

日本原燃株式会社 加工事業許可申請
(MOX燃料加工施設)に係る

検討用地震の応答スペクトルに基づく
地震動評価について

平成20年1月

原子力安全・保安院

目 次

1. はじめに	1
2. Noda et al. (2002) の概要	1
3. 大崎の手法との比較	2
4. 六ヶ所地点におけるサイト固有の地盤増幅率について	3

1. はじめに

「日本原燃株式会社 MOX燃料加工施設」の基準地震動 S_s の策定において、検討地震の応答スペクトルに基づく地震動評価には、Noda et al. (2002) を用いている。そこで、以下に Noda et al. (2002) の概要を示す。

2. Noda et al. (2002) の概要

2. 1 特 徴

Noda et al. (2002) による応答スペクトルに基づく地震動評価手法は、概ね第三紀以前の地層の表面における水平・上下地震動の応答スペクトルとその経時特性の経験的な評価法をまとめたものである。

本評価法は、マグニチュード、等価震源距離、評価地点の地盤の弾性波速度をパラメータとして敷地の解放基盤表面での地震動を評価するもので、実際に敷地で観測された地震動の記録をできるだけ正確に反映するように作成されている。

その主な特徴は、

- ① 評価地点の地盤の弾性波速度を用いて地震基盤から表層の増幅率を経験的に評価していること
 - ② 震源近傍へ適用するために断層の広がり効果を考慮していること
 - ③ 周期 0.02～5 秒と長周期領域まで評価できること
 - ④ 水平動に加えて上下動も評価可能なこと
- である。

2. 2 評価手法について

(1) データベース

評価式は、マグニチュード $M5.5$ 以上、震源距離 200 km 以下、震源深さ 60 km 以浅の条件を満足する地震を選定し、概ね第三紀以前の地層で観測された 44 地震 107 記録 (321 成分) の回帰分析により得られた平均応答スペクトルに基づいて作成されている。回帰分析の標準偏差は概ね周期によらず常用対数で 0.23 程度となっている。観測点の地盤の弾性波速度の範囲は S 波速度 $V_s=0.5\sim 2.7\text{km/s}$ 、P 波速度 $V_p=1.7\sim 5.5\text{km/s}$ となっている。

(2) 解放基盤表面の地震動の応答スペクトル

解放基盤表面における地震動の応答スペクトルは、地震基盤における水平地震動に対して、水平動の地盤増幅率及び上下動の地盤増幅率を乗じて求められる。評価方法の考え方を第1図に示す。

水平地震動は、第1表に示すコントロールポイントで表される擬似速度応答スペクトルに対し、第2図に示す解放基盤表面での地盤の V_s 及び地震基盤から解放基盤表面までの地盤の卓越周期の関数で表される水平地震動の地盤増幅率を乗じて算定される。鉛直地震動についても同様に、第1表の応答スペクトルに対して第2図に示す解放基盤表面での地盤の V_p 及び地震基盤から解放基盤表面までの地盤の卓越周期で表される鉛直地震動の地盤増幅率を乗じて算定される。

また、評価地点において多数の観測記録がある場合には、本評価法による地震基盤での地震動評価結果と比較の上、サイト固有の地盤増幅率を評価することができる。とされている。

なお、データベースは深さ60km以浅の地震のみからなり、そのうち海溝沿いの地震が8割程度を占めるため、本評価法は基本的には海溝沿いの地震を対象としたものとなっている。そのため、内陸浅部の活断層で起こる地震や沈み込むプレート内で起こる深い地震、さらに震源近傍で長周期パルスが卓越する場合の評価については、補正等が必要としている。

3. 大崎の手法との比較

これまで、原子力施設の耐震設計に用いる地震動の応答スペクトルの標準的な算定方法として広く用いられていた大崎の手法との比較を第2表に示す。

4. 六ヶ所地点におけるサイト固有の地盤増幅率について

評価地点において多数の観測記録がある場合には、解放基盤表面における観測記録の応答スペクトルを計算し、地震基盤におけるNoda et al. (2002)による応答スペクトルとの残差からサイト固有の地盤増幅率を評価することが望ましいとされていることから、プレート間地震及び内陸地殻内地震の地盤増幅率について検討を行っている。

(1) プレート間地震の観測記録に基づく地盤増幅率

検討に用いた観測記録には、Noda et al. (2002) の検討に用いた地震の範囲であるマグニチュード 5.5 以上、震源深さ 60km 以浅、震央距離 200km 以内の 10 地震による六ヶ所地点での観測記録を選定している。選定した地震の諸元を第 3 表に、震源メカニズム解を第 3 図に示す。

第 3 表の地震諸元を用いて Noda et al. (2002) によって求めた応答スペクトルに対する観測記録の応答スペクトル比を、水平方向及び鉛直方向について、それぞれ第 4 図及び第 5 図に示す。Noda et al. (2002) による応答スペクトルは、地震基盤に対する値をとして求めたものである。第 4 図及び第 5 図の上段は、Noda et al. (2002) に対する各観測記録の解放基盤表面におけるはざとり波の応答スペクトル比の重ね書きであり、下段はその平均値と標準偏差を示している。また、地震基盤から解放基盤表面までの増幅率を考慮した六ヶ所地点における水平方向及び鉛直方向の応答スペクトル比を第 6 図及び第 7 図に示す。

敷地におけるプレート間地震の記録は、約 0.2 秒以上の長周期側で Noda et al (2002) による応答スペクトルをやや上回るが、全周期帯において概ねよい一致をしていることから、六ヶ所地点の地震動評価において、プレート間地震に対する観測記録による補正は行わないこととしている。

