（原子力発電所）資料1

机上配布資料3

（平成28年10月21日配布）

東海第二発電所
震源を特定せず策定する地震動について

平成28年10月14日

日本原子力発電株式会社

説明範囲

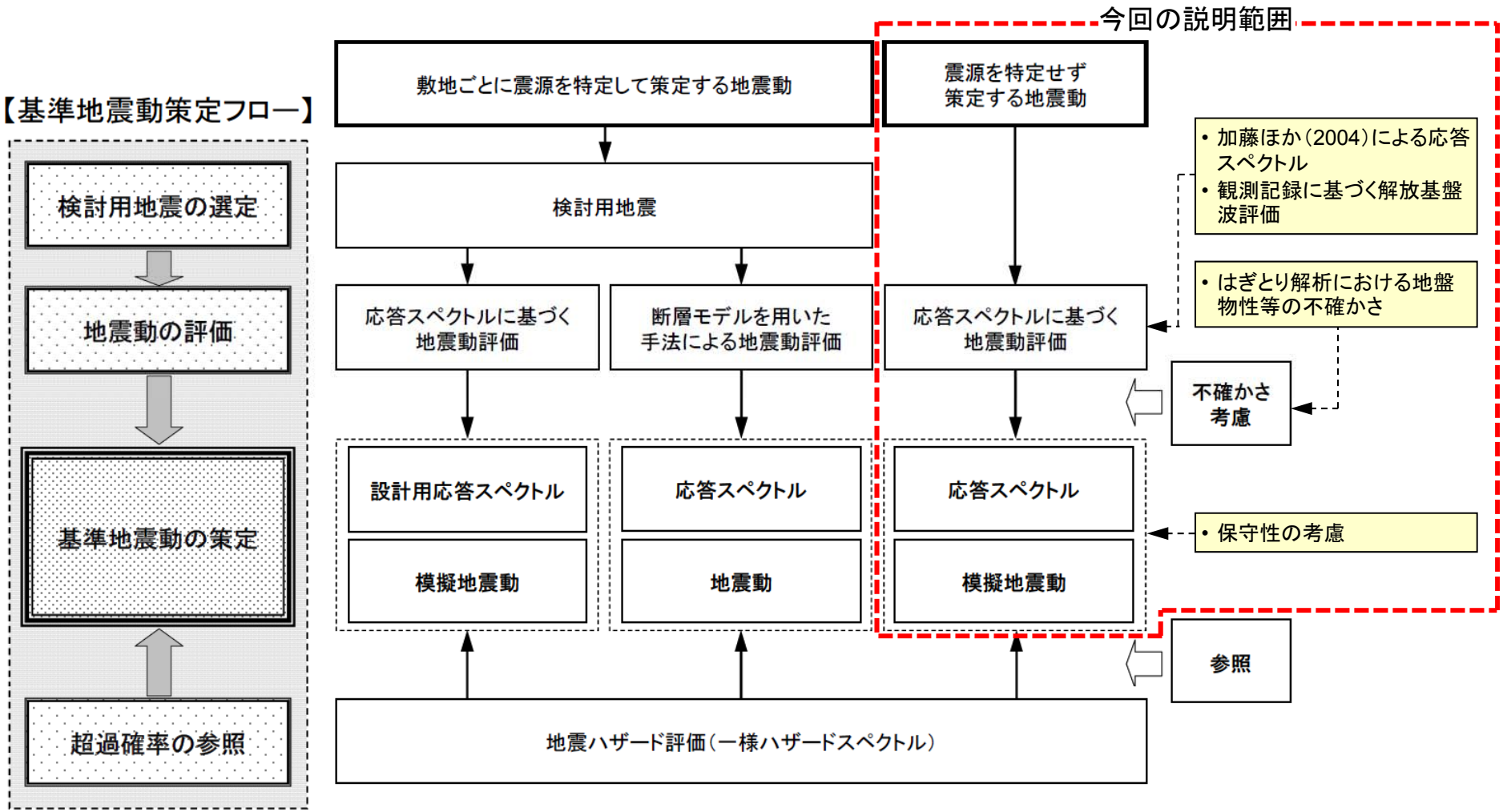
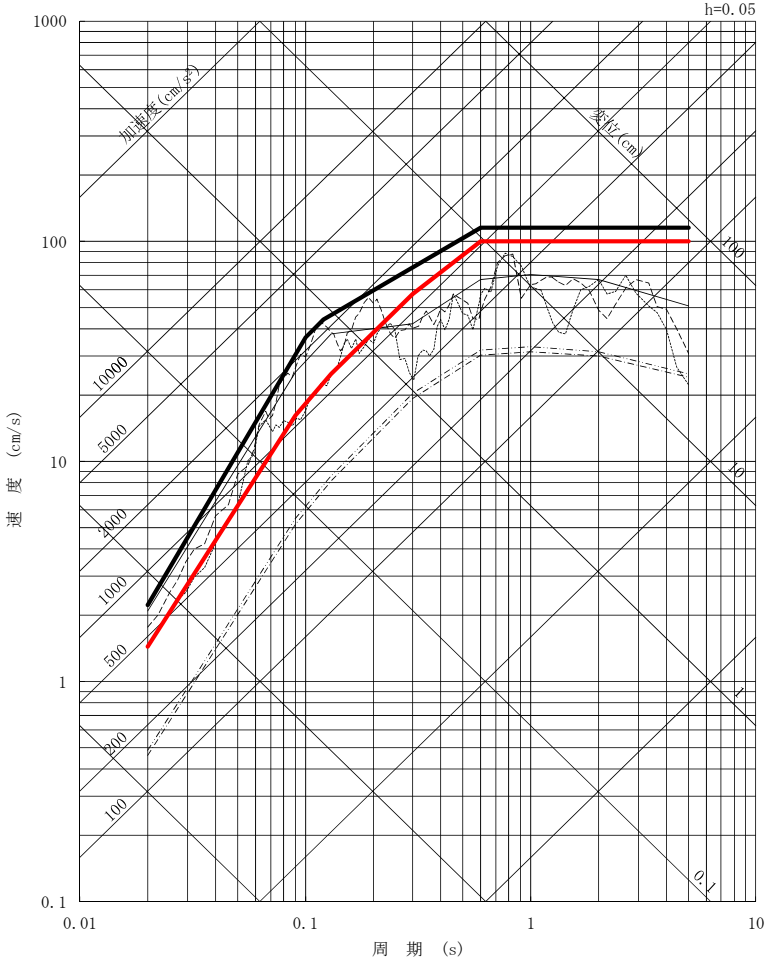


図-1　基準地震動の策定に係る審査フロー

原子力規制委員会（2013）に加筆

設置変更許可申請時からの主な変更点について

設置変更許可申請時（平成26年5月）



—— Ｆ１断層，北方陸域の断層の連動による地震，基本震源モデル，M7.6，Xeq=25.7km
---- 2011年東北地方太平洋沖地震の解放基盤波 NS
····· 2011年東北地方太平洋沖地震の解放基盤波 EW
-·-·- 茨城県南部の地震，基本震源モデル，M7.3，Xeq=65km
-··-·- 茨城県南部の地震，アスペリティ位置の不確かさを考慮，M7.3，Xeq=63km
━ 加藤ほか(2004)
━ Ｓｓ-ＤＨ

設置変更許可申請時以降の検討

収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

原子力規制委員会(2013)

地震動の評価

- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル
- 2004年北海道留萌支庁南部地震

目　次

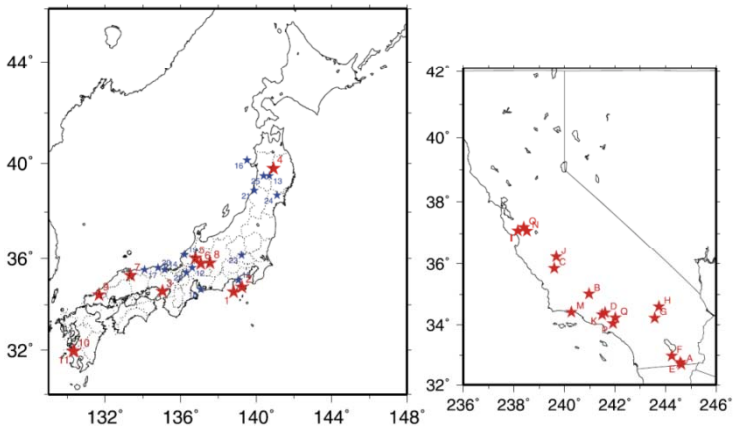
1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

既往の知見（1／2）

●加藤ほか（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地震動の上限レベルを設定



(a) 日本　(b) カリフォルニア

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）

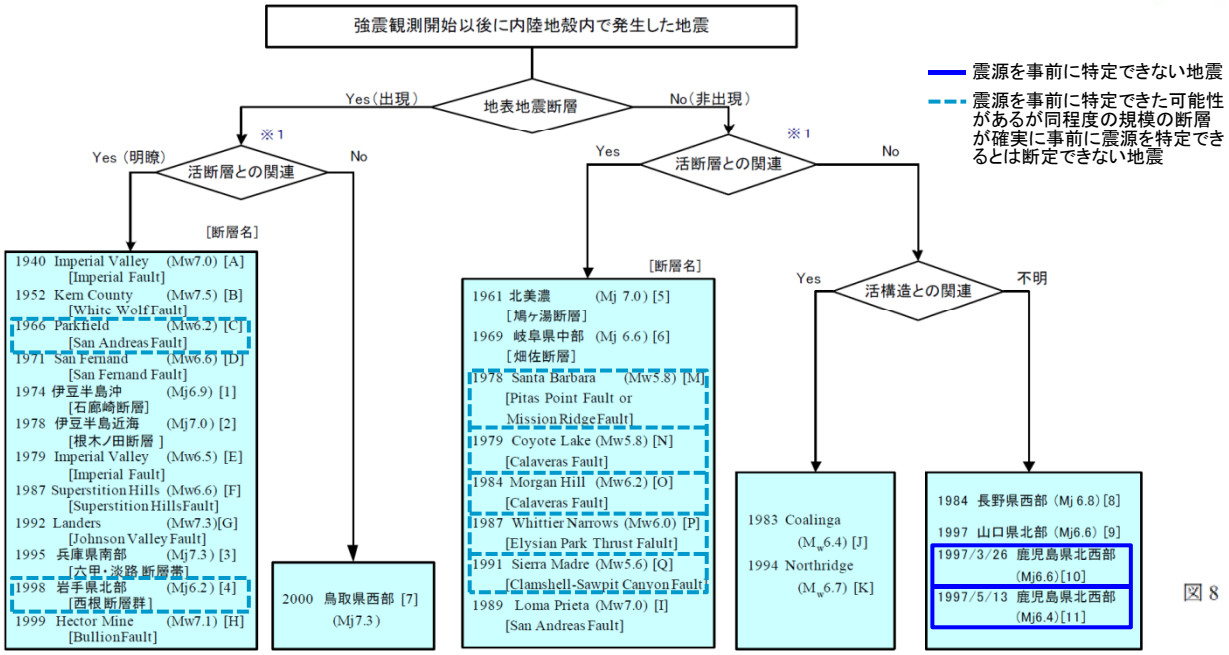


図 3　強震観測開始以後に発生した地震の分類　[ ]の数字と記号は図 1 の震央位置に対応

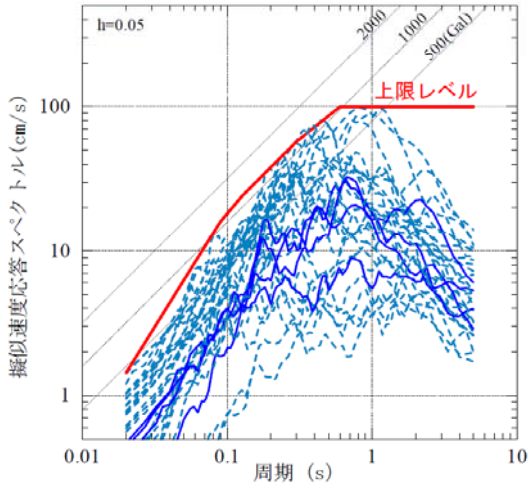


図 8　震源を事前に特定できない地震による震源近傍の観測記録の水平動応答スペクトルとその上限レベル
（実線は 1997 年鹿児島県北西部地震の鶴田ダムのスペクトル、破線はスケーリングの観点から確実に事前に震源を特定できるとは断定できないと判断した Mj6.5(Mw6.2)以下の 7 地震のスペクトル）

加藤ほか（2004）に一部加筆

既往の知見（2／2）

●日本電気協会（2008）

加藤ほか（2004）による水平方向の応答スペクトルに対し，Noda et al.（2002）の方法により求められる地盤増幅特性を用いて，地盤速度ごとの水平方向及び鉛直方向の応答スペクトルを評価

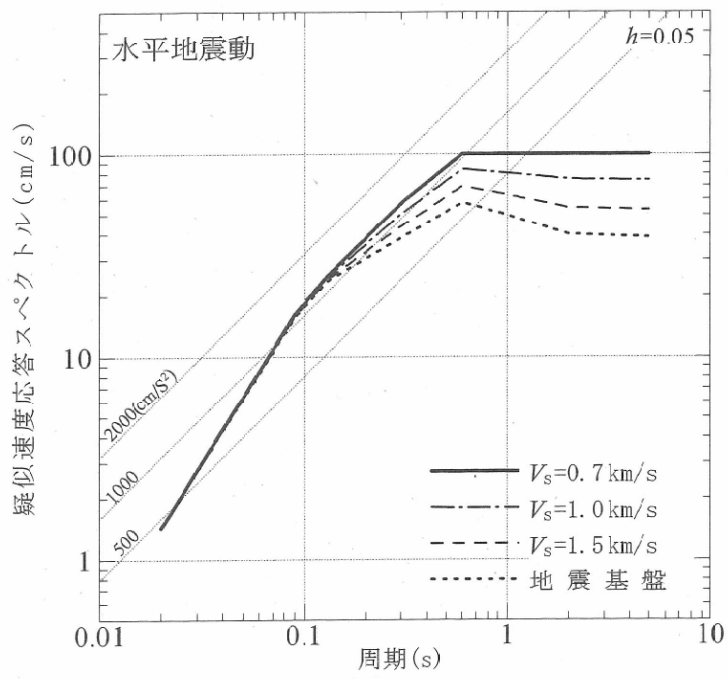


図 1.3-1　震源を特定せず策定する地震動として用いる S 波速度ごとの水平地震動の応答スペクトル

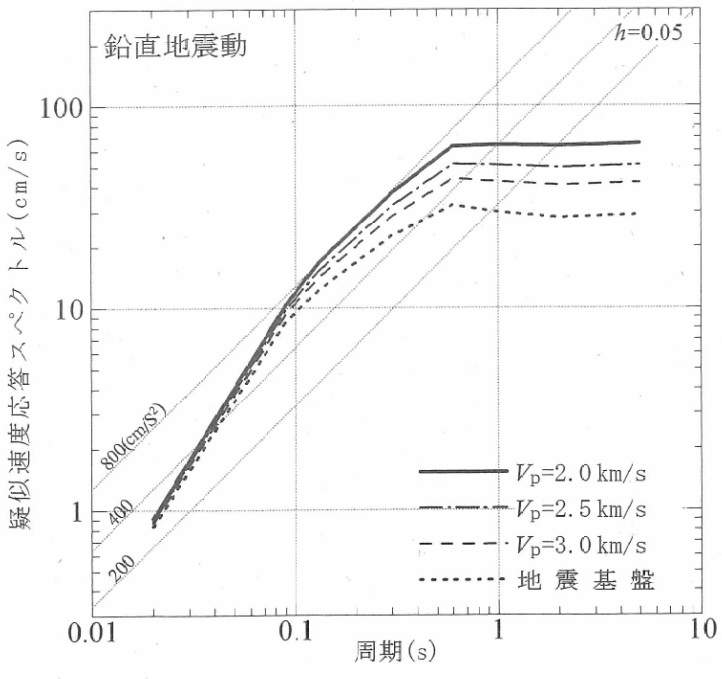


図 1.3-2　震源を特定せず策定する地震動として用いる P 波速度ごとの鉛直地震動の応答スペクトル

日本電気協会（2008）より抜粋

加藤ほか（2004）による水平方向の応答スペクトルに対し，日本電気協会（2008）に基づき，Noda et al.（2002）の方法により求められる地盤増幅特性を用いて評価した，水平方向及び鉛直方向の応答スペクトル（以下，「加藤ほか（2004）による応答スペクトル」）を，震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

検討対象地震と検討概要

検討対象地震：審査ガイドに記載の16地震

Mw6.5以上　2地震

地質・地質構造等の地域性を検討して考慮する地震

↓

震源域と東海第二発電所の地域性の検討

↓

地質・地質構造等に地域差が認められ，いずれの地震動も該当しない。

Mw6.5未満　14地震

全国共通に考慮すべき地震

↓

加藤ほか(2004)と暫定的な比較を行い，影響の大きい地震観測記録を選定

↓

影響の大きい地震観測記録
- 2004年北海道留萌支庁南部地震
- 2011年茨城県北部地震
- 2013年栃木県北部地震
- 2011年和歌山県北部地震
- 2011年長野県北部地震

↓

信頼性のある基盤地震動として選定され「震源を特定せず策定する地震動」に考慮
- **2004年北海道留萌支庁南部地震**

↓

不確かさ，サイト特性，保守性の考慮

↓

震源を特定せず策定する地震動
- 水平 610cm/s^2，鉛直 280cm/s^2

収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

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」より抜粋

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

Mw6.5以上の地震に関する検討概要

●「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」である震源の規模が特定できない地震（Mw6.5以上の地震）に対しては，地表地震断層の出現要因に地域性があることを考慮して検討する。

Mw6.5以上　2地震

地質・地質構造等の地域性を検討して考慮する地震

- 2008年岩手・宮城内陸地震（Mw6.9）
- 2000年鳥取県西部地震（Mw6.6）

↓

震源域と東海第二発電所の地域性の検討

以下の項目に着目して，震源域と東海第二発電所の地域性を検討
- 地質
- 地質構造
- 変動地形等
- 火山
- 地震地体構造
- 応力場

↓

地質・地質構造等に地域差が認められ，いずれの地震動も該当しない。

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
2.1 2008年岩手・宮城内陸地震 ・・・・・・ 11
2.2 2000年鳥取県西部地震 ・・・・・・ 36
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

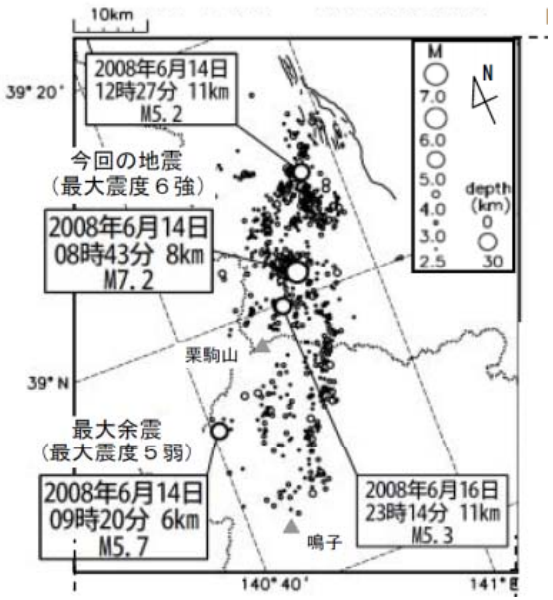
2008年岩手・宮城内陸地震の概要

●地震発生日時（気象庁）
- 発生日時：平成20年6月14日08時43分
- 地震規模：Mj7.2（Mw6.9）
- 震源深さ：8km
- 震源位置：北緯39° 1.7’，東経140° 52.8’

●各地の震度及び被害状況
各地の震度（気象庁）は以下のとおり
- 震度6強：岩手県　奥州市
  宮城県　栗原市
- 震度6弱：宮城県　大崎市
- 震度5強：岩手県　北上市，一関市，金ヶ崎町，平泉町
  宮城県　仙台市，名取市，登米市，利府町，加美町，涌谷町，美里町
  秋田県　湯沢市，東成瀬村
- 地震による津波の発生はなし

●地震発生メカニズム（気象庁）
- 発震機構解より，西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型の地震である。
- 今回の地震の震央周辺では，M7以上の地震は1914年3月15日に発生したM7.1の地震以来約94年間発生していなかった。
- この領域では，1894年10月22日の庄内地震（M7.0）から1914年3月15日の秋田仙北地震にかけての約20年間にM7以上の地震が4回発生するなど地震活動の活発な時期があった。

震央分布図
（2008年6月14日08時～26日06時、M≧2.5、深さ30km以浅）



気象庁（2008）より抜粋

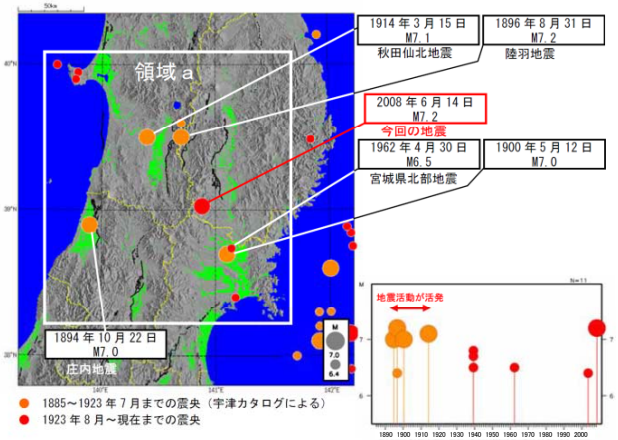


図２－７　震央分布図（左図）及び領域ａ内のＭ－Ｔ図（右図）
1885年１月１日～2008年６月30日の期間で、M6.4以上、深さ60kmより浅い地震を表示した。また、顕著な被害のある地震を吹き出しで示した。

気象庁（2008）より抜粋

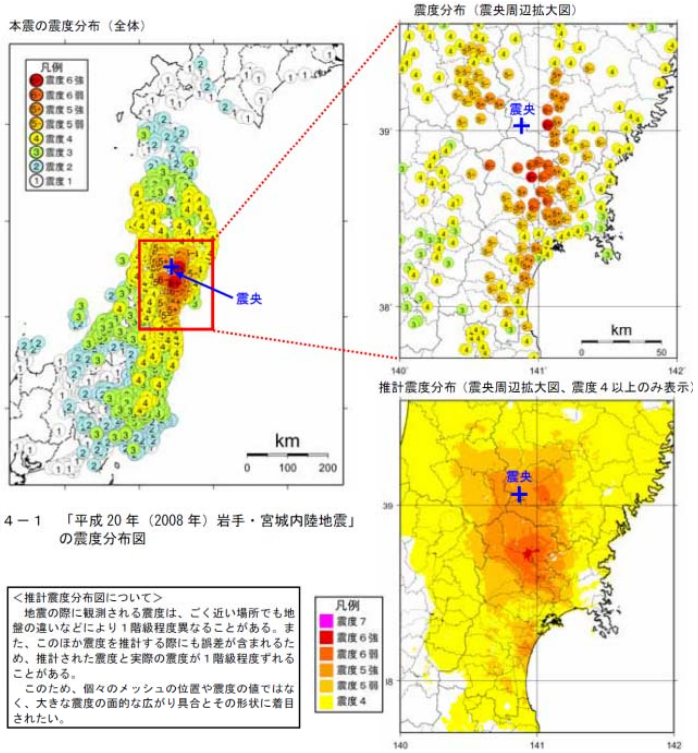
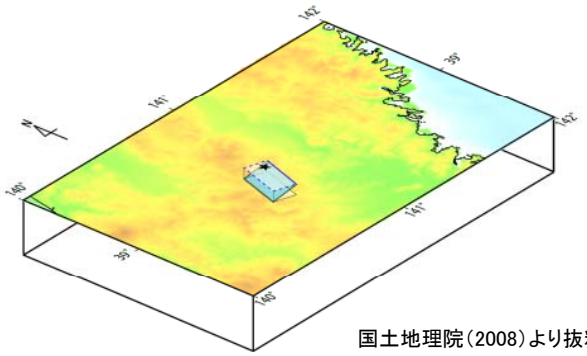


図４－１　「平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震」の震度分布図

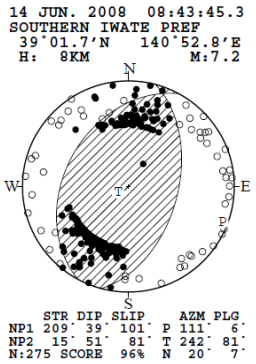
＜推計震度分布図について＞
地震の際に観測される震度は、ごく近い場所でも地盤の違いなどにより１階級程度異なることがある。また、このほか震度を推計する際にも誤差が含まれるため、推計された震度と実際の震度が１階級程度ずれることがある。
このため、個々のメッシュの位置や震度の値ではなく、大きな震度の面的な広がり具合とその形状に着目されたい。

気象庁（2008）より抜粋

平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震の震源断層モデルの概念図



国土地理院（2008）より抜粋



P波初動による発震機構解
気象庁（2008）より抜粋

2008年岩手・宮城内陸地震の概要（震源モデルの一例）

●鈴木ほか（2010）

・震源近傍の強震記録を用いて，震源破壊過程のインバージョン解析を実施している。
・破壊開始点から地表断層の現れた浅い領域にかけてすべりの大きい領域が広がる。
・IWTH25（一関西）で観測された大加速度の地震動は，すべりの大きい領域から生成された可能性がある。

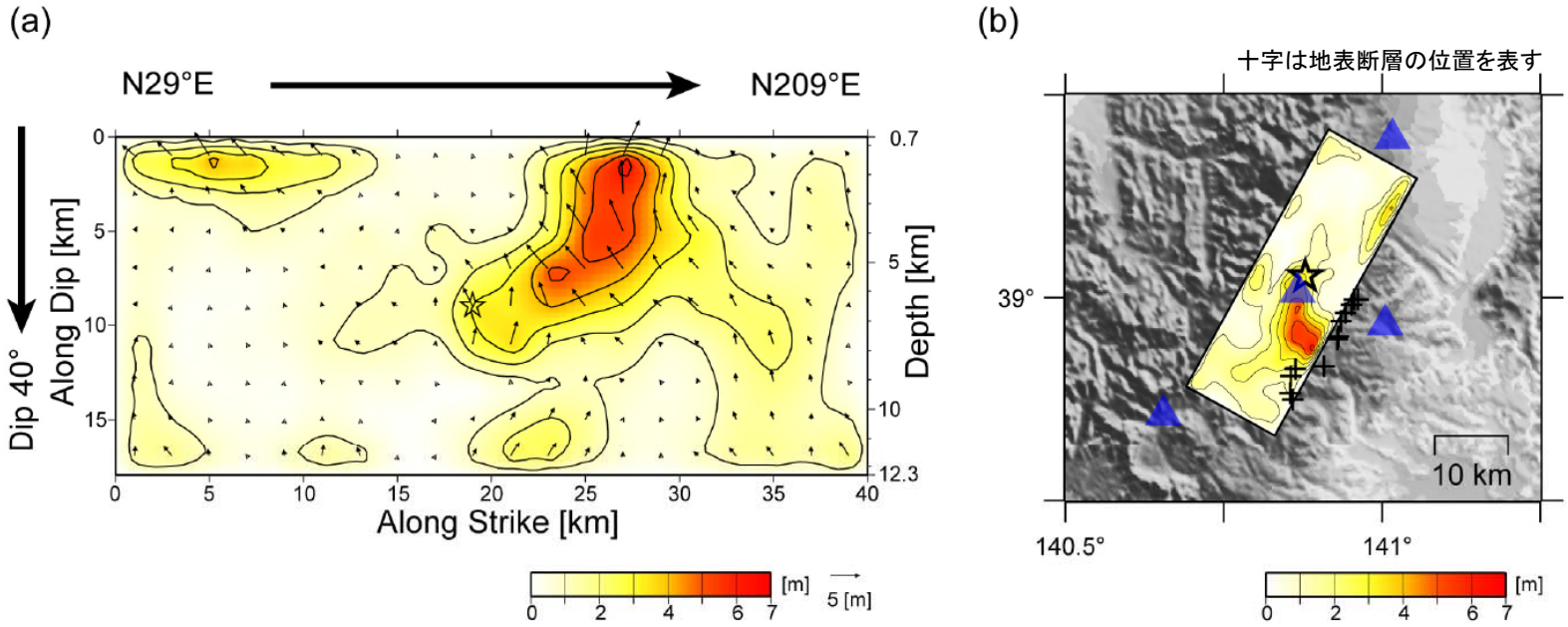


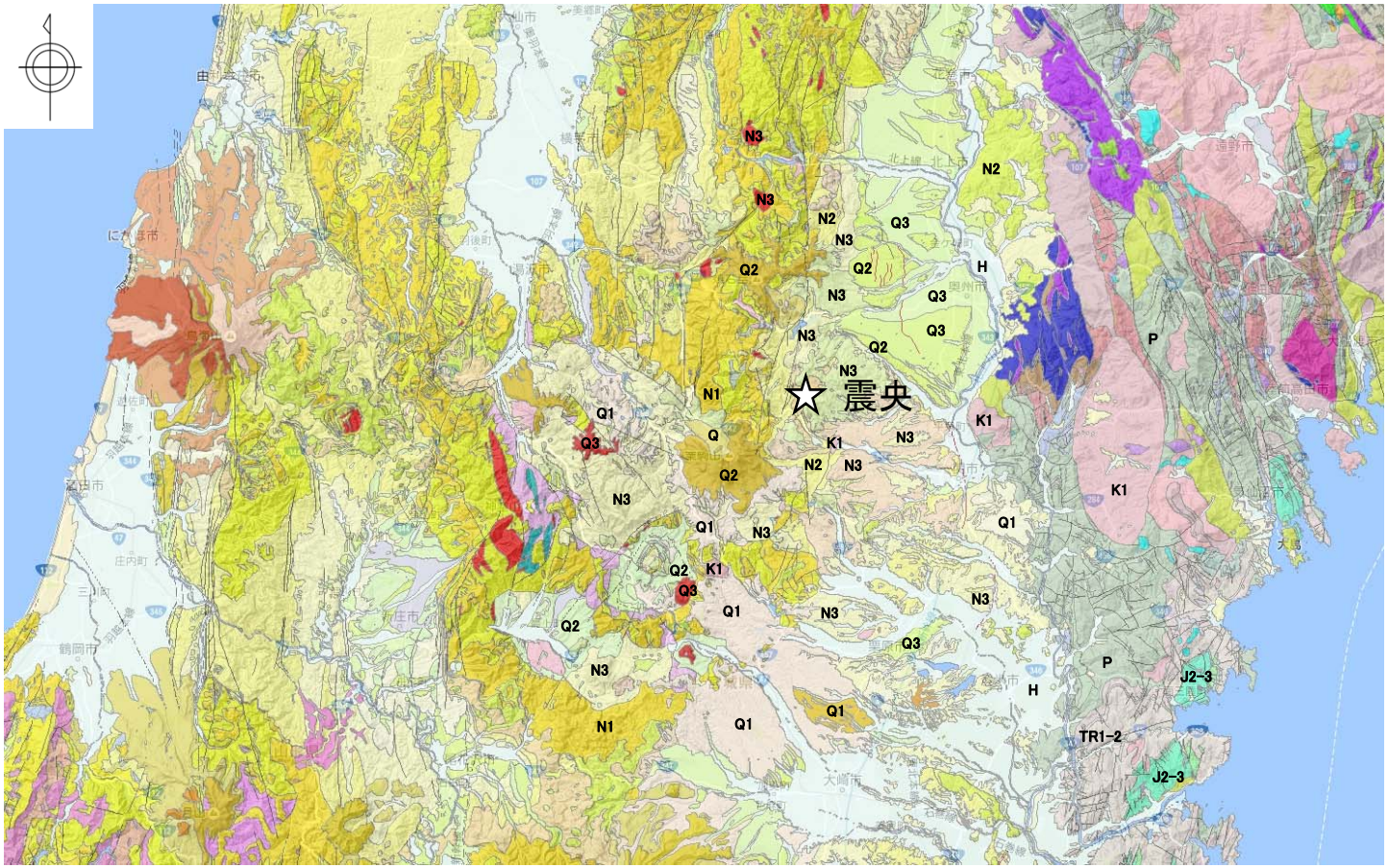
図 5　(a)断層面上および(b)地図上に投影した最終すべり量分布．星印は破壊開始点，矢印は上盤のすべりの向きと大きさを示す．

Fig. 5　(a) Slip distribution on the assumed fault plane and (b) its projection onto the map. The star indicates the rupture starting point. The arrows indicate the directions and amplitudes of the slip of the hanging wall.

鈴木ほか（2010）に一部加筆

地質 2008年岩手・宮城内陸地震(1/2)

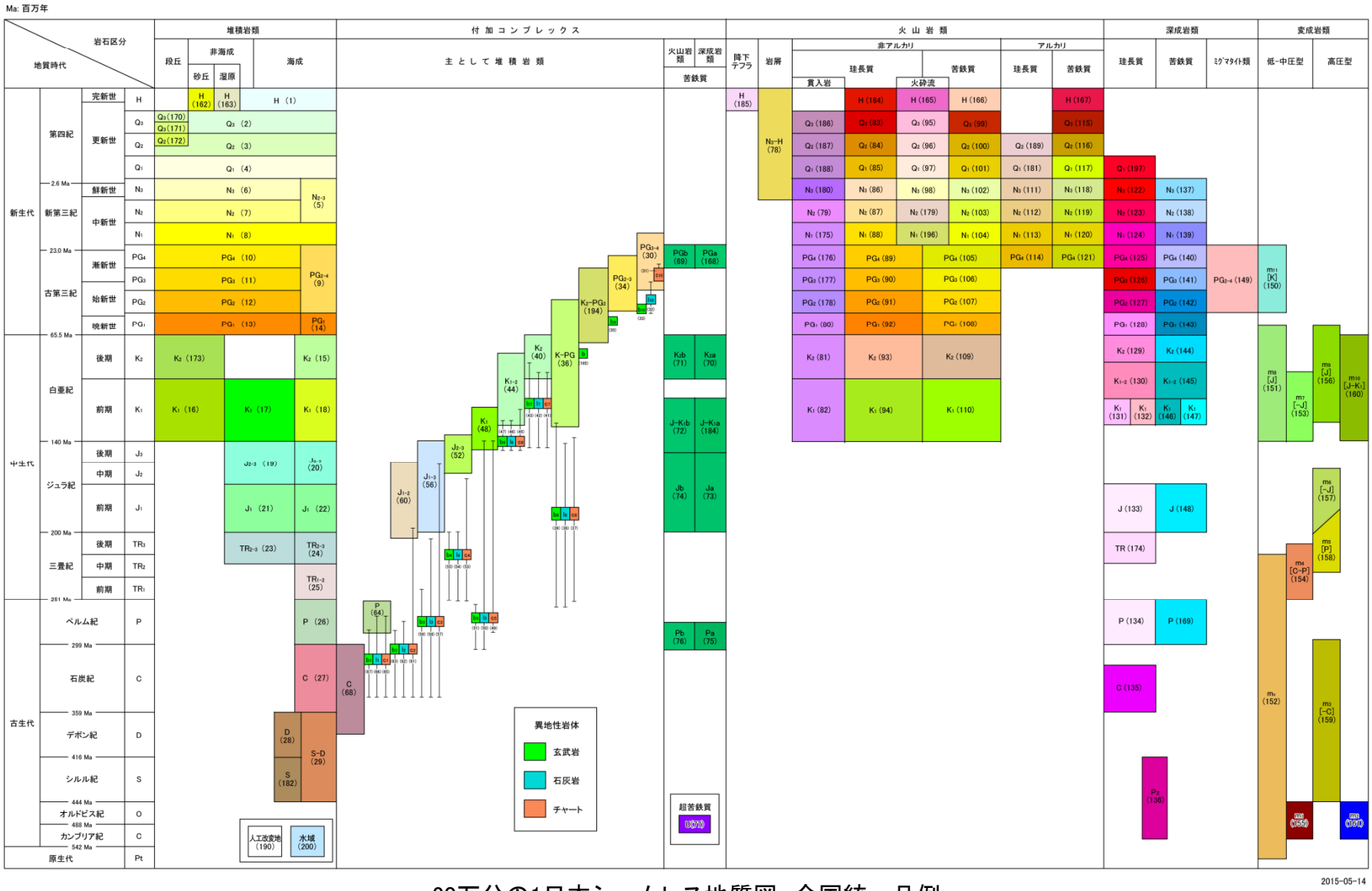
・震源域近傍には，主に中新統から鮮新統の堆積岩・火山岩等，第四紀の火山岩類が分布する。



震源域周辺のシームレス地質図
（産業技術総合研究所，地質図Naviに加筆）

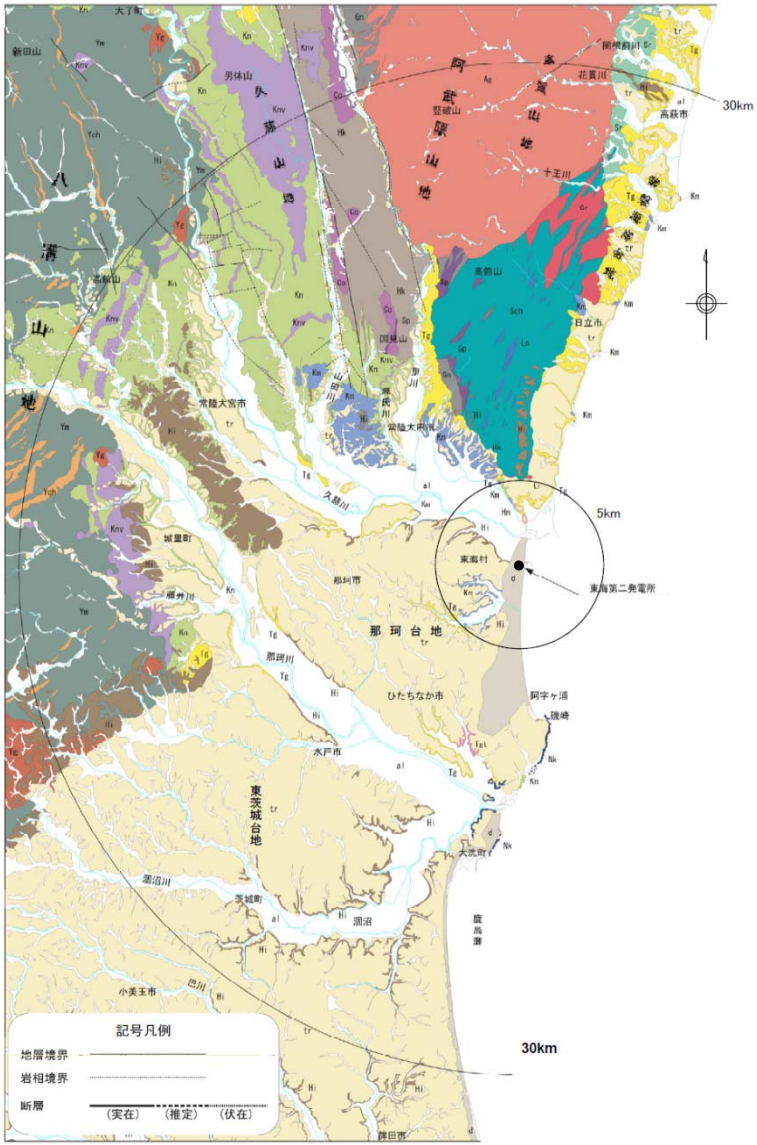
0 30km

地質 2008年岩手・宮城内陸地震(2/2)



20万分の1日本シームレス地質図 全国統一凡例
（産業技術総合研究所，20万分の1シームレス地質図）

地質　東海第二発電所（敷地周辺の地質）



敷地周辺陸域の地質図

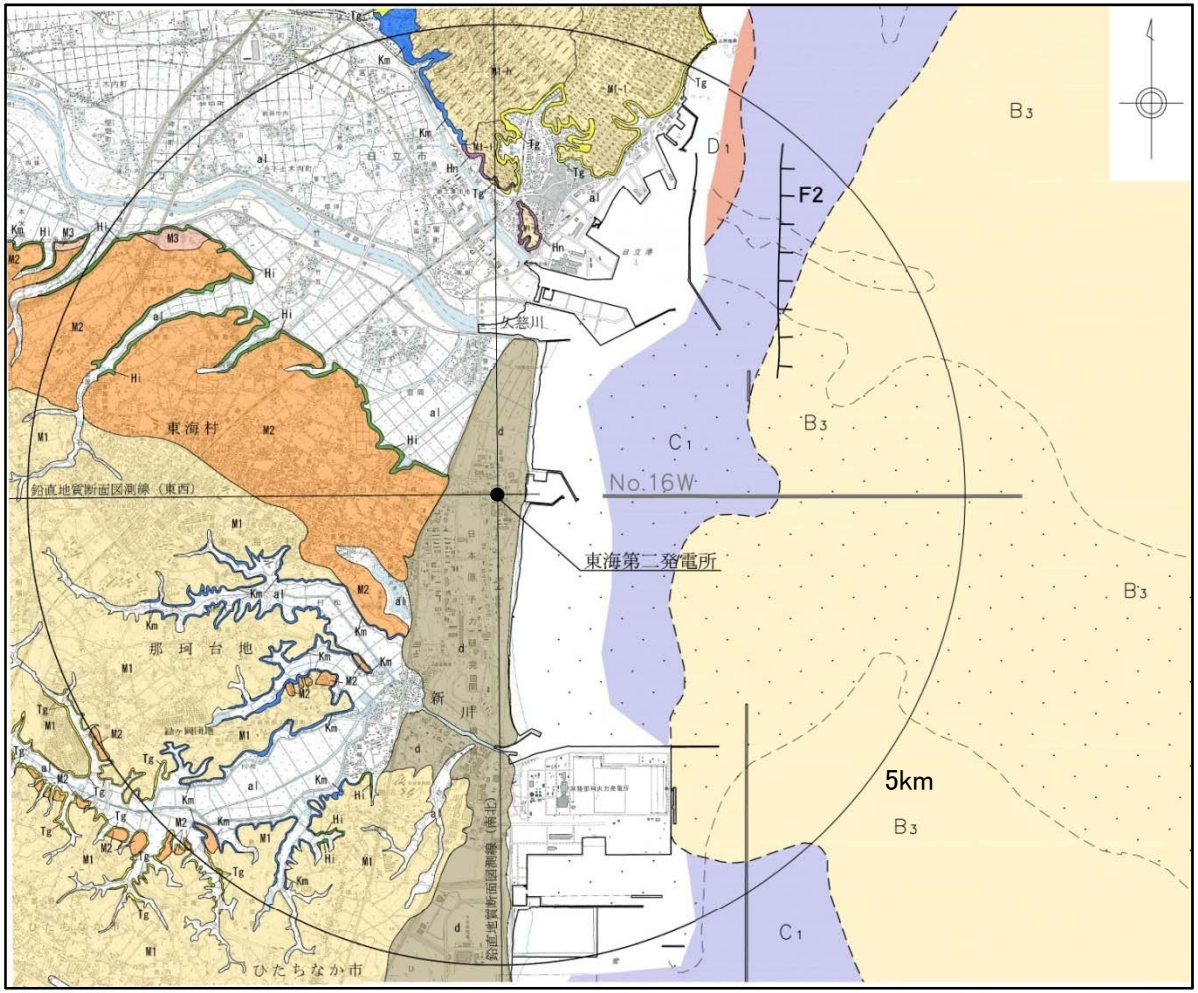
敷地周辺陸域の地質概要

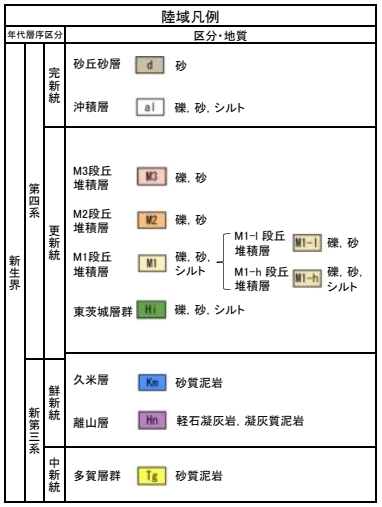
地形	主に分布する地質
やみぞ 八溝山地	[北部]：先新第三系の八溝層群 [南部]：先新第三系の八溝層群，新第三系中新統の堆積岩類・火山岩類・火山砕屑岩類
久慈山地	新第三系中新統の火山岩類・火山砕屑岩類
多賀山地	先新第三系の阿武隈（あぶくま）花崗岩類，日立古生層（日立変成岩類）及び竹貫（たかぬき）変成岩類
常磐（じょうばん）海岸台地	新第三系中新統の多賀層群，第四系更新統の段丘堆積物
那珂台地・ 東茨城台地	[丘陵地・台地]：第四系更新統の段丘堆積物 [縁辺部]：新第三系中新統の多賀層群，鮮新統の久米（くめ）層

年代層序区分		八溝山地 地層名	八溝山地 主な層相・岩相	久慈山地 地層名	久慈山地 主な層相・岩相	多賀山地 地層名	多賀山地 主な層相・岩相	那珂台地周辺部 地層名	那珂台地周辺部 主な層相・岩相
第四系	完新統	al 沖積層	砂・シルト・礫	al 沖積層	砂・シルト・礫	al 沖積層	砂・シルト・礫	d 砂丘砂層 al 沖積層	砂 砂・シルト・礫
第四系	更新統	tr 段丘堆積物 Hi 東茨城層群	砂・シルト・礫 砂・シルト・礫	tr 段丘堆積物 Hi 東茨城層群	砂・シルト・礫 砂・シルト・礫	tr 段丘堆積物 Hi 東茨城層群	砂・シルト・礫 砂・シルト・礫	tr 段丘堆積物 Hi 東茨城層群	砂・シルト・礫 砂・シルト・礫
新第三系	鮮新統			Km 久米層	砂質泥岩	Km 久米層 Hn 雌山層	砂質泥岩 軽石凝灰岩・凝灰質泥岩	Km 久米層	砂質泥岩
新第三系	中新統	Kn 金砂郷層群 (Knv 火山岩類・火山砕屑岩類)	砂岩・砂岩泥岩互層・泥岩・礫岩・デイサイト・凝灰岩	Tg 多賀層群 (Tgt 凝灰岩) Hk 東金砂山層 Kn 金砂郷層群 (Knv 火山岩類・火山砕屑岩類)	砂質泥岩 礫岩・砂岩 砂岩・砂岩泥岩互層・泥岩・礫岩・デイサイト・凝灰岩	Tg 多賀層群	砂質泥岩	Tg 多賀層群 (Tgt 凝灰岩) Kn 金砂郷層群	砂質泥岩 泥岩・砂岩・礫岩
古第三系	漸新統					Sr 白水層群	砂岩・泥岩・礫岩・石炭		
古第三系	始新統								
古第三系	暁新統								
白亜系		Yg 八溝花崗岩類		Ag 阿武隈花崗岩類 (Cc カタクラサイト)		Ag 阿武隈花崗岩類 (Cc カタクラサイト)		Nk 那珂湊層群及び大洗層	泥岩・砂岩・礫岩
ジュラ系		Ym 八溝層群 (Yoh チャート)	砂岩・頁岩・チャート			竹貫変成岩類 Gn 片麻岩類			
三畳系									
ペルム系						日立古生層（日立変成岩類） Sch 片岩類 (Ls 石灰岩) Sp 蛇紋岩 Gr 花崗岩類			
石炭系									
カンブリア系									

□：深成岩類及び変成岩類

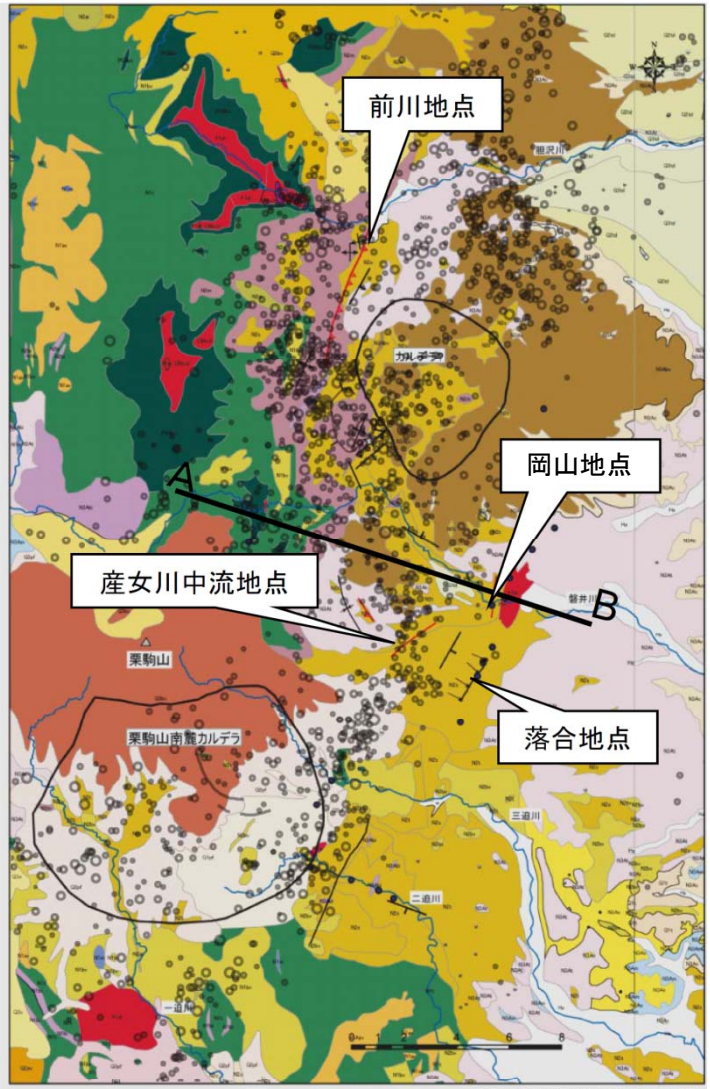
地質　東海第二発電所（敷地近傍の地質）



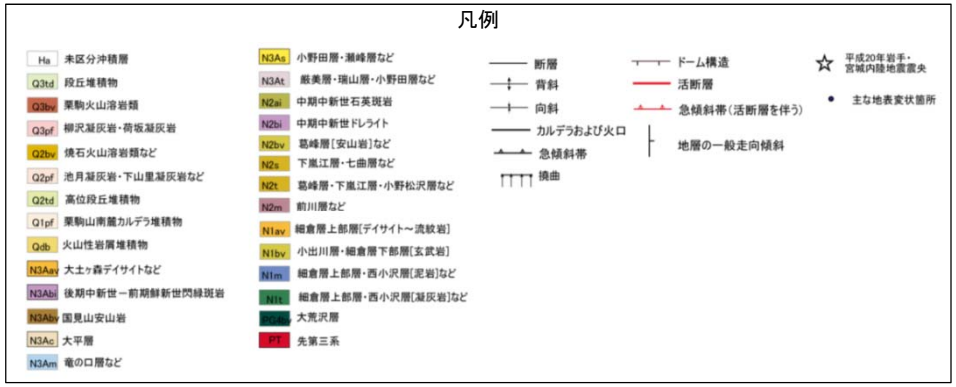


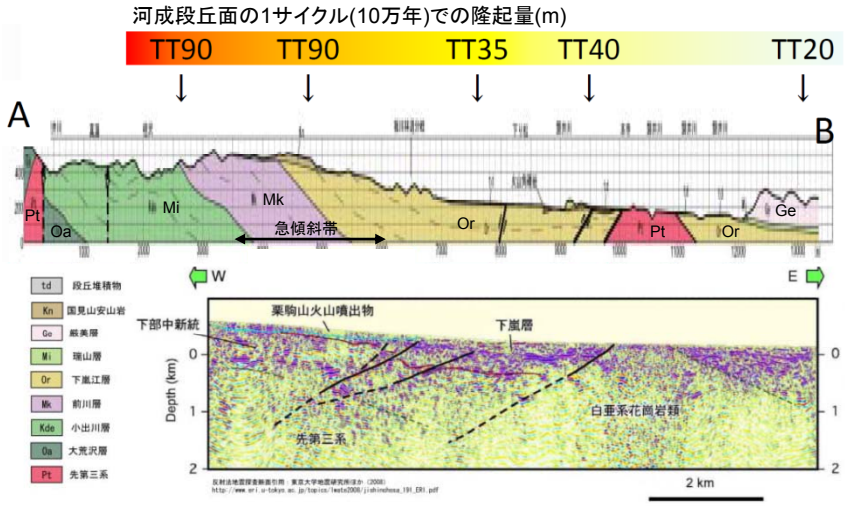
・敷地近傍には，中新統の堆積岩，鮮新統の堆積岩，更新統の段丘堆積物等，完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。

地質構造 2008年岩手・宮城内陸地震



東北建設協会(2006)に加筆



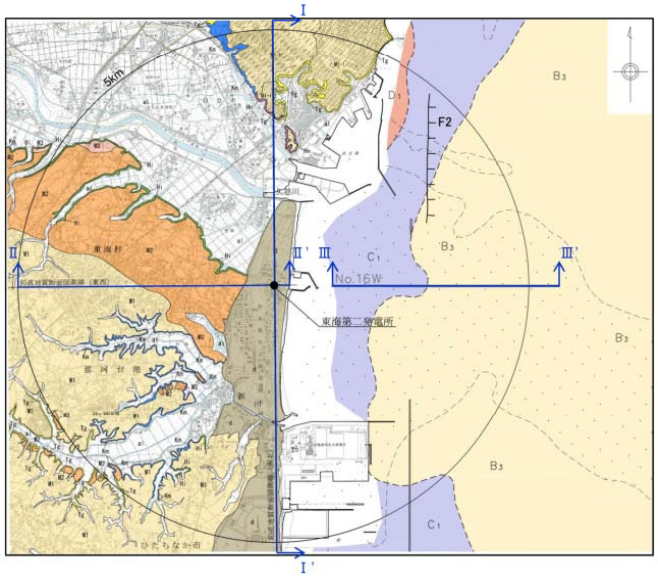


反射法地震探査断面引用:佐藤(2008), 加藤ほか(2010)

- 震源域近傍には，東翼側が急傾斜する中新世以降に形成された褶曲構造が認められる。
- 東西に分布する河成段丘面の高度分布から，震源断層の上盤側において長期的に隆起量が大きいことが示唆される。この位置は，隆起量の変化帯とも対応し，急傾斜帯を上端部とする西傾斜の逆断層の存在を示唆する。

- 震源域近傍にはカルデラが密集する。

地質構造　東海第二発電所(1/2)



この地図は，国土地理院長の承認を得て，同院発行の20万分1地勢図，数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。
(承認番号　平28情複，第124号)
本図面を第三者がさらに複製する場合は，国土地理院の長の承認を得なければならない。

陸域凡例

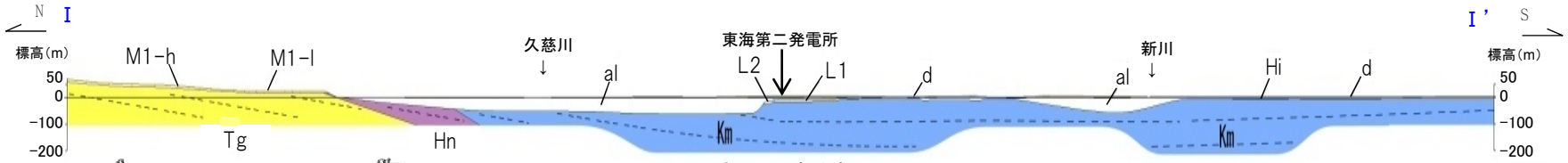
年代層序区分			区分・地質		
新生界	第四系	完新統	砂丘砂層	d	砂
			沖積層	al	礫，砂，シルト
		更新統	L2段丘堆積層	L2	礫，砂
			L1段丘堆積層	L1	礫，砂
			M2段丘堆積層	M2	礫，砂
			M1段丘堆積層	M1	礫，砂，シルト
			M1-l 段丘堆積層	M1-l	礫，砂
			M1-h 段丘堆積層	M1-h	礫，砂，シルト
			東茨城層群	Hi	礫，砂，シルト
	新第三系	鮮新統	久米層	Km	砂質泥岩
			離山層	Hn	軽石凝灰岩，凝灰質泥岩
		中新統	多賀層群	Tg	砂質泥岩

海域凡例

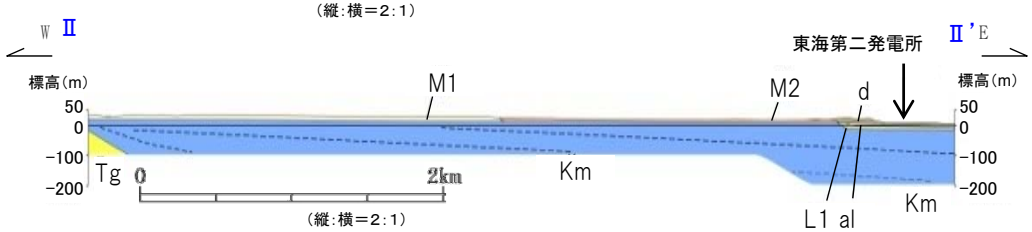
A	A層	完新統
B_1	B_1層	上部更新統
B_2	B_2層	中部更新統
B_3	B_3層	下部更新統
C_1	C_1層	鮮新統
C_2	C_2層	鮮新統
D_1	D_1層	中新統
D_2	D_2層	中新統
D_3	D_3層	先中新統
E	E層	先中新統
	地層境界	
	断層	

区分			陸域	海域
地質時代			当社	当社
第四紀	完新世		沖積層	A
	更新世	後期	段丘堆積物	B_1
		中期	東茨城層群	B_2
		前期		B_3
新第三紀	鮮新世		久米層	C_1
			離山層	C_2
	中新世		多賀層群	D_1
			金砂郷層群等	D_2
	古第三紀		白水層群	D_3
	先第三紀		大洗層 那珂湊層群 阿武隈花崗岩類 目立変成岩類	E

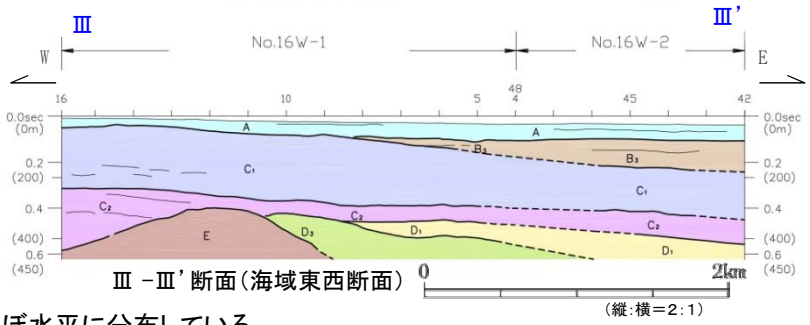
:地層欠如



I －I'断面(陸域南北断面)



II －II'断面(陸域東西断面)

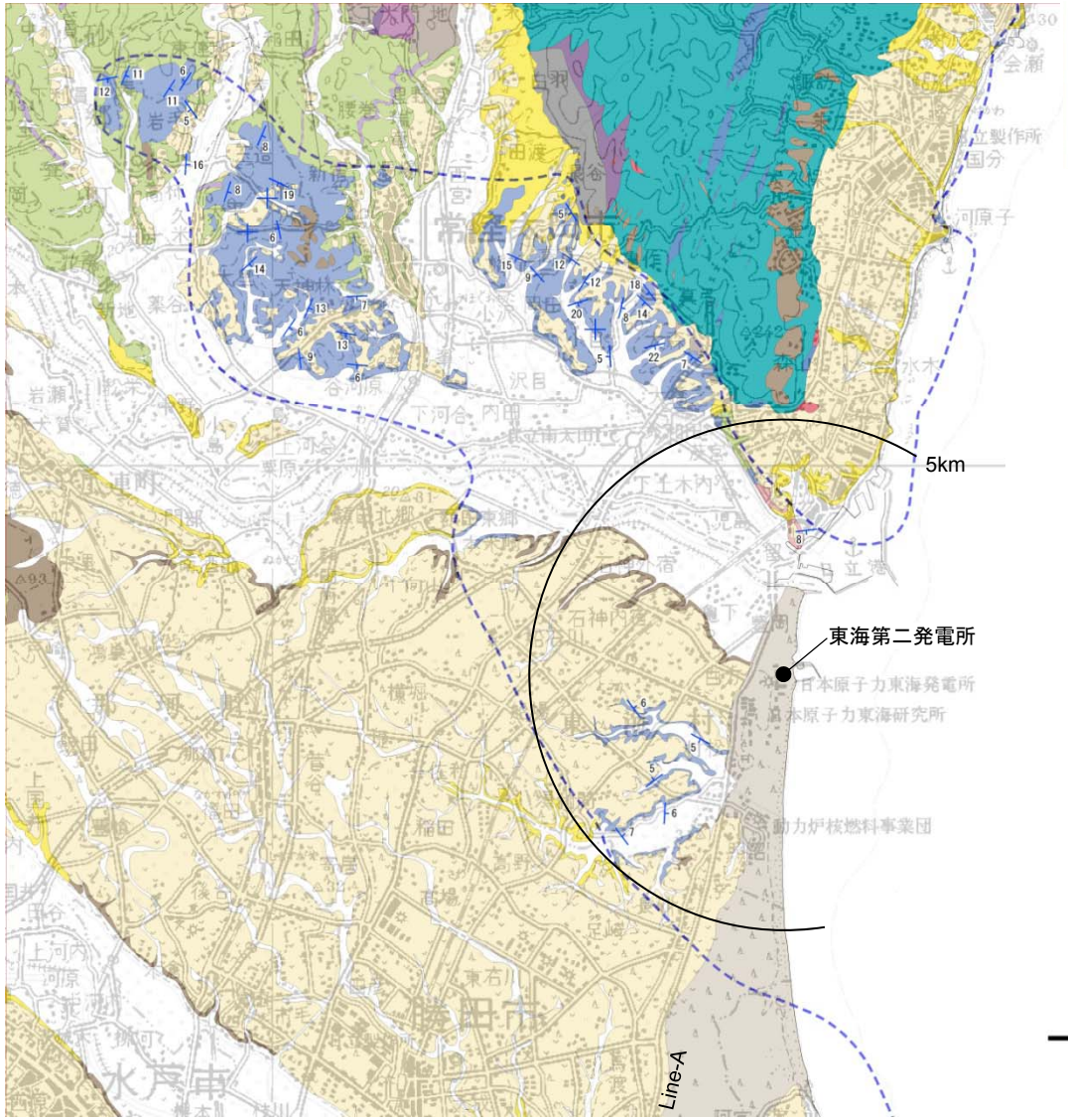


III －III'断面(海域東西断面)

・敷地近傍に広く分布する鮮新統の久米層及びこれを不整合に覆う上部更新統の堆積物はほぼ水平に分布している。
・敷地近傍の海域には，敷地前面海域の地層のうち，上位から，A層，B_3層，C_1層，C_2層，D_1層，D_2層，D_3層及びE層が分布する。
・鮮新統のC_1層，C_2層，下部更新統のB_3層は水平に広く分布している。
・敷地近傍に震源として考慮する活断層は認められない。※
・敷地近傍にカルデラは分布しない。

※　敷地近傍の海域において認められるF2断層は，海底面付近に分布するB_3層に変位・変形を与えているが，深部のD_1層下部以下の地層には変位・変形を与えていないことから，震源として考慮する活断層ではない。

地質構造　東海第二発電所(2/2)



凡　例

:久米層※の分布範囲(地表)

6 :久米層※層理面の走向傾斜

※一部離山層を含む

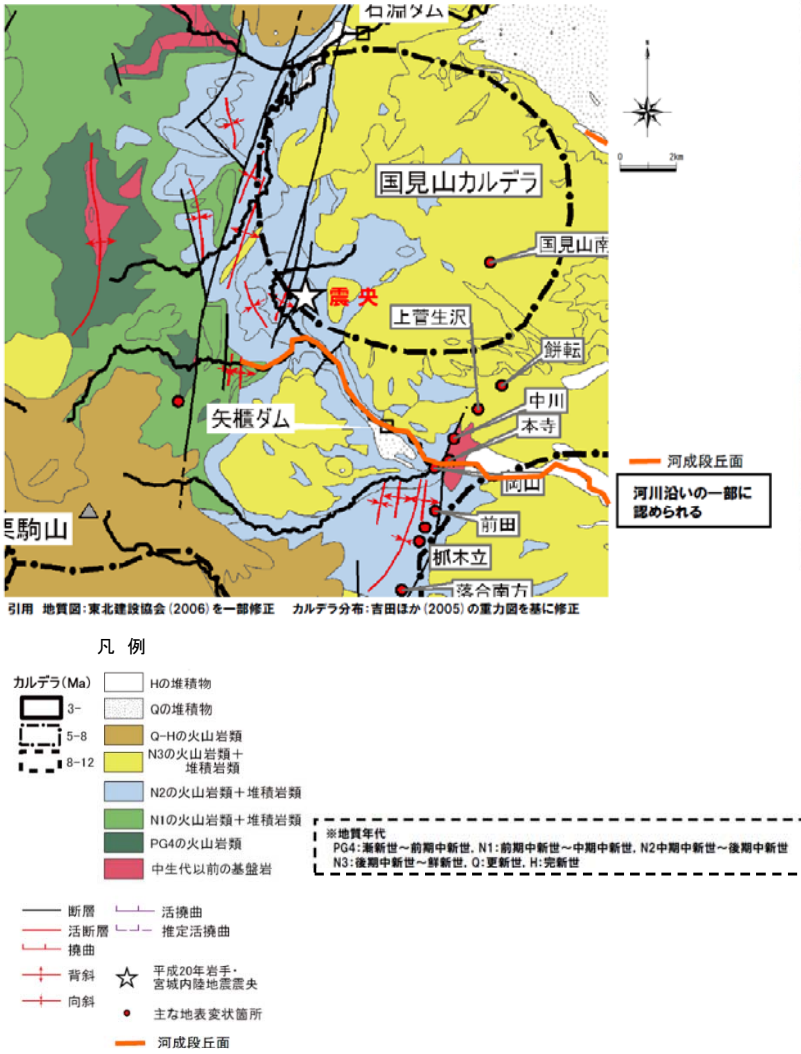
年代層序区分		地層名	主な層相・岩相
第四系	完新統	砂丘砂層	砂
		沖積層	礫・砂・シルト
	更新統	段丘堆積物	砂・礫・シルト
		東茨城層群	砂・礫・シルト
新第三系	鮮新統	久米層	砂質泥岩
		離山層	軽石凝灰岩・凝灰質泥岩
	中新統	多賀層群	砂質泥岩
		東金砂山層	礫岩
		金砂郷層群 / 火山岩・凝灰岩	砂岩・砂岩泥岩互層・泥岩・礫岩・火山岩・凝灰岩
白亜系		阿武隈花崗岩類 / カタクラサイト	
先白亜系		日立古生層(日立変成岩類): 片岩類 / 石灰岩 / 花崗岩類 / 蛇紋岩	
		竹貫変成岩類相当層: 片麻岩類	

5km

・敷地近傍の陸域において，鮮新統の久米層は，敷地北西方に約20km，幅約8kmの範囲に分布している。
・久米層の層理面の傾斜は10°程度と非常に緩い。

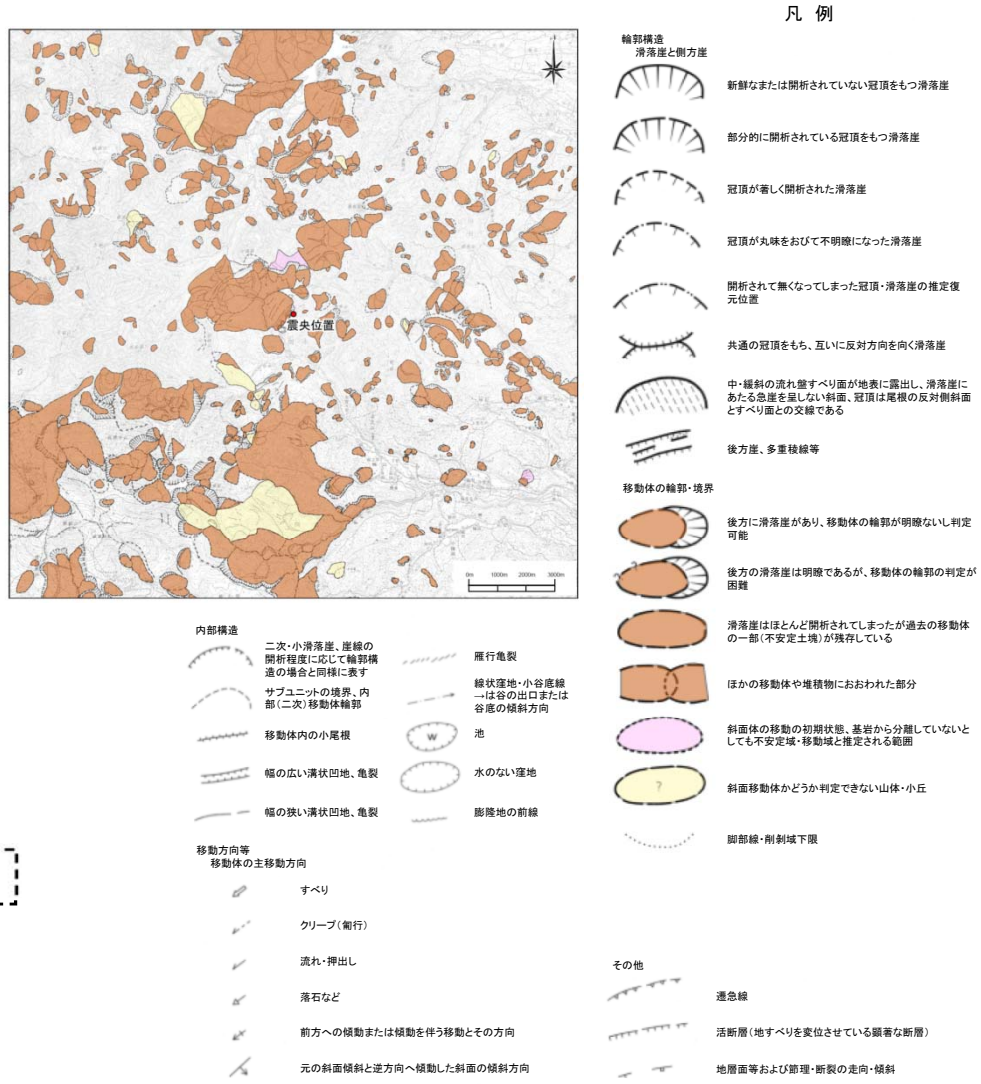
変動地形等 2008年岩手・宮城内陸地震(1/4)

