

島根原子力発電所
基準地震動の策定について
(補足説明資料)

令和3年6月18日
中国電力株式会社

目次

- 1. 敷地周辺の地震発生状況2
- 2. 敷地地盤の振動特性及び地下構造モデルの設定4
 - (1) 敷地地盤の地質・地質構造5
 - (2) 解放基盤表面の設定14
 - (3) 傾斜構造を考慮した解析による検討16
 - (4) 地震動評価に用いる地下構造モデルの設定52
- 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動53
 - (1) 地震動評価の基本方針54
 - (2) 宍道断層による地震の地震動評価58
 - (3) F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の地震動評価99
 - (4) 短周期の地震動レベルの不確かさを考慮したケースの
断層モデル計算手法121
- 4. 震源を特定せず策定する地震動130
 - (1) Mw6.5以上の地震(2地震)に関する検討131
 - (2) Mw6.5未満の地震(14地震)に関する検討141
- 5. 基準地震動の策定155
- 6. 基準地震動の年超過確率の参照163

1. 敷地周辺の地震発生状況

被害地震(内陸地殻内地震, 海洋プレート内地震)の諸元

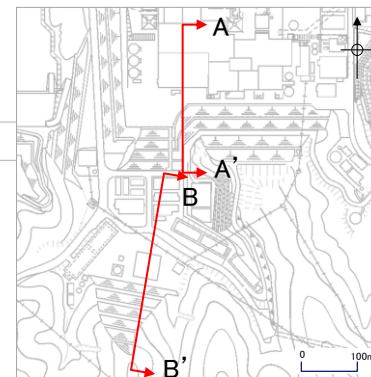
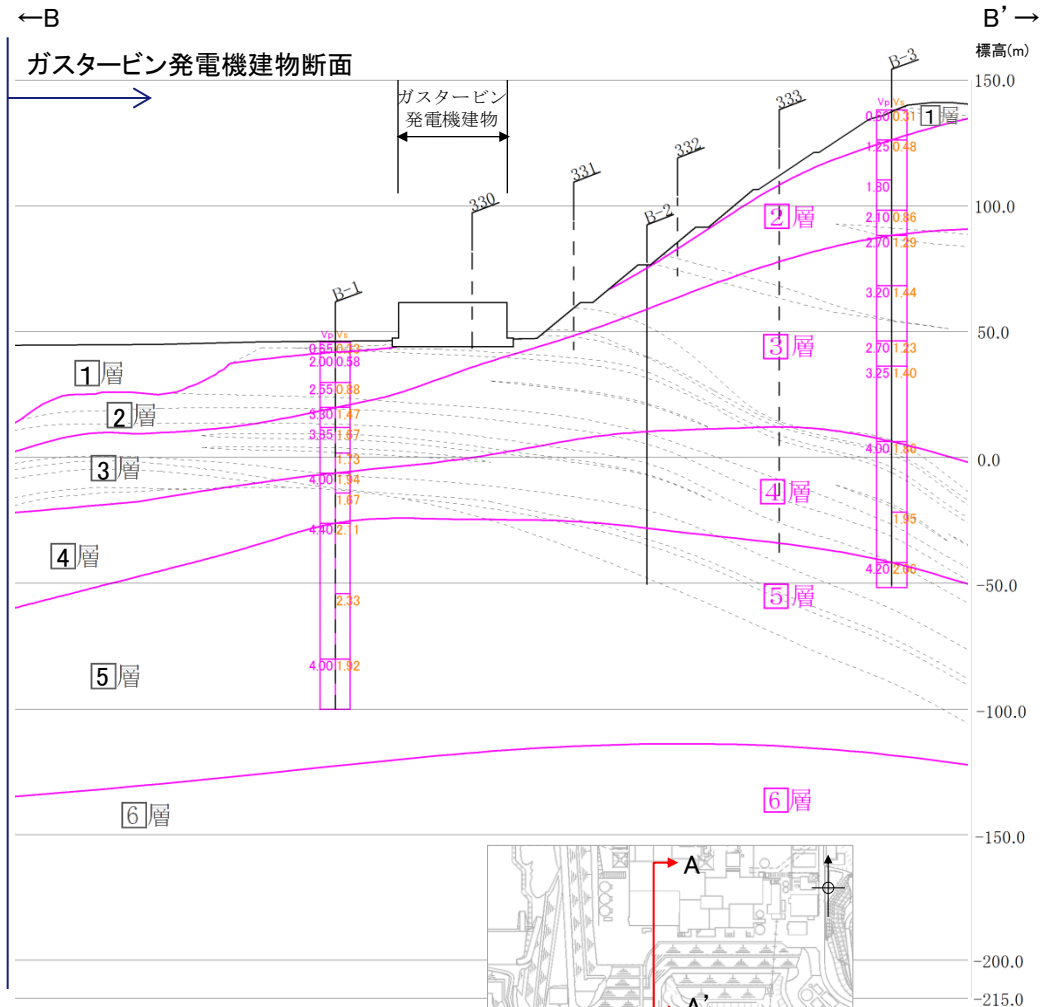
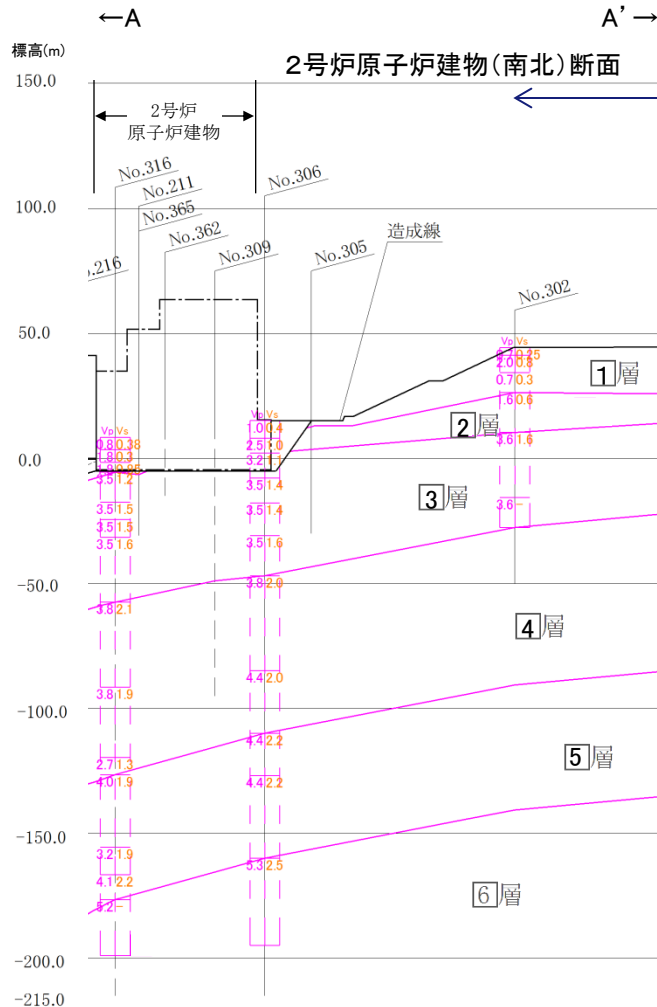
- 被害地震(内陸地殻内地震及び海洋プレート内地震)における震央分布図(本説明資料17ページ参照)及びM-Δ 図(本説明資料19ページ参照)で記載している地震の諸元を以下に示す。

No.	年	月	日	震央位置		深さ (km)	M	震央 距離 (km)	地名
				北緯	東経				
1	868	8	3	34.8°	134.8°	—	7.0	183.0	播磨・山城
2	880	11	23	35.4°	133.2°	—	7.0	23.8	出雲
3	1676	7	12	34.5°	131.8°	—	6.5	158.5	石見
4	1686	1	4	34.0°	132.6°	—	7.2	173.9	安芸・伊予
5	1707	11	21	34.2°	131.7°	—	5.5	189.7	防長
6	1710	10	3	35.5°	133.7°	—	6.5	63.5	伯耆・美作
7	1711	3	19	35.2°	133.8°	—	6.1/4	81.5	伯耆
8	1778	2	14	34.6°	132.0°	—	6.5	137.9	石見
9	1796	1	3	35.7°	134.3°	—	5.5	119.2	鳥取
10	1835	3	12	35.1°	132.6°	—	5.1/2	60.2	石見
11	1857	7	8	34.4°	131.4°	—	6.0	192.7	萩
12	1857	10	12	34.0°	132.75°	—	7.1/4	171.6	伊予・安芸
13	1859	1	5	34.8°	131.9°	—	6.2	129.0	石見
14	1859	10	4	34.5°	132.0°	—	6.25	146.5	石見
15	1865	2	24	35.0°	135.0°	—	6.1/4	191.3	播磨・丹波
16	1872	3	14	35.15°	132.1°	—	7.1	92.1	石見・出雲
17	1898	4	3	34.6°	131.2°	—	6.2	194.3	山口県見島
18	1901	1	16	35.3°	133.7°	—	—	68.8	鳥取県西部
19	1904	6	6	35.3°	133.2°	—	5.8	31.7	宍道湖付近
20	1905	6	2	34.1°	132.5°	—	7.2	165.6	安芸灘
21	1914	5	23	35.35°	133.2°	—	5.8	27.2	出雲地方
22	1916	8	6	34.0°	133.4°	—	5.7	174.2	愛媛県宇摩郡関川村
23	1919	11	1	34.8°	132.9°	—	5.8	82.7	広島県三次付近
24	1925	5	23	35° 33.8′	134° 50.09′	0	6.8	166.6	但馬北部
25	1925	7	4	35° 21.26′	133° 25.23′	0	5.7	43.4	美保湾
26	1927	3	7	35° 37.91′	134° 55.84′	18	7.3	175.5	京都府北西部
27	1930	12	20	34° 56.35′	132° 50.54′	12	6.1	67.7	三次付近
28	1934	1	9	33° 58.63′	133° 57.68′	36	5.6	194.1	徳島県西部(吉野川上流域)
29	1938	1	2	34° 58.98′	133° 18.14′	19	5.5	67.3	岡山県北部

No.	年	月	日	震央位置		深さ (km)	M	震央 距離 (km)	地名
				北緯	東経				
30	1941	4	6	34° 31.64′	131° 38.05′	2	6.2	167.3	山口県須佐付近
31	1943	3	4	35° 26.59′	134° 6.29′	5	6.2	101.0	鳥取市付近
32	1943	9	10	35° 28.39′	134° 11.04′	0	7.2	107.8	鳥取付近
33	1949	1	20	35° 35.97′	134° 28.75′	14	6.3	134.5	兵庫県北部
34	1949	7	12	34° 2.99′	132° 45.42′	25	6.2	166.3	安芸灘
35	1950	8	22	35° 10.19′	132° 38.68′	4	5.2	51.7	三瓶山付近
36	1955	6	23	35° 18′	133° 23′	10	5.5	43.7	鳥取県西部
37	1961	5	7	35° 2.9′	134° 30.7′	23	5.9	148.0	兵庫県西部
38	1970	3	13	34° 56′	132° 49′	10	4.6	69.7	広島県北部
39	1970	9	29	34° 26′	133° 18′	10	4.9	126.4	広島県南東部
40	1977	5	2	35° 9′	132° 42′	10	5.6	50.6	三瓶山付近
41	1978	6	4	35° 5′	132° 42′	0	6.1	57.0	島根県中部
42	1983	10	31	35° 25′	133° 55.4′	15	6.2	85.0	鳥取県沿岸
43	1984	5	30	34° 57.8′	134° 35.4′	17	5.6	158.2	兵庫県南西部
44	1989	10	27	35° 15.7′	133° 22.4′	13	5.3	45.7	鳥取県西部
45	1989	11	2	35° 15.3′	133° 22.1′	15	5.5	45.9	鳥取県西部
46	1991	8	28	35° 19.4′	133° 11.2′	13	5.9	29.2	島根県東部
47	1997	6	25	34° 26.49′	131° 39.97′	8	6.6	171.8	山口・島根県境
48	1999	7	16	34° 25.5′	133° 11.66′	20	4.5	124.6	尾道市付近
49	2000	10	6	35° 16.45′	133° 20.94′	9	7.3	43.2	鳥取県西部
50	2001	1	12	35° 27.96′	134° 29.4′	11	5.6	135.6	兵庫県北部
51	2001	3	24	34° 7.94′	132° 41.62′	46	6.7	158.2	安芸灘
52	2002	3	25	33° 49.48′	132° 36.9′	46	4.7	193.0	伊予灘
53	2002	9	16	35° 22.2′	133° 44.36′	10	5.5	69.8	鳥取県中西部
54	2007	4	26	33° 53.36′	133° 35.08′	39	5.3	190.4	東予地域
55	2011	11	21	34° 52.3′	132° 53.62′	12	5.4	74.3	広島県北部
56	2011	11	25	34° 52.25′	132° 53.69′	12	4.7	74.4	広島県北部
57	2016	10	21	35° 22.83′	133° 51.37′	11	6.6	79.8	鳥取県中部
58	2018	4	9	35° 11.08′	132° 35.2′	12	6.1	54.0	島根県西部

2. 敷地地盤の振動特性及び地下構造モデルの設定

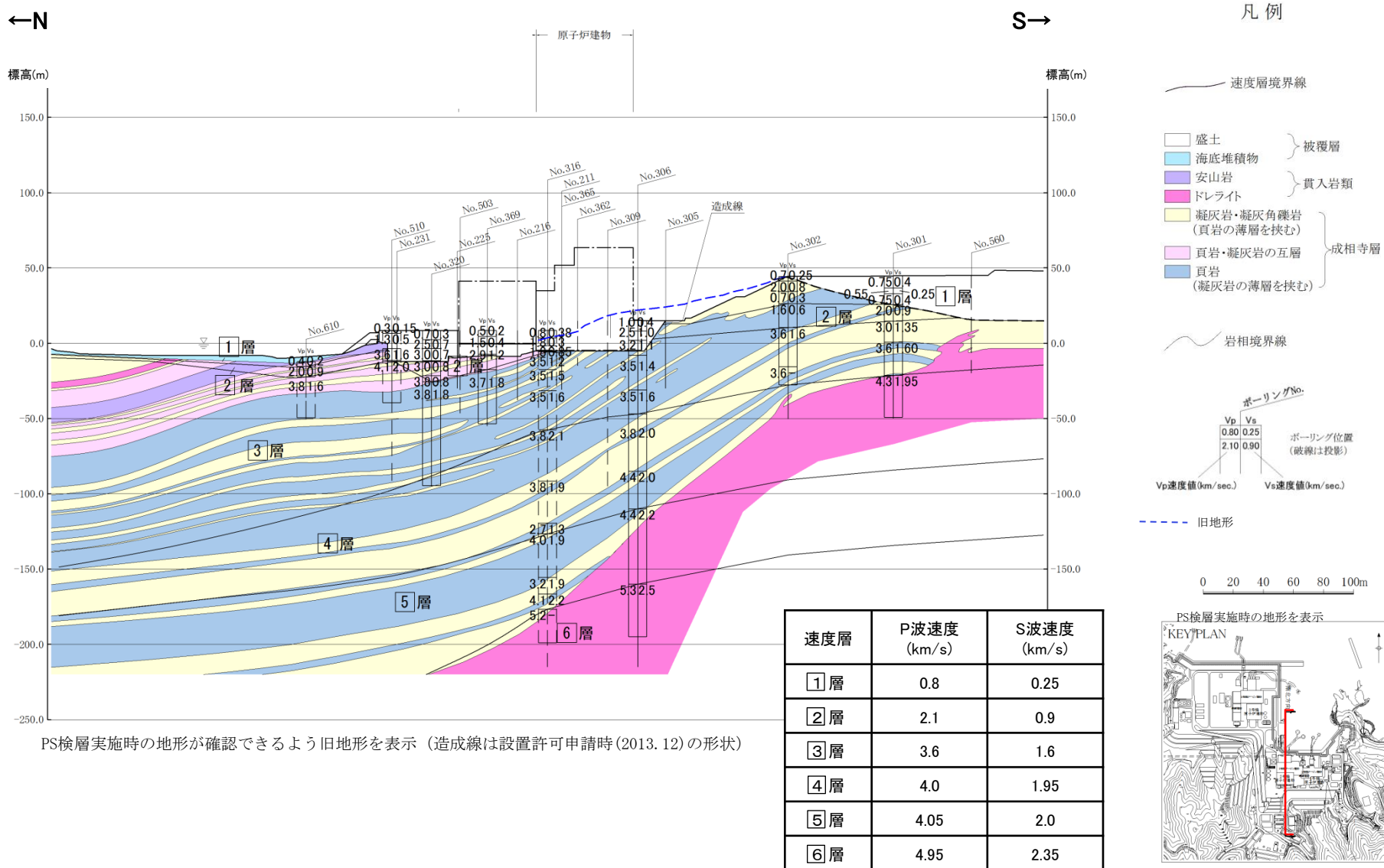
2号地盤の速度層断面図：南北断面



断面位置図

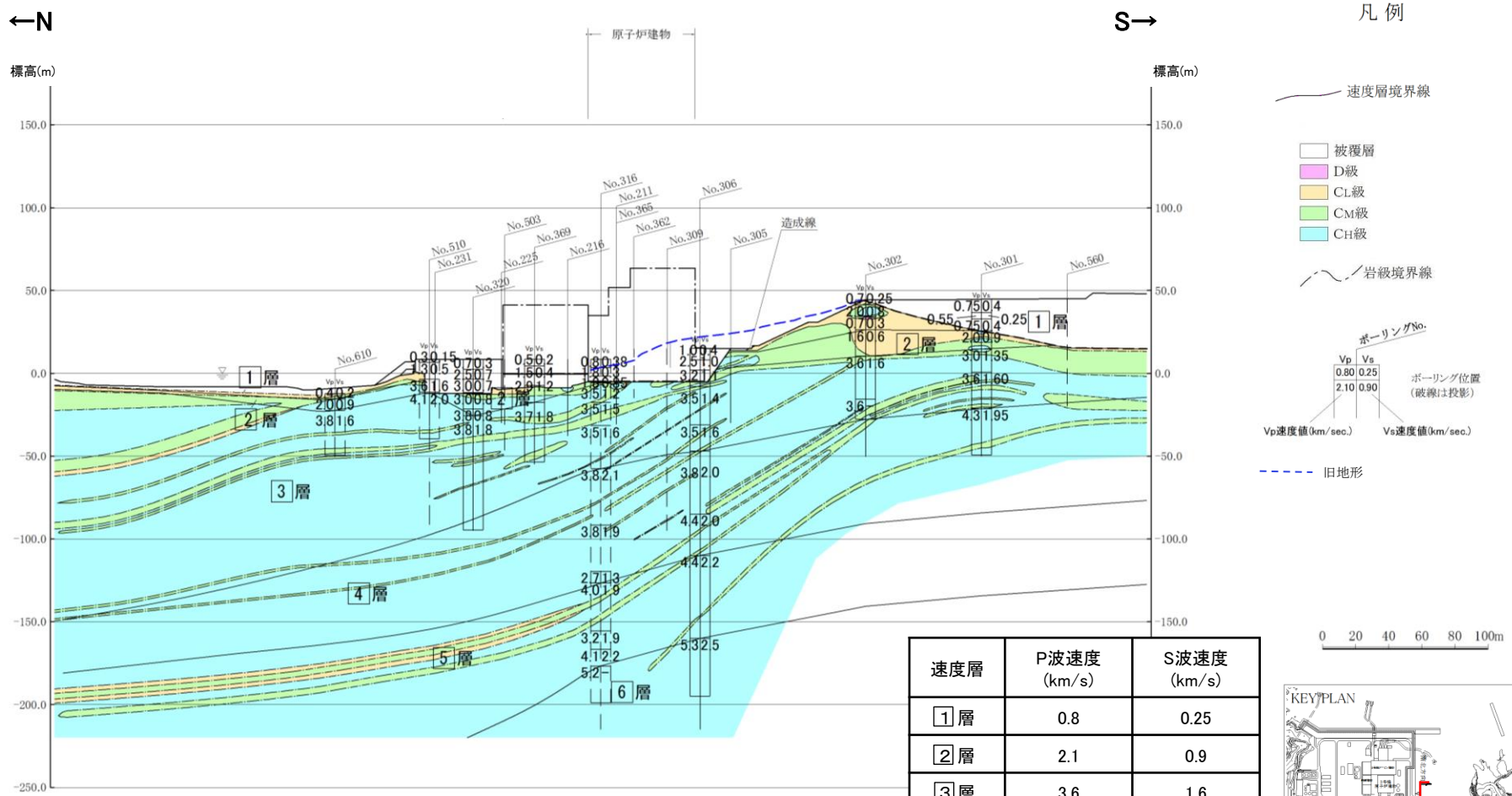
2号地盤の岩相区分との比較(南北断面)

第204回審査会合資料1 P175 加筆・修正



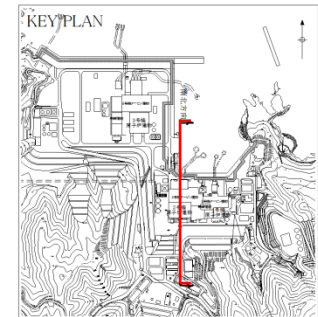
2号地盤の岩級区分との比較(南北断面)

第204回審査会合資料1 P176加筆・修正



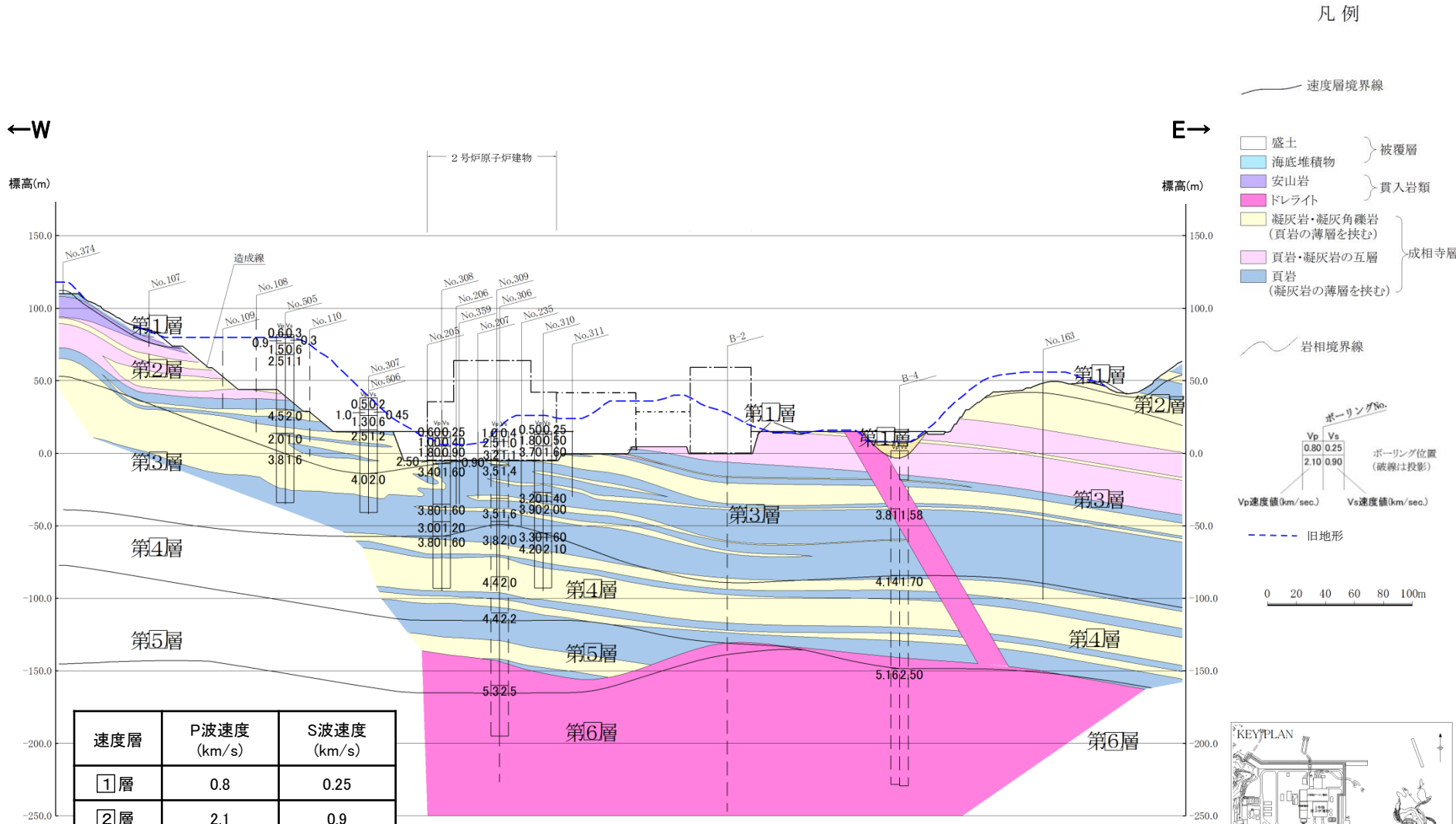
PS検層実施時の地形が確認できるような旧地形を表示 (造成線は設置許可申請時(2013.12)の形状)

・浅部では、土被りが小さく、風化、亀裂の影響を受けているため、速度層境界は地質構造を反映していない。



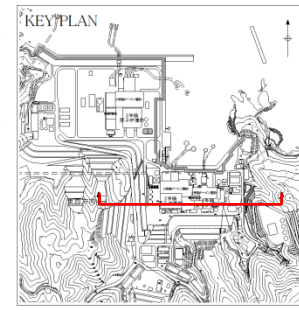
2号地盤の岩相区分との比較(東西断面)

第204回審査会合資料1 P177加筆・修正

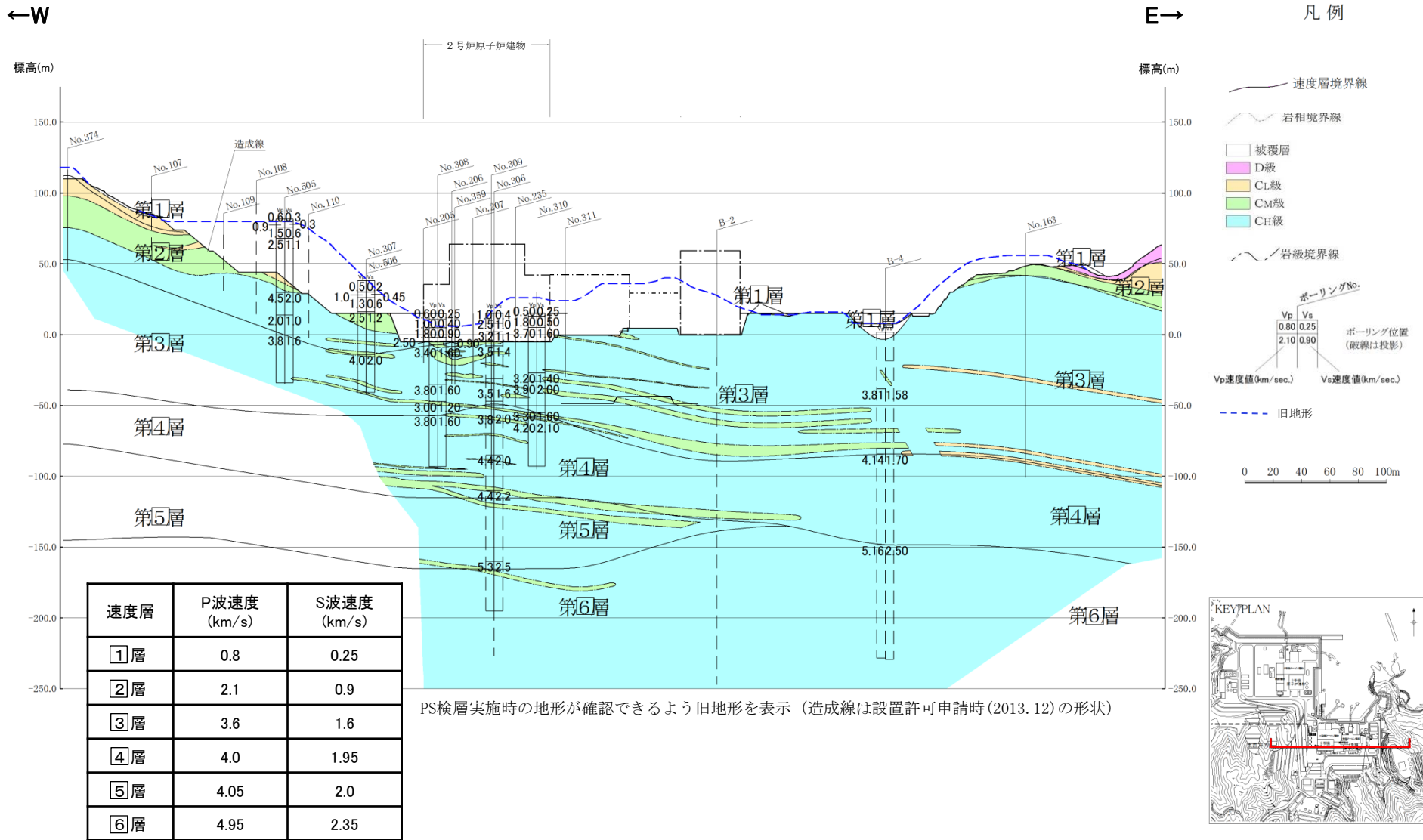


速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
1層	0.8	0.25
2層	2.1	0.9
3層	3.6	1.6
4層	4.0	1.95
5層	4.05	2.0
6層	4.95	2.35

PS検層実施時の地形が確認できるように旧地形を表示 (造成線は設置許可申請時(2013.12)の形状)

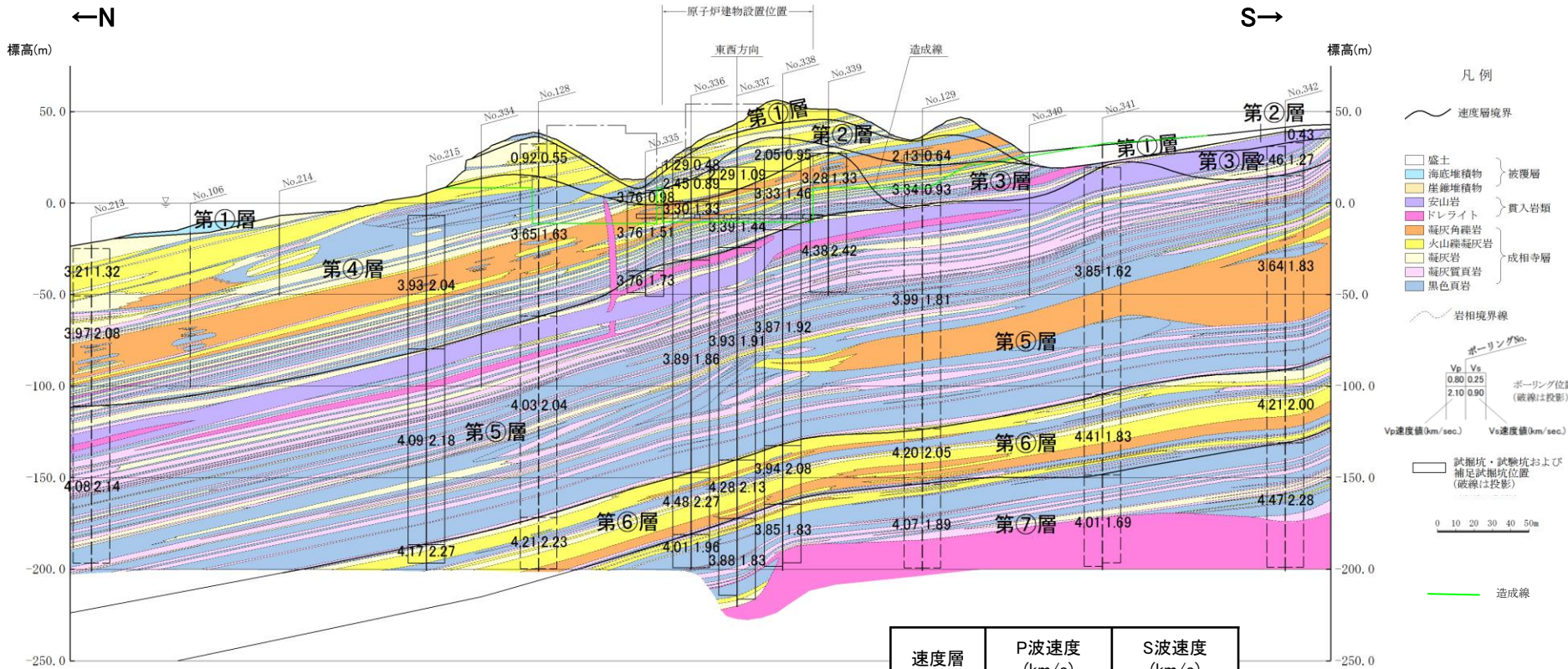


2号地盤の岩級区分との比較(東西断面)

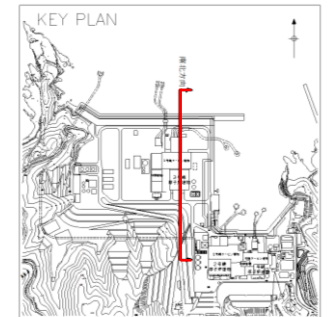


3号地盤の岩相区分との比較(南北断面)

第204回審査会合資料1 P179加筆・修正

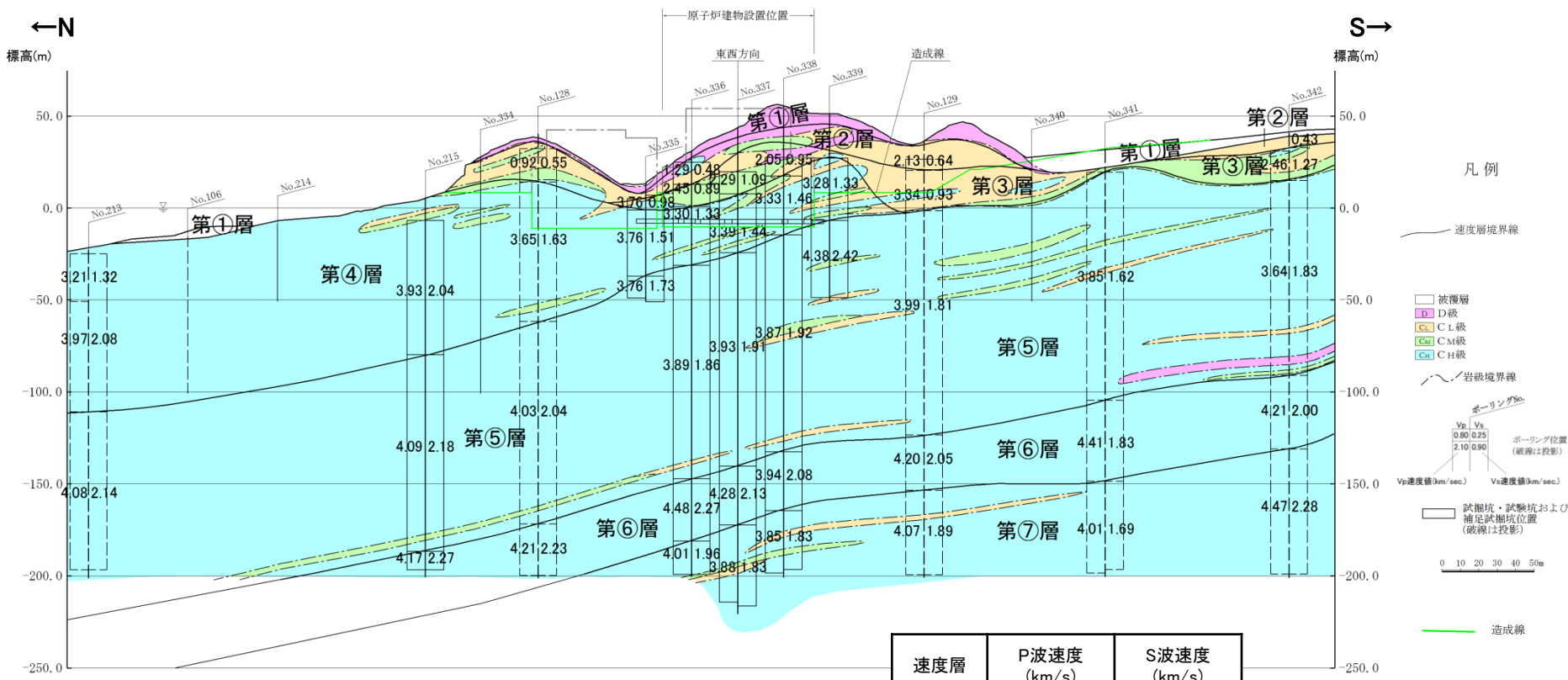


PS検層実施時の地形が確認できるように旧地形を表示 (造成線は設置許可申請時(2013. 12)の形状)



3号地盤の岩級区分との比較(南北断面)

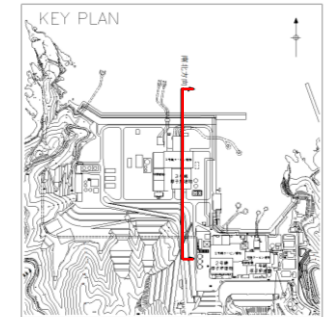
第204回審査会合資料1 P180加筆・修正



PS検層実施時の地形が確認できるよう旧地形を表示 (造成線は設置許可申請時(2013. 12)の形状)

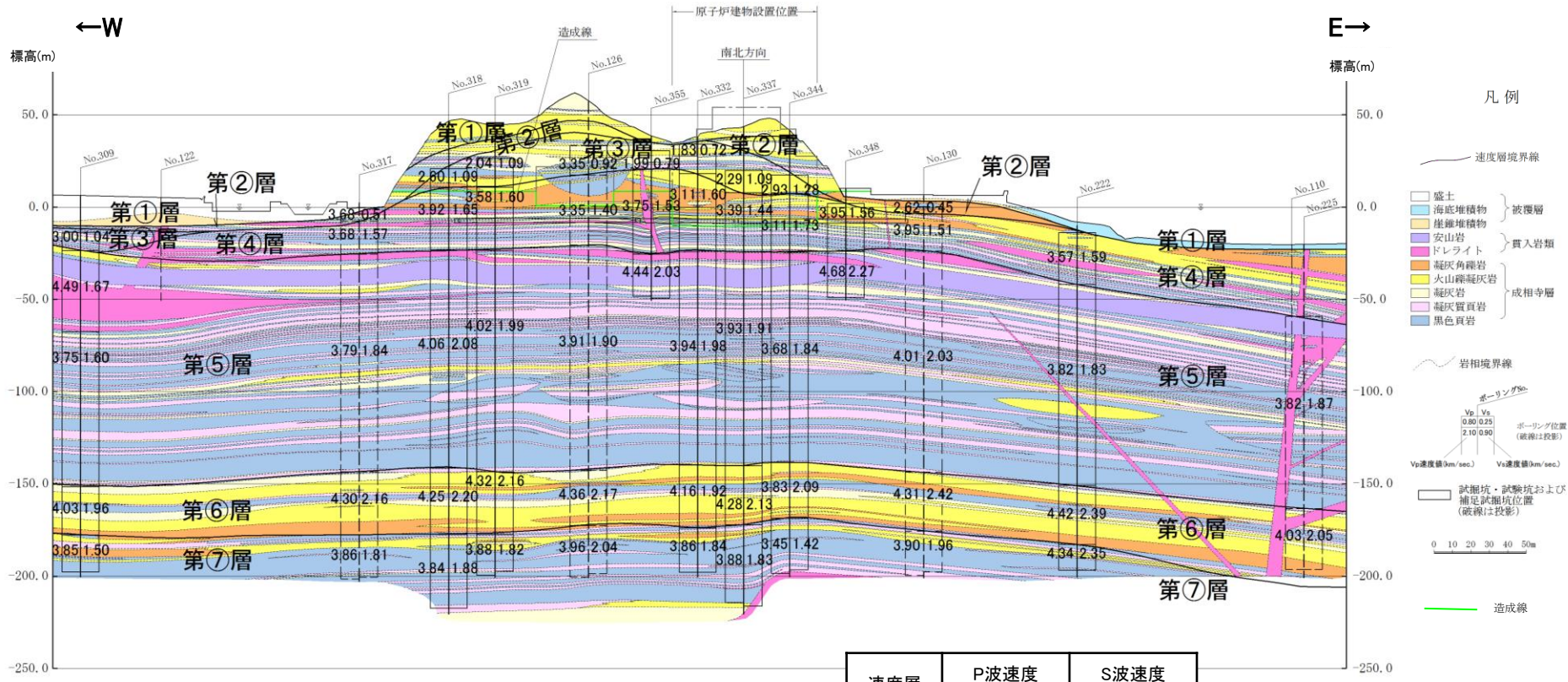
・ 浅部では、土被りが小さく、風化、亀裂の影響を受けているため、速度層境界は地質構造を反映していない。

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
①層	0.52	0.27
②層	1.71	0.62
③層	2.27	0.96
④層	3.24	1.52
⑤層	3.86	1.90
⑥層	4.15	2.10
⑦層	3.80	1.77



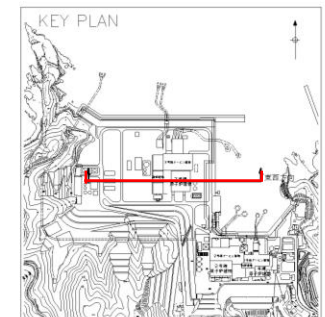
3号地盤の岩相区分との比較(東西断面)

第204回審査会合資料1 P181加筆・修正



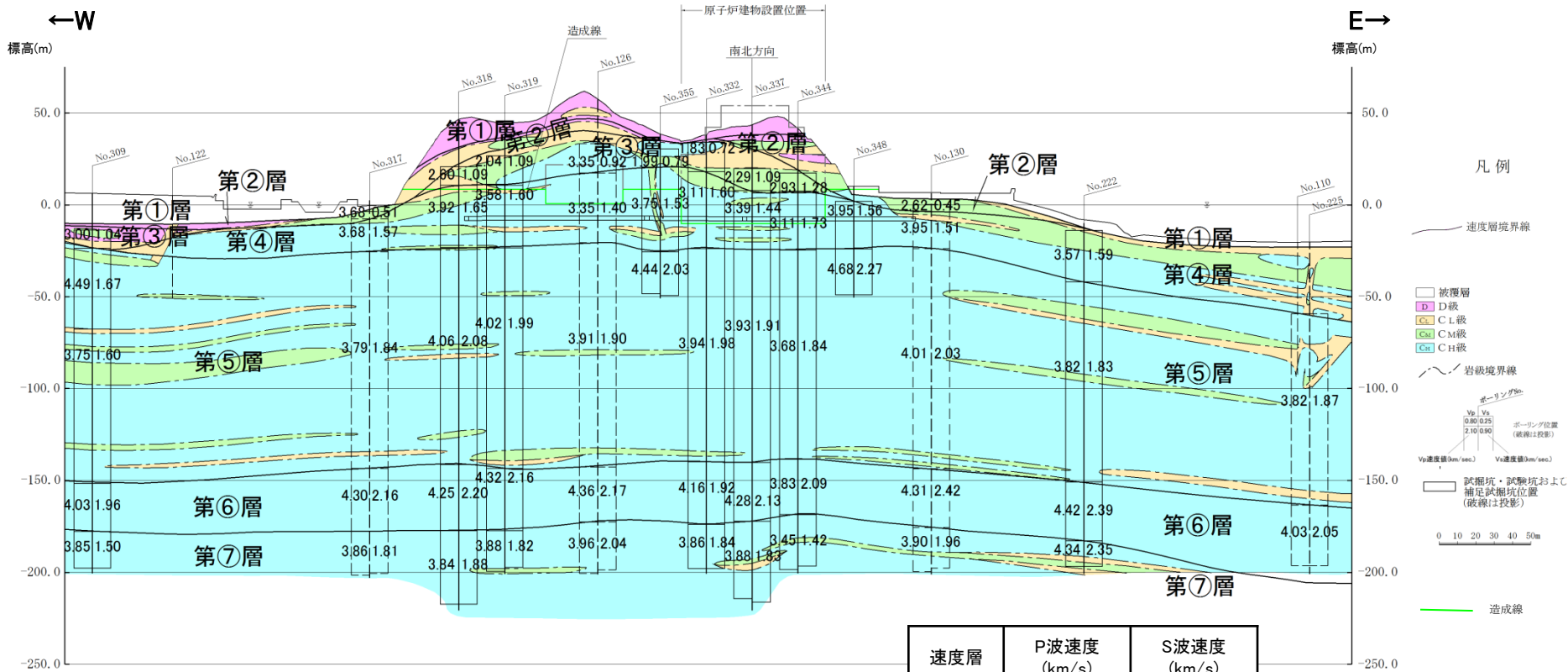
PS検層実施時の地形が確認できるような旧地形を表示 (造成線は設置許可申請時(2013.12)の形状)

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
①層	0.52	0.27
②層	1.71	0.62
③層	2.27	0.96
④層	3.24	1.52
⑤層	3.86	1.90
⑥層	4.15	2.10
⑦層	3.80	1.77



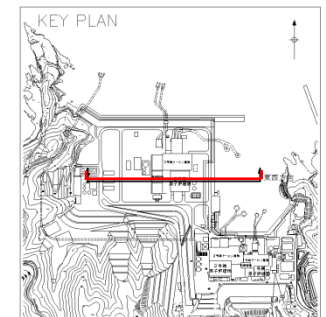
3号地盤の岩級区分との比較(東西断面)

第204回審査会合資料1 P182加筆・修正



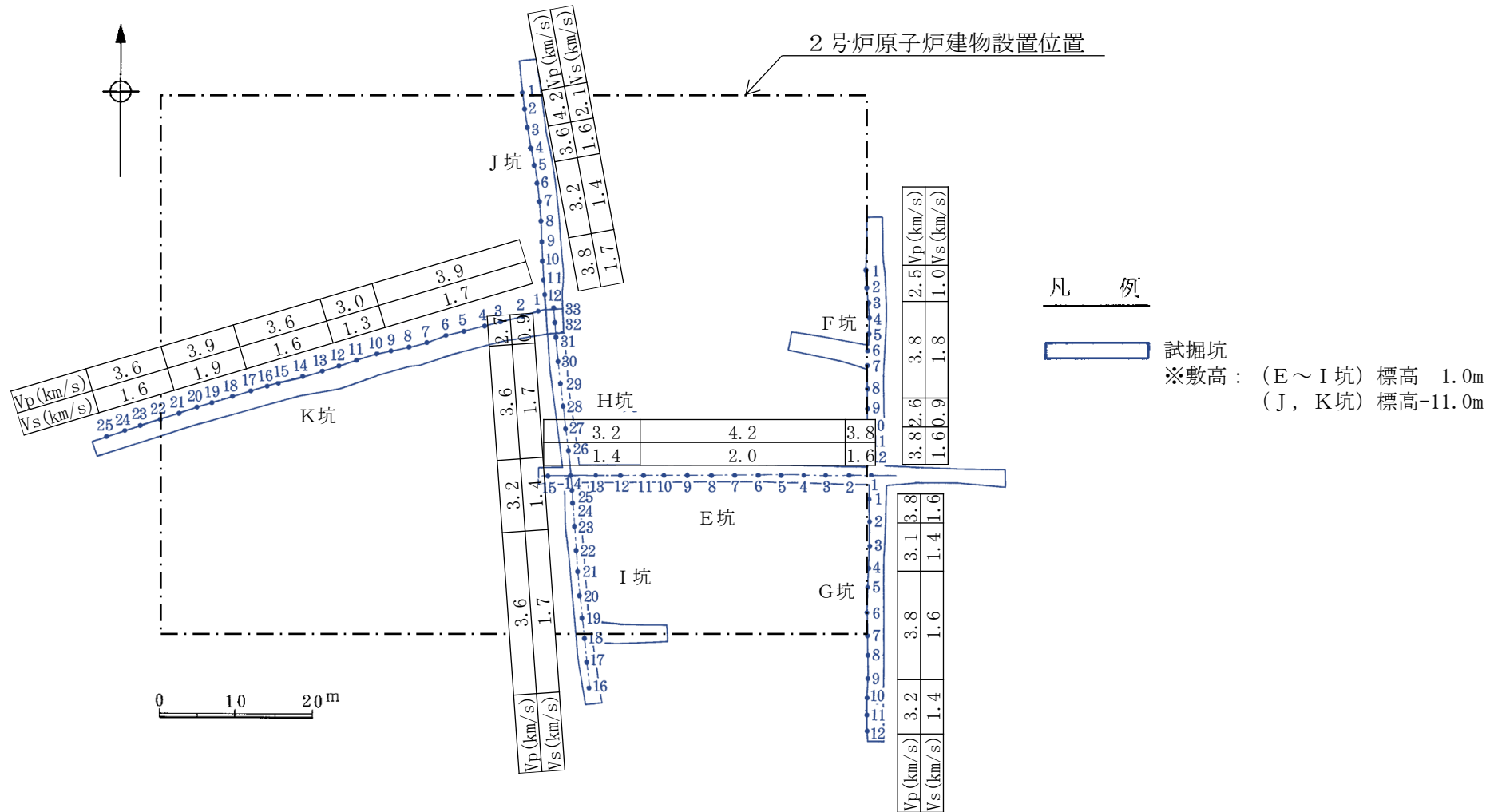
PS検層実施時の地形が確認できるよう旧地形を表示 (造成線は設置許可申請時(2013.12)の形状)

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
①層	0.52	0.27
②層	1.71	0.62
③層	2.27	0.96
④層	3.24	1.52
⑤層	3.86	1.90
⑥層	4.15	2.10
⑦層	3.80	1.77



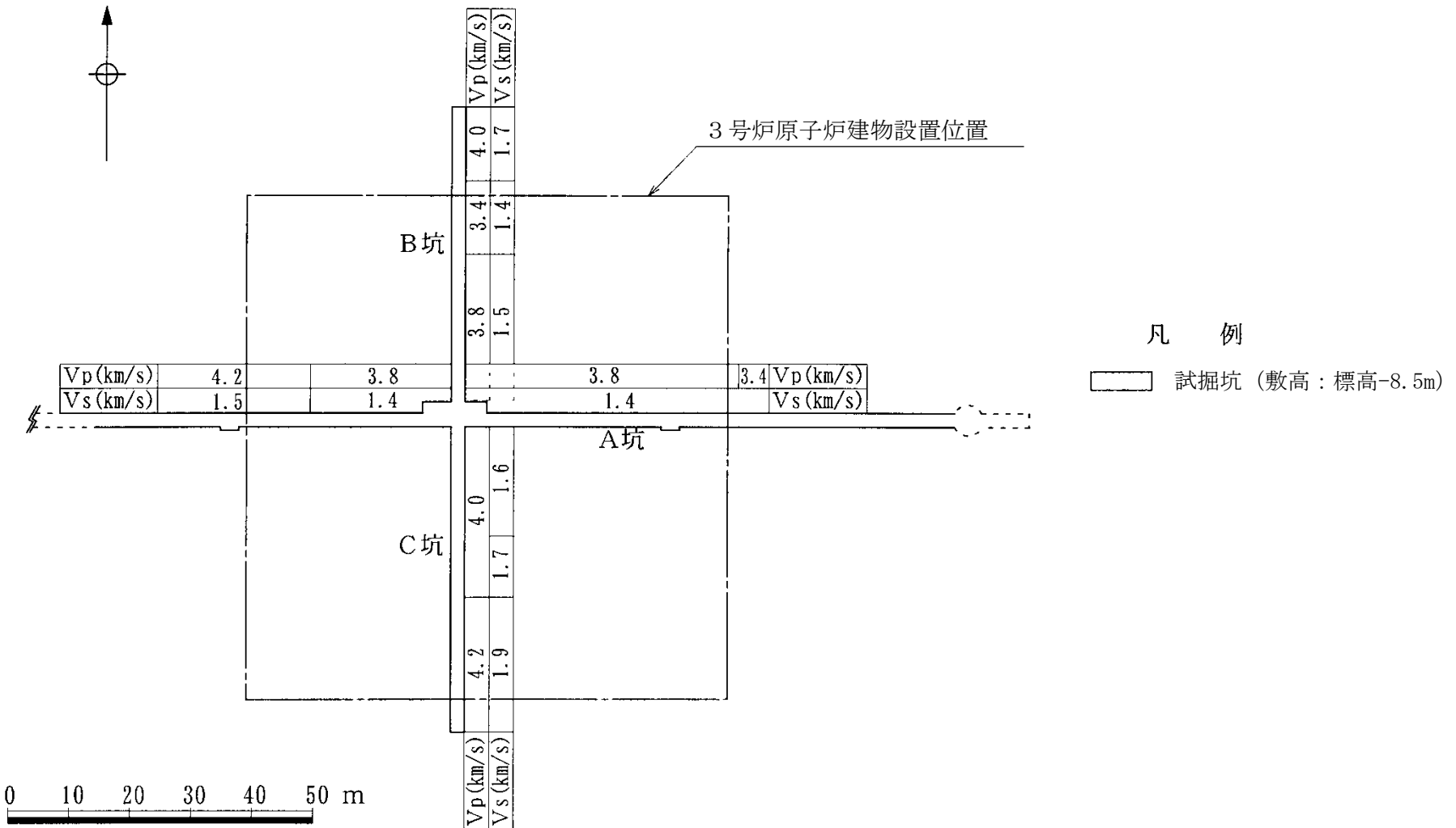
試掘坑調査(2号炉原子炉建物設置位置)

- 2号炉原子炉建物基礎地盤の試掘坑内で実施した弾性波試験によって得られた弾性波速度を以下に示す。
- 原子炉建物基礎地盤のP波速度の平均値は3.63km/s, S波速度の平均値は1.64km/sであり, 堅硬な岩盤が平面的に拡がりを持って分布している。



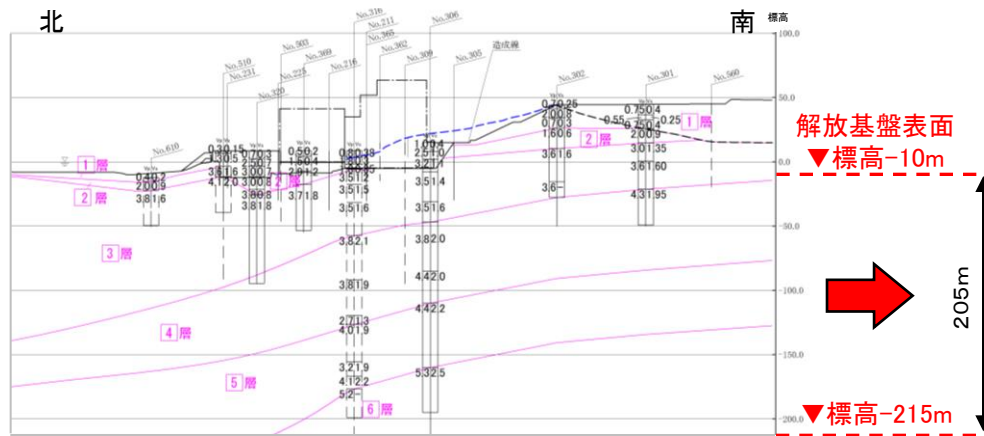
試掘坑調査(3号炉原子炉建物設置位置)

- 3号炉原子炉建物基礎地盤の試掘坑内で実施した弾性波試験によって得られた弾性波速度を以下に示す。
- 原子炉建物基礎地盤のP波速度の平均値は3.90km/s, S波速度の平均値は1.53km/sであり, 堅硬な岩盤が平面的に拡がりを持って分布している。

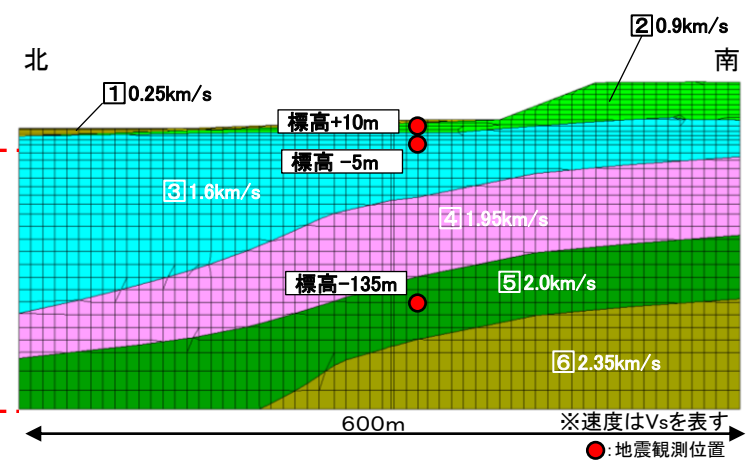


敷地内モデルの検討(2号敷地内モデルの設定)

- 炉心周辺ボーリングのPS検層結果等より作成した速度層断面図に基づき、2号地盤の2次元地下構造モデル(南北方向)を設定した。
- なお、敷地の東西方向の地下構造が水平成層であることから、南北方向が最大傾斜断面となる。



2号速度層断面図(南北方向)



2号敷地内モデル(南北方向)

※ モデルの物性値は後述する2号地下構造モデルの値を用い、メッシュサイズは各層の速度値から求まる波長の1/5程度以下となるように設定。

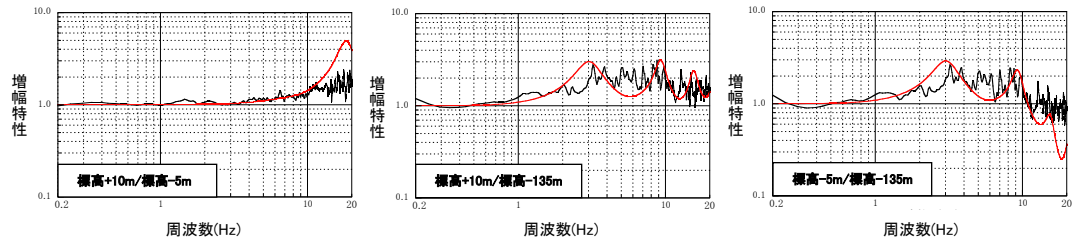
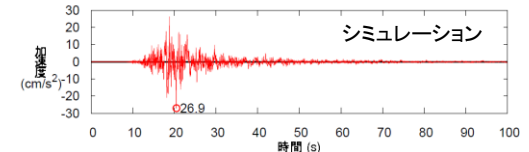
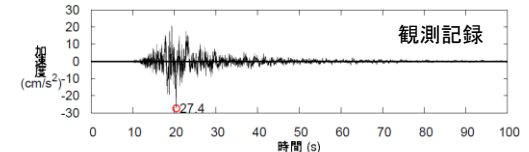
敷地内モデルの検討(2号敷地内モデルの妥当性確認)

第204回審査会合資料1 P48 加筆・修正

- 以下の検討対象の5地震について、2号敷地内モデルの地盤応答解析結果と観測記録より求めた地盤増幅特性(標高+10m/標高-5m等)を比較すると、同程度となっている。
- 2000年鳥取県西部地震のシミュレーション結果(標高-135m→標高-5m)と観測記録(標高-5m)を比較すると、同程度となっていることから、2号敷地内モデルは妥当であることを確認した。

検討対象地震

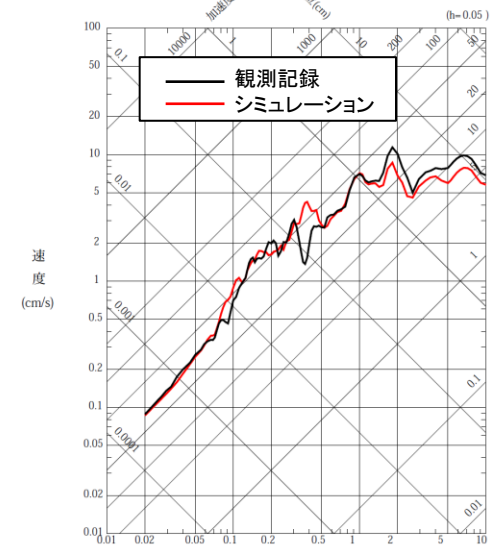
No.	地震 (年月日・時刻)	M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	方位角 (°)	入射角 (°)
1	鳥取県西部の地震 (2000.7.17 8:00)	4.4	16	42.4	115	69
2	鳥取県西部の地震 (2000.10.6 14:52)	4.5	8	34.1	124	77
3	鳥取県西部の地震 (2000.10.7 6:38)	4.4	8	33.2	125	76
4	鳥取県西部の地震 (2000.10.7 12:03)	4.3	9	33.3	121	75
5	鳥取県西部の地震 (2000.10.8 20:51)	5.2	8	33.7	123	76



— 観測値
— 理論値

※ 設定したモデルは2号地点の地震観測位置を通る断面としており、表層の地盤増幅特性の高周波数側の一部で観測記録との対応が若干良くないのは、モデル化されていない2号敷地西側の山地形の影響と考えられる。

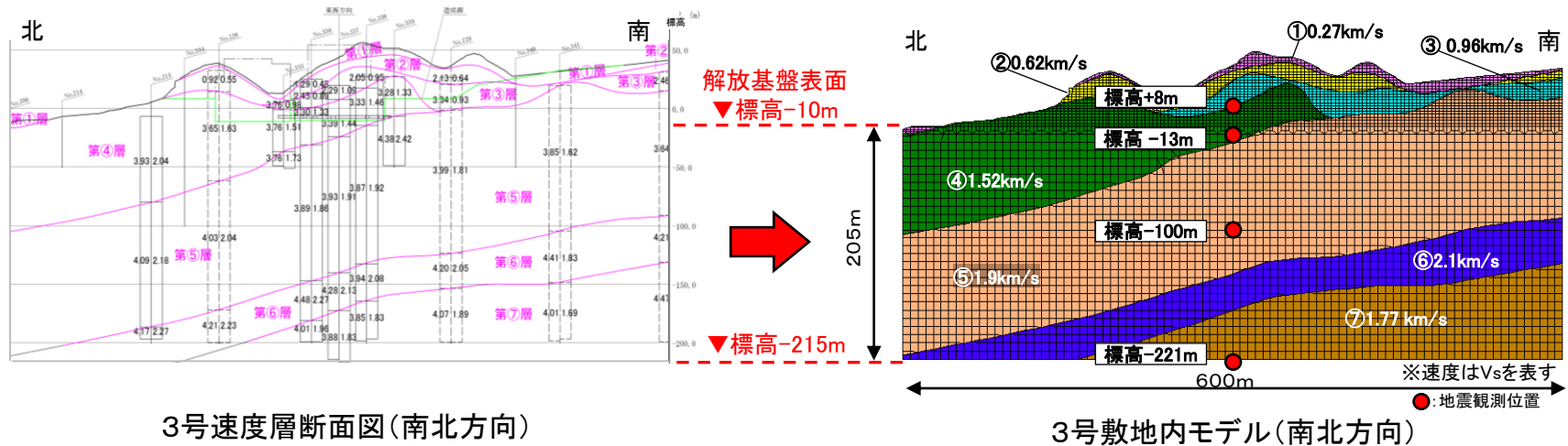
地盤増幅特性の比較



2000年鳥取県西部地震のシミュレーション結果と観測記録の比較

敷地内モデルの検討(3号敷地内モデルの設定)

- 炉心周辺ボーリングのPS検層結果等より作成した速度層断面図に基づき、3号地盤の2次元地下構造モデル(南北方向)を設定した。
- なお、敷地の東西方向の地下構造が水平成層であることから、南北方向が最大傾斜断面となる。



※ モデルの物性値は後述する3号地下構造モデルの値を用い、メッシュサイズは各層の速度値から求まる波長の1/5程度以下となるように設定。

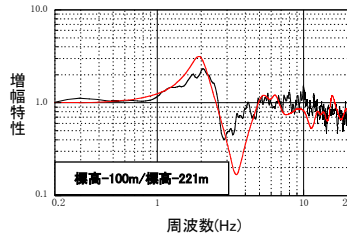
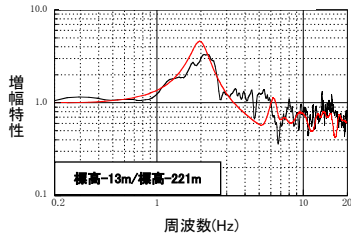
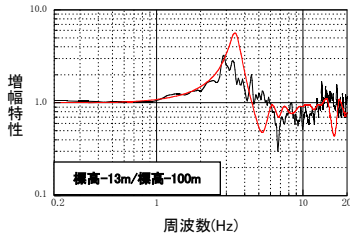
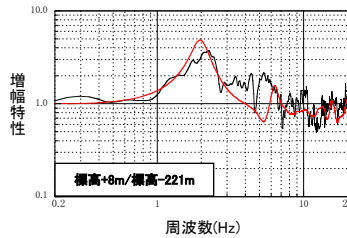
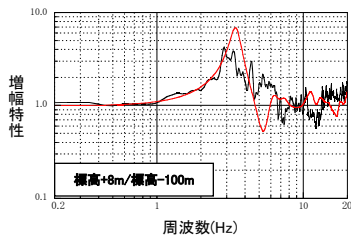
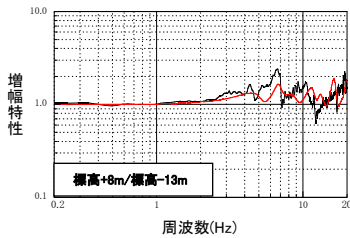
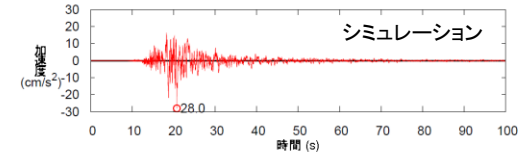
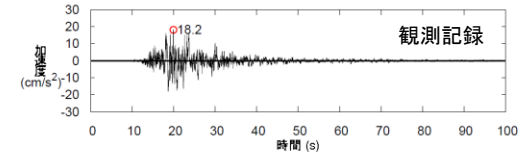
敷地内モデルの検討(3号敷地内モデルの妥当性確認)

第204回審査会合資料1 P50 加筆・修正

- 以下の検討対象の5地震について、3号敷地内モデルの地盤応答解析結果と観測記録より求めた地盤増幅特性(標高+8m/標高-13m等)を比較すると、同程度となっている。
- 2000年鳥取県西部地震のシミュレーション結果(標高-221m→標高-13m)と観測記録(標高-13m)を比較すると、同程度となっていることから、3号敷地内モデルは妥当であることを確認した。

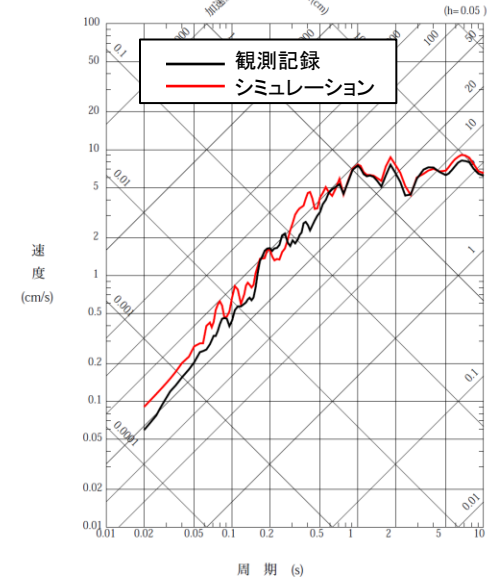
検討対象地震

No.	地震 (年月日・時刻)	M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	方位角 (°)	入射角 (°)
1	鳥取県西部の地震 (2000.7.17 8:00)	4.4	16	42.4	115	69
2	鳥取県西部の地震 (2000.10.6 14:52)	4.5	8	34.1	124	77
3	鳥取県西部の地震 (2000.10.7 6:38)	4.4	8	33.2	125	76
4	鳥取県西部の地震 (2000.10.7 12:03)	4.3	9	33.3	121	75
5	鳥取県西部の地震 (2000.10.8 20:51)	5.2	8	33.7	123	76



— 観測値
— 理論値

地盤増幅特性の比較

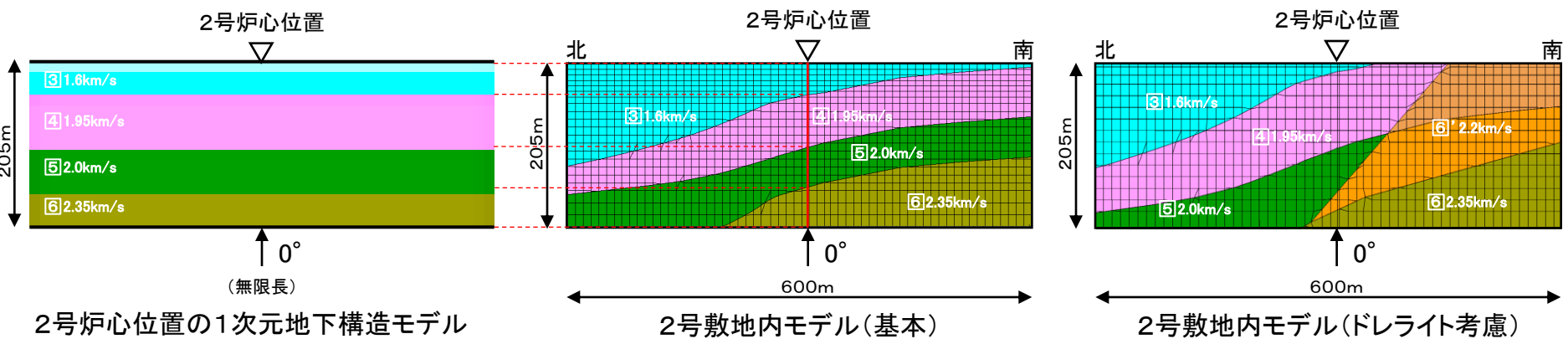


2000年鳥取県西部地震のシミュレーション結果と観測記録の比較

2号敷地内モデルの検討(基本・ドレライト考慮:1次元と2次元による増幅特性の比較)

第204回審査会合資料1 P55 再掲

■ 2号炉心位置における1次元地下構造モデルの地盤増幅特性が、2号敷地内モデル(基本及びドレライト考慮の2ケース)の地盤増幅特性(鉛直入射)と比較して、同程度またはそれ以上となっており、1次元と2次元の増幅傾向に違いはみられない。

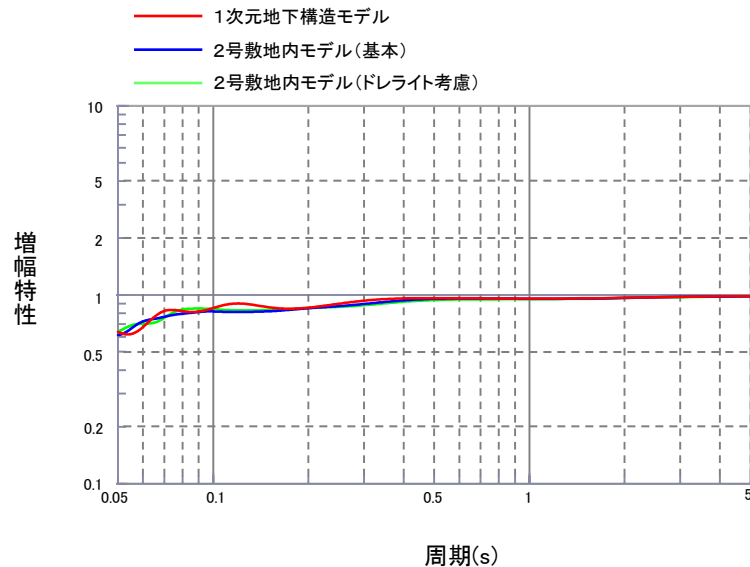


2号炉心位置の1次元地下構造モデル

2号敷地内モデル(基本)

2号敷地内モデル(ドレライト考慮)

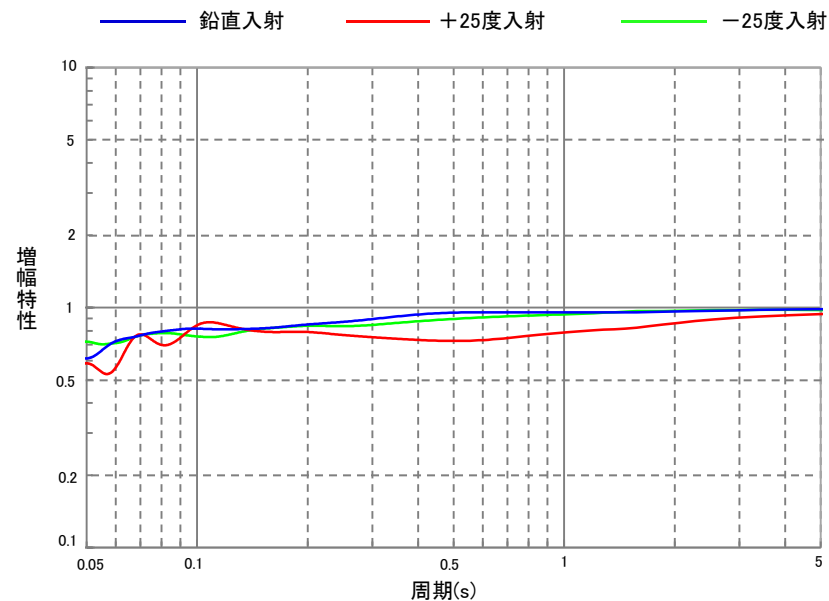
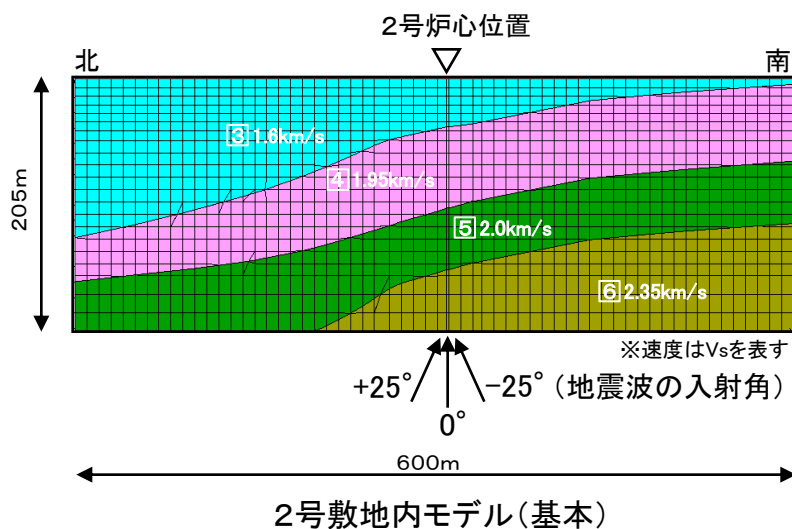
※速度はVsを表す



地盤増幅特性の比較(2号炉心位置)

2号敷地内モデルの検討(基本:入射角の違いによる増幅特性の比較)

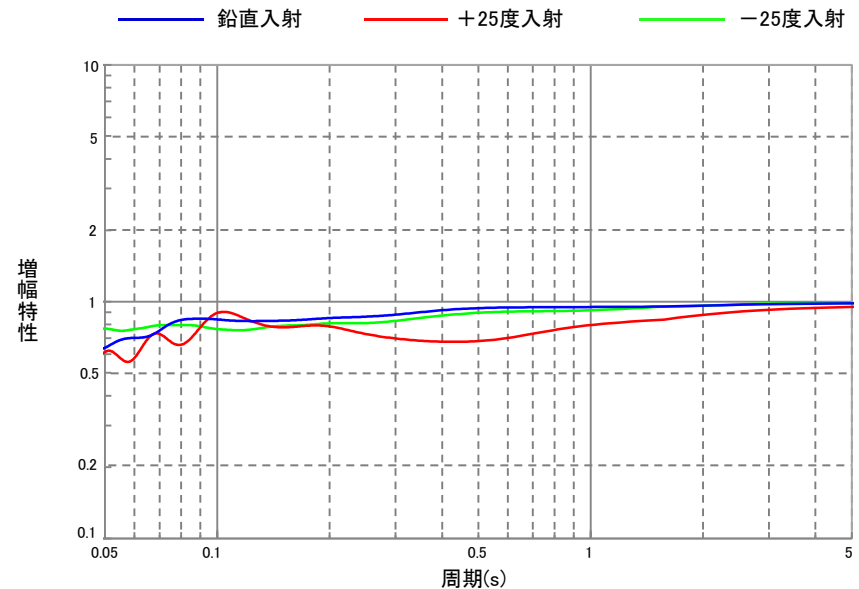
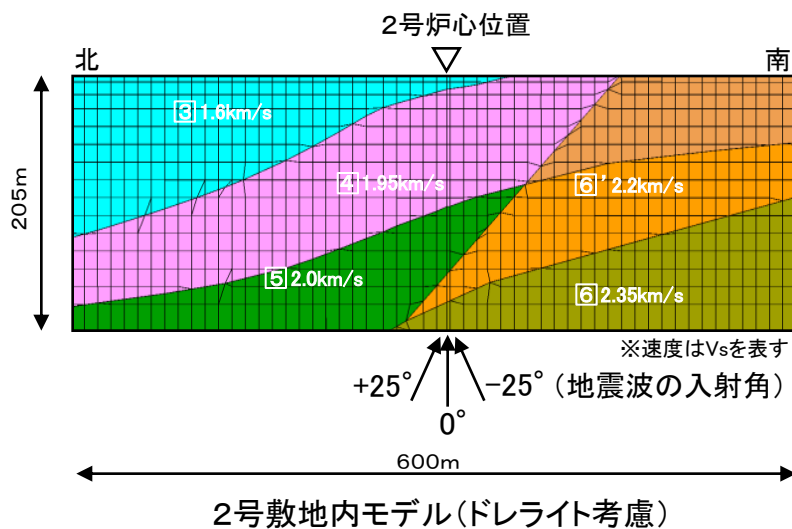
- 2号敷地内モデルに地震波を鉛直(0°)及び斜め($\pm 25^\circ$)に入射すると、鉛直入射の地盤増幅特性が、斜め入射の地盤増幅特性と比較して、同程度またはそれ以上となっており、斜め入射を考慮しても傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。



地盤増幅特性の比較(2号炉心位置)

2号敷地内モデルの検討(ドレライト考慮:入射角の違いによる増幅特性の比較)

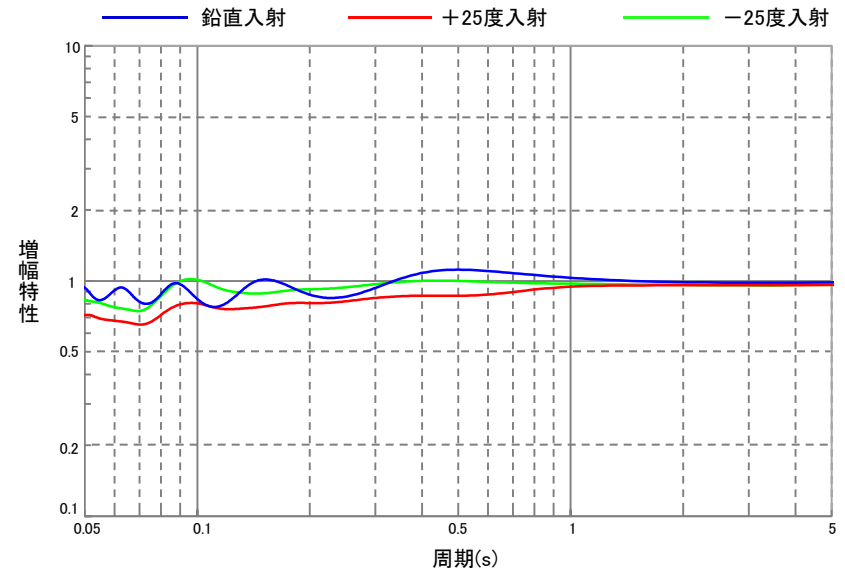
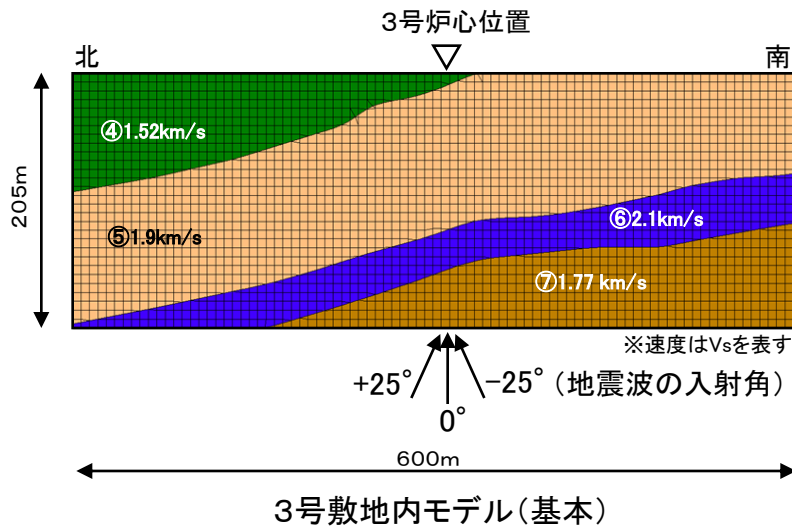
- ドレライトを考慮した2号敷地内モデルに地震波を鉛直(0°)及び斜め($\pm 25^\circ$)に入射すると、鉛直入射の地盤増幅特性が、斜め入射の地盤増幅特性と比較して、同程度またはそれ以上となっており、斜め入射を考慮しても傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。



地盤増幅特性の比較(2号炉心位置)

3号敷地内モデルの検討(基本:入射角の違いによる増幅特性の比較)

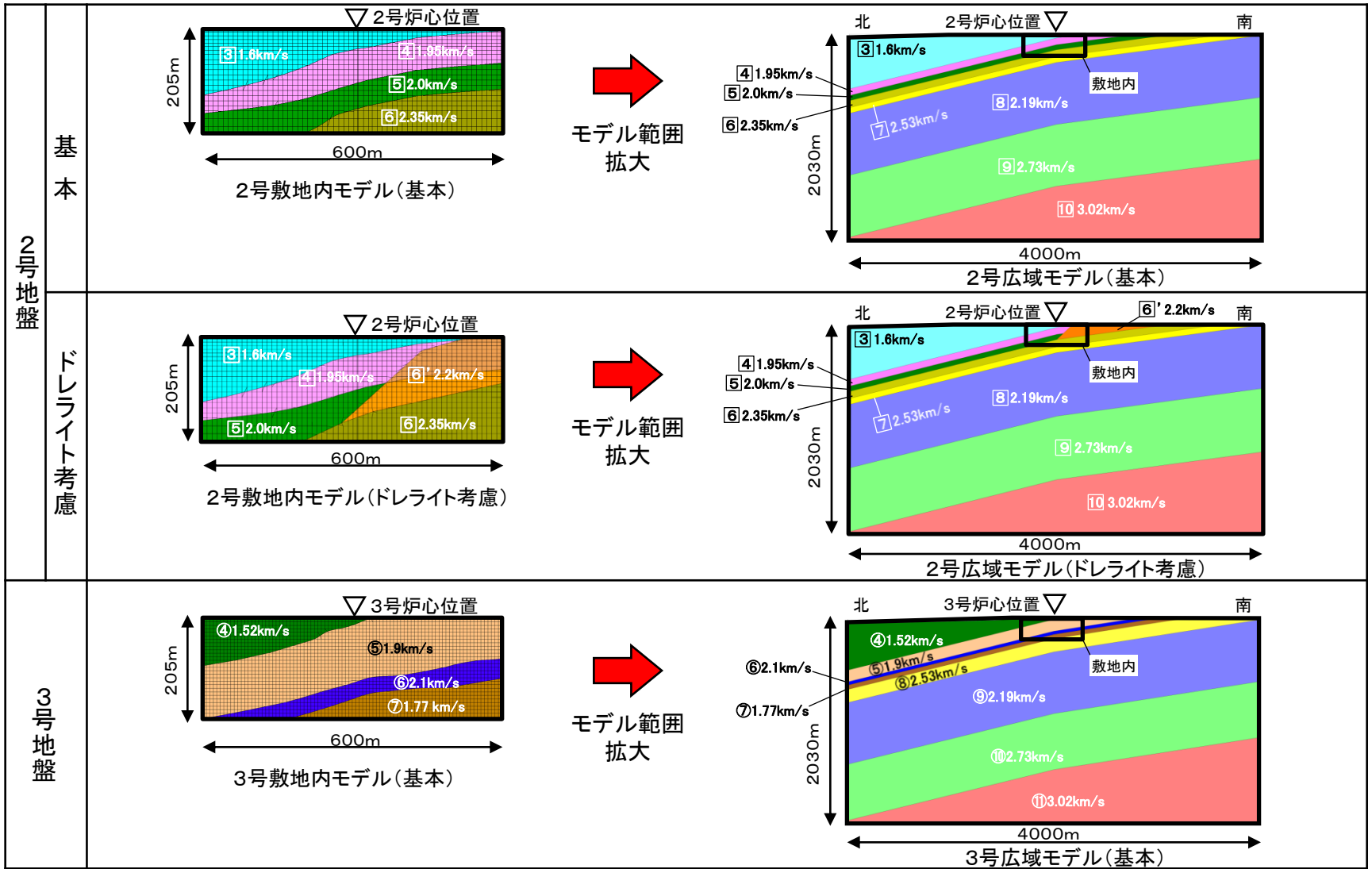
■ 3号敷地内モデルに地震波を鉛直(0°)及び斜め($\pm 25^\circ$)に入射すると、鉛直入射の地盤増幅特性が、斜め入射の地盤増幅特性と比較して、同程度またはそれ以上となっており、斜め入射を考慮しても傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。



