資料第１－２号

耐専スペクトルの適用性検討
(内陸地殻内地震を対象とした追加検討内容)

平成２１年５月２２日
東京電力株式会社

東京電力
TEPCO

丙第199号証

検討内容

■内陸地殻内地震への適用性検討

- K-NET記録を含む近年の強震記録の収集
- 内陸補正係数の設定

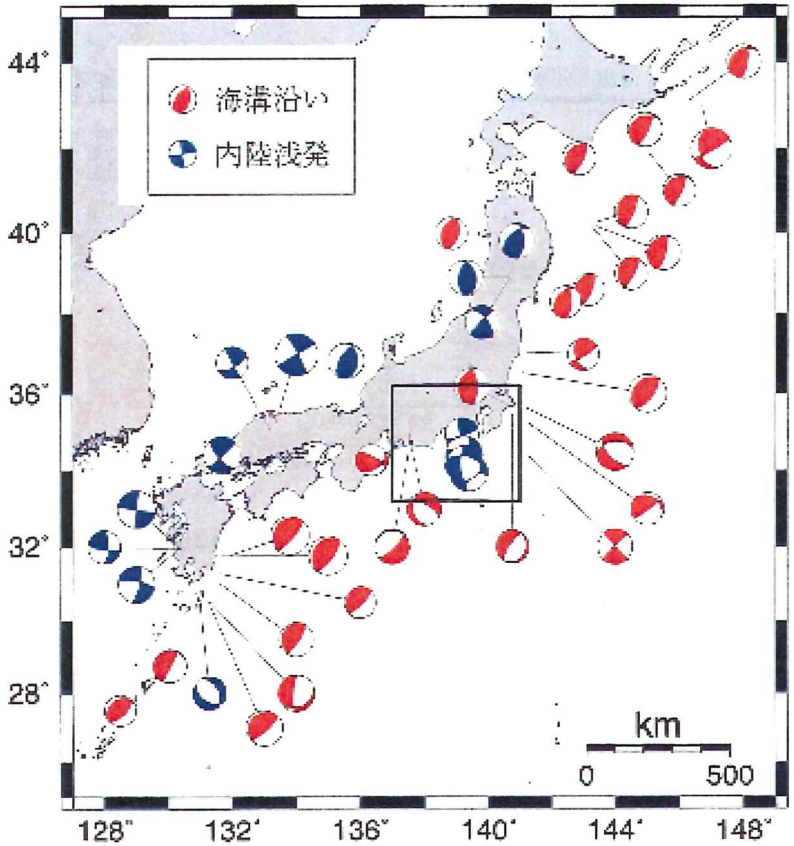
■震源近傍への適用性検討

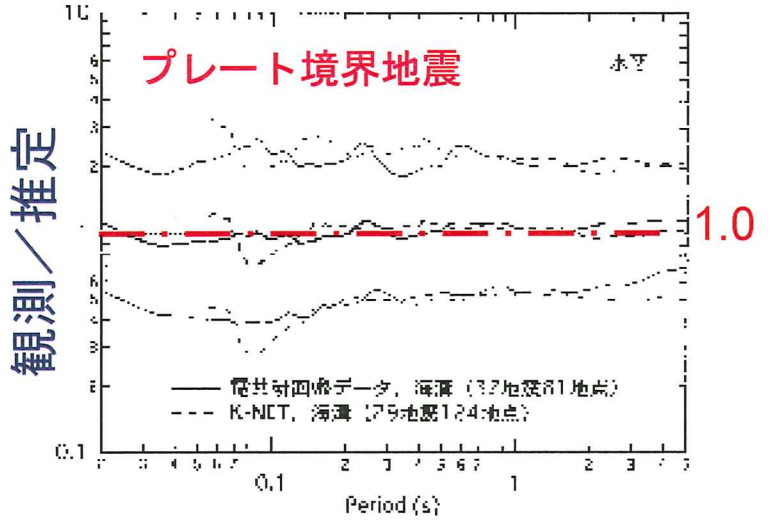
- 国内外の震源近傍記録の収集
- 極近距離、 M8クラスの地震を含む適用性検討

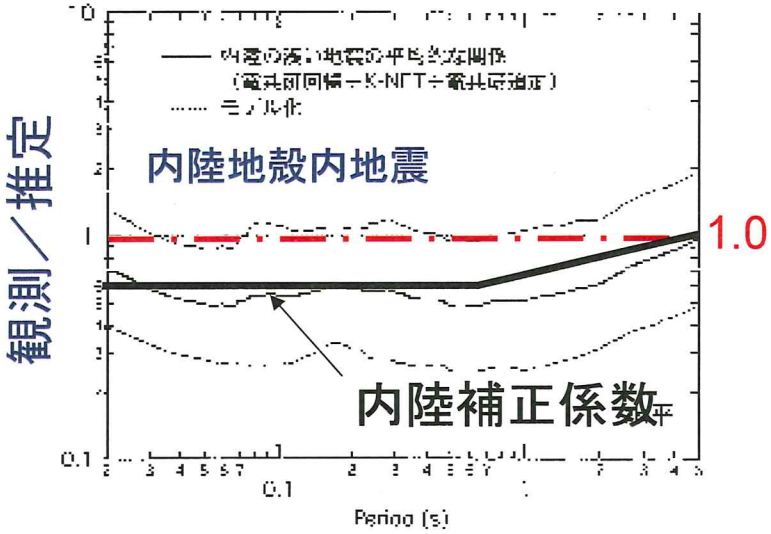
1　内陸地殻内地震への適用性検討

1) K-NET記録も加えた検討

⇒内陸補正係数の設定







水平動

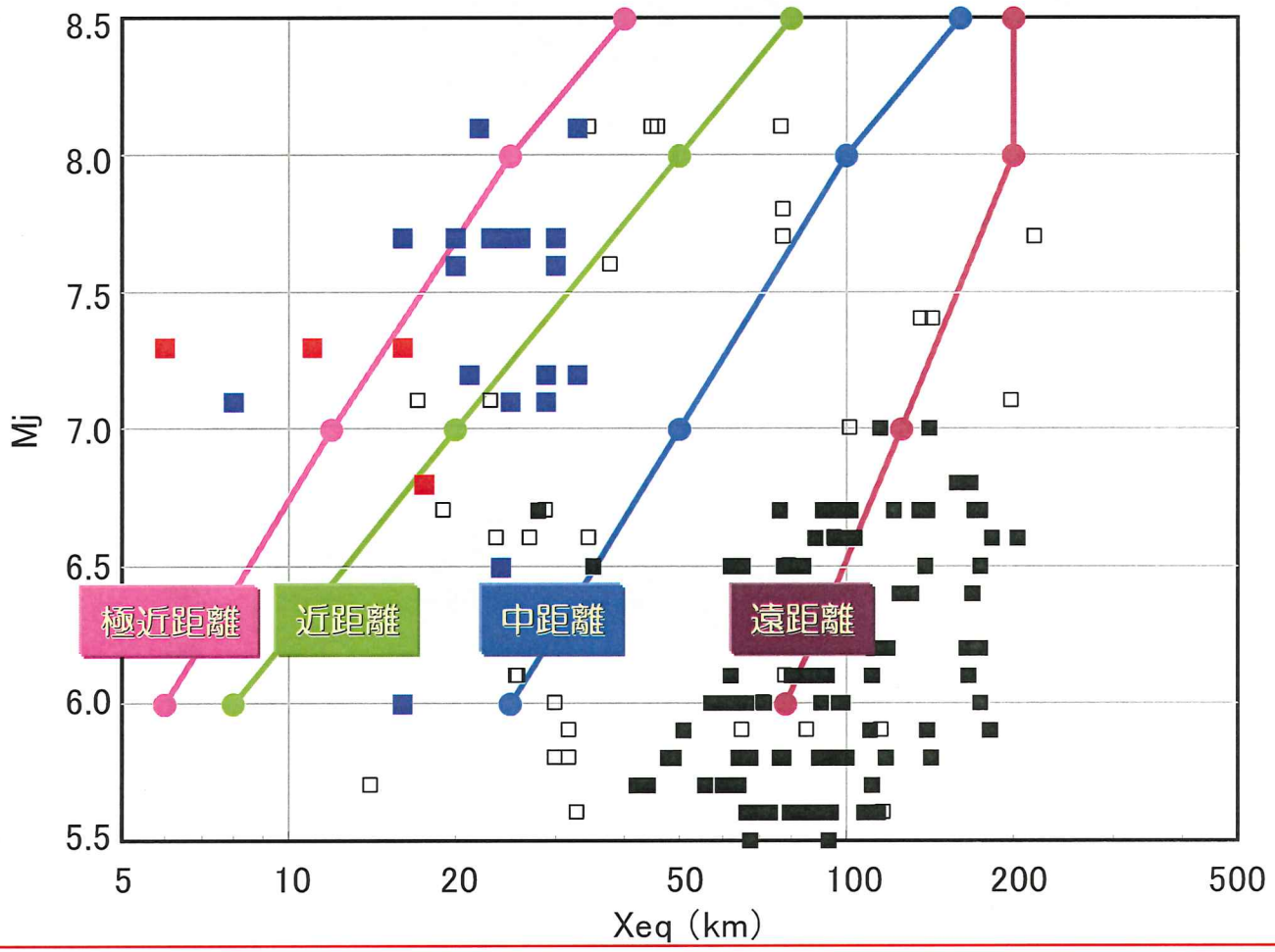
2) 国内外の震源近傍の観測記録による適用性の確認

対象とした内陸地殻内地震（地盤条件が明確な地点を対象）

	年月日	Earthquake	Xeq計算に用いた震源モデル	Site	Mw (HRV)	Mj*1	Xeq (km)	*7 NFRD	Vs (km/s)	Vp (km/s)	Vs,Vp 出典
日本	1995.1.17	兵庫県南部	Kakehi et al. [7]	神戸大*2	6.9	7.3	16	○	0.6	1.7	[16]
	2000.11.6	鳥取県西部	Yagi & Kikuchi [8]	賀祥ダム	6.8	7.3	6		2.2	4.2	推定
				伯太*3	6.8	7.3	11		2.8		[17]
米国	1971.2.9	San Fernando	Heaton [9]	Pacoima Dam *4	6.6	7.1	8	○	1.5	3.0	[18]
				Caltec Seism. Lab.	6.6	7.1	29		0.83	1.3	[17]
				Griffith Park	6.6	7.1	25		0.75	1.75	[18]
	1979.8.6	Coyote Lake	Liu & Helmberger [10]	Girloy #1	5.8	6.0	16		2.2	2.75	[20]
	1984.4.24	Morgan Hill	Hartzell & Heaton [11]	Girloy #1	6.2	6.5	24		2.2	2.75	[20]
	1989.10.18	Loma Prieta	Wald et al. [12]	Girloy #1	7.0	7.6	30		2.2	2.75	[20]
				Lexington Dam	7.0	7.6	20	○	0.87	2.1	[21]
	1994.1.17	Northridge	Wald & Heaton [13]	Pacoima Dam *5	6.7	7.2	21	○	1.5	3.0	[18]
				Griffith Park	6.7	7.2	33		0.75	1.75	[18]
				USC Sta.17	6.7	7.2	29		1.0	2.0	[18]
トルコ	1999.8.17	Kocaeli	Sekiguchi & Iwata [14]	Gebze (GBZ)	7.4	8.1	33	○	0.78	2.13	[22]
				Sakarya (SKR)	7.4	8.1	22		1.05	2.57	[23]
台湾	1999.9.21	集集	Yagi & Kikuchi [15]	TCU052 *6	7.6	7.7	20	○	0.62		[24]
				TCU065	7.6	7.7	23	○	0.72		[24]
				TCU067	7.6	7.7	20	○	0.76		[24]
				TCU068	7.6	7.7	24	○	0.58		[24]
				TCU071	7.6	7.7	16		0.98		[24]
				TCU072	7.6	7.7	16		1.22		[24]
				TCU074	7.6	7.7	23		1.1		[24]
				TCU075	7.6	7.7	24	○	0.98		[24]
				TCU076	7.6	7.7	26	○	0.75		[24]
				TCU102	7.6	7.7	26	○	0.93		[24]

適用性検討に用いたデータ(■，■)の分布

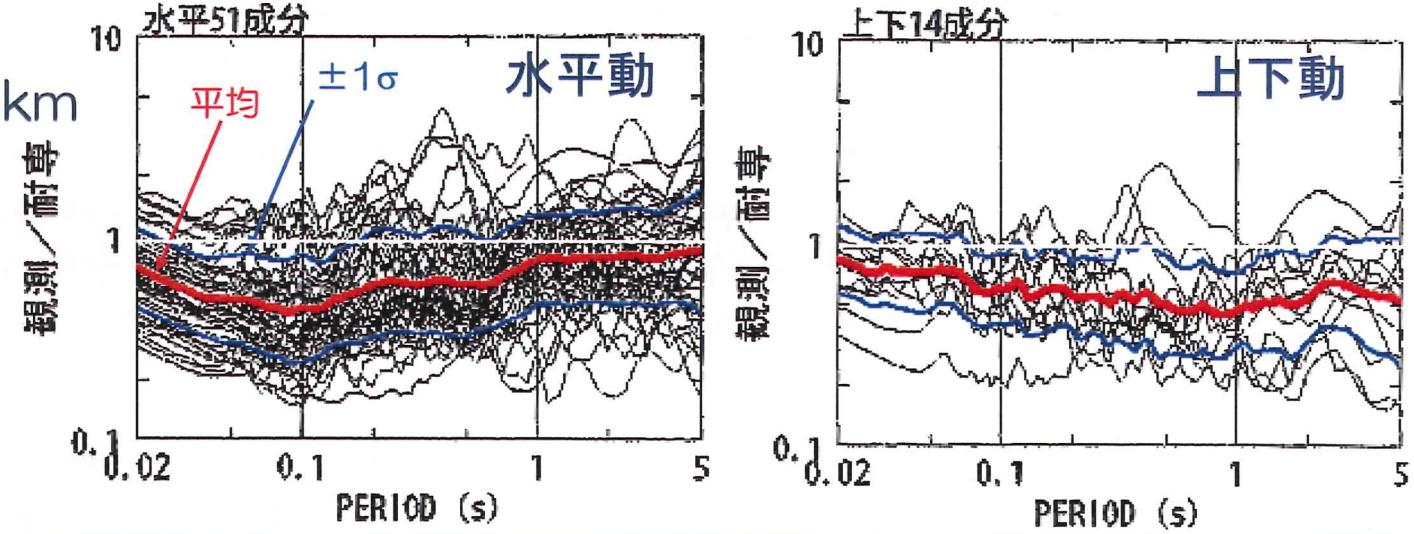
■回帰式の作成に用いた観測記録
□耐専スペクトルの適用性確認に用いた観測記録
■震源近傍の適用性検討記録（国内）
■震源近傍の適用性検討記録（海外）



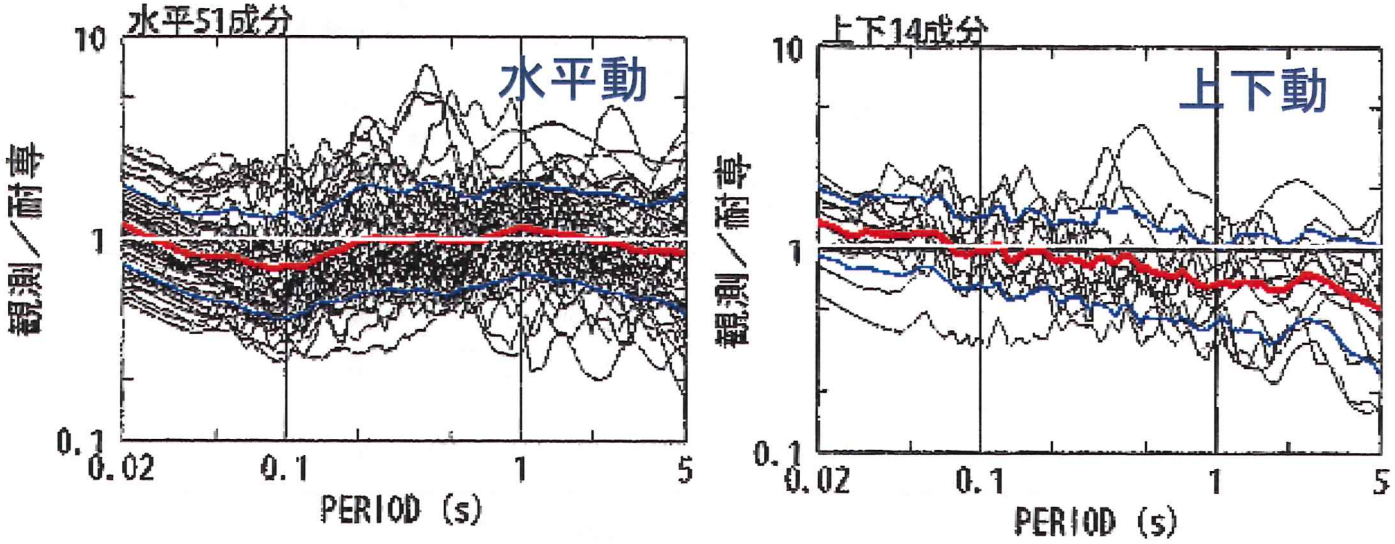
国内外の内陸地殻内地震による震源近傍の観測記録の残差

M_j = 6.0～8.1
Xeq = 6～33km

内陸補正
考慮せず

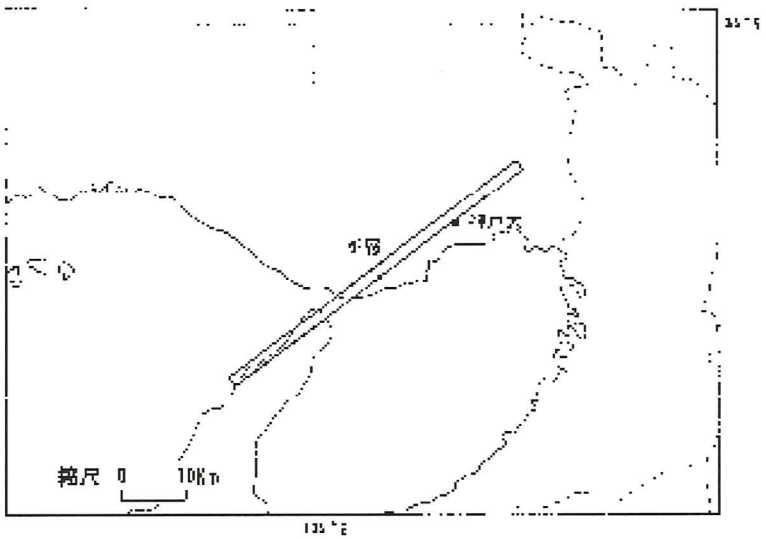


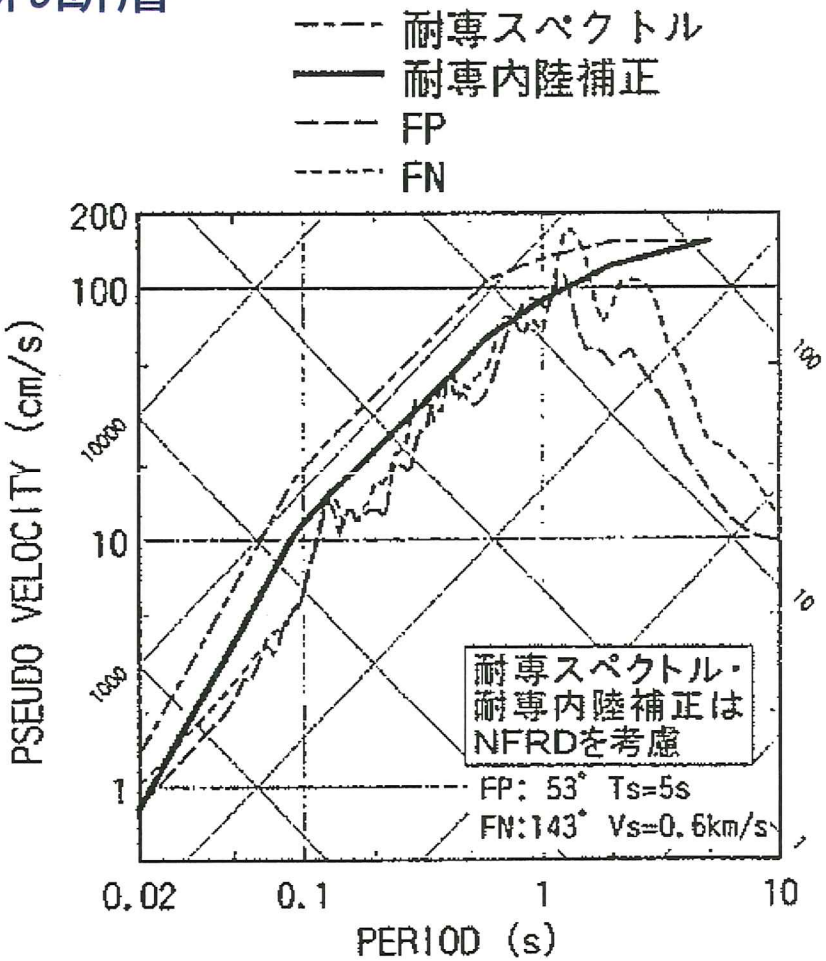
内陸補正考慮
(残差が1.0に
近づく)



