

**伊方発電所3号機
「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」
の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書
における新潟県中越沖地震の知見反映状況について**

- 1. 震源特性に関する検討
- 2. 地下構造特性による影響

平成 2 1 年 3 月
四国電力株式会社

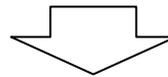
1. 震源特性に関する検討

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

「敷地の地震動を応答スペクトル及び断層モデルによる手法に基づいて評価を行う際には、震源モデルのパラメータの不確かさを考慮した評価を行う」



『3号機本報告書』における検討内容

中越沖地震の震源特性を考慮して、震源特性を1.5倍した地震動評価を行う。

○応答スペクトルに基づいた地震動評価

応答スペクトルに基づいた地震動評価では、Noda et al.(2002)が示す内陸補正を用いていないことから、震源特性1.5倍程度を既に見込んだ評価となっていると考えられる。

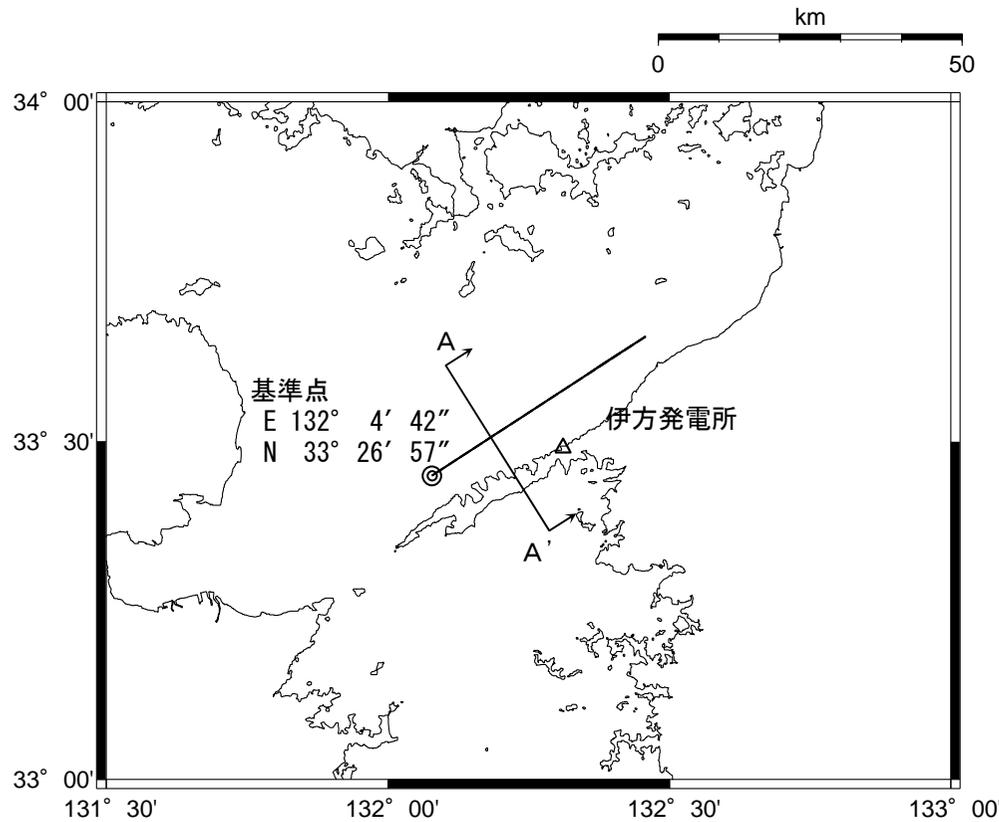
○断層モデルを用いた手法による地震動評価

応力降下量を基本モデルの1.5倍とする地震動評価を行う。検討にあたっては、敷地前面海域の断層群による地震を対象とし、基本モデルおよびアスペリティを上端に配置したケースで検討を行う。

震源特性に関する検討①

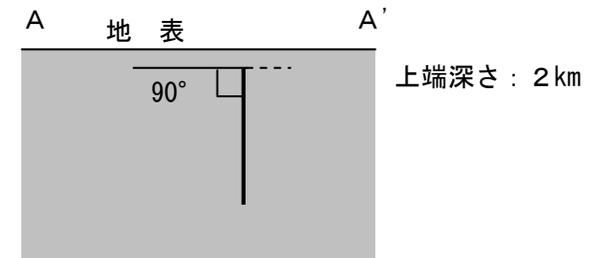
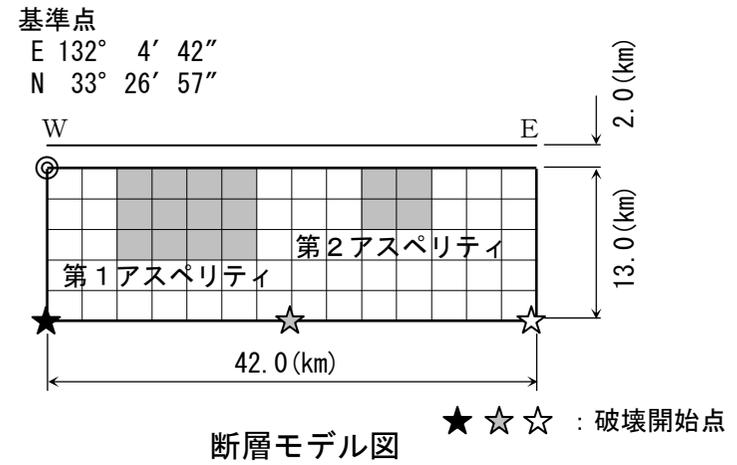
【断層諸元】

