

# 泊発電所3号炉 震源を特定せず策定する地震動について (参考資料)

令和4年9月14日  
北海道電力株式会社

1. 旧審査ガイドにおいて例示されたMw6.5未満の地震 .....	3
2. 加藤ほか(2004) .....	45
3. 既往の地下構造モデルの減衰定数に関する検証 .....	47
4. 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価における位相特性の違いによる影響確認 .....	53
参考文献 .....	60

## 1. 旧審査ガイドにおいて例示されたMw6.5未満の地震

# 1. 旧審査ガイドにおいて例示されたMw6.5未満の地震

## 旧審査ガイドにおいて例示されたMw6.5未満の地震

- 旧審査ガイド※において例示されたMw6.5未満の14地震(平成26年2月20日第83回審査会合において説明したMw6.5未満の地震)のうち北海道留萌支庁南部地震を除く13地震について、震源近傍の観測記録を収集し、基盤地震動を検討した結果を示す。
- なお、観測記録の収集・整理等については、北海道留萌支庁南部地震の記載を残したまま示している。

※基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド(制定 平成25年6月19日)

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

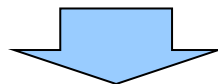


## 1.1 観測記録の収集・整理

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 観測記録の収集・整理

- 「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する。
- Mw6.5未満の14地震について、防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-net観測点の観測記録のうち、以下の条件に適合するものを収集する。
  - ・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。)
  - ・AVS30(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。)



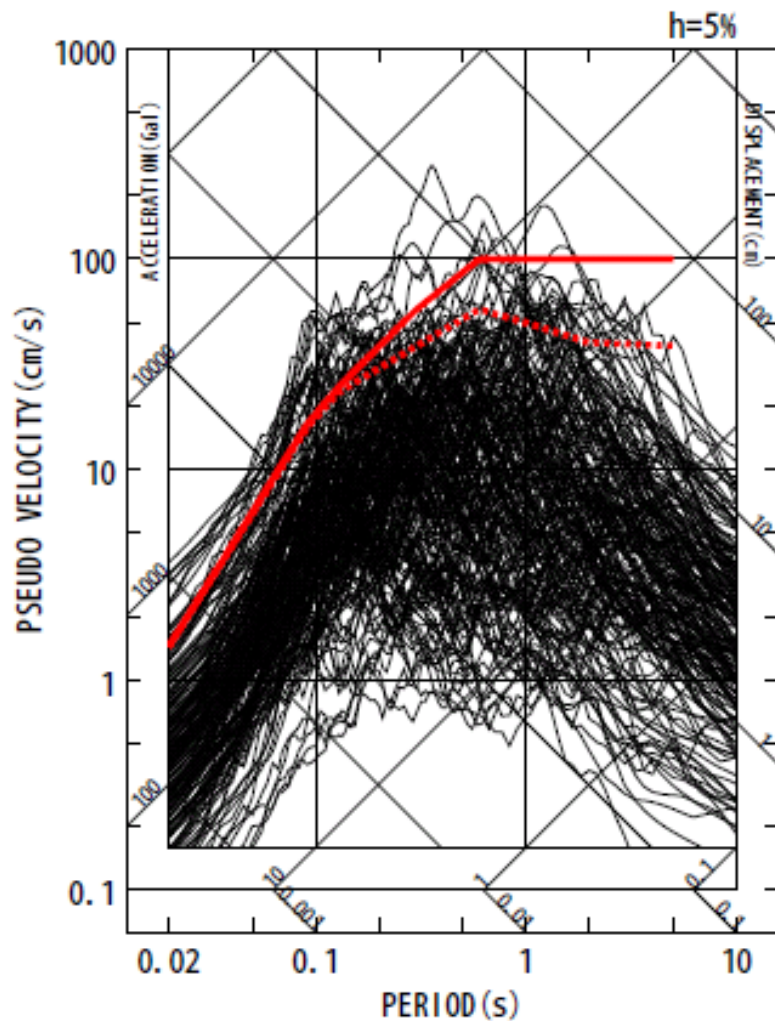
- 上記の条件にあてはまる観測記録は137記録

## 1.1 観測記録の収集・整理

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

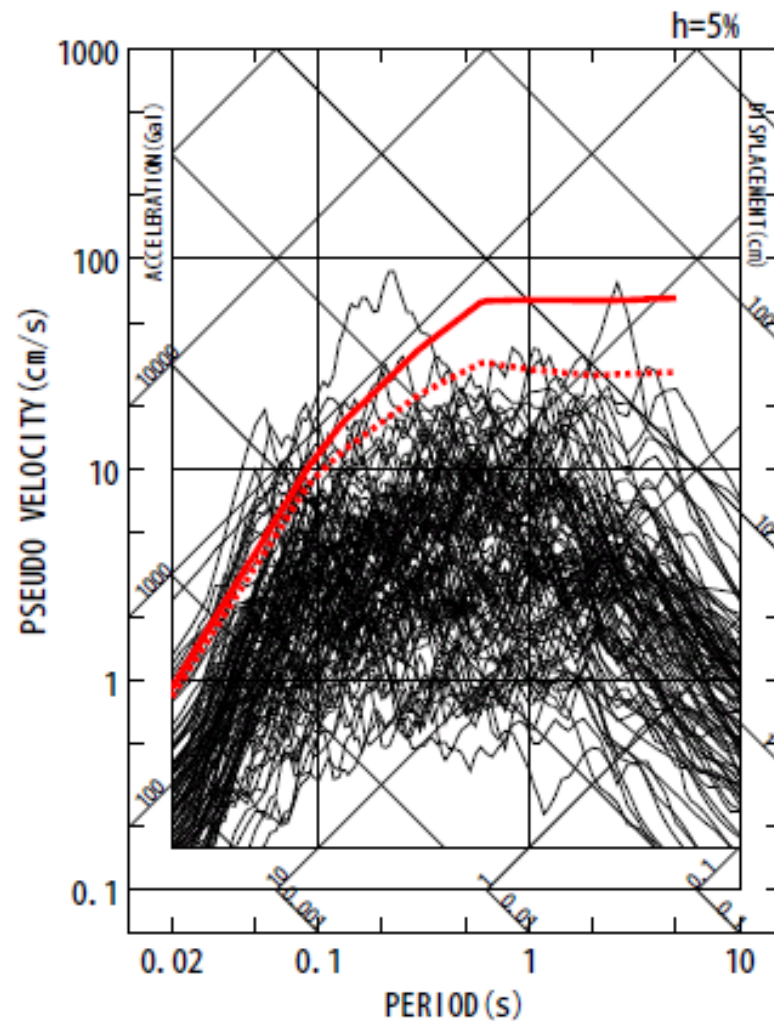
## 14地震の観測記録(地表)の応答スペクトル

..... 加藤ほか(2004)( $V_s=2.2\text{km/s}$ )  
 ——— 加藤ほか(2004)( $V_s=0.7\text{km/s}$ )



水平方向

..... 加藤ほか(2004)( $V_p=4.2\text{km/s}$ )  
 ——— 加藤ほか(2004)( $V_p=2.0\text{km/s}$ )



鉛直方向

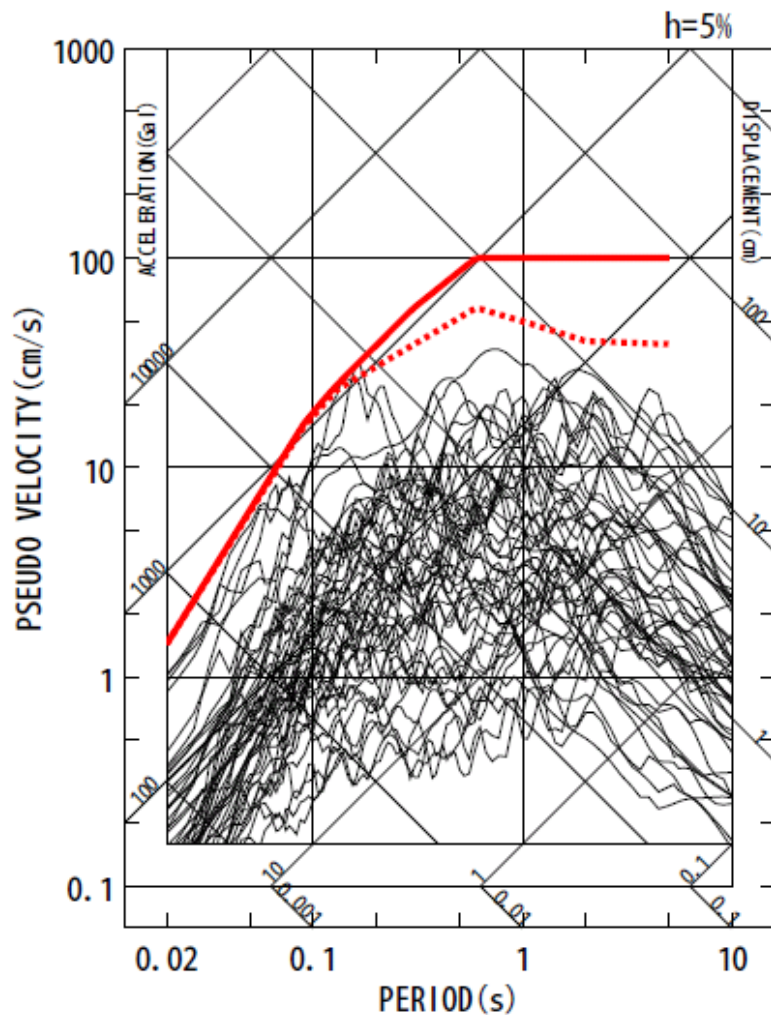
## 1.1 観測記録の収集・整理

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

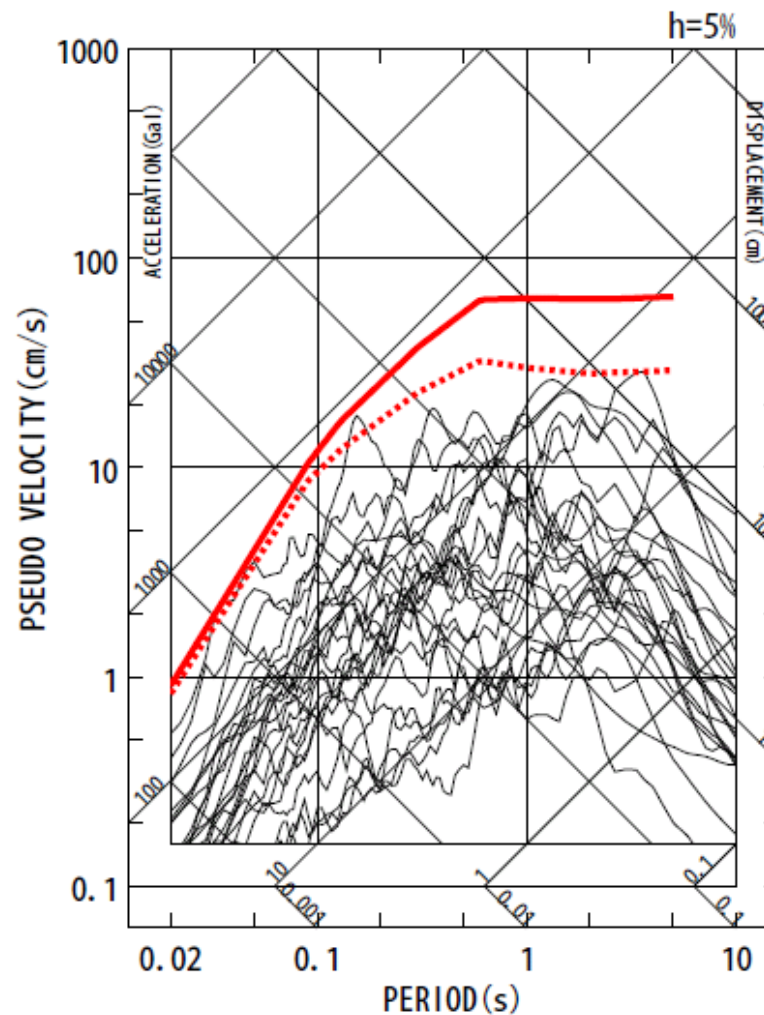
## 14地震の観測記録(地中)の応答スペクトル

..... 加藤ほか(2004)( $V_s=2.2\text{km/s}$ )  
 ——— 加藤ほか(2004)( $V_s=0.7\text{km/s}$ )

..... 加藤ほか(2004)( $V_p=4.2\text{km/s}$ )  
 ——— 加藤ほか(2004)( $V_p=2.0\text{km/s}$ )



水平方向



鉛直方向



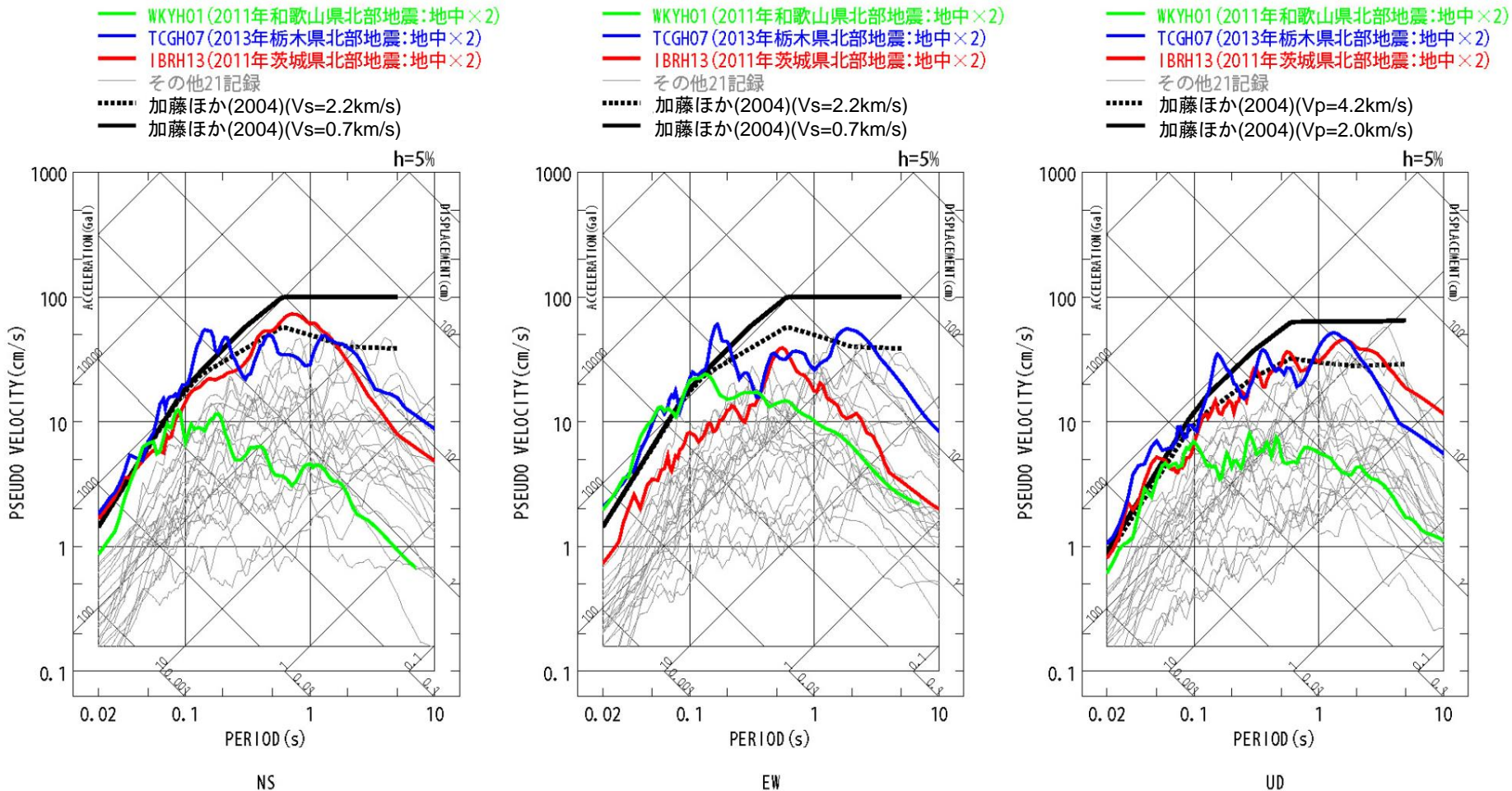
## 1.2 基盤地震動の検討

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 基盤地震動の検討

○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ところ、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。



## 1.2 基盤地震動の検討

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 基盤地震動の検討

○KiK-net観測点で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(①～③)およびK-NET観測点の観測記録で影響が大きいと考えられる2記録(④, ⑤)について、以降で詳細に検討する。

- ①2011年和歌山県北部地震 WKYH01(広川)
- ②2013年栃木県北部地震 TCGH07(栗山西)
- ③2011年茨城県北部地震 IBRH13(高萩)
- ④2004年北海道留萌支庁南部地震 HKDO20(港町)
- ⑤2011年長野県北部地震 NIG023(津南)

## 1.3 2011年和歌山県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年和歌山県北部地震の概要

## 1. 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°

## 2. 各地の震度および被害状況

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

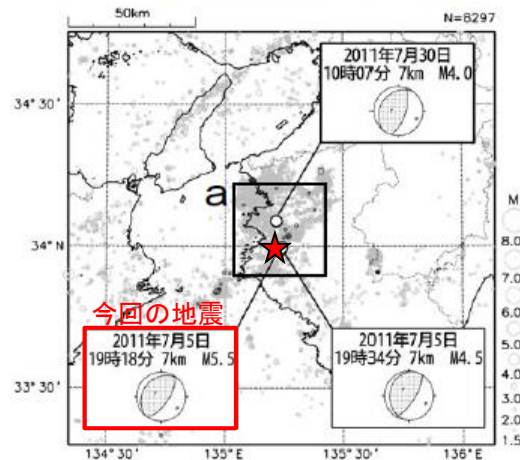
被害状況 (消防庁) は以下のとおり。

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

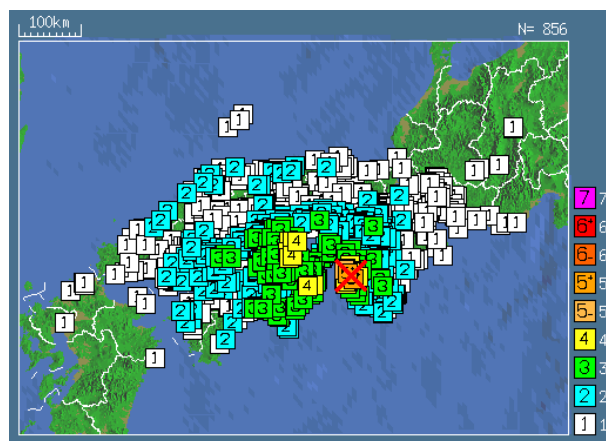
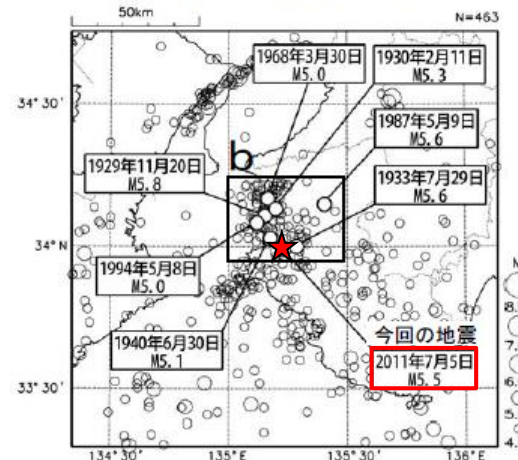
## 3. 地震発生メカニズム (気象庁)

- ・発震機構解より，北西－南東方向に圧力軸を持つ**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－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型。
- ・今回の震源域周辺では，1900年代以降，M5.0を越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 平成23年7月 地震・火山月報(防災編)

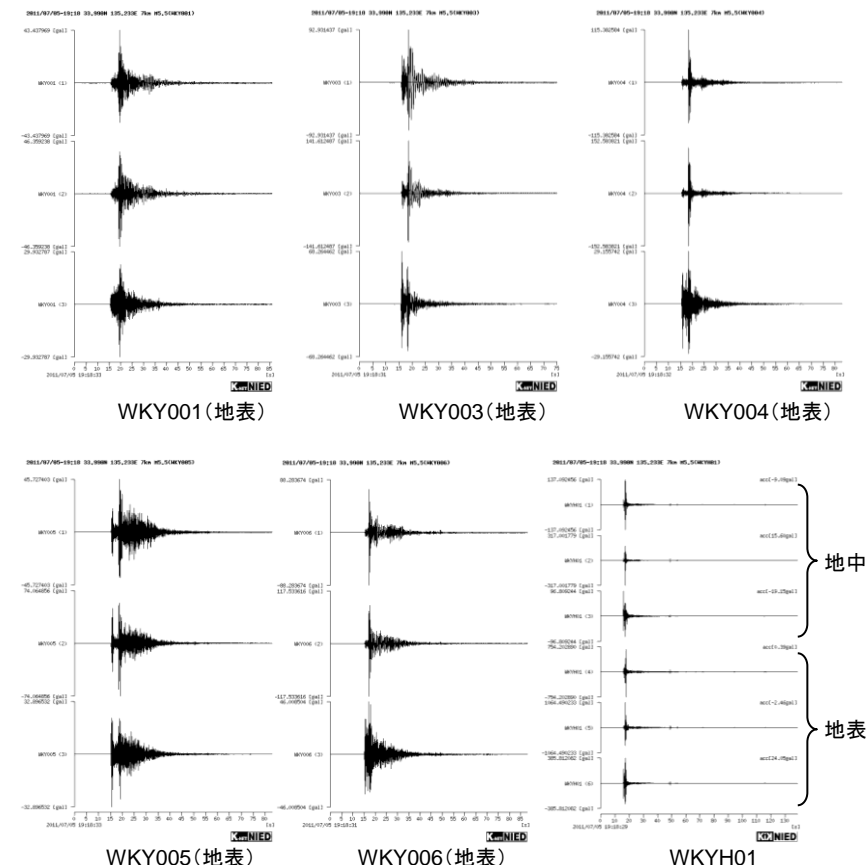
気象庁 震度データベースによる震度分布

1.3 2011年和歌山県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

2011年和歌山県北部地震の観測記録

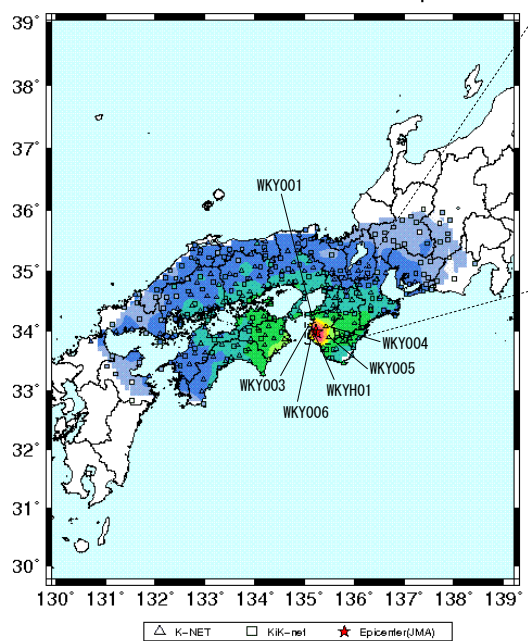
- 震源近傍に位置するKiK-net観測点WKYH01(広川)では、EW方向で最大加速度1064.5(地中317.0)Galを記録しており、司・翠川(1999)による距離減衰式の+1σを大きく上回る。NS方向はEW方向の3/4程度の最大加速度を記録。K-NET観測点WKY003(有田)およびWKY004(清水)は距離減衰式の+1σを上回る。
- KiK-net観測点WKYH01(広川)は震源から8km程度の震源近傍であり、継続時間が短い。その他の観測点は震源距離が15km以上離れており、継続時間が長い傾向にある。



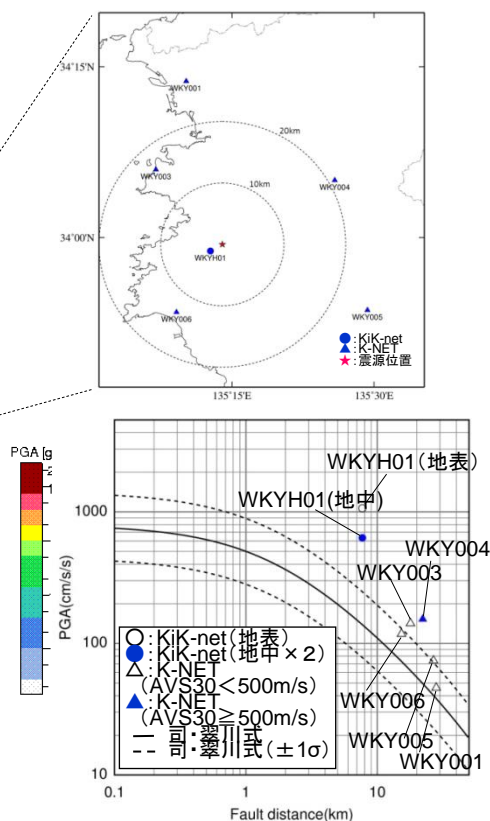
WKY001(地表) WKY003(地表) WKY004(地表)  
 WKY005(地表) WKY006(地表) WKYH01  
 地中  
 地表

K-NETおよびKiK-net最大加速度

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)	WKY006 御坊	15.3	198.4	88.3	46.0	
	WKY003 有田	17.9	144.0	92.9	68.3	
	WKY004 清水	22.2	681.8	115.4	29.2	
	WKY005 龍神	26.8	338.3	45.7	32.9	
	WKY001 和歌山	28.1	206.3	43.4	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)



地表の最大加速度分布(防災科学技術研究所)



PGA (cm/s<sup>2</sup>)  
 Fault distance (km)  
 ○: KiK-net(地表)  
 ●: KiK-net(地中×2)  
 △: K-NET  
 - - 司・翠川式 (AVS30 < 500m/s)  
 - - 司・翠川式 (AVS30 ≥ 500m/s)  
 WKYH01(地表)  
 WKYH01(地中)  
 WKY003  
 WKY004  
 WKY005  
 WKY006



