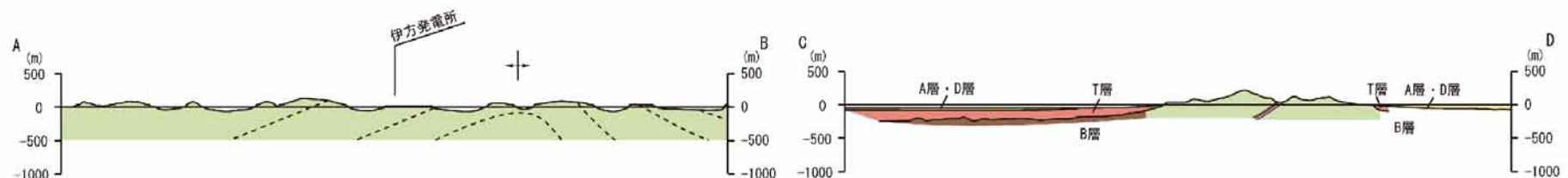
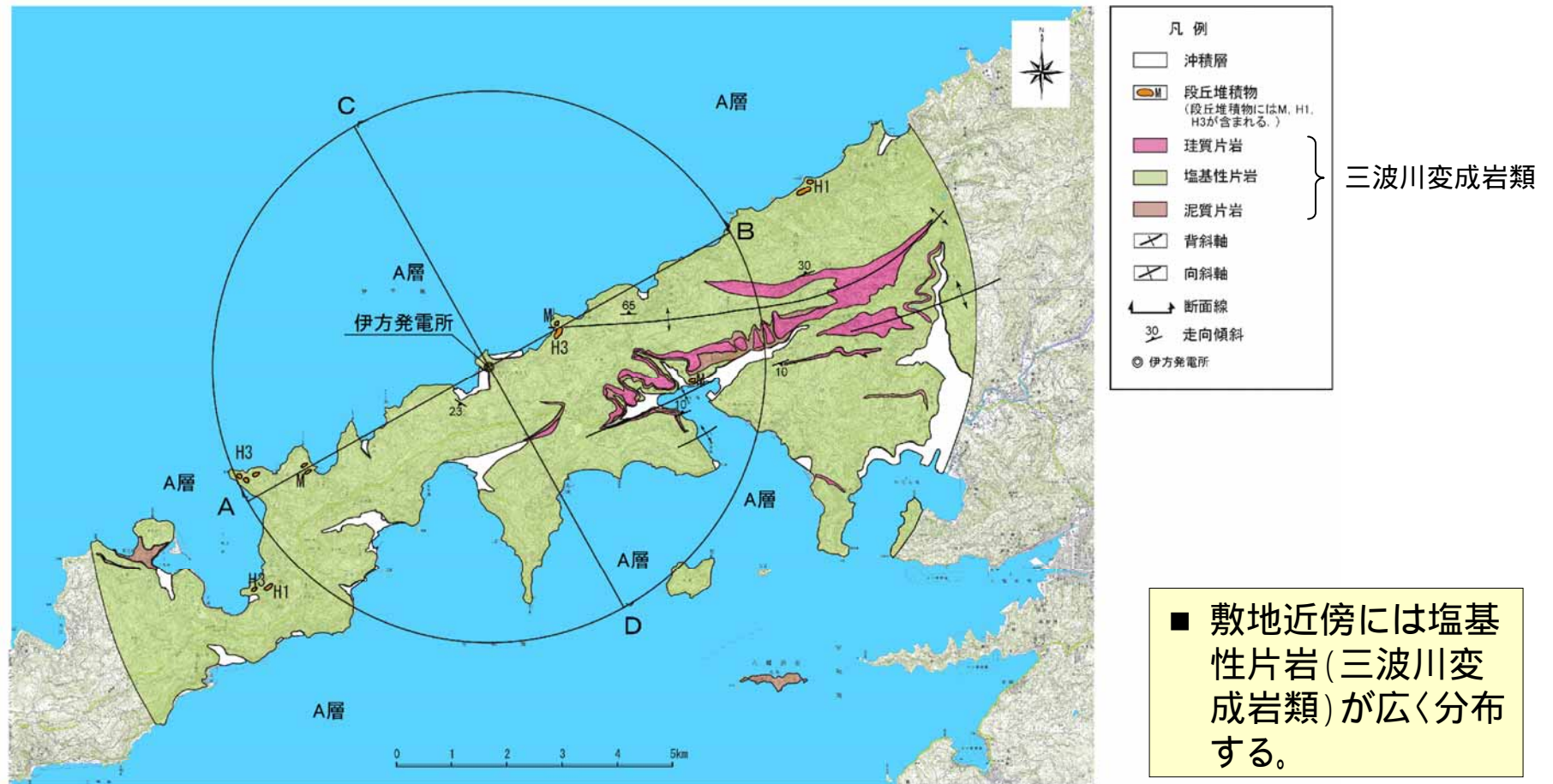

3. 敷地地盤の振動特性

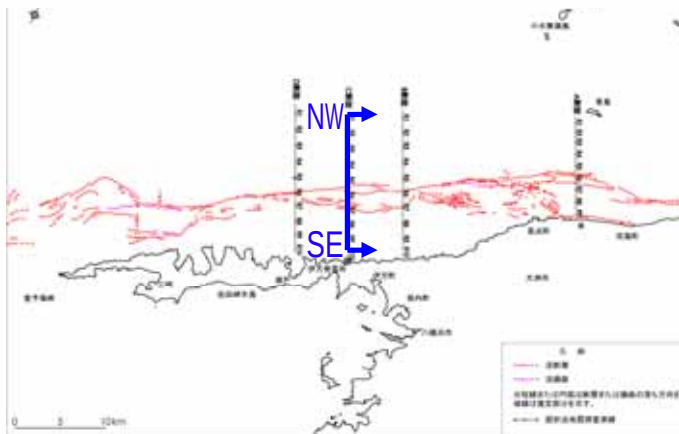
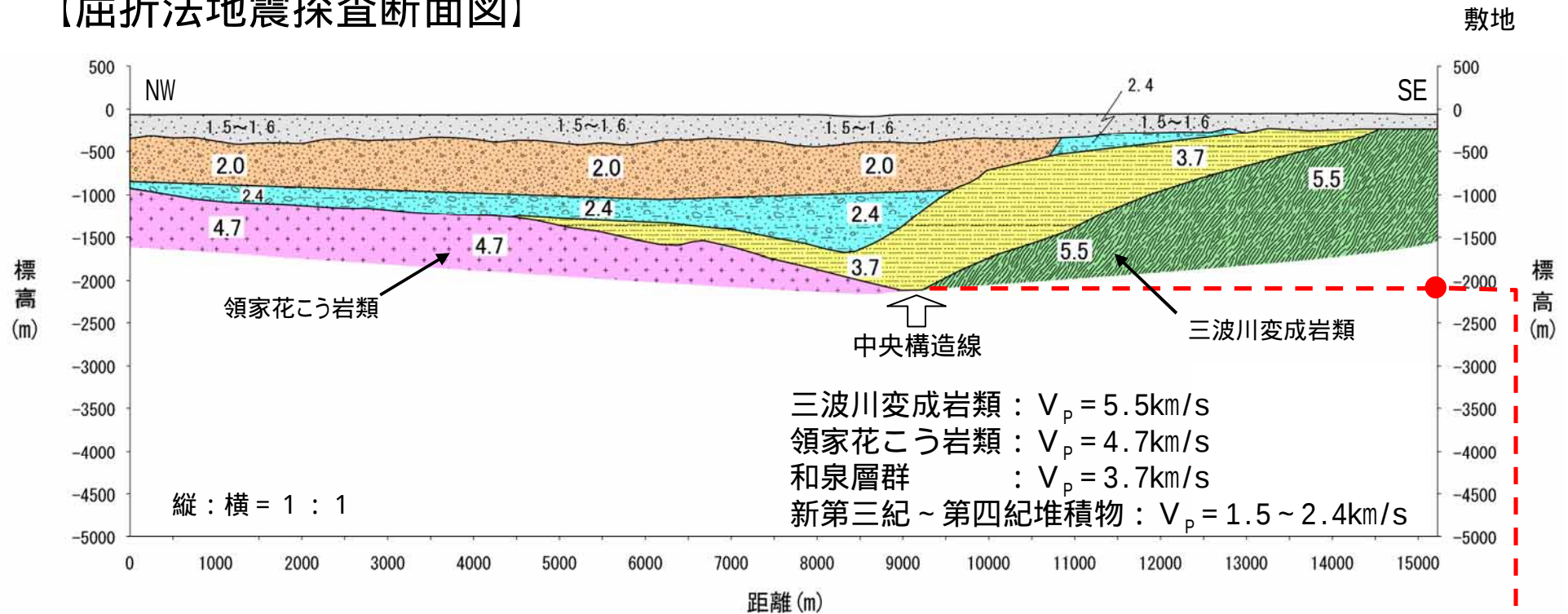
3.1 敷地地盤の振動特性

【敷地近傍の地質・地質構造】



屈折法地震探査

【屈折法地震探査断面図】

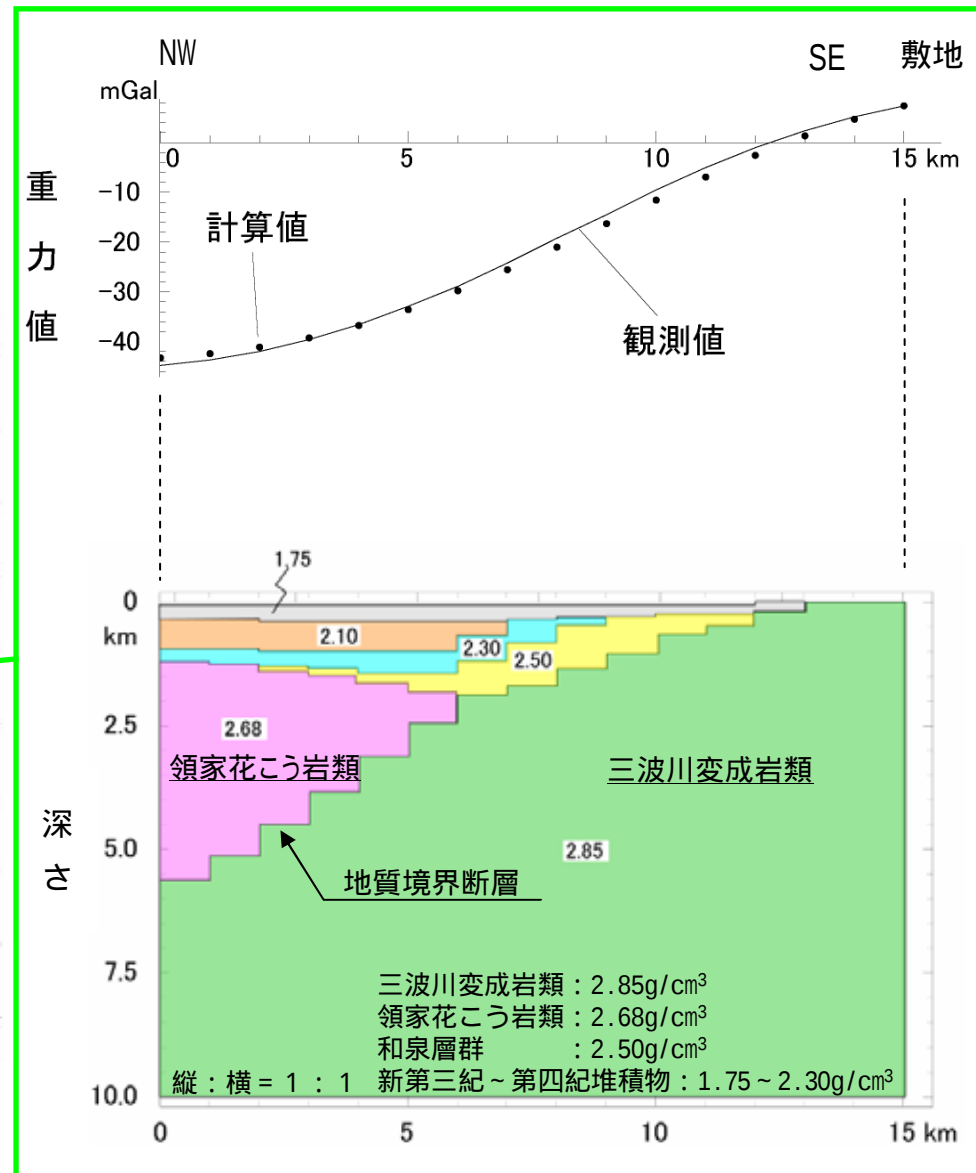
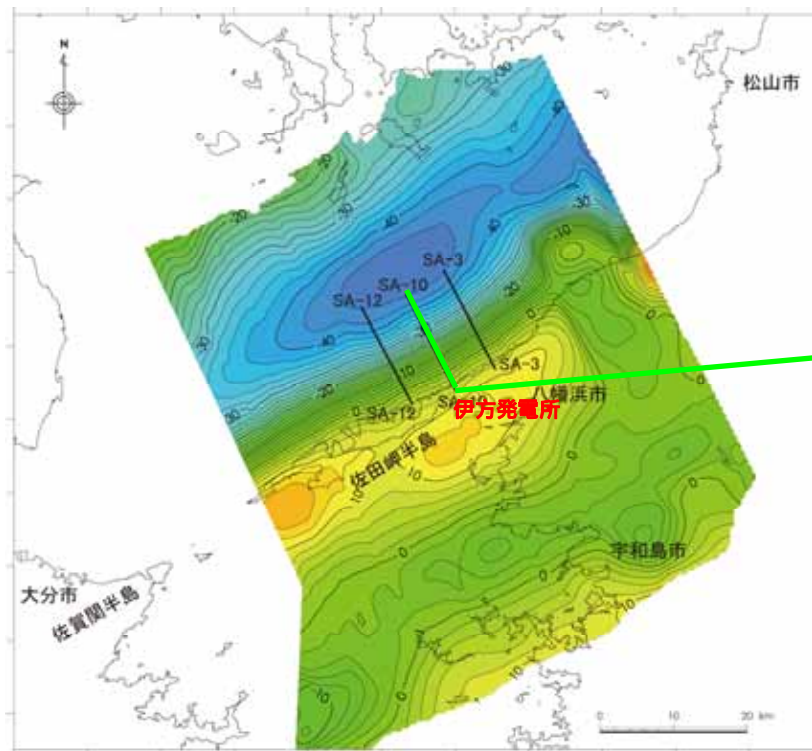


