

島根原子力発電所 2号炉 審査資料

資料番号

EP(E)-071(補)改01

提出年月

令和3年3月15日

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3月15日
中国電力株式会社

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) 傾斜構造を考慮した解析による検討	14
(3) 地震動評価に用いる地下構造モデルの設定	50
3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	51
(1) 地震動評価の基本方針	52
(2) 宍道断層による地震の地震動評価	56
(3) F-Ⅲ～F-V断層による地震の地震動評価	97
4. 震源を特定せず策定する地震動	119
(1) Mw6.5以上の地震(2地震)に関する検討	120
(2) Mw6.5未満の地震(14地震)に関する検討	130
5. 基準地震動の策定	144
6. 基準地震動の年超過確率の参照	151

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16ページ参照)及びM-Δ図(本説明資料18ページ参照)で記載している地震の諸元を以下に示す。

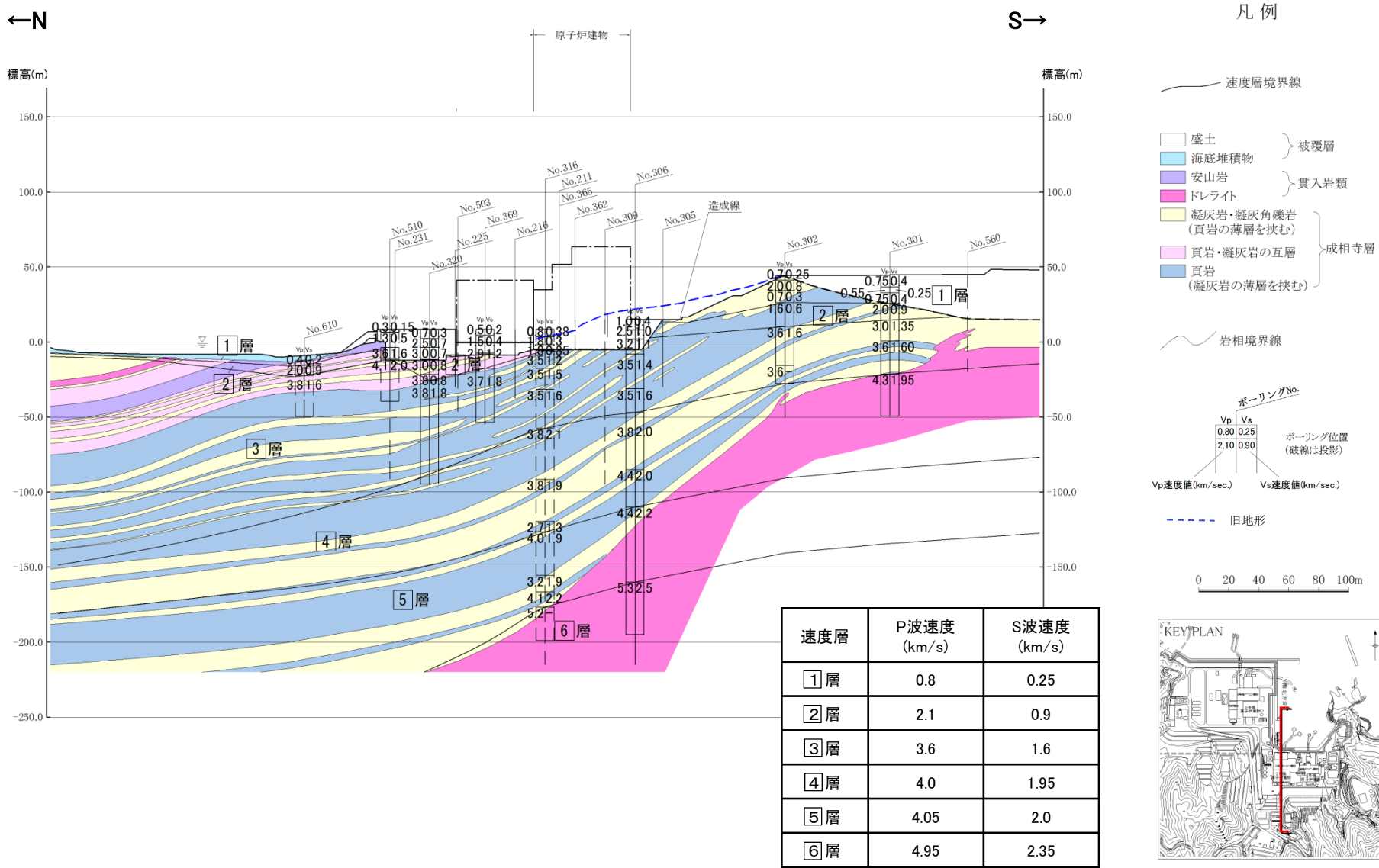
No.	年	月	日	震央位置		深さ (km)	M	震央 距離 (km)	地名
				北緯	東経				
1	868	8	3	34.8°	134.8°	—	7.0	183.0	播磨・山城
2	890	11	23	35.4°	133.2°	—	7.0	23.8	出雲
3	1676	7	12	34.5°	131.8°	—	6.5	158.5	石見
4	1686	1	4	34.0°	132.6°	—	7.2	173.9	安芸・伊予
5	1707	11	21	34.2°	131.7°	—	5.5	189.7	防長
6	1710	10	3	35.5°	133.7°	—	6.5	63.5	伯耆・美作
7	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

2. 敷地地盤の振動特性及び地下構造モデルの設定

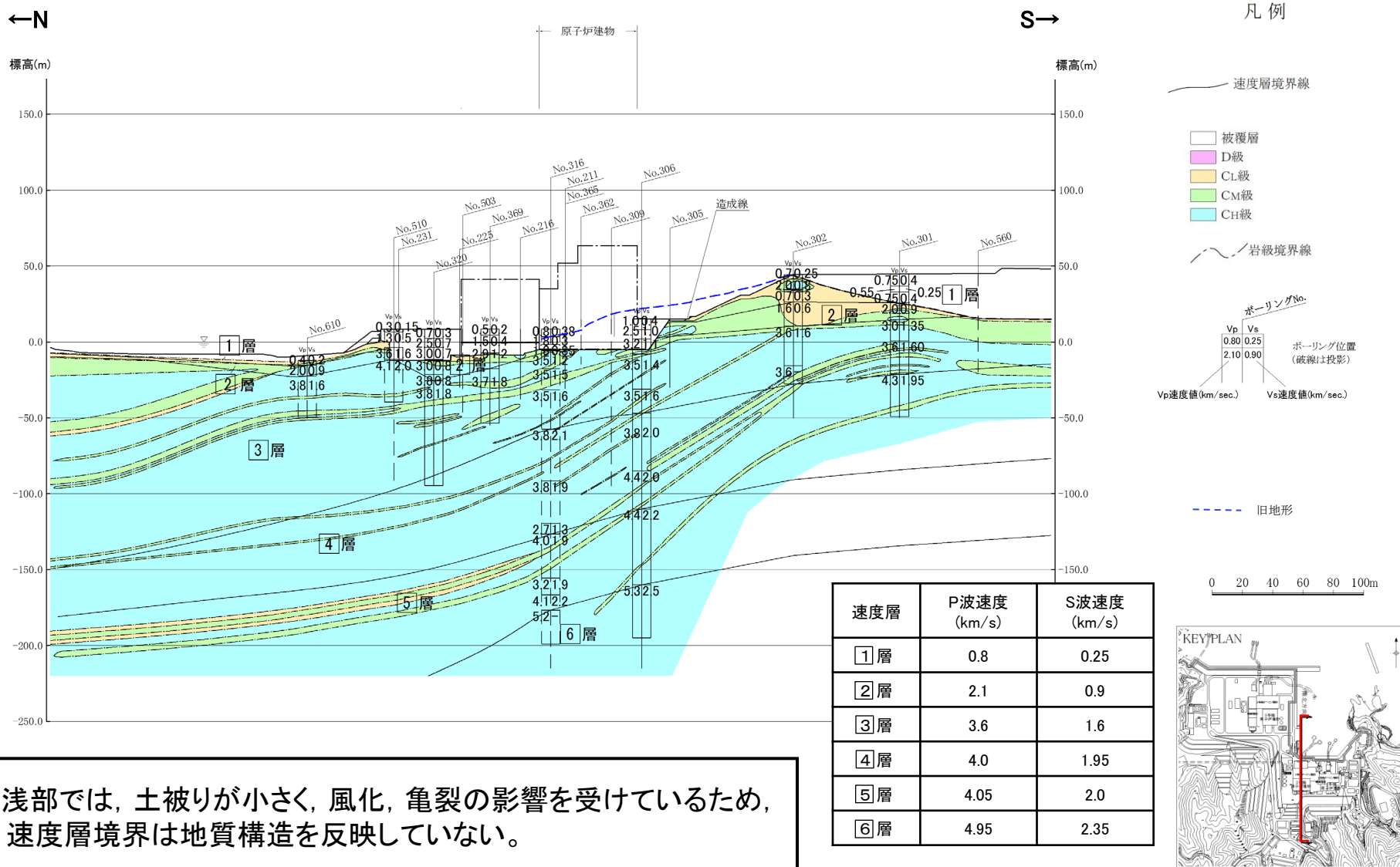
2号地盤の岩相区分との比較(南北断面)

第204回審査会合資料1 P175 再掲



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 再掲

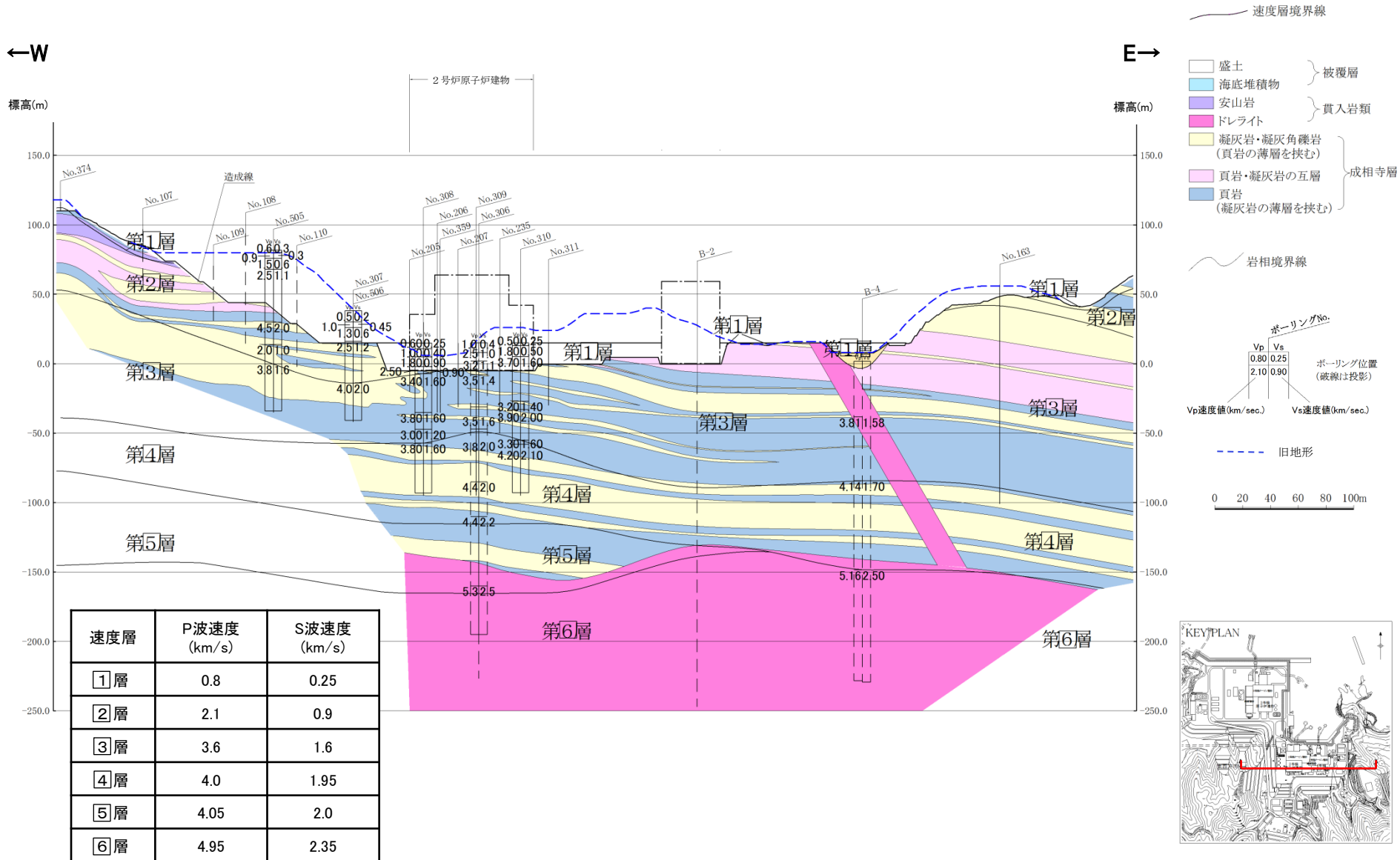


・ 浅部では、土被りが小さく、風化、亀裂の影響を受けているため、速度層境界は地質構造を反映していない。

2号地盤の岩相区分との比較(東西断面)

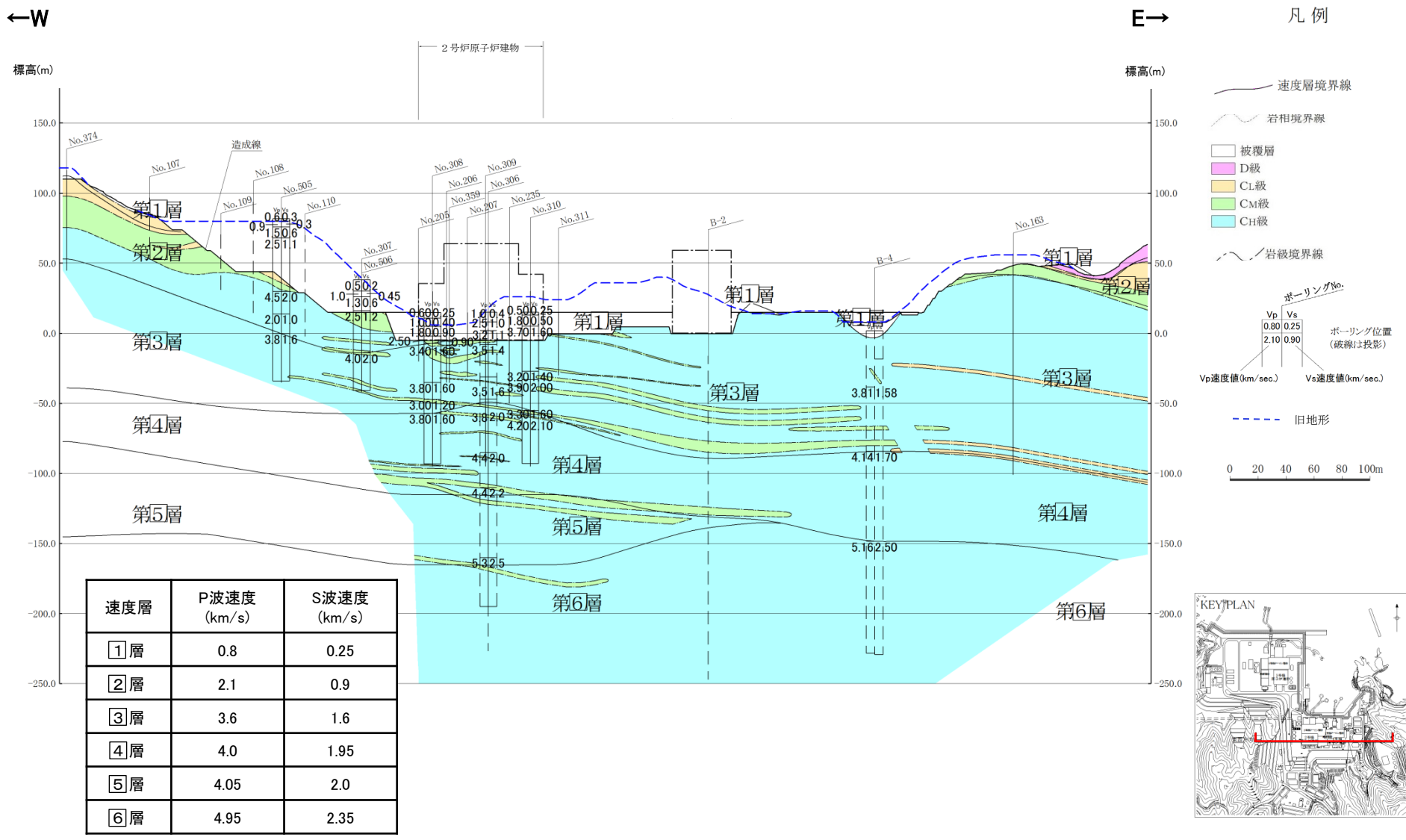
第204回審査会合資料1 P177 再掲

凡例



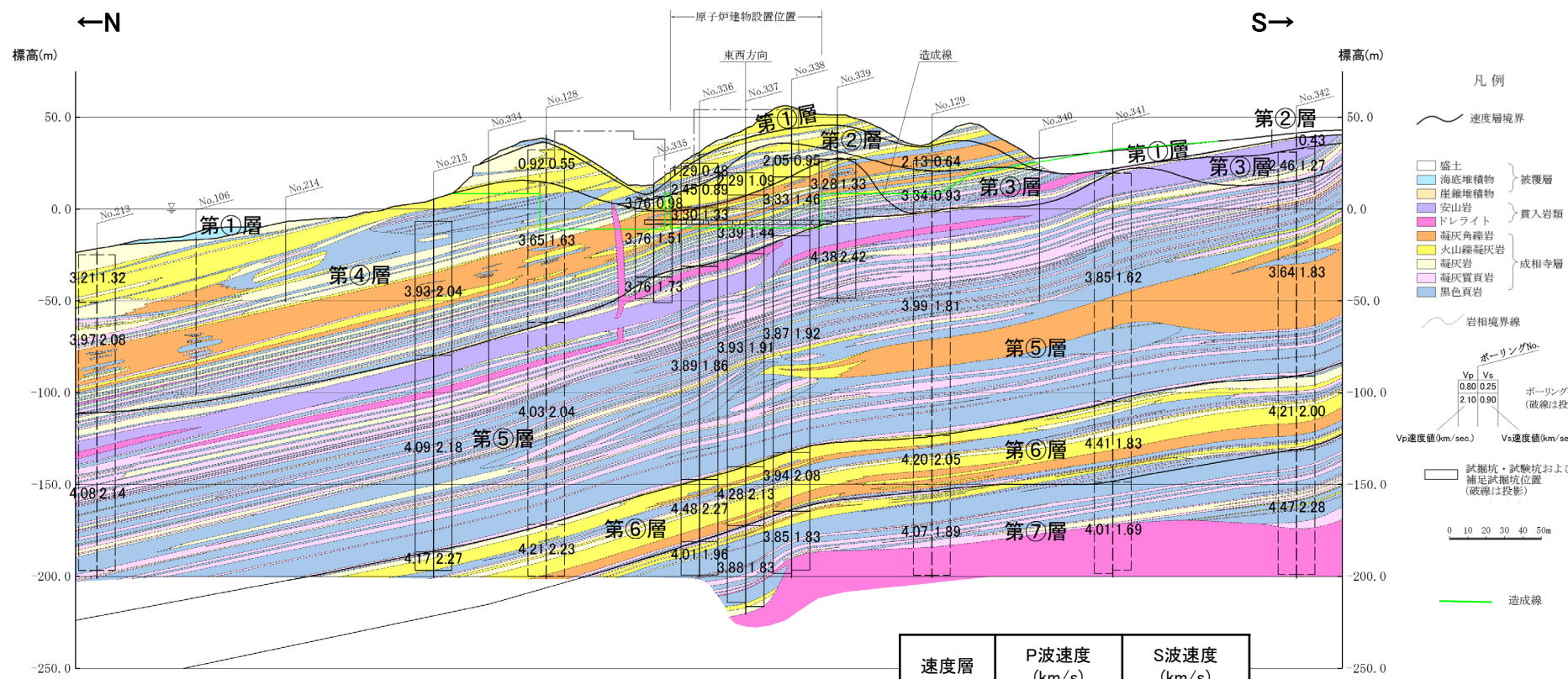
2号地盤の岩級区分との比較(東西断面)

第204回審査会合資料1 P178 再掲



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 再掲



凡例

- 速度層境界
- 盛土
- 海底堆積物
- 崖堆積物
- 安山岩
- ドレイイト
- 凝灰角礫岩
- 火山砕粒灰岩
- 凝灰岩
- 凝灰質頁岩
- 黑色頁岩

被覆層
貫入岩類
成相寺層

岩相境界線

ボーリングNo.
Vp | Vs
0.80 | 0.25
2.10 | 0.90

ボーリング位置
(破線は投影)

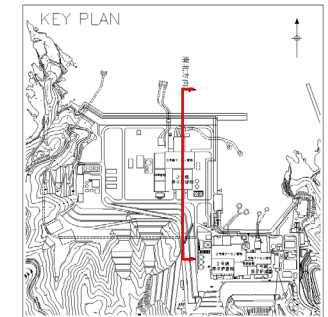
Vp速度値(km/sec.) Vs速度値(km/sec.)

試験坑・試験坑および
補正試験坑位置
(破線は投影)

0 10 20 30 40 50m

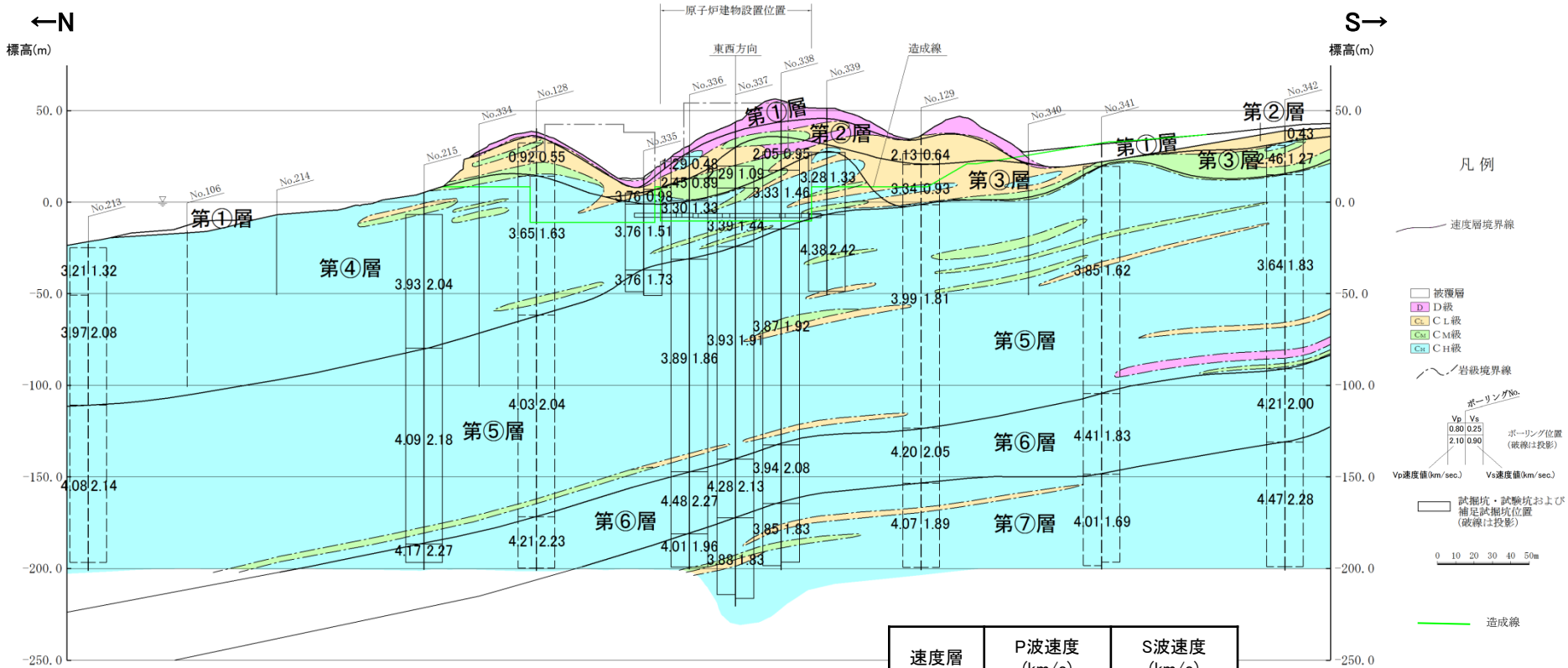
造成線

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

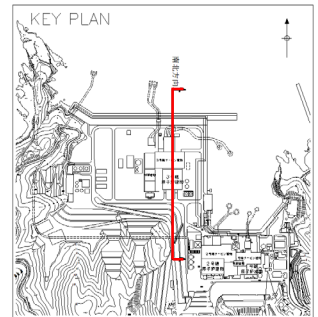


3号地盤の岩級区分との比較(南北断面)

第204回審査会合資料1 P180 再掲

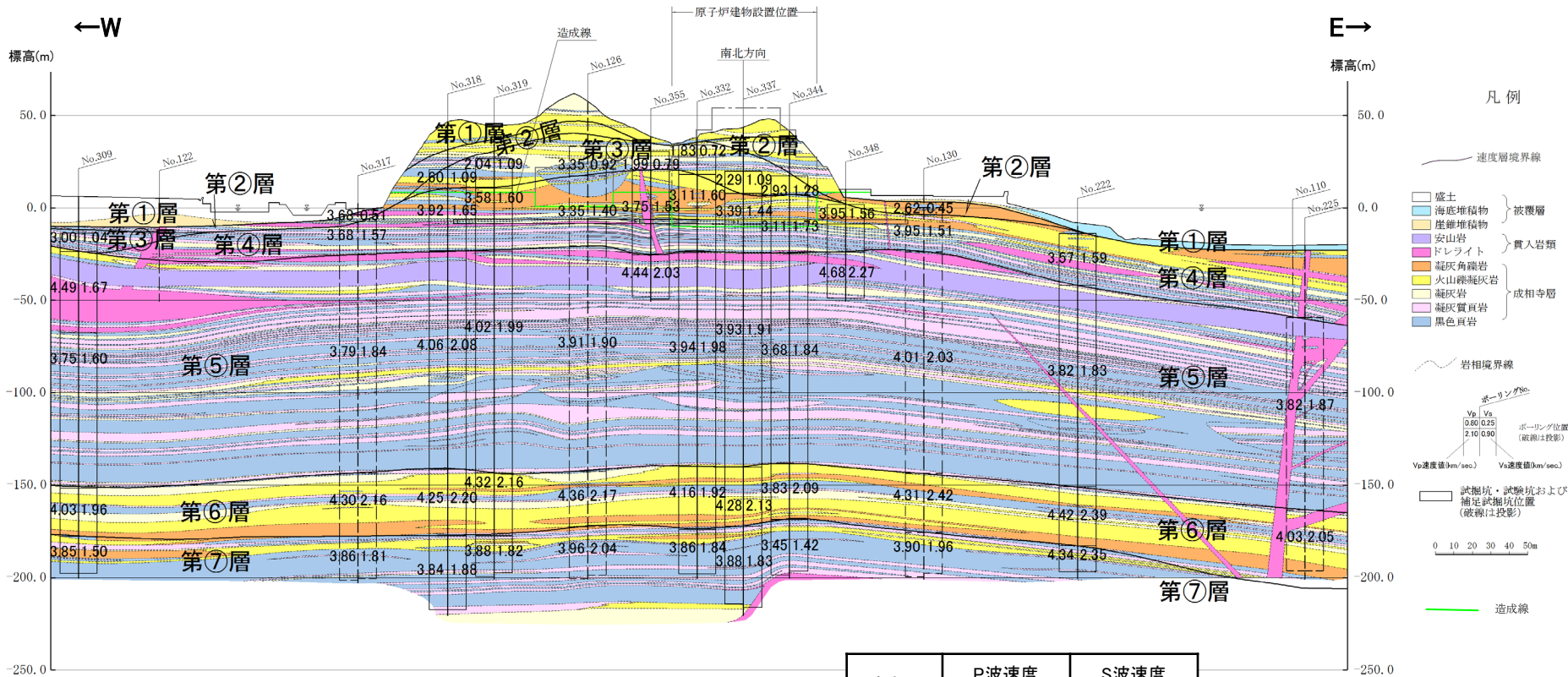


・ 浅部では、土被りが小さく、風化、亀裂の影響を受けているため、速度層境界は地質構造を反映していない。

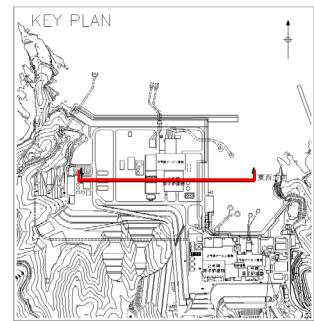


3号地盤の岩相区分との比較(東西断面)