2　震源近傍への適用性検討

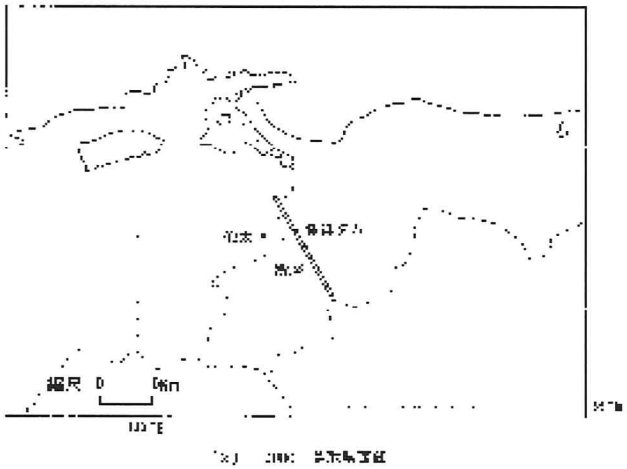
兵庫県南部地震（M_j7.3）：横ずれ断層

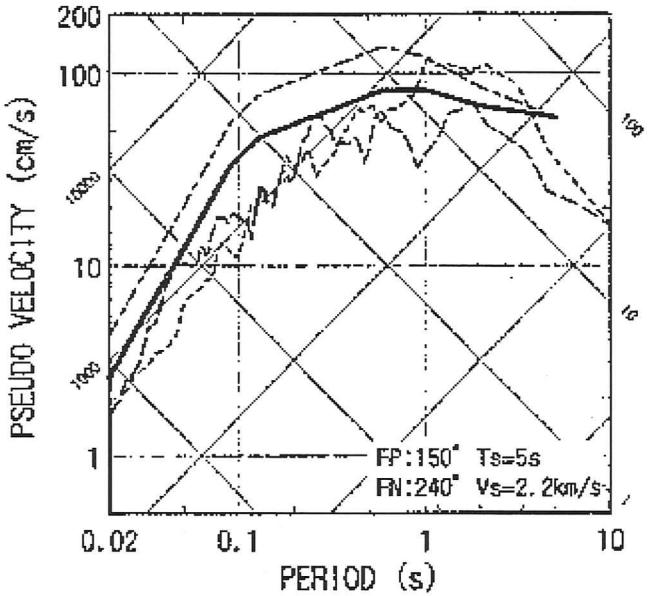




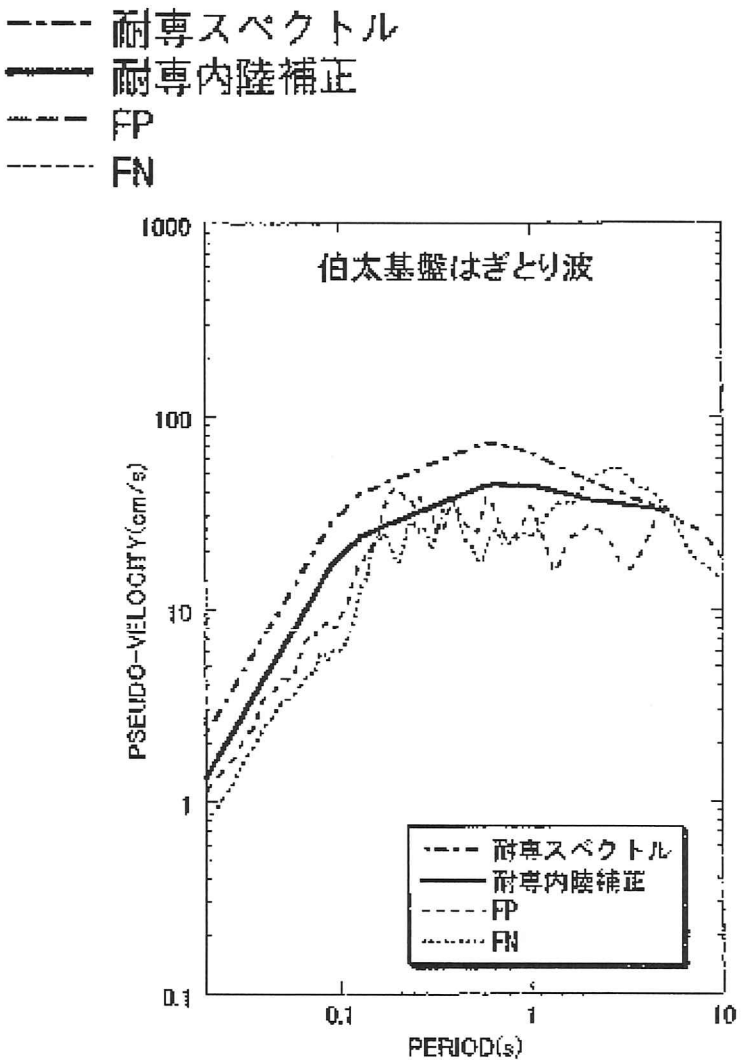
神戸大学　Xeq=16km

鳥取県西部地震（M_j7.3）：横ずれ断層



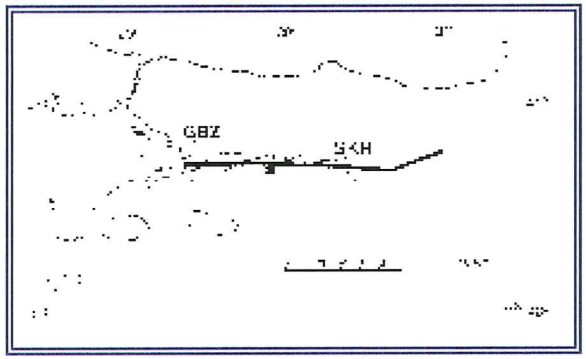


賀祥ダム　Xeq=6km



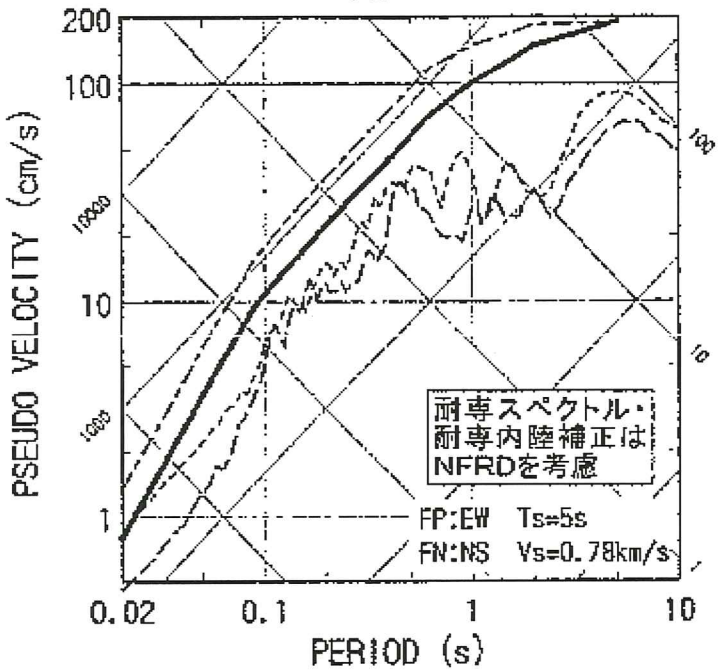
伯太　Xeq=11km

トルコ・コジャエリ地震（M_j8.1）：横ずれ断層

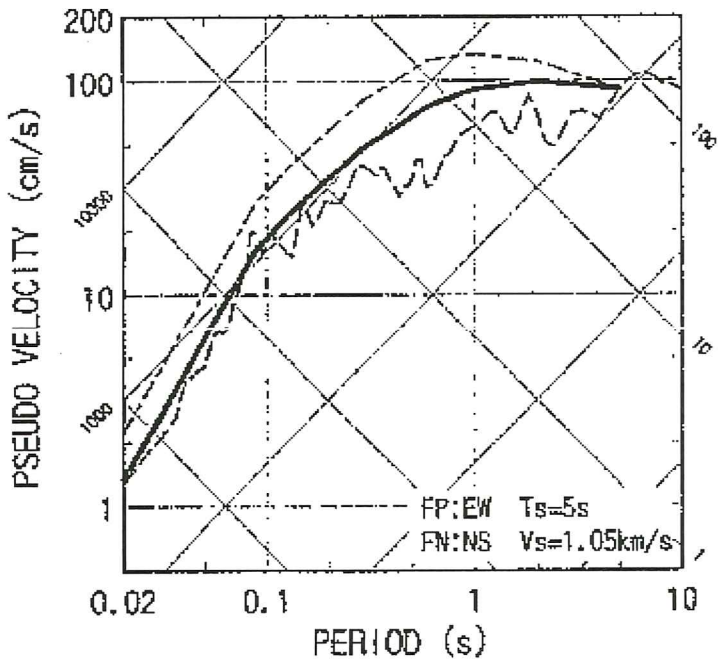


注）M_jはM_0から武村(1990)の式で変換

耐専スペクトル
耐専内陸補正
FP
FN

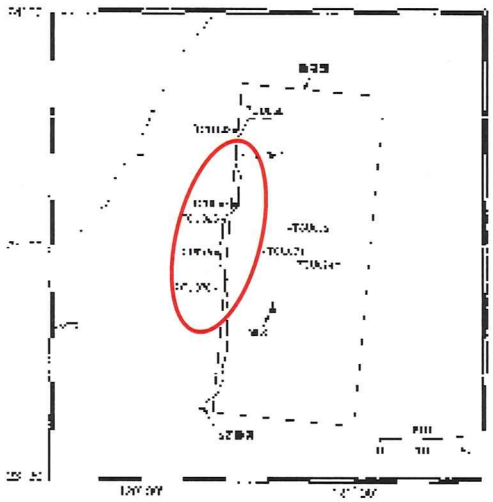


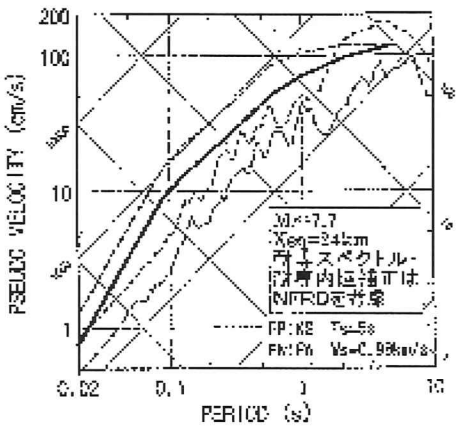
GEBZE　Xeq=33km



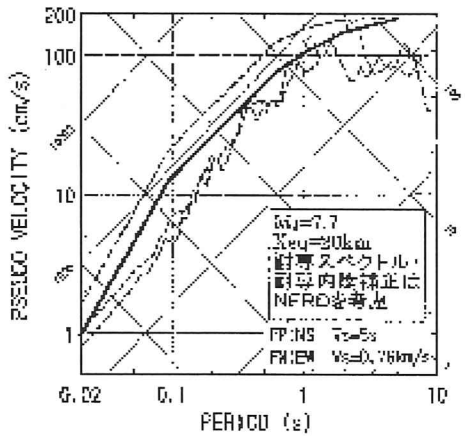
SAKARYA　Xeq=22km

台湾・集集地震（M_j7.7）その１：縦ずれ断層

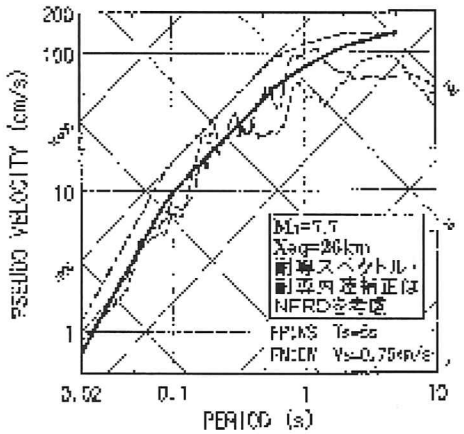




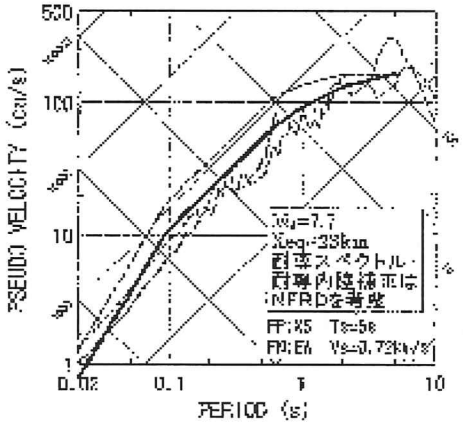
TCU075　Xeq=24km



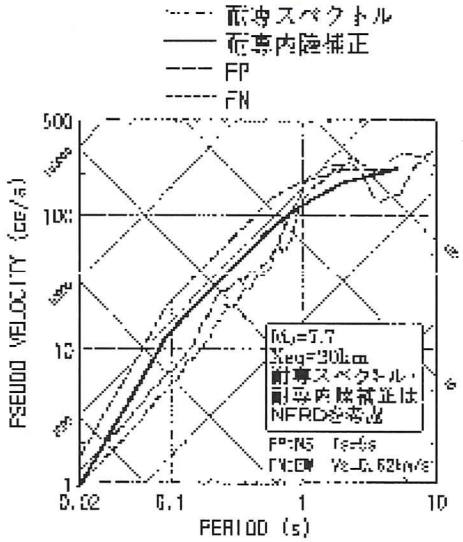
TCU067　Xeq=20km



TCU076　Xeq=26km

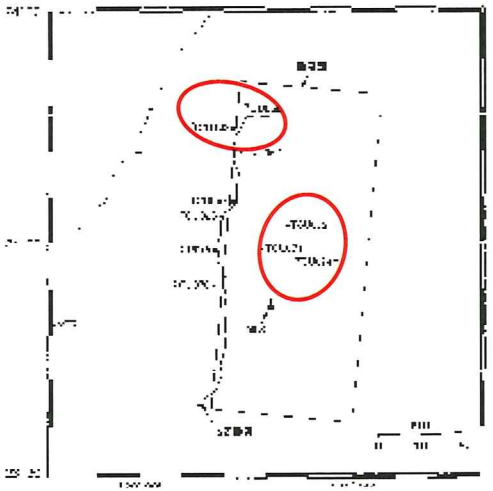


TCU065　Xeq=23km

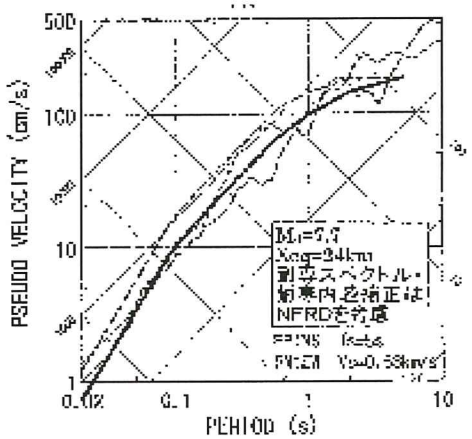


TCU052　Xeq=20km

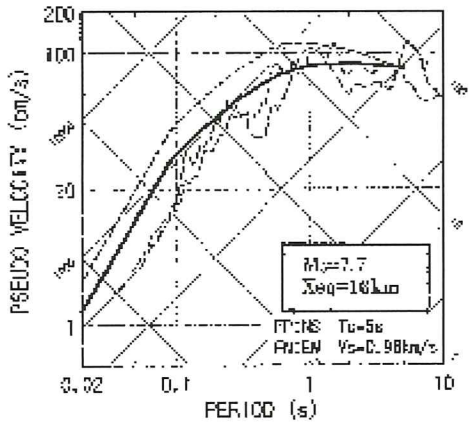
台湾・集集地震（M_j7.7）その２：縦ずれ断層



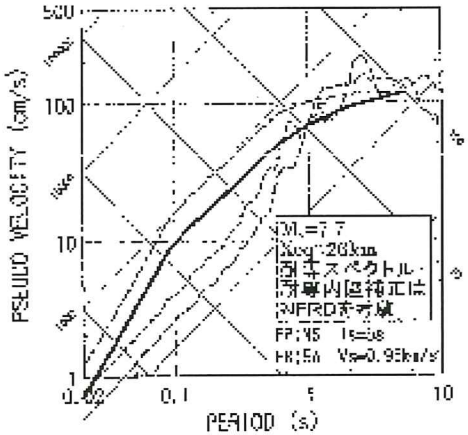
---- 耐震スペクトル
—— 耐震内陸補正
--- FP
------ FN



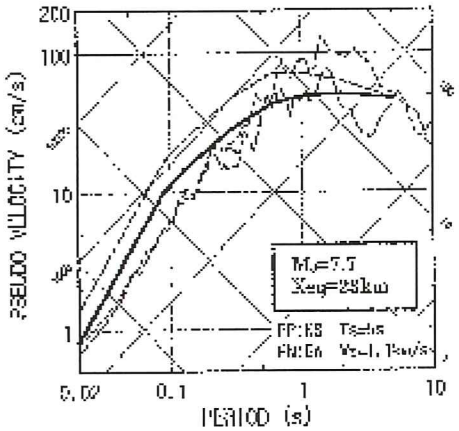
TCU068　Xeq=24km



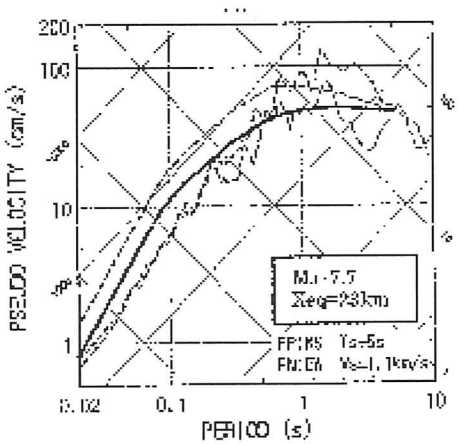
TCU071　Xeq=16km



TCU102　Xeq=26km

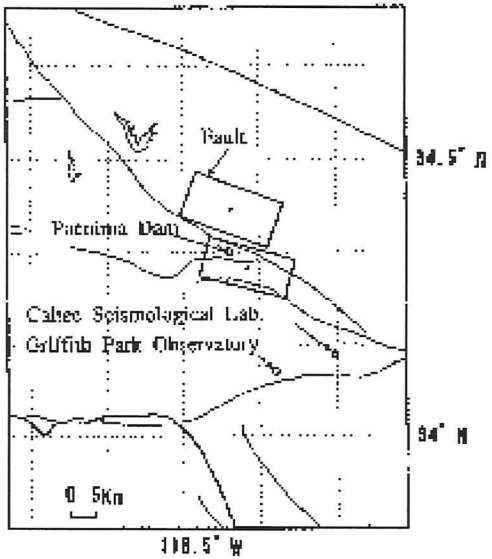


TCU074　Xeq=23km



TCU074　Xeq=23km

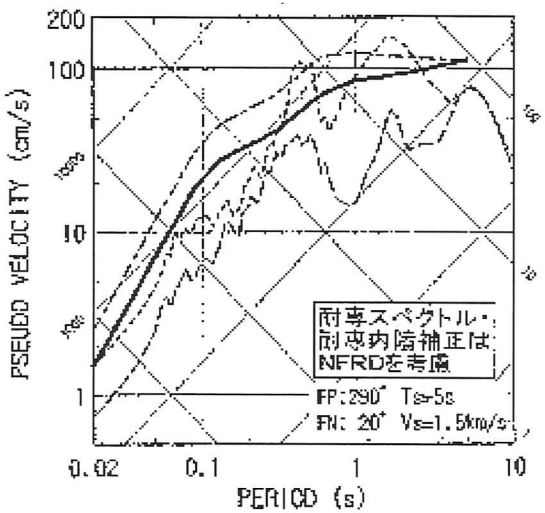
サンフェルナンド地震（M_j7.1）：縦ずれ断層



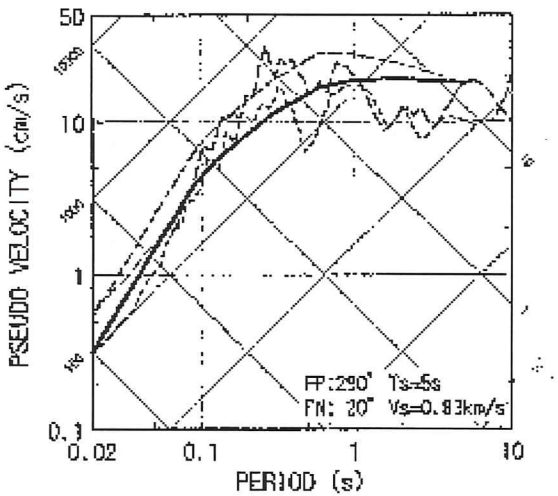
(1) 1971 San Fernando

注）M_jはM_0から武村（1990）の式で変換

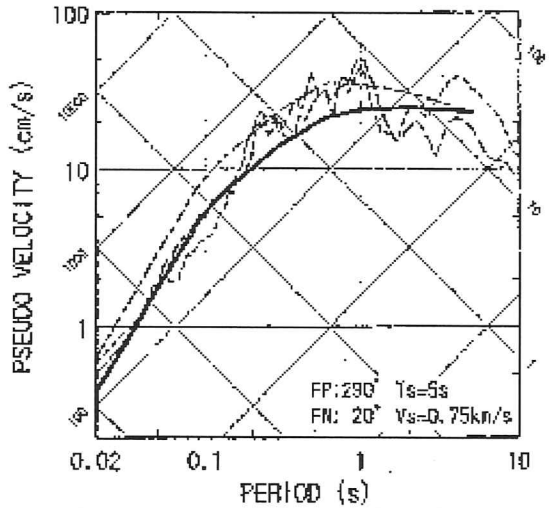
耐専スペクトル
耐専内陸補正
FP
FN



Pacoima Dam　Xeq=8km

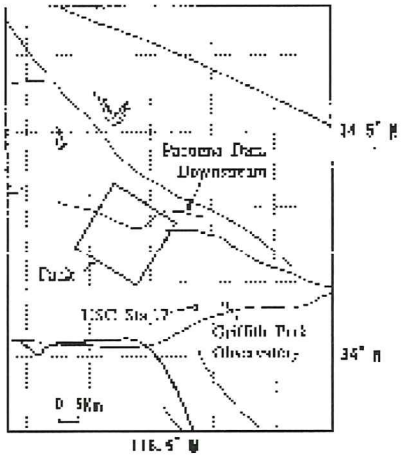


Caltech Seism. Lab.　Xeq=29km



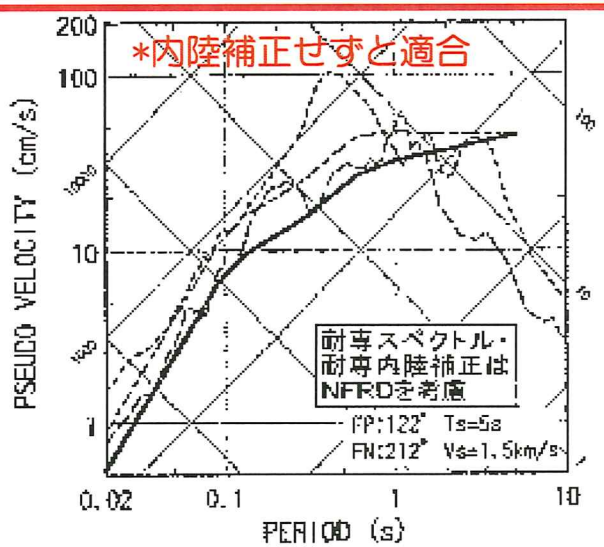
Griffith Park　Xeq=25km

ノースリッジ地震（M_j7.2）：縦ずれ断層

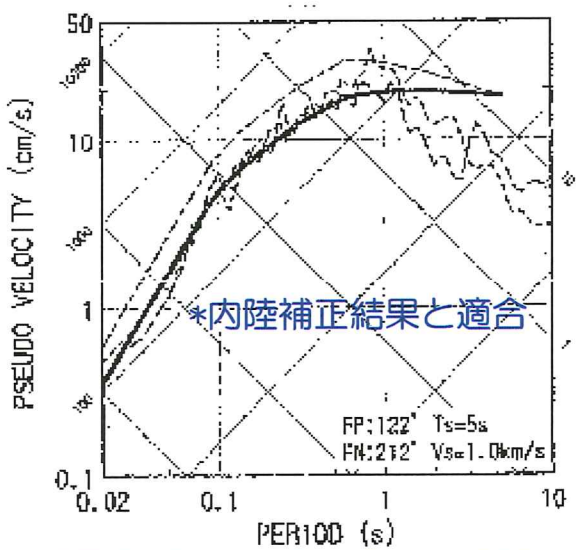


注）M_jはM_0から武村（1990）の式で変換

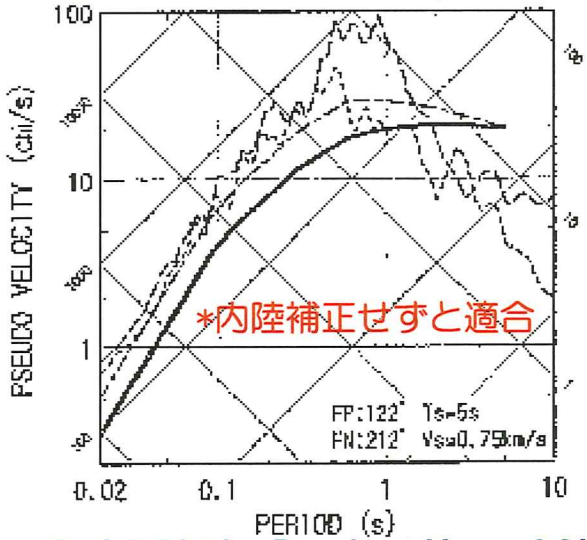
- 耐専スペクトル
- 耐専内陸補正
- FP
- FN



Pacoima Dam　Xeq=21km

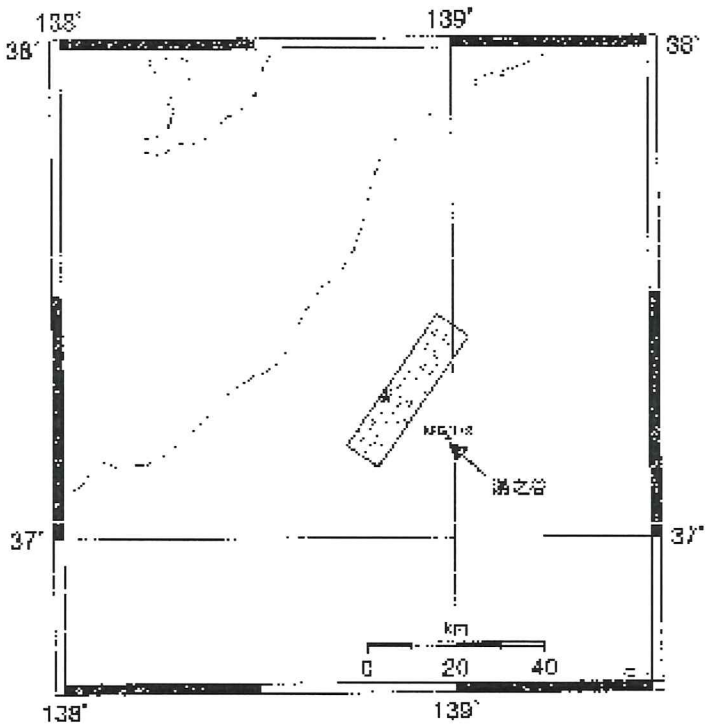


USC Sta.17　Xeq=29km



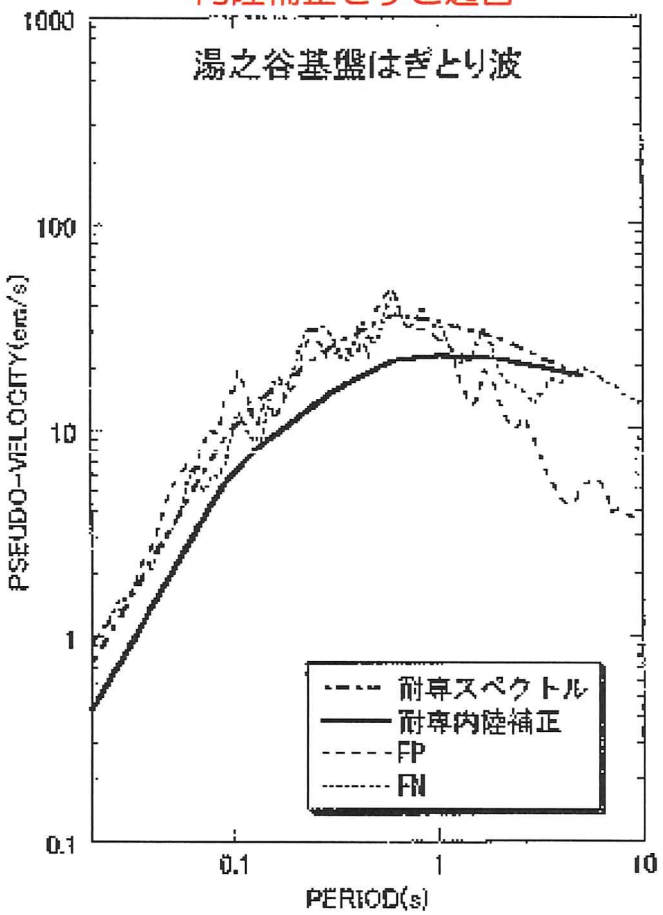
Griffith Park　Xeq=33km

新潟県中越地震（M_j6.8）：縦ずれ断層



（3）2004年新潟県中越地震

*内陸補正せずと適合



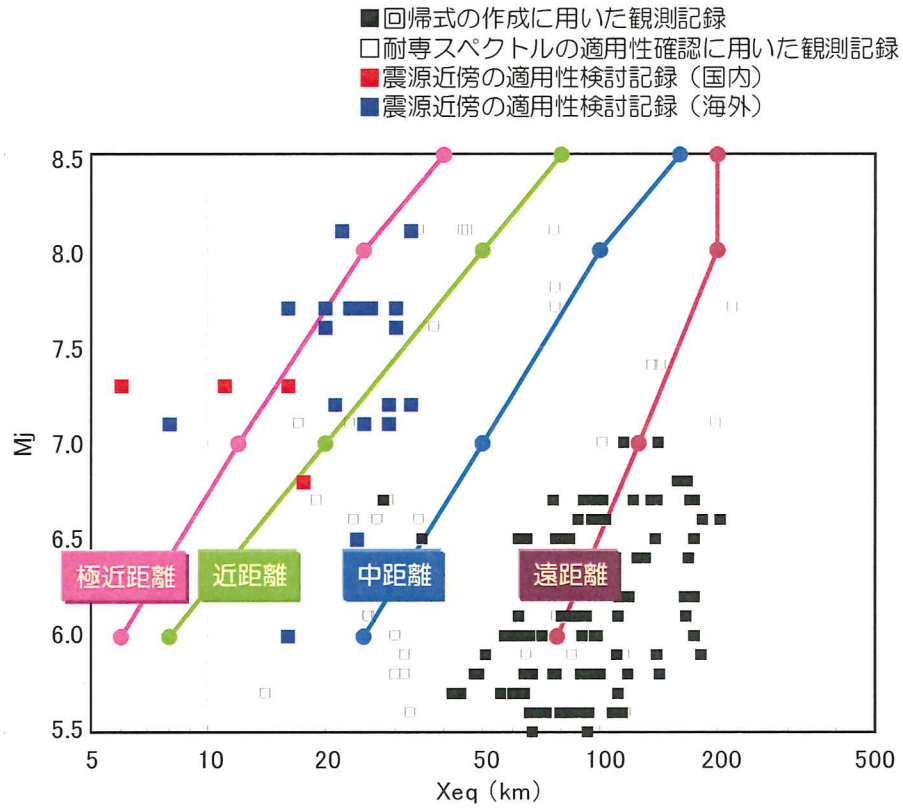
湯之谷　Xeq=18km

3 「耐専スペクトルの適用性」のまとめ

■内陸補正係数を考慮することにより、耐専スペクトルは複数の観測記録を概ね説明できた。

■縦ずれ断層では、内陸補正を加えないほうが観測記録と対応する例も見られた。（2004年中越地震、1994年ノースリッジ地震）

■ただし、極近距離よりさらに近い地震に関しては観測データも少なく、また、コントロールポイントも設けられていない。これらより、今後スペクトルの適用性や改良に関する検討等が必要と考えられる。



資料1－2

大飯発電所
地震動評価について

平成26年5月9日

関西電力株式会社

丙第200号証

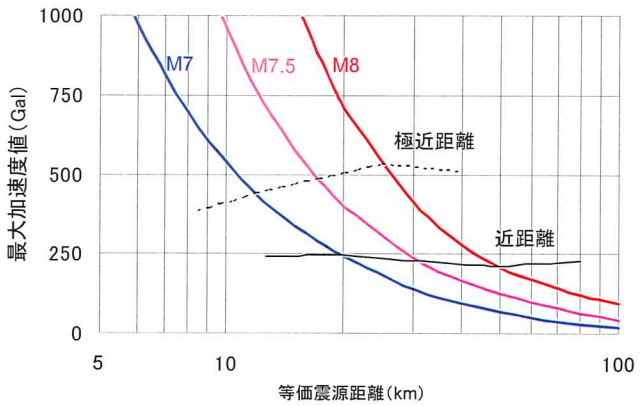
3. 地震動評価手法

○応答スペクトルに基づく地震動評価

■等価震源距離と極近距離との乖離が大きく、回帰式を策定するうえで用いた等価震源距離の最小値との差が大きい断層の評価については、大きく外挿することになる。

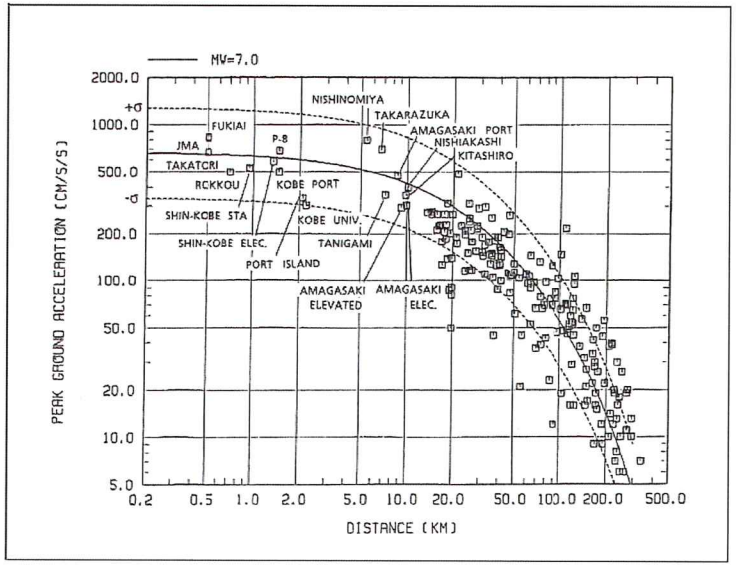
■FO－A～FO－B断層と熊川断層との3連動については、等価震源距離と極近距離の乖離が大きいため、適用範囲外とする。

■適用範囲外とした断層による地震動評価については、断層モデルを重視することとし、その妥当性を検証するため、耐専式以外の距離減衰式を用いて、応答スペクトルに基づく地震動評価を行う。



耐専式における等価震源距離と最大加速度値の関係

極近距離とは
近距離（約200～250Galの加速度となる点）の1/2程度



兵庫県南部地震で観測された最大加速度値と既往の距離減衰式（福島・田中（1992））との比較（Fukushima & Irikura,1997）

丙第201号証

07 基構報－0004

平成１８年度

原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査
活断層及び地震動特性に関する調査・解析に係る報告書

平成１９年７月

独立行政法人　原子力安全基盤機構

５．　地震動記録の収集と地震基盤における地震動特性の分析の結果

５．１　分析対象記録の選定

防災科学技術研究所・基盤強震観測網 KiK-net の 25 観測点において、2006 年 1 月～2006 年 12 月末までに観測された地震について地震諸元の整理を行うとともに、5.2 章以降の地震動特性の分析（はぎ取り解析等）に用いる記録を選定した。

5.1 章における検討内容は、下記の 4 項目である。

・分析対象観測点の整理（5.1.1 章）

・地震記録の収集及び整理（5.1.2 章）

・信頼振動数範囲の算出（5.1.3 章）

・時刻歴加速度波形及び応答スペクトル図の作成（5.1.4 章）

５．１．１　分析対象観測点の整理

分析対象の 25 観測点の位置及び諸元を図 5.1.1 及び表 5.1.1 に示す。これらの観測点は、原子力安全基盤機構（2005）がはぎ取り解析用地盤モデルを策定している 25 観測点（大樹、岩泉、川井北、唐桑、東和、志津川、河北、都路、檜枝岐、成田、旭、山東、新宮、夢前、波賀、上郡、伯太、匹見、神辺、神石、広島、玉野、防府、美東、安岐）である。

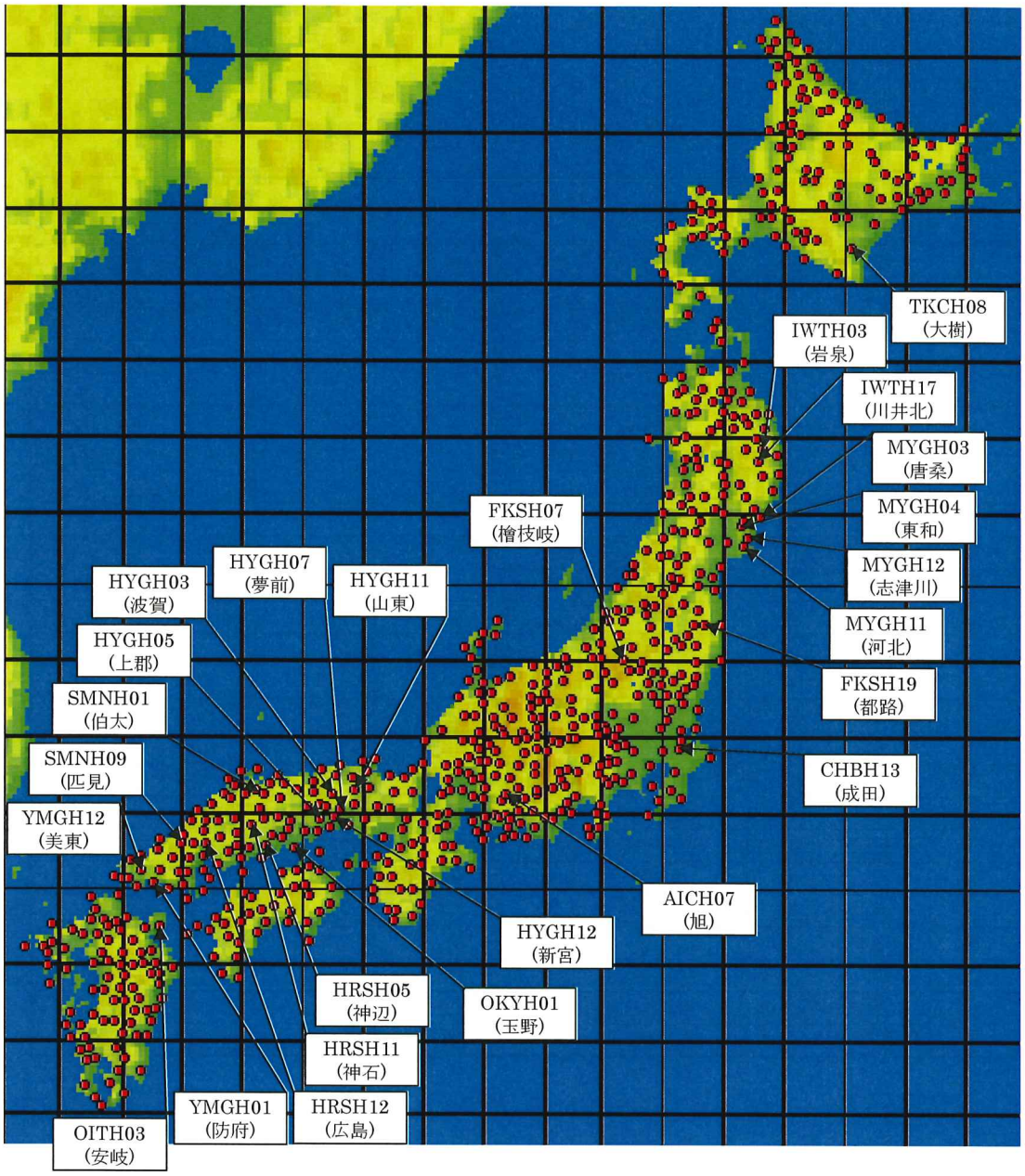


図 5.1.1　分析対象となる KiK-net 観測点の配置図（防災科学技術研究所公表資料に加筆）

表 5.1.1　分析対象となる KiK-net 観測点の諸元（防災科学技術研究所公表資料より整理）

No.	観測点名	観測点名	観測点ｺｰﾄﾞ	都道府県	北　緯	東　経	地表標高(m)	地中地震計深度(m)
1	大樹	TAIKI	TKCH08	北海道	42° 29′ 5″	143° 9′ 23″	360	100
2	岩泉	IWAIZUMI	IWTH03	岩手	39° 47′ 58″	141° 39′ 20″	310	100
3	川井北	KAWAIKITA	IWTH17	岩手	39° 38′ 29″	141° 36′ 5″	305	103
4	唐桑	KARAKUWA	MYGH03	宮城	38° 55′ 8″	141° 38′ 32″	50	117
5	東和	TOUWA	MYGH04	宮城	38° 46′ 59″	141° 19′ 44″	35	100
6	志津川	SHIZUGAWA	MYGH12	宮城	38° 38′ 19″	141° 26′ 47″	18	103
7	河北	KAHOKU	MYGH11	宮城	38° 30′ 47″	141° 20′ 44″	5	207
8	都路	MIYAKOJI	FKSH19	福島	37° 28′ 2″	140° 43′ 34″	510	100
9	檜枝岐	HINOEMATA	FKSH07	福島	37° 0′ 26″	139° 22′ 44″	974	200
10	成田	NARITA	CHBH13	千葉	35° 49′ 39″	140° 18′ 5″	12	1300
11	旭	ASAHI	AICH07	愛知	35° 12′ 58″	137° 24′ 25″	621	201
12	山東	SANTO	HYGH11	兵庫	35° 17′ 22″	134° 54′ 35″	180	200
13	新宮	SHINGUU	HYGH12	兵庫	34° 55′ 41″	134° 32′ 42″	70	100
14	夢前	YUMESAKI	HYGH07	兵庫	35° 1′ 40″	134° 40′ 25″	166	100
15	波賀	HAGA	HYGH03	兵庫	35° 12′ 58″	134° 31′ 35″	370	100
16	上郡	KAMIGOORI	HYGH05	兵庫	34° 53′ 47″	134° 19′ 52″	80	100
17	伯太	HAKUTA	SMNH01	島根	35° 17′ 35″	133° 15′ 47″	170	101
18	匹見	HIKIMI	SMNH09	島根	34° 34′ 9″	132° 0′ 53″	260	200
19	神辺	KANNABE	HRSH05	広島	34° 33′ 12″	133° 25′ 14″	20	200
20	神石	JINSEKI	HRSH11	広島	34° 49′ 9″	133° 10′ 12″	590	100
21	広島	HIROSHIMA	HRSH12	広島	34° 34′ 40″	132° 25′ 55″	360	150
22	玉野	TAMANO	OKYH01	岡山	34° 30′ 13″	133° 53′ 35″	10	201
23	防府	HOUFU	YMGH01	山口	34° 2′ 46″	131° 33′ 51″	35	200
24	美東	MITOU	YMGH12	山口	34° 12′ 51″	131° 21′ 44″	150	102
25	安岐	AKI	OITH03	大分	33° 28′ 13″	131° 41′ 17″	35	400

5．1．2　地震記録の収集及び整理

（1）地震記録の収集

以下の条件の地震記録を収集した。

・収 集 期 間 ： 2006年1月1日～2006年12月31日

・収集対象地震： 原子力安全基盤機構（2005）がはぎ取り解析用地盤モデルを策定している25観測点からの、震央距離200km程度以内で発生したマグニチュード（M）5以上の地震を対象とした。

（2）地震諸元の修正

KiK-net で公開されている観測地震の諸元は気象庁震源速報によるものであるため、その後に発表されるより精度の高い震源情報を入手し、地震発生時、震央位置名、震源位置（緯度・経度、震源深さ）、マグニチュードを最新の震源情報の内容に修正した。

気象庁発表の震源情報には、精度の高い順に A：地震・火山月報（カタログ編）、B：地震・火山月報（防災編）、C：震源速報の3種類があり適宜更新されている。地震・火山月報（カタログ編）は地震・火山月報（防災編）の修正版であり、震源情報の最終確定値である。ここでは、地震・火山月報（カタログ編）から2006年1月～2006年4月末までの情報を用いた。また、2006年5月～2006年11月末までは地震・火山月報（防災編）を用いて震源情報を修正した。2006年12月については震源速報（2007年1月時点）となっている。

（3）地震ごとの整理番号の付与

表5.1.2に分析対象となった地震の諸元を示す。同表には、収集された地震に整理番号（地震番号）を地震発生日時順に付記したが、地震動特性の分析に用いる地震は全国で延べ19地震となった。これらの地震の中には、被害地震となった2005年の宮城県沖地震（M7.2）の余震といった地震が含まれている。

図5.1.2には分析対象となった19地震の震央位置を示す。

（4）KiK-net 観測点ごとの地震諸元の整理

表5.1.3にKiK-net 観測点毎の地震の諸元を示す。同表には、(2)項で修正した震源位置を用いて計算した震央距離・震源距離及び方位角を付記してある。なお、方位角は震央から観測点

へ向かう直線が真北となす角度であり、時計回りに測っている（0° ≦ θ ＜360° ）。

当初、分析対象となるKiK-net観測点は25観測点であったが、(3)項で収集された地震に係る観測点は延べ14観測点となった。分析対象となる観測記録は53記録である。

（5）KiK-net観測点毎の地震の震央位置の図化

図5.1.3～図5.1.9に観測点の位置及び各観測点での分析対象地震の震央位置を示す。各図には、KiK-net観測点を中心に震央位置をプロットしており、観測点から半径100km及び200kmの同心円を付記した。

表5.1.2　分析対象となった地震の諸元（2006.1.1～2006.12.31、M≧5.0）

地震番号	地震発生日時 (年/月/日　時 分 秒)	震源地名	ﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞ (M)	震　源			ｶﾀﾛｸﾞ区分
				北 緯	東 経	深さ(km)	
1	2006/1/18　23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	35.94	A
2	2006/2/1　20:35:53	千葉県北西部	5.1	35° 45′ 40″	140° 0′ 13″	101.02	A
3	2006/2/3　13:37:35	茨城県沖	5.9	36° 12′ 53″	141° 36′ 40″	62.08	A
4	2006/2/3　14:41:37	茨城県沖	5.0	36° 13′ 13″	141° 34′ 50″	62.63	A
5	2006/2/3　15:10:04	茨城県沖	5.3	36° 13′ 46″	141° 36′ 44″	63.29	A
6	2006/3/12　7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	34.95	A
7	2006/3/13　13:06:09	茨城県沖	5.1	36° 3′ 23″	141° 45′ 56″	59.00	A
8	2006/3/27　11:50:26	日向灘	5.5	32° 36′ 6″	132° 9′ 25″	34.76	A
9	2006/4/21　2:50:40	伊豆半島東方沖	5.8	34° 56′ 29″	139° 11′ 45″	7.11	A
10	2006/5/2　18:24:31	伊豆半島東方沖	5.1	34° 55′ 0″	139° 19′ 48″	15	B
11	2006/6/12　5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	B
12	2006/7/1　8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	B
13	2006/7/6　2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 48″	36	B
14	2006/9/7　3:06:31	千葉県東方沖	5.1	35° 35′ 24″	141° 3′ 24″	38	B
15	2006/9/26　7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	B
16	2006/10/2　2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	B
17	2006/10/11　8:58:03	福島県沖	6.0	37° 11′ 36″	143° 1′ 48″	50	B
18	2006/10/14　6:38:02	千葉県南東沖	5.1	34° 53′ 36″	140° 18′ 12″	64	B
19	2006/12/6　23:04:49	釧路沖	5.0	42° 14′ 12″	144° 50′ 42″	30	C

