

大間原子力発電所審査資料	
資料番号	OM1-CA160-R00
提出年月日	2021年11月11日

大間原子力発電所
震源を特定せず策定する地震動について

2021年11月

電源開発株式会社

大間原子力発電所

震源を特定せず策定する地震動について

2021年11月11日

電源開発株式会社

○ 「第615回審査会合」及び「第646回審査会合」での資料の誤りに関わる対応を踏まえ、本資料にて過去の審査会合資料を引用する際の注記を下記のとおりとする。

・ 右上の注記

再掲：過去の審査会合資料を、そのまま引用する場合

一部修正：過去の審査会合資料の内容を、一部修正する場合

誤りを修正：過去の審査会合資料の誤りを、正しい記載とする場合

・ 左下の注記

修正した誤りの内容を記載（誤りの修正がある場合）

(余白)

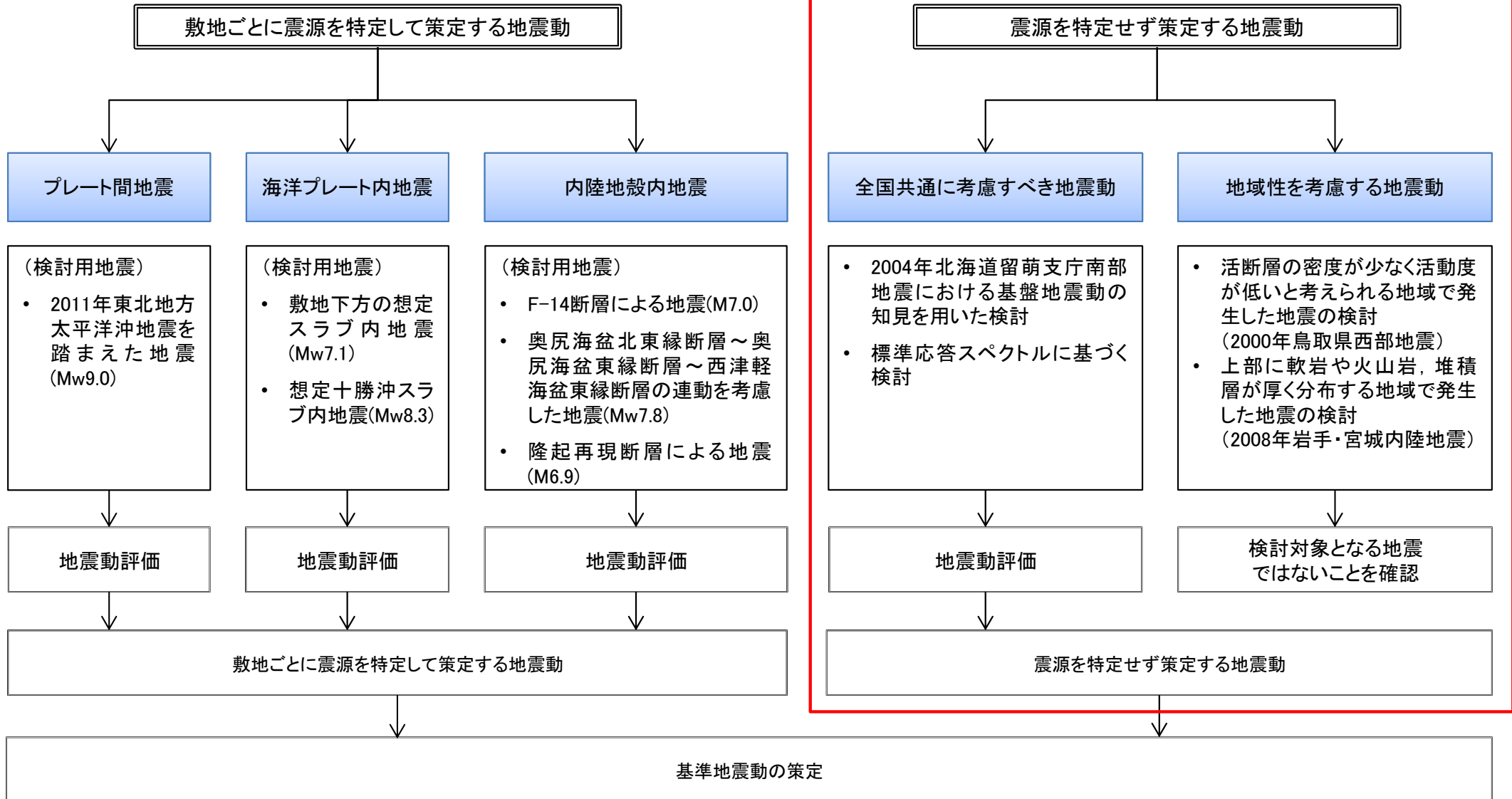
1. はじめに
 - 1.1 基準地震動策定の全体フロー
 - 1.2 申請後に得られた知見の反映や先行炉の審査を踏まえた主な変更点
2. 震源を特定せず策定する地震動の検討概要
 - 2.1 審査ガイド等の記載事項を踏まえた震源を特定せず策定する地震動の検討方針
 - 2.2 震源を特定せず策定する地震動の検討フロー
3. 全国共通に考慮すべき地震動の評価
 - 3.1 2004年北海道留萌支庁南部地震における基盤地震動の知見を用いた検討
 - 3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見
 - 3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動
 - 3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討
 - 3.1.4 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する基盤地震動
 - 3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正
 - 3.1.6 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.2 標準応答スペクトルに基づく検討
 - 3.2.1 標準応答スペクトル
 - 3.2.2 評価方針
 - 3.2.3 模擬地震波の作成
 - 3.2.4 代表波の選定
 - 3.2.5 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.3 全国共通に考慮すべき地震動の評価のまとめ
4. 地域性を考慮する地震動の評価
 - 4.1 地域性を考慮する地震動の選定
 - 4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討
 - 4.3 2008年岩手・宮城内陸地震の予見性
 - 4.4 地域性を考慮する地震動の評価のまとめ
5. 震源を特定せず策定する地震動



本資料における説明範囲

・本資料において、基準地震動の策定に関する評価のうち、震源を特定せず策定する地震動の評価について説明する。

本資料における説明範囲



主な変更点

【2014年12月変更申請】

①全国共通に考慮すべき地震動の評価

- ・ 敷地周辺の地域特性を踏まえて想定される「震源を特定しない地震」の規模を踏まえた上で、以下の知見を考慮。
 - 国内外における震源近傍の地震観測記録に基づく「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」として「加藤ほか(2004)の応答スペクトル」を考慮。
 - 2004年北海道留萌支庁南部の地震の観測記録に関する知見として「佐藤ほか(2013)の基盤地震動」を考慮。

②地域性を考慮する地震動の評価

- ・ 2008年岩手・宮城内陸地震については、ひずみ集中帯で発生した地震であり、敷地付近はひずみ集中帯のような構造体には位置していないことから、評価対象とはしていない。

【2014年12月変更申請時からの主な変更点】

①全国共通に考慮すべき地震動の評価

- ・ 2021年4月に改正された「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」等を踏まえ、「標準応答スペクトル」を考慮した地震動の評価を行った。(2021年10月補正申請済み)
- ・ 2004年北海道留萌支庁南部の地震の観測記録に関する知見として評価に用いた「佐藤ほか(2013)の基盤地震動」に対して、2014年12月変更申請後に得られたあらたな知見や審査動向を反映するとともに、深部地下構造モデルの、解放基盤表面における地震動を評価する位置(基盤の地震動を評価する位置)の地盤物性を加味して、評価を見直した。
- ・ なお、2014年12月変更申請時に考慮していた「加藤ほか(2004)の応答スペクトル」については、「標準応答スペクトル」がこれを上回る地震動レベルとして策定されていることから、震源を特定せず策定する地震動として考慮しない。

②地域性を考慮する地震動の評価

- ・ 2008年岩手・宮城内陸地震の評価に関して、2014年12月変更申請後に得られた新たな知見を踏まえ、以下のとおり評価を見直した。
 - 「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」に則る調査を実施することにより、地震発生前に震源として考慮する活断層の位置及び規模を想定可能な地震であり、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価対象に分類されるため、検討対象地震として選定しない。
 - 敷地周辺は、本地震の震源断層の位置及び規模を推定可能とする調査と同等以上の調査が実施されており、その結果、本地震の震源断層に該当するような伏在する活断層は想定されない。

1. はじめに
 - 1.1 基準地震動策定の全体フロー
 - 1.2 申請後に得られた知見の反映や先行炉の審査を踏まえた主な変更点
2. 震源を特定せず策定する地震動の検討概要
 - 2.1 審査ガイド等の記載事項を踏まえた震源を特定せず策定する地震動の検討方針
 - 2.2 震源を特定せず策定する地震動の検討フロー
3. 全国共通に考慮すべき地震動の評価
 - 3.1 2004年北海道留萌支庁南部地震における基盤地震動の知見を用いた検討
 - 3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見
 - 3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動
 - 3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討
 - 3.1.4 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する基盤地震動
 - 3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正
 - 3.1.6 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.2 標準応答スペクトルに基づく検討
 - 3.2.1 標準応答スペクトル
 - 3.2.2 評価方針
 - 3.2.3 模擬地震波の作成
 - 3.2.4 代表波の選定
 - 3.2.5 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.3 全国共通に考慮すべき地震動の評価のまとめ
4. 地域性を考慮する地震動の評価
 - 4.1 地域性を考慮する地震動の選定
 - 4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討
 - 4.3 2008年岩手・宮城内陸地震の予見性
 - 4.4 地域性を考慮する地震動の評価のまとめ
5. 震源を特定せず策定する地震動



検討方針

- 敷地における震源を特定せず策定する地震動は、「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」の別記2において、『「震源を特定せず策定する地震動」は、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の地震について得られた震源近傍における観測記録を基に、各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定すること。』とされていること、及び審査ガイドの記載を踏まえて策定する。

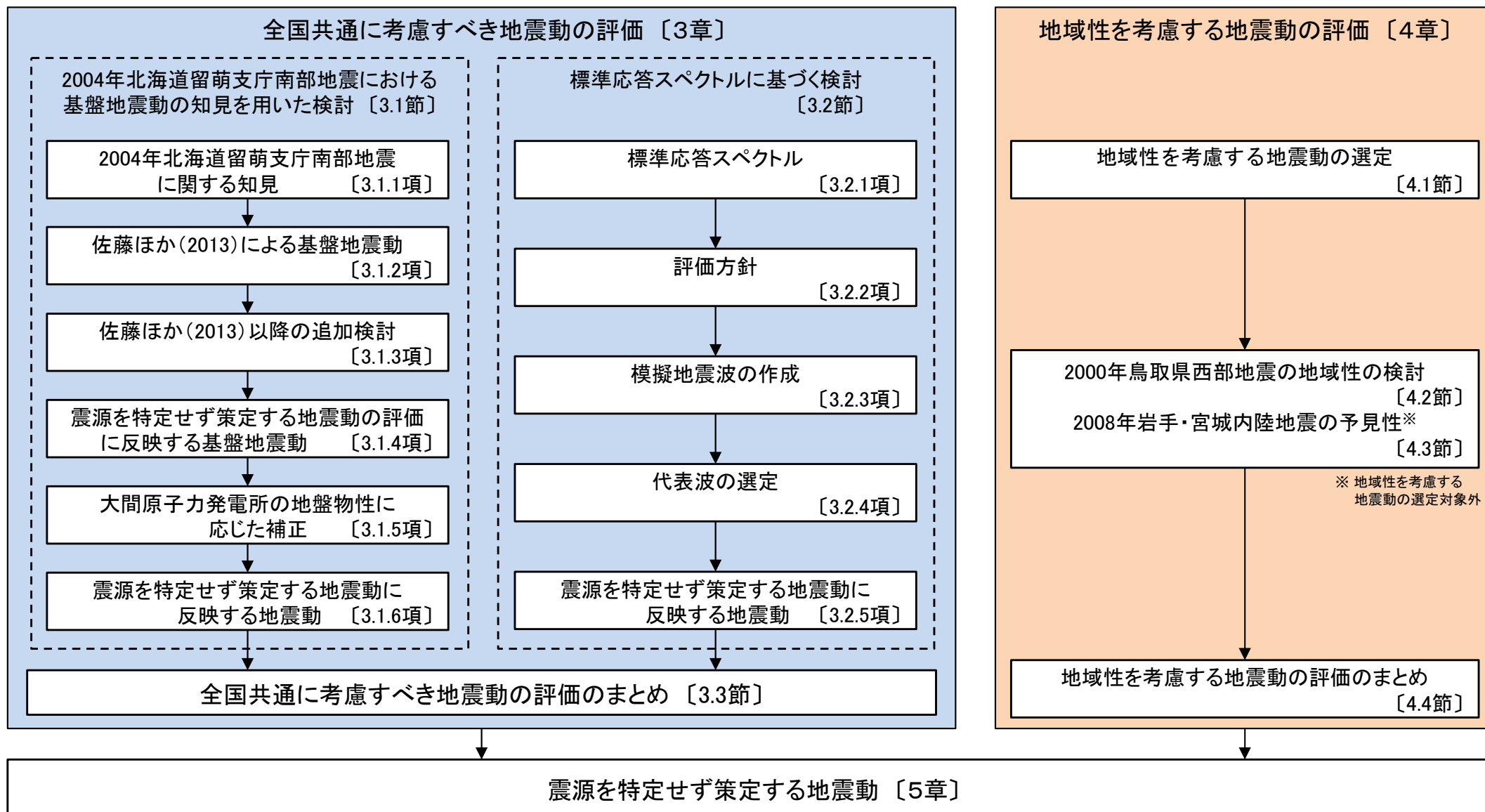
	審査ガイド等の記載	大間原子力発電所における検討
全国共通に考慮すべき地震動	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 許可基準解釈別記2第4条第5項第3号②に掲げる知見を用いて解放基盤表面における応答スペクトル(地震動レベル)が設定されていること。(別記2の記載は下記参照) <ul style="list-style-type: none"> • 2004年北海道留萌支庁南部の地震において、防災科学技術研究所が運用する全国強震観測網の港町観測点における観測記録から推定した基盤地震動 • 震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面(地震基盤からの地盤増幅率が小さく地震動としては地震基盤面と同等とみなすことができる地盤の解放面で、せん断波速度$V_s=2200\text{m/s}$以上の地層をいう。)における標準的な応答スペクトル(以下「標準応答スペクトル」という。) 	<ul style="list-style-type: none"> • 解釈 別記2に記載の、2004年北海道留萌支庁南部の地震の基盤地震動及び「標準応答スペクトル」の知見を用いて地震動を評価する。
地域性を考慮する地震動	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 「地域性を考慮する地震動」の検討対象地震の選定においては、「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」についても検討を加え、必要に応じて選定していること。 	<ul style="list-style-type: none"> • 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として、「2000年鳥取県西部地震」及び「2008年岩手・宮城内陸地震」を選定し、これら地震を考慮する必要がないことを確認する。

2.2 震源を特定せず策定する地震動の検討フロー



検討フロー

- 本資料における、震源を特定せず策定する地震動の評価として、「全国共通に考慮すべき地震動」及び「地域性を考慮する地震動」の評価について検討フローを示す。

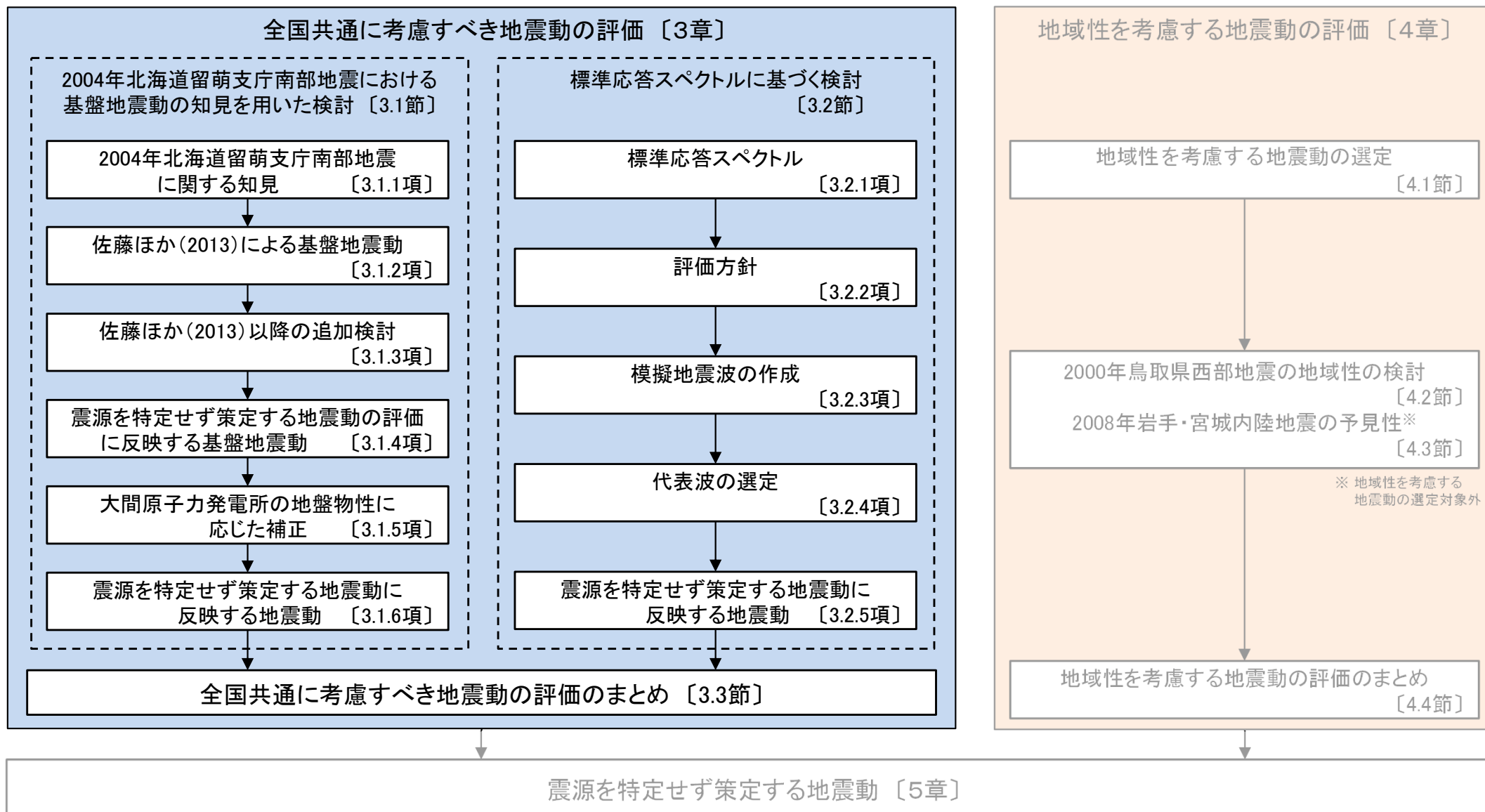


1. はじめに
 - 1.1 基準地震動策定の全体フロー
 - 1.2 申請後に得られた知見の反映や先行炉の審査を踏まえた主な変更点
2. 震源を特定せず策定する地震動の検討概要
 - 2.1 審査ガイド等の記載事項を踏まえた震源を特定せず策定する地震動の検討方針
 - 2.2 震源を特定せず策定する地震動の検討フロー
3. 全国共通に考慮すべき地震動の評価
 - 3.1 2004年北海道留萌支庁南部地震における基盤地震動の知見を用いた検討
 - 3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見
 - 3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動
 - 3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討
 - 3.1.4 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する基盤地震動
 - 3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正
 - 3.1.6 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.2 標準応答スペクトルに基づく検討
 - 3.2.1 標準応答スペクトル
 - 3.2.2 評価方針
 - 3.2.3 模擬地震波の作成
 - 3.2.4 代表波の選定
 - 3.2.5 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.3 全国共通に考慮すべき地震動の評価のまとめ
4. 地域性を考慮する地震動の評価
 - 4.1 地域性を考慮する地震動の選定
 - 4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討
 - 4.3 2008年岩手・宮城内陸地震の予見性
 - 4.4 地域性を考慮する地震動の評価のまとめ
5. 震源を特定せず策定する地震動

3. 全国共通に考慮すべき地震動の評価

本章の説明箇所

- 本章において、「全国共通に考慮すべき地震動」の評価について説明する。

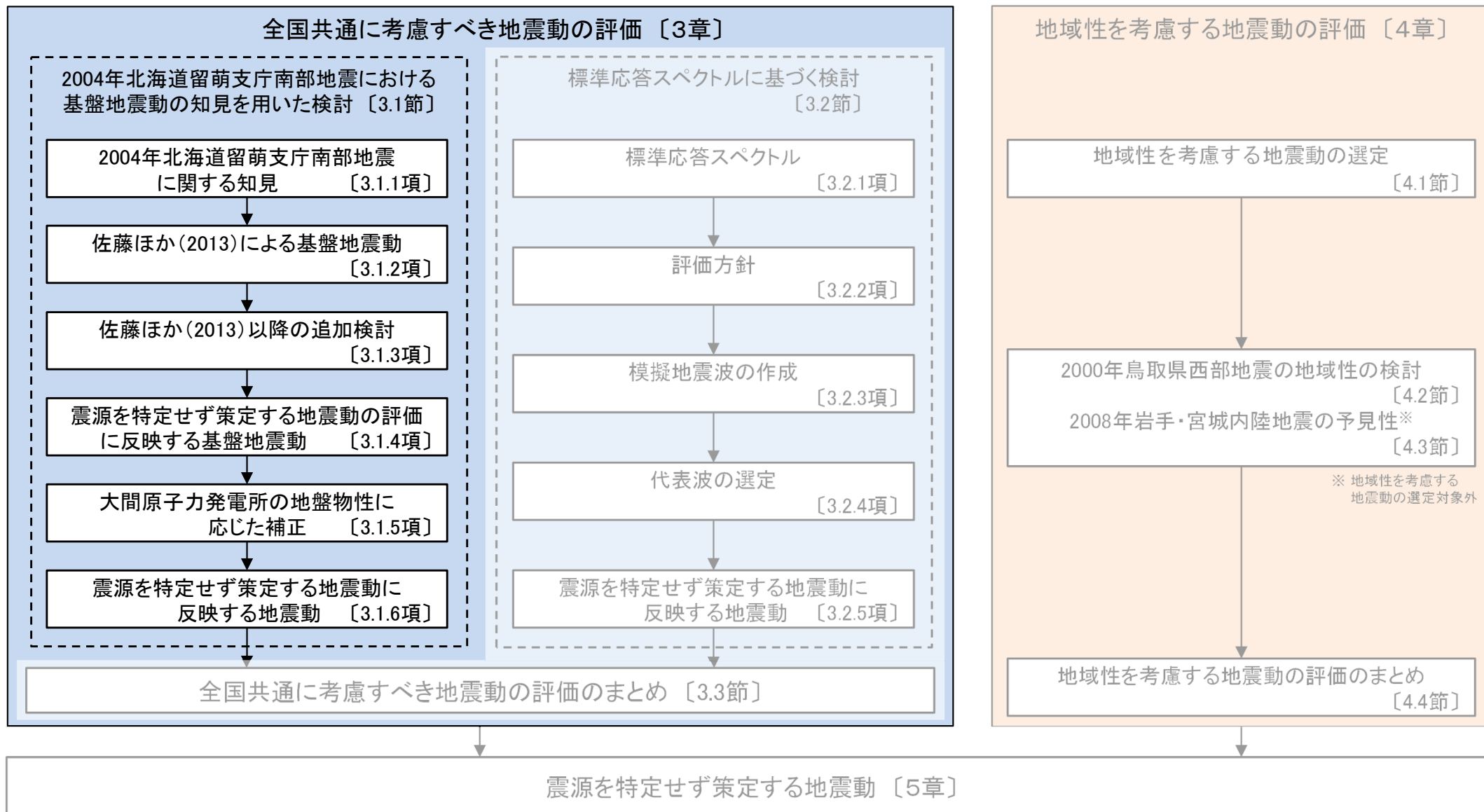


1. はじめに
 - 1.1 基準地震動策定の全体フロー
 - 1.2 申請後に得られた知見の反映や先行炉の審査を踏まえた主な変更点
2. 震源を特定せず策定する地震動の検討概要
 - 2.1 審査ガイド等の記載事項を踏まえた震源を特定せず策定する地震動の検討方針
 - 2.2 震源を特定せず策定する地震動の検討フロー
3. 全国共通に考慮すべき地震動の評価
 - 3.1 2004年北海道留萌支庁南部地震における基盤地震動の知見を用いた検討
 - 3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見
 - 3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動
 - 3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討
 - 3.1.4 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する基盤地震動
 - 3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正
 - 3.1.6 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.2 標準応答スペクトルに基づく検討
 - 3.2.1 標準応答スペクトル
 - 3.2.2 評価方針
 - 3.2.3 模擬地震波の作成
 - 3.2.4 代表波の選定
 - 3.2.5 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.3 全国共通に考慮すべき地震動の評価のまとめ
4. 地域性を考慮する地震動の評価
 - 4.1 地域性を考慮する地震動の選定
 - 4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討
 - 4.3 2008年岩手・宮城内陸地震の予見性
 - 4.4 地域性を考慮する地震動の評価のまとめ
5. 震源を特定せず策定する地震動



本節の説明箇所

- 本節において、「2004年北海道留萌支庁南部地震における基盤地震動の知見を用いた検討」について説明する。



3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見 (1/5)



(1) 地震の概要

- 2004年北海道留萌支庁南部地震は、北海道内陸西部の歪み集中帯の深さ約9kmで発生した、東南東-西北西方向に圧力軸を持つ逆断層型の地震であった。

1. 地震発生日時(気象庁他)

- 発生日時:平成16年12月14日 14時56分頃
- 地震規模:M6.1(Mw5.7)
- 震源深さ:約9km
- 震源位置:北緯44.077°, 東経141.7°

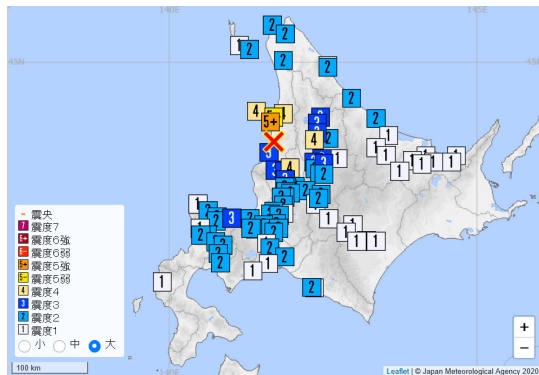
2. 各地の震度

各地の震度(気象庁)は以下のとおり。

- 震度5強:苫前町
- 震度5弱:羽幌町
- 震度4:初山別村, 剣淵町, 秩父別町

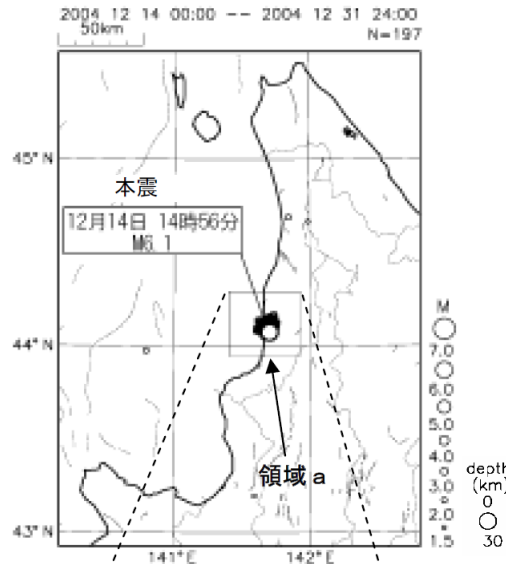
3. 地震発生メカニズム(気象庁)

- 発震機構解より、東南東-西北西方向に圧力軸を持つ逆断層型の地震。
- 本震位置より60km南方で1995年に発生したM5.9の地震の発震機構解は東西圧縮の逆断層型であり、この地域の東西圧縮の応力場と調和的である。
- 北海道内陸西部では、やや規模の大きな地震は、歪み集中帯で発生するようである。

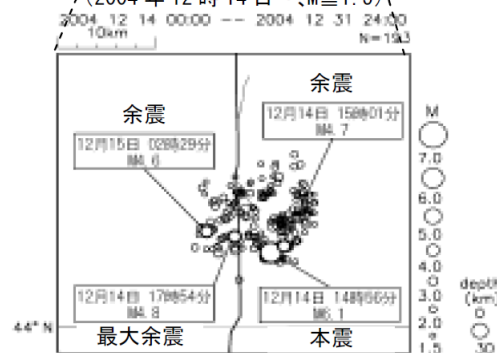


震度分布
(気象庁震度データベース)

震央分布図
(2004年12月14日~12月31日、M≥1.5)

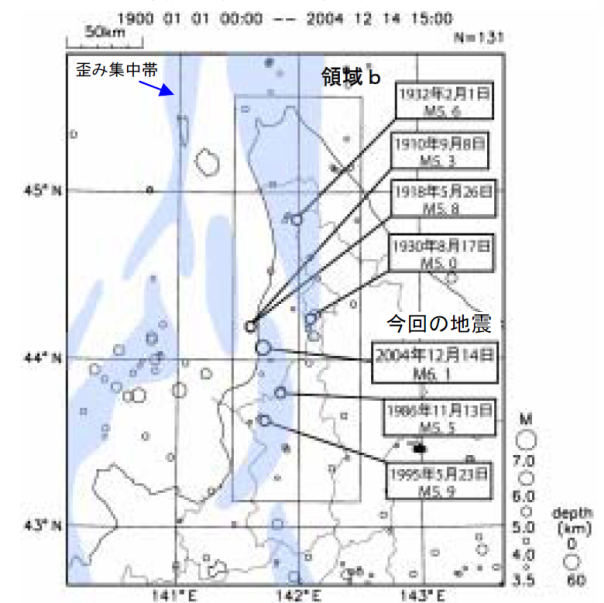


領域aの拡大図
(2004年12月14日~、M≥1.5)



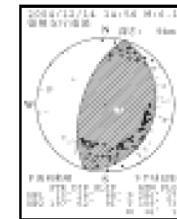
震央分布
(本震及び余震)

震央分布図(1900年~、M≥3.5)



※ 震央分布図に表記した歪み集中帯のデータは、「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」(東京大学出版会,2002)を使用した。

2004年北海道留萌支庁南部地震
及び周辺で発生した主な地震



本震の発震機構
(P波初動解)

気象庁(2004)

3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見 (2/5)



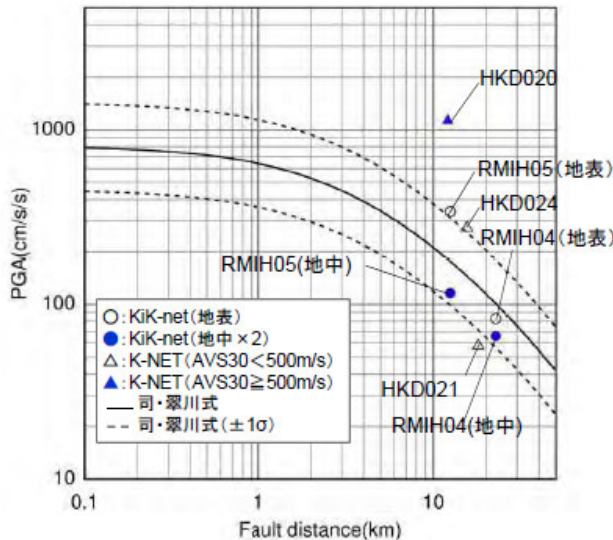
(2) 観測記録 (1/4)

① 断層最短距離30km以内の観測記録

- 断層最短距離30km以内の観測記録は5記録であった。このうち、震源近傍に位置するHKD020観測点において、最大加速度1127.2cm/s²が観測されており、司・翠川(1999)の距離減衰式の+1σを上回る。

断層最短距離30km以内の観測点(K-NET及びKiK-net観測点)における最大加速度

	観測点		震源距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度(cm/s ²)		
					NS成分	EW成分	UD成分
K-NET (地表)	HKD020	港町	12.1	562.7	535.7	1127.2	368.4
	HKD024	達布	15.6	337.2	184.9	274.0	73.5
	HKD021	留萌	18.1	302.0	57.5	44.6	20.0
KiK-net (上段:地表) (下段:地中)	RMIH05	小平西	12.5	218.1	340.4 57.8	236.1 36.8	66.2 27.4
	RMIH04	小平東	22.8	543.3	83.0 23.8	81.8 32.7	36.5 25.9



距離減衰式との関係

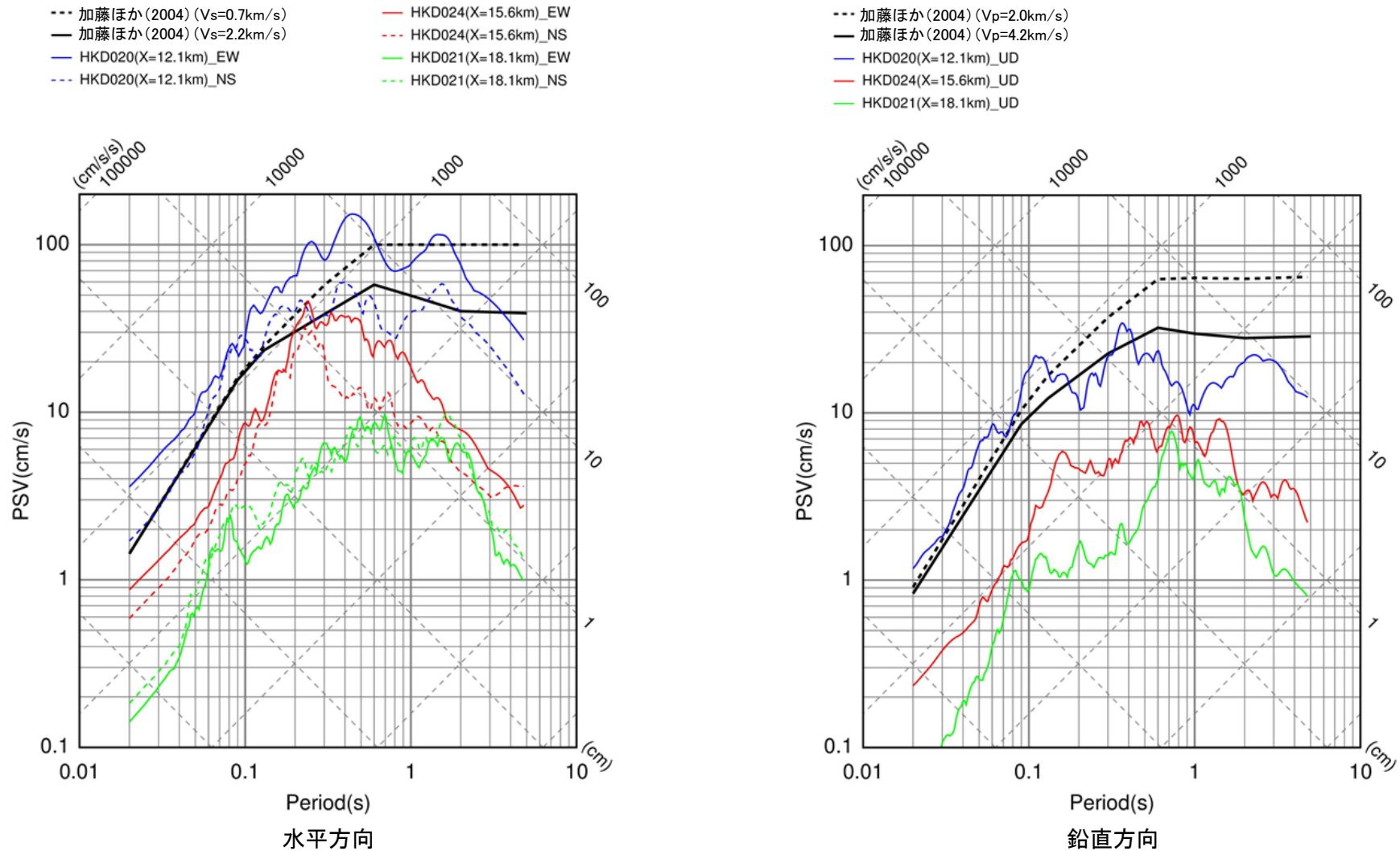
3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見 (3/5)



(2) 観測記録 (2/4)

② 加藤ほか(2004)による応答スペクトルとの比較(K-NET観測点の観測記録)

- K-NET観測点の観測記録のうち、HKD020観測点では、加藤ほか(2004)による応答スペクトルを大きく上回る。
- また、HKD024観測点の観測記録は、HKD020観測点のEW成分に包絡される。



K-NET各観測点による応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

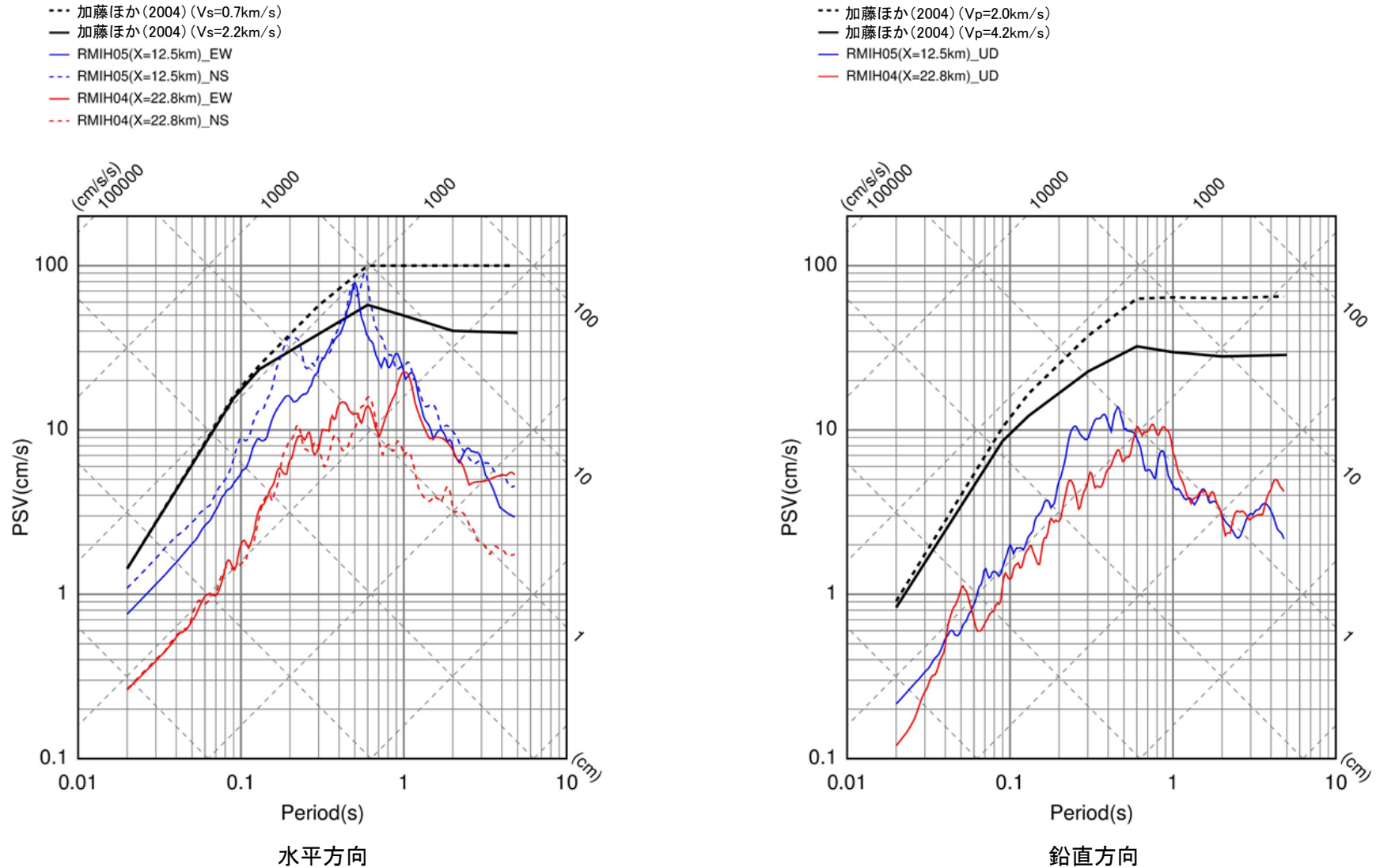
3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見 (4/5)



(2) 観測記録 (3/4)

③ 加藤ほか(2004)による応答スペクトルとの比較(KiK-net観測点の地表観測記録)

