



リサイクル燃料備蓄センター 使用済燃料貯蔵事業変更許可申請

基準地震動の策定

令和 4 年 1 2 月
リサイクル燃料貯蔵株式会社

目次

1. 基準地震動の策定の概要	.....	2
2. 敷地周辺の地震発生状況	.....	18
3. 地下構造モデルの策定	.....	23
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	.....	68
5. 震源を特定せず策定する地震動	.....	136
6. 基準地震動の策定	.....	172
7. 基準地震動の超過確率の参照	.....	183

※赤点線で囲う章節：令和4年1月申請に係る箇所

1. 基準地震動の策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
5. 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

1. 基準地震動の策定の概要

基準地震動の策定の全体フロー(令和4年1月申請)

2. 敷地周辺の地震発生状況

M5.0以上の地震の震央分布及び震源深さ分布

3. 地下構造モデルの策定

- ・深部地盤モデル作成
- ・はぎとり地盤モデル作成

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

① 検討用地震の選定・震源モデルの設定

プレート間地震

海洋プレート内地震

内陸地殻内地震

② 地震動評価

応答スペクトルに基づく地震動評価

断層モデルを用いた手法による地震動評価

5. 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
地域性を考慮して採用する地震を選定
- ・全国共通に考慮すべき地震動
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別記2第4条第5項第3号②に示される知見を考慮

6. 基準地震動の策定

基準地震動Ss-A
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動より策定

基準地震動Ss-B1~Ss-B5
震源を特定せず策定する地震動より策定

7. 基準地震動の超過確率の参照

特定震源モデルおよび領域震源モデルに基づき地震ハザード評価を実施

1. 基準地震動の策定の概要

平成26年1月申請時から令和2年11月許可時までの主な変更点 1/7

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

1. プレート間地震

		申請時(平成26年1月)		申請以降の変更
①基本震源モデルの地震規模		想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)	⇒	2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)
②不確かさ ケース	(a)地震規模	2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)	⇒	－ (基本震源モデルで考慮)
	(b)破壊開始点	複数ケース設定	⇒	－ (基本震源モデルで考慮)
	(c)震源断層面の位置	過去の地震による知見を反映し、敷地に近づけた位置	⇒	－ (基本震源モデルで考慮)
	(d)SMGAの位置	上記(c)の不確かさに伴い、敷地に近づけた位置	⇒	敷地に最も近い位置

・変更理由

- ①基本震源モデルの地震規模 : 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえて設定
 ②不確かさケース : (a)、(b)、(c) 不確かさを基本震源モデルに見込む
 (d) より保守的な評価とするため設定

2. 海洋プレート内地震

		申請時(平成26年1月)		申請以降の変更
①基本震源 モデル	(a)地震規模	2011年4月7日宮城県沖の地震(Mw7.1)	⇒	2011年4月7日宮城県沖の地震(Mw7.1)
	(b)震源断層面の位置	敷地東側で同地震の発生深さに相当する位置	⇒	敷地東側の直近となる位置 (海洋地殻下端～応力中立面)
②不確かさ ケース	(a)破壊開始点	複数ケース設定	⇒	－ (基本震源モデルで考慮)
	(b)震源断層面の位置	－	⇒	敷地東側の敷地直近となる位置(海洋地殻上端)
	(c)短周期レベル	－	⇒	1.5倍
	(d)地震規模	－	⇒	Mw7.4

・変更理由

- ①基本震源モデルの断層面位置 : 2011年4月7日宮城県沖の地震に関する知見を反映し、保守的に設定
 ②不確かさケース : (a) 不確かさを基本震源モデルに見込む
 (b)、(c)、(d) より保守的な評価とするため設定

1. 基準地震動の策定の概要

平成26年1月申請時から令和2年11月許可時までの主な変更点 2/7

3. 内陸地殻内地震

横浜断層による地震		申請時(平成26年1月)		申請以降の変更
①基本震源モデル	(a)地震規模	Mw6.2 ($M_0=2.55 \times 10^{18}\text{Nm}$)	⇒	Mw6.5 ($M_0=7.83 \times 10^{18}\text{Nm}$)
	(b)断層傾斜角	60°	⇒	60°
	(c)アスペリティ位置	地表痕跡の中央及び地表痕跡の敷地側端部	⇒	地表痕跡の敷地側端部
②不確かさケース	(a)応力降下量	1.5倍	⇒	1.5倍
	(b)断層傾斜角	45° (Mw6.4)	⇒	45° (Mw6.6)
	(c)破壊開始点	不確かさケースとして考慮	⇒	— (基本震源モデルで考慮)

尻屋崎南東沖断層による地震		申請時(平成26年1月)		申請以降の変更
基本震源モデル	(a)地震規模	Mw6.2 ($M_0=2.55 \times 10^{18}\text{Nm}$)	⇒	横浜断層による地震の基本震源モデルの設定において地質調査や最新の知見を踏まえ保守的な地震規模等を設定する。このため、敷地との距離が尻屋崎南東沖断層よりも近い横浜断層による地震の評価で代表させることにする。
	(b)断層傾斜角	60°		
不確かさケース	(a)応力降下量	1.5倍		
	(b)断層傾斜角	45° (Mw6.4)		
	(c)破壊開始点	不確かさケースとして考慮		

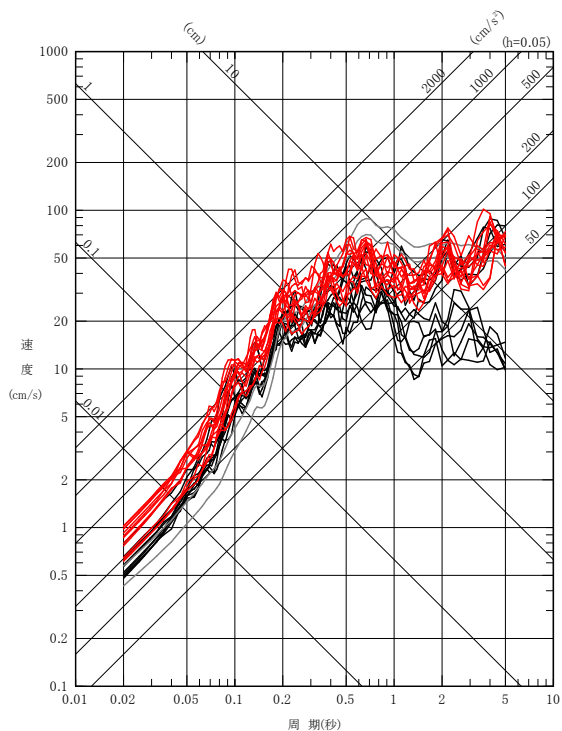
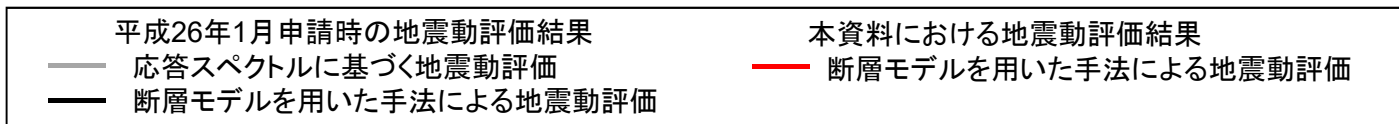
・変更理由

- ①基本震源モデルの地震規模：孤立した短い断層に対する考え方を取り入れ、地質調査結果等から想定される地震規模を上回る規模として設定
- ②不確かさケース：(a) 応力降下量は、新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、経験式の1.5倍を考慮
 (b) 地質調査結果によれば、断層傾斜角は概ね60°であるが、地震調査委員会(2017a)「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」に示される断層傾斜角が推定できない場合の断層傾斜角45°を考慮
 (c) 不確かさを基本震源モデルに見込む

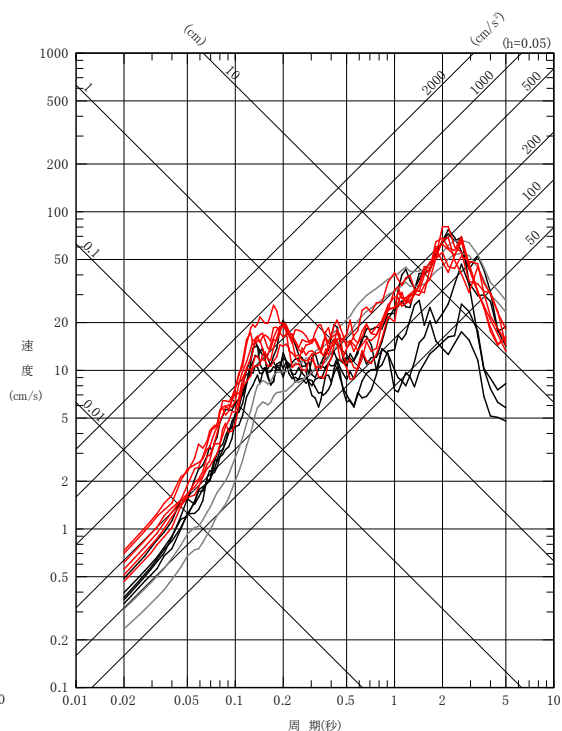
1. 基準地震動の策定の概要

平成26年1月申請時から令和2年11月許可時までの主な変更点 3/7

1. プレート間地震の検討用地震(M9プレート間地震)の地震動評価結果 平成26年1月申請時との比較

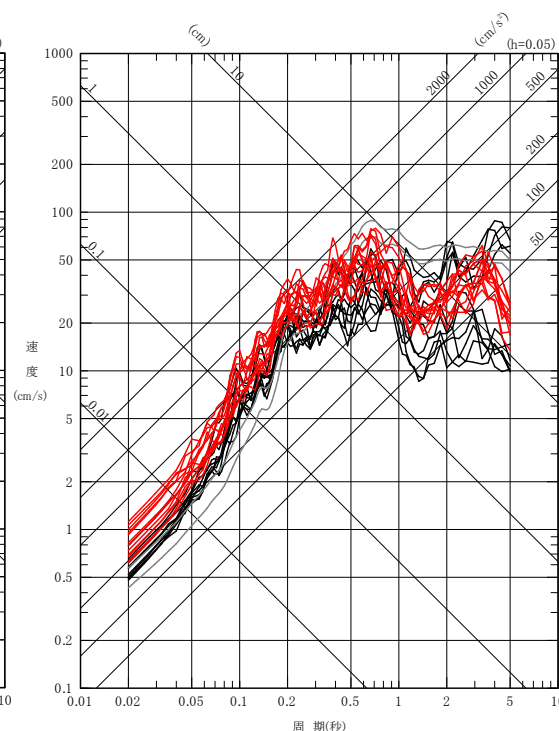


水平方向

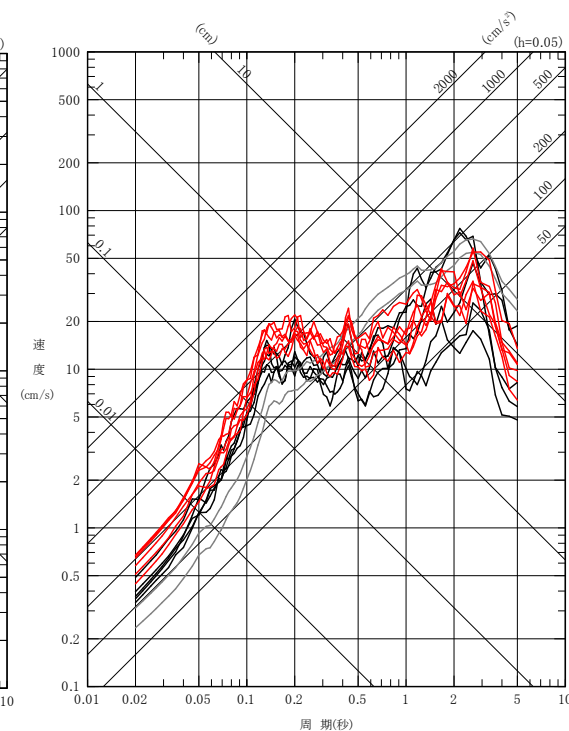


鉛直方向

三陸沖北部～根室沖の連動モデル



水平方向



鉛直方向

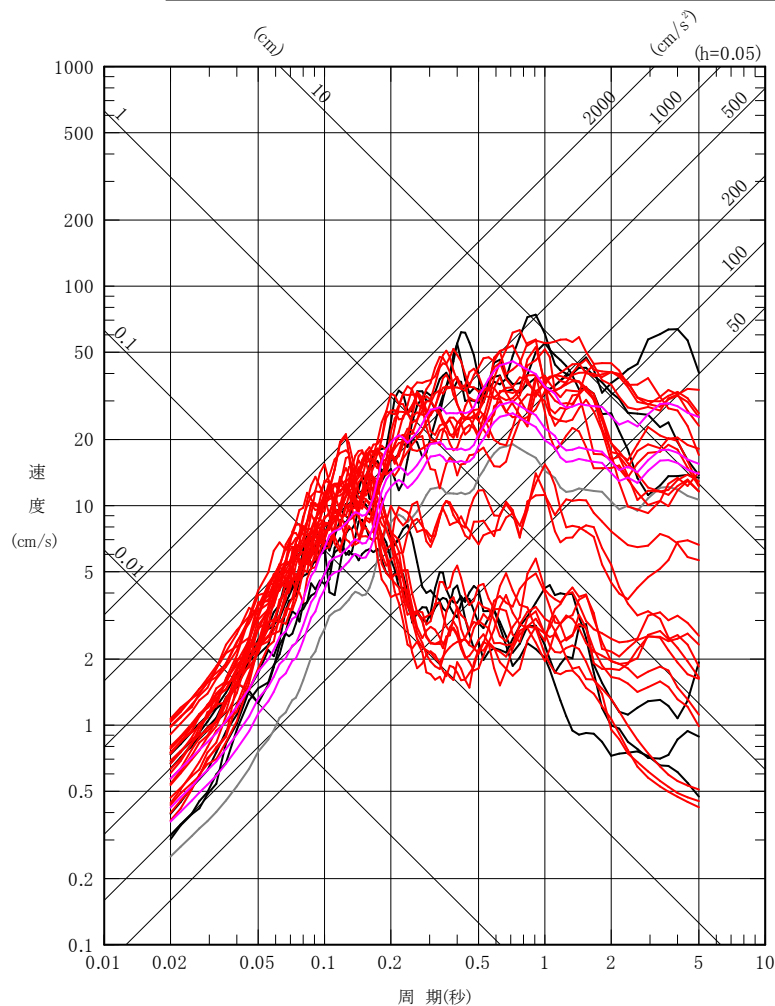
三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル

1. 基準地震動の策定の概要

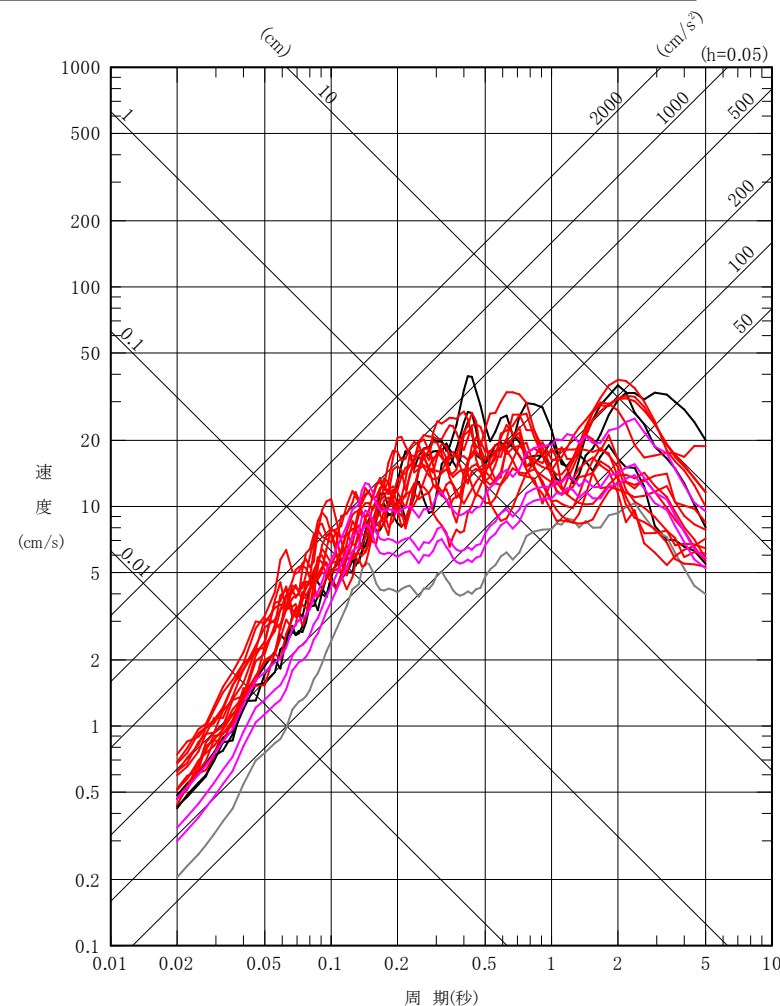
平成26年1月申請時から令和2年11月許可時までの主な変更点 4/7

2. 海洋プレート内地震の検討用地震(二重深発地震上部の地震)の地震動評価結果 平成26年1月申請時との比較

平成26年1月申請時の地震動評価結果 — 応答スペクトルに基づく地震動評価 — 断層モデルを用いた手法による地震動評価	本資料における地震動評価結果 — 応答スペクトルに基づく地震動評価 — 断層モデルを用いた手法による地震動評価
---	---



水平方向



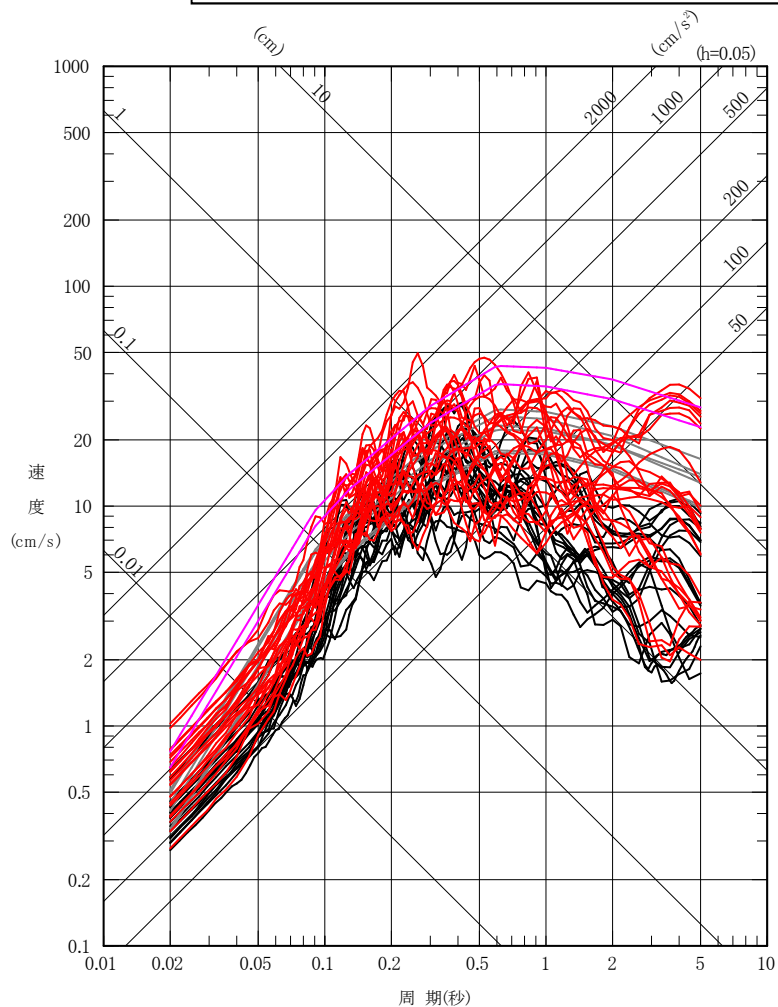
鉛直方向

1. 基準地震動の策定の概要

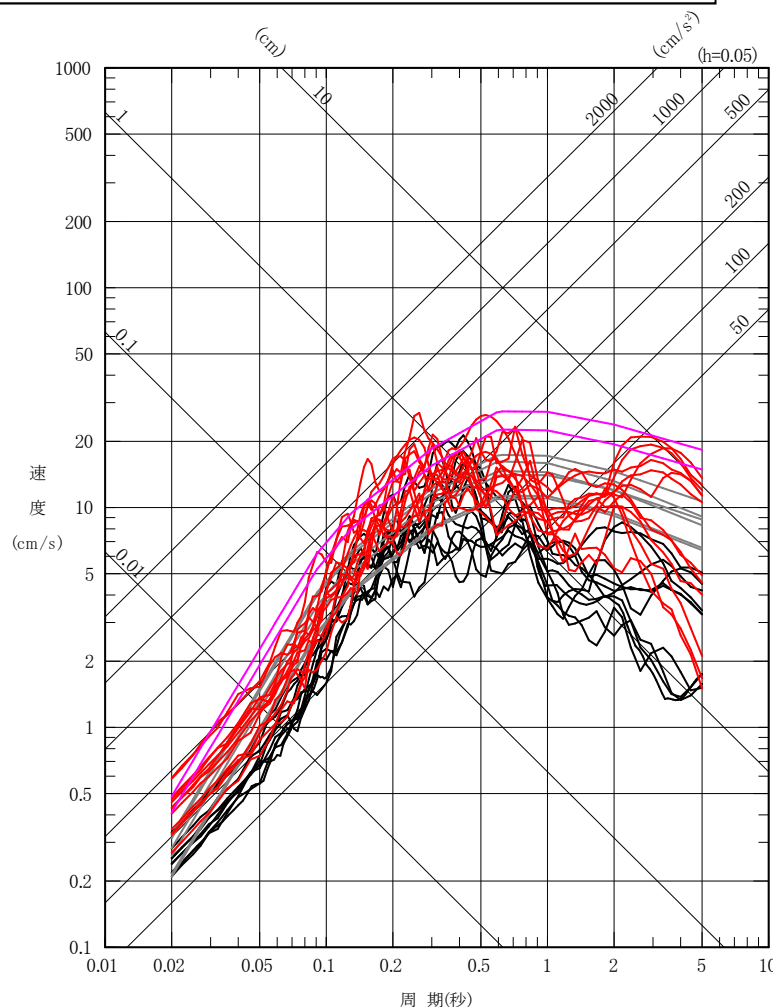
平成26年1月申請時から令和2年11月許可時までの主な変更点 5/7

3. 内陸地殻内地震の検討用地震(横浜断層による地震)の地震動評価結果 平成26年1月申請時との比較

— 平成26年1月申請時の地震動評価結果	— 本資料における地震動評価結果
— 応答スペクトルに基づく地震動評価	— 応答スペクトルに基づく地震動評価
— 断層モデルを用いた手法による地震動評価	— 断層モデルを用いた手法による地震動評価



水平方向



鉛直方向

1. 基準地震動の策定の概要

平成26年1月申請時から令和2年11月許可時までの主な変更点 6/7

震源を特定せず策定する地震動

➤ 申請時(平成26年1月)の評価

加藤ほか(2004)による「震源を事前に特定できない地震による水平動の上限レベルの応答スペクトル」に、敷地における地盤特性を考慮した応答スペクトル(以下「加藤ほか(2004)による応答スペクトル」という)を設定

・変更理由

- ① 最新知見及び先行サイトの審査結果の反映
- ② 2008年岩手・宮城内陸地震震源域と敷地周辺には、地域差は認められるものの、地質・地質構造等に一部で類似点も認められるため、安全性向上の観点から、観測記録収集対象として選定



➤ 申請以降の変更点

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の震源近傍の観測記録のうち、以下の観測記録の基盤地震動を選定し、保守性を考慮して設定

- ① 2004年北海道留萌支庁南部地震
- ② 2008年岩手・宮城内陸地震
(栗駒ダム・金ヶ崎観測点・一関東観測点)

上記①、②と比較し、周期によって大小関係が異なるため、加藤ほか(2004)による応答スペクトルを設定

基準地震動の策定

➤ 申請時(平成26年1月)の評価

最大加速度600Galの基準地震動を設定



➤ 最終評価

基準地震動Ss-A

- ・ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の地震動評価結果を踏まえ、模擬地震波の継続時間を当初申請より長く設定した、最大加速度600Galの基準地震動Ss-Aを設定

基準地震動Ss-B1~Ss-B4

- ・ 震源を特定せず策定する地震動の検討結果を踏まえ、2004年北海道留萌支庁南部地震、2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム・金ヶ崎観測点・一関東観測点)の基盤地震動に保守性を考慮し、基準地震動Ss-B1~Ss-B4を設定
(加藤ほか(2004)による応答スペクトルは、基準地震動Ss-Aと比較して全周期帯において下回るため基準地震動に選定しない)

1. 基準地震動の策定の概要

平成26年1月申請時から令和2年11月許可時までの主な変更点 7/7

基準地震動の年超過確率の参照

➤ 申請時(平成26年1月)の評価

基準地震動の年超過確率は、短周期側で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度、
長周期側では $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度



➤ 申請以降の変更点

- ①活断層の諸元の見直し
- ②ロジックツリーの見直し

基準地震動Ss-A及び基準地震動Ss-B1～Ss-B4の
年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度

・変更理由

- ①, ② 審議結果等の反映

1. 基準地震動の策定の概要

既許可(令和2年11月)の申請での評価からの主な変更点 1/4

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

1. プレート間地震

		既許可(R2.11.11)の申請での評価		今回申請(R4.1.20)での評価
①基本震源モデルの地震規模		2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)	⇒	変更なし
②不確かさ ケース	(a)地震規模	－(基本震源モデルで考慮)	⇒	変更なし
	(b)破壊開始点	－(基本震源モデルで考慮)	⇒	変更なし
	(c)震源断層面の位置	－(基本震源モデルで考慮)	⇒	変更なし
	(d)SMGAの位置	敷地に最も近い位置	⇒	変更なし

・2020年4月、内閣府の日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会が、「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について(概要報告)」を公表したが、公表された内閣府(2020)の日本海溝モデルと、検討用地震(プレート間地震)の比較を踏まえても、既許可の申請での評価結果に変更はないことを確認

2. 海洋プレート内地震

		既許可(R2.11.11)の申請での評価		今回申請(R4.1.20)での評価
①基本震源 モデル	(a)地震規模	2011年4月7日宮城県沖の地震(Mw7.1)	⇒	変更なし
	(b)震源断層面の位置	敷地東側の直近となる位置 (海洋地殻下端～応力中立面)	⇒	変更なし
②不確かさ ケース	(a)破壊開始点	－(基本震源モデルで考慮)	⇒	変更なし
	(b)震源断層面の位置	敷地東側の敷地直近となる位置(海洋地殻上端)	⇒	変更なし
	(c)短周期レベル	1.5倍	⇒	変更なし
	(d)地震規模	Mw7.4	⇒	変更なし

1. 基準地震動の策定の概要

既許可(令和2年11月)の申請での評価からの主な変更点 2/4

3. 内陸地殻内地震

横浜断層による地震		既許可(R2.11.11)の申請での評価		今回申請(R4.1.20)での評価
①基本震源モデル	(a)地震規模	Mw6.5 ($M_0=7.83 \times 10^{18}\text{Nm}$)	⇒	変更なし
	(b)断層傾斜角	60°	⇒	変更なし
	(c)アスペリティ位置	地表痕跡の敷地側端部	⇒	変更なし
②不確かさケース	(a)応力降下量	1.5倍	⇒	変更なし
	(b)断層傾斜角	45° (Mw6.6)	⇒	変更なし
	(c)破壊開始点	— (基本震源モデルで考慮)	⇒	変更なし

1. 基準地震動の策定の概要

既許可(令和2年11月)の申請での評価からの主な変更点 3/4

震源を特定せず策定する地震動

➤ 既許可(R2.11.11)の申請での評価

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の震源近傍の観測記録のうち、以下の観測記録の基盤地震動を選定し、保守性を考慮して設定

- ①2004年北海道留萌支庁南部地震
- ②2008年岩手・宮城内陸地震
(栗駒ダム・金ヶ崎観測点・一関東観測点)

上記①、②と比較し、周期によって大小関係が異なるため、加藤ほか(2004)による応答スペクトルを設定



➤ 今回申請(R4.1.20)での評価

- ・ 实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別記2第4条第5項第3号②に示される次の知見を考慮して設定
 - ①2004年北海道留萌支庁南部地震
 - ②標準応答スペクトルを考慮した地震動
- ・ 事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震についての敷地近傍における観測記録のうち、以下の観測記録の基盤地震動を選定し、保守性を考慮して設定
 - ③2008年岩手・宮城内陸地震
(栗駒ダム・金ヶ崎観測点・一関東観測点)

基準地震動の策定

➤ 既許可(R2.11.11)の申請での評価

基準地震動Ss-A

- ・ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の地震動評価結果を踏まえ、模擬地震波の継続時間を当初申請より長く設定した、最大加速度600Galの基準地震動Ss-Aを設定

基準地震動Ss-B1～Ss-B4

- ・ 震源を特定せず策定する地震動の検討結果を踏まえ、2004年北海道留萌支庁南部地震、2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム・金ヶ崎観測点・一関東観測点)の基盤地震動に保守性を考慮し、基準地震動Ss-B1～Ss-B4を設定
(加藤ほか(2004)による応答スペクトルは、基準地震動Ss-Aと比較して全周期帯において下回るため基準地震動に選定しない)



➤ 今回申請(R4.1.20)での評価

基準地震動Ss-A

- ・ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の地震動評価結果を踏まえ、模擬地震波の継続時間を当初申請より長く設定した、最大加速度600Galの基準地震動Ss-Aを設定

基準地震動Ss-B1～Ss-B5

- ・ 震源を特定せず策定する地震動の検討結果を踏まえ、2004年北海道留萌支庁南部地震、2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム・金ヶ崎観測点・一関東観測点)の基盤地震動に保守性を考慮し、基準地震動Ss-B1～Ss-B4を設定するとともに、標準応答スペクトルを考慮した地震動をSs-B5に設定

1. 基準地震動の策定の概要

既許可(令和2年11月)の申請での評価からの主な変更点 4/4

基準地震動の年超過確率の参照

➤ 既許可(R2.11.11)の申請での評価

基準地震動Ss-A及び基準地震動Ss-B1～Ss-B4の
年超過確率は、 10^{-4} ～ 10^{-5} 程度



➤ 今回申請(R4.1.20)での評価

基準地震動Ss-A及び基準地震動Ss-B1～Ss-B5の
年超過確率は、 10^{-4} ～ 10^{-5} 程度

1. 基準地震動の策定の概要

地震動評価の概要 1/3 (令和4年1月申請)

■ 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

● 検討用地震の選定

○プレート間地震

M9プレート間地震
(2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0))

○海洋プレート内地震

二重深発地震上部の地震
(想定海洋プレート内地震)

○内陸地殻内地震

横浜断層による地震

● 震源モデルの設定

○プレート間地震

- 地震規模
 - ・Mw9.0
(三陸沖北部の領域を含む連動を考慮)
 - ※既往最大の2011年東北地方太平洋沖地震の地震規模を考慮
- 震源モデルの設定
 - ・「三陸沖北部～十勝沖～根室沖の領域」及び「三陸沖北部～宮城県沖の領域」を考慮
 - ・短周期レベルを保守的に評価
 - ※東北地方の既往の地震の最大レベルを考慮
- 不確かさの考慮
 - ・SMGAの位置の不確かさ
 - ※敷地に最も影響の大きい位置にSMGAを考慮

○海洋プレート内地震

- 地震規模
 - ・基本モデルM7.2
 - ※東北地方の既往最大の地震規模を考慮
- 震源モデルの設定
 - ・地震調査委員会(2017a)の震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)に基づくモデル
- 不確かさの考慮
 - ・短周期レベルの不確かさ
 - ・位置の不確かさ
 - ・地震規模の不確かさ(Mw7.4)
 - ※東北地方の既往最大の短周期レベルを考慮
 - ※敷地に最も近い位置に断層面を設定
 - ※既往の地震の震源を大きく上回る断層面を考慮して地震規模を拡張

○内陸地殻内地震

- 震源モデルの設定
 - ・孤立した短い断層として震源断層が地震発生層の上端から下端まで広がっていることを考慮
 - ・地震モーメントを保守的に設定したモデル(Mw6.5, $M_0=7.5 \times 10^{18} \text{Nm}$ 相当, 断層長さ27km)を考慮
 - ※地震規模を保守的に設定
- 不確かさの考慮
 - ・応力降下量の不確かさ
 - ・断層傾斜角の不確かさ

● 地域性を考慮する地震動について

○審査ガイドに示される知見

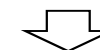
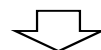
2008年岩手・宮城内陸地震を観測記録収集対象とし、栗駒ダム、KiK-net金ヶ崎、KiK-net一関東の観測記録に基づく基盤地震動の検討結果を踏まえ、震源を特定せず策定する地震動に設定

※地震観測記録のはざとり結果等に保守性を考慮した基盤地震動を設定

● 全国共通に考慮すべき地震動について

○規則の解釈に示される知見

- ・2004年北海道留萌支庁南部地震におけるK-NET港町の観測記録に基づく基盤地震動の検討結果を踏まえ、震源を特定せず策定する地震動に設定
- ※地震観測記録のはざとり結果等に保守性を考慮した基盤地震動を設定
- ・標準応答スペクトルを考慮した地震動



1. 基準地震動の策定の概要

地震動評価の概要 2/3 (令和4年1月申請)

■ 基準地震動の策定

● 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

・ 応答スペクトルに基づく地震動評価

○ プレート間地震

- ・ 距離減衰式による評価が困難であるため、断層モデルを用いた手法による評価

○ 海洋プレート内地震

- ・ Noda et al. (2002) による評価

○ 内陸地殻内地震

- ・ Noda et al. (2002) による評価

・ 断層モデルを用いた手法による地震動評価

○ プレート間地震

- ・ 経験的グリーン関数法による評価

○ 海洋プレート内地震

- ・ 統計的グリーン関数法による評価

○ 内陸地殻内地震

- ・ 統計的グリーン関数法による評価

● 震源を特定せず策定する地震動

- 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET 港町)
 - 2008年岩手・宮城内陸地震 (栗駒ダム右岸地山)
 - 2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net 金ヶ崎)
 - 2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net 一関東)※
 - 標準応答スペクトルを考慮した地震動
- ※: 水平方向のみ

○ 基準地震動 Ss-A

各検討用地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果及び断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を踏まえて、基準地震動 Ss-A を設定

○ 基準地震動 Ss-A を上回るものを基準地震動 Ss-B1 ~ Ss-B5 として選定

○ 策定した基準地震動

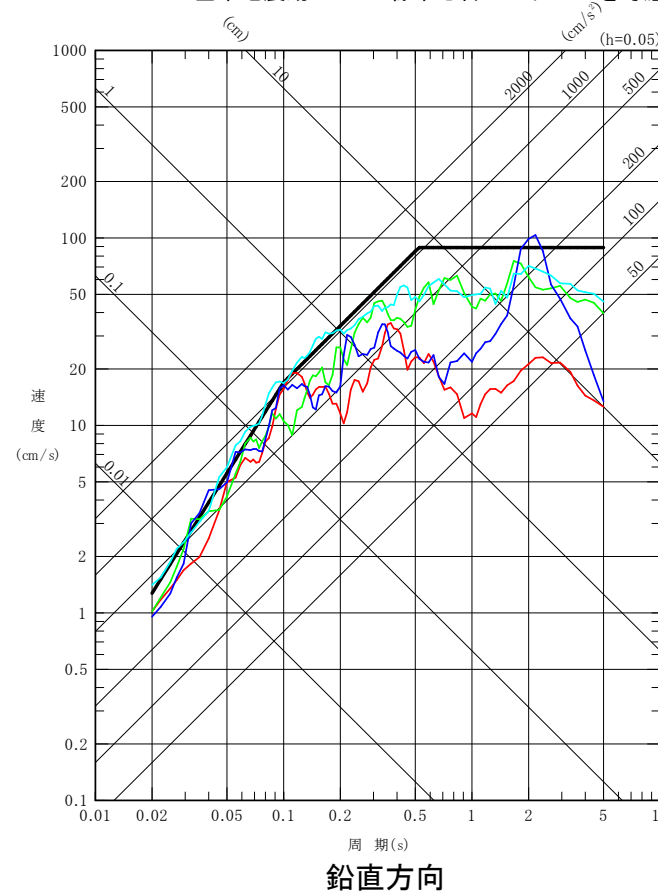
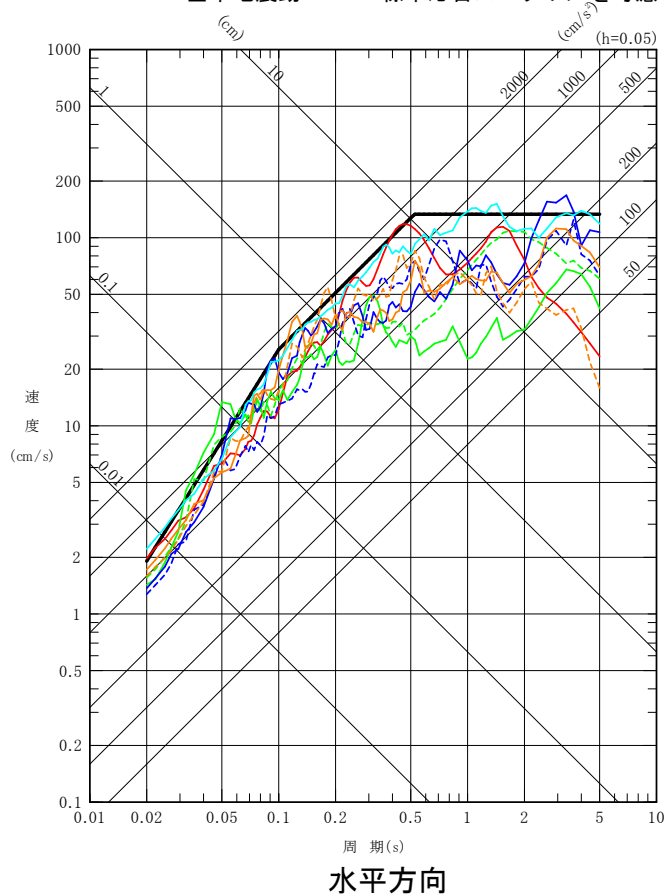
- 基準地震動 Ss-A 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動に基づく基準地震動
- 基準地震動 Ss-B1 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET 港町)
- 基準地震動 Ss-B2 2008年岩手・宮城内陸地震 (栗駒ダム右岸地山)
- 基準地震動 Ss-B3 2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net 金ヶ崎)
- 基準地震動 Ss-B4 2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net 一関東)
- 基準地震動 Ss-B5 標準応答スペクトルを考慮した地震動

1. 基準地震動の策定の概要 地震動評価の概要 3/3 (令和4年1月申請)

基準地震動の策定結果(応答スペクトル)

- : 基準地震動Ss-A
- : 基準地震動Ss-B1 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) 水平方向
- : 基準地震動Ss-B2 2008年岩手宮城内陸地震 (栗駒ダム[右岸地山]) 水平方向 1
- : 基準地震動Ss-B2 2008年岩手宮城内陸地震 (栗駒ダム[右岸地山]) 水平方向 2
- : 基準地震動Ss-B3 2008年岩手宮城内陸地震 (KiK-net金ヶ崎) 水平方向 1
- : 基準地震動Ss-B3 2008年岩手宮城内陸地震 (KiK-net金ヶ崎) 水平方向 2
- : 基準地震動Ss-B4 2008年岩手宮城内陸地震 (KiK-net-関東) 水平方向 1
- : 基準地震動Ss-B4 2008年岩手宮城内陸地震 (KiK-net-関東) 水平方向 2
- : 基準地震動Ss-B5 標準応答スペクトルを考慮した地震動

- : 基準地震動Ss-A
- : 基準地震動Ss-B1 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) 鉛直方向
- : 基準地震動Ss-B2 2008年岩手宮城内陸地震 (栗駒ダム[右岸地山]) 鉛直方向
- : 基準地震動Ss-B3 2008年岩手宮城内陸地震 (KiK-net金ヶ崎) 鉛直方向
- : 基準地震動Ss-B5 標準応答スペクトルを考慮した地震動



基準地震動の超過確率の参照

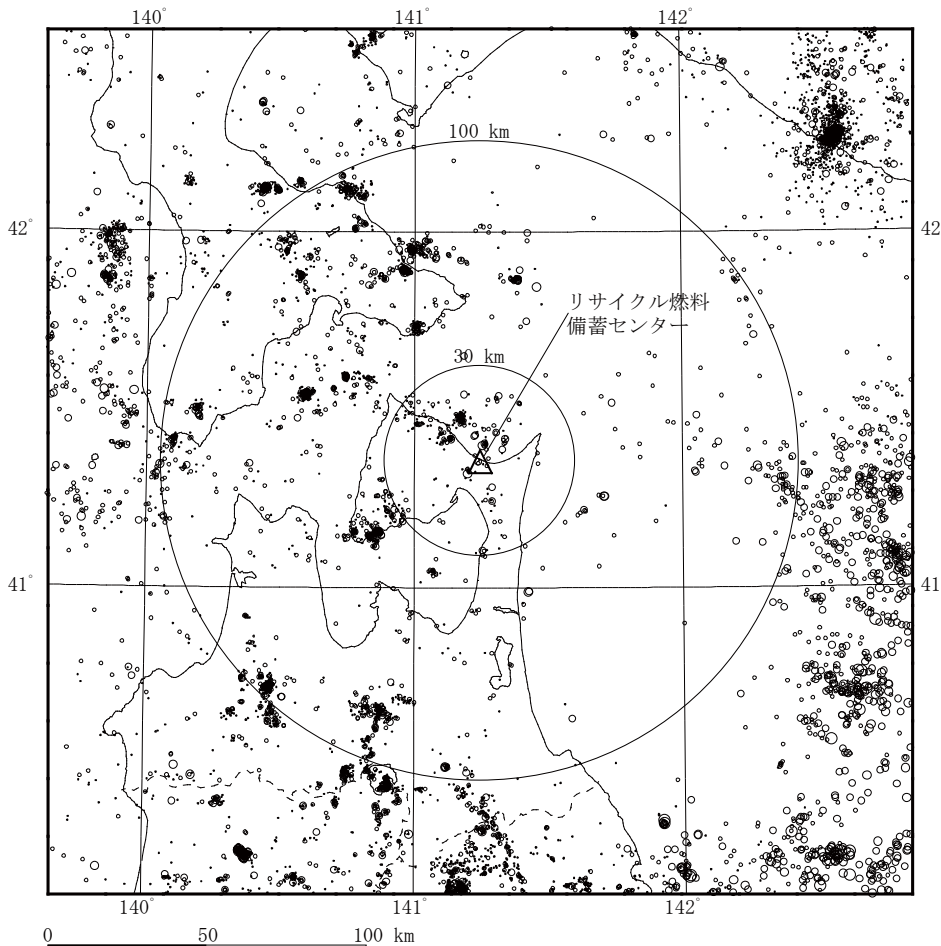
特定震源モデルおよび領域震源モデルに基づき地震ハザード評価を実施した結果、基準地震動の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度。

1. 基準地震動の策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
5. 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

2. 敷地周辺の地震発生状況

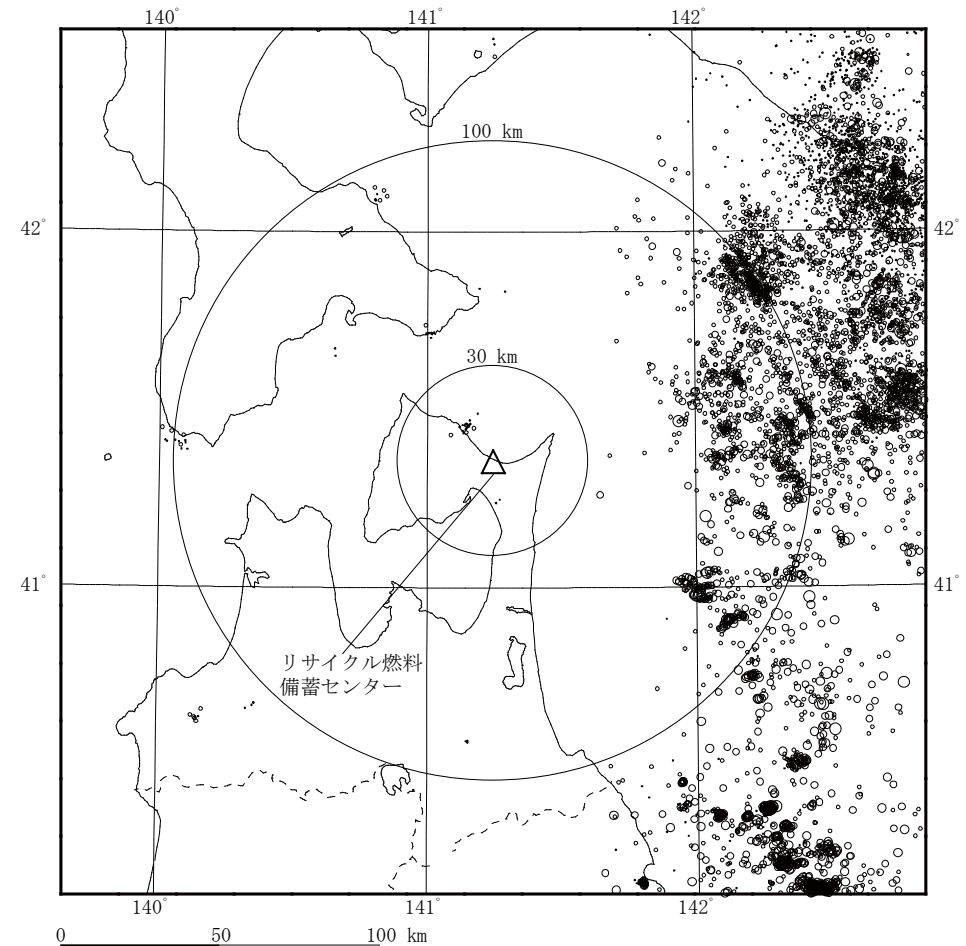
M5以下の地震の震央分布(震源深さ0~30km、30~60km)

・敷地周辺におけるM5以下の小・微小地震の震央分布を深さごとに分割して示す。



- $4.0 \leq M \leq 5.0$
- $3.0 \leq M < 4.0$
- $2.0 \leq M < 3.0$
- $1.0 \leq M < 2.0$
- $M < 1.0$

敷地周辺におけるM5以下の小・微小地震の震央分布
(震源深さ0~30km、2011年1月~2015年12月)
(地震諸元は、気象庁カタログによる。)



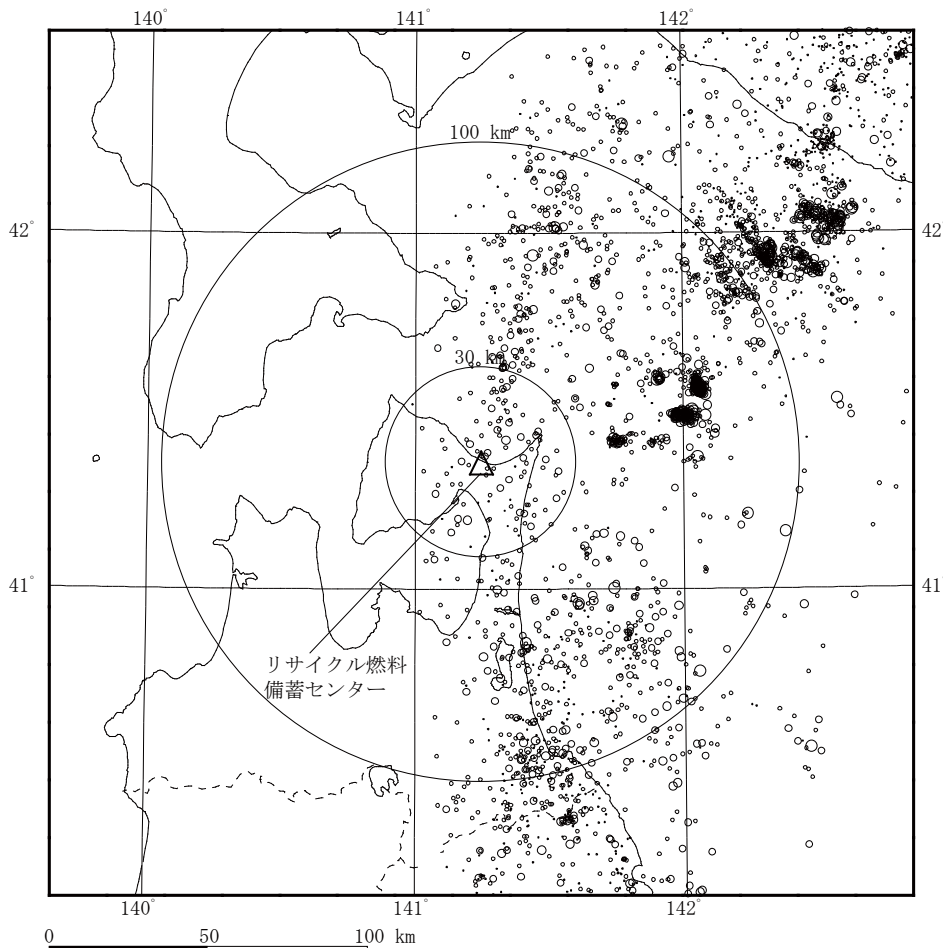
- $4.0 \leq M \leq 5.0$
- $3.0 \leq M < 4.0$
- $2.0 \leq M < 3.0$
- $1.0 \leq M < 2.0$
- $M < 1.0$

敷地周辺におけるM5以下の小・微小地震の震央分布
(震源深さ30~60km、2011年1月~2015年12月)
(地震諸元は、気象庁カタログによる。)

2. 敷地周辺の地震発生状況

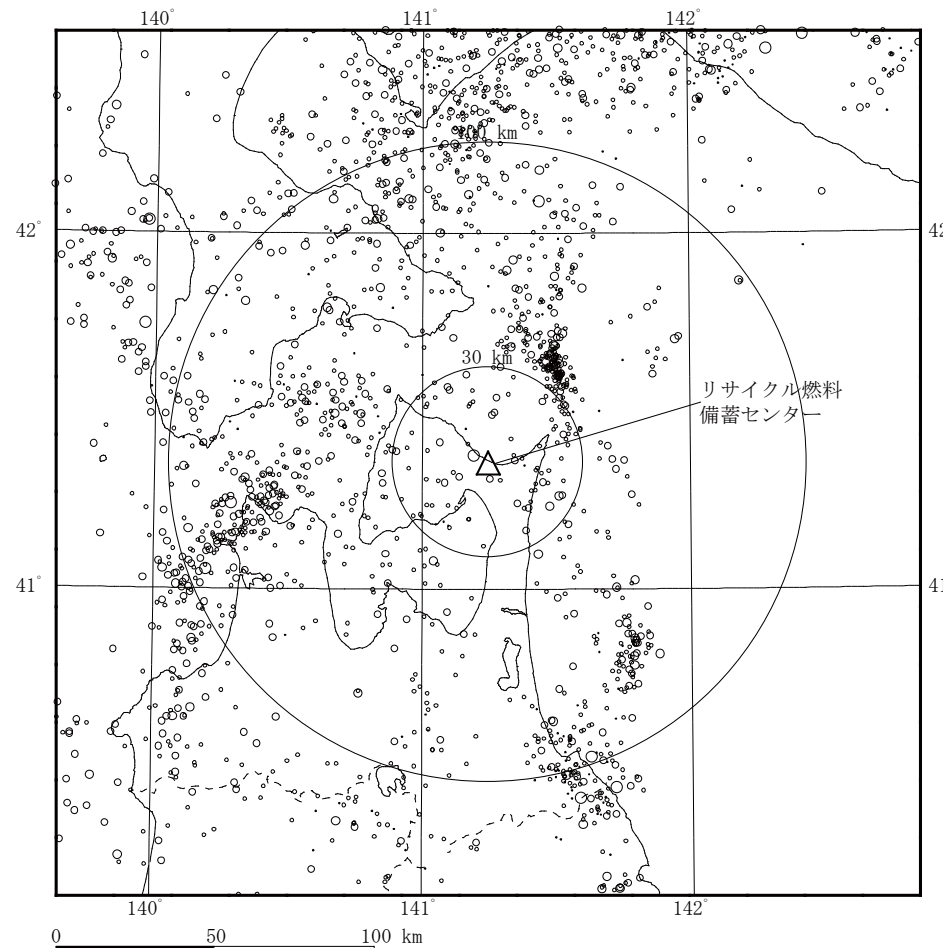
M5以下の地震の震央分布 (震源深さ60~100km、100km以上)

・敷地周辺におけるM5以下の小・微小地震の震央分布を深さごとに分割して示す。



- 4.0 ≤ M ≤ 5.0
- 3.0 ≤ M < 4.0
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- M < 1.0

敷地周辺におけるM5以下の小・微小地震の震央分布
(震源深さ60~100km、2011年1月~2015年12月)
(地震諸元は、気象庁カタログによる。)

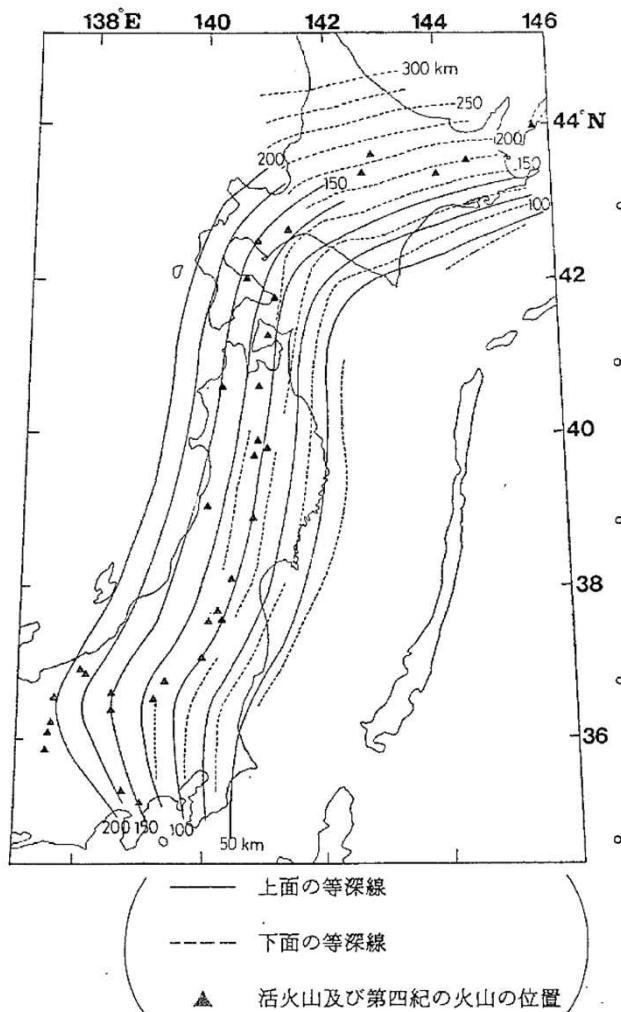


- 4.0 ≤ M ≤ 5.0
- 3.0 ≤ M < 4.0
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- M < 1.0

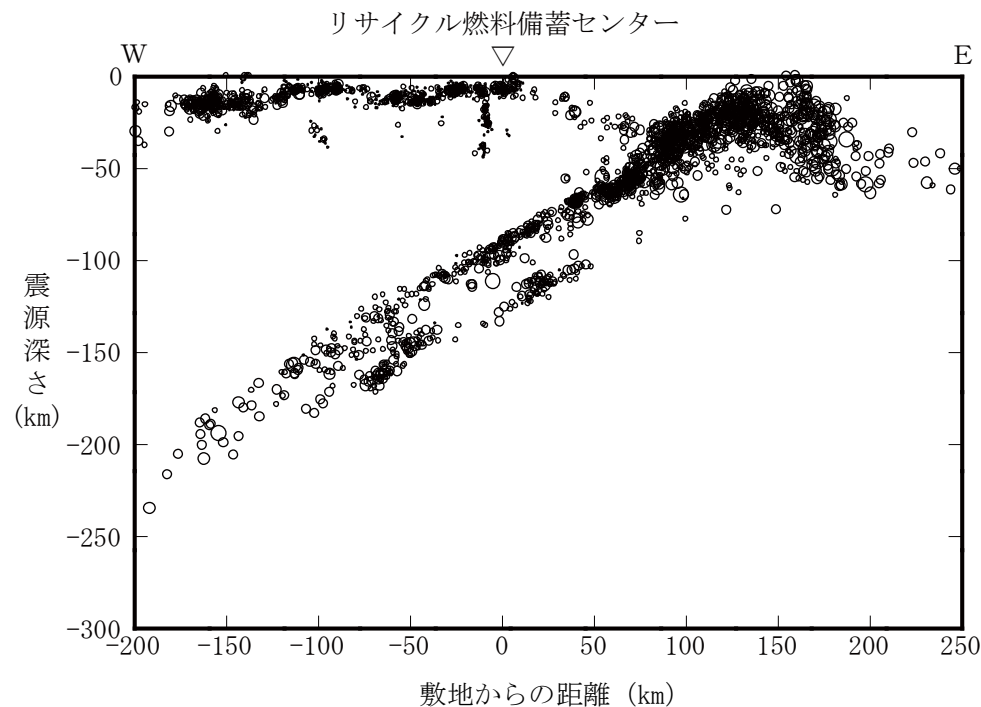
敷地周辺におけるM5以下の小・微小地震の震央分布
(震源深さ100km以上、2011年1月~2015年12月)
(地震諸元は、気象庁カタログによる。)

2. 敷地周辺の地震発生状況 M5以下の地震の震源深さ分布

- ・敷地周辺におけるM5以下の小・微小地震の震源鉛直分布を示す。
- ・敷地周辺の小・微小地震の震源鉛直分布によれば、敷地周辺の海洋プレートでは、二重深発地震面を形成している。



深発地震の震源の等深線
(「長谷川ほか(1983)」による。)

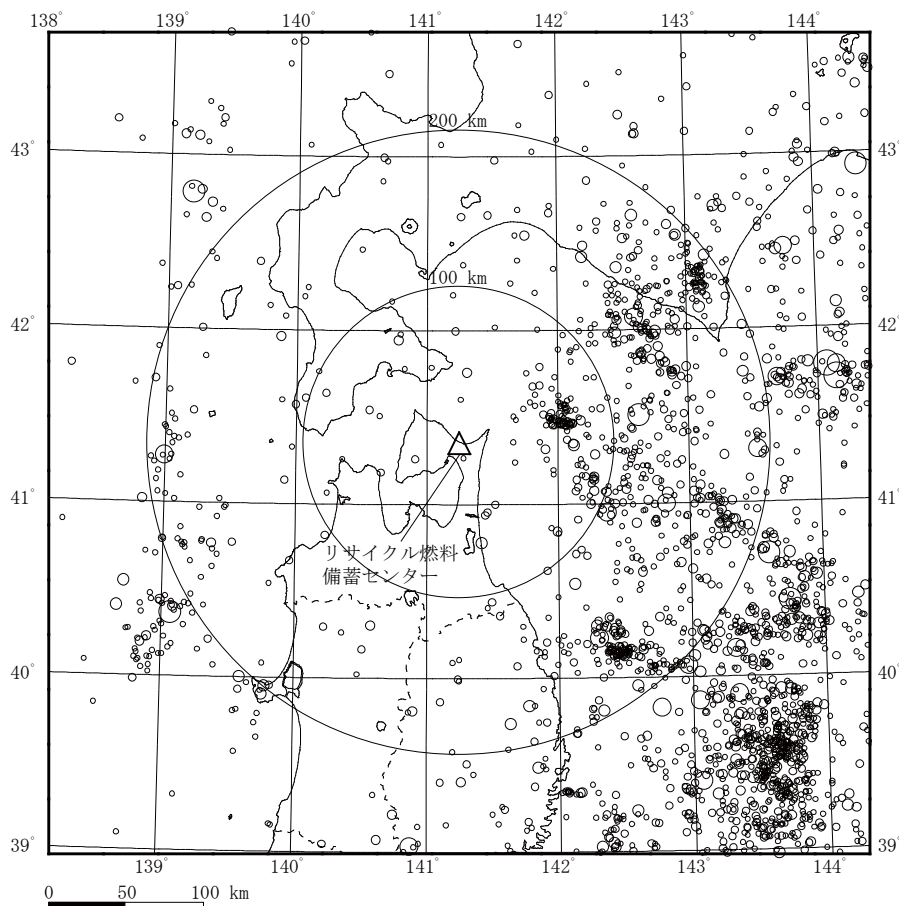


- $4.0 \leq M \leq 5.0$
- $3.0 \leq M < 4.0$
- $2.0 \leq M < 3.0$
- $1.0 \leq M < 2.0$
- ・ $M < 1.0$

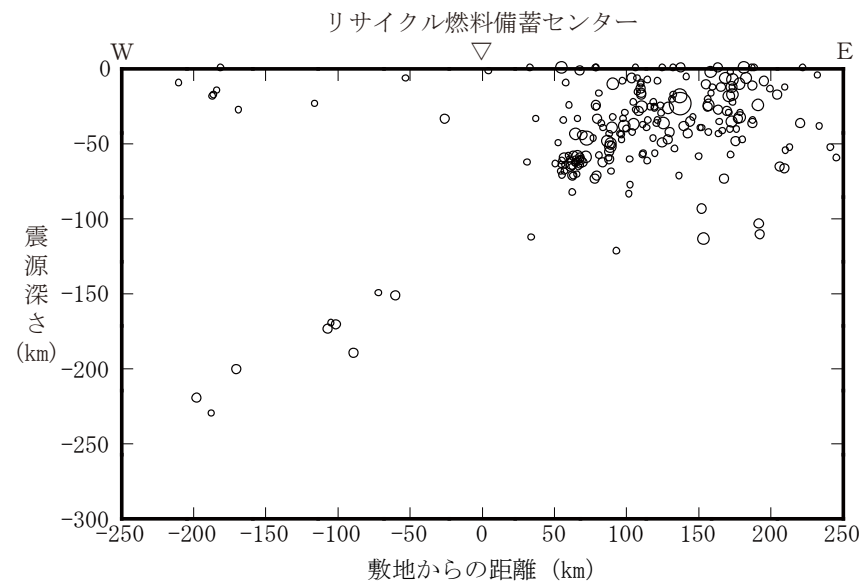
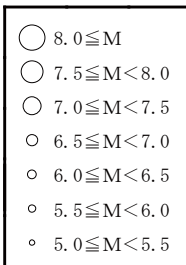
敷地周辺におけるM5以下の小・微小地震の震源鉛直分布
(2011年1月～2015年12月)
(地震諸元は、気象庁カタログによる。)

2. 敷地周辺の地震発生状況 M5以上の地震の震央分布及び震源深さ分布

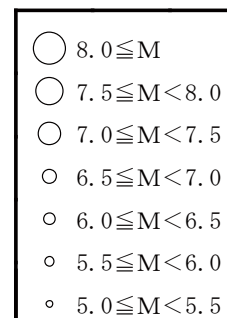
- ・敷地周辺におけるM5以上の地震の震央分布を示す。
- ・太平洋側海域で地震の発生頻度が高く、その分布は概ね海洋プレートの沈み込みに対応している。



敷地周辺におけるM5以上の地震の震央分布
(1923年1月～2015年12月)
(地震諸元は、気象庁カタログによる。)



敷地周辺におけるM5以上の地震の震源鉛直分布
(1923年1月～2015年12月)
(地震諸元は、気象庁カタログによる。)



1. 基準地震動の策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
- 3. 地下構造モデルの策定**
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
5. 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

3. 地下構造モデルの策定

地下構造の評価方針

敷地地盤の振動特性（敷地地盤が水平成層構造であることを、地質調査結果、地震観測記録の分析の観点から確認）

3.1 地質調査結果に基づく地下構造

地質調査、ボーリング調査、物理探査等から地質構造や地震波速度構造等の地下構造を評価

3.2 地震観測記録の分析

敷地の地震観測記録から、地震発生様式や到来方向による地盤の振動特性を分析



敷地地盤は、概ね水平成層構造であり、地震観測記録に不整形地盤の影響が無いことを確認



地下構造モデルの設定（地震動評価に用いる1次元地盤モデルを設定）

3.3 地下構造モデルの設定概要

3.4 はぎとり地盤モデル

解放基盤表面以浅の地盤について、PS検層結果、地震観測記録等に基づきモデル化

3.5 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル

解放基盤表面～地震基盤面の地盤について、地震観測記録等に基づきモデル化
各種調査結果及び地震観測記録を用いた評価により、妥当性を検証



地震観測記録を用いた検証を実施



1次元地盤モデルと地震観測記録などの振動特性は整合しており、地震動評価に用いる敷地地盤の地下構造については、1次元地盤モデルによって評価可能なことを確認

3. 地下構造モデルの策定

3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

リサイクル燃料備蓄センターでは、事業許可申請時に敷地及び敷地周辺で、地質調査、ボーリング調査及び物理探査等を実施し、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造を評価するとともに、地震基盤の位置及び形状、地震波速度構造等の地下構造を評価している。

- ①敷地の位置、敷地概況図
- ②弾性波探査
- ③微動アレイ探査
- ④各種調査から求めた地盤の速度構造の比較
- ⑤敷地の地質図・地質層序
- ⑥解放基盤表面の設定

3. 地下構造モデルの策定／3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

①敷地の位置、敷地概況図

【敷地周辺陸域の地形図】

敷地は、下北半島の津軽海峡側のほぼ中央部に位置し、青森県むつ市の北側にある。

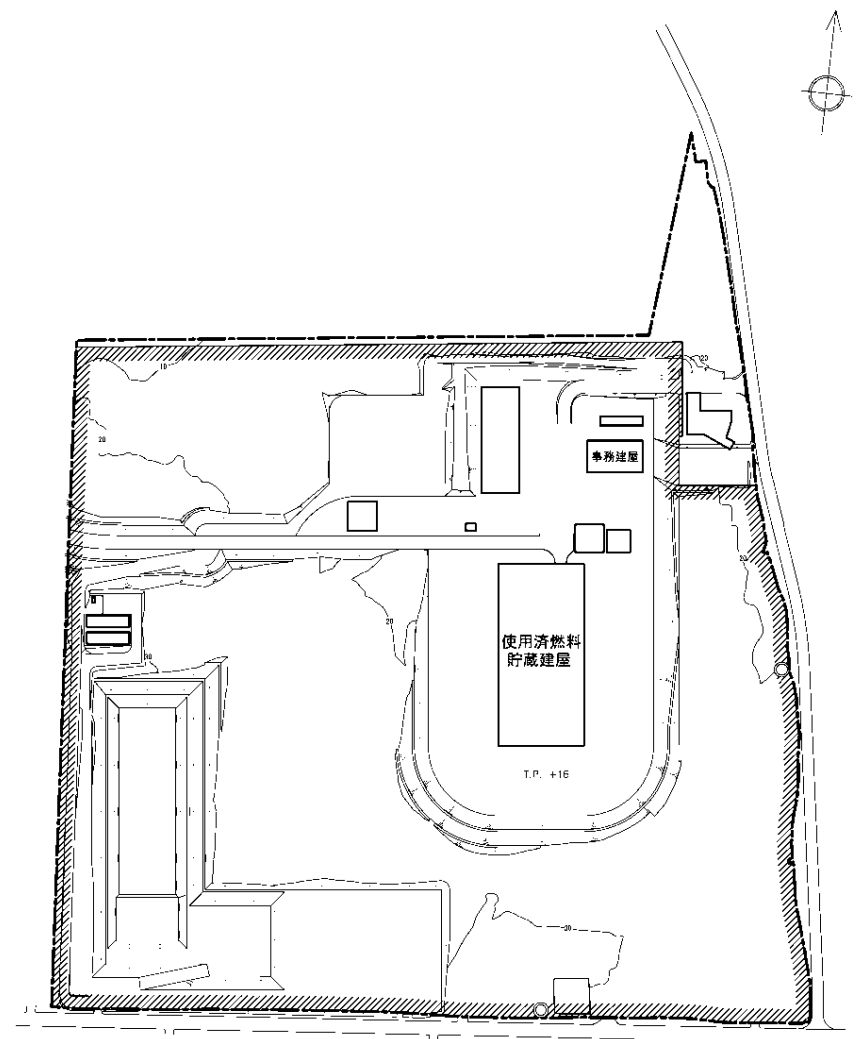


3. 地下構造モデルの策定 / 3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

① 敷地の位置、敷地概況図

【敷地概況図】

- 敷地の形状は、東西約500m、南北約500mのほぼ正方形であり、敷地全体の広さは約26万m²である。



凡例
○ モニタリングポスト
// 周辺監視区域境界
- - - 敷地境界

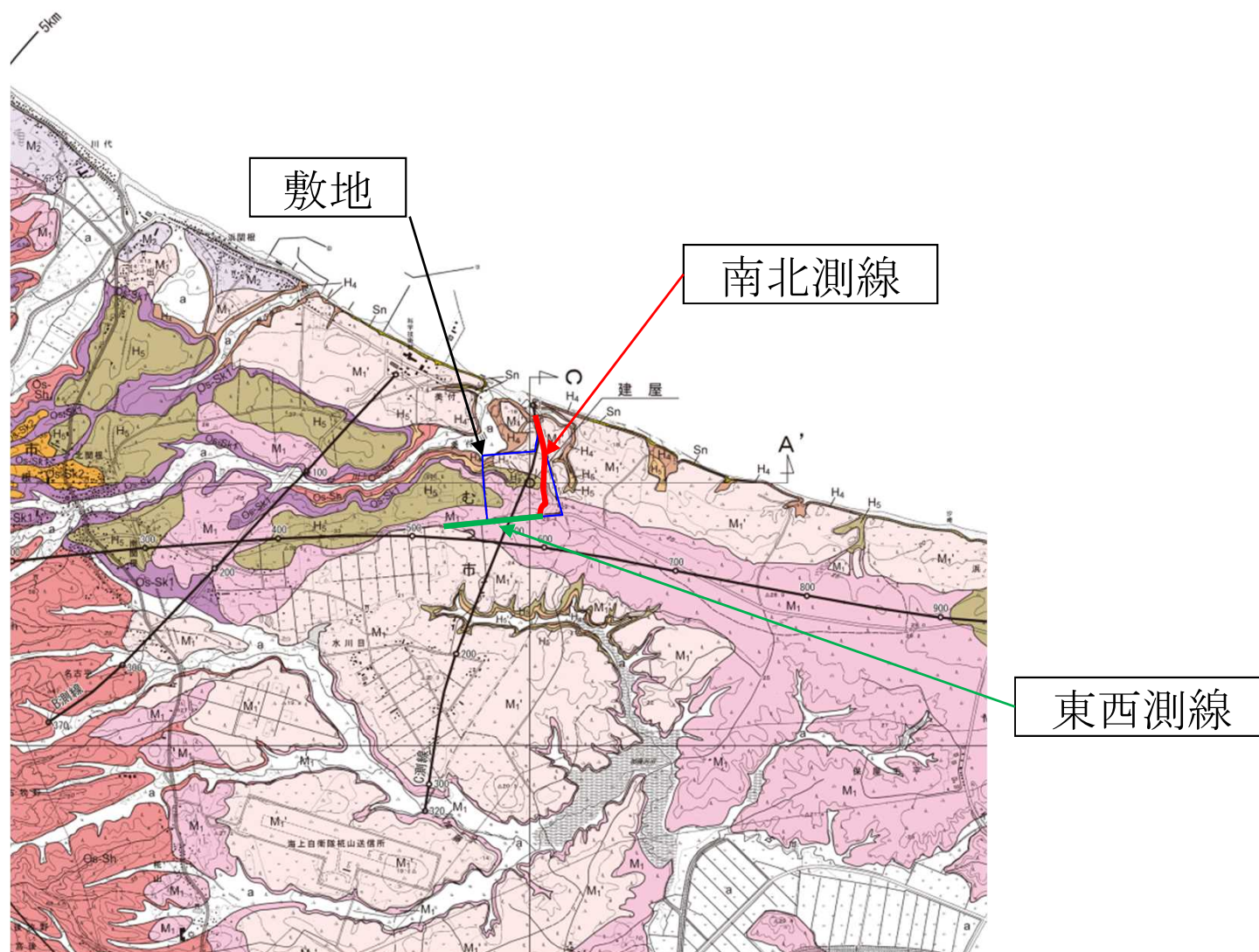
3. 地下構造モデルの策定 / 3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

②弾性波探査(S波反射法地震探査)

【S波反射法地震探査】

S波反射法地震探査を敷地
廻りの東西測線、南北測線
において実施し、S波速度構
造を確認している。

S波反射法地震探査の仕様
振源:ミニバイブ 1台
発振点間隔:10m
受信点間隔:20m
収録時間:12sec
サンプリング間隔:4msec



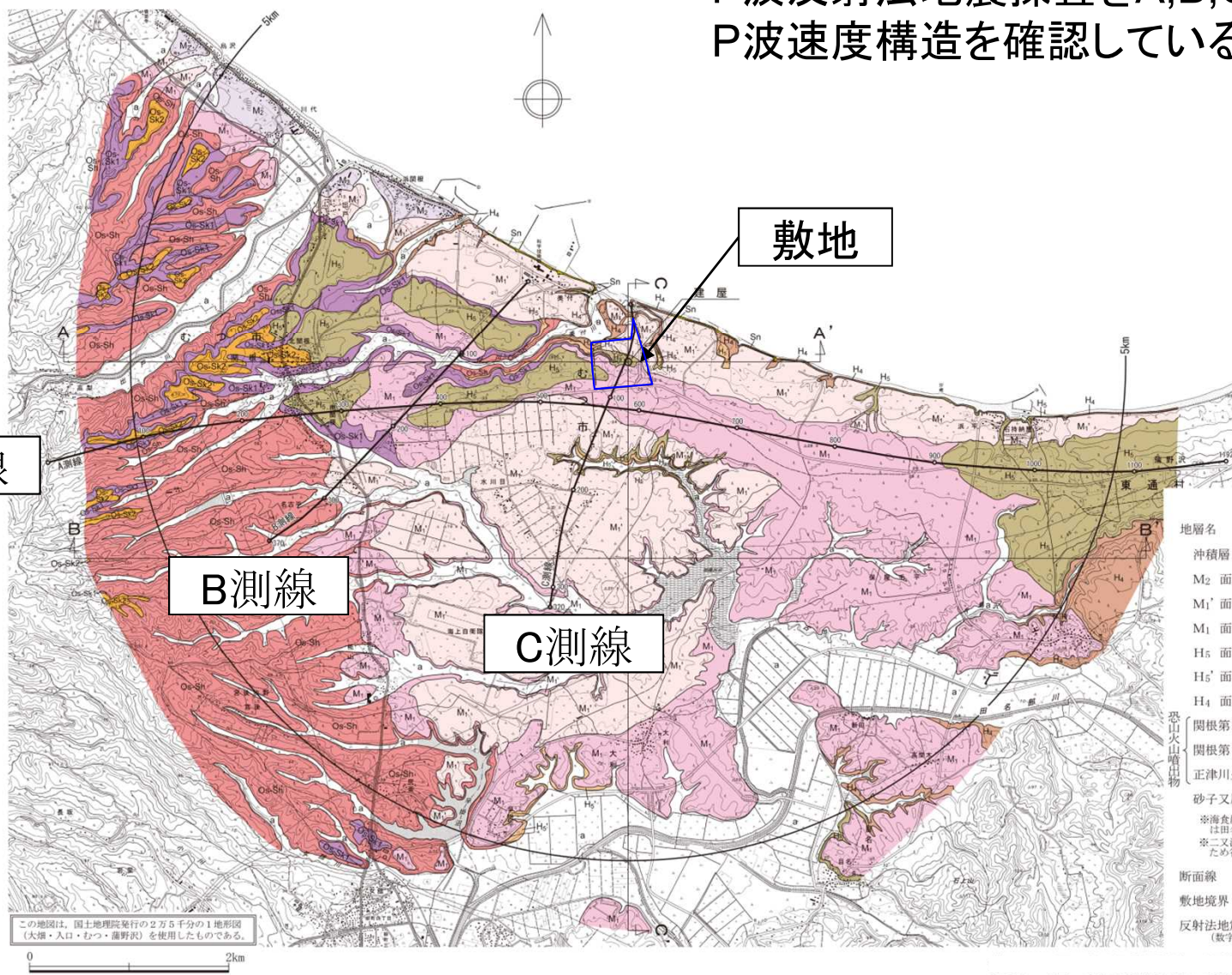
3. 地下構造モデルの策定 / 3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

②弾性波探査(P波反射法地震探査)

【P波反射法地震探査】

P波反射法地震探査をA,B,C測線において実施し、
P波速度構造を確認している。

P波反射法地震探査の仕様
振源: バイブロサイズ 1~3台
発振点間隔: 標準40m
受信点間隔: 20m
収録時間: 8sec
サンプリング間隔: 4msec



3. 地下構造モデルの策定 / 3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

②弾性波探査(屈折法地震探査)

【屈折法地震探査】

屈折法地震探査をA測線において実施し、P波速度構造を確認している。
発振点は、測線の端部と測線の延長線上の合計5箇所に配置している。
解析手法は、レイトレーシング法を用いている。



屈折法地震探査の仕様

振源: バイブロサイズ 3台
発振点間隔: 約5km
受信点間隔: 20m
収録時間: 20sec
サンプリング間隔: 4msec

● : 発振点 — : 測線

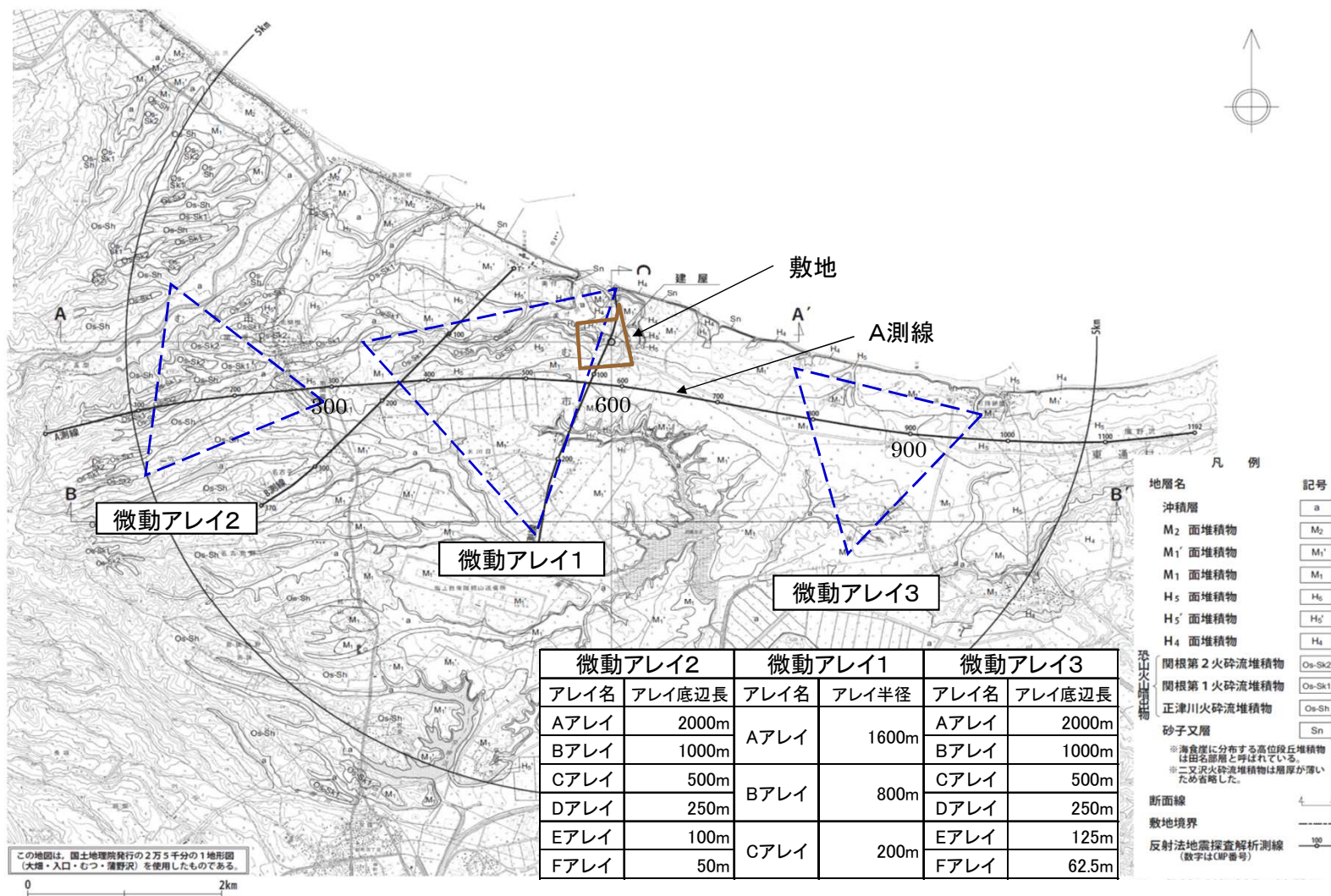
屈折法地震探査測点位置図

3. 地下構造モデルの策定 / 3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

③ 微動アレイ探査

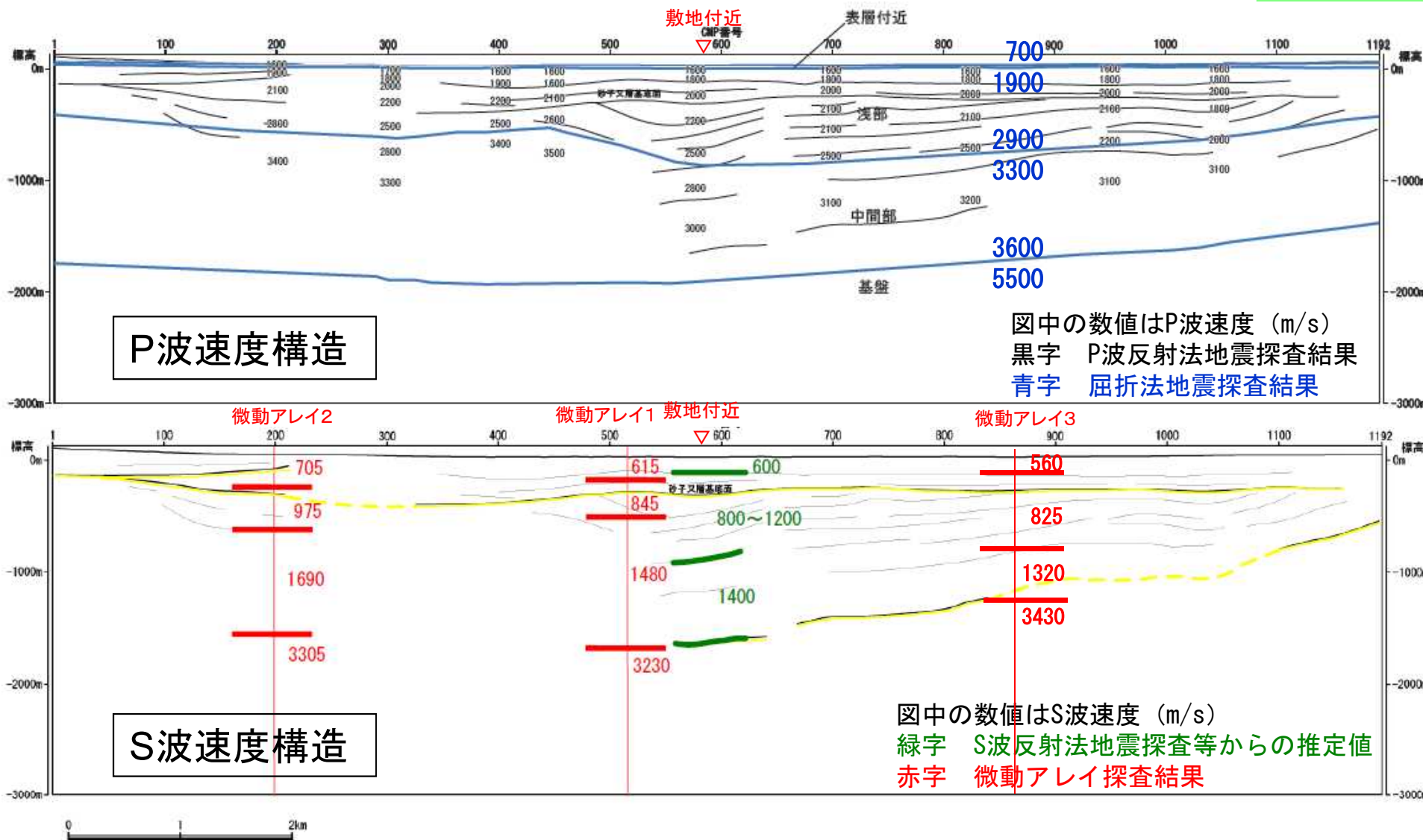
【微動アレイ探査実施位置】

弾性波探査を実施したA測線に沿って、敷地西側、敷地付近、敷地東側の3箇所にて微動アレイ探査により地盤のS波速度構造を求めている。



3. 地下構造モデルの策定 / 3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

④ 各種調査から求めた地盤の速度構造の比較



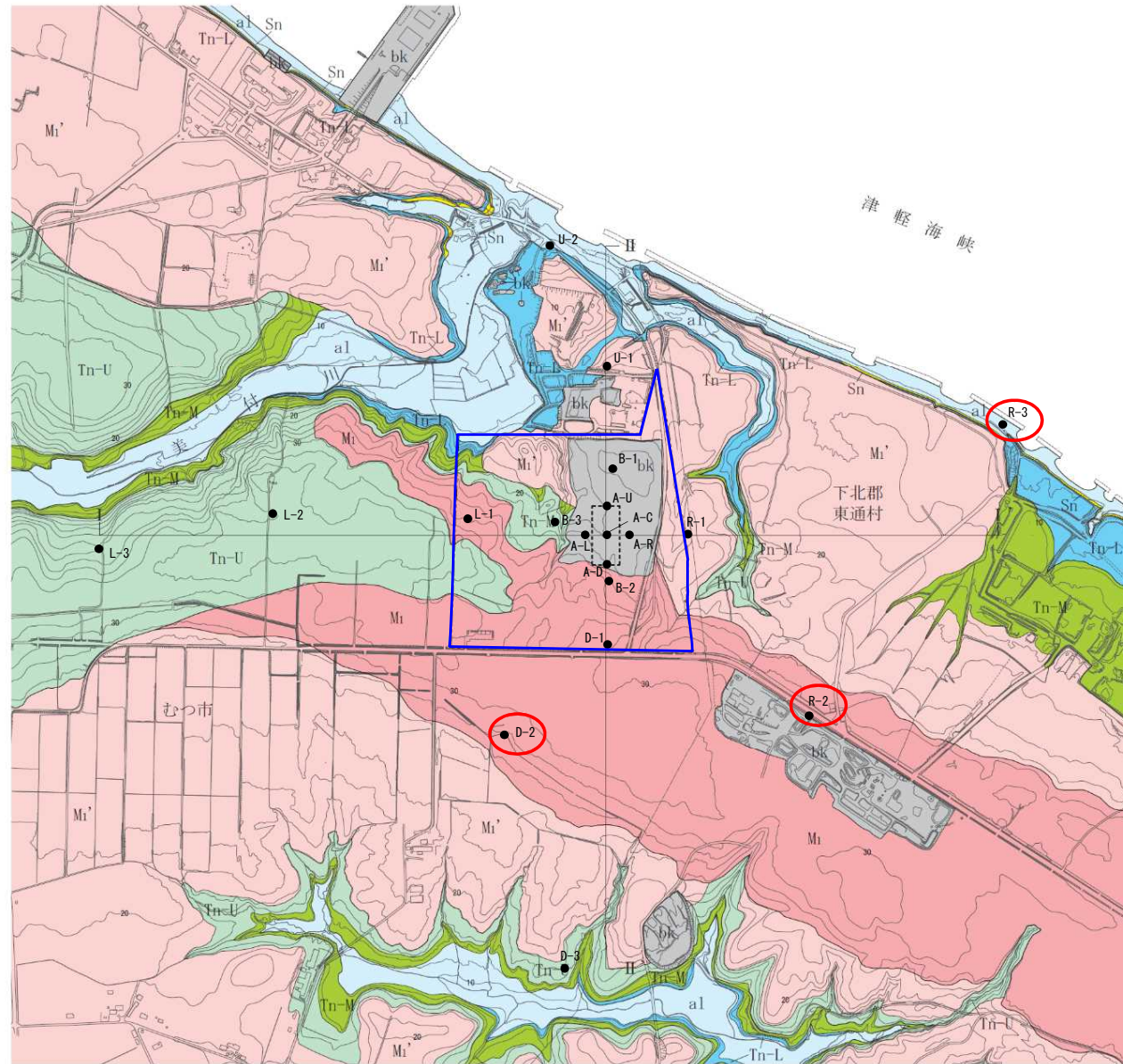
- P波・S波反射法及び屈折法地震探査、微動アレイ探査の結果は、P波・S波速度構造ともに概ね整合している。
- これらの調査結果より、敷地の深部速度構造は、概ね平行成層な地盤であることが確認できる。