A: 地震・火山月報(ｶﾀﾛｸﾞ編)
B: 地震・火山月報(防災編)
C: 震源速報

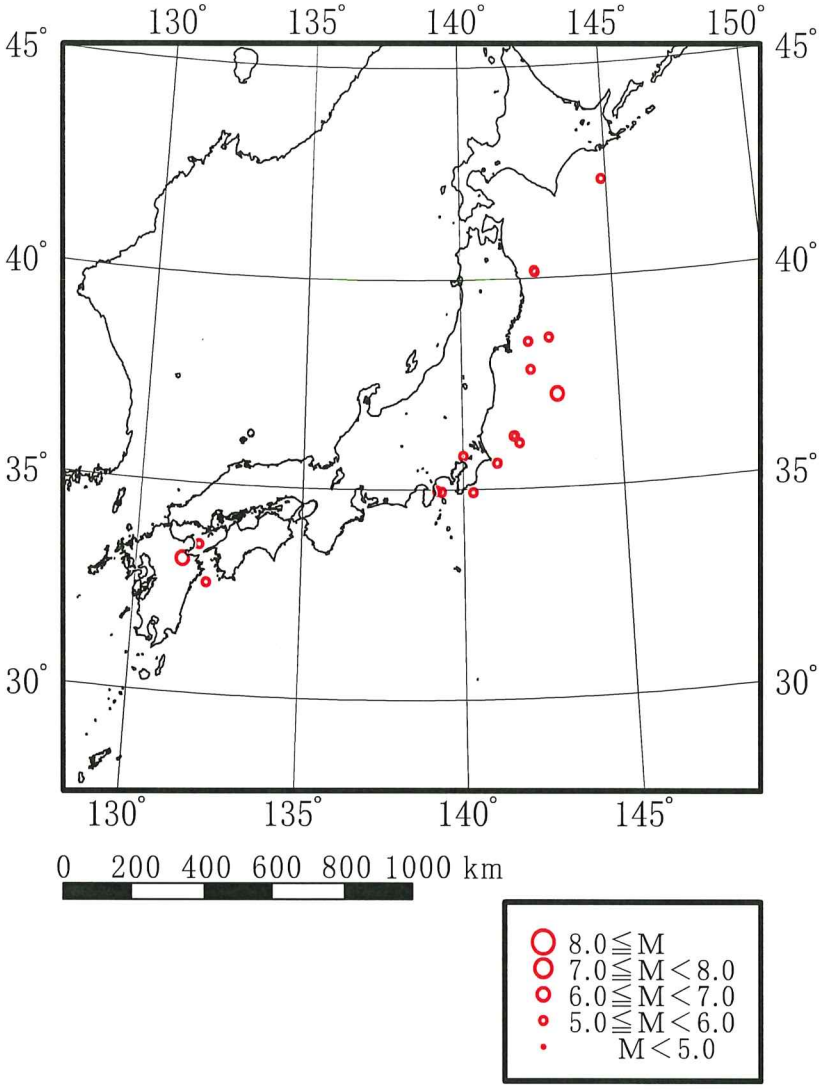


図 5.1.2　分析対象となった 19 地震の震央位置（2006.1.1～2006.12.31、M≧5.0）

表 5.1.3(1)　KiK-net 観測点毎の地震（分析対象となる観測記録）の諸元

観測点名	地震番号	地震発生日時 (年/月/日　時 分 秒)	震源地名	M	北 緯	東 経	深さ (km)	震央距離 (km)	震源距離 (km)	方位角 (°)
大樹	19	2006/12/6　23:04:49	釧路沖	5.0	42° 14′ 12″	144° 50′ 42″	30	142	145	281.2
岩泉	6	2006/3/12　7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	35	77	85	242.9
	12	2006/7/1　8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	154	159	343.9
	13	2006/7/6　2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 48″	36	77	85	239.6
川井北	6	2006/3/12　7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	35	90	97	234.3
	12	2006/7/1　8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	139	144	340.0
	13	2006/7/6　2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 48″	36	91	98	231.6
	16	2006/10/2　2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	161	170	319.0
唐桑	1	2006/1/18　23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	133	138	338.7
	6	2006/3/12　7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	35	150	154	207.9
	12	2006/7/1　8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	67	78	318.4
	13	2006/7/6　2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 48″	36	153	157	206.6
	16	2006/10/2　2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	111	124	291.8
東和	1	2006/1/18　23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	133	138	325.3
	6	2006/3/12　7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	35	177	181	213.5
	12	2006/7/1　8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	80	89	296.0
	13	2006/7/6　2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 48″	36	179	183	212.2
	16	2006/10/2　2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	133	144	281.3
志津川	1	2006/1/18　23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	114	119	324.8
	6	2006/3/12　7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	35	186	189	208.2
	12	2006/7/1　8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	65	76	287.0
	13	2006/7/6　2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 48″	36	188	192	207.0
	16	2006/10/2　2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	121	133	274.8
河北	1	2006/1/18　23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	109	115	316.7
	6	2006/3/12　7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	35	203	206	208.5
	12	2006/7/1　8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	71	81	274.0
	13	2006/7/6　2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 48″	36	205	208	207.5
	16	2006/10/2　2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	129	141	268.3
都路	1	2006/1/18　23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	136	140	254.2
	2	2006/2/1　20:35:53	千葉県北西部	5.1	35° 45′ 40″	140° 0′ 13″	101	200	224	18.6
	3	2006/2/3　13:37:35	茨城県沖	5.9	36° 12′ 53″	141° 36′ 40″	62	160	171	330.6
	4	2006/2/3　14:41:37	茨城県沖	5.0	36° 13′ 13″	141° 34′ 50″	63	158	170	331.4
	5	2006/2/3　15:10:04	茨城県沖	5.3	36° 13′ 46″	141° 36′ 44″	63	158	170	330.3
	12	2006/7/1　8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	168	173	228.7
	17	2006/10/11　8:58:03	福島県沖	6.0	37° 11′ 36″	143° 1′ 48″	50	206	212	278.5

表 5.1.3(2)　KiK-net 観測点毎の地震（分析対象となる観測記録）の諸元

観測点名	地震番号	地震発生日時 (年/月/日　時　分　秒)	震源地名	M	北　緯	東　経	深さ (km)	震央距離 (km)	震源距離 (km)	方位角 (°)
成田	3	2006/2/3　13:37:35	茨城県沖	5.9	36° 12′ 53″	141° 36′ 40″	62	126	140	250.0
	4	2006/2/3　14:41:37	茨城県沖	5.0	36° 13′ 13″	141° 34′ 50″	63	124	139	249.3
	5	2006/2/3　15:10:04	茨城県沖	5.3	36° 13′ 46″	141° 36′ 44″	63	127	142	249.4
	7	2006/3/13　13:06:09	茨城県沖	5.1	36° 3′ 23″	141° 45′ 56″	59	135	147	259.1
	9	2006/4/21　2:50:40	伊豆半島東方沖	5.8	34° 56′ 29″	139° 11′ 45″	7	140	140	45.5
	10	2006/5/2　18:24:31	伊豆半島東方沖	5.1	34° 55′ 0″	139° 19′ 48″	15	134	135	41.0
	14	2006/9/7　3:06:31	千葉県東方沖	5.1	35° 35′ 24″	141° 3′ 24″	38	73	82	291.1
	18	2006/10/14　6:38:02	千葉県南東沖	5.1	34° 53′ 36″	140° 18′ 12″	64	104	122	359.9
匹見	11	2006/6/12　5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	169	223	19.3
	15	2006/9/26　7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	119	138	5.8
神石	15	2006/9/26　7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	187	200	38.9
防府	11	2006/6/12　5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	102	178	8.2
	15	2006/9/26　7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	67	97	333.9
美東	11	2006/6/12　5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	120	189	358.0
	15	2006/9/26　7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	92	116	328.6
安岐	8	2006/3/27　11:50:26	日向灘	5.5	32° 36′ 6″	132° 9′ 25″	35	106	111	335.7
	11	2006/6/12　5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	46	153	35.0
	15	2006/9/26　7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	19	72	258.0

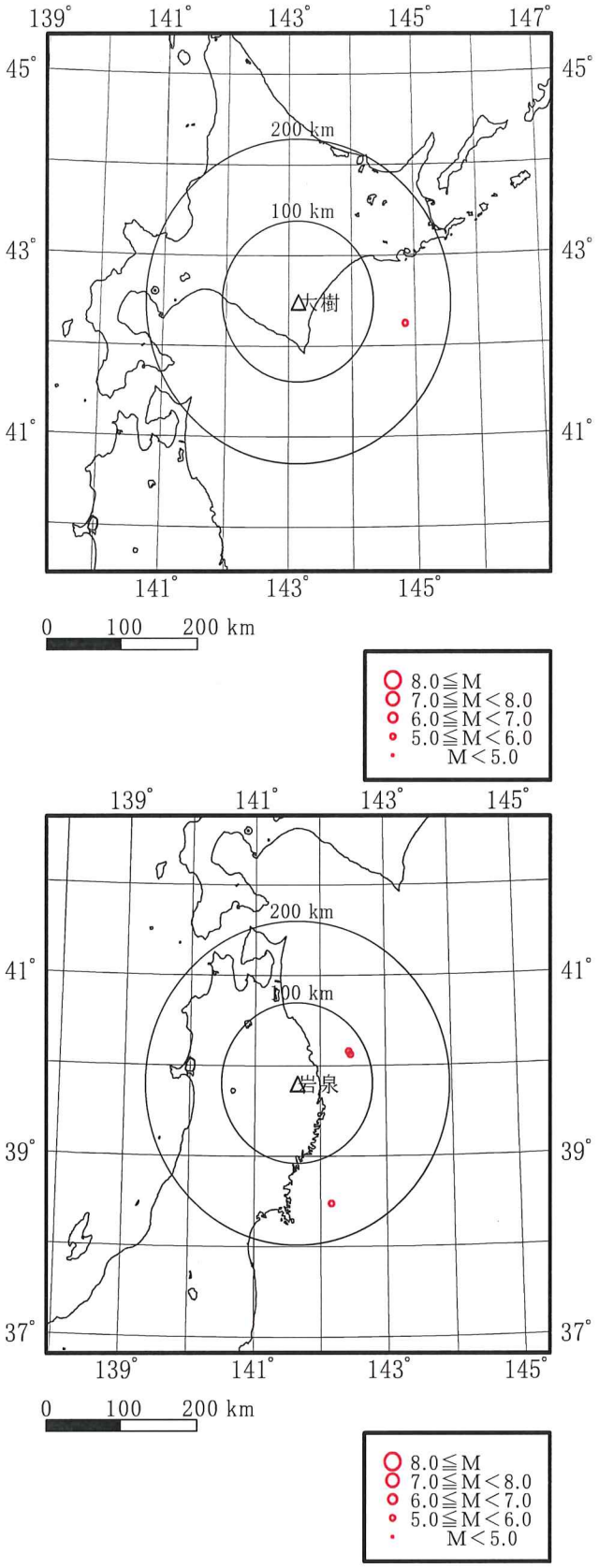


図 5.1.3　地震の震央位置（上図：大樹観測点（TKCH08）、下図：岩泉観測点（IWTH03））

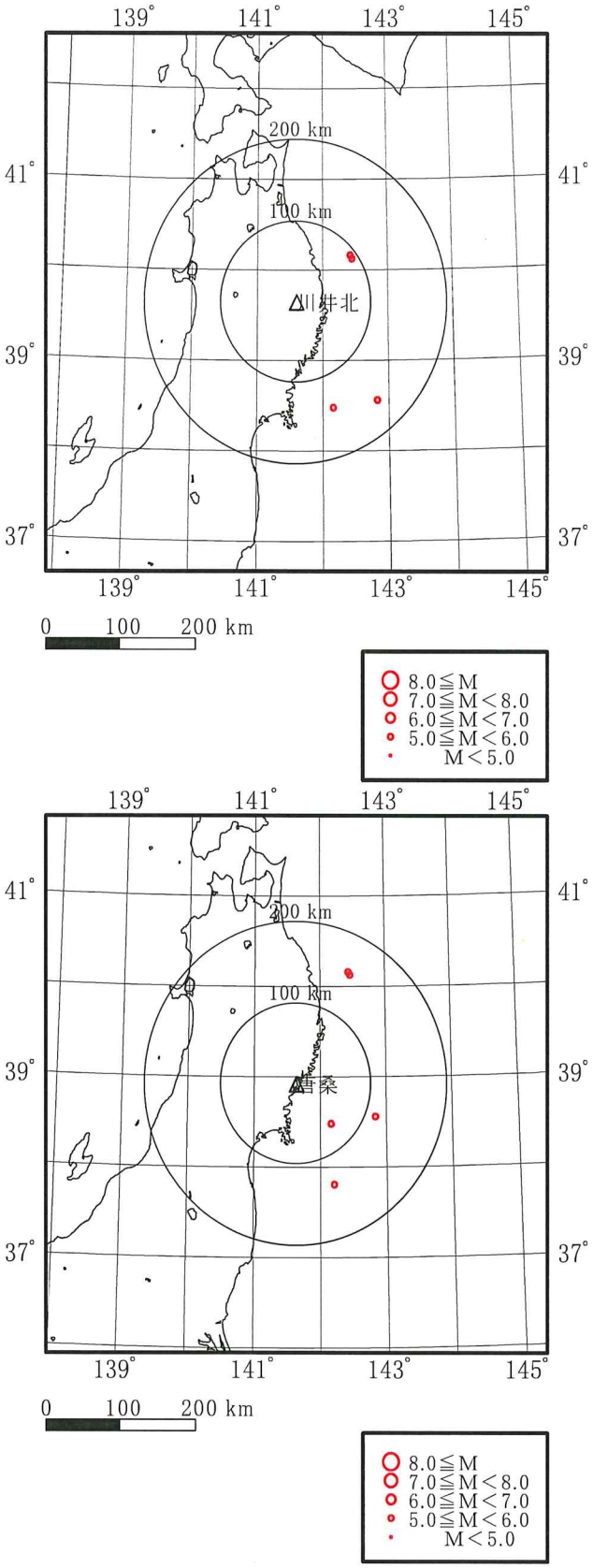


図 5.1.4　地震の震央位置（上図：川井北観測点（IWTH17）、下図：唐桑観測点（MYGH03））

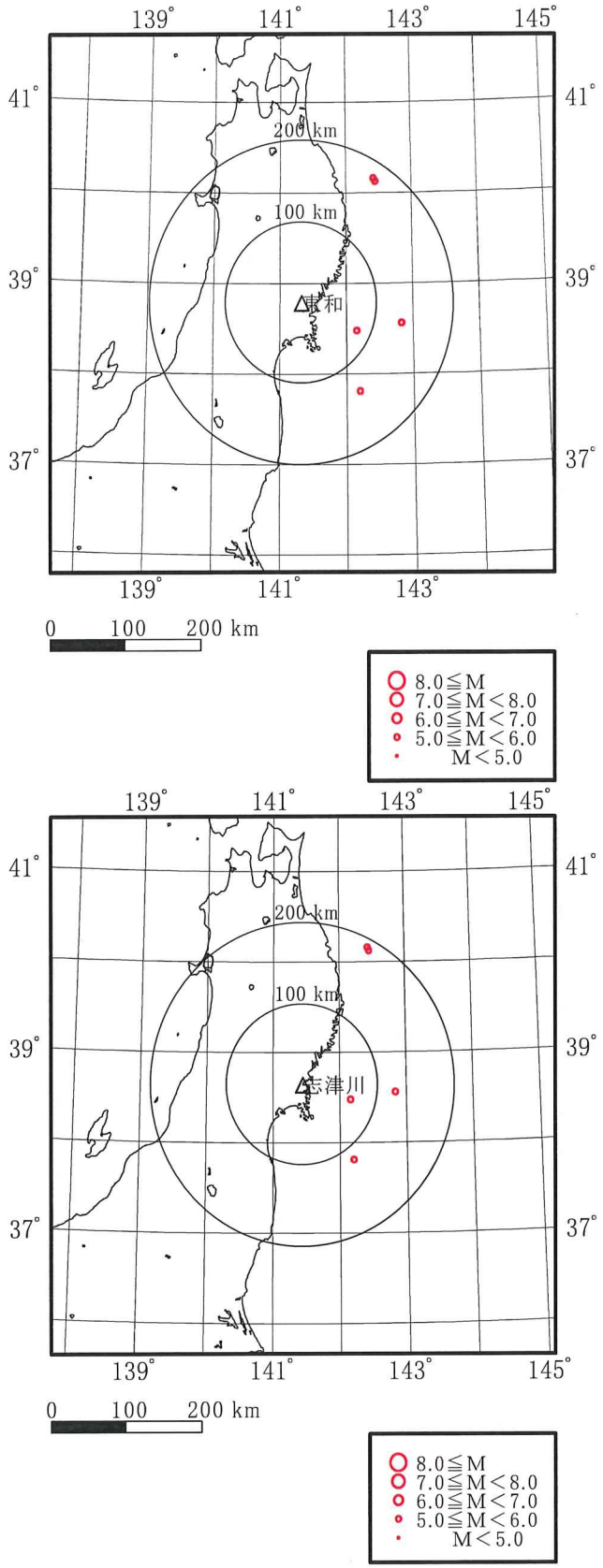


図 5.1.5　地震の震央位置（上図：東和観測点（MYGH04）、下図：志津川観測点（MYGH12））

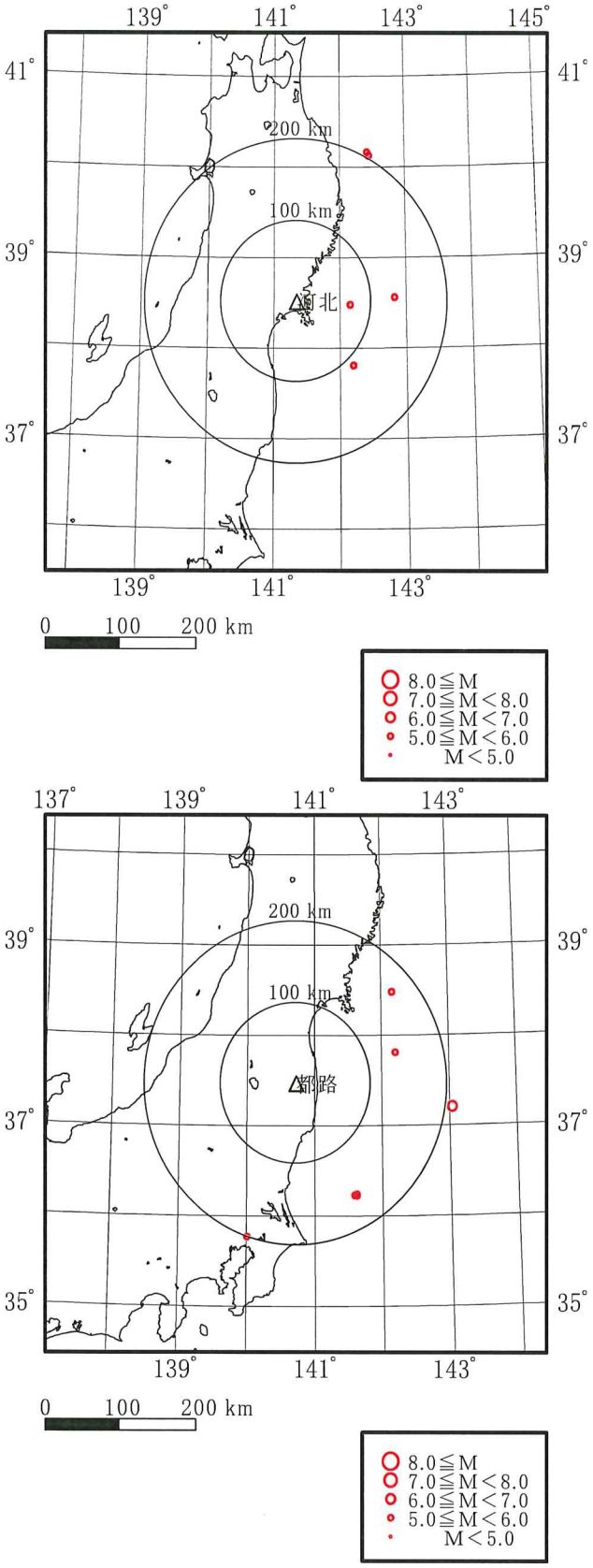


図 5.1.6　地震の震央位置（上図：河北観測点（MYGH11）、下図：都路観測点（FKSH19））

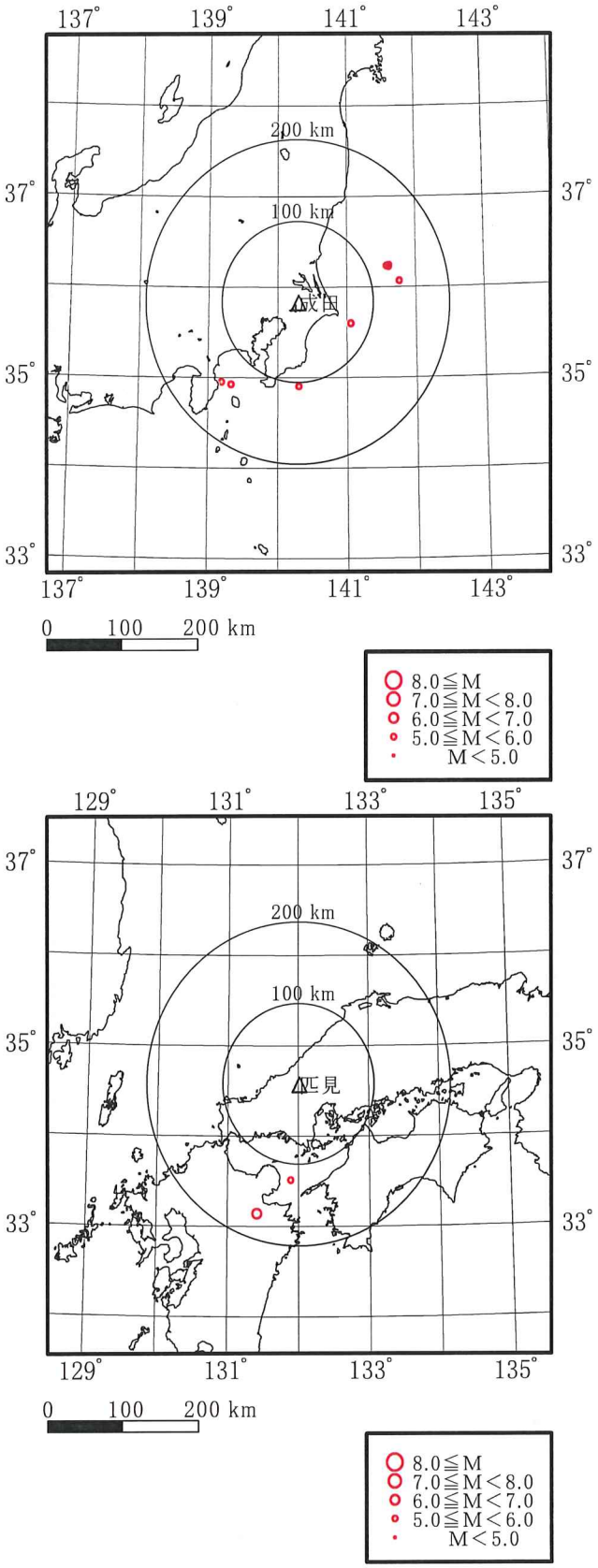


図 5.1.7　地震の震央位置（上図：成田観測点（CHBH13）、下図：匹見観測点（SMNH09））

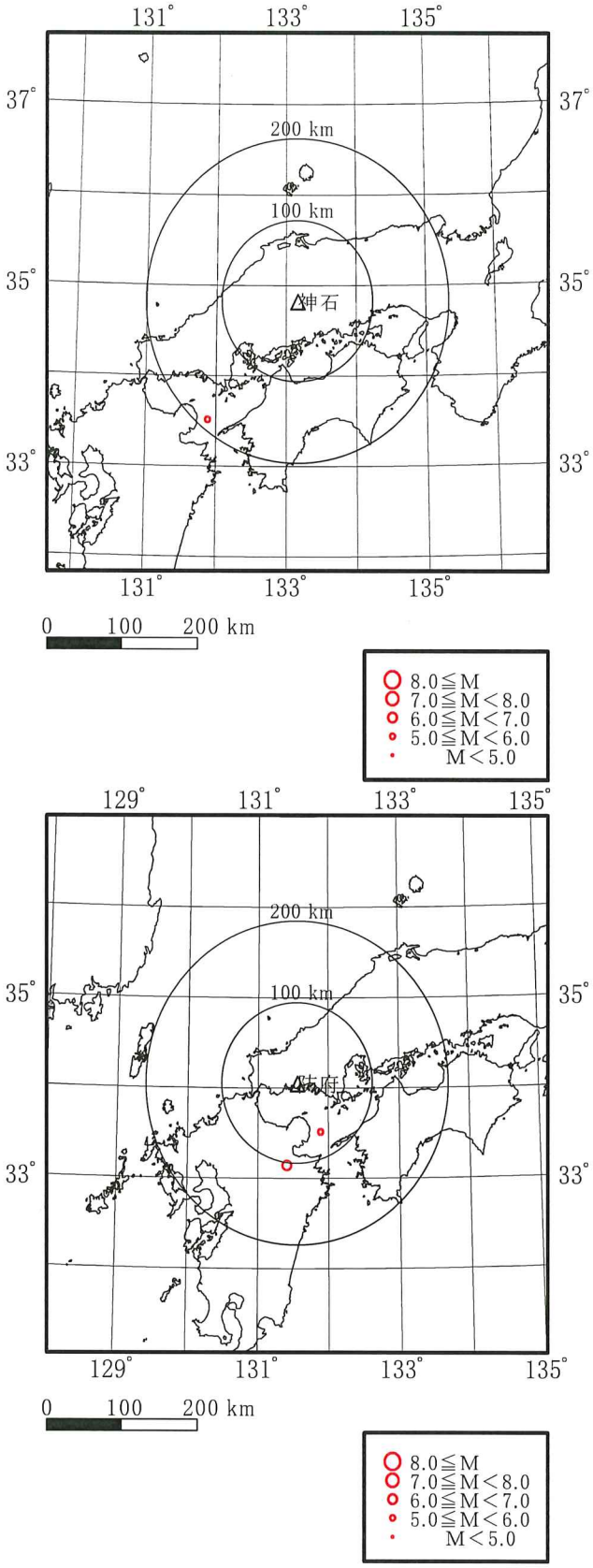


図 5.1.8　地震の震央位置（上図：神石観測点（HRSH11）、下図：防府観測点（YMGH01））

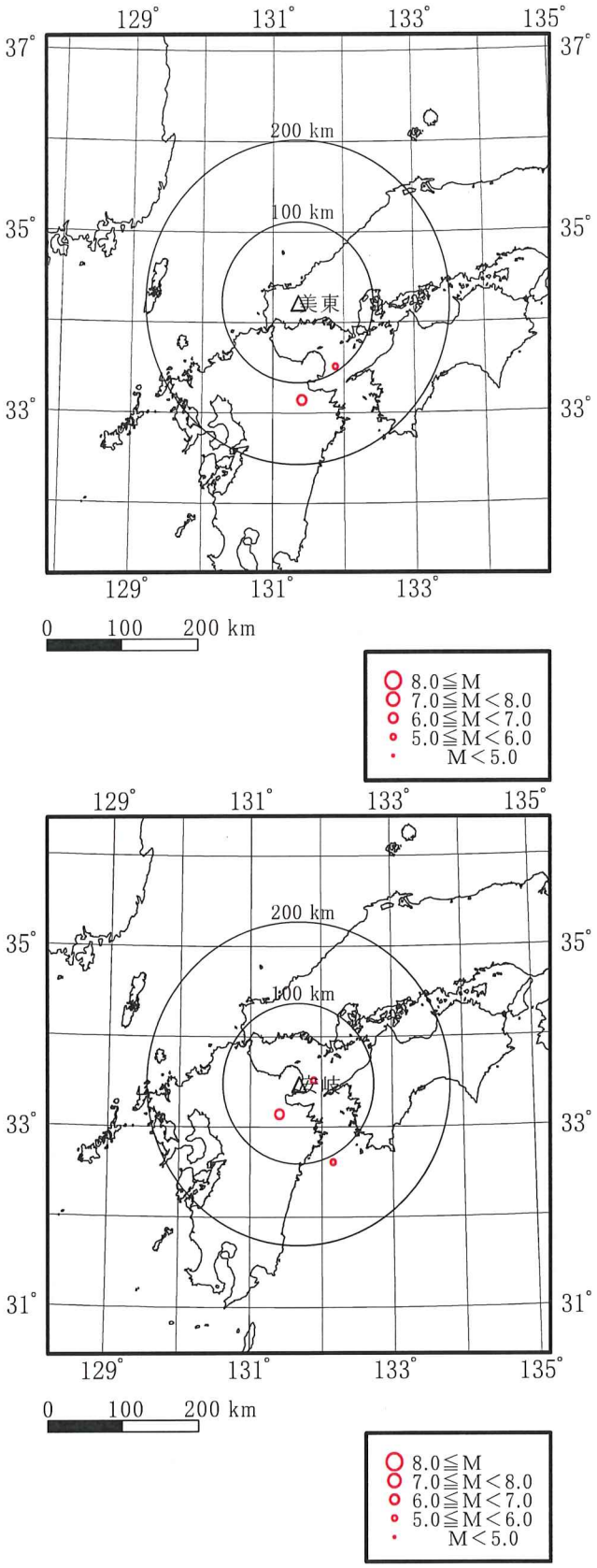


図 5.1.9　地震の震央位置（上図：美東観測点（YMGH12）、下図：安岐観測点（OITH03））

５．１．３　信頼振動数範囲の算出

5.1.2 章に記載した 14 観測点で観測された 53 記録について、pre-event 区間（ノイズ部分）と event 区間（信号部分）のフーリエスペクトル振幅から S/N 比を計算し、S/N 比が 3 以上の振動数範囲を求めた。信頼振動数範囲の算出フローを図 5.1.10 に示す。

（１）観測記録の選定

14 観測点で観測された 53 記録の時刻歴波形を描き、ノイズ部分が 10 秒程度以上ある記録のうち 34 記録を最終的に選定した。これにより、分析対象となる KiK-net 観測点は 12 観測点（岩泉、川井北、唐桑、東和、志津川、河北、都路、成田、匹見、防府、美東、安岐）となった。

（２）観測記録の座標変換（R-T 変換）

信頼振動数範囲の算出にあたっては、5.1.2 章で求めた方位角を用いて事前に観測記録波形の座標変換を行い、水平成分に関しては R-T 変換（R: 震央方向（Radial 成分）、T: 震央直交方向（Transverse 成分）；以降ではそれぞれ R 成分及び T 成分と呼ぶ）を行った観測記録を用いた。このとき地中の観測記録に対しては、(財)原子力発電技術機構における平成 13 年度の成果報告書「平成 13 年度 原子力発電立地調査に関する報告書（その 1）地震波伝ぱ特性評価法調査」、及び平成 14 年度の成果報告書「平成 14 年度 原子力発電立地調査に関する報告書（その 1）地震波伝ぱ特性評価法調査」で求められた埋設方位誤差に関する方位補正も併せて行った。各観測点の方位ずれ角の推定値一覧を各々の報告書から抜粋して表 5.1.4 に示す。同表では、地表地震計を正（基準）とした場合の地中地震計水平成分のセンサーの方位ずれ角を、時計回りを正（＋）として表現している。

図 5.1.11 に座標変換の説明図を示す。座標変換における回転角 θ は下記の通りである。

- 地表地震計の場合：　（回転角）＝（方位角）
- 地中地震計の場合：　（回転角）＝（方位角）－（設置方位誤差）

（３）S/N 比の算出方法

分析対象の 34 記録は、観測点ごとに pre-event の区間長が 10 秒程度以上確保できることを原則として選定されたものである。S/N 比の計算は、5.2 章ではぎ取り解析を行う地表及び地中観測波のそれぞれ T 成分について行い、単位時間長あたりのフーリエスペクトル振幅の比として次式

を用いて評価した。

$$(\text{S/N 比}) = \frac{Fs(f)}{Fn(f)} \cdot \frac{Tn}{Ts}$$

ここに、Fs(f)　：event 区間のフーリエスペクトル振幅（Gal・s）

Fn(f)　：pre-event 区間のフーリエスペクトル振幅（Gal・s）

Ts　：event 区間の時間長（s）

Tn　：pre-event 区間の時間長（s）

pre-event 区間の時間長 Tn は、当該区間の加速度振幅値（ノイズレベル）を考慮して原則 0.05gal 以上の振幅値をもって event 区間が始まるものと見なして自動的に算出した。また、event 区間の時間長 Ts については、全波形時間長から pre-event 区間の時間長 Tn を差し引くことにより求めた。

（4）信頼振動数範囲の算出結果

表 5.1.5 に S/N 比≧3 となる信頼振動数範囲の一覧を示す。また、図 5.1.12 には S/N 比の検討結果の一例として、河北観測点（MYGH11）における地表 T 成分の結果を記載した。なお、全 34 記録における S/N 比の検討結果については、一式を巻末資料として記載してある。

同表に示したように、信頼振動数範囲の算出は 0.1～60Hz までの振動数範囲で行っているが、一方、KiK-net 観測点における地震計の周波数特性が DC～30Hz であることから、短周期側の信頼限界振動数（上限振動数）は上限で 30Hz と判断すべきと考えられ、その取り扱いに留意する必要がある。このような観点から、信頼振動数範囲の算出で上限振動数が 30Hz を上回るものについては同表において算出値をそのまま記載したものの、最終的に判断される上限振動数は 30Hz であることを括弧書きで追記することとした。

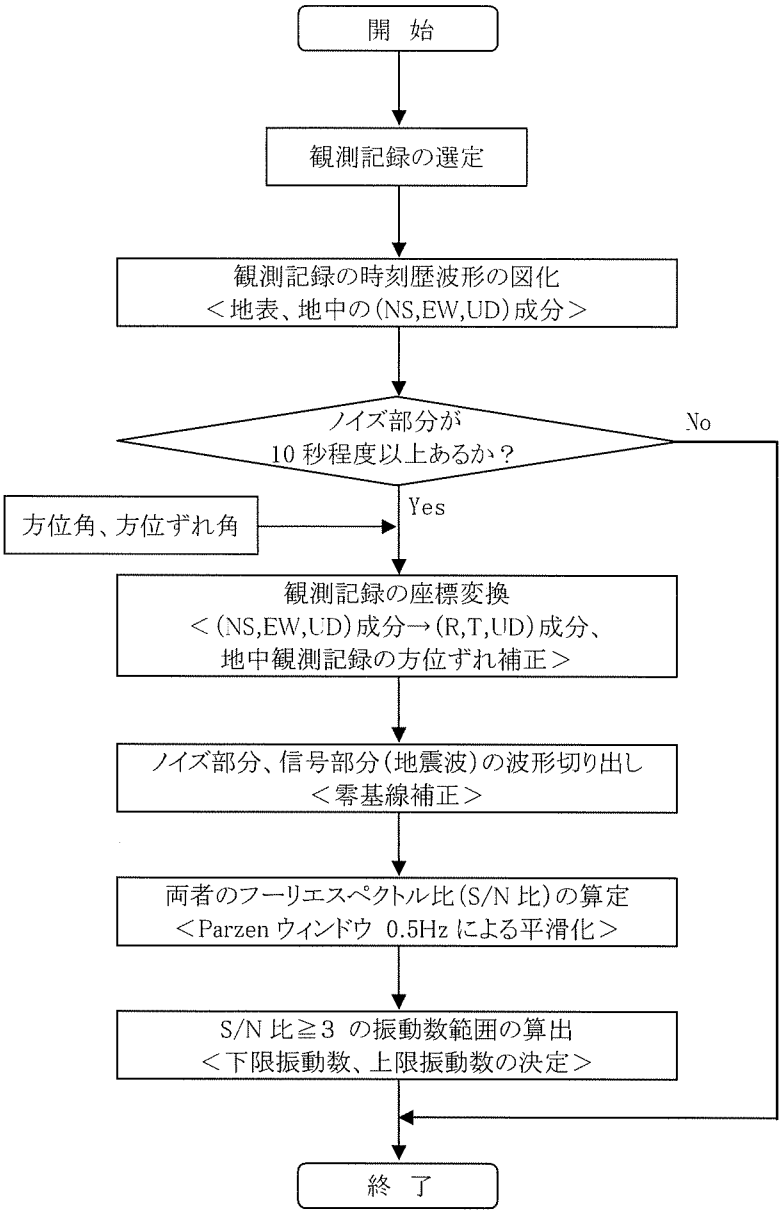


図 5. 1. 10　信頼振動数範囲の算出フロー

表 5.1.4　地中地震計方位ずれ角の推定値一覧
((財)原子力発電技術機構 平成 13 年度及び平成 14 年度の成果報告書から抜粋)

No.	観測点名	観測点名	観測点ｺｰﾄﾞ	都道府県	地中地震計方位ずれ角(°)
2	岩泉	IWAIZUMI	IWTH03	岩手	-0.2
3	川井北	KAWAIKITA	IWTH17	岩手	3.1
4	唐桑	KARAKUWA	MYGH03	宮城	6.3
5	東和	TOUWA	MYGH04	宮城	2.7
6	志津川	SHIZUGAWA	MYGH12	宮城	-5.8
7	河北	KAHOKU	MYGH11	宮城	-8.1
8	都路	MIYAKOJI	FKSH19	福島	-5.8
9	檜枝岐	HINOEMATA	FKSH07	福島	-9.5
10	成田	NARITA	CHBH13	千葉	0.0
18	匹見	HIKIMI	SMNH09	島根	-147.0
23	防府	HOUFU	YMGH01	山口	5.1
24	美東	MITOU	YMGH12	山口	3.1
25	安岐	AKI	OITH03	大分	-0.8