- KiK-net観測点の地表観測記録は、すべて加藤ほか(2004)による応答スペクトルに包絡される。



KiK-net各観測点による応答スペクトル(地表)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

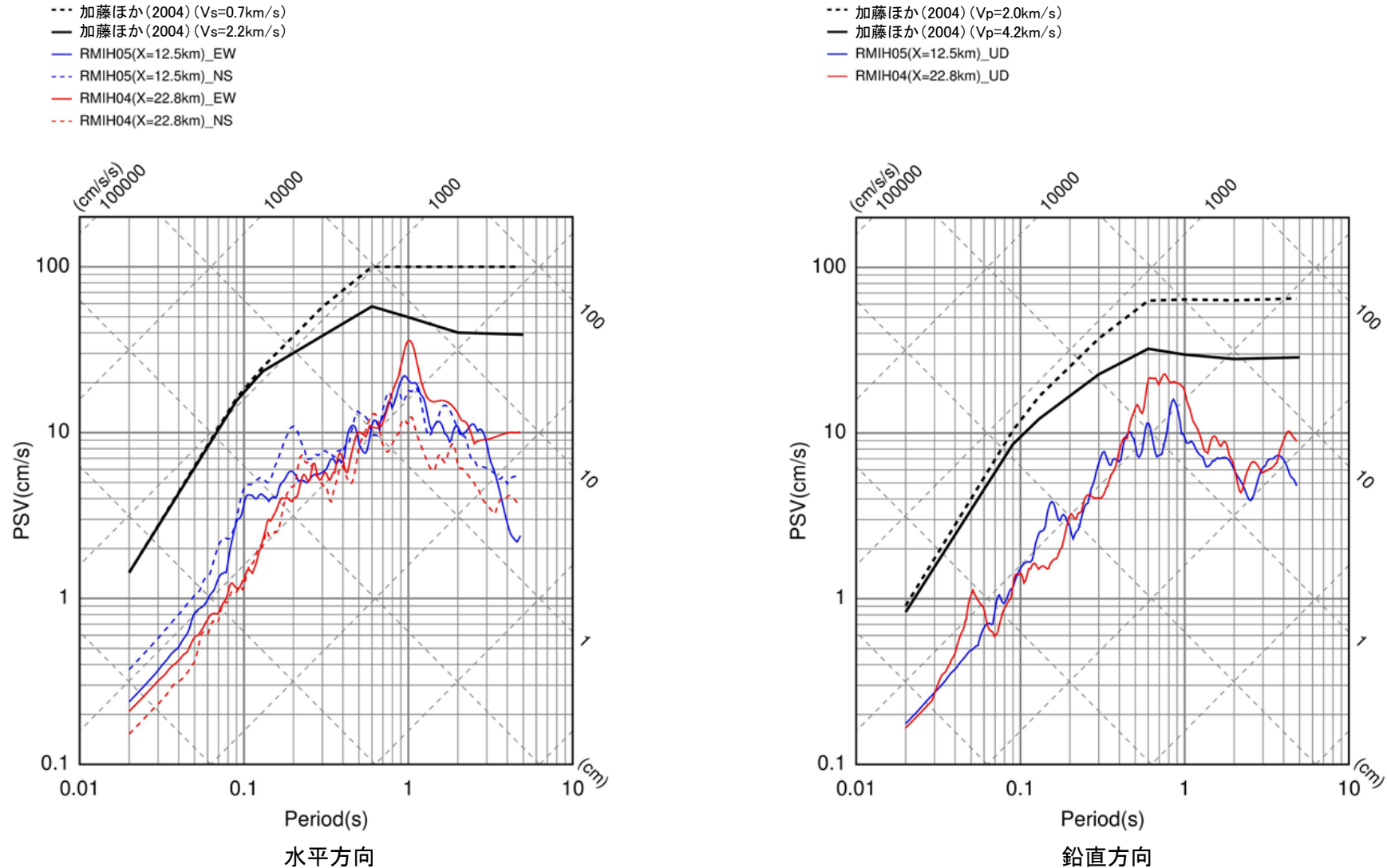
3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見 (5/5)



(2) 観測記録 (4/4)

④ 加藤ほか(2004)による応答スペクトルとの比較(KiK-net観測点の地中観測記録)

- KiK-net観測点の地中観測記録(地中×2)は、すべて加藤ほか(2004)による応答スペクトルに包絡される。



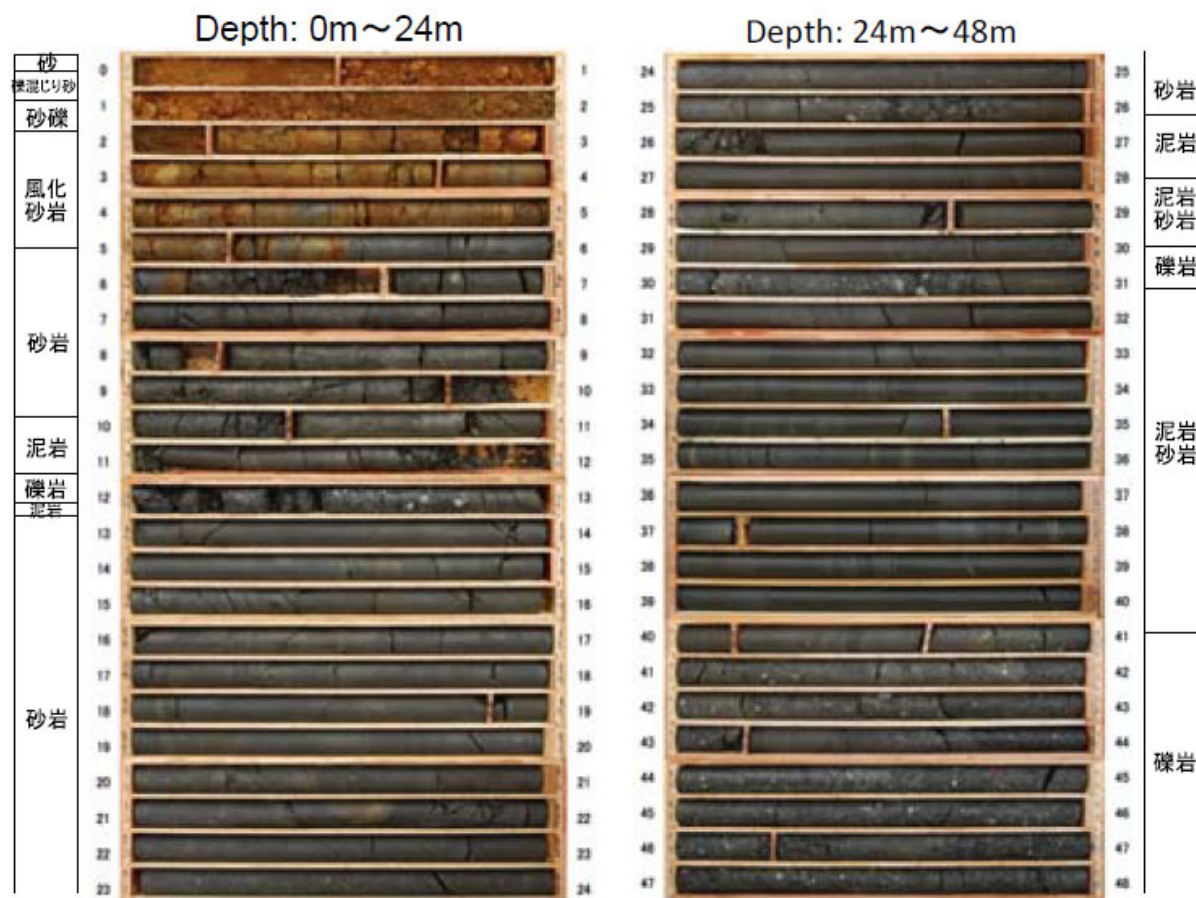
KiK-net各観測点による応答スペクトル(地中×2)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動 (1/7)



(1) HKD020観測点の物理探査 (1/3)

- 佐藤ほか(2013)では、加藤ほか(2004)による応答スペクトルを大きく上回るHKD020観測点の地質構造及び速度構造の把握を目的として、地震計設置地点の北西約5mの同一標高位置にて、300mまでの深さ(GL-300m)のボーリング掘削をオールコア採取で実施している。
- 13m付近の深さまでの岩盤は亀裂が多く、岩盤が脆いことを示唆している。また、それ以深の岩盤層については、泥岩・砂岩の互層が主体で、そのうち30m付近、さらに、41m以深に礫岩層が存在する構成となっている。



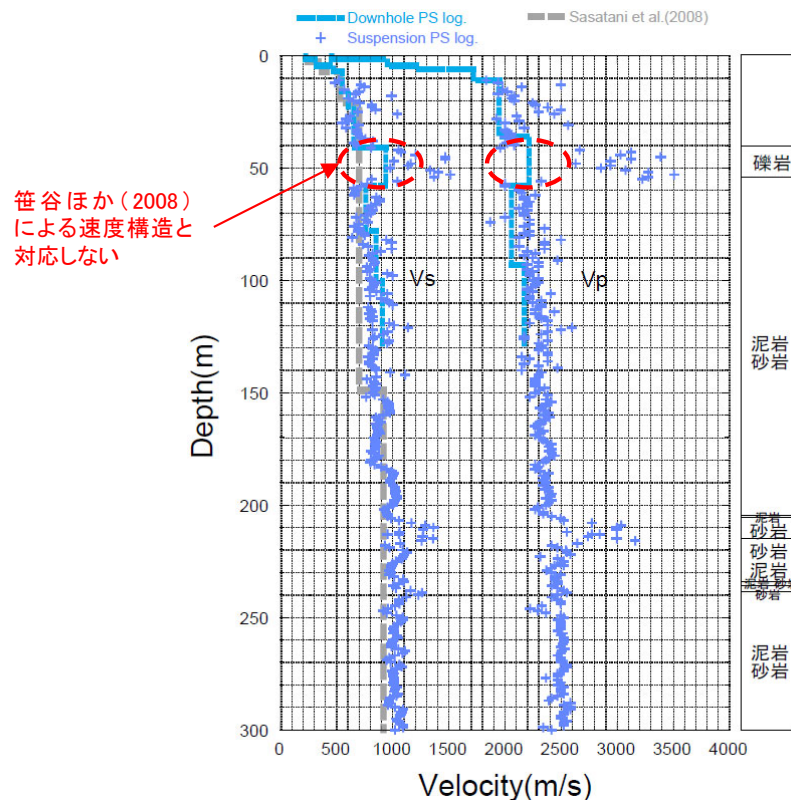
HKD020におけるボーリングコア写真
(左:深さ0m~24m, 右:深さ24m~48m)

3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動 (2/7)

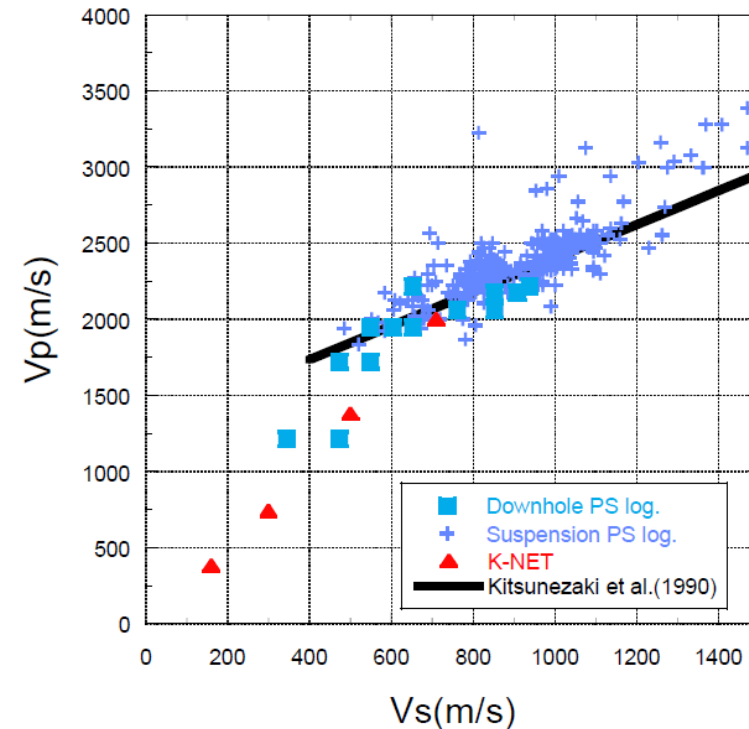


(1) HKD020観測点の物理探査 (2/3)

- 佐藤ほか(2013)では、ボーリング孔を用いて、GL-150mまでについてはダウンホール法とサスペンション法、GL-300mまでについてはサスペンション法によるPS検層を実施している。
- GL-50m付近までは、左下図中に赤破線の○で示す箇所のように、笹谷ほか(2008)の微動アレイ探査に基づくS波速度構造と佐藤ほか(2013)の調査によるS波速度構造は十分に対応しない。しかし、58m以深の泥岩・砂岩互層が続く部分のS波速度構造については、大局的にサスペンション法によるS波速度構造とほぼ対応している。
- PS検層によるS波速度構造から、 V_s が700m/s以上となる明瞭な速度境界としての基盤層を、 V_s が938m/sとなるGL-41mに設定している。また、その深さの V_p が2215m/sであるため、 V_p の観点から見ても基盤層の深さは妥当としている。
- 狐崎ほか(1990)による既往の経験式から V_s が700m/s以上では、 V_p が2000m/sを超えている。



HKD020におけるPS検層と
笹谷ほか(2008)によるS波速度構造モデル



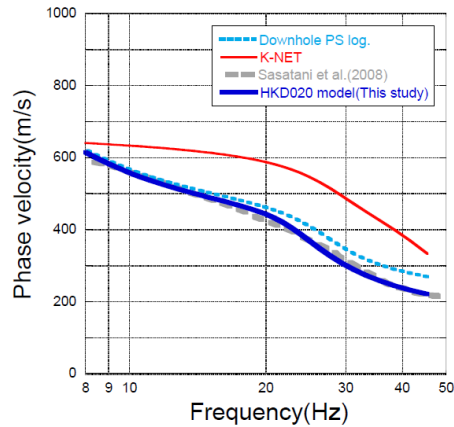
HKD020のPS検層結果による
 V_p - V_s 関係と既往の経験式の比較

3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動 (3/7)

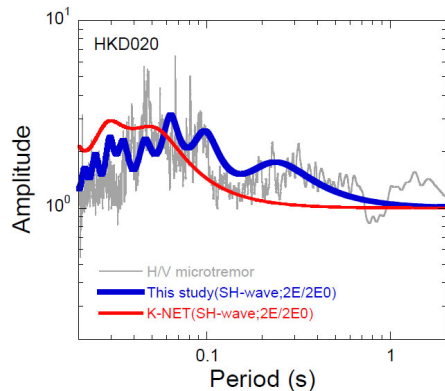


(1) HKD020観測点の物理探査 (3/3)

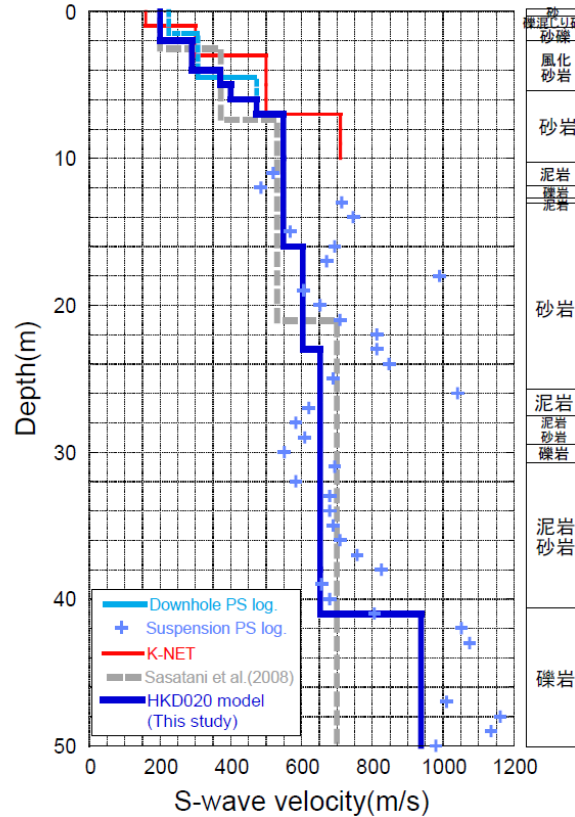
- 佐藤ほか(2013)では、ダウンホール法によるPS検層結果のVsが500m/s以下のGL-6mまでのS波速度を、笹谷ほか(2008)による位相速度を説明できるように若干修正し、HKD020観測点の地盤モデルを作成している。
- HKD020観測点の地盤モデルによるSH波の理論増幅特性の卓越周期は、微動H/Vスペクトルの卓越周期と周期0.02秒程度のごく短周期までよく対応している。K-NET地盤情報によるSH波の理論増幅特性は、微動H/Vスペクトルの卓越を説明できない。
- 以上から、佐藤ほか(2013)によるHKD020観測点の地盤モデルは、より妥当なモデルであると結論づけている。



HKD020におけるレイリー波位相速度の比較



HKD020における微動H/Vスペクトルと地盤モデルに基づくSH波の理論増幅特性の比較



HKD020における地盤速度構造(S波速度構造)の比較

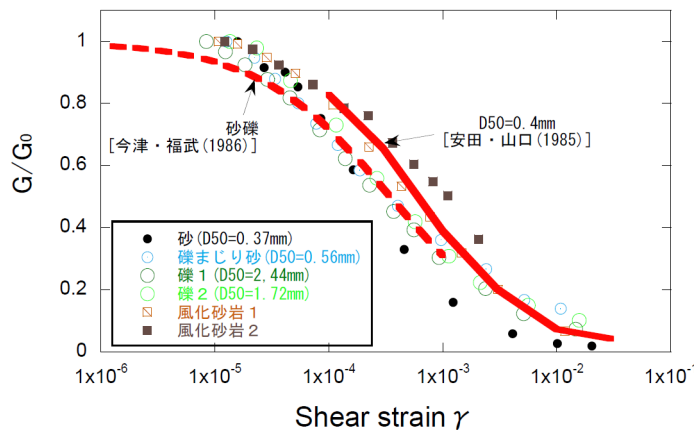
HKD020における地震動評価モデル

上面深度 (m)	P波速度 Vp(m/s)	S波速度 Vs(m/s)	密度 ρ (10 ³ kg/m ³)	層厚 H(m)	減衰定数 h	非線形特性
0	457	200	1.90	0.5	0.02	砂
0.5		200	2.00	0.5	0.03	礫混じり砂
1		200	2.00	1.0	0.02	礫1
1.5	952	290	2.00	1.0	0.01	礫2
2				1.0	0.01	風化砂岩1
3				1.0	0.01	風化砂岩2
4				1.0	0.01	風化砂岩2
5	1722	473	2.00	1.0	0.01	—
6				9.0	0.01	—
7				7.0	0.01	—
16				7.0	0.01	—
23				7.0	0.01	—
38	2215	653	2.06	18.0	0.01	—
41				18.0	0.01	—
41	—	938	2.13	—	0.01	—

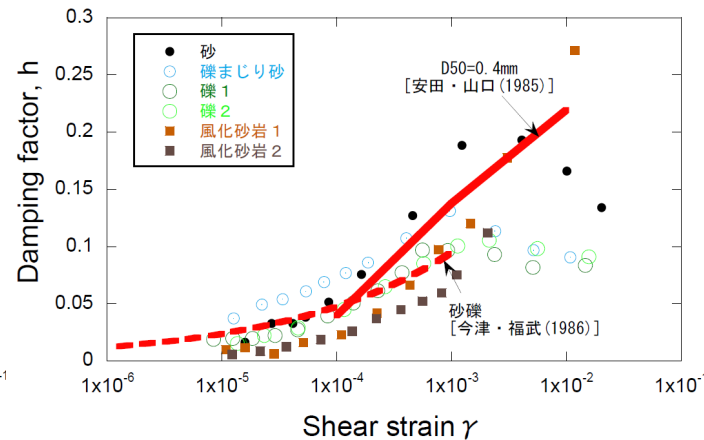
3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動 (4/7)

(2) HKD020観測点の基盤地震動評価 (1/4)

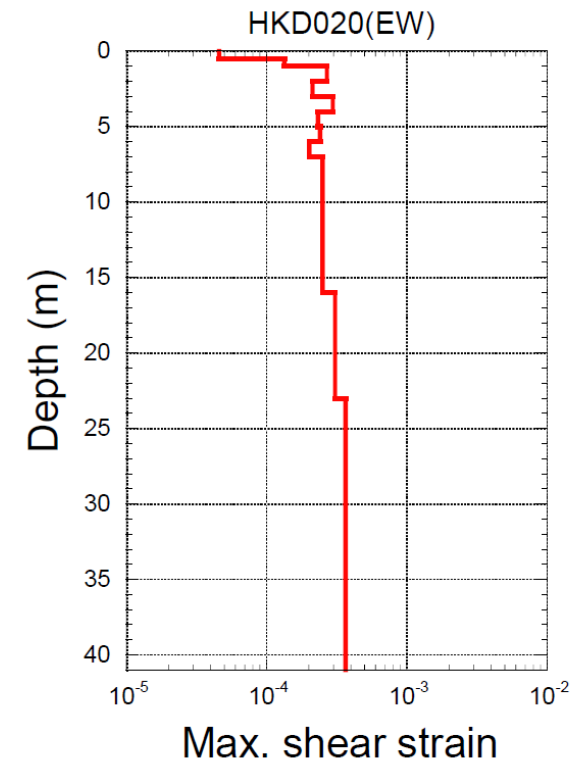
- 佐藤ほか(2013)では, GL-6mまでの土質地盤の6点において, GPサンプリングにより試料採取し, 0.2Hzの正弦波による繰り返し三軸試験によって地盤の剛性 G および減衰 h のひずみ γ 依存性を取得している。
- ひずみレベルが 10^{-4} オーダーで G/G_0 が0.6程度, すなわち初期の剛性から約4割程度低下している。
- G/G_0 のひずみ依存性に関する既往の経験式との対応が良い。
- 室内試験を実施した砂, 礫混じり砂, 礫, 風化砂岩に対応するGL-6m程度までの地盤は, 強震時に非線形性を生じやすい特性であるとしている。



HKD020における表層地盤の G/G_0 のひずみ依存性と既往の経験式の比較



HKD020における表層地盤の減衰定数 h のひずみ依存性と既往の経験式の比較



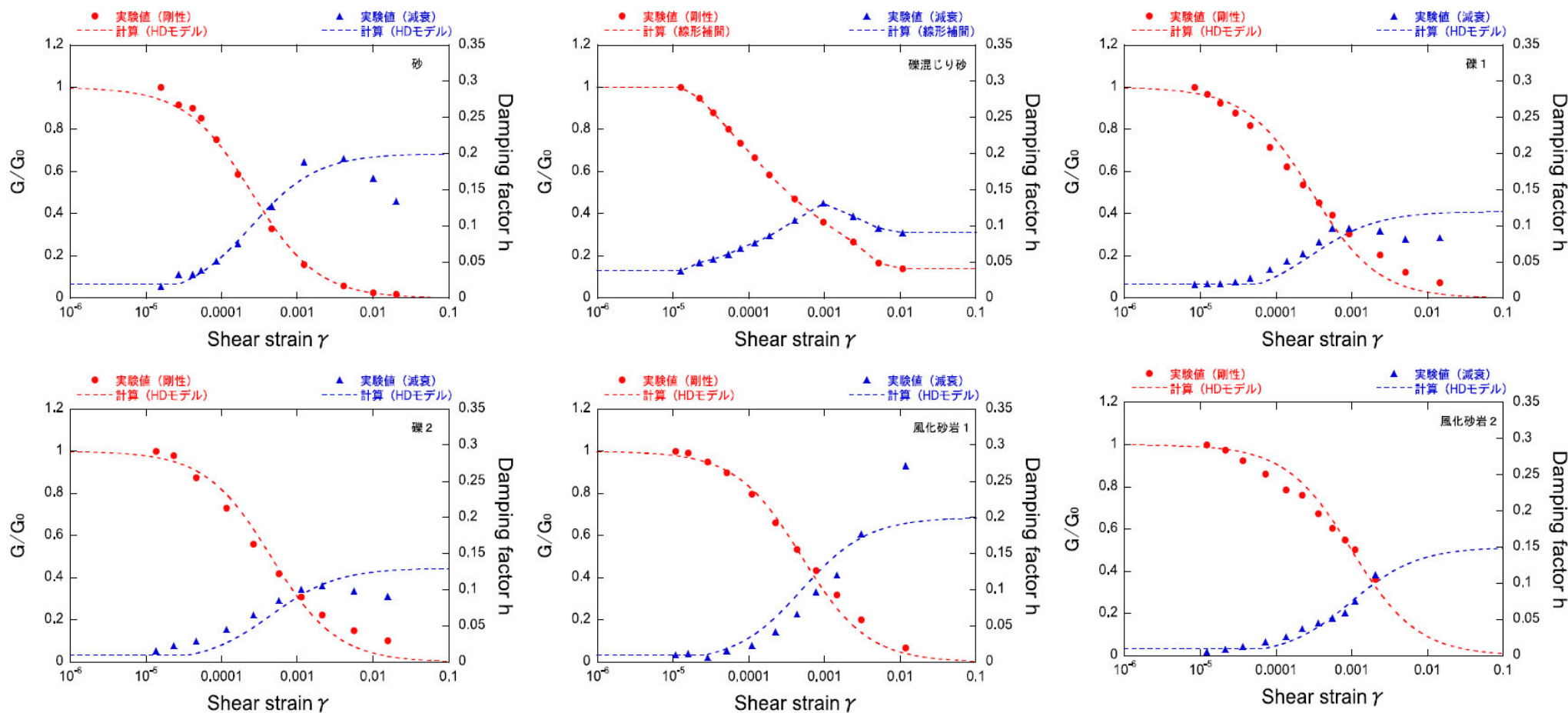
2004年留萌地震時の地盤の最大せん断ひずみの深さ分布の試算結果(線形解析)

3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動 (5/7)



(2) HKD020観測点の基盤地震動評価 (2/4)

- 佐藤ほか(2013)では、GL-6mまでの層については、室内試験結果を用いてH-Dモデルにより非線形特性($G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$)を設定している。



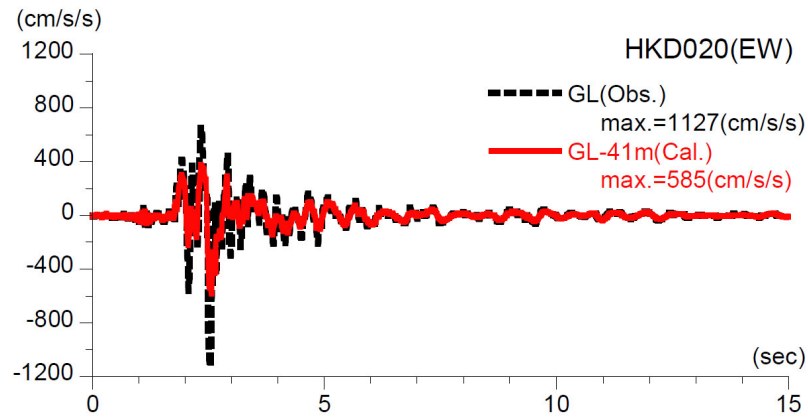
等価線形解析において設定した地盤の非線形特性

3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動 (6/7)

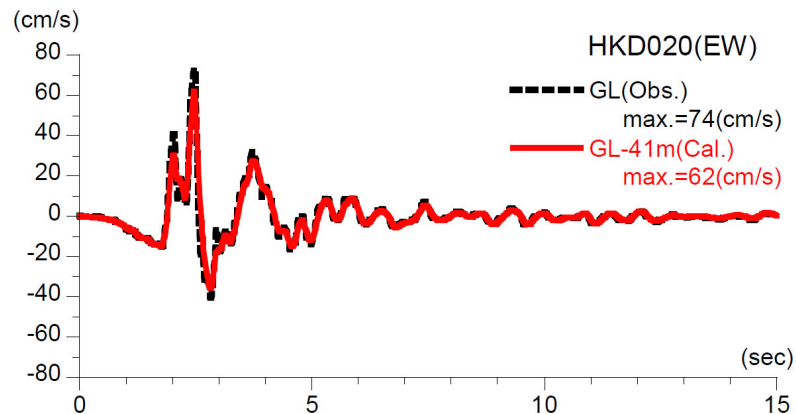


(2) HKD020観測点の基盤地震動評価 (3/4)

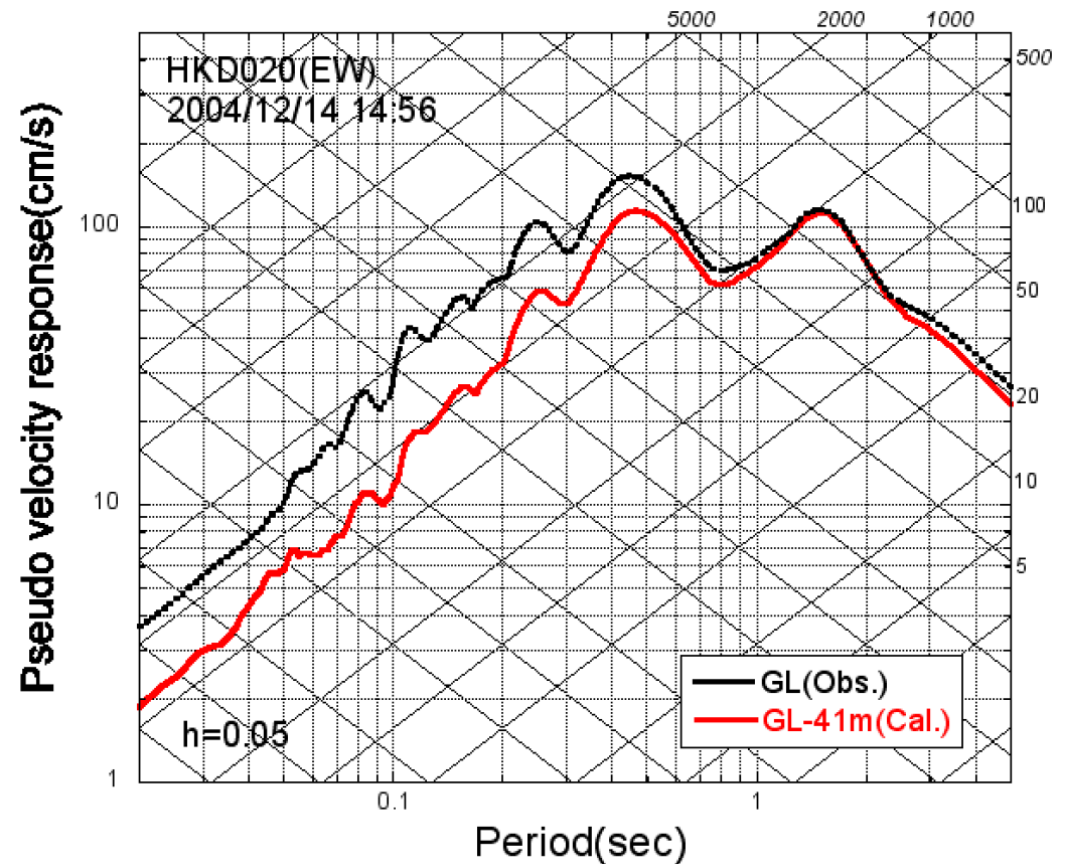
- 佐藤ほか(2013)により、観測点における物理探査結果及び室内試験結果を用いて、観測記録に対して観測点の地盤物性を適切に考慮して基盤地震動が評価されている。水平方向(EW成分)については、等価線形解析により、深さ41mでの基盤地震動として、最大加速度は、 585cm/s^2 のはぎとり結果が得られている。



推計された基盤地震動と地表観測記録の比較



速度に変換した基盤地震動と地表観測記録の比較



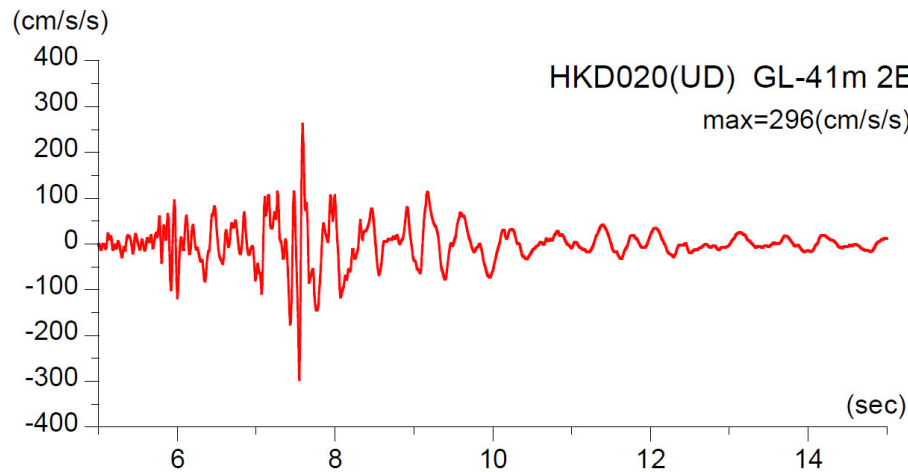
擬似速度応答スペクトルの比較

3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動 (7/7)

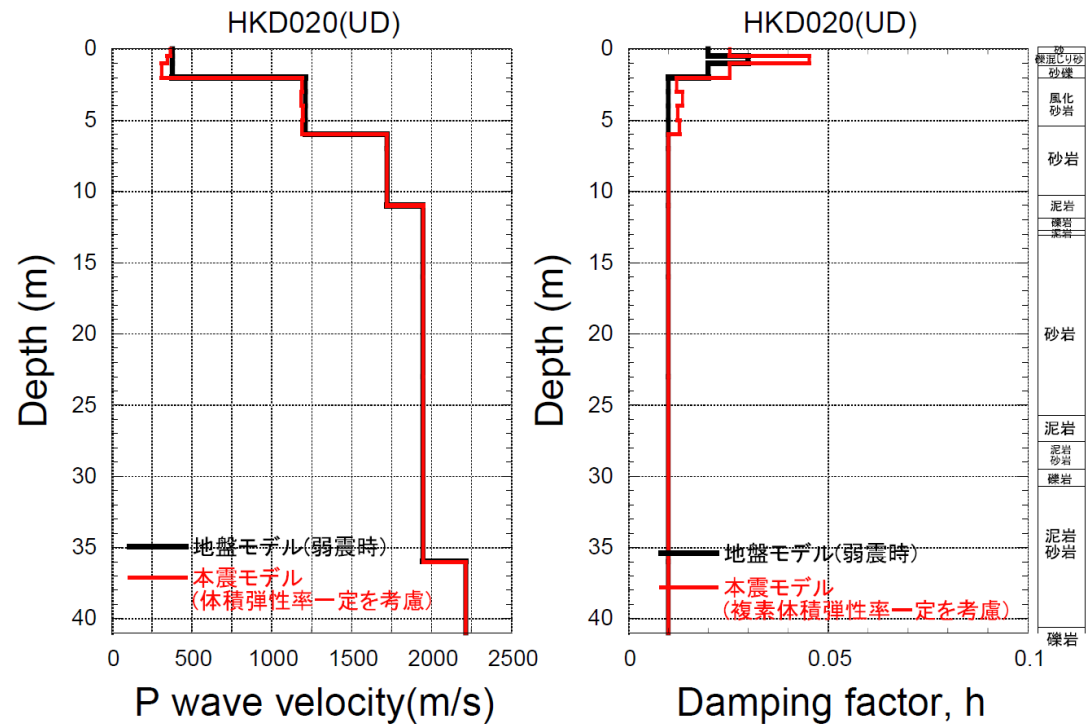


(2) HKD020観測点の基盤地震動評価 (4/4)

- 佐藤ほか(2013)により、観測点における物理探査結果及び室内試験結果を用いて、観測記録に対して観測点の地盤物性を適切に考慮して基盤地震動が評価されている。鉛直方向については、次元波動論による線形解析により、深さ41mでの基盤地震動として、最大加速度は、 296cm/s^2 と評価している。



鉛直方向の基盤地震動の推計結果



2004年留萌地震時のP波速度と減衰定数

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (1/19)



(1) 検討内容

- 佐藤ほか(2013)では、K-NET HKD020観測点について、GL-6mまでの室内試験結果を考慮した非線形解析を行い、GL-41mの基盤面における基盤地震動を評価している(GL-6m以深は線形を仮定し、減衰は1%に設定)。
- 上記の佐藤ほか(2013)以降、以下の追加調査結果(室内試験及びPS検層再測定)を踏まえた検討等を行い、HKD020観測点における基盤地震動を再評価した。
 - 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)

佐藤ほか(2013)の報告時点以降に得られた、GL-6mからGL-41mまでの室内試験結果を用い、GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動(水平方向)を評価。
 - 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)

不確かさを考慮した基盤地震動の評価として、GL-6mまで非線形、GL-6m以深は減衰定数3%として基盤地震動(水平方向)を評価。
 - 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)

佐藤ほか(2013)の報告時点以降に得られた、PS検層の再測定結果から、地盤モデルを変更して基盤地震動(鉛直方向)を評価(解析方法は佐藤ほか(2013)と同様)。
 - 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)

HKD020観測点における地下水位の状況を踏まえ、GL-6mまではポアソン比一定、GL-6m以深は体積弾性率一定として基盤地震動(鉛直方向)を評価。

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (2/19)

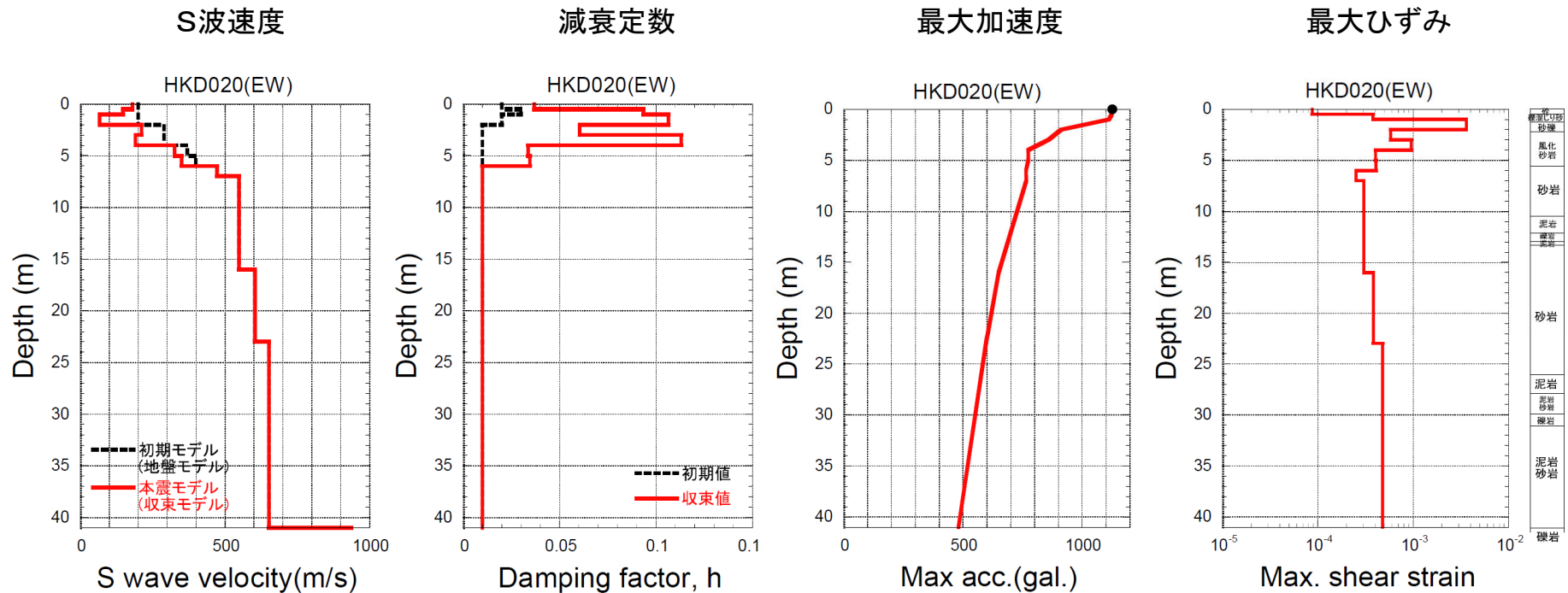


(2) 各種検討 (1/18)

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) (1/10)

i) 検討方針

- 佐藤ほか(2013)では、GL-6mまで室内試験結果を考慮した非線形解析を行い、GL-41mの基盤面における基盤地震動を推定している。この際、GL-6m以深は線形地盤を仮定し、減衰定数は風化砂岩の2サンプルについて室内試験で得られた微小ひずみ時の減衰定数1%を与えている。
- その後、GL-6mからGL-41mまでの室内試験結果を踏まえ、基盤地震動の評価結果の妥当性確認のため、GL-41mまで非線形性を考慮して基盤地震動評価を行った。



収束物性値, 最大加速度および最大ひずみの深さ分布

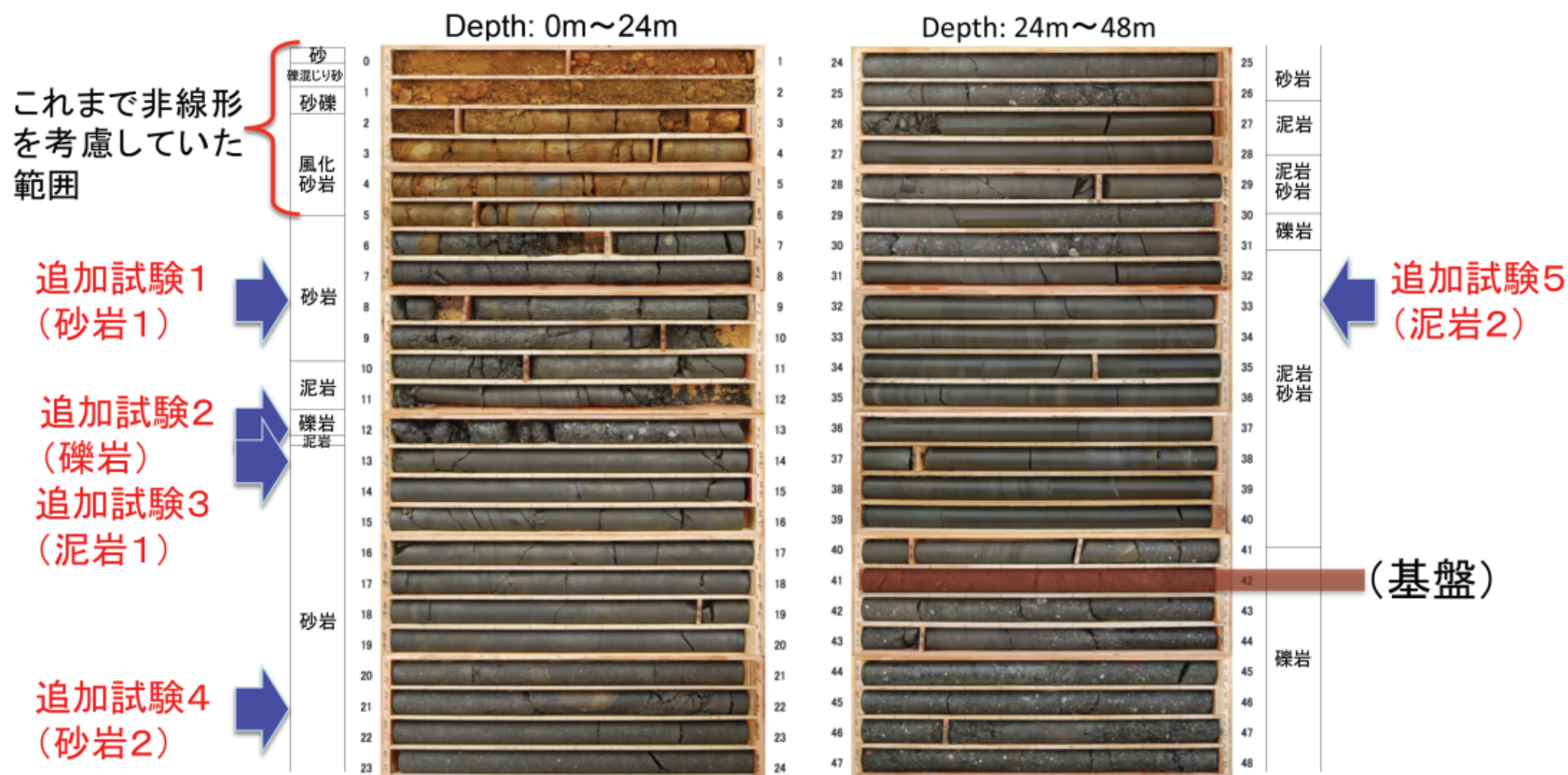
3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (3/19)