- 敷地下方にも三波川変成岩類が広く分布する。
- 断層上端深さは2kmに設定 ←
- 上面から数百mで $V_s = 3.0 \text{ km/s}$ 程度に達すると考えられる

航空重力測定

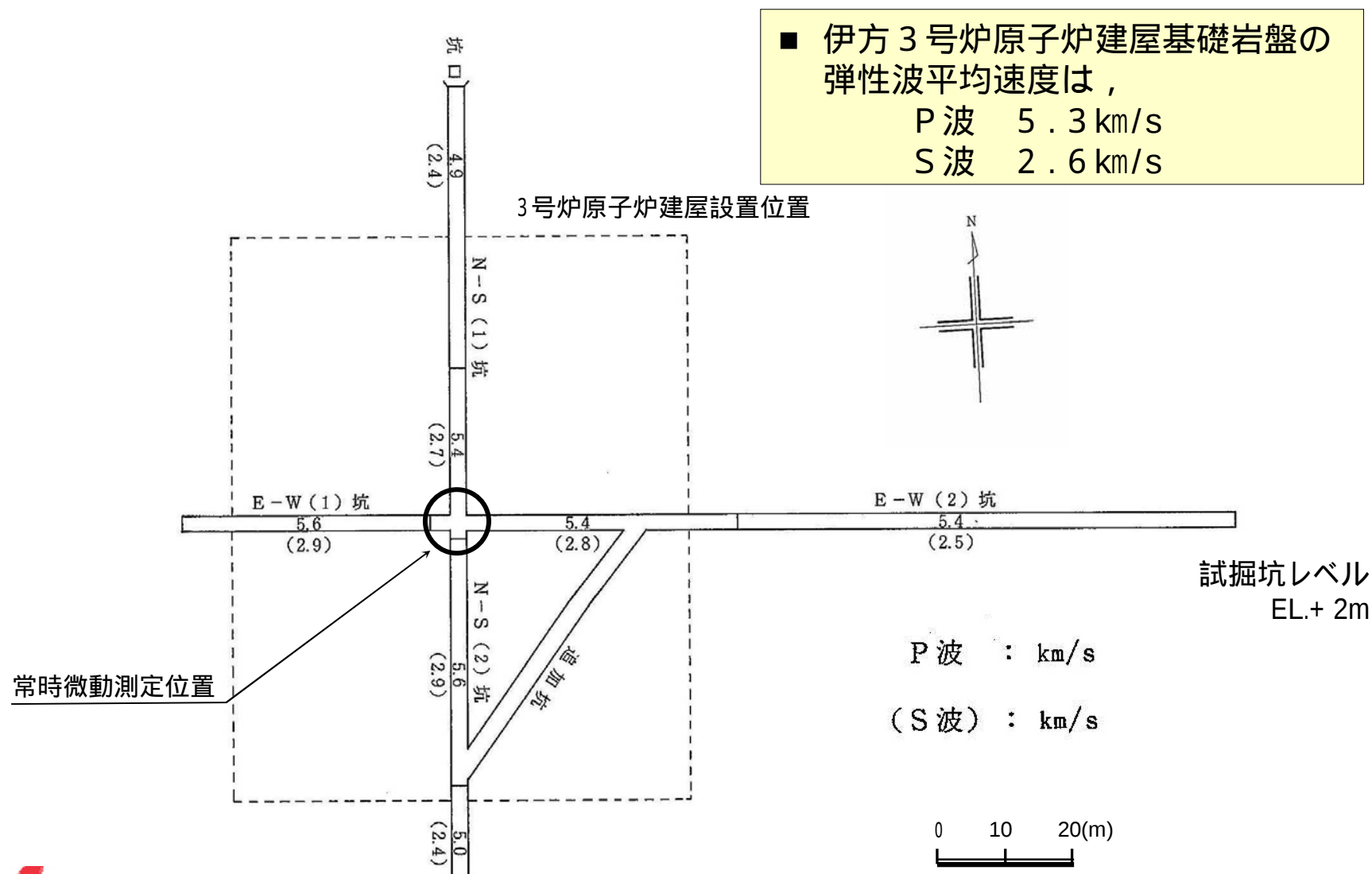
【重力逆解析結果】

- 三波川変成岩類の敷地下方への広い分布が推察される。



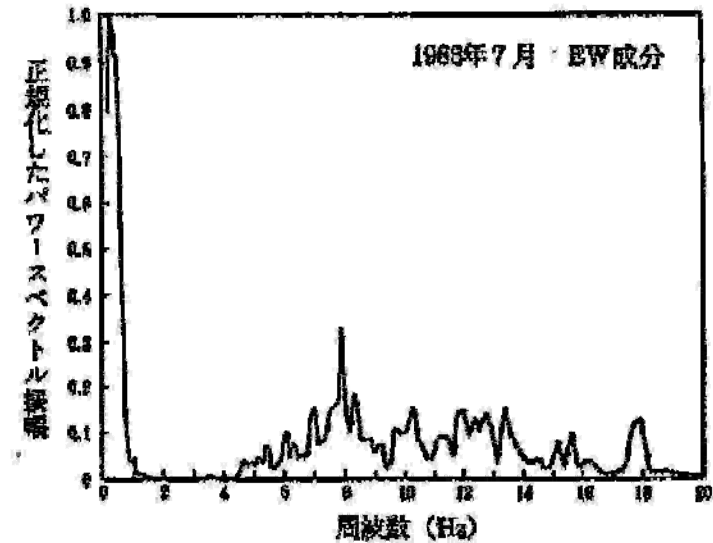
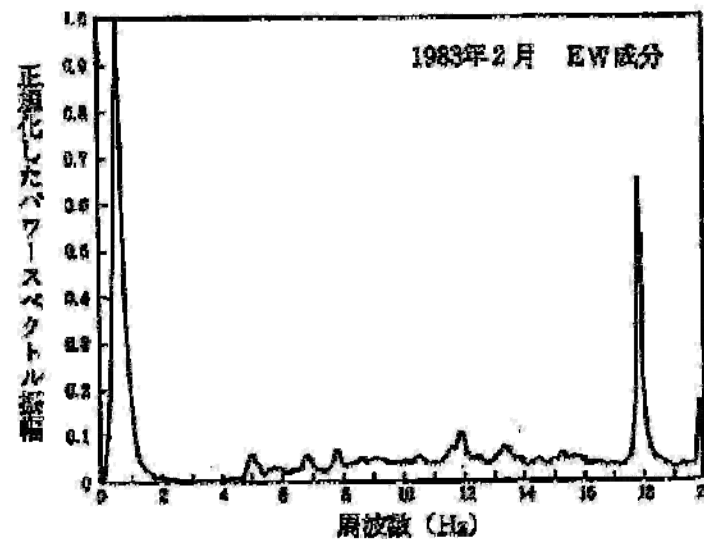
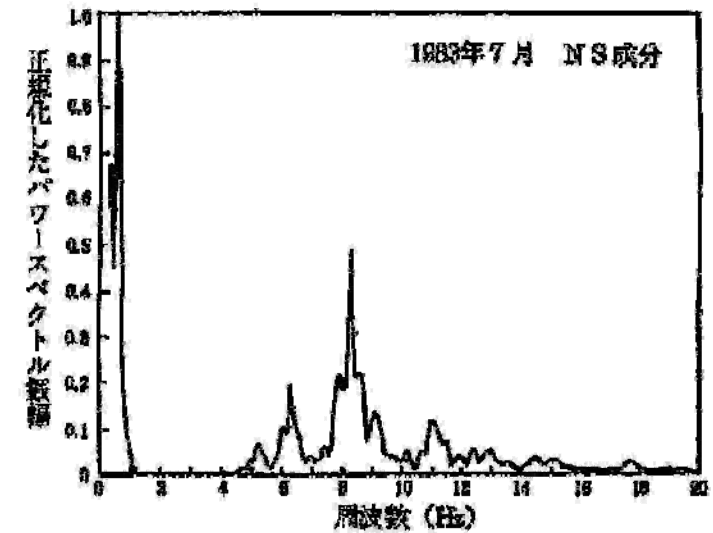
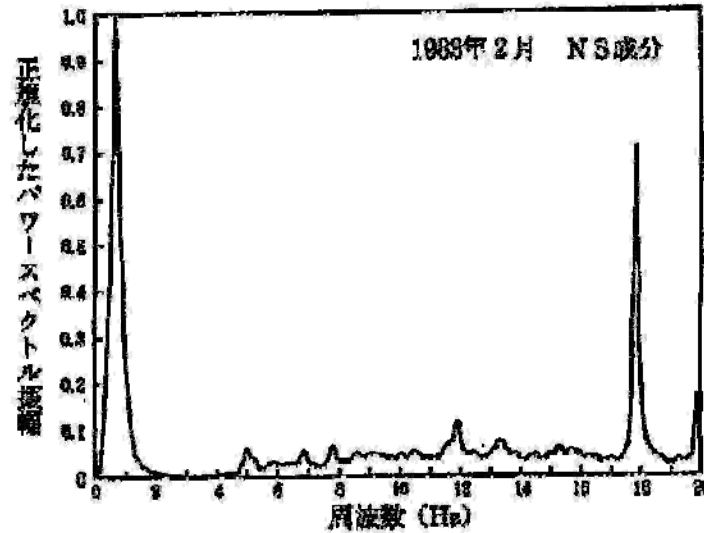
弾性波速度

【弾性波試験および常時微動測定位置図】



常時微動

常時微動の パワースペクトル



- 1 Hz付近を除けば, 2回の測定で共通したピークはみられない
- 1 Hz付近のピークは脈動と考えられる

地盤構造モデル

- 解放基盤表面は敷地整地レベルEL.+10mに設定 ($V_s = 2.6\text{km/s}$)
- 地震基盤は地下2kmに設定 ($V_s = 3.5\text{km/s}$)
- 中央構造線断層帯地震動評価における統計的グリーン関数および理論地震動は解放基盤表面で作成