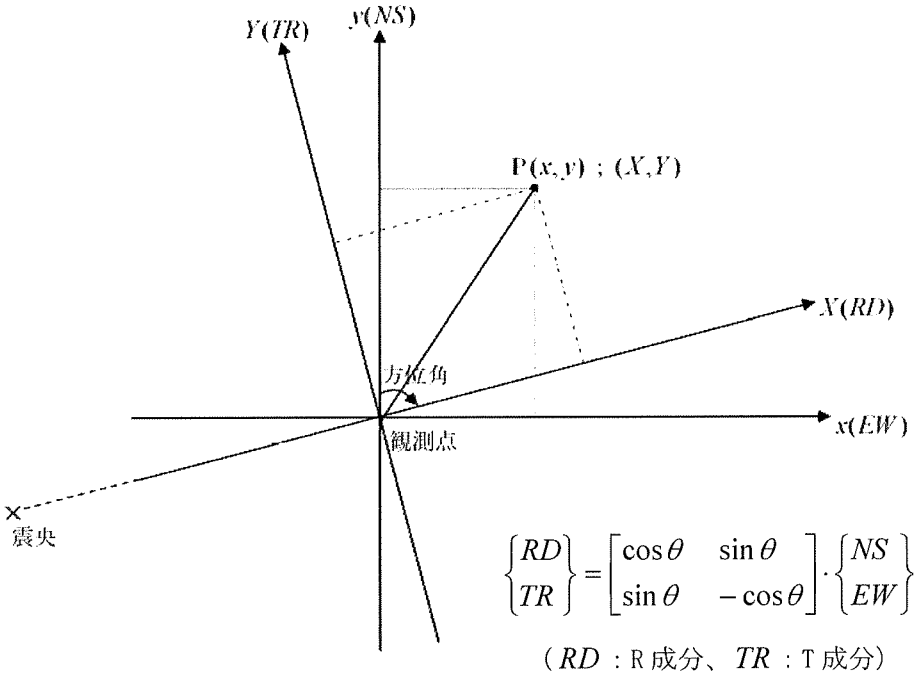
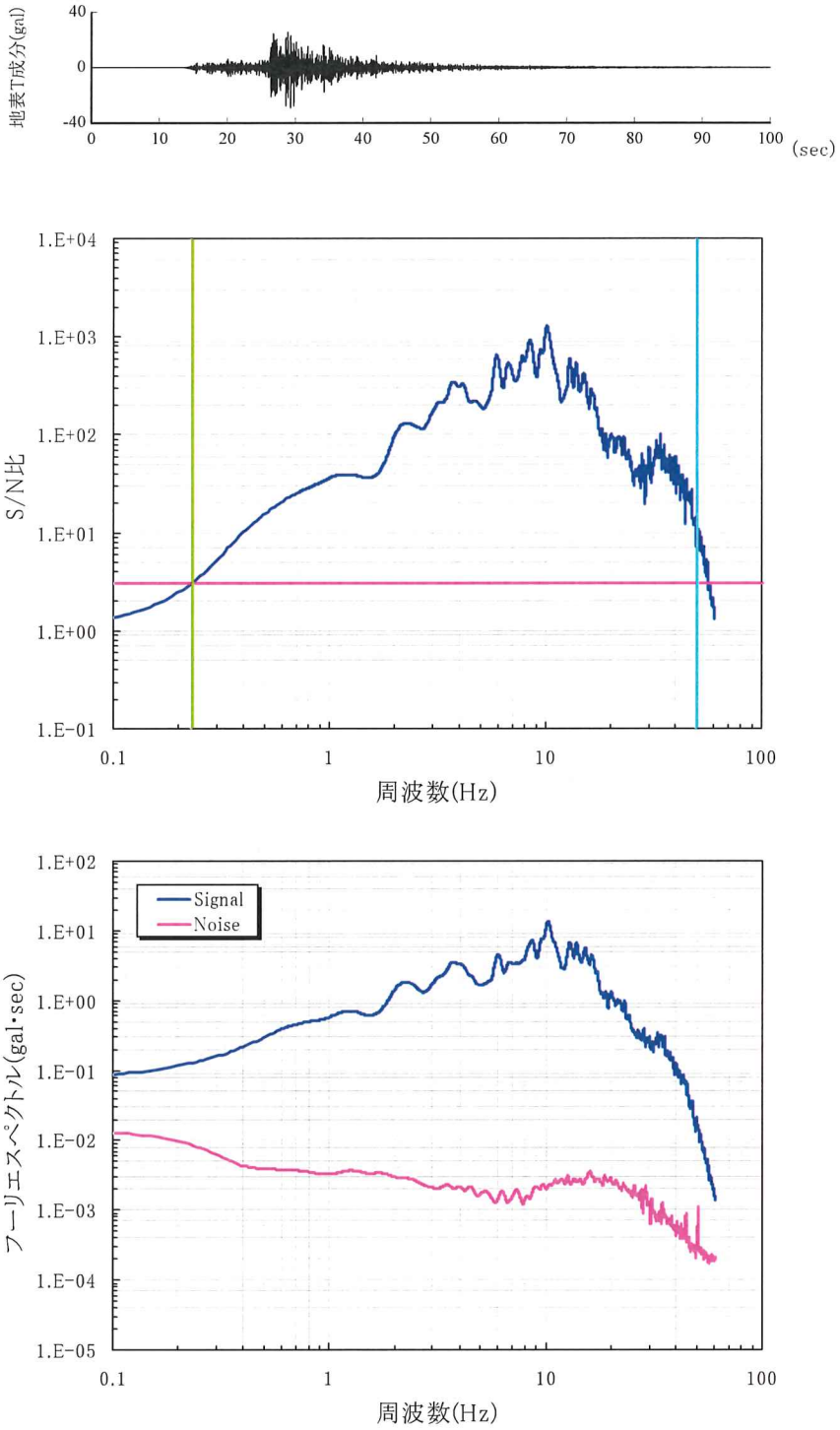


図 5.1.11　座標変換（R-T 変換）の説明図

表 5.1.5　S/N 比≧3 となる信頼振動数範囲の一覧

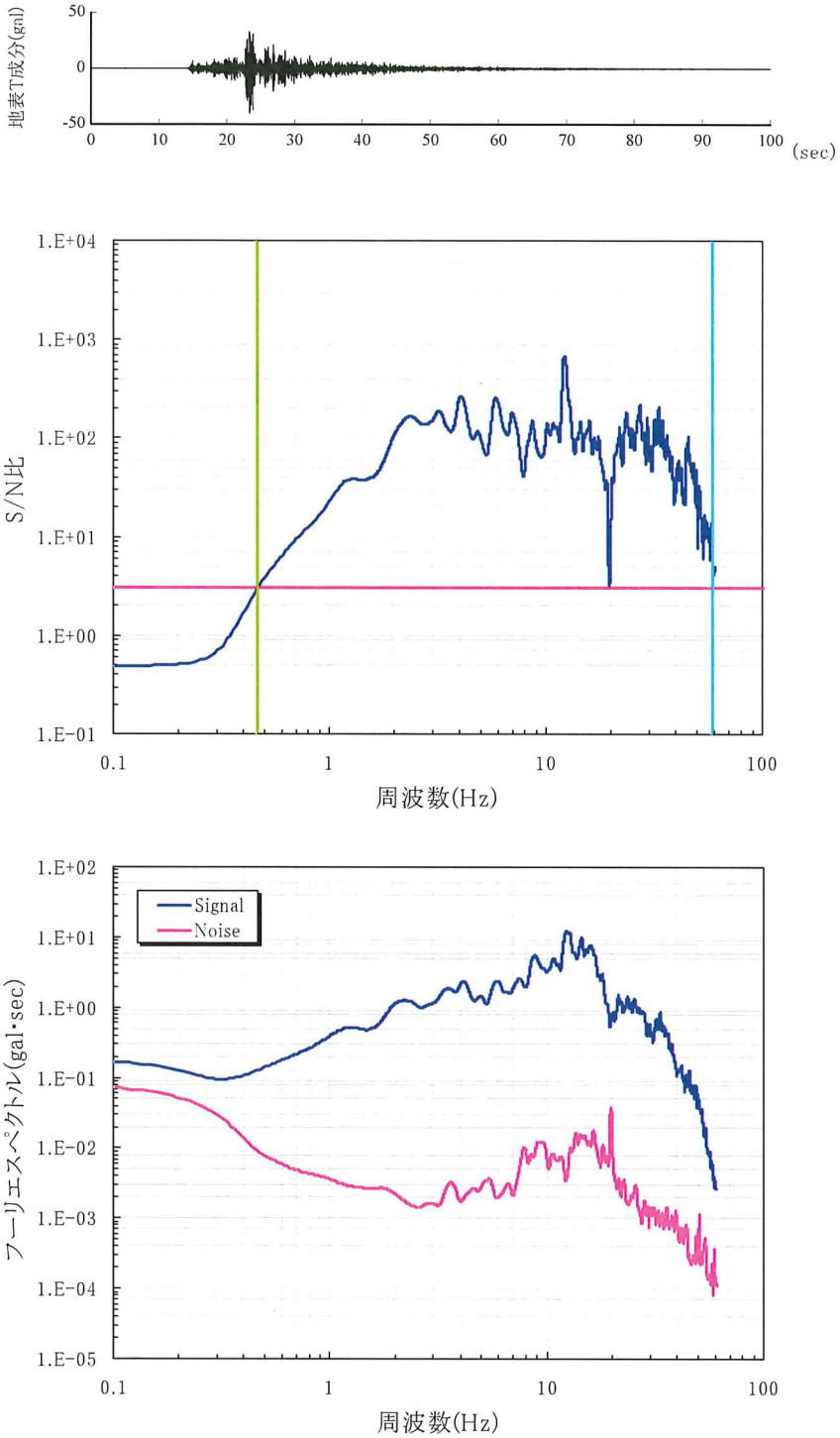
観測点名	地震番号	地震発生日時 (年/月/日	時 分 秒)	震源地名	M	北 緯	東 経	深さ (km)	震央距離 (km)	震源距離 (km)	地表地震計 方位角 (°)	地中地震計 方位角 (°)	pre-event 区間 (sec)	noise限界 振動数 (Hz)	信 頼 振 動 数 範 囲			
															地表<T成分>		地中<T成分>	
															下限(Hz)	上限(Hz)	下限(Hz)	上限(Hz)
岩泉	6	2006/3/12	7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	35	77	85	242.9	243.1	13.5	0.074	0.37	19.7	0.34	19.6
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	154	159	343.9	344.1	14.0	0.071	0.45	40.6(30)	0.33	9.8
	13	2006/7/6	2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 48″	36	77	85	239.6	239.8	12.0	0.083	0.27	52.8(30)	0.15	38.0(30)
川井北	6	2006/3/12	7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	35	90	97	234.3	231.2	14.5	0.069	0.44	37.4(30)	0.42	18.6
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	139	144	340.0	336.9	14.0	0.071	0.50	51.9(30)	0.35	30.4(30)
	13	2006/7/6	2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 48″	36	91	98	231.6	228.5	14.0	0.071	0.24	52.3(30)	0.22	37.1(30)
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	161	170	319.0	315.9	14.0	0.071	0.44	49.0(30)	0.38	30.4(30)
唐桑	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	133	138	338.7	332.4	12.5	0.080	0.11	56.5(30)	0.16	55.9(30)
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	67	78	318.4	312.1	14.0	0.071	0.33	60.0(30)	0.24	60.0(30)
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	111	124	291.8	285.5	14.0	0.071	0.35	60.0(30)	0.43	60.0(30)
東和	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	133	138	325.3	322.6	12.0	0.083	0.46	35.3(30)	0.20	38.5(30)
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	80	89	296.0	293.3	14.0	0.071	0.39	49.6(30)	0.28	53.0(30)
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	133	144	281.3	278.6	14.0	0.071	0.43	35.5(30)	0.50	37.1(30)
志津川	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	114	119	324.8	330.6	13.5	0.074	0.10	59.8(30)	0.21	51.3(30)
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	65	76	287.0	292.8	14.0	0.071	0.39	60.0(30)	0.49	60.0(30)
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	121	133	274.8	280.6	14.5	0.069	0.40	60.0(30)	0.56	55.4(30)
河北	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	109	115	316.7	324.8	13.5	0.074	0.23	50.0(30)	0.17	60.0(30)
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	71	81	274.0	282.1	14.0	0.071	0.16	58.3(30)	0.42	60.0(30)
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	129	141	268.3	276.4	13.0	0.077	0.50	49.8(30)	3.21	34.5(30)
都路	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	136	140	254.2	260.0	12.0	0.083	0.15	49.9(30)	0.28	19.3
	2	2006/2/1	20:35:53	千葉県北西部	5.1	35° 45′ 40″	140° 0′ 13″	101	200	224	18.6	24.4	13.5	0.074	0.56	49.7(30)	0.98	12.7
	3	2006/2/3	13:37:35	茨城県沖	5.9	36° 12′ 53″	141° 36′ 40″	62	160	171	330.6	336.4	13.5	0.074	0.20	33.1(30)	5.51	5.6
成田	3	2006/2/3	13:37:35	茨城県沖	5.9	36° 12′ 53″	141° 36′ 40″	62	126	140	250.0	250.0	10.0	0.100	0.35	12.7	4.05	5.6
	14	2006/9/7	3:06:31	千葉県東方沖	5.1	35° 35′ 24″	141° 3′ 24″	38	73	82	291.1	291.1	13.0	0.077	0.29	11.8	9.06	9.9
	18	2006/10/14	6:38:02	千葉県南東沖	5.1	34° 53′ 36″	140° 18′ 12″	64	104	122	359.9	359.9	11.0	0.071	0.28	14.8	5.79	10.9
匹見	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	169	223	19.3	166.3	10.5	0.095	0.13	34.2(30)	0.11	7.8
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	119	138	5.8	152.8	14.0	0.071	0.27	31.6(30)	0.21	20.7
防府	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	102	178	8.2	3.1	13.5	0.074	0.10	38.6(30)	0.10	24.2
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	67	97	333.9	328.8	14.0	0.071	0.20	41.1(30)	0.17	23.7
美東	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	120	189	358.0	354.9	14.5	0.069	0.10	40.5(30)	0.10	26.7
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	92	116	328.6	325.5	15.0	0.067	0.33	40.9(30)	0.27	27.1
安岐	8	2006/3/27	11:50:26	日向灘	5.5	32° 36′ 6″	132° 9′ 25″	35	106	111	335.7	336.5	12.0	0.083	0.27	16.3	6.51	8.4
	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	46	153	35.0	35.8	13.0	0.077	0.15	25.2	0.11	25.1
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	19	72	258.0	258.8	14.5	0.069	0.31	28.3	0.32	29.0



淡緑線：下限振動数、淡青線：上限振動数

図 5.1.12(1)　河北観測点（MYGH11）S/N 比の検討結果

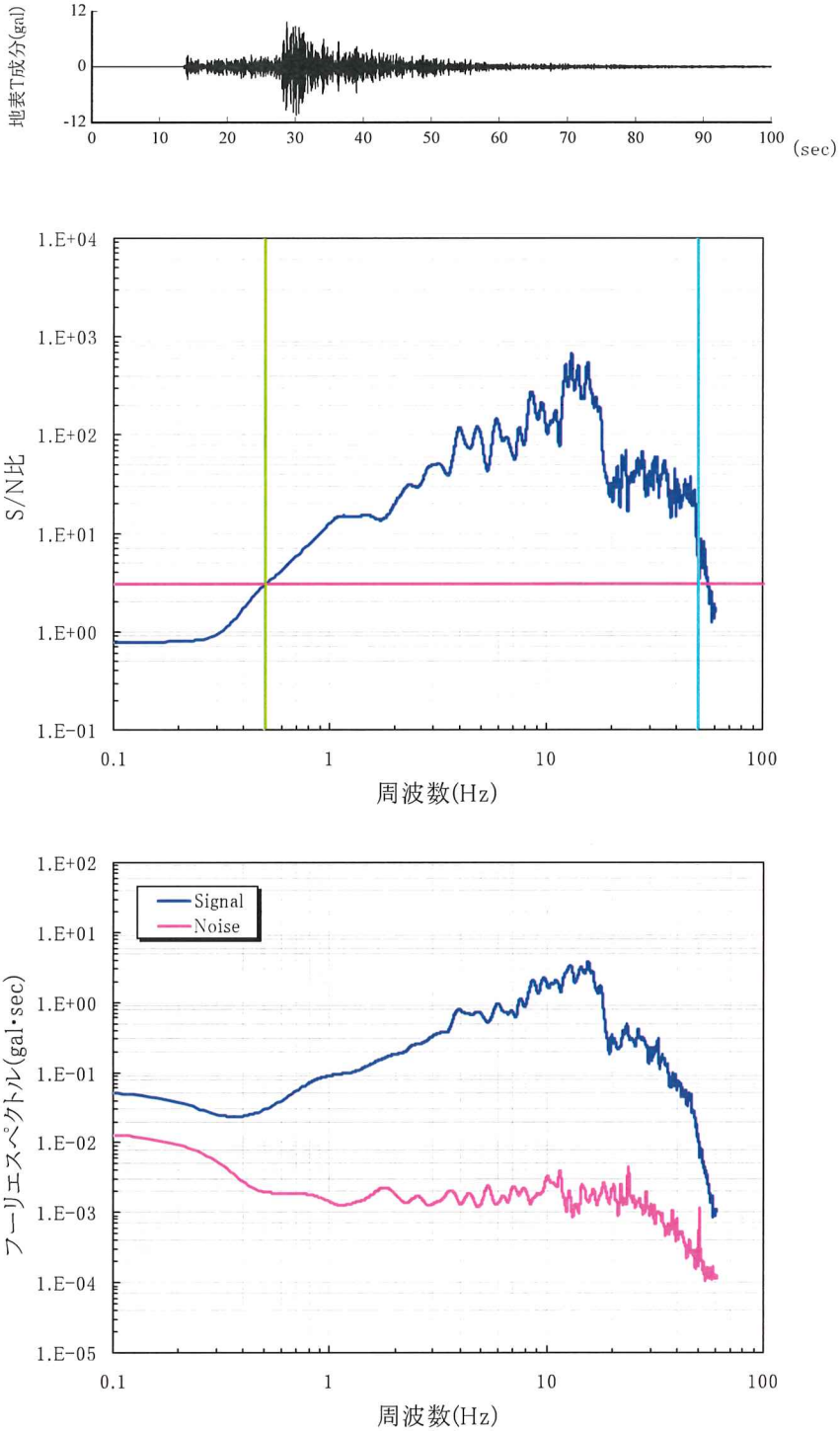
＜地震番号 1＞　2006.1.18　福島県沖（M5.7）



淡緑線: 下限振動数、淡青線: 上限振動数

図 5.1.12(2)　河北観測点 (MYGH11) S/N 比の検討結果

＜地震番号 12＞　2006.7.1　宮城県沖 (M5.3)



淡緑線: 下限振動数、淡青線: 上限振動数

図 5.1.12(3)　河北観測点（MYGH11）S/N 比の検討結果

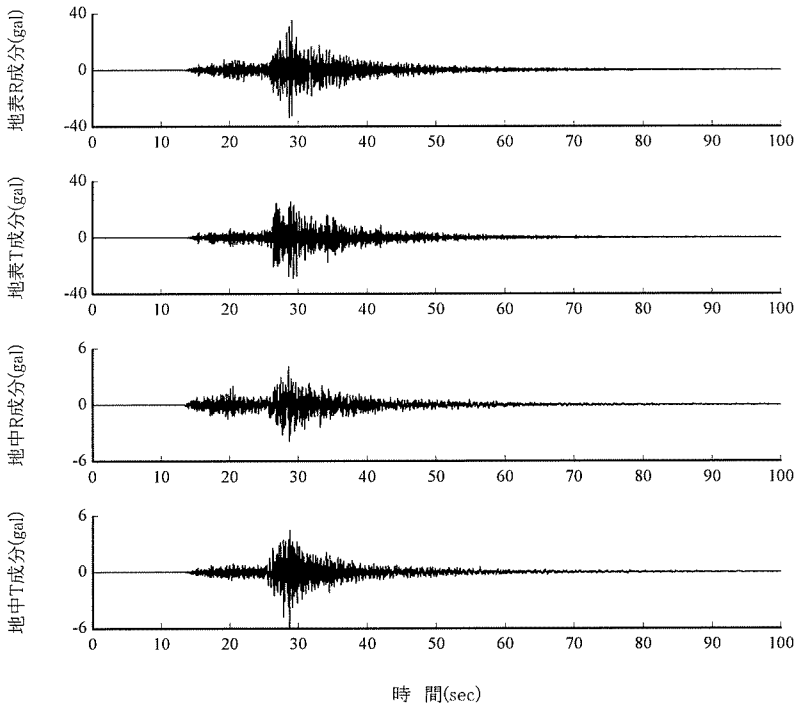
＜地震番号 16＞　2006.10.2　三陸沖（M5.2）

５．１．４　時刻歴加速度波形及び応答スペクトル図の作成

12 観測点において、2006 年 1 月～2006 年 12 月末までに観測された全記録の中から各々の観測点で信頼性の高い計 34 記録を選定して、時刻歴加速度波形及び応答スペクトル図を作成した。図 5.1.13 には時刻歴加速度波形及び応答スペクトル図の作成の一例として、河北観測点（MYGH11）における結果を記載した。なお、全 34 記録における結果については、一式を巻末資料として記載してある。

同図において、時刻歴加速度波形の並びは上から順に地表 R 成分、地表 T 成分、地中 R 成分、地中 T 成分としており、これらの波形に対する応答スペクトル（5%減衰の擬似速度応答スペクトル）を得ている。

表 5.1.6 には各成分における時刻歴加速度波形の最大加速度の一覧を示す。



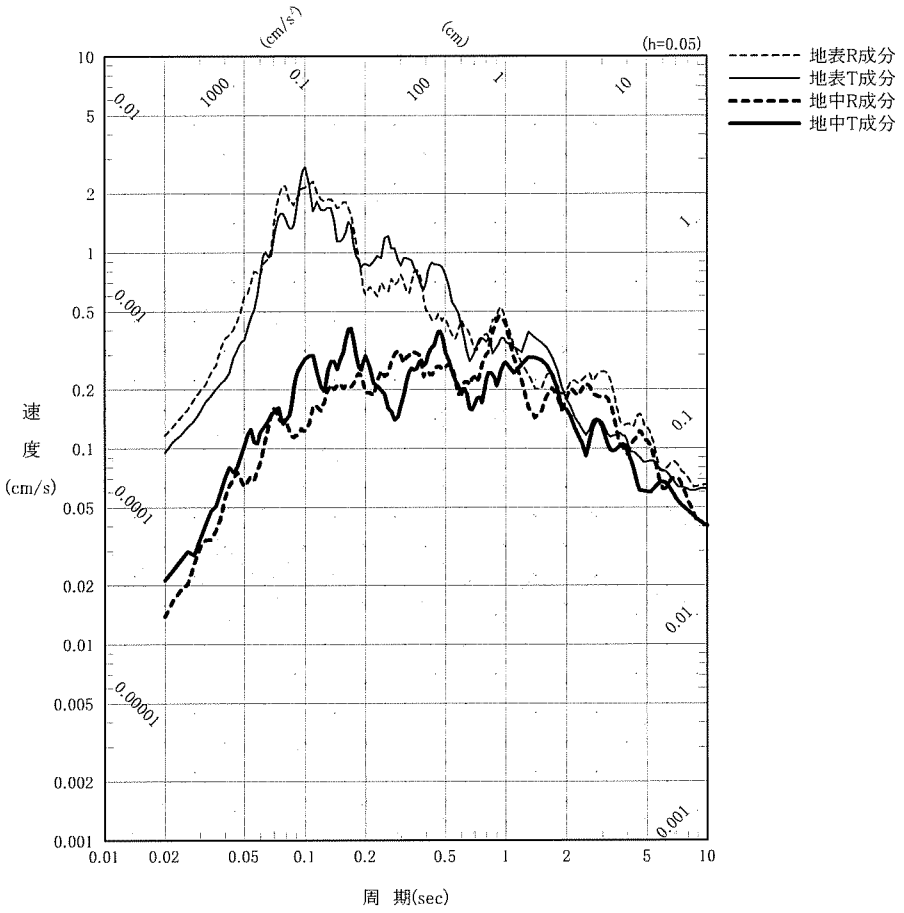
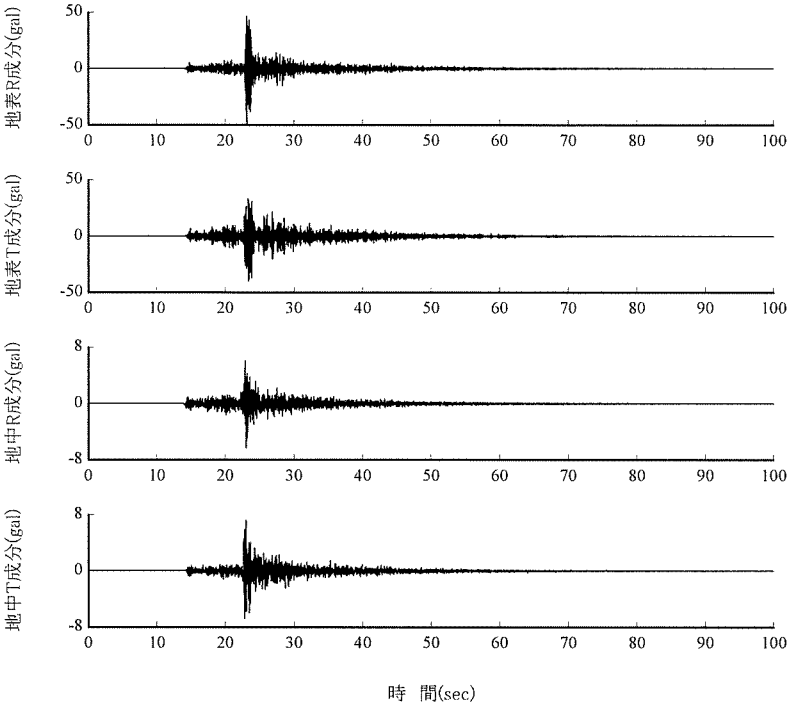


図 5.1.13(1)　河北観測点（MYGH11）時刻歴加速度波形及び応答スペクトル図

＜地震番号 1＞　2006.1.18　福島県沖（M5.7）



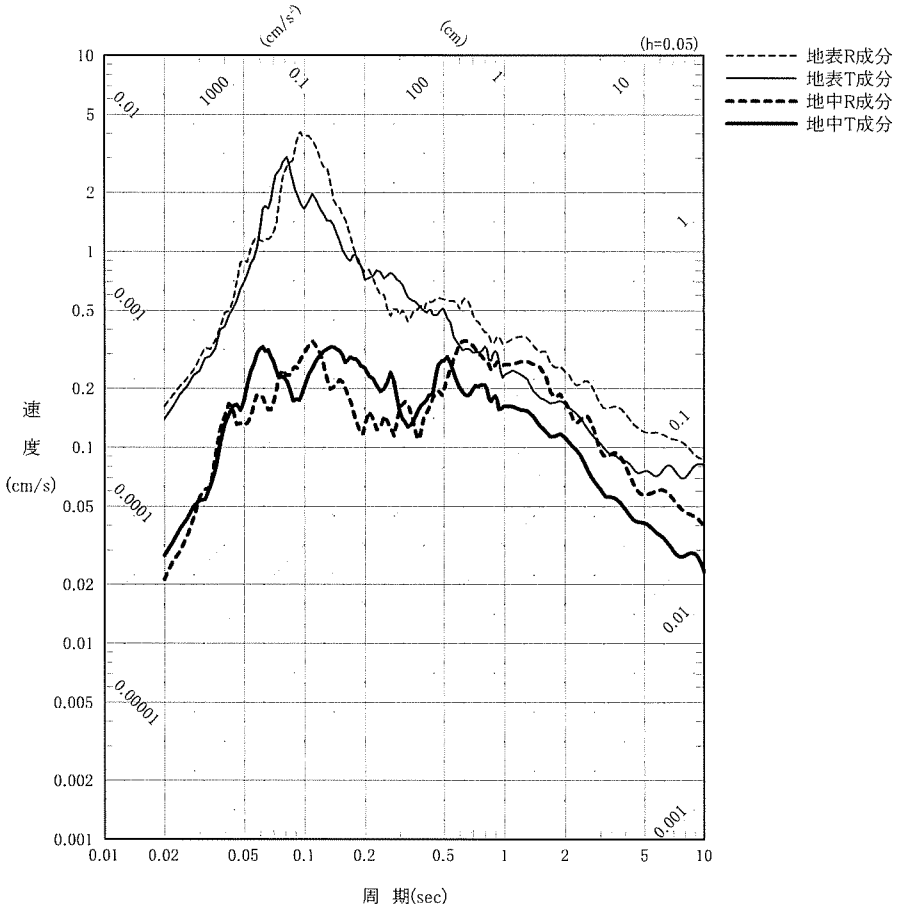
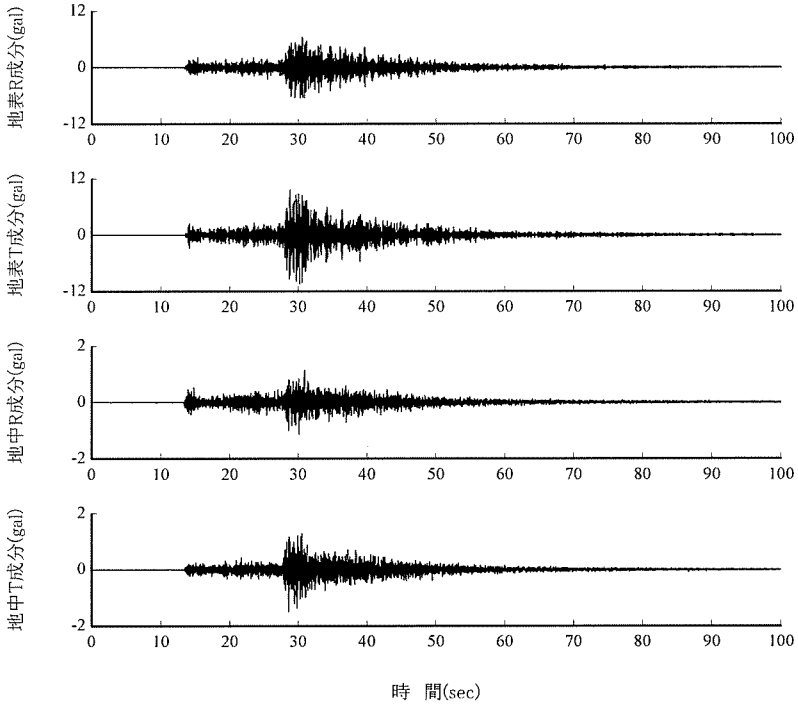


図 5.1.13(2)　河北観測点（MYGH11）時刻歴加速度波形及び応答スペクトル図

＜地震番号 12＞　2006.7.1　宮城県沖（M5.3）



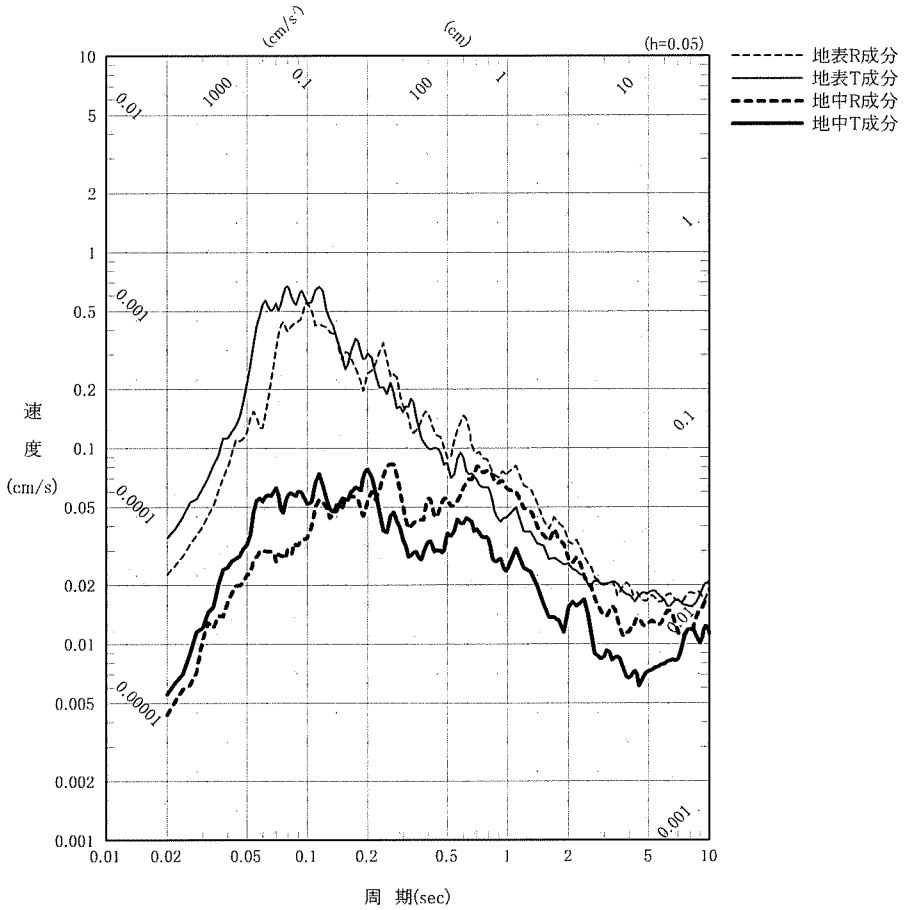


図 5.1.13(3)　河北観測点（MYGH11）時刻歴加速度波形及び応答スペクトル図

＜地震番号 16＞　2006.10.2　三陸沖（M5.2）

表 5.1.6　各成分における時刻歴加速度波形の最大加速度の一覧

観測点名	地震番号	地震発生日時 (年/月/日	時 分 秒)	震源地名	M	北緯	東経	深さ (km)	震央距離 (km)	震源距離 (km)	最大加速度 地表R成分 (gal)	地表T成分 (gal)	地表UD成分 (gal)	地中R成分 (gal)	地中T成分 (gal)	地中UD成分 (gal)
岩泉	6	2006/3/12	7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	35	77	85	18.6	19.3	8.3	2.4	2.0	1.9
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	154	159	6.3	6.9	3.2	1.4	1.3	0.9
	13	2006/7/6	2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 18″	36	77	85	16.2	15.1	7.9	2.4	1.7	1.1
川井北	6	2006/3/12	7:06:44	岩手県沖	5.0	40° 6′ 56″	142° 27′ 17″	35	90	97	9.4	8.7	4.7	2.5	2.4	1.6
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	139	144	4.4	4.6	2.7	1.8	2.1	1.4
	13	2006/7/6	2:08:40	岩手県沖	5.4	40° 9′ 0″	142° 25′ 18″	36	91	98	7.4	8.5	4.7	1.8	2.3	1.4
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	161	170	2.5	2.5	1.5	1.2	1.1	0.9
唐桑	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	133	138	14.8	11.5	10.8	6.6	5.8	4.9
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	67	78	35.4	53.6	26.6	7.4	11.4	6.2
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	111	124	12.5	13.4	5.5	3.4	2.9	2.0
東和	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	133	138	17.2	11.6	5.8	2.5	2.3	2.6
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	80	89	31.3	43.3	20.8	5.1	5.8	5.7
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	133	144	7.5	9.2	4.1	2.6	2.0	1.2
志津川	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	114	119	13.9	15.0	8.7	6.9	3.7	3.1
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	65	76	32.0	22.7	12.4	9.1	6.6	5.0
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	121	133	7.1	5.3	4.3	4.5	1.8	2.3
河北	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	109	115	35.3	29.0	15.9	4.1	5.9	3.5
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	38° 28′ 6″	142° 9′ 18″	40	71	81	49.2	40.0	22.4	6.3	7.2	5.7
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	38° 32′ 54″	142° 49′ 42″	56	129	141	6.5	10.1	5.4	1.2	1.5	1.0
都路	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	37° 47′ 59″	142° 12′ 0″	36	136	140	13.4	16.5	7.7	1.8	1.4	1.2
	2	2006/2/1	20:35:53	千葉県北西部	5.1	35° 45′ 40″	140° 0′ 13″	101	200	224	8.0	9.6	4.4	1.0	1.0	0.7
	3	2006/2/3	13:37:35	茨城県沖	5.9	36° 12′ 53″	141° 36′ 40″	62	160	171	11.5	12.1	4.5	1.4	1.3	1.4
成田	3	2006/2/3	13:37:35	茨城県沖	5.9	36° 12′ 53″	141° 36′ 40″	62	126	140	8.3	6.8	3.5	0.7	0.9	0.7
	14	2006/9/7	3:06:31	千葉県東方沖	5.1	35° 35′ 24″	141° 3′ 24″	38	73	82	3.2	4.3	2.2	0.1	0.6	0.4
	18	2006/10/14	6:38:02	千葉県南東沖	5.1	34° 53′ 36″	140° 18′ 12″	64	104	122	8.6	11.7	4.4	0.7	0.7	0.6
西見	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	169	223	10.1	7.7	4.7	1.9	2.4	1.8
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	119	138	3.0	3.5	3.5	1.4	2.0	1.8
防府	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	102	178	6.8	12.7	4.9	5.7	9.6	2.7
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	67	97	11.7	8.8	6.5	4.4	3.0	2.1
美東	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	120	189	2.9	3.1	3.7	2.2	2.1	1.3
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	92	116	5.9	5.6	3.2	2.1	1.1	1.2
安岐	8	2006/3/27	11:50:26	日向灘	5.5	32° 36′ 6″	132° 9′ 25″	35	106	111	4.0	4.0	2.4	0.8	0.7	0.7
	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	33° 8′ 0″	131° 24′ 24″	146	46	153	32.6	30.2	18.5	8.1	6.0	5.0
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	33° 30′ 18″	131° 53′ 0″	70	19	72	41.3	22.8	17.1	8.0	4.9	4.4

