料, 地震, 主な地震の初動発震機構解, 2008年6月
16. 鈴木亘・青井真・関口春子(2010): 強震記録から見た平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震の震源過程, 防災科学技術研究所主要災害調査, 第43号, pp. 11-18
17. 産業技術総合研究所: 地質図Navi
18. 産業技術総合研究所地質調査総合センター(編)(2012): 20万分の1日本シームレス地質図
19. (社)東北建設協会(2006): 東北地方デジタル地質図GIS版
20. 防災科学技術研究所(1982): 5万分の1地すべり地形分布図第1集「新庄・酒田」図集, 防災科学技術研究所研究資料, 第69号
21. 鈴木康弘・渡辺満久・中田高・小岩直人・杉戸信彦・熊原康博・廣内大助・澤祥・中村優太・丸島直史・島崎邦彦(2008): 2008年岩手・宮城内陸地震に関わる活断層とその意義——関市巖美町付近の調査速報——, 活断層研究, 29号, pp. 25-34

参考文献：震源を特定せず策定する地震動について(2/2)

22. 遠田晋次・丸山正・吉見雅行・金田平太郎・粟田泰夫・吉岡敏和・安藤亮輔(2010):2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層—震源過程および活断層評価への示唆—, 地震第2輯, 第62巻, pp. 153-178
23. 産業技術総合研究所(2004):AIST Today, Vol. 4, No. 12, 特集 火山 噴火と恵み
24. 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠善博(2003):日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震第2輯, 第55巻, pp. 389-406
25. 新安全設計基準に関する検討チーム(2013)
26. 行竹洋平・武田哲也・吉田明夫(2012):P 波初動極性と実体波振幅値を用いた日本内陸域における微小地震メカニズム解決, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第44 巻, pp. 39-46
27. Imanishi, K., R. Ando, and Y. Kuwahara(2012):Unusual shallow normal-faulting earthquake sequence in compressional northeast Japan activated after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Geophysical Research Letters, Vol. 39, L09306.
28. 青柳恭平・上田圭一(2012):2011年東北地方太平洋沖地震による阿武隈南部の正断層型誘発地震の特徴—臨時余震観測に基づく震源分布と速度構造—, 電力中央研究所研究報告N11048, 平成24年4月
29. Sagiya, T., S. Miyazaki, and T. Tada(2000):Continuous GPS Array and Present-day Crustal Deformation of Japan, Pure appl. geophys., 157, pp. 2303-2322.
30. 気象庁(2000):平成12年10月地震・火山月報(防災編), 特集2.平成12年(2000年)鳥取県西部地震
31. 気象庁:震度データベース, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>
32. 国土地理院(2000):平成12年10月6日鳥取県西部地震の断層運動を解明, <http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2000-1007-2.htm>
33. 池田隆明・釜江克宏・三輪滋・入倉孝次郎(2002):経験的グリーン関数法を用いた2000年鳥取県西部地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第561号
34. 日本の地質増補版編集委員会(2005):日本の地質 増補版
35. 井上大栄・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹(2002):2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査, 地震第2輯, 第54巻, pp. 557-573
36. 伏島祐一郎・吉岡敏和・水野清秀・穴倉正展・井村隆介・小松原琢・佐々木俊法(2001):2000年鳥取県西部地震の地震断層調査, 活断層・古地震研究報告, No. 1, pp. 1-26
37. 青柳恭平・阿部信太郎・宮腰勝義・井上大栄・津村紀子(2004):2000年鳥取県西部地震の余震分布と地形・地質との関係—内陸地震のアスペリティ予測に向けて—, 研究報告:N04009, 電力中央研究所報告
38. 本多亮・平松良浩・河野芳輝(2002):2000年鳥取県西部地震震源域の重力異常とそれから見た震源断層の特徴, 地震第2輯, 第55巻, pp. 83-88
39. 西村卓也(2015):山陰地方のひずみ集中帯, 鳥取県地震防災調査研究委員会第1回被害想定部会, 資料1

参考文献：基準地震動 S_s の策定について

1. 原子力規制委員会(2021): 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド
2. 日本電気協会(2008): 原子力発電所耐震設計技術指針
3. Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide 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 Analysis, Oct.16-18, Istanbul.
4. 司宏俊・瀬藤一起・三宅弘恵・翠川三郎(2011): 超巨大地震への地震動最大値距離減衰式の適用について-2011年東北地震と海外の超巨大地震の観測データに基づく検討-, 日本地震学会講演予稿集, 2011年, pp. 63
5. 中央防災会議(2012): 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告)
6. 気象庁(2012): 気象庁技術報告, 第133号

参考文献：基準地震動 S_s の年超過確率の参照について

1. 日本原子力学会(2015):日本原子力学会標準, 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準: 2015
2. 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層, 東京大学出版会
3. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 第2輯, 第28巻, pp. 269-284
4. 武村雅之(1998):日本列島における地殻内地震のスケーリング則:地震断層の影響および地震被害との関連, 地震第2輯, 第51巻, pp. 211-228
5. 地震調査研究推進本部(2012):今後の地震動ハザード評価に関する検討~2011年・2012年における検討結果~
6. 地震調査研究推進本部(2009a):全国地震動予測地図, 平成21年7月21日
7. 地震調査研究推進本部(2009b):三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価の一部改訂について
8. 地震調査研究推進本部(2011):三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について
9. 地震調査研究推進本部(2015):深谷断層帯・綾瀬川断層(関東平野北西縁断層帯・元荒川断層帯)の長期評価(一部改訂)
10. 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠善博(2003):日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震第2輯, 第55巻
11. Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide 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 Analysis,Oct.16-18,Istanbul.