3. 地下構造モデルの策定 / 3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

⑤ 敷地の地質図・地質層序

【敷地の地質平面図】

敷地の地質は、砂子又層、田名部層(高位段丘堆積物相当)及び中位段丘堆積物並びにこれらの上位に載るローム層、沖積層等からなる。

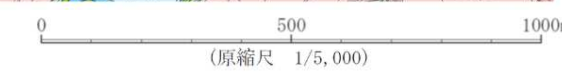


凡例

完新世	盛土・埋土	bk	
	沖積層	al	
	第四紀 更新世	中位段丘堆積物 Mi'面堆積物	Mi'
		Mi面堆積物	Mi
田名部層	上部層 (H5面堆積物に相当)	Tn-U	
	中部層 (H6面堆積物に相当)	Tn-M	
	下部層 (H4面堆積物に相当)	Tn-L	
第四紀 更新世・鮮新世	砂子又層	Sn	

※本地質図は、地表付近のローム層等を除いて表現した。

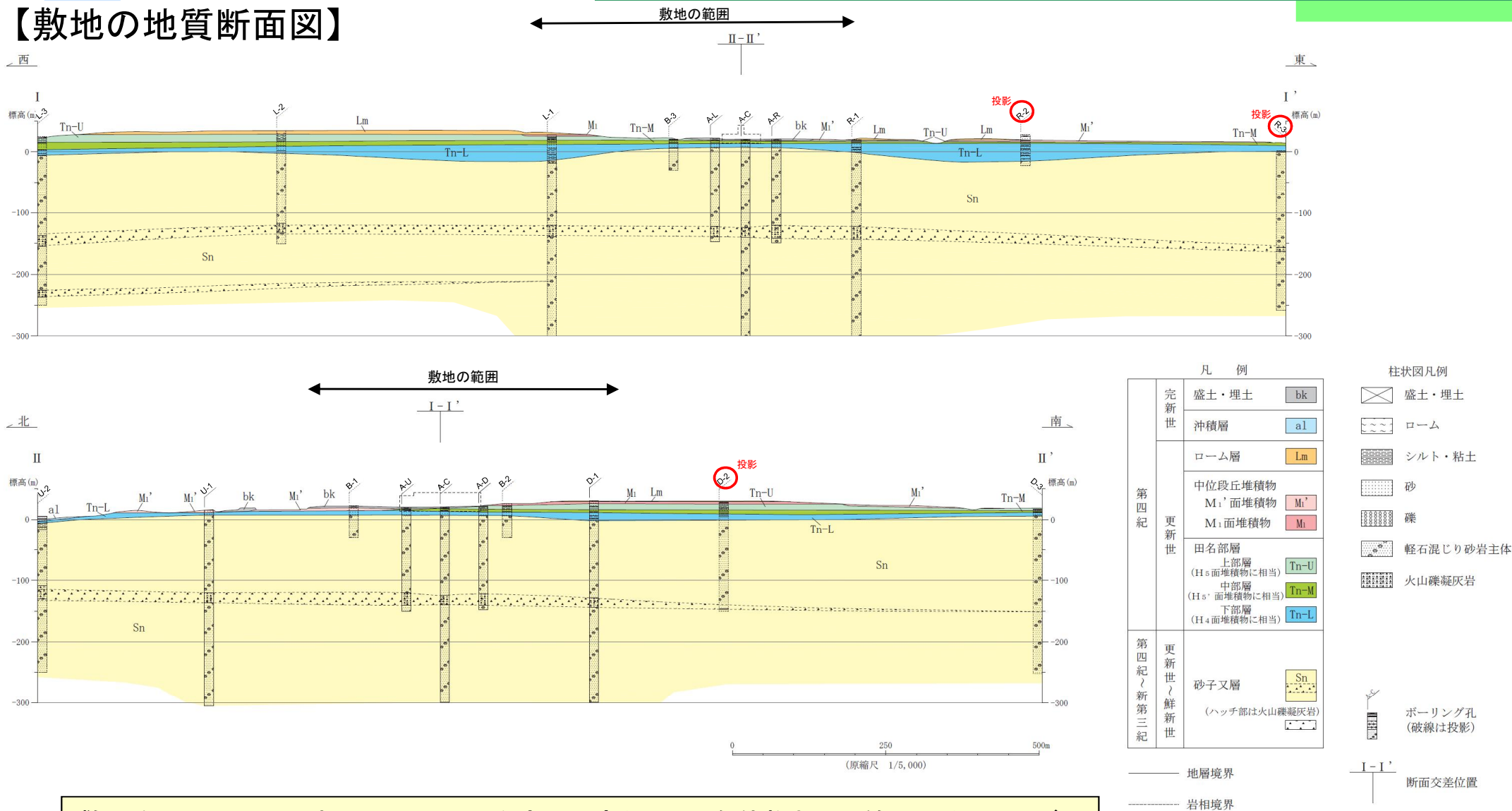
- 地層境界
- 敷地境界
- 使用済燃料貯蔵建屋設置位置
- 断面位置
- ボーリング孔



3. 地下構造モデルの策定 / 3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

⑤ 敷地の地質図・地質層序

【敷地の地質断面図】

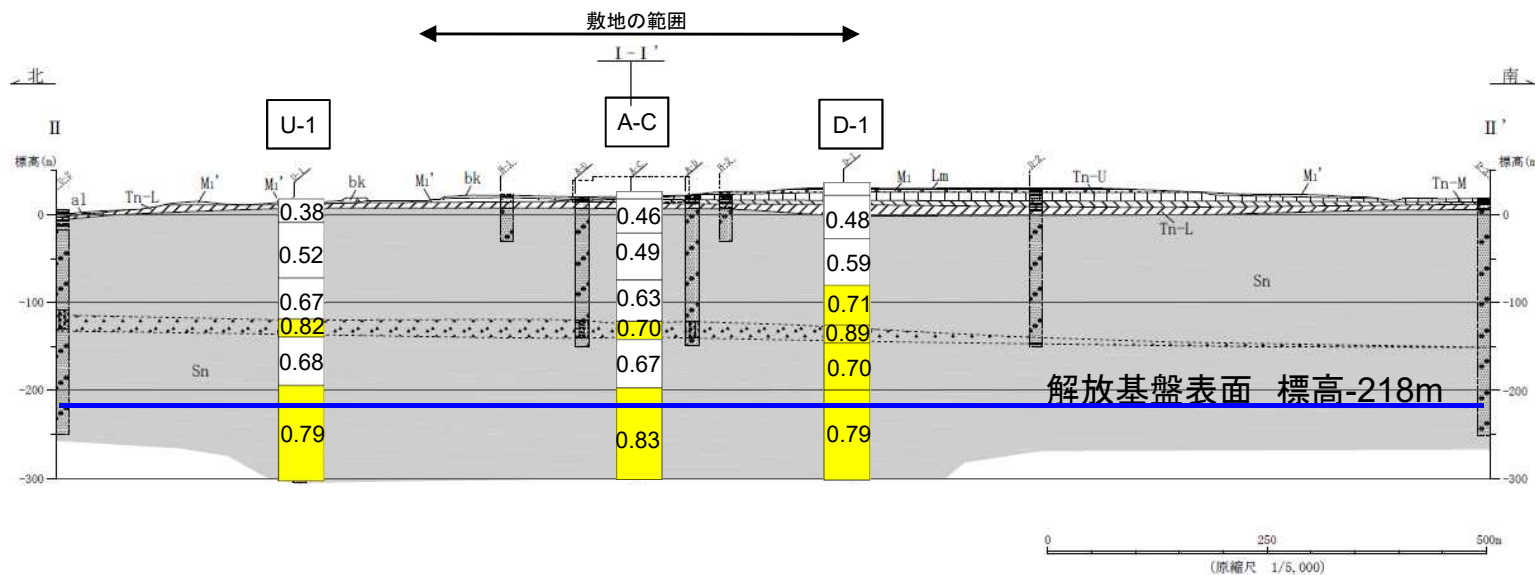
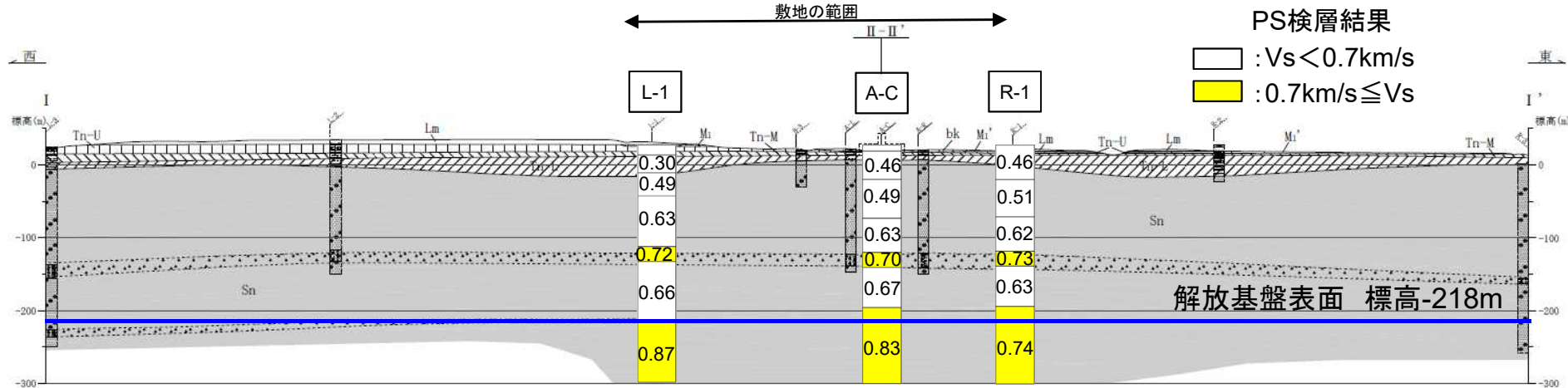


敷地を中心として、砂子又層は、田名部層(高位段丘堆積物相当)等の下位にほぼ水平に広く分布しており、ボーリング下端の標高約-300mまで連続している。

3. 地下構造モデルの策定 / 3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

⑥解放基盤表面の設定

【地質断面図、PS検層結果と解放基盤表面の関係】



凡例		柱状図凡例	
完新世	盛土・埋土	bk	盛土・埋土
	沖積層	al	ローム
第四紀	ローム層	Lm	シルト・粘土
	中位段丘堆積物	Mi'	砂
	M1'面堆積物	M1'	礫
	M2'面堆積物	M2'	軽石混じり砂岩主体
更新世	田名部層	Tn-U	火山礫凝灰岩
	上部層 (H5面堆積物に相当)	Tn-U	
	中部層 (H6'面堆積物に相当)	Tn-M	
	下部層 (H4面堆積物に相当)	Tn-M	
第四紀・新第三紀	更新世・鮮新世	Su	砂子又層 (ハッチ部は火山礫凝灰岩)

— 地層境界
 - - - 岩相境界
 I-I' 断面交差位置

■ 敷地に広く分布する砂子又層は、概ね同程度の深さに同程度の速度層が分布している。
 ■ 標高約-200m以深からS波速度700m/s以上となることが確認でき、最深部はL-1孔の標高-218mである。

3. 地下構造モデルの策定 / 3.1 地質調査結果等に基づく地下構造

⑥解放基盤表面の設定

「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」における「解放基盤表面」の定義

「解放基盤表面」とは、基準地震動を策定するために基盤面上の表層や構造物がないものとして仮想的に設定する自由表面であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な広がりを持って想定される基盤の表面^③をいう。

ここでいう「基盤」とは、概ねせん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ 以上^①の硬質地盤であって、著しい風化を受けていない^②ものをいう。」

①せん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ 以上

敷地に広く分布する砂子又層中の標高約-200m以深から、S波速度 700m/s 以上となることが確認できる。砂子又層は、概ね同程度の深さに同程度の速度層が分布している。

②著しい風化を受けていない

砂子又層の標高約200m以深は、ボーリングのコアなどから著しい風化を受けていないことを確認している。

③著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な広がりを持って想定される基盤の表面

解放基盤表面は、敷地周辺にほぼ水平に広く分布している砂子又層において、PS検層で示されるせん断波速度が $V_s=700\text{m/s}$ 以上となる「標高-218m」の位置に設定する。

3. 地下構造モデルの策定

3.2 地震観測記録の分析

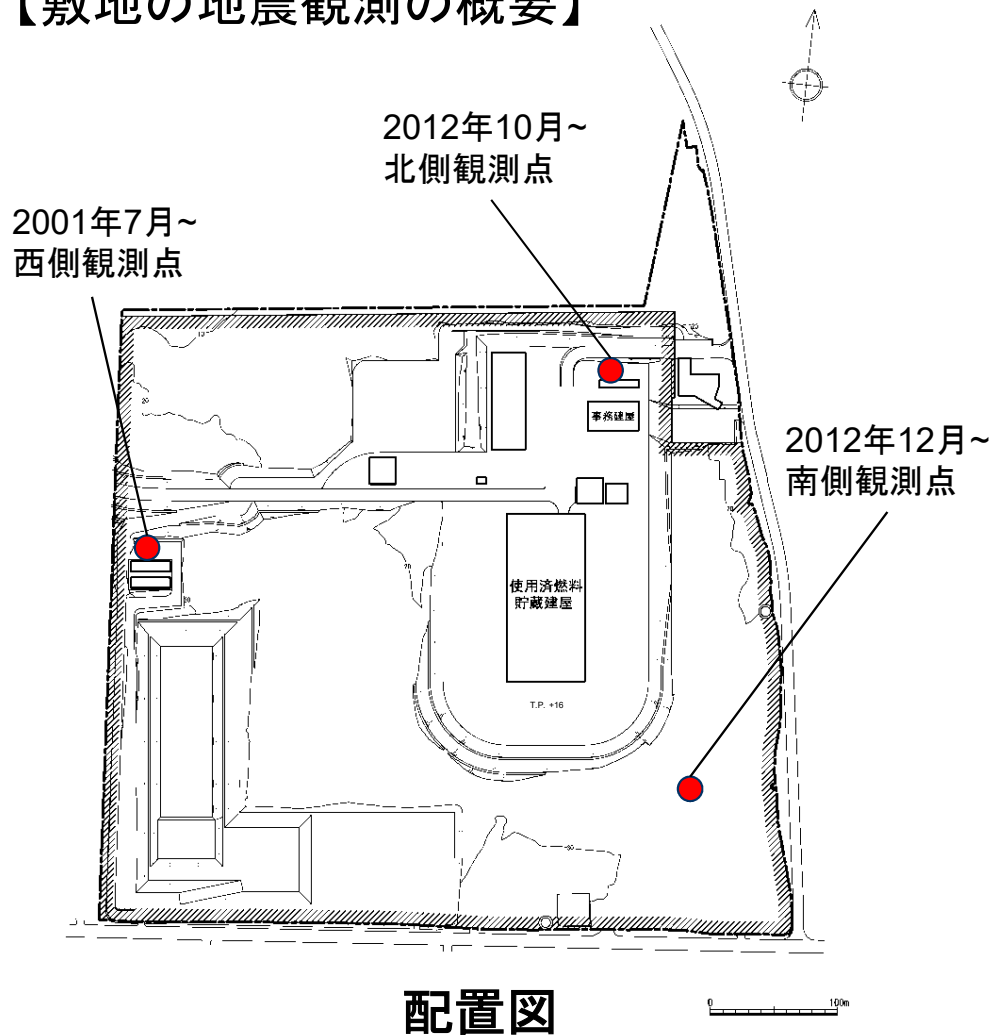
敷地及び敷地周辺の地下構造が、地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、敷地地盤で得られた地震観測記録の分析を行っている。

- ① 敷地の地震観測の概要
- ② 西側観測点で観測された主な地震による増幅特性の分析
- ③ 敷地内3観測点で観測された主な地震による増幅特性の分析
- ④ 敷地内3観測点の解放基盤表面の観測記録の比較
- ⑤ 敷地内3観測点の記録を用いた到来方向別の検討
- ⑥ 水平／上下スペクトル比の検討（臨時地表地震観測）

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

① 敷地の地震観測の概要

【敷地の地震観測の概要】



標高 T.P. (m)	西側観測点		北側観測点		南側観測点	
	地震計	地層	地震計	地層	地震計	地層
+28	▽G.L. ○※1	表土	▽G.L. ○※4	表土	▽G.L. ○※5	表土
-9	○※1	田名部層		田名部層		田名部層
-22			○※4		○※5	
-34	○※1					
-218	○※3	砂子又層	○※4	砂子又層	○※5	砂子又層
-300	○※2					

← 解放基盤表面位置
(標高-218m)

※1:2001年7月観測開始
 ※2:2001年10月観測開始
 ※3:2011年9月観測開始
 ※4:2012年10月観測開始
 ※5:2012年12月観測開始

深さ方向の地震計設置位置

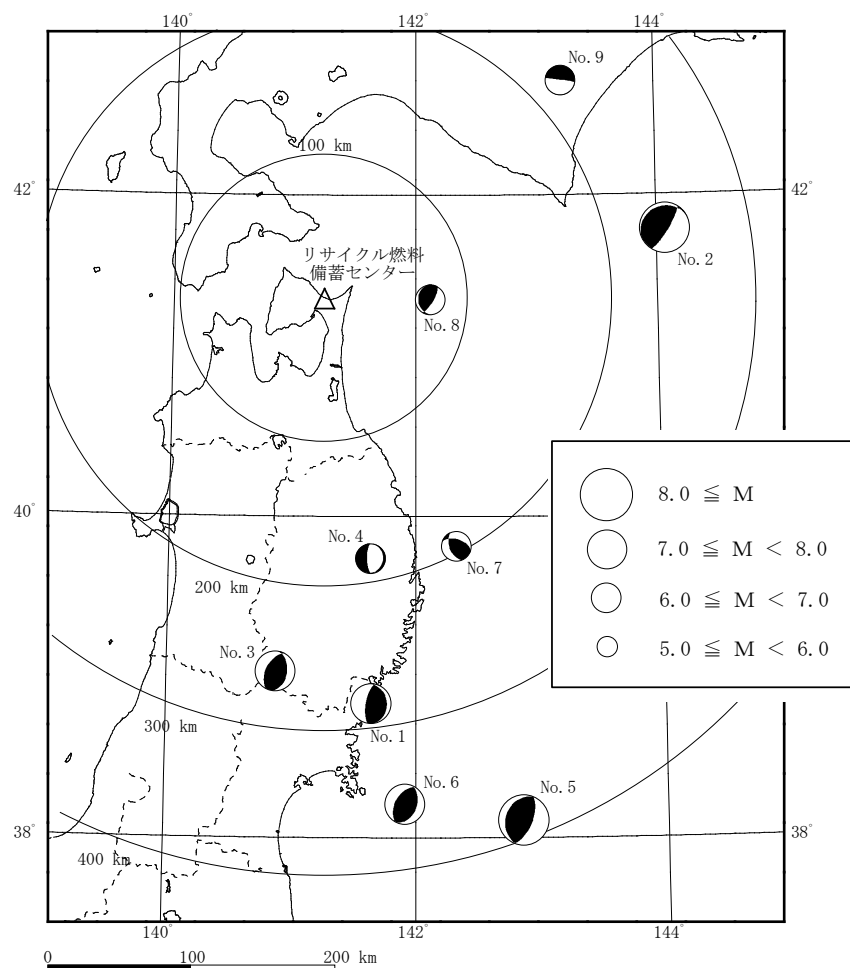
西側観測点は、2001年7月から地震観測を行っている。2012年10月に北側観測点、2012年12月に南側観測点の2地点を追加して観測を行っている。

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

②西側観測点で観測された主な地震による増幅特性の分析

【西側観測点で観測された主な地震記録】

西側観測点で観測された主な地震の諸元



西側観測点で観測された主な地震の震央分布と発震機構

No	地震名	発生日	M	深さ (km)	震央距離 (km)	地震発生様式
1	宮城県沖の地震	2003年5月26日	7.1	72	284	海洋プレート内地震DC型
2	2003年十勝沖地震	2003年9月26日	8	45	241	プレート間地震
3	2008年岩手・宮城内陸地震	2008年6月14日	7.2	8	260	内陸地殻内地震
4	岩手県沿岸北部の地震	2008年7月24日	6.8	108	183	海洋プレート内地震DE型
5	2011年東北地方太平洋沖地震	2011年3月11日	9.0 (Mw)	24	387	プレート間地震
6	宮城県沖の地震	2011年4月7日	7.2	66	355	海洋プレート内地震DC型
7	岩手県沖の地震	2012年3月27日	6.6	21	195	内陸地殻内地震
8	青森県東方沖の地震	2012年5月24日	6.1	60	73	プレート間地震
9	十勝地方南部の地震	2013年2月2日	6.5	102	222	海洋プレート内地震DE型

主な地震記録の選定方法

- 西側観測点において得られたM5.5以上の地震記録のうち、各地震発生様式ごとに標高-300m地震計の加速度最大値上位2地震の観測記録を記載。
- 2011年東北地方太平洋沖地震は、東北地方における最大級の地震規模のため記載。

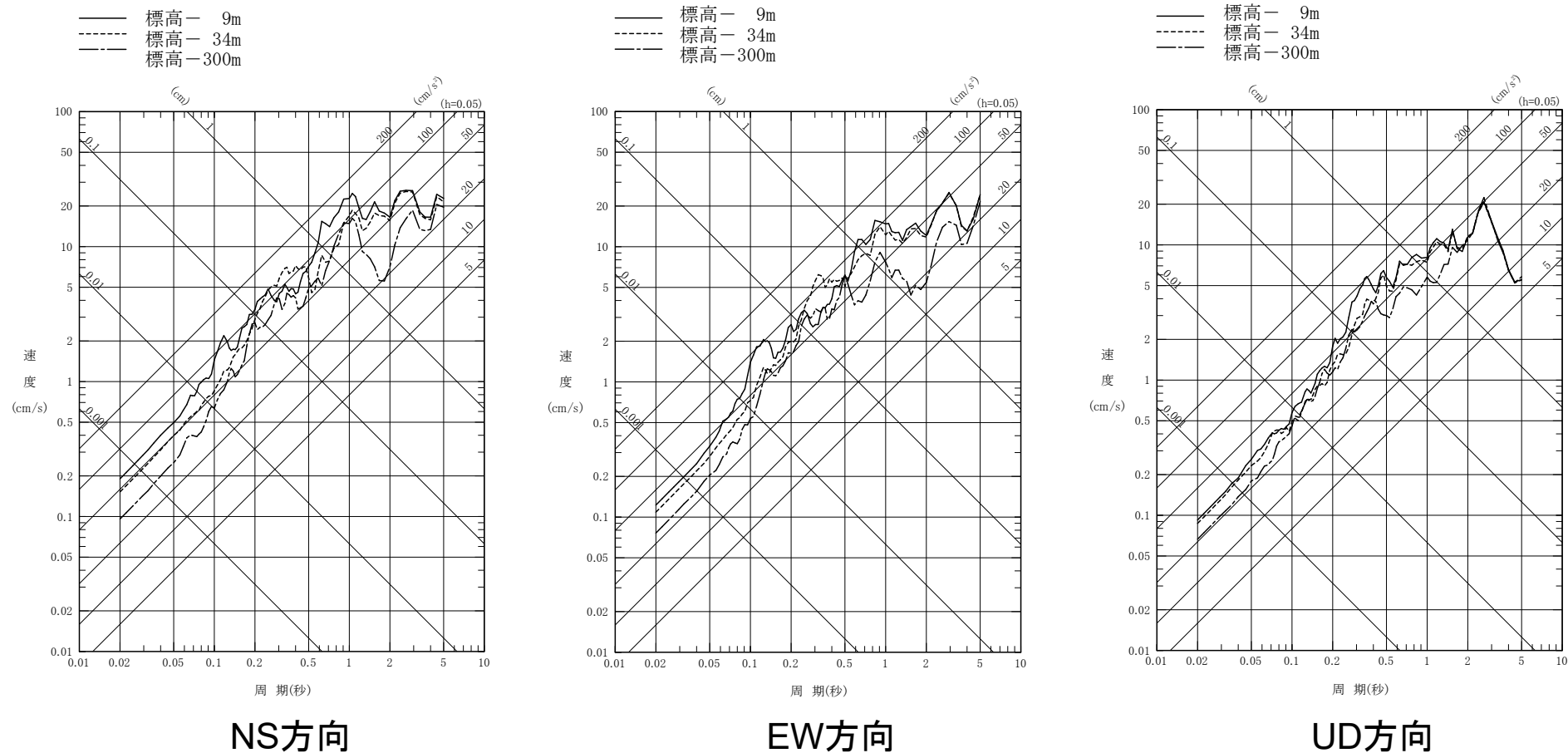
- 地震発生様式ごとに標高-300mにおける加速度最大値が一番大きい地震について、鉛直アレイ観測における深度別応答スペクトルの比較を行い、増幅特性を確認する。
- 代表例として、「No.2 2003年十勝沖地震」を記載。

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

②西側観測点で観測された主な地震による増幅特性の分析

【プレート間地震の深度別応答スペクトル(鉛直アレー記録)】

○No. 2 2003年9月26日 2003年十勝沖地震 M8.0 深さ 45km 震央距離 241km



- 敷地の西側観測点の地盤中において、著しい増幅やピーク周期の遷移、特定周期での特異な増幅は見られない。

3. 地下構造モデルの策定／3.2 地震観測記録の分析

③敷地内3観測点で観測された主な地震による増幅特性の分析

【3観測点で観測された主な地震記録】

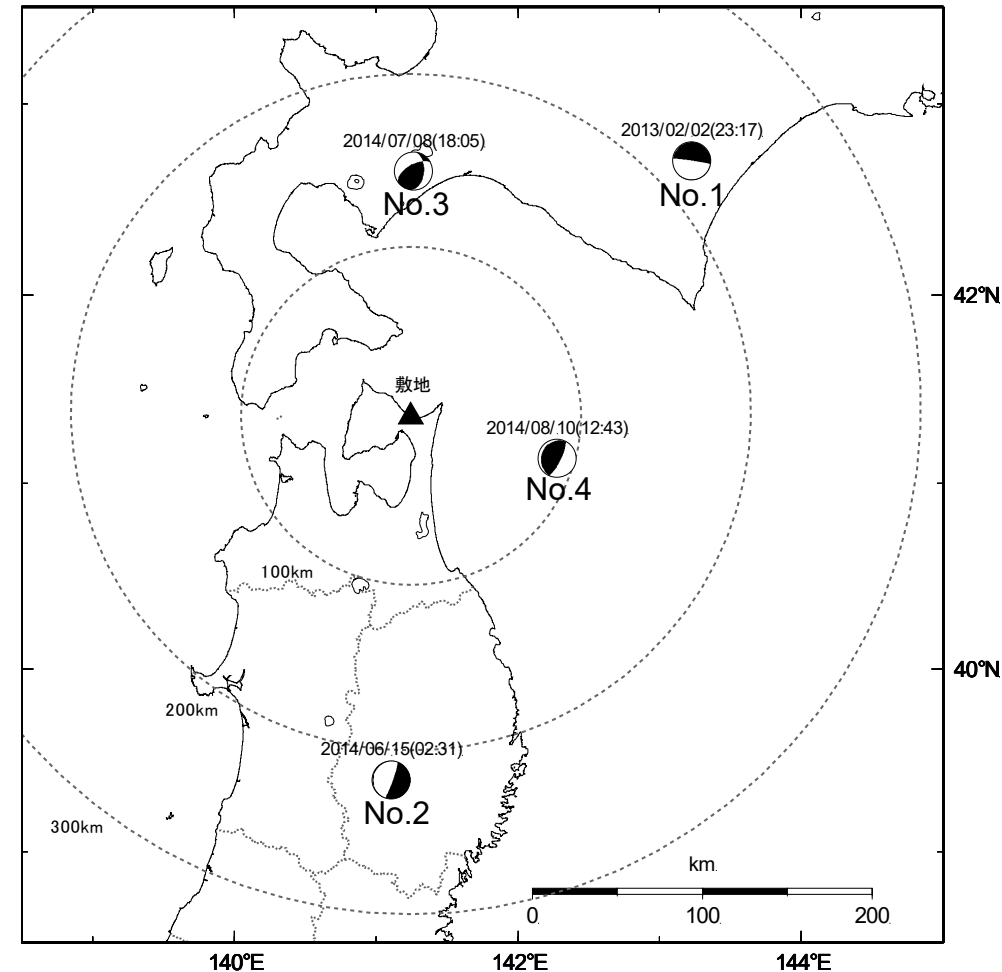
主な地震記録の選定方法

- 3観測点が運用を開始した2012年12月～2014年10月までの地震のうち、地震発生様式ごとに加速度最大値上位1地震の観測記録を抽出。

3観測点で観測された主な地震の諸元

No	地震名	発生日	M	深さ(km)	震央距離(km)	地震発生様式
1	十勝地方南部の地震	2013年2月2日	6.5	102	222	海洋プレート内地震DE型
2	岩手県内陸南部の地震	2014年6月15日	5.5	94	218	海洋プレート内地震DC型
3	胆振地方中東部の地震	2014年7月8日	5.6	3	144	内陸地殻内地震
4	青森県東方沖の地震	2014年8月10日	6.1	51	90	プレート間地震

- 鉛直アレー観測における深度別応答スペクトルの比較を行い、増幅特性を確認する。
- 代表例として、「No.1 十勝沖地方南部の地震」を記載。



注)メカニズム解はF-netを参照。

3観測点で観測された主な地震の震央分布と発震機構

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

③敷地内3観測点で観測された主な地震による増幅特性の分析

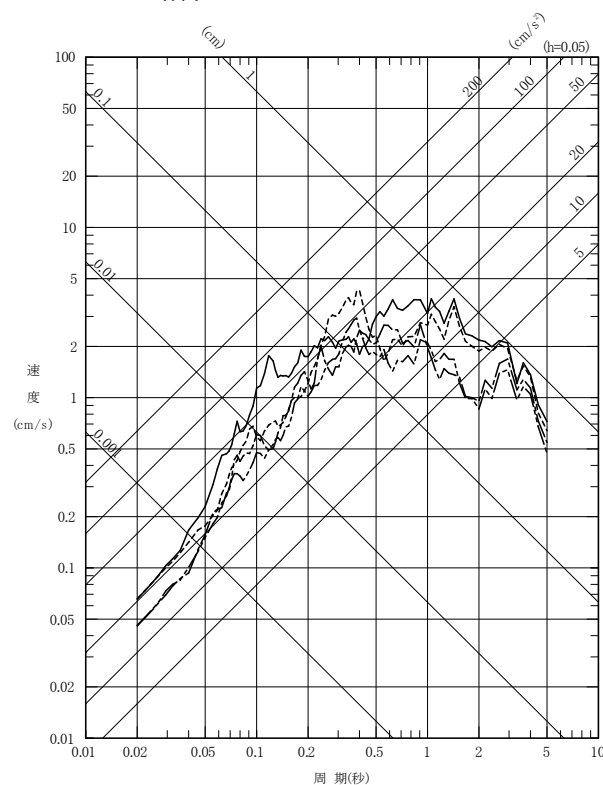
【No.1 海洋プレート内地震DE型の深度別応答スペクトル】

ONS方向(2013/2/2 十勝地方南部の地震, M 6.5, 深さ102 km, 震央距離222 km)

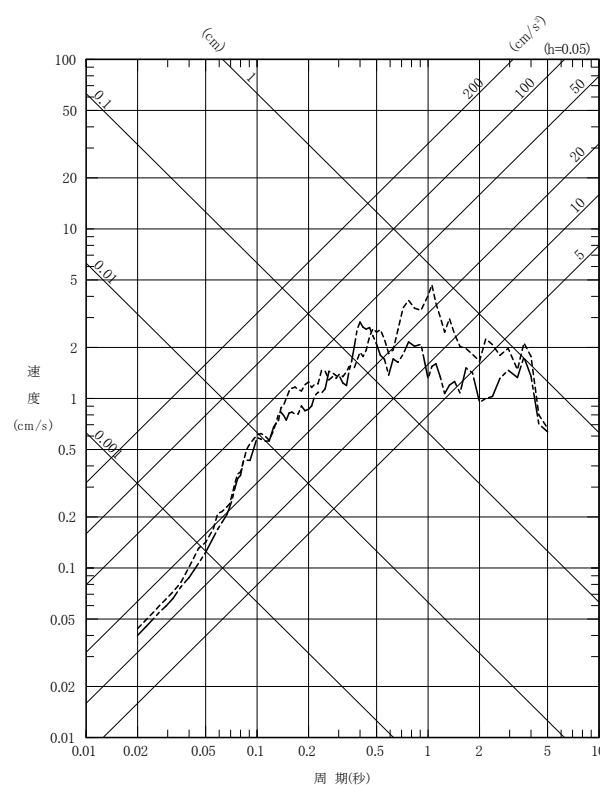
—— 標高-9m
 - - - 標高-34m
 - · - 標高-218m
 - · - 標高-300m

----- 標高-21m
 - - - 標高-218m

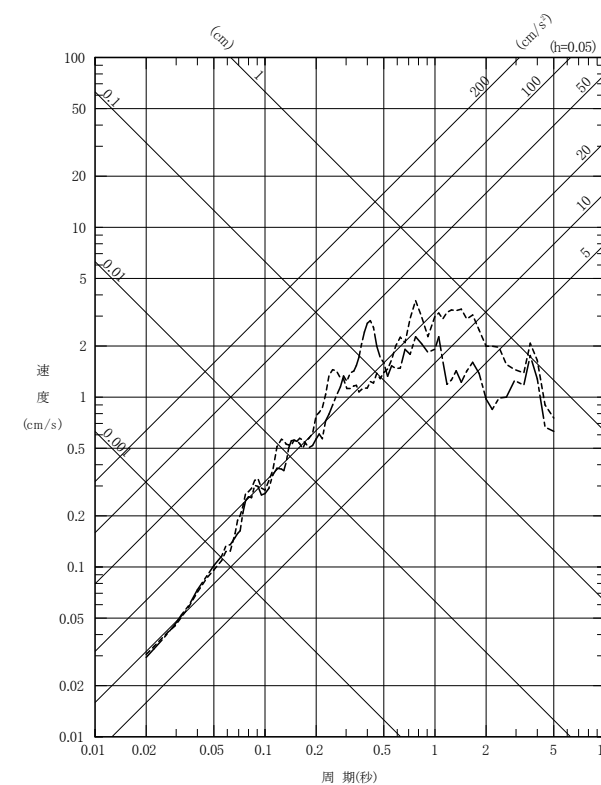
----- 標高-21m
 - - - 標高-218m



西側観測点



北側観測点



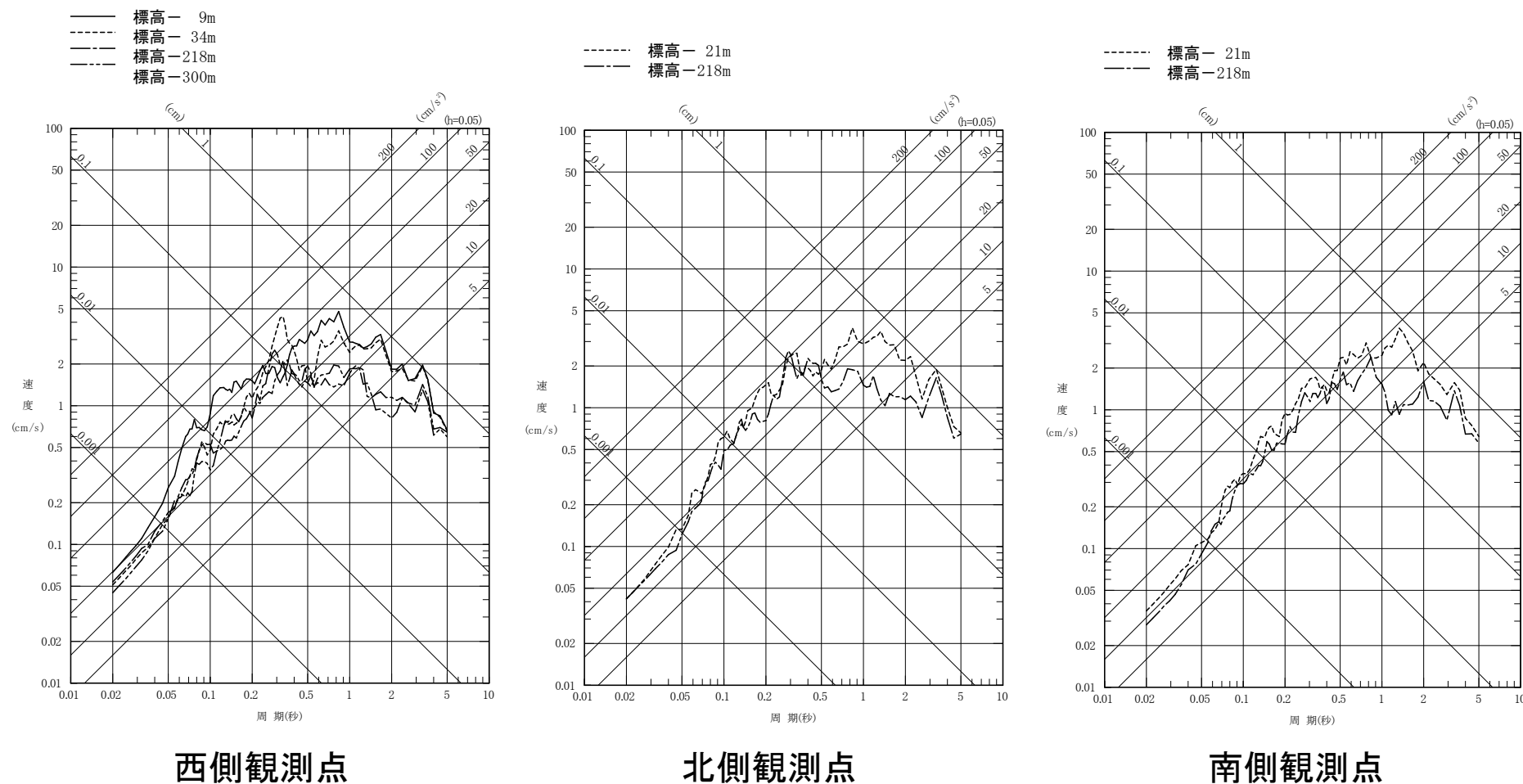
南側観測点

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

③敷地内3観測点で観測された主な地震による増幅特性の分析

【No. 1 海洋プレート内地震DE型の深度別応答スペクトル】

○EW方向(2013/2/2 十勝地方南部の地震, M 6.5, 深さ102 km, 震央距離222 km)



3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

③敷地内3観測点で観測された主な地震による増幅特性の分析

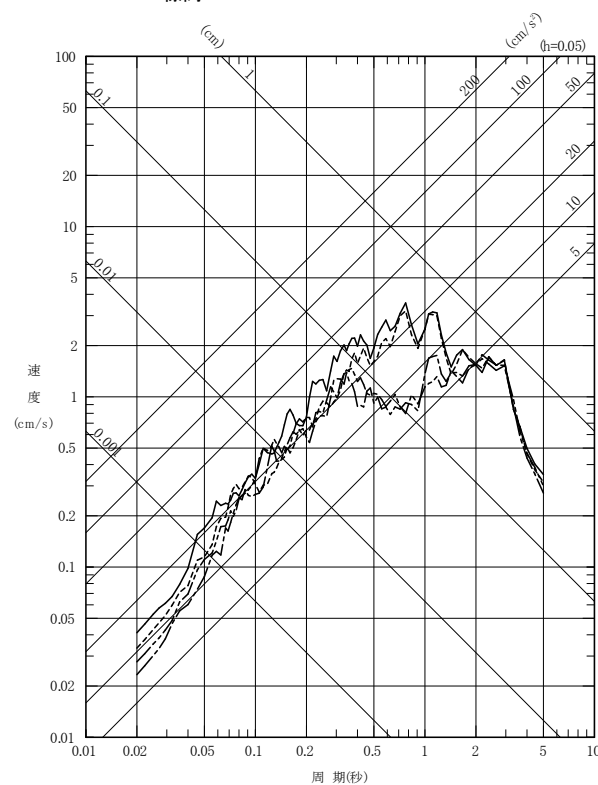
【No. 1 海洋プレート内地震DE型の深度別応答スペクトル】

〇UD方向(2013/2/2 十勝地方南部の地震, M 6.5, 深さ102 km, 震央距離222 km)

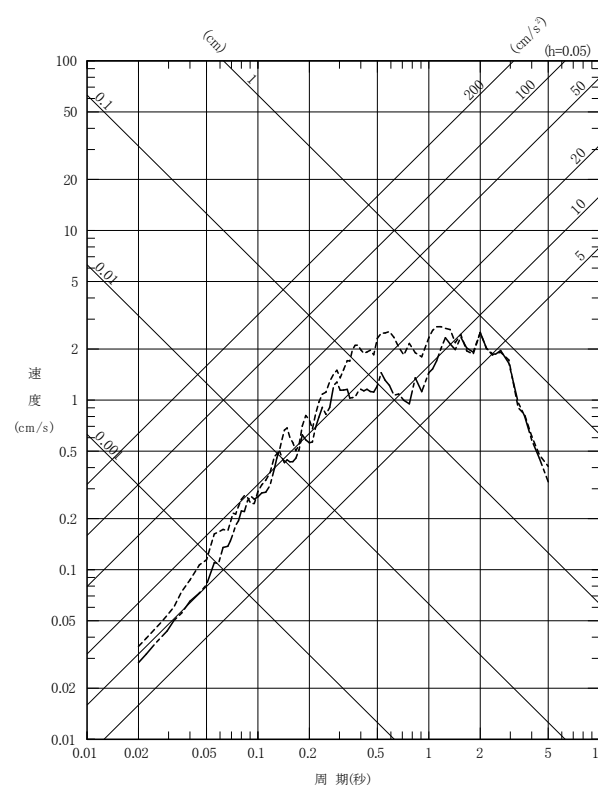
—— 標高- 9m
 標高- 34m
 - - - 標高-218m
 - - - 標高-300m

..... 標高- 21m
 - - - 標高-218m

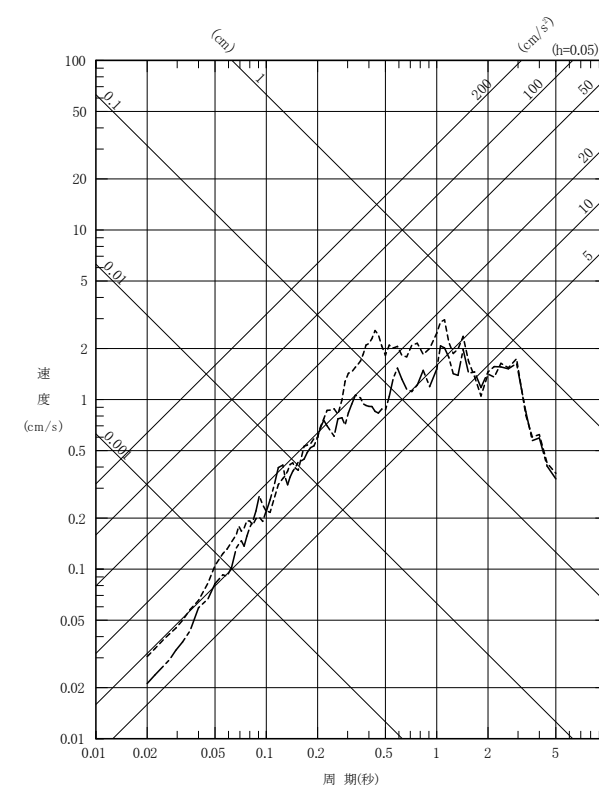
..... 標高- 21m
 - - - 標高-218m



西側観測点



北側観測点



南側観測点

- 敷地内3観測点(西側、北側、南側)で観測された主な地震について、地盤の増幅特性を確認したところ、著しい増幅やピーク周期の遷移、特定周期での特異な増幅特性は見られないことが確認できる。

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

④ 敷地内3観測点の解放基盤表面の観測記録の比較

【敷地内3観測点の解放基盤表面(標高-218m)の観測記録比較】

- 2012年10月より北側観測点、2012年12月より南側観測点において、地震観測を追加して開始している。
- 2012年12月～2014年10月に、上記2箇所と西側観測点の解放基盤表面位置(標高-218m)の地震計において、最大加速度1Gal以上の記録が観測された地震は右記22地震である。

敷地内3観測点(標高-218m位置)において1Gal以上の記録が観測された地震

No.	年	月	日	時	分	東経 (°)	北緯 (°)	M	深さ (km)	震央距離 (km)	震源距離 (km)	方位角 (°)	入射角 (°)
1	2012.	12.	07	17:	18	143.8670	38.0198	7.3	49	433	436	147.9	83.5
2	2013.	01.	08	16:	51	142.4392	40.1197	5.4	34.22	170	174	143.3	78.6
3	2013.	02.	02	23:	17	143.2275	42.7020	6.5	101.95	222	244	47.0	65.3
4	2013.	02.	26	19:	07	141.2263	41.4237	2.6	7.62	8	11	347.8	46.4
5	2013.	04.	19	12:	05	150.9572	45.3008	7.0	125	901	909	57.6	82.1
6	2013.	05.	16	08:	46	141.9253	40.3430	5.0	12.42	126	127	152.8	84.4
7	2013.	05.	24	14:	44	153.2210	54.8920	8.3	598	1744	1844	26.3	71.1
8	2013.	10.	26	02:	10	144.5687	37.1963	7.1	56	543	546	147.1	84.1
9	2013.	11.	15	11:	00	142.0585	41.4600	5.3	63.15	69	93	80.0	47.5
10	2013.	11.	28	02:	45	141.5265	42.0133	5.0	89.5	77	118	17.6	40.7
11	2013.	12.	27	19:	31	142.3267	40.2125	5.0	37.69	156	161	143.9	76.4
12	2014.	06.	09	07:	50	141.6100	40.9567	4.6	82	54	98	145.3	33.4
13	2014.	06.	15	02:	31	141.1067	39.3950	5.5	94	218	237	183.2	66.7
14	2014.	07.	05	07:	42	142.1350	39.6750	5.9	49	201	207	157.7	76.3
15	2014.	07.	08	18:	05	141.2667	42.6483	5.6	3	144	144	0.7	88.8
16	2014.	07.	25	13:	18	142.0867	41.5417	4.9	66	73	99	73.3	47.9
17	2014.	08.	10	12:	43	142.2783	41.1333	6.1	51	90	103	105.6	60.5
18	2014.	09.	10	10:	09	141.9250	40.1333	4.9	67	147	162	156.9	65.5
19	2014.	10.	03	09:	57	142.6267	40.1650	5.7	28	176	178	138.1	81.0
20	2014.	10.	11	11:	35	143.2433	40.9517	6.1	36	174	177	104.3	78.3
21	2014.	10.	11	14:	20	143.2900	40.9200	5.6	34	178	182	105.1	79.2
22	2014.	10.	14	06:	24	141.7417	40.9983	4.4	81	57	99	133.5	35.1



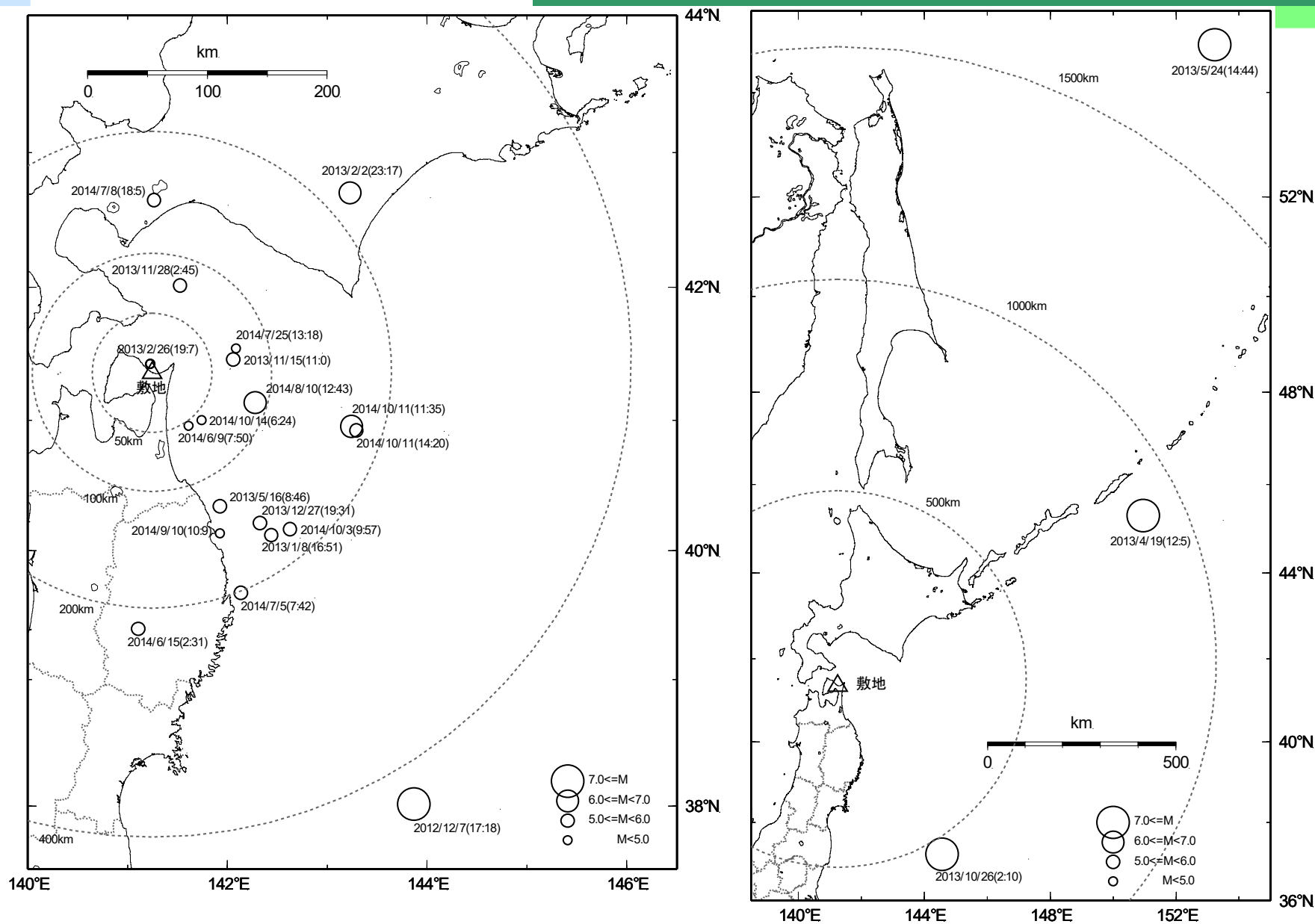
- 敷地内3観測点の解放基盤表面(標高-218m)での観測記録の比較を行い、敷地内地盤の振動特性の確認を行う。

「方位角」は敷地から震央を見た角度。

「入射角」は震源深さと震央距離による見掛けの角度。

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

④ 敷地内3観測点の解放基盤表面の観測記録の比較

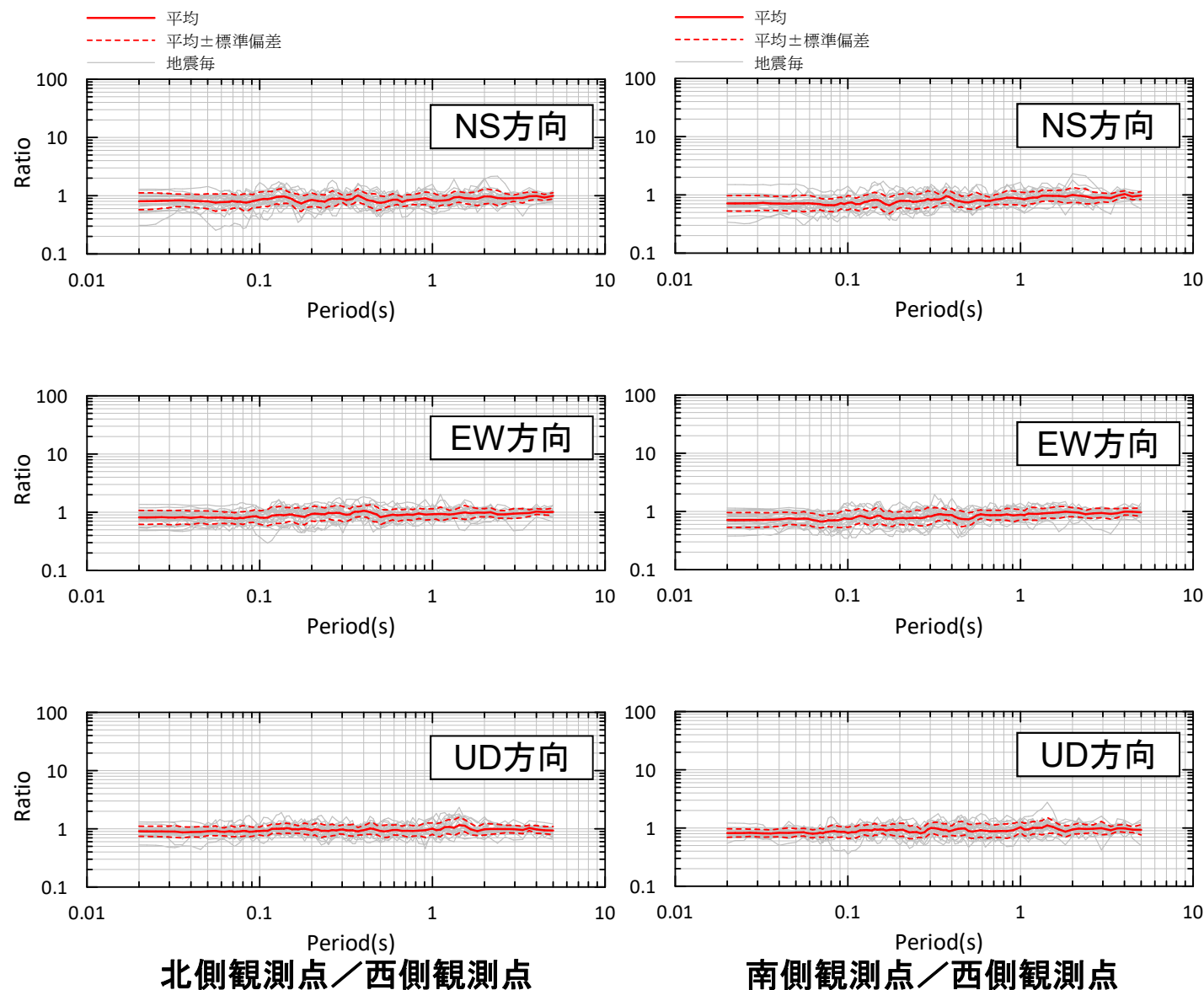


検討に用いた地震の震央位置

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

④ 敷地内3観測点の解放基盤表面の観測記録の比較

【22地震の平均値による応答スペクトルの比較】



■ 解放基盤表面位置の地震記録について、西側観測点を基準とした応答スペクトル比をみると、北側観測点、南側観測点ともに概ね1倍程度の比率となっている。

■ いずれの周期においても観測点による違いが見られず傾向がよく一致している。



■ 敷地内3箇所地震計の解放基盤表面位置における地震記録により、敷地内地盤の振動特性に差が無いことが確認できる。

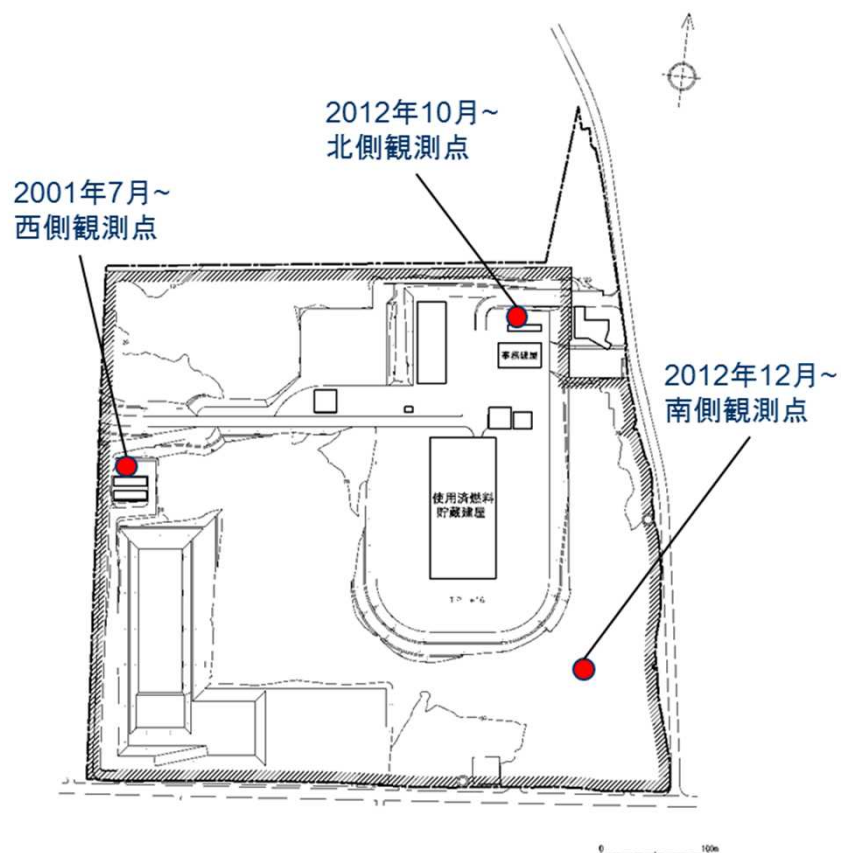
3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

⑤ 敷地内3観測点の記録を用いた到来方向別の検討

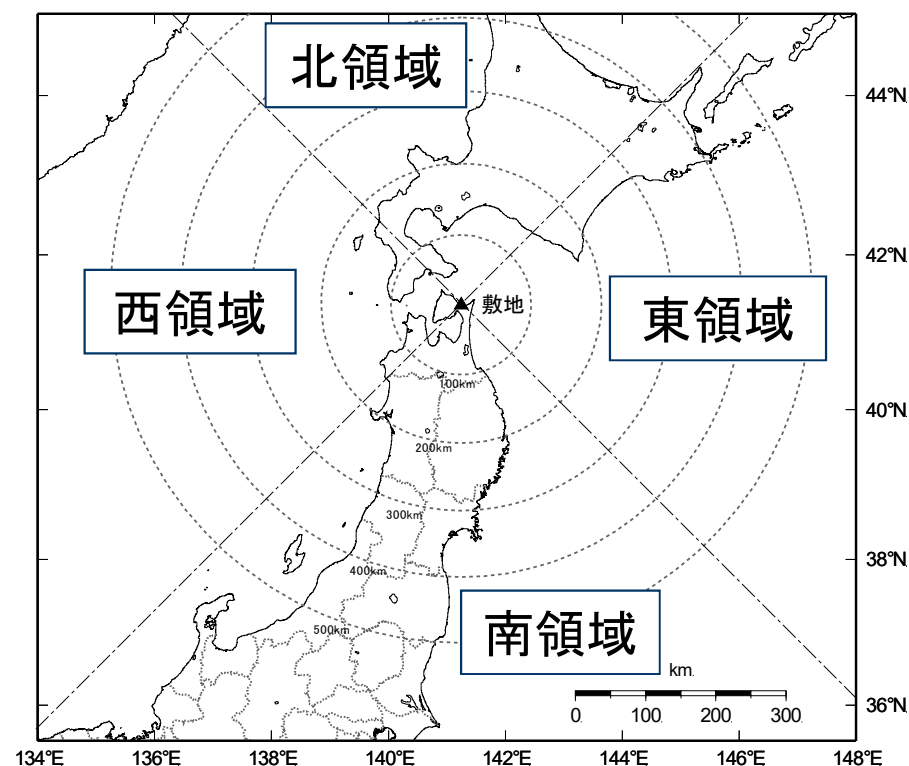
【敷地内3観測点の記録の比較】

- 敷地内地盤の振動特性を直接的に確認するために、2012年12月から2014年10月の期間に、敷地内3観測点の解放基盤表面位置(標高-218m)において共通に観測された地震のうち、遠距離及び規模の小さな地震を除くための下記条件を満たす地震について、到来方向別に応答スペクトル比を評価する。

- $M(\text{地震規模}) \geq 4.0$ かつ $\Delta(\text{震央距離}) \leq 200 \text{ km}$



敷地と周辺観測点の位置図

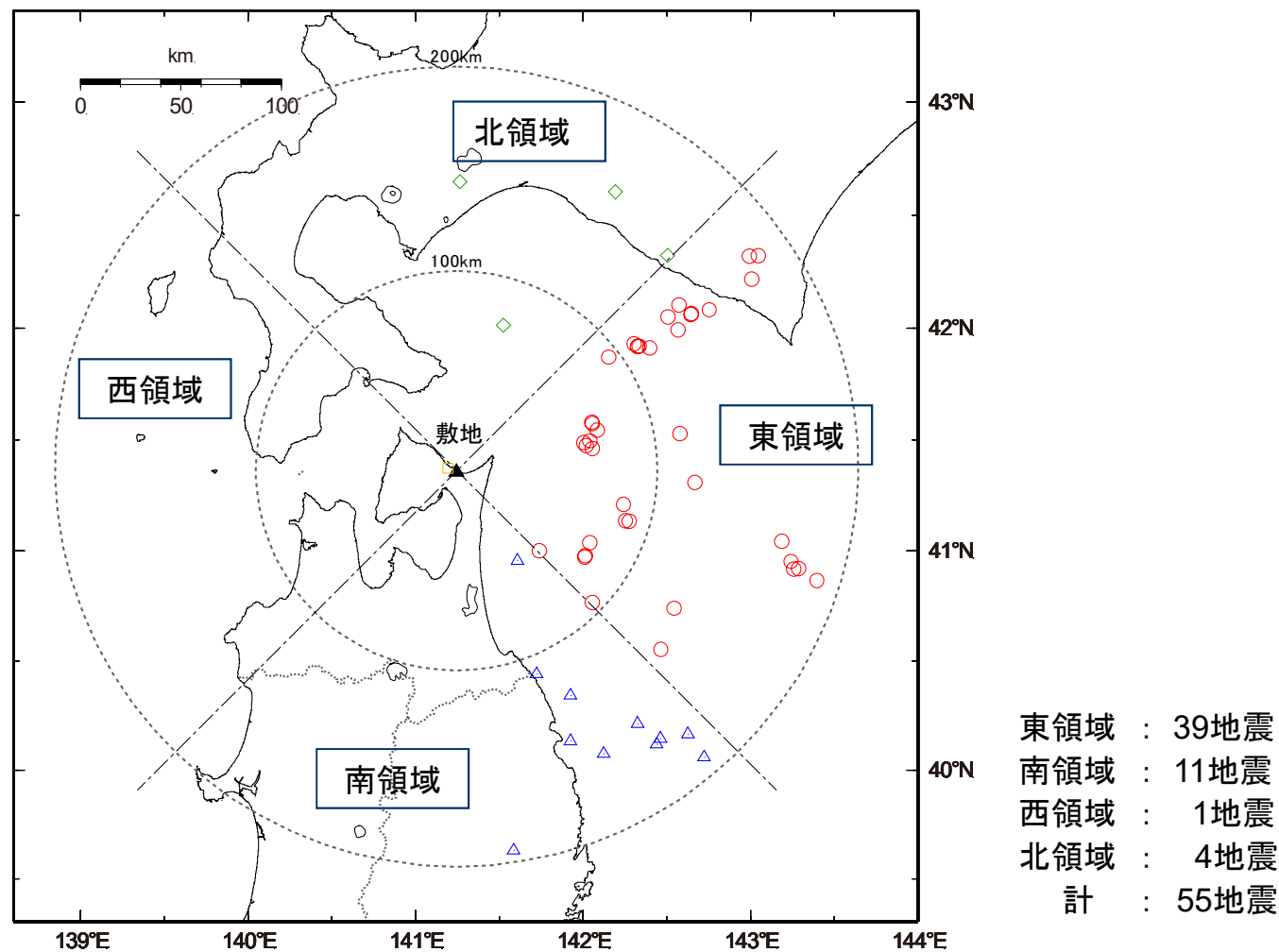


到来方向別のグルーピングの考え方

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

⑤ 敷地内3観測点の記録を用いた到来方向別の検討

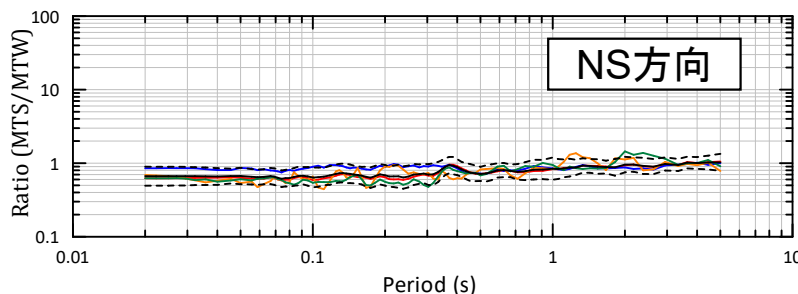
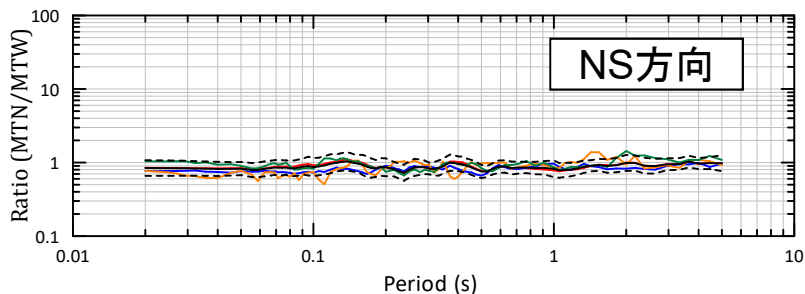
【検討に用いた地震の震央位置】

検討に用いた地震の震央位置 ($M \geq 4.0$, $\Delta \leq 200$ km)

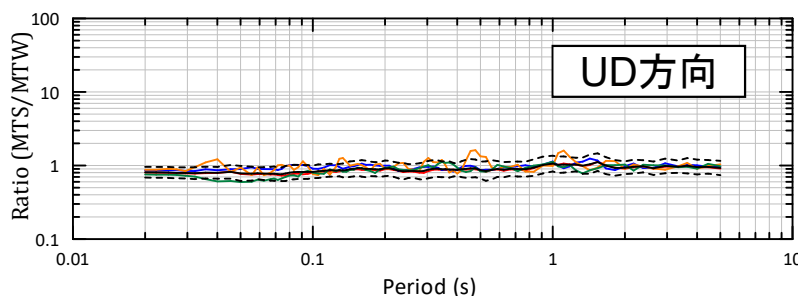
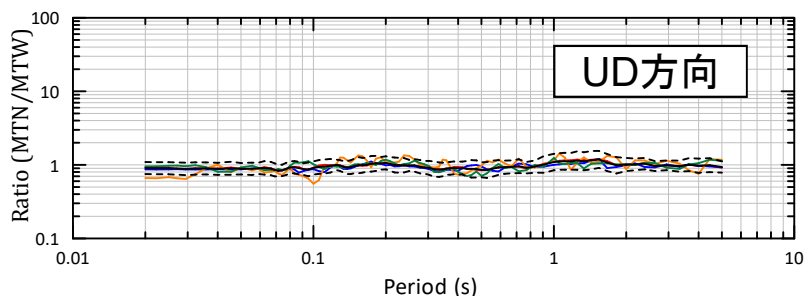
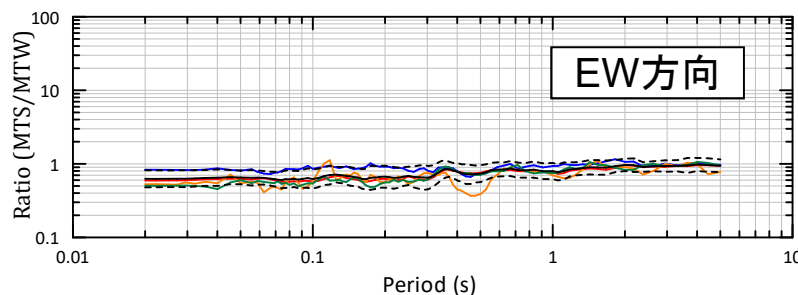
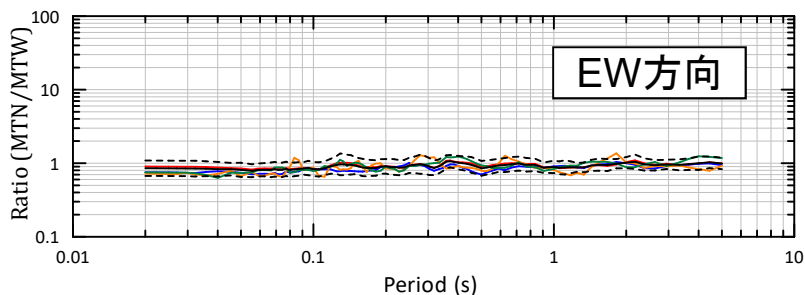
3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

⑤ 敷地内3観測点の記録を用いた到来方向別の検討

【敷地内3観測点の解放基盤表面位置の観測記録の応答スペクトルの比較】



- 全データの平均
- - - 全データの平均±σ
- 東領域の平均
- 南領域の平均
- 西領域の平均
- 北領域の平均



西側観測点を基準とした到来方向別の応答スペクトル比は、概ね整合しており、敷地において地震の到来方向により特異な増幅特性はみられない。

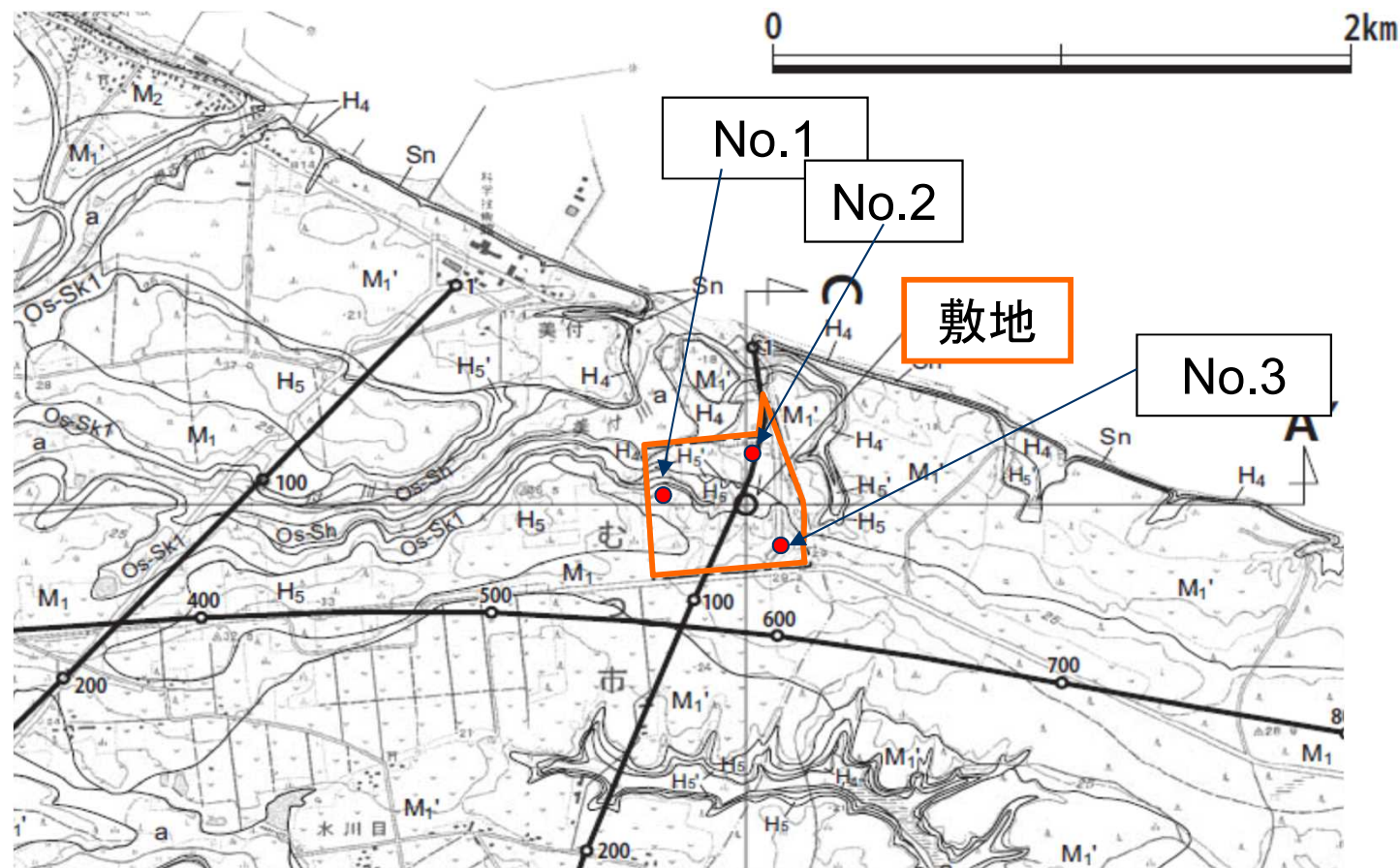
北側観測点 / 西側観測点

南側観測点 / 西側観測点

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

⑥ 水平 / 上下スペクトル比の検討 (臨時地表地震観測)

敷地内3カ所において、臨時地表地震観測を実施し、その観測記録から水平 / 上下スペクトル比を求め深部構造が地震動に及ぼす影響を確認する。



● : 観測点(地表)No.1~3

臨時地表地震観測の観測点位置図

3. 地下構造モデルの策定／3. 2 地震観測記録の分析

⑥水平／上下スペクトル比の検討（臨時地表地震観測）

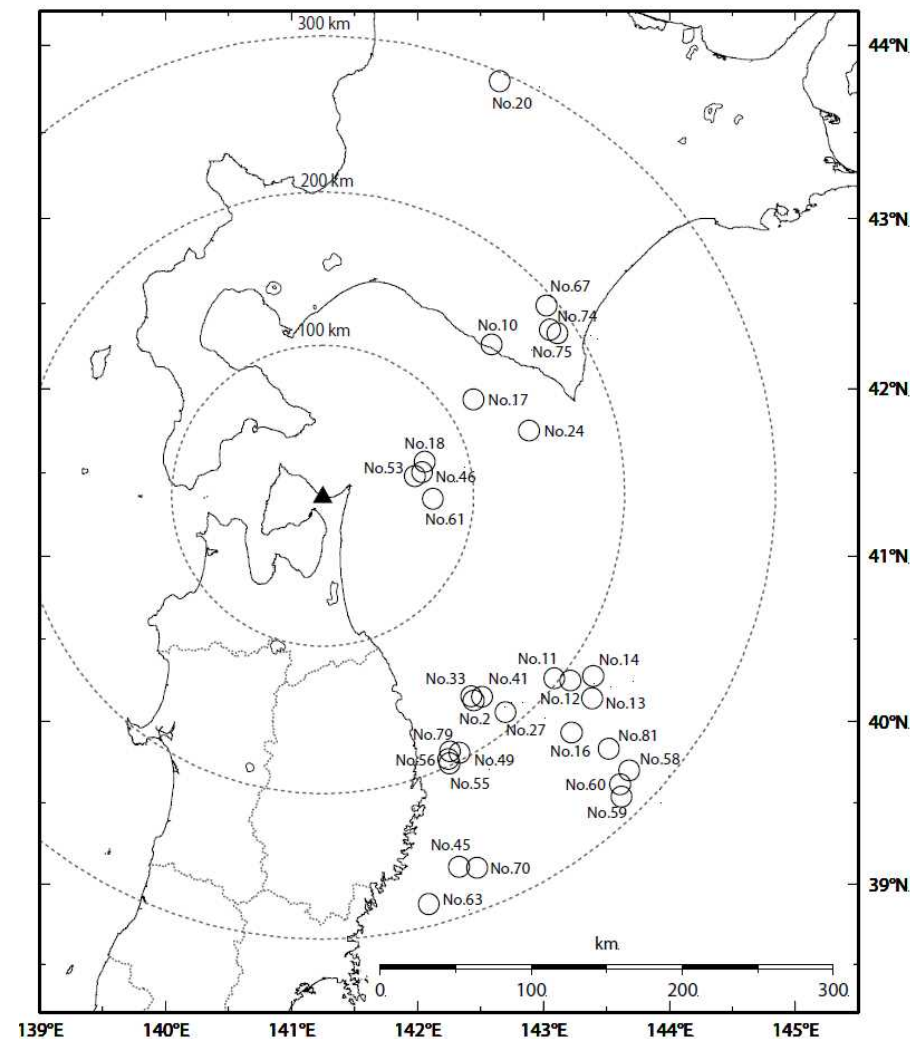
臨時地表地震観測の実施期間及び検討に用いる地震記録

実施期間:2011年8月～2012年10月

検討に用いる地震記録:M5（気象庁）以上、
震源距離300km以内の31地震

検討対象地震の諸元

No.	発生日時	経度	緯度	深さ(km)	M	震央 距離(km)	震源 距離(km)
2	2011. 08. 17 04: 35	142° 27'	40° 7'	35.17	5.4	170	174
10	2011. 09. 07 22: 29	142° 35'	42° 16'	10.23	5.1	150	151
11	2011. 09. 17 04: 26	143° 5'	40° 16'	7.4	6.6	197	197
12	2011. 09. 17 06: 08	143° 13'	40° 15'	3.69	6.1	207	207
13	2011. 09. 17 06: 36	143° 23'	40° 8'	4.89	5.8	226	226
14	2011. 09. 17 07: 40	143° 24'	40° 17'	14.75	5.8	217	218
16	2011. 09. 18 16: 04	143° 13'	39° 56'	19.29	5.8	230	231
17	2011. 09. 18 19: 39	142° 26'	41° 56'	66.48	5.0	119	136
18	2011. 10. 07 11: 51	142° 3'	41° 34'	67.21	5.0	72	98
20	2011. 10. 21 17: 02	142° 39'	43° 48'	195.5	6.3	294	353
24	2011. 11. 24 19: 25	142° 53'	41° 45'	43.21	6.2	144	150
27	2011. 12. 20 15: 26	142° 41.9'	40° 3.3'	29	5.0	190	192
33	2012. 01. 28 09: 22	142° 25.6'	40° 9.1'	36	5.7	167	171
41	2012. 03. 05 15: 24	142° 30.7'	40° 9.0'	33	5.1	171	174
45	2012. 03. 18 09: 36	142° 19.8'	39° 6.2'	45	5.0	267	270
46	2012. 03. 19 11: 56	142° 2.2'	41° 30.1'	63	5.0	68	93
49	2012. 03. 27 20: 00	142° 20.0'	39° 48.3'	21	6.6	195	196
53	2012. 04. 27 03: 41	141° 58.82'	41° 28.75'	64.73	5.0	63	90
55	2012. 04. 30 00: 02	142° 15.3'	39° 44.53'	22.68	5.6	199	200
56	2012. 05. 10 09: 28	142° 14.6'	39° 46.1'	23	5.1	195	197
58	2012. 05. 20 04: 05	143° 40.8'	39° 41.9'	33	6.0	276	278
59	2012. 05. 20 16: 20	143° 37.2'	39° 32.2'	7	6.5	285	285
60	2012. 05. 20 17: 20	143° 36.5'	39° 36.8'	28	5.5	278	280
61	2012. 05. 24 00: 02	142° 7.4'	41° 20.6'	60	6.1	73	95
63	2012. 06. 18 05: 32	142° 5.4'	38° 52.4'	47	6.2	285	289
67	2012. 07. 22 13: 41	143° 1.54'	42° 29.36'	61.13	5.1	194	203
70	2012. 07. 30 07: 05	142° 28.37'	39° 5.86'	33.56	5.5	272	274
74	2012. 08. 22 10: 33	143° 3.10'	42° 20.80'	53	5.2	186	193
75	2012. 08. 25 23: 16	143° 6.60'	42° 19.60'	49	6.1	189	195
79	2012. 09. 18 04: 09	142° 15.50'	39° 49.00'	43	5.0	191	196
81	2012. 10. 02 07: 21	143° 31.20'	39° 49.90'	22	6.3	256	257



検討対象地震の震央位置の分布

3. 地下構造モデルの策定 / 3.2 地震観測記録の分析

⑥ 水平 / 上下スペクトル比の検討 (臨時地表地震観測)

【No. 1～3の水平 / 上下スペクトル比の平均値の比較】

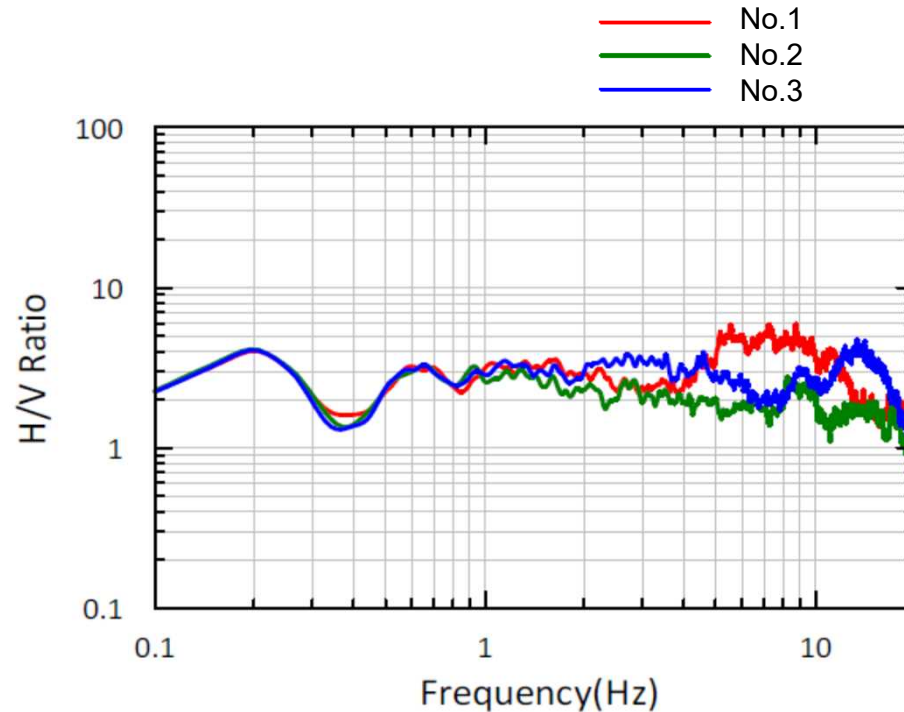


図 敷地内3点 (No.1～3) の平均値の比較

- 敷地内3点 (No.1～3) は、低周波数域の水平 / 上下スペクトル比が一致していることから、敷地内において深部構造による特異な増幅特性はみられないと考えられる。

3. 1~3. 2

敷地地盤の振動特性のまとめ

3. 1 地質調査結果等に基づく地下構造

- 地質調査結果から、敷地地盤の速度構造は浅部、深部ともに、概ね水平成層である。
- P波・S波反射法地震探査及び屈折法地震探査、微動アレイ探査の結果は、P波・S波速度構造ともに概ね整合している。これらの調査結果より、敷地の深部速度構造は、概ね平行成層な地盤であることが確認できる。
- 敷地の地質調査結果から、敷地周辺にほぼ水平に広く分布している砂子又層において、PS検層で示されるせん断波速度が $V_s=700\text{m/s}$ 以上となる標高 -218m の位置に、解放基盤表面を設定する。

3. 2 地震観測記録の分析

- 敷地内3地震観測点の解放基盤表面の地震記録の比較から、敷地地盤の振動特性には差がないことが確認できる。
- 敷地内3地震観測点を用いた到来方向別の検討より、地震の到来方向により特異な増幅特性はみられないことが確認できる。
- 臨時地震観測記録による水平／上下スペクトル比の検討より、敷地内において速度構造による特異な増幅特性はみられないことが確認できる。