- ・断層長さ : 42km
- ・断層傾斜角 : 90°
- ・アスペリティ位置 : 上端
- ・破壊開始点 : 断層西下端, 中央下端, 東下端



断層位置図

検討した2ケースのうち, より厳しいアスペリティ上端ケースについて示す



(A-A')断面図

震源特性に関する検討②

断層パラメータ	記号	設定値	根拠
断層位置	—	東経: 132° 4' 42" 北緯: 33° 26' 57"	
走向	θ	N57E	
傾斜角	δ	90°	
断層長さ	L	42.0 km	
断層幅	W	13.0 km	
断層面積	S	546.0 km ²	
断層上端深さ	H	2.0km	
破壊伝播形式	—	同心円状	
応力降下量	$\Delta \sigma$	2.2→3.3MPa	楕円クラック×1.5倍
地震モーメント	M_0	$1.66 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$	入倉・三宅(2001)
モーメントマグニチュード	M_w	6.7	Kanamori(1977)
気象庁マグニチュード	M_J	7.1	武村(1998)
剛性率	μ	$4.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$	
平均すべり量	D	76 cm	$D=M_0/(\mu S)$
S波速度	β	3.5 km/s	
破壊伝播速度	V_R	2.5 km/s	Geller(1976)
短周期レベル	A'	$1.03 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m/s}^2$ ↓ $1.54 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m/s}^2$	$4\pi(S/\pi)^{1/2} \cdot \Delta \sigma \cdot \beta^2$

断層パラメータ	記号	設定値	根拠	
全アスペリティ	地震モーメント	M_{0a}	$7.30 \times 10^{18} \text{ N}\cdot\text{m}$	$M_{0a} = \mu D_a S_a$
	面積	S_a	120.1 km ²	$S_a = S \times 22\%$
	平均すべり量	D_a	152 cm	$D_a = 2.0 \times D$
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$	10.1 → 15.2MPa	$\Delta \sigma_a = \Delta \sigma / 0.22$
第1アスペリティ	地震モーメント	M_{0a1}	$5.93 \times 10^{18} \text{ N}\cdot\text{m}$	S ^{1.5} 比で配分
	面積	S_{a1}	87.4 km ²	$S_{a1} = S \times 16\%$
	平均すべり量	D_{a1}	170 cm	$D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	実効応力	σ_{a1}	10.1 → 15.2 MPa	$\sigma_{a1} = \Delta \sigma_a$
第2アスペリティ	地震モーメント	M_{0a2}	$1.36 \times 10^{18} \text{ N}\cdot\text{m}$	S ^{1.5} 比で配分
	面積	S_{a2}	32.8 km ²	$S_{a2} = S \times 6\%$
	平均すべり量	D_{a2}	104 cm	$D_{a2} = M_{0a2} / (\mu S_{a2})$
	実効応力	σ_{a2}	10.1 → 15.2MPa	$\sigma_{a2} = \Delta \sigma_a$
背景領域	地震モーメント	M_{0b}	$9.29 \times 10^{18} \text{ N}\cdot\text{m}$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	面積	S_b	425.9 km ²	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量	D_b	55 cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	実効応力	σ_b	2.0 → 3.0MPa	$\sigma_b = 0.2 \times \Delta \sigma_a$