第204回審査会合資料1 P181 再掲

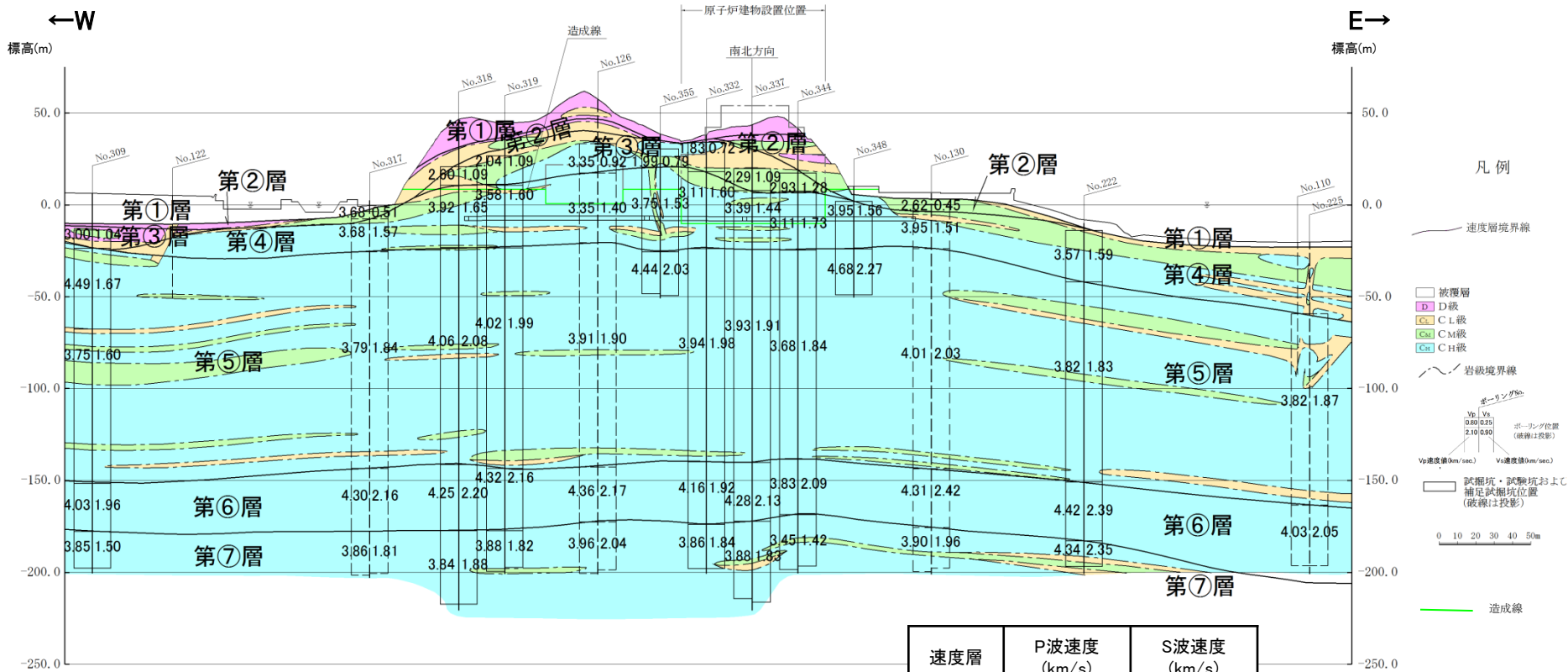


速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
①層	0.52	0.27
②層	1.71	0.62
③層	2.27	0.96
④層	3.24	1.52
⑤層	3.86	1.90
⑥層	4.15	2.10
⑦層	3.80	1.77

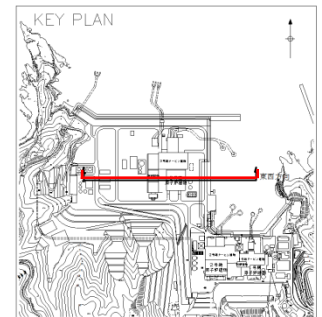


3号地盤の岩級区分との比較(東西断面)

第204回審査会合資料1 P182 再掲

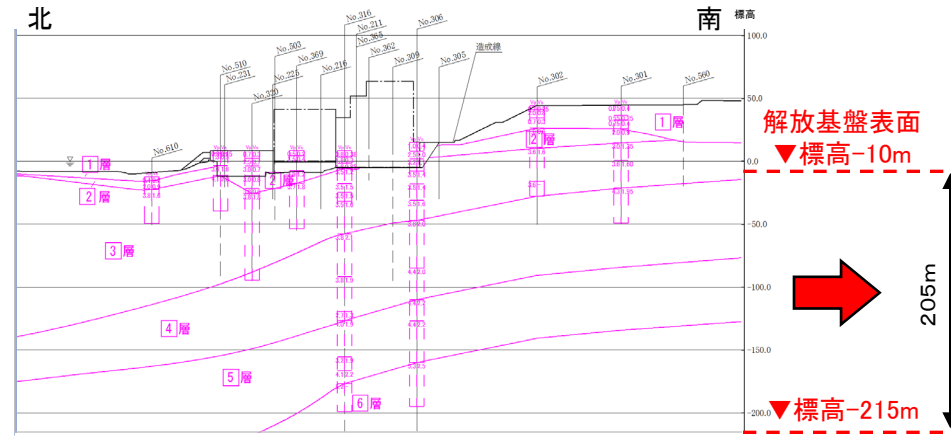


速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
①層	0.52	0.27
②層	1.71	0.62
③層	2.27	0.96
④層	3.24	1.52
⑤層	3.86	1.90
⑥層	4.15	2.10
⑦層	3.80	1.77

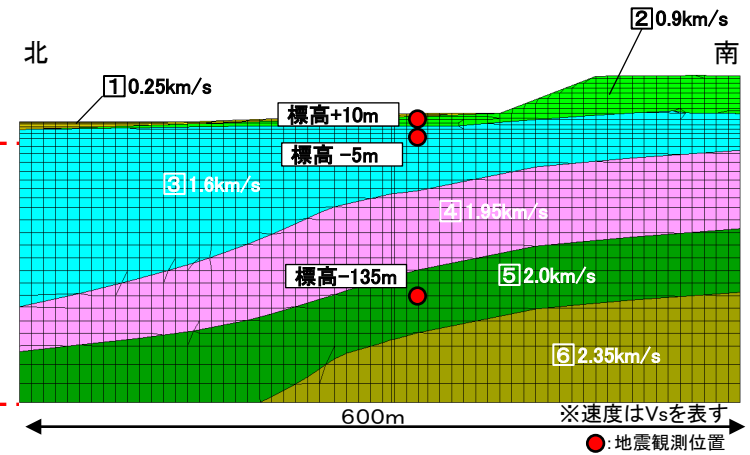


敷地内モデルの検討(2号敷地内モデルの設定)

- 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)

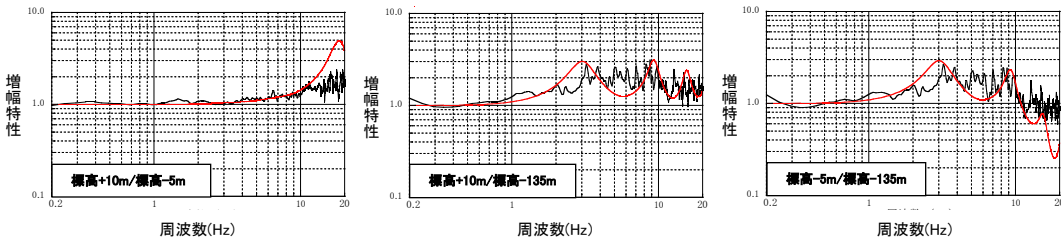
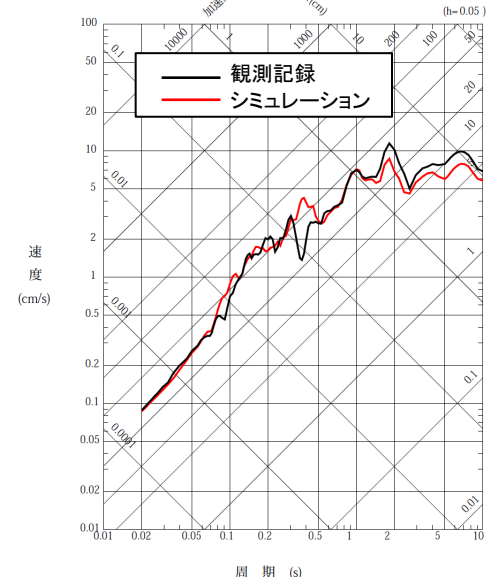
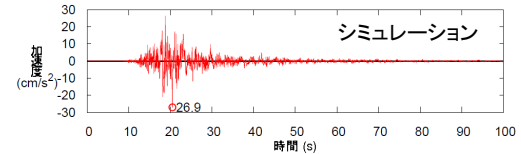
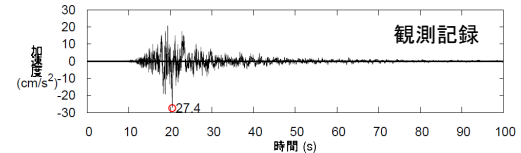
※ モデルの物性値は後述する2号地下構造モデルの値を用い、メッシュサイズは各層の速度値から求まる波長の1/5程度以下となるように設定。

敷地内モデルの検討(2号敷地内モデルの妥当性確認)

- 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と考えられる。

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。

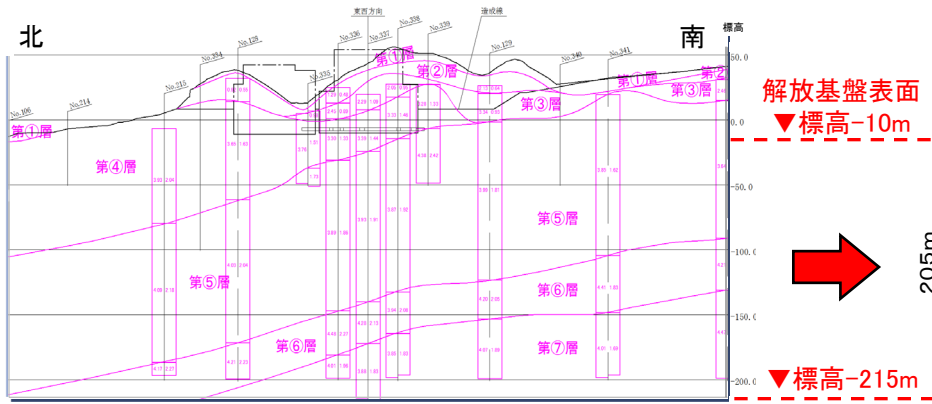
地盤増幅特性の比較

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

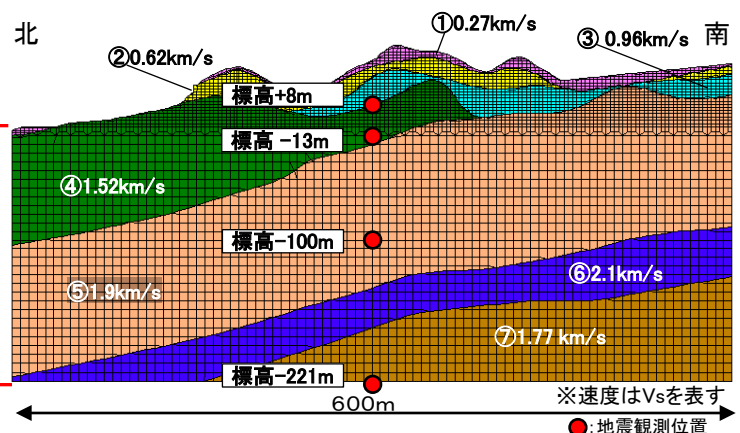
敷地内モデルの検討(3号敷地内モデルの設定)

第204回審査会合資料1 P49 再掲

- 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。



3号速度層断面図(南北方向)



3号敷地内モデル(南北方向)

※ 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。

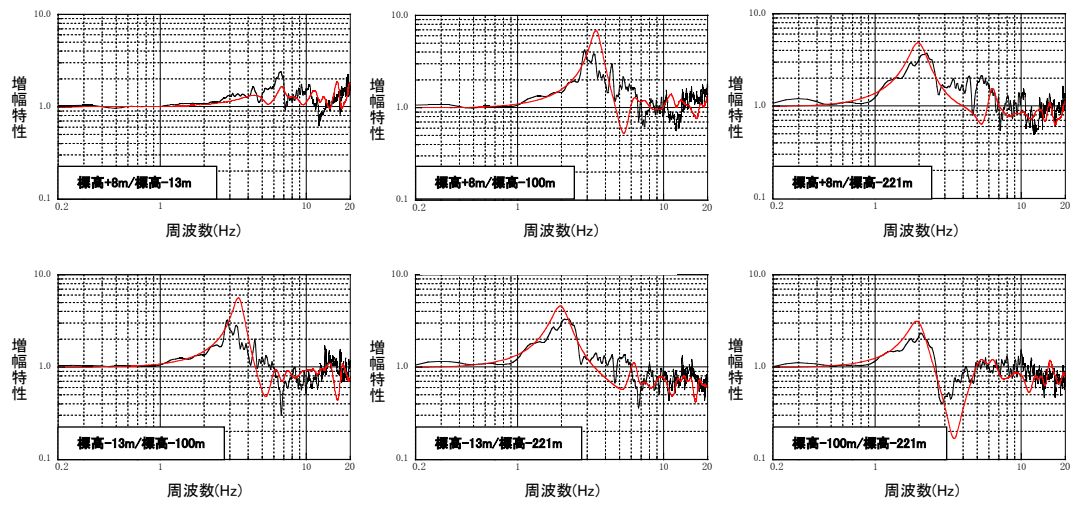
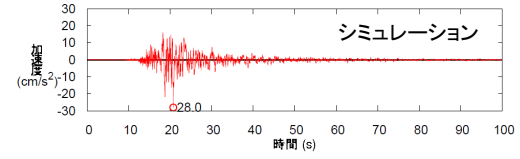
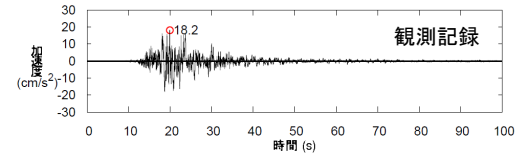
敷地内モデルの検討(3号敷地内モデルの妥当性確認)

第204回審査会合資料1 P50 再掲

- 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と考えられる。

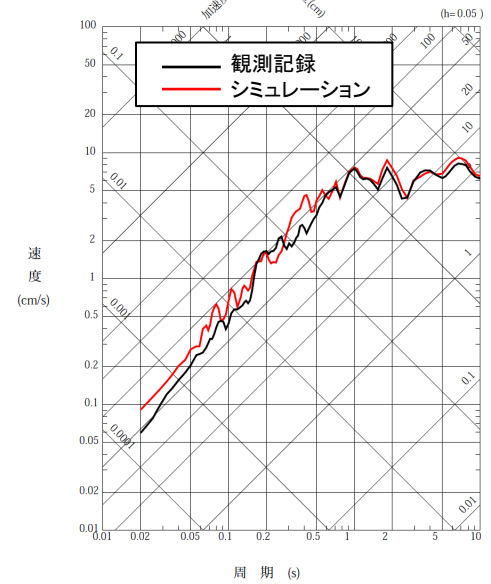
検討対象地震

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

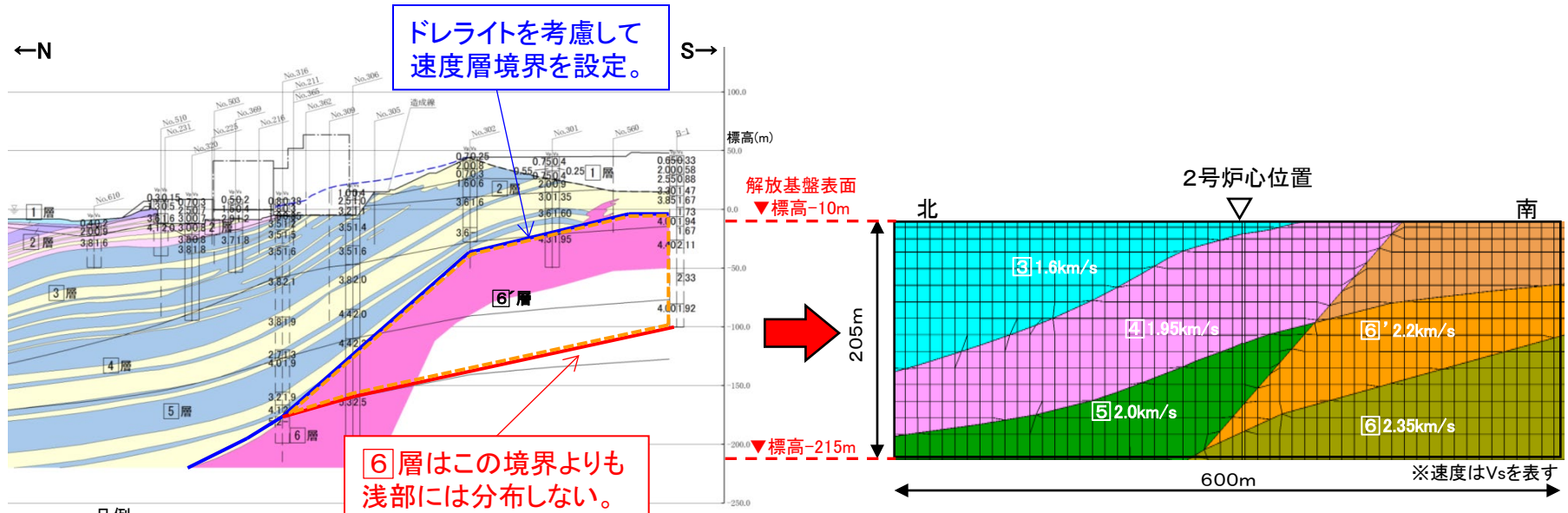
地盤増幅特性の比較



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

敷地内モデルの検討(ドレライトを考慮した2号敷地内モデルの設定) 第204回審査会合資料1 P51 再掲

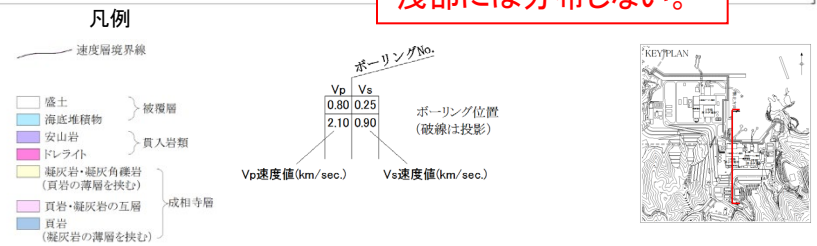
- 2号地盤の地質断面図の南側に、高速度層に対応するドレライトが地表付近まで分布していることから、ドレライトを考慮した2号地盤の2次元地下構造モデル(南北方向)を設定した。
- ドレライトを考慮した速度構造としては、ドレライトの上端レベルに対応させて、下図の青線のとおり速度層境界を設定した。
- 2号敷地南側のボーリングB-1では、**6**層の高速度層が現れていないことから、ボーリングB-1下端を**6**層の速度層境界として下図の赤線のとおり速度層境界を設定し、赤線と青線に囲まれた速度層は**6**'層とした。



ドレライトを考慮して
速度層境界を設定。

6層はこの境界よりも
浅部には分布しない。

2号敷地内モデル(ドレライト考慮)

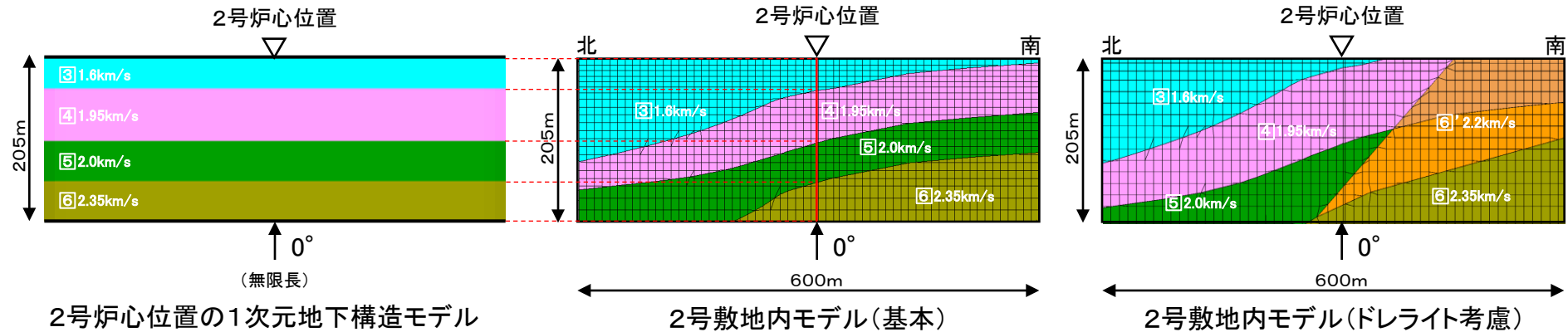


2号地質断面図(南北断面)

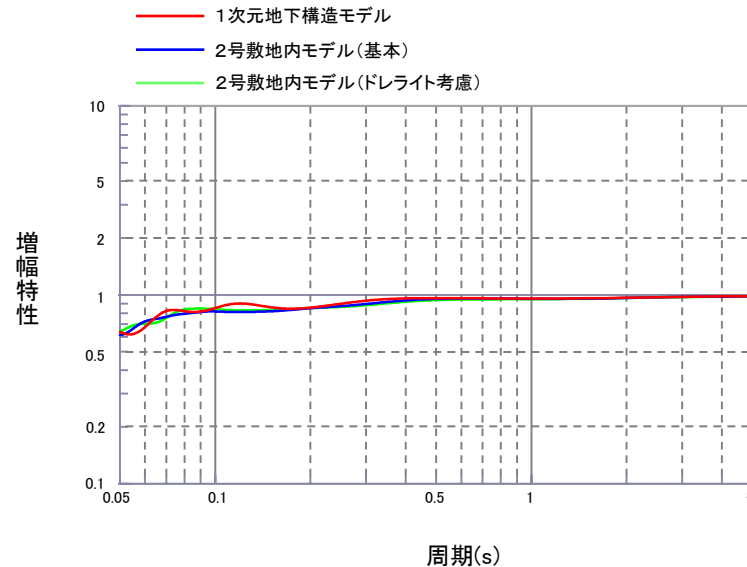
2号敷地内モデルの検討(基本・ドレライト考慮:1次元と2次元による増幅特性の比較)

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。



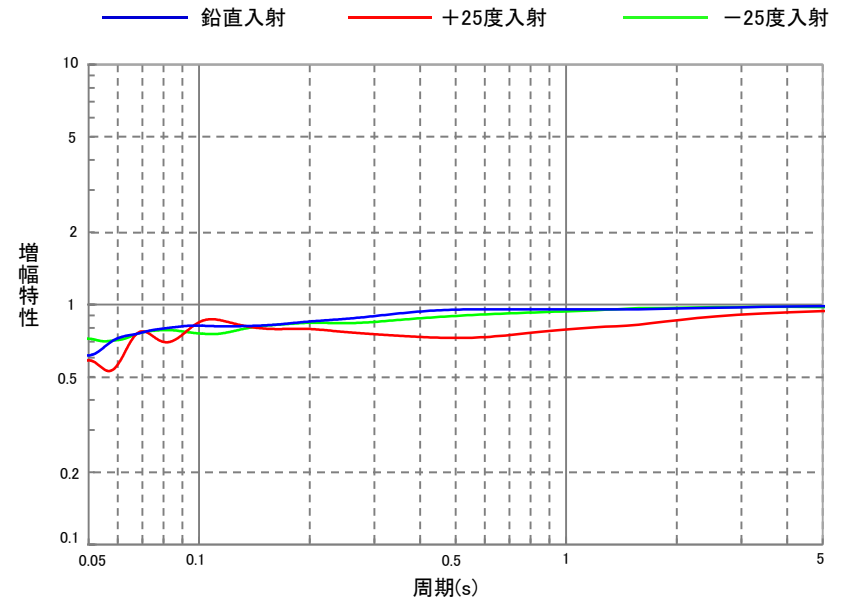
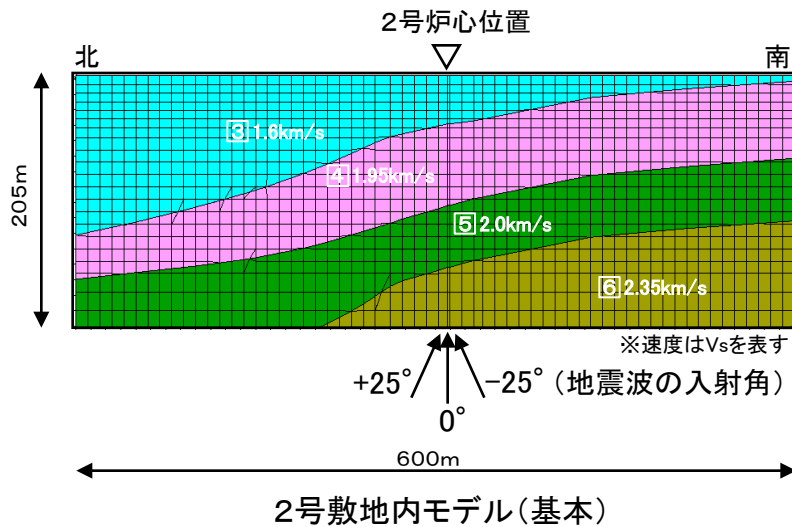
※速度はVsを表す



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)

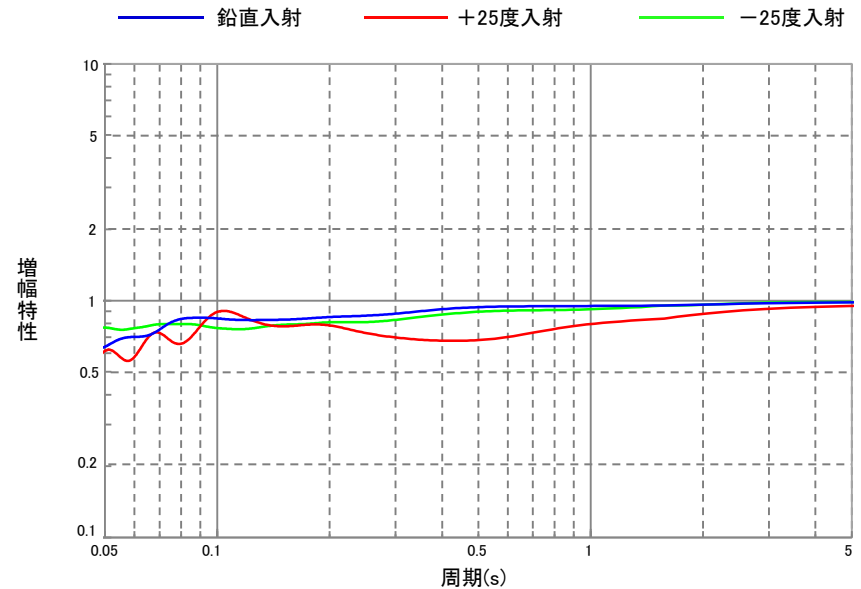
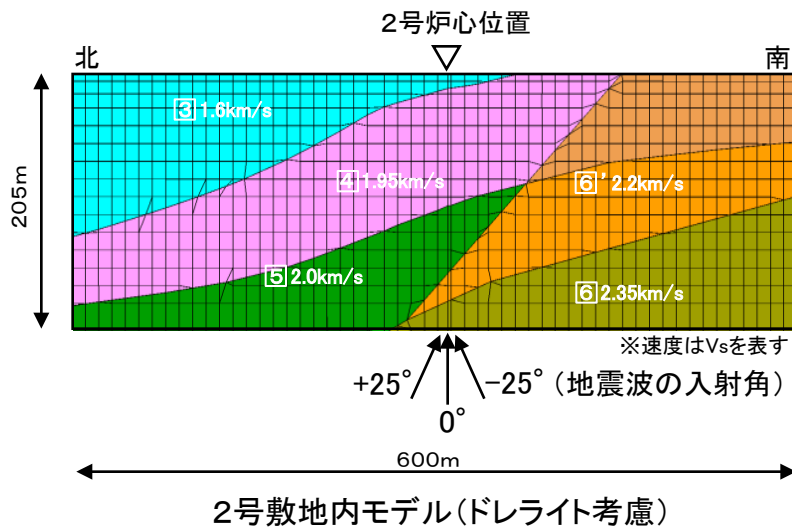
■ 2号敷地内モデルに地震波を鉛直(0°)及び斜め($\pm 25^\circ$)に入射すると、鉛直入射の地盤増幅特性が、斜め入射の地盤増幅特性と比較して、同程度またはそれ以上となっており、斜め入射を考慮しても傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。



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)