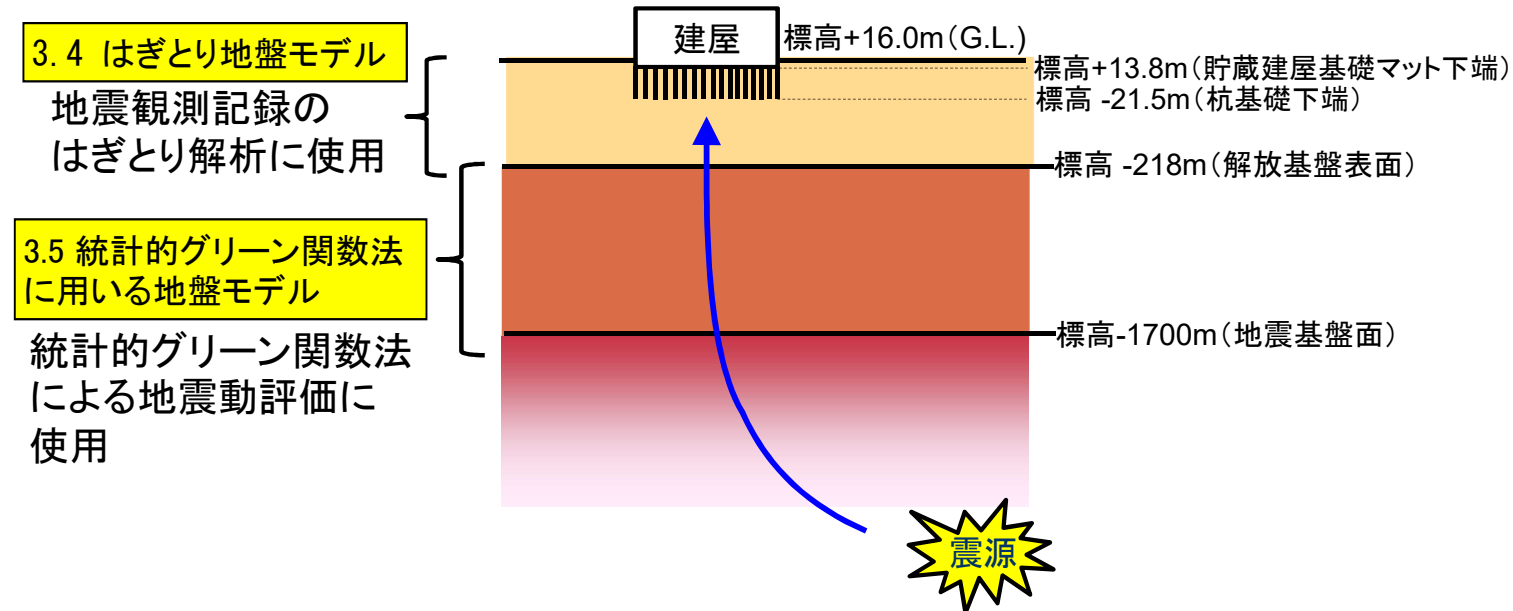
◎結論

以上の検討結果から、敷地地盤の速度構造は水平成層構造とみなして評価できると考えられる。

3. 地下構造モデルの策定

3.3 地盤モデルの設定概要

- 敷地地盤の地下構造は水平成層構造とみなして評価できると考えられるため、地震動評価に用いる1次元地盤モデルを設定し、その増幅特性を確認する。
 - 解放基盤表面位置(標高-218m)から地表面までについては、地震観測記録のはぎとり解析に用いる「はぎとり地盤モデル」を作成している。
 - 地震基盤面から解放基盤表面位置(標高-218m)までについては、「統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル」を作成している
- 作成した地盤モデルについて、地震観測記録及び各種調査・検討結果等との整合を確認する。



適切な要素地震が得られていない「海洋プレート内地震」及び「内陸地殻内地震」については、統計的グリーン関数法による地震動評価を用いている。

3. 地下構造モデルの策定

3.4 はぎとり地盤モデル

- 作成したはぎとり地盤モデル以下に示す。

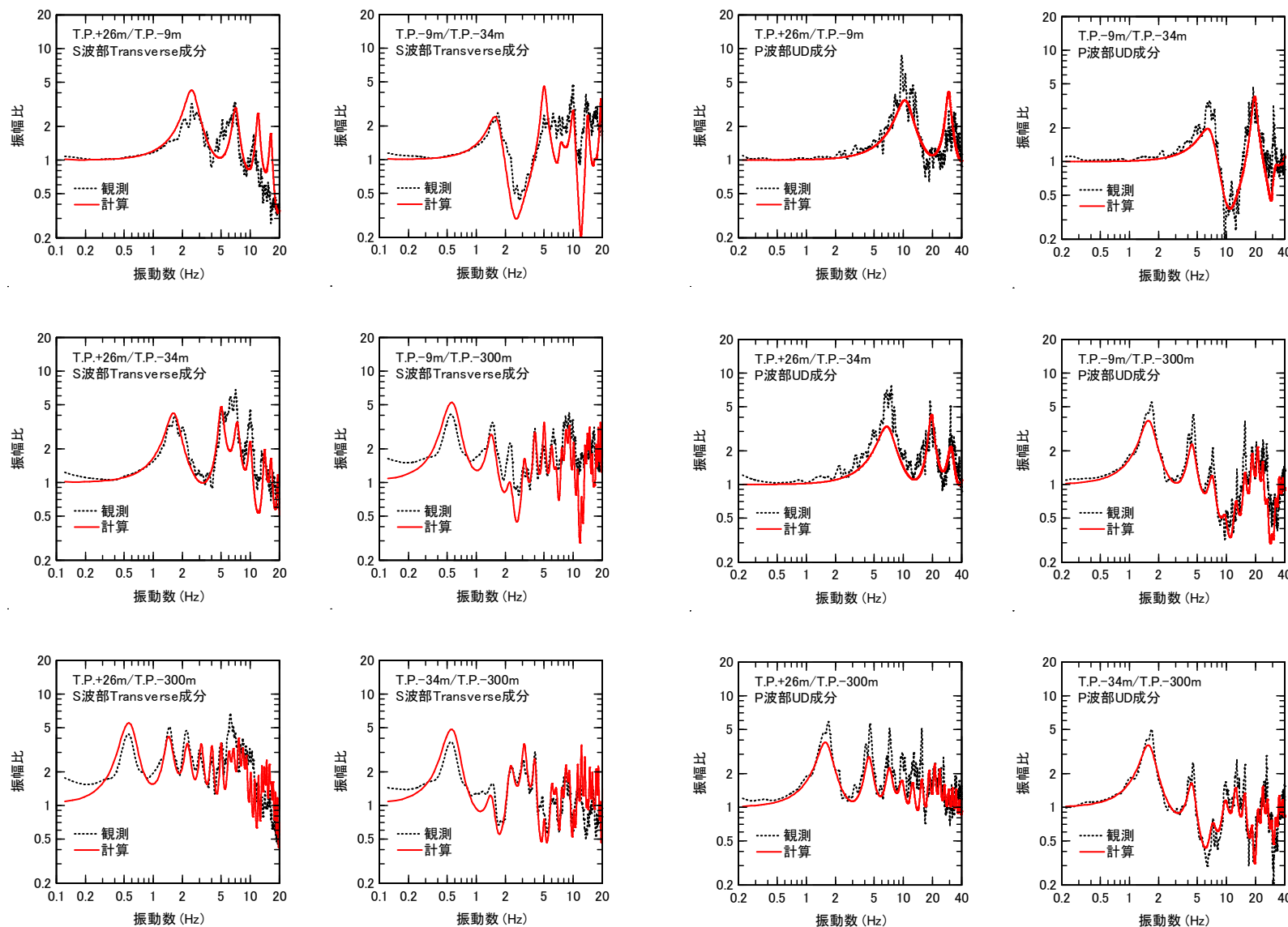
- はぎとり地盤は、Kobayashi et al.(2000)の手法を用いて、西側観測点の地震観測記録の逆解析から推定された速度構造モデルに基づき設定している。

はぎとり地盤モデル

標高 T. P. (m)	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	S波速度 V_S (m/s)	Q_S	P波速度 V_P (m/s)	Q_P	備考
-28	2	1.87	196	$8.22f^{0.67}$	924	$48.7f^{0.58}$	—地震計—
-26	1	1.87					
-25	9	1.71	295	$1.75f^{0.64}$	1360	$21.8f^{0.71}$	
-16	10	1.83	575	$5.16f^{0.67}$	1453	$47.3f^{0.58}$	
-6	15	1.70	351	$1.44f^{0.86}$	1607	$0.50f^{0.51}$	—地震計—
-9	9	1.70					
-18	16	1.90	454	$32.9f^{0.79}$	1793	$4.66f^{0.29}$	—地震計—
-34	16	1.90					
-50	168	1.88	630	$10.8f^{0.97}$	1816	$21.6f^{0.78}$	
-218	82	2.00	910	$6.27f^{0.87}$	2197	$0.65f^{0.98}$	—地震計—
-300	-	-					

3. 地下構造モデルの策定 / 3.4 はぎとり地盤モデル

はぎとり地盤モデルから求めた伝達関数と観測記録との比較



⇒ はぎとり地盤モデルから求めた伝達関数と観測記録から求めた伝達関数は概ね整合している。

S波部Transverse成分の伝達関数の観測値と計算値の比較 P波部UD成分の伝達関数の観測値と計算値の比較

3. 地下構造モデルの策定／3.4 はぎとり地盤モデル

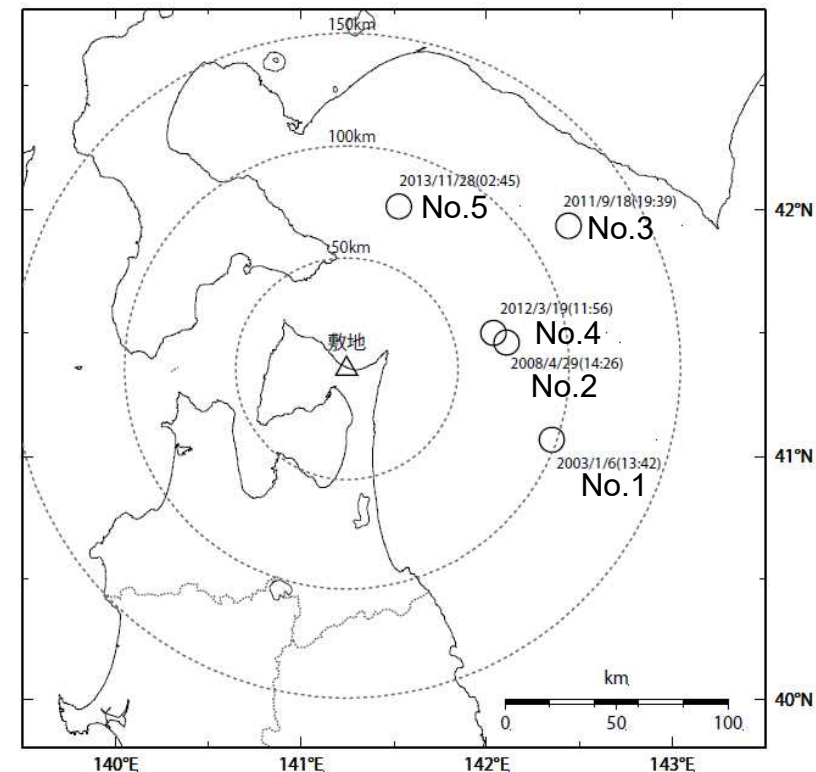
はぎとり地盤モデルの検証(観測記録との整合確認)

- はぎとり地盤モデルを検証するため、標高-300m地点の観測波を入力波として、標高-34m地点の地震動をシミュレーション解析を実施し、観測波との比較を行う。
- 検討に用いる地震は、データセット以外の地震のうち、下記条件を考慮して選定した。
 - 地震規模 $5.0 \leq M \leq 6.0$ かつ 震央距離 150km以内 かつ 震源深さ 100km以内

検討に用いた地震諸元の表

No.	年月日	時分	東経	北緯	M	深さ	震央距離	震源距離
1	2003. 01. 06	13: 42	142° 21.13'	41° 04.05'	5.0	44.61	98	108
2	2008. 04. 29	14: 26	142° 06.50'	41° 27.78'	5.7	61.68	73	96
3	2011. 09. 18	19: 39	142° 26.48'	41° 56.15'	5.0	66.48	119	136
4	2012. 03. 19	11: 56	142° 02.20'	41° 30.13'	5.0	63.44	68	93
5	2013. 11. 28	02: 45	141° 31.59'	42° 00.80'	5.0	89.5	77	118

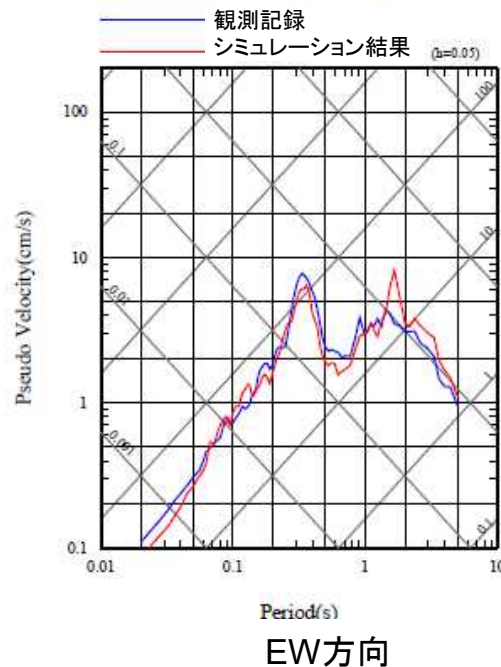
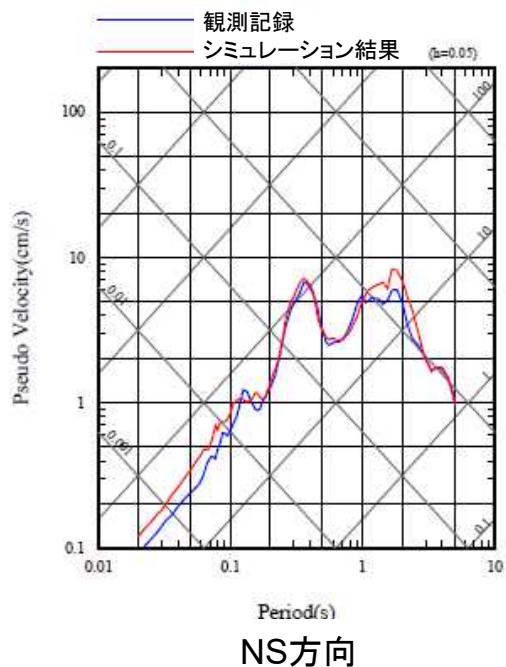
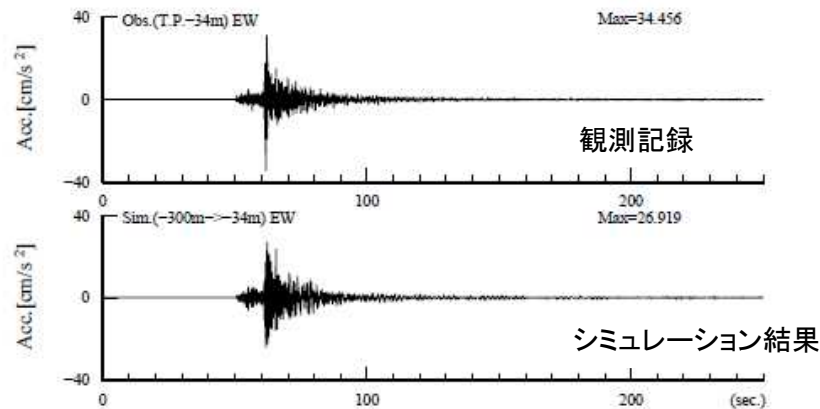
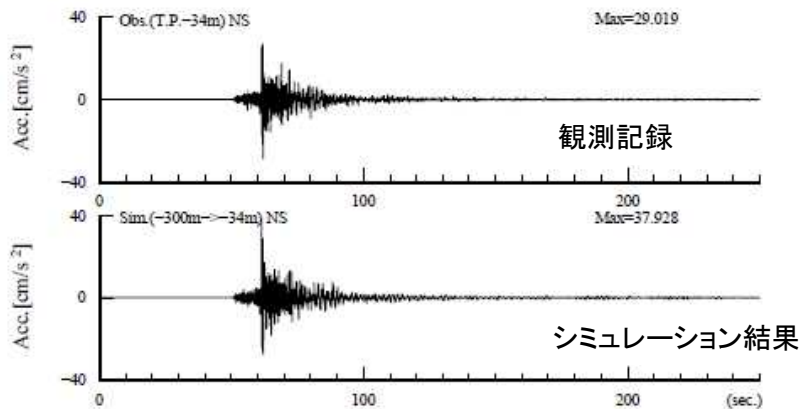
- 代表例として、地震規模の大きい「No.2 2008年4月29日の地震」を記載。



検討に用いた地震の震央位置図

3. 地下構造モデルの策定 / 3.4 はぎとり地盤モデル 地盤モデルの検証(観測記録との整合確認)

■ No.2(2008年4月29日 M5.7)地震のシミュレーション結果



シミュレーションが観測記録に比べて、全体的に若干大きい
が、観測記録とは概ね整合している。

時刻歴波形と応答スペクトルの比較

3. 地下構造モデルの策定

3.5 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル

- 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルは、地震観測記録を用いて、小林ほか(2005)のP波部の水平／上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法及び小林ほか(1999)のQ値推定法に基づき作成している。
- 内部減衰を考慮したQ値を参考に、地震基盤面以浅をQ=50とし、減衰1%としている。

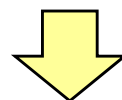
統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル

標高 T.P. (m)	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	減衰 (%)	備考
-218	82	2.00	910	2197	1.00	解放基盤表面
-300	180	2.10	990	2510		
-480	1220	2.20	1450	2820		
-1700	∞	2.60	3150	5660	—	地震基盤面

3. 地下構造モデルの策定 / 3.5 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルの作成方法

【内部減衰を考慮したQ値の推定】

- Kinoshita(1992)、武村ほか(1993)、福島ほか(1994)等では、地盤のQ値については、高周波数側で一定値になることが報告されている。
- 武村ほか(1993)では、この要因として、内部減衰及び不均質媒体内を地震波が伝わる際の散乱減衰等の複数の要因の影響としている。
- 小林ほか(1999)では、地震波の地盤中における減衰について、内部減衰及び散乱減衰を考慮したQ値の高周波数側で頭打ちとなるようなモデルを作成している。



小林ほか(1999)に基づき、観測記録を用い、敷地の地震基盤面から解放基盤表面にいたる深部地盤について、内部減衰を考慮したQ値の推定を行い、地盤増幅率を算出する。

$$\frac{1}{Q(f)} = \frac{1}{Q_0 \cdot f^n} + \frac{1}{Q_i}$$

散乱減衰項 内部減衰項

小林ほか(1999)による散乱減衰及び内部減衰を考慮したQ値モデル式

3. 地下構造モデルの策定 / 3.5 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルの作成方法

【Q値の設定】

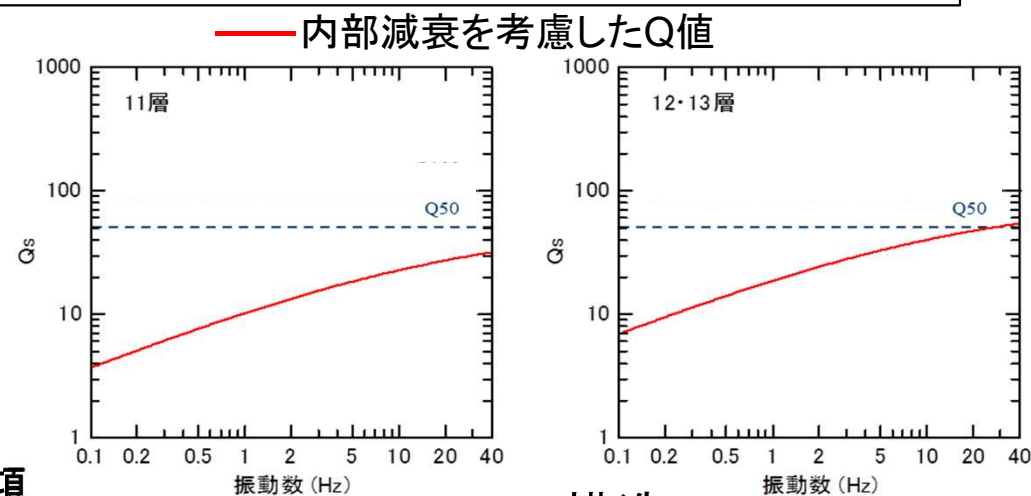
- 内部減衰を考慮したQ値の値から、統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルのQ値については、 $Q=50$ と設定している。

求めた内部減衰を考慮したQ値

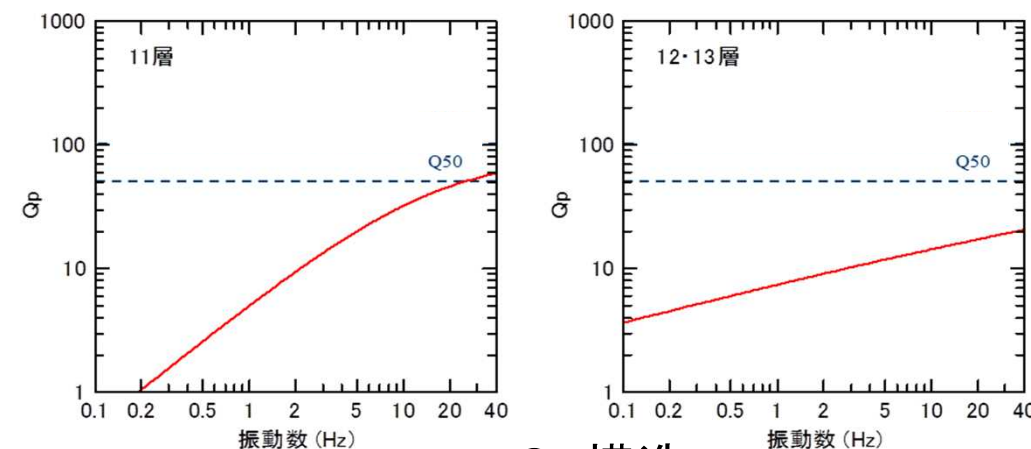
地震計設置
T.P.-300m →

層 No.	標高 TP (m)	深度 GL (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	$Q_{so} \cdot f^{\alpha}$	$Q_{po} \cdot f^{\beta}$	Q_{si}	Q_{pi}
11	-480	-508	180	2.1	990	2510	$13f^{0.50}$	$5.3f^{1.00}$	52	82
12	-1700	-1728	1220	2.2	1450	2820	$24f^{0.50}$	$8.1f^{0.33}$	84	86
13	/	/	/	2.6	3150	5660				

散乱減衰項 内部減衰項



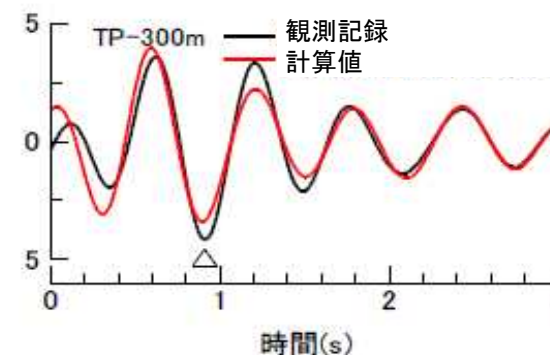
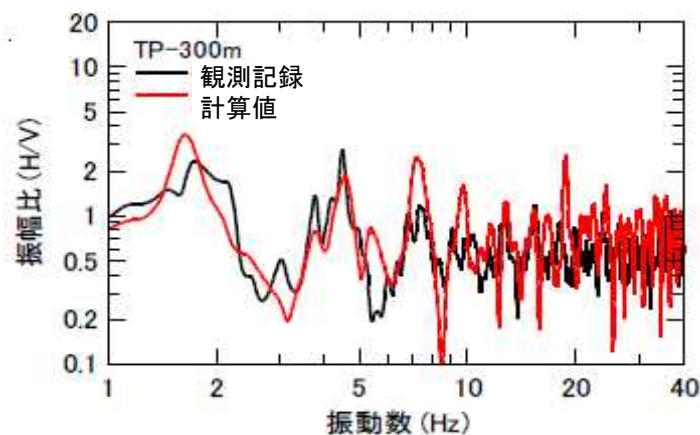
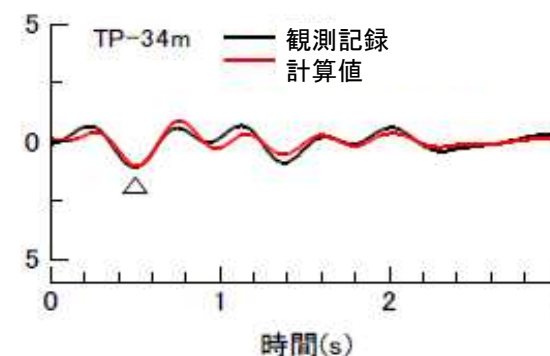
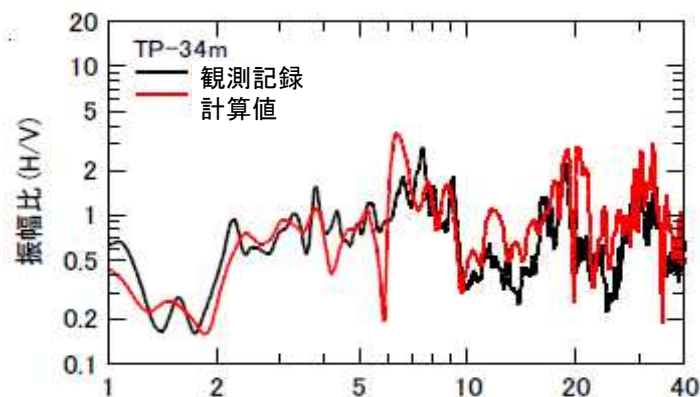
Qs構造



Qp構造

3. 地下構造モデルの策定 / 3.5 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルの作成結果

- 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルを用いて求めた水平／上下スペクトル振幅比、レシーバーファンクションと、観測記録から求めたそれぞれの値の比較を示す。



水平／上下スペクトル振幅比の観測記録と計算値の比較

レシーバーファンクションの観測記録と計算値の比較

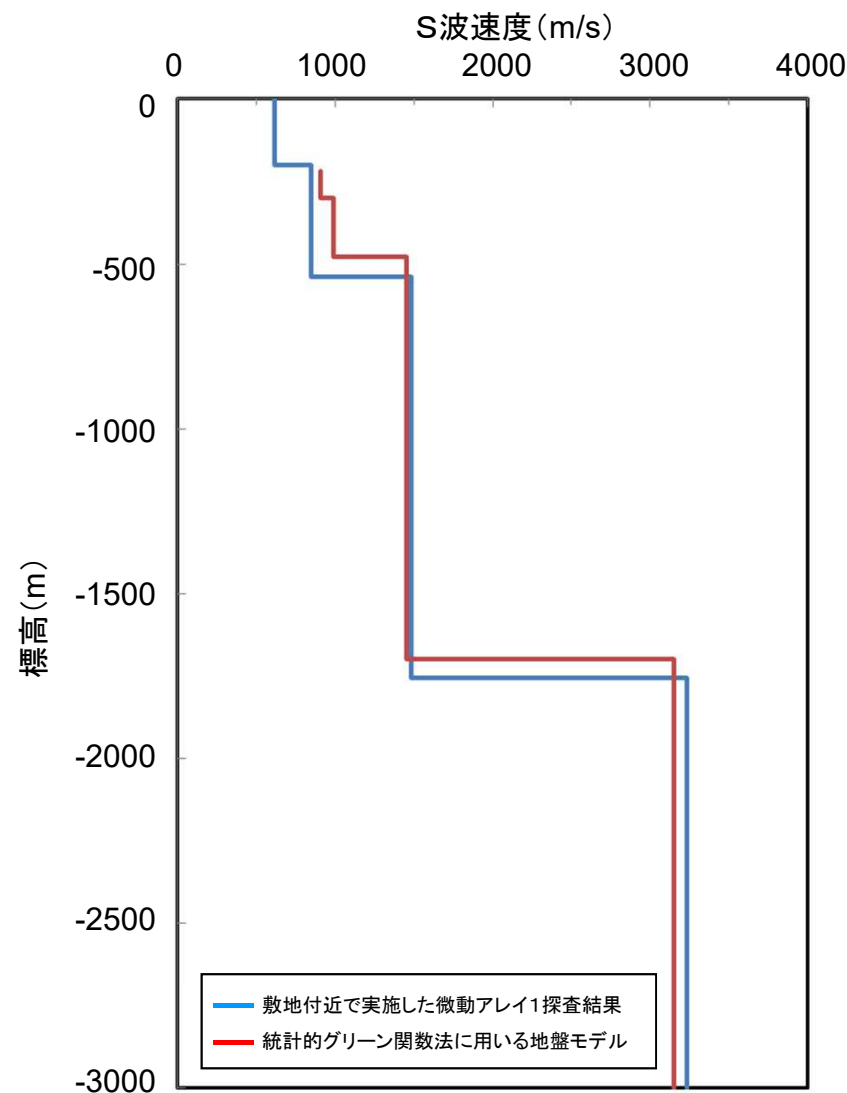
- 水平／上下スペクトル振幅比、レシーバーファンクションは、観測記録と概ね整合している。

3. 地下構造モデルの策定 / 3.5 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル 地盤モデルの検証 (a. 微動アレイ探査)

a. 微動アレイ探査により求めた速度構造との比較

敷地付近において実施した微動アレイ1探査結果の速度構造と統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルの比較を行う。

⇒ 敷地付近で実施した微動アレイ1探査結果のS波速度構造と地盤モデルは、概ね整合している。



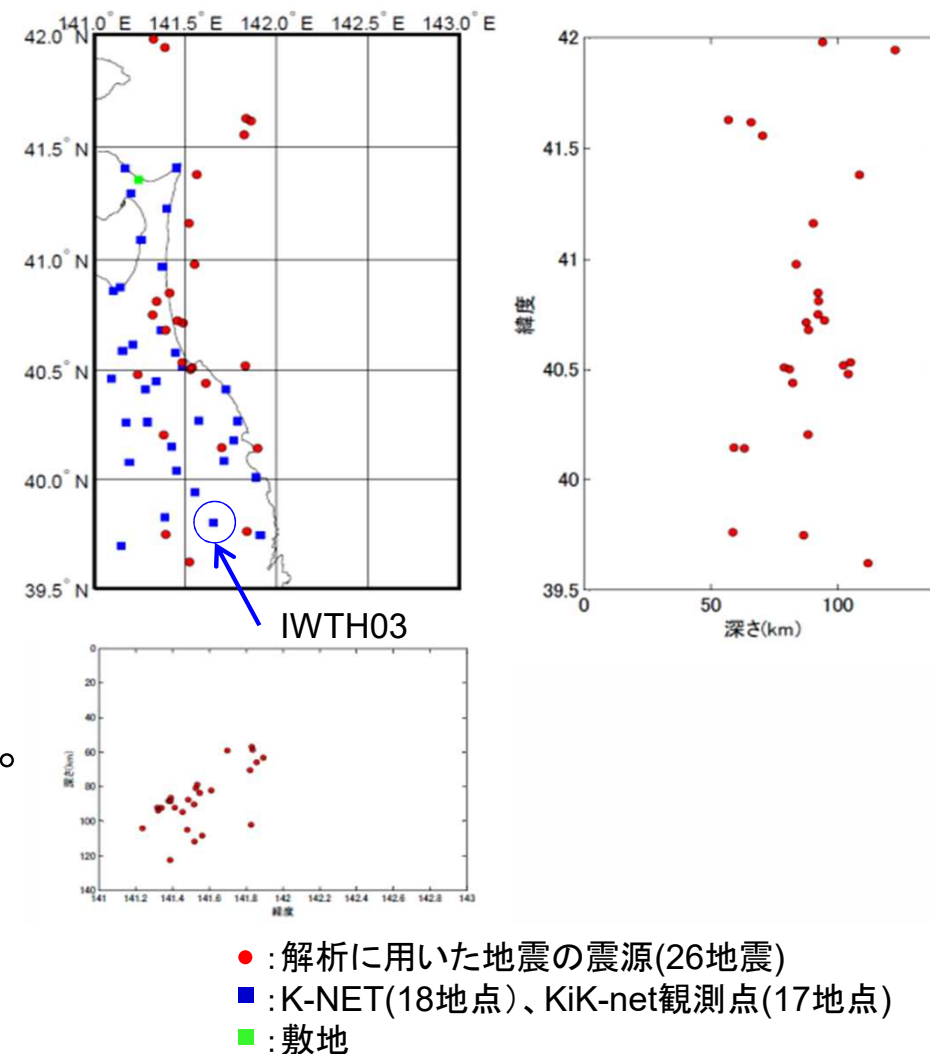
S波速度構造の比較

3. 地下構造モデルの策定 / 3.5 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル 地盤モデルの検証 (b.スペクトルインバージョン法)

b.スペクトルインバージョン法により求めたサイト増幅特性との比較

敷地の観測記録及びK-NET、KiK-netの観測記録を用いて、スペクトルインバージョン法(岩田・入倉(1986))により求めたサイト増幅特性と、統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルによる増幅特性の比較を行う。

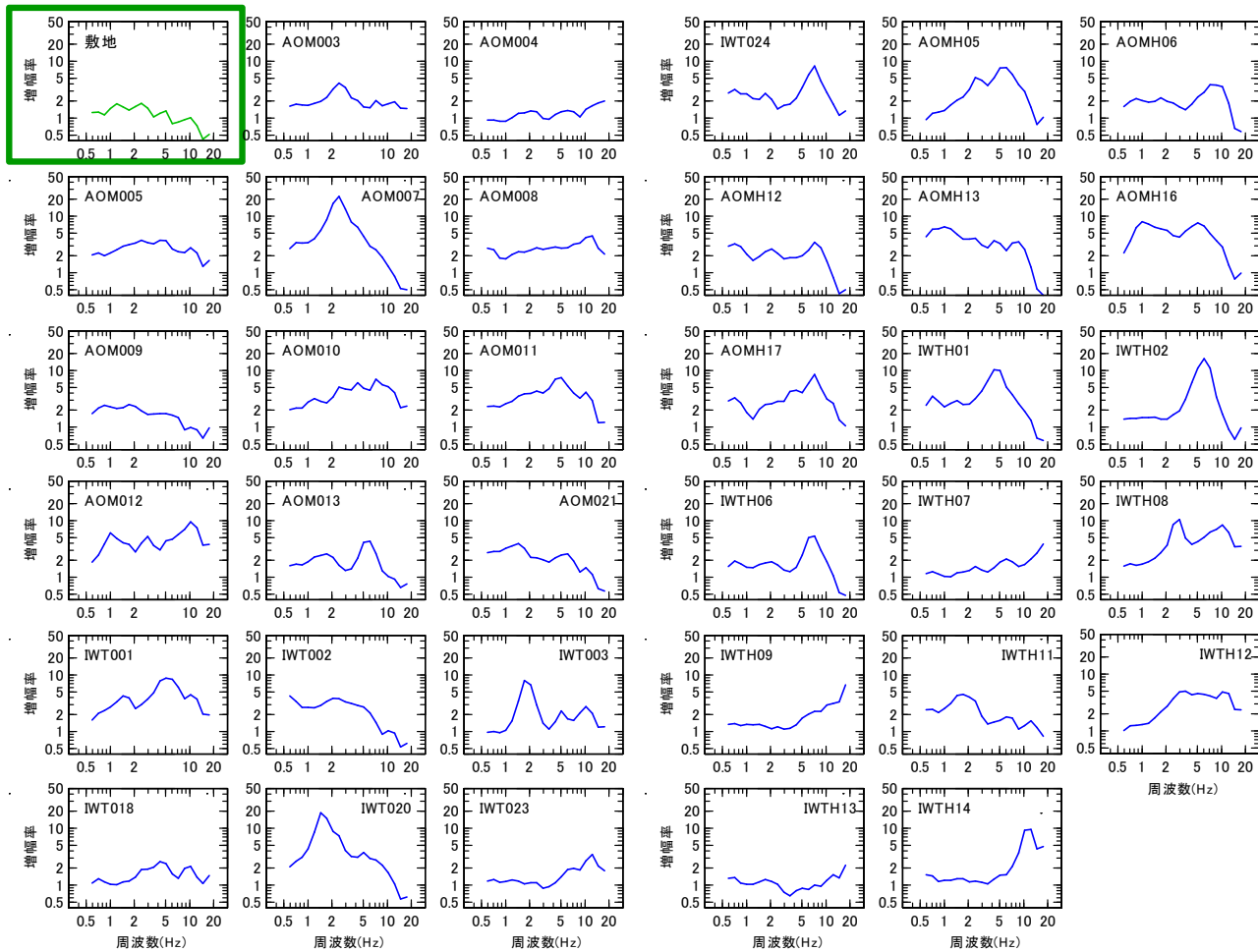
- 敷地のサイト増幅特性を算定するために定める基準観測点としては、地中地震計が地震基盤相当層に設置されているIWTH03岩泉観測点を選定する。
- スペクトルインバージョン法に用いる地震観測点は、火山フロントを境とした減衰構造の変化による影響を避けるため、火山フロントより東側に位置する観測点を選定する。
- 解析に用いる地震は、敷地及びスペクトルインバージョン基準点を含む領域での海溝型地震とし、2001年7月～2012年4月、緯度39.5～42°、経度141～141.9°、M3.5～5.5、震源深さ0～130kmの範囲で発生した地震を選定する。



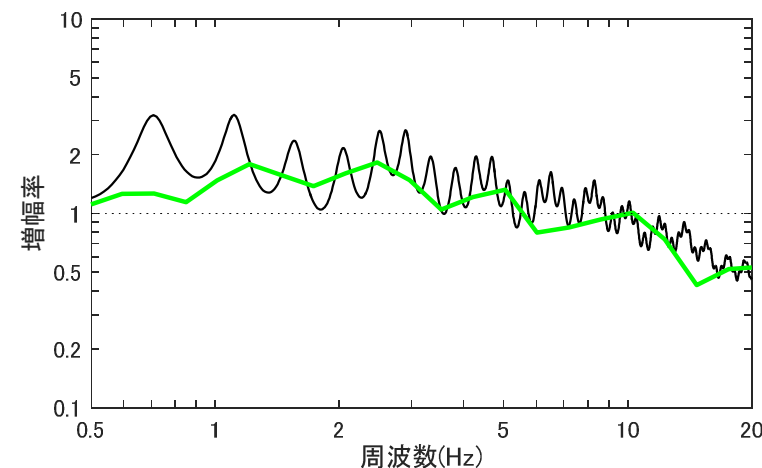
スペクトルインバージョン法に用いた地震

3. 地下構造モデルの策定 / 3.5 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル 地盤モデルの検証 (b.スペクトルインバージョン法)

■ スペクトルインバージョン法により求められた各観測点の増幅率の推定結果を示す。



— 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル
— 敷地のスペクトルインバージョン解析結果



増幅率の比較

各地点の増幅率

■ 求めた敷地の地震基盤面～解放基盤表面における増幅率は、統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルの増幅率と概ね整合している。

3. 地下構造モデルの策定 まとめ

敷地地盤の振動特性 (敷地地盤が水平成層構造であることを、地質調査結果、地震観測記録の分析の観点から確認)

3.1 地質調査結果に基づく地下構造

地質調査、ボーリング調査、物理探査等から地質構造や地震波速度構造等の地下構造を評価

3.2 地震観測記録の分析

敷地の地震観測記録から、地震発生様式や到来方向による地盤の振動特性を分析



敷地地盤は、概ね水平成層構造であり、地震観測記録に不整形地盤の影響が無いことを確認



地下構造モデルの設定 (地震動評価に用いる1次元地盤モデルを設定)

3.3 地下構造モデルの設定概要

3.4 はぎとり地盤モデル

解放基盤表面以浅の地盤について、PS検層結果、地震観測記録等に基づきモデル化

3.5 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル

解放基盤表面～地震基盤面の地盤について、地震観測記録等に基づきモデル化
各種調査結果及び地震観測記録を用いた評価により、妥当性を検証



地震観測記録を用いた検証等を実施



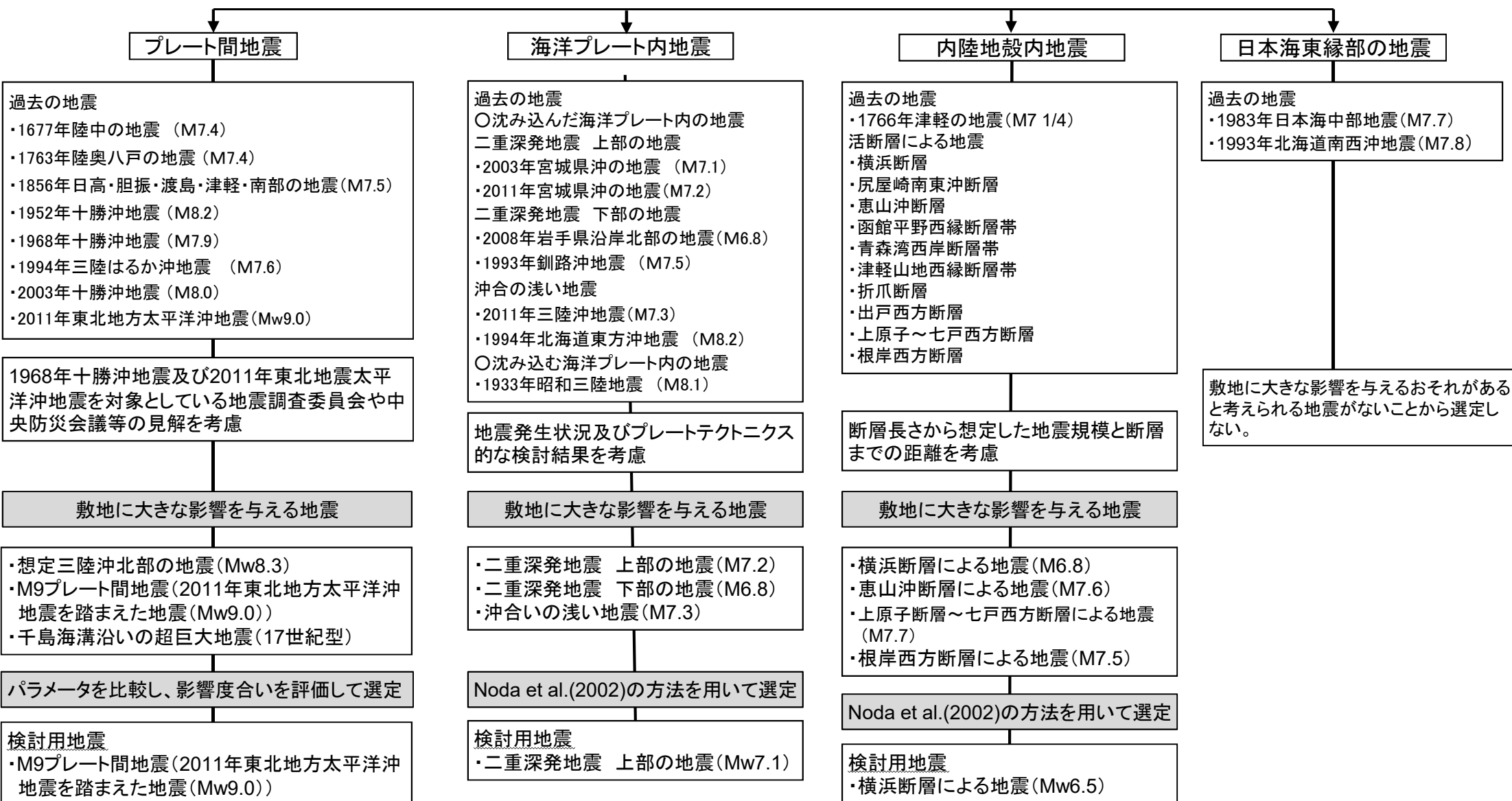
1次元地盤モデルと地震観測記録などの振動特性は整合しており、地震動評価に用いる敷地地盤の地下構造については、1次元地盤モデルによって評価可能なことを確認

・上記のとおり、地震動評価に用いる1次元地盤モデルは、複数の検証ができるよう、適切に評価されている。

1. 基準地震動策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 4. 1 プレート間地震
 4. 2 海洋プレート内地震
 4. 3 内陸地殻内地震
5. 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

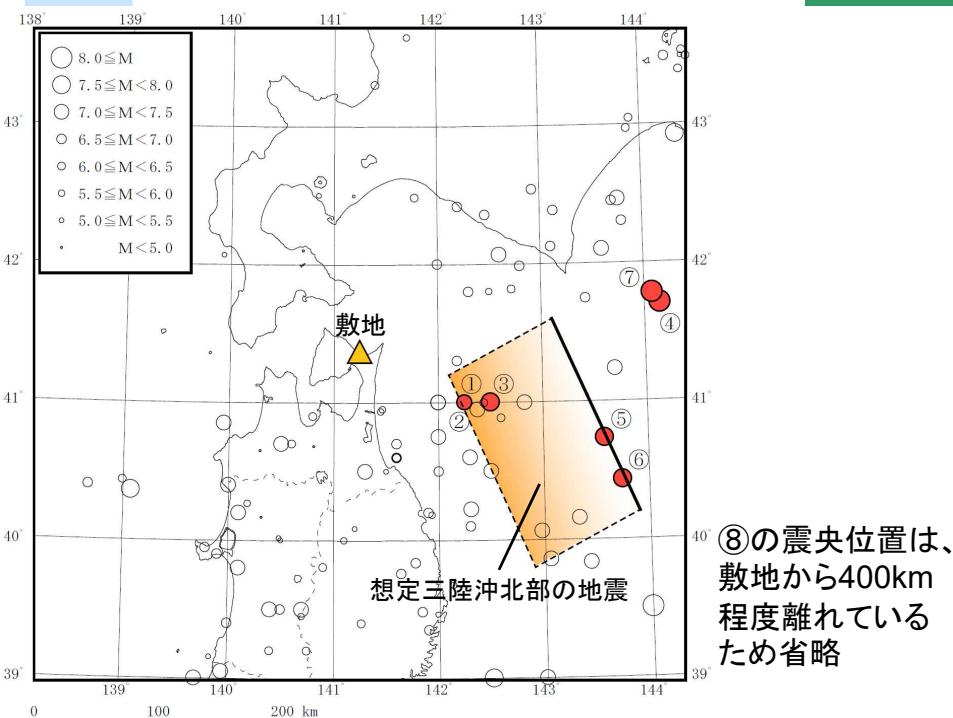
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 検討用地震の選定フロー

地震発生様式等による地震の分類



1. 基準地震動策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 4. 1 プレート間地震
 4. 2 海洋プレート内地震
 4. 3 内陸地殻内地震
5. 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

4.1 プレート間地震／4.1.1 検討用地震の選定 敷地に大きな影響を与える地震(1)



プレート間地震と考えられる主な被害地震

- ①1677年陸中の地震(M7.4)
- ②1763年陸奥八戸の地震(M7.4)
- ③1856年日高・胆振・渡島・津軽・南部の地震(M7.5)
- ④1952年十勝沖地震(M8.2)
- ⑤1968年十勝沖地震(M7.9)
- ⑥1994年三陸はるか沖地震(M7.6)
- ⑦2003年十勝沖地震(M8.0)
- ⑧2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)

⇒敷地で震度5弱程度以上の揺れ:⑤、⑥

青森県東方の沖合では、プレート間地震が過去に繰り返し発生しており、1968年十勝沖地震(M7.9)は敷地に最も影響を与えたと考えられる地震の一つである。



地震調査委員会(2004a)は、既往の研究成果を基に、1968年十勝沖地震(M7.9)の震源域に発生する地震を「三陸沖北部の地震(Mw8.3)」として震源モデルを設定している。



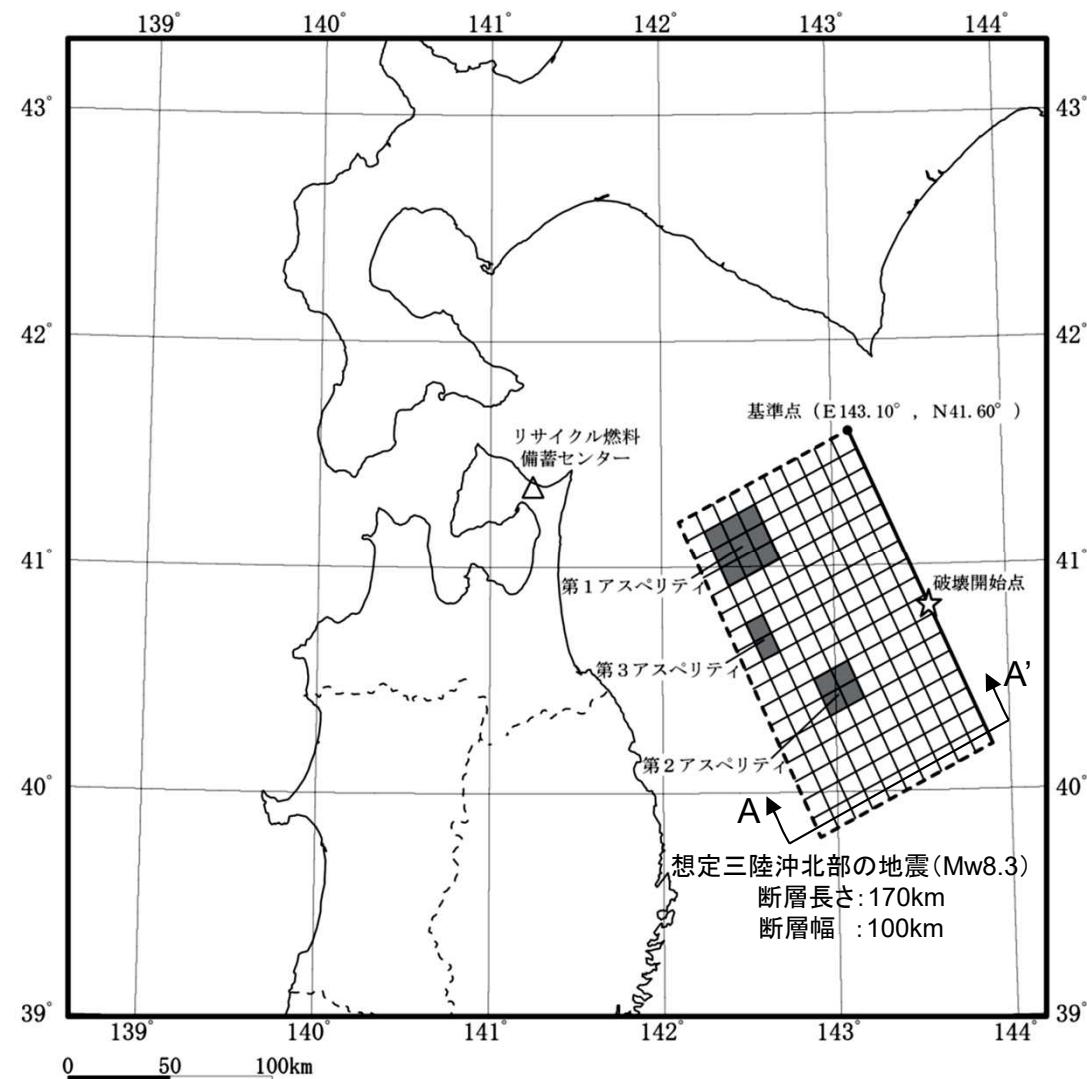
プレート間地震の発生領域としては、三陸沖北部の領域が敷地に最も近いと考えられる。



敷地に大きな影響を与える地震として地震調査委員会(2004a)による三陸沖北部の地震(Mw8.3)の震源モデルに基づく、「想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)」を選定する。

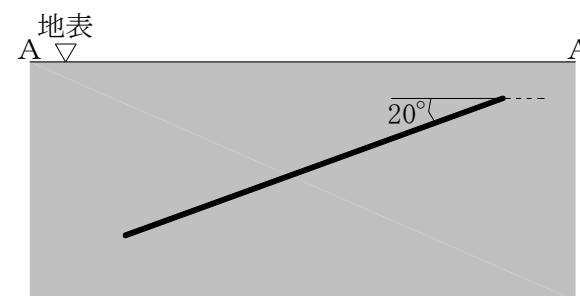
4.1 プレート間地震 / 4.1.1 検討用地震の選定 「想定三陸沖北部の地震 (Mw8.3)」震源モデル設定

断層面の設定



想定三陸沖北部の地震 (Mw8.3)

- 震源モデル
地震調査委員会 (2004a) による
「三陸沖北部の地震」の震源モデルを
震源モデルとして設定



上端深さ: 9km
(A-A' 断面図)

4.1 プレート間地震 / 4.1.1 検討用地震の選定

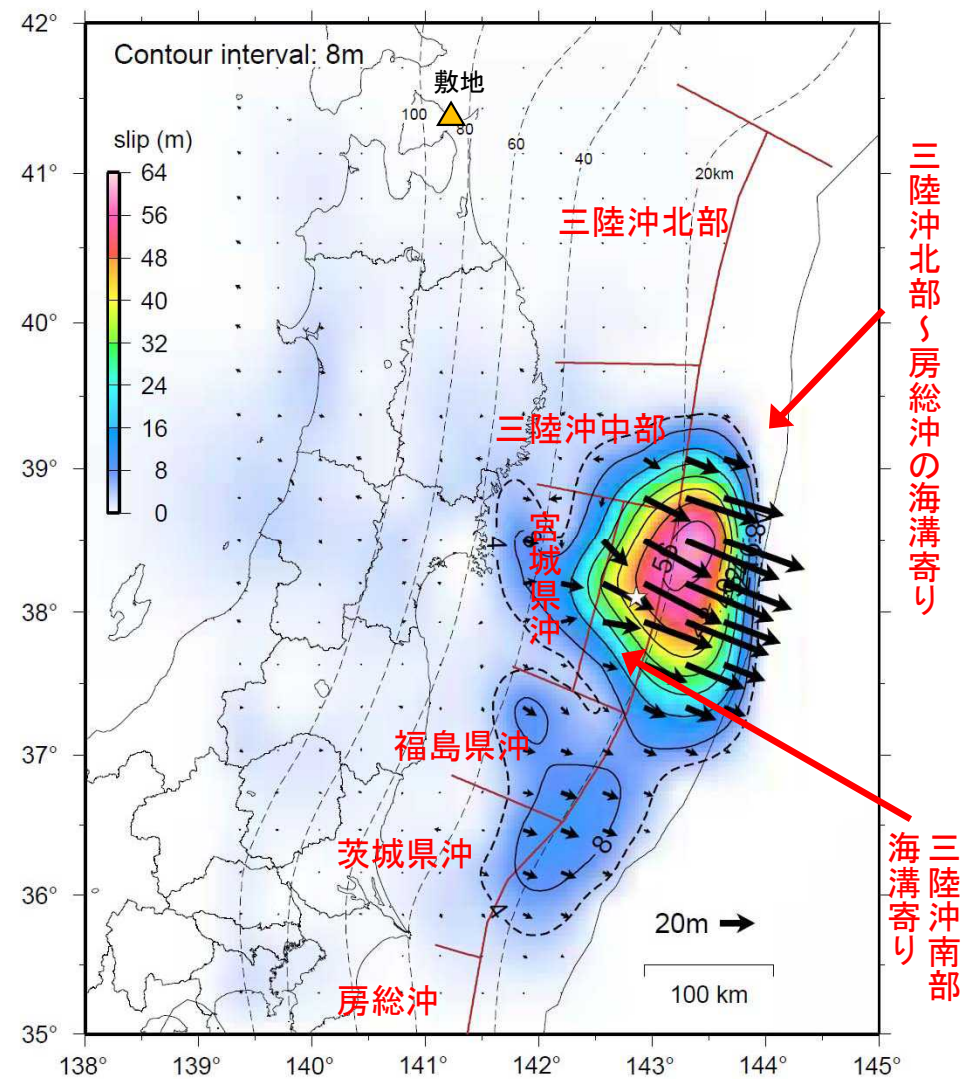
2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)

2011年東北地方太平洋沖地震の概要

- 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震は、日本国内で観測された最大の地震である。
- すべり量の大きい領域は、三陸沖南部海溝寄り、三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの一部であり、更に三陸沖中部、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の領域も震源域に含んでいる。

地震諸元(気象庁)

地震名	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震
地震発生時刻	平成23年3月11日14時46分
発生場所(震源位置)	三陸沖(北緯38度6.2分、東経142度51.6分、深さ24km)
地震規模	モーメントマグニチュード9.0
むつ市震度	4(気象庁)



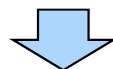
地震調査委員会(2012)に追記

地震調査委員会(2012)における2011年東北地方太平洋沖地震の震源域

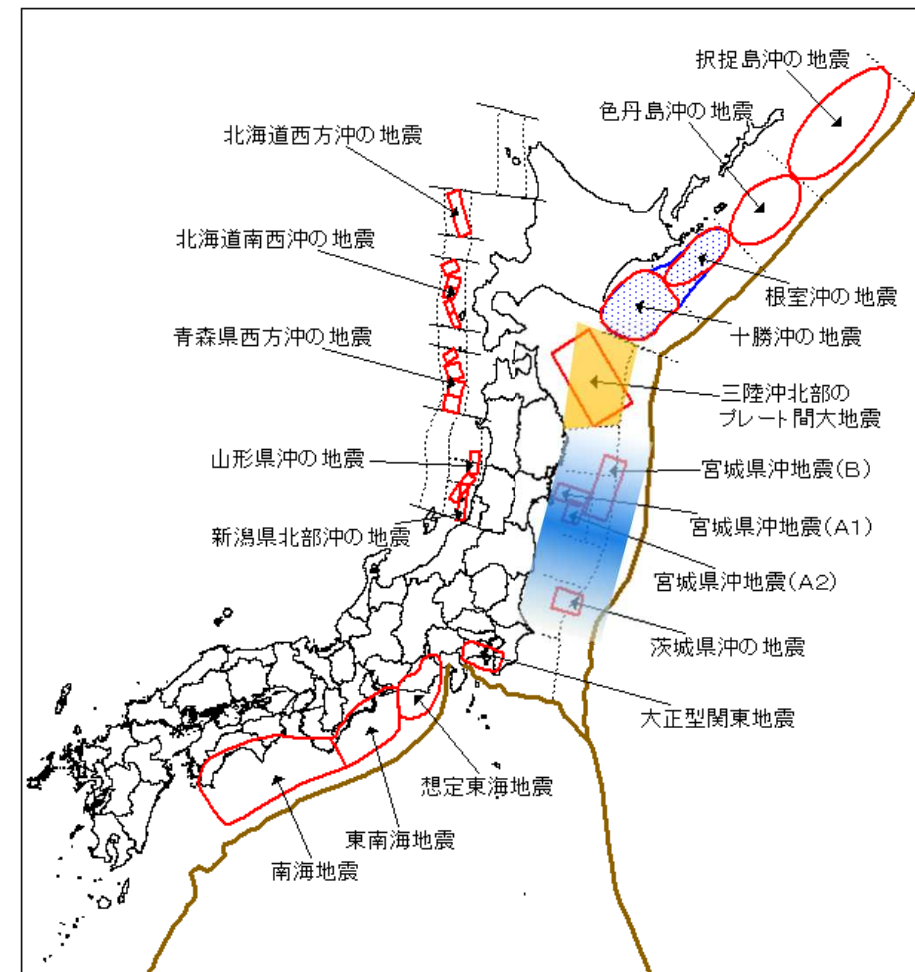
4.1 プレート間地震／4.1.1 検討用地震の選定 敷地に大きな影響を与える地震(2)

2011年東北地方太平洋沖地震の扱い

- 「2011年東北地方太平洋沖地震」(Mw9.0)については、敷地から300km以上離れた位置で発生しており、敷地に対する影響は小さかった。
- しかしながら、東北地方のプレート間で起きた地震であることから、2011年東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえ、同規模の地震が敷地東側で発生することを考慮する。



敷地に大きな影響を与える地震として
「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震
(Mw9.0)」を選定する。



地震調査委員会(2012)に加筆

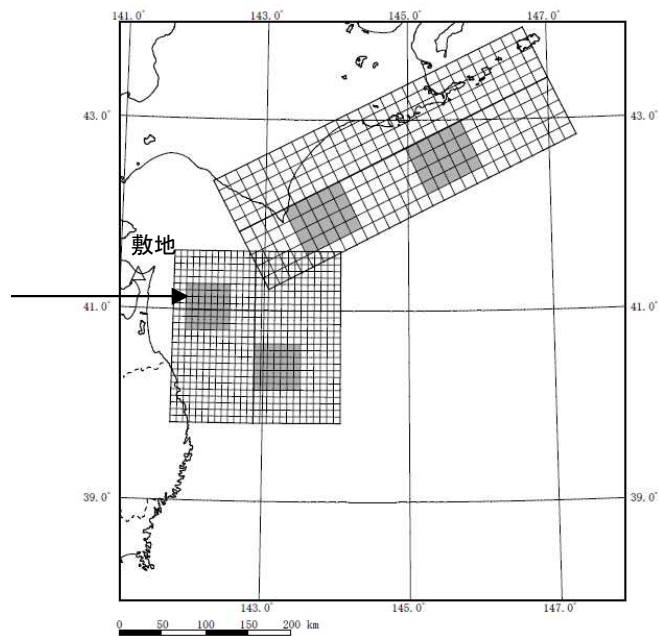
- : 2011年東北地方太平洋沖地震の震源域
- : 想定三陸沖北部の領域

4.1 プレート間地震／4.1.1 検討用地震の選定

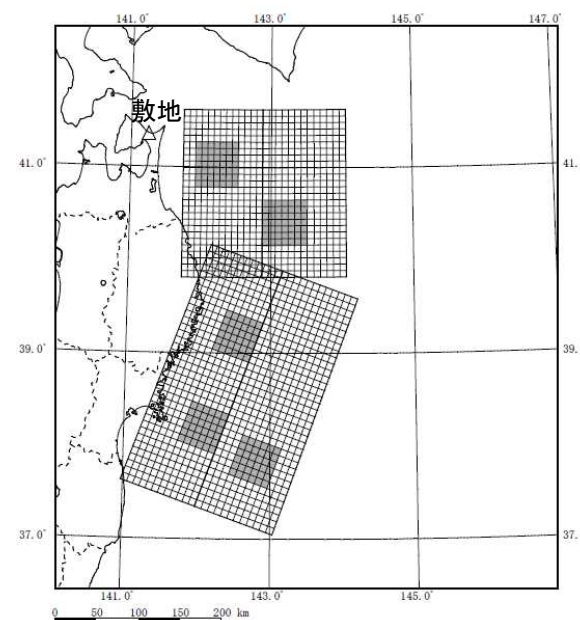
「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)」の震源モデルの設定

知見を踏まえた震源モデルの設定

- 地震規模については、同等の規模であるMw9.0となるように設定する。
- 断層面の設定にあたっては、2011年東北地方太平洋沖地震が複数の領域が連動した地震であったことを踏まえ、諸井ほか(2013)を参考に、敷地東側の三陸沖北部の領域を含む連動型プレート間地震を想定する。
- 敷地前面の三陸沖北部の領域を含む連動型プレート間地震として以下2モデルを考慮する。
 - モデル1: 三陸沖北部から根室沖の連動
 - モデル2: 三陸沖北部から宮城県沖の連動

強震動生成域
(SMGA)

三陸沖北部～根室沖の連動モデル(Mw9.0)



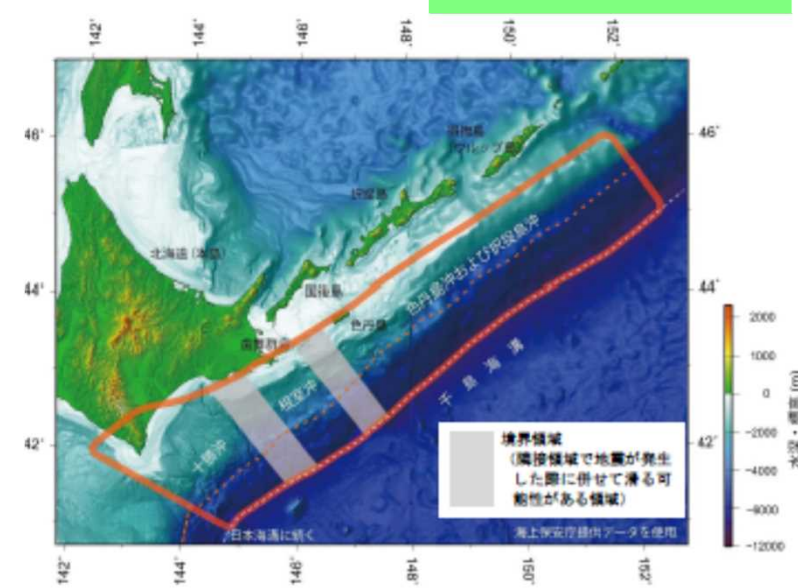
三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル(Mw9.0)

4.1 プレート間地震 / 4.1.1 検討用地震の選定 敷地に大きな影響を与える地震(3)

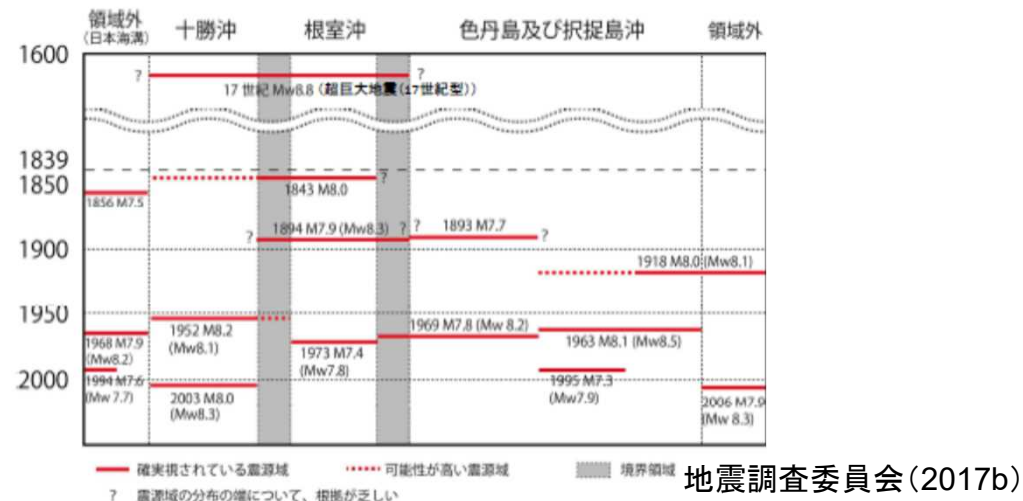
- 「千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)」(地震調査委員会(2017b))によると、以下のような内容が記載されている。
- 千島海溝沿いのうち、十勝沖・根室沖・色丹島沖及び択捉島沖を主な対象とし、長期的な観点で地震発生の可能性、震源域の形態等についての評価をとりまとめたものである。
- 千島海溝沿いでは、大きな津波をもたらした地震が17世紀に発生したことが知られていて、北海道東部に巨大な津波をもたらすような地震を「超巨大地震(17世紀型)」と呼ぶ。
- 「超巨大地震(17世紀型)」について、北海道東部における津波堆積物調査結果から、17世紀に1952年の十勝沖地震をはるかに超える規模の津波が発生し、現在の海岸線から1~4km程度内陸まで浸水したと推定されており、この津波を発生させた地震は両領域が海溝寄りの領域を含んで破壊する2011年東北地方太平洋沖地震と同様の特徴を持ち、規模はMw8.8に達する地震であった可能性が指摘されている。



敷地に大きな影響を与える地震として
「千島海溝沿いの超巨大地震(17世紀型)」(十勝沖から択捉島沖を震源領域としたM8.8程度以上の超巨大地震)を選定する



地震調査委員会(2017b)
千島海溝沿いの評価対象領域



千島海溝沿いで近年発生したプレート間巨大地震と
超巨大地震(17世紀型)の震源域の時空間分布

超巨大地震(17世紀型)の発生領域、震源域の形態、発生間隔等

項目	特性	根拠
(1) 地震の発生領域の目安	図1。具体的な地域は特定できないが、根室沖を含む可能性が高い。	当該地域の津波堆積物の空間分布を参考にして判断した。
(2) 震源域の形態	陸側のプレートと太平洋プレートの境界面。低角逆断層型。	
(3) 震源域	長さ 300km 以上。深さは、60km 程度で浅。海溝寄りの領域も連動する。	
(4) 震源断層面での平均的なずれの向き	約 N114° E (陸側のプレートの太平洋プレートに対する動きの向き)	根室沖と同じ値を使用した。
(5) 発生間隔等	発生頻度 約 340~380 年に 1 回 (過去の地震の推定発生間隔 約 100~800 年)	北海道東部(厚岸郡)において調査された津波堆積物のうち、巨大津波を発生させたと推定される津波堆積物の数や年代推定結果から推定した。

地震調査委員会(2017b)

4.1 プレート間地震 / 4.1.1 検討用地震の選定

検討用地震の選定(1)

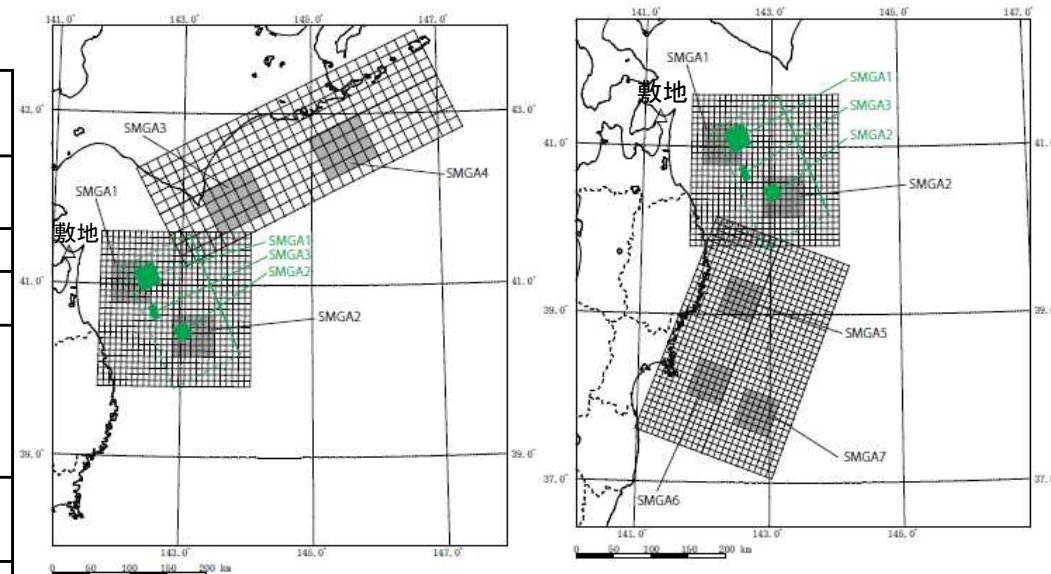
◎想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)と「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)」の比較

■ 「想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)」と「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)」について、その震源パラメータを比較し、影響の度合いを評価する。

※「想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)」のパラメータは、地震調査委員会(2004a)に基づき、「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)」のパラメータは、諸井ほか(2013)に基づく。

震源パラメータ比較表

	想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)	2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)
地震規模 (モーメントマグニチュード)	Mw8.3	Mw9.0
断層面積	16,844km ²	100,000km ²
短周期レベル	1.88×10^{20} Nm/s ²	3.49×10^{22} Nm/s ²
直近のSMGAの 短周期レベル	1.12×10^{20} Nm/s ² (SMGA1) 1.32×10^{20} Nm/s ² (SMGA3)	1.73×10^{20} Nm/s ² (SMGA1)
敷地の直近のSMGA 中心との距離	109km(SMGA1) 132km(SMGA3)	102km
等価震源距離	109km(SMGA1) 132km(SMGA3)	103km(SMGA1)



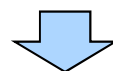
三陸沖北部～根室沖の運動

三陸沖北部～宮城県沖の運動

□ : 想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)
□ : 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)

「想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)」及び
「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)」の断層面

- 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の直近のSMGAの短周期レベルは、想定三陸沖北部の地震の断層面全体の短周期レベルの値とほぼ等しくなっている。
- さらに、敷地と直近のSMGA中心との距離についても、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の方が近い



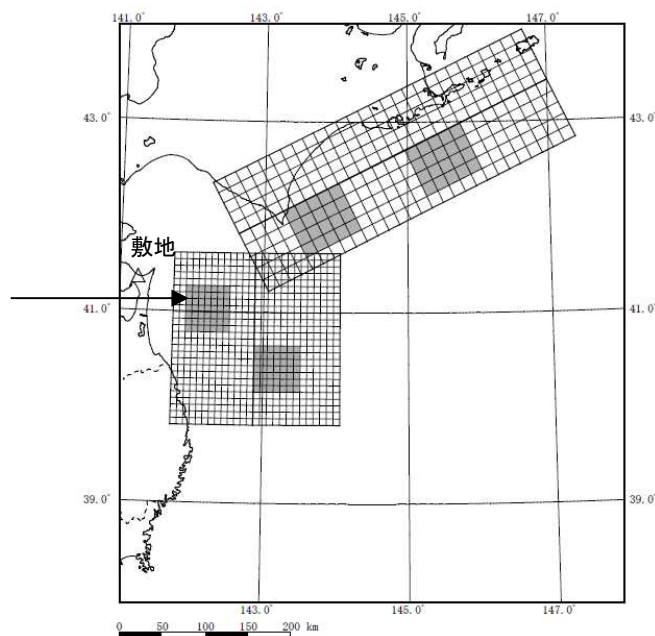
震源パラメータ比較の結果、敷地に対する影響は、「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)」が、「想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)」を上回ると考えられる。

4.1 プレート間地震／4.1.1 検討用地震の選定

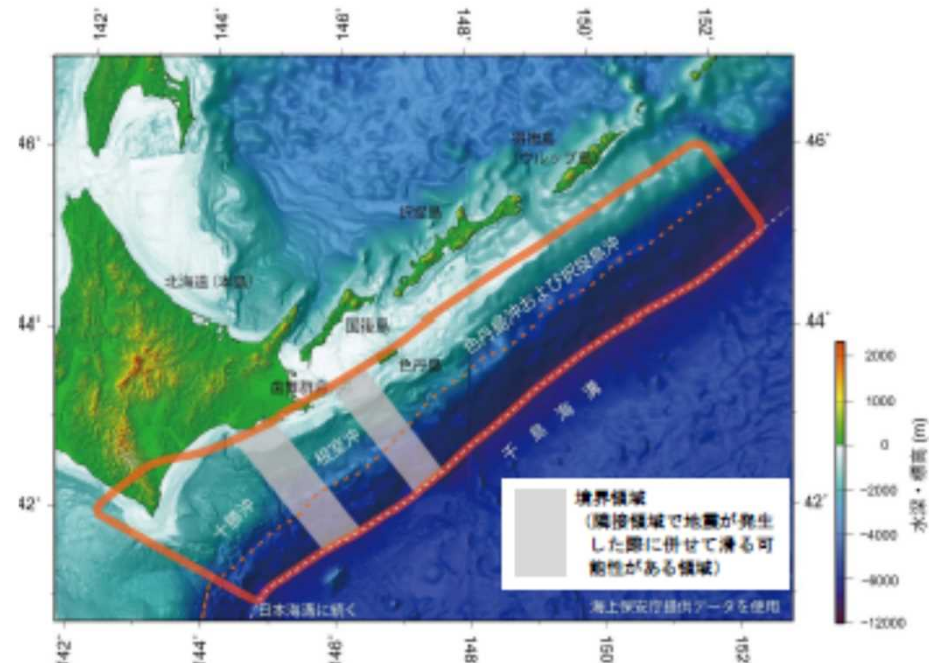
検討用地震の選定(2)

◎「千島海溝沿いの超巨大地震(17世紀型)」と「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)」の比較

強震動生成域
(SMGA)



2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)
(三陸沖北部～根室沖の連動)断層モデル図



千島海溝沿いの評価対象領域
地震調査委員会(2017b)

「千島海溝沿いの超巨大地震(17世紀型)」は、十勝沖から択捉島沖を震源領域としたM8.8程度以上の超巨大地震とされているが、「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震」がMw9.0の規模を考慮しており、敷地に最も近い領域である三陸沖北部の領域を震源領域に設定していること、「超巨大地震(17世紀型)」の震源領域は千島海溝の北東側にのび、敷地から遠くなることから、「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)」の方が、敷地への影響が大きいと考えられる。

以上より、検討用地震として、「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)」を選定する。

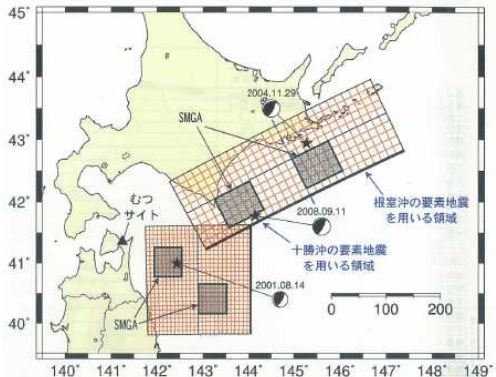
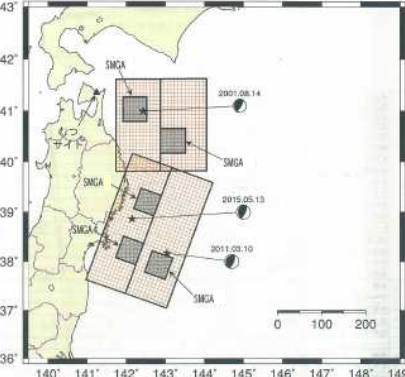
4.1 プレート間地震／4.1.2 地震動評価の検討方針

■ 応答スペクトルに基づく地震動評価

- ✓ 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)は、既往の距離減衰式に対して外挿となること及び敷地から見て広範囲に震源領域が広がっていることから、距離減衰式による評価が困難であるため、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う。

■ 断層モデルを用いた手法による地震動評価

- ✓ 想定した震源域において、要素地震となる地震の観測記録が得られていることから、「経験的グリーン関数法」により評価する。

震源領域	三陸沖北部～根室沖の連動モデル	三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル
要素地震の 諸元	対象領域	対象領域
	発震日時	発震日時
	北緯(°)	北緯(°)
	東経(°)	東経(°)
	深さ(km)	深さ(km)
	M	M
	三陸沖北部	三陸沖北部
	2001.8.14 5:11	2001.8.14 5:11
	40.9955	40.9955
	142.437	142.437
	37.69	37.69
	6.4	6.4
	十勝沖	三陸沖中南部
	2008.9.11 9:20	2015.5.13 6:12
	41.7755	38.8628
	144.152	142.15
	30.86	46.24
	7.1	6.8
	根室沖	宮城県沖
	2004.11.29 3:32	2011.3.10 6:23
	42.9460	38.1722
	145.276	143.045
	48.17	9.30
	7.1	6.8
要素地震の 震源位置		

4. 1 プレート間地震 / 4. 1. 3 震源モデルの設定 M9プレート間地震の震源モデルの設定方針

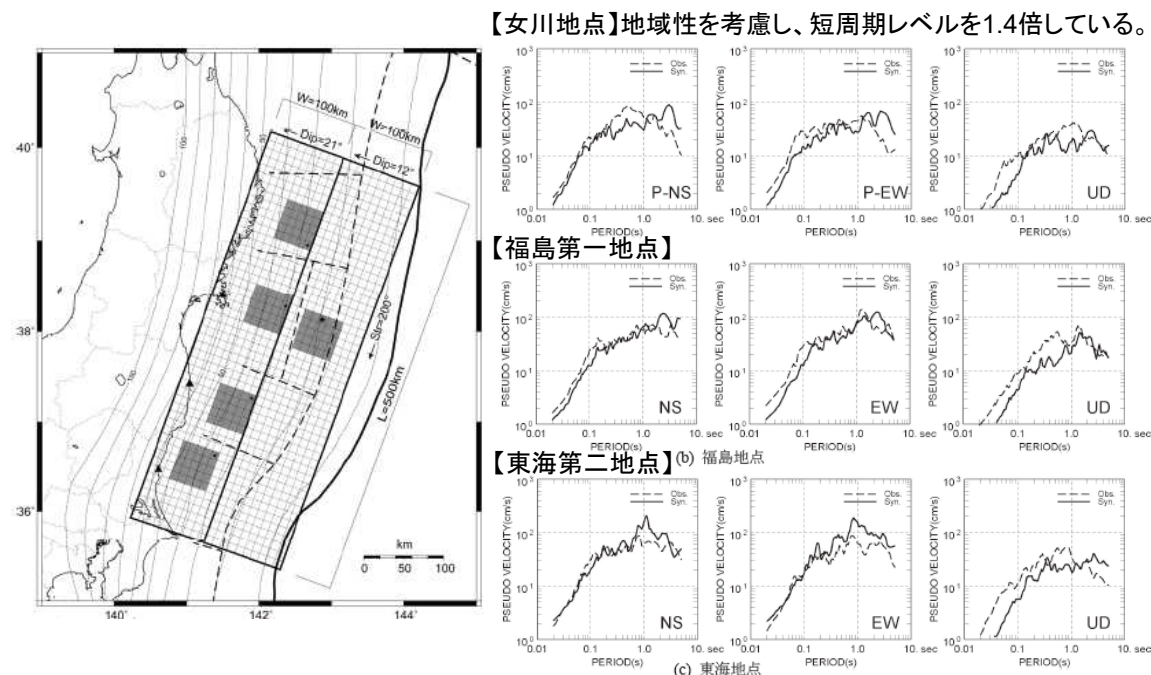
敷地東側における震源モデルの設定方針

- 地震規模は、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)(以下「M9プレート間地震」という)と同等の規模であるMw9.0となるように設定する。
- 断層面の設定にあたっては、2011年東北地方太平洋沖地震が複数の領域が連動した地震であったことを踏まえ、諸井ほか(2013)を参考に、敷地東側の三陸沖北部の領域を含む連動型プレート間地震を想定する。

3.11地震のポストディクション(諸井ほか(2013))

- 諸井ほか(2013)のモデルは、各サイト敷地前面の地域性を考慮することにより、女川、福島第一、東海第二の各発電所における観測記録と整合した結果を与え得るモデルとなっている。
- ↓
- 同じ太平洋プレートの沈み込みに伴うプレート間地震の評価として、同様の考えで敷地東側のプレート間地震のモデル設定に準用可能。
 - モデルの作成にあたっては、敷地東側の地域性について考慮することが必要。
- ↓

諸井ほか(2013)の知見を踏まえ、敷地東側の地域性を考慮した上で、M9プレート間地震の震源モデルを設定する。



	面積 S(km ²)	地震モーメント M ₀ (Nm)	平均すべり量 D(m)	応力降下量 Δσ(MPa)	短周期レベル A(Nm/s ²)
断層全体	100,000	4.0E+22	8.5	3.08	2.97E+20
SMGA1個あたり	2,500	2.0E+21	17.1	24.6	1.33E+20
背景領域	87,500	3.0E+22	7.3	4.9	—

ポストディクションモデルによる東北地方太平洋沖地震の強震動シミュレーション
諸井ほか(2013)

4.1 プレート間地震／4.1.3 震源モデルの設定 敷地で考慮する地域性の整理

- 敷地で考慮する検討用地震の基本震源モデル、不確かさケースについて、敷地前面の地域性を踏まえ以下のポイントに留意して設定する。

a) M9プレート間地震の連動範囲について

- 敷地前面の三陸沖北部の領域を含むM9プレート間地震として以下2ケースを考慮する。
 - モデル1: 三陸沖北部から根室沖の連動
 - モデル2: 三陸沖北部から宮城県沖の連動

b) 地域性を考慮したSMGAの位置について

- 敷地で考慮するM9プレート間地震の強震動生成域(以下「SMGA」という)の位置は、諸井ほか(2013)と同様に、過去に発生した地震を参照し、地域性を考慮した位置に設定する。

c) 地域性を考慮したSMGAの短周期レベルについて

- 諸井ほか(2013)は、福島、茨城沖では、過去の中小地震の短周期レベルの関係から、全断層面に対する強震動生成域(SMGA)の面積比を12.5%にした短周期レベルを採用し記録を再現している。宮城県沖では、過去の地震の特徴を踏まえ、さらにこれを1.4倍することで記録を再現している。

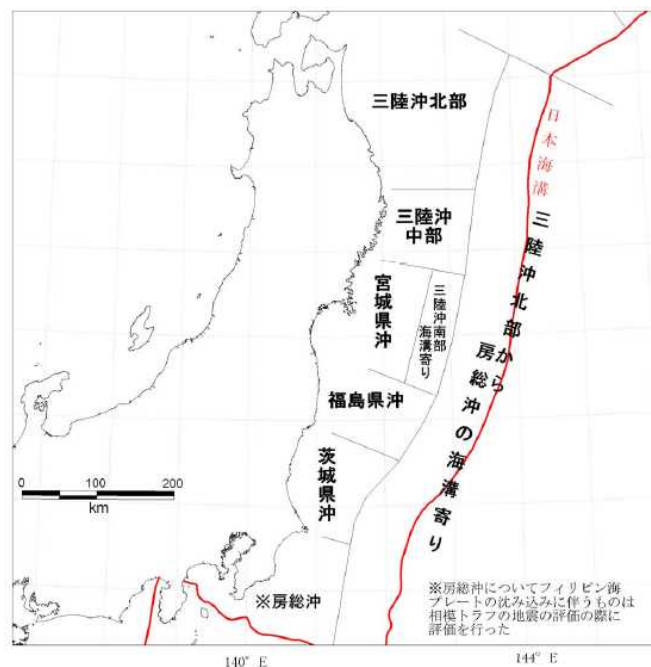


- 敷地で考慮するM9プレート間地震は、過去に発生した地震の特徴を踏まえた短周期レベルを参照し、地域性を考慮し設定する。

4.1 プレート間地震 / 4.1.3 震源モデルの設定 地域性を考慮したSMGAの位置の設定方針

b) 地域性を考慮したSMGAの位置の設定方針

- 敷地で考慮するM9プレート間地震のSMGA位置は、諸井ほか(2013)と同様に、過去に発生した地震を参照し、地域性を考慮した位置に設定する。
- SMGAは敷地東側の想定三陸沖北部の領域以外は、地震調査委員会(2012)の領域毎に1個ずつ配置する。



三陸沖から房総沖にかけての領域区分
(地震調査委員会(2012))