地盤増幅特性の比較(3号炉心位置)

広域モデルの検討(2号, 3号広域モデルの設定)

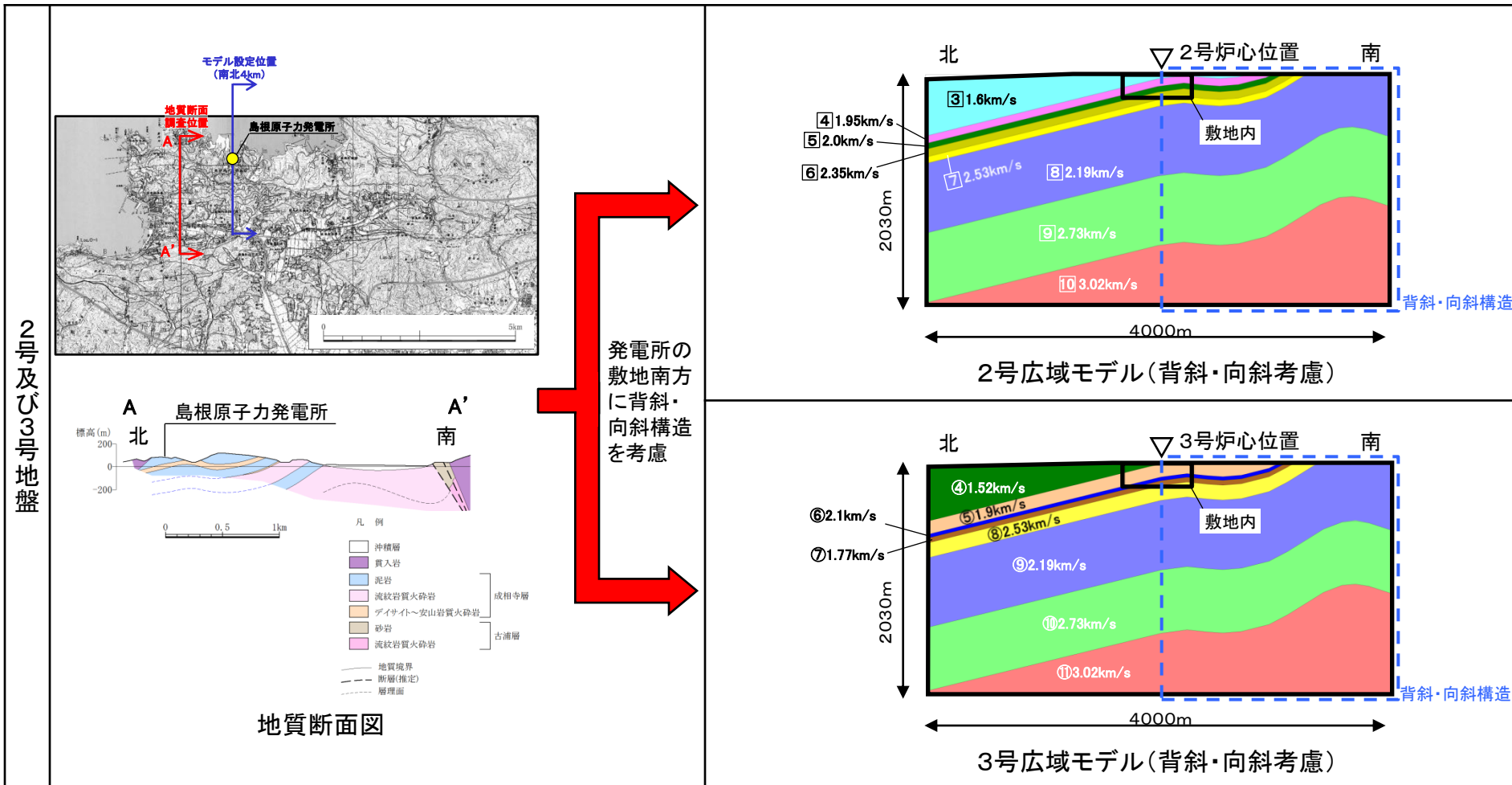
■ 敷地及び敷地周辺の広域的な傾斜構造による影響を検討するため、2号及び3号の広域の2次元地下構造モデル(南北方向)を、敷地内モデルの範囲を拡大(水平方向:4000m, 鉛直方向:2030m)して設定した。なお、2号広域モデルについては基本とドレライト考慮の2ケースを設定した。



※速度はVsを表す

広域モデルの検討(背斜・向斜構造を考慮した2号, 3号広域モデルの設定)

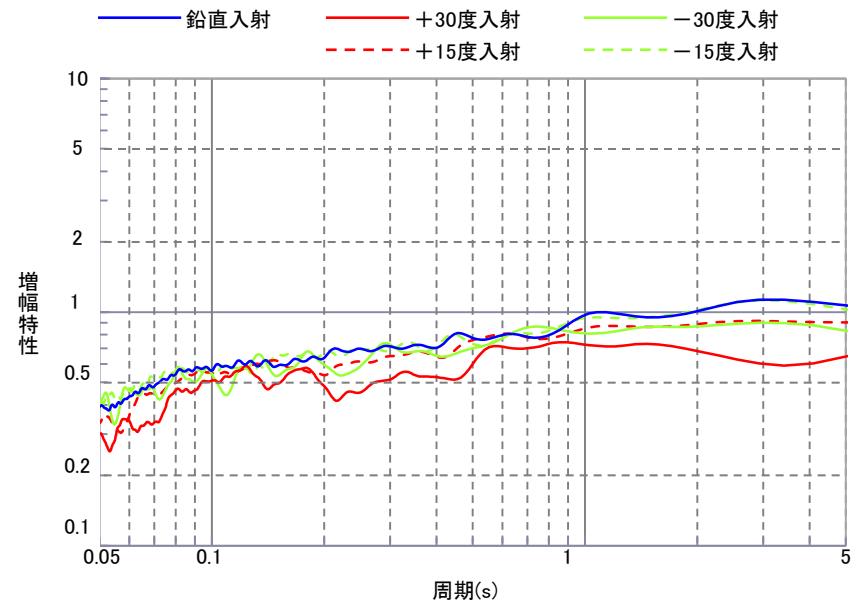
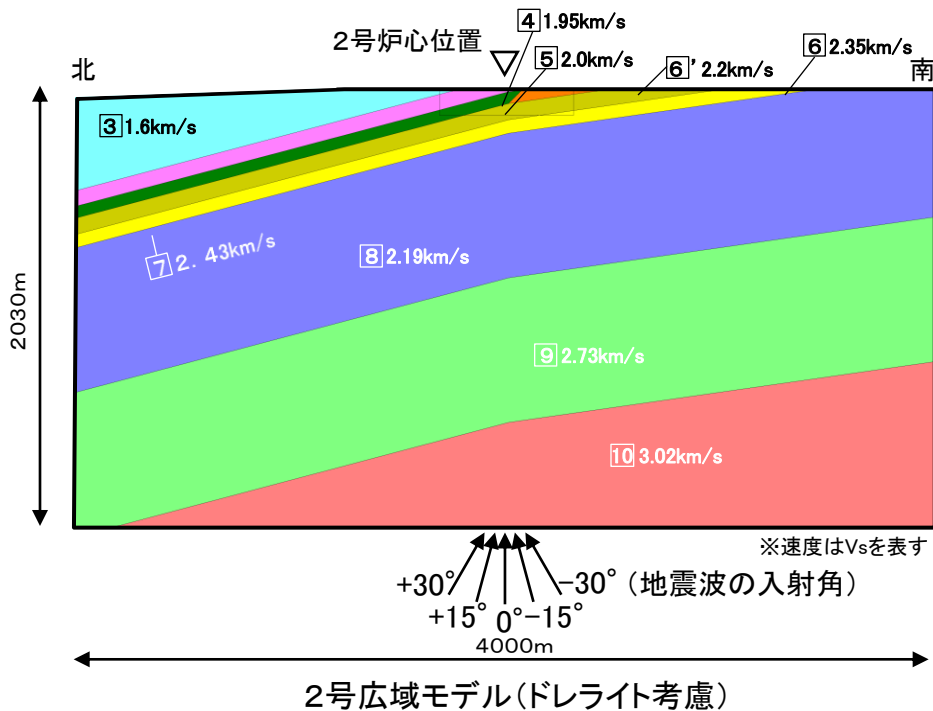
- 敷地周辺の地質断面図に基づき, 発電所の敷地南方に位置する表層の背斜・向斜構造を考慮して, 2号及び3号の広域の2次元地下構造モデル(南北方向)を設定した。



※速度はVsを表す

2号広域モデルの検討(ドレライト考慮:入射角の違いによる増幅特性の比較)

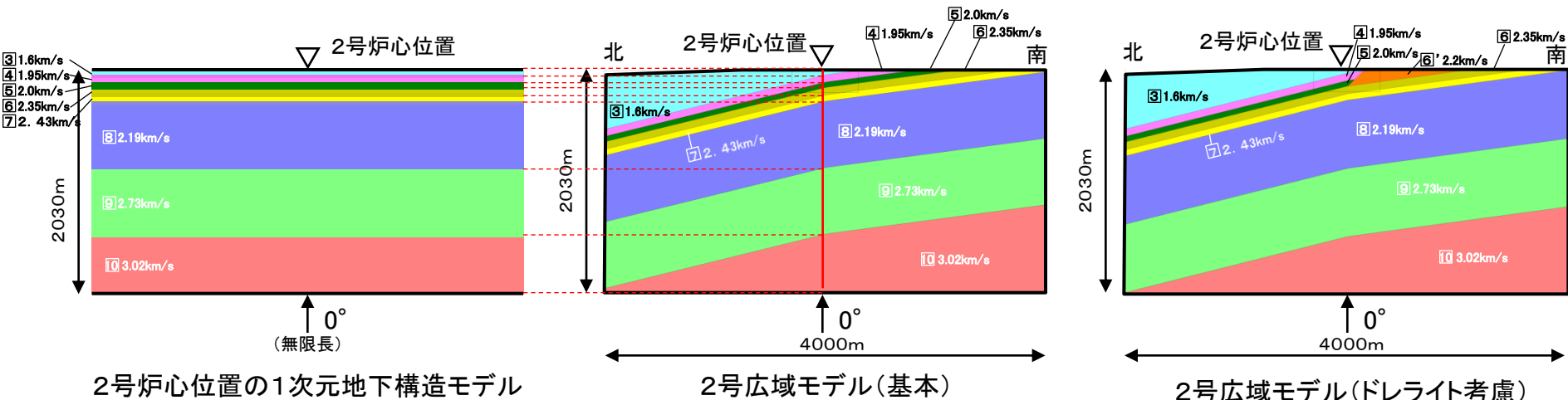
■ ドレライトを考慮した2号広域モデルに地震波を鉛直(0°)及び斜め($\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$)に入射すると、鉛直入射の地盤増幅特性が、斜め入射の地盤増幅特性と比較して、同程度またはそれ以上となっており、斜め入射を考慮しても傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。



地盤増幅特性の比較(2号炉心位置)

2号広域モデルの検討(基本・ドレライト考慮: 1次元と2次元による増幅特性の比較)

■ 2号炉心位置における1次元地下構造モデルの地盤増幅特性が、2号広域モデル(基本及びドレライト考慮の2ケース)の地盤増幅特性(鉛直入射)と比較して、同程度またはそれ以上となっており、1次元と2次元の増幅傾向に違いはみられない。



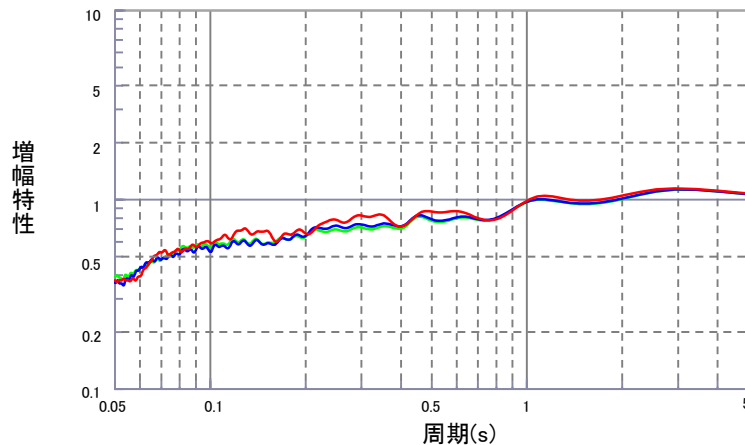
2号炉心位置の1次元地下構造モデル

2号広域モデル(基本)

2号広域モデル(ドレライト考慮)

- 1次元地下構造モデル
- 2号広域モデル(基本)
- 2号広域モデル(ドレライト考慮)

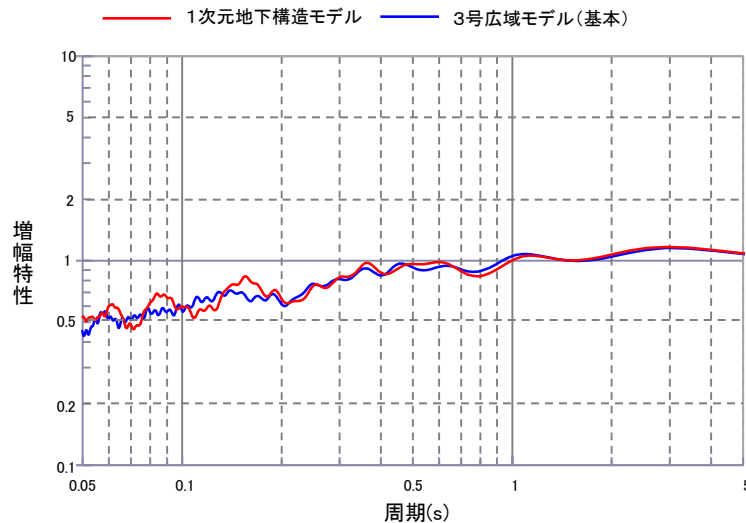
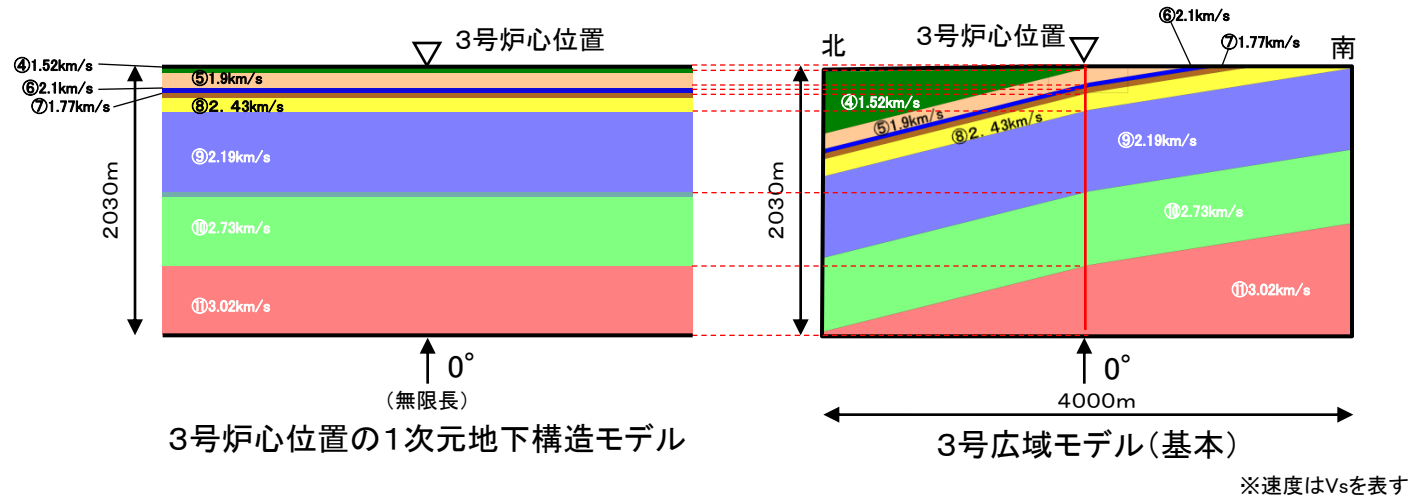
※速度はVsを表す



地盤増幅特性の比較(2号炉心位置)

3号広域モデルの検討(基本:1次元と2次元による増幅特性の比較)

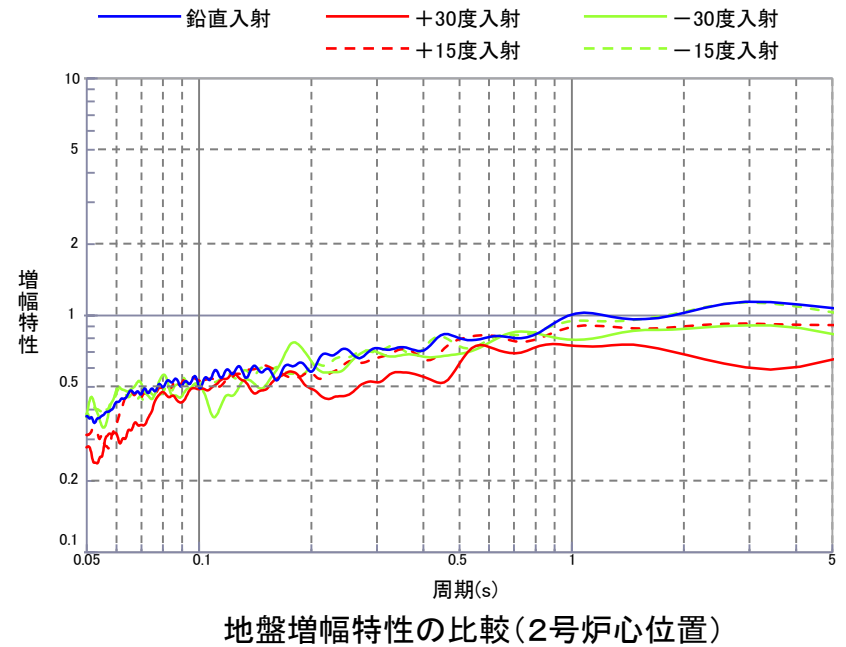
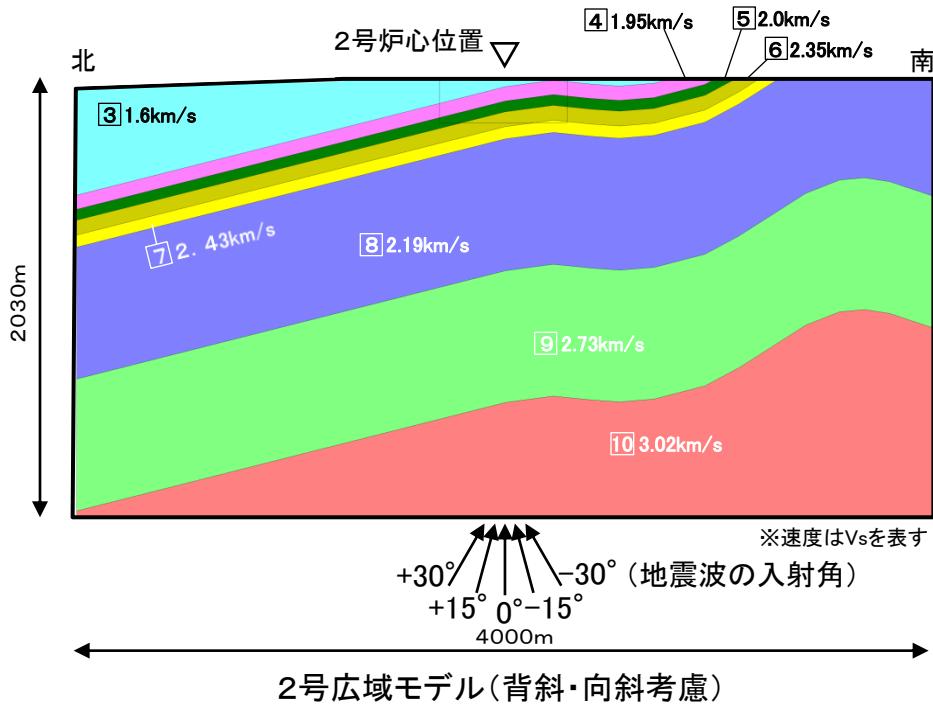
- 3号炉心位置における1次元地下構造モデルの地盤増幅特性が、3号広域モデルの地盤増幅特性(鉛直入射)と比較して、同程度またはそれ以上となっており、1次元と2次元の増幅傾向に違いはみられない。



地盤増幅特性の比較(3号炉心位置)

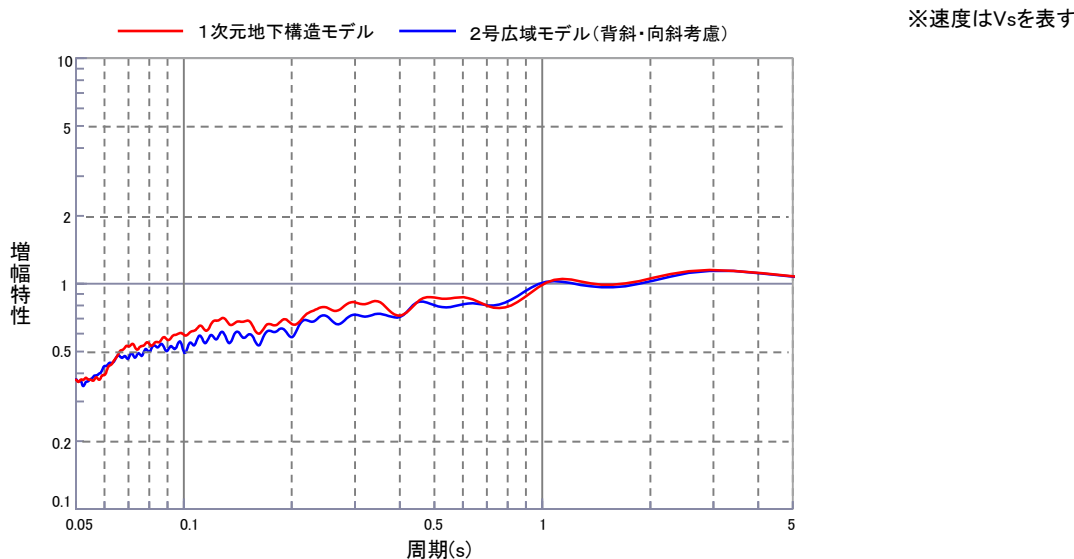
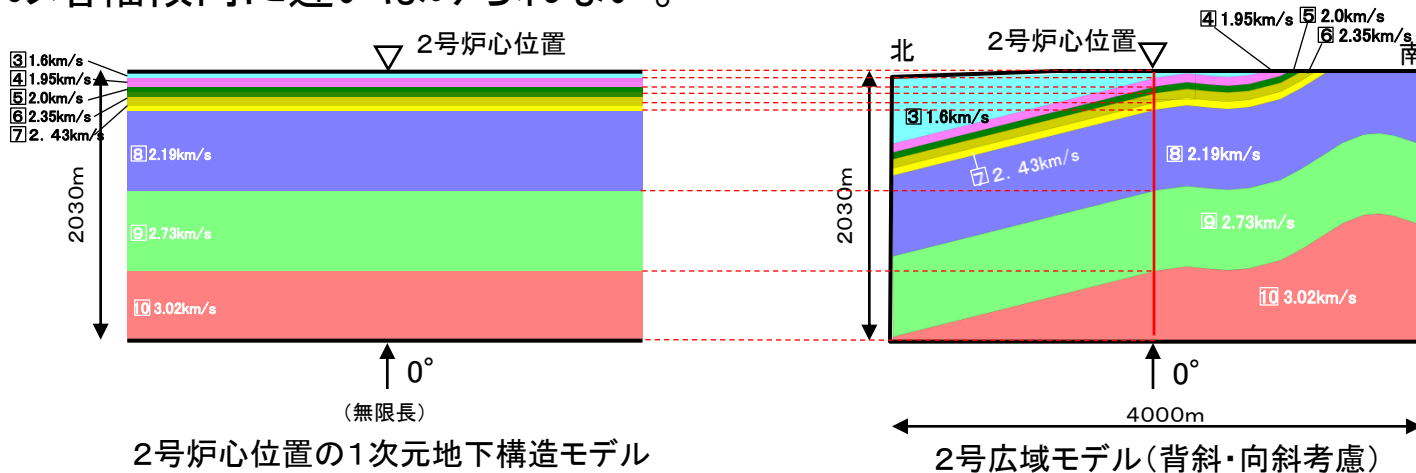
2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによる増幅特性の比較)

■ 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を鉛直(0°)及び斜め(±15°, ±30°)に入射すると, 鉛直入射の地盤増幅特性が, 斜め入射の地盤増幅特性と比較して, 同程度またはそれ以上となっており, 斜め入射を考慮しても傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。



2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮: 1次元と2次元による増幅特性の比較)

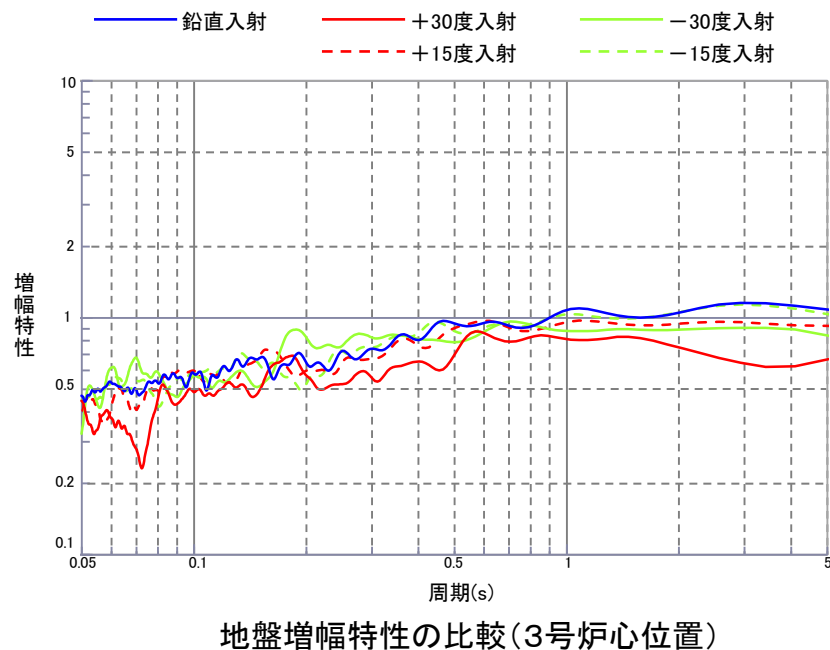
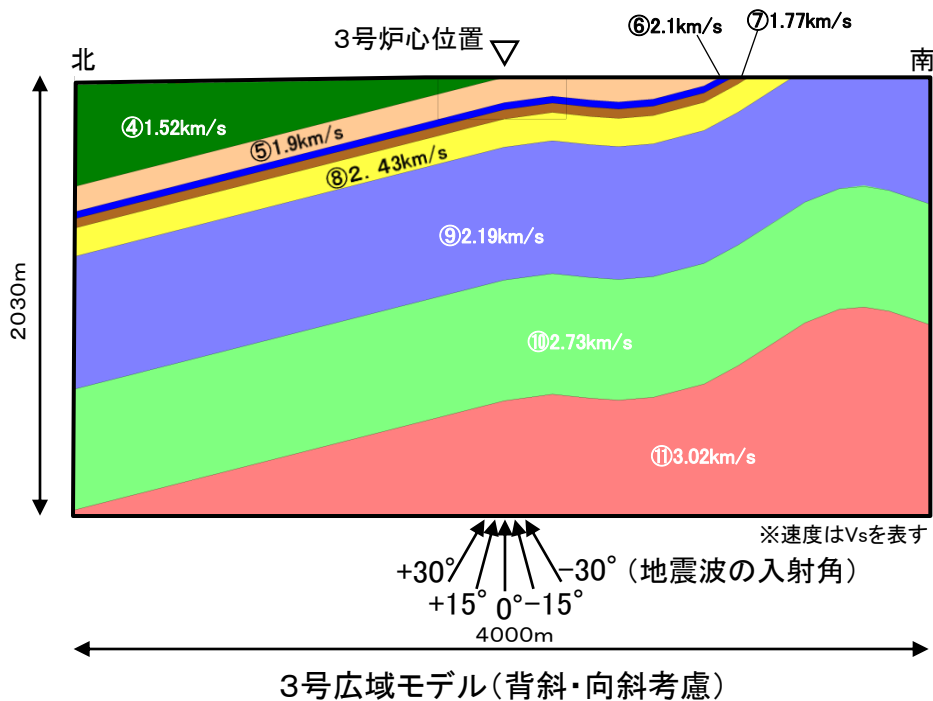
■ 2号炉心位置における1次元地下構造モデルの地盤増幅特性が、2号背斜・向斜モデルの地盤増幅特性(鉛直入射)と比較して、同程度またはそれ以上となっており、1次元と2次元の増幅傾向に違いはみられない。



地盤増幅特性の比較(2号炉心位置)

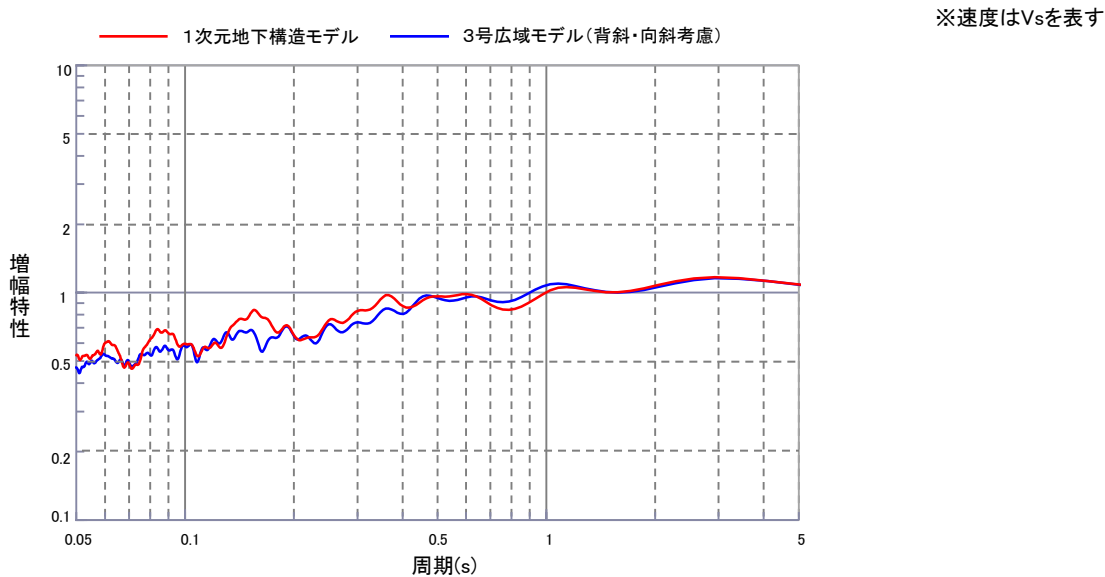
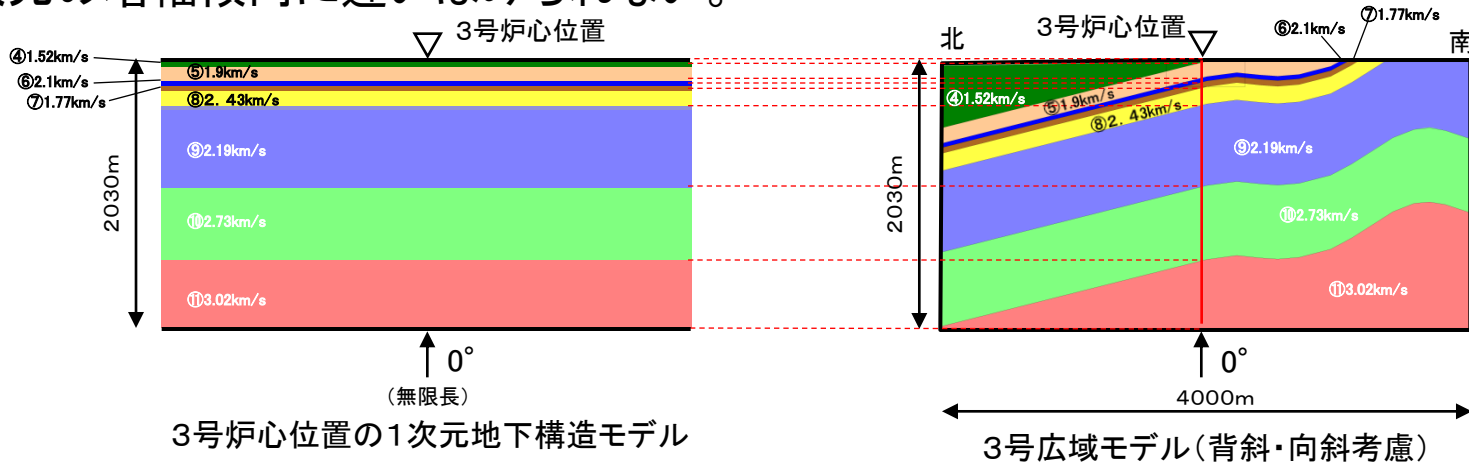
3号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによる増幅特性の比較)

■ 背斜・向斜構造を考慮した3号広域モデルに地震波を鉛直(0°)及び斜め($\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$)に入射すると, 鉛直入射の地盤増幅特性が, 斜め入射の地盤増幅特性と比較して, 同程度またはそれ以上となっており, 斜め入射を考慮しても傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。



3号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮: 1次元と2次元による増幅特性の比較)

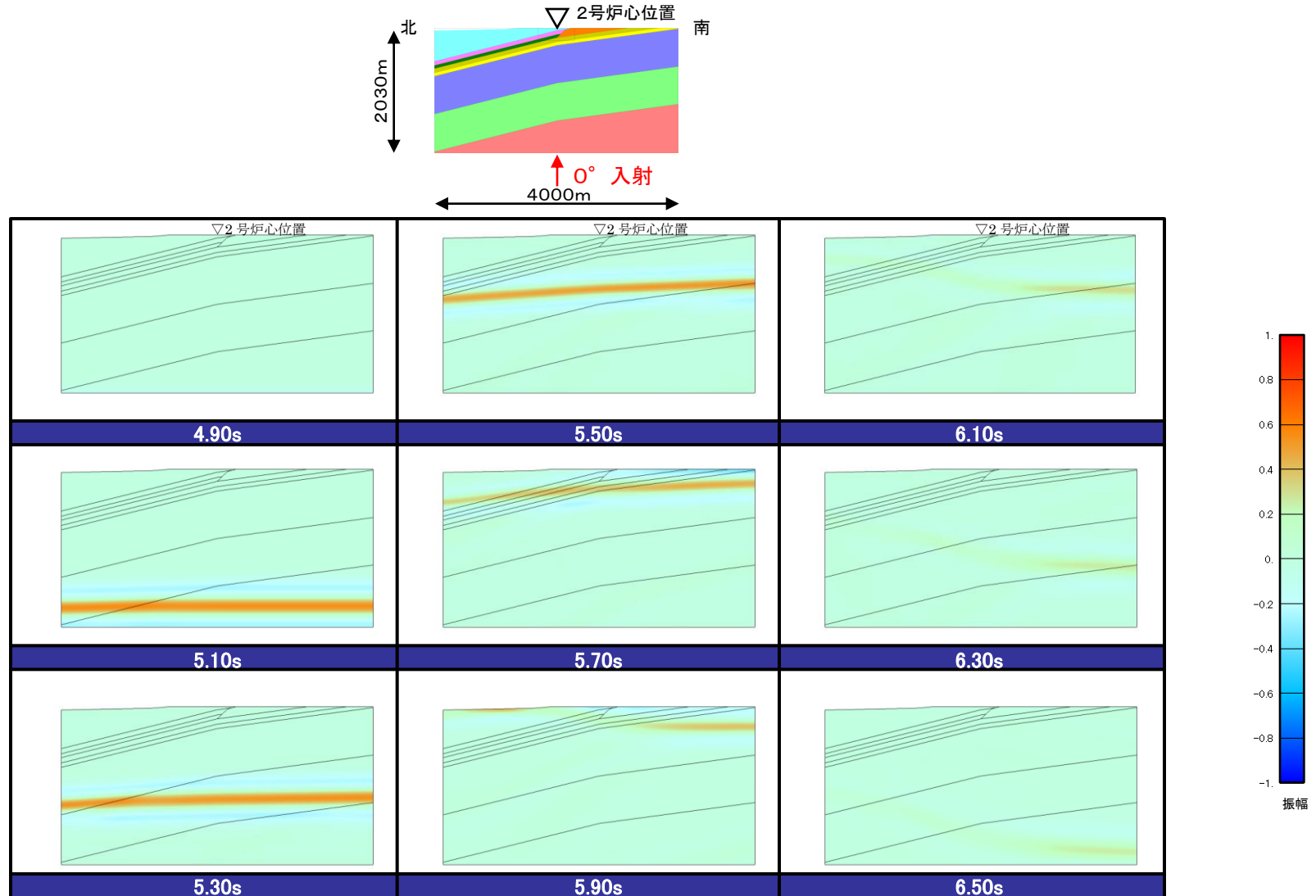
■ 3号炉心位置における1次元地下構造モデルの地盤増幅特性が, 3号背斜・向斜モデルの地盤増幅特性(鉛直入射)と比較して, 同程度またはそれ以上となっており, 1次元と2次元の増幅傾向に違いはみられない。



地盤増幅特性の比較(3号炉心位置)

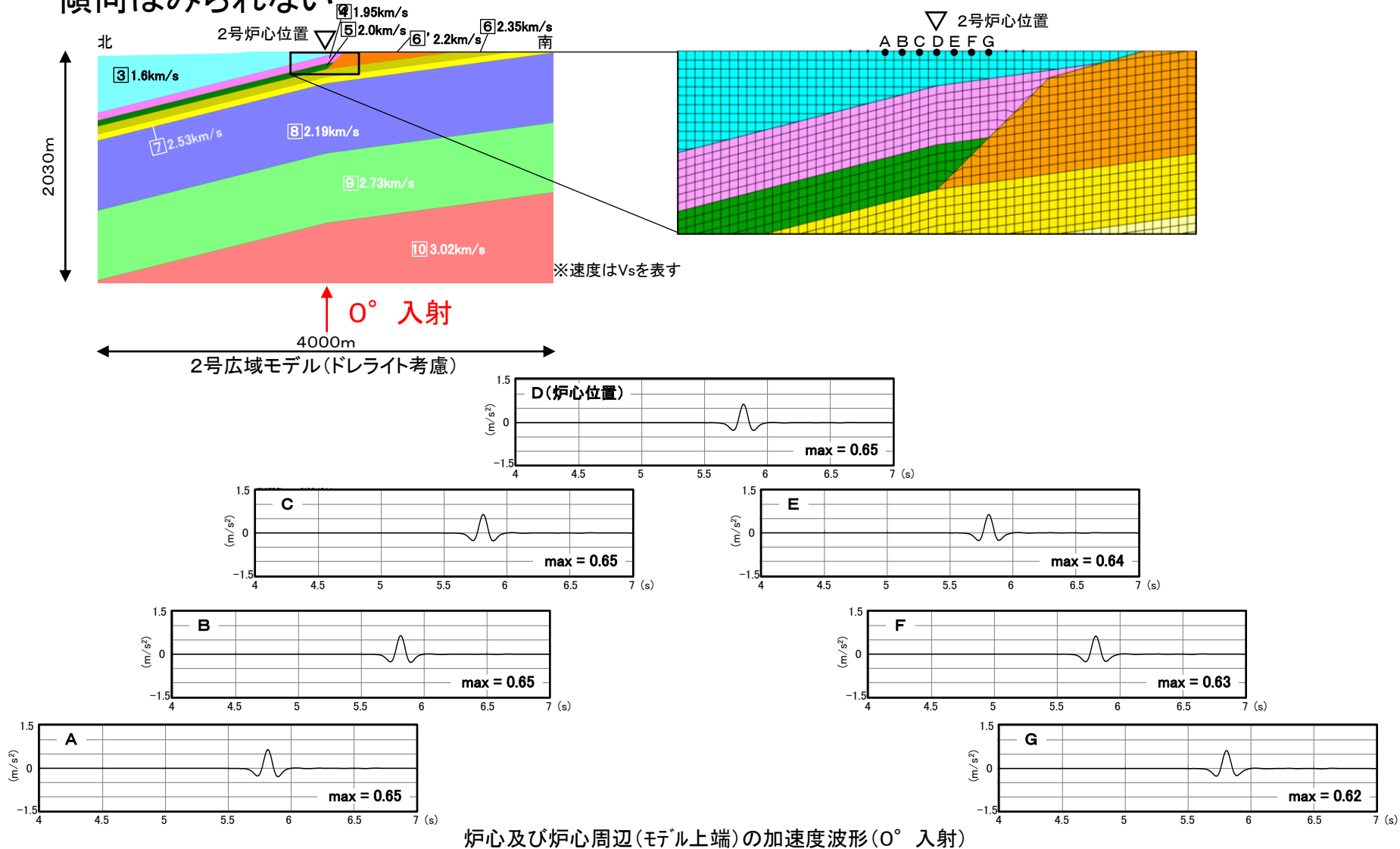
2号広域モデルの検討(ドレライト考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

- ドレライトを考慮した2号広域モデルに地震波を鉛直(0°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。

Ricker波による検討結果(0° 入射)

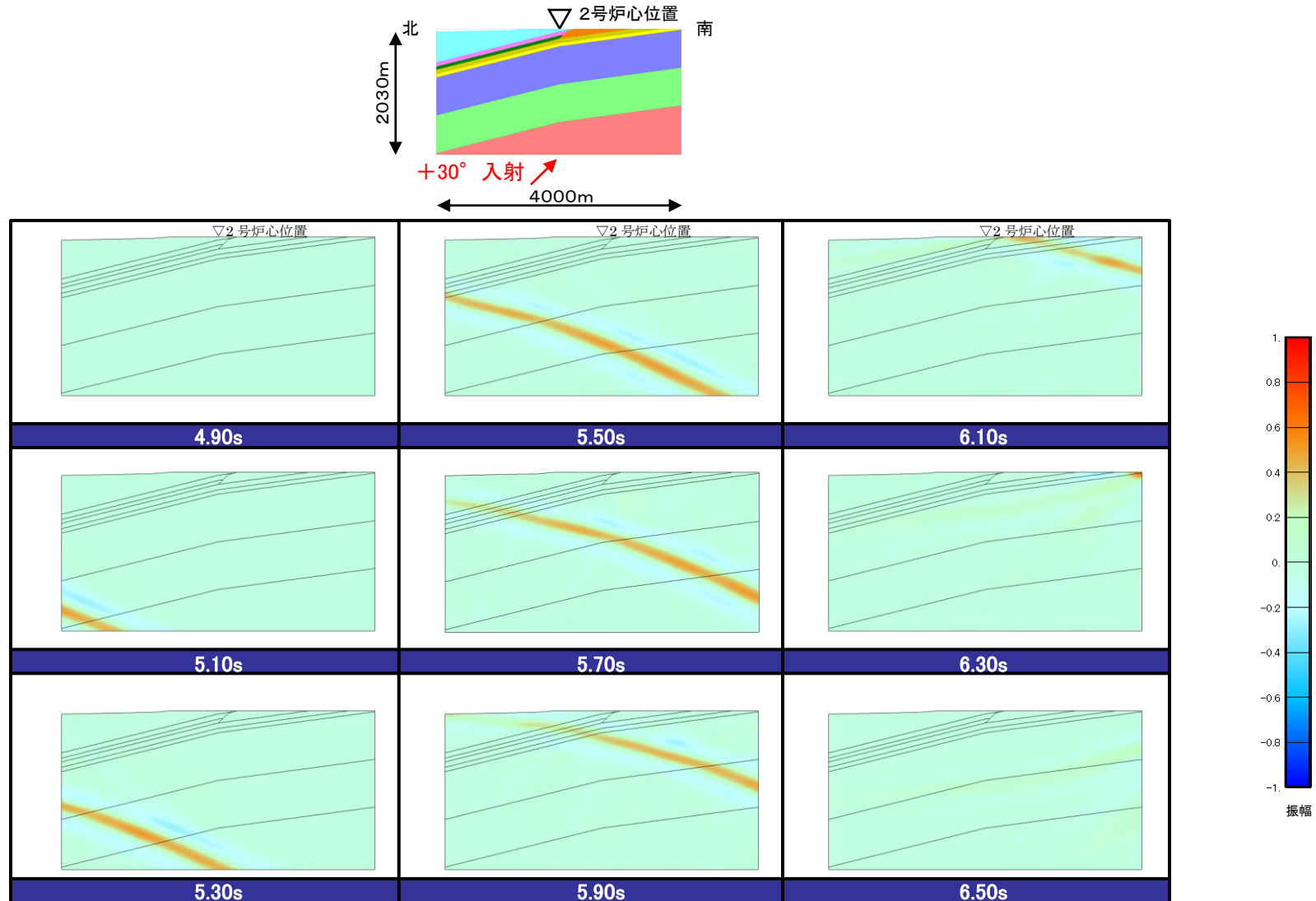
2号広域モデルの検討(ドレイフト考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ ドレイフトを考慮した2号広域モデルに地震波を鉛直(0°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない



2号広域モデルの検討(ドレイト考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

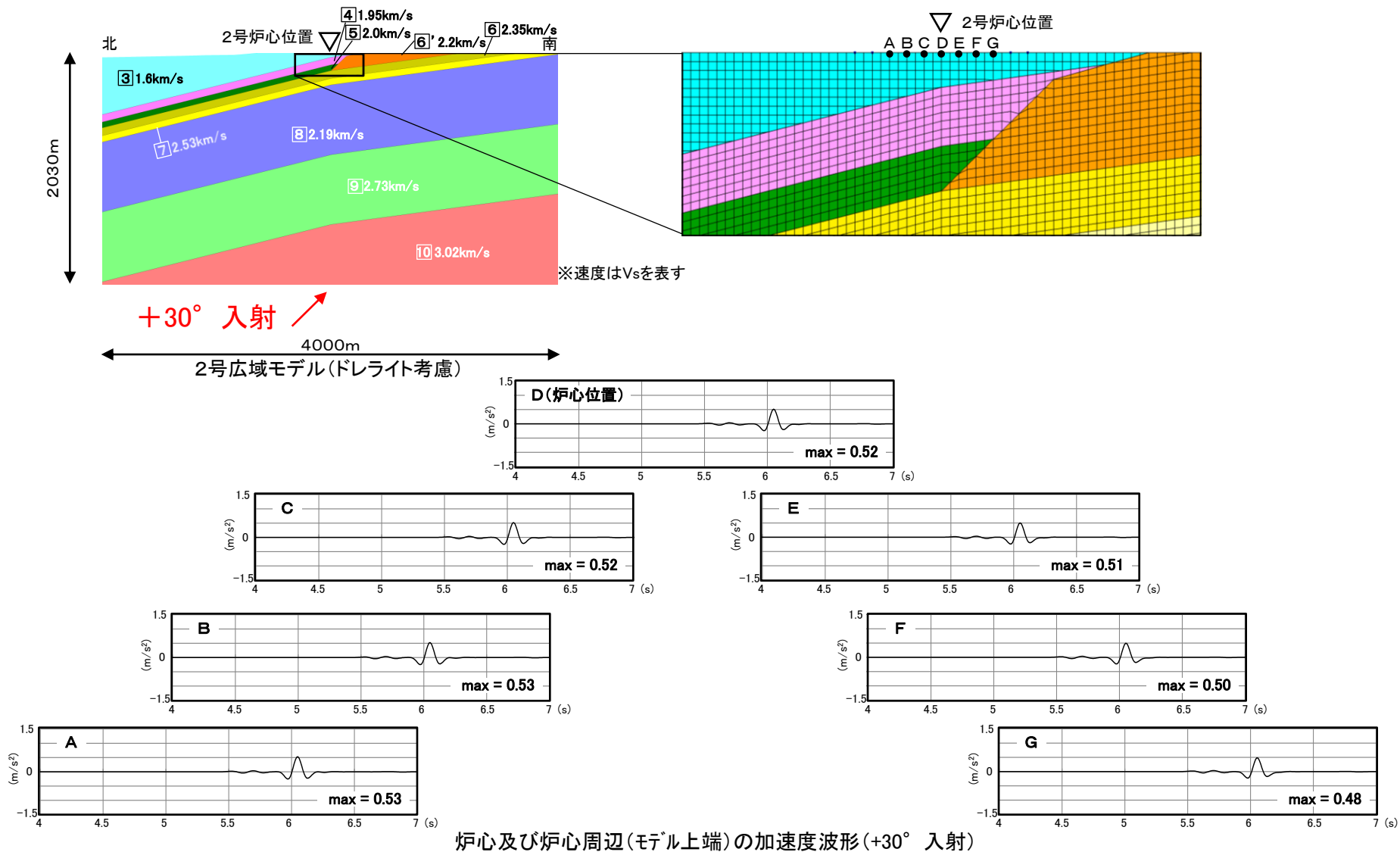
- ドレイトを考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(+30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(+30° 入射)

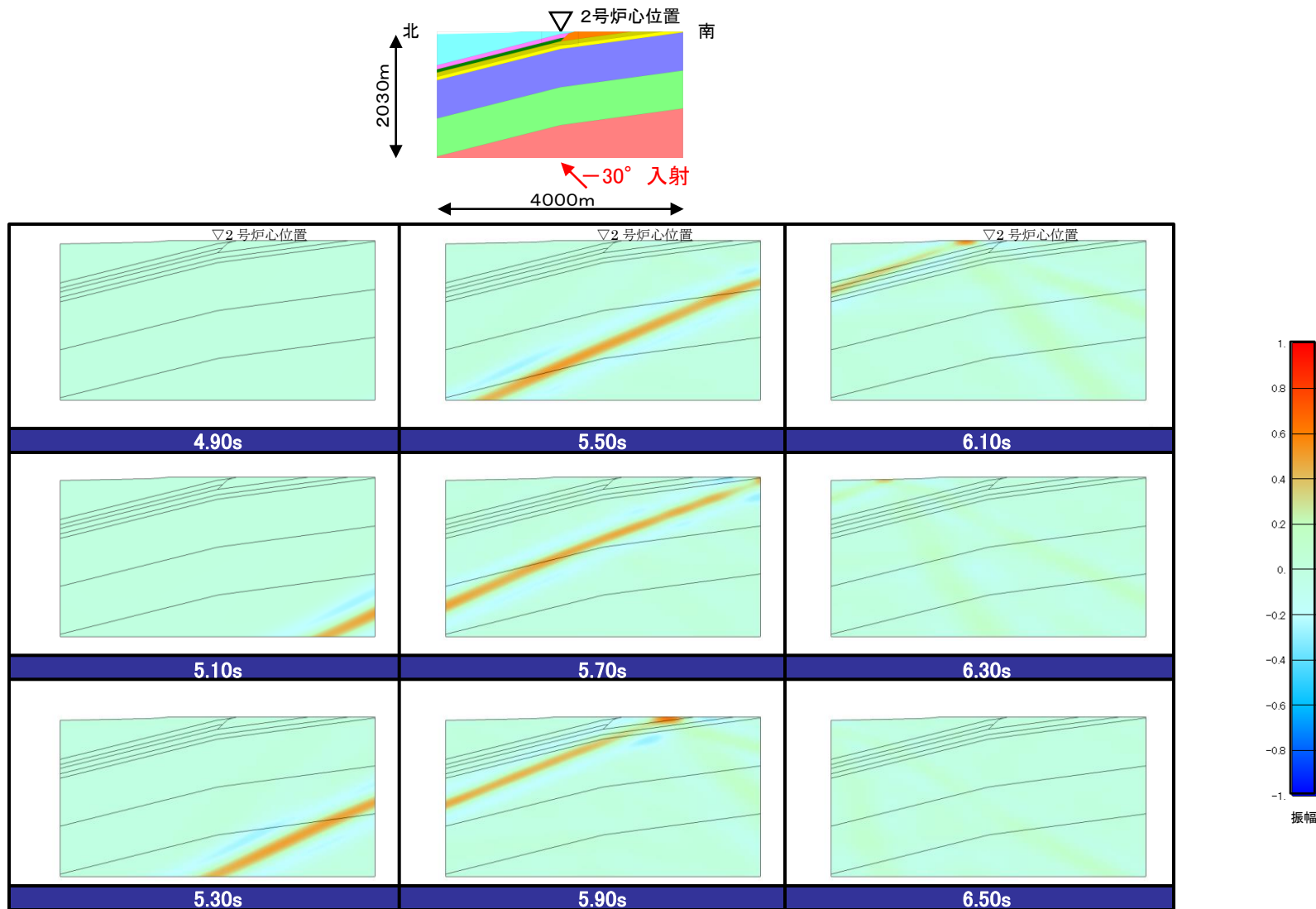
2号広域モデルの検討(ドレライト考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ ドレライトを考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(+30°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



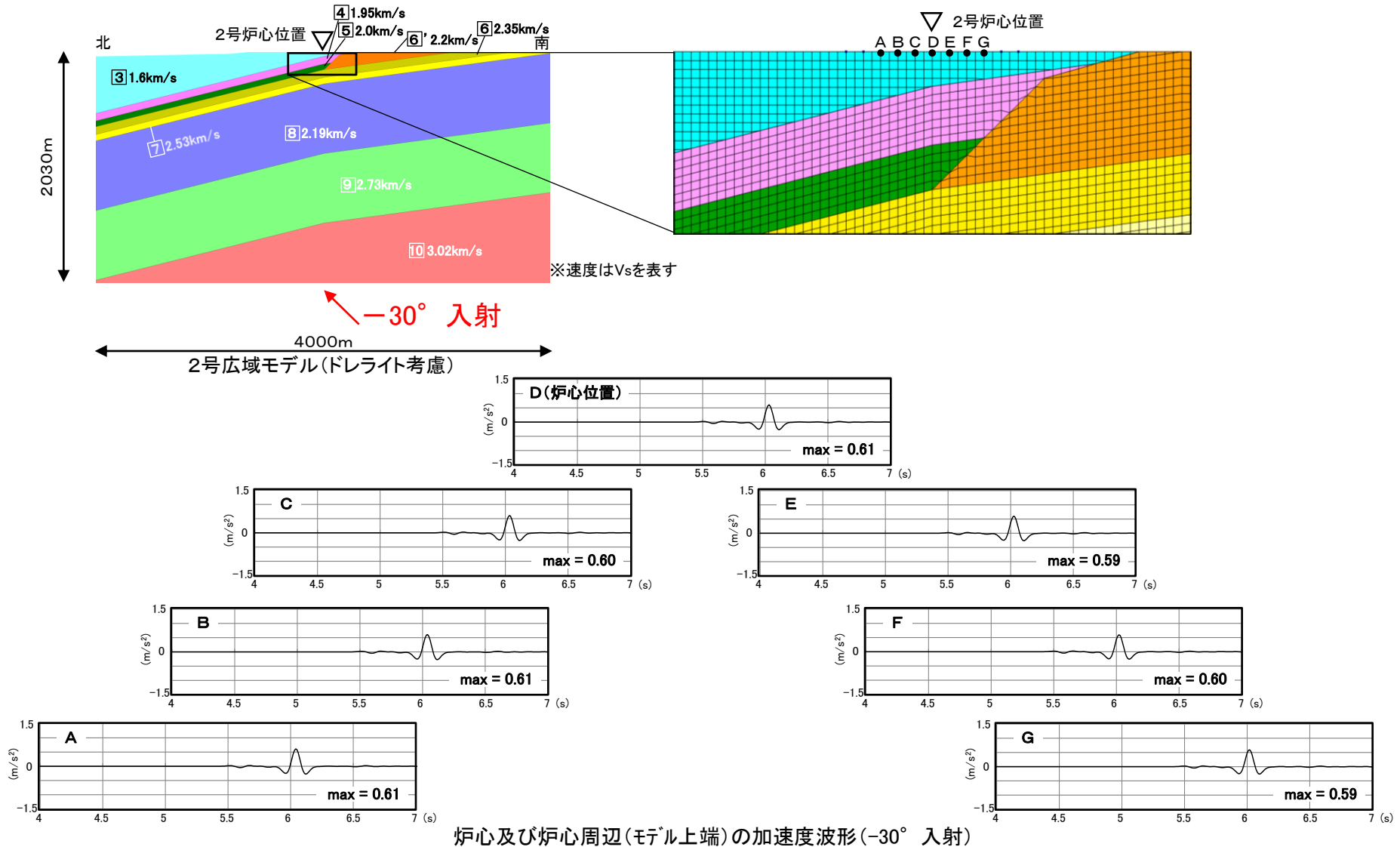
2号広域モデルの検討(ドレイト考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

- ドレイトを考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(-30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な傾向はみられない。

Ricker波による検討結果(-30° 入射)

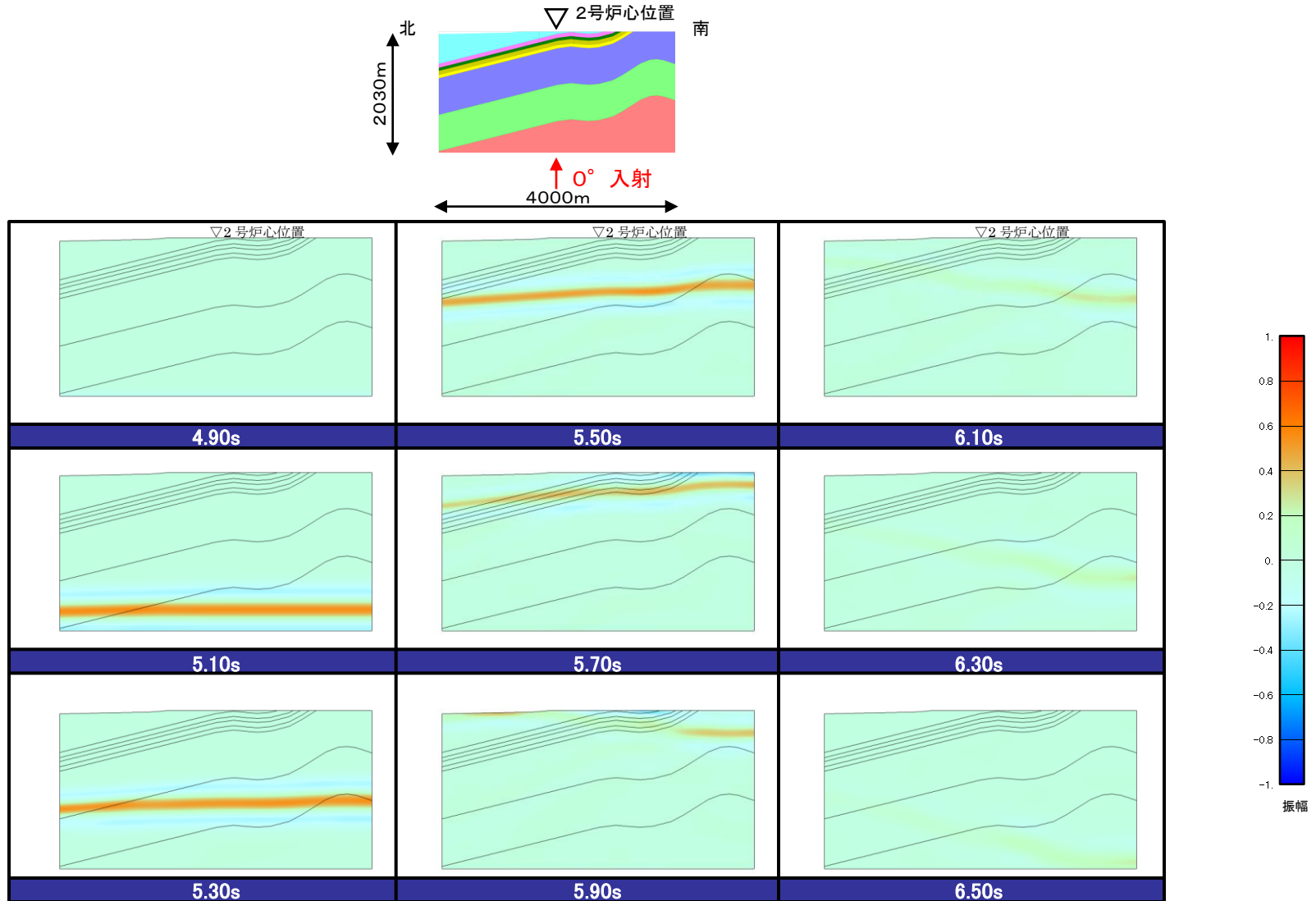
2号広域モデルの検討(ドレライト考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ ドレライトを考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(-30°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

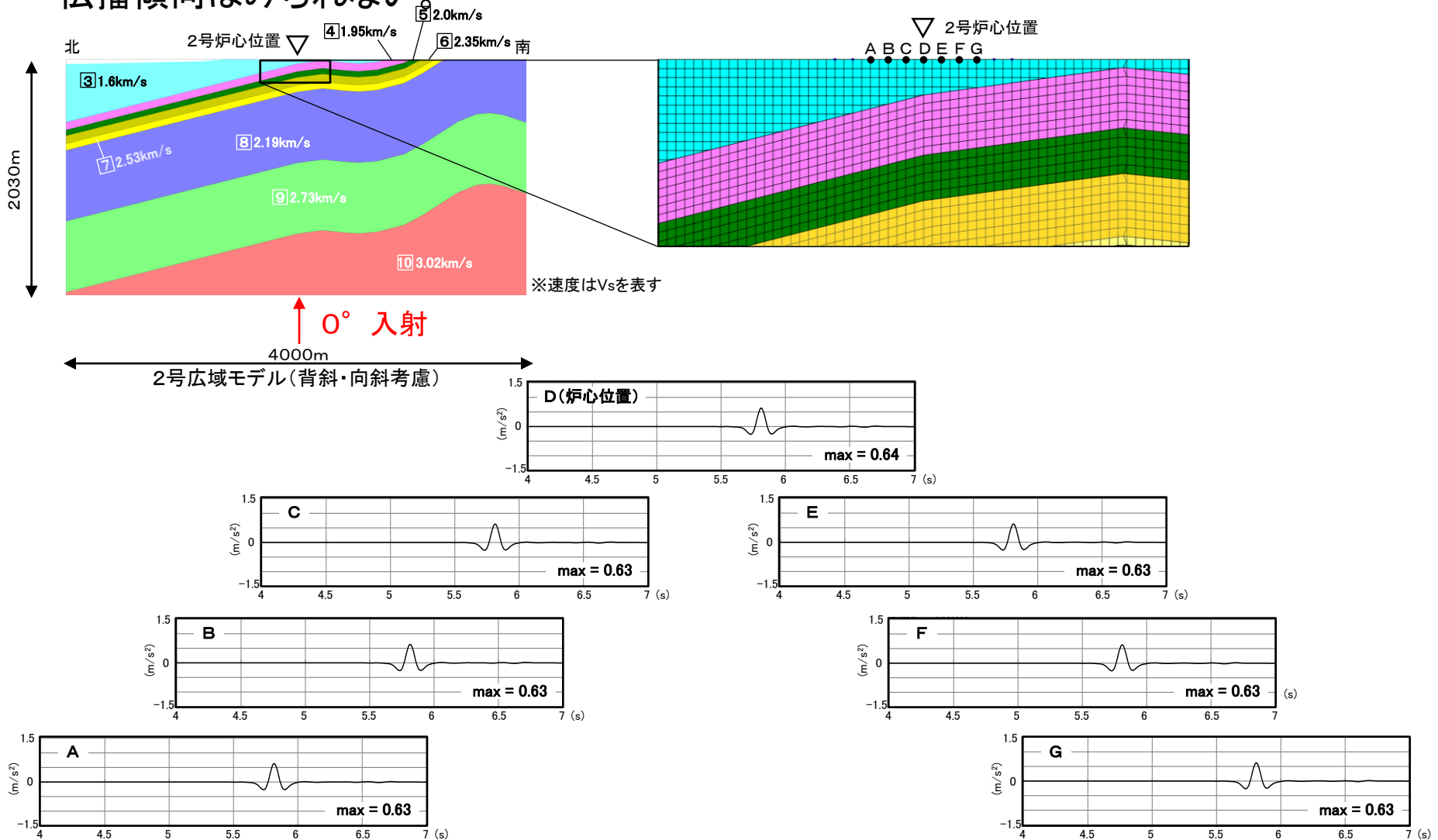
- 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を鉛直(0°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(0° 入射)

2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

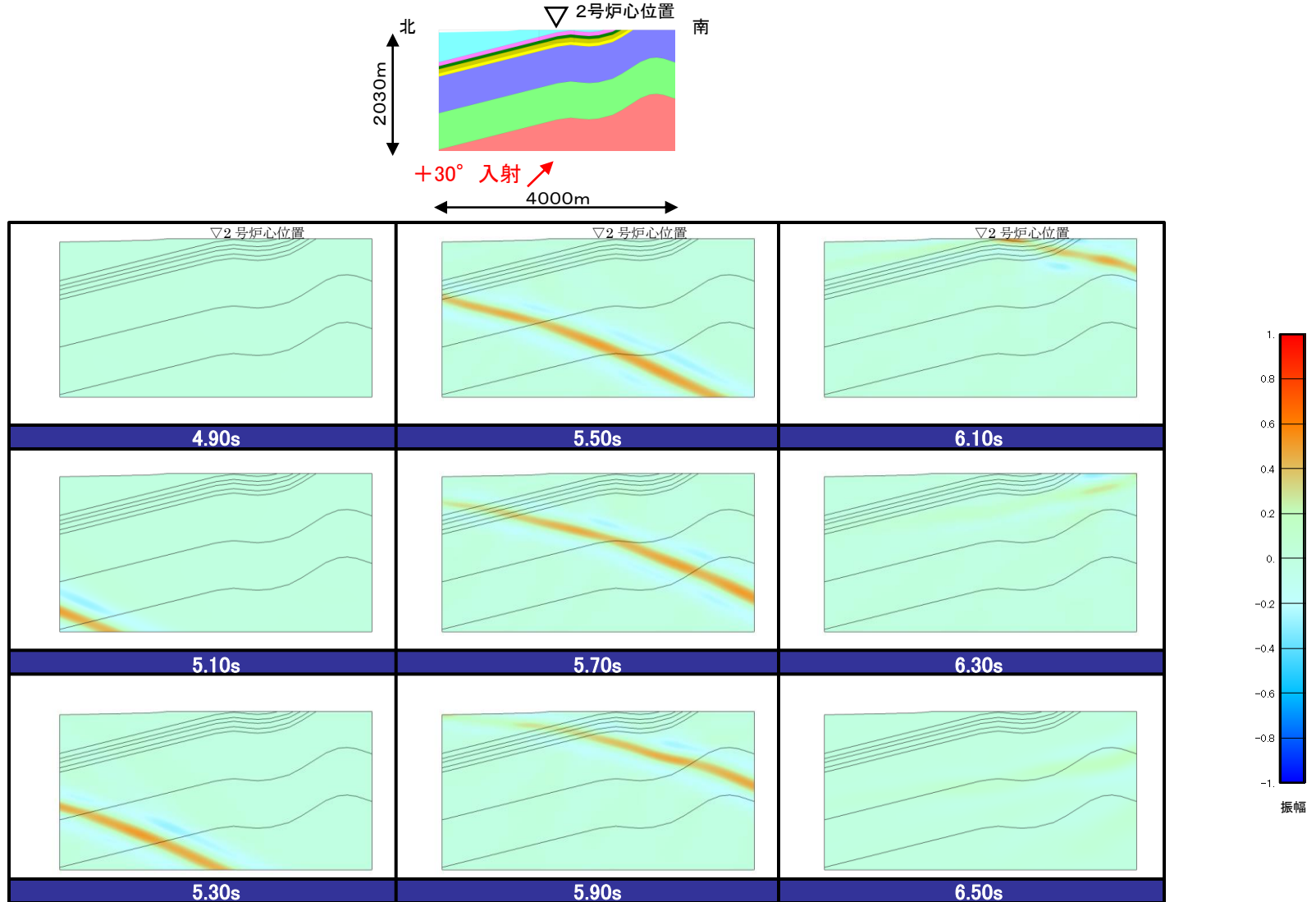
■ 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を鉛直(0°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない



炉心及び炉心周辺(モデル上端)の加速度波形(0° 入射)

2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

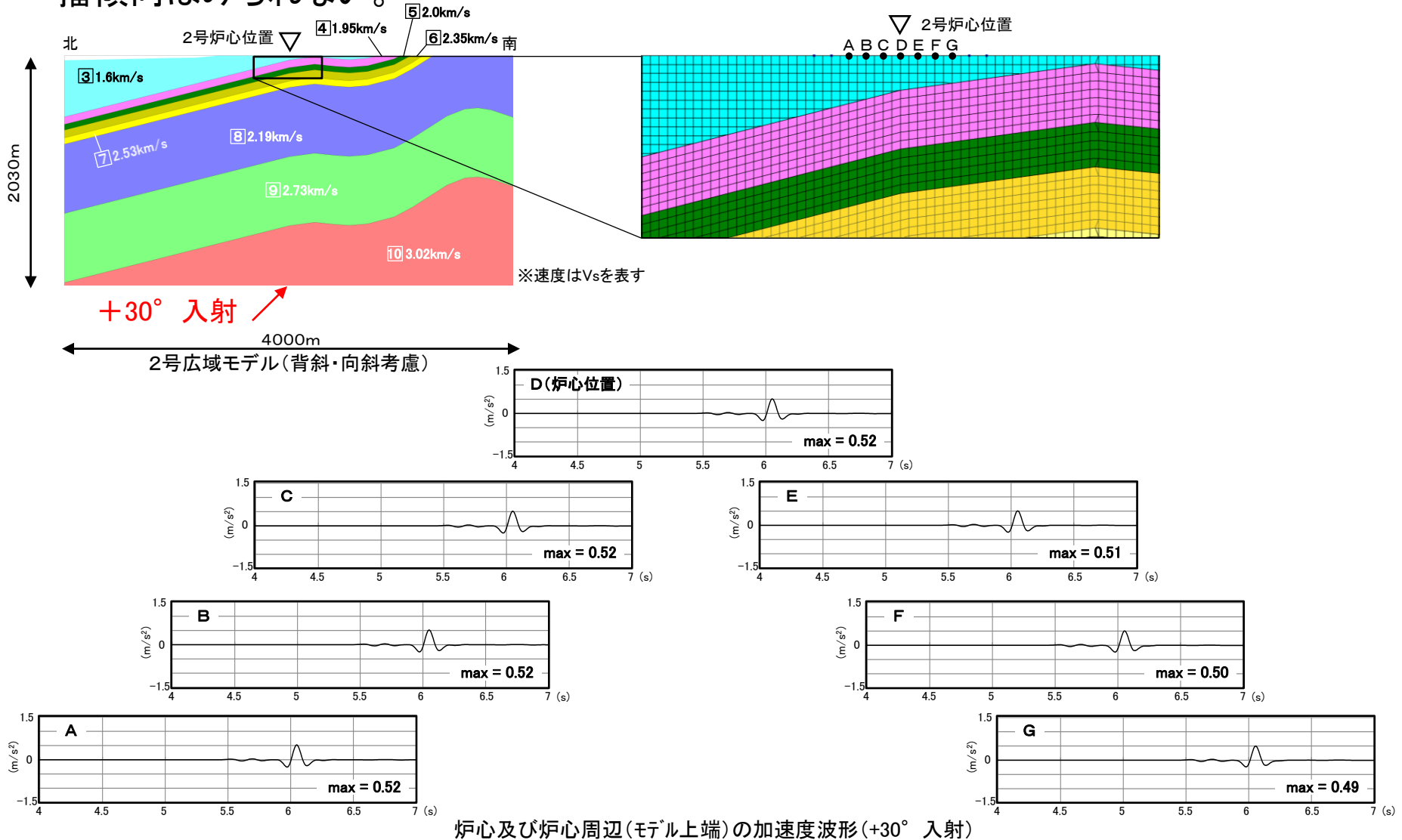
- 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(+30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(+30° 入射)

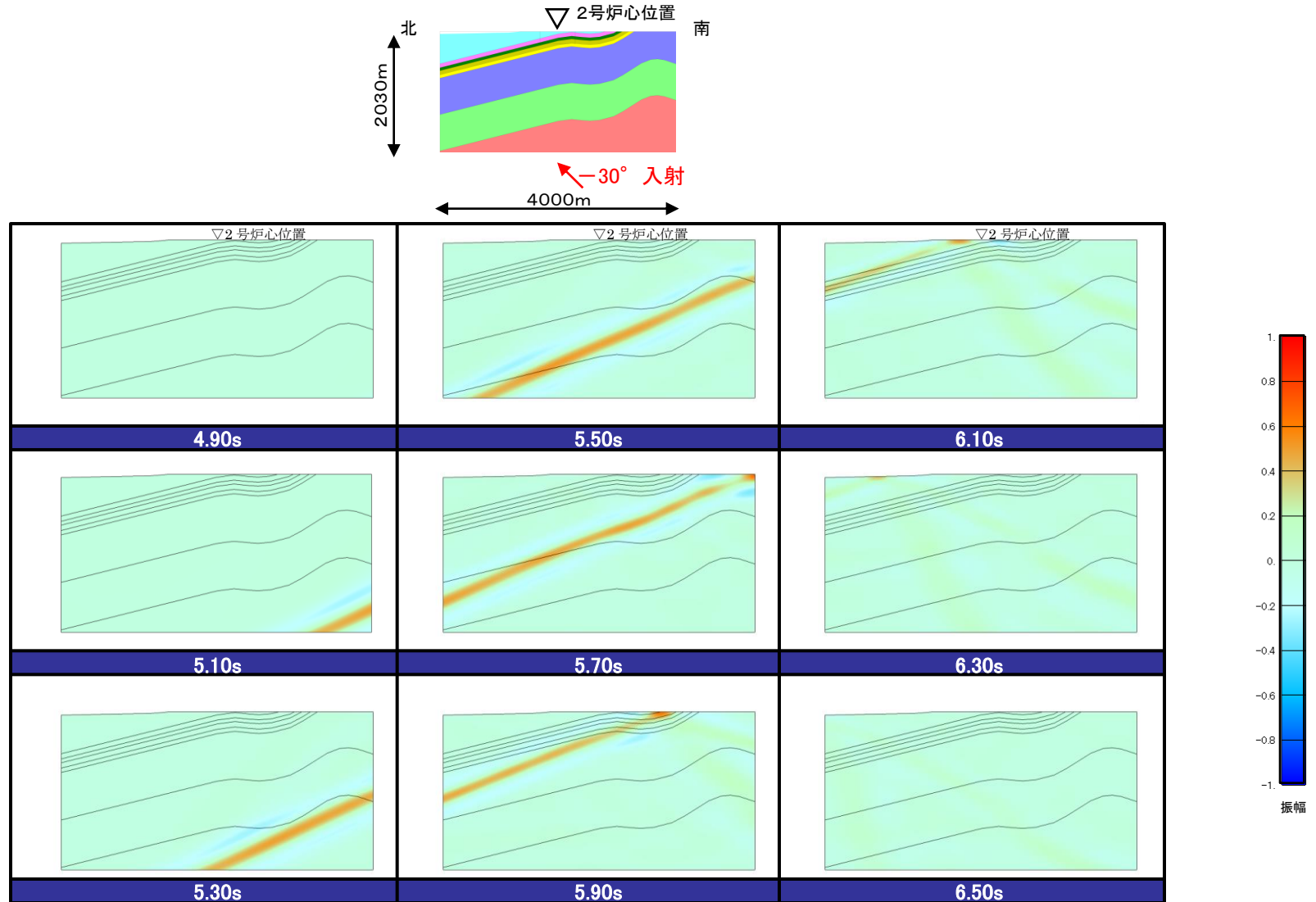
2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(+30°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

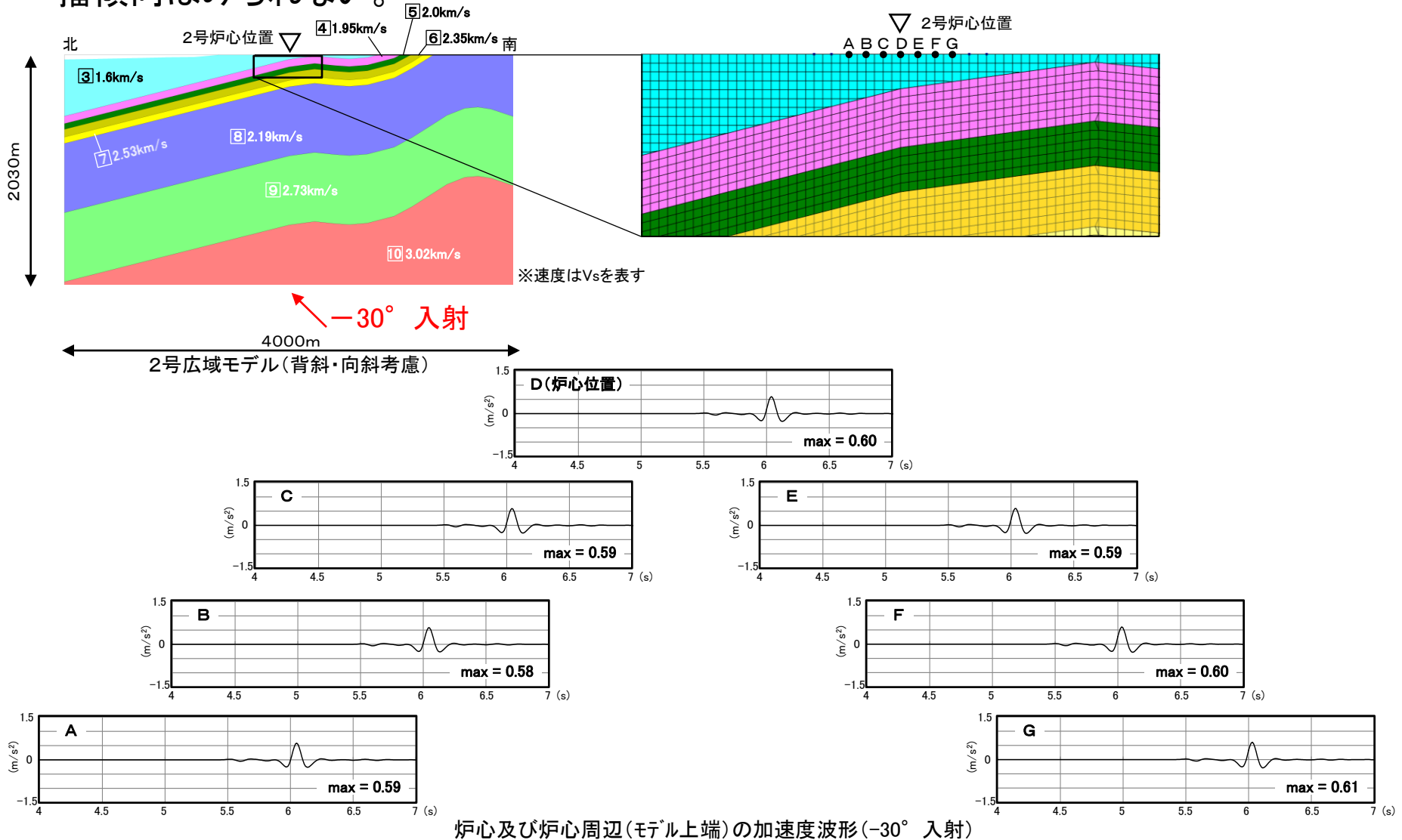
- 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(-30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(-30° 入射)

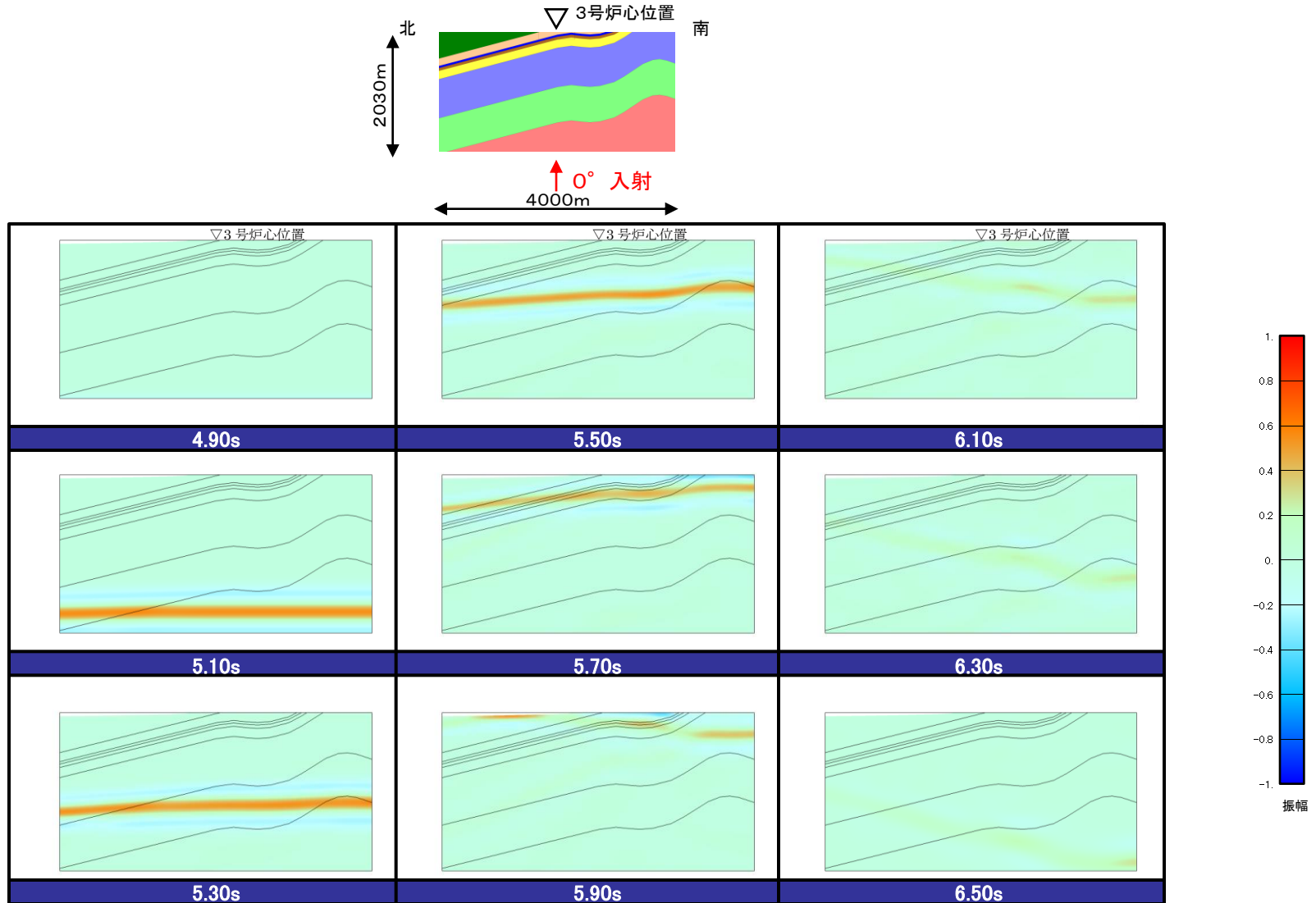
2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(-30°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



3号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

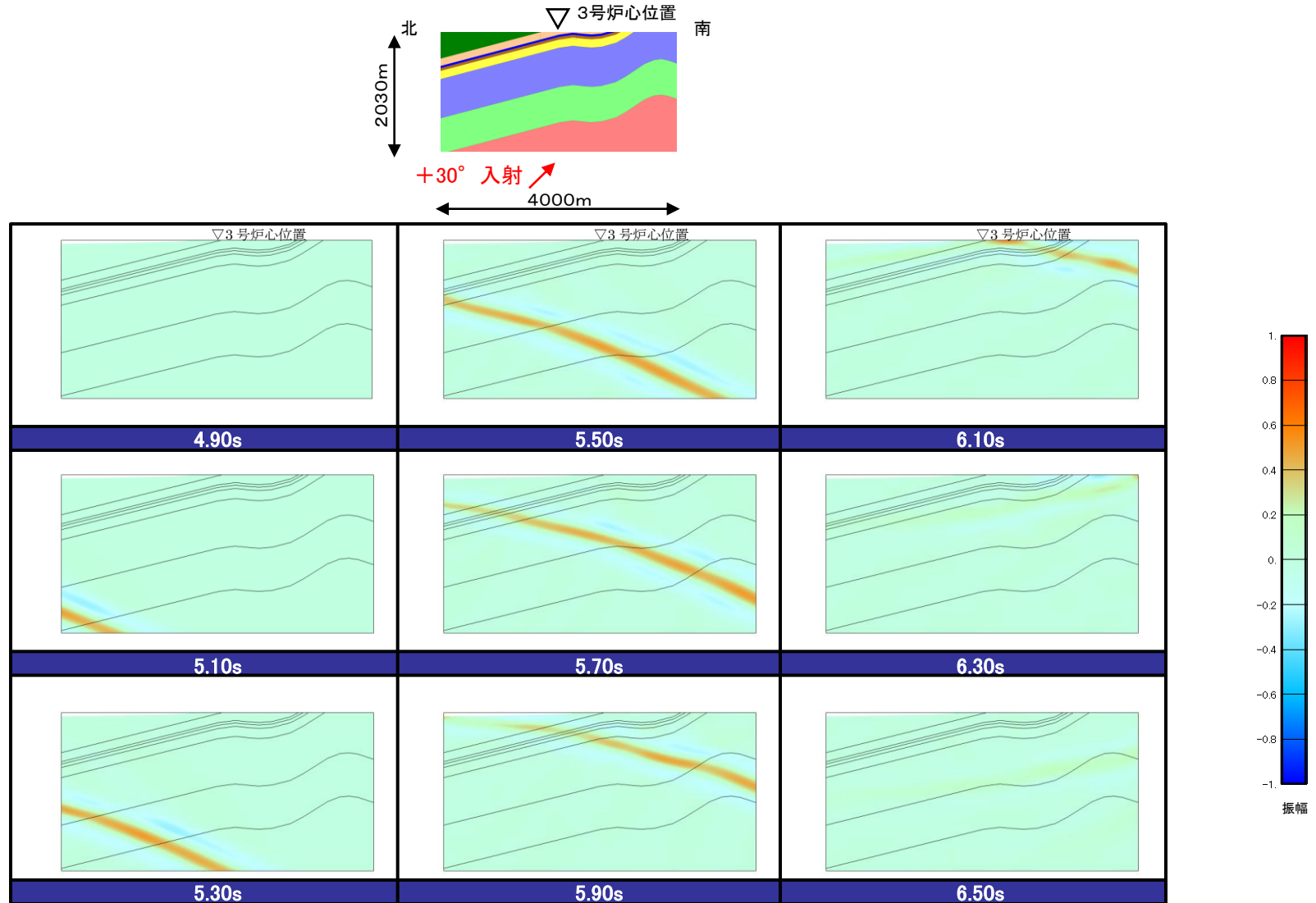
■ 背斜・向斜構造を考慮した3号広域モデルに地震波を鉛直(0°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(0° 入射)