・震源域は山間部に位置し，河成段丘が一部認められる程度であり，変位基準となる地形面の分布が少ない。



震源域周辺の広域地質図
（東北建設協会（2006）に加筆）

・震源域近傍には大規模地滑りを含む地すべりが密集している。

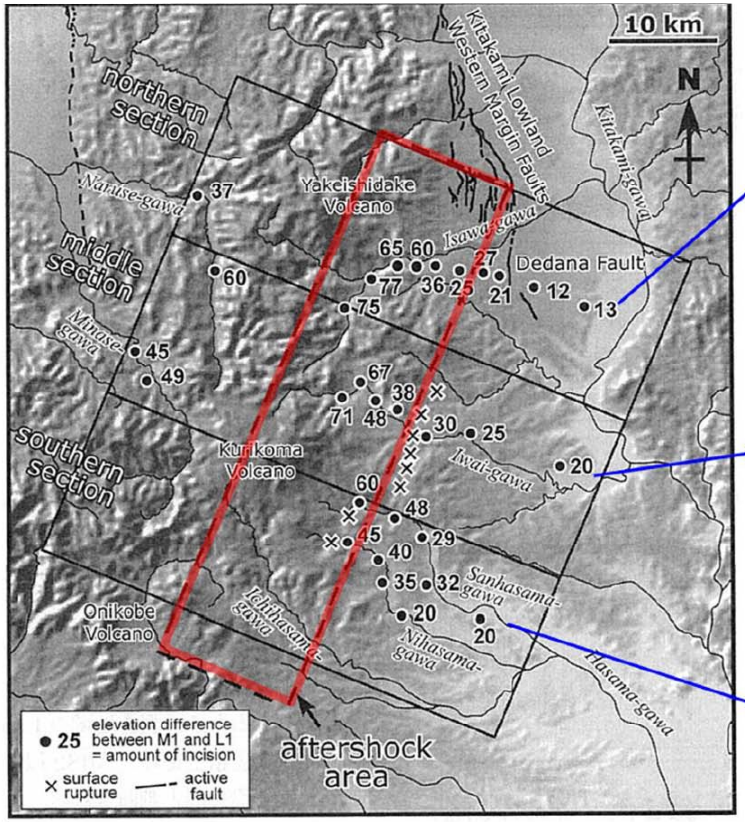


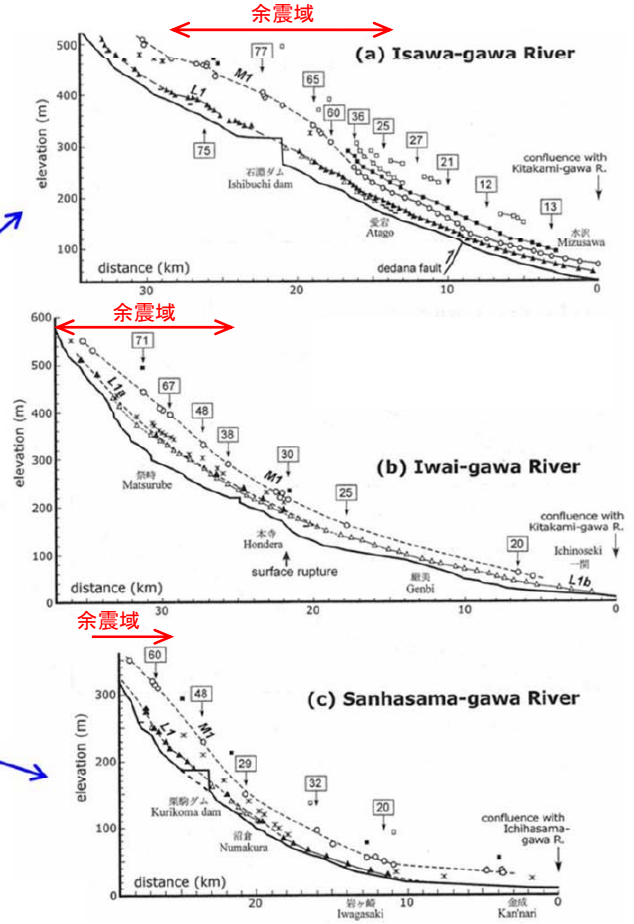
岩手・宮城内陸地震震央近傍の地すべり地形分布図
（防災科学技術研究所（1982）焼石岳，栗駒山に加筆）

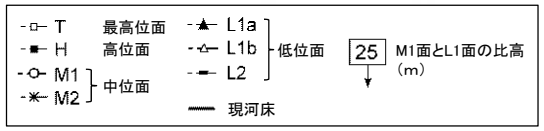
変動地形等 2008年岩手・宮城内陸地震(2/4)

● 田力ほか(2009)

震央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)



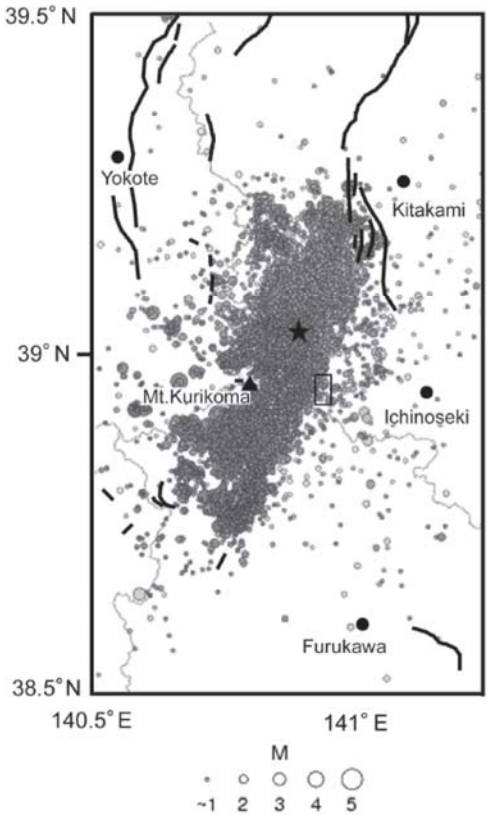




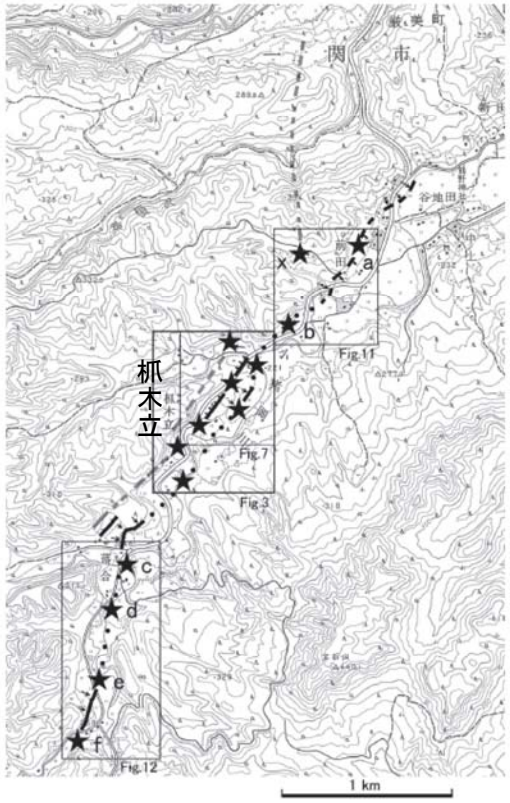
M1面とL1面の高度差(下刻量)分布, 田力ほか(2009)に加筆

- 今回の地震の震源域は北上低地西縁断層帯の南方延長部にあたり, 山地と低地の境界が北方から連続していること, GPS観測データなどからひずみ集中域として認識されていること, 浅発微小地震が集中的に発生する地域であること, 及び河成段丘の高度から下刻量分布を明らかにすることにより, 活断層(伏在断層)の存在を推定することが可能であると考えられる。(田力ほか(2009))

変動地形等 2008年岩手・宮城内陸地震(3/4)



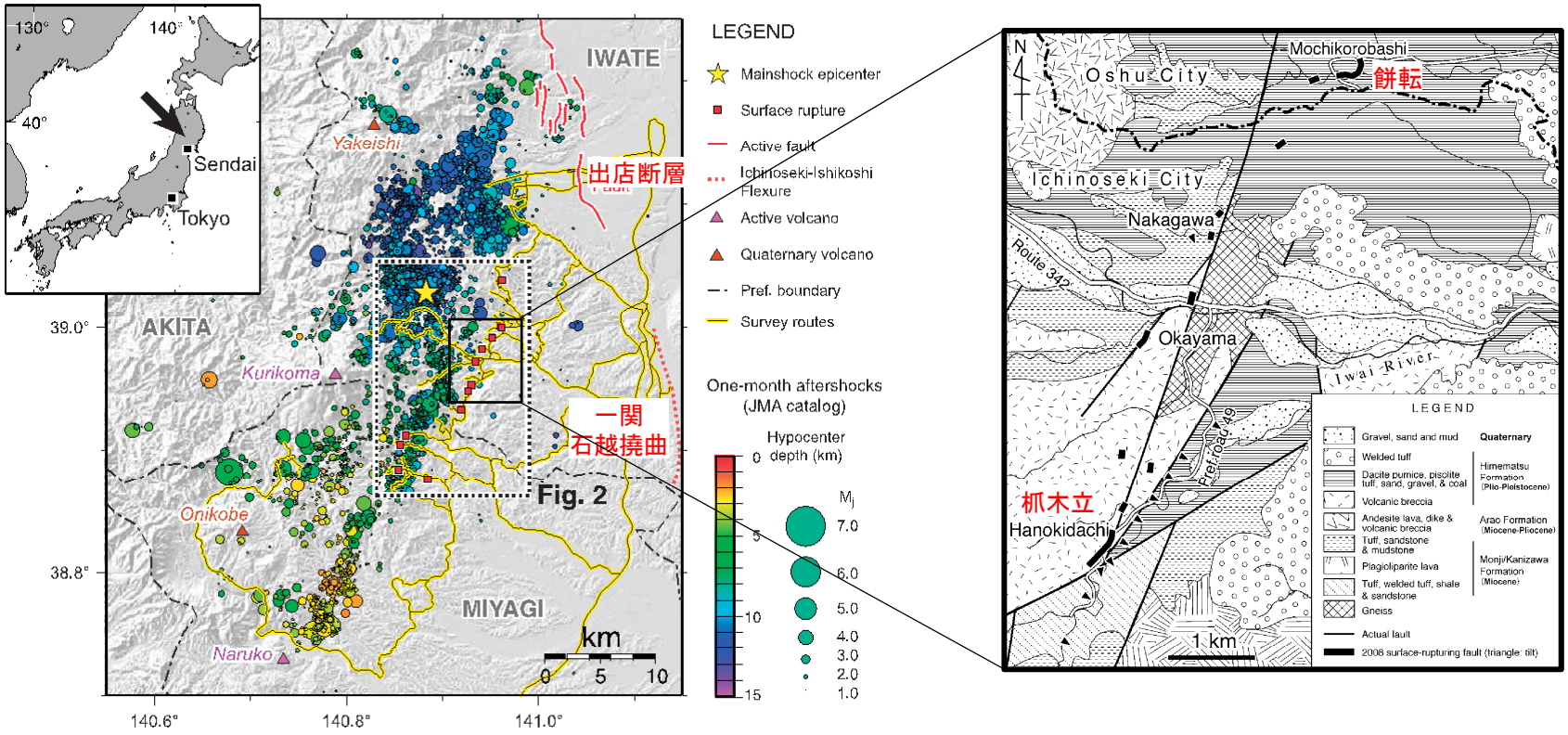
第１図　岩手・宮城内陸地震の本震・余震の震央と既知の活断層および本研究の調査地域
震央分布は防災科学技術研究所（2008a）による．観測期間は2008年６月14日～８月19日．★：本震，太線：既知の活断層，細線：県境，本研究の調査範囲は小さい四角の範囲．



第２図　岩手・宮城内陸地震震源域付近の活断層と地表変状位置図
黒およびグレーの線は推定活断層．黒は確実度が高い．実線：位置明瞭，破線：位置不明瞭，点線：地震前には変位地形が残存していなかった伏在部．★：主な地表変状確認地点．基図として国土地理院2.5万分の１地形図「本寺」図幅の一部を使用．

●鈴木ほか(2008)；
・栃木立付近には短いながら明瞭な断層変位地形があり，低位段丘礫層堆積期以降に複数回，比較的活発な活動を繰り返していることが明らかとなった。
・岩手・宮城内陸地震の震源域に短くとも活断層が存在し，それが地震活動と密接な関係を有していることが明らかとなったことは，地震発生の長期予測において極めて重要である。少なくとも活断層が全く存在しない地域に起きたわけでなく，震源断層の活動と深く関わる活断層は存在している。

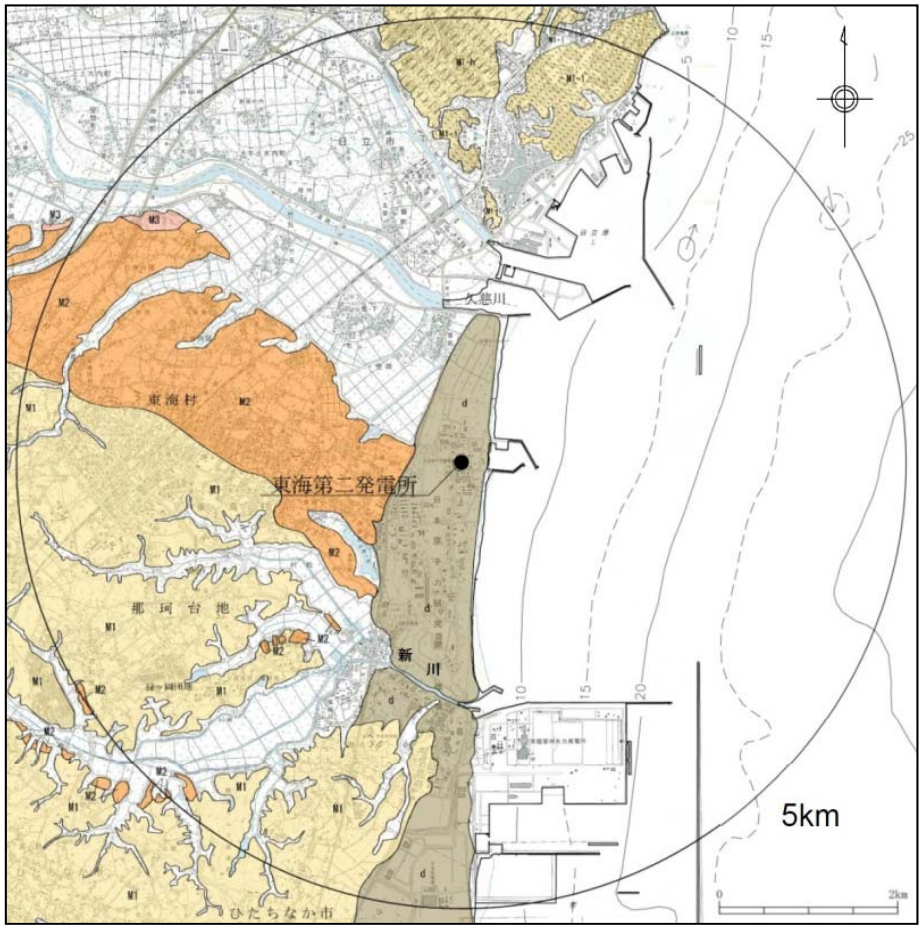
変動地形等 2008年岩手・宮城内陸地震(4/4)

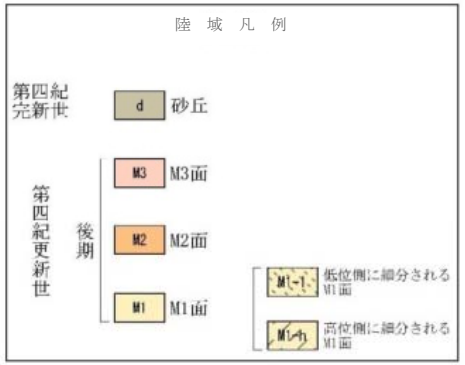


遠田ほか(2010)に加筆

- 遠田ほか(2010);
  - ・北北東－南南西トレンドの長さ約40kmの震源断層のうち，中央部の約20kmが地震断層として断続的に地表に現れた。
  - ・余震域北端は出店断層の深部想定延長部にかかっており，その南延長に一関－石越撓曲が記載されていたが，同撓曲に第四紀後期の活動は認められていない。
  - ・一方，地質図上には新第三系を切る北北東及び北東走向の断層が餅転から柳木立にかけて記載されている。これらの断層は，いわゆる「餅転－細倉構造帯」という東北日本を縦断する大構造の一部を構成すると考えられている。地震断層の一部は，餅転－細倉構造帯に沿うように分布している。したがって，今回の地震は大局的には餅転－細倉構造帯上で発生したと解釈できる。

変動地形等　東海第二発電所（陸域）



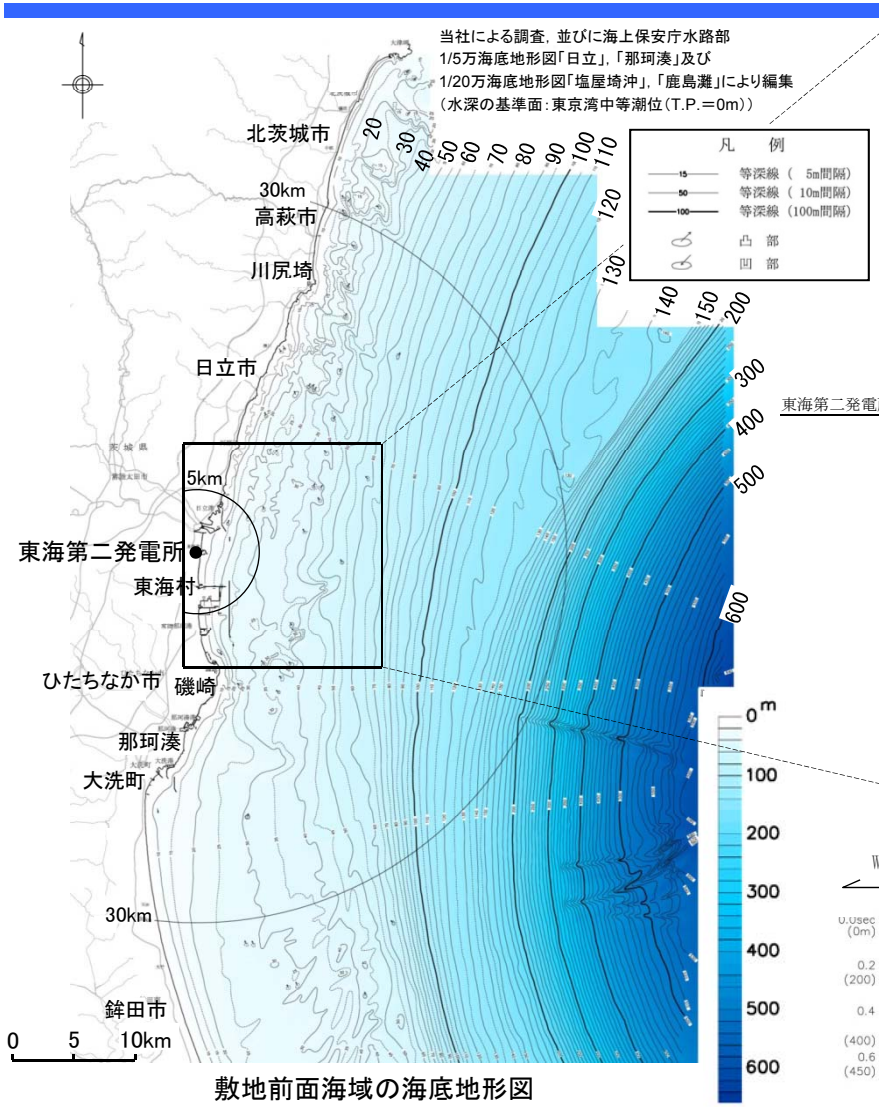


敷地近傍の段丘面区分図及び変動地形学的調査結果図

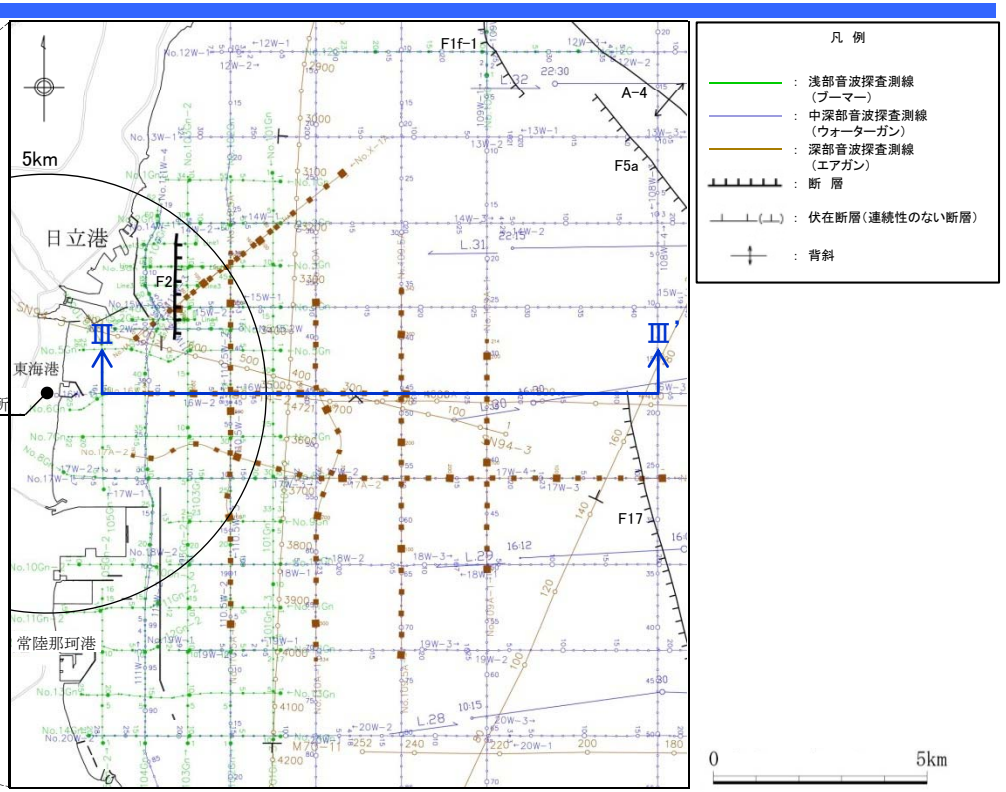
・敷地近傍陸域の地形は，台地，低地及び海岸砂丘からなり，敷地は新川河口右岸付近の海岸砂丘に位置する。
・台地を構成する段丘は高位からM1面，M2面，M3面に区分される。
・M1面は敷地の南西方及び北方に広く分布し，北方のM1面はM1-h面，M1-l面に細分される。
・M2面は敷地の西方に比較的広く分布するほか，敷地南西方の新川沿いなどに分布する。
・敷地近傍陸域に変動地形の可能性のある地形は認められない。
・敷地近傍陸域に地すべり地形は認められない。（文献調査※及び自社判読）

※地すべり地形分布図「白河・水戸」（防災科研技術研究所(2004)）

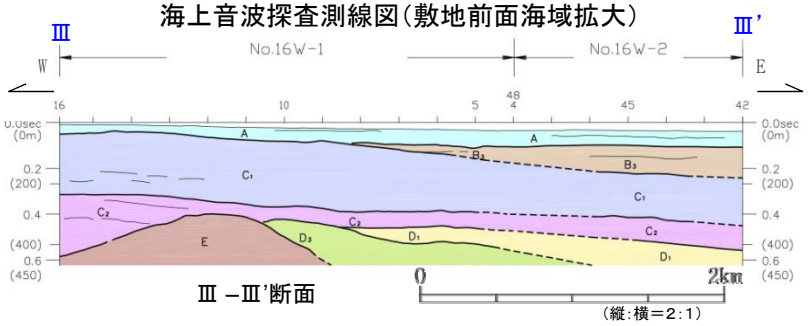
変動地形等　東海第二発電所（海域）



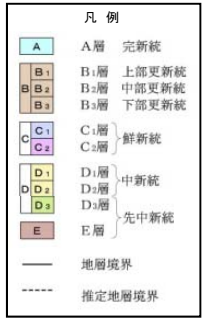
敷地前面海域の海底地形図



海上音波探査測線図（敷地前面海域拡大）

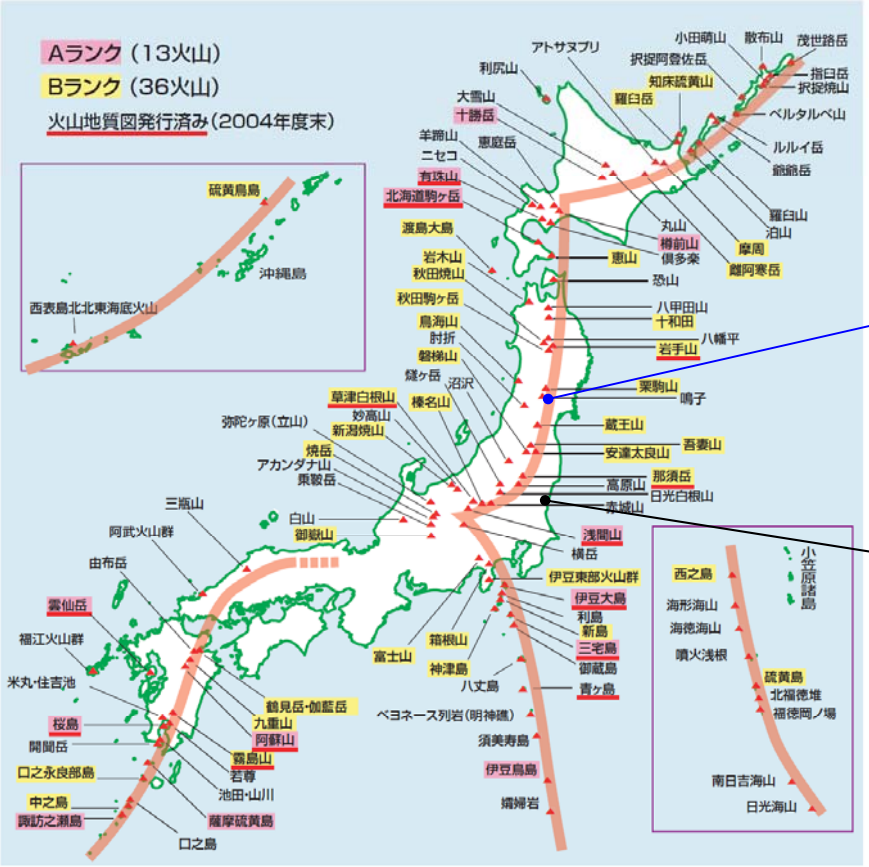


Ⅲ －Ⅲ'断面



- 敷地前面海域の海底地形は，水深約130m～約150m付近の傾斜変換部を境にして，沿岸側の大陸棚とその沖合側の大陸斜面とに区分される。
- 大陸棚は，海岸から沖合方向に5/1,000程度の勾配で傾斜しており，全体的には起伏に乏しい単調な海底地形を示している。
- 各種海上音波探査を実施しており，敷地近傍の海域では詳細な地質構造を把握するため，密な測線配置としている。
- 敷地近傍の海域には，鮮新統のC_1層，C_2層，下部更新統のB_3層が水平に広く分布しており，いずれも反射面が認められる堆積層であり，変位・変形の確認は十分に可能である。

火山



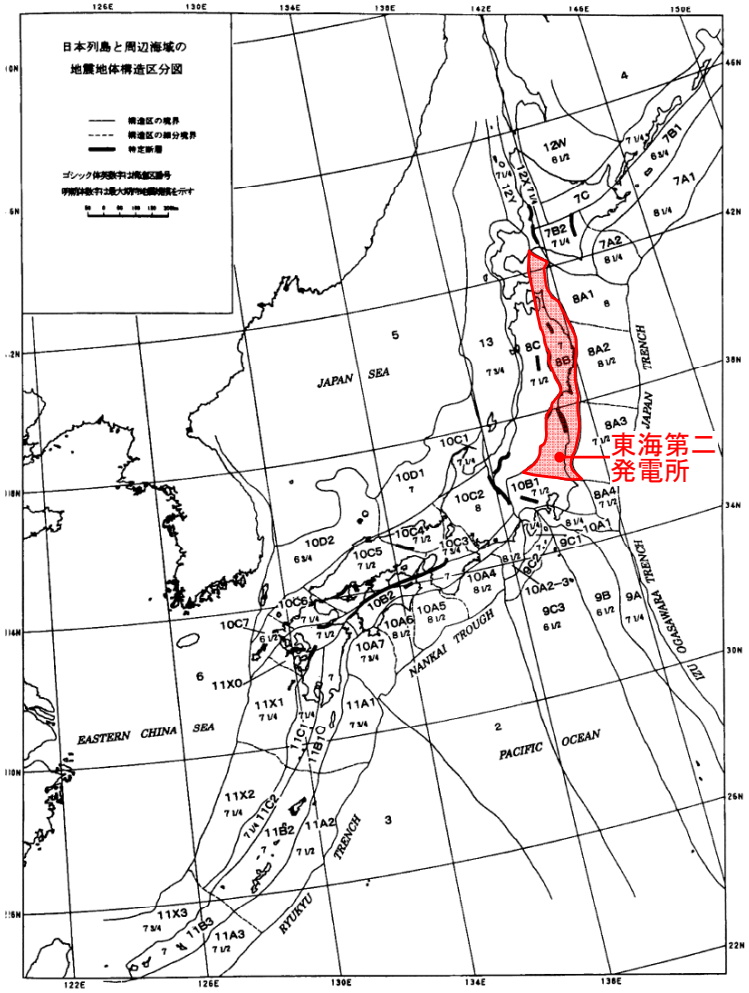
日本列島の活火山分布図
活動度により3段階にランク分けされている。もっとも活動度の高いAランクは13、Bランクは36、Cランクは36火山。海底火山や北方領土の火山はランク分けの対象外になっている。
今後の調査で新たに活火山と追加認定される火山もある。
橙色の太いラインが火山フロント。

火山フロント
産業技術総合研究所（2004）に一部加筆

・2008年岩手・宮城内陸地震の震源域は火山フロントに近接する。
・東海第二発電所は火山フロントから外れた地域に位置する。

地震地体構造区分 東海第二発電所（1／2）

●垣見ほか（2003）



垣見ほか（2003）に一部加筆

垣見ほか（2003）は，既往の各種区分図を比較した上で，最新のデータと知見に基づき地震地体構造区分図を作成している。

地域		東海第二発電所
構造区		8B 東北日本弧外帯
地形・地質		外弧隆起帯，安定域
活断層	密度	極小
	長さ	短（長）
	活動度	C
	断層型	逆・横
	その他	―
浅発大・中地震活動		低

- 8B 東北日本弧外帯における断層型は「逆・横」と記載されているが，敷地周辺の福島・茨城県境付近では，2011年東北地方太平洋沖地震後，正断層型の地震が発生している。
- Imanishi et al.(2012)は，福島・茨城県境付近は，東北地方太平洋沖地震発生前から正断層型の地震が発生しやすい地域であったことを示している。

東海第二発電所が位置する東北日本弧外帯（8B）は，外弧隆起帯の安定域で，地震活動が低い地域であり，敷地周辺の福島・茨城県境付近は正断層型の地震が発生しやすい地域とされている。

地震地体構造区分 東海第二発電所（2／2）

●Imanishi et al.（2012）

- 東北地方太平洋沖地震発生前の2003年から2010年の間に，福島・茨城県境周辺で発生した，M_j1.5以上，深さ20km以浅の微小地震のうち，26地震のメカニズム解を推定
- 応力テンソルインバージョン結果から，福島・茨城県境付近の応力場が正断層型であると指摘

東海第二発電所敷地周辺の福島・茨城県境付近は，東北地方太平洋沖地震発生前から，正断層型の地震が発生しやすい地域である。

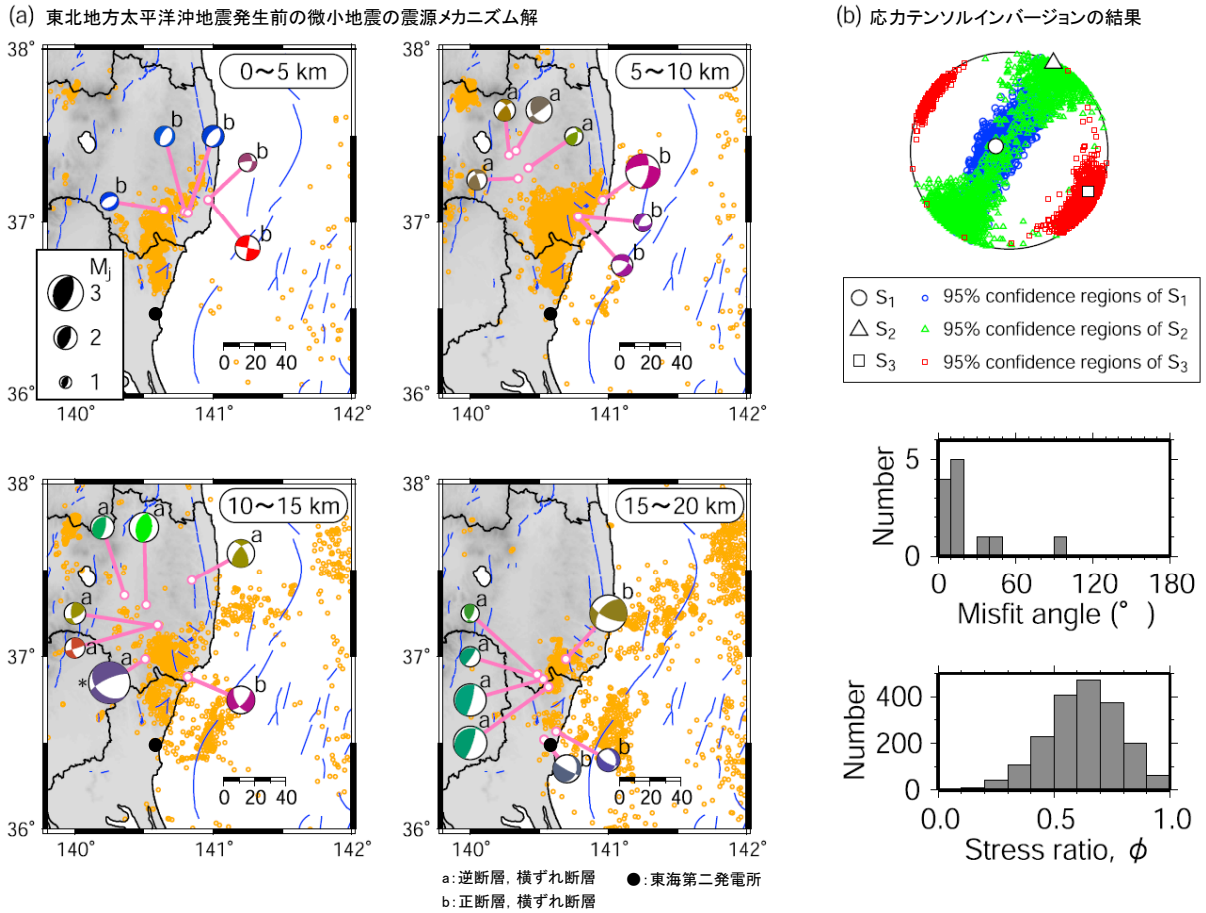
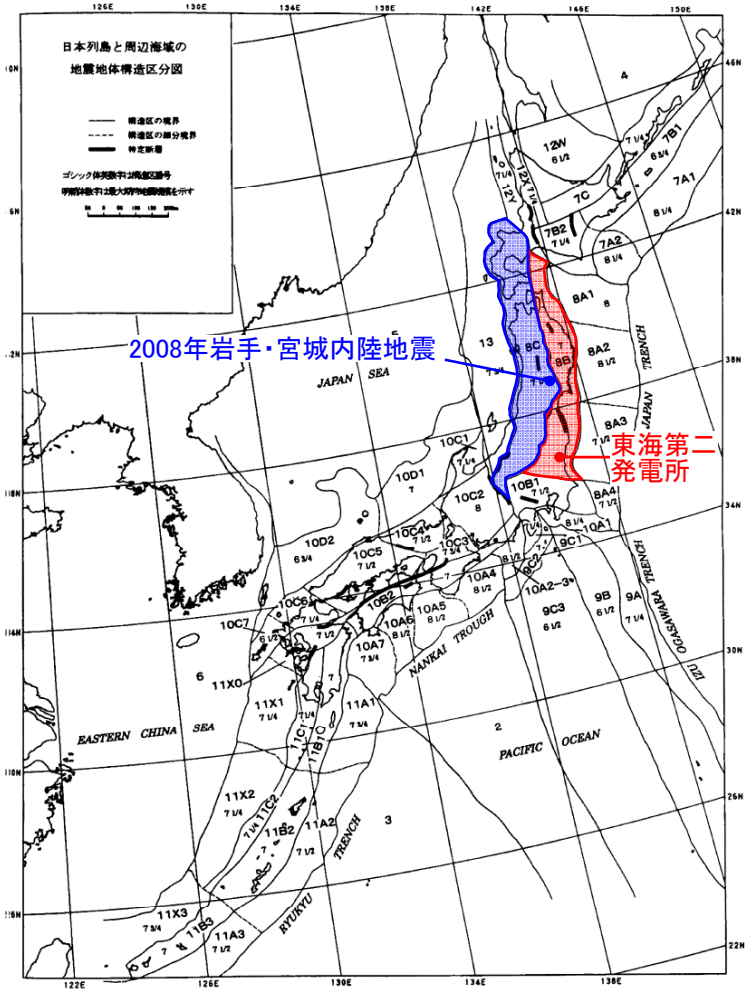


Figure 3. (a) Focal mechanism solutions of microearthquakes determined in the present study that occurred before the 2011 Tohoku earthquake (lower hemisphere, equal-area projection). The same triangle diagram as that of Figure 1 is used to differentiate faulting types. A mechanism marked with asterisk is also listed in the JMA catalogue; this is almost the same as that determined by JMA. The alphabetical letters "a" or "b" denote events which are outside or within the source area of the normal-faulting earthquake sequence. (b) Stress tensor inversion result. (top) Principal stress axes with their 95% confidence regions plotted on lower hemisphere stereonets. (middle) Misfit angle for the data with respect to the best stress tensor determined by the stress tensor inversion. Here, the misfit angle represents the angle between the tangential traction predicted by the best solution and the observed slip direction on each plane determined from the focal mechanism. (bottom) Histogram of stress ratio $\phi = (S_2 - S_3)/(S_1 - S_3)$ that belongs to the 95% confidence region.

Imanishi et al.(2012)に一部加筆

地震地体構造区分 2008年岩手・宮城内陸地震

●垣見ほか(2003)



垣見ほか(2003)に一部加筆

地域		2008年岩手・宮城内陸地震	東海第二発電所
構造区		8C 東北日本弧内帯	8B 東北日本弧外帯
地形・地質		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	外弧隆起帯，安定域
活断層	密度	中	極小
	長さ	中	短(長)
	活動度	B	C
	断層型	逆	逆・横(※)
	その他	島弧と平行，隆起帯基部に発達	―
浅発大・中地震活動		高 東西圧縮逆断層型	低

※Imanishi et al. (2012)によると，敷地周辺の福島・茨城県境付近は正断層型の地震が発生しやすい地域である。

- 2008年岩手・宮城内陸地震の震源域が位置する東北日本弧内帯(8C)は，火山性内弧で島弧方向に逆断層～褶曲が発達し，地震活動が高い地域である。
- 東海第二発電所が位置する東北日本弧外帯(8B)は，外弧隆起帯の安定域で，地震活動が低い地域である。
- 東海第二発電所敷地周辺の福島・茨城県境付近は，正断層型の地震が発生しやすい地域である。

2008年岩手・宮城内陸地震の震源域は，東海第二発電所と異なる構造区である。

ひずみ集中帯

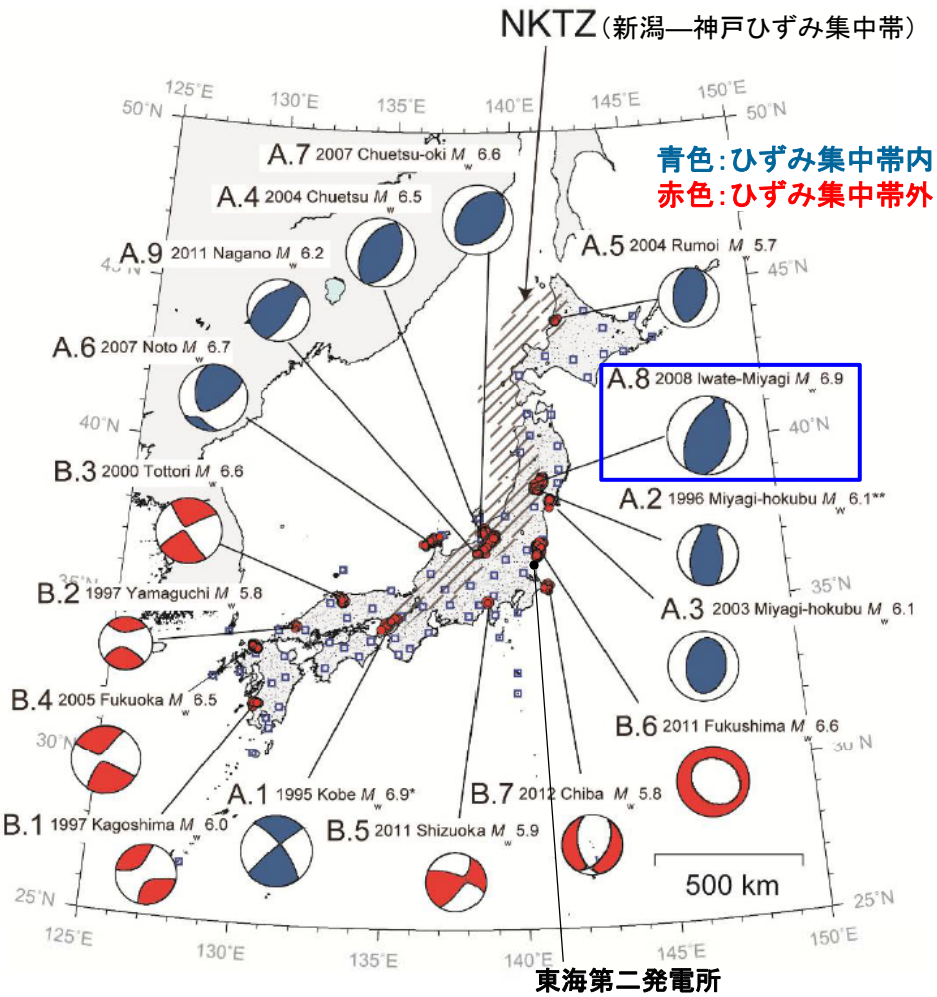


図 1　本研究で解析した地震群の本震震央位置と本震の CMT 解。ハッチの部分がひずみ集中帯。

防災科学技術研究所（2013）に一部加筆

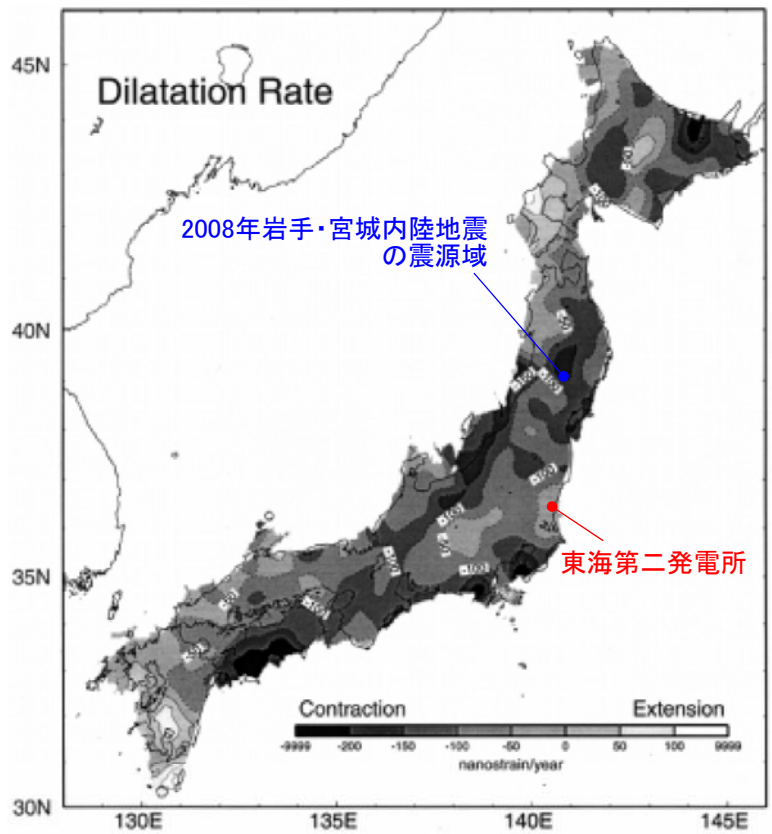


Figure 4
Estimated distribution of dilatational strain rate.

Sagiya et al.(2000)に一部加筆

- 2008年岩手・宮城内陸地震の震源域は，防災科学技術研究所（2013）において，ひずみ集中帯と指摘されている。
- 東海第二発電所敷地周辺をひずみ集中帯と指摘している文献はない。

2008年岩手・宮城内陸地震震源域の応力場

●行竹ほか(2012)

- 2004年1月～2011年1月の地震(内陸域，深さ＜30km，M≧2)を対象に，P波初動極性データ及び，P波とSH波の振幅情報を用いてメカニズム解を推定
- 推定したメカニズム解に基づき，応力インバージョン法にて日本内陸域の広域的な応力場の空間分布を推定

※東海第二発電所敷地周辺では地震数が少ないため応力場が推定されていない(0.2度間隔のグリッド内に8個のメカニズム解データがある領域に対して応力場の推定がなされている)。

2008年岩手・宮城内陸地震の震源域周辺は，概ね東西圧縮の逆断層型の応力場である。

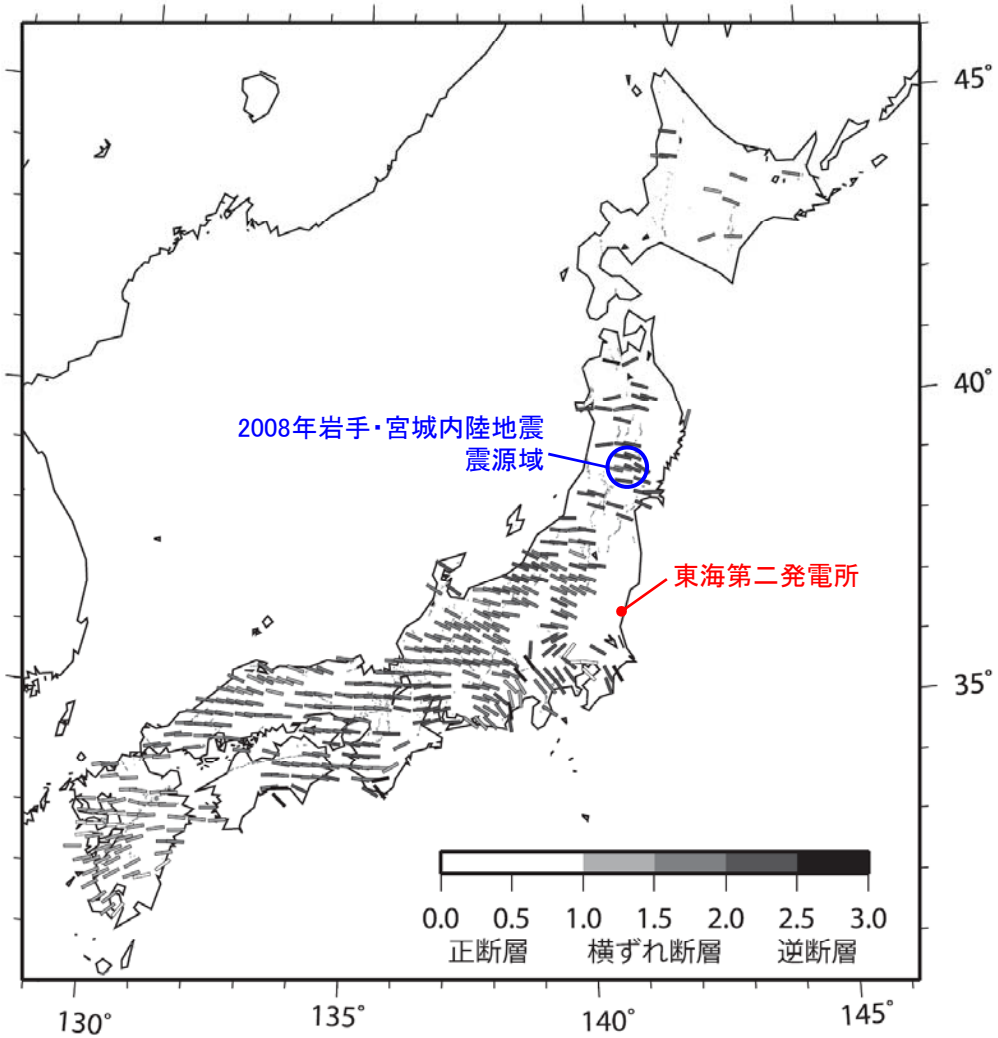


図6 応力インバージョン法により推定された水平最大圧縮軸（σ_{hmax}）方向の空間分布。バーの色はSimpson (1997)の定義により分類された応力場の種類を示す。灰色線は、主要活断層の地表トレース（活断層研究会、1991）。

行竹ほか(2012)に一部加筆

東海第二発電所敷地周辺の応力場

- 東海第二発電所敷地周辺は，2008年岩手・宮城内陸地震の震源域周辺と異なり，東北地方太平洋沖地震の発生前後ともに地震活動度は低く，震源メカニズム解が得られていない。
- 東海第二発電所敷地周辺の茨城県北部では，南西－北東方向を引張軸とする正断層型の地震が卓越している。
- GNSS観測データに基づくひずみ変化は，茨城県北部の正断層型が卓越する領域と東海第二発電所敷地周辺とで似た傾向を示しており，ともに東西引張側のひずみ変化となっている。

東海第二発電所敷地周辺は，南西－北東方向を引張軸とする正断層型の応力場と考えられる。

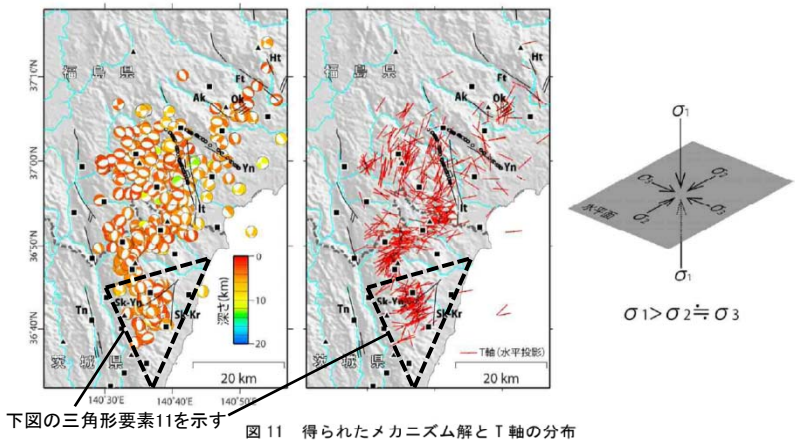


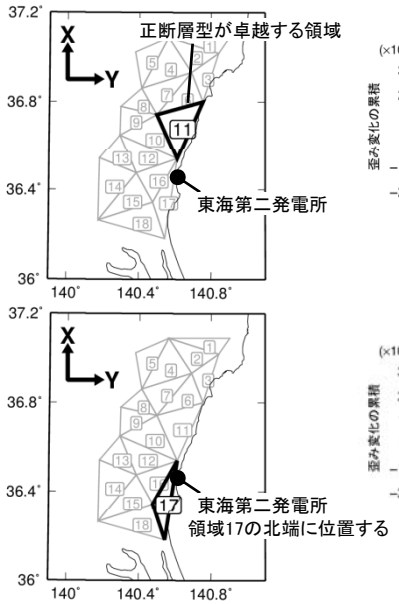
図 11　得られたメカニズム解と T 軸の分布

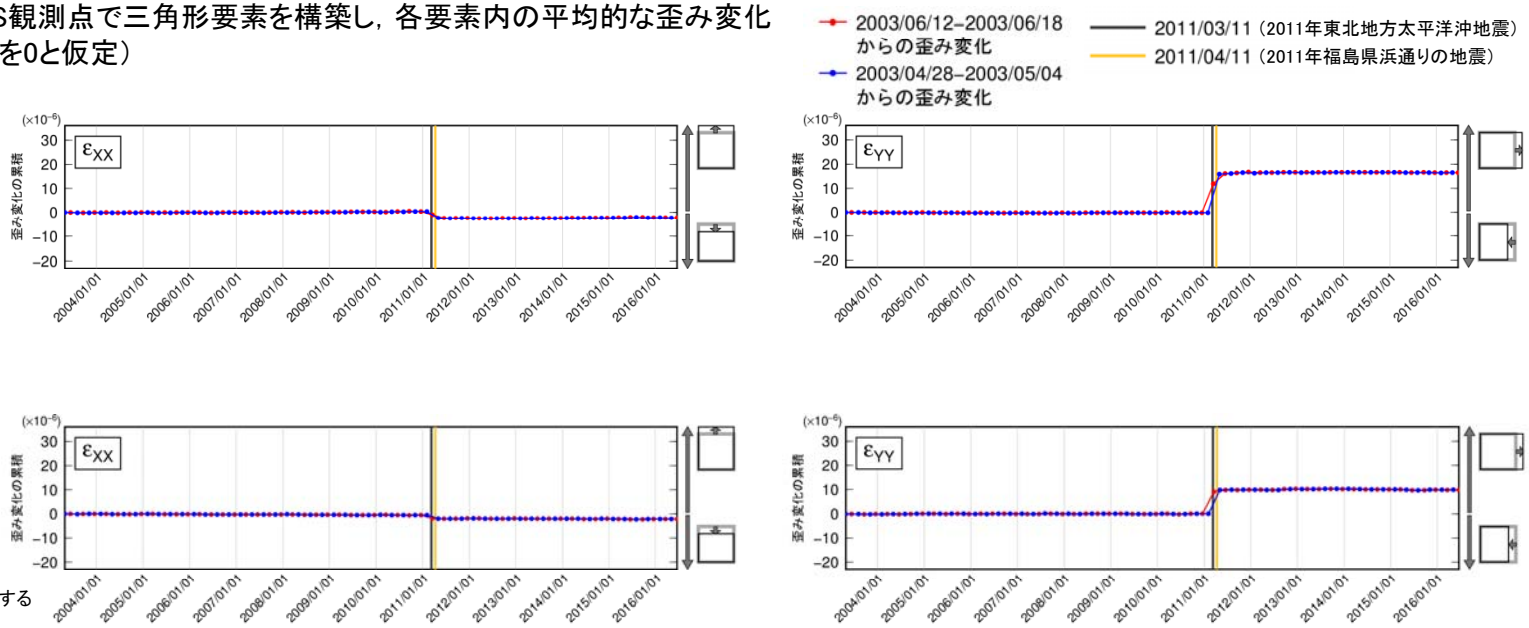
左：下半球投影のメカニズム解。深さで色分けした。井戸沢断層(It)と湯ノ岳断層(Yn)の地表地震断層（Mizoguchi et al., in preparation）を○で示す。中：メカニズム解の T 軸方位（水平投影）。右：推定される応力場の概念図。

青柳・上田(2012)に一部加筆

●GNSS観測データに基づく検討

国土地理院によるGNSS観測点で三角形要素を構築し，各要素内の平均的な歪み変化を評価（2003年5月時点を0と仮定）

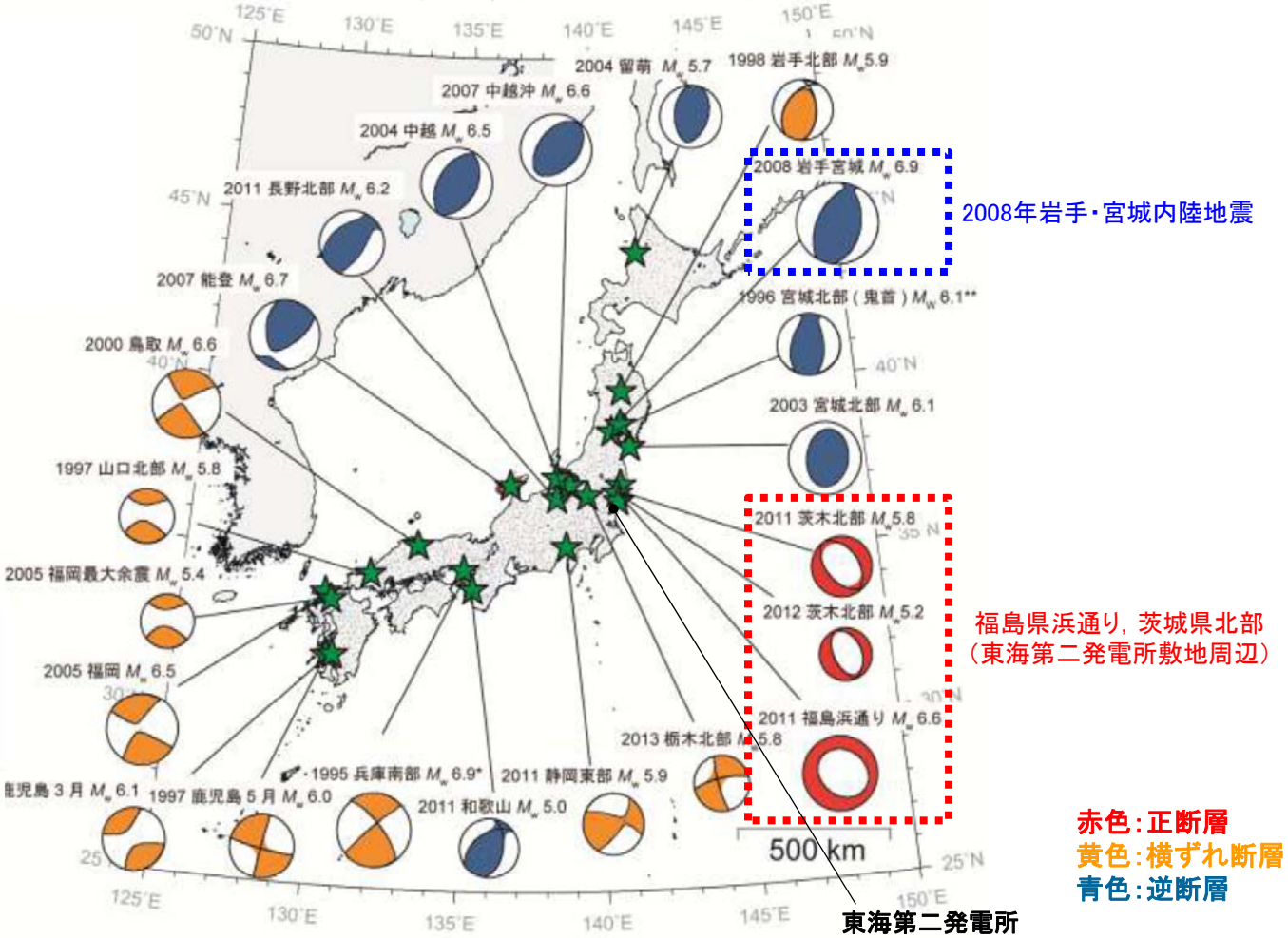




ひずみ変化の累積（東海第二発電所敷地周辺）

震源メカニズム

国内の対象地震：22個（1995年～）



赤色：正断層
黄色：横ずれ断層
青色：逆断層

国内の内陸地殻内地震の震源メカニズム

新安全設計基準に関する検討チーム（2013）に加筆

- 2008年岩手・宮城内陸地震は，震源域周辺の応力場と整合した逆断層型の地震である。
- 東海第二発電所敷地周辺の福島県浜通り，茨城県北部においては，南西―北東引張の正断層型の地震が発生している。

2008年岩手・宮城内陸地震 まとめ

2008年岩手・宮城内陸地震の震源域と東海第二発電所の比較

【凡例】○類似性あり，△：類似性低い～一部あり，×：類似性なし

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

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

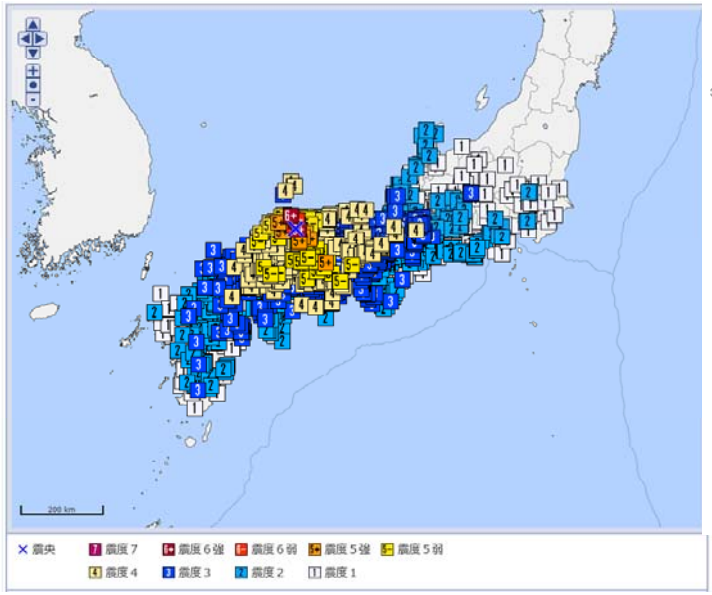
1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
2.1 2008年岩手・宮城内陸地震 ・・・・・・ 11
2.2 2000年鳥取県西部地震 ・・・・・・ 36
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

2000年鳥取県西部地震の概要

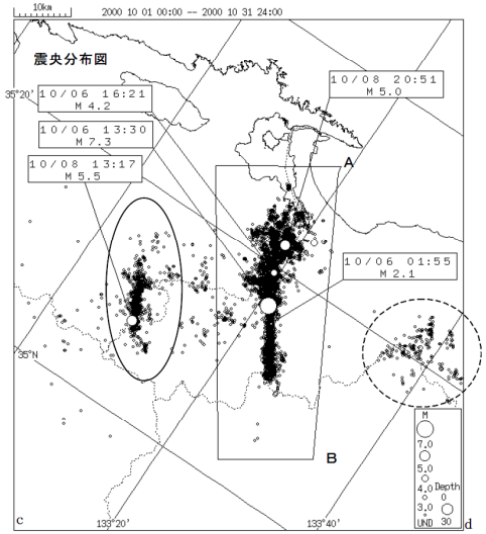
●地震発生日時（気象庁）
- 発生日時：平成12年10月6日13時30分
- 地震規模：Mj7.3（Mw6.6）
- 震源深さ：11km
- 震源位置：北緯35°16.5’，東経133°20.9’

●各地の震度及び被害状況
各地の震度（気象庁）は以下のとおり
- 震度6強：鳥取県　境港市，日野町
- 震度6弱：鳥取県　西伯町，溝口町，会見町，岸本町，淀江町，日吉津村
- 震度5強：鳥取県　米子市
  島根県　仁多町，安来市，宍道町
  岡山県　哲多町，落合町，大佐町，新見市，美甘村
  香川県　土庄町
- 地震による津波の発生はなし

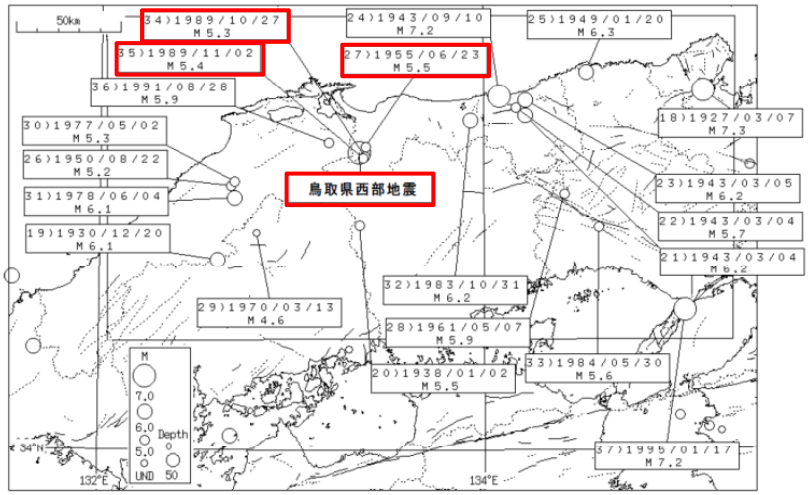
●地震発生メカニズム（気象庁）
- 発震機構解より，東西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型の地震である。
- 鳥取県西部地域は，1990年，1997年に今回の地震の極近傍でM5クラスの地震が発生している。
- 1926年から2000年までの過去の被害地震は，今回の地震の近傍で3地震発生している。



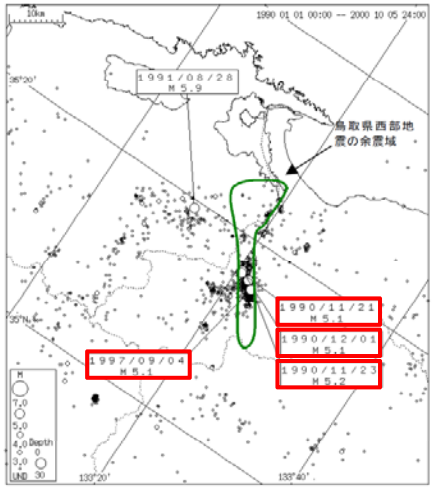
気象庁震度データベースによる震度分布



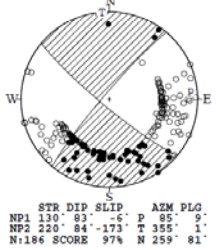
震央分布図（2000年10月1日～2000年10月31日）
気象庁（2000）より抜粋



過去の被害地震（1926～2000年）（気象庁（2000）より抜粋）

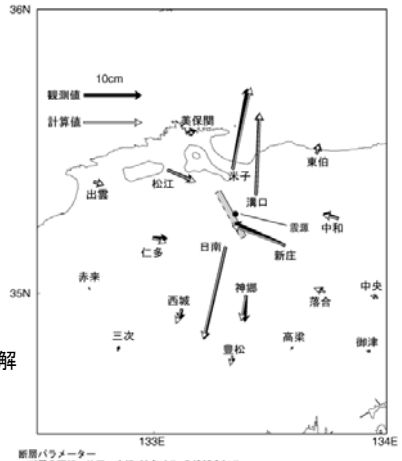


今回の活動以前約11年間の地震活動
（1990年1月1日～2000年10月5日）（気象庁（2000）より抜粋）



P波初動による発震機構解
気象庁（2000）より抜粋

平成12年10月6日鳥取県西部地震に伴う地殻変動と断層モデル



国土地理院（2000）より抜粋

2000年鳥取県西部地震の概要（震源モデルの一例）

●池田ほか（2002）

・関口・岩田（2001）の震源破壊過程に基づき，最適震源モデルを評価している。
・結果として，アスペリティはすべり量の大きい浅い部分と深い部分の2箇所に設定されている。