## 1.3 2011年和歌山県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

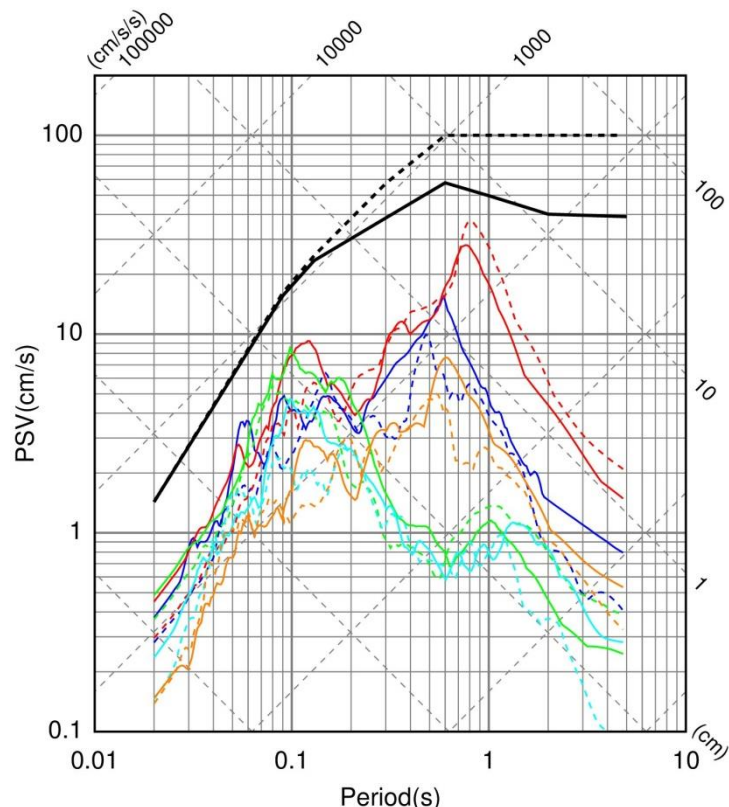
## 2011年和歌山県北部地震の観測記録

○K-NET観測点の観測記録は、すべて加藤ほか(2004)の応答スペクトルに包絡される。

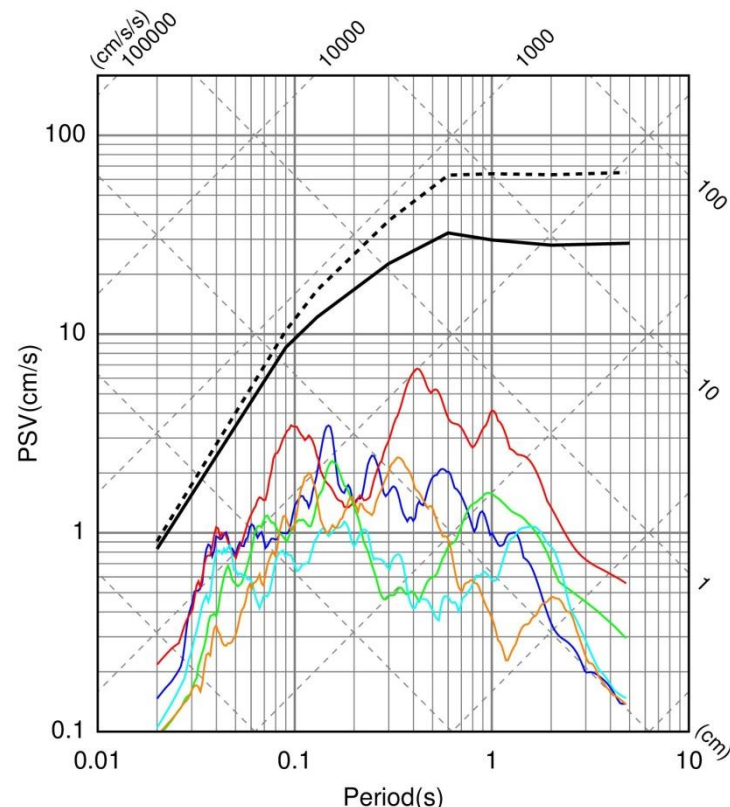
--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)  
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)  
 — WKY006(X=15.3km)\_EW  
 - - - WKY006(X=15.3km)\_NS  
 — WKY003(X=17.9km)\_EW  
 - - - WKY003(X=17.9km)\_NS

— WKY004(X=22.2km)\_EW  
 - - - WKY004(X=22.2km)\_NS  
 — WKY005(X=26.8km)\_EW  
 - - - WKY005(X=26.8km)\_NS  
 — WKY001(X=28.1km)\_EW  
 - - - WKY001(X=28.1km)\_NS

--- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)  
 — 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)  
 — WKY006(X=15.3km)\_UD  
 — WKY003(X=17.9km)\_UD  
 — WKY004(X=22.2km)\_UD  
 — WKY005(X=26.8km)\_UD  
 — WKY001(X=28.1km)\_UD



水平方向



鉛直方向

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



## 1.3 2011年和歌山県北部地震

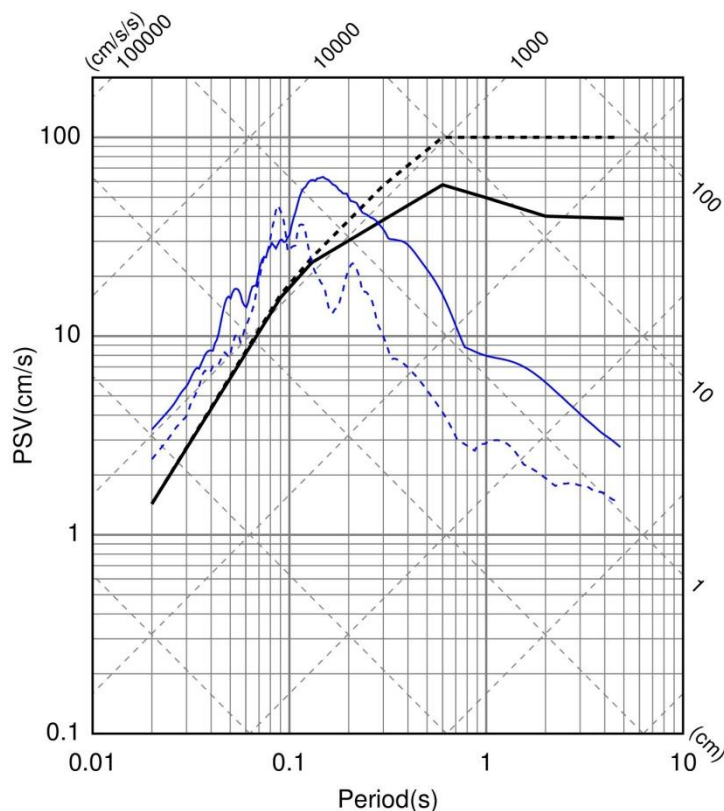
再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年和歌山県北部地震の観測記録

○KiK-net観測点の地表観測記録のうち、WKYH01観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

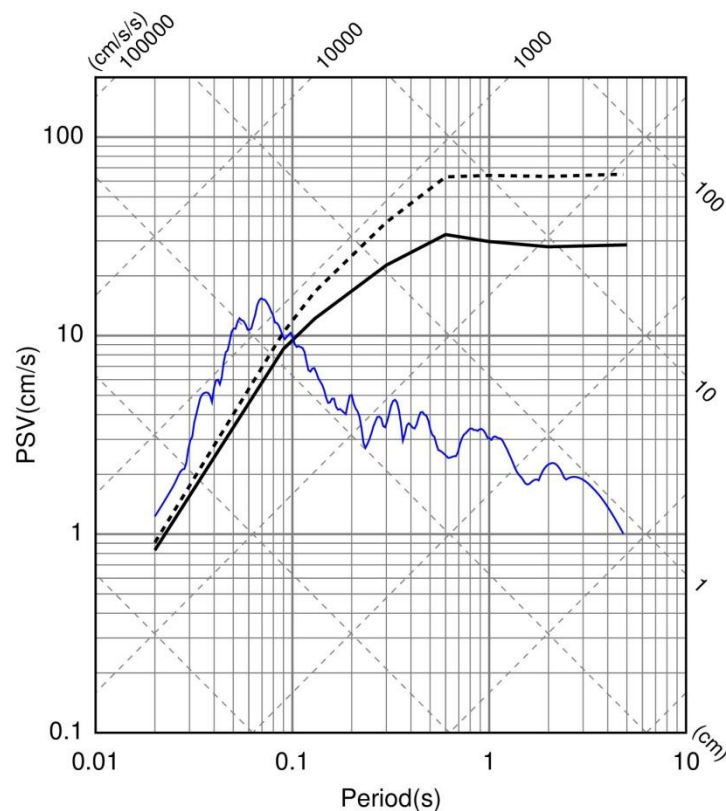
--- 加藤ほか(2004)( $V_s=0.7\text{km/s}$ )  
 — 加藤ほか(2004)( $V_s=2.2\text{km/s}$ )  
 — WKYH01( $X=7.7\text{km}$ )\_EW  
 --- WKYH01( $X=7.7\text{km}$ )\_NS

--- 加藤ほか(2004)( $V_p=2.0\text{km/s}$ )  
 — 加藤ほか(2004)( $V_p=4.2\text{km/s}$ )  
 — WKYH01( $X=7.7\text{km}$ )\_UD



Period(s)

水平方向



Period(s)

鉛直方向

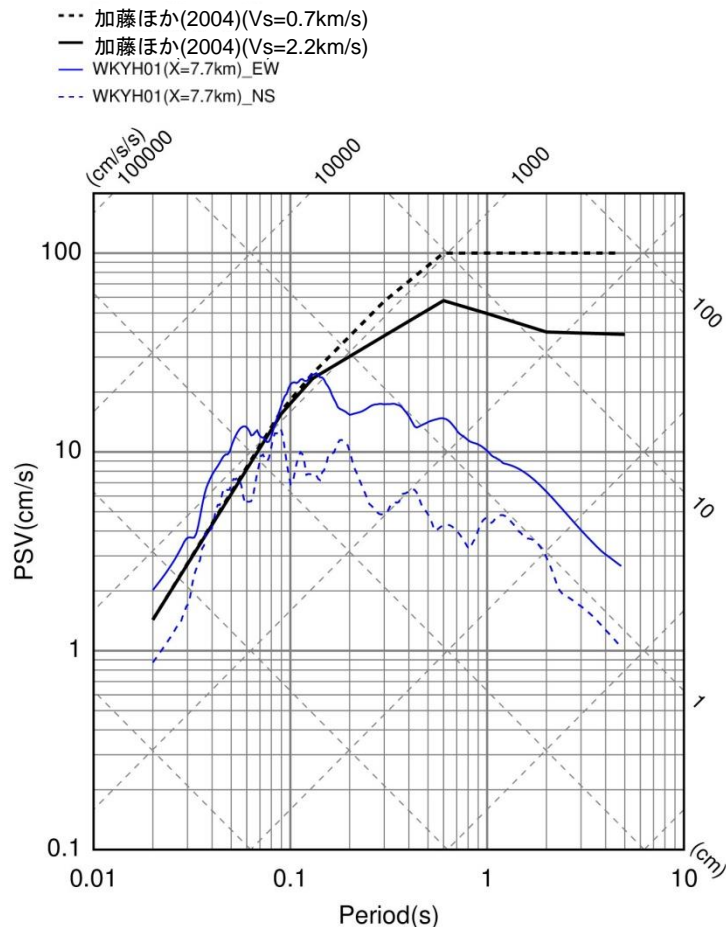
KiK-net各観測点による応答スペクトル(地表)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

## 1.3 2011年和歌山県北部地震

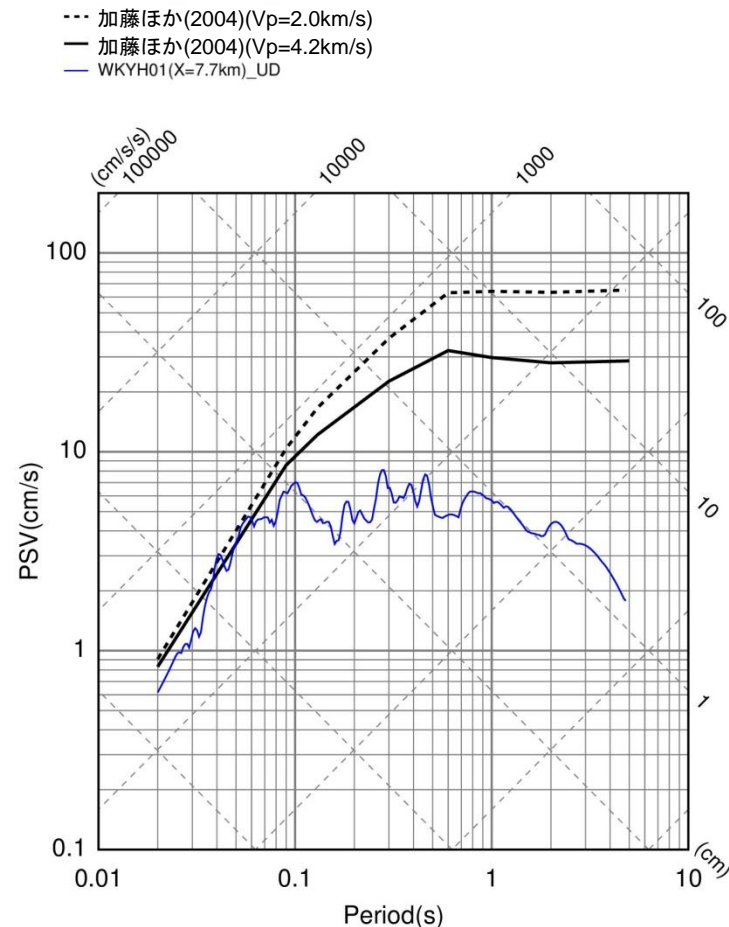
再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年和歌山県北部地震の観測記録

○KiK-net観測点の地中観測記録(地中×2)のうち, WKYH01観測点では, 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

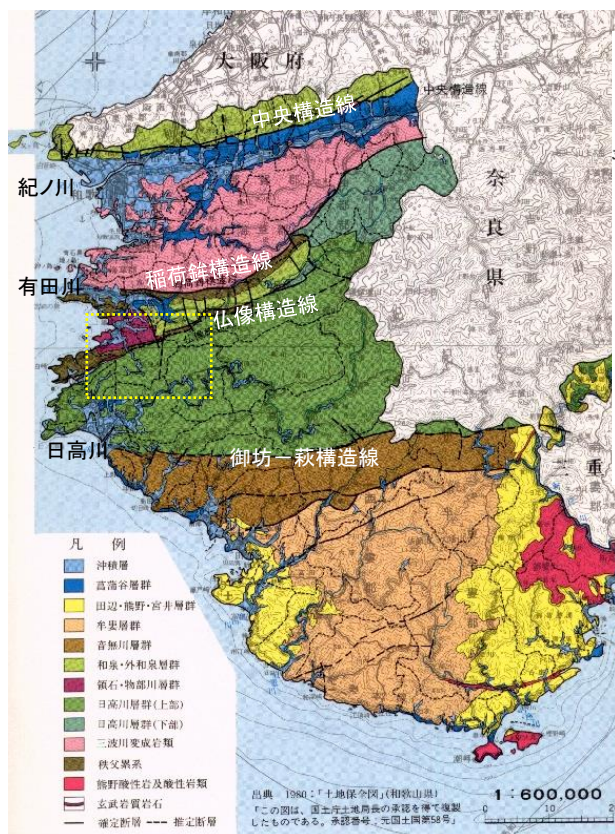
KiK-net各観測点による応答スペクトル(地中×2)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

## 1.3 2011年和歌山県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

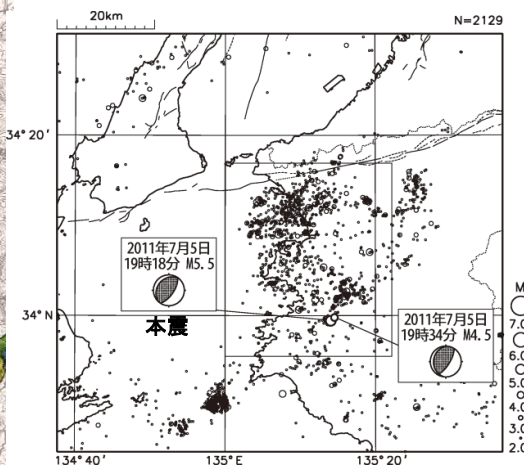
## 2011年和歌山県北部地震に関する震源周辺の地質構造

- 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、活断層としての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活断層型である。
- 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。

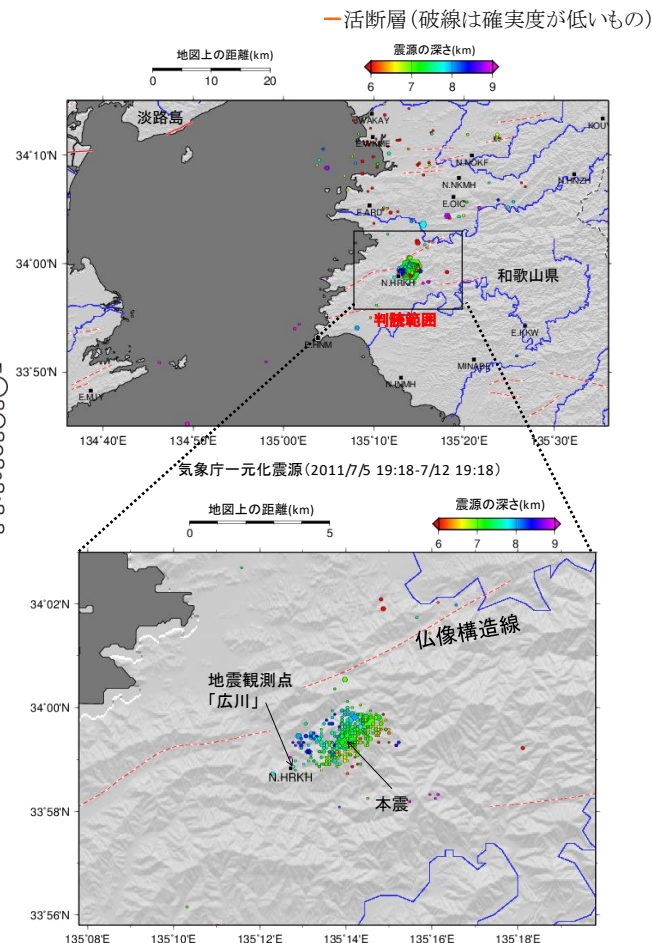


地質図

(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,  $M \geq 2.0$
- ・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)



## 1.3 2011年和歌山県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年和歌山県北部地震 WKYH01(広川)のはぎとり解析

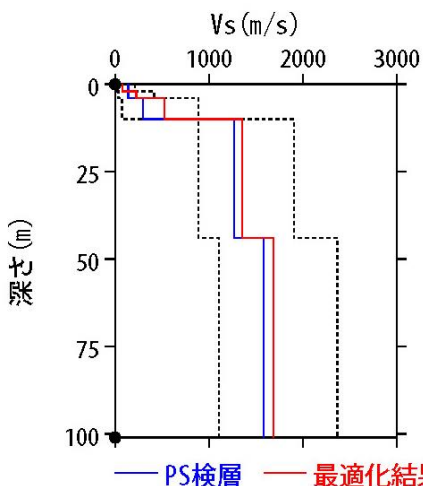
○WKYH01(広川)の観測記録について、KiK-netボーリングデータを初期値として、観測記録の伝達関数を再現できるように地盤同定を実施。

地盤同定結果(水平)

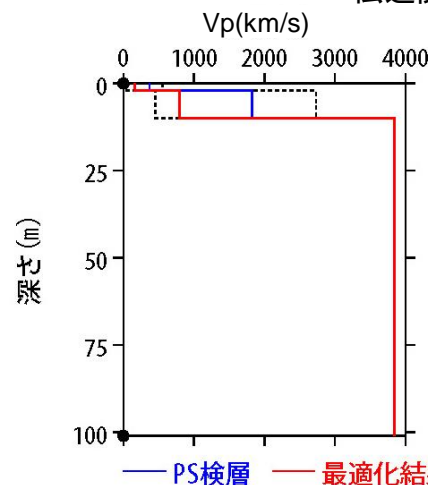
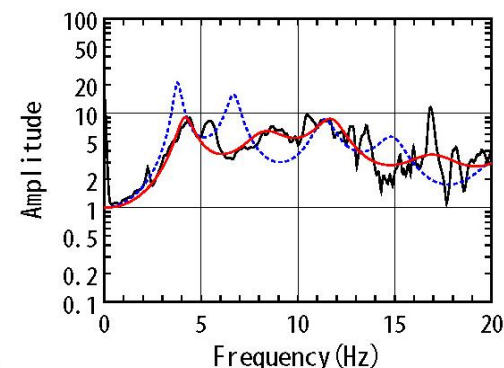
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	$\alpha$
1	2	0	1.64	139	14	209	78	0.56		
2	2	2	1.82	139	35	417	225	1.62	0.298	0.324
3	6	4	1.82	296	74	888	524	1.77		
4	34	10	2.37	1269	888	1904	1354	1.07		
5	57	44	2.37	1580	1106	2370	1686	1.07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

地盤同定結果(鉛直)

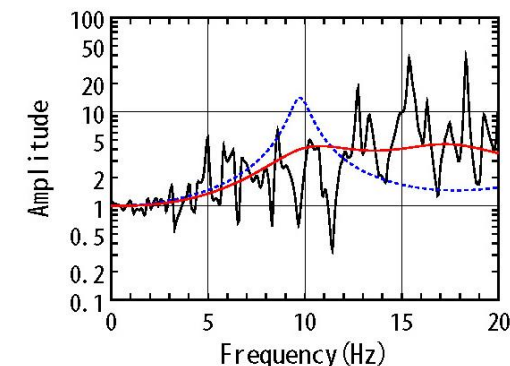
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm <sup>3</sup> )	P波速度(km/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	$\alpha$
1	2	0	1.64	368	37	552	161	0.44		
2	2	2	1.82	1820	455	2730	798	0.44		
3	6	4	1.82	1820	455	2730	798	0.44		
4	34	10	2.37	3846	3846	3846	3846	1.00	1.000	0.590
5	57	44	2.37	3846	3846	3846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



伝達関数の比較(水平)



伝達関数の比較(鉛直)



※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

## 1.3 2011年和歌山県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年和歌山県北部地震 WKYH01(広川)のはぎとり解析

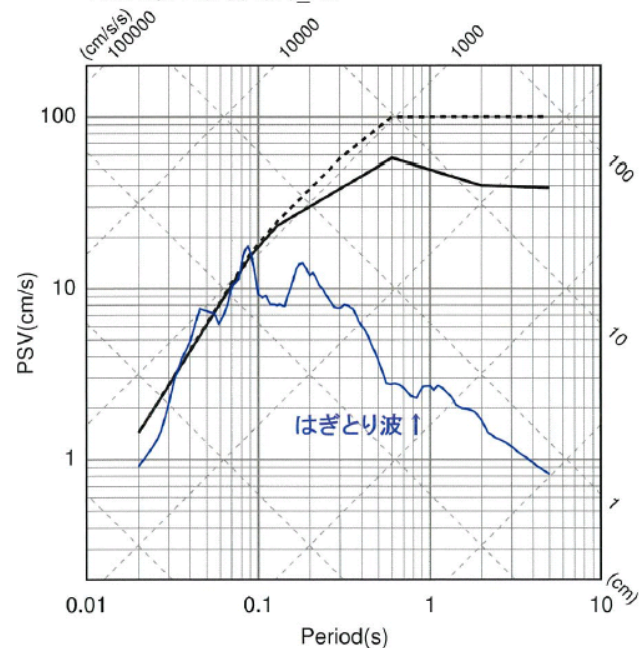
○地盤同定により得られた地盤モデルを用いて、WKYH01のはぎとり解析を実施。  
 ⇒得られた地盤モデルは、PS検層結果から大きく乖離しているため、1次元波動論によるはぎとり解析の適用が困難と考えられる。

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)  
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)  
 — HAGITORI\_NS

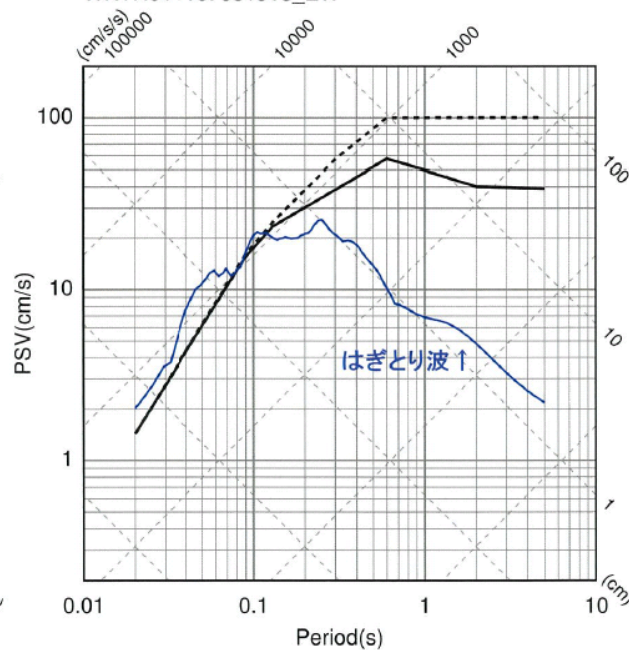
--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)  
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)  
 — HAGITORI\_EW

--- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)  
 — 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)  
 — HAGITORI\_UD