3号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

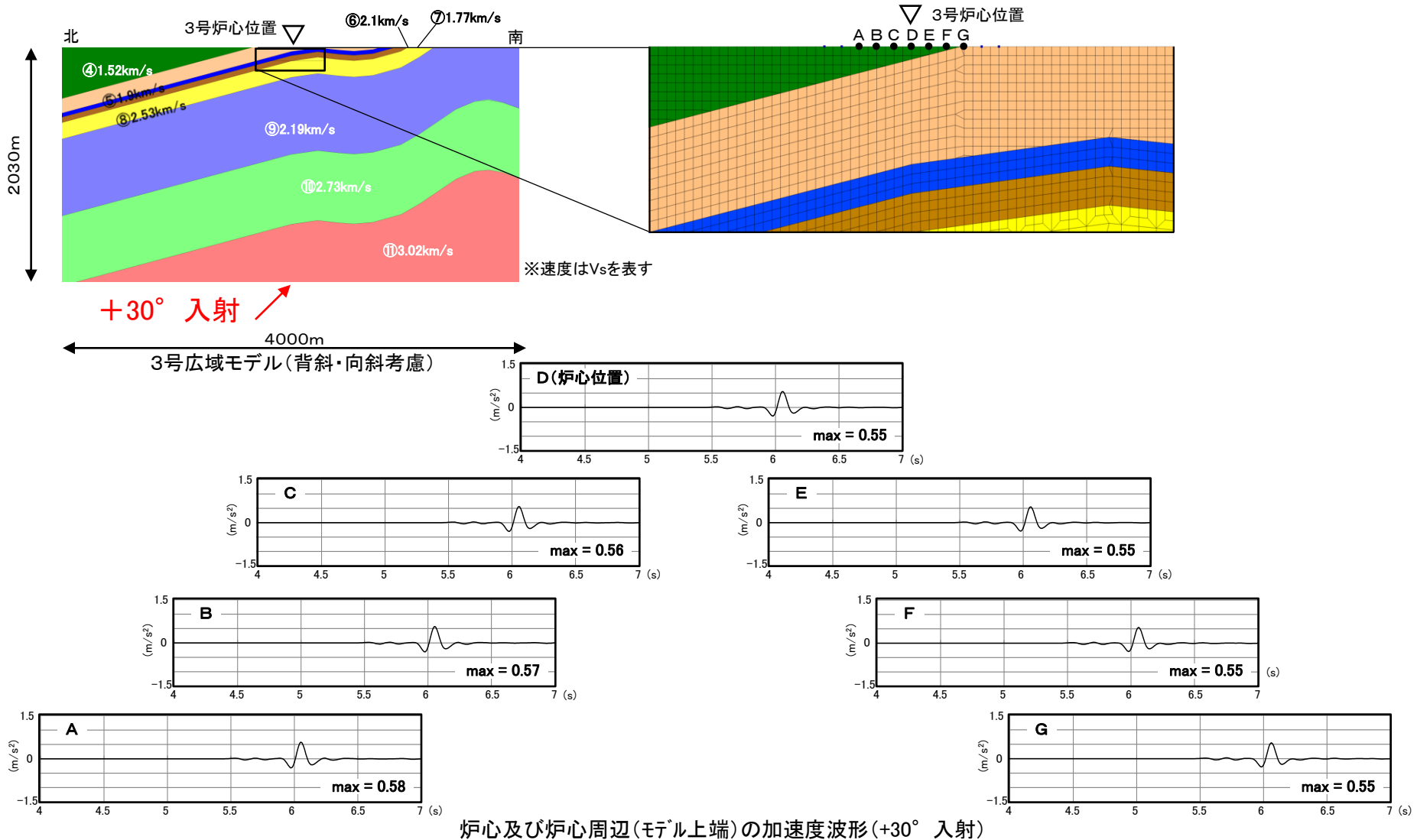
- 背斜・向斜構造を考慮した3号広域モデルに地震波を斜め(+30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(+30° 入射)

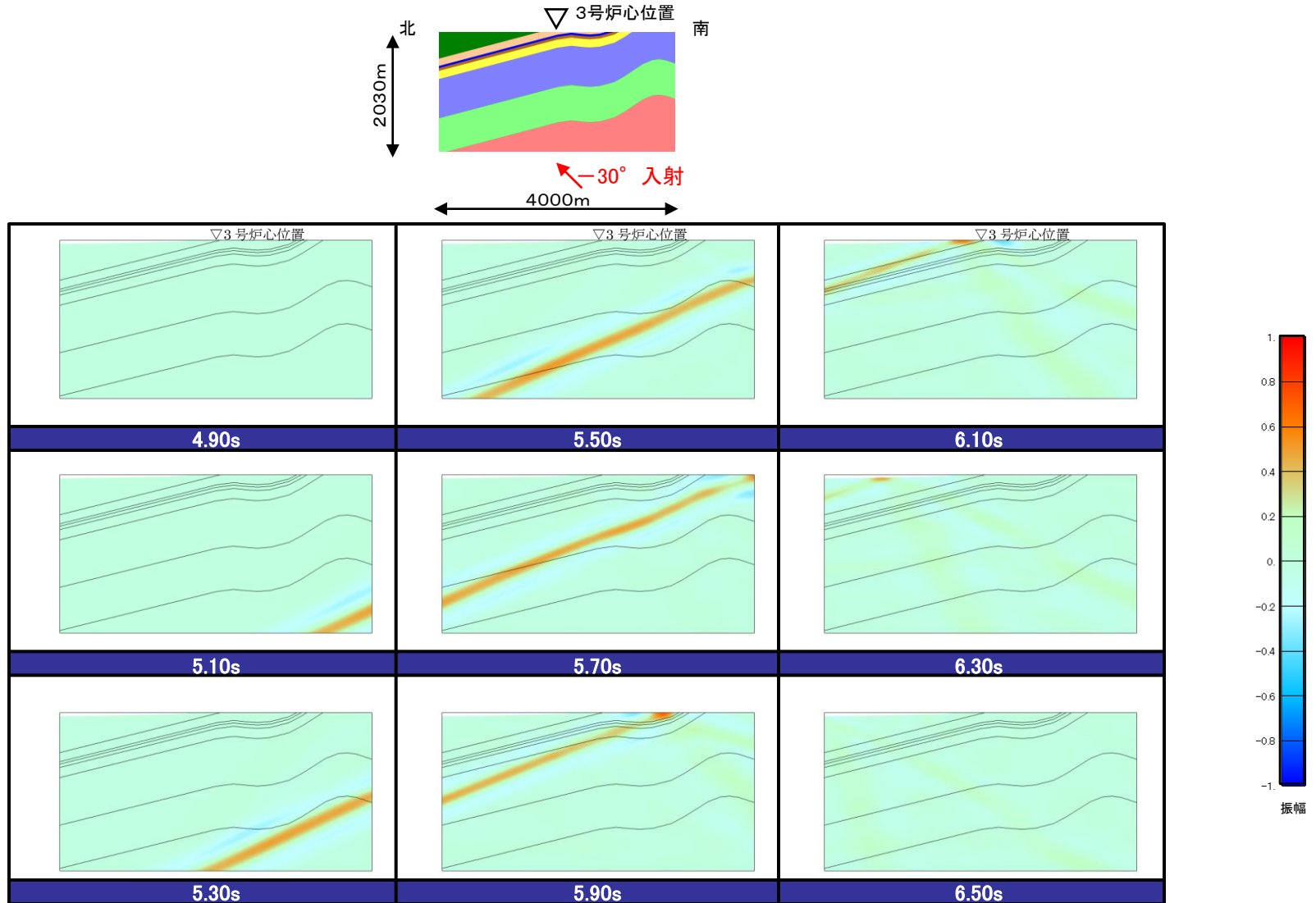
3号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ 背斜・向斜構造を考慮した3号広域モデルに地震波を斜め(+30°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



3号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

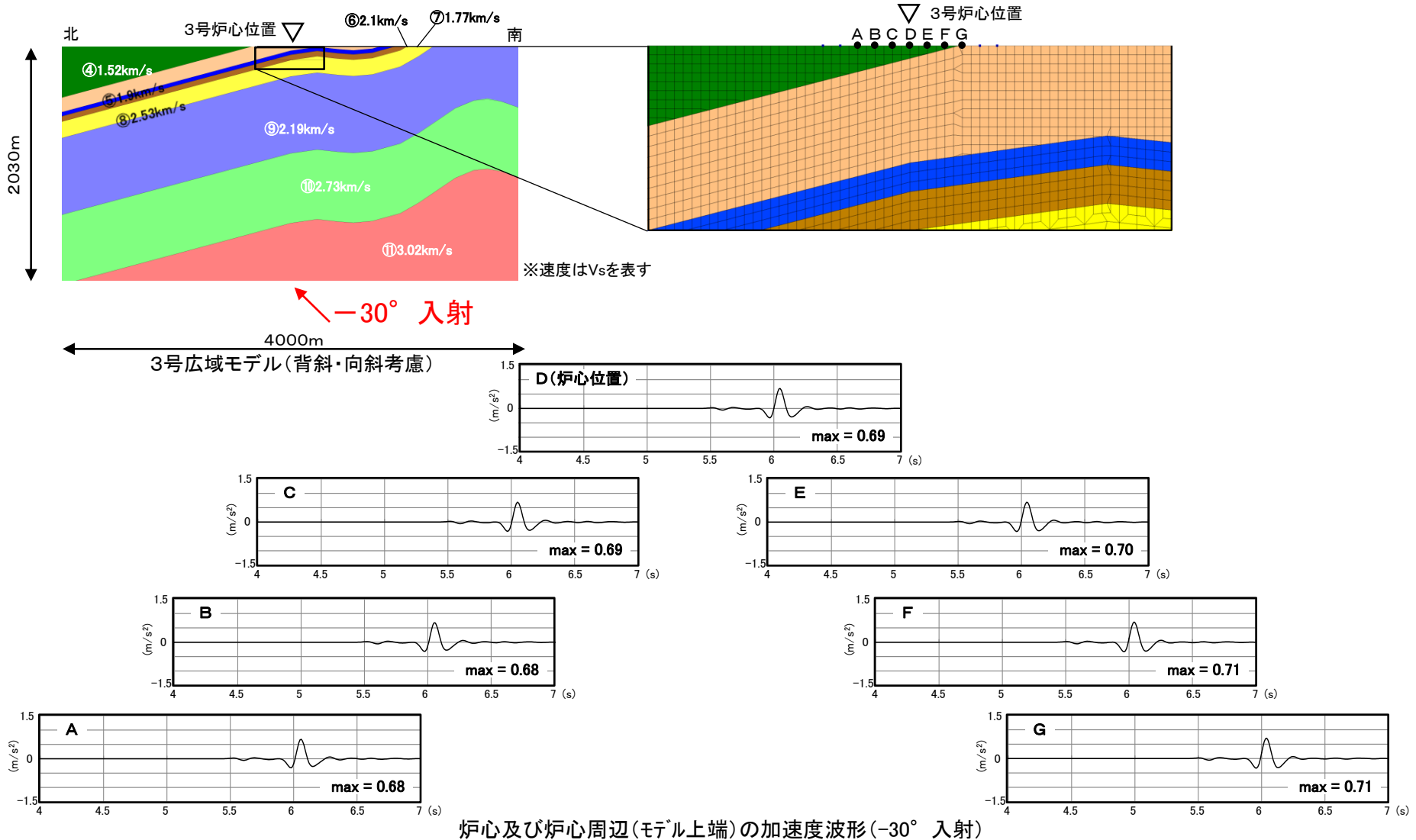
- 背斜・向斜構造を考慮した3号広域モデルに地震波を斜め(-30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(-30° 入射)

3号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

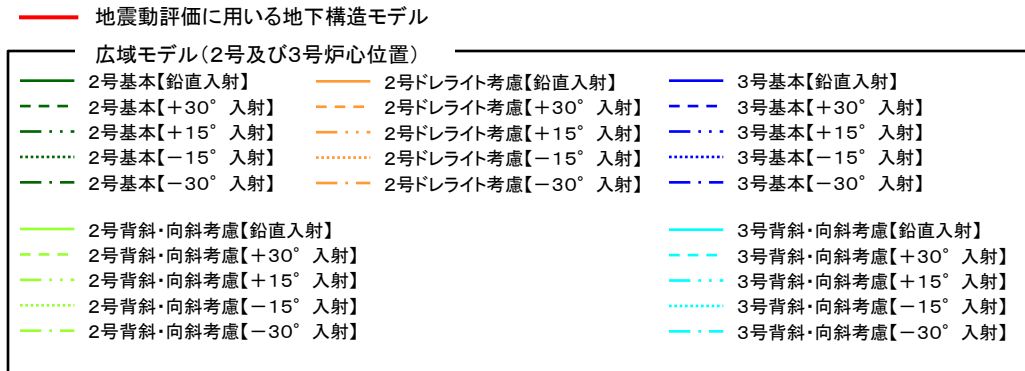
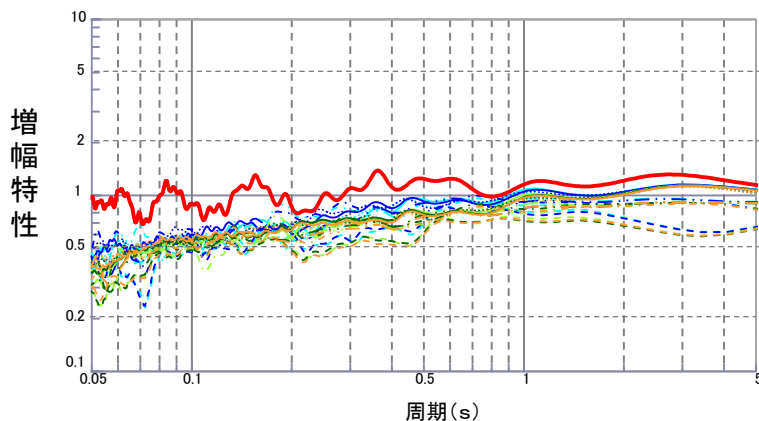
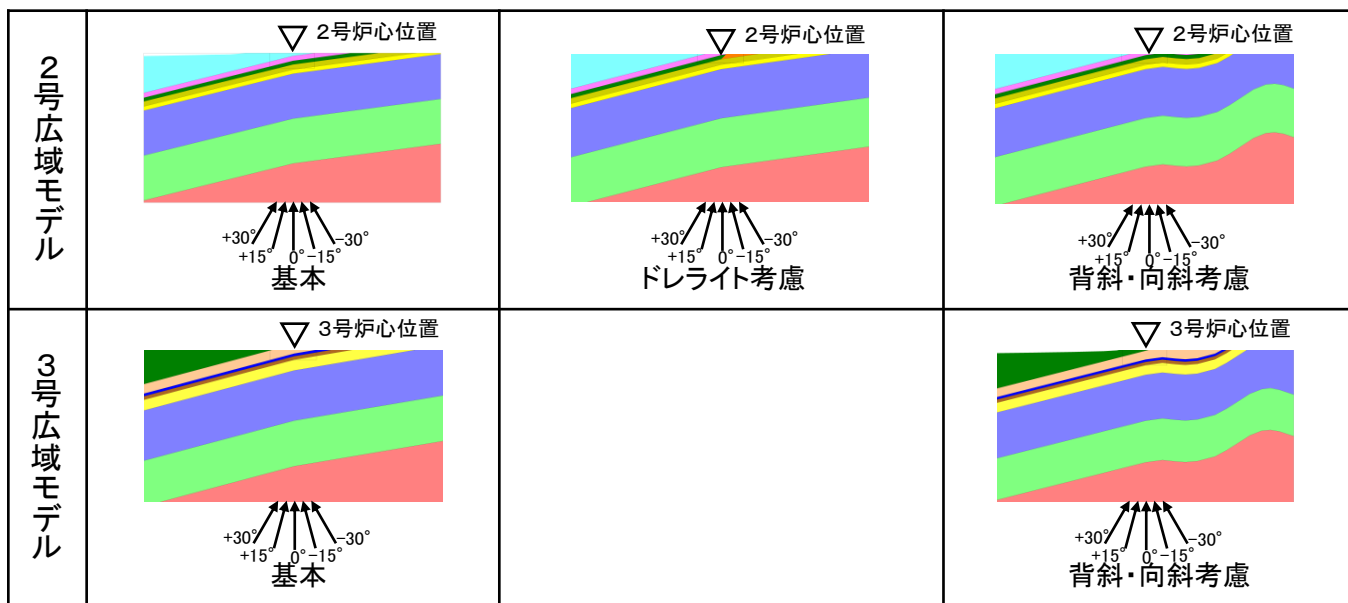
■ 背斜・向斜構造を考慮した3号広域モデルに地震波を斜め(-30°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



地震動評価に用いる地下構造モデル(減衰定数の保守性確認)

第204回審査会合資料1 P149 再掲

■ 地震動評価に用いる地下構造モデルの地盤増幅特性は、南北方向の傾斜構造の影響を検討した以下の2次元地下構造モデルの地盤増幅特性(鉛直及び斜め入射)よりも大きくなっているため、設定した地下構造モデルの地盤増幅特性は安全側の評価であることを確認した。

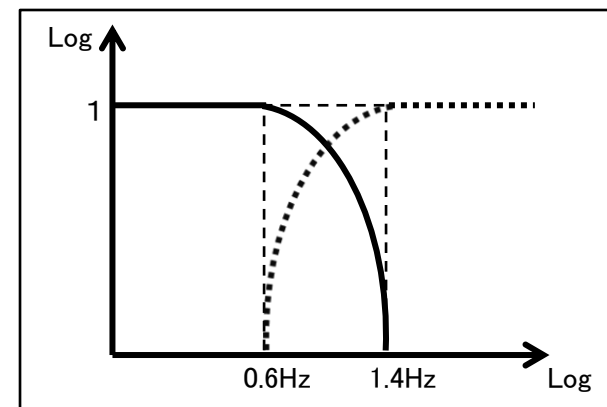
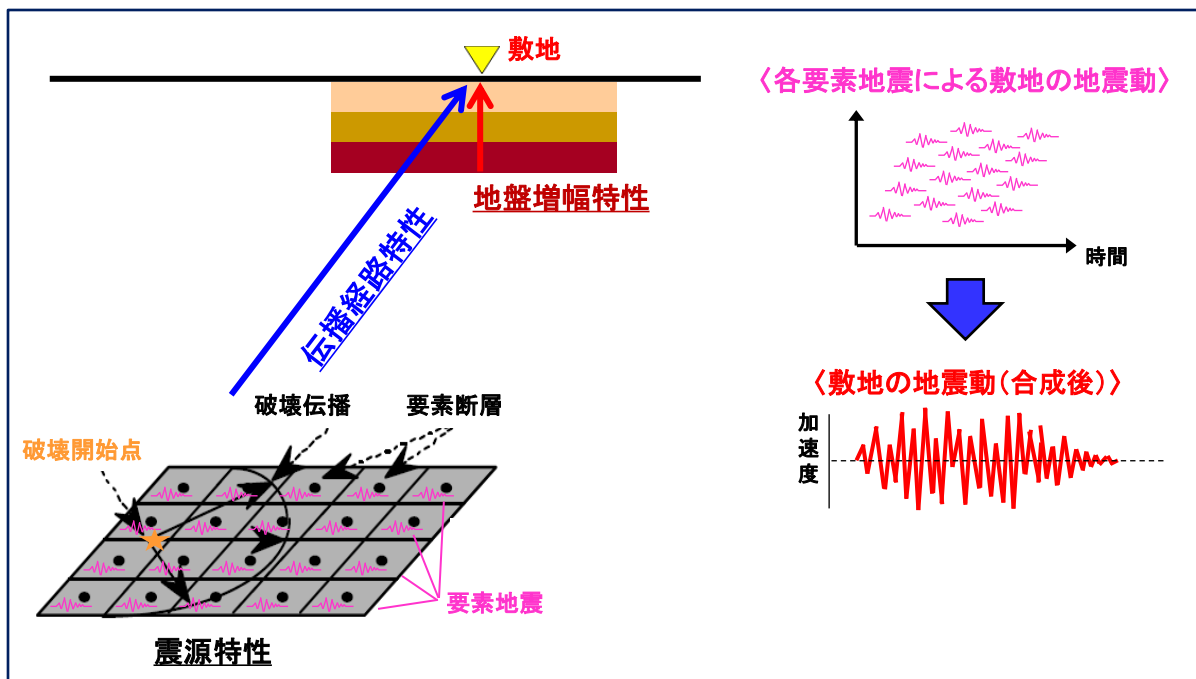


地盤増幅特性(解放基盤表面/地震基盤面)の比較

3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

断層モデルによる地震動評価 1/4

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、震源断層の位置に設定する要素地震(SH波及びSV波)毎に伝播経路特性及び地盤増幅特性を考慮して敷地の地震動を評価し、各地震動を合成して震源断層全体による敷地の地震動を評価する。
- ハイブリッド合成時のフィルターは、統計的グリーン関数法と理論的手法の地震動評価結果が同程度のレベルになる0.6~1.4Hzを遷移周波数帯とし、相補的に低減するフィルター(マッチングフィルター)を用いる。



ハイブリッド合成時のマッチングフィルター

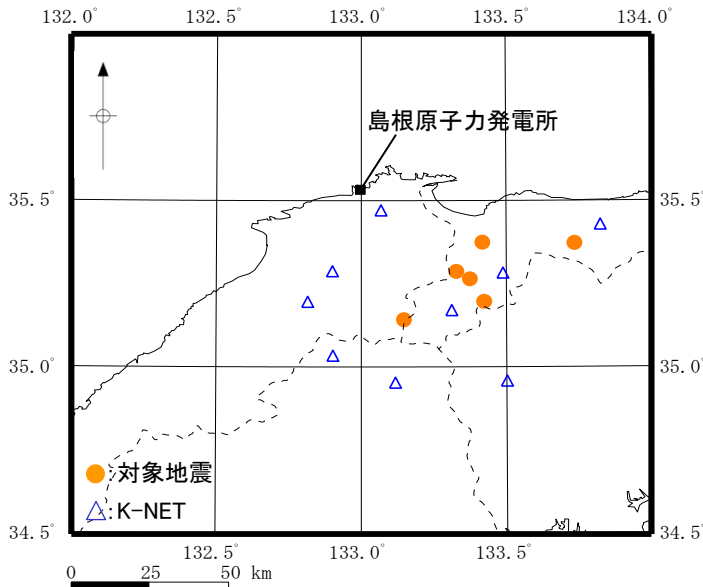
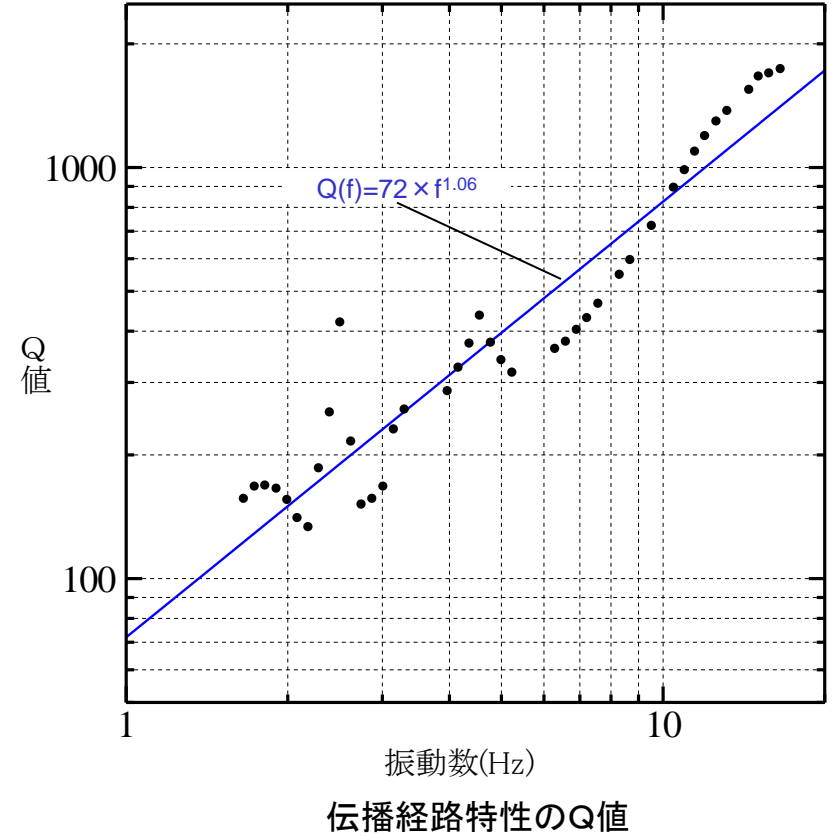
断層モデルを用いた手法による地震動評価の概念図

断層モデルによる地震動評価 2/4

- 統計的グリーン関数法で用いる伝播経路特性は、敷地及び敷地周辺(K-NETの9観測点)における以下に示す6地震の観測記録に基づき、スペクトル・インバージョン手法(岩田・入倉(1986))により評価した $Q(f) = 72.0 \times f^{1.06}$ を用いる。

対象地震の諸元

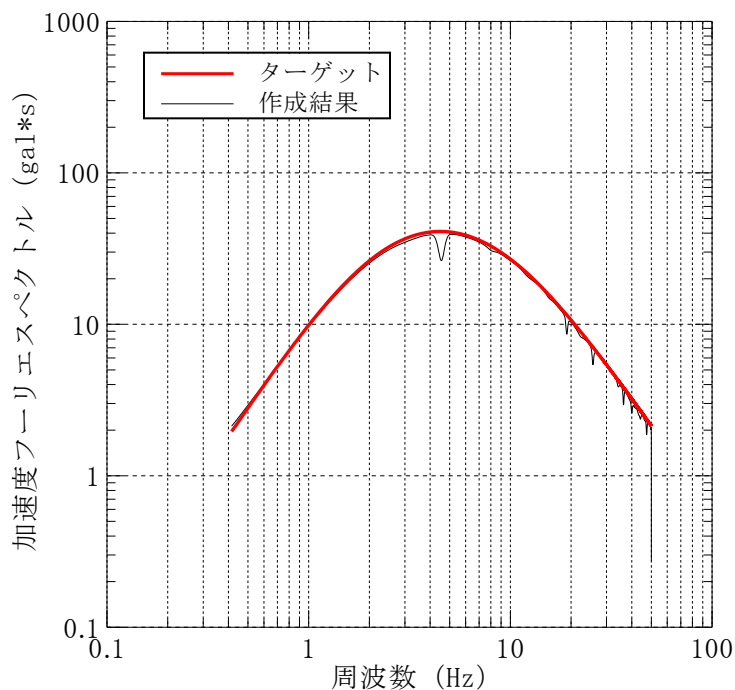
地震番号	発震年月日・時刻					震央地名	震央位置				深さ(km)	M
	北緯		東経									
	年	月	日	時	分		度	分	度	分		
1	1997	9	4	5	15	鳥取県西部	35	15.72	133	22.60	9	5.5
2	2000	7	17	8	0	鳥取県西部	35	22.33	133	25.27	16	4.4
3	2000	10	8	13	17	鳥取県西部	35	8.36	133	9.01	7	5.6
4	2000	10	17	22	16	鳥取県西部	35	11.63	133	25.57	11	4.5
5	2002	3	6	7	12	鳥取県西部	35	17.03	133	19.84	15	4.6
6	2002	9	16	10	10	鳥取県東部	35	22.20	133	44.36	10	5.5



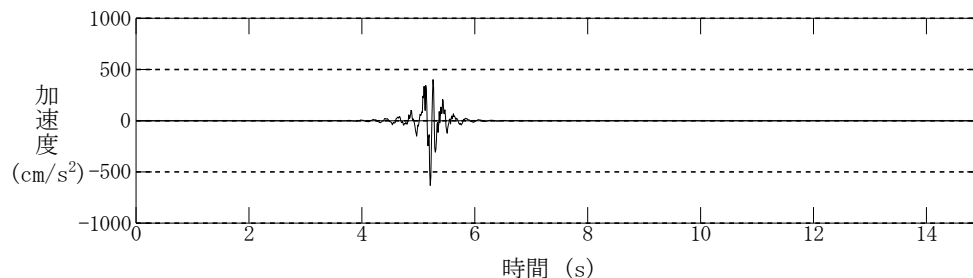
対象地震及び地震観測点の位置

断層モデルによる地震動評価 3/4

- 統計的グリーン関数法で用いる要素地震の振幅及び経時特性(時刻歴波形の包絡関数)は、釜江ほか(1991)により、Boore(1983)に基づき設定する。例として、宍道断層による地震の要素地震を以下に示す。



加速度震源スペクトル



作成条件

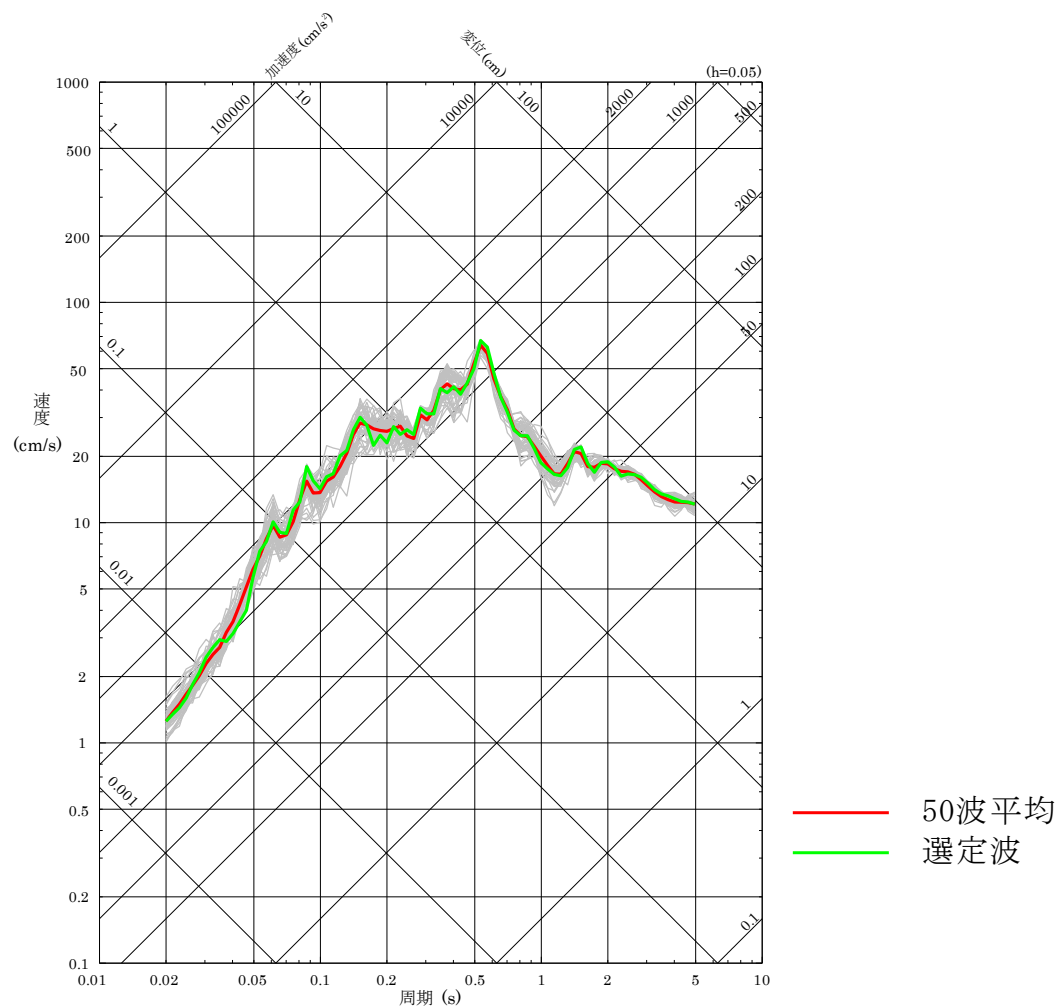
地震モーメント M_0	$4.7 \times 10^{15} \text{N} \cdot \text{m}$
応力降下量 $\Delta \sigma a$	12.4MPa
高周波限界遮断周波数 f_{max}	8.3Hz*
要素断層面積 S	1km ²
震源距離 R	1km

※強震動予測手法2020年版の設定値(6Hz)よりも安全側の評価となるように香川ほか(2003)に基づき設定

要素地震の例(宍道断層による地震の基本震源モデル[第一アスペリティ, SH波])

断層モデルによる地震動評価 4/4

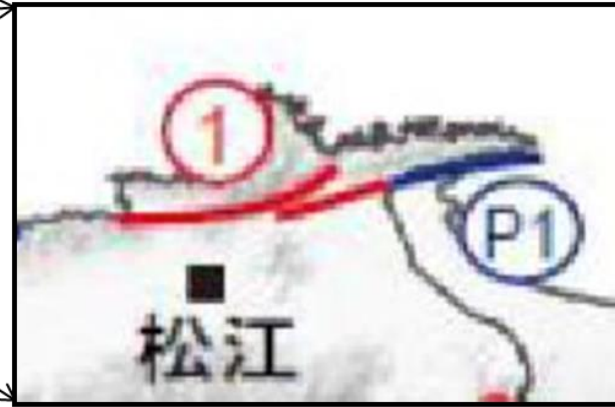
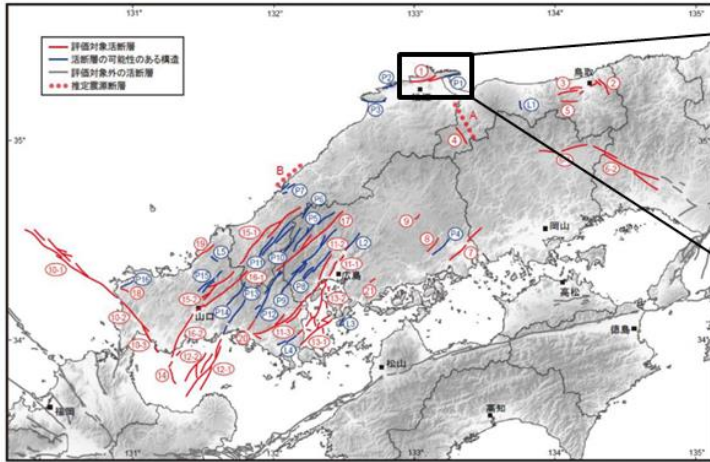
- 統計的グリーン関数法による地震動評価においては、要素地震の位相の乱数を変えて50通りの波形合成を行い、50波の平均値(減衰定数5%の擬似速度応答スペクトル)との残差が最小となるものを選定波とする。例として、宍道断層による地震の選定波を以下に示す。



選定波の例(宍道断層による地震の基本震源モデル)

断層パラメータの設定根拠(断層長さ) 1/2

<中国地域の長期評価(H28年7月):宍道(鹿島)断層東部>



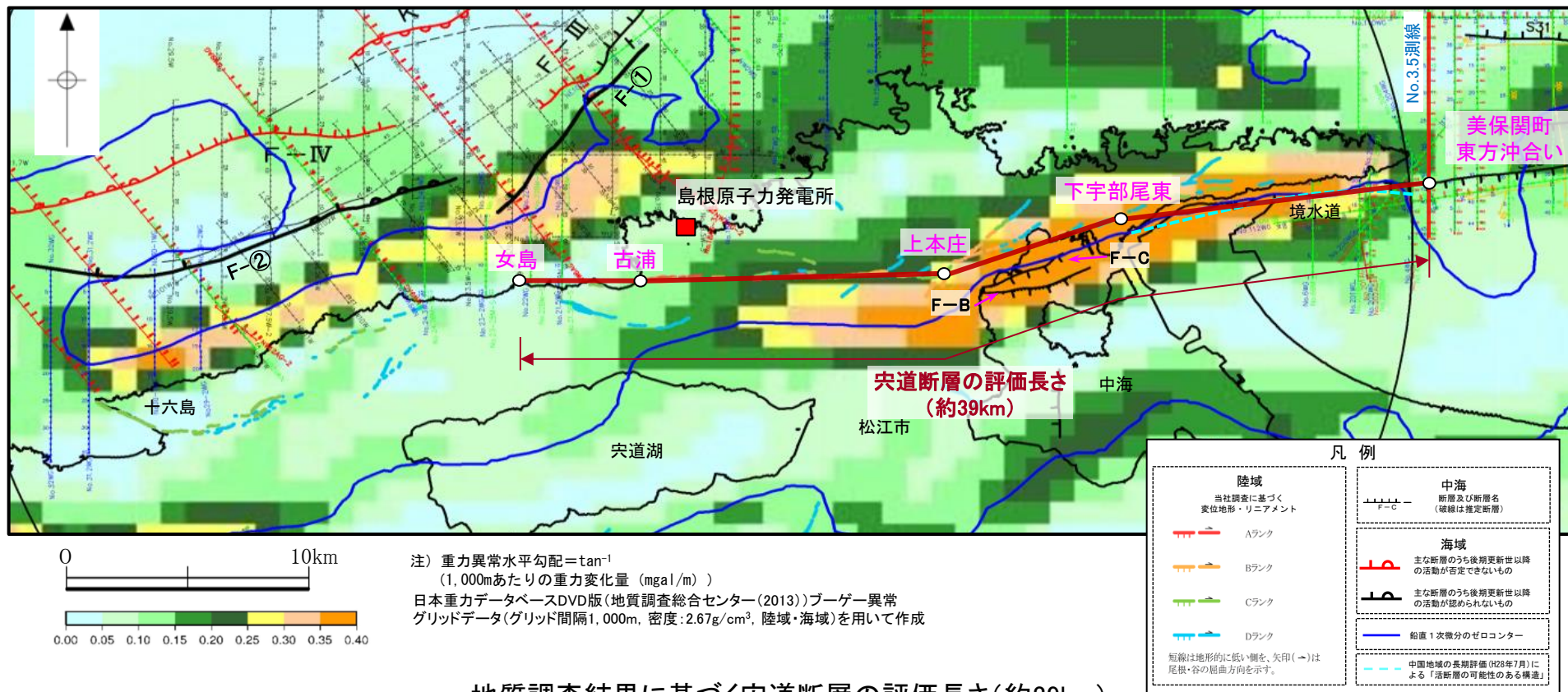
宍道(鹿島)断層 活断層の可能性のある構造 (P1)

図 16 中国地域及びその周辺領域において評価対象とした活断層(赤)、及び評価対象としなかった構造(青)と活断層(灰)の分布
 評価対象活断層の番号は図2に対応する。評価対象外の構造のうち、青線は本評価で検討されたが評価対象外となった構造を表し、番号は付表3-1、3-2に対応する。灰線は評価対象外の活断層のトレース線を表す。Aは2000年鳥取県西部地震の震源断層、Bは1872年浜田地震の震源断層の推定位置。

構造の名称(図16での番号)	内容
宍道断層東部 (P1)	高田ほか(2003)で、一部がリニアメントとして示されている。 <u>重力異常による構造不連続はあるが、活断層である確実な証拠はない。</u> 島根半島東部の地形的特徴(南側に著しく偏った分水界、分水界に良く発達する截頭谷、山地南縁の直線的な急斜面)が、北上がりの断層変位により形成された可能性もある。 <u>重力異常の構造と地質断層の宍道断層が概ね一致すると推定される</u>

断層パラメータの設定根拠(断層長さ) 2/2

第530回審査会合資料1 P57 加筆・修正



地質調査結果に基づく宍道断層の評価長さ(約39km)

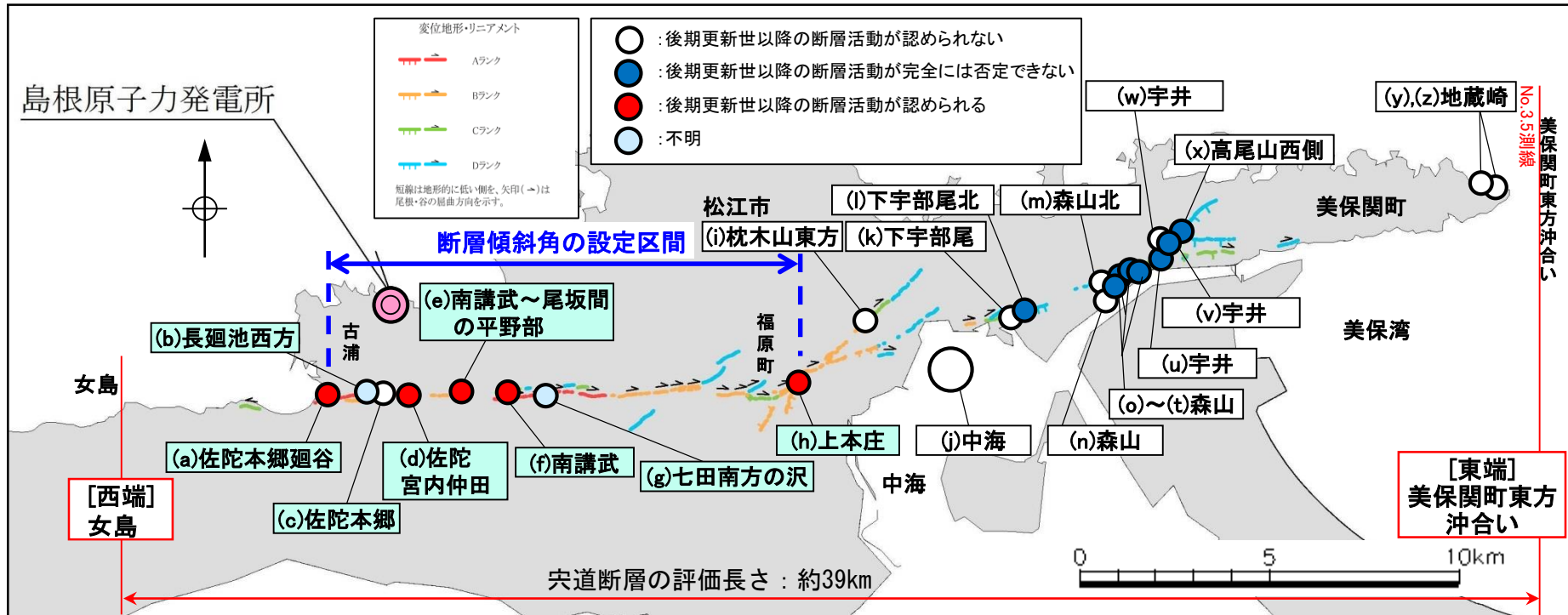
- ✓ 美保関町東方沖合い～下宇部尾東 : 地質調査, 音波探査及び重力異常分布の結果, 後期更新世以降の断層活動は認められないこと, かつ, 明瞭な重力異常が認められないことを確認している美保関町東方沖合いの当社探査測線(No.3.5測線)を東端と評価。美保関町東方沖合いと下宇部尾東の地点間は, 重力異常分布や十分な調査が実施できない陸海境界を考慮。
- ✓ 下宇部尾東～古浦 : 下宇部尾東と古浦の地点間は, 変位地形・リニアメント分布を考慮。
- ✓ 古浦～女島 : 陸海境界付近を横断する群列ボーリング調査, 急傾斜部における露頭調査等の結果, 後期更新世以降の断層活動は認められないことを確認している女島を西端と評価。古浦と女島の地点間は, 十分な調査が実施できない陸海境界を考慮。

評価長さ

断層パラメータの設定根拠(断層傾斜角) 1/3

■ 宍道断層における地質調査結果等

- 文献調査の結果, 横ずれ断層の一般的な分布形態・性状について, 松田(1967)は, 断層線は逆断層より直線的で滑らかであり, 断層末端部は緩く湾曲していることが多く, 垂直変位を考慮すると逆断層の性状を持っていると推定されるとしている。
- また, 島根半島の鹿島断層を事例に形態的特徴を検討している, 佐藤・中田(2002)は, 鹿島断層の中央部はほぼ東西走向であり, 断層線の両端では分岐形態が認められ, 西部では小さく分岐し, 東部では大きく分岐するとしている。
- 変動地形学的調査の結果, 鹿島町古浦～福原町の間は, 両端付近は分岐・雁行するものの, ほぼ東西走向のAランク及びBランクの変位地形・リニアメントが分布し, 尾根・谷の系統的かつ明瞭な右屈曲が確認されるとともに, 後期更新世以降の断層活動も認められる。また, 谷の屈曲量・屈曲率は南講武付近が大きい。
- 地質調査の結果, (a)佐陀本郷廻谷～(h)上本庄は, 断層の性状及び活動性を踏まえると宍道断層を代表する調査地点と考えられることから, 宍道断層の断層傾斜角は, 当該地点の地質調査結果により設定することとし, その傾斜角は, 「南傾斜～ほぼ鉛直」である。



宍道断層の地質調査における断層確認位置

断層パラメータの設定根拠(断層傾斜角) 2/3

第530回審査会合資料1 P63加筆・修正

尖道断層の地質調査における断層確認結果(断層傾斜角及び傾斜方向)

調査地点 (調査方法)	(a) 佐陀本郷廻谷 (ボーリング調査 反射法地震探査)	(b) 長廻池西方 (露頭観察)	(c) 佐陀本郷 (ボーリング調査)	(d)※1 佐陀宮内仲田 (トレンチ調査)	(e) 南講武～尾坂間 の平野部 (ボーリング調査 反射法地震探査)	(f) 南講武 (ボーリング調査 反射法地震探査)	(g) 七田南方の沢 (露頭観察)	(h)※1 上本庄 (トレンチ調査)
断層傾斜角 及び傾斜方向	約66° 南東傾斜	約54° 南傾斜	ほぼ鉛直	ほぼ鉛直 (文献読取值)	約70° 南傾斜	約65° 南傾斜	約78° 南傾斜	約87° 北西傾斜 (文献値)
変位地形・ リニアメント※2	Aランク	Aランク	Aランク	Aランク	Bランク	Aランク	Aランク	Bランク
後期更新世以降 の断層活動	認められる	—※3	認められない	認められる	認められる	認められる	—※3	認められる

[西端]
女島

断層傾斜角の設定区間

尖道断層の評価長さ：約39km

調査地点 (調査方法)	(i) 枕木山東方 (露頭観察)	(j) 中海 (音波探査)	(k) 下宇部尾 (ボーリング調査)	(l) 下宇部尾北 (トレンチ調査)	(m) 森山北 (ボーリング調査)	(n) 森山 (ボーリング調査)	(o) 森山 断層露頭④ (露頭観察)
断層傾斜角 及び傾斜方向	ほぼ鉛直 (約76°北～ 約73°南傾斜)	約40°～65° 北傾斜	約65° 北西傾斜	約60° 北西傾斜	ほぼ鉛直	約70°西～ ほぼ鉛直	約72° 北傾斜
変位地形・ リニアメント※2	Cランク	—	Cランク	—	Dランク	—	—
後期更新世以降 の断層活動	認められない	認められない (F-C断層, F-B断層)	認められない	完全には否定 できない	認められない	認められない	完全には否定 できない

尖道断層の評価長さ：約39km

※1 文献調査による

※2 調査地点通過位置もしくはその延長位置の変位地形・リニアメントのランク

※3 不明(後期更新世以降の断層活動が認められる区間に位置するため、個別に評価していない)

断層パラメータの設定根拠(断層傾斜角) 3/3

宍道断層の地質調査における断層確認結果(断層傾斜角及び傾斜方向)

調査地点 (調査方法)	(p)	(q)	(r)	(s)	(t)	(u)	(v)
		もりやま 森山 断層露頭⑤-1 (露頭観察)	もりやま 森山 断層露頭⑤-2 (露頭観察)	もりやま 森山 断層露頭⑥-1 (露頭観察)	もりやま 森山 断層露頭⑥-2 (露頭観察)	もりやま 森山 断層露頭⑦ (露頭観察)	うい 宇井 Loc.T-5採石場 (露頭観察)
断層傾斜角 及び傾斜方向	約60° 北傾斜	約52° 北傾斜	約42° 北西・ 約55° 南傾斜	ほぼ鉛直 (約77° 北~ 約82° 南傾斜)	約59° ~68° 南傾斜	約57° ~72° 南傾斜	約75° 南傾斜
変位地形・ リニアメント※2	—	—	—	—	—	—	Dランク
後期更新世以降 の断層活動	完全には否定 できない	完全には否定 できない	完全には否定 できない	完全には否定 できない	完全には否定 できない	完全には否定 できない	完全には否定 できない

宍道断層の評価長さ：約39km

調査地点 (調査方法)	(w)	(x)	(y)	(z)
		うい 宇井 Loc.TW-1採石場 (露頭観察)	たかおさん 高尾山西側 (地点②) (露頭観察)	じぞうざき 地藏崎 f1断層 (露頭観察)
断層傾斜角 及び傾斜方向	約70° ~85° 北西傾斜	約60° 北西傾斜	約50° 南西傾斜	約72° 南西傾斜
変位地形・ リニアメント※2	—	—	—	—
後期更新世以降 の断層活動	認められない	完全には否定 できない	認められない	認められない

宍道断層の評価長さ：約39km

[東端]
美保関町
東方沖合い

※2 調査地点通過位置もしくはその延長位置の変位地形・リニアメントのランク

断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 1/11

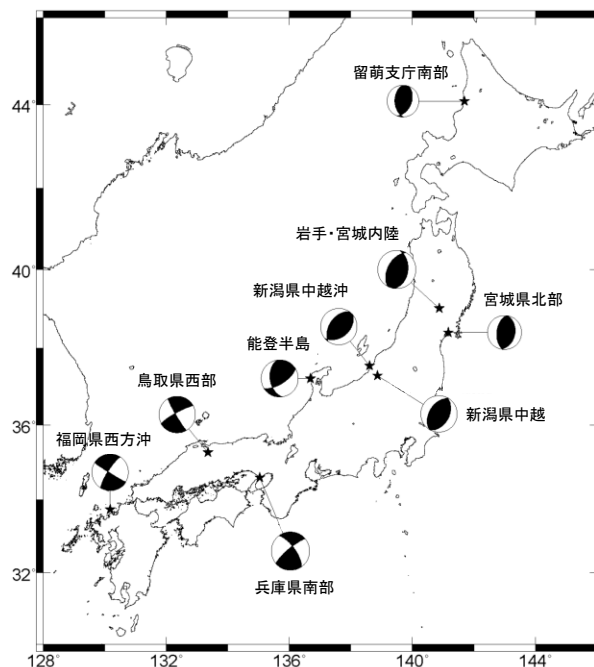
- 短周期レベルに関する知見をまとめると、以下のとおりである(詳細は64～73ページ)。
 - 新潟県中越沖地震(逆断層)は、短周期レベルが平均的なものより1.5倍程度大きかった。
 - 構造計画研究所(2010)及び(2011)、佐藤(2010)によると、横ずれ断層の地震は逆断層の地震に比べて短周期レベルが小さく、更に横ずれ断層の地震の中で中国地方の地震は他の地域の地震よりも短周期レベルが小さい傾向である。
 - 佐藤(2010)によると、経験的グリーン関数法による短周期レベルは、異なる研究者が異なる手法で推定しているものを用い、またその値は換算式で求めていることから、その精度としてはスペクトルインバージョン解析によるものより劣ると考えられるとしている。
 - 内山ほか(2017)によると、2016年鳥取県中部の地震の短周期レベルは壇ほか(2001)による経験式と調和的な値であるとしている。
 - 染井ほか(2010)によると、佐藤(2010)ほど明瞭ではないが、短周期レベルは逆断層の方が横ずれ断層より大きく見えるとしているが、推定値の違いについて比較検討が必要としている。
 - 佐藤(2008)では、横ずれ断層に対する逆断層・斜めずれ断層の短周期領域における地震動レベルの比率は、1.2倍程度としている。

文献		佐藤(2010)		構研(2010),(2011)
解析手法		スペクトルインバージョン	経験的GF	経験的GF
短周期レベル (壇ほか(2001) に対する倍率)	①逆断層	$3.57 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$ (1.45倍)	$3.00 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$ (1.22倍)	$2.77 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$ (1.13倍)
	②横ずれ断層	$1.58 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$ (0.64倍)	$1.56 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$ (0.64倍)※	$2.48 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$ (1.01倍)※
	③中国地方の地震	上記②の全国平均より小	上記②の全国平均より小※	上記②の全国平均より小※
対象地震数		13	11	9

※ 池田ほか(2002)の再評価を考慮(当社算定)

断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 2/11

- 横ずれ断層と逆断層の短周期レベルの違い及び敷地が位置する中国地方で発生した地震に関する短周期レベルの知見について整理した。
 - 構造計画研究所(2010)では、以下に示す国内で発生した内陸地殻内地震について、経験的グリーン関数法に基づく震源モデルより、横ずれ断層と逆断層の違いを考慮した短周期レベルと地震モーメントの関係を検討している。



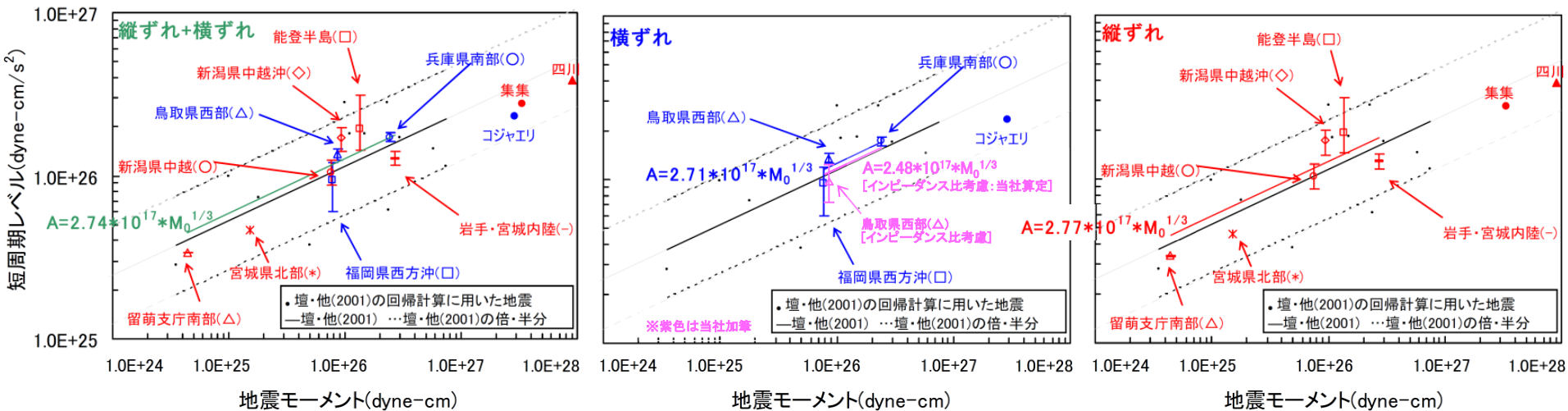
[構造計画研究所(2010)に一部加筆。]

検討対象地震の震央位置とメカニズム解

断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 3/11

- 構造計画研究所(2010)では、前記の内陸地殻内地震の震源モデルから求めた短周期レベルと地震モーメントの関係について、断層タイプ別の短周期レベルには明確な違いは見られなかったが、逆断層の短周期レベルが若干大きいと評価している。

※但し、上記評価に用いている池田ほか(2002)による2000年鳥取県西部地震の短周期レベルについては、構造計画研究所(2011)により、要素地震の設定時に震源と観測点での媒質(S波速度と密度)の違いを適切に考慮していないことが指摘され、震源と観測点のインピーダンス比より、その短周期レベルは約2倍過大評価している可能性があるとしてされていることから、上記評価の取り扱いには注意が必要である。なお、構造計画研究所(2010)の評価について、そのインピーダンス比を考慮すると、逆断層と横ずれ断層の短周期レベルの差は大きくなる。



[構造計画研究所(2010)に一部加筆。]

短周期レベルと地震モーメントの関係
(図中のバーは最大・最小の短周期レベルを示す)

断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 4/11

- また、構造計画研究所(2010)では、下表(左)に示すとおり、地域別の短周期レベルの検討において、中国地方の短周期レベルは壇ほか(2001)の短周期レベルと比較して、同程度か若干大きいとしている。
- 上記については、データ数が少ないため、今後データ数を増やして検討を行う必要があるとされている。

※但し、前述のとおり、上記評価に用いている池田ほか(2002)による2000年鳥取県西部地震の短周期レベルについては、構造計画研究所(2011)により、要素地震の設定時に震源と観測点での媒質(S波速度と密度)の違いを適切に考慮していないことが指摘され、震源と観測点のインピーダンス比より、その短周期レベルは約2倍過大評価している可能性があることとされていることから、そのインピーダンス比を考慮すると、下表(右)に示すとおり、中国地方の短周期レベルは壇ほか(2001)の短周期レベルより小さくなる。

短周期レベルと地震モーメントの関係

		回帰分析結果 $A[\text{dyne} \cdot \text{cm} / \text{s}^2]$ $M_0[\text{dyne} \cdot \text{cm}]$	壇・他(2001) に対する比
全地震		$A = 2.74 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.12
断層タイプ	横ずれ	$A = 2.71 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.10
	縦ずれ	$A = 2.77 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.13
地域性	北海道	$A = 2.06 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	0.84
	東北	$A = 1.96 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	0.80
	北陸	$A = 3.40 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.38
	近畿	$A = 2.76 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.12
	中国	$A = 3.06 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.24
	九州	$A = 2.22 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	0.90
(参考)	壇・他(2001)	$A = 2.46 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	

中国地方の短周期レベルと地震モーメントの関係(インピーダンス比考慮:当社算定)

回帰分析結果 $A[\text{dyne} \cdot \text{cm} / \text{s}^2]$ $M_0[\text{dyne} \cdot \text{cm}]$	壇・他(2001) に対する比
$A = 2.16 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	0.90



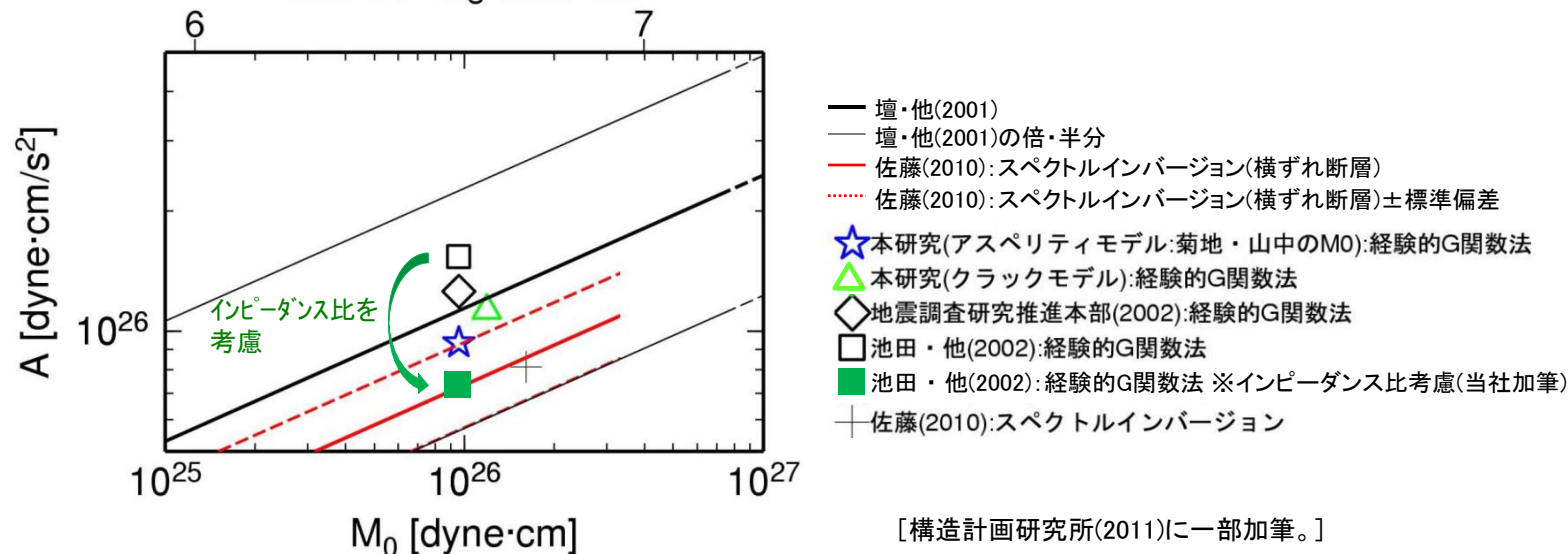
断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 5/11

- 構造計画研究所(2011)では、佐藤(2010)及び構造計画研究所(2010)に示される2000年鳥取県西部地震の短周期レベルが、スペクトルインバージョンと経験的グリーン関数法の評価の違いで差が大きいことから、経験的グリーン関数法による震源モデルの再評価を行っており、得られた短周期レベルは、佐藤(2010)より大きいものの、壇ほか(2001)と同じかやや小さいと評価している。
- また、前述のとおり、池田ほか(2002)による2000年鳥取県西部地震の短周期レベルについては、震源と観測点のインピーダンス比より、約2倍過大評価している可能性があるとしてされており、そのインピーダンス比を考慮すると、池田ほか(2002)の短周期レベルは以下のとおり壇ほか(2001)の短周期レベルと比較すると小さくなる。以下に比較結果を示す。

<壇ほか(2001)に対する池田ほか(2002) [インピーダンス比考慮]の短周期レベルの比>

$$7.3 \times 10^{25} \text{ dyne} \cdot \text{cm} / \text{s}^2 (\text{池田ほか}(2002) \text{ [インピーダンス比考慮]}) / 1.1 \times 10^{26} \text{ dyne} \cdot \text{cm} / \text{s}^2 (\text{壇ほか}(2001)) \doteq 0.7 \text{ 倍}$$

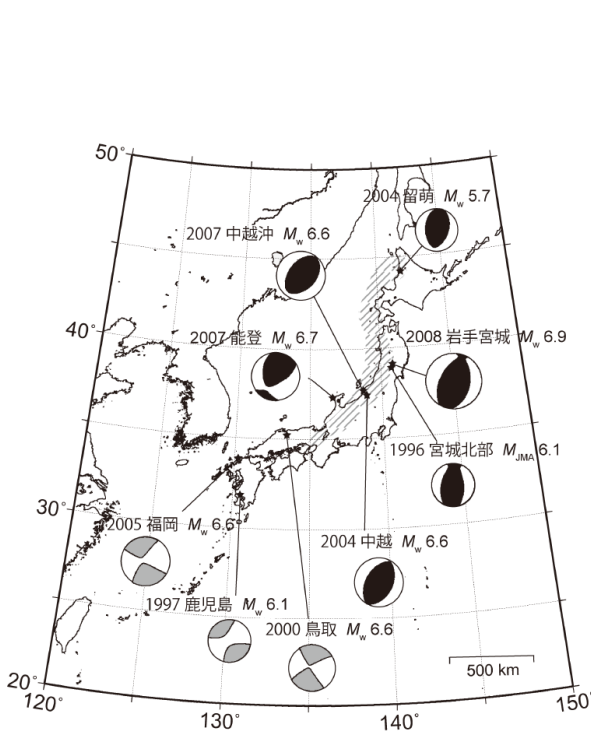
- さらに、バックチェックにおいては、短周期レベルを壇ほか(2001)の式の1.5倍として震源パラメータの不確かさの考慮を求めているが、横ずれ断層では逆断層より短周期レベルが小さいという佐藤(2010)の結果と今回の検討結果から、横ずれ断層では1.5倍を考慮する必要がない可能性があるとして指摘している。 Moment Magnitude M_w



2000年鳥取県西部地震の短周期レベルと地震モーメントの関係

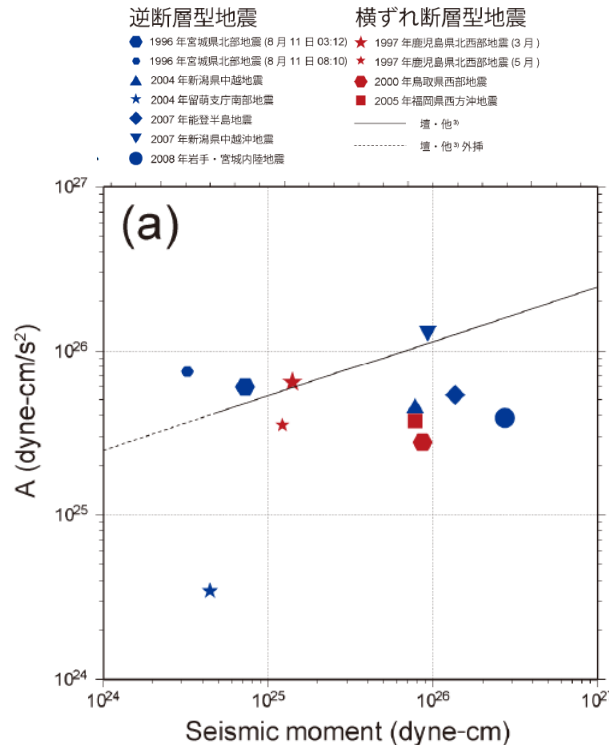
断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 6/11

- 染井ほか(2010)では、以下に示す国内で発生した内陸地殻内地震について、S波コーダを用いたスペクトル比法により、横ずれ断層と逆断層の違いを考慮した地震モーメントと短周期レベルの関係を検討し、断層タイプ別の短周期レベルには違いが見られなかったと評価している(下図(a))。
- また、佐藤(2010)と同条件で再解析すると、佐藤(2010)で示されるほど明瞭ではないが、短周期レベルは逆断層の方が横ずれ断層より大きく見えると評価している(下図(b))。
- 但し、解析手法の違いによる推定値の違いについて比較検討が必要とされている。

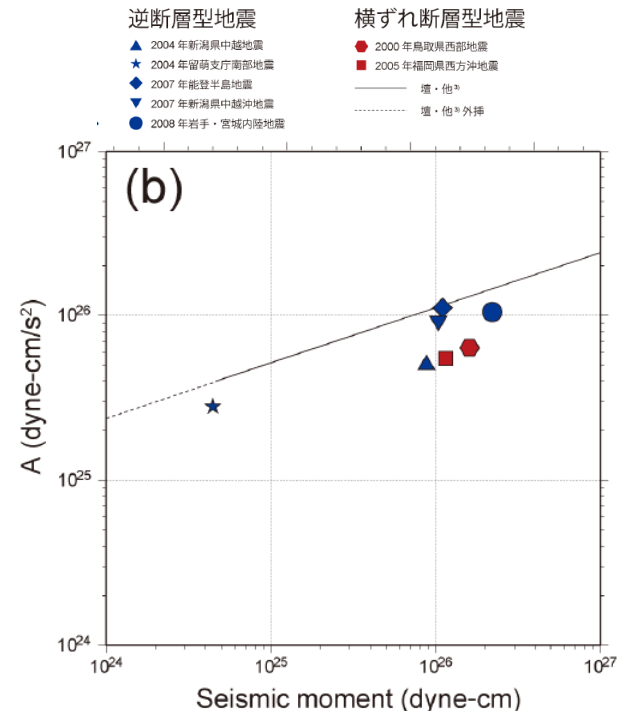


検討対象地震の震央位置とメカニズム解

(斜線部はひずみ集中帯のおよその分布を表す。メカニズム解について、黒色がひずみ集中帯内、灰色がひずみ集中帯外で発生した地震と分類する。)



(a) 本研究の手法を用いた場合



(b) 佐藤(2010)の解析周波数帯域などの条件を使用し、スペクトル比法によって求めた場合

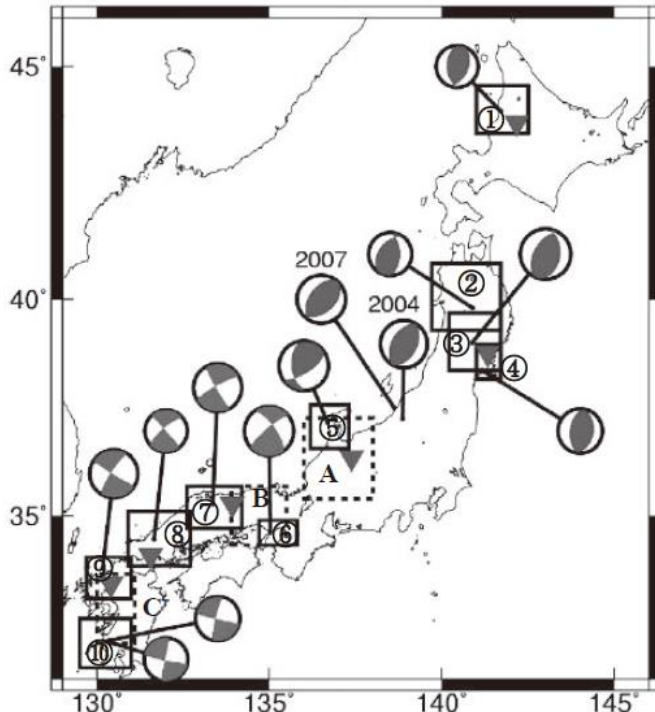
[染井ほか(2010)による。]

断層タイプ別の本震の短周期レベルと地震モーメントの関係

断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 7/11

- 佐藤(2010)では、以下に示す国内で発生した内陸地殻内地震の本震及びその周辺で発生した地震について、スペクトルインバージョン解析により、横ずれ断層と逆断層の違いを考慮した地震モーメントと短周期レベルの関係を検討している。
- さらに、佐藤(2010)では、以下に示す国内で発生した内陸地殻内地震の本震(上記対象地震より2地震を除く)について、経験的グリーン関数法に基づく震源モデルにより、横ずれ断層と逆断層の違いを考慮した地震モーメントと短周期レベルの関係を検討している。

検討対象地震一覧表(○:対象, -:対象外)



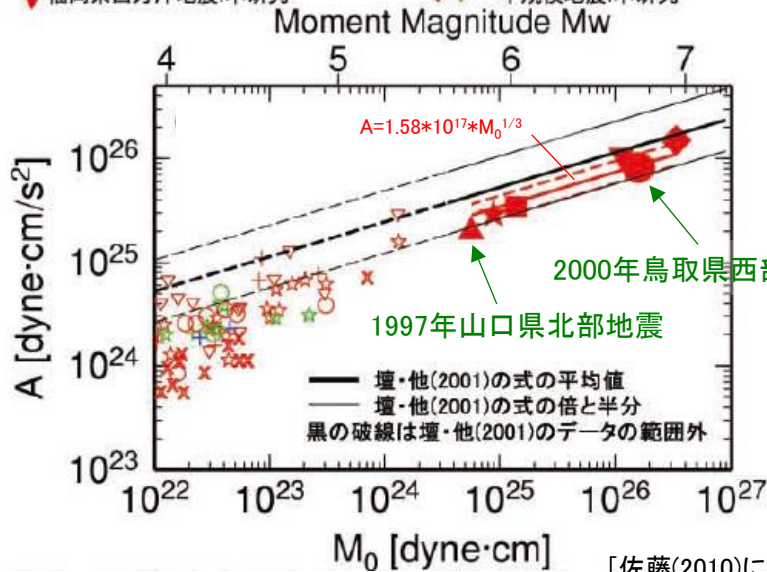
[佐藤(2010)による。]

検討対象地震の震央位置とメカニズム解
及びスペクトルインバージョンの解析対象領域
(実線と破線の矩形領域)と基準観測点(▼)

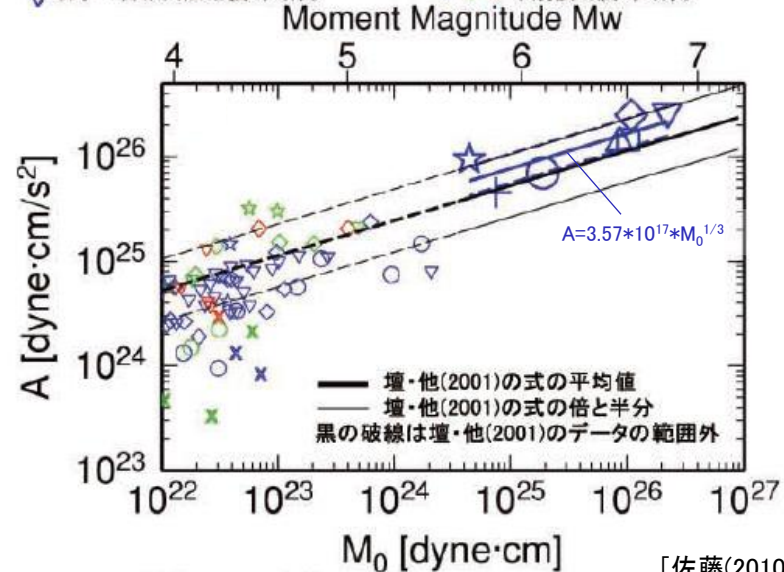
No	地震名	スペクトル インバージョン	経験的GF 関数法
①	2004年留萌支庁南部の地震	○	○
②	1998年岩手県内陸北部地震	○	○
③	2008年岩手・宮城内陸地震	○	○
④	2003年宮城県北部地震	○	-
⑤	2007年能登半島地震	○	○
⑥	1995年兵庫県南部地震	○	○
⑦	2000年鳥取県西部地震	○	○
⑧	1997年山口県北部地震	○	○
⑨	2005年福岡県西方沖地震	○	○
⑩	1997年3月鹿児島県北西部地震	○	○
	1997年5月鹿児島県北西部地震	○	-
⑪	2004年新潟県中越地震	○	○
⑫	2007年新潟県中越沖地震	○	○

断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 8/11

- 佐藤(2010)におけるスペクトルインバージョン解析による地震モーメントと短周期レベルの関係について、壇ほか(2001)の短周期レベルと比較すると、1997年山口県北部地震及び2000年鳥取県西部地震を含めた横ずれ断層は0.64倍、逆断層は1.45倍と評価している。
- また、下図に示すとおり中国地方で発生した横ずれ断層の1997年山口県北部地震及び2000年鳥取県西部地震、中規模地震の短周期レベル(下図(a)の×印及び○印)は、横ずれ断層の平均的なものより小さい傾向である。



[佐藤(2010)に一部加筆。]



[佐藤(2010)に一部加筆。]

(a) 横ずれ断層の大規模地殻内地震とその周辺の地震

(b) 逆断層の大規模地殻内地震とその周辺の地震

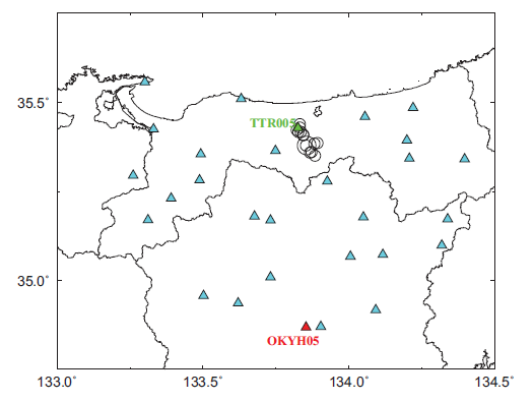
スペクトルインバージョンに基づく内陸地殻内地震の短周期レベルと地震モーメントの関係

断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 9/11

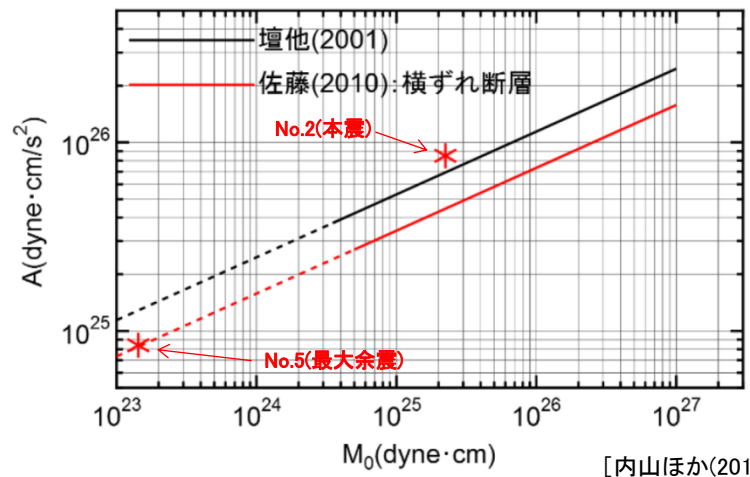
- 内山ほか(2017)では、以下に示す2016年鳥取県中部の地震の本震及び余震を対象としたスペクトルインバージョン解析により、本震及び最大余震の地震モーメントと短周期レベルの関係を検討しており、震源スペクトルから推定した本震の短周期レベルは、壇ほか(2001)による経験式と調和的な値になるとされている。

解析に用いた地震の諸元と推定された短周期レベル

	年	月	日	時間	震源位置			Mj	M ₀ (Nm)	Mw	f _c (Hz)	A (dyne·cm/s ²)
					東経	北緯	深さ(km)					
1	2016	10	21	12:12	133.8533	35.3800	10	4.2	1.81E+15	4.1		
2	2016	10	21	14:07	133.8550	35.3800	11	6.6	2.24E+18	6.2	0.31	8.50E+25
3	2016	10	21	14:30	133.8350	35.4183	10	4.4				
4	2016	10	21	14:50	133.8433	35.4083	10	4.2				
5	2016	10	21	14:53	133.8667	35.3600	9	5.0	1.43E+16	4.7	1.22	8.40E+24
6	2016	10	21	15:02	133.8717	35.3617	10	4.3				
7	2016	10	21	16:21	133.8317	35.4400	9	4.3	1.46E+15	4.1		
8	2016	10	21	16:52	133.8433	35.4100	6	4.1	6.73E+14	3.9		
9	2016	10	21	17:59	133.8317	35.4300	9	4.3	1.60E+15	4.1		
10	2016	10	22	6:17	133.8217	35.4233	11	4.0	3.81E+14	3.7		
11	2016	10	29	13:43	133.8917	35.3867	7	4.5	2.40E+15	4.2		



解析に用いた地震と観測点位置



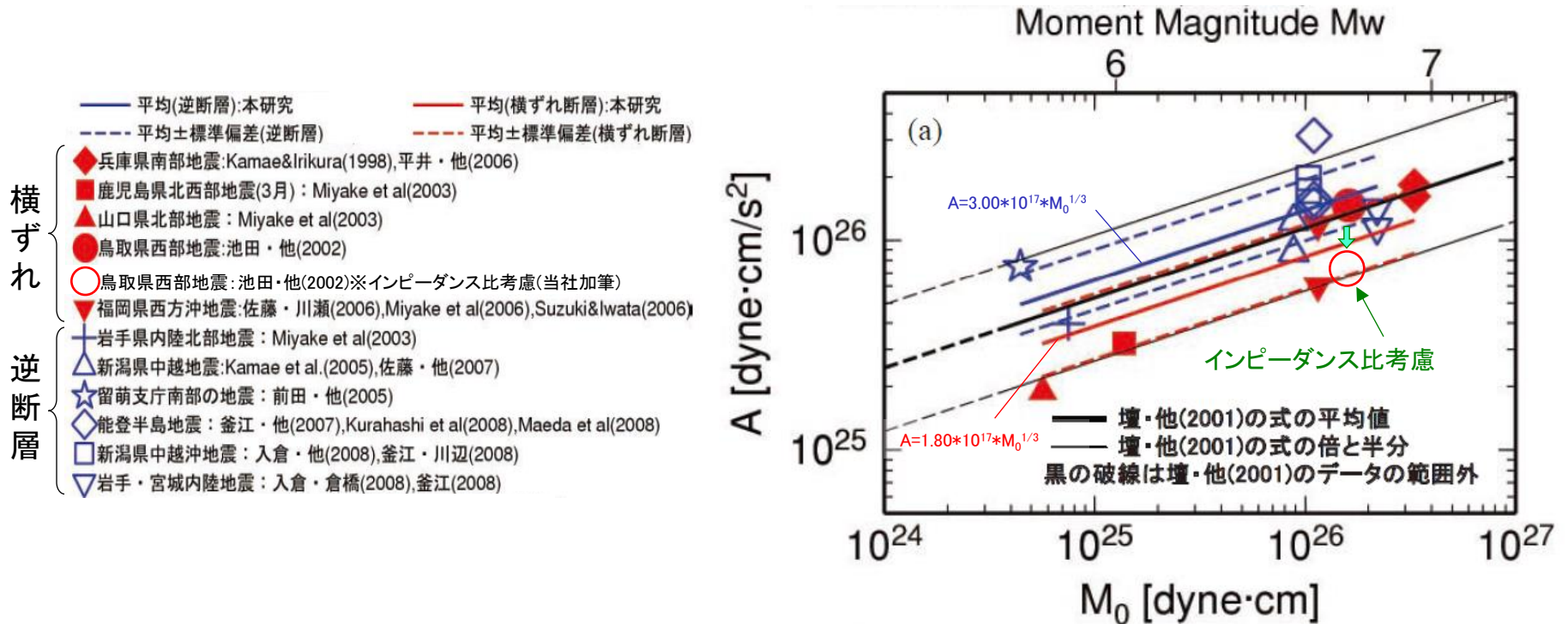
[内山ほか(2017)に一部加筆。]

2016年鳥取県中部の地震のスペクトルインバージョン解析に基づく短周期レベルと地震モーメントの関係

断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 10/11

- 佐藤(2010)における経験的グリーン関数法による地震モーメントと短周期レベルの関係より、短周期レベルは逆断層の方が横ずれ断層より大きいことを確認している。

※但し、前述のとおり、上記評価に用いている池田ほか(2002)による2000年鳥取県西部地震の短周期レベルについては、構造計画研究所(2011)により、要素地震の設定時に震源と観測点での媒質(S波速度と密度)の違いを適切に考慮していないことが指摘され、震源と観測点のインピーダンス比より、その短周期レベルは約2倍過大評価している可能性があるとしてされていることから、そのインピーダンス比を考慮すると、逆断層と横ずれ断層の短周期レベルの差は大きくなると考えられる。



[佐藤(2010)に一部加筆。]

経験的グリーン関数法に基づく内陸地殻内地震の短周期レベルと地震モーメントの関係

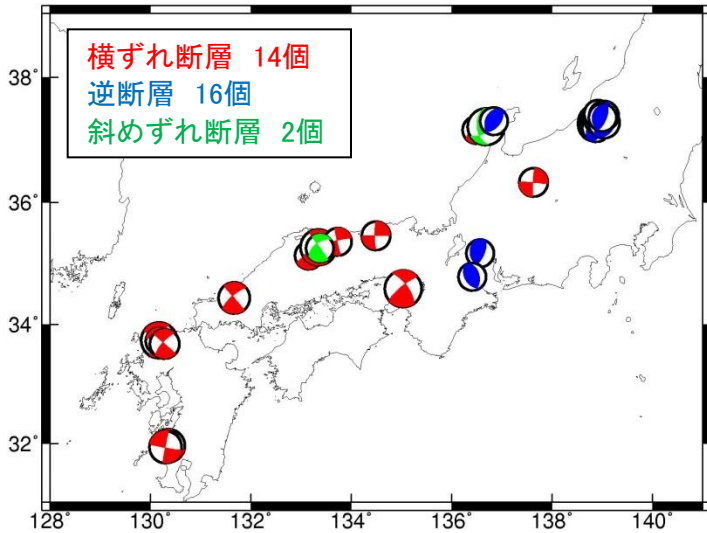
断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 11/11

- 佐藤(2008)では、日本国内で観測された最近の地殻内地震の強震記録を用いて、最大加速度、最大速度、加速度応答スペクトルの距離減衰式を以下のとおり提案している。
- このうち、 g は断層タイプの違いを表現する回帰係数であり、横ずれ断層に対する逆断層・斜めずれ断層の比率を示した図によると、0.2秒以下の短周期領域における地震動レベルは1.2倍程度 (Abrahamson and Silva(1997):約1.3倍, Zhao et al.(2006):約1.3倍)と評価している。