５．２　地震基盤及び解放基盤における地震動の算出

原子力安全基盤機構（2005）がはぎ取り解析用に策定している最適地盤モデルを用いて、一次元波動論に基づく解析により地震基盤及び解放基盤相当位置におけるはぎ取り解析を行った。

5.2 章における検討内容は、下記の 3 項目である。

・最適地盤モデルの整理（5.2.1 章）

・はぎ取り解析の結果（5.2.2 章）

・設計用標準応答スペクトルの適用性検討（5.2.3 章）

５．２．１　最適地盤モデルの整理

5.1 章で最終的に分析対象となった 12 観測点について、これまで原子力安全基盤機構が策定している最適地盤モデル（原子力安全基盤機構，2005）を表 5.2.1 に示す。同表には「地震基盤面深度」及び「解放基盤面深度」を記載しているが、解放基盤面深度についてはＳ波速度（Vs）が 700～1500m/sec 相当となる基盤面として定めたものである（原子力安全基盤機構，2006）。

なお、同表中の「h_0」及び「α」は周波数依存型の減衰定数 $h(f)=h_0f^{-\alpha}$ によるパラメータである。

表 5.2.1(1)　はぎ取り解析用最適地盤モデルの一覧（1）

岩泉観測点(IWTH03)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm^3)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	5.0	1.39	230	0.2	0.5	
2	5.0	17.0	2.17	1210	0.2	0.5	←解放基盤面(GL-5m)
3	22.0	44.0	2.58	2240	0.2	0.1	
4	66.0	3.0	2.58	2820	0.2	0.5	←地震基盤面(GL-66m)
5	69.0	4.0	2.58	2990	0.2	0.5	
6	73.0	20.2	2.58	3140	0.2	0.5	
7	93.2	6.8	2.58	3240	0.3	0.5	
8	100.0	∞	2.58	3310	0.4	0.2	←地中地震計(GL-100m)

川井北観測点(IWTH17)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm^3)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	2.0	1.52	200	0.19	0.6	
2	2.0	8.0	2.29	1296	0.07	0.1	←解放基盤面(GL-2m)
3	10.0	16.0	2.60	1546	0.14	0.2	
4	26.0	44.0	2.60	2985	0.17	0.4	←地震基盤面(GL-26m)
5	70.0	33.0	2.60	3431	0.18	0.0	
6	103.0	∞	2.60	3431	0.18	0.0	←地中地震計(GL-103m)

唐桑観測点(MYGH03)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm^3)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	2.6	1.59	280	0.2	0.7	
2	2.6	1.4	1.59	430	0.2	0.7	
3	4.0	6.0	1.95	670	0.2	0.7	
4	10.0	22.0	2.27	1430	0.2	0.3	←解放基盤面(GL-10m)
5	32.0	8.0	2.60	2240	0.2	0.3	←地震基盤面(GL-32m)
6	40.0	13.0	2.60	2380	0.2	0.4	
7	53.0	15.0	2.60	2500	0.2	0.4	
8	68.0	24.1	2.60	2580	0.3	0.4	
9	92.1	3.1	2.60	2670	0.3	0.4	
10	95.2	16.8	2.60	2850	0.3	0.4	
11	112.0	5.0	2.60	2960	0.3	0.6	
12	117.0	∞	2.60	3020	0.2	0.6	←地中地震計(GL-117m)

表 5.2.1(2)　はぎ取り解析用最適地盤モデルの一覧（2）

東和観測点(MYGH04)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm^3)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	1.0	1.43	190	0.1	0.5	
2	1.0	3.0	1.43	230	0.1	0.5	
3	4.0	6.0	2.57	930	0.1	0.5	←解放基盤面(GL-10m)
4	10.0	26.0	2.57	1490	0.1	0.5	←地震基盤面(GL-36m)
5	36.0	64.0	2.57	2400	0.3	0.2	←地中地震計(GL-100m)
6	100.0	∞	2.57	3200	0.3	0.2	

志津川観測点(MYGH12)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm^3)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	6.0	1.57	370	0.3	0.6	
2	6.0	8.0	2.27	910	0.3	0.6	←解放基盤面(GL-14m)
3	14.0	20.0	2.47	1470	0.3	0.6	←地震基盤面(GL-34m)
4	34.0	26.0	2.67	2210	0.3	0.6	
5	60.0	43.0	2.67	2320	0.3	0.2	←地中地震計(GL-103m)
6	103.0	∞	2.67	3090	0.3	0.2	

河北観測点(MYGH11)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm^3)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	3.0	1.40	130	0.3	0.4	
2	3.0	7.0	2.01	590	0.3	0.7	←解放基盤面(GL-10m)
3	10.0	8.9	2.51	1540	0.2	0.5	
4	18.9	4.3	2.51	1740	0.2	0.3	
5	23.2	26.6	2.51	1820	0.1	0.3	←地震基盤面(GL-50m)
6	49.8	70.2	2.58	2240	0.1	0.3	
7	120.0	87.0	2.65	2720	0.1	0.5	←地中地震計(GL-207m)
8	207.0	∞	2.65	2720	0.3	0.5	

都路観測点(FKSH19)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm^3)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	2.0	1.34	100	0.1	0.3	
2	2.0	6.0	1.50	230	0.1	0.5	
3	8.0	12.0	1.50	310	0.05	0.6	←解放基盤面(GL-20m)
4	20.0	20.0	2.11	850	0.1	0.6	←地震基盤面(GL-40m)
5	40.0	60.0	2.56	2460	0.1	0.2	←地中地震計(GL-100m)
6	100.0	∞	2.56	3500	0.1	0.2	

表 5.2.1(3)　はぎ取り解析用最適地盤モデルの一覧（3）

成田観測点(CHBH13)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm^3)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	1.2	1.8	63.1	0.099	0.166	
2	1.2	4.8	1.8	146.1	0.099	0.166	
3	6.0	19.0	1.8	274.5	0.306	0.605	
4	25.0	10.5	1.8	274.5	0.306	0.605	
5	35.5	29.5	1.8	430.4	0.009	0.032	
6	65.0	178.9	1.8	430.4	0.009	0.032	
7	243.9	56.1	1.8	812.6	0.002	0.000	
8	300.0	570.0	1.8	812.6	0.002	0.000	←解放基盤面(GL-870m)
9	870.0	229.9	2.3	1301.9	0.002	0.000	←地震基盤面(GL-1100m)
10	1099.9	200.1	2.8	2910	0.002	0.000	←地中地震計(GL-1300m)
11	1300.0	∞	2.8	2910	0.002	0.000	

匹見観測点(SMNH09)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm^3)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	2.0	1.41	90	0.3	0.8	
2	2.0	1.2	2.00	330	0.3	0.3	
3	3.2	6.8	2.00	330	0.3	0.3	←解放基盤面(GL-10m)
4	10.0	16.0	2.27	1010	0.3	0.6	←地震基盤面(GL-26m)
5	26.0	174.0	2.63	2950	0.4	0.6	←地中地震計(GL-200m)
6	200.0	∞	2.63	3330	0.4	0.6	

防府観測点(YMGH01)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm^3)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	1.3	2.02	860	0.2	0.6	←解放基盤面(GL-1.3m)
2	1.3	12.7	2.02	970	0.1	0.6	
3	14.0	58.0	2.58	1780	0.2	0.3	←地震基盤面(GL-72m)
4	72.0	128.0	2.67	3350	0.3	0.3	←地中地震計(GL-200m)
5	200.0	∞	2.67	3640	0.3	0.3	

表 5.2.1(4)　はぎ取り解析用最適地盤モデルの一覧（4）

美東観測点(YMGH12)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm³)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	2.0	1.70	260	0.2	0.6	
2	2.0	3.0	1.70	380	0.2	0.6	←解放基盤面(GL-5m)
3	5.0	11.0	2.35	1280	0.3	0.5	
4	16.0	4.0	2.35	1350	0.3	0.5	←地震基盤面(GL-20m)
5	20.0	66.0	2.73	2840	0.3	0.2	
6	86.0	16.0	2.73	3590	0.3	0.6	←地中地震計(GL-102m)
7	102.0	∞	2.73	3870	0.3	0.6	

安岐観測点(OITH03)

	深 度 (m)	層 厚 (m)	密 度 (g/cm³)	Vs (m/sec)	h0	α	
1	0.0	4.0	1.39	150	0.2	0.4	
2	4.0	2.7	1.99	570	0.2	0.4	
3	6.7	8.7	1.99	590	0.2	0.4	
4	15.4	34.6	1.99	610	0.1	0.6	
5	50.0	22.8	2.17	700	0.1	0.6	
6	72.8	7.2	2.17	770	0.1	0.6	
7	80.0	8.2	2.29	970	0.1	0.6	
8	88.2	61.8	2.29	1080	0.1	0.6	←解放基盤面(GL-88.2m)
9	150.0	110.0	2.48	1940	0.1	0.6	
10	260.0	40.0	2.38	1940	0.1	0.6	
11	300.0	70.0	2.57	2520	0.2	0.6	
12	370.0	30.0	2.74	2960	0.2	0.6	←地震基盤面(GL-370m)
13	400.0	∞	2.74	3380	0.2	0.6	←地中地震計(GL-400m)

5．2．2　はぎ取り解析の結果

地震基盤及び解放基盤における地震動を算出するため、それぞれの基盤面においてはぎ取り解析を行った。

図 5.2.1 に示したように、はぎ取り解析は表層地盤の影響を解析的に除去して、基盤面における地震動（はぎ取り波）を評価するものである。はぎ取り波形の算出にあたっては、5.1.4 章の地表観測波（地表 T 成分）を用いて 5.2.1 章の最適化地盤モデルによるはぎ取り解析を実施した。

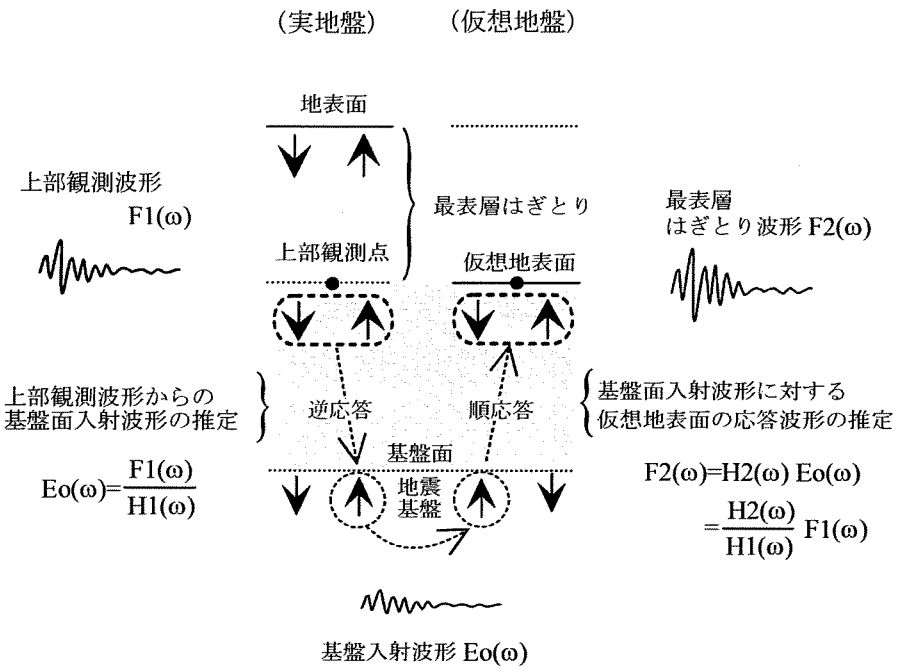


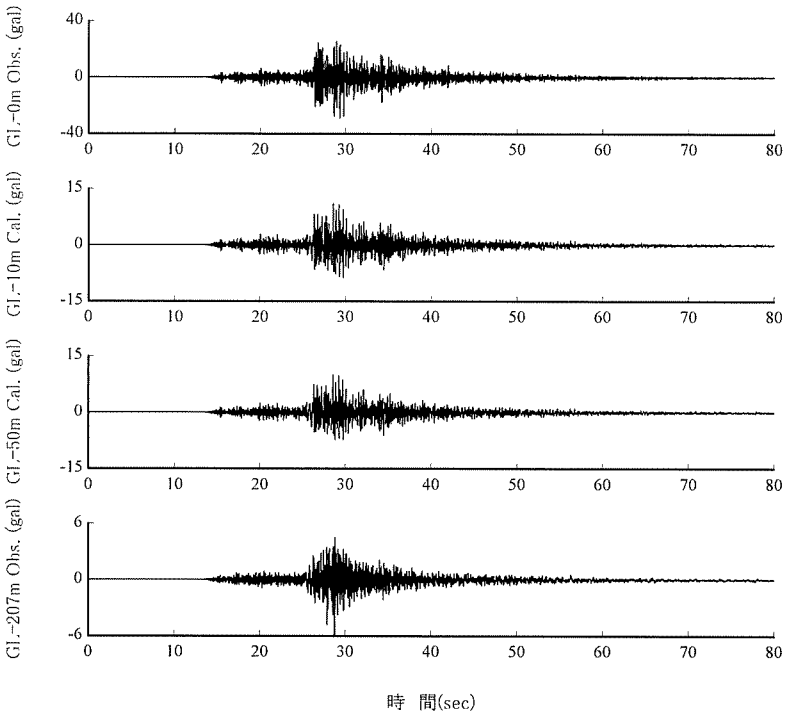
図 5.2.1　はぎ取り解析の概念図（最表層はぎ取りの例）

図 5.2.2 には、はぎ取り解析結果の一例として河北観測点（MYGH11）における結果を記載した。なお、全 34 記録における結果については、一式を巻末資料として記載してある。

同図において、時刻歴加速度波形の並びは上から順に地表観測波（GL-0m Obs.）、解放基盤はぎ取り波（GL-10m Cal.）、地震基盤はぎ取り波（GL-50m Cal.）、地中観測波（GL-207m Obs.）としており、これらの波形に対する応答スペクトル（5%減衰の擬似速度応答スペクトル）を算出している。これらは何れも T 成分による結果である。

観測点や地震により差異の程度は異なるが、地震基盤及び解放基盤におけるはぎ取り波は、およそ周期 0.2sec より短周期域を除けばほぼ同様の応答スペクトル形状を呈している。周期 0.02～0.2sec 程度の短周期域において、解放基盤はぎ取り波の方が地震基盤のそれより応答スペクトル値がやや高くなっており、地震基盤面～解放基盤面間の伝達特性（伝ぱ特性）が影響していることが推測される。

ここで、全 34 記録における地震基盤はぎ取り波及び解放基盤はぎ取り波の最大加速度の一覧を表 5.2.2 に示すとともに、図 5.2.3 には両者の関係を見たクロスプロット図（平成 17 年度データ（原子力安全基盤機構，2006）を併記）を示す。両はぎ取り波の最大加速度の関係を概観する限り、地震の種類、マグニチュード、観測地点や基盤深度等の違いに依らず、地震基盤はぎ取り波は解放基盤のそれより最大加速度が 0.8 倍程度を呈していることが示される。先の応答スペクトル結果から、両基盤での最大加速度の違いは周期 0.02～0.2sec 程度の短周期成分の違いに依っていることが推測される。



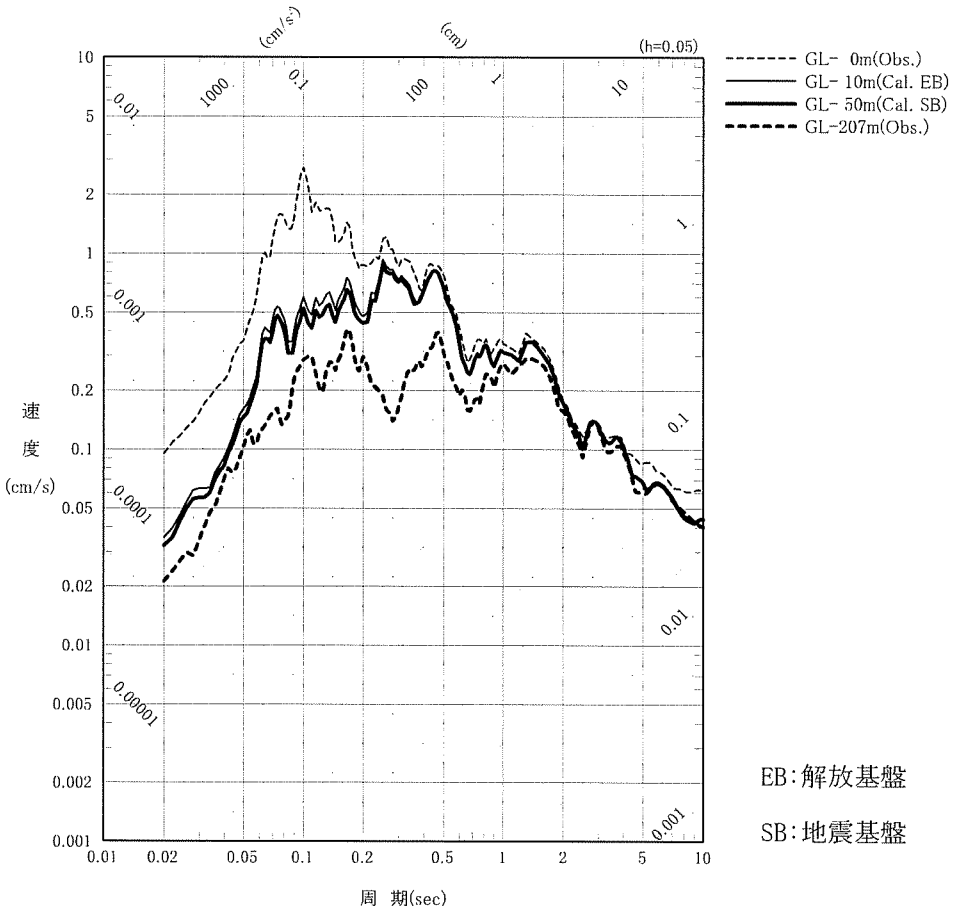
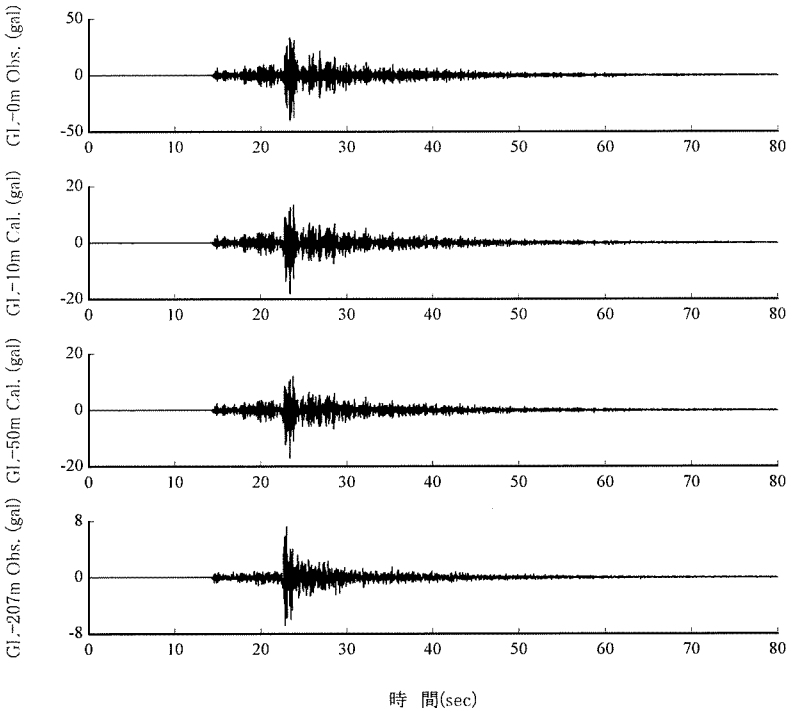


図 5.2.2(1)　河北観測点（MYGH11）地震基盤及び解放基盤におけるはぎ取り解析結果

＜地震番号 1＞　2006.1.18　福島県沖（M5.7）



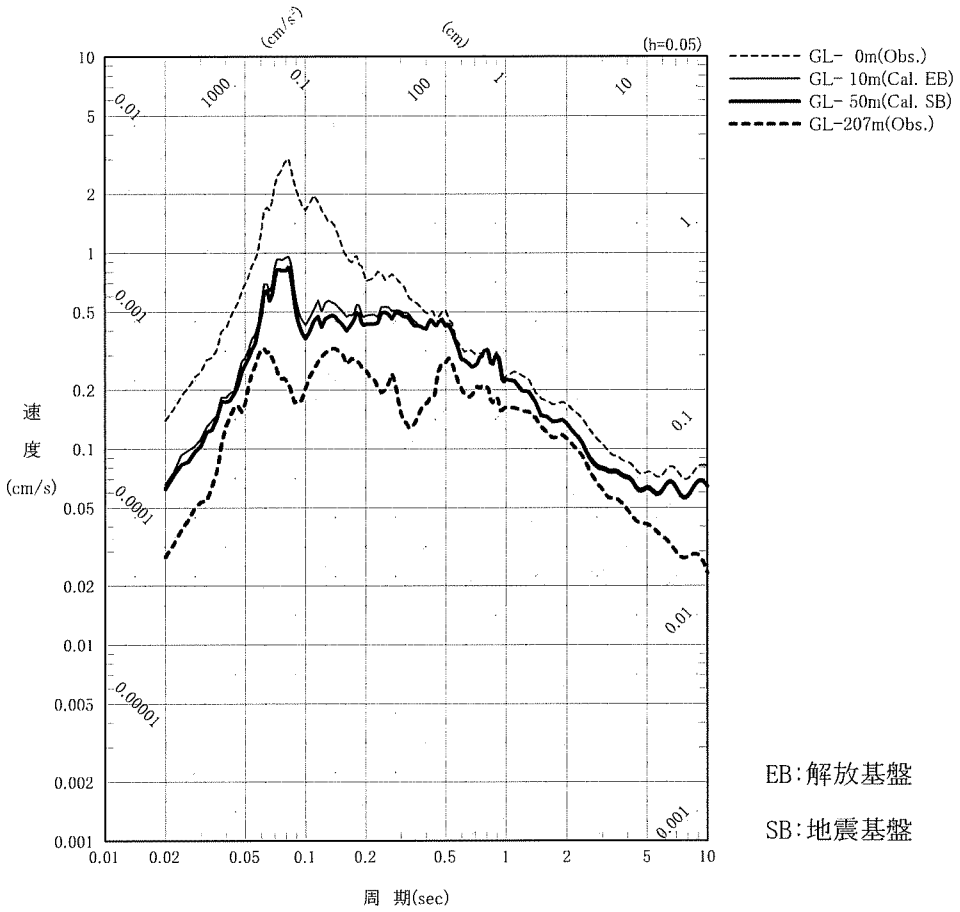
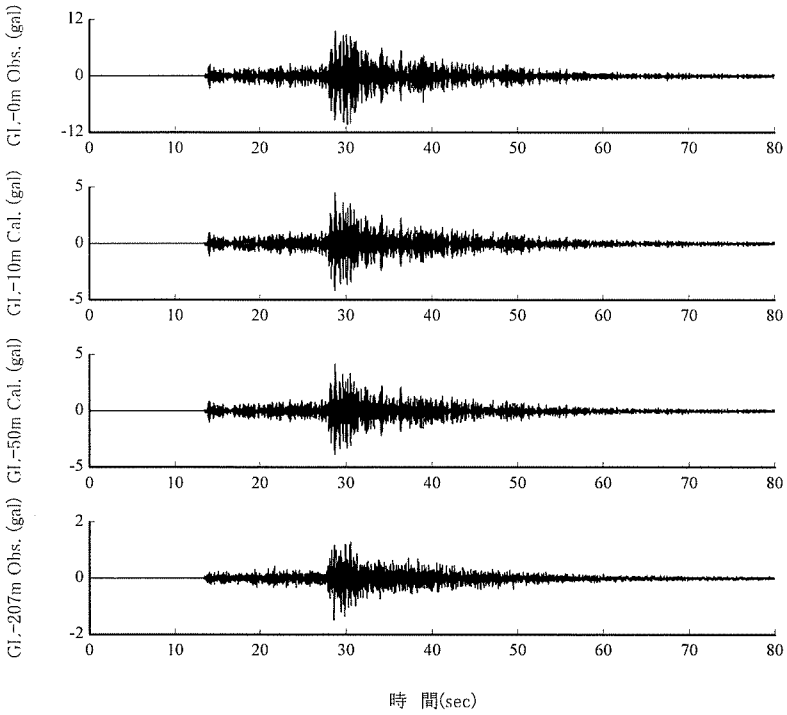


図 5.2.2(2)　河北観測点（MYGH11）地震基盤及び解放基盤におけるはぎ取り解析結果

＜地震番号 12＞　2006.7.1　宮城県沖（M5.3）



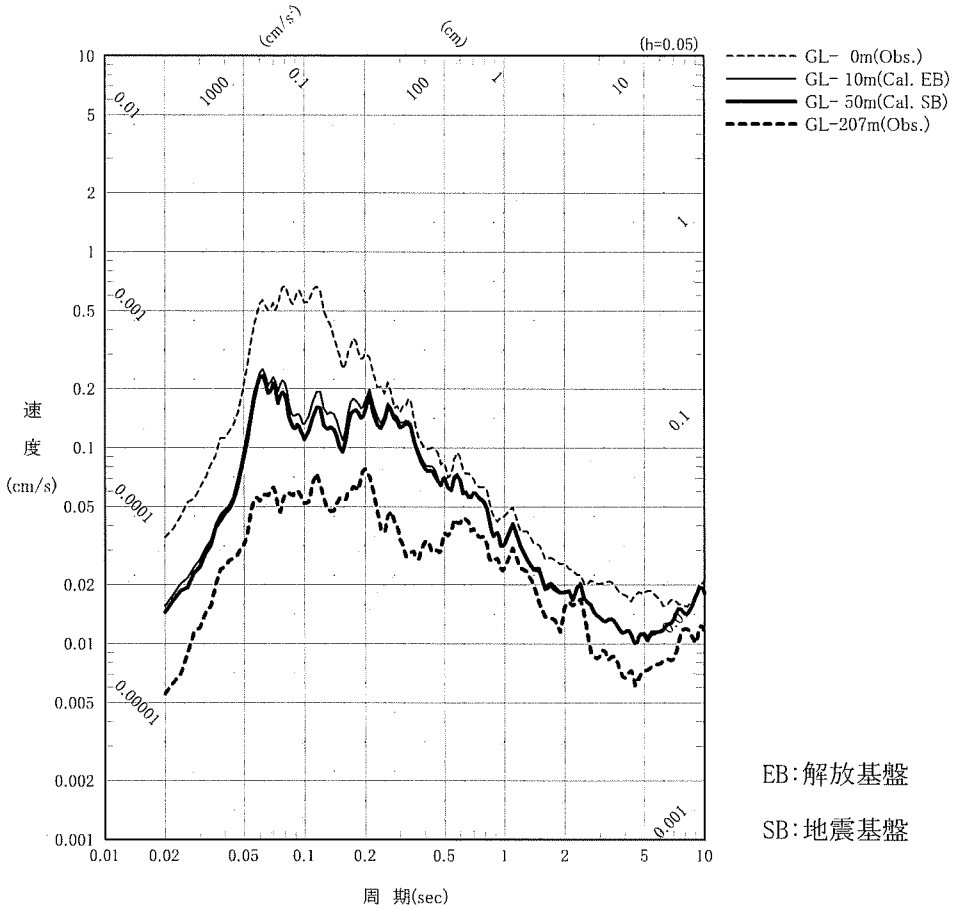


図 5.2.2(3)　河北観測点（MYGH11）地震基盤及び解放基盤におけるはぎ取り解析結果

＜地震番号 16＞　2006.10.2　三陸沖（M5.2）

表 5.2.2　地震基盤及び解放基盤におけるはぎ取り波の最大加速度の一覧

観測点名	地震番号	地震発生日時 (年/月/日	時 分 秒)	震源地名	M	深さ (km)	震央距離 (km)	震源距離 (km)	最大加速度 解放基盤面はぎとり (gal)	最大加速度 地震基盤面はぎとり (gal)
岩泉	6	2006/3/12	7:06:44	岩手県沖	5.0	35	77	85	6.8	5.1
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	40	154	159	3.2	2.5
	13	2006/7/6	2:08:40	岩手県沖	5.4	36	77	85	5.1	4.2
川井北	6	2006/3/12	7:06:44	岩手県沖	5.0	35	90	97	5.7	4.4
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	40	139	144	4.1	3.5
	13	2006/7/6	2:08:40	岩手県沖	5.4	36	91	98	5.3	4.1
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	56	161	170	1.8	1.5
唐桑	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	36	133	138	6.9	6.2
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	40	67	78	20.1	20.1
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	56	111	124	6.1	4.7
東和	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	36	133	138	5.2	4.6
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	40	80	89	10.6	8.1
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	56	133	144	4.0	3.3
志津川	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	36	114	119	9.1	8.0
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	40	65	76	15.4	13.4
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	56	121	133	3.4	2.9
河北	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	36	109	115	11.0	10.0
	12	2006/7/1	8:28:13	宮城県沖	5.3	40	71	81	18.0	17.0
	16	2006/10/2	2:07:24	三陸沖	5.2	56	129	141	4.5	4.2
都路	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	36	136	140	5.2	3.6
	2	2006/2/1	20:35:53	千葉県北西部	5.1	101	200	224	2.6	1.9
	3	2006/2/3	13:37:35	茨城県沖	5.9	62	160	171	4.8	2.8
成田	3	2006/2/3	13:37:35	茨城県沖	5.9	62	126	140	4.8	4.0
	14	2006/9/7	3:06:31	千葉県東方沖	5.1	38	73	82	2.7	1.7
	18	2006/10/14	6:38:02	千葉県南東沖	5.1	64	104	122	6.5	4.8
匹見	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	146	169	223	3.6	2.5
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	70	119	138	2.4	2.0
防府	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	146	102	178	12.8	12.5
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	70	67	97	8.9	7.1
美東	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	146	120	189	2.6	2.5
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	70	92	116	2.9	2.9
安岐	8	2006/3/27	11:50:26	日向灘	5.5	35	106	111	2.7	2.0
	11	2006/6/12	5:01:25	大分県西部	6.2	146	46	153	23.6	14.2
	15	2006/9/26	7:03:48	伊予灘	5.3	70	19	72	12.9	9.2

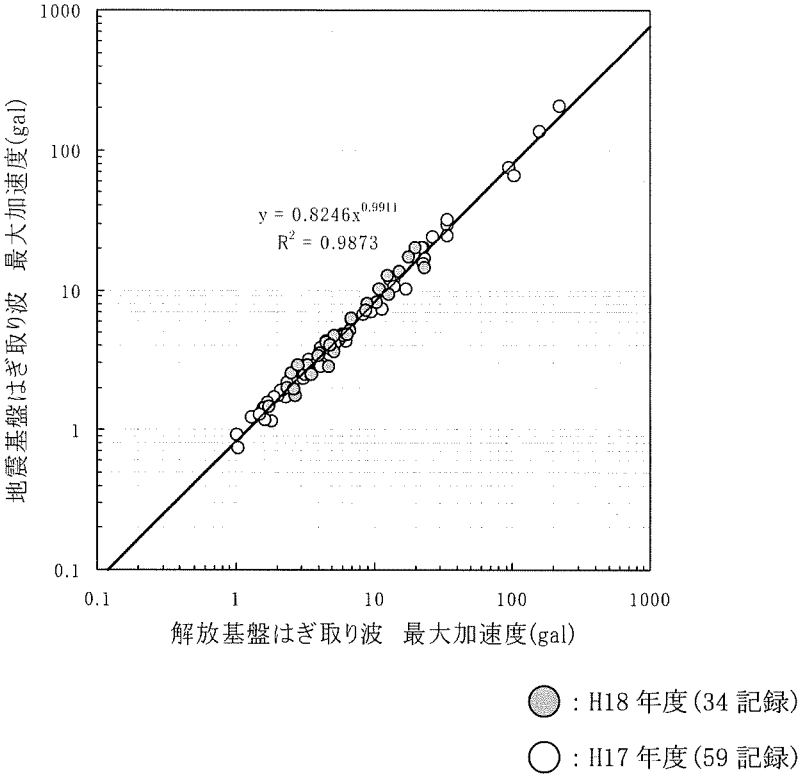


図 5.2.3　地震基盤と解放基盤におけるはぎ取り波の最大加速度の関係

※平成 17 年度データ（原子力安全基盤機構，2006）を併記

５．２．３　設計用標準応答スペクトルの適用性検討

ここでは、設計用標準応答スペクトルの適用性検討の一環として、5.2.2 章において地震基盤及び解放基盤相当位置でのはぎ取り解析を行った結果と、新しい設計用標準応答スペクトルとして提案されている「耐専スペクトル」との比較を行った。

耐専スペクトルは、社団法人日本電気協会が平成 6 年度より審議を重ねてきた新しい地震動評価法であり、マグニチュード（M）5.5 以上、震源深さ 60km 以浅の地震を対象として、震源距離 200km 以内における岩盤の地震動スペクトルを 1 つの評価式で表現することを目的に策定されている。今回、耐専スペクトルの策定の基となった電力共通研究（電共研）データセット（1980～1991 年観測、44 地震、水平 214 成分（記録）、上下 107 成分（記録））とは全く異なったデータセットを用いて、KiK-net 観測点における地震基盤及び解放基盤相当位置でのはぎ取り解析を行った結果に基づき同様の比較検討を行い、より信頼性の高い設計用標準応答スペクトルの評価法としての位置付けを確認することとした。

図 5.2.4 には、はぎ取り解析結果と耐専スペクトルとの比較の一例として、河北観測点(MYGH11)における結果を記載した。同図には、解放基盤はぎ取り波（GL-10m Cal.）、地震基盤はぎ取り波（GL-50m Cal.）、耐専スペクトル（解放基盤）及び耐専スペクトル（地震基盤）が記載されている。なお、表 5.2.3 に示した通り、ここでは 5.2.2 章で行ったはぎ取り解析結果のうちマグニチュード（M）5.5 以上、震央距離 200km 程度以内、震源深さ 60km 程度以浅の地震観測記録を用いており、分析対象はこれまでの 12 観測点 34 記録から 7 観測点 8 記録となっている。全 8 記録における比較結果については、一式を巻末資料として記載した。