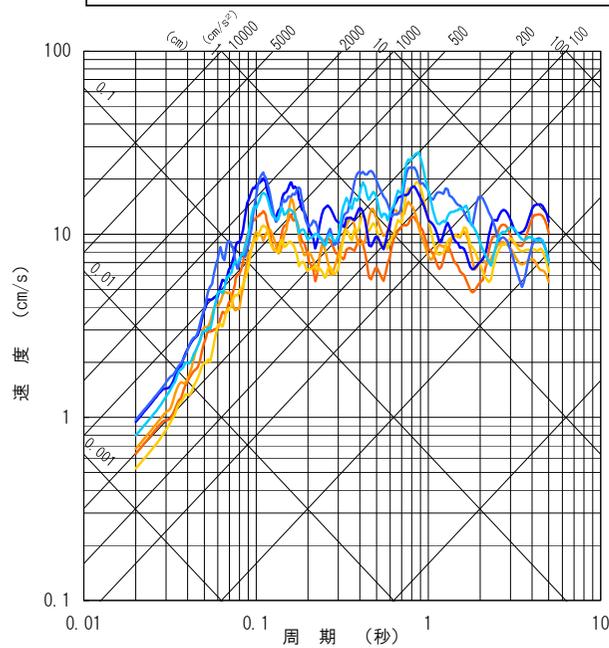
震源特性に関する検討③

評価結果①

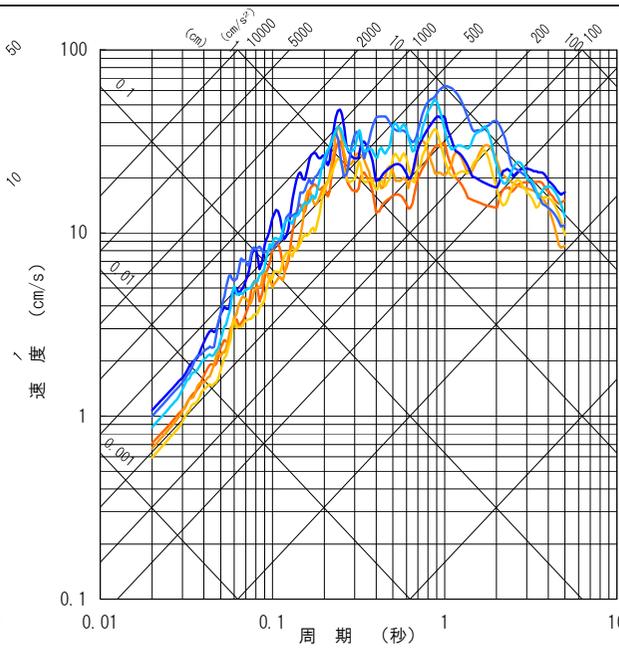
断層モデル(経験的グリーン関数法)を用いた手法による地震動評価の結果を示す。

応力降下量を1.5倍したケースの地震動は、ベースとしたモデル(応力降下量1.0倍)の評価結果と比較して、短周期側では約1.5倍の地震動となっている。

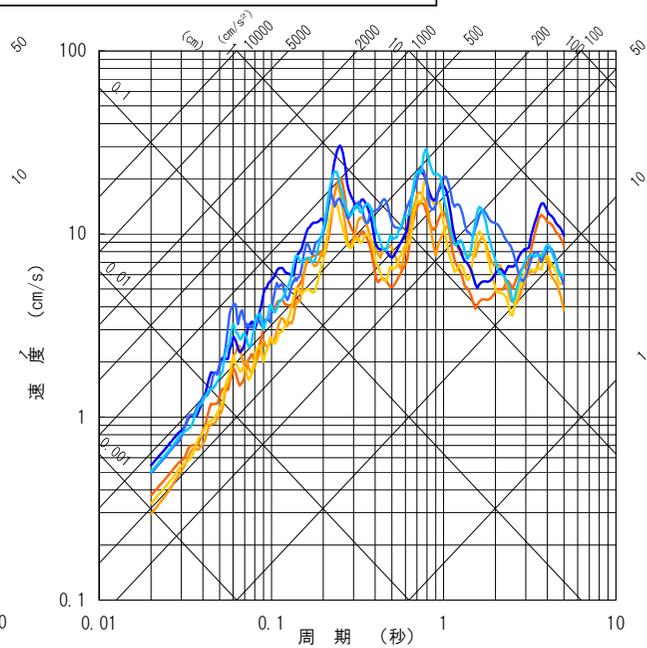
— (赤)	想定敷地前面海域の断層群による地震	応力降下量1.0倍	断層傾斜角:90°	アスペリティ深さ:上端	破壊開始点:西 下端
— (黄)	〃	〃	〃	〃	破壊開始点:中央 下端
— (青)	〃	〃	〃	〃	破壊開始点:東 下端
— (紫)	想定敷地前面海域の断層群による地震	応力降下量1.5倍	断層傾斜角:90°	アスペリティ深さ:上端	破壊開始点:西 下端
— (緑)	〃	〃	〃	〃	破壊開始点:中央 下端
— (赤)	〃	〃	〃	〃	破壊開始点:東 下端