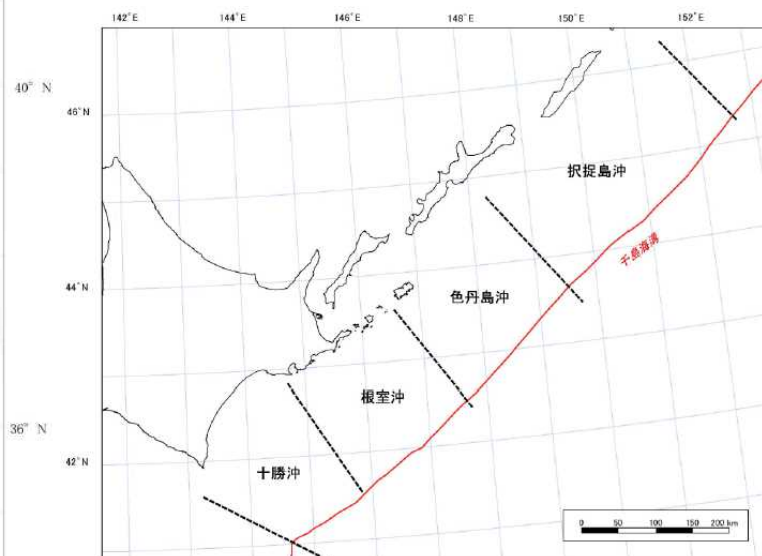
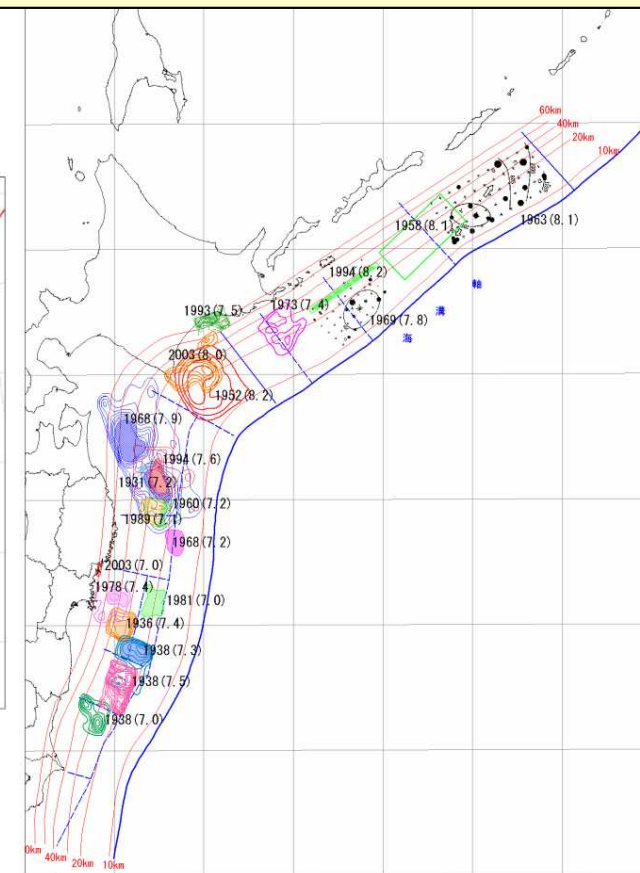


図1 千島海溝沿いの評価対象領域

千島海溝沿いの領域区分
(地震調査委員会(2004b))

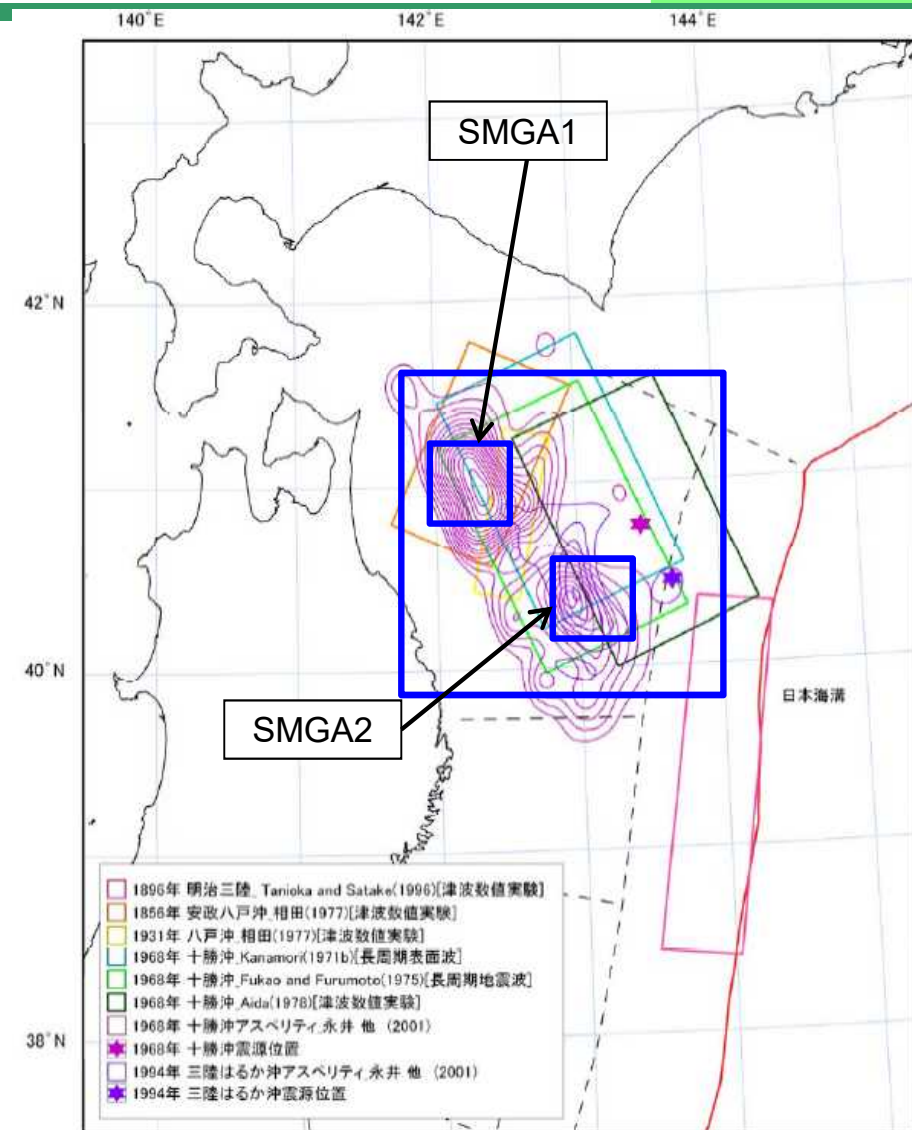


房総沖～根室沖にかえての主な地震と
主な震源域(中央防災会議(2004))

4.1 プレート間地震 / 4.1.3 震源モデルの設定 地域性を考慮したSMGAの位置(三陸沖北部)

三陸沖北部の領域におけるSMGA位置の設定

- 三陸沖北部の領域のSMGAは、永井ほか(2001)による1968年十勝沖地震の震源におけるすべり量の大きい領域と対応するように2つのSMGAを設定する。

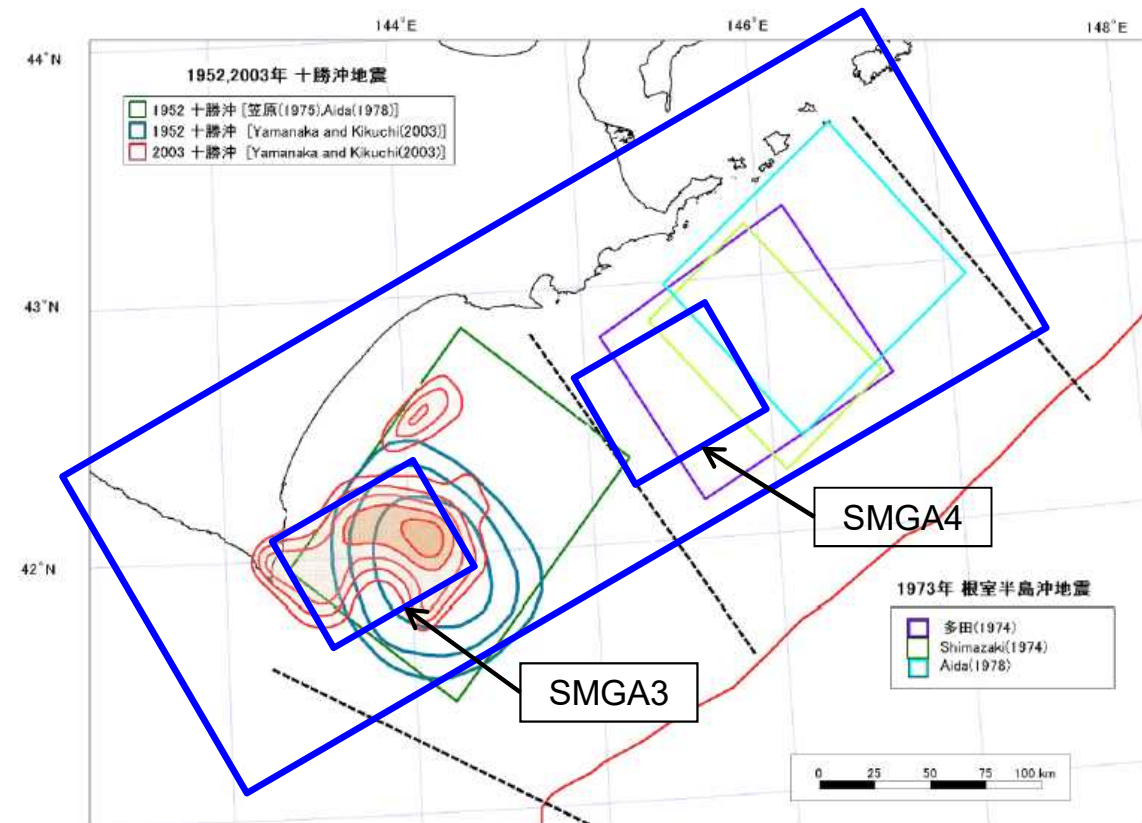


三陸沖北部の領域の断層面及びSMGA位置と
永井ほか(2001)のすべり分布との比較

4.1 プレート間地震 / 4.1.3 震源モデルの設定 地域性を考慮したSMGAの位置(十勝沖・根室沖)

十勝沖～根室沖の領域におけるSMGA位置の設定

- 十勝沖:地震調査委員会(2004b)の千島海溝沿いの長期評価において、十勝沖の代表的な地震とされる、「2003年十勝沖地震」のすべり量の大きい領域と対応するように設定する。
- 根室沖:1973年根室半島沖地震(M7.4)が発生していることから、敷地に対する影響が大きくなるように、領域内のうち敷地に近い位置に設定する。



地震調査委員会(2004b)に加筆

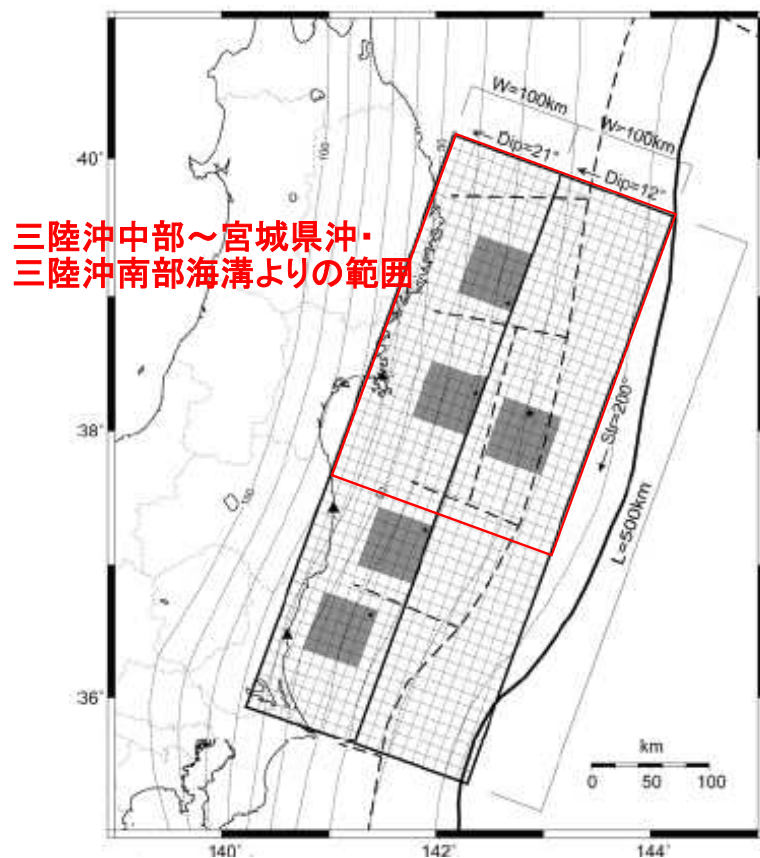
十勝沖及び根室沖の領域の断層面及びSMGAの位置

4. 1 プレート間地震 / 4. 1. 3 震源モデルの設定

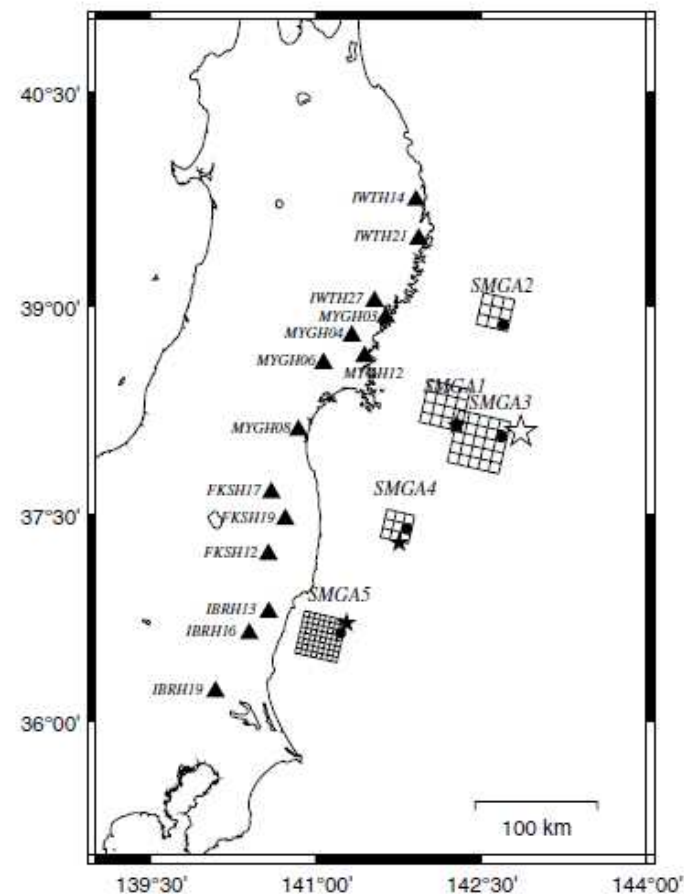
地域性を考慮したSMGAの位置(三陸沖中部～宮城県沖・三陸沖南部海溝寄り)

三陸沖中部～宮城県沖・三陸沖南部海溝寄りの領域におけるSMGA位置の設定

- 諸井ほか(2013)の断層モデルに基づき、三陸沖中部～宮城県沖・三陸沖南部海溝寄りのSMGAを設定する。



震源モデル(背景の太線は日本海溝, 破線は海溝型地震の発生領域, 点線はJ-SHISの太平洋プレート上面等深線)
諸井ほか(2013)に加筆

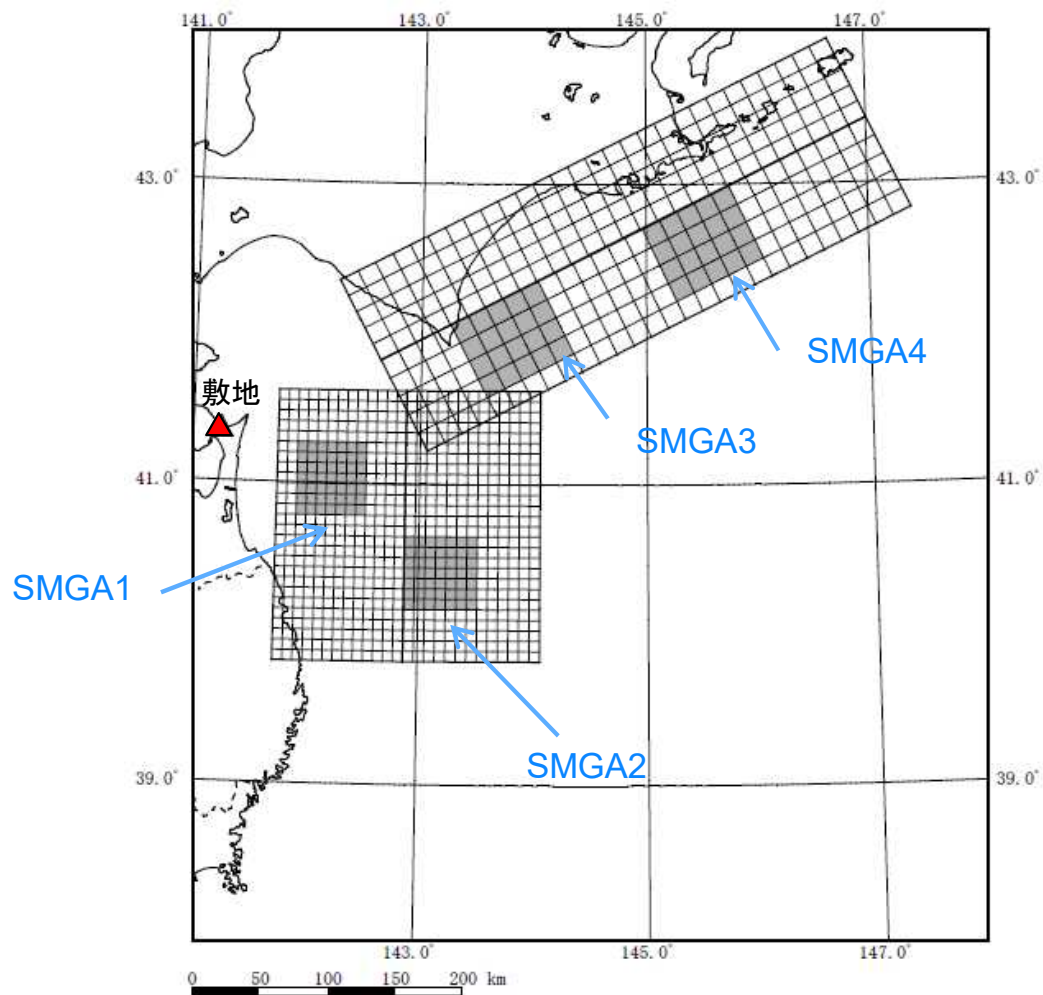


Kurahashi and Irikura (2013)

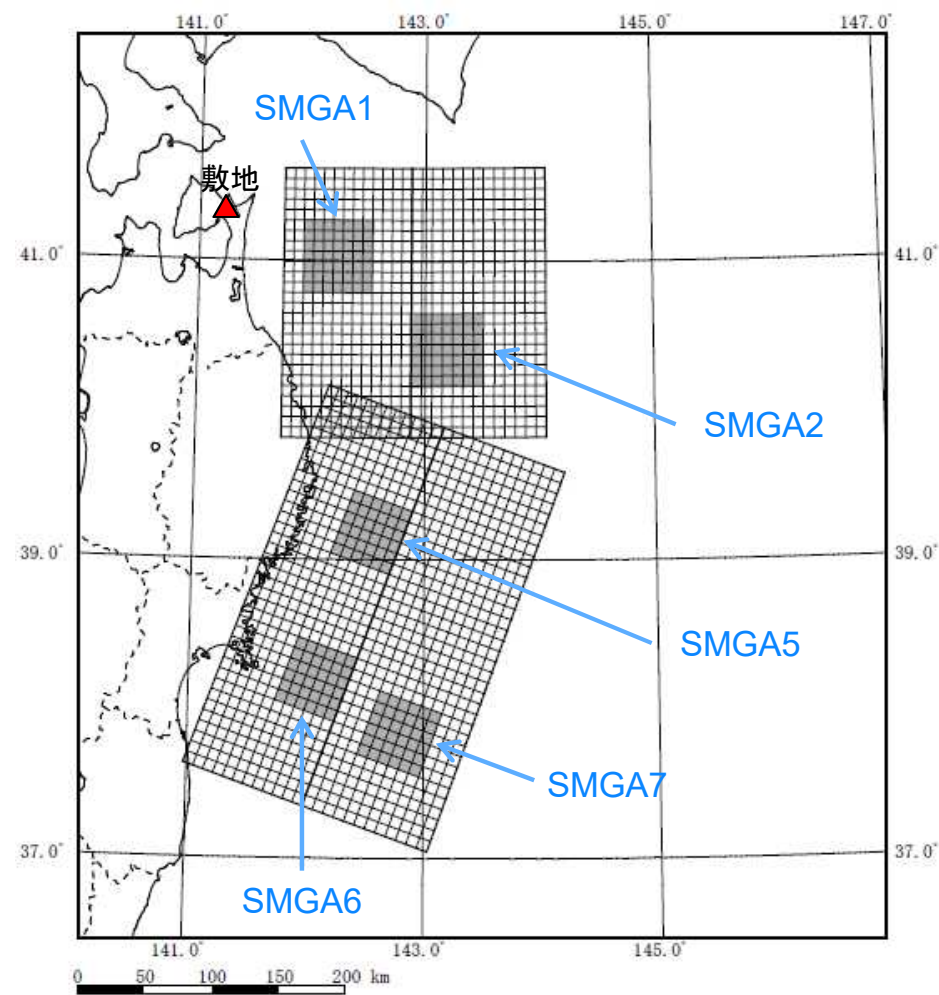
諸井ほか(2013)による断層モデルのSMGA位置は、強震動波形解析による断層モデル(Kurahashi and Irikura(2013))と概ね良い対応をしている。

4.1 プレート間地震／4.1.3 震源モデルの設定 設定した震源モデル

設定した震源モデルの断層面



三陸沖北部～根室沖の連動モデル
基本震源モデル

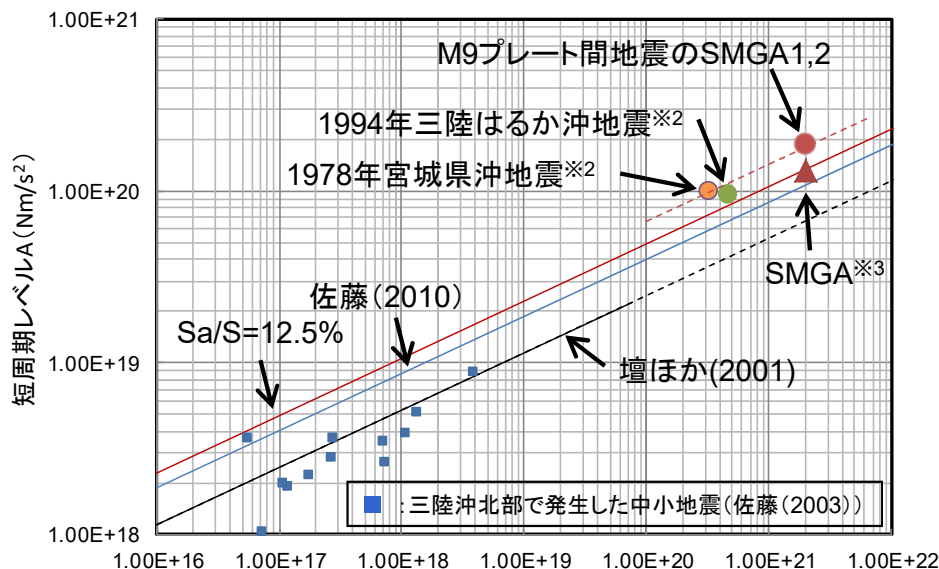


三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル
基本震源モデル

4.1 プレート間地震 / 4.1.3 震源モデルの設定 地域性を考慮したSMGAの短周期レベル

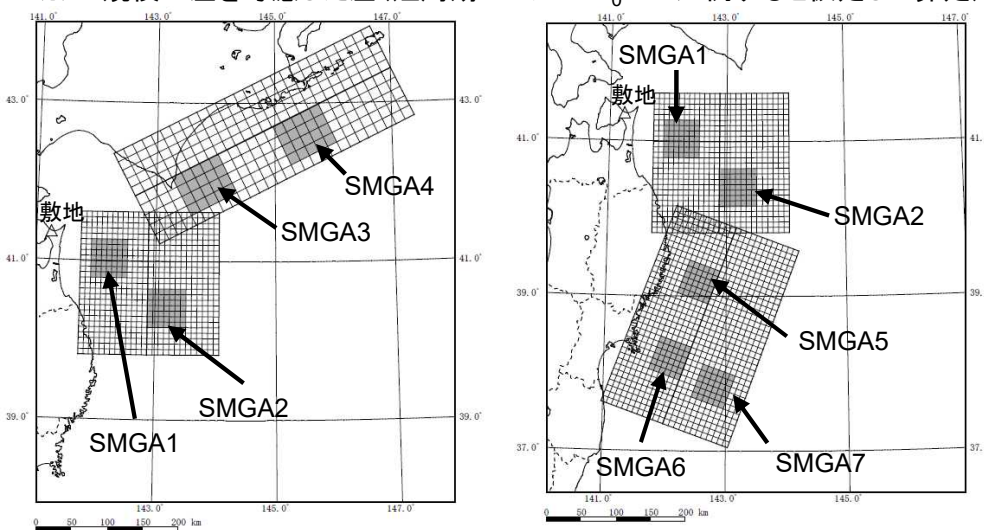
三陸沖北部の領域のSMGAの短周期レベル

- 佐藤(2003)による三陸沖北部で発生した中小のプレート間地震の地震モーメント(M_0)と短周期レベル(A)の関係は、諸井ほか(2013)に基づく全断層面積に対する強震動生成域(SMGA)の面積比12.5%相当の M_0 -A関係に比べて小さい傾向にある。
- 一方、1994年三陸はるか沖地震($M7.6$)の M_0 -A関係は、諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の M_0 -A関係より大きく、約1.3倍※1となっている。
- 以上を踏まえると、中小地震の短周期レベルの傾向は敷地近傍のSMGA1の短周期レベルに反映し、1994年三陸はるか沖地震の短周期レベルの傾向はSMGA2に反映することが考えられるが保守的に、1994年三陸はるか沖地震の短周期レベルの傾向をSMGA1、SMGA2の両方に反映する。
- 短周期レベルの割り増し率は、1994年三陸はるか沖地震の M_0 -A関係を上回る1978年宮城県沖地震($M7.4$)の1.4倍※1を採用する。
- 佐藤(2010)において、太平洋プレートにおけるプレート境界地震のスケーリング則が示されている。また、佐藤(2012)において、2011年東北地方太平洋沖地震の短周期レベルは、佐藤(2010)のスケーリング則とよく整合することが示されている。設定したSMGAの短周期レベルは、佐藤(2010)によるスケーリング則を上回っている。



短周期レベルと既往スケーリング則の比較

※1 規模の差を考慮した差(短周期レベルが $M_0^{1/3}$ に比例すると仮定して算定)

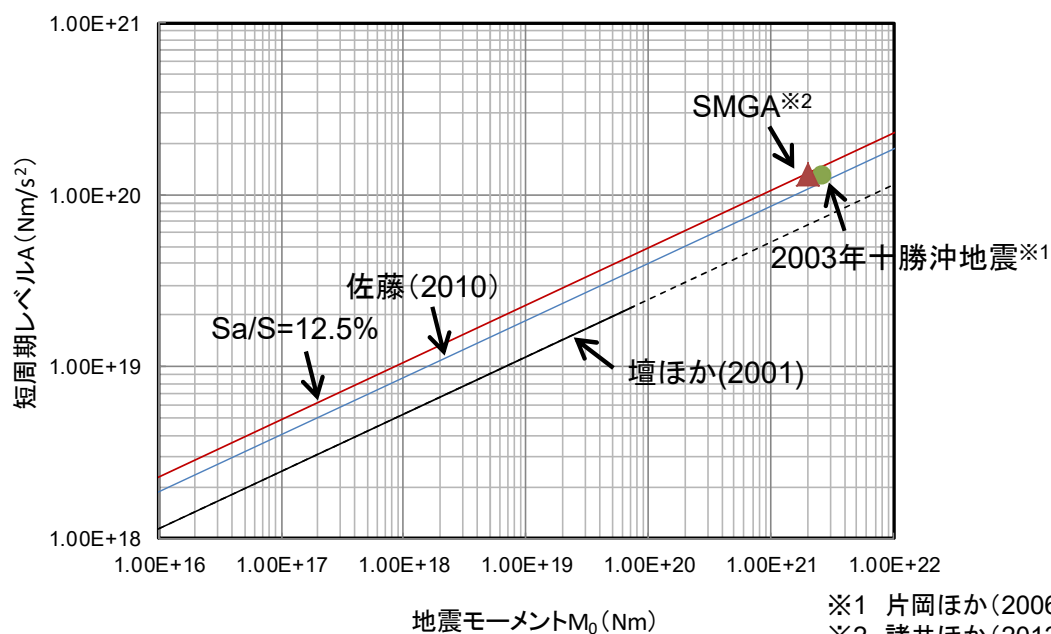


※2 片岡ほか(2006)
※3 諸井ほか(2013)の1個のSMGAを
ここでは1つの地震として表示している。

4.1 プレート間地震 / 4.1.3 震源モデルの設定 地域性を考慮したSMGAの短周期レベル

想定三陸沖北部以外のSMGAの短周期レベル

- 十勝沖では、2003年十勝沖地震が発生しており、この地震の地震モーメント(M_0)と短周期レベル(A)の関係は諸井ほか(2013)に基づく全断面面積に対するSMGAの面積比12.5%相当の M_0 - A 関係と比べて同等であることから、十勝沖のSMGA3の短周期レベルは、諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベルそのままを採用する。
- その他のSMGAについては、敷地からの距離が遠く、多少の短周期レベルの変動があっても敷地に与える影響は小さいと考えられることから、諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベルそのままを採用する。
- 佐藤(2010)において、太平洋プレートにおけるプレート境界地震のスケールリング則が示されている。また、佐藤(2012)において、2011年東北地方太平洋沖地震の短周期レベルは、佐藤(2010)のスケールリング則とよく整合することが示されている。設定したSMGAの短周期レベルは、佐藤(2010)によるスケールリング則を上回っている。

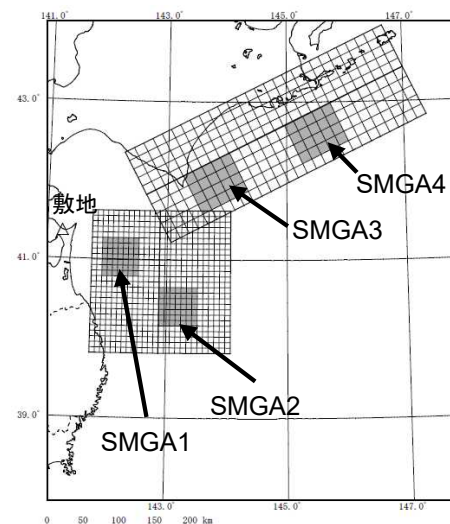


短周期レベルと既往スケールリング則の比較

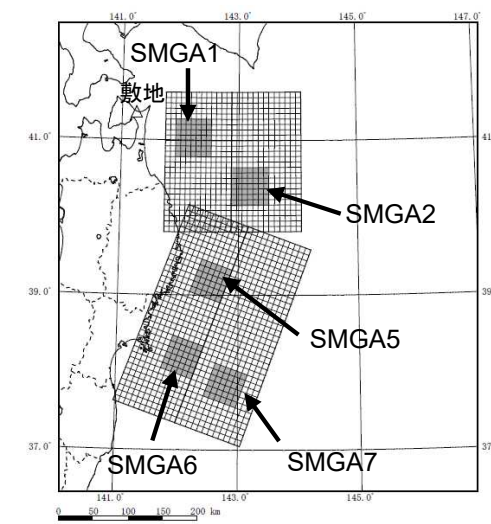
※1 片岡ほか(2006)

※2 諸井ほか(2013)の1個のSMGAを

ここでは1つの地震として表示している。



三陸沖北部～根室沖の連動
基本震源モデル



三陸沖北部～宮城県沖の連動
基本震源モデル

4.1 プレート間地震／4.1.3 震源モデルの設定

M9プレート間地震の検討ケース一覧

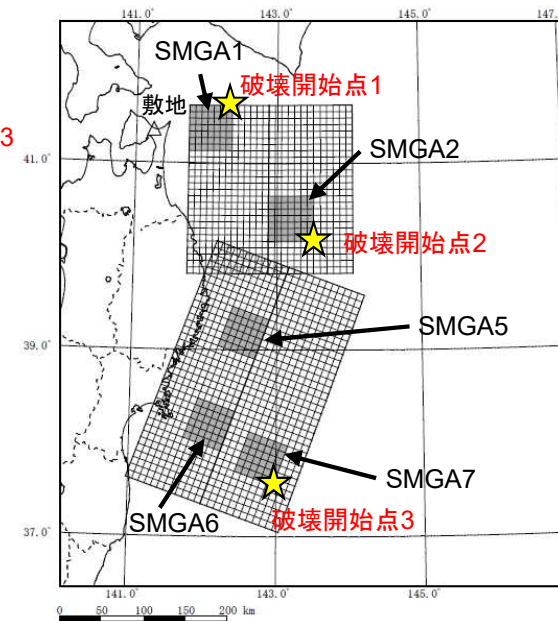
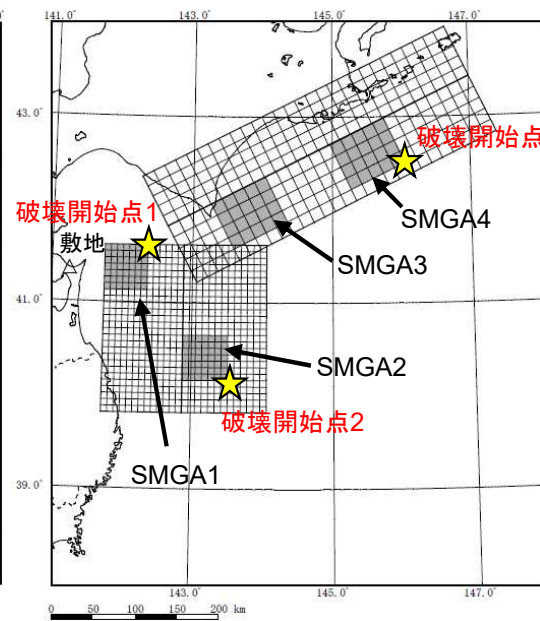
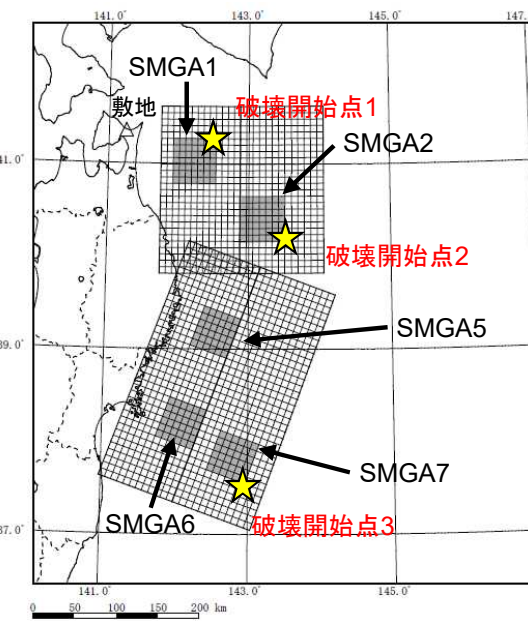
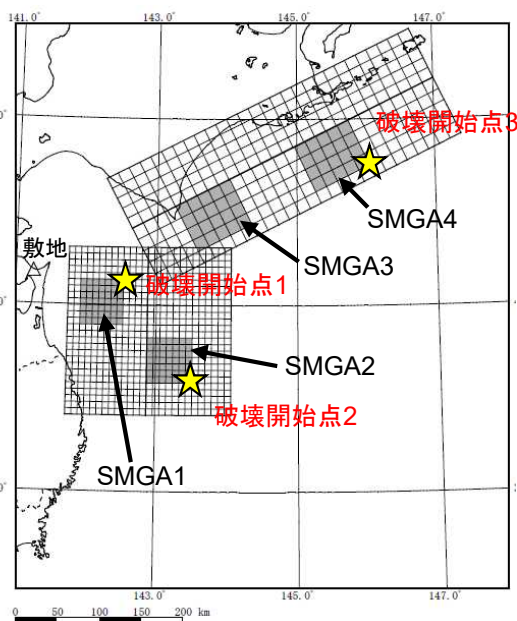
基本震源モデル及び不確かさケース

検討ケース	領域の連動	SMGAの位置		SMGAの短周期レベル	破壊開始点	備考
地域性を踏まえた想定	三陸沖北部～根室沖	図a		SMGA1: 三陸沖北部の中小地震を踏まえた短周期レベル SMGA2: 1994年三陸はるか沖地震を踏まえた短周期レベル SMGA3～7: 諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベル	複数設定	
	三陸沖北部～宮城県沖	図b				
基本震源モデル	三陸沖北部～根室沖	図a		SMGA1～2: 1978年宮城県沖地震を踏まえた短周期レベル SMGA3～7: 諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベル	複数設定	地域性を踏まえた想定に対し短周期レベルを保守的に嵩上げたモデルを基本震源モデルとする。 【敷地とSMGA1との等価震源距離: 103km】
	三陸沖北部～宮城県沖	図b				
SMGAの位置の不確かさを考慮したケース	三陸沖北部～根室沖	SMGA1をサイト直近に移動	図c	SMGA1～2: 1978年宮城県沖地震を踏まえた短周期レベル SMGA3～7: 諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベル	複数設定	【敷地とSMGA1との等価震源距離: 88km】
	三陸沖北部～宮城県沖		図d			

4.1 プレート間地震 / 4.1.3 震源モデルの設定 検討ケースの断層面

基本震源モデル及び不確かさケースの断層面

★ : 破壊開始点



図a 三陸沖北部～根室沖の連動
基本震源モデル

図b 三陸沖北部～宮城県沖の連動
基本震源モデル

図c 三陸沖北部～根室沖の連動
SMGAの位置の不確かさを
考慮したケース

図d 三陸沖北部～宮城県沖の連動
SMGAの位置の不確かさを
考慮したケース

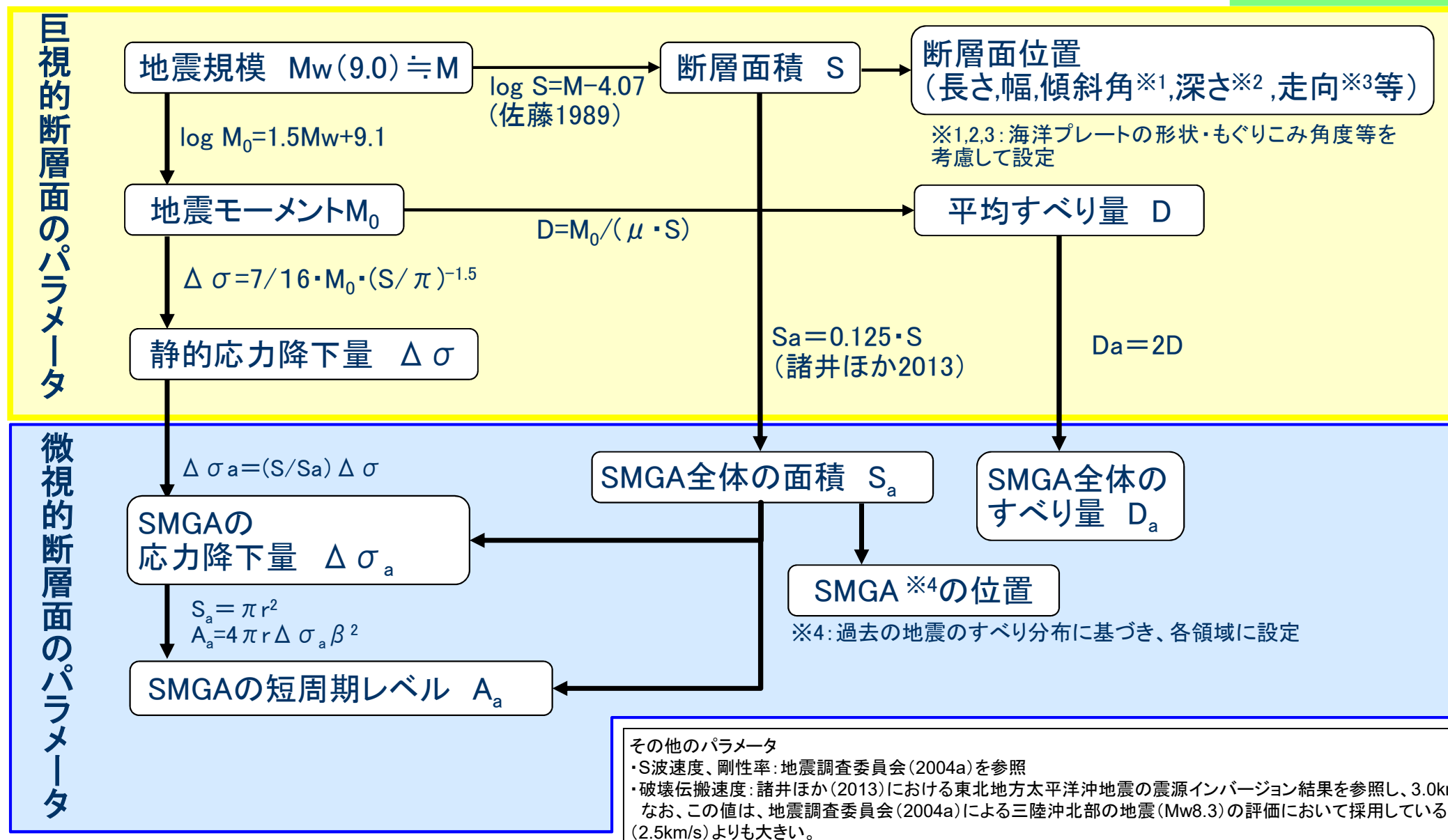
4. 1 プレート間地震 / 4. 1. 3 震源モデルの設定 破壊開始点の設定の考え方について

破壊開始点の設定の考え方

- 敷地への影響が大きいと考えられる破壊開始点を選定する。
- 三陸沖北部の領域について
 - 破壊の進行方向が北側から敷地に向かう場合として、SMGA1を敷地に近づけた不確かさを想定し、**SMGA1の北東端**を破壊開始点として設定する。
 - 破壊の進行方向が南側から敷地に向かう場合として、SMGA2の南東端から破壊が開始したケースが、SMGA1とSMGA2の破壊の進行方向が同じとなり、波の重なり合いを考慮すると敷地への影響が一番大きいと考えられることから、**SMGA2の南東端**を破壊開始点として設定する。
- 十勝沖と根室沖の領域について
 - SMGA3とSMGA4の破壊の進行方向が敷地に向かう場合が、波の重なり合いを考慮すると敷地への影響が一番大きいと考えられることから、**SMGA4の南東端**を破壊開始点として設定する。
- 三陸沖中部～宮城県沖・三陸沖南部海溝寄りの領域について
 - SMGA5、SMGA6、SMGA7と敷地の位置関係から、これらSMGAの破壊の進行方向が敷地に向かう場合で、かつ、三陸沖北部のSMGAの破壊の進行方向が敷地に向かう位置に破壊伝播すること場合を想定し、敷地への影響が一番大きいと考えられる、**SMGA7の南東端**に破壊開始点を設定する。

4. 1 プレート間地震 / 4. 1. 3 震源モデルの設定

M9プレート間地震のパラメータ設定フロー



4.1 プレート間地震 / 4.1.3 震源モデルの設定

断層パラメータ表 (三陸沖北部～宮城県沖の連動)

■ 「三陸沖北部～宮城県沖の連動」の断層パラメータは、地震調査委員会(2017a)「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」(以下「強震動予測レシピ」という。)、諸井ほか(2013)等に基づいてパラメータを算定している。

三陸沖北部～宮城県沖の連動のパラメータ表

項目		三陸沖 北部	三陸沖 中南部～ 宮城県沖	備考		
巨視的 震源 特性	走向(θ)	°	180	200	プレートの沈み込み等深線を参考に設定	
	傾斜角1(δ1)	°	10	12	同上	
	傾斜角2(δ2)	°	20	21	同上	
	断層長さ(L _i)	km	200	300	プレートの沈み込み等深線及び断層面積に基づき設定	
	断層幅(W _i)	km	200	200	プレートの沈み込み等深線を参考に設定	
	上端深さ	km	12.6	12.3	同上	
	下端深さ	km	64.2	68.9	同上	
	各領域の面積(S _i)	km ²	40000	60000	S _i =L _i ×W _i	
	全体の断層面積(S)	km ²	100000		佐藤ほか(1989)を参照 logS=M-4.07	
	平均応力降下量(Δσ)	Mpa	3.08		$\Delta\sigma = 7/16 \times M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$	
	地震モーメント(M ₀)	Nm	4.00E+22		logM ₀ =1.5Mw+9.1	
	モーメントマグニチュード(Mw)	-	9.0		Mw=(logM ₀ -9.1)/1.5	
	平均すべり量(D)	m	8.5		D=M ₀ /(μ・S)	
	剛性率(μ)	N/m ²	4.68E+10		ρ=3.08g/cm ³ , μ=ρ・β ²	
	S波速度(β)	km/s	3.9		地震調査委員会(2004a)	
破壊伝搬速度(V _r)	km/s	3.0		諸井ほか(2013)		
全 S M G A	面積(S _a)	km ²	12500		S _a =S×0.125 諸井ほか(2013)	
	地震モーメント(M _{0a})	Nm	1.00E+22		M _{0a} =μ・S _a ・D _a	
	すべり量(D _a)	m	17.1		D _a =2×D	
	応力降下量(Δσ _a)	Mpa	24.6		Δσ _a =(S/S _a)・Δσ	
	短周期レベル(A _a)	Nm/s ²	3.49E+20		A _a =(ΣA _{ai} ²) ^{1/2}	
			SMGA1～2	SMGA5～7		
	各 S M G A	面積(S _{ai})	km ²	2500	2500	S _{ai} =S _a /5
		地震モーメント(M _{0ai})	Nm	2.00E+21	2.00E+21	M _{0ai} =μ・S _{ai} ・D _{ai}
		すべり量(D _{ai})	m	17.1	17.1	D _{ai} =D _a ×γ _i /Σ(γ _i ³), γ _i =r _i /r=(S _{ai} /S _a) ^{1/2}
		応力降下量(Δσ _{ai})	Mpa	34.5	24.6	Δσ _{ai} =Δσ _a , 三陸沖北部は1.4倍
		短周期レベル(A _{ai})	Nm/s ²	1.86E+20	1.33E+20	A _{ai} =4π(S _{ai} /π) ^{1/2} ・Δσ _{ai} ・Vs ²
		ライズタイム(τ _{ai})	s	8.33	8.33	τ _{ai} =0.5・W _{ai} /V _r , W _{ai} =S _{ai} ^{1/2}
	背景 領域	面積(S _b)	km ²	87500		S _b =S-S _a
		各領域の面積(S _{bi})	km ²	35000	52500	S _{bi} =S _i -ΣS _{ai}
		地震モーメント(M _{0b})	Nm	3.00E+22		M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
各領域の地震モーメント(M _{0bi})		Nm	1.20E+22	1.80E+22	M _{0bi} =μ・D _b ・S _{bi}	
すべり量(D _b)		m	7.3		D _b =M _{0b} /(μ・S _b)	
実効応力(Δσ _b)		Mpa	4.9		Δσ _b =0.2Δσ _a	
ライズタイム(τ _b)	s	33.33		τ _b =0.5・W _b /V _r , W _b =W		

4.1 プレート間地震 / 4.1.3 震源モデルの設定

断層パラメータ表 (三陸沖北部～根室沖の連動)

■ 「三陸沖北部～根室沖の連動」の断層パラメータは、強震動予測レシビ、諸井ほか(2013)等に基づいてパラメータを算定している。

三陸沖北部～根室沖の連動のパラメータ表

項目		三陸沖北部	十勝沖～根室沖	備考		
巨視的震源特性	走向(θ)	°	180	245	プレートの沈み込み等深線を参考に設定	
	傾斜角1(δ1)	°	10	10	同上	
	傾斜角2(δ2)	°	20	30	同上	
	断層長さ(L _i)	km	200	400	プレートの沈み込み等深線及び断層面積に基づき設定	
	断層幅(W _i)	km	200	150	プレートの沈み込み等深線を参考に設定	
	上端深さ	km	12.6	17.0	同上	
	下端深さ	km	64.2	67.5	同上	
	各領域の面積(S _i)	km ²	40000	60000	S _i =L _i ×W _i	
	全体の断層面積(S)	km ²	100000		佐藤ほか(1989)を参照 logS=M-4.07	
	平均応力降下量(Δσ)	Mpa	3.08		Δσ=7/16×M ₀ ·(S/π) ^{-3/2}	
	地震モーメント(M ₀)	Nm	4.00E+22		logM ₀ =1.5Mw+9.1	
	モーメントマグニチュード(Mw)	-	9.0		Mw=(logM ₀ -9.1)/1.5	
	平均すべり量(D)	m	8.5		D=M ₀ /(μ·S)	
	剛性率(μ)	N/m ²	4.68E+10		ρ=3.08g/cm ³ , μ=ρ·Vs ²	
	S波速度(β)	km/s	3.9		地震調査委員会(2004a)	
破壊伝搬速度(Vr)	km/s	3.0		諸井ほか(2013)		
全SMGA	面積(S _a)	km ²	12500		S _a =S×0.125 諸井ほか(2013)	
	地震モーメント(M _{0a})	Nm	1.00E+22		M _{0a} =μ·S _a ·D _a	
	すべり量(D _a)	m	17.1		D _a =2×D	
	応力降下量(Δσ _a)	Mpa	24.6		Δσ _a =(S/S _a)·Δσ	
	短周期レベル(A _a)	Nm/s ²	3.49E+20		A _a =(ΣA _{ai} ²) ^{1/2}	
	各SMGA			SMGA1～2	SMGA3～4	
		面積(S _{ai})	km ²	2500	3750	S _{a1} =S _{a2} =S _a ·(S ₁ /S)/2, S _{a6} =S _{a7} =S _a ·(S ₂ /S)/2
		地震モーメント(M _{0ai})	Nm	2.00E+21	3.00E+21	M _{0a1} =M _{0a2} =基本, M _{0a6} =M _{0a7} =(M _{0a} -(M _{0a1} +M _{0a2}))/2
		すべり量(D _{ai})	m	17.1	17.1	D _{a1} =D _{a2} =基本, D _{a6} =D _{a7} =M _{0a3} /(μ·S _{a3}) ^{1/2}
		応力降下量(Δσ _{ai})	Mpa	34.5	24.6	Δσ _{ai} =Δσ _a , 三陸沖北部は1.4倍
短周期レベル(A _{ai})		Nm/s ²	1.86E+20	1.63E+20	A _{ai} =4π(S _{ai} /π) ^{1/2} ·Δσ _{ai} ·Vs ²	
ライズタイム(τ _{ai})		s	8.33	10.21	τ _{ai} =0.5·W _{ai} /V _r , W _{ai} =S _{ai} ^{1/2}	
背景領域	面積(S _b)	km ²	87500		S _b =S-S _a	
	各領域の面積(S _{bi})	km ²	35000	52500	S _{bi} =S _i -ΣS _{ai}	
	地震モーメント(M _{0b})	Nm	3.00E+22		M _{0b} =M ₀ -M _{0a}	
	各領域の地震モーメント(M _{0bi})	Nm	1.20E+22	1.80E+22	M _{0bi} =μ·D _b ·S _{bi}	
	すべり量(D _b)	m	7.3		D _b =M _{0b} /(μ·S _b)	
	実効応力(Δσ _b)	Mpa	4.9		Δσ _b =0.2Δσ _a	
ライズタイム(τ _b)	s	33.33		τ _b =0.5·W _b /V _r , W _b =W		

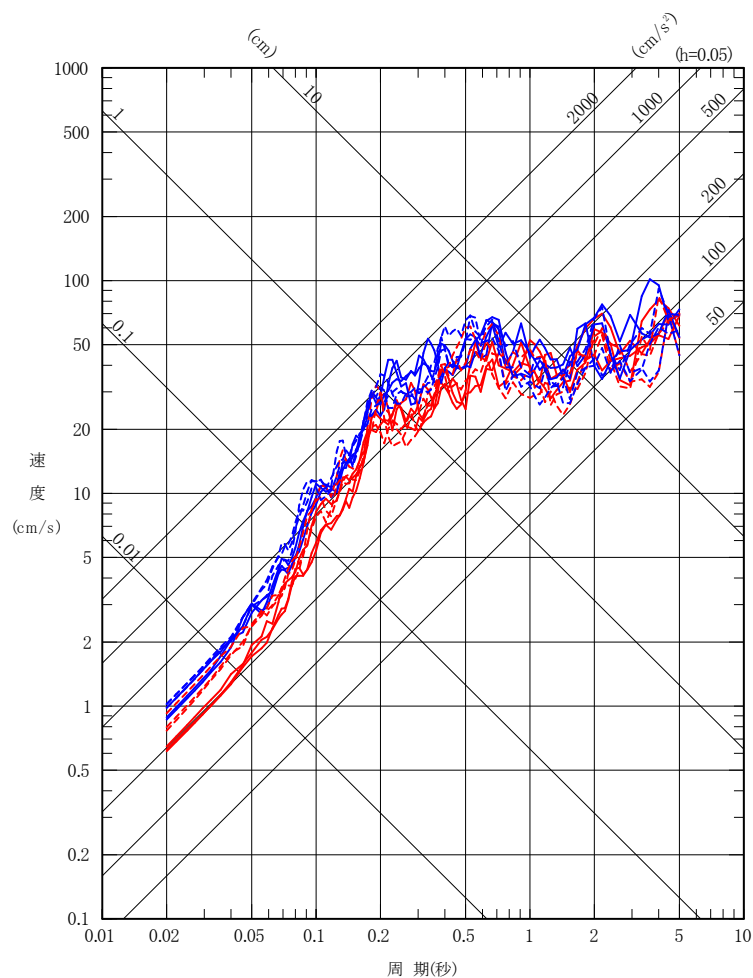
4.1 プレート間地震 / 4.1.4 地震動評価結果

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果の重ね書き (1)

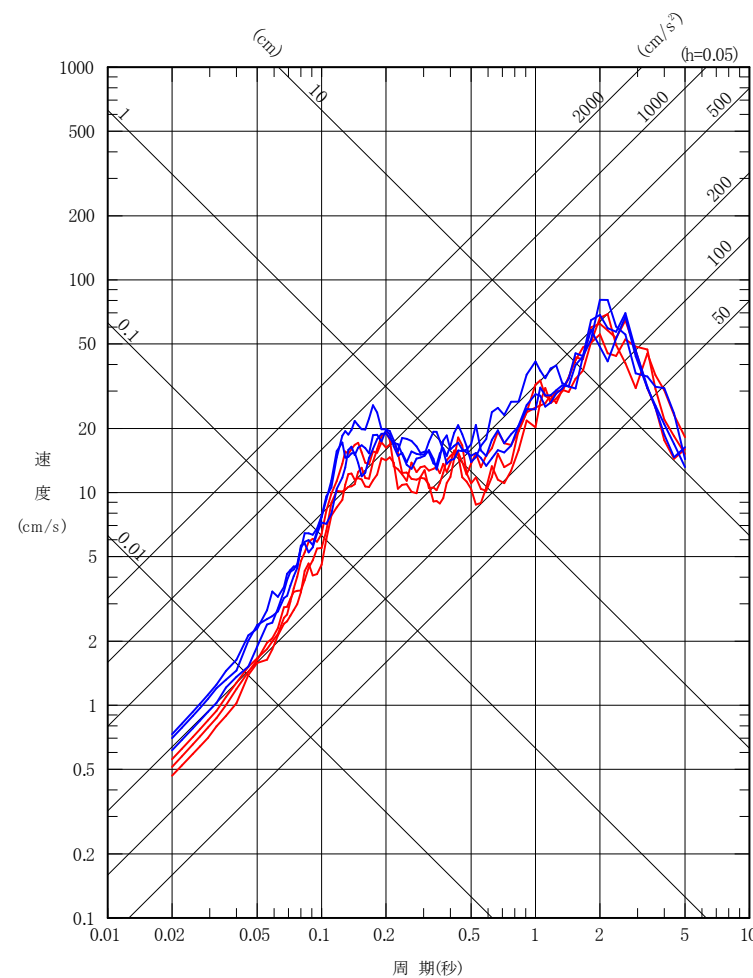
■三陸沖北部～根室沖の連動

- 基本震源モデル NS方向
- - - 基本震源モデル EW方向
- SMGAの位置の不確かさを考慮したケース NS方向
- - - SMGAの位置の不確かさを考慮したケース EW方向

- 基本震源モデル UD方向
- SMGAの位置の不確かさを考慮したケース UD方向



水平方向

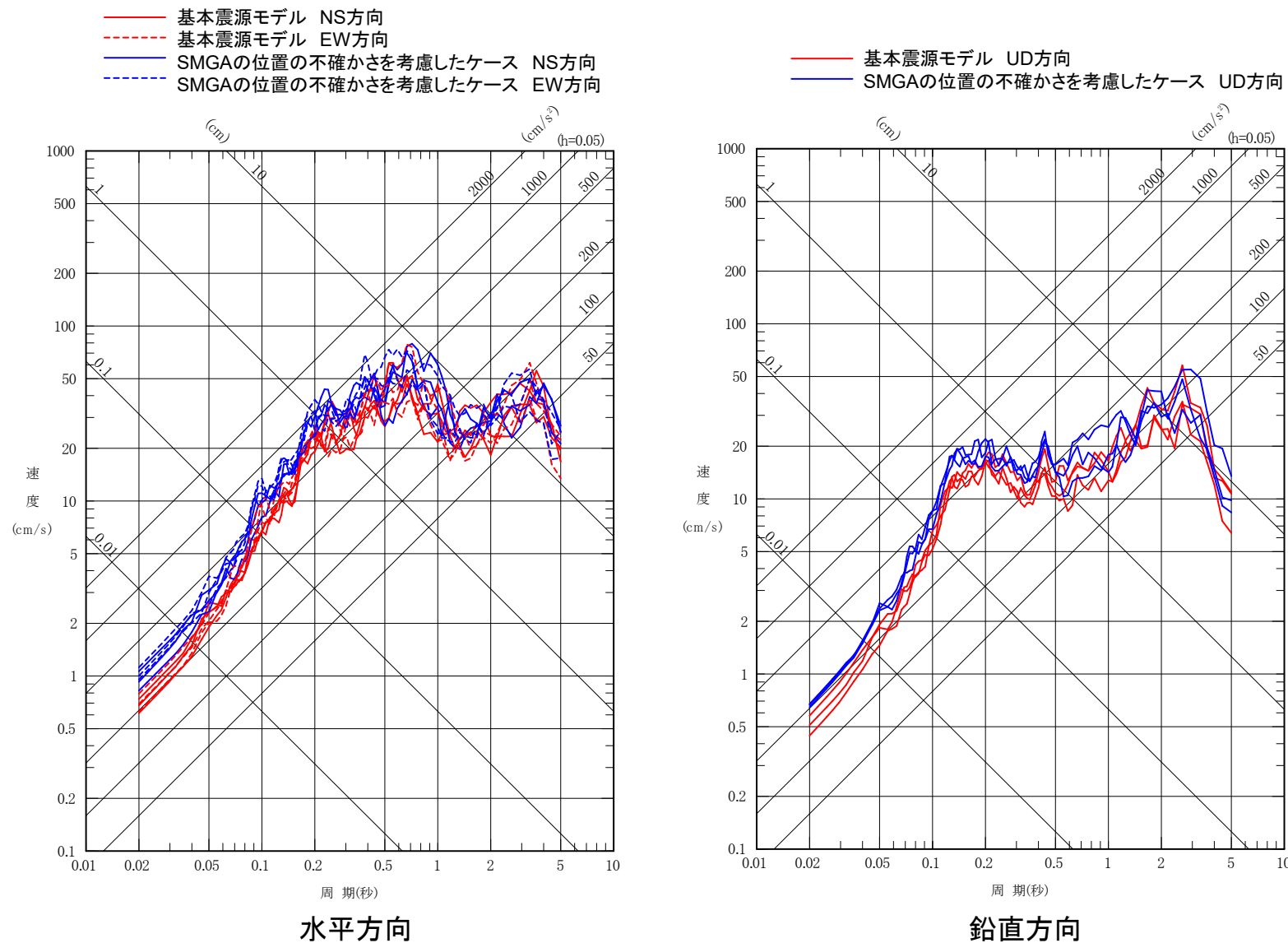


鉛直方向

4.1 プレート間地震 / 4.1.4 地震動評価結果

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果の重ね書き (2)

■三陸沖北部～宮城県沖の連動



1. 基準地震動策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 4. 1 プレート間地震
 4. 2 海洋プレート内地震
 4. 3 内陸地殻内地震
5. 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.1 海洋プレート内地震の発生状況

海洋プレート内地震の主な地震

■ 主な地震

1) 海洋プレート内地震

(海溝軸付近から陸側で発生する沈み込んだ海洋プレート内地震)

a) 沈み込んだ海洋プレート内上部の地震(DC型)

- ① 2003年宮城県沖の地震(M7.1)
- ② 2011年4月宮城県沖の地震(M7.2)

b) 沈み込んだ海洋プレート内下部の地震(DE型)

- ③ 1993年釧路沖地震(M7.5)
- ④ 2008年岩手県沿岸北部の地震(M6.8)

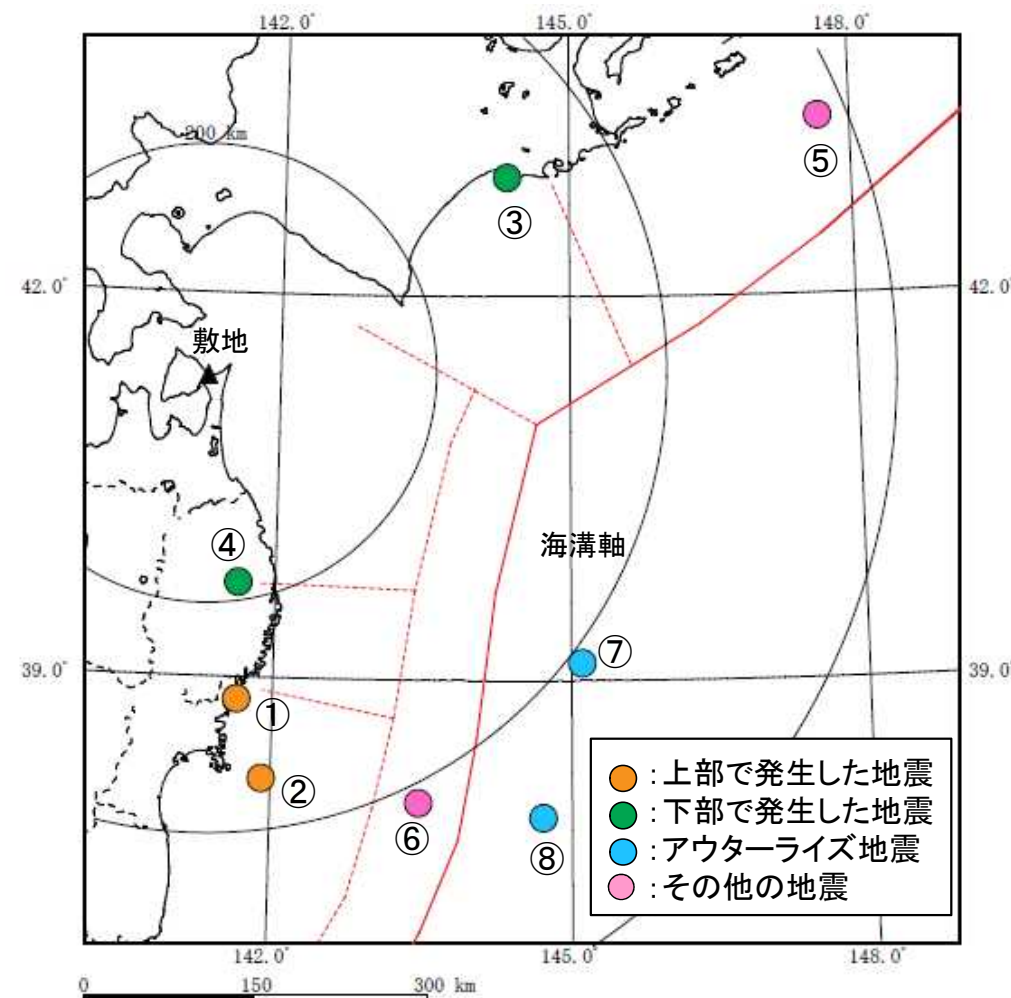
c) 沈み込んだ海洋プレート内のやや浅い地震

- ⑤ 1994年北海道東方沖地震(M8.2)
- ⑥ 2011年7月三陸沖の地震(M7.3)

2) アウターライズ地震

(海溝軸付近ないしそのやや沖合で発生する沈み込む海洋プレート内の地震)

- ⑦ 1933年昭和三陸地震(M8.1)
- ⑧ 2011年3月三陸沖の地震(M7.5)



過去に発生した海洋プレート内地震の震央位置

⇒敷地で震度5弱程度以上の揺れは認められていない。

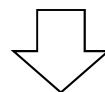
4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.1 海洋プレート内地震の発生状況 地震の発生状況およびプレートテクトニクス的な検討

■東北地方と北海道の比較

- Kosuga et al. (1996)によって整理された海洋プレート内地震の分布から、東北地方では、プレート上部のDC型の地震が優勢であり、一方北海道では、プレート下部のDE型の地震が優勢であると考えられる。
- Kita et al. (2010)による海洋プレート内地震の発生状況から、敷地付近は、他地域と比較して、Inter plane (中立軸付近の応力が相対的に小さい領域) 及びLower plane (海洋プレート下部) の地震の活動性が相対的に低いと考えられる。
- Kita et al. (2010)は、東北地方と北海道の海洋プレート内地震の発生メカニズムと海洋プレート内の応力分布の関係について検討がなされ、東北地方と北海道の違いを指摘しており、以下のことが確認できる。
 - 東北地方は、海洋プレートの応力中立軸が深く、DC型の地震(プレート上部・圧縮応力場)の発生層が厚いのに対し、北海道は、海洋プレートの応力中立軸が浅く、DE型の地震(プレート下部・引張応力場)の発生層が厚い。
 - なお、過去の大規模な地震の震源域と応力場に関して、DC型であればNeutral plane(応力中立面)の上部(圧縮応力場)で震源域が留まり、DE型であれば下部(引張応力場)の領域に震源域が留まっている。

■プレートの応力状態と地震の関係

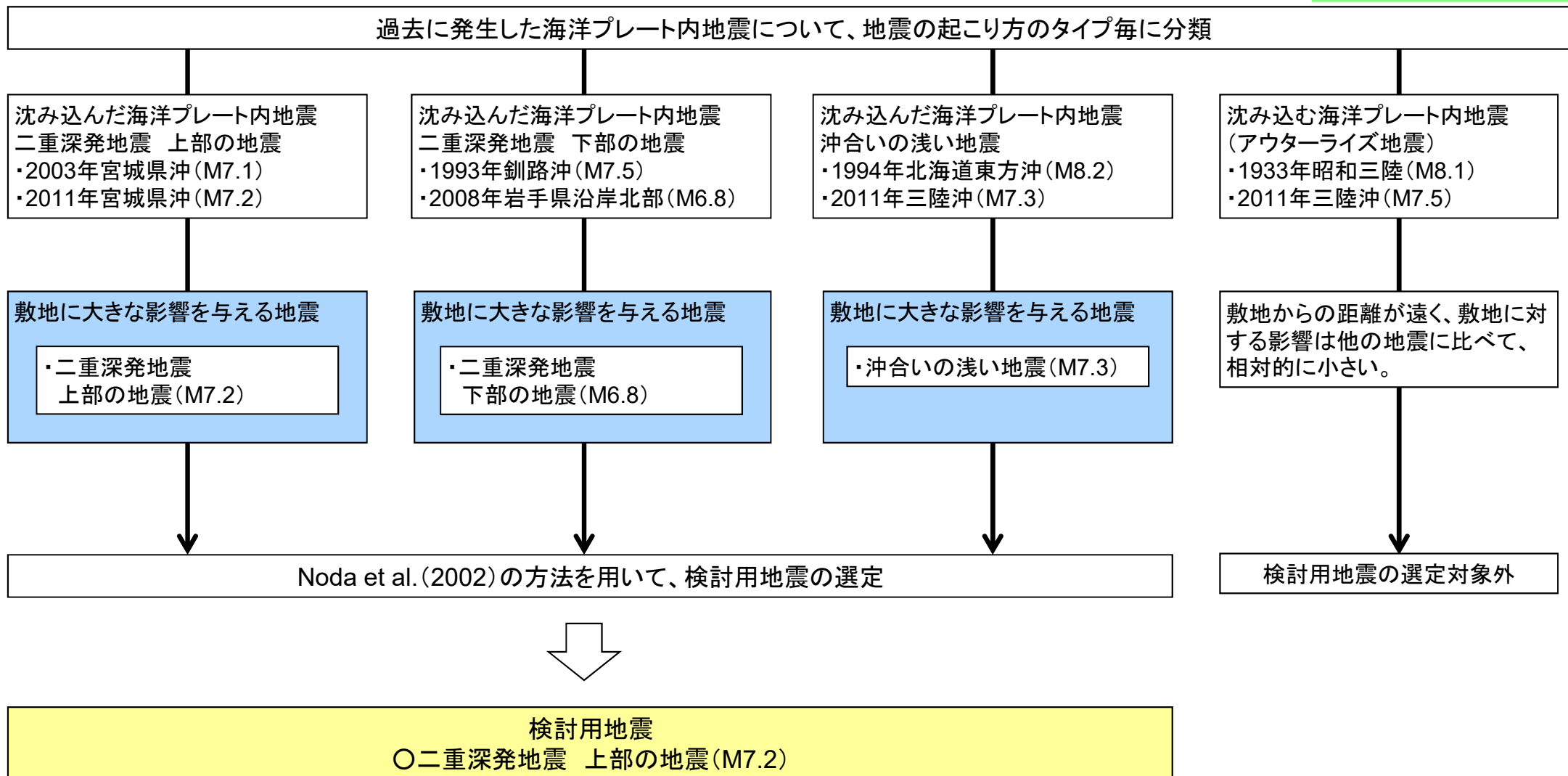
- Seno and Yoshida (2004)では、海洋プレートと島弧に働く応力と海洋プレート内地震の関係を整理している。
- 大きな海洋プレート内地震が発生している地域は、海洋プレートに引張応力がはたらいっている地域であり、北海道はその地域に該当している。



・東北地方と北海道では、支配的な海洋プレート内地震の発生タイプや応力状態が異なることから、東北地方の海洋プレート内地震を検討用地震の対象として考慮する。

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.2 検討用地震の選定

検討用地震の選定概要



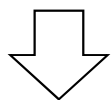
4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.2 検討用地震の選定

過去に東北地方で発生した最大規模の地震

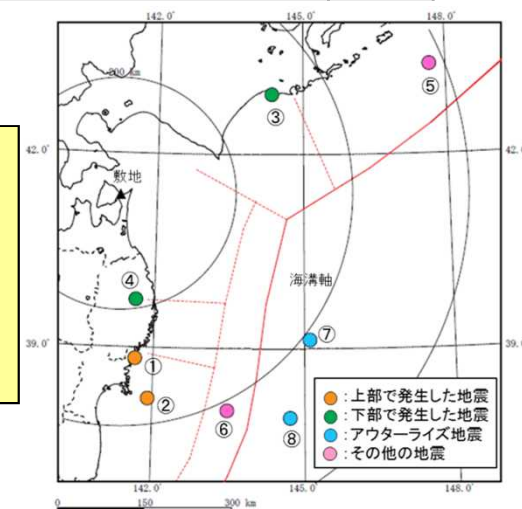
■ 東北地方で発生した最大規模の地震

■ 過去に東北地方で発生した海洋プレート内地震について、タイプ毎に分類をおこなった上で、敷地に対して影響の大きい地震を基本震源モデルとして設定する。

No.	タイプ名	東北地方で発生した主な地震	震源距離	(参考)北海道で発生した主な地震	震源距離
1	沈み込んだ海洋プレート内地震	二重深発地震 上部の地震	①2003年5月26日宮城沖の地震(M7.1) ②2011年4月7日宮城沖の地震(M7.2)		
2		二重深発地震 下部の地震	④2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震(M6.8)	③1993年釧路沖地震(M7.5)	326km
3		沖合いの 浅い地震	⑥2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3)	⑤1994年北海道東方沖地震(M8.2)※	576km
4	沈み込む海洋プレート内地震 (アウターライズ地震)	⑦1933年昭和三陸地震(M8.1) ⑧2011年3月11日三陸沖の地震(M7.5)	412km 486km		



- 基本震源モデルの地震規模は、タイプ毎に、東北地方で発生した最大規模を想定する。
- 基本震源モデルの地震の想定位置は、タイプ毎の敷地周辺の地震発生状況に鑑み、適切に敷地周辺に設定する。
- No.4の沈み込む海洋プレート内地震(アウターライズ地震)は、海溝軸よりも外側で発生する地震であり、地震動による敷地への影響は小さくなることから、検討用地震の選定対象外とする。



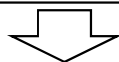
過去に発生した海洋プレート内地震の震央位置

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.2 検討用地震の選定

二重深発地震 上部の地震の基本震源モデルの設定

地震規模

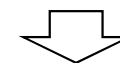
- ✓ 上部の地震は、敷地周辺では大規模な地震は発生していない。
- ✓ 同一テクトニクス内と考えられる東北地方で発生した上部の地震のうち、最大規模の地震は、2011年4月7日宮城県沖の地震のM7.2である。



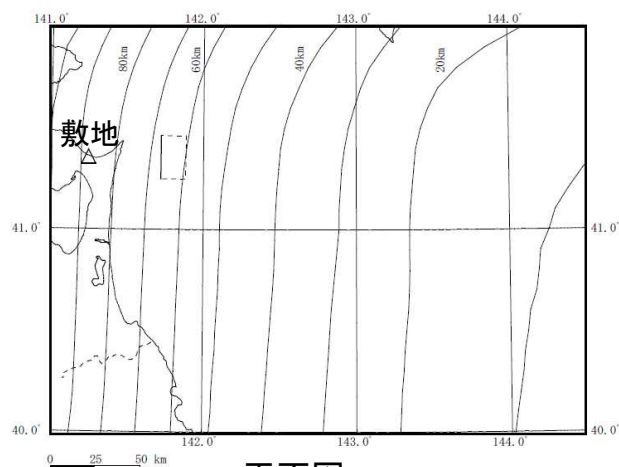
- ✓ 地震規模はM7.2とする。
- ✓ 2011年4月7日の宮城県沖の地震を踏まえ、プレート上面とのなす傾斜角を60°とする。

想定位置

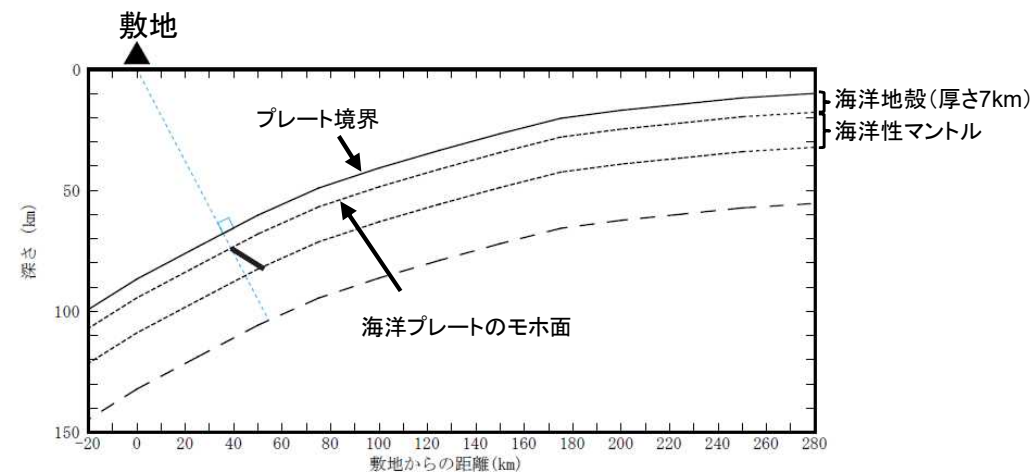
- ✓ 上部の地震は、東北日本弧において概ね一様に発生している傾向がある。



- ✓ 想定位置は、敷地真東とし、沈み込む海洋プレートに対して、敷地に最も近い位置(プレート上面に垂線を引いた位置)に想定する。
- ✓ 断層上端深さを海洋性マントル最上部(モホ面)に設定する。



平面図



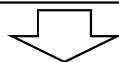
断面図

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.2 検討用地震の選定

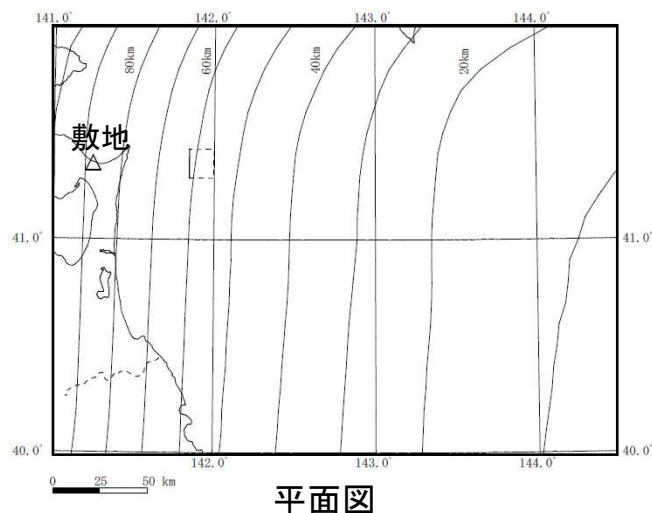
二重深発地震 下部の地震の基本震源モデルの設定

地震規模

- ✓ 下部の地震は、敷地周辺では大規模な地震は発生していない。
- ✓ 同一テクトニクス内と考えられる東北地方で発生した下部の地震のうち、最大規模の地震は、2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震のM6.8である。

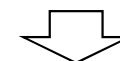


- ✓ 地震規模はM6.8とする。
- ✓ 二重深発地震 上部の地震の知見を踏まえ、プレート上面とのなす傾斜角を 60° とする。

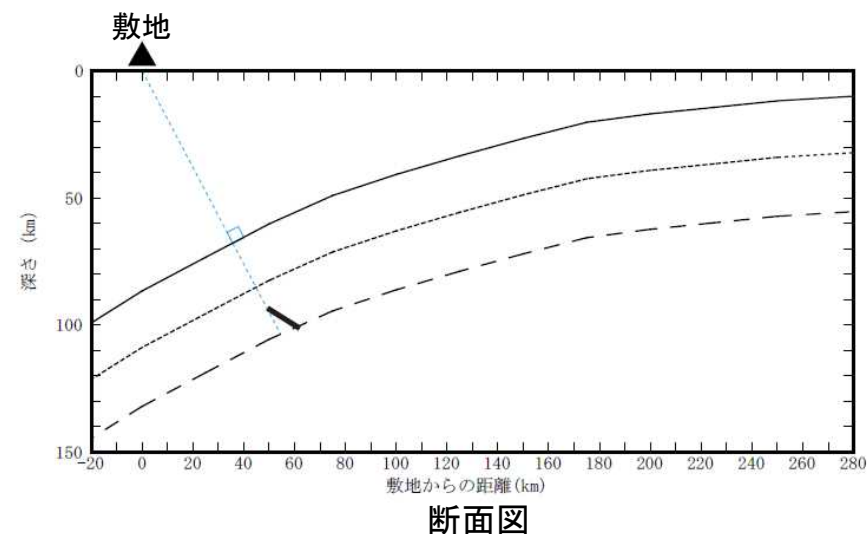


想定位置

- ✓ 下部の地震は、東北日本弧において概ね一様に発生している傾向がある。



- ✓ 想定位置は、敷地真東とし、沈み込む海洋プレートに対して、敷地に最も近い位置(プレート上面に垂線を引いた位置)に想定する。



4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.2 検討用地震の選定

沖合いの浅い地震の基本震源モデルの設定

地震規模

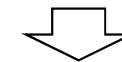
- ✓ 沖合いの浅い地震は、敷地周辺では大規模な地震は発生していない。
- ✓ 同一テクトニクス内と考えられる東北地方で発生した沖合いの浅い地震のうち、最大規模の地震は、2011年7月10日三陸沖の地震のM7.3である。



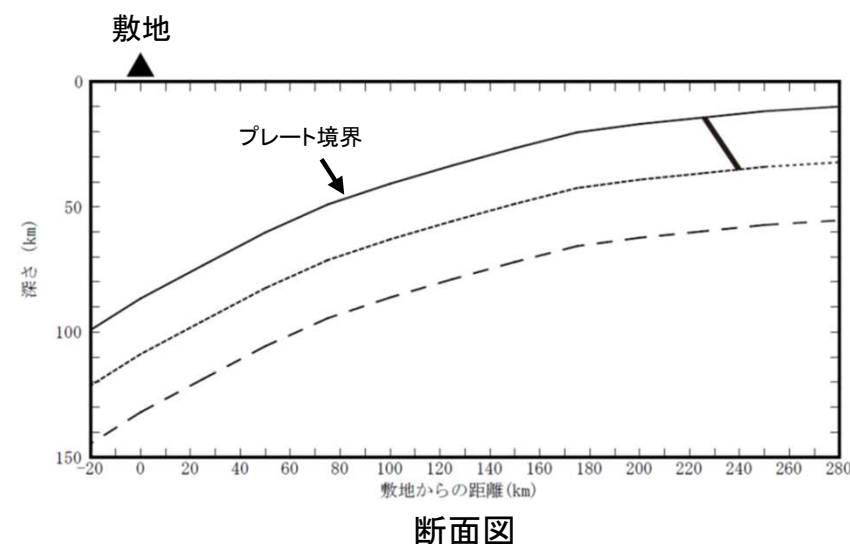
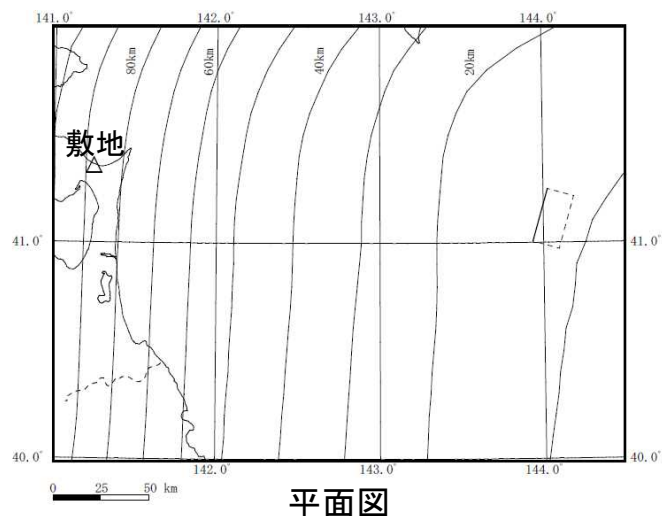
- ✓ 地震規模はM7.3とする。
- ✓ 上部の地震を踏まえ、プレート上面とのなす傾斜角を60°とする。

想定位置

- ✓ 沖合いの浅い地震は、敷地周辺では過去に大規模な地震は発生していないが、東北地方において、2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3、震源深さ34km)が発生していることから、同様の地震が敷地東側の海溝軸付近で発生することを考慮する。



- ✓ 想定位置は、東北地方で発生したことを踏まえ、地震調査委員会(2014)を参考に日本海溝沿いのテクトニクス内の最北端とし、2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3)の震源深さ34kmに設定する

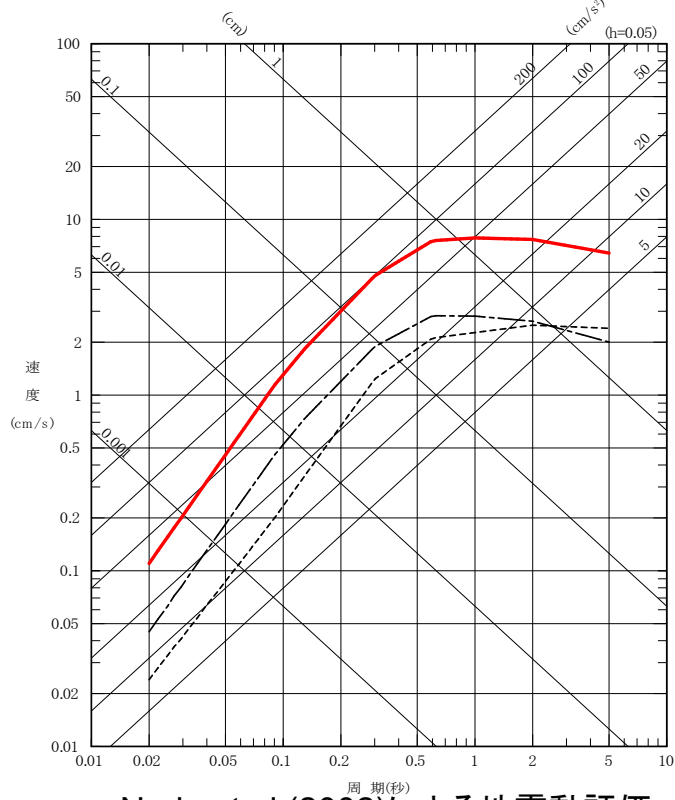


4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.2 検討用地震の選定

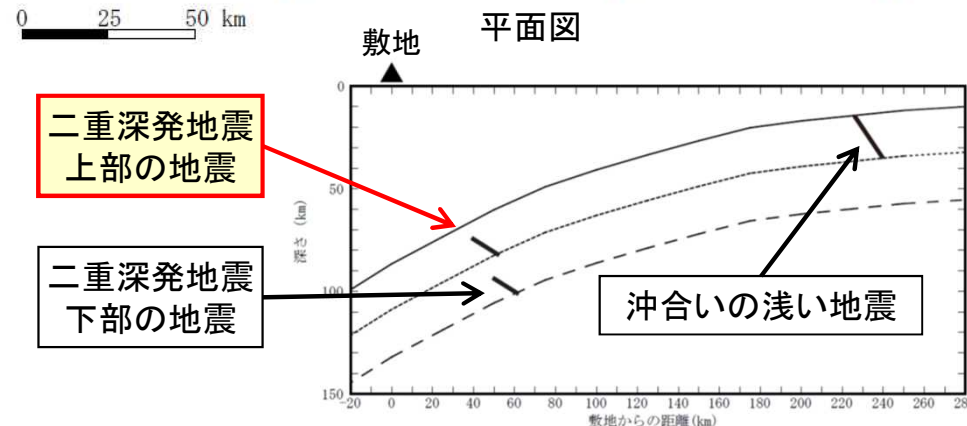
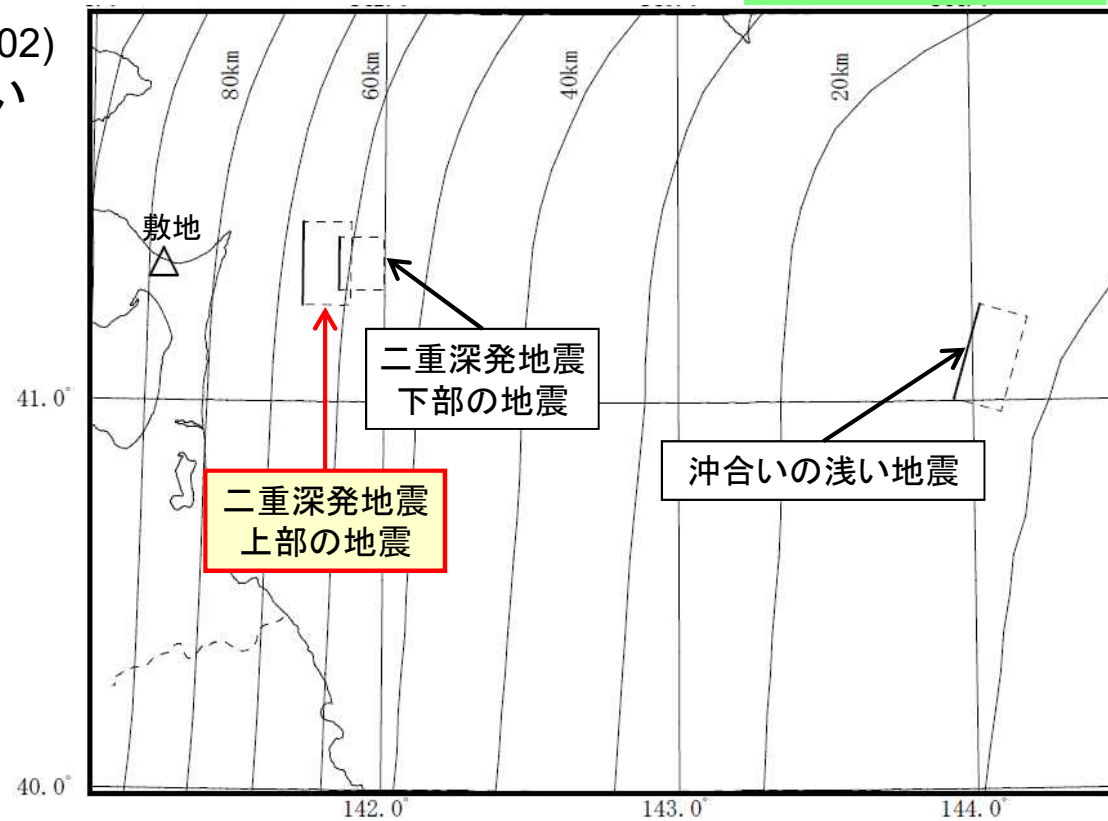
検討用地震の選定