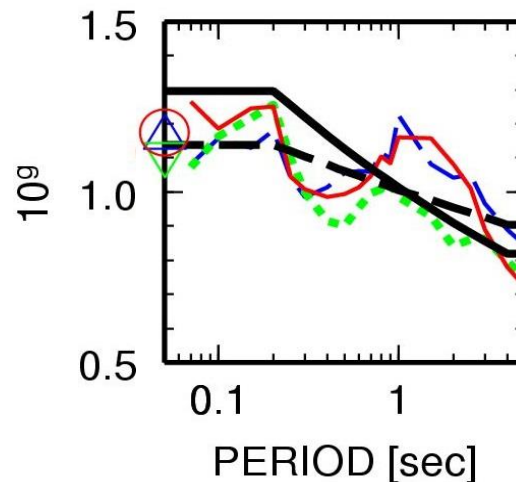
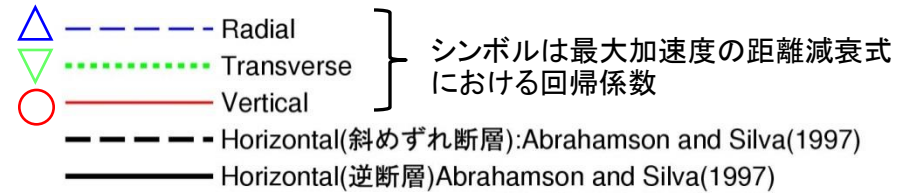
<距離減衰式>

$$\log_{10} Y = aM_w + g - bX - \log_{10}(X + d10^{0.5M_w}) + c_j \pm e$$

Y : 最大加速度, 最大速度, 加速度応答 ($h=0.05$) a, g, b, d, c_j : 回帰係数
 X : 断層最短距離 e : 標準偏差



距離減衰式の構築に用いた地震



[佐藤(2008)に一部加筆。]

横ずれ断層に対する逆断層・斜めずれ断層の比

不確かさの組合せ 1/5

- 突道断層は敷地の極近傍に位置することから、突道断層による地震の地震動評価ケースとして、以下に示す不確かさの各評価ケースの地震動への影響度を考慮し、不確かさの組合せケースを設定する。
- 各ケースの断層モデルを用いた手法(ハイブリッド合成法)による地震動評価結果のうち(次頁以降参照)、特に地震動レベルが大きい断層傾斜角、破壊伝播速度及び短周期の地震動レベルの不確かさを考慮したケースを比較する。
- なお、前述したとおり、一般的な横ずれ断層の地震は、新潟県中越沖地震を引き起こしたような逆断層の地震に比べて短周期レベルが小さく、更に横ずれ断層の地震の中で中国地方の地震は他の地域の地震よりも短周期レベルが小さいことから、不確かさの組合せにおける短周期の地震動レベルとしては、新潟県中越沖地震(逆断層)時の短周期レベル1.5倍を1.2(佐藤(2008)の横ずれ断層に対する逆断層の短周期領域における地震動レベルの比)で除した1.25倍を考慮する(短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍))。
- 以上を踏まえ、各ケースの地震動評価結果を比較すると、各ケースとも地震動レベルが最大となる周期が存在し、どれを組み合わせても敷地の地震動が大きくなると考えられるため、これら3ケースの不確かさをそれぞれ組み合わせた「断層傾斜角の不確かさと破壊伝播速度の不確かさの組合せケース」、「断層傾斜角の不確かさと短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)の組合せケース」及び「破壊伝播速度の不確かさと短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)の組合せケース」を考慮する。

突道断層による地震の地震動評価ケース(不確かさを考慮したケース)

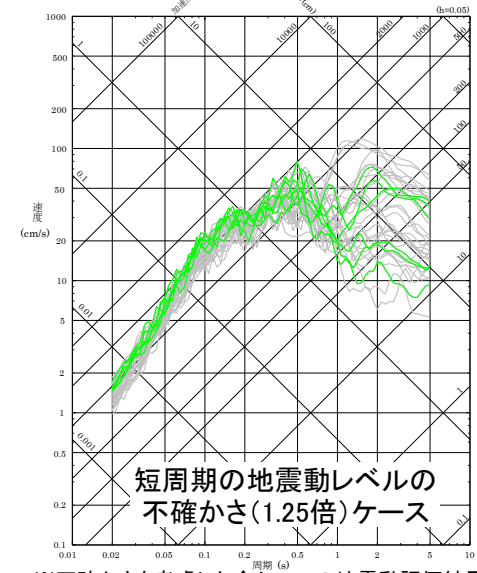
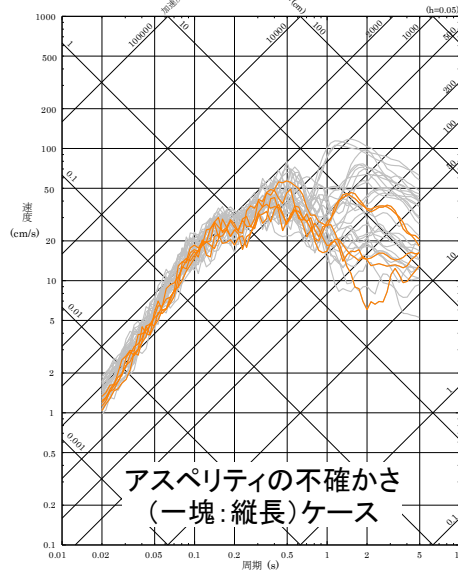
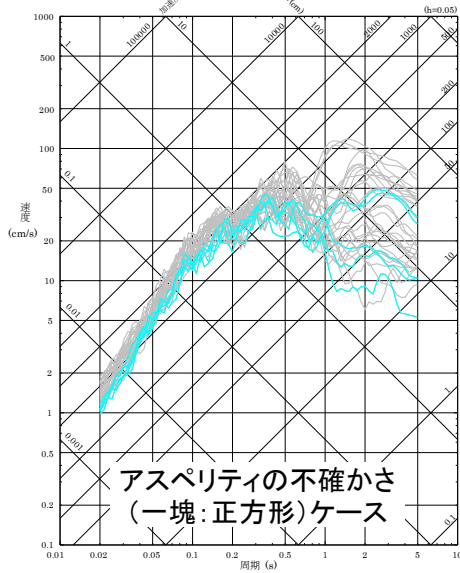
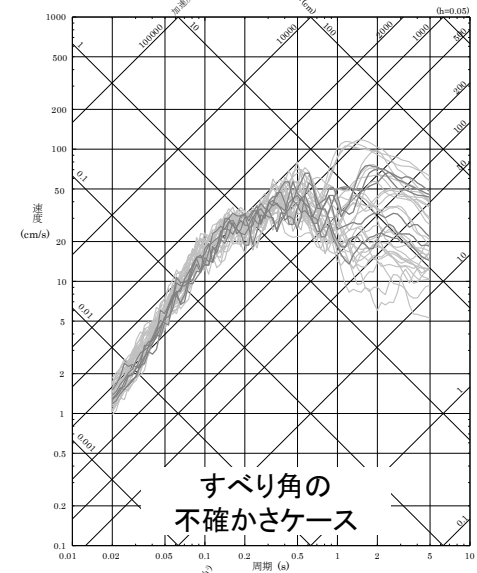
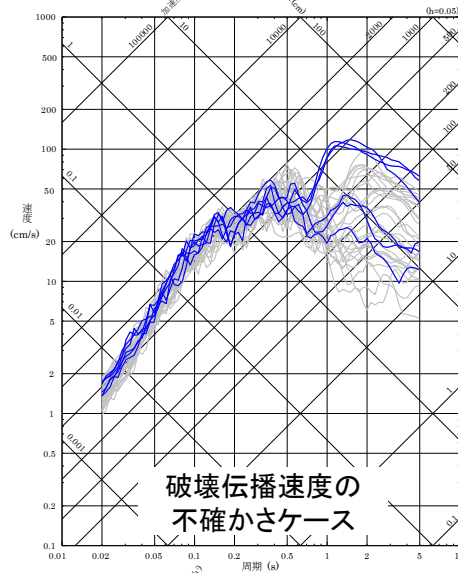
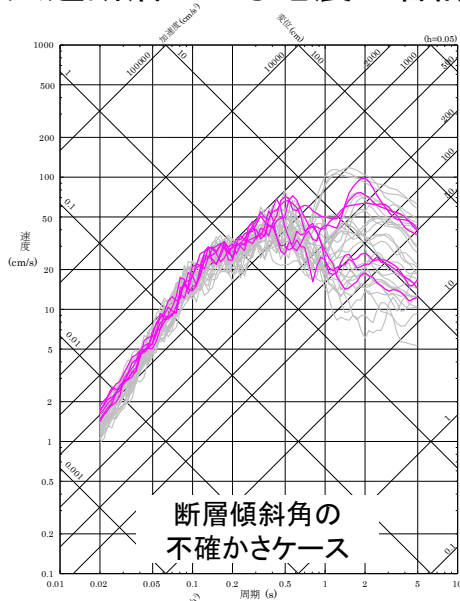
No.	評価ケース	断層長さ	断層幅	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ	短周期の地震動レベル	すべり角	破壊開始点
③	断層傾斜角の不確かさを考慮したケース	39km	約19km	70°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	6箇所
④	破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.87Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	6箇所
⑤	すべり角の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	150°	6箇所
⑥	アスペリティの不確かさ(一塊:正方形)を考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(1個)	レシピ	180°	5箇所
⑦	アスペリティの不確かさ(一塊:縦長)を考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(1個)	レシピ	180°	5箇所
⑧'	短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)を考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ × 1.25	180°	6箇所

■ : 不確かさを考慮した断層パラメータ(認識論的不確かさ)

■ : 不確かさを考慮した断層パラメータ(偶然的な不確かさ)

不確かさの組合せ 2/5

■ 宍道断層による地震の各評価ケースの地震動評価結果の比較: 水平方向(NS成分)

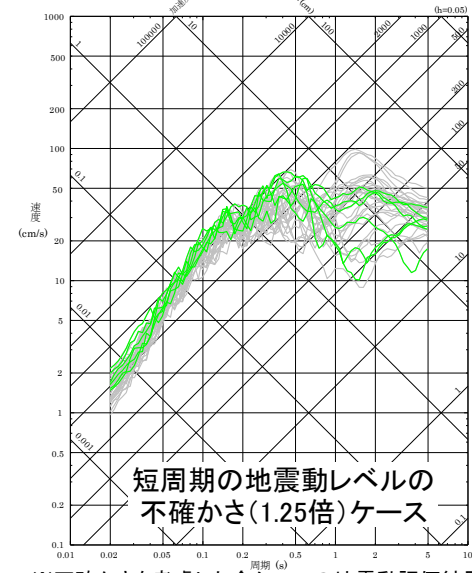
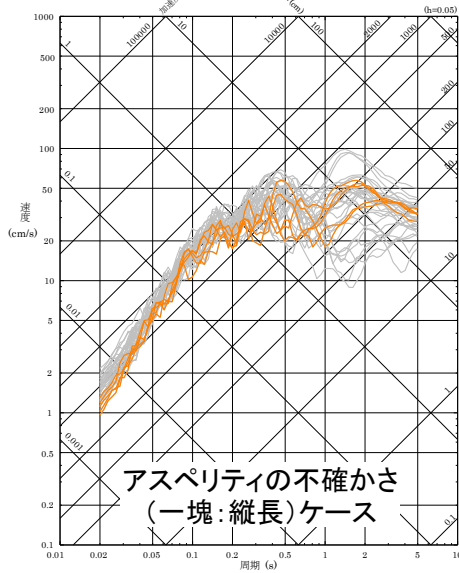
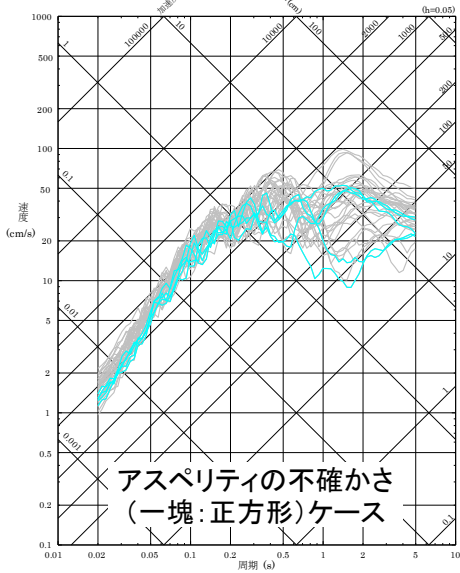
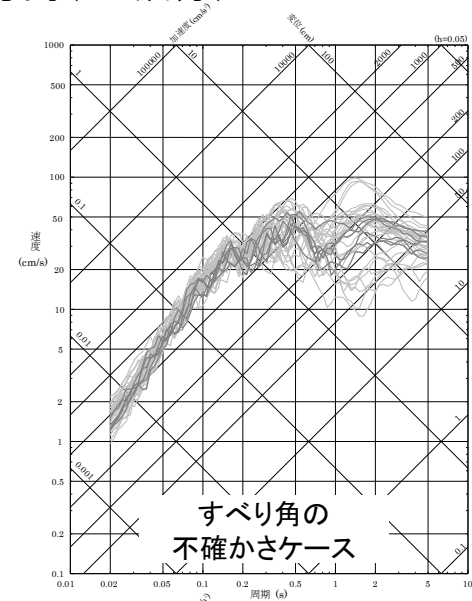
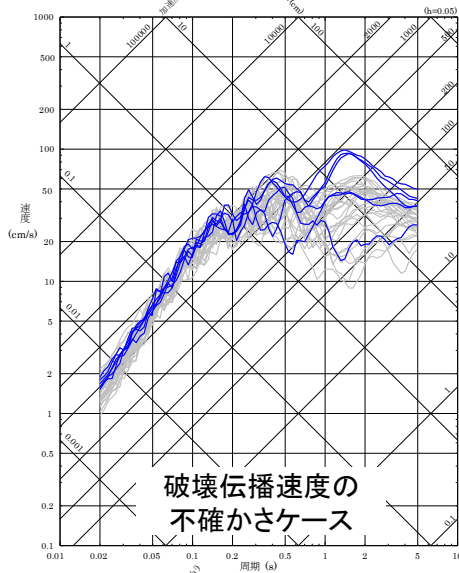
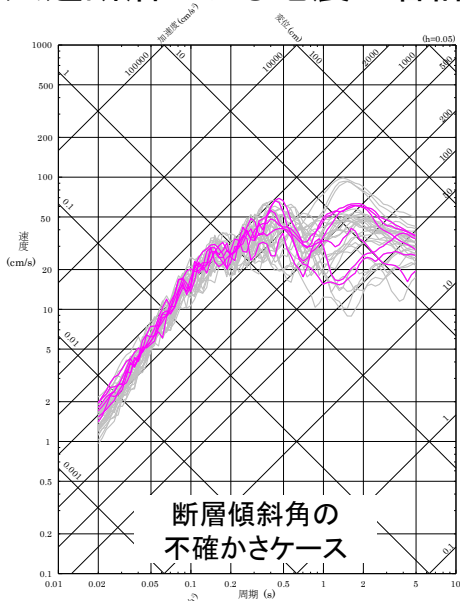


擬似速度応答スペクトル 水平方向(NS成分)

※不確かさを考慮した全ケースの地震動評価結果を灰色線で重ね書き、対象ケースを色分けして記載

不確かさの組合せ 3/5

■ 宍道断層による地震の各評価ケースの地震動評価結果の比較: 水平方向 (EW成分)

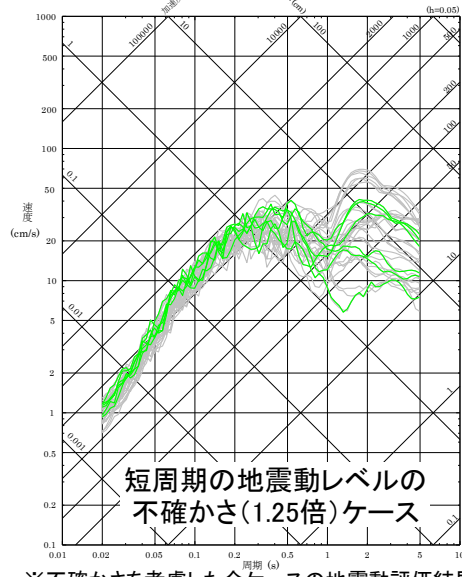
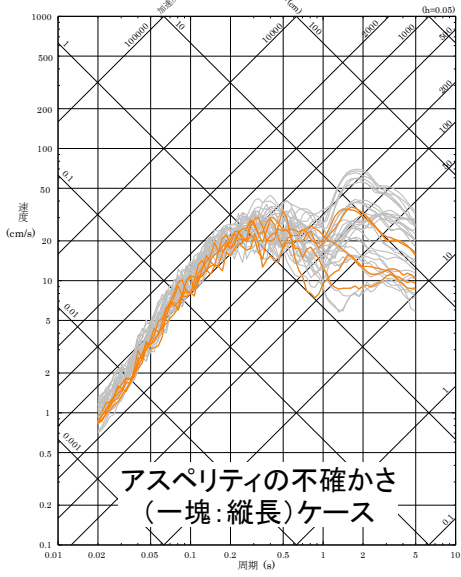
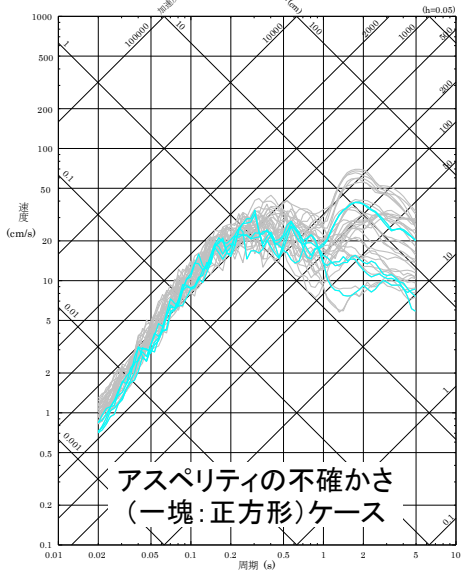
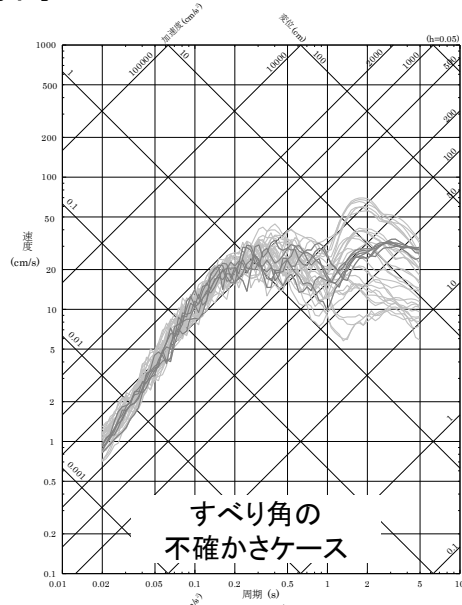
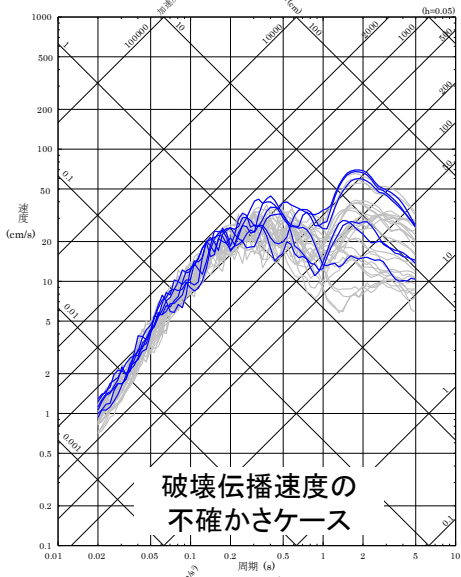
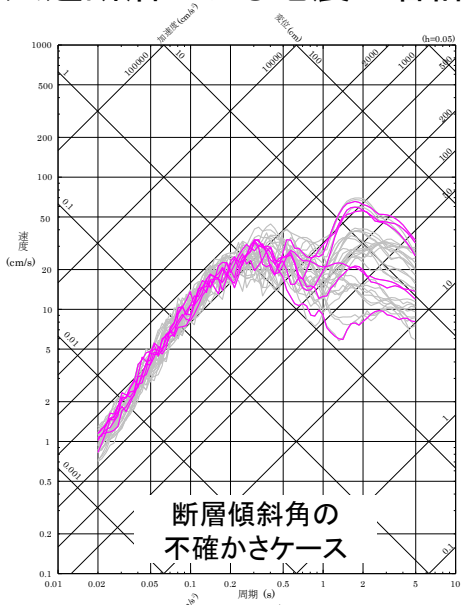


擬似速度応答スペクトル 水平方向 (EW成分)

※不確かさを考慮した全ケースの地震動評価結果を灰色線で重ね書き、対象ケースを色分けして記載

不確かさの組合せ 4/5

■ 宍道断層による地震の各評価ケースの地震動評価結果の比較: 鉛直方向

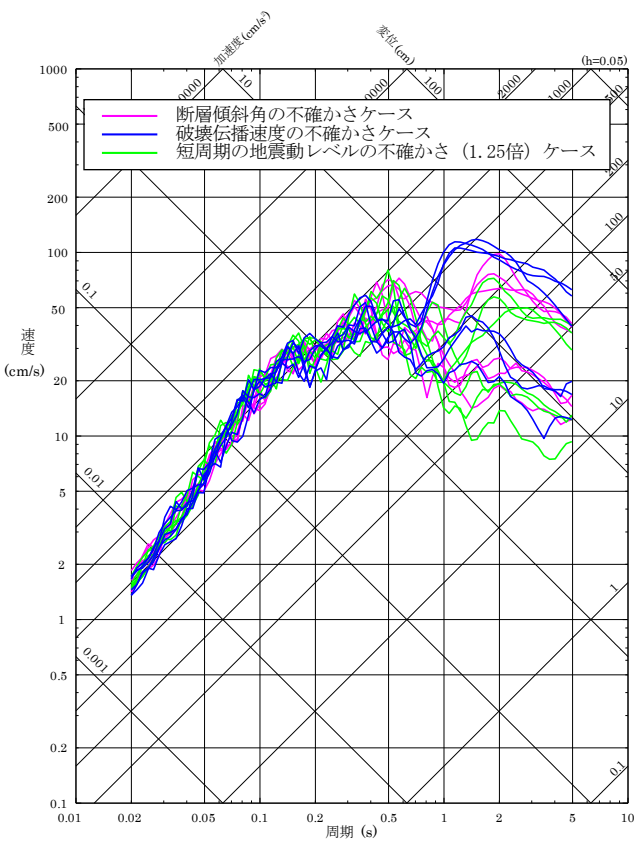


擬似速度応答スペクトル 鉛直方向

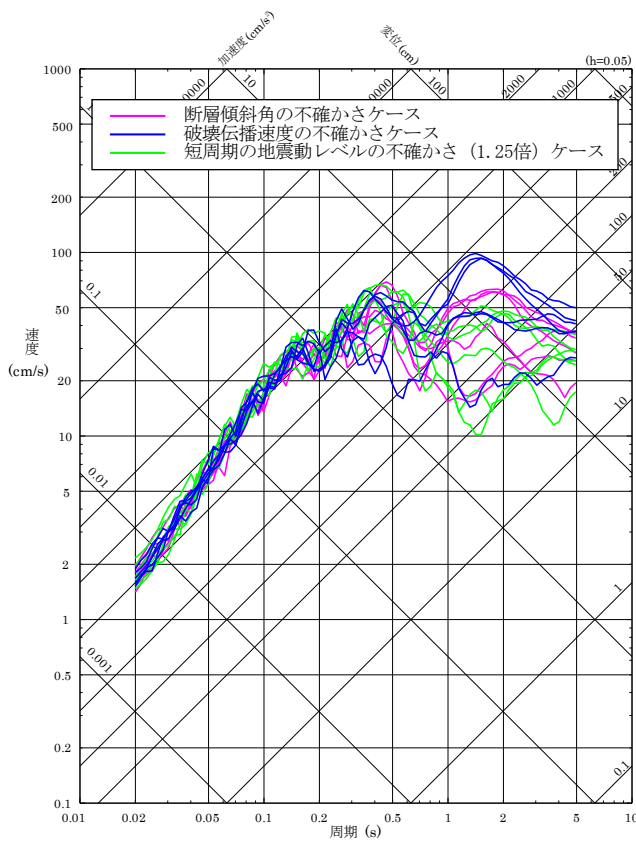
※不確かさを考慮した全ケースの地震動評価結果を灰色線で重ね書き、対象ケースを色分けして記載

不確かさの組合せ 5/5

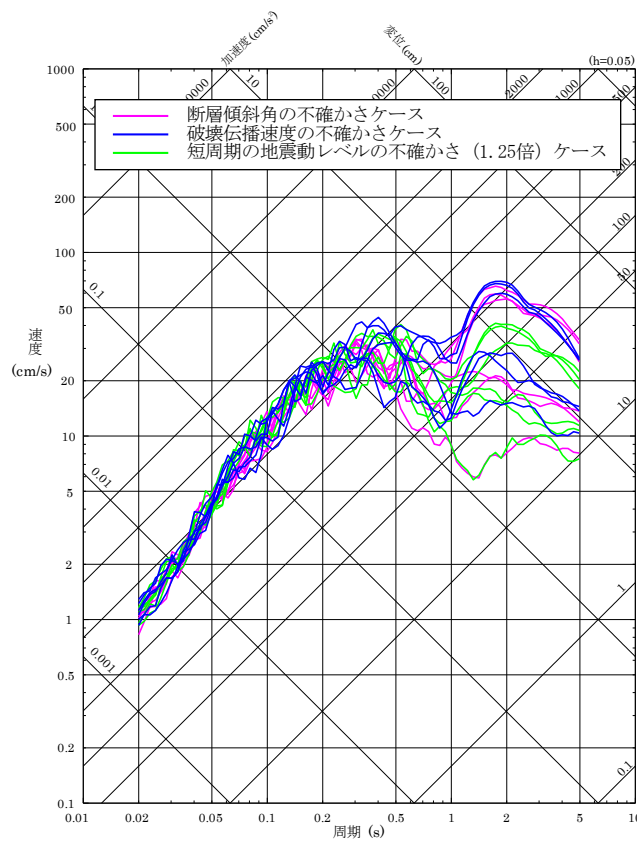
- 突道断層による地震の断層傾斜角の不確かさを考慮したケース, 破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース及び短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)を考慮したケースの地震動評価結果の比較: 水平方向 (NS・EW成分), 鉛直方向



水平方向(NS成分)



水平方向(EW成分)

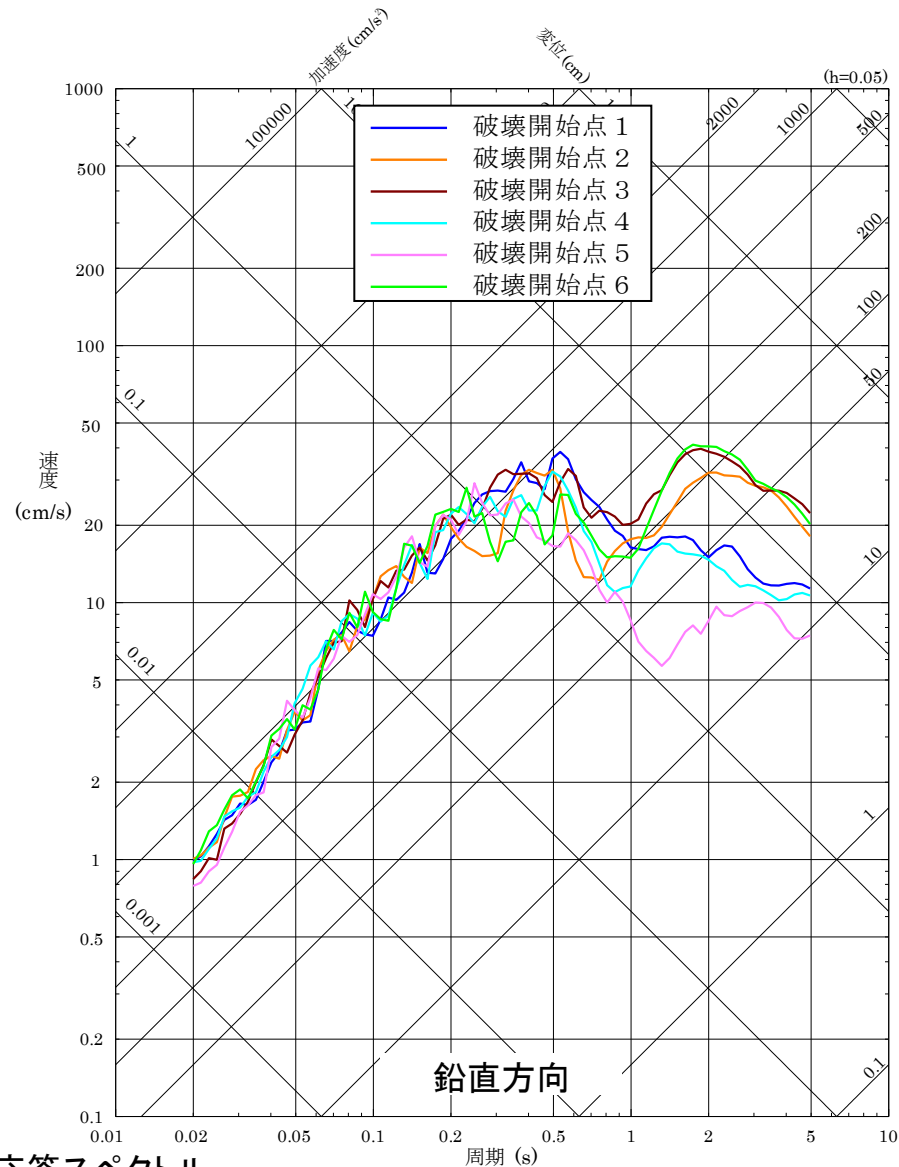
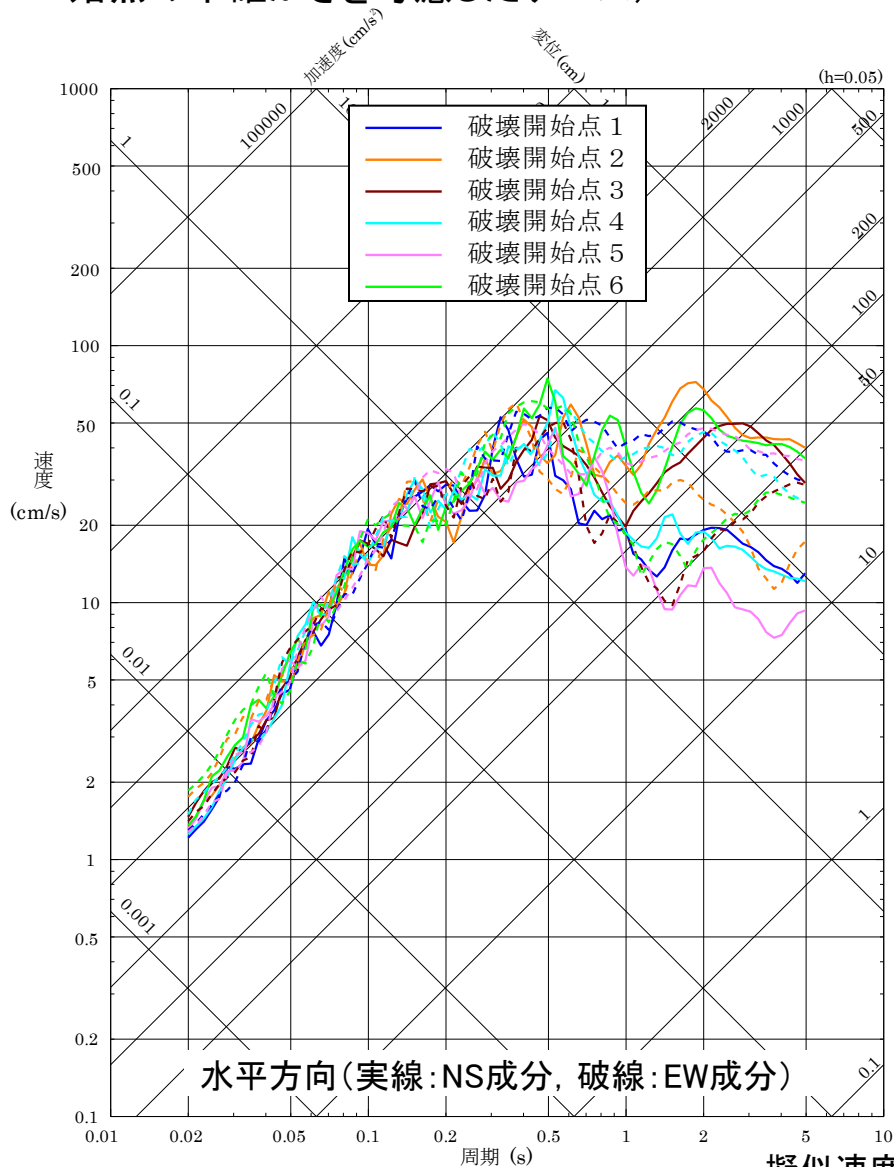


鉛直方向

擬似速度応答スペクトル

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 1/20

■ 突道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(①基本震源モデル及び②破壊開始点の不確かさを考慮したケース)



擬似速度応答スペクトル

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 2/20

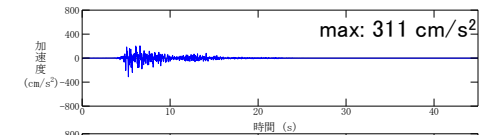
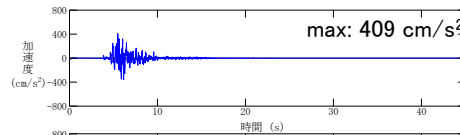
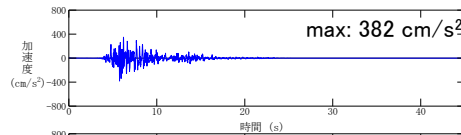
■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (①基本震源モデル及び②破壊開始点の不確かさを考慮したケース)

水平方向(NS成分)

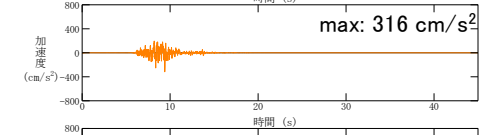
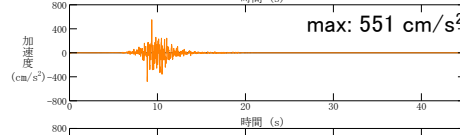
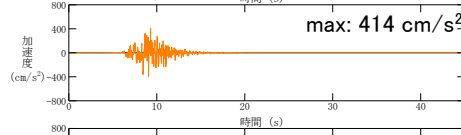
水平方向(EW成分)

鉛直方向

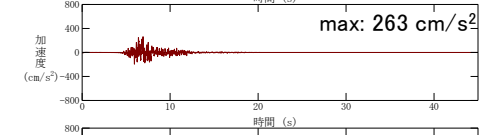
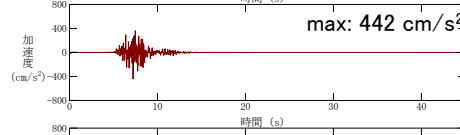
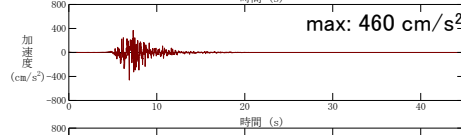
破壊開始点 1



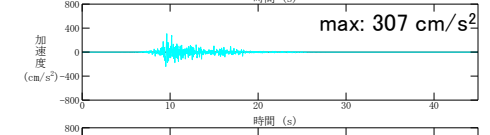
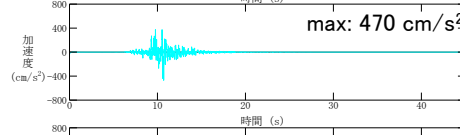
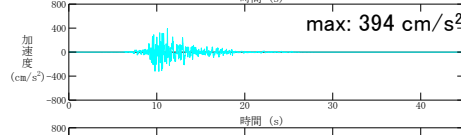
破壊開始点 2



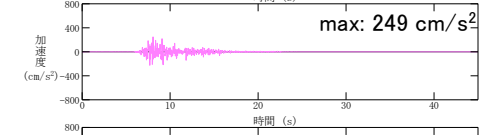
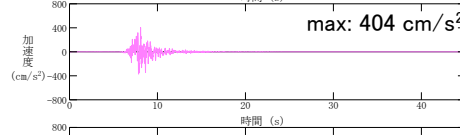
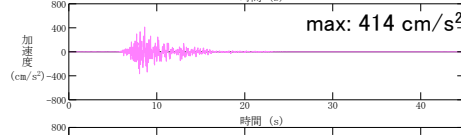
破壊開始点 3



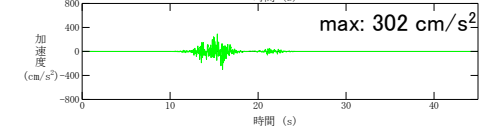
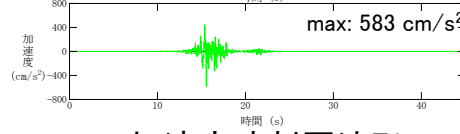
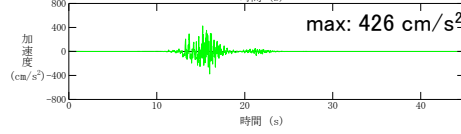
破壊開始点 4



破壊開始点 5



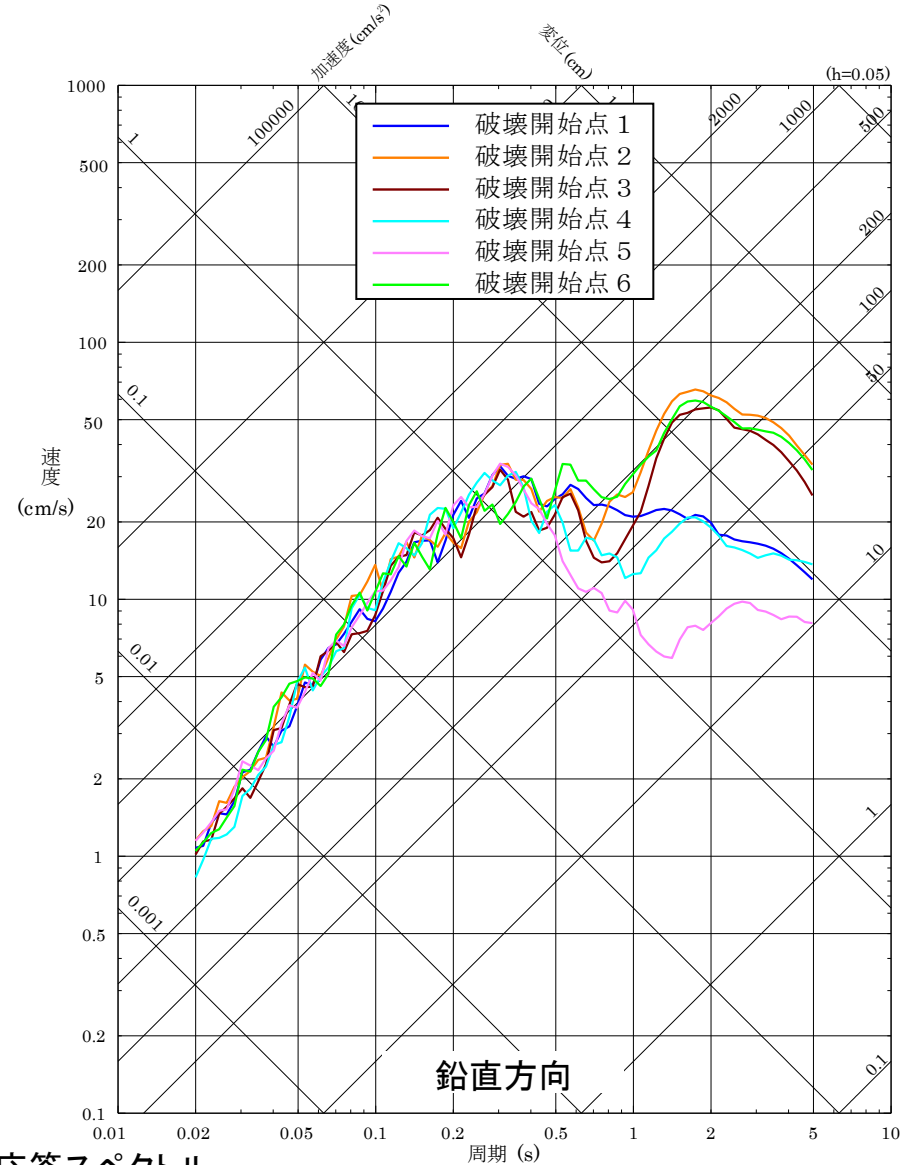
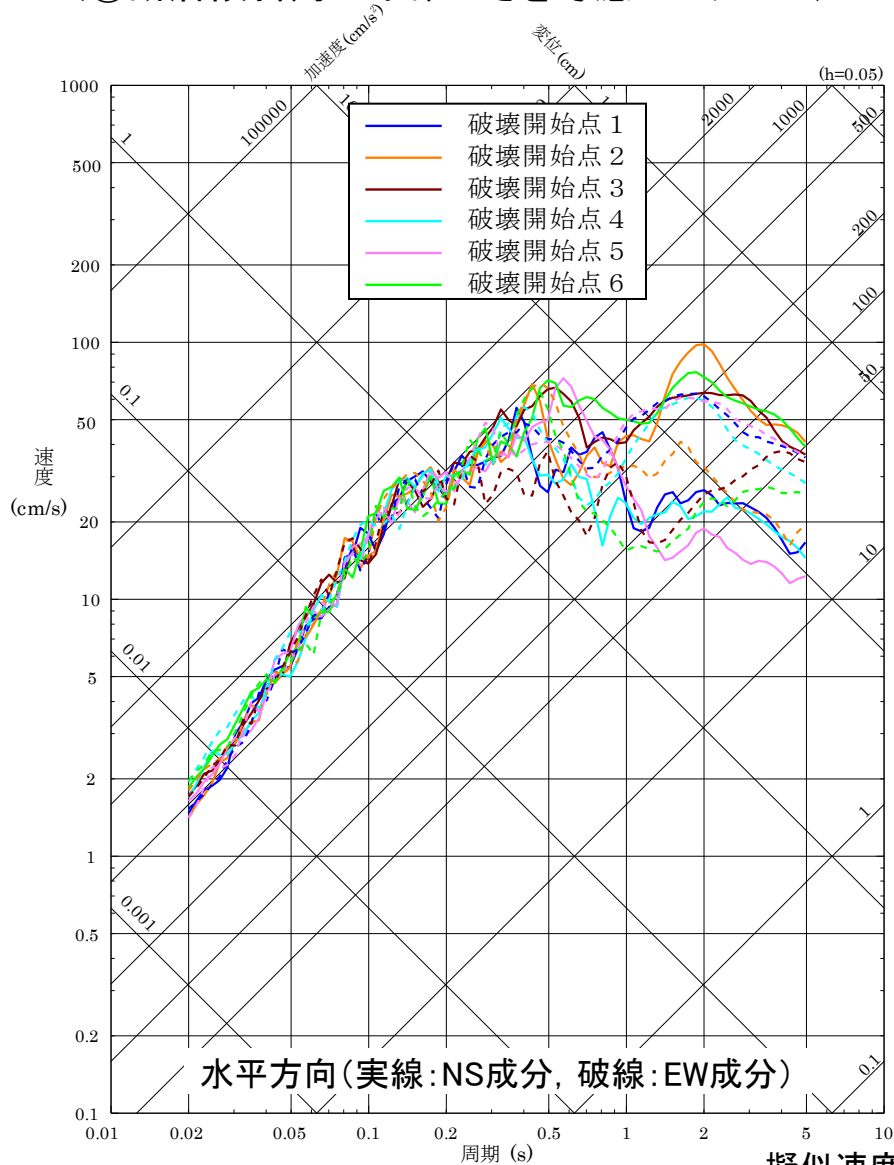
破壊開始点 6



加速度時刻歴波形

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 3/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 4/20

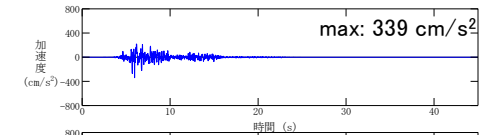
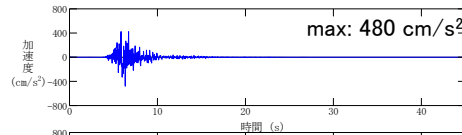
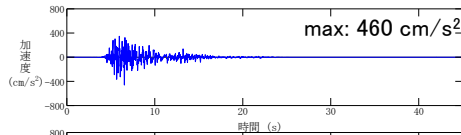
■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース)

水平方向(NS成分)

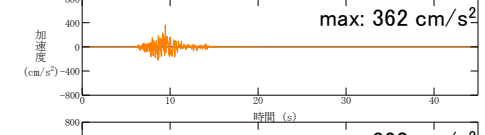
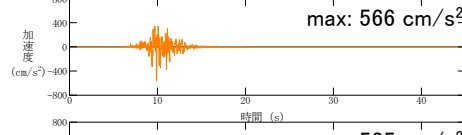
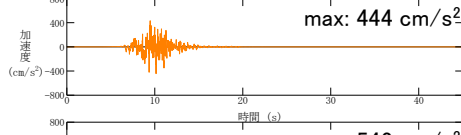
水平方向(EW成分)

鉛直方向

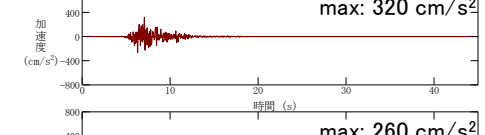
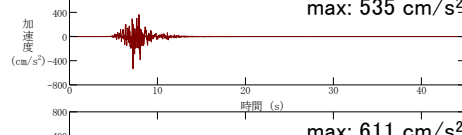
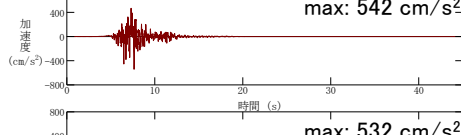
破壊開始点1



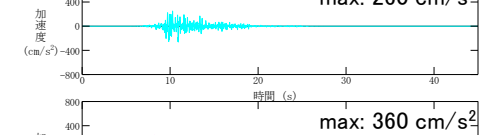
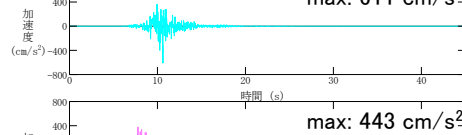
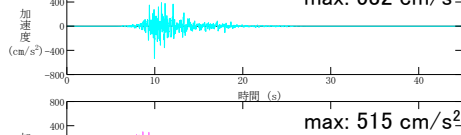
破壊開始点2



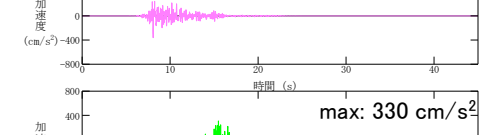
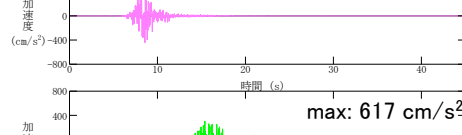
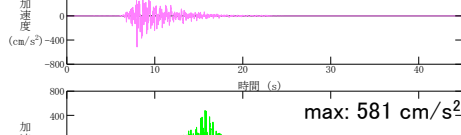
破壊開始点3



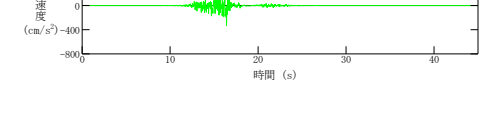
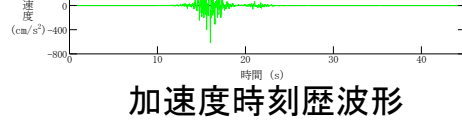
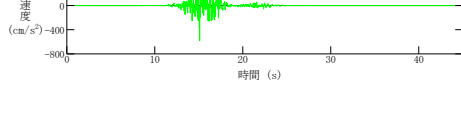
破壊開始点4



破壊開始点5



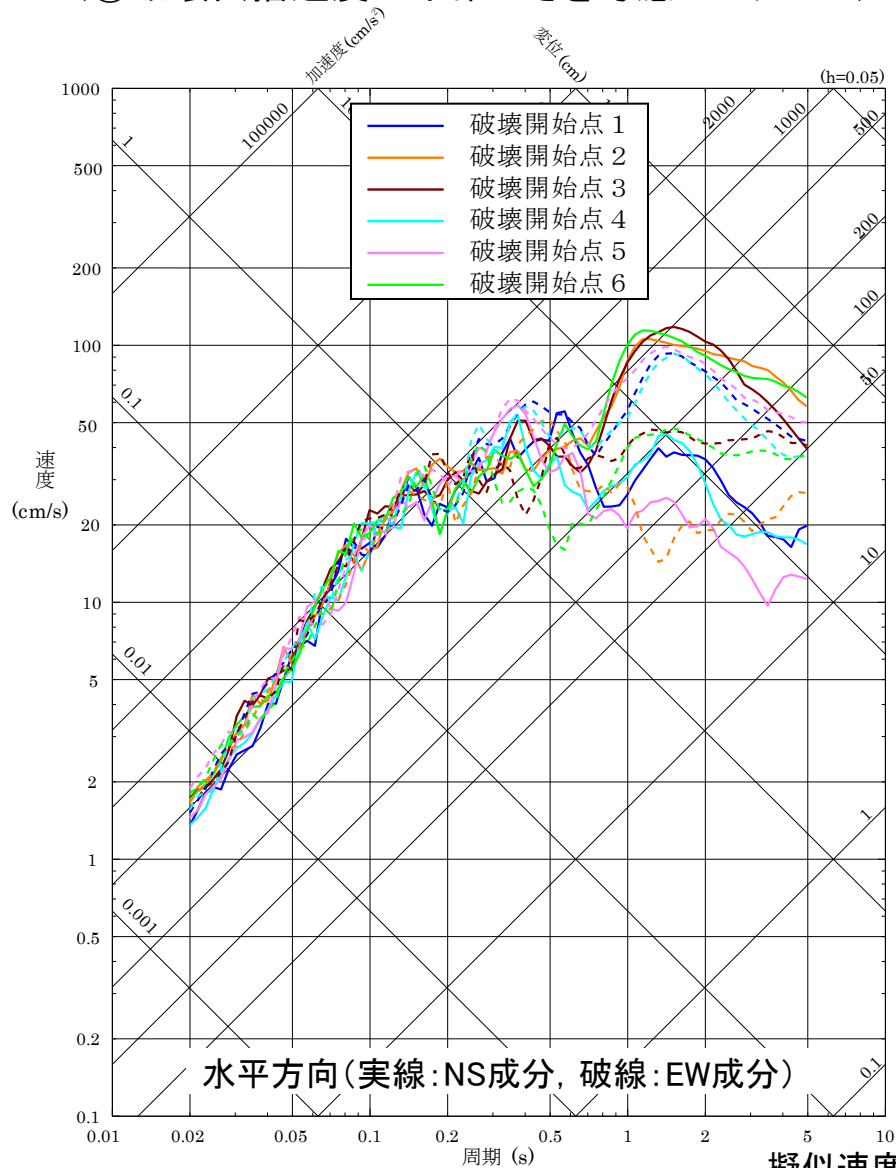
破壊開始点6



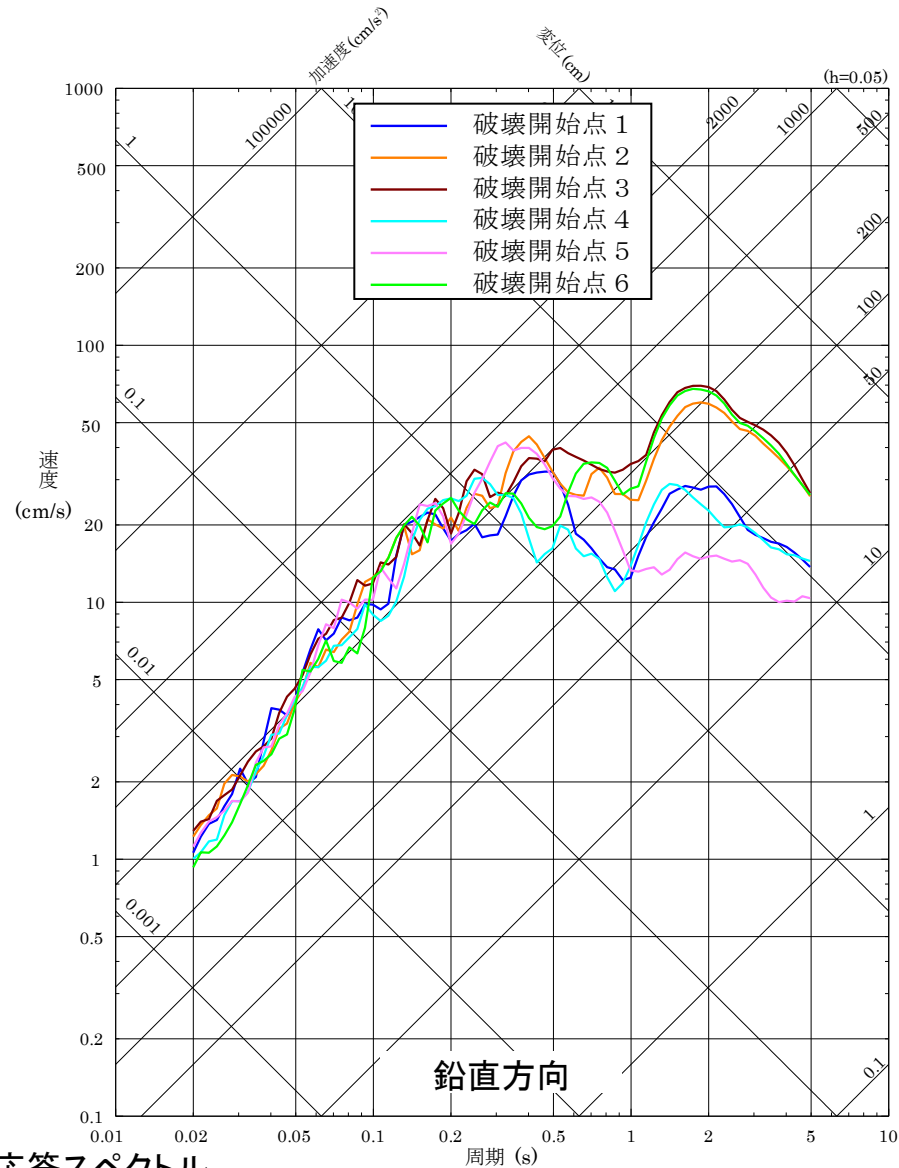
加速度時刻歴波形

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 5/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (④破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース)



擬似速度応答スペクトル



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 6/20

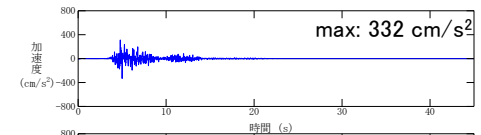
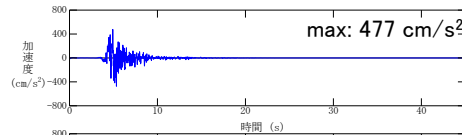
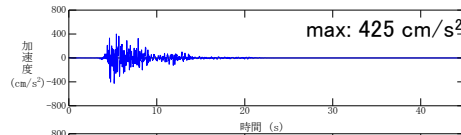
■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (④破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース)

水平方向(NS成分)

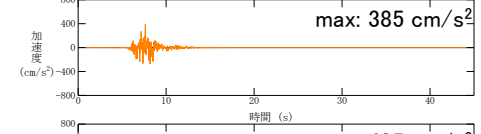
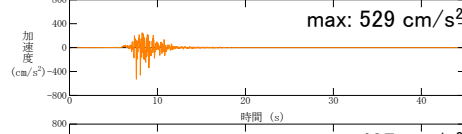
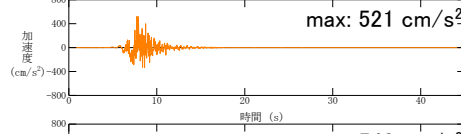
水平方向(EW成分)

鉛直方向

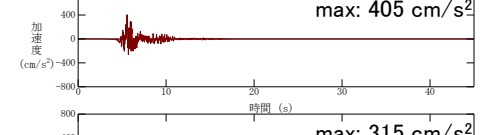
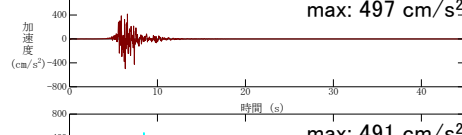
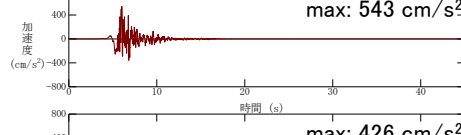
破壊開始点 1



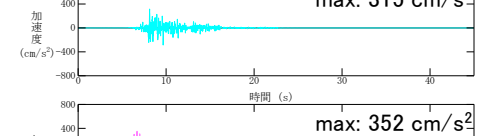
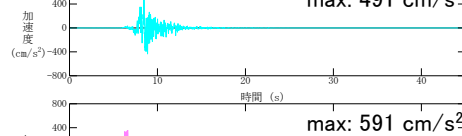
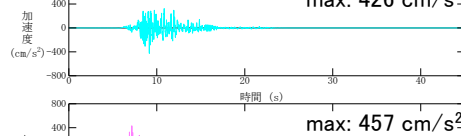
破壊開始点 2



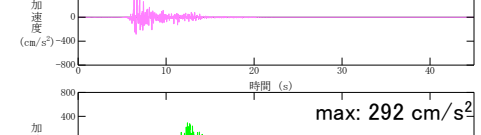
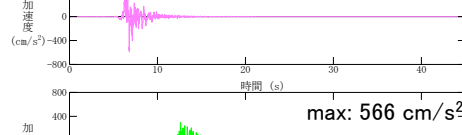
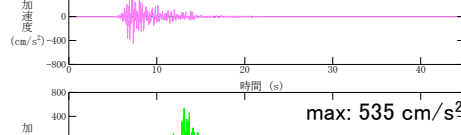
破壊開始点 3



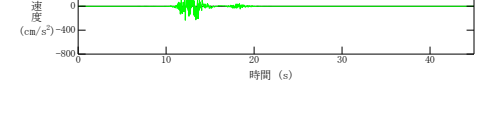
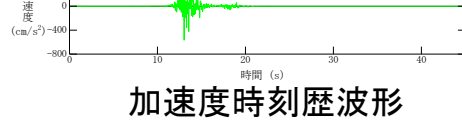
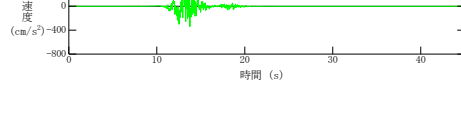
破壊開始点 4



破壊開始点 5



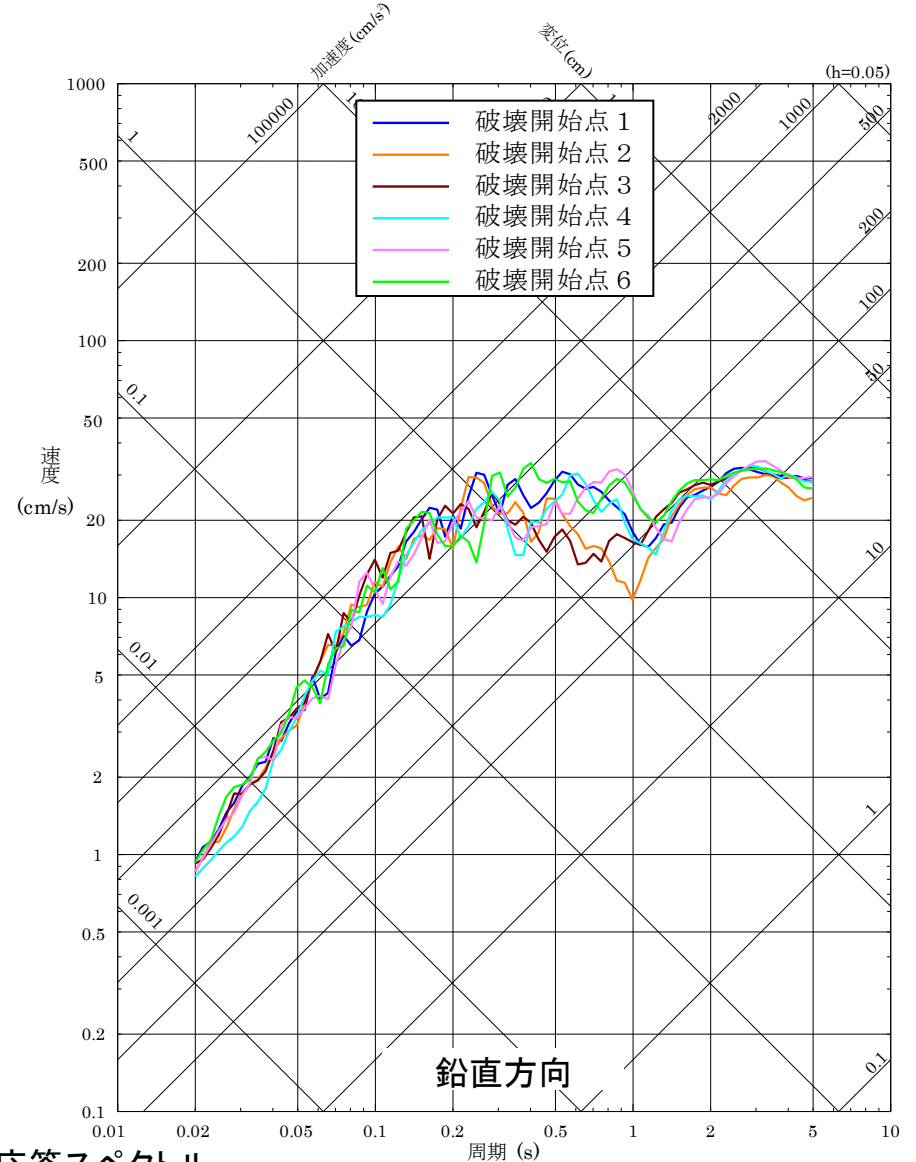
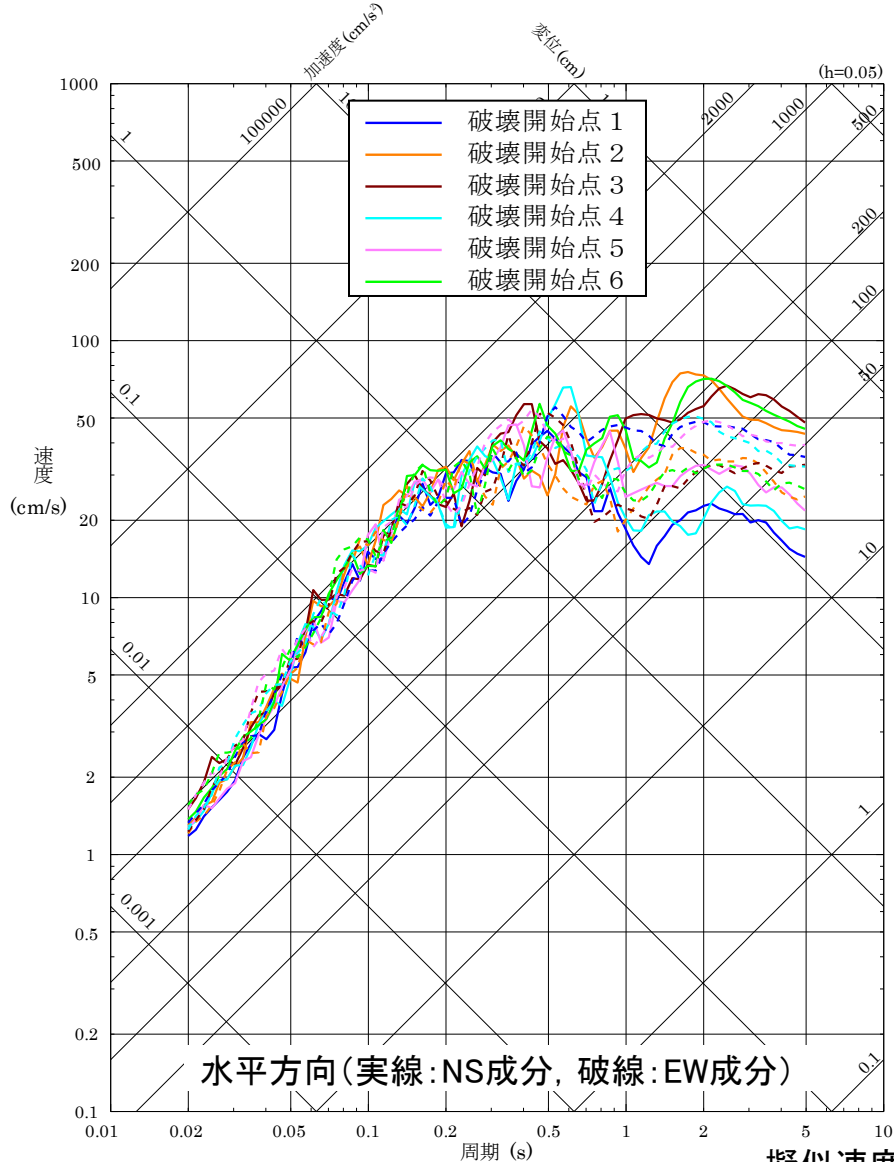
破壊開始点 6



加速度時刻歴波形

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 7/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑤すべり角の不確かさを考慮したケース)



擬似速度応答スペクトル

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 8/20

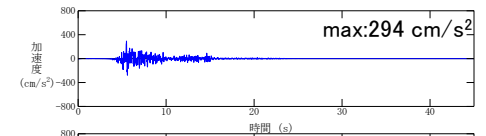
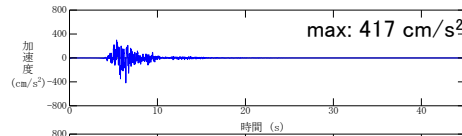
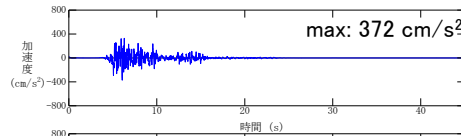
■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑤すべり角の不確かさを考慮したケース)

水平方向(NS成分)

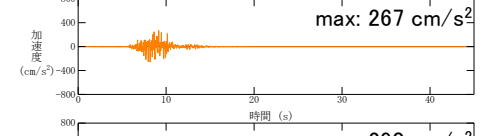
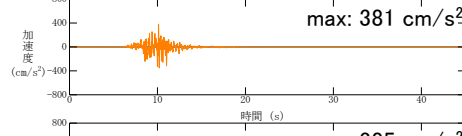
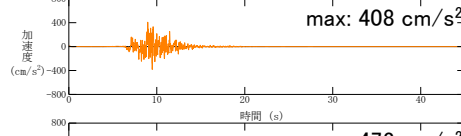
水平方向(EW成分)

鉛直方向

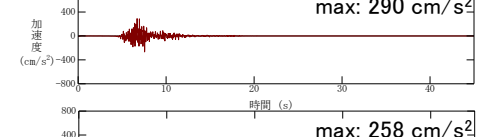
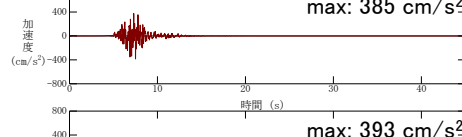
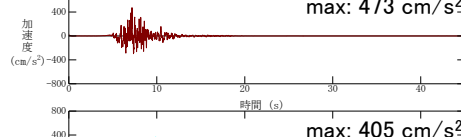
破壊開始点1



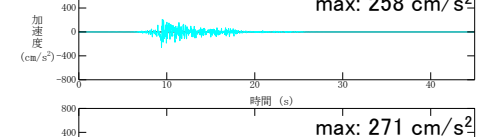
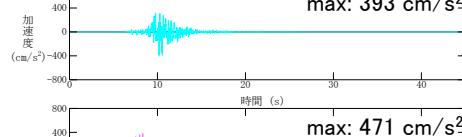
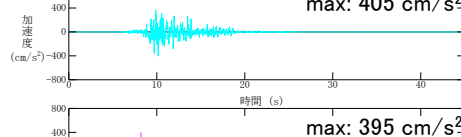
破壊開始点2



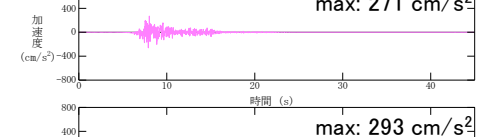
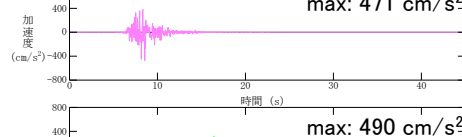
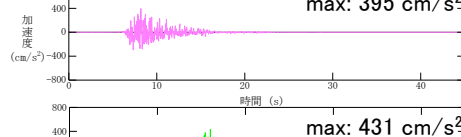
破壊開始点3



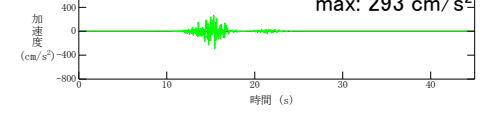
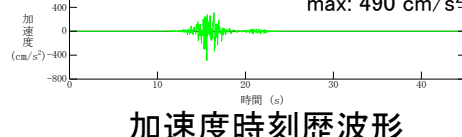
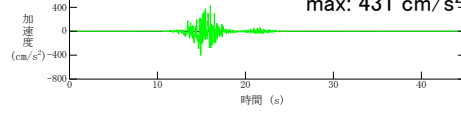
破壊開始点4



破壊開始点5



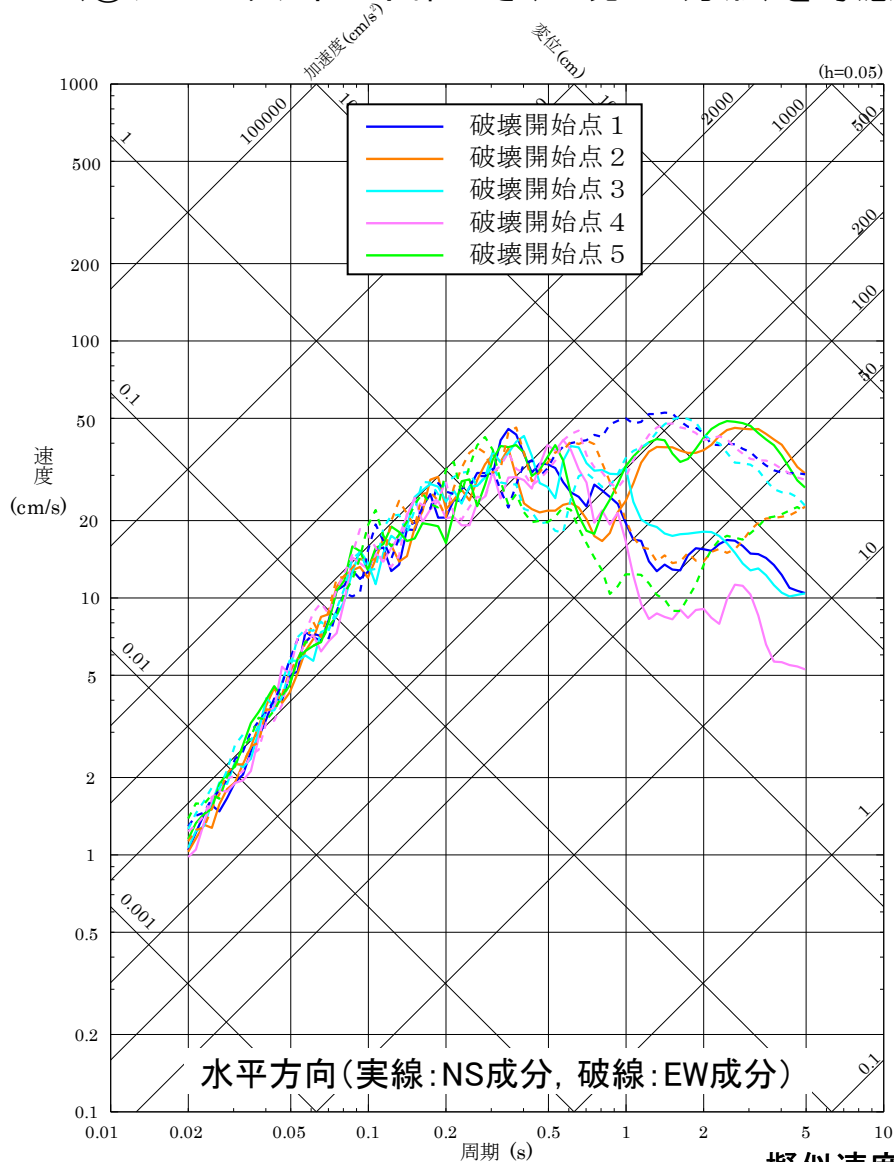
破壊開始点6



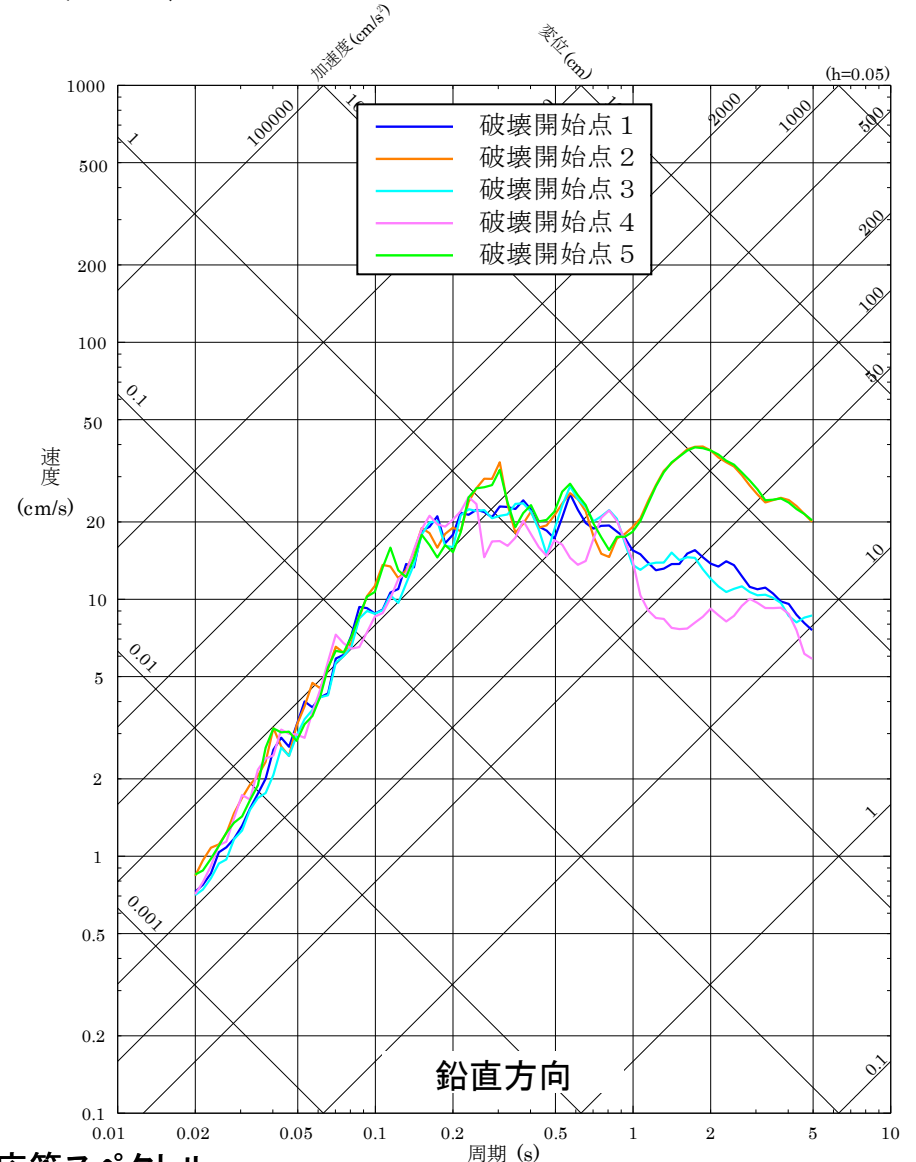
加速度時刻歴波形

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 9/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑥アスペリティの不確かさ(一塊:正方形)を考慮したケース)



擬似速度応答スペクトル



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 10/20

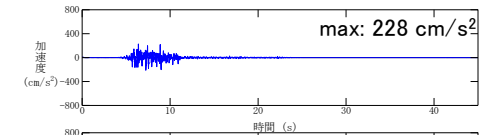
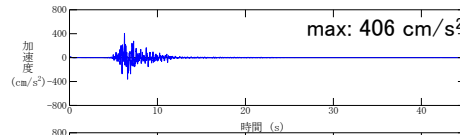
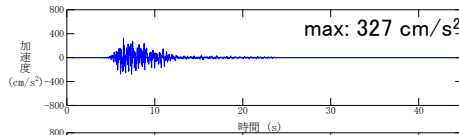
■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑥アスペリティの不確かさ(一塊:正方形)を考慮したケース)

水平方向(NS成分)

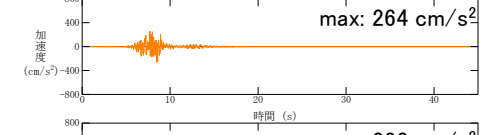
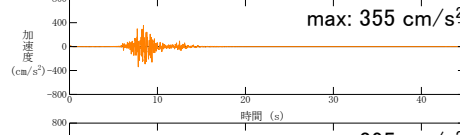
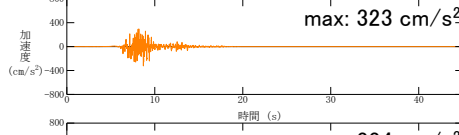
水平方向(EW成分)

鉛直方向

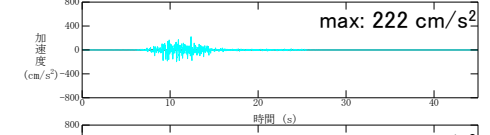
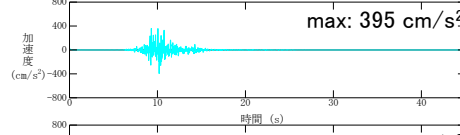
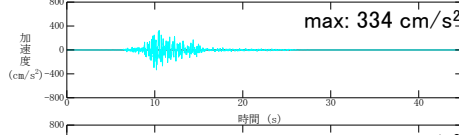
破壊開始点1



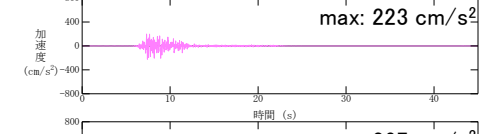
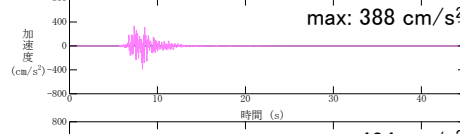
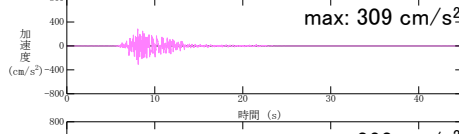
破壊開始点2



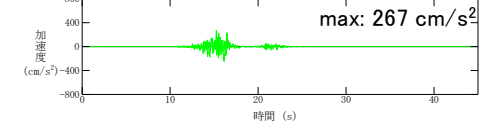
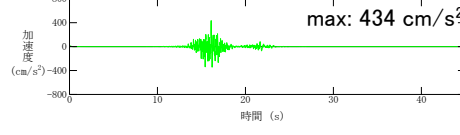
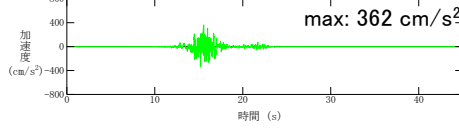
破壊開始点3



破壊開始点4



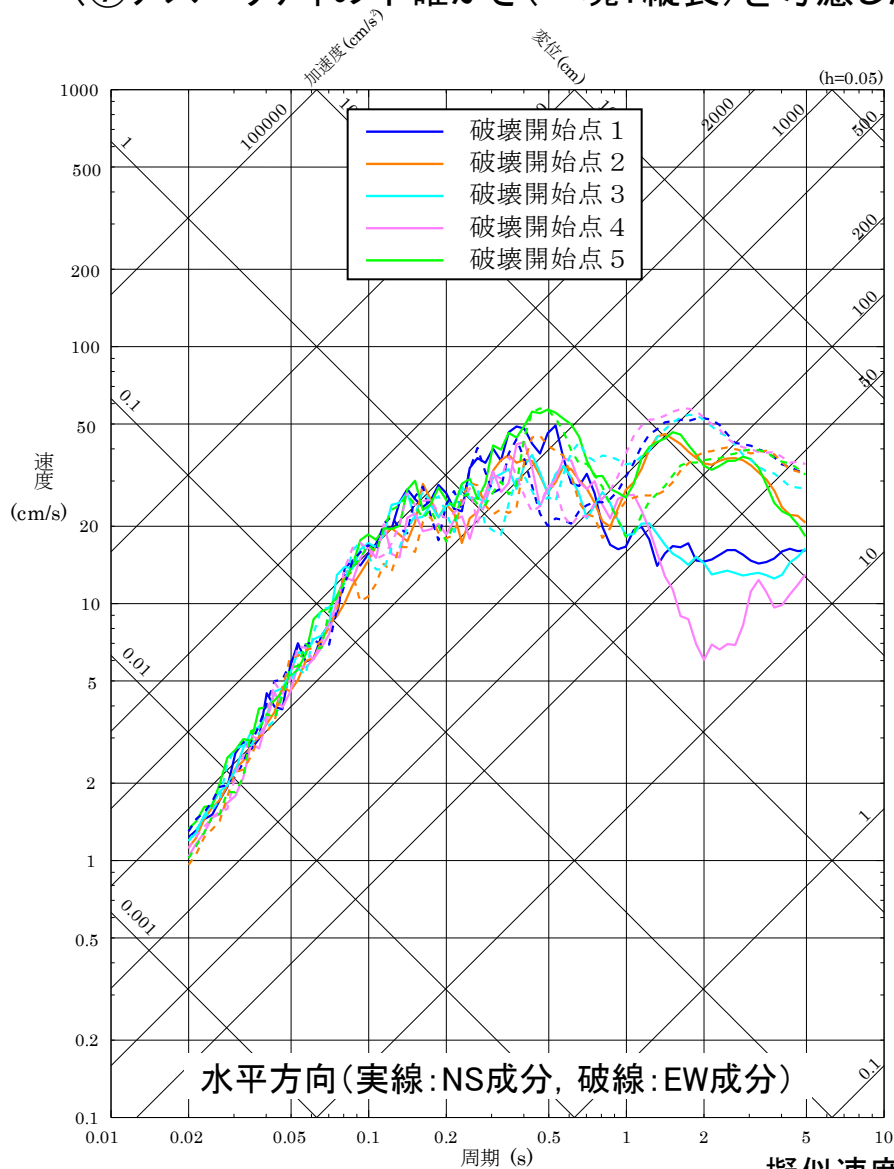
破壊開始点5



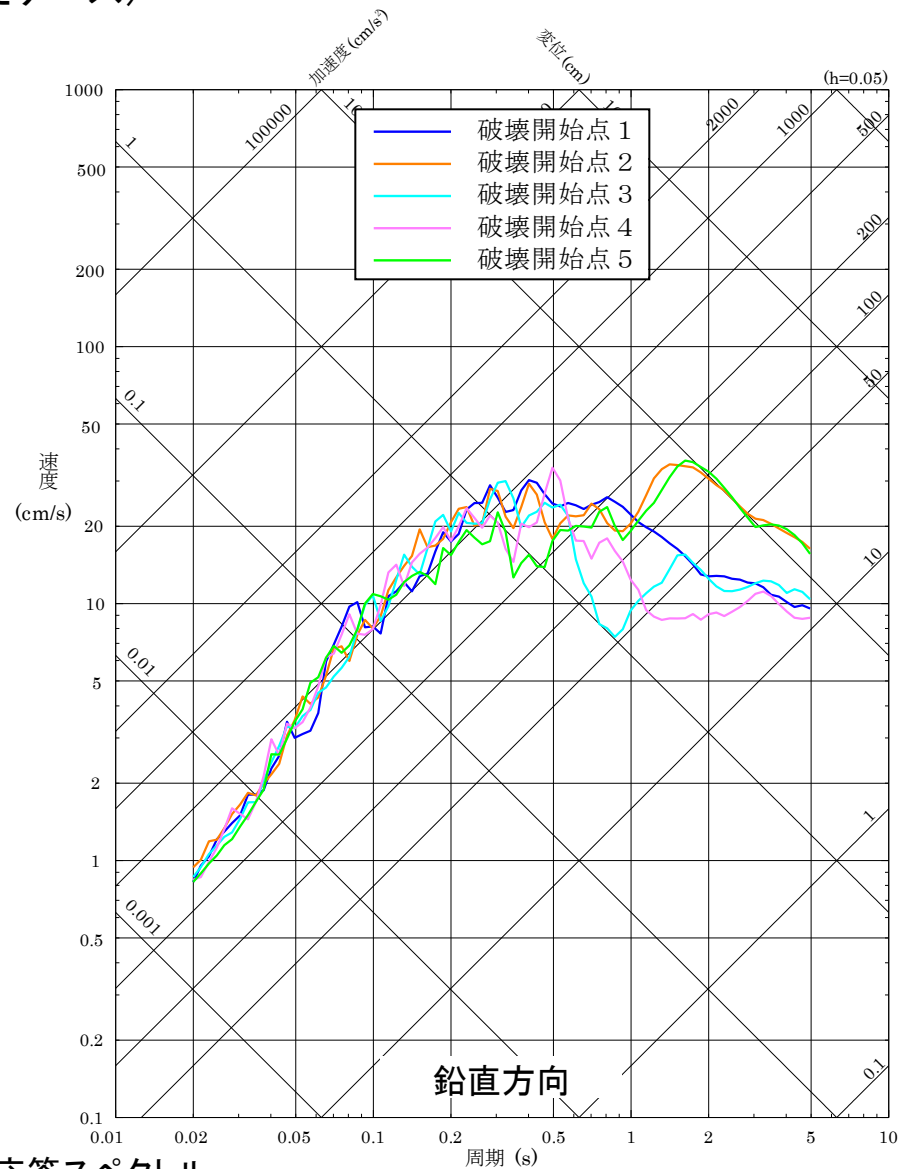
加速度時刻歴波形

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 11/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑦アスペリティの不確かさ(一塊:縦長)を考慮したケース)