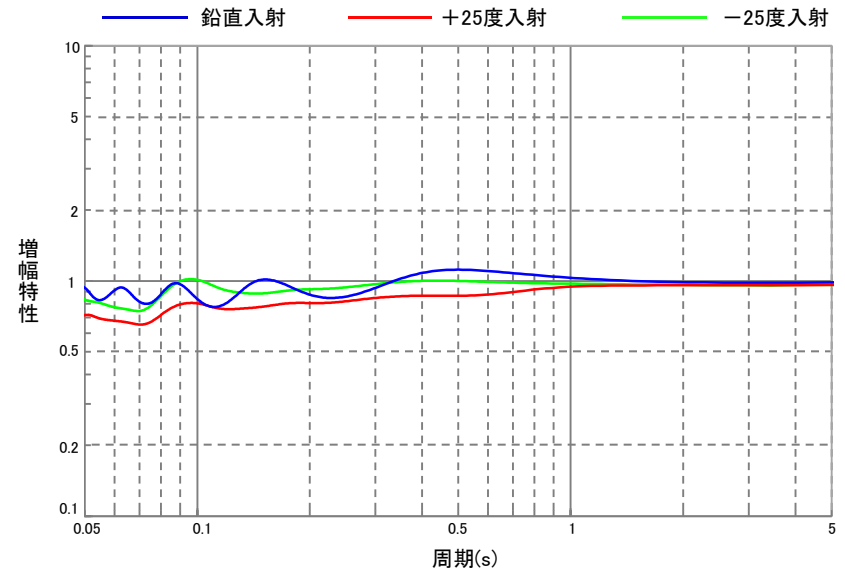
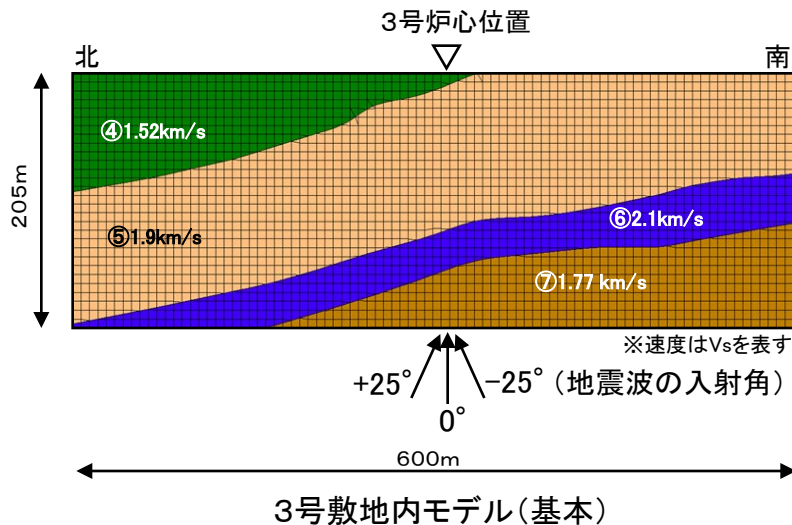
■ ドレライトを考慮した2号敷地内モデルに地震波を鉛直(0°)及び斜め($\pm 25^\circ$)に入射すると、鉛直入射の地盤増幅特性が、斜め入射の地盤増幅特性と比較して、同程度またはそれ以上となっており、斜め入射を考慮しても傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。



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)

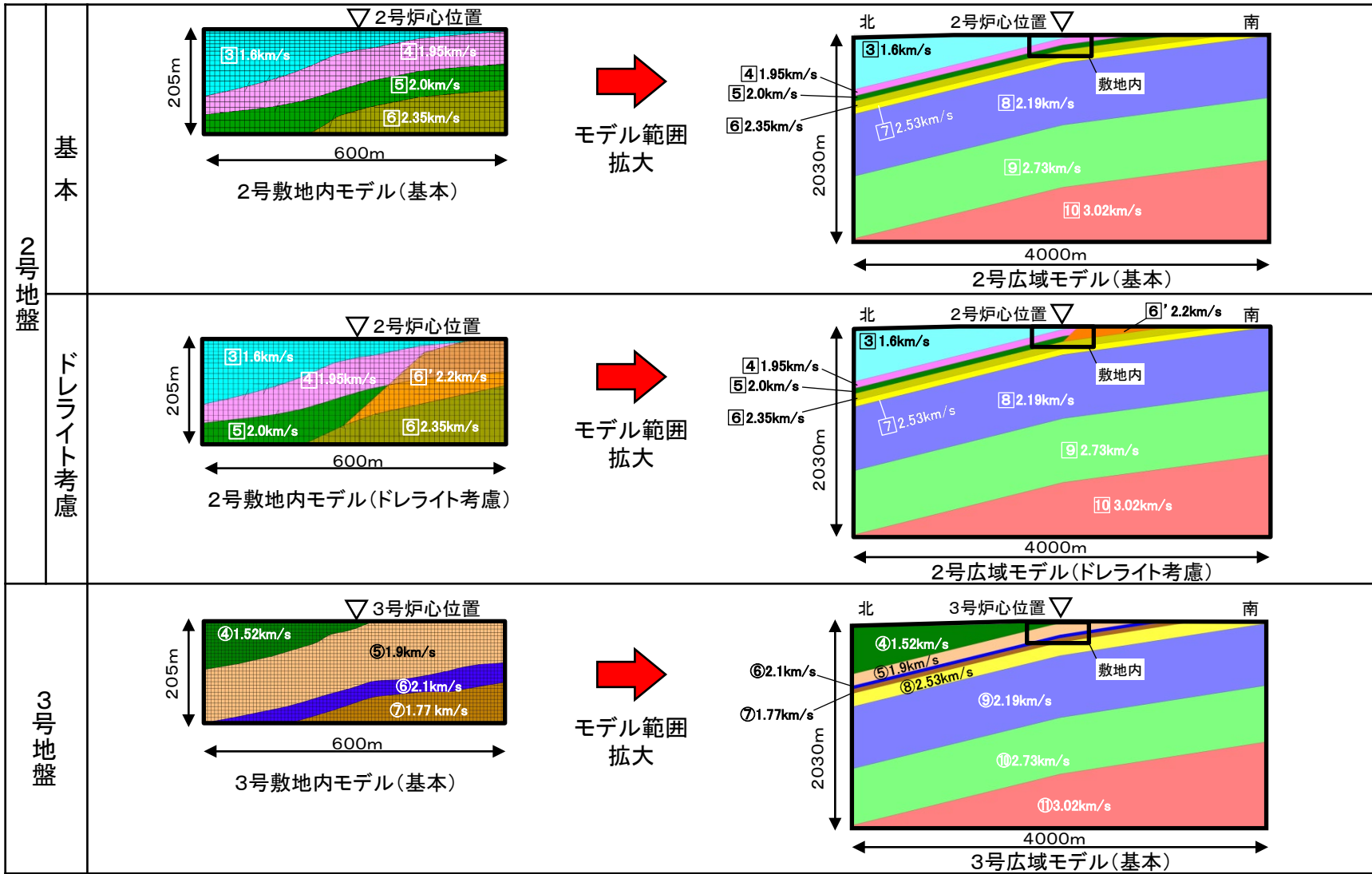
- 3号敷地内モデルに地震波を鉛直(0°)及び斜め($\pm 25^\circ$)に入射すると、鉛直入射の地盤増幅特性が、斜め入射の地盤増幅特性と比較して、同程度またはそれ以上となっており、斜め入射を考慮しても傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。



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)

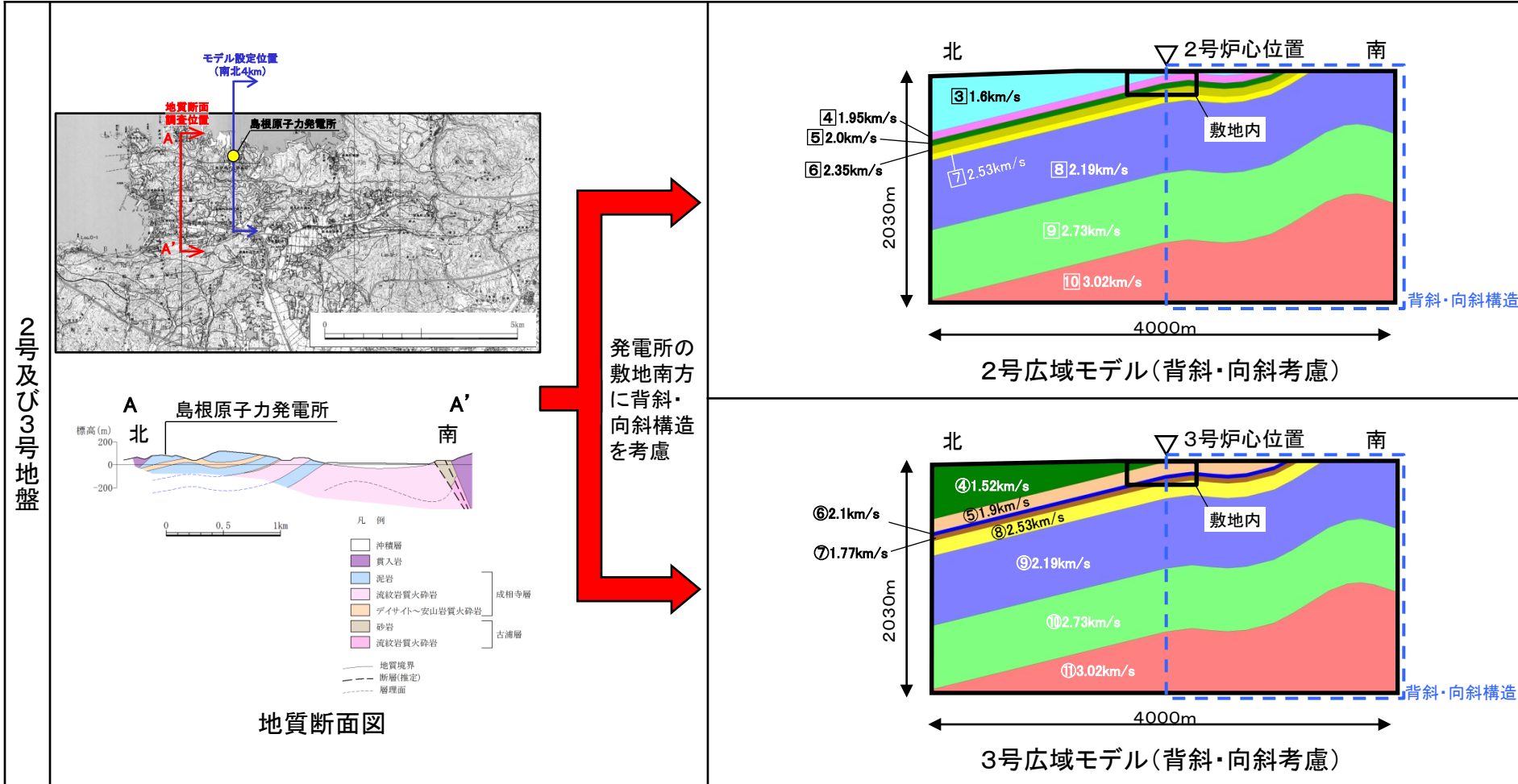
■ 敷地及び敷地周辺の広域的な傾斜構造による影響を検討するため、2号及び3号の広域の2次元地下構造モデル(南北方向)を、敷地内モデルの範囲を拡大(水平方向:4000m, 鉛直方向:2030m)して設定した。なお、2号広域モデルについては基本とドレライト考慮の2ケースを設定した。



※速度はVsを表す

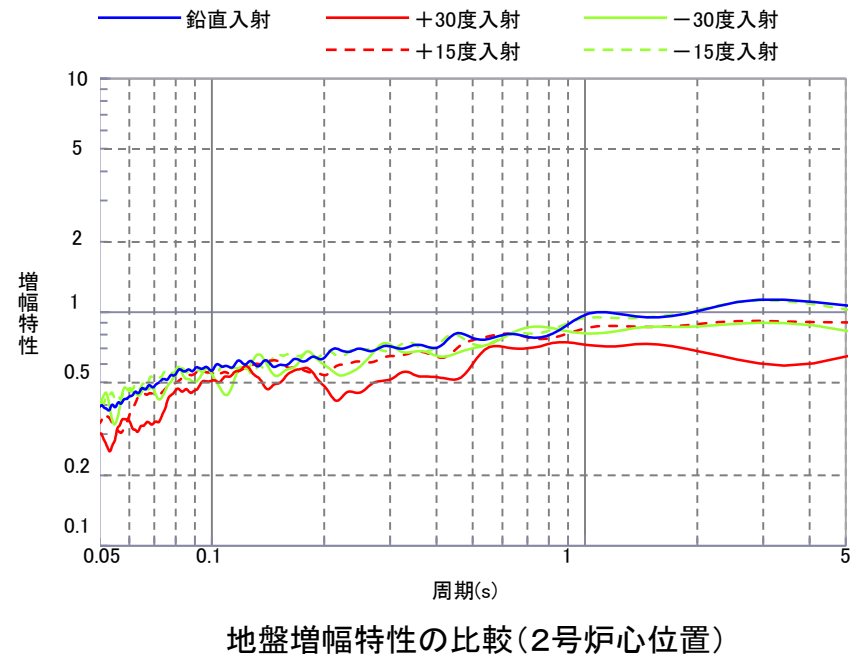
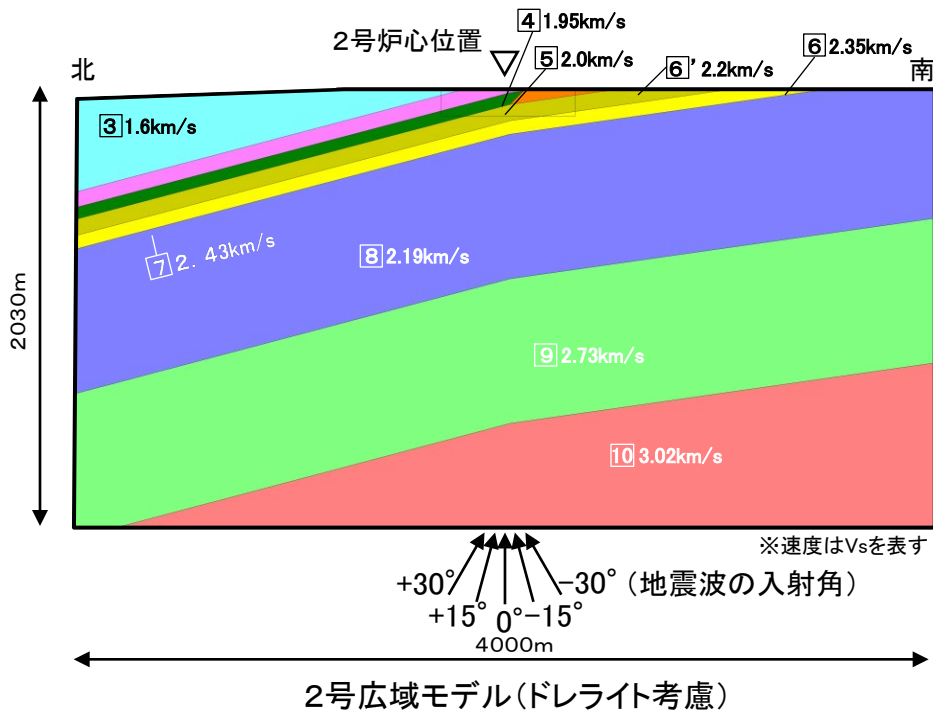
広域モデルの検討(背斜・向斜構造を考慮した2号, 3号広域モデルの設定)

■ 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。



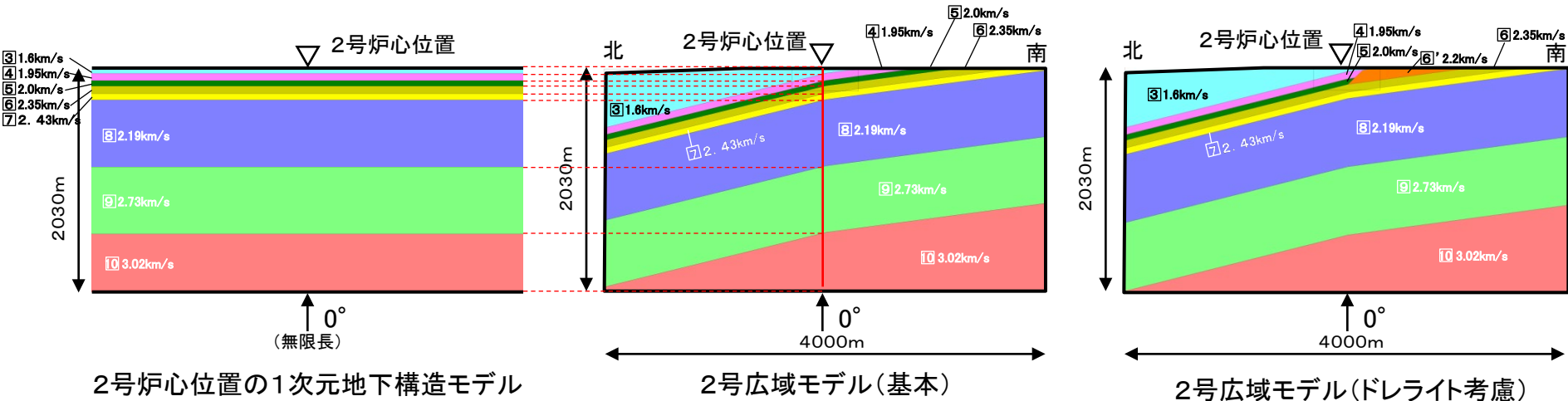
2号広域モデルの検討(ドレライト考慮:入射角の違いによる増幅特性の比較)

■ 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。



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。



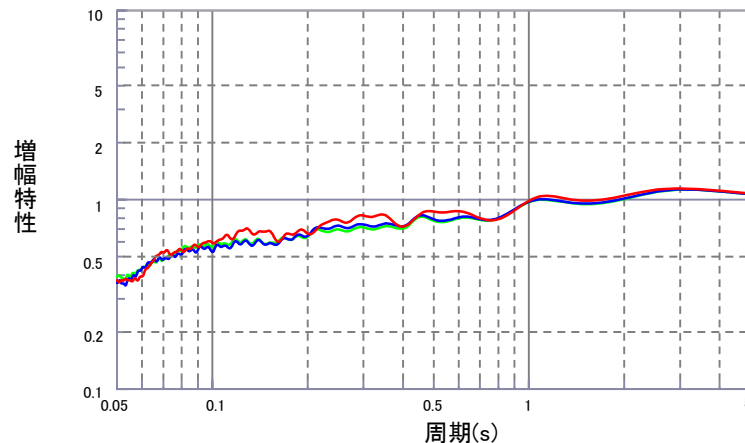
2号炉心位置の1次元地下構造モデル

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)

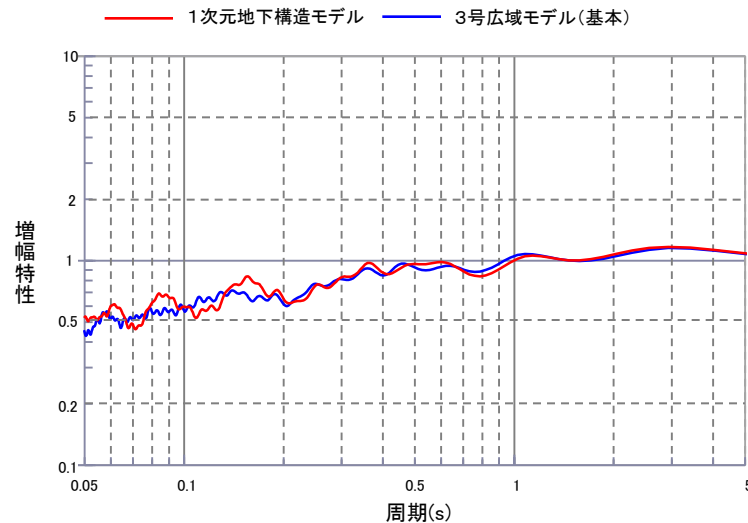
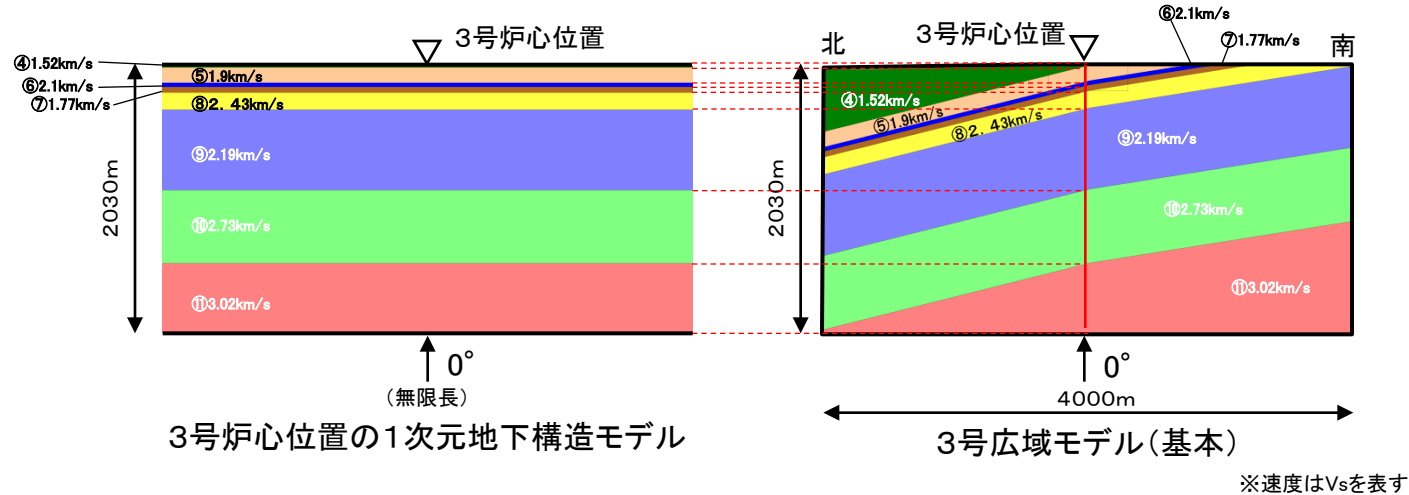
※速度はVsを表す



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)

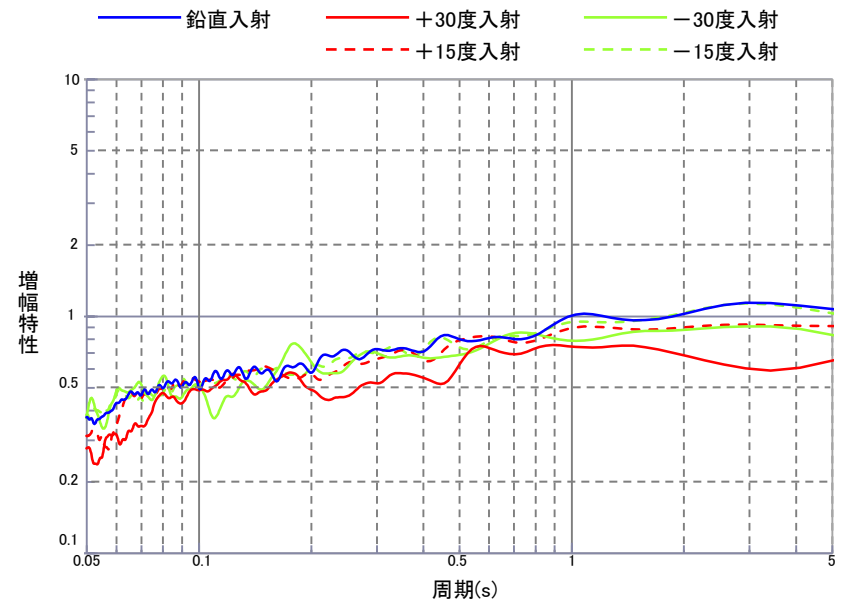
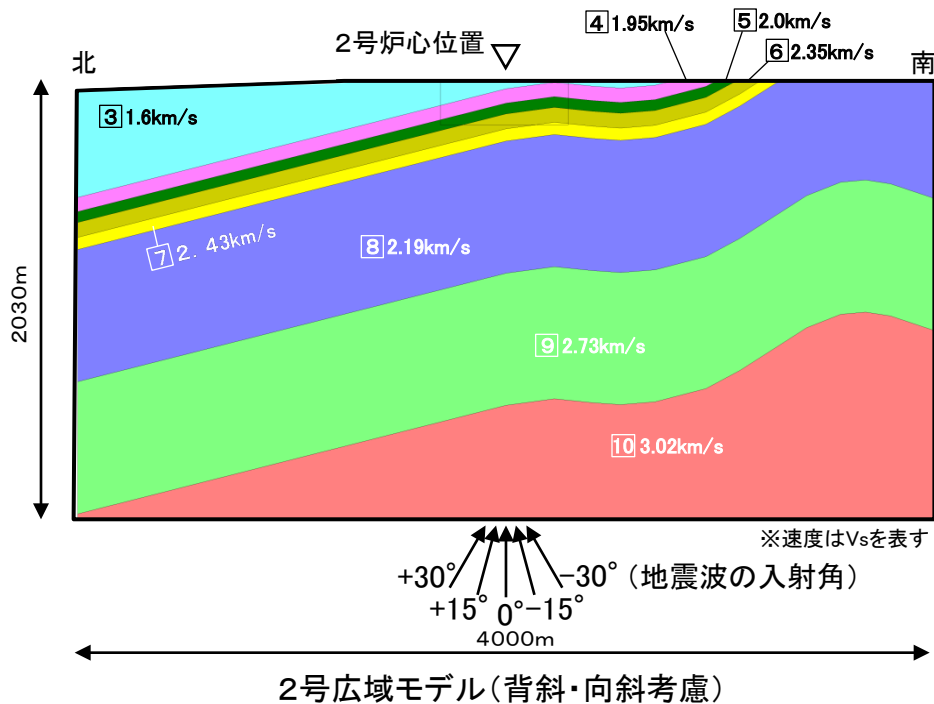
- 3号炉心位置における1次元地下構造モデルの地盤増幅特性が、3号広域モデルの地盤増幅特性(鉛直入射)と比較して、同程度またはそれ以上となっており、1次元と2次元の増幅傾向に違いはみられない。



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)

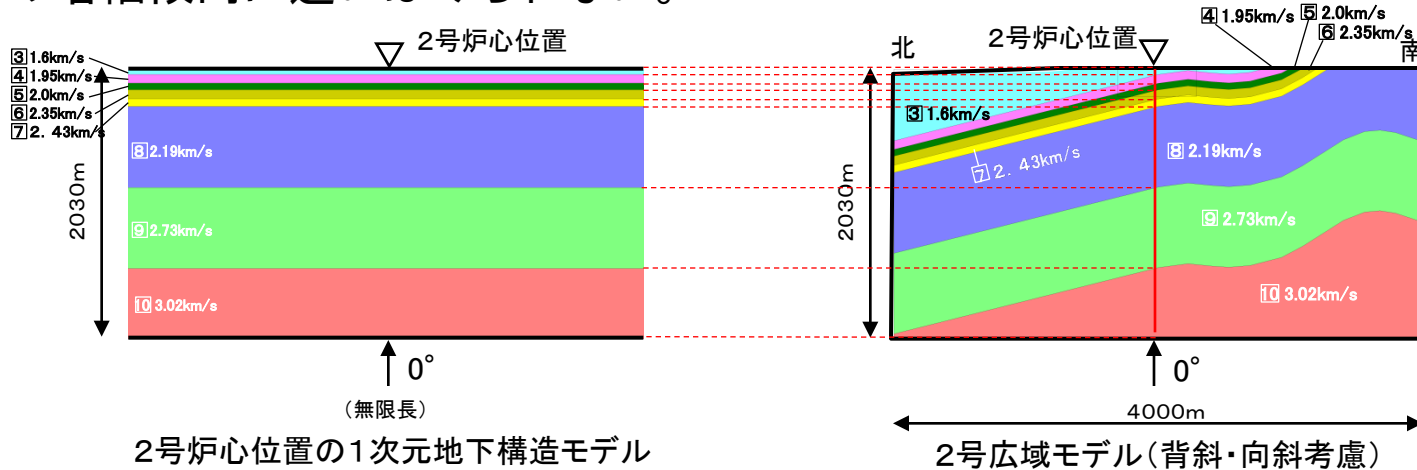
■ 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を鉛直(0°)及び斜め($\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$)に入射すると, 鉛直入射の地盤増幅特性が, 斜め入射の地盤増幅特性と比較して, 同程度またはそれ以上となっており, 斜め入射を考慮しても傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。



地盤増幅特性の比較(2号炉心位置)

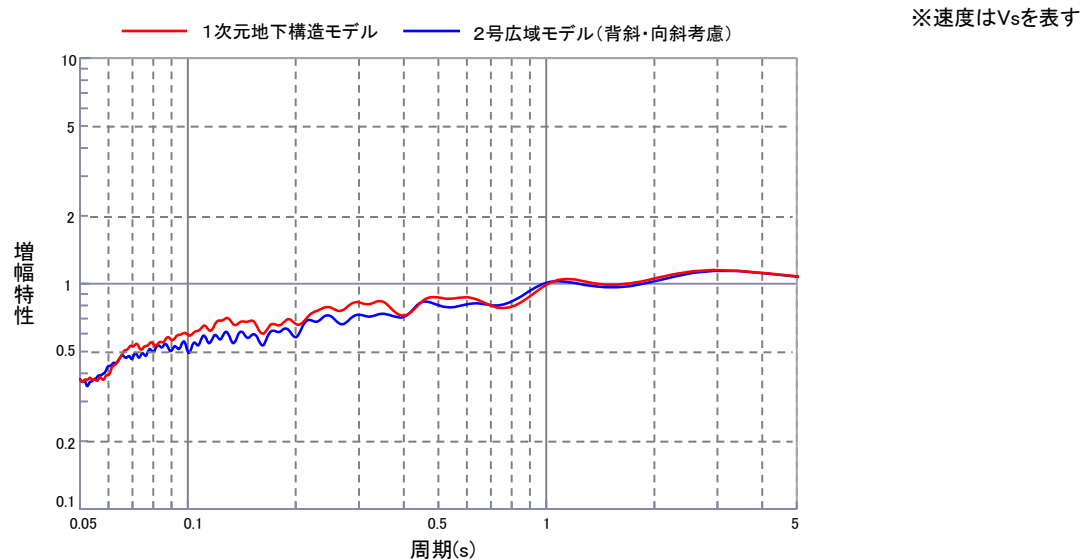
2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:1次元と2次元による増幅特性の比較)