(2) 各種検討 (2/18)

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) (2/10)

ii) 追加試験の実施

- GL-6mからGL-41mまでの5種類の地層における試料を対象に、室内試験を実施した。



3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (4/19)

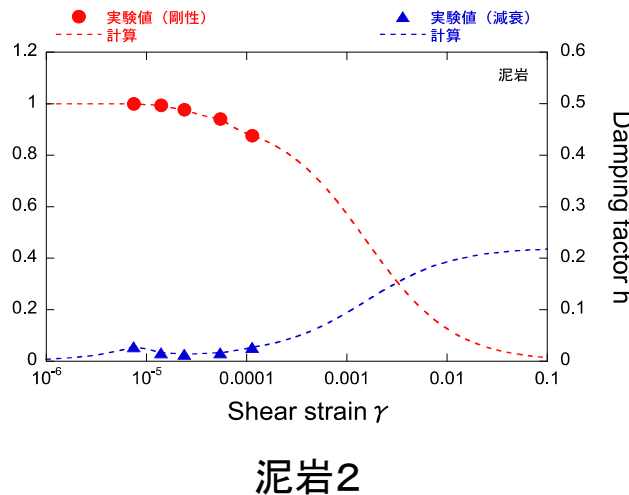
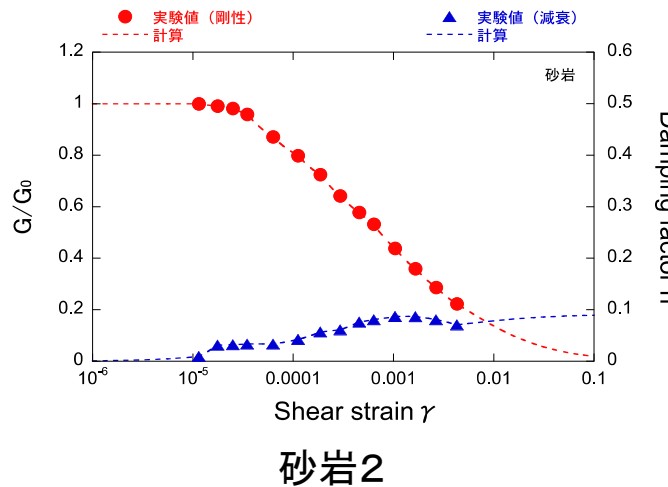
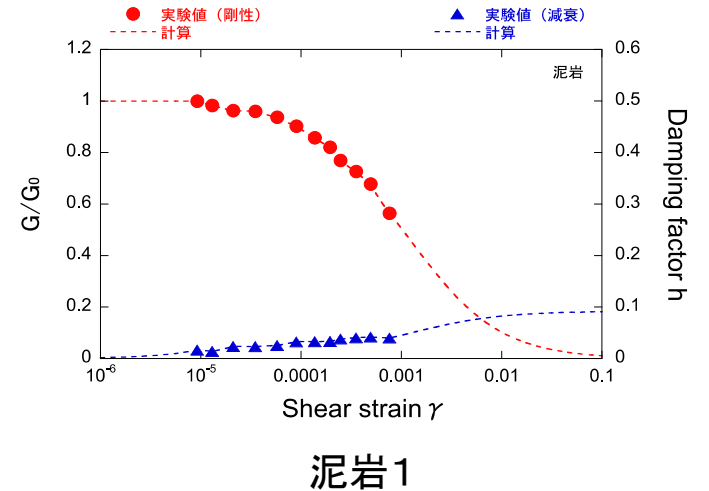
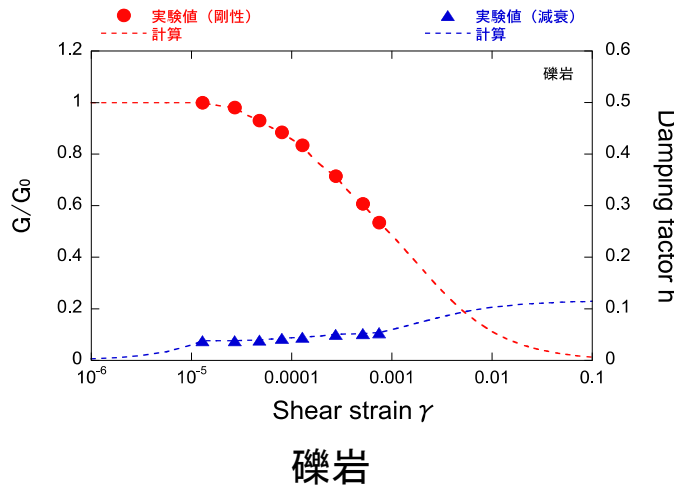
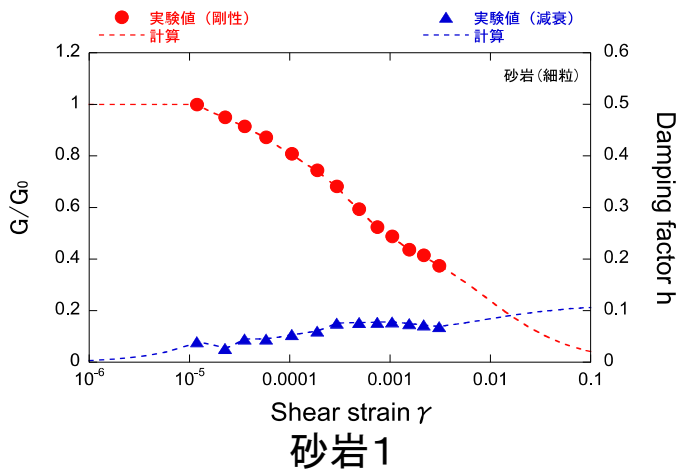


(2) 各種検討 (3/18)

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) (3/10)

iii) 非線形特性の設定

- 追加の室内試験結果により非線形特性を設定した。



3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (5/19)

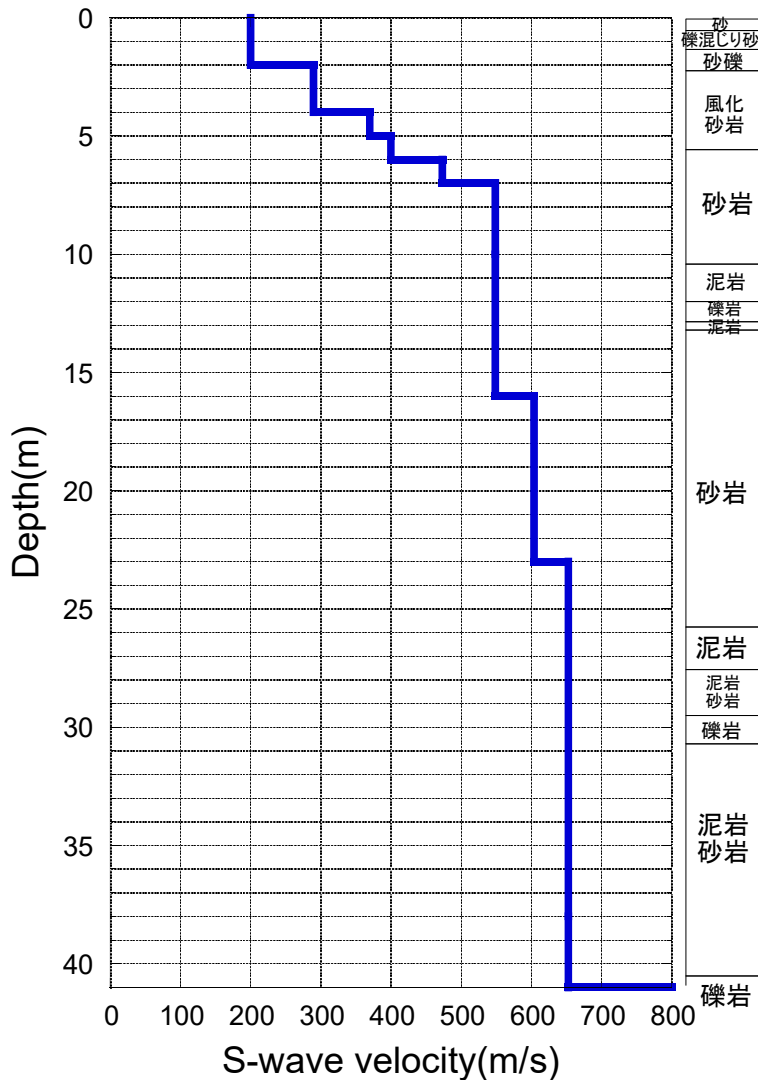


(2) 各種検討 (4/18)

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) (4/10)

iv) 地盤モデル

- GL-6mからGL-41mの地盤の非線形特性と減衰定数を変動させて、等価線形解析により基盤地震動を評価した。



等価線形解析に用いる地盤モデル

S波速度 Vs(m/s)	密度 ρ (1000kg/m ³)	層厚 H(m)	減衰定数h (初期値)	非線形特性
200	1.9	0.5	0.02	砂
200	2.0	0.5	0.03	礫混じり砂
200	2.0	1	0.02	礫1
290	2.0	1	0.01	礫2
290	2.0	1	0.01	風化砂岩1
370	2.0	1	0.01	風化砂岩2
400	2.0	1	0.02	砂岩1
473	2.0	1	0.02	砂岩1
549	2.0	3	0.02	砂岩1
549	2.0	2	0.01	泥岩1
549	2.0	1	0.03	礫岩
549	2.0	0.5	0.01	泥岩1
549	2.0	2.5	0.01	砂岩2
604	2.06	7	0.01	砂岩2
653	2.06	18	0.015	泥岩2
938	2.13	17	0.01	—

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (6/19)

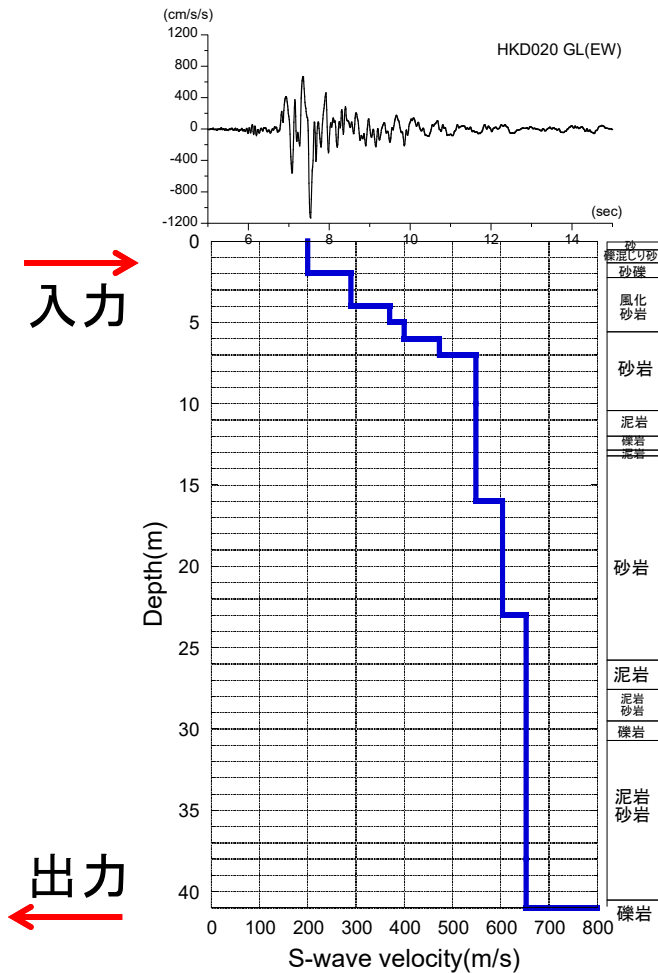


(2) 各種検討 (5/18)

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) (5/10)

v) 等価線形解析の条件

- 地表観測記録を入力として、GL-41mまで非線形性を考慮した等価線形解析から、GL-41m($V_s=938\text{m/s}$)における基盤地震動を評価した。



等価線形解析の条件

- ✓ 有効ひずみ $\gamma_{\text{eff}} = 0.65 \gamma_{\text{max}}$
- ✓ 収束判定値(前のモデルとの差異): 1%以内
- ✓ 最大繰り返し計算回数: 30回

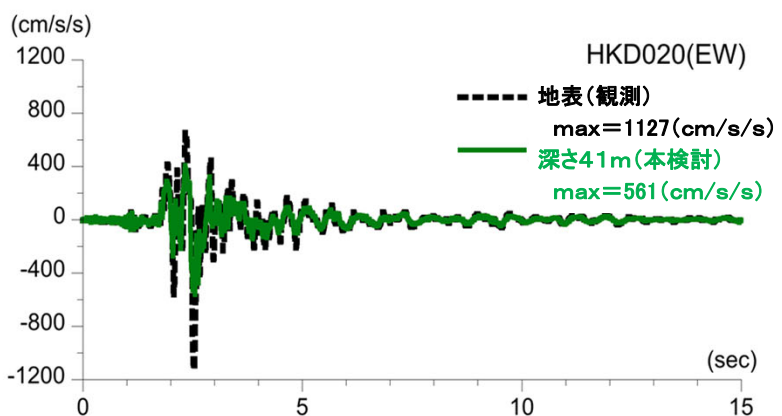
3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (7/19)

(2) 各種検討 (6/18)

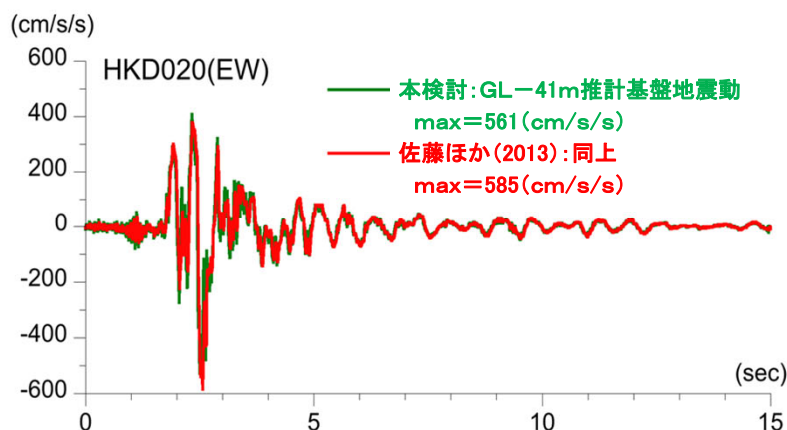
① GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価(水平方向) (6/10)

vi) 基盤地震動評価結果(加速度波形, 加速度フーリエスペクトル)

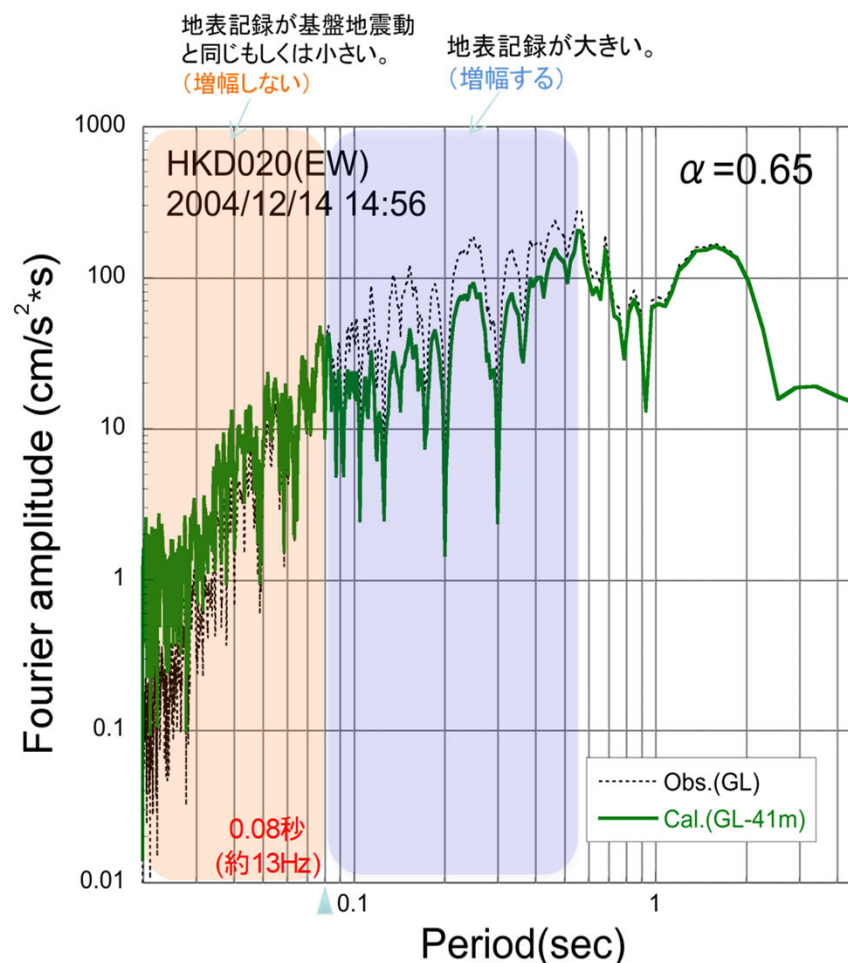
- GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動の最大加速度は、 561cm/s^2 となっており、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s^2)と比較すると、やや小さく評価された。



地表記録と推計基盤地震動の比較



本検討と佐藤ほか(2013)の比較



推計した基盤地震動と地表観測記録の
加速度フーリエスペクトルの比較

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (8/19)

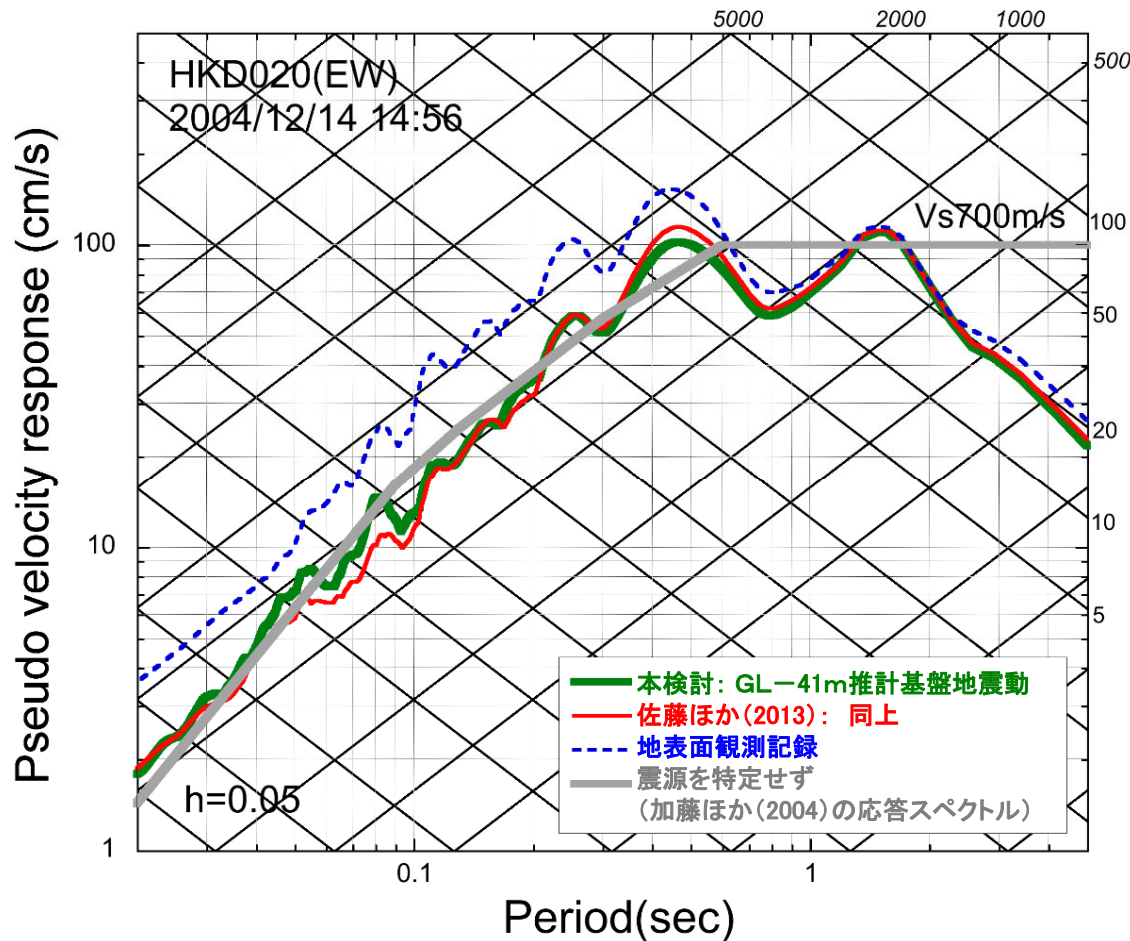


(2) 各種検討 (7/18)

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) (7/10)

vii) 基盤地震動評価結果(応答スペクトル)

- GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動の応答スペクトルは、佐藤ほか(2013)による応答スペクトルとほぼ同程度となっている。



擬似速度応答スペクトル

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (9/19)

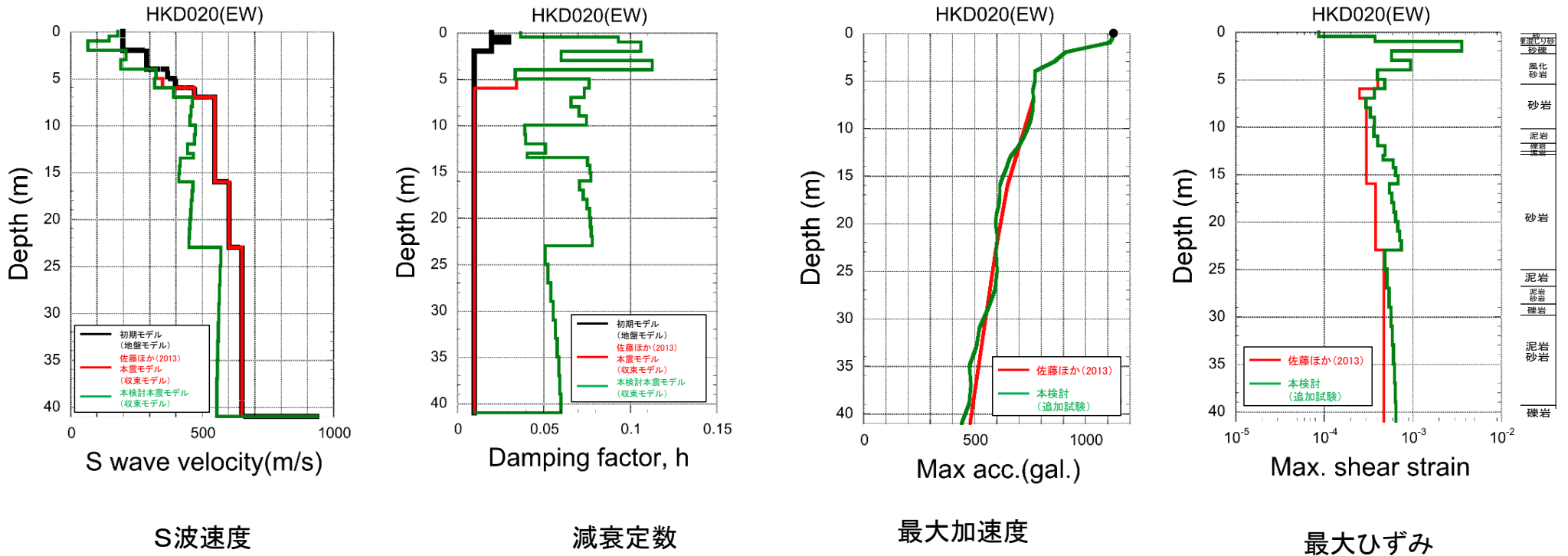


(2) 各種検討 (8/18)

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) (8/10)

viii) 基盤地震動評価結果(収束物性値)

- 収束物性値の深さ分布によると, GL-6m以深における減衰定数の収束物性値は, おおむね5%程度となっている。



収束物性値および最大加速度および最大ひずみの深さ分布(EW成分)

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (10/19)

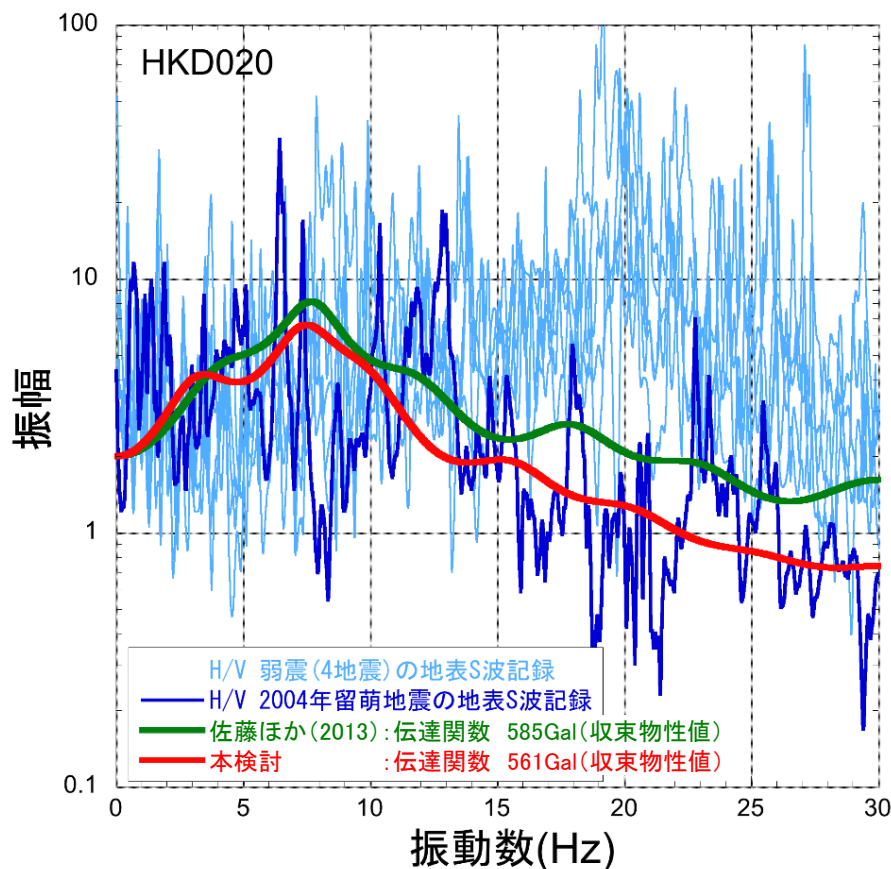


(2) 各種検討 (9/18)

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) (9/10)

ix) 基盤地震動評価結果(伝達関数)

- GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価に用いた収束物性値による伝達関数は、佐藤ほか(2013)の物性値による伝達関数と比較して、深部の減衰定数が1%から5%程度になったことにより、10Hzより高振動数側で小さくなっている。
- 本震時のH/Vスペクトルと伝達関数の比較では、本検討の伝達関数は高振動数での落ち込みが大きく、佐藤ほか(2013)の伝達関数の方が本震時のH/Vスペクトルの特徴をよく再現している。



本震時のH/Vスペクトルと収束物性値の伝達関数の比較

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (11/19)



(2) 各種検討 (10/18)

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) (10/10)

x) まとめ

- 2004年北海道留萌支庁南部地震におけるHKD020観測点の観測記録について、追加の室内試験結果を用い、GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動を評価した。
- 基盤地震動の最大加速度は、 561cm/s^2 となっており、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s^2)と比較してやや小さく評価された。また、基盤地震動の応答スペクトルは、佐藤ほか(2013)による応答スペクトルとほぼ同程度となっている。
- GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価に用いた収束物性値による伝達関数は、佐藤ほか(2013)の物性値による伝達関数と比較して、高振動数側で小さくなっており、本震時のH/Vスペクトルと伝達関数の比較では、佐藤ほか(2013)の伝達関数の方が本震時のH/Vスペクトルの特徴をよく再現しているものと考えられる。

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (12/19)



(2) 各種検討 (11/18)

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)(1/4)

i) 等価線形解析条件

- 佐藤ほか(2013)の地盤モデルに基づき、GL-6mまで非線形、GL-6m以深を減衰定数3%として基盤地震動を評価し、佐藤ほか(2013)における評価結果と比較する。

等価線形解析に用いる地盤モデル

S波速度 Vs(m/s)	密度 ρ (1000kg/m ³)	層厚 H(m)	減衰定数h (初期値)	非線形特性
200	1.9	0.5	0.02	砂
200	2.0	0.5	0.03	礫混じり砂
200	2.0	1	0.02	礫1
290	2.0	1	0.01	礫2
290	2.0	1	0.01	風化砂岩1
370	2.0	1	0.01	風化砂岩2
400	2.0	1	0.01	風化砂岩2
473	2.0	1	0.03	—
549	2.0	3	0.03	—
549	2.0	2	0.03	—
549	2.0	1	0.03	—
549	2.0	0.5	0.03	—
549	2.0	2.5	0.03	—
604	2.06	7	0.03	—
653	2.06	18	0.03	—
938	2.13	17	0.03	—

減衰定数3%として評価する。

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (13/19)

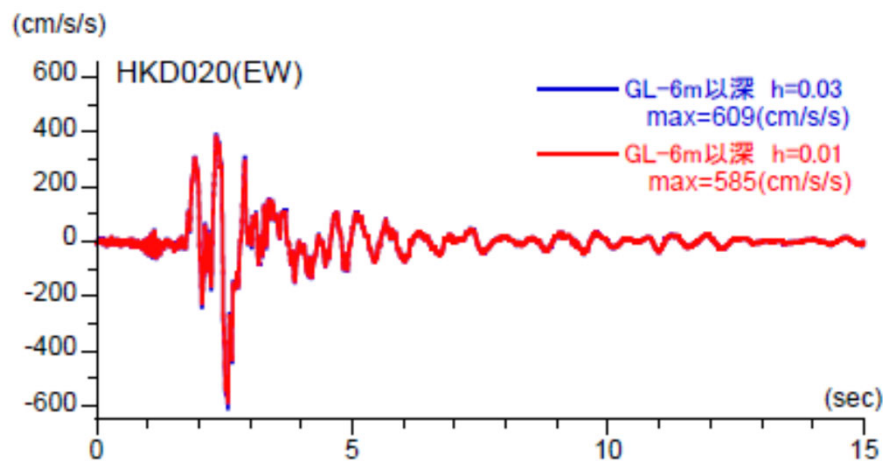


(2) 各種検討 (12/18)

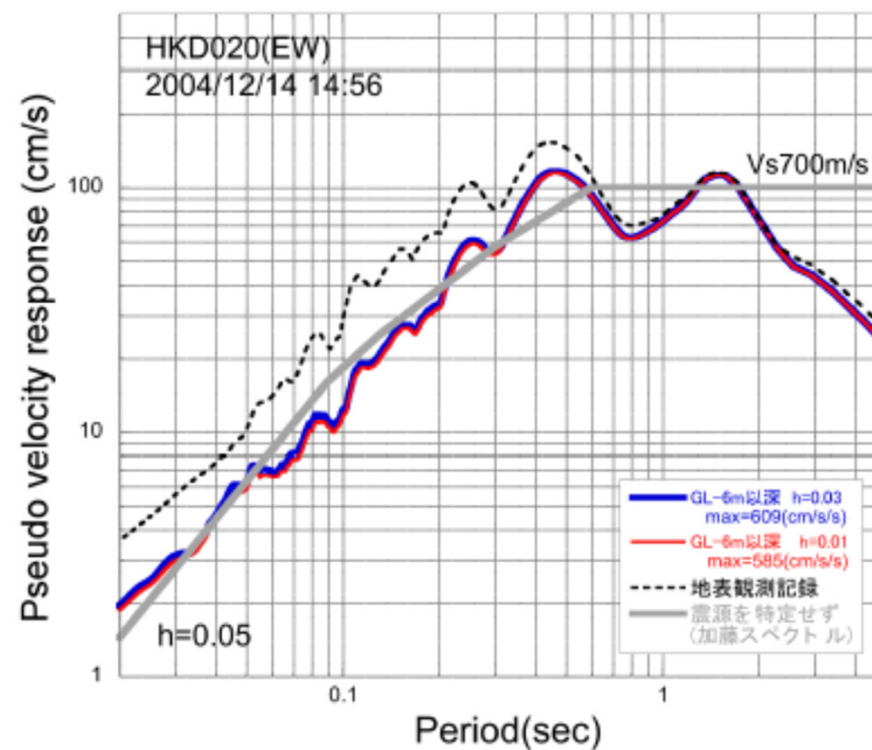
② GL-6mからGL-41mまで減衰定数を3%とした基盤地震動評価(水平方向)(2/4)

ii) 基盤地震動評価結果(加速度波形, 応答スペクトル)

- 佐藤ほか(2013)の地盤モデルに基づき, GL-6m以深を減衰定数3%として基盤地震動を評価した結果, 最大加速度は609cm/s²となり, 佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s²)と比較してやや大きく評価されている。また, 応答スペクトルは, 佐藤ほか(2013)による応答スペクトルとほぼ同程度となっている。



加速度時刻歴波形の比較



擬似速度応答スペクトルの比較

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (14/19)

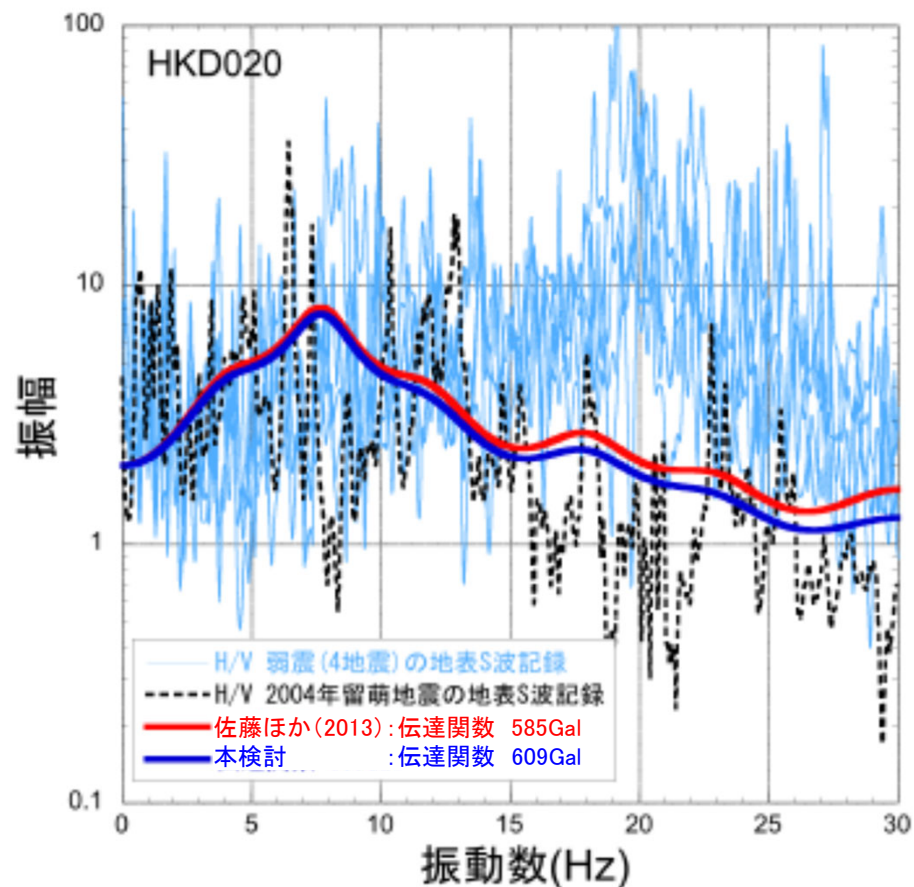


(2) 各種検討 (13/18)

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)(3/4)

iii) 基盤地震動評価結果(伝達関数)

- 収束物性値による伝達関数は、佐藤ほか(2013)の物性値による伝達関数と同様に、本震時のH/Vスペクトルの特徴をよく再現している。



収束物性値による伝達関数とH/Vスペクトルとの比較

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (15/19)



(2) 各種検討 (14/18)

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) (4/4)

iv) まとめ

- 2004年北海道留萌支庁南部地震におけるHKD020観測点の観測記録について、佐藤ほか(2013)の地盤モデルに基づき、GL-6mまで非線形、GL-6m以深を減衰定数3%として基盤地震動を評価した。
- GL-6m以深を減衰定数3%として基盤地震動を評価した結果、最大加速度は 609cm/s^2 となり、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s^2)と比較してやや大きく評価された。また、応答スペクトルは、佐藤ほか(2013)による応答スペクトルとほぼ同程度となっている。
- 収束物性値による伝達関数は、佐藤ほか(2013)の物性値による伝達関数と同様に、本震時のH/Vスペクトルの特徴をよく再現する結果となっている。

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (16/19)

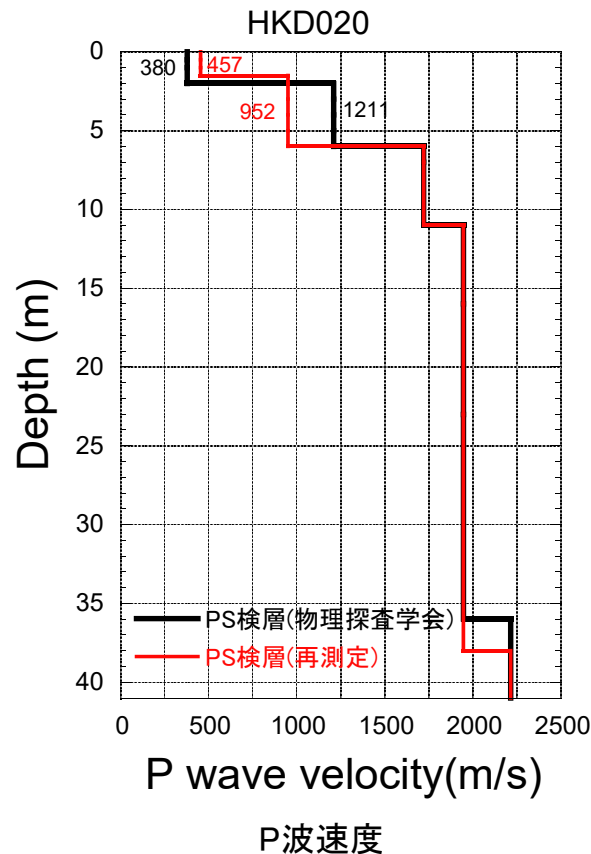


(2) 各種検討 (15/18)

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)(1/3)

i) 地盤モデルの変更

- 佐藤ほか(2013)における鉛直方向の基盤地震動の評価結果は、物理探査学会(2013.10)報告時点での地盤モデルに基づいていたが、表層部分のPS検層結果について笹谷ほか(2008)の位相速度と差異がみられたことから、最表層に重点をおいた再測定を物理探査学会報告後に実施した。
 - 再測定の結果、表層の6m以浅のP波速度は、佐藤ほか(2013)において鉛直方向の基盤地震動を評価した時のモデルとは異なっていたため、P波速度を再設定した地盤モデルを用いて基盤地震動を再評価した。
- ※S波速度は、再測定の結果、佐藤ほか(2013)における地盤モデルとほぼ同様のため変更していない。



3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (17/19)

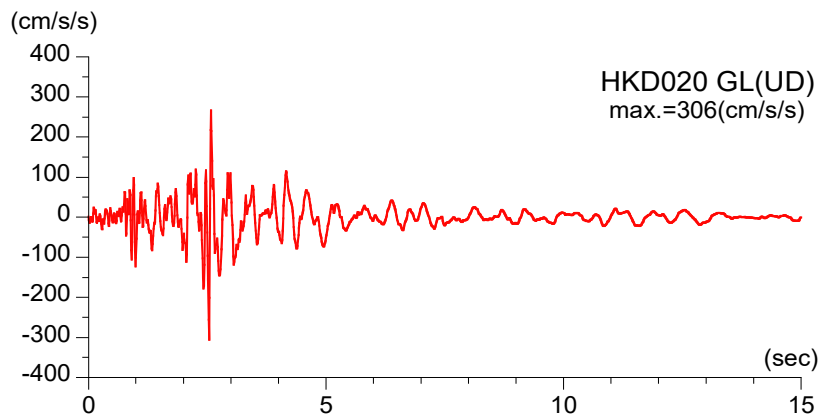


(2) 各種検討 (16/18)