地盤構造モデル

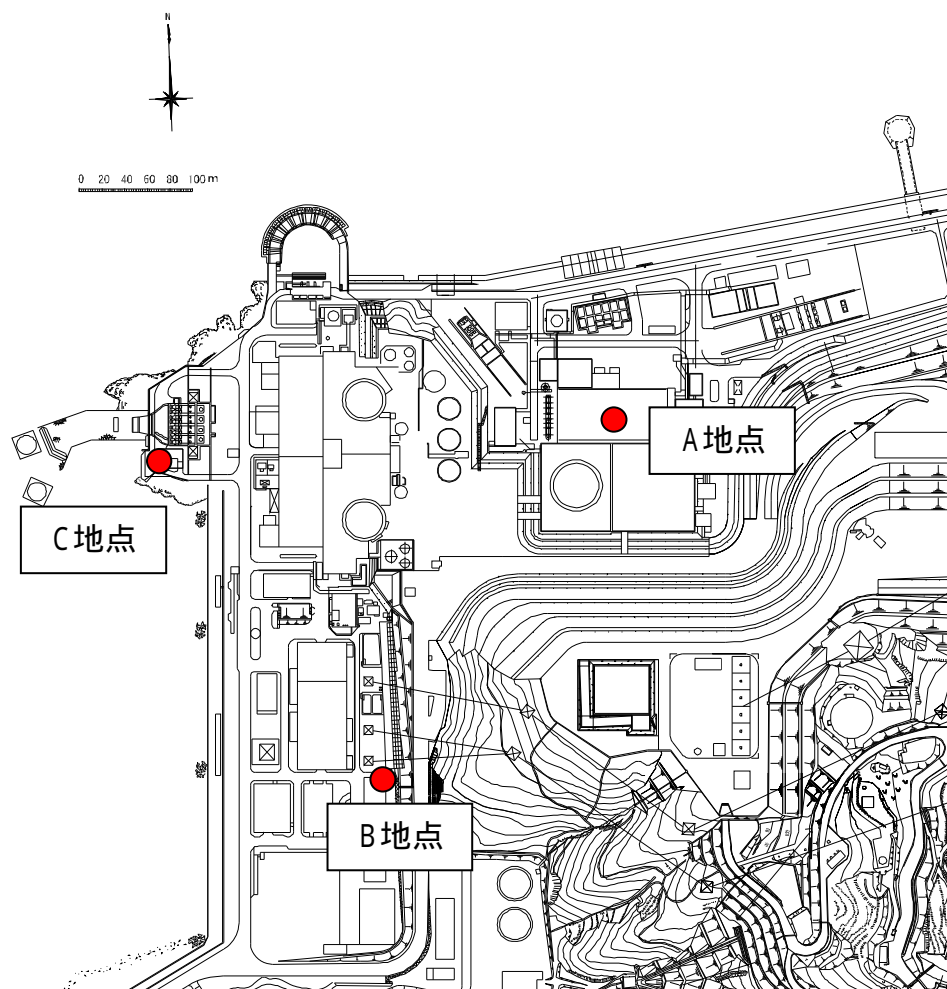
EL.+10m→
(解放基盤表面)

地下2km→
(地震基盤)

層上面 (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	密度 (kg/m ³)	Q値	根拠
0	5300 ¹	2600 ¹	3000 ⁵	50 ⁶	○ 主に地質調査結果を参照して設定 1: 試掘坑における測定値 2: PS検層における測定値より設定 3: $v=0.34$ (測定値) および $V_p/V_s = \sqrt{2(1-v)/(1-2v)}$ より算出 4: V_p 6km/sとして, $V_s = V_p/1.73$ 5: CH級岩盤の物理試験結果より 6: PS検層による測定値より総合的に判断して設定 7: $Q = V_s/15$
10	5500 ³	2700 ²	3000 ⁵	50 ⁶	
200	5700 ³	2800 ²	3000 ⁵	190 ⁷	
2000	6100 ⁴	3500 ⁴	3000 ⁵	230 ⁷	
16000	6700	3870	2800	400	○ Kakehi(2004)を参照して設定 Kakehi(2004)は下記に基づいてモデルを構築 ・下部地殻 上面深さ, V_p : 浅野ほか(1986) Q値: 纈纈・古村(2002) ・スラブ 上面深さ: 三好・石橋(2004), 大倉・瀬野(2002) V_p , V_s , Q値: Ohkura(2000), 纈纈・古村(2002) 海洋性地殻の2層区分: 渋谷(2001), Takahashi et al.(2002)
40000	6600	3820	2800	400	
42000	6700	3870	2900	400	
46000	8000	4620	3200	1200	

伊方発電所における地震観測

【地震計設置位置】



地震計設置位置図（配置図）

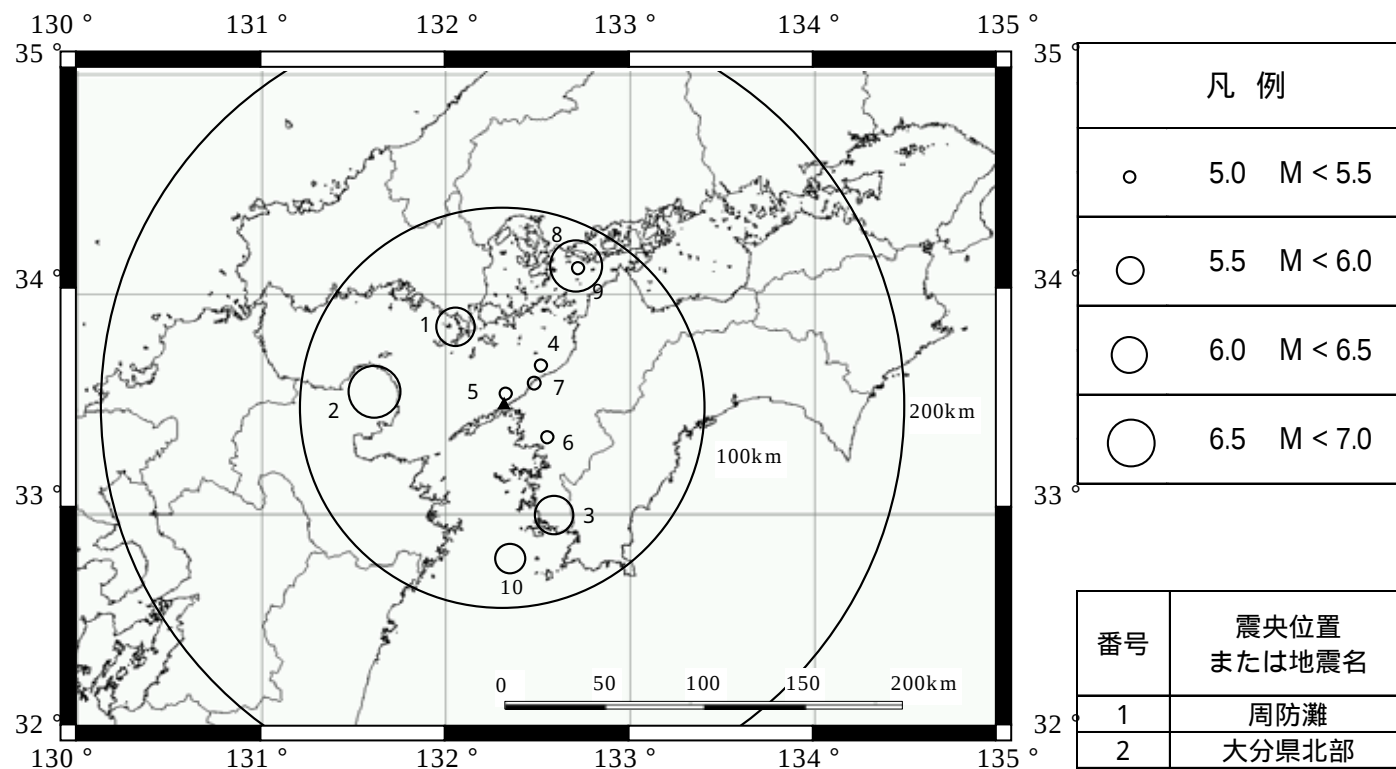
観測点	観測期間
A地点	1975～1982
B地点	1982～1994
C地点	1999～

標高 (m)	A地点		B地点		C地点	
	地震計	地層	地震計	地層	地震計	地層
+51	▽ GL	第四系	▽ GL	三波川 変成岩 類	▽ GL	三波川 変成岩 類
GL ± 0m						
+10						
+5		三波川 変成岩 類	○ GL-5m	三波川 変成岩 類	○ GL-5m	三波川 変成岩 類
GL-60m						
-9	○					
			GL-80m		GL-80m	
-70			○		○	
			GL-160m		GL-160m	
-150			○		○	
-200						

地震計設置位置図（柱状図）

伊方発電所における地震観測

【主な観測記録】



主な観測地震の震央分布

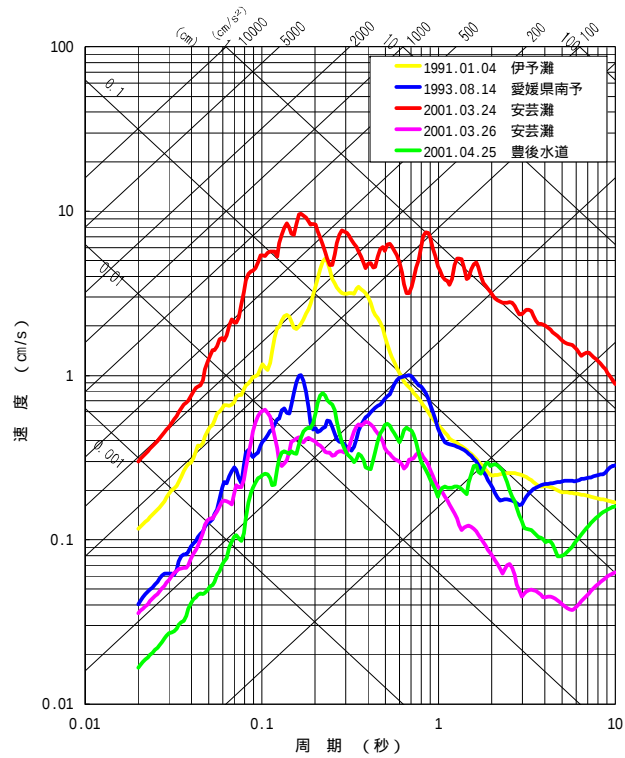
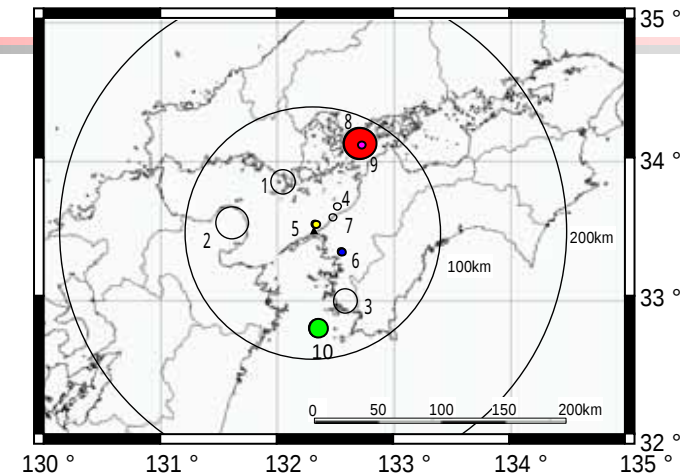
番号	震央位置 または地震名	発生日時	M	深さ (km)	震央 距離 (km)
1	周防灘	1979年 7 月13日	6.0	70	47
2	大分県北部	1983年 8 月26日	6.6	116	66
3	愛媛県南予	1985年 5 月13日	6.0	39	61
4	伊予灘	1988年 7 月29日	5.1	53	28
5	伊予灘	1991年 1 月 4 日	5.3	58	6
6	愛媛県南予	1993年 8 月14日	5.3	47	27
7	伊予灘	1993年 8 月31日	5.1	62	19
8	2001年芸予地震	2001年 3 月24日	6.7	46	80
9	安芸灘	2001年 3 月26日	5.2	46	78
10	豊後水道	2001年 4 月25日	5.7	39	77

- 経験的グリーン関数法による地震動評価では、
 No.3地震 → 南海地震の要素地震に採用
 No.9地震 → 中央構造線断層帯および海洋プレート内地震の
 要素地震に採用