(2) 内陸地殻内地震の観測記録に基づく地盤増幅率

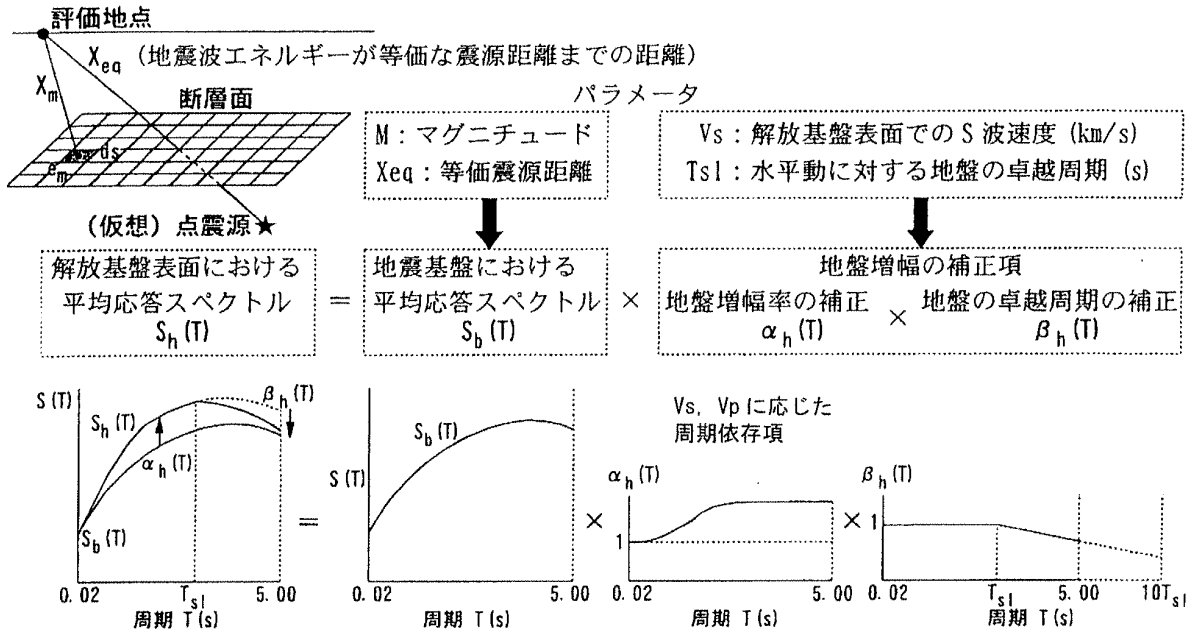
検討に用いた観測記録には、内陸地殻内地震の観測記録が少ないことからマグニチュード 5.0 以上、震央距離 250km 以内の 3 地震による六ヶ所地点での観測記録を選定している。選定した地震の諸元を第 4 表に、震源メカニズム解を第 8 図に示す。

第 4 表の地震諸元を用いて Noda et al. (2002) によって求めた応答スペクトルに対する観測記録の応答スペクトル比を、水平方向及び鉛直方向について、それぞれ第 9 図及び第 10 図に示す。Noda et al. (2002) による応答スペクトルは、地震基盤に対する値をとして求めたものである。第 9 図及び第 10 図の上段は、Noda et al. (2002) に対する各観測記録の解放基盤表面におけるはざとり波の応答スペクトル比の重ね書きであり、下段はその平均値と標準偏差を示している。また、地震

基盤から解放基盤表面までの増幅率を考慮した六ヶ所地点における水平方向及び鉛直方向の応答スペクトル比を第 11 図及び第 12 図に示す。

敷地における内陸地殻内地震の記録は、特に短周期側で Noda et al. (2002) による応答スペクトルを大きく下回っているが、検討に用いた地震数が少ないため、この地盤増幅率を Noda et al. (2002) の補正には用いず、Noda et al. (2002) による内陸地殻内地震の補正係数を用いるとしている。

なお、観測記録の応答スペクトルが、短周期側で Noda et al. (2002) による応答スペクトルを大きく下回っている要因としては、検討に用いた地震が火山付近で発生しており、地震波の減衰があったことが推測される。



$$S_h(T_i) = S_b(T_i) \times (\alpha_h(T_i) \times \beta_h(T_i)) : \text{水平方向}$$

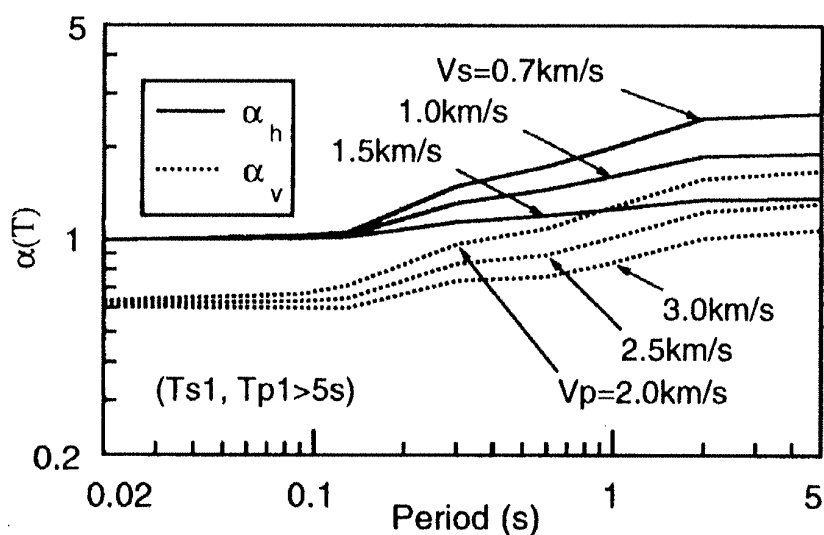
$$S_v(T_i) = S_h(T_i) \times (\alpha_v(T_i) \times \beta_v(T_i)) : \text{鉛直方向}$$

第 1 図 解放基盤表面における応答スペクトルの考え方

第1表 地震基盤における水平地震動のコントロールポイント

	M	Xeq (km)	コントロールポイントの座標 pS_v (cm/s)							
			A	B	C	D	E	F	G	H
			TA(s)	TB(s)	TC(s)	TD(s)	TE(s)	TF(s)	TG(s)	TH(s)
			0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00
極近距離	8.5	40	1.62	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	53.52	40.06
	8	25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.8	65.25	52.51	38.35
	7	12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
	6	6	1.04	12.82	18.51	21.84	23.17	17.41	9.64	3.88
近距離	8.5	80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
	8	50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.65	27.06	22.70	17.19
	7	20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
	6	8	0.77	9.45	13.65	16.23	17.18	12.73	7.16	2.89
中距離	8.5	160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.64	12.26
	8	100	0.32	3.08	4.86	10.27	16.04	14.96	12.73	10.37
	7	50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
	6	25	0.21	2.49	3.6	4.54	4.84	3.98	2.07	0.86
遠距離	8.5	200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
	8	200	0.10	0.80	1.35	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
	7	125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05
	6	78	0.041	0.45	0.65	0.95	1.03	0.80	0.49	0.22