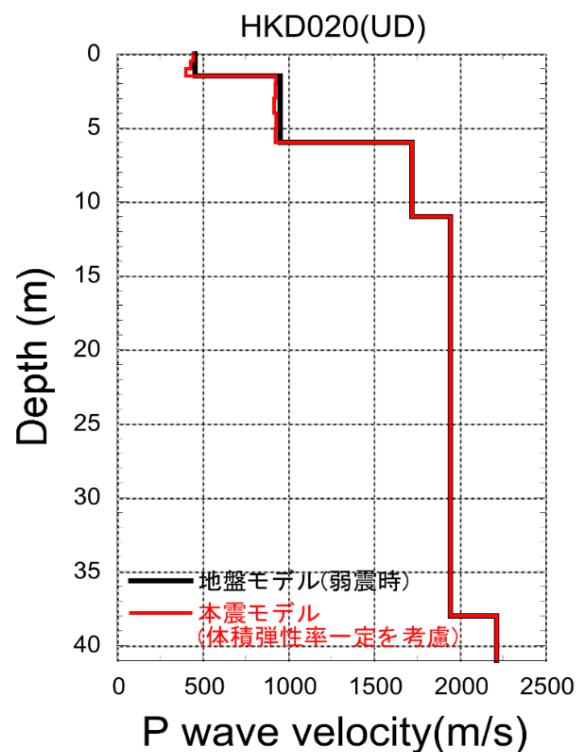
③ 再測定されたPS検層結果を踏まえた基盤地震動評価(鉛直方向)(2/3)

ii) 基盤地震動評価結果

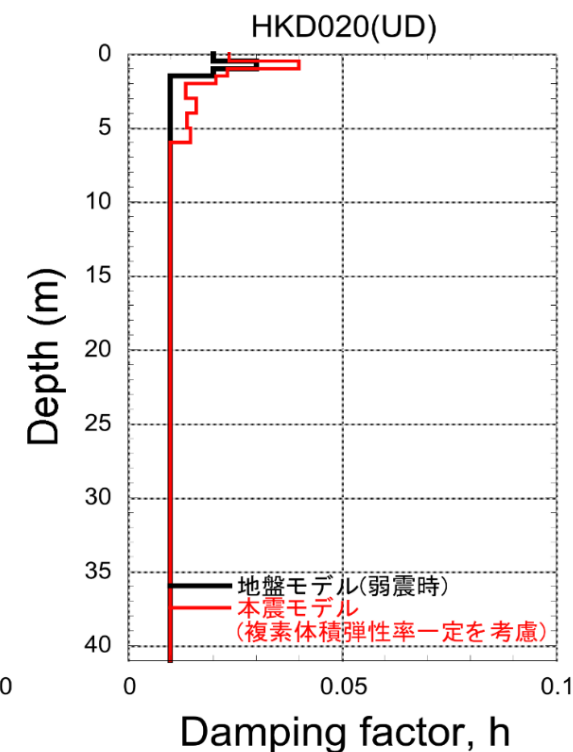
- PS検層の再測定結果を反映した地盤モデルを用い、体積弾性率一定として基盤地震動を評価した結果、最大加速度は 306cm/s^2 であり、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(296cm/s^2)と比較すると、やや大きく評価された。



加速度時刻歴波形



P波速度



減衰定数

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (18/19)



(2) 各種検討 (17/18)

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)(3/3)

iii) まとめ

- HKD020観測点のP波速度モデルは、笹谷ほか(2008)の位相速度と差異がみられたことから、最表層に重点をおいて再測定し、その結果を踏まえてP波速度モデルを再設定した。
- PS検層の再測定結果を反映した地盤モデルを用い、体積弾性率一定として基盤地震動を評価した結果、最大加速度は 306cm/s^2 であり、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(296cm/s^2)と比較すると、やや大きく評価された。

3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討 (19/19)



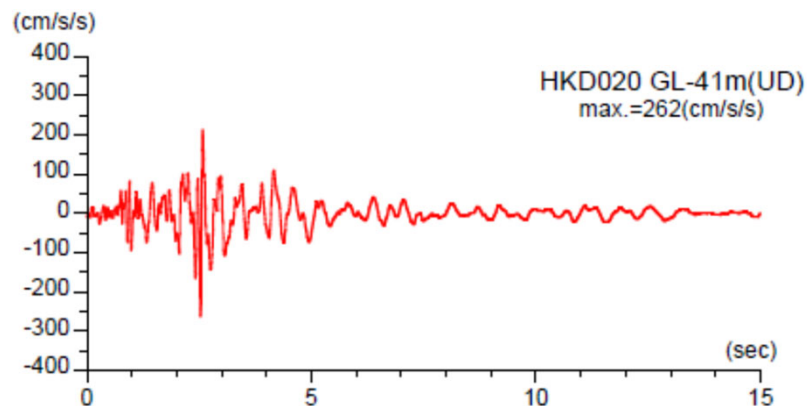
(2) 各種検討 (18/18)

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)

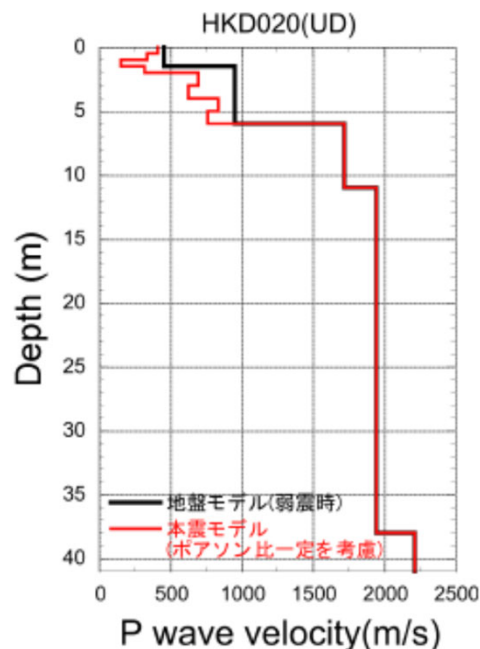
- 佐藤ほか(2013)および表層地盤のPS検層の再測定結果を踏まえた鉛直方向の基盤地震動評価は、体積弾性率一定として評価しているが、地下水位の状況を踏まえ、GL-6mまでポアソン比一定、GL-6m以深を体積弾性率一定とした場合の鉛直方向の基盤地震動を評価した。
- 体積弾性率一定とした場合と比較して、ポアソン比一定とした場合、S波速度の低下に伴ってP波速度も低下するため、最大加速度は262cm/s²となっている。



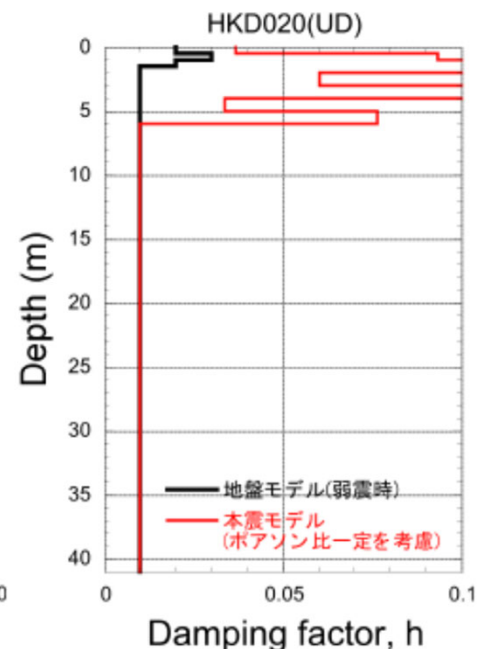
- ポアソン比一定とした場合、最大加速度は262cm/s²となり、③の体積弾性率一定と仮定した結果(306cm/s²)は保守的な結果となっている。



加速度時刻歴波形



P波速度



減衰定数

3.1.4 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する基盤地震動

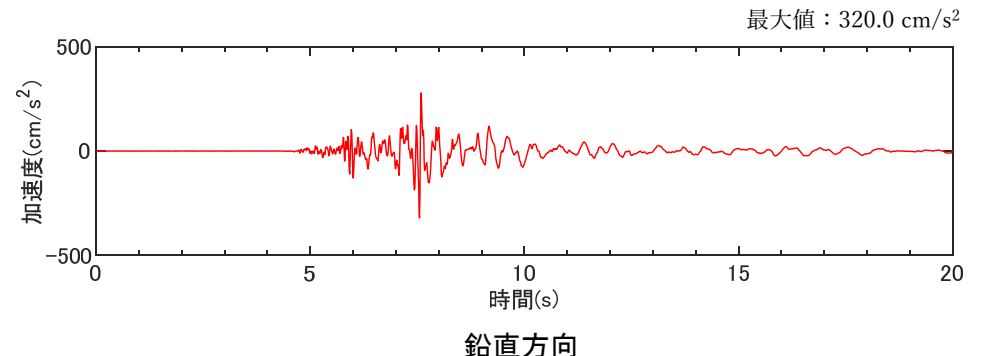
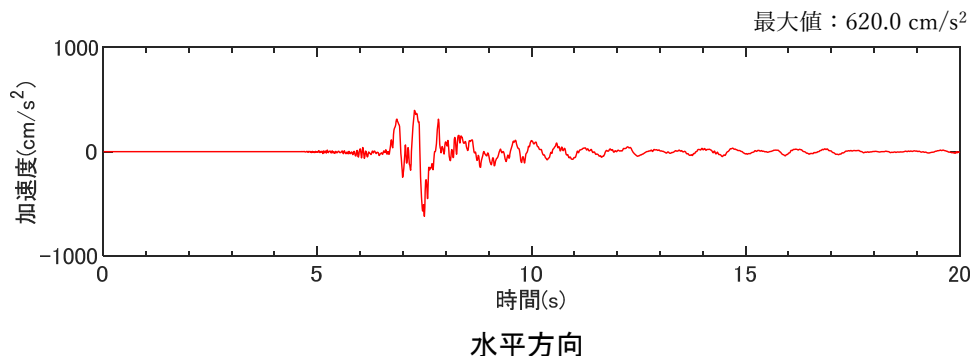


各種検討のまとめ

- 2004年北海道留萌支庁南部地震における佐藤ほか(2013)によるHKD020観測点の基盤地震動の評価結果について、以下の追加調査結果(室内試験及びPS検層再測定)を踏まえた検討等を行い再評価した。
 - GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価(水平方向)
 - 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)
 - 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)
 - 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)
- 再評価した結果、評価した基盤地震動の最大加速度は、水平方向については②のケース(609cm/s^2)が、鉛直方向については③のケース(306cm/s^2)が最も大きい結果が得られたことから、これら2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動を、震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する。

保守性を勘案した基盤地震動の評価

- 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する、上記の地震動(水平方向 609cm/s^2 、鉛直方向 306cm/s^2)に対して、更なる保守性を勘案して、2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動の加速度時刻歴波形を、水平方向 620cm/s^2 、鉛直方向 320cm/s^2 に基準化(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。



保守性を勘案した基盤地震動の加速度時刻歴波形

3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正 (1/9)



(1) 検討方針(1/2)

- 2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動(以下「留萌基盤地震動」という。)の評価位置の V_s は938m/s, V_p は2215m/sとなっている。
- 一方, 大間原子力発電所の基盤の地震動を評価する位置※の V_s は860m/s, V_p は2070m/sとなっており, 上記の留萌基盤地震動の評価位置とやや速度値が異なる。
※: 解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として, 鉛直アレイ観測点におけるT.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定。
- このため, V_s , V_p の違いによる地震動への影響について, 以下の補正方法により確認した上で, より保守的な評価となる地震動を, 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する。
 - ① 地下構造モデルを用いた補正
 - 地下構造モデルは, 次ページに示す統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルを用いることを基本とする。
 - ただし, 深部地下構造モデルには留萌基盤地震動の評価位置の V_s (938m/s), V_p (2215m/s)と同等の速度層がないことから, 同速度に近い速度層について, 地盤物性の深度依存性を踏まえて, $V_s=938\text{m/s}$ 及び $V_p=2215\text{m/s}$ 相当の速度構造区分を設けた, 補正用の地下構造モデルを設定した上で, 補正を行う。
 - ② インピーダンス比による補正
 - 留萌基盤地震動の評価位置と, 大間原子力発電所の基盤の地震動を評価する位置との密度 ρ , V_s , V_p の違いを, 波動伝播理論に基づく透過係数を用いて補正する。



3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正 (2/9)

(2) 検討方針(2/2)

- 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点においてダウンホール法によるPS検層結果を踏まえて作成した、統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルについて、留萌基盤地震動の評価位置のVs(938m/s), Vp(2215m/s)に近いNo.1層を、Vs, Vpの深度依存性に着目した速度構造区分に分割して評価を行う。

統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル

基盤の地震動を 評価する位置※ ▼ (T.P.-230m)	層No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Qs	Vp (m/s)	Qp
	1	-330	100	1.6	860	50	2070	60
	2	-820	490	2.3	1700	80	3500	60
	3	-1770	950	2.5	2200	290	4400	150
	4	-2210	440	2.7	2700		5200	
▼ 地震基盤	5	-	-	2.7	3200	550	5400	210

※: 鉛直アレイ地震観測地点において解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、T.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定。

3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正 (3/9)

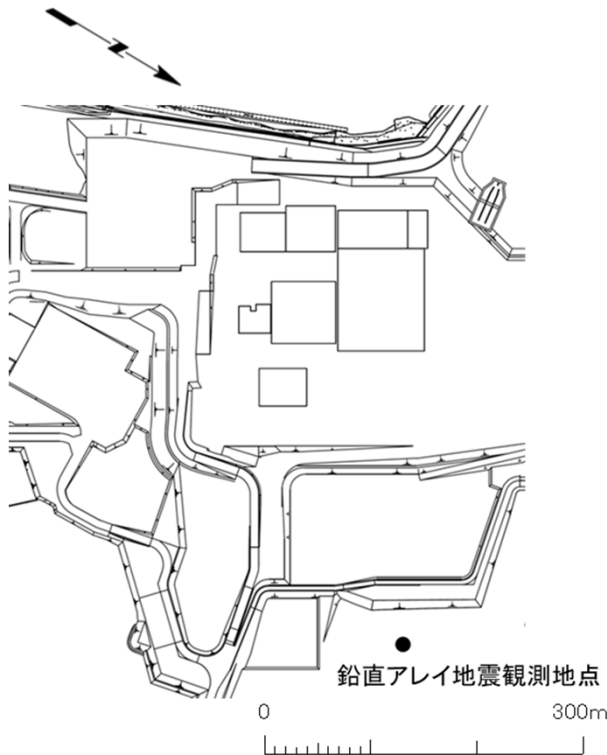


(2) 大間原子力発電所の地盤物性を考慮した検討(1/7)

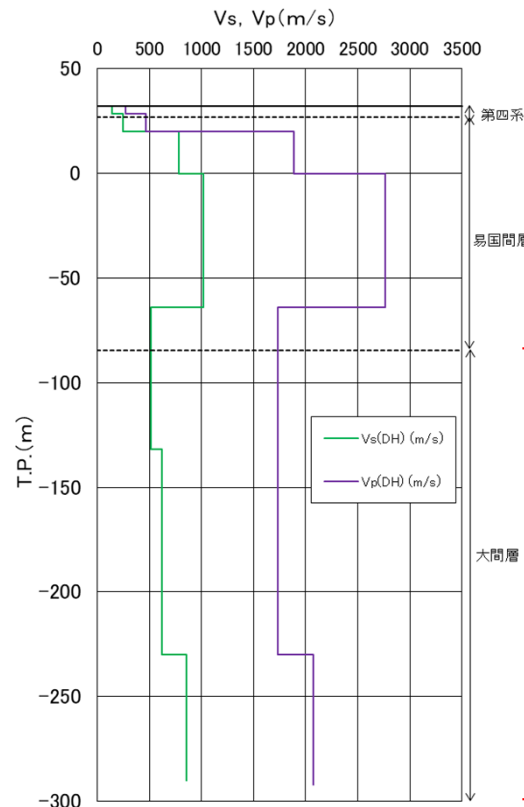
① 地下構造モデルを用いた補正 (1/4)

i) 検討方針

- 統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルのNo.1層について、 V_s 、 V_p の深度依存性に着目した、詳細な速度構造区分を設定した上で補正を行う。
- 敷地内の鉛直アレイ地震観測地点におけるダウンホール法によるPS検層結果は、大間層の区間において深度依存性が認められることから、深度依存式を作成の上、速度構造区分の細分化を行い、留萌基盤地震動の補正に用いる地下構造モデルを設定する。



鉛直アレイ地震観測地点の位置



鉛直アレイ地震観測地点でのダウンホール法によるPS検層結果

ダウンホール法によるPS検層結果は、大間層の区間において深度依存性が認められる。



大間層の区間について、深度依存式を作成の上、速度構造区分の細分化を行い、留萌基盤地震動の補正に用いる地下構造モデルを設定する。

上記の細分化にあたっては、1mごとに速度値が得られており、深度依存性の傾向がより表現されるサスペンション法によるPS検層結果を用いた。

3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正 (4/9)



(2) 大間原子力発電所の地盤物性を考慮した検討(2/7)

① 地下構造モデルを用いた補正 (2/4)

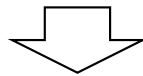
ii) 検討手順

下記のフローの手順に基づき、留萌基盤地震動の補正に用いる地下構造モデルを設定する。

- 鉛直アレイ地震観測地点の大間層について、サスペンション法によるPS検層結果に基づき、弾性波速度の深度依存式を作成する。
- 統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルのNo.1層について、上記の深度依存式に基づき、留萌基盤地震動が評価された位置の弾性波速度($V_s=938\text{m/s}$, $V_p=2215\text{m/s}$)を上回る速度となる位置を確認し、この位置で分割することで、留萌基盤地震動の補正に用いる地下構造モデルを設定する。

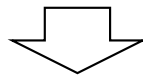
手順1: 弾性波速度の深度依存式の作成

- 鉛直アレイ地震観測地点の大間層について、サスペンション法によるPS検層結果に基づき、弾性波速度(V_s , V_p)の深度依存式を作成する^{※1}。



手順2: 地下構造モデルの分割位置の確認

- 手順1で作成した深度依存式に基づき、留萌基盤地震動が評価された位置の弾性波速度^{※2}を上回る位置を確認する。



手順3: 留萌基盤地震動の補正に用いる地下構造モデルの設定

- 統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルのNo.1層について、手順2で確認した位置で分割することで、留萌基盤地震動の補正に用いる地下構造モデルを設定する。

※1: 深度依存式の作成においてサスペンション法によるPS検層結果の使用にあたり、孔壁の乱れ等による測定値のバラツキを排除し、適切な評価を行うために、PS検層結果を3m区間で移動平均する処理を行った。

※2: 留萌基盤地震動が評価された位置の弾性波速度
 $V_s=938\text{m/s}$
 $V_p=2215\text{m/s}$

3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正 (5/9)



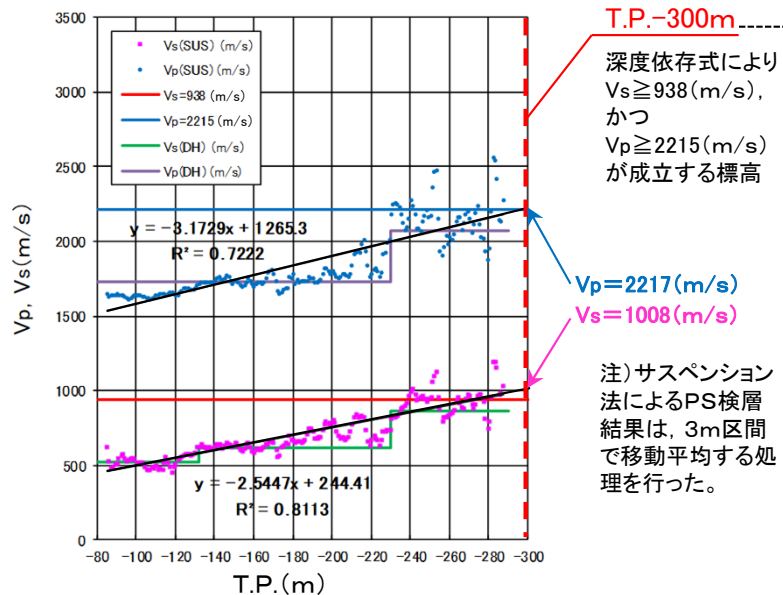
(2) 大間原子力発電所の地盤物性を考慮した検討(3/7)

① 地下構造モデルを用いた補正 (3/4)

iii) 補正に用いる地下構造モデルの設定

- 統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルのNo.1層について、サスペンション法によるPS検層結果に基づく深度依存式により、留萌基盤地震動が評価された位置の弾性波速度 ($V_s=938\text{m/s}$, $V_p=2215\text{m/s}$) を上回る速度となる位置で分割した。
- 当該位置に、保守性を勘案した基盤地震動を入力し、大間原子力発電所の基盤の地震動を評価する位置^{※1}における地震動を評価する。
^{※1}: 解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、鉛直アレイ観測点におけるT.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定。

手順1: 弾性波速度の深度依存式の作成



→ 深度依存式は、以下の通りとする。

$$V_s = -2.5447 \times (\text{標高T.P.m}) + 244.41$$

$$V_p = -3.1729 \times (\text{標高T.P.m}) + 1265.3$$

手順2: 地下構造モデルの分割位置の確認

- 標高T.P.-300(m)のとき、深度依存式によると、 $V_s=1008\text{m/s}$, $V_p=2217\text{m/s}$ となり、 $V_s \geq 938\text{m/s}$, かつ $V_p \geq 2215\text{m/s}$ が成立する。

→ 地下構造モデルの分割位置をT.P.-300(m)に設定する。

手順3: 留萌基盤地震動の補正に用いる地下構造モデルの設定

統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル

層No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m^3)	V_s (m/s)	Q_s	V_p (m/s)	Q_p
1	-330	100	1.6	860	50	2070	60
2	-820	490	2.3	1700	80	3500	60
3	-1770	950	2.5	2200	290	4400	150
4	-2210	440	2.7	2700		5200	
5	-	-	2.7	3200	550	5400	210

留萌基盤地震動の補正に用いる地下構造モデル^{※2}

層 No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m^3)	V_s (m/s)	V_p (m/s)
地震動を評価する位置	-230	-	-	-	-
1-1	-300	70	1.6	860	2070
1-2	-330	30	1.6	1008	2217
2層以深	2層以深については省略				

2層に分割

※2: Q_s と Q_p は統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルの1層目の値を使用する。

3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正 (6/9)

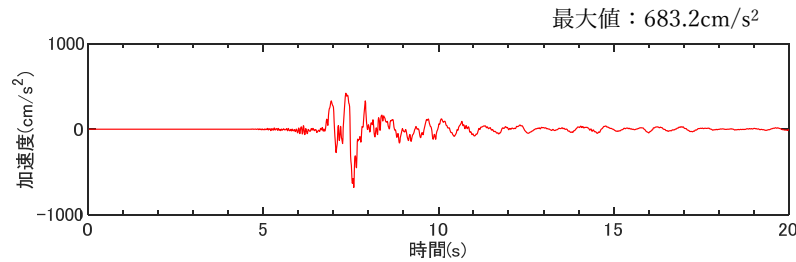


(2) 大間原子力発電所の地盤物性を考慮した検討 (4/7)

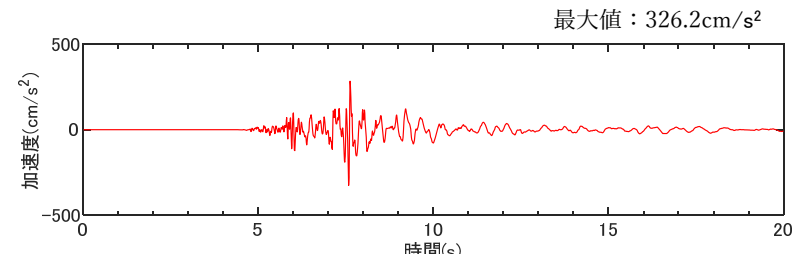
① 地下構造モデルを用いた補正 (4/4)

iv) 解放基盤表面における地震動の評価

- 大間原子力発電所の基盤の地震動を評価する位置※における地震動は、水平方向 683.2cm/s^2 、鉛直方向 326.2cm/s^2 と評価した。
 ※:解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、鉛直アレイ観測点におけるT.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定。

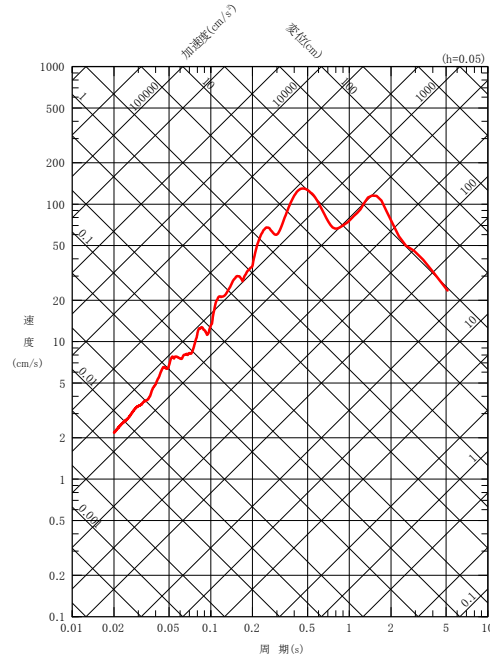


水平方向

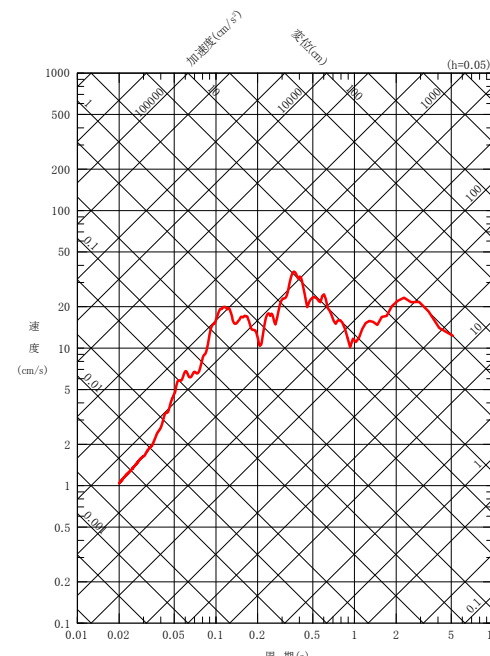


鉛直方向

加速度時刻歴波形



水平方向



鉛直方向

応答スペクトル

大間原子力発電所の地盤物性を考慮した地震動 (地下構造モデルを用いた補正)

3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正 (7/9)



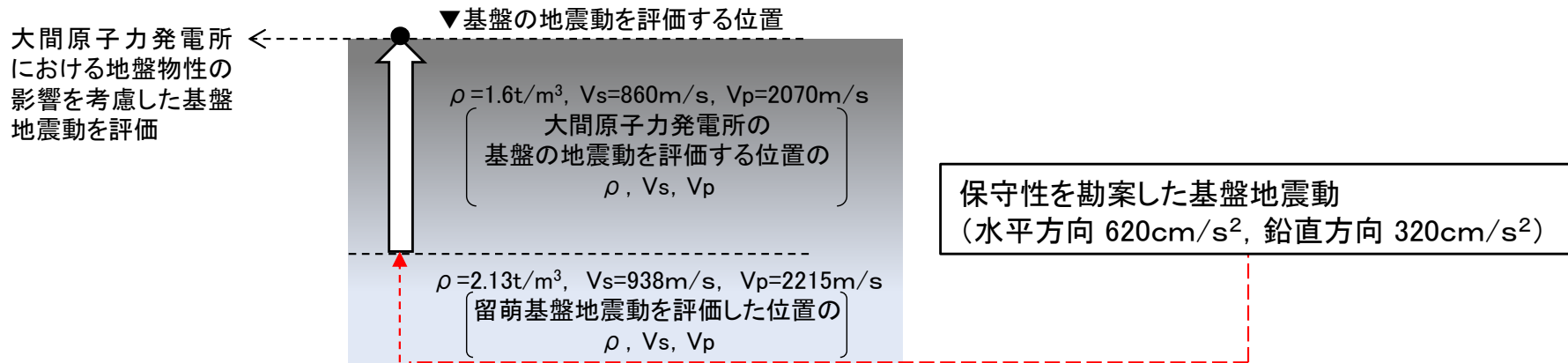
(2) 大間原子力発電所の地盤物性を考慮した検討 (5/7)

② インピーダンス比による補正 (1/2)

i) 検討方針

- 大間原子力発電所の基盤の地震動を評価する位置*と、HKD020観測点の留萌基盤地震動の評価位置との密度及び弾性波速度の違いによる地震動への影響について、弾性体の波動伝播理論に基づく透過係数を用いて評価する。

*: 解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、鉛直アレイ観測点におけるT.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定。



【透過係数に基づいたHKD020観測点の基盤地震動の補正】

$$\text{波動インピーダンス比 } \alpha = \frac{\rho_2 V_2}{\rho_1 V_1}, \text{ 透過係数 } \gamma = \frac{2}{1+\alpha}$$

ここで ρ_1 , V_1 はHKD020観測点のGL-41mの基盤層の密度と弾性波速度 ($\rho = 2.13\text{t/m}^3$, $V_s = 938\text{m/s}$, $V_p = 2215\text{m/s}$)

ρ_2 , V_2 は大間原子力発電所の基盤の地震動を評価する位置の密度と弾性波速度 ($\rho = 1.6\text{t/m}^3$, $V_s = 860\text{m/s}$, $V_p = 2070\text{m/s}$)

したがって、

水平方向は $620 \times 1.184 = 734.1\text{cm/s}^2$, 鉛直方向は $320 \times 1.175 = 376.0\text{cm/s}^2$ となる。

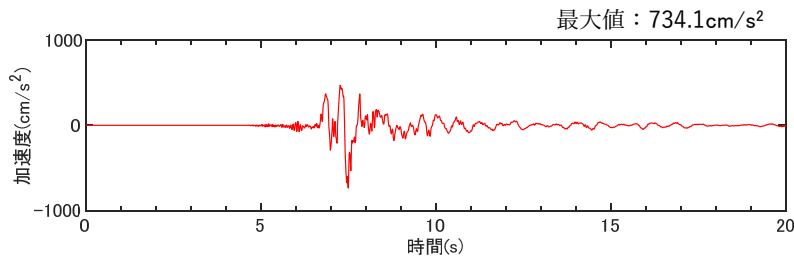
3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正 (8/9)

(2) 大間原子力発電所の地盤物性を考慮した検討 (6/7)

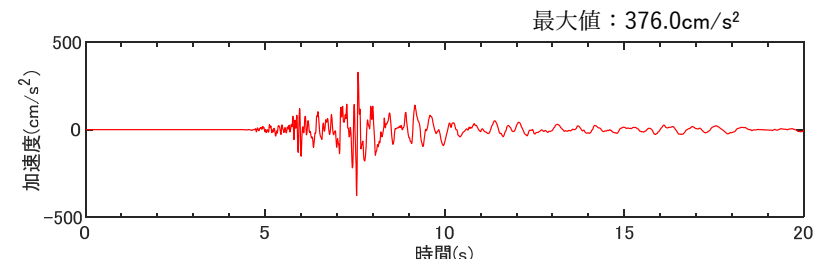
② インピーダンス比による補正 (2/2)

ii) 解放基盤表面における地震動評価

- 大間原子力発電所の基盤の地震動を評価する位置※における地震動は、水平方向 734.1cm/s^2 、鉛直方向 376.0cm/s^2 と評価した。
 ※: 解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、鉛直アレイ観測点におけるT.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定。

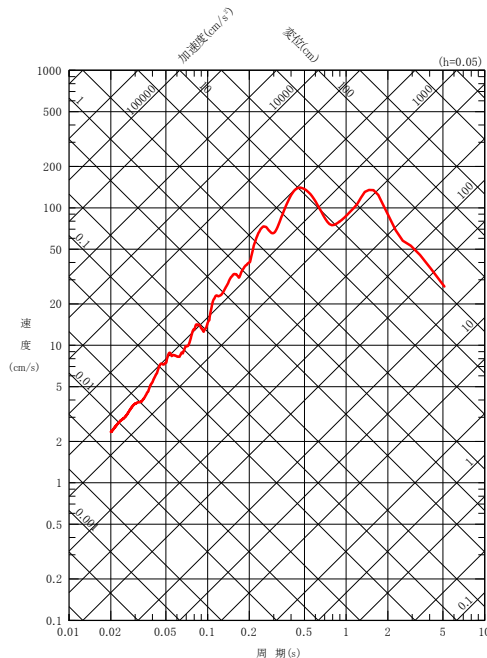


水平方向

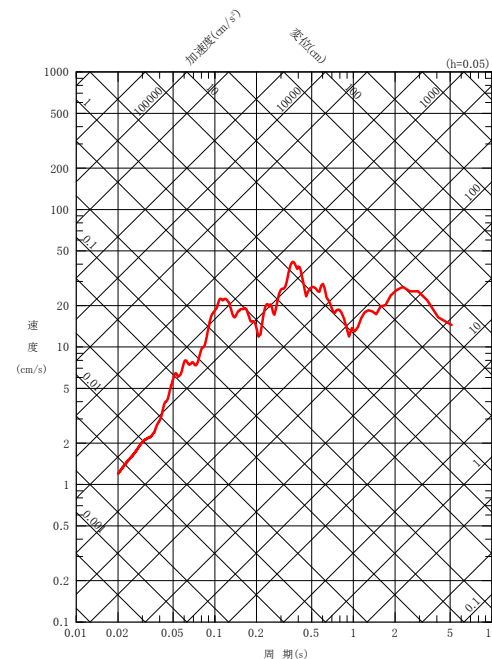


鉛直方向

加速度時刻歴波形



水平方向



鉛直方向

応答スペクトル

大間原子力発電所の地盤物性を考慮した地震動 (インピーダンス比による補正)

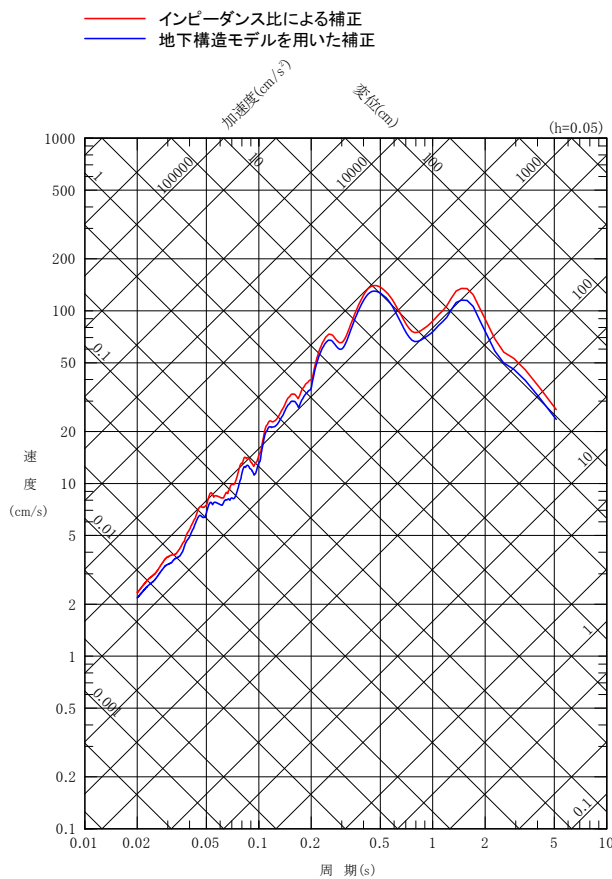
3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正 (9/9)



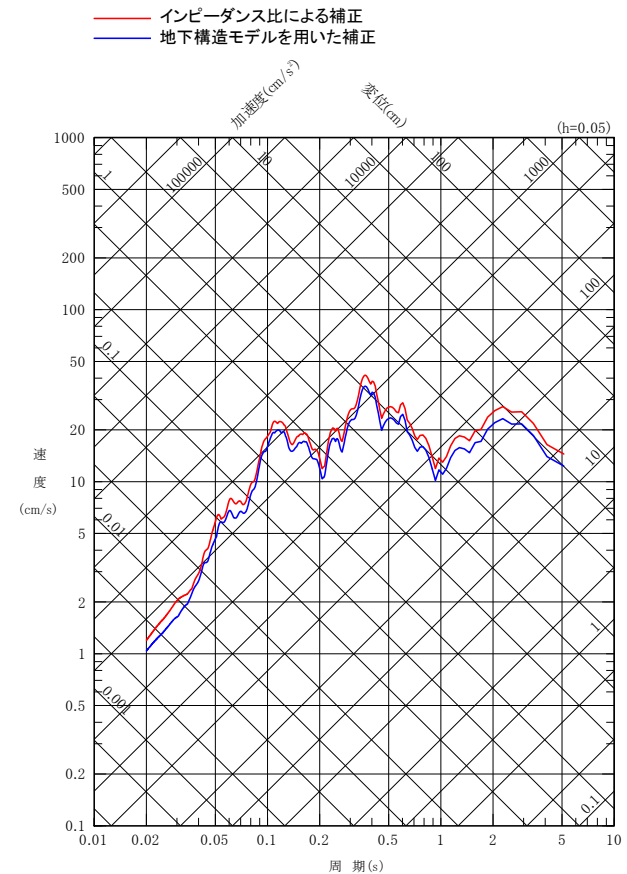
(2) 大間原子力発電所の地盤物性を考慮した検討 (7/7)

③ まとめ

- 留萌基盤地震動の評価位置と、大間原子力発電所の基盤の地震動を評価する位置との地盤物性の違いによる地震動への影響について、大間原子力発電所の深部地下構造モデルに基づく補正用の地下構造モデルを用いて補正した場合と、インピーダンス比により補正した場合について比較した結果、後者の方がより保守的な評価となった。
- 以上を踏まえ、インピーダンス比による補正結果を、震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する。



水平方向



鉛直方向

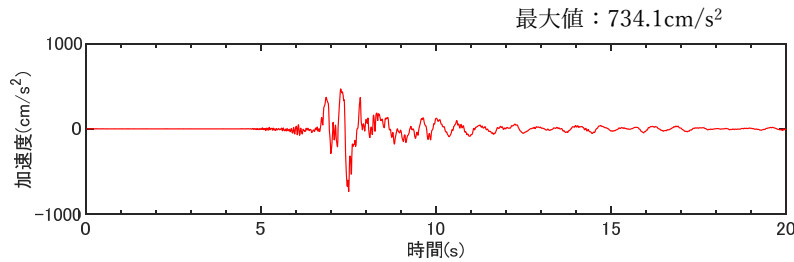
大間原子力発電所の地盤物性を考慮した地震動の応答スペクトルの比較

3.1.6 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動

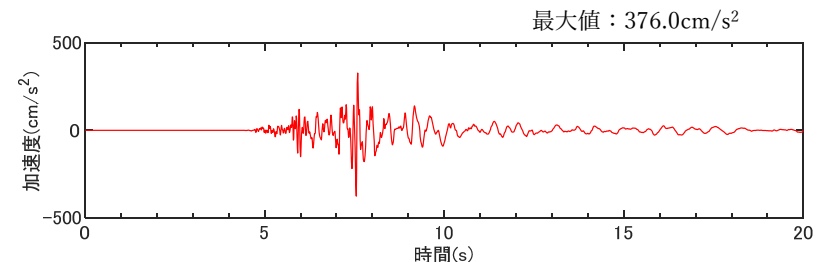


震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動

- 2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動について、佐藤ほか(2013)以降の追加調査結果を踏まえた検討等による再評価、及び更なる保守性を勘案した評価を行った上で、大間原子力発電所の地盤物性との違いを補正した地震動(水平方向 734.1cm/s^2 、鉛直方向 376.0cm/s^2)を、震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する。