NS方向



EW方向



UD方向

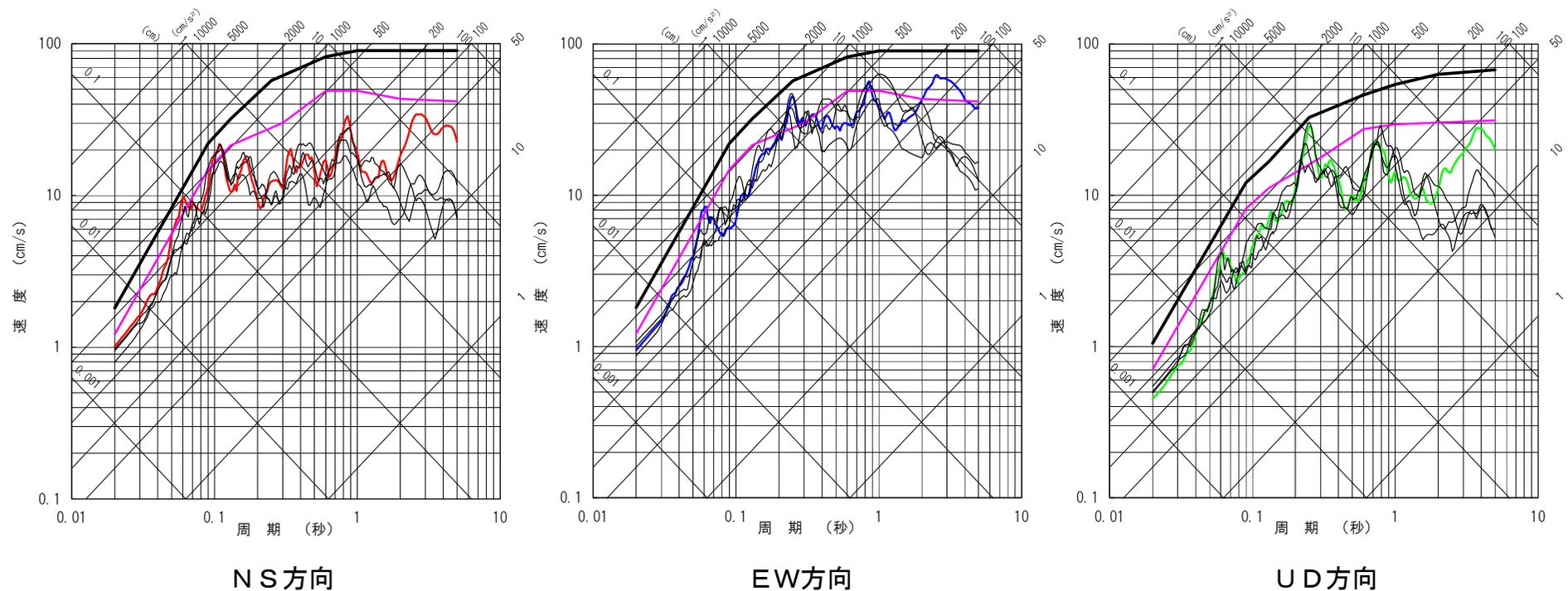
震源特性に関する検討④

評価結果②

基準地震動S_s-1およびS_s-2と応力降下量を1.5倍したケースの地震動を比較した結果、応力降下量を1.5倍したケースの地震動は基準地震動S_s-1に包絡されること、および基準地震動S_s-2と同程度であることを確認した。

- 基準地震動 S_s - 1
- 基準地震動 S_s - 2
- 想定敷地前面海域の断層群による地震（応答スペクトル）※
- 想定敷地前面海域の断層群による地震（断層モデル）応力降下量1.5倍

※内陸補正を適用していないことで応力降下量1.5倍は織り込み済みと評価できる



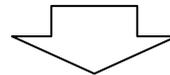
2. 地下構造特性による影響

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。」



『3号機本報告書』における検討内容

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①

○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

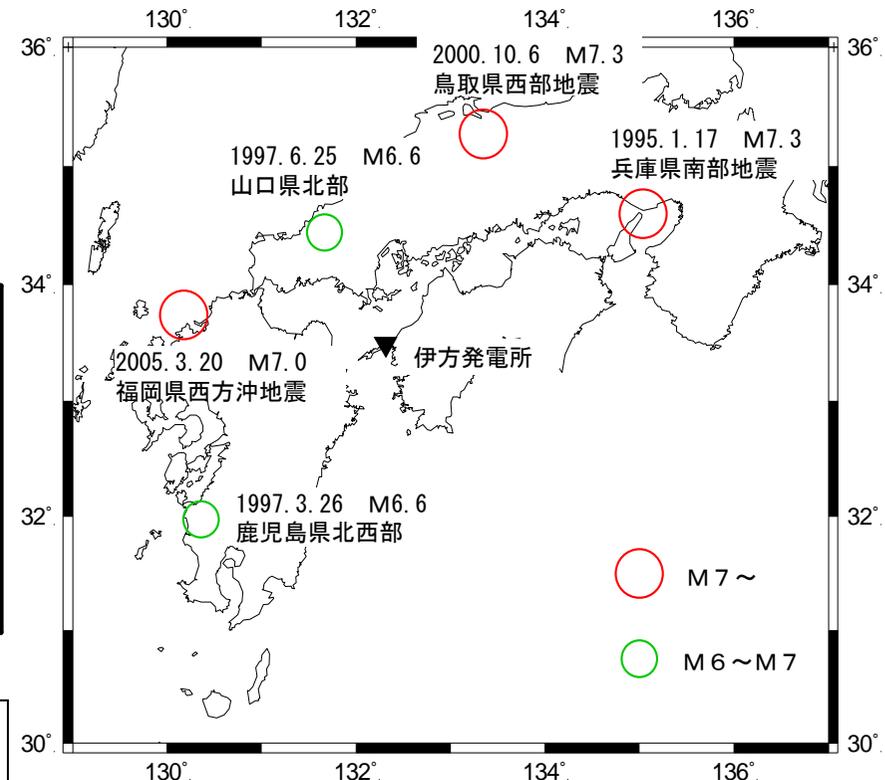
【Noda et al.(2002)が回帰に使用したデータセット】

→ 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②

評価結果(増幅特性の検討)