次に、これら 8 記録について全てのデータを統合して、耐専スペクトルとのスペクトル比を重ね書きしたもの及びその平均と平均±標準偏差（1σ）を示したものを図 5.2.5 及び図 5.2.6 に示す。図 5.2.5 及び図 5.2.6 は、はぎ取り解析結果と地震基盤及び解放基盤における耐専スペクトルとのスペクトル比である。各観測点における地震基盤及び解放基盤での S 波速度（Vs）は前出の表 5.2.1 の通りであるが、図 5.2.5 及び図 5.2.6 においてデータ統合された S 波速度は地震基盤で Vs=2210～3350m/sec、解放基盤で Vs=850～1540m/sec となっている。

これらによると、各スペクトル比は全体としてのばらつきは大きく周期帯によっては 0.2～4 倍程度となっている。このように個別でのばらつきは大きいものの、一方で平均化したものについては設計用標準応答スペクトルに対しての乖離は全周期帯で非常に小さい。ここで図 5.2.7 及び図 5.2.8 には、今回の記録（平成 18 年度記録）と平成 17 年度記録（原子力安全基盤機構, 2006）

とを合わせて、耐専スペクトルとのスペクトル比を取ったものを示したが、はぎ取り解析結果と耐専スペクトルとの平均スペクトル比においては、特に図5.2.7の地震基盤において全周期帯でほぼ1となっており、地震基盤における平均的な地震動評価法としての耐専スペクトルの妥当性を見ることができる。一方、図5.2.8の解放基盤における耐専スペクトルとの平均スペクトル比については、地震基盤のそれに比べて周期0.5sec程度より長周期域でやや乖離する傾向にある。このことは、耐専スペクトルの策定がVs=2.2km/secの地震基盤（電共研地震観測網・小玉川地点を基準）での応答スペクトルをマグニチュード（M）及び等価震源距離（Xeq）より求めた上で、解放基盤表面での硬さ（Vp、Vs）に応じて岩盤の増幅率を乗じて算出する2段階の算定方法を取っており、解放基盤での算出においては地震基盤のそれより任意性・不確定性を含むことが推測される。

今回、新しい設計用標準応答スペクトルとして提案されている耐専スペクトルの適用性について検討を行い、地震基盤における平均的な地震動評価法としてその妥当性を示す結果が得られた。本検討結果を見る限り、耐専スペクトルは地震基盤面での平均応答スペクトルを良好に表しているといえ、耐専スペクトルが策定の基となった電共研データと全く別のデータセットでの検証がされたことは意義ある成果と考えられる。なお、解放基盤における耐専スペクトルの適用性については、周期0.5sec程度より長周期域においてその扱い（評価）に留意する必要がある。

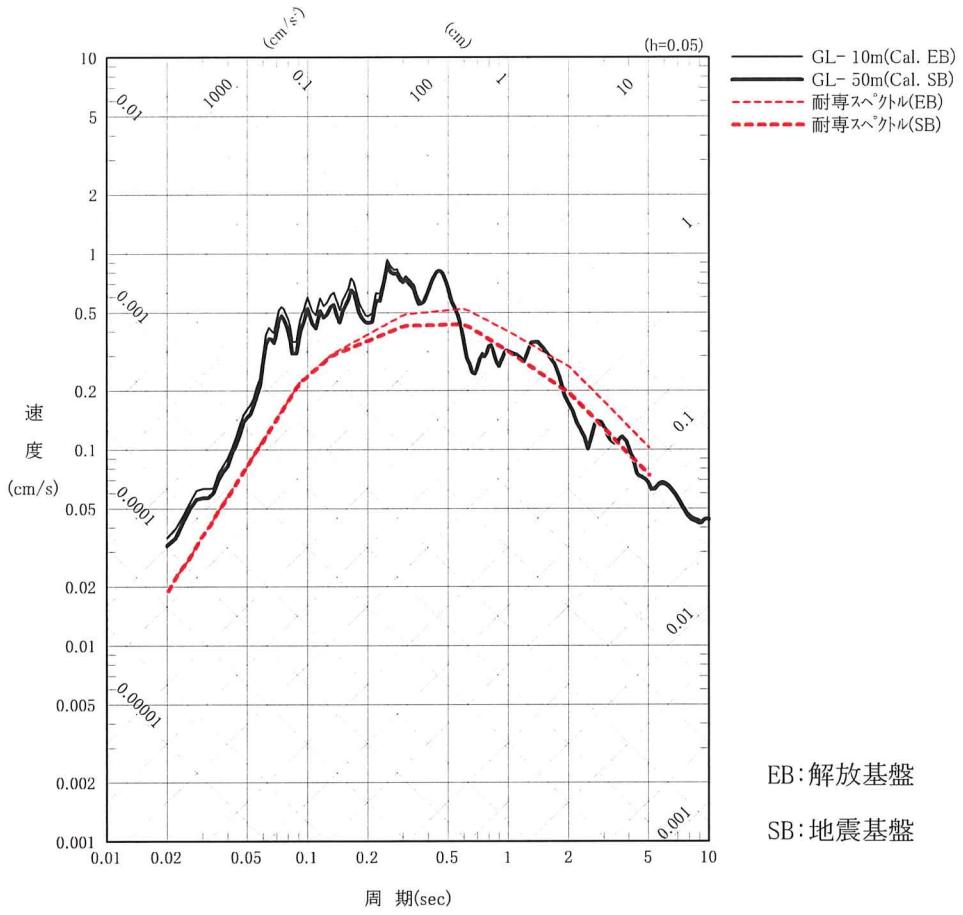


図 5.2.4　河北観測点（MYGH11）はぎ取り解析結果と耐専スペクトルとの比較

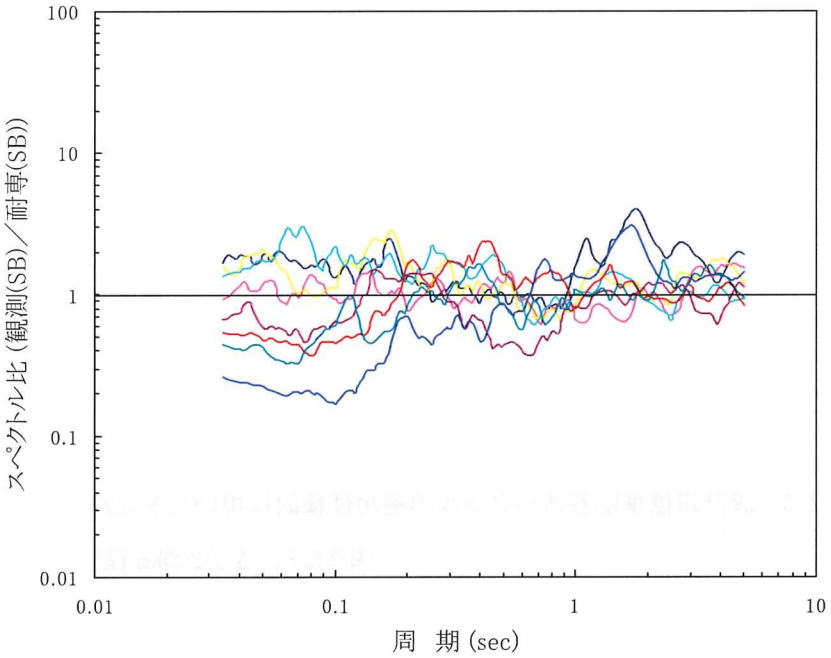
＜地震番号 1＞　2006.1.18　福島県沖（M5.7）

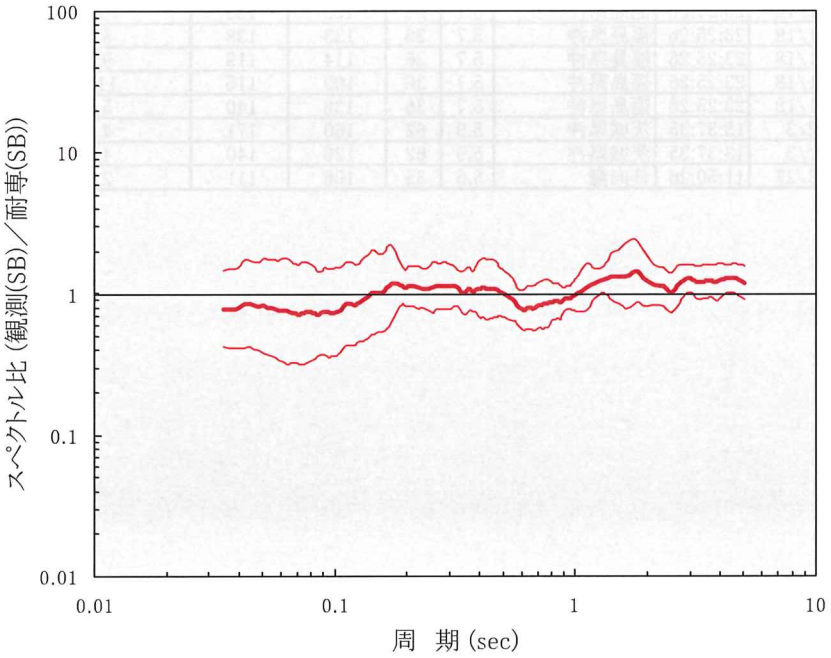
（耐専スペクトル：M5.7、Xeq=115km、Vs=1.5km/sec(EB)、2.2km/sec(SB)）

表 5.2.3　設計用標準応答スペクトルの適用性検討に用いた 8 記録の一覧

（M≧5.5、Δ≦200km 程度、H≦60km 程度）

観測点名	地震番号	地震発生日時 (年/月/日　時 分 秒)		震源地名	M	深さ (km)	震央距離 (km)	震源距離 (km)	最大加速度	
									解放基盤面はぎとり (gal)	地震基盤面はぎとり (gal)
唐桑	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	36	133	138	6.9	6.2
東和	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	36	133	138	5.2	4.6
志津川	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	36	114	119	9.1	8.0
河北	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	36	109	115	11.0	10.0
都路	1	2006/1/18	23:25:26	福島県沖	5.7	36	136	140	5.2	3.6
	3	2006/2/3	13:37:35	茨城県沖	5.9	62	160	171	4.8	2.8
成田	3	2006/2/3	13:37:35	茨城県沖	5.9	62	126	140	4.8	4.0
安岐	8	2006/3/27	11:50:26	日向灘	5.5	35	106	111	2.7	2.0

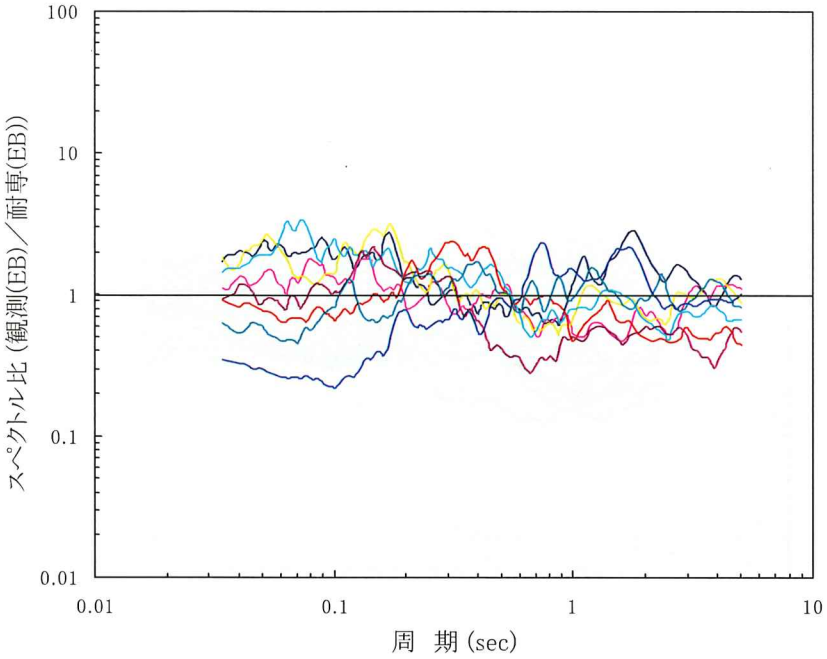


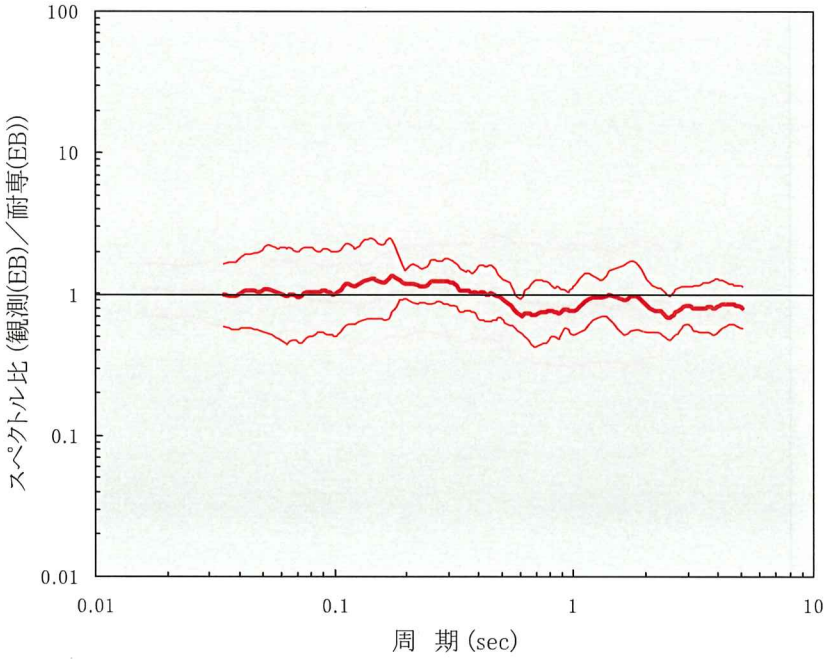


上図：応答スペクトル比の重ね書き（8 記録、7 観測点）

下図：応答スペクトル比の平均及び平均±標準偏差（1σ）

図 5.2.5　はぎ取り解析結果と耐専スペクトルとの比較　＜地震基盤 SB＞

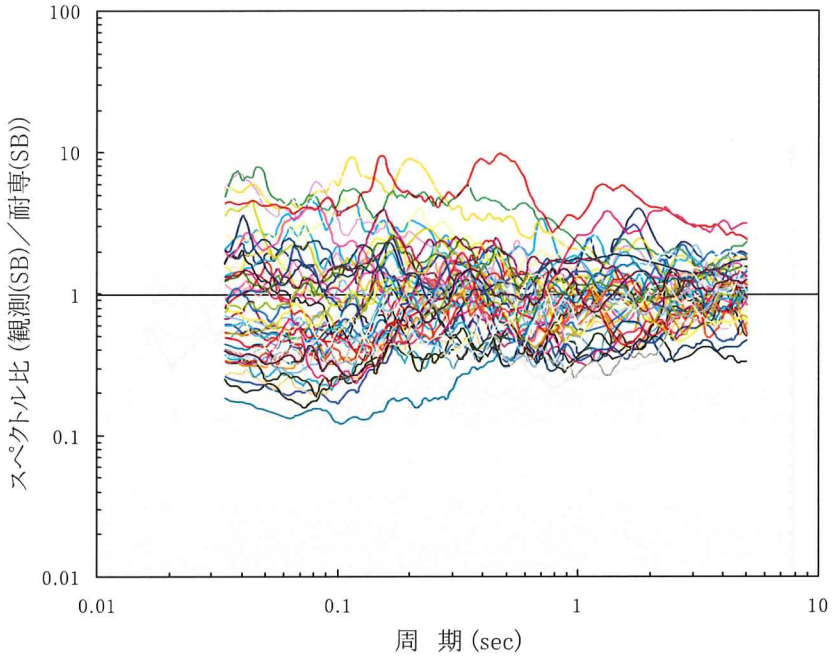


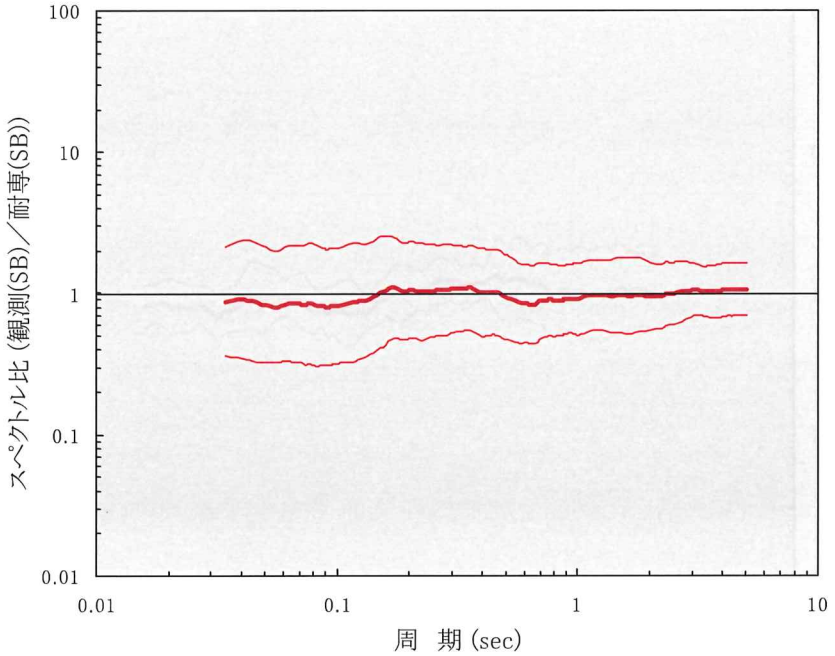


上図：応答スペクトル比の重ね書き（8 記録、7 観測点）

下図：応答スペクトル比の平均及び平均±標準偏差（1σ）

図 5.2.6　はぎ取り解析結果と耐専スペクトルとの比較　＜解放基盤 EB＞

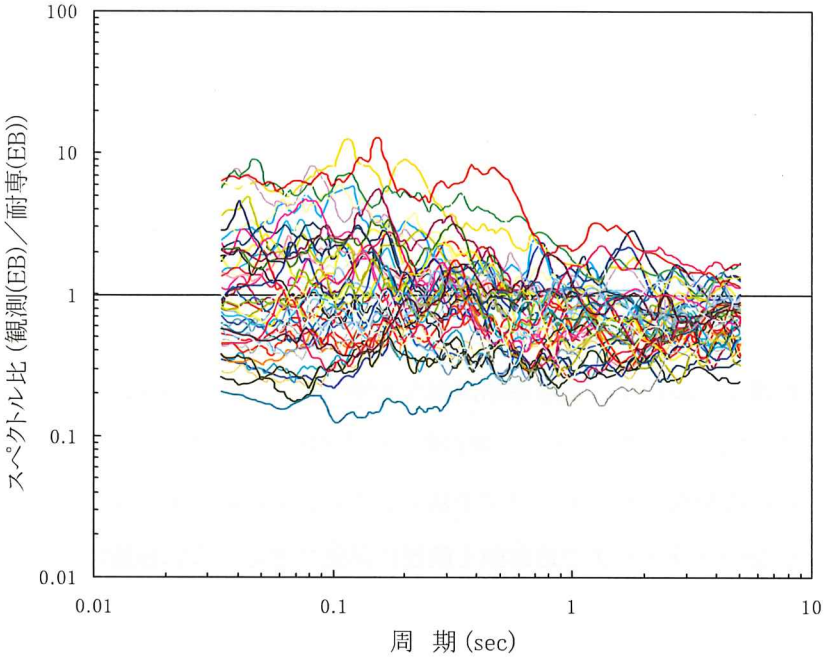


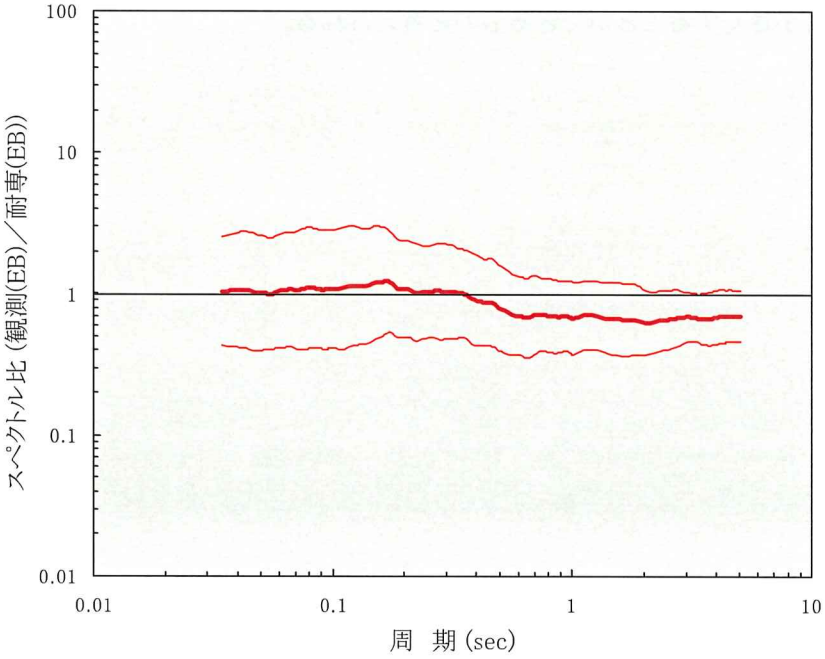


上図：応答スペクトル比の重ね書き（51 記録、13 観測点）

下図：応答スペクトル比の平均及び平均±標準偏差（1σ）

図 5.2.7　はぎ取り解析結果（平成 18 年度記録＋平成 17 年度記録（原子力安全基盤機構，2006））と耐専スペクトルとの比較　＜地震基盤 SB＞





上図：応答スペクトル比の重ね書き（51 記録、13 観測点）

下図：応答スペクトル比の平均及び平均±標準偏差（1σ）

図 5.2.8　はぎ取り解析結果（平成 18 年度記録＋平成 17 年度記録（原子力安全基盤機構，2006））と耐専スペクトルとの比較　＜解放基盤 EB＞

５．２．４　今後の課題

本業務により、地震基盤における設計用標準応答スペクトルとしては、新しく提案されている耐専スペクトルが平均的な地震動特性を評価するのに適切な評価法であることが分かった。しかしながら、設計用標準応答スペクトルの適用性検討で示されたように、耐専スペクトルはあくまで平均スペクトルであり、実際の適用にあたっては地震動のばらつきを考慮して設計用標準応答スペクトルを定めていく必要があろう。

耐専スペクトルの策定において、地震観測記録を回帰分析する際に平均からの残差、つまりばらつきが計算される。これらのばらつきは、地震動を地震規模（マグニチュード）・等価震源距離・地盤の硬さ（Vp、Vs）の少ないパラメータで予測すること、すなわちモデルの単純化によって生じたものである。少ないパラメータで地震動を簡便に評価できることは経験的手法の優れた点であるが、ばらつきが内在することは避けられないといえる。今後、地震動により影響を与えるパラメータを更に導入する、あるいは敷地における地震観測データ等を用いることにより、これらのばらつきを更に小さくすることができるものと考えられる。

丙第202号証

電気技術指針

原　子　力　編

原子力発電所耐震設計技術指針

JEAG 4601-2015

一般社団法人
日本電気協会

原子力規格委員会

「原子力発電所耐震設計技術指針」について

原子力発電所の耐震設計技術については，本指針，JEAG4601 が 1970 年版として出版されて，その筋書きができた。その後，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和 56 年 7 月 20 日　原子力安全委員会決定）」（以下，「耐震審査指針（1981）」という）を踏まえて，「原子力発電所耐震設計技術指針　許容応力・重要度分類編」（JEAG4601-1984），「原子力発電所耐震設計技術指針」（JEAG4601-1987），「原子力発電所耐震設計技術指針追補版」（JEAG4601-1991）が発刊された。

耐震審査指針（1981）は，1995 年兵庫県南部地震の経験に基づき耐震技術に関する最新の知見を取り入れて，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成 18 年 9 月 19 日　原子力安全委員会決定）」（以下，「耐震審査指針（2006）」という）として改訂された。この耐震審査指針（2006）の改訂を受け，諸般の作業の進行の便宜のため，基準地震動の策定並びに地質調査について，それらの関連分野の最新の知見を取り入れて，「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」（JEAG4601-2007）として先行発刊された。その後，「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」と「津波水位評価」をこれに加えて，「原子力発電所耐震設計技術指針」（JEAG4601-2008）が改定発刊された。（JEAG4601-2008 の改定発刊に伴い，JEAG4601-2007 は廃刊された。）

一方「原子力発電所耐震設計技術指針　許容応力・重要度分類編」（JEAG4601-1984），「原子力発電所耐震設計技術指針」（JEAG4601-1987），「原子力発電所耐震設計技術指針追補版」（JEAG4601-1991）を一本化し，「原子力発電所耐震設計技術規程」（JEAC4601-2008）として新たに制定した。

JEAG4601-2008 の改定に当たっては，耐震審査指針（2006）を踏まえ，最新知見を取り入れた指針としての改定作業を進めてきたが，作業途中で発生した 2007 年新潟県中越沖地震などの知見については，この改定版では取り纏められるには至らなかった。

その後，2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波によって，東京電力㈱福島第一原子力発電所が被災したのを契機に，原子力規制委員会が発足し，事故の反省や国内外の指摘を反映して「原子炉等規制法」等が改正された。（以下，「新規制基準」という）

本協会では，新規制基準との整合や 2007 年新潟県中越沖地震及び 2011 年東北地方太平洋沖地震から得られた知見等を反映して，この度「原子力発電所耐震設計技術指針」（JEAG4601-2015）として改定し，発刊することとした。本指針はともに改定された「原子力発電所耐震設計技術規程」（JEAC4601-2015）と一体で運用されるものであり，両者の記載事項の関係について十分な理解が必要である。

なお，新規制基準に係る適合性審査は，現在も継続して実施されているところであり，その審査の過程で示される知見については，継続的な取り組みによる新たな研究成果と併せて今後も引続き知見の収集に努め，反映が必要な事項を整理していく。

言うまでも無く，耐震設計の適否は，実際の地震に遭遇してはじめて，明確になるものであるが，本技術指針はその基本を示すもので，その解釈，運用については，使用者の格段の配慮を期待するものである。

最後に，検討及び審議に参加してご協力いただいた関係各委員の方々及び関係諸機関の方々，そして特にご尽力いただいた原案作成者，検討会幹事の方々に厚くお礼申し上げる。

平成 27 年 5 月

原子力規格委員会
耐震設計分科会
分科会長　原　　文雄

原子力発電所耐震設計技術指針

目　次

第1章　基準地震動策定

第1章　目次 …… 3
1.1　基本事項 …… 5
1.2　敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 …… 10
1.3　震源を特定せず策定する地震動 …… 40
1.4　基準地震動Ssの策定 …… 41
附属書1.1　経験的な方法に用いる手法の留意事項 …… 45
参考文献 …… 51
参考資料 …… 53

第2章　地質・地盤調査

第2章　目次 …… 143
2.1　基本事項 …… 145
2.2　地質・地質構造に関する調査 …… 148
2.3　基礎地盤及び周辺斜面に関する調査 …… 171
2.4　地震動評価に関する地下構造調査 …… 193
2.5　津波に関する地質調査 …… 195
参考文献 …… 199
参考資料 …… 201

第3章　基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価

第3章　目次 …… 217
3.1　基本事項 …… 219
3.2　地震力に対する基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価 …… 221
3.3　地殻変動に対する基礎地盤の安定性評価 …… 232
附属書3.1　基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価の流れ …… 233
附属書3.2　地殻変動に対する基礎地盤の安定性評価の流れ …… 234
参考文献 …… 235
参考資料 …… 236

第4章　基準津波策定

第4章　目次 …… 267
4.1　基本事項 …… 269
4.2　基本方針 …… 271
4.3　基準津波Tsの策定及び入力津波の評価 …… 272
4.4　超過確率の参照 …… 283
附属書4.1　基準津波Ts策定～入力津波評価の流れ …… 284
参考文献 …… 285

1.2.3.2 経験的な方法

距離減衰式に基づいた経験的な方法により地震動を評価する場合は，用いる距離減衰式の特徴や適用性を考慮しなければならない。特に，敷地において地震観測記録が多数得られている場合には，その平均的な諸特性を考慮することとする。

以下に示す手法は，原子力発電所の立地に適している解放基盤相当における地盤特性が明らかな観測点のデータを回帰分析した距離減衰式に基づいており，地盤の特性に応じた地震動の応答スペクトルをより精度良く算定することができる。

(1) 解放基盤表面における周期 0.02 秒から 5 秒の地震動の応答スペクトル

水平・鉛直地震動の応答スペクトルは，マグニチュード M と等価震源距離 X_{eq}，解放基盤表面の弾性波速度，地震基盤から表層の卓越周期を用いて以下のように得られる。水平地震動応答スペクトルの考え方を図 1.2.3.2-1 に示す。

なお，等価震源距離 X_{eq} (km)は次式で与えられる。

$$X_{eq}^{-2} = \frac{\int e_m X_m^{-2} \mathrm{d}s}{\int e_m \mathrm{d}s} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.2.3.2\text{-}1)$$

ただし，X_m：観測点から断層面の各微小領域 m への距離(km)

e_m：断層面上の各微小領域 m からの地震波エネルギーの相対的放出分布（e_m が不明の場合には一様分布として与える。）

$\mathrm{d}s$：断層面の微小領域 m の面積(km²)

a．地震基盤における応答スペクトル

地震基盤における水平地震動の応答スペクトル $S_b(T)$（減衰定数 5 %の加速度応答スペクトル(cm/s²)）は，表 1.2.3.2-1 で表わされる周期 $T(s)$ における擬似速度応答スペクトル ${}_pS_v(T)$（cm/s）に基づいて得られる（以下，表 1.2.3.2-1 で表される周期 $T(s)$ における応答スペクトルの座標点を「コントロールポイント」という。）。任意のマグニチュード M と等価震源距離 X_{eq} (km)に対してコントロールポイントの値を求めるには，まず $\log_p S_v$ を M によって補正し，ついでこれを $\log X_{eq}$ によって補正して求める。図 1.2.3.2-2 に表 1.2.3.2-1 の各コントロールポイントの擬似速度応答スペクトルを示す。

b．解放基盤表面における応答スペクトル

解放基盤表面における水平あるいは鉛直地震動の応答スペクトル $S(T)$ は，地震基盤における水平地震動 $S_b(T)$ を共通として，これに水平地震動あるいは鉛直地震動の地盤増幅率 $\alpha(T)$・$\beta(T)$ を乗じて次式により求められる。

$$S(T)=S_b(T)\times\alpha^2(T)\times\beta(T) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.2.3.2\text{-}2)$$

$\alpha(T)$, $\beta(T)$ は水平地震動の場合は式(1.2.3.2-3), 鉛直地震動の場合は式(1.2.3.2-4)で与えられる。

$$\alpha_h(T)=\begin{cases}\left(\dfrac{V_S}{V_{Sb}}\right)^{-\delta_h(T)} & (T\leqq T_{s1})\\ \left(\dfrac{V_S}{V_{Sb}}\right)^{-\delta_h(T_{s1})} & (T>T_{s1})\end{cases},\quad \beta_h(T)=\begin{cases}1 & (T\leqq T_{s1})\\ \left(\dfrac{T}{T_{S1}}\right)^{-\log\alpha_h(T_{s1})} & (10T_{s1}>T\geqq T_{s1})\\ 10^{-\log\alpha_h(T_{s1})} & (T\geqq 10T_{s1})\end{cases}\cdots\cdots\cdots \quad (1.2.3.2\text{-}3)$$

$$\alpha_v(T)=\begin{cases}\alpha_{bv}(T)\times\left(\dfrac{V_p}{V_{pb}}\right)^{-\delta_v(T)} & (T\leqq T_{p1})\\ \alpha_{bv}(T)\times\left(\dfrac{V_p}{V_{pb}}\right)^{-\delta_v(T_{p1})} & (T>T_{p1})\end{cases},\quad \beta_v(T)=\begin{cases}1 & (T\leqq T_{p1})\\ \left(\dfrac{T}{T_{p1}}\right)^{-\log\left\{\frac{\alpha_v(T_{p1})}{\alpha_{bv}(T_{p1})}\right\}} & (10T_{p1}>T\geqq T_{p1})\\ 10^{-\log\left\{\frac{\alpha_v(T_{p1})}{\alpha_{bv}(T_{p1})}\right\}} & (T\geqq 10T_{p1})\end{cases}\cdots\cdots\cdots \quad (1.2.3.2\text{-}4)$$

ここで, V_s, V_p は解放基盤表面の S 波速度及び P 波速度(km/s)で, V_{sb}=2.2 km/s, V_{pb}=4.2 km/s とする。T_{s1}, T_{p1} は水平地震動及び鉛直地震動に対する地盤の卓越周期(s), $\delta_h(T)$, $\delta_v(T)$, $\alpha_{bv}(T)$は表 1.2.3.2-2 で与えられる係数である。図 1.2.3.2-3 は水平地震動及び鉛直地震動の地盤増幅率の算定例である。

本手法を用いるにあたっての適用性等の留意事項を,「附属書 1.1 経験的な方法に用いる手法の留意事項」に示す。

(2) 地震動の経時特性

水平・鉛直地震動の振幅包絡線は式(1.2.3.2-5)で与える図 1.2.3.2-4 の形状とし, 各区間の継続時間(s)をマグニチュード M 及び等価震源距離 X_{eq}(km)を変数として式(1.2.3.2-6)で与える。

$$\begin{aligned}&E(T)=(T/T_b)^2 && (0<T\leqq T_b)\\ &E(T)=1 && (T_b<T\leqq T_c)\\ &E(T)=e^{\frac{\ln(0.1)}{T_d-T_c}(T-T_c)} && (T_c<T\leqq T_d)\end{aligned}\quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.2.3.2\text{-}5)$$

$$T_b=10^{0.5M-2.93},\ T_c-T_b=10^{0.3M-1.0},\ T_d-T_c=10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6}\cdots\cdots \quad (1.2.3.2\text{-}6)$$

表 1.2.3.2-1 のコントロールポイントのマグニチュード Mと等価震源距離 X_{eq} (km)の地震動に対する振幅包絡線を図 1.2.3.2-5 に示す。

表 1.2.3.2-1　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	X_{eq} (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
			T_A(s)	T_B(s)	T_C(s)	T_D(s)	T_E(s)	T_F(s)	T_G(s)	T_H(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	67.80	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	3.60	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

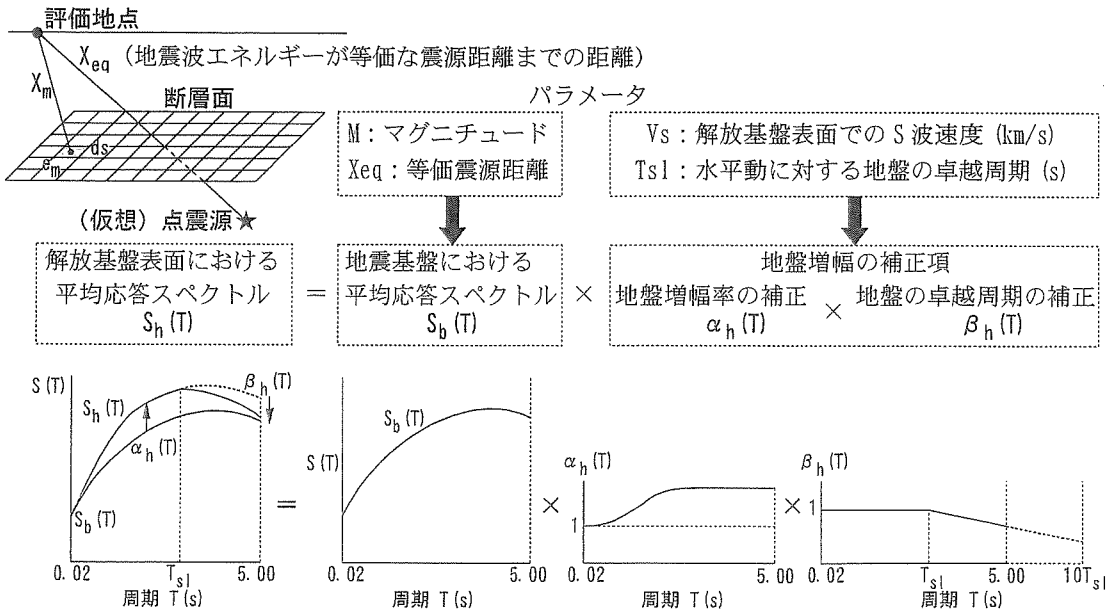


図 1.2.3.2-1　水平地震動応答スペクトルの考え方

表 1.2.3.2-2　コントロールポイントの補正係数 δ_h, δ_v, α_{bv}

	コントロールポイントの補正係数							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	T_A(s)	T_B(s)	T_C(s)	T_D(s)	T_E(s)	T_F(s)	T_G(s)	T_H(s)
	0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00
δ_h (T)	0	0.03	0.05	0.35	0.48	0.61	0.80	0.83
δ_v (T)	0.12	0.26	0.42	0.67	0.90	1.03	1.10	1.09
α_{bv} (T)	0.58	0.55	0.52	0.59	0.56	0.60	0.70	0.75