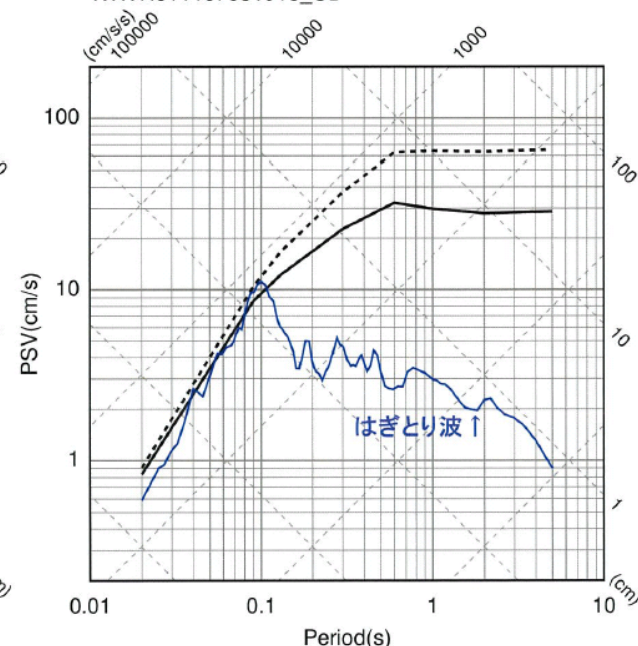
WKYH011107051918\_NS



WKYH011107051918\_EW



WKYH011107051918\_UD



## 1.4 2013年栃木県北部地震

## 2013年栃木県北部地震の概要

## 1. 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°

## 2. 各地の震度および被害状況

各地の震度(気象庁)は以下のとおり。

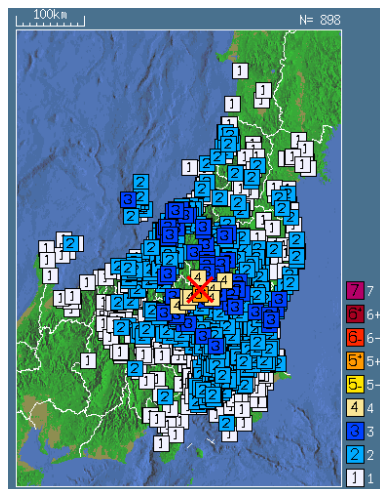
- ・震度5強:栃木県 日光市
- ・地震による津波の発生はなし

被害状況(消防庁)は以下のとおり。

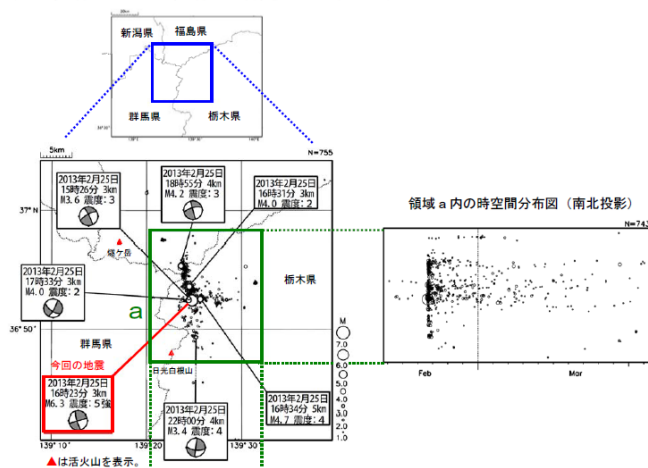
- ・住家被害:被害なし
- ・人的被害:被害なし
- ・その他被害:被害なし

## 3. 地震発生メカニズム(気象庁)

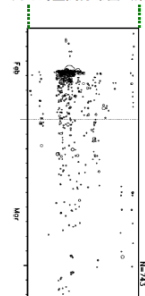
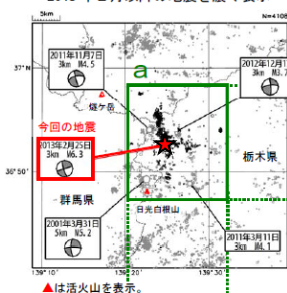
- ・発震機構解より、西北西-東南東方向に圧力軸を持つ**横ずれ断層型**の地震。
- ・震央付近(領域a)では、2月23日頃から地震活動が見られており、約1時間前の2月25日15時26分にもM3.6の地震(最大震度3)が発生。今回の地震の発生後、活発な余震活動が見られ、同日16時34分にM4.7の地震(最大震度4)が発生。



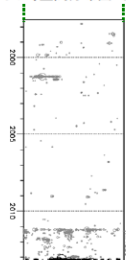
気象庁 震度データベースによる震度分布

震央分布図  
(2013年2月23日~2013年3月12日、深さ0~20km、M≥1.0)

領域a内の時空間分布図(東西投影)

震央分布図  
(1997年10月1日~2013年3月12日、深さ0~20km、M≥1.0)  
2013年2月以降の地震を濃く表示

領域a内の時空間分布図(東西投影)



## 1.4 2013年栃木県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2013年栃木県北部地震の観測記録

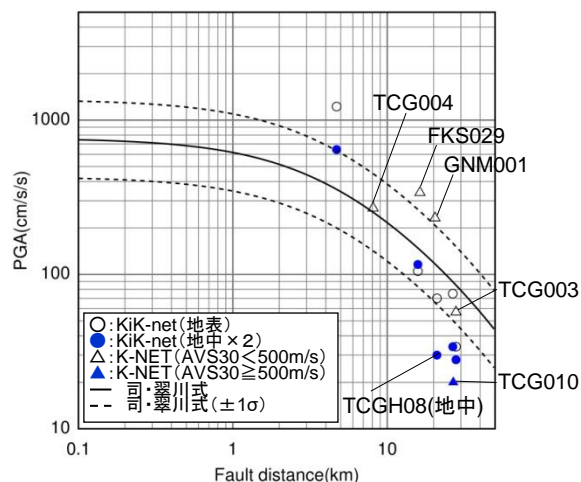
○断層最短距離30km以内の観測記録は下表の10記録であった。このうち震源近傍に位置するTCGH07観測点において、地表で最大加速度1224.3Galが観測されており、司・翠川(1999)の距離減衰式の+1σを上回る。

K-NETの最大加速度

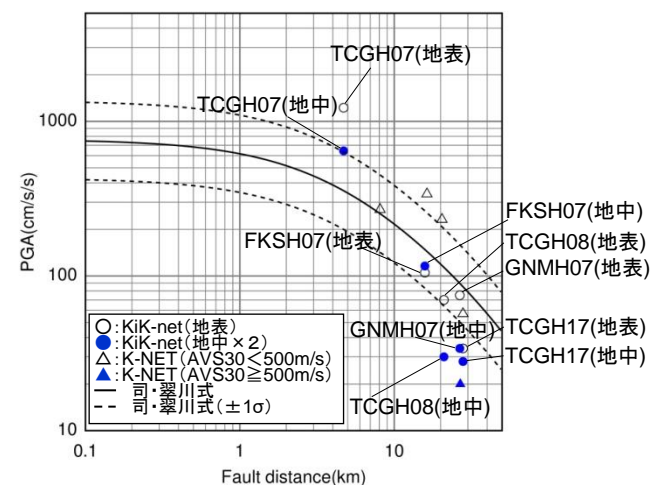
観測点		震源距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度 (Gal)		
				水平 (NS)	水平 (EW)	鉛直 (UD)
K-NET (地表)	TCG004	湯元	8.1	196.8	269.5	283.2
	FKS029	桧枝岐	16.3	199.8	339.2	146.0
	GNM001	片品	20.4	168.2	231.5	100.9
	TCG010	足尾	26.8	12.2	20.0	12.9
	TCG003	藤原	27.9	56.9	55.4	28.8

KiK-netの最大加速度

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)
KiK-net (地表・地中)	TCGH07	栗山西	4.7	1224.3 (296.2)	835.0 (322.3)	736.5 (168.2)
	FKSH07	檜枝岐	15.8	91.7 (28.9)	105.3 (58.5)	74.1 (33.9)
	TCGH08	栗山東	21.0	69.8 (15.1)	62.2 (14.4)	42.8 (14.9)
	GNMH07	利根	26.6	74.6 (17.4)	69.0 (16.3)	54.2 (12.7)
	TCGH17	藤原2	27.9	34.2 (13.5)	30.3 (10.3)	17.4 (6.4)



距離減衰式との関係



距離減衰式との関係



## 1.4 2013年栃木県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

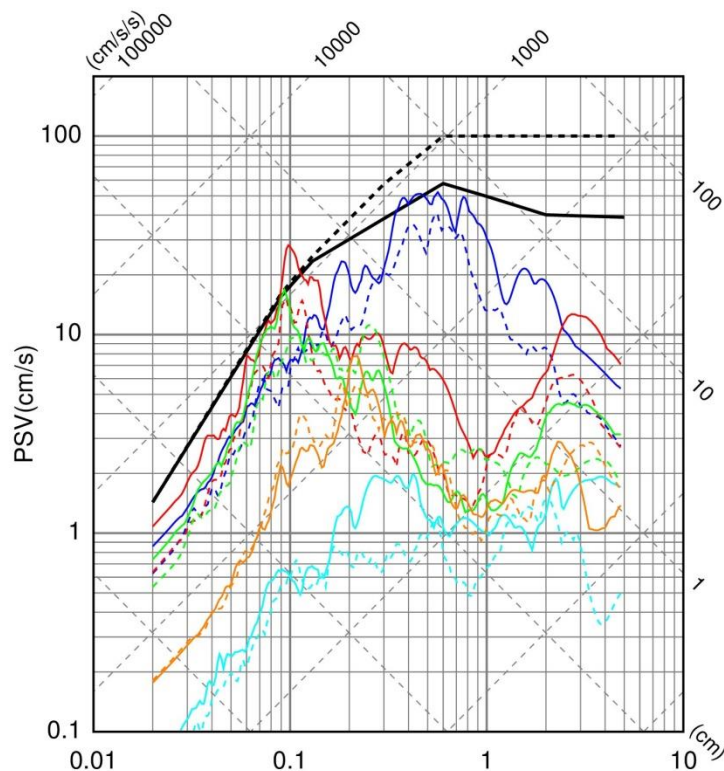
## 2013年栃木県北部地震の観測記録

○K-NET観測点の観測記録のうち、FKS029およびTCG004観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

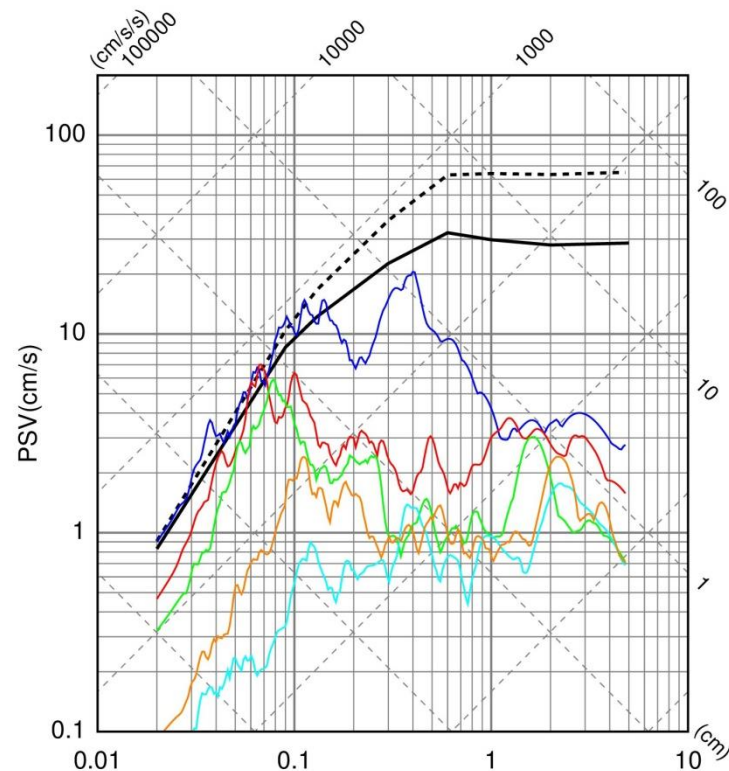
- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)
- 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)
- TCG004(X=8.1km)\_EW
- TCG004(X=8.1km)\_NS
- FKS029(X=16.3km)\_EW
- FKS029(X=16.3km)\_NS

- GNM001(X=20.4km)\_EW
- GNM001(X=20.4km)\_NS
- TCG010(X=26.8km)\_EW
- TCG010(X=26.8km)\_NS
- TCG003(X=27.9km)\_EW
- TCG003(X=27.9km)\_NS

- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)
- 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)
- TCG004(X=8.1km)\_UD
- FKS029(X=16.3km)\_UD
- GNM001(X=20.4km)\_UD
- TCG010(X=26.8km)\_UD
- TCG003(X=27.9km)\_UD



Period(s)  
水平方向



Period(s)  
鉛直方向

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



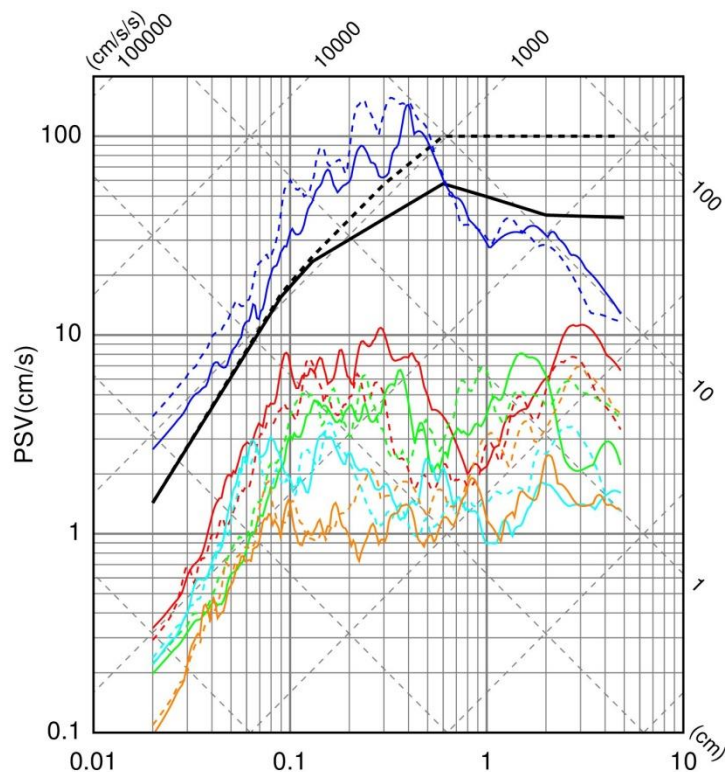
## 1.4 2013年栃木県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2013年栃木県北部地震の観測記録

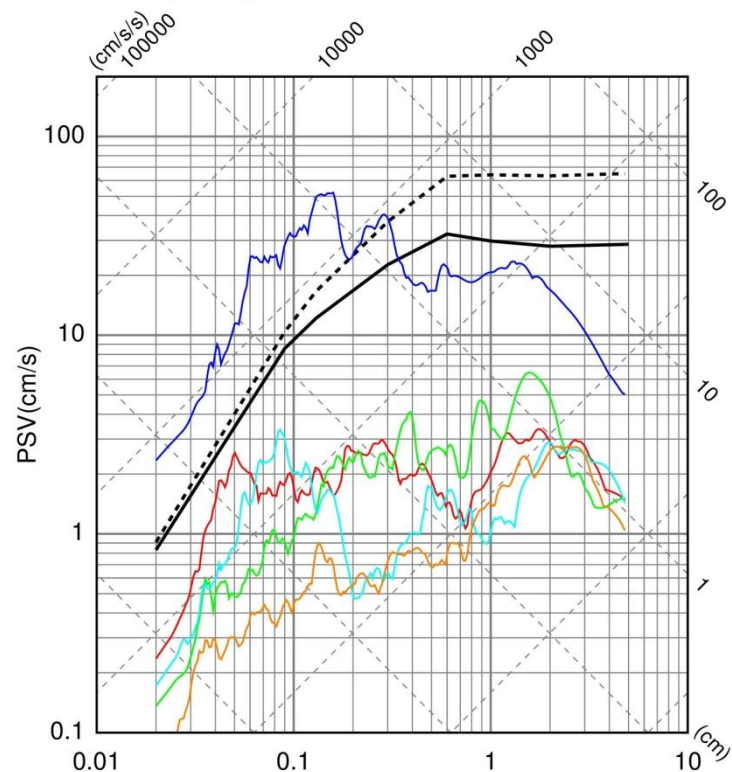
○KiK-net観測点の地表観測記録のうち、TCGH07観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。

- |     |                        |     |                        |
|-----|------------------------|-----|------------------------|
| --- | 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s) | --- | 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s) |
| —   | 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s) | --- | 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s) |
| —   | TCGH07(X=4.7km)_EW     | —   | TCGH07(X=4.7km)_UD     |
| --- | TCGH07(X=4.7km)_NS     | —   | FKSH07(X=15.8km)_UD    |
| --- | FKSH07(X=15.8km)_EW    | —   | TCGH08(X=21.0km)_UD    |
| --- | FKSH07(X=15.8km)_NS    | --- | GNMH07(X=26.6km)_UD    |
| --- | TCGH08(X=21.0km)_EW    | --- | TCGH17(X=27.9km)_UD    |
| --- | TCGH08(X=21.0km)_NS    | --- |                        |
| --- | GNMH07(X=26.6km)_EW    | --- |                        |
| --- | GNMH07(X=26.6km)_NS    | --- |                        |
| --- | TCGH17(X=27.9km)_EW    | --- |                        |
| --- | TCGH17(X=27.9km)_NS    | --- |                        |



Period(s)

水平方向



Period(s)

鉛直方向

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

## 1.4 2013年栃木県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2013年栃木県北部地震の観測記録

○KiK-net観測点の地中観測記録(地中×2)のうち、TCGH07観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)

— TCGH08(X=21.0km)\_EW

--- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)

— 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)

--- TCGH08(X=21.0km)\_NS

— 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)

— TCGH07(X=4.7km)\_EW

--- GNMH07(X=26.6km)\_EW

— TCGH07(X=4.7km)\_UD

--- TCGH07(X=4.7km)\_NS

--- GNMH07(X=26.6km)\_NS

— FKSH07(X=15.8km)\_UD

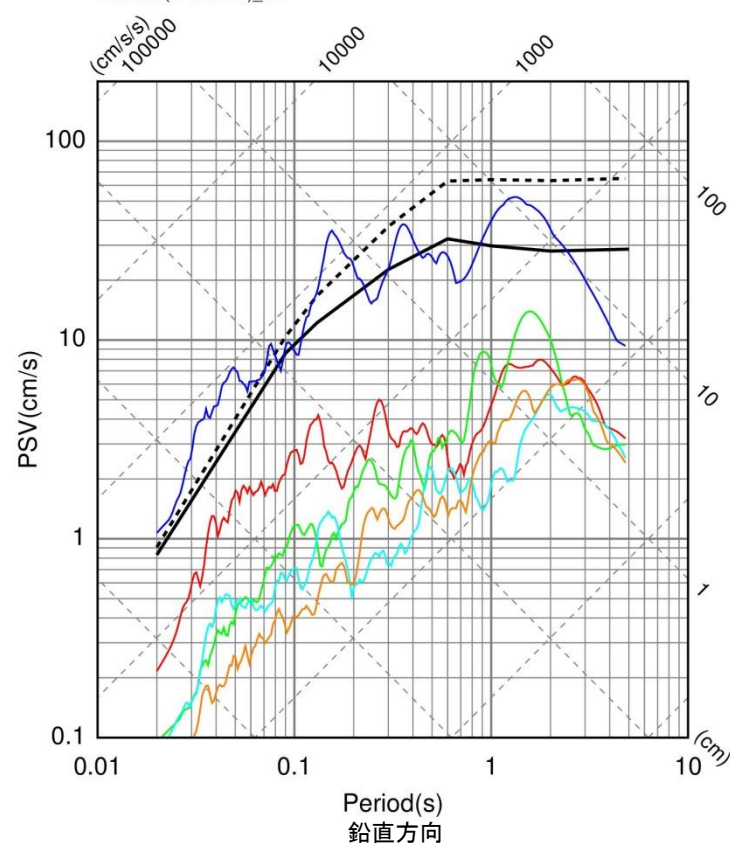
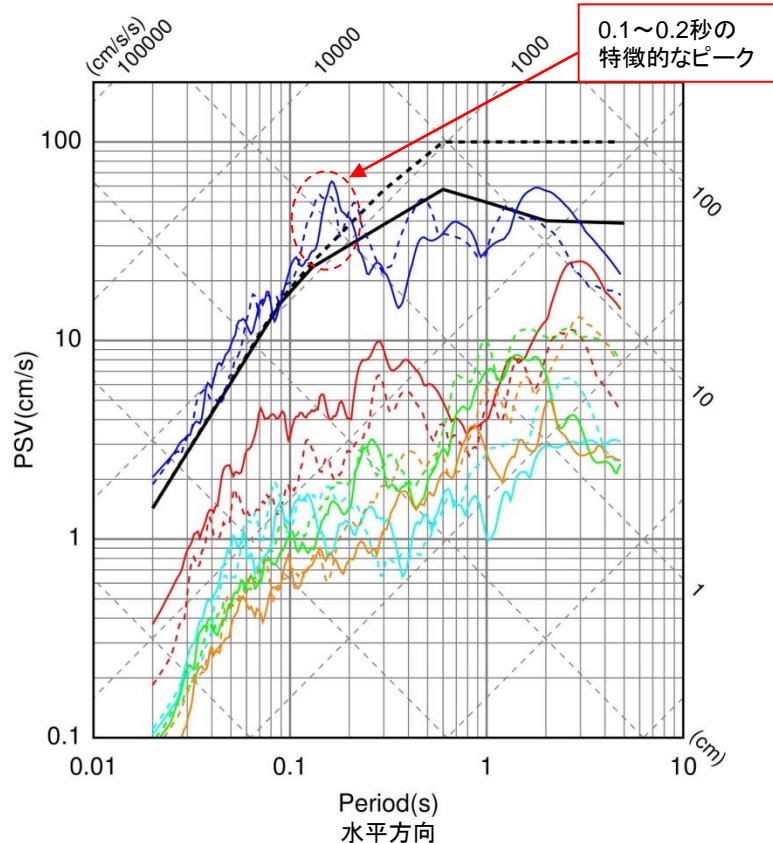
— FKSH07(X=15.8km)\_EW

— TCGH17(X=27.9km)\_EW

--- FKSH07(X=15.8km)\_NS

--- TCGH17(X=27.9km)\_NS

--- TCGH17(X=27.9km)\_UD



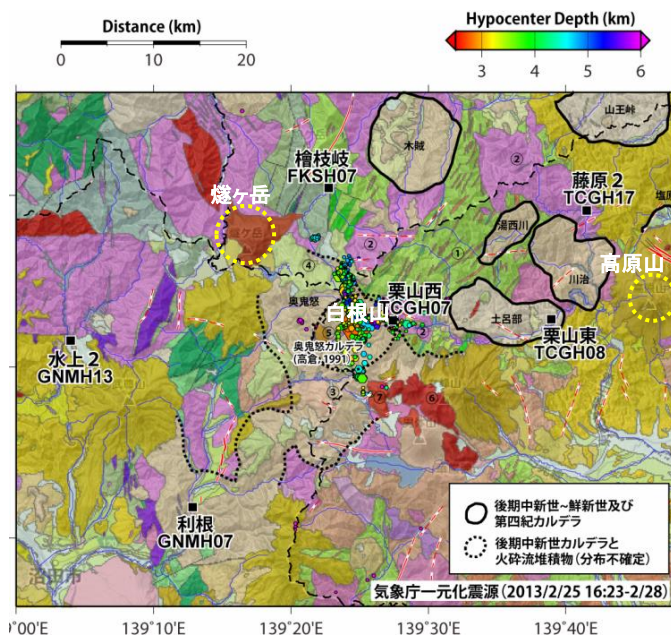
KiK-net各観測点による応答スペクトル(地中×2)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

## 1.4 2013年栃木県北部地震

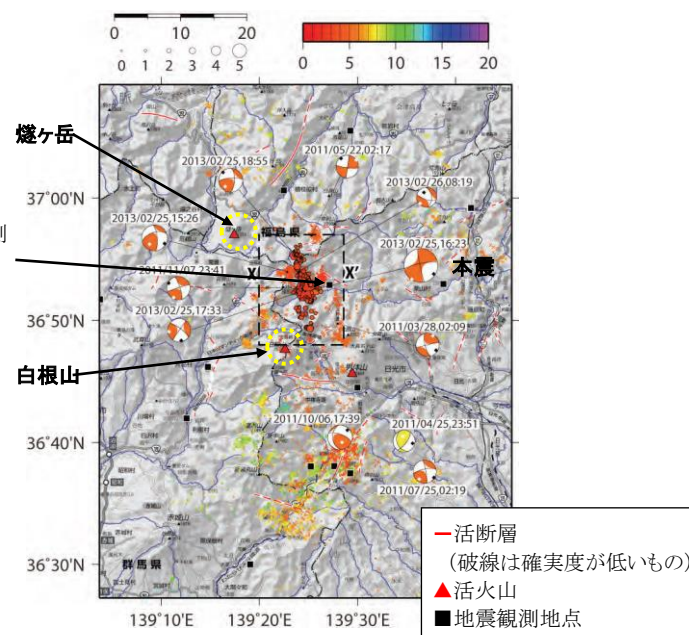
再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2013年栃木県北部地震に関する震源周辺の地質構造

- 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・燧ヶ岳(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見られている。



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)



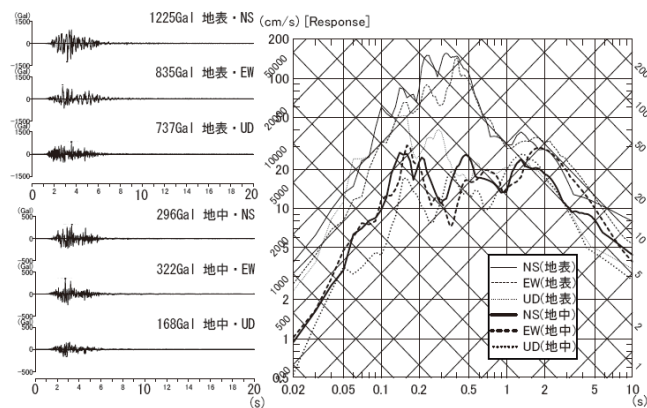
## 1.4 2013年栃木県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

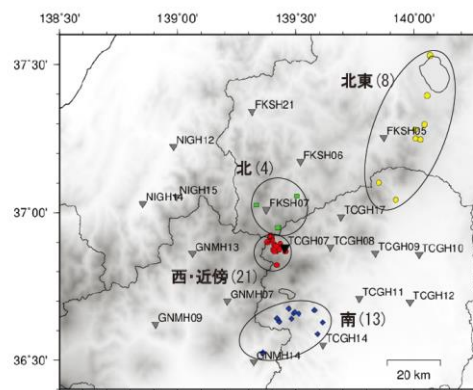
## 2013年栃木県北部地震に関する既往の知見

○引間(2013b)では、2013年栃木県北部地震のスペクトルインバージョンによりTCGH07観測点の観測記録を分析しており、TCGH07観測点の地中記録は周期0.2, 0.4秒付近で卓越するとしている。また、増幅特性の要因が震源～観測点の伝播特性にあるか、TCGH07観測点の地盤特性にあるのかを分離することは難しいとしている。

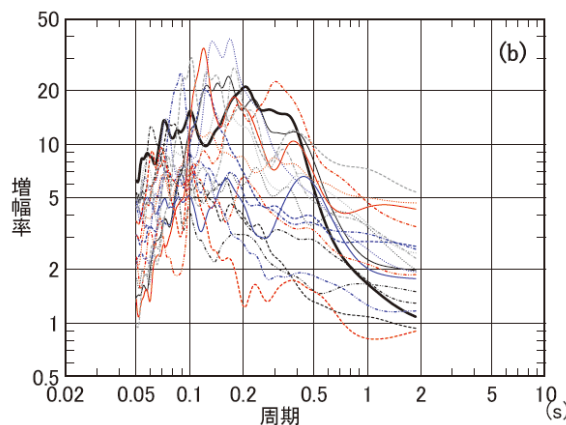
引間(2013)