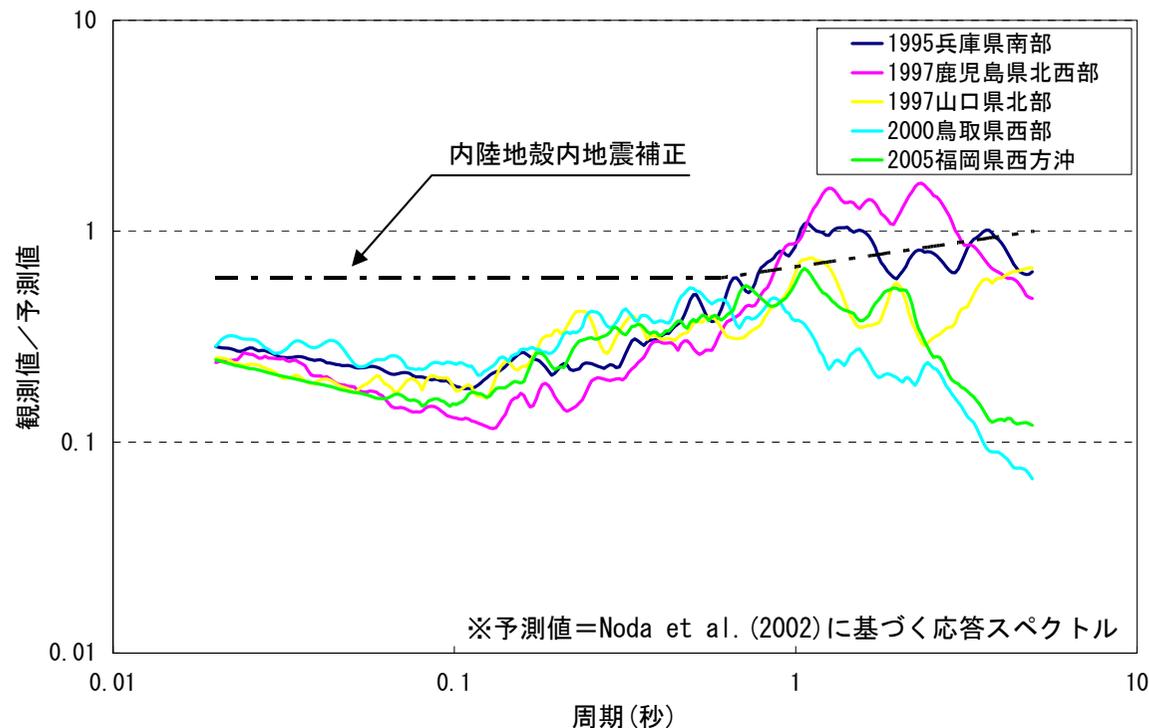
どの地震においても、短周期側では観測値は予測値よりも小さい傾向を示している。観測値が予測値よりも小さい理由としては、

○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③

○地震波の到来方向による影響の検討(規模の小さい地震)

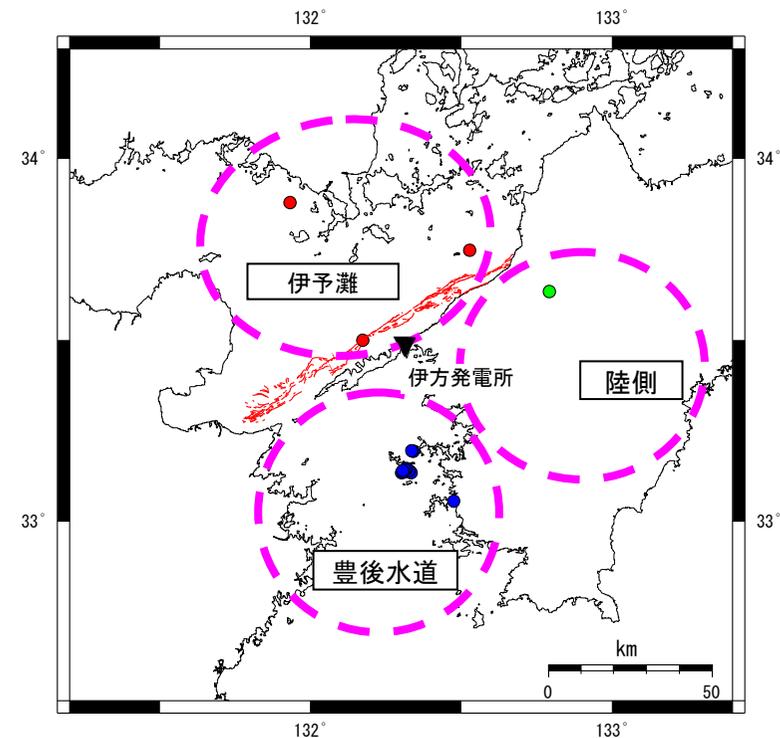
伊方発電所の微小地震計で観測した内陸地殻内地震の記録を用いて、地震波の到来方向による増幅特性の差異について検討を行う。(Mは2~4程度であり、全てNoda et al.(2002)適用範囲外の地震である)