* pS_v の値は、減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルの絶対値



第2図 水平・鉛直地震動の地盤増幅率
(地震基盤から解放基盤表面までの地盤増幅率)

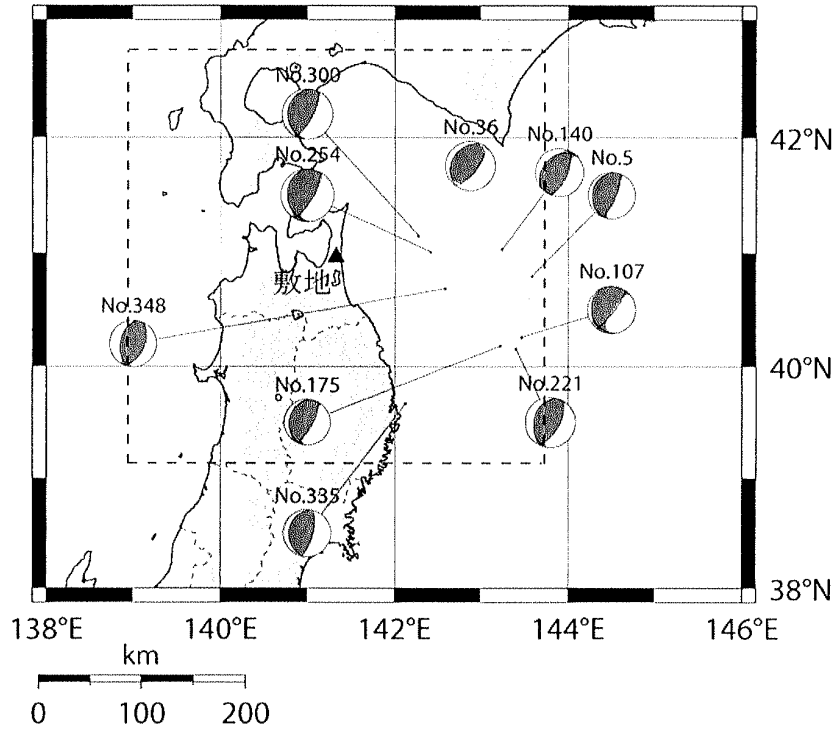
第2表 大崎の手法と Noda et al. (2002)の比較

項 目	大崎の手法	Noda et al. (2002)
基になる記録	岩盤での 84 記録	岩盤での 214 記録
地震動の評価方法	解放基盤表面 ($V_s \geq 0.7\text{km/s}$) で評価 (V_s が $0.7 \sim 1.9\text{km/s}$ の堅さの岩盤で適用可能)	地震基盤相当 ($V_s \geq 2.2\text{km/s}$) での応答スペクトルに, 解放基盤表面 ($V_s \geq 0.7\text{km/s}$) での V_s , V_p に応じた補正係数を乗じて評価
評価する周期帯域	周期 0.02~2 秒	周期 0.02~5 秒
コントロールポイント	5 ポイント	8 ポイント
コントロールポイントに対応する応答スペクトル	地動速度 10cm/s で規準化した速度応答スペクトル (減衰定数 5%)	回帰分析結果をモデル化し修正した擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)
震源の扱い方	点震源 (震源距離)	面震源 (等価震源距離)
評価する地震動の方向	水平動	水平動・上下動
地震発生様式による分類等	分類なし	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3つの地震発生様式 (プレート間地震, 内陸地殻内地震, 海洋プレート内地震) に対し評価可能 ・ 断層直交方向の破壊伝播効果 (NFRD 効果) を考慮出来る

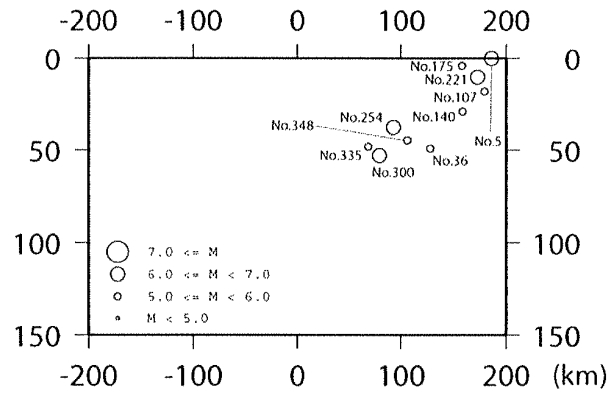
第3表 検討に用いたプレート間地震の地震諸元

No.	発震日時		震央地名	震央位置		地震規模 M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	震源 距離 (km)
	年月日	時間		経度	緯度				
5	1995.12.30	21:17	青森県東方沖	143° 32.6′	40° 43.1′	6.2	0	189	189
36	1997.02.20	16:55	浦河南方沖	142° 52.5′	41° 45.6′	5.9	49	157	164
107	1998.05.15	3:56	三陸東方はるか沖	143° 27.0′	40° 15.8′	5.9	18	195	196
140	1999.03.19	2:55	青森県東方沖	143° 13.4′	41° 01.3′	5.8	29	159	162
175	1999.10.03	6:08	三陸東方はるか沖	143° 11.6′	40° 11.2′	5.7	4	180	180
221	2000.10.03	13:13	三陸東方はるか沖	143° 21.9′	40° 10.3′	6.0	10	193	194
254	2001.08.14	5:11	青森県東方沖	142° 26.2′	40° 59.7′	6.4	38	93	101
300	2002.10.14	23:12	青森県東方沖	142° 16.9′	41° 09.1′	6.1	53	83	98
335	2004.08.10	15:13	岩手県沖	142° 07.9′	39° 40.4′	5.8	48	158	165
348	2005.02.26	21:37	青森県東方沖	142° 35.8′	40° 41.1′	5.7	45	111	120