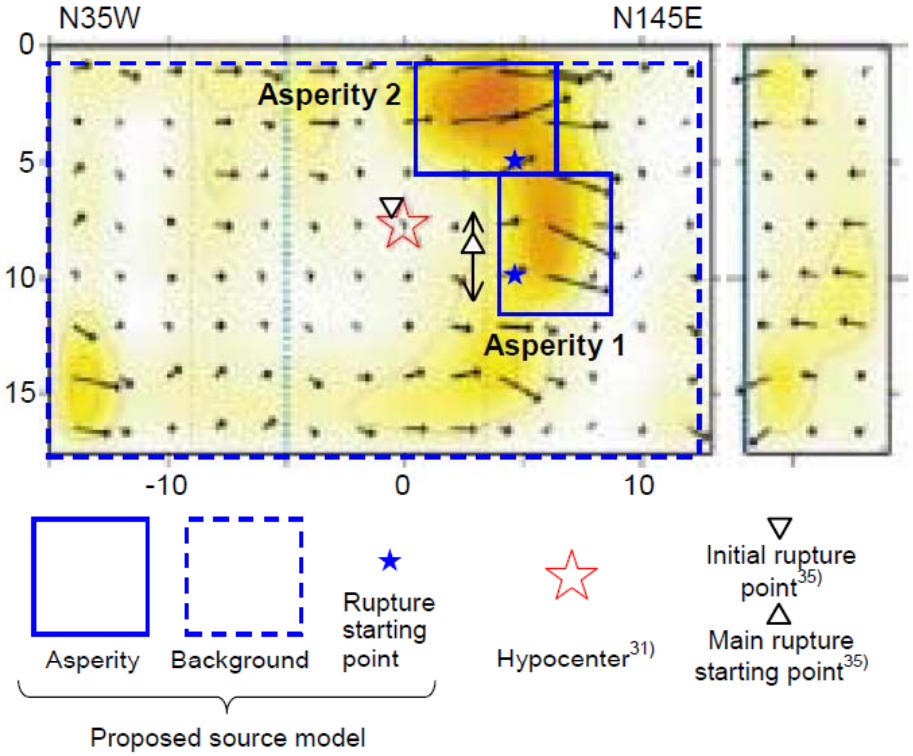


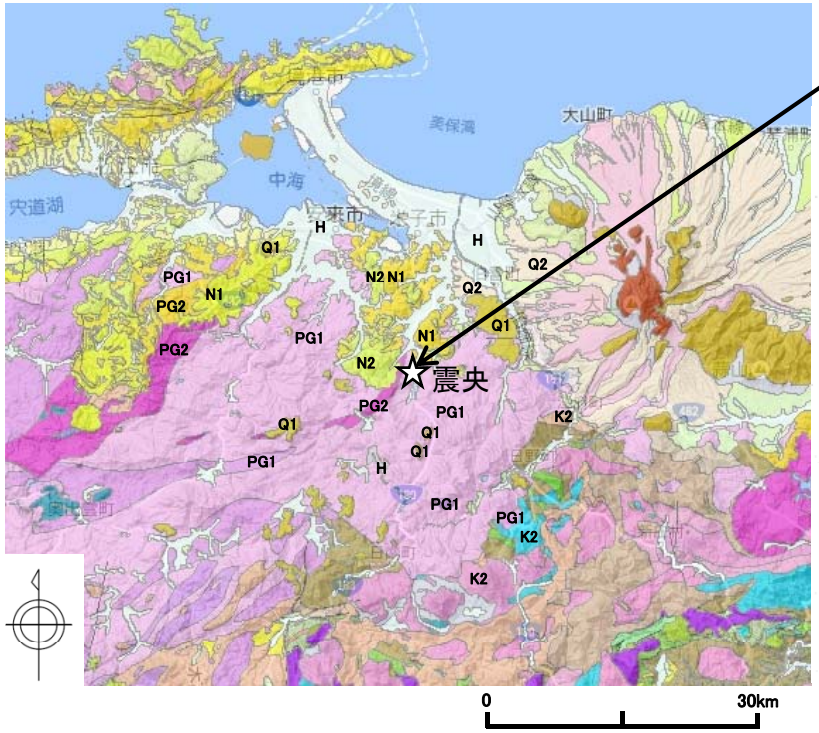
図 1 提案する鳥取県西部地震の最適震源モデル
(関口・岩田 31)に加筆・修正)

表 2 最適震源モデルのパラメータ

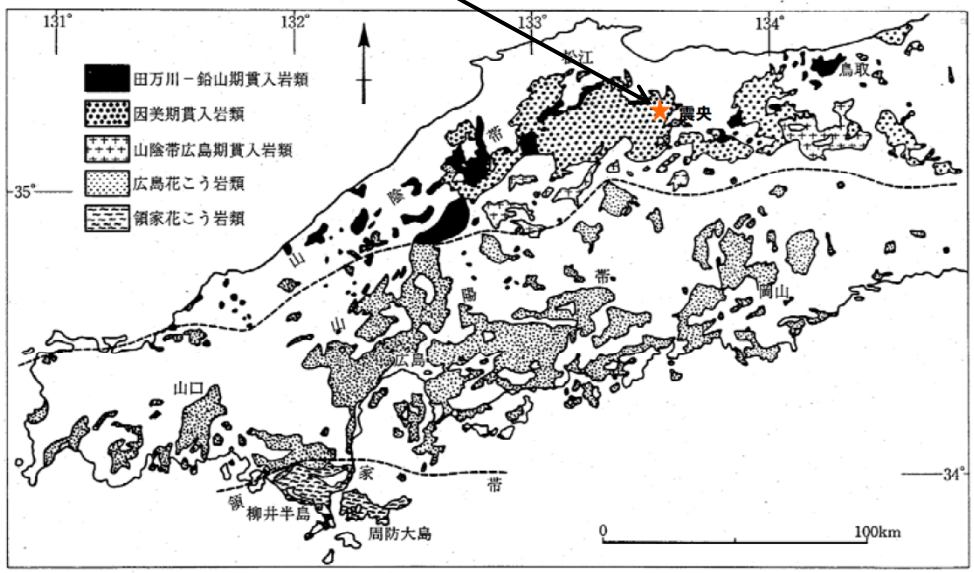
震源位置 43)		35.26937N , 133.35669E
Strike, Dip , Slip	deg.	145 , 90 , 0
震源深さ 43)	km	7.8
地震モーメント 45)	Nm	9.6×10^{18}
破壊域の面積	km^2	464
せん断波速度	km/s	3.5

		アスペリティ		背景領域
		1（下部）	2（上部）	
面積	km^2	28.8 (4.8km×6.0km)	28.8 (6.0km×4.8km)	410.4
重ね合わせ数 ($N_L\times N_W\times N_T$)		4×5×5	5×4×5	282×17 ($N_L\times N_W$ N_T)
上端深さ	km	5.6	0.8	0.8
地震モーメント	Nm	1.99×10^{18}	0.99×10^{18}	6.62×10^{18}
応力降下量	MPa	28.0	14.0	2.8
破壊伝播速度	km/s	2.5	3.0	2.5
ライズタイム	s	0.6	0.6	2.04

地質 2000年鳥取県西部地震



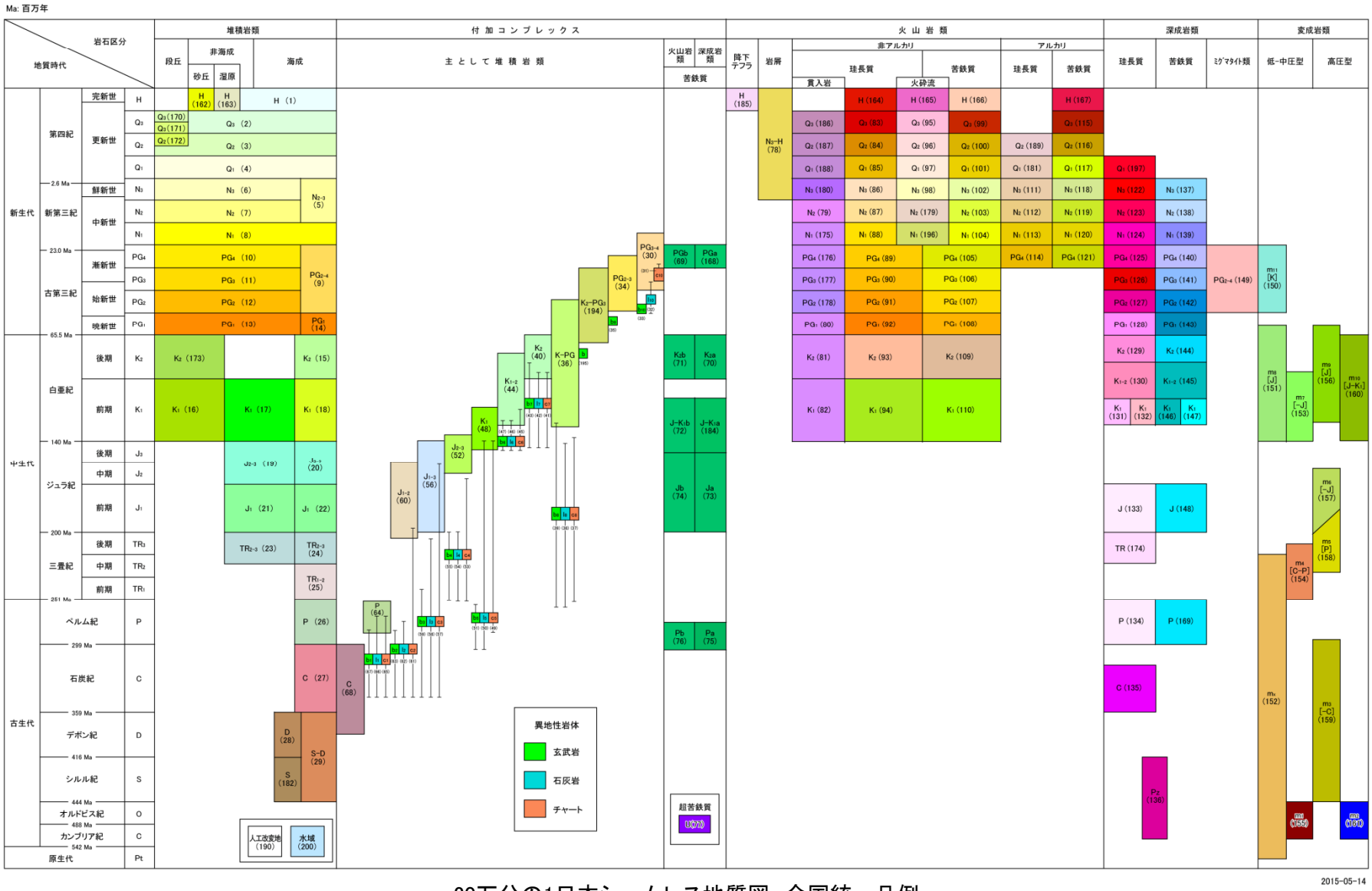
震源域周辺のシームレス地質図
（産業技術総合研究所，地質図Naviに加筆）



中国地方における白亜紀～古第三紀貫入岩類の分布
（日本の地質増補版編集員会編（2005）に加筆）

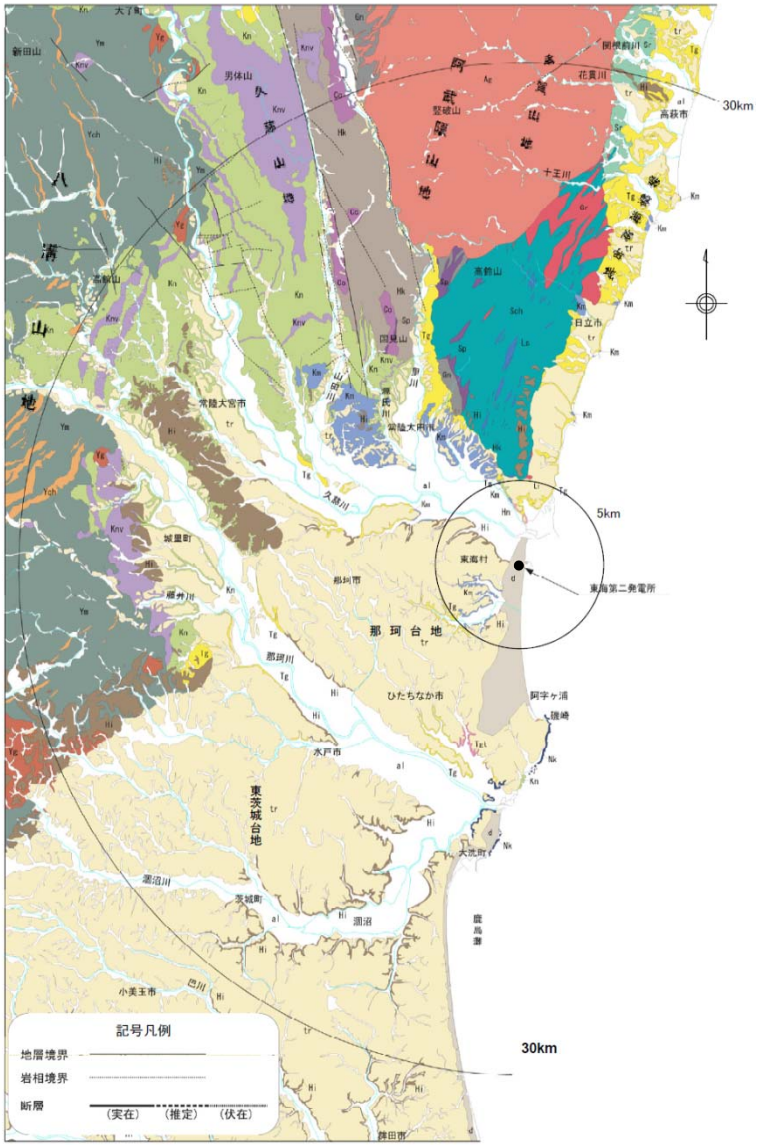
- 震源域近傍の地質は主に白亜紀～古第三紀の花崗岩を主体としており，中新世に貫入した安山岩～玄武岩の岩脈が頻繁に分布している。（井上ほか（2002））

地質 2000年鳥取県西部地震



20万分の1日本シームレス地質図 全国統一凡例
（産業技術総合研究所，20万分の1シームレス地質図）

地質　東海第二発電所（敷地周辺の地質）



敷地周辺陸域の地質図

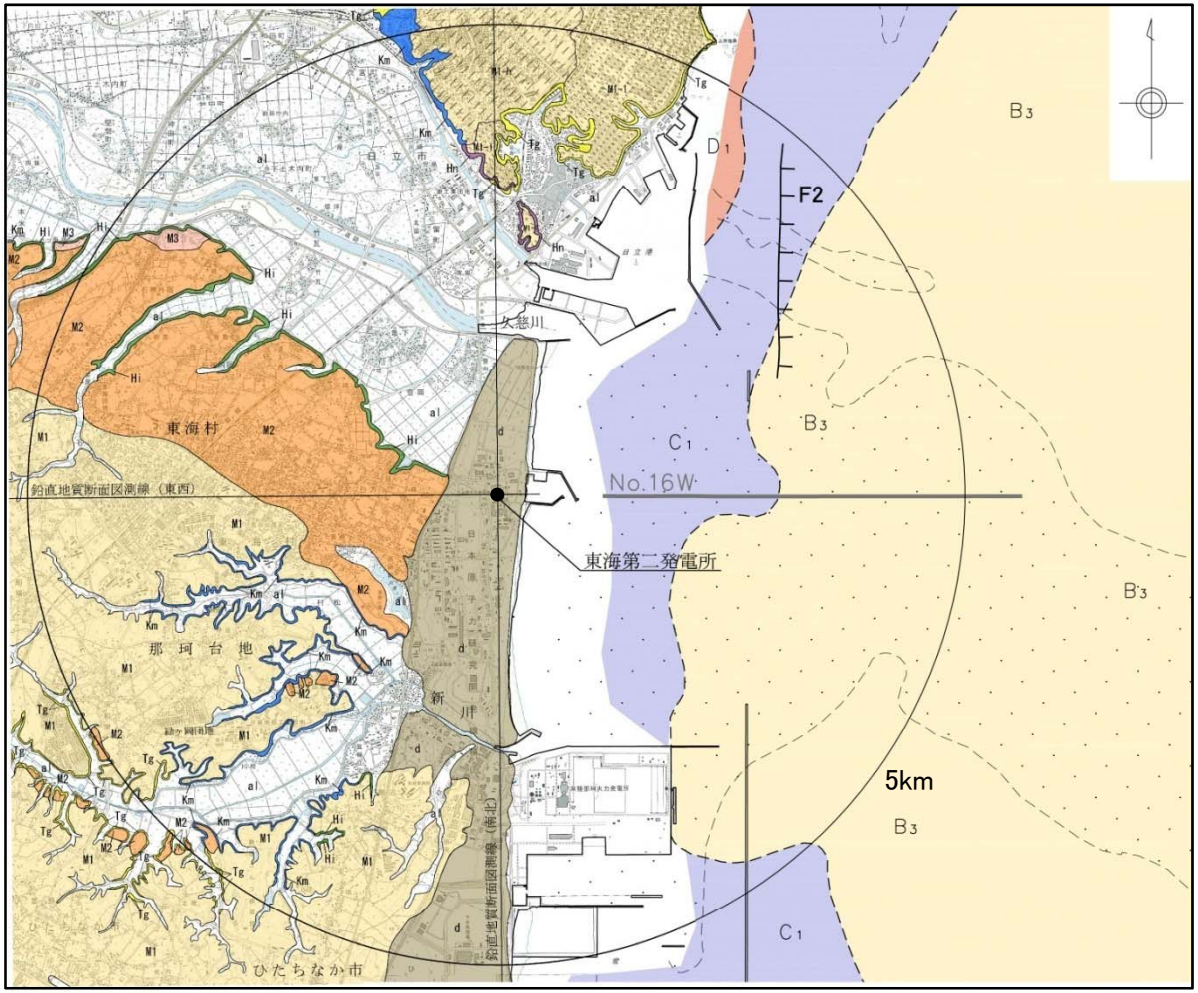
敷地周辺陸域の地質概要

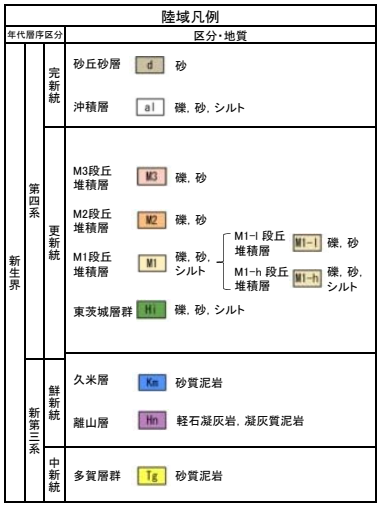
地形	主に分布する地質
八溝山地（やみぞ）	[北部]：先新第三系の八溝層群 [南部]：先新第三系の八溝層群，新第三系中新統の堆積岩類・火山岩類・火山砕屑岩類
久慈山地	新第三系中新統の火山岩類・火山砕屑岩類
多賀山地	先新第三系の阿武隈（あぶくま）花崗岩類，日立古生層（日立変成岩類）及び竹貫（たかぬき）変成岩類
常磐（じょうばん）海岸台地	新第三系中新統の多賀層群，第四系更新統の段丘堆積物
那珂台地・東茨城台地	[丘陵地・台地]：第四系更新統の段丘堆積物 [縁辺部]：新第三系中新統の多賀層群，鮮新統の久米（くめ）層

年代層序区分		八溝山地 地層名	八溝山地 主な層相・岩相	久慈山地 地層名	久慈山地 主な層相・岩相	多賀山地 地層名	多賀山地 主な層相・岩相	那珂台地周辺部 地層名	那珂台地周辺部 主な層相・岩相
第四系	完新統	al 沖積層	砂・シルト・礫	al 沖積層	砂・シルト・礫	al 沖積層	砂・シルト・礫	d 砂丘砂層 al 沖積層	砂 砂・シルト・礫
第四系	更新統	tr 段丘堆積物 Hi 東茨城層群	砂・シルト・礫 砂・シルト・礫	tr 段丘堆積物 Hi 東茨城層群	砂・シルト・礫 砂・シルト・礫	tr 段丘堆積物 Hi 東茨城層群	砂・シルト・礫 砂・シルト・礫	tr 段丘堆積物 Hi 東茨城層群	砂・シルト・礫 砂・シルト・礫
新第三系	鮮新統			Km 久米層	砂質泥岩	Km 久米層 Hn 雌山層	砂質泥岩 軽石凝灰岩・凝灰質泥岩	Km 久米層	砂質泥岩
新第三系	中新統	Kn 金砂郷層群 (Knv 火山岩類・火山砕屑岩類)	砂岩・砂岩泥岩互層・泥岩・礫岩・デイサイト・凝灰岩	Tg 多賀層群 (Tgt 凝灰岩) Hk 東金砂山層 Kn 金砂郷層群 (Knv 火山岩類・火山砕屑岩類)	砂質泥岩 礫岩・砂岩 砂岩・砂岩泥岩互層・泥岩・礫岩・デイサイト・凝灰岩	Tg 多賀層群	砂質泥岩	Tg 多賀層群 (Tgt 凝灰岩) Kn 金砂郷層群	砂質泥岩 泥岩・砂岩・礫岩
古第三系	漸新統					Sr 白水層群	砂岩・泥岩・礫岩・石炭		
古第三系	始新統								
古第三系	暁新統								
白亜系		Yg 八溝花崗岩類		Ag 阿武隈花崗岩類 (Cc カタクラサイト)		Ag 阿武隈花崗岩類 (Cc カタクラサイト)		Nk 那珂湊層群及び大洗層	泥岩・砂岩・礫岩
ジュラ系		Ym 八溝層群 (Yoh チャート)	砂岩・頁岩・チャート			竹貫変成岩類 Gn 片麻岩類			
三畳系									
ペルム系						日立古生層（日立変成岩類） Sch 片岩類 (Ls 石灰岩) Sp 蛇紋岩 Gr 花崗岩類			
石炭系									
カンブリア系									

□：深成岩類及び変成岩類

地質　東海第二発電所（敷地近傍の地質）





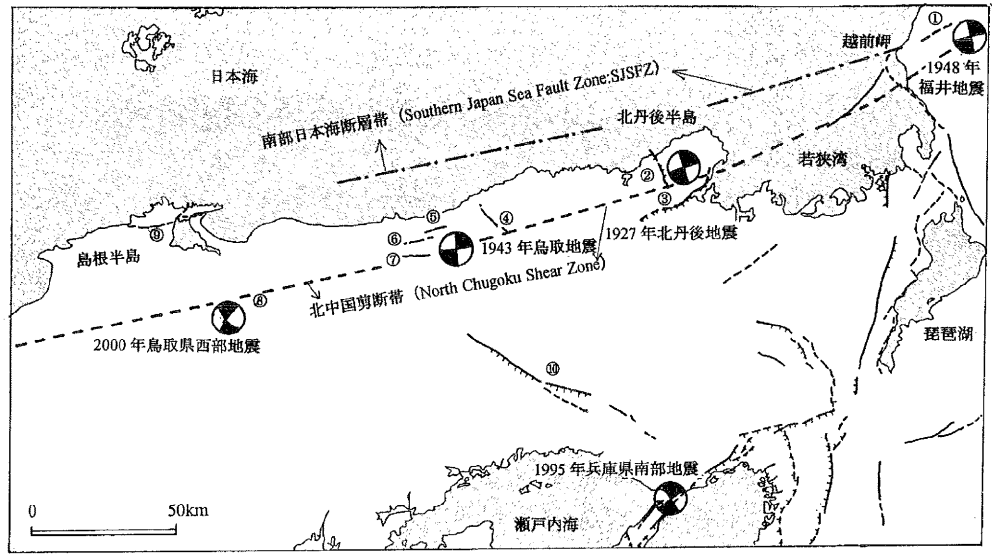
・敷地近傍には，中新統の堆積岩，鮮新統の堆積岩，更新統の段丘堆積物等，完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。

地質構造・変動地形等 2000年鳥取県西部地震

●岡田(2002);

丹後半島から島根半島までの山陰地域にみられる活断層について，共通する特徴を以下にまとめる。

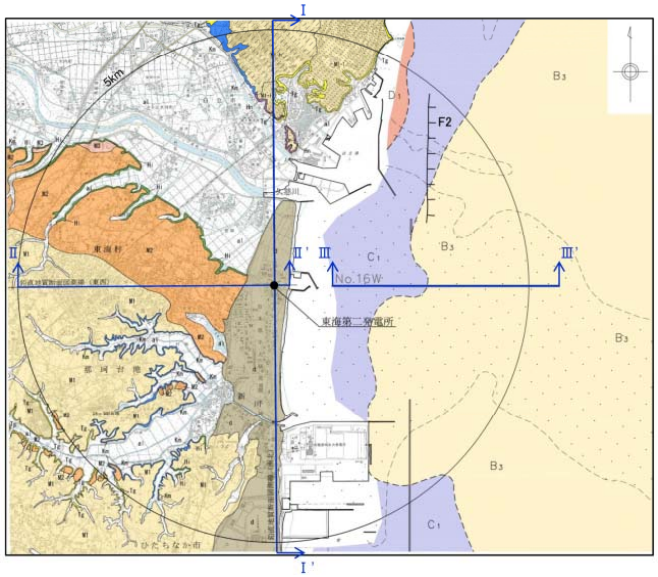
1) 変位地形は全体として不明瞭であり，累積変位量はいずれも数百m以下と少ない。
2) ENE-WNWとNNW-SSEの方向の横ずれの地域までに，こうした活断層の分布が限られている。
3) 数本の活断層が雁行状に連続する断層線も長さは25km以下と相対的に短い。
4) 断層破砕帯の発達は顕著でなく，既存の大断層が再活動した形跡はない。ほとんどの活断層は新たに破断面を形成しつつあるので，破砕帯の幅は数十cm程度とごく限られているようである。
5) 第四紀中期以降に新たな断層面を形成して，断層が発達しつつあり，活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。
6) WNW-ESE方向からの圧縮場のもとで活断層が発現しており，不鮮明なリニアメントでも活断層の可能性があるので，注意して調査する必要がある。
7) 1900年代は千年振りに訪れた地震活動の活動期にあたり，大地震の起こった周辺域は注目すべき時期にあたる。



山陰地方の主な地震の発震機構と活断層

- 岡田(2002)において，「鳥取県西部地震はまだ地表には一連の活断層として姿を現していない(到達していない)地下深部の断層による活動とみなされ」，「第四紀中期以降に新たに断層面を形成して，断層が発達しつつあり，活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある」とされている。
- また，山陰地域は「日本列島の中でも特異な地域」で「西南日本弧の日本海側変動帯に組み込まれつつあり，第四紀中期以降から地殻運動が徐々に活発化しているとみなされ」，当地域にはWNW-ESE方向の圧縮場のもとでENE-WSWとNNW-SSEの方向の横ずれ活断層が発現しているとされている。

地質構造　東海第二発電所(1/2)



この地図は，国土地理院長の承認を得て，同院発行の20万分1地勢図，数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。
(承認番号　平28情複，第124号)
本図面を第三者がさらに複製する場合は，国土地理院の長の承認を得なければならない。

陸域凡例

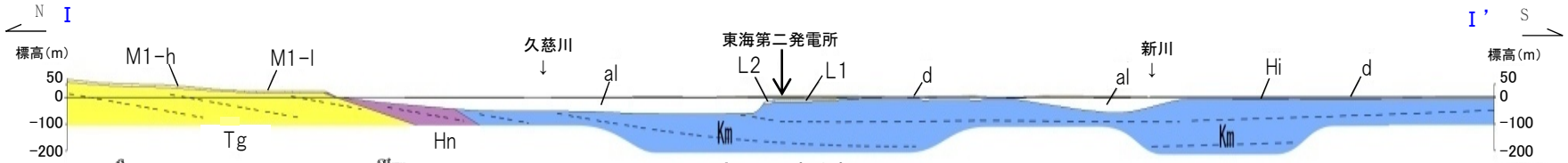
年代層序区分			区分・地質		
新生界	第四系	完新統	砂丘砂層	d	砂
			沖積層	al	礫，砂，シルト
		更新統	L2段丘堆積層	L2	礫，砂
			L1段丘堆積層	L1	礫，砂
			M2段丘堆積層	M2	礫，砂
			M1段丘堆積層	M1	礫，砂，シルト
			M1-l 段丘堆積層	M1-l	礫，砂
			M1-h 段丘堆積層	M1-h	礫，砂，シルト
			東茨城層群	Hi	礫，砂，シルト
	新第三系	鮮新統	久米層	Km	砂質泥岩
			離山層	Hn	軽石凝灰岩，凝灰質泥岩
		中新統	多賀層群	Tg	砂質泥岩

海域凡例

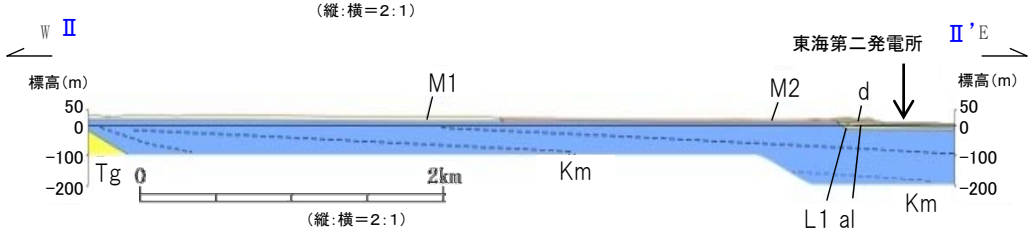
A	A層	完新統
B_1	B_1層	上部更新統
B_2	B_2層	中部更新統
B_3	B_3層	下部更新統
C_1	C_1層	鮮新統
C_2	C_2層	鮮新統
D_1	D_1層	中新統
D_2	D_2層	中新統
D_3	D_3層	先中新統
E	E層	先中新統
	地層境界	
	断層	

区分			陸域	海域
地質時代			当社	当社
第四紀	完新世		沖積層	A
	更新世	後期	段丘堆積物	B_1
		中期	東茨城層群	B_2
		前期		B_3
	鮮新世		久米層	C_1
			離山層	C_2
新第三紀	中新世		多賀層群	D_1
			金砂郷層群等	D_2
	古第三紀		白水層群	D_3
	先第三紀		大洗層 那珂湊層群 阿武隈花崗岩類 目立変成岩類	E

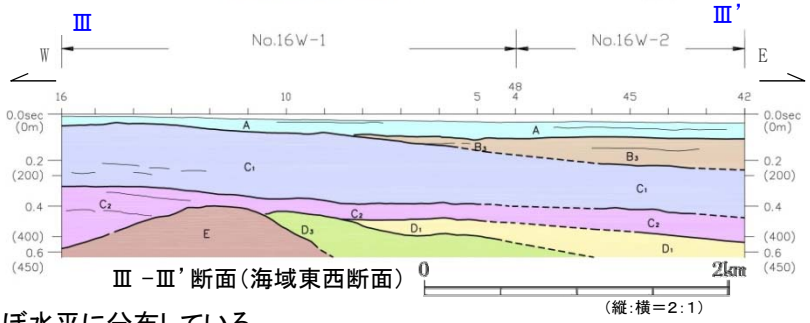
:地層欠如



I －I'断面(陸域南北断面)



II －II'断面(陸域東西断面)

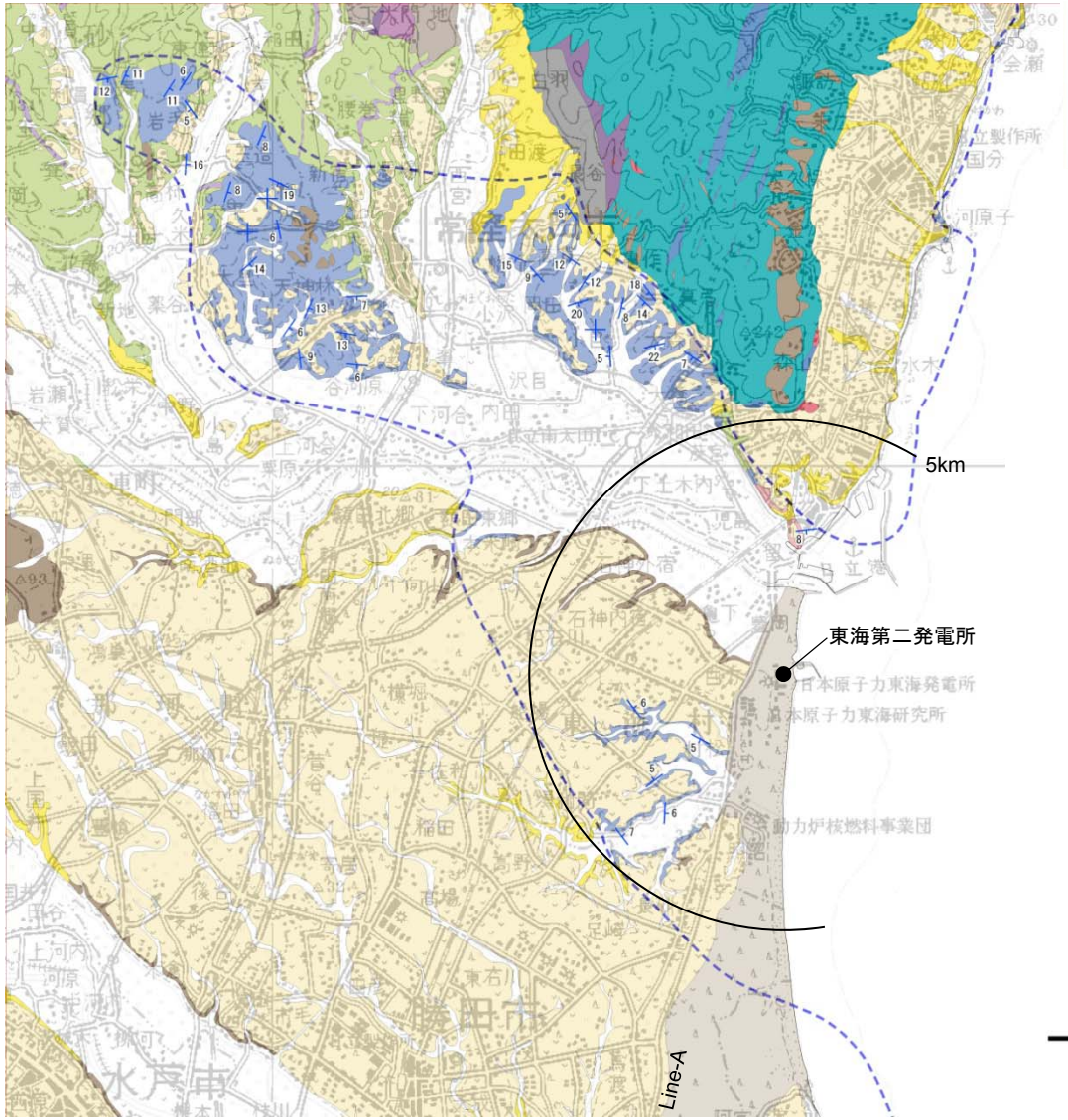


III －III'断面(海域東西断面)

・敷地近傍に広く分布する鮮新統の久米層及びこれを不整合に覆う上部更新統の堆積物はほぼ水平に分布している。
・敷地近傍の海域には，敷地前面海域の地層のうち，上位から，A層，B_3層，C_1層，C_2層，D_1層，D_2層，D_3層及びE層が分布する。
・鮮新統のC_1層，C_2層，下部更新統のB_3層は水平に広く分布している。
・敷地近傍に震源として考慮する活断層は認められない。※
・敷地近傍にカルデラは分布しない。

※　敷地近傍の海域において認められるF2断層は，海底面付近に分布するB_3層に変位・変形を与えているが，深部のD_1層下部以下の地層には変位・変形を与えていないことから，震源として考慮する活断層ではない。

地質構造 東海第二発電所(2/2)



凡 例

:久米層※の分布範囲(地表)

6 :久米層※層理面の走向傾斜

※一部離山層を含む

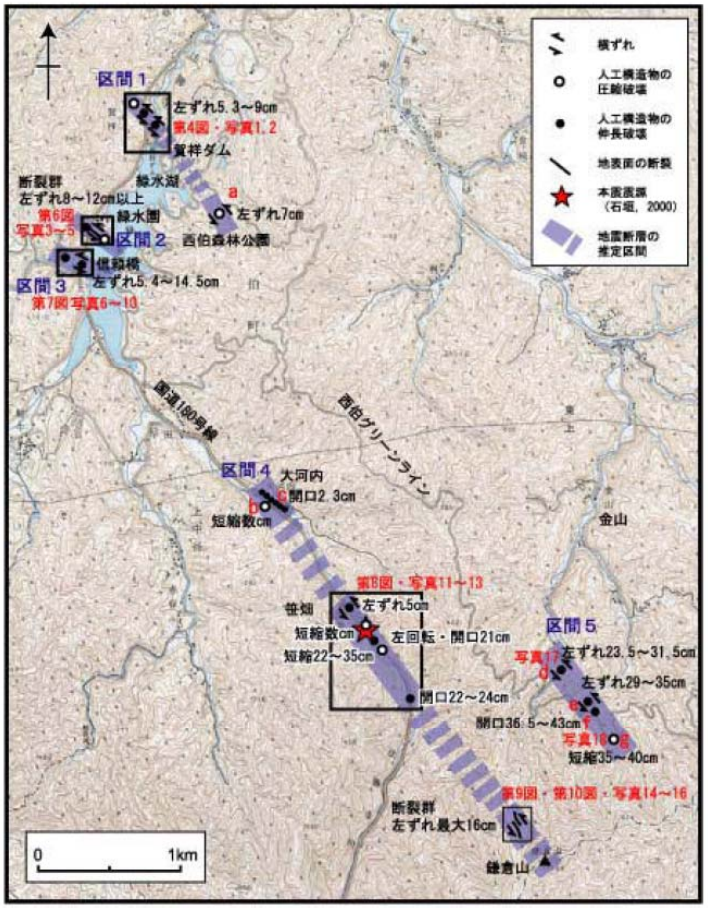
年代層序区分		地層名	主な層相・岩相
第四系	完新統	砂丘砂層	砂
		沖積層	礫・砂・シルト
	更新統	段丘堆積物	砂・礫・シルト
		東茨城層群	砂・礫・シルト
新第三系	鮮新統	久米層	砂質泥岩
		離山層	軽石凝灰岩・凝灰質泥岩
	中新統	多賀層群	砂質泥岩
		東金砂山層	礫岩
		金砂郷層群 / 火山岩・凝灰岩	砂岩・砂岩泥岩互層・泥岩・礫岩・火山岩・凝灰岩
白亜系		阿武隈花崗岩類 / カタクラサイト	
先白亜系		日立古生層(日立変成岩類): 片岩類 / 石灰岩 / 花崗岩類 / 蛇紋岩	
		竹貫変成岩類相当層: 片麻岩類	

5km

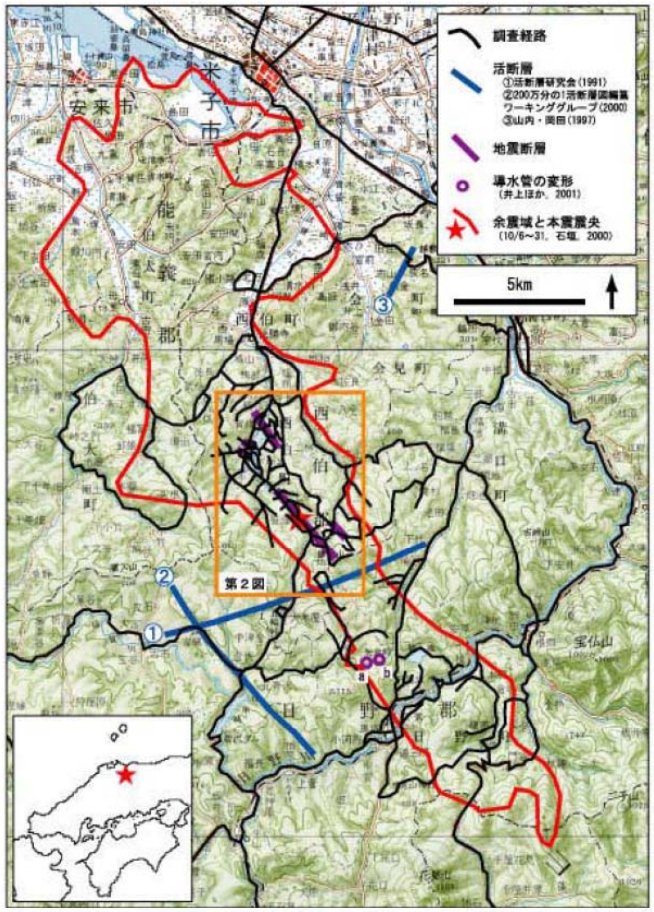
・敷地近傍の陸域において，鮮新統の久米層は，敷地北西方に約20km，幅約8kmの範囲に分布している。
・久米層の層理面の傾斜は10°程度と非常に緩い。

変動地形等 2000年鳥取県西部地震(1/3)

- 伏島ほか(2001);
  - 地表面の断裂や構造物の破壊・変形が発見された地点は，本震中央の北西側約4km，南東側約2kmに及ぶ。これらの地点は，ほぼ北西-南東方向の，ほぼ平行する複数の直線に沿って並んでいる。
  - 地震断層長さ(地震断層の出現が確認された帯状地域の長さ)は約6kmであった。



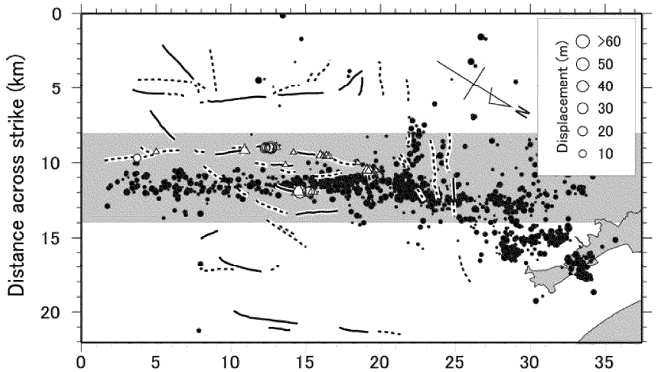
調査結果の概要



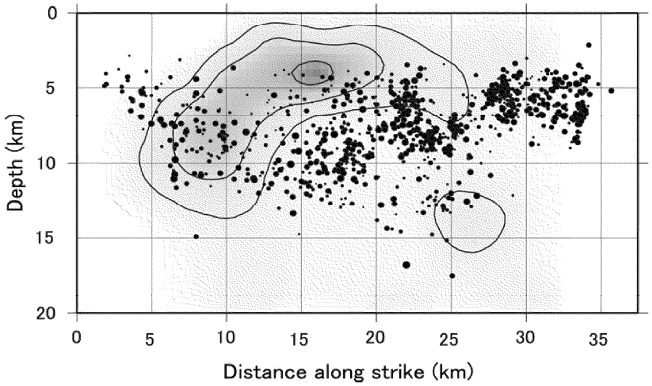
調査地域の概要と調査経路

変動地形等 2000年鳥取県西部地震(2/3)

- 青柳ほか(2004);
  - ・すべり量の大きい場所は，震源域南部の平行リニアメント群の分布域によく一致する。特に浅部に大きなすべりを生じた横軸10～20kmの区間では，密にリニアメントが分布している。



余震の震央分布とリニアメント沿いの累積変位量分布
○:確実性の高いもの　△確実性の低いもの
実線:LC級リニアメント　点線:LD級リニアメント



余震分布と断層面上のすべり量分布
コンター間隔は1m

- 本多ほか(2002);
  - ・ブーゲー異常の変化部は単なる地質構造の境界でなく基盤の断層構造，すなわち地殻内の弱線構造を反映していると考えられる。
  - ・2000年鳥取県西部地震は中国地方に多く発達するこのようなトレンドの中でも，北北西－南南東方向の地殻内の弱線を利用して発生したと考えられる。
  - ・震源断層の南北には西南日本特有海溝軸に沿った大規模な地質構造が存在するため，震源断層サイズは弱線構造のサイズ，つまり南端の花崗岩地域以北までに制限されていた可能性が考えられる。

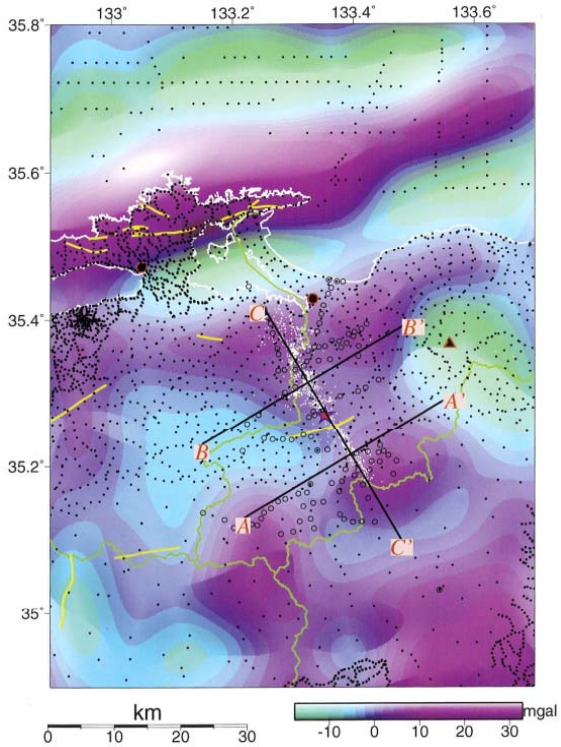


Fig. 2. Band-pass filtered (wavelength of 20～80 km) Bouguer anomaly map overlaid with epicenters of aftershocks (white dots) and locations of existed (black dots) and new (open circles) gravity stations. Density for reduction is assumed to be 2.67 g/cm³. White, green and yellow solid lines indicate the coastline, prefectural boundary and active faults, respectively. Black lines are the lines where subsurface structures are analyzed.

変動地形等 2000年鳥取県西部地震(3/3)

● 井上ほか(2002);

・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。

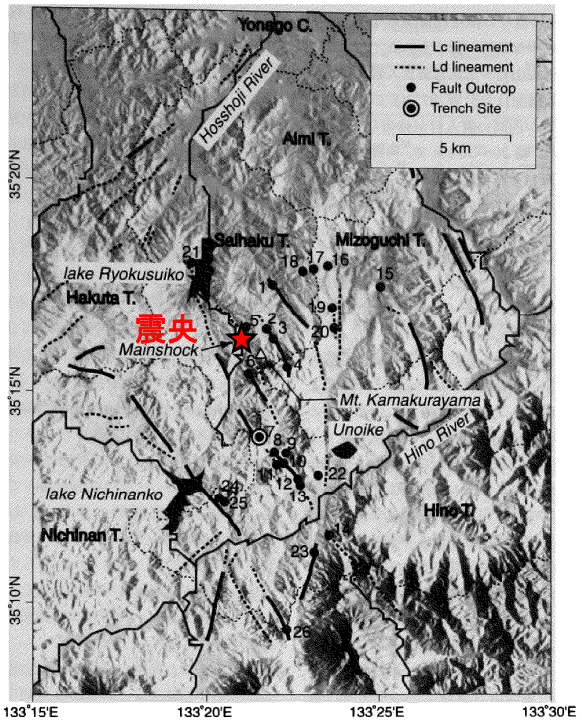
・地表踏査により，これらのリニアメント沿いで多くの断層露頭が確認され，断層面には水平から水平に近い条線が認められる。これらの断層の一部は第四紀層を変位させている。したがって，これらのリニアメントは断層活動によって形成されたことが考えられる。

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

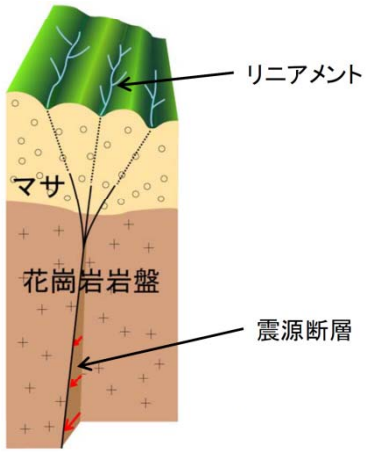
・各断層露頭の性状やトレンチ調査結果などから，この地震の震源断層は過去に繰り返し活動したことが考えられる。

・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。

・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ことが考えられる。



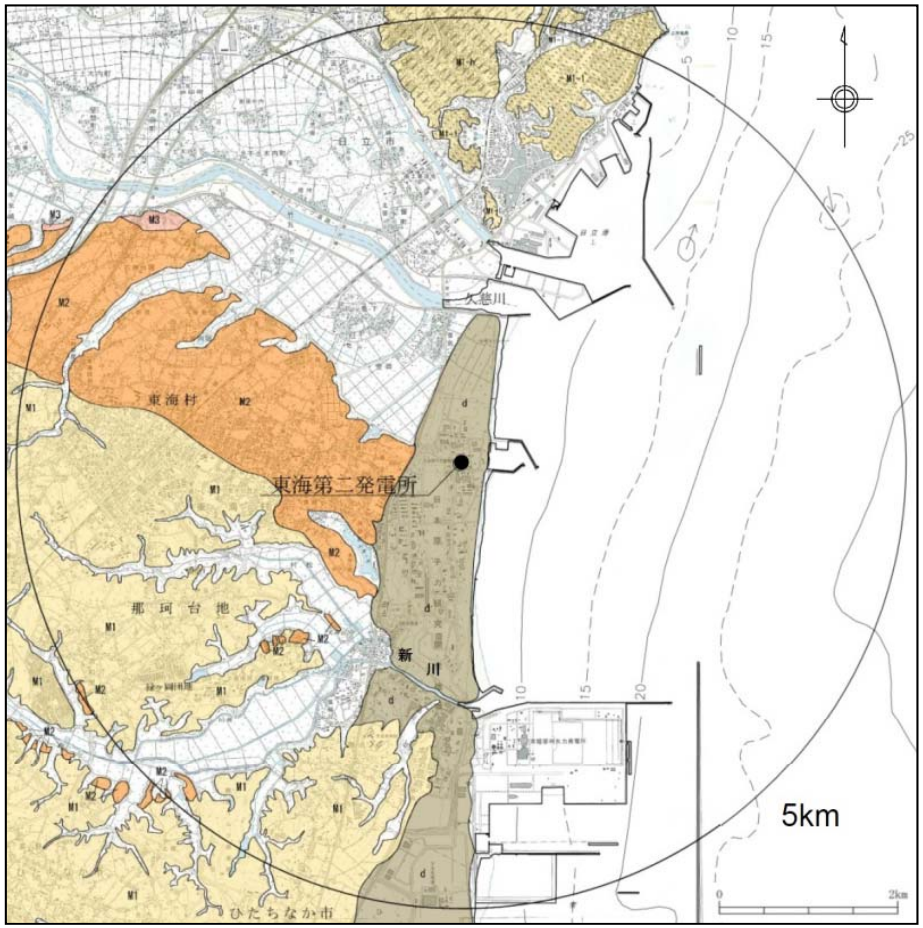
井上ほか(2002)に加筆

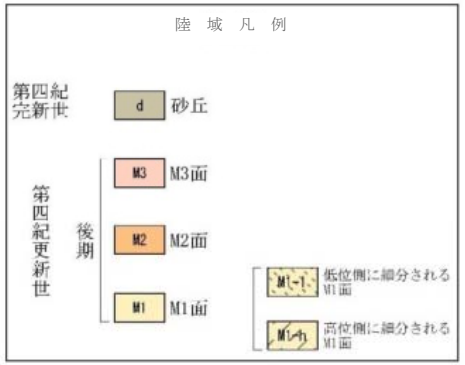


震源断層とリニアメントの関係(推定)

- 井上ほか(2002)によると，2000年鳥取県西部地震震源域に震源断層の方向とほぼ一致する短く断続するリニアメント群が判読されるとともにリニアメント沿いで水平に近い条線をもつ断層露頭が多く確認され，これらの断層は横ずれ断層に伴うフラワー構造を呈して地下では1本の断層に収斂すると推測されている。
- また，これらは若い未成熟な断層であることが推定されており，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ている。

変動地形等　東海第二発電所（陸域）



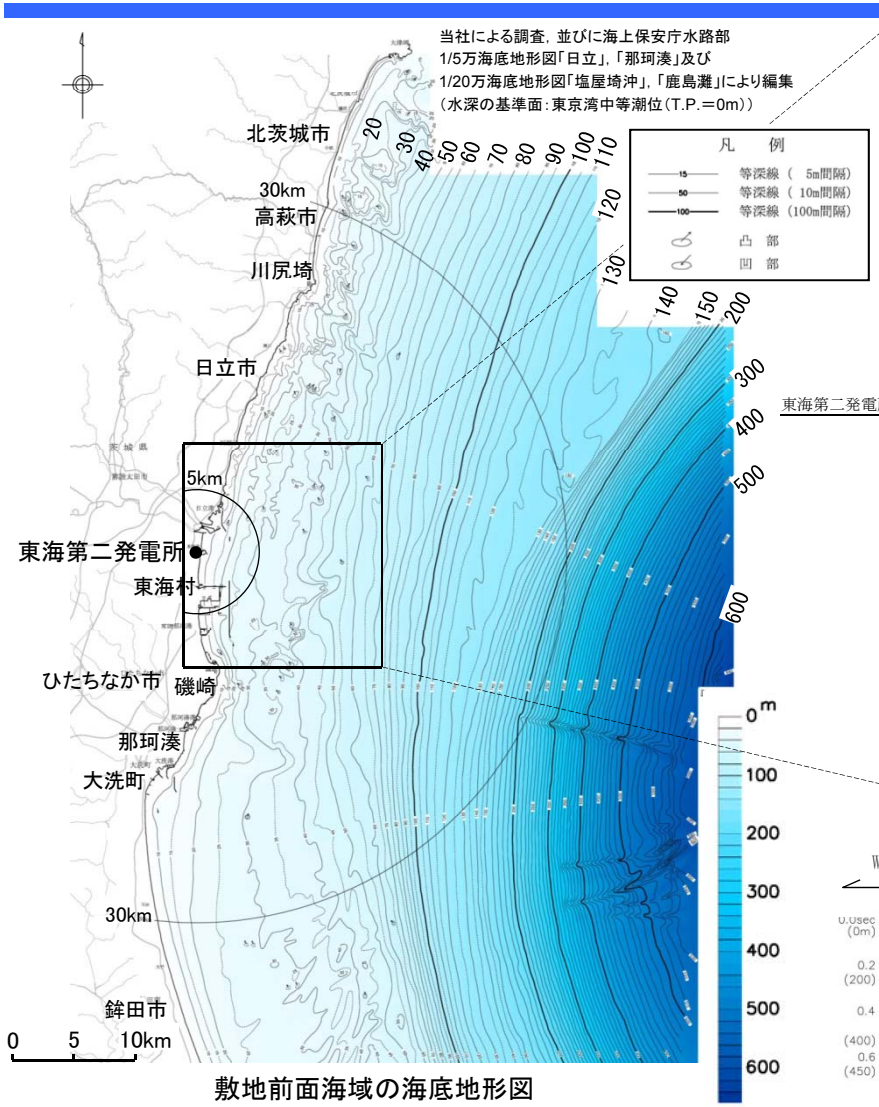


敷地近傍の段丘面区分図及び変動地形学的調査結果図

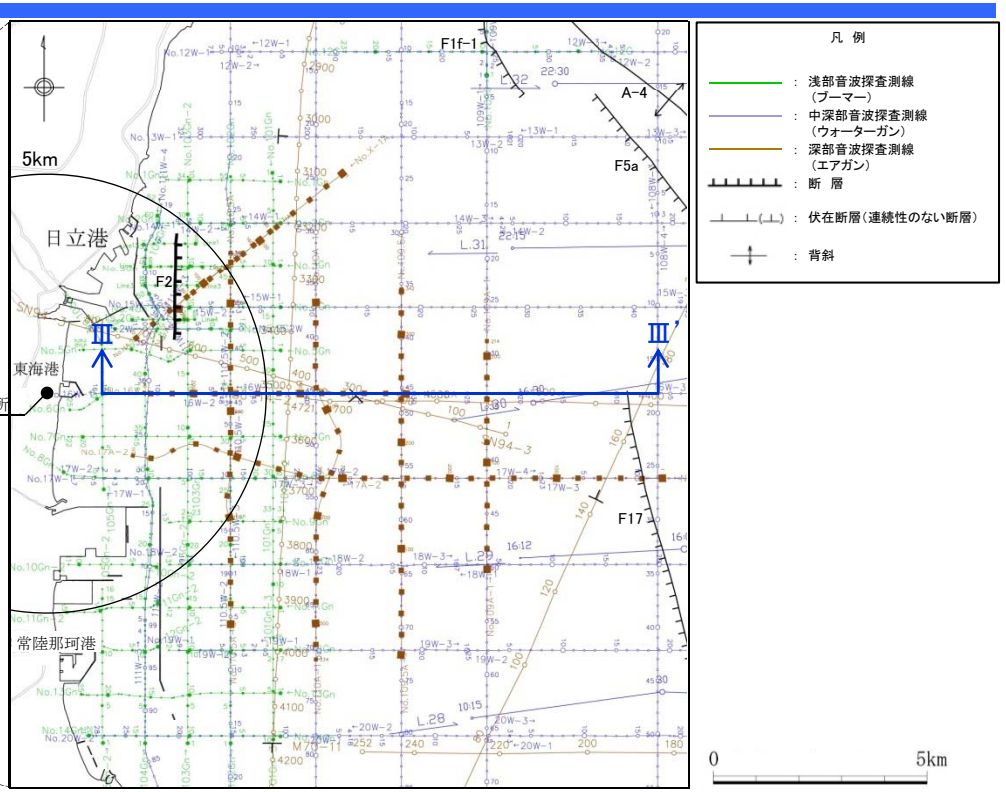
・敷地近傍陸域の地形は，台地，低地及び海岸砂丘からなり，敷地は新川河口右岸付近の海岸砂丘に位置する。
・台地を構成する段丘は高位からM1面，M2面，M3面に区分される。
・M1面は敷地の南西方及び北方に広く分布し，北方のM1面はM1-h面，M1-l面に細分される。
・M2面は敷地の西方に比較的広く分布するほか，敷地南西方の新川沿いなどに分布する。
・敷地近傍陸域に変動地形の可能性のある地形は認められない。
・敷地近傍陸域に地すべり地形は認められない。（文献調査※及び自社判読）

※地すべり地形分布図「白河・水戸」（防災科研技術研究所(2004)）

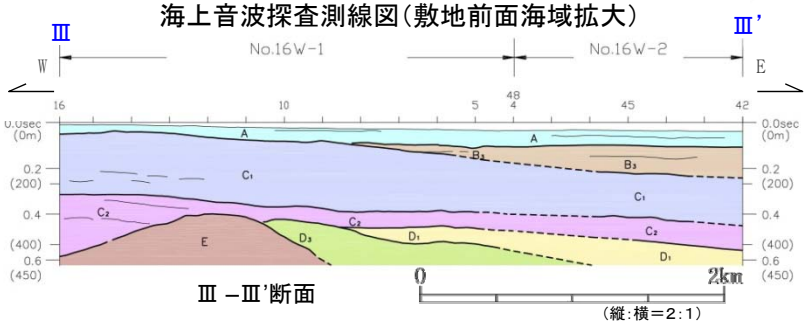
変動地形等　東海第二発電所（海域）



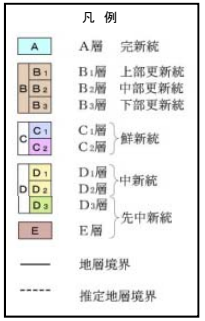
敷地前面海域の海底地形図



海上音波探査測線図（敷地前面海域拡大）

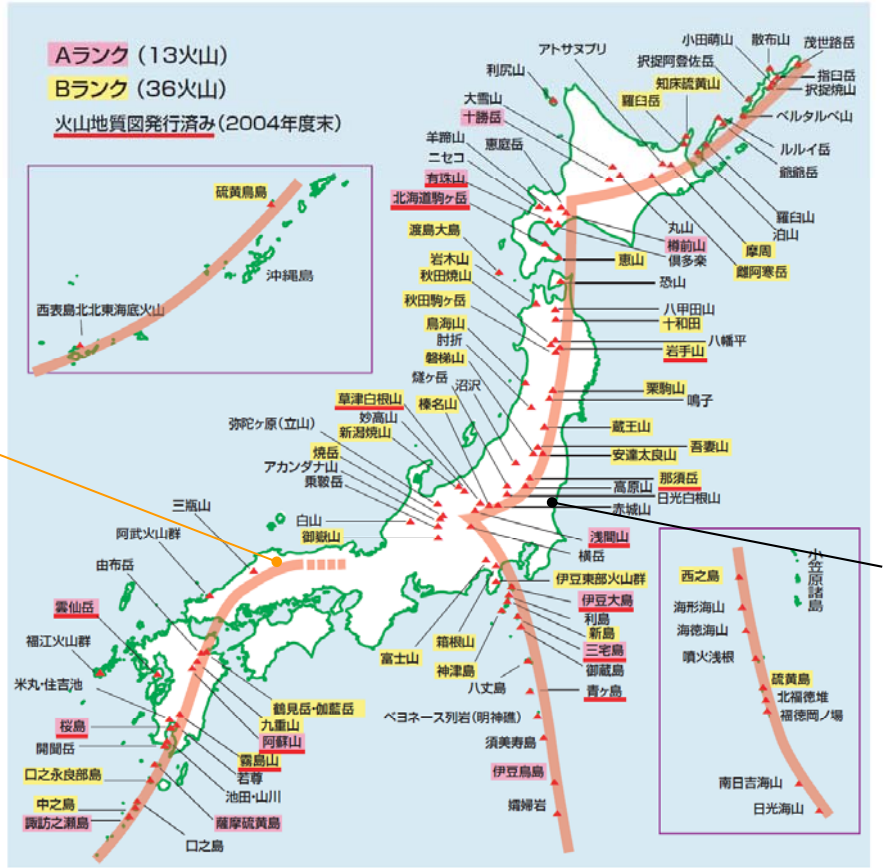


Ⅲ －Ⅲ'断面



- 敷地前面海域の海底地形は，水深約130m～約150m付近の傾斜変換部を境にして，沿岸側の大陸棚とその沖合側の大陸斜面とに区分される。
- 大陸棚は，海岸から沖合方向に5/1,000程度の勾配で傾斜しており，全体的には起伏に乏しい単調な海底地形を示している。
- 各種海上音波探査を実施しており，敷地近傍の海域では詳細な地質構造を把握するため，密な測線配置としている。
- 敷地近傍の海域には，鮮新統のC_1層，C_2層，下部更新統のB_3層が水平に広く分布しており，いずれも反射面が認められる堆積層であり，変位・変形の確認は十分に可能である。

火山



2000年鳥取県西部地震

東海第二発電所

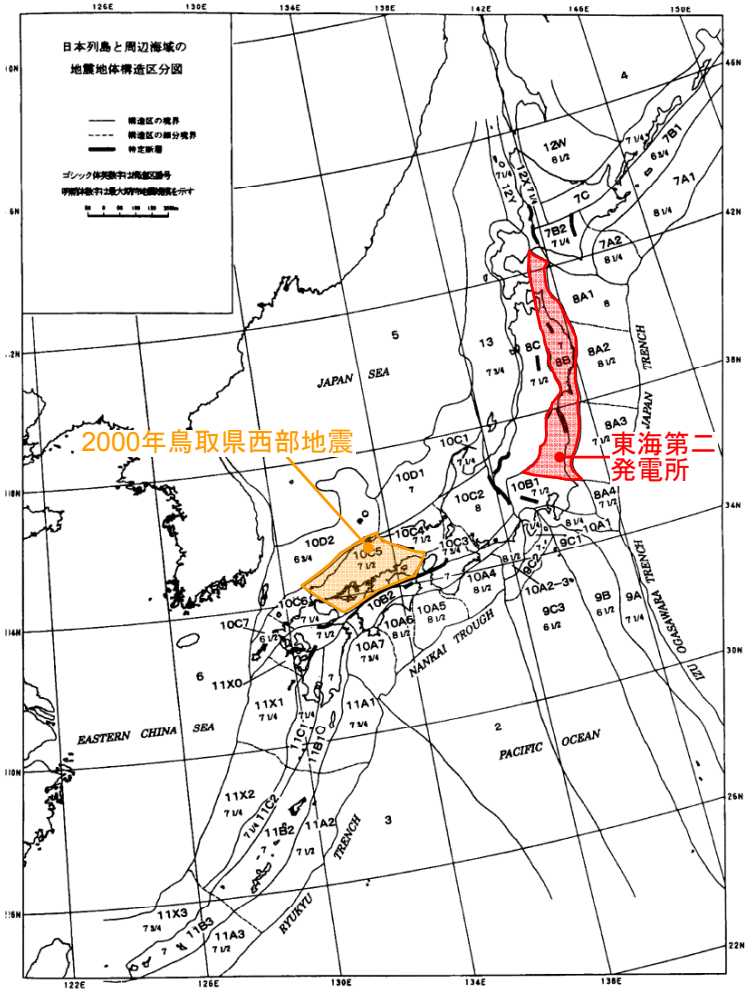
日本列島の活火山分布図
活動度により3段階にランク分けされている。もっとも活動度の高いAランクは13、Bランクは36、Cランクは36火山。海底火山や北方領土の火山はランク分けの対象外になっている。
今後の調査で新たに活火山と追加認定される火山もある。
橙色の太いラインが火山フロント。

火山フロント
産業技術総合研究所（2004）に一部加筆

・2000年鳥取県西部地震の震源域は火山フロントに近接する。
・東海第二発電所は火山フロントから外れた地域に位置する。

地震地体構造区分 2000年鳥取県西部地震

●垣見ほか(2003)



垣見ほか(2003)に一部加筆

地域		2000年鳥取県西部地震	東海第二発電所
構造区		10C5 中国山地・瀬戸内海	8B 東北日本弧外帯
地形・地質		北半部は安定隆起域，南半部は沈降域，北部に火山	外弧隆起帯，安定域
活断層	密度	小	極小
	長さ	中(長)	短(長)
	活動度	B(A)	C
	断層型	逆・横 北東(右)，北西(左)が卓越，東西(逆)はやや古い	逆・横(※)
	その他	南端は中央構造線	―
浅発大・中地震活動		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	低

※Imanishi et al. (2012)によると，敷地周辺の福島・茨城県境付近は正断層型の地震が発生しやすい地域である。

- 2000年鳥取県西部地震の震源域が位置する中国山地・瀬戸内海(10C5)は北部に火山が分布し，活断層の密度は小さいが地震活動は比較的高く，東西圧縮の横ずれ断層型が卓越する地域である。
- 東海第二発電所が位置する東北日本弧外帯(8B)は，外弧隆起帯の安定域で，活断層の密度が小さく，地震活動も低い地域である。
- 東海第二発電所敷地周辺の福島・茨城県境付近は，正断層型の地震が発生しやすい地域である。

2000年鳥取県西部地震の震源域は，東海第二発電所と異なる構造区である。

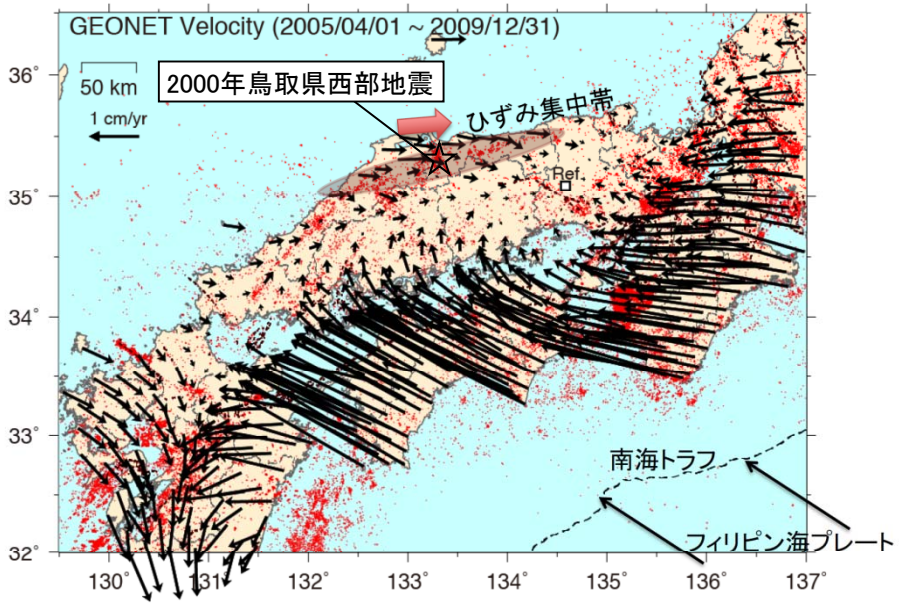
ひずみ集中帯

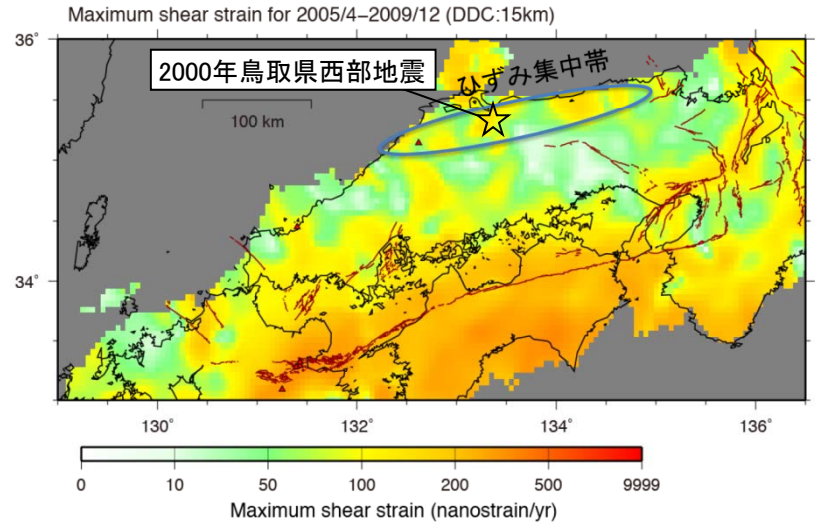
●西村(2014, 2015)