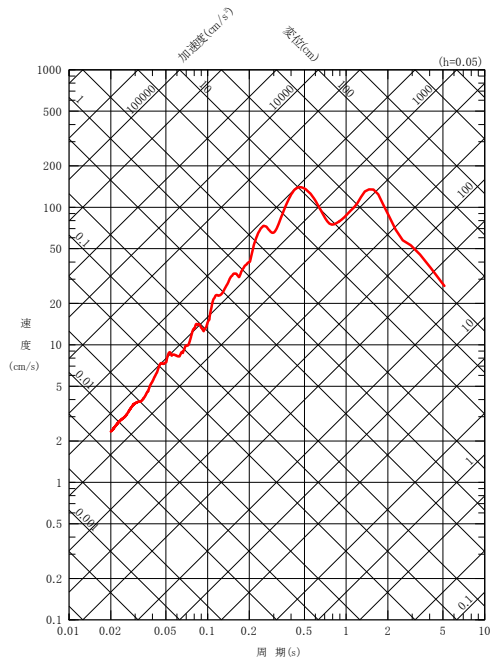


水平方向

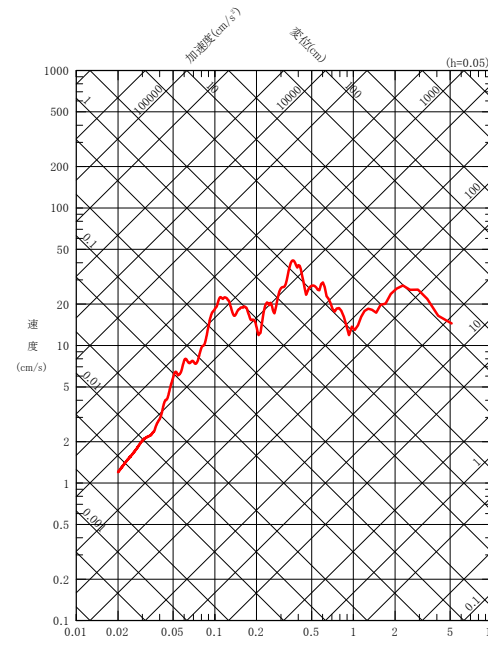


鉛直方向

加速度時刻歴波形



水平方向



鉛直方向

応答スペクトル

2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動

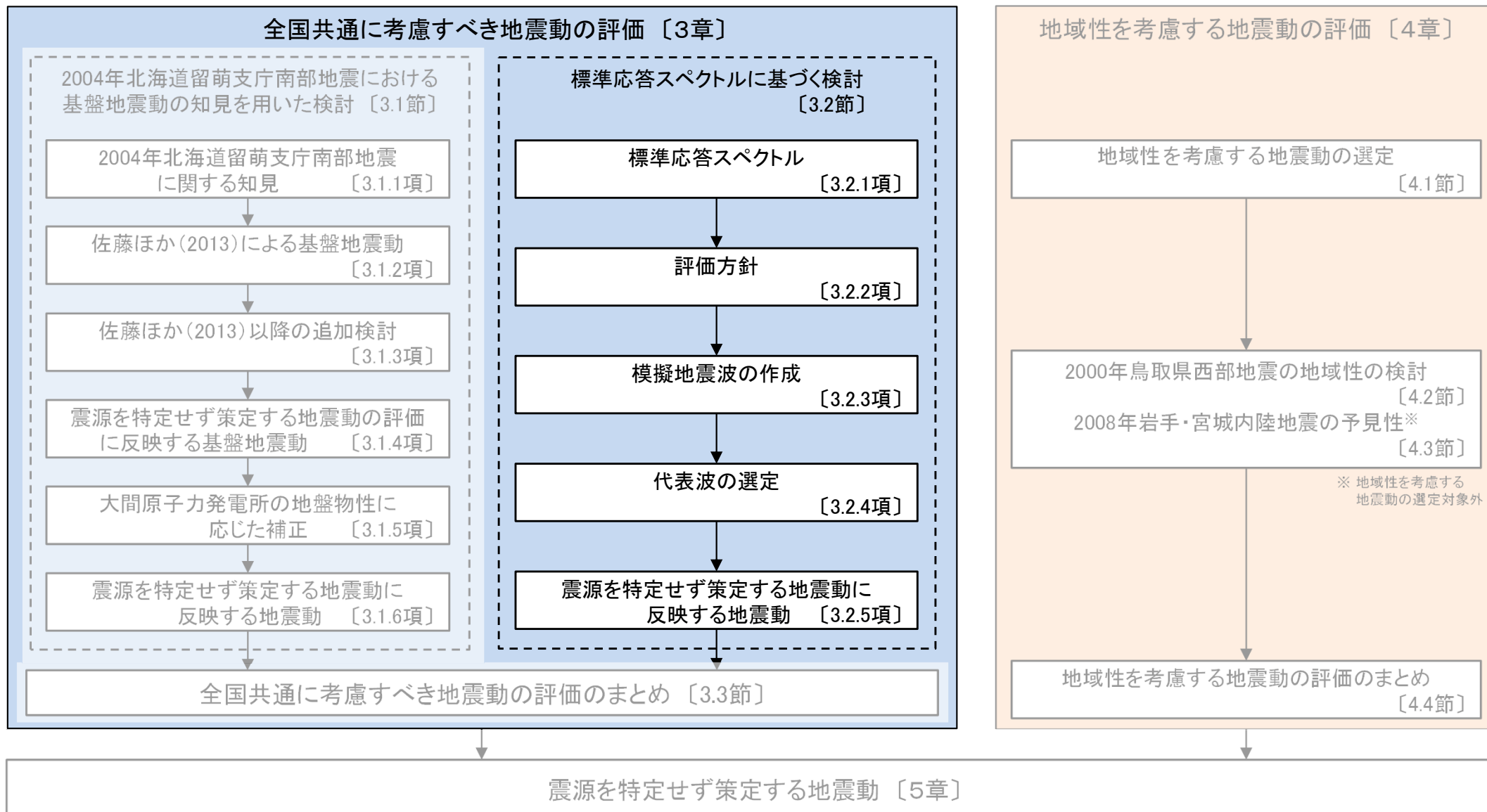
1. はじめに
 - 1.1 基準地震動策定の全体フロー
 - 1.2 申請後に得られた知見の反映や先行炉の審査を踏まえた主な変更点
2. 震源を特定せず策定する地震動の検討概要
 - 2.1 審査ガイド等の記載事項を踏まえた震源を特定せず策定する地震動の検討方針
 - 2.2 震源を特定せず策定する地震動の検討フロー
3. 全国共通に考慮すべき地震動の評価
 - 3.1 2004年北海道留萌支庁南部地震における基盤地震動の知見を用いた検討
 - 3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見
 - 3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動
 - 3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討
 - 3.1.4 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する基盤地震動
 - 3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正
 - 3.1.6 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.2 標準応答スペクトルに基づく検討
 - 3.2.1 標準応答スペクトル
 - 3.2.2 評価方針
 - 3.2.3 模擬地震波の作成
 - 3.2.4 代表波の選定
 - 3.2.5 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.3 全国共通に考慮すべき地震動の評価のまとめ
4. 地域性を考慮する地震動の評価
 - 4.1 地域性を考慮する地震動の選定
 - 4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討
 - 4.3 2008年岩手・宮城内陸地震の予見性
 - 4.4 地域性を考慮する地震動の評価のまとめ
5. 震源を特定せず策定する地震動

3.2 標準応答スペクトルに基づく検討



本節の説明箇所

- 本節において、「標準応答スペクトルに基づく検討」について説明する。



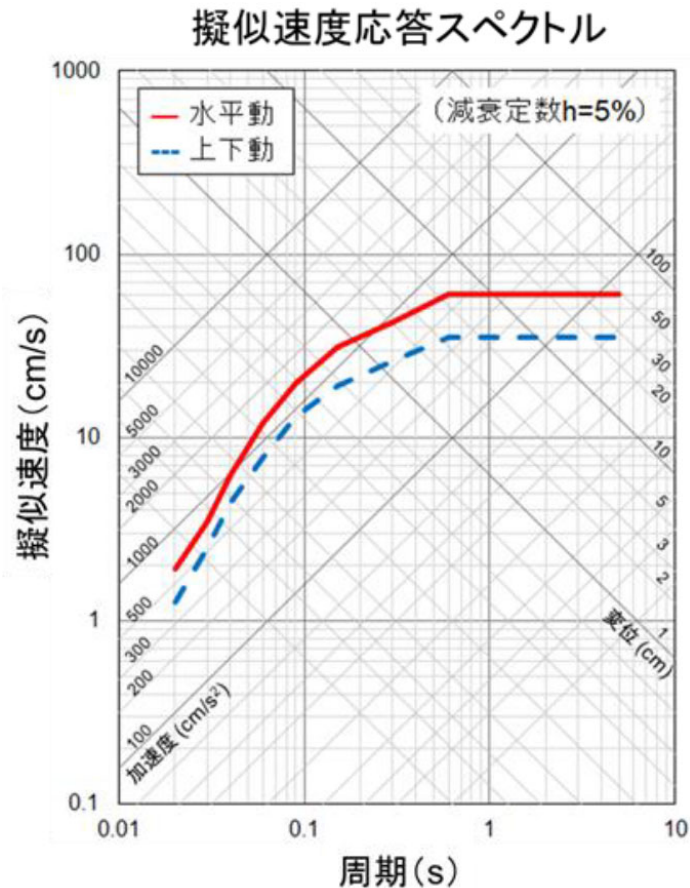
3.2.1 標準応答スペクトル



標準応答スペクトルの概要

- 標準応答スペクトルは、「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)」により、以下のように定められている。

震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面(地震基盤からの地盤増幅率が小さく地震動としては地震基盤面と同等とみなすことができる地盤の解放面で、せん断波速度 $V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層をいう。)における標準的な応答スペクトル(以下「標準応答スペクトル」という。)として次の図に示すもの。



コントロールポイント

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

3.2.2 評価方針 (1/2)



(1) 検討フロー

- 標準応答スペクトルが地震基盤相当面 ($V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層)において策定されていることから、統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルに基づき、大間原子力発電所における解放基盤表面における地震動を評価する。
- 深部地下構造モデルに入力する時刻歴波形は、地震動の継続時間及び経時的変化等について、複数の方法により作成する。
- 複数の方法として、正弦波の重ね合わせによる位相(以下「一様乱數位相」という。)を用いる方法、及び実観測記録位相を用いる方法について検討を行う。

【模擬地震波の作成】

- 一様乱數位相を用いる方法
- 実観測記録位相を用いる方法



【解放基盤表面における地震動の評価】

- 統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルに基づき評価

検討フロー

3.2.2 評価方針 (2/2)

(2) 評価に用いる深部地下構造モデル

- 解放基盤表面における地震動は、統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルに基づき、基盤の地震動を評価する位置において評価する。
- 入力位置は、標準応答スペクトルが策定されている地震基盤相当面 ($V_s=2200\text{m/s}$) と同じ速度となるNo.3層の上面位置とする。

統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル

基盤の地震動を 評価する位置※ ▼ (T.P.-230m)	層No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m^3)	V_s (m/s)	Q_s	V_p (m/s)	Q_p
	1	-330	100	1.6	860	50	2070	60
▼ 地震基盤相当面	2	-820	490	2.3	1700	80	3500	60
	3	-1770	950	2.5	2200	290	4400	150
	4	-2210	440	2.7	2700		5200	
	5	—	—	2.7	3200	550	5400	210

← 入力位置

※: 鉛直アレイ地震観測地点において解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、T.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定。

3.2.3 模擬地震波の作成 (1/8)



模擬地震波の作成方針

- 模擬地震波の作成にあたっては、「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)」への適合性を確認するため、審査ガイドの記載を踏まえ、複数の方法について検討を行う。
- 複数の方法として、一様乱数位相を用いる方法の他、敷地で得られた観測記録を重視して、敷地における実観測記録位相を用いる方法について検討を行う。

○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5項の三

- ④ 解放基盤表面までの地震波の伝播特性を必要に応じて応答スペクトルの設定に反映するとともに、設定された応答スペクトルに対して、地震動の継続時間及び経時的変化等の特性を適切に考慮すること。

審査ガイドの記載	大間原子力発電所における検討
<ul style="list-style-type: none"> • 地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化等の特性が適切に考慮されていること。 • 複数の方法(例えば、正弦波の重ね合わせによる位相を用いる方法、実観測記録の位相を用いる方法等)により検討が行われていること。 	<p>複数の方法として、以下を検討。</p> <p>① 一様乱数位相を用いる方法</p> <ul style="list-style-type: none"> • 地震動の継続時間及び経時的変化は、Noda et al.(2002)に基づき設定。 <p>② 実観測記録位相を用いる方法</p> <ul style="list-style-type: none"> • 地震動の継続時間及び経時的変化は、敷地で得られた観測記録の位相を用いる。

3.2.3 模擬地震波の作成 (2/8)

① 一様乱数位相を用いる方法 (1/2) 作成方法

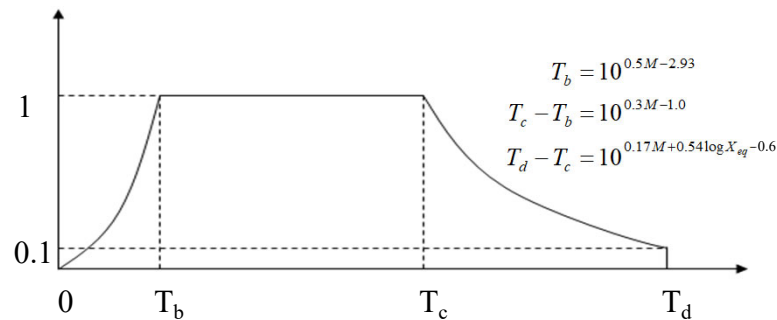
- 模擬地震波の作成にあたっては、標準応答スペクトルを目標スペクトルとし、一様乱数位相を用いる方法により模擬地震波を作成する。
- 振幅包絡線はNoda et al.(2002)に基づくこととし、そのパラメータである地震規模M及び等価震源距離 X_{eq} は以下の設定とした。
M: 地震学的知見※¹を参照し、M6.9とする。
 X_{eq} : 地震発生層※²を飽和する震源断層の中央に相当する、10kmとする。

※¹: 地震学的知見として、スケーリング則を踏まえた規模を参照した。

- 地表に明瞭な痕跡が見られない地震の規模は、断層幅が地震発生層を飽和することによりスケーリング則が変わる閾値とされている、 $M_0=7.5E+18Nm$ (Mw6.5相当、M7.0)未満と考えられるため、M6.9とした。

※²: 敷地を含む領域の地震発生層は、微小地震の震源深さ分布等を踏まえ、保守的に上限深さ3km、下限深さ17km、厚さ14kmとしている。※³

(※³: 第1013回審査会合 資料1-1 「3.1 地震発生層の設定」を参照。)



Noda et al.(2002)の振幅包絡線

振幅包絡線の諸元値

諸元	値
地震規模M	6.9
等価震源距離 X_{eq}	10km
T_b	3.31s
T_c	15.06s
T_d	28.03s

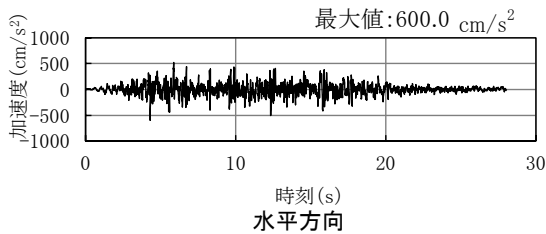
3.2.3 模擬地震波の作成 (3/8)



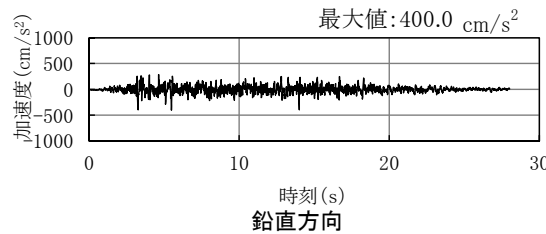
① 一様乱数位相を用いる方法 (2/2)

模擬地震波の作成結果

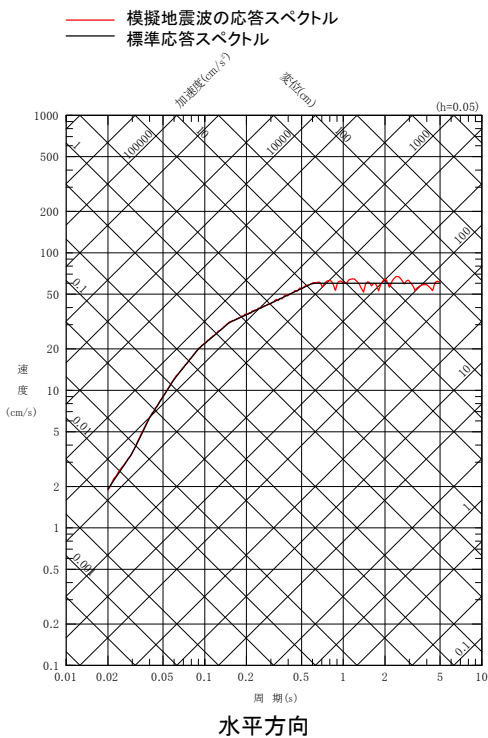
- 標準応答スペクトルを目標スペクトルとし、一様乱数位相を用いる方法により模擬地震波を作成した。
- 作成した模擬地震波が、日本電気協会(2015)に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認した。
 - 目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトルの比が全周期帯で0.85以上
 - 応答スペクトルの強度値の比(SI比)が1.0以上



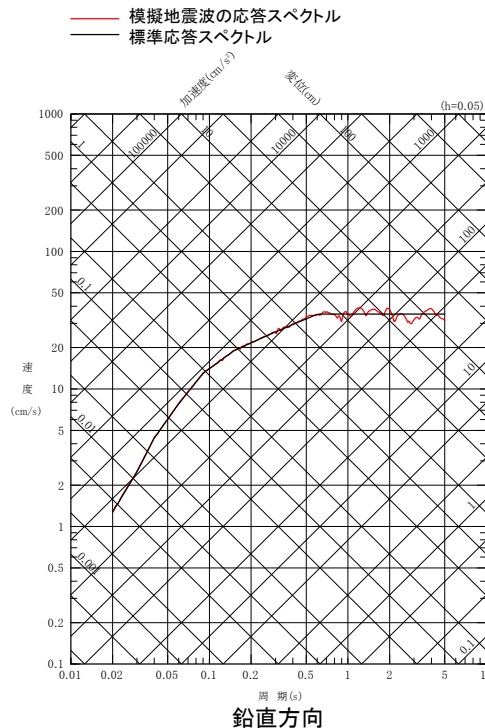
加速度時刻歴波形



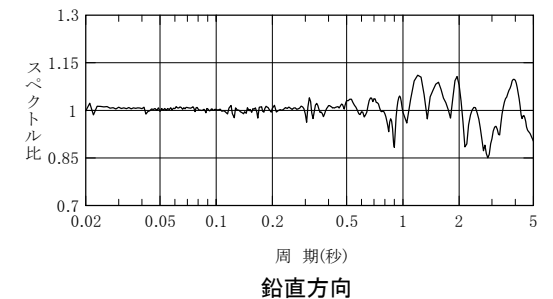
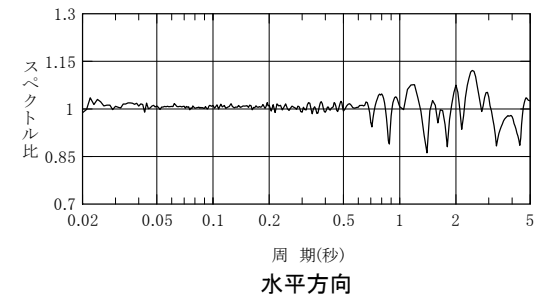
適合状況				
	最大加速度 (cm/s ²)	継続時間 (s)	SI比	最小応答スペクトル比
水平方向	600.0	28.03	1.01	0.86
鉛直方向	400.0	28.03	1.02	0.85



応答スペクトル



鉛直方向



スペクトル比

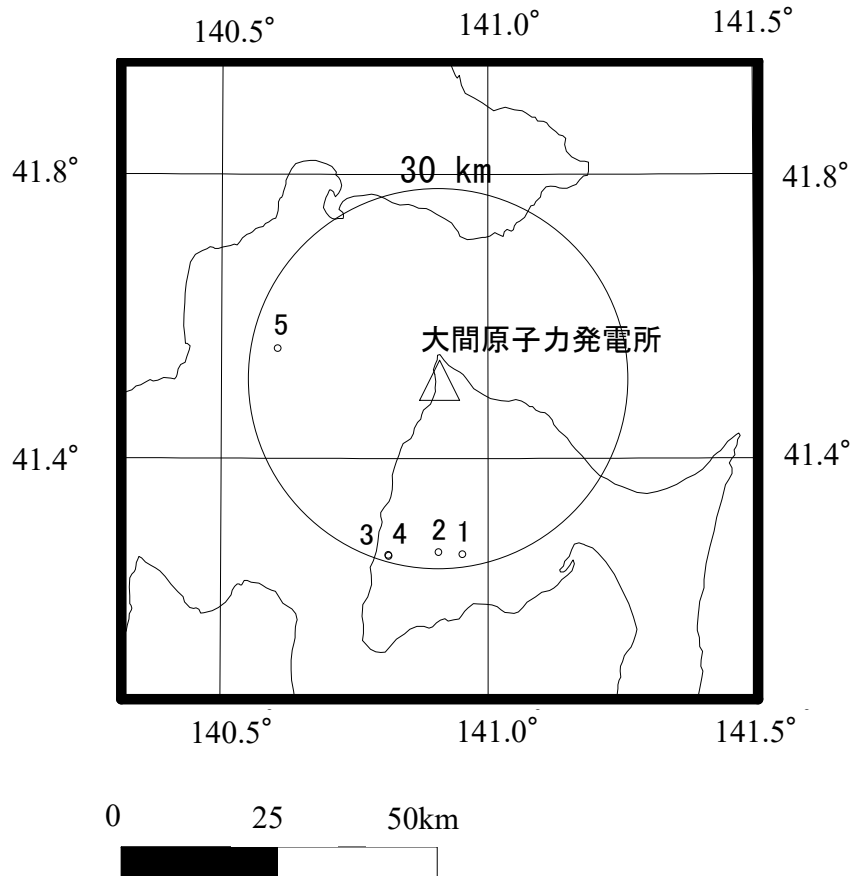
3.2.3 模擬地震波の作成 (4/8)



② 実観測記録位相を用いる方法 (1/4)

検討対象観測記録

- 敷地の観測記録については、敷地近傍の地震に対する敷地地盤における地震動の振動特性(位相特性)を有していると考えられる地震を選定するため、下記の抽出条件により、確認対象地震を選定した。
- 地震観測記録は、敷地内の鉛直アレイ地震観測点の最も深いT.P.-207.5m地点の地震計位置とする。
- 下記の条件で抽出される地震のうち、ノイズ影響のない観測記録の中から最大加速度が最も大きい記録である、「2004年9月8日の地震(M3.7)」を選定した。詳細については巻末補足を参照。



抽出条件

- 観測点 : サイト内鉛直アレイ観測点
- 観測期間 : 1989年8月～2019年12月
- 震央距離 : 30km以内
- 震源深さ : 0～20km
- メカニズム : 指定なし
- M : 4.0程度以上※

※: M4.0以上の地震は1地震のみのため、Mの範囲を拡張し、上位5地震を抽出した。

検討に用いる地震観測記録の選定

No.	発生日時	震央位置		M	震央距離(km)	震源深さ(km)
		北緯(°)	東経(°)			
1	1993.02.11 03:51	41.263	140.955	3.7	28	13
2	1998.10.18 01:08	41.266	140.910	4.1	27	12
3	2004.09.04 11:18	41.262	140.816	3.8	29	14
4	2004.09.08 20:59	41.261	140.817	3.7	29	12
5	2016.09.25 13:03	41.553	140.608	3.7	26	13

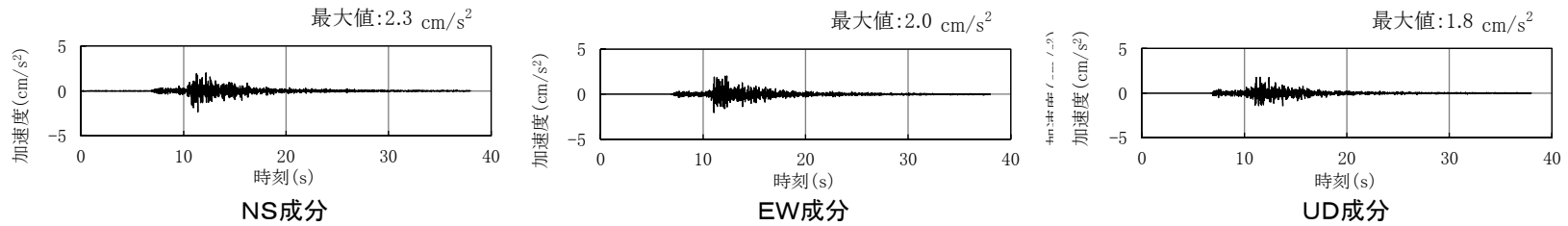
選定した地震

3.2.3 模擬地震波の作成 (5/8)

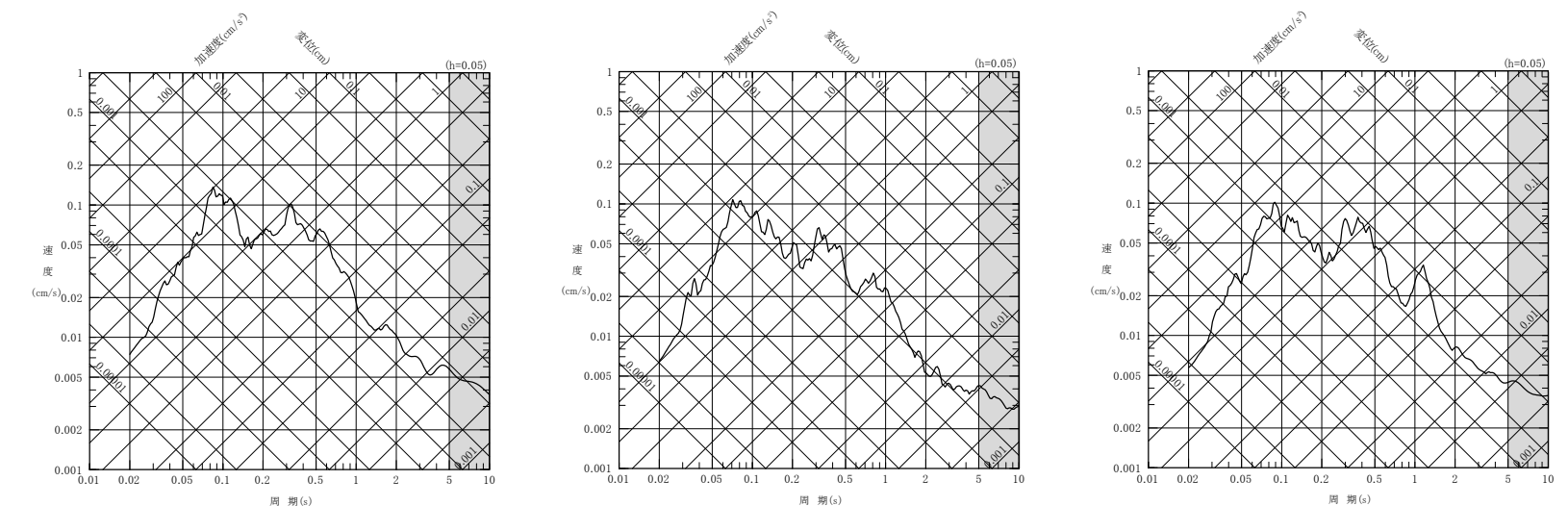


② 実観測記録位相を用いる方法 (2/4) 選定した観測記録

- ・ 実観測記録位相を用いる方法に用いる, 敷地で得られた観測記録の加速度時刻歴波形及び応答スペクトルを示す。
- ・ 観測記録にはノイズ影響が見られず, S波到達以降, 10秒間程度, 有意な振幅を有する波形が得られている。



加速度時刻歴波形



応答スペクトル※

2004年9月8日の地震(M3.7)の観測記録
(敷地内の鉛直アレイ観測点 T.P.-207.5m位置, 地中波)

※: 応答スペクトルの周期5秒以上は, 地震計の感度がやや低下するが, ノイズ影響を見やすくするために参考として示す。

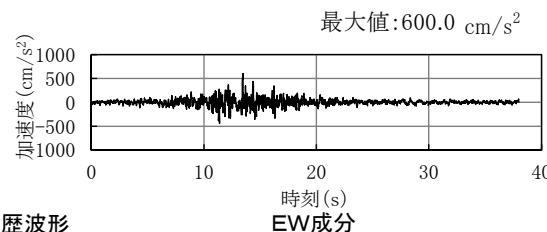
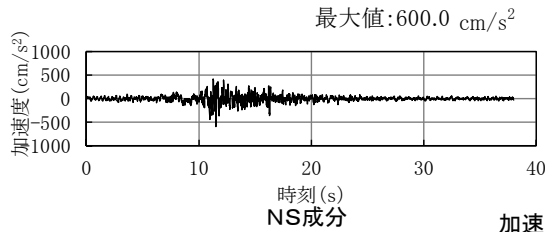
3.2.3 模擬地震波の作成 (6/8)



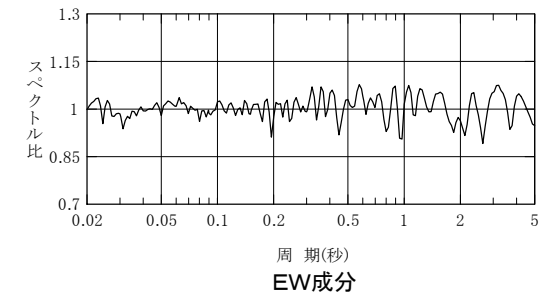
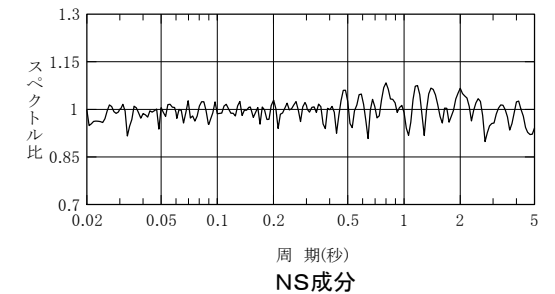
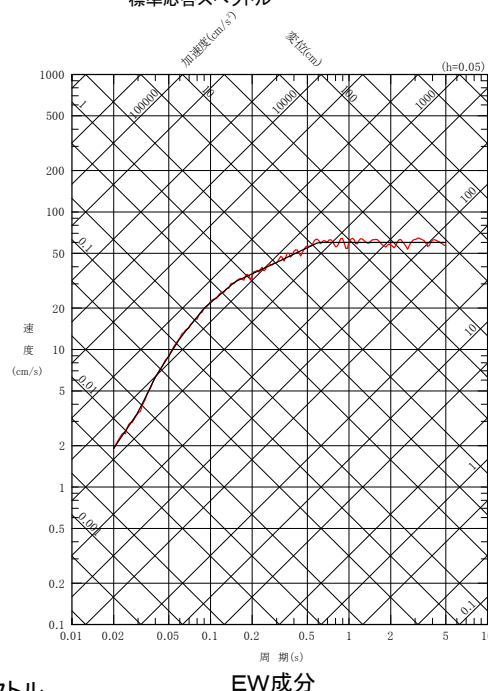
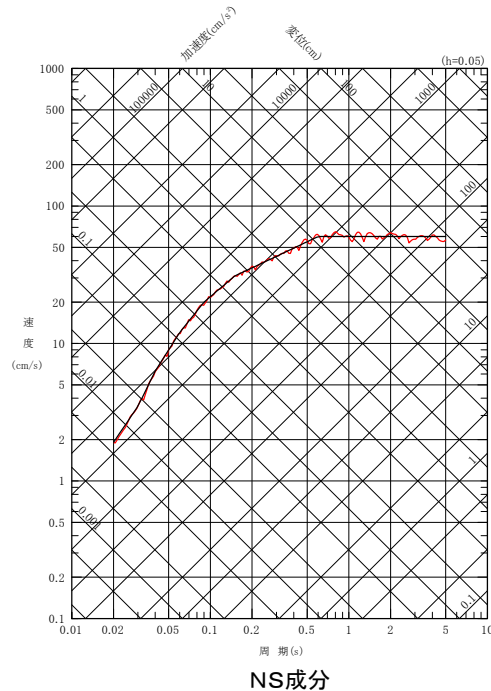
② 実観測記録位相を用いる方法 (3/4)

模擬地震波の作成結果 (1/2) (水平方向)

- 標準応答スペクトルを目標スペクトルとし、2004年9月8日の地震(M3.7)において敷地で得られた観測記録位相を用いて、模擬地震波を作成した。
- 作成した模擬地震波が、日本電気協会(2015)に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認した。
 - 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の比が全周期帯で0.85以上
 - 応答スペクトルの強度値の比(SI比)が1.0以上



適合状況				
	最大加速度 (cm/s ²)	継続時間 (s)	SI比	最小応答 スペクトル比
NS成分	600.0	38.00	1.01	0.90
EW成分	600.0	38.00	1.00	0.89



実観測記録位相を用いる方法による模擬地震波の作成結果(水平方向)

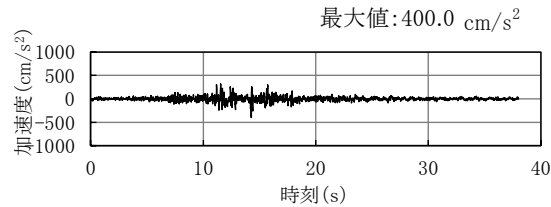
3.2.3 模擬地震波の作成 (7/8)



② 実観測記録位相を用いる方法 (4/4)

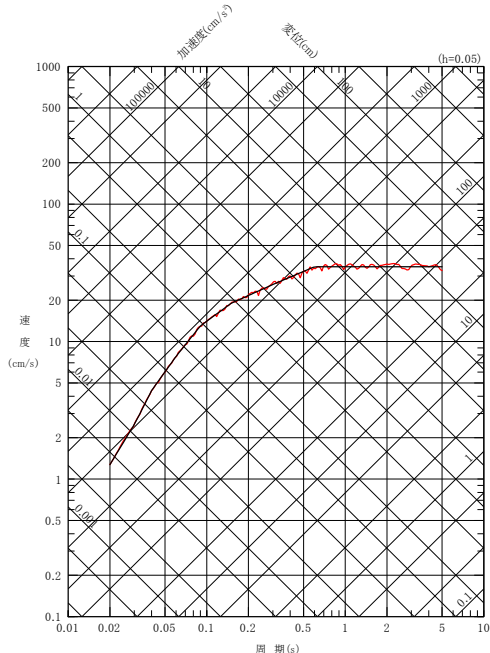
模擬地震波の作成結果 (2/2) (鉛直方向)

- 標準応答スペクトルを目標スペクトルとし、2004年9月8日の地震(M3.7)において敷地で得られた観測記録位相を用いて、模擬地震波を作成した。
- 作成した模擬地震波が、日本電気協会(2015)に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認した。
 - 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の比が全周期帯で0.85以上
 - 応答スペクトルの強度値の比(SI比)が1.0以上



加速度時刻歴波形(UD成分)

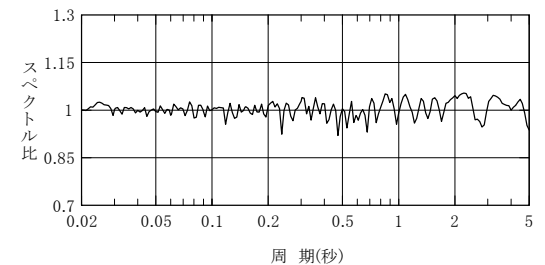
— 作成された模擬地震波
— 標準応答スペクトル



実観測記録位相を用いる方法による模擬地震波の作成結果(UD成分)

適合状況

	最大加速度 (cm/s ²)	継続時間 (s)	SI比	最小応答 スペクトル比
UD成分	400.0	38.00	1.01	0.92

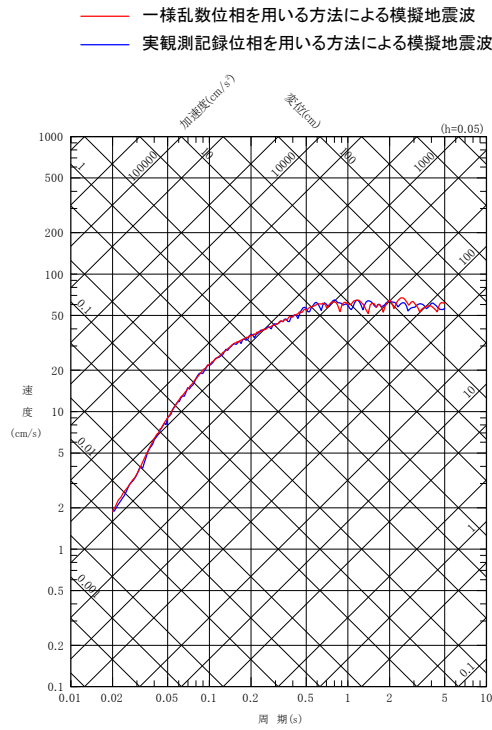


UD成分

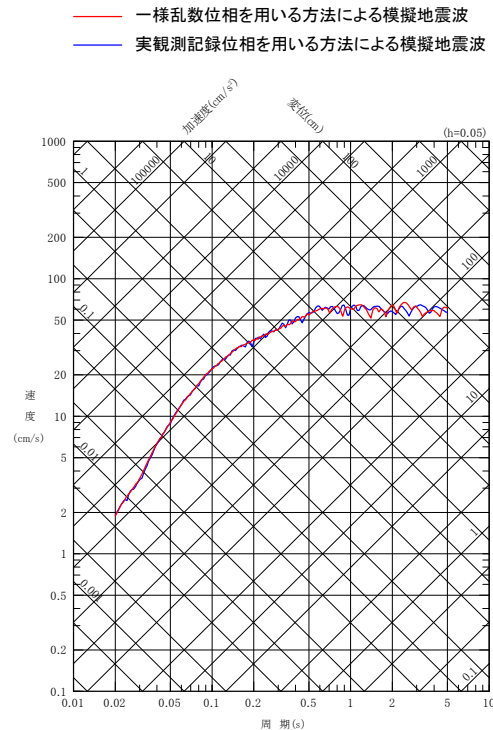
スペクトル比

③作成した模擬地震波の位相の違いによる応答スペクトルの比較

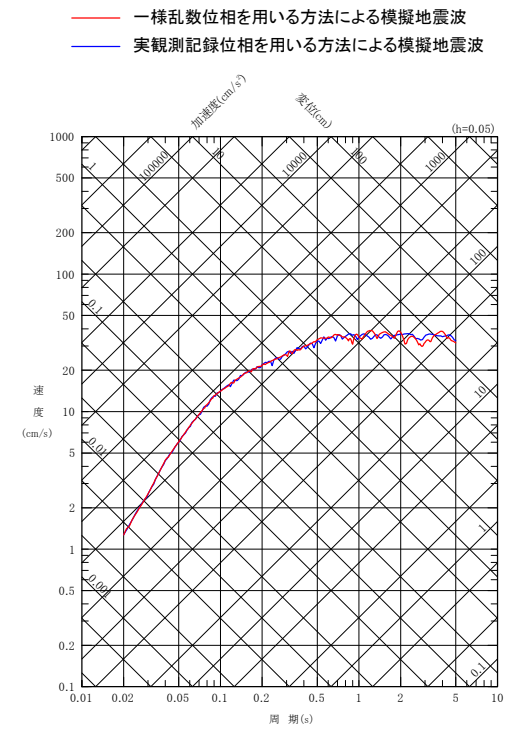
• 一様乱數位相を用いる方法により作成した模擬地震波と実観測記録位相を用いる方法により作成した模擬地震波は、標準応答スペクトルに適合するよう作成していることから、応答スペクトルでは差異は見られない。



NS成分



EW成分



UD成分

作成した模擬地震波の位相の違いによる応答スペクトルの比較

3.2.4 代表波の選定 (1/3)

(1) 代表波の選定方法

- 一様乱数位相を用いる方法により作成した模擬地震波と、実観測記録位相を用いる方法により作成した模擬地震波は、応答スペクトルでは差異は見られない。
- このため、弾塑性時刻歴応答解析への影響確認の観点から、地震動の全継続時間における総エネルギー入力について、エネルギースペクトルを指標とした比較を行い、より影響の大きい模擬地震波を選定する。

エネルギースペクトル：地震動の全継続時間における総エネルギー入力を等価速度 V_E に変換し、構造物の固有周期との関係を表現。

運動方程式

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + kx = -M\ddot{x}_0$$



運動方程式の両辺に $\dot{x}dt (=dx)$ を乗じて、
全継続時間 t_n で時間積分

M: 質点の質量
x: 質点の相対変位
C: 減衰係数
k: 質点系の復元力
 \ddot{x}_0 : 地動の加速度

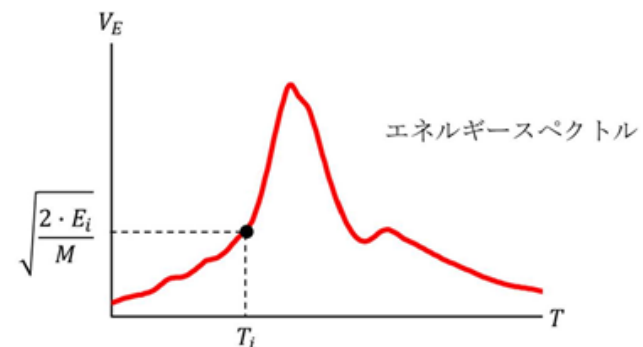
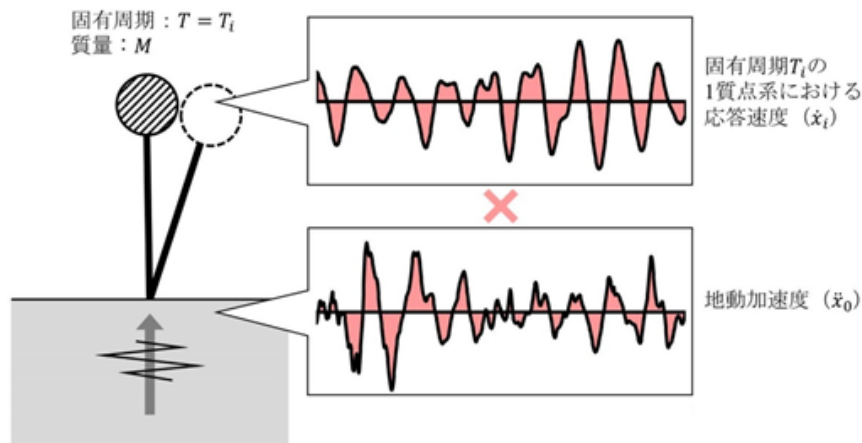
エネルギー方程式

$$\int_0^{t_n} M\ddot{x}\dot{x} dt + \int_0^{t_n} C\dot{x}^2 dt + \int_0^{t_n} kx\dot{x} dt = - \int_0^{t_n} M\ddot{x}_0\dot{x} dt$$

運動エネルギー 減衰エネルギー 歪エネルギー 総エネルギー入力

総エネルギー入力

$$E = - \int_0^{t_n} M\ddot{x}_0\dot{x} dt = \frac{1}{2} M V_E^2$$



3.2.4 代表波の選定 (2/3)