*地震諸元は気象庁による。

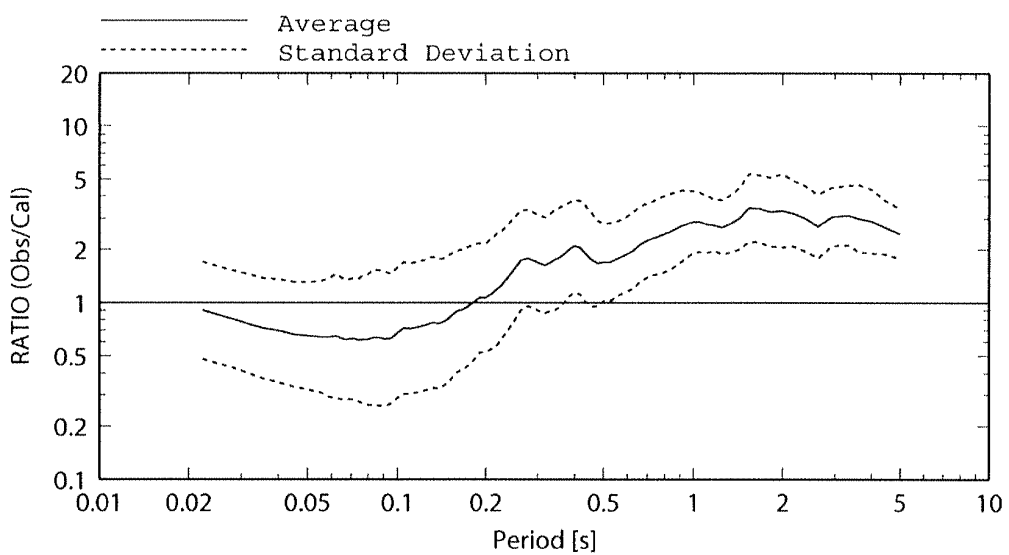
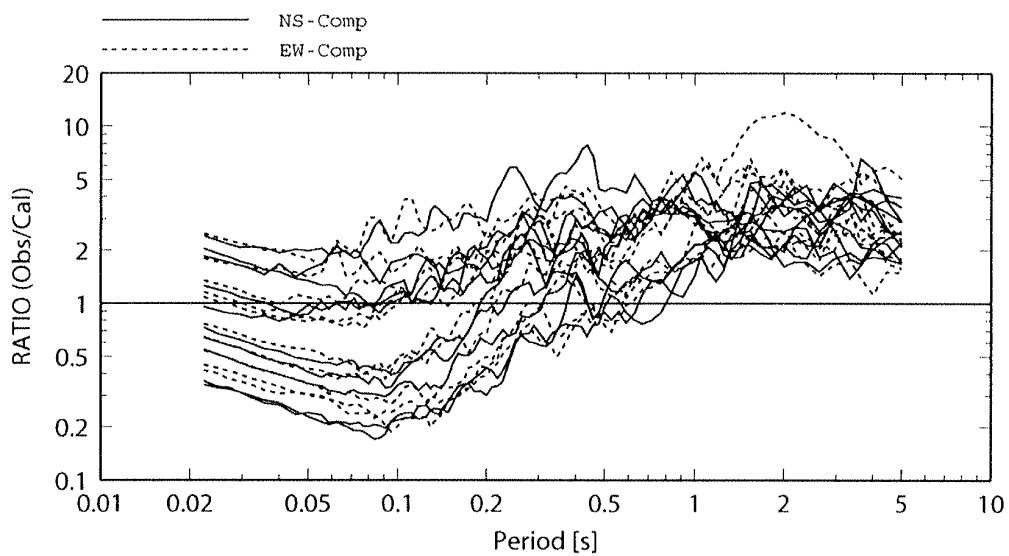


(a) 震央分布図



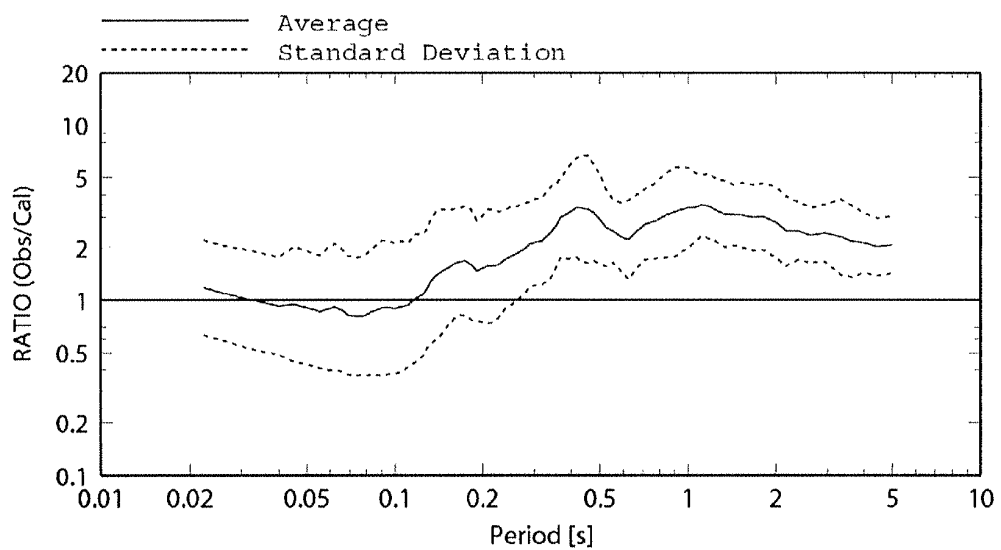
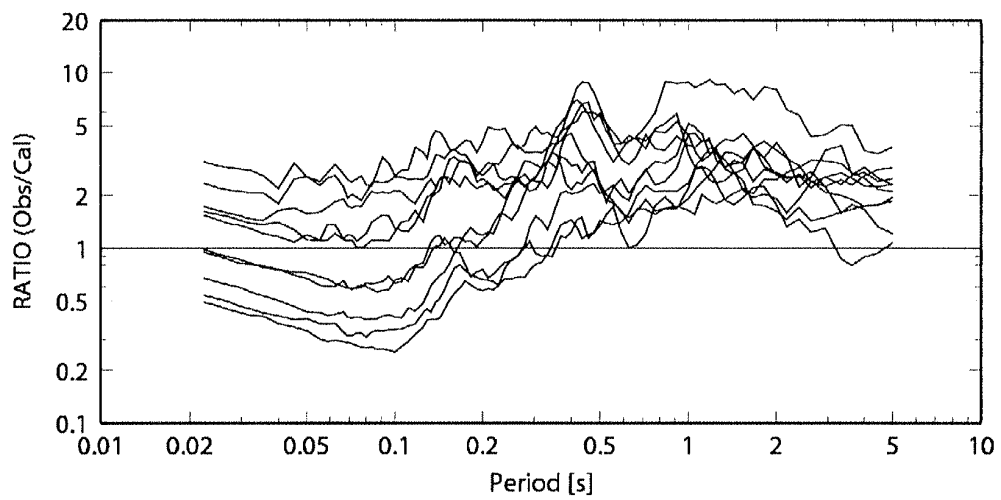
(b) 東西断面分布図