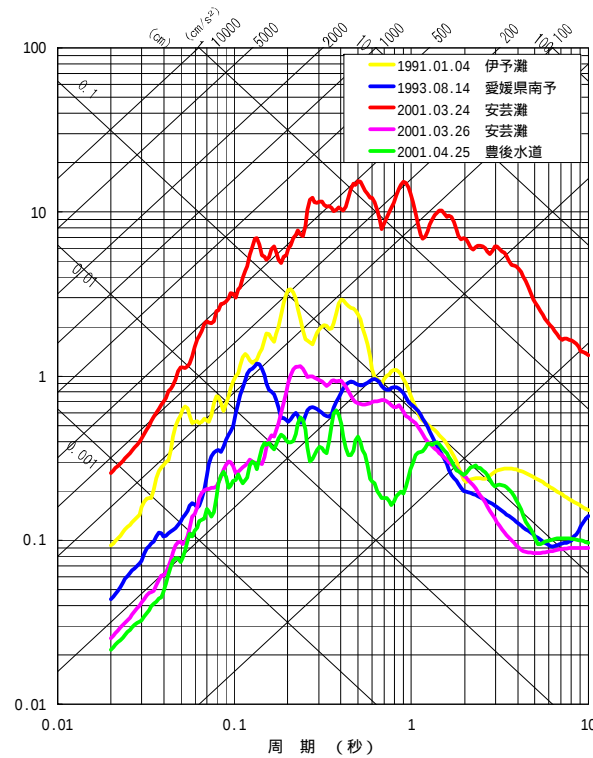
伊方発電所における地震観測

【主な観測記録の応答スペクトル】

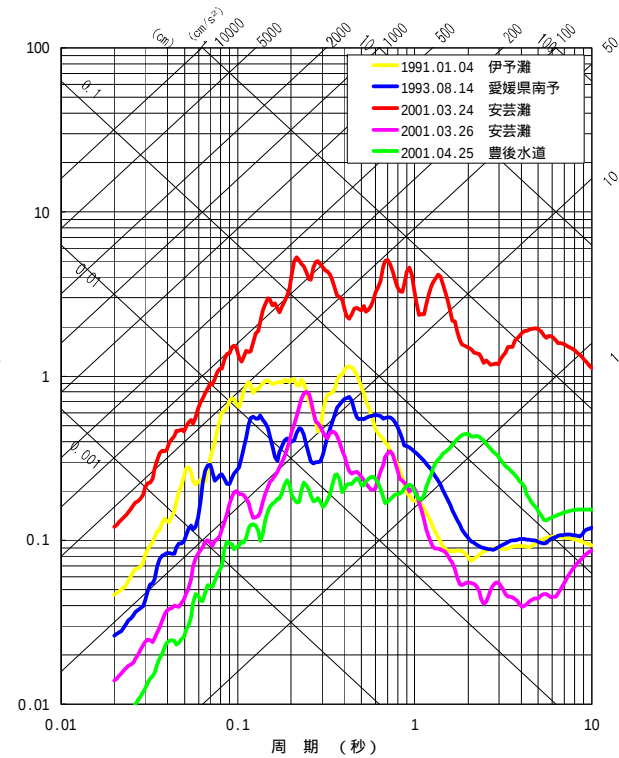
- 全て海洋プレート内地震であり
短周期成分が卓越
- 地盤増幅特性を示唆するような特定
周期帯の顕著な増幅は見られない



NS方向



EW方向



UD方向

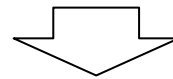
3.2 新潟県中越沖地震の知見反映 地下構造特性による影響

経緯および検討内容

平成20年9月4日 原子力安全・保安院指示文書

新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について

「地下構造特性による影響については、地震観測記録の分析や地下構造モデルを構築することにより考慮する。」



検討内容

伊方発電所で観測した地震記録の分析を行い、地震の到来方向や地盤構造によって特異な増幅が見られるか否かの検討を行う。

○ 増幅特性の検討(規模の大きい地震)

伊方発電所で観測した比較的規模の大きい、Noda et al.(2002)の適用が可能な内陸地殻内地震を用いて、『観測記録の応答スペクトル』と『Noda et al.(2002)により推定した応答スペクトル』の比をとって、増幅特性の検討を行う。

○ 増幅特性の検討(規模の小さい地震：地震波の到来方向による影響の検討)

地震規模の小さい内陸地殻内地震を対象として、地震波の到来方向による特異性について検討を行う。

増幅特性の検討

○ 増幅特性の検討(規模の大きい地震)

伊方発電所で観測した比較的規模の大きい, Noda et al.(2002)との比較が可能な内陸地殻内地震を用いて、『観測記録の応答スペクトル』と『Noda et al.(2002)により推定した応答スペクトル』の比をとって, 増幅特性の検討を行う。

増幅特性の検討に用いた地震

No.	年月日	地震名	M _{JMA}	深さ (km)	震央距離 (km)	最大加速度 (cm/s ²)
1	1995.01.17	兵庫県南部地震	7.3	16.06	280	2.1
2	1997.03.26	鹿児島県北西部の地震	6.6	11.85	249	0.9
3	1997.06.25	山口県北部の地震	6.6	8.29	121	2.7
4	2000.10.06	鳥取県西部地震	7.3	8.96	220	3.4
5	2005.03.20	福岡県西方沖地震	7.0	9.24	200	1.9

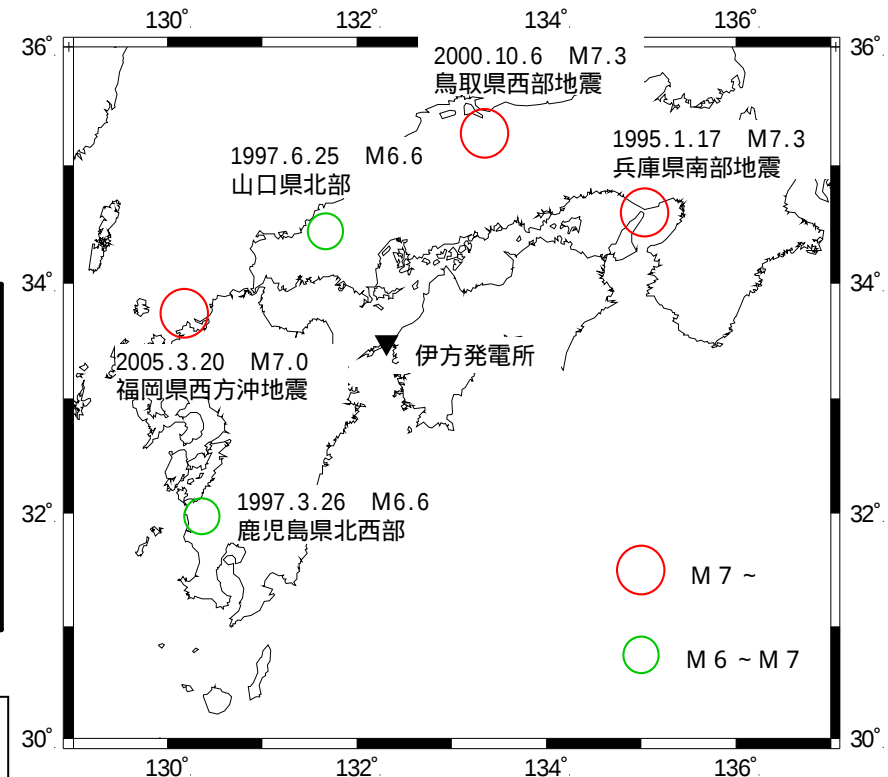
【Noda et al.(2002)が回帰に使用したデータセット】

→ M=5.5 ~ 7.0, 等価震源距離 $X_{eq}=28 \sim 202$ km

【Noda et al.(2002)が適用性の確認に用いたデータセット】

→ M=5.4 ~ 8.1, 等価震源距離 $X_{eq}=14 \sim 218$ km

これらを勘案すると, No.1,2,4の地震は震央距離が遠いため, 厳密には Noda et al.(2002)の適用範囲外。



検討対象地震

増幅特性の検討

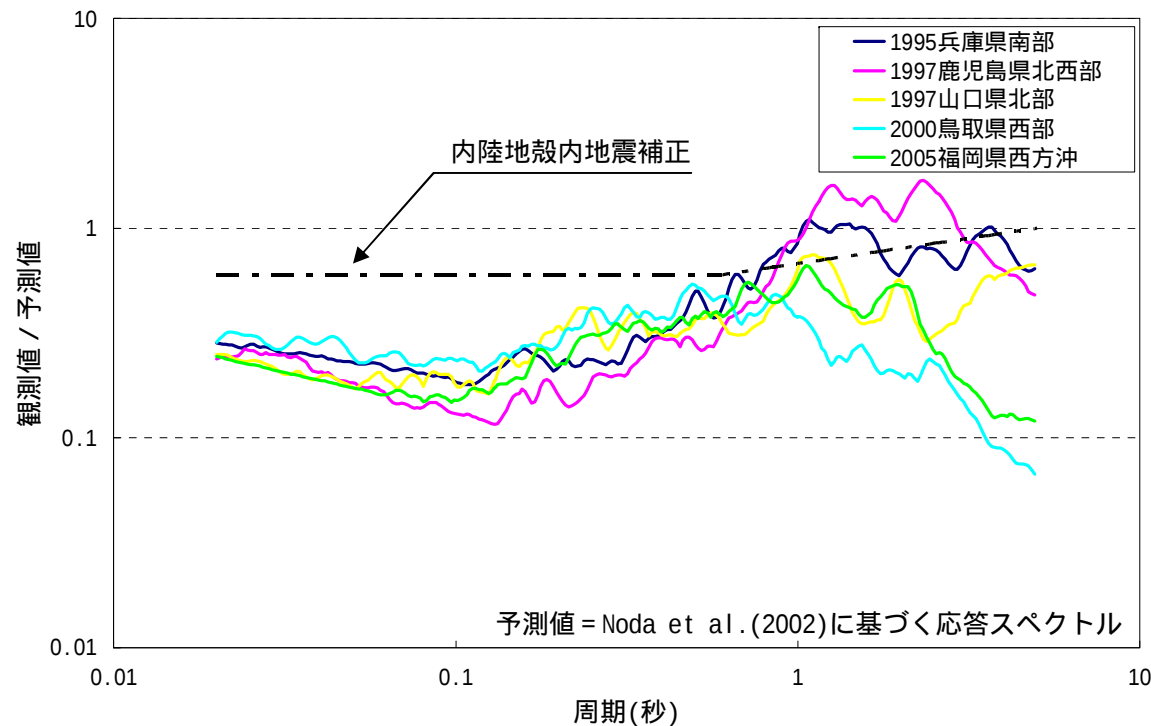
評価結果(増幅特性の検討)

どの地震においても、短周期側では観測値は予測値よりも小さい傾向を示している。観測値が予測値よりも小さい理由としては、

- 検討に用いた地震が遠地の地震ばかりであり、観測記録の最大振幅が小さいこと
- サイトの岩盤がNoda et al.(2002)の想定する地盤よりも硬いこと

が挙げられる。

小さい記録ばかりのため断定的なことは言えないが、特異な増幅特性を示す地震はない。



観測記録とNoda et al. (2002)による予測値の比較 (NS・EW平均)

増幅特性の検討

○地震波の到来方向による影響の検討(規模の小さい地震)

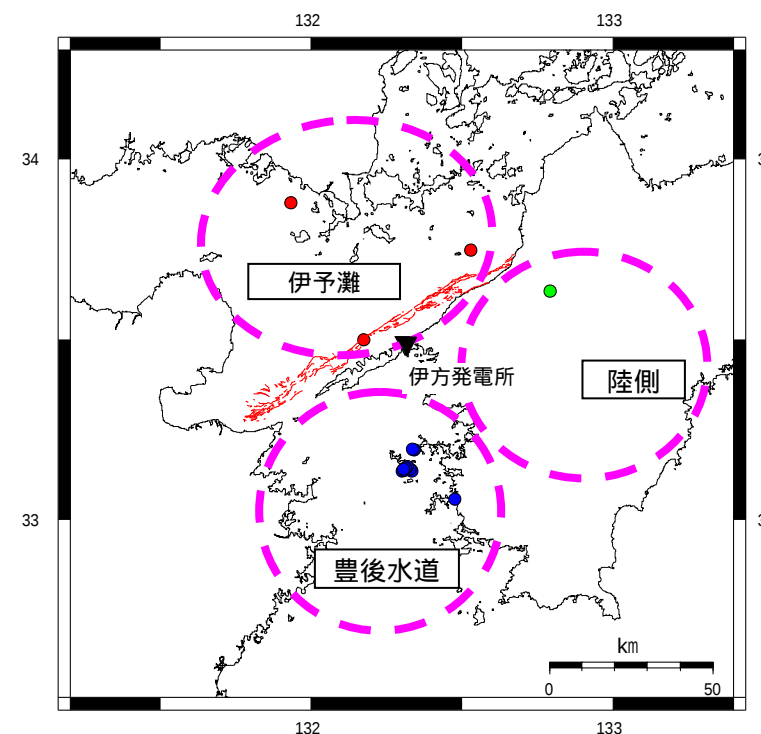
伊方発電所の微小地震計で観測した内陸地殻内地震の記録を用いて、地震波の到来方向による増幅特性の差異について検討を行う。(Mは2～4程度であり、全てNoda et al.(2002)適用範囲外の地震である)