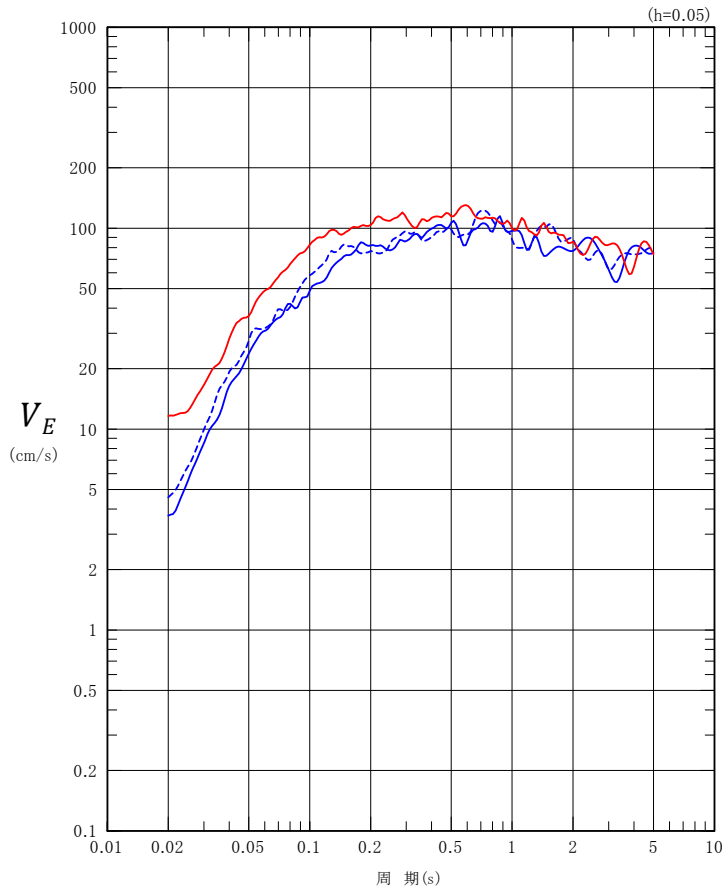


(2) エネルギースペクトルの比較

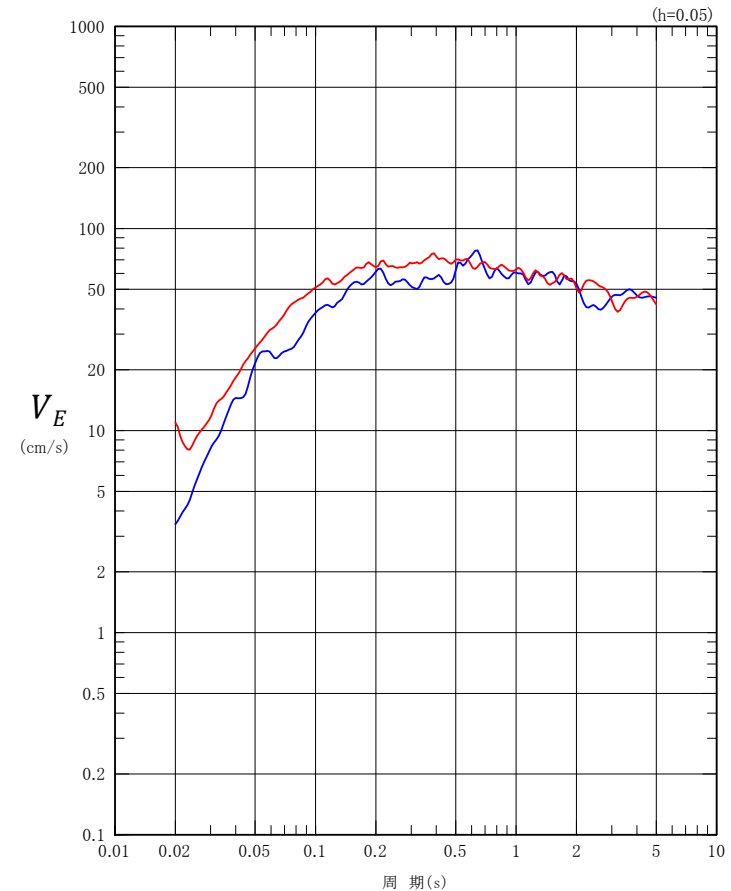
• 作成した模擬地震波のエネルギースペクトルは、一様乱數位相を用いる方法の方が、実観測記録位相を用いる方法より大きい傾向が見られる。

— 一様乱數位相を用いる方法による模擬地震波(水平方向)
 — 実観測記録位相を用いる方法による模擬地震波(NS成分)
 - - - 実観測記録位相を用いる方法による模擬地震波(EW成分)

— 一様乱數位相を用いる方法による模擬地震波(鉛直方向)
 — 実観測記録位相を用いる方法による模擬地震波(UD成分)



水平方向



鉛直方向

作成した模擬地震波の位相の違いによるエネルギースペクトルの比較

3.2.4 代表波の選定 (3/3)

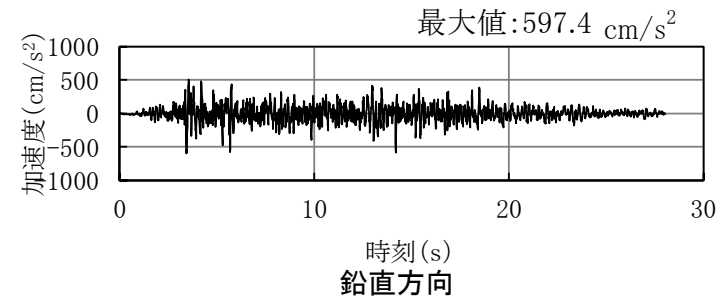
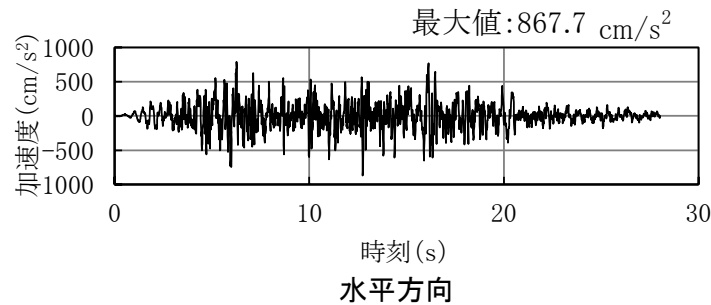
(3) まとめ

- 複数の方法を用いて作成した模擬地震波について、弾塑性時刻歴応答解析への影響確認の観点から、地震動の全継続時間における総エネルギー入力について、エネルギースペクトルを指標とした比較を行った。
- 比較の結果、一様乱数位相を用いる方法により作成した模擬地震波の方が、実観測記録位相を用いる方法により作成した模擬地震波より、エネルギースペクトルが大きい傾向となることが確認されたため、一様乱数位相を用いる方法により作成した模擬地震波を代表波とする。

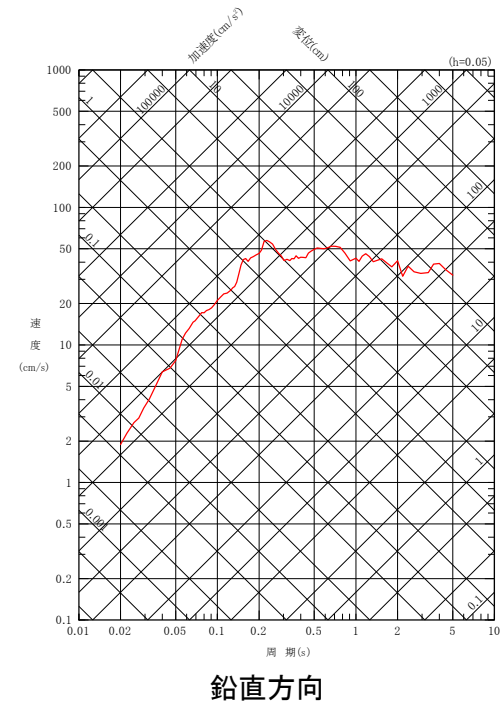
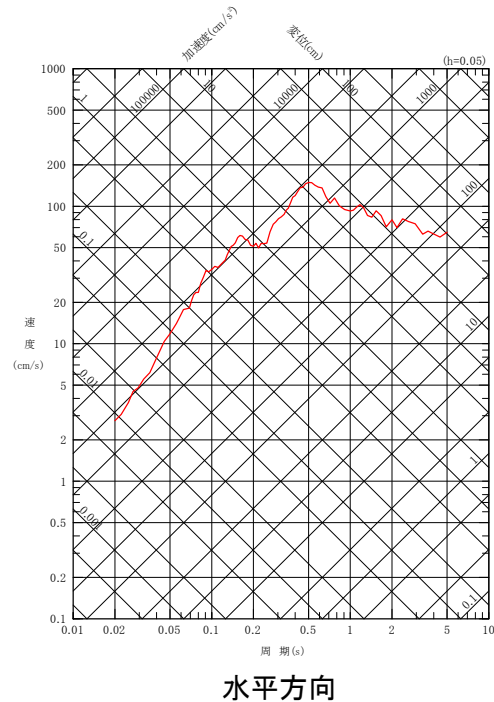
3.2.5 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動

解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動

- 解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動を、一様乱数位相を用いる方法により作成した模擬地震波を用いて評価した。
- 地震基盤相当面からの地盤増幅について、P.57に示す統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルに基づき評価した地震動(水平方向 867.7cm/s^2 、鉛直方向 597.4cm/s^2)を、震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する。



加速度時刻歴波形



応答スペクトル

標準応答スペクトルを考慮した地震動

1. はじめに
 - 1.1 基準地震動策定の全体フロー
 - 1.2 申請後に得られた知見の反映や先行炉の審査を踏まえた主な変更点
2. 震源を特定せず策定する地震動の検討概要
 - 2.1 審査ガイド等の記載事項を踏まえた震源を特定せず策定する地震動の検討方針
 - 2.2 震源を特定せず策定する地震動の検討フロー
3. 全国共通に考慮すべき地震動の評価
 - 3.1 2004年北海道留萌支庁南部地震における基盤地震動の知見を用いた検討
 - 3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見
 - 3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動
 - 3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討
 - 3.1.4 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する基盤地震動
 - 3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正
 - 3.1.6 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.2 標準応答スペクトルに基づく検討
 - 3.2.1 標準応答スペクトル
 - 3.2.2 評価方針
 - 3.2.3 模擬地震波の作成
 - 3.2.4 代表波の選定
 - 3.2.5 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.3 全国共通に考慮すべき地震動の評価のまとめ
4. 地域性を考慮する地震動の評価
 - 4.1 地域性を考慮する地震動の選定
 - 4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討
 - 4.3 2008年岩手・宮城内陸地震の予見性
 - 4.4 地域性を考慮する地震動の評価のまとめ
5. 震源を特定せず策定する地震動

3.3 全国共通に考慮すべき地震動の評価のまとめ



- 全国共通に考慮すべき地震動として、以下の地震動を考慮する。
 - 2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動について、佐藤ほか(2013)以降の追加調査結果を加えた検討等による再評価、及び更なる保守性を勘案した評価を行った上で、大間原子力発電所の地盤物性との違いを補正した地震動。
 - 「標準応答スペクトル」に基づき、一様乱数位相を用いる方法により模擬地震波を作成した上で、統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデルに基づき評価した地震動。

大間原子力発電所において震源を特定せず策定する地震動として考慮する地震動

地震動	最大加速度 (cm/s ²)	
	水平方向	鉛直方向
2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	734.1	376.0
標準応答スペクトルを考慮した地震動	867.7	597.4

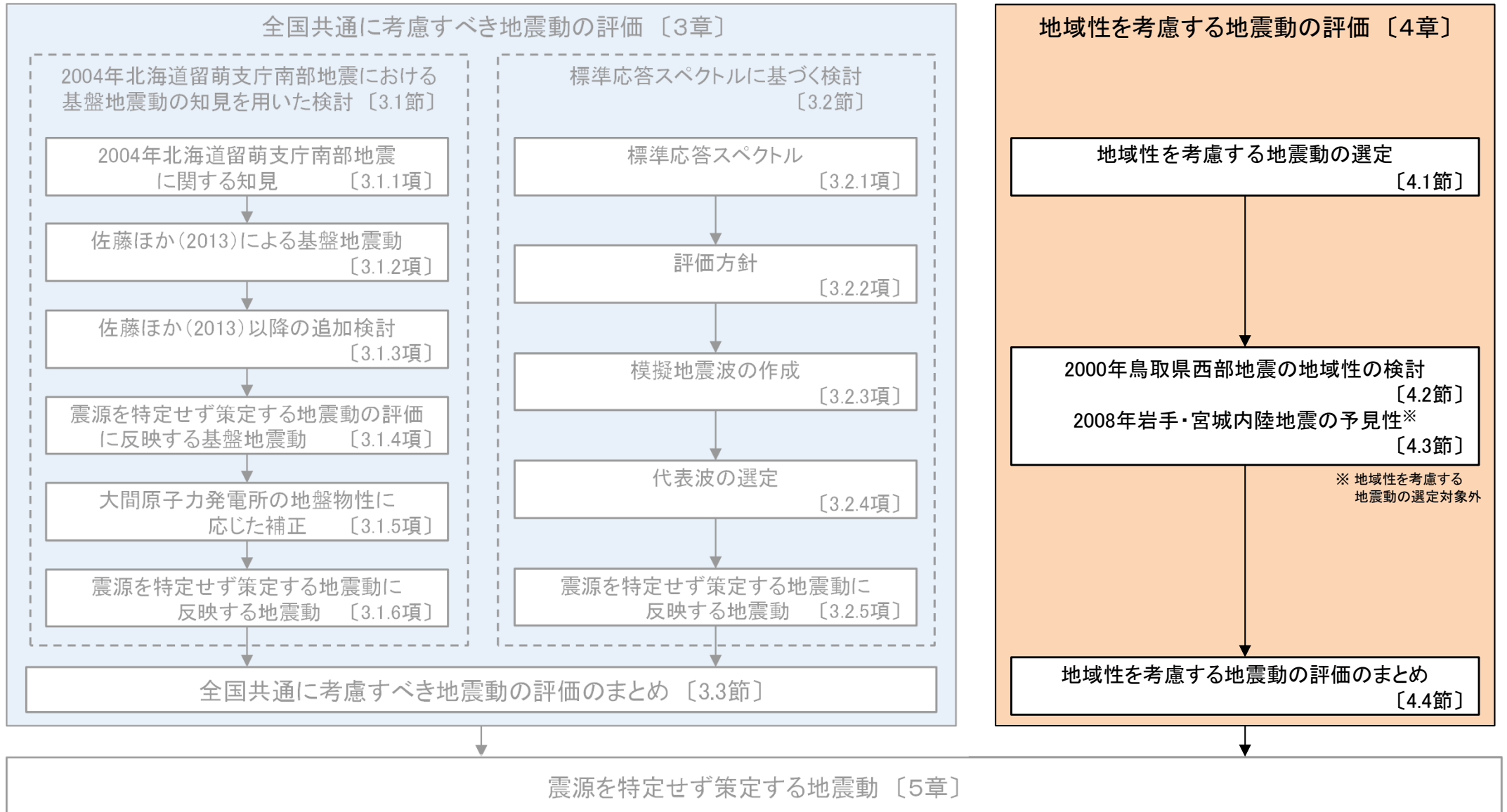
4. 地域性を考慮する地震動の評価

1. はじめに
 - 1.1 基準地震動策定の全体フロー
 - 1.2 申請後に得られた知見の反映や先行炉の審査を踏まえた主な変更点
2. 震源を特定せず策定する地震動の検討概要
 - 2.1 審査ガイド等の記載事項を踏まえた震源を特定せず策定する地震動の検討方針
 - 2.2 震源を特定せず策定する地震動の検討フロー
3. 全国共通に考慮すべき地震動の評価
 - 3.1 2004年北海道留萌支庁南部地震における基盤地震動の知見を用いた検討
 - 3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見
 - 3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動
 - 3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討
 - 3.1.4 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する基盤地震動
 - 3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正
 - 3.1.6 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.2 標準応答スペクトルに基づく検討
 - 3.2.1 標準応答スペクトル
 - 3.2.2 評価方針
 - 3.2.3 模擬地震波の作成
 - 3.2.4 代表波の選定
 - 3.2.5 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.3 全国共通に考慮すべき地震動の評価のまとめ
4. 地域性を考慮する地震動の評価
 - 4.1 地域性を考慮する地震動の選定
 - 4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討
 - 4.3 2008年岩手・宮城内陸地震の予見性
 - 4.4 地域性を考慮する地震動の評価のまとめ
5. 震源を特定せず策定する地震動

4. 地域性を考慮する地震動の評価

本章の説明箇所

- 本章においては、「地域性を考慮する地震動」について説明する。



4. 地域性を考慮する地震動の評価

地域性を考慮する地震動の検討方針

大方針

「4.1節 地域性を考慮する地震動の選定」(P.75～P.79)を参照。

- 国内で観測されたMw6.5程度以上の内陸地殻内地震を抽出し、「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」を分類する。その内、「地質・地質構造の審査ガイド」※1に則る調査で震源断層の位置・規模が予見できないものを選別する。
- 選別された地震について、地域性の要件※2及び観測記録の要件※2を満たすものを、「地域性を考慮する地震動」として選定する。
- 選定された地震について、震源周辺及び発電所の敷地周辺における地質構造や変動地形の類似性等によって、検討対象地震として考慮するか否かを判断する。
- 審査ガイドに例示された「地域性を考慮する地震動」として、2000年鳥取県西部地震及び2008年岩手・宮城内陸地震があるため、上記の選定結果に関わらず、これら2地震については、個別に検討を行う。

2000年鳥取県西部地震

「4.2節 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討」(P.80～P.97)を参照。

- 当該地震は当社の選定でも「地域性を考慮する地震動」に該当する。
- 西南日本内帯で発生した横ずれ断層型の地震であることが知られており、大間地点が位置する東北日本の地震発生機構とは異なるため、まずは大局的な地質性状の比較によって、日本全体で見た地域性を比較する。
- 次いで当該地震の震源周辺に特徴的な地質性状を把握し、大間地点の敷地周辺との類似性を評価する。

2008年 岩手・宮城内陸地震

「4.3節 2008年岩手・宮城内陸地震の予見性」(P.98～P.199)を参照。

- 当該地震は、地震発生前に活断層の存在が疑われる地質構造及び変動地形が示されており、事後の精査により、伏在する活断層の位置及び規模の推定を事前に得られるデータで評価可能であることが示されている。したがって、「地質・地質構造の審査ガイド」※2に則る調査が実施されていれば、「震源として考慮する活断層」が特定されていたと判断されるため、「地域性を考慮する地震動」には該当しないと判断される。
- 当該地震の検討として、震源周辺において、伏在する活断層の位置及び規模の推定を地震発生以前に得られるデータで評価可能であることを、次の3つの視点の調査により提示する。
 - ・前提となる調査(一般的な活断層調査) ・ 地震発生前の文献において、一般的な活断層調査によって、伏在する活断層の位置を示唆すると判断される具体的な地質性状が捉えられているかを確認する。
 - ・Step. 1(地域特性の調査) ・ 地震を発生するポテンシャル及び断層露頭を見出しにくくさせる要因の存否を確認する。
 - ・Step. 2(「審査ガイド」に則る地盤変動の調査) ・ 変動地形学的調査及び構造地質学的調査により、地盤変動の成因となる伏在活断層の位置及び規模の推定が可能であるか検討する。
- 下北半島西部において、2008年岩手・宮城内陸地震に該当する伏在活断層が想定されないことを、上記の3つの視点に準じた調査により提示する。

※1 「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」、以下同様。

※2 「地域性を考慮する地震動の選定フロー」(P.76)を参照。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.1 地域性を考慮する地震動の選定(1/5)

1. はじめに
 - 1.1 基準地震動策定の全体フロー
 - 1.2 申請後に得られた知見の反映や先行炉の審査を踏まえた主な変更点
2. 震源を特定せず策定する地震動の検討概要
 - 2.1 審査ガイド等の記載事項を踏まえた震源を特定せず策定する地震動の検討方針
 - 2.2 震源を特定せず策定する地震動の検討フロー
3. 全国共通に考慮すべき地震動の評価
 - 3.1 2004年北海道留萌支庁南部地震における基盤地震動の知見を用いた検討
 - 3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見
 - 3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動
 - 3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討
 - 3.1.4 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する基盤地震動
 - 3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正
 - 3.1.6 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.2 標準応答スペクトルに基づく検討
 - 3.2.1 標準応答スペクトル
 - 3.2.2 評価方針
 - 3.2.3 模擬地震波の作成
 - 3.2.4 代表波の選定
 - 3.2.5 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.3 全国共通に考慮すべき地震動の評価のまとめ
4. 地域性を考慮する地震動の評価
 - 4.1 地域性を考慮する地震動の選定
 - 4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討
 - 4.3 2008年岩手・宮城内陸地震の予見性
 - 4.4 地域性を考慮する地震動の評価のまとめ
5. 震源を特定せず策定する地震動

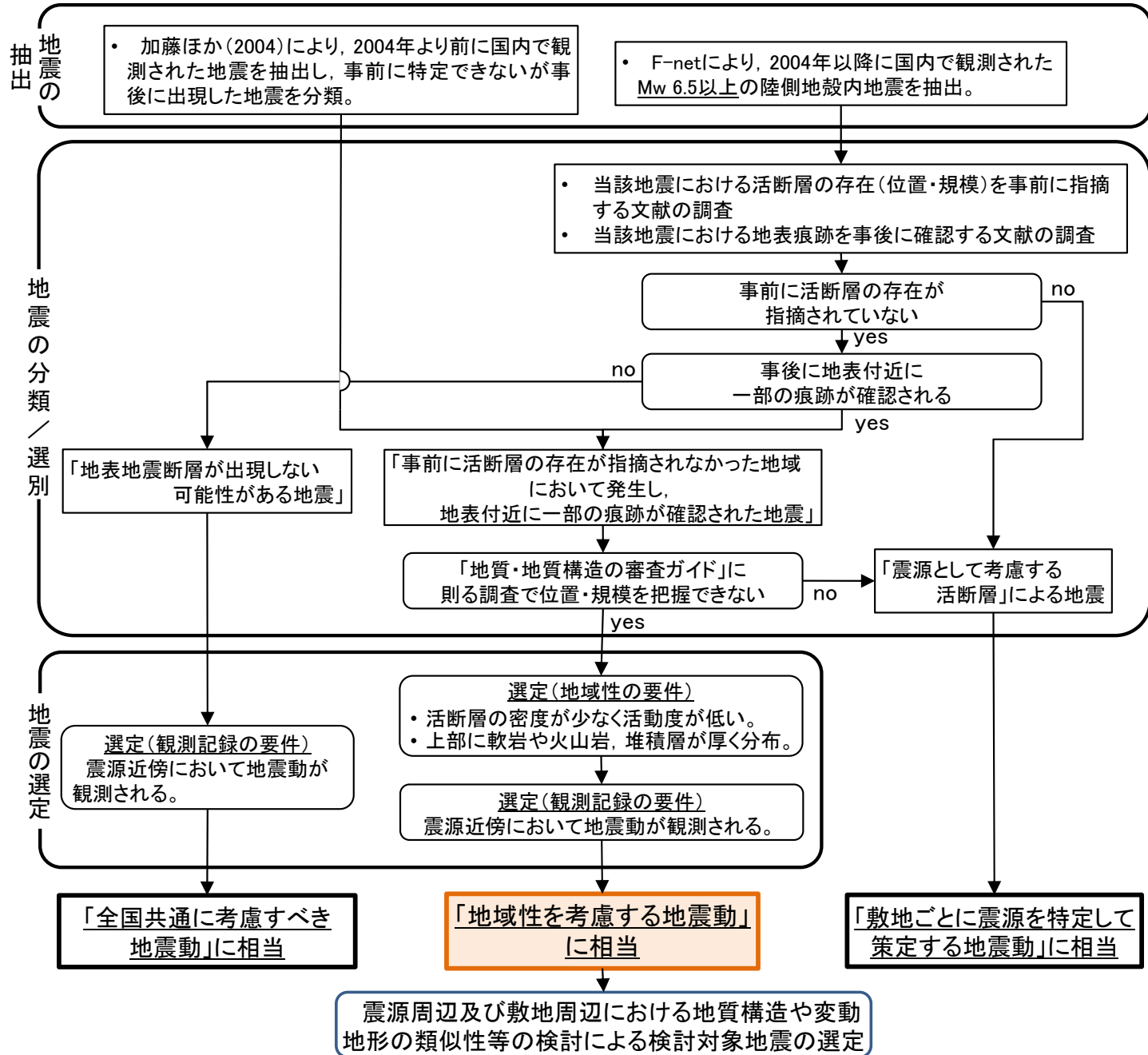
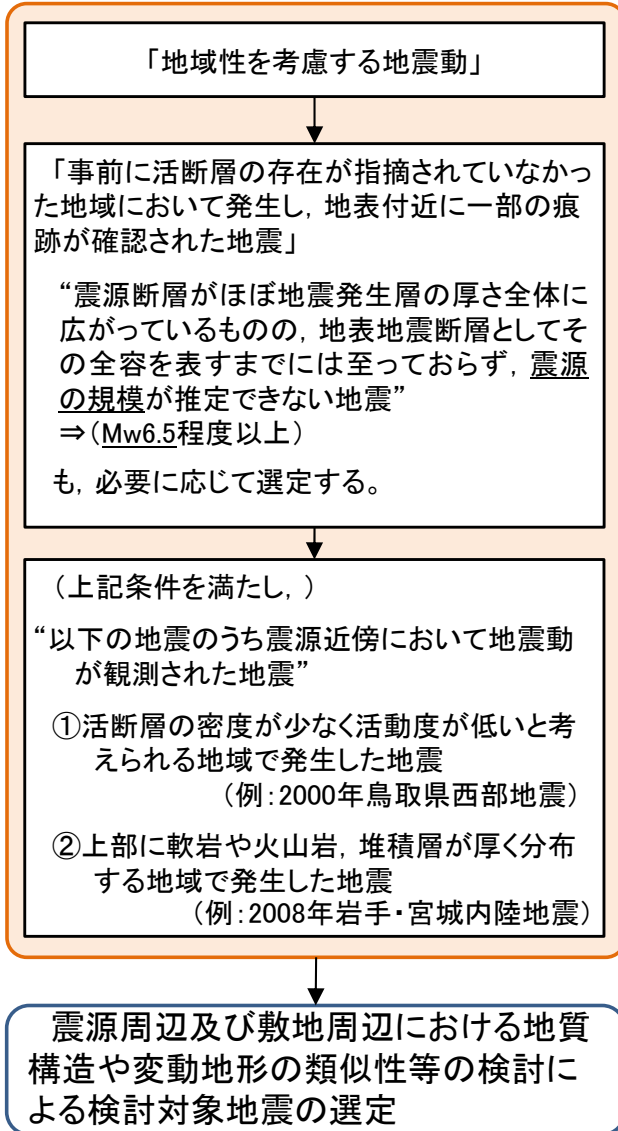
4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.1 地域性を考慮する地震動の選定(2/5)

地域性を考慮する地震動の選定フロー

選定フロー

地震動の審査ガイド※1(改訂版)の記載



※1 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」、以下同様。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.1 地域性を考慮する地震動の選定(3/5)

加藤ほか(2004)による震源を事前に特定できない内陸地殻内地震

加藤ほか(2004)の概要

- 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を検討
- カリフォルニア及び日本で発生した内陸地殻内地震を対象
- 詳細な地質学的調査によっても震源を事前に特定できない2地震, 比較的規模が小さいながらも震源を特定できた可能性がある7地震, 計9地震の震源近傍の硬質地盤における観測記録(計15記録, 30水平成分)を用い, 震源を事前に特定できない地震による水平方向の上限レベルを設定

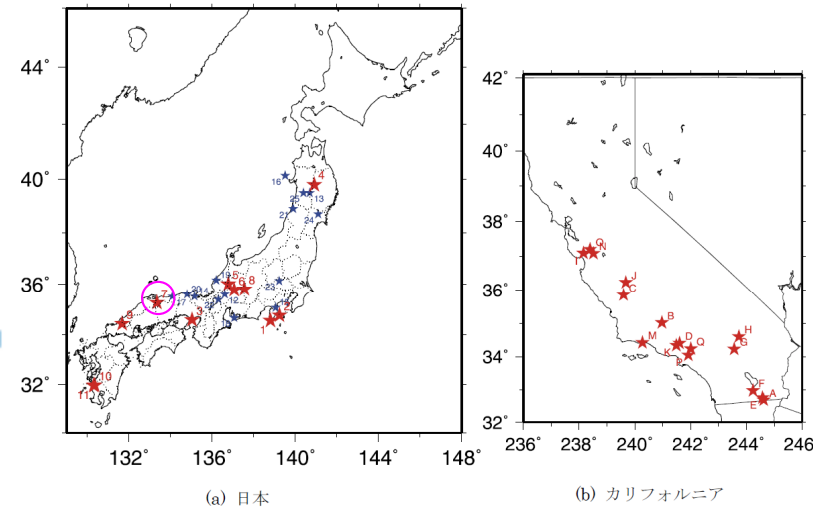
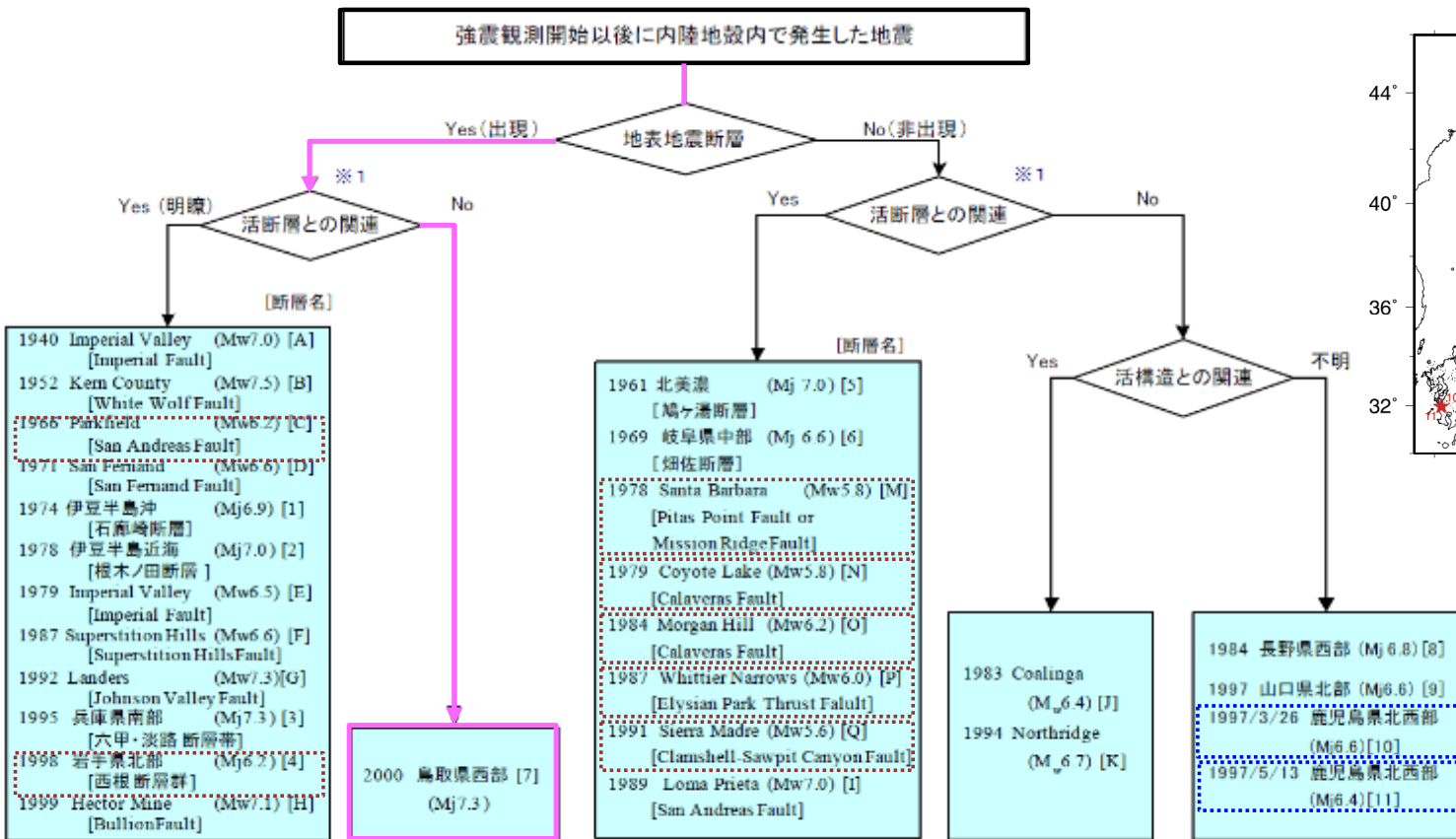


図1 検討対象地震の震央位置 (図中の数字と記号は図3および図10の地震に対応、★は強震観測開始以後、☆は開始以前に発生した地震を表す)

- 事前には特定できないが事後に出現した地震(1)
- 詳細な地質学的調査によっても震源を事前に特定できない地震(2)
- 比較的規模が小さいながらも震源を特定できた可能性がある地震(7)

※1: 地震規模に見合う規模の既存活断層が示されているか否か

図3 強震観測開始以後に発生した地震の分類 []の数字と記号は図1の震央位置に対応

加藤ほか(2004)によれば, 事前に特定できないが事後に出現した地震として抽出・分類される地震には, 「2000年鳥取県西部地震」が該当する。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.1 地域性を考慮する地震動の選定(4/5)

F-netによる2004年以降に国内で観測されたMw 6.5以上の内陸地殻内地震

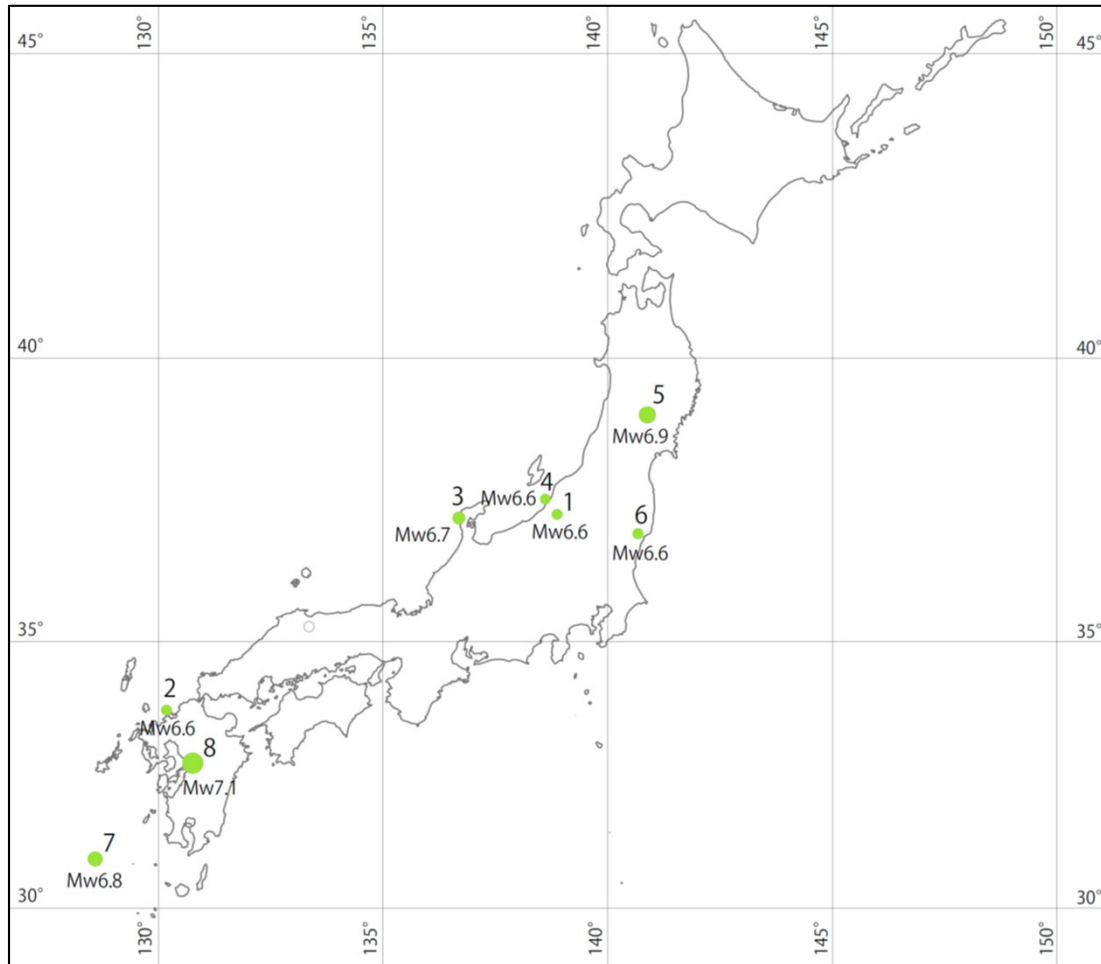
F-netの概要

- ・ 防災科学技術研究所が整備・運用する広帯域地震観測網
- ・ 地震によって発生するほとんど全ての地震動を記録することが可能

地震リスト

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 Mw	備考
			北緯(°)	東経(°)			
1	2004/10/23	17:56	37.2895	138.8703	13.08	6.6	新潟県中越地震
2	2005/3/20	10:53	33.7392	130.1763	9.24	6.6	福岡県西方沖地震
3	2007/3/25	9:41	37.2207	136.6860	10.70	6.7	能登半島地震
4	2007/7/16	10:13	37.5568	138.6095	16.75	6.6	新潟県中越沖地震
5	2008/6/14	8:43	39.0298	140.8807	7.77	6.9	岩手・宮城内陸地震
6	2011/4/11	17:16	36.9457	140.6727	6.42	6.6	福島県浜通りの地震
7	2015/11/14	5:51	30.9432	128.5900	17.00	6.8	薩摩半島南西沖の地震
8	2016/4/16	1:25	32.7545	130.7630	12.45	7.1	熊本地震

地震の諸元は、F-netによる



震央分布図

- ・ F-netを用いて2004年以降に震源深さ20km以浅※¹で発生したMw6.5以上の地震を検索した上で、地震調査研究推進本部により内陸地殻内地震とされた地震を抽出する。
- ・ 2004年以降に発生した、Mw6.5以上の内陸地殻内地震として8地震が抽出される。

※1 “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”(震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム)を参考として地震動観測記録の収集条件を定めるものとし、震源深さ20km以浅とする。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.1 地域性を考慮する地震動の選定(5/5)

抽出された地震の分類・選別及び「地域性を考慮する地震動」の選定

地震リスト

No.	発震日	発震時刻	震央位置		深さ (km)	規模 Mw	備考	活断層の文献 ^{※1}		調査での 予見性 ^{※2}	地域性 ^{※3}		震源近傍 ^{※4} での 観測記録	選別・選定 の結果
			北緯(°)	東経(°)				位置・ 規模	痕跡		活断層	地質		
1	2000/10/6	13:30	35.2752	133.3498	11.00	6.6	鳥取県西部地震	×	○	×	○	×	○	地域性を考慮 する地震動
2	2004/10/23	17:56	37.2895	138.8703	13.08	6.6	新潟県中越地震 ^{※5}	×	○	/	/	/	○	全国共通に考慮 すべき地震動
3	2005/3/20	10:53	33.7392	130.1763	9.24	6.6	福岡県西方沖地震	×	×	/	/	/	×	収集条件外
4	2007/3/25	9:41	37.2207	136.6860	10.70	6.7	能登半島地震	○	○	○	/	/	/	震源を特定して 策定する地震動
5	2007/7/16	10:13	37.5568	138.6095	16.75	6.6	新潟県中越沖地震	×	×	/	/	/	○ ^{※6}	収集条件外
6	2008/6/14	8:43	39.0298	140.8807	7.77	6.9	岩手・宮城内陸地震	×	○	○	/	/	/	震源を特定して 策定する地震動
7	2011/4/11	17:16	36.9457	140.6727	6.42	6.6	福島県浜通りの地震	○	○	○	/	/	/	震源を特定して 策定する地震動
8	2015/11/14	5:51	30.9432	128.5900	17.00	6.8	薩摩半島南西沖の地震	×	× ^{※7}	/	/	/	×	収集条件外
9	2016/4/16	1:25	32.7545	130.7630	12.45	7.1	熊本地震	○	○	○	/	/	/	震源を特定して 策定する地震動

地震の諸元は、F-netによる

※1 活断層の文献

(位置・規模) 当該地震における活断層の存在(位置・規模)を事前に指摘する文献 ○:ある, ×:ない
(痕跡) 当該地震における地表痕跡を事後に確認する文献 ○:ある, ×:ない

※2 調査での予見性

既往文献調査又は「敷地内および敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」に則る調査を実施した場合に、震源となる活断層の位置及び規模が、○:予見できる, ×:予見できない

※3 地域性

(活断層) 活断層の密度が少なく活動度が低い地域 ○:該当, ×:該当しない
(地質) 上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域 ○:該当, ×:該当しない

※4 震源近傍での観測記録

震央距離30km以内にKiK-net観測点が、○:ある, ×:ない

※5 「2004年新潟県中越地震」は、「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」での標準応答スペクトルの検討における地震観測記録の収集・整理対象となっているため、「全国共通に考慮すべき地震動」とした。

※6 「2007年7月16日新潟県中越沖地震」は、「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」において、PS検層の未実施によりはざとり波の算出不能のため解析の対象外とされている。

※7 「2015年薩摩半島南西沖の地震」では、震源周辺で複数の正断層が認められているが、震源断層との関係が不明なため、痕跡ではないと判断した。

- 既往地質文献による地震の分類の結果、「事前に活断層の存在が指摘され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」には、加藤ほか(2004)による「2000年鳥取県西部地震」及びF-netによる「2008年岩手・宮城内陸地震」が該当する。
- 「2008年岩手・宮城内陸地震」については、最近の査読付き論文(柳田ほか, 2020)により、「地質・地質構造の審査ガイド」に基づく調査を実施していれば、事前に震源断層の位置及び規模の把握が可能であったことが示されており、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」に選別される。
- 「2000年鳥取県西部地震」は、予見性がなく、「活断層の密度が少なく活動度が低い地域」に該当し、震源近傍での観測記録があることから、「地域特性を考慮する地震動」に選定される。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(1/18)