第3図 検討に用いたプレート間地震の震央位置とメカニズム解
(メカニズム解は防災科学技術研究所 F-net より引用)

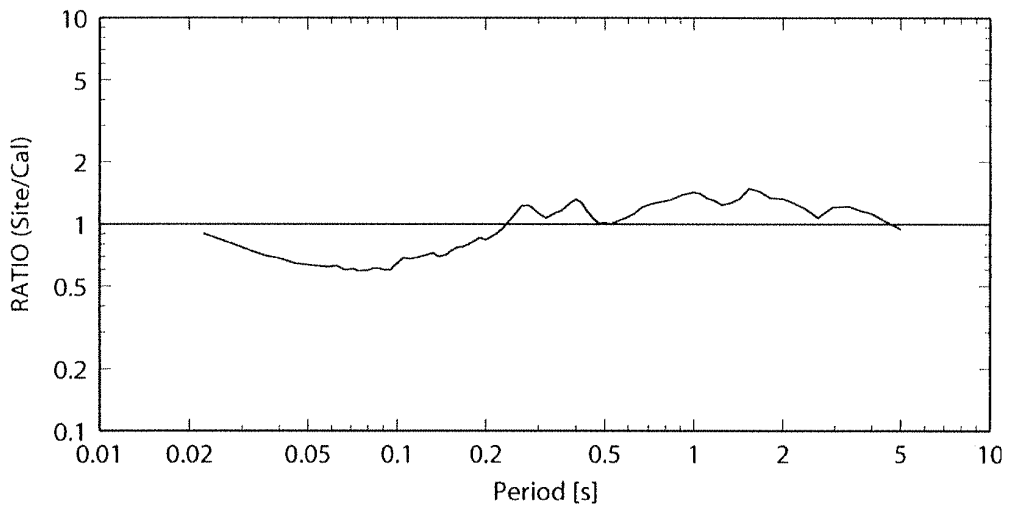
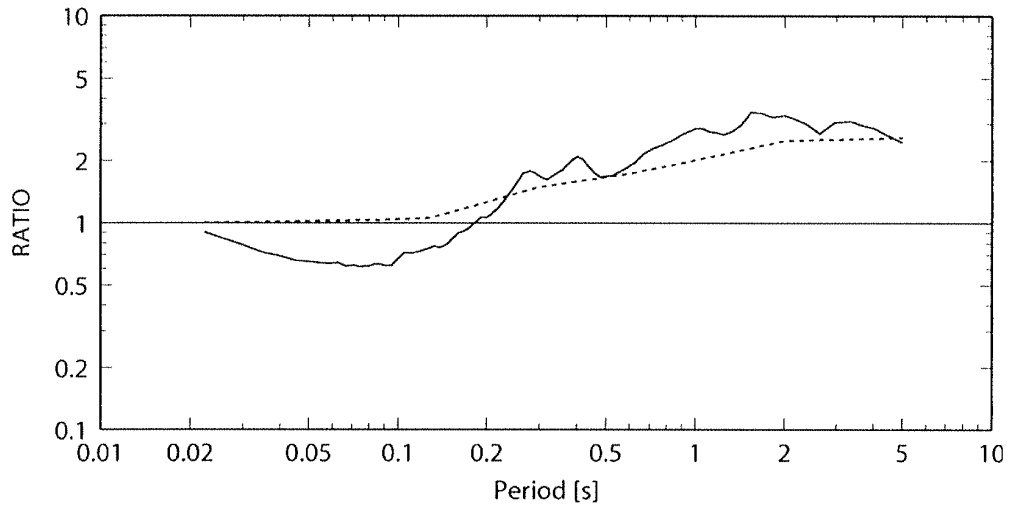


第4図 地震基盤での Noda et al. (2002) に対する解放基盤表面における観測記録のはぎとり波の応答スペクトル比 (水平方向)

(上段は 10 地震 20 成分の重ね書き, 下段は平均値 (実線) とその標準偏差 (点線))