全てのコントロールポイント（マグニチュード M 及び等価震源距離 X_{eq} の組合せ）に対して共通とする。

本表は V_{sb}=2.2 km/s, V_{pb}=4.2 km/s として使うことを前提としている。したがって，V_s>2.2 km/s あるいは V_p>4.2 km/s の解放基盤表面においては，V_s=2.2 km/s あるいは V_p=4.2 km/s に対する値をそのまま用いるものとする。

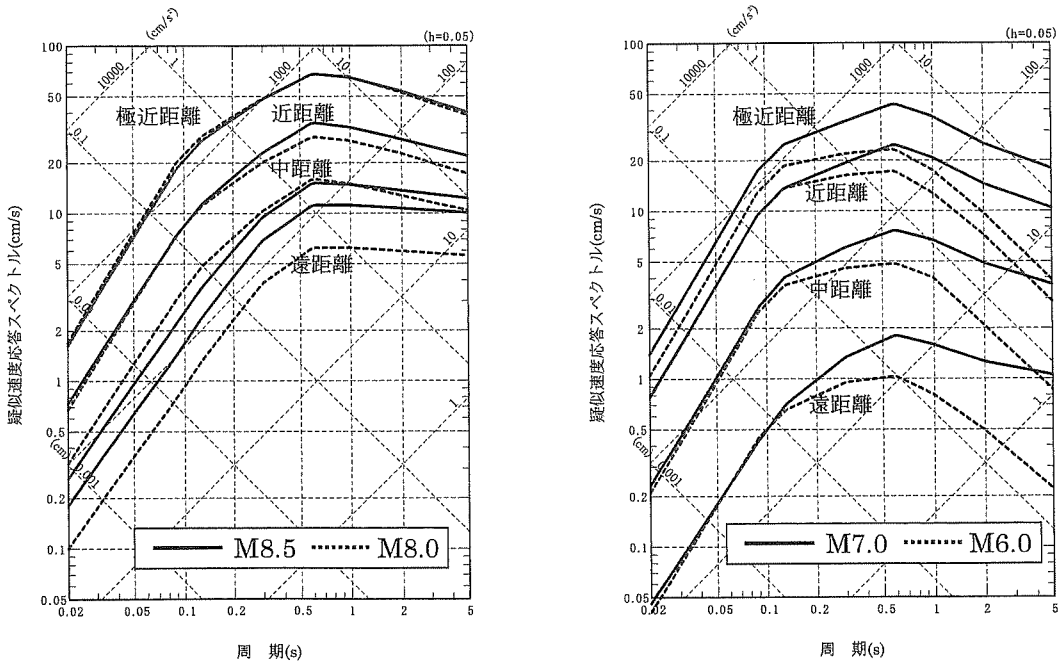


図 1.2.3.2-2　表 1.2.3.2-1 のコントロールポイントに基づく地震基盤の水平地震動の応答スペクトル

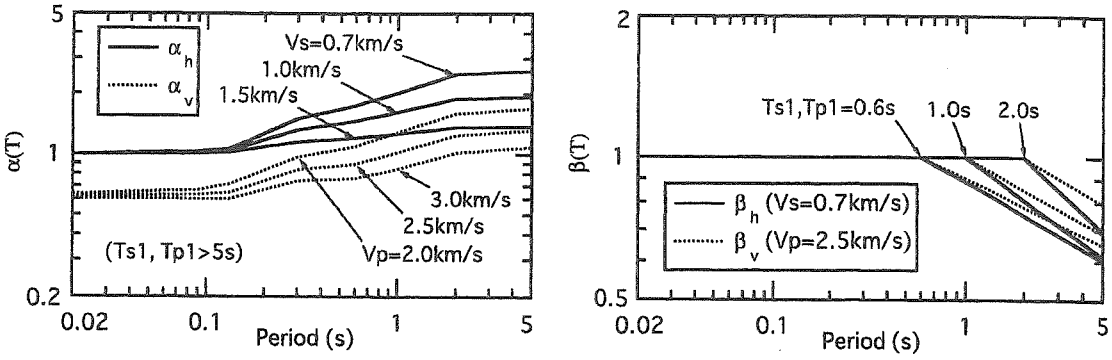


図 1. 2. 3. 2-3　水平・鉛直地震動の地盤増幅率の例

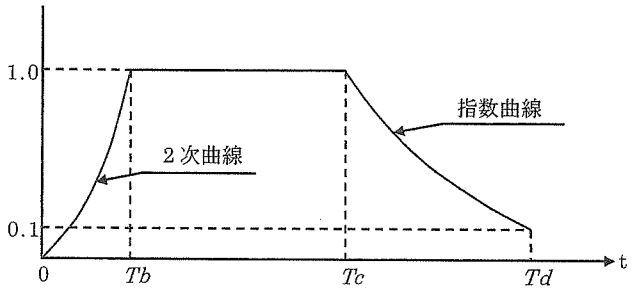


図 1. 2. 3. 2-4　振幅包絡線の経時的変化

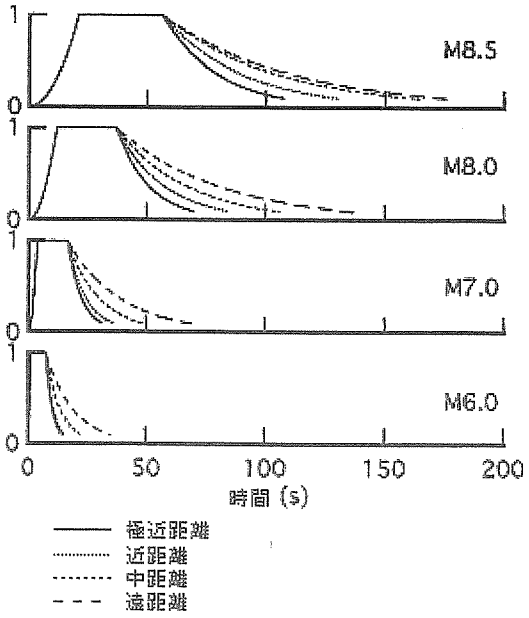


図 1. 2. 3. 2-5　表 1.2.3.2-1 のマグニチュード M と等価震源距離 X_{eq} の地震動に対する振幅包絡線の経時的変化

【解　説】

距離減衰式に基づいた経験的な方法とは，距離減衰式に代表される，地盤特性に応じて地震のマグニチュードと震源からの距離の関係で地震動特性を評価する方法である。距離減衰式は，少ないパラメータ（説明変数）を用いて平均的な地震動の強さを示す指標として非常に有効なものである。

最も理想的な経験的方法とは，敷地で得られた観測記録を統計分析し距離減衰式を作成することであるが，統計分析が可能な十分な観測データを単一地点で得ることは困難である。通常，距離減衰式は震源特性や伝播特性の異なる多くの地震により，サイト特性の異なる多くの観測点で得られた記録を統計処理している。したがって，実際の地震動の評価に当たっては，予測の精度を十分に念頭に置く必要がある。近年では，地震観測網の充実に伴い，様々な距離減衰式が提案されているため，その特徴を踏まえ，評価地点における適用性を確認した上で用いることが可能である。

基準地震動 Ss を定める解放基盤表面は，せん断波速度が概ね 0.7 km/s 以上の値を有する硬質地盤で定義される。したがって，解放基盤表面における地震動をより正確に評価するには，震源からの地震波が評価地点近傍の地盤の影響を受けにくいと考えられる基盤，すなわち地震基盤における地震動を評価した上で，地震基盤から解放基盤表面への地盤増幅特性を把握する必要がある。

Nishimura et al.（2001）(1.2.3.2-1)及び Noda et al.（2002）(1.2.3.2-2)による本手法は，解放基盤表面相当の地盤に加え，地震基盤の条件に近い地盤における近接 5 地点の同一地震の観測記録や，地震基盤及び上部の地盤における鉛直アレー観測記録を収集し，以下に示す考え方に基づいて策定された水平及び鉛直動の平均応答スペクトルの評価手法である。対象とする地盤は，地震基盤からせん断波速度 0.7 km/s 程度までの解放基盤表面である。

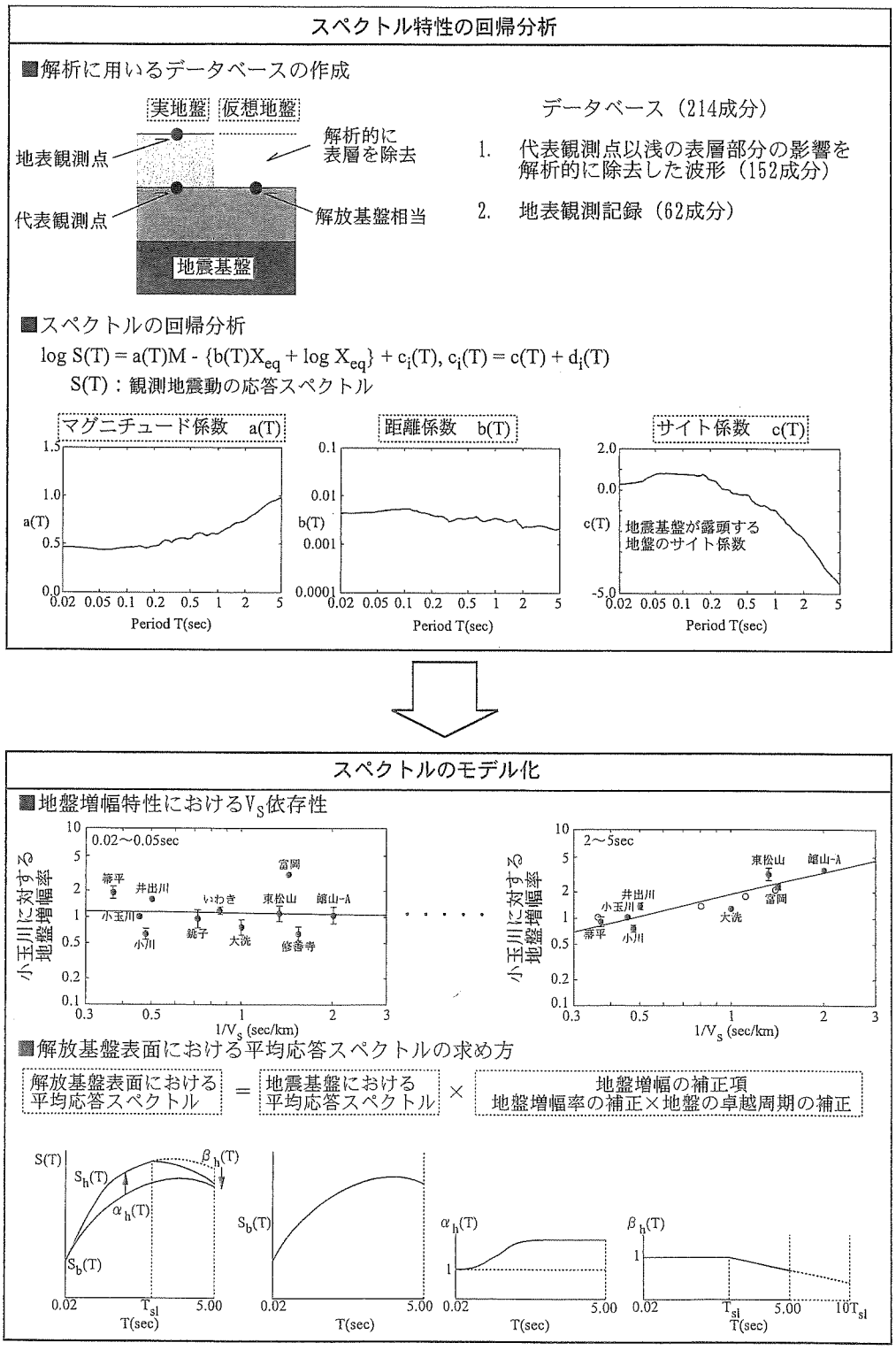
その基本的な考え方は，せん断波速度 2.0～2.8 km/s の地層は地震動を考える場合の基準となる地盤と考えられること，観測記録の解析結果から，表層地盤内の地震波伝播特性は，水平地震動成分についてはせん断波の重複反射でモデル化され，鉛直地震動成分についてはＰ波の重複反射でモデル化されることである。この考え方に基づく検討のフローを水平動を例に解図 1.2.3.2-1 に示す。鉛直動も同様の考え方に基づいている。

また，地震基盤から解放基盤表面までの詳細な地盤構造が得られている場合には，その地盤構造に基づいて地震基盤の地震動から解放基盤表面の地震動を評価することができる。ただし，本文(1)，(2)に示す地震動評価手法は経験則に基づいており，地震基盤の地震動と地盤増幅特性を一体として評価したものであるため，敷地における観測記録を用いて経験的に補正することは良いが，地震基盤の地震動のみを抜き出し，別途地盤構造から理論的に求めた増幅特性を用いて解放基盤表面の地震動を評価する場合には，十分な検討が必要である。敷地固有のこのような考え方は，「1.3 震源を特定せず策定する地震動」の場合にも当てはまる。

ガイド 1-32

本文に示す手法以外の従来の手法として，大崎の手法，小林・翠川の手法等が挙げられる。これらに加えて，敷地における観測記録を直接用いる方法や既往の地震によって激震地に生じた震害状況や物体の挙動から地震動の強さを推測する方法もある。

本文に示す手法以外の主な経験的な手法の概要を参考資料 1-10 に示す。



解図 1. 2. 3. 2-1　水平地震動の平均応答スペクトルの求め方の概要

附属書 1.1　経験的な方法に用いる手法の留意事項

本文「1.2.3.2 経験的な方法」に示した手法についての適用性等の留意事項を以下に示す。

(1) 本手法の適用性

本手法を策定する際に用いた強震観測データは２種類ある。１つは地盤調査が十分なされた岩盤における観測記録であり，これらを用いて主に回帰分析により，地震動評価式の係数並びに地盤増幅率を評価している。これらのデータの範囲はマグニチュード M =5.5～7.0，X_{eq} =28～202 km，震源深さは 60 km 以浅である。もう１つのデータセットとして，国内外の大地震に対する震源近傍の記録を用いて上記評価式が実現象の平均像を再現することを確認した。これらのデータの範囲は M=5.4～8.1，X_{eq} =14～218 km で，全ての地震の震源深さは 60 km 以浅の範囲に入っている。これらのデータは，地盤に関する情報について不確定な面は否定できないが，大地震の震源近傍までの本評価法の適用性を高める事に役立っている。Nishimura et al.（2001）(附 1.1-1)により回帰分析に用いた観測記録及び適用性確認結果を附図 1.1-1 に示す。また M>8.0 については，理論的検討によって外挿し，M=8.5 までの地震の地震動評価に供するようにしている。一方，本手法が適用できる地盤は用いたデータの範囲より，第三紀以前の岩盤であり，弾性波速度の範囲は(2)に示すとおりである。

また，敷地に多数の観測記録がある場合には，本評価法による地震動評価結果と比較の上，敷地固有の評価を行うこととする。

(2) 本手法における地盤増幅

本手法では，硬さの異なる第三紀以前の地層で構成された岩盤での観測記録を用いて解放基盤表面における地盤の弾性波速度と地震動の地盤増幅率の関係を求めている。その際の弾性波速度の範囲はＳ波速度 V_s=0.5～2.7 km/s，Ｐ波速度 V_p=1.7～5.5 km/s である。

(3) 本手法における地震基盤の考え方

本手法においては，地震基盤として通常定義されるせん断波速度 V_s=3 km/s よりも遅い V_s=2.2 km/s(V_p=4.2 km/s)の地層を基準に地盤増幅率を求め，解放基盤表面での地震動を評価している。

地震基盤での地震動を，本手法と別の手法によって求め，本手法の地盤増幅率を用いる場合は，この点について留意する必要がある。

【解説】
地震基盤の考え方の経緯について，参考資料 1-9 に示す。

(4) 震源近傍における破壊伝播効果（NFRD 効果）

震源近傍では，断層破壊の伝播と震源メカニズムの影響により，破壊の進行方向で断層走向と直交する水平地震動成分が長周期で大きくなる効果（以下「NFRD (Near Fault Rupture Directivity) 効果」という。）が指摘されている。この効果については，次式を乗ずることでスペクトルの補正が可能である。

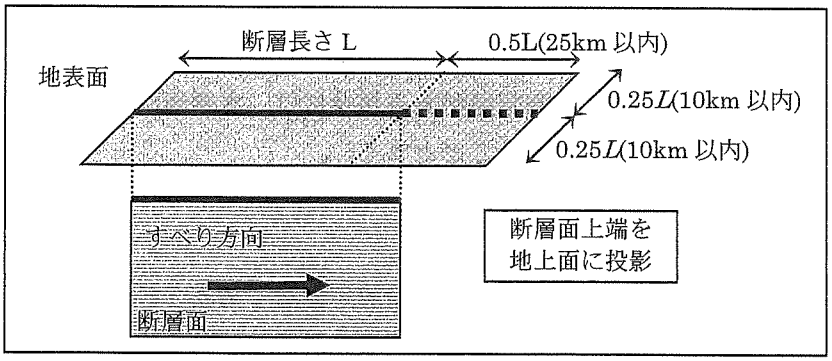
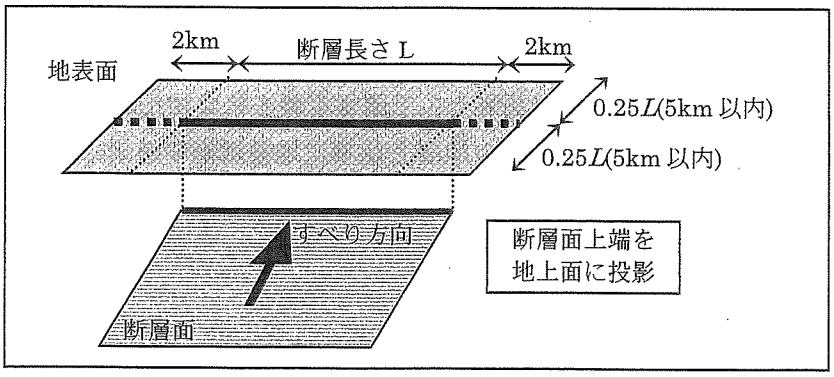
$$\lambda(T)=\begin{cases} 1 & (T \leqq T_{\mathrm{D}}) \\ 10^{\log(2.5)\times\log(T/T_{\mathrm{D}})/\log(T_{\mathrm{H}}/T_{\mathrm{D}})} & (T_{\mathrm{D}} \leqq T) \end{cases} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (附\ 1.1\text{-}1)$$

ここで Tは周期(s), T_{D}, T_{H}は表 1.2.3.2-1 のコントロールポイント D と H の周期，すなわち 0.3(s)及び 5(s)である。

【解説】

大野，他(1998) [附 1.1-2] は，震源近傍における観測記録に基づき，NFRD 効果の卓越範囲を検討している。NFRD 効果の卓越範囲を地震のメカニズムごとに分析した結果を下表に示す。

卓越範囲にある地点においては，NFRD 効果によるスペクトルの補正をすることが望ましい。

メカニズム	NFRD 効果の卓越範囲
横ずれ	断層上端から±0.25Lの幅の範囲（10km 以内）で，かつ破壊伝播方向に断層端から 0.5Lの範囲（25km 以内）。 
縦ずれ	断層上端から±0.25Lの幅の範囲（5km 以内）で、断層端から両側 2km 以内。 

(5) 内陸地殻内地震に対する補正

内陸地殻内地震に適用する際には，地震基盤における水平地震動 $S_b(T)$に対して附表 1.1-1 に示す補正係数を乗じると，地震動の平均的な特性をより正確に表すことができる。ただし，震源メカニズムによっては補正を加えない状態でそのまま当てはまる例も認められることから，補正を施す際には，対象とする地震の震源メカニズム等を過去の地震の事例と照らし合わせ，妥当性を確認することとする。

(6) 観測記録に基づいた評価

敷地に多数の観測記録がある場合には，本評価法による地震動評価結果と比較の上，敷地固有の評価を行うこととする。特に，震源深さが 60 km 以上の地震（沈み込んだプレート内の深い地震・やや深発地震）は，(1)で述べた本手法を策定する際のデータの範囲外にあり，更に短周期領域の地震動が大きく，地域性を示すことが指摘されている。したがって，やや深発地震に対しては敷地ごとに観測記録をもとにした評価を別途行う必要がある。観測記録に基づいた地震動評価フローを附図 1.1-2 に示す。

(7) 減衰定数５％以外の応答スペクトル

減衰定数５％以外の場合は，減衰定数５％の応答スペクトルに次式を乗じて応答スペクトル値を修正することを提案している。

$$\eta(T,h)=\begin{cases}\dfrac{1}{\left(1+a(h-0.05)\exp\left(-b\times T/T_{\mathrm{eq}}\right)\right)^{1/2}} & (T=T_{\mathrm{C}}\sim T_{\mathrm{H}})\\[2ex] \dfrac{1}{\left(1+a(h-0.05)\exp\left(-b\times T_{\mathrm{C}}/T_{\mathrm{eq}}\right)\right)^{1/2}} & (T=\mathrm{T_B})\\[2ex] 1 & (T=T_{\mathrm{A}})\end{cases} \quad \cdots\cdots \text{(附 1.1-2)}$$

ここで，hは減衰定数，T_{eq}は地震動の等価継続時間(s)であり，定数 a,b とともに次式で与えられる。Mはマグニチュード，X_{eq}は等価震源距離(km)，Tは表 1.2.3.2-1 のコントロールポイントの周期(s)である。

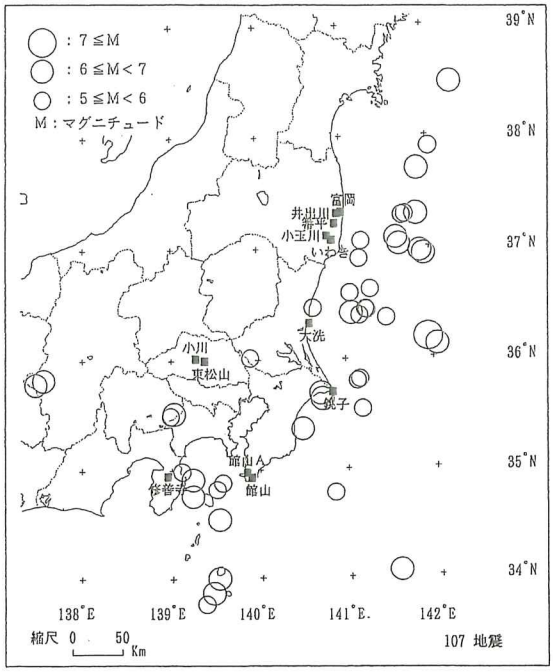
$$T_{\mathrm{eq}}=10^{0.3M-1.0}+0.2\times10^{0.17M+0.54\log X_{\mathrm{eq}}-0.6} \quad \cdots\cdots \text{(附 1.1-3)}$$

$$a=15,b=2.0\ (h<0.05)\ ;\ a=13,b=5.0\ (h>0.05) \quad \cdots\cdots \text{(附 1.1-4)}$$

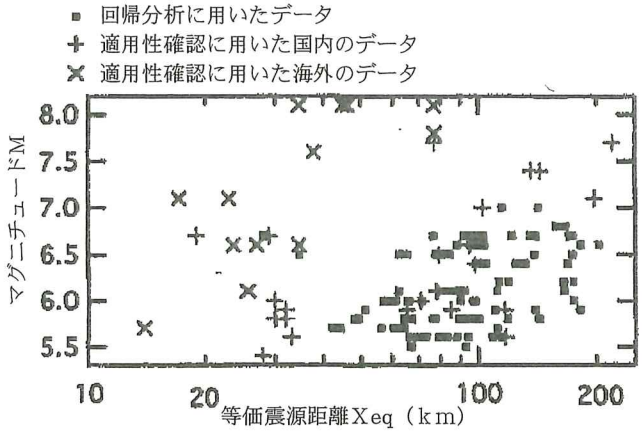
【解説】

「1.2.3.2 経験的な方法」に示した手法は，減衰 5%の応答スペクトルである。ここでは，機器・配管系の耐震設計において 5%より低減衰の減衰定数が用いられていること等を考慮し，5%以外の応答スペクトルの作成方法を示した。

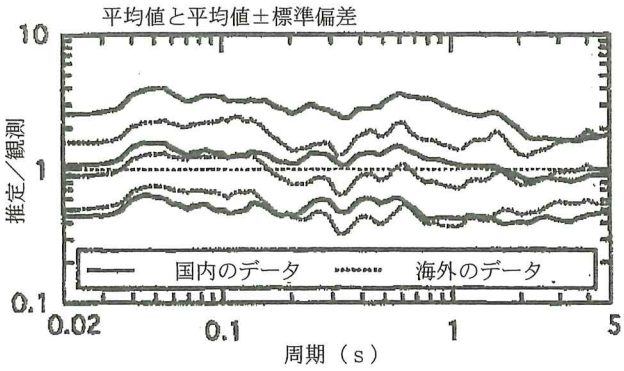
なお，模擬地震波を作成する際には，上記のように作成した複数の減衰定数による応答スペクトルを目標として作成することもできる。



（a）回帰分析に用いた観測記録の震央位置



（b）回帰分析及び適用性確認に用いた地震の規模と震源距離の分布 (附 1.1-1)



（c）適用性確認に用いた観測記録に対する推定値の応答スペクトルの比率 (附 1.1-1)

附図 1. 1-1　回帰分析に用いた観測記録及び適用性確認結果

附表 1. 1-1　内陸地震に対するコントロールポイントの補正係数

	A	E	H
	T_A(s)	T_E(s)	T_H(s)
	0.02	0.6	5.0
補正係数	0.6	0.6	1.0

上記の周期間の補正係数は両対数軸で直線補間により与える。

第１章　参考文献

(1.1.2-1)　活断層研究会(編集)：新編 日本の活断層―分布図と資料，1991，東京大学出版会.

(1.1.2-2)　国土地理院：都市圏活断層図，1995～.

(1.1.2-3)　地質調査所環境地質部地震地質課:50 万分の１活構造図シリーズについて，地質調査所月報，34,1,1983，pp.27-37.

(1.1.2-4)　中田高，今泉俊文編：活断層詳細デジタルマップ，2002，東京大学出版会

(1.2-1)　内閣府地震調査研究推進本部：「全国を概観した地震動予測地図」報告書，2005，地震調査委員会.

(1.2.1.1-1)　地震調査研究推進本部地震調査委員会編：日本の地震活動－被害地震から見た地域別の特徴－第２版，2009，地震調査研究推進本部.

(1.2.1.1-2)　寒川旭：地震考古学，1992，中公新書.

(1.2.1.1-3)　田山実：大日本地震史料，震災予防調査会報告，46 甲，乙，1-606，1-595，1904.

(1.2.1.1-4)　武者金吉：増訂　大日本地震史料，1～3 巻，1941～ 1943，文部省震災予防評議会.

(1.2.1.1-5)　武者金吉：日本地震史料，1949，毎日新聞社.

(1.2.1.1-6)　東京大学地震研究所編：新収　日本地震史料，1981～1994.

(1.2.1.1-7)　国立天文台編：理科年表，丸善.

(1.2.1.1-8)　気象庁：地震・火山月報（カタログ編）

(1.2.1.1-9)　気象庁：地震年報.

(1.2.1.1-10)　Usami，T.：Study of Historical Earthquakes in Japan，*Bull. Earthq. Res. Inst.*，Vol.54，1979，pp.399-439.

(1.2.1.1-11)　宇佐美龍夫，石井寿，今村隆正，武村雅之，松浦律子：日本被害地震総覧 599-2012，2013，東京大学出版会.

(1.2.1.1-12)　宇津徳治:日本付近のM6.0以上の地震及び被害地震の表 1885 年～1980 年，地震研究所彙報，Vol.57，1982，pp.401-463.

(1.2.1.1-13)　宇津徳治：地震活動総説，1999，東京大学出版会.

(1.2.1.1-14)　宇佐美龍夫・大和探査技術（株）：わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図，1994，社団法人日本電気協会.

(1.2.1.1-15)　気象庁・消防庁：震度に関する検討会報告書，2009.

(1.2.1.1-16)　宇佐美龍夫：資料　日本被害地震総覧，1979，東京大学出版会.

(1.2.1.1-17)　村松郁栄：震度分布と震源との関係，地震，第２輯，第３号，2001.

(1.2.1.1-18)　東京都：地震の震度階解説表，1980，東京都総務局災害対策部.

(1.2.2.1-1)　松田時彦：活断層から発生する地震規模と周期について，地震，第 2 輯，第 28 巻，1975，pp.269-283.

(1.2.2.1-2) 武村雅之：日本列島における地殻内地震のスケーリング則　ー地震断層の影響および地震被害との関係ー，地震，第2輯，第51巻，1998，pp.211-228.

(1.2.2.3-1) 海野徳仁，長谷川昭：東北日本弧における二重深発地震面と発震機構，地震，第2輯，第35巻，2001，pp.237-257.

(1.2.2.3-2) Kosuga, M. et al. : Spatial distribution of intermediate-depth earthquakes with horizontal or vertical nodal planes beneath northeastern Japan, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 93, 1996, pp.63-89.

(1.2.3.2-1) Nishimura ,I. et al. : Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites , *SMiRT 16 Paper # 1133*, 2001 , pp.1-8.

(1.2.3.2-2) Noda , S. et al. : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, *The OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analyses* , 2002 , pp.1-10.

(1.2.3.3-1) Somerville, P. et al. : Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion ,*Seismological Research Letters*,Vol.70, 1999 , pp.59-80.

(1.2.3.3-2) 入倉孝次郎，三宅 弘恵：シナリオ地震の強震動予測，地学雑誌，110，2001，pp.849-875.

(1.2.3.3-3) 三宅弘恵，室谷智子，纐纈一起：プレート境界地震のアスペリティのスケーリング則，月刊地球，号外No.55，2006，pp.86-91.

(1.2.3.3-4) 入倉孝次郎，三宅弘恵：予測のための震源のモデル化，月刊地球，号外N0.37，2002，pp.62-77.

(1.2.3.3-5) 壇一男，佐藤俊明，入倉孝次郎：アスペリティモデルに基づく強震動予測のための震源モデルの特性化手法，第 11 回日本地震工学シンポジウム，2002，pp.555-560.

(1.2.3.3-6) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：「全国を概観した地震動予測地図」報告書　分冊2　震源を特定した地震動予測地図の説明，2005.

(1.3-1) Motohashi, S. et al. : Probabilistic Evaluation of Near-Field Ground Motions due to Buried-Rupture Earthquakes Caused by Undefined Faults, *SMiRT 18-KM01-3*, 2005, pp3728-3742.

(1.4-1) 日本原子力学会：原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準，2007.

(附 1.1-1) Nishimura ,I. et al. : Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, *SMiRT 16 Paper # 1133*, 2001 , pp.1-8.

(附 1.1-2) 大野晋，武村雅之，小林義尚：観測記録から求めた震源近傍における強震動の方向性，第10回日本地震工学シンポジウム，1998，pp.133-138.