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④

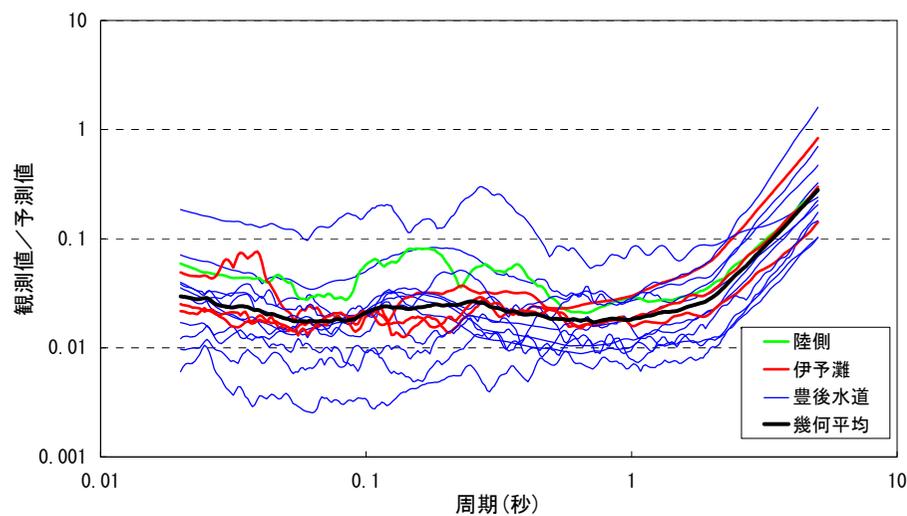
評価結果(地震波の到来方向による影響の検討)

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。

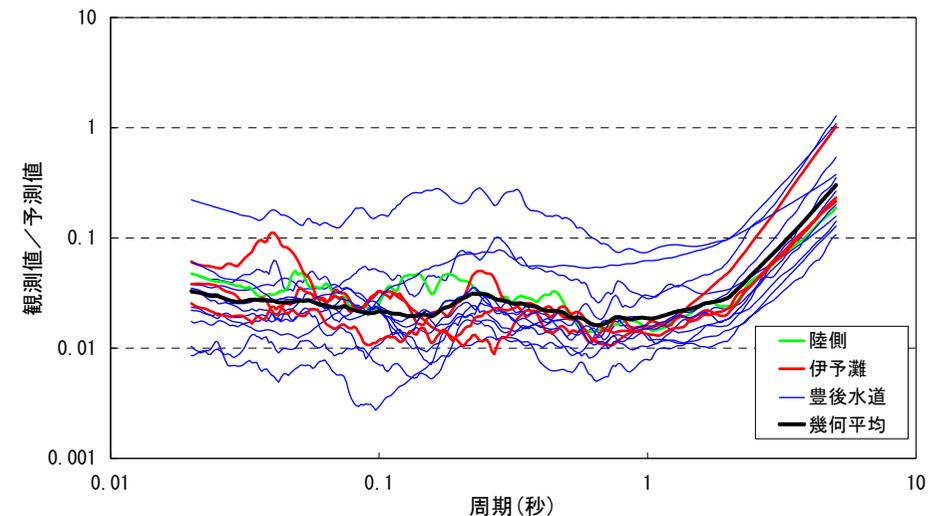
しかし、NS、EW方向ともに、短周期側ではほぼ一定の応答スペクトル比であり、周期ごとに顕著な増幅は見られない。