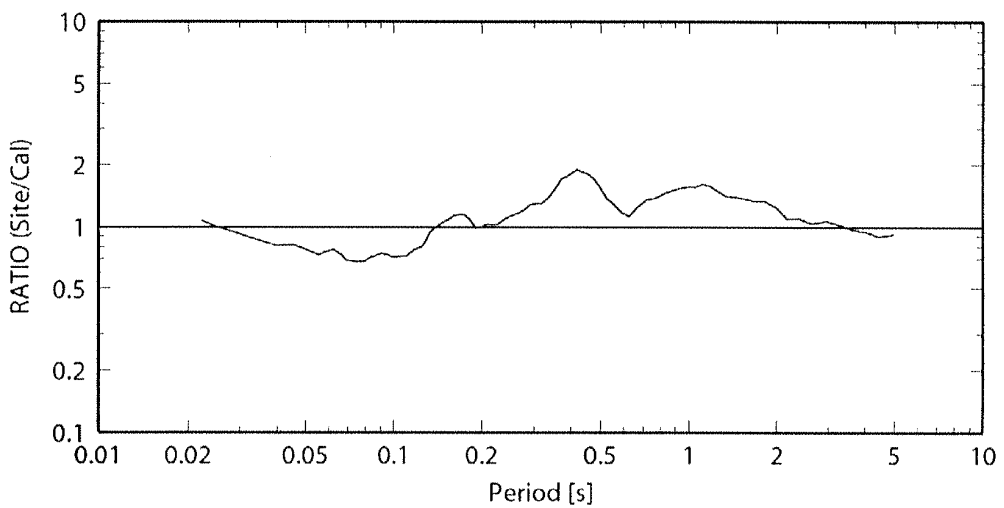
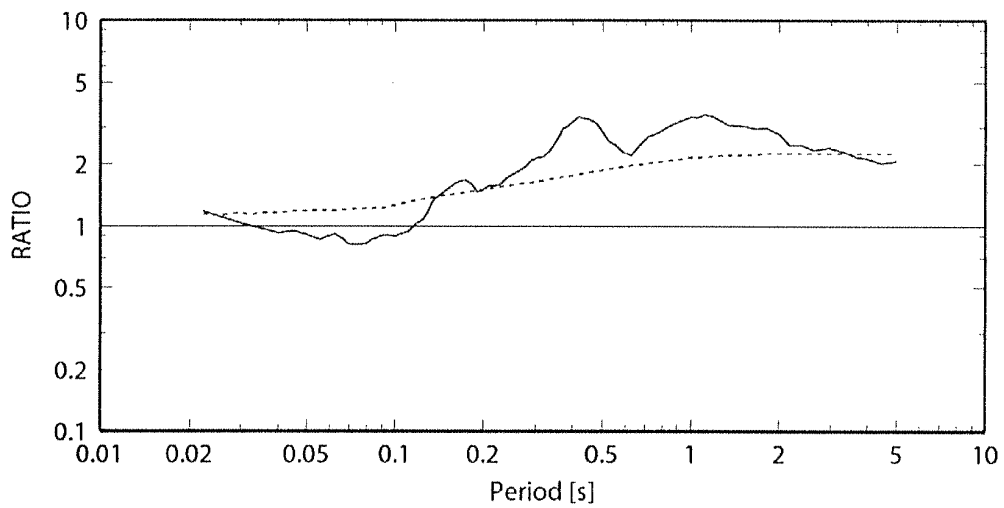


第5図 地震基盤での Noda et al. (2002) に対する解放基盤表面における観測記録のはざとり波の応答スペクトル比 (鉛直方向)
 (上段は10地震の重ね書き, 下段は平均値 (実線) とその標準偏差 (点線))



第6図 Noda et al. (2002) に対する六ヶ所地点の地盤増幅率 (水平方向)

(上段は応答スペクトルの平均値 (実線) と Noda et al. (2002) における地震基盤から解放基盤表面までの増幅率, 下段は解放基盤表面に対する六ヶ所地点の増幅率)



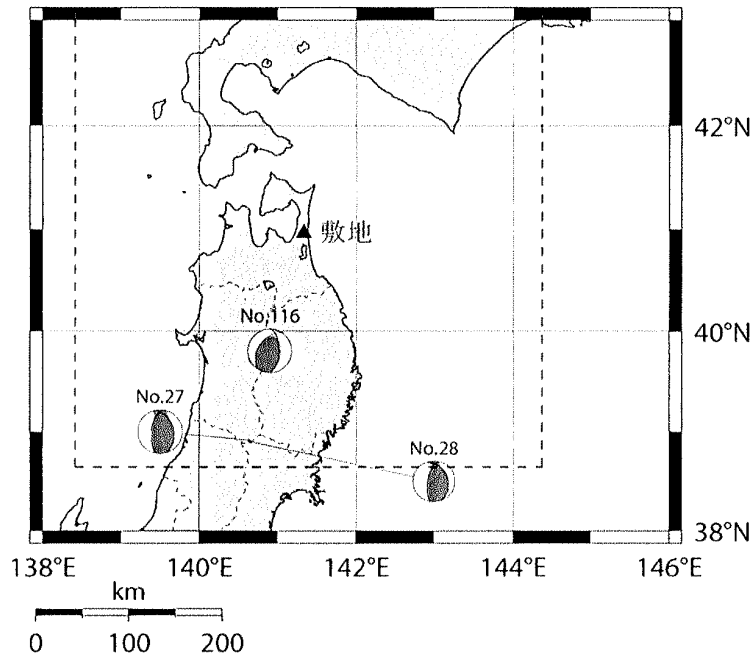
第7図 Noda et al. (2002) に対する六ヶ所地点の地盤増幅率 (鉛直方向)

(上段は応答スペクトルの平均値 (実線) と Noda et al. (2002) における地震基盤から解放基盤表面までの増幅率, 下段は解放基盤表面に対する六ヶ所地点の増幅率)

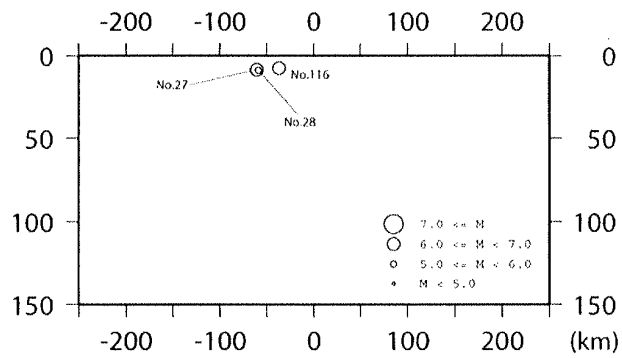
第4表 検討に用いた内陸地殻内地震の地震諸元

No.	発震日時		震央地名	震央位置		地震規模 M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	震源 距離 (km)
	年月日	時間		経度	緯度				
27	1996.08.11	3:12	秋田県南部	140° 38.2′	38° 54.3′	6.0	9	236	236
28	1996.08.11	3:54	宮城県北部	140° 39.2′	38° 53.6′	5.4	9	237	237
116	1998.09.03	16:58	岩手県北部	140° 54.6′	39° 47.7′	6.2	10	134	135