擬似速度応答スペクトル



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 12/20

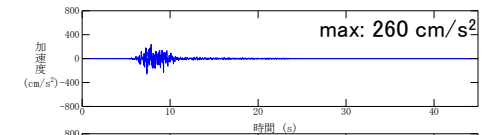
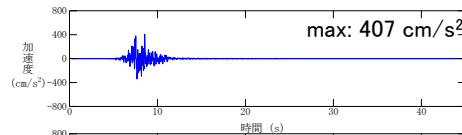
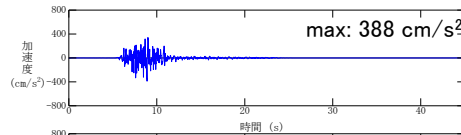
■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑦アスペリティの不確かさ(一塊:縦長)を考慮したケース)

水平方向(NS成分)

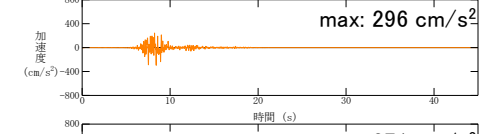
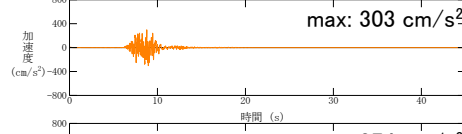
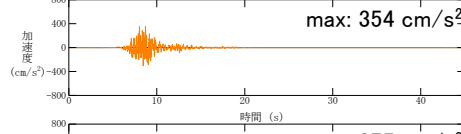
水平方向(EW成分)

鉛直方向

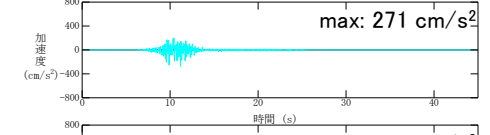
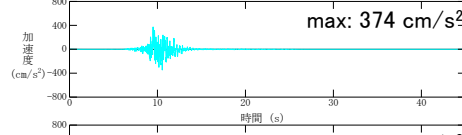
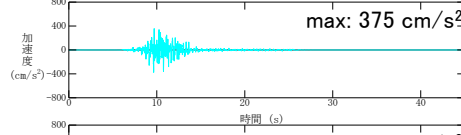
破壊開始点1



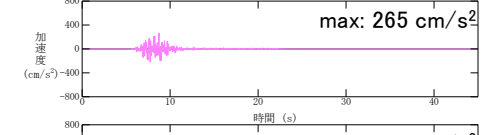
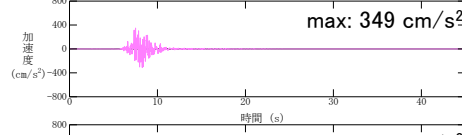
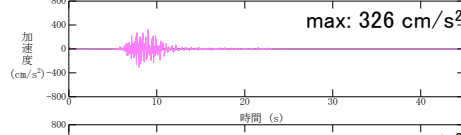
破壊開始点2



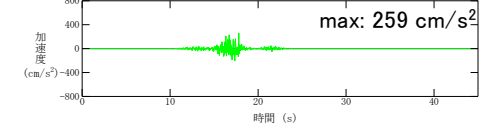
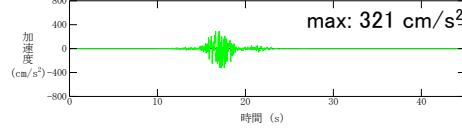
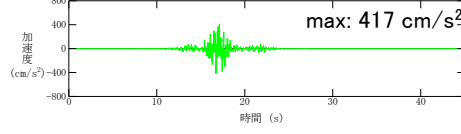
破壊開始点3



破壊開始点4



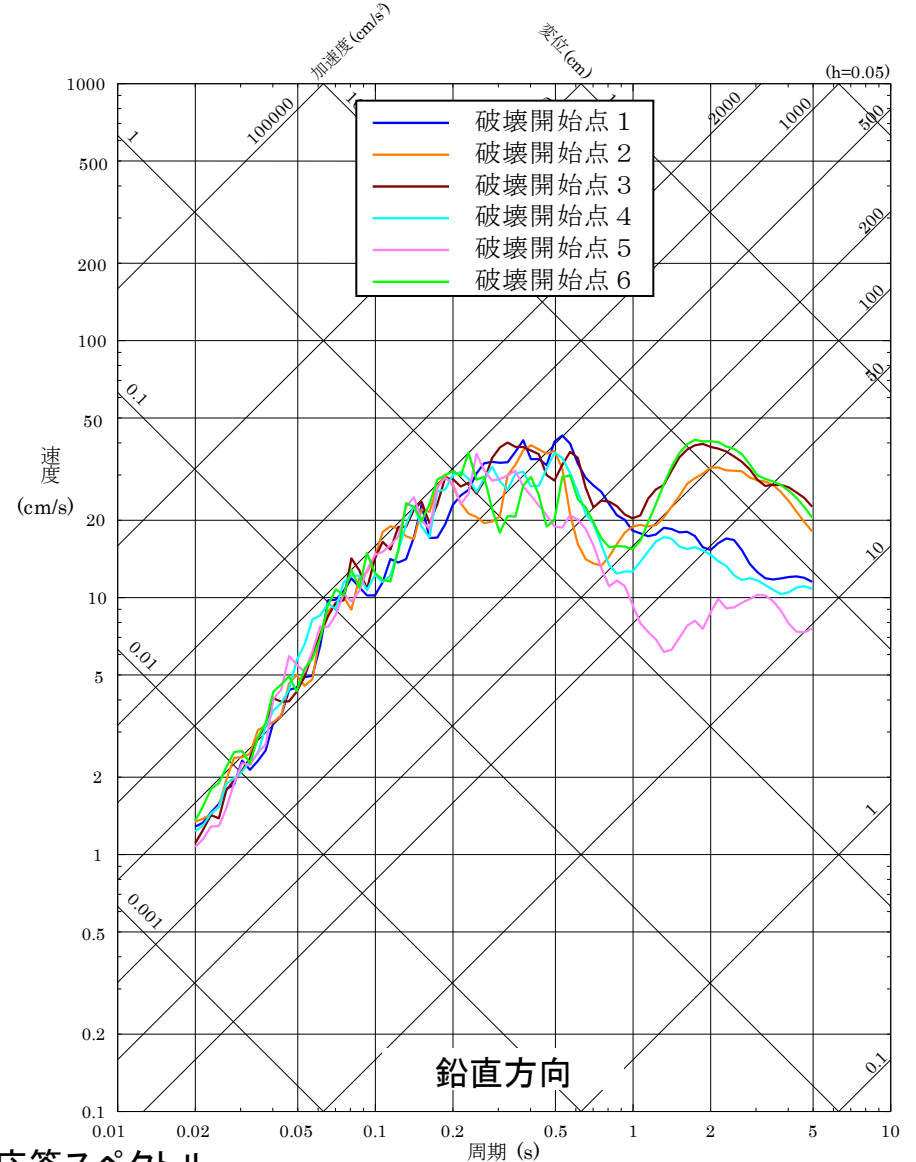
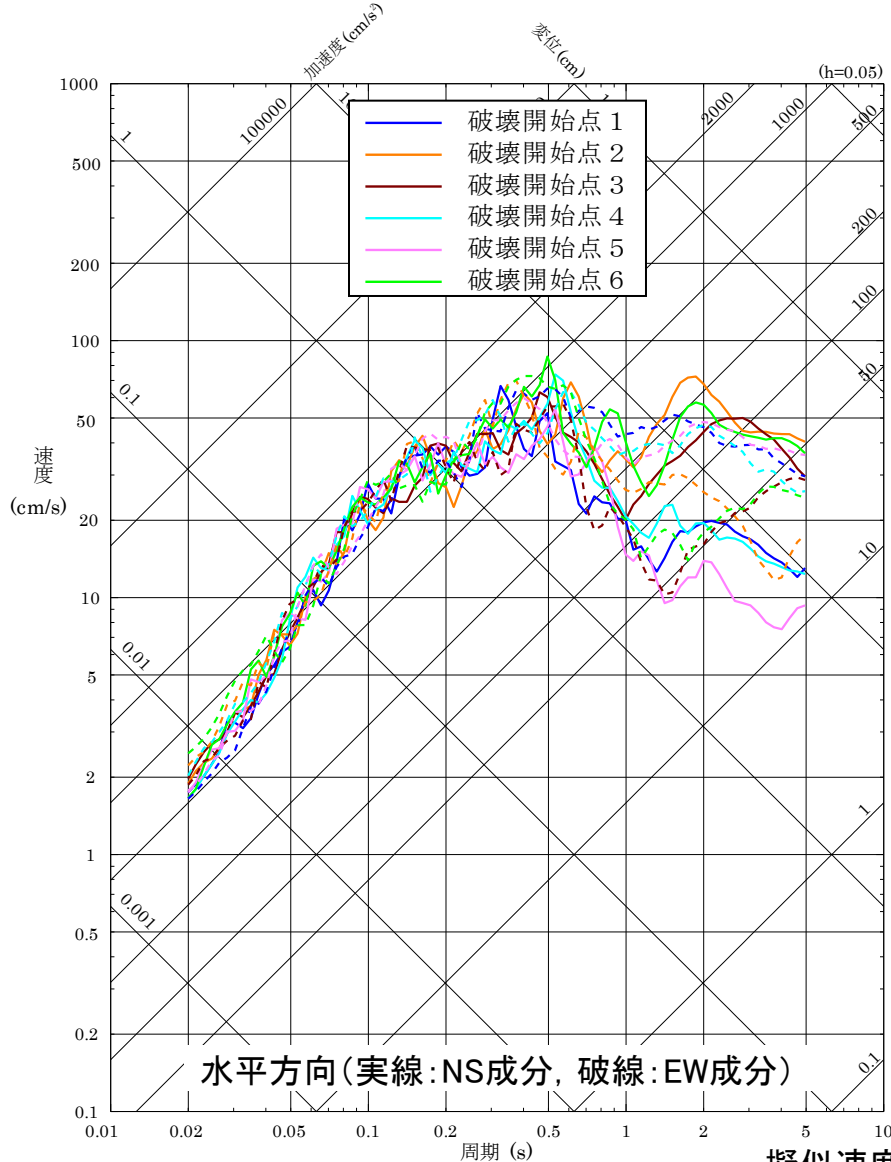
破壊開始点5



加速度時刻歴波形

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 13/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑧短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)を考慮したケース)

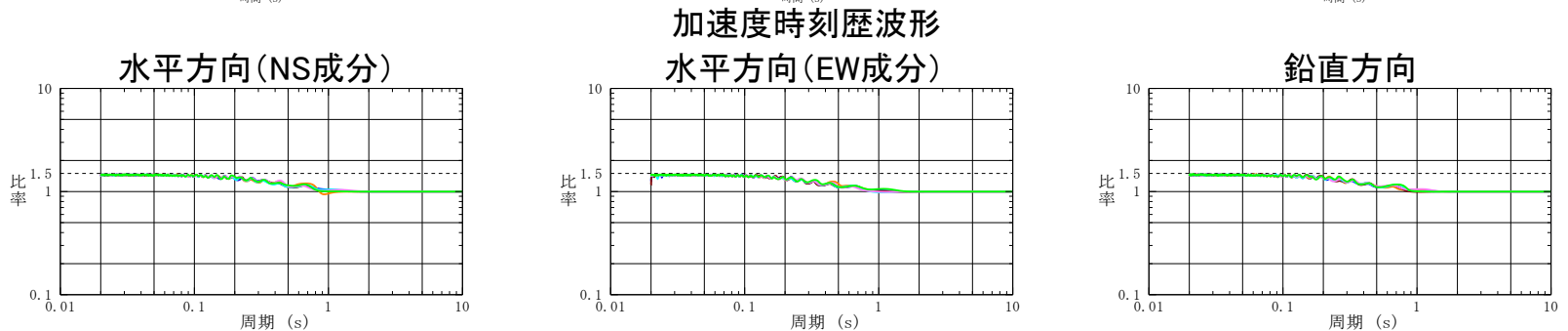
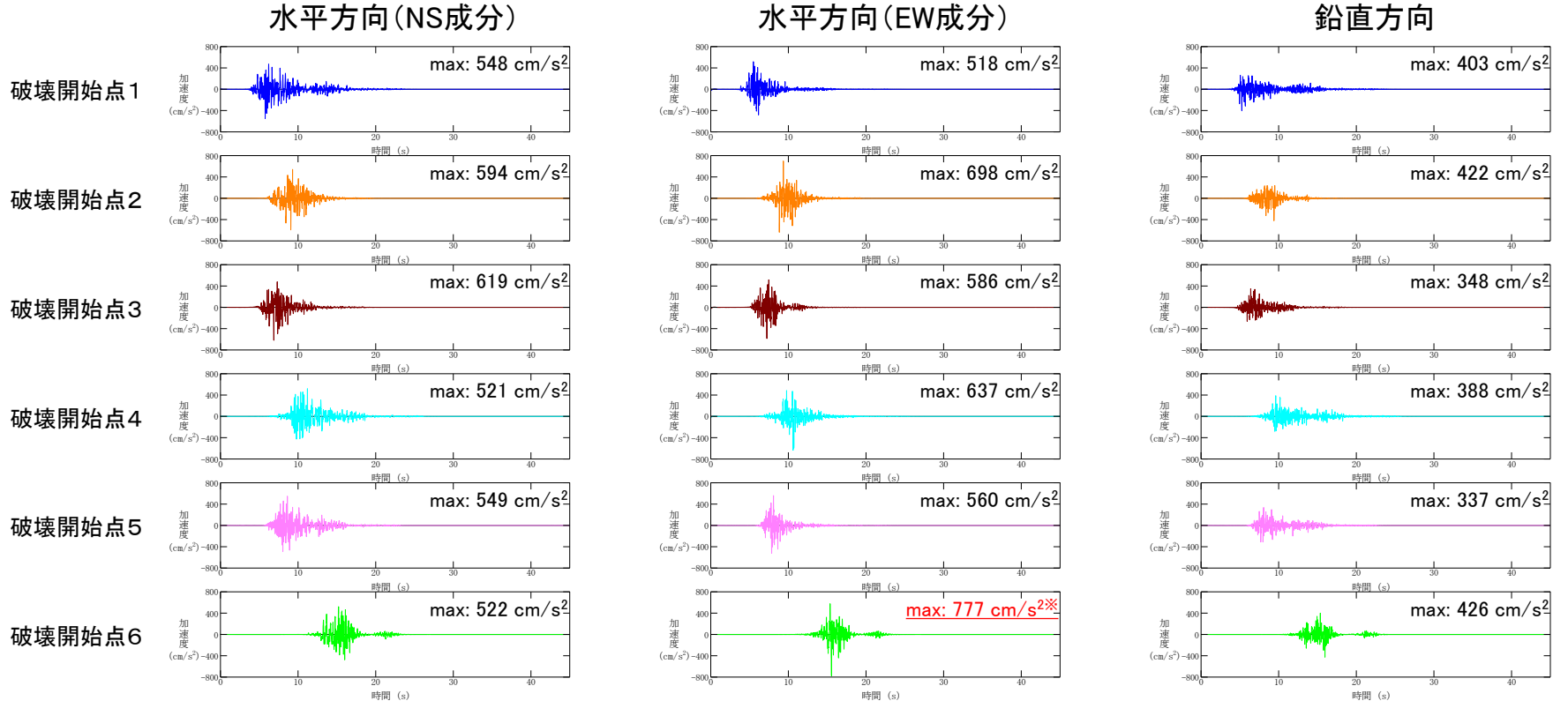


擬似速度応答スペクトル

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 14/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑧短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)を考慮したケース)

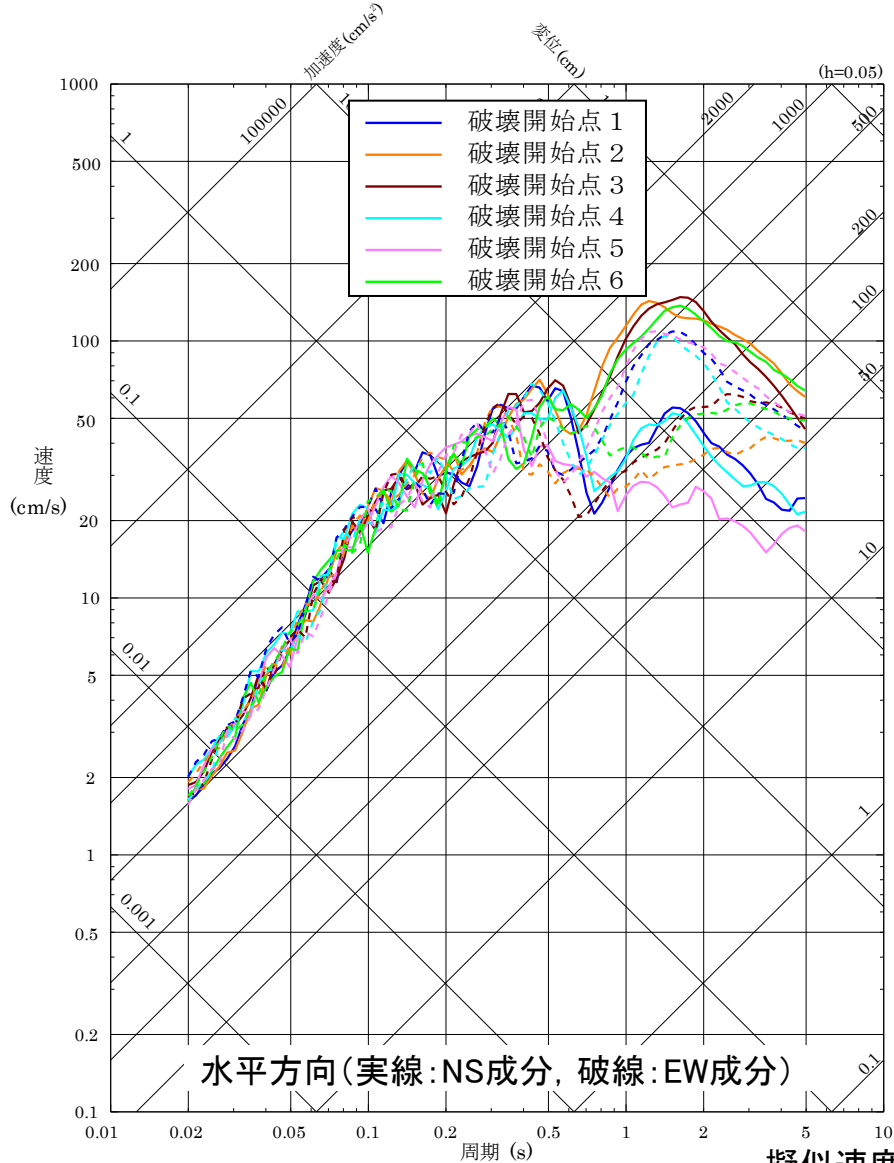
※宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果で最も大きい加速度値(水平方向)



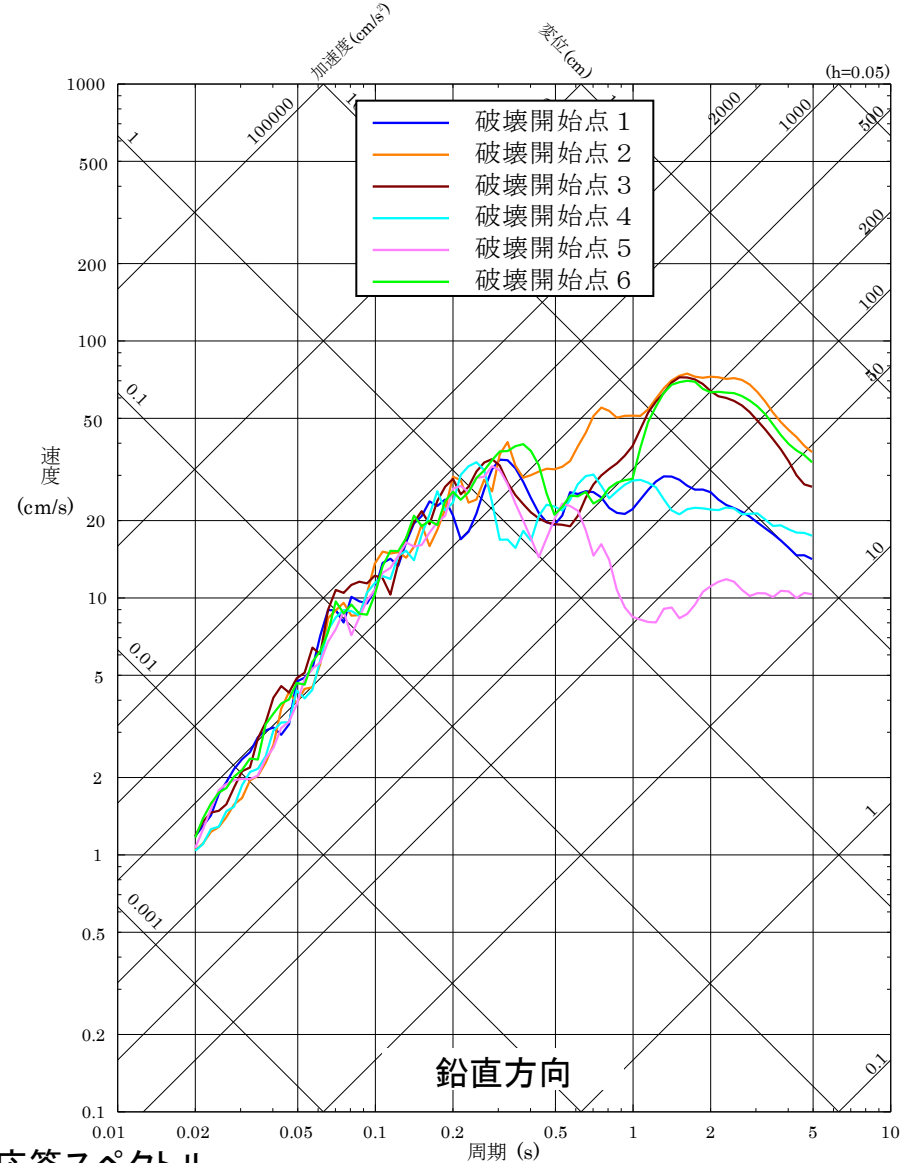
フーリエスペクトル比 (短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)を考慮したケース/基本震源モデル)

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 15/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑨断層傾斜角の不確かさと破壊伝播速度の不確かさの組合せケース)



擬似速度応答スペクトル



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 16/20

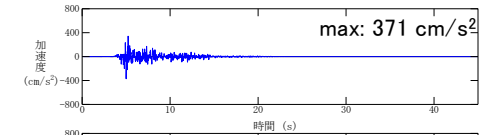
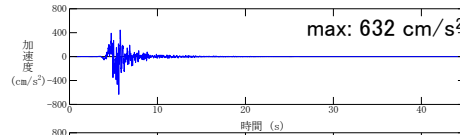
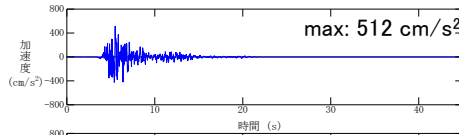
■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑨断層傾斜角の不確かさと破壊伝播速度の不確かさの組合せケース)

水平方向(NS成分)

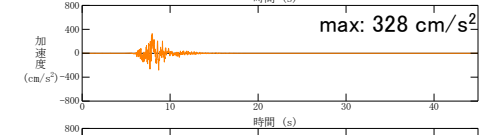
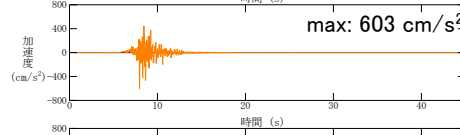
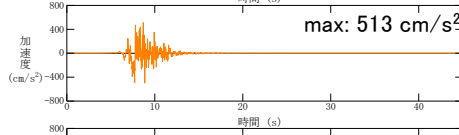
水平方向(EW成分)

鉛直方向

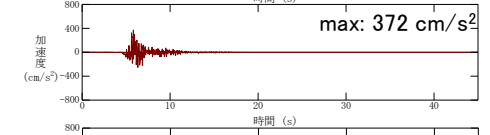
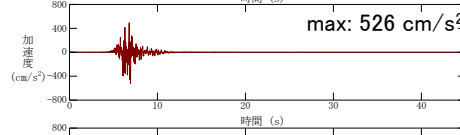
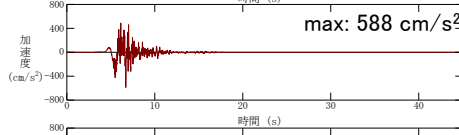
破壊開始点1



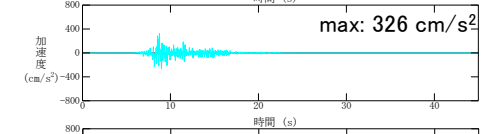
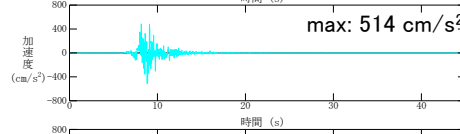
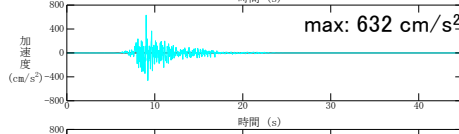
破壊開始点2



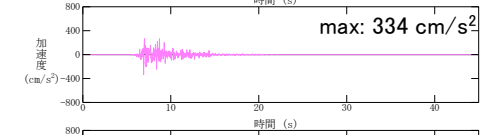
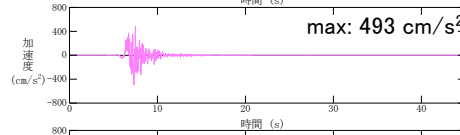
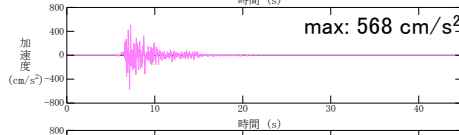
破壊開始点3



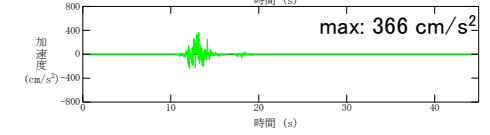
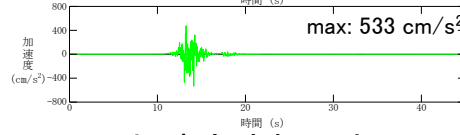
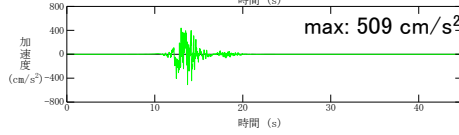
破壊開始点4



破壊開始点5



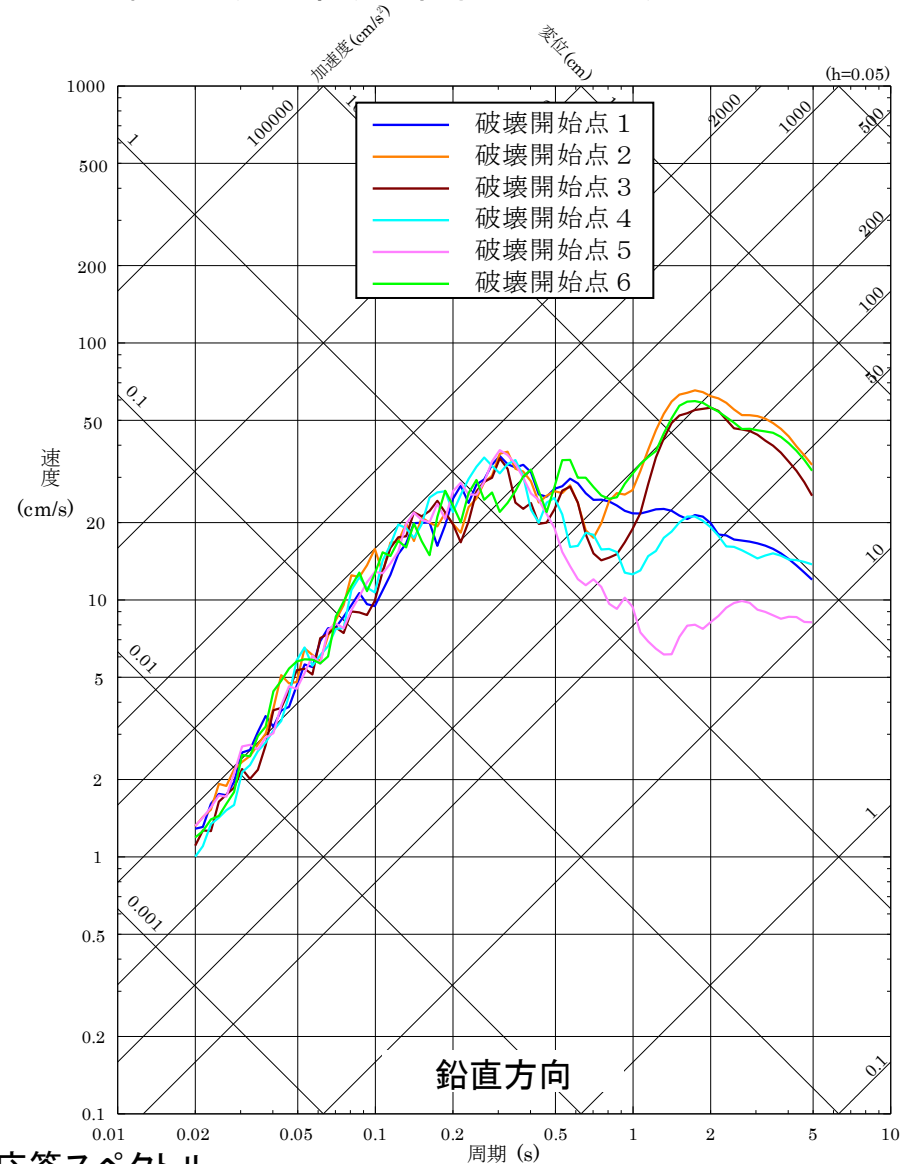
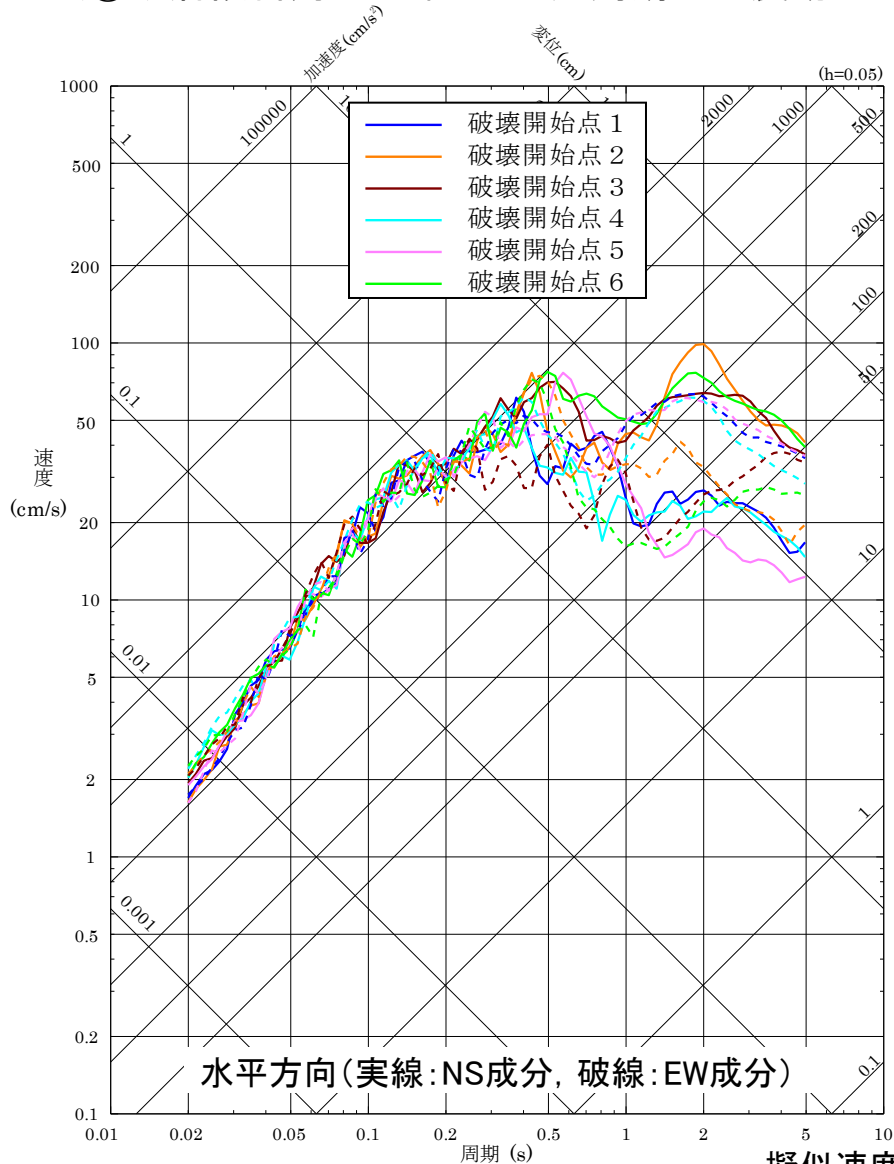
破壊開始点6



加速度時刻歴波形

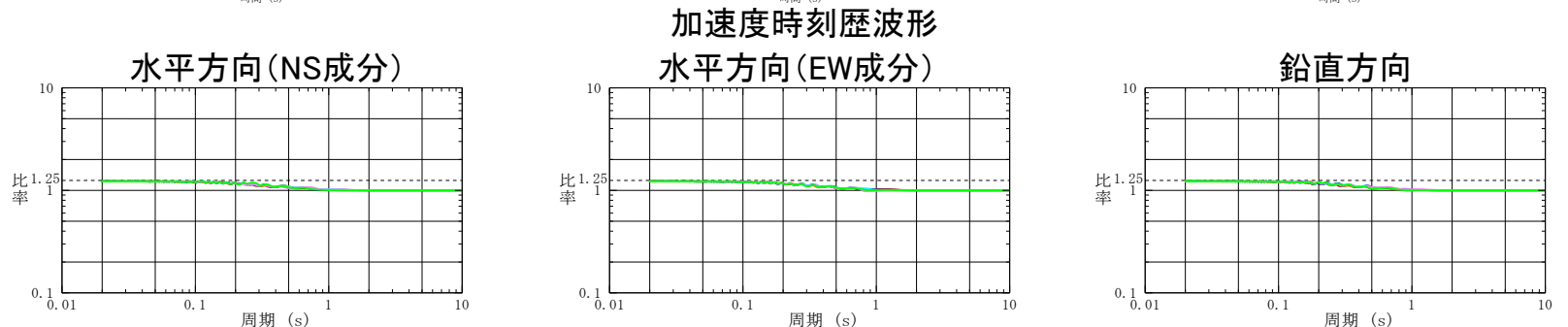
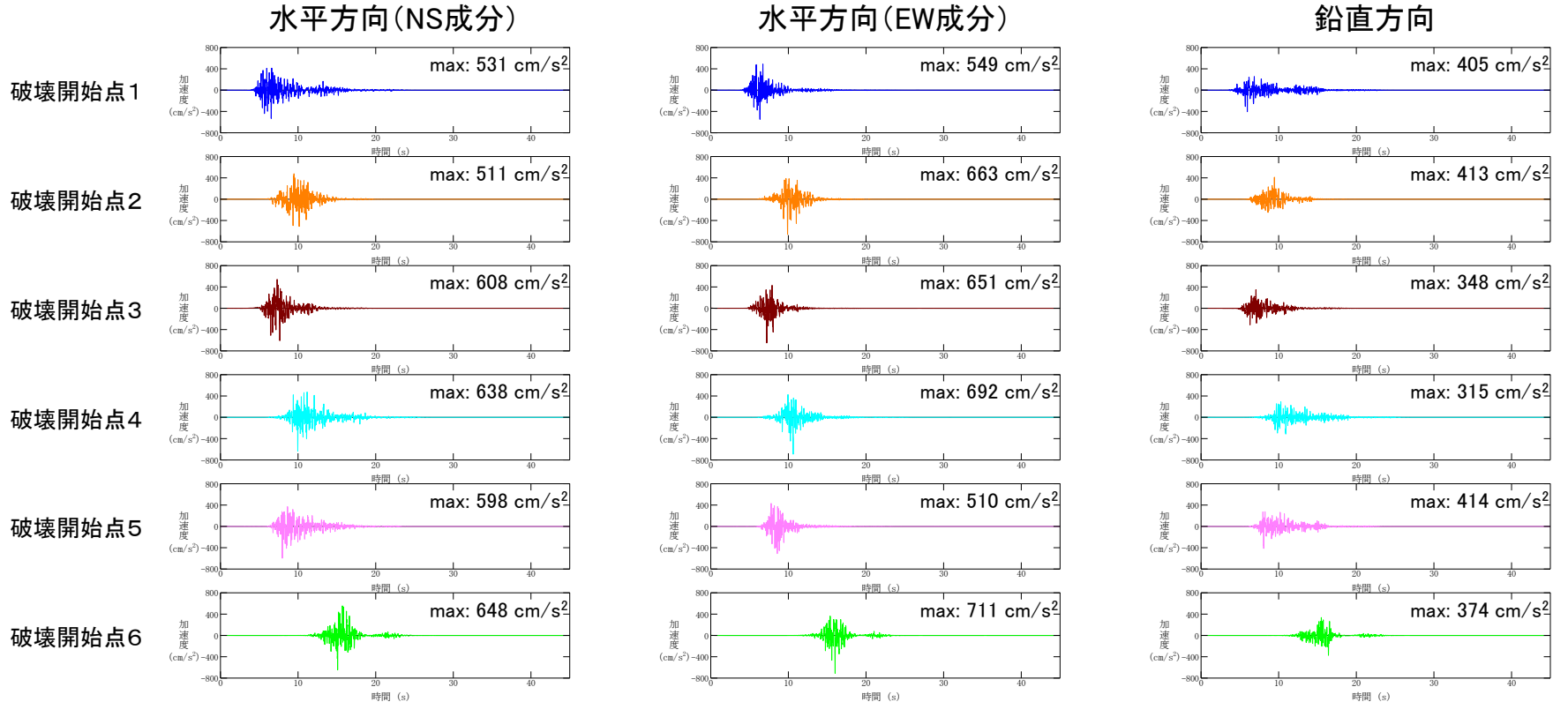
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 17/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑩断層傾斜角の不確かさと短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)の組合せケース)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 18/20

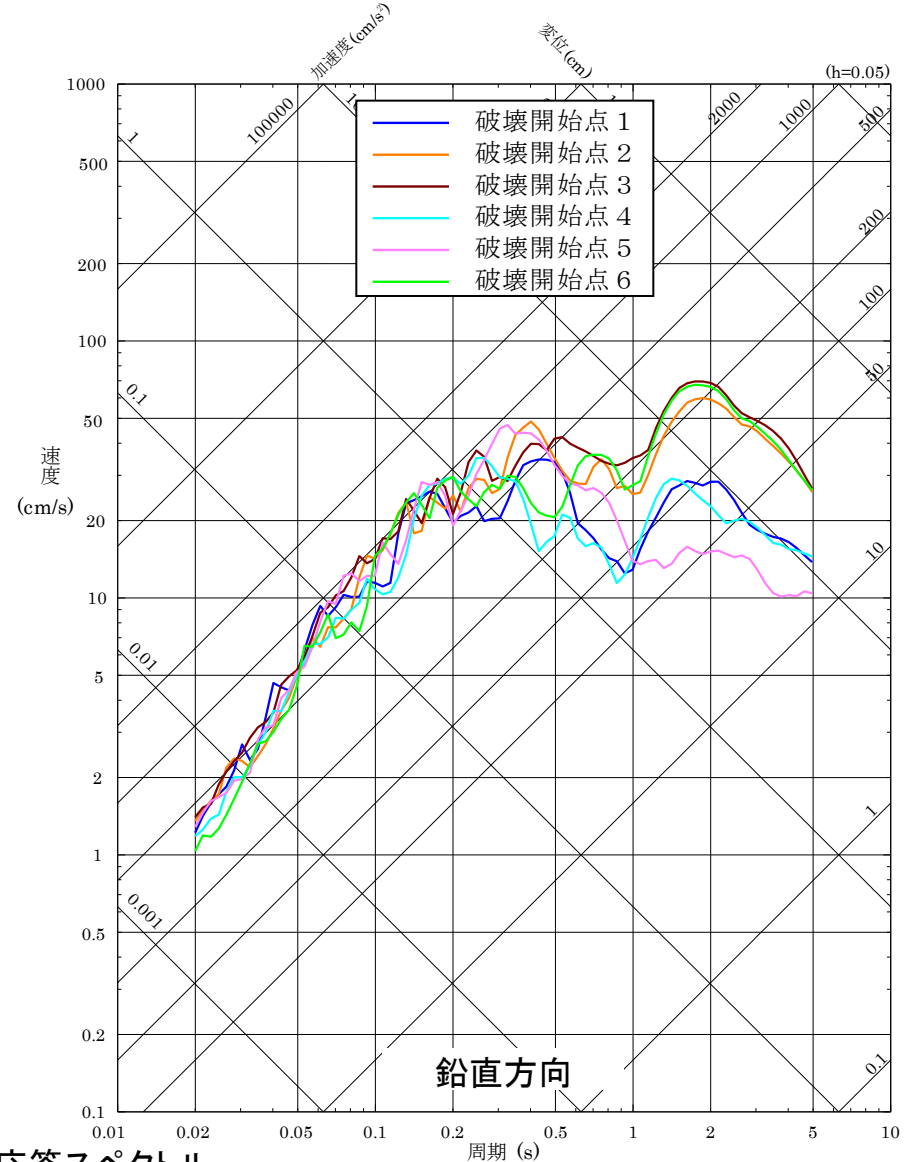
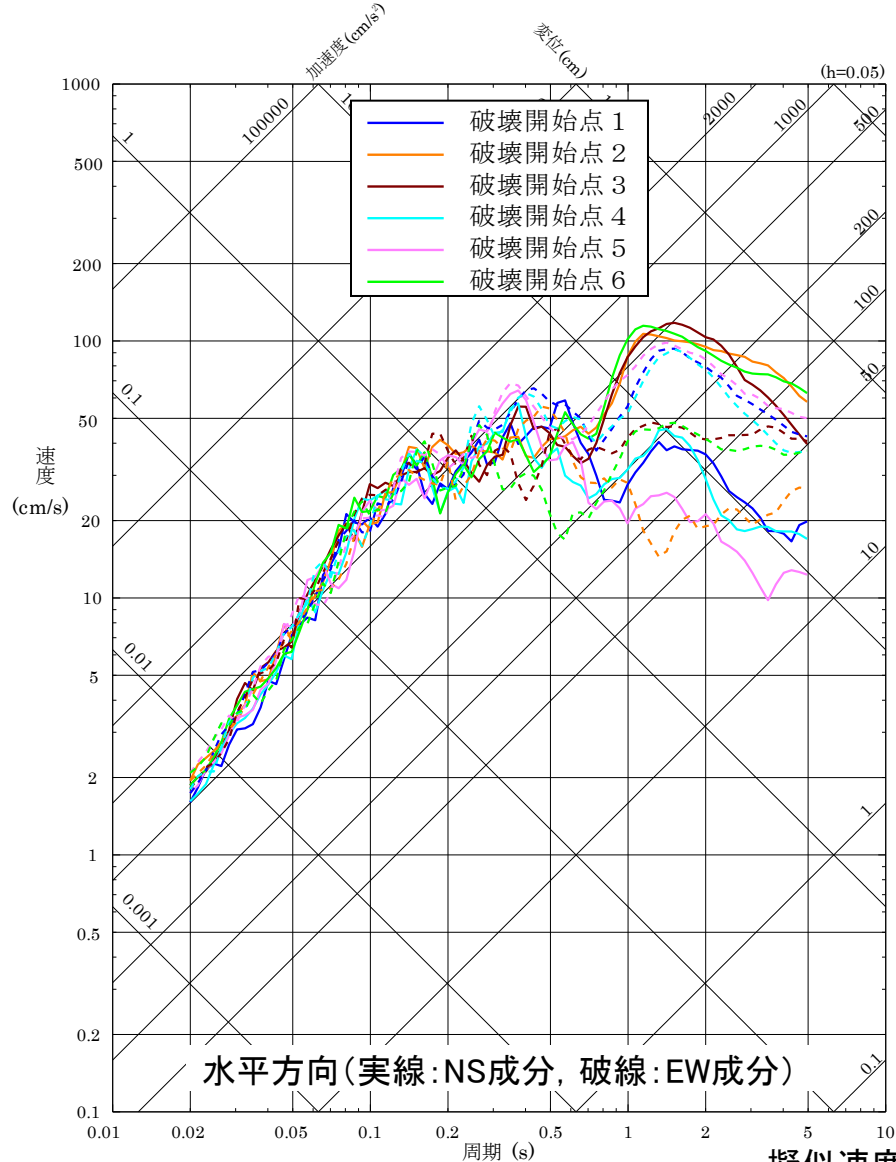
■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑩断層傾斜角の不確かさと短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)の組合せケース)



フーリエスペクトル比 (断層傾斜角の不確かさと短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)の組合せケース/断層傾斜角の不確かさケース)

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 19/20

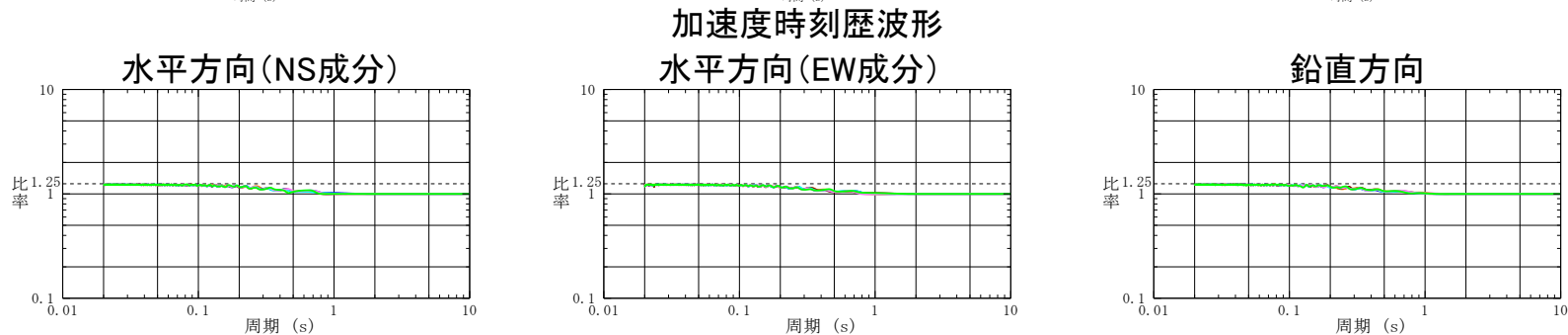
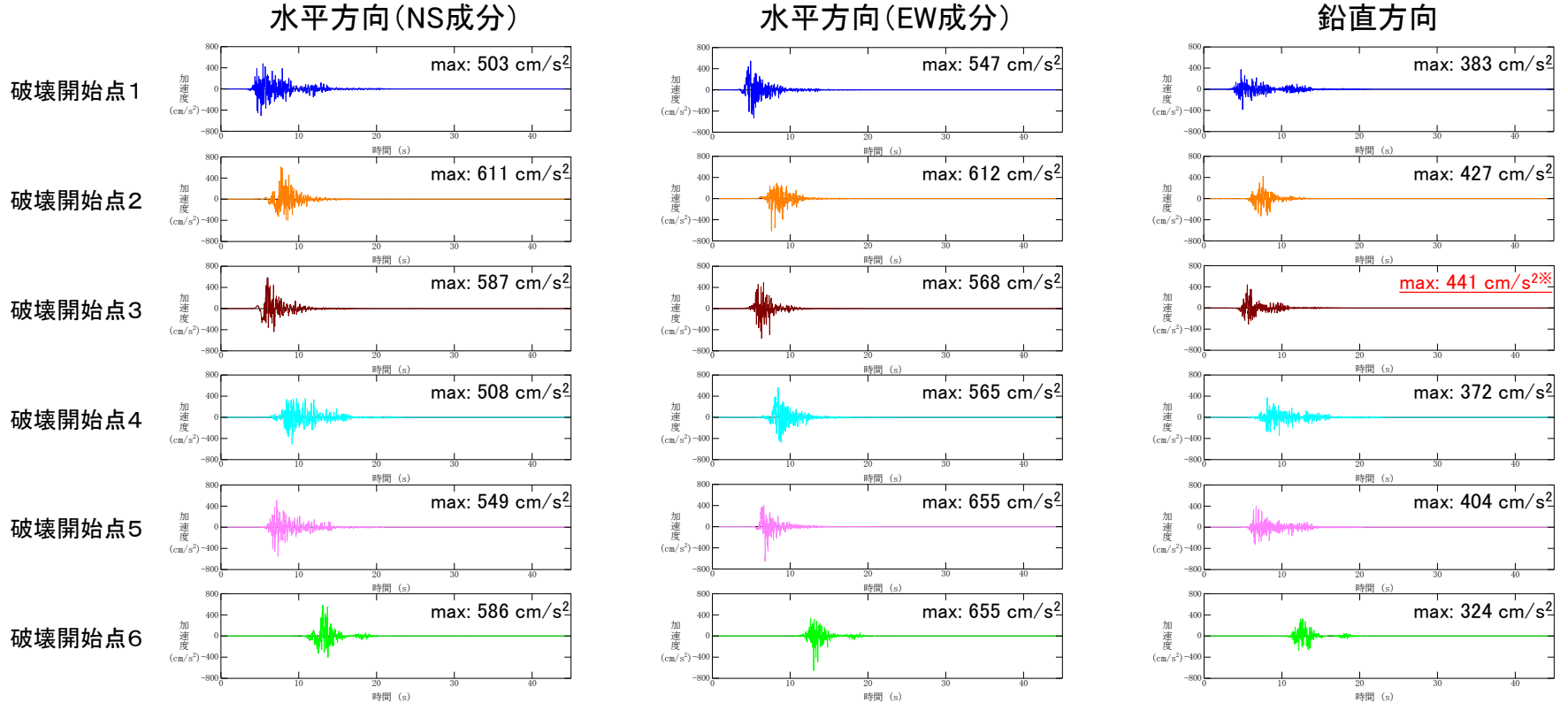
■ 突道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (①破壊伝播速度の不確かさと短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)の組合せケース)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 20/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (①破壊伝播速度の不確かさと短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)の組合せケース)

※宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果で最も大きい加速度値(鉛直方向)

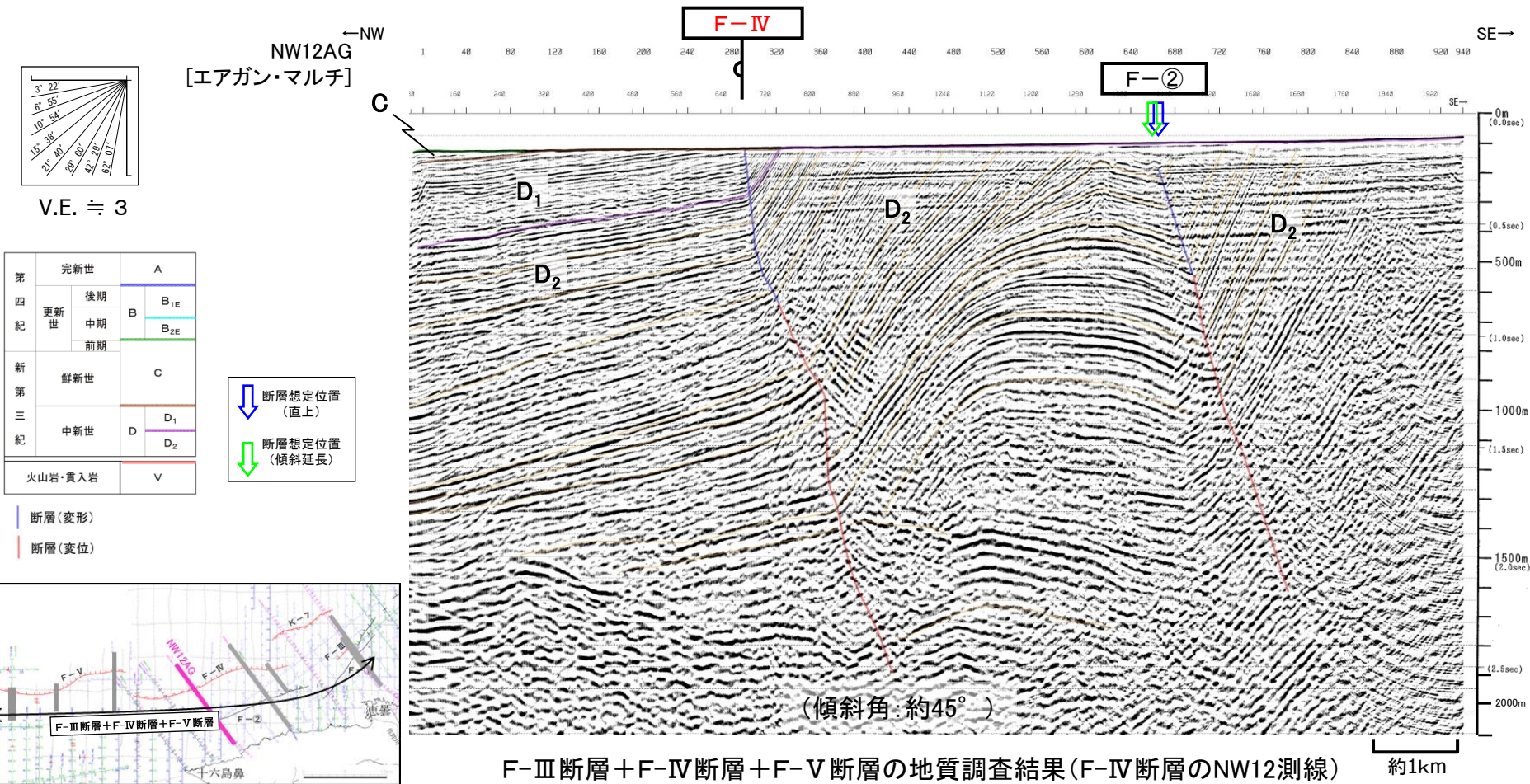


フーリエスペクトル比 (破壊伝播速度の不確かさと短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)の組合せケース/破壊伝播速度の不確かさケース)

断層パラメータの設定根拠(断層傾斜角) 1/4

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層における地質調査結果

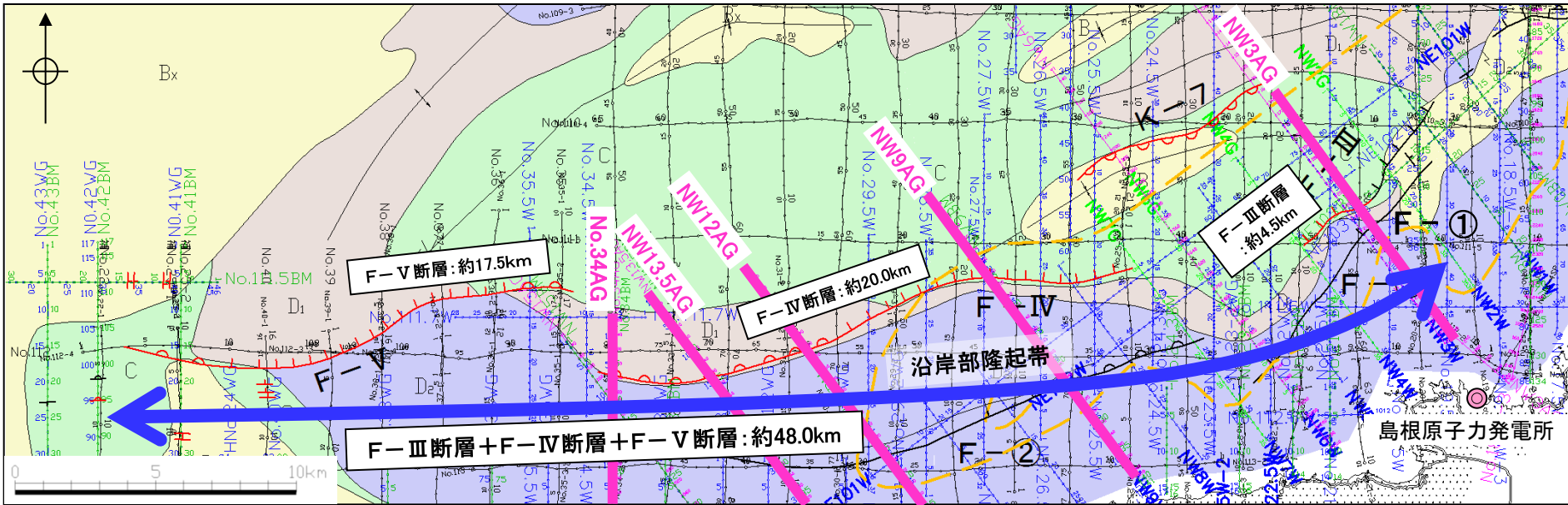
地質調査結果より、F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層は、東北東-西南西走向の低角(南傾斜)逆断層が認められ、B層(更新統)の明瞭な分布が確認できていないこと等から、後期更新世以降の活動を考慮する断層としている。また、更新世以降において、南側隆起(北側沈降)の逆断層運動を示唆するB層の堆積盆の形成は認められず、横ずれ運動を示唆する花卉構造や引きずり込み構造などの特徴的な反射パターンも認められないことから、後期更新世以降の活動様式は不明である。



断層パラメータの設定根拠(断層傾斜角) 2/4

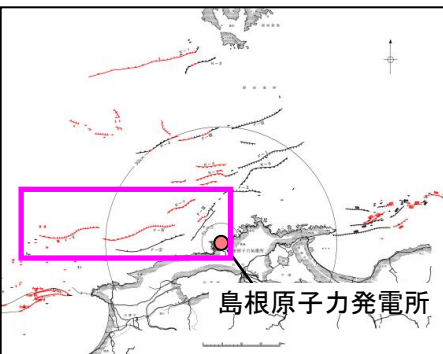
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の音波探査記録に基づく断層傾斜角

F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の深部の地質構造に関する音波探査記録(エアガン記録)を参照すると、F-Ⅲ断層、F-Ⅳ断層及びF-Ⅴ断層のそれぞれの区間で地質構造上の類似性が認められることから、断層全体を傾斜角の設定区間と考え、平均して傾斜角を求めると35°程度である。



地質図に記載された断層線の端点は断層が確認される測線と確認されない測線との中点までを表示している。 ※A層を取除いた地質図

凡例



- 主な断層のうち後期更新世以降の活動が認められないもの
- 主な断層のうち後期更新世以降の活動が否定できないもの
- No. 中国電力側音波探査測線 (スパーカー)
- No. AG 中国電力側音波探査測線 (エアガン・マルチチャンネル)
- No. WG 中国電力側音波探査測線 (ウォーターガン・マルチチャンネル)
- No. BM 中国電力側音波探査測線 (プーマ・マルチチャンネル)
- A層: 完新世堆積層
- B層: 中期～後期更新世堆積層
- C層: 鮮新世～前期更新世堆積層
- D₁層 } 中新世堆積層
- D₂層 }
- V層: 火山岩・貫入岩
- マルチチャンネル測線により認められたB層分布域

F-Ⅲ断層、F-Ⅳ断層及びF-Ⅴ断層の音波探査記録(エアガン記録)に基づく断層傾斜角

断層	測線名	傾斜角	35° ※
F-Ⅲ断層 F-Ⅳ断層 F-Ⅴ断層	NW3AG	25°	
	NW9AG	30°	
	NW12AG	45°	
	NW13.5AG	35°	
	No.34AG	60°	

※ 平均値(5°ピッチ)とし、敷地に近づく方向に設定。

断層パラメータの設定根拠(断層傾斜角) 3/4

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の周辺で発生したM7クラスの大規模地震の断層傾斜角
 佐藤ほか(1989)及び地震調査委員会(2002)によると、1943年鳥取地震(M7.2)及び2000年鳥取県西部地震(M7.3)は、それぞれ「断層傾斜角90°」とされている。

表1 強震動試算に用いた鳥取県西部地震の震源特性のパラメーター一覧

1943/9/10 鳥取地震 [モデル1]																			
震源要素：昭和18/9/10 (17:36) 35.52° N, 134.08° E, H=0 km, M=7.2																			
出典：Kanamori (1972b), PEPI, 5, 426-434.																			
<p>・断層パラメータ決定手順</p> <p>P波初動による発震機構解は垂直横ずれ断層を示し、その1節面は地表に現われた断層の走向にほぼ一致する。また、本震後約1カ月間の余震は、ほぼ東西に40 kmほどの長さで分布し、その深さは13 km程度に分布していることから、断層面を推定した▶ $d=0$ km, $\theta=N(70\sim80)^\circ E$, $\delta=90^\circ$, $\lambda=180^\circ$。</p> <p>一方、三角測量の結果より得られた、断層からの距離に対する断層に平行な水平変動量の分布を、Knopoff (1958) の理論曲線と比較することにより、断層の幅と食い違い量を推定した▶ $L=(30\sim40)$ km, $W=(8\sim13)$ km, $U=2.5$ m。</p> <p>次に、動的パラメータを推定した。無限媒質中に置かれた長さ L、幅 W の断層による理論地震記象をHaskellの方法により計算し、阿武山で観測された地震記象と比較した。まず $L=33$ km, $\theta=N 80^\circ E$ に固定し、断層面の幅 (8 km または 13 km)、破壊伝播モード (東から西への伝播または中央より両側への伝播)、および破壊速度の組合せをいろいろに変えて、理論波形と観測波形との最もよい一致を求めた。その際の振幅比較より、$W=13$ km なら $U=2.5$ m, $W=8$ km なら $U=4$ m が最適値となった▶ $L=33$ km, $W=13$ km, $\theta=N 80^\circ E$, $V_{rup}=(2\sim3)$ km/s, $\theta_{rup}=0^\circ$ & 180° (bilateral)。ここで $V_{rup}=2.3$ km/s, $U=2.5$ m と固定し、地震波形の立ち上がり部分を比較することにより、震源関数の立ち上がり時間を推定した▶ $V_{rup}=2.3$ km/s, $\tau=3$ sec。これらの値を用いると、断層面の食い違い速度 U/τ は 84 cm/s, すべり速度は 42 cm/s と見積られる。</p> <p>地震モーメントおよび応力降下量は、$\mu=3.4\times 10^{11}$ dyne/cm² として、$M_0=\mu U L W$ および $\Delta\sigma=4/\pi \cdot \mu U/W$ により計算している▶ $M_0=3.6\times 10^{28}$ dyne·cm, $\Delta\sigma=83$ bar。また、以上の結果を用いて、幾つかの理論式に基づき、有効応力の算定を行なった▶ $\sigma_{eff}=(30\sim100)$ bar。この値は応力降下量とほぼ同じであり、この地震で有効応力がほぼ完全に解放されたことを示していると述べている。</p>																			
<p>・静的断層パラメータリスト</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N(° N)</th> <th>E(° E)</th> <th>d(km)</th> <th>$\theta(^{\circ})$</th> <th>$\delta(^{\circ})$</th> <th>$\lambda(^{\circ})$</th> <th>L(km)</th> <th>W(km)</th> <th>U(cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>35.44*</td> <td>134.00*</td> <td>0</td> <td>80</td> <td>90</td> <td>180</td> <td>33</td> <td>13</td> <td>250</td> </tr> </tbody> </table> <p>* 論文中の Fig. 3 より読取り。</p>		N(° N)	E(° E)	d(km)	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	L(km)	W(km)	U(cm)	35.44*	134.00*	0	80	90	180	33	13	250
N(° N)	E(° E)	d(km)	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	L(km)	W(km)	U(cm)											
35.44*	134.00*	0	80	90	180	33	13	250											
<p>・平面図</p>																			

震源特性	断層パラメータ	ケース1 (糸静中間報告の手法を用いたケース)	ケース2 (観測記録をできるだけ説明可能なケース)	
地震の規模				
気象庁マグニチュード(M) 7.3				
巨視的震源特性	震源断層の位置	図2参照	同左	
	走向	図2参照	同左	
	傾斜角	90°	同左	
	震源断層の長さ	27 km ^{*1}	同左	
	震源断層幅	14 km	同左	
	震源断層の面積	378 km ² *2	同左	
	震源断層の上端~下端深さ	2~16 km	同左	
	地震モーメント	7.0E+18 N·m	9.6E+18 N·m	
	平均すべり量	56 cm	77 cm	
	加速度震源スペクトル短周期レベル	1.0E+19 N·m/s ²	1.1E+19 N·m/s ²	
微視的震源特性	全アスペリテティ	地震モーメント	3.1E+18 N·m	7.9E+18 N·m
	総面積	83 km ²	108 km ²	
	平均すべり量	112 cm	221 cm	
	第1アスペリテティ	面積	60 km ² *3	54 km ² *4
		平均すべり量	125 cm	221 cm
		地震モーメント	2.5E+18 N·m	3.9E+18 N·m
		実効応力	10.6 MPa	16.0 MPa
	第2アスペリテティ	ライズタイム	1.7 sec	0.8 sec
		面積	23 km ² *5	54 km ² *6
		平均すべり量	77 cm	221 cm
地震モーメント		5.7E+17 N·m	3.9E+18 N·m	
背景領域	実効応力	10.6 MPa	11.3 MPa	
	ライズタイム	0.9 sec	1.2 sec	
	地震モーメント	3.9E+18 N·m	1.7E+18 N·m	
	面積	295 km ² *7	270 km ² *8	
	平均すべり量	40 cm	19 cm	
その他の震源特性等	実効応力	3.8 MPa	0.9 MPa	
	ライズタイム	3.0 sec	3.0 sec	
	fmax	6 Hz	同左	
	破壊開始点	図3参照(深さ約14km)	図3参照(深さ約10km)	
	破壊伝播速度	2.3 km/s	2.3 km/s (第1アスペリテティのみ3.15) km/s	

*震源域のS波速度3.5km/s、剛性率は 3.3×10^{10} N/m²

断層パラメータの設定根拠(断層傾斜角) 4/4

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の周辺で発生した中小地震の断層傾斜角

F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の周辺における横ずれ断層の主な中小地震の断層傾斜角を整理すると、平均的には80°程度であり、最も傾斜しているもので71°である。

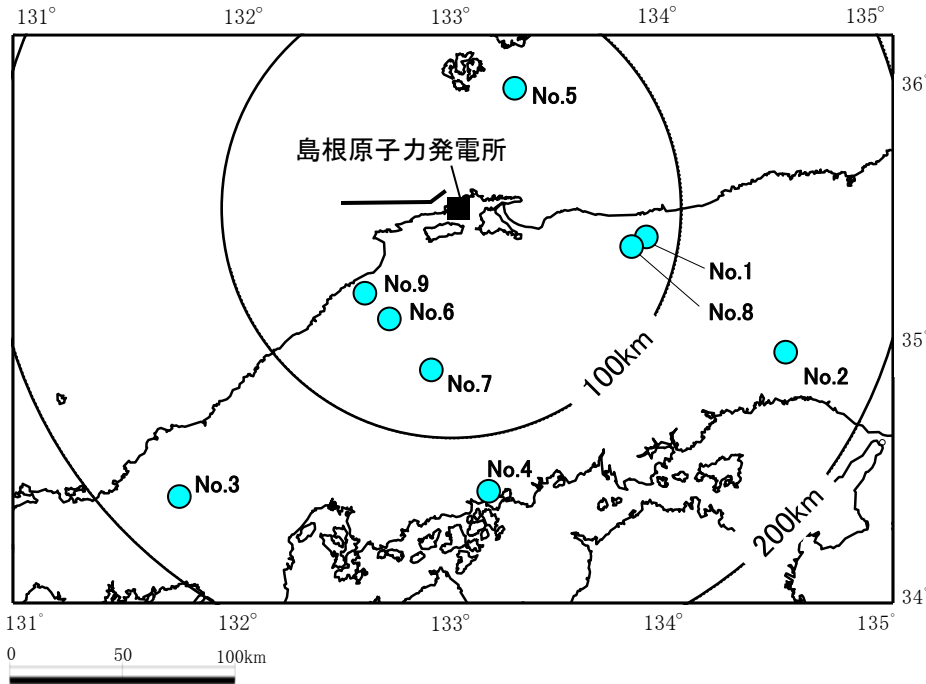
F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の周辺の横ずれ断層の
主な中小地震の断層傾斜角

No	発生年月日	地震	M※1	傾斜角※2
1	1983. 10. 31	鳥取中部の地震	6.2	85°
2	1984. 5. 30	山崎断層の地震	5.6	90°
3	1997. 6. 25	山口・島根県境の地震	6.6	76°
4	1999. 7. 16	広島県南東部の地震	4.5	83° 71°
5	2011. 4. 29	隠岐島近海の地震	4.0	80° 76°
6	2011. 6. 4	島根県東部の地震	5.2	87°
7	2011. 11. 21	広島県北部の地震	5.4	80°
8	2016. 10. 21	鳥取県中部の地震	6.6	80°
9	2018. 4. 9	島根県西部の地震	6.1	84°

※1 気象庁地震カタログ

※2 No.1, 2 : 佐藤ほか(1989)

No.3~9: 防災科学技術研究所の広帯域地震観測網 (F-net), 余震分布より
走向を特定できる場合は, それに対応する断層面の傾斜角を記載



F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の周辺の横ずれ断層の
主な中小地震の震央分布

断層パラメータの設定根拠(断層傾斜角の不確かさを考慮したケースのF-Ⅲ断層のすべり角) 1/2

- 塚原・小林(1991)による広域応力場の研究や敷地内の測定結果から、敷地周辺の現在の応力場は概ね東西圧縮が卓越している。
- F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の周辺で発生した現在の応力場による主な地震について下表のとおり整理すると、走向、傾斜角によらず横ずれ成分が卓越している。
- 以上のことから、F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層が活動する場合、横ずれ成分が卓越すると考えられるが、当該断層周辺で発生した主な地震の中では若干縦ずれ成分も認められることから、その中で最も縦ずれ成分の大きいすべり角(158°)を考慮することとし、F-Ⅲ断層の走向が北東-南西方向であることを踏まえ、応力場と走向の関係から断層傾斜角の不確かさを考慮したケースのF-Ⅲ断層のすべり角は150°に設定する。

F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の周辺で発生した主な地震の走向及びすべり角

No	発生日月	地震	M	傾斜角		走向※1		すべり角※1,2	
1	1943. 9. 10	鳥取地震	7.2	90°		80°		180°	
2	1983. 10. 31	鳥取中部の地震	6.2	85°		140°		180° (0°)	
3	1984. 5. 30	山崎断層の地震	5.6	90°		135°		180° (0°)	
4	1997. 6. 25	山口・島根県境の地震	6.6	76°		49°		179°	
5	1999. 7. 16	広島県南東部の地震	4.5	83°	71°	21°	113°	161°	172° (8°)
6	2000. 10. 6	鳥取県西部地震	7.3	90°		150°		189° (-9°)	
7	2011. 4. 29	隠岐島近海の地震	4.0	80°	76°	158°	65°	165° (15°)	170°
8	2011. 6. 4	島根県東部の地震	5.2	87°		156°		158° (22°)	
9	2011. 11. 21	広島県北部の地震	5.4	80°		151°		179° (1°)	
10	2016. 10. 21	鳥取県中部の地震	6.6	80°		162°		171° (9°)	
11	2018. 4. 9	島根県西部の地震	6.1	84°		150°		175° (5°)	

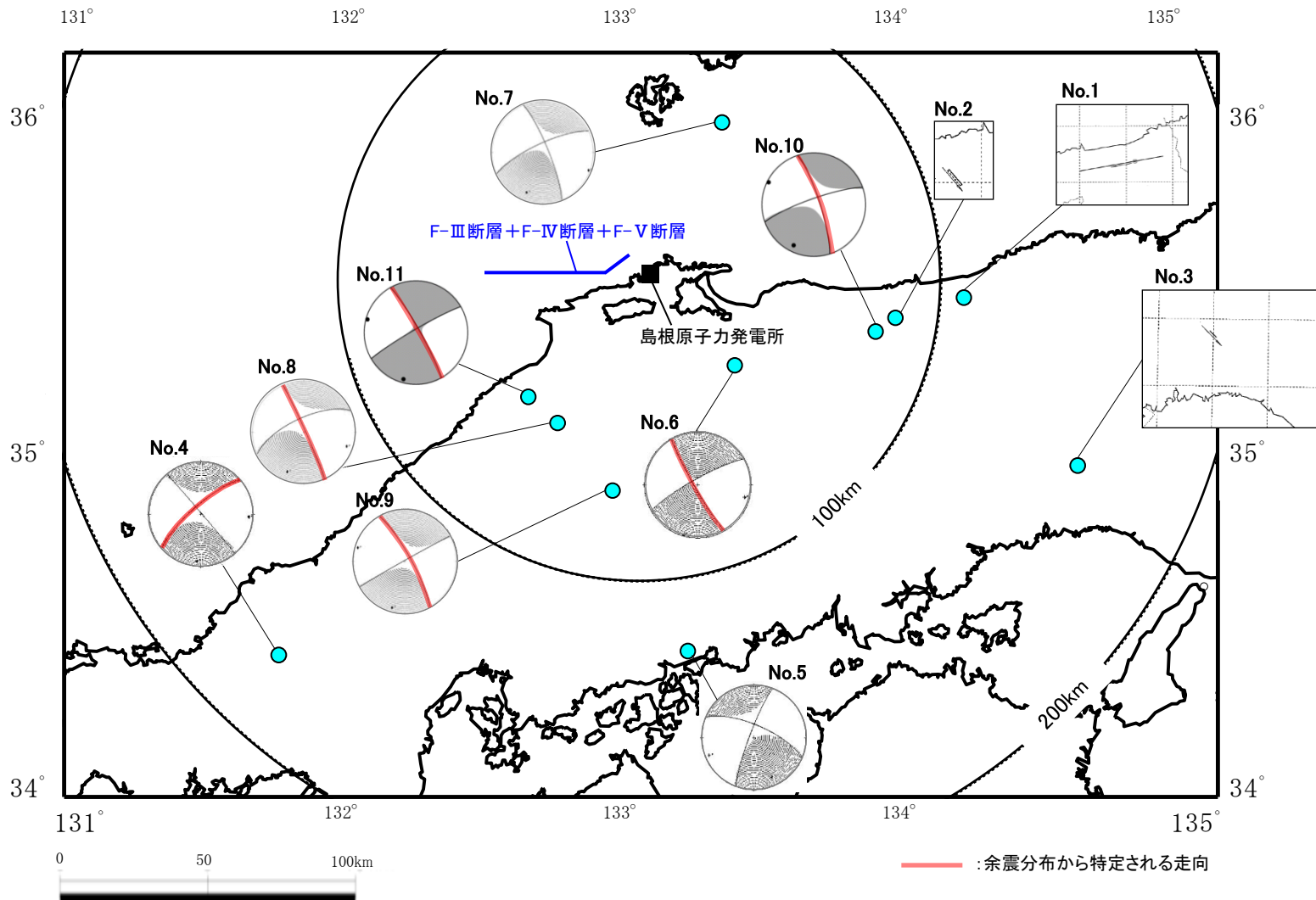
※1 No.1~3 : 佐藤ほか(1989)

No.4~11: 防災科学技術研究所の広帯域地震観測網(F-net), 余震分布より走向を特定できる場合は、その走向及び対応するすべり角を記載

※2 左横ずれ断層の地震は右横ずれ断層のすべり角に換算, ()内は換算前の値

断層パラメータの設定根拠(断層傾斜角の不確かさを考慮したケースのF-Ⅲ断層のすべり角) 2/2

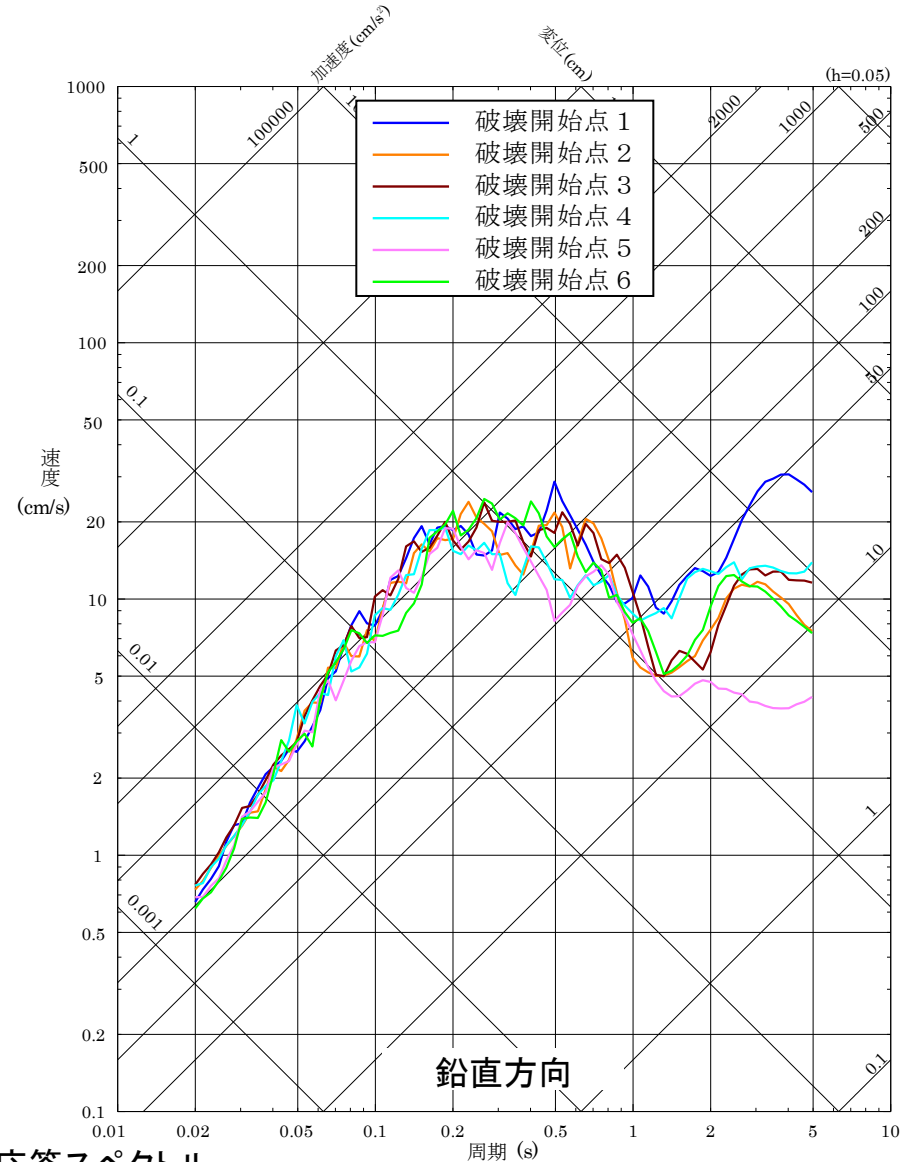
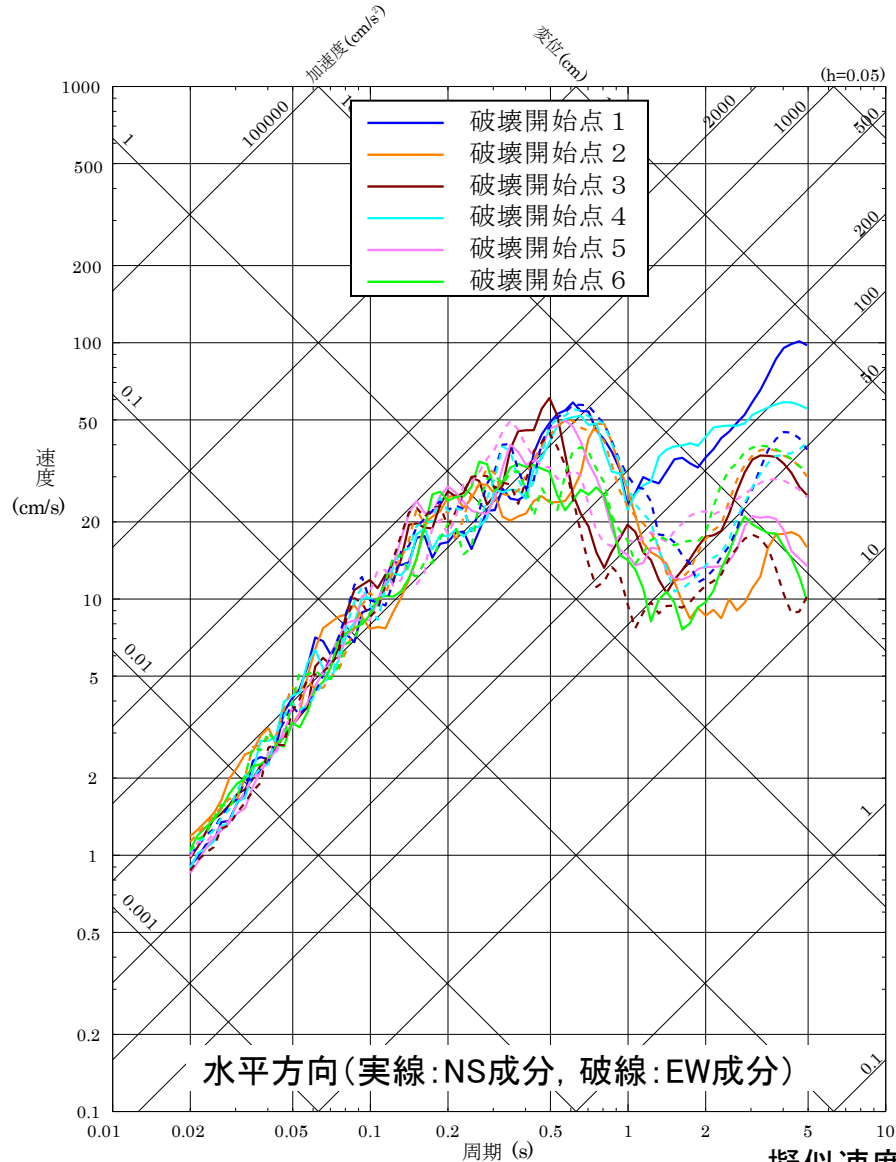
■ 前頁の地震の震源メカニズム解及び断層の分布を以下に示す。



敷地周辺の横ずれ断層の主な地震の震央位置, 震源メカニズム解及び断層分布

断層モデルによる地震動評価結果 1/16

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (①基本震源モデル及び②破壊開始点の不確かさを考慮したケース)



擬似速度応答スペクトル

断層モデルによる地震動評価結果 2/16

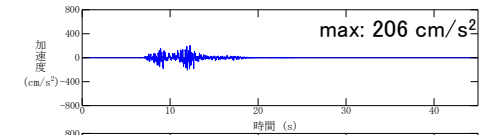
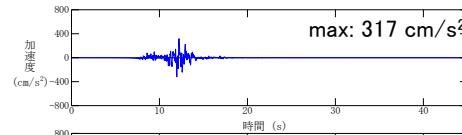
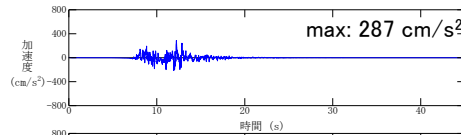
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (①基本震源モデル及び②破壊開始点の不確かさを考慮したケース)

水平方向(NS成分)

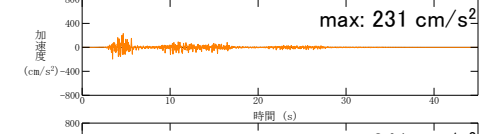
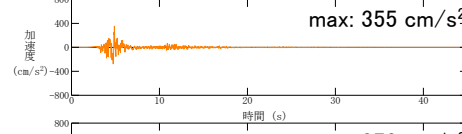
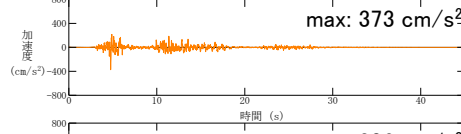
水平方向(EW成分)