- 2002年のGNSS観測網増強等による観測データの蓄積と，詳細な解析によって，山陰地方の東部(島根県東部から鳥取県)において，海岸線に平行な地震帯(地震の活発な帯)に沿ってひずみ集中帯が存在することを指摘している。

- 過去に山陰地方で発生した内陸地震(1943年鳥取地震，2000年鳥取県西部地震)については，ひずみ集中帯で発生した地震と考えることにより合理的に説明できると指摘している。

- 2000年鳥取県西部地震の震源域は，西村(2014)においてひずみ集中帯と指摘されている。
- 東海第二発電所敷地周辺をひずみ集中帯と指摘している文献はない。





西村(2015)に一部加筆

2000年鳥取県西部地震震源域の応力場

●行竹ほか(2012)

- 2004年1月～2011年1月の地震(内陸域，深さ＜30km，M≧2)を対象に，P波初動極性データ及び，P波とSH波の振幅情報を用いてメカニズム解を推定
- 推定したメカニズム解に基づき，応力インバージョン法にて日本内陸域の広域的な応力場の空間分布を推定

※東海第二発電所敷地周辺では地震数が少ないため応力場が推定されていない(0.2度間隔のグリッド内に8個のメカニズム解データがある領域に対して応力場の推定がなされている)。

2000年鳥取県西部地震の震源域周辺は，概ね北西－南東圧縮の横ずれ断層型の応力場である。

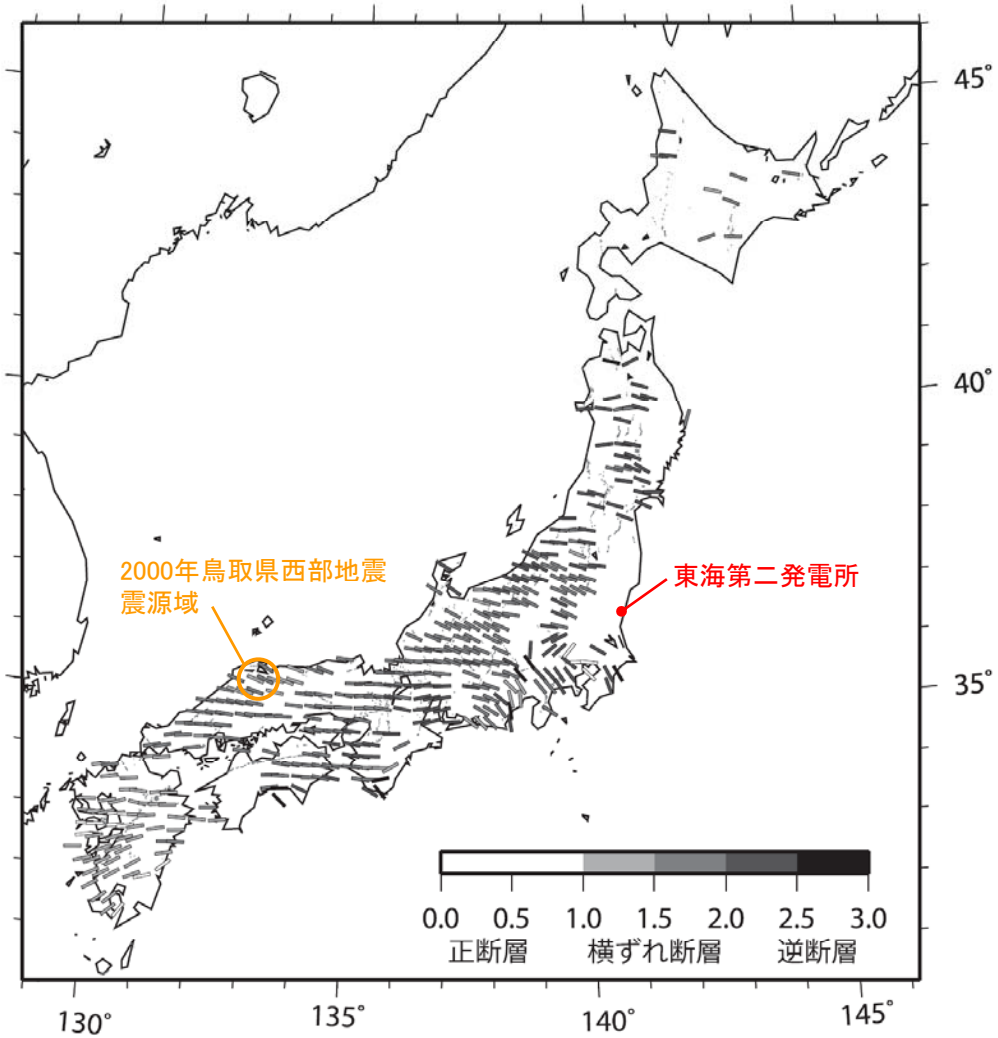


図6 応力インバージョン法により推定された水平最大圧縮軸（σ_{hmax}）方向の空間分布。バーの色はSimpson (1997)の定義により分類された応力場の種類を示す。灰色線は、主要活断層の地表トレース（活断層研究会、1991）。

行竹ほか(2012)に一部加筆

東海第二発電所敷地周辺の応力場

- 東海第二発電所敷地周辺は，2000年鳥取県西部地震の震源域周辺と異なり，東北地方太平洋沖地震の発生前後ともに地震活動度は低く，震源メカニズム解が得られていない。
- 東海第二発電所敷地周辺の茨城県北部では，南西－北東方向を引張軸とする正断層型の地震が卓越している。
- GNSS観測データに基づくひずみ変化は，茨城県北部の正断層型が卓越する領域と東海第二発電所敷地周辺とで似た傾向を示しており，ともに東西引張側のひずみ変化となっている。

東海第二発電所敷地周辺は，南西－北東方向を引張軸とする正断層型の応力場と考えられる。

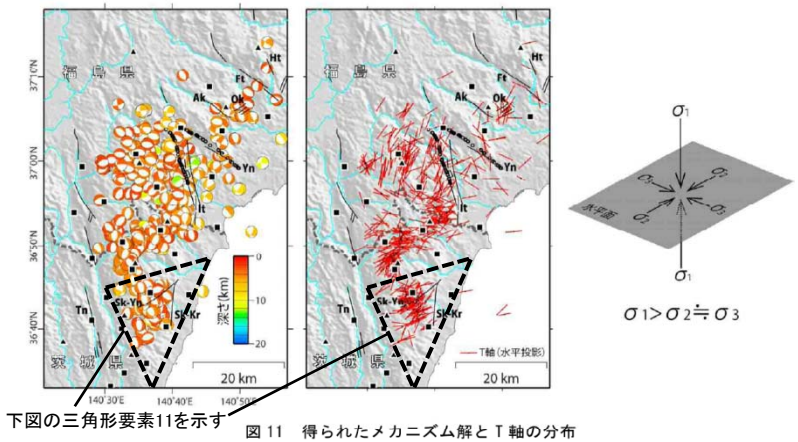


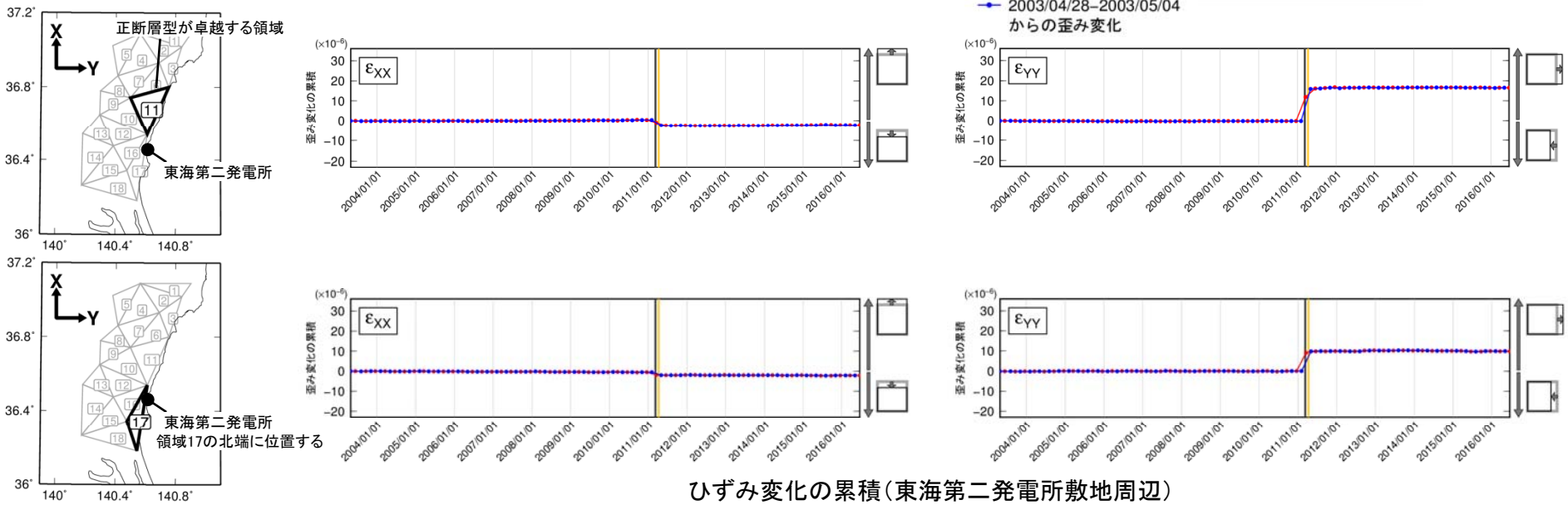
図 11　得られたメカニズム解と T 軸の分布

左：下半球投影のメカニズム解。深さで色分けした。井戸沢断層(It)と湯ノ岳断層(Yn)の地表地震断層（Mizoguchi et al., in preparation）を○で示す。中：メカニズム解の T 軸方位（水平投影）。右：推定される応力場の概念図。

青柳・上田(2012)に一部加筆

●GNSS観測データに基づく検討

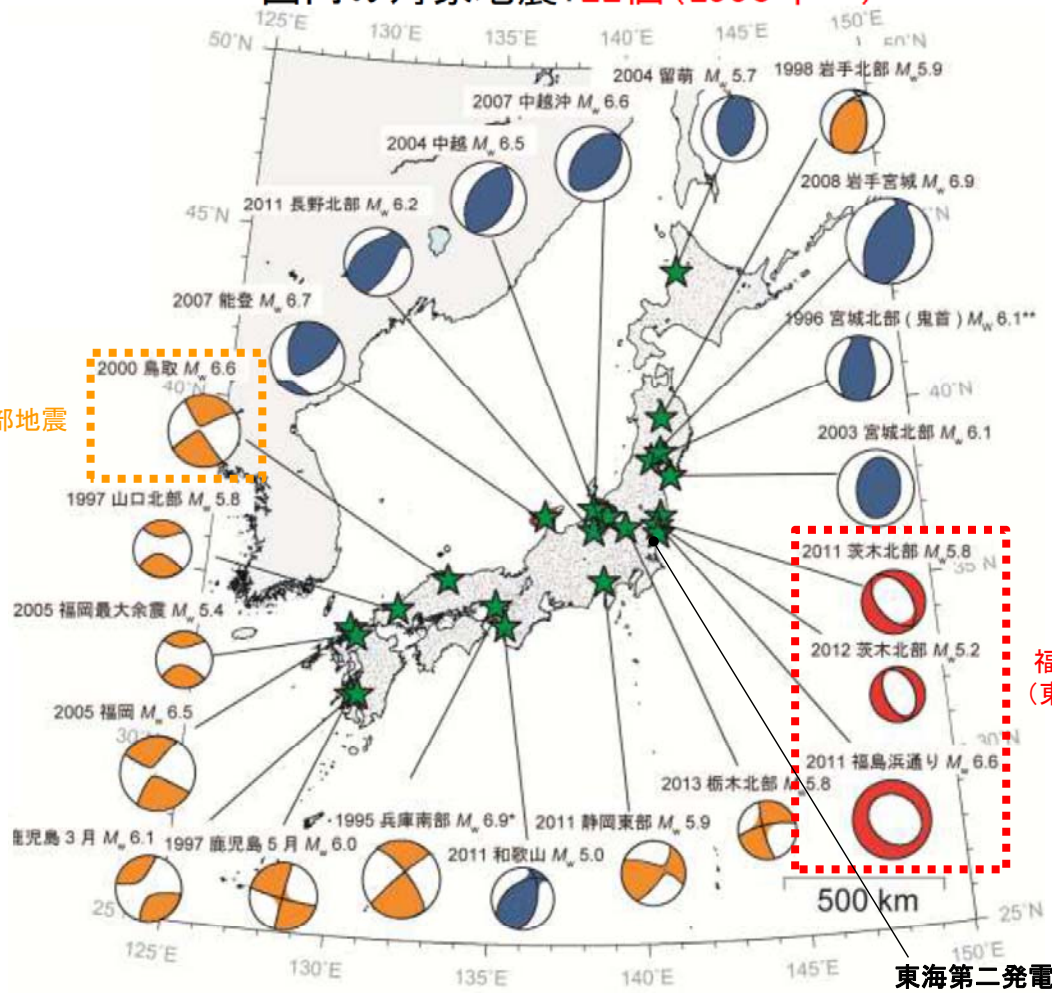
国土地理院によるGNSS観測点で三角形要素を構築し，各要素内の平均的な歪み変化を評価（2003年5月時点を0と仮定）



ひずみ変化の累積（東海第二発電所敷地周辺）

震源メカニズム

国内の対象地震：22個（1995年～）



福島県浜通り，茨城県北部
（東海第二発電所敷地周辺）

赤色：正断層
黄色：横ずれ断層
青色：逆断層

国内の内陸地殻内地震の震源メカニズム

新安全設計基準に関する検討チーム（2013）に加筆

- 2000年鳥取県西部地震は，震源域周辺の応力場と整合した横ずれ断層型の地震である。
- 東海第二発電所敷地周辺の福島県浜通り，茨城県北部においては，南西―北東引張の正断層型の地震が発生している。

2000年鳥取県西部地震 まとめ

2000年鳥取県西部地震の震源域と東海第二発電所の比較

【凡例】○類似性あり，△：類似性低い～一部あり，×：類似性なし

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

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

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
3.1 観測記録の収集・整理 ・・・・・・ 60
3.2 2004年北海道留萌支庁南部地震(Mw5.7) ・・・・・・ 65
3.3 2011年茨城県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 100
3.4 2013年栃木県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 108
3.5 2011年和歌山県北部地震(Mw5.0) ・・・・・・ 117
3.6 2011年長野県北部地震(Mw6.2) ・・・・・・ 125
3.7 Mw6.5未満の地震のまとめ ・・・・・・ 133
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

Mw6.5未満の地震に関する検討概要

●「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」において，震源を特定せず策定する地震動の収集対象とされている16地震のうち，Mw6.5未満の14地震を対象として，震源近傍における観測記録を収集し，検討を実施する。

Mw6.5未満　14地震

全国共通に考慮すべき地震

↓

加藤ほか(2004)と暫定的な比較を行い，影響の大きい地震観測記録を選定

↓

影響の大きい地震観測記録
- 2004年北海道留萌支庁南部地震
- 2011年茨城県北部地震
- 2013年栃木県北部地震
- 2011年和歌山県北部地震
- 2011年長野県北部地震

↓

信頼性のある基盤地震動として選定され「震源を特定せず策定する地震動」に考慮
- 2004年北海道留萌支庁南部地震

↓

不確かさ，サイト特性，保守性の考慮

↓

震源を特定せず策定する地震動
- 水平 610cm/s^2，鉛直 280cm/s^2

観測記録の収集・整理
- 防災科学技術研究所のK-NET，KiK-netの観測記録のうち，以下の条件に適合するものを収集
  - ＊断層最短距離が30km以内
    （断層最短距離が評価されていない記録は震源距離とする）
  - ＊AVS_{30}（Kanno et al.(2006)）が500m/s以上
    （地盤条件が不明な観測点は全て収集対象に含める）

⇩

該当する観測記録は137記録

観測記録の抽出
- KiK-net観測点の地中記録の2倍が基盤地震動に相当すると仮定し，加藤ほか（2004）と暫定的な比較を実施

⇩

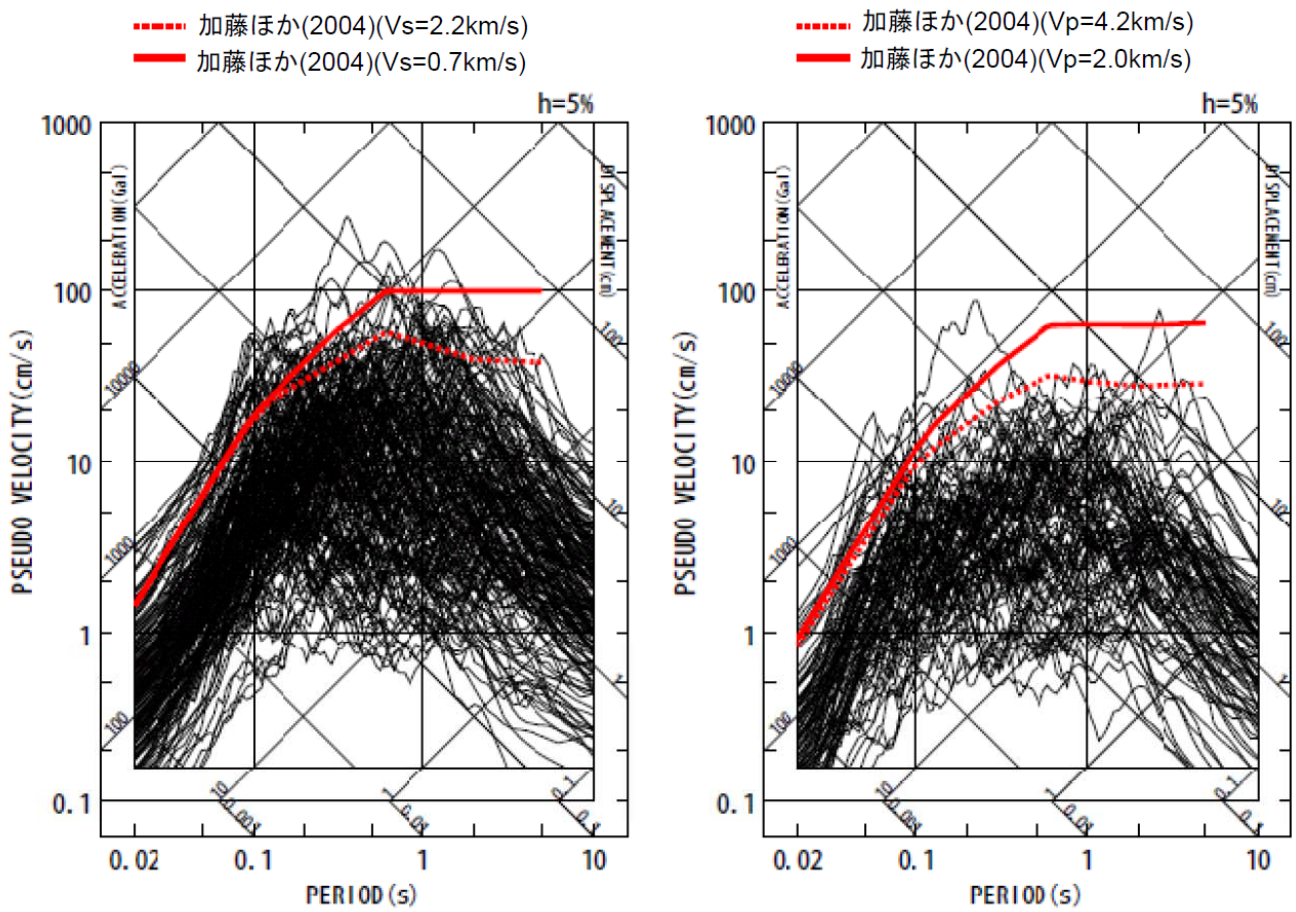
加藤ほか（2004）を上回る記録
- 2011年茨城県北部地震　IBRH13（高萩）
- 2013年栃木県北部地震　TCGH07（栗山西）
- 2011年和歌山県北部地震　WKYH01（広川）

詳細に検討すべき対象地震の選定
- KiK-netは，加藤ほか（2004）の応答スペクトルを上回ると想定される記録
- K-NETは，特に影響が大きいと考えられる地表観測記録

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
3.1 観測記録の収集・整理 ・・・・・・ 60
3.2 2004年北海道留萌支庁南部地震(Mw5.7) ・・・・・・ 65
3.3 2011年茨城県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 100
3.4 2013年栃木県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 108
3.5 2011年和歌山県北部地震(Mw5.0) ・・・・・・ 117
3.6 2011年長野県北部地震(Mw6.2) ・・・・・・ 125
3.7 Mw6.5未満の地震のまとめ ・・・・・・ 133
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

14地震の観測記録（地表）の応答スペクトル

●14地震の観測記録（地表）の応答スペクトルを重ね書き，加藤ほか（2004）の応答スペクトルと比較する。

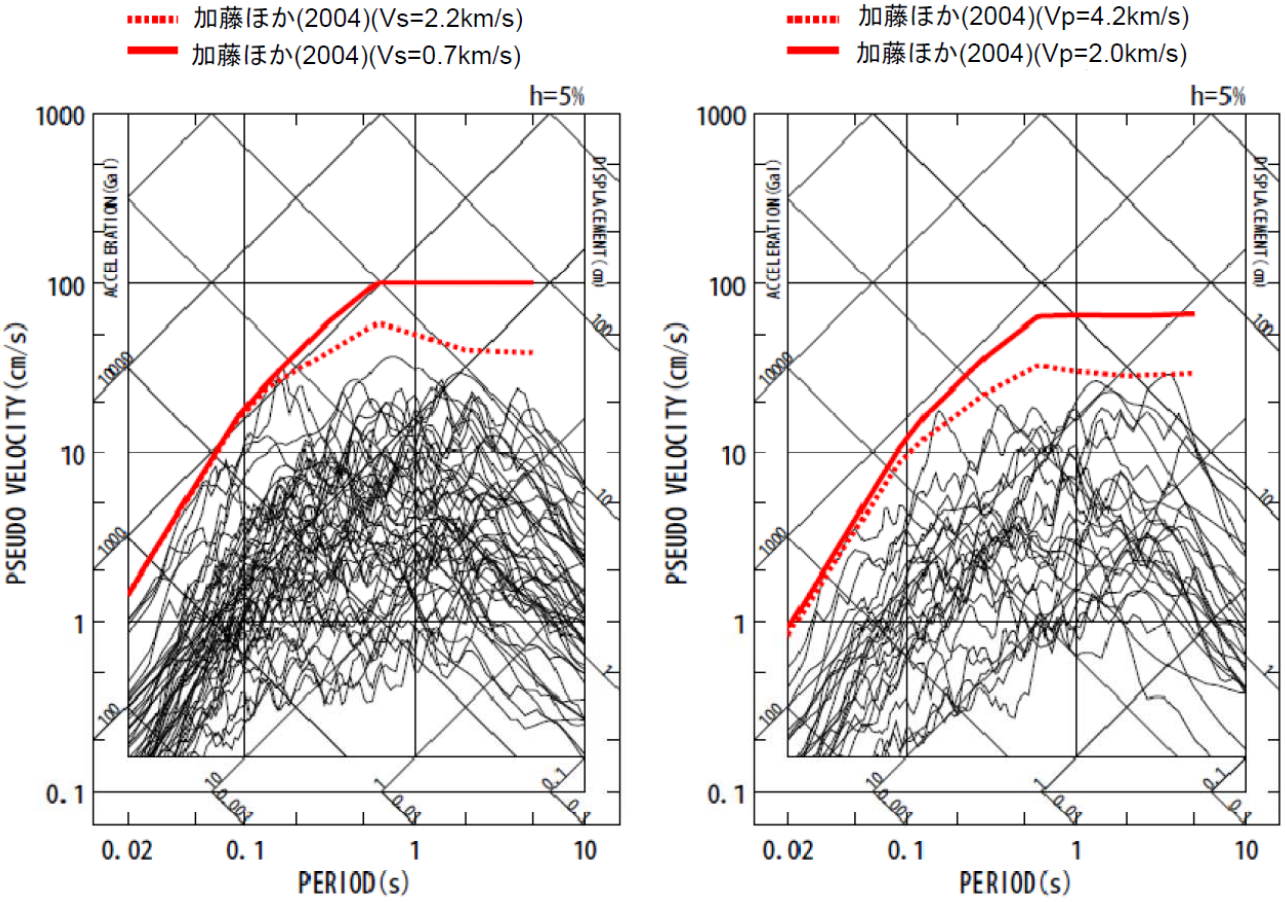


水平方向　　鉛直方向

14地震の観測記録（地表）の応答スペクトルと加藤ほか（2004）の応答スペクトル

14地震の観測記録（地中）の応答スペクトル

●14地震の観測記録（地中）の応答スペクトルを重ね書き，加藤ほか（2004）の応答スペクトルと比較する。



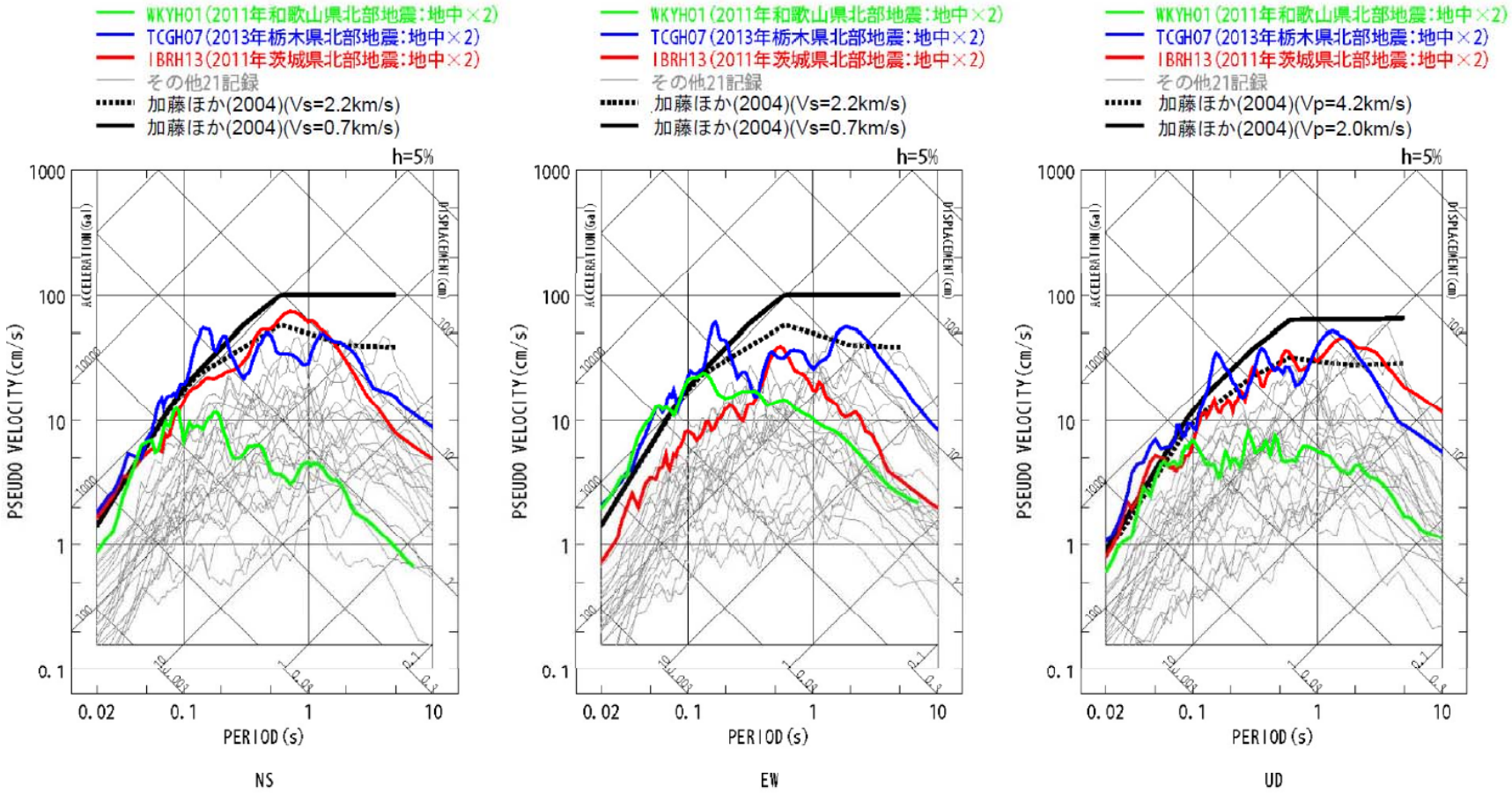
水平方向　　鉛直方向

14地震の観測記録（地中）の応答スペクトルと加藤ほか（2004）の応答スペクトル

観測記録の選定

●収集した観測記録のうち，敷地に与える影響が大きいと考えられる観測記録を用いて基盤地震動を検討する。

●KiK-net観測点の地中記録の2倍が基盤地震動に相当すると仮定し，加藤ほか（2004)の応答スペクトルと比較した結果，2011年和歌山県北部地震・WKYH01(広川)，2013年栃木県北部地震・TCGH07（栗山西），2011年茨城県北部地震・IBRH13（高萩）の観測記録が，加藤ほか（2004）の応答スペクトルを上回る。



14地震の観測記録（地中×２）の応答スペクトルと加藤ほか（2004）の応答スペクトル

観測記録の選定

●KiK-net観測点における基盤地震動が，加藤ほか（2004）の応答スペクトルを上回ると想定される3記録（下表の②～④），及びK-NET観測点の観測記録で，特に影響の大きいと思われる2記録（下表①，⑤）を観測した5地震を検討対象地震として選定し，以降で詳細に検討する。

Mw6.5未満の検討対象地震

No.	地震名 （発震日時）	観測点	地震規模
①	2004年北海道留萌支庁南部地震 （2004/12/14，14:56）	HKD020（港町）	Mw5.7
②	2011年茨城県北部地震 （2011/3/19，18:56）	IBRH13（高萩）	Mw5.8
③	2013年栃木県北部地震 （2013/2/25，16:23）	TCGH07（栗山西）	Mw5.8
④	2011年和歌山県北部地震 （2011/7/5，19:18）	WKYH01（広川）	Mw5.0
⑤	2011年長野県北部地震 （2011/3/12，3:59）	NIG023（津南）	Mw6.2

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
3.1 観測記録の収集・整理 ・・・・・・ 60
3.2 2004年北海道留萌支庁南部地震(Mw5.7) ・・・・・・ 65
3.3 2011年茨城県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 100
3.4 2013年栃木県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 108
3.5 2011年和歌山県北部地震(Mw5.0) ・・・・・・ 117
3.6 2011年長野県北部地震(Mw6.2) ・・・・・・ 125
3.7 Mw6.5未満の地震のまとめ ・・・・・・ 133
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

地震の概要

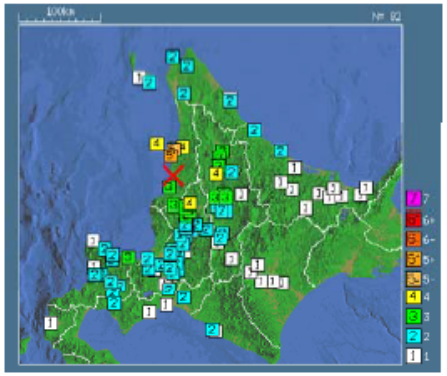
●概要(発生日時，地震規模等)

●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：Mj6.1（Mw5.7）
- 震源深さ：約9km
- 震源位置：北緯44.077°，東経141.7°

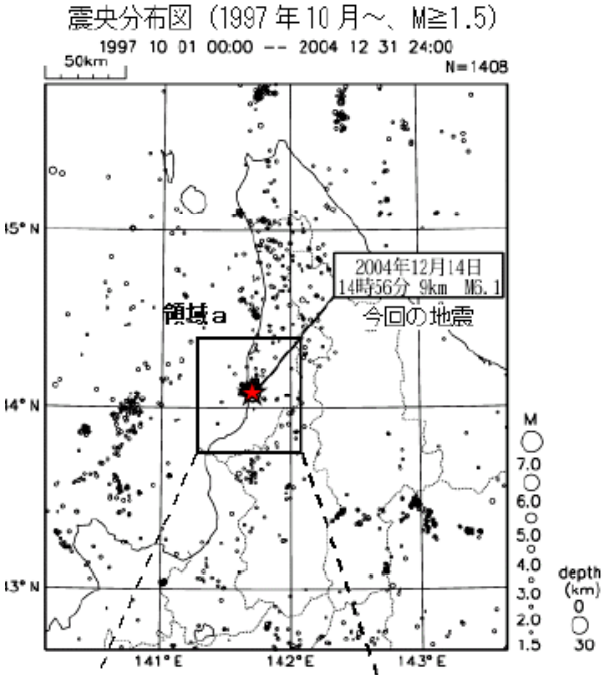
●各地の震度及び被害状況
各地の震度（気象庁）は以下のとおり。
- 震度5強：苫前町
  震度5弱：羽幌町
- 震度4　：初山別村，剣淵町，秩父別町
- 地震による津波の発生はなし

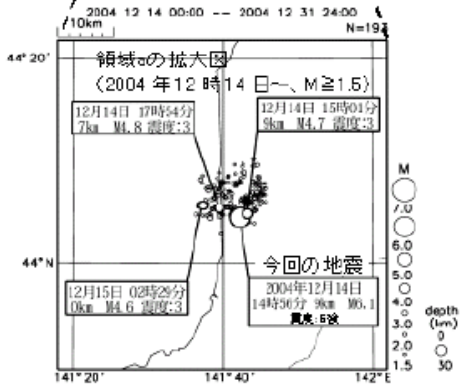
被害状況（消防庁）は以下のとおり。
- 住宅全壊・半壊：　0棟
  住宅一部損壊　：165棟
  （内訳；小平町 121棟，苫前町 17棟，羽幌町 27棟）
- 負傷者8名（家具の下敷き，転倒による打撲等）
- コンビナート関係等異常なし

●地震発生メカニズム（気象庁）
- 発震機構解より，東南東ー西北西方向に圧縮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。

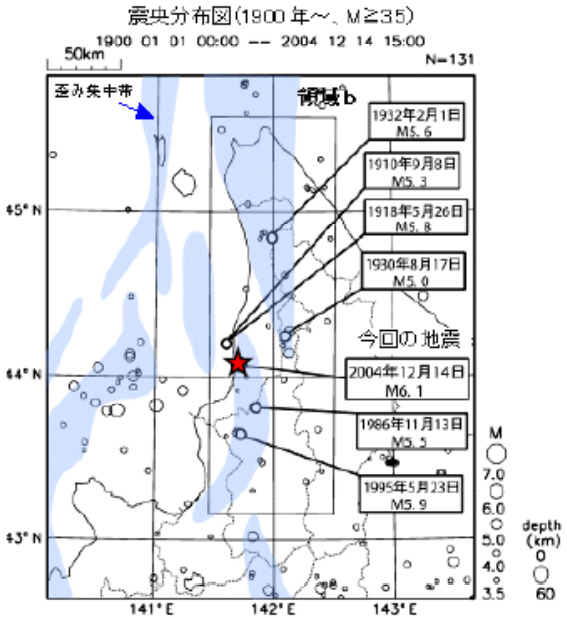


気象庁 震度データベースによる震度分布

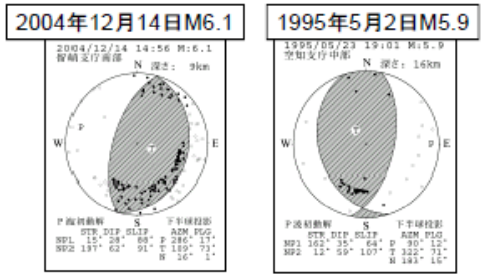




2004年北海道留萌支庁南部の地震及び周辺で発生した主な地震



※ 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。



地震調査研究推進本部
地震調査委員会

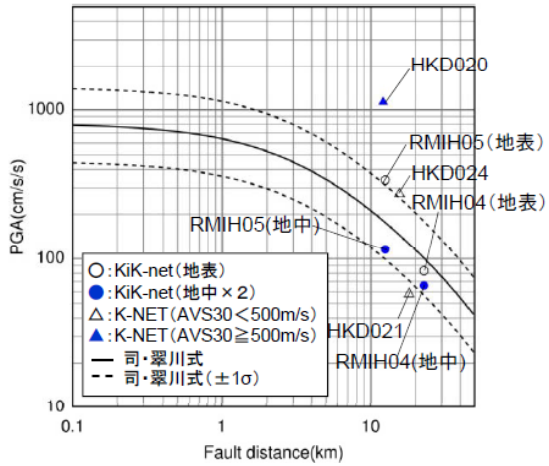
観測記録(1／4)

●観測記録の概要

・震源距離が30km以内の観測記録としては下表の5記録となる。
・震源近傍に位置するHKD020(港町)観測点において，最大加速度1127.2cm/s^{2}が観測されており，司・翠川(1999)の距離減衰式の＋1σを上回る。

断層最短距離が30km以内の観測記録

観測点			震源距離(km)	AVS30(m/s)	最大加速度(Gal)		
					水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)
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(地表・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)

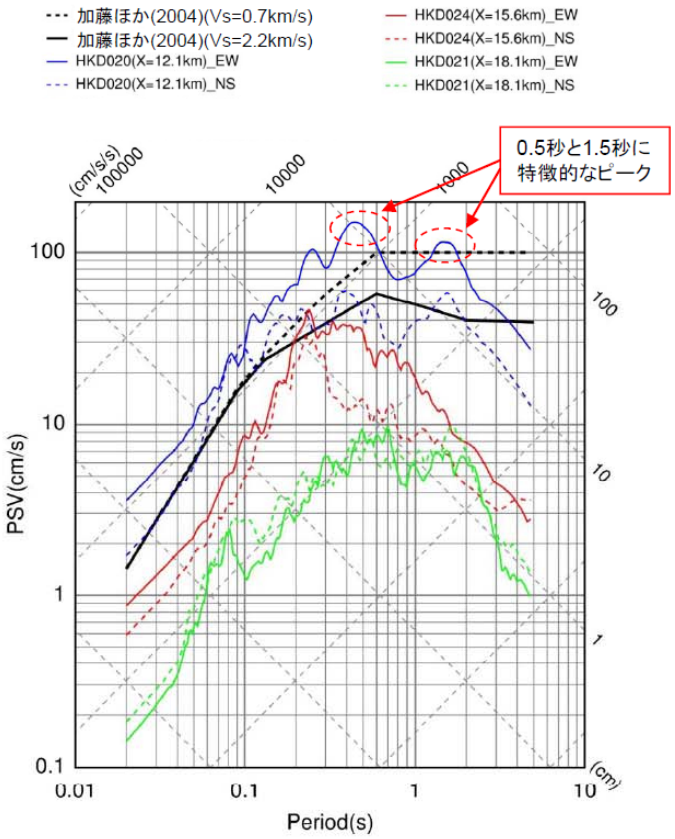


司・翠川(1999)の距離減衰式との関係

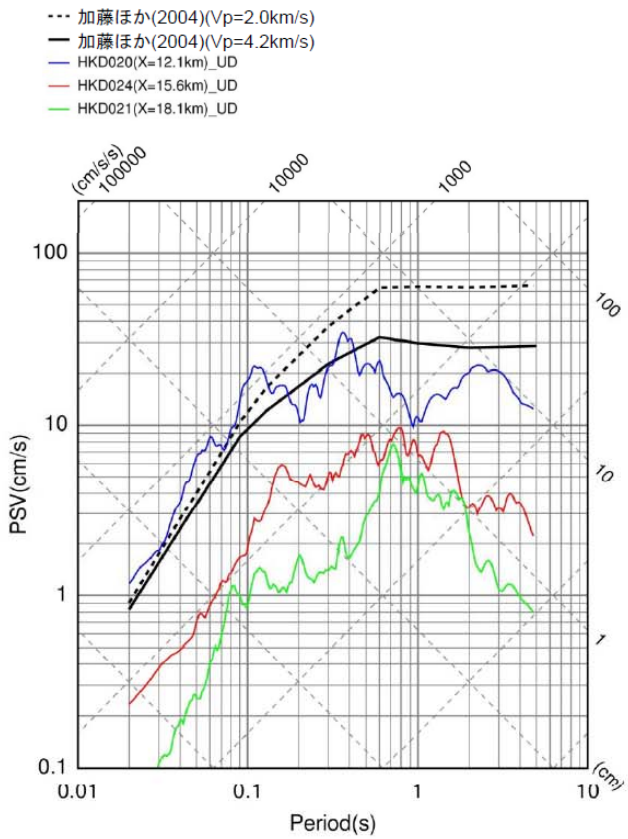
観測記録（２／４）

●K-NET観測記録

・K-NET観測点の観測記録のうち，HKD020（港町）の観測記録の応答スペクトルは，加藤ほか（2004）の応答スペクトルを大きく上回る。また，HKD024（達布）及びHKD021（留萌）の観測記録の応答スペクトルは，HKD020（港町）におけるEW成分の応答スペクトルに包絡される。



水平方向



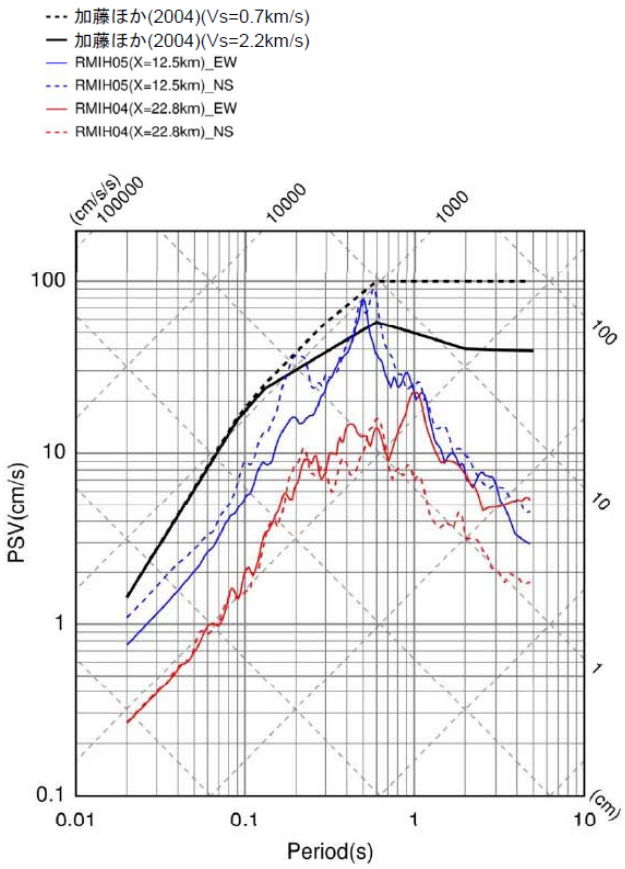
鉛直方向

K-NET各観測記録の応答スペクトルと加藤ほか（2004）の応答スペクトルの比較

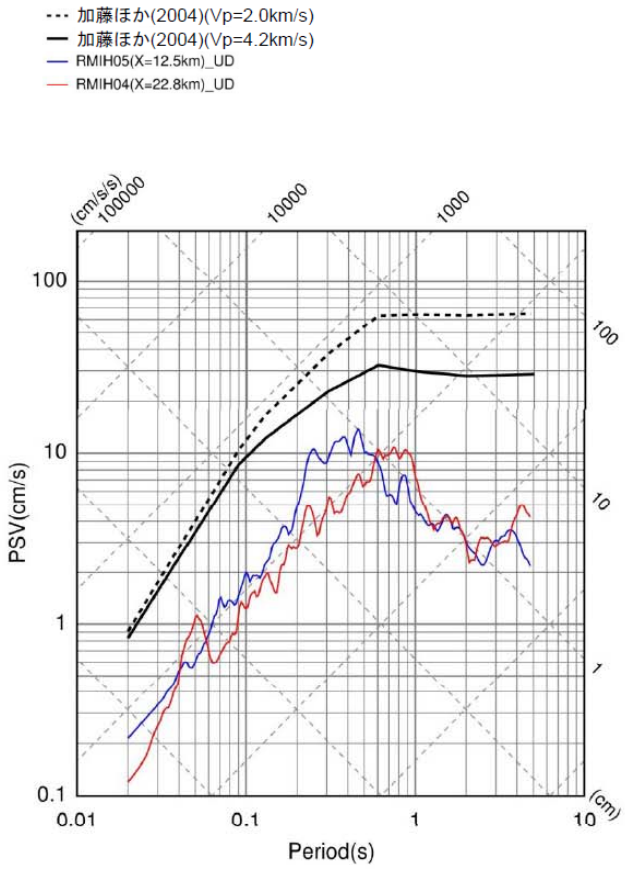
観測記録（3／4）

●KiK-net観測記録（地表観測記録）

・KiK-net観測点であるRMIH05（小平西）及びRMIH04（小平東）の地表観測記録の応答スペクトルは，加藤ほか（2004）の応答スペクトルに包絡される。



水平方向



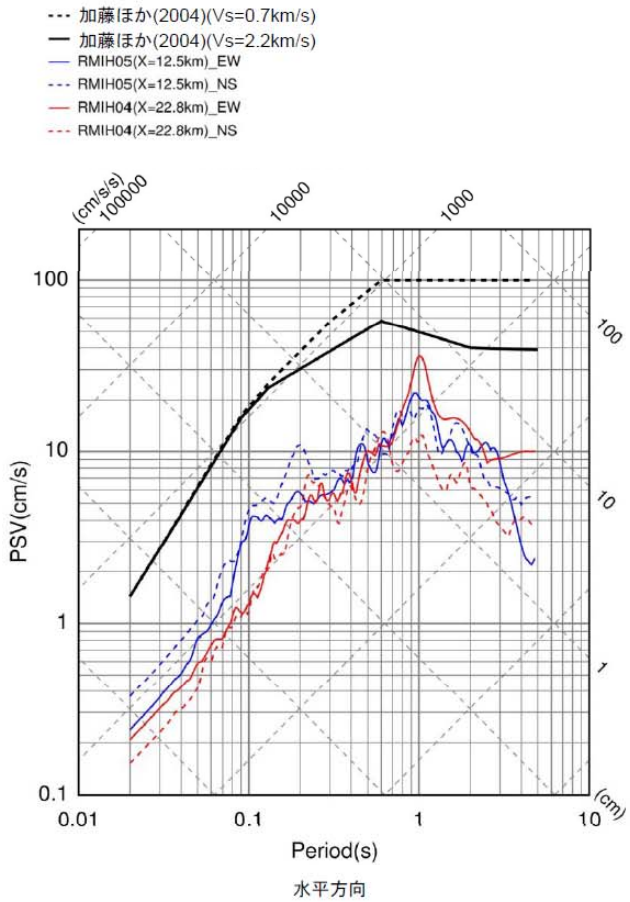
鉛直方向

KiK-net各観測記録（地表）の応答スペクトルと加藤ほか（2004）の応答スペクトルの比較

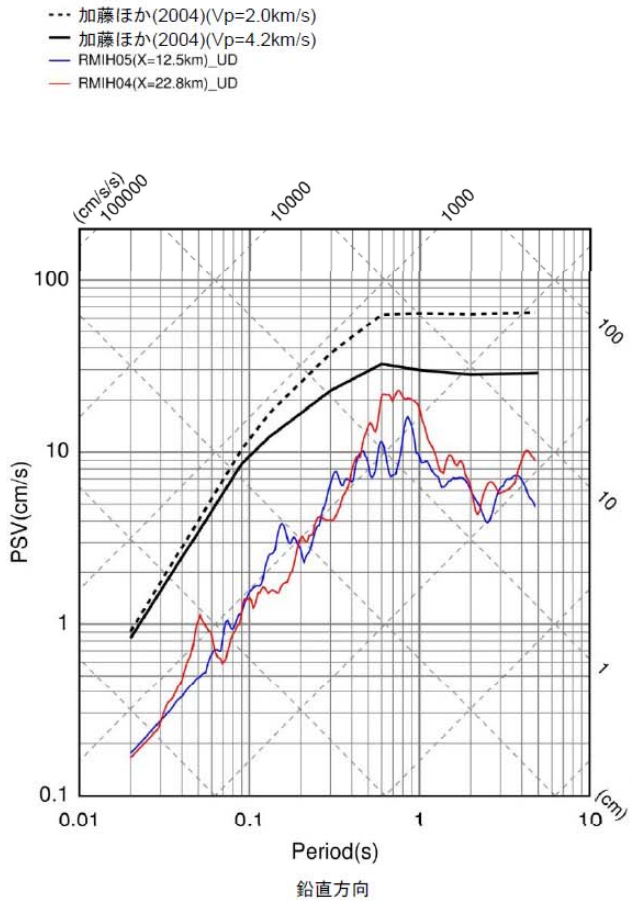
観測記録（4／4）

●KiK-net観測記録（地中観測記録）

・KiK-net観測点であるRMIH05（小平西）及びRMIH04（小平東）の地中観測記録を2倍にした応答スペクトルは，加藤ほか（2004）の応答スペクトルに包絡される。



水平方向



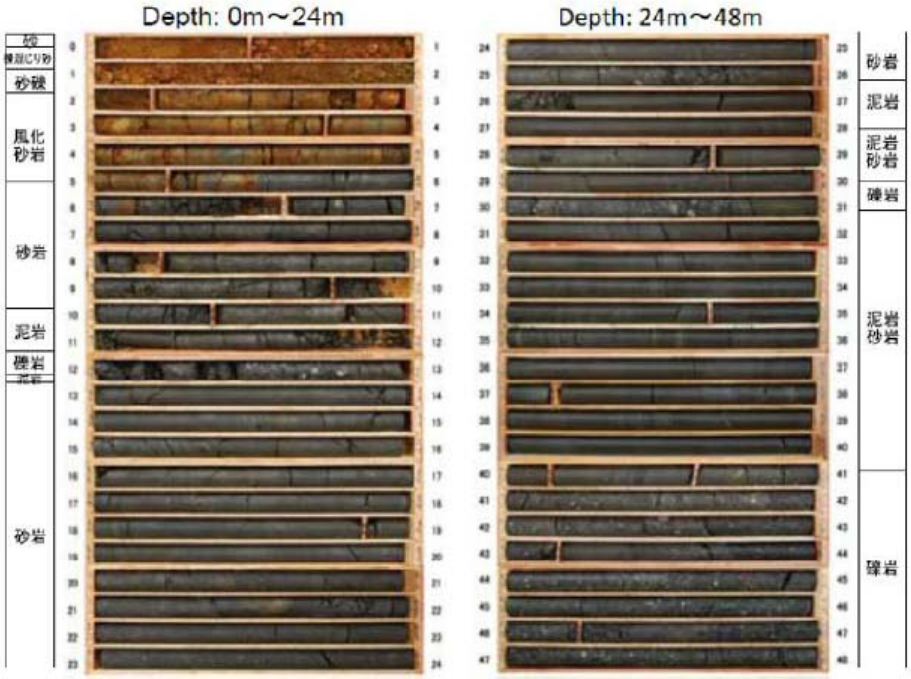
鉛直方向

KiK-net各観測記録（地中×2）の応答スペクトルと加藤ほか（2004）の応答スペクトルの比較

佐藤ほか(2013)の知見(1／7)

●ボーリング調査による地質構造

・HKD020(港町)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，深さ300m(G.L.-300m)までのボーリング掘削をオールコア採取で実施している。
・G.L.-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G.L.-30m付近，さらに，G.L.-41m以深に礫岩層が存在する構成となっている。

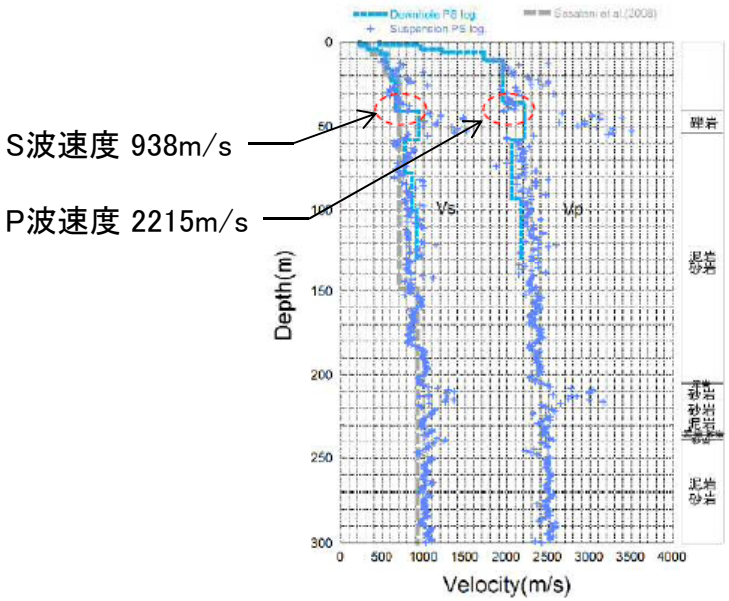


HKD020(港町)におけるボーリングコア写真
(左:深さ0m～24m，右:深さ24m～48m)

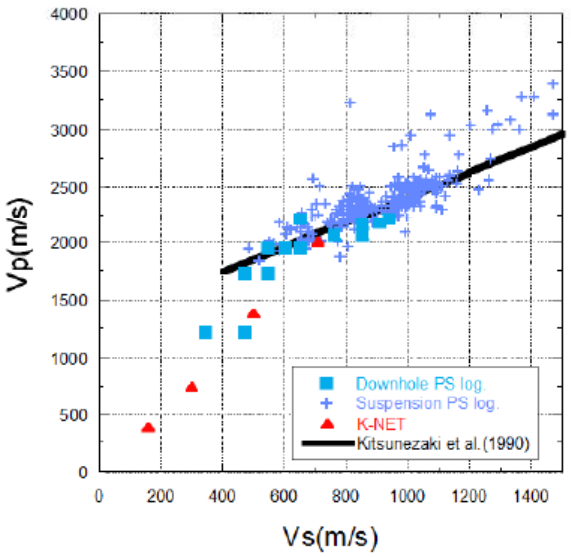
佐藤ほか(2013)の知見(2／7)

●PS検層による速度構造

・ボーリング孔を用いて，G.L.-150mまではダウンホール法とサスペンション法，G.L.-300mまではサスペンション法によるPS検層を実施している。
・G.L.-50m付近までは，笹谷ほか(2008)による微動アレイ探査に基づくS波速度構造とPS検層によるS波速度構造は十分に対応していない。しかしながら，G.L.-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，基盤層をS波速度が938m/sとなるG.L.-41mに設定している。また，その深さのP波速度は2215m/sであり，狐崎ほか(1990)による既往の経験式においてS波速度が700m/s以上ではP波速度が2000m/sとなる観点から見ても基盤層の深さは妥当としている。



HKD020(港町)におけるPS検層結果と既往の研究によるS波速度構造モデル

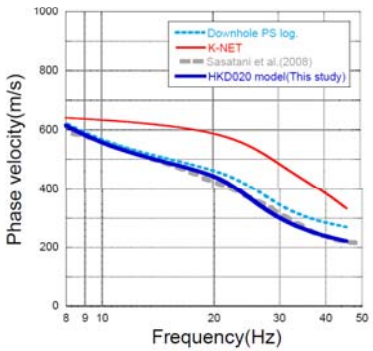


HKD020(港町)におけるPS検層結果によるVp-Vs関係と既往の経験式の比較

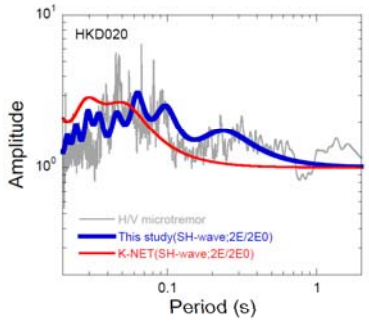
佐藤ほか(2013)の知見(3／7)

●地震動評価のための地盤モデルに関する検討

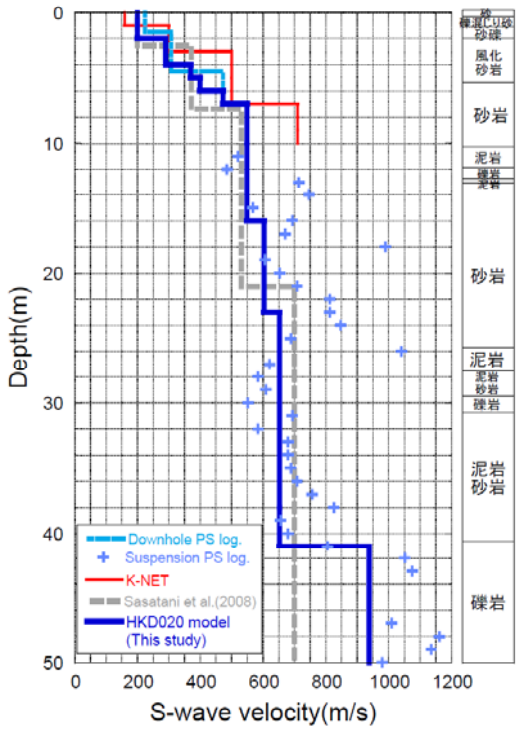
- ダウンホール法によるPS検層結果のVsが500m/s以下の深さ6mまでのS波速度を，笹谷ほか(2008)による位相速度を説明できるように若干修正し，HKD020観測点の地盤モデルを作成している。
- HKD020(港町)観測点の地盤モデルによるSH波の理論増幅特性の卓越周期は，微動H/Vスペクトルの卓越周期と周期0.02秒程度のごく短周期までよく対応している。
- K-NET地盤情報によるSH波の理論増幅特性は，微動H/Vスペクトルの卓越を説明できない。
- 以上から，HKD020(港町)観測点の地盤モデルは，より妥当なモデルであると結論付けている。



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

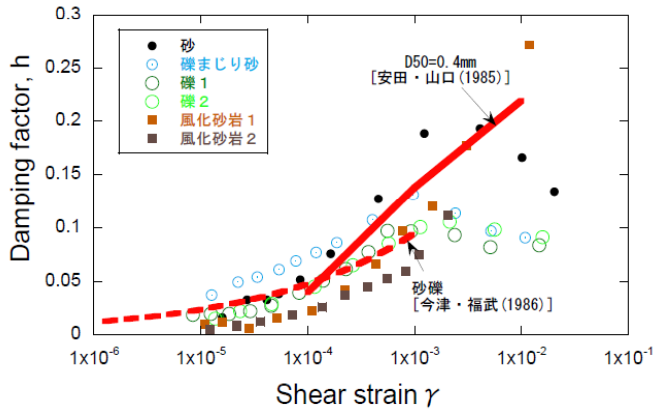
HKD020における地震動評価モデル

上面深度(m)	P波速度 Vp(m/s)	S波速度 Vs(m/s)	密度ρ (10^3kg/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					
2		290	2.00	1.0	0.01	礫2
3		290	2.00	1.0	0.01	風化砂岩1
4		370	2.00	1.0	0.01	風化砂岩2
5		400	2.00	1.0	0.01	風化砂岩2
6	1722	473	2.00	1.0	0.01	—
7		549	2.00	9.0	0.01	—
16		604	2.06	7.0	0.01	—
23		653	2.06	18.0	0.01	—
38	2215					—
41		938	2.13	—	0.01	—

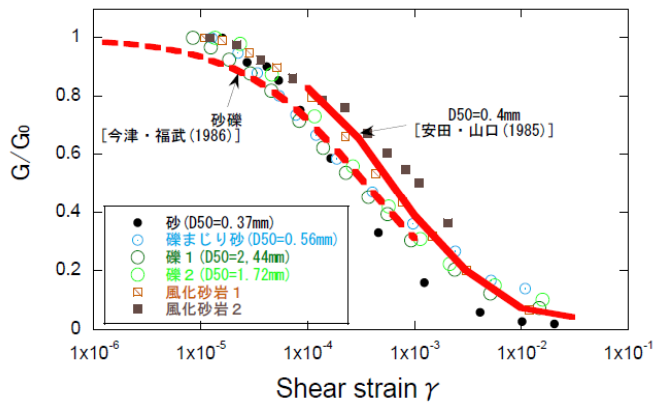
佐藤ほか(2013)の知見(4／7)

●表層地盤における強震時の非線形特性に関する検討

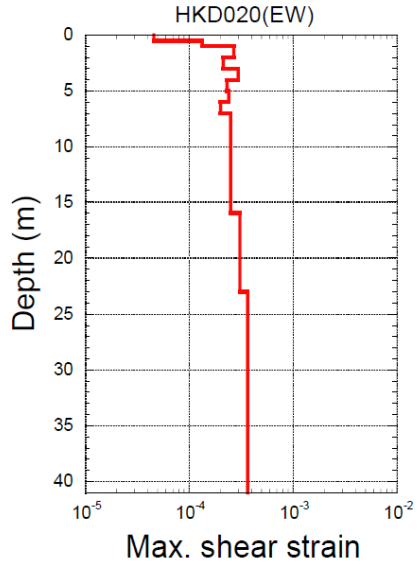
- G.L.-6mまでの土質地盤の6点において，GPサンプリングにより試料採取し，0.2Hzの正弦波による繰り返し三軸試験によって地盤の剛性G及び減衰hのひずみγ依存性を取得している。
- ひずみレベルが10^{-4}オーダーでG/G_0が0.6程度，すなわち初期の剛性に比べて約6割程度の剛性に低下している。
- 既往の経験的なG/G_0のひずみ依存性に関する既往の経験式との対応が良い。
- 室内試験を実施した砂，礫混じり砂，礫，風化砂岩に対応するG.L.-6m程度までの地盤は，強震時に非線形性を生じやすい特性であるとしている。



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

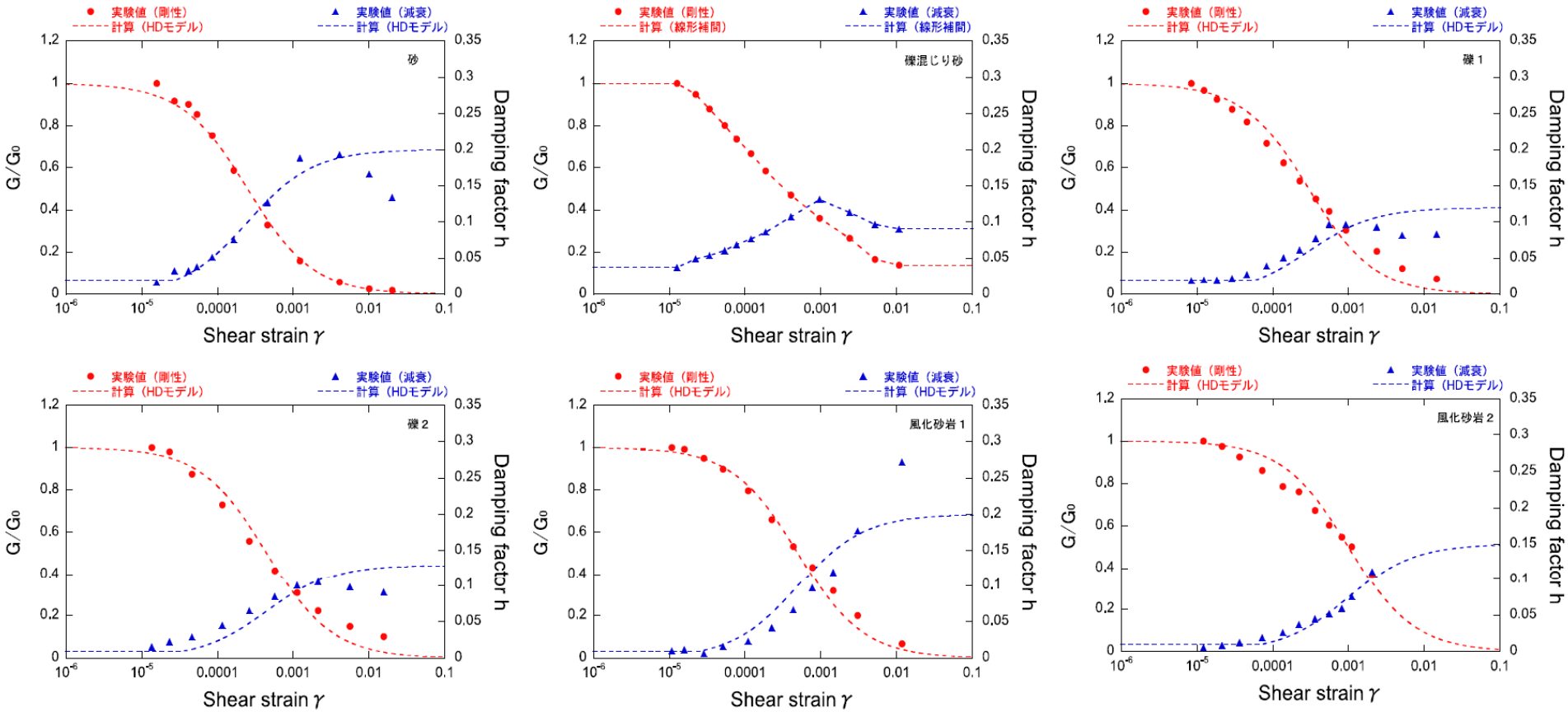


2004年北海道留萌支庁南部地震時の地盤の最大せん断ひずみの深さ分布の試算結果(線形解析)

佐藤ほか(2013)の知見(5／7)

●表層地盤における強震時の非線形特性に関する検討

・G.L.-6mまでの層については，室内試験結果を用いてHardin-Drnevichモデル(HDモデル)により非線形特性(G/G_0～γ，h～γ)を設定している。

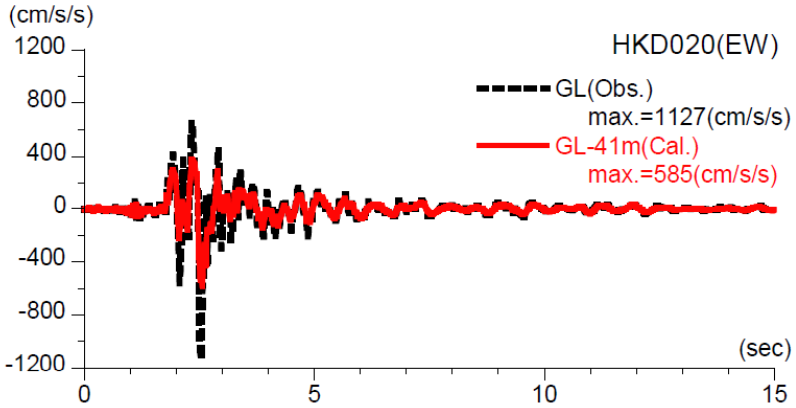


等価線形解析において設定した地盤の非線形特性

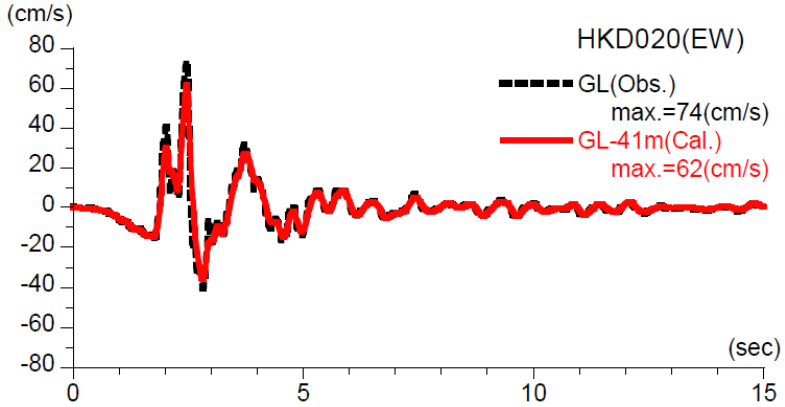
佐藤ほか(2013)の知見(6／7)