■ 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。



2号炉心位置の1次元地下構造モデル

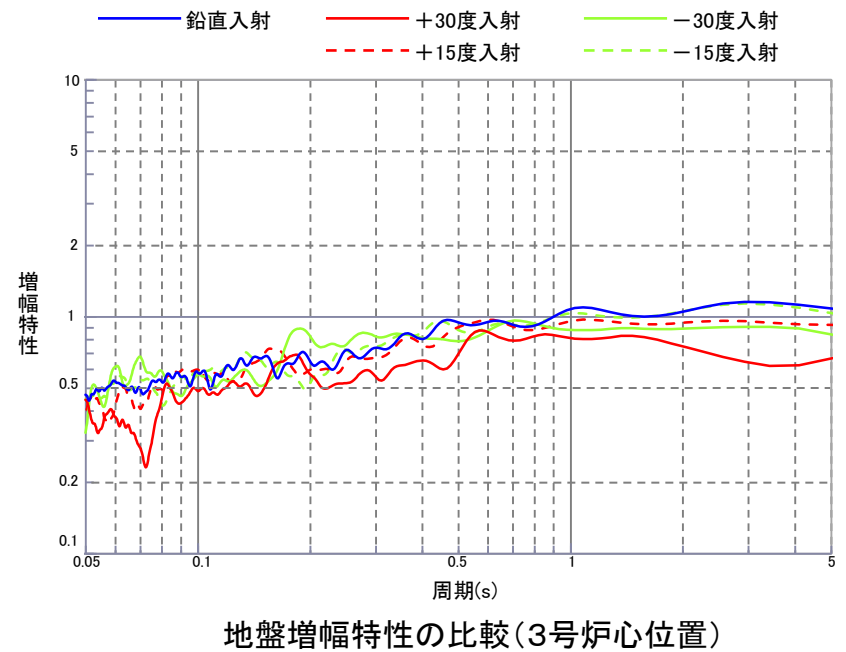
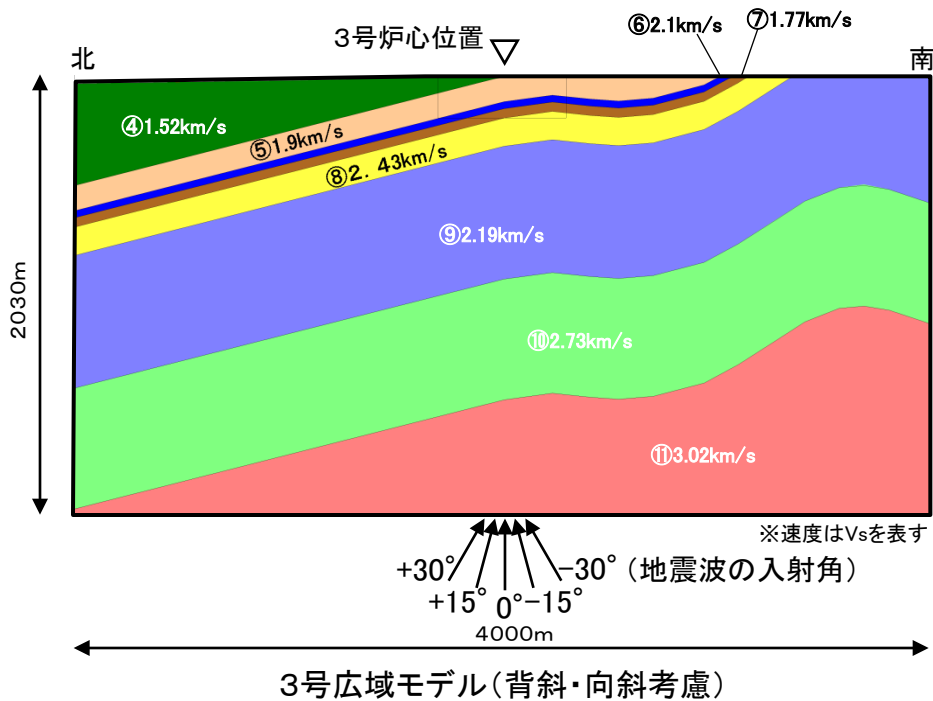
2号広域モデル(背斜・向斜考慮)



地盤増幅特性の比較(2号炉心位置)

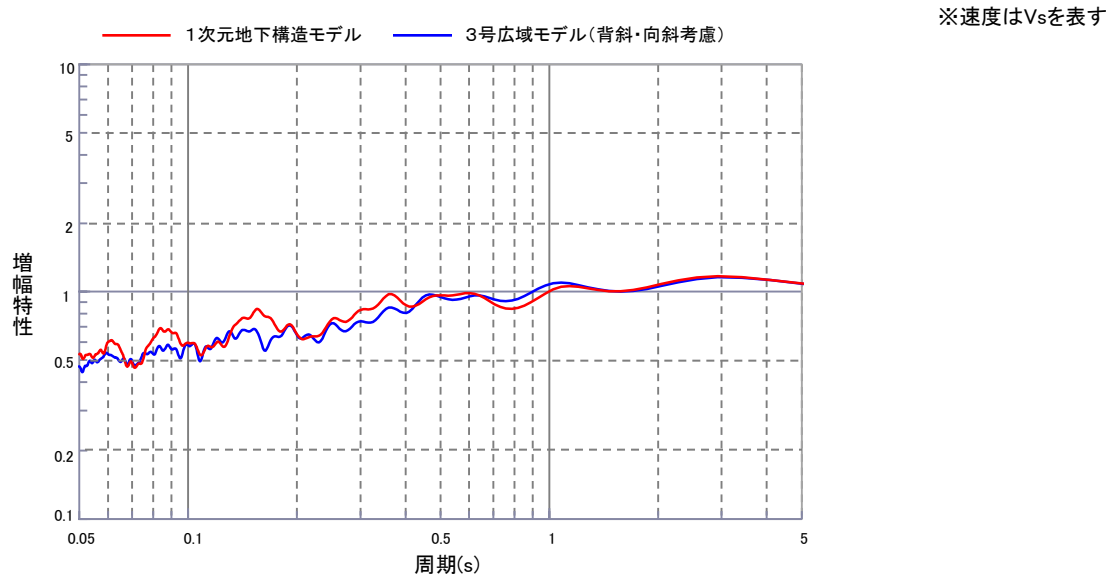
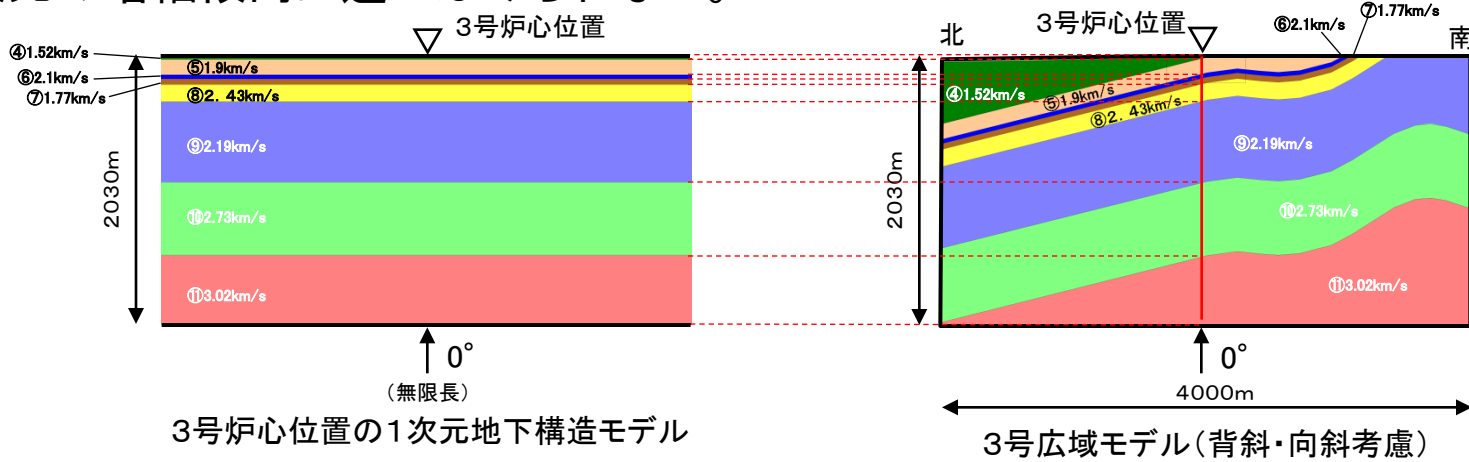
3号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによる増幅特性の比較)

■ 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)

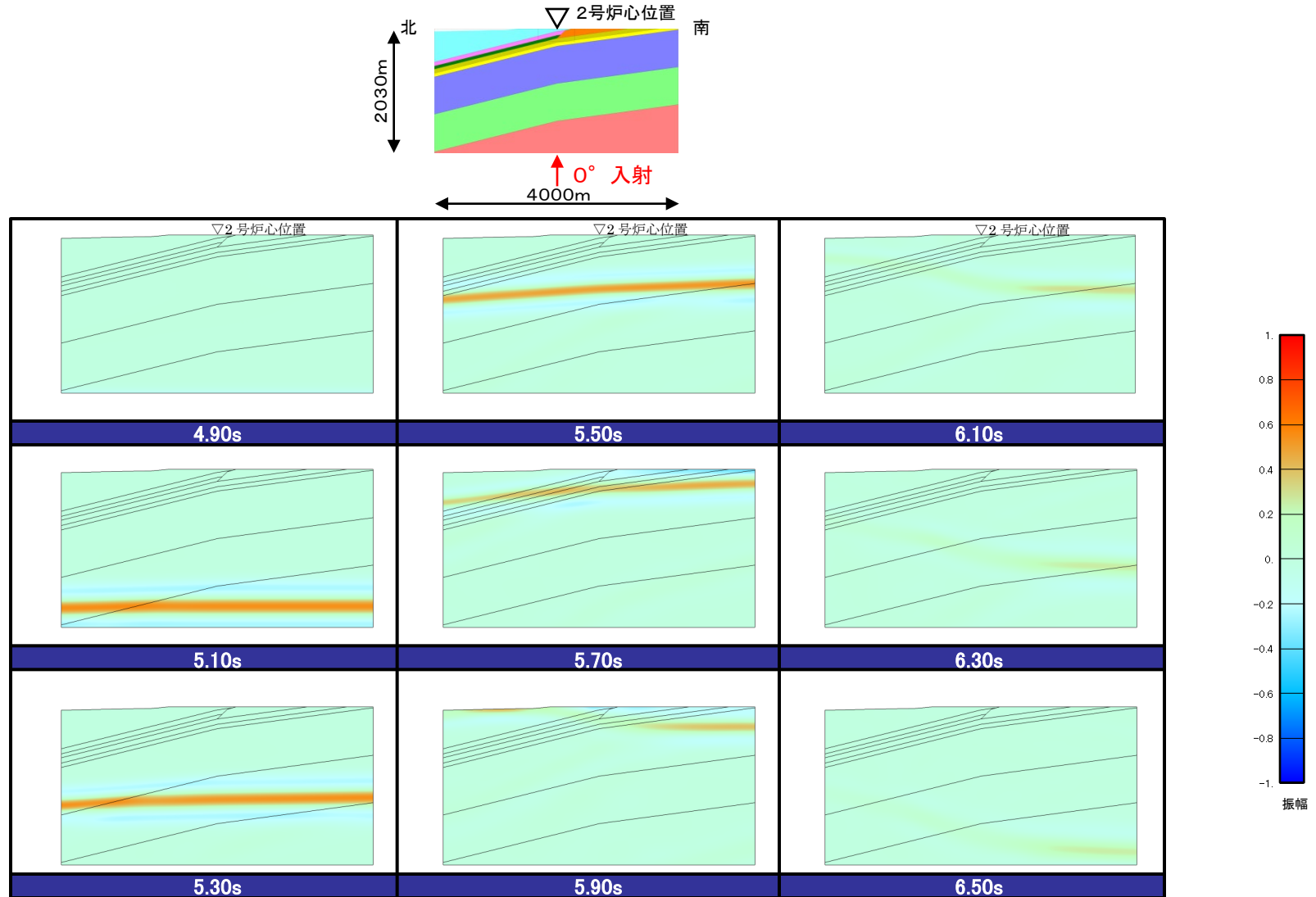
■ 3号炉心位置における1次元地下構造モデルの地盤増幅特性が, 3号背斜・向斜モデルの地盤増幅特性(鉛直入射)と比較して, 同程度またはそれ以上となっており, 1次元と2次元の増幅傾向に違いはみられない。



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)

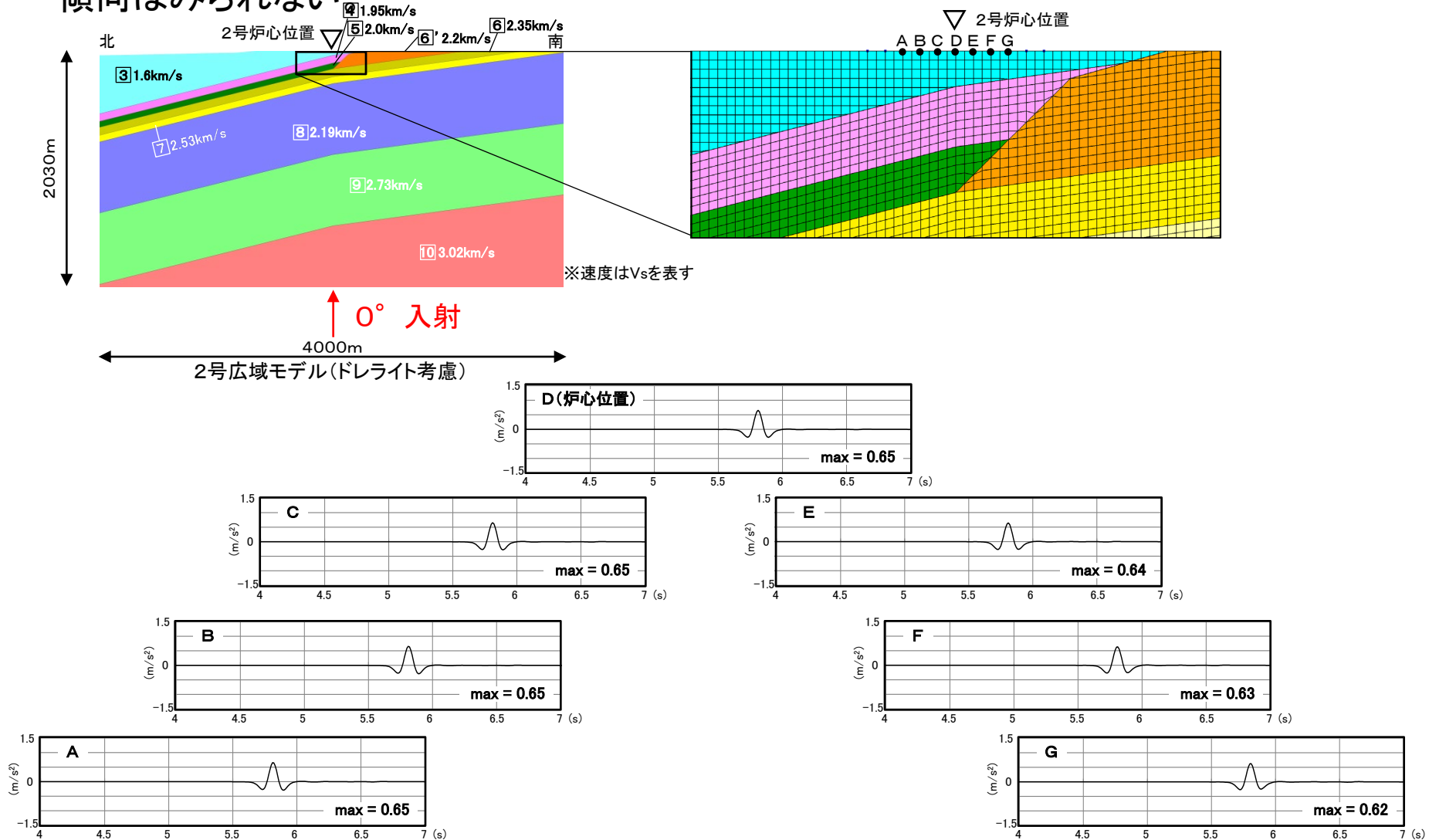
- ドレライトを考慮した2号広域モデルに地震波を鉛直(0°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



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)

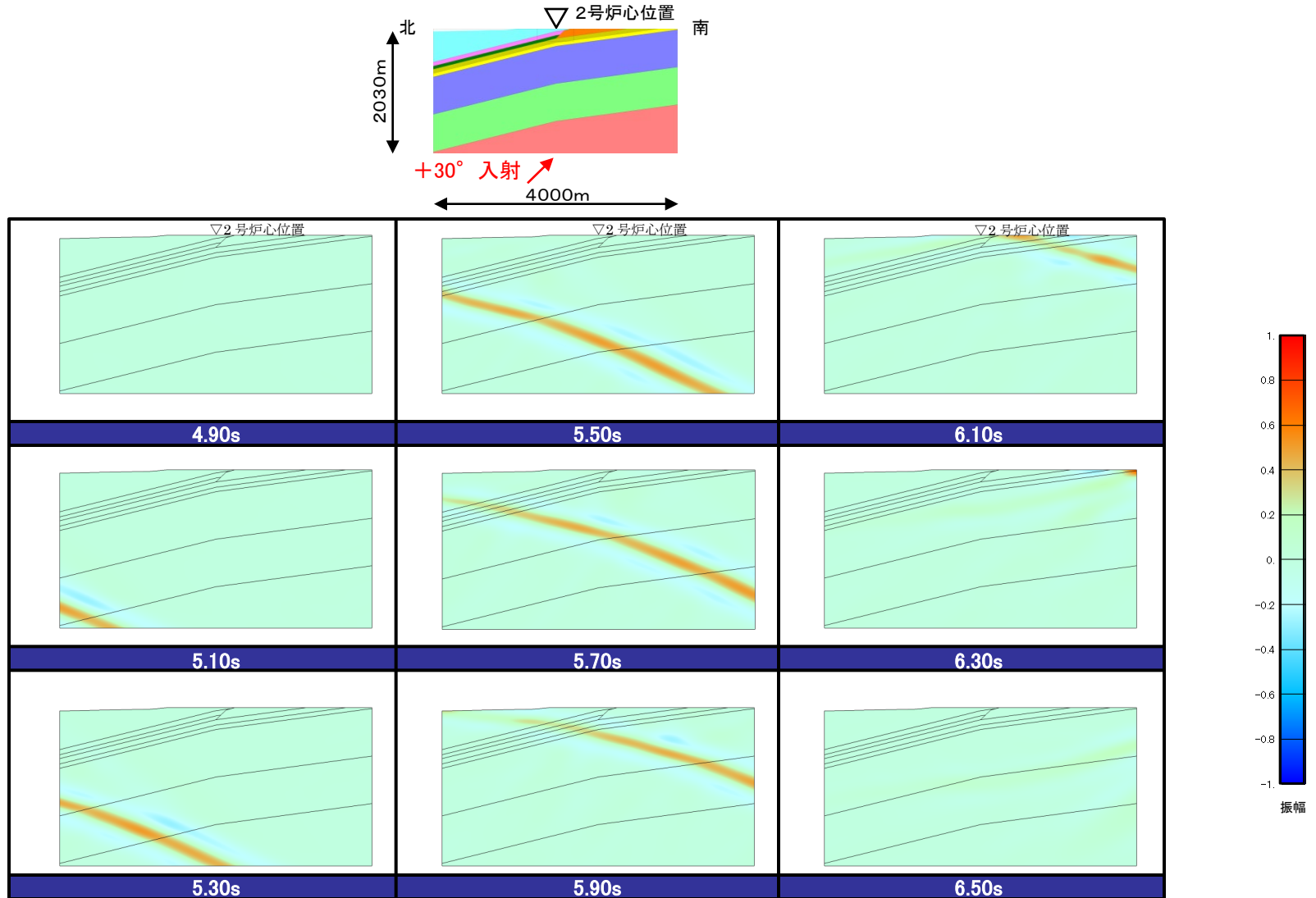
■ ドレライトを考慮した2号広域モデルに地震波を鉛直(0°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない



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(ドレイフト考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

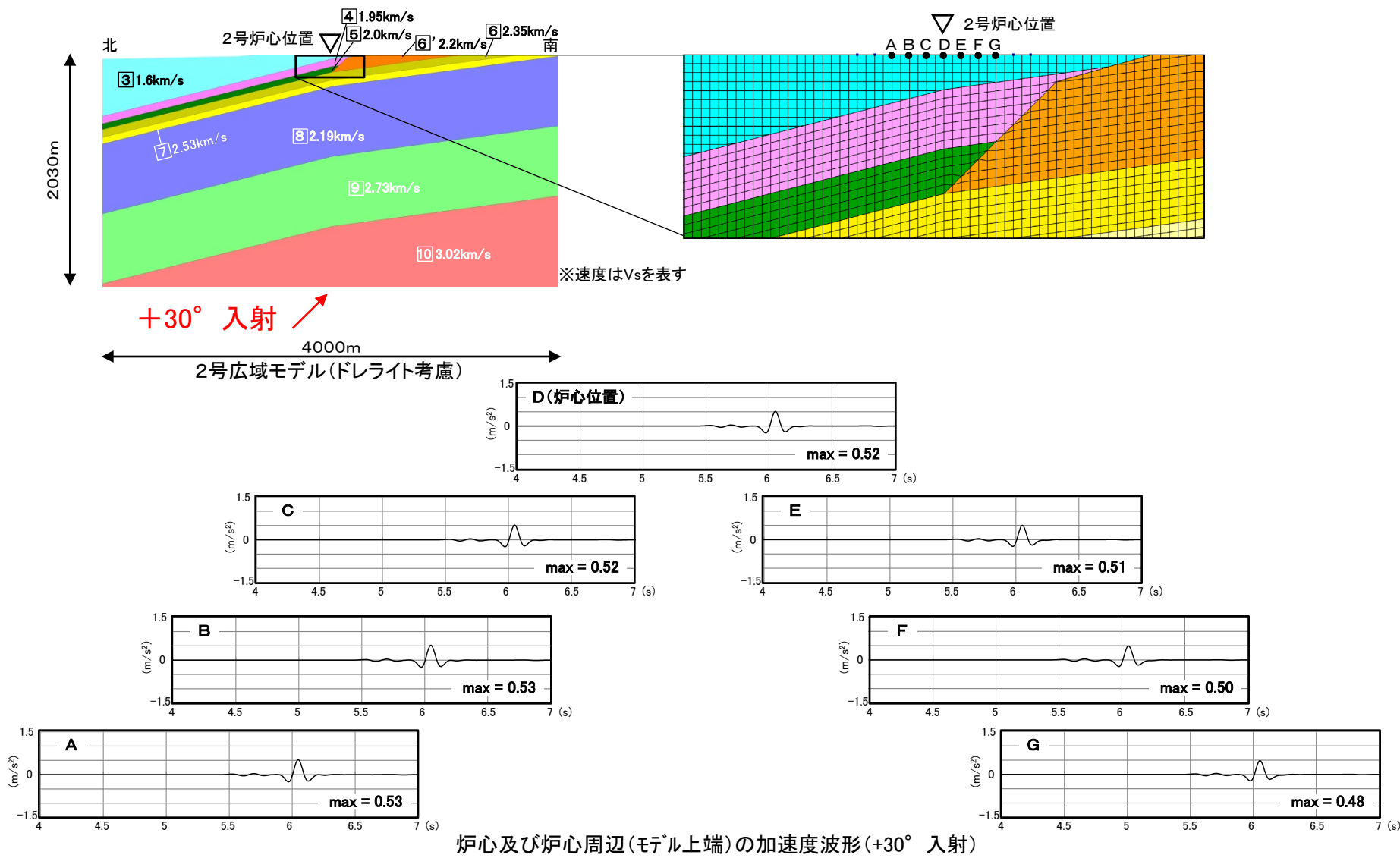
■ ドレイフトを考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(+30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(+30° 入射)

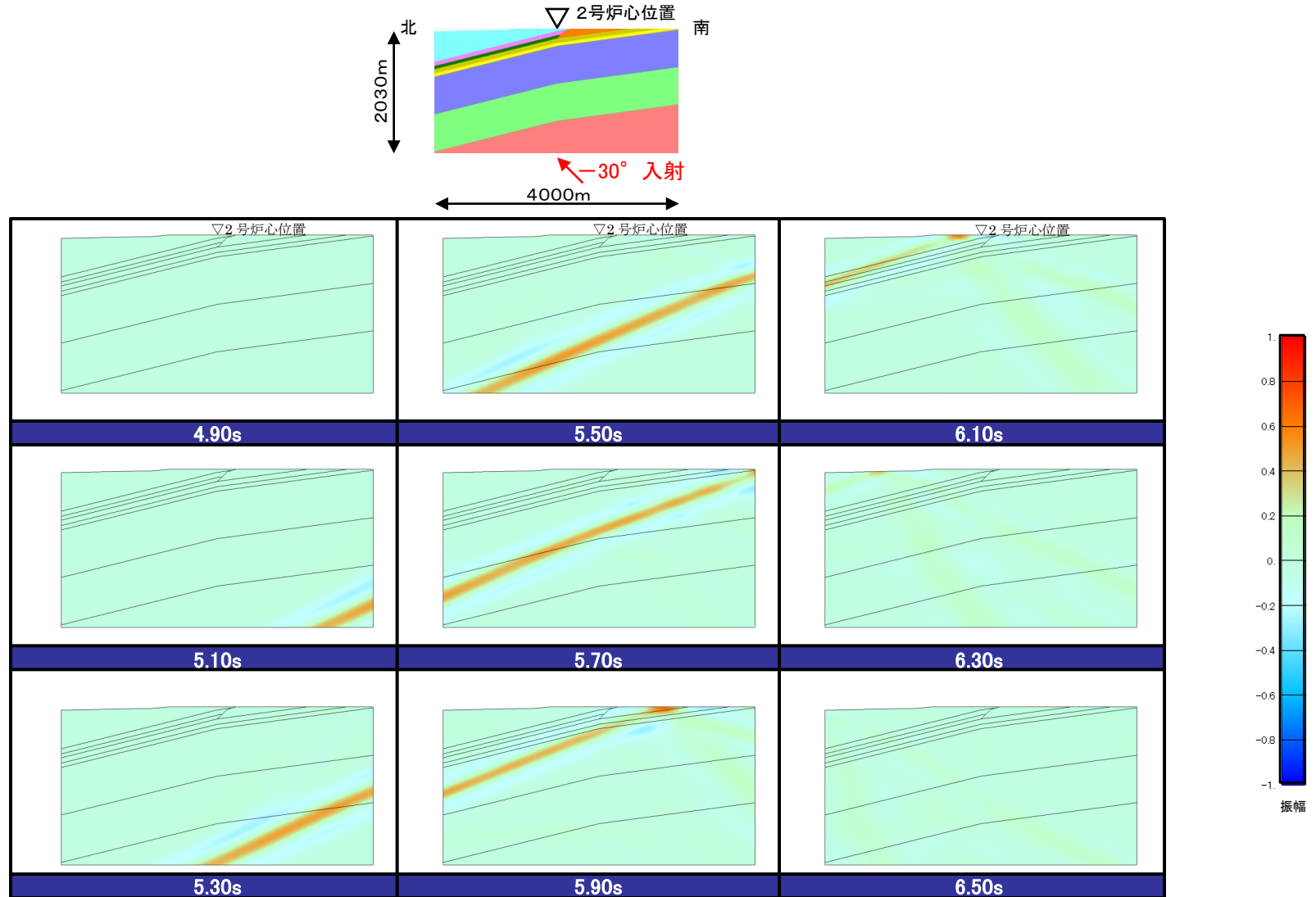
2号広域モデルの検討(ドレライト考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ 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)