到来方向による増幅特性の検討に用いた地震

No.	年	月	日	時	分	震央地名	M	震央距離 (km)	深さ (km)	最大加速度 (cm/s ²)
1	1998	7	27	17	53	豊後水道	4.0	39.3	13.8	0.52
2	1998	9	6	6	6	豊後水道	3.2	39.7	13.3	0.14
3	1999	3	9	2	30	豊後水道	2.9	39.0	14.1	0.16
4	1999	9	9	1	59	豊後水道	2.2	38.4	11.2	0.03
5	2000	11	4	23	13	豊後水道	3.1	39.7	11.0	0.05
6	2000	12	31	23	37	愛媛県南西部	3.5	47.5	11.4	0.28
7	2001	3	14	20	46	豊後水道	3.2	39.6	11.4	0.11
8	2001	3	21	1	7	伊予灘	2.2	12.9	3.3	0.44
9	2001	4	29	10	13	周防灘	3.2	55.5	14.4	0.13
10	2001	8	14	5	45	豊後水道	2.5	33.0	12.1	0.10
11	2001	8	14	5	54	豊後水道	2.8	33.0	14.2	0.16
12	2002	4	4	17	59	愛媛県南西部	2.8	50.8	15.0	0.19
13	2002	12	6	22	31	豊後水道	2.9	38.7	10.2	0.08
14	2003	3	26	4	8	豊後水道	4.5	38.9	10.0	2.28
15	2003	4	30	16	37	伊予灘	3.0	34.8	7.1	0.13

- ・ 全て微小地震計で観測
- ・ 伊方発電所を中心に100km×100km格子内、震源深さ20km以浅、地震規模M 2
- ・ 観測期間：1998.3～2007.7(当社微小地震観測を開始した時期から)
- ・ 気象庁の震源データ(地震・火山月報(カタログ編)CD-ROM 2007年7月)に基づく
- ・ 地震規模が小さく、15地震全てNoda et al.(2002)の適用範囲外

地震の発生領域を伊予灘、豊後水道、陸側に分類し、地震波の到来方向による影響を確認する



検討対象地震

増幅特性の検討

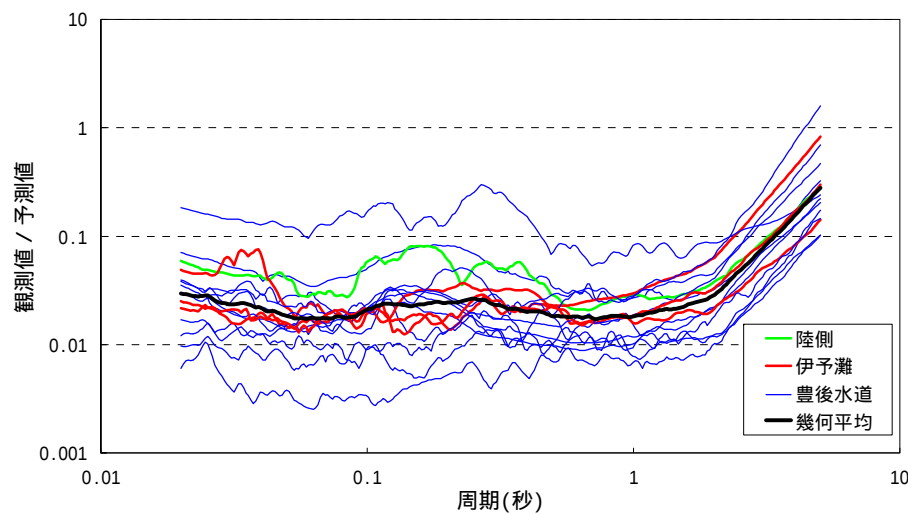
評価結果(地震波の到来方向による影響の検討)

対象とした地震の規模が小さく、Noda et al.(2002)の適用範囲外であることが主な理由と考えられるが、応答スペクトル比は全体的に0.1～0.01程度と小さい。

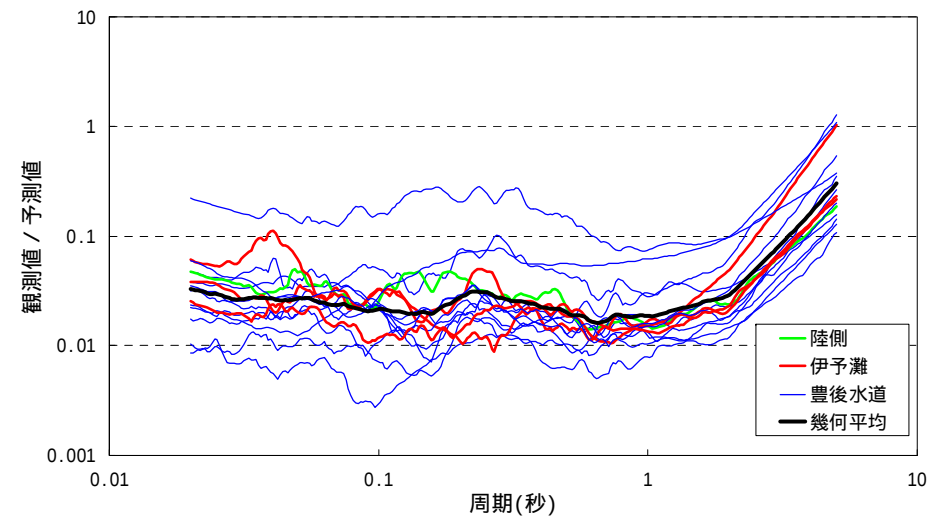
しかし、NS、EW方向ともに、短周期側ではほぼ一定の応答スペクトル比であり、周期ごとに顕著な増幅は見られない。

断定的な評価はできないものの、地震の発生領域を伊予灘、豊後水道、陸側に区別して検討したところ、到来方向によって増幅特性が異なるような傾向は確認されない。

なお、長周期側で増加傾向がみられるのは長周期ノイズの影響と考えられる。



NS方向

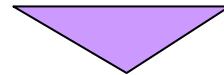


EW方向

地下構造特性による影響 まとめ

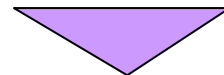
敷地の地盤構造について

伊方発電所の敷地内および敷地近傍での調査結果によると、敷地近傍には塩基性片岩を主体とする三波川変成岩類が分布しており、地下深部までの連続性が確認できる。三波川変成岩類のP波速度が約5.5km/s、S波速度が約2.7km/sであり、その内部でさらに速くなり上面から数百mで $V_s=3.0\text{km/s}$ 程度に達すると考えられ、速度構造的にみると特異な地盤ではないと考えられる。



地下構造特性(増幅特性)について

敷地における内陸地殻内地震の観測記録が少ないこと、およびNoda et al.(2002)の適用範囲内の記録が少ないこと等から、断定的な評価はできないものの、特異な増幅特性を示す地震はなく、到来方向によって増幅特性が異なるような傾向も確認されない。



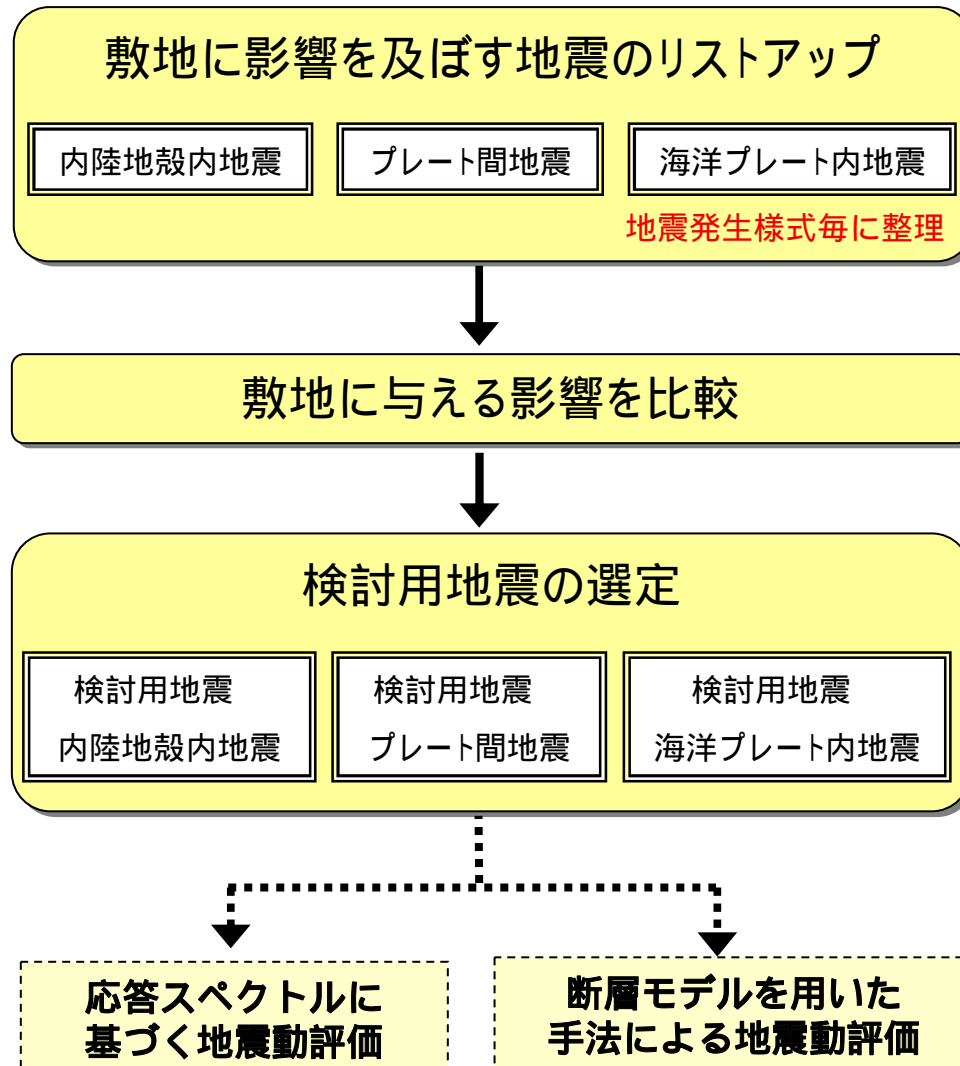
まとめ

以上より、伊方発電所の敷地地盤は、観測記録の分析でも特異な増幅は確認されず、かつ特異な速度構造を有するものではないと評価できることから、中越沖地震における地震動増幅の要因の一つと考えられている不整形地盤には該当しないものと考えられる。

4. 検討用地震の選定

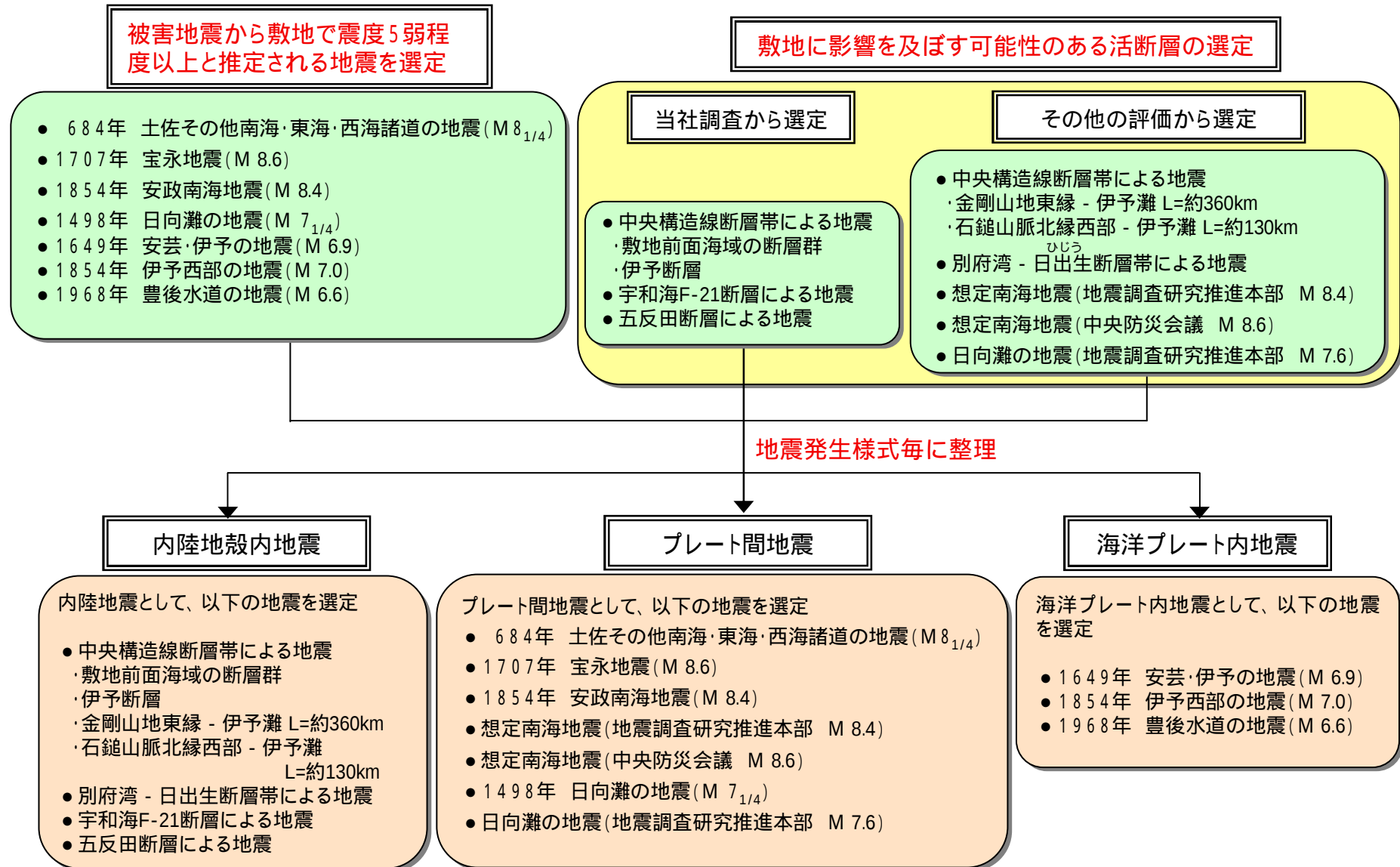
4. 検討用地震の選定

【選定フロー】



- リストアップ方針
敷地に影響を及ぼす可能性のある活断層被害地震から敷地で震度5弱程度以上と推定される地震
- 地震発生様式毎に距離減衰式を用いて、敷地で予想される地震動を比較
- 距離減衰式には、断層近傍のデータを用いており、地震発生様式を考慮できることからZhao et al.(2006)を使用
- 地震発生様式毎に最も影響の大きい地震を検討用地震として選定する