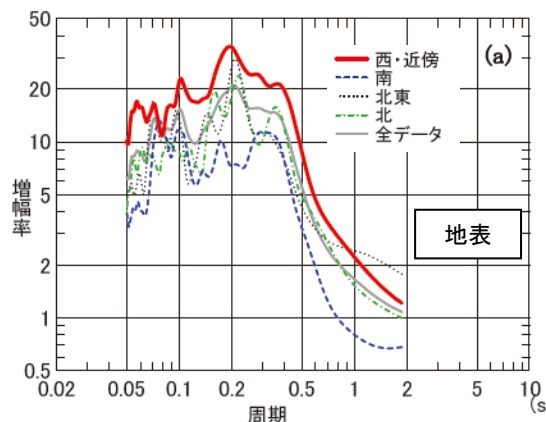
TCGH07(栗山西)での観測波形と疑似速度応答スペクトル



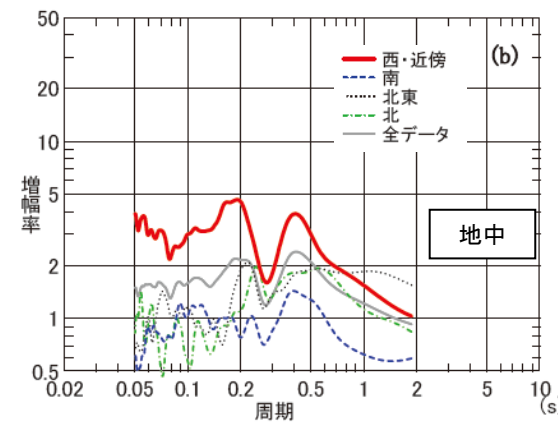
解析に用いた観測点と震央



解析により求めた地表観測点の増幅率



TCGH07観測点での地震発生領域別の増幅率



1.4 2013年栃木県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

2013年栃木県北部地震 TCGH07(栗山西)のはぎとり解析

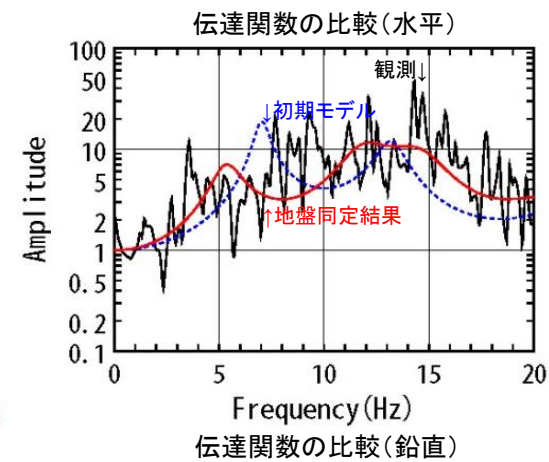
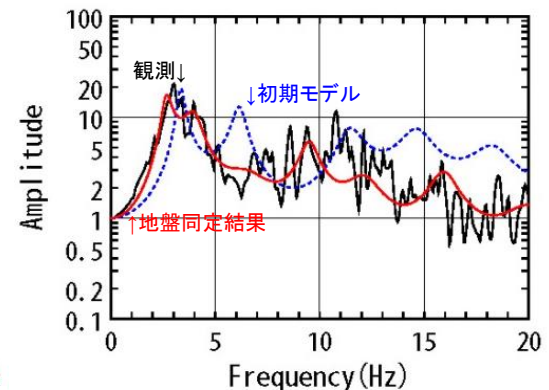
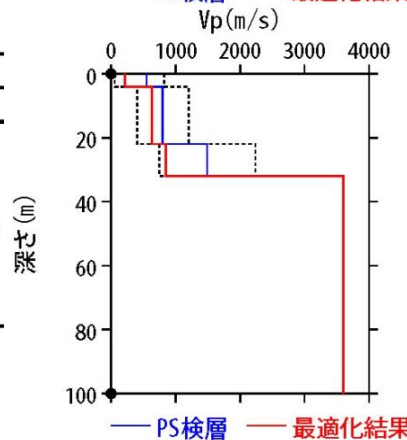
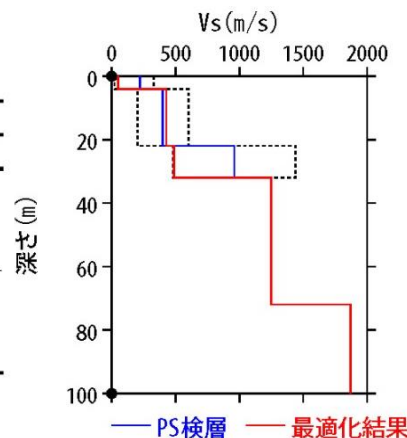
○TCGH07(栗山西)の観測記録について、KiK-netボーリングデータを初期値として、観測記録の伝達関数を再現できるように地盤同定を実施。

地盤同定結果(水平)

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

地盤同定結果(鉛直)

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



※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

## 1.4 2013年栃木県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

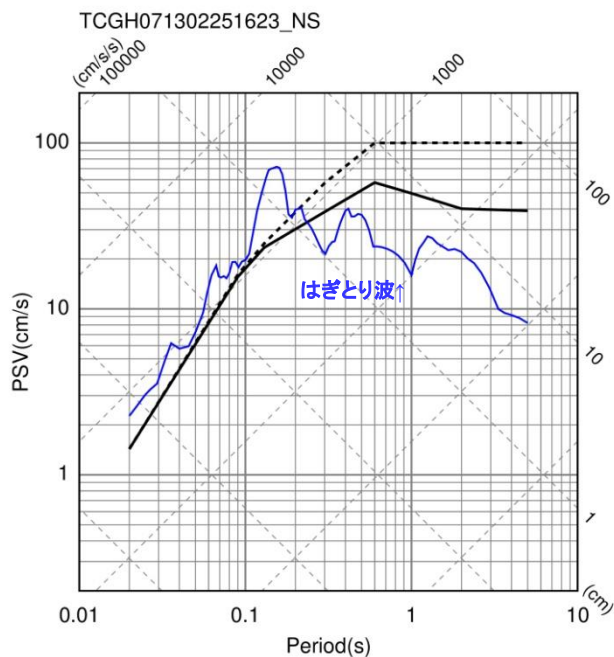
## 2013年栃木県北部地震 TCGH07(栗山西)のはぎとり解析

○地盤同定により得られた地盤モデルを用いて、TCGH07観測点のはぎとり解析を実施。  
 ⇒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は困難と考えられる。

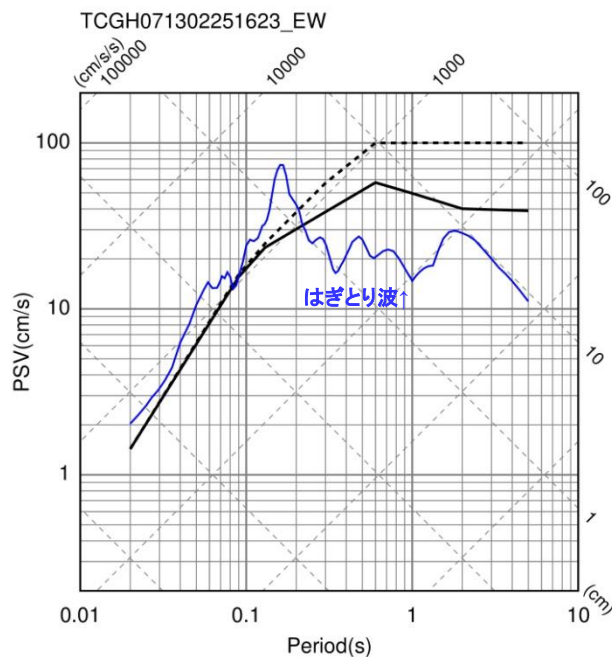
--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)  
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)  
 — HAGITORI\_NS

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)  
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)  
 — HAGITORI\_EW

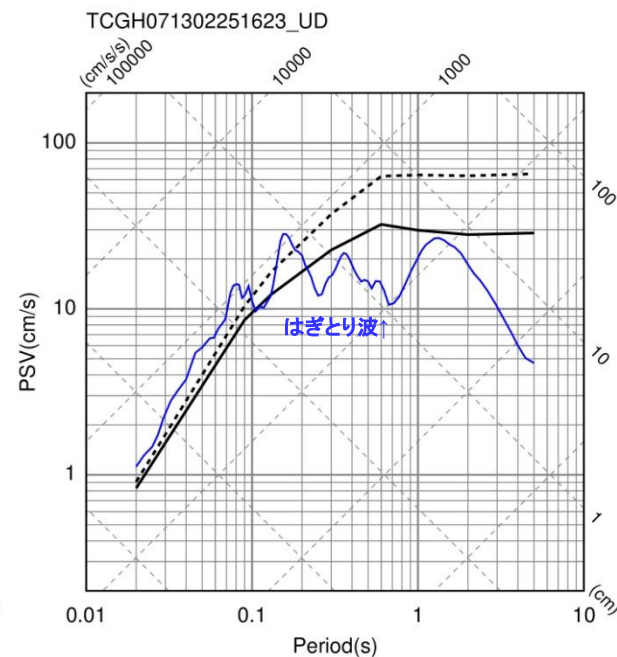
--- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)  
 — 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)  
 — HAGITORI\_UD



NS方向



EW方向



UD方向

# 1. 旧審査ガイドにおいて例示されたMw6.5未満の地震

## 1.5 2011年茨城県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

### 2011年茨城県北部地震の概要

#### 1. 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°

#### 2. 各地の震度および被害状況

各地の震度 (気象庁) は以下のとおり。

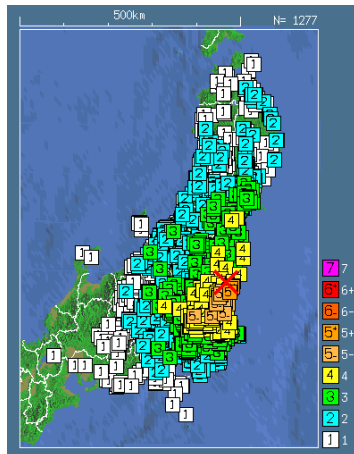
- ・震度5強：茨城県 日立市
- ・震度5弱：茨城県 常陸太田市, 高萩市, 笠間市, ひたちなか市, 常陸大宮市, 那珂市, 城里町, 土浦市, 五霞町
- ・地震による津波の発生はなし

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

#### 3. 地震発生メカニズム (気象庁)

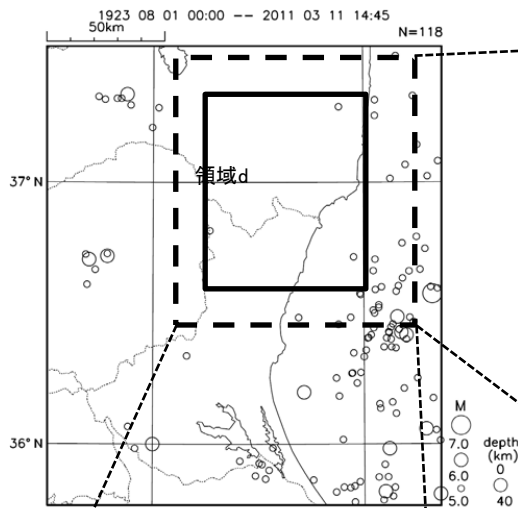
- ・発震機構解より、北東-南西方向に張力軸を持つ正断層型の地震。
- ・1923年8月以降の活動を見ると、今回の地震の震源付近 (領域d) では、「平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震」が発生する前までの間、M5.0以上の浅い地震はほとんど観測されていない。



気象庁 震度データベースによる震度分布

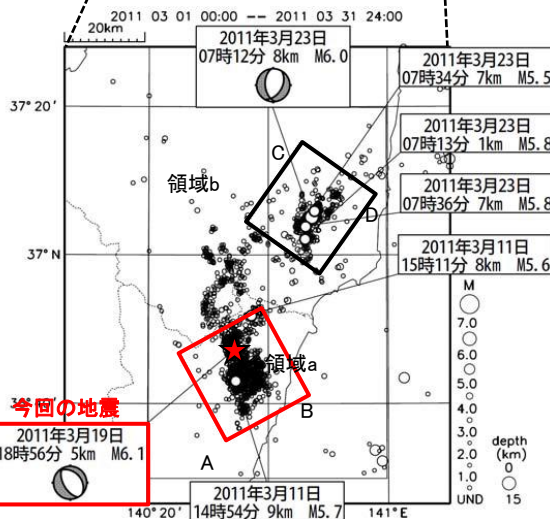
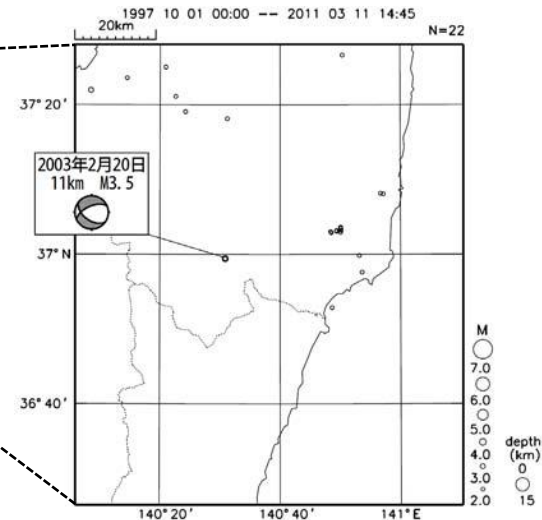
#### 震央分布図

(1923年8月1日～2011年3月11日14時45分、深さ0～40km, M≥5.0)

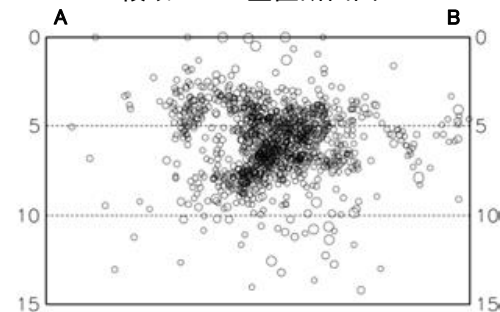


#### 震央分布図

(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～年3月31日)

深さ0～15km, Mすべて)

※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)

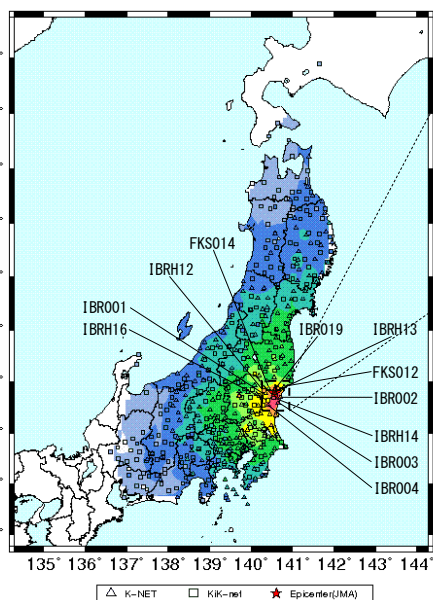


## 1.5 2011年茨城県北部地震

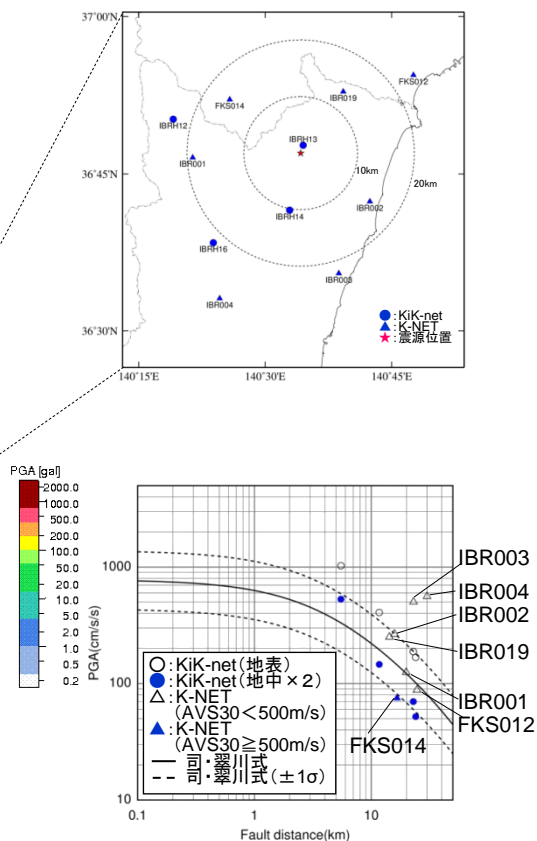
再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年茨城県北部地震の観測記録

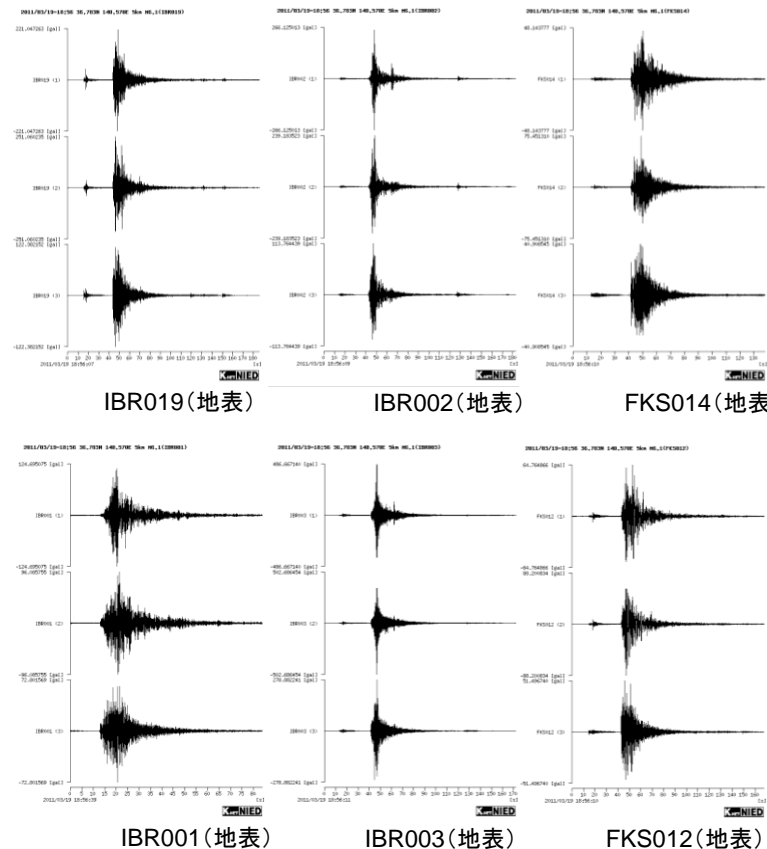
○K-NET観測点のうち、震源距離20kmを超えるIBR003およびIBR004観測点は、司・翠川(1999)の距離減衰式の $+1\sigma$ を上回るが、AVS30が300m/s程度の軟らかい地盤である。  
○K-NET観測点は、震源近傍の観測点がなく、加速度波形の形状は概ね一致している。



地表の最大加速度分布  
(防災科学技術研究所)



距離減衰式との関係



K-NETの最大加速度

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)	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



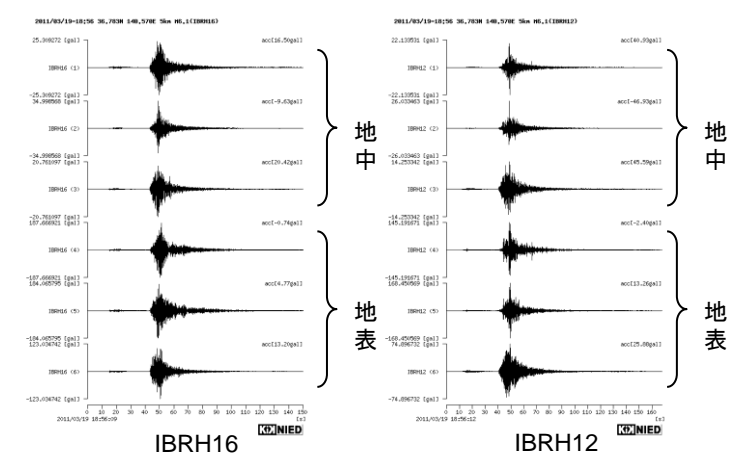
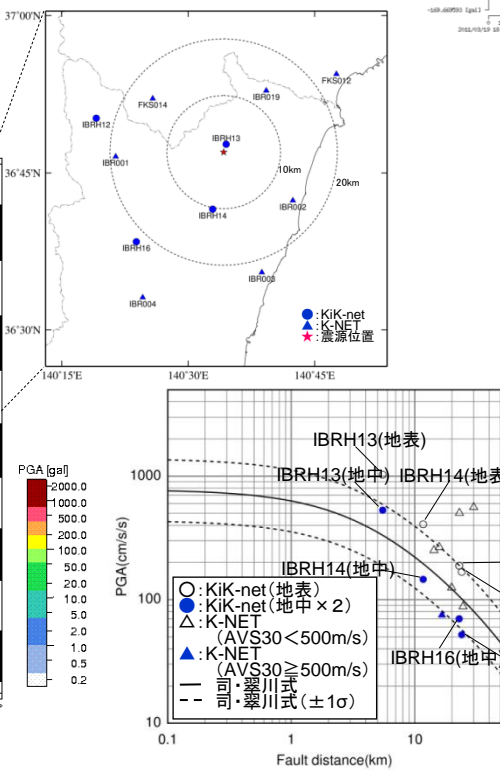
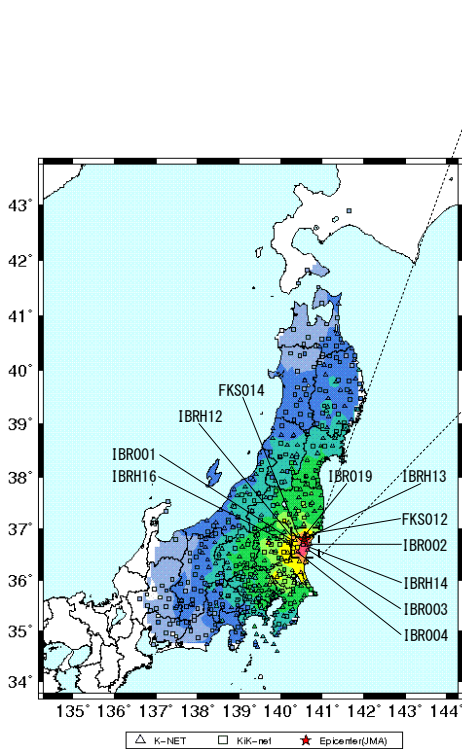
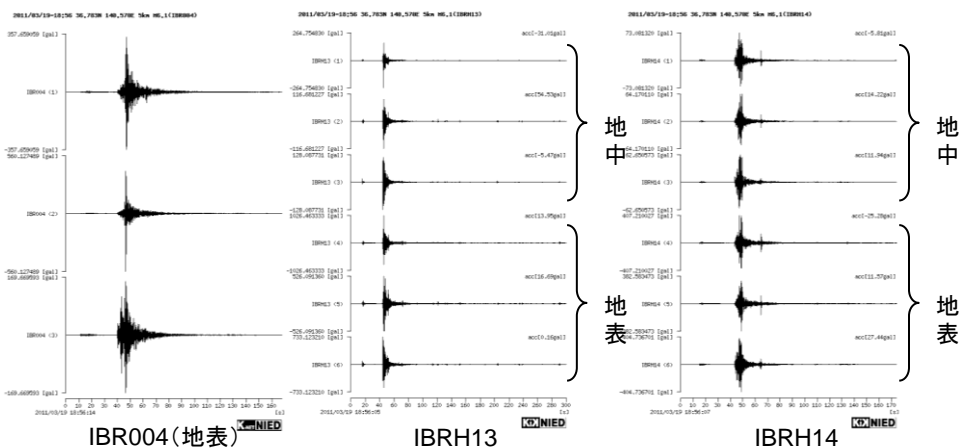
## 1.5 2011年茨城県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

### 2011年茨城県北部地震の観測記録

○KiK-net観測点のうち、IBRH13(高萩)の地表観測記録は、司・翠川(1999)の距離減衰式の+1σを上回るが、地中×2では、+1σ相当である。EW方向はNS方向の1/2程度の最大加速度。水平方向に対し、鉛直方向が相対的に大きい。

○震源近傍の観測点であるIBRH13(高萩)の加速度波形を見ると、他の観測点に比べ継続時間が短い傾向にある。



KiK-netの最大加速度

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)
KiK-net (地表・地中)	IBRH13 高萩	5.5	1026.5 (264.8)	526.1 (116.7)	733.1 (128.1)
	IBRH14 十王	11.7	407.2 (73.1)	382.6 (64.2)	404.7 (62.7)
	IBRH16 山方	22.9	187.7 (25.3)	184.1 (35.0)	123.0 (20.8)
	IBRH12 大子	24.0	145.2 (22.1)	168.5 (26.0)	74.9 (14.3)