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。



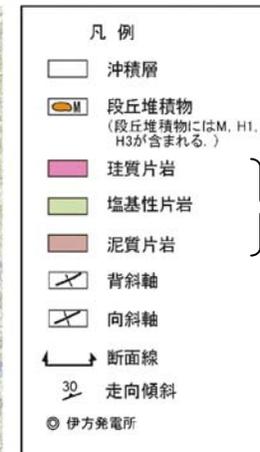
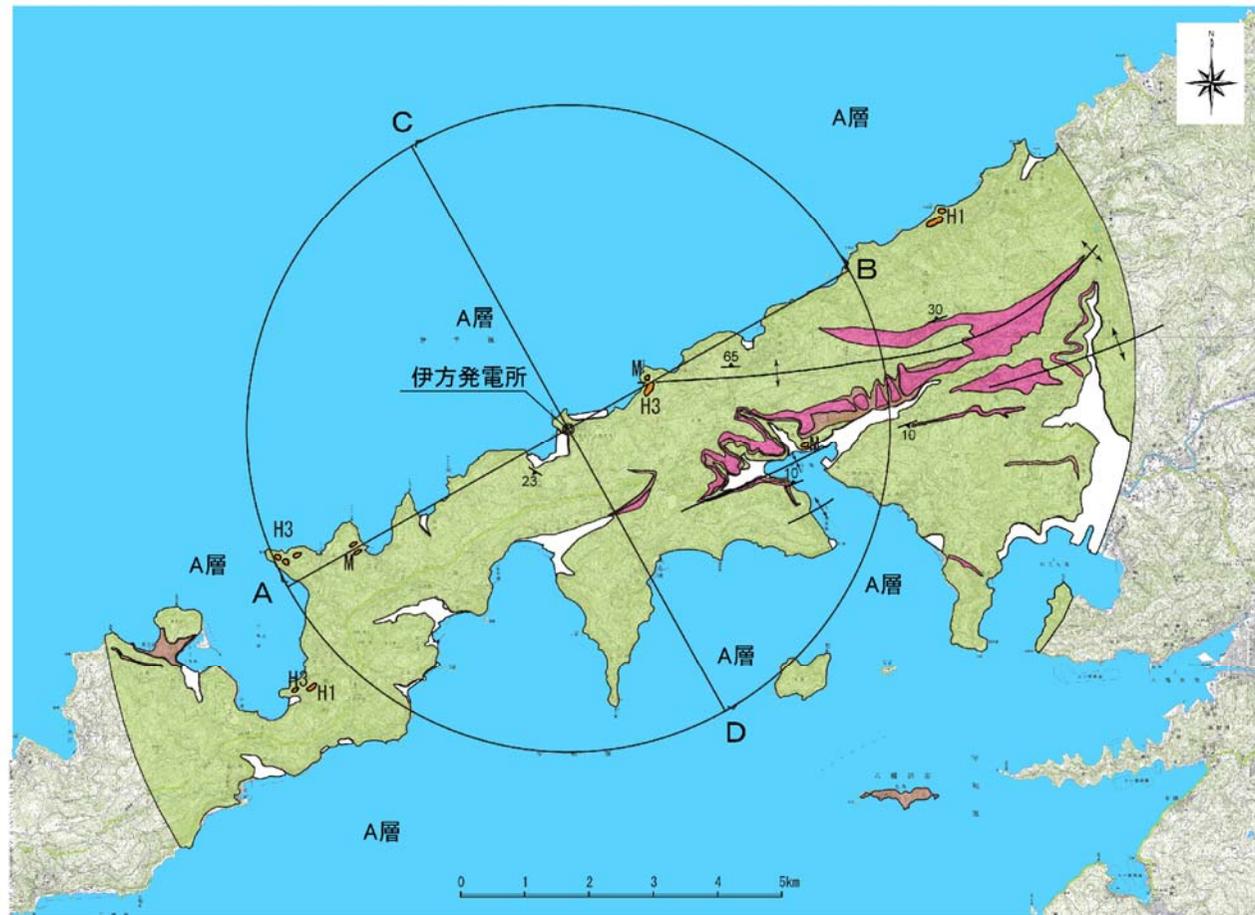
NS方向