敷地に影響を及ぼす地震のリストアップ



4.1 内陸地殻内地震

4. 検討用地震の選定 4.1 内陸地殻内地震

【敷地に影響を及ぼす地震のリストアップ】

■ 主な被害地震

顕著な被害地震の記録は残っていないが、中央構造線が1596年9月の数日に連鎖的に活動したとの指摘もある（岡田，2006）。いずれにしても下記活断層の想定で包絡されると考える。

■ 当社の調査に基づく敷地周辺30km内の活断層

- ・ 敷地前面海域の断層群
(中央構造線断層帯 L=54km 断層最短距離 8km)
- ・ 宇和海F-21断層 (L=19km 断層最短距離 16km)
- ・ 五反田断層 (L=2km 断層最短距離 12km)

■ 敷地から30km以遠の主な活断層

< 当社調査に基づくもの >

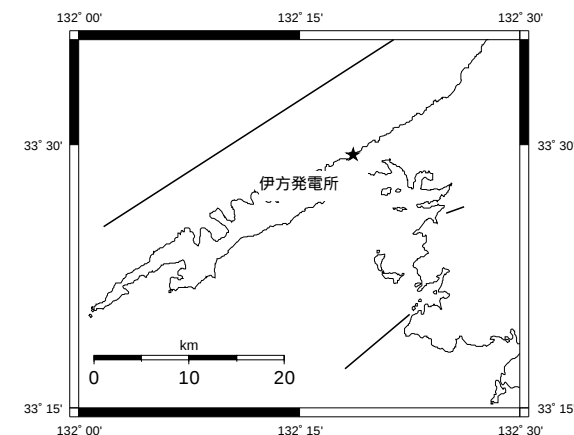
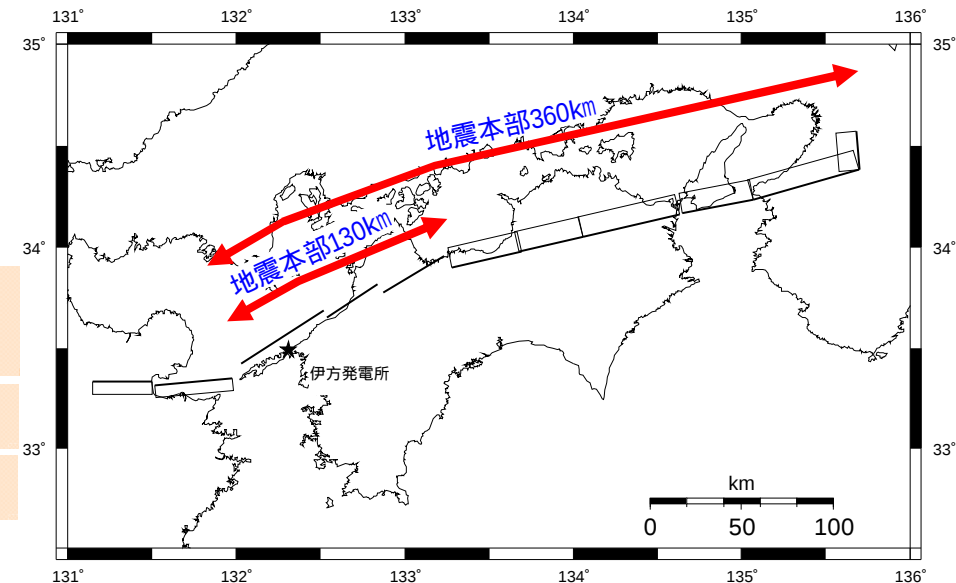
- ・ 伊予断層 (中央構造線断層帯 L=23km 断層最短距離 32km)

< その他機関での評価に基づくもの >

活断層の長期評価において、地震調査研究推進本部が評価結果を公表(2003)

- ・ 中央構造線断層帯 (金剛山地東縁 - 伊予灘 L=約360km)
- ・ 中央構造線断層帯 (石鎚山脈北縁西部 - 伊予灘 L=約130km)
- ・ 別府湾 - 日出生断層帯 (L=76km 断層最短距離 36km)

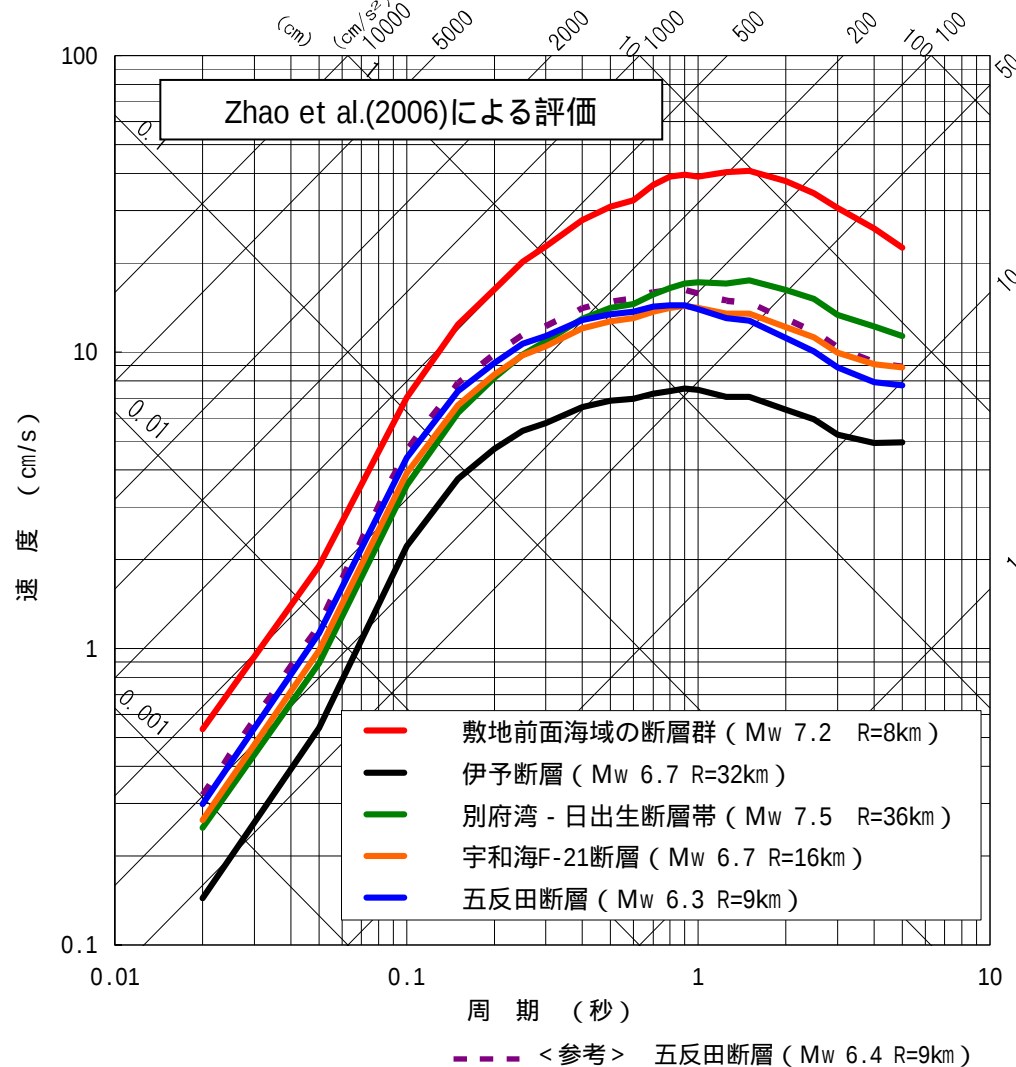
網掛けは敷地に影響を及ぼす可能性のある活断層



敷地周辺拡大図

4.1 内陸地殻内地震

【敷地への影響の度合いの比較】



地震規模は、断層長さ→ M_j → M_o → M_w で算出。

中央構造線断層帯による地震は、敷地前面海域の断層群 ($L=54\text{km}$) で代表させて検討

F-21断層と五反田断層は、地震発生層の厚さ (13km) を考慮して、以下のように断層面を設定。

- F-21断層: $L19\text{km}$, $W13\text{km}$, $\text{dip}90^\circ$
- 五反田断層: $L13\text{km}$, $W13\text{km}$, $\text{dip}90^\circ$



中央構造線断層帯（敷地前面海域の断層群 $L=54\text{km}$ ）による地震が、五反田断層やF-21断層による地震など、他の敷地周辺の断層による地震と比較して、敷地により大きな影響を与えることを確認。



中央構造線断層帯による地震
(敷地前面海域の断層群 $L=54\text{km}$)
を選定



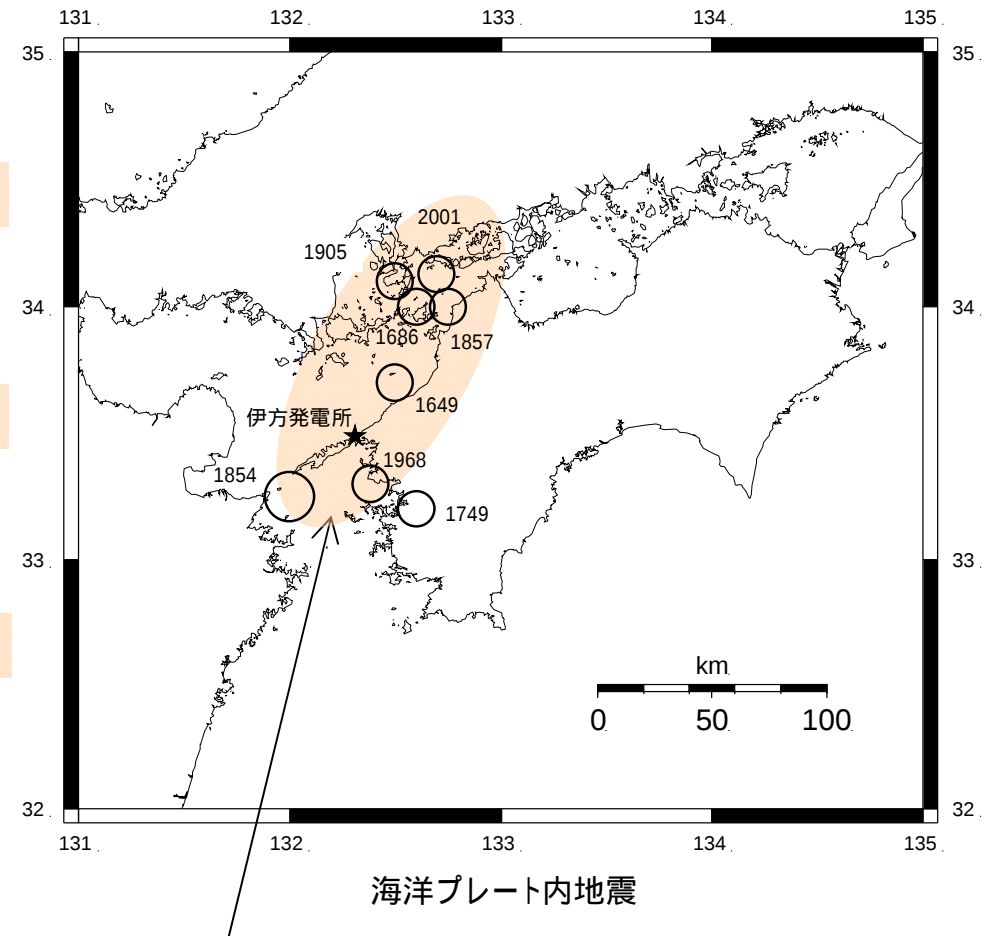
五反田断層に孤立した短い活断層の地震規模評価の考え方を適用して $M_j6.8$ 相当の規模(断層長さ 15km)を想定したケースを参考に破線で示す。