■ 敷地に大きな影響を与える地震のうち、Noda et al.(2002)による地震動評価を用い、敷地への影響が最も大きい地震を選定し、検討用地震とする。

- 二重深発面 上部の地震 基本震源モデル (M 7.2, Xeq=91km)
- - - 二重深発面 下部の地震 基本震源モデル (M 6.8, Xeq=113km)
- ⋯⋯ 沖合の浅い地震 基本震源モデル (M 7.3, Xeq=238km)



Noda et al.(2002)による地震動評価



断面図

■ 海洋プレート内地震の検討用地震として、「二重深発地震 上部の地震 (M7.2)」を選定する。

4.2 海洋プレート内地震／4.2.3 地震動評価の検討方針

- 応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施する。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価
 - ✓ 「Noda et al.(2002)」による応答スペクトル評価を用いる。
 - ✓ 敷地において、海洋プレート内地震の観測記録が得られていることから、観測記録の応答スペクトルとNoda et al.(2002)の方法に基づく応答スペクトルとの比をサイト補正係数として考慮することにより、敷地における地震動特性を反映する。
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価
 - ✓ 想定した震源域において、要素地震となる地震の観測記録が得られていないことから、「統計的グリーン関数法」により評価する。
 - ✓ 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルは、敷地で観測された地震記録を用い、小林ほか(2005)のP波部の水平／上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法等に基づき設定している。

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.4 震源モデルの設定

検討用地震の検討ケースの不確かさの考え方

- 検討用地震の地震動評価において、各断層パラメータの不確かさを考慮することとするが、その基本的な考え方は以下の通り。

- 地震規模※
- 短周期レベル※
- 断層面の位置
(プレート上面からの深さ※)
- 断層面の位置
(巨視的断層面位置)
- アスペリティの位置
- 破壊開始点

認識論的不確かさ

(=事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの)

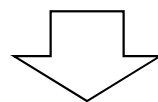
偶然的な不確かさ

(=事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの)

※過去に敷地前面と同一のテクトニクス内で発生した地震の知見等から設定が可能なパラメータ

- 上記を踏まえた不確かさの重畳についての考え方は、以下の通り。

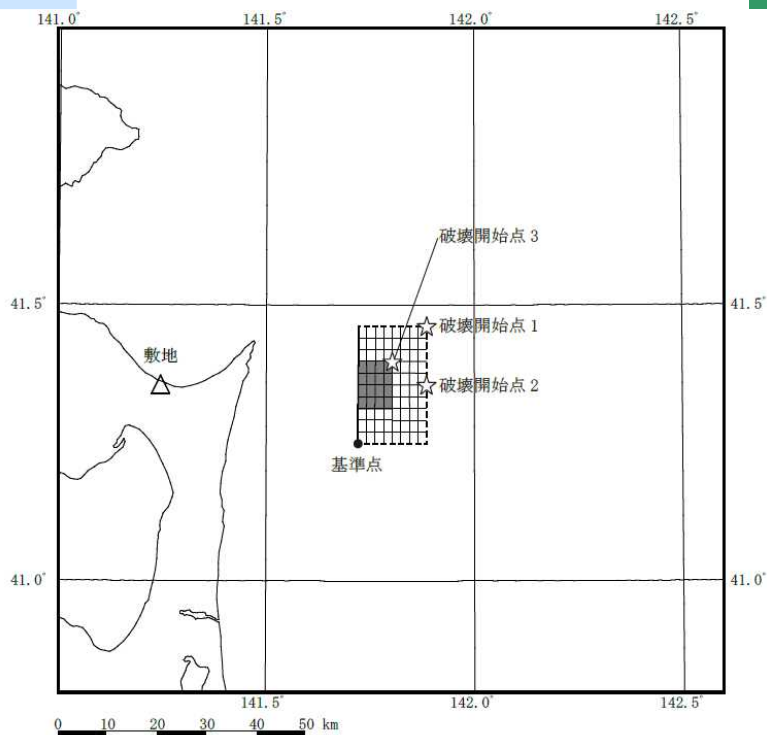
- 「認識論的不確かさ」については、それぞれ独立させて不確かさを考慮する。
- 「偶然的な不確かさ」については、事前に把握することが困難であるため、「認識論的不確かさ」と重畳させて考慮する。



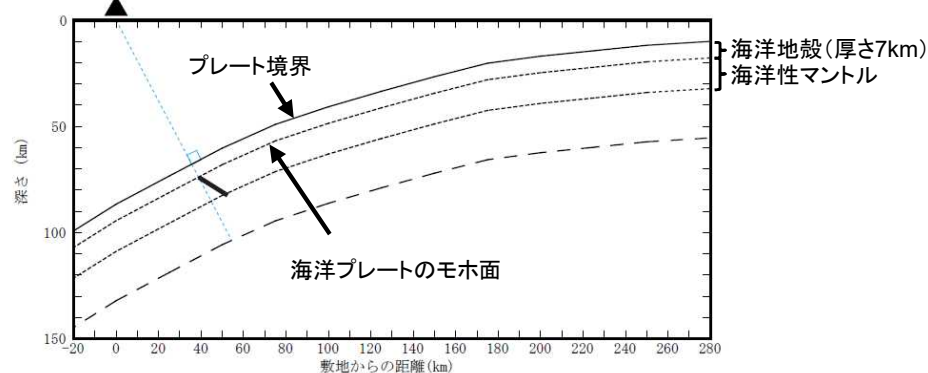
- 断層面の位置(巨視的断層面位置): 基本震源モデルの段階で保守的に、敷地に最も近づく位置(プレート上面に垂線を引いた位置)に考慮し、「認識論的不確かさ」と重畳させて考慮する。
- アスペリティの位置: 基本震源モデルの段階で保守的に、敷地に近づくように断層面上端に考慮し、「認識論的不確かさ」と重畳させて考慮する。
- 破壊開始点: 基本震源モデルの段階で複数のケースを考慮し、「認識論的不確かさ」と重畳させて考慮する。

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.4 震源モデルの設定

検討用地震(二重深発地震 上部の地震)の基本震源モデルの設定



敷地 平面図



断面図

検討用地震の基本震源モデル

- 地震規模は、2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)に基づきM7.2と設定する。
- プレートの上面深さは防災科研J-SHISを参考に設定する。
- 断層面位置は、敷地真東とし、沈み込む海洋プレートに対して、敷地に最も近い位置(プレート上面に垂線を引いた位置)に想定する。
- 断層面は、2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)に基づきプレート上面とのなす傾斜角を 60° とし、断層上端深さを海洋性マントル最上部(モホ面)に設定する。
- アスペリティの位置は、敷地に近づくように断層面上端の中央に設定する。
- 短周期レベルは、強震動予測レシピにより、海洋プレート内地震の標準的な値を設定する。
- 破壊開始点は、複数設定する。

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.4 震源モデルの設定 不確かさの考慮の検討フロー

- 不確かさの組み合わせとしては、前頁に示したとおり、偶然的不確かさとして考慮するパラメータについては、基本震源モデルの段階で不確かさを考慮することとし、認識論的不確かさとして考慮するパラメータの不確かさとの重畳を考慮する。

	地震規模	短周期レベル	断層面位置
①基本震源モデル	敷地周辺で規模の大きな地震が発生していないことから、同一テクトニクス内で発生した同じタイプの地震の最大規模を考慮	敷地周辺の地域性が明確でないことから、強震動予測レシピによる海洋プレート内地震の標準的な短周期レベルを考慮	敷地周辺で規模の大きな地震が発生していないことから、同一テクトニクス内で発生した同じタイプの地震の位置を踏まえ、断層上端深さを海洋性マントルの最上部に設定し、敷地直近になるような位置を考慮
②短周期レベルの不確かさを考慮したケース	基本震源モデルと同じ	強震動予測レシピの標準的な短周期レベルの1.5倍を考慮	基本震源モデルと同じ
③位置の不確かさを考慮したケース	基本震源モデルと同じ	基本震源モデルと同じ	海洋地殻を含めて地震発生域を想定することとし、断層面上端深さを海洋プレート上面を考慮
④地震規模の不確かさを考慮したケース	2011年4月7日宮城県沖の地震の余震域を考慮し、Mw7.4を考慮	基本震源モデルと同じ	基本震源モデルと同じ

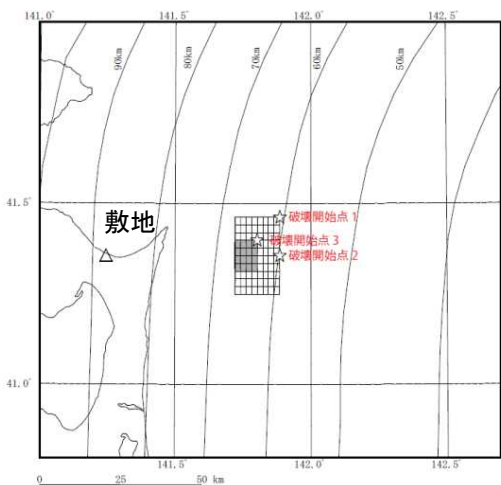
4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.4 震源モデルの設定

検討用地震の検討ケース

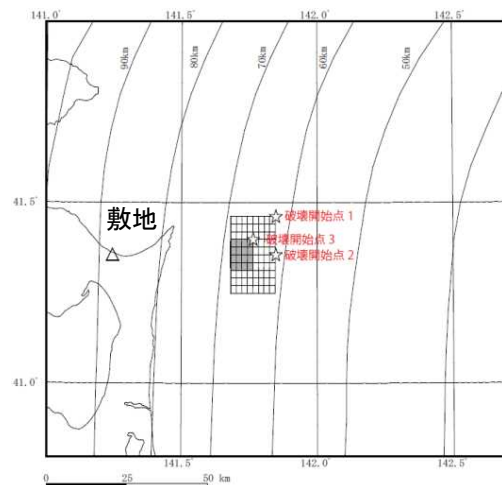
- 不確かさの組み合わせとしては、偶然的な不確かさとして考慮するパラメータについては、基本震源モデルの段階で不確かさを考慮することとし、認識論的不確かさとして考慮するパラメータの不確かさとの重畳を考慮する。
- 検討用地震の地震動評価としては、保守的に、アスペリティを断層上端に配置するほか、各アスペリティからの到来波が重なる場合が考慮できるよう、地震規模の不確かさケースについてはアスペリティを2つとする。

ケース	地震規模	断層面位置	短周期レベル	アスペリティ位置	破壊開始点
①基本震源モデル	M7.2	断層面:敷地直近となる位置 (海洋性地殻下端~応力中立面)	強震動予測レシピに基づく値	断層面上端	複数
②短周期レベルの不確かさを考慮したケース	M7.2	断層面:敷地直近となる位置 (海洋性地殻下端~応力中立面)	強震動予測レシピに基づく値 × 1.5倍	断層面上端	複数
③断層面位置の不確かさを考慮したケース	M7.2	断層面:敷地直近となる位置 (海洋性地殻上端に配置)	強震動予測レシピに基づく値	断層面上端	複数
④地震規模の不確かさを考慮したケース	Mw7.4	断層面:敷地直近となる位置 (海洋性地殻下端~応力中立面)	強震動予測レシピに基づく値	断層面上端	複数

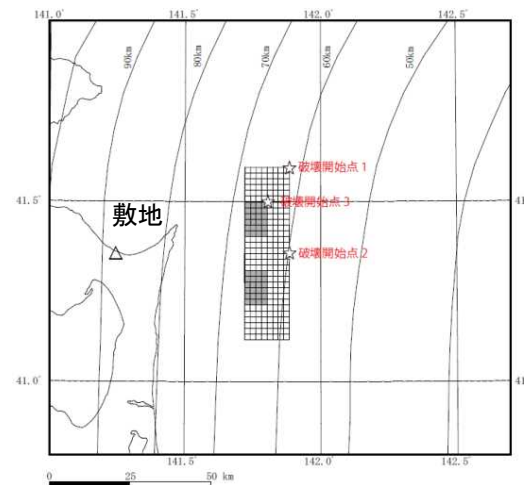
■ : 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ
■ : 偶然的な不確かさとして考慮するパラメータ



図a 基本震源モデル、
短周期レベルの不確かさを考慮したケース



図b 断層面位置の不確かさを考慮したケース



図c 地震規模の不確かさを考慮したケース

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.4 震源モデルの設定

検討用地震の断層パラメータの設定フロー

- 検討用地震(二重深発地震 上部の地震)について、断層パラメータの算定フローを示す。
- 断層パラメータの設定は、強震動予測レシピに従う。

①基本震源モデル、②短周期レベルの不確かさを考慮したケース、③断層面位置の不確かさを考慮したケース

与条件

地震規模(Mw)
気象庁及び防災科研による2011年4月7日宮城県沖地震の地震規模及び地震モーメント
(M7.2、Mw7.1、 $M_0=4.74 \times 10^{19}\text{Nm}$)

断層傾斜角
敷地東側のプレート形状・地域性に基づき設定

断層面位置
防災科研J-SHISのプレート上面の沈み込みを考慮し、敷地直近に設定

剛性率(μ)、密度(ρ)、S波速度(β)
佐藤・巽(2002)に基づき設定

巨視的断層面

地震モーメント(M_0)
 $M_0=4.74 \times 10^{19}\text{Nm}$

短周期レベル(A)
 $A=9.84 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$ (強震動予測レシピ)
不確かさを考慮したケースは、1.5倍

断層面積(S)
 $S=(49\pi^4 \cdot \beta^4 \cdot M_0^2)/(16 \cdot A^2 \cdot S_a)$

平均応力降下量($\Delta\sigma$)
 $\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)/(M_0/S^{1.5})$

平均すべり量(D) $D=M_0/(\mu \cdot S)$

微視的断層面

アスペリティ面積(S_a)
 $S_a=1.25 \times 10^{-16} \times M_0^{2/3}$ (強震動予測レシピ)

アスペリティの応力降下量($\Delta\sigma_a$)
 $\Delta\sigma_a=A/(4 \cdot \beta^2 \cdot (\pi \cdot S_a)^{0.5})$

アスペリティのすべり量(D_a)
 $D_a=2.0 \times D$

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.4 震源モデルの設定

検討用地震の断層パラメータの設定フロー

- 検討用地震(二重深発地震 上部の地震)について、断層パラメータの算定フローを示す。
- 断層パラメータの設定は、強震動予測レシピに従うが、短周期レベル、アスペリティ面積は、強震動予測レシピによる海洋プレート内地震のパラメータ算出式を用いる。

④地震規模の不確かさを考慮したケース

与条件

地震規模 (Mw)
2011年4月7日宮城県沖の地震 (M7.2) に不確かさとして考慮する地震規模 (Mw7.4)

断層傾斜角
敷地東側のプレート形状・地域性に基づき設定

断層面位置
防災科研J-SHISのプレート上面の沈み込みを考慮し、敷地直近に設定

剛性率 (μ)、密度 (ρ)、S波速度 (β)
佐藤・巽(2002)に基づき設定

巨視的断層面

地震モーメント (M_0)
 $M_0 = 10^{(1.5M_w + 9.1)} \text{ Nm}$

短周期レベル (A)
 $A = 9.84 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$ (強震動予測レシピ)

断層面積 (S)
 $S = (49\pi^4 \cdot \beta^4 \cdot M_0^2) / (16 \cdot A^2 \cdot S_a)$

平均応力降下量 ($\Delta\sigma$)
 $\Delta\sigma = (7\pi^{1.5}/16) / (M_0/S^{1.5})$

平均すべり量 (D) $D = M_0 / (\mu \cdot S)$

微視的断層面

アスペリティ面積 (S_a)
 $S_a = 1.25 \times 10^{-16} \times M_0^{2/3}$
(強震動予測レシピ)

アスペリティの応力降下量 ($\Delta\sigma_a$)
 $\Delta\sigma_a = A / (4 \cdot \beta^2 \cdot (\pi \cdot S_a)^{0.5})$

アスペリティのすべり量 (D_a)
 $D_a = 2.0 \times D$

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.4 震源モデルの設定

検討用地震の断層パラメータ表

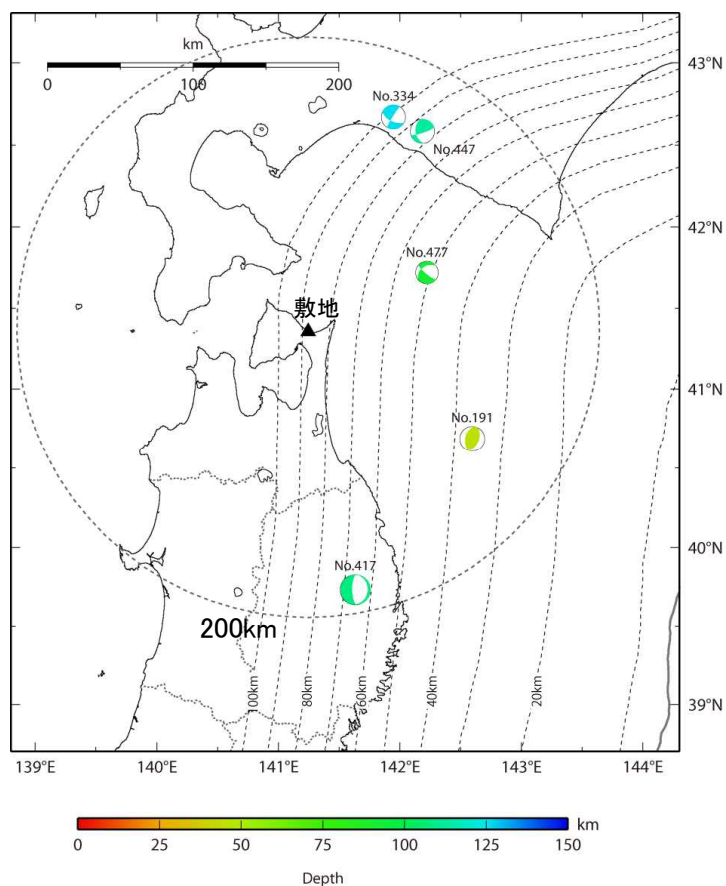
■ 検討用地震(二重深発地震 上部の地震)について、各ケースの断層パラメータを下表に示す。

検討用地震(二重深発地震面 上部の地震)の断層パラメータ表

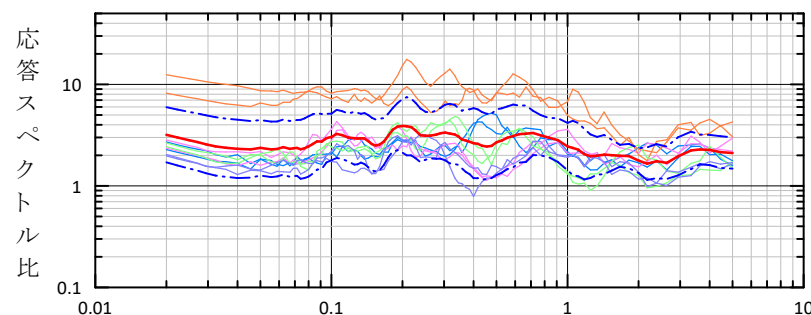
項目		①基本震源モデル	②短周期レベルの不確かさケース	③断層面位置の不確かさケース	④地震規模の不確かさケース	設定方法	
巨視的断層面	走向(θ)	°	0	←	←	海溝軸に沿って設定	
	傾斜角(δ)	°	32	←	←	プレート上面に対して60°の傾斜角	
	断層長さ(L)	km	23.72	←	←	53.04	断層面積より設定
	断層幅(W)	km	16.17	←	←	←	断層面積より設定
	断層面積(S)	km ²	384	←	←	858	$S=(49\pi^4\beta^4M_0^2)/(16A^2S_a)$
	断層上端深さ	km	74.78	←	68.60	74.78	敷地東側のプレート沈み込み深さによる
	地震モーメント(M_0)	Nm	4.74×10^{19}	←	←	1.58×10^{20}	$M_0=10^{(1.5M_w+9.1)}$
	モーメントマグニチュード(M_w)	-	7.1	←	←	7.4	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$
	剛性率(μ)	N/m ²	4.80×10^{10}	←	←	←	$\mu=\rho \cdot \beta^2$
	密度(ρ)	g/cm ³	3.0	←	←	←	佐藤・巽(2002)
	S波速度(β)	km/s	4.0	←	←	←	佐藤・巽(2002)
	平均すべり量(D)	m	2.57	←	←	3.85	$D=M_0/(\mu \cdot S)$
	平均応力降下量($\Delta\sigma$)	MPa	15.37	←	←	←	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16) \cdot (M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度(V_r)	km/s	2.88	←	←	←	$V_r=0.72\beta$ (Geller(1976))	
短周期レベル(A)	Nm/s ²	7.67×10^{19}	1.15×10^{20}	7.67×10^{19}	1.15×10^{20}	$A=9.84 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$ (強震動予測レシビ)	
全体レティ	地震モーメント(M_{0a})	Nm	1.88×10^{19}	←	←	6.28×10^{19}	$M_{0a}=\mu \cdot S_a \cdot D_a$
	断層面積(S_a)	km ²	76	←	←	170	$S_a=1.25 \times 10^{-16} \times M_0^{2/3}$ (強震動予測レシビ)
	平均すべり量(D_a)	m	5.15	←	←	7.70	$D_a=2 \times D$
	応力降下量($\Delta\sigma_a$)	MPa	77.6	116.4	77.6	←	$\Delta\sigma_a=A/(4\beta^2(\pi S_a)^{0.5})$
1つあたりレティ	地震モーメント(M_{0ai})	Nm	-	-	-	3.14×10^{19}	$M_{0ai}=M_{0a}/2$
	断層面積(S_{ai})	km ²	-	-	-	85	$S_{ai}=S_a/2$
	平均すべり量(D_{ai})	m	-	-	-	7.70	$D_{ai}=M_{0a}/(\mu \cdot S_{ai})$
	応力降下量($\Delta\sigma_{ai}$)	MPa	-	-	-	77.6	$\Delta\sigma_{ai}=\Delta\sigma_a$
背景領域	地震モーメント(M_{0b})	Nm	2.86×10^{19}	←	←	9.57×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	断層面積(S_b)	km ²	308	←	←	688	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量(D_b)	m	1.94	←	←	2.90	$D_b=M_{0b}/(\mu \cdot S_b)$
	実効応力(σ_b)	MPa	14.6	21.9	14.6	←	$\sigma_b=(D_b/W_b)/(D_a/W_a)\Delta\sigma_a$ アスレティの幅 $W_a=8.08$ km, 背景領域の幅 $W_b=16.17$ km
Q値(Q)		-	$114f^{0.92}$	←	←	←	佐藤・巽(2002)
高周波遮断振動数(f_{max})		Hz	18	←	←	←	浅野ほか(2004)を参照

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.5 Noda et al.(2002)の補正係数 サイト補正係数(1)

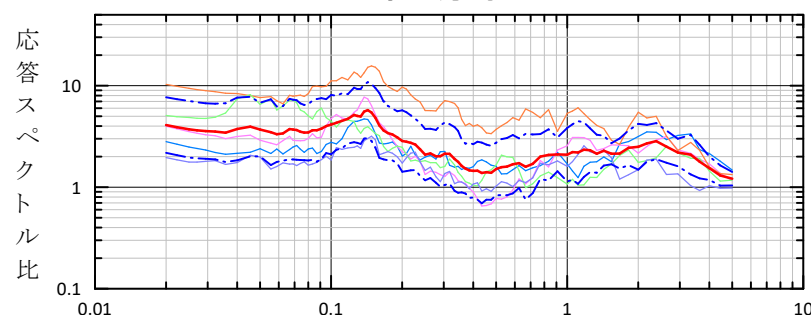
- 観測記録に基づく解放基盤表面位置(標高-218m)の応答スペクトルと、Noda et al. (2002)による応答スペクトルとの比の平均値をサイト補正係数とする。
- 応答スペクトル比の算定には、2001年7月～2013年4月までの間に観測されたM5.0以上、震源距離200km程度以内である海洋プレート内地震の5記録を用いている。



比較検討に用いた海洋プレート内地震の震央位置



周期 (s)
水平方向



周期 (s)
鉛直方向

サイト補正係数(平均値)

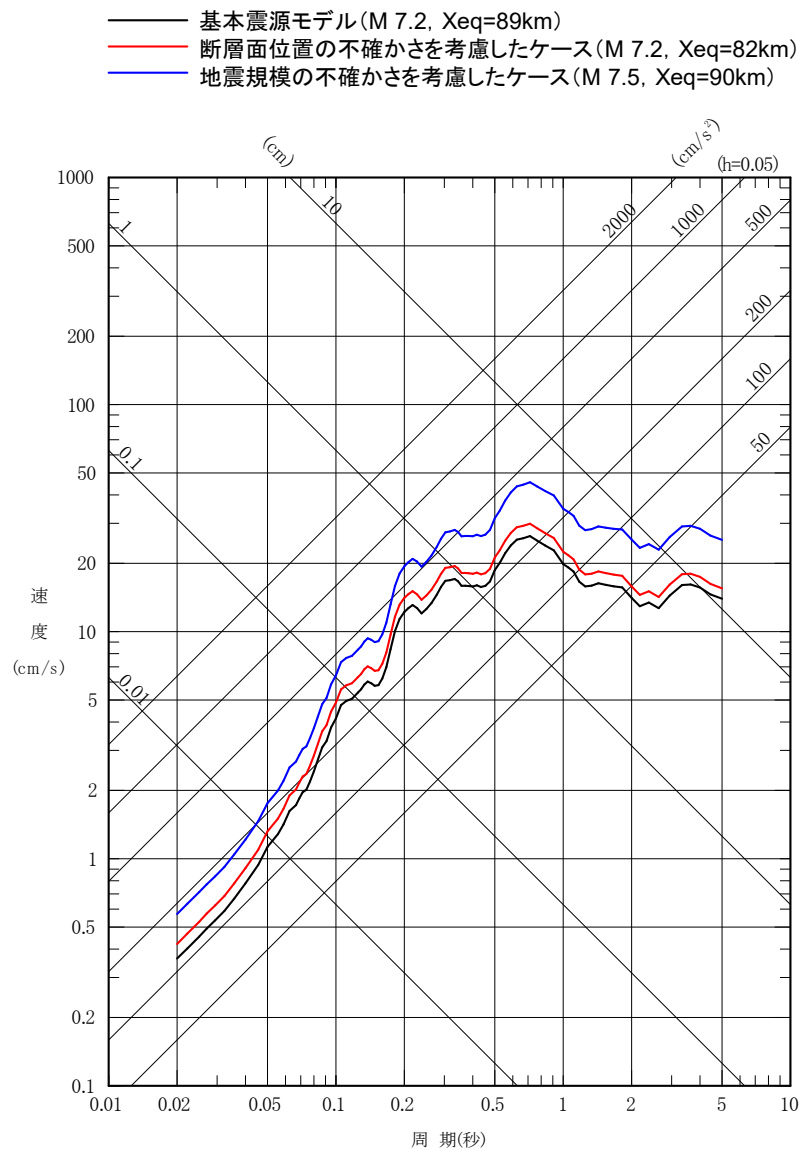
$$\text{サイト補正係数(平均値)} = \frac{\text{観測記録(解放基盤表面位置)}}{\text{Noda et al.(2002)による値}}$$

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.5 Noda et al.(2002)の補正係数 サイト補正係数(2)

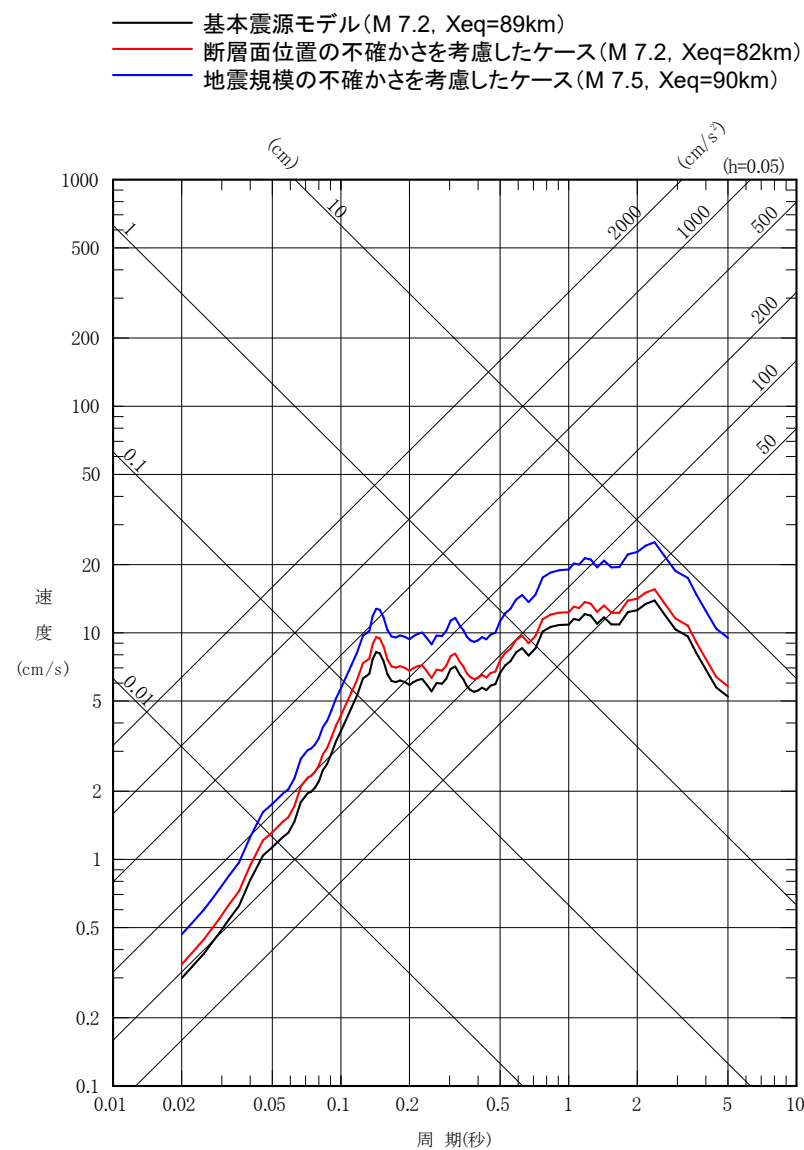
検討に用いた海洋プレート内地震の諸元

No.	発震時刻			東 経	北 緯	Mj	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	震源 距離 (km)	
191	2005.	2.	26	21: 37	142° 35.77'	40° 41.12'	5.7	44.65	136	143
334	2007.	4.	19	00: 07	141° 56.80'	42° 40.24'	5.6	126.18	156	201
417	2008.	7.	24	00: 26	141° 38.12'	39° 43.92'	6.8	108.08	184	213
447	2009.	2.	28	09: 35	142° 11.30'	42° 35.04'	5.3	112.87	157	193
477	2009.	10.	10	17: 42	142° 13.52'	41° 43.20'	5.1	91.83	91	129

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.6 地震動評価結果 応答スペクトルに基づく地震動評価結果



水平方向

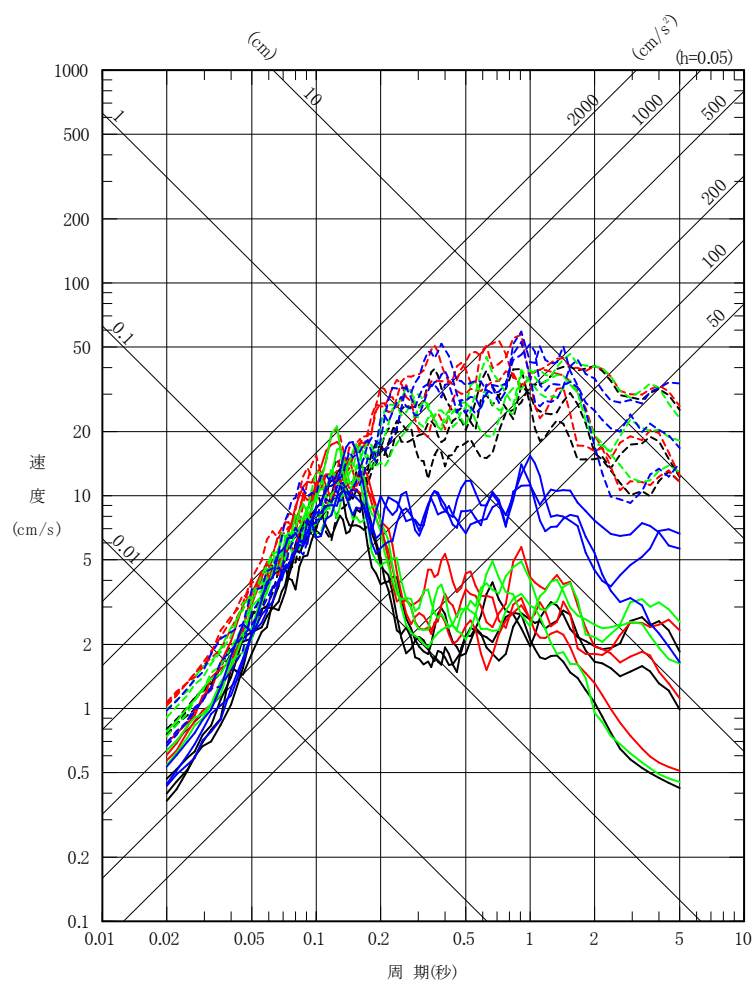


鉛直方向

4.2 海洋プレート内地震 / 4.2.6 地震動評価結果

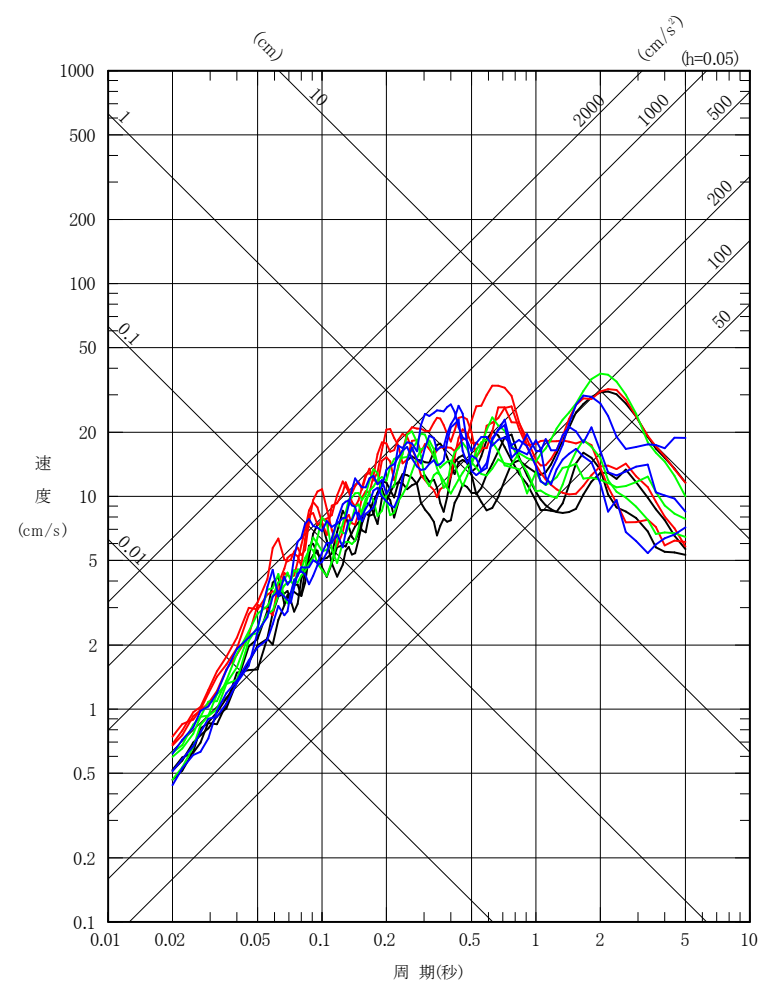
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果の重ね書き

- ①基本震源モデル NS方向
- - - ①基本震源モデル EW方向
- ②短周期レベルの不確かさを考慮したケース NS方向
- - - ②短周期レベルの不確かさを考慮したケース EW方向
- ③断層面位置の不確かさを考慮したケース NS方向
- - - ③断層面位置の不確かさを考慮したケース EW方向
- ④地震規模の不確かさを考慮したケース NS方向
- - - ④地震規模の不確かさを考慮したケース EW方向



水平方向

- ①基本震源モデル
- ②短周期レベルの不確かさを考慮したケース
- ③断層面位置の不確かさを考慮したケース
- ④地震規模の不確かさを考慮したケース



鉛直方向

1. 基準地震動策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 4. 1 プレート間地震
 4. 2 海洋プレート内地震
 - 4. 3 内陸地殻内地震**
5. 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.1 地震発生層の設定

原子力安全基盤機構(2004)による
東北東部の地震発生層上下限深さ

D10%(上限深さに相当)	6.2km
D90%(下限深さに相当)	13.8km

敷地周辺の微小地震による地震発生層上下限深さ

D10%(上限深さに相当)	6.3km
D90%(下限深さに相当)	12.5km

敷地周辺のP波速度分布と地震発生層上端深さの関係

反射法・屈折法統合地震探査による速度構造によると、敷地周辺の脊梁山地付近の岩盤が浅いところにおいて、P波速度5.8~6.0km/sの層は3km程度よりも深い

入倉・三宅(2001)
吉井・伊藤(2001)
廣瀬・伊藤(2006)
地震発生層の上限深さは、P波速度5.8~6.0km/sと概ね対応している

敷地周辺の地震波トモグラフィ解析等と地震発生層下限深さの関係

- ① トモグラフィ解析による再決定された震源位置の下限は深さ15km程度であることを確認
- ② 敷地周辺のキュリー点深さは15km程度より浅い

長谷川ほか(2004)
東北日本の内陸地殻内地震が発生する深さについておよそ15km程度以浅であり、それより深部では温度が高くなり、急激な断層運動である地震としては変形せず、流動変形が卓越する

⇒以上を踏まえ敷地周辺の地震発生層の上限及び下限深さについては、以下のとおり設定する。

○地震動評価で考慮する地震発生層上限深さ

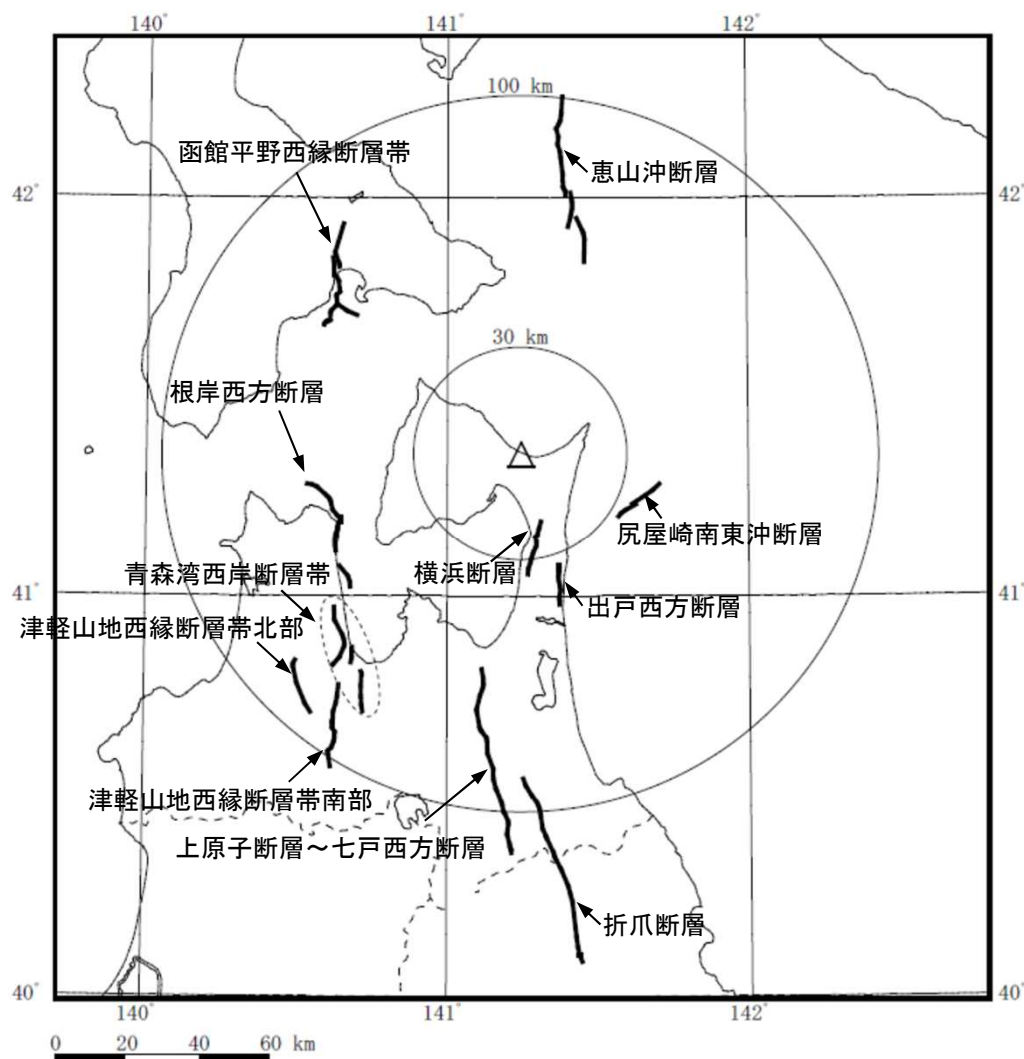
微小地震分布に基づけば、深さ3kmよりも深い位置が考えられるが、保守的に深さ3kmの位置に設定

○地震動評価で考慮する地震発生層下限深さ

微小地震分布等に基づき、深さ15kmの位置に設定

4.3 内陸地殻内地震／4.3.2 活断層と地震の関係

敷地周辺の活断層分布



敷地周辺の「震源として考慮する活断層」分布図

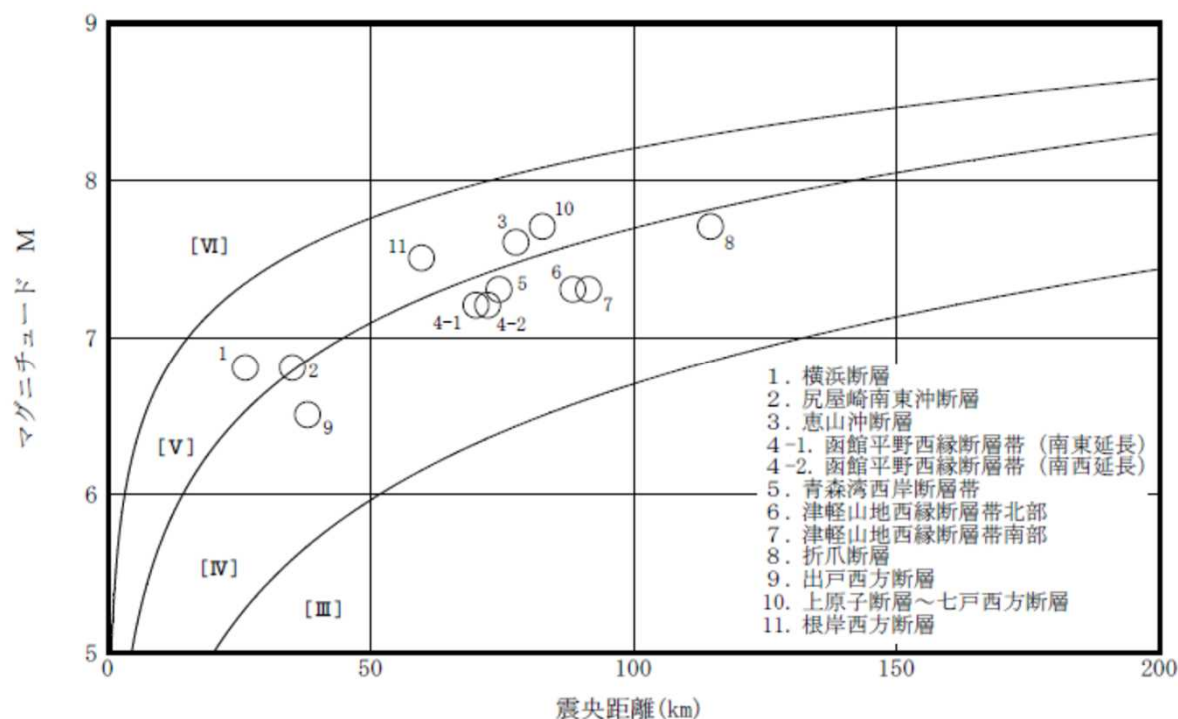
敷地周辺の「震源として考慮する活断層」の諸元

No.	断層名		断層長さ	マグニチュード M ^{※1}	震央距離
1	横浜断層		15.4km	6.8	26km
2	尻屋崎南東沖断層		14.5km	6.8	34km
3	恵山沖断層		47km	7.6	78km
4	函館平野 西縁断層帯	4-1 海城南東延長部含む 函館平野西縁断層帯	26km	7.2	70km
		4-2 海城南西延長部含む 函館平野西縁断層帯	28km	7.2	72km
5	青森湾西岸断層帯		31km	7.3	74km
6	津軽山地西縁断層帯北部		16km	7.3 ^{※2}	89km
7	津軽山地西縁断層帯南部		23km	7.3 ^{※2}	92km
8	折爪断層		53km	7.7	115km
9	出戸西方断層		11km	6.6	38km
10	上原子断層		5km	連動 考慮 7.7 51km	83km
	七戸西方断層		46km		
11	根岸西方断層		38km	7.5	60km

※1:6,7を除き松田(1975)に基づき算定。

※2:地震調査委員会(2004)のマグニチュード評価に幅があることから、最大値を用いる。

4.3 内陸地殻内地震／4.3.3 検討用地震の選定(1)



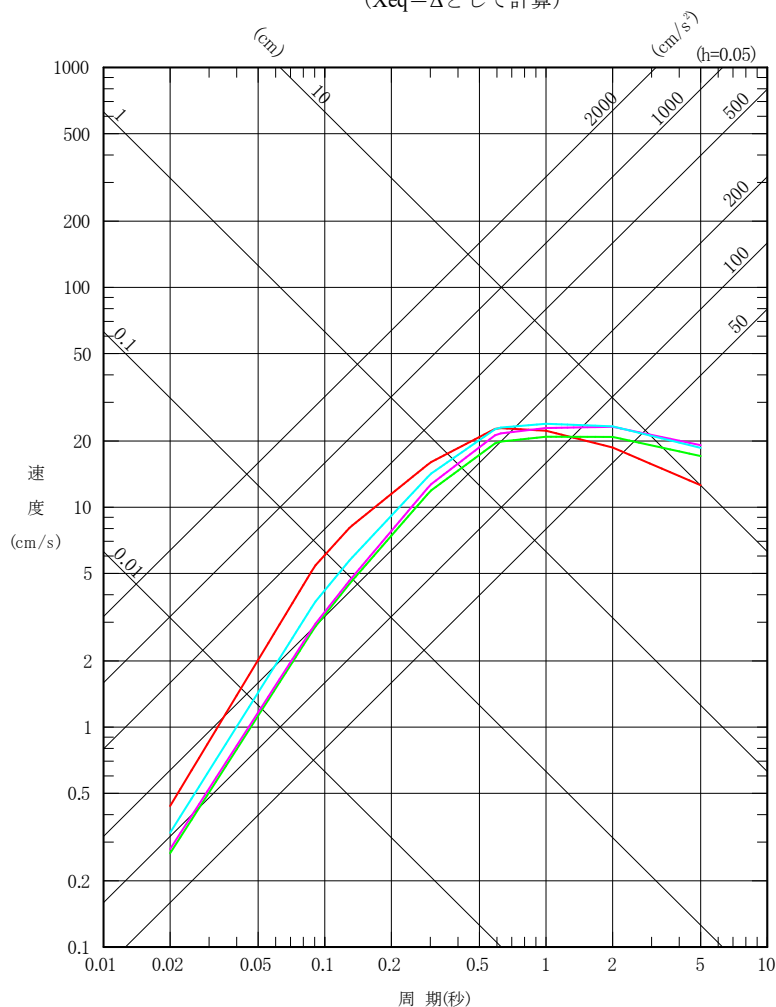
[IV], [V], [VI]は、1996年以前の気象庁震度階で、震度階の境界線は、村松(1969)及び勝又・徳永(1971)による。

敷地周辺の主な活断層から想定される地震のマグニチュードー震央距離と震度の関係

断層の長さから想定される地震のマグニチュードと断層の中心を震央とした震央距離及び想定される震度との関係から、「横浜断層による地震」、「恵山沖断層による地震」、「上原子断層～七戸西方断層による地震」、「根岸西方断層による地震」は、敷地に大きな影響を与える可能性があると考えられる。このため、これらの断層による地震について、Noda et al.(2002)の方法により応答スペクトル評価を行う。

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.3 検討用地震の選定(2)

- 横浜断層による地震 (M6.8, Xeq=26km)
 - 恵山沖断層による地震 (M7.6, Xeq=78km)
 - 上原子断層～七戸西方断層による地震 (M7.7, Xeq=83km)
 - 根岸西方断層による地震 (M7.5, Xeq=60km)
- (Xeq=Δとして計算)



- Noda et al.(2002)による地震動評価から、敷地に大きな影響を与えると予想される地震を検討用地震として選定する。
- プレート間地震の検討用地震として選定した「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震 (Mw9.0)」は地震規模が大きく、敷地から震源までの距離が遠いことから、敷地に影響を与える長周期の地震動レベルを代表できると考えられる。



- 内陸地殻内地震の検討用地震として、短周期帯の地震動レベルに着目し、「横浜断層による地震 (M6.8)」を選定する。

敷地に影響を与える地震として選定した内陸地殻内地震
のNoda et al.(2002)による地震動評価結果

4.3 内陸地殻内地震／4.3.4

地震動評価の検討方針

■ 検討用地震とした「横浜断層による地震」については、基本震源モデルを設定し、不確かさを考慮した検討ケースを設定した上で、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施する。

4.3.5 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの設定

4.3.6 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの地震動評価

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.5 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの設定

横浜断層による地震の基本震源モデル 地震規模の検討

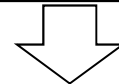
審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p120 再掲

■ むつ地点への反映方針

考慮すべき事項	むつ地点の特性	反映した事項	地震規模	考慮する設定
①地震発生層の厚さ	厚さ12km	—	Mw6.2 ($M_0=2.55 \times 10^{18}\text{Nm}$)	断層傾斜角60° と地震発生層厚さ12kmを考慮した断層幅13.9kmと活断層調査結果による15.4kmとして設定
②断層傾斜角	断層傾斜角60°			
③断層長さ	活断層調査結果による15.4km			
④過去の地震の知見 (孤立した長さの短い断層)	—	Stirling et al.(2002)に基づく断層長さ20km	Mw6.4 ($M_0=4.30 \times 10^{18}\text{Nm}$)	断層幅を固定し、断層長さを20kmに拡張
		新潟県中越沖地震の地震規模(M6.8)を踏まえ、孤立した長さの短い断層の地震規模をM6.8と想定	Mw6.4 ($M_0=5.20 \times 10^{18}\text{Nm}$)	断層幅を固定し、断層長さを22kmに拡張
⑤地震動評価上考慮する設定	—	①～④(むつ地点の特性、過去の知見から得られる地震規模)を上回る地震規模を想定	Mw6.5 ($M_0=7.5 \times 10^{18}\text{Nm}$ 相当) ⇒地震動評価上考慮する基本震源モデルとして保守的に設定 (Mw6.5となる地震モーメントは、 $M_0=7.08 \times 10^{18}\text{Nm}$ であるが、保守的な設定として、 $M_0=7.5 \times 10^{18}\text{Nm}$ 相当の値を考慮する)	断層幅を固定し、断層長さを27kmに拡張 ⇒基本震源モデルとして考慮

①～④むつ地点の特性等から得られる地震規模

- ①地震発生層の厚さ、②断層傾斜角、③断層長さを踏まえた設定では、地震規模はMw6.2となる設定が考えられる。
- ④過去の知見に関して、Stirling et al.(2002)に基づく断層長さ20kmを考慮した場合、及び、新潟県中越沖地震の地震規模(M6.8)を考慮した場合の地震規模は、Mw6.4となる設定が考えられる。



⑤むつ地点において地震動評価上考慮する設定

- 敷地周辺の原子力施設の地震動評価状況を踏まえ、むつ地点の特性等から得られる地震規模を上回る設定として保守的にMw6.5とし、断層長さ27kmを考慮する。

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.5 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの設定 横浜断層による地震の基本震源モデル パラメータの設定について

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p121 再掲

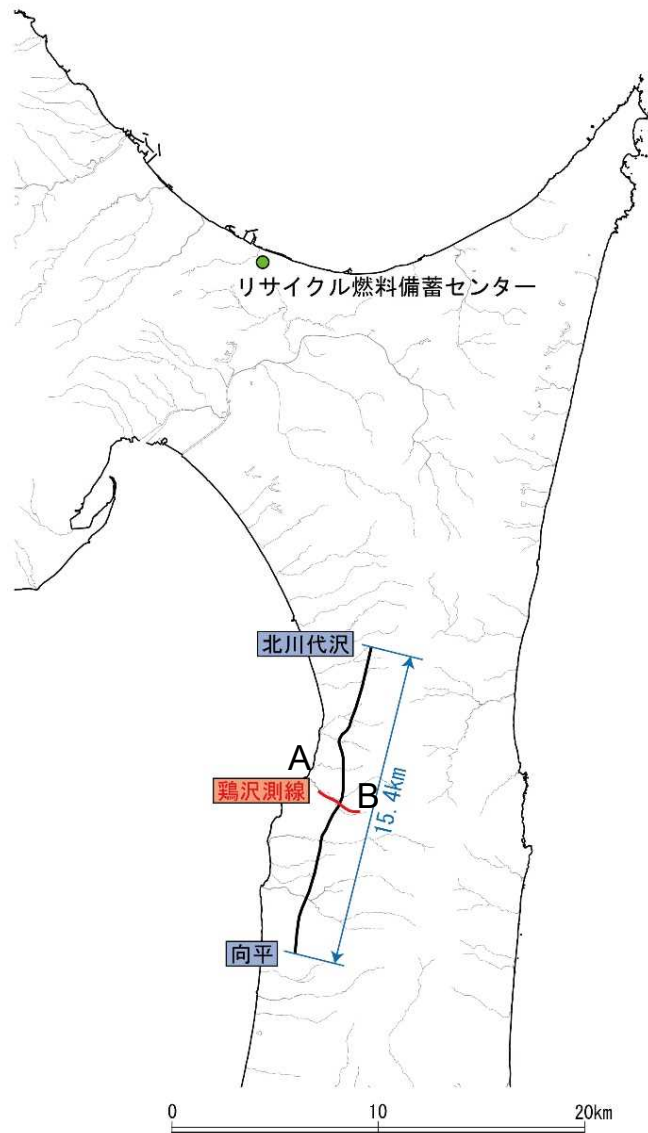
- 以下に、横浜断層の断層モデルのパラメータの根拠、基本震源モデルの考え方及び不確かさ考慮の方針を示す。
- 基本震源モデルにすでに考慮済みのパラメータ以外の不確かさとして、断層傾斜角及び応力降下量の不確かさを考慮する。

パラメータ	調査等に基づく震源パラメータ		基本震源モデルの考え方	不確かさの考慮	
	設定根拠	調査等に基づく基本となる考え方			
巨視的パラメータ 断層面の形状	断層長さ	地質調査結果	地質調査結果に基づく横浜断層の長さは15.4km	保守的に、Mw6.5相当の断層面を考慮する。	基本震源モデルの段階で既に、地震規模が大きくなるように、地質調査結果に基づく横浜断層の長さ以上に断層長さを設定している。
	断層傾斜角	地質調査結果	地質調査結果に基づく横浜断層の断層傾斜角は60°	同左	地質調査結果によれば、横浜断層の傾斜角は概ね60°であり、高角の逆断層であると考えられる。強震動予測レシピでは、高角の断層については、60°～90°の範囲内で設定することになっているが、保守的に、強震動予測レシピに示される傾斜角が推定できない場合の傾斜角45°を考慮する。
	地震発生層	気象庁一元化震源データ、敷地での地震観測記録等	気象庁一元化震源データ、敷地での地震観測記録等に対して、上限深さを保守的に浅く設定。上限3km、下限15km	同左	基本震源モデルの段階で既に、気象庁一元化震源データ、敷地での地震観測記録等に対して上限深さを保守的に浅く設定している。

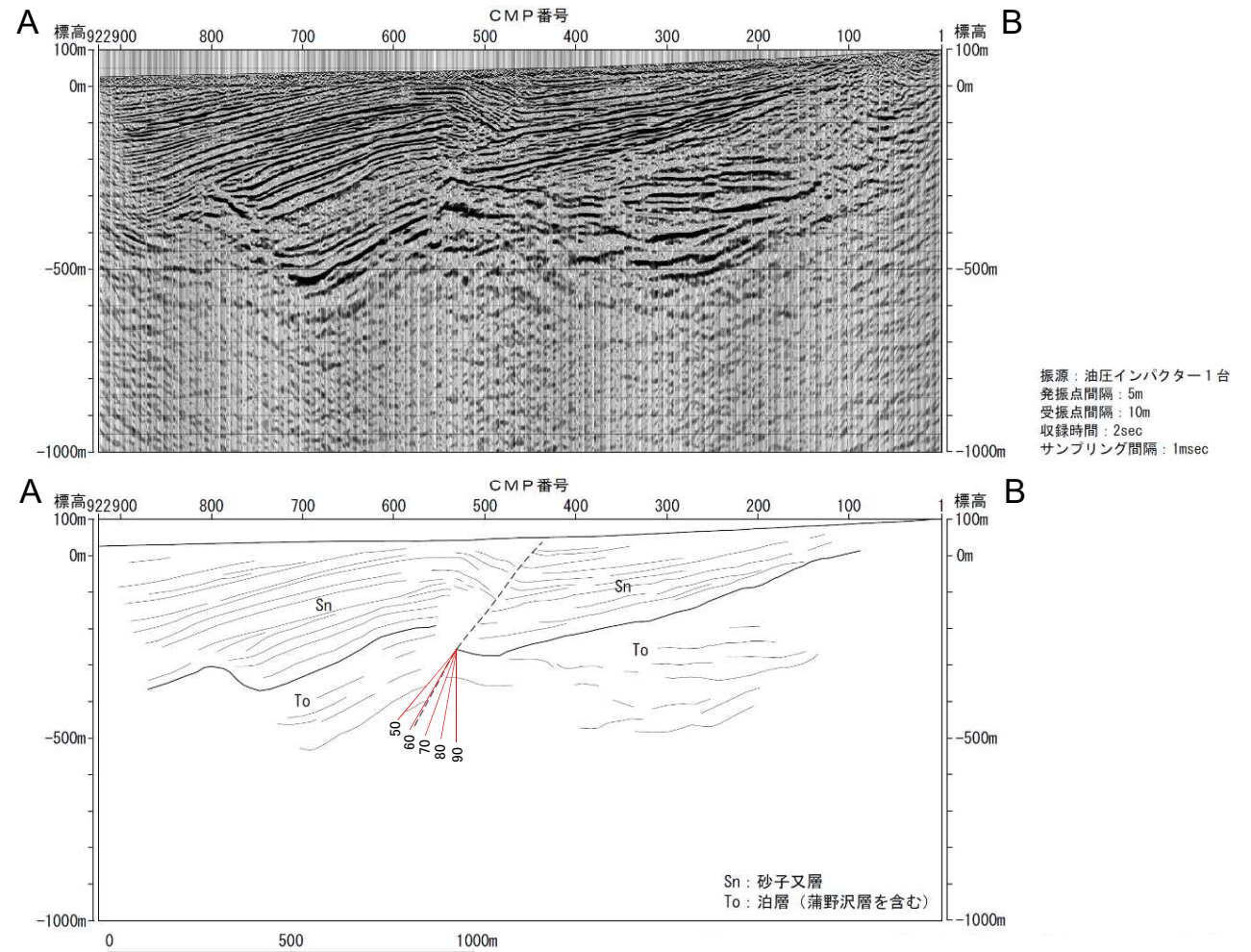
パラメータ	調査等に基づく震源パラメータ		基本震源モデルの考え方	不確かさの考慮	
	設定根拠	調査等に基づく基本となる考え方			
微視的パラメータ アスペリティ	位置	地質調査結果	地質調査結果に基づく横浜断層の長さの中央にアスペリティを配置	敷地に対する影響が大きくなるように、地質調査結果に基づく断層長さのうち、敷地に最も近づく位置にアスペリティを配置する。	基本震源モデルの段階で既に、敷地に対する影響が大きくなるような位置にアスペリティを配置している。
	応力降下量	レシピに従い、経験式に基づき設定	—	同左	新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、経験式の1.5倍とする。
その他のパラメータ	破壊伝播速度	レシピに従い、経験式に基づき設定	—	同左	長大断層でないことから、破壊伝播速度の変動による影響は小さく考慮しない。
	破壊開始点	—	—	過去に同じ発生様式の地震の破壊開始点の情報が得られていないことから、保守的に、複数の破壊開始点を考慮する。	基本震源モデルの段階で既に、複数の破壊開始点を考慮している。

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.5 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの設定 横浜断層による地震の基本震源モデル 断層傾斜角について

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p122 再掲



横浜断層 鶏沢測線位置図



鶏沢測線の深度断面及び解釈

➤ 断層の傾斜角は、リニアメント中央部での反射法地震探査結果より、60°と設定している。

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.5 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの設定

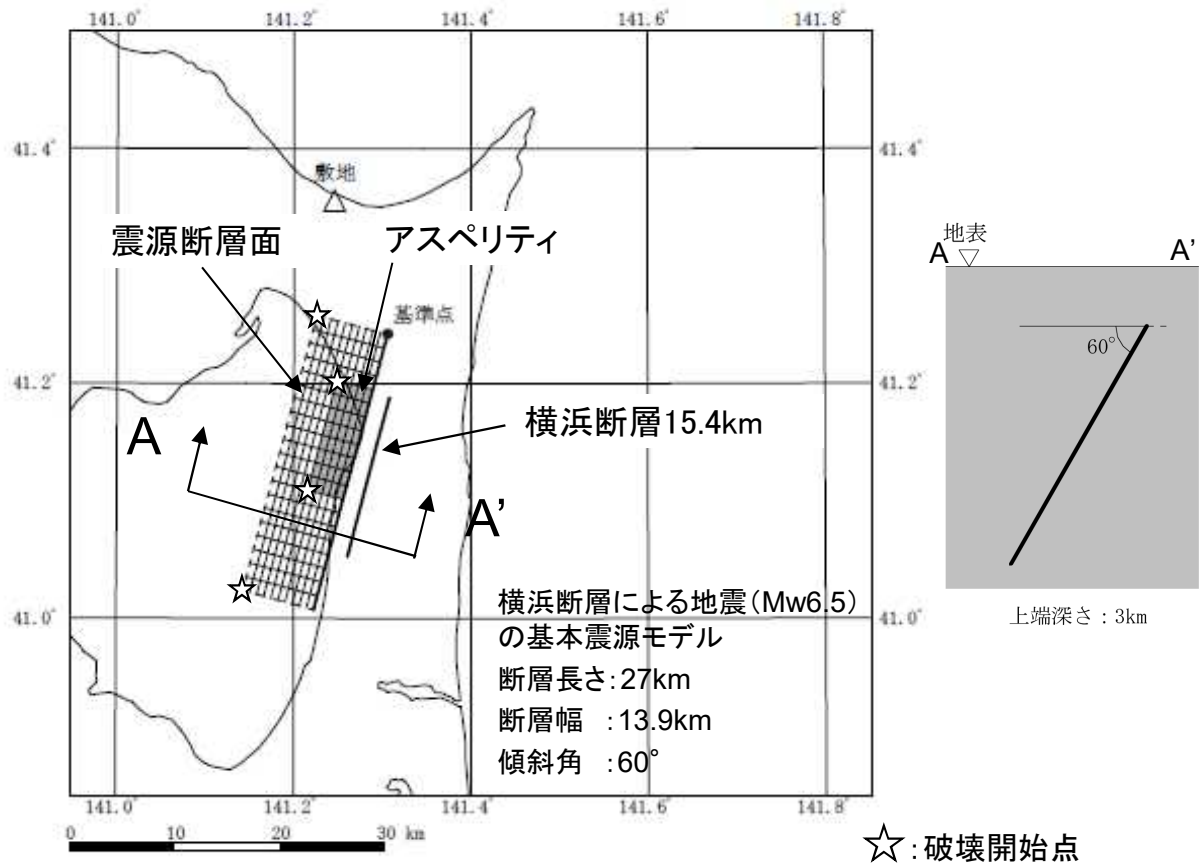
横浜断層による地震 基本震源モデルの設定

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p123 再掲

- 横浜断層による地震の基本的な震源パラメータの設定方針を以下に示す。下表以外のパラメータは、強震動予測レシピに基づき設定する。

基本震源モデルの設定

項目	設定根拠
断層面	断層長さ Mw6.5相当となる断層長さを設定 【27km】
	傾斜角 地質調査結果に基づき設定 【60°】
	断層幅 地震発生層厚さ (上端3km、下端15km)と 傾斜角60° を考慮して地震発生層を飽和するように設定 【13.9km】
	断層面積 断層長さと断層幅の積で設定 【375km²】
	位置 地質調査結果により評価された 横浜断層15.4km に対して、 南北均等 に断層面を設定
	破壊開始点 複数 設定
アスペリティ	位置 地質調査結果により評価された 横浜断層(15.4km)のうち、敷地に最も近い位置(北端) に設定



横浜断層による地震(Mw6.5)

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.5 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの設定 検討用地震の検討ケースの不確かさの考え方

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p124 再掲

■ 検討用地震の地震動評価において、各断層パラメータの不確かさを考慮することとするが、その基本的な考え方は以下の通り。

- 地震規模
- 応力降下量
- 断層面の位置
- 断層傾斜角
- アスペリティの位置
- 破壊開始点

認識論的不確かさ

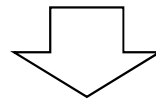
(=事前の詳細な調査や経験式などに基づき設定できるもの)

偶然的な不確かさ

(=事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの)

■ 上記を踏まえた不確かさの重畳についての考え方は、以下の通り。

- 「認識論的不確かさ」については、それぞれ独立させて不確かさを考慮する。
- 「偶然的な不確かさ」については、事前に把握することが困難であるため、「認識論的不確かさ」と重畳させて考慮する。



地震動評価上、保守的な設定として、以下の考え方を採用する。

- アスペリティの位置: 基本震源モデルの段階で保守的に、敷地に最も近い位置を考慮し、「認識論的不確かさ」と重畳させて考慮する。
- 破壊開始点: 基本震源モデルの段階で複数のケースを考慮し、「認識論的不確かさ」と重畳させて考慮する。

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.5 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの設定 検討ケース一覧

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p125 再掲

■ 横浜断層による地震における検討ケースを以下に示す。

検討ケース	断層長さ (km)	断層幅 (km)	断層面積 (km ²)	断層傾斜角 (°)	モーメントマグニチュード (Mw)	地震モーメント (N・m)	断層位置	アスペリティ面積 (km ²)	アスペリティの応力降下量 (MPa)	破壊開始点
							アスペリティ位置			
地質調査結果	15.4	-	-	60	-	-	-	-	-	-
①基本震源モデル	27.0	13.9	375.3	60	6.5	7.83 × 10 ¹⁸	地質調査結果により評価された範囲から南北均等に配置	72.3	13.62	複数設定
							地質調査結果により評価された範囲において、敷地に近い位置に配置			
②応力降下量の不確かさを考慮したケース	27.0	13.9	375.3	60	6.5	7.83 × 10 ¹⁸	地質調査結果により評価された範囲から南北均等に配置	72.3	20.43	複数設定
							地質調査結果により評価された範囲において、敷地に近い位置に配置			
③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース	27.0	17.0	459.0	45	6.6	1.17 × 10 ¹⁹	地質調査結果により評価された範囲から南北均等に配置	101.2	13.17	複数設定
							地質調査結果により評価された範囲において、敷地に近い位置に配置			

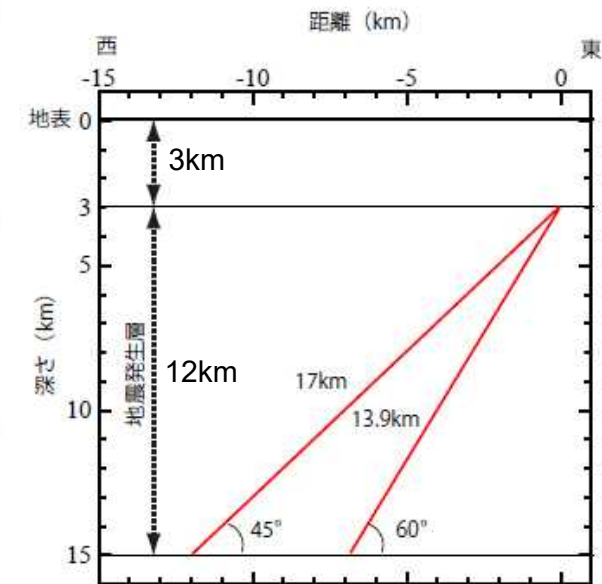
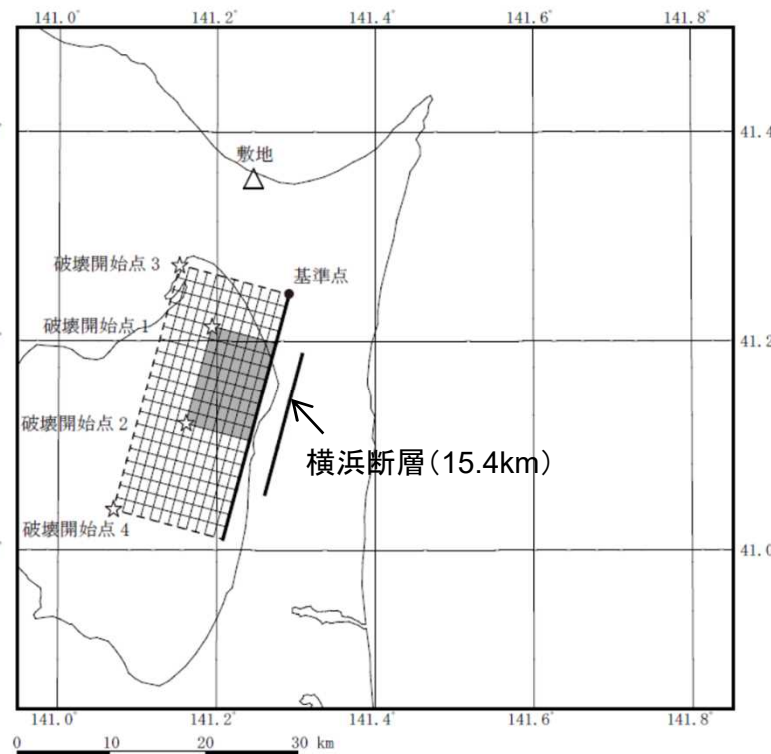
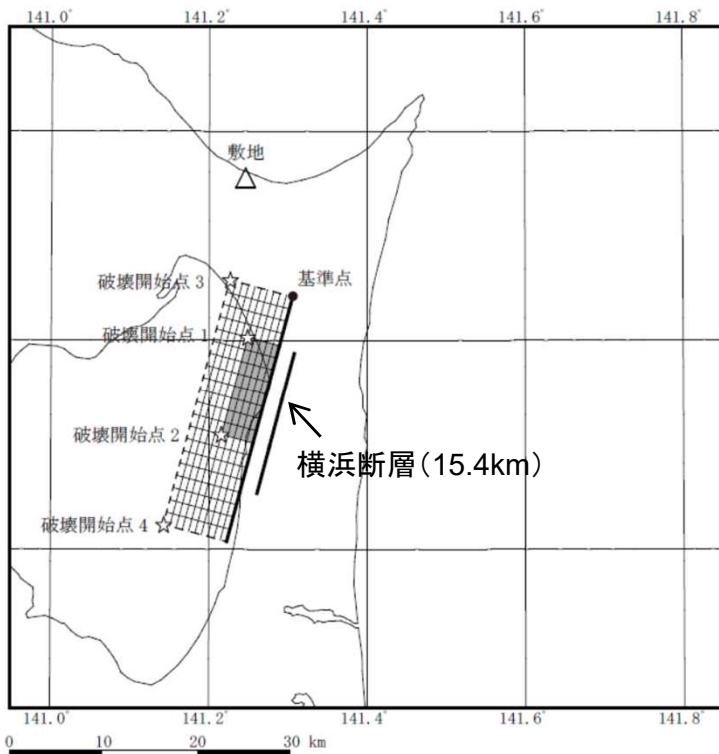
: 認識論的不確かさとして考慮したパラメータ
 : 偶然的な不確かさとして考慮したパラメータ

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.5 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの設定

震源モデル図

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p126 再掲

■ 検討ケースについて、断層面の平面図及び断面図を以下に示す。



断面図

- ①基本震源モデル
②応力降下量の不確かさを考慮したケース

- ③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース

☆:破壊開始点

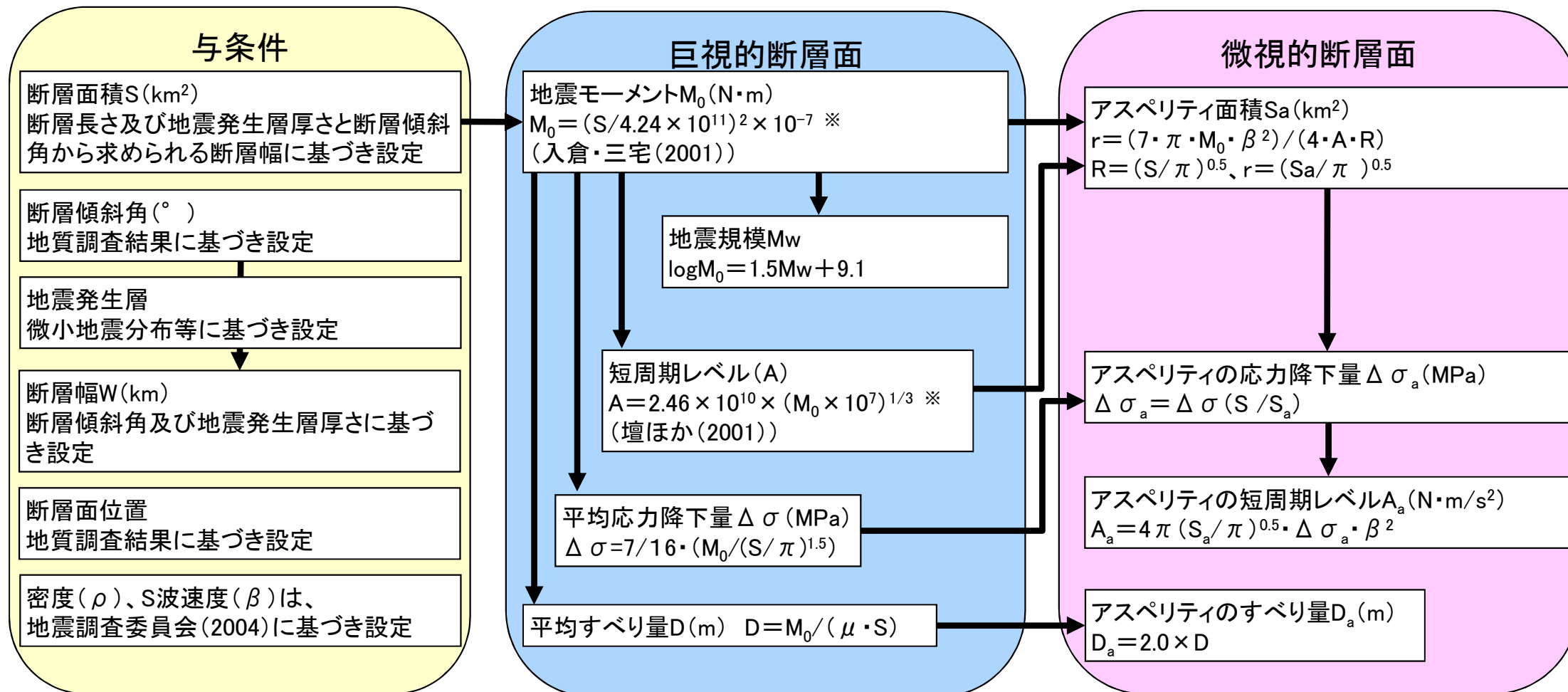
4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.5 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの設定

検討用地震の断層パラメータの設定フロー

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p127 再掲

- 横浜断層による地震について、断層パラメータの算定フローを以下に示す。
- 断層パラメータについての設定については、強震動予測レシピに従う。

①基本震源モデル、②応力降下量の不確かさを考慮したケース、③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース



※これらのパラメータ算定式は、文献における式をSI単位系に換算して記載

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.5 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの設定

検討用地震の断層パラメータ

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p128 再掲

■ 横浜断層による地震について、各ケースの断層パラメータを以下に示す。

項目		①基本震源モデル	②応力降下量の不確かさケース	③断層傾斜角の不確かさケース	設定方法	
巨視的断層面	走向(θ)	°	195	←	←	地質調査結果に基づき設定
	傾斜角(δ)	°	60	←	←	45 地質調査結果に基づき設定
	断層長さ(L)	km	27.0	←	←	設定
	断層幅(W)	km	13.9	←	←	17.0 地震発生層厚さ(12km)と傾斜角から設定
	断層面積(S)	km ²	375.3	←	←	459.0 S=L×W
	断層上端深さ	km	3.0	←	←	微小地震データ等を参考に設定
	断層下端深さ	km	15.0	←	←	微小地震データ等を参考に設定
	地震モーメント(M ₀)	Nm	7.83×10 ¹⁸	←	←	1.17×10 ¹⁹ M ₀ =(S/4.24×10 ¹¹) ² ×10 ⁻⁷
	モーメントマグニチュード(M _w)	-	6.5	←	←	6.6 M _w =(logM ₀ -9.1)/1.5
	剛性率(μ)	N/m ²	3.45×10 ¹⁰	←	←	μ=ρ・β ²
	密度(ρ)	g/cm ³	2.69	←	←	地震調査委員会(2004)を参考に設定
	S波速度(β)	km/s	3.58	←	←	地震調査委員会(2004)を参考に設定
	平均すべり量(D)	m	0.606	←	←	0.741 D=M ₀ /(μ・S)
	平均応力降下量(Δσ)	MPa	2.63	←	←	2.90 Δσ=(7π ^{1.5} /16)・(M ₀ /S ^{1.5})
	破壊伝播速度(V _r)	km/s	2.58	←	←	← V _r =0.72β(Geller(1976))
短周期レベル(A)	Nm/s ²	1.05×10 ¹⁹	←	←	1.20×10 ¹⁹ A=2.46×10 ¹⁰ ×(M ₀ ×10 ⁷) ^{1/3} (壇ほか(2001))	
【参考】短周期レベル(A)	Nm/s ²	1.17×10 ¹⁹	1.75×10 ¹⁹	1.30×10 ¹⁹	A=(A _a ² +A _b ²) ^{0.5}	
アスペリティ	地震モーメント(M _{0a})	Nm	3.02×10 ¹⁸	←	←	5.17×10 ¹⁸ M _{0a} =μ・S _a ・D _a
	面積(S _a)	km ²	72.3	←	←	101.2 r=(7πM ₀ β ²)/(4AR),R=(S/π) ^{0.5} , r=(S _a /π) ^{0.5}
	平均すべり量(D _a)	m	1.211	←	←	1.481 D _a =2×D
	応力降下量(Δσ _a)	MPa	13.62	20.43	13.17	Δσ _a =Δσ(S/S _a)
	短周期レベル(A _a)	Nm/s ²	1.05×10 ¹⁹	1.58×10 ¹⁹	1.20×10 ¹⁹	A _a =4π(S _a /π) ^{0.5} Δσ _a β ²
背景領域	地震モーメント(M _{0b})	Nm	4.81×10 ¹⁸	←	←	6.55×10 ¹⁸ M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	面積(S _b)	km ²	303.0	←	←	357.8 S _b =S-S _a
	平均すべり量(D _b)	m	0.461	←	←	0.531 D _b =M _{0b} /(μ・S _b)
	実効応力(σ _b)	MPa	3.17	4.76	2.79	σ _b =(D _b /W _b)/(D _a /W _a)Δσ _a アスペリティの幅W _a =S _a ^{0.5} ,背景領域の幅W _b =W
	短周期レベル(A _b)	Nm/s ²	5.02×10 ¹⁸	7.53×10 ¹⁸	4.80×10 ¹⁸	A _b =4π(S _b /π) ^{0.5} Δσ _b β ²
Q値(Q)	-	243f ^{0.69}	←	←	← 川瀬・松尾(2004)	
高周波遮断振動数(f _{max})	Hz	6.0	←	←	← 鶴来ほか(1997)	

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.6 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの地震動評価

地震動評価方法

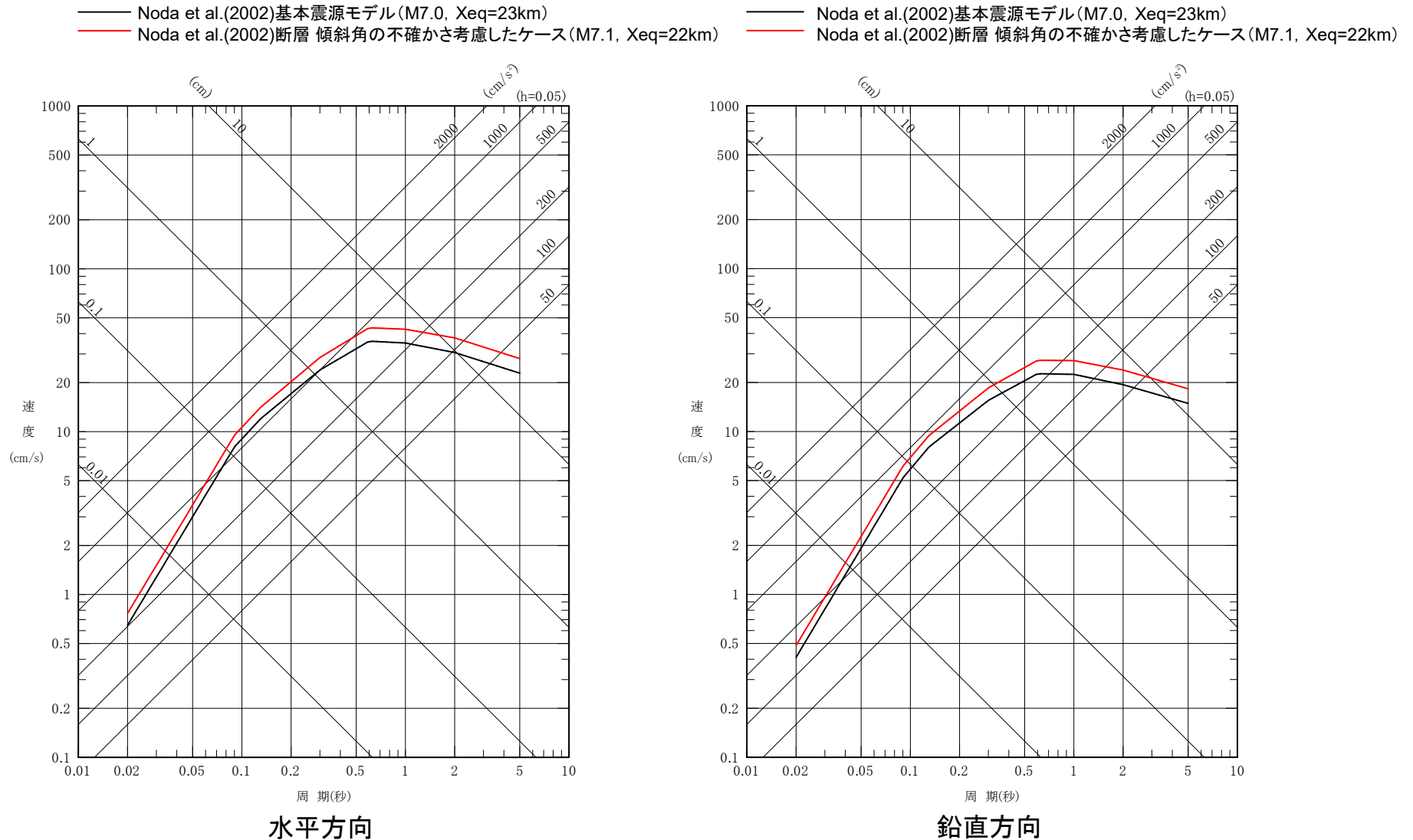
審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p129 再掲