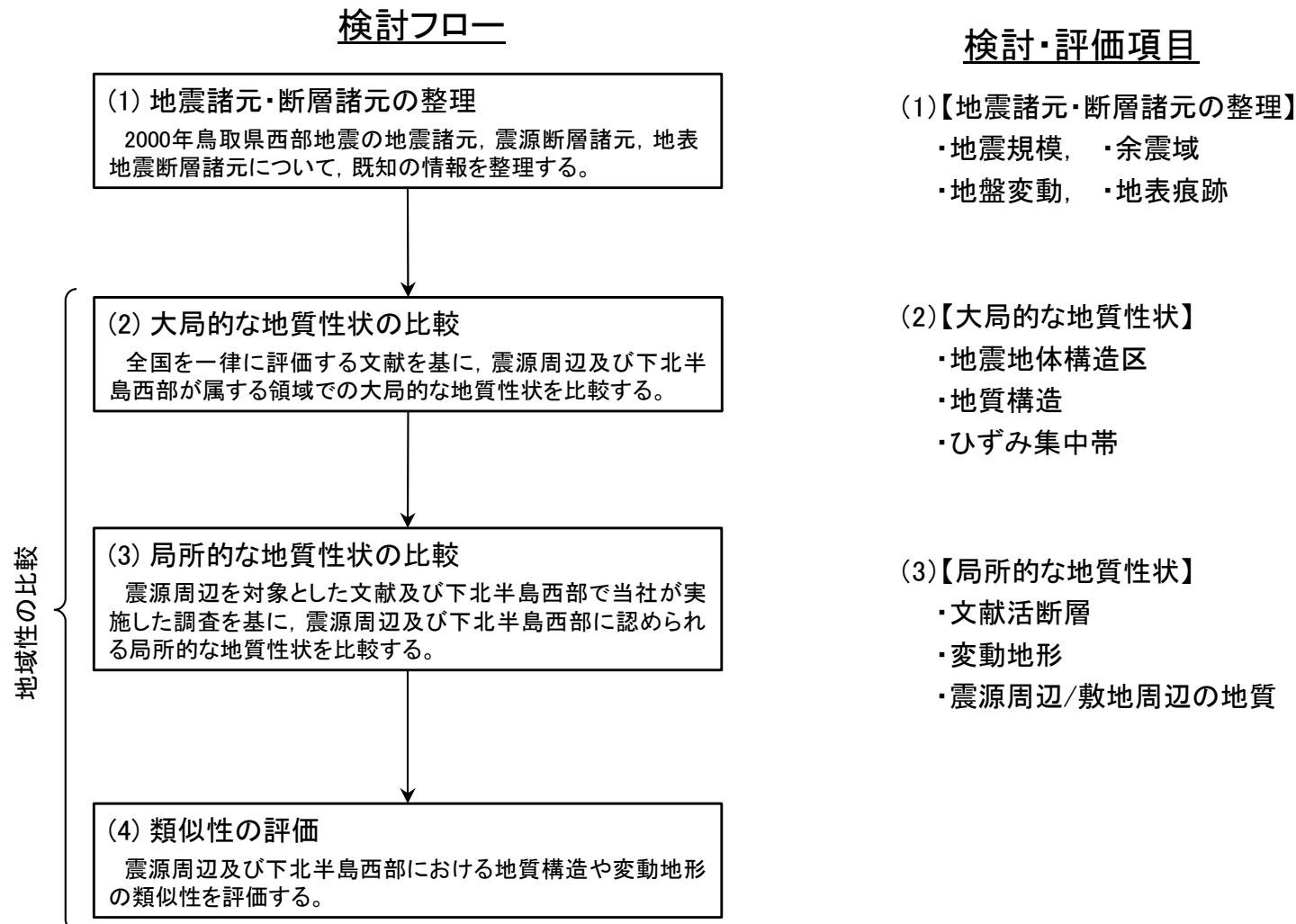
1. はじめに
 - 1.1 基準地震動策定の全体フロー
 - 1.2 申請後に得られた知見の反映や先行炉の審査を踏まえた主な変更点
2. 震源を特定せず策定する地震動の検討概要
 - 2.1 審査ガイド等の記載事項を踏まえた震源を特定せず策定する地震動の検討方針
 - 2.2 震源を特定せず策定する地震動の検討フロー
3. 全国共通に考慮すべき地震動の評価
 - 3.1 2004年北海道留萌支庁南部地震における基盤地震動の知見を用いた検討
 - 3.1.1 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する知見
 - 3.1.2 佐藤ほか(2013)による基盤地震動
 - 3.1.3 佐藤ほか(2013)以降の追加検討
 - 3.1.4 震源を特定せず策定する地震動の評価に反映する基盤地震動
 - 3.1.5 大間原子力発電所の地盤物性に応じた補正
 - 3.1.6 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.2 標準応答スペクトルに基づく検討
 - 3.2.1 標準応答スペクトル
 - 3.2.2 評価方針
 - 3.2.3 模擬地震波の作成
 - 3.2.4 代表波の選定
 - 3.2.5 震源を特定せず策定する地震動に反映する地震動
 - 3.3 全国共通に考慮すべき地震動の評価のまとめ
4. 地域性を考慮する地震動の評価
 - 4.1 地域性を考慮する地震動の選定
 - 4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討
 - 4.3 2008年岩手・宮城内陸地震の予見性
 - 4.4 地域性を考慮する地震動の評価のまとめ
5. 震源を特定せず策定する地震動

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(2/18)

震源周辺と下北半島西部との類似性検討フロー

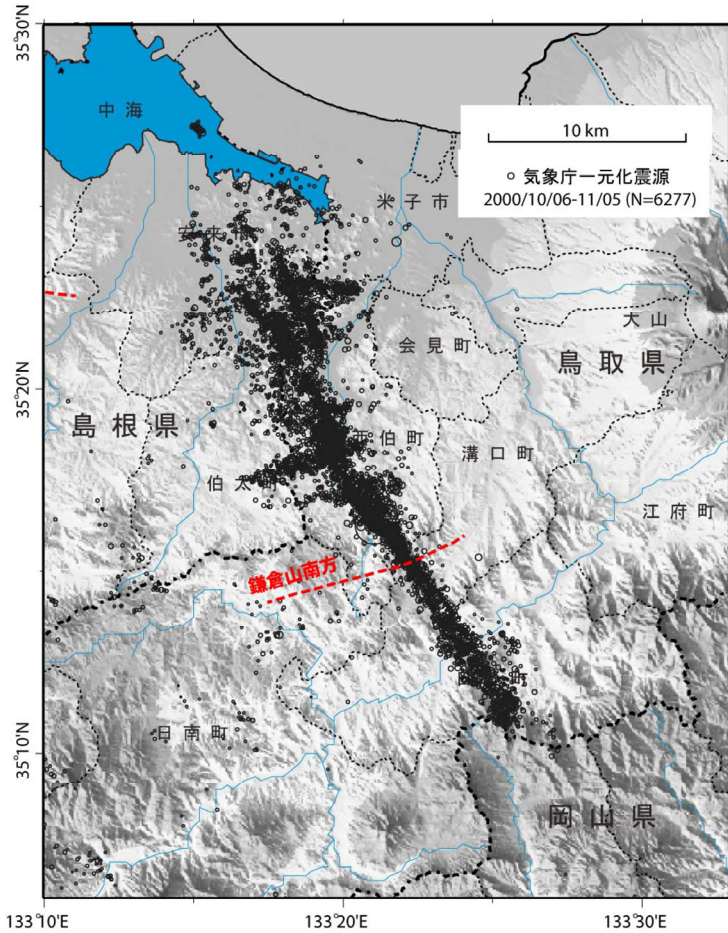
- ・ 敷地周辺において「2000年鳥取県西部地震」と同様な地震が発生する蓋然性を評価するため、震源周辺及び敷地周辺(下北半島西部)を対象に、地質性状を比較する。
- ・ 以下、ここに示す検討フローに従って、検討結果を示す。



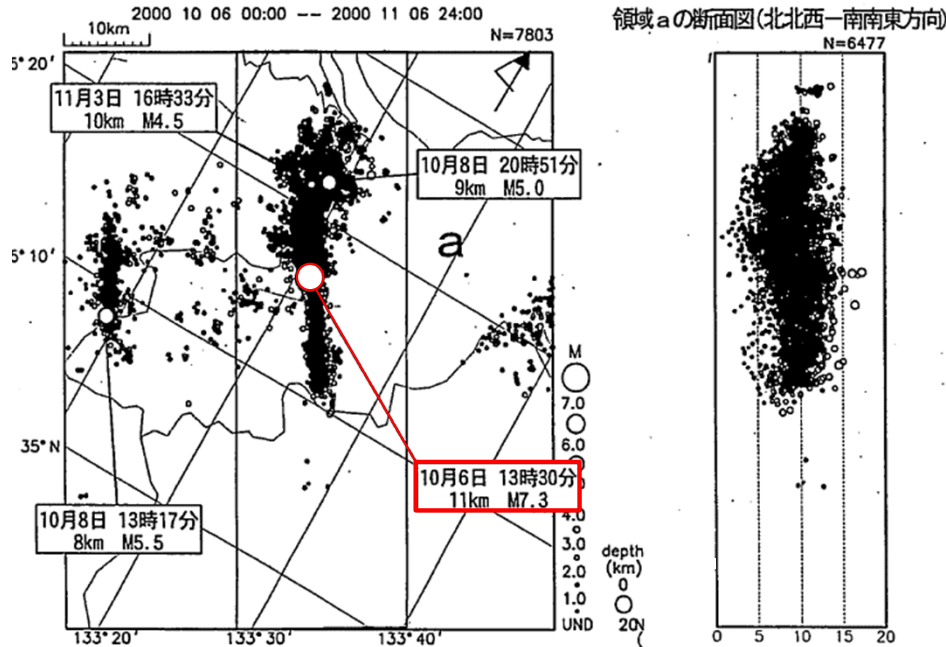
4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(3/18) (1)地震諸元・断層諸元の整理(1/4)

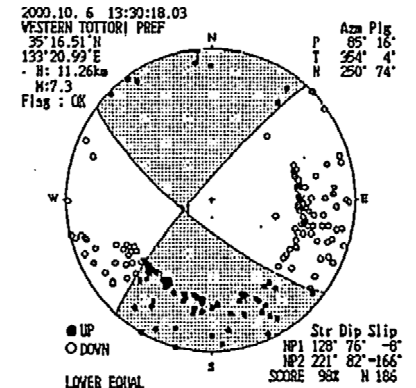
地震規模及び余震域



震央分布図(震基11-2-2)から抜粋

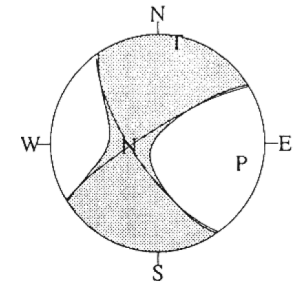


震央分布と断面
(気象庁(地震本部), 2000) に加筆



本震 10/6/13:30 M7.3
初動解
(気象庁(地震本部), 2000)

2000/10/ 6 13:30:18.0



Mo=1.73x10¹⁹Nm (Mw=6.8)
(strike/dip/slip): 239/ 80/-161 145/ 71/ -11
ε=-0.09 Variance Reduction=31.0%
latitude longitude depth time
35.152(-0.010) 133.371(0.008) 17.533(0.772) 14.446(0.350)

本震のCMT解
(気象庁(予知連), 2001)

- 2000年鳥取県西部地震は、2000年10月6日に鳥取県西部の島根県との県境に近い地域で発生した、震源深さ約11kmの地震で、地震の規模はMj7.3、ほぼ東西圧縮の左横ずれ断層型とされている。(気象庁(予知連), 2000)
- この地震は、気象庁(地震本部)(2000)の震央分布と断面によれば、NNW-SSE方向に約20km、上下方向に約15kmの余震域を示している。
- 地殻変動データを再現する断層モデルから計算したMwは、単一矩形断層モデルでは6.6、複数断層モデルでは6.7に相当するとされ(鷺谷ほか, 2002)、気象庁のCMT解ではMw=6.8とされている。(気象庁(予知連), 2001)
- 余震域は、NNW-SSE方向に約35kmに広がり(松本ほか, 2020)、南部はまとまりが良く、北部は拡散するとされている(気象庁(予知連), 2001)。なお、鷺谷ほか(2020)では、余震域は全長30km程度とされている。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(4/18) (1)地震諸元・断層諸元の整理(2/4)

地盤変動

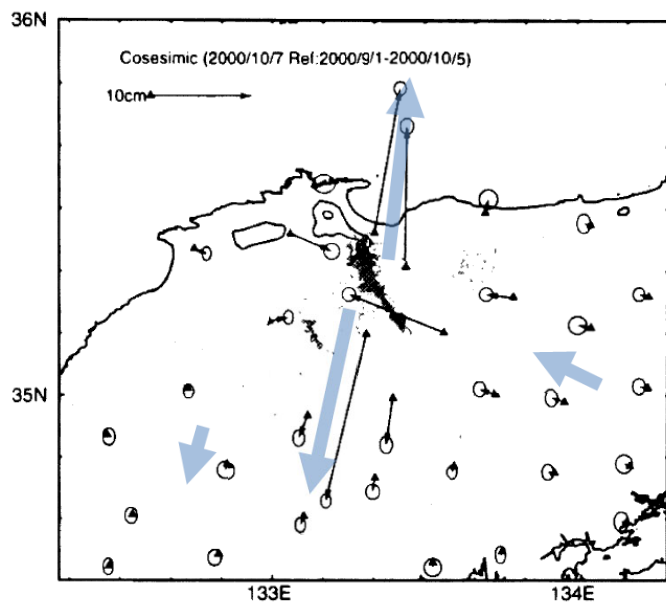


Fig. 3. Coseismic displacement vectors of the Western Tottori Earthquake. Site 950382 is assumed to be fixed. Ellipses show the 95% confidence level.

地殻変動ベクトル(鷺谷ほか, 2002)に加筆

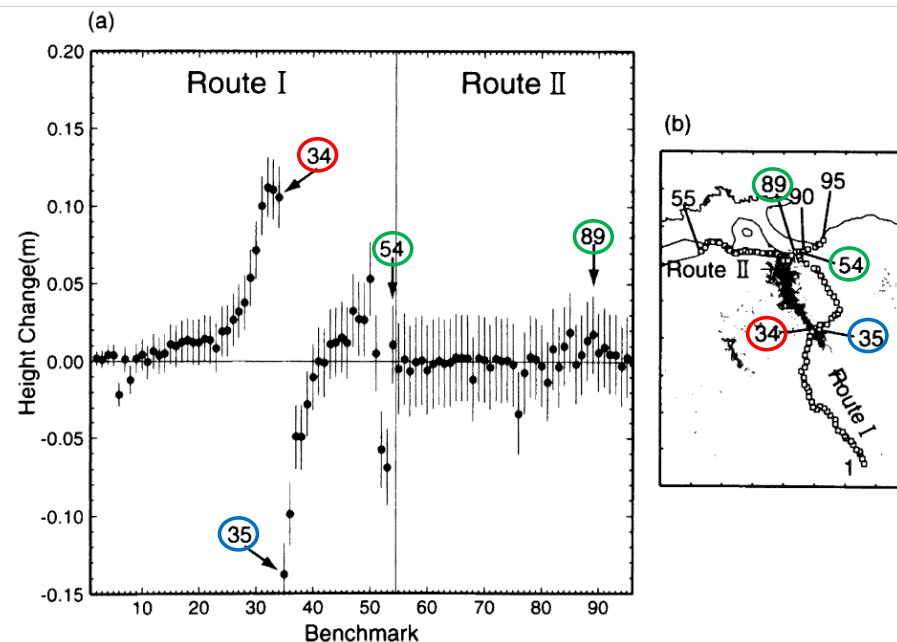


Fig. 5. (a) Altitude change profile along the leveling lines around the focal region of the Western Tottori Earthquake. Error bars are calculated based on the allowance limit of two-way closure errors ($2.5 \text{ mm} * L^{1/2}$, where L is a distance from the fixed benchmark). (b) Leveling route map. Two leveling routes are connected at benchmark 54, which is located between benchmarks 89 and 90.

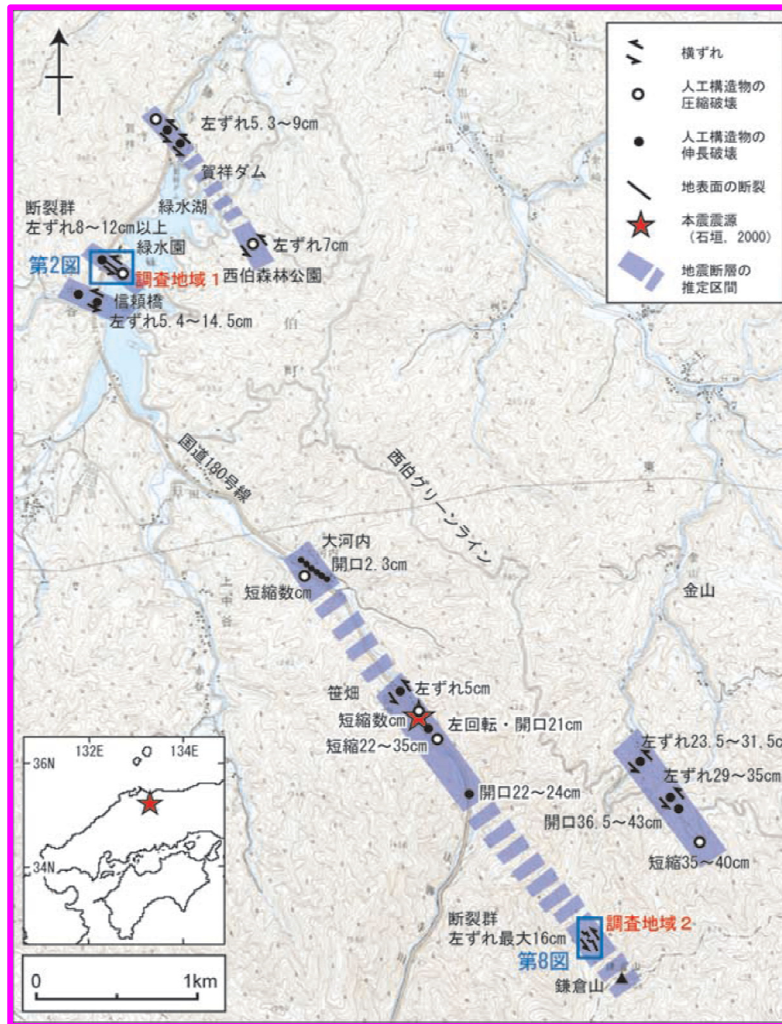
水準測量(鷺谷ほか, 2002)に加筆

- 震源周辺のGPS観測点で地震時に最大17cm程度の顕著な地殻変動(水平)が生じており, 50km離れている観測点でも1cm程度以下の変動が生じているとされている。地震前後の地殻変動ベクトルでは, 余震域を断層面と考えて, 左横ずれの地殻変動が明瞭であるとされている。(鷺谷ほか, 2002)
- GPS観測点では有意な上下変動は見られない。水準測量では, 余震域の南方から北に向かい隆起量が増加し, 余震域南端西側で最大の隆起(11cm~12cm)となっている。余震域を横切り南端東側では沈降に転じ, 余震域に沿って北に向かい隆起量が増加している。(鷺谷ほか, 2002)
- 水準測量の結果は, 左横ずれ断層と整合的な上下変動であると判断される。

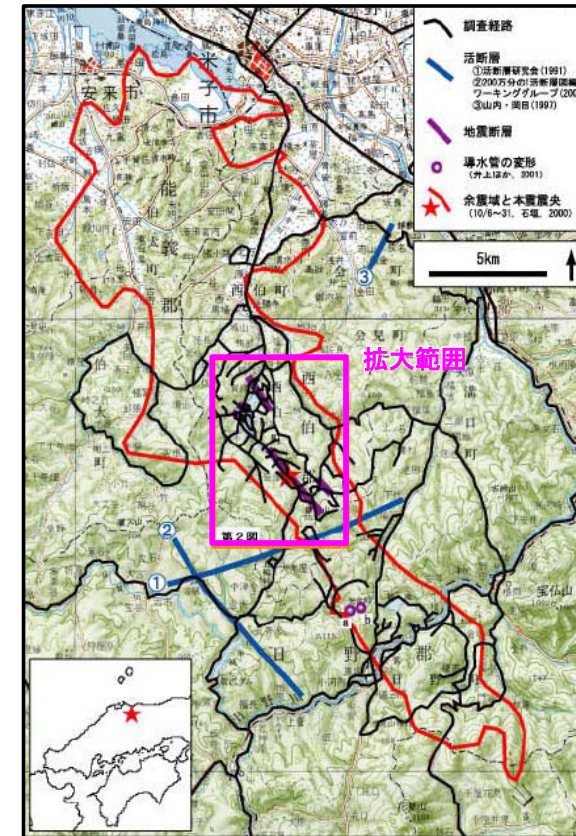
4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(5/18) (1)地震諸元・断層諸元の整理(3/4)

地表痕跡



地震断層の分布図(伏島, 2002)に加筆



地震断層の分布図(伏島, 2001)に加筆

- 地震断層は1本の断層線ではなく1km強の幅をもつ断層帯として出現し、確認された地震断層の長さは、本震震央の北西側約4km、南東側約2kmの合計約6kmとされている。(伏島ほか, 2001)



4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(6/18) (1)地震諸元・断層諸元の整理(4/4)

地震諸元・断層諸元のまとめ

地震諸元	
<ul style="list-style-type: none"> ・ Mj7.3(気象庁, 2000) , ・ Mw6.6, 6.7(鷺谷ほか, 2002) : 6.8(気象庁, 2001), ・ 深さ11km(気象庁, 2001), ・ 東西圧縮の左横ずれ断層型(気象庁, 2001) ・ 余震域 : 本震の位置から北西と南東に延びる <ul style="list-style-type: none"> 長さ 約35km (松本ほか, 2020), 30km程度 (鷺谷ほか, 2002) 幅 南部はまとまりが良く, 北部は拡散する(気象庁, 2001) ・ 地盤変動 : 余震域を断層面と考えると, 左横ずれの地殻変動が明瞭である(鷺谷ほか, 2002) <ul style="list-style-type: none"> 水平変動 最大17cm程度 GPS観測点(鷺谷ほか, 2002) 50km離れている観測点でも1cm程度以下の変動が生じている(鷺谷ほか, 2002) 最大隆起量 GPS観測点では有意な上下変動は見られない。 水準測量では, 最大11cm~12cmの隆起が認められ(鷺谷ほか, 2002), 左横ずれ断層と整合的な上下変動となっている。 	
断層諸元	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 地表痕跡: 本震を中心として, <ul style="list-style-type: none"> 地震断層 本震を中心に約6kmの範囲で1km強の幅をもつ断層帯(伏島ほか, 2001) 	

⇒ この規模の地震では, 震源断層は地震発生層を飽和しており, 同じ長さの地表地震断層が出現するとされている。(武村, 1998 など) 期待される地表地震断層規模は, 松田(1975)の換算式では, 長さ30.2km, 1回の(地表での)変位量2.4mとなる。

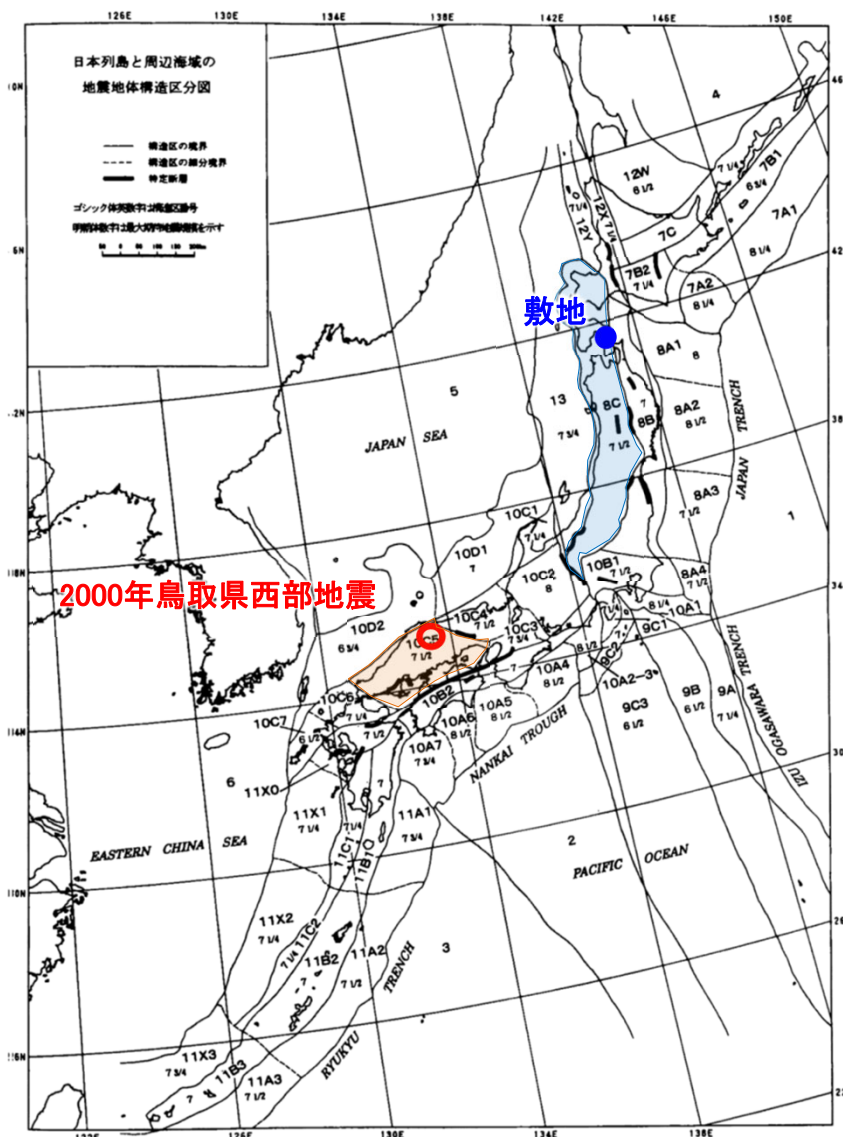
地震規模と断層規模との比較 : (地震規模を松田式(1975)によって断層規模に置き換えて比較する。)	
<p><<断層長さの規模観の比較>></p> <p>余震域 ≥ <u>松田式(地表地震断層)</u> > 地表痕跡の出現域</p> <p>30~35km <u>30.2km</u> 6km</p>	<p><<変位量の規模観の比較>></p> <p><u>松田式(傾斜方向)</u> > 痕跡(短縮) > 痕跡(横ずれ) > GPS変位量</p> <p>2.4m 40cm 35cm 17cm</p>

- 2000年鳥取県西部地震の地震規模(Mj7.3)では, 松田(1975)の換算式により, 長さ30.2km, 1回の変位量2.4mの地震断層が期待される。
- 地震後に観測された事象は, 地表痕跡やGPS変位量では期待される規模に及んでいないものの, 余震域については, 期待される規模と同等となっている。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(7/18) (2)大局的な地質性状の比較(1/4)

地震地体構造区



各地震地体構造区の特徴

(1) 構造区	(2) 地形・地質	(3) 活断層の密度・長さ・活動度・断層型ほか特徴と主な起震断層名 L (km) M _L	(4) 浅発大・中地震活動と主な地震名 M _h	(5) M _{max}	(6) 特定断層：備考
8A3 常磐沖大陸斜面	深海平坦面と海溝陸側斜面	大, 長, A, 逆・正. 日本海溝に平行(逆), 大陸斜面で正・海溝のため評価せず	高 プレート境界付近の大地震域 ・1938年福島県沖 ・1896年鹿島灘	7.5 7.3	
8A4 房総沖大陸斜面	階段状平坦面をもつ海溝陸側斜面, 東西性海溝発達	中, 長, A?, 逆・正. 日本海溝沿い(逆)および北東方向(正)・海溝のため評価せず	中 プレート境界付近の大地震域 ・1953年房総沖地震 (h=60km) ・1877年延宝 (M _B) は不確実	7.4	
8B 東北日本弧外帯	外弧隆起帯, 安定域	極小, 短(長), C, 逆・横. ・三郡断層帯	低 ・1931年岩手県東部 ・1895年霞ヶ浦 (M _{7.2}) および ・1902年三戸 (M ₇) はやや深い (s)	6.6	折爪断層 (40km) 双葉断層 (84km) 【福島県(1999)は北部の10数kmのみを評価】
8C 東北日本弧内帯	火山性内弧, 隆起優勢, 脊梁山地・出羽丘陵の火山帯(隆起帯)とその間の盆地列(沈降帯), 島弧方向の逆断層~褶曲発達	中, 中, B, 逆. 島弧と平行, 隆起帯基部に発達 ・関谷断層帯 38 7.5 ・会津盆地西縁断層帯 38 7.5 ・津軽山地西縁断層帯 31 7.3 ・長町-利府断層帯 38 7.5 ・能代断層帯 32 7.3 ・北由利断層帯 29 7.3 ・函館平野西縁断層帯 22 7.1	高 東西圧縮逆断層型 ・1766年津軽 7.1/4 ・830年出羽 7~7.5 ・1896年駿河 7.2 ・1914年秋田山北 7.1 ・1704年羽後・津軽 7±1/4 ・1804年能登 7±0.1 ・1694年能代 7.0 ・1683年日光 7.0 ・1900年宮城県北部 7.0 ・1791年松本 6.3/4	7.1/2	福島盆地西縁断層帯 (47km) 【福島県(1998)および宮城県(2001)は一括活動を想定] 横手盆地東縁断層帯 (58km) 【分割型】 北上低地西縁断層帯 (79km) 【岩手県(1998)は北部37kmと南部24kmを別々に評価, 推本(2001s)は一括活動を想定, 分割の可能性は今後の課題とした】
10C4 西近畿	若狭湾は沈降域, 丹波高原は安定隆起域, 北部に火山	中, 中, B, 横. 西北西方向(左)卓越 ・三峠-亀山断層帯 52 7.7 ・京都西山断層帯 17 6.9 #三峠断層と亀山断層帯を分割して評価	中 (1885年以降は北部で高) 西北西圧縮横ずれ断層型. ・1927年北丹後 7.3 ・1943年鳥取 7.2 ・868年播磨・山城 (山崎断層か)	7.1/2	山崎断層帯 (85km) 【兵庫県(2001)は中・西部と東部を分割して評価】
10C5 中国山地・瀬戸内海	北半部は安定隆起域, 南半部は沈降域, 北部に火山	小, 中(長), B (A), 横・逆. 北東(右), 北西(左)が卓越, 東西(逆)はやや弱い, 南端は中央構造線 ・那岐山断層帯 31 7.3 ・長尾断層帯 23 7.1 ・江畑断層帯 23 7.1 ・五日市断層帯 20 7.0	中 (1885年以降は北部で高) 瀬戸内地域でやや深い, 東西圧縮横ずれ断層型 ・1857年安芸・伊予 7.1/4±0.5 ・1905年安芸灘 (s) 7.1/4 ・1872年浜田 7.1±0.2 ・1686年安芸・伊予 7~7.4 ・880年出雲 7.0 ・1649年安芸・伊予 7.0±1/4 ・2000年鳥取県西部 7.3	7.1/2	中央構造線四国断層帯 (計200km) 【分割型】 [本文参照] 岩国断層帯 (47km) 【分割型】 【WG2000は25kmを図示】
10C6 北九州・岩城	南部は隆起優勢, 北部は沈降優勢の安定域	中, 中・短, C?, 横 北北西(左)方向卓越 ・瀬川断層帯 32 7.3 ・西山断層帯 30 7.3 ・小倉東断層帯 17 6.9 ・福知山断層帯 20 7.0 ・菅原断層帯 19 7.0	低 ・1700年岩城対馬 7.0 ・1898年福岡県西部 6.0	7.1/4	陸上にはなし

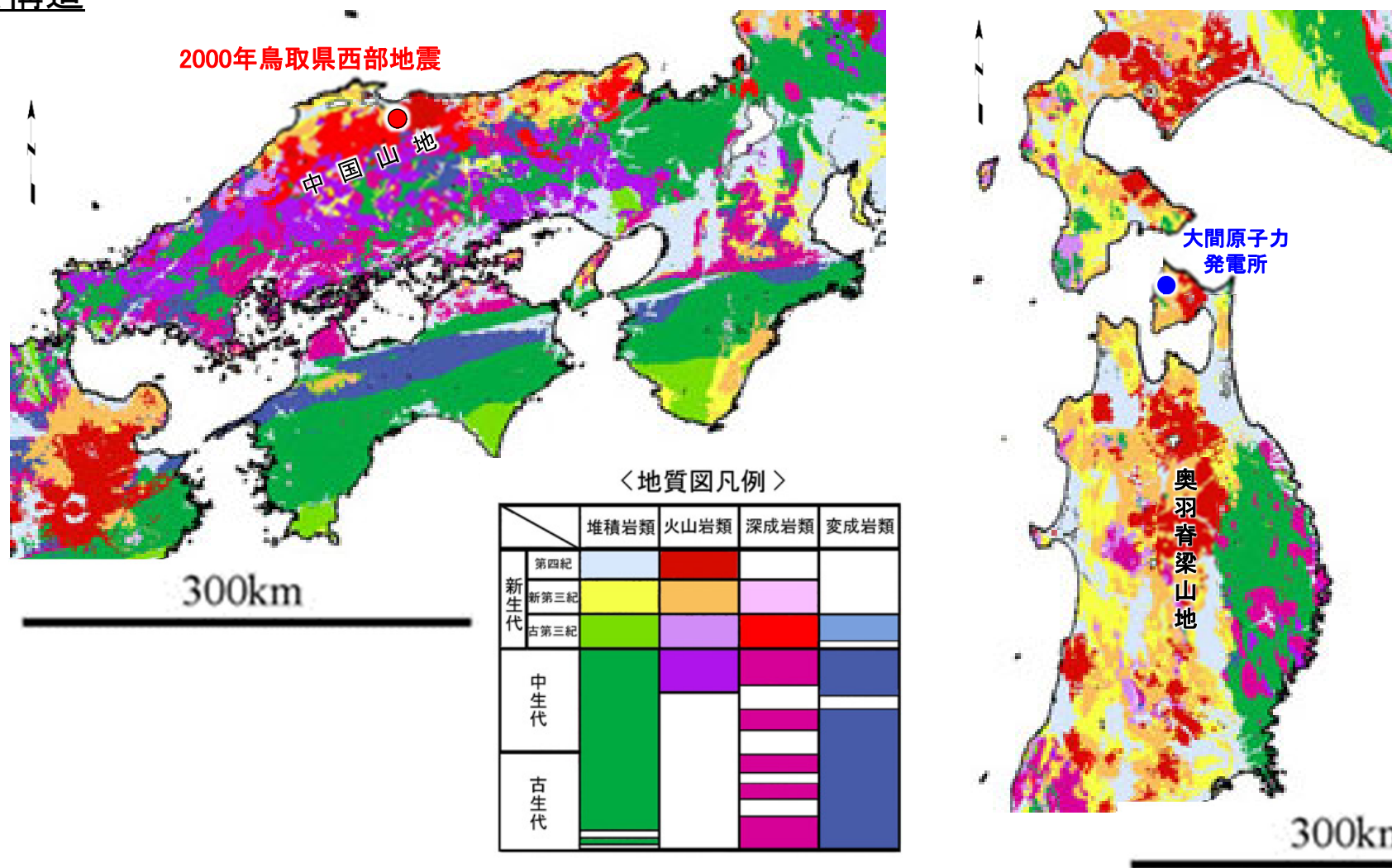
地震地体構造区分図 (垣見ほか, 2003)に加筆

- 垣見ほか(2003)は, 既往の知見を比較したうえで, 垣見ほか(1994)の区分図を, 各区の特徴, M_{max}, 特定断層などに関して, 最新のデータと知見に基づいて改定し, 新たな地震地体構造区分図を作成している。
- 2000年鳥取県西部地震の震源周辺は, 「(10C5)中国山地・瀬戸内海」に位置し, 北半部は安定隆起域で活断層密度が小さく, 大中規模の浅発地震は東西圧縮応力での横ずれ断層型が多いとされている。
- 下北半島西部は, 「(8C)東北日本弧内帯」に位置し, 火山性内弧, 隆起優勢, 脊梁山地であり, 逆断層~褶曲が発達し, 浅発大・中地震活動が「高」とされている。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(8/18) (2)大局的な地質性状の比較(2/4)

地質構造



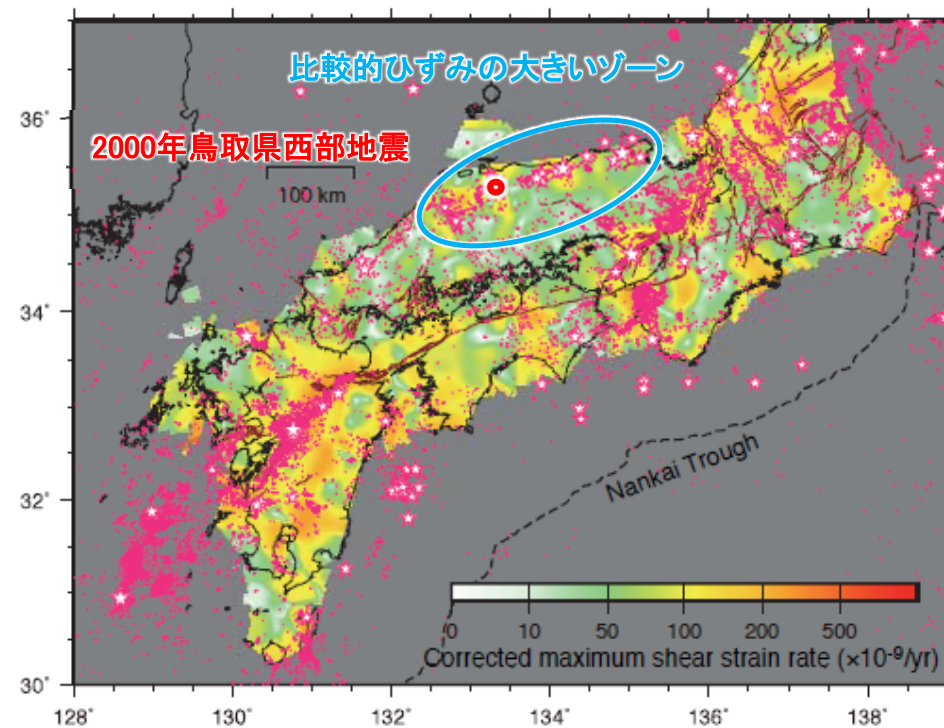
(NUMO, 2004)を加工

- 2000年鳥取県西部地震の震源周辺は、西南日本内帯に位置し、古生代～新第三紀の深成岩が広く分布し、新第三紀～第四紀の火山岩類に覆われている。
- 下北半島西部は、東北日本の奥羽脊梁山地の北端に位置し、新第三紀の海底火山噴出物(グリーンタフ)が広く堆積し、それを新第三紀末のカルデラ火山噴出物、第四紀の火山噴出物等が覆っている。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

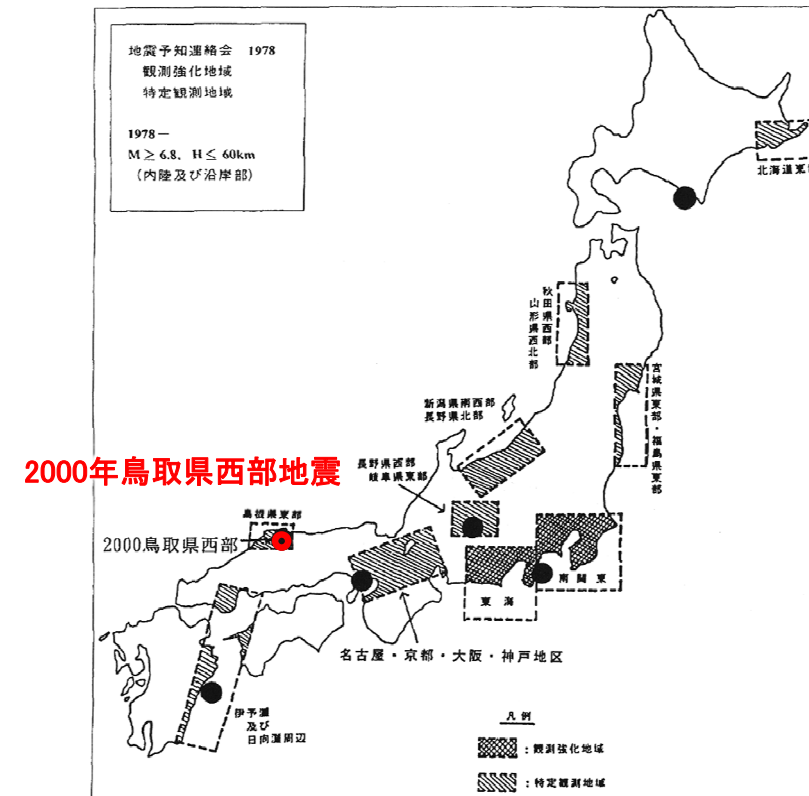
4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(9/18) (2)大局的な地質性状の比較(3/4)

ひずみ集中帯:2000年鳥取県西部地震の震源周辺



第3図 南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートと陸棚プレート間の固着による弾性変形を除去後の最大せん断ひずみ速度分布。茶色の線は主要活断層分布（地震調査委員会，2016）。星印は，1923年～2016年のM6以上かつ深さ20km以浅の大地震。点は，1998年～2016年までのM2以上かつ深さ20km以浅の地震の震央を表す。

最大せん断ひずみ速度分布
(2005.4～2009.12のGNSSデータによる) (西村，2017)に加筆



第2図 1978年に地震予知連絡会が指定した観測強化地域及び特定観測地域と1978年から2000年までに内陸乃至沿岸部で発生したM6.8以上の地震の震央分布。

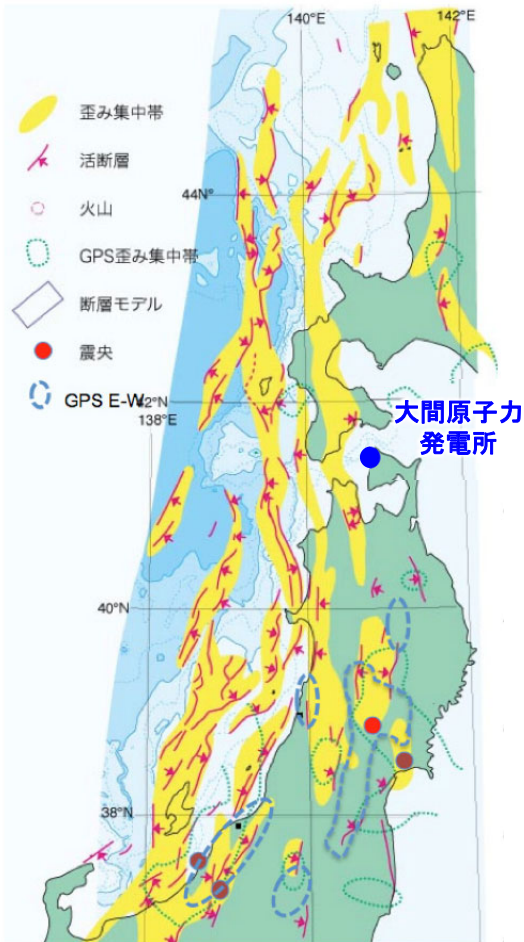
地震予知連による観測強化地域，特定観測地域
(地震予知連，2001)に加筆

- 地質学的歪み集中帯は，最近200万年～300万年間の断層活動による歪みが蓄積したゾーンとされており(岡村，2010)，測地学的ひずみ集中帯は，特定の観測期間での歪速度の大きい領域をカラースケール等で示すものである。
- 中国地方において，地質学的歪み集中帯を示す文献はない。
- 測地学的ひずみは，最大せん断ひずみ速度分布により，山陰地方(島根県東部から兵庫県にかけての日本海側)に比較的ひずみの大きいゾーンが認められるとされ，活断層のない場所であるが，微小地震が活発でM6以上の大地震も発生しているとされている。(西村，2017)
- 比較的ひずみの大きいゾーンに沿って大地震が東から西に発生しており，震源はその西側延長に位置する。地震予知連は，1978年に震源周辺を「島根県東部」の特定観測地域に指定し，1994年まで防災白書に掲載されている。(地震予知連会報，2001)