4.2 海洋プレート内地震

【敷地に影響を及ぼす地震のリストアップ】

■ 主な被害地震

- ・ 1649年 安芸・伊予 (M 6.9 震央距離 約29km)
- ・ 1686年 安芸・伊予 (M 6.9 震央距離 約63km)
- ・ 1749年 伊予宇和島 (M 6.7 震央距離 約42km)
- ・ 1854年 伊予西部 (M 7.0 震央距離 約39km)
- ・ 1857年 伊予・安芸 (M 6.8 震央距離 約70km)
- ・ 1905年 芸予地震 (M 6.7 震央距離 約70km)
- ・ 1968年 豊後水道 (M 6.6 震央距離 約22km)
- ・ 2001年 芸予地震 (M 6.7 震央距離 約80km)

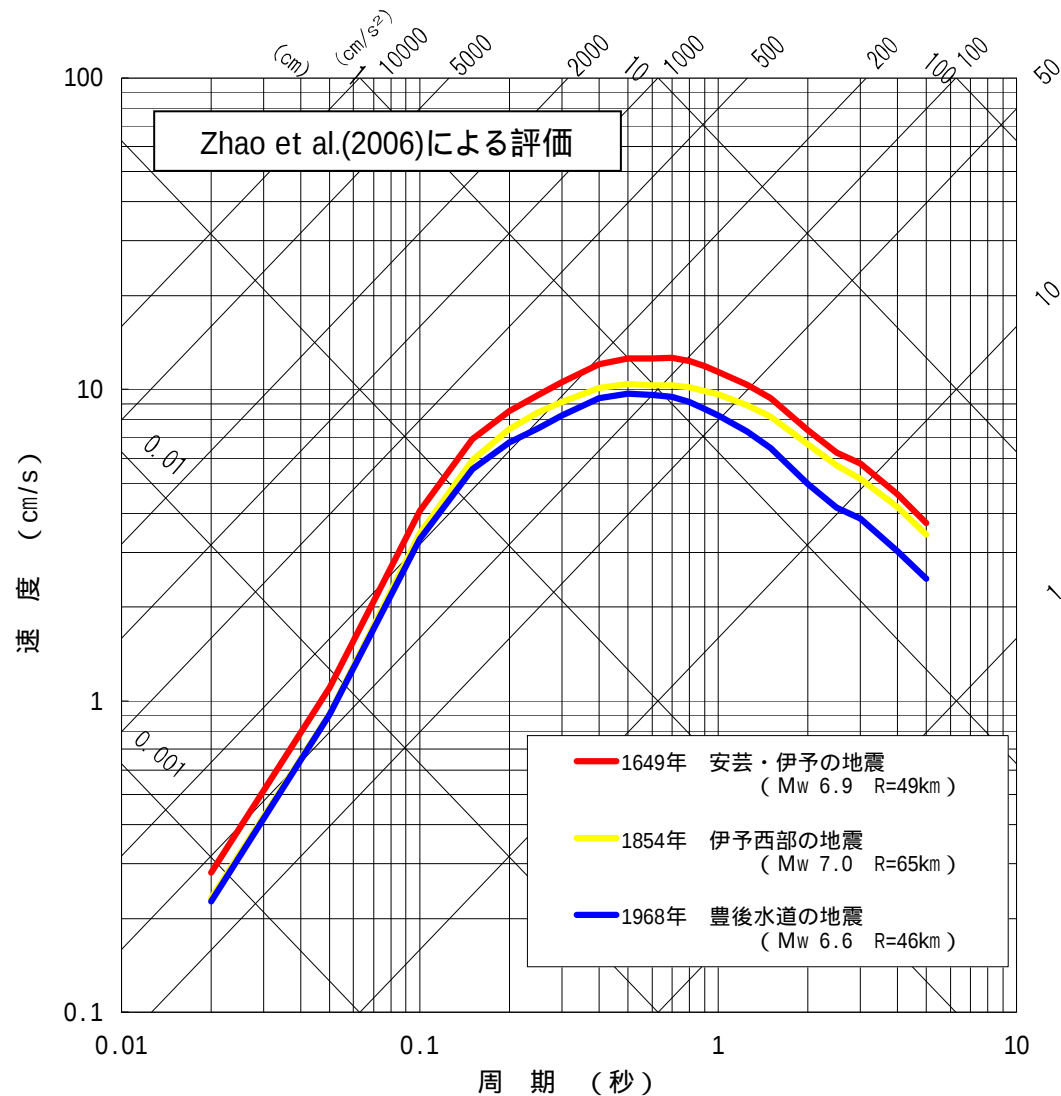


網掛けは、敷地での震度が5程度以上の地震
地震規模は地震カタログを比較して設定

南海トラフから安芸灘～伊予灘～豊後水道の方向（西北西）に沈み込んだフィリピン海プレート内において発生。

4.2 海洋プレート内地震

【敷地への影響の度合いの比較】



R: 断層最短距離

過去に安芸灘～伊予灘～豊後水道海域にて発生したと考えられる海洋プレート内地震について評価を実施



1649年 安芸・伊予の地震
を選定

4.3 プレート間地震

【敷地に影響を及ぼす地震のリストアップ】

南海トラフ沿いのプレート間地震

M 8クラスのプレート間地震が過去に繰り返し発生

■ 主な被害地震

- ・ 684年 土佐その他南海・東海・西海諸道
(M 8 1/4 震央距離 約198km)
- ・ 1707年 宝永地震 (M 8.6 震央距離 約335km)
- ・ 1854年 安政南海地震 (M 8.4 震央距離 約256km)

■ その他機関での評価に基づくもの

- ・ 想定南海地震 (地震調査研究推進本部 M 8.4)
- ・ 想定南海地震 (中央防災会議 M 8.6)

日向灘のプレート間地震

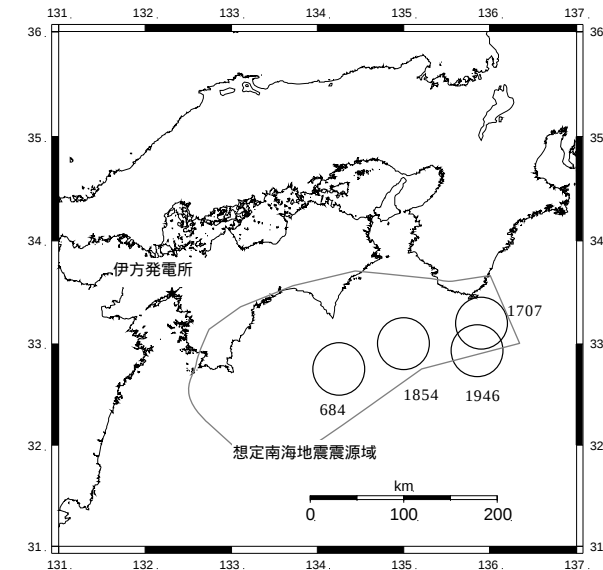
日向灘沖のフィリピン海プレートと陸側のプレートの境界面においてM 7クラスのプレート間地震が繰り返し発生

■ 主な被害地震

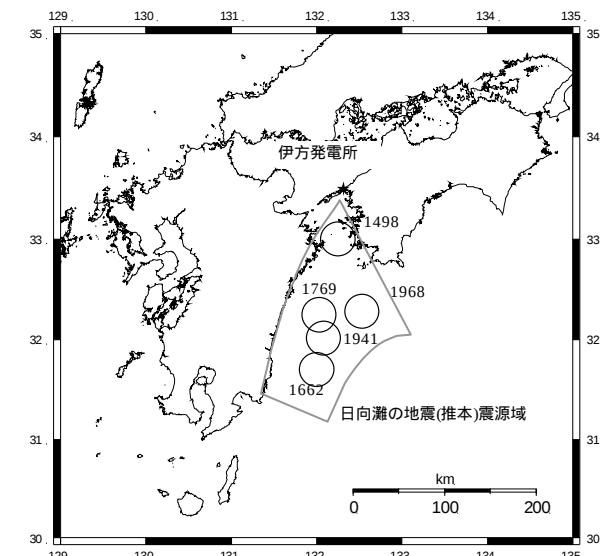
- ・ 1498年 日向灘 (M 7 1/4 震央距離 約55km)
- ・ 1769年 日向・豊後 (M 7.2 震央距離 約140km)

■ その他機関での評価に基づくもの

- ・ 日向灘の地震 (地震調査研究推進本部 M 7.6)



南海トラフ沿いの地震

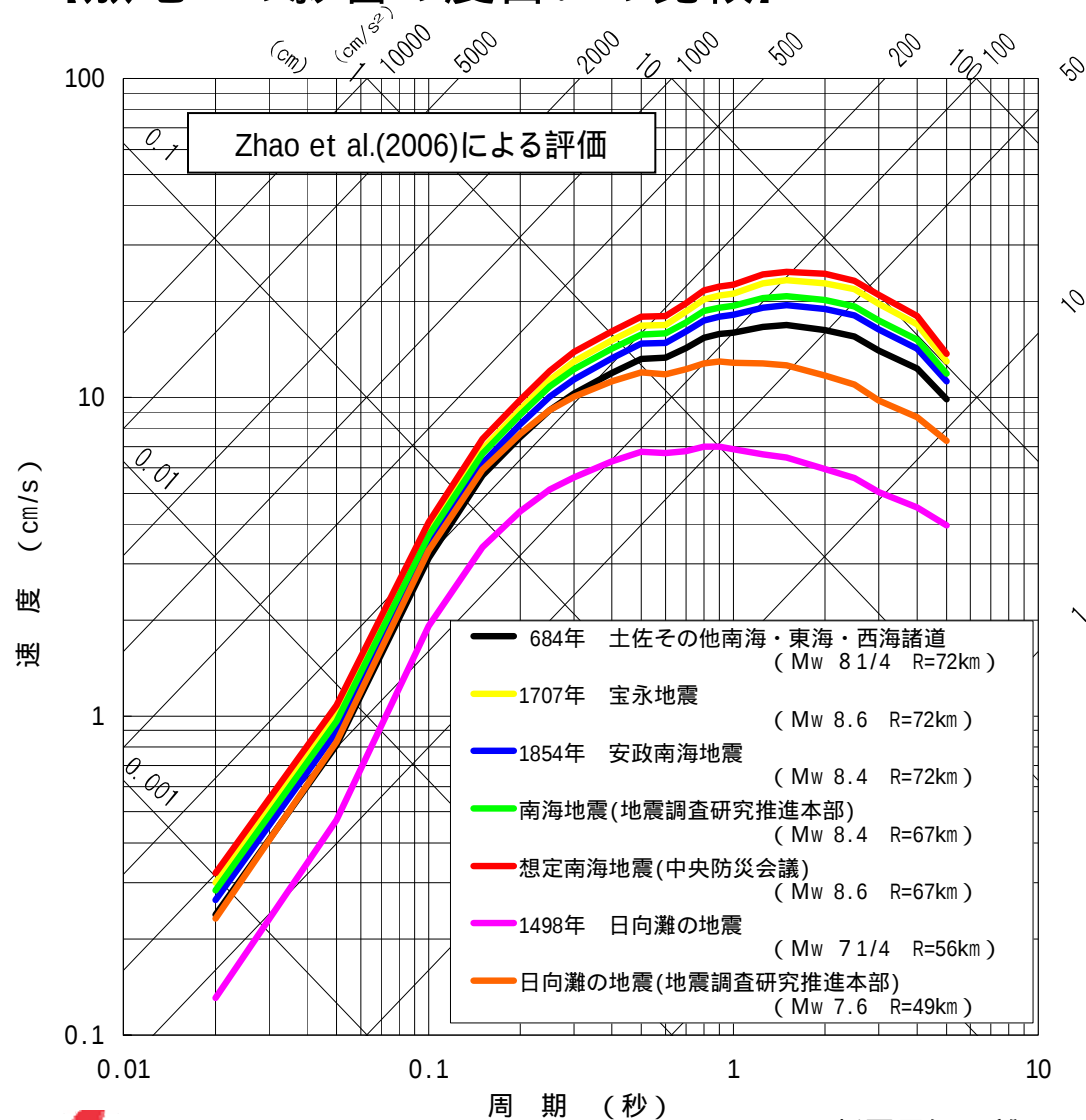


日向灘の地震

網掛けは、敷地での震度が5程度以上の地震、または敷地に影響を及ぼす可能性のある地震

4.3 プレート間地震

【敷地への影響の度合いの比較】



過去に発生した南海トラフ沿い、日向灘のプレート間地震および他機関で評価している当該地域のプレート間地震について地震動評価を実施



想定南海地震
(中央防災会議)