*地震諸元は気象庁による。

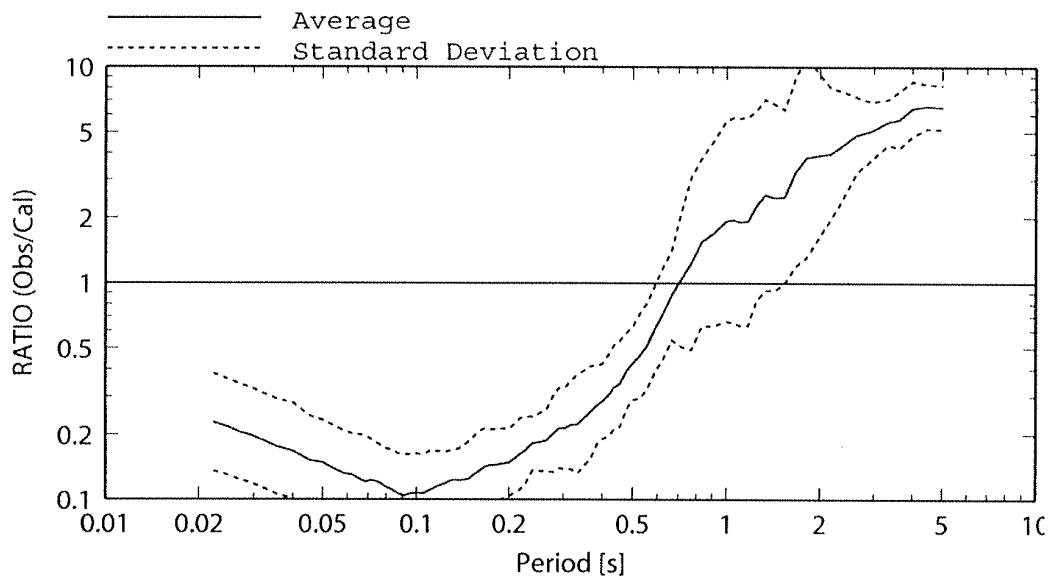
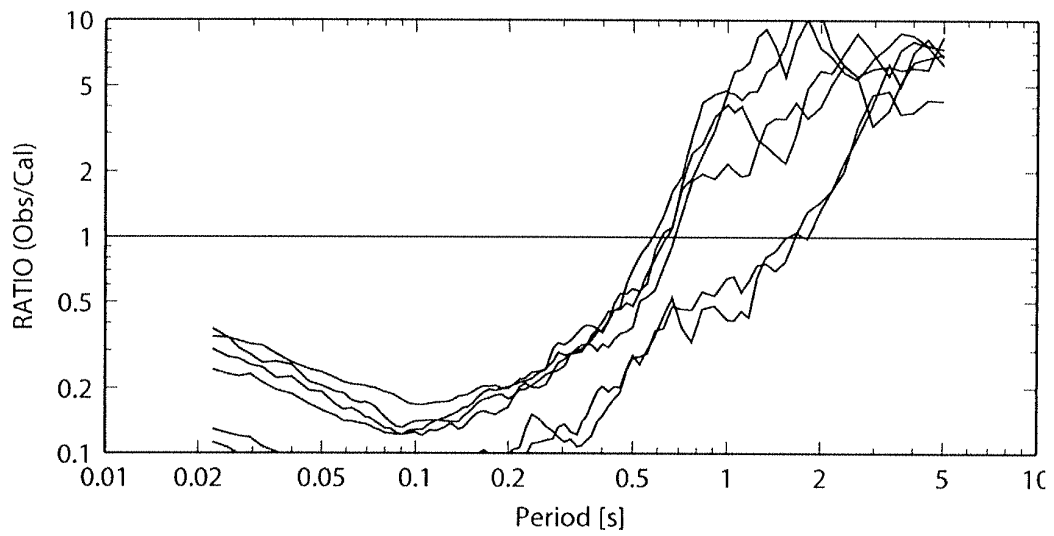


(a) 震央分布図



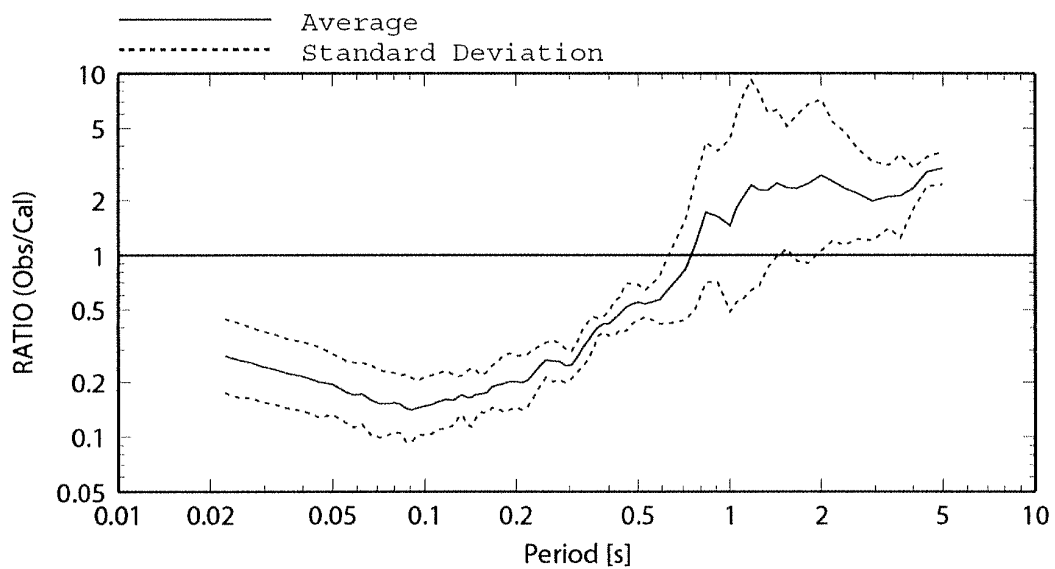
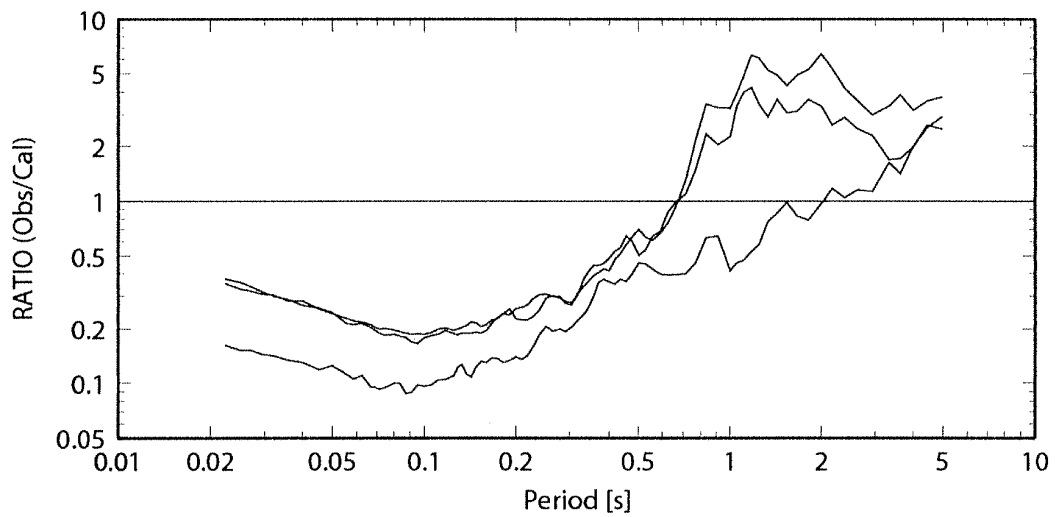
(b) 東西断面分布図