- 検討用地震とした「横浜断層による地震」の基本震源モデル及び不確かさを考慮した検討ケースについて、地震動評価を行う。地震動評価は、以下に示す応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施する。
 - 応答スペクトルに基づく地震動評価
 - ✓ 「Noda et al.(2002)」による応答スペクトル評価を用いる。
 - ✓ 敷地において、内陸地殻内地震の観測記録が十分に得られていないことから、Noda et al.(2002)による内陸地殻内地震の補正係数による低減を用いない。
 - 断層モデルを用いた手法による地震動評価
 - ✓ 想定した震源域において、要素地震となる地震の観測記録が得られていないことから、「統計的グリーン関数法」(以下「SGF」という。)により評価する。

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.6 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの地震動評価 応答スペクトルに基づく地震動評価結果

審査会合 (H30.9.14)
資料2-4-1 p130 再掲

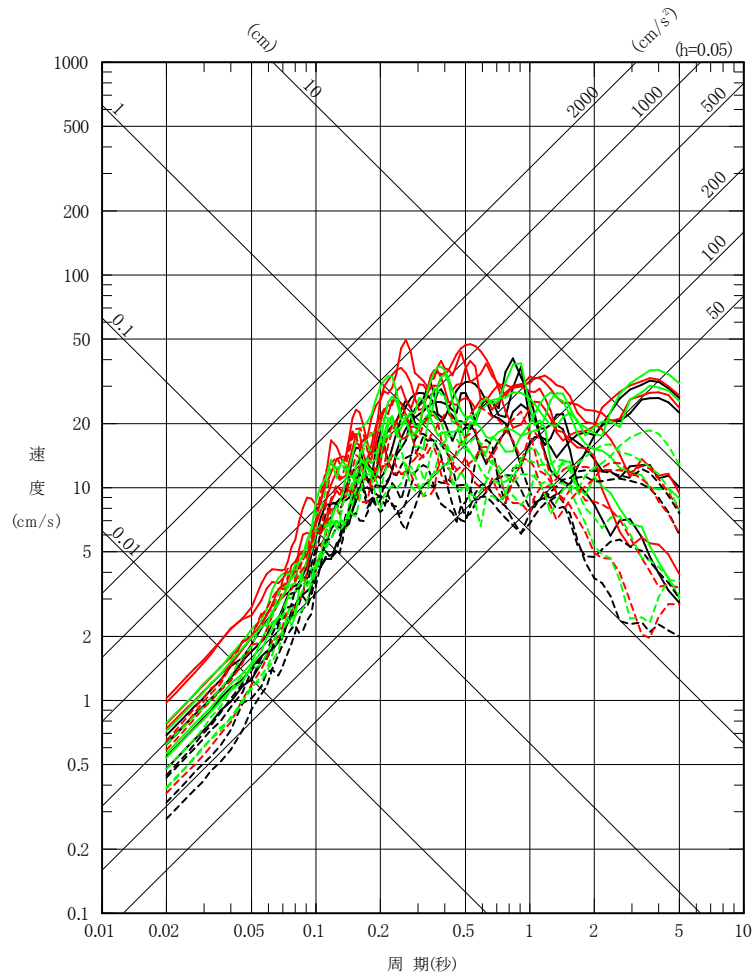
■ Noda et al.(2002)を用いた地震動評価



4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.6 基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの地震動評価 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果の重ね書き

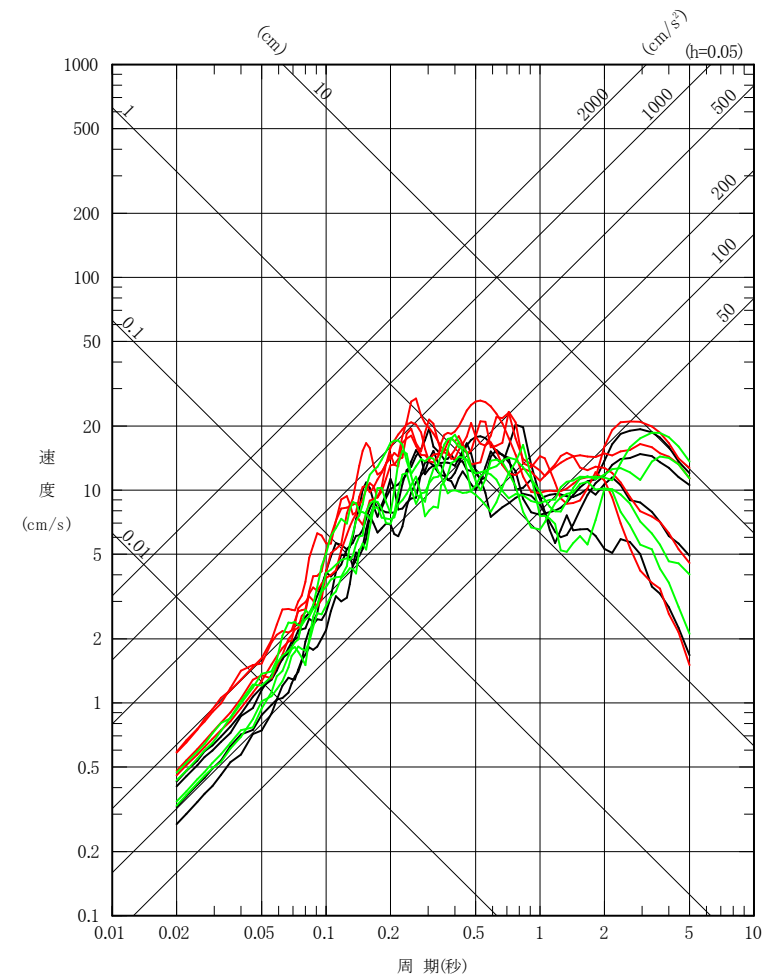
審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p131 再掲

- ①基本震源モデル NS方向
- - ①基本震源モデル EW方向
- ②応力降下量の不確かさを考慮したケース NS方向
- - ②応力降下量の不確かさを考慮したケース EW方向
- ③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース NS方向
- - ③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース EW方向



水平方向

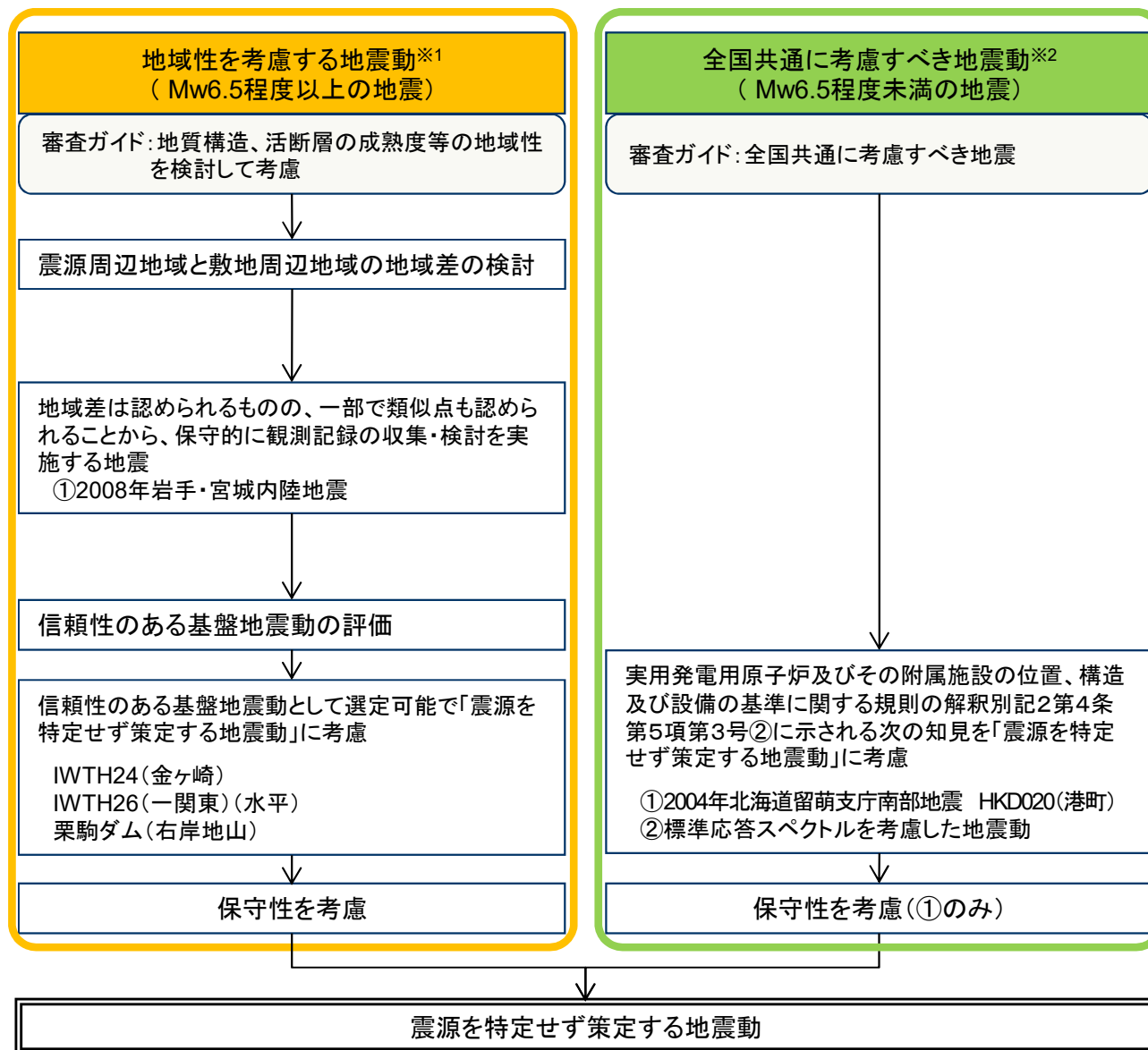
- ①基本震源モデル
- ②応力降下量の不確かさを考慮したケース
- ③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース



鉛直方向

1. 基準地震動の策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
- 5. 震源を特定せず策定する地震動**
 5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討
 5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討
 5. 3 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

5. 震源を特定せず策定する地震動 検討対象地震と検討概要 (令和4年1月申請)



※1 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド (令和3年4月21日改正)に示された、「地域性を考慮する地震動」における収集対象の地震の例

- ①2008年岩手・宮城内陸地震
- ②2000年鳥取県西部地震

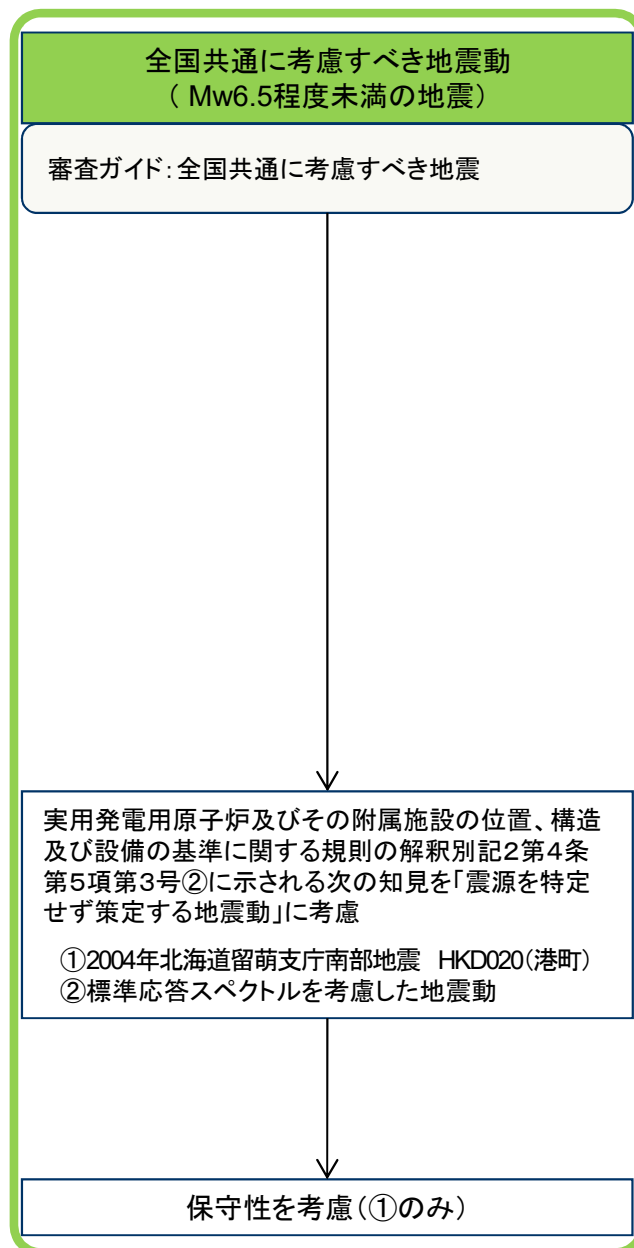
※2 实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈別記2第4条第5項第3号②に示される知見

- ①2004年北海道留萌支庁南部地震 HKD020(港町)
- ②標準応答スペクトルを考慮した地震動

1. 基準地震動の策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
5. 震源を特定せず策定する地震動
 5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討
 5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討
 5. 3 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

5.1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討

5.1.1 検討概要(令和4年1月申請)



■ 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別記2第4条第5項第3号②に示される次の知見を「震源を特定せず策定する地震動」に考慮

- ①2004年北海道留萌支庁南部地震 HKD020(港町)
- ②標準応答スペクトルを考慮した地震動

5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討 / 5. 1. 2 2004年北海道留萌支庁南部地震

基盤地震動の選定

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p152 再掲

- 北海道留萌支庁南部地震における佐藤ほか(2013)によるHKD020(港町)観測点の基盤地震動評価をもとに以下の①～④の検討が行われた。
 - ① GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価(水平方向)
 - ② GL-6mからGL-41mまで減衰定数を3%とした基盤地震動評価(水平方向)
 - ③ 再測定されたPS検層結果を踏まえた基盤地震動評価(鉛直方向)
 - ④ 地下水位の状況を踏まえGL-6mまでポアソン比一定とした基盤地震動評価(鉛直方向)
- 上記の①～④の検討結果によると、HKD020港町の基盤地震動は、水平方向については②のケース(609Gal)が、鉛直方向については③のケース(306Gal)が最も大きい。
- 佐藤ほか(2013)によるHKD020(港町)観測点の基盤地震動は、地表観測記録に基づきGL-41mのVs=938m/sの基盤層において評価されており、敷地の解放基盤表面におけるVs=910m/sと同等のS波速度である。



- ▶ 2004年北海道留萌支庁南部地震の『震源を特定せず策定する地震動』に考慮する基盤地震動として、水平方向については最大加速度609Gal、鉛直方向については最大加速度306Galの基盤地震動を採用する。

地下構造モデルの策定で説明した敷地の地盤モデル

No.	標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs			Qp		
						Qo	n	Qi	Qo	n	Qi
	-218										
1	-300	82	2.0	910	2197	6.27	0.87	—	3.81	0.63	—
2	-480	180	2.1	990	2510	13	0.50	52	5.3	1.00	82
3	-1700	1220	2.2	1450	2820	24	0.50	84	8.1	0.33	86
4		∞	2.6	3150	5660						

T.P.-218m

解放基盤表面
(Vs=910m/s)

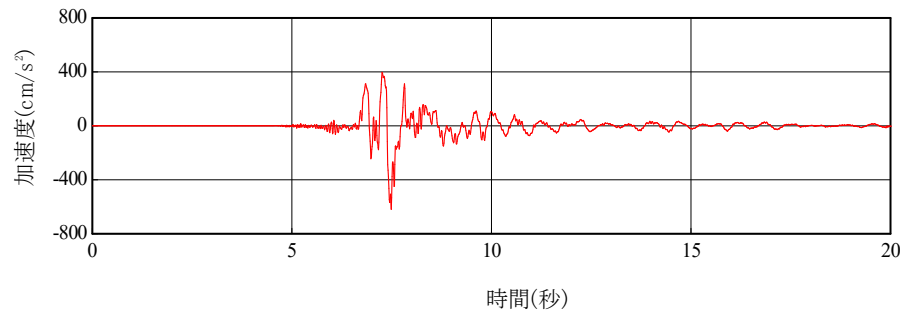
$$\frac{1}{Q(f)} = \frac{1}{Q_0 \cdot f^n} + \frac{1}{Q_i}$$

5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討 / 5. 1. 2 2004年北海道留萌支庁南部地震

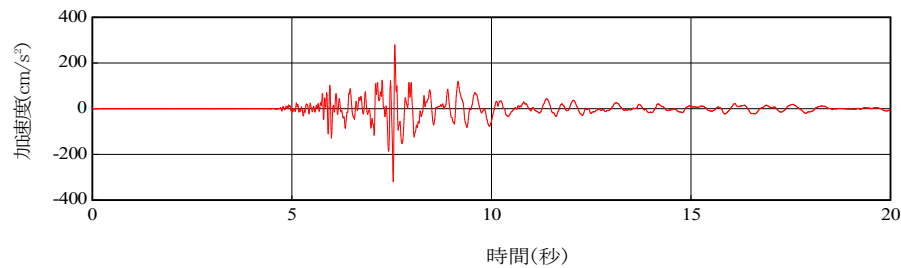
震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p153 再掲

- 2004年北海道留萌支庁南部地震HKD020港町観測点の基盤地震動に基づき震源を特定せず策定する地震動を策定する。
- 上記の基盤地震動について分析し、以下の結果が得られている。
 - ・ 佐藤ほか(2013)によると、水平方向:585Gal、鉛直方向:296Galと評価されている。
 - ・ はぎとり解析の不確かさ等を含めた検証は水平方向:609Gal、鉛直方向:306Galと評価される。
- 震源を特定せず策定する地震動は、施設の耐震性に求められる保守性を勘案して、北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動(水平方向609Gal、鉛直方向306Gal)の加速度時刻歴波形を水平方向620Gal、鉛直方向320Galに嵩上げ(位相特性を変えずに振幅特性のみ変更)した地震動として考慮する。

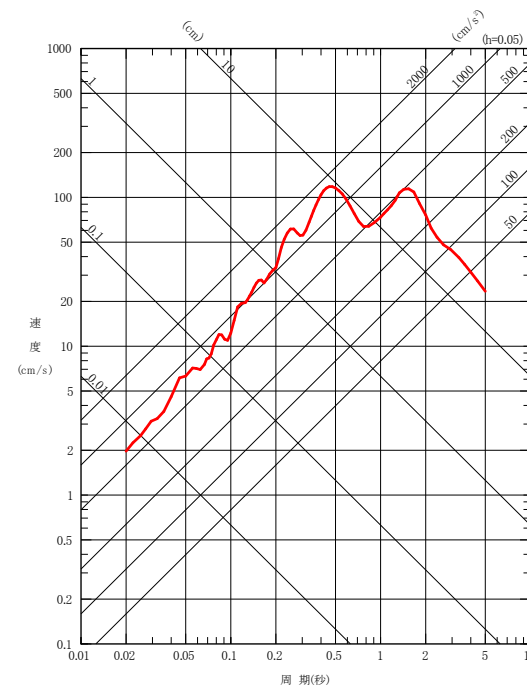


水平方向(620Gal)

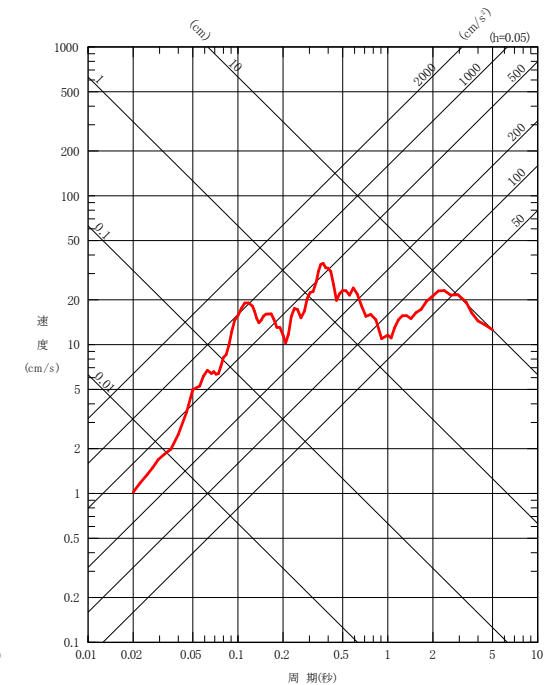


鉛直方向(320Gal)

加速度時刻歴波形



水平方向



鉛直方向

応答スペクトル

5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討 / 5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動

5. 1. 3. 1 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価の方針

- 敷地における解放基盤表面は $V_s=700\text{m/s}$ 以上となる標高 -218m の位置に設定しているのに対し、標準応答スペクトルは地震基盤相当面 ($V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層) で定義される。
- 地震基盤相当面 (地盤構造モデルの地震基盤面。 $V_s=3150\text{m/s}$ である標高 -1700m の位置) から解放基盤表面までの増幅特性の評価は、断層モデルによる地震動評価で用いている、モデル下端が地震基盤面となる「統計的グリーン関数法に用いる地盤構造モデル」によることとする。
- 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価の流れ
 1. 地盤モデルの設定
地震基盤相当面 ($V_s=3150\text{m/s}$) から解放基盤表面 ($V_s=700\text{m/s}$ 以上) までの増幅特性を考慮する地盤モデルとして、断層モデルによる地震動評価で用いている「統計的グリーン関数法に用いる地盤構造モデル」を用いる。
 2. 地震基盤相当面における模擬地震波の検討
地震基盤相当面において標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を一様乱數位相を用いて作成するとともに、実観測記録の位相を用いた模擬地震波を作成する。
 3. 解放基盤表面における模擬地震波の検討
地震基盤相当面 ($V_s=3150\text{m/s}$) に標準応答スペクトルに適合するように作成した2つの模擬地震波を入力し、解放基盤表面における模擬地震波を作成し、両者の比較を行い模擬地震波を決定する。
 4. 基準地震動の策定
上記の検討を踏まえ、既許可の基準地震動 S_s との大小関係を考慮して基準地震動 S_s を策定する。

5.1.3.2 地盤構造モデルの設定

審査会合 (R4.2.4)
資料2-1 p3 修正

■地震基盤相当面から解放基盤表面までの増幅特性の評価に用いる地盤モデルは、敷地の地震動評価の内、「海洋プレート内地震」及び「内陸地殻内地震」の断層モデルによる地震動評価に用いた「統計的グリーン関数法に用いる地盤構造モデル」を用いることとする。

■評価に用いた地盤構造モデルを下表に示す。

統計的グリーン関数法に用いる地盤構造モデル

標高 T.P. (m)	層厚 (m)	密度 ρ (t/m^3)	S波速度 V_S (m/s)	P波速度 V_P (m/s)	減衰 (%)	備考
-218	82	2.00	910	2197	1.00	解放基盤表面
-300	180	2.10	990	2510		
-480	1220	2.20	1450	2820		
-1700	∞	2.60	3150	5660	—	地震基盤面 ←地震基盤相当面

5.1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討 / 5.1.3 標準応答スペクトルを考慮した地震動

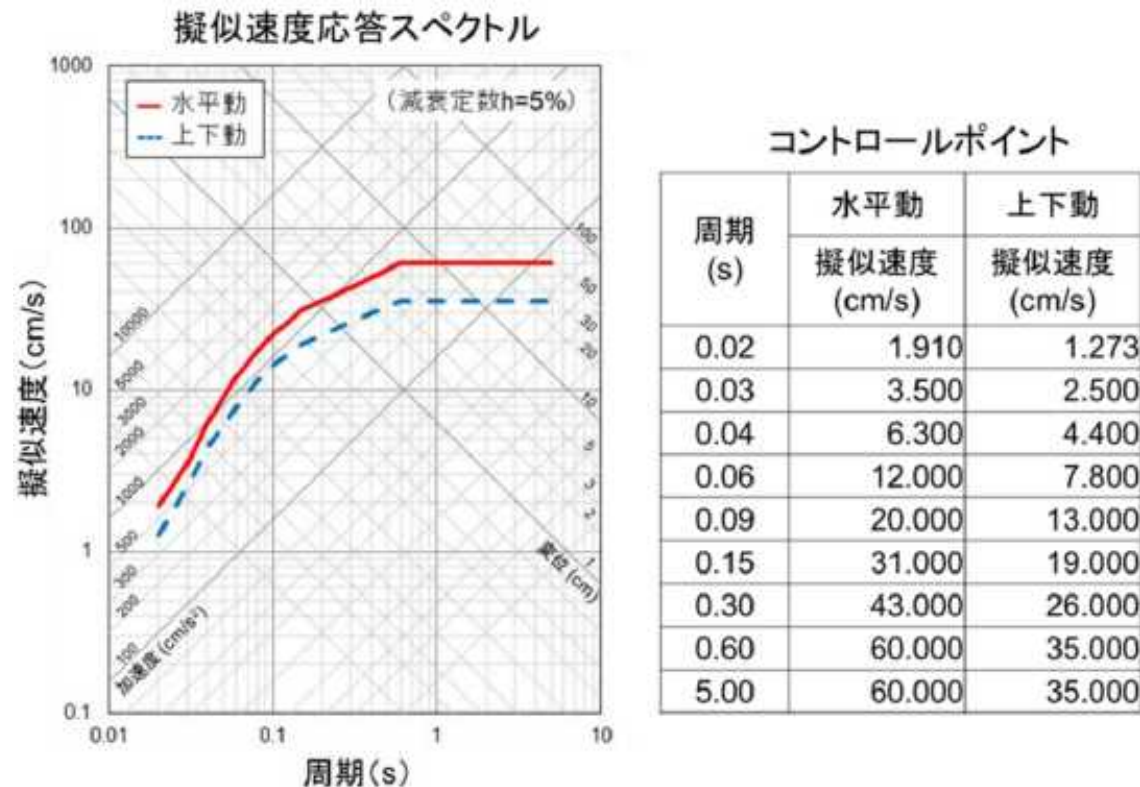
5.1.3.3 地震基盤相当面における模擬地震波の検討

審査会合 (R4.2.4)
資料2-1 p4 修正

■ 地震基盤相当面における模擬地震波の策定に当たっては、下図の標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を一様乱数位相を用いて作成している。

■ 模擬地震波の作成に当たっては、実観測記録の位相を用いた模擬地震波との比較検討を行う。

- 1) 一様乱数位相: 基準地震動 S_s-A の作成に用いた手法と同じ手法で作成した一様乱数位相
- 2) 実観測記録の位相: 発生様式が内陸地殻内地震で、敷地内の地震観測点で記録が得られている実観測記録の位相



標準応答スペクトル

5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討／

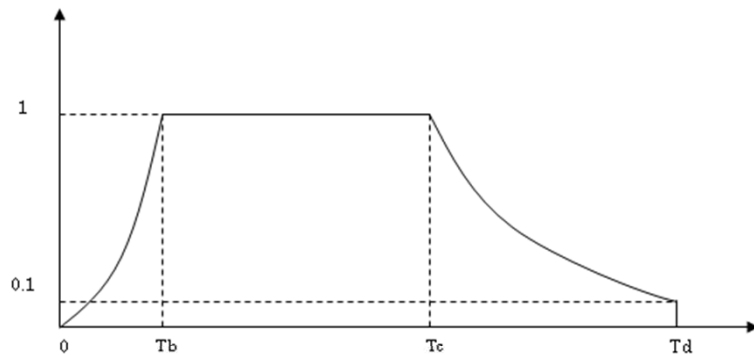
5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動／5. 1. 3. 3 地震基盤相当面における模擬地震波の検討

一様乱数位相を用いた模擬地震波の作成 1/2

 審査会合 (R4.4.25)
 資料5-1 p6 修正

- 模擬地震波は、応答スペクトルに適合するよう、一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせによって作成する。
- 振幅包絡線の経時変化は、Noda et al. (2002)に基づき設定している。

模擬地震波	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時変化 (s)		
		T_b	T_c	T_d
一様乱数位相を用いた 模擬地震波	29.80	3.72	16.31	29.80



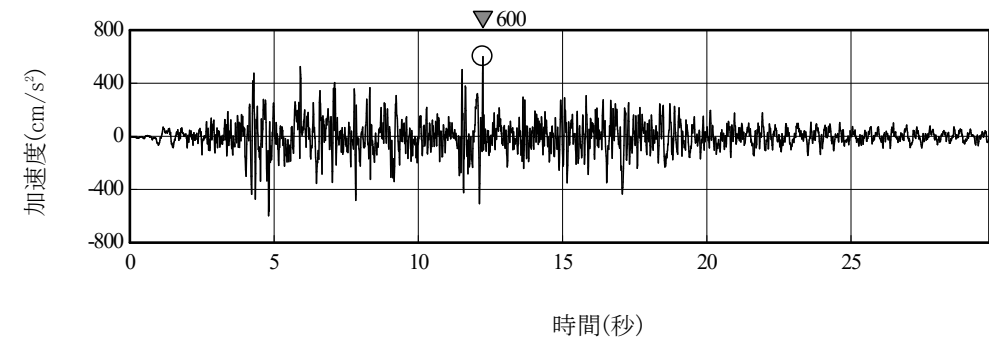
$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

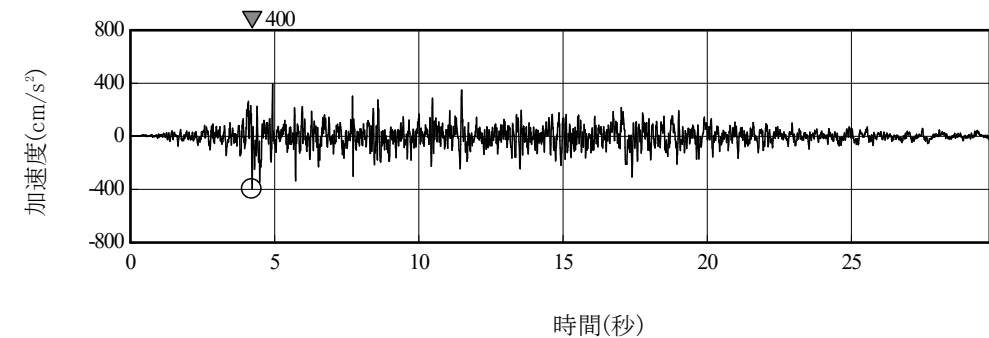
$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6}$$

地震規模 (M)、等価震源距離 (X_{eq}) については、M 7.0、 $X_{eq}=10\text{km}$ とする。

継続時間及び振幅包絡線の経時変化



模擬地震波の加速度時刻歴波形 (地震基盤相当面) 水平方向



模擬地震波の加速度時刻歴波形 (地震基盤相当面) 鉛直方向

模擬地震波	最大加速度 (cm/s^2)
水平方向	600
鉛直方向	400

5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討／

5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動／5. 1. 3. 3 地震基盤相当面における模擬地震波の検討

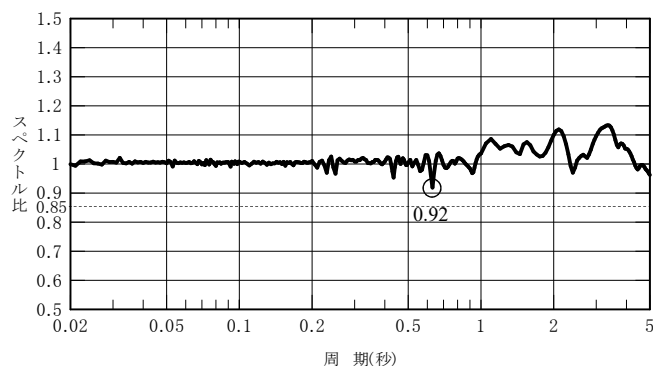
一様乱數位相を用いた模擬地震波の作成 2/2

審査会合 (R4.4.25)
資料5-1 p7 一部加筆

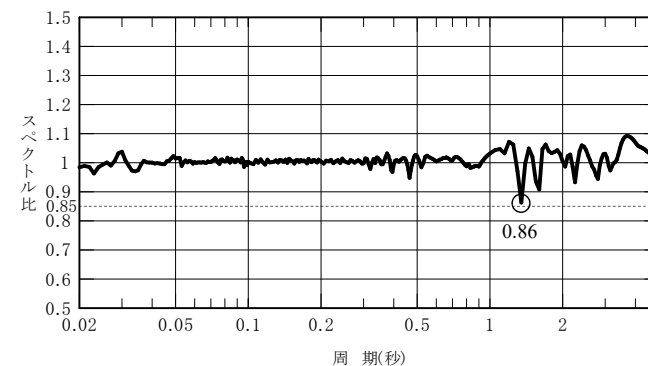
■ 作成した模擬地震波が、JEAG4601－2008原子力発電所耐震設計技術指針に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認した。

- 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が全周期帯で0.85以上
- 応答スペクトル強さの比 (SI比) が1.0以上

■ 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 (水平方向)



応答スペクトル比 (鉛直方向)

■ 応答スペクトル強さの比 (SI比)

$$SI \text{ 比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} Sv(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{Sv}(T) dt}$$

SI : 応答スペクトル強さ
 $Sv(T)$: 模擬地震波の擬似速度応答スペクトル (cm/s)
 $\bar{Sv}(T)$: 目標とする応答スペクトル (cm/s)
 T : 固有周期 (s)

応答スペクトル	SI比
水平方向	1.038
鉛直方向	1.012

5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討／

5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動／5. 1. 3. 3 地震基盤相当面における模擬地震波の検討

実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成 1/3

 審査会合 (R4.2.4)
 資料2-1 p7 再掲

- 実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成に用いる記録の選定
 はじめに、敷地内の3つの観測点(西側, 北側, 南側)のうち, 西側観測点の標高-300mにおいて地震観測記録が得られている地震の中から, 下記の抽出条件により検討対象地震を選定した。

抽出条件

観測点	敷地西側観測点(2001年7月～)
地震の震央距離	敷地より30km程度(以内)の地震
震源深さ	0km～30km
地震規模(M)	3.5以上

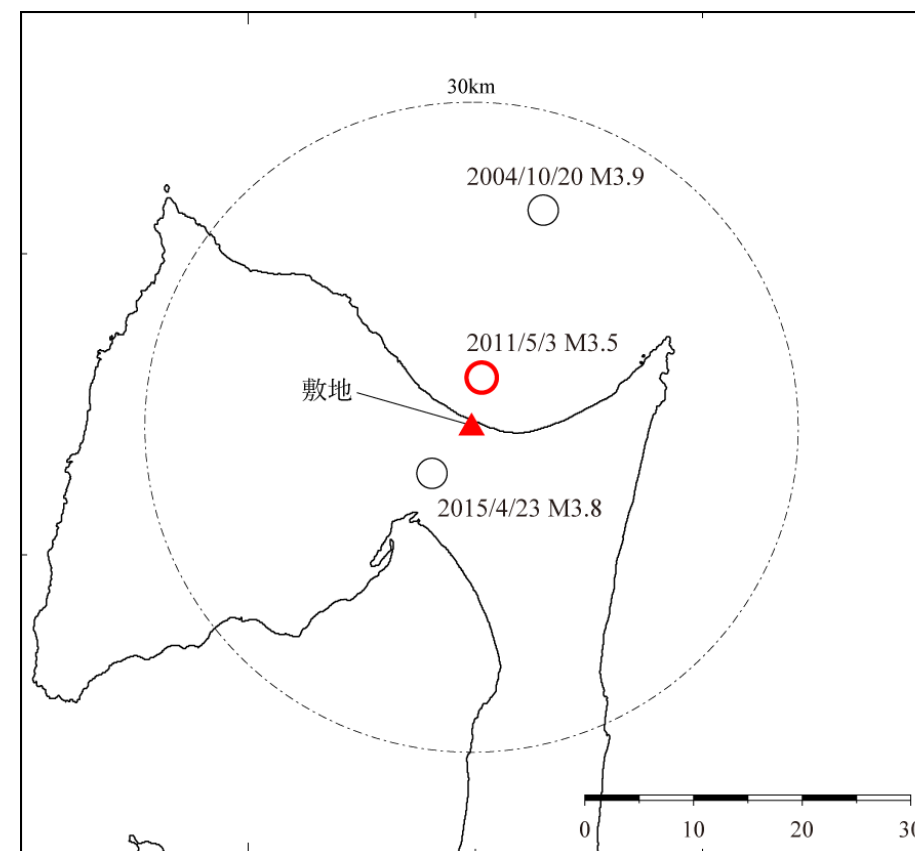
検討対象地震

No	地震名	発生日	M	深さ(km)	震央距離(km)	地震発生様式
1	津軽海峡の地震	2004年10月20日	3.9	8	21	内陸地殻内地震
2	下北半島の地震	2011年5月3日	3.5	7	5	内陸地殻内地震
3	下北半島の地震	2015年4月23日	3.8	7	6	内陸地殻内地震

次いで、

- ・敷地までの震央が5kmと敷地に近いこと
- ・最大加速度振幅値が最も大きいこと

により、「2011年5月3日(05:15)に発生した下北半島の地震(Mj3.5、Mw3.6)」を選定した。



検討対象地震の位置

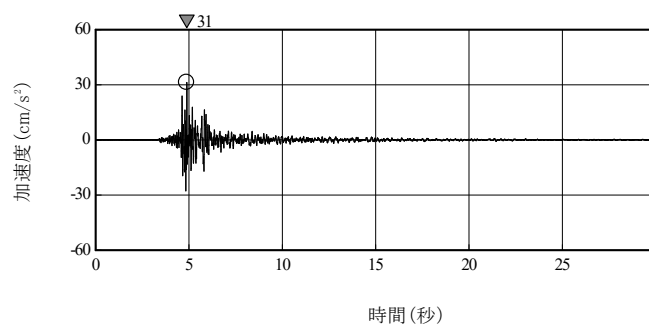
5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討／

5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動／5. 1. 3. 3 地震基盤相当面における模擬地震波の検討

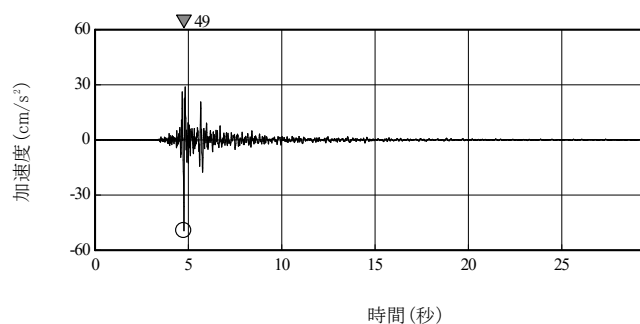
実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成 2/3

 審査会合 (R4.4.25)
 資料5-1 p9 修正

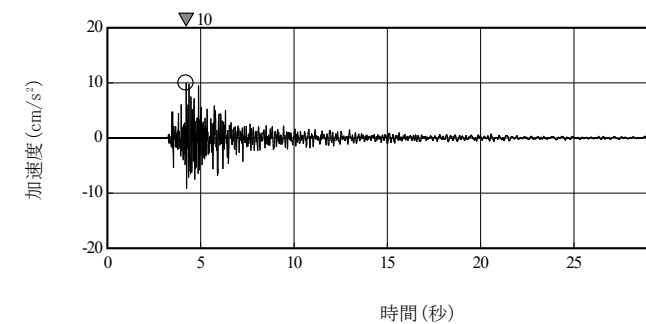
■ 2011年5月3日 (05:15)に発生した下北半島の地震の位相を用いて作成した模擬地震波を以下に示す。



NS方向

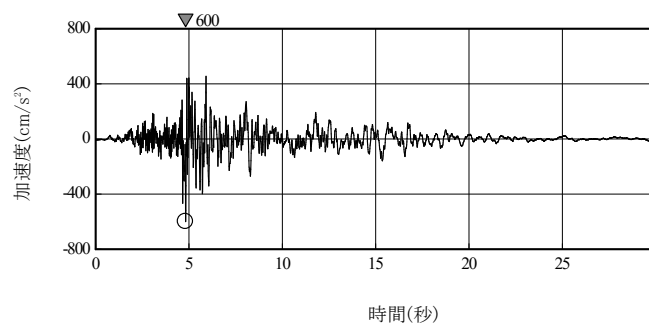


EW方向

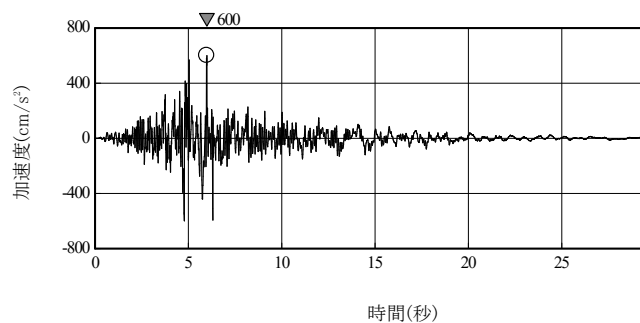


UD方向

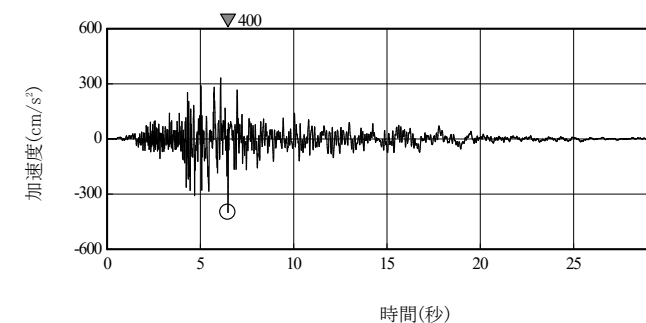
地震観測記録の加速度時刻歴波形(標高-300m)



NS方向



EW方向



UD方向

模擬地震波の加速度時刻歴波形(地震基盤相当面)

5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討／

5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動／5. 1. 3. 3 地震基盤相当面における模擬地震波の検討

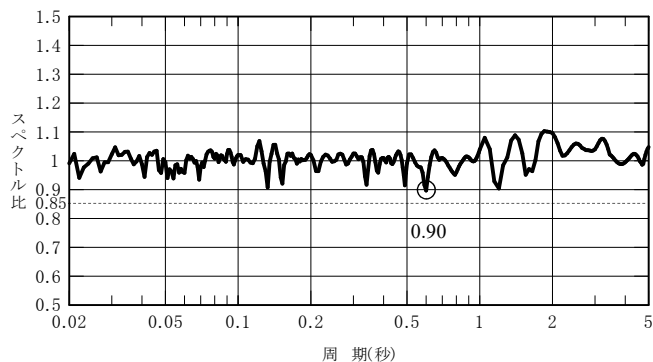
実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成 3/3

審査会合 (R4.4.25)
資料5-1 p10 一部加筆

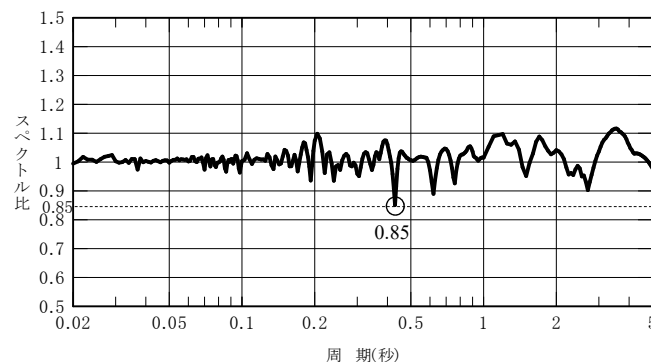
■ 作成した模擬地震波が、JEAG4601－2008原子力発電所耐震設計技術指針に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認した。

- 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が全周期帯で0.85以上
- 応答スペクトル強さの比 (SI比) が1.0以上

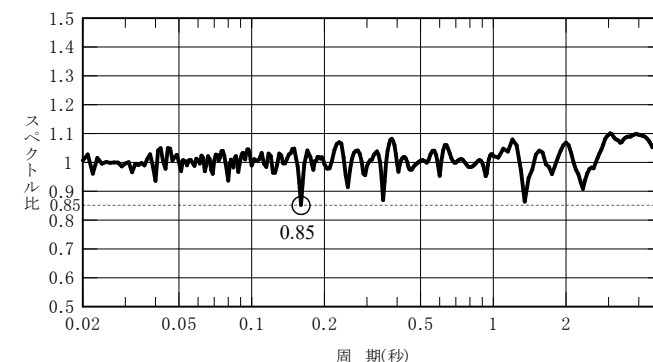
■ 目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比



応答スペクトル比 (NS方向)



応答スペクトル比 (EW方向)



応答スペクトル比 (UD方向)

■ 応答スペクトル強さの比 (SI比)

$$SI \text{ 比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} Sv(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{Sv}(T) dt}$$

- SI : 応答スペクトル強さ
 $Sv(T)$: 模擬地震波の擬似速度応答スペクトル (cm/s)
 $\bar{Sv}(T)$: 目標とする応答スペクトル (cm/s)
 T : 固有周期 (s)

応答スペクトル	SI比
NS方向	1.022
EW方向	1.022
UD方向	1.001

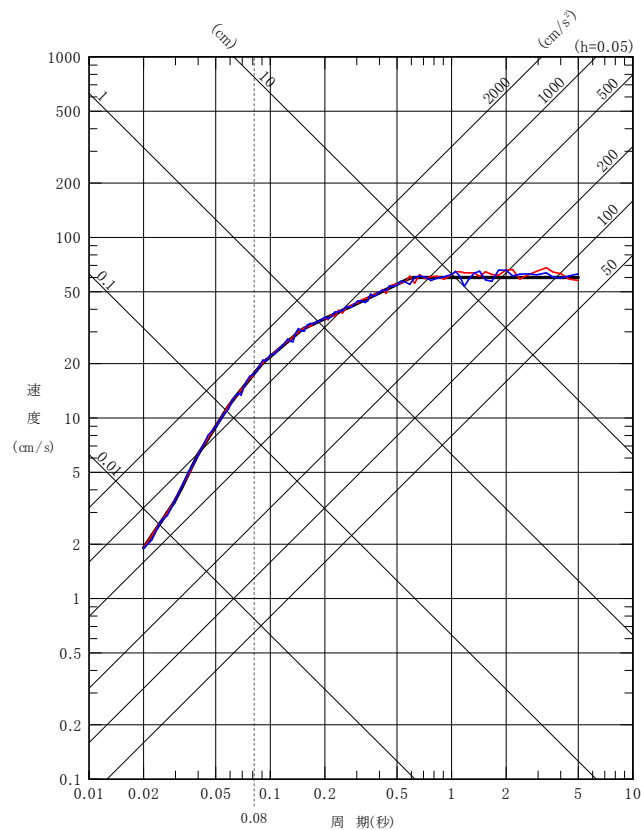
5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討

5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動 / 5. 1. 3. 3 地震基盤相当面における模擬地震波の検討

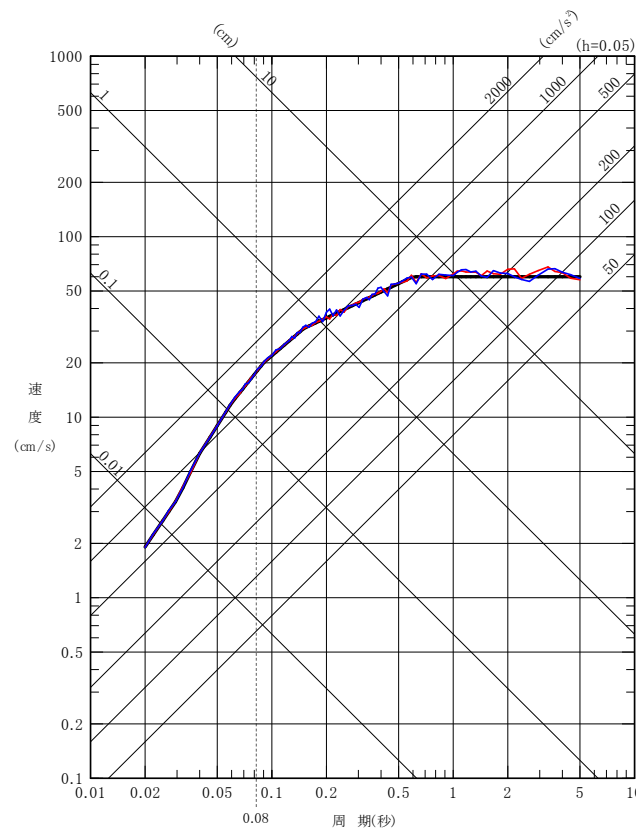
地震基盤相当面における模擬地震波の応答スペクトルの比較

審査会合 (R4.4.25)
資料5-1 p11 修正

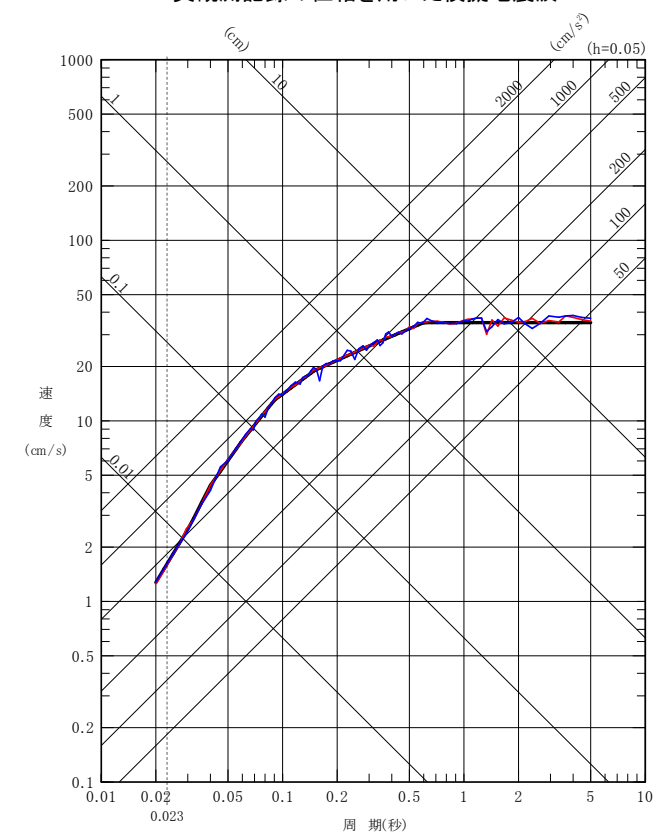
- 地震基盤相当面における一様乱数位相を用いた模擬地震波と実観測記録の位相を用いた模擬地震波を応答スペクトルにて比較する。
- 地震基盤相当面における両者の応答スペクトルに大きな差異はない。



NS方向



EW方向



UD方向

地震基盤相当面における模擬地震波の応答スペクトル
(金属キャスク固有周期:0.08秒(水平, 1次), 0.023秒(鉛直, 2次))

5.1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討／

5.1.3 標準応答スペクトルを考慮した地震動／5.1.3.4 解放基盤表面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の入力位置

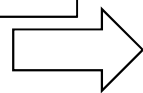
 審査会合 (R4.2.4)
 資料2-1 p11 修正

- 地震基盤相当面 ($V_s=3150\text{m/s}$) である標高 -1700m の位置に標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を入力し、解放基盤表面 (標高 -218m) における模擬地震波を作成する。

統計的グリーン関数法に用いる地盤構造モデル

標高 T.P. (m)	層厚 (m)	密度 ρ (t/m^3)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	減衰 (%)	備考
-218	82	2.00	910	2197	1.00	解放基盤表面
-300	180	2.10	990	2510		
-480	1220	2.20	1450	2820		
-1700	∞	2.60	3150	5660	—	地震基盤面 ← 地震基盤相当面

標準応答スペクトルに適合する
 模擬地震波
 入力位置



← 地震基盤相当面

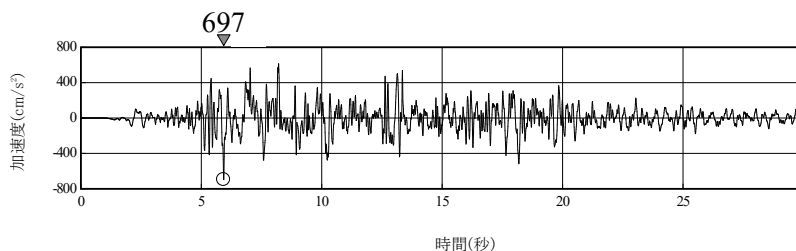
5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討／

5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動／5. 1. 3. 4 解放基盤表面における模擬地震波の検討

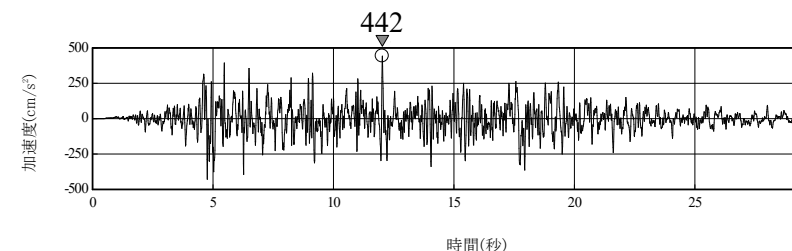
一様乱数位相を用いた模擬地震波の作成

 審査会合 (R4.4.25)
 資料5-1 p13 修正

■ 地震基盤相当面 ($V_s=3150\text{m/s}$) に標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を入力し、一様乱数位相を用いた解放基盤表面における模擬地震波を作成した。

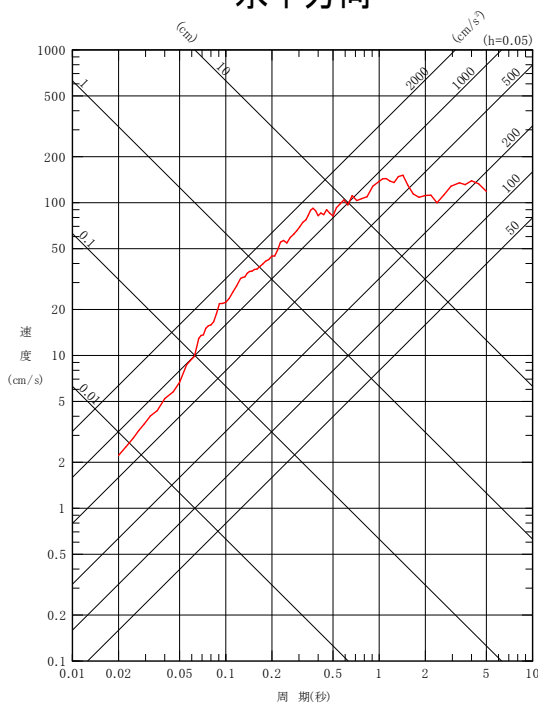


水平方向

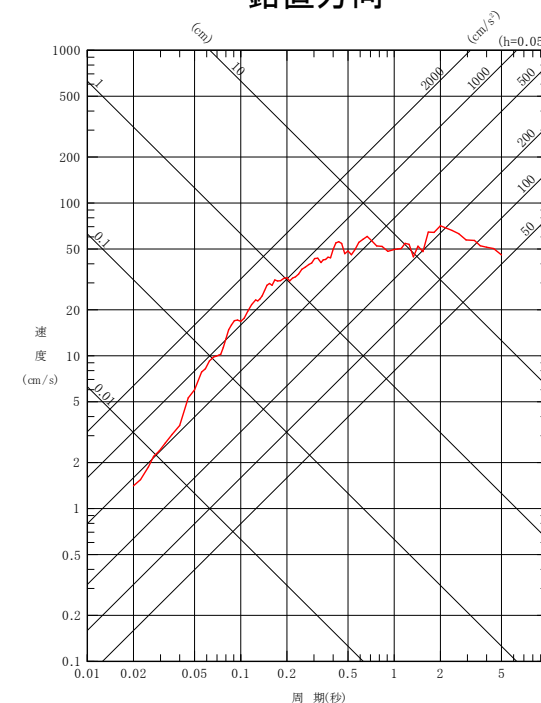


鉛直方向

加速度時刻歴波形



水平方向



鉛直方向

応答スペクトル

一様乱数位相を用いた模擬地震波

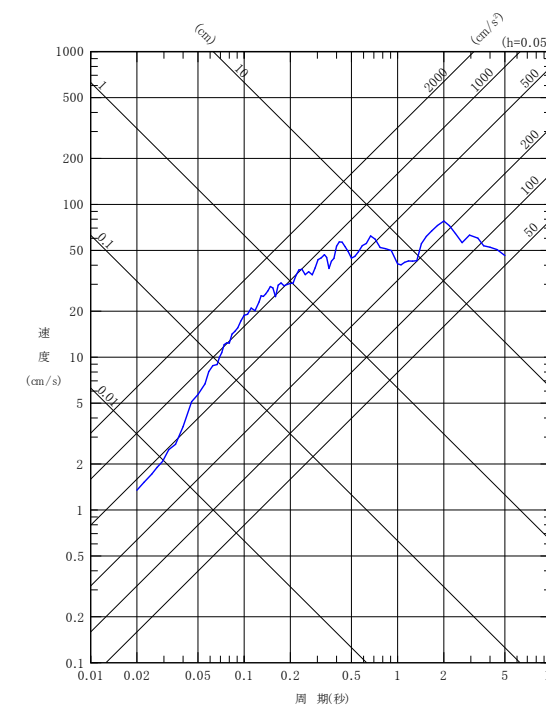
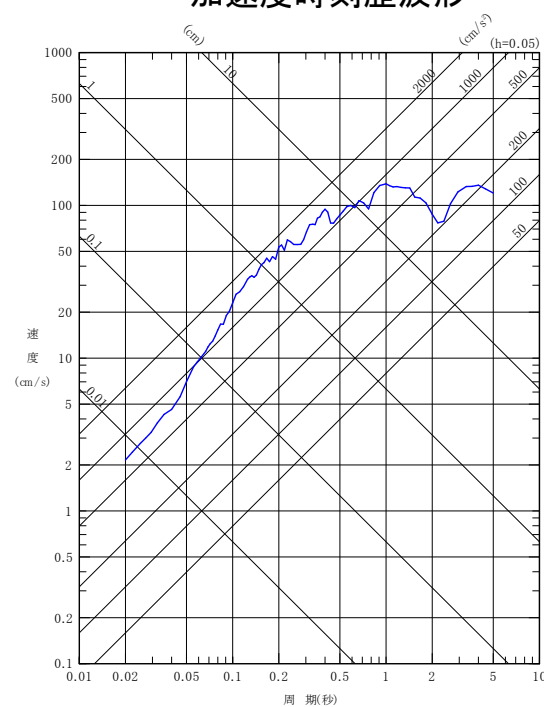
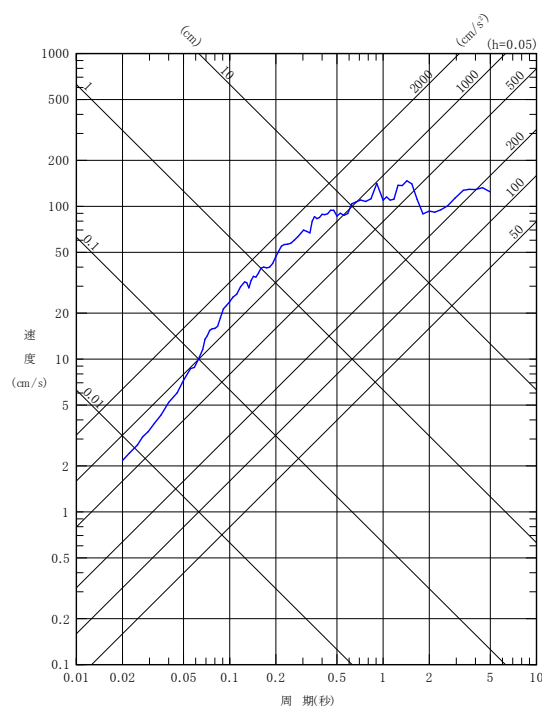
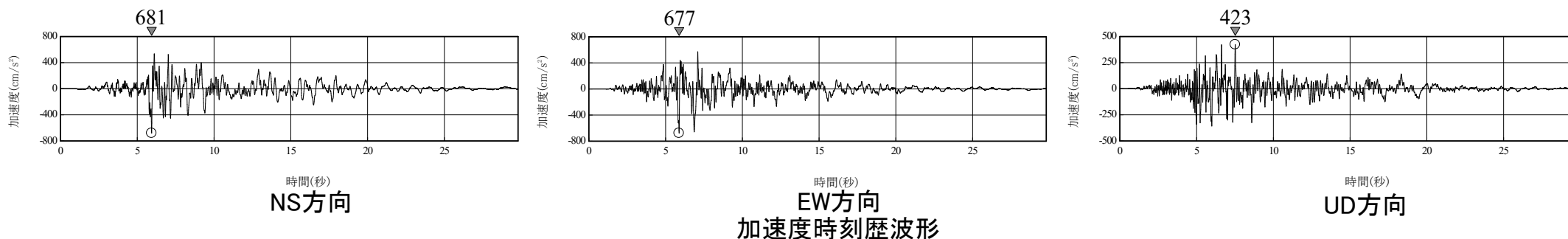
5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討／

5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動／5. 1. 3. 4 解放基盤表面における模擬地震波の検討

実観観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成

審査会合 (R4.4.25)
資料5-1 p14 修正

■ 地震基盤相当面 ($V_s=3150\text{m/s}$) に標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を入力し、実観測記録の位相を用いた解放基盤表面における模擬地震波を作成した。



EW方向
応答スペクトル

実観観測記録の位相を用いた模擬地震波

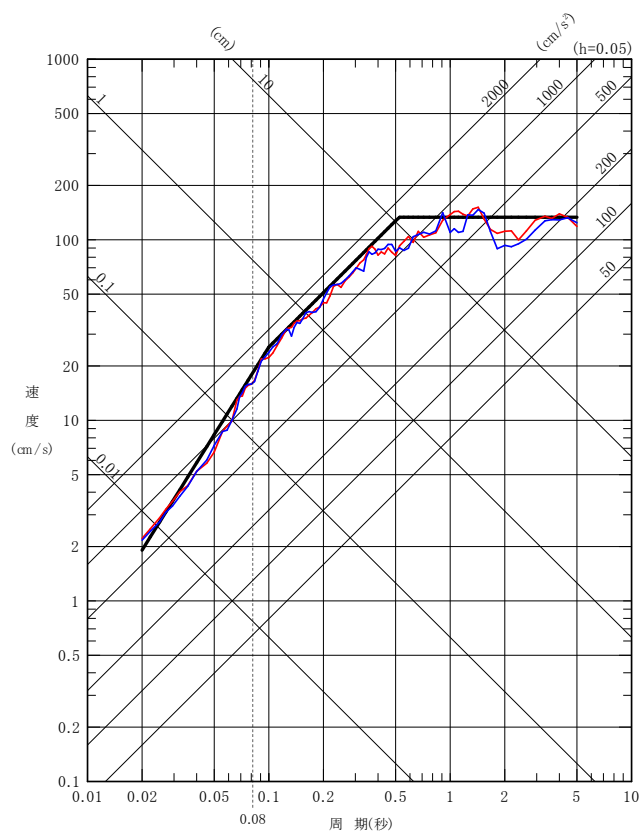
5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討／

5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動／5. 1. 3. 4 解放基盤表面における模擬地震波の検討

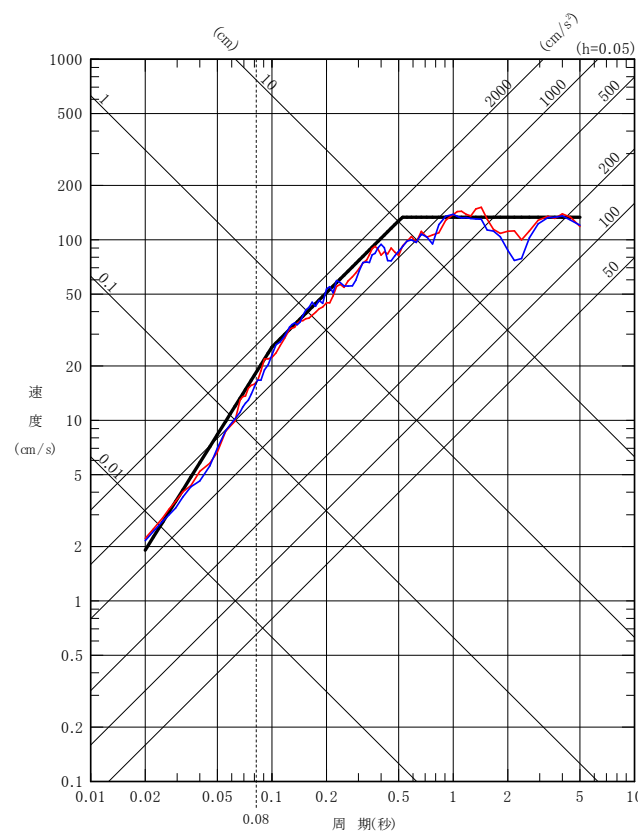
解放基盤表面における模擬地震波の応答スペクトルの比較

審査会合 (R4.4.25)
資料5-1 p15 再掲

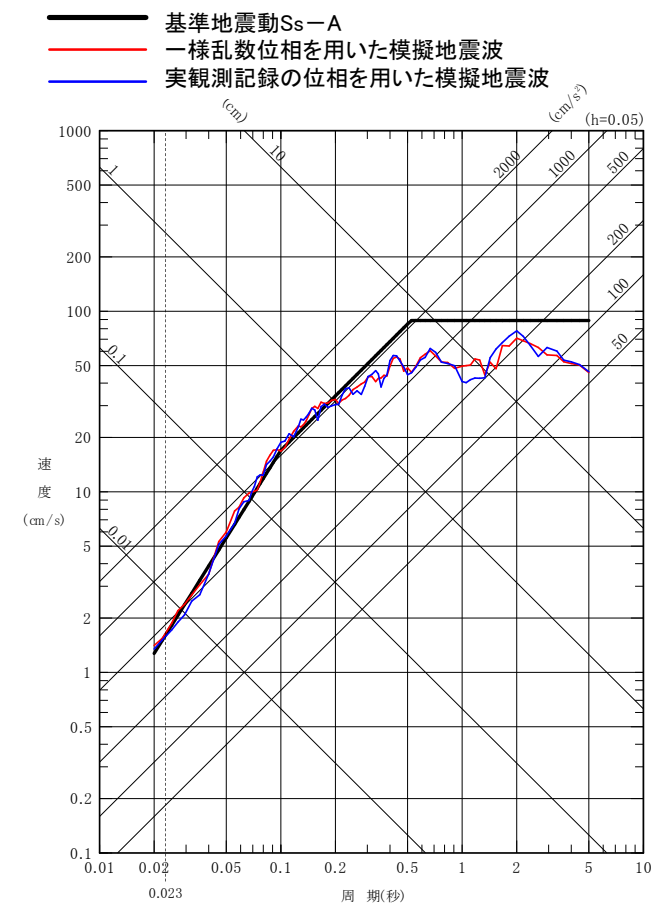
- 解放基盤表面における一様乱数位相を用いた模擬地震波と実観測記録の位相を用いた模擬地震波を応答スペクトルにて比較する。
- 解放基盤表面における両者の応答スペクトルに大きな差異はない。



NS方向



EW方向



UD方向

解放基盤表面における模擬地震波の応答スペクトル

(金属キャスク固有周期:0.08秒(水平, 1次), 0.023秒(鉛直, 2次))

5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討／

5. 1. 3 標準応答スペクトルを考慮した地震動／5. 1. 3. 4 解放基盤表面における模擬地震波の検討

模擬地震波の選定

審査会合 (R4.4.25)
資料5-1 p16 修正

- 実観測記録の位相を用いた模擬地震波より一様乱数位相を用いた模擬地震波のほうが、解放基盤表面における最大加速度が大きい。

一様乱数位相を用いた模擬地震波 : 水平方向 697cm/s^2 、鉛直方向 442cm/s^2
実観測記録の位相を用いた模擬地震波 : NS方向 681cm/s^2 、EW方向 677cm/s^2 、UD方向 423cm/s^2

- 実観測記録の位相を用いた模擬地震波より一様乱数位相を用いた模擬地震波のほうが、金属キャスク固有周期での応答スペクトルが大きい。

➤ 一様乱数位相を用いた模擬地震波を選定する。

1. 基準地震動の策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
5. 震源を特定せず策定する地震動
 - 5.1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討
 - 5.2 地域性を考慮する地震動についての検討**
 - 5.3 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

5.2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5.2.1 2008年岩手・宮城内陸地震

2008年岩手・宮城内陸地震の概要と特徴

■ 震源域の概要

- 活発な地震活動が見られた東北脊梁山地歪集中帯で発生した。(岡田ほか, 2008)
- 今回の地震の断層面上の本震震源付近では、1999年から2000年にかけて先駆的な地震活動がみられた。(岡田ほか, 2008)
- 地震前に撮影された大縮尺の航空写真の判読により、地震断層にほぼ対応する3~4km程度の区間に活断層変位地形が見出されたとしている。(鈴木ほか, 2008)
- 地表トレースは、概ね片山・梅沢(1958)が記載している「餅転一細倉構造帯」と一致する。(遠田ほか, 2010)
- 脊梁山地には12Ma以降に形成されたカルデラが南北に配列している。とりわけ、栗駒火山周辺には、カルデラが密集している。(布原ほか, 2008)
- 今回の地震断層は、マントルから下部地殻にかけて、低速度体が発達し、地震発生層が薄い脊梁火山列分布域の海溝側肩部(火山フロント)に沿っている。(布原ほか, 2008)
- 主に後期中新世から鮮新世にかけて形成されたカルデラについては、栗駒地域同様、第四紀火山噴出物に広く覆われ詳細が不明な場合が多い。(布原ほか, 2008)
- 震源域付近には大規模地すべりが密集している。(井口ほか, 2010)

■ 震源域の特徴

- 大縮尺の航空写真判読により、部分的にリニアメント・変動地形が判読されること、活発な先駆的な地震活動がみられること、ひずみ集中帯であること等から、活断層の存在の可能性が示唆される地域である。
- 一方で、震源域周辺はカルデラが密集し、第四紀火山噴出物に広く覆われること、大規模地すべりが密集することなどから、活断層の認定が難しい地域である。



2008年岩手・宮城内陸地震震源域の特徴を踏まえ、以下の観点から、敷地周辺との地域差を比較・検討する。

- 地質・地質構造
- 第四系の分布・地形等
- 地震地体構造
- ひずみ集中帯

5.2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5.2.1 2008年岩手・宮城内陸地震 2008年岩手・宮城内陸地震震源域との地域性の比較・検討結果

【凡例】○:類似性有り、△:類似性低い～一部有り、×:類似性無し

項目	類似性	岩手・宮城内陸地震震源域	敷地周辺
地質・地質構造	△	<ul style="list-style-type: none"> ・東西圧縮応力による逆断層型。 ・山間部に位置する。 ・主に新第三系の火山岩類および堆積岩類が分布し、褶曲構造の分布が認められる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・東西圧縮応力による逆断層型。 ・台地部に位置する。 ・主に新第三系の火山岩類および堆積岩類が分布し、顕著な褶曲構造は認められない。
第四系の分布・地形等	×	<ul style="list-style-type: none"> ・第四系の分布は限られており河川沿いに河成段丘面などが分布する。 ・多数のカルデラに囲まれ、第四紀火山噴出物に覆われている。 ・大規模地すべり地形が多くみられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・変位基準となる海成段丘面が広く分布する。 ・付近にカルデラは認められない。 ・第四紀火山噴出物は敷地西側のみに分布する。 ・大規模な地すべり地形は認められない。
地震地体構造 (垣見ほか(2003))	△	<ul style="list-style-type: none"> ・(8C)東北日本弧内帯(火山性内弧、隆起優勢、脊梁山地)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・(8B)東北日本弧外帯(火山性外弧隆起帯、安定域)に区分されるが、8Bと8Cの境界付近に位置する。
ひずみ集中帯	×	<ul style="list-style-type: none"> ・地質学的歪み集中帯、測地学的歪み集中帯の領域内に位置する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地質学的歪み集中帯、測地学的歪み集中帯の領域外に位置する。



- 2008年岩手・宮城内陸地震震源域と敷地周辺について、地域性の比較・検討を実施した結果、地域差は認められるものの、**逆断層型であることや新第三系火山岩類・堆積岩類が分布すること等、一部で類似点も認められる。**
- 更なる安全性向上の観点から、2008年岩手・宮城内陸地震を**観測記録収集対象**として選定する。

5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5. 2. 1 2008年岩手・宮城内陸地震 基盤地震動の検討概要(1)

(1) 2008年岩手・宮城内陸地震に関する知見

- 岩手・宮城内陸地震に関する地震学的特徴を把握するため、震源域内の余震分布およびインバージョン解析・フォワード解析等の震源特性に関する要素に着目し、知見を収集・整理する。
 - ・浅い位置でエネルギーの放出が行われたことが、震源域近傍のいくつかの観測点で大加速度が観測された大きな要因のひとつになっている可能性がある。
 - ・一方で、震源等のモデル化に関して、観測記録の再現性の向上や複雑な破壊過程の要因特定などの課題が示されている知見もある。
- ⇒ 広範囲で得られたそれぞれの観測記録を説明できるモデルとしては、現時点で十分ではない。

【課題1】⇒ 中長期的取り組み

- 上記を踏まえると、岩手・宮城内陸地震の基盤地震動評価に震源の面的な揺れや震源の複雑な破壊過程による観測記録への影響が考えられることから、広範囲で得られた観測記録と整合する震源の評価(震源モデルの構築)を行い、震源特性を明らかにする必要がある。

- 震源等のモデル化に関する精緻化には、相応の期間が必要である。
- 更に岩手・宮城内陸地震の取り扱いに関して、中央防災会議においても更なる検討が必要であるとしている。

しかしながら、当社としては、岩手・宮城内陸地震で得られた観測記録の収集・分析を実施する。

(2) 地震観測記録の収集

- 以下の条件で地震観測記録を収集する。
 - ・防災科学技術研究所のK-NET観測点およびKiK-net観測点のうち、断層最短距離30km以内の観測点における観測記録(16地点)
 - ・岩手・宮城内陸地震の震源近傍に位置する荒砥沢ダムおよび栗駒ダムの観測記録(2地点)
- 収集した観測記録について、以下の観点で観測記録を抽出し、抽出された観測記録を考察する。
 - ・加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る記録
 - ・K-NET観測点については、上記の観点に加え、 $AVS_{30}^{*} \geq 500\text{m/s}$ となる記録

震源近傍の観測記録 (計18地点)

- | | | |
|---------------|----------------|-----------|
| ①K-NET (8地点) | ②KiK-net (8地点) | ③ダム (2地点) |
| ・ AKT019 (雄勝) | ・ AKTH04 (東成瀬) | ・ 荒砥沢ダム |
| ・ AKT023 (樺台) | ・ AKTH06 (雄勝) | ・ 栗駒ダム |
| ・ IWT010 (一関) | ・ IWTH04 (住田) | |
| ・ IWT011 (水沢) | ・ IWTH20 (花巻南) | |
| ・ IWT012 (北上) | ・ IWTH24 (金ヶ崎) | |
| ・ IWT015 (川尻) | ・ IWTH25 (一関西) | |
| ・ MYG004 (築館) | ・ IWTH26 (一関東) | |
| ・ MYG005 (鳴子) | ・ MYGH02 (鳴子) | |

抽出した観測記録(計8地点)

- ・ IWT010 (一関)
- ・ AKTH04 (東成瀬)
- ・ IWTH20 (花巻南)
- ・ IWTH24 (金ヶ崎)
- ・ IWTH25 (一関西)
- ・ IWTH26 (一関東)
- ・ 荒砥沢ダム
- ・ 栗駒ダム

加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。

- 抽出した観測記録について、記録の分析・評価を実施したうえで、基盤地震動の選定を実施する。

※ 地表から深さ30mまでの平均S波速度

5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5. 2. 1 2008年岩手・宮城内陸地震 基盤地震動の検討概要(2)

(3) 地震観測記録の分析・評価

■ 観測記録を収集した結果、敷地に影響が大きいと考えられるものとして抽出した観測記録について、以下の記録の分析・評価を実施する。

- ・地盤応答等による特異な影響の評価
(地盤情報の収集、各種知見の収集・整理、相対的地盤増幅率の評価、地質および速度構造に関する検討、地形の影響に関する検討)
- ・基盤地震動を算定するモデルの妥当性確認
(観測記録を用いた地盤同定およびはぎとり解析、地盤同定に関する検討(再現性の確認、探索範囲等の変更、中小地震を用いた検討))

抽出した観測記録(計8地点)

- ・ IWT010 (一関)
- ・ AKTH04 (東成瀬)
- ・ IWTH20 (花巻南)
- ・ IWTH24 (金ヶ崎)
- ・ IWTH25 (一関西)
- ・ IWTH26 (一関東)
- ・ 荒砥沢ダム
- ・ 栗駒ダム

・地盤応答等による特異な影響の評価
・基盤地震動を算定するモデルの妥当性確認

基盤地震動として選定可能

- ・ IWT010 (一関)
- ・ IWTH20 (花巻南)
- ・ IWTH24 (金ヶ崎)
- ・ IWTH26 (一関東) (水平)
- ・ 栗駒ダム (右岸地山)

基盤地震動として選定困難

- ・ AKTH04 (東成瀬)
- ・ IWTH25 (一関西)
- ・ IWTH26 (一関東) (鉛直)
- ・ 荒砥沢ダム

現時点で信頼性の高い基盤地震動の評価は困難

【課題2】⇒中長期的取り組み

- 採用が困難な観測記録についても更なる安全性向上のため、基盤地震動として選定が困難な要因を特定し、信頼性の高い基盤地震動を評価するため、地盤構造等の調査、はぎとり解析および震源特性を踏まえた検討が必要

(4) 基盤地震動の選定

岩手・宮城内陸地震については、震源モデルおよび地盤増幅特性に関する課題を解明する必要があるが、検討には相応の期間を要するため、安全側の評価として、現時点の知見に基づき可能な限り観測記録を採用する。

基盤地震動として選定可能(5地点)

- ・ IWT010 (一関)
- ・ IWTH20 (花巻南)
- ・ IWTH24 (金ヶ崎)
- ・ IWTH26 (一関東) (水平)
- ・ 栗駒ダム (右岸地山)

現時点において、選定可能と考えられる基盤地震動を比較し、大きな基盤地震動を選定

- ・ IWTH24 (金ヶ崎)
- ・ IWTH26 (一関東) (水平)
- ・ 栗駒ダム (右岸地山)

5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5. 2. 1 2008年岩手・宮城内陸地震 基盤地震動の検討概要(3)

(5) 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動

これまでの検討結果を踏まえ、IWTH24(金ヶ崎)、IWTH26(一関東)(水平)および栗駒ダム(右岸地山)の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。また、以下の検討を行い、震源を特定せず策定する地震動を設定する。

- ・ IWTH26(一関東)におけるはざとり解析のばらつきを評価する。
- ・ 参考として、震源域北側・東側と南側・西側の地震動を比較する。



IWTH26(一関東)(水平)の採用地震動の最大加速度とはざとり地震動の最大加速度の平均+1σとの比は、NS方向で1.03となることから、安全側の対応として、採用するすべての地震動にこの比を考慮するものとする。

さらに、現時点において、震源域の広範囲な観測記録を説明できる震源モデルや震源特性に関する知見が十分でないことを踏まえ、震源を特定せず策定する地震動としては、施設の重要性を鑑み、以下の保守性を考慮するものとする。



観測点	基盤地震動 最大加速度(Gal)			ばらつきを 考慮	ばらつきを考慮した地震動 最大加速度(Gal)			保守性を 考慮	震源を特定せず策定する地震動 最大加速度(Gal)		
	水平		鉛直		水平		鉛直		水平		鉛直
	NS方向	EW方向			NS方向	EW方向			NS方向	EW方向	
IWTH24(金ヶ崎)	401	370	279	⇒	413	381	287	⇒	430	400	300
IWTH26(一関東)	511	476	—	⇒	528	490	—	⇒	540	500	—
栗駒ダム(右岸地山)	421 ^{*1}	463 ^{*2}	298	⇒	434 ^{*1}	477 ^{*2}	307	⇒	450 ^{*1}	490 ^{*2}	320

※1:ダム軸方向、※2:上下流方向

(6) 中長期的な取り組み

【課題1】

- 地震学的知見を踏まえると、岩手・宮城内陸地震の基盤地震動評価に震源の面的な拡がりや震源の複雑な破壊過程による各観測記録への影響が考えられることから、広範囲で得られた観測記録と整合する震源の評価(震源モデルの構築)を行い、震源特性を明らかにする必要がある。

【課題2】

- 採用が困難な観測記録についても更なる安全性向上のため、基盤地震動として選定が困難な要因を特定し、信頼性の高い基盤地震動を評価するため、地盤構造等の調査、はざとり解析および震源特性を踏まえた検討が必要



【課題解決に向けた取り組み】

- 広範囲で得られた観測記録と整合する震源の評価(震源モデルの構築)を行い、震源特性を明らかにする。
- 現時点において信頼性の高い基盤地震動の評価が困難であると判断された観測点については、各観測点に関する更なる知見(地盤情報等)を収集する。
- 上記を踏まえ、震源特性および地盤情報等を考慮した信頼性の高い基盤地震動を評価する。



- ・ 震源や地盤等のパラメータの精緻化と観測記録との再現性向上
- ・ 震源域全体の地盤構造等の各種調査
- ・ 観測点の地盤調査を含めたはざとり解析等
- ・ 上記の検討を踏まえた信頼性の高い基盤地震動の算定



- 震源モデル・地盤増幅特性に関して、関係機関と連携して検討・情報収集に努める。
- 今後も継続して検討、情報収集に取り組み、これらの成果を地震動評価に適切に反映させていく。

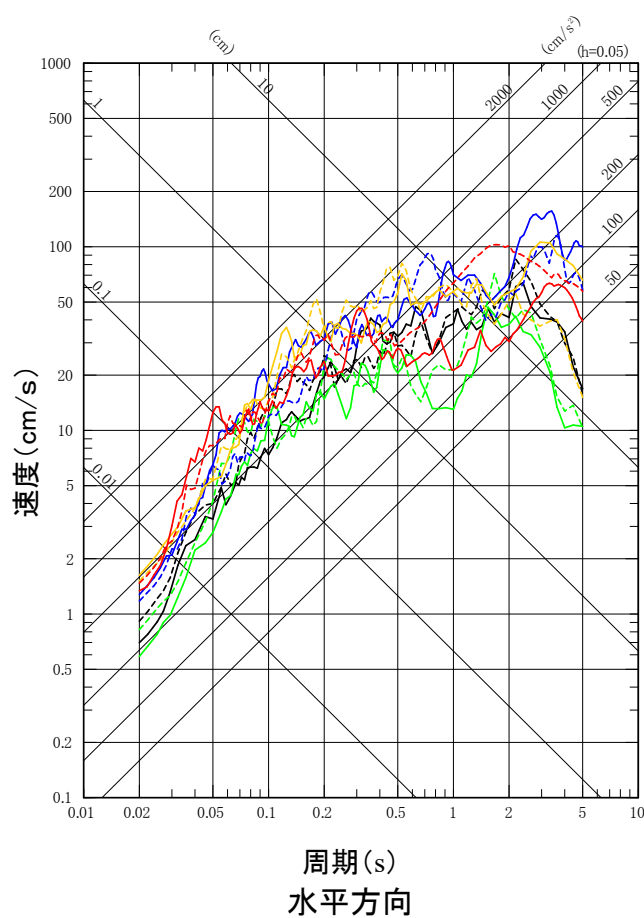
5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5. 2. 1 2008年岩手・宮城内陸地震

地震観測記録の分析・評価

		①IWT010 (一関)	②AKTH04 (東成瀬)	③IWITH20 (花巻南)	④IWITH24 (金ヶ崎)	⑤IWITH25 (一関西)	⑥IWITH26 (一関東)	⑦荒砥沢ダム	⑧栗駒ダム
地盤情報 (基盤相当のVs)		730m/s	1500m/s	430m/s	540m/s	1810m/s	680m/s	600m/s (J-SHIS)	700m/s 程度以上
地盤応答等による特異な影響	地盤の非線形性、特異な増幅特性の有無	—	・地表記録に地盤の非線形性の影響が含まれている	—	—	・本震震源域南部で発生する地震に対して、他の観測点よりも大きく増幅する地域	・地表記録に地盤の非線形性の影響が含まれている	・右岸地山の観測記録に地盤の非線形性の影響が含まれている ・本震震源域南部で発生する地震に対して、他の観測点よりも大きく増幅する地域	—
	上部構造物の影響の有無							・監査廊の観測記録にダム堤体の影響が含まれている	・監査廊の観測記録にダム堤体の影響が含まれている
	その他要因の有無	特になし	・地表記録に観測点周辺の地形の影響が含まれている	特になし	特になし	・地表記録にトランポリン効果等、ロッキング振動の影響が含まれている	・地表記録に観測点周辺の地形の影響が一部含まれていると考えられる	・右岸地山付近に地表の変状がみられる	特になし
基盤地震動を算定するモデルの妥当性	はざとり解析の可否および妥当性	・地盤状況を踏まえ、観測記録を採用	・水平方向は、表層のVsが極端に小さい ・鉛直方向は、観測記録の伝達関数を再現できていない ⇒観測記録に地盤の非線形性、周辺地形による影響が含まれており、地表記録を再現できていないことから、はざとり解析は困難	・概ね妥当な地盤モデルが作成でき、はざとり解析が可能	・概ね妥当な地盤モデルが作成でき、はざとり解析が可能	・観測記録にトランポリン効果等の影響がみられることから、はざとり解析は困難	・水平方向は、本震記録による伝達関数などに一定の整合がみられる ・鉛直方向は、観測記録の伝達関数を再現できていない ⇒観測記録に地盤の非線形性、周辺地形による影響が含まれているものの、水平方向は、地表記録を概ね再現できることから、はざとり解析を実施	・観測記録にダム堤体等の非線形性の影響がみられることから、はざとり解析は困難	・右岸地山の観測点は、硬質な岩盤の地表面に設置 ・右岸地山は、特異な増幅傾向を示していない地域 ⇒右岸地山の観測記録を採用
基盤地震動としての評価	・基盤地震動として選定可能	・信頼性の高い基盤地震動の評価は困難	・基盤地震動として選定可能	・基盤地震動として選定可能	・信頼性の高い基盤地震動の評価は困難	・水平方向は、基盤地震動として選定可能と判断	・信頼性の高い基盤地震動の評価は困難	・右岸地山は、基盤地震動として選定可能	