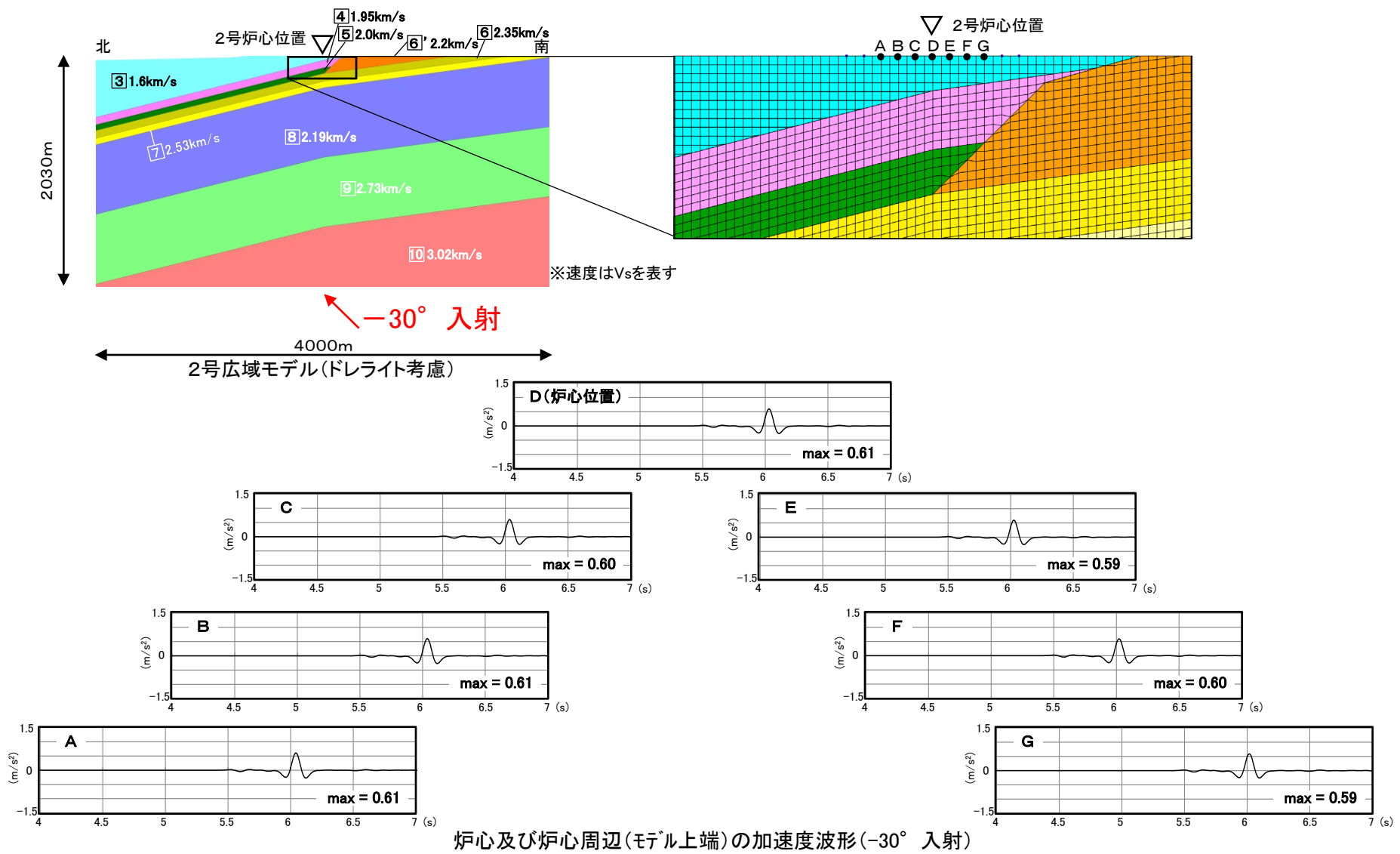
■ ドレライトを考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(-30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(-30° 入射)

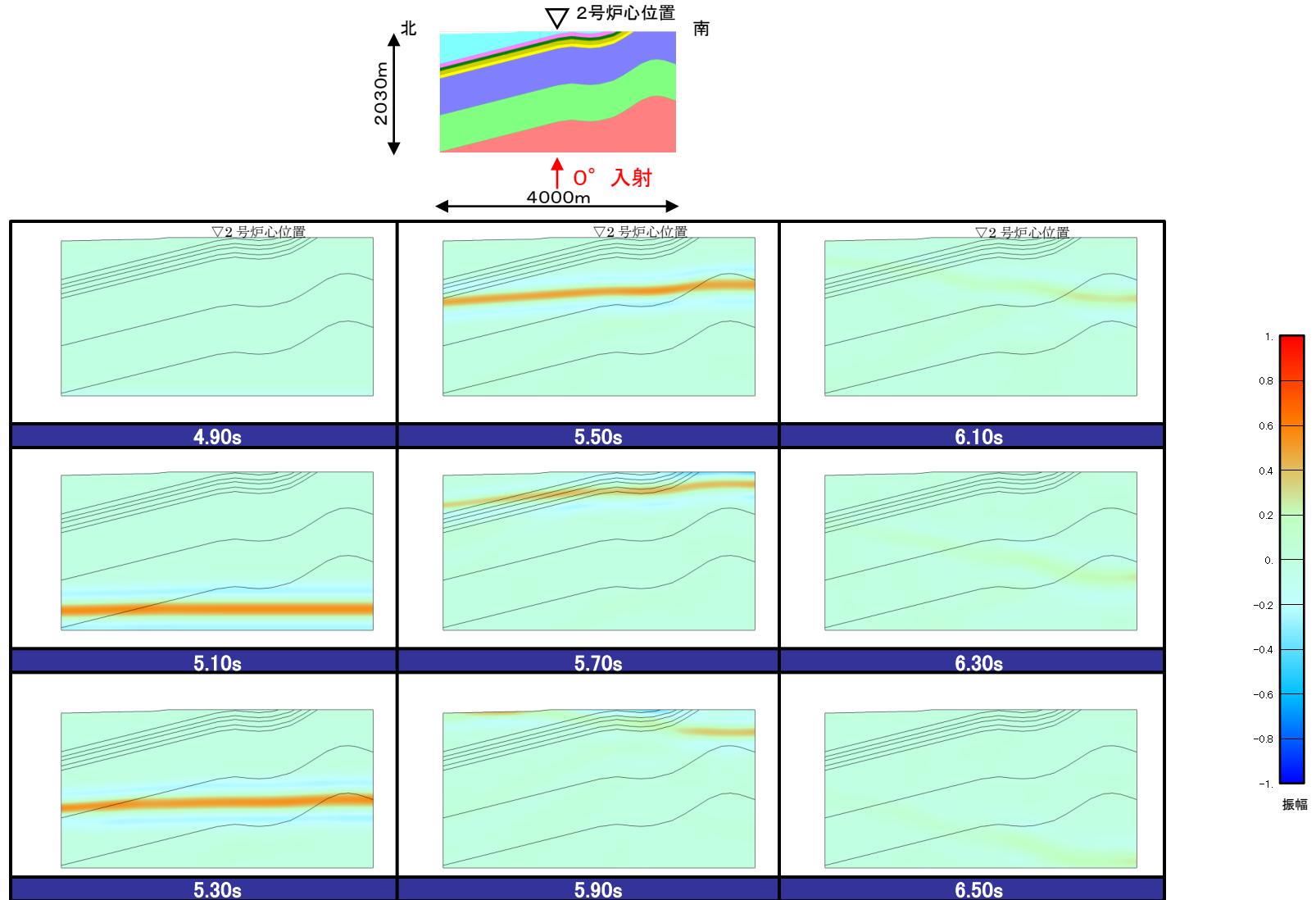
2号広域モデルの検討(ドレライト考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ 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)

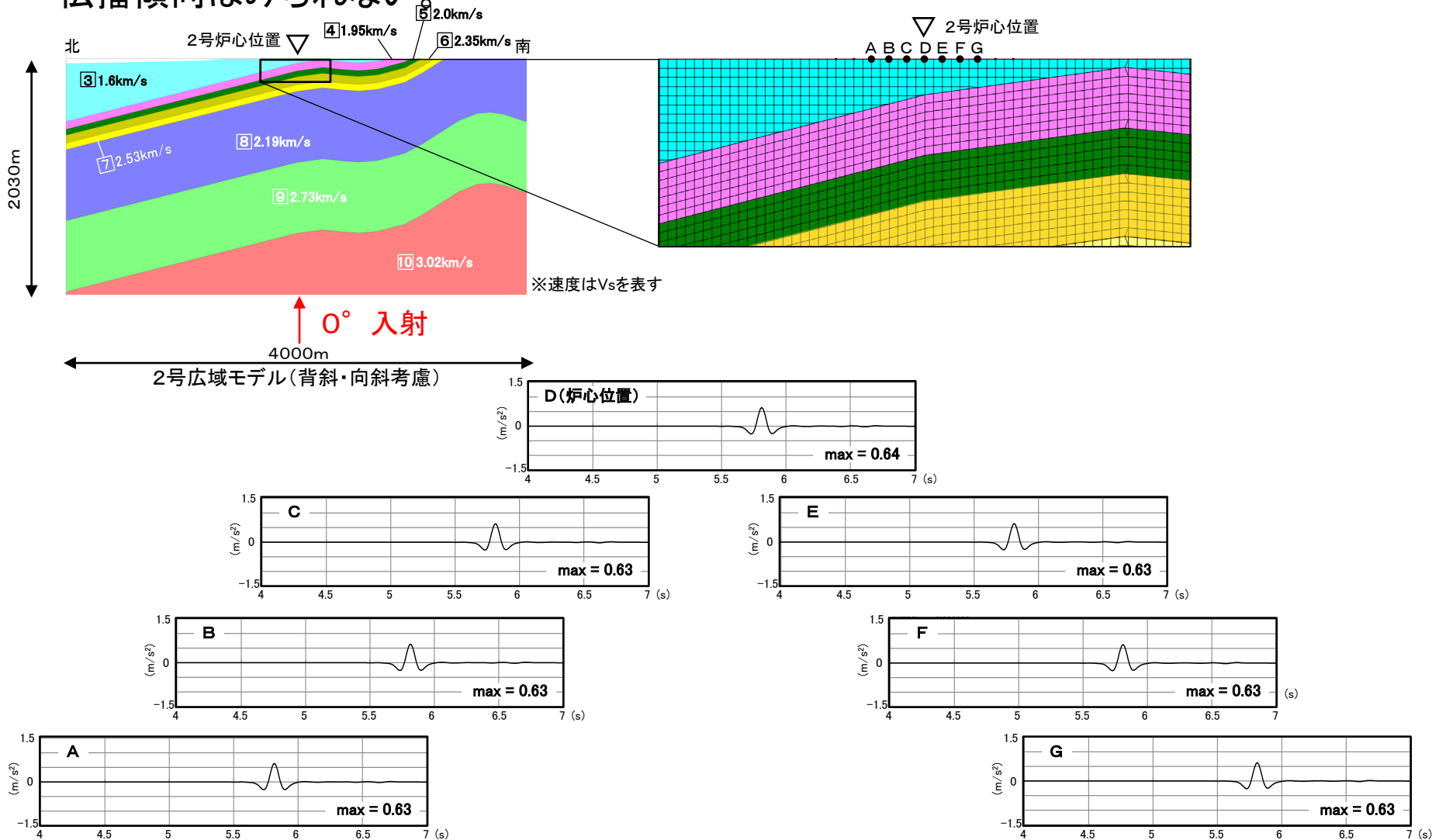
- 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を鉛直(0°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(0° 入射)

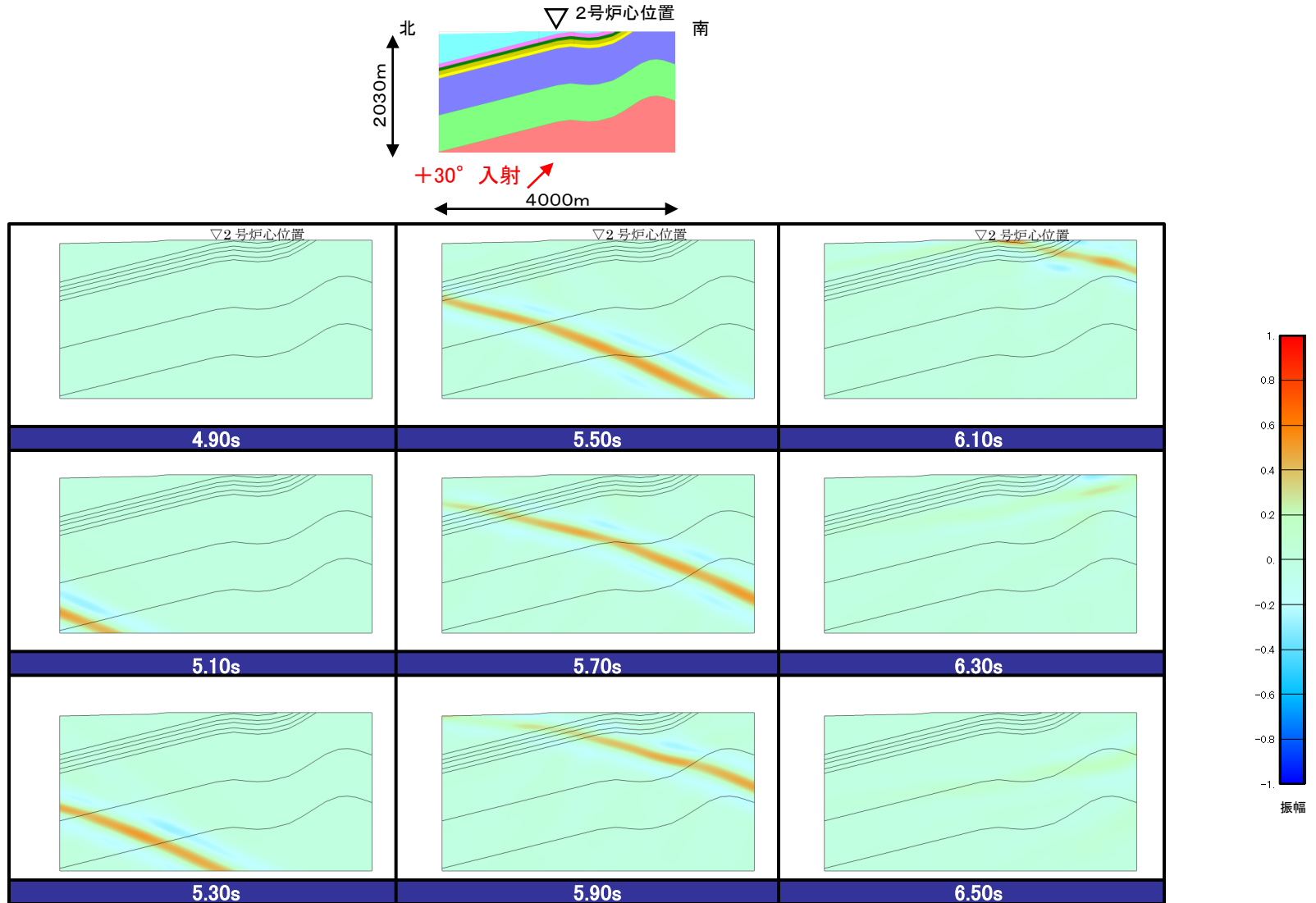
2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ 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



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)

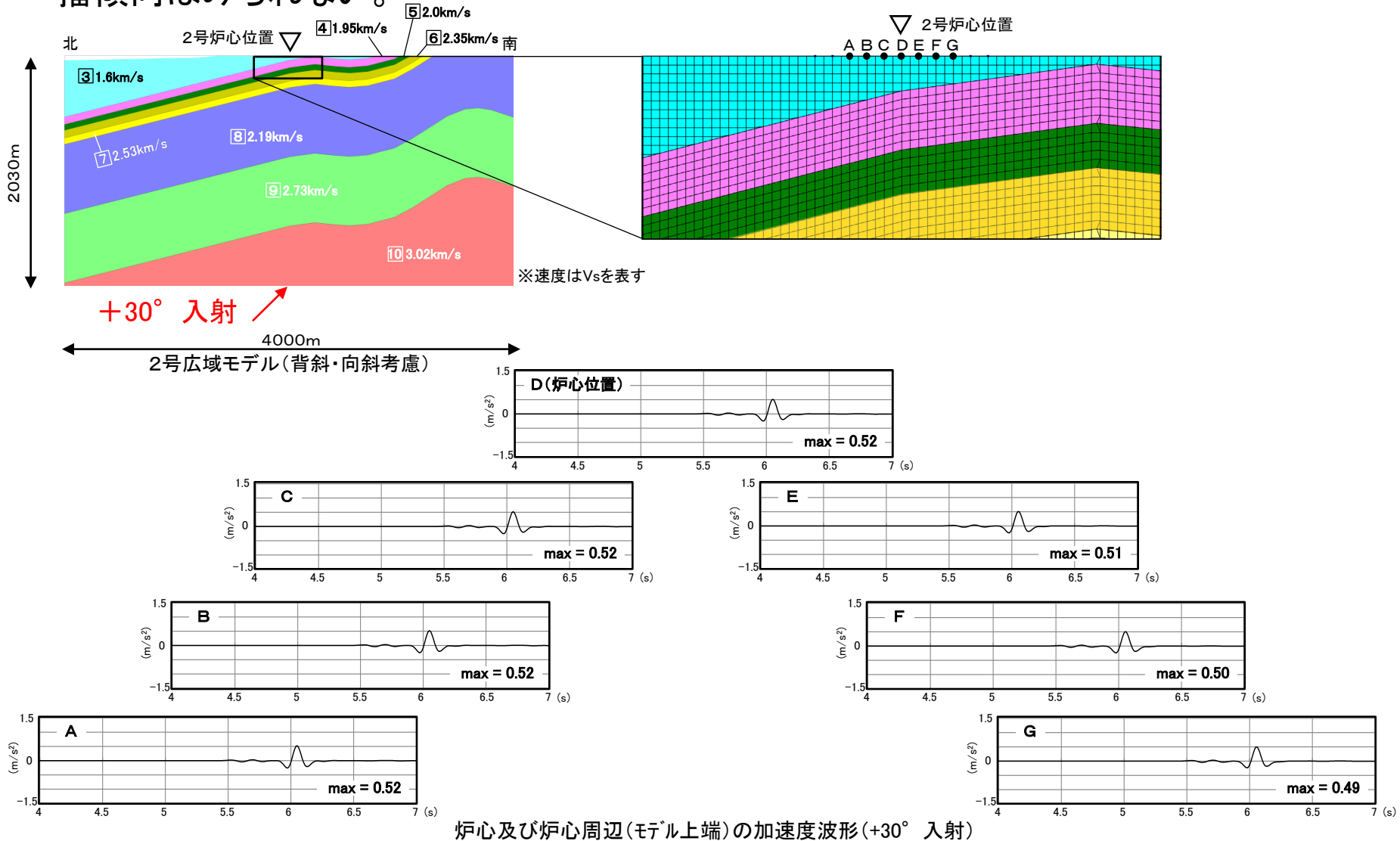
- 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(+30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(+30° 入射)

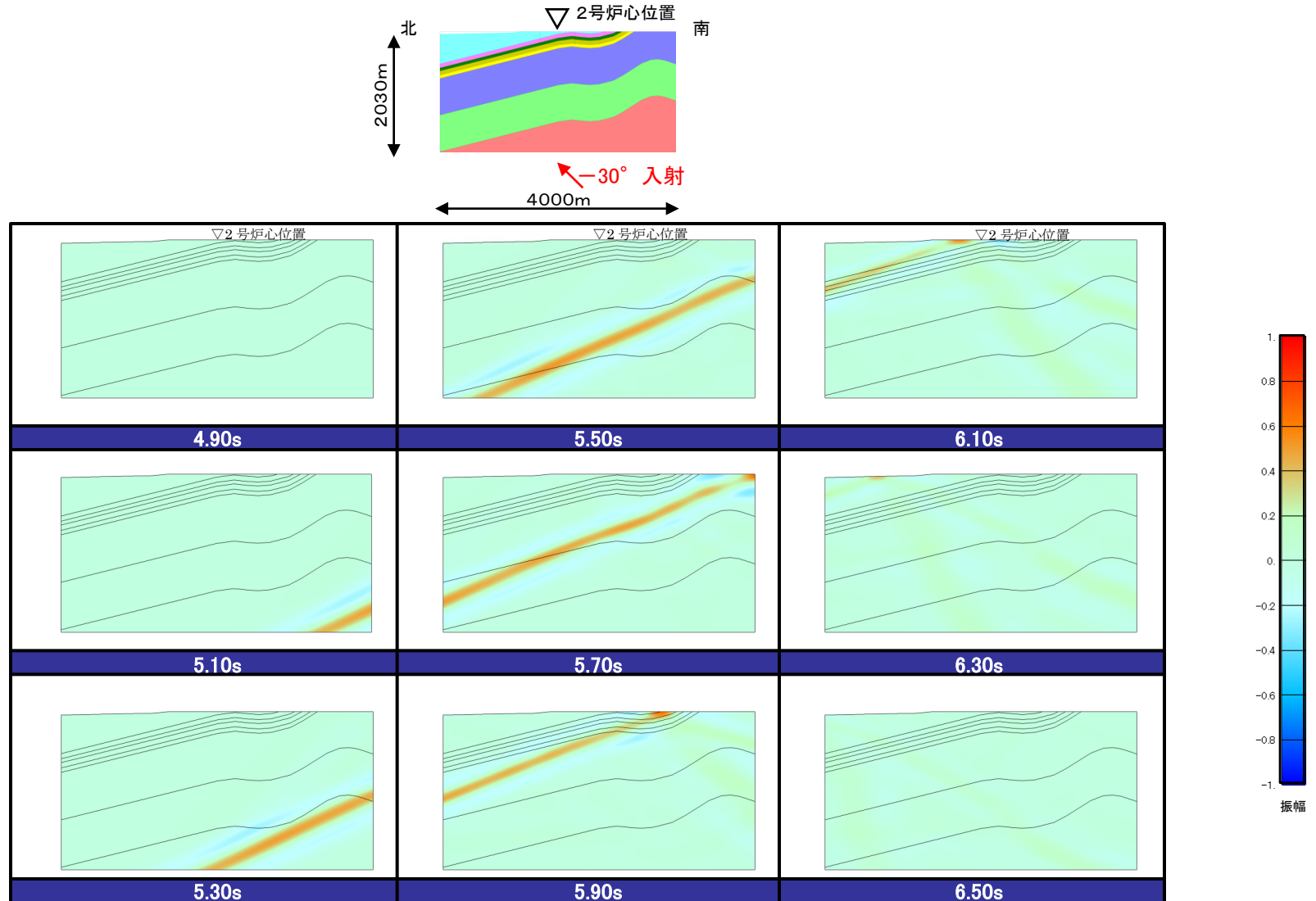
2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ 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)

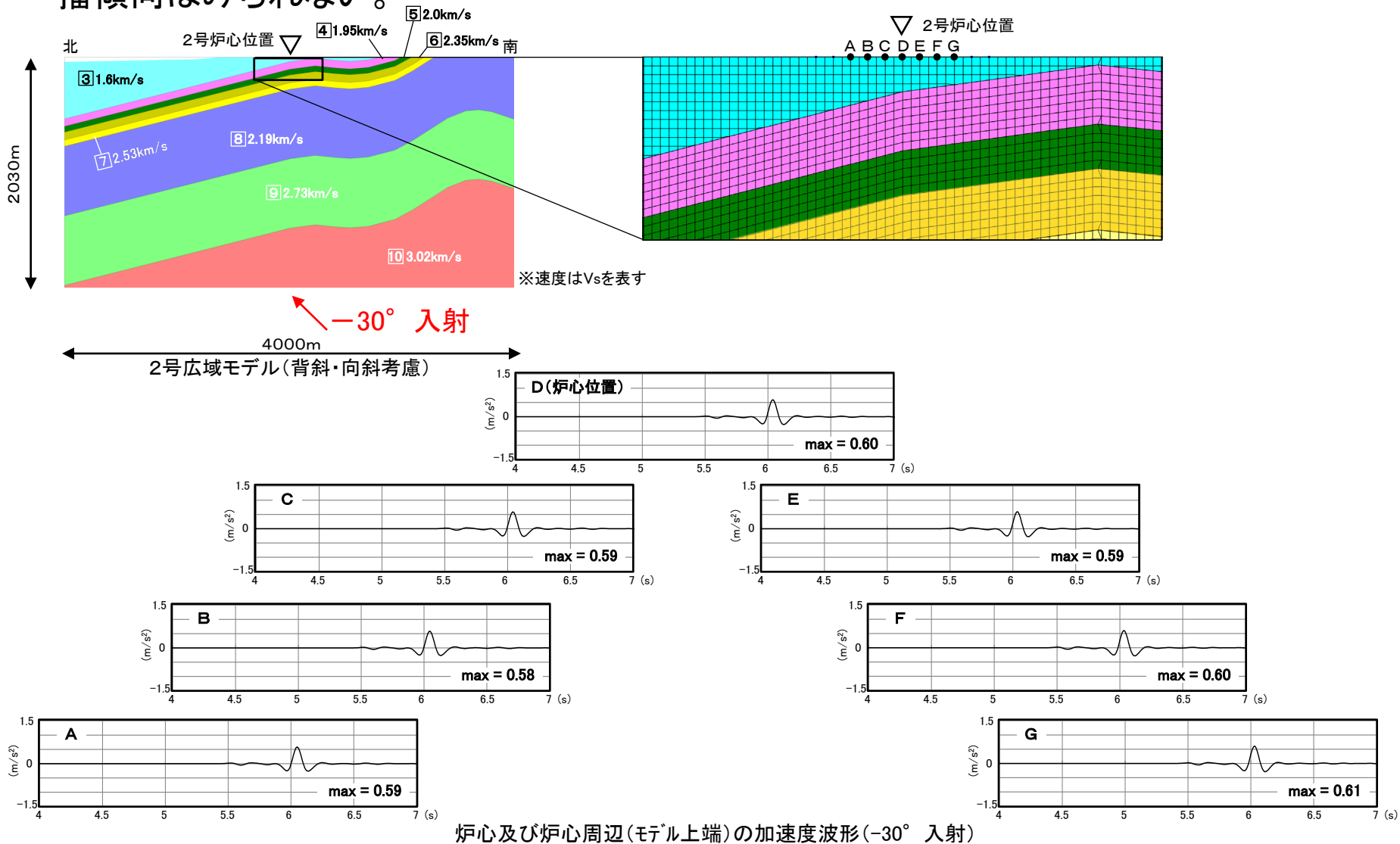
- 背斜・向斜構造を考慮した2号広域モデルに地震波を斜め(-30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(-30° 入射)

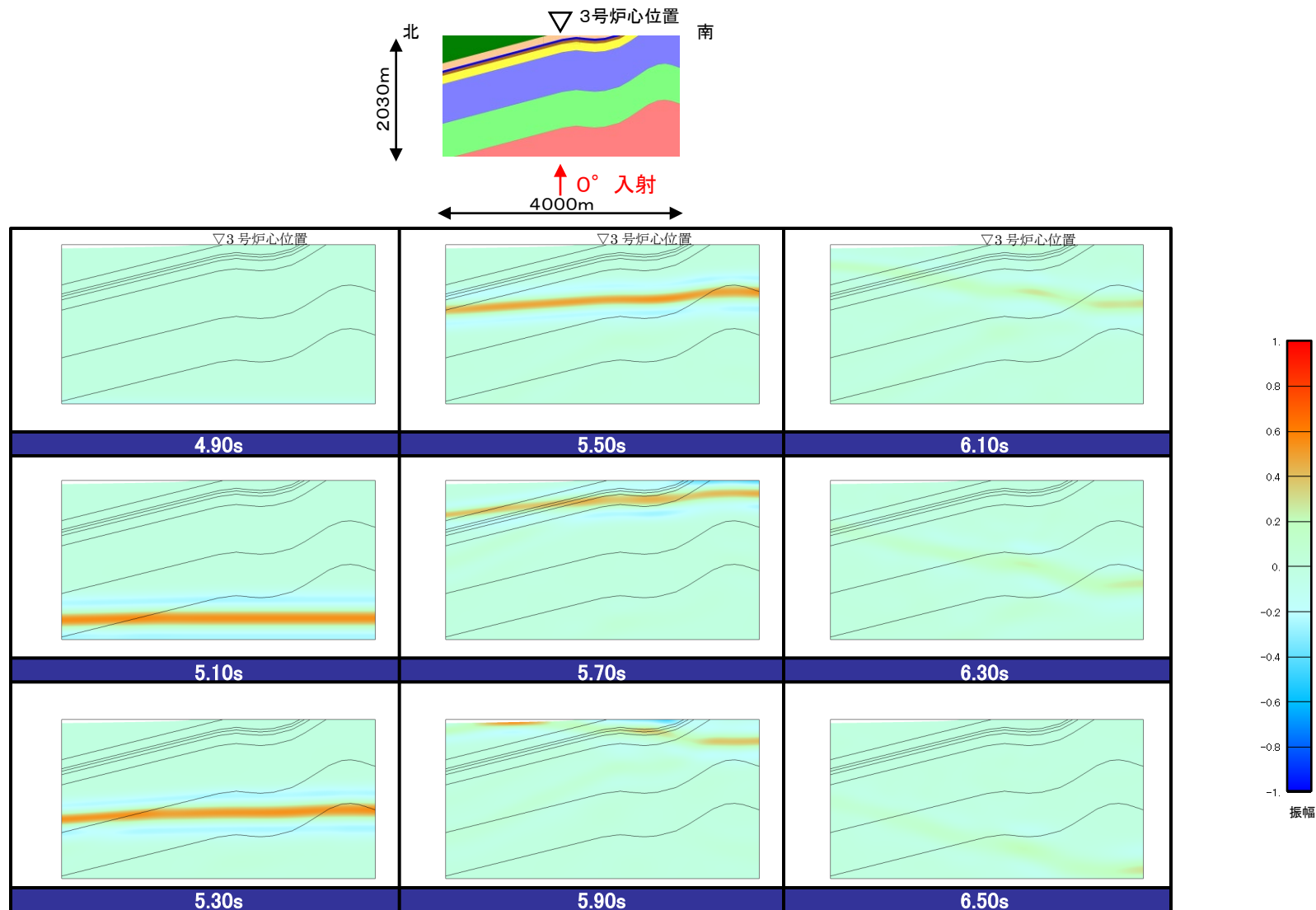
2号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ 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。