●基盤地震動評価結果(EW成分)

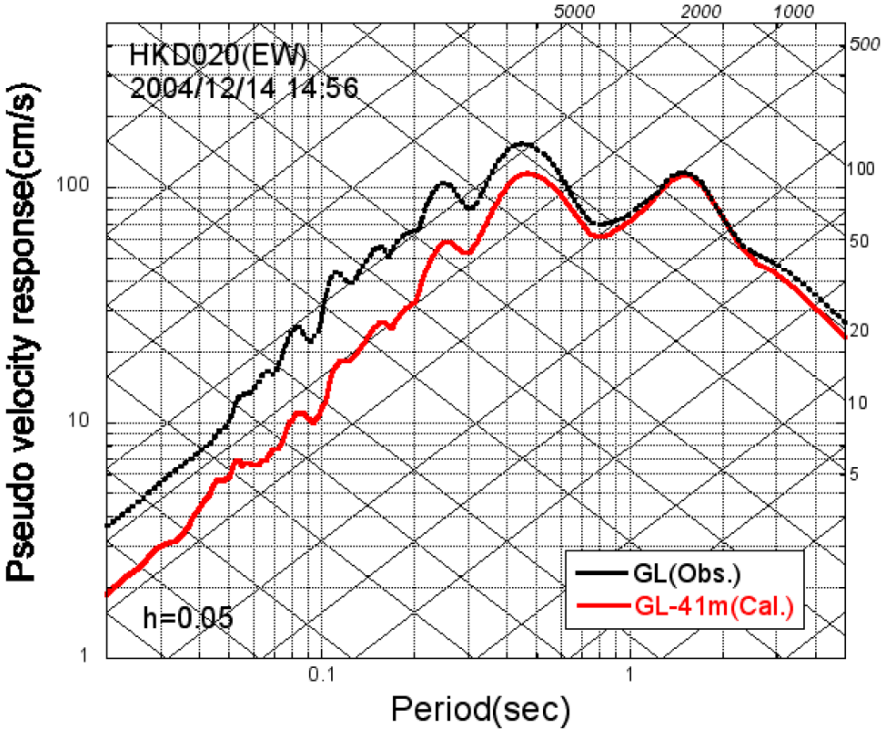
・等価線形解析により，地表観測記録(EW成分)からG.L.-41mの基盤地震動を評価している。
・はぎとり結果の最大加速度は585cm/s²で，地表観測記録の約1/2となっている。



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

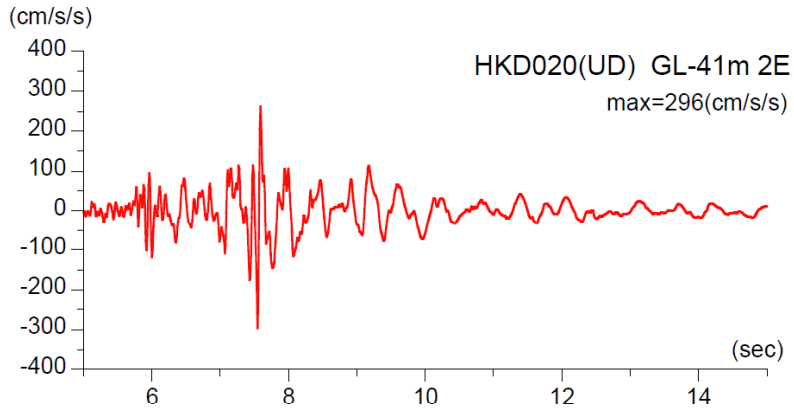


擬似速度応答スペクトルの比較

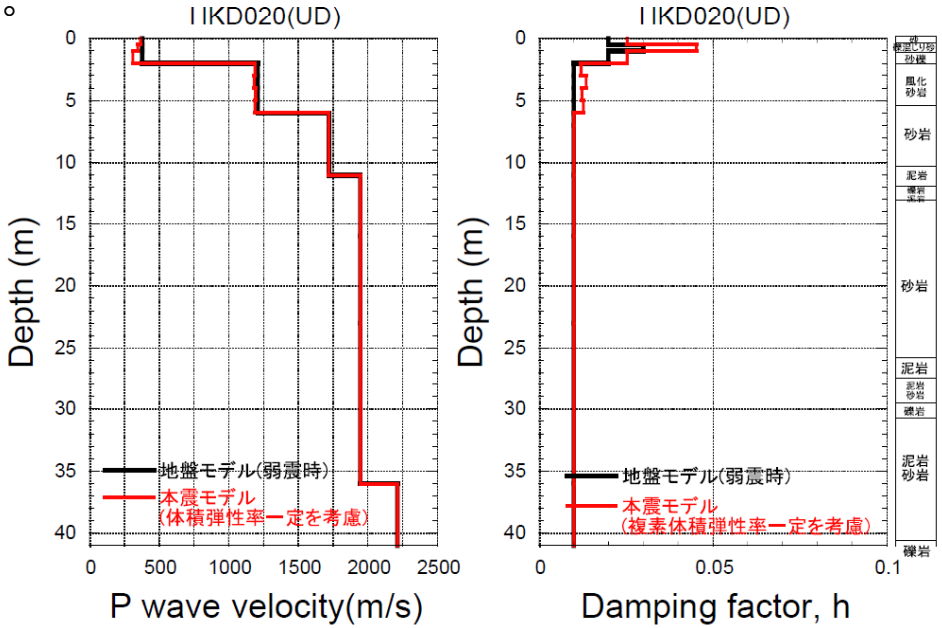
佐藤ほか(2013)の知見(7／7)

●基盤地震動評価結果(UD成分)

・体積弾性率を一定と仮定した1次元波動論による線形解析により，地表観測記録(UD成分)からG.L.-41mの基盤地震動を評価している。
・はぎとり結果の最大加速度は296cm/s^{2}となっている。



鉛直成分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

●佐藤ほか(2013)による基盤地震動評価は，用いた地盤モデルが既往の知見と整合的であるとともに，強震時の非線形性を踏まえた評価であり，観測事実と整合的であることから，2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動として震源を特定せず策定する地震動に反映する。

基盤地震動の追加検討方針(1／2)

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

●上記の基盤地震動の評価結果について妥当性を確認するため，以下の追加検討を実施する。

①佐藤ほか(2013)の報告時点以降に，G.L.-6mからG.L.-41mまでの室内試験結果を用い，G.L.-41mまでの非線形性を考慮して基盤地震動(水平方向)を評価する。

②不確かさを考慮した基盤地震動の評価として，G.L.-6mまで非線形，G.L.-6m以深は減衰定数3%として基盤地震動(水平方向)を評価する。

③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)を評価する(解析方法は佐藤ほか(2013)と同様)。

④HKD020(港町)における地下水位の状況を踏まえ，G.L.-6mまではポアソン比一定，G.L.-6m以深は体積弾性率一定として基盤地震動(鉛直方向)を評価する。

⑤東海第二原子力発電所における地盤物性の影響を考慮した基準地震動(水平方向・鉛直方向)を評価する。

基盤地震動の追加検討方針(2／2)

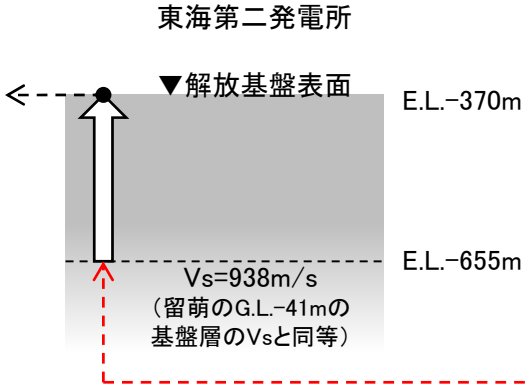
● 2004年北海道留萌支庁南部地震のK-NET　HKD020(港町)観測点の観測記録について，佐藤ほか(2013)による基盤地震動を震源を特定せず策定する地震動に反映するにあたり，基盤地震動評価結果における地盤物性等の妥当性を確認するため，以下の検討を実施する。

	佐藤ほか(2013)	
	水平成分	鉛直成分
G.L. 0m ～ G.L.-6m	室内試験結果を考慮した等価線形解析	体積弾性率一定と仮定した線形解析
G.L.-6m ～ G.L.-41m	減衰定数を一律1%とした線形解析	
最大加速度	585 cm/s^2	—
	—	296 cm/s^2

検討①	検討②	検討③	検討④
水平成分	水平成分	鉛直成分	鉛直成分
室内試験結果を考慮した等価線形解析	室内試験結果を考慮した等価線形解析	表層部のPS検層を再実施し，地盤モデルに反映	地下水位の状況を踏まえポアソン比一定とした線形解析
	減衰定数を一律3%とした線形解析	体積弾性率一定と仮定した線形解析	体積弾性率一定と仮定した線形解析
561 cm/s^2	609 cm/s^2	—	—
—	—	306 cm/s^2	262 cm/s^2

検討⑤

東海第二発電所における地盤特性の影響を考慮した基盤地震動を評価

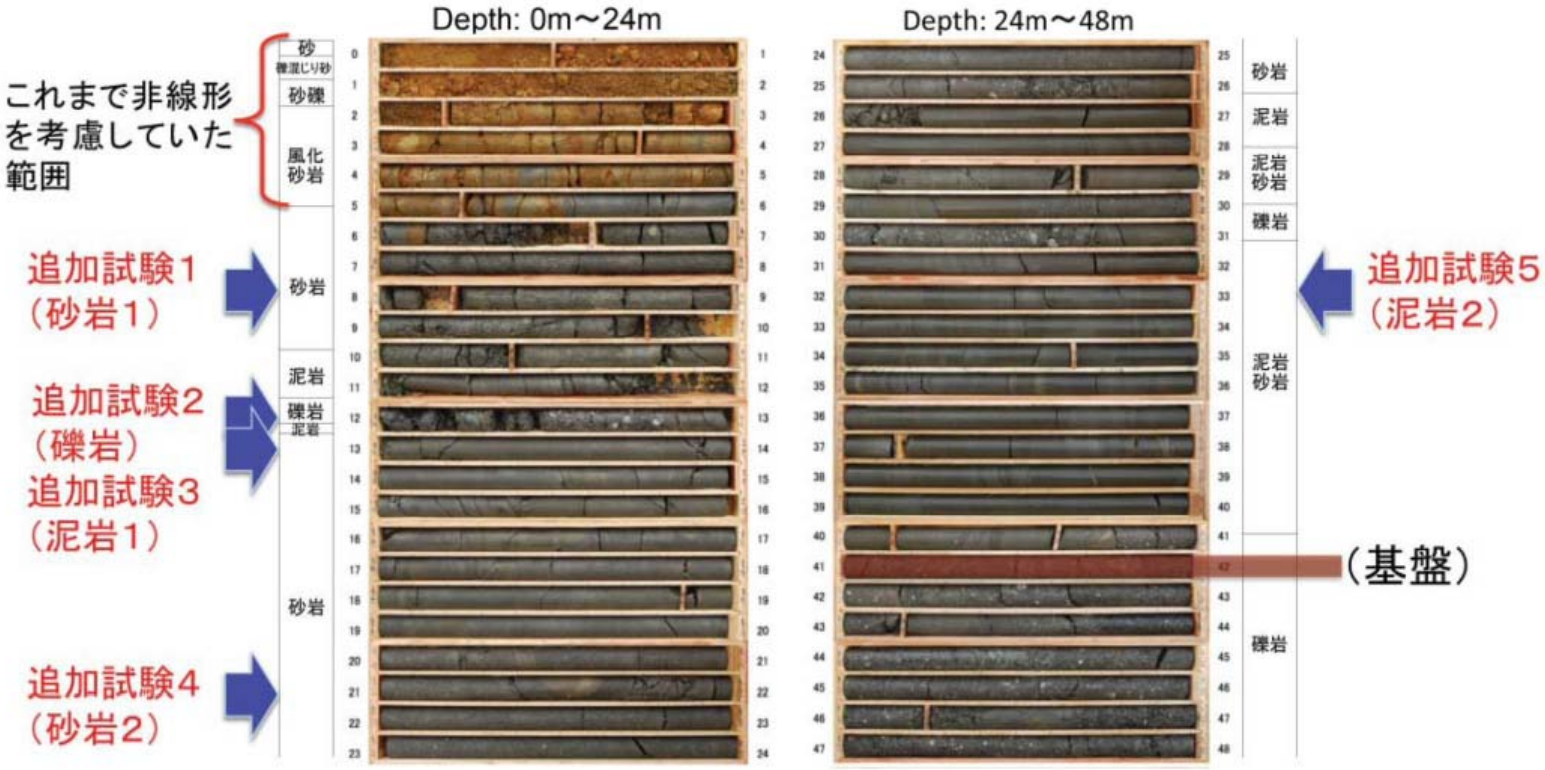


※ 地盤物性の影響を評価するにあたり，はぎとり解析の不確かさ等を考慮して，最も大きい最大加速度値の検討結果を考慮することにより，保守的な設定とする。

検討①：G.L.-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価（1／8）

●追加試験の実施

・G.L.-6mからG.L.-41mまでの5種類の地層における試料を対象に，室内試験を追加実施した。

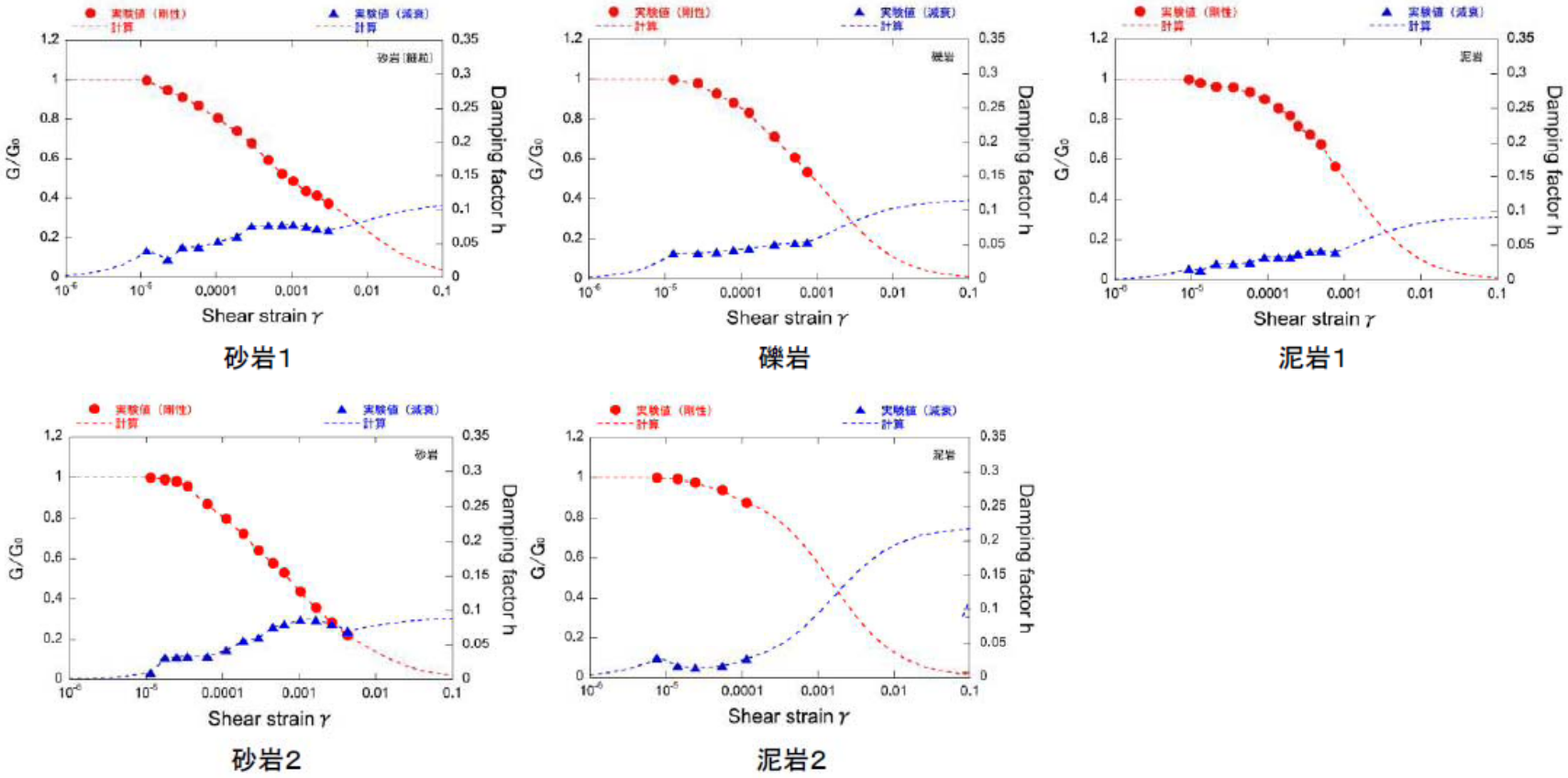


追加の室内試験の実施位置

検討①：G.L.-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価（2／8）

●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。



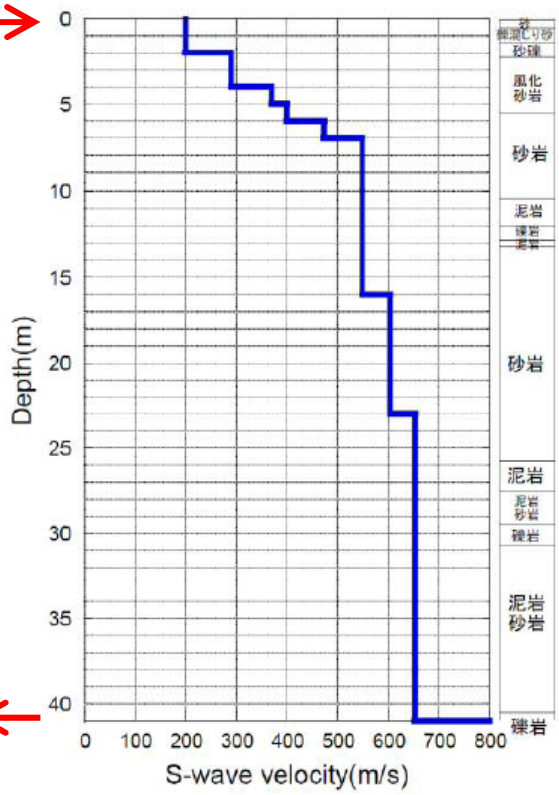
追加の室内試験による地盤の非線形特性

検討①：G.L.-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価（3／8）

●等価線形解析条件

・地表観測記録を入力として，G.L.-41mまで非線形性を考慮した等価線形解析から，G.L.-41m(Vs=938m/s)における基盤地震動を評価した。
・有効ひずみ $\gamma_{eff} = 0.65\gamma_{max}$
・収束判定（前のモデルとの差異）は1%以内
・最大繰り返し計算回数は30回

入力 →



出力 ←

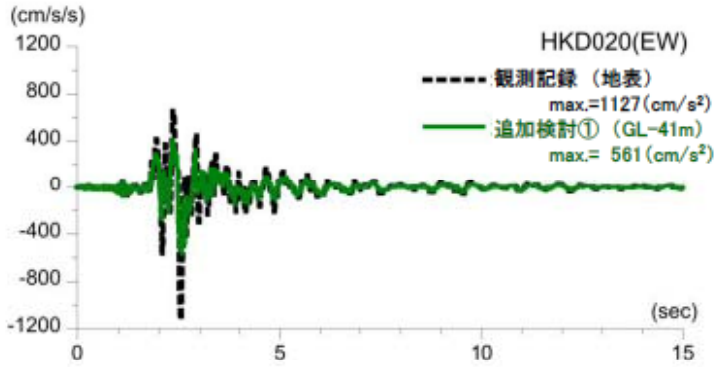
S波速度 Vs(m/s)	密度ρ (1000kg/m³)	層厚 H(m)	減衰定数h (初期値)	非線形特性
200	1.9	0.5	0.02	砂
200	2.0	0.5	0.03	礫混じり砂
200	2.0	1	0.02	礫1
290	2.0	1	0.01	礫2
290	2.0	1	0.01	風化砂岩1
370	2.0	1	0.01	風化砂岩2
400	2.0	1	0.02	砂岩1
473	2.0	1	0.02	砂岩1
549	2.0	3	0.02	砂岩1
549	2.0	2	0.01	泥岩1
549	2.0	1	0.03	礫岩
549	2.0	0.5	0.01	泥岩1
549	2.0	2.5	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	—

等価線形解析に用いる地盤モデル

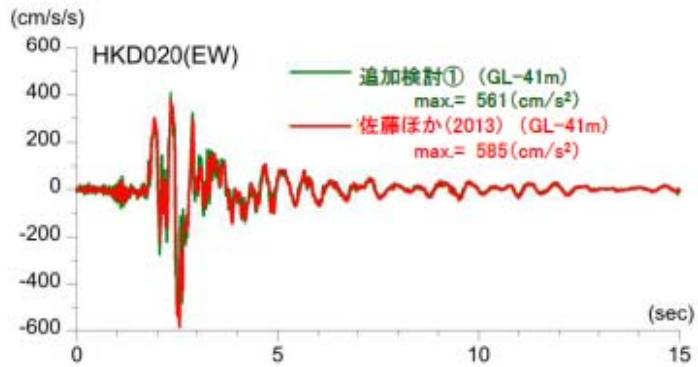
検討①:G.L.-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価(4／8)

●等価線形解析による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)

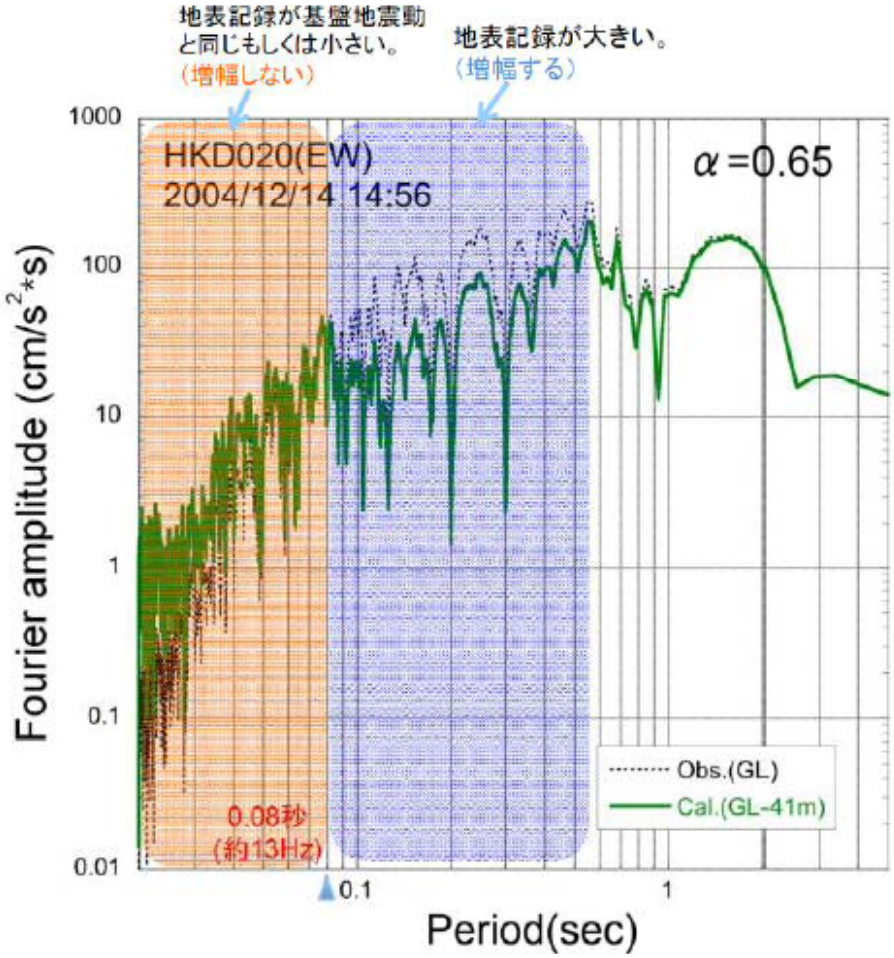
・G.L.-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動の最大加速度は，561cm/s²となっており，佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s²)と比較すると，やや小さく評価された。



地表観測記録と基盤地震動の比較



非線形性を考慮した検討と佐藤ほか(2013)の比較

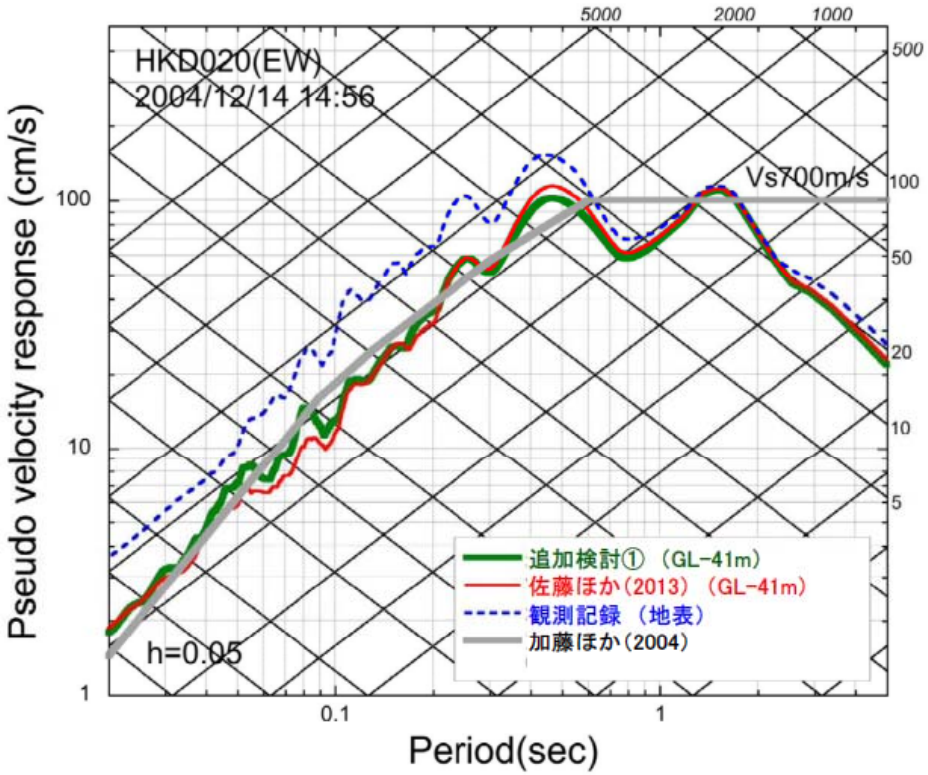


基盤地震動と地表観測記録の加速度フーリエスペクトルの比較

検討①：G.L.-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価（5／8）

●等価線形解析による基盤地震動評価結果（応答スペクトル）

・G.L.-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はほぼ同程度となっている。

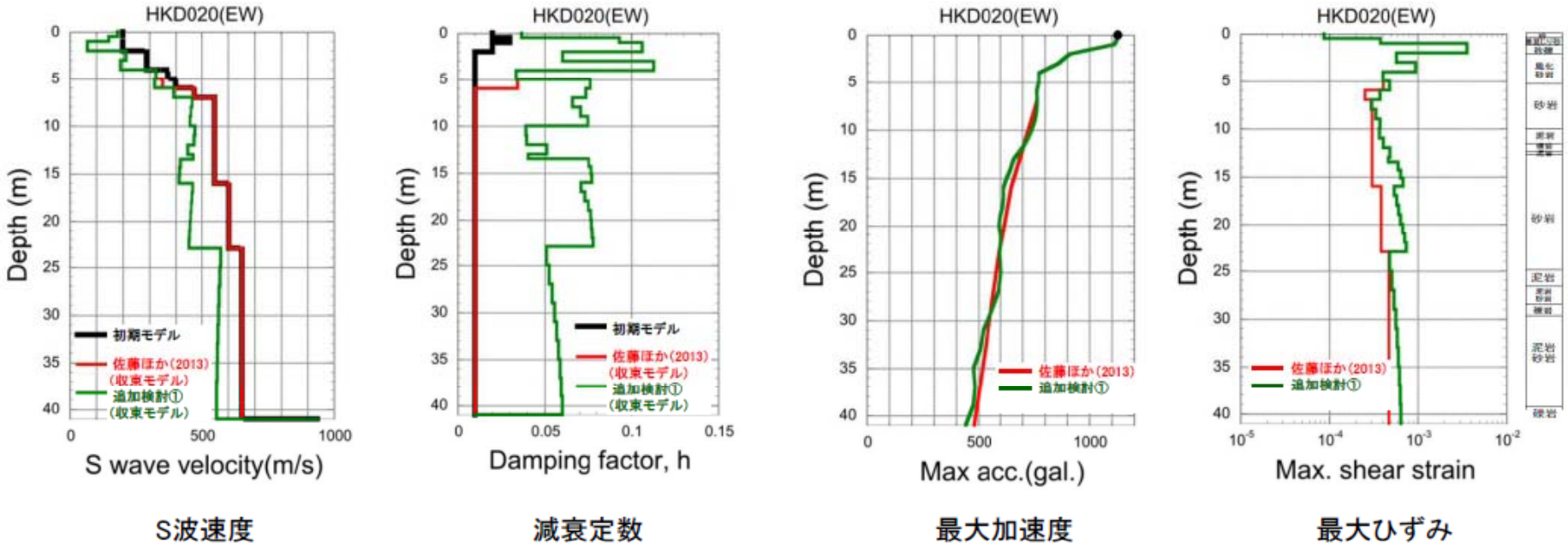


擬似速度応答スペクトルの比較

検討①：G.L.-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価（6／8）

●等価線形解析による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，G.L.-6m以深における減衰定数の収束物性値は，概ね5%程度となっている。



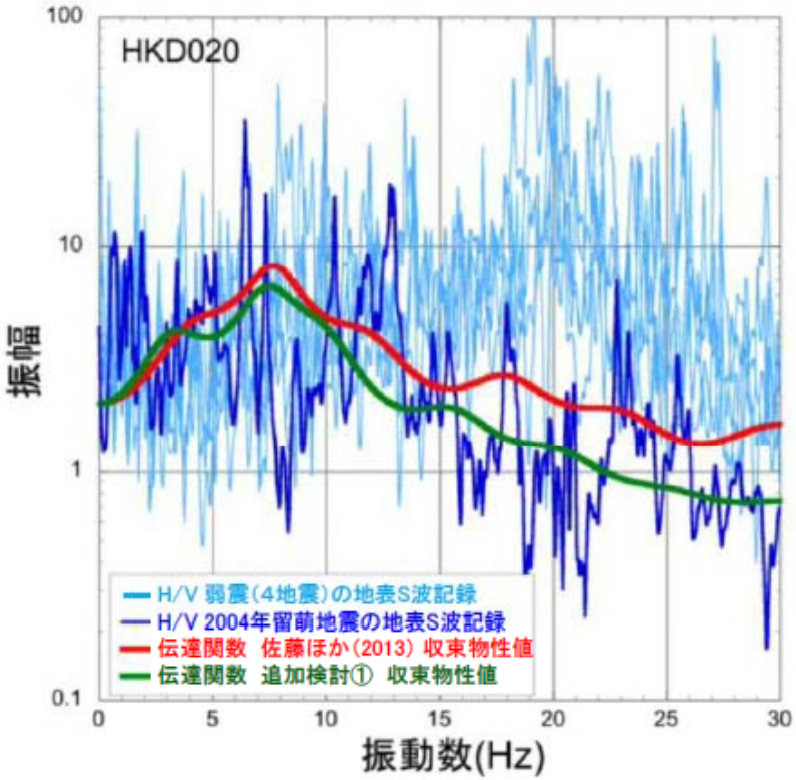
S波速度　　減衰定数　　最大加速度　　最大ひずみ

収束物性値，最大加速度及び最大ひずみの深さ分布

検討①：G.L.-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価（7／8）

●等価線形解析による基盤地震動評価結果（伝達関数）

・G.L.-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。



収束物性値による伝達関数とH/Vスペクトルの比較

検討①：G.L.-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価（８／８）

●検討①のまとめ

・2004年北海道留萌支庁南部地震におけるHKD020（港町）観測点の観測記録について，追加の室内試験結果を用いて，G.L.-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。

検討②:減衰定数の不確かさを考慮した基盤地震動評価(1／4)

●等価線形解析条件

・佐藤ほか(2013)の地盤モデルに基づき，G.L.-6mまで非線形，G.L.-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)の評価結果と比較する。

等価線形解析に用いる地盤モデル

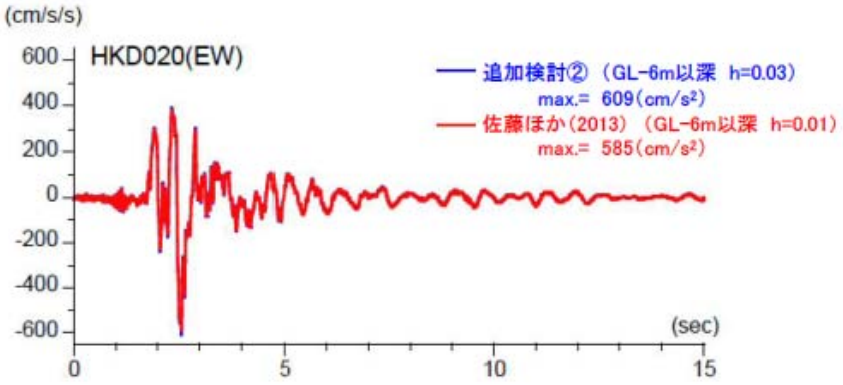
S波速度 Vs(m/s)	密度ρ (1000kg/m³)	層厚 H(m)	減衰定数h (初期値)	非線形特性
200	1.9	0.5	0.02	砂
200	2.0	0.5	0.03	礫混じり砂
200	2.0	1	0.02	礫1
290	2.0	1	0.01	礫2
290	2.0	1	0.01	風化砂岩1
370	2.0	1	0.01	風化砂岩2
400	2.0	1	0.01	風化砂岩2
473	2.0	1	0.03	—
549	2.0	3	0.03	—
549	2.0	2	0.03	—
549	2.0	1	0.03	—
549	2.0	0.5	0.03	—
549	2.0	2.5	0.03	—
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

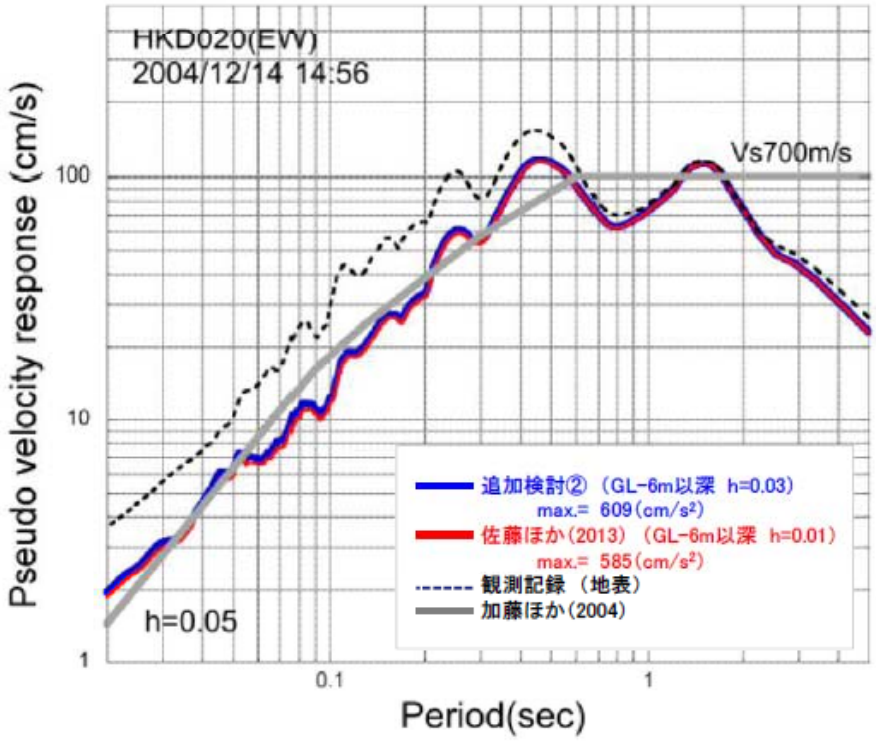
検討②:減衰定数の不確かさを考慮した基盤地震動評価(2／4)

●等価線形解析による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，G.L.-6m以深を減衰定数3%とした基盤地震動の最大加速度は609cm/s²となり，佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s²)と比較すると，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

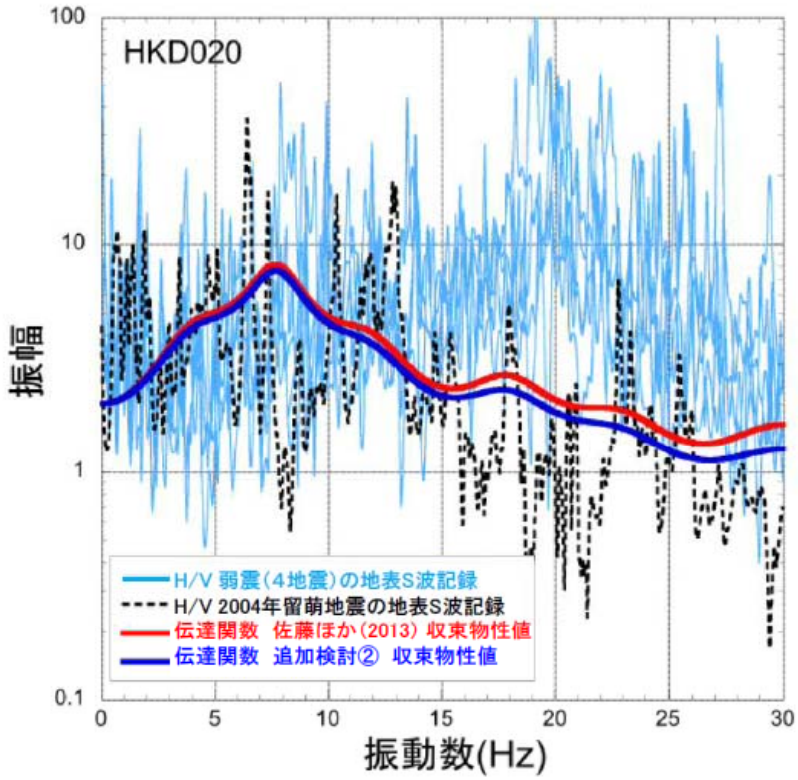


擬似速度応答スペクトルの比較

検討②：減衰定数の不確かさを考慮した基盤地震動評価（3／4）

●等価線形解析による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ものと考えられる。



収束物性値による伝達関数とH/Vスペクトルの比較

検討②：減衰定数の不確かさを考慮した基盤地震動評価（4／4）

●検討②のまとめ

・2004年北海道留萌支庁南部地震におけるHKD020（港町）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，G.L.-6mまで非線形，G.L.-6m以深を減衰定数3%として基盤地震動を評価した。

・基盤地震動の最大加速度は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，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。

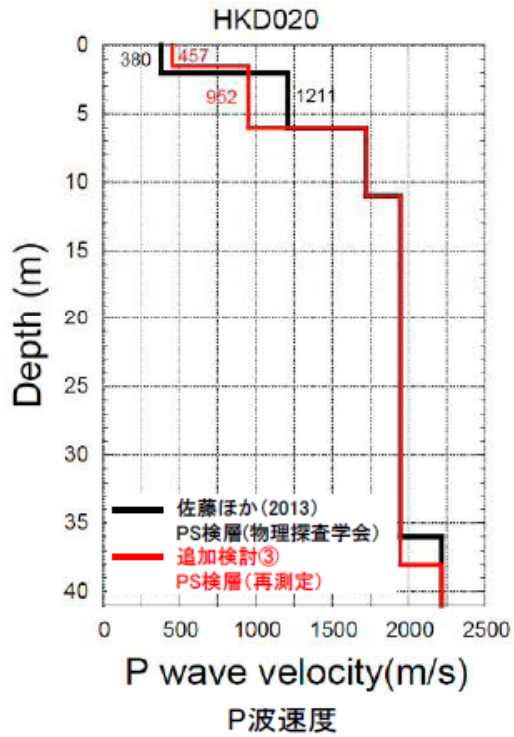
・収束物性値による伝達関数は，佐藤ほか（2013）の物性値による伝達関数と同様に，本震時のH/Vスペクトルの特徴をよく再現しているものと考えられる。

検討③:鉛直成分の基盤地震動の再評価(1／3)

●地盤モデルの変更

・佐藤ほか(2013)における鉛直成分の基盤地震動の評価結果は，2013年10月の物理探査学会時点でのモデルに基づいていたが，笹谷ほか(2008)の位相速度を説明できないことから，佐藤ほか(2013)の報告時点以降に，表層部分のPS検層を再測定している。
・再設定結果によるG.L.-6mまでのP波速度は，佐藤ほか(2013)の地盤モデルと異なるため，再測定結果を反映した地盤モデルにより，鉛直成分の基盤地震動を再評価した。

※再測定結果によるS波速度は，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。

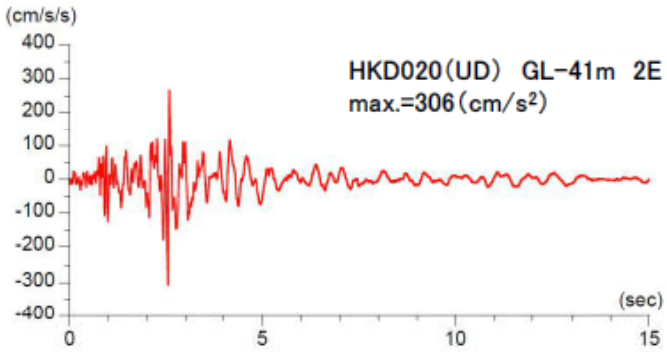


P波速度

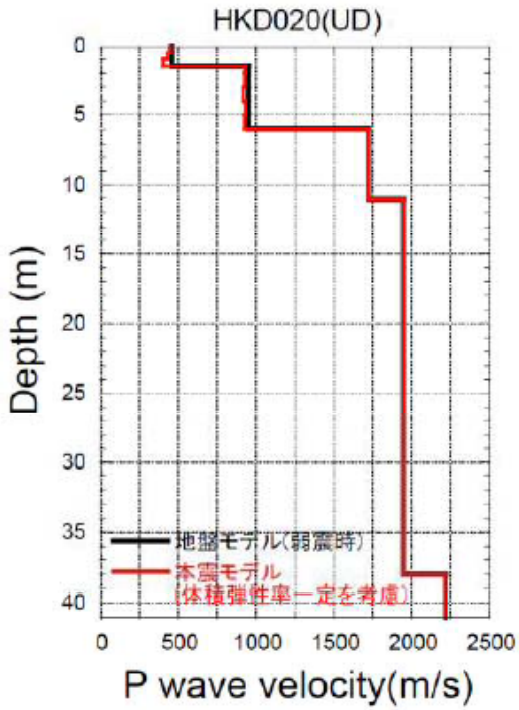
検討③：鉛直成分の基盤地震動の再評価（2／3）

●基盤地震動評価結果

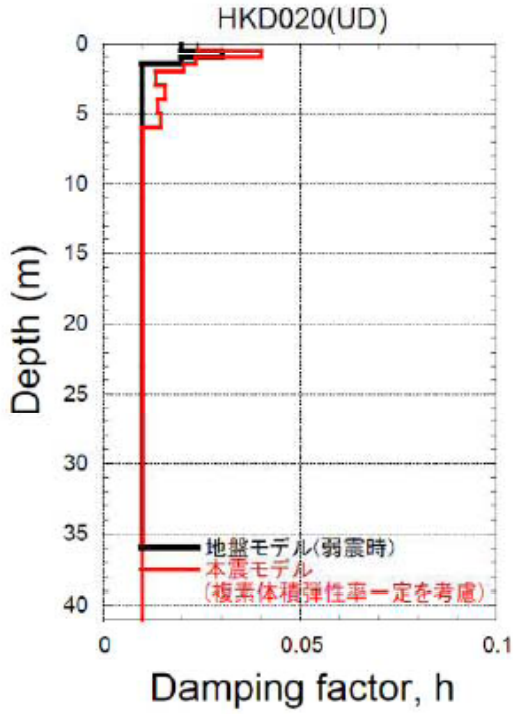
・PS検層の再測定結果を反映した地盤モデルを用い，体積弾性率一定としてG.L.-41mの鉛直成分の基盤地震動を評価した結果，その最大加速度は306cm/s^{2}となり，佐藤ほか（2013）による基盤地震動（296cm/s^2）と比較すると，やや大きく評価された。



加速度時刻歴波形



P波速度



減衰定数

検討③：鉛直成分の基盤地震動の再評価（3／3）

●検討③のまとめ

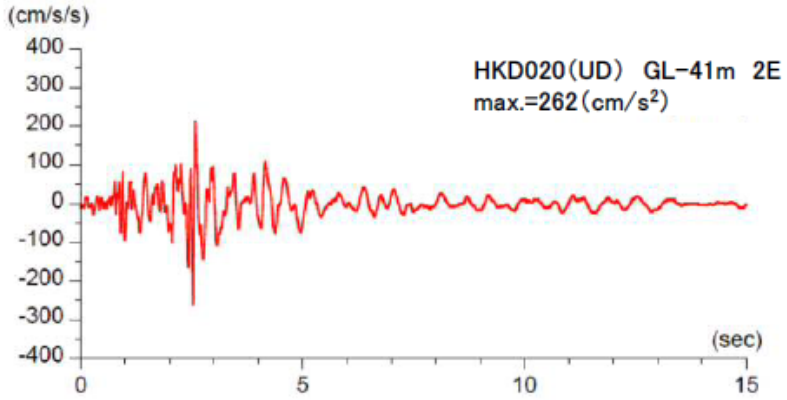
・佐藤ほか（2013）のHKD020（港町）観測点のP波速度モデルは，笹谷ほか（2008）の位相速度を説明できないことから，表層部分のPS検層を再測定し，再測定結果を反映した地盤モデルを設定した。

・上記地盤モデルを用い，体積弾性率一定としてG.L.-41mの鉛直成分の基盤地震動を評価した結果，最大加速度は306cm/s^{2}となり，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。

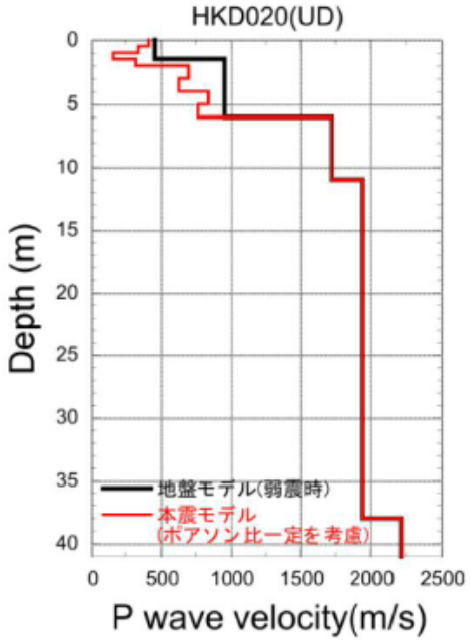
検討④:G.L.-6mまでポアソン比一定とした鉛直成分の基盤地震動の評価

●G.L.-6mまでポアソン比一定とした鉛直成分の基盤地震動の評価

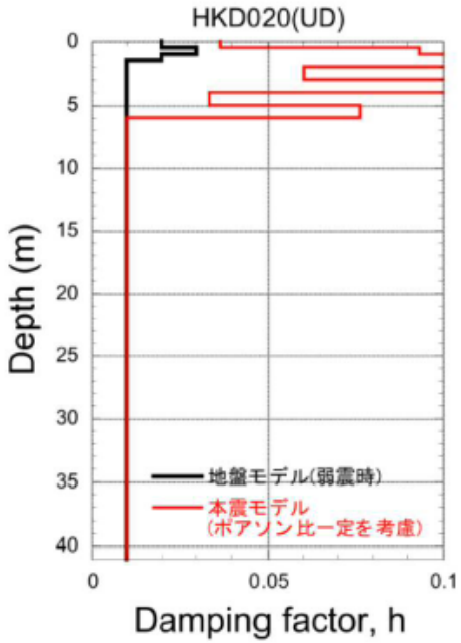
- 佐藤ほか(2013)及び追加検討③における鉛直成分の基盤地震動は，体積弾性率一定として評価しているが，地下水位の状況を踏まえ，G.L.-6mまでポアソン比一定，G.L.-6m以深を体積弾性率一定とした場合の鉛直成分の基盤地震動を評価した。
- 体積弾性率一定とした場合と比較して，ポアソン比一定とした場合，S波速度の低下に伴ってP波速度も低下するため，最大加速度は小さくなっている。
- その結果，最大加速度は262cm/s^{2}となり，体積弾性率一定と仮定した結果(306cm/s^2)は保守的な結果となっている。



加速度時刻歴波形



P波速度



減衰定数

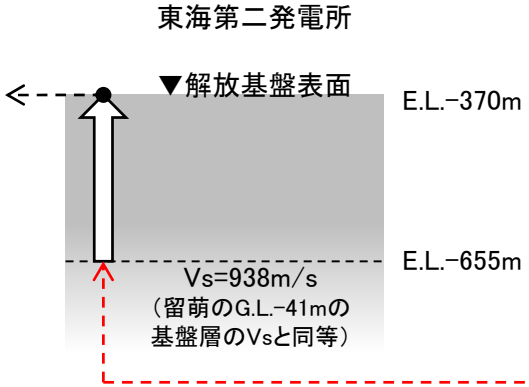
検討⑤：東海第二発電所の地盤物性を用いた検討（1／3）

● 2004年北海道留萌支庁南部地震のK-NET　HKD020（港町）観測点における基盤地震動はS波速度938m/sの基盤層において評価されているため，東海第二発電所の地盤モデルにより地盤特性の影響を考慮した解放基盤表面における地震動を評価する。

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

検討⑤

東海第二発電所における地盤特性の影響を考慮した基盤地震動を評価



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

検討⑤:東海第二発電所の地盤物性を用いた検討(2／3)

●基盤地震動に地盤特性を考慮する地盤モデル

・2004年北海道留萌支庁南部地震のK-NET　HKD020(港町)観測点における基盤地震動に東海第二発電所の地盤特性を考慮するため，K-NET　HKD020(港町)観測点の基盤層(S波速度938m/s)に相当する東海第二発電所のE.L.-655mに基盤地震動を入力し，E.L.-370mの解放基盤表面の地震動を評価する。

東海第二発電所の地盤モデル

E.L. (m)	層厚 (m)	地層	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直
8.0							
	2.5	第四系	130	280	1.71	$0.236f^{-0.752}$	$0.203f^{-0.21}$
5.5							
	4.5		151	403			
1.0							
	8.0		308	1589	1.66		
-7.0							
	8.0		478	1509	1.82		
-15.0							
	91.0	新第三系	477	1753	1.69	$0.072f^{-0.931}$	$0.203f^{-0.93}$
-106.0							
	62.0		557	1742	1.74		
-168.0							
	92.0		669	2067	1.78		
-260.0							
	108.0		756	2256	1.82		
-368.0							
	2.0						
-370.0			790	2000	1.85		
	106.0						
-476.0							
	90.0		835	2124	1.89		
-566.0							
	89.0		904	2205	2.00		
-655.0							
	24.0		947	2256	2.07		
-679.0							
	55.0	先新第三系	2750	4740	2.65	0.022	$0.001f^{-1.000}$
-734.0							
	258.0		3220	5550	2.78		
-992.0							
	–		3220	5550	2.78		

解放基盤表面 ▼

・東海第二発電所における基盤地震動入力位置は，S波速度の標高依存式に基づき設定する。

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

ここで，Vs:S波速度(km/s)，Z:標高(m)

・評価する基盤地震動は，はぎとり解析の不確かさ等を考慮して，最も大きい最大加速度値の検討結果(水平成分:検討②　609cm/s^2，鉛直成分:検討③　306cm/s^2)を考慮することにより，保守的な設定とする。

基盤地震動に地盤特性を考慮する地盤モデル

E.L. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直
-370.0						
	106.0	790	2000	1.85	$0.072f^{-0.931}$	$0.203f^{-0.93}$
-476.0						
	90.0	835	2124	1.89		
-566.0						
	89.0	904	2205	2.00		
-655.0						
	–	938	2245	2.05		

▽出力位置

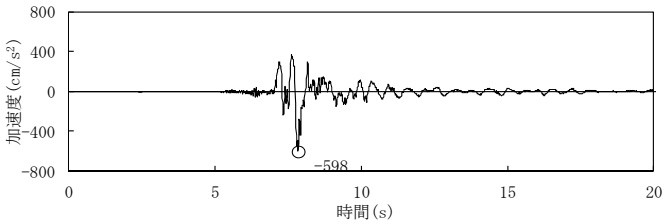
▽入力位置

※　東海第二発電所の地盤モデルの設定については，補足説明資料「5.2　地盤モデルの設定」に示す。

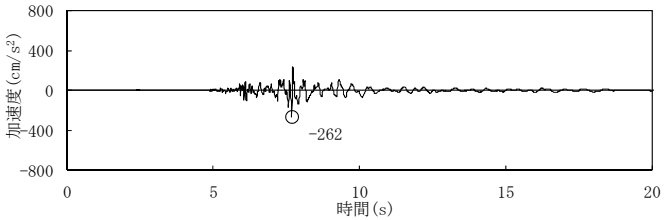
検討⑤:東海第二発電所の地盤物性を用いた検討(3／3)

●地盤特性を考慮した基盤地震動

・東海第二発電所の解放基盤表面における基盤地震動は，水平成分:598cm/s^2，鉛直成分262cm/s^{2}と評価された。

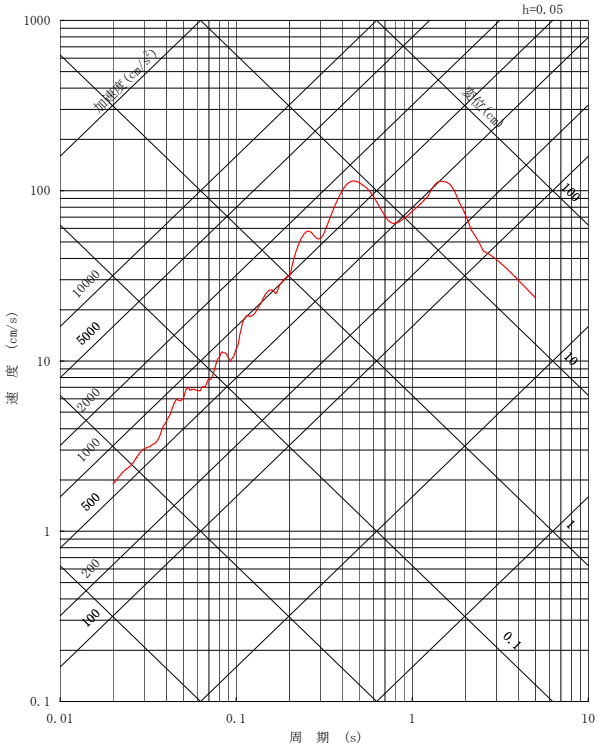


水平成分

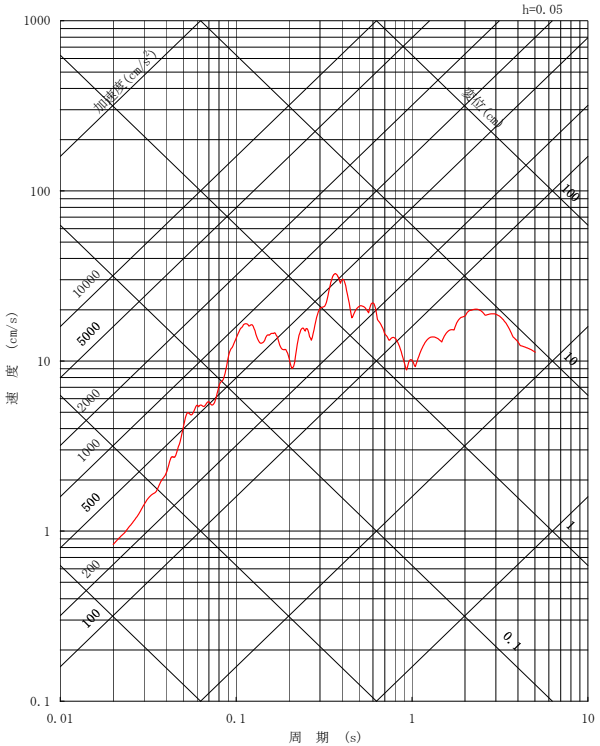


鉛直成分

加速度時刻歴波形



水平成分



鉛直成分

擬似速度応答スペクトル

検討①～⑤のまとめ

●佐藤ほか（2013）による2004年北海道留萌支庁南部地震におけるHKD020（港町）観測点の基盤地震動評価について，以下の検討を実施した。

① G.L.-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価（水平成分）

② G.L.-6mからG.L.-41mまで減衰定数を3%とした基盤地震動評価（水平成分）

③ 再測定されたPS検層結果を踏まえた基盤地震動評価（鉛直成分）

④ 地下水位の状況を踏まえG.L.-6mまでポアソン比一定とした基盤地震動評価（鉛直成分）

⑤ 東海第二発電所における地盤物性の影響評価（水平成分，鉛直成分）

●上記の①～④の検討結果によると，HKD020（港町）観測点の基盤地震動は，水平成分については検討②（609cm/s^2），鉛直成分については検討③（306cm/s^2）が最も大きくなっている。

●以上の最大加速度が最も大きくなる検討②及び検討③を用いて，東海第二発電所の解放基盤表面における基盤地震動を評価（検討⑤）した結果，水平成分については598cm/s^2，鉛直成分については262cm/s^{2}と評価された。

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
3.1 観測記録の収集・整理 ・・・・・・ 60
3.2 2004年北海道留萌支庁南部地震(Mw5.7) ・・・・・・ 65
3.3 2011年茨城県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 100
3.4 2013年栃木県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 108
3.5 2011年和歌山県北部地震(Mw5.0) ・・・・・・ 117
3.6 2011年長野県北部地震(Mw6.2) ・・・・・・ 125
3.7 Mw6.5未満の地震のまとめ ・・・・・・ 133
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

地震の概要

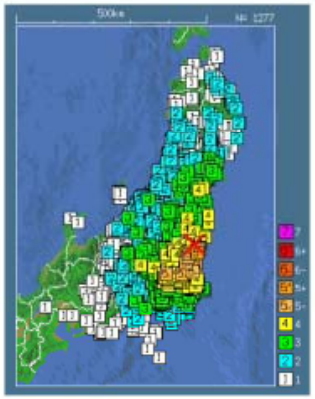
●概要(発生日時，地震規模等)

●地震発生日時（気象庁他）
- 発生日時：平成23年3月19日 18時56分頃
- 地震規模：Mj6.1（Mw5.8）
- 震源深さ：約5km
- 震源位置：北緯36.783°，東経140.57°

●各地の震度及び被害状況
各地の震度（気象庁）は以下のとおり。
- 震度5強：茨城県　日立市
  震度5弱：茨城県　常陸太田市，高萩市，笠間市，ひたちなか市，常陸大宮市，那珂市，城里町，土浦市，五霞町
- 地震による津波の発生はなし

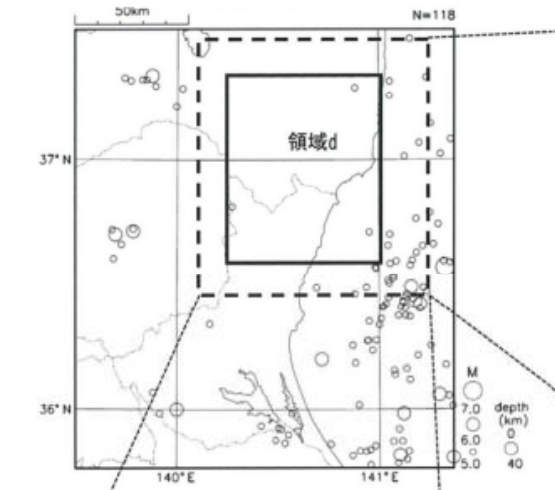
被害状況についての資料なし。
- 消防庁資料なし
- 気象庁資料なし

●地震発生メカニズム（気象庁）
- 発生機構解より，北東－南西方向に張力軸を持つ正断層型の地震。
- 1923年8月以降の地震活動を見ると，今回の地震の震源付近（領域d）では，「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」が発生する前までの間，M5.0以上の浅い地震波ほとんど観測されていない。

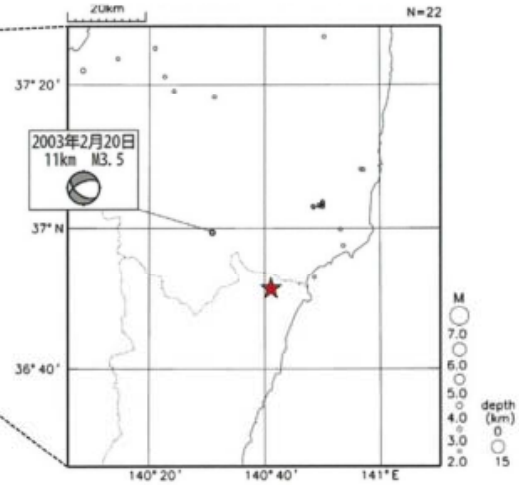


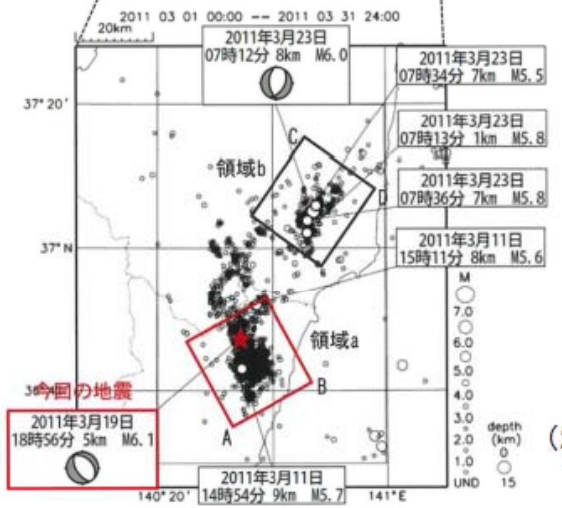
気象庁 震度データベースによる震度分布

震央分布図
（1923年8月1日～2011年3月11日
14時45分，深さ0～40km，M≧5.0）

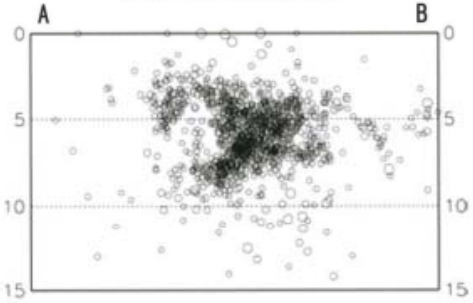


震央分布図
（1997年10月1日～2011年3月11日
14時45分，深さ0～15km，M≧2.0）





領域aのAB垂直断面図※

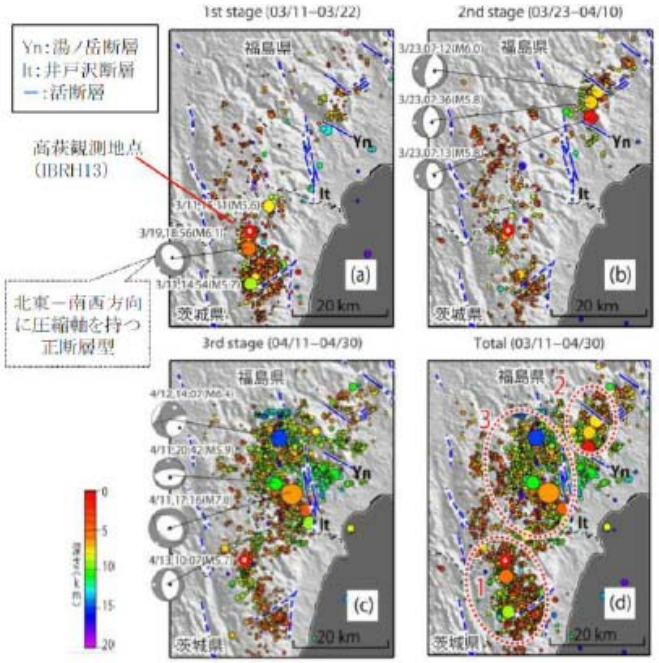


震央分布図※
（2011年3月1日～3月31日,深さ0～15km,M全て）
※2011年3月11日以降は未処理のデータがある

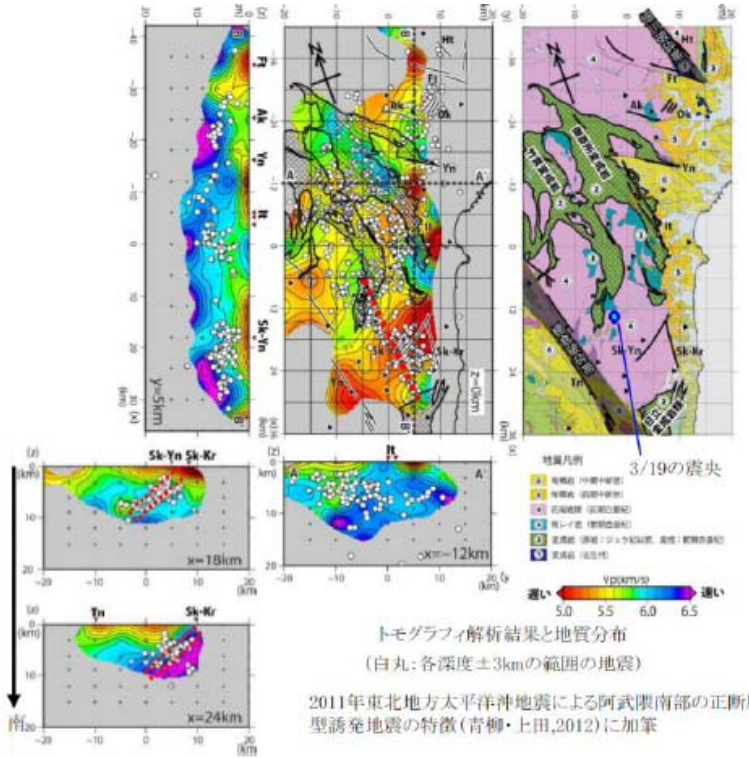
気象庁 平成23年3月 地震・火山月報(防災編)

震源域周辺の地質構造

- 茨城県北部地震は，東北地方太平洋沖地震の誘発地震と考えられており，東北地方太平洋沖地震の発生直後から，3つのステージで震源域が拡大した。
- 阿武隈南部には，変成岩(原岩:ジュラ紀以前，変成:前期白亜紀)，花崗岩(前期白亜紀)が広く分布するが，地震後の稠密余震観測等の結果，高速度域は変成岩，低速度域は花崗岩に対応し，誘発地震は地質構造に規制されていると考えられている。
- 茨城県北部地震を含むエリアには関口－米平リニアメント(Sk-Yn)が，外周部には関口－黒磯リニアメント(Sk-Kr)・棚倉破砕帯西縁断層(Tn)が分布する。地震活動は，竹貫及び日立変成岩に挟まれた花崗岩分布域に対応して北北西－南南東方向に延び，南西傾斜を示している。
- 地震活動が関口－米平リニアメントを横断し，関口－黒磯リニアメントと走向が異なることから，北部地震は両断層と無関係と見られている。



活動場の変遷(2011/3/11～4/30)



トモグラフィ解析結果と地質分布

(白丸:各深度±3kmの範囲の地震)

2011年東北地方太平洋沖地震による阿武隈南部の正断層型誘発地震の特徴(青柳・上田,2012)に加筆

観測記録(1／4)

●観測記録の概要

・震源距離が30km以内の観測記録としては下表の11記録となる。
・このうち，震源近傍に位置するIBRH13(高萩)においては，地表で最大加速度1026.5cm/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。

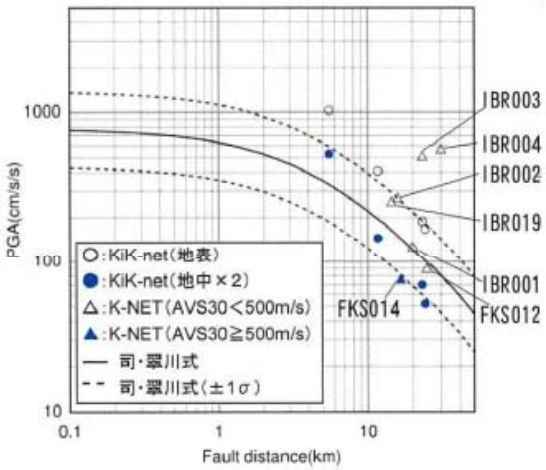
断層最短距離が30km以内の観測記録(K-NET)