地表の最大加速度分布

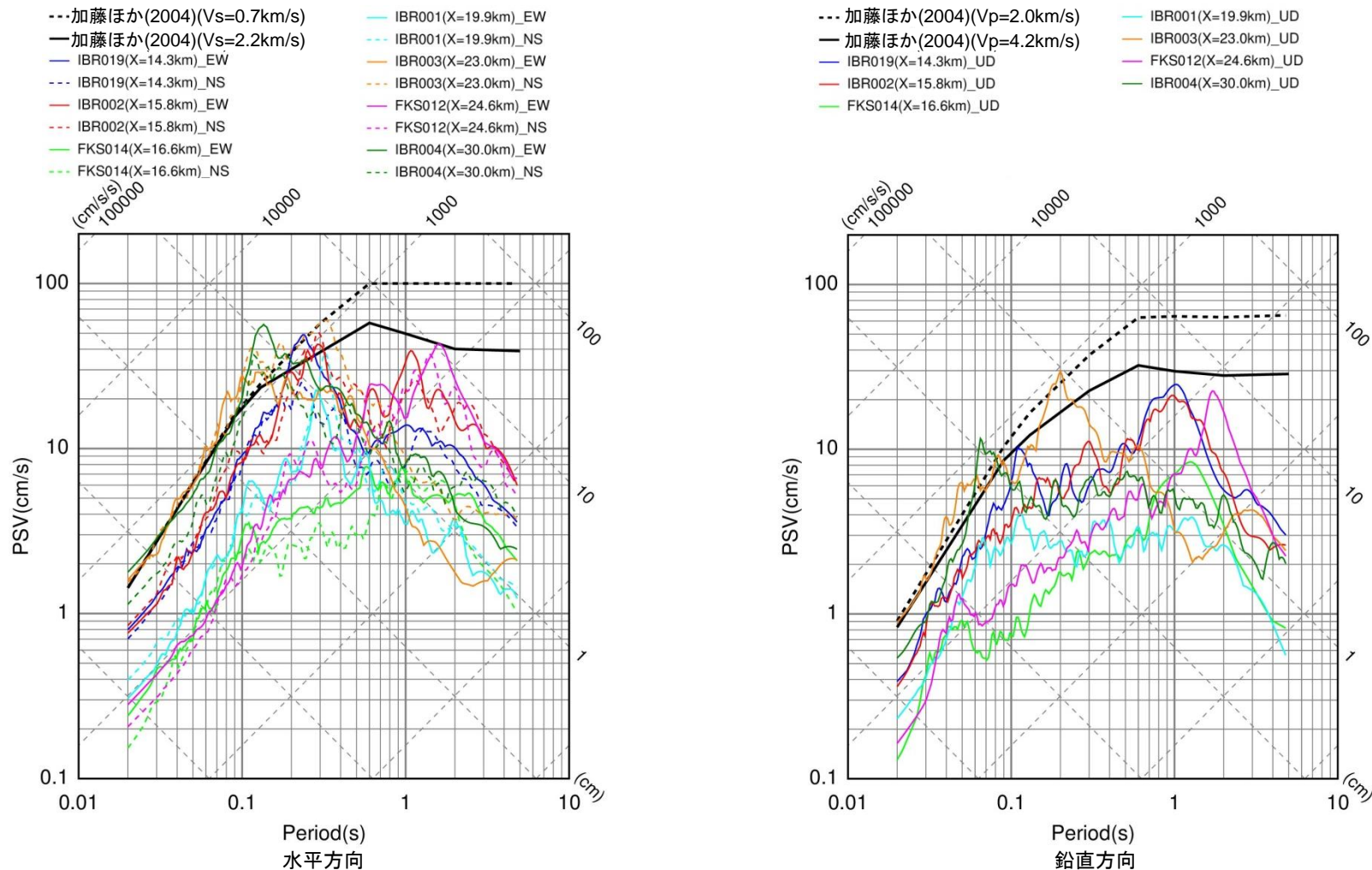
距離減衰式との関係

## 1.5 2011年茨城県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年茨城県北部地震の観測記録

○K-NET観測点の観測記録のうち、IBR003およびIBR004観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。



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

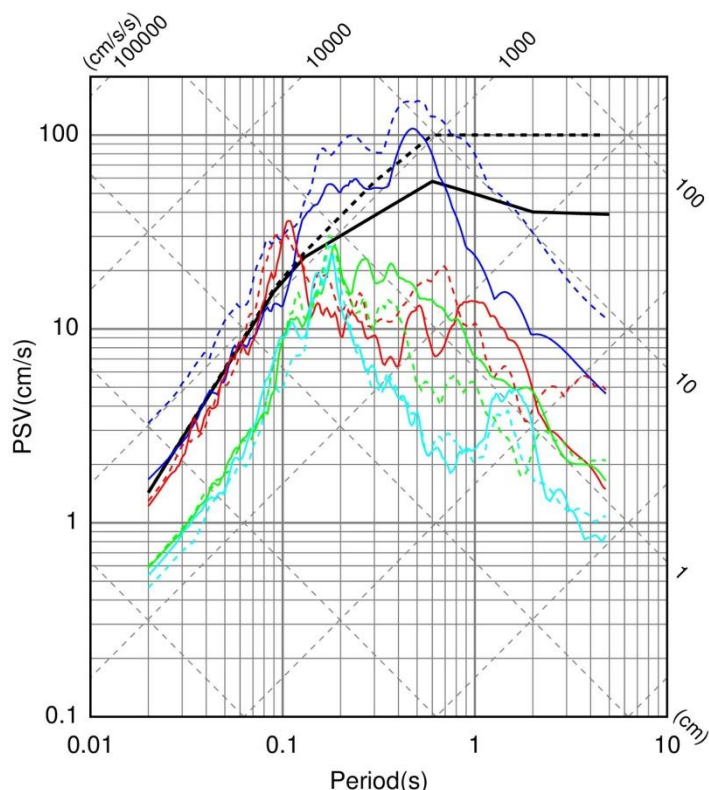
## 1.5 2011年茨城県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年茨城県北部地震の観測記録

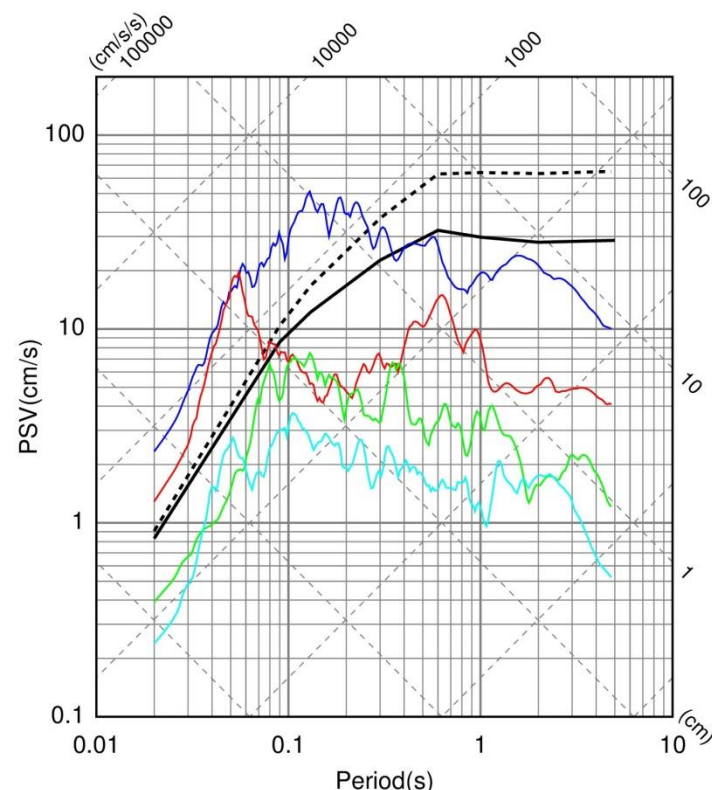
○KiK-net観測点の地表観測記録のうち、IBRH13およびIBRH14観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。

- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)
- 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)
- IBRH13(X=5.5km)\_EW
- IBRH13(X=5.5km)\_NS
- IBRH14(X=11.7km)\_EW
- IBRH14(X=11.7km)\_NS
- IBRH16(X=22.9km)\_EW
- IBRH16(X=22.9km)\_NS
- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)
- 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)
- IBRH13(X=5.5km)\_UD
- IBRH14(X=11.7km)\_UD
- IBRH16(X=22.9km)\_UD
- IBRH12(X=24.0km)\_UD



Period(s)

水平方向



Period(s)

鉛直方向

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



## 1.5 2011年茨城県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年茨城県北部地震の観測記録

○KiK-net観測点の地中観測記録(地中×2)のうち、IBRH13観測点では加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)

— IBRH16(X=22.9km)\_EW

--- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)

— 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)

X=22.9km)\_NS

— 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)

— IBRH13(X=5.5km)\_EW

— IBRH12(X=24.0km)\_EW

— IBRH13(X=5.5km)\_UD

--- IBRH13(X=5.5km)\_NS

--- IBRH12(X=24.0km)\_NS

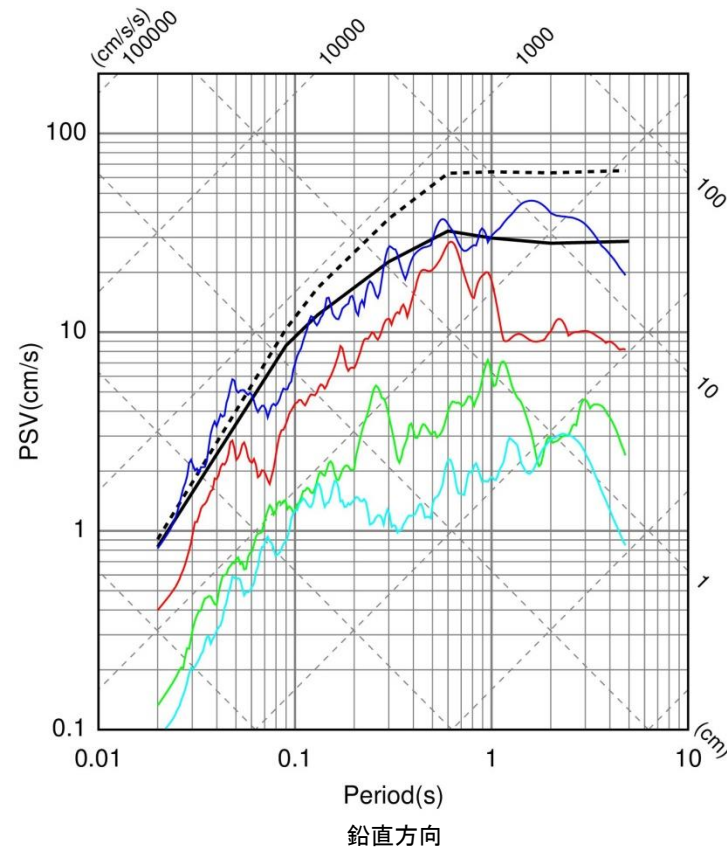
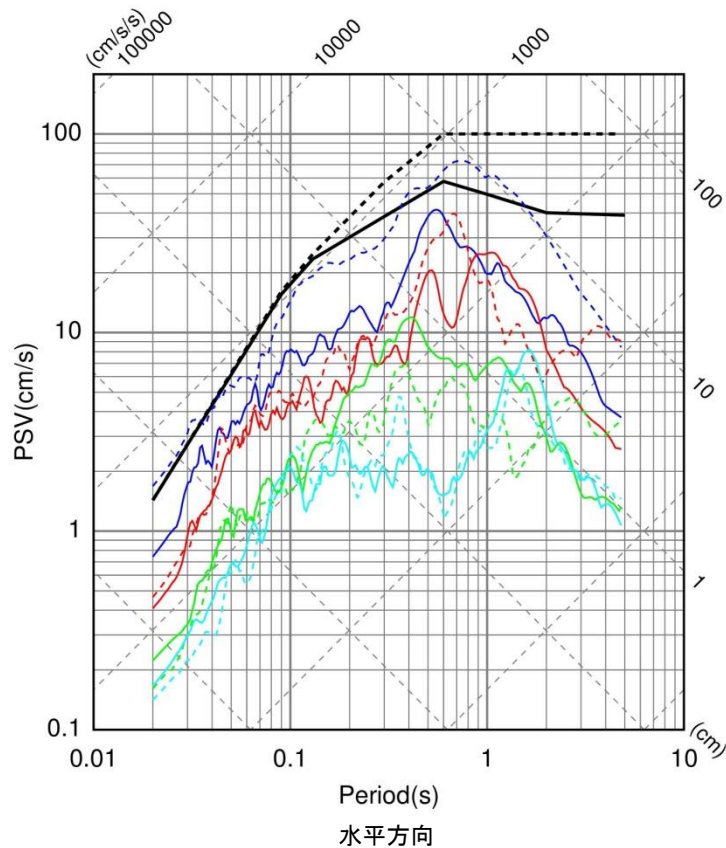
— IBRH14(X=11.7km)\_UD

— IBRH14(X=11.7km)\_EW

— IBRH16(X=22.9km)\_UD

--- IBRH14(X=11.7km)\_NS

— IBRH12(X=24.0km)\_UD



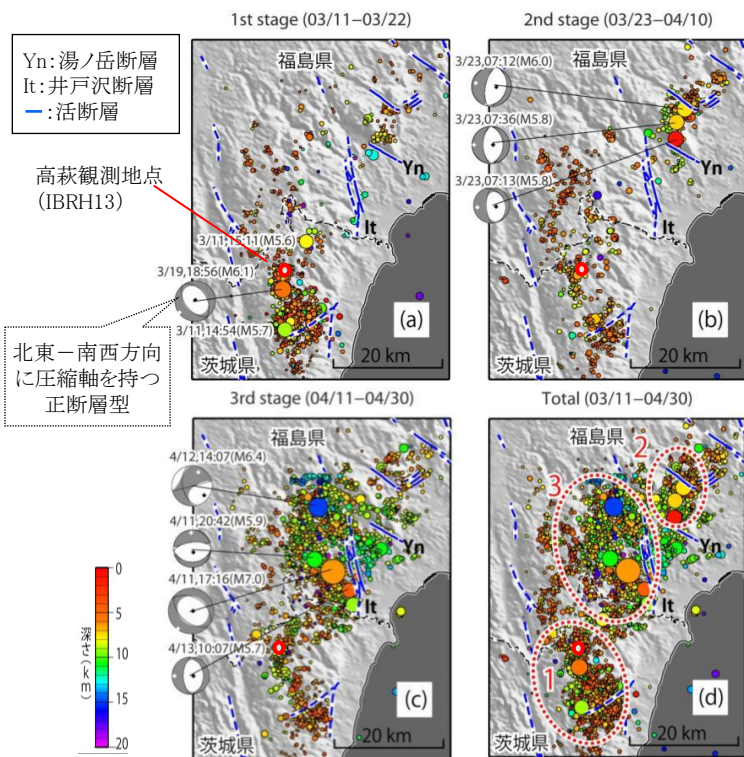
KiK-net各観測点による応答スペクトル(地中×2)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

## 1.5 2011年茨城県北部地震

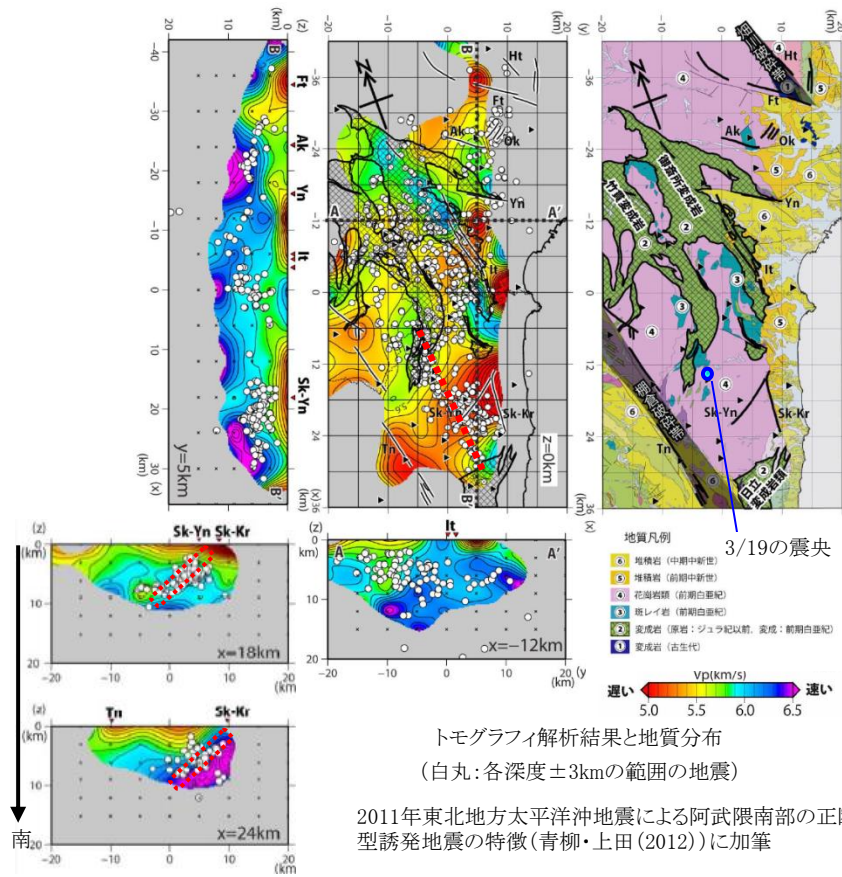
再掲 (H26.2.20審査会合資料)

### 2011年茨城県北部地震に関する震源周辺の地質構造

- 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、3.11直後から、3つのステージで震源域が拡大。
- 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)・棚倉破碎帯西縁断層(Tn)が分布する。地震活動は、竹貫およ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-南南東方向に伸び、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

## 1.5 2011年茨城県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年茨城県北部地震 IBRH13(高萩)のはぎとり解析

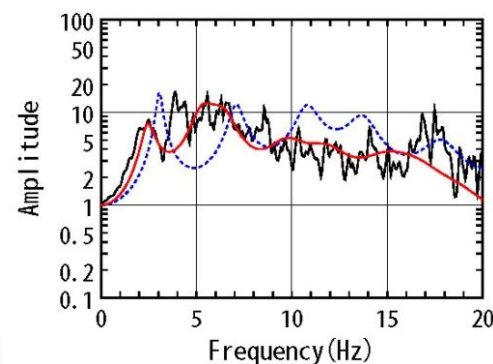
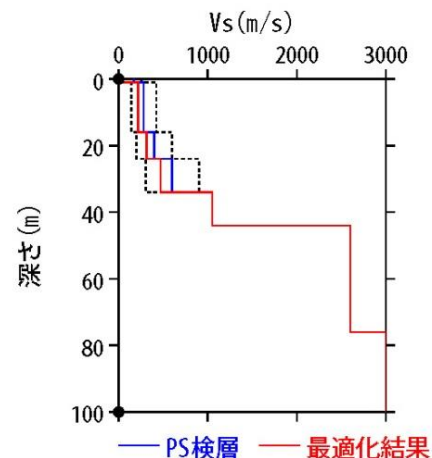
○IBRH13(高萩)の観測記録について、KiK-netボーリングデータを初期値として、観測記録の伝達関数を再現できるように地盤同定を実施。

地盤同定結果(水平)

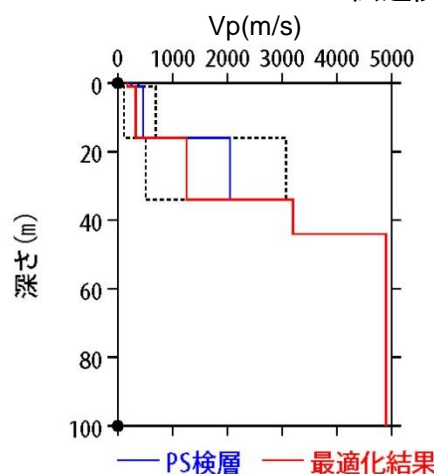
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	$\alpha$
1	1	0	1.64	170	17	255	22	0.13	0.152	0.180
2	15	1	1.64	280	140	420	218	0.78		
3	8	16	1.93	400	200	600	311	0.78		
4	10	24	1.93	600	300	900	467	0.78		
5	10	34	2.26	1050	1050	1050	1050	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		

地盤同定結果(鉛直)

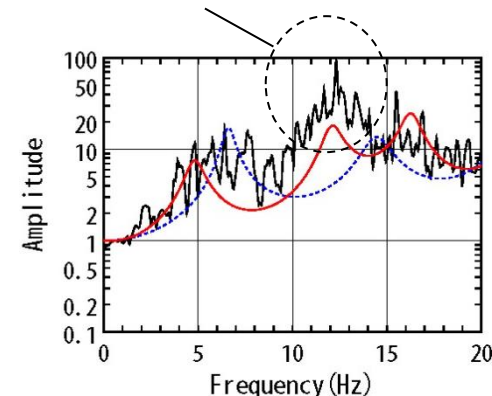
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm <sup>3</sup> )	P波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	$\alpha$
1	1	0	1.64	250	25	375	179	0.72	0.502	1.000
2	15	1	1.64	460	115	690	330	0.72		
3	8	16	1.93	2050	513	3075	1258	0.61		
4	10	24	1.93	2050	513	3075	1258	0.61		
5	10	34	2.26	3200	3200	3200	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(水平)



観測記録の伝達関数を再現できない



伝達関数の比較(鉛直)

※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



## 1.5 2011年茨城県北部地震

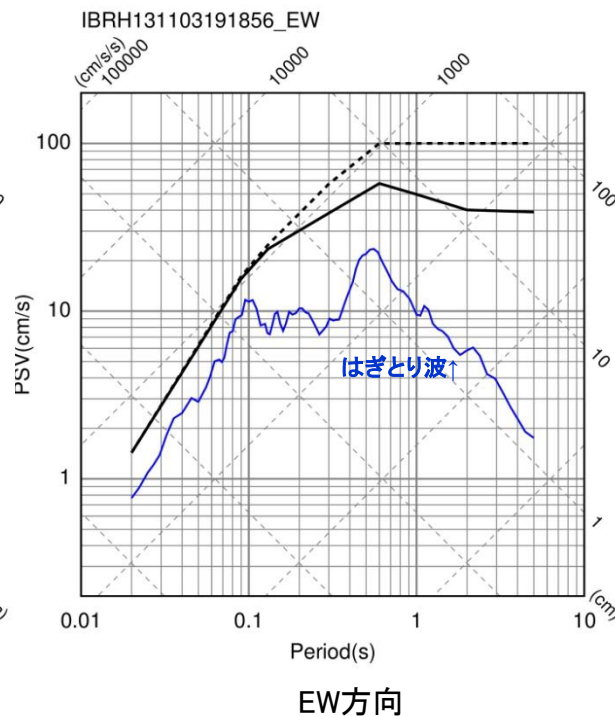
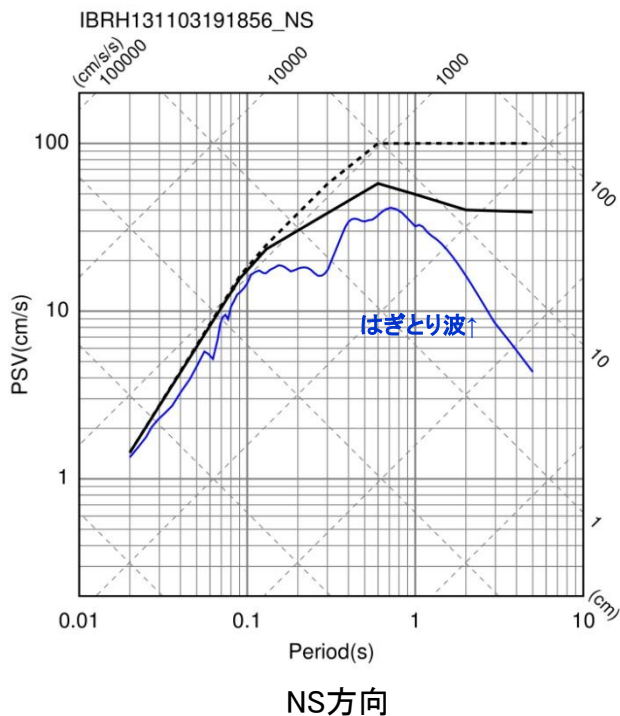
再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年茨城県北部地震 IBRH13(高萩)のはぎとり解析

○地盤同定により得られた地盤モデルを用いて、IBRH13のはぎとり解析を実施。  
 ⇒得られた地盤モデルは、表層のVsが極端に小さく、また鉛直動の観測記録の伝達関数を再現できていないため、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。

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)  
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)  
 — HAGITORI\_NS

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)  
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)  
 — HAGITORI\_EW



鉛直動については、観測記録の伝達関数およびKiK-net地盤データとの乖離が大きく、地盤モデル改良検討中のため、はぎとり解析は 未実施

UD方向

## 1.6 2011年長野県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年長野県北部地震の概要

## 1. 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°

## 2. 各地の震度および被害状況

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

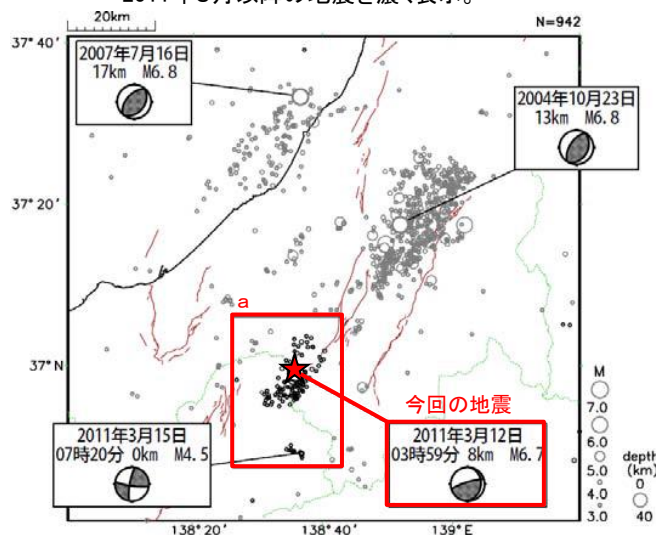
- 地震による津波の発生はなし
- 被害状況 (気象庁) は以下のとおり。
- 住宅全半壊および一部破損: 1,324棟
- 負傷者57名 (重傷者1名, 軽傷者56名)

## 3. 地震発生メカニズム (気象庁)

- 発震機構解より, 北西-南東方向に圧力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。

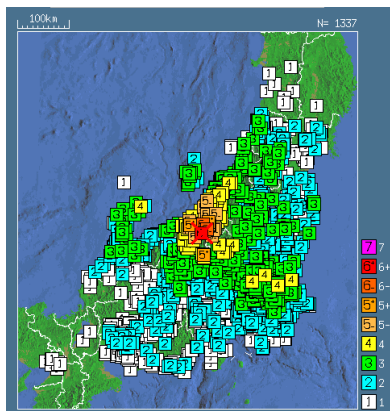
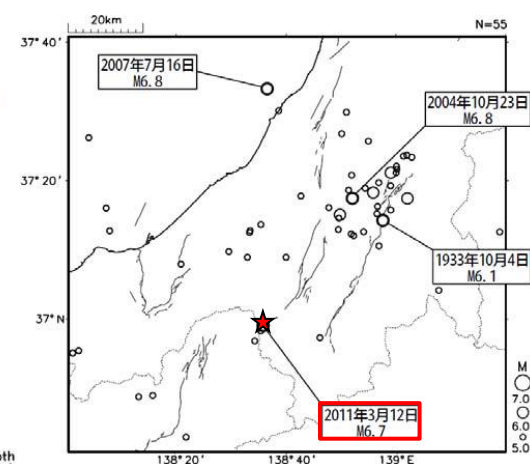
## 震央分布図