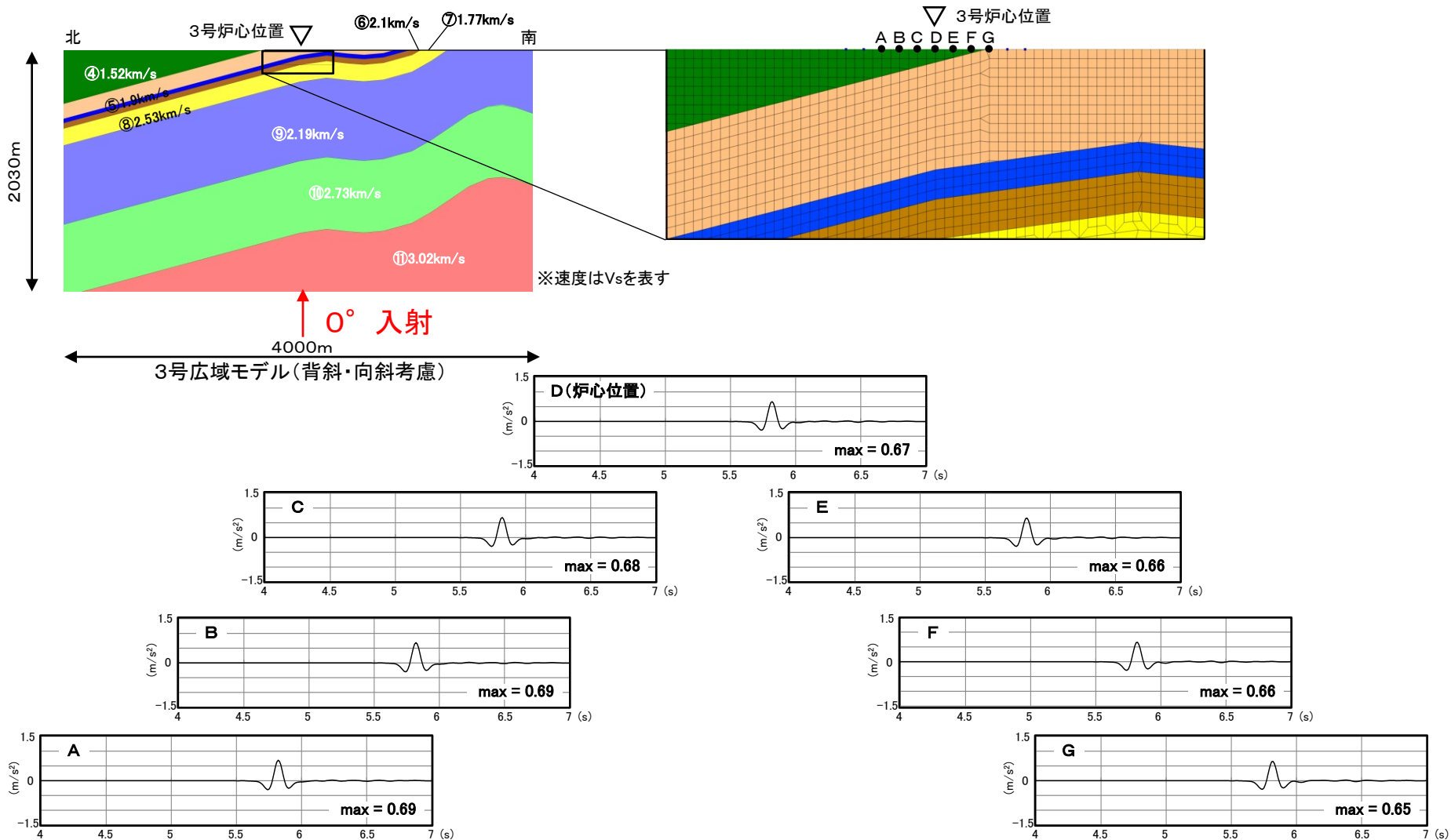
3号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

- 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)

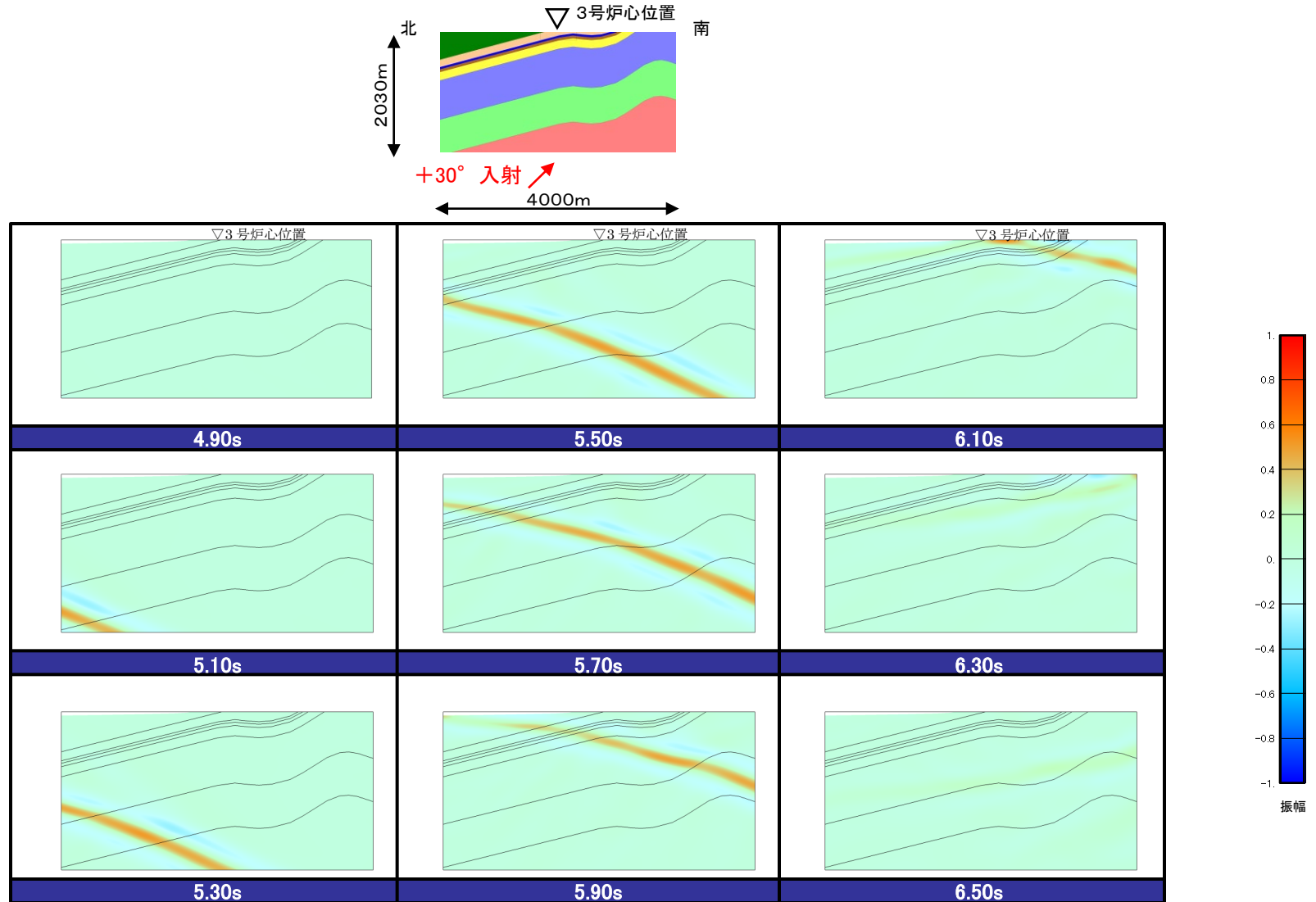
■ 背斜・向斜構造を考慮した3号広域モデルに地震波を鉛直(0°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



炉心及び炉心周辺(モデル上端)の加速度波形(0° 入射)

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)

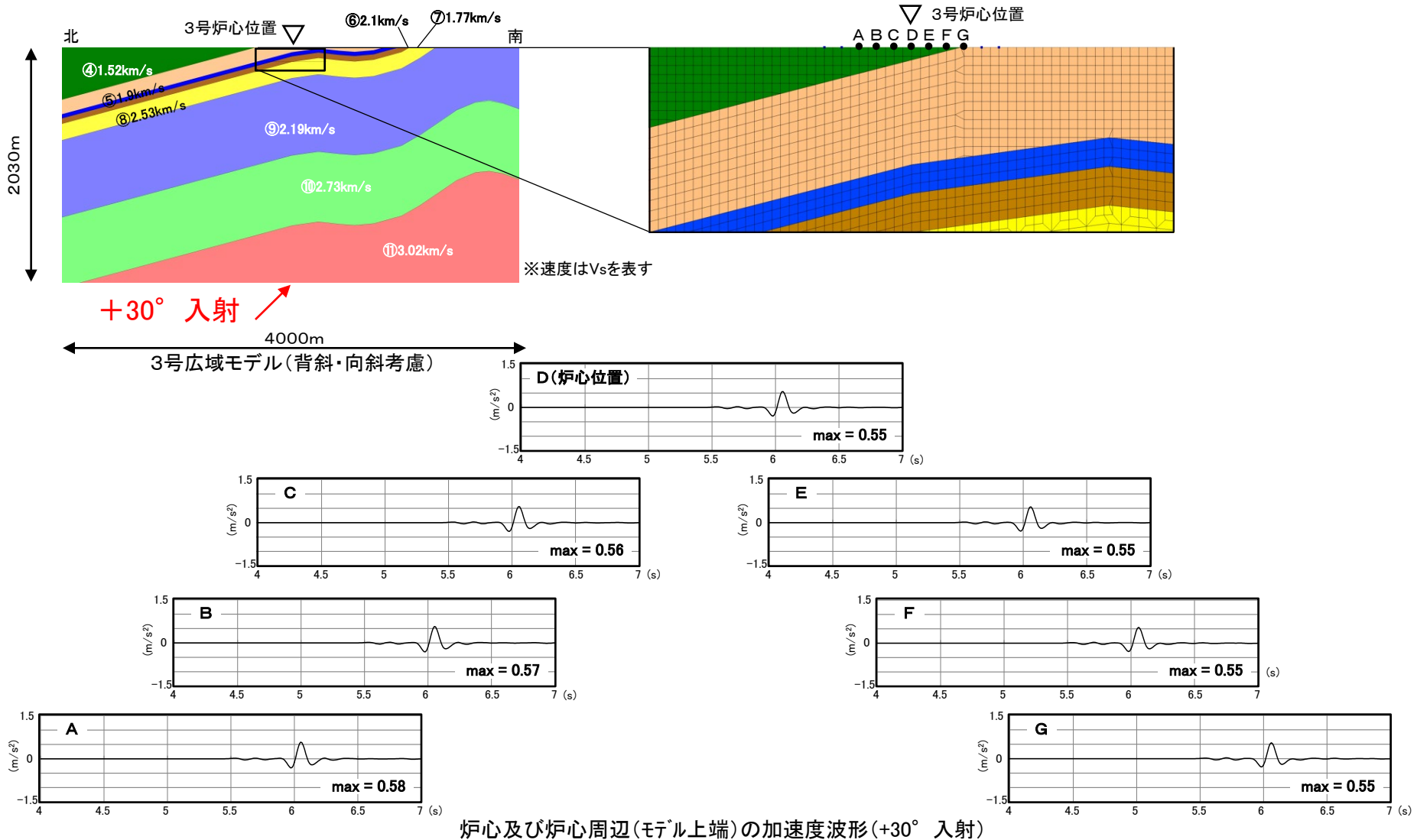
- 背斜・向斜構造を考慮した3号広域モデルに地震波を斜め(+30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



Ricker波による検討結果(+30° 入射)

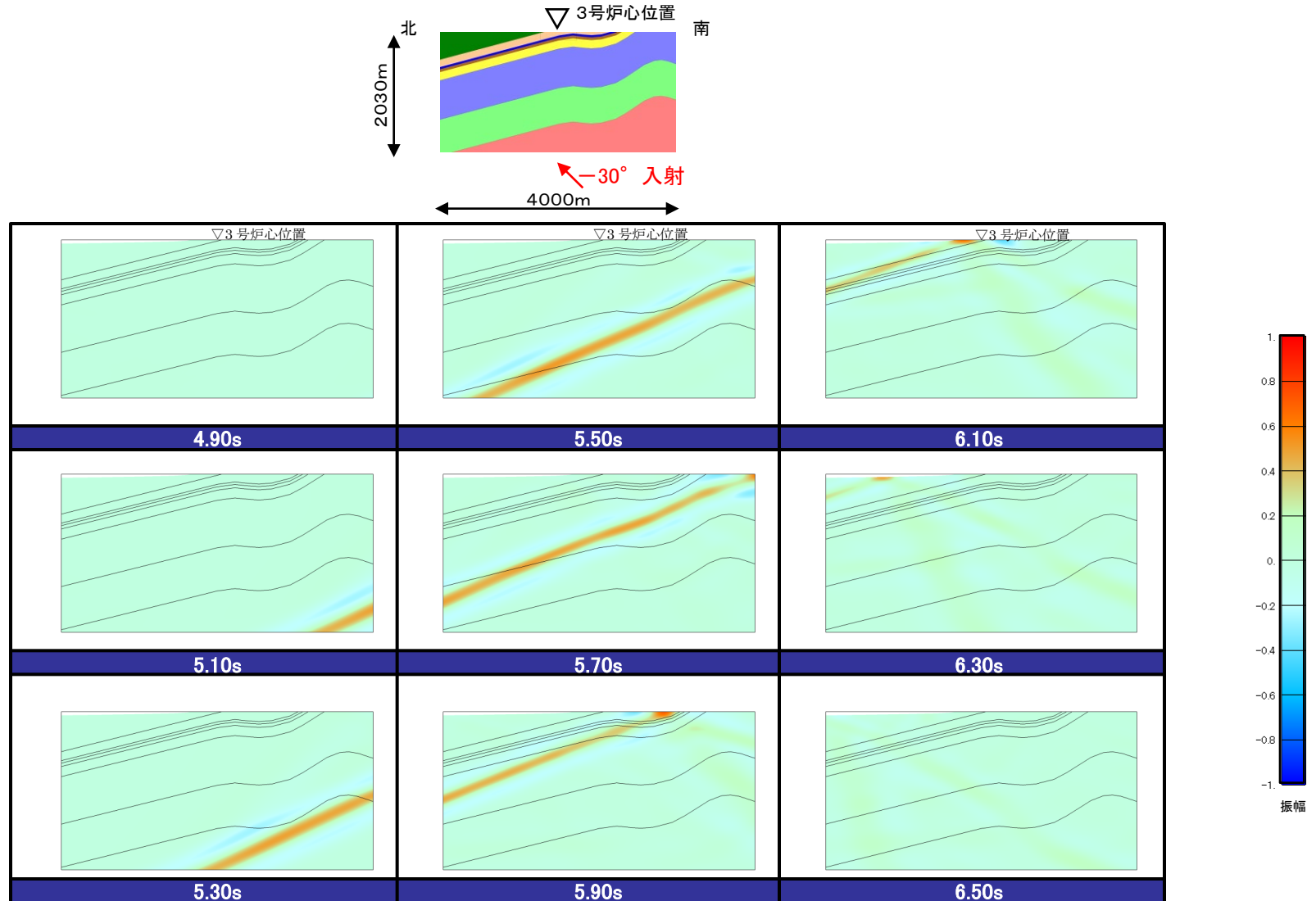
3号広域モデルの検討(背斜・向斜考慮:入射角の違いによるRicker波の検討)

■ 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)

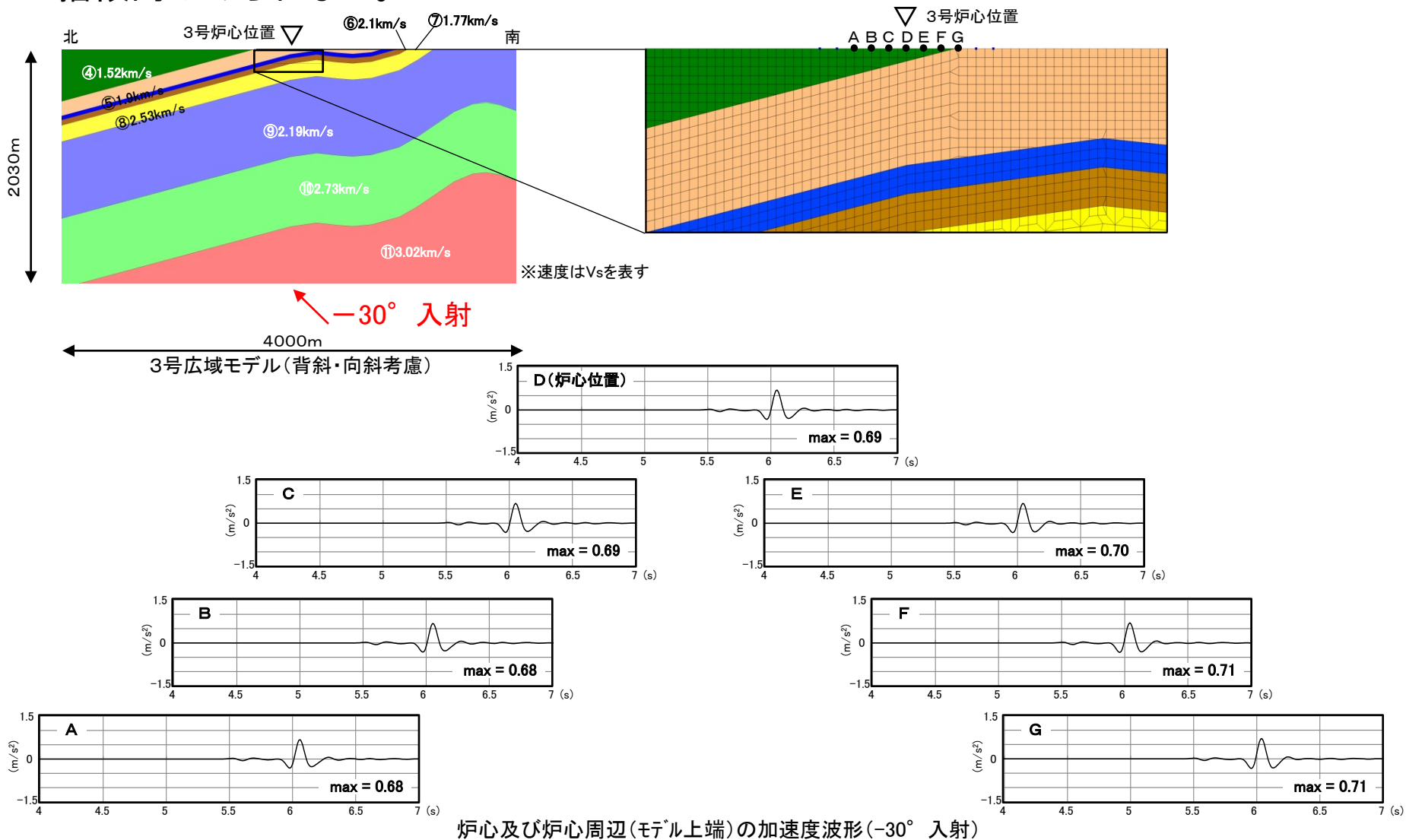
- 背斜・向斜構造を考慮した3号広域モデルに地震波を斜め(-30°)に入射した検討結果(スナップショット)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



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)

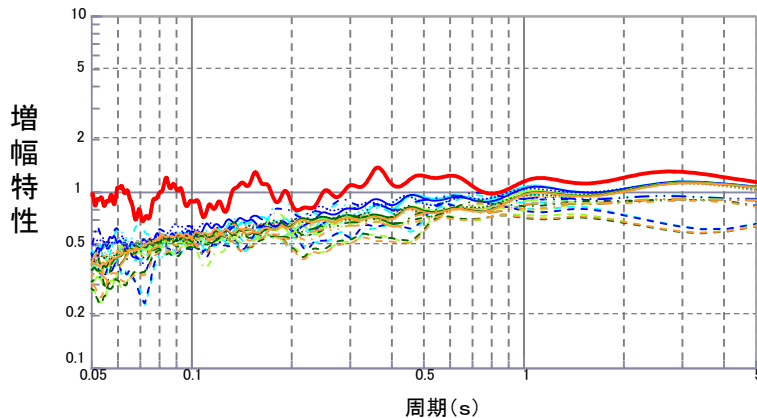
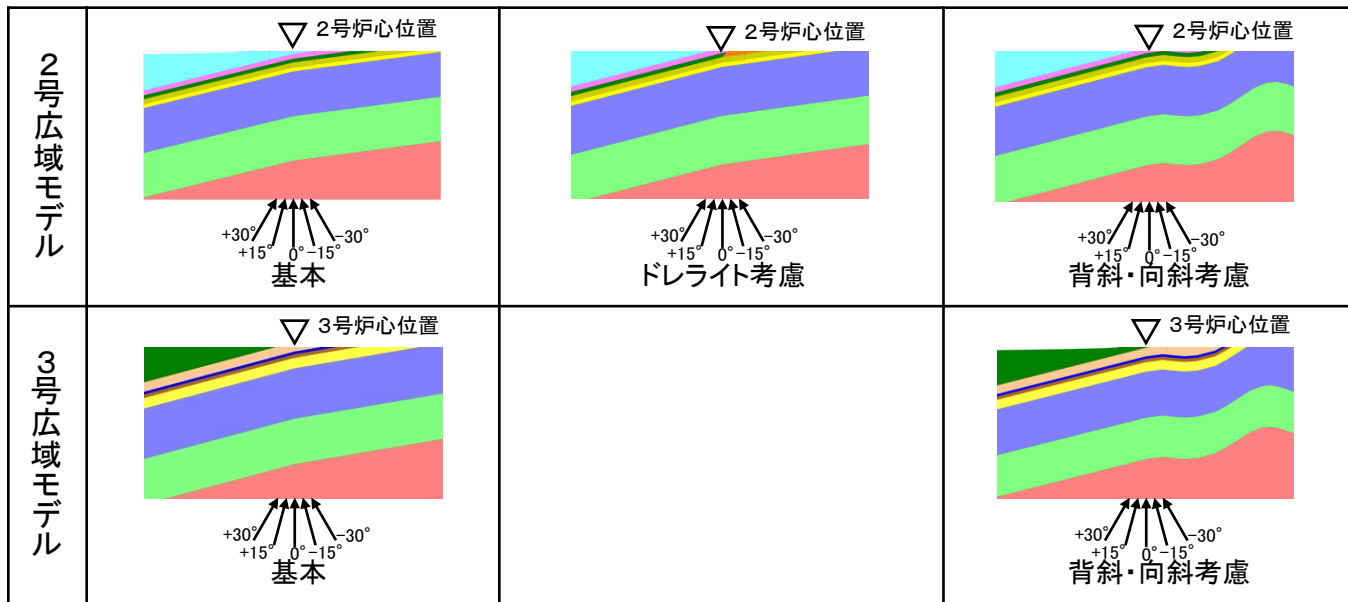
■ 背斜・向斜構造を考慮した3号広域モデルに地震波を斜め(-30°)に入射した検討結果(炉心及び炉心から約20m, 40m, 60mの加速度波形)によると, 傾斜構造による特異な伝播傾向はみられない。



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。



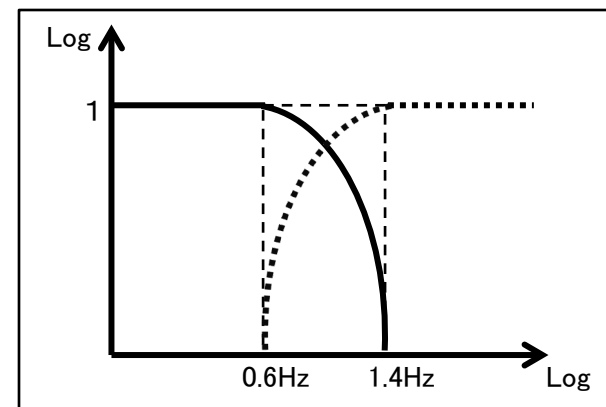
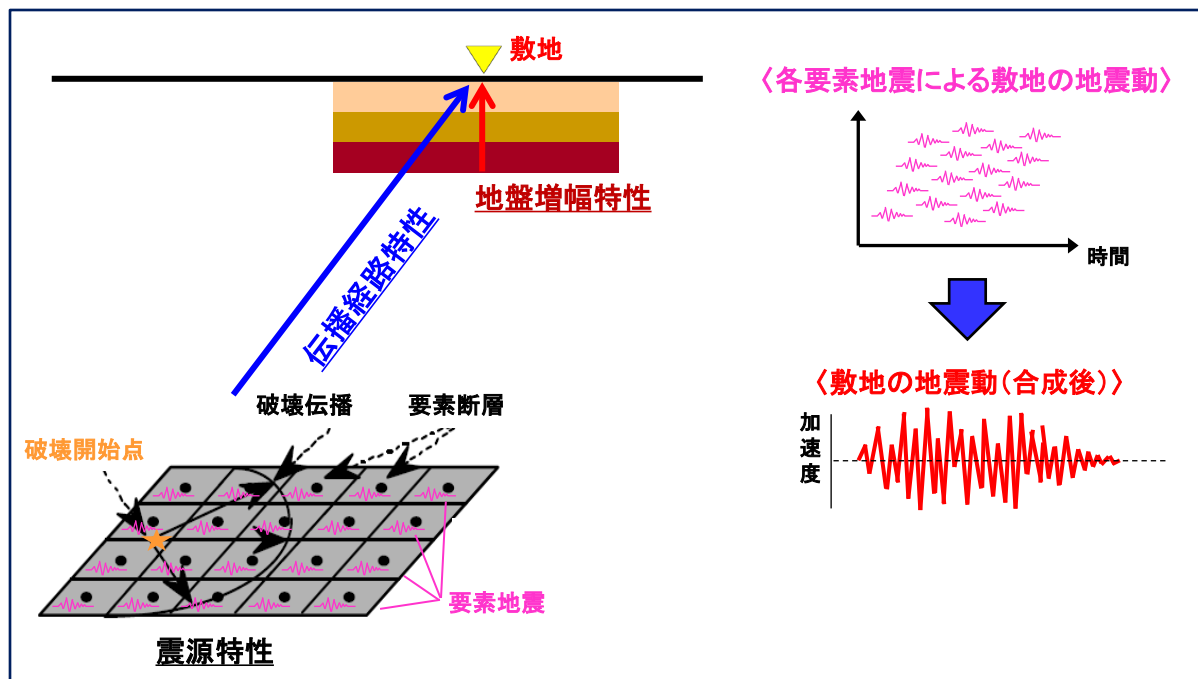
- 地震動評価に用いる地下構造モデル
- 広域モデル(2号及び3号炉心位置)
- 2号基本【鉛直入射】
- 2号基本【+30° 入射】
- 2号基本【+15° 入射】
- 2号基本【-15° 入射】
- 2号基本【-30° 入射】
- 2号ドレライト考慮【鉛直入射】
- 2号ドレライト考慮【+30° 入射】
- 2号ドレライト考慮【+15° 入射】
- 2号ドレライト考慮【-15° 入射】
- 2号ドレライト考慮【-30° 入射】
- 2号背斜・向斜考慮【鉛直入射】
- 2号背斜・向斜考慮【+30° 入射】
- 2号背斜・向斜考慮【+15° 入射】
- 2号背斜・向斜考慮【-15° 入射】
- 2号背斜・向斜考慮【-30° 入射】
- 3号基本【鉛直入射】
- 3号基本【+30° 入射】
- 3号基本【+15° 入射】
- 3号基本【-15° 入射】
- 3号基本【-30° 入射】
- 3号背斜・向斜考慮【鉛直入射】
- 3号背斜・向斜考慮【+30° 入射】
- 3号背斜・向斜考慮【+15° 入射】
- 3号背斜・向斜考慮【-15° 入射】
- 3号背斜・向斜考慮【-30° 入射】

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

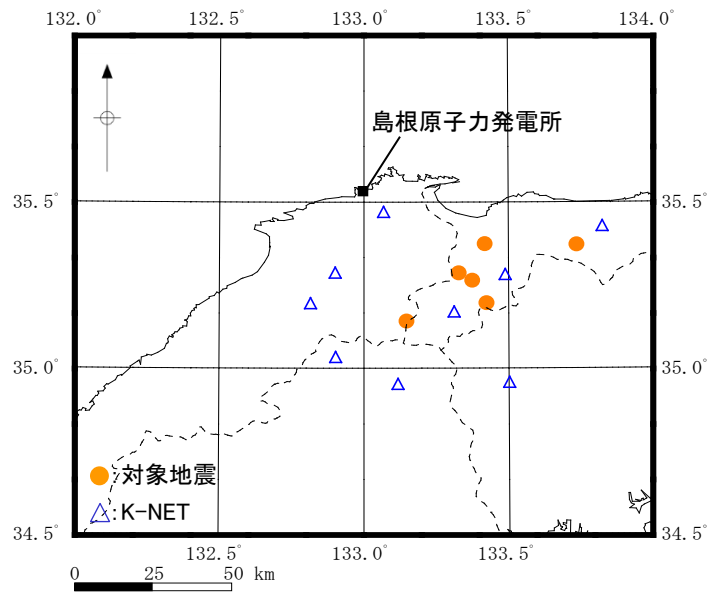
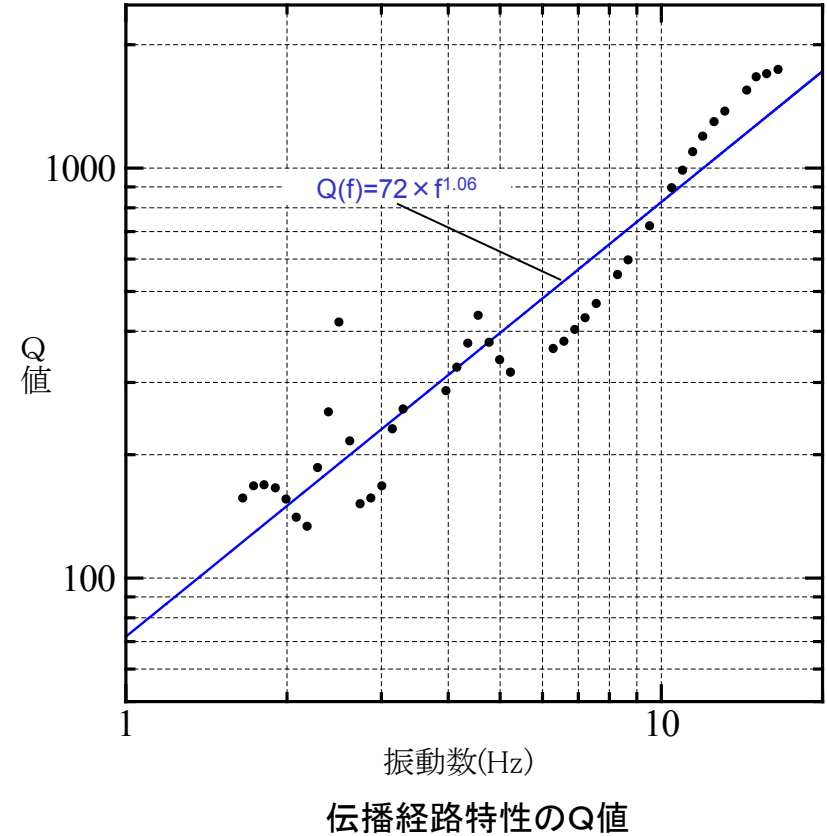
断層モデルを用いた手法による地震動評価の概念図