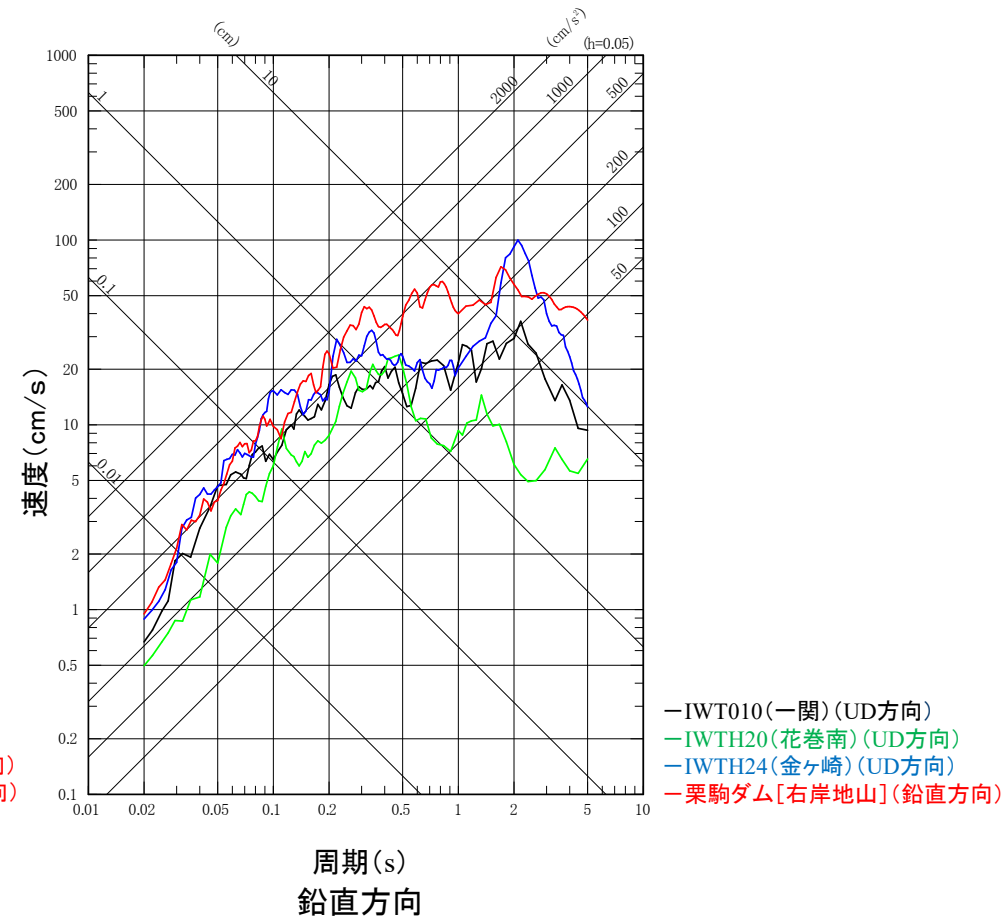
5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5. 2. 1 2008年岩手・宮城内陸地震 基盤地震動の選定(1)

- 基盤地震動として選定したIWT010(一関)、IWTH20(花巻南)、IWTH24(金ヶ崎)、IWTH26(一関東)[水平]および栗駒ダム(右岸地山)の観測記録の比較より、保守的な基盤地震動を選定する。



— IWT010(一関)(NS方向)
 ... IWT010(一関)(EW方向)
 — IWTH20(花巻南)(NS方向)
 ... IWTH20(花巻南)(EW方向)
 — IWTH24(金ヶ崎)(NS方向)
 ... IWTH24(金ヶ崎)(EW方向)
 — IWTH26(一関東)(NS方向)
 ... IWTH26(一関東)(EW方向)
 — 栗駒ダム[右岸地山](ダム軸方向)
 ... 栗駒ダム[右岸地山](上下流方向)

応答スペクトル図



— IWT010(一関)(UD方向)
 — IWTH20(花巻南)(UD方向)
 — IWTH24(金ヶ崎)(UD方向)
 — 栗駒ダム[右岸地山](鉛直方向)

- 保守的な基盤地震動として、IWTH24(金ヶ崎)、IWTH26(一関東)[水平]および栗駒ダム(右岸地山)を選定する。

5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5. 2. 1 2008年岩手・宮城内陸地震 基盤地震動の選定(2)

- 基盤地震動として選定したIWTH24(金ヶ崎)、IWTH26(一関東)[水平]および栗駒ダム(右岸地山)について、敷地の地盤物性との関係を整理する。
- IWTH24(金ヶ崎)について、はぎとり波算定位置のVsは、PS検層では540m/s、観測記録に基づく地盤同定結果ではVsは584m/sとなっており、敷地の解放基盤表面におけるVs=910m/sと比べると速度の遅い岩盤上の地震動であると考えられる。
⇒IWTH24(金ヶ崎)のはぎとり波は、安全側の判断として基盤地震動に採用
- IWTH26(一関東)[水平]について、はぎとり波算定位置のVsは、PS検層では680m/sとなっており、敷地の解放基盤表面におけるVs=910m/sと比べると速度の遅い岩盤上の地震動であると考えられる。
⇒IWTH26(一関東)[水平]のはぎとり波は、安全側の判断として基盤地震動に採用
- 栗駒ダムの地震観測点の地盤については、地質および速度構造から相応の硬さの地盤であると考えられる。また、栗駒ダム(右岸地山)については、耐専スペクトルで評価可能であり、特異な増幅傾向を示していない地域であると考えられる。
⇒栗駒ダム(右岸地山)の観測記録は、基盤地震動に採用



- 2008年岩手・宮城内陸地震の『震源を特定せず策定する地震動』に考慮する基盤地震動として、現時点の知見に基づき可能な限り観測記録を採用することとし、IWTH24(金ヶ崎)、IWTH26(一関東)[水平]のはぎとり波および栗駒ダム(右岸地山)の観測記録を採用する。

地下構造モデルの策定で説明した敷地の地盤モデル

No.	標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs			Qp			
						Qo	n	Qi	Qo	n	Qi	
	-218											
1	-300	82	2.0	910	2197	6.27	0.87	—	3.81	0.63	—	
2	-480	180	2.1	990	2510	13	0.50	52	5.3	1.00	82	
3	-1700	1220	2.2	1450	2820	24	0.50	84	8.1	0.33	86	
4		∞	2.6	3150	5660							

T.P.-218m

解放基盤表面
(Vs=910m/s)

$$\frac{1}{Q(f)} = \frac{1}{Q_0 \cdot f^n} + \frac{1}{Q_i}$$

5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5. 2. 1 2008年岩手・宮城内陸地震

2008年岩手・宮城内陸地震の震源を特定せず策定する地震動への反映

- IWTH26(一関東)[水平]の地盤同定結果を用いたはぎとり解析結果によるばらつきは、最適化ケースによる地震動の最大加速度とはぎとり地震動の最大加速度の平均+1 σ との比は、NS方向で1.03となることから、安全側の対応として、岩手・宮城内陸地震において採用するすべての地震動にこの比を考慮するものとする。
- さらに、現時点において、震源域の広範囲な観測記録を説明できる震源モデルや震源特性に関する知見が十分でないことを踏まえ、震源を特定せず策定する地震動としては、施設の重要性を鑑み、保守性を考慮するものとする。

観測点	基盤地震動 最大加速度(Gal)			ばらつき を考慮 ($\times 1.03$)	ばらつきを考慮した地震動 最大加速度(Gal)			保守性を 考慮	震源を特定せず策定する地震動 最大加速度(Gal) ^{※3}		
	水平		鉛直		水平		鉛直		水平		鉛直
	NS方向	EW方向			NS方向	EW方向			NS方向	EW方向	
IWTH24(金ヶ崎)	401	370	279	⇒	413	381	287	⇒	430	400	300
IWTH26(一関東)	511	476	—	⇒	528	490	—	⇒	540	500	—
栗駒ダム(右岸地山)	421 ^{※1}	463 ^{※2}	298	⇒	434 ^{※1}	477 ^{※2}	307	⇒	450 ^{※1}	490 ^{※2}	320

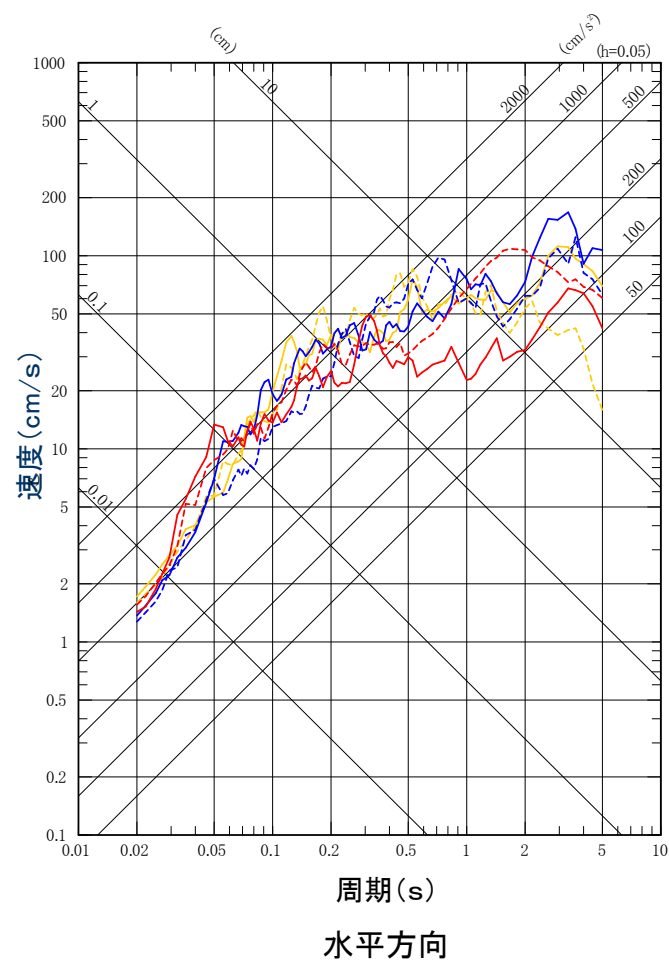
※1:ダム軸方向、※2:上下流方向

※3:それぞれの基盤地震動の加速度時刻歴波形について、基盤地震動の最大加速度と保守性を考慮した最大加速度との比を用いて係数倍する

(位相特性を変更せずに振幅特性のみを変更)

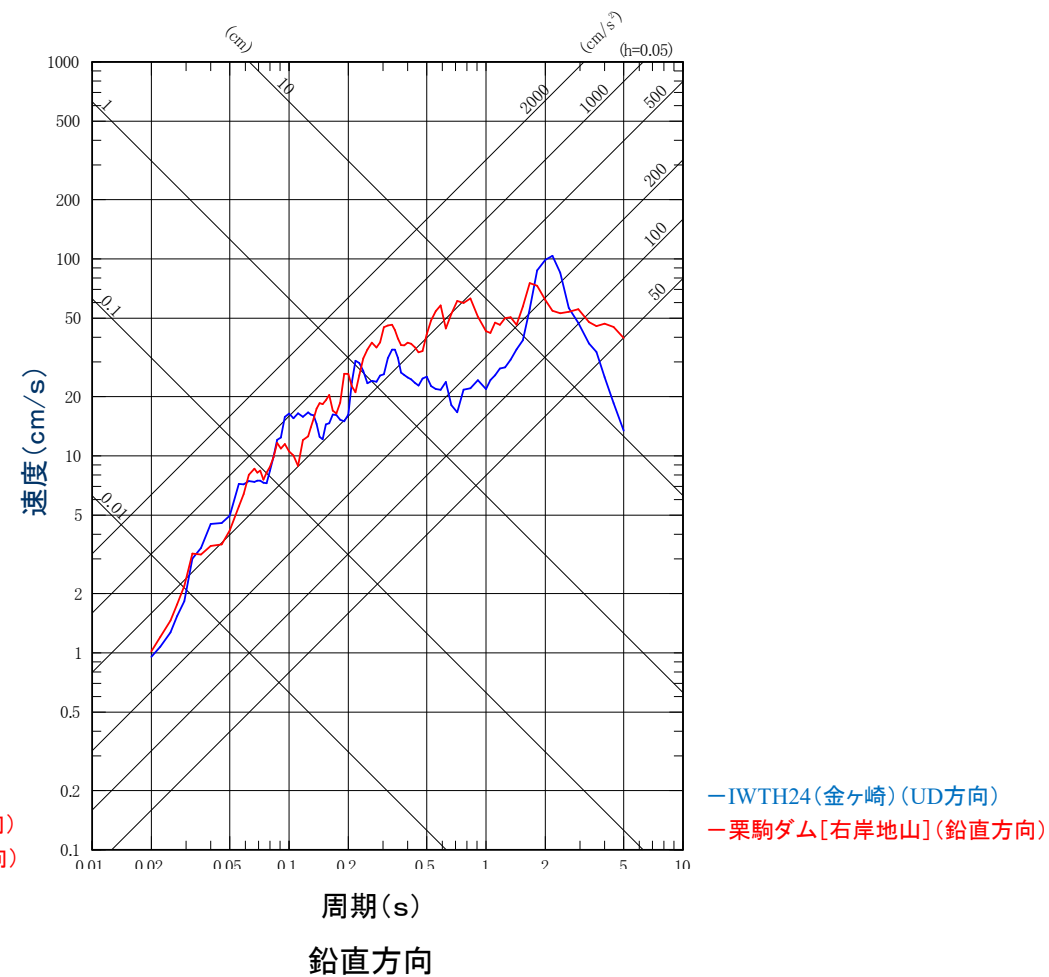
5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5. 2. 1 2008年岩手・宮城内陸地震 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動(応答スペクトル)

- 震源を特定せず策定する地震動として、IWTH24(金ヶ崎)、IWTH26(一関東)(水平)および栗駒ダム(右岸地山)の基盤地震動に基づく地震動を考慮する。



—IWTH24(金ヶ崎)(NS方向)
 ...IWTH24(金ヶ崎)(EW方向)
 —IWTH26(一関東)(NS方向)
 ...IWTH26(一関東)(EW方向)
 —栗駒ダム[右岸地山](ダム軸方向)
 ...栗駒ダム[右岸地山](上下流方向)

応答スペクトル図



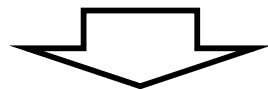
—IWTH24(金ヶ崎)(UD方向)
 —栗駒ダム[右岸地山](鉛直方向)

5.2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5.2.2 2000年鳥取県西部地震

2000年鳥取県西部地震の概要

【2000年鳥取県西部地震の概要】

- 鳥取県西部地震は、北西－南東走向の横ずれ(左横ずれ)断層による地震とされている(気象庁, 2000)。
- 震源域周辺を含む山陰地方は、WNW-ESE方向の圧縮場のもとでENE-WNWとNNW-SSEの方向の横ずれ断層が卓越する(岡田, 2002)。
- 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(岡田, 2002)。
- 震源域周辺は、白亜紀から古第三紀の花崗岩を主体としており、新第三紀中新世に貫入した安山岩～玄武岩質の岩脈が頻繁に分布している(井上ほか, 2002)。また、明瞭な断層変位基準の少ない地域とされている(堤ほか, 2000)。
- 鳥取県西部地震後に実施された堤ほか(2000)、井上ほか(2002)の調査では、鳥取県西部地震の震源周辺において、左横ずれを示唆する短く断続する推定活断層及びリニアメントを判読し、リニアメント周辺で断層露頭を確認している。



震源域周辺は活断層の発達過程でみると未成熟な状態であり、また、明瞭な断層変位基準の少ない地域とされていることから、活断層の認定が難しい地域と判断される。

5.2 地域性を考慮する地震動についての検討 / 5.2.2 2000年鳥取県西部地震 2000年鳥取県西部地震震源域との地域性の比較・検討結果

【凡例】○:類似性有り、△:類似性低い～一部有り、×:類似性無し

項目	類似点	鳥取県西部地震震源域	敷地周辺
地質・地質構造	×	<ul style="list-style-type: none"> ・WNW-ESE方向の圧縮応力による横ずれ断層型。 ・白亜紀から古第三紀の花崗岩を主体としており、新第三紀中新世に貫入した安山岩～玄武岩質の岩脈が頻りに分布している。 ・岩脈の特徴として、貫入方向が今回の震源断層に平行である北西-南東方向であることが挙げられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・東西圧縮応力による逆断層型。 ・主に新第三系の火山岩類および堆積岩類や第四系の段丘堆積物等が分布し、大規模な岩脈の分布は認められない。
第四系の分布・地形等	×	<ul style="list-style-type: none"> ・明瞭な断層変位基準の少ない地域である。 ・文献(岡田,2002)では震源域周辺に活断層は記載されていない。 ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・変位基準となる海成段丘面が広く認められる。 ・敷地周辺には横浜断層等が認められ、地形・地質調査等から、活断層の認定が可能である。
地震地体構造	×	<ul style="list-style-type: none"> ・(10C5)中国山地・瀬戸内海帯。 ・活断層密度に対して地震活動は活発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・(8B)東北日本弧外帯。 ・外弧隆起帯、安定域。
ひずみ集中帯	×	<ul style="list-style-type: none"> ・西村(2014)において、測地学的ひずみ集中帯と指摘されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地質学的歪み集中帯、測地学的歪み集中帯の領域外に位置する。



➤ 2000年鳥取県西部地震震源域と敷地周辺について、“地域差”の観点で整理を実施した結果、横ずれ断層型と逆断層型の違いや活断層の成熟度の違い等、地域差が認められると判断されることから、観測記録収集対象外とする。

1. 基準地震動の策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
5. 震源を特定せず策定する地震動
 5. 1 全国共通に考慮すべき地震動についての検討
 5. 2 地域性を考慮する地震動についての検討
 5. 3 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

5.3

震源を特定せず策定する地震動(令和4年1月申請)

- 地域性を考慮する地震動(Mw6.5程度以上の地震)(岩手・宮城内陸地震、鳥取県西部地震)
 - ・「地域差」の観点で整理を実施した結果、更なる安全性向上の観点から岩手・宮城内陸地震を観測記録収集の対象とした。
 - ・岩手・宮城内陸地震の「震源を特定せず策定する地震動」に考慮する基盤地震動として、現時点の知見に基づき可能な限り観測記録を採用することとし、IWTH24(金ヶ崎)、IWTH26(一関東)(水平)のはぎとり波および栗駒ダム(右岸地山)の観測記録に保守性を考慮した基盤地震動を「震源を特定せず策定する地震動」に反映する。
- 全国共通に考慮すべき地震動(Mw6.5程度未満の地震)
 - ・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別記2第4条第5項第3号②に示される知見を考慮し、北海道留萌支庁南部地震の観測記録のうち、HKD020(港町)のはぎ取り波に保守性を考慮した基盤地震動を「震源を特定せず策定する地震動」に反映する。
 - ・震源近傍の多数の地震観測記録に基づいて策定された標準応答スペクトルを「震源を特定せず策定する地震動」に反映する。



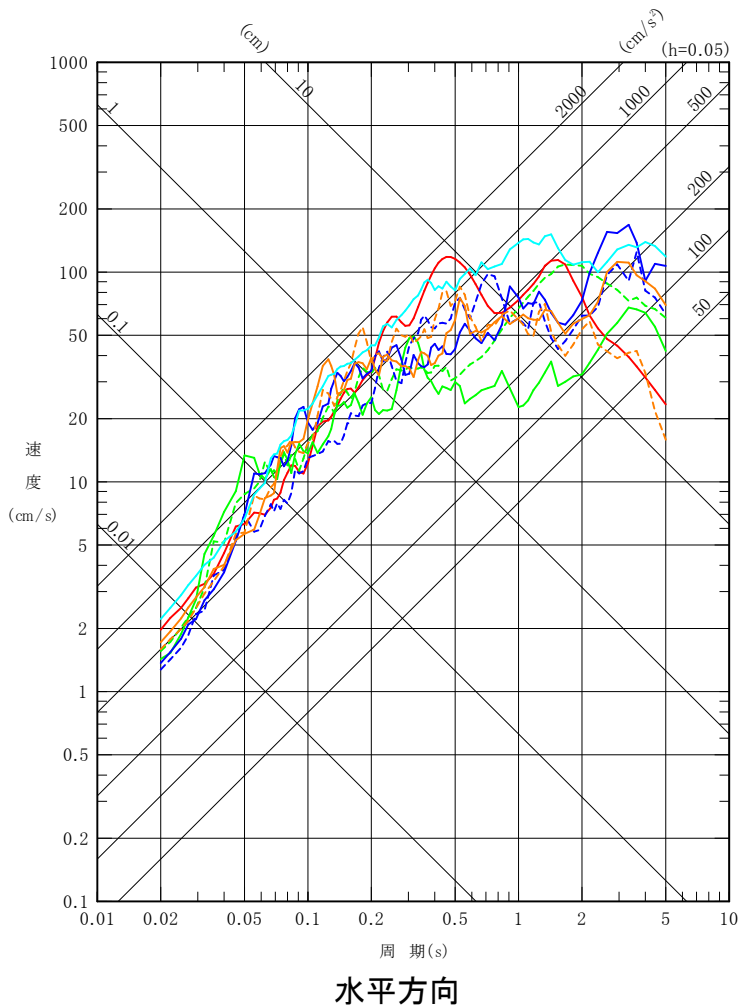
- 以上を踏まえ、「震源を特定せず策定する地震動」として以下を対象とする。
 - ・岩手・宮城内陸地震及び北海道留萌支庁南部地震において保守性を考慮した基盤地震動
 - ・標準応答スペクトルを考慮した地震動

※1:ダム軸方向、※2:上下流方向

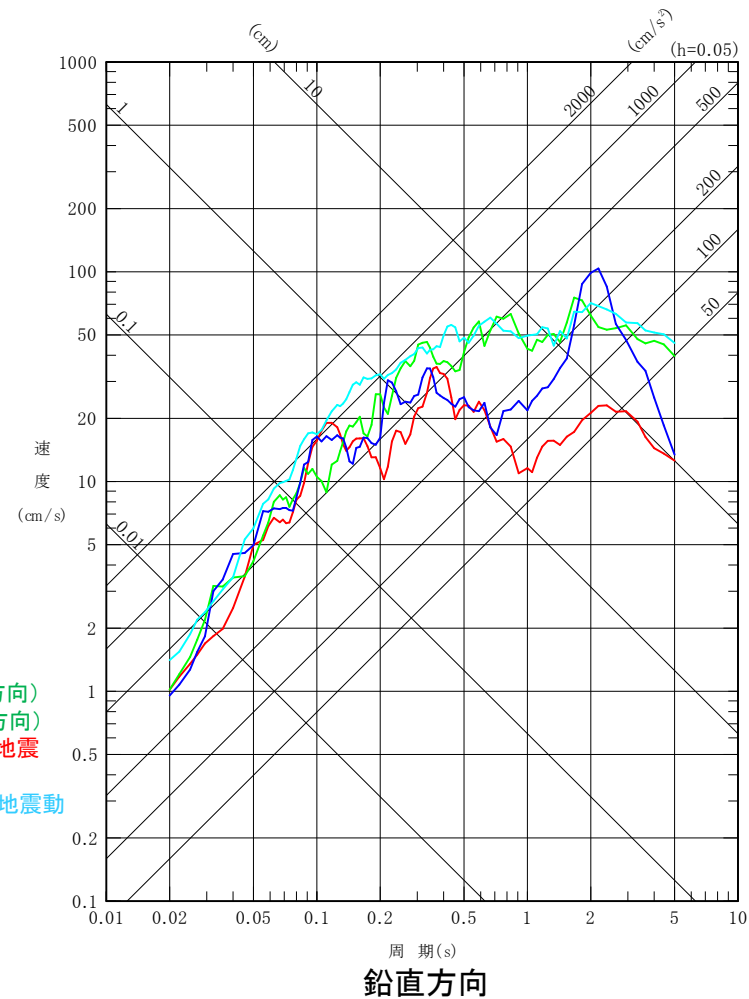
スペクトル名または地震名	観測点	最大加速度(Gal)		
		水平方向		鉛直方向 (UD方向)
		NS方向	EW方向	
岩手・宮城内陸地震	IWTH24(金ヶ崎)	430	400	300
	IWTH26(一関東)	540	500	—
	栗駒ダム(右岸地山)	450 ^{※1}	490 ^{※2}	320
北海道留萌支庁南部地震	HKD020(港町)	620		320
標準応答スペクトル	—	697		442

5.3

震源を特定せず策定する地震動 応答スペクトル



- IWTH24 (金ヶ崎) (NS方向)
- IWTH24 (金ヶ崎) (EW方向)
- IWTH26 (一関東) (NS方向)
- IWTH26 (一関東) (EW方向)
- 栗駒ダム [右岸地山] (ダム軸方向)
- 栗駒ダム [右岸地山] (上下流方向)
- 2004年北海道留萌支庁南部地震 (水平方向)
- 標準応答スペクトルを考慮した地震動



- IWTH24 (金ヶ崎) (UD方向)
- 栗駒ダム [右岸地山] (鉛直方向)
- 2004年北海道留萌支庁南部地震 (鉛直方向)
- 標準応答スペクトルを考慮した地震動

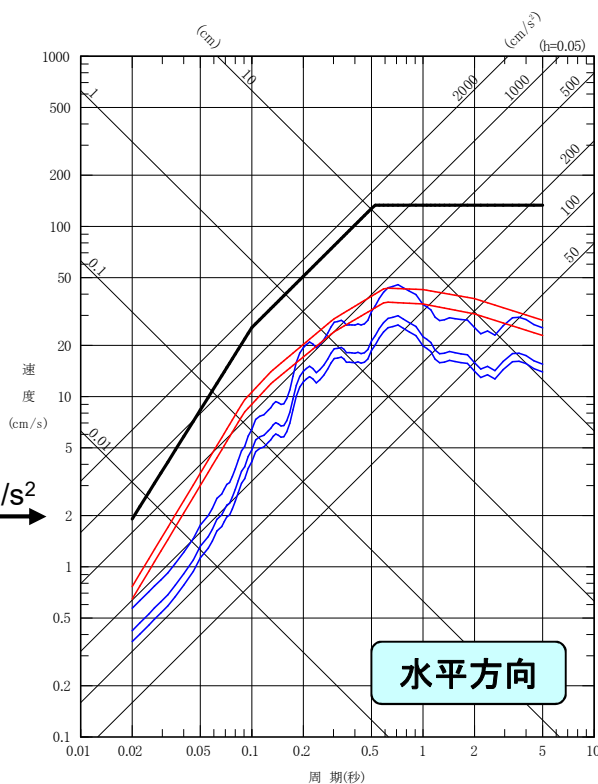
応答スペクトル図

1. 基準地震動の策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
5. 震源を特定せず策定する地震動
- 6. 基準地震動の策定**
7. 基準地震動の超過確率の参照

6. 基準地震動の策定

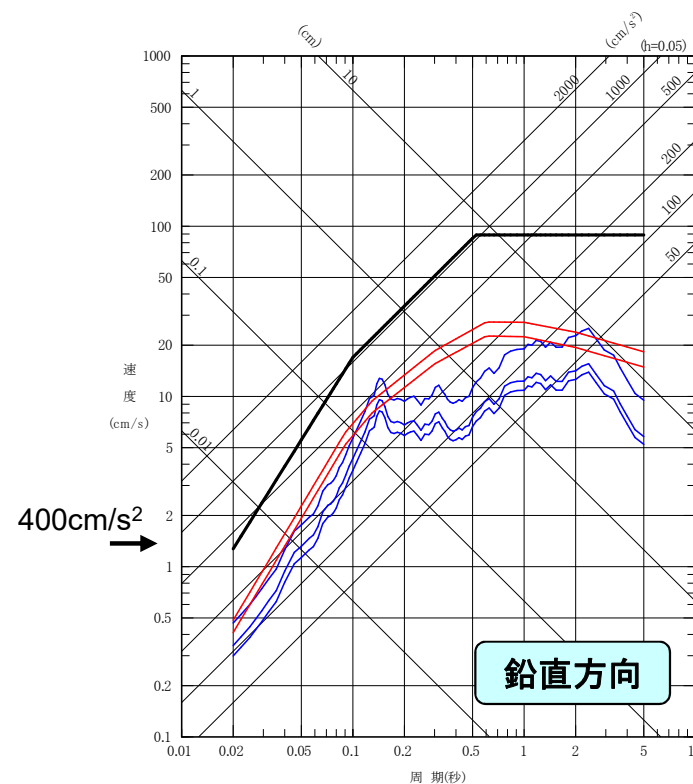
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 応答スペクトルに基づく手法

- 地震規模等を保守的に評価した各検討用地震について、応答スペクトルに基づく地震動評価を実施している。
- 応答スペクトルに基づく保守的な地震動評価結果を全周期帯で上回るように、「基準地震動Ss-A」の応答スペクトルのコントロールポイントを、下表のとおり設定した。
- なお、鉛直方向については、水平方向の2/3倍として設定した。



— : 基準地震動Ss-AH
— : 海洋プレート内地震
— : 内陸地殻内地震

水平方向



— : 基準地震動Ss-AV
— : 海洋プレート内地震
— : 内陸地殻内地震

鉛直方向

設計用応答スペクトル		コントロール・ポイント			
		A	B	C	D
Ss-AH (水平方向)	周期(s)	0.02	0.1	0.523	5
	速度(cm/s)	1.909	25.46	133.3	133.3

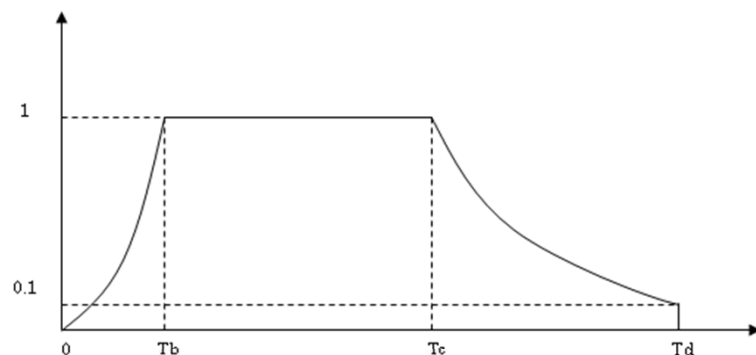
設計用応答スペクトル		コントロール・ポイント			
		A	B	C	D
Ss-AV (鉛直方向)	周期(s)	0.02	0.1	0.523	5
	速度(cm/s)	1.273	16.97	88.87	88.87

6. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 模擬地震波の設定(1)

- 模擬地震波は、応答スペクトルに適合するよう、一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせによって作成する。
- 振幅包絡線の経時変化は、Noda et al.(2002)に基づき設定としている。

設計用模擬地震波	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時変化(s)		
		T_b	T_c	T_d
Ss-AH Ss-AV	160.93	16.60	47.50	160.93



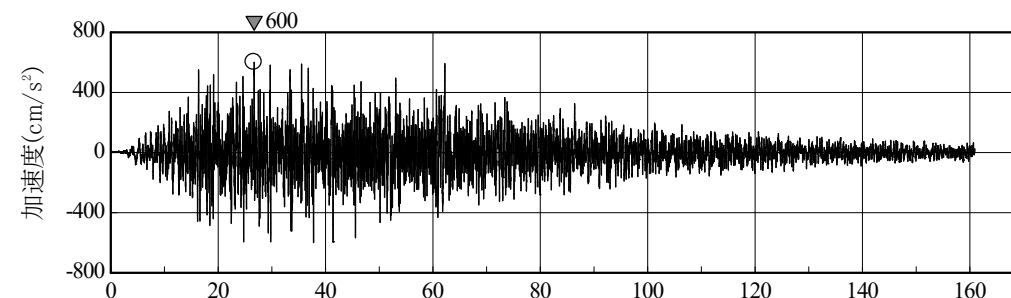
$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

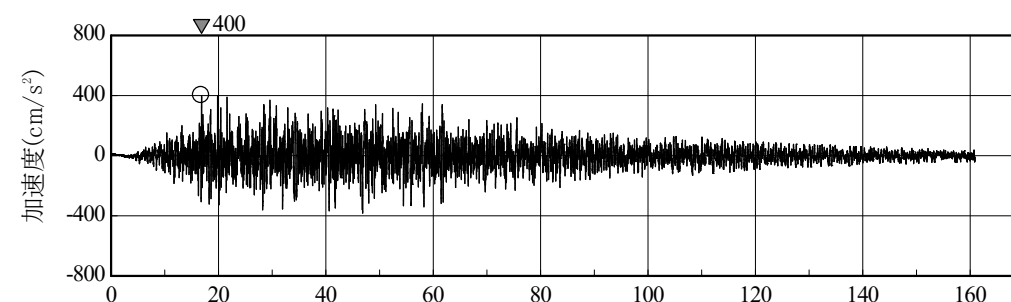
$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6}$$

地震規模(M)、等価震源距離(X_{eq})については、検討用地震のうち、より継続時間が長くなるプレート間地震を考慮し、M 8.3、 $X_{eq}=201\text{km}$ とする。

継続時間及び振幅包絡線の経時変化



模擬地震波の加速度時刻歴波形 水平方向(Ss-AH)



模擬地震波の加速度時刻歴波形 鉛直方向(Ss-AV)

設計用模擬地震波	最大加速度(cm/s^2)
Ss-AH	600
Ss-AV	400

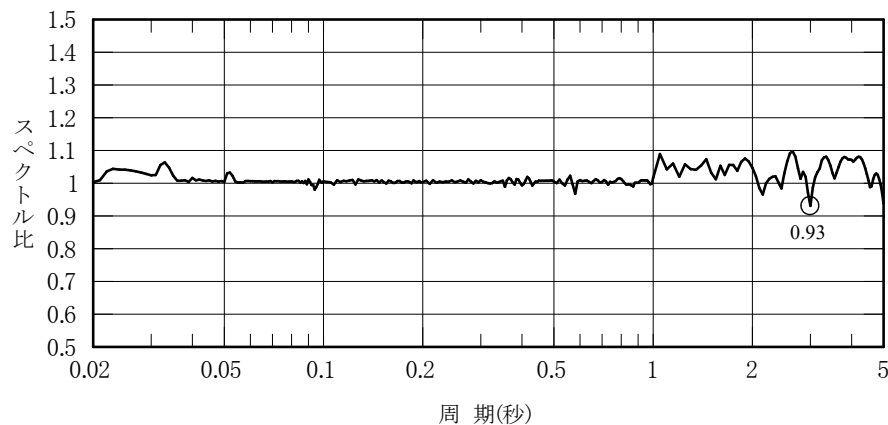
6. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 模擬地震波の設定(2)

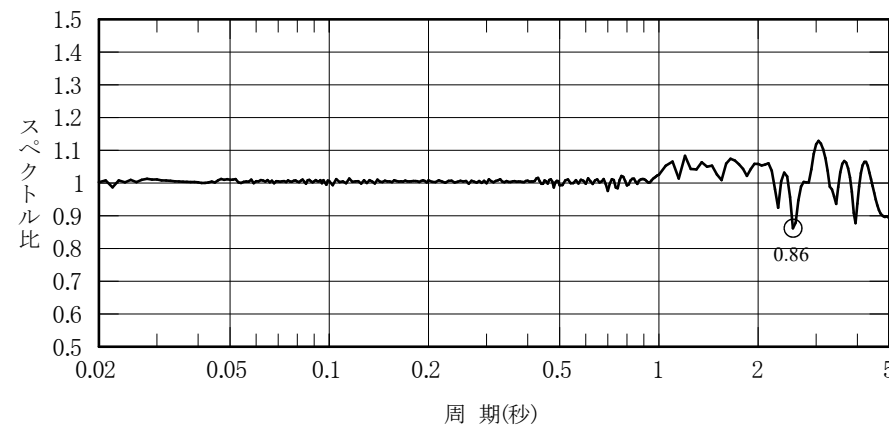
■ 作成した模擬地震波が、JEAG4601-2008原子力発電所耐震設計技術指針に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認した。

- 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が全周期帯で0.85以上
- 応答スペクトル強さの比(SI比)が1.0以上

■ 応答スペクトル「基準地震動Ss-A」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 (Ss-AH)



応答スペクトル比 (Ss-AV)

■ 応答スペクトル強さの比(SI比)

$$SI \text{ 比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} Sv(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{Sv}(T) dt}$$

SI : 応答スペクトル強さ

$Sv(T)$: 設計用模擬地震波の擬似速度応答スペクトル(cm/s)

$\bar{Sv}(T)$: 目標とする設計用応答スペクトル(cm/s)

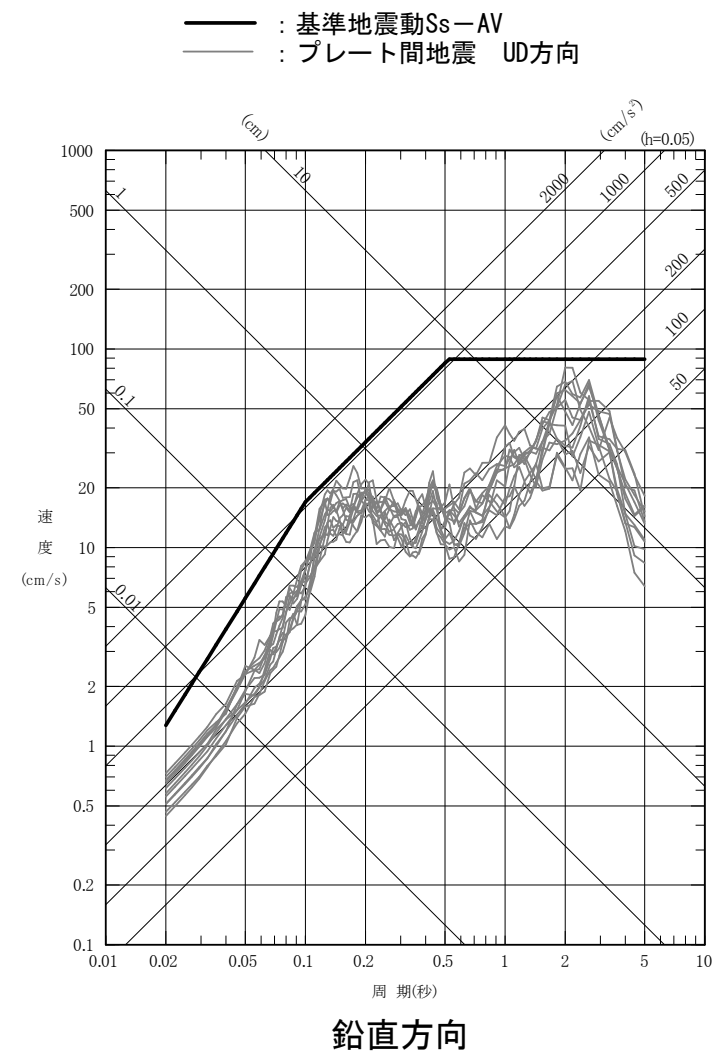
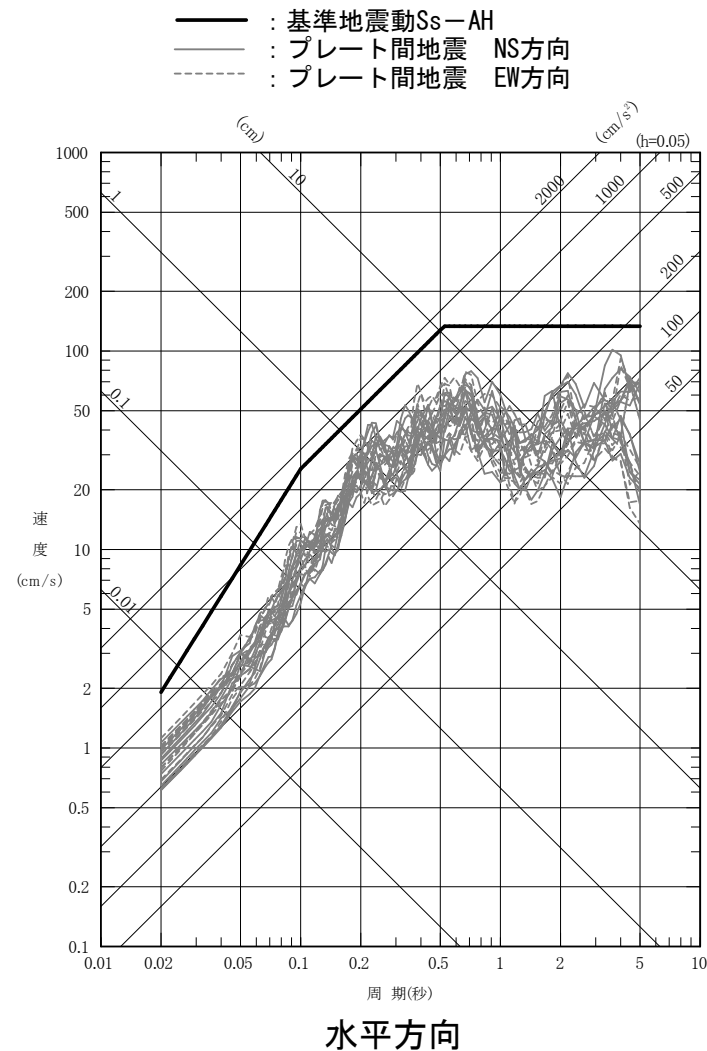
T : 固有周期(s)

応答スペクトル	SI比
Ss-AH	1.03
Ss-AV	1.03

6. 基準地震動の策定 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデルを用いた手法(1) プレート間地震

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p161 再掲

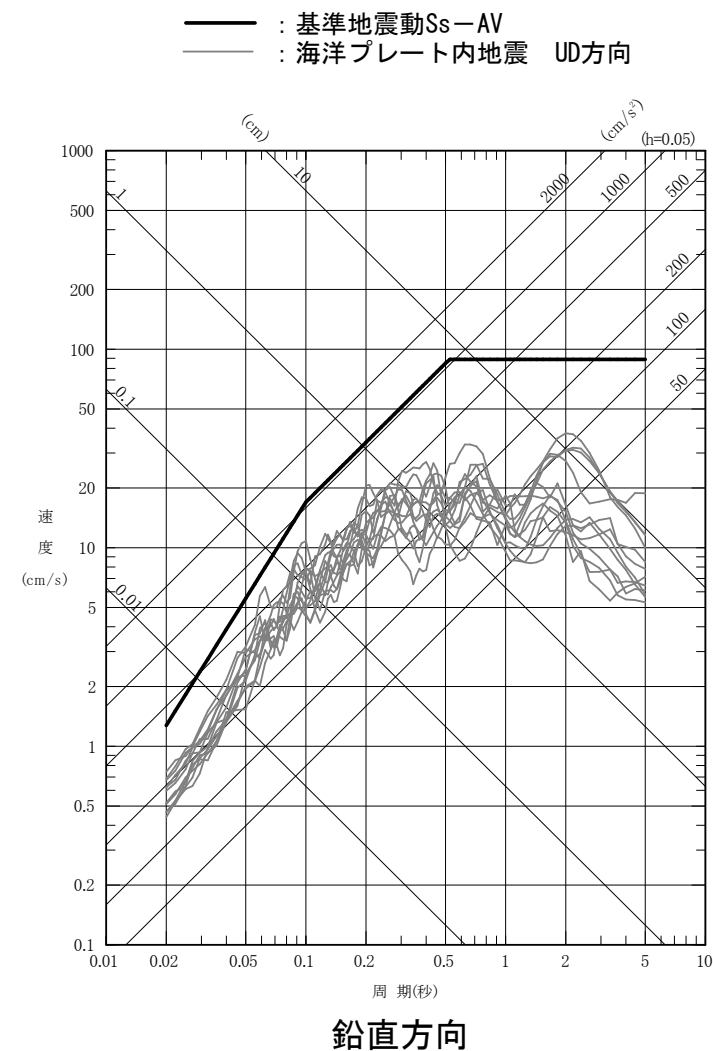
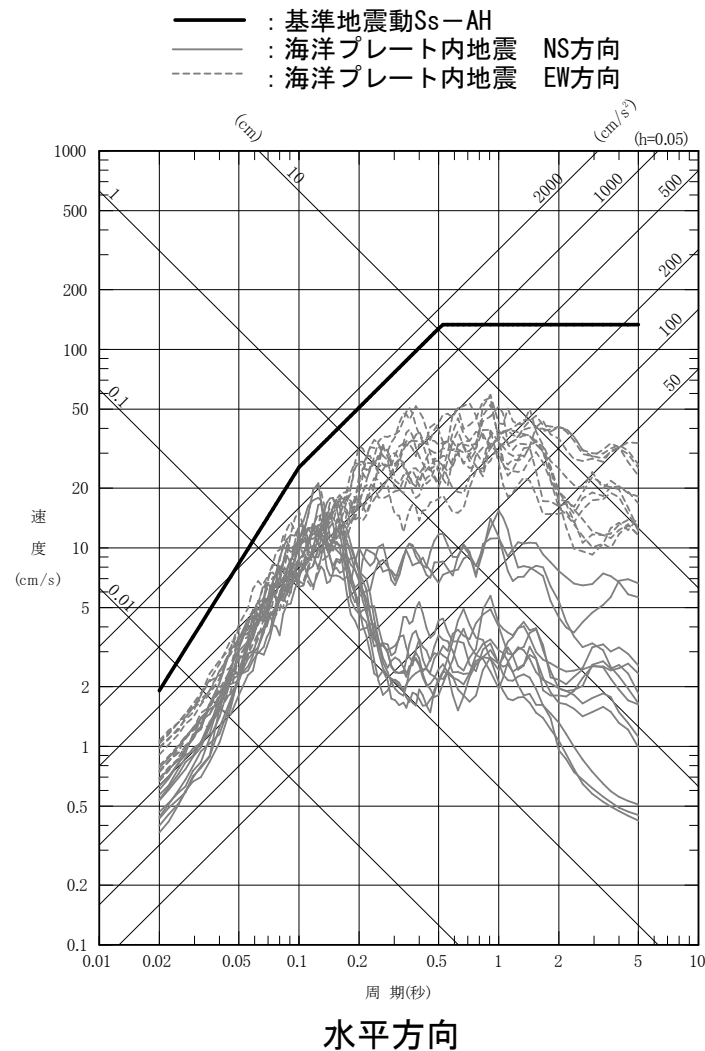
- プレート間地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を基準地震動Ss-Aの応答スペクトルと比較する。
- プレート間地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果が、全ケースで基準地震動Ss-Aを下回ることから、基準地震動Ss-Aによって代表させる。



6. 基準地震動の策定 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデルを用いた手法(2) 海洋プレート内地震

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p162 再掲

- 海洋プレート内地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を基準地震動Ss-Aの応答スペクトルと比較する。
- 海洋プレート内地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果が、全ケースで基準地震動Ss-Aを下回ることから、基準地震動Ss-Aによって代表させる。



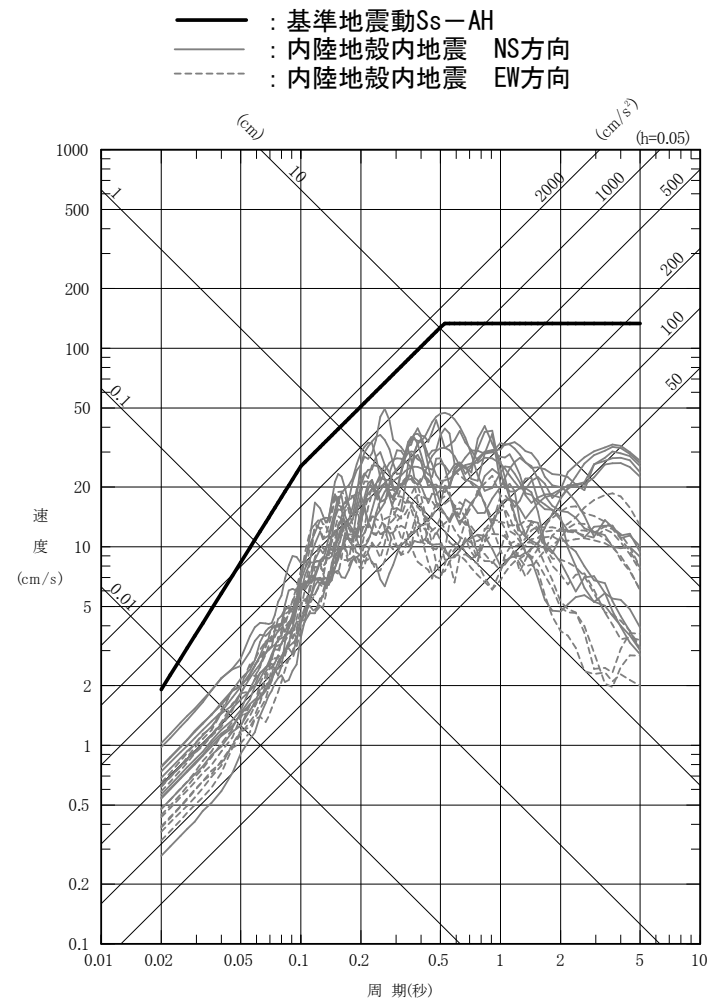
6. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデルを用いた手法(3)

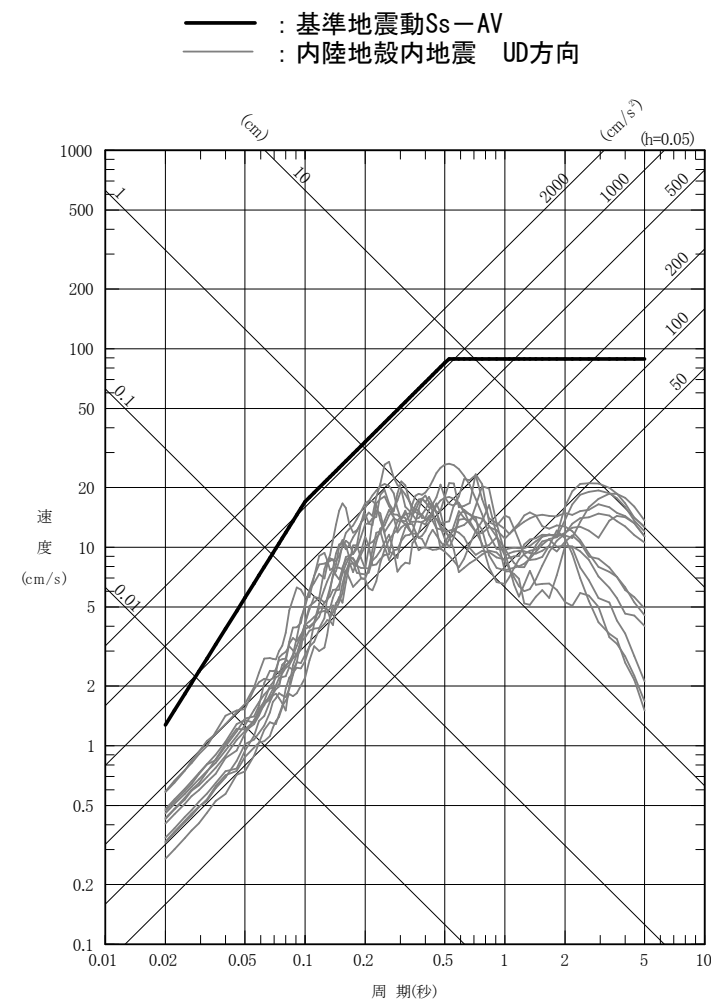
内陸地殻内地震(横浜断層による地震)

審査会合(H30.9.14)
資料2-4-1 p163 再掲

- 内陸地殻内地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を基準地震動Ss-Aの応答スペクトルと比較する。
- 内陸地殻内地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果が、全ケースで基準地震動Ss-Aを下回ることから、基準地震動Ss-Aによって代表させる。



水平方向



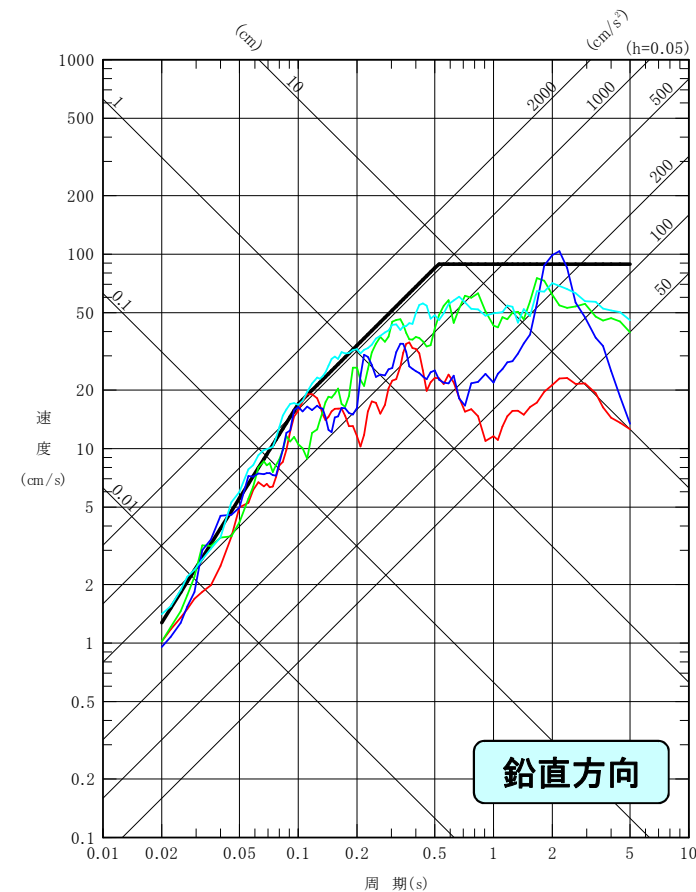
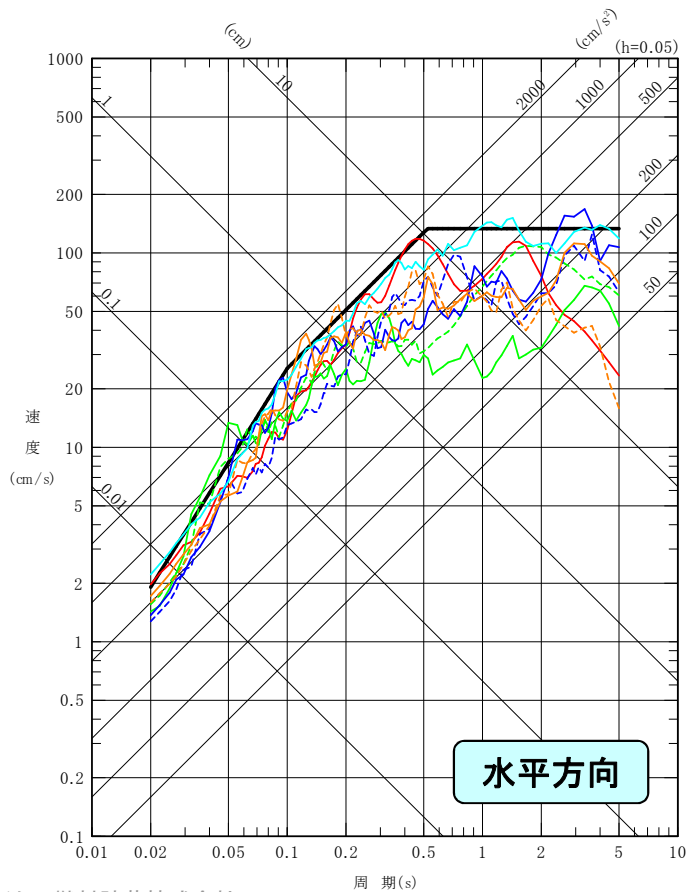
鉛直方向

6. 基準地震動の策定 震源を特定せず策定する地震動①

- 震源を特定せず策定する地震動として設定した地震動を、基準地震動Ss-Aの応答スペクトルと比較する。
- 基準地震動Ss-Aを一部上回る地震動を基準地震動Ss-B1~Ss-B5として採用する。

- : 基準地震動Ss-AH
- : 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) ⇒ 基準地震動Ss-B1 水平方向
- : 2008年岩手宮城内陸地震 (栗駒ダム[右岸地山]ダム軸方向) ⇒ 基準地震動Ss-B2 水平方向 1
- : 2008年岩手宮城内陸地震 (栗駒ダム[右岸地山]上下流方向) ⇒ 基準地震動Ss-B2 水平方向 2
- : 2008年岩手宮城内陸地震 (KiK-net金ヶ崎NS方向) ⇒ 基準地震動Ss-B3 水平方向 1
- : 2008年岩手宮城内陸地震 (KiK-net金ヶ崎EW方向) ⇒ 基準地震動Ss-B3 水平方向 2
- : 2008年岩手宮城内陸地震 (KiK-net一関東NS方向) ⇒ 基準地震動Ss-B4 水平方向 1
- : 2008年岩手宮城内陸地震 (KiK-net一関東EW方向) ⇒ 基準地震動Ss-B4 水平方向 2
- : 標準応答スペクトルを考慮した地震動 ⇒ 基準地震動Ss-B5 ※1

- : 基準地震動Ss-AV
- : 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) ⇒ 基準地震動Ss-B1
- : 2008年岩手宮城内陸地震 (栗駒ダム[右岸地山]) ⇒ 基準地震動Ss-B2
- : 2008年岩手宮城内陸地震 (KiK-net金ヶ崎) ⇒ 基準地震動Ss-B3
- : 標準応答スペクトルを考慮した地震動 ⇒ 基準地震動Ss-B5

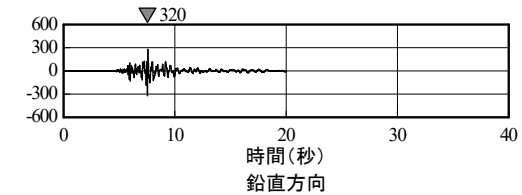
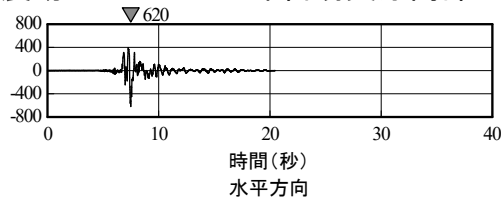


6. 基準地震動の策定

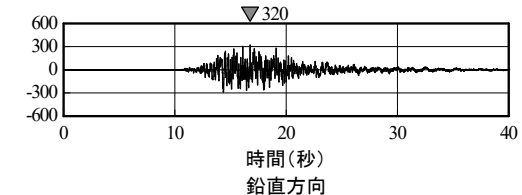
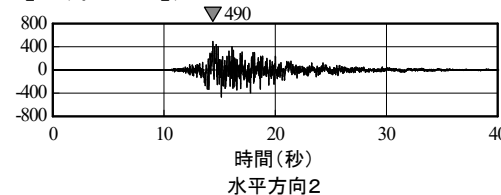
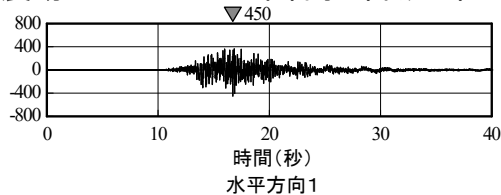
震源を特定せず策定する地震動②(令和4年1月申請)

■ 基準地震動Ss-Bの時刻歴波形

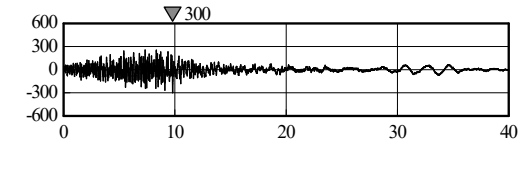
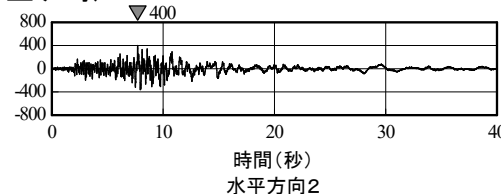
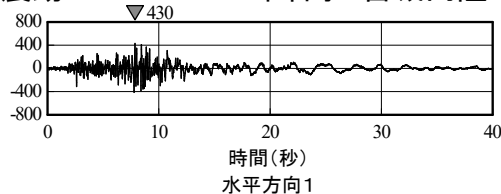
○基準地震動Ss-B1 2004年留萌支庁南部地震(K-NET港町)



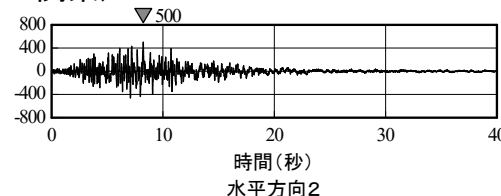
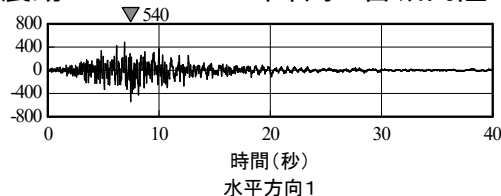
○基準地震動Ss-B2 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])



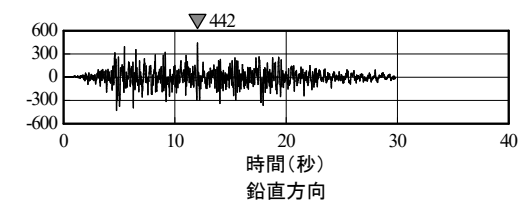
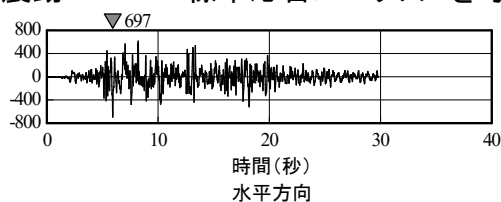
○基準地震動Ss-B3 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)



○基準地震動Ss-B4 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net一関東)



○基準地震動Ss-B5 標準応答スペクトルを考慮した地震動



6. 基準地震動の策定

まとめ 基準地震動(最大加速度値の一覧表)(令和4年1月申請)

審査会合 (R4.4.25)
資料5-1 p19 再掲

■ 基準地震動の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		水平方向1	水平方向2	鉛直方向
Ss-A	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動に基づく基準地震動	<p>600</p>	<p>600</p>	<p>400</p>
Ss-B1	2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町)	<p>620</p>	<p>620</p>	<p>320</p>
Ss-B2	2008年岩手・宮城内陸地震 (栗駒ダム右岸地山)	<p>450</p>	<p>490</p>	<p>320</p>
Ss-B3	2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net金ヶ崎)	<p>430</p>	<p>400</p>	<p>300</p>
Ss-B4	2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net一関東)	<p>540</p>	<p>500</p>	—
Ss-B5	標準応答スペクトルを考慮した地震動	<p>697</p>	<p>697</p>	<p>442</p>

6. 基準地震動の策定

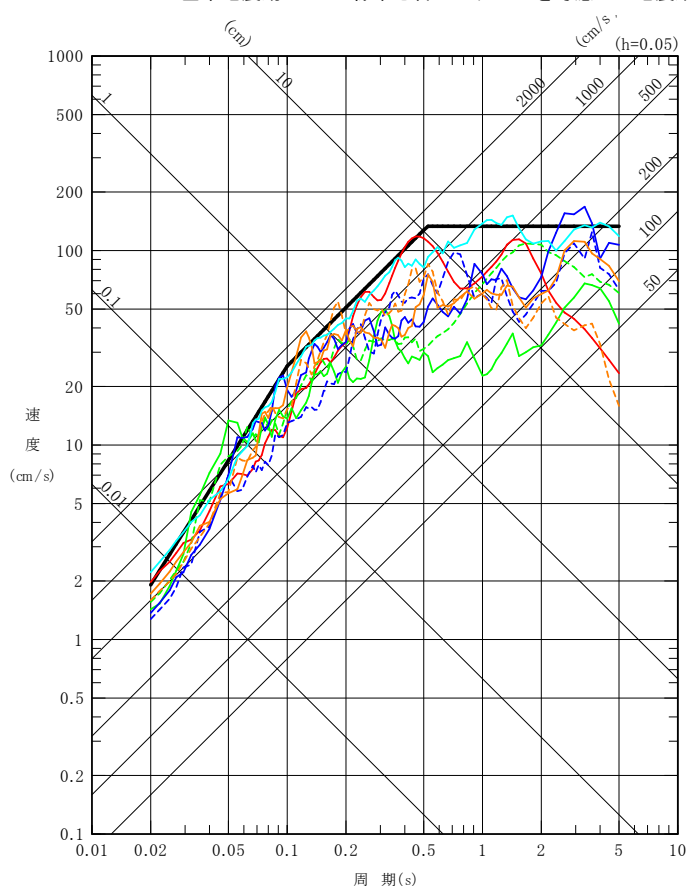
まとめ 基準地震動(応答スペクトル)(令和4年1月申請)

審査会合(R4.4.25)
資料5-1 p18 再掲

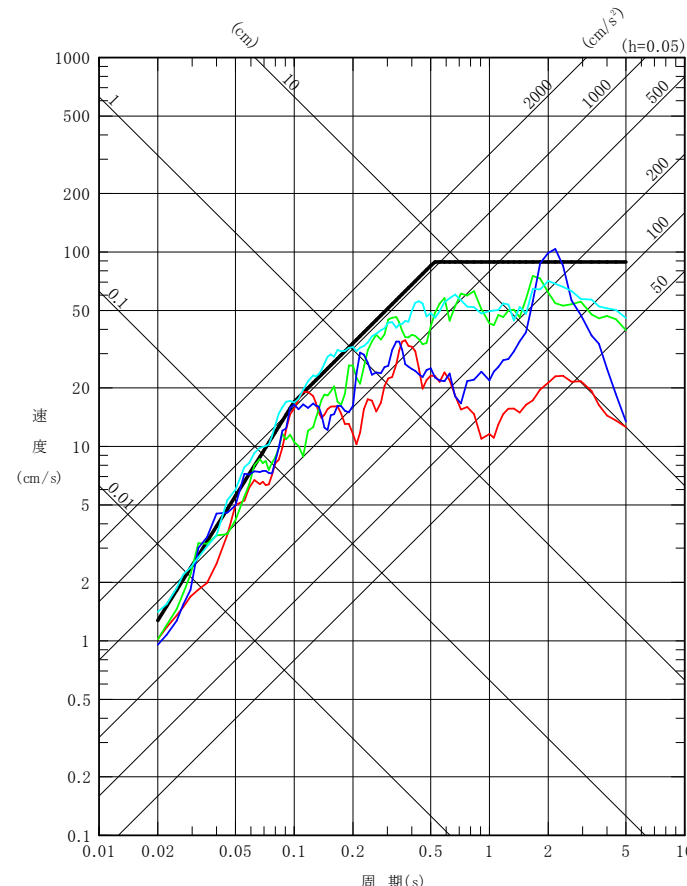
■ 標準応答スペクトルを考慮した地震動を基準地震動S_s-B5とし、既許可の全ての基準地震動と合わせて以下に示す。

- : 基準地震動S_s-A
- : 基準地震動S_s-B1 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町) 水平方向
- : 基準地震動S_s-B2 2008年岩手宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山]) 水平方向 1
- - - : 基準地震動S_s-B2 2008年岩手宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山]) 水平方向 2
- : 基準地震動S_s-B3 2008年岩手宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎) 水平方向 1
- - - : 基準地震動S_s-B3 2008年岩手宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎) 水平方向 2
- : 基準地震動S_s-B4 2008年岩手宮城内陸地震(KiK-net-関東) 水平方向 1
- - - : 基準地震動S_s-B4 2008年岩手宮城内陸地震(KiK-net-関東) 水平方向 2
- : 基準地震動S_s-B5 標準応答スペクトルを考慮した地震動

- : 基準地震動S_s-A
- : 基準地震動S_s-B1 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町) 鉛直方向
- : 基準地震動S_s-B2 2008年岩手宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山]) 鉛直方向
- : 基準地震動S_s-B3 2008年岩手宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎) 鉛直方向
- : 基準地震動S_s-B5 標準応答スペクトルを考慮した地震動



水平方向



鉛直方向

基準地震動の応答スペクトル

1. 基準地震動の策定の概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 地下構造モデルの策定
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
5. 震源を特定せず策定する地震動
6. 基準地震動の策定
7. 基準地震動の超過確率の参照

7. 基準地震動の超過確率の参照 評価方針

■ 基本方針

社団法人日本原子力学会「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準:2007」に基づき、専門家活用水準1として地震ハザード評価を実施し、基準地震動の応答スペクトルがどの程度の年超過確率に相当するか確認する。

※専門家活用水準1: TI(Technical Integrator、ロジックツリーの技術的なまとめ役)が文献レビュー及び自らの経験に基づきコミュニティ分布(科学者集団が総合的に評価するその時点での不確かさの客観的分布)を評価し、ロジックツリーを作成する。

■ 震源モデルの設定

考慮する震源について、①特定震源に基づく評価及び②領域震源モデルに基づく評価に分けて評価する。

①**特定震源モデルに基づく評価**: ひとつの地震に対して、震源位置、規模及び発生頻度を特定して扱うモデル

・プレート間地震

- ✓ 敷地前面の三陸沖北部で発生するプレート間地震
- ✓ 敷地前面の三陸沖北部を含む領域におけるM9プレート間地震
- ✓ 地震調査委員会(2017b)における千島海溝沿いの超巨大地震(17世紀型)

・海洋プレート内地震

- ✓ 震源を特定して策定する地震動においては、保守的な評価として敷地前面に震源を想定しているが、過去の地震発生状況等を踏まえると、敷地前面に特定震源となるような地震は発生していないことから、海洋プレート内地震については、「②領域震源モデルに基づく評価」で評価する。

・内陸地殻内地震

- ✓ 敷地から100km程度以内の震源として考慮する活断層(審査会合(H29.2.10)資料1-1にて説明)で発生する地震

②**領域震源モデルに基づく評価**: ある拡がりをもった領域の中で発生する地震群として取り扱うモデル

- ✓ 領域震源モデルについては、地震調査委員会(2013)による確率論的评价における設定を参照する。評価対象は敷地から200km程度以内の領域とする。
- ✓ 各領域で考慮する地震規模と発生頻度については、ゲーテンベルグ・リヒター式(以下、「G-R式」という)に基づくものとし、各領域における最大地震規模は、地震調査委員会(2013)における各領域の値を参照する。

■ ロジックツリーの作成

- ✓ 確率論的地震ハザードに大きな影響を及ぼす認識論的不確かさを選定し、ロジックツリーを作成する。
- ✓ ロジックツリーの分岐の重みとしては、基本的に等分割とする。調査結果や過去に発生した地震に基づく基本的なケースがある場合には、基本的なケース:不確かさケース=2:1として考慮する。

7. 基準地震動の超過確率の参照

地震ハザード評価に用いる地震動評価手法等について

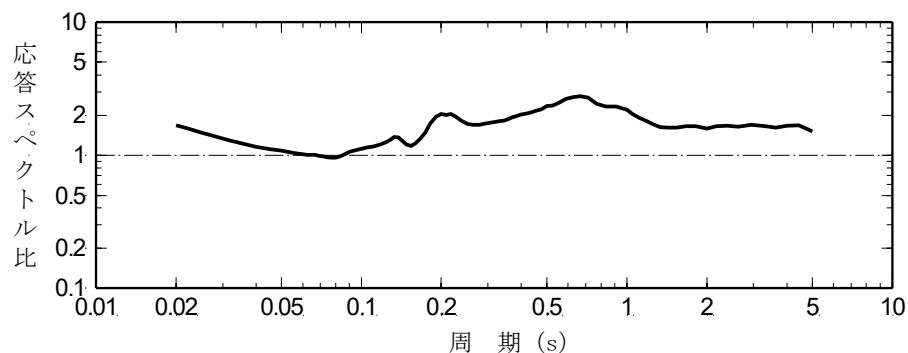
- 地震ハザード評価において、評価手法および補正係数、ばらつきの考え方については、以下のとおり設定している。
 - ✓ 評価方法としては、「震源を特定して策定する地震動」の評価を踏まえ、特定震源のうち、プレート間地震については断層モデルによる評価を用いる。内陸地殻内地震および領域震源については、Noda et al.(2002)による距離減衰式を用いる。
 - ✓ Noda et al.(2002)による距離減衰式を用いる場合の補正係数としては、プレート間地震および海洋プレート内地震の評価においては、敷地における過去に発生した地震の観測記録を踏まえた補正を行う。内陸地殻内地震の評価においては、Noda et al.(2002)に基づく内陸補正係数の有無を、ロジックツリーにおいて、1:1の分岐として考慮する。
 - ✓ 評価に対するばらつきについては、日本原子力学会(2007)に示されるばらつき(0.53)のほか、奥村ほか(2004)による東北地方で得られた地震記録を用いた地震動強さのばらつき(0.46)を用いることとし、1:1の分岐として考慮する。なお、ばらつきの打ち切り範囲については、いずれの手法においても、対数標準偏差の3倍とする。

考慮する震源		評価手法	補正係数	ばらつき	ばらつきの打ち切り
特定震源	プレート間地震	断層モデル	1倍	0.53(原子力学会(2007)) 0.46(奥村ほか(2004))	3 σ
	100km程度以内の震源として考慮する活断層	Noda et al.(2002)	内陸補正あり 内陸補正なし	0.53(原子力学会(2007)) 0.46(奥村ほか(2004))	3 σ
領域震源	プレート間地震	Noda et al.(2002)	観測記録に基づく	0.53(原子力学会(2007)) 0.46(奥村ほか(2004))	3 σ
	海洋プレート内地震	Noda et al.(2002)	観測記録に基づく	0.53(原子力学会(2007)) 0.46(奥村ほか(2004))	3 σ
	内陸地殻内地震	Noda et al.(2002)	内陸補正あり 内陸補正なし	0.53(原子力学会(2007)) 0.46(奥村ほか(2004))	3 σ

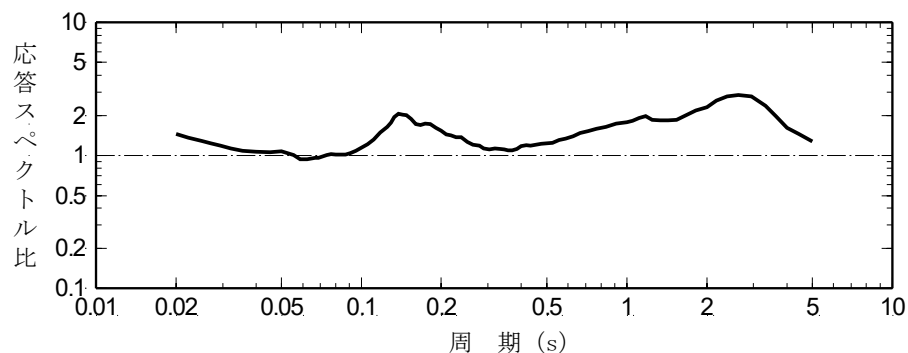
7. 基準地震動の超過確率の参照

Noda et al.(2002)に用いる補正係数

プレート間地震に用いる補正係数



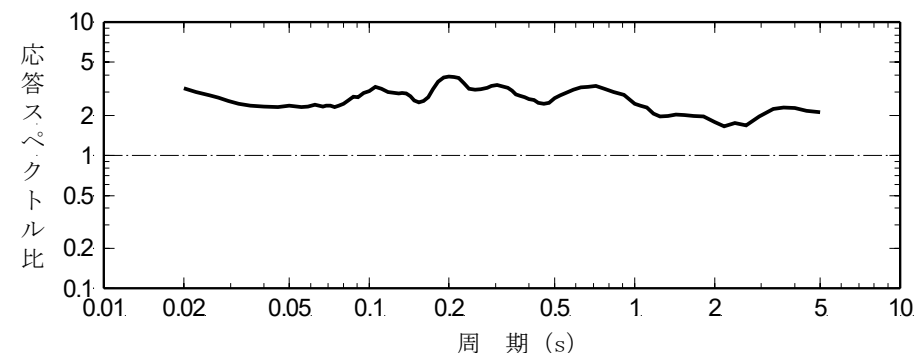
水平方向



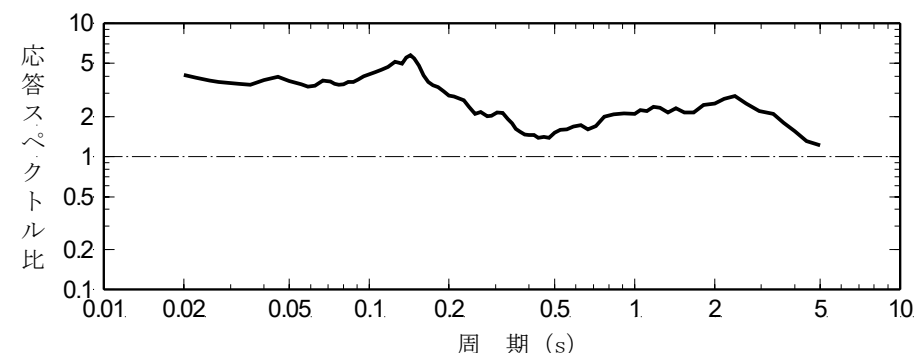
鉛直方向

実線は、観測記録に基づく解放基盤表面相当位置(標高-218m)の応答スペクトルと、Noda et al. (2002)による応答スペクトルとの比の平均値を表す。応答スペクトル比の算定には、2001年7月から2013年4月までの間に敷地で観測されたM5.5以上、震源距離200km以内、深さ60km以浅であるプレート間地震の19記録を用いた。

海洋プレート内地震に用いる補正係数



水平方向



鉛直方向

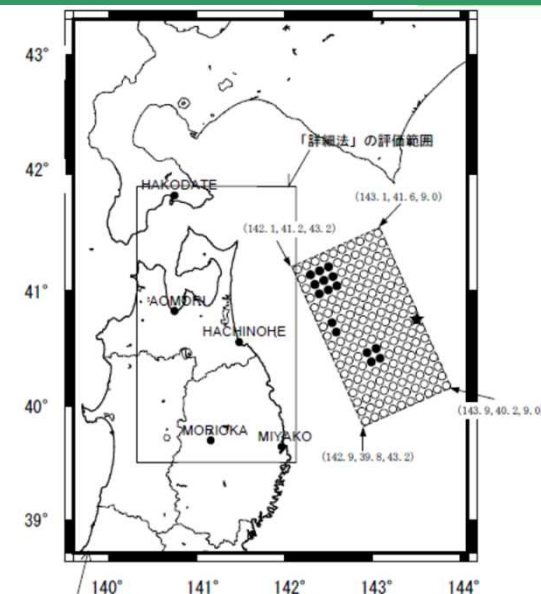
実線は、観測記録に基づく解放基盤表面相当位置(標高-218m)の応答スペクトルと、Noda et al. (2002)による応答スペクトルとの比の平均値を表す。応答スペクトル比の算定には、2001年7月から2013年4月までの間に敷地で観測されたM5.0以上、震源距離200km程度以内である海洋プレート内地震の5記録を用いた。

7. 基準地震動の超過確率の参照

震源モデルの設定(特定震源 プレート間地震)

①三陸沖北部の地震(地震調査委員会(2004a))

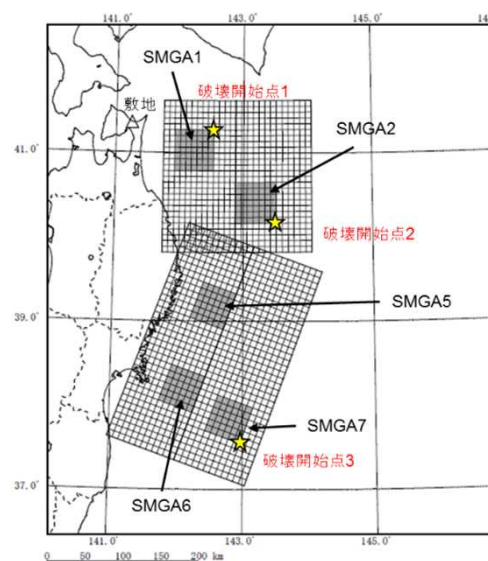
- 地震調査委員会(2004a)を参考に、右図に示すように三陸沖北部の地震(Mw8.3)をプレート間地震の特定震源として考慮する。
- 平均発生間隔は、地震調査委員会(2004a)の見解に従い、97年を用いる。
- 地震調査委員会(2013)における確率論的評価において、「東北地方太平洋沖型の地震」として、三陸沖中部～茨城県沖の領域の連動型地震が考慮されており、その平均発生間隔は600年と設定されている。これを踏まえ、三陸沖北部の領域で発生する特定震源についても、6回に1回は、下記②に示すように複数領域が連動する地震として発生するものとして、ロジックツリーの分岐を設ける。



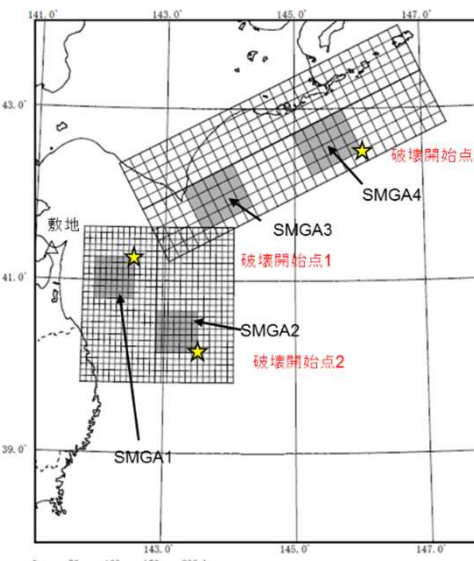
三陸沖北部の地震(Mw8.3)

②2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震

- 震源を特定して策定する地震動では、右図に示すような三陸沖北部～宮城県沖および三陸沖北部～根室沖に、Mw9.0のプレート間地震を想定していることから、同様の地震について、プレート間地震の特定震源として考慮する。
- 地震調査委員会(2013)における確率論的評価において、三陸沖中部～茨城県沖の領域の連動型地震の平均発生間隔が600年とされていることから、敷地前面の三陸沖北部の領域における地震の平均発生間隔である97年を踏まえて、三陸沖北部の活動のうち、6回に1回は三陸沖北部～宮城県沖あるいは三陸沖北部～根室沖が連動した地震が発生するものとして、ロジックツリーの分岐を設ける。
- なお、三陸沖北部～宮城県の連動モデルと三陸沖北部～根室沖の連動モデルの発生については、ロジックツリーにおいて1:1の分岐として考慮する。



三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル



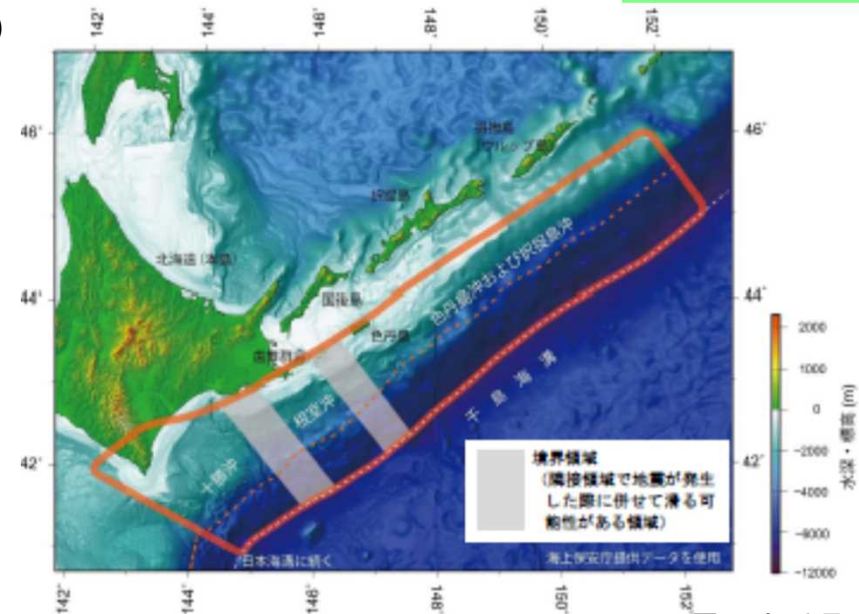
三陸沖北部～根室沖の連動モデル

7. 基準地震動の超過確率の参照

震源モデルの設定(特定震源 プレート間地震)

③千島海溝沿いの超巨大地震(17世紀型)(地震調査委員会(2017b))

- 地震調査委員会(2017b)の評価対象地震である千島海溝沿いの超巨大地震(17世紀型)を、プレート間地震の特定震源として考慮する。
- 千島海溝沿いの超巨大地震(17世紀型)の発生間隔は、340年~380年に1回であるが、ここでは300年に1回とする。ただし、1200年に1回、M9プレート間地震(三陸沖北部~根室沖の連動)として十勝・根室沖と三陸沖北部が連動して動くため、これを千島海溝沿いの超巨大地震(17世紀型)の1回として数える。このため、超巨大地震(17世紀型)として追加するのは、1200年で3回とする。
- M9プレート間地震(三陸沖北部~根室沖の連動)と千島海溝沿いの超巨大地震(17世紀型)を比較すると、M9プレート間地震(三陸沖北部~根室沖の連動)がMw9.0の規模を考慮しており、敷地に最も近い領域である三陸沖北部の領域を震源領域に設定していること、超巨大地震(17世紀型)の震源領域は千島海溝の十勝沖から北東側にのび、敷地から遠くなることから、M9プレート間地震(三陸沖北部~根室沖の連動)の方が、超巨大地震(17世紀型)よりも敷地への影響が大きいと考えられる。よって、超巨大地震(17世紀型)の地震動評価については、M9プレート間地震(三陸沖北部~根室沖の連動)の地震動評価で代用する。