を選定

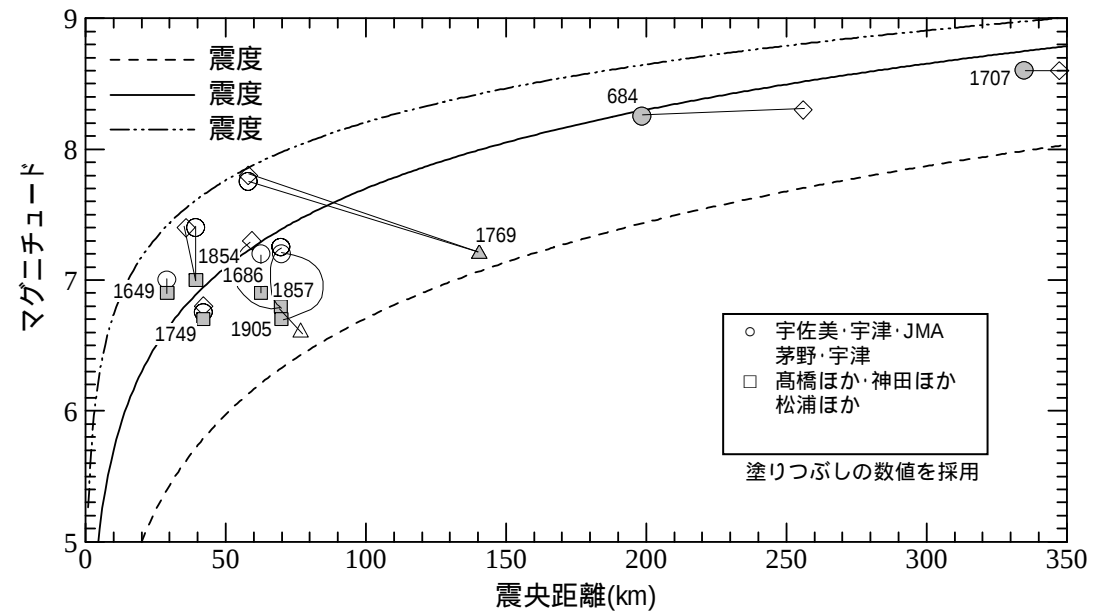
4.4 地震カタログ間の比較

カタログ間で地震諸元に相違があるものについては、

海洋プレート内地震については、地震発生様式の特徴を考慮して諸元を設定した最新の検討結果[高橋ほか(2008)、神田ほか(2008)]を採用

1769年の地震については、地震発生時の状況(暴風雨被害)を勘案して諸元を設定した松浦ほか(2005)を採用

それ以外の差異のある地震については、敷地への影響が大きい方を採用



地震カタログによる地震の諸元の比較

発生年	震央地名 ・地震名	宇佐美(2003)、宇津(1982)、JMA			茅野・宇津(2001)			高橋ほか(2008)・神田ほか(2008)			松浦ほか(2001, 2003, 2005)		
		緯度	経度	M	緯度	経度	M	緯度	経度	M	緯度	経度	M
684	土佐その他 南海・東海・西海諸道	32 1/4 ~ 33 1/4 °	133.5 ~ 135.0 °	8 1/4	33 °	135 °	8.3	-	-	-	-	-	-
1498	日向灘	33.0 °	132 1/4 °	7.0~7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1649	安芸・伊予	33.7 °	132.5 °	7 ± 1/4	33.7 °	132.5 °	7.0	33.7 °	132.5 °	6.9	-	-	-
1686	安芸・伊予	34.0 °	132.6 °	7.0~7.4	34.0 °	132.6 °	7.2	34.0 °	132.6 °	6.9	-	-	-
1707	宝永地震	33.2 °	135.9 °	8.6	33 °	136 °	8.6	-	-	-	-	-	-
1749	伊予宇和島	33.2 °	132.6 °	6 3/4	33.2 °	132.6 °	6.8	33.2 °	132.6 °	6.7	-	-	-
1769	日向・豊後	33.0 °	132.1 °	7 3/4 ± 1/4	33.0 °	132.1 °	7.8	-	-	-	32.25 °	132.03 °	7.2
1854	安政南海地震	33.0 °	135.0 °	8.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1854	伊予西部	33 1/4 °	132.0 °	7.3~7.5	33.3 °	132.0 °	7.4	33.25 °	132.0 °	7.0	-	-	-
1857	伊予・安芸	34.0 °	132.75 °	7 1/4 ± 0.5	34.0 °	132.5 °	7.3	34.0 °	132.75 °	6.8	34.1 °	132.7 °	6.6
1905	芸予地震	34.1 °	132.5 °	7 1/4	34.1 °	132.5 °	7.2	34.1 °	132.5 °	6.7	-	-	-
1968	豊後水道	33 ° 18.00	132 ° 23.00	6.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

採用理由

採用理由

採用理由

複数カタログなし

4.4 地震カタログ間の比較

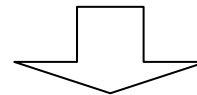
【海洋プレート内地震の地震規模評価における問題点】

・歴史地震の規模を震度から決める場合

→ **ある特定震度の領域面積 S と地震規模 M の経験的な関係** をもとに評価

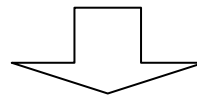
II

『主に震源が浅い地震のデータに基づいて導かれたもの』



したがって…

短周期成分の励起が大きい海洋プレート内地震にそのまま適用すると、ある特定震度の領域面積 S が大きいため、地震規模を過大に評価する恐れがある。



正しい評価を行うために…

海洋プレート内地震の関係式での評価が必要

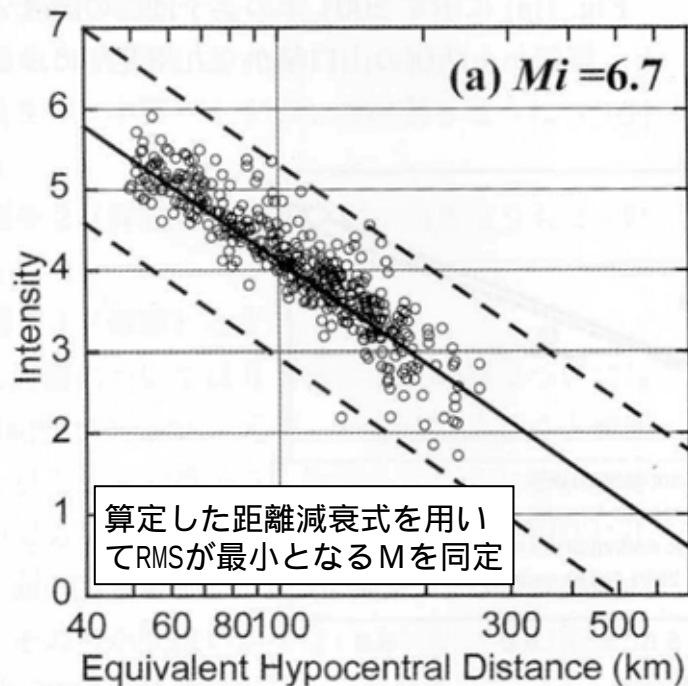
4.4 地震カタログ間の比較

【問題点の解決 高橋ほか2008, 神田ほか2008】

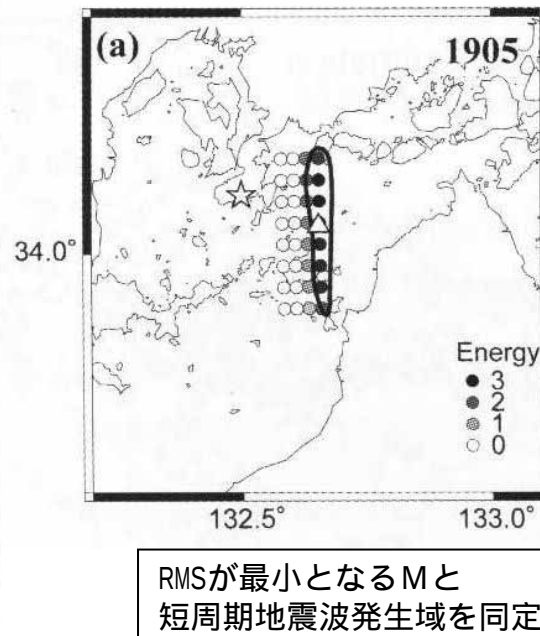
その1 距離減衰式・震度インバージョンによる再評価

安芸灘～伊予灘～豊後水道地域の地震をデータベースとして距離減衰式を算定し
マグニチュードの再評価を実施

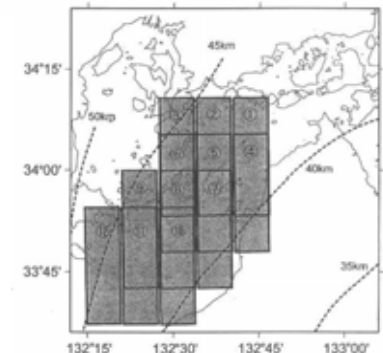
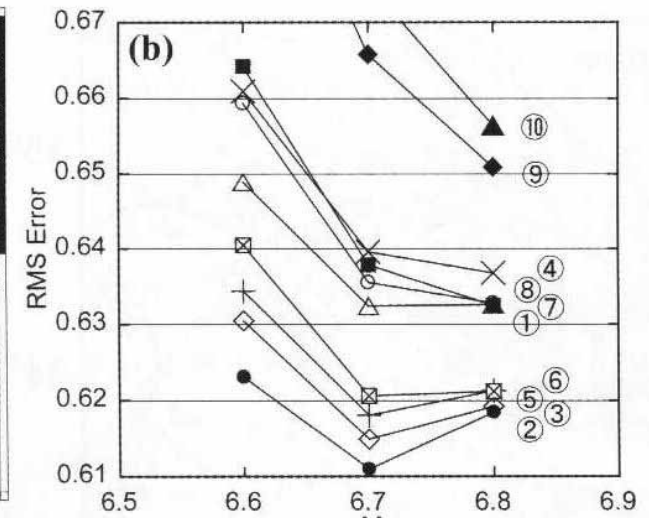
$$\begin{aligned} \text{安芸灘} : I &= -4.2 \log X_{eq} + 1.29M + 3.88 \\ \text{豊後水道} : I &= -4.2 \log X + 1.2M + 4.3 \end{aligned}$$



距離減衰式による再評価
(1905年芸予地震)

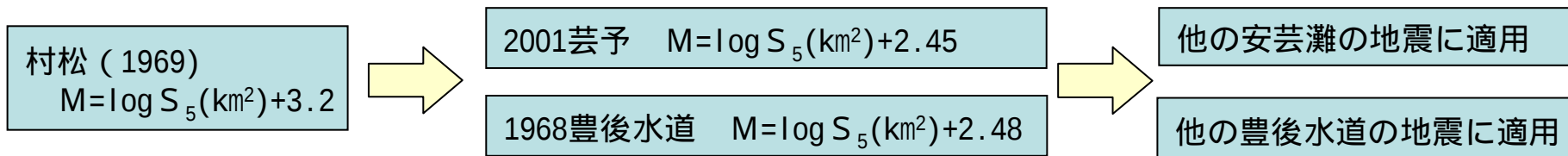


震度インバージョンによる再評価
(1905年芸予地震)



4.4 地震カタログ間の比較

その2 震度5の面積による再評価



近年の地震に適用した場合に、気象庁発表のマグニチュードと一致するように、既往の関係式(村松, 1969)を補正

再評価の結果

地震	マグニチュード			
	既往評価	再評価手法		
		距離減衰式	震度インバージョン	震度5面積
1649	7 ± 1/4	6.9	6.9	-
1686	7.0 ~ 7.4	6.8	6.9	-
1749	6 3/4	6.6	6.7	(6.4)
1854	7.3 ~ 7.5	7.0	7.0	7.0
1857	7 1/4 ± 0.5	6.8	6.8	6.6
1905	7 1/4	6.7	6.7	6.6
1968	6.6	6.6	6.6	6.6
2001	6.7	6.7	6.7	6.7

海洋プレート内地震に基づく関係式で再評価を行った結果、**マグニチュードは6.6 ~ 7.0程度**との評価となった



() は震度データが少ないため過小評価

4.5 検討用地震の選定結果

内陸地殻内地震	: 中央構造線断層帯による地震
海洋プレート内地震	: 1649年安芸・伊予の地震 (M6.9)
プレート間地震	: 想定南海地震 M8.6 (中央防災会議による想定南海地震)