(1997年10月1日～2011年3月31日,  
深さ0～40km, M $\geq$ 3.0)  
2011年3月以降の地震を濃く表示。

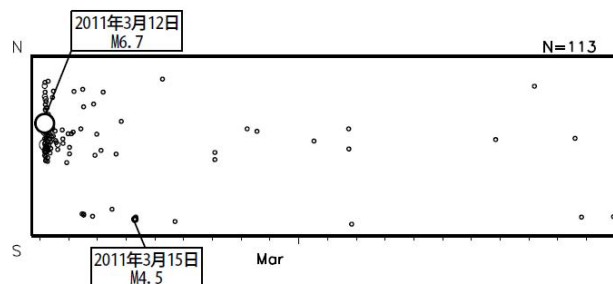


## 震央分布図

(1923年8月1日～2011年3月31日,  
深さ0～40km, M $\geq$ 5.0)



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)



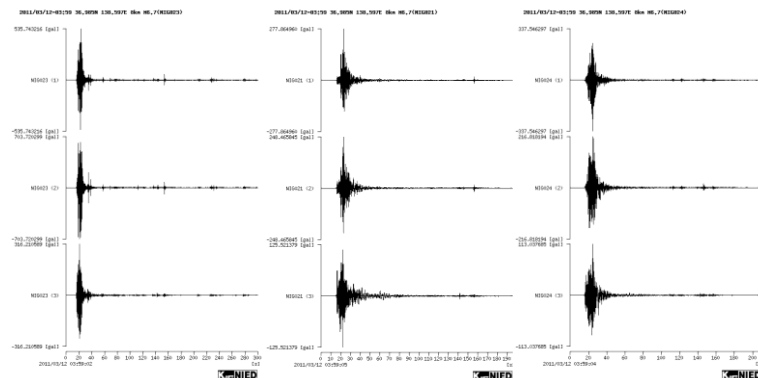
1.6 2011年長野県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

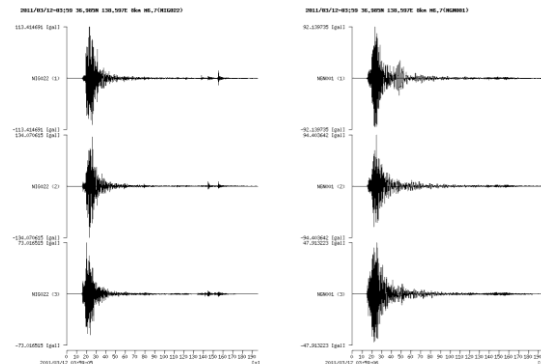
2011年長野県北部地震の観測記録

○震源近傍に位置するK-NET観測点NIG023(津南)では, EW方向で最大加速度703.7Galを記録しており, 司・翠川(1999)による距離減衰式の+1σを大きく上回る。NS方向はEW方向の3/4程度の最大加速度を記録。また, K-NET観測点NIG024(安塚)は, 司・翠川(1999)による距離減衰式の+1σを上回るが, AVS30が340.2m/sであり, 軟らかい地盤の観測記録である。

○K-NET観測点NIG023(津南)は震源から10km程度の震源近傍であり, 継続時間は短い。



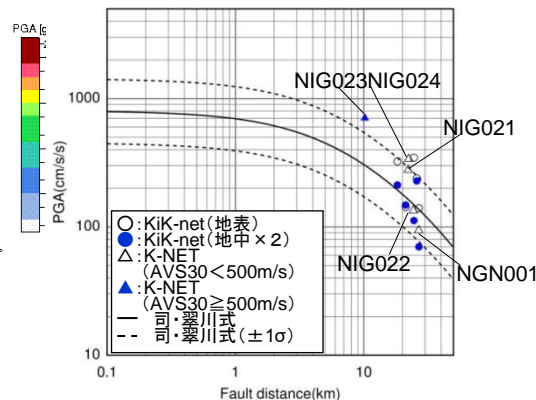
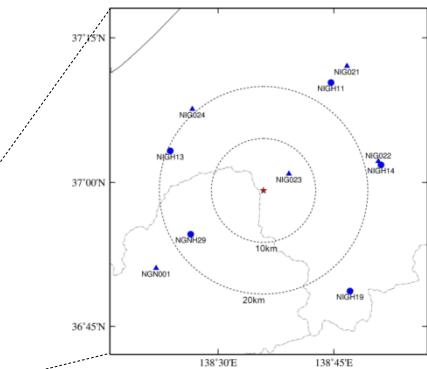
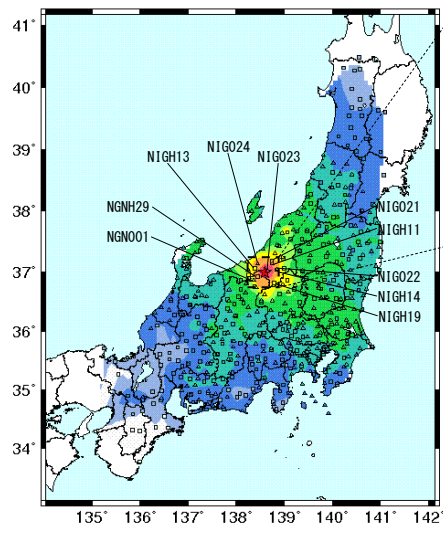
NIG023(地表)      NIG021(地表)      NIG024(地表)



NIG022(地表)      NGN001(地表)

K-NETの最大加速度

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)
NIG023	津南	10.2	579.5	<b>703.7</b>	<b>316.2</b>
NIG021	十日町	22.2	418.8	277.9	125.5
NIG024	安塚	22.4	340.2	216.8	113.0
NIG022	塩沢	24.3	197.0	134.1	73.0
NGN001	飯山	26.8	324.9	94.4	47.9



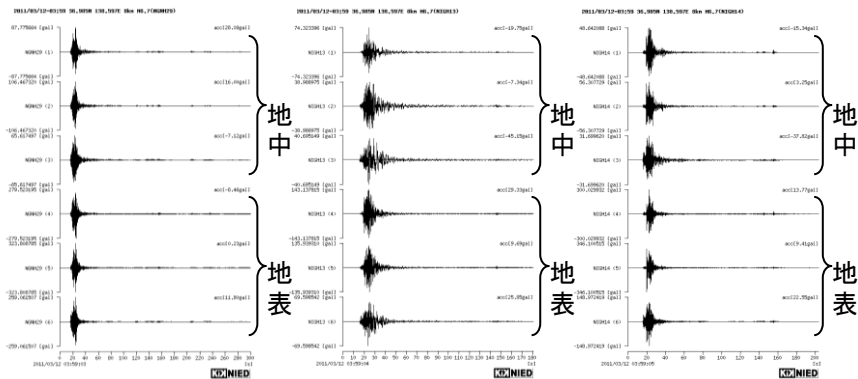
地表の最大加速度分布 (防災科学技術研究所)

## 1.6 2011年長野県北部地震

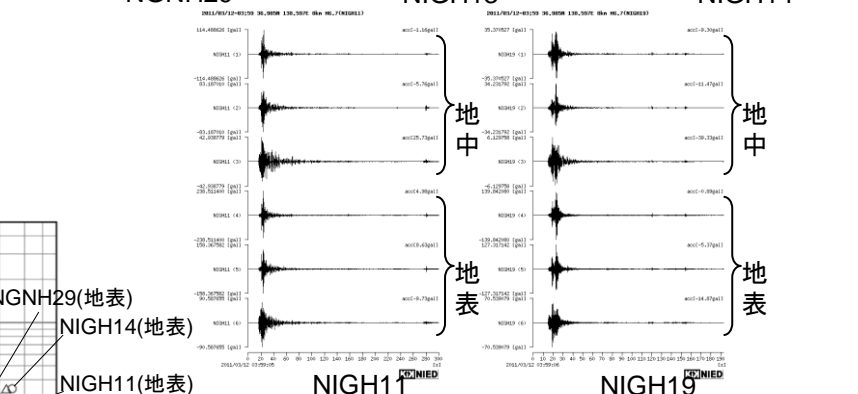
再掲 (H26.2.20審査会合資料)

### 2011年長野県北部地震の観測記録

○KiK-net観測点における地表観測記録は司・翠川(1999)の距離減衰式の+1σを上回るものもあるが、地中観測記録は±1σの範囲内に入っており、対応がよい。  
 ○KiK-net観測点は、震源近傍ではないため、加速度時刻歴波形に目立った特徴は見られない。



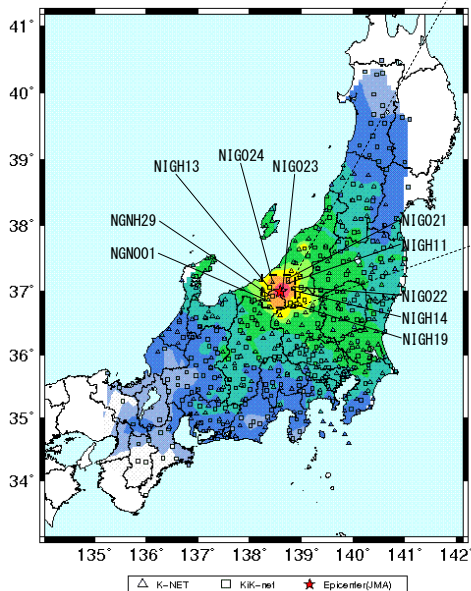
NGNH29 NIGH13 NIGH14



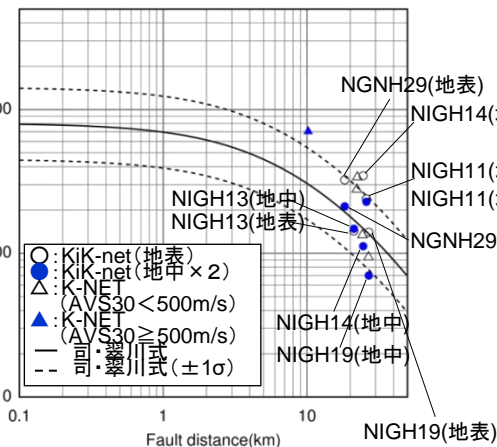
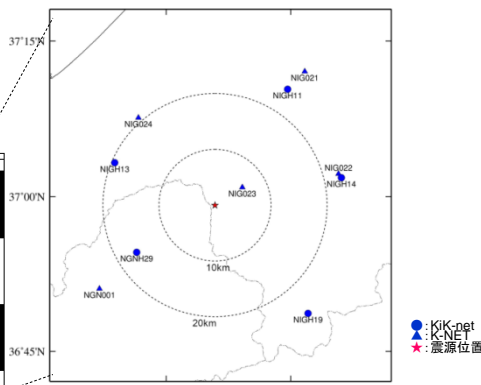
NIGH11 NIGH19

KiK-net最大加速度

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)
KiK-net (地表・地中)	NGNH29 野沢温泉	18.3	279.5 (87.8)	323.8 (106.5)	259.1 (65.6)
	NIGH13 牧	21.2	143.1 (74.3)	135.9 (39.0)	69.6 (40.7)
	NIGH14 塩沢	24.6	300.0 (48.6)	346.1 (56.3)	149.0 (31.7)
	NIGH11 川西	25.9	238.5 (114.5)	158.4 (83.2)	90.6 (42.9)
	NIGH19 湯沢	26.9	139.8 (35.4)	127.3 (34.2)	70.5 (6.1)



地表の最大加速度分布



距離減衰式との関係

NGNH29(地表)  
 NIGH14(地表)  
 NIGH11(地表)  
 NIGH11(地中)  
 NGNH29(地中)  
 NIGH14(地中)  
 NIGH19(地中)

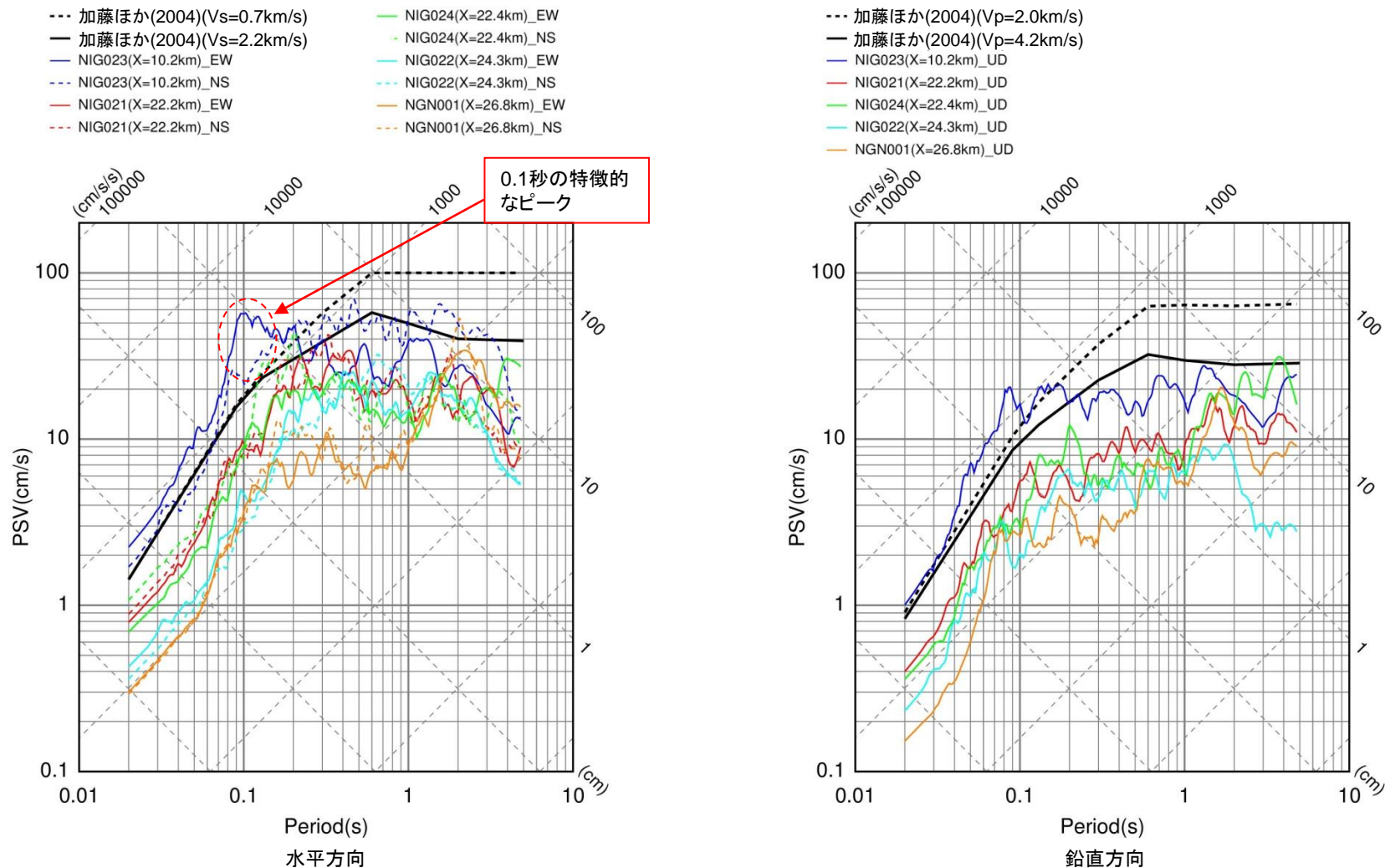
○ KiK-net (地表)  
 ● KiK-net (地中 × 2)  
 △ K-NET (AVS30 < 500m/s)  
 ▲ K-NET (AVS30 ≥ 500m/s)  
 — 司・翠川式  
 - - 司・翠川式 (±1σ)

## 1.6 2011年長野県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年長野県北部地震の観測記録

○K-NET観測点の観測記録のうち、NIG023およびNIG024観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。



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

## 1.6 2011年長野県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年長野県北部地震の観測記録

○KiK-net観測点の地表観測記録のうち、NGNH29およびNIGH14観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)

— 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)

— NGNH29(X=18.3km)\_EW

--- NGNH29(X=18.3km)\_NS

— NIGH13(X=21.2km)\_EW

--- NIGH13(X=21.2km)\_NS

— NIGH14(X=24.6km)\_EW

--- NIGH14(X=24.6km)\_NS

— NIGH11(X=25.9km)\_EW

--- NIGH11(X=25.9km)\_NS

— NIGH19(X=26.9km)\_EW

--- NIGH19(X=26.9km)\_NS

--- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)

— 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)

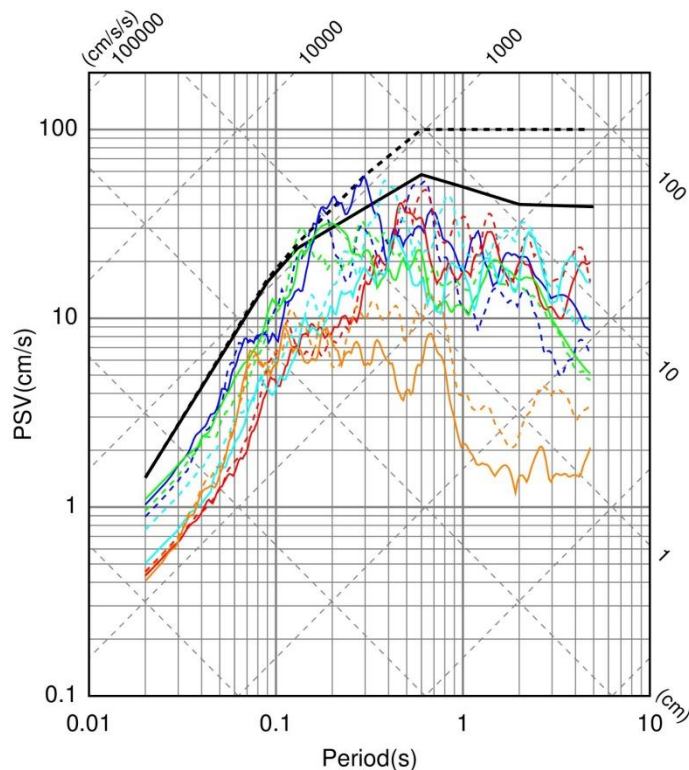
— NGNH29(X=18.3km)\_UD

— NIGH13(X=21.2km)\_UD

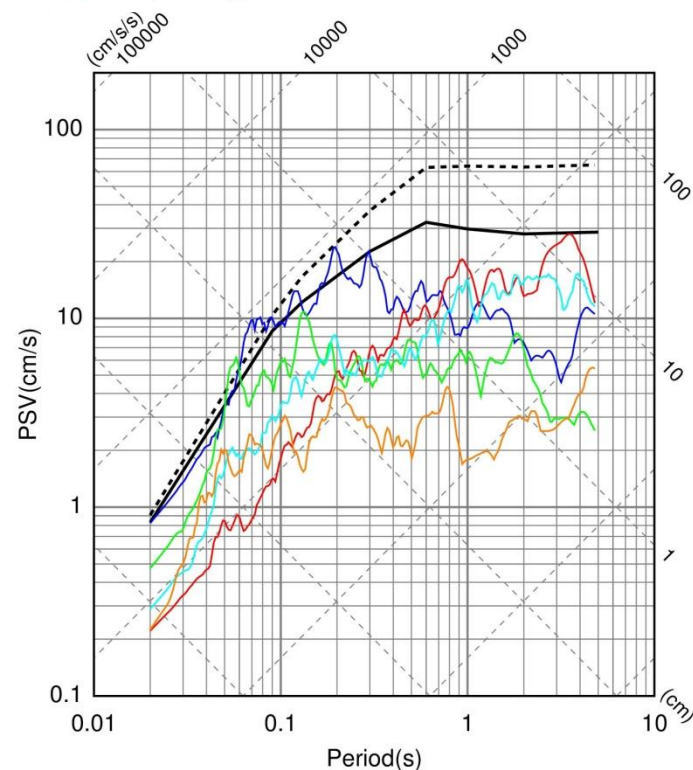
— NIGH14(X=24.6km)\_UD

— NIGH11(X=25.9km)\_UD

— NIGH19(X=26.9km)\_UD



水平方向



鉛直方向

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



## 1.6 2011年長野県北部地震

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年長野県北部地震の観測記録

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

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)

— NIGH14(X=24.6km)\_EW

--- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)

— 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)

--- NIGH14(X=24.6km)\_NS

— 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)

— NGNH29(X=18.3km)\_EW

— NIGH11(X=25.9km)\_EW

— NGNH29(X=18.3km)\_UD

--- NGNH29(X=18.3km)\_NS

--- NIGH11(X=25.9km)\_NS

— NIGH13(X=21.2km)\_UD

— NIGH13(X=21.2km)\_EW

— NIGH19(X=26.9km)\_EW

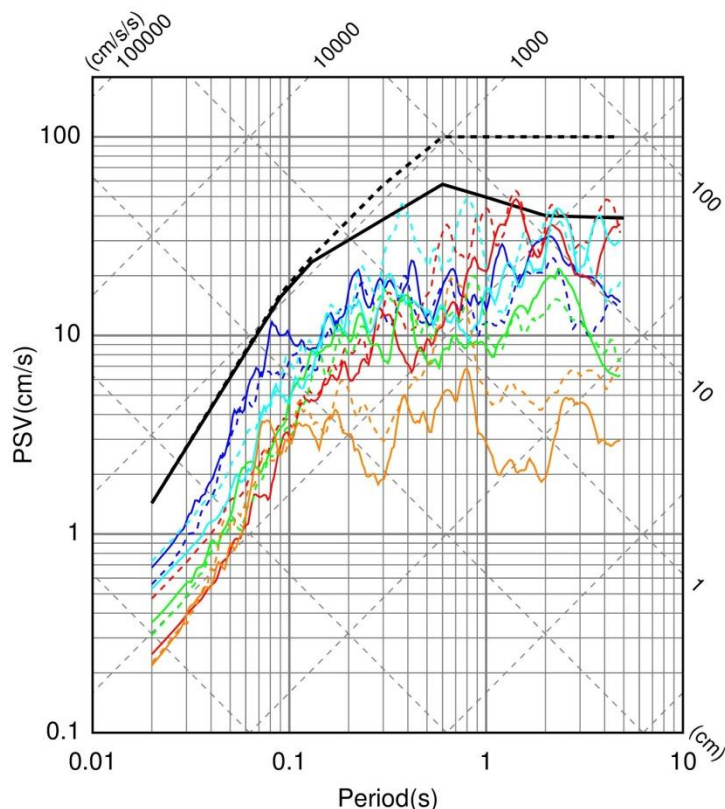
— NIGH14(X=24.6km)\_UD

--- NIGH13(X=21.2km)\_NS

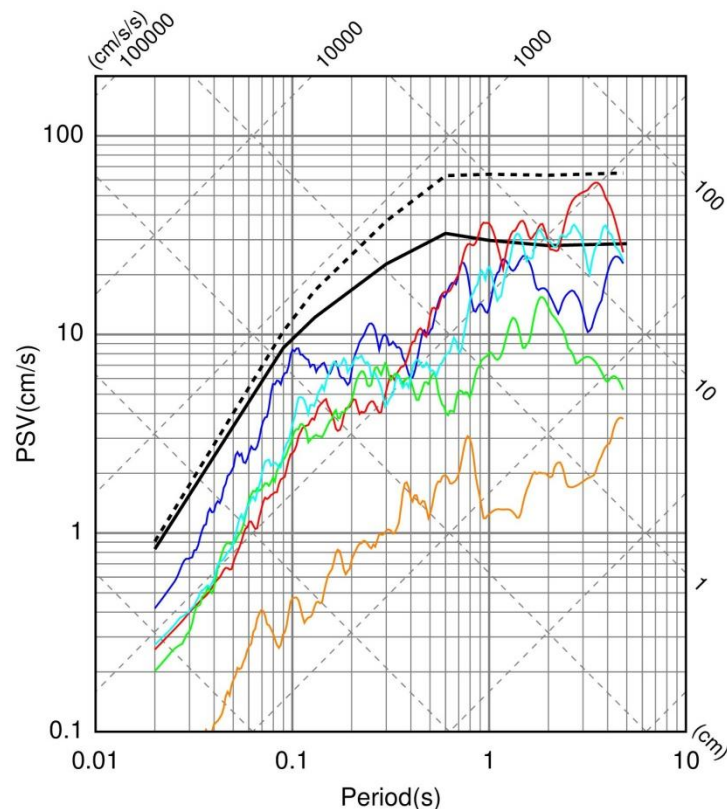
--- NIGH19(X=26.9km)\_NS

— NIGH11(X=25.9km)\_UD

— NIGH19(X=26.9km)\_UD



水平方向



鉛直方向

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

## 1. 旧審査ガイドにおいて例示されたMw6.5未満の地震

## 1.6 2011年長野県北部地震

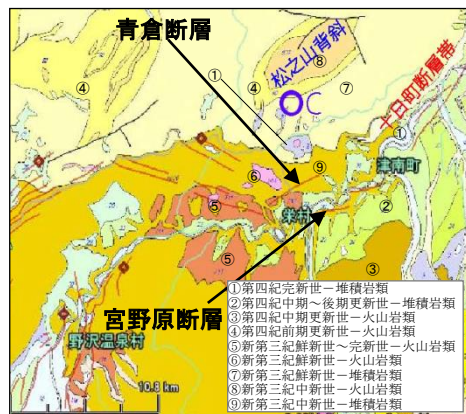
再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## 2011年長野県北部地震に関する震源周辺の地質構造

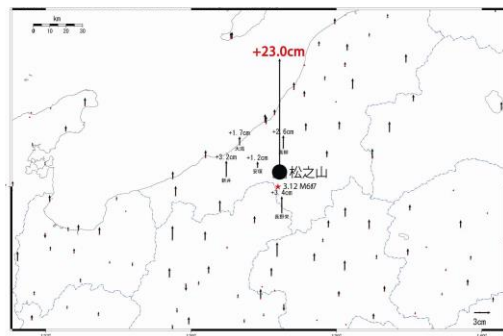
- 長野県北部地震の震源付近には、堆積岩類および火山岩類(新第三紀中新世～第四紀完新世)が分布する。
- 震源付近には、十日町断層帯の西端に位置する宮野原断層、青倉断層があり、これらは活断層と推定されている。
- 震源断層は、北西-南東方向の圧縮軸を持つ南東傾斜の逆断層と見られている。また、余震の震源分布の投影図から、余震域の北東側と南西側では、断層面の傾斜が異なる可能性があると見られている。
- 余震分布の震源域の北端に、松之山背斜がほぼ一致することから、南東傾斜の断層は、松之山背斜と関連した断層構造である可能性が高いと想定されている。また、松之山が隆起した解釈とも調和的であり、地震によって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