鉛直方向

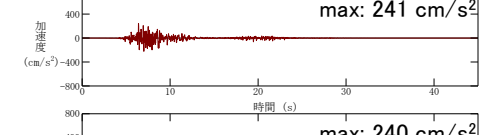
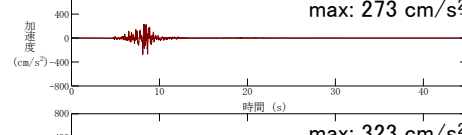
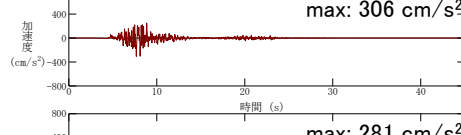
破壊開始点1



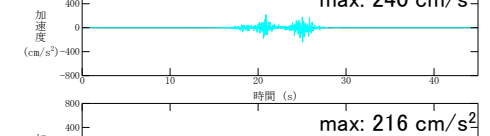
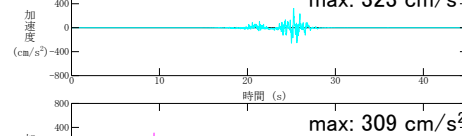
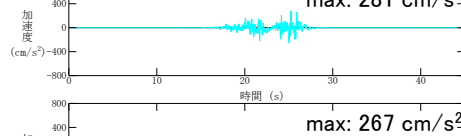
破壊開始点2



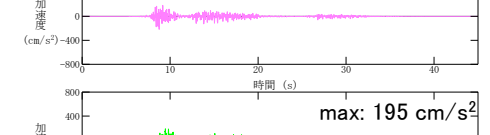
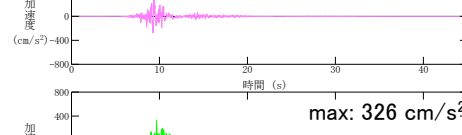
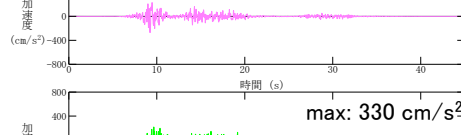
破壊開始点3



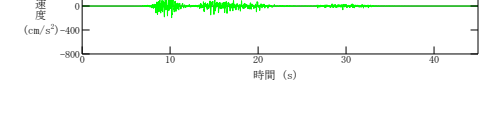
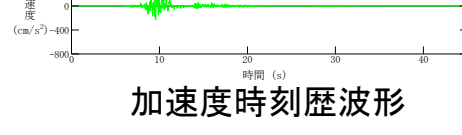
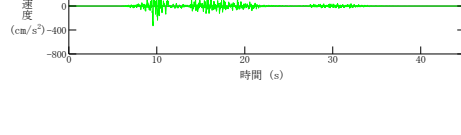
破壊開始点4



破壊開始点5



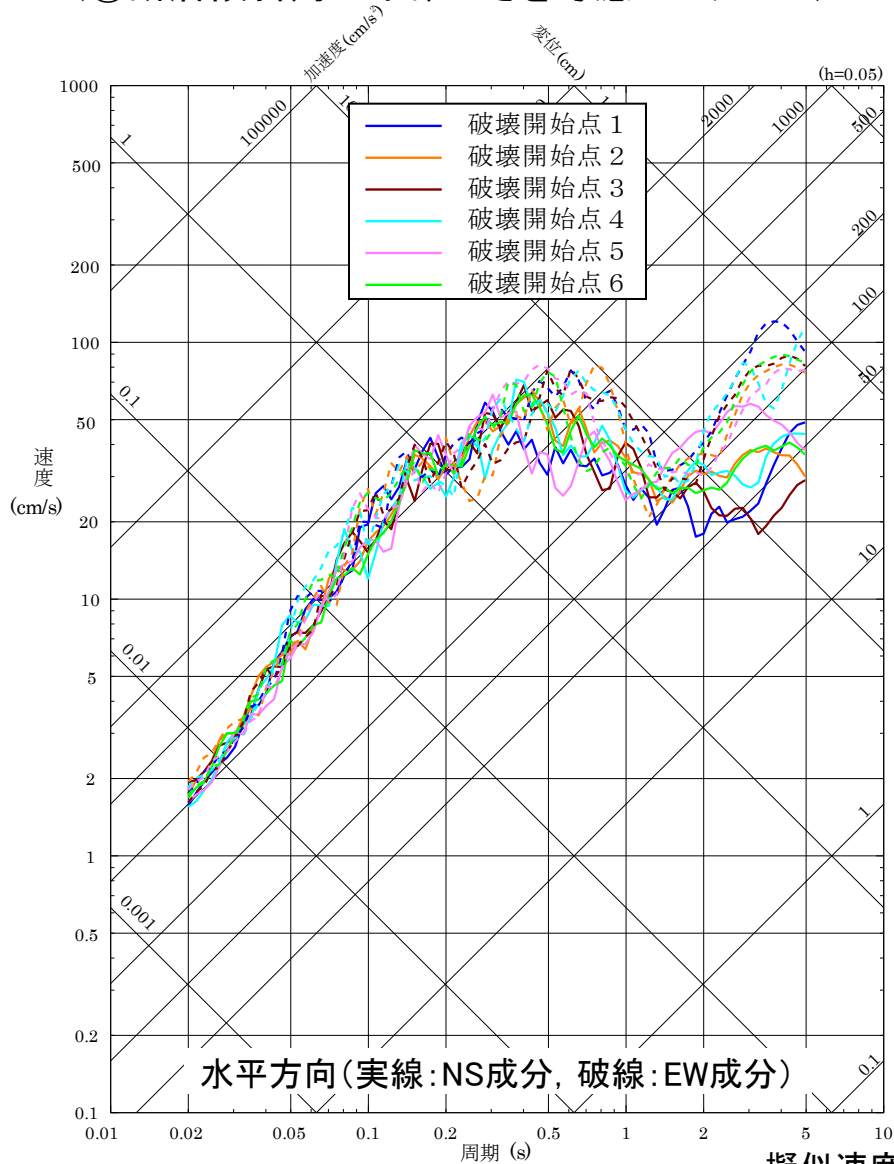
破壊開始点6



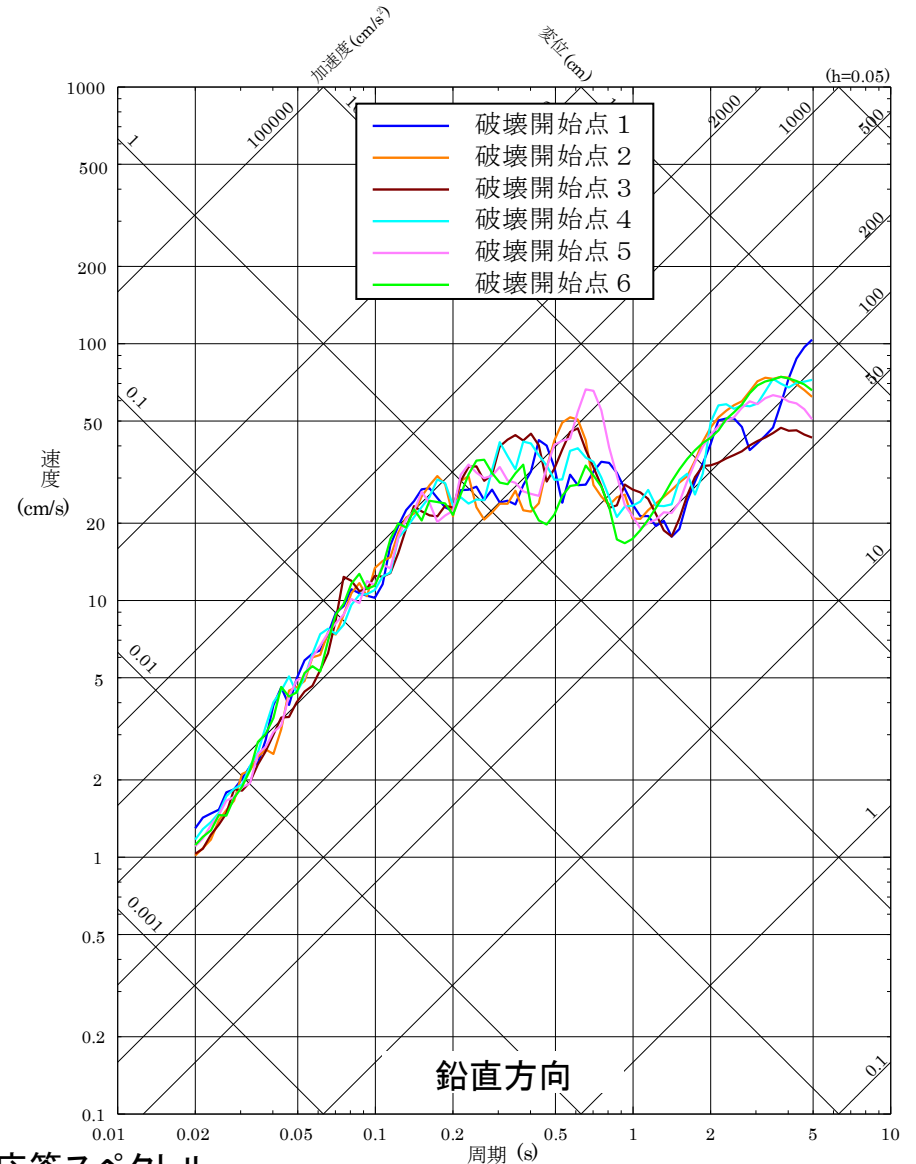
加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 3/16

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース)



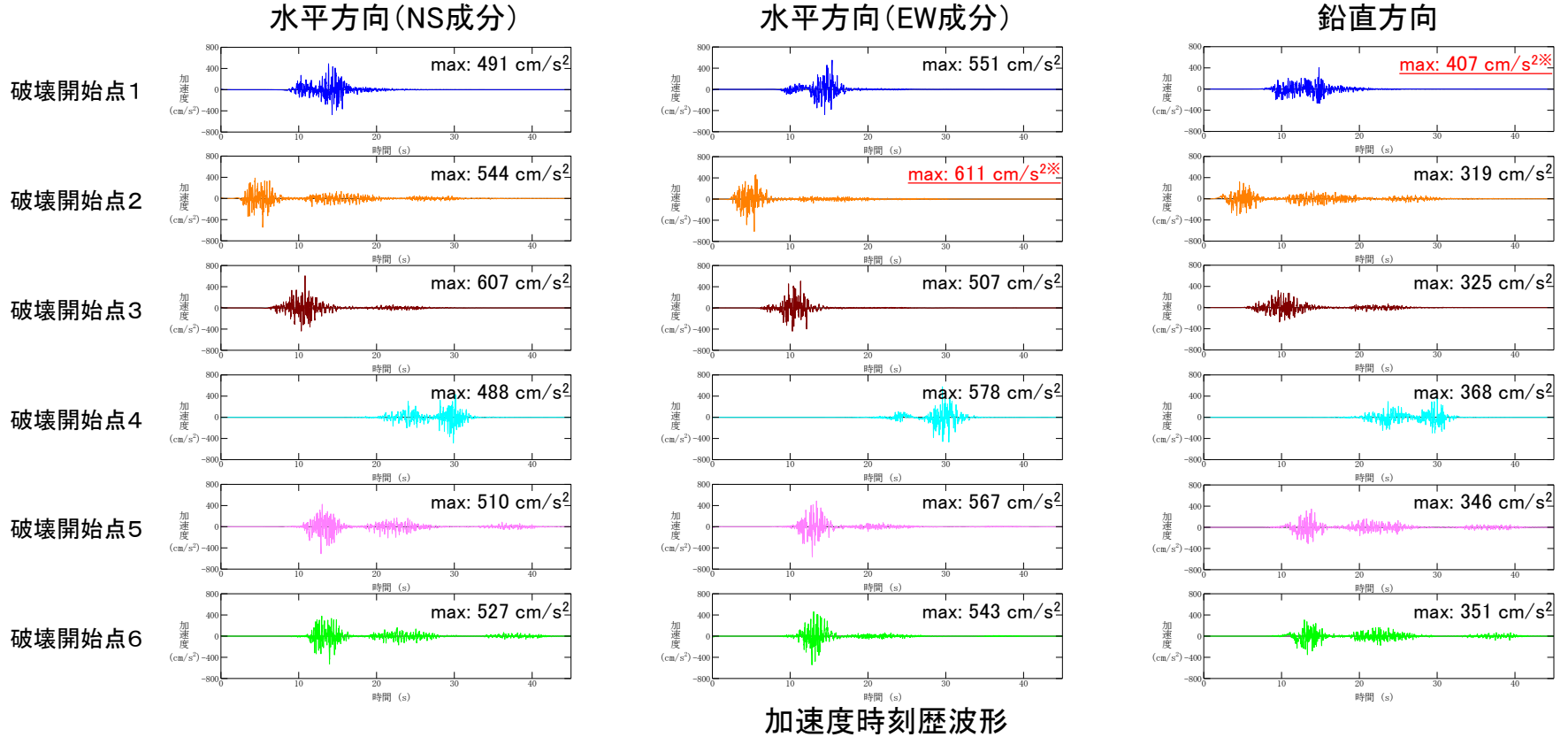
擬似速度応答スペクトル



断層モデルによる地震動評価結果 4/16

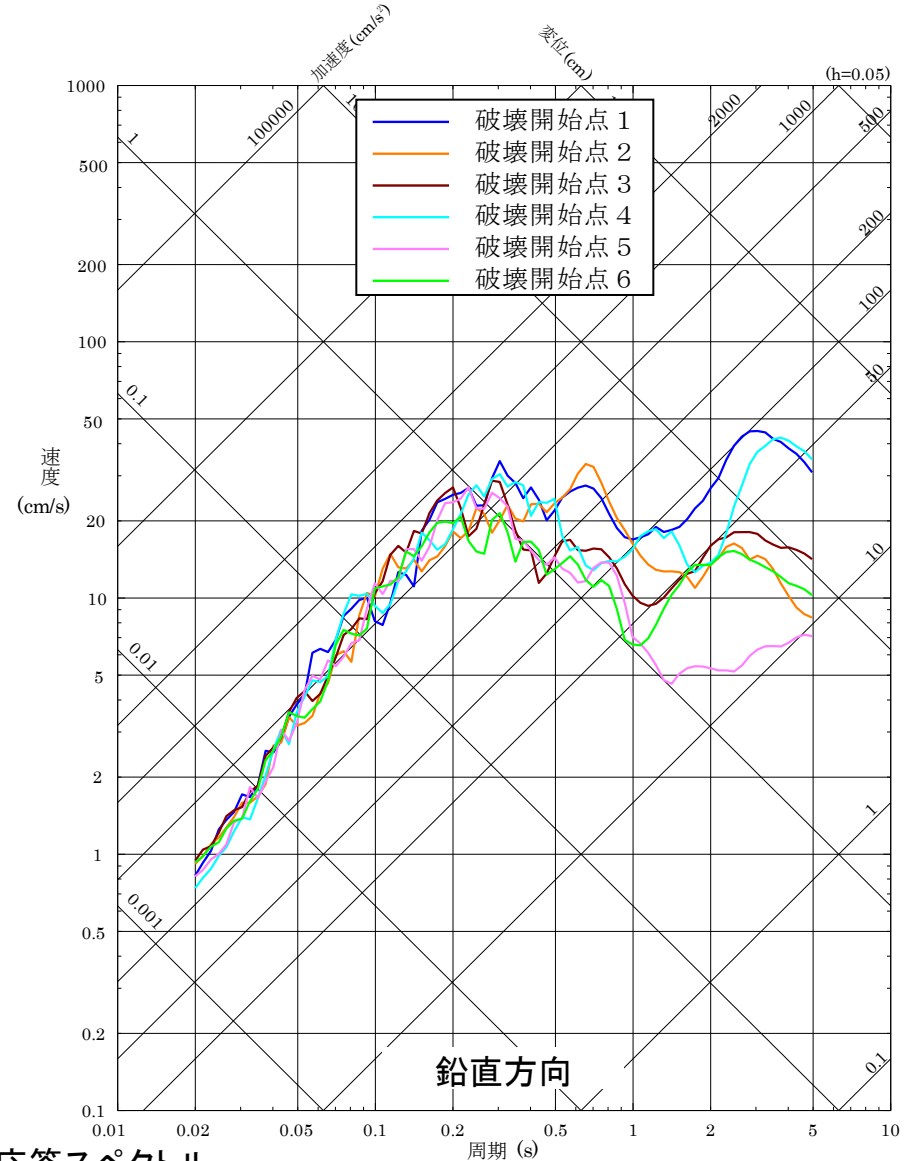
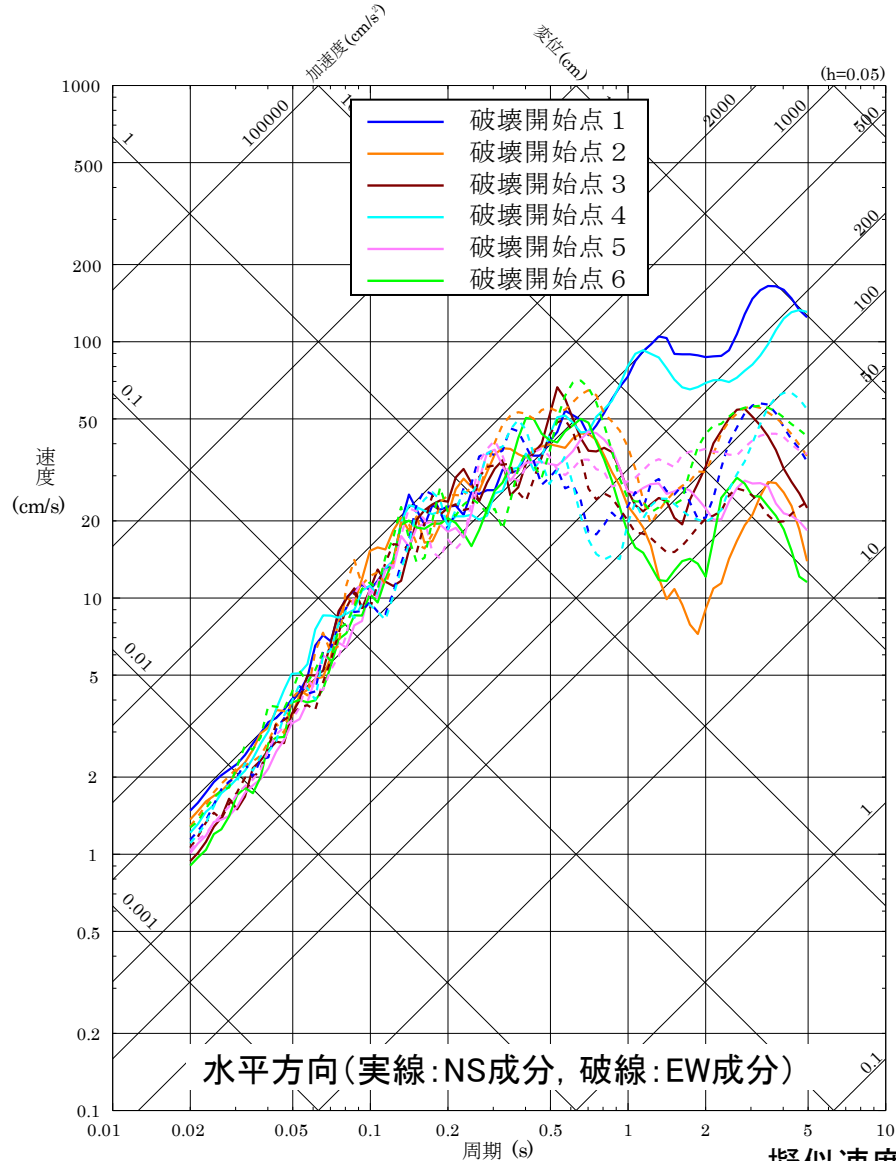
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース)

※F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果で最も大きい加速度値(水平・鉛直方向)



断層モデルによる地震動評価結果 5/16

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (④破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース)



断層モデルによる地震動評価結果 6/16

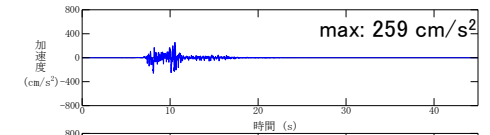
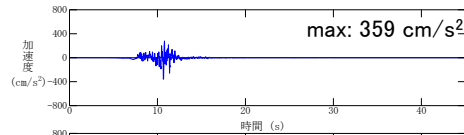
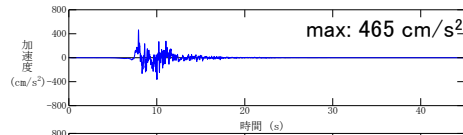
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (④破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース)

水平方向(NS成分)

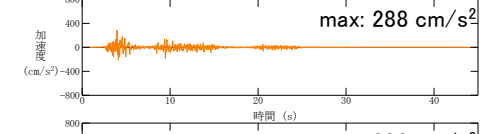
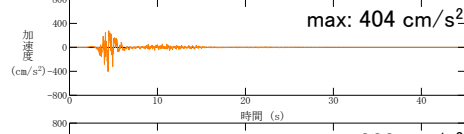
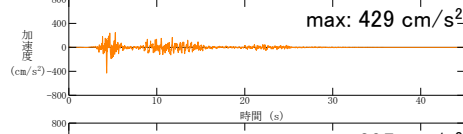
水平方向(EW成分)

鉛直方向

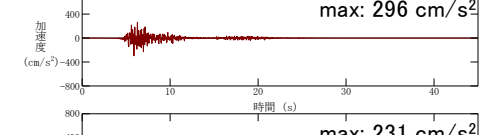
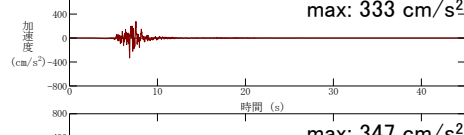
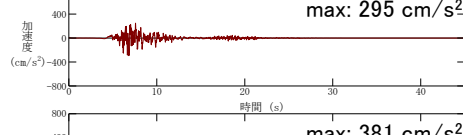
破壊開始点1



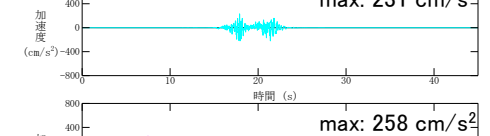
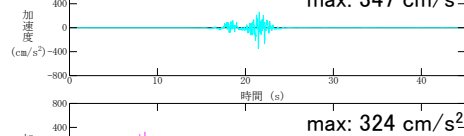
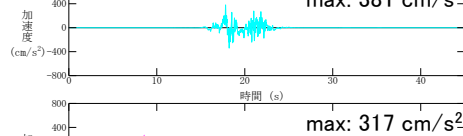
破壊開始点2



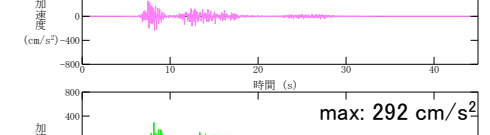
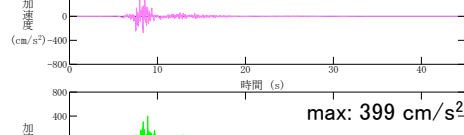
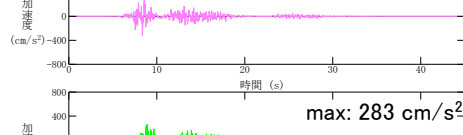
破壊開始点3



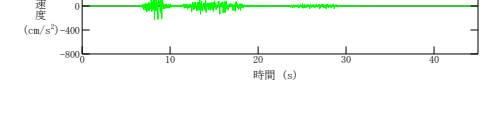
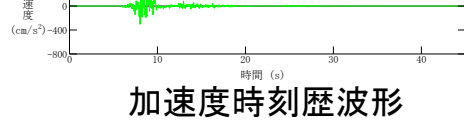
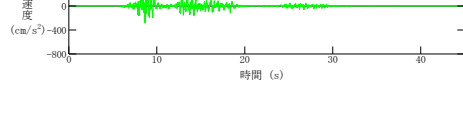
破壊開始点4



破壊開始点5



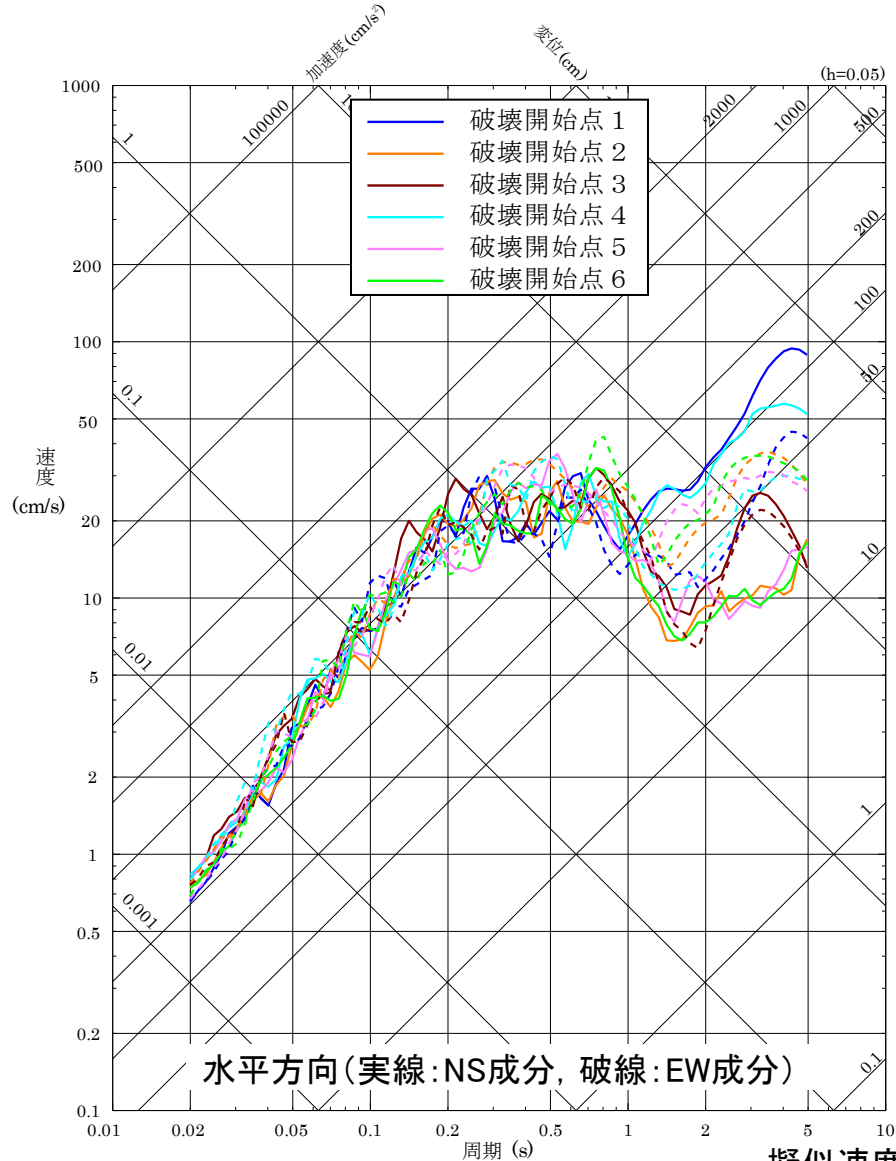
破壊開始点6



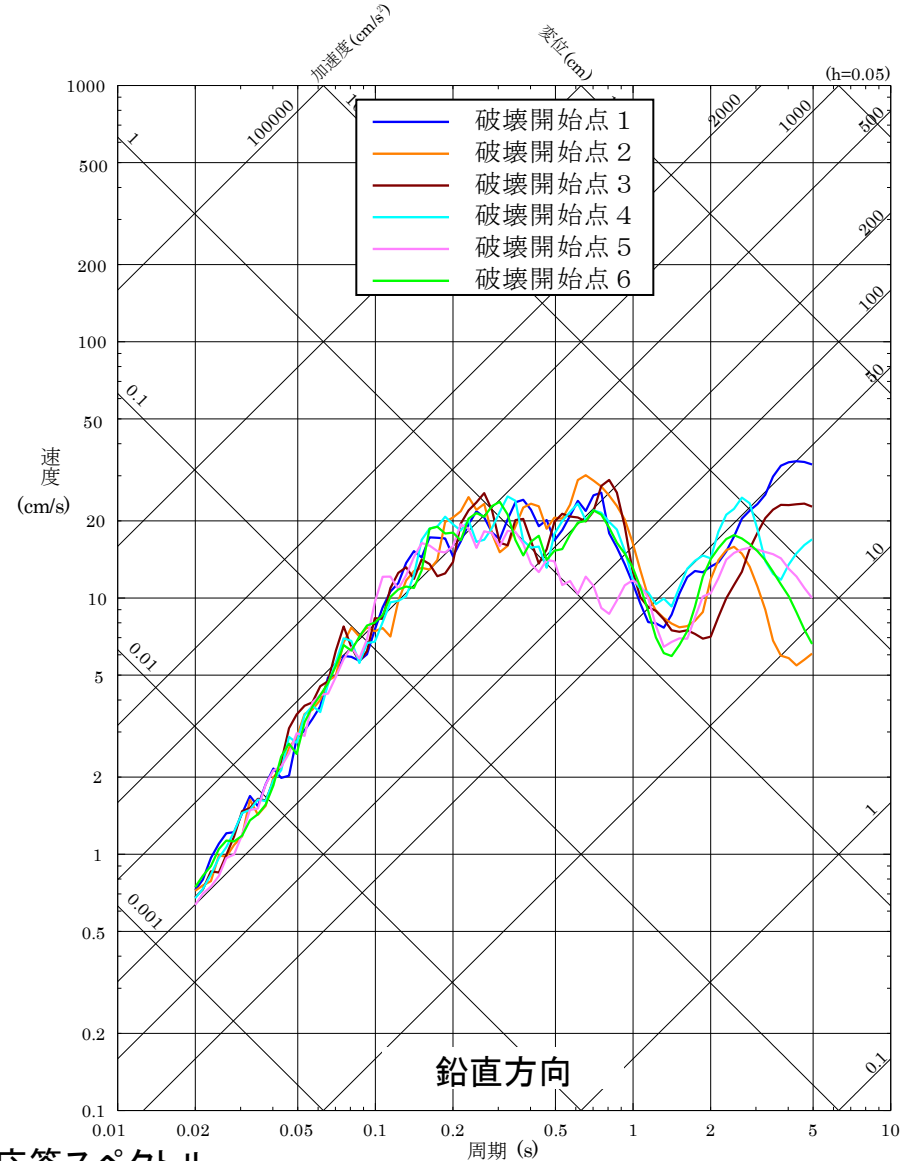
加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 7/16

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (⑤すべり角の不確かさを考慮したケース)



擬似速度応答スペクトル



断層モデルによる地震動評価結果 8/16

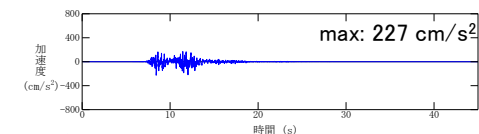
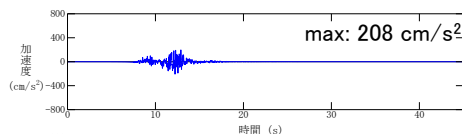
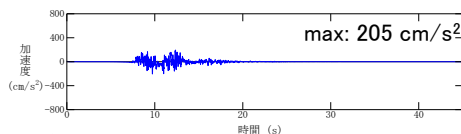
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (⑤すべり角の不確かさを考慮したケース)

水平方向(NS成分)

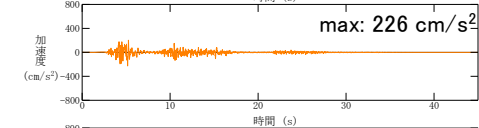
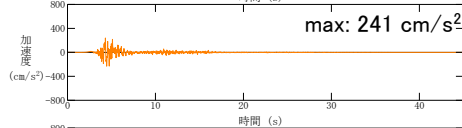
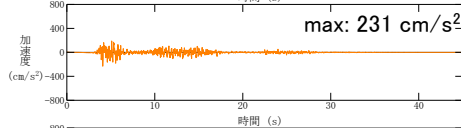
水平方向(EW成分)

鉛直方向

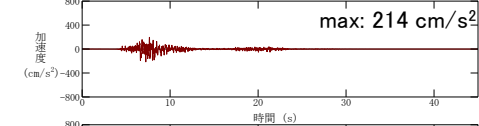
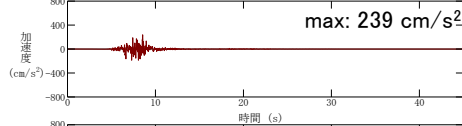
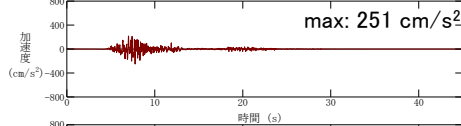
破壊開始点1



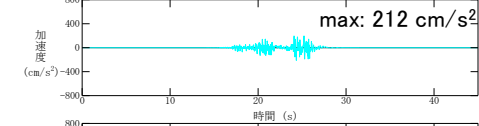
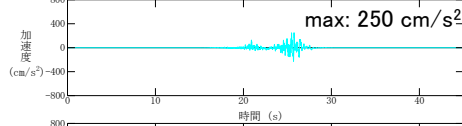
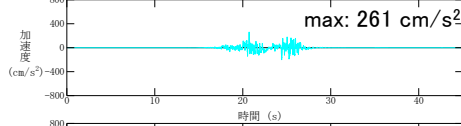
破壊開始点2



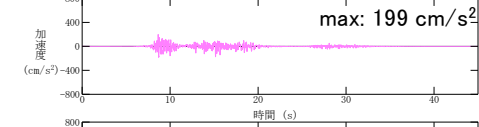
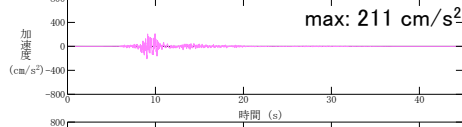
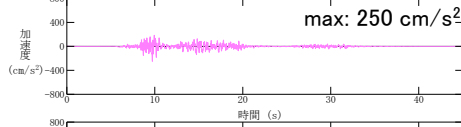
破壊開始点3



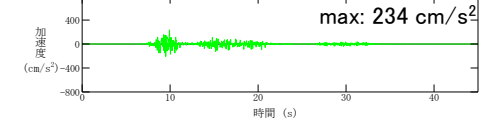
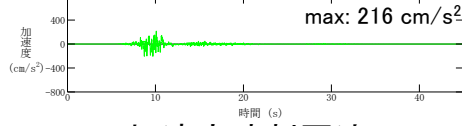
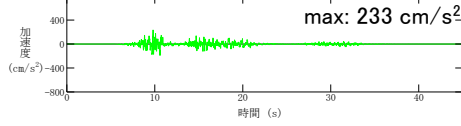
破壊開始点4



破壊開始点5



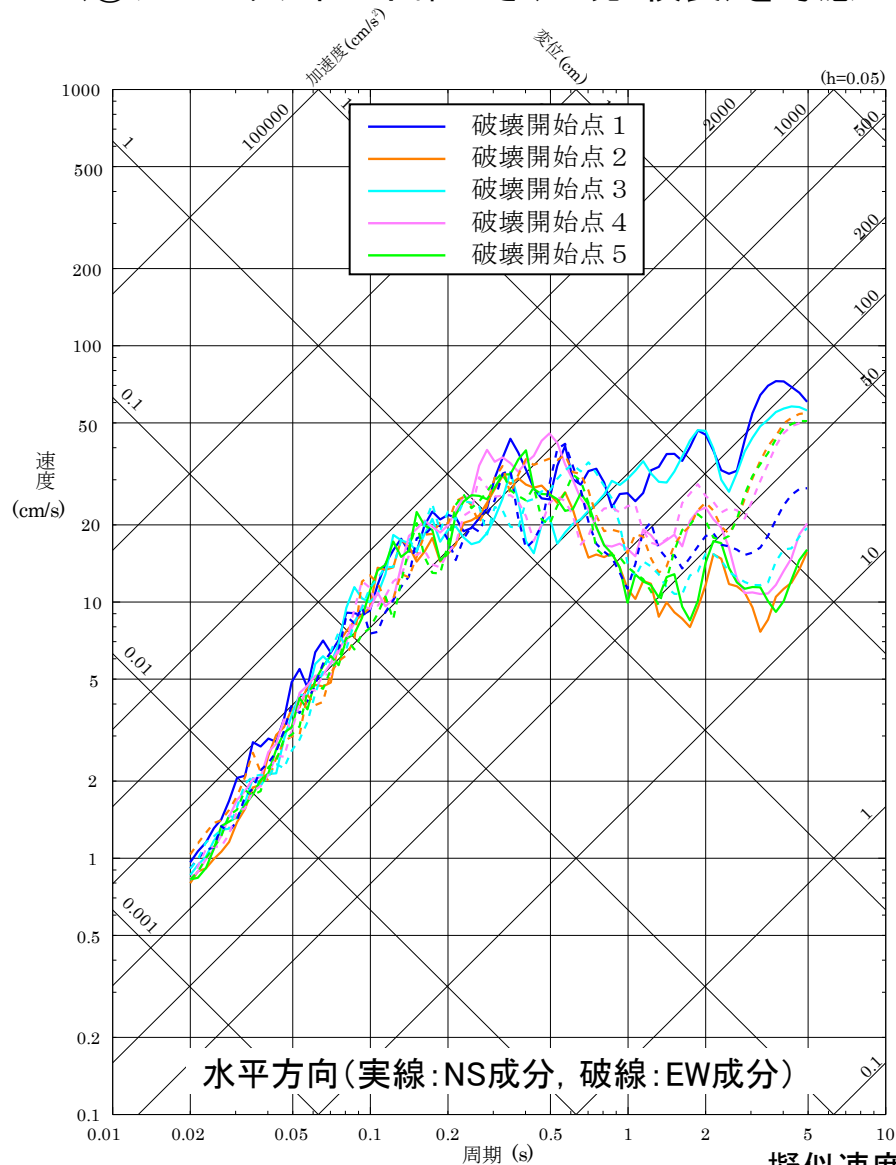
破壊開始点6



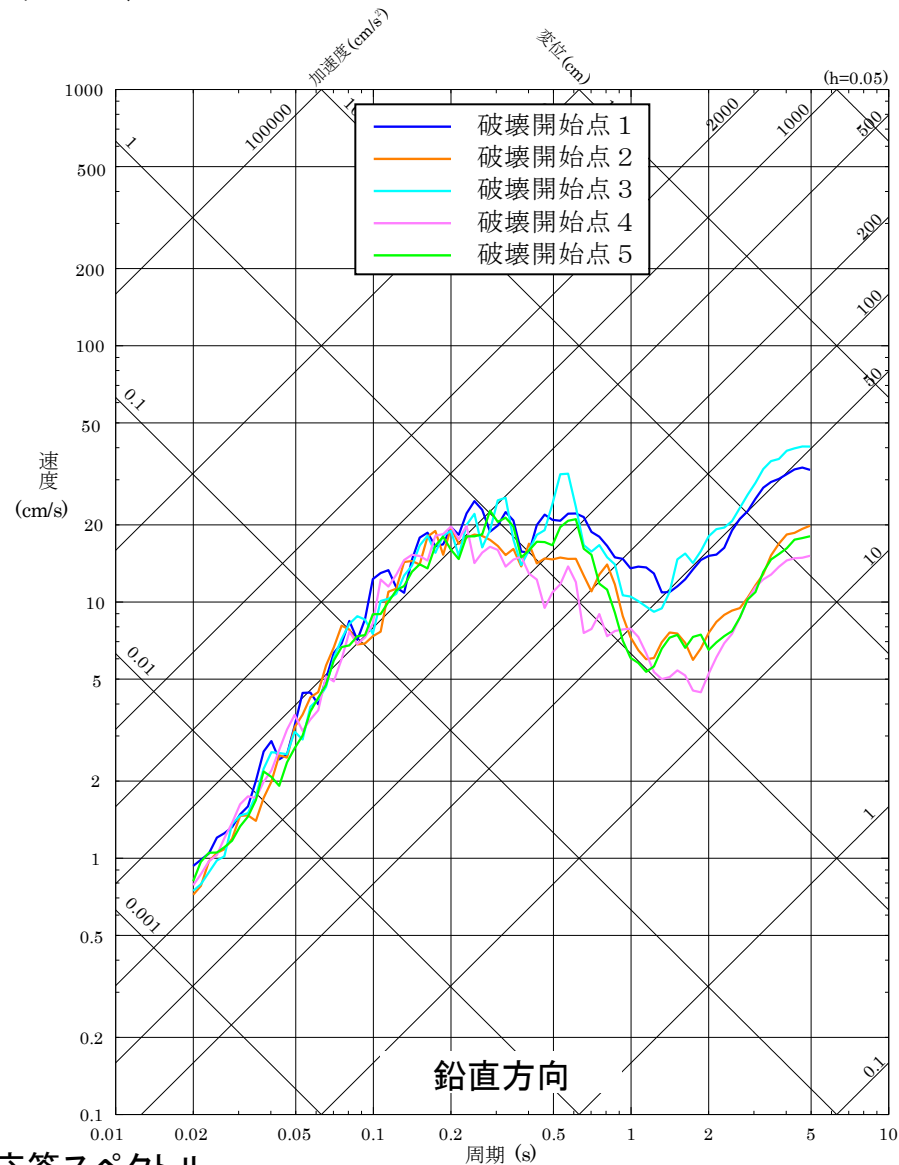
加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 9/16

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑥アスペリティの不確かさ(一塊:横長)を考慮したケース)



擬似速度応答スペクトル



断層モデルによる地震動評価結果 10/16

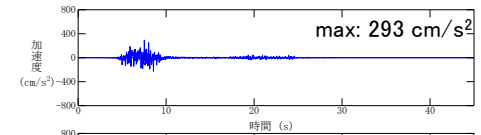
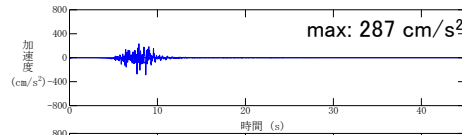
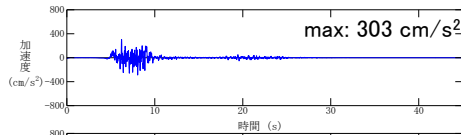
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑥アスペリティの不確かさ(一塊:横長)を考慮したケース)

水平方向(NS成分)

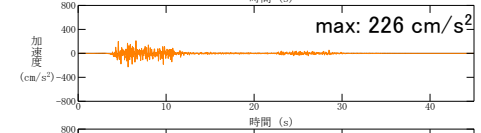
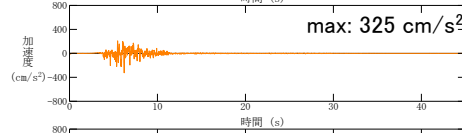
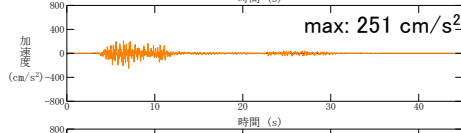
水平方向(EW成分)

鉛直方向

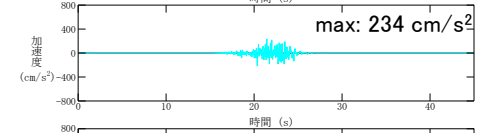
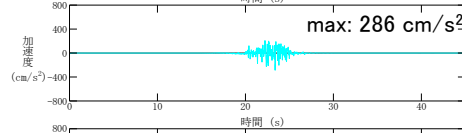
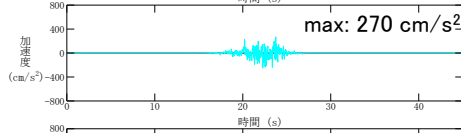
破壊開始点1



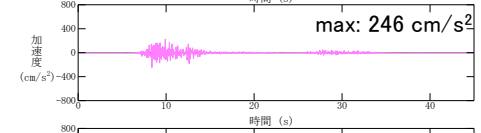
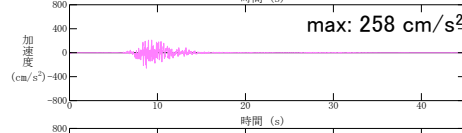
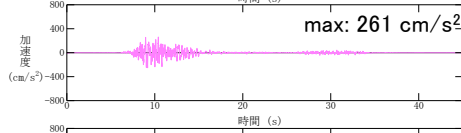
破壊開始点2



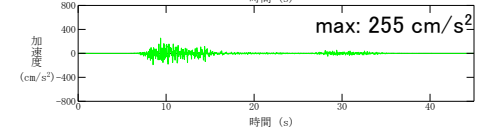
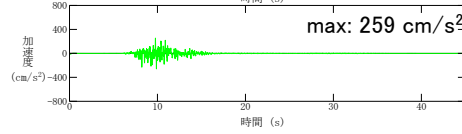
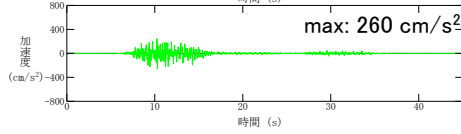
破壊開始点3



破壊開始点4



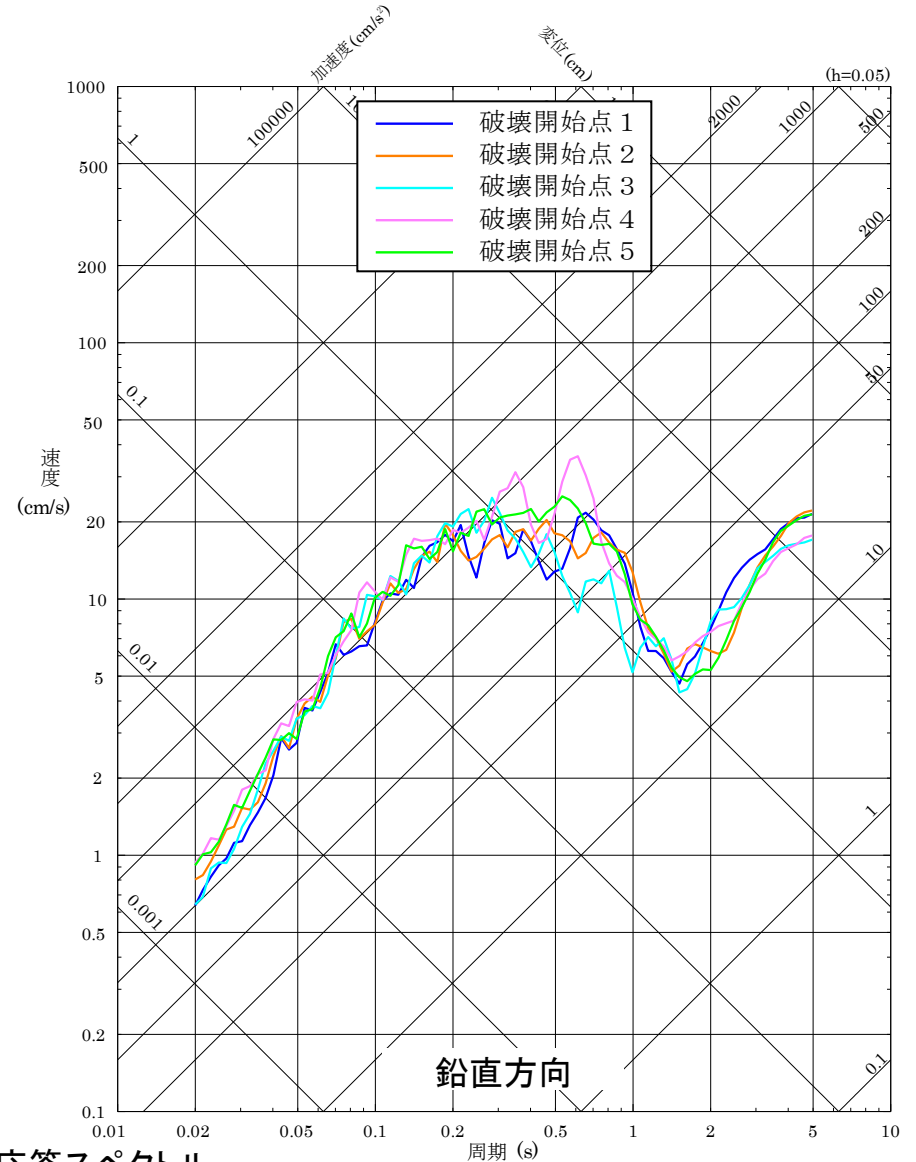
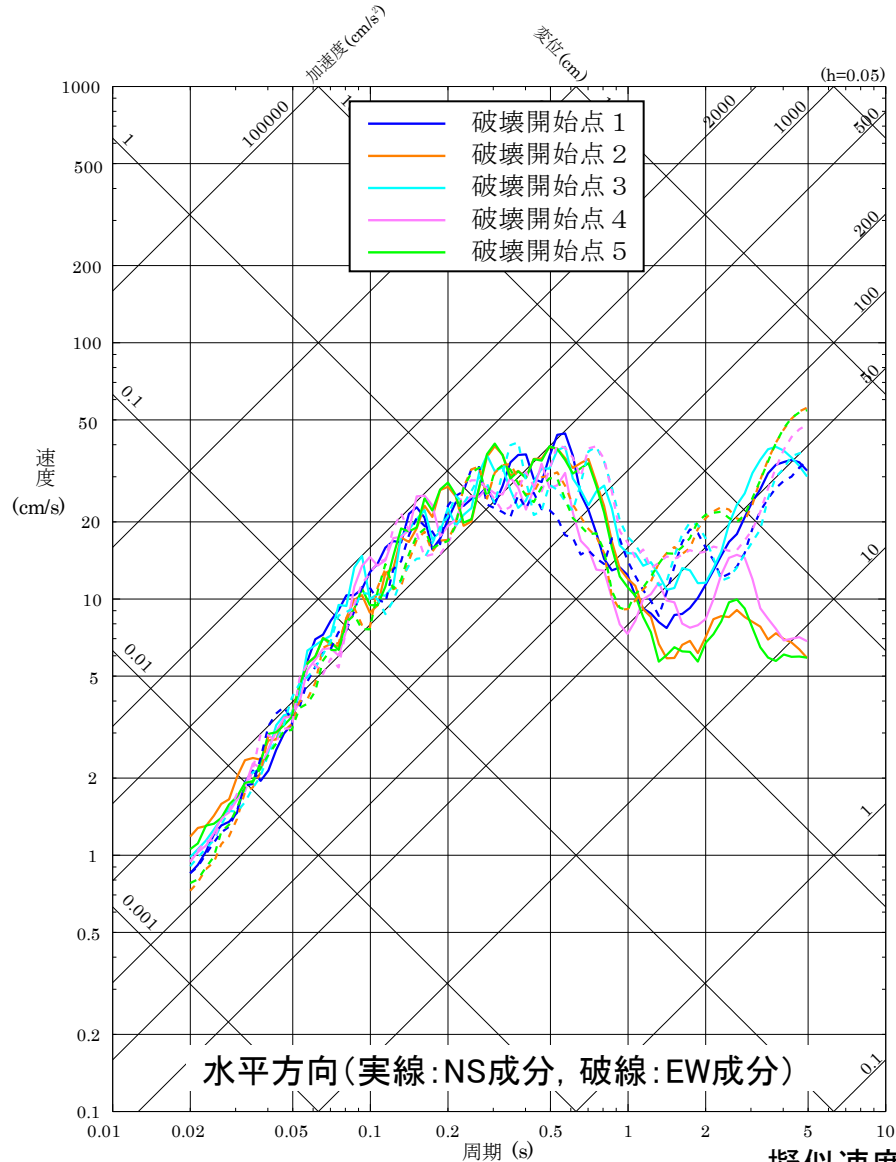
破壊開始点5



加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 11/16

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑦アスペリティの不確かさ(一塊:縦長)を考慮したケース)



断層モデルによる地震動評価結果 12/16

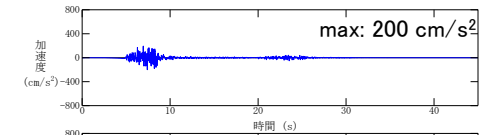
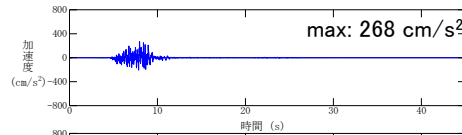
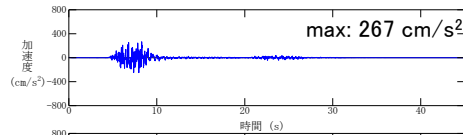
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (⑦アスペリティの不確かさ(一塊:縦長)を考慮したケース)

水平方向(NS成分)

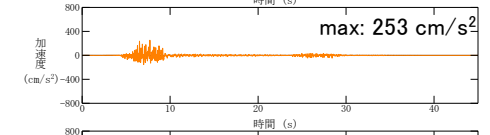
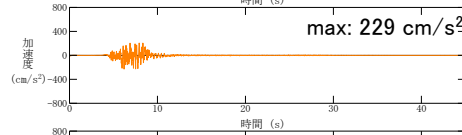
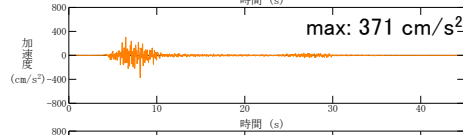
水平方向(EW成分)

鉛直方向

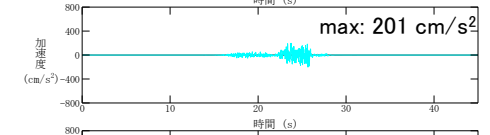
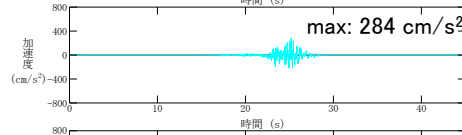
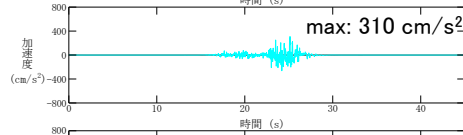
破壊開始点1



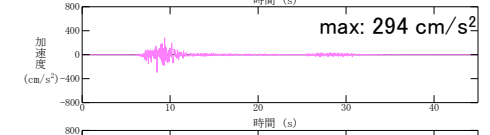
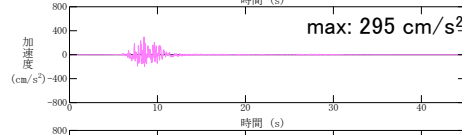
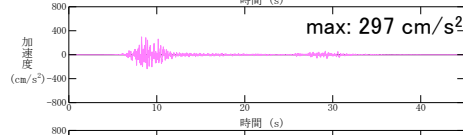
破壊開始点2



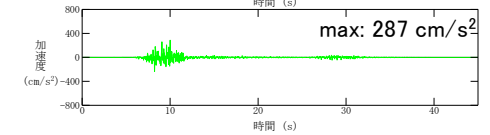
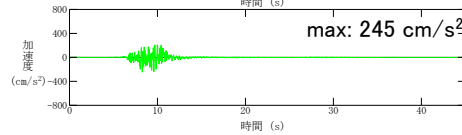
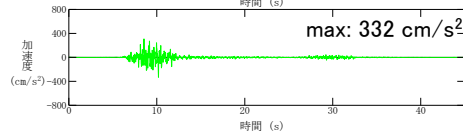
破壊開始点3



破壊開始点4



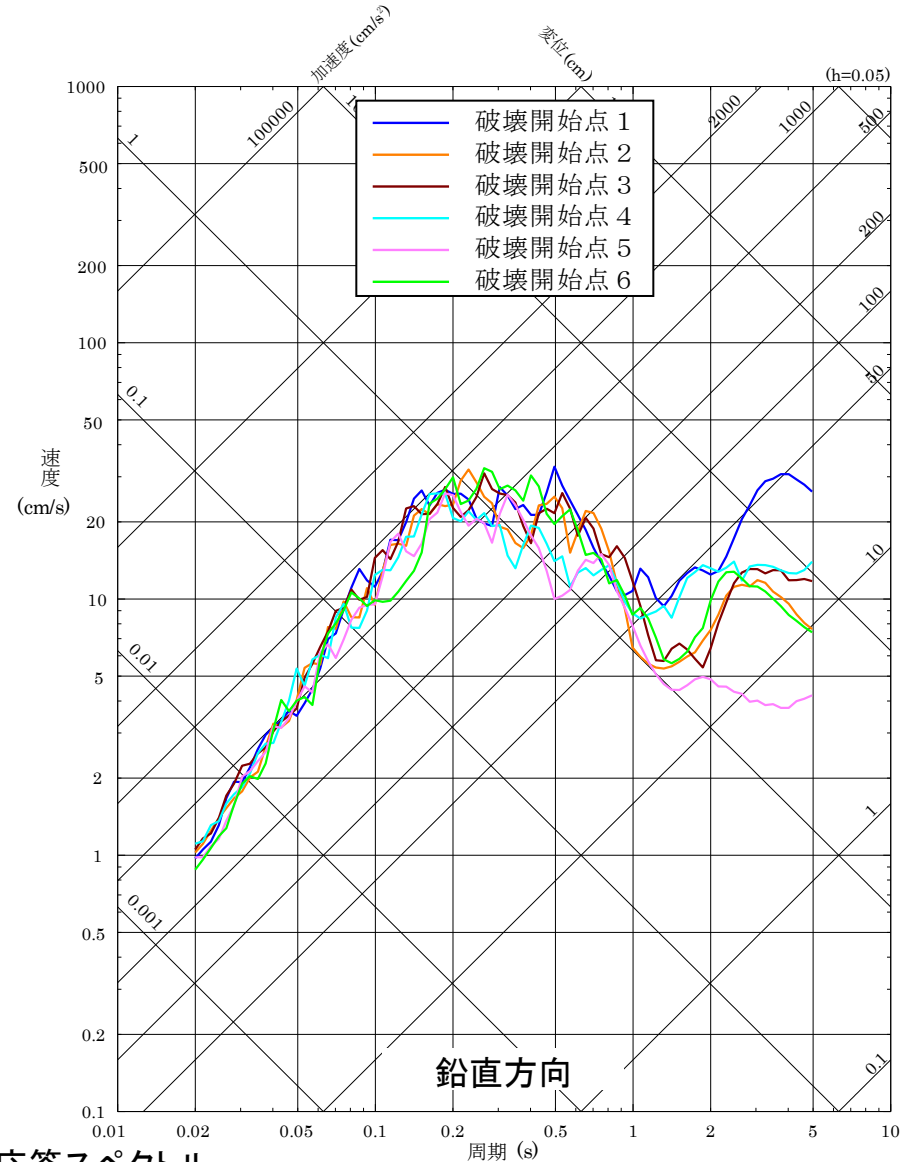
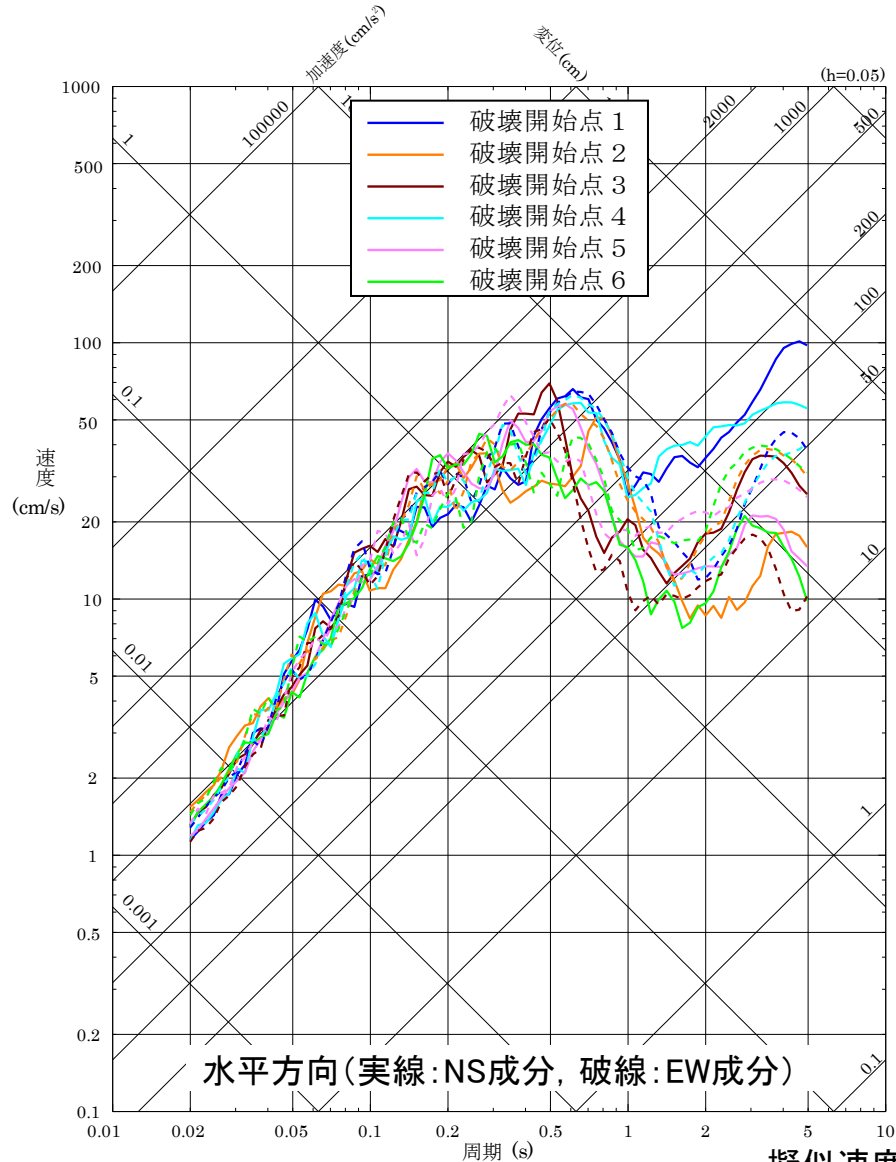
破壊開始点5



加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 13/16

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (⑧短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)を考慮したケース)



断層モデルによる地震動評価結果 14/16

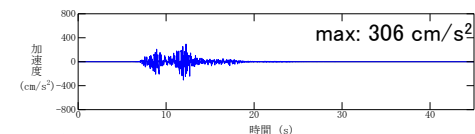
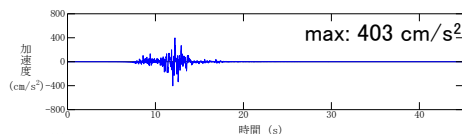
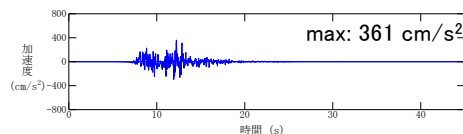
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (⑧短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)を考慮したケース)

水平方向(NS成分)

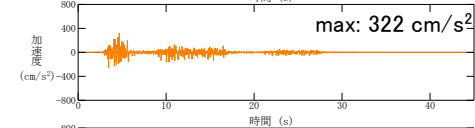
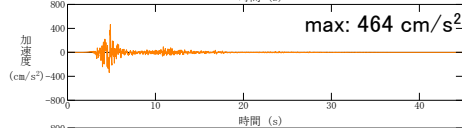
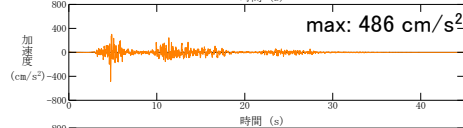
水平方向(EW成分)

鉛直方向

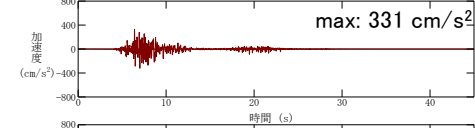
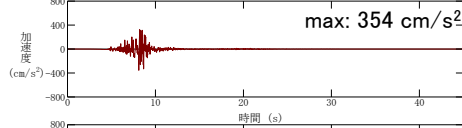
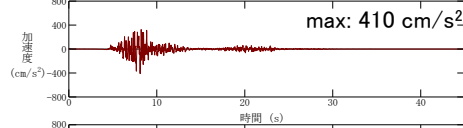
破壊開始点 1



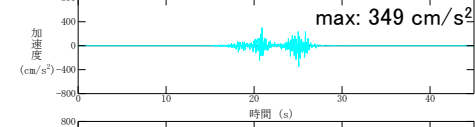
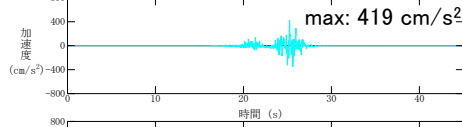
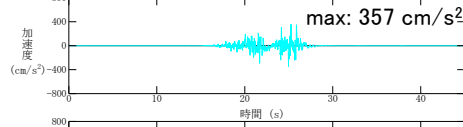
破壊開始点 2



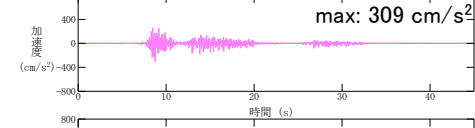
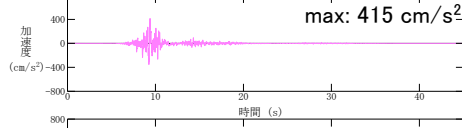
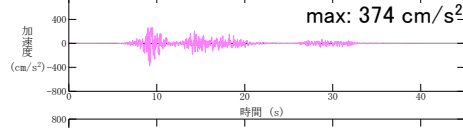
破壊開始点 3



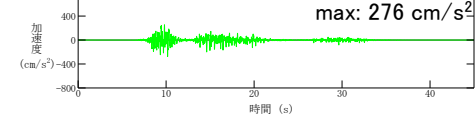
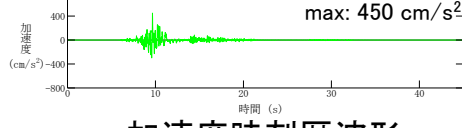
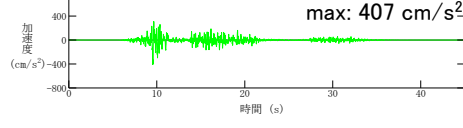
破壊開始点 4



破壊開始点 5



破壊開始点 6

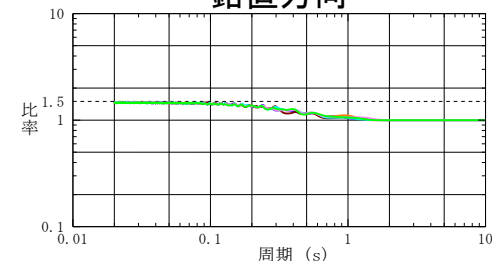
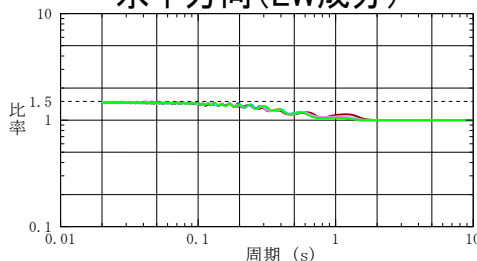
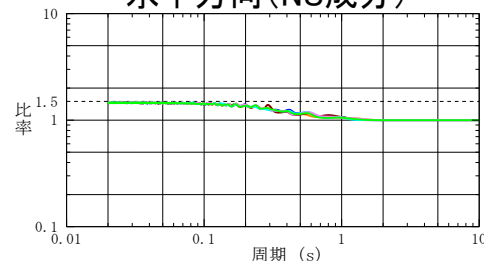


加速度時刻歴波形

水平方向(NS成分)

水平方向(EW成分)

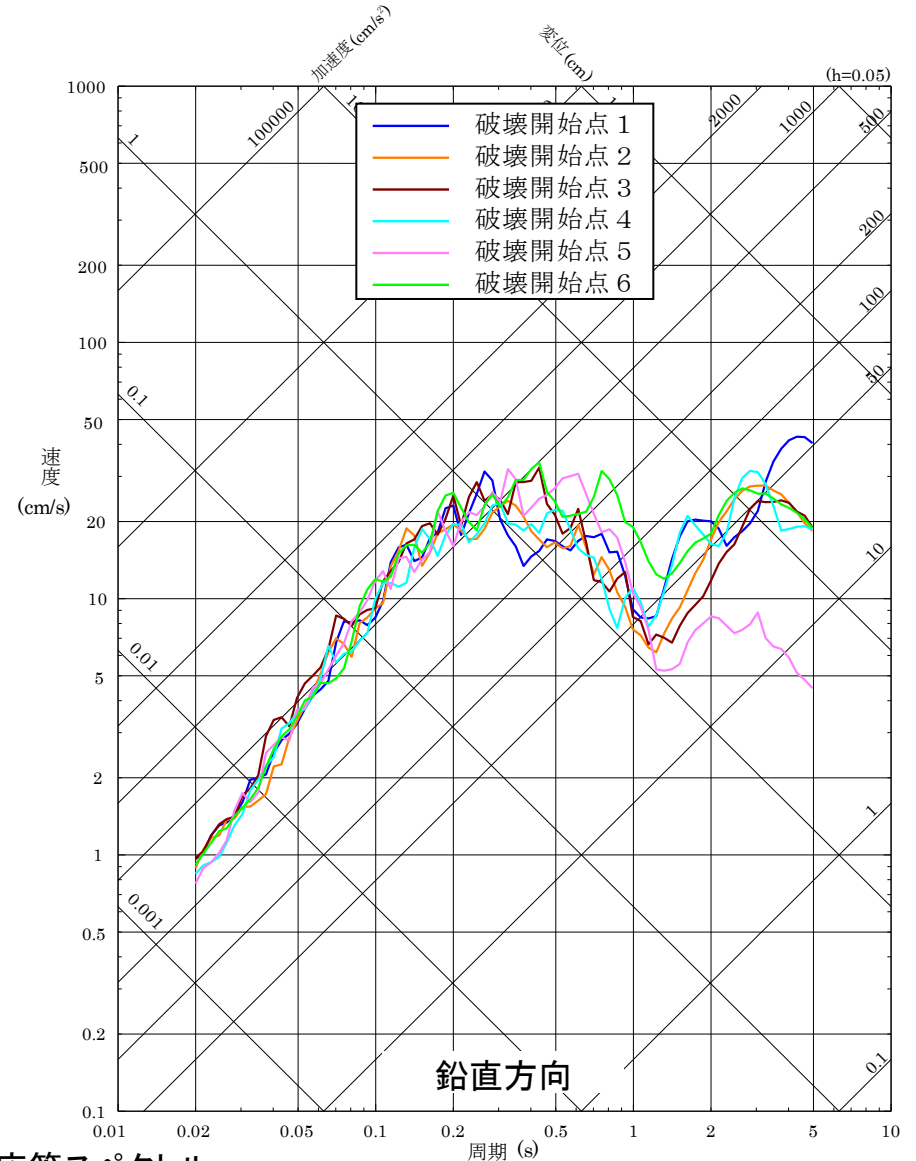
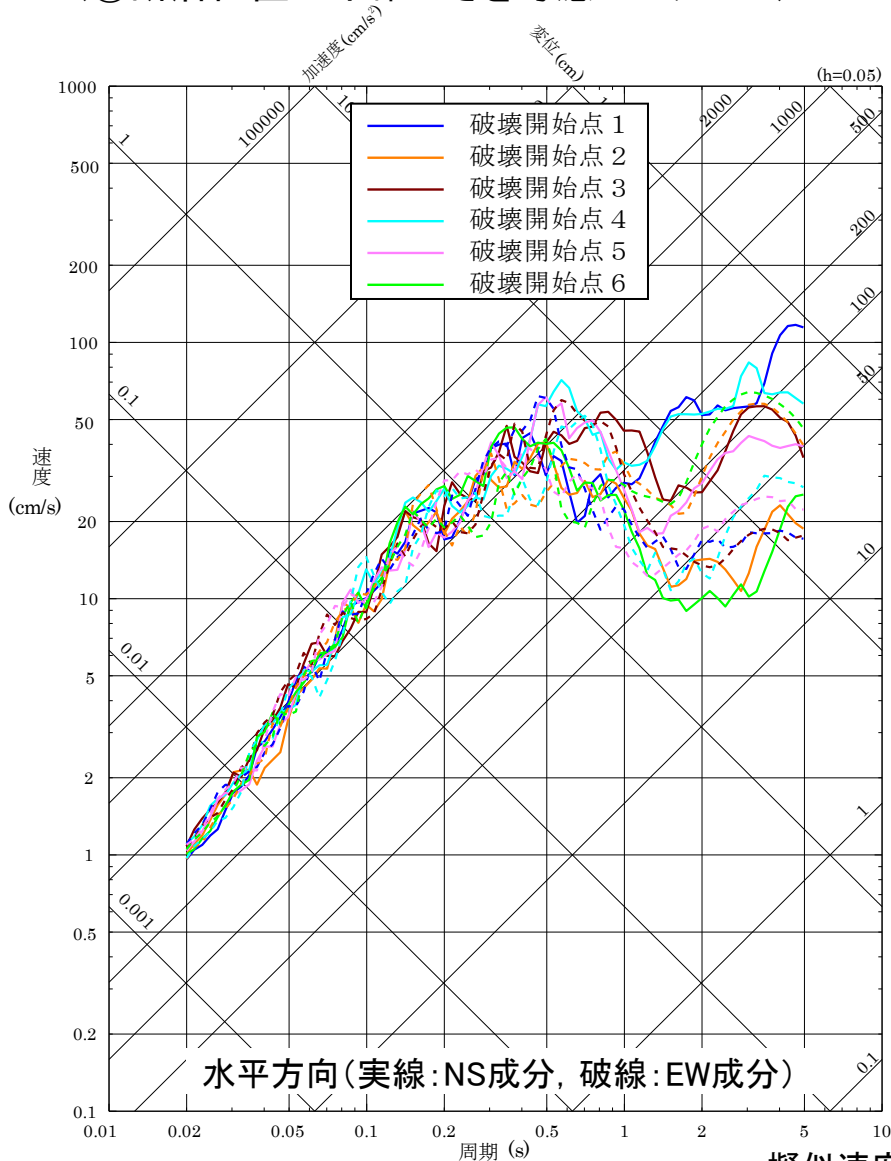
鉛直方向



フーリエスペクトル比 (短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)を考慮したケース/基本震源モデル)

断層モデルによる地震動評価結果 15/16

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (⑨断層位置の不確かさを考慮したケース)



擬似速度応答スペクトル

断層モデルによる地震動評価結果 16/16

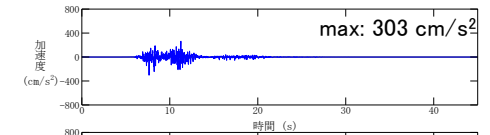
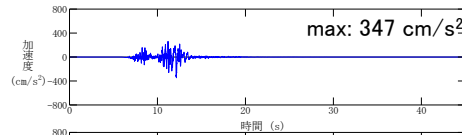
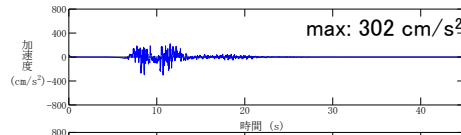
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果 (⑨断層位置の不確かさを考慮したケース)

水平方向(NS成分)

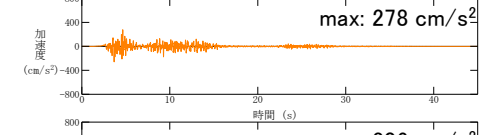
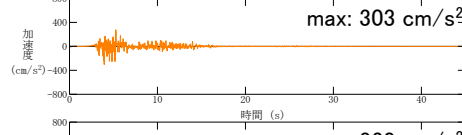
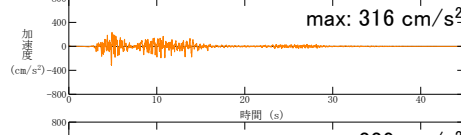
水平方向(EW成分)

鉛直方向

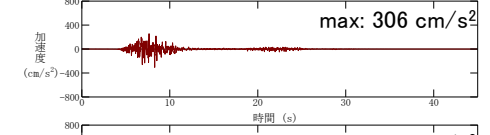
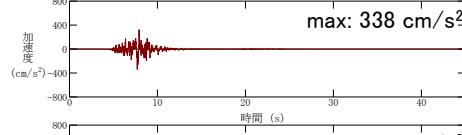
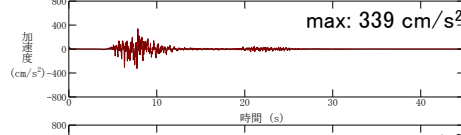
破壊開始点1



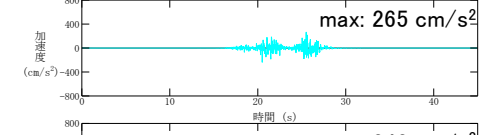
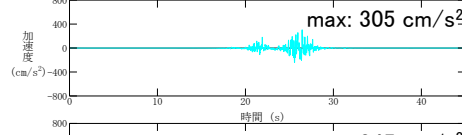
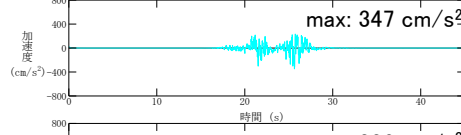
破壊開始点2



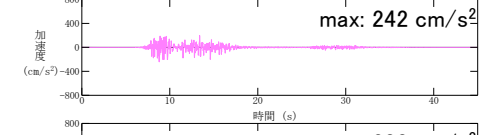
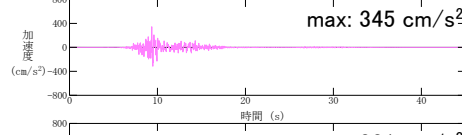
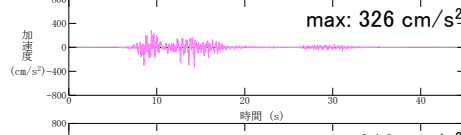
破壊開始点3



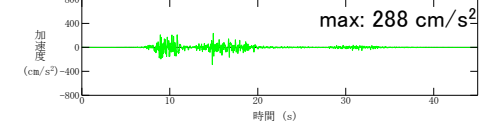
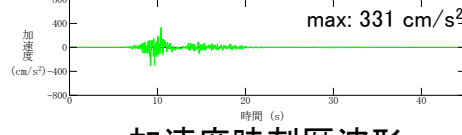
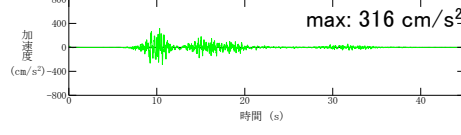
破壊開始点4



破壊開始点5



破壊開始点6



加速度時刻歴波形

短周期の地震動レベルの不確かさを考慮したケースの地震動評価手法(概要)

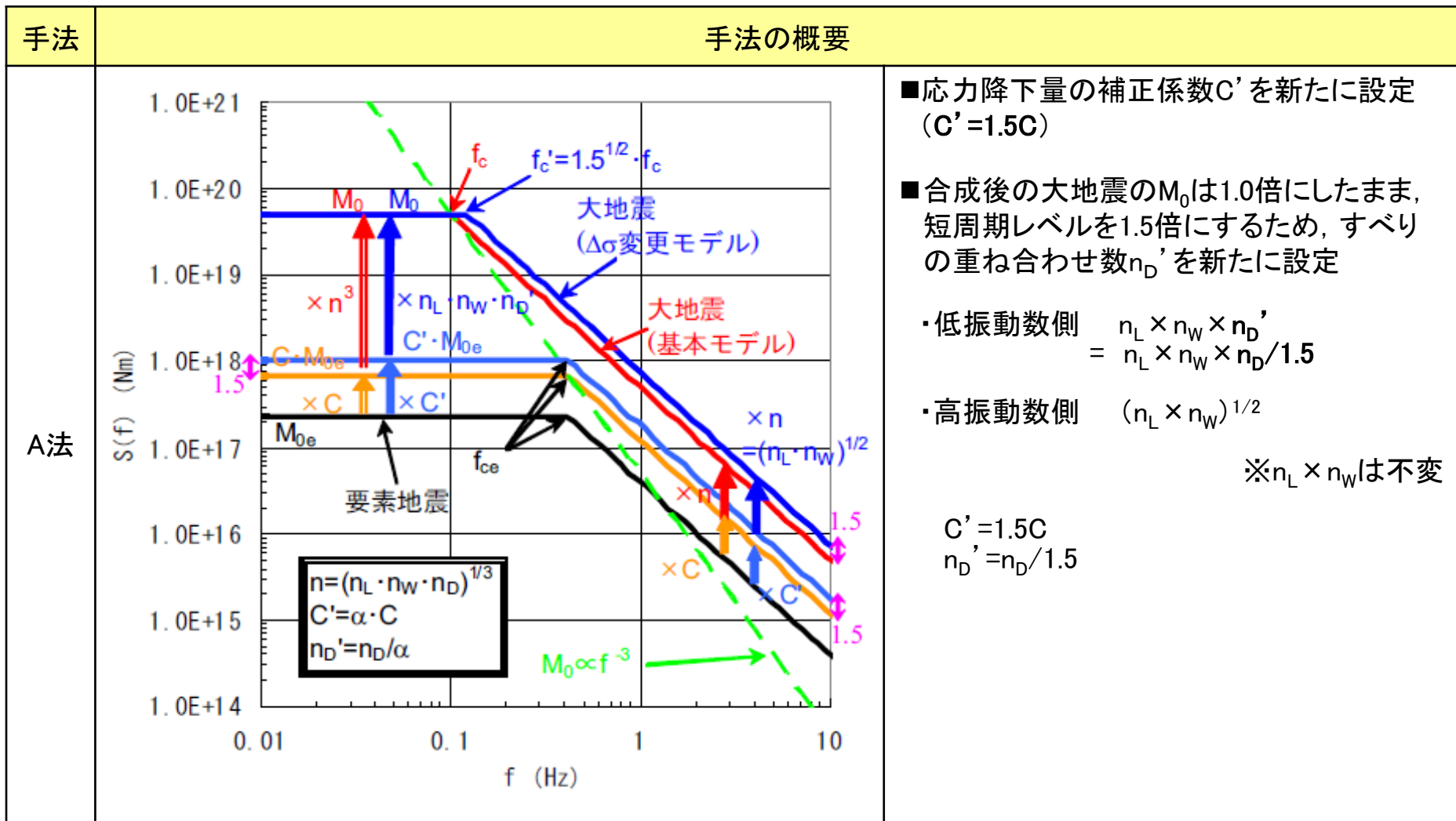
- 島根原子力発電所の断層モデルを用いた手法による地震動評価における「短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)を考慮したケース」は、短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本震源モデルの1.5倍となるように地震動評価を行っており、これは短周期レベル及びこれと比例関係にある応力降下量を1.5倍していることに相当する。
- 一方、2009年4月23日に開催された原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合において、断層パラメータの不確かさを考慮する際、評価の仕方によっては、下表のように基本震源モデルに対して応力降下量を大きくした割合と短周期レベルが大きくなる割合が異なる場合(B法)があることが確認されている。
- 島根原子力発電所の断層モデル評価は、上記作業会合で示された2つの手法のうち、短周期レベル、応力降下量ともに1.5倍となる手法(A法)を用いて短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)を考慮したケースの評価を行っている。

手法	手法の概要	評価結果	備考
A法	基本震源モデルと同じ要素地震波を用い、応力降下量補正係数Cと重ね合わせ数nを新たに設定する。経験的グリーン関数法と統計的グリーン関数法のいずれにも適用できる。	応力降下量1.5倍 短周期レベル1.5倍	島根原子力発電所の地震動評価で用いている手法
B法	要素地震の応力降下量 $\Delta\sigma_e$ を基本震源モデルから変更し、基本震源モデルと同じCとnを用いる。要素地震波を人工的に作成する統計的グリーン関数法にのみ適用できる。	応力降下量1.5倍 短周期レベル $1.5^{2/3}$ 倍 (約1.3倍)	

※原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合(2009年4月23日)で確認された内容

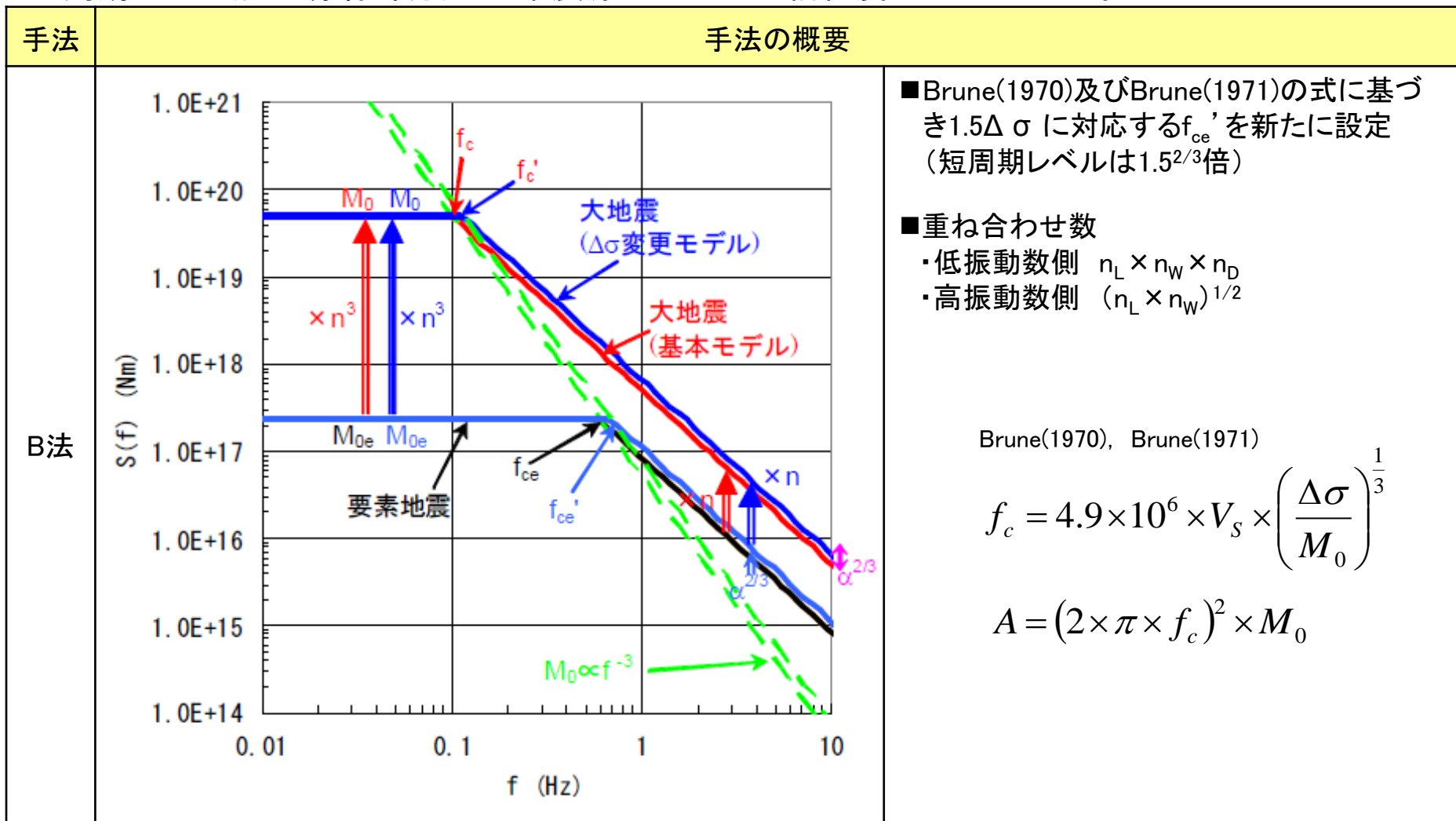
原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合におけるA法