観測点			震源距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度 (cm/s²) 水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)
K-NET (地表)	IBR019	北茨城	14.3	—	221.0	251.1	122.4
	IBR002	高萩	15.8	344.8	266.1	239.2	113.8
	FKS014	矢祭	16.6	506.1	48.1	75.5	40.9
	IBR001	大子	19.9	208.4	124.7	96.1	72.8
	IBR003	日立	23.0	292.2	486.7	502.7	278.9
	FKS012	勿来	24.6	202.8	64.8	88.2	51.5
	IBR004	大宮	30.0	325.0	357.7	560.1	169.7

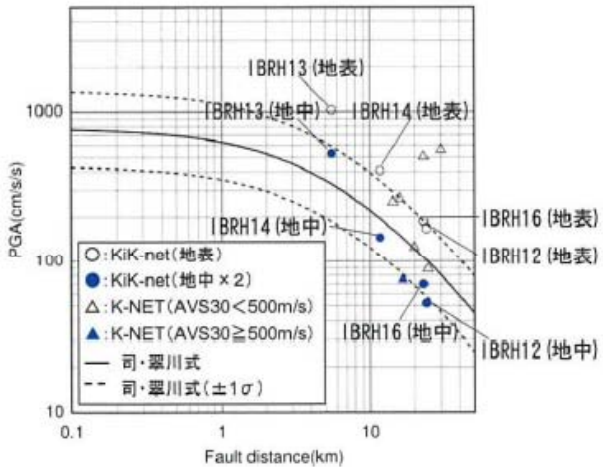
断層最短距離が30km以内の観測記録(KiK-net)

観測点			震源距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度 (cm/s²)※ 水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)
KiK-net (地表・地中)	IBRH13	高萩	5.5	335.4	1026.5 (264.8)	526.1 (116.7)	733.1 (128.1)
	IBRH14	十王	11.7	829.1	407.2 (73.1)	382.6 (64.2)	404.7 (62.7)
	IBRH16	山方	22.9	626.1	187.7 (25.3)	184.1 (35.0)	123.0 (20.8)
	IBRH12	大子	24.0	485.7	145.2 (22.1)	168.5 (26.0)	74.9 (14.3)

※(　)の数値は地中記録を示す



司・翠川(1999)の距離減衰式との関係(K-NET)

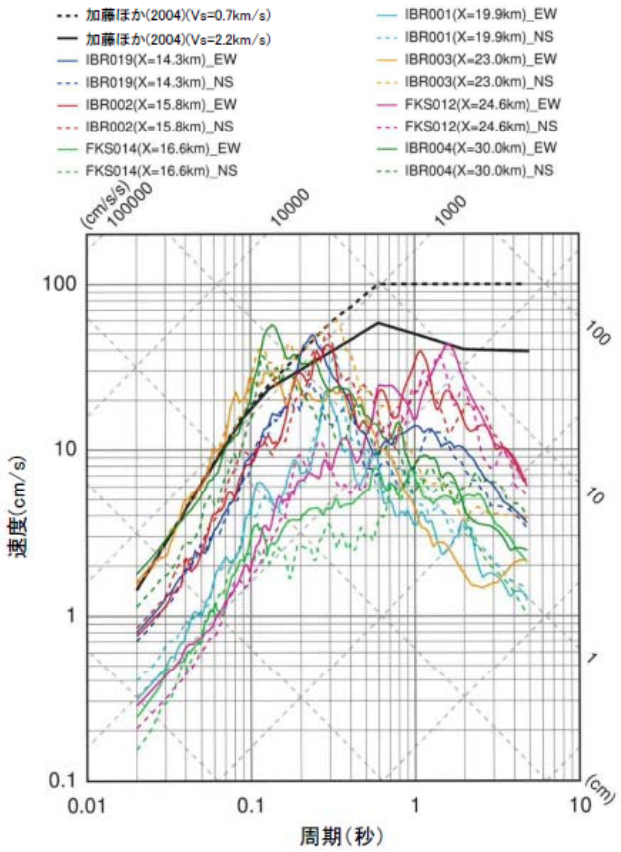


司・翠川(1999)の距離減衰式との関係(KiK-net)

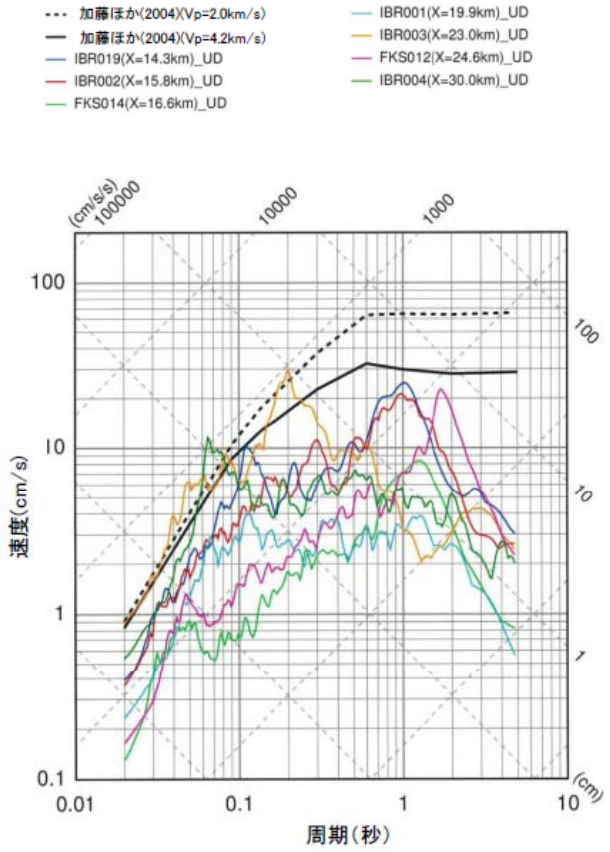
観測記録(2／4)

●K-NET観測記録

・K-NET観測点の観測記録のうち，IBR003(日立)及びIBR004(大宮)における観測記録の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回るものの，次項以降に示すIBRH13(高萩)の影響度よりも小さいと考えられる。



水平方向



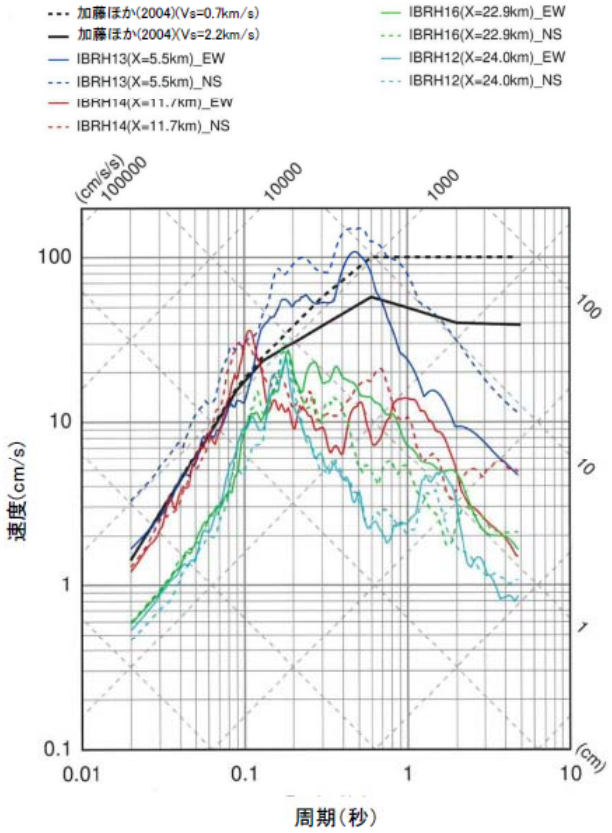
鉛直方向

K-NET各観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

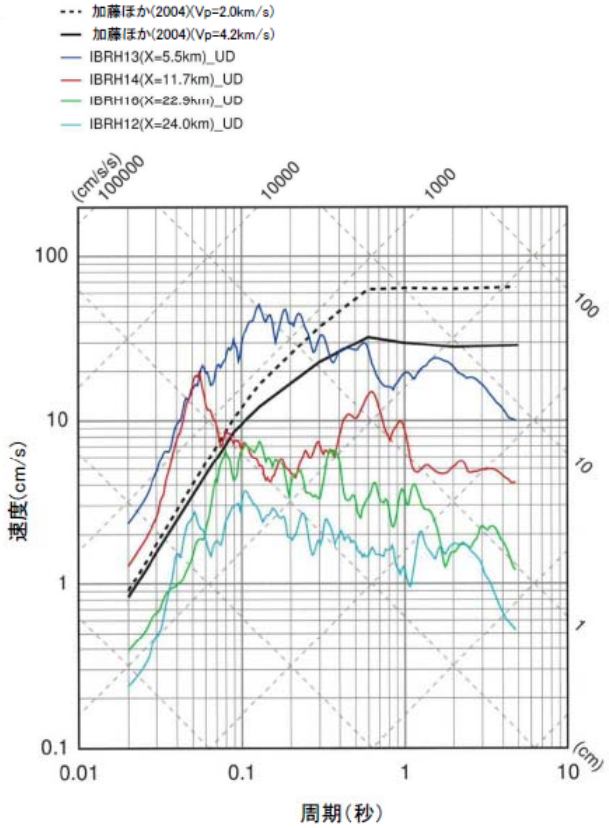
観測記録(3／4)

●KiK-net観測記録(地表観測記録)

・KiK-net観測点の観測記録のうち，IBRH13(高萩)及びIBRH14(十王)における地表観測記録の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。
・IBRH14(十王)における地表観測記録の応答スペクトルについては，次頁に示す地中観測記録の応答スペクトルが加藤ほか(2004)を下回ることから，影響度は小さいと考えられる。



水平方向



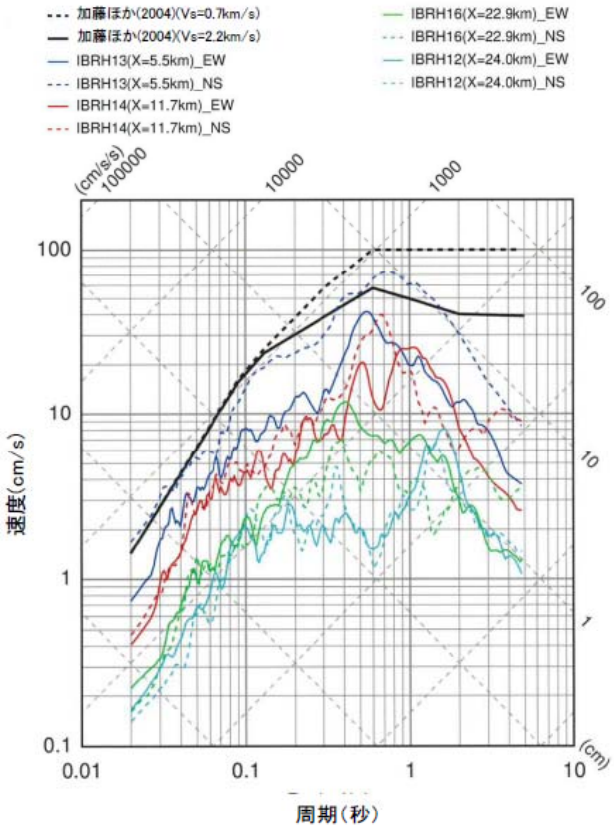
鉛直方向

KiK-net各観測記録(地表)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

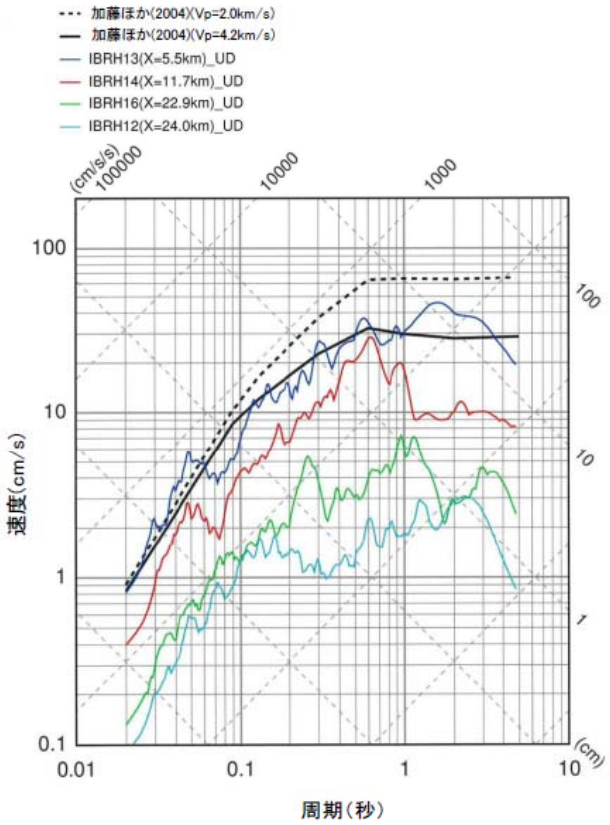
観測記録(4／4)

●KiK-net観測記録(地中観測記録)

・KiK-net観測点のうち，IBRH13(高萩)における地中観測記録の2倍の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。



水平方向



鉛直方向

KiK-net各観測記録(地中×2)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

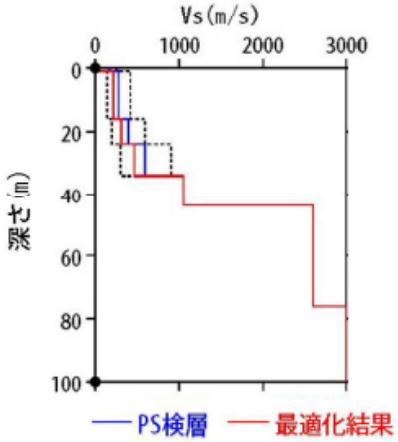
IBRH13(高萩)のはぎとり解析

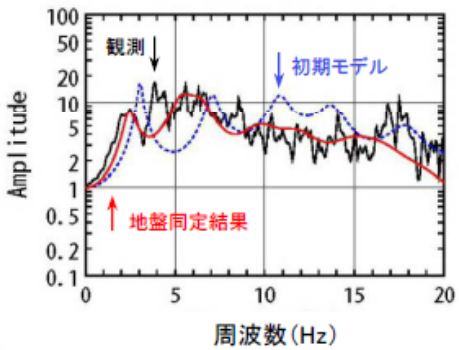
●IBRH13(高萩)の観測記録について，KiK-netボーリングデータを初期値として，観測記録の伝達関数を再現するように地盤同定を実施した。

●得られた地盤モデルは，表層のS波速度が極端に小さくなった。また，観測記録のうち鉛直成分の伝達関数を再現することができないため，1次元波動論によるはぎとり解析の適用が困難と考えられる。

地盤同定結果(水平方向)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm³)	S波速度(m/s) Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	減衰定数 ho	α
1	1	0	1.64	170	17	255	22	0.13		
2	15	1	1.64	280	140	420	218	0.78		
3	8	16	1.93	400	200	600	311	0.78		
4	10	24	1.93	600	300	900	467	0.78	0.152	0.180
5	10	34	2.26	1050	1050	1050	1050	1.00		
6	32	44	2.52	2600	2600	2600	2600	1.00		
7	24	76	2.52	3000	3000	3000	3000	1.00		
8	—	100	2.52	3000	3000	3000	3000	1.00		

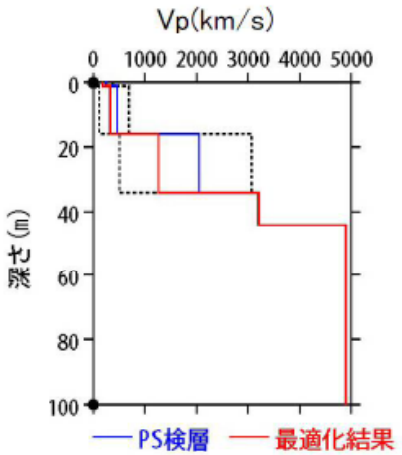


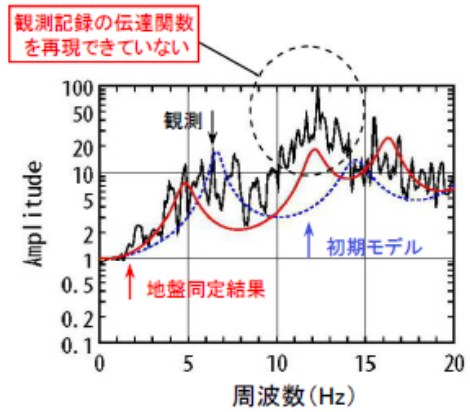


伝達関数の比較(水平方向)

地盤同定結果(鉛直方向)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm³)	P波速度(m/s) Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	減衰定数 ho	α
1	1	0	1.64	250	25	375	179	0.72		
2	15	1	1.64	460	115	690	330	0.72		
3	8	16	1.93	2050	513	3075	1258	0.61		
4	10	24	1.93	2050	513	3075	1258	0.61	0.502	1.0
5	10	34	2.26	3200	3200	3200	3200	1.00		
6	32	44	2.52	4900	4900	4900	4900	1.00		
7	24	76	2.52	4900	4900	4900	4900	1.00		
8	—	100	2.52	4900	4900	4900	4900	1.00		





伝達関数の比較(鉛直方向)

※電力共通研究「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震動評価手法の高度化に関する研究」にて検討を実施

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
3.1 観測記録の収集・整理 ・・・・・・ 60
3.2 2004年北海道留萌支庁南部地震(Mw5.7) ・・・・・・ 65
3.3 2011年茨城県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 100
3.4 2013年栃木県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 108
3.5 2011年和歌山県北部地震(Mw5.0) ・・・・・・ 117
3.6 2011年長野県北部地震(Mw6.2) ・・・・・・ 125
3.7 Mw6.5未満の地震のまとめ ・・・・・・ 133
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

地震の概要

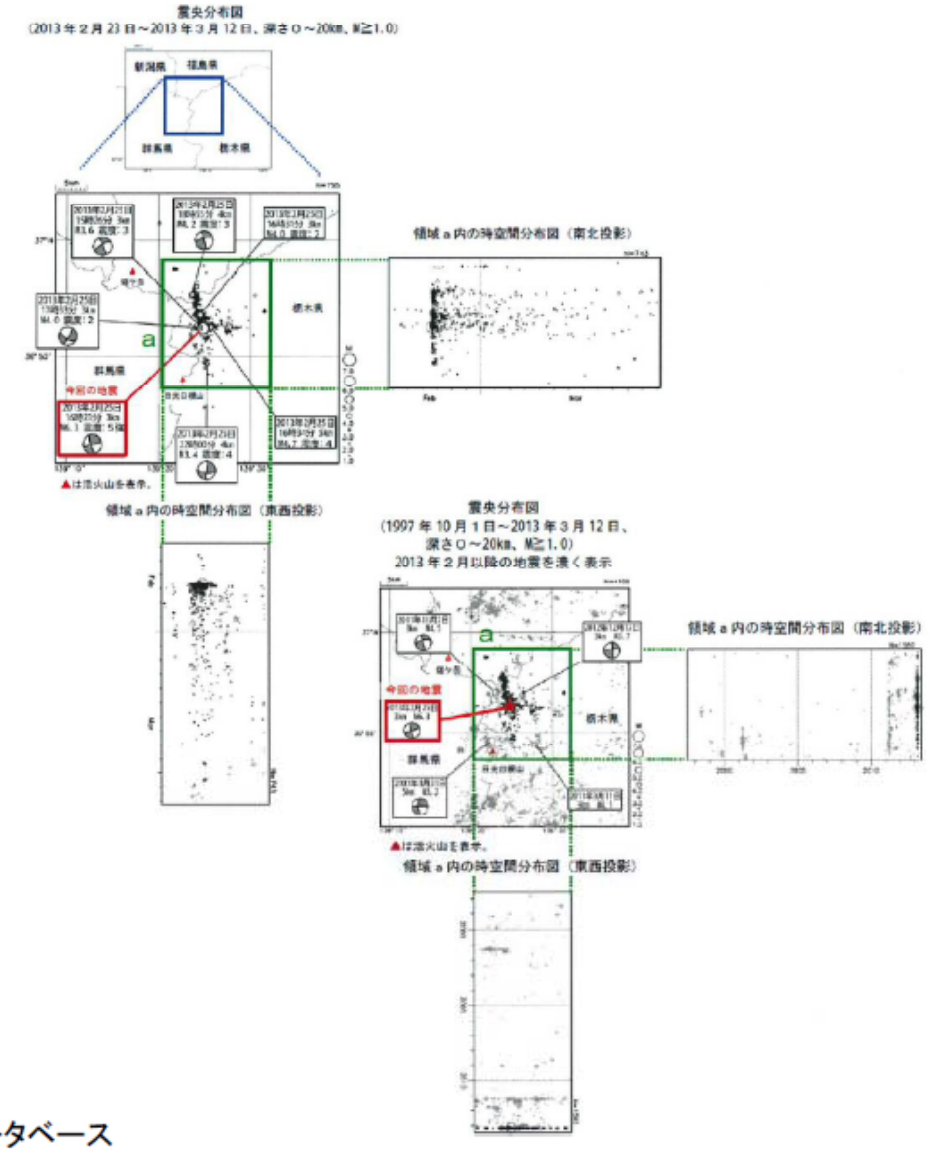
●概要(発生日時，地震規模等)

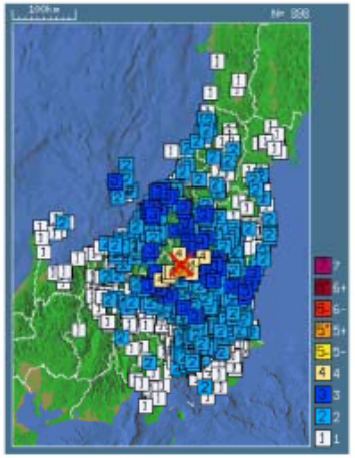
●地震発生日時（気象庁他）
- 発生日時：平成25年2月25日 16時23分頃
- 地震規模：Mj6.3（Mw5.8）
- 震源深さ：約3km
- 震源位置：北緯36.873°，東経139.412°

●各地の震度及び被害状況
各地の震度（気象庁）は以下のとおり。
- 震度5強：栃木県　日光市
- 地震による津波の発生はなし

被害状況（消防庁）は以下のとおり。
- 住家被害　：被害なし
- 人的被害　：被害なし
- その他被害：被害なし

●地震発生メカニズム（気象庁）
- 発震機構解より，西北西ー東南東方向に圧縮軸を持つ横ずれ断層型の地震。
- 震央付近（領域a）では，2月23日頃から地震活動が見られており，約1時間前の2月25日15時26分にもM3.6の地震（最大震度3）が発生。今回の地震の発生後，活発な余震活動が見られ，同日16時34分にM4.7の地震（最大震度4）が発生。



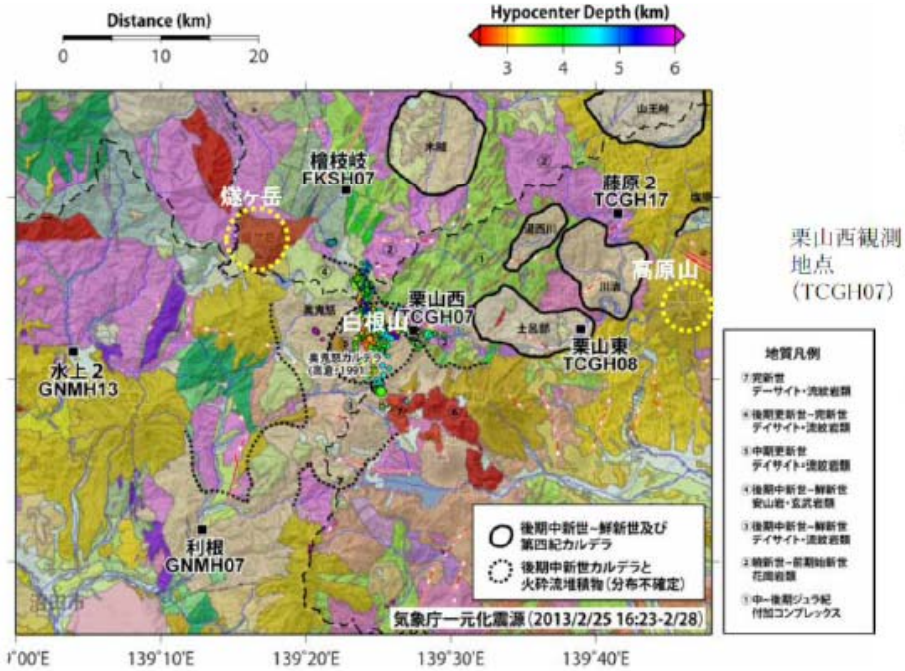


気象庁 震度データベースによる震度分布

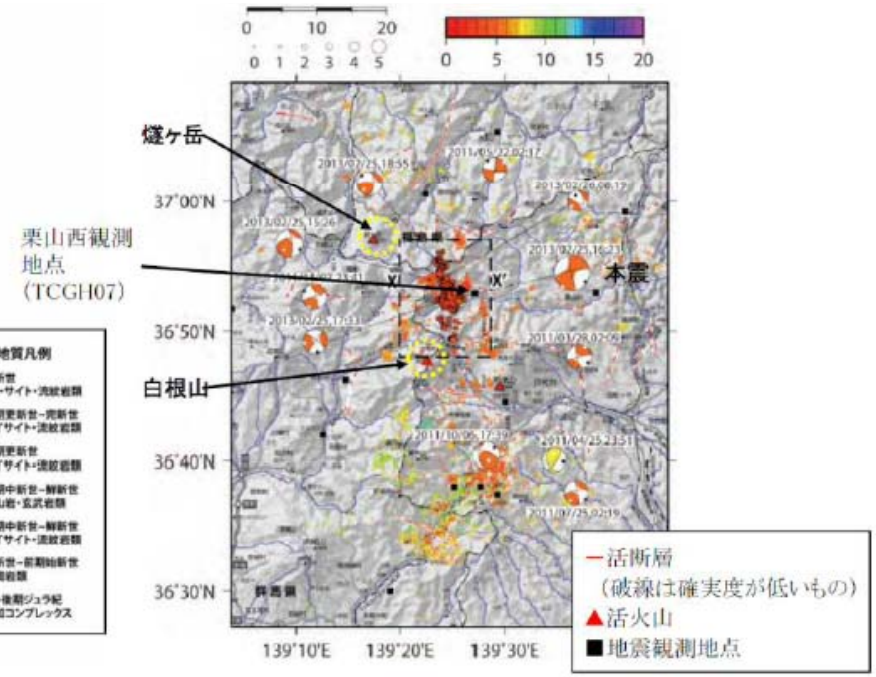
気象庁 平成25年2月 地震・火山月報(防災編)

震源域周辺の地質構造

- 栃木県北部地震の震源域には，後期中新世の奥鬼怒カルデラ並びに同噴出物が分布する。
- 震源域周辺には，後期中新世～鮮新世に活動したカルデラ火山群があり，これらの近傍には前期～後期更新世に活動した第四紀火山が分布する。このうち高原山・白根山・燧ケ岳(尾瀬)は，完新世に活動実績を持つ活火山であることから，この地域では火山活動が継続し，地殻浅部～深部の地質構造に様々な制約を与えていると想定される。
- 栃木県北部地震は西北西－東南東方向に圧縮軸を持つ，横ずれ断層型である。余震分布は，南北方向からやや反時計回りに並んでおり，震源断層は南北系と想定される。
- 震源域周辺には，確実度が低い活断層が分布しているが，東西系の走向に近いことから，震源断層は活断層と無関係とみられている。



地質・カルデラと震央の分布図



栃木県北部地震とその周辺の地震活動
(2011.3.11～2013.2.25の地震活動)
(地震速報)2013年2月15日栃木県北部の地震(電力中央研究所提供(2013))に加筆

観測記録(1／4)

●観測記録の概要

・震源距離が30km以内の観測記録は下表の10記録となる。
・このうち震源近傍に位置するTCGH07(栗山西)観測点においては，地表で最大加速度1224.3cm/s^{2}が観測されており，司・翠川(1990)の距離減衰式の＋1σを上回る。

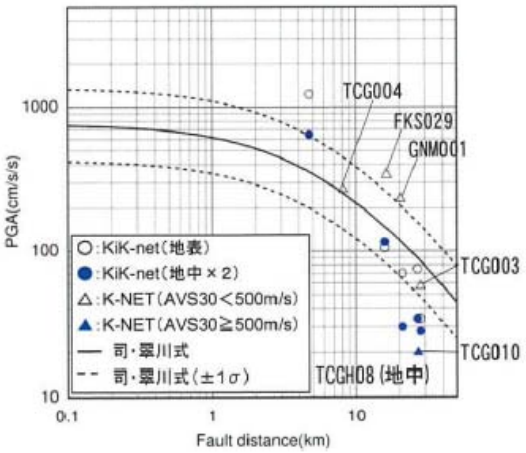
断層最短距離が30km以内の観測記録(K-NET)

観測点			震源距離(km)	AVS30(m/s)	最大加速度(cm/s^2)		
					水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)
K-NET(地表)	TCG004	湯元	8.1	421.0	196.8	269.5	283.2
	FKS029	桧枝岐	16.3	492.2	199.8	339.2	146.0
	GNM001	片品	20.4	462.1	168.2	231.5	100.9
	TCG010	足尾	26.8	516.8	12.2	20.0	12.9
	TCG003	藤原	27.9	345.5	56.9	55.4	28.8

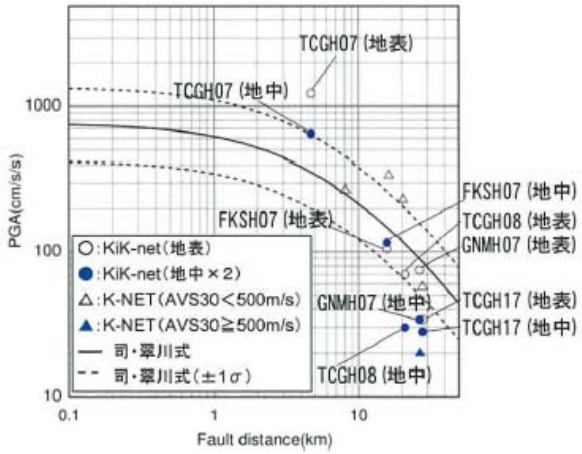
断層最短距離が30km以内の観測記録(KiK-net)

観測点			震源距離(km)	AVS30(m/s)	最大加速度(cm/s^2)※		
					水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)
KiK-net(地表・地中)	TCGH07	栗山西	4.7	419.5	1224.3 (296.2)	835.0 (322.3)	736.5 (168.2)
	FKSH07	檜枝岐	15.8	828.9	91.7 (28.9)	105.3 (58.5)	74.1 (33.9)
	TCGH08	栗山東	21.0	723.2	69.8 (15.1)	62.2 (14.4)	42.8 (14.9)
	GNMH07	利根	26.6	647.5	74.6 (17.4)	69.0 (16.3)	54.2 (12.7)
	TCGH17	藤原2	27.9	1432.8	34.2 (13.5)	30.3 (10.3)	17.4 (6.4)

※(　)の数値は地中記録を示す



司・翠川(1999)の距離減衰式との関係(K-NET)

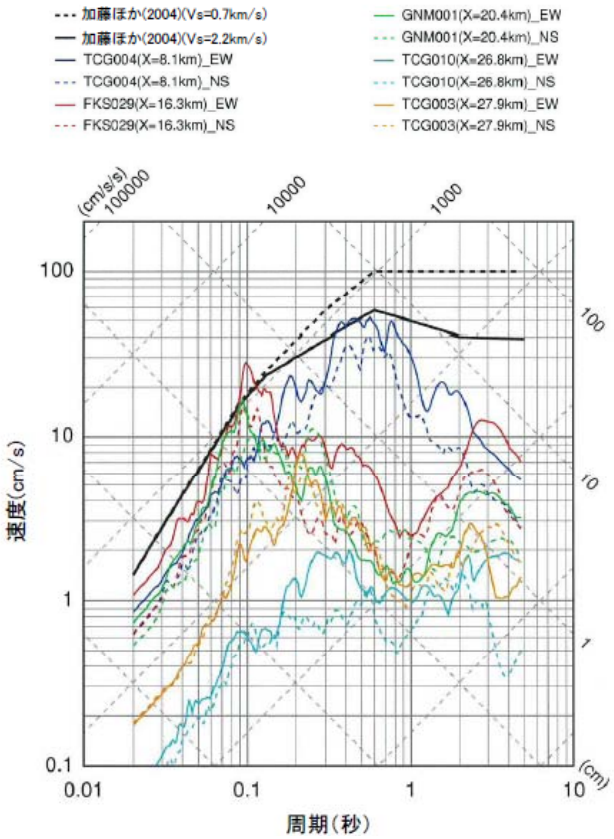


司・翠川(1999)の距離減衰式との関係(KiK-net)

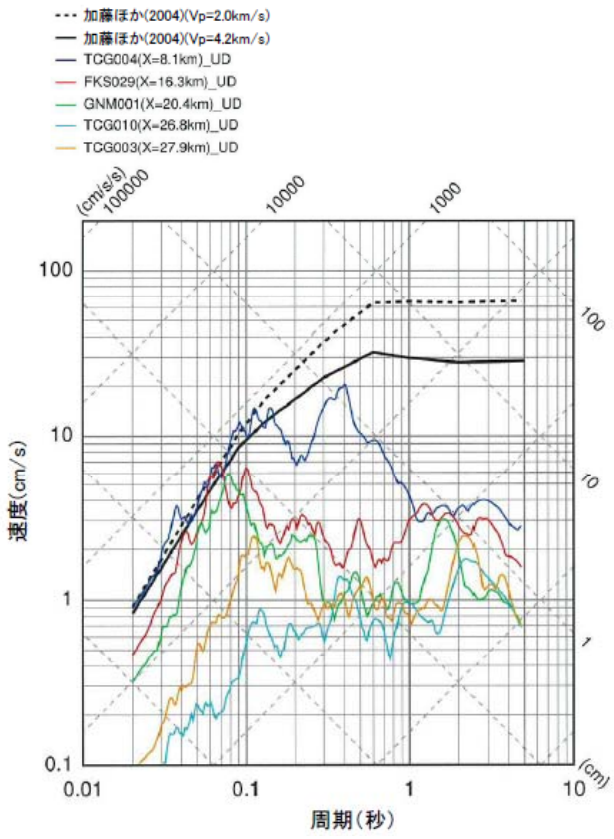
観測記録(2／4)

●K-NET観測記録

・K-NET観測点の観測記録のうち，FKS029(桧枝岐)及びTCG004(湯元)における観測記録の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回るものの，次頁以降に示すTCGH07(栗山西)における地中観測記録の2倍の応答スペクトルに概ね包絡される。



水平方向



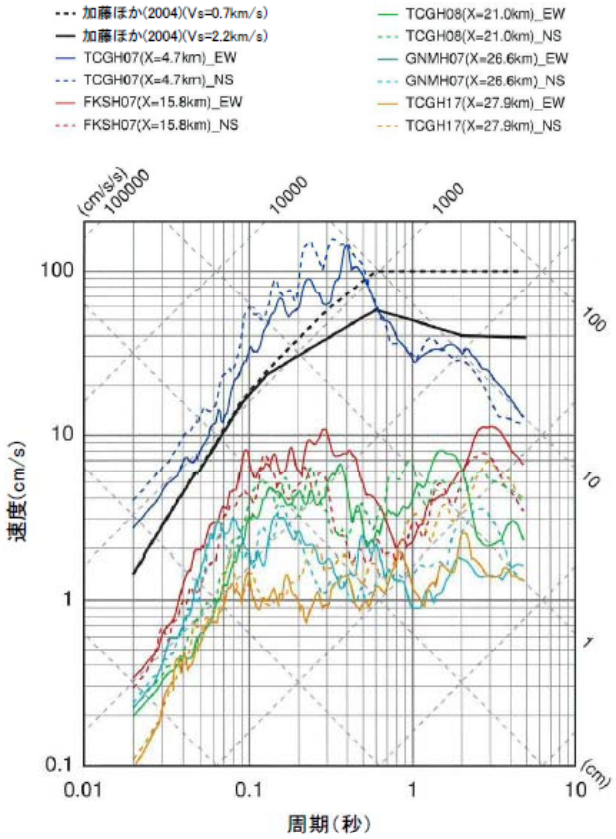
鉛直方向

K-NET各観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

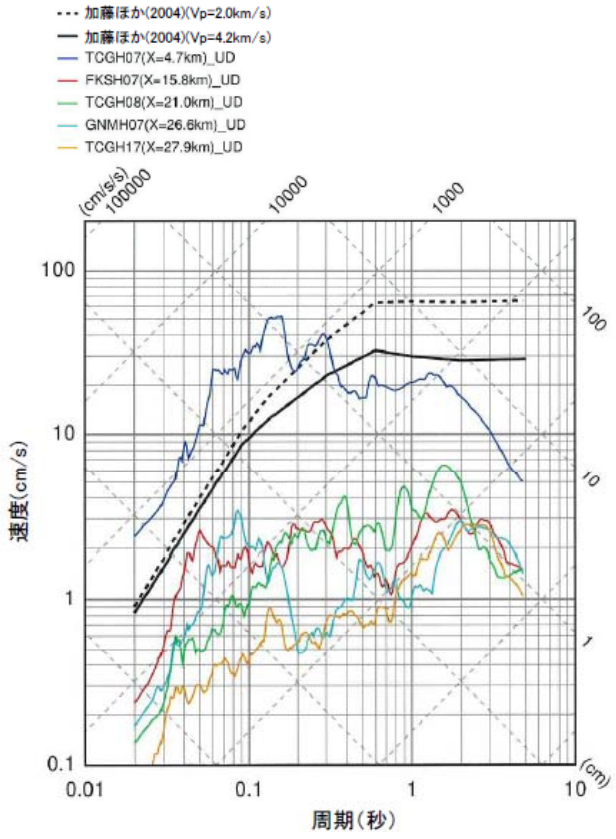
観測記録(3／4)

●KiK-net観測記録(地表観測記録)

・KiK-net観測点の観測記録のうち，TCGH07(栗山西)における地表観測記録の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。



水平方向



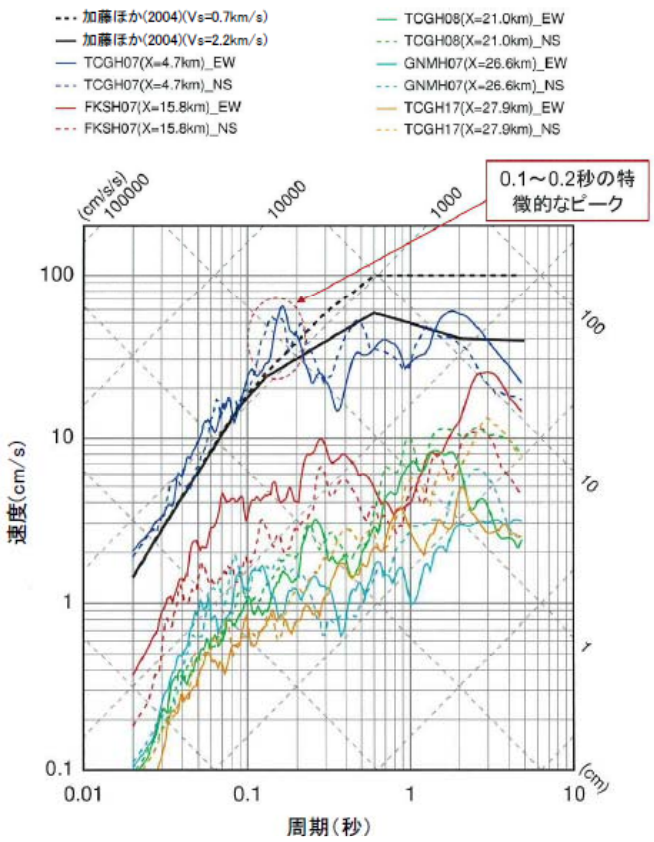
鉛直方向

KiK-net各観測記録(地表)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

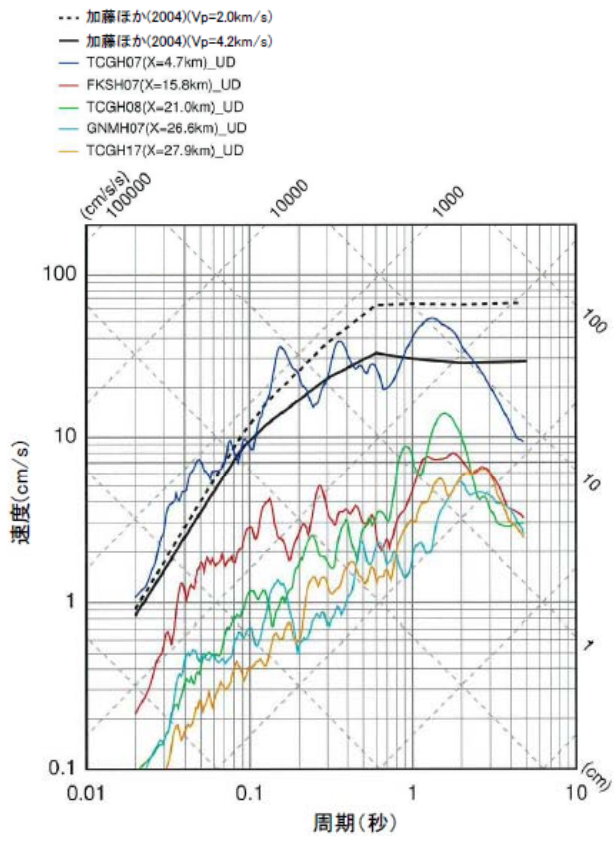
観測記録(4／4)

●KiK-net観測記録(地中観測記録)

・KiK-net観測点のうち，TCGH07(栗山西)における地中観測記録の2倍の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。



水平方向



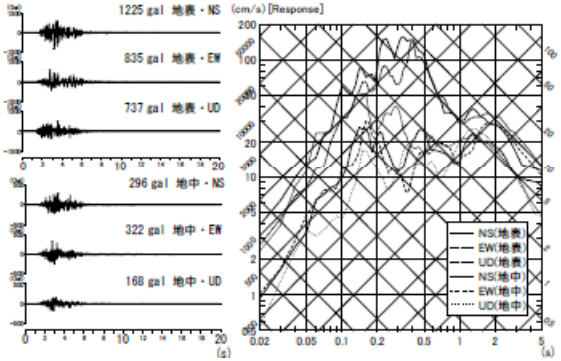
鉛直方向

KiK-net各観測記録(地中×2)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

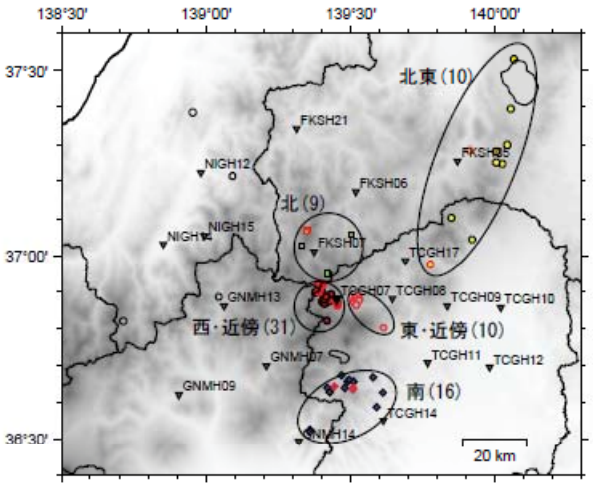
既往の知見

●引間(2015)では，2013年栃木県北部地震の余震記録等を対象としたスペクトルインバージョンにより，TCGH07(栗山西)観測点の観測記録を分析している。

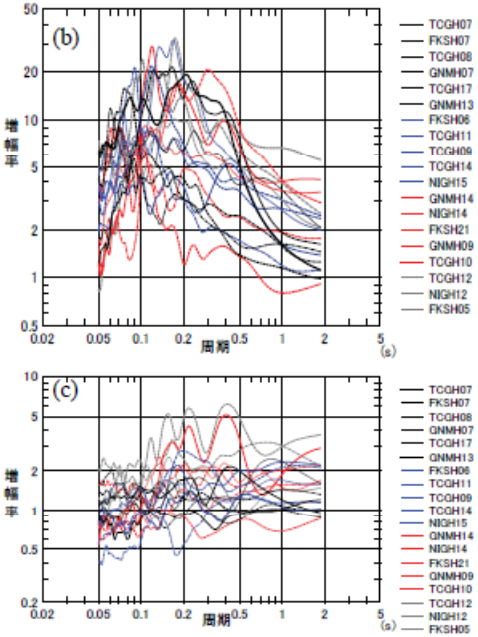
●TCGH07(栗山西)の地中観測記録のスペクトルにおいて見られる0.2秒付近の顕著なピークは，本震が位置する西及び近傍領域からの地震動のみに特徴的に見られ，サイトから比較的近傍における伝播特性やサイト特性が影響しているものと推察されるとしている。



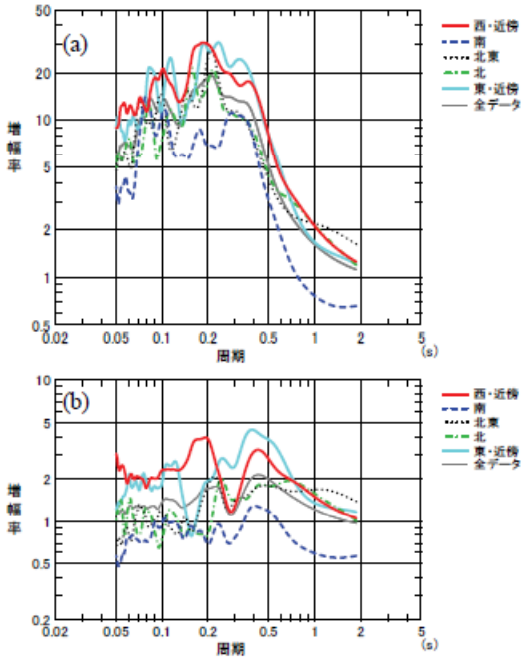
TCGH07(栗山西)での観測波形と
擬似速度応答スペクトル



解析に使用した地震の震央と観測点
到来方向の区分と地震数を合わせて記す



全データを用いた解析結果
(b)地表地震計
(c)地中地震計の増幅率



TCGH07(栗山西)での
到来方向別のサイト増幅特性
(a)地表地震計
(b)地中地震計

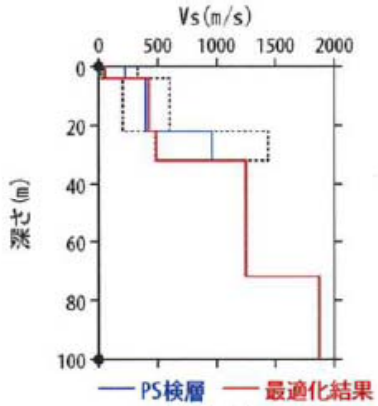
TCGH07(栗山西)のはぎとり解析

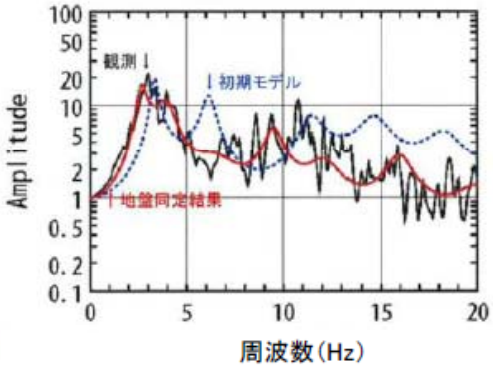
●TCGH07(栗山西)の観測記録について，KiK-netボーリングデータを初期値として，観測記録の伝達関数を再現するように地盤同定を実施した。

●得られた地盤モデルは，PS検層結果から大きく乖離しているため，1次元波動論によるはぎとり解析の適用が困難と考えられる。

地盤同定結果(水平方向)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm³)	S波速度(m/s) Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	減衰定数 ho	α
1	4	0	1.64	220	22	330	51	0.23		
2	18	4	1.64	400	200	600	428	1.07	0.081	0.312
3	10	22	1.64	960	480	1440	487	0.51		
4	40	32	2.33	1250	1250	1250	1250	1.00		
5	28	72	2.33	1870	1870	1870	1870	1.00	0.266	0.000
6	—	100	2.33	1870	1870	1870	1870	1.00		

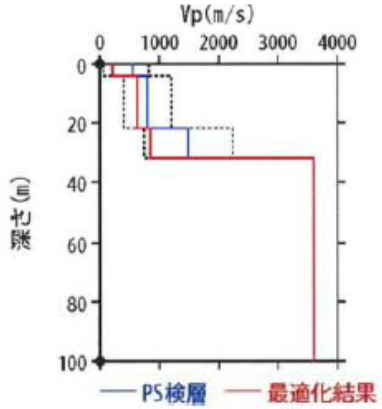


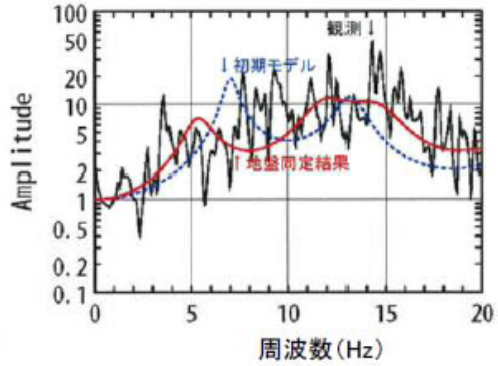


伝達関数の比較(水平方向)

地盤同定結果(鉛直方向)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm³)	P波速度(m/s) Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	減衰定数 ho	α
1	4	0	1.64	550	55	825	216	0.39		
2	18	4	1.64	800	400	1200	630	0.79		
3	10	22	1.64	1490	745	2235	844	0.57	0.232	0.350
4	40	32	2.33	3600	3600	3600	3600	1.00		
5	28	72	2.33	3600	3600	3600	3600	1.00		
6	—	100	2.33	3600	3600	3600	3600	1.00		





伝達関数の比較(鉛直方向)

※電力共通研究「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震動評価手法の高度化に関する研究」にて検討を実施

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
3.1 観測記録の収集・整理 ・・・・・・ 60
3.2 2004年北海道留萌支庁南部地震(Mw5.7) ・・・・・・ 65
3.3 2011年茨城県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 100
3.4 2013年栃木県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 108
3.5 2011年和歌山県北部地震(Mw5.0) ・・・・・・ 117
3.6 2011年長野県北部地震(Mw6.2) ・・・・・・ 125
3.7 Mw6.5未満の地震のまとめ ・・・・・・ 133
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

地震の概要

●概要(発生日時，地震規模等)

●地震発生日時（気象庁他）
- 発生日時：平成23年7月5日 19時18分頃
- 地震規模：Mj5.5（Mw5.0）
- 震源深さ：約7km
- 震源位置：北緯33.99°，東経135.233°

●各地の震度及び被害状況

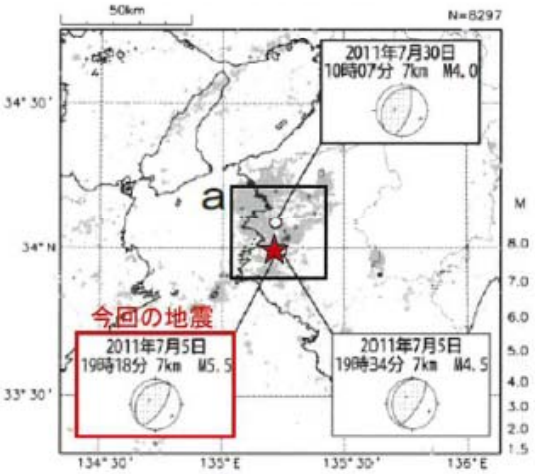
各地の震度（気象庁）は以下のとおり。
- 震度5強：広川町，日高川町
- 震度5弱：有田市，湯浅町
- 地震による津波の発生はなし

被害状況（消防庁）は以下のとおり。
- 住宅全壊・半壊： 0棟
- 住宅一部破損　：21棟
  （内訳；有田市 1棟，湯浅町 12棟，広川町 7棟，由良町1棟）
- 人的被害：被害情報なし

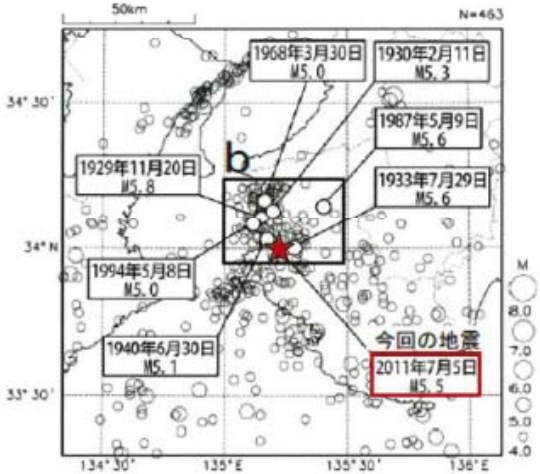
- 和歌山県北部臨海北部，和歌山県北部臨海中部，和歌山県北部臨海南部，御坊各区域の石油コンビナート施設について，被害なし

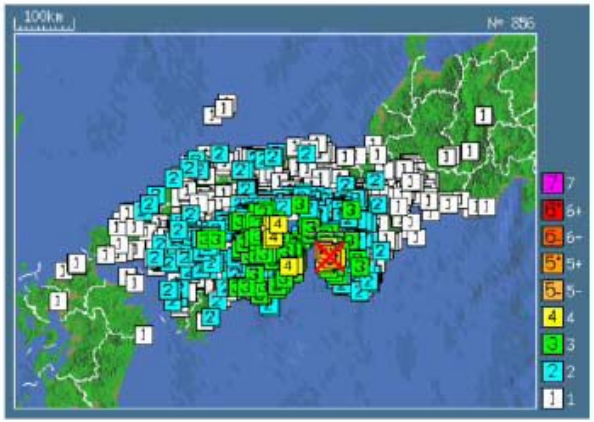
●地震発生メカニズム（気象庁）
- 発震機構解より，北西ー南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型の地震。
- 同日19時34分には，ほぼ同じ場所でM4.5の地震（最大震度4）が発生。また，30日10時07分にこの地震の北約10km，深さ7kmでM4.0の地震（最大震度3）が発生。この2つの地震の発震機構は西北西ー島南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型。
- 今回の震源域周辺では，1900年代以降，M5.0を超える地震が発生している。

震央分布図
（1997年10月1日～2011年7月31日，
深さ0～20km，M≧1.5）
2011年7月以降の地震を濃く表示



震央分布図
（1923年8月1日～2011年7月31日，
深さ0～40km，M≧4.0）



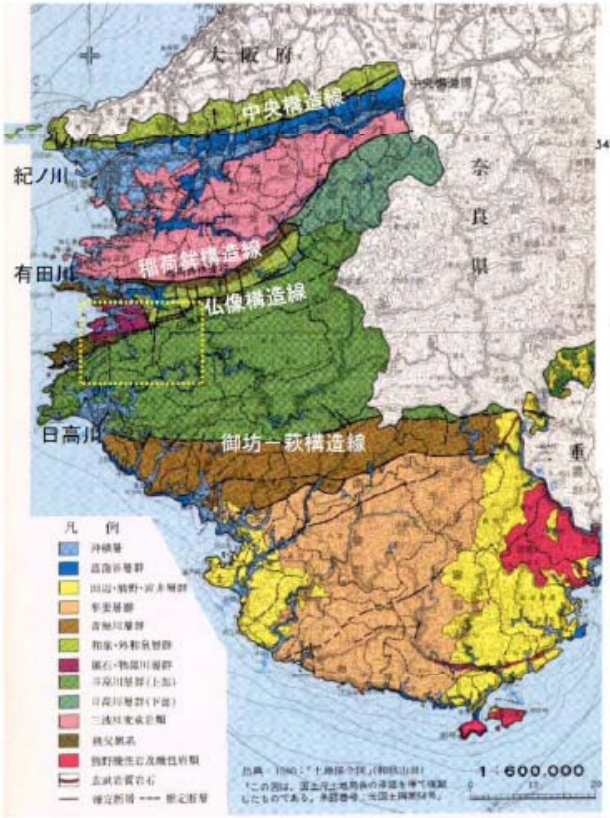


気象庁 震度データベースによる震度分布

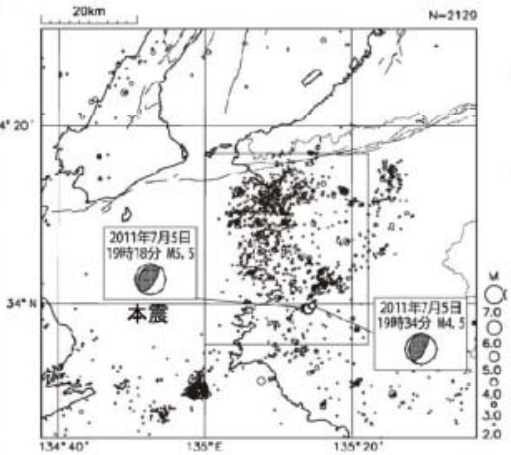
気象庁 平成23年7月 地震・火山月報(防災編)

震源域周辺の地質構造

●和歌山県北部地震の震源域には，古第三紀の日高川層群(上部)が分布する。
●震源近傍には，仏像構造線があるが，活断層として確実度は低いとされている。
●和歌山県北部地震は，北西－南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型である。
●余震は，仏像構造線とほぼ平行な長さ3～4kmの範囲に分布し，南東側が浅くなっている。

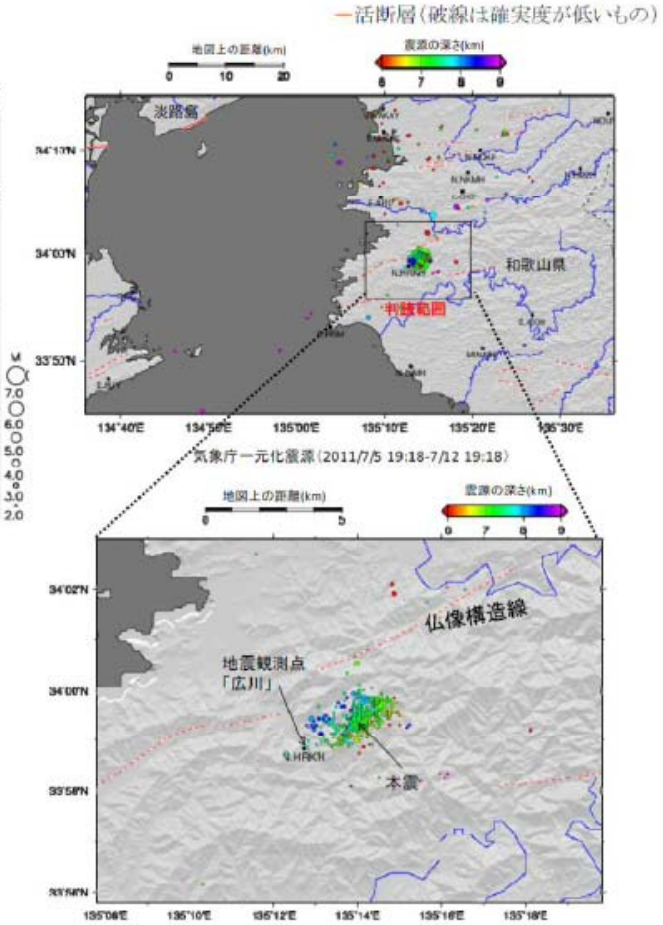


地質図
(平成25年度和歌山県防災計画に加筆)



・1997年10月1日～2011年7月31日
・深さ 0～30km，M≧2.0
・細線は地震調査研究推進本部による主要活断層

震央分布図
(気象庁に加筆)



余震分布図(電力中央研究所提供)

観測記録(1／4)

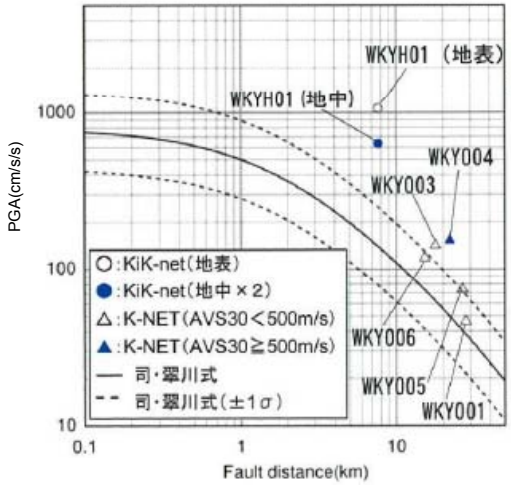
●観測記録の概要

・震源距離が30km以内の観測記録としては下表の6記録となる。
・このうち，震源近傍に位置するWKYH01(広川)においては，地表で最大加速度1064.5cm/s^{2}が観測されており，司・翠川(1999)の距離減衰式の＋1σを上回る。

断層最短距離が30km以内の観測記録(K-NET及びKiK-net)

観測点			震源距離(km)	AVS30(m/s)	最大加速度(cm/s^2)※		
					水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)
K-NET(地表)	WKY006	御坊	15.3	198.4	88.3	117.5	46.0
	WKY003	有田	17.9	144.0	92.9	141.6	68.3
	WKY004	清水	22.2	681.8	115.4	152.6	29.2
	WKY005	龍神	26.8	338.3	45.7	74.1	32.9
	WKY001	和歌山	28.1	206.3	43.4	46.4	29.9
KiK-net(地表・地中)	WKYH01	広川	7.7	462.9	754.2 (137.1)	1064.5 (317.0)	385.8 (96.8)

※(　)の数値は地中記録を示す

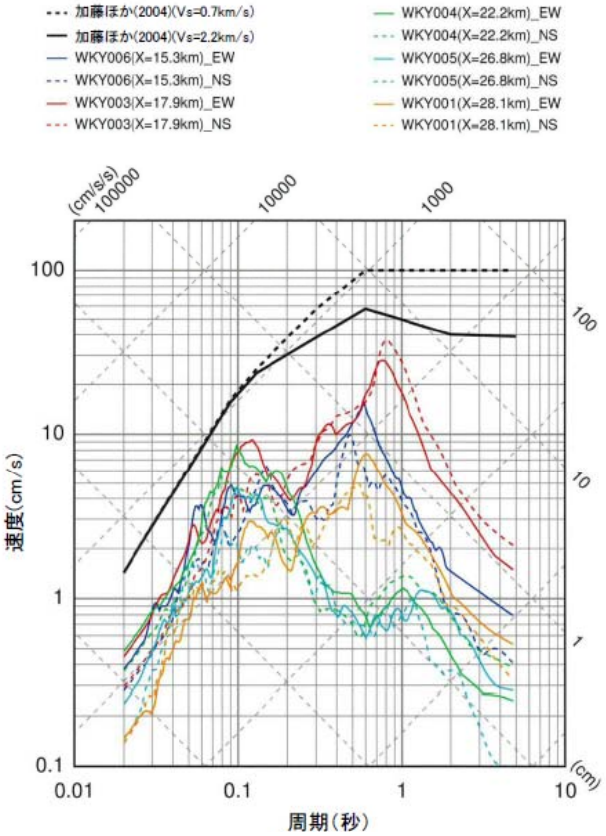


司・翠川(1999)の距離減衰式との関係

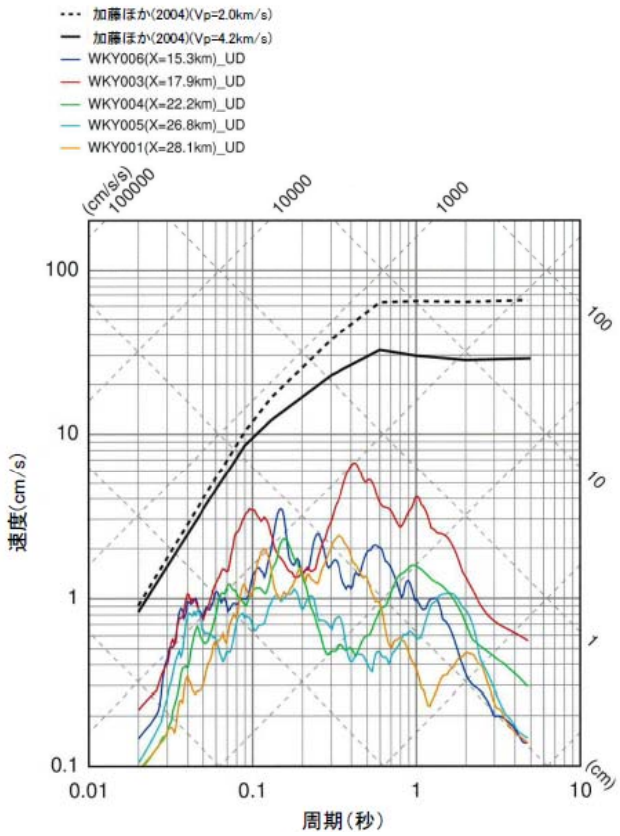
観測記録(2／4)

●K-NET観測記録

・K-NET観測点における観測記録の応答スペクトルは，すべて加藤ほか(2004)の応答スペクトルに包絡される。



水平方向



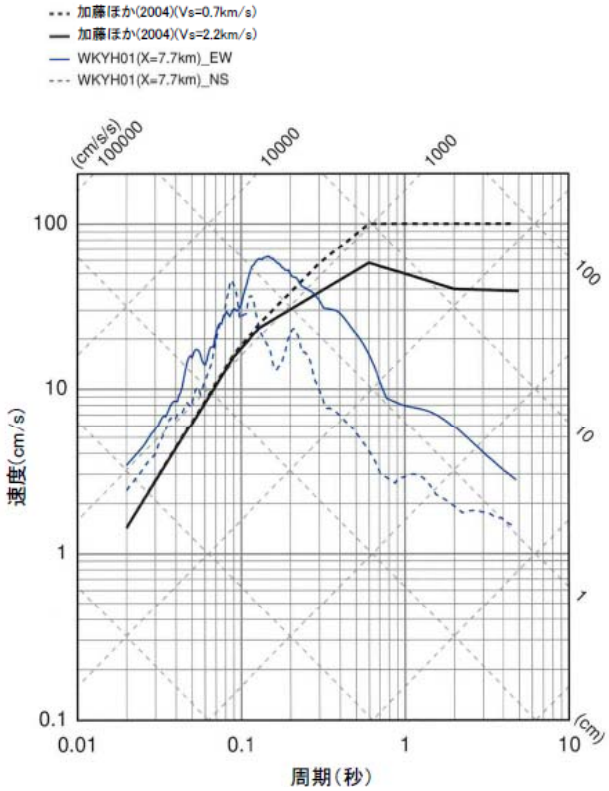
鉛直方向

K-NET各観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

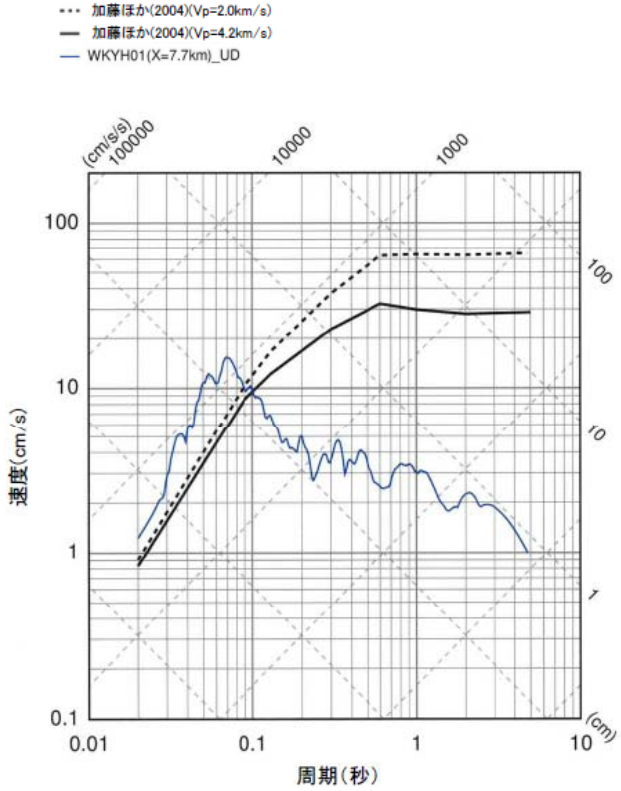
観測記録(3／4)

●KiK-net観測記録(地表観測記録)

・KiK-net観測点のWKYH01(広川)における地表観測記録の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。