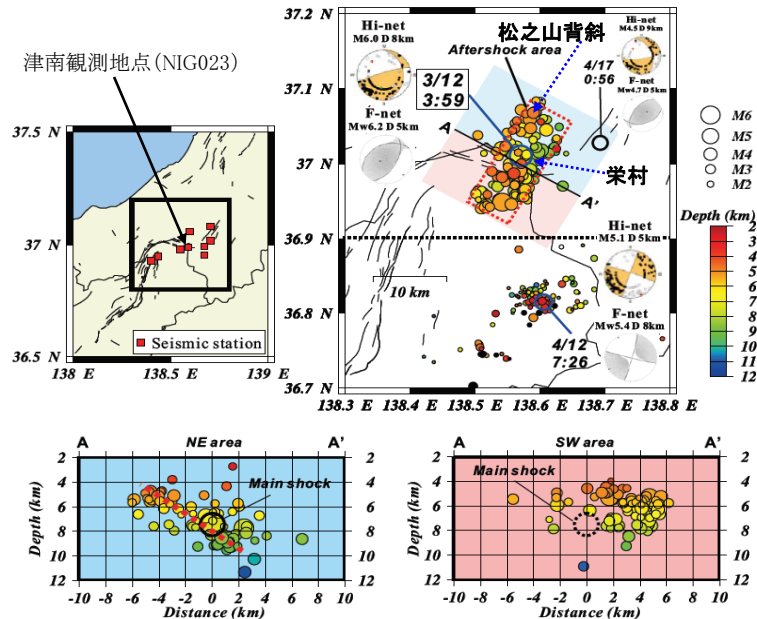
周辺地質図



長野県北部地震前後の鉛直方向の地殻変動

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

## 1.7 まとめ

再掲 (H26.2.20審査会合資料)

## まとめ

○Mw6.5未満の地震のうち、影響の大きい5記録について整理した結果は以下の通り。

		2004年北海道 留萌支庁南部地震	2013年栃木県北部地震	2011年和歌山県 北部地震	2011年茨城県北部地震	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	・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	・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	・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	○	×	×	×	×
	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関す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関す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
はざとり解析	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	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明
	更なる知見収集・検討事項	○	×	×	×	×
	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	○	×	×	×	×

## 1.8 平成26年2月審査会合以降の取り組み

一部加筆修正 (H26.2.20審査会合資料)

## 平成26年2月審査会合以降の取り組み

## 【平成26年2月審査会合時点の取り組み項目】

- 栃木県北部地震のTCGH07(栗山西), 和歌山県北部地震のWKYH01(広川), 茨城県北部地震のIBRH13(高萩)の観測記録については, 一次元波動論による信頼性のある地盤モデルが構築できていないことから, 知見の収集, はぎとり解析等の検討を進め, 信頼性の高い基盤地震動の算定を試みる。
- 長野県北部地震のNIG023(津南)の観測記録については, 地盤情報が少ないため, はぎとり解析が困難であることから, 各種調査により地盤情報の取得に努める。



## 【平成26年2月審査会合以降の取り組み】

- 4地震について, 地盤調査等に基づく解放基盤表面での地震動推計, 観測記録の分析等による地震観測記録の特性の把握に向けた取り組みとして, PS検層, 室内試験, はぎとり解析等を実施した。
  - その結果, 4地震の観測記録については, 地中地震計以深の地盤の影響等により, 個別波を設計に用いることは適切ではないことを確認した。
- ※2018年10月4日第5回震源を特定せず策定する地震動の検討チーム会合等において, 事業者の取り組み状況として説明している。
- なお, Mw6.5未満の地震については, 震源を特定せず策定する地震動の検討チームにおいて検討がなされ, 震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した標準応答スペクトルを考慮することとしている。

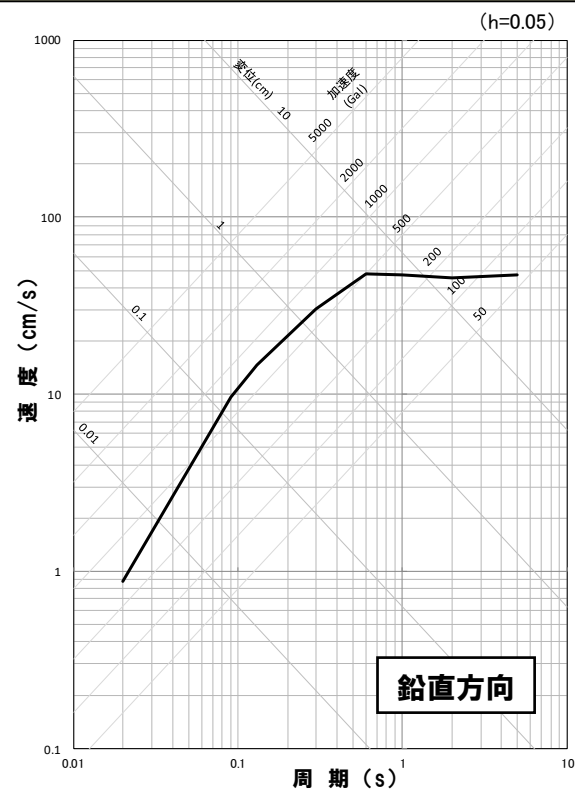
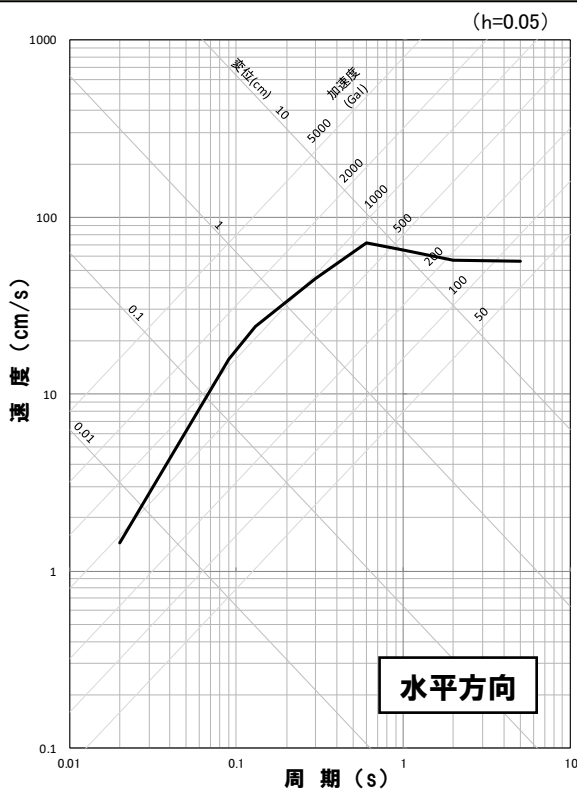


## 2. 加藤ほか(2004)

## 2. 加藤ほか(2004)

## 加藤ほか(2004)

- 加藤ほか(2004)は、内陸地殻内地震を対象として、詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模を事前に特定できない地震による震源近傍の硬質地盤上における強震記録を用いて、震源を事前に特定できない地震による地震動の上限スペクトルを設定している。
- 敷地のS波速度およびP波速度( $V_s=1.4\text{km/s}$ ,  $V_p=2.7\text{km/s}$ )を考慮して、評価した加藤ほか(2004)による応答スペクトルを以下に示す。



応答スペクトル図

— 加藤ほか(2004)

### **3. 既往の地下構造モデルの減衰定数に関する検証**

### 3. 既往の地下構造モデルの減衰定数に関する検証

再掲 (R4.8.5審査会合資料)

#### 既往の地下構造モデルの減衰定数に関する検証

- 既往の地下構造モデルに対して、以下の検討を行う。
- 既往の地下構造モデルにおける減衰定数の設定は、日本海東縁部で発生した1993年北海道南西沖地震および余震の3地震の地震観測記録のみを用いて同定解析(以下、既往の同定解析という。)を実施していることを踏まえ、同定解析結果に余裕を考慮して、地震動評価上、大きいQ値(小さい減衰定数)を設定している。
- 一方で、泊発電所では、更なる安全性・信頼性の向上を目的に、継続的に敷地地盤における地震観測を実施し、観測データの取得に努めてきており、2018年に発生した平成30年北海道胆振東部地震について、敷地で比較的大きな観測記録が得られている。
- 以上を踏まえ、新たに得られた平成30年北海道胆振東部地震を含めた地震観測記録を用いて、改めて同定解析を行い、既往の地下構造モデルの減衰定数の検証を行う。
- なお、標高-250m以浅で地震観測記録が得られていることを踏まえ、標高-250m以浅について、改めて評価を行う。

① 北海道胆振東部地震を含めた地震観測記録を用いて、改めて地盤同定を実施



② 改めて実施した同定解析結果と既往の同定解析結果との比較検討を実施



③ 比較検討結果を踏まえ、地下構造モデルのQ値(減衰定数)を検証

標高 (m)	層厚 (m)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 Vs (m/s)	P波速度 Vp (m/s)	Q値
0~-56	56	2.1	1175	2660	100
-56~-250	194	2.2	1935	3230	100
-250~-430	180	1.9	1350	2700	100
-430~-990	560	1.9	1560	3100	100
-990~-2000	1010	2.5	2400	4500	100
-2000~	-	2.8	3500	6400	150

◁ 解放基盤表面

➡ 地下構造モデルの検証  
(Q値(減衰定数)の検証)

◁ 地震基盤

既往の地下構造モデル



### 3. 既往の地下構造モデルの減衰定数に関する検証

再掲 (R4.8.5審査会合資料)

#### 泊発電所における観測記録一覧

No.	地名または地震名	年月日	震央位置		震源深さ (km)	M	震央距離 (km)	最大加速度(Gal) 1.2号炉観測点 (標高+2.3m)	
			北緯	東経				NS	EW
1	1993年釧路沖地震	1993/01/15 20:06:07	42.920	144.353	101	7.5	313	11	5
2	1993年北海道南西沖地震	1993/07/12 22:17:11	42.782	139.180	35	7.8	113	49	54
3	積丹半島北西沖	1993/07/12 23:01:49	43.135	139.533	37	4.7	81	1	2
4	積丹半島北西沖	1993/07/12 23:04:24	43.022	139.457	35	5.4	86	5	11
5	北海道南西沖	1993/07/13 03:10:55	42.665	139.245	22	4.7	112	1	1
6	北海道南西沖	1993/07/13 03:17:20	42.930	139.360	32	4.8	95	1	1
7	北海道南西沖	1993/07/13 03:25:56	42.887	139.232	20	4.8	106	2	2
8	北海道南西沖	1993/07/13 04:50:06	42.838	139.310	0	4.3	101	1	1
9	積丹半島北西沖	1993/07/13 05:54:40	43.093	139.327	6	4.5	97	1	1
10	北海道南西沖	1993/07/13 06:46:52	42.692	139.320	26	4.4	105	1	1
11	積丹半島北西沖	1993/07/13 07:34:15	43.012	139.517	28	4.1	81	1	2
12	北海道南西沖	1993/07/13 10:16:49	42.872	139.475	1	4.4	87	1	1
13	北海道南西沖	1993/07/13 14:32:52	42.613	139.240	24	4.2	114	1	1
14	北海道南西沖	1993/07/13 16:48:53	41.958	139.375	30	3.8	152	0.2	0.2
15	北海道南西沖	1993/07/13 21:36:25	42.683	139.412	0	5.2	98	3	5
16	北海道南西沖	1993/07/14 00:25:18	42.865	139.223	29	4.7	107	1	2
17	北海道南西沖	1993/07/14 17:18:27	42.933	139.300	32	4.4	100	1	1
18	積丹半島北西沖	1993/07/14 17:21:41	43.048	139.287	22	3.9	100	1	1
19	積丹半島北西沖	1993/07/15 02:34:17	43.055	139.323	31	3.7	97	1	1
20	北海道南西沖	1993/07/15 11:01:26	42.430	139.308	29	4.7	119	1	1
21	積丹半島北西沖	1993/07/15 11:47:29	43.082	139.263	32	4.3	102	2	4
22	積丹半島北西沖	1993/07/15 12:12:42	43.262	139.380	31	5.0	95	1	1
23	積丹半島北西沖	1993/07/16 04:36:10	43.238	139.355	36	4.3	97	1	1
24	北海道南西沖	1993/07/16 04:37:36	42.647	139.128	16	5.3	121	1	1
25	積丹半島北西沖	1993/07/16 21:55:02	43.008	139.405	38	3.8	90	2	4
26	北海道南西沖	1993/07/24 02:22:40	42.990	139.278	27	3.6	101	1	1
27	北海道南西沖	1993/07/25 03:46:54	42.498	139.330	35	4.6	114	1	1
28	1993年北海道南西沖地震最大余震	1993/08/08 04:42:43	41.958	139.882	24	6.3	131	7	5
29	1994年北海道東方沖地震	1994/10/04 22:22:56	43.375	147.673	28	8.2	583	4	5
30	1999年積丹半島北西沖	1999/03/15 18:44:54	43.416	139.177	28	4.5	116	2	1
31	根室半島沖	2000/01/28 23:21:08	43.008	146.744	59	7.0	508	2	1
32	青森県東方沖	2001/08/14 05:11:24	40.996	142.437	38	6.4	277	1	1
33	宮城県沖	2003/05/26 18:24:33	38.821	141.651	72	7.1	478	1	1
34	2003年十勝沖地震	2003/09/26 04:50:07	41.779	144.079	45	8.0	325	7	8
35	十勝沖	2003/09/26 06:08:01	41.710	143.692	21	7.1	300	3	3
36	十勝支庁南部	2004/06/11 03:12:10	42.322	143.131	48	5.2	229	1	1
37	釧路沖	2004/11/29 03:32:14	42.946	145.276	48	7.1	388	-	-
38	根室半島南東沖	2004/12/06 23:15:11	42.848	145.343	46	6.9	395	-	-
39	留萌支庁南部	2004/12/14 14:56:10	44.077	141.700	9	6.1	150	1	2
40	釧路沖	2005/01/18 23:09:06	42.876	145.007	50	6.4	367	1	1
41	宮城県沖	2005/08/16 11:46:25	38.150	142.278	42	7.2	563	1	1
42	北海道西方沖	2005/12/13 06:01:37	43.209	139.414	29	5.5	91	-	-
43	北海道南西沖	2010/03/30 10:02:51	43.192	138.578	25	5.8	158	2	3
44	東北地方太平洋沖地震	2011/03/11 14:46:18	38.104	142.861	24	9.0	583	3	2
45	岩手県沖	2011/03/11 15:06:10	39.045	142.398	29	6.5	471	1	1
46	岩手県沖地震	2011/06/23 06:50:50	39.948	142.591	36	6.9	384	1	1
47	宮城県沖	2011/04/07 23:32:43	38.204	141.920	66	7.2	550	-	-
48	三陸沖	2011/07/10 09:57:07	38.032	143.507	34	7.3	611	0.4	0.3
49	十勝地方南部	2012/08/25 23:16:17	42.328	143.111	49	6.1	227	1	1
50	三陸沖	2012/12/07 17:18:30	38.020	143.867	49	7.3	625	-	-
51	十勝地方南部	2013/02/02 23:17:36	42.702	143.227	102	6.5	225	1	1
52	胆振地方中東部	2014/07/08 18:05:24	42.648	141.267	3	5.6	75	2	2
53	浦河沖	2016/01/14 12:25:33	41.970	142.800	52	6.7	222	1	2
54	内浦湾	2016/06/16 14:21:28	41.948	140.987	11	5.3	127	-	-
55	北海道西方沖	2016/12/08 19:58:55	43.543	140.720	11	4.5	59	-	-
56	平成30年北海道胆振東部地震	2018/09/06 03:07:59	42.690	142.007	37	6.7	128	7	7
57	胆振地方中東部	2018/09/06 03:20:11	42.578	141.942	31	5.5	127	-	-
58	胆振地方中東部	2018/09/06 06:11:30	42.682	142.012	36	5.4	129	-	-
59	日高地方西部	2018/09/30 17:54:04	42.548	141.988	37	4.9	132	-	-
60	北海道南西沖	2018/11/12 10:44:52	42.810	139.223	33	4.4	108	1	2
61	胆振地方中東部	2019/02/21 21:22:40	42.765	142.003	33	5.8	125	1	2
62	十勝地方南部	2019/04/28 02:24:47	42.560	142.878	102	5.6	201	1	1
63	胆振地方中東部	2021/01/27 14:06:52	42.710	142.020	128	5.4	128	-	-
64	福島県沖	2021/02/13 23:07:51	37.728	141.698	55	7.3	598	-	-

- 地盤同定解析に用いる検討対象地震については、泊発電所で観測された左記の地震を対象とする。
- 左記の地震のうち、適切な伝達関数を評価するため、震央距離200km以内の地震および泊発電所における標高+2.3m観測点の最大加速度5Gal以上の記録を選定する。

泊発電所において観測された地震  
(1993年1月～2021年2月:64地震)



震央距離200km以内の地震  
かつ  
最大加速度5Gal以上の記録を選定



地盤同定解析に用いる検討対象地震  
  
1993年北海道南西沖地震  
積丹半島北西沖  
(1993年北海道南西沖地震・余震)  
1993年北海道南西沖地震・最大余震  
平成30年北海道胆振東部地震

1923年～2012年 気象庁地震カタログ  
2013年以降 気象庁ホームページ  
一：3号炉観測点でのみ観測された地震

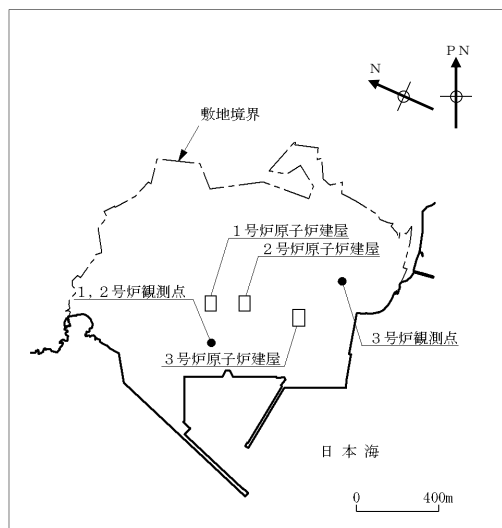
### 3. 既往の地下構造モデルの減衰定数に関する検証

再掲 (R4.8.5審査会合資料)

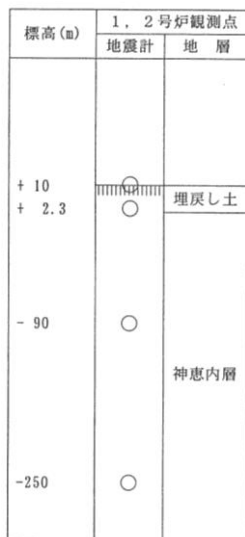
#### 地震観測記録を用いた減衰定数の同定解析

○標高0m~-250mの減衰定数は平成30年北海道胆振東部地震を含めた4つの地震観測記録を用いた同定解析により設定。

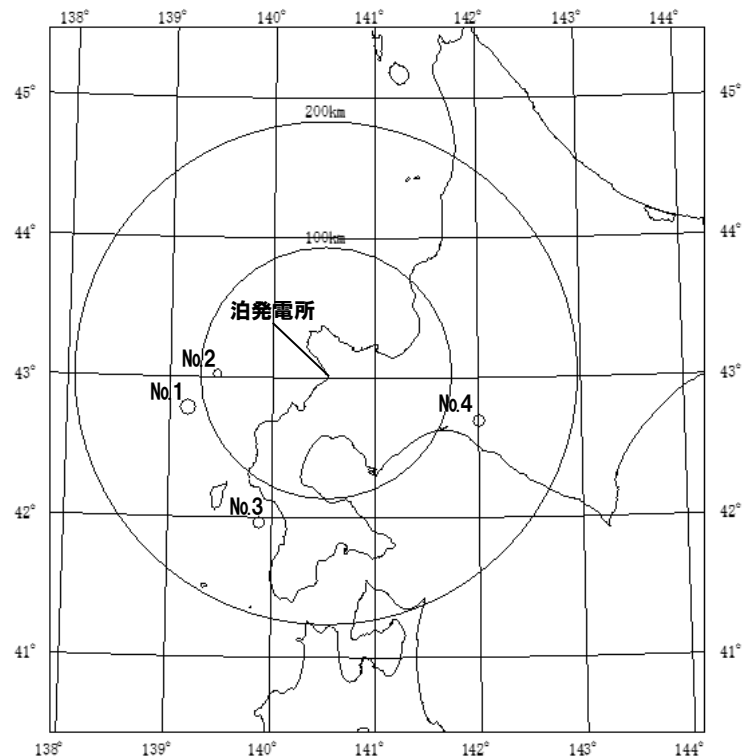
#### 同定解析に用いた地震観測記録



配置図



地震計の設置レベル



No	発生年月日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード M	震央 距離 (km)	地名 (地震名)
		東経(°)	北緯(°)				
1	1993. 7. 12	139.180°	42.782°	35	7.8	113	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震)
2	1993. 7. 12	139.457°	43.022°	35	5.4	86	積丹半島北西沖 (1993年北海道南西沖地震・余震)
3	1993. 8. 8	139.882°	41.958°	24	6.3	131	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震・最大余震)
4	2018.9.6	142.007°	42.690°	37	6.7	128	胆振地方中東部 (平成30年北海道胆振東部地震)

※ 1, 2号炉観測点で観測  
※ 地震の諸元は気象庁地震カタログ

### 3. 既往の地下構造モデルの減衰定数に関する検証

再掲 (R4.8.5審査会合資料)

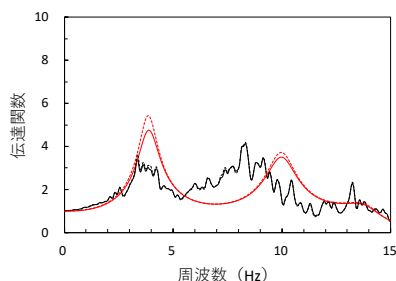
#### 地震観測記録を用いた減衰定数の同定解析

- 標高0m~-250mの減衰定数について、地震観測記録の観測点間の伝達関数に適合するように同定。
- 密度はボーリングデータ、層厚および層数はPS検層結果に基づき設定。
- P波速度およびS波速度は、既往の地盤モデルの値で固定。
- 減衰定数は周波数依存型減衰とする。

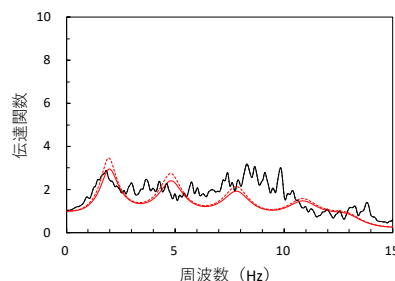
$$h(f) = h_0 \times f^{-\alpha}$$

$f$  : 周波数  
 $h_0$  : 1Hzにおける減衰定数  
 $\alpha$  : 周波数依存の度合い

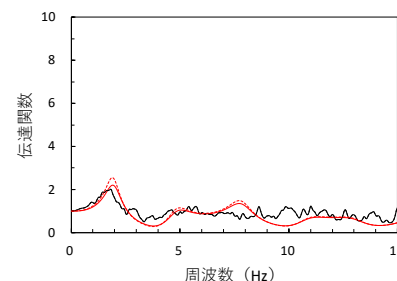
#### 伝達関数



標高+2.3m/標高-90m



標高+2.3m/標高-250m

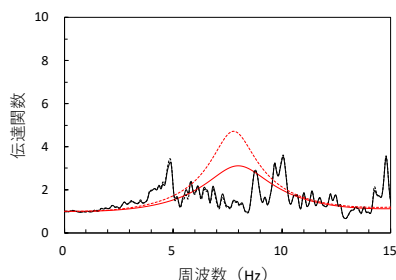


標高-90m/標高-250m

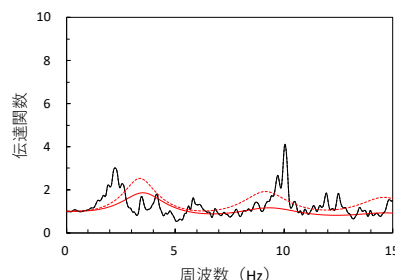
— 観測記録  
 — 同定結果

※点線は、既往結果

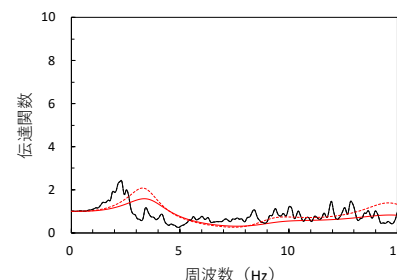
水平方向



標高+2.3m/標高-90m



標高+2.3m/標高-250m



標高-90m/標高-250m

— 観測記録  
 — 同定結果

※点線は、既往結果

鉛直方向

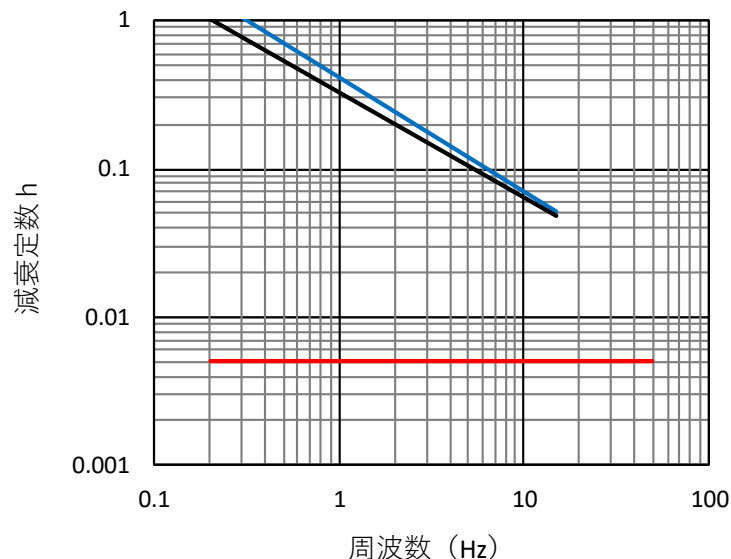
- 同定された地盤モデルによる伝達関数は、観測記録の伝達関数と傾向が概ね整合している。

### 3. 既往の地下構造モデルの減衰定数に関する検証

再掲 (R4.8.5審査会合資料)