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

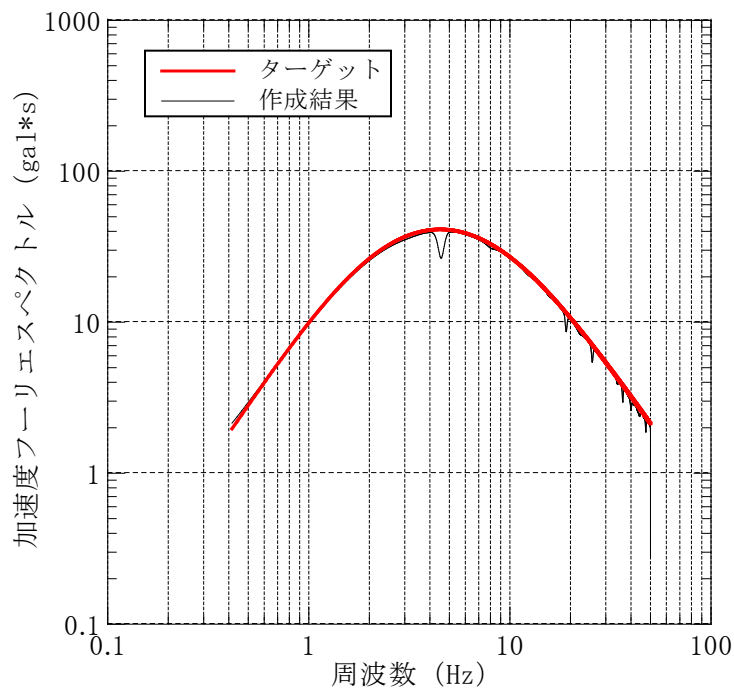
地震番号	発震年月日・時刻					地名	震央位置				深さ(km)	M
							北緯		東経			
	年	月	日	時	分		度	分	度	分		
1	1997	9	4	5	15	鳥取県西部	35	15.72	133	22.60	9	5.5
2	2000	7	17	8	0	鳥取県西部	35	22.33	133	25.27	16	4.4
3	2000	10	8	13	17	鳥取県西部	35	8.36	133	9.01	7	5.6
4	2000	10	17	22	16	鳥取県西部	35	11.63	133	25.57	11	4.5
5	2002	3	6	7	12	鳥取県西部	35	17.03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



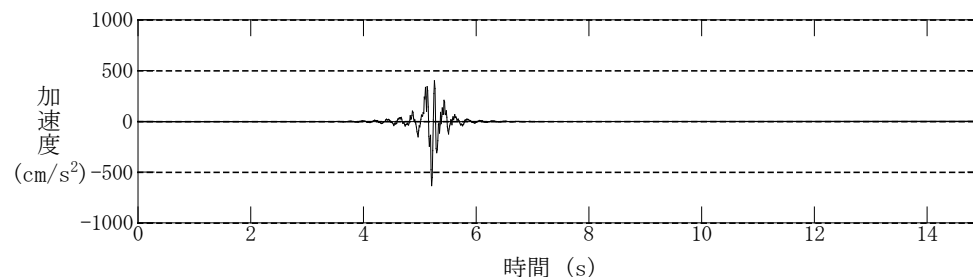
対象地震及び地震観測点の位置

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

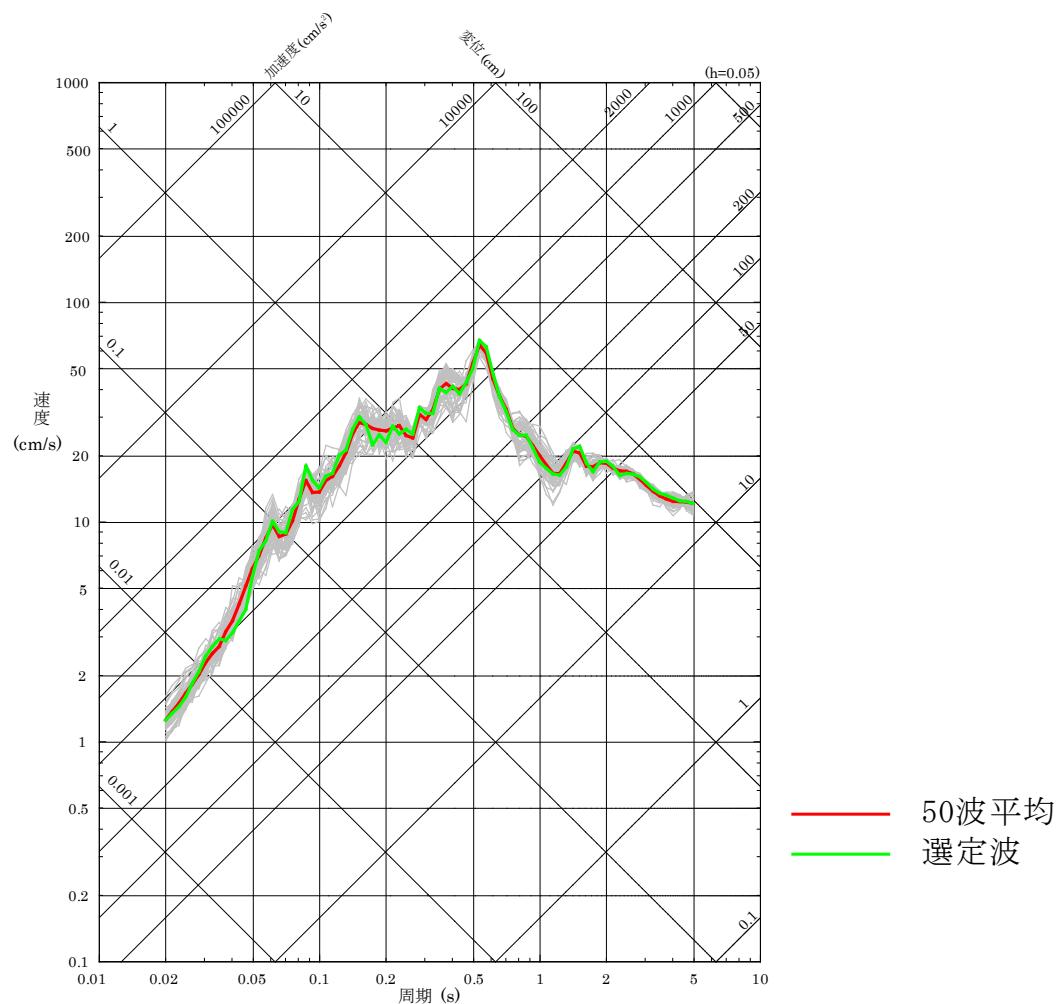
地震モーメント M_0	$4.7 \times 10^{15} \text{N} \cdot \text{m}$
応力降下量 $\Delta \sigma_a$	12.4MPa
高周波限界遮断周波数 f_{max}	8.3Hz*
要素断層面積 S	1km ²
震源距離 R	1km

※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

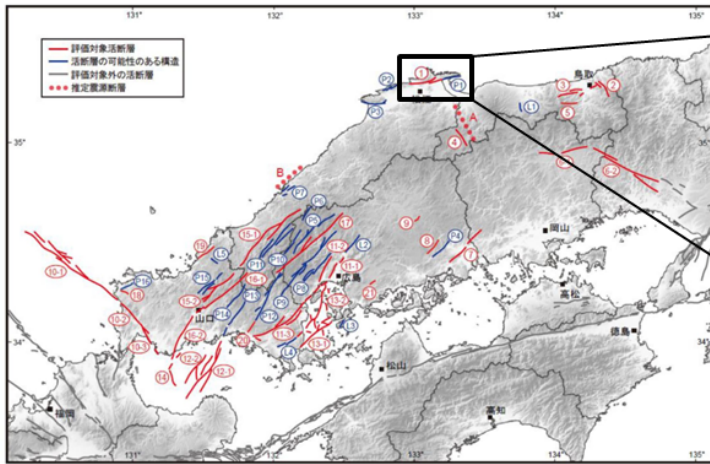
- 統計的グリーン関数法による地震動評価においては、要素地震の位相の乱数を変えて50通りの波形合成を行い、50波の平均値(減衰定数5%の擬似速度応答スペクトル)との残差が最小となるものを選定波とする。例として、宍道断層による地震の選定波を以下に示す。



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>



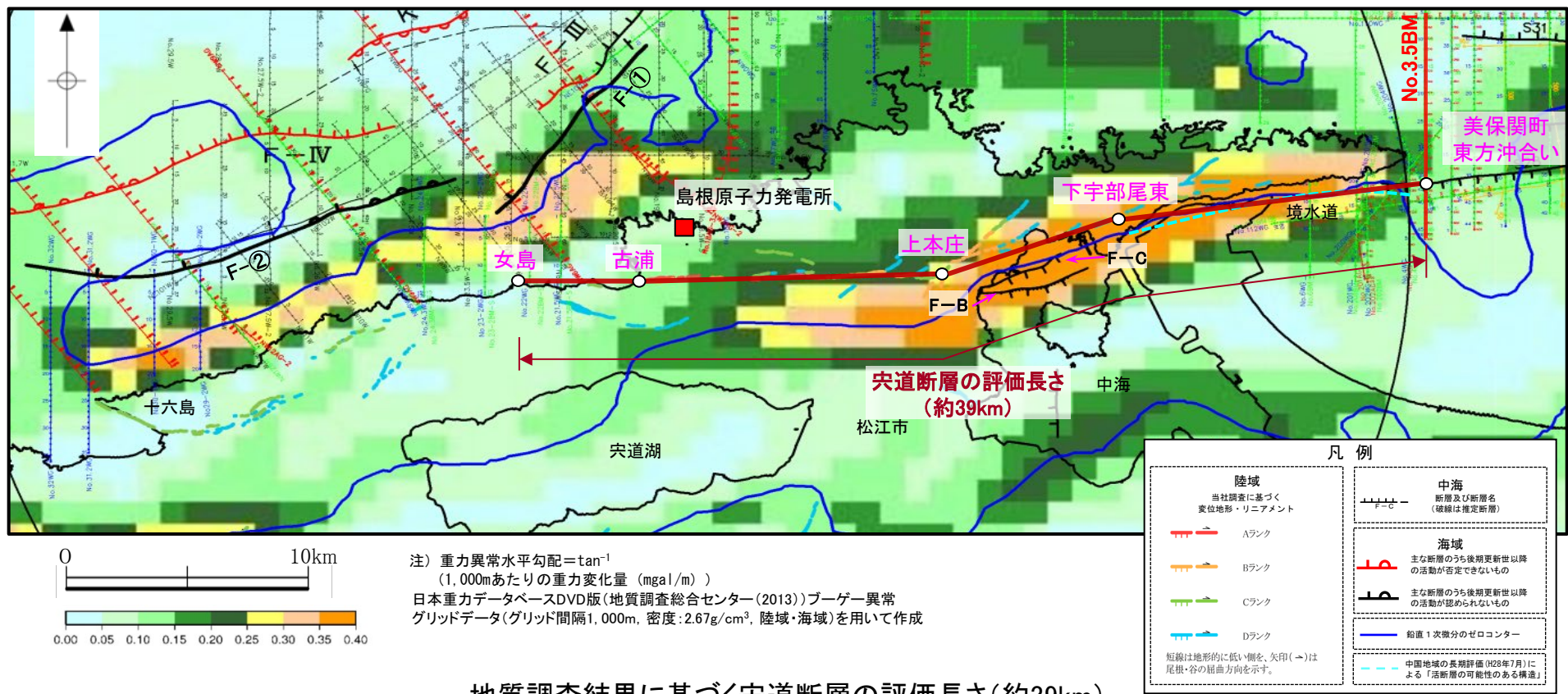
宍道(鹿島)断層 活断層の可能性のある構造 (P1)

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 再掲



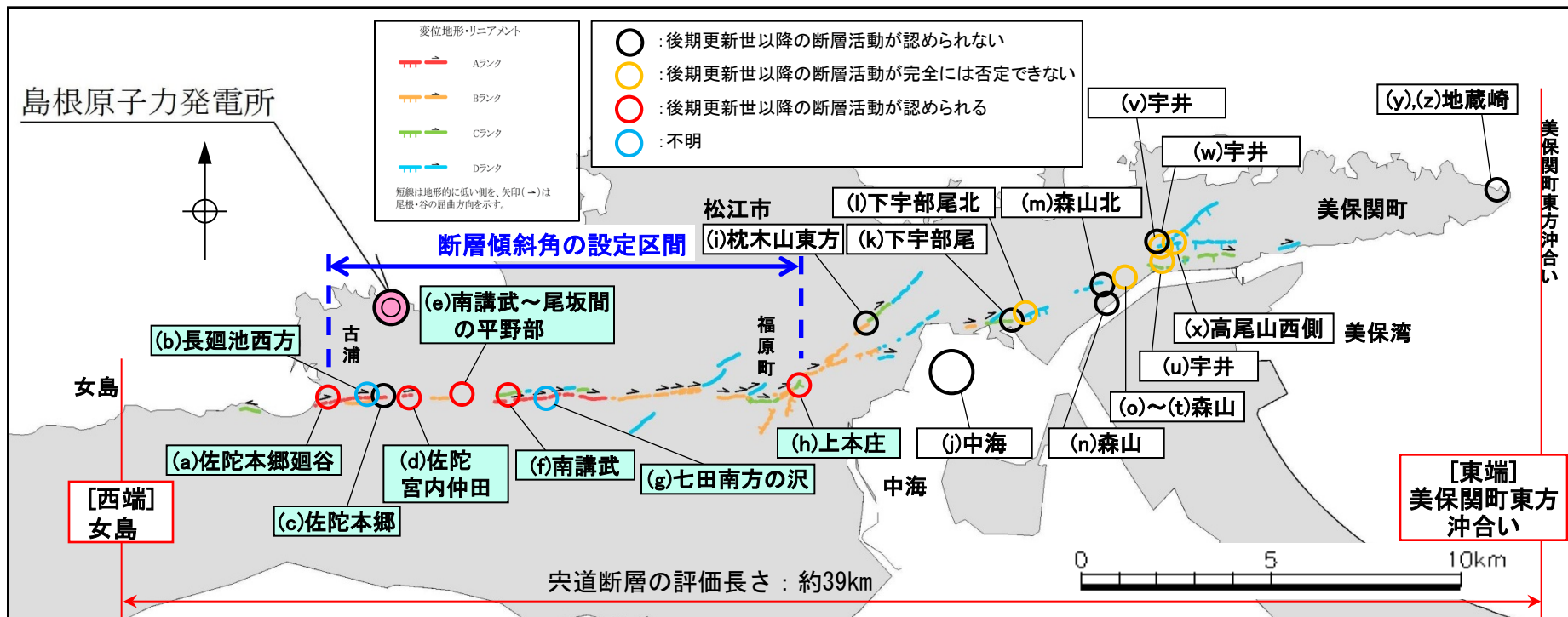
地質調査結果に基づく宍道断層の評価長さ(約39km)

- 評価長さ**
- 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.3.5BM)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。

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)によると, 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)によると, 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位置

断層パラメータの設定根拠(断層傾斜角) 2/3

突道断層における地質調査結果(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

突道断層の評価長さ：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

突道断層の評価長さ：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

宍道断層における地質調査結果(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 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.T-1付近の採石場 (露頭観察)	たかおさん 高尾山西側 (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	Dランク	—	—	—
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

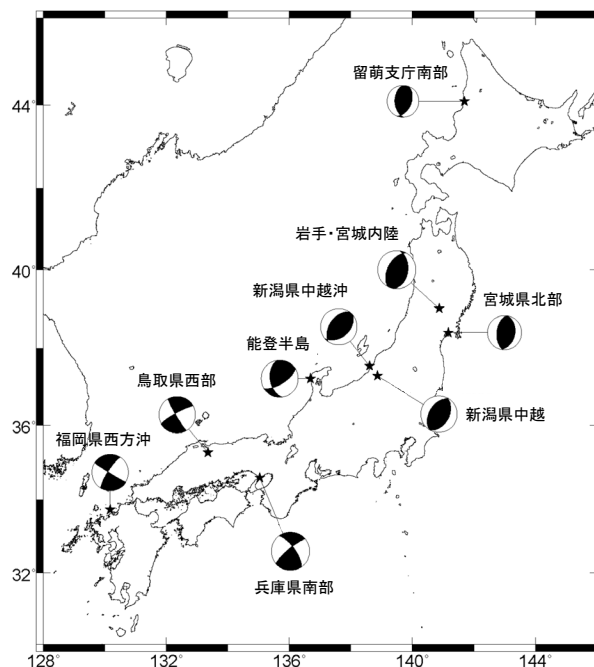
- 短周期レベルに関する知見をまとめると、以下のとおりである(詳細は62～71ページ)。
 - 新潟県中越沖地震(逆断層)は、短周期レベルが平均的なものより1.5倍程度大きかった。
 - 構造計画研究所(2010)及び(2011)、佐藤(2010)によると、横ずれ断層の地震は逆断層の地震に比べて短周期レベルが小さく、更に横ずれ断層の地震の中で中国地方の地震は他の地域の地震よりも短周期レベルが小さい傾向である。
 - 佐藤(2010)によると、経験的グリーン関数法による短周期レベルは、異なる研究者が異なる手法で推定しているものを用い、またその値は換算式で求めていることから、その精度としてはスペク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。



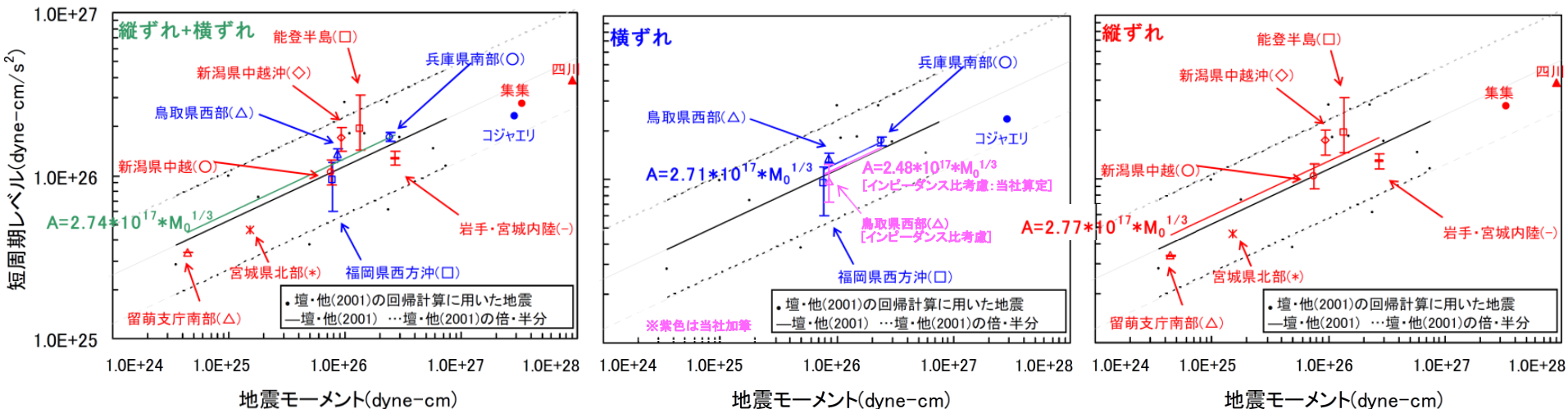
[構造計画研究所(2010)に一部加筆。]

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

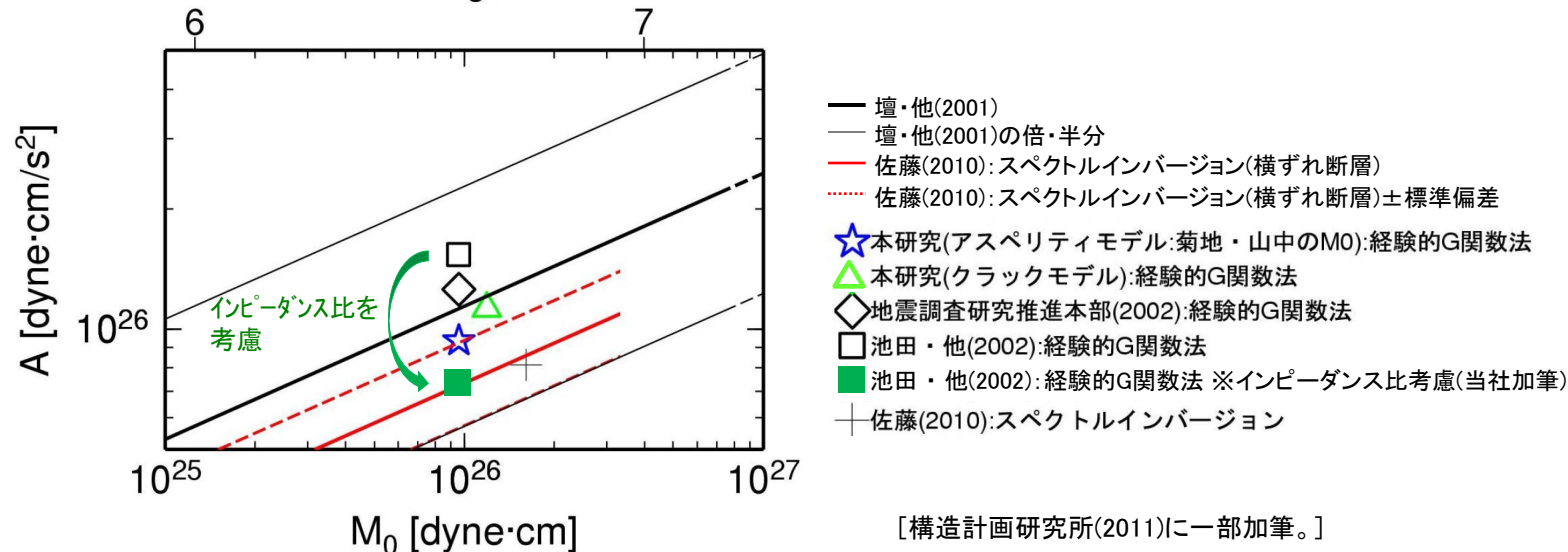
断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 5/11

- 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>

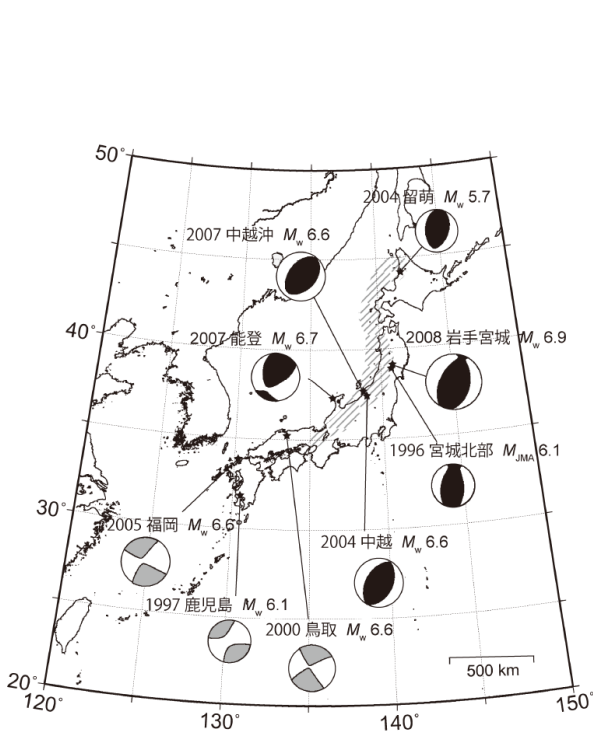
$$7.3 \times 10^{25} \text{ dyne} \cdot \text{cm} / \text{s}^2 (\text{池田ほか}(2002) \text{ [インピーダンス比考慮]}) / 1.1 \times 10^{26} \text{ dyne} \cdot \text{cm} / \text{s}^2 (\text{壇ほか}(2001)) \doteq 0.7 \text{ 倍}$$

- 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



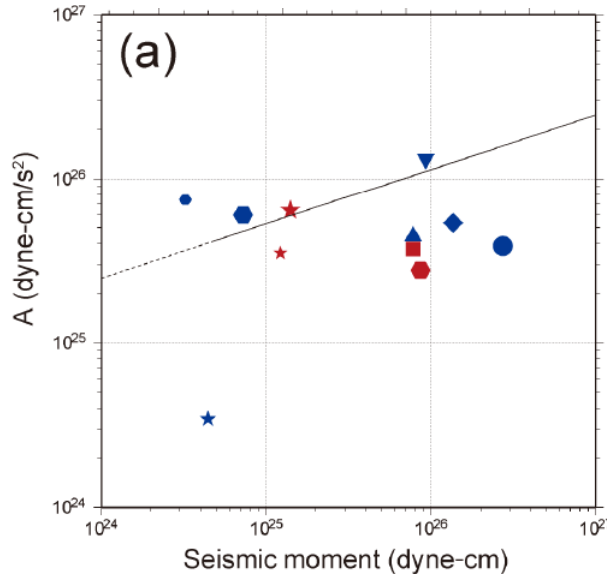
断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 6/11

- 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。

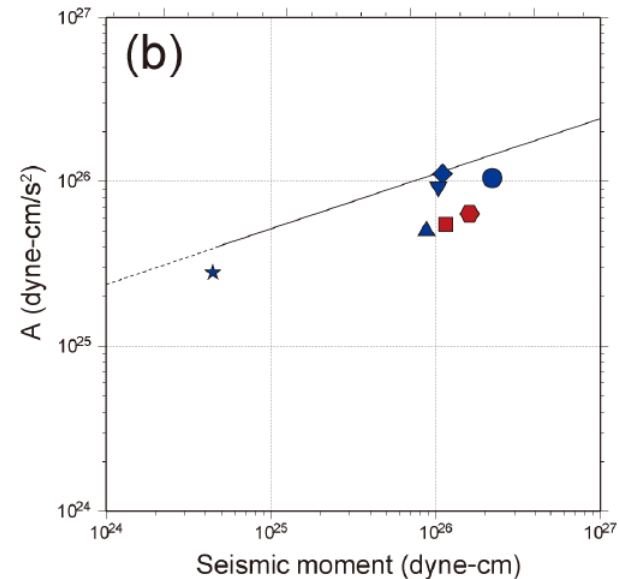


検討対象地震の震央位置とメカニズム解

(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



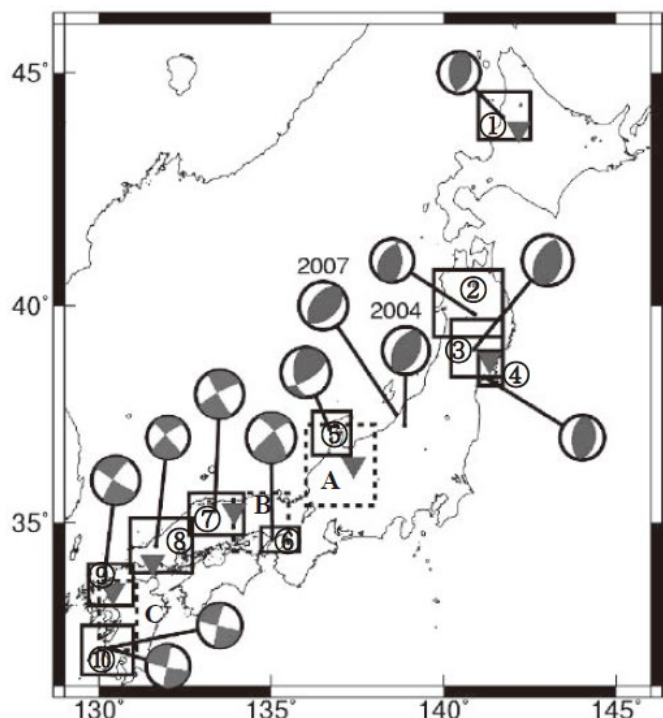
(b) 佐藤(2010)の解析周波数帯域などの条件を使用し、スペクトル比法によって求めた場合

[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)