水平方向



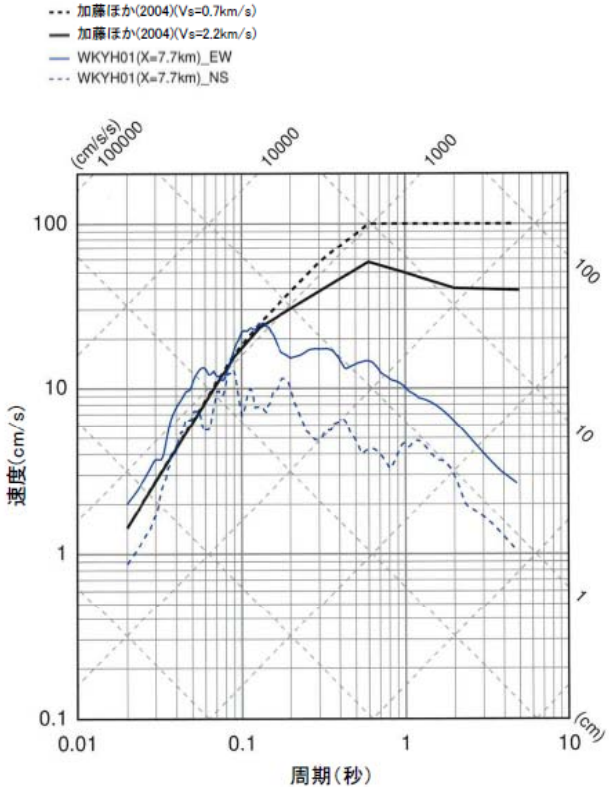
鉛直方向

KiK-net観測記録(地表)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

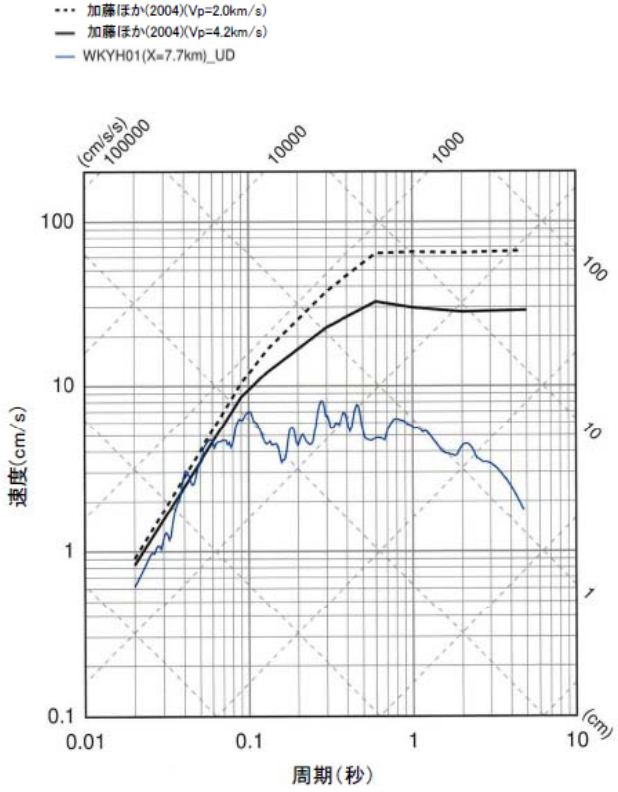
観測記録(4／4)

●KiK-net観測記録(地中観測記録)

・KiK-net観測点のWKYH01(広川)における地中観測記録の2倍の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。



水平方向



鉛直方向

KiK-net観測記録(地中×2)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

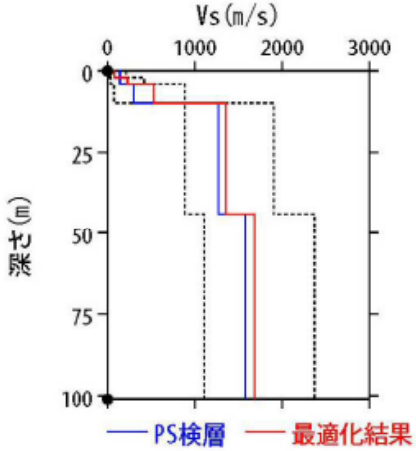
WKYH01(広川)のはぎとり解析

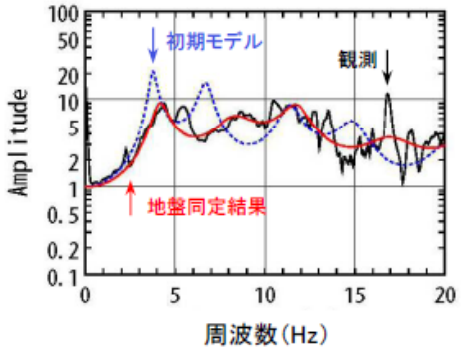
●WKYH01(広川)の観測記録について，KiK-netボーリングデータを初期値として，観測記録の伝達関数を再現するように地盤同定を実施した。

●得られた地盤モデルは，PS検層結果から大きく乖離しているため，1次元波動論によるはぎとり解析の適用が困難と考えられる。

地盤同定結果(水平方向)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm³)	S波速度(m/s) Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	減衰定数 ho	α
1	2	0	1.64	139	14	209	78	0.56		
2	2	2	1.82	139	35	417	225	1.62	0.298	0.324
3	6	4	1.82	296	74	888	524	1.77		
4	34	10	2.37	1269	888	1904	1354	1.07		
5	57	44	2.37	1580	1106	2370	1686	1.07	0.284	0.715
6	—	101	2.37	1580	1106	2370	1686	1.07		

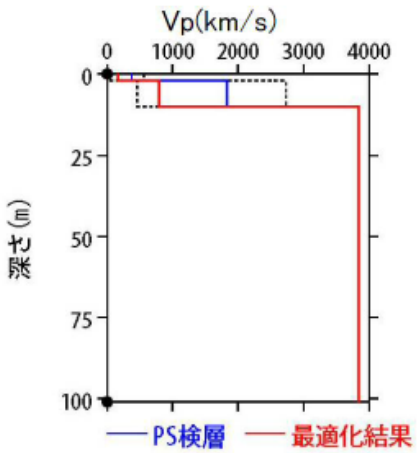


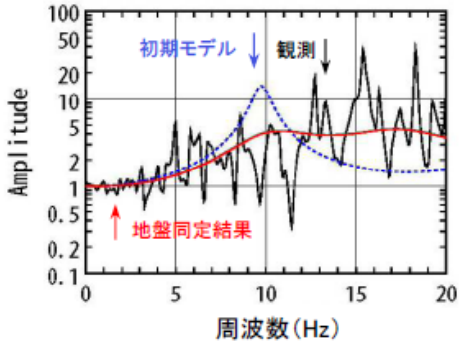


伝達関数の比較(水平方向)

地盤同定結果(鉛直方向)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm³)	P波速度(m/s) Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	減衰定数 ho	α
1	2	0	1.64	368	37	552	161	0.44		
2	2	2	1.82	1820	455	2730	798	0.44		
3	6	4	1.82	1820	455	2730	798	0.44		
4	34	10	2.37	3846	3846	3846	3846	1.00	1.000	0.590
5	57	44	2.37	3846	3846	3846	3846	1.00		
6	—	101	2.37	3846	3846	3846	3846	1.00		





伝達関数の比較(鉛直方向)

※電力共通研究「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震動評価手法の高度化に関する研究」にて検討を実施

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
3.1 観測記録の収集・整理 ・・・・・・ 60
3.2 2004年北海道留萌支庁南部地震(Mw5.7) ・・・・・・ 65
3.3 2011年茨城県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 100
3.4 2013年栃木県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 108
3.5 2011年和歌山県北部地震(Mw5.0) ・・・・・・ 117
3.6 2011年長野県北部地震(Mw6.2) ・・・・・・ 125
3.7 Mw6.5未満の地震のまとめ ・・・・・・ 133
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

地震の概要

●概要(発生日時，地震規模等)

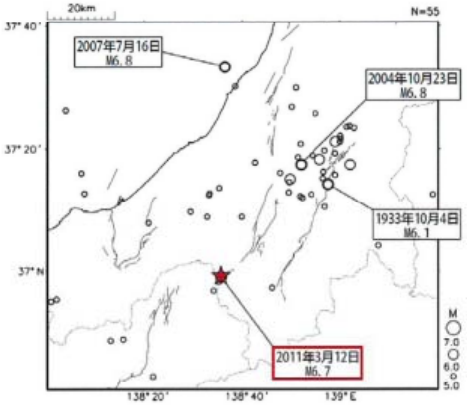
●地震発生日時（気象庁他）
- 発生日時：平成23年3月12日 03時59分頃
- 地震規模：Mj6.7（Mw6.2）
- 震源深さ：約8km
- 震源位置：北緯36.985°，東経138.597°

●各地の震度及び被害状況
各地の震度（気象庁）は以下のとおり。
- 震度6強：長野県　栄村
- 震度6弱：新潟県　十日町市，津南町
- 震度5強：新潟県　上越市
  群馬県　中之条町
- 震度5弱：長野県　野沢温泉村
  新潟県　長岡市，柏崎市，出雲崎町，湯沢町，刈羽村，南魚沼市
  群馬県　中之条町
- 地震による津波の発生はなし

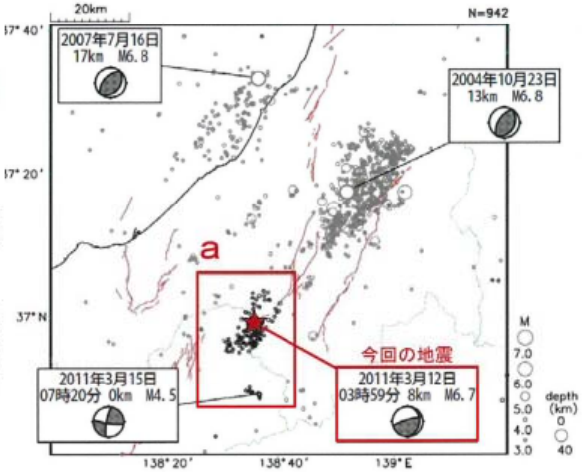
被害状況（気象庁）は以下のとおり。
- 住宅全半壊及び一部破損：1,324棟
- 負傷者57名（重傷者1名，軽症者56名）

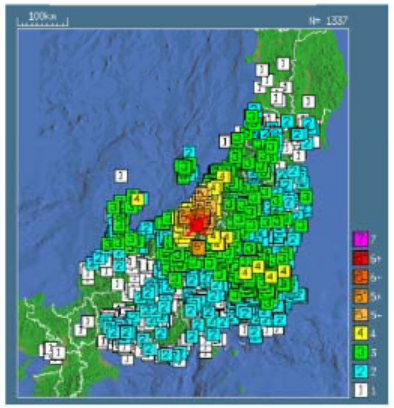
●地震発生メカニズム（気象庁）
- 発震機構解より，北西ー南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型の地震。
- 1997年10月以降の活動を見ると，今回の地震の震源付近（領域a）では，M5.0以上の地震は発生していなかった。今回の地震の後，12日04時31分と05時42分に，長野県栄村で最大震度6弱を観測する余震が発生。

震央分布図
（1923年8月1日～2011年3月31日，
深さ0～40km，M≧5.0）

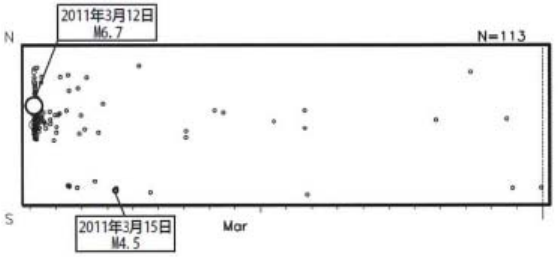


震央分布図
（1997年10月1日～2011年3月31日，
深さ0～40km，M≧3.0）
2011年3月以降の地震を濃く表示。





気象庁 震度データベースによる震度分布



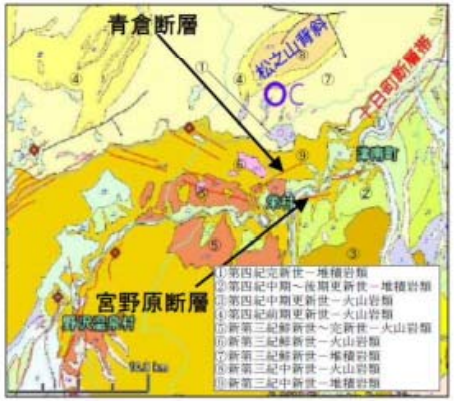
領域a内の時空間分布図（南北投影）
（2011年3月12日～3月31日）

気象庁 平成23年3月 地震・火山月報（防災編）

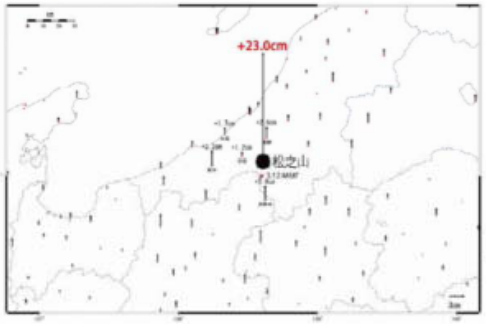
震源域周辺の地質構造

- 長野県北部地震の震源付近には，堆積岩類及び火山岩類(新第三紀中新世～第四紀完新世)が分布する。
- 震源付近には，十日町断層帯の西端に位置する宮野原断層，青倉断層があり，これらは活断層と推定されている。
- 震源断層は，北西－南東方向の圧縮軸を持つ南東傾斜の逆断層と見られている。また，余震の震源分布の投影図から，余震域の北東側と南西側では，断層面の傾斜が異なる可能性があると見られている。
- 余震分布の震源域の北端に，松之山背斜がほぼ一致することから，南東傾斜の断層は，松之山背斜と関連した断層構造である可能性が高いと想定されている。また，松之山が隆起した解釈とも調和的であり，地震によって松之山背斜が成長した可能性があると見られている。

長野県北部の主な地震

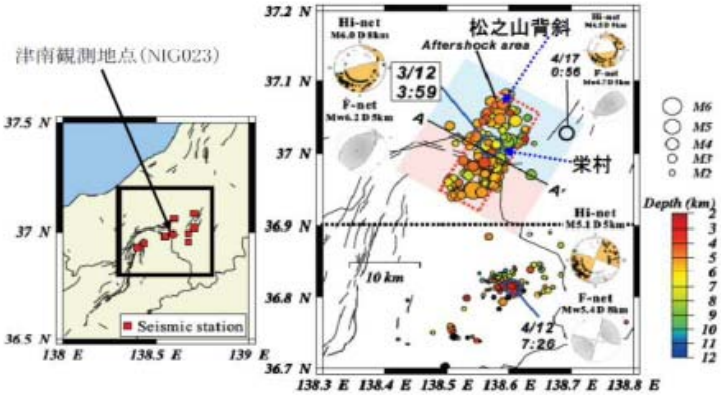


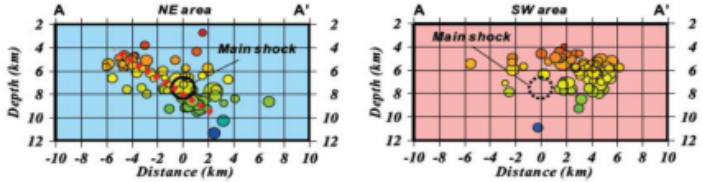
周辺地質図



長野県北部地震前後の上下方向の地殻変動

3月12日長野県北部の地震に伴う地変と栄村周辺地域の活断層
(廣内ほか，2012)に加筆





A－A'断面に震源を投影した図(左:北東域，右:南西域)

- 稠密地震観測データを用いた解析により，本震の震源の深さは約8kmと推定。
- 余震は，北北東-南南西方向に約17kmの広がり，深さ4～10kmに分布。
- 余震域の北東側では，余震が南東傾斜の面状に分布するが，南西側ではその特徴が見られず，北東側と南西側では断層面の傾斜が異なる可能性。

3月12日長野県北部の地震と余震の震源分布図

観測記録(1／4)

●観測記録の概要

・震源距離が30km以内の観測記録としては下表の10記録となる。
・このうち，震源近傍に位置するNIG023(津南)においては，最大加速度703.7cm/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。

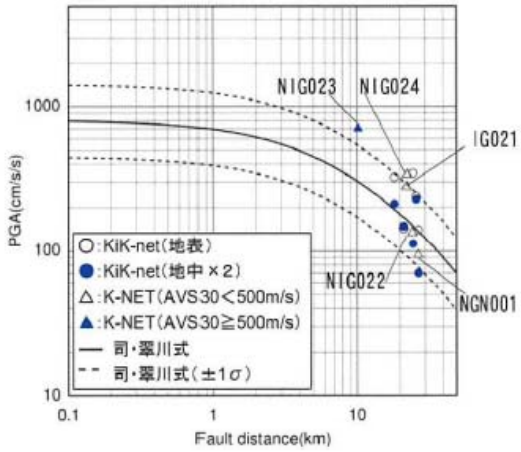
断層最短距離が30km以内の観測記録(K-NET)

観測点			震源距離(km)	AVS30(m/s)	最大加速度(cm/s²)		
					水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)
K-NET(地表)	NIG023	津南	10.2	579.5	535.7	703.7	316.2
	NIG021	十日町	22.2	418.8	277.9	248.5	125.5
	NIG024	安塚	22.4	340.2	337.5	216.8	113.0
	NIG022	塩沢	24.3	197.0	113.4	134.1	73.0
	NGN001	飯山	26.8	324.9	92.1	94.4	47.9

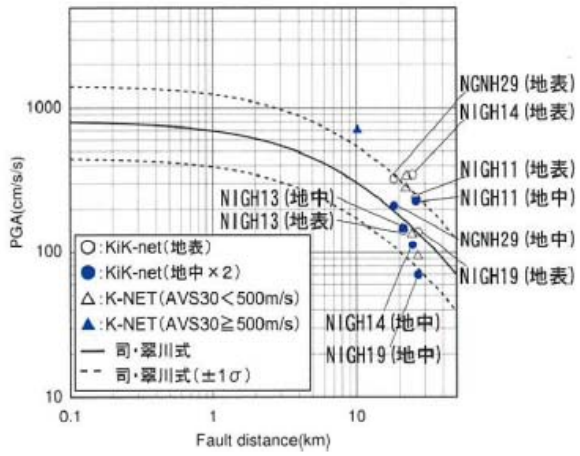
断層最短距離が30km以内の観測記録(KiK-net)

観測点			震源距離(km)	AVS30(m/s)	最大加速度(cm/s²)※		
					水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)
KiK-net(地表・地中)	NGNH29	野沢温泉	18.3	464.9	279.5 (87.8)	323.8 (106.5)	259.1 (65.6)
	NIGH13	牧	21.2	461.1	143.1 (74.3)	135.9 (39.0)	69.6 (40.7)
	NIGH14	塩沢	24.6	437.6	300.0 (48.6)	346.1 (56.3)	149.0 (31.7)
	NIGH11	川西	25.9	375.0	238.5 (114.5)	158.4 (83.2)	90.6 (42.9)
	NIGH19	湯沢	26.9	625.0	139.8 (35.4)	127.3 (34.2)	70.5 (6.1)

※(　)の数値は地中記録を示す



司・翠川(1999)の距離減衰式との関係(K-NET)

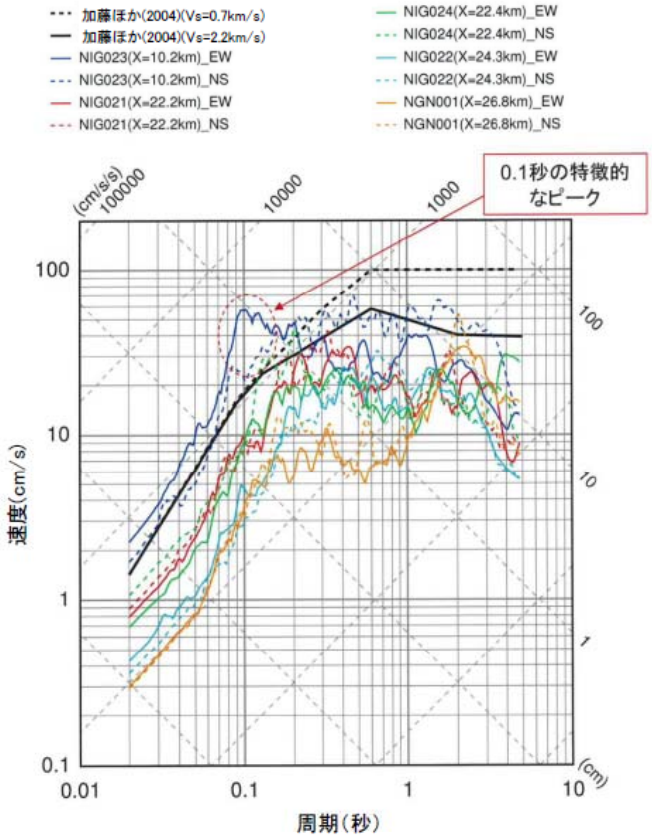


司・翠川(1999)の距離減衰式との関係(KiK-net)

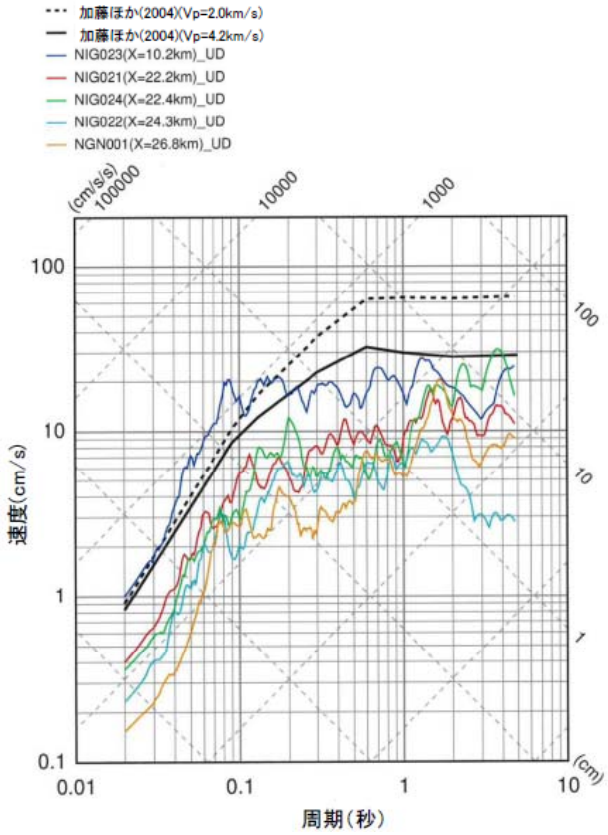
観測記録(2／4)

●K-NET観測記録

・K-NET観測点の観測記録のうち，NIG023(津南)及びNIG024(安塚)における観測記録の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。
・NIG024(安塚)のAVS_{30}は500m/s以下であるとともに，NIG023(津南)の観測記録の応答スペクトルに概ね包絡される。



水平方向



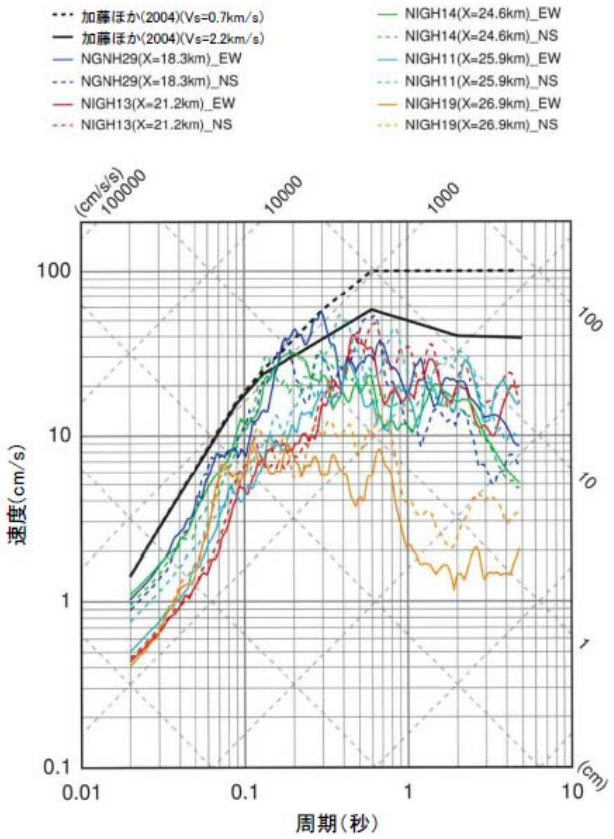
鉛直方向

K-NET各観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

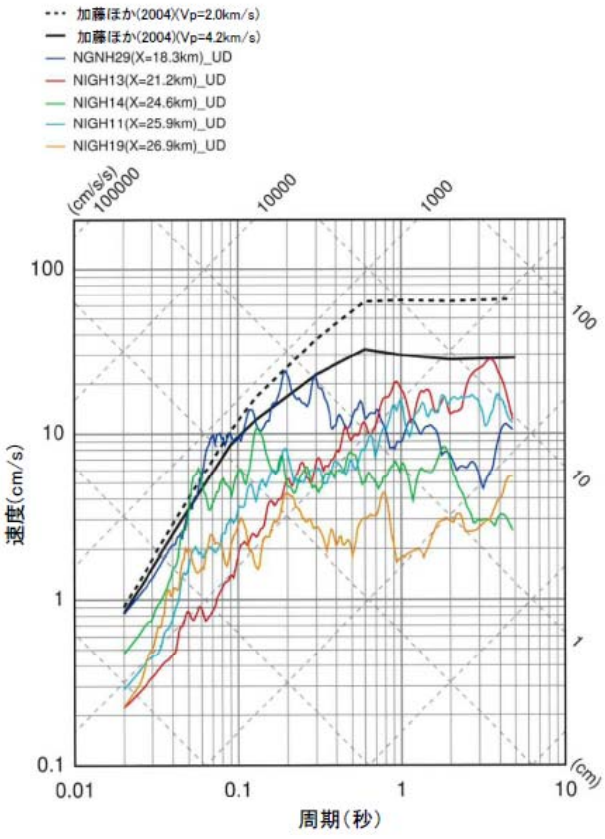
観測記録(3／4)

●KiK-net観測記録(地表観測記録)

・KiK-net観測点の観測記録のうち，NGNH29(野沢温泉)及びNIGH14(塩沢)における地表観測記録の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。
・いずれの観測点の地表観測記録についても，次頁に示す地中観測記録の応答スペクトルが加藤ほか(2004)を下回ることから，影響度は小さいと考えられる。



水平方向



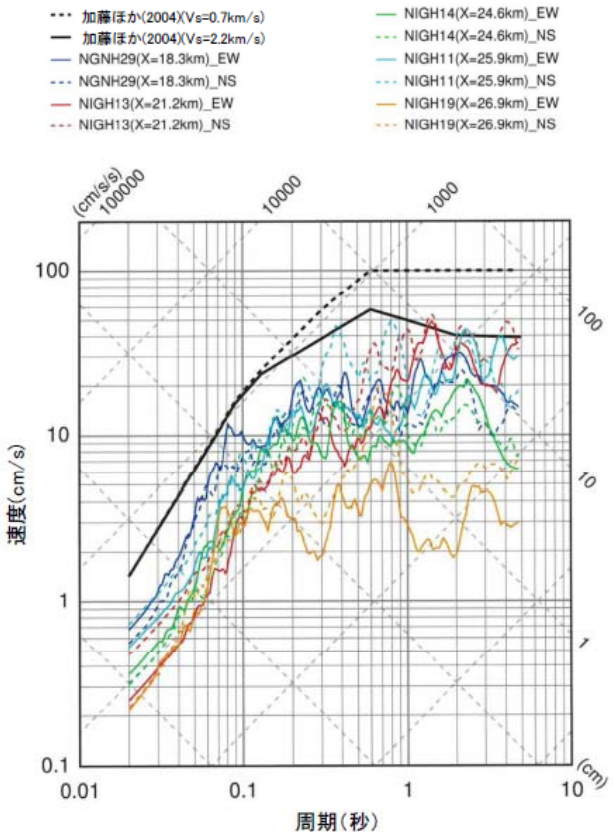
鉛直方向

KiK-net各観測記録(地表)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

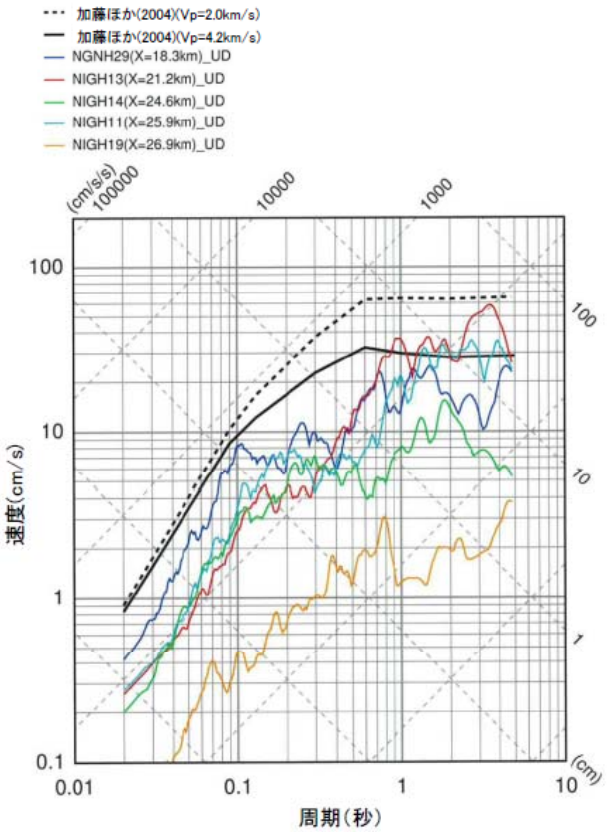
観測記録(4／4)

●KiK-net観測記録(地中観測記録)

・KiK-net観測点における地中観測記録の2倍の応答スペクトルは，加藤ほか(2004)の応答スペクトルに包絡される。



水平方向



鉛直方向

KiK-net各観測記録(地中×2)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

NIG023(津南)のはぎとり解析

●NIG023(津南)の観測記録については，地盤情報が乏しいため，地盤モデルが構築できない。

●上記に伴い，はぎとり解析による基盤地震動の評価ができない。

●今後，各種調査により地盤情報の取得が必要である。

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
3.1 観測記録の収集・整理 ・・・・・・ 60
3.2 2004年北海道留萌支庁南部地震(Mw5.7) ・・・・・・ 65
3.3 2011年茨城県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 100
3.4 2013年栃木県北部地震(Mw5.8) ・・・・・・ 108
3.5 2011年和歌山県北部地震(Mw5.0) ・・・・・・ 117
3.6 2011年長野県北部地震(Mw6.2) ・・・・・・ 125
3.7 Mw6.5未満の地震のまとめ ・・・・・・ 133
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

Mw6.5未満の地震に関する検討　まとめ（1／2）

●以下に，Mw6.5未満の地震のうち，影響の大きいと考えられる5記録について整理した結果を示す。

		2004年 北海道留萌支庁南部地震	2011年 茨城県北部地震	2013年 栃木県北部地震	2011年 和歌山県北部地震	2011年 長野県北部地震
地盤モデル	使用モデル	・佐藤ほか(2013)のボーリング結果に基づく地盤モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・地盤情報が少なく,地盤モデルを構築できない
	既往の知見との整合性	・微動探査による地盤データと整合 ・知見で指摘されている非線形性を考慮	・観測記録の伝達関数及びKiK-net地盤データと整合しない。 ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰，方位依存性の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・地盤モデルに関する既往の知見がない
		○	×	×	×	×
	更なる知見収集・検討事項	－	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地質調査,微動探査等による地盤情報の取得
はぎとり解析	解析手法	・非線形性を考慮した等価線形解析	・線形解析	・線形解析	・線形解析	・地盤モデルが構築できないため,解析できない
	精度	・観測記録と整合	・はぎとり解析の適用性が不明	・はぎとり解析の適用性が不明	・はぎとり解析の適用性が不明	・はぎとり解析の適用性が不明
		○	×	×	×	×
	更なる知見収集・検討事項	－	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表観測記録の再現解析
結果の信頼性		○	×	×	×	×

Mw6.5未満の地震に関する検討　まとめ（２／２）

●2004年留萌支庁南部地震のHKD020（港町）の観測記録については，信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられることから，震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

●2011年茨城県北部地震のIBRH13（高萩），2013年栃木県北部地震のTCGH07（栗山西），2011年和歌山県北部地震のWKYH01（広川）の観測記録について，１次元波動論では信頼性のある地盤モデルが構築できず，はぎとり解析による基盤地震動の評価は困難であると考えられるため，今後も継続的に知見の収集，はぎとり解析等の検討が必要である。

●2011年長野県北部地震のNIG023（津南）の観測記録については，地盤情報が乏しく，はぎとり解析による基盤地震動の算定が困難であるため，今後，各種調査により地盤情報の取得が必要である。

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

震源を特定せず策定する地震動への反映

設置変更許可申請時（平成26年5月）

加藤ほか（2004）による応答スペクトルを震源を特定せず策定する地震動として考慮している。

設置変更許可申請時以降の検討

●Mw6.5以上の地震（2地震）

2008年岩手・宮城内陸地震及び2000年鳥取県西部地震の震源域は，両地震とも東海第二発電所とは異なる地域性を有していることが確認されるため，震源を特定せず策定する地震動として考慮する必要はないものと考えられる。

●Mw6.5未満の地震（14地震）

影響が大きいと考えられる観測記録のうち，2004年北海道留萌支庁南部地震の観測記録については，信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられることから，震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

- 佐藤ほか(2013)によると，水平成分 585cm/s^2，鉛直成分 296cm/s^{2}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討結果は，水平成分 609cm/s^2，鉛直成分 306cm/s^{2}と評価された。
- 東海第二発電所の地盤物性による影響を考慮した結果，水平成分 598cm/s^2，鉛直成分 262cm/s^{2}と評価された。

以上を踏まえ，2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮して，水平成分 610cm/s^2，鉛直成分 280cm/s^{2}の地震動を，震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

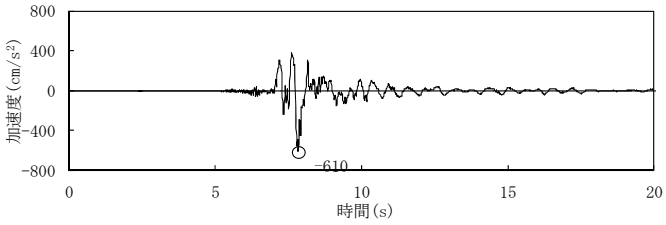
震源を特定せず策定する地震動

加藤ほか（2004）による応答スペクトルと，2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動は，周期によって大小関係が異なるため，震源を特定せず策定する地震動として両者を考慮する。

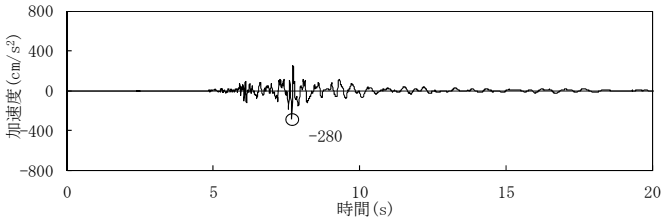
- 加藤ほか（2004）による応答スペクトル
- 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した，水平成分 610cm/s^2，鉛直成分 280cm/s^{2}の地震動

震源を特定せず策定する地震動

●加藤ほか(2004)に基づく応答スペクトル，及び，2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した，水平成分 610cm/s^2，鉛直成分 280cm/s^{2}の地震動を，震源を特定せず策定する地震動として考慮する。



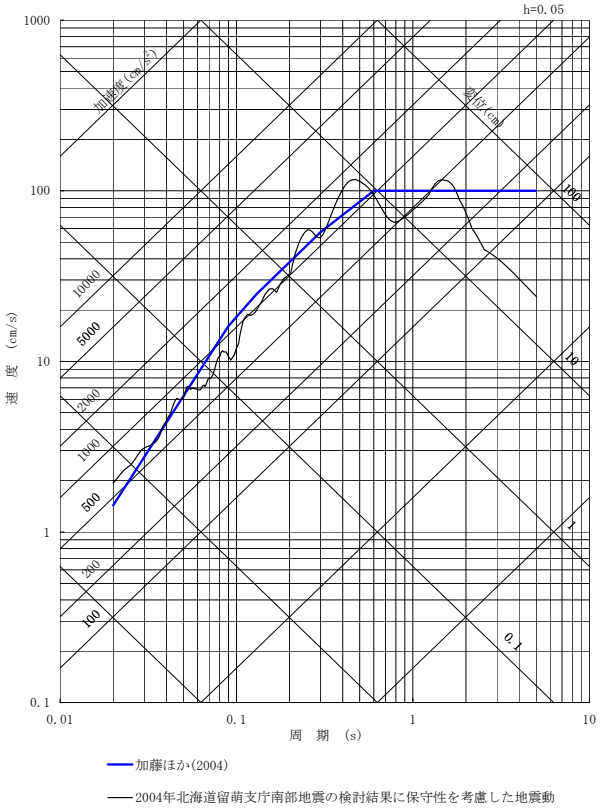
水平成分



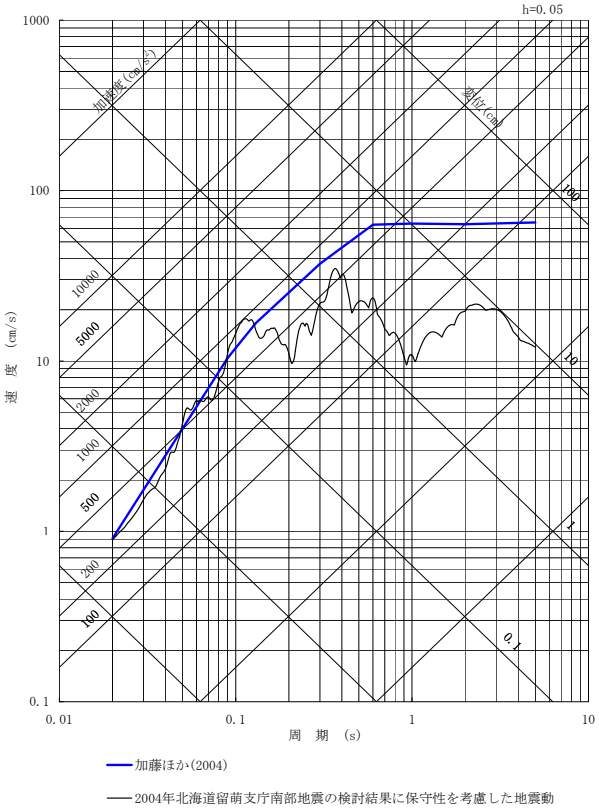
鉛直成分

加速度時刻歴波形

（2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動）



水平成分



鉛直成分

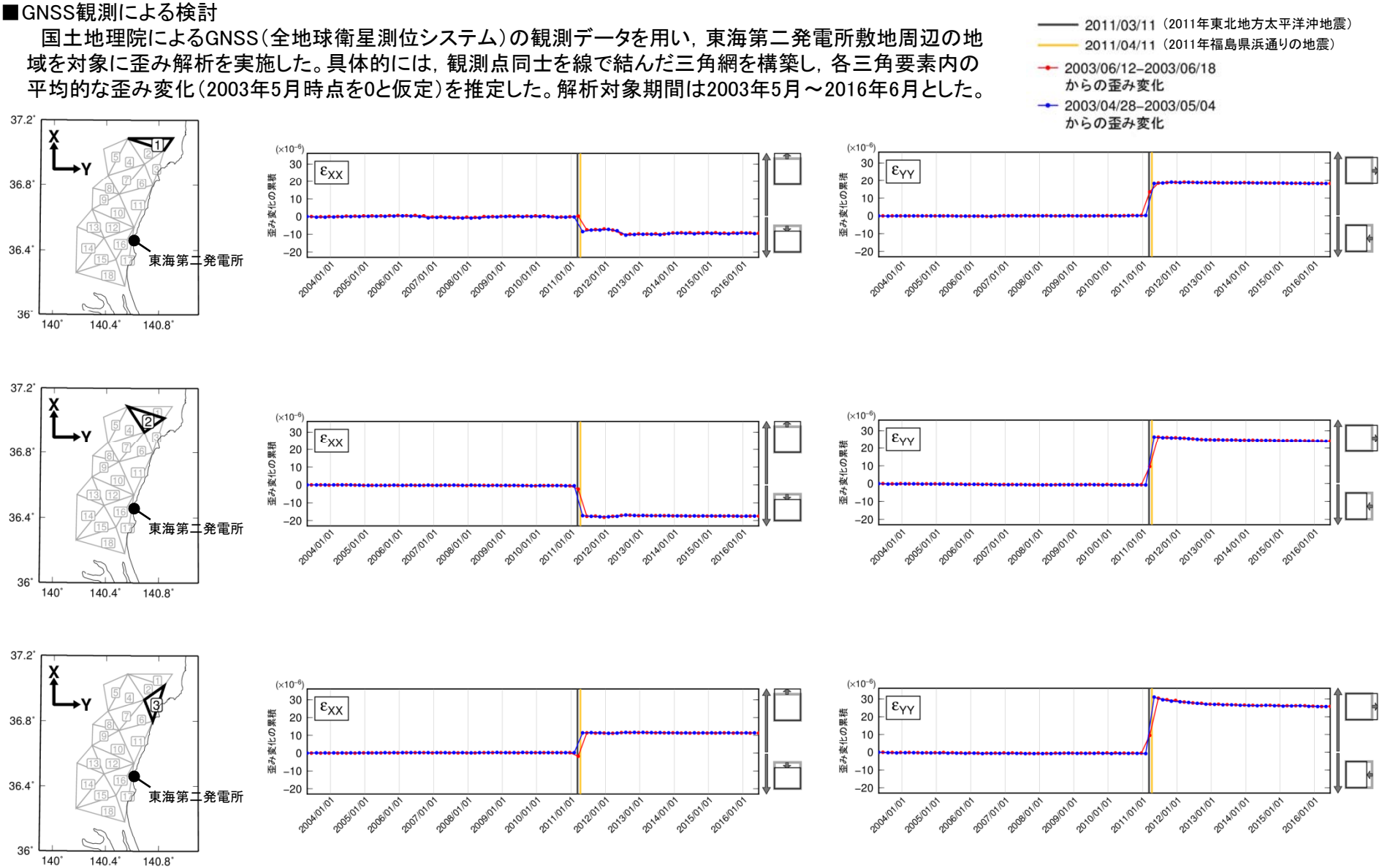
擬似速度応答スペクトル

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
5.1 GNSS観測データに基づくひずみ変化 ・・・・・・ 139
5.2 地盤モデルの設定 ・・・・・・ 146
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

GNSS観測データに基づくひずみ変化（1／6）

■GNSS観測による検討

国土地理院によるGNSS（全地球衛星測位システム）の観測データを用い，東海第二発電所敷地周辺の地域を対象に歪み解析を実施した。具体的には，観測点同士を線で結んだ三角網を構築し，各三角要素内の平均的な歪み変化（2003年5月時点を0と仮定）を推定した。解析対象期間は2003年5月～2016年6月とした。

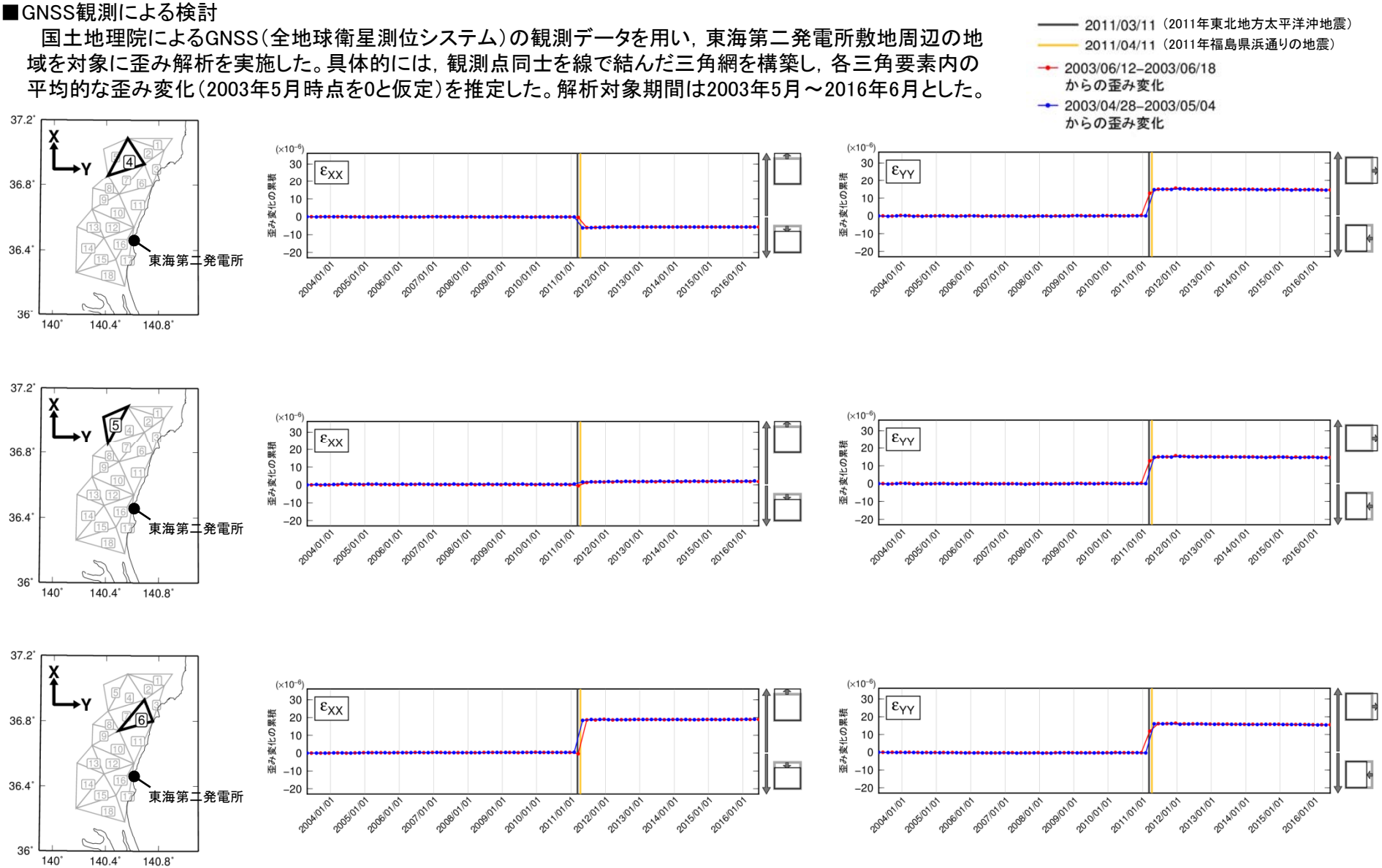


ひずみ変化の累積

GNSS観測データに基づくひずみ変化（2／6）

■GNSS観測による検討

国土地理院によるGNSS（全地球衛星測位システム）の観測データを用い，東海第二発電所敷地周辺の地域を対象に歪み解析を実施した。具体的には，観測点同士を線で結んだ三角網を構築し，各三角要素内の平均的な歪み変化（2003年5月時点を0と仮定）を推定した。解析対象期間は2003年5月～2016年6月とした。

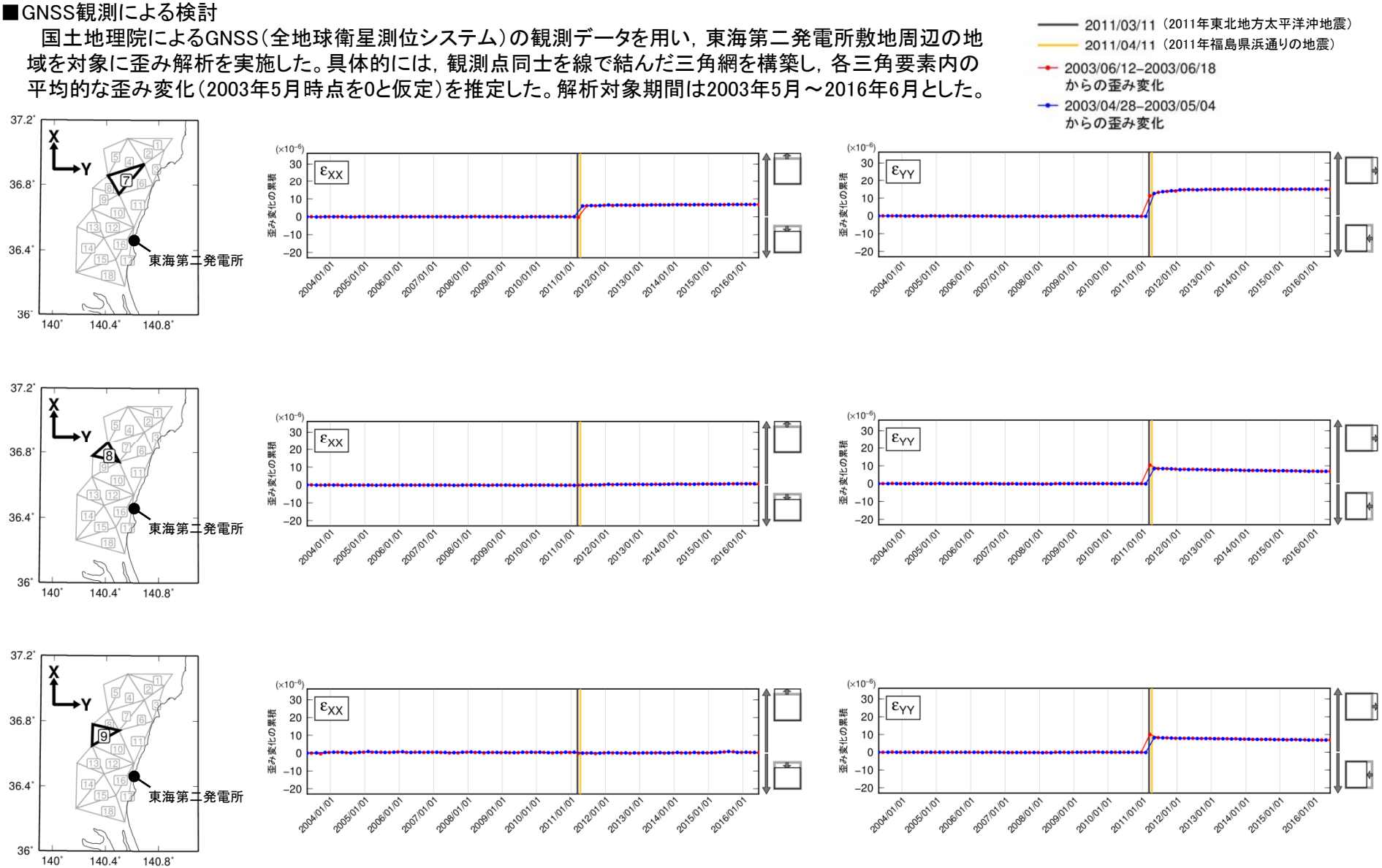


ひずみ変化の累積

GNSS観測データに基づくひずみ変化（3／6）

■GNSS観測による検討

国土地理院によるGNSS（全地球衛星測位システム）の観測データを用い，東海第二発電所敷地周辺の地域を対象に歪み解析を実施した。具体的には，観測点同士を線で結んだ三角網を構築し，各三角要素内の平均的な歪み変化（2003年5月時点を0と仮定）を推定した。解析対象期間は2003年5月～2016年6月とした。

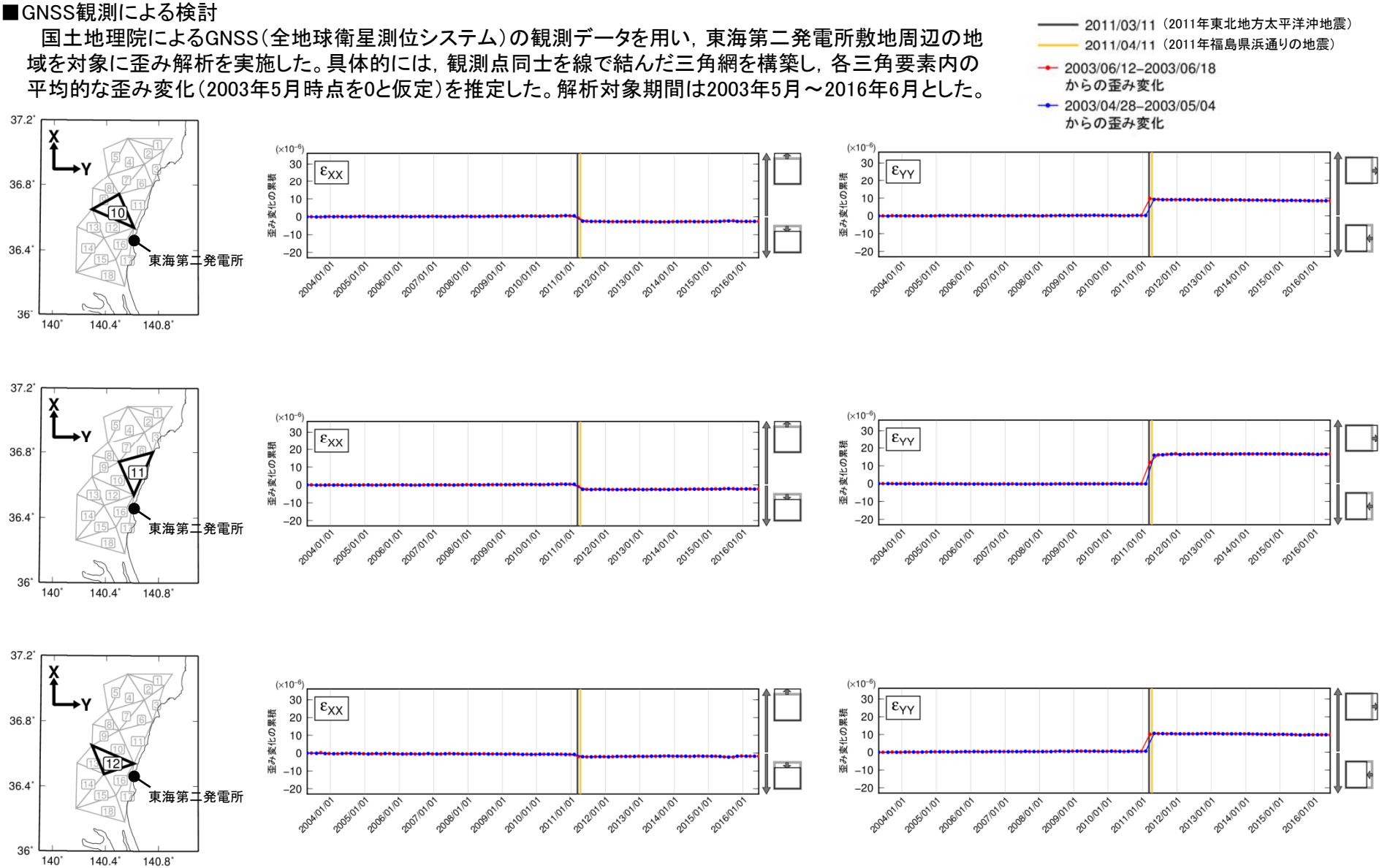


ひずみ変化の累積

GNSS観測データに基づくひずみ変化（4／6）

■GNSS観測による検討

国土地理院によるGNSS（全地球衛星測位システム）の観測データを用い，東海第二発電所敷地周辺の地域を対象に歪み解析を実施した。具体的には，観測点同士を線で結んだ三角網を構築し，各三角要素内の平均的な歪み変化（2003年5月時点を0と仮定）を推定した。解析対象期間は2003年5月～2016年6月とした。

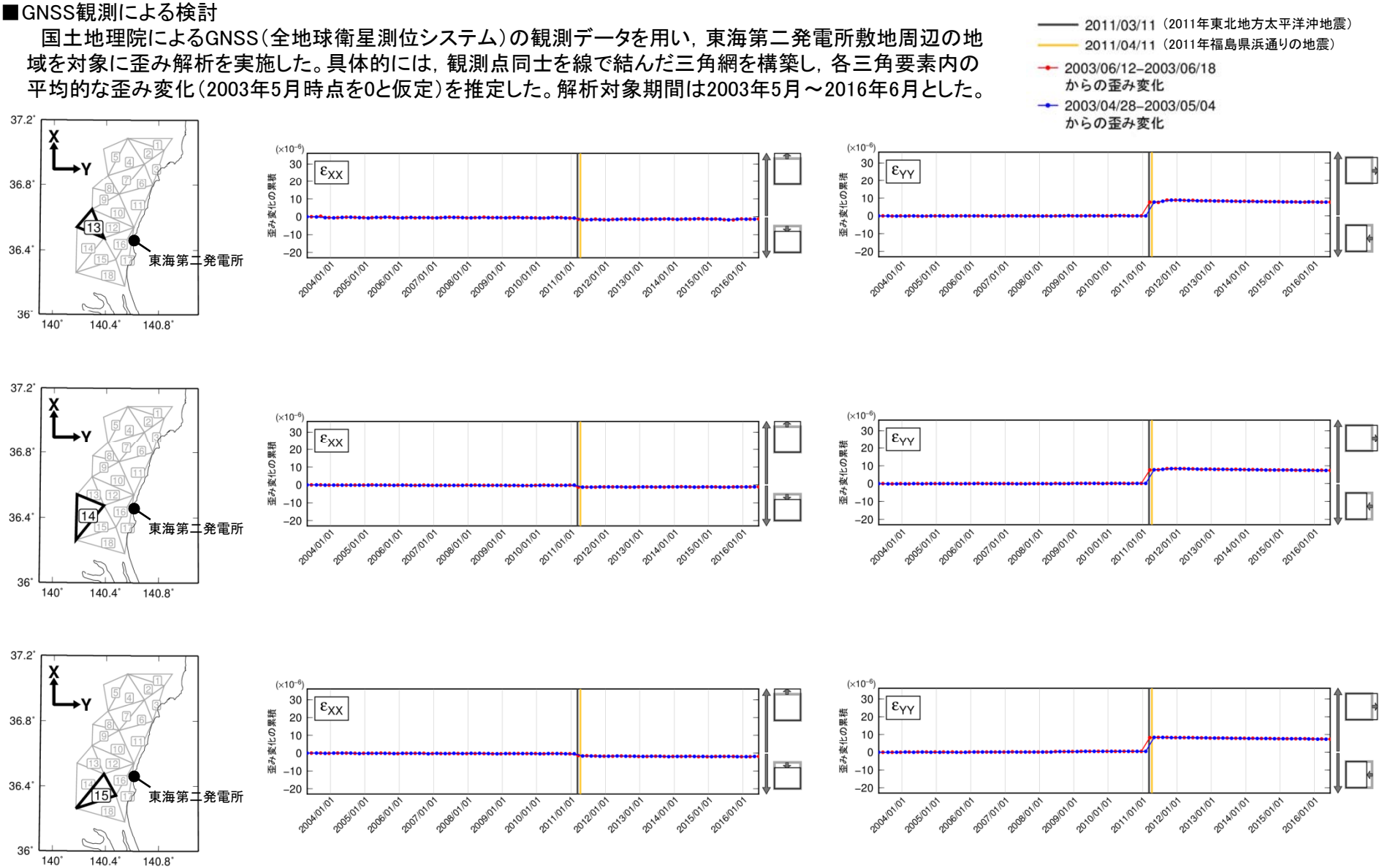


ひずみ変化の累積

GNSS観測データに基づくひずみ変化（5／6）

■GNSS観測による検討

国土地理院によるGNSS（全地球衛星測位システム）の観測データを用い，東海第二発電所敷地周辺の地域を対象に歪み解析を実施した。具体的には，観測点同士を線で結んだ三角網を構築し，各三角要素内の平均的な歪み変化（2003年5月時点を0と仮定）を推定した。解析対象期間は2003年5月～2016年6月とした。

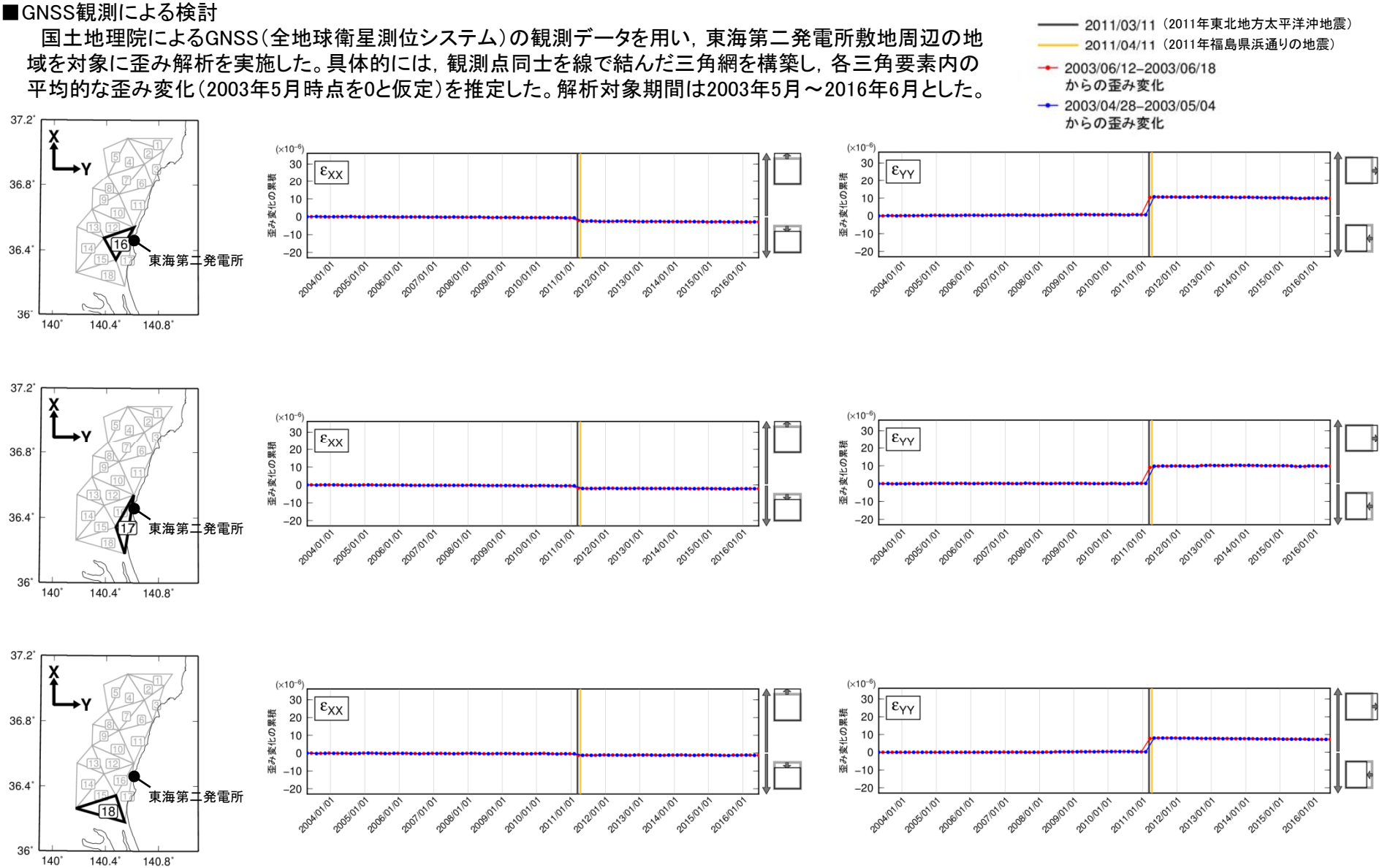


ひずみ変化の累積

GNSS観測データに基づくひずみ変化（6／6）

■GNSS観測による検討

国土地理院によるGNSS（全地球衛星測位システム）の観測データを用い，東海第二発電所敷地周辺の地域を対象に歪み解析を実施した。具体的には，観測点同士を線で結んだ三角網を構築し，各三角要素内の平均的な歪み変化（2003年5月時点を0と仮定）を推定した。解析対象期間は2003年5月～2016年6月とした。



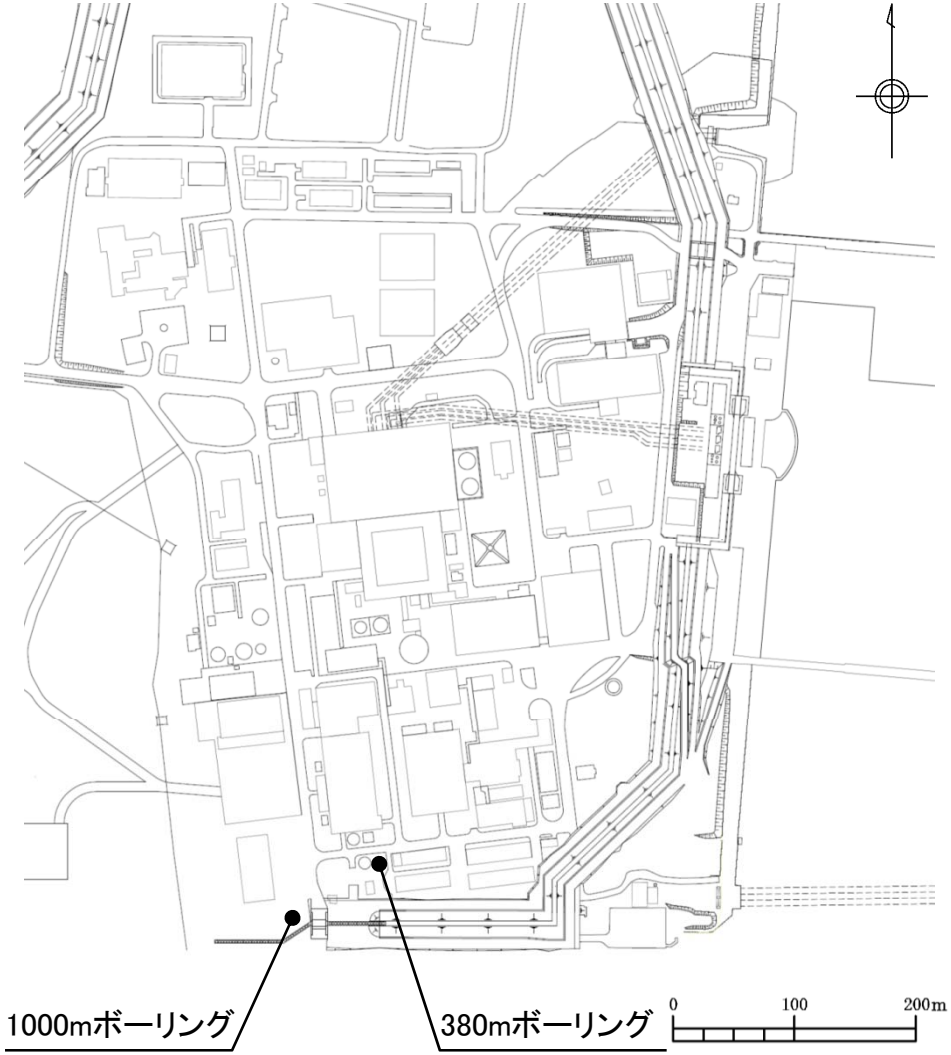
ひずみ変化の累積

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
5.1 GNSS観測データに基づくひずみ変化 ・・・・・・ 139
5.2 地盤モデルの設定 ・・・・・・ 146
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