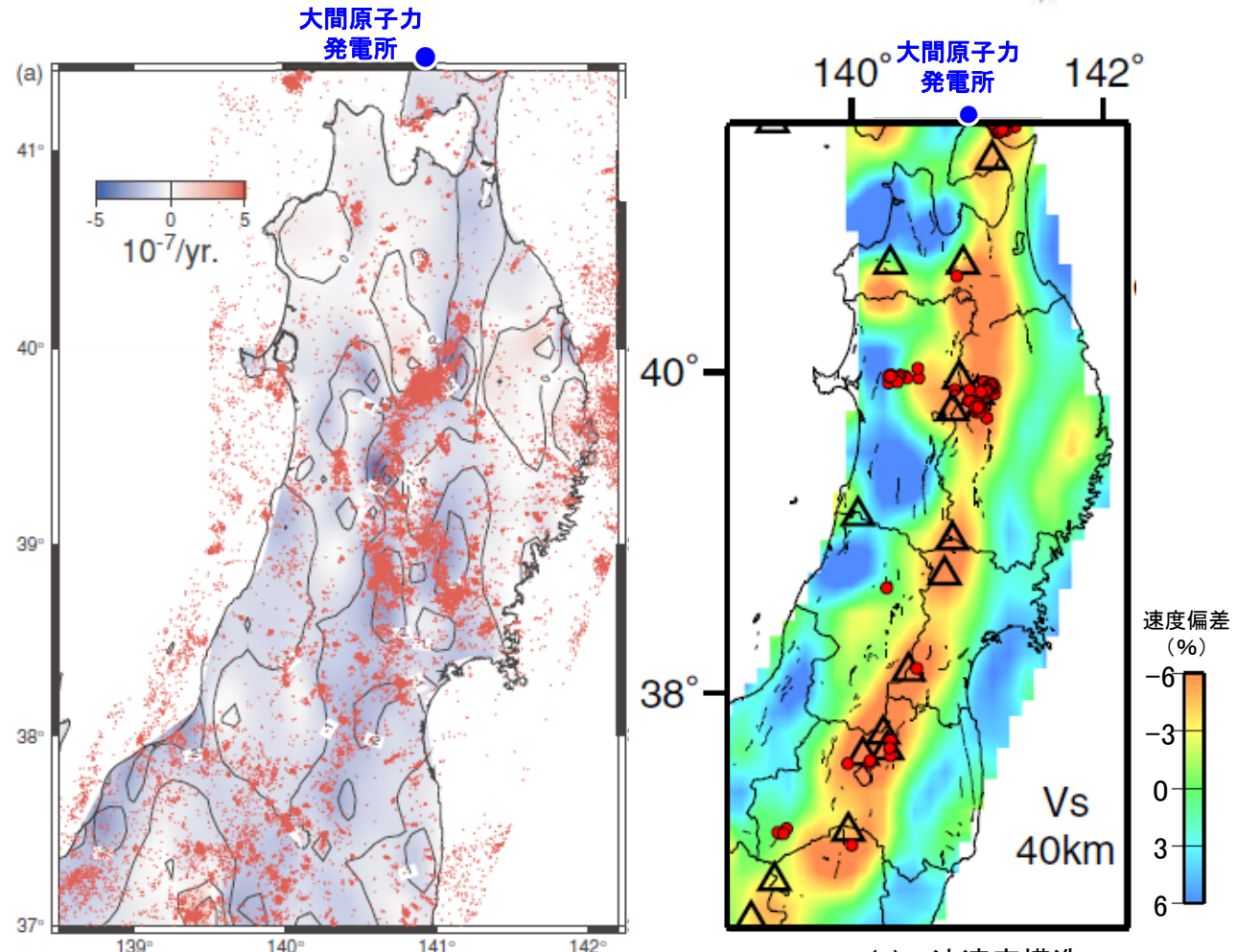
4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(10/18) (2)大局的な地質性状の比較(4/4)

ひずみ集中帯:下北半島西部



地質学的ひずみ集中帯等分布図
(産業技術総合研究所, 2009)に加筆



(a) 東西歪速度分布図
(Miura et al., 2004)に加筆

(b) S波速度構造
(Nakajima et al., 2001)に加筆

(a) GPSデータから求めた東西歪分布。期間は1997年~2001年。赤点は同じ期間に発生した深さ40 kmより浅い微小地震の震源を示す。陸地の細線は歪量の等値線。

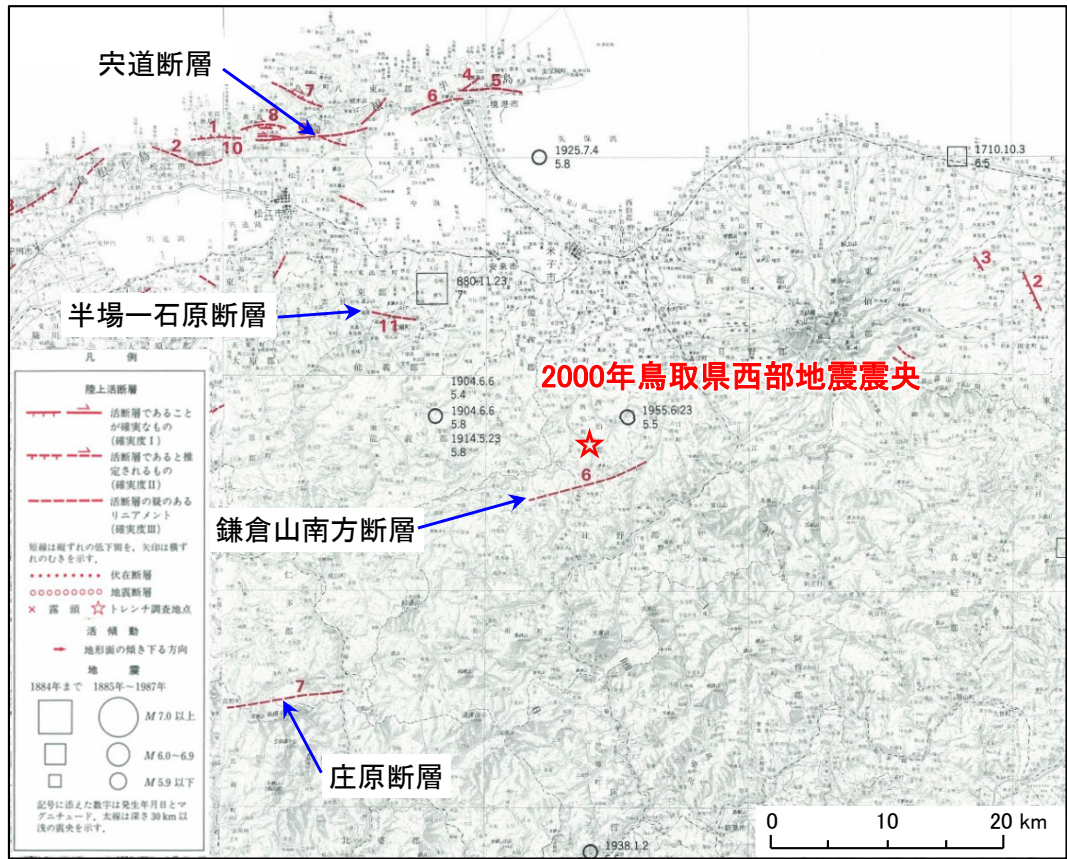
(b) 地震波トモグラフィーによる深さ40 kmでのS波速度偏差分布。△は活火山。(Nakajima et al., 2001)

- 下北半島西部は、地質学的歪み集中帯には該当せず、測地学的なひずみは、全体に緩やかな東西短縮変形領域となっている。
- 下北半島西部周辺にM6以上の地震は記録されていない。

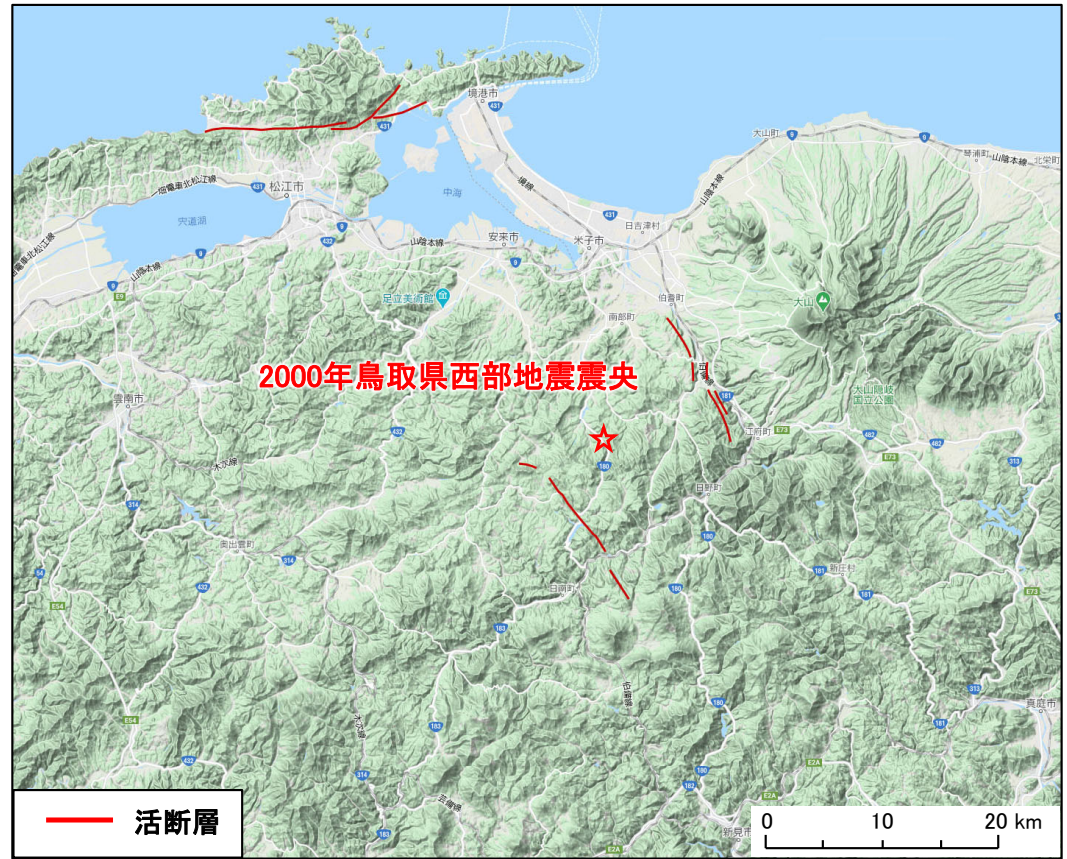
4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(11/18) (3)局所的な地質性状の比較(1/7)

文献活断層:2008年鳥取県西部地震の震源周辺



2000年鳥取県西部地震の震源周辺の活断層分布図
(活断層研究会編, 1991)から抜粋, 加筆



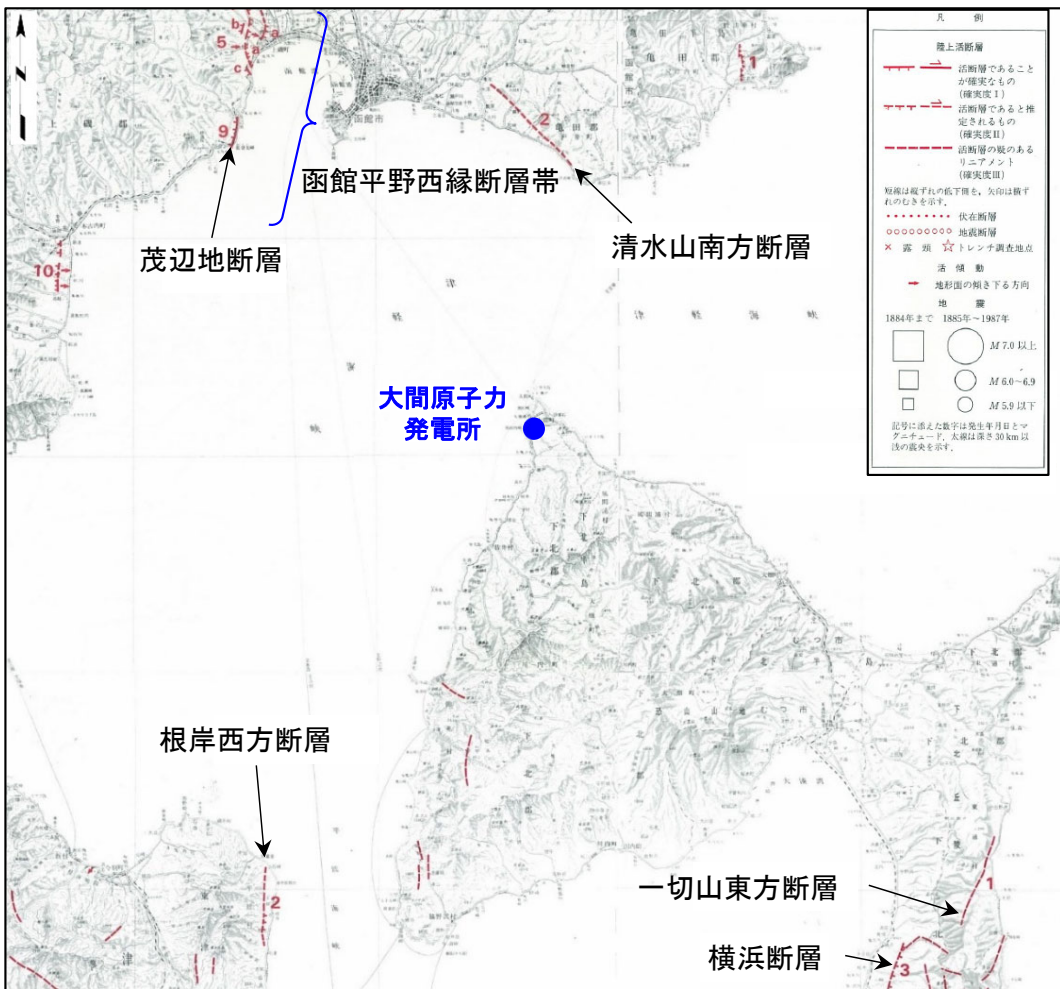
2000年鳥取県西部地震の震源周辺の活断層分布図
(産業技術総合研究所「活断層データベース」)に加筆

- 新編日本の活断層(活断層研究会編, 1991)及び産業技術総合研究所の「活断層データベース」には、震源に相当する活断層の記載はない。
- 前者には余震域に走向の異なる確実度Ⅲのリニアメントが示されており、後者では震源周辺に走向がほぼ等しい活断層が示されている。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(12/18) (3)局所的な地質性状の比較(2/7)

文献活断層:下北半島西部



大間敷地近傍の活断層分布図 (活断層研究会(1991)を抜粋, 加筆)

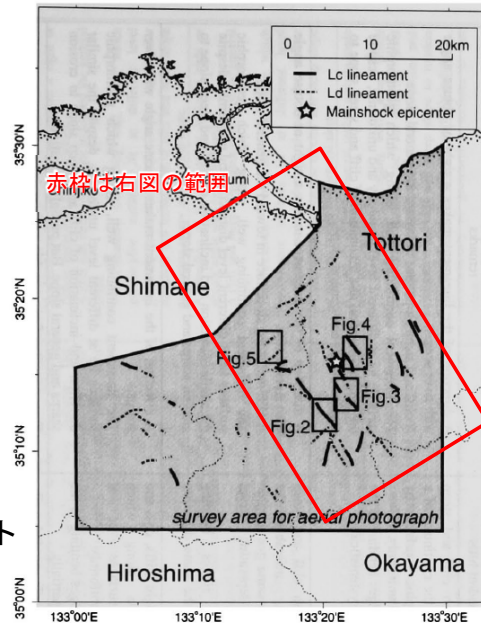


大間敷地近傍の活断層分布図 (産業技術総合研究所「活断層データベース」に加筆)

- 新編日本の活断層(活断層研究会編, 1991)では, 下北半島西部の南部に短い確実度Ⅲのリニアメントが複数示されており, これらは断層の実体が無いあるいは後期更新世以降の活動が無いことを確認済みである。
- 産業技術総合研究所の「活断層データベース」には, 下北半島西部に活断層の記載はない。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(13/18) (3)局所的な地質性状の比較(3/7)

変動地形:
震源周辺震源周辺のリニアメント
(井上ほか, 2002)に加筆

① 2000年鳥取県西部地震は、これまで活断層が図示されていない地域で発生した。しかし、地震波の解析[菊地(2000)]、余震分布などから、地下に震源断層が推定され、その変位量は1.6mとされている。

② この地震活動に伴って、地表地震断層の一部が出現した可能性が指摘されているが[松浦・他(2000)、伏島・他(2001)]、地下の推定断層変位量を有する断層は地表で確認されていない。

③ 今回の地震の震源域周辺での詳細な空中写真判読により、左横ずれを示唆する短く断続するリニアメント群が判読される。これらは、想定されている震源断層の方向とほぼ一致している。

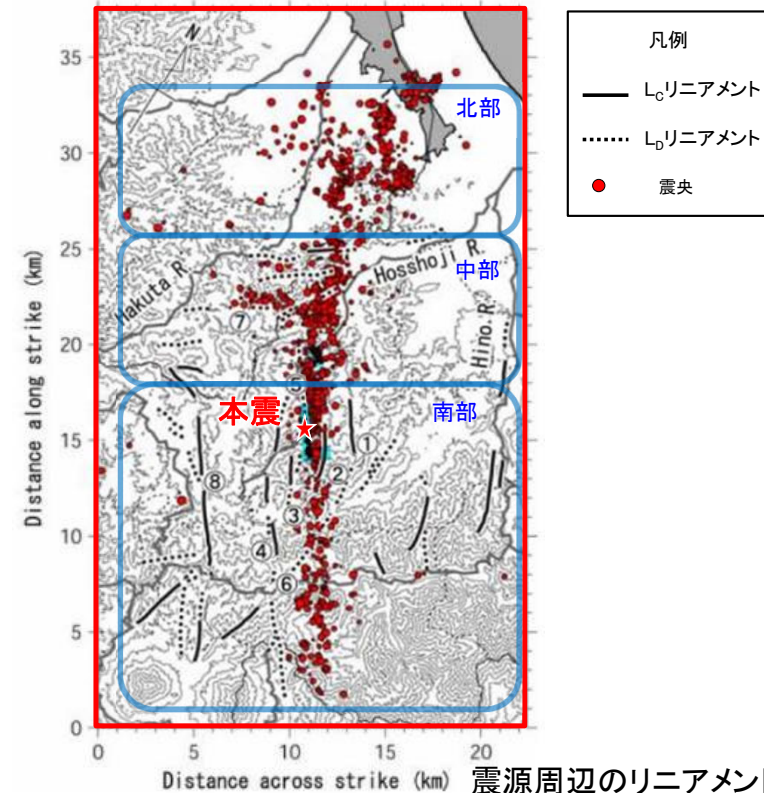
④ 地表踏査により、これらのリニアメント沿いで多くの断層露頭が確認され、断面には水平から水平に近い条線が認められる。これらの断層の一部は第四紀層を変位させている。したがって、これらのリニアメントは断層活動によって形成されたことが考えられる。

⑤ これらの断層群の分布状況、反射法地震探査結果[阿部・他(2001)]、微小地震観測結果[青柳・他

(2001)]などから、これらの断層は横ずれ断層に伴うフラワー構造を呈していることが推定される。また、このフラワー構造の下部では、断層が1本に収斂しており、これが震源断層と推定される。さらに、上田・谷(1999)、Ueta *et al.* (2000)の断層模型実験や地震の特徴などから、これらは若い未成熟な断層であることが推定される。このため、今回の地震では、地表近くまで破壊が進行したものの、地表に明瞭な地震断層が出現しなかったことが考えられる。

⑥ 各断層露頭の性状やトレンチ調査結果などから、この地震の震源断層は過去に繰り返し活動したことが考えられる。また、1回前の活動は、A.D. 770~1,260年の間にあり、この地域のこの間の歴史地震としては、A.D. 880年の「出雲の地震」が記載されており[宇佐美(1996)]、震源断層の活動によって、地表まで破壊が進行する断層はその都度異なることが考えられるものの、震源断層としての活動間隔は比較的短いものと推定される。

⑦ これらの調査は地震後の調査であるが、仮に地震前にこれらの詳細な調査を実施していれば、事前にある程度の規模の地震発生のポテンシャルがあることが推定可能であったと考えられる。

震源周辺のリニアメントと余震分布
(青柳ほか, 2004)に加筆

- 震源周辺には余震分布と一致する方向の左横ずれを示唆する短く断続するリニアメント群が判読され、露頭調査により断層活動によって形成されたとされている。また、反射法地震探査、微小地震観測結果などからフラワー構造が推定され、リニアメント群の分布から、若い未成熟な断層であるとされている。(井上ほか, 2002)
- リニアメントの走向には地域性があり、余震域の南部は震源断層方向及び共役なN-S方向が、中部は震源断層を横断するNE-SW方向が卓越するとされている。北部ではリニアメントが判読されず、今回だけの活動か比較的新しい時期に活動を開始したとされている。(青柳ほか, 2004)

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(14/18)

(3) 局所的な地質性状の比較(4/7)



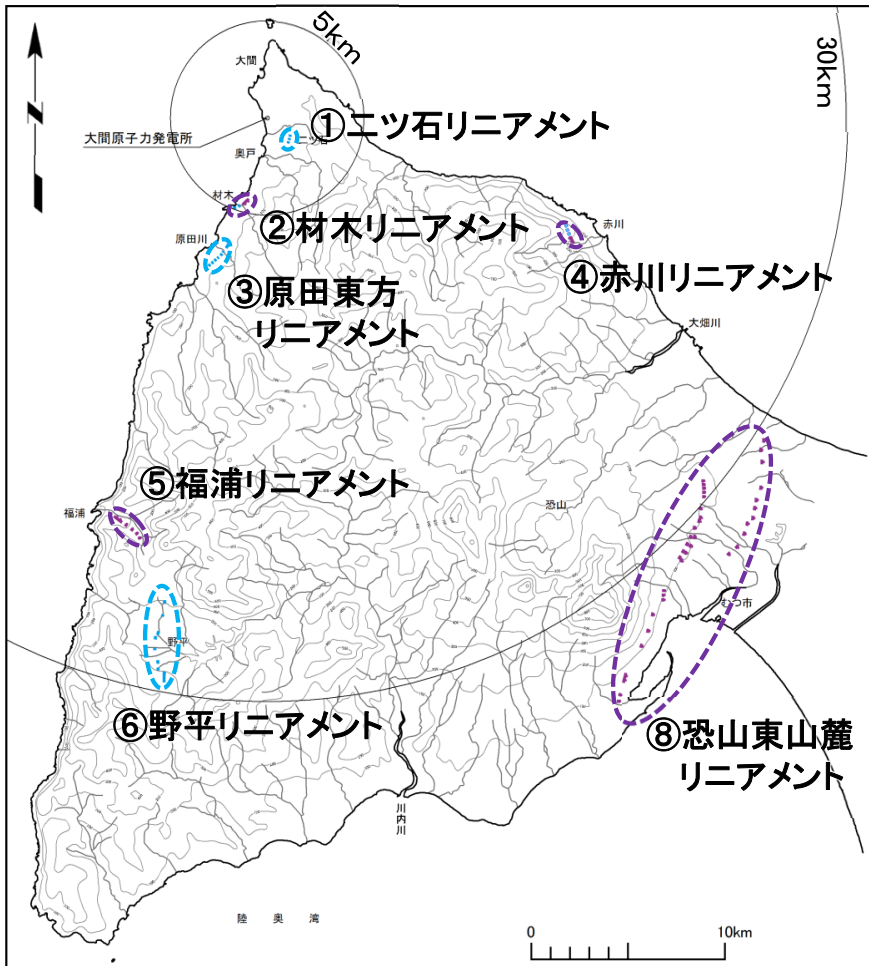
変動地形：敷地周辺



凡 例

断層地形の可能性が ある地形のランク	記 号
Dランク	TTTT T
Eランク	————

断層地形の可能性がある地形の分類は、断層地形のポテンシャルが高いものからA～Eの5ランクとした。
記号の短線は縦ずれの低下側を示す。



活動性評価の結果(概要)

番号	断層・リニアメント名	当社による ランク※1	文献※2 による確実度	評価長さ	敷地からの距離	活動性評価の結果	
						活動性	評価の掲載箇所 (第983回審査会合)
①	ニツ石リニアメント	E	なし	-	-	×	補足説明資料, 4.1～4.6
②	材木リニアメント	D	なし	-	-	×	
③	原田東方リニアメント	E	なし	-	-	×	
④	赤川リニアメント	D	なし	-	-	×	
⑤	福浦リニアメント	D	Ⅲ	-	-	×	本編資料, 3.2 補足説明資料, 4.7
⑥	野平リニアメント	E	Ⅲ	-	-	×	
⑦	清水山南方断層	E	Ⅲ	約11km	約28km	○	補足説明資料, 4.8
⑧	恐山東山麓リニアメント	D	なし	-	-	×	

：震源として考慮する活断層 活動性評価の結果：○あり，×なし

※1 区間によりランクが異なる場合は、最大ランクを表示。

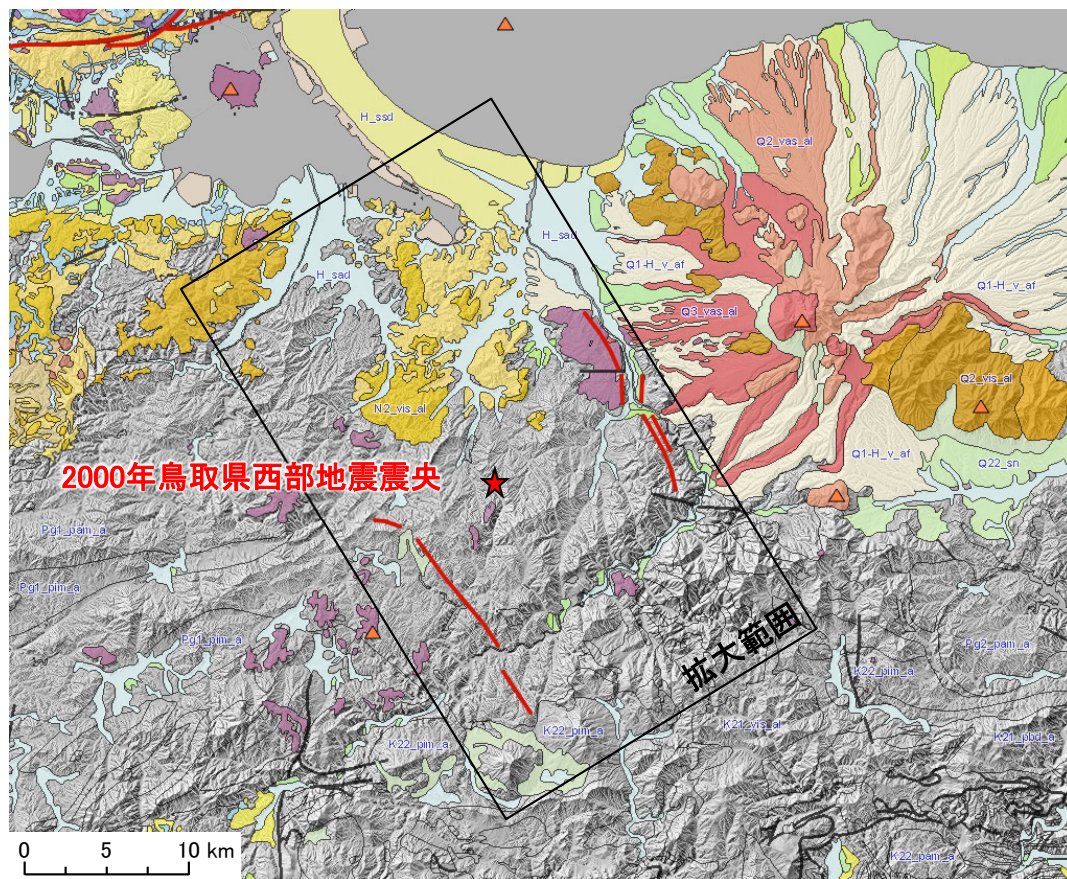
※2 活断層研究会編(1991)。

- 断層地形の可能性のある地形は小規模なものが少数判読される。走向には卓越する方向性は無い。
- これらの地形には、現地調査によって、断層が分布しないあるいは後期更新世以降の活動が無いことを確認している。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(15/18) (3)局所的な地質性状の比較(5/7)

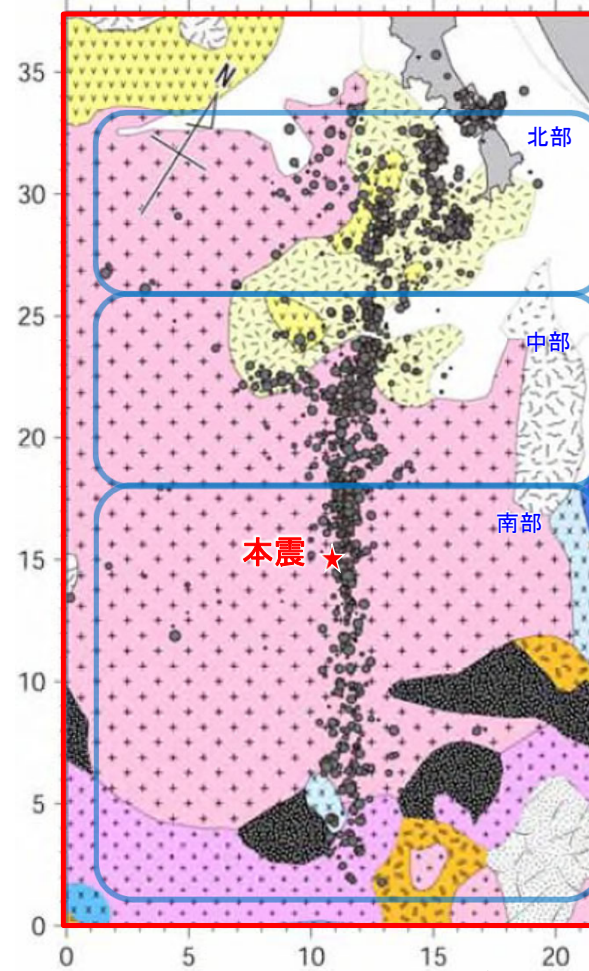
震源周辺の地質:2000年鳥取県西部地震



震源付近の新第三紀以降の表層地質図

(産業技術総合研究所「20万分の1シームレス地質図V2」)に加筆

(地質凡例は次頁に示す。)



表層地質と余震分布図

(青柳ほか, 2004)に加筆

凡例

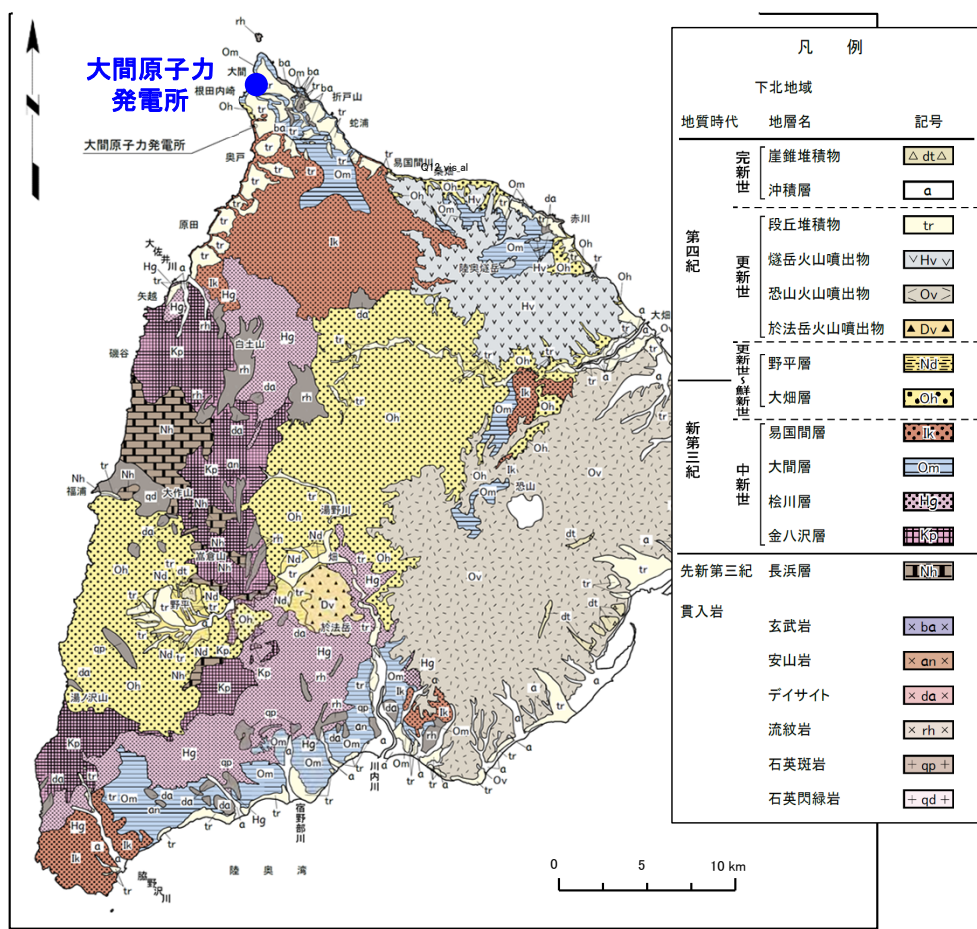
- 第四紀層
- 第四紀土石流
- 始新世苦鉄質火山岩類
- 中新世珪長質火山岩類
- 新第三紀苦鉄質火山岩類
- 古第三紀花崗岩
- 古第三紀斑レイ岩
- 白亜紀後期花崗岩
- 白亜紀後期斑レイ岩
- 白亜紀後期珪長質火山岩類
- 白亜紀後期苦鉄質火山岩類
- 三郡変成岩

- 震源周辺には、短い确实度Ⅲのリニアメントや短い地質断層が示されている。(産総研「20万分の1シームレス地質図V2」)
- この地域の地質分布は断層運動と密接に関わるとされており(青柳ほか, 2004), 南部の古第三紀花崗岩の分布域では余震分布の走向のリニアメントが多く、北部の中新世珪長質火山岩類が不整合に覆っている(厚さ約6km)地域ではリニアメントが無く、地層境界となる中部では地層境界方向で余震分布を横断する方向のリニアメントが多い。
- なお、震源周辺は、明瞭な断層変位基準が少ない地域とされている。(堤ほか, 2000)

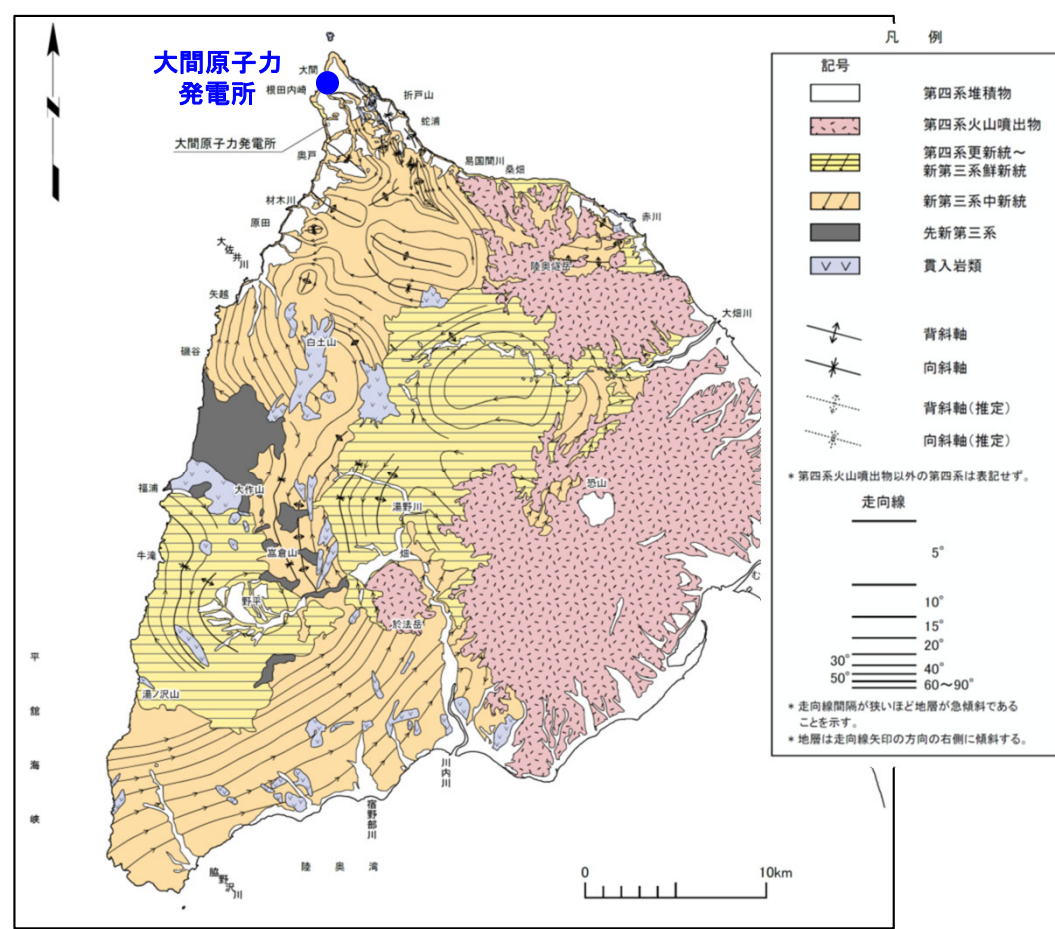
4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(17/18) (3)局所的な地質性状の比較(7/7)

敷地周辺の地質:下北半島西部



下北半島西部の地質図



下北半島西部の地質構造図

- 下北半島西部には活断層は認められず、図面に示す規模の地質断層も認められない。
- 西側海岸中央付近を中心とした新第三系の半ドーム状の構造と、それを盆状の鮮新世のカルデラ火山噴出物が不整合に覆う。
- 敷地近傍では海成段丘が発達し、変位基準が多い。

4. 地域性を考慮する地震動の評価

4.2 2000年鳥取県西部地震の地域性の検討(18/18) (4) 類似性の評価

震源周辺と敷地周辺との類似性

類似性の評価(○:類似性あり, △:類似性一部あり, ×:類似性なし)

(比較項目)	2000年鳥取県西部地震の震源周辺	敷地周辺(下北半島西部)	類似性の評価
a1. 大局的地質構造			
地震地体構造区	「(10C5)中国山地・瀬戸内海」に位置し、安定隆起域で活断層密度が小さく、大中規模の浅発地震は東西圧縮応力での横ずれ断層型が多い。	「(8C)東北日本弧内帯」に位置し、島弧方向の逆断層や褶曲が発達し、大・中規模の浅発地震は東西圧縮応力での逆断層型が多く、活動度が高い。	×
地質構造	西南日本内帯に位置し、古生代～新第三紀の深成岩が広く分布し、新第三紀～第四紀の火山岩類に覆われている。	東北日本の奥羽脊梁山地の北端に位置し、新第三紀の海底火山噴出物(グリーンタフ)が広く堆積し、それを新第三紀末のカルデラ火山噴出物、第四紀の火山噴出物等が覆っている。	×
ひずみ集中帯	地質学的歪み集中帯には該当しない。測地学的ひずみが比較的集中しており、微小地震が活発でM6以上の地震が発生している。	地質学的歪み集中帯には該当しない。測地学的ひずみ集中帯にも該当せず、緩やかな短縮変形領域となっており、M6以上の地震は記録されていない。	×
a2. 局所的地質構造			
文献活断層	震源断層に相当する活断層を示す文献は無い。本震付近に余震分布と異なる走向のリニアメントを示す文献、本震から離れた位置に走向が等しい少規模活断層を示す文献がある。	敷地近傍に活断層を示す文献は無い。敷地から離れた下北半島西部の南部には、主に南北層向の短いリニアメントを数条示す文献がある。これらは現地調査で実体が無いあるいは活動性がないことを確認している。	×
変動地形	余震分布域の南部を中心に、余震分布と一致する方向の左横ずれを示唆する短く断続するリニアメント群が判読される。判読されるリニアメントは断層活動により形成されたとされている。	走向に統一感のない短いリニアメントが小数判読される。現地調査により断層が分布しないあるいは後期更新世以降の活動が無いことを確認している。	×
震源周辺/敷地周辺の地質	余震分布域の中部から南部には古第三紀花崗岩が分布し、北部では中新世珪長質火山岩類が不整合に覆っている(厚さ約6km)。また、震源周辺は、明瞭な断層変位基準が少ない地域とされている。	新第三紀の海底火山噴出物が分布し半ドーム状の構造を呈する。盆状の鮮新世のカルデラ火山噴出物が、それを不整合に覆う。また、敷地近傍では海成段丘が発達するなど、変位基準が得やすい地域である。	×

- 2000年鳥取県西部地震の震源周辺は、大局的には安定した活断層密度の小さい構造区に位置するが、震源周辺では測地学的なひずみが比較的大きく、M6規模の地震が観測され、さらに、活断層が示され、余震方向に断層により形成されたリニアメントが判読されているなど、局所的には活動性を示唆する地質性状が多い。また、断層変位基準が少なく、断層が認識し難い地域である。
- 一方、下北半島西部は、大局的には逆断層・褶曲が多く活動度が高い構造区に位置するが、下北半島西部はひずみ集中帯に該当せず、M6規模の地震が観測されず、さらに、活断層は敷地から遠く、リニアメントも卓越する方向性のない少数のもののみが判読されるなど、局所的には活動性を示唆する地質性状が無い。また、断層変位基準が得やすく、断層を認識し易い地域である。
- したがって、大局的にも局所的にも、震源周辺と下北半島西部には類似性が認められないため、2000年鳥取県西部地震は、地域性を考慮する地震動の検討対象地震として選定しない。