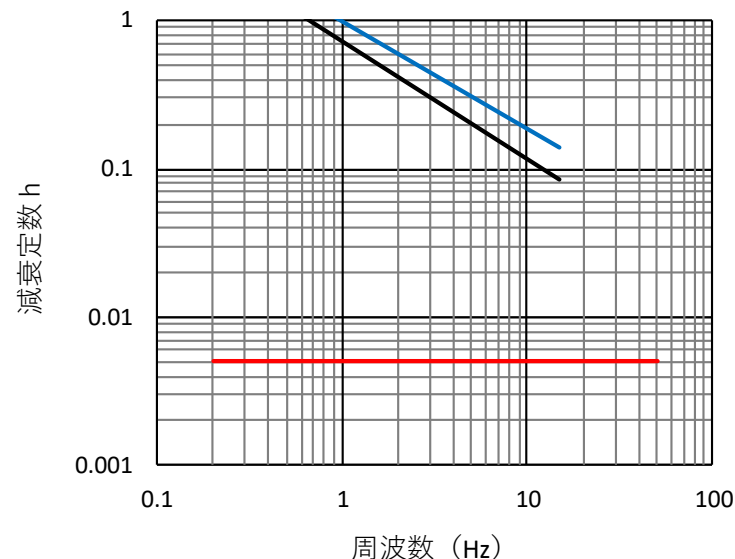
#### 地震観測記録を用いた減衰定数の同定解析

##### 減衰定数h(水平)



— 同定解析結果( $h(f)=0.42 \times f^{-0.77}$ )  
 — 既往同定解析結果( $h(f)=0.33 \times f^{-0.71}$ )  
 — Q値100( $h=0.005$ )

##### 減衰定数h(鉛直)



— 同定解析結果( $h(f)=1.00 \times f^{-0.72}$ )  
 — 既往同定解析結果( $h(f)=0.72 \times f^{-0.79}$ )  
 — Q値100( $h=0.005$ )

- 平成30年北海道胆振東部地震の観測記録を含めた地震観測記録を用いて同定解析を行った結果、既往の同定解析と概ね同等の結果が得られたことから、観測記録を追加することで評価結果の信頼性が向上していると考えられるとともに、既往の同定解析においても、地盤の減衰特性は、評価できているものと考えられる。
- また、平成30年北海道胆振東部地震の観測記録を踏まえた同定解析結果および既往の同定解析結果ともに解析対象周波数の15Hz以下において、減衰定数4%以上が得られていることから、既往の地下構造モデルで設定した減衰定数0.5%は、大きな裕度を持った設定となっていると考えられる。



## **4. 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価における 位相特性の違いによる影響確認**

## 位相特性の違いによる地震動への影響確認

- 収集した8つの観測記録について、模擬地震波の検討にあたって考慮すべき観測記録として選定するか総合的に判断した結果、検討に適した観測記録は得られなかった。
- しかしながら、観測記録を用いた模擬地震波を算定し、乱數位相を用いた模擬地震波と比較することにより、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価として乱數位相を用いた模擬地震波を設定することの妥当性を確認する。
- 観測記録を用いた模擬地震波の検討にあたっては、敷地地盤の振動特性に起因する特徴を反映させることが重要と考えていることから、敷地地盤の地盤条件の類似性を重視して、模擬地震波の検討に用いる観測記録を改めて選定する。

## 【地盤条件の類似性を重視した観測記録の選定結果】

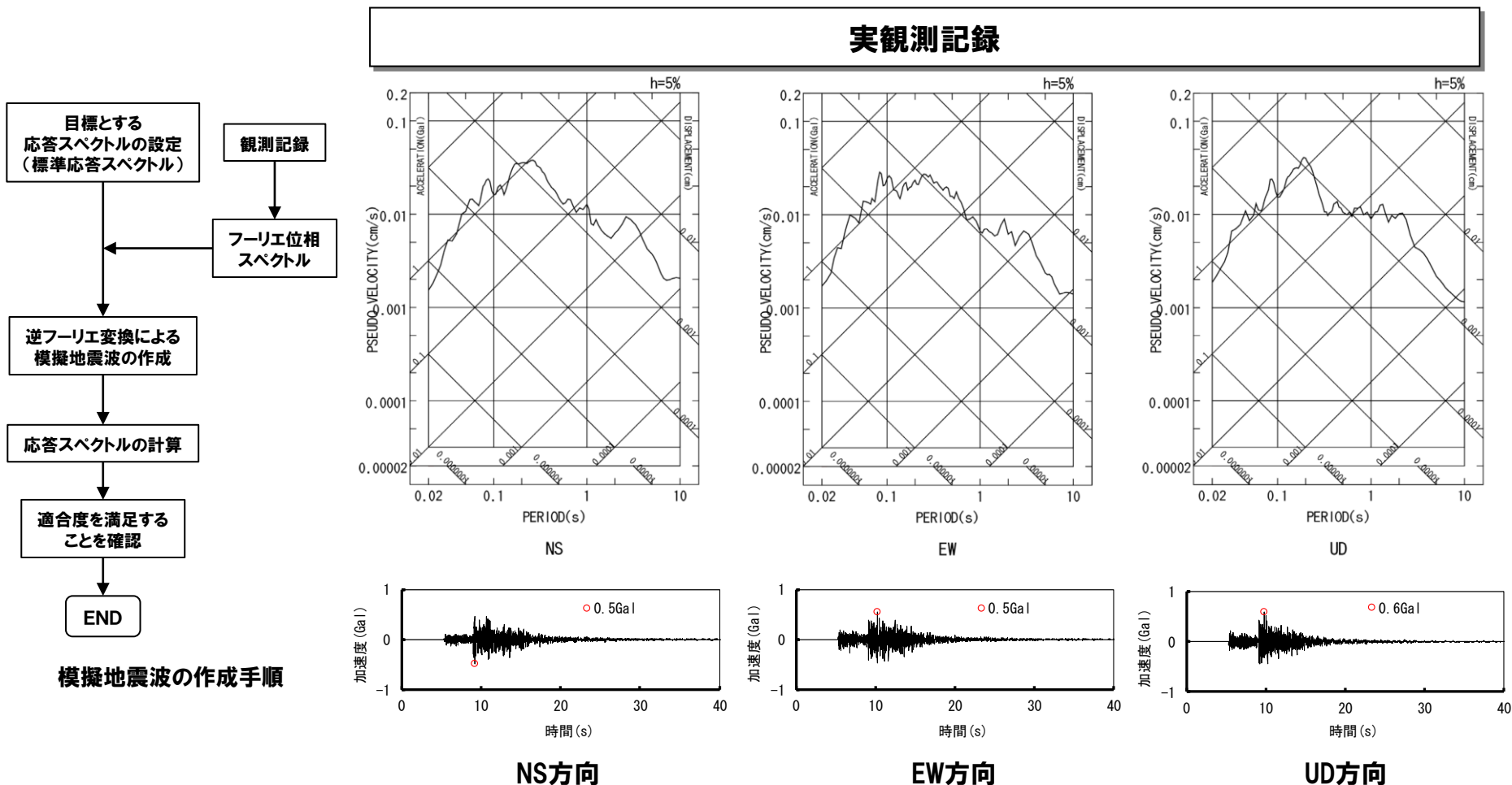
- 2001/11/27後志地方の地震(M3.8)SBSH03赤井川, 2017/8/13後志地方の地震(M3.5)SBSH03赤井川および2014/7/8胆振地方の地震(M5.6)IBUH05白老の3記録については、観測点の地震計が地震基盤相当面のS波速度(2400m/s)に対応する比較的硬質な岩盤中に設置されていないことから選定しない。
- 2014/7/8胆振地方の地震(M5.6)IBUH07大滝およびSBSH08喜茂別の2記録については、観測記録の信頼性の観点からは、観測位相を用いた模擬地震波の検討に用いる観測記録として適切と考えられるものの、地震計設置以浅の速度構造に泊発電所と差異があることから選定しない。
- 2017/8/13後志地方の地震(M3.5)SBSH04共和, 2001/11/27後志地方の地震(M3.8)SBSH05俱知安および2010/8/14後志地方の地震(M2.5)SBSH05俱知安の3記録については、観測記録の信頼性がやや劣る(地震規模が小さいことから、最大加速度が小さく、SN比も小さい)ものの、泊発電所の地盤条件と一部類似性が認められることから、この3記録の中から観測記録を選定することとし、より泊発電所の地盤条件と類似性が認められる2017/8/13後志地方の地震(M3.5)SBSH04共和の観測記録を選定する。

No	地震発生時刻	震央地名	観測点名	特異な 位相特徴 の有無	検討項目								
					観測記録の信頼性					地盤条件の類似性			
					地震規模 (M)	観測記録の 最大加速度 (Gal)	S N比	継続 時間	地震計 設置位置 S波速度	地震計設置 位置以浅 速度構造	構成地質		
1	2001/11/27 13:28:31	後志地方	SBSH03 赤井川	無	3.8	小	3	小	小	長い	不適	—	—
SBSH05 俱知安			無	小		3	小	小	やや短い	適切	一部類似性あり	一部類似性あり	
3	2010/08/14 09:11:00	後志地方	SBSH05 俱知安	無	2.5	小	0.4	小	小	やや短い	適切	一部類似性あり	一部類似性あり
4	2017/08/13 19:40:18	後志地方	SBSH03 赤井川	無	3.5	小	2	小	小	長い	不適	—	—
5			SBSH04 共和	無		小	0.5	小	小	長い	適切	類似性あり	類似性あり
6	2014/07/08 18:05:24	胆振地方	IBUH05 白老	無	5.6	適切	217	適切	適切	やや短い	不適	—	—
7			IBUH07 大滝	無		適切	68	適切	適切	やや短い	適切	差異あり	一部類似性あり
8			SBSH08 喜茂別	無		適切	18	適切	適切	やや短い	適切	差異あり	一部類似性あり

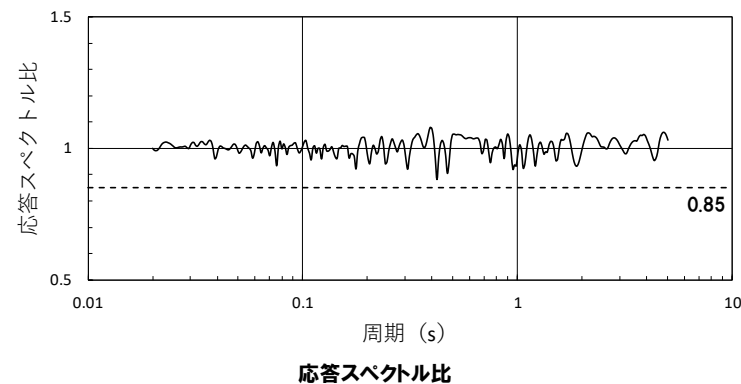
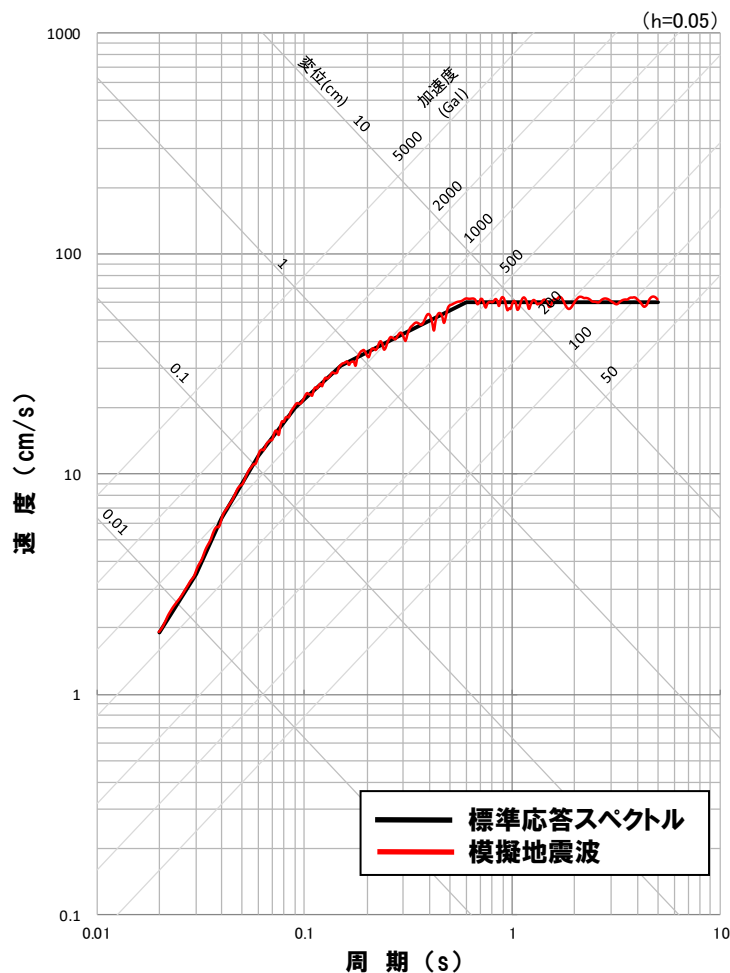
# 4. 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価における位相特性の違いによる影響確認

再掲 (R4.8.5審査会合資料)

- 選定した2017/8/13後志地方の地震(M3.5)SBSH04共和の観測記録を用いて、以下の手順により観測記録を用いた模擬地震波を作成する。
- なお、地震規模が大きくなると主要動の継続時間が長くなる可能性があるが、観測位相を用いた模擬地震波の検討にあたっては、収集した観測記録の特性を考慮するため、観測記録をそのまま用いる。
- 観測位相を用いる際の経時特性は、実観測波の経時特性として、観測記録のフーリエ位相スペクトルを反映する。
- 適合条件は、日本電気協会(2015)に記載された判定基準を満足させる。
- なお、水平方向については、応答スペクトルの形状や最大加速度を踏まえ、EW方向を用いて検討する。



## 観測位相を用いた模擬地震波の作成結果(水平方向)



	作成結果
① 応答スペクトル比 $R(T)$	$0.88 \geq 0.85$
② SI比	$1.01 \geq 1.0$

$$\textcircled{1} R(T) = \frac{S_{V1}(T)}{S_{V2}(T)} \geq 0.85 \quad (0.02 \leq T)$$

T: 周期 (s)

$S_{V1}(T)$ : 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)

$S_{V2}(T)$ : 目標とする応答スペクトル (cm/s)

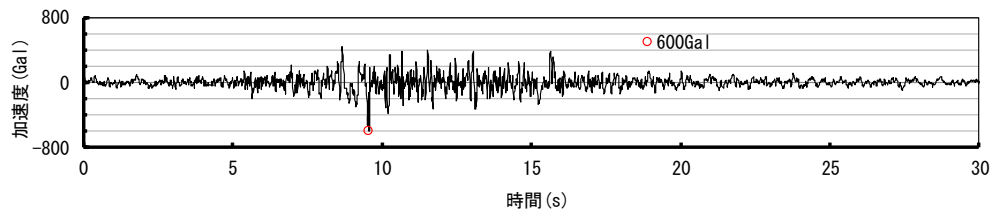
$$\textcircled{2} \text{SI比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_V(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_V(T) dt} \geq 1.0$$

SI: 応答スペクトル強さ

$S_V(T)$ : 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)

$\bar{S}_V(T)$ : 目標とする応答スペクトル (cm/s)

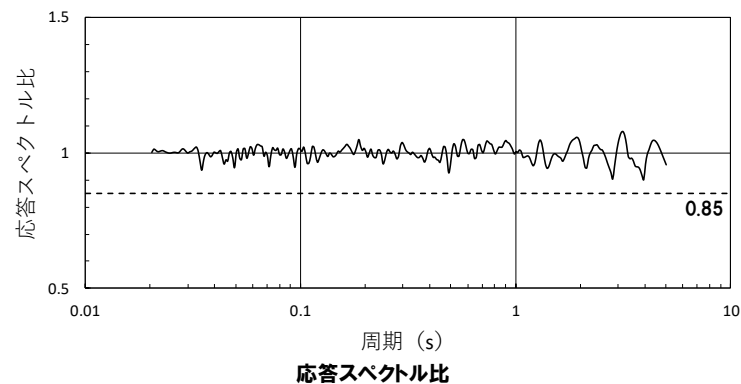
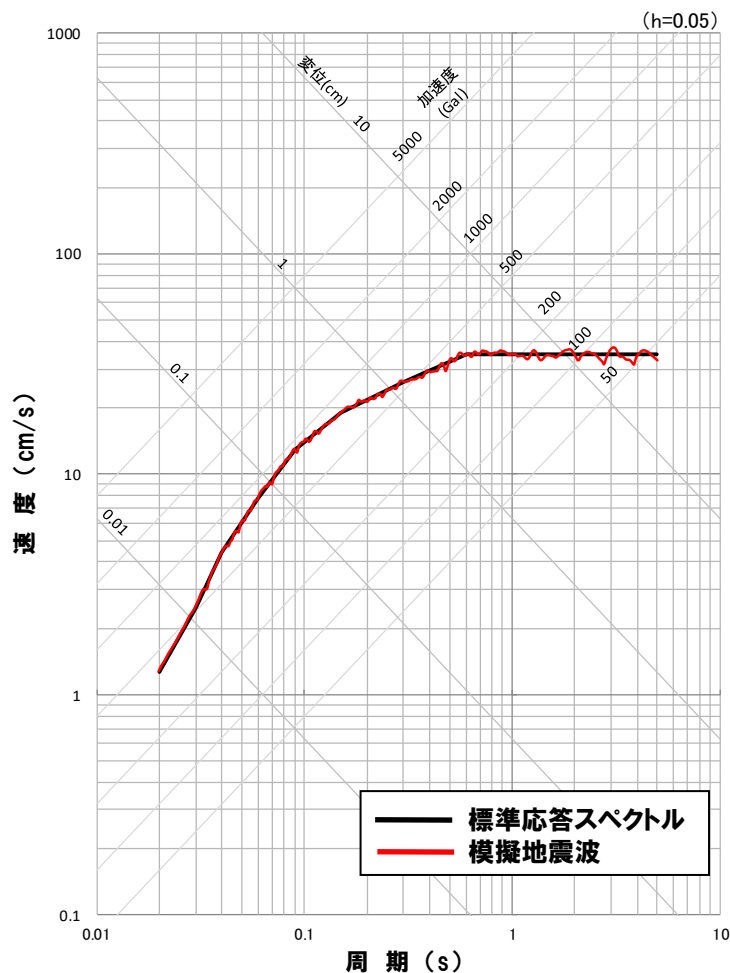
T: 固有周期 (s)



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



## 観測位相を用いた模擬地震波の作成結果(鉛直方向)



	作成結果
① 応答スペクトル比 $R(T)$	$0.90 \geq 0.85$
② SI比	$1.00 \geq 1.0$

$$\textcircled{1} R(T) = \frac{S_{V1}(T)}{S_{V2}(T)} \geq 0.85 \quad (0.02 \leq T)$$

T: 周期 (s)

$S_{V1}(T)$ : 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)

$S_{V2}(T)$ : 目標とする応答スペクトル (cm/s)

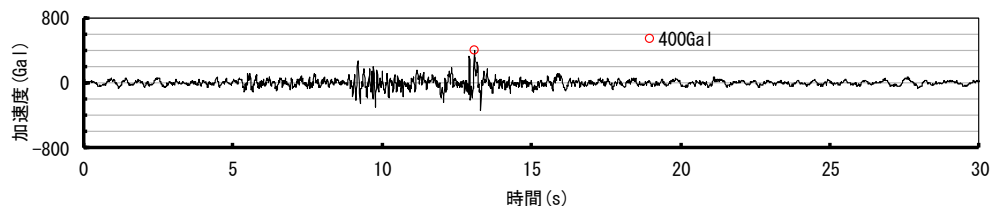
$$\textcircled{2} \text{SI比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_V(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_V(T) dt} \geq 1.0$$

SI: 応答スペクトル強さ

$S_V(T)$ : 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)

$\bar{S}_V(T)$ : 目標とする応答スペクトル (cm/s)

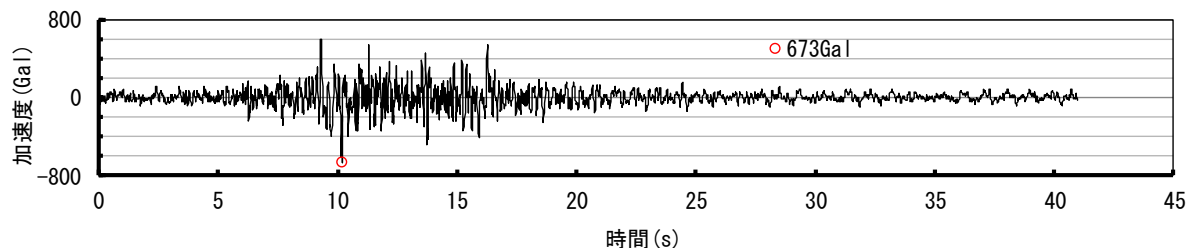
T: 固有周期 (s)



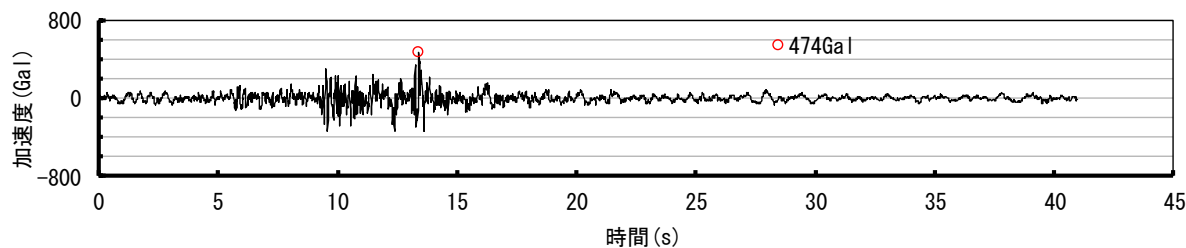
○作成した模擬地震波は、日本電気協会(2015)に示される適合度の条件を満足していることを確認した。

○観測記録を用いて検討した模擬地震波について、「泊発電所3号炉震源を特定せず策定する地震動について『1.2.2 地下構造モデルの設定』」で検討した地下構造モデルを用いて、解放基盤表面での模擬地震波を評価する。

### 観測位相波\_\_加速度時刻歴波形(水平方向)



### 観測位相波\_\_加速度時刻歴波形(鉛直方向)

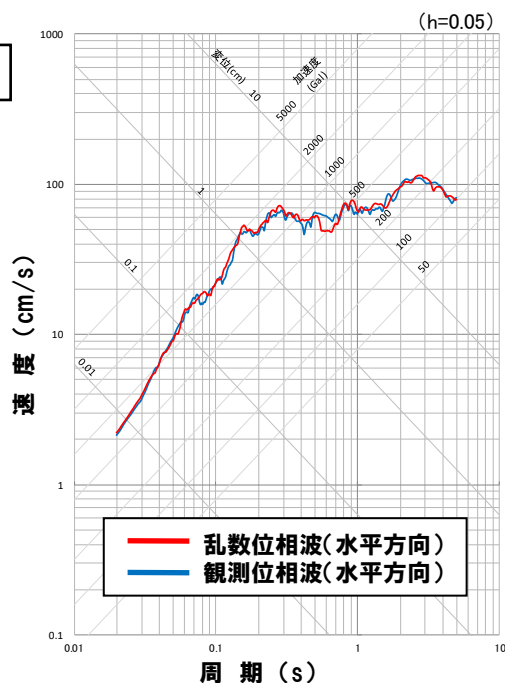


模擬地震波	最大加速度(Gal)
水平方向	673
鉛直方向	474

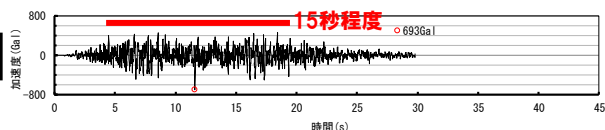
## 地震動評価結果の比較

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価として乱数位相を用いた模擬地震波を設定することの妥当性を確認するため、観測位相を用いた模擬地震波を検討し、乱数位相を用いた模擬地震波と比較した。
- 解放基盤表面での両者の応答スペクトルが同程度であることから、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価として乱数位相を用いた模擬地震波を設定することは、妥当であることを確認した。
- なお、乱数位相を用いた模擬地震波の方が最大加速度が大きく、比較的振幅の大きい波の継続時間が長くなっている。

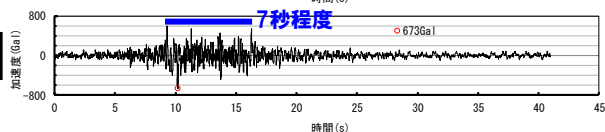
水平方向



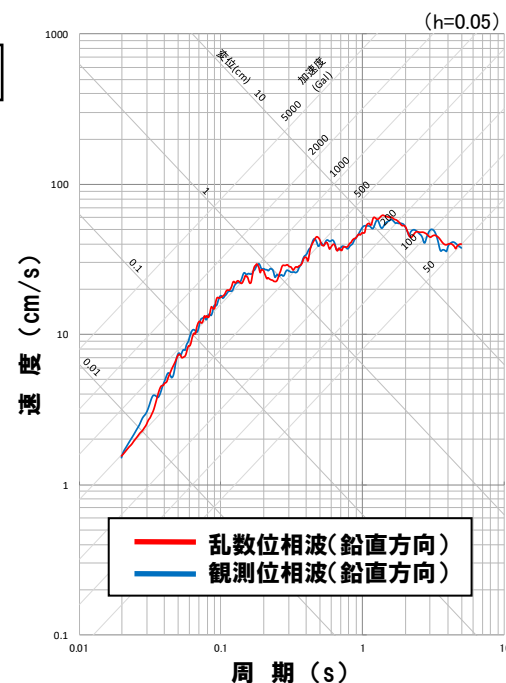
乱数位相波



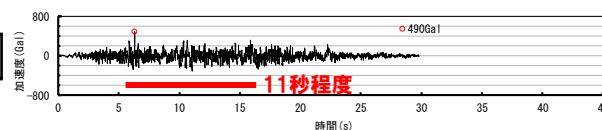
観測位相波



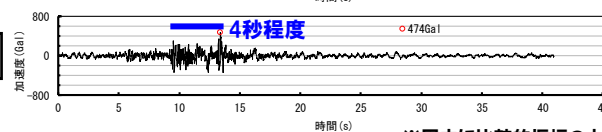
鉛直方向



乱数位相波



観測位相波



※図中に比較的振幅の大きい波の継続時間を示す。

## 参考文献



## 参考文献

- Kanno T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and Y. Fukushima. (2006): A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, BSSA, 96, 879-897
- 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, 46-86.
- 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, 523, 63-70
- 引間和人(2013): スペクトルインバージョンを用いた2013年2月栃木県北部地震の震源域におけるサイト・伝播特性に関する検討, 日本地震工学会大会, 335-336
- 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—
- 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, 2012年1月27日発行, 2012
- 佐藤浩章・芝良昭・功刀卓・前田宜浩・藤原広行(2013): 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部地震の地震によるK-NET港町観測点(HKD020)の基盤地震動とサイト特性評価, 電力中央研究所報告
- 気象庁: 地震年報(1923~2012)
- 気象庁ホームページ: 各種データ・資料「<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>」
- 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015: 一般社団法人日本電気協会