地震調査委員会(2017b)
千島海溝沿いの評価対象領域

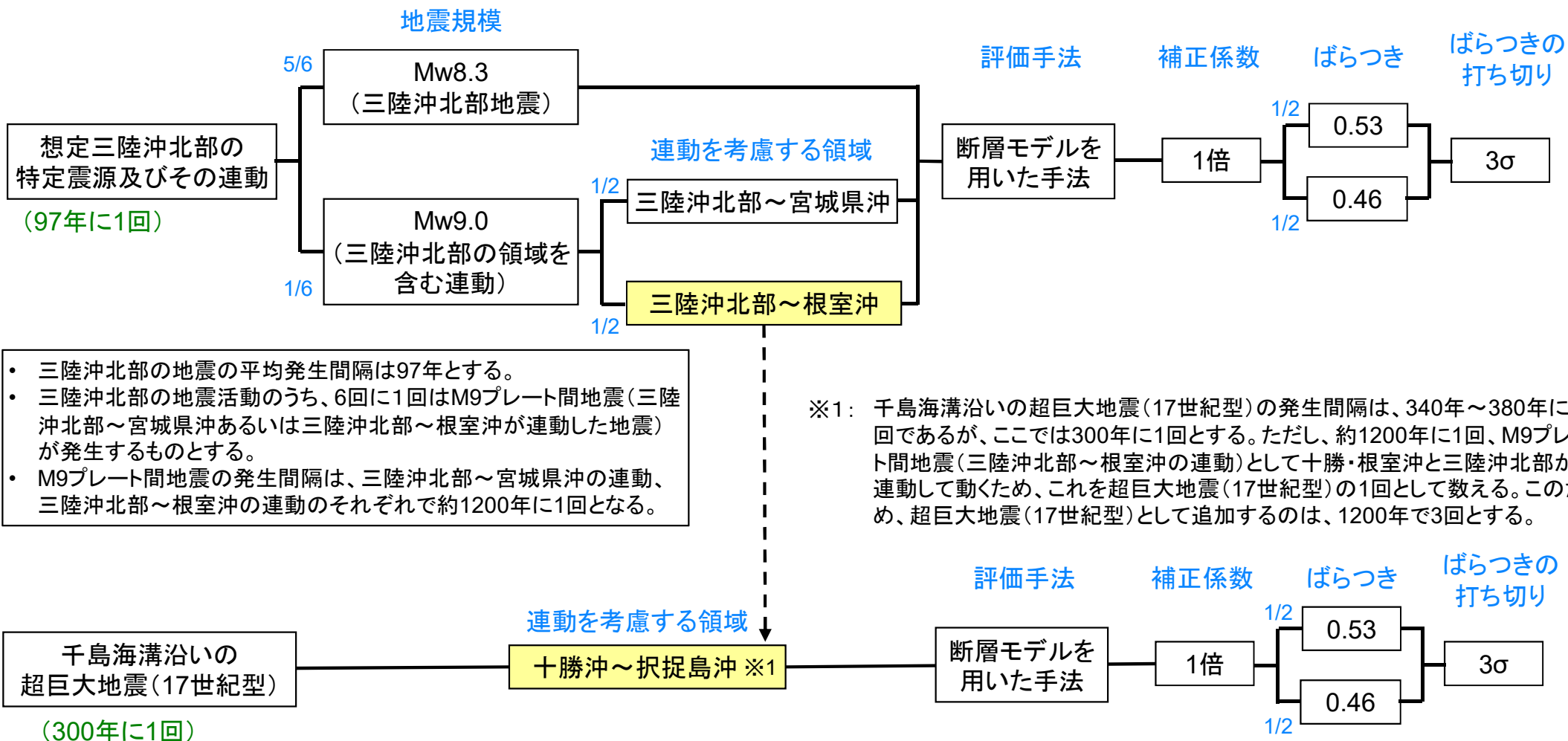
超巨大地震(17世紀型)の発生領域、震源域の形態、発生間隔等

項目	特性	根拠
(1) 地震の発生領域の目安	図1。具体的な地域は特定できないが、根室沖を含む可能性が高い。	当該地域の津波堆積物の空間分布を参考にして判断した。
(2) 震源域の形態	陸側のプレートと太平洋プレートの境界面。低角逆断層型。	
(3) 震源域	長さ 300km 以上。深さは、60km 程度以浅。海溝寄りの領域も連動する。	
(4) 震源断層面での平均的なずれの向き	約 N114° E (陸側のプレートの太平洋プレートに対する動きの向き)	根室沖と同じ値を使用した。
(5) 発生間隔等	発生頻度 約 340~380 年に 1 回 (過去の地震の推定発生間隔 約 100~800 年)	北海道東部(厚岸郡)において調査された津波堆積物のうち、巨大津波を発生させたと推定される津波堆積物の数や年代推定結果から推定した。

7. 基準地震動の超過確率の参照

ロジックツリー(特定震源 プレート間地震)

特定震源(プレート間地震)による地震のロジックツリーを以下のとおり設定する。



- 三陸沖北部の地震の平均発生間隔は97年とする。
- 三陸沖北部の地震活動のうち、6回に1回はM9プレート間地震(三陸沖北部～宮城県沖あるいは三陸沖北部～根室沖が連動した地震)が発生するものとする。
- M9プレート間地震の発生間隔は、三陸沖北部～宮城県沖の連動、三陸沖北部～根室沖の連動のそれぞれで約1200年に1回となる。

※1: 千島海溝沿いの超巨大地震(17世紀型)の発生間隔は、340年～380年に1回であるが、ここでは300年に1回とする。ただし、約1200年に1回、M9プレート間地震(三陸沖北部～根室沖の連動)として十勝・根室沖と三陸沖北部が連動して動くため、これを超巨大地震(17世紀型)の1回として数える。このため、超巨大地震(17世紀型)として追加するのは、1200年で3回とする。

- M9プレート間地震(三陸沖北部～根室沖の連動)と超巨大地震(17世紀型)を比較すると、M9プレート間地震(三陸沖北部～根室沖の連動)がMw9.0の規模を考慮しており、敷地に最も近い三陸沖北部を震源領域に設定していること、超巨大地震(17世紀型)の震源領域は千島海溝の十勝沖から北東側にのび、敷地から遠くなることから、M9プレート間地震(三陸沖北部～根室沖の連動)の方が、超巨大地震(17世紀型)よりも敷地への影響が大きいと考えられる。よって、超巨大地震(17世紀型)の地震動評価については、M9プレート間地震(三陸沖北部～根室沖の連動)の地震動評価で代用する。

7. 基準地震動の超過確率の参照

震源モデルの設定(特定震源 震源として考慮する活断層)

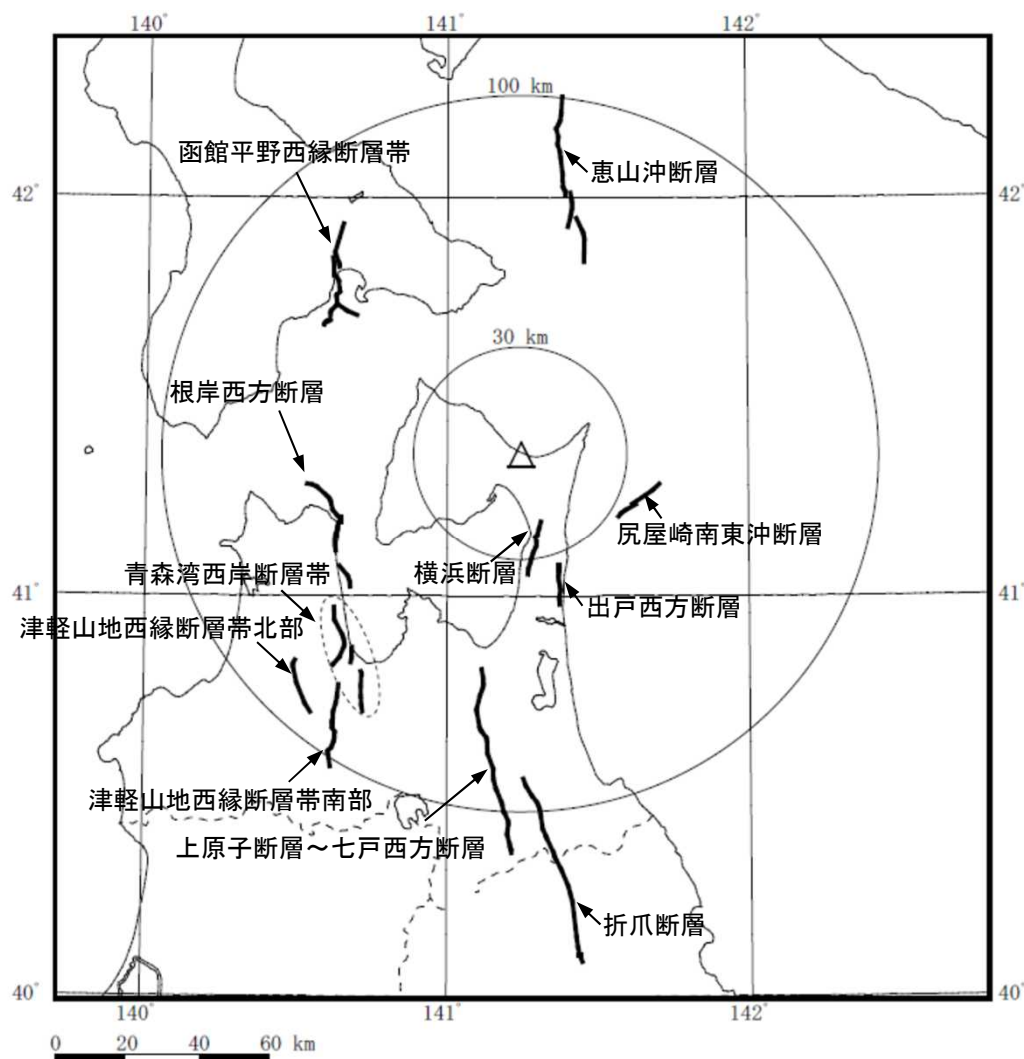
- 内陸地殻内地震のうち、下表に示す敷地から100km程度以内の、震源として考慮する活断層を対象として評価する。また、ロジックツリーに反映する諸元の算定は以下のとおり行う。

- ✓ 地震規模Mは、松田(1975)により算定した値および地震調査委員会(2013)による長期評価で考慮されている値を参照し、大きいものを採用する。松田(1975)の算定でM6.8に満たない断層については、M6.8として評価する。なお、横浜断層については、震源を特定して策定する地震動の評価の際に考慮した基本震源モデルの断層面積に基づくM7.0を採用する。
- ✓ 地震の平均活動間隔は、考慮するそれぞれの断層の活動度を踏まえ、採用した地震規模に対応する平均活動間隔を算定した。なお、地震調査委員会(2013)の確率論的評価において平均活動間隔(平均ケース)が示されている断層による地震については、その値についても参照し、活動間隔の短い方を採用することとする。発生確率については、ポアソン過程を採用する。

震源として考慮する活断層	断層長さ(km)	地震規模(M)			平均活動間隔					等価震源距離 Xeq(km)
		松田(1975)	地震調査委員会	採用値	採用した地震規模に対応する平均活動間隔			地震調査委員会 平均活動間隔(年)	採用値(年)	
					活動度 ^{※1}	平均変位速度(mm/年)	平均活動間隔(年)			
横浜断層	15.4	6.8	-	7.0 ^{※2}	C	0.05	24045	-	24000	23
尻屋崎南東沖断層	14.5	6.8	-	6.8	B	0.5	2405	-	2400	32
恵山沖断層	47	7.6	-	7.6	B	0.5	7262	-	7200	77
函館平野西縁断層帯(海域南東)	26	7.2	7.0~7.5	7.5 ^{※3}	B	0.5	3170	15000	3100	75
函館平野西縁断層帯(海域南西)	28	7.2	7.0~7.5	7.5 ^{※3}	B	0.5	3170	15000	3100	80
青森湾西岸断層帯	31	7.3	7.3	7.3	B	0.5	4798	4500	4500	79
津軽山地西縁断層帯北部	16	6.8	6.8~7.3	7.3 ^{※3}	B	0.5	2405	- ^{※5}	2400	81
津軽山地西縁断層帯南部	23	7.1	7.1~7.3	7.3 ^{※3}	B	0.5	3639	- ^{※5}	3600	88
折爪断層	53	7.7	7.6	7.7	B	0.5	8337	15000	8300	115
出戸西方断層	11	6.6	-	6.8 ^{※4}	B	0.5	2405	-	2400	38
上原子断層+七戸西方断層	51	7.7	-	7.7	C	0.05	83374	-	83000	83
根岸西方断層	38	7.5	-	7.5	B	0.5	6325	-	6300	66

※1:「新編 日本の活断層」を参照。記載のないものについてはB級として設定。 ※2:基本震源モデルの断層面積から算定。 ※3:地震調査委員会による評価の上限値を採用。 ※4:孤立した短い断層としてM6.8を想定。 ※5:地震調査委員会資料に最新の活動時期が記載されているが発生間隔は未記載。

7. 基準地震動の超過確率の参照 敷地周辺の活断層分布



敷地周辺の「震源として考慮する活断層」分布図

敷地周辺の「震源として考慮する活断層」の諸元

No.	断層名		断層長さ	マグニチュード M ^{※1}	震央距離
1	横浜断層		15.4km	6.8	26km
2	尻屋崎南東沖断層		14.5km	6.8	34km
3	恵山沖断層		47km	7.6	78km
4	函館平野 西縁断層帯	4-1 海城南東延長部含む 函館平野西縁断層帯	26km	7.2	70km
		4-2 海城南西延長部含む 函館平野西縁断層帯	28km	7.2	72km
5	青森湾西岸断層帯		31km	7.3	74km
6	津軽山地西縁断層帯北部		16km	7.3 ^{※2}	89km
7	津軽山地西縁断層帯南部		23km	7.3 ^{※2}	92km
8	折爪断層		53km	7.7	115km
9	出戸西方断層		11km	6.6	38km
10	上原子断層		5km	連動 考慮 51km	7.7
	七戸西方断層		46km		
11	根岸西方断層		38km	7.5	60km

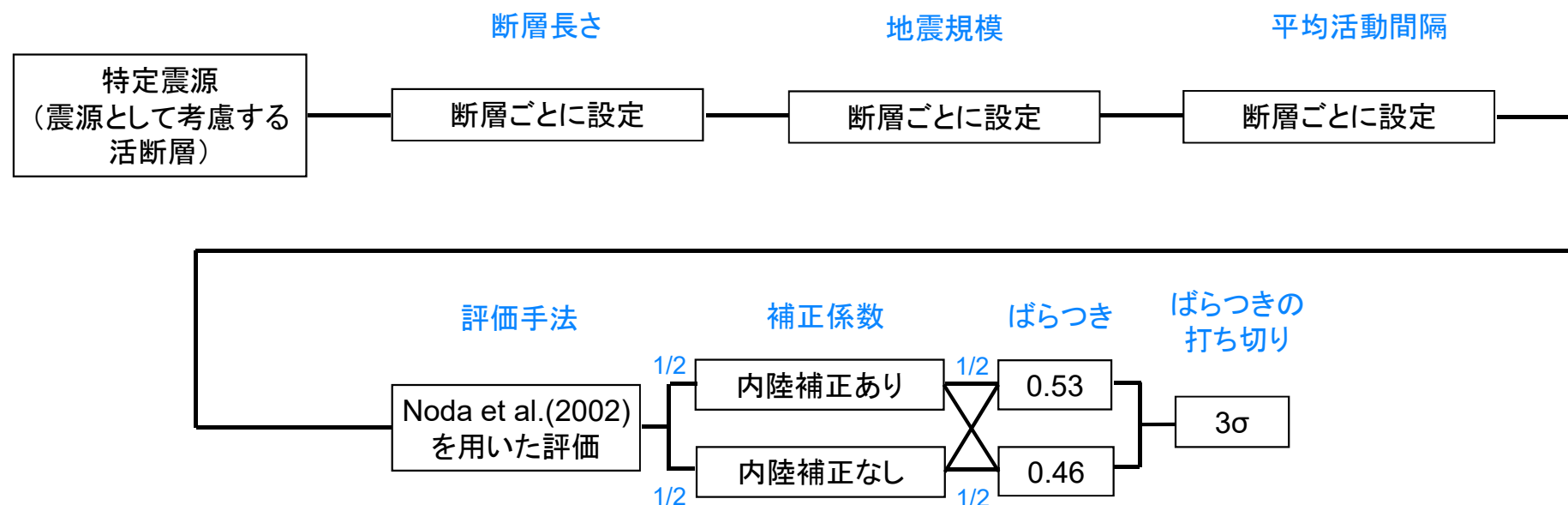
※1:6,7を除き松田(1975)に基づき算定。

※2:地震調査委員会(2004)のマグニチュード評価に幅があることから、最大値を用いる。

7. 基準地震動の超過確率の参照

ロジックツリー(特定震源 震源として考慮する活断層)

特定震源(震源として考慮する活断層)による地震のロジックツリーを以下のとおり設定する。



7. 基準地震動の超過確率の参照 領域震源の考え方

- 領域震源の地震ハザード評価については、地震調査委員会(2013)における確率論的評価に基づき、各領域区分における最大マグニチュードを設定する。地震調査委員会(2013)において考慮されている領域区分を下図に示す。
- 地震規模および発生頻度はG-R式によるものとし、敷地への寄与が大きいと考えられる領域については、観測記録に基づくb値を参照する。
- 地震調査委員会(2013)による各領域における震源モデルは、各領域における地震の長期評価結果に基づく「モデル1」と、領域震源に考慮する地震規模を大きくした場合の確率論的評価結果に与える影響を検討するための「モデル2」の2つのモデルが考慮されている。
- 敷地における確率論的評価においては、地震調査委員会による長期評価結果に基づく評価を主として実施するが、念のため、地震調査委員会(2013)において地震規模が拡張された「モデル2」についてもロジックツリーの分岐として考慮することとし、それぞれのモデルに考慮されている最大マグニチュードを参照する。分岐の重み付けとしては、「モデル1」と「モデル2」について、2:1とする。

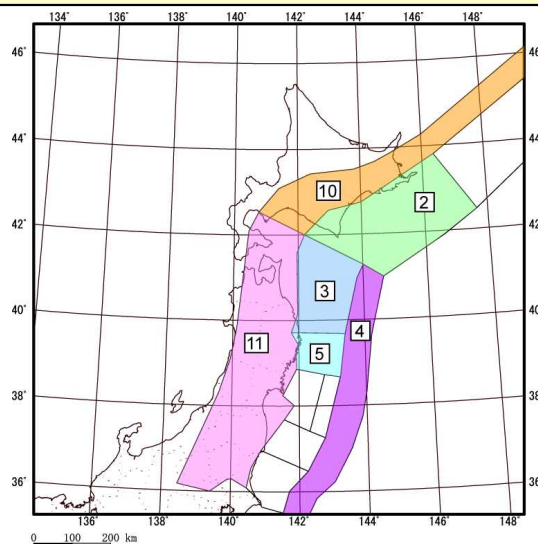
「モデル1」及び「モデル2」の概要(地震調査委員会(2013)より抜粋)

○モデル1: 長期評価の結果を基本とした従来とほぼ同じ地震活動モデル(従来モデル)。

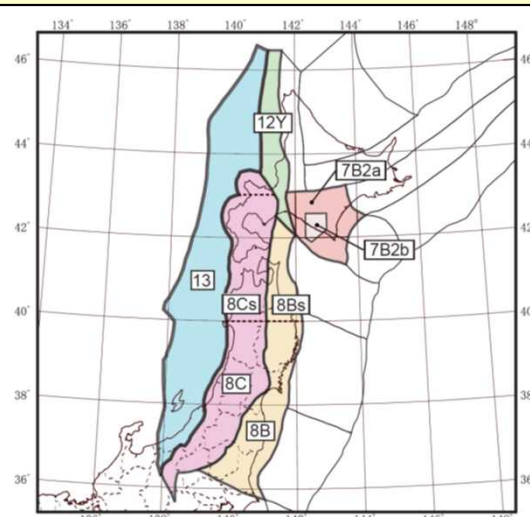
主要な活断層や海溝型地震の長期評価に基づく地震活動モデルに加えて、震源についての情報が十分に得られておらず長期評価されていない、より小規模な地震を「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」としてモデル化したもの。

○モデル2: 地震活動モデルの不確実性を大きくとるなどの検討を加えた、検討用の地震活動モデル(検討モデル)。

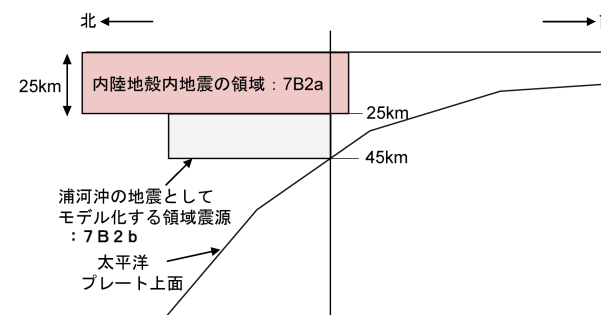
地震動ハザード評価の検討に向けて、従来よりも規模の大きな地震まで「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」としてモデル化し、長期評価未了の領域について、地震活動をモデル化する際の不確実性を考慮し、従来考慮していなかった、より規模の大きな地震の発生までを考慮するなどの変更を行った。



プレート間地震及び海洋プレート内地震の評価
で考慮する領域



内陸地殻内地震の評価で考慮する領域
(領域8B、8Cは、北緯40°～43°の範囲に限定した
小領域(8Bs、8Cs)を考慮した分岐を設ける)



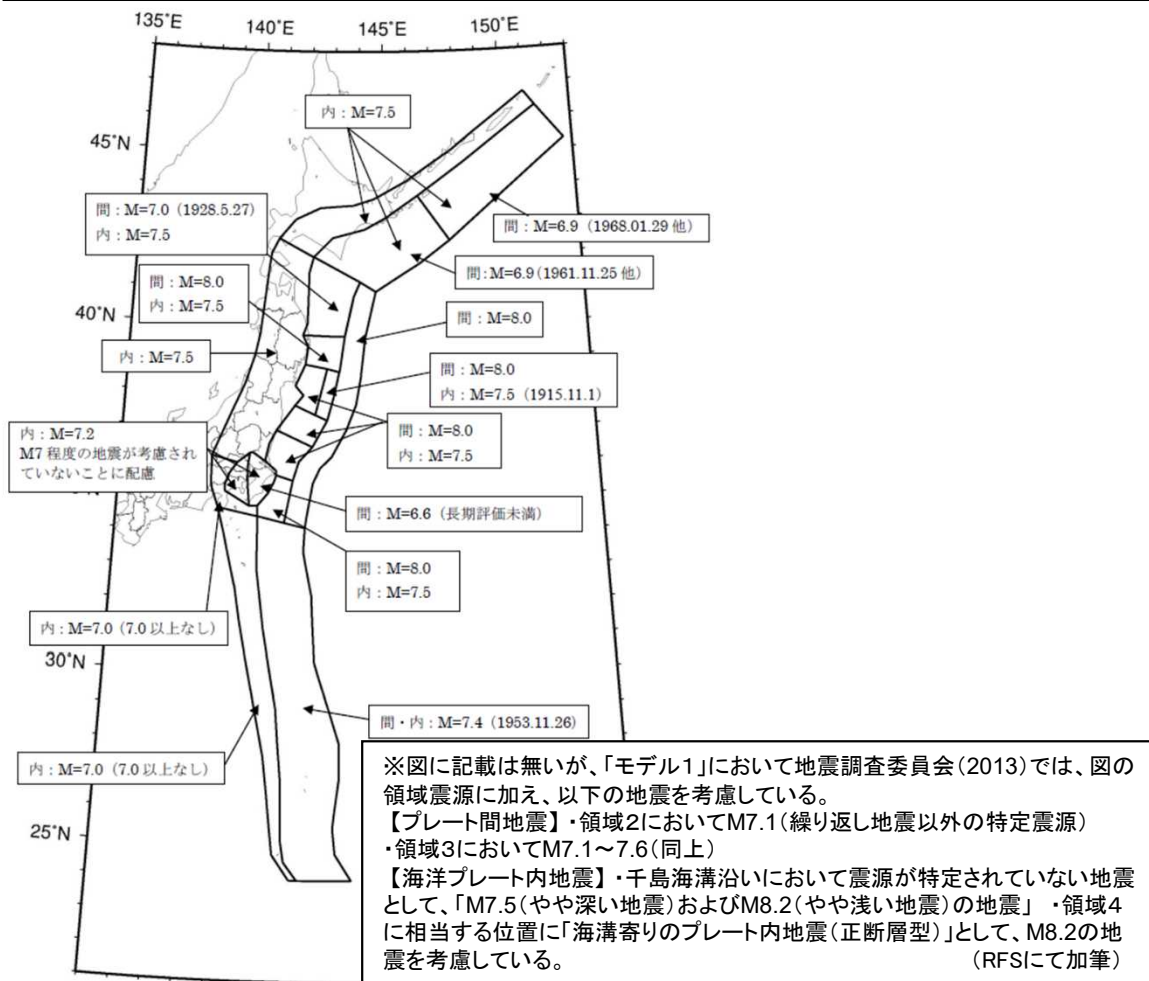
小領域(7B2b)の考え方

浦河沖については、地震調査委員会(2005)において、内陸地殻内地震の領域下部に領域震源(最大M7.1)を考慮していることから、図に示す領域7B2bの位置に領域震源を考慮する。

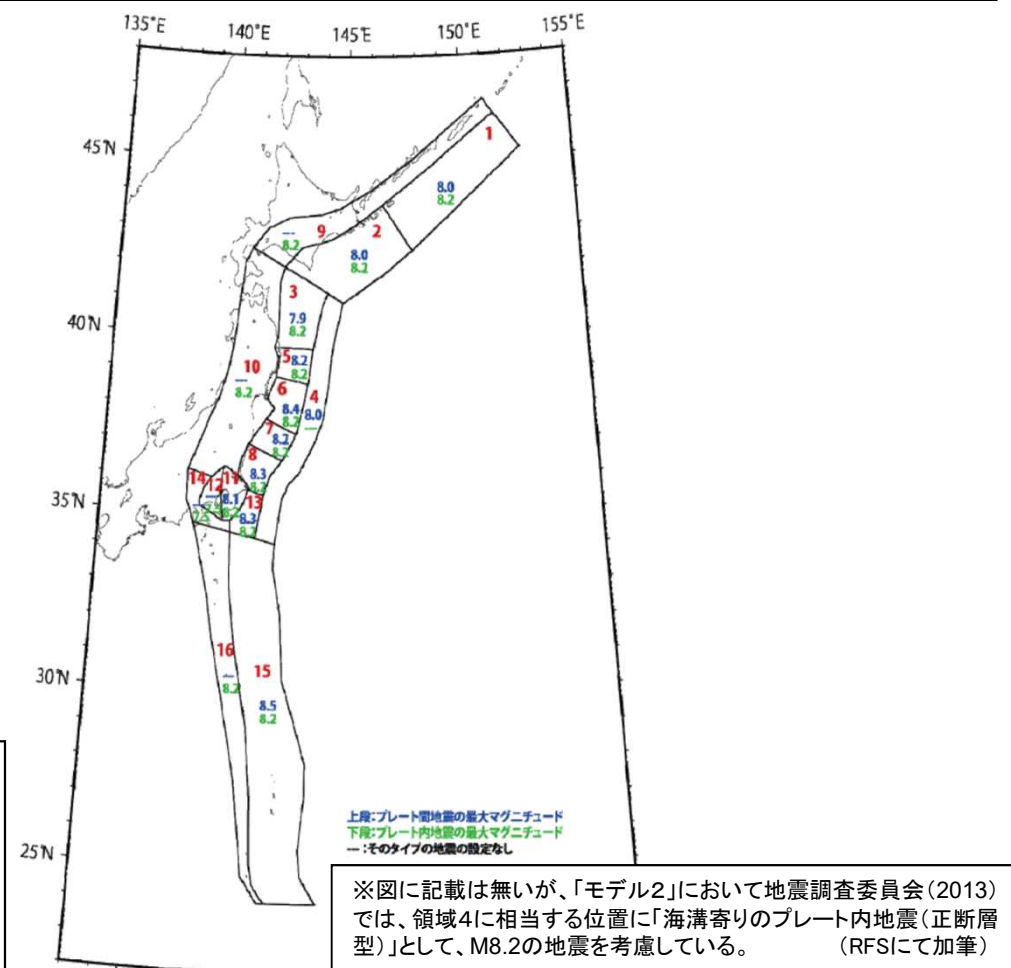
7. 基準地震動の超過確率の参照

各領域において考慮する最大Mの設定(海溝型地震)

- 地震調査委員会(2013)における各領域における海溝型地震の震源モデルでは、下図のとおり、「モデル1」及び「モデル2」について、それぞれ最大マグニチュードが設定されている。
- 敷地における地震ハザード評価においては、「モデル1」及び「モデル2」について、ロジックツリーの分岐で、それぞれの最大マグニチュードを参照することとする。



海溝型地震(モデル1)

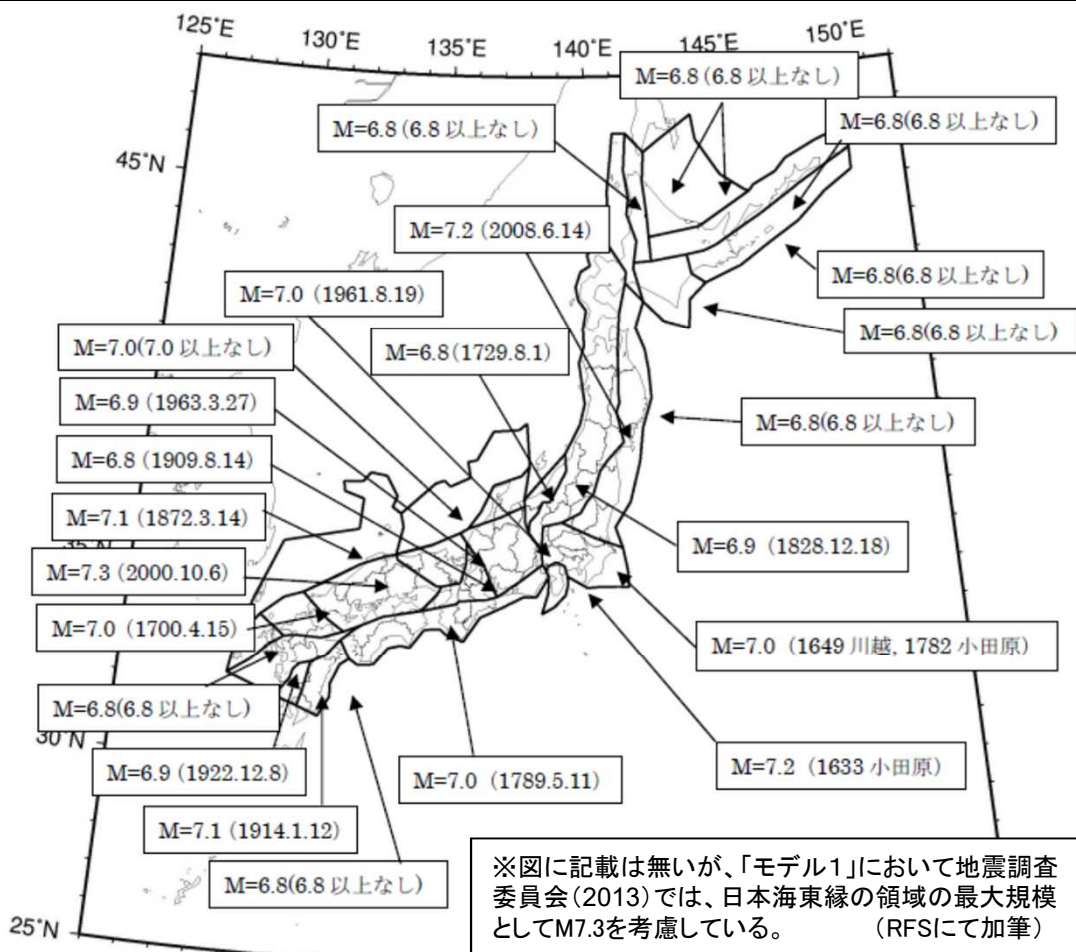


海溝型地震(モデル2)

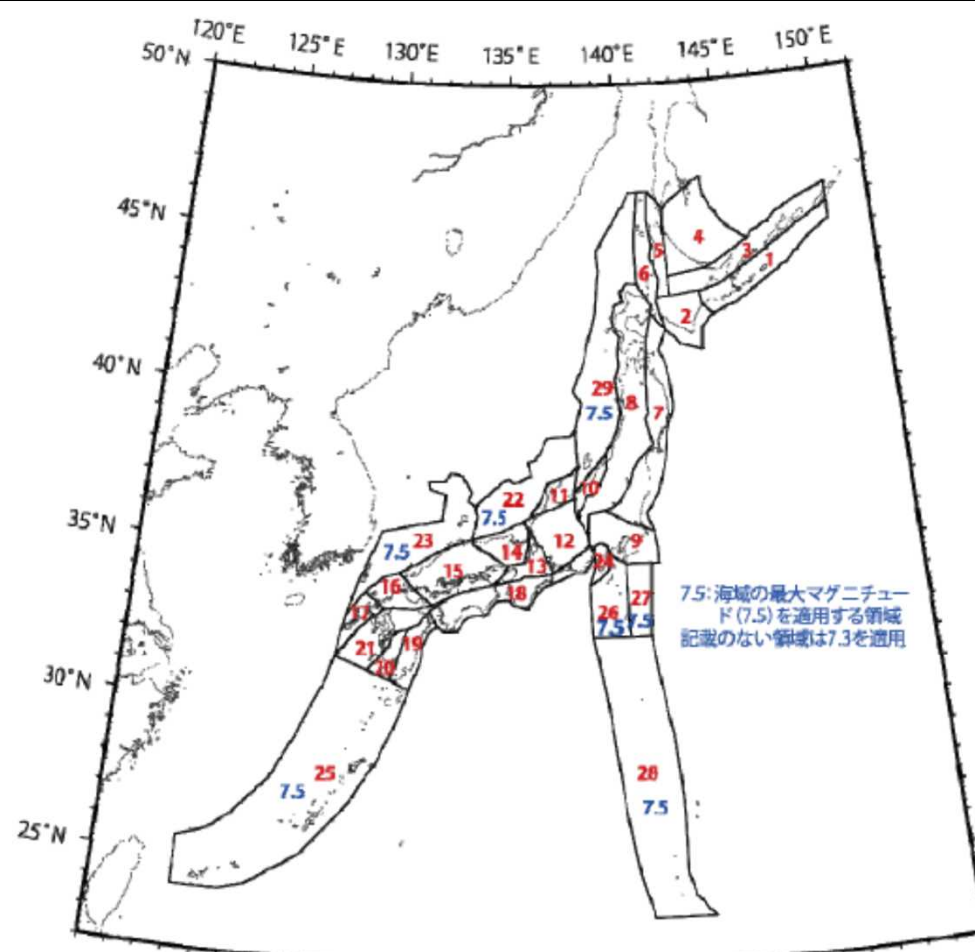
7. 基準地震動の超過確率の参照

各領域において考慮する最大Mの設定(内陸地殻内地震)

- 地震調査委員会(2013)における各領域における内陸地殻内地震の震源モデルでは、下図のとおり、「モデル1」及び「モデル2」について、それぞれ最大マグニチュードが設定されている。
- 敷地における地震ハザード評価においては、「モデル1」及び「モデル2」について、ロジックツリーの分岐で、それぞれの最大マグニチュードを参照することとする。



内陸地殻内地震(モデル1)

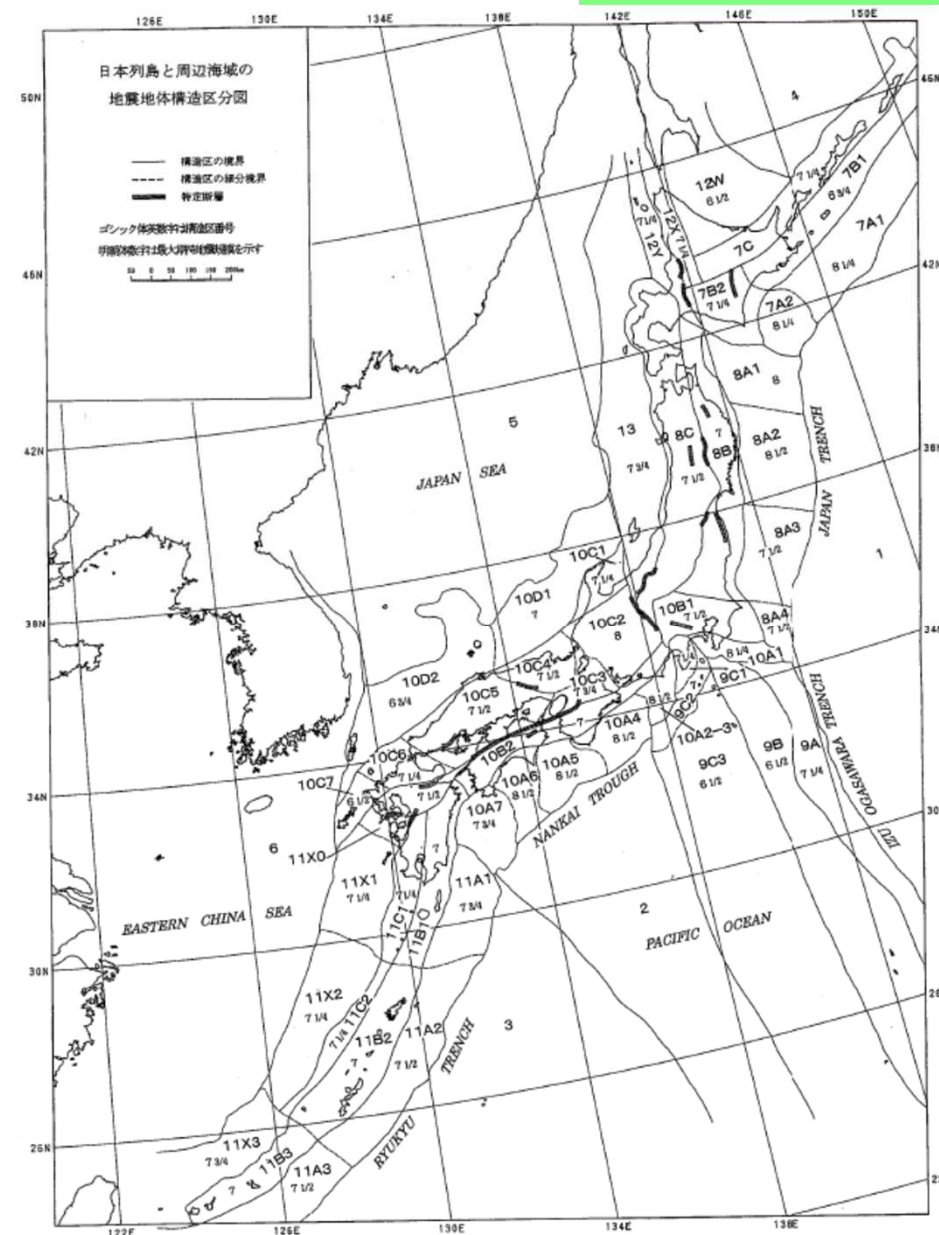


内陸地殻内地震(モデル2)

7. 基準地震動の超過確率の参照

各領域において考慮する最大Mの設定(内陸地殻内地震)

- 領域区分
 - ✓ 地震調査委員会(2013)における陸域の領域区分の考え方は、垣見ほか(2003)による地震地体構造区分に基づき区分されている。
- 各領域の最大地震規模
 - ✓ 垣見ほか(2003)では、陸域の各領域について、領域内の歴史地震の最大規模および内陸の起震断層から予想される地震の最大規模に基づき、各領域の最大地震規模を設定している。
 - ✓ 地震調査委員会(2013)における各領域の最大地震規模については、1600年以降に発生した地震のうち、活断層との対応が明確でない地震の最大規模を採用している。ただし、陸域についてはM6.8を、海域についてはM7.0をそれぞれ下限値としている。
- 敷地を含む領域(東北地方 太平洋側)の最大地震規模
 - ✓ 垣見ほか(2003)においては、敷地を含む領域(東北地方 太平洋側)において、M7.0が考慮されている。
 - ✓ 地震調査委員会(2013)の「モデル1」は、敷地を含む領域(東北地方 太平洋側)において、活断層との対応が明確でない地震について、M6.8を超えるものは無いことから領域に考慮する最大規模をM6.8と設定しており、「モデル2」ではM7.3としている。
 - ✓ 敷地における地震ハザード評価では上記モデル1とモデル2の両方を採用していることから、垣見ほか(2003)と比較して過小な設定とはなっていない。



垣見ほか(2003)における地震地体構造区分図

7. 基準地震動の超過確率の参照

ロジックツリー(領域震源 プレート間地震)

領域震源(プレート間地震)による地震のロジックツリーを以下のとおり設定する。

各領域の最大マグニチュード

地震調査委員会の
モデル

領域2(十勝沖・根室沖)

領域3(三陸沖北部)

領域4
(三陸沖北部から
房総沖の海溝寄り)

領域5
(三陸沖中部)

2/3

地震調査委員会
モデル1

6.9(震源不特定)
7.1(繰り返し以外特定震源)

7.0(震源不特定)
7.1~7.6(繰り返し以外特定震源)

8.0

8.0

1/3

地震調査委員会
モデル2

8.0

7.9

8.0

8.2

領域震源
(プレート間地震)

b値

評価手法

補正係数

ばらつき

ばらつきの
打ち切り

一定値
(0.9)

Noda et al.(2002)
を用いた評価

観測記録に基づく

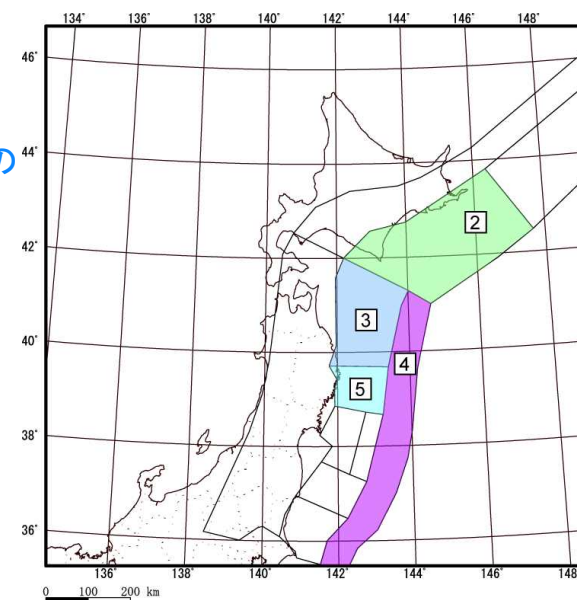
1/2

0.53

1/2

0.46

3σ



プレート間地震で考慮する領域

7. 基準地震動の超過確率の参照

ロジックツリー(領域震源 海洋プレート内地震)

領域震源(海洋プレート内地震)による地震のロジックツリーを以下のとおり設定する。

各領域の最大マグニチュード

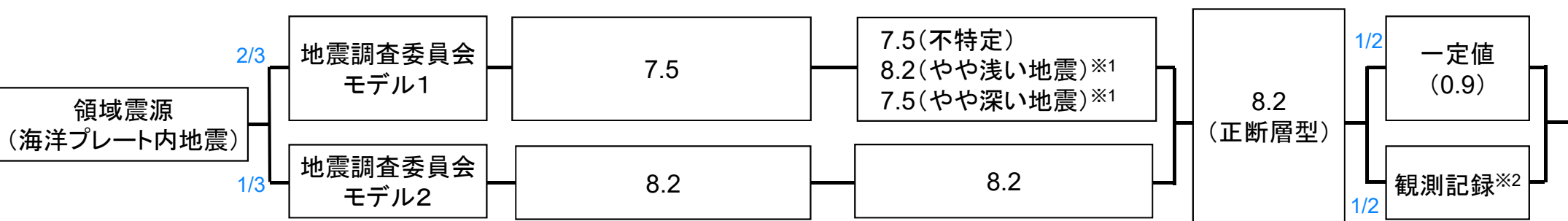
地震調査委員会の
モデル

領域3(三陸沖北部)
領域5(三陸沖中部)
領域11(陸域)

領域2(十勝沖・根室沖)
領域10(北海道)

領域4
(三陸沖から房総
沖の海溝寄り)

b値



評価手法

補正係数

ばらつき

ばらつきの
打ち切り

Noda et al.(2002)
を用いた評価

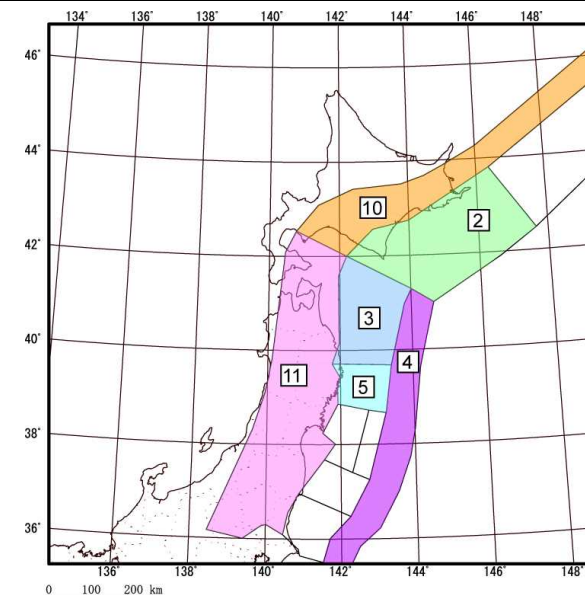
観測記録に基づく

0.53

0.46

3σ

※1:「千島海溝沿い」として考慮
※2:敷地に近い領域11のみ考慮



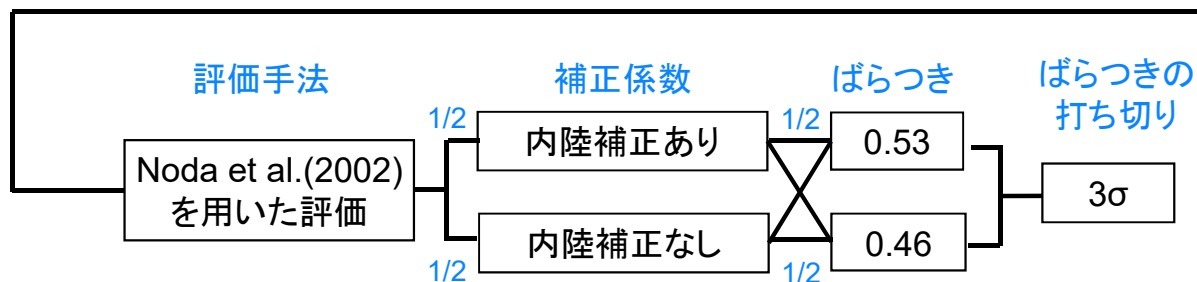
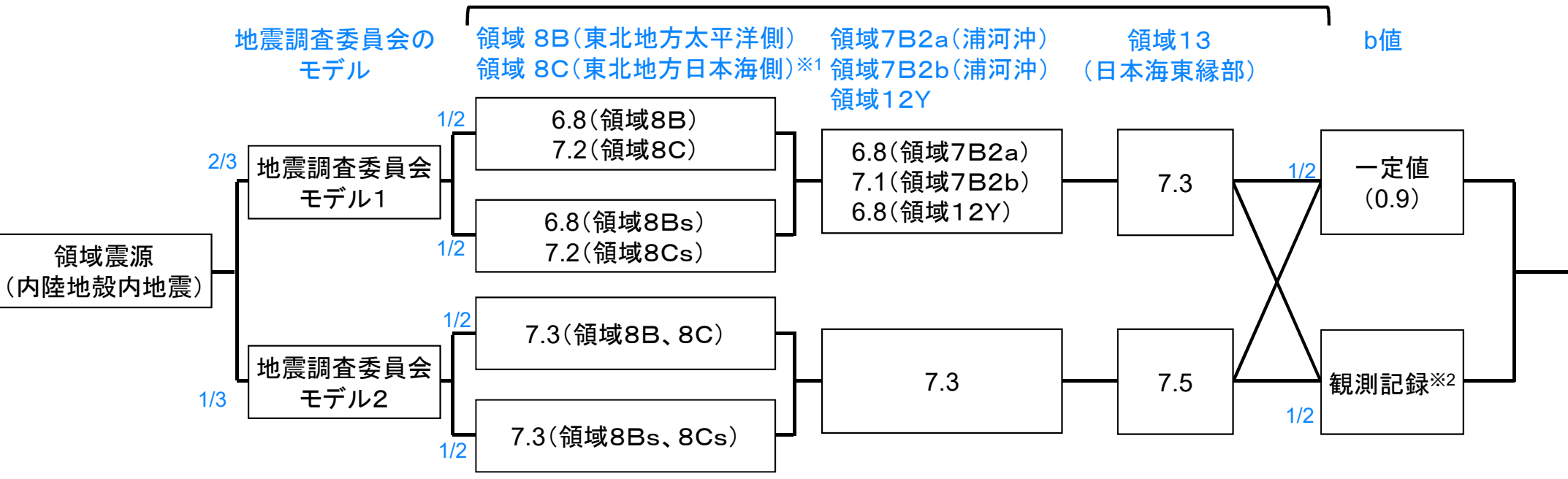
海洋プレート内地震で考慮する領域

7. 基準地震動の超過確率の参照

ロジックツリー(領域震源 内陸地殻内地震)

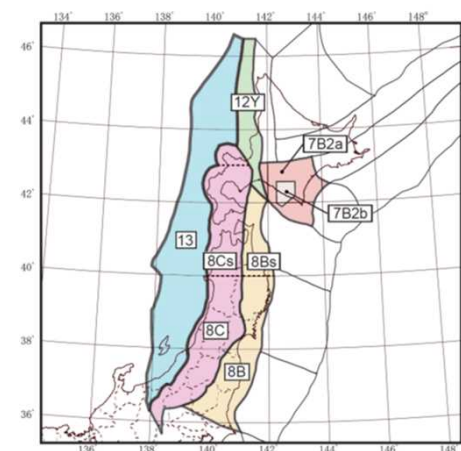
領域震源(内陸地殻内地震)による地震のロジックツリーを以下のとおり設定する。

各領域の最大マグニチュード



※1 領域8B, 8Cについては、北緯40° ~43° の範囲に限定した小領域(8Bs, 8Cs)を考慮した分岐を設ける。

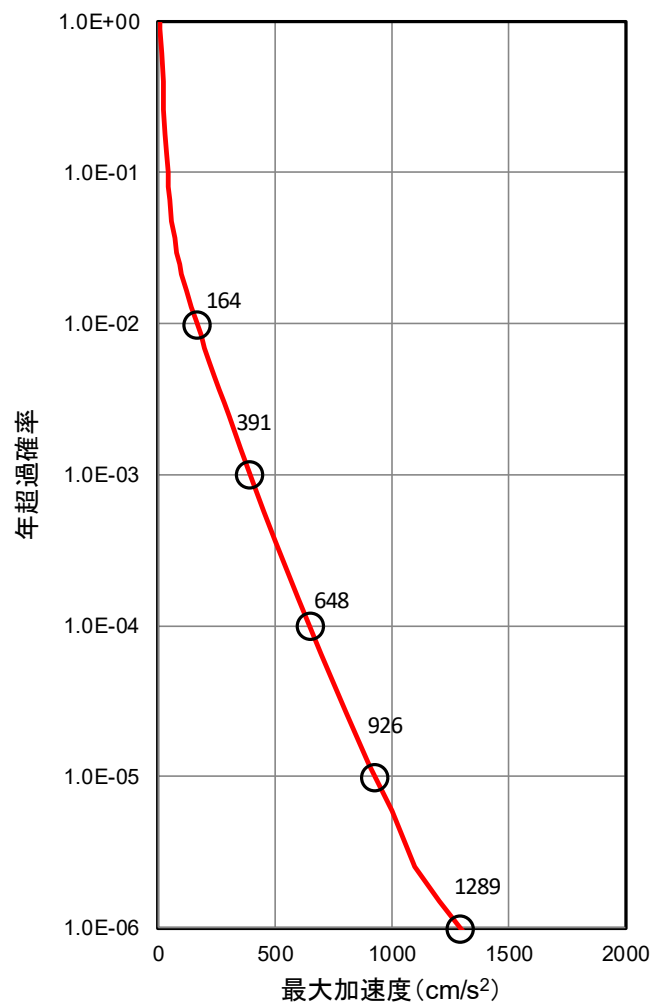
※2 敷地に近い領域8B, 8Bs, 8C, 8Csのみ考慮



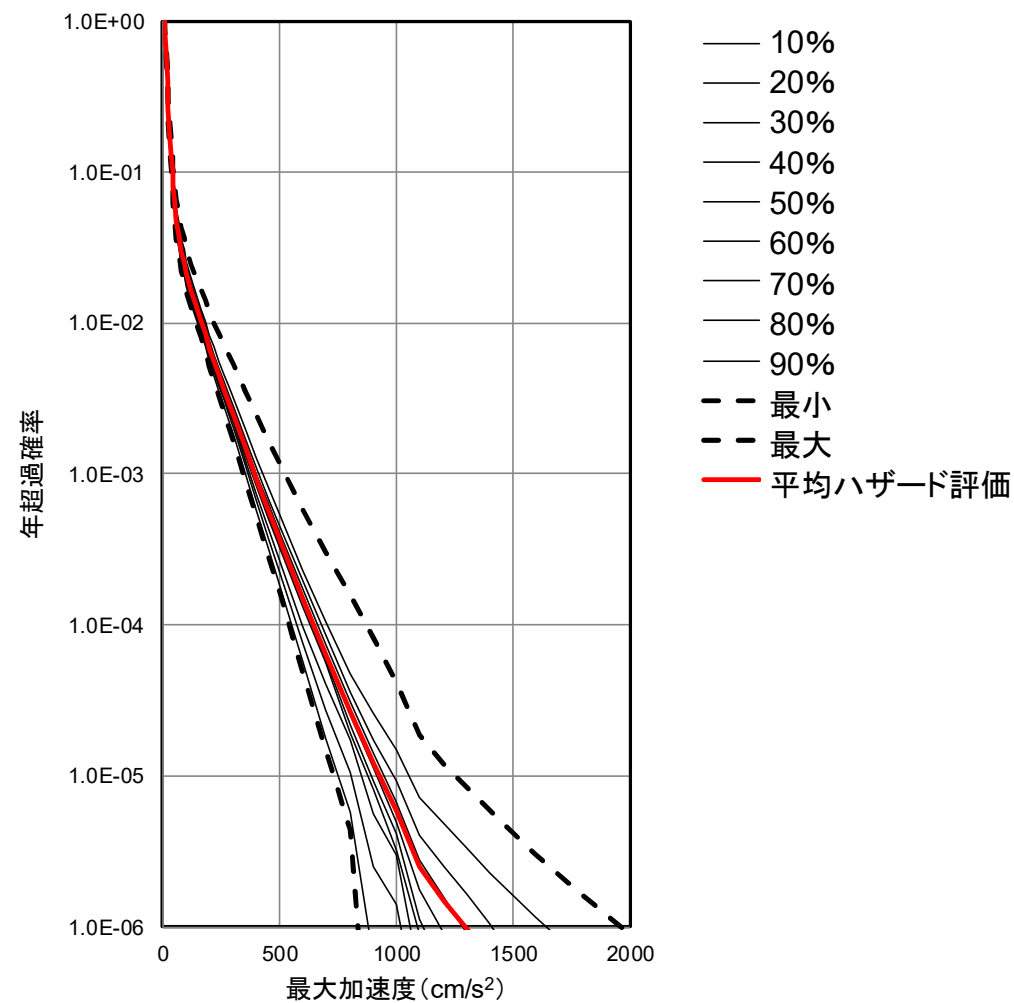
内陸地殻内地震で考慮する領域

7. 基準地震動の超過確率の参照 地震ハザード評価結果(1)

算出された周期0.02秒の平均ハザード曲線及びフラクタイルハザードを示す。



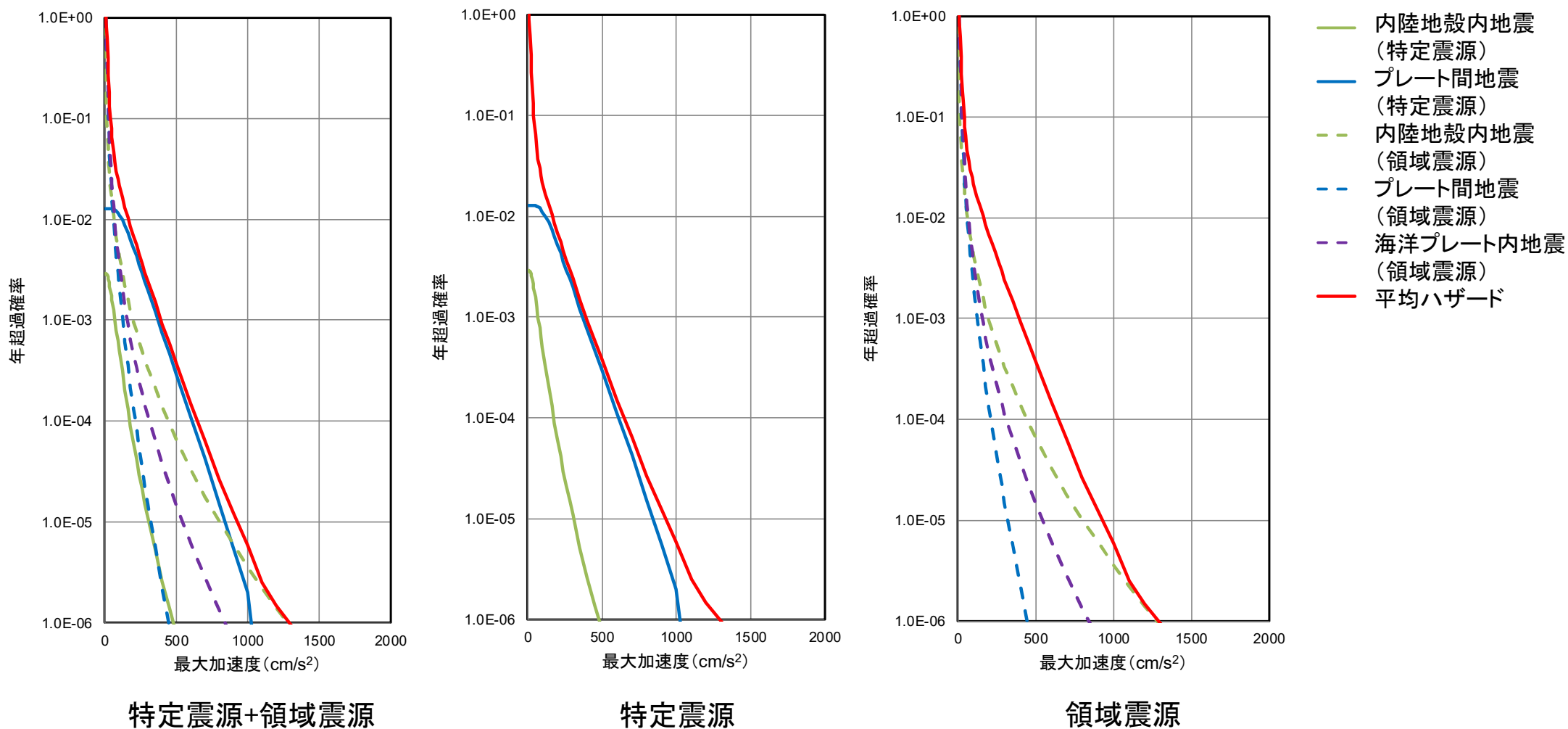
平均ハザード評価



平均ハザード評価とフラクタイルハザード

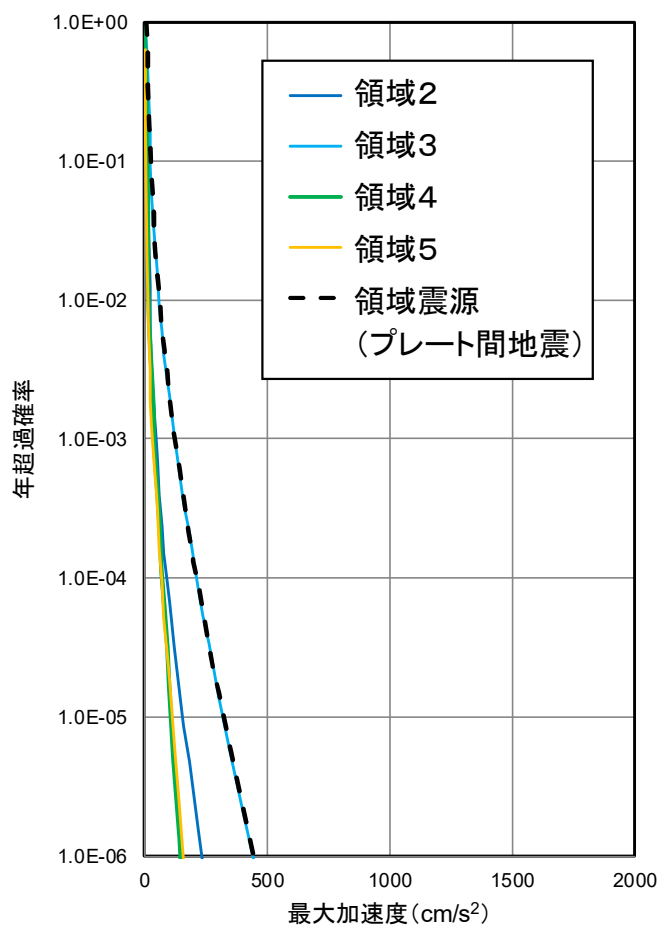
7. 基準地震動の超過確率の参照 地震ハザード評価結果(2)

- 周期0.02秒の平均ハザード曲線に対する各震源の影響度を示す。
- 特定震源は、プレート間地震の影響が大きい。
- 領域震源は、内陸地殻内地震の影響が大きい。

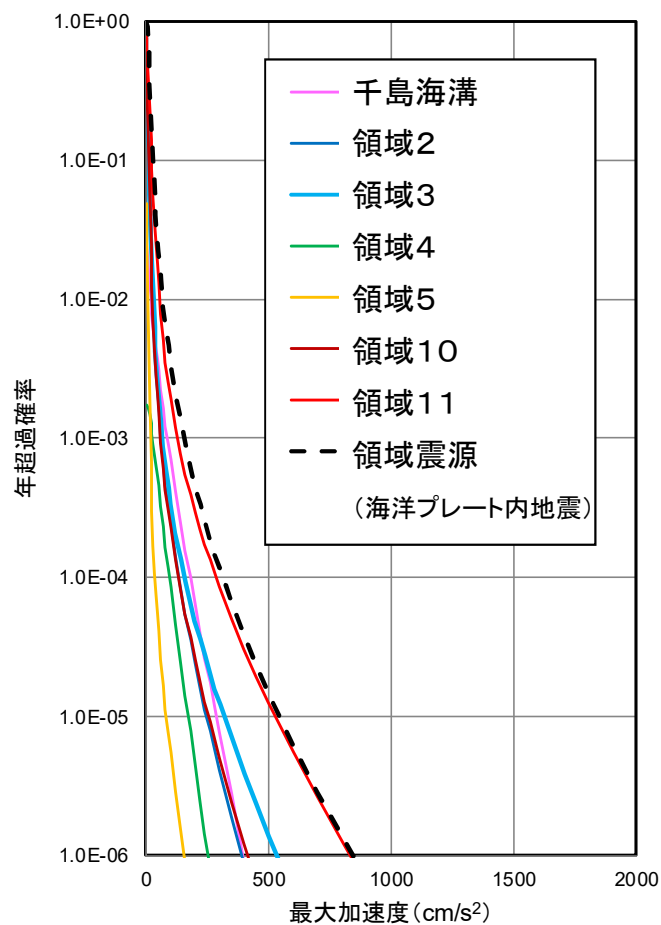


7. 基準地震動の超過確率の参照 地震ハザード評価結果(3)

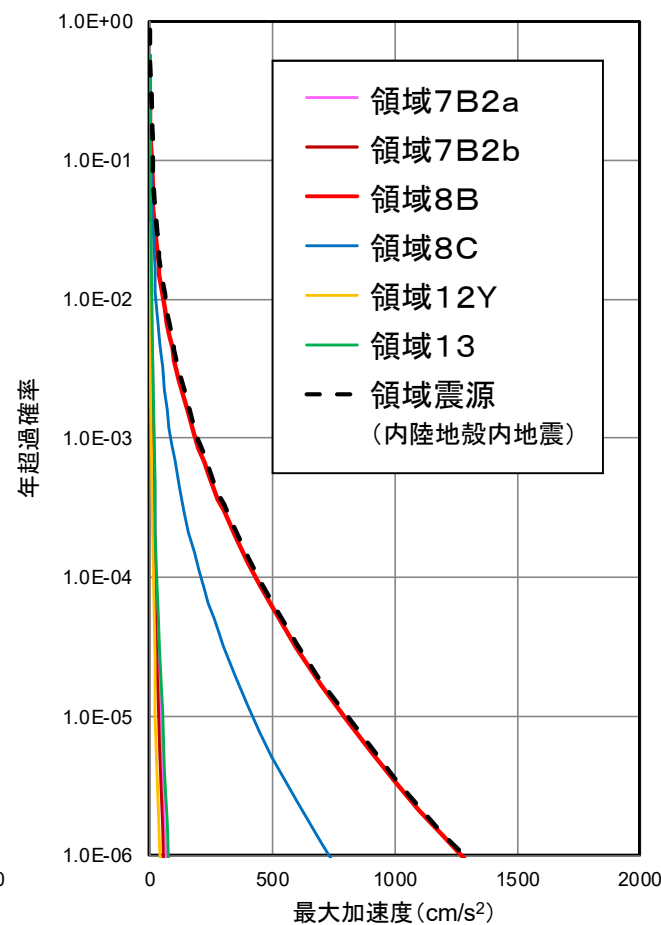
- 周期0.02秒の各地震発生様式で考慮した領域震源について、領域ごとの影響度を示す。
- 領域震源について、プレート間地震は敷地東面の領域3、海洋プレート内地震は敷地直下を含む領域11、内陸地殻内地震は敷地直下を含む領域8Bの影響が大きく、敷地に近い領域が支配的となっている。



プレート間地震



海洋プレート内地震

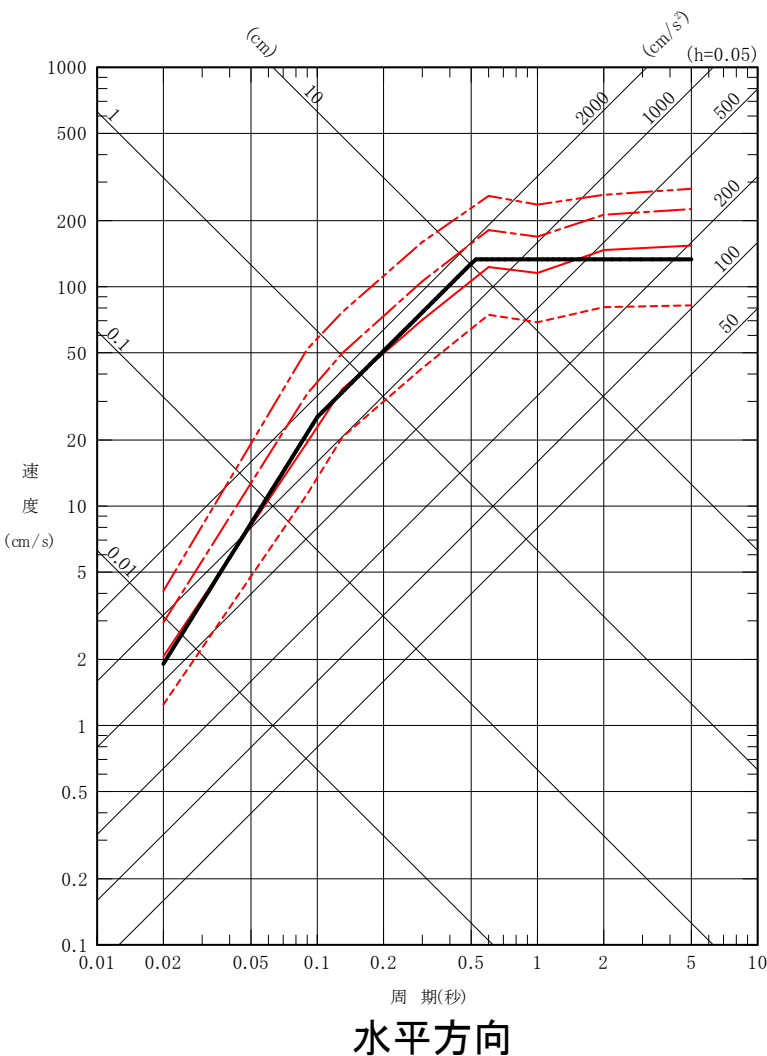


内陸地殻内地震

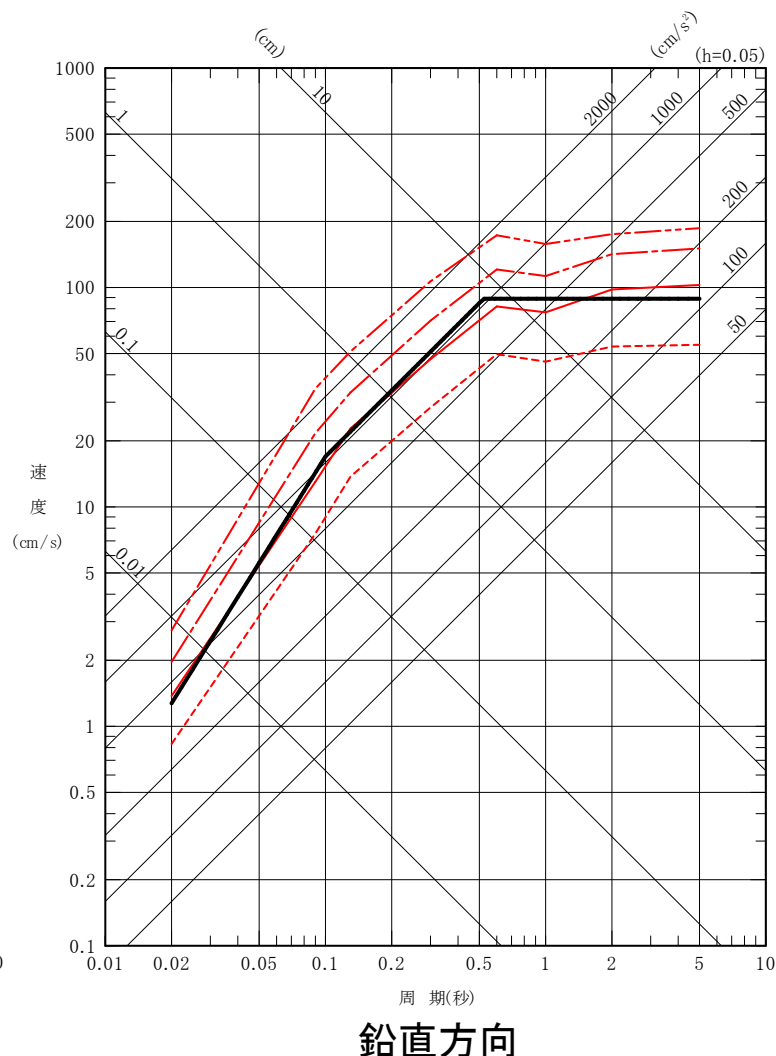
7. 基準地震動の超過確率の参照

超過確率の参照(一様ハザードスペクトルと基準地震動Ss-Aの比較)

- 一様ハザードスペクトルを基準地震動Ss-Aとあわせて示す。
- 基準地震動Ss-Aの年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度である。



水平方向



鉛直方向

一様ハザードスペクトルと基準地震動Ss-Aの比較

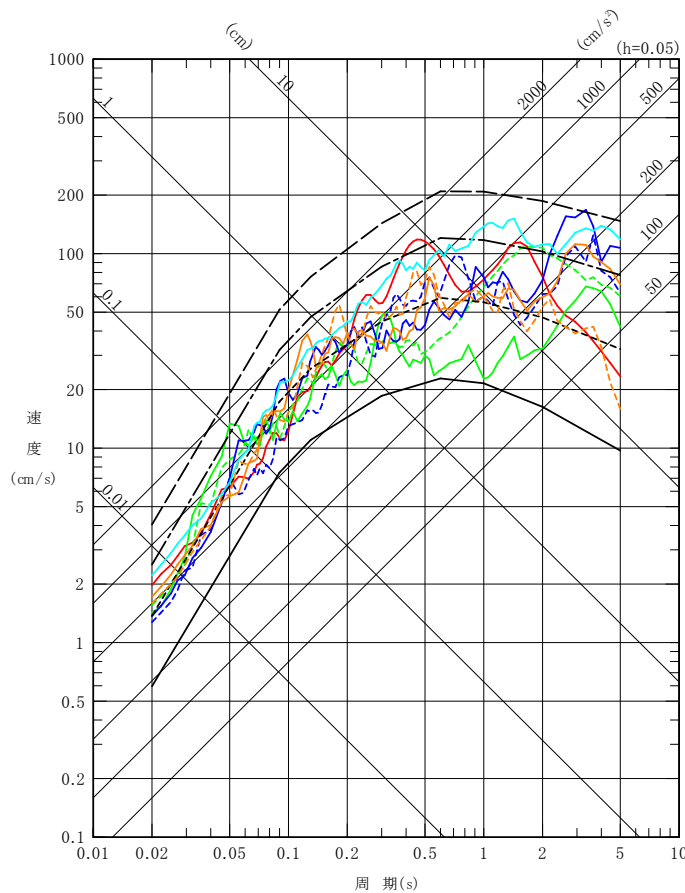
- 基準地震動Ss-A
- - - 一様ハザードスペクトル(年超過確率 10^{-3})
- - - 一様ハザードスペクトル(年超過確率 10^{-4})
- - - 一様ハザードスペクトル(年超過確率 10^{-5})
- - - 一様ハザードスペクトル(年超過確率 10^{-6})

※ 鉛直方向の一様ハザードスペクトルは、水平方向の評価結果に対し、基準地震動Ss-Aの水平方向と鉛直方向の比率を考慮して設定している。

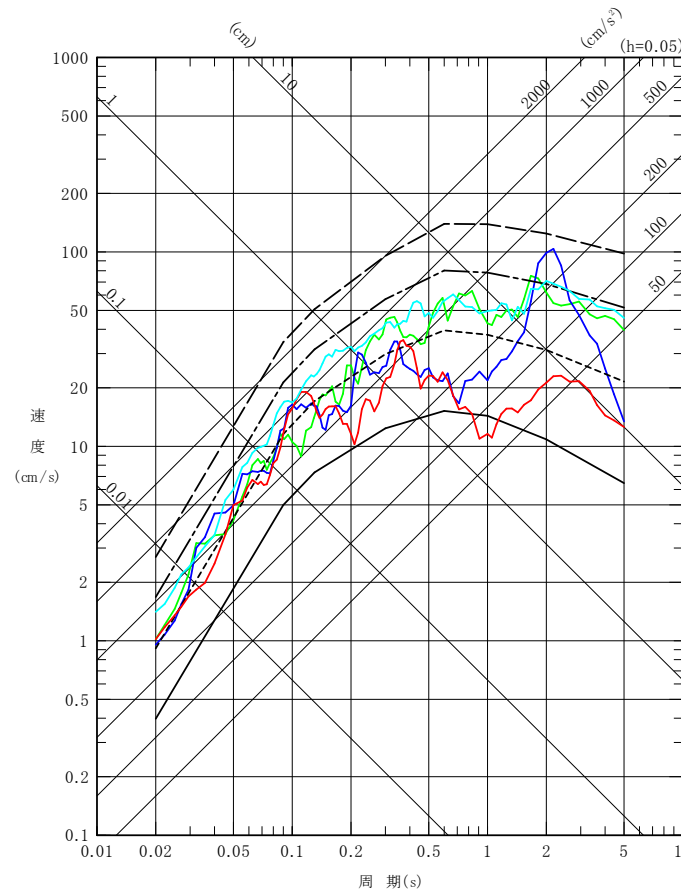
7. 基準地震動の超過確率の参照

領域震源(領域8B)の一様ハザードスペクトルと基準地震動Ss-B1~B5の比較 (令和4年1月申請)

- 敷地が位置する領域震源(領域8B)の一様ハザードスペクトルと、震源を特定せず策定する地震動に基づき策定している基準地震動Ss-B1~B5をあわせて示す。
- 領域震源(領域8B)の一様ハザードスペクトルとの比較によれば、基準地震動Ss-B1~B5の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度である。

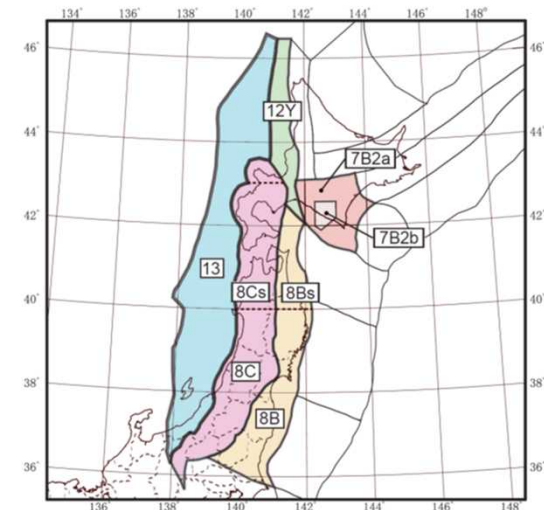


水平方向



鉛直方向

一様ハザードスペクトル(領域震源(領域8B))と基準地震動Ss-B1~B5の比較



内陸地殻内地震の評価で考慮する領域
(領域8B、8Cは、北緯 $40^{\circ} \sim 43^{\circ}$ の範囲に限定した小領域(8Bs、8Cs)を考慮した分岐を設ける)

- : 基準地震動Ss-B1
- : 基準地震動Ss-B2
- : 基準地震動Ss-B3
- : 基準地震動Ss-B4
- : 基準地震動Ss-B5
- : 一様ハザードスペクトル (年超過確率 10^{-3})
- : 一様ハザードスペクトル (年超過確率 10^{-4})
- : 一様ハザードスペクトル (年超過確率 10^{-5})
- : 一様ハザードスペクトル (年超過確率 10^{-6})

※ 鉛直方向の一様ハザードスペクトルは、水平方向の評価結果に対し、基準地震動Ss-Aの水平方向と鉛直方向の比率を考慮して設定している。

7. 基準地震動の超過確率の参照 まとめ(令和4年1月申請)

- 特定震源モデルおよび領域震源モデルに基づく地震ハザード評価を実施した。
- 一様ハザードスペクトルと基準地震動Ssの比較結果は以下のとおりである。
 - ✓ 基準地震動Ss-Aの年超過確率は、 10^{-4} ～ 10^{-5} 程度である。
 - ✓ 基準地震動Ss-B1～B5の年超過確率は、領域震源(領域8B)の一様ハザードスペクトルとの比較によれば、 10^{-4} ～ 10^{-5} 程度である。

参考文献(1)

1. 基準地震動の策定の概要

- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2017a): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
- 原子力規制委員会(2013): 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド
- 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大栄・上田圭一・壇一男(2004): 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル—地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討—, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, 46-86.
- Noda, S., K.Yashiro, K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and T.Watanabe(2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Oct.16-18, Istanbul

2. 敷地周辺の地震発生状況

- 気象庁(1951~2014): 地震月報, 地震・火山月報(カタログ編), 地震年報ほか
- 長谷川 昭, 海野徳仁, 高木章雄, 鈴木貞臣, 本谷義信, 亀谷 悟, 田中和夫, 澤田義博(1983): 北海道および東北地方における微小地震の震源分布—広域の験震データの併合処理—, 地震第2輯, 第36巻

3. 地下構造モデルの策定

- 原子力規制委員会(2013): 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド
- 独立行政法人 防災科学技術研究所: 広帯域地震観測網 F-net
- Kobayashi, K., T.Uetake, M.Mashimo and H.Kobayashi(2000): Estimation of deep underground velocity structures by inversion of spectral ratio of horizontal to vertical component in P-wave part of earthquake ground motion, 12th World Conf. Earthq. Eng., No.2658
- 小林喜久二, 植竹富一, 土方勝一郎(2005): 地震動の水平/上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法の標準化に関する検討、日本建築学会学術講演梗概集、B-2
- 小林喜久二, 久家英夫, 植竹富一, 真下貢, 小林啓美(1999): 伝達関数の多地点同時逆解析による地盤減衰の推定 その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 253-254
- KINOSHITA,S.(1992): Frequency dependent attenuation of shear waves in a sedimentary layers - basement system in the Kanto area, Japan, Proc.of International Symposium on Earthquake Disaster Prevention, Vol.1, pp.212-226
- 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, 446, 1-11
- 福島美光, 翠川三郎(1994): 周波数依存性を考慮した表層地盤の平均的な Q^{-1} 値とそれに基づく地盤増幅率の評価, 日本建築学会構造系論文集, 460, 37-46
- 岩田知孝, 入倉孝次郎(1986): 観測された地震波から震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み, 地震第2輯, 39, 151-156

参考文献(2)

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4. 1プレート間地震

- Noda, S., K.Yashiro, K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and T.Watanabe(2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Oct.16-18, Istanbul
- 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
- 気象庁(1951~2014): 地震月報, 地震・火山月報(カタログ編), 地震年報ほか
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2004a): 三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について
- 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ピ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回年次大会概要集
- 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
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2004b): 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)について
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2017b): 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)
- 中央防災会議(2004): 「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(第5回)
- 永井理子, 菊地正幸, 山中佳子(2001): 三陸沖における再来大地震の震源過程の比較研究—1968年十勝沖地震と1994年三陸はるか沖地震の比較—, 地震第2輯, 第54巻
- Kurahashi, S. and Irikura, K. (2013): Short-period source model of the 2011 Mw9.0 Off the Pacific coast of Tohoku earthquake. Bulletin of Seismological Society of America, 103 (2B), 1373-1393.
- 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
- 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, 923-932
- 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—, 2日本建築学会構造系論文集, 第77巻, 第675号, 695-704
- 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001): 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 545, 51-62.
- 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, 土木学会論文集 A, Vol. 62, No. 4, 740-757.
- 佐藤良輔(1989): 日本の地震断層パラメータ・ハンドブック, 鹿島出版会

参考文献(3)

- 川瀬博, 松尾秀典(2004): K-NET, KiK-net, JMA震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第1号, 33-52
- 佐藤智美, 川瀬博, 佐藤俊明(1994): ボアホール観測記録を用いた表層地盤同定手法による工学的基盤波の推定及びその統計的経時特性, 日本建築学会構造系論文集, 第461号
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2017a): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)

4.2 海洋プレート内地震

- 気象庁(1951~2014): 地震月報, 地震・火山月報(カタログ編), 地震年報ほか
- Kosuga, M., T. Sato, A. Hasegawa, T. Matsuzawa, S. Suzuki, and Y. Motoya(1996): Spatial distribution of intermediate-depth earthquakes with horizontal or vertical nodal planes beneath northeastern Japan, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 93.
- Kita, S., T. Okada, A. Hasegawa, J. Nakajima and T. Matsuzawa(2010): Existence of interplane earthquakes and neutral stress boundary between the upper and lower planes of the double seismic zone beneath Tohoku and Hokkaido, northeastern Japan, *Tectonophysics*
- Seno, T., and M. Yoshida(2004): Where and why do large shallow intraslab earthquakes occur? *Phys Earth Planet. Inter.* 141, 2004
- Noda, S., K.Yashiro, K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and T.Watanabe(2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Oct.16-18, Istanbul
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2014): 全国地震動予測地図2014年版 ~全国の地震動ハザードを概観して~
- 小林喜久二, 植竹富一, 土方勝一郎: 地震動の水平/上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法の標準化に関する検討、日本建築学会学術講演梗概集、B-2,2005
- J-SHIS 地震ハザードステーション: <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>.
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2017a): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
- 佐藤智美, 巽誉樹(2002): 全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性, 日本建築学会構造系論文集, 第556号, pp.15-24
- Geller, R.J.(1976): Scaling Relations for Earthquake Source Parameters and Magnitudes, *Bull. Seismo. Soc. Am.*, Vol.66
- 浅野公之, 岩田知孝, 入倉孝次郎(2004): 2003年5月26日に宮城県沖で発生したスラブ内地震の震源モデルと強震動シミュレーション, 地震第2輯, 第57巻

参考文献(4)

4.3 内陸地殻内地震

- 独立行政法人 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, 平成16年8月
- 入倉孝次郎,三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110(6), 849-875
- 吉井弘治,伊藤潔(2001):近畿地方北部の地震波速度構造と地震発生層,地球惑星科学連合学会2001年合同大会,Sz-P006
- 廣瀬一聖,伊藤潔(2006):広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定,京都大学防災研究所年報,第49号B,307-321
- 長谷川昭,中島淳一,海野徳仁,三浦哲,諏訪謡子(2004):東北日本弧における地殻の変形と内陸地震の発生様式,地震,第2輯,第56巻,413-424
- 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
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2004):青森湾西岸断層帯の長期評価、津軽山地西縁断層帯の長期評価
- 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, 第4号
- 勝又 護, 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
- Noda, S., K.Yashiro, K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and T.Watanabe(2002):RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Oct.16-18, Istanbul
- Stirling, M. W., Rhoades, D. and Berryman, K.(2002):Comparison of earthquake scaling relations derived from data of the instrumental and preinstrumental era, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 92, 2002, pp.812-830.
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2017a):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
- 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001):断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化、日本建築学会構造系論文集、545、51-62.
- Geller,R.J.(1976):Scaling Relations for Earthquake Source Parameters and Magnitudes,Bull.Seismo.Soc.Am.,Vol.66
- 川瀬博, 松尾秀典(2004):K-NET, KiK-net, JMA震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第1号, 33-52
- 鶴来雅人・田居優・入倉孝次郎・古和田明(1997):経験的サイト増幅特性評価手法に関する検討, 地震2, 50, 215-227

参考文献(5)

5. 震源を特定せず策定する地震動

- 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
- 岡田知己・海野徳仁・長谷川昭(2008): 震源域の地下構造からみたマグマ・地殻流体との関係, 科学, 78, 978-984.
- 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, 25-34.
- 遠田晋次・丸山 正・吉見雅行・金田平太郎・栗田泰夫・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, 153-178.
- 布原啓史・吉田武義・山田亮一(2008): 地理情報システムを用いた地震災害とカルデラ構造との関連の検討, 地質学会webサイト <http://www.geosociety.jp/hazard/content0035.html>
- 井口隆・大八木規夫・内山庄一郎・清水文健(2010): 2008年岩手・宮城内陸地震で起きた地すべり災害の地形地質学的背景, 防災科学技術研究所, 主要災害調査第43号, 2010年3月.
- 気象庁(2000): 気象庁の発震機構解2000年10月, <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/mech/pdf/mc200010.pdf>
- 岡田篤正(2002): 山陰地方の活断層の諸特徴, 活断層研究, No.22, 17-32.
- 堤浩之・隈元崇・奥村晃史・中田高(2000): 鳥取県西部地震震源域の活断層, 月刊地球/号外, 31, 81-86.
- 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, 557-573.
- 佐藤浩章・芝良昭・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年留萌支庁南部地震の地震による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
- 震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム(2019): 全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」に関する検討報告書、令和元年8月7日

参考文献(6)

6. 基準地震動の策定

- Noda,S.,K.Takahashi,M.Takemura,S.Ohno,M.Tohdo and T.Watanabe(2002):RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES,OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis,Oct.16-18,Istanbul
- 一般社団法人日本電気協会(2008):原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008

7. 基準地震動の超過確率の参照

- 社団法人日本原子力学会(2007):原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準:2007
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2013):今後の地震動ハザード評価に関する検討~2013年における検討結果~
- Noda、S.、K.Takahashi、M.Takemura、S.Ohno、M.Tohdo and T.Watanabe(2002):RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES、OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis、Oct.16-18、Istanbul
- 奥村俊彦・渡辺基史・藤原広行(2004):2003年十勝沖地震の本震・余震記録に基づく最大速度のばらつきの検討、日本地震学会講演予稿集、2004年度秋季大会、B26.
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2004):三陸沖北部の地震を想定した強震動評価
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2017b):千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)
- 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、269-284
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2004):津軽山地西縁断層帯の長期評価
- 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層、東京大学出版会
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2005):「全国を概観した地震動予測地図」報告書
- 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