■ A法の概要は以下の通りであり, 新たに設定した応力降下量の補正係数 C' とすべりの重ね合わせ数 n_D' を波形合成時に考慮することにより, 合成後の大地震の M_0 は基本震源モデルと変えずに, 短周期レベル(図の赤線部分)のみ基本震源モデルの1.5倍となる。



原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合におけるB法

■ B法の概要は以下の通りであり、要素地震の応力降下量を1.5倍(f_c が高振動数側に移動)するが、Brune(1970)及びBrune(1971)によるパラメータ間の関係式により短周期レベルは基本震源モデルの1.3倍($1.5^{2/3}$ 倍)程度にしかならないため、この要素地震を用いて波形合成を行っても合成後の短周期レベル(図の赤線部分)も基本震源モデルの1.3倍程度にしかならない。



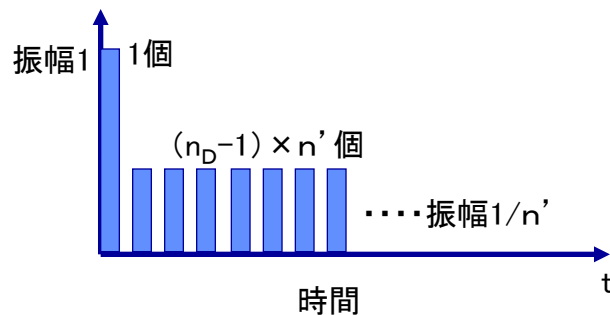
統計的グリーン関数法による地震動評価

- 島根原子力発電所の基準地震動策定における断層モデル評価においては、B法のように要素地震の応力降下量を1.5倍するのではなく、短周期領域のフーリエスペクトルが1.5倍となるように波形合成を行うことで、A法と同じく、短周期レベル及びこれと比例関係にある応力降下量1.5倍を実現している。
- 具体的には、短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)を考慮したケースの評価では、時間領域で小地震の波形を重ね合わせた時に低振動数側は変わらず高振動数側のみ1.5倍となるようにすべりを重ね合わせて計算している。
- まず、基本となる波形合成の式を以下に示す。この基本式におけるすべりの重ね合わせについては、すべりを均等に重ね合わせるのではなく、下図に示すように振幅1と振幅1/n'のすべりを重ね合わせているのが特徴である。

【入倉法による波形合成の基本式】

$$U(t) = \underbrace{\sum_{i=1}^{n_L} \sum_{j=1}^{n_W} \frac{X_e}{X_{ij}} u_e(t - t_{ij})}_{\text{第1項}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{n_L} \sum_{j=1}^{n_W} \sum_{k=1}^{(n_D-1) \cdot n'} \frac{X_e}{X_{ij}} \cdot \frac{1}{n'} u_e \left\{ t - t_{ij} - \frac{(k-1)\tau}{n_D \cdot n'} \right\}}_{\text{第2項}}$$

$$t_{ij} = \frac{\eta_{ij}}{V_r} + \frac{X_{ij}}{V_s}$$



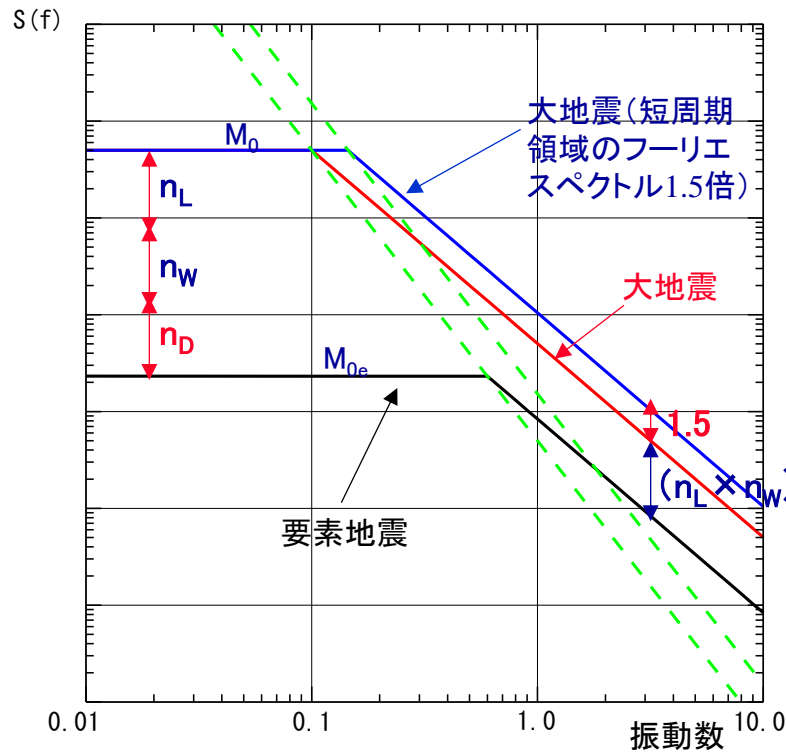
すべりの足し合わせ
 $1 + (n_D - 1) \times n' \times 1/n' = n_D$

X_e : 要素地震の震源距離
 X_{ij} : 要素(i,j)の震源距離
 τ : 立ち上がり時間
 η_{ij} : 破壊開始点から要素(i,j)までの距離
 V_r : 破壊伝播速度
 V_s : S波速度

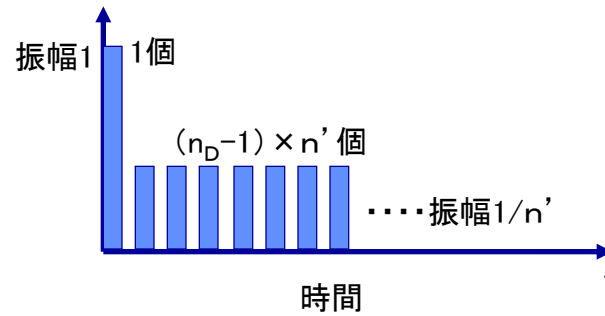
〔 実際の計算は入倉ほか(1997)による指数関数形を採用 〕

短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(1/5)

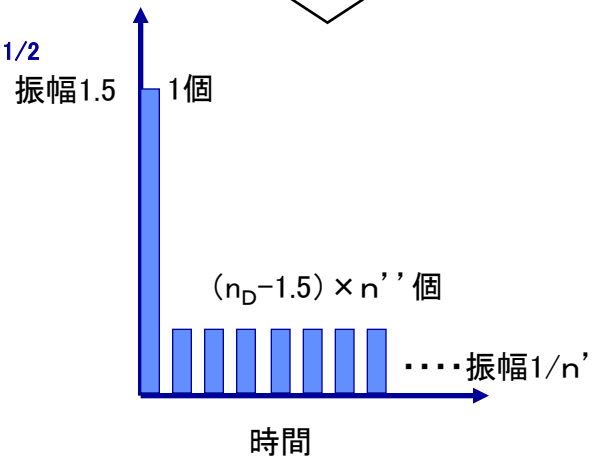
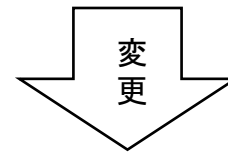
- 人工的に作成する要素地震の応力降下量は大地震と等しくしているため、応力降下量補正係数Cは1.0のまま、すべりの重ね合わせに関する形状を変えることにより、短周期領域のフーリエスペクトルを1.5倍にする。



イメージ図



すべりの足し合わせ
 $1 + (n_D - 1) \times n' \times 1/n' = n_D$

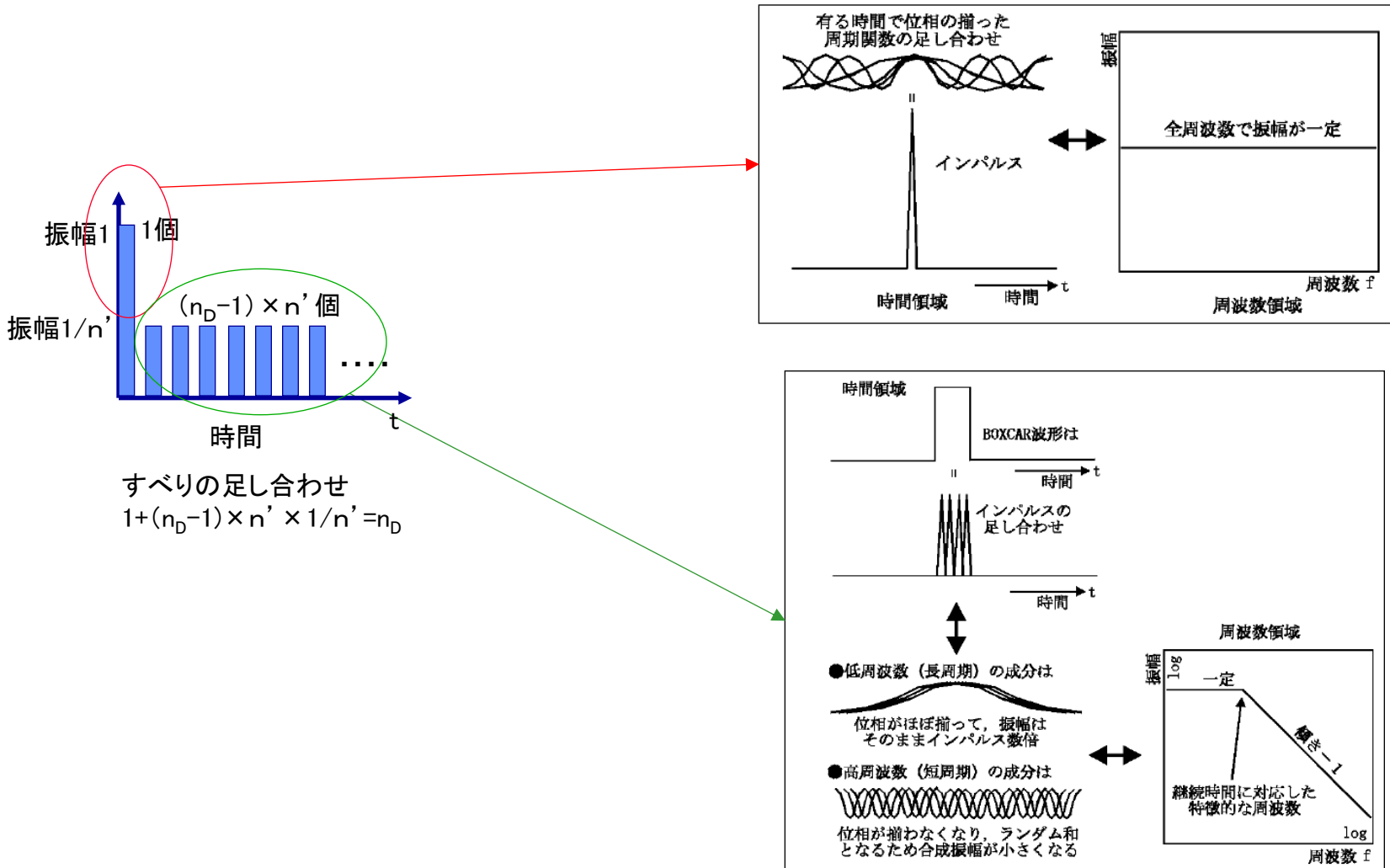


すべりの足し合わせ
 $1.5 + (n_D - 1.5) \times n'' \times 1/n'' = n_D$

【実際の計算は入倉ほか(1997)による指数関数形を採用】

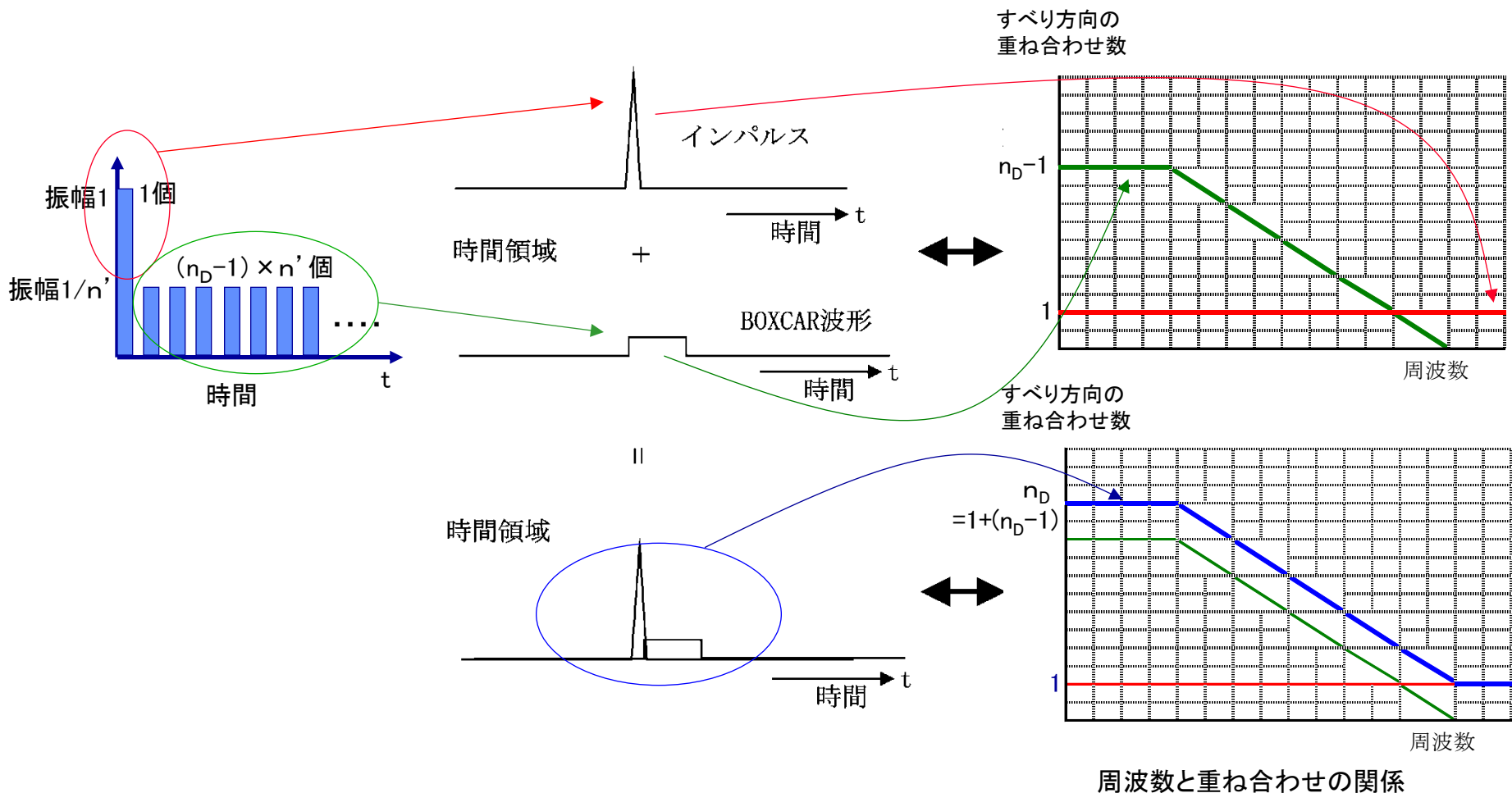
短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(2/5)

- 通常の波形合成では、 n_D 個のすべりの足し合わせにおいて、振幅1の一つのインパルス波形と振幅 $1/n'$ の $(n_D-1) \times n'$ 個のインパルス波形が足し合わされたBoxcar波形の組み合わせを考慮している。



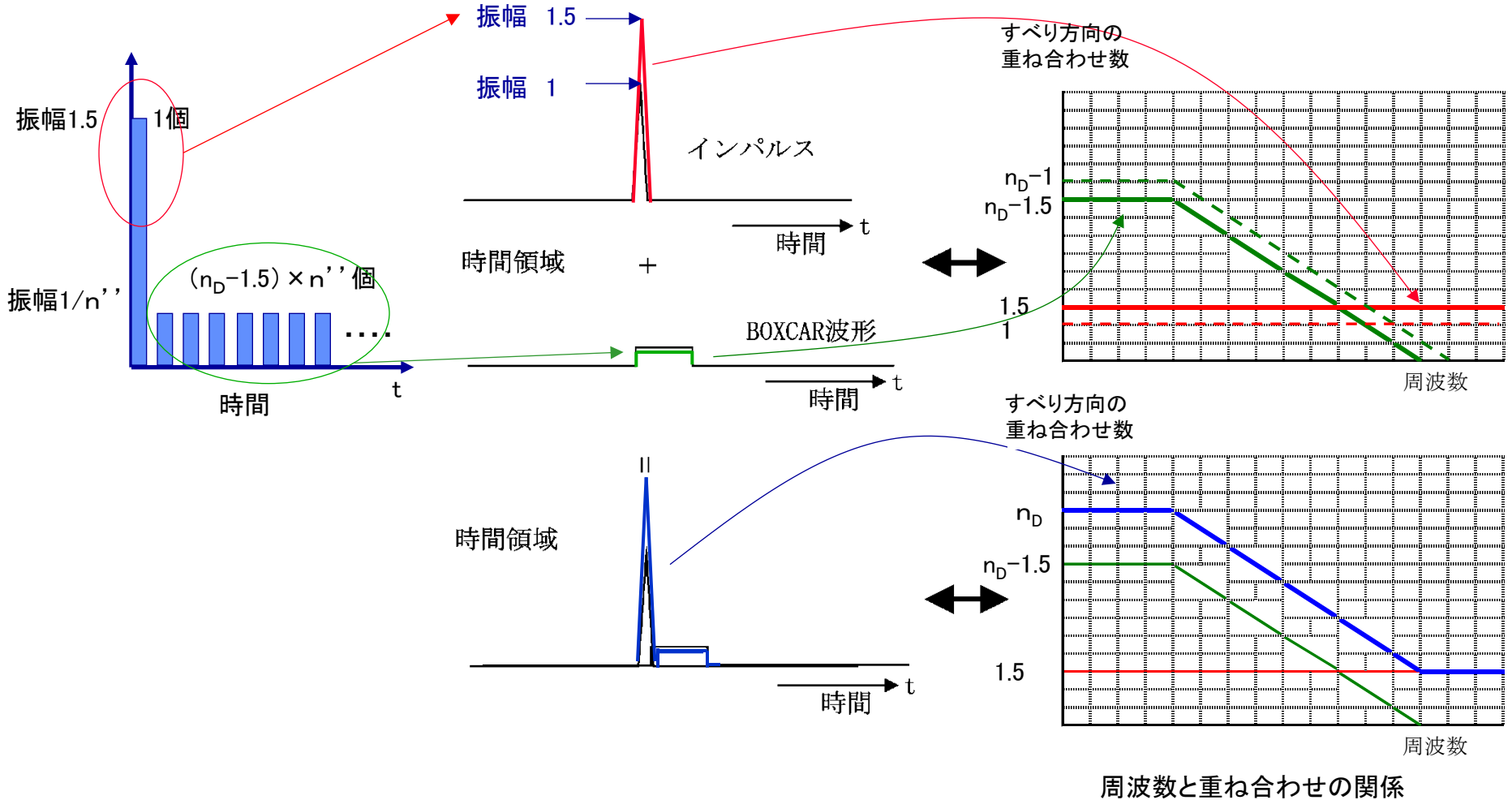
短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(3/5)

- 通常の波形合成において、すべり(n_D)に関するインパルス波形とBoxcar波形の足し合わせは、周波数領域で表すと以下に示すように、低振動数側において $1+(n_D-1)=n_D$ 倍になり、高振動数側においては1倍となる。



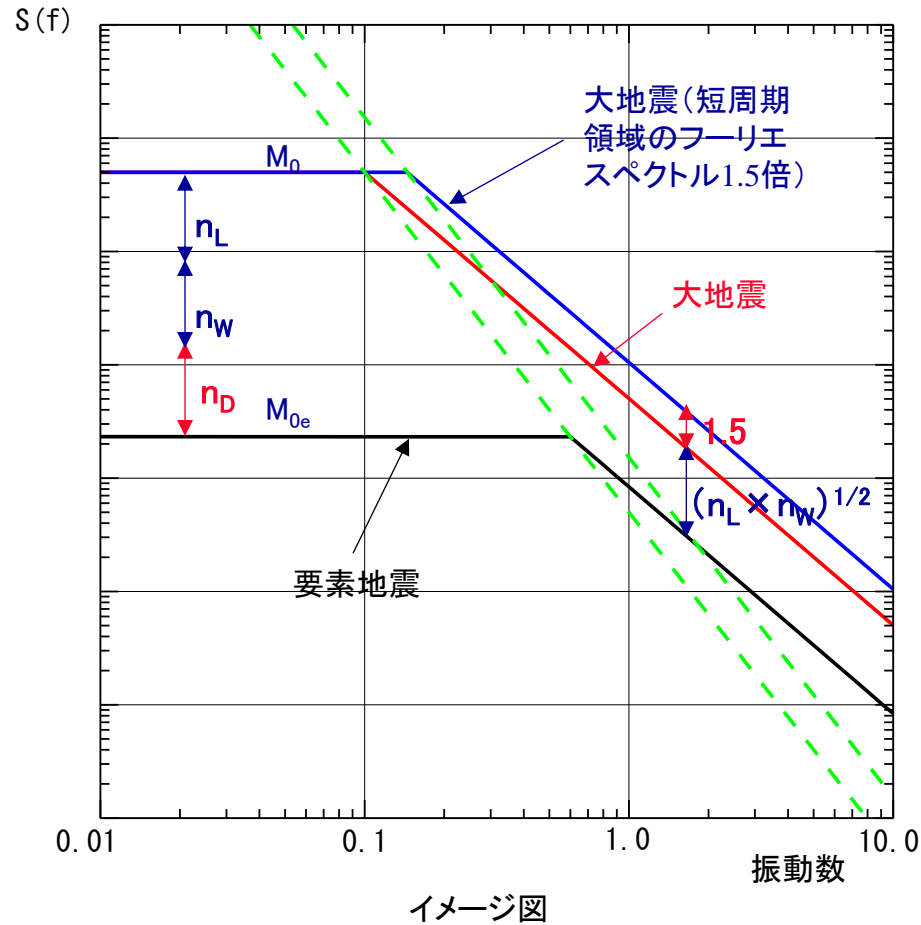
短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(4/5)

- すべりの重ね合わせ (n_D) について, 高振動数側のみ1.5倍とするためにインパルス波形の振幅を1.5倍とし, Boxcar関数については重ね合わせ後の振幅が n_D となるように振幅を調整すると, 以下に示すように低振動数側においては $1.5 + (n_D - 1.5) = n_D$ 倍になり, 高振動数側においては1.5倍となる。



短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(5/5)

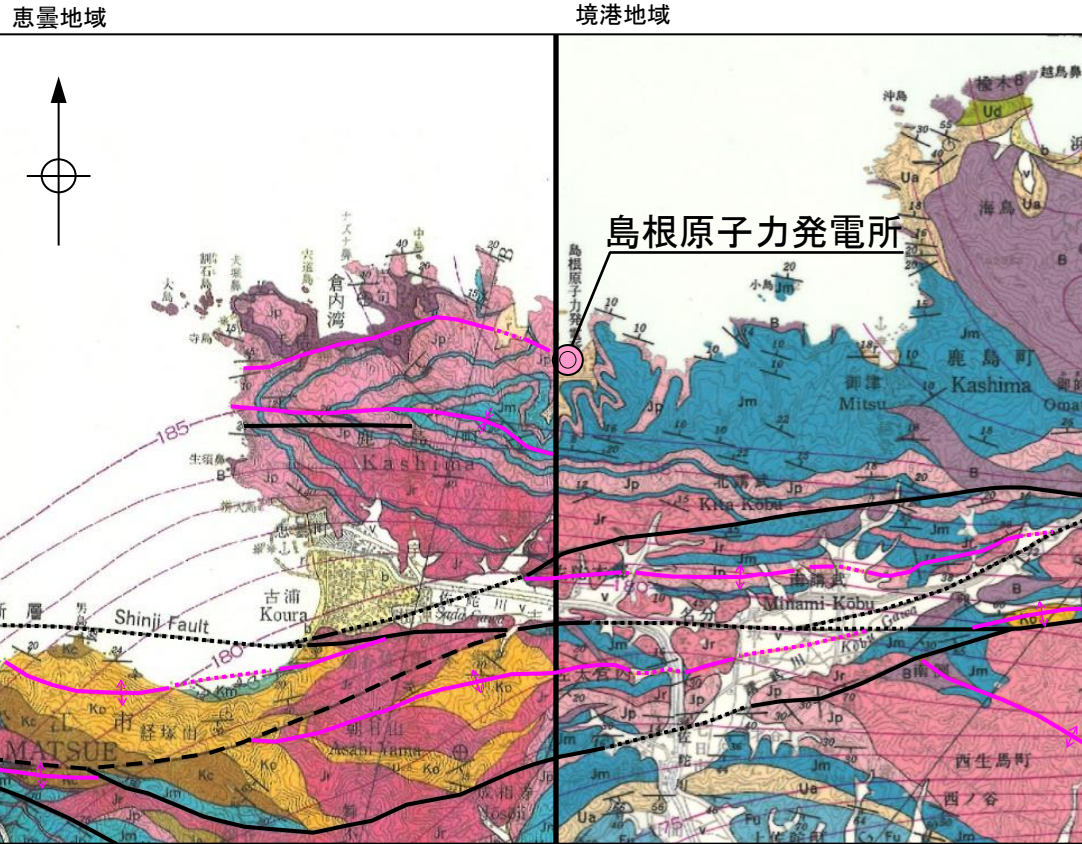
- 低振動数側のすべりの重ね合わせは n_D のままで、高振動数側のすべりの重ね合わせの最初のパルス n_L を1.5とすることで、高振動数側のみ大地震のフーリエスペクトルが1.5倍となる。



4. 震源を特定せず策定する地震動

2008年岩手・宮城内陸地震(島根原子力発電所近傍の地質・地質構造)

- 一方, 島根原子力発電所近傍は, 主に新第三紀の堅固な堆積岩(頁岩, 泥岩, 砂岩等)が厚く分布する地域である。
- また, 現在の東西圧縮応力場に調和しない東西方向の褶曲・撓曲構造が認められる。



引用文献および凡例

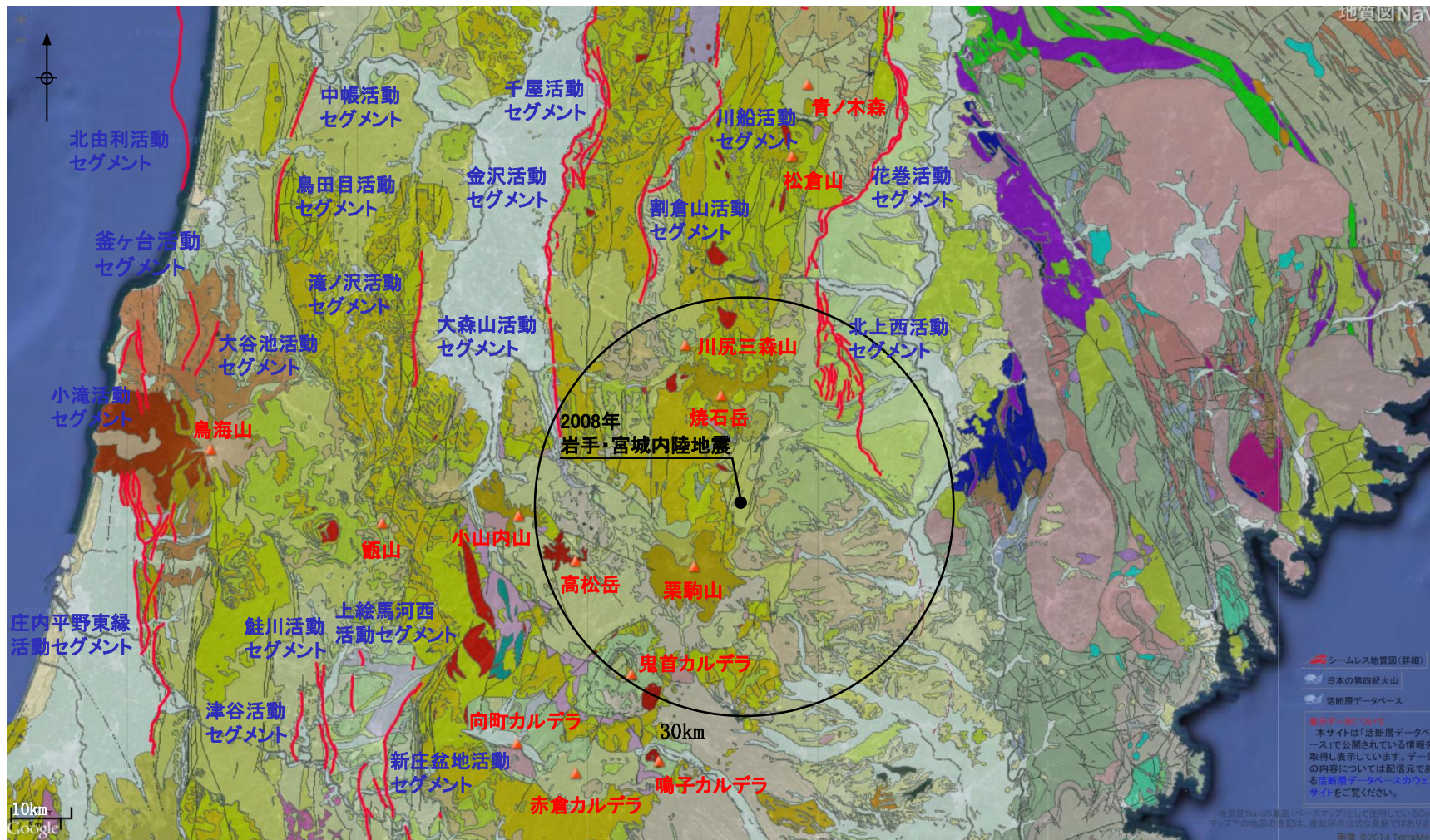
恵曇地域		境港地域	
<p>鹿野・中野(1986)</p> <p>新第三紀 貫入岩</p> <ul style="list-style-type: none"> B: トロノイト, 閃緑岩及び安山岩 (Diorite, diorite and andesite) Jp: 琉球火山砕岩及び溶岩 (斑岩を含む) (Rhyolite volcanoclastics and lavas (with argillaceous rocks)) Jm: 黒色泥岩, シルト岩及び頁岩 (酸性噴出岩を含む) (Black mudstone, siltstone and shale (with acidic tuff)) Jr: 琉球溶岩岩及び大砕岩 (貫入岩を含む) (Rhyolitic lavas, contemporaneous intrusives and volcaniclastics) <p>成相寺層</p> <ul style="list-style-type: none"> Kc: 礫岩, 砂岩及び砂岩 (Conglomerate, sandstone and volcaniclastic) Ko: 砂岩, 礫岩及び大砕岩 (Sandstone, conglomerate and volcaniclastic) 	<p>鹿野・吉田(1985)</p> <p>新第三紀 貫入岩</p> <ul style="list-style-type: none"> B: 石英閃緑岩, フロノイト・ひん岩, 玄武岩, 安山岩 (Quartz diorite, dolerite, porphyrite, basalt, and andesite) <p>古江層</p> <ul style="list-style-type: none"> Fu: 泥岩及びシルト岩 (Mudstone and siltstone) <p>牛切層</p> <ul style="list-style-type: none"> Us: 泥岩-シルト岩・砂岩・酸性噴出岩互層 (Alternations of argillaceous rocks, sandstone and acidic tuff) <p>成相寺層</p> <ul style="list-style-type: none"> Jm: 黒色泥岩・シルト岩及び頁岩 (流紋岩噴出岩を含む) (Black mudstone, siltstone and shale (with rhyolite tuff)) Jp: 琉球溶岩岩及び溶岩 (斑岩を含む) (Volcanoclastic rocks and lavas of rhyolite (with argillaceous rocks)) Jr: 琉球溶岩岩及び大砕岩 (貫入岩を含む) (Rhyolitic lavas, contemporaneous intrusives rocks and volcaniclastic rocks of rhyolite) <p>古浦層</p> <ul style="list-style-type: none"> Ko: 砂岩, 礫岩, 安山岩, テイサイト火砕岩, 泥岩及びシルト岩 (Sandstone, conglomerate, andesite to dacite, volcaniclastic rocks, mudstone and siltstone) 		
<p>断層 (Fault)</p> <p>推定断層 (Inferred fault)</p> <p>推定断層 (Concealed fault)</p>		<p>背斜 (Anticline)</p> <p>向斜 (Syncline)</p> <p>等重力線: 毎20m隔2.0g/cm³ 1ミリメートル間隔</p>	

鹿野和彦・吉田史郎(1985): 境港地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所
 鹿野和彦・中野俊(1986): 恵曇地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所

鹿野・吉田(1985), 鹿野・中野(1986)より引用・加筆

2008年岩手・宮城内陸地震(震源域周辺の広域の活断層分布)

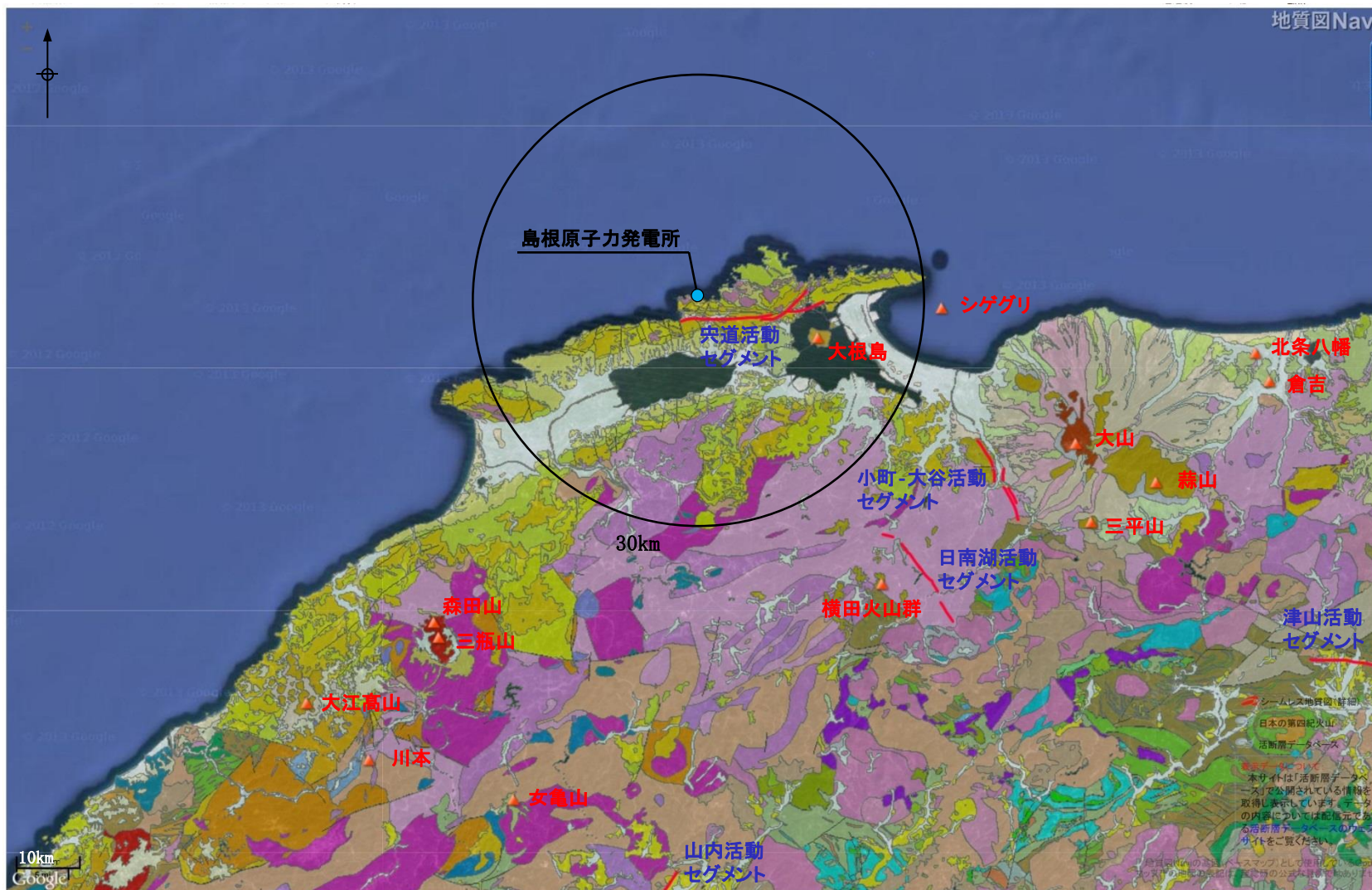
■ 岩手・宮城内陸地震の震源域周辺は、南北走向の逆断層が多数発達している。



*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に一部加筆

2008年岩手・宮城内陸地震(島根原子力発電所周辺の広域の活断層分布)

- 一方, 島根原子力発電所周辺は, 主として右横ずれ断層が認められる。



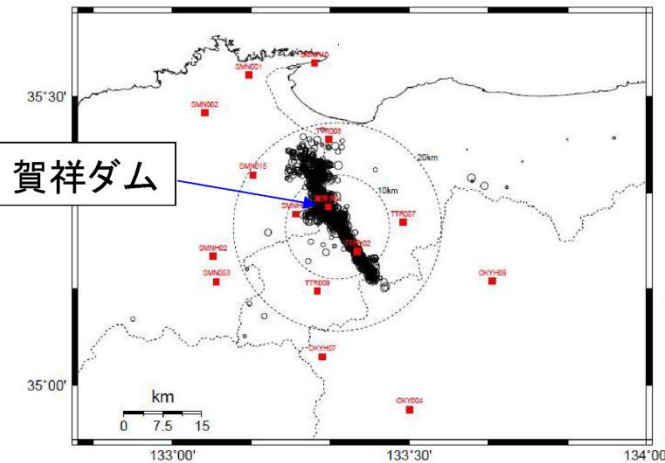
*産業技術総合研究所地質調査総合センター(編)(2012)20万分の1日本シームレス地質図に一部加筆

2000年鳥取県西部地震(観測記録の収集:賀祥ダム)

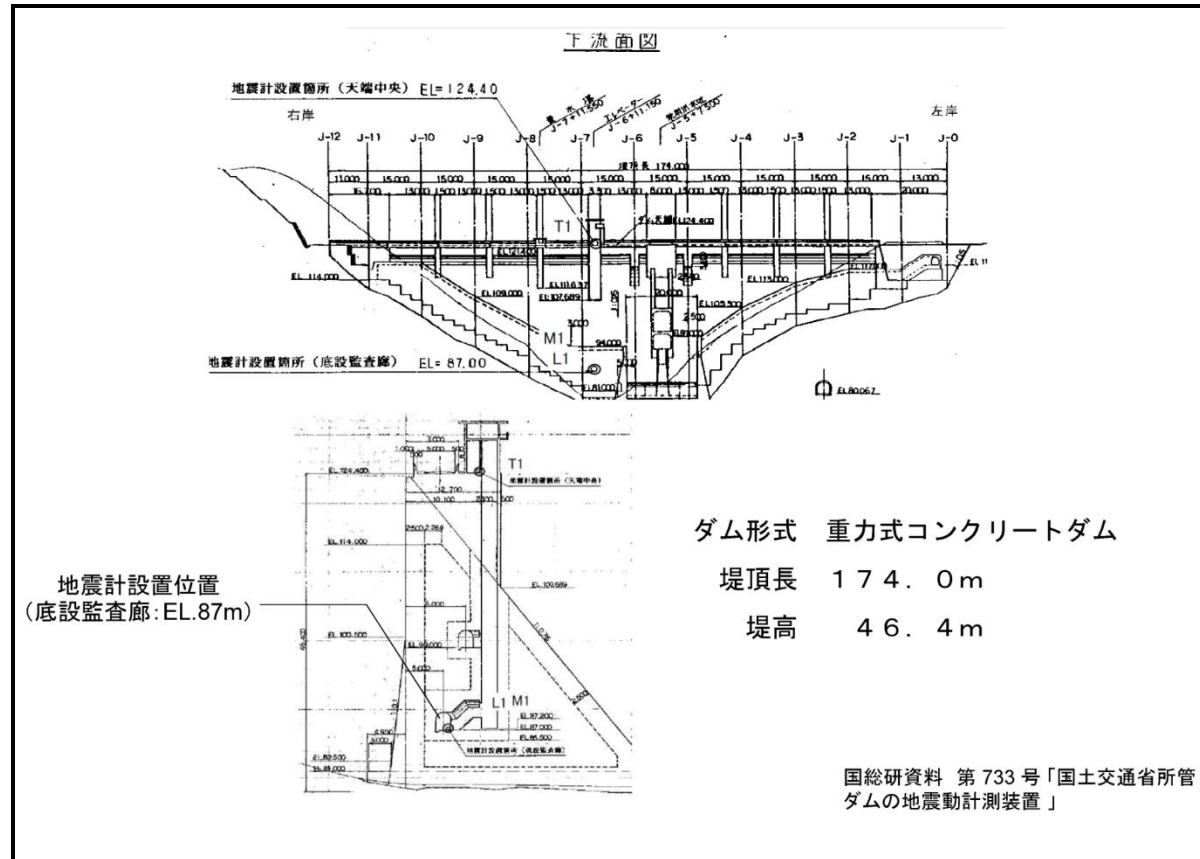
■ 賀祥ダムは、2000年鳥取県西部地震の震源直上に位置している。

賀祥ダムの概要

所在地	鳥取県
水系名	日野川
河川名	法勝寺川
竣工年	1989
最低基礎面標高	E.L.78.0m
天端標高	E.L.124.4m
堤高	46.4m



賀祥ダムの位置



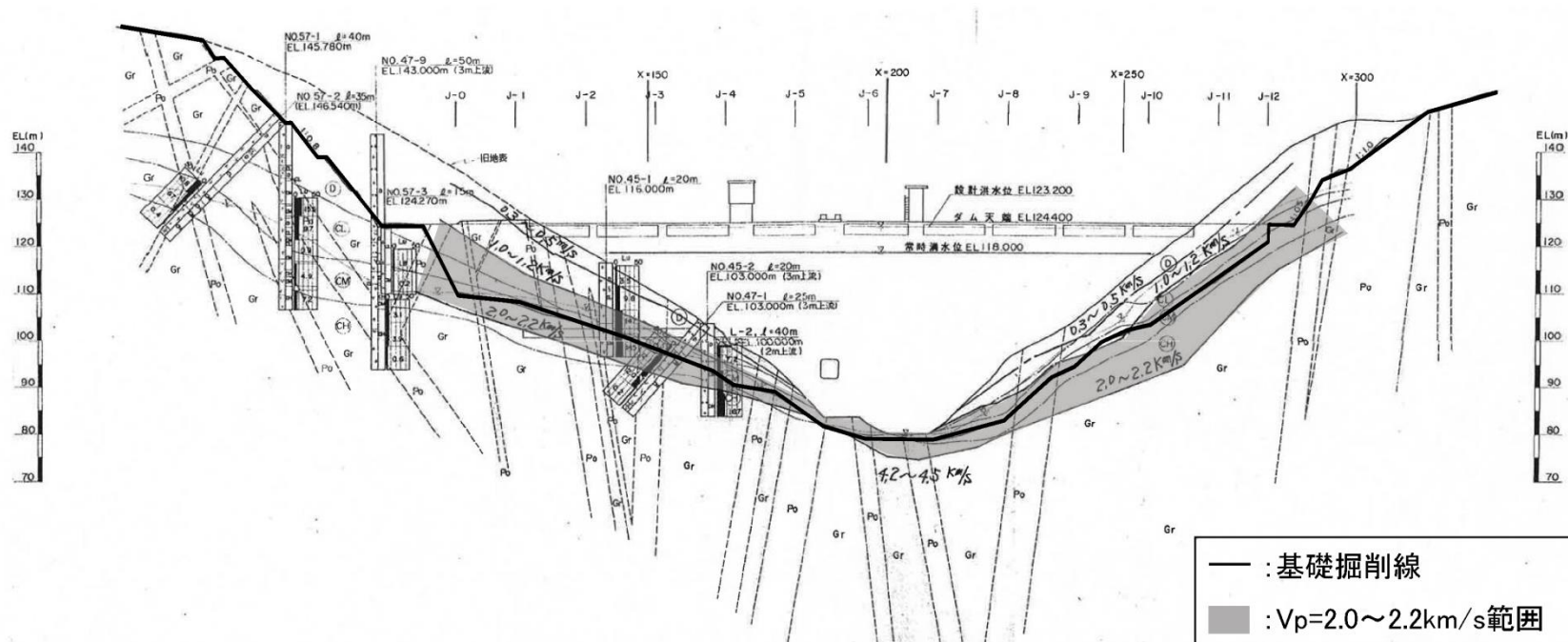
ダム形式 重力式コンクリートダム
 堤頂長 174.0m
 堤高 46.4m

国総研資料 第733号「国土交通省所管ダムの地震動計測装置」

賀祥ダムの構造

2000年鳥取県西部地震(観測記録の収集:賀祥ダム)

- 弾性波探査の結果, 4つの速度層に区分され, ダム基礎が設置されている第3速度層は, $V_p=2.0\sim 2.2\text{km/s}$ のCM級岩盤とされている。



弾性波速度と岩盤の関係

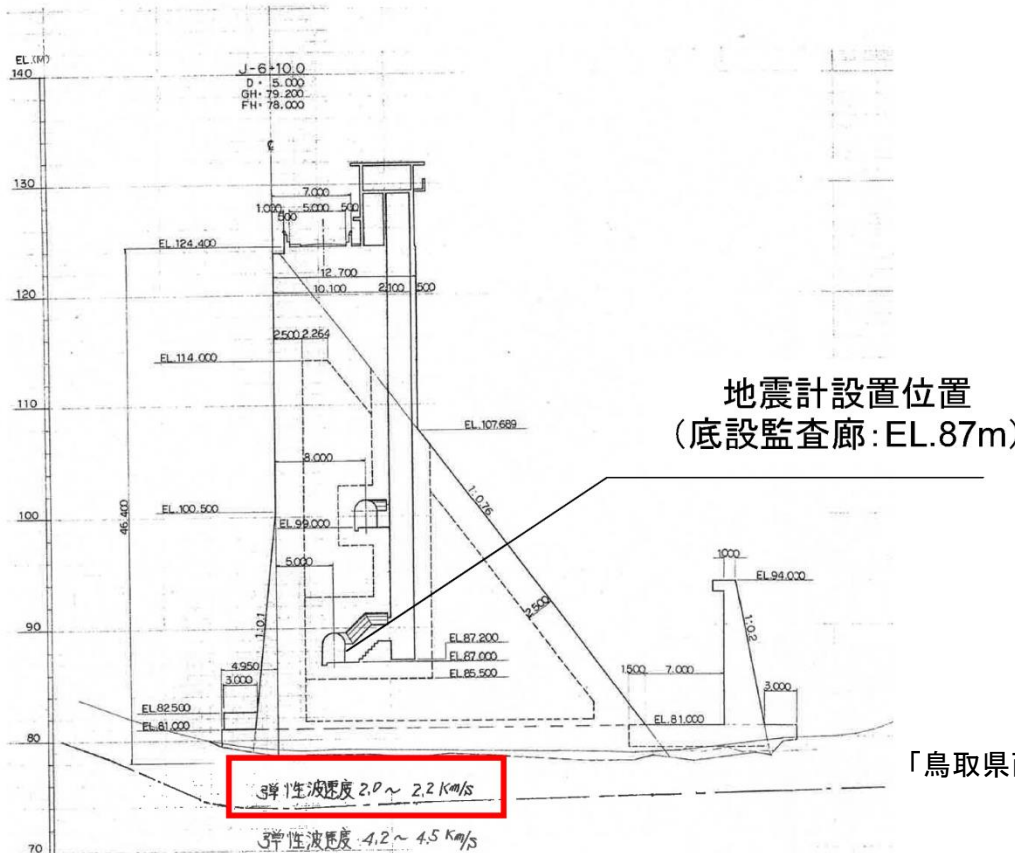
速度層名	速度 (km/sec)	層厚		岩級 区分
		左岸	右岸	
第1速度層	0.3~0.8	3~15	5~10	C _L
第2速度層	1.0~1.2	5~15	10~15	
第3速度層	2.0~2.2			C _M
第4速度層	3.6~4.5			C _H 以上

「鳥取県西部総合事務所」提供資料による

2000年鳥取県西部地震(観測記録の収集:賀祥ダム)

- 賀祥ダム堤体は、基礎岩盤として $V_p=2.0\sim 2.2\text{km/s}$ のCM級岩盤に設置されているため、監査廊における観測記録は、ダム構造物の影響が全くないとはいえないものの、島根原子力発電所の解放基盤表面($V_s=1.52\text{km/s}$)に比べれば、速度の遅い岩盤上($V_s=1.2\sim 1.3\text{km/s}$ 程度)の記録であると考えられることから、観測記録をそのまま検討対象にすることは問題ないと判断した。

ダム断面図



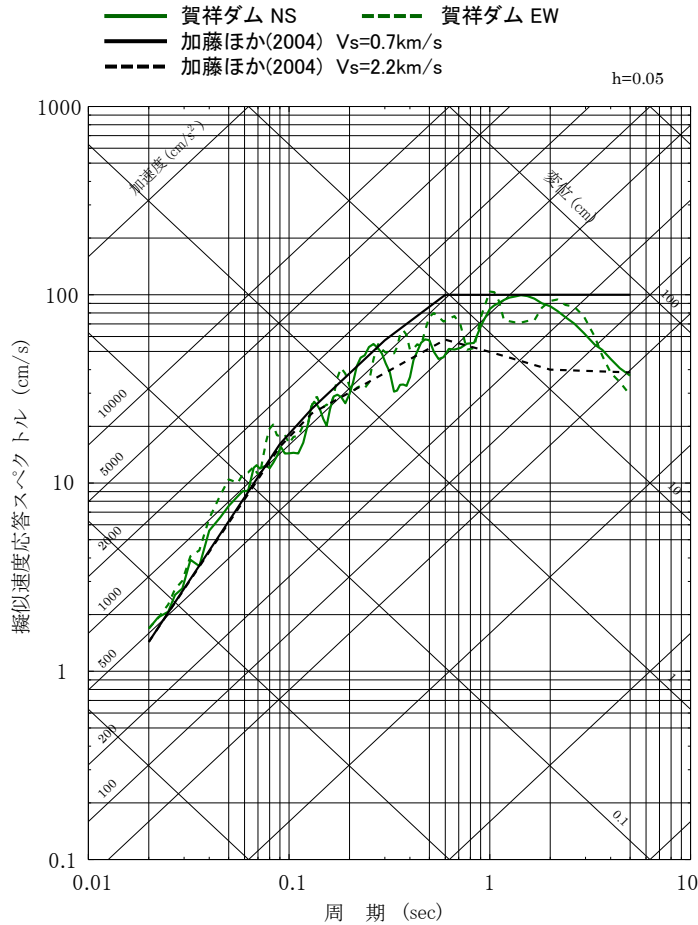
ダム堤体底部はCM級岩盤に設置
 $V_p=2.0\sim 2.2\text{km/s}$
 V_p と V_s の一般的な関係式
 $(V_p=1.73 \times V_s)$ を適用
 $V_s=1.2\sim 1.3\text{km/s}$

「鳥取県西部総合事務所」提供資料による

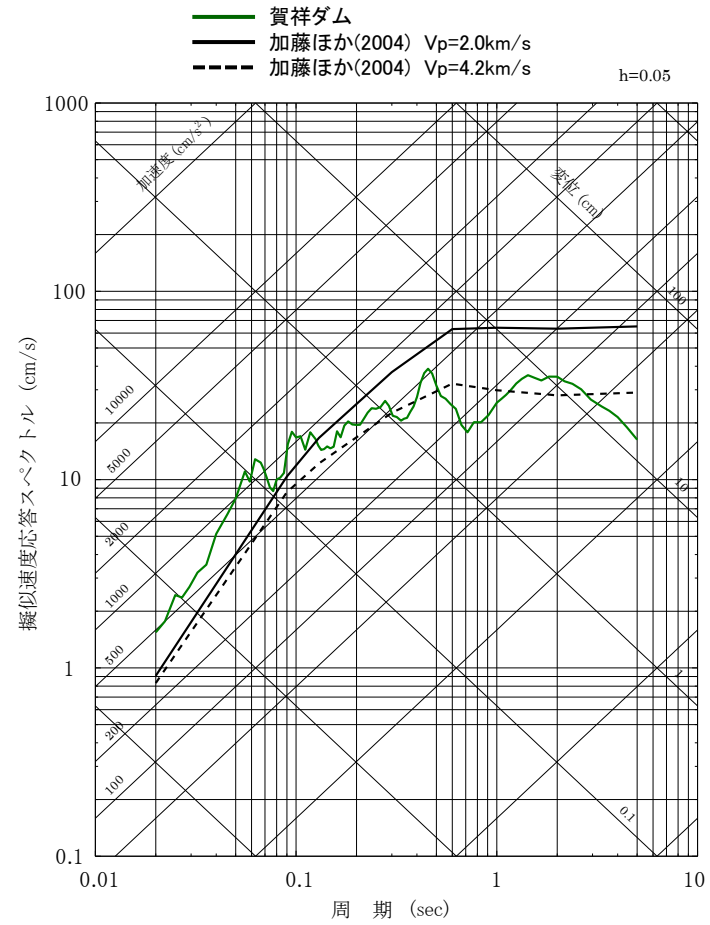
弾性波探査結果

2000年鳥取県西部地震(観測記録の収集:賀祥ダム)

■ 賀祥ダム(監査廊)の観測記録は、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

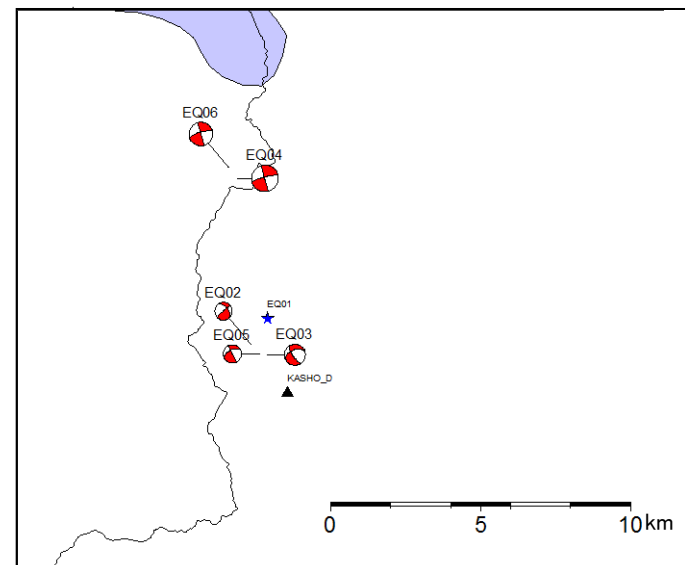
賀祥ダム(監査廊)の観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

2000年鳥取県西部地震(追加検討:賀祥ダム)

- 賀祥ダム(監査廊)の観測記録について、非線形性の影響が見られるか確認するため、2000年鳥取県西部地震の本震と余震における賀祥ダム(監査廊)の観測記録に基づくH/Vスペクトルを比較する。
- 2000年鳥取県西部地震の余震については、以下に示す6地震を検討対象とする。

検討対象地震の諸元

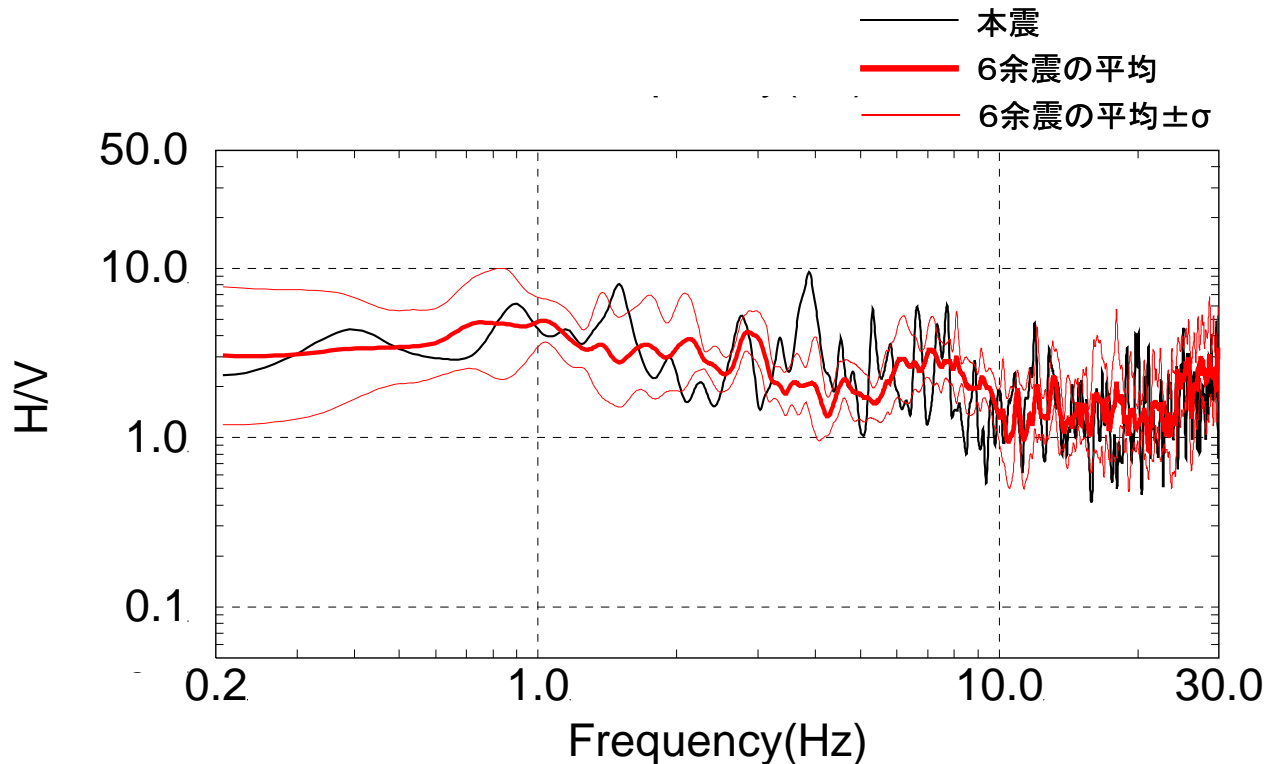
ID	発震年月日・時刻						震央位置				深さ (km)	Mj
	年	月	日	時	分	秒	緯度		経度			
本震	2000	10	6	13	30	17.94	35	16.45	133	20.94	8.96	7.3
01	2000	10	6	21	28	59.89	35	19.56	133	19.30	6.75	3.8
02	2000	10	7	12	14	23.58	35	19.10	133	18.93	6.43	3.3
03	2000	10	7	18	32	11.44	35	18.90	133	19.31	7.53	4.0
04	2000	10	8	20	51	17.10	35	22.13	133	18.64	8.30	5.2
05	2000	10	10	2	26	16.80	35	18.92	133	19.12	5.97	3.3
06	2000	10	10	21	57	59.53	35	22.34	133	18.43	9.86	4.4



検討対象地震の震央分布

2000年鳥取県西部地震(追加検討:賀祥ダム)

- 2000年鳥取県西部地震の本震と余震における賀祥ダム(監査廊)の観測記録に基づくH/Vスペクトルを比較すると、概ね同様の結果となっていることから、本震の観測記録には非線形性は見られないと考えられる。



H/Vスペクトルの比較(2000年鳥取県西部地震の本震, 余震)



賀祥ダム(監査廊)の観測記録については、非線形化していない岩盤上の記録と考えられる。

2004年北海道留萌支庁南部地震(概要)

■ 概要(発生日時, 地震規模等)

1. 地震発生日時 (気象庁他)
 - ・発生日時: 平成16年12月14日 14時56分頃
 - ・地震規模: Mj6.1 (Mw5.7)
 - ・震源深さ: 約9km
 - ・震源位置: 北緯44.077°、東経141.7°

2. 各地の震度及び被害状況

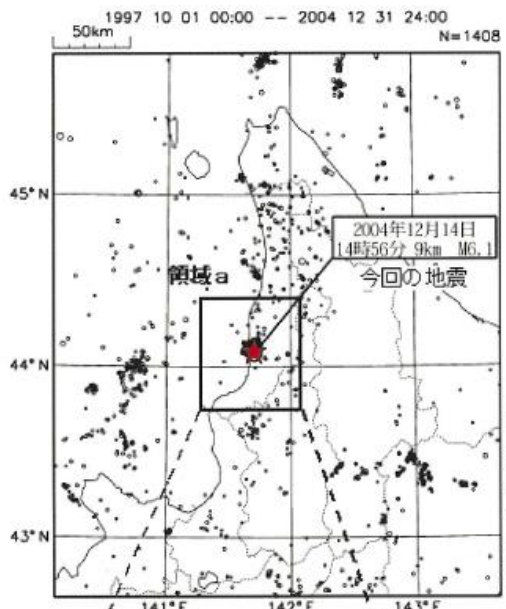
各地の震度(気象庁)は以下のとおり。

 - ・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

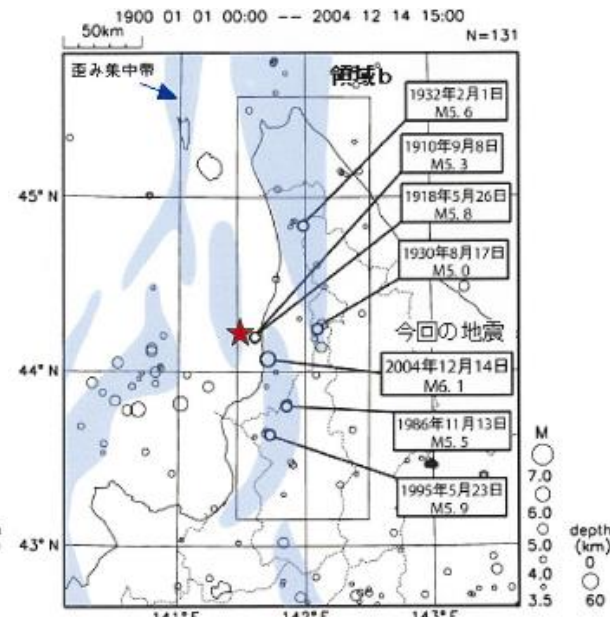
- 被害状況(消防庁)は以下のとおり。
- ・住宅全壊・半壊: 0棟
 - ・住宅一部損壊: 165棟
(内訳: 小平町 121棟, 苫前町 17棟, 羽幌町 27棟)
 - ・負傷者8名(家具の下敷き、転倒による打撲等)
 - ・コンビナート関係等異常なし

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

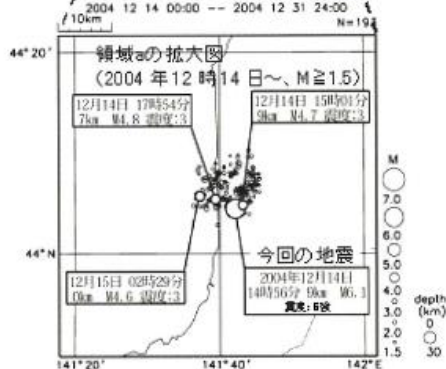
震央分布図(1997年10月～, M≥1.5)



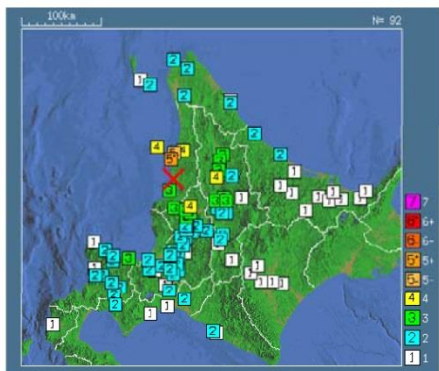
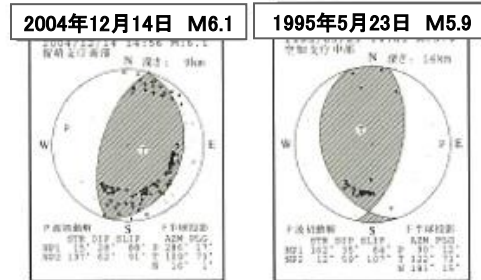
震央分布図(1900年～, M≥3.5)



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



2004年北海道留萌支庁南部地震及び周辺で発生した主な地震



気象庁 震度データベースによる震度分布

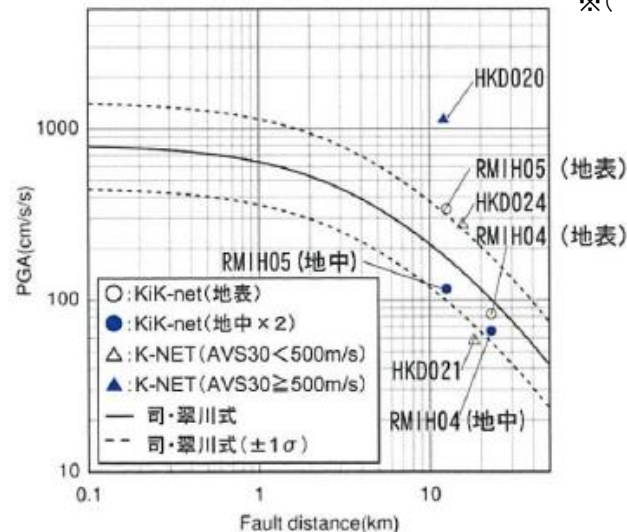
2004年北海道留萌支庁南部地震(観測記録) 1/4

- 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。
- このうち、震源近傍に位置するHKD020(港町)においては、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 $+1\sigma$ 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)

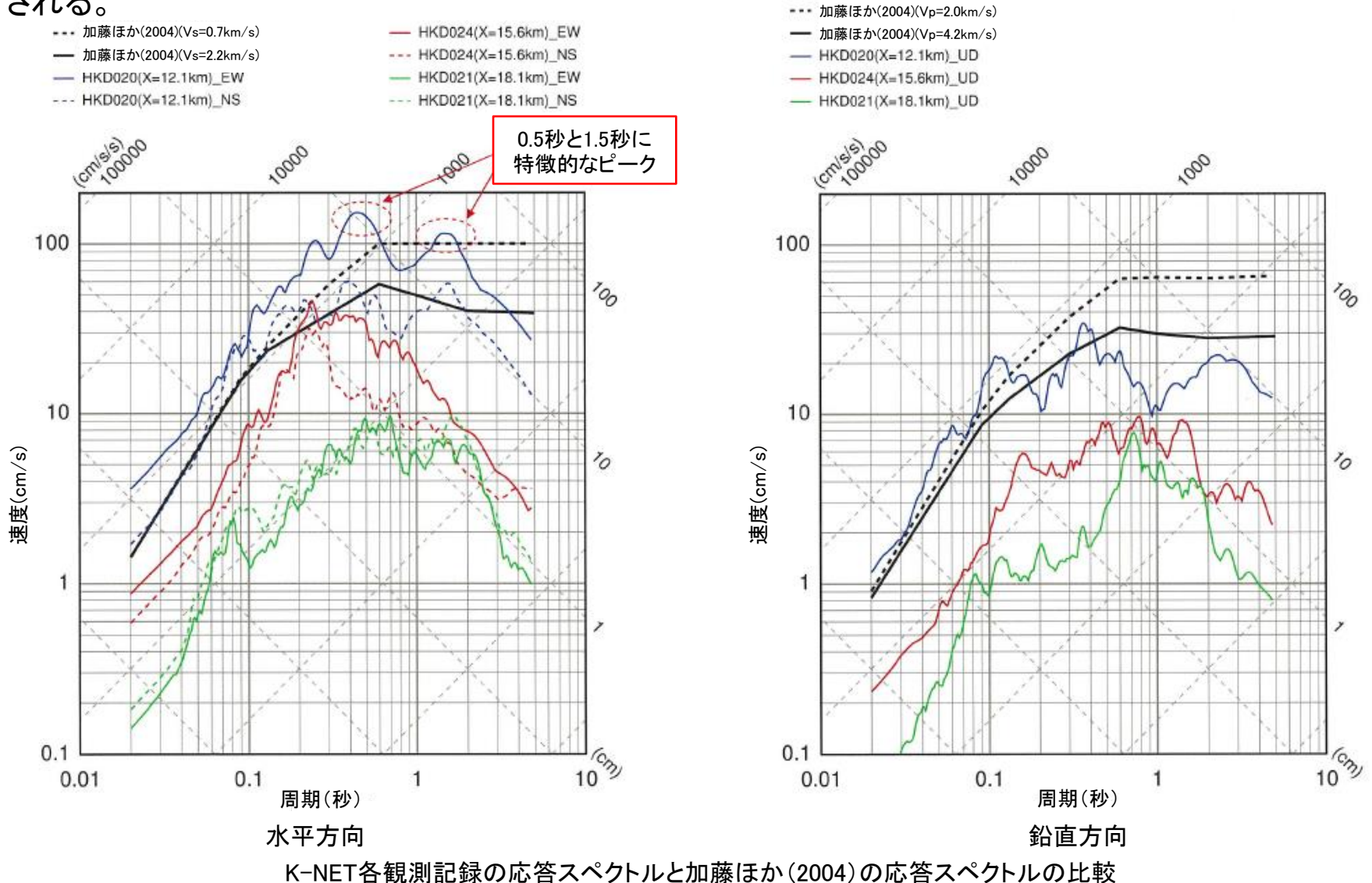
※()の数値は地中記録を示す



司・翠川(1999)の距離減衰式との関係

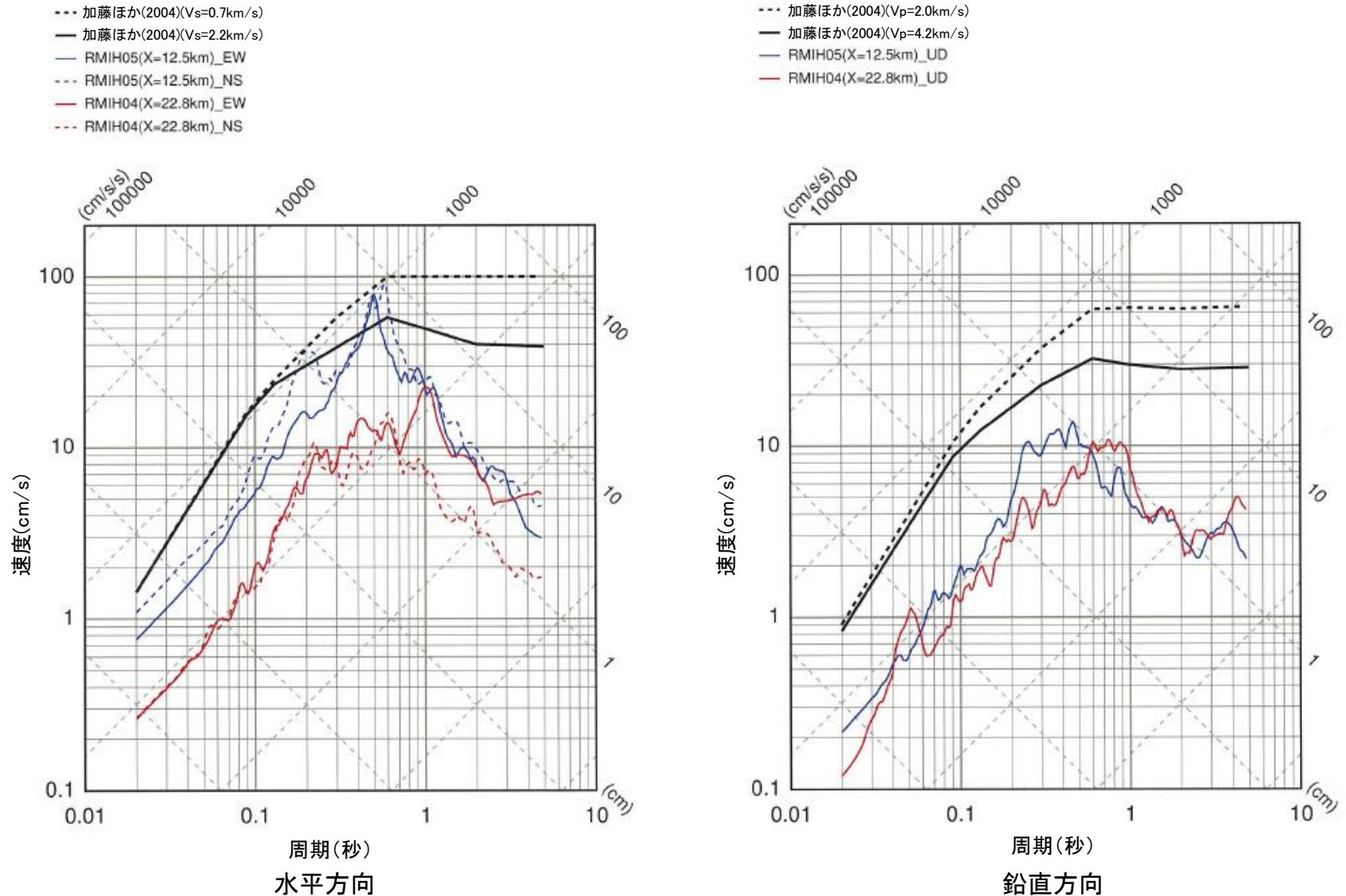
2004年北海道留萌支庁南部地震(観測記録) 2/4

■ K-NET観測点の観測記録のうち, HKD020(港町)の観測記録は, 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)の観測記録は, HKD020(港町)のEW成分の観測記録に包絡される。



2004年北海道留萌支庁南部地震(観測記録) 3/4

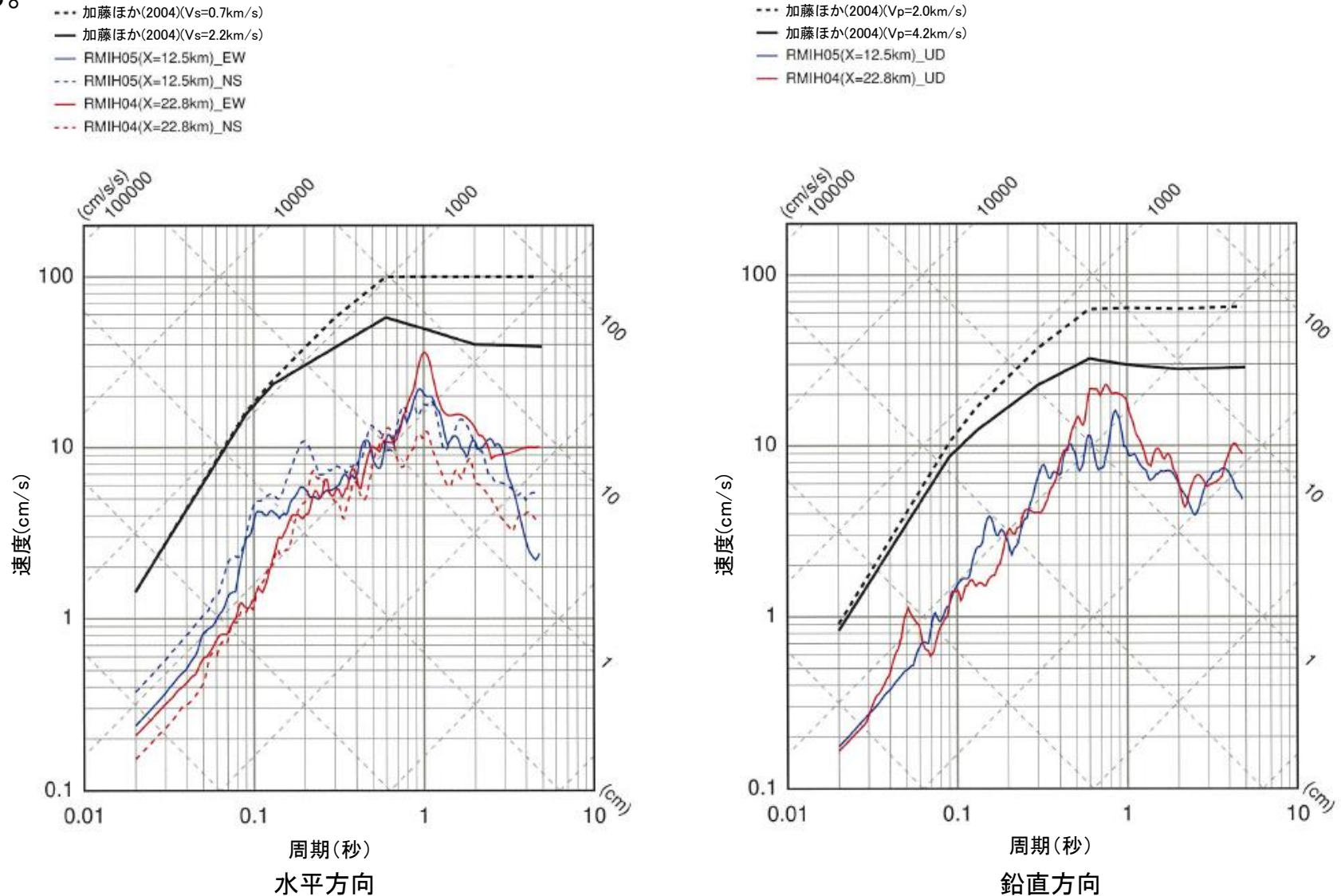
■ KiK-net観測点の地表観測記録は、すべて加藤ほか(2004)の応答スペクトルに包絡される。



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

2004年北海道留萌支庁南部地震(観測記録) 4/4

■ 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。

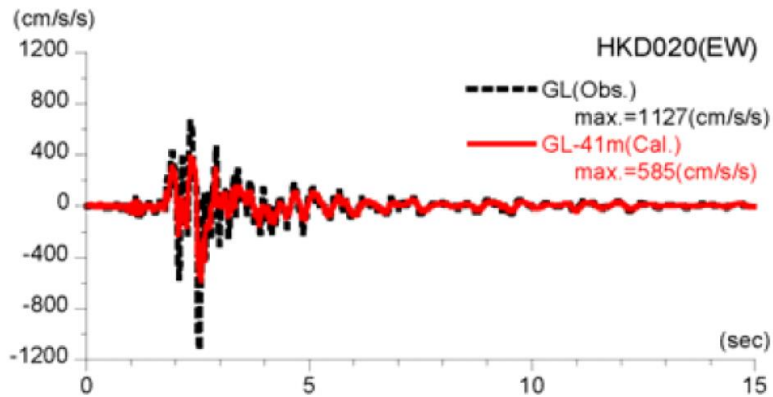


KiK-net各観測記録(地中×2)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

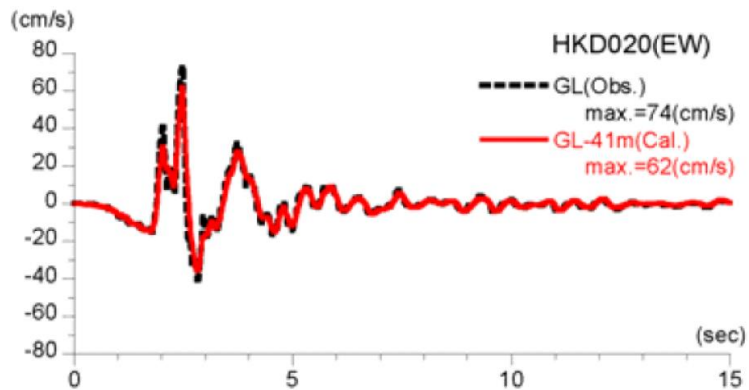
2004年北海道留萌支庁南部地震(佐藤ほか(2013)) 1/2

■ 佐藤ほか(2013): GL-6mまで非線形性考慮

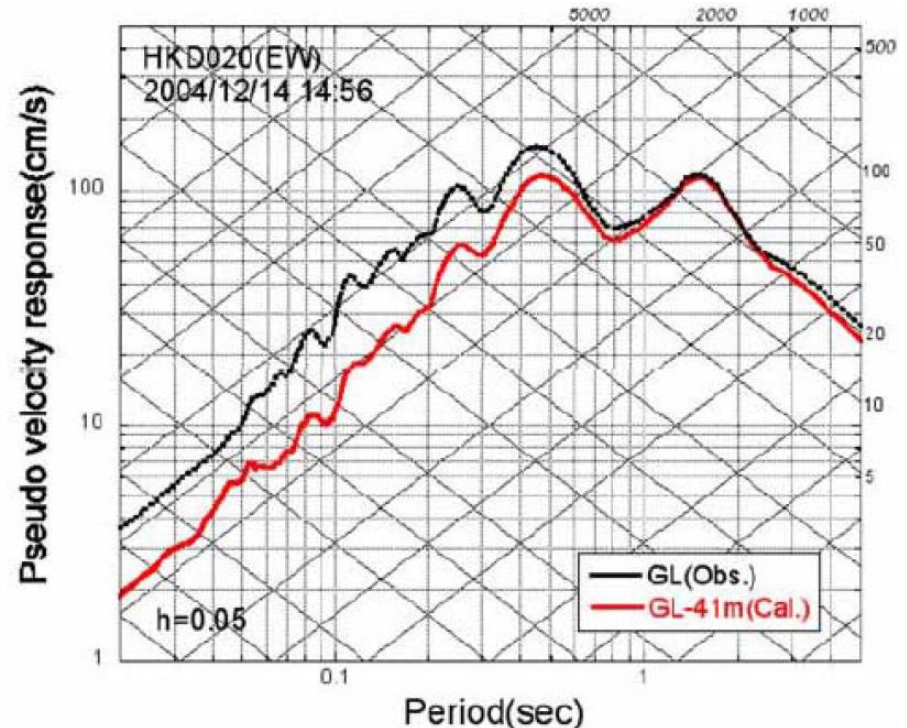
- 等価線形解析により, 地表観測記録(EW成分)からGL-41mの基盤地震動を評価している。
- はざとり結果の最大加速度は 585cm/s^2 で, 地表観測記録の約1/2となっている。