EW方向

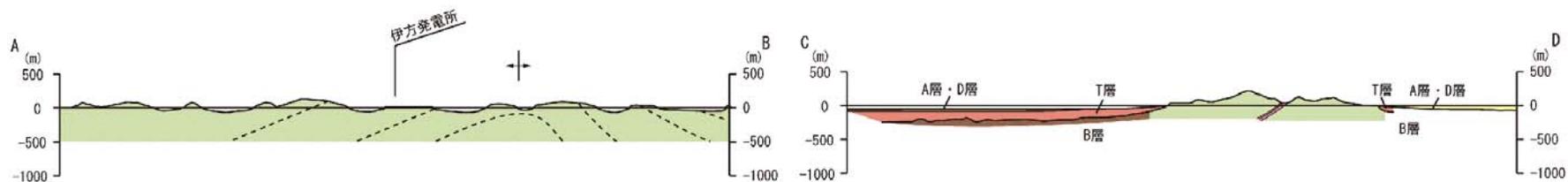
敷地の地盤構造①

【敷地近傍の地質・地質構造】



三波川変成岩類

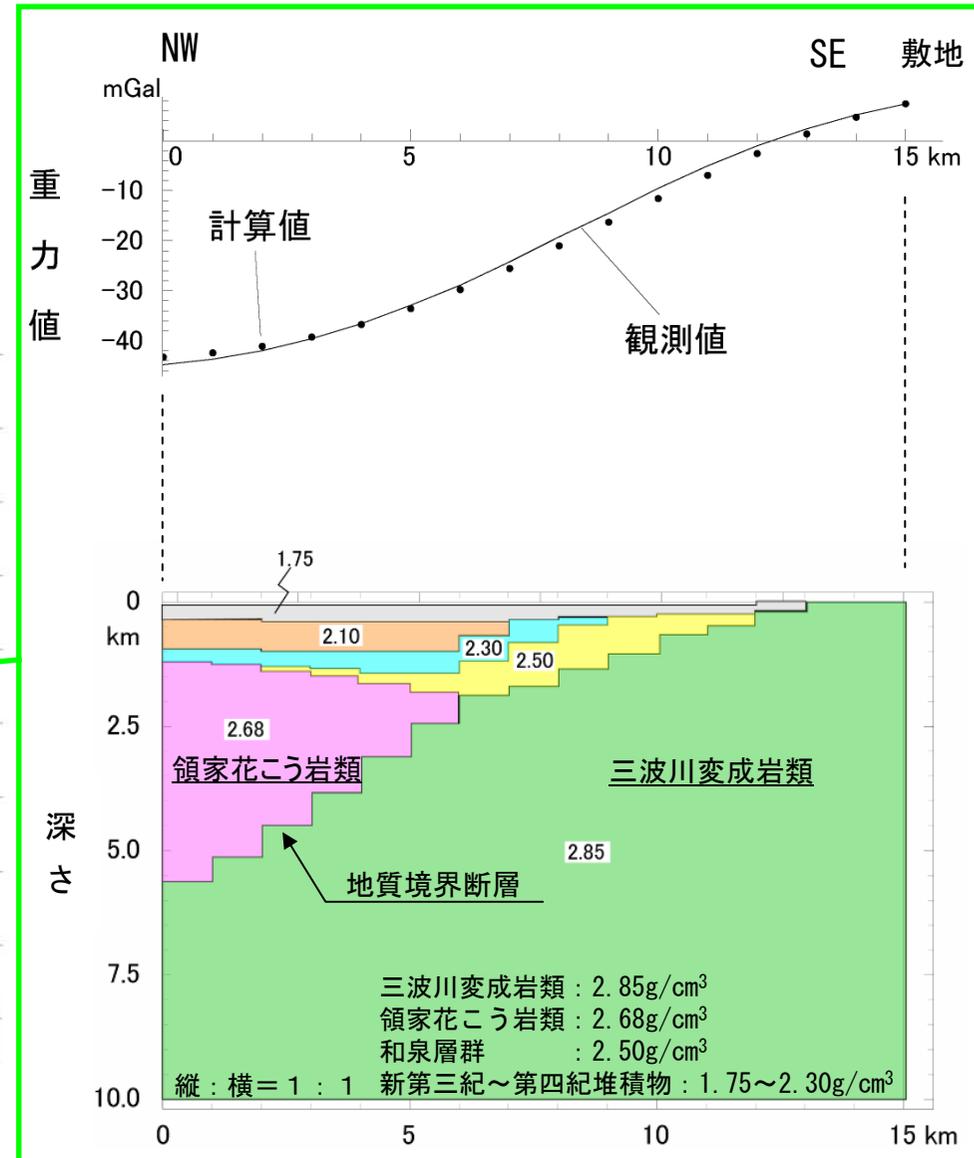
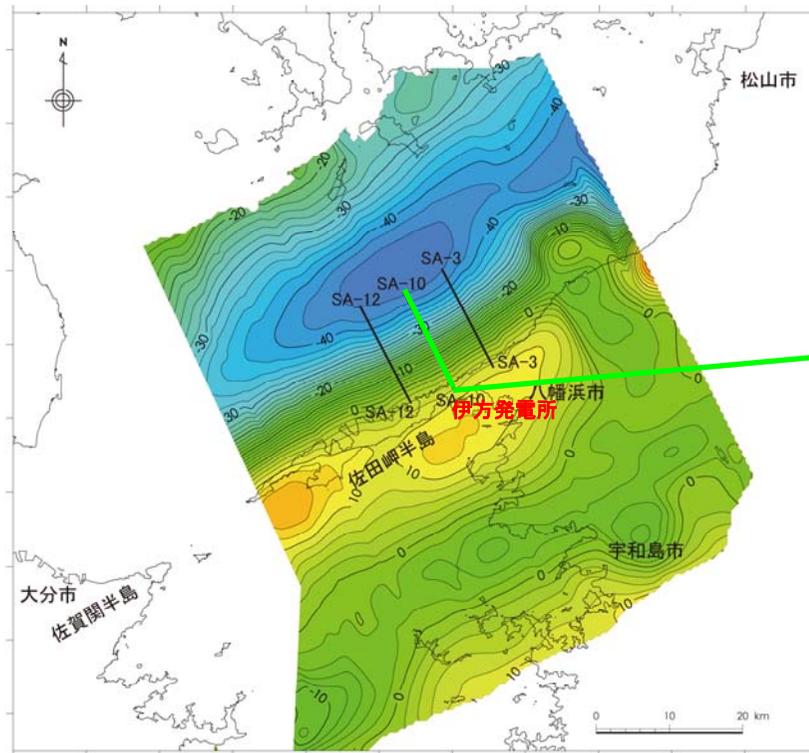
■ 敷地近傍には塩基性片岩(三波川変成岩類)が広く分布する。



敷地の地盤構造③

【重力逆解析結果】

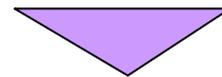
■ 三波川変成岩類の敷地下方への広い分布が推察される。



地下構造特性による影響 まとめ

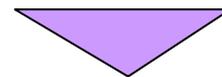
敷地の地盤構造について

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する。

参考文献

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, 849-875.

Kanamori, H. , 1977, The energy release in great earthquakes, J. Geophys. Res. 82,2981-2987.

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の関係, 地震2, 51, 211-228.

Geller, R. , 1976, Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 1501-1523.

壇一男・佐藤俊明, 1998, 断層の非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 第509号, 49-60.

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, 51-62

入倉孝次郎・三宅弘恵・岩田知孝・釜江克宏・川辺秀憲, 2002, 強震動予測のための修正レシピとその検証, 第11回日本地震工学シンポジウム, 567-572

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2008, 付録 震源を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)

JEAG4601-2007, 2007, 原子力発電所耐震設計技術指針 基準地震動策定・地質調査編, 社団法人日本電気協会原子力規格委員会

Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide Watanabe, 2002, Response spectra for design purpose of stiff structures on rock sites, OECD-NEA workshop on the relation between seismological data and seismic engineering analysis, OCT.16-18,Istanbul.