参考資料 1-10　既往の経験的な方法

参表 1.10-1 に主な経験的な方法の特徴の比較を示す。

(1) 大崎の手法

Ohsaki et al.（1979）(参 1.10-1)，Hisada et al.（1978）(参 1.10-2)は，国内外の加速度記録 84 成分と転倒墓石のデータから，マグニチュード M と震央距離 Δ を用いて，参表 1.10-2 及び参図 1.10-1 に示すような擬似速度応答スペクトルを求める方法を提案している。また，地震動の経時特性はマグニチュード M を変数とした式を提案している。

なお，硬質地盤で得られた地震観測データの統計解析結果から，地盤のせん断波速度の違いによって，応答スペクトルに明らかな差が見られる場合，擬似応答スペクトルに解放基盤表面でのせん断波速度 V_s の値に応じて，相応の補正係数 R を乗ずることができる。

a. 補正係数 R

V_s=0.7 km/s のとき R=1.0 とし，V_s=1.5 km/s のとき R=0.8 とする。

0.7 km/s＜V_s＜1.5 km/s の場合は，両対数軸上で直線補間するものとする。すなわち，補正係数を下式で表すものとする。

$$\left.\begin{array}{ll} R=1.0 & ;V_s=0.7\mathrm{km/s} \\ R=0.8 & ;V_s \geqq 1.5\mathrm{km/s} \\ R=(V_s/0.7)^{-0.292} & ;0.7\mathrm{km/s}<V_s<1.5\mathrm{km/s} \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(参 1.10-1)}$$

地盤のせん断波速度 V_s は，解放基盤表面でのせん断波速度をもって代表とするものとする。

(2) 小林・翠川の手法

小林，他（1976）(参 1.10-3)，翠川，他（1978）(参 1.10-4)，Kobayashi et al（1982）(参 1.10-5)は，地震動の包絡関数が断層面の微小要素から発生するパルスの重ね合わせによって構成されるものと仮定し，強震記録から得られたパルスの特性に関する半経験式を用いて各パルスの形状を定めて，各パルスの重ね合わせで地震動の包絡関数を計算する手法を提案している。

この手法で計算された包絡関数は，地震基盤に到達する地震波に対するものであるため，これに地盤の増幅率を加味して地表のスペクトルや最大加速度が計算されている。

(3) 福島・田中の式

Fukushima et al.（1990）(参 1.10-6)，福島，他（1992）(参 1.10-7)は日本及び米国・他で観測された地震記録に基づき，日本の地震に対して，最大加速度を求める式を提案している。

これらの式は，日本の 32 地震 555 データ（7.9≧M≧5.0，深さ≦30 km）及び米国・

他の地震で断層から 50 km 以内の 20 地震 278 データに基づいている。また，日本の地盤条件が分かっている地点の記録において，観測値と推定値の比を求め，岩盤での値はこれらの式の平均 0.6 倍であるとしている。

(4) 司・翠川の式

司・翠川（1999）(参 1.10-8) は日本で観測された地震記録に基づき，最大加速度及び最大速度を求める式を提案している。

これらの式は，日本で起きたモーメントマグニチュード M_w 5.8～8.3 の規模で，震源深さは 120 km 以下，震源距離はマグニチュード M_w 7.0 以上では 300 km 以内，6.6 以上 7.0 以下では 200 km 以内，6.3 以上 6.5 以下では 150 km 以内，6.2 以下では 100 km 以内のデータに基づいている。最大加速度は 856 データ，最大速度 394 データで，水平 2 成分のうち大きい方の値を用いている。また，最大加速度の式は地盤に対するものであり，岩盤での値を推定するためには 1.4 で割る必要がある。一方，最大速度の式は，地表から地盤の深さ 30 m までの平均せん断波速度（以下，「AVS30」という。）が 600 m/s の硬質地盤に対するものである。

(5) 大野，他の式

大野，他（2001）(参 1.10-9) は，米国カリフオルニアで観測された地震記録に基づき，第三紀以前の地盤に対して，最大加速度，最大速度及び加速度応答スペクトル（減衰定数 5%）を求める式を提案している。

これらの式は，米国カリフオルニアで起きたモーメントマグニチュード M_w 4.9～7.5 の規模で，震源深さ概ね 20 km 以下，等価震源距離 X_{eq} 約 200 km 以下の 58 地震 662 記録に基づいている。また，第三紀以前に分類した地盤はせん断波速度が 600 m/s 以上の露頭地盤に概ね相当し，日本の対応する地盤条件の内陸地震へも適用可能としている。

(6) 安中，他の式

安中，他（1997）(参 1.10-10) は日本で観測された地震記録に基づき，最大加速度，最大速度，最大変位及び加速度応答スペクトル（減衰定数 5 %）を求める式を提案している。

これらの式は，日本の気象庁 87 型強震計で観測されたマグニチュード M5.0～8.1 の規模で，震源深さ 200 km 以下，距離 500 km 以下の記録に基づいている。用いたデータ数は，最短距離の式では 388 地震 77 地点 2085 記録，等価震源距離の場合は 387 地震 77 地点 2075 記録である。また，これらの式は気象庁 87 型地震計設置地点の平均的な地盤に対するものであり，せん断波速度 300～600 m/s の地盤に対応するとしている。

(7) Abrahamson and Silva の式

Abrahamson and Silva（1997）(参 1.10-11) は，1940 年 Imperial Valley 地震以後に世界中で発生した，M_w =4.4～7.4 の 58 の内陸地殻内地震に対する 655 記録の水平及び鉛

直成分の応答スペクトルを基に回帰分析を行い，周期 0.01～5.0 秒の加速度応答スペクトルの距離減衰式を提案している。観測点から震源への距離は，断層最短距離を用い，その適用範囲は 0.1～200 km である。断層の形状（横／縦ずれ），観測点と断層面の位置（縦ずれ断層の上盤／下盤効果）もパラメータとしている。

なお，水平動は 2 成分の幾何平均である。

(8) Kanno et al.の式

Kanno et al. (2006) (参 1.10-12) は，国内の 4967 地震 91731 記録（2002 年以前及び 2003 十勝沖地震による K-NET・KiK-net 記録）に，大規模地震の震源近傍データを補うための海外 12 地震 788 記録を追加したデータベースをもとに，震源深さ 30km を境界として異なる距離減衰関数を採用した距離減衰式を提案している。地盤条件の違いは AVS30 をパラメータとした補正係数により表される。また，東北日本における深発地震の異常震域現象への対応が提案されている。

なお，近年提案されている距離減衰式では，地殻内地震，プレート境界地震，プレート内地震の分類がパラメータとして導入されている場合が多いが，この距離減衰式では地震のタイプは考慮されていない。

(9) Zhao et al.の式

Zhao et al. (2006) (参 1.10-13) は 2003 年十勝沖地震本震・余震以前の強震記録（国内：M_w 5.0 ~ 8.3, 4518 記録，海外：イラン・米国西海岸の近距離記録, M_w 4.4~7.4, 196 記録）をもとに水平 2 成分の幾何平均の地震動振幅を与える距離減衰式を提案している。既往の研究成果から地震タイプ(地殻内，プレート境界，プレート内)によって観測される地震動強さに大きな違いがあること，地殻内地震のうち逆断層の地震は横ずれ断層，正断層の地震に比べて大きな地震動強さになることから，これらの影響を考慮するためのパラメータ（逆断層パラメータ F_R, プレート間地震パラメータ S_I, スラブ内地震パラメータ S_{SL} 等）が導入されている。また，補正項として M_w の 2 次式が提案されており，これを適用すると事実上 M_w の 2 次式のスケーリングを仮定した評価式となる。

(10) 内山・翠川の式

内山・翠川（2006）(参 1.10-14) は 1968 年十勝沖地震~2003 年十勝沖地震の期間において日本とその周辺で発生した $M_w \geqq 5.5$ の 52 地震の記録をもとに，距離減衰式を策定した．回帰モデルには震源深さ D がパラメータとして導入されており，震源深さに応じて距離減衰勾配が変化する距離減衰関数が採用されている。近年提案されている距離減衰式では地震タイプ(内陸地殻内，プレート境界，スラブ内地震)や震源深さがパラメータとして考慮されているものが多い。しかし，これらを同時に距離減衰式に導入した場合には，震源深さと地震タイプの係数にトレードオフの関係がみられたことから，地震タイプによる区別は行われていない。

なお，この式で評価される地震動強さはAVS30が460～760m/sの工学的基盤相当（データベースにおける中央値は500m/sである。）に対応している。また，回帰係数の数値については4次関数で平滑化された結果が与えられている。

(11) 片岡，他の式

片岡，他（2006）(参1.10-15)は，1978年6月~2003年9月の期間に，日本とその周辺で発生した地震（内陸 $M_w \geqq 5.0$, 海溝 $M_w \geqq 5.5$, 震源深さ≦120km）のうち波動伝播経路が火山フロントをまたぐ記録を排除したデータベースをもとに，モーメントマグニチュード，断層最短距離，短周期レベルあるいは震源深さ，地盤種別をパラメータとして，最大加速度振幅（以下「PGA」という。），最大速度振幅（以下「PGV」という。），応答スペクトルの距離減衰式を提案している．ここで，PGA, PGVは水平2成分の最大値，応答スペクトルは1質点系応答の水平2成分ベクトル合成の最大値として定義されている。また，この研究では，スペクトルインバージョン解析により各地震の短周期レベル A の評価を行い，その結果をもとに，地震モーメント M_0 に対する短周期レベル A の関係式を地震の地域・タイプごとに示している。

なお，サイト特性については基本固有周期で3階級の分類で表現されており，うち一番固いⅠ種地盤の一部として工学的基盤が設定されている。工学的基盤に該当する31地点のAVS30の平均値は720m/sとされる。

(12) NGAの式

近年の審査実績として用いられた手法として，上記以外に，アメリカ西海岸で発生した内陸地殻内地震を対象としたNGA(Next Generation Attenuation of Ground Motions)プロジェクトによる，Abrahamson and Silva（2008）(参1.10-16)，Boore and Atkinson (2008) (参1.10-17), Campbell and Bozorgnia (2008) (参1.10-18), Chiou and Youngs（2008）(参1.10-19)，Idriss（2008）(参1.10-20)が挙げられる。

(13) 墓石の転倒，木造建物の被害による地震動強さの推定

近年の強震観測網の整備により，震源近傍においても強震記録が観測されるようになってきているが，大地震でかつ震源近傍の観測記録の数は世界的にもまだ限られている。

このため，震源域内における地震動の強さを推定する方法の一つとして，既往の地震によって激震地に生じた震害状況から推測する方法がある。有力な手法としては，墓石など単体（柱状体）の転倒による加速度の推定(参1.10-21)，木造建物の倒壊率による加速度の推定方法がある。

電気技術指針原子力編
JEAG 4601-2015

原子力発電所耐震設計技術指針

Technical Guidelines for Seismic Design of Nuclear Power Plants

平成28年3月30日　第3版発行

定　価：本体9,000円（税別）

編　集　原子力規格委員会

発　行　一般社団法人 日本電気協会

東京都千代田区有楽町1－7－1

電話　03－3216－0555（事業推進部）

03－3216－0553（技術部）

©日本電気協会　2016

印刷　永和印刷株式会社

丙第203号証

電気技術指針

原 子 力 編

原子力発電所耐震設計技術指針

JEAG 4601-2008

社団法人 日本電気協会

原子力規格委員会

法がこれに該当する。

断層モデルとは，地震の原因である断層運動を表現したモデルであり，断層モデルによる地震動評価とは，このモデルをもとに，地震動を評価することである。震源が敷地に近い場合には，その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与える可能性があることを重視し，地震動評価について，より詳細な検討を実施することが重要となる。

1.2.3.1　敷地における地震動特性

検討用地震の地震動特性の評価に際しては，震源特性，伝播経路特性及び地盤の増幅特性を適切に考慮しなければならない。その際には，敷地において得られた地震観測記録の諸特性や常時微動観測結果，弾性波速度の調査，類似の既往の測定資料等を参考にすることができる。

【解　説】

敷地において得られた地震観測記録には，評価地点の地盤特性，周辺で発生する地震の震源特性や伝播特性が反映されているため，これらの記録について，地表の地盤の影響を解析的に取り除いた上で，解放基盤表面における地震動評価に用いることができる。

さらに，常時微動観測結果，弾性波速度の調査，類似の既往の測定資料等についても参考となる。

なお，微小な地震動の観測記録しか得られず，このような記録を参照する場合には，より強い強震動との諸性状の差異に十分留意することが必要である。

1.2.3.2　経験的な方法

距離減衰式に基づいた経験的な方法により地震動を評価する場合は，用いる距離減衰式の特徴や適用性を考慮しなければならない。特に，敷地において地震観測記録が多数得られている場合には，その平均的な諸特性を考慮することとする。

以下に示す手法は，原子力発電所の立地に適している解放基盤表面相当における地盤特性が明らかな観測点のデータを回帰分析した距離減衰式に基づいており，地盤の特性に応じた地震動の応答スペクトルをより精度良く算定することができる。

(1)　解放基盤表面における周期 0.02 秒から 5 秒の地震動の応答スペクトル

水平・鉛直地震動の応答スペクトルは，マグニチュード M と等価震源距離 X_{eq}，解放基盤表面の弾性波速度，地震基盤から表層の卓越周期を用いて以下のように得られる。水平地震動応答スペクトルの考え方を図 1.2.3.2-1 に示す。

なお，等価震源距離 X_{eq}（km）は次式で与えられる。

$$X_{ep}^{-2} = \frac{\int e_m X_m^{-2}\, ds}{\int e_m\, ds} \quad \cdots\cdots (1.2.3.2\text{-}1)$$

ただし，X_m：観測点から断層面の各微小領域 m への距離（km）

e_m：断層面上の各微小領域 m からの地震波エネルギーの相対的放出分布（e_m が不明の場合には一様分布として与える。）

ds：断層面の微小領域 m の面積（km^2）

a．地震基盤における応答スペクトル

地震基盤における水平地震動の応答スペクトル $S_b(T)$（減衰定数 5%の加速度応答スペクトル（cm/s^2））は，表 1.2.3.2-1 で表わされる周期 T（s）における擬似速度応答スペクトル ${}_pS_v(T)$（cm/s）に基づいて得られる（以下，表 1.2.3.2-1 で表される周期 T（s）における応答スペクトルの座標点を「コントロールポイント」という）。任意のマグニチュード M と等価震源距離 X_{eq}（km）に対してコントロールポイントの値を求めるには，まず $\log {}_pS_v$ を M によって補正し，ついでこれを $\log X_{eq}$ によって補正して求める。図 1.2.3.2-2 に表 1.2.3.2-1 の各コントロールポイントの擬似速度応答スペクトルを示す。

b．解放基盤表面における応答スペクトル

解放基盤表面における水平あるいは鉛直地震動の応答スペクトル $S(T)$ は，地震基盤における水平地震動 $S_b(T)$ を共通として，これに水平地震動あるいは鉛直地震動の地盤増幅率 $\alpha(T)$・$\beta(T)$ を乗じて次式により求められる。

$$S(T) = S_b(T) \times \alpha(T) \times \beta(T) \quad \cdots\cdots (1.2.3.2\text{-}2)$$

$\alpha(T)$，$\beta(T)$ は水平地震動の場合は式（1.2.3.2-3），鉛直地震動の場合は式（1.2.3.2-4）で与えられる。

$$\alpha_h(T) = \begin{cases} \left(\dfrac{V_s}{V_{sb}}\right)^{-\delta_h(T)} & (T \le T_{s1}) \\ \left(\dfrac{V_s}{V_{sb}}\right)^{-\delta_h(T_{s1})} & (T > T_{s1}) \end{cases}, \quad \beta_h(T) = \begin{cases} 1 & (T \le T_{s1}) \\ \left(\dfrac{T}{T_{s1}}\right)^{-\log \alpha_h(T_{s1})} & (10T_{s1} > T \ge T_{s1}) \\ 10^{-\log \alpha_h(T_{s1})} & (T \ge 10T_{s1}) \end{cases}$$

$$\cdots\cdots (1.2.3.2\text{-}3)$$

$$\alpha_v(T) = \begin{cases} \alpha_{bv}(T) \times \left(\dfrac{V_p}{V_{pb}}\right)^{-\delta_v(T)} & (T \le T_{p1}) \\ \alpha_{bv}(T) \times \left(\dfrac{V_p}{V_{pb}}\right)^{-\delta_v(T_{p1})} & (T > T_{p1}) \end{cases}, \quad \beta_v(T) = \begin{cases} 1 & (T \le T_{p1}) \\ \left(\dfrac{T}{T_{p1}}\right)^{-\log\left\{\frac{\alpha_v(T_{p1})}{\alpha_{bv}(T_{p1})}\right\}} & (10T_{p1} > T \ge T_{p1}) \\ 10^{-\log\left\{\frac{\alpha_v(T_{p1})}{\alpha_{bv}(T_{p1})}\right\}} & (T \ge 10T_{p1}) \end{cases}$$

$$\cdots\cdots (1.2.3.2\text{-}4)$$

ここで，V_s，V_p は解放基盤表面のＳ波速度及びＰ波速度（km/s）で，$V_{sb}=2.2$km/s，$V_{pb}=4.2$km/s とする。T_{sl}，T_{pl} は水平地震動及び鉛直地震動に対する地盤の卓越周期（s）である。また，$\delta_h(T)$，$\delta_v(T)$，$\alpha_{bv}(T)$ は表 1.2.3.2-2 で与えられる係数である。図 1.2.3.2-3 は水平地震動及び鉛直地震動の地盤増幅率の算定例である。

本手法を用いるに当たっての適用性等の留意事項を，「附属書 1.1　経験的な方法に用いる手法の留意事項」に示す。

(2)　地震動の経時特性

水平・鉛直地震動の振幅包絡線は式（1.2.3.2-5）で与える図 1.2.3.2-4 の形状とし，各区間の継続時間（s）をマグニチュード M 及び等価震源距離 X_{eq}（km）を変数として式（1.2.3.2-6）で与える。

$$E(T)=(T/T_b)^2 \qquad (0<T\leq T_b)$$
$$E(T)=1 \qquad (T_b<T\leq T_c) \qquad \cdots\cdots (1.2.3.2\text{-}5)$$
$$E(T)=e^{\frac{\ln(0.1)}{T_d-T_c}(T-T_c)} \qquad (T_c<T\leq T_d)$$

$$T_b=10^{0.5M-2.93},\quad T_c-T_b=10^{0.3M-1.0},\quad T_d-T_c=10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6} \qquad \cdots\cdots (1.2.3.2\text{-}6)$$

表 1.2.3.2-1 のコントロールポイントのマグニチュード M と等価震源距離 X_{eq}（km）の地震動に対する振幅包絡線を図 1.2.3.2-5 に示す。

表 1.2.3.2-1　地震基盤における水平地震動のコントロールポイント

領域	M	X_{eq} (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
			T_A (s)	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)	T_E (s)	T_F (s)	T_G (s)	T_H (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	67.80	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	3.60	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

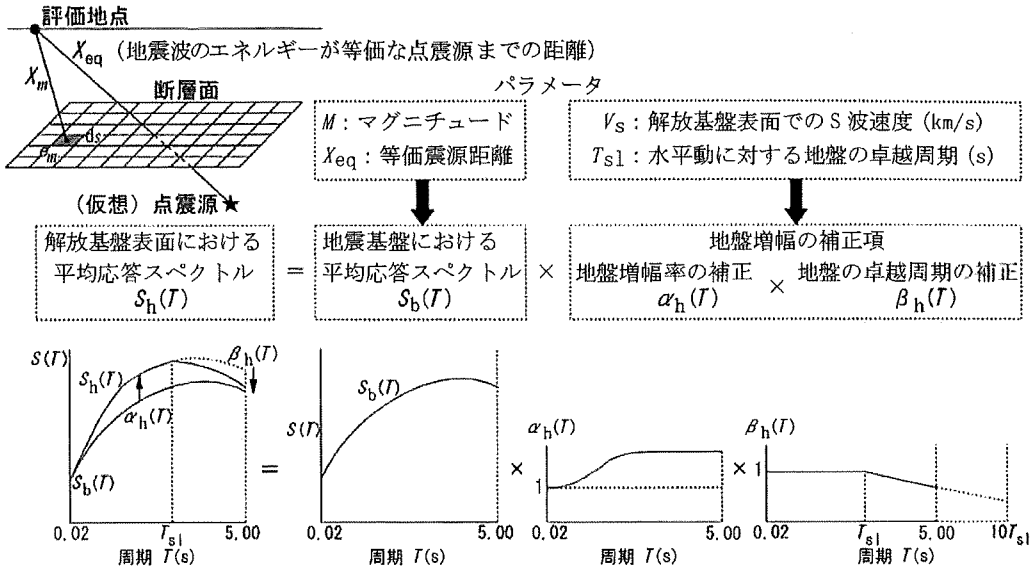


図1.2.3.2-1　水平地震動応答スペクトルの考え方

表1.2.3.2-2　コントロールポイントの補正係数 δ_h，δ_v，α_{bv}

	コントロールポイントの補正係数							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	T_A(s)	T_B(s)	T_C(s)	T_D(s)	T_E(s)	T_F(s)	T_G(s)	T_H(s)
	0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00
$\delta_h(T)$	0	0.03	0.05	0.35	0.48	0.61	0.80	0.83
$\delta_v(T)$	0.12	0.26	0.42	0.67	0.90	1.03	1.10	1.09
$\alpha_{bv}(T)$	0.58	0.55	0.52	0.59	0.56	0.60	0.70	0.75

全てのコントロールポイント（マグニチュード M 及び等価震源距離 X_{eq} の組合せ）に対して共通とする。

本表は V_{sb}＝2.2km/s，V_{pb}＝4.2km/s として使うことを前提としている。したがって，V_s＞2.2km/s あるいは V_p＞4.2km/s の解放基盤表面においては，V_s＝2.2km/s あるいは V_p＝4.2km/s に対する値をそのまま用いるものとする。

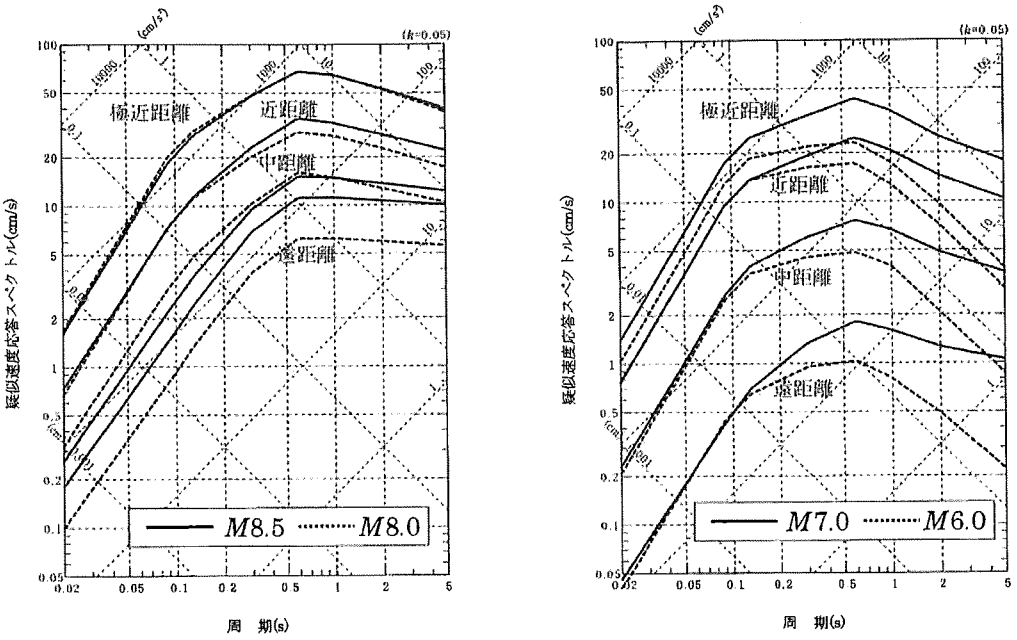


図1.2.3.2-2　表1.2.3.2-1のコントロールポイントに基づく
地震基盤の水平地震動の応答スペクトル

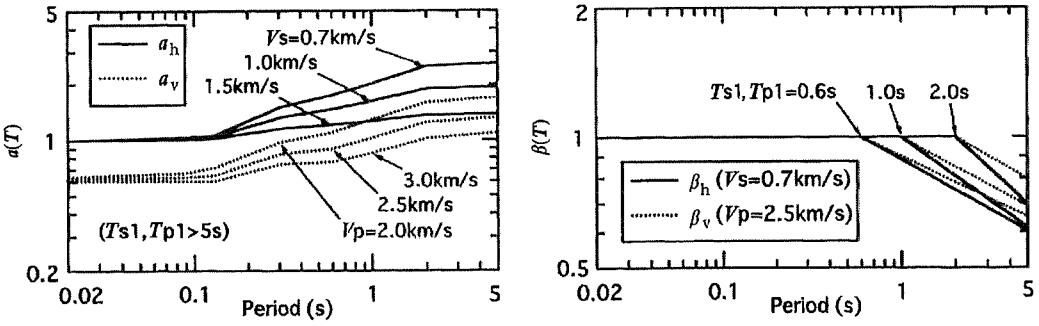


図1.2.3.2-3　水平・鉛直地震動の地盤増幅率の例

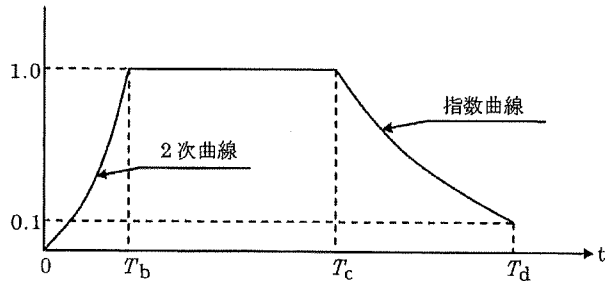


図1.2.3.2-4　振幅包絡線の経時的変化

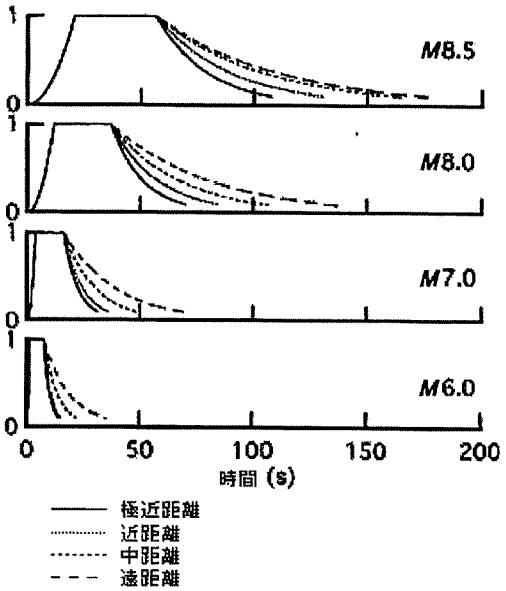


図1.2.3.2-5　表1.2.3.2-1のマグニチュードMと等価震源距離X_{eq}の地震動に対する振幅包絡線の経時的変化

【解　説】

距離減衰式に基づいた経験的な方法とは，距離減衰式に代表される，地盤特性に応じて地震のマグニチュードと震源からの距離の関係で地震動特性を評価する方法である。距離減衰式は，少ないパラメータ（説明変数）を用いて平均的な地震動の強さを示す指標として非常に有効なものである。

最も理想的な経験的方法とは，敷地で得られた観測記録を統計分析し距離減衰式を作成することであるが，統計分析が可能な十分な観測データを単一地点で得ることは困難である。通常，距離減衰式は震源特性や伝播特性の異なる多くの地震により，サ

イト特性の異なる多くの観測点で得られた記録を統計処理している。したがって，実際の地震動の評価に当たっては，予測の精度を十分に念頭に置く必要がある。近年では，地震観測網の充実に伴い，様々な距離減衰式が提案されているため，その特徴を踏まえ，評価地点における適用性を確認した上で用いることが可能である。

基準地震動 Ss を定める解放基盤表面は，せん断波速度がおおむね 0.7km/s 以上の値を有する硬質地盤で定義される。したがって，解放基盤表面における地震動をより正確に評価するには，震源からの地震波が評価地点近傍の地盤の影響を受けにくいと考えられる基盤，すなわち地震基盤における地震動を評価した上で，地震基盤から解放基盤表面への地盤増幅特性を把握する必要がある。

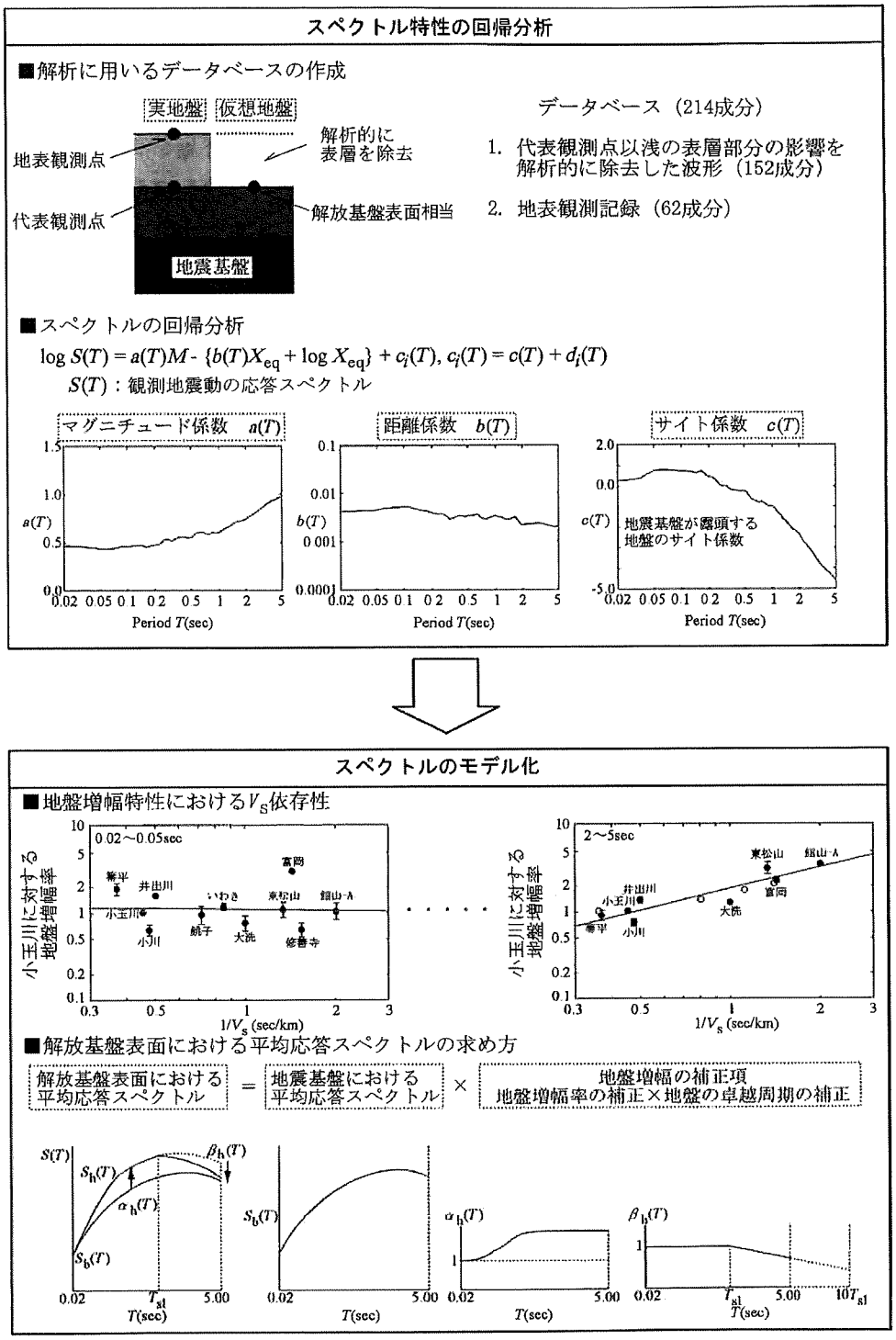
本手法(1.2.3.2-4)(1.2.3.2-5)は，解放基盤表面相当の地盤に加え，地震基盤の条件に近い地盤における近接 5 地点の同一地震の観測記録や，地震基盤及び上部の地盤における鉛直アレー観測記録を収集し，以下に示す考え方に基づいて策定された水平及び鉛直動の平均応答スペクトルの評価手法である。対象とする地盤は，地震基盤からせん断波速度 0.7km/s 程度までの解放基盤表面である。

その基本的な考え方は，せん断波速度 2.0～2.8km/s の地層は地震動を考える場合の基準となる地盤と考えられること，観測記録の解析結果から，表層地盤内の地震波伝播特性は，水平地震動成分についてはせん断波の重複反射でモデル化され，鉛直地震動成分については P 波の重複反射でモデル化されること，である。この考え方に基づく検討のフローを水平動を例に解図 1.2.3.2-1 に示す。鉛直動も同様の考え方に基づいている。

また，地震基盤から解放基盤表面までの詳細な地盤構造が得られている場合には，その地盤構造に基づいて地震基盤の地震動から解放基盤表面の地震動を評価することができる。ただし，本文(1)，(2)に示す地震動評価手法は経験則に基づいており，地震基盤の地震動と地盤増幅特性を一体として評価したものであるため，敷地における観測記録を用いて経験的に補正することは良いが，地震基盤の地震動のみを抜き出し，別途地盤構造から理論的に求めた増幅特性を用いて解放基盤表面の地震動を評価する場合には，十分な検討が必要である。敷地固有のこのような考え方は，「1.3　震源を特定せず策定する地震動」の場合にも当てはまる。

本文に示す手法以外の従来の手法として，大崎の手法(1.2.3.2-6)(1.2.3.2-7)，小林・翠川の手法(1.2.3.2-1)(1.2.3.2-2)(1.2.3.2-3)等が挙げられる。これらに加えて，敷地における観測記録を直接用いる方法や既往の地震によって激震地に生じた震害状況や物体の挙動から地震動の強さを推測する方法もある。

本文に示す手法以外の主な経験的な手法の概要を参考資料 1.8 に示す。



解図 1.2.3.2-1　水平地震動の平均応答スペクトルの求め方の概要

第１章 〔参考文献〕

(1.1.2-1) 活断層研究会（編集）：新編　日本の活断層―分布図と資料，1991，東京大学出版会

(1.1.2-2) 国土地理院：都市圏活断層図，1995～

(1.1.2-3) 地質調査所環境地質部地震地質課：50万分の１活構造図シリーズについて，地質調査所月報，pp.27-37，34，1，1983.

(1.1.2-4) 中田高，今泉俊文編：活断層詳細デジタルマップ，2002，東京大学出版会

(1.2-1) 内閣府地震調査研究推進本部：「全国を概観した地震動予測地図」報告書，2005，地震調査委員会

(1.2.1.1-1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会編：地震調査委員会報告集

(1.2.1.1-2) 寒川旭：地震考古学，1992，中公新書

(1.2.1.1-3) 田山実：大日本地震史料，震災予防調査会報告，46甲，乙，1-606，1-595，1904.

(1.2.1.1-4) 武者金吉：増訂　大日本地震史料，1～3巻，1941～1943，文部省震災予防評議会

(1.2.1.1-5) 武者金吉：日本地震史料，1949，毎日新聞社

(1.2.1.1-6) 東京大学地震研究所編：新収　日本地震史料，1981～1994

(1.2.1.1-7) 国立天文台編：理科年表，丸善

(1.2.1.1-8) 気象庁：地震・火山月報（カタログ編）

(1.2.1.1-9) 気象庁：地震年報

(1.2.1.1-10) Usami，T.：Study of Historical Earthquakes in Japan，*Bull.Earthq. Res.Inst.*，Vol.54，pp.399-439，1979.

(1.2.1.1-11) 宇佐美龍夫：最新版　日本被害地震総覧［416］-2001，2003，東京大学出版会

(1.2.1.1-12) 宇津徳治：日本付近のM6.0以上の地震及び被害地震の表1885年～1980年，地震研究所彙報，Vol.57，pp.401-463，1982.

(1.2.1.1-13) 宇津徳治：地震活動総説，1999，東京大学出版会

(1.2.1.1-14) 宇佐美龍夫・大和探査技術㈱：わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図，1994，社団法人日本電気協会

(1.2.1.1-15) 気象庁監修：震度を知る，1996，ぎょうせい

(1.2.1.1-16) 宇佐美龍夫：資料　日本被害地震総覧，1979，東京大学出版会

(1.2.1.1-17) 村松郁栄：震度分布と震源との関係，地震，第２輯，第３号，2001.

(1.2.1.1-18) 東京都：地震の震度階解説表，1980，東京都総務局災害対策部

(1.2.2.1-1) 松田時彦：活断層から発生する地震規模と周期について，地震，第２輯，第28巻，pp.269-283，1975.

(1.2.2.1-2) 武村雅之：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係―，地震，第２輯，第51巻，pp.211-228，1998.

(1.2.2.2-1) 佐藤良輔：日本の地震断層パラメター・ハンドブック，鹿島出版会，p.390，1989.

(1.2.2.3-1) 海野徳仁，長谷川昭：東北日本弧における二重深発地震面と発震機構，地震，第2輯，第35巻，pp.237-257，2001.

(1.2.2.3-2) Kosuga，M.et al.：Spatial distribution of intermediate-depth earthquakes with horizontal or vertical nodal planes beneath northeastern Japan，*Physics of the Earth and Planetary Interiors*，93，pp.63-89，1996.

(1.2.3.2-1) 小林啓美，長橋純男：地表で観測された地震動の周期特性から求めた地盤の増幅特性と地震基盤における地震動の性質，日本建築学会論文報告集，240，pp.79-92，1976.

(1.2.3.2-2) 翠川三郎，小林啓美：地震動の地震基盤からの入射波スペクトルの性質，日本建築学会論文報告集，273，pp.43-52，1978.

(1.2.3.2-3) Kobayashi，H.，S.Midorikawa：A Semi-Empirical Method for Estimating Response Spectra of Near-Field Ground Motions with regard to Fault Rupture，*Proc.7th European Conf.on Earthquake Engineering*，pp.161-168，1982.

(1.2.3.2-4) Nishimura，I.et al.：Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites，*SMiRT 16 Paper #1133*，pp.1-8，2001.

(1.2.3.2-5) Noda，S.et al.：RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES，*The OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analyses*，pp.16-18，2002.

(1.2.3.2-6) Ohsaki，Y.：Guideline for Evaluation of Basic Design Earthquake Ground Motions，1979.

(1.2.3.2-7) Hisada，T.et al.：Design Spectra for Stiff Structures on Rock，Proc.2nd Intern.Conf.Microzonation，pp.1187-1198，1978.

(1.2.3.3-1) Somerville，P.et al.：Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion，*Seismological Research Letters*，Vol.70，pp.59-80，1999.

(1.2.3.3-2) 入倉孝次郎，三宅弘恵：シナリオ地震の強震動予測，地学雑誌，110，pp.849-875，2001.

(1.2.3.3-3) 三宅弘恵，他：プレート境界地震のアスペリティのスケーリング則，月刊地球，号外No.55，pp.86-91，2006.

(1.2.3.3-4) 入倉孝次郎，三宅弘恵：予測のための震源のモデル化，月刊地球，号外No.37，pp.62-77，2002.

(1.2.3.3-5) 壇一男，他：アスペリティモデルに基づく強震動予測のための震源モデルの特性化手法，第11回日本地震工学シンポジウム，pp.555-560，2002.

(1.2.3.3-6) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：「全国を概観した地震動予測地図」報告書　分冊2　震源を特定した地震動予測地図の説明，2005.

(1.3-1) 加藤研一，他：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

電気技術指針原子力編
JEAG 4601 - 2008

原子力発電所耐震設計技術指針

Technical Guidelines for Seismic Design of Nuclear Power Plants

平成22年12月5日　第2版第2刷発行　　定　価：本体7,400円（税別）

編　集　原子力規格委員会

発　行　社団法人 日本電気協会
東京都千代田区有楽町1－7－1
電話　03－3216－0555（出版部）
03－3216－0553（技術部）

©日本電気協会　2008

印刷　音羽印刷株式会社