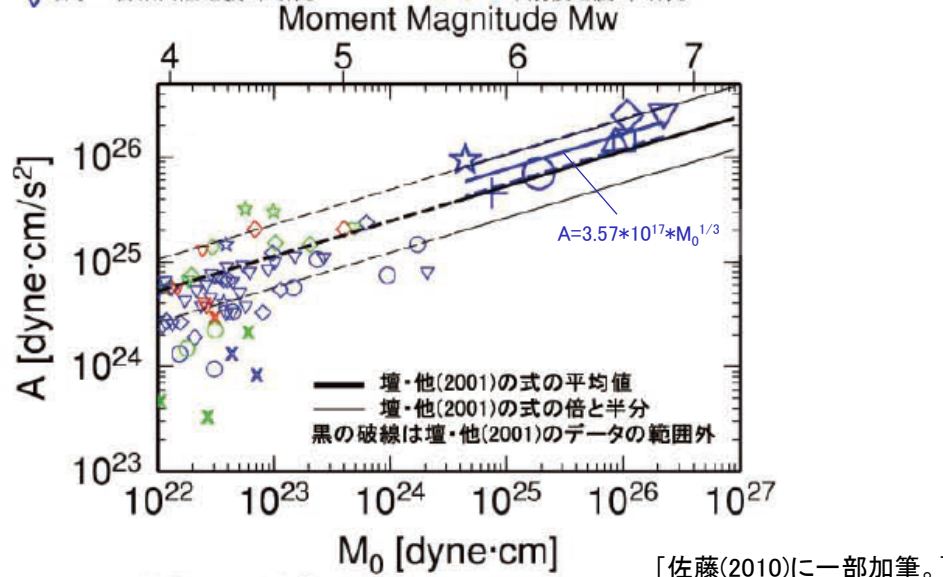
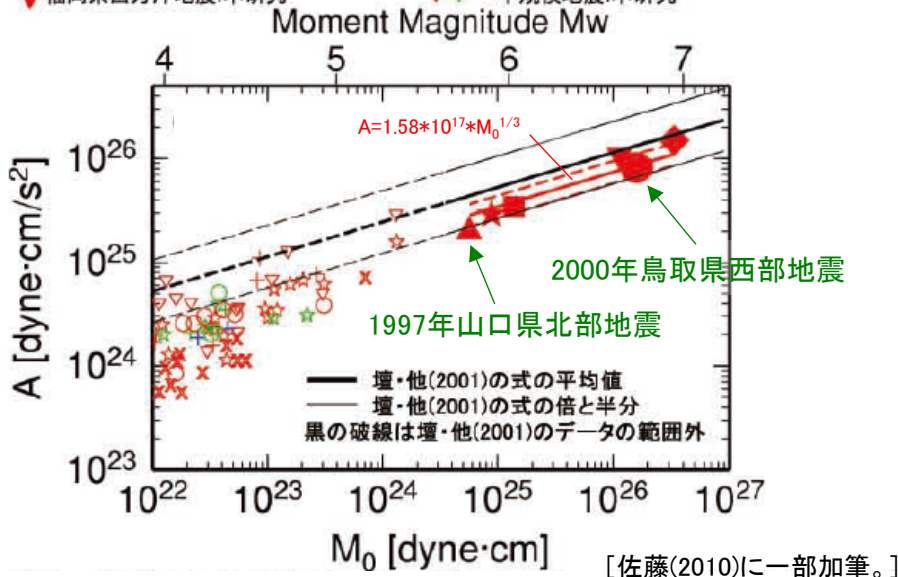
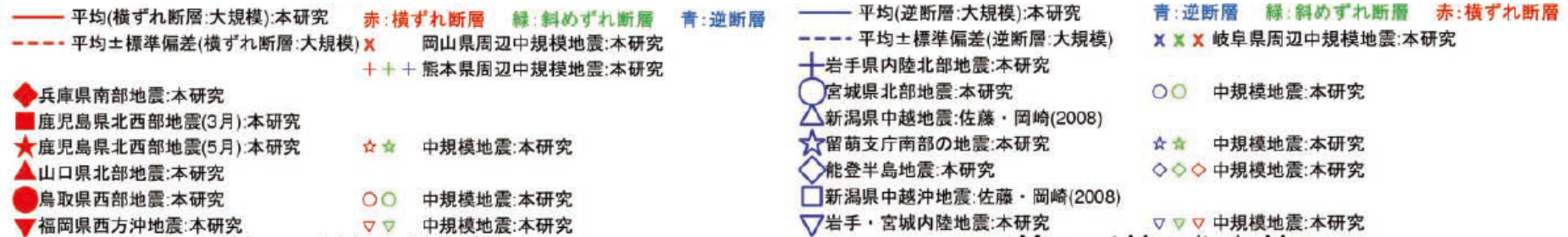
[佐藤(2010)による。]

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。



(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

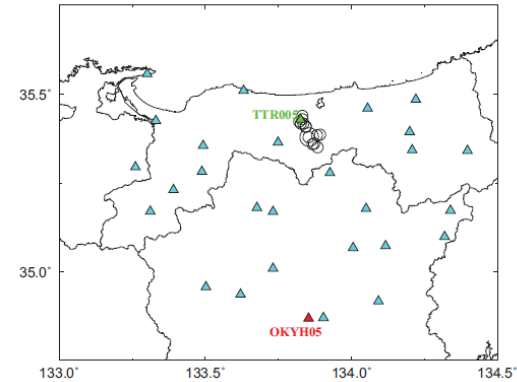
スペクトルインバージョンに基づく内陸地殻内地震の短周期レベルと地震モーメントの関係

断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 9/11

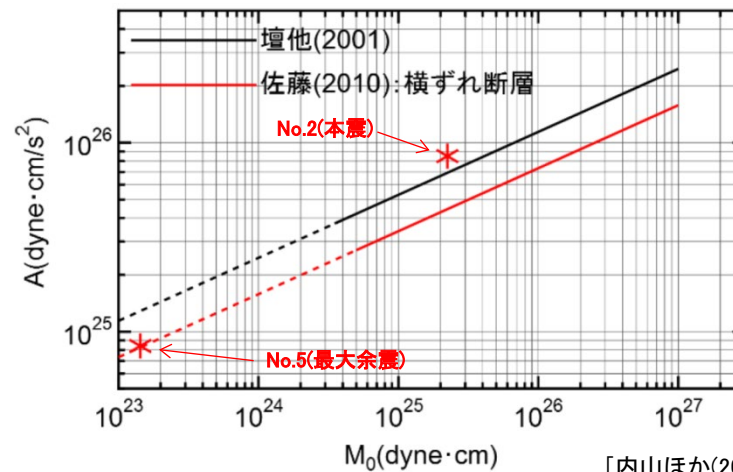
- 内山ほか(2017)では、以下に示す2016年鳥取県中部の地震の本震及び余震を対象としたスペクトルインバージョン解析により、本震及び最大余震の地震モーメントと短周期レベルの関係を検討しており、震源スペクトルから推定した本震の短周期レベルは、壇ほか(2001)による経験式と調和的な値になるとされている。

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	fc (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



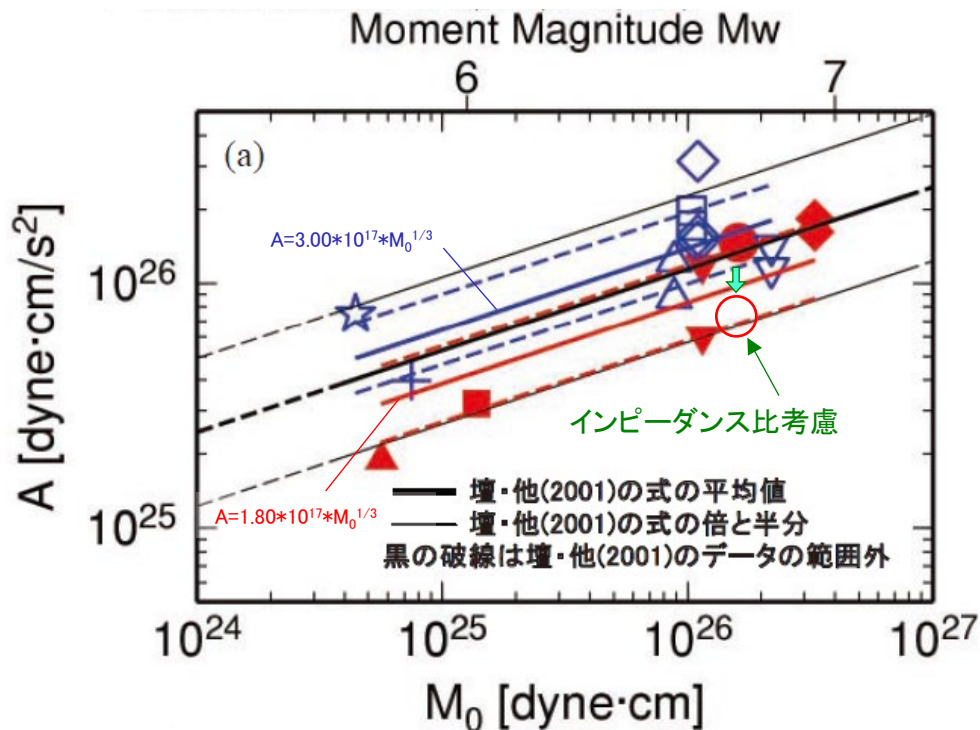
[内山ほか(2017)に一部加筆。]

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

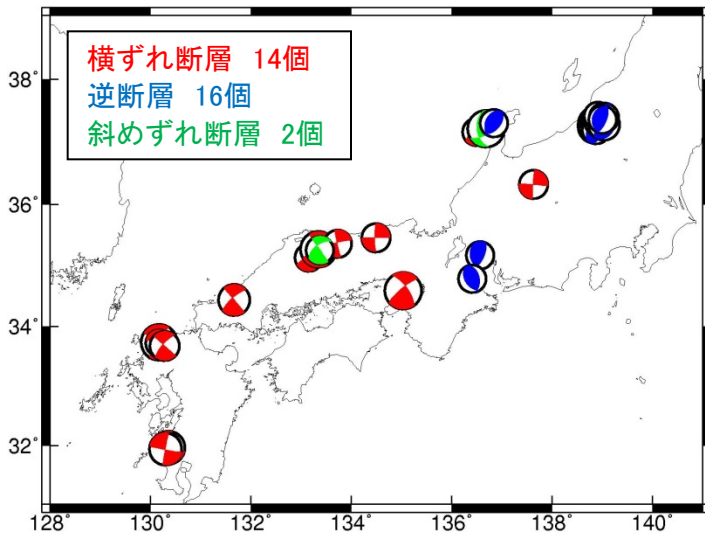
断層パラメータの設定根拠(短周期レベル) 11/11

- 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。

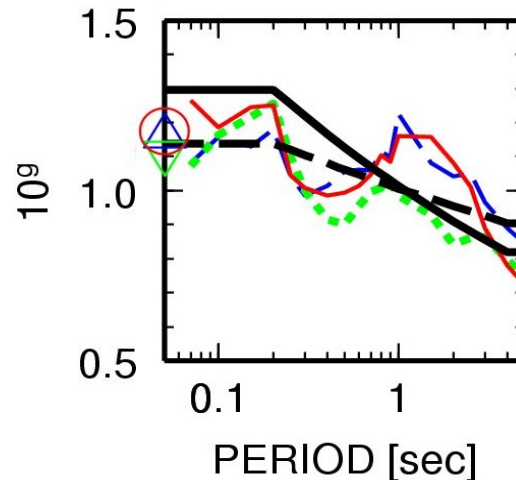
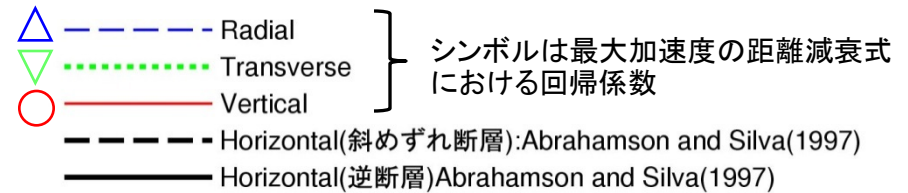
<距離減衰式>

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

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

- 宍道断層は敷地の極近傍に位置することから、宍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。
- なお、不確かさの組合せにおける短周期レベルの不確かさとしては、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、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レベルの比)で除し、短周期レベル1.25倍に設定(横ずれ断層の短周期レベルの不確かさ)。
- 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、破壊伝播速度及び横ずれ断層の短周期レベルの不確かさを考慮したケースを比較すると、各ケースとも地震動レベルが最大となる周期が存在し、どれを組合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合せた「断層傾斜角と破壊伝播速度の不確かさの組合せケース」、「断層傾斜角と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース」及び「破壊伝播速度と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース」を考慮する。

宍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)

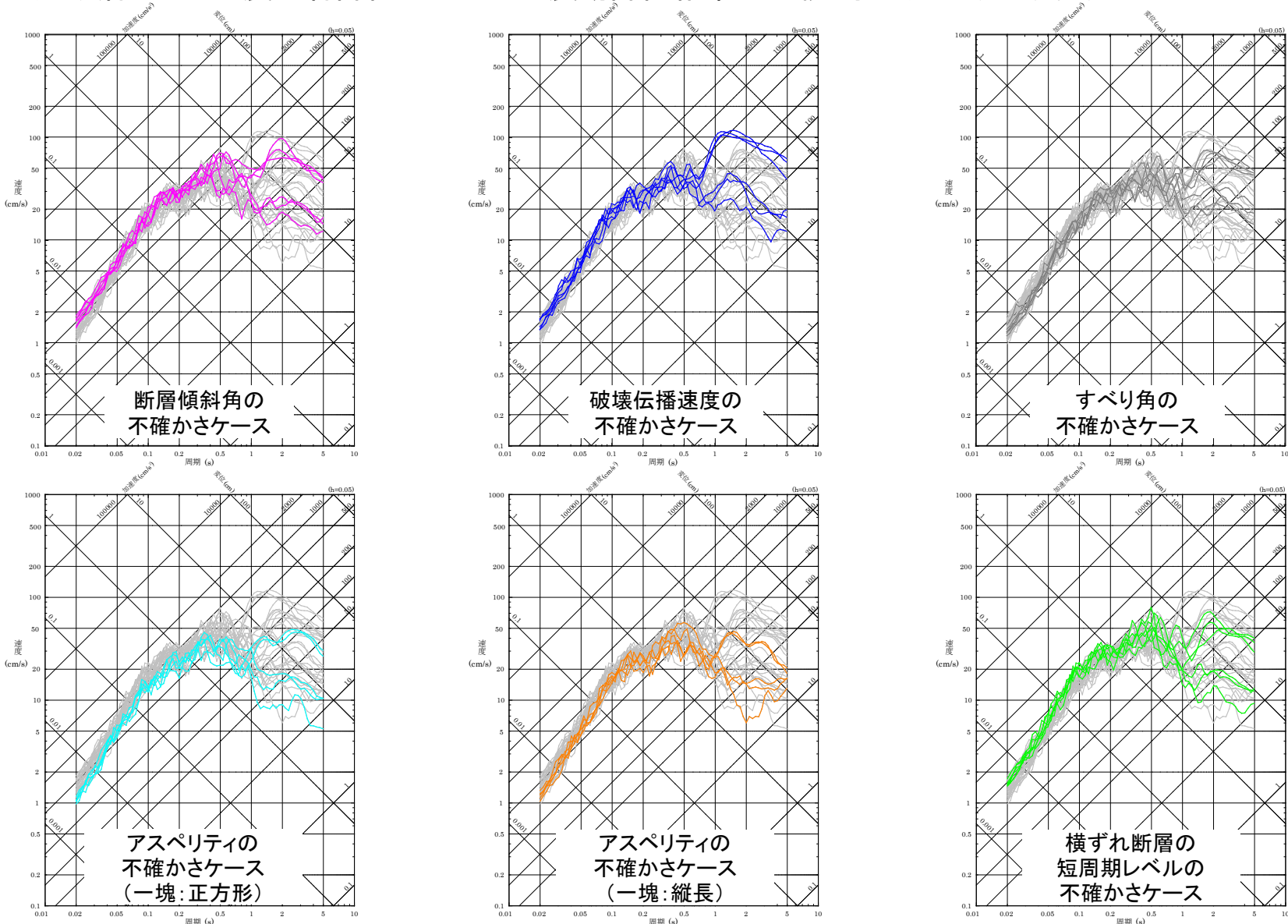
No.	評価ケース	断層長さ	断層幅	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ	短周期レベル	すべり角	破壊開始点
③	断層傾斜角の不確かさを考慮したケース	39km	約19km	70°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	6箇所
④	破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.87Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	6箇所
⑤	すべり角の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	150°	6箇所
⑥	アスペリティの不確かさを考慮したケース(一塊:正方形)	39km	18km	90°	0.72Vs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

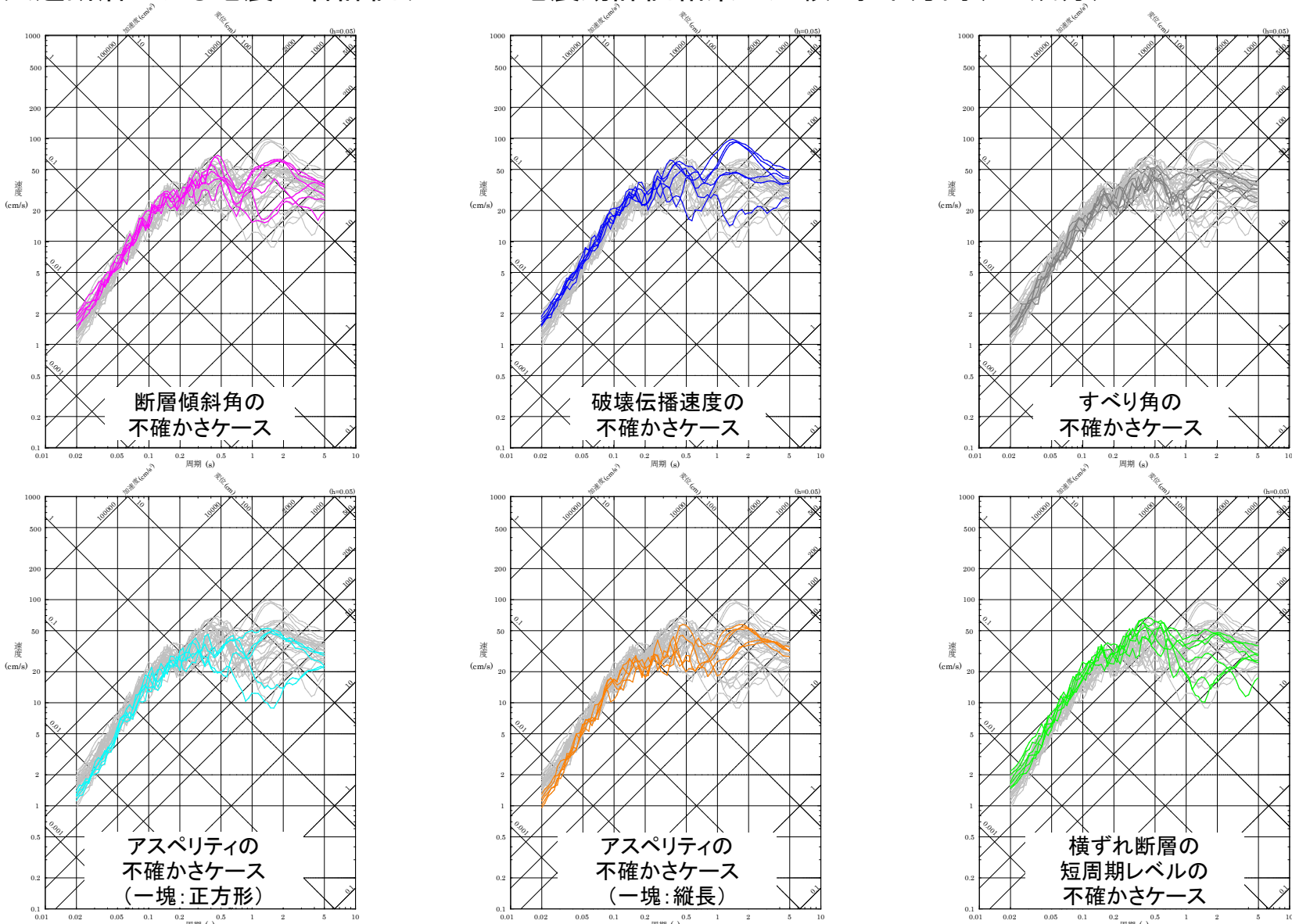


擬似速度応答スペクトル 水平方向(NS成分)

※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)

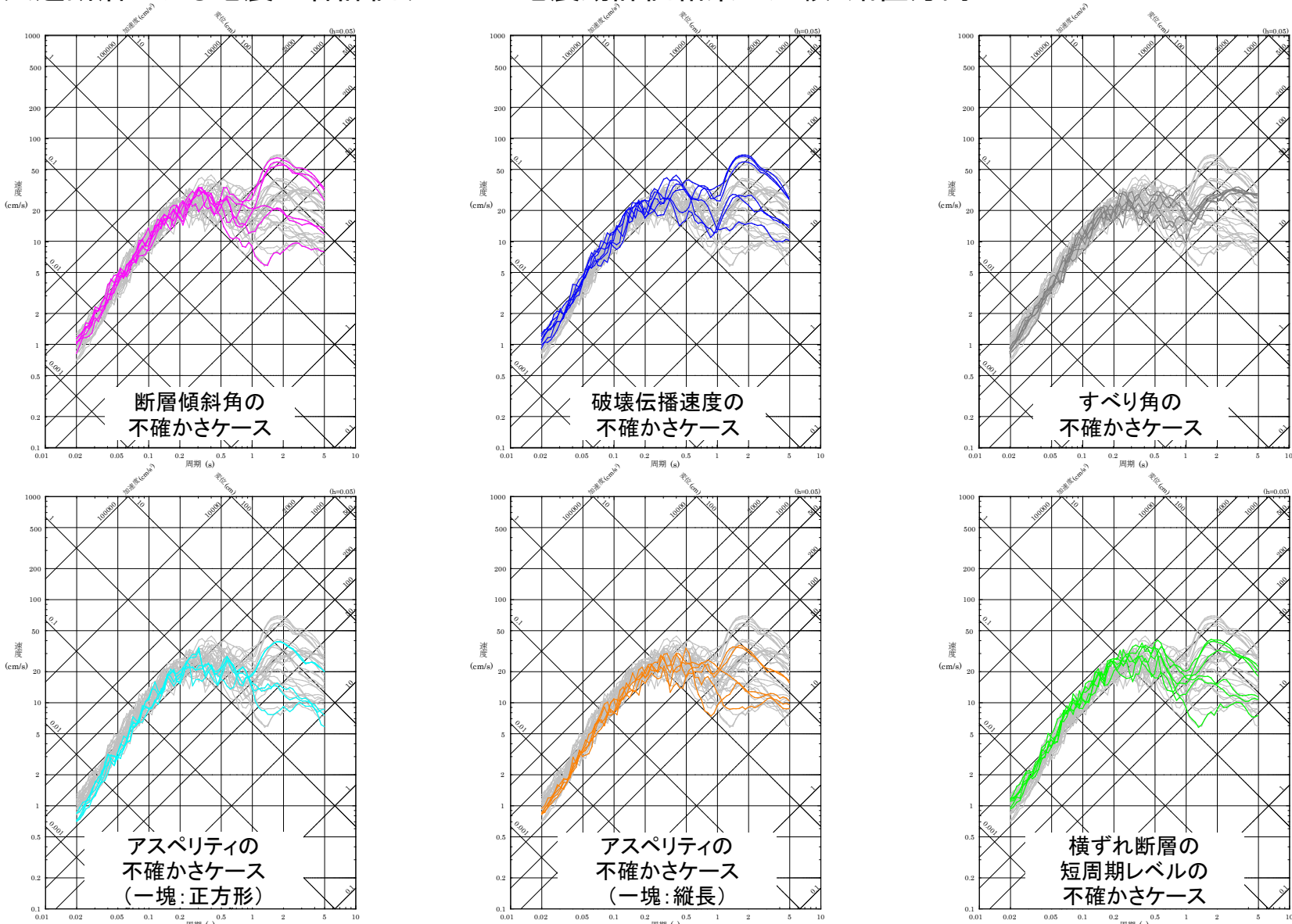


擬似速度応答スペクトル 水平方向 (EW成分)

※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

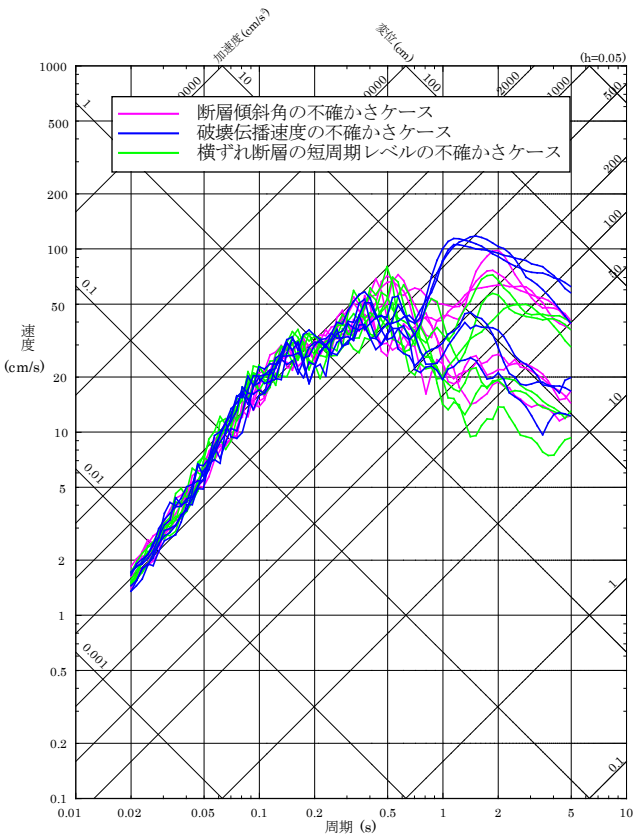


擬似速度応答スペクトル 鉛直方向

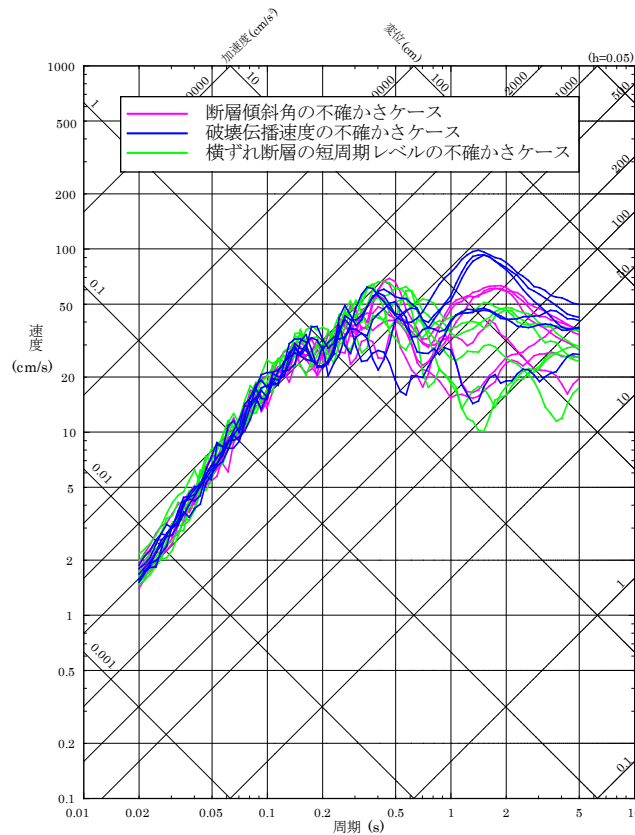
※不確かさを考慮した全ケースの地震動評価結果を灰色線で重ね書き、対象ケースを色分けして記載

不確かさの組合せ 5/5

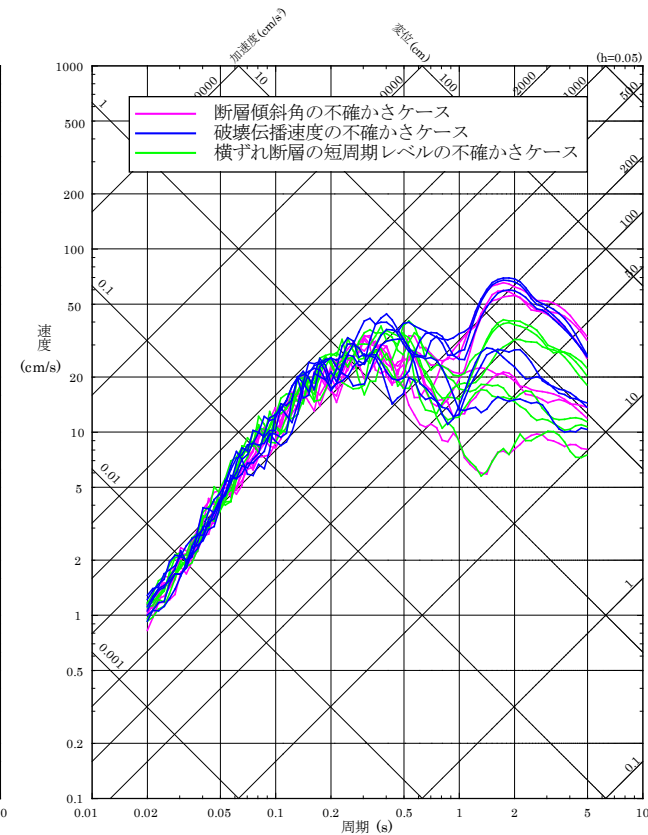
- 宍道断層による地震の断層傾斜角, 破壊伝播速度及び横ずれ断層の短周期レベルの不確かさを考慮したケースの地震動評価結果の比較: 水平方向(NS・EW成分), 鉛直方向



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