地盤モデルの設定方針

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

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

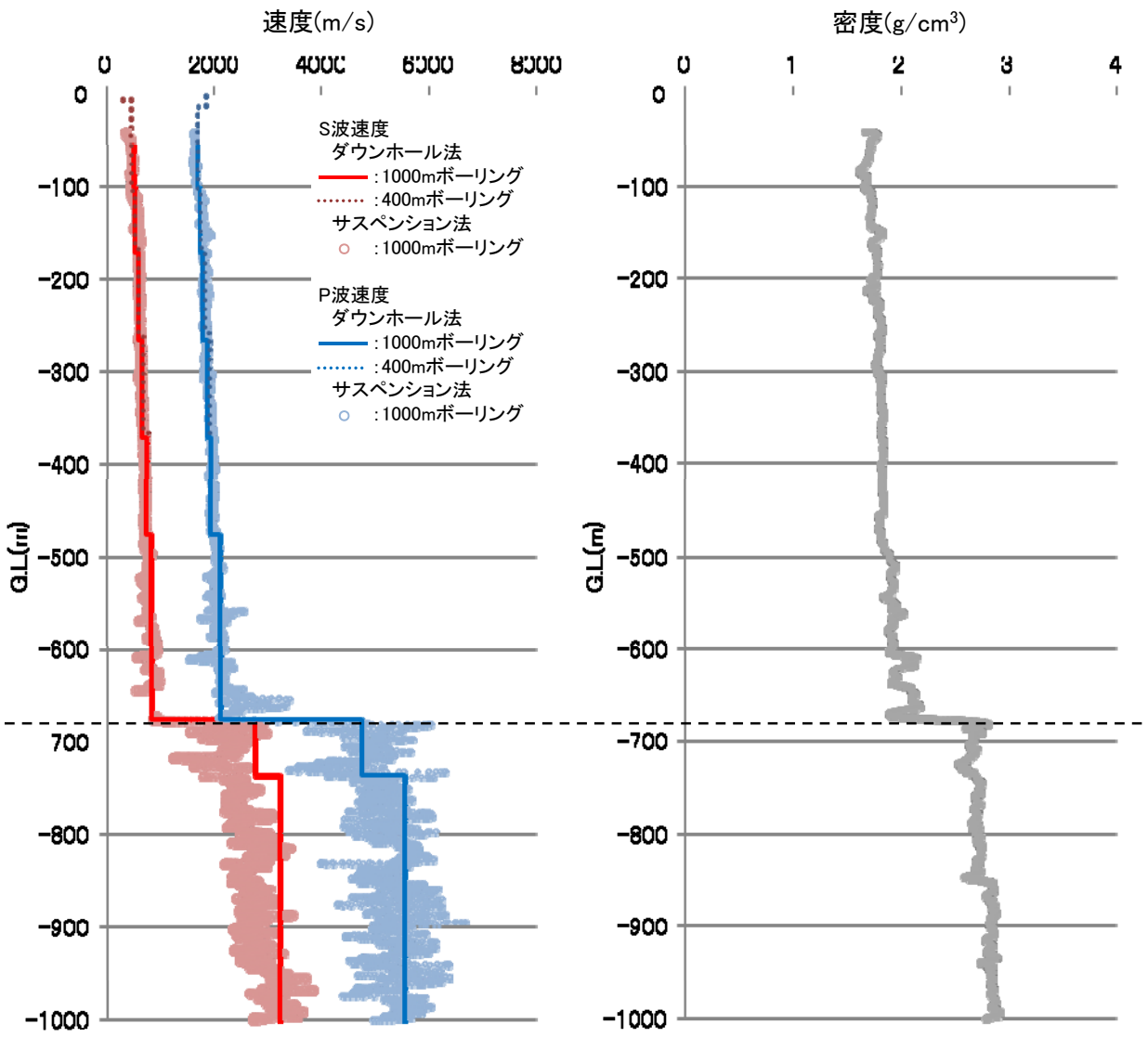


地盤モデルの検討に用いた
ボーリング位置（平面）

1000mボーリングの調査結果

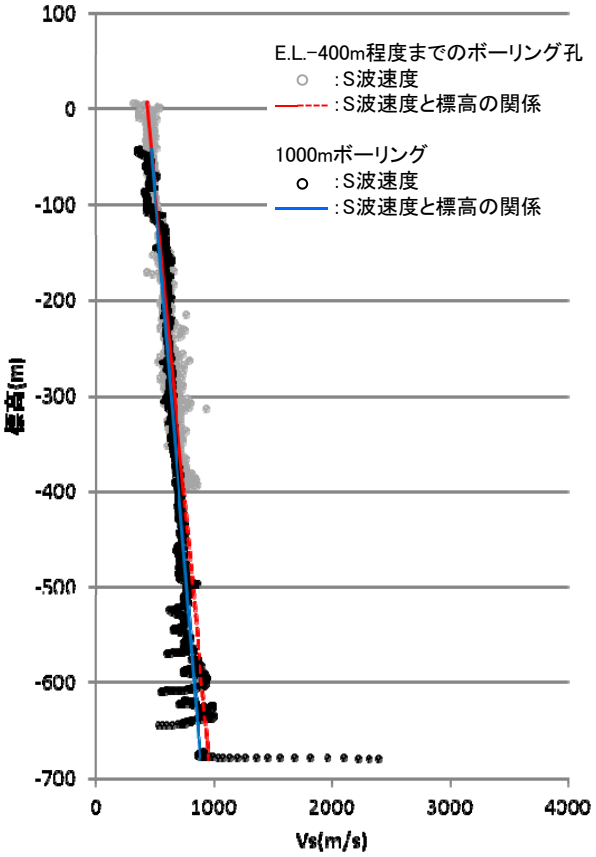
【1000mボーリング】

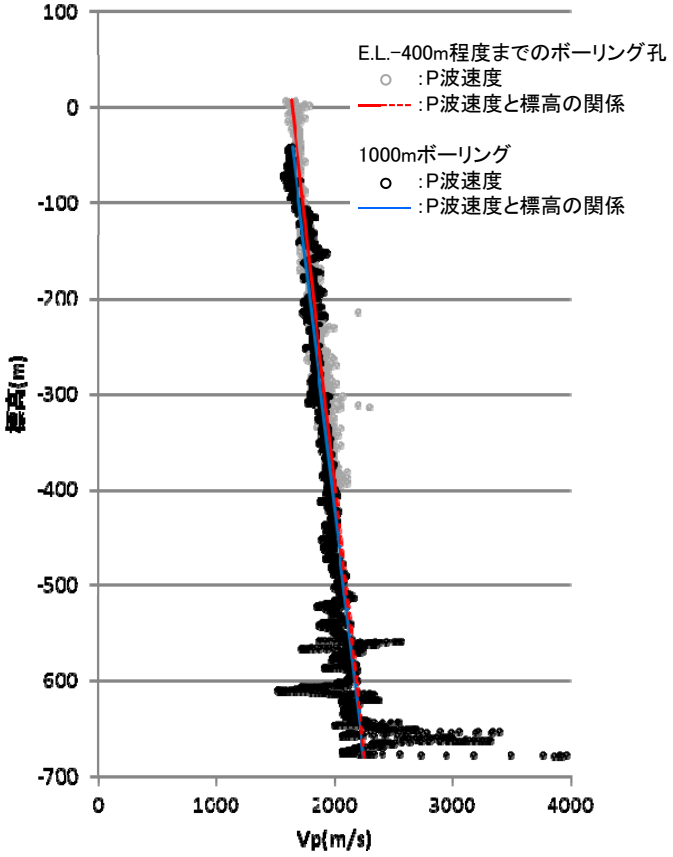
G.L. (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直	地層
	—	—	—	—	—
-65	500	1680			新第三系
-110	540	1730			
-180	600	1790			
-275	650	1890			
-380	750	1950			
-485	840	2110	0.0246	0.0103	
-685	2750	4740	0.0725	0.0397	先新第三系
-745	3220	5550	0.0154	0.0102	
-1000	—	—	—	—	



久米層内における地盤速度の検討

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





久米層における
地盤速度と標高の関係

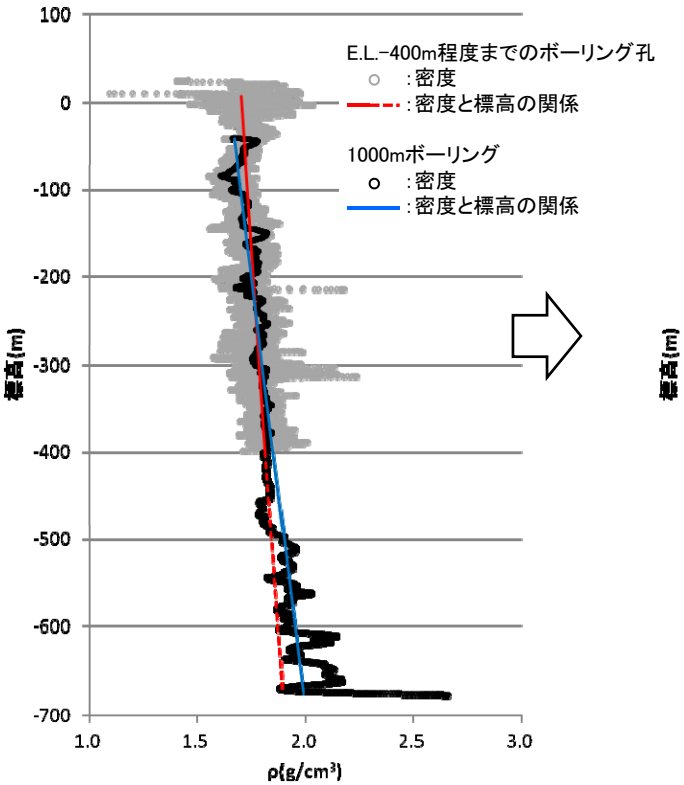
$Vs = 0.433 - 7.71 \times 10^{-4} \cdot Z$

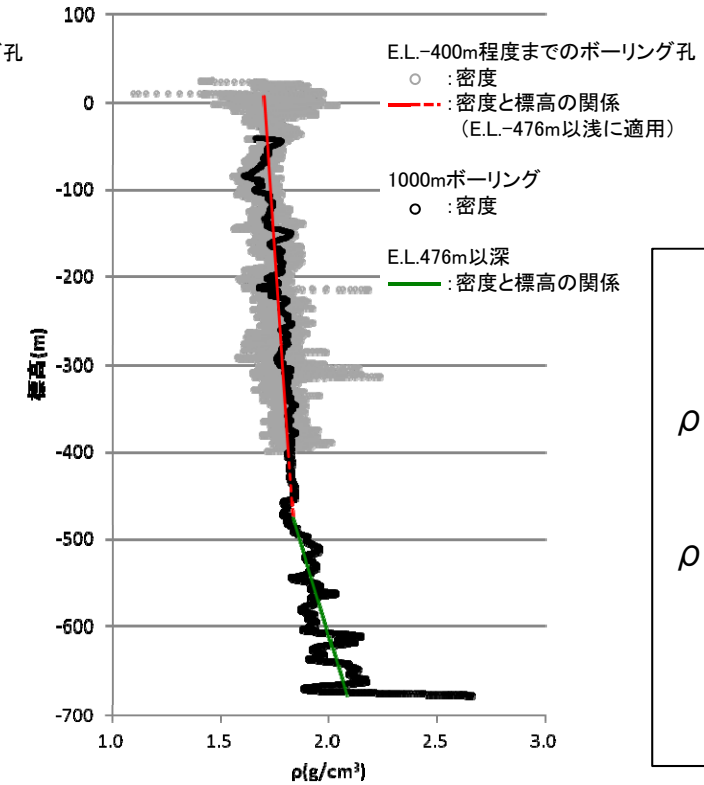
$Vp = 1.65 - 9.09 \times 10^{-4} \cdot Z$

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

久米層内における密度の検討

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





久米層における
密度と標高の関係

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

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

ここで，ρ：密度（g/cm³）
Z：標高（m）

初期地盤モデルの設定

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

② 概ね100m程度を目安に層厚を設定した。

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

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

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

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

⑦ E.L.-679m以深の減衰定数は仮定した。

●初期地盤モデルの理論伝達関数と観測記録による伝達関数を比較する

設定した初期地盤モデル

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

▼：地震計位置　▽：解放基盤表面　△：地震基盤

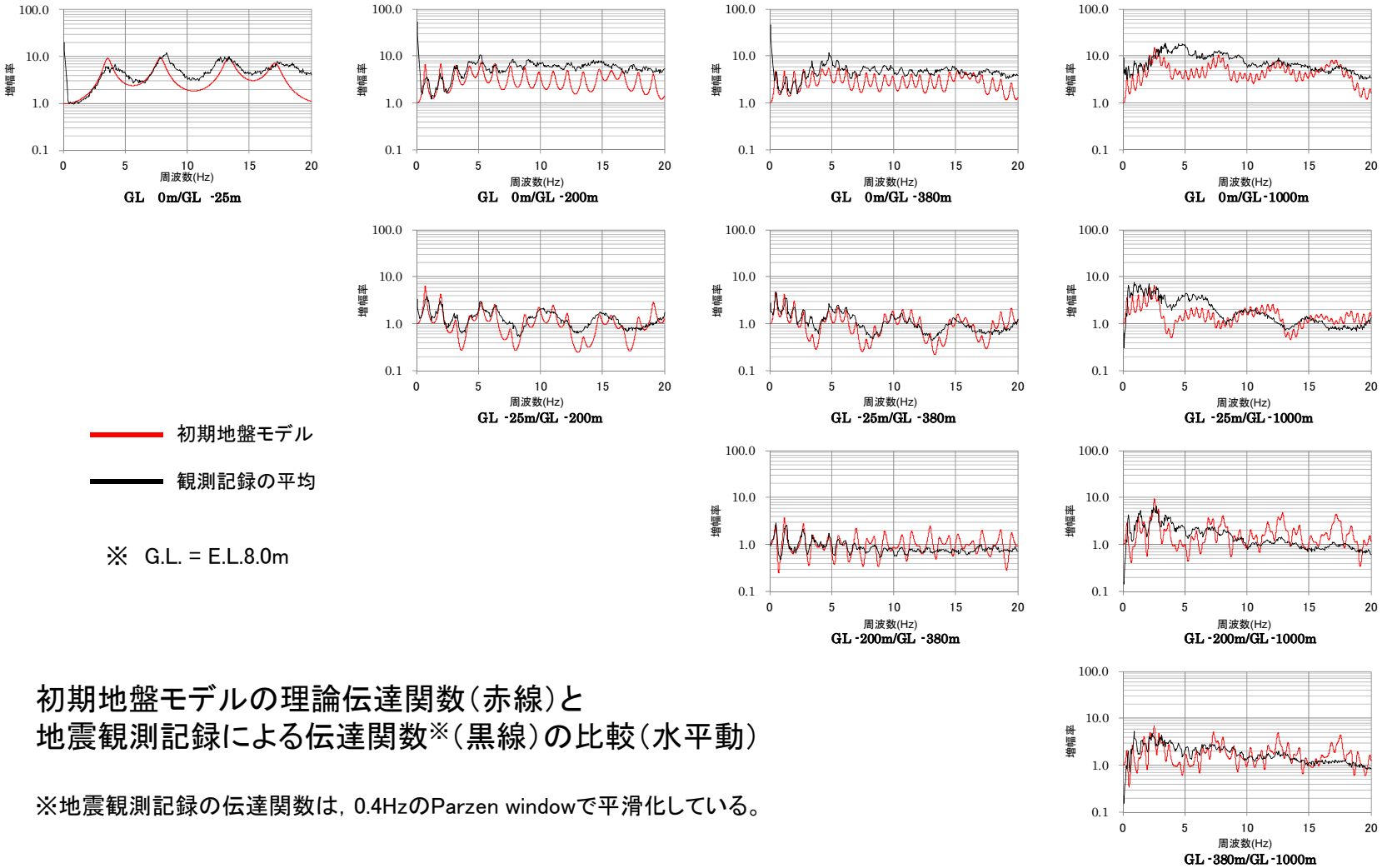
解放基盤表面以深の伝達関数の算出に用いた地震諸元

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

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

初期地盤モデルによる伝達関数（水平動）

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

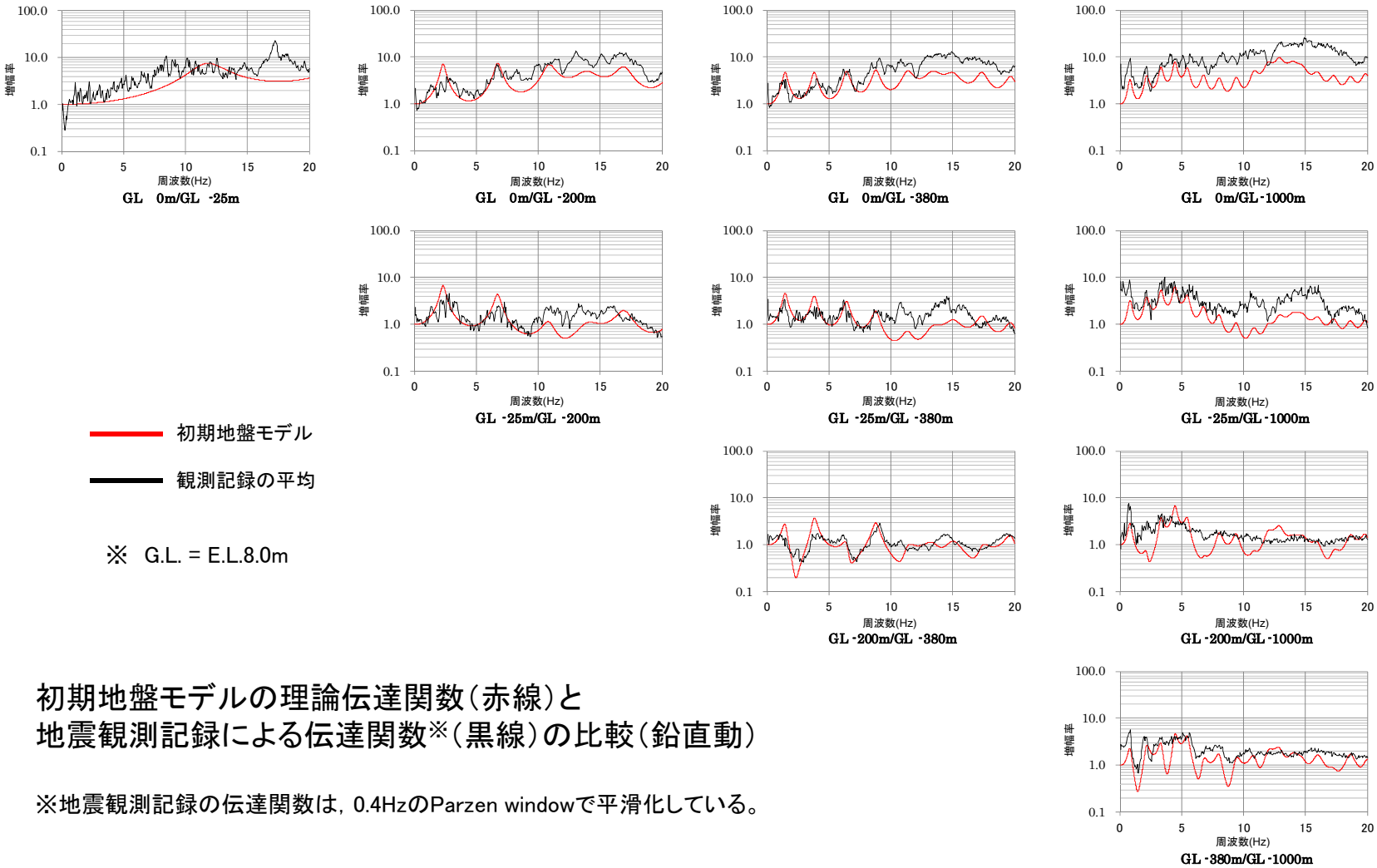


※ G.L. = E.L.8.0m

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

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

初期地盤モデルによる伝達関数（鉛直動）



初期地盤モデル

観測記録の平均

※　G.L. = E.L.8.0m

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

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

解放基盤表面以深の地盤同定解析

●地盤モデルの同定結果

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

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

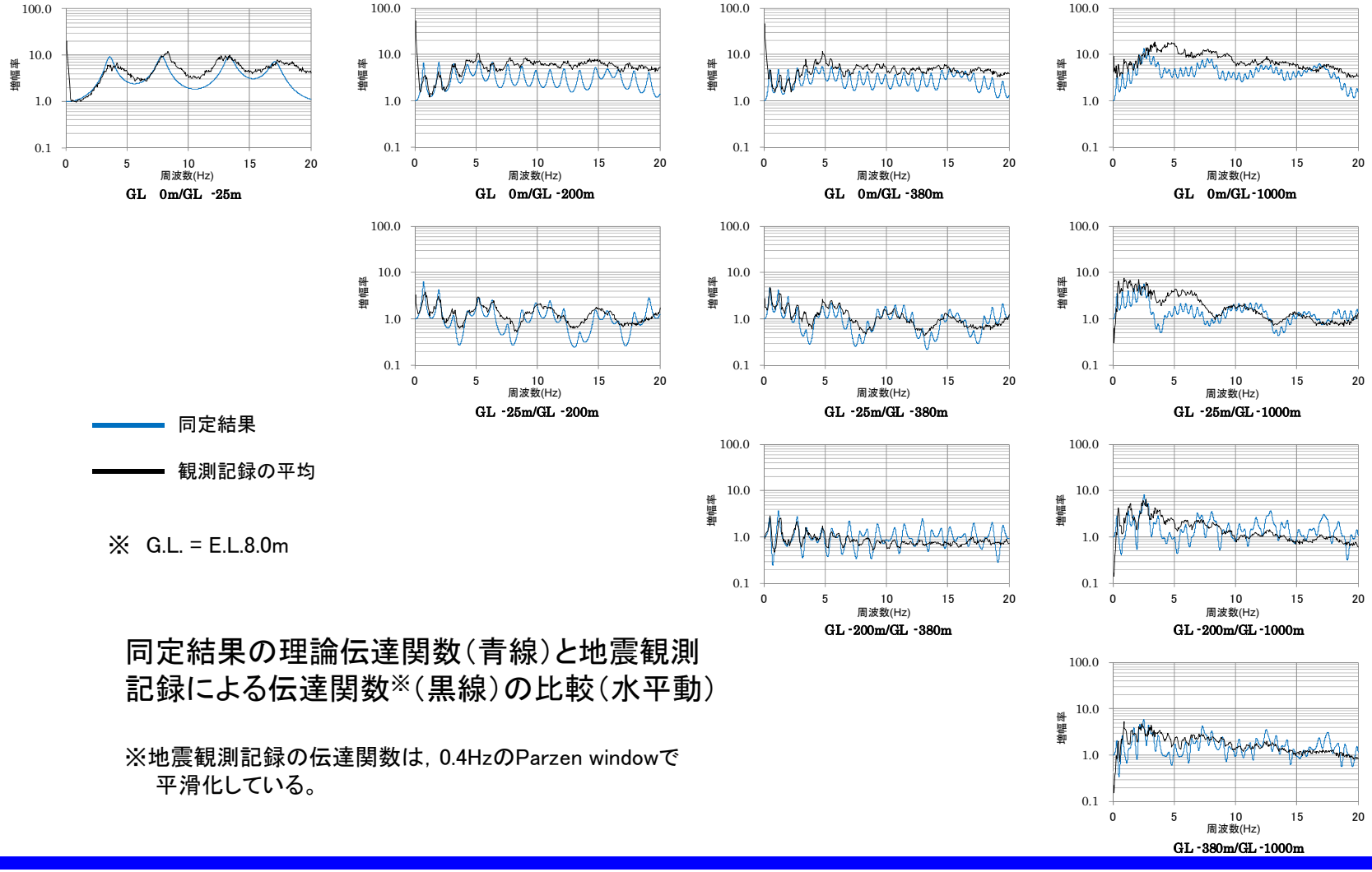
同定解析における初期値，探索範囲，同定結果

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

▼:地震計位置　▽:解放基盤表面　△:地震基盤

□:同定対象

地盤同定解析による地盤モデルの伝達関数（水平動）



同定結果

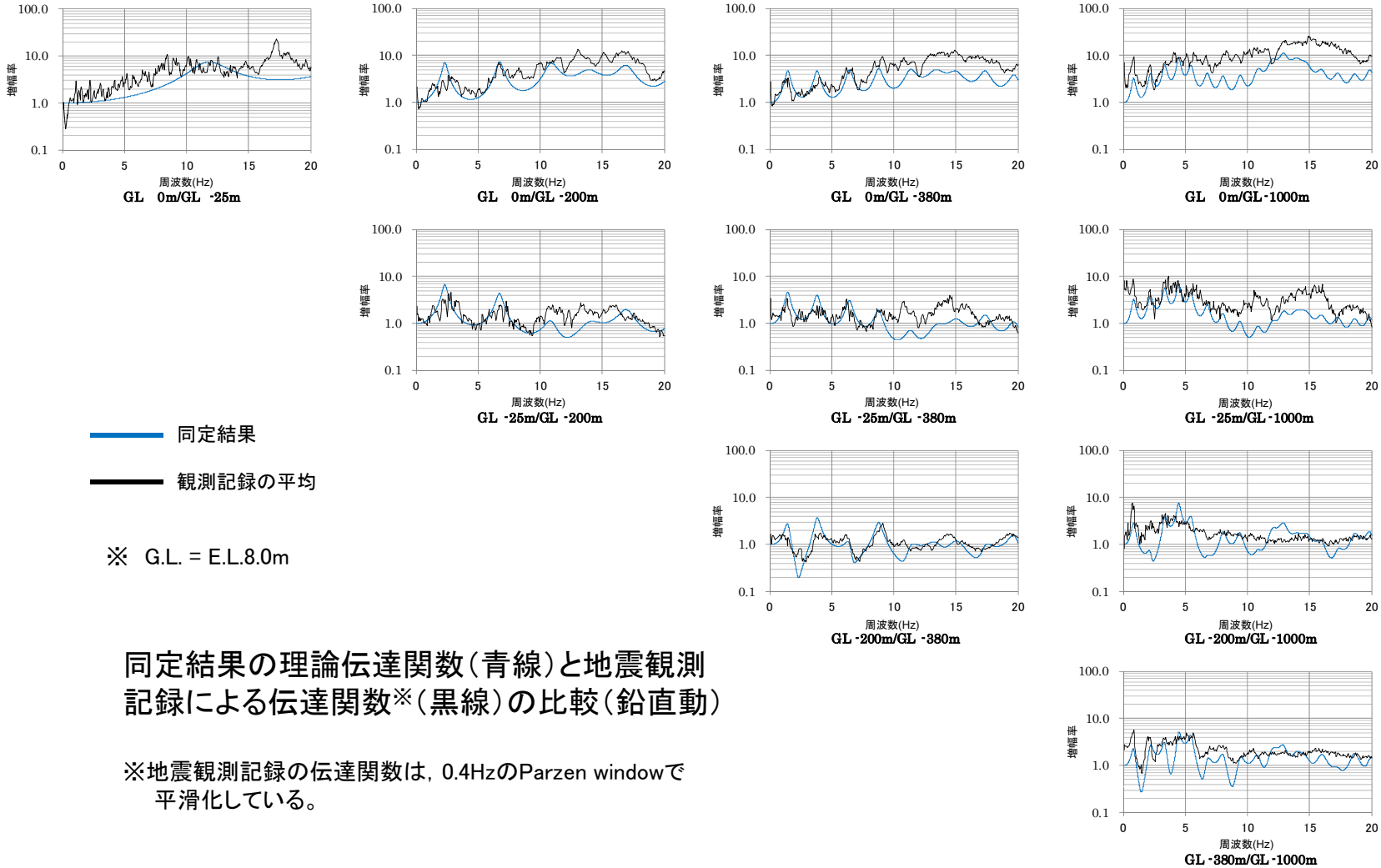
観測記録の平均

※　G.L. = E.L.8.0m

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

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

地盤同定解析による地盤モデルの伝達関数（鉛直動）



同定結果

観測記録の平均

※　G.L. = E.L.8.0m

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

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

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

地震観測記録の検討

●「3. Mw6.5未満の地震に関する検討」において検討対象とした影響の大きいと考えられる5記録を観測した観測点のうち，KiK-net観測点である高萩観測点（IBRH13），栗山西観測点（TCG07），広川（WKYH01）について，地震観測記録を用いて本震が地震観測点に及ぼした影響について検討する。

●影響の検討方法は，それぞれの観測点における地表と地中の地震観測記録から加速度フーリエ振幅を算定し，地中に対する地表の割合を周期（振動数）ごとに算定することにより，地震観測点における地震動の伝達特性（以下，増幅率と称する）を把握する。さらに，本震と中小地震における増幅率の違いについても検討する。

●検討に用いた中小地震観測記録の条件

・大きな震動による地盤の残留ひずみ等の影響がないと考えられる観測記録

高萩観測点（IBRH13）：2011年3月10日以前

栗山西観測点（TCG07）：2012年12月16日以前

広川（WKYH01）：2011年7月4日以前

・最大加速度100cm/s^{2}未満の観測記録

・震央距離50km以内の観測記録

●計算条件

・計算に使用するデータは，目視で判断したP波到達時刻の約1秒前から20.48秒間

・サンプリング周波数は100Hz

・スムージングは0.3HzのParzen window

2011年茨城県北部地震による高萩観測点（IBRH13）の記録について（1／3）

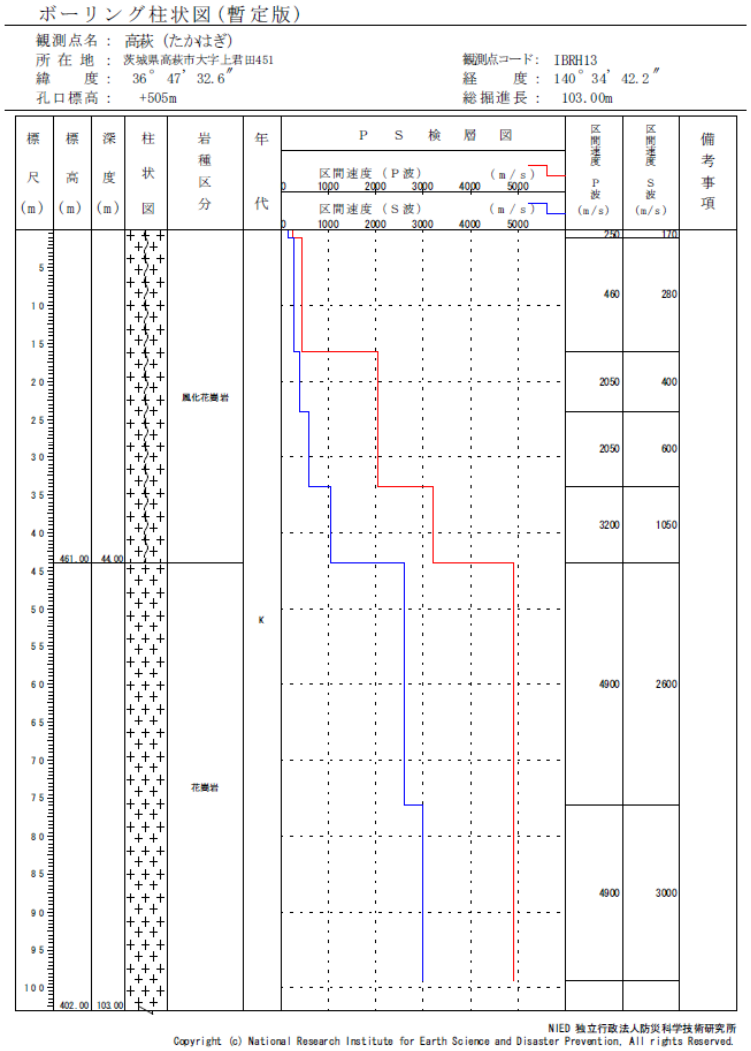
● 観測点の状況

100m

Googleマップに一部加筆

地震観測点周辺の状況
（○：観測点）

PS検層結果（防災科学技術研究所）



2011年茨城県北部地震による高萩観測点(IBRH13)の記録について(2／3)

● 検討に用いた中小地震観測記録

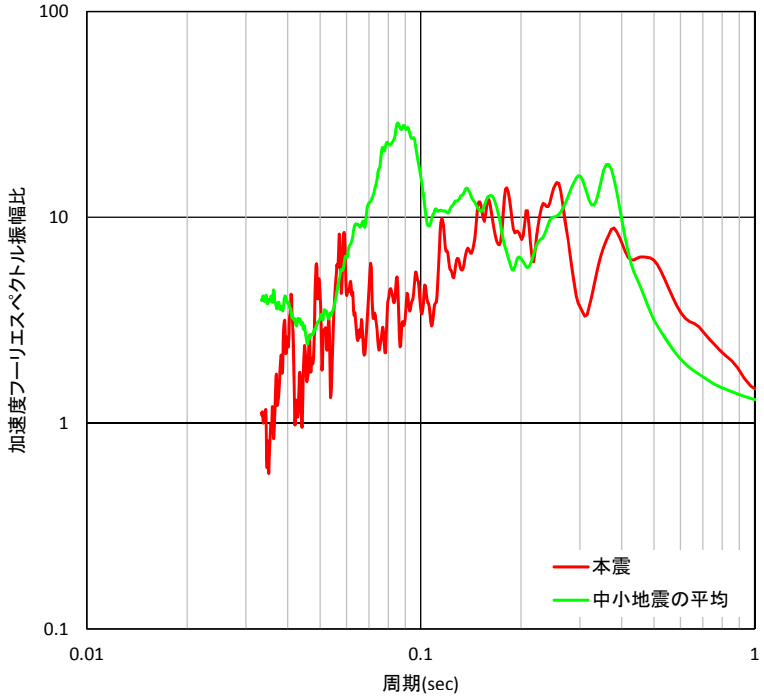
発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニチュード	震央地名	最大加速度 (cm/s^2)
2003年 2月14日	10時54分	36° 25.5′ N	140° 39.0′ E	55	4.2	茨城県沖	30.5
2003年 4月21日	10時18分	36° 32.3′ N	140° 50.9′ E	53	4.4	茨城県沖	43.3
2003年 6月 9日	18時59分	36° 25.3′ N	140° 42.1′ E	54	4.7	茨城県沖	72.9
2004年10月27日	8時20分	36° 31.2′ N	140° 34.0′ E	58	4.0	茨城県北部	31.0
2004年12月 9日	2時15分	36° 38.3′ N	140° 56.0′ E	49	4.2	茨城県沖	47.2
2005年 1月 1日	5時14分	36° 47.0′ N	140° 59.0′ E	89	5.0	茨城県沖	47.3
2005年 3月10日	10時44分	36° 38.6′ N	140° 54.3′ E	50	4.0	茨城県沖	26.1
2005年 5月14日	0時14分	36° 27.0′ N	140° 34.4′ E	57	4.4	茨城県北部	34.9
2005年11月12日	6時02分	36° 29.0′ N	140° 51.3′ E	57	4.6	茨城県沖	36.9
2006年11月15日	17時39分	36° 31.3′ N	140° 33.9′ E	58	3.9	茨城県北部	26.6
2007年11月30日	18時37分	36° 25.6′ N	140° 41.7′ E	53	4.7	茨城県沖	53.8
2008年 3月 2日	18時33分	36° 34.6′ N	140° 32.9′ E	67	4.3	茨城県北部	37.9
2008年 3月 8日	1時55分	36° 27.1′ N	140° 36.7′ E	57	5.2	茨城県北部	39.7
2008年 5月 9日	8時58分	36° 36.6′ N	140° 53.5′ E	51	4.2	茨城県沖	65.5
2008年 6月22日	10時28分	36° 38.0′ N	140° 56.8′ E	49	4.2	茨城県沖	41.1
2008年 8月22日	19時59分	36° 26.5′ N	140° 36.9′ E	56	5.2	茨城県北部	72.1
2008年 8月26日	15時16分	36° 58.9′ N	140° 28.5′ E	109	4.1	福島県中通り	23.4
2009年 1月18日	18時36分	36° 31.1′ N	140° 34.3′ E	57	3.9	茨城県北部	29.9
2009年 2月28日	2時30分	36° 27.2′ N	140° 35.6′ E	55	4.2	茨城県北部	30.0
2009年 7月22日	3時56分	36° 30.5′ N	140° 26.8′ E	89	4.2	茨城県北部	23.5
2009年 8月18日	6時59分	36° 51.7′ N	140° 13.0′ E	92	4.4	栃木県北部	44.8
2009年 9月 5日	10時59分	36° 58.0′ N	140° 10.8′ E	100	4.2	栃木県北部	41.4
2009年10月 1日	19時43分	36° 25.5′ N	140° 38.9′ E	54	4.2	茨城県沖	24.1
2010年 2月22日	18時53分	36° 27.1′ N	140° 34.6′ E	56	4.4	茨城県北部	36.6
2010年 3月19日	19時27分	36° 38.9′ N	140° 23.9′ E	72	3.8	茨城県北部	35.3
2010年 3月31日	6時18分	36° 25.3′ N	140° 38.7′ E	55	4.6	茨城県沖	33.0
2010年 4月29日	7時21分	36° 25.6′ N	140° 41.6′ E	52	4.2	茨城県沖	24.9
2011年 1月 1日	8時01分	36° 39.4′ N	140° 58.4′ E	49	4.7	茨城県沖	46.5
2011年 2月13日	12時14分	36° 40.6′ N	140° 35.1′ E	69	4.0	茨城県北部	30.8
2011年 3月 7日	5時10分	36° 31.4′ N	140° 34.2′ E	58	3.9	茨城県北部	28.3

2011年茨城県北部地震による高萩観測点（IBRH13）の記録について（3／3）

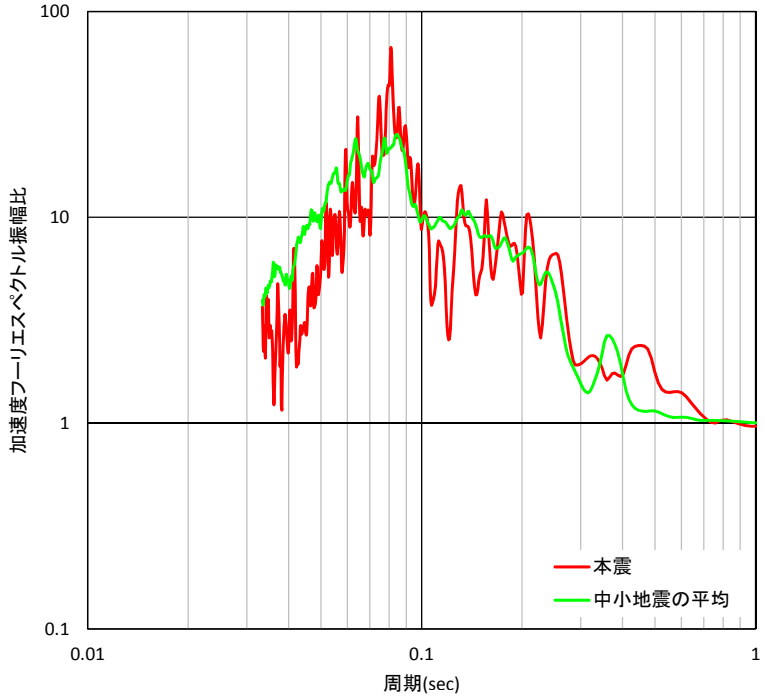
● 本震と中小地震の比較

・水平動では，中小地震において周期0.09秒と周期0.3～0.4秒付近にピークが見られるが，本震では周期0.09秒付近のピークは見られず，増幅率が著しく低下している。また，中小地震に見られた周期0.3～0.4秒付近のピークは周期0.4～0.5秒付近に長周期化したように見られる。これらは，本震において地盤の剛性が著しく低下したためと考えられる。

・鉛直動では，本震と中小地震において周期0.08秒付近にピークが見られる。また，ピークより短周期側において，増幅率が若干低下しているように見られる。これらは，G.L.-15m以深においてP波速度が2000m/sを超えているためと考えられる。



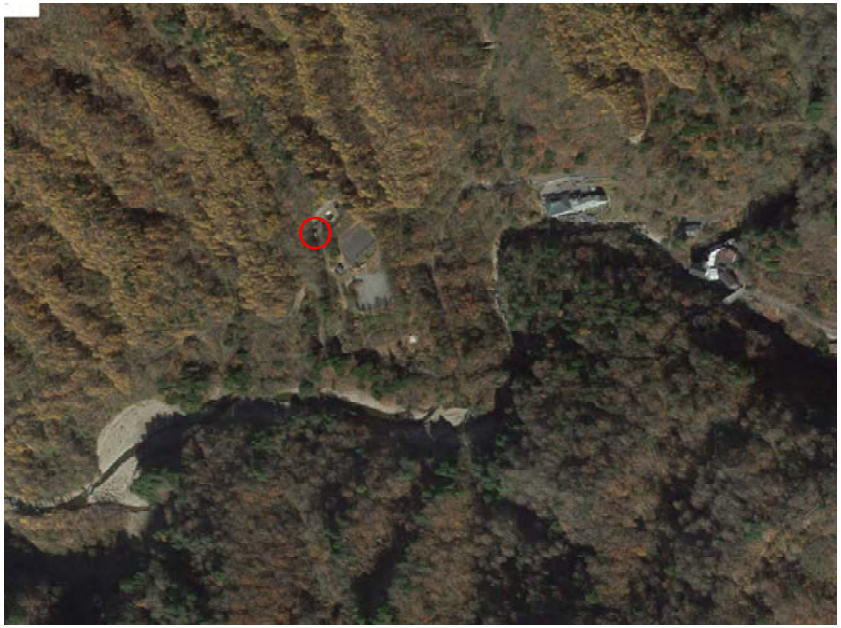
水平動



鉛直動

2013年栃木県北部地震による栗山西観測点（TCGH07）の記録について（1／3）

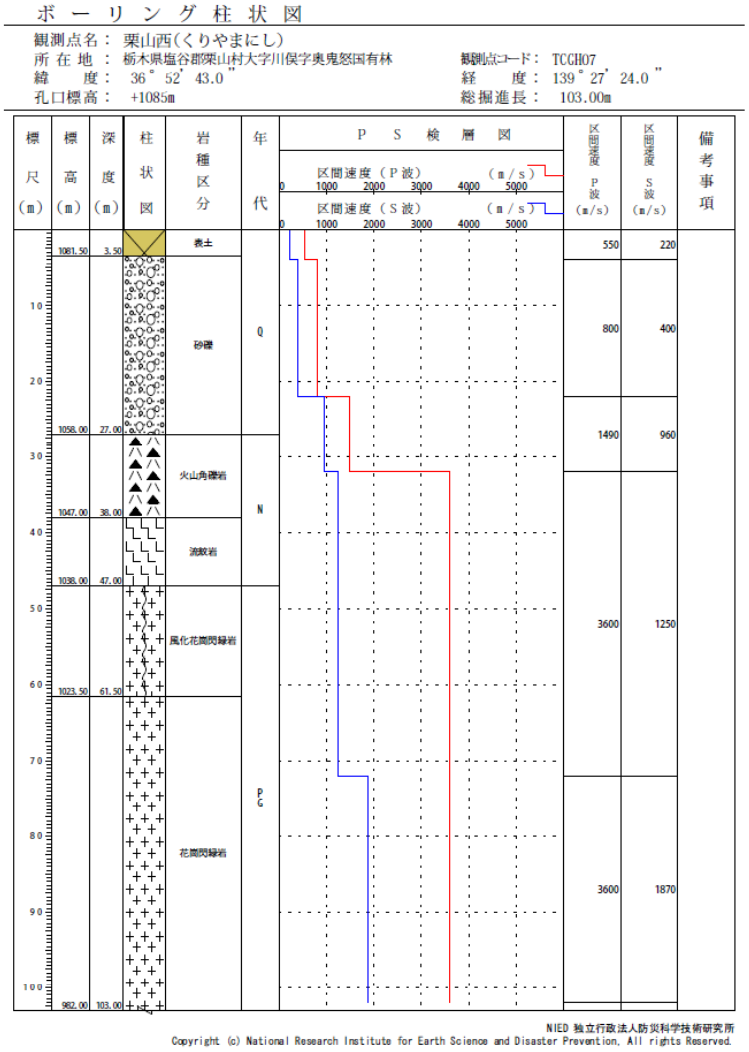
● 観測点の状況



100m

Googleマップに一部加筆

地震観測点周辺の状況
（○：観測点）



2013年栃木県北部地震による栗山西観測点（TCGH07）の記録について（2／3）

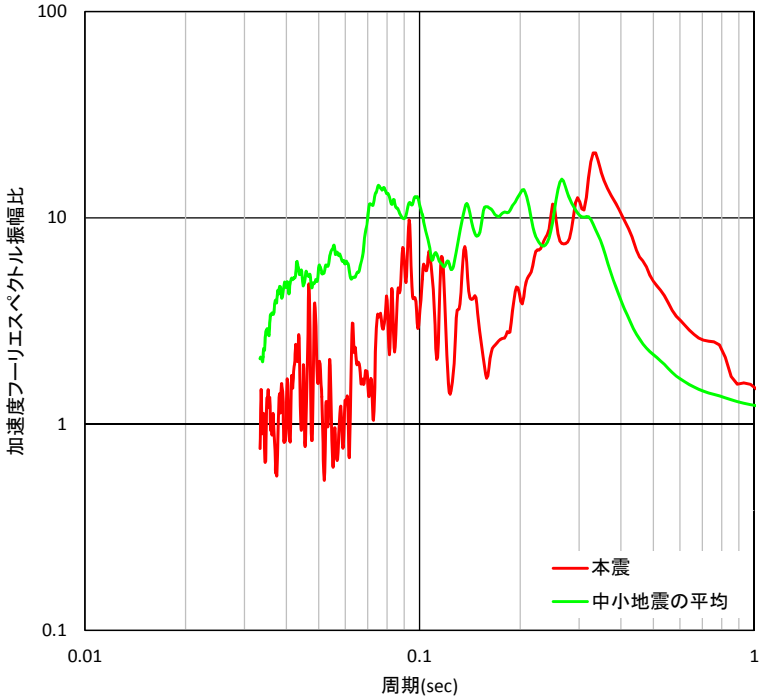
● 検討に用いた中小地震観測記録

発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニチュード	震央地名	最大加速度 (cm/s^2)
2000年10月18日	12時58分	36° 55.9′ N	139° 40.8′ E	9	4.7	栃木県北部	69.0
2000年10月19日	16時25分	36° 55.8′ N	139° 40.8′ E	10	4.1	栃木県北部	50.9
2000年10月26日	16時06分	36° 55.8′ N	139° 41.1′ E	11	3.3	栃木県北部	18.0
2001年 2月15日	5時33分	36° 55.6′ N	139° 41.2′ E	9	3.4	栃木県北部	15.3
2001年 3月 9日	5時06分	37° 04.4′ N	139° 25.7′ E	7	4.0	福島県会津	35.4
2001年 3月31日	4時25分	36° 49.3′ N	139° 22.2′ E	5	4.4	群馬県北部	32.5
2001年 3月31日	6時17分	36° 49.4′ N	139° 22.0′ E	2	3.4	群馬県北部	16.8
2001年 3月31日	7時00分	36° 49.2′ N	139° 22.1′ E	5	3.2	群馬県北部	22.1
2001年 4月 1日	17時44分	36° 49.1′ N	139° 22.1′ E	5	3.0	群馬県北部	14.5
2001年 6月 6日	9時36分	36° 47.3′ N	139° 23.9′ E	5	2.9	栃木県北部	14.2
2004年 4月23日	22時49分	36° 45.7′ N	139° 27.0′ E	4	3.1	栃木県北部	15.0
2005年 5月15日	15時55分	36° 37.7′ N	139° 29.0′ E	9	4.8	栃木県北部	16.1
2008年12月17日	11時13分	36° 36.6′ N	139° 22.4′ E	9	2.9	群馬県南部	3.6
2009年 1月 8日	2時44分	36° 48.1′ N	139° 23.5′ E	4	2.7	栃木県北部	6.3
2009年11月21日	15時39分	37° 08.0′ N	139° 50.6′ E	10	4.5	福島県会津	14.8
2011年 1月20日	22時20分	37° 02.5′ N	139° 55.3′ E	14	3.7	栃木県北部	4.1
2011年 4月 6日	15時17分	36° 53.4′ N	139° 24.6′ E	4	2.9	栃木県北部	44.1
2011年 4月 9日	6時30分	36° 48.0′ N	139° 18.4′ E	6	3.4	群馬県北部	24.3
2011年 4月11日	18時57分	36° 48.2′ N	139° 18.5′ E	6	3.0	群馬県北部	14.4
2011年 4月23日	4時44分	36° 56.9′ N	139° 25.6′ E	4	3.4	福島県会津	31.4
2011年 4月25日	23時51分	36° 40.1′ N	139° 34.7′ E	10	3.8	栃木県南部	17.5
2011年 5月22日	2時17分	36° 56.9′ N	139° 25.3′ E	4	3.9	福島県会津	55.5
2011年 6月20日	12時13分	37° 03.3′ N	139° 30.2′ E	8	3.0	福島県会津	8.4
2011年 7月25日	2時19分	36° 37.6′ N	139° 36.8′ E	5	3.9	栃木県南部	5.8
2011年10月 6日	17時39分	36° 40.4′ N	139° 28.2′ E	4	3.7	栃木県北部	19.8
2011年10月29日	18時22分	36° 39.4′ N	139° 29.4′ E	4	3.2	栃木県北部	5.3
2012年 4月24日	11時29分	36° 39.3′ N	139° 30.7′ E	6	3.0	栃木県南部	3.7
2012年 8月12日	2時02分	36° 39.7′ N	139° 29.8′ E	4	3.1	栃木県北部	3.6
2012年10月29日	9時12分	36° 53.4′ N	139° 24.5′ E	4	2.6	栃木県北部	46.6
2010年12月23日	19時31分	36° 35.2′ N	139° 35.5′ E	9	3.2	栃木県南部	3.3

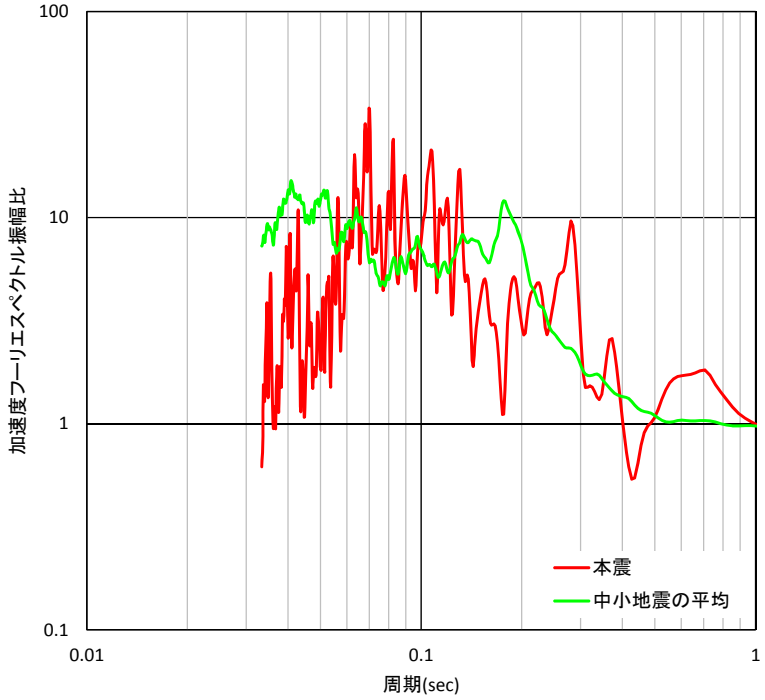
2013年栃木県北部地震による栗山西観測点（TCGH07）の記録について（3／3）

● 本震と中小地震の比較

・水平動では，中小地震において周期0.07秒～0.1秒と周期0.2～0.3秒付近に見られるピークが，本震では周期0.1付近と周期0.3秒を超える周期に長周期化したように見られる。また，周期0.3秒以下において，著しい増幅率の低下が見られる。これらは，本震において地盤の剛性が著しく低下したためと考えられる。
・鉛直動では，中小地震において周期0.04秒～0.05秒と周期0.2秒付近に見られるピークが，本震では周期0.07秒～0.1秒と周期0.3秒付近に長周期化したように見られる。また，周期0.06秒以下において，著しい増幅率の低下が見られる。これらは，表層約30m分のP波速度が極端に低速度であるためと考えられる。



水平動



鉛直動

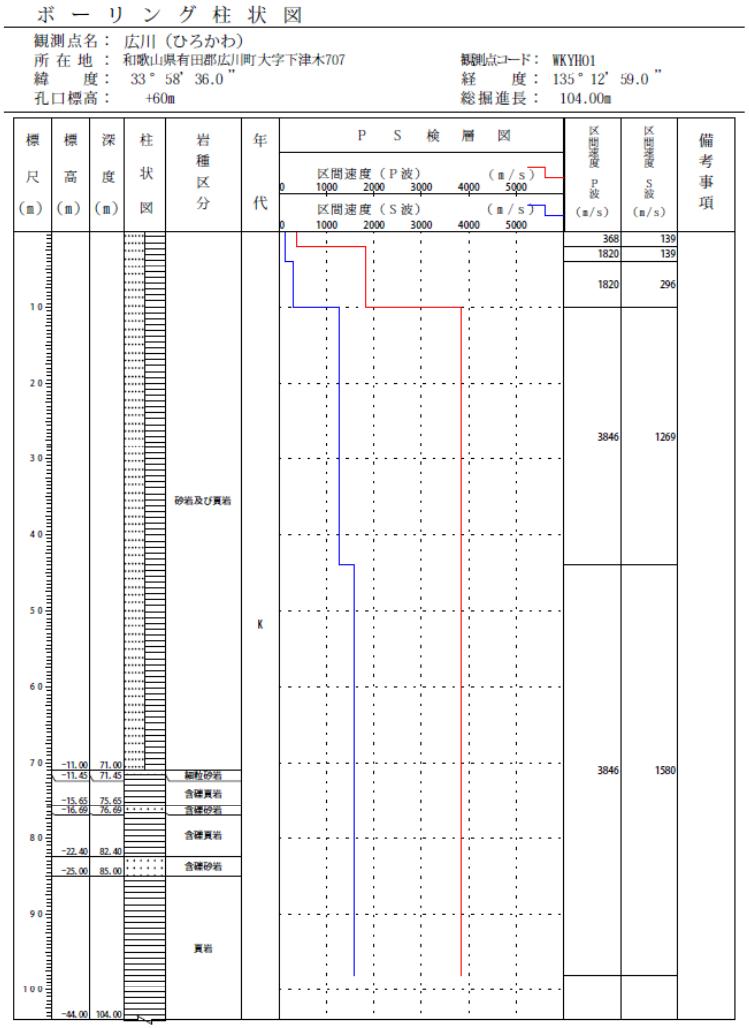
2011年和歌山県北部地震による広川観測点（WKYH01）の記録について（1／3）

● 観測点の状況

100m

Googleマップに一部加筆

地震観測点周辺の状況
（○：観測点）



2011年和歌山県北部地震による広川観測点（WKYH01）の記録について（2／3）

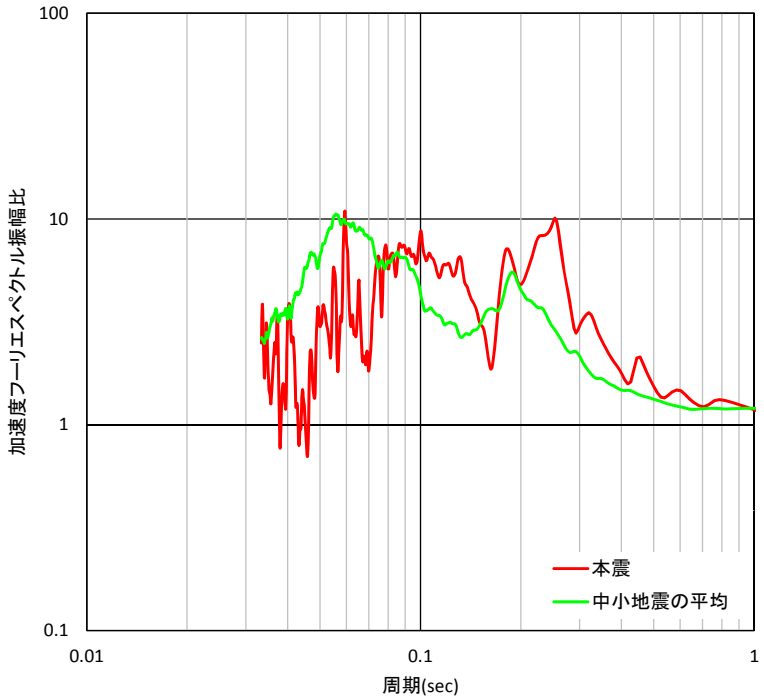
● 検討に用いた中小地震観測記録

発震日時		震央位置		震源深さ（km）	マグニチュード	震央地名	最大加速度（cm/s2）
1998年 8月19日	12時29分	33° 57.8′ N	135° 08.8′ E	13	3.3	和歌山県北部	42.8
1999年 8月21日	5時33分	34° 01.8′ N	135° 28.2′ E	66	5.6	和歌山県北部	97.9
2000年 4月11日	11時31分	33° 50.7′ N	134° 58.2′ E	12	4.0	紀伊水道	36.1
2000年10月 9日	2時20分	33° 51.4′ N	135° 42.9′ E	56	3.8	和歌山県南部	35.6
2001年 8月 2日	14時16分	34° 00.6′ N	135° 09.7′ E	7	4.0	和歌山県北部	97.5
2001年 8月16日	21時54分	34° 03.6′ N	135° 06.3′ E	8	3.1	紀伊水道	31.4
2001年10月15日	1時53分	33° 49.8′ N	135° 25.4′ E	25	4.3	和歌山県南部	75.2
2002年 2月 4日	6時02分	33° 36.1′ N	135° 14.6′ E	38	4.3	和歌山県南方沖	26.8
2002年 2月19日	0時05分	33° 53.4′ N	135° 07.4′ E	8	3.5	紀伊水道	39.8
2002年 9月 2日	18時17分	34° 02.6′ N	135° 16.1′ E	8	4.0	和歌山県北部	41.0
2003年 8月 6日	9時48分	34° 02.1′ N	135° 15.7′ E	6	4.0	和歌山県北部	56.3
2003年10月26日	5時53分	34° 00.8′ N	135° 14.3′ E	6	3.5	和歌山県北部	57.0
2004年10月27日	21時27分	33° 38.4′ N	135° 16.0′ E	39	4.4	和歌山県南方沖	92.6
2004年11月12日	17時29分	34° 05.0′ N	135° 08.1′ E	6	3.4	和歌山県北部	51.2
2005年 3月 3日	2時46分	33° 58.0′ N	135° 11.8′ E	8	3.2	和歌山県北部	98.9
2005年 9月27日	15時54分	34° 05.0′ N	135° 08.9′ E	6	2.8	和歌山県北部	46.0
2008年 9月11日	4時45分	34° 02.5′ N	135° 11.8′ E	7	3.0	和歌山県北部	40.4
2009年 6月11日	11時35分	33° 52.3′ N	135° 14.5′ E	6	3.2	和歌山県北部	26.5
2009年 7月12日	11時36分	33° 52.3′ N	135° 24.6′ E	47	3.4	和歌山県北部	23.3
2009年 8月27日	17時47分	33° 39.6′ N	135° 12.3′ E	40	4.0	紀伊水道	29.5
2009年10月 6日	8時38分	33° 55.9′ N	135° 11.8′ E	8	2.9	和歌山県北部	46.6
2009年10月24日	21時38分	33° 54.7′ N	135° 12.5′ E	9	3.6	和歌山県北部	68.7
2010年11月 2日	2時37分	34° 02.0′ N	135° 14.7′ E	5	3.3	和歌山県北部	55.5
2010年11月13日	6時51分	34° 01.9′ N	135° 14.8′ E	5	3.4	和歌山県北部	46.8
2010年11月29日	15時52分	33° 54.3′ N	135° 25.4′ E	55	4.1	和歌山県南部	85.2
2010年12月27日	15時20分	34° 10.1′ N	135° 10.8′ E	7	3.3	紀伊水道	24.6
2011年 1月11日	3時12分	34° 02.3′ N	135° 16.1′ E	6	3.5	和歌山県北部	38.4
2011年 2月21日	15時46分	33° 52.6′ N	135° 21.8′ E	53	4.8	和歌山県北部	91.2
2011年 3月 5日	6時51分	34° 02.9′ N	135° 16.9′ E	8	2.7	和歌山県北部	31.4
2011年 5月10日	23時01分	34° 11.9′ N	135° 11.1′ E	5	4.2	和歌山県北部	23.0

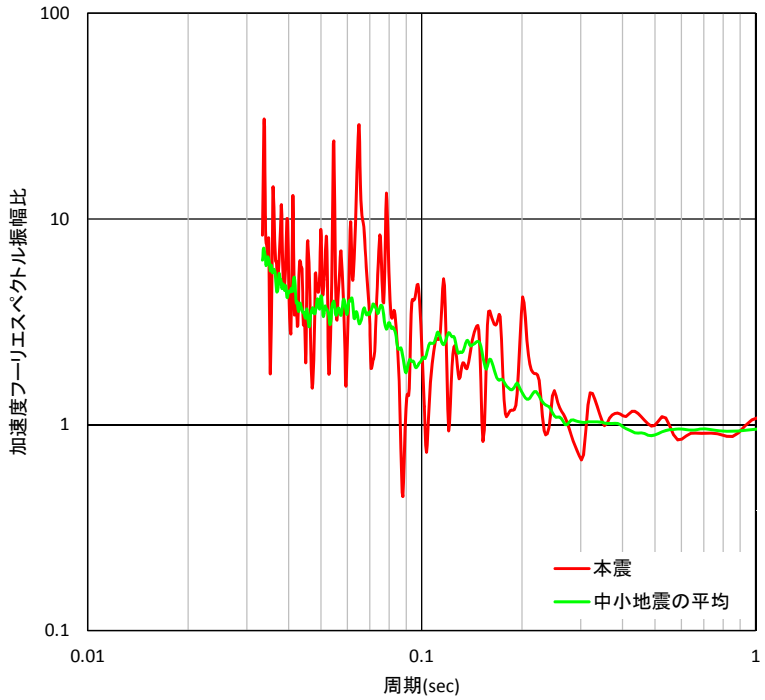
2011年和歌山県北部地震による広川観測点（WKYH01）の記録について（3／3）

● 本震と中小地震の比較

・水平動では，中小地震において周期0.05秒付近と周期0.2秒付近にピークが見られるが，本震では周期0.1秒付近と周期0.2～0.3秒付近に長周期化したように見られる。これは，本震において地盤の剛性が低下したためと考えられる。
・鉛直動では，本震と中小地震においてスペクトル形状に大きな差異は見られない。



水平動



鉛直動

1. 検討対象地震と検討概要 ・・・・・・ 5
2. Mw6.5以上の地震に関する検討 ・・・・・・ 9
3. Mw6.5未満の地震に関する検討 ・・・・・・ 58
4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定 ・・・・・・ 136
5. 補足説明資料 ・・・・・・ 139
6. 参考資料 ・・・・・・ 158
7. 参考文献 ・・・・・・ 169

参考文献（1／3）

- 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・井上大榮・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，pp.46-86.
- 日本電気協会（2008）：原子力発電所耐震設計技術指針
- 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, Oct. 16-18, Istanbul.
- 気象庁（2008）：平成20年6月地震・火山月報（防災編），特集.「平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震」について
- 気象庁（2008）：地震月報（カタログ編），資料，地震，主な地震の初動発震機構解，2008年6月
- 国土地理院（2008）：平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動（第2報），http://www.gsi.go.jp/johosystem/johosystem60032.html
- 鈴木亘・青井真・関口春子（2010）：強震記録から見た平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震の震源過程，防災科学技術研究所主要災害調査，第43号，pp.11-18.
- 気象庁（2000）：平成12年10月地震・火山月報（防災編），特集2.平成12年（2000年）鳥取県西部地震
- 気象庁：震度データベース，http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php
- 国土地理院（2000）：平成12年10月6日鳥取県西部地震の断層運動を解明，http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2000-1007-2.htm
- 池田隆明・釜江克宏・三輪滋・入倉孝次郎（2002）：経験的グリーン関数法を用いた2000年鳥取県西部地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション，日本建築学会構造系論文集，第561号
- 産業技術総合研究所：地質図Navi
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）（2012）：20万分の1日本シームレス地質図
- 新安全設計基準に関する検討チーム（2013）
- 防災科学技術研究所（1982）：5万分の1地すべり地形分布図第1集「新庄・酒田」図集，防災科学技術研究所研究資料，第69号
- （社）東北建設協会（2006）：東北地方デジタル地質図GIS版
- 田力正好・池田安隆・野原壮（2009）：河成段丘の高度分布から推定された，岩手・宮城内陸地震の震源断層，地震第2輯，第62巻，pp.1-11
- 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―一関市巌美町付近の調査速報―，活断層研究，29号，pp.25-34
- 遠田晋次・丸山正・吉見雅行・金田平太郎・粟田泰夫・吉岡敏和・安藤亮輔（2010）：2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層―震源過程および活断層評価への示唆―，地震第2輯，第62巻，pp.153-178

参考文献（2／3）

- 日本の地質増補版編集委員会（2005）：日本の地質 増補版
- 岡田篤正（2002）：山陰地方の活断層の諸特徴，活断層研究，22，（松田時彦先生古稀記念号），pp.17-32
- 伏島祐一郎・吉岡敏和・水野清秀・宍倉正展・井村隆介・小松原琢・佐々木俊法（2001）：2000年鳥取県西部地震の地震断層調査，活断層・古地震研究報告，No.1，pp.1-26
- 青柳恭平・阿部信太郎・宮腰勝義・井上大榮・津村紀子（2004）：2000年鳥取県西部地震の余震分布と地形・地質との関係－内陸地震のアスペリティ予測に向けて－，研究報告：N04009，電力中央研究所報告
- 本多亮・平松良浩・河野芳輝（2002）：2000年鳥取県西部地震震源域の重力異常とそれから見た震源断層の特徴，地震第2輯，第55巻，pp.83-88
- 井上大榮・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹（2002）：2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査，地震第2輯，第54巻，pp.557-573
- 産業技術総合研究所（2004）：AIST Today，Vol.4，No.12，特集 火山 噴火と恵み
- 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠善博(2003)：日本列島と周辺海域の地震地体構造区分，地震第2輯，第55巻，pp.389-406
- Imanishi, K., R. Ando, and Y. Kuwahara（2012）：Unusual shallow normal-faulting earthquake sequence in compressional northeast Japan activated after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Geophysical Research Letters, Vol. 39, L09306.
- 防災科学技術研究所（2013）：ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究　総括成果報告書，平成25年5月
- Sagiya, T., S. Miyazaki, and T. Tada(2000)：Continuous GPS Array and Present-day Crustal Deformation of Japan, Pure appl. geophys., 157, pp.2303-2322.
- 西村卓也（2014）：山陰地方のGNSSデータに認められるひずみ集中帯，日本地球惑星科学連合2014年大会，SSS31-06
- 西村卓也（2015）：山陰地方のひずみ集中帯，鳥取県地震防災調査研究委員会第1回被害想定部会，資料1
- 行竹洋平・武田哲也・吉田明夫（2012）：P 波初動極性と実体波振幅値を用いた日本内陸域における微小地震メカニズム解決定，神奈川県温泉地学研究所報告，第44 巻，pp.39-46
- 青柳恭平・上田圭一（2012）：2011年東北地方太平洋沖地震による阿武隈南部の正断層型誘発地震の特徴－臨時余震観測に基づく震源分布と速度構造－，電力中央研究所研究報告N11048，平成24年4月
- 気象庁（2004）：2004年12月14日14時56分の留萌支庁南部の地震について，報道発表資料，平成16年12月14日
- 気象庁（2005）：平成16年12月の地震活動及び火山活動について，報道発表資料，平成17年1月11日
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会,平成17年1月12日,2004年12月の地震活動の評価,12月14日留萌支庁南部の地震, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05jan/p04.htm
- 司宏俊・翠川三郎(1999)：断層タイプおよび地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，第523号，pp.63-70

参考文献（3／3）

- 佐藤浩章・芝良昭・東貞成・功刀卓・前田宜浩・藤原広行（2013）：物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点（HKD020）の基盤地震動とサイト特性評価，電力中央研究所報告N13007
- 笹谷努・前田宜浩・高井伸雄・重藤迪子・堀田淳・関克郎・野本真吾（2008）：Mj6.1内陸地殻内地震によって大加速度を観測したK-NET（HKD020）地点でのS波速度構造の推定，物理探査学会第119回学術講演会講演論文集，pp.25-27
- 狐崎長琅・後藤典俊・小林芳正・井川猛・堀家正則・斉藤徳美・黒田徹・山根一修・奥住宏一（1990）：地震動予測のための深層地盤P・S波速度の推定，自然災害科学，Vol.9，No.3，pp.1-17
- 気象庁報道発表資料,平成23年3月19日20時40分,「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第22報)
- 気象庁（2011）：平成23年3月地震・火山月報（防災編）
- 気象庁（2013）：平成25年2月25日16時23分頃の栃木県北部の地震について，報道発表資料，平成25年2月25日
- 気象庁:平成25年2月地震・火山月報{防災編)
- 引間和人（2015）：2013年栃木県北部の地震の震源域におけるKiK-net観測点を用いたサイト・伝播特性に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2分冊，pp.51-52
- 気象庁（2011）：平成23年7月5日19時18分頃の和歌山県北部の地震について，報道発表資料，平成23年7月5日
- 気象庁（2011）：平成23年7月，地震・火山月報（防災編）
- 和歌山県（2015）：地域防災計画基本計画編（平成27年度修正）
- 気象庁（2011）：平成23年3月12日03時59分頃の長野県北部の地震について，報道発表資料，平成23年3月12日
- 気象庁（2011）：平成23年3月，地震・火山月報（防災編）
- 廣内大助・松多信尚・杉戸信彦・竹下欣宏（2012）：3月12日長野県北部の地震に伴う地変と栄村周辺地域の活断層，信州大学山岳科学総合研究所，長野県北部地震災害調査研究報告書，2012年1月27日
- Boore, D, M.（2016）：Determining Generic Velocity and Density Models for Crustal Amplification Calculations, with an Update of the Boore and Joyner (1997) Generic Site Amplification for Vs(Z)=760m/s, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.106, No.1, pp.316-320
- Ludwig, W. J., J. E. Nafe, and C. L. Drake (1970)：Seismic refraction, in The Sea, Vol.4, edited by A. E. Maxwell, Wiley-Interscience, New York, pp.53-84.