第8図 検討に用いた内陸地殻内地震の震央位置とメカニズム解
 (メカニズム解はNo. 27, No. 28の地震はHarvard大学,
 No. 116の地震は防災科学技術研究所F-netより引用)



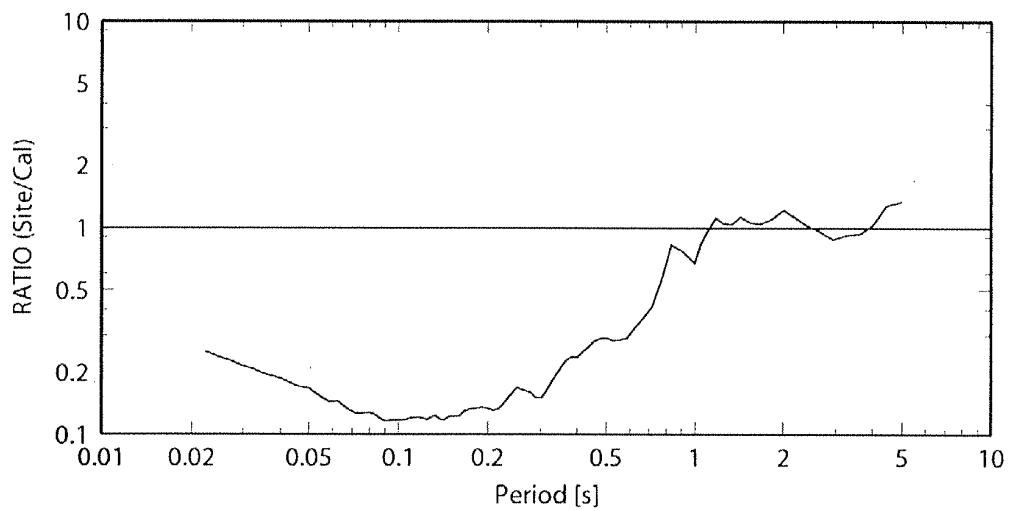
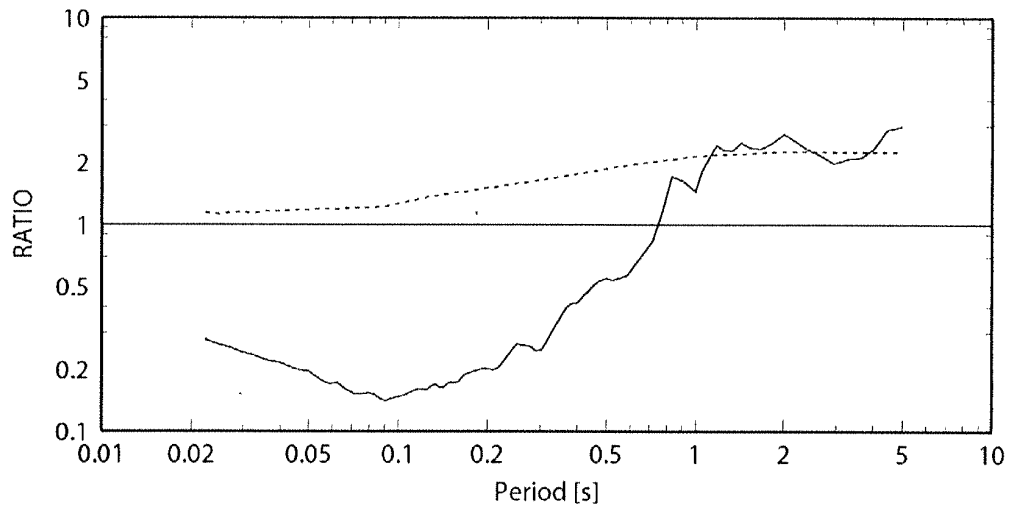
第9図 地震基盤での Noda et al. (2002) に対する解放基盤表面における観測記録のはぎとり波の応答スペクトル比 (水平方向)

(上段は3地震6成分の重ね書き, 下段は平均値 (実線) とその標準偏差 (点線))



第10図 地震基盤でのNoda et al. (2002) に対する解放基盤表面における観測記録のはぎとり波の応答スペクトル比 (鉛直方向)

(上段は3地震の重ね書き, 下段は平均値 (実線) とその標準偏差 (点線))



第12図 Noda et al. (2002) に対する六ヶ所地点の地盤増幅率 (鉛直方向)

(上段は応答スペクトルの平均値 (実線) と Noda et al. (2002) における地震基盤から解放基盤表面までの増幅率, 下段は解放基盤表面に対する六ヶ所地点の増幅率)