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

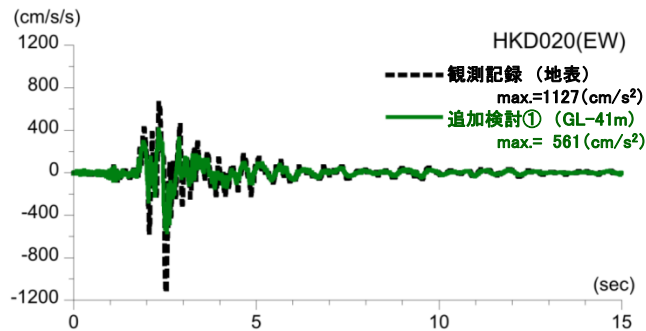


擬似速度応答スペクトルの比較

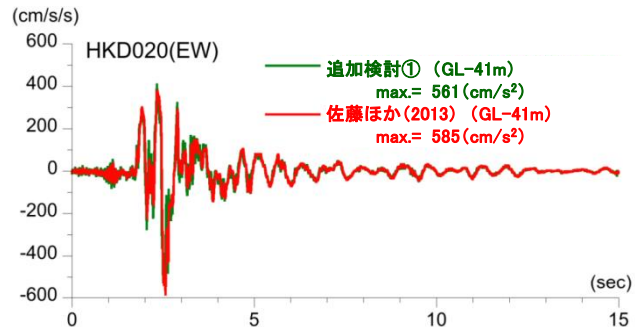
2004年北海道留萌支庁南部地震(追加検討①) 1/2

■ 追加検討①: GL-41mまで非線形性考慮

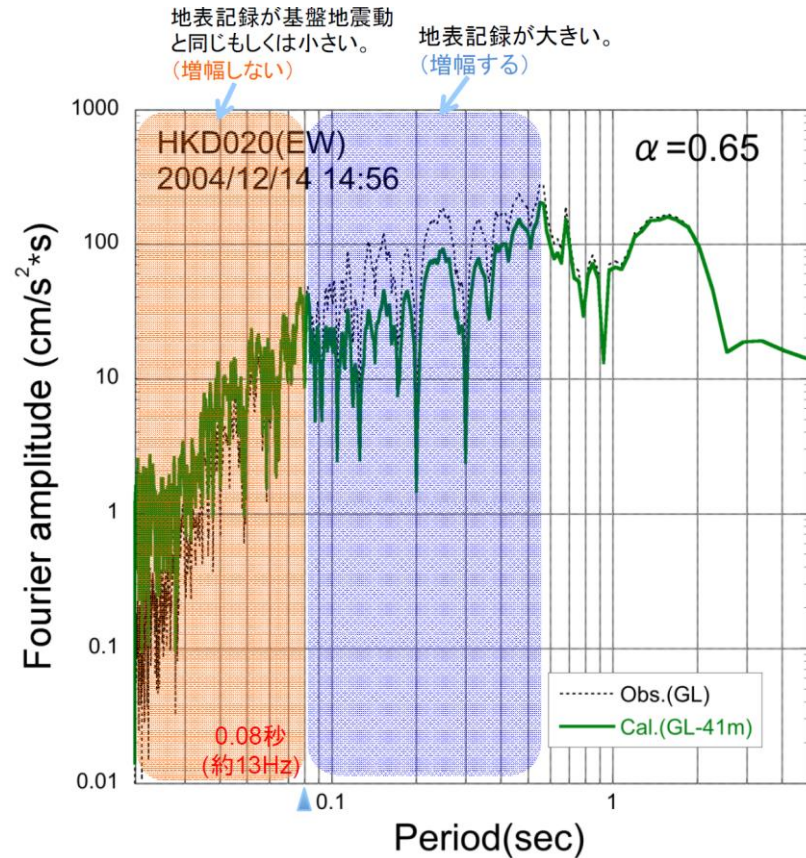
GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動の最大加速度は 561cm/s^2 となっており、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s^2)と比較すると、やや小さく評価された。



地表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

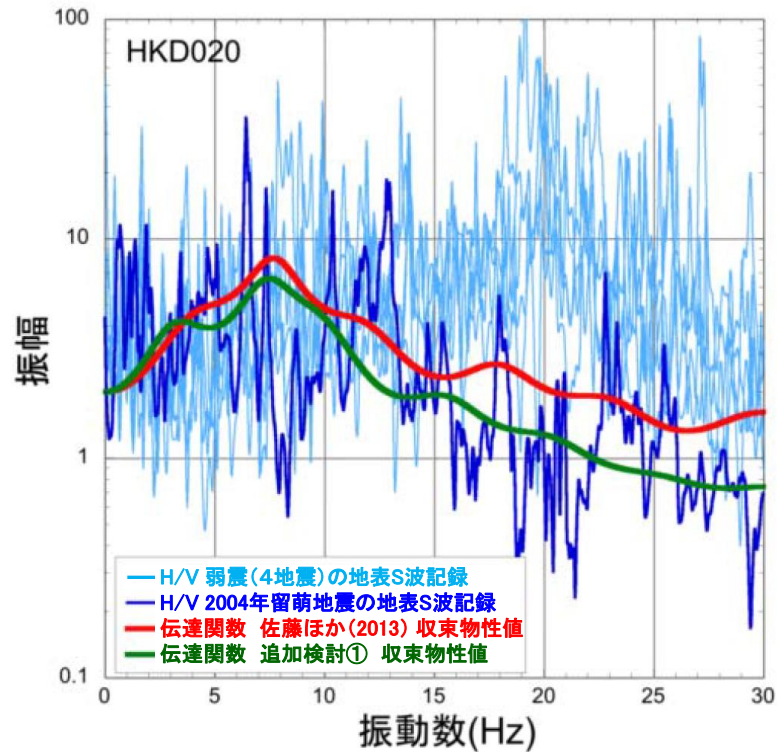


基盤地震動と地表観測記録の加速度フーリエスペクトルの比較

2004年北海道留萌支庁南部地震(追加検討①) 2/2

■ 追加検討①: GL-41mまで非線形性考慮

GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価に用いた収束物性値による伝達関数は、佐藤ほか(2013)の物性値による伝達関数と比較して、深部の減衰定数が1%から5%程度になったことにより、10Hzより高振動数側で小さくなっている。

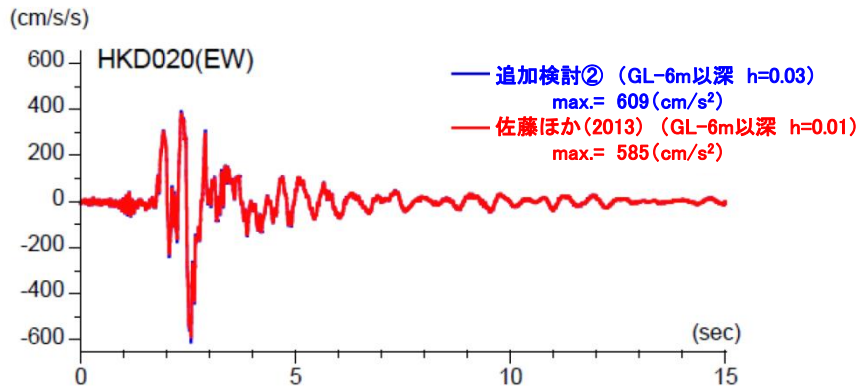


収束物性値による伝達関数とH/Vスペクトルの比較

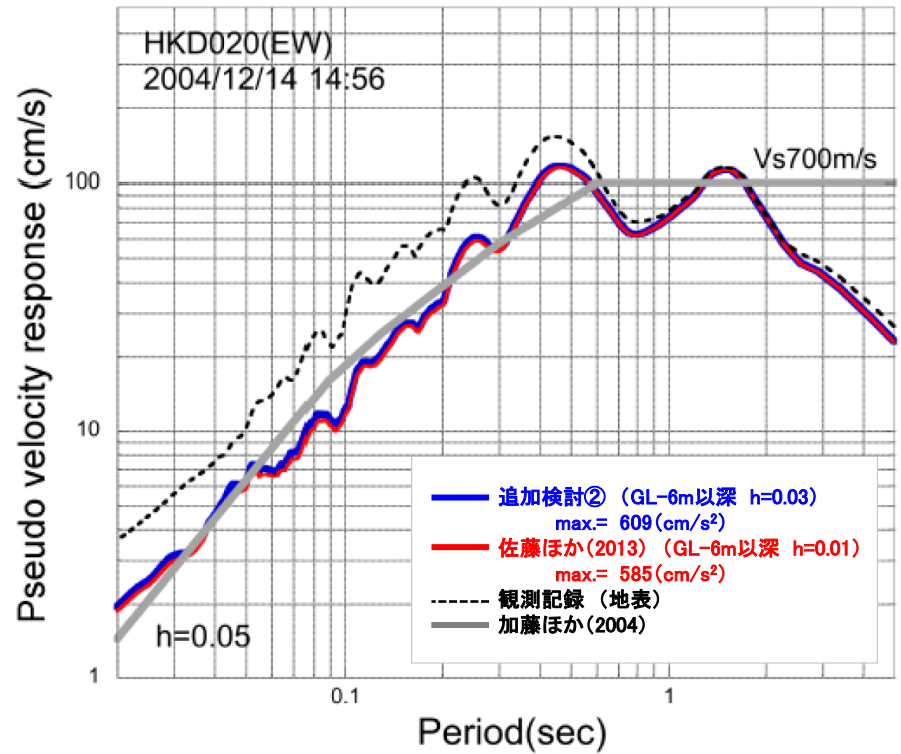
2004年北海道留萌支庁南部地震(追加検討②) 1/2

■ 追加検討②: 減衰定数の不確かさ考慮

佐藤ほか(2013)の地盤モデルに基づき、GL-6m以深を減衰定数3%とした基盤地震動の最大加速度は 609cm/s^2 となっており、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s^2)と比較すると、やや大きく評価されている。また、そ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。



加速度時刻歴波形の比較

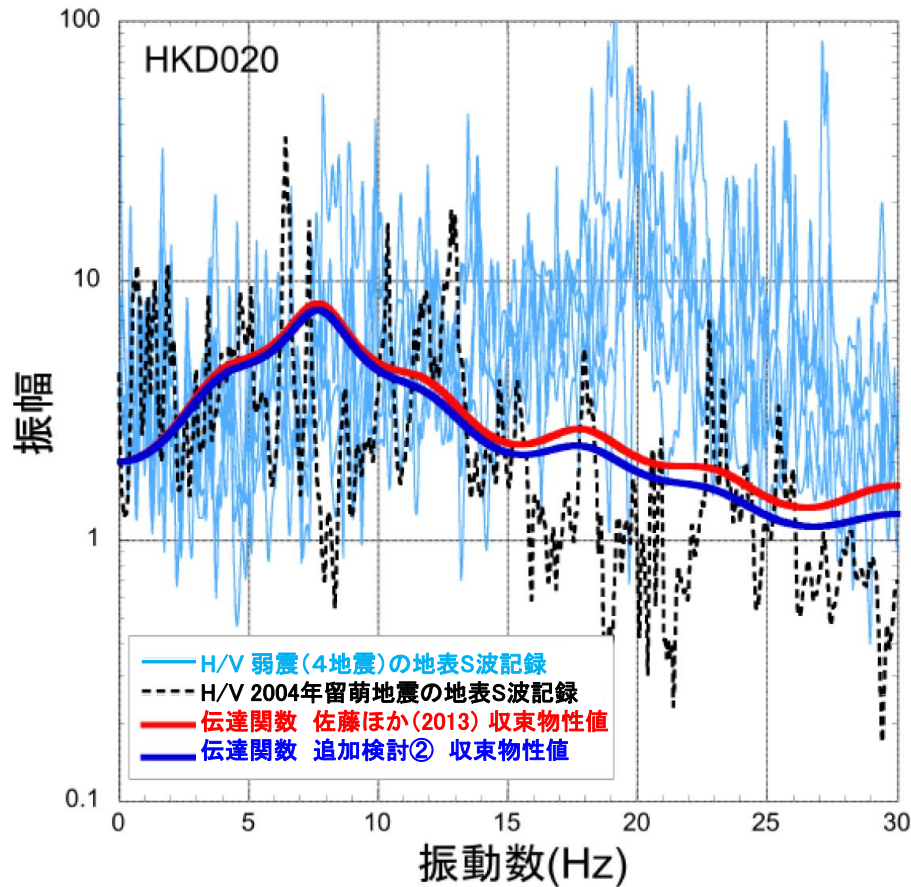


擬似速度応答スペクトルの比較

2004年北海道留萌支庁南部地震(追加検討②) 2/2

■ 追加検討②: 減衰定数の不確かさ考慮

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。



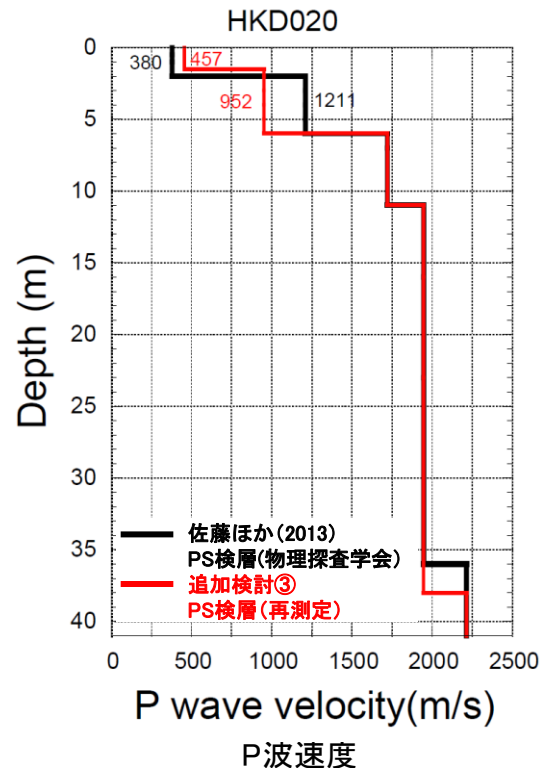
収束物性値による伝達関数とH/Vスペクトルの比較

2004年北海道留萌支庁南部地震(追加検討③) 1/2

■ 追加検討③: 地盤モデル変更による基盤地震動(鉛直方向)評価

- 佐藤ほか(2013)における鉛直方向の基盤地震動の評価結果は、物理探査学会(2013.10)時点での地盤モデルに基づいていたが、笹谷ほか(2008)による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検層を再測定した。
- 再測定結果によるGL-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、鉛直方向の基盤地震動を再評価した。

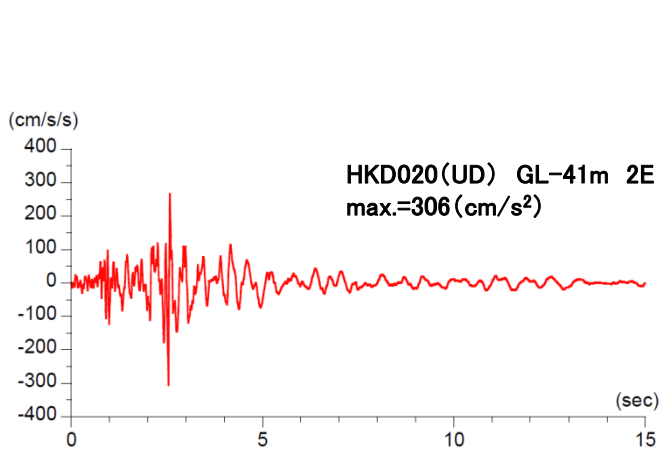
※再測定結果によるS波速度は、佐藤ほか(2013)の地盤モデルとほぼ同様のため変更していない。



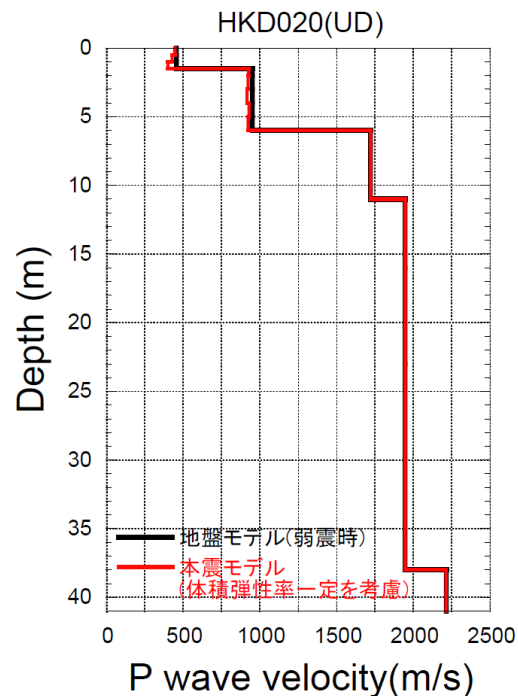
2004年北海道留萌支庁南部地震(追加検討③) 2/2

■ 追加検討③: 地盤モデル変更による基盤地震動(鉛直方向)評価

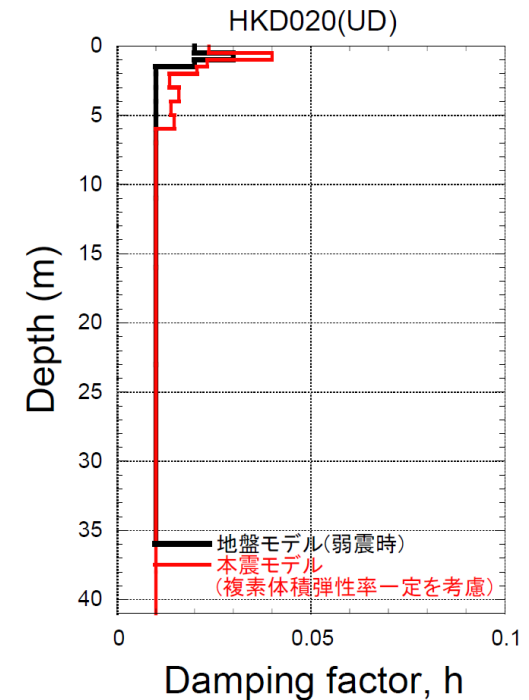
PS検層の再測定結果を反映した地盤モデルを用い、体積弾性率一定としてGL-41mの鉛直方向の基盤地震動を評価した結果、その最大加速度は 306cm/s^2 となり、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(296cm/s^2)と比較すると、やや大きく評価された。



加速度時刻歴波形



P波速度

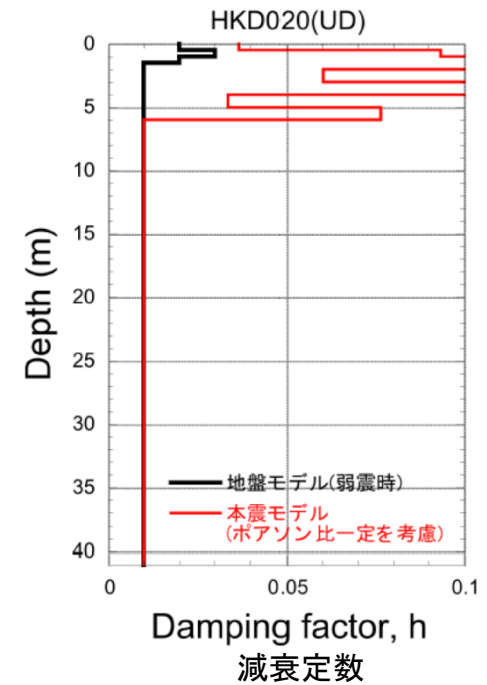
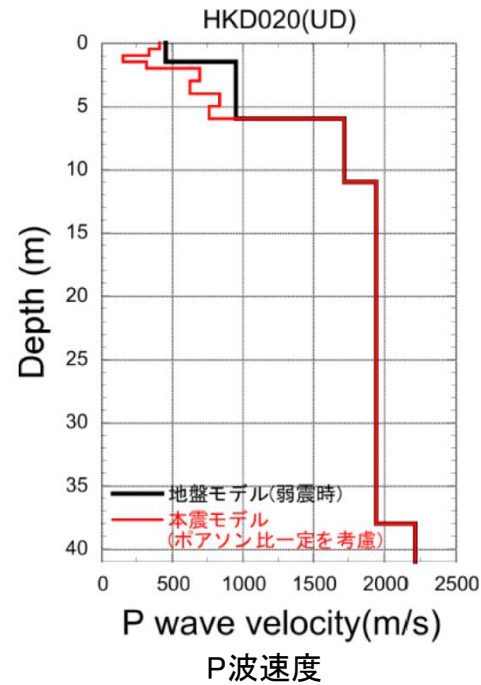
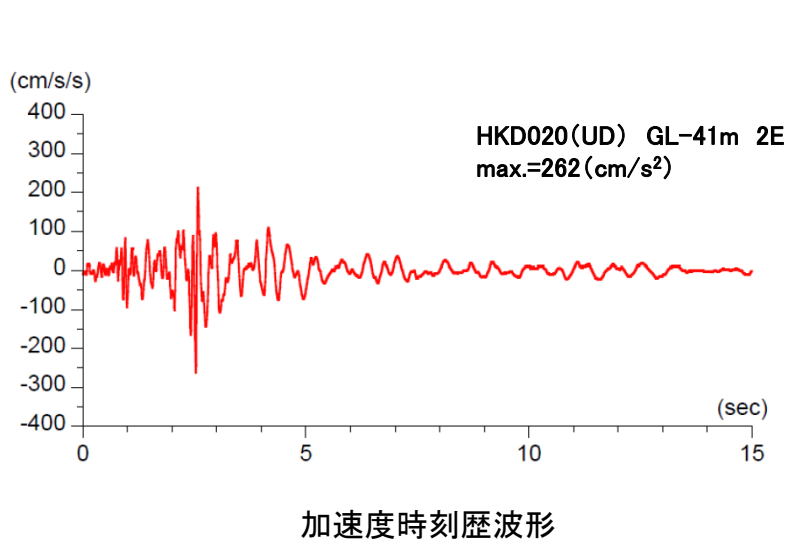


減衰定数

2004年北海道留萌支庁南部地震(追加検討④)

■ 追加検討④: GL-6mまでポアソン比一定とした基盤地震動(鉛直方向)評価

- 佐藤ほか(2013)及び追加検討③における鉛直方向の基盤地震動は、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、GL-6mまでポアソン比一定、GL-6m以深を体積弾性率一定とした場合の鉛直方向の基盤地震動を評価した。
- 体積弾性率一定とした場合と比較して、ポアソン比一定とした場合、S波速度の低下に伴ってP波速度も低下するため、最大加速度は小さくなっている。
- 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。

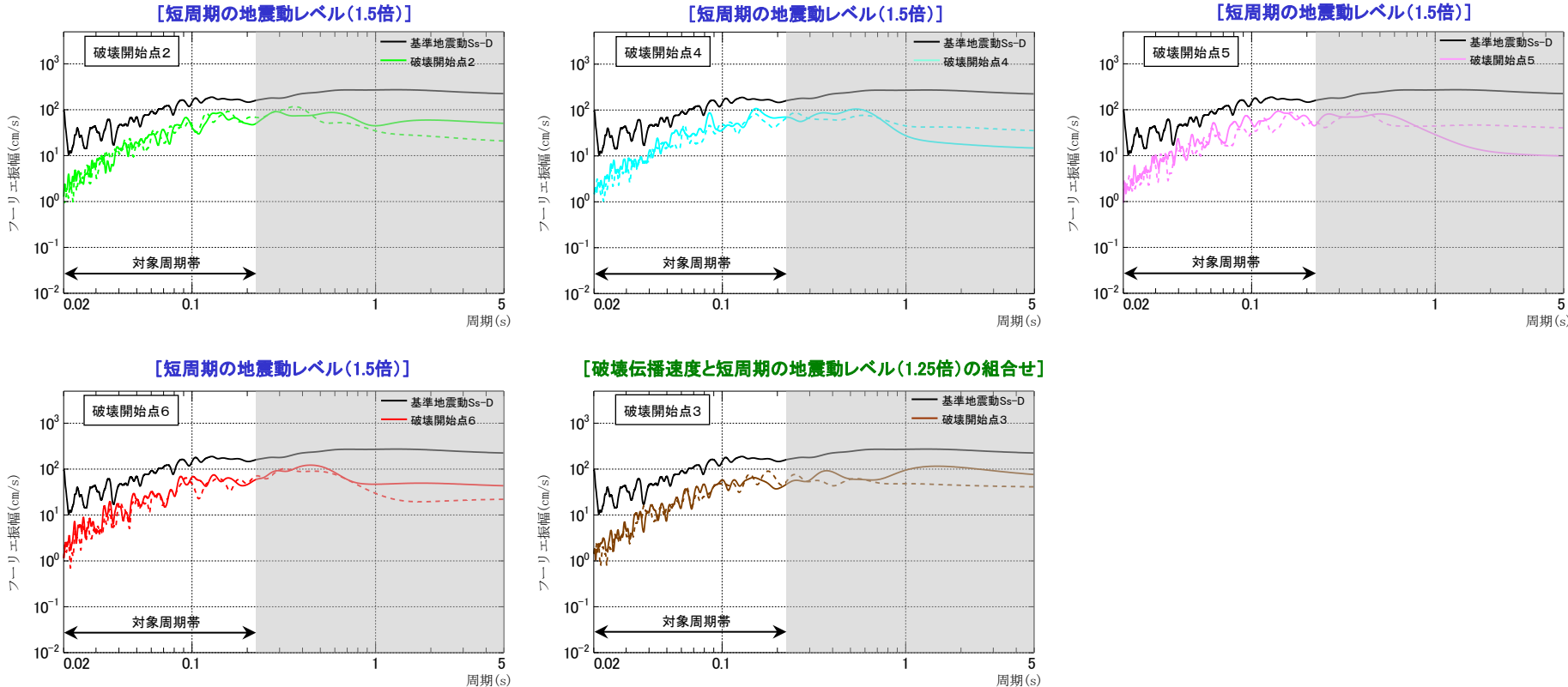


5. 基準地震動の策定

断層モデル手法による基準地震動(フーリエ振幅スペクトルに関する検討: 宍道断層(水平方向)) 1/2

- ◆ 選定した宍道断層による地震の水平方向の断層モデル手法による地震動評価結果(5ケースの破壊開始点)と基準地震動 S_s-D について, 対象周期帯におけるフーリエ振幅スペクトル[Parzen-Window(バンド幅: 1Hz)により平滑化]を比較すると, 基準地震動 S_s-D の方が4倍程度以上※スペクトルレベルが大きい(参考として平滑化無しの図を次ページに示す)。

<フーリエ振幅スペクトル: 平滑化有り>

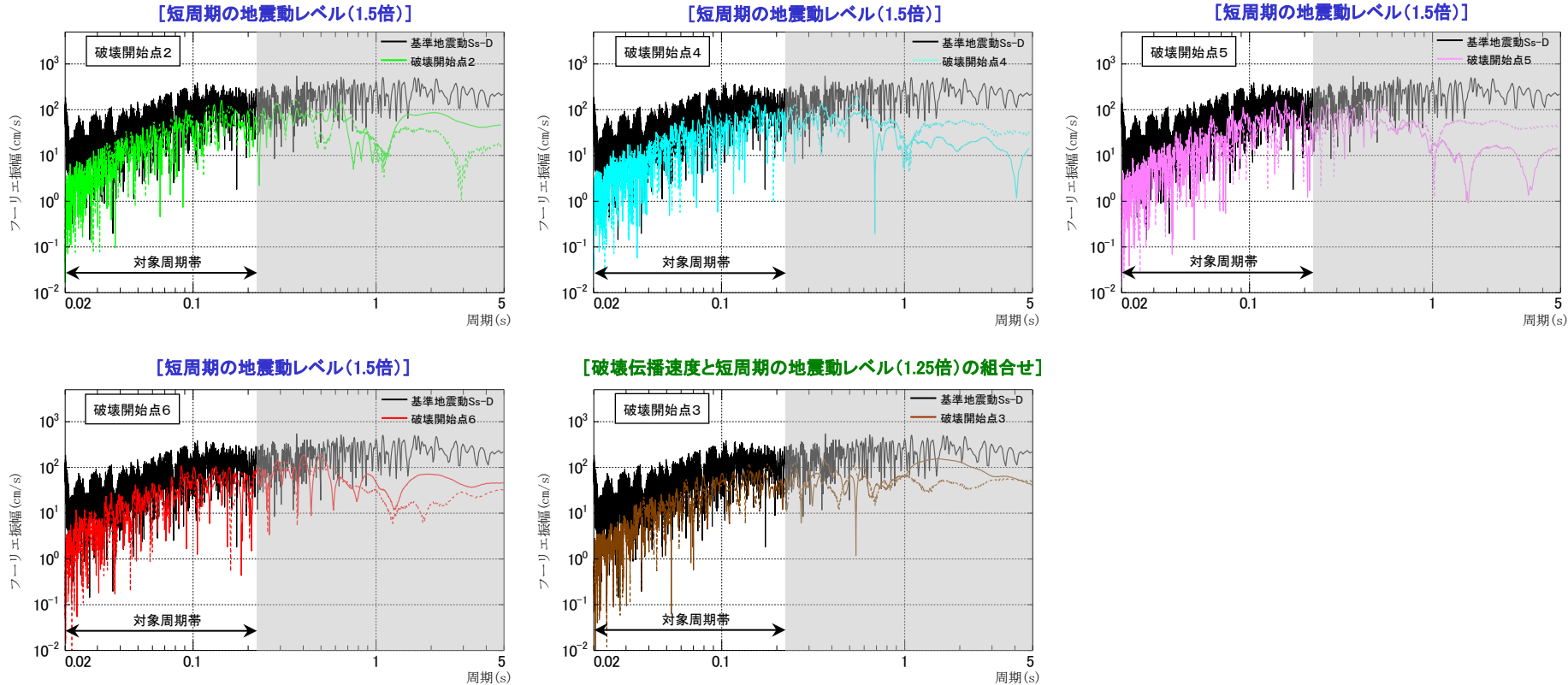


※ 各周期毎の「 S_s-D /断層モデル」を対象周期帯の範囲で平均して算出(対象周期帯の各周期において地震動レベルが大きい方のフーリエ振幅スペクトルを用いて算出)

基準地震動 S_s-D 及び選定した断層モデル手法による地震動評価結果のフーリエ振幅スペクトルの比較
【水平方向(実線: NS成分, 点線: EW成分)】

断層モデル手法による基準地震動(フーリエ振幅スペクトルに関する検討: 宍道断層(水平方向)) 2/2

<フーリエ振幅スペクトル: 平滑化無し>

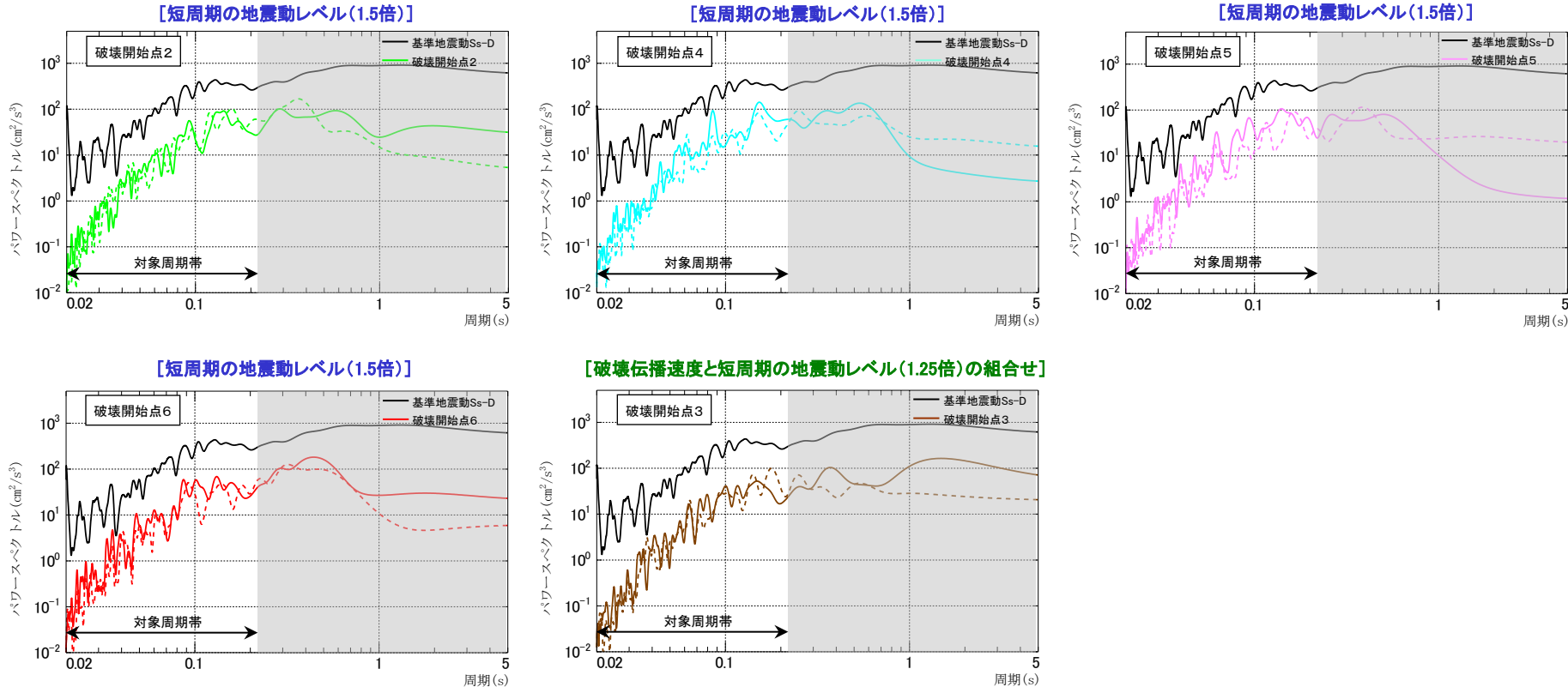


基準地震動Ss-D及び選定した断層モデル手法による地震動評価結果のフーリエ振幅スペクトルの比較
【水平方向(実線: NS成分, 点線: EW成分)】

断層モデル手法による基準地震動(パワースペクトルに関する検討: 宍道断層(水平方向)) 1/2

- ◆ 選定した宍道断層による地震の水平方向の断層モデル手法による地震動評価結果(5ケースの破壊開始点)と基準地震動 S_s-D について, 対象周期帯におけるパワースペクトル[Parzen-Window(バンド幅: 1Hz)により平滑化]を比較すると, 基準地震動 S_s-D の方が50倍程度以上※スペクトルレベルが大きい(参考として平滑化無しの図を次ページに示す)。

<パワースペクトル: 平滑化有り>

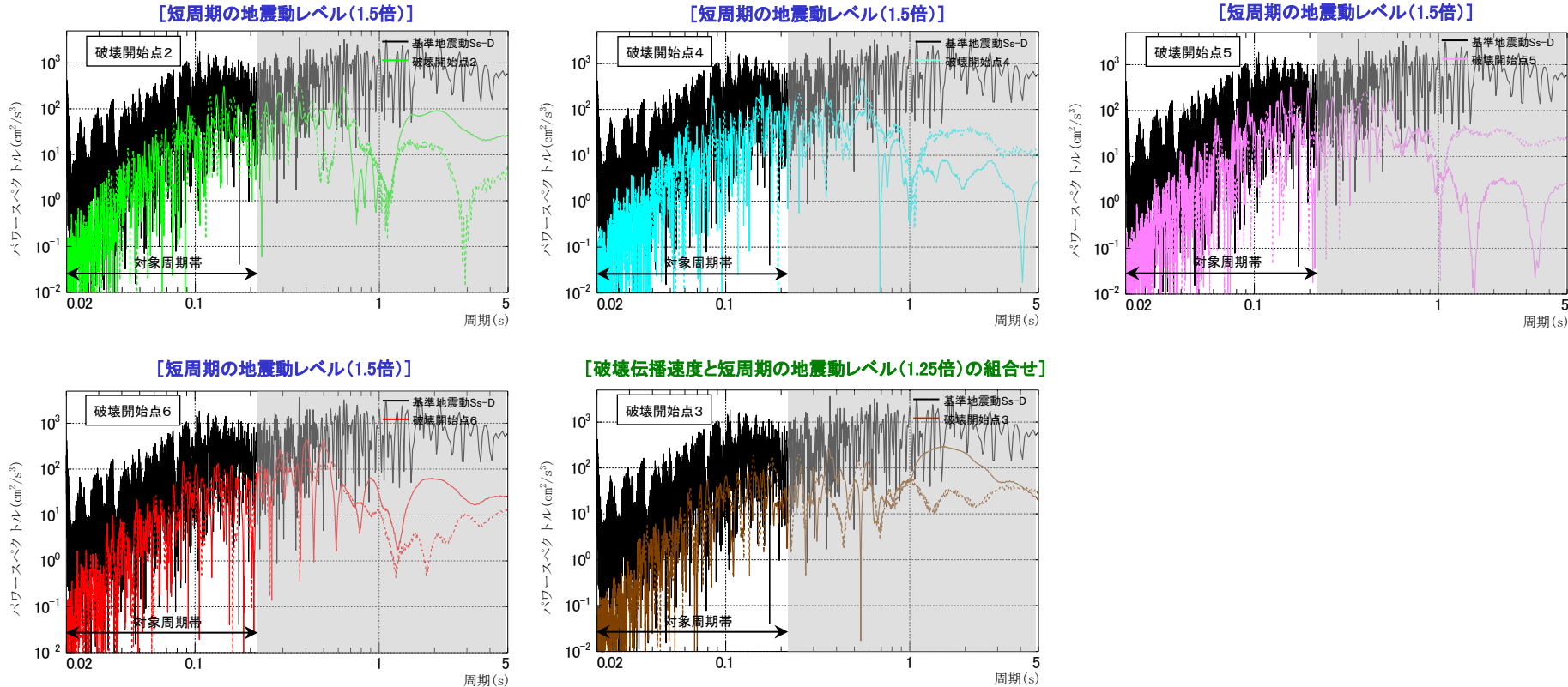


※ 各周期毎の「 S_s-D /断層モデル」を対象周期帯の範囲で平均して算出(対象周期帯の各周期において地震動レベルが大きい方のパワースペクトルを用いて算出)

基準地震動 S_s-D 及び選定した断層モデル手法による地震動評価結果のパワースペクトルの比較
【水平方向(実線: NS成分, 点線: EW成分)】

断層モデル手法による基準地震動(パワースペクトルに関する検討: 宍道断層(水平方向)) 2/2

<パワースペクトル: 平滑化無し>

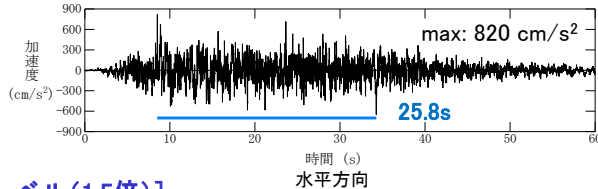


基準地震動Ss-D及び選定した断層モデル手法による地震動評価結果のパワースペクトルの比較
【水平方向(実線: NS成分, 点線: EW成分)】

断層モデル手法による基準地震動(継続時間に関する検討: 宍道断層(水平方向))

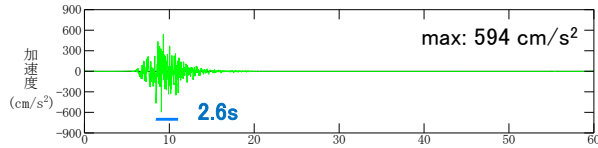
◆ 選定した宍道断層による地震の水平方向の断層モデル手法による地震動評価結果(5ケースの破壊開始点)と基準地震動S_s-Dについて, 主要動部の継続時間を比較すると, 基準地震動S_s-Dの方が相当長い。

[基準地震動S_s-D]

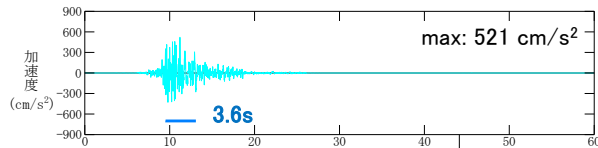


[短周期の地震動レベル(1.5倍)]

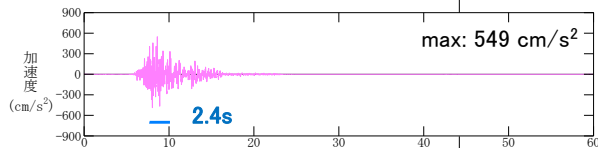
破壊開始点 2



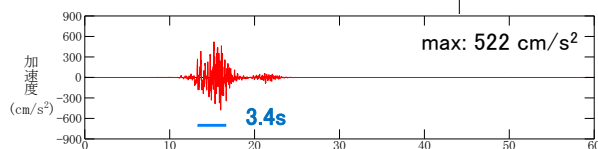
破壊開始点 4



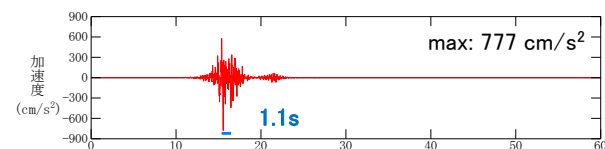
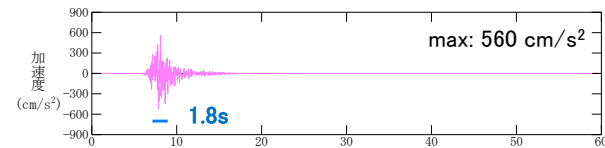
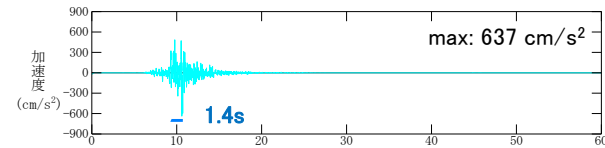
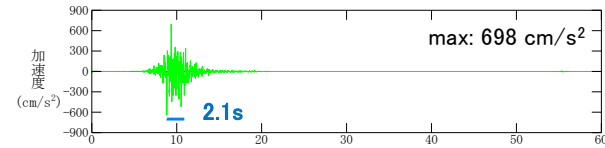
破壊開始点 5



破壊開始点 6

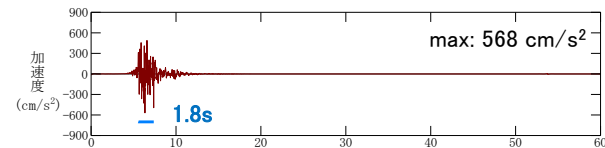
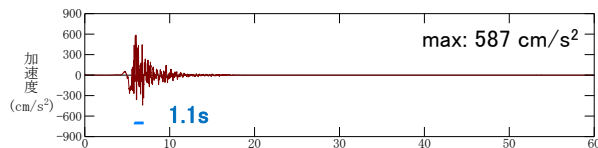


— 主要動部



[破壊伝播速度と短周期の地震動レベル(1.25倍)の組合せ]

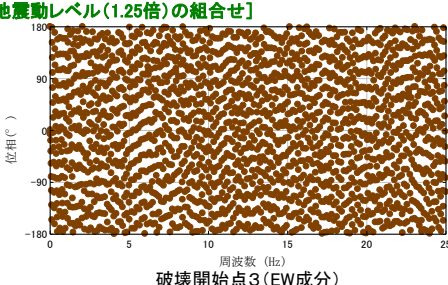
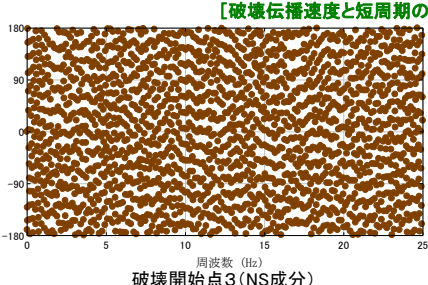
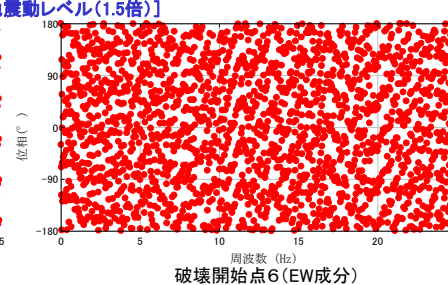
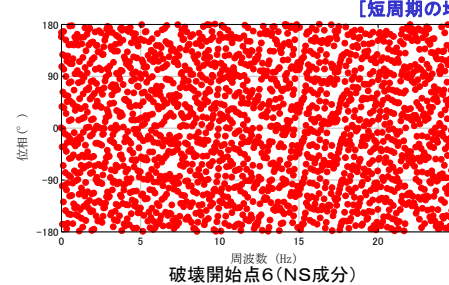
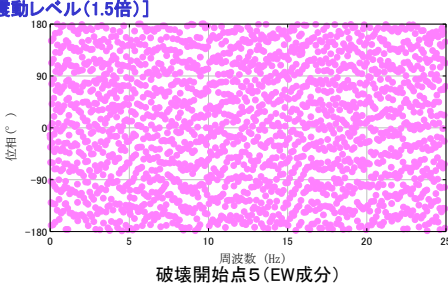
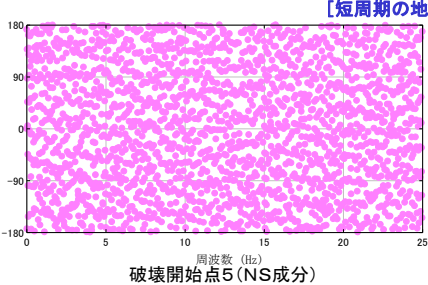
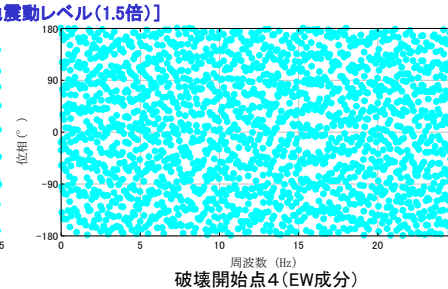
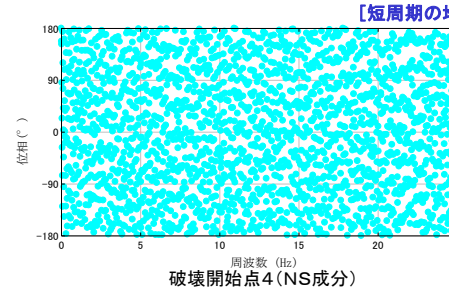
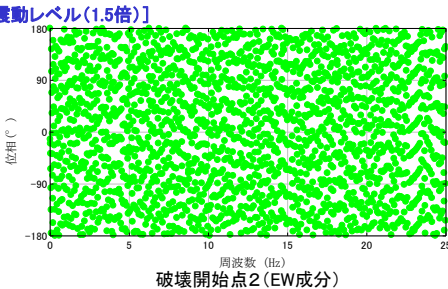
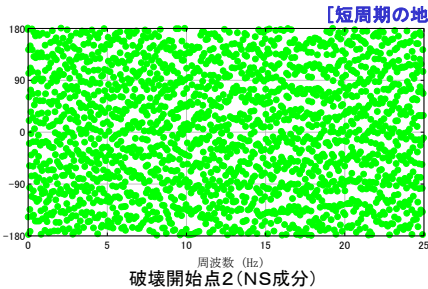
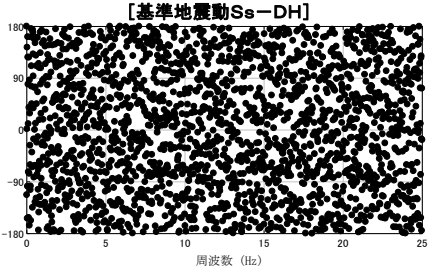
破壊開始点 3



基準地震動S_s-D及び選定した断層モデル手法による地震動評価結果の加速度時刻歴波形の比較【水平方向】

断層モデル手法による基準地震動(フーリエ位相スペクトルに関する検討: 宍道断層(水平方向))

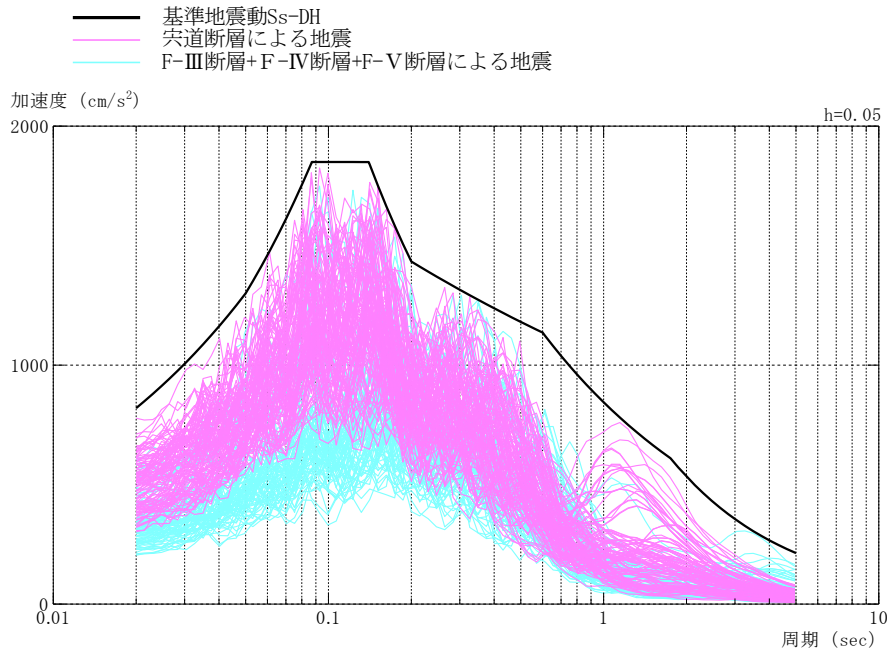
◆ 選定した宍道断層による地震の水平方向の断層モデル手法による地震動評価結果(5ケースの破壊開始点)と基準地震動 S_s-D のフーリエ位相スペクトルを確認すると、それぞれに特徴的な傾向はみられない。



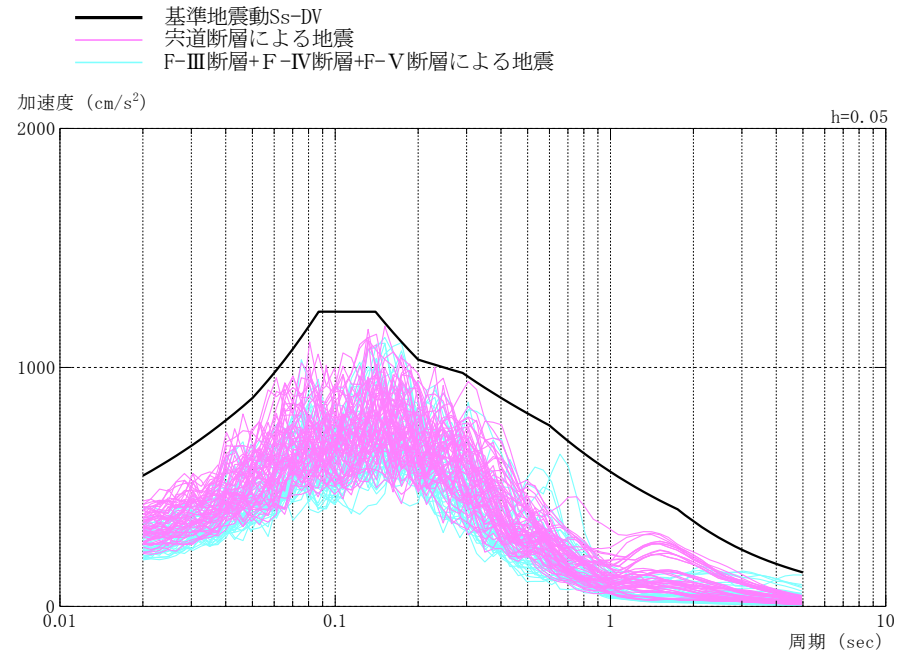
基準地震動 S_s-D 及び選定した断層モデル手法による地震動評価結果のフーリエ位相スペクトルの比較【水平方向】

基準地震動S_s-Dと断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

- 基準地震動S_s-Dと、宍道断層による地震及びF-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(全評価ケース)の応答スペクトル(加速度)を以下に示す。



水平方向



鉛直方向

加速度応答スペクトルの比較

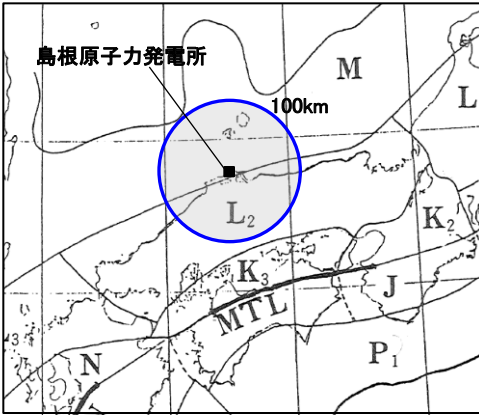
6. 基準地震動の年超過確率の参照

6. 基準地震動の年超過確率の参照

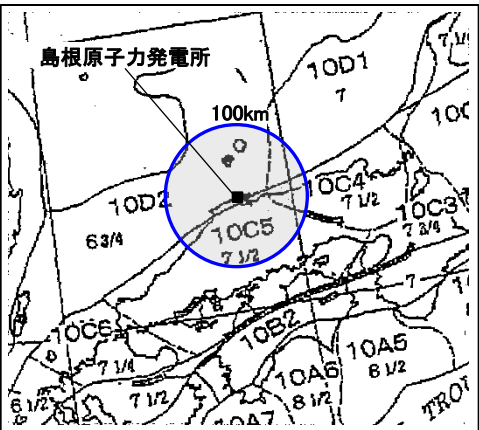
地震データ更新の影響(領域震源の諸元)

- 最新の地震データ(～2019年8月)を用いた場合の領域震源の諸元を以下に示す。
- 各領域において最大Mの値は変わらないが、萩原(1991)のL₂領域, 垣見ほか(2003)の10C4, 10C5領域においてb値が若干変化する。

領域震源の諸元の比較



萩原(1991)の領域区分



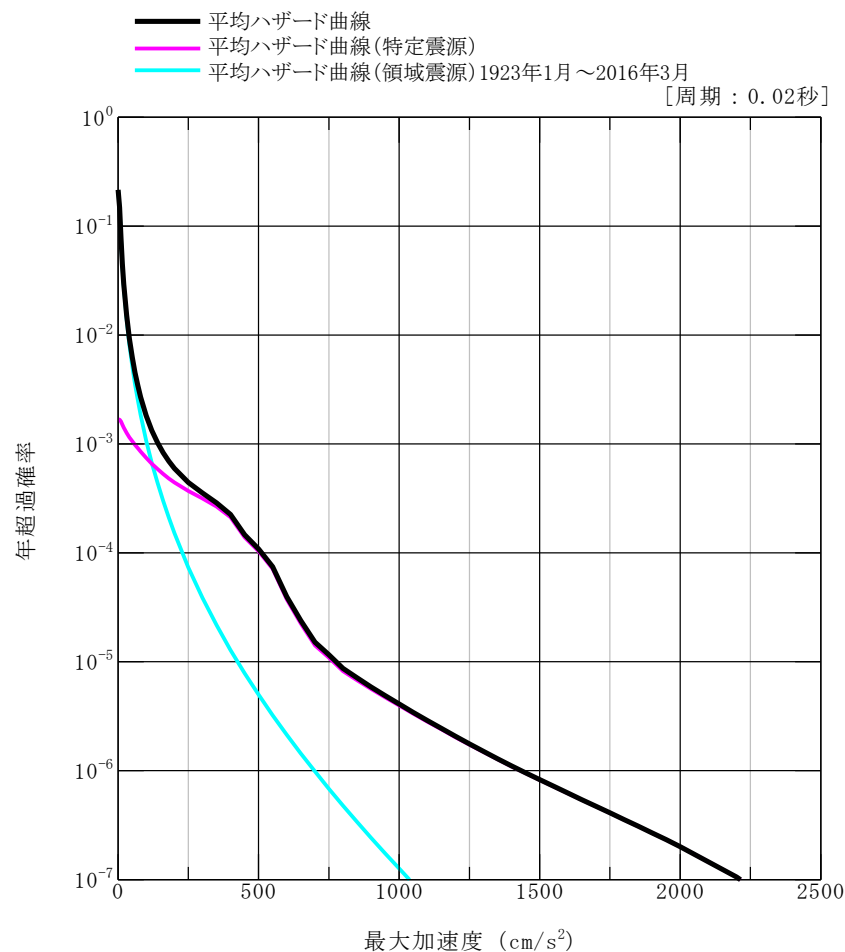
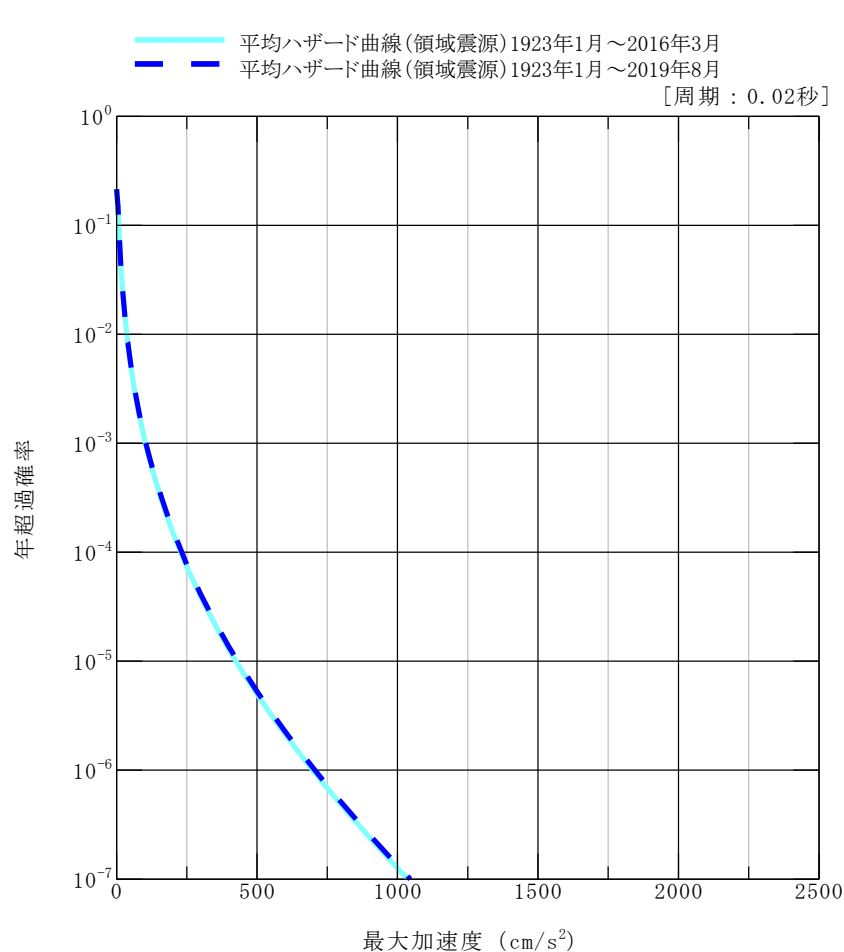
垣見ほか(2003)の領域区分

文献	対象領域	対象期間:1923年1月～2016年3月		対象期間:1923年1月～2019年8月	
		最大M	b値	最大M	b値
萩原(1991)	L ₂	7.3	0.872	7.3	0.845
	M	6.6, 6.8, 7.0 6.9	0.811	6.6, 6.8, 7.0 6.9	0.811
垣見ほか(2003)	10C4	7.0	0.701	7.0	0.686
	10C5	7.3	1.002	7.3	0.990
	10D1	6.6, 6.8, 7.0	0.824	6.6, 6.8, 7.0	0.824
	10D2	6.6	1.448	6.6	1.448

赤字:地震データ更新に伴い変化が生じた数値

地震データ更新の影響(領域震源の地震ハザード評価)

- 最新の地震データ(～2019年8月)を用いた場合の領域震源の地震ハザード評価結果を左図に示す。最新の地震データ(～2019年8月)を用いた領域震源のハザード曲線は、年超過確率が 10^{-3} ～ 10^{-4} より高い範囲において2016年3月までのデータを用いたハザード曲線とほぼ一致する。
- また、右図に示す通り特定震源と領域震源の震源別のハザード曲線を比較すると、年超過確率が 10^{-4} 程度より低い範囲では特定震源の影響が大きい。
- 以上の結果から、地震データの更新が全体のハザード曲線に与える影響はないと判断した。

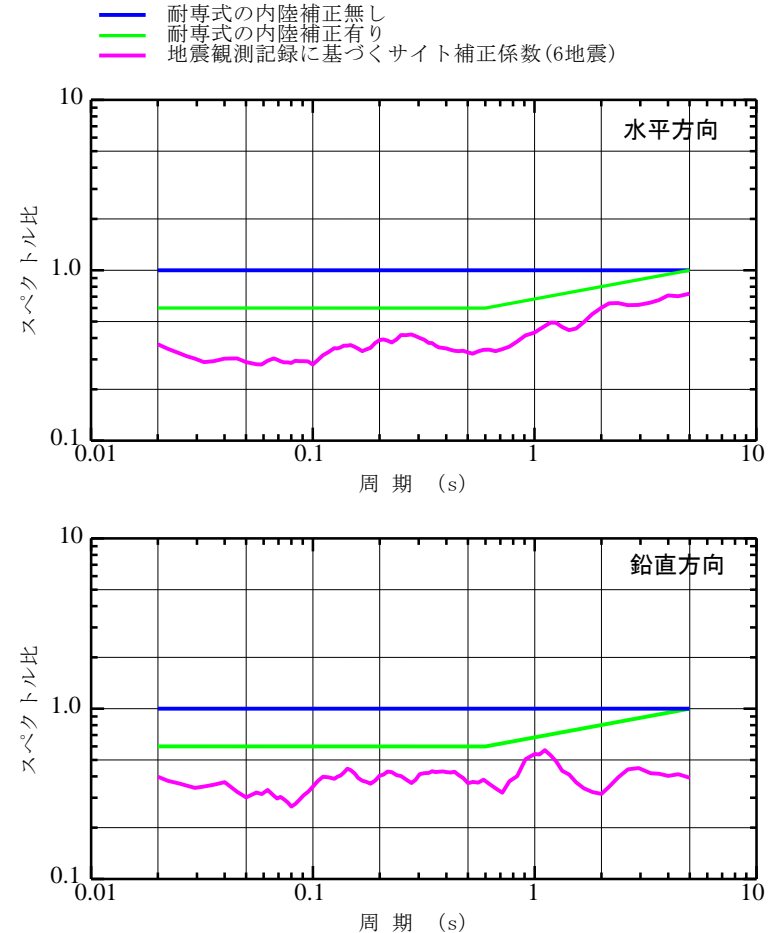


耐専式における内陸補正の有無の重みの設定 1/2

- 島根原子力発電所の敷地地盤で得られた耐専式のデータベース範囲内の地震観測記録に基づき評価したサイト補正係数[観測記録／耐専式(補正なし)の平均]と、耐専式の内陸補正係数を比較すると、サイト補正係数がかなり下回っている。

サイト補正係数の算定に用いた地震

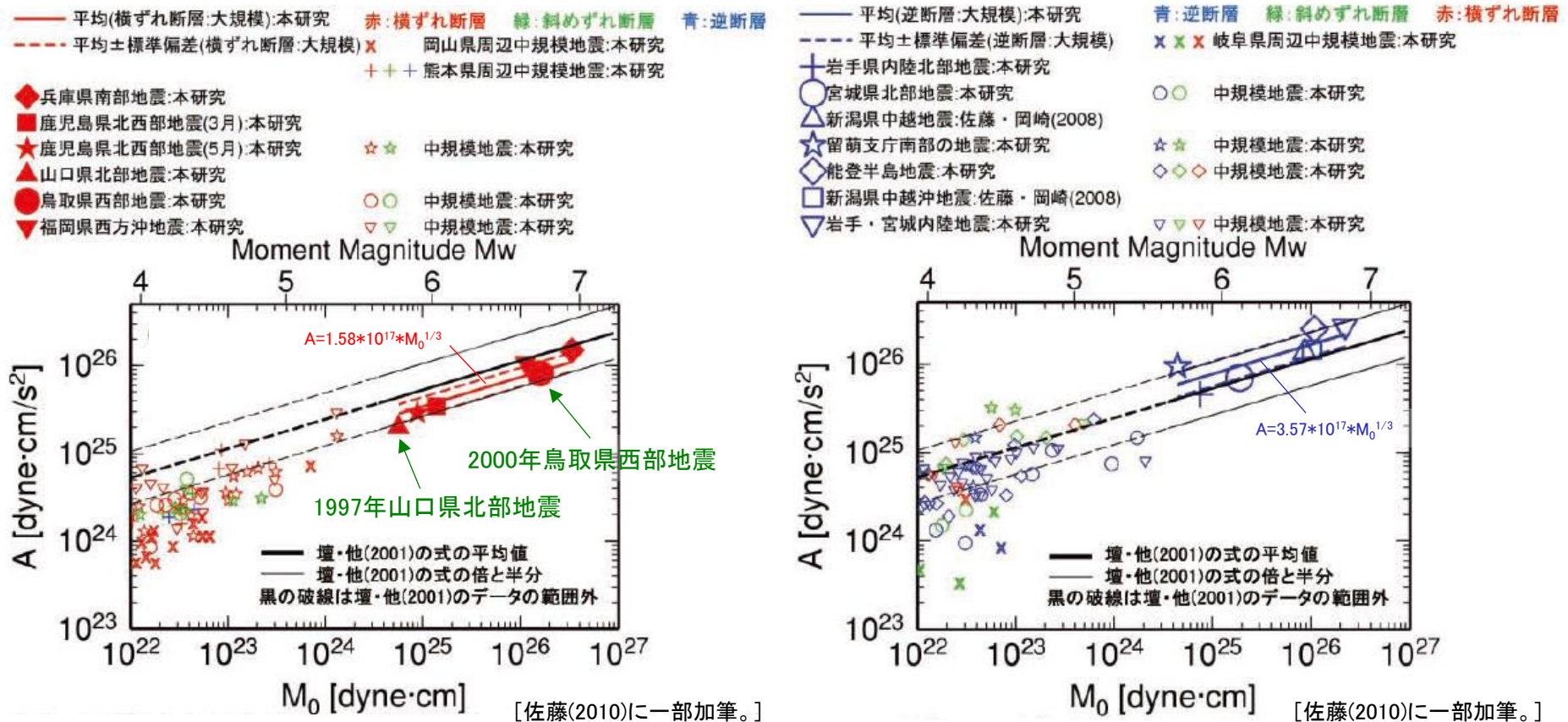
No.	地震 (年月日)	マグニ チュード	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)
1	2000年鳥取県 西部地震 (2000.10.6)	7.3	9	43.2
2	鳥取県西部の 地震 (2000.10.8)	5.6	7	45.8
3	兵庫県北部の 地震 (2001.1.12)	5.6	11	135.6
4	鳥取県東部の 地震 (2002.9.16)	5.5	10	69.8
5	鳥取県中部の 地震 (2016.10.21)	6.6	11	79.9
6	島根県西部の 地震 (2018.4.9)	6.1	12	54.0



地震観測記録に基づくサイト補正係数と内陸補正係数の比較

耐専式における内陸補正の有無の重みの設定 2/2

■ 佐藤(2010)におけるスペクトルインバージョン解析に基づく地震モーメントと短周期レベルの関係によると、中国地方で発生した横ずれ断層の1997年山口県北部地震及び2000年鳥取県西部地震等(下図(a)参照)の短周期レベルは、逆断層の新潟県中越沖地震(下図(b)参照)の短周期レベルに比べてかなり小さい傾向である。



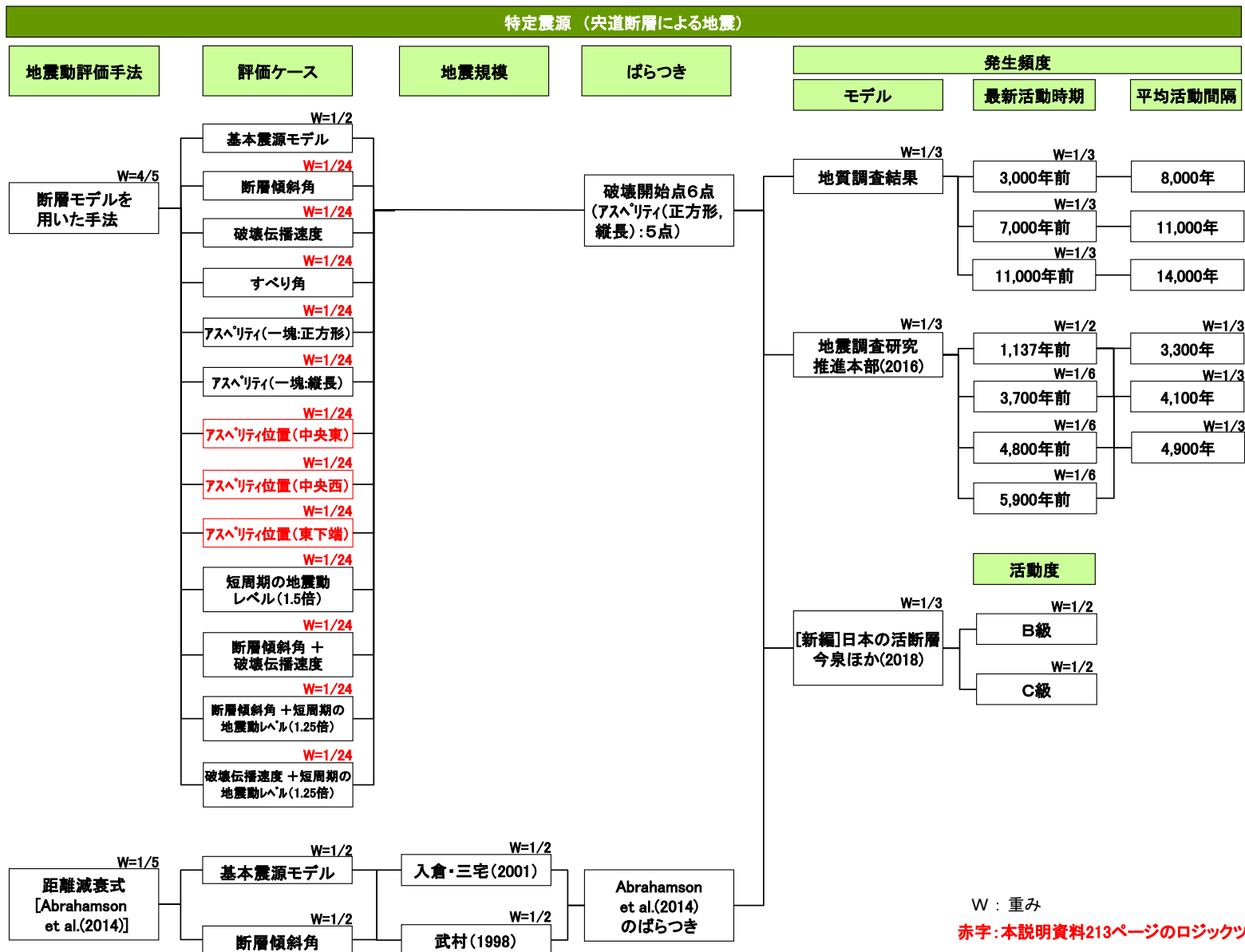
(a) 横ずれ断層の大規模地殻内地震とその周辺の地震

(b) 逆断層の大規模地殻内地震とその周辺の地震

スペクトルインバージョンに基づく内陸地殻内地震の短周期レベルと地震モーメントの関係

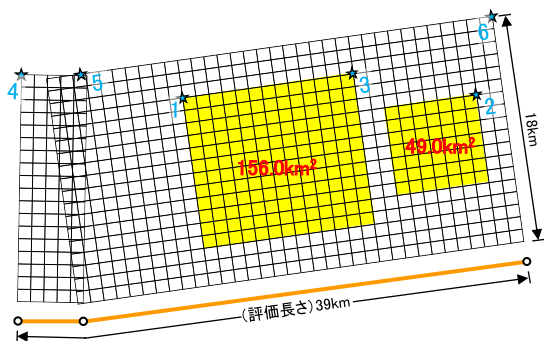
宍道断層による地震のアスペリティ位置の不確かさの感度解析 1/3

■ 宍道断層による地震のアスペリティ位置の不確かさの感度解析ケースのロジックツリーを以下に示す。

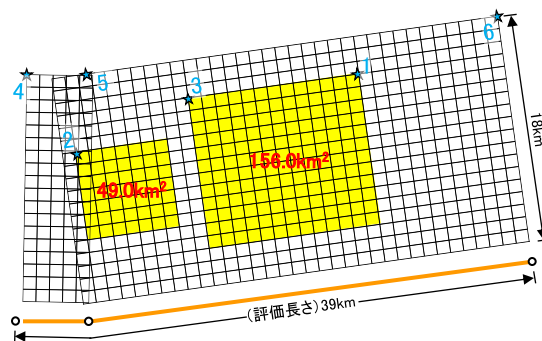


宍道断層による地震のアスペリティ位置の不確かさの感度解析 2/3

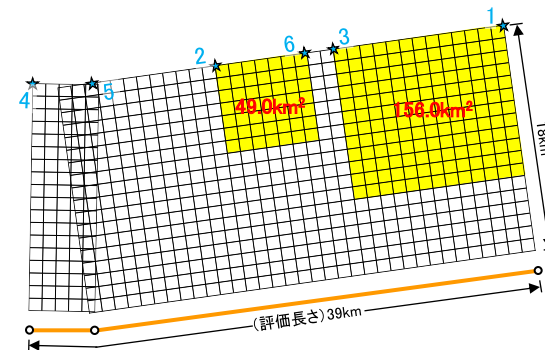
■ 宍道断層による地震のアスペリティ位置の不確かさを考慮したケースの断層モデル図を以下に示す。



アスペリティ位置の不確かさ(中央東)を考慮したケース
[第一アスペリティを断層中央に配置し、第二アスペリティをその東側に配置]



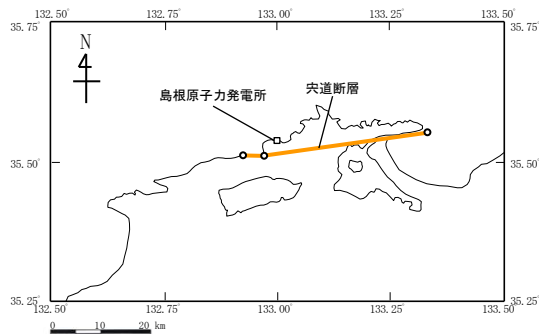
アスペリティ位置の不確かさ(中央西)を考慮したケース
[第一アスペリティを断層中央に配置し、第二アスペリティをその西側に配置]



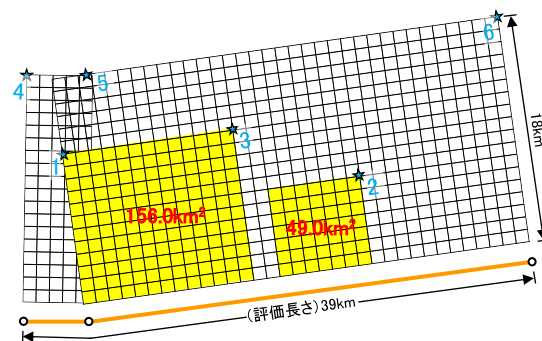
アスペリティ位置の不確かさ(東下端)を考慮したケース
[第一アスペリティを断層東下端に配置し、第二アスペリティをその西側に配置]

★ : 破壊開始点
■ : アスペリティ

※ 傾斜角90度の断層面を傾斜角0度として図化



断層位置図

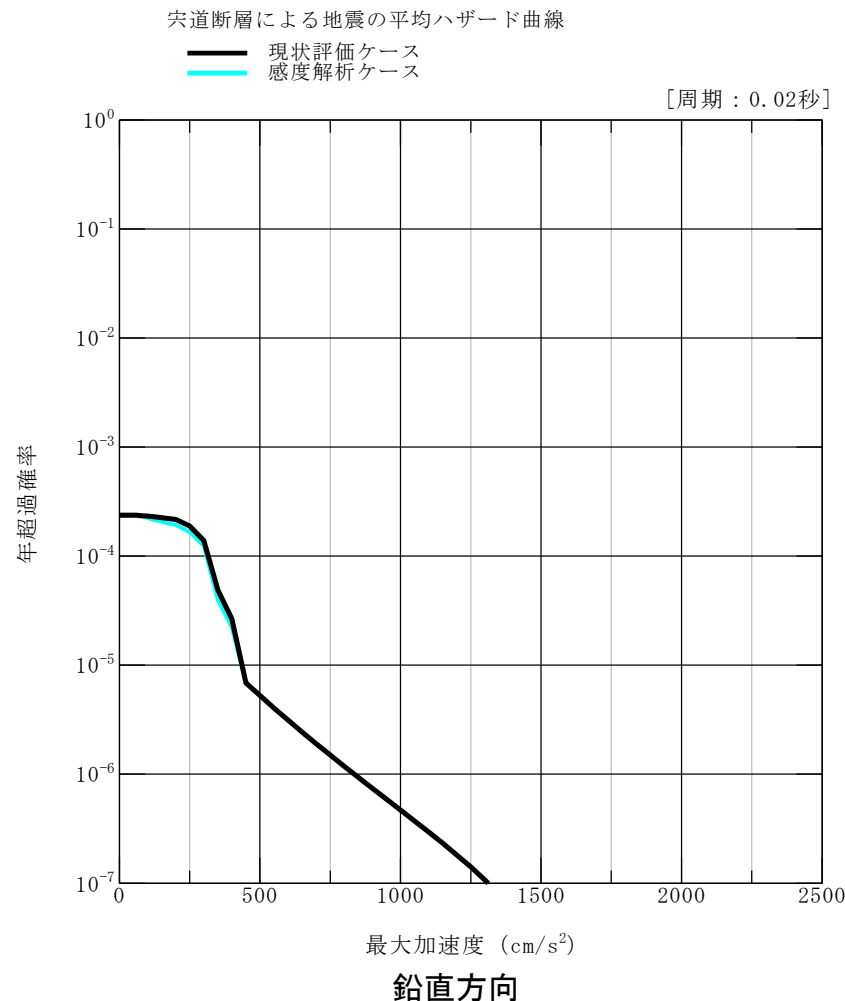
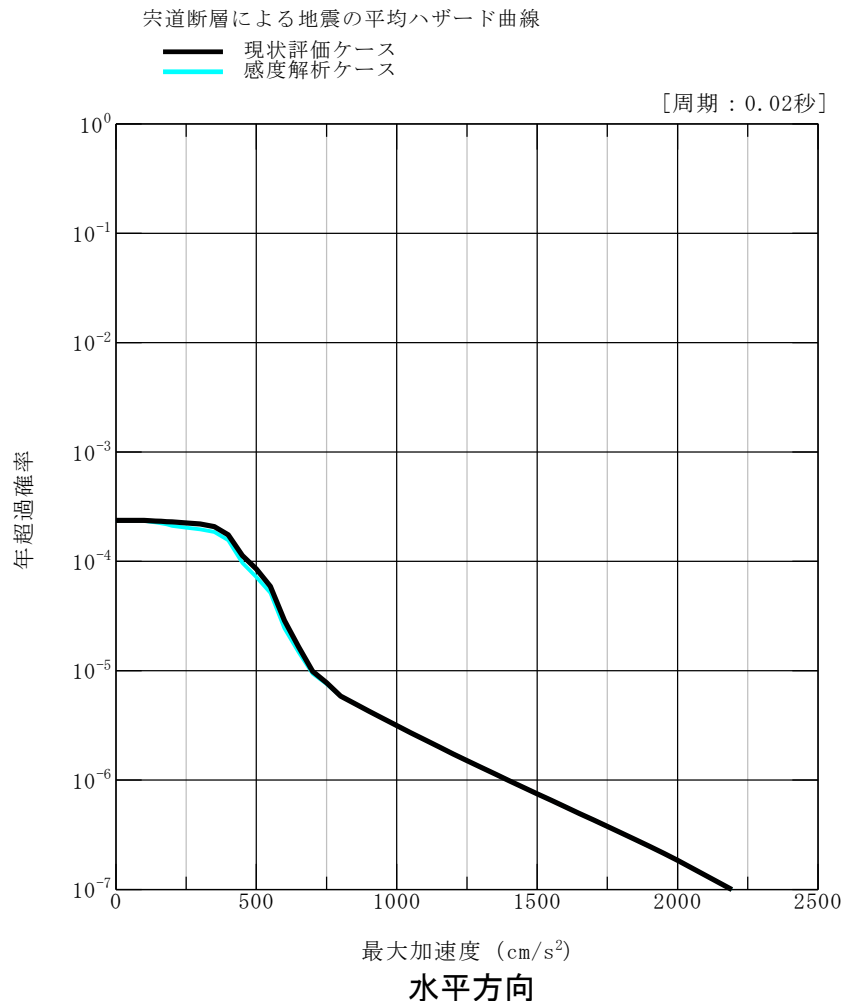


(参考) 基本震源モデル

アスペリティ位置の不確かさを考慮したケースの断層モデル図及び断層位置図

宍道断層による地震のアスペリティ位置の不確かさの感度解析 3/3

- 宍道断層による地震のアスペリティ位置の不確かさの感度解析ケースと現状評価ケース(本説明資料213ページ)について平均ハザード曲線を比較すると、両ケースのレベルは同程度である。
- 以上より、アスペリティ位置の不確かさについては、感度解析を行った結果、地震ハザード評価に大きな影響を及ぼすものではないことを確認した。



宍道断層による地震の平均ハザード曲線

参考文献(1)

3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

1. 岩田知孝・入倉孝次郎(1986):観測された地震波から震源特性,伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み,地震2,第39巻,pp.579-593
2. 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長(1991):地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測統計的波形合成法による予測,日本建築学会構造系論文報告集,第430号,pp.1-9
3. Boore, D. M.(1983):STOCHASTIC SIMULATION OF HIGH-FREQUENCY GROUND MOTIONS BASED ON SEISMOLOGICAL MODELS OF THE RADIATEDSPECTRA, Bulletin of the Seismological Society America, Vol.73, No.6, pp.1865-1894
4. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2020):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
5. 香川敬生・鶴来雅人・佐藤信光(2003):硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討,土木学会地震工学論文集,第27巻, No.315
6. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2016):中国地域の活断層の長期評価(第一版)
7. 地質調査総合センター編(2013):日本重力データベースDVD版,地質調査総合センター
8. 松田時彦(1967):日本の地震学の概観,地震,第20巻記念特集号,pp.230-235
9. 佐藤高行・中田高(2002):鹿島断層の変位地形—括活動型活断層のモデルとして—,活断層研究,21号,pp.99-110
10. 株式会社構造計画研究所(2010):内陸地殻内地震における短周期レベルの地域的な整理・分析業務,原子力安全委員会平成21年度業務委託報告書
11. 株式会社構造計画研究所(2011):内陸地殻内地震の観測記録に基づく短周期レベルの分析業務,原子力安全委員会平成22年度業務委託報告書
12. 佐藤智美(2010):逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則,日本建築学会構造系論文集,第75巻,第651号,pp.923-932
13. 内山泰生・青木雅嗣・山本優(2017):2016年鳥取県中部の地震の地震動特性評価その1 震源・伝播経路特性の評価,2017年度日本建築学会大会(中国)
14. 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001):断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化,日本建築学会構造系論文集,第545号,pp.51-62
15. 染井一寛・浅野公之・岩田知孝(2010):ひずみ集中帯内外で発生した地殻内地震系列間の震源特性の比較,第13回日本地震工学シンポジウム論文集,pp.305-312
16. 佐藤智美(2008):地殻内地震に対するP波部・S波部・全継続時間の水平・上下動の距離減衰式,日本建築学会構造系論文集,第73巻,第632号,pp.1745-1754
17. 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,pp.37-45
18. Abrahamson, N. A.・W. J. Silva(1997):Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes, Seismological Research Letters, Vol.68, No.1, pp.94-127

参考文献(2)

19. Zhao, J. X.・J. Zhang・A. Asano・Y. Ohno・T. Oouchi・T. Takahashi・H. Ogawa・K. Irikura・H. K. Thio・P. G. Somerville・Y. Fukushima・Y. Fukushima (2006) : Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3, pp.898-913
20. 佐藤良輔・阿部勝征・岡田義光・島崎邦彦・鈴木保典(1989):日本の地震断層パラメター・ハンドブック, 鹿島出版会
21. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2002):鳥取県西部地震の観測記録を利用した強震動評価手法の検証について
22. 気象庁:地震年報2012年, 地震月報(カタログ編), <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html>
23. 独立行政法人防災科学技術研究所:広帯域地震観測網(F-NET), <http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php>
24. 塚原弘明・小林洋二(1991):中西部日本の地殻応力, 地震第2輯, 第44巻
25. 原子力安全委員会(2009):原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合 平成21年4月23日 資料第1-1号, <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9483636/www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/kaisekigijutu/kaisekigijutu15/siryo-1-1.pdf>
26. Brune,J.N.(1970):Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, J.Geophys.Res., 75,26, 4997-5009
27. Brune(1971):Correction,J.Geophys.Res.,76,20,5002
28. 入倉孝次郎・香川敬生・関口春子(1997):経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良, 日本地震学会講演予稿集, Vol.2, B25

4. 震源を特定せず策定する地震動

1. 北村信(1965):5万分の1地質図幅「焼石岳」及び説明書.地質調査総合センター(旧地質調査所)
2. 鹿野和彦・吉田史郎(1985):境港地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),地質調査所
3. 鹿野和彦・中野俊(1986):恵曇地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),地質調査所
4. 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
5. 国土技術政策総合研究所:国総研資料第733号<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0733.htm>
6. 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大栄・上田圭一・壇一男(2004):震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベルー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ー, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, 2004, pp.46-86.
7. 国土技術政策総合研究所:国総研資料第734号<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0734.htm>
8. 地震調査研究推進本部:留萌支庁南部の地震活動 http://www.jishin.go.jp/main/chousa/major_act/act_2004.htm#a20041214
9. 司宏俊・翠川三郎(1999):断層タイプ及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報告集, 第523号, pp.63-70. 第119回, 学術講演会講演論文集, pp.25-27.

参考文献(3)

10. 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, 平成25年12月
11. 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.

6. 基準地震動の年超過確率の参照

1. 萩原尊禮編(1991):日本列島の地震 地震工学と地震地体構造, 鹿島出版会
2. 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
3. 佐藤智美(2010):逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第651号, pp.923-932
4. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2016):中国地域の活断層の長期評価(第一版)
5. 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層分布図と資料, 東京大学出版会
6. 今泉俊文・宮内崇裕・堤浩之・中田高編(2018):活断層詳細デジタルマップ[新編], 東京大学出版会
7. Abrahamson, N. A.・W. J. Silva・R. Kamai(2014): Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions, Earthquake Spectra Vol.30, No.3, pp.1025-1055a
8. 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol.110, No.6, pp.849-875
9. 武村雅之(1998):日本列島における地殻内地震のスケーリング則地震断層の影響および地震被害との関連, 地震第2輯, 第51巻, pp.211-228