

強震観測小委員会報告書

2006.03.17

日本建築学会
構造委員会
振動運営委員会
強震観測小委員会

強震観測小委員会活動報告書
2005年度
目次

はじめに

1. 建築学会が関与した強震観測の経緯	1
2. 建築会館における強震計の比較観測	4
2.1 地盤概要	4
2.2 記録概要	8
2.3 比較結果	22
2.4 記録の特徴	28
3. 静岡市における共同観測	31
3.1 記録概要	31
3.1.1 静岡市中心部の地震観測	31
3.1.2 静岡地域の地質・地盤状況	31
3.1.3 静岡地域の過去の被害地震	32
3.1.4 地震観測記録	33
3.2 静岡県内のサイト増幅特性	51
3.2.1 対象地震及び観測点の概要	51
3.2.2 解析手法	51
3.2.3 解析結果	52
3.2.4 観測記録による増幅率の妥当性検討	53
3.3 観測記録の分析例	67
4. 建築学会が貸し出している強震計による観測状況	
4.1 関西大学における強震計 SMAC-MD の活用	71
4.2 京都大学原子炉実験所における強震計 CV-701 の活用	73
4.3 建築学会から貸与を受けた強震計による弘前大学における強震観測	79

付録

これまでに公開された建築会館における地震観測記録

はじめに

日本建築学会は、学会として強震観測を行っている。このことは、大変珍しいことであろう。事実、地震工学あるいは地震学に関連する諸学会において、強震観測を実施しているという学会は寡聞にして知らない。

建築学会の強震観測は、1984年に建築会館に明石製作所の強震計 SMAD-1 を設置した時から始まっている。詳細は後述するが、その後会館における観測は脈々と受け継がれてきており、既にその歴史は20年を超えている。

建築学会がなぜ強震観測を行うのか、という質問に対する回答は、1984年当時の観測を紹介した大沢胖先生が述べられている。それによれば、

- 1) 広く建築学会会員各位に強震観測の重要性を認識していただくための礎となること
 - 2) 観測された強震観測を公表し、学術・技術の調査研究の活用すること（原文のまま）
- を目的としている。

日本建築学会は、これまでに多くの強震計メーカーから強震計の寄贈を受けている。強震計の管理主体は様々に変化したが、最近では構造委員会振動運営委員会傘下の強震観測小委員会が地震計の維持管理と記録の管理を行っている。同小委員会は建築会館における強震観測の推進のみならず、静岡市における共同強震観測をも実施した。また、寄贈された強震計の有効利用を図るために、強震計の日本全国も試みている。

強震観測小委員会は、ホームページを利用した情報公開、観測された記録の建築雑誌の公表などを行ってきており、上述の目的の一端を果たしているようにも感じられる。しかしながら、1997年以降デジタルデータの公開を行っていない。また、上述した静岡における共同観測の結果についても整理するの必要を感じていた。

そこで、建築会館における観測と静岡における共同観測の結果をまとめ、委員会報告とすることにした。さらに、報告書の内容についての審議段階で、建築会館における強震観測の経緯および建築学会が貸し出している強震計の観測状況も整理するの必要が指摘された。

つまり、本報告書は建築会館における強震観測を中心に、これまで強震観測小委員会が携わってきた観測を整理したものになった。この報告書が、有効に利用されることを期待する。

参考文献

- 1) 大沢胖(耐震連絡委員会委員長)：建築会館で強震観測開始,建築雑誌,vol.99, No.1222, 1984年7月, p(31).

(文責：強震観測小委員会主査，片岡俊一)

1. 建築学会が関与した強震観測の経緯

建築学会が主体的に行った強震観測は、建築会館における観測から始まる。建築会館における観測は、大沢胖先生のご尽力により、明石製作所の強震計（SMAD-1）と振動技研のタイムコードジェネレータの提供をうけて1984年4月から始まった¹⁾。その後、強震計の老朽化に伴ってこの強震観測は維持できなくなったが、1992年には全く新しい観測状況となった。

1992年当時としては最新鋭のデジタル強震計を強震計メーカー4社（株式会社アカシ、株式会社勝島製作所、株式会社パシコ貿易、株式会社東京測振）から提供して頂き、先のSMAD-1に代えて建築会館の地下1階に設置した²⁾。この4台の強震計による観測は、建築会館における第2期の観測と言えるであろう。

その後、1995年兵庫県南部地震を契機に、強震観測の重要性に対する認識が高まり、さらに4社の強震計メーカー（IMV株式会社、株式会社電子応用、国際計測器株式会社、リオン株式会社）からの協力が得られることになった。強震観測小委員会では、この地震計の有効利用について審議を行った。その結果、以前から設置されていた強震計を建築会館の外に展開し、有効に活用していくことが望ましいとの結論に達した。そのため、観測記録および地震計の特性に関する報告を作成し³⁾、シンポジウムで公表するとともに、観測データを公開⁴⁾した。

強震計の全国展開の方法としては、貸し出し形式とした。関係者に案内したところ、京都大学原子炉実験所と関西大学からの申し出があった。そこで、京都大学原子炉実験所に東京測振の強震計（CV-701）を、関西大学には株式会社アカシの強震計（SMAC-MD）を貸し出した。この2台の観測状況については本報告書にも報告されている。

残りの2台は静岡市内における共同観測の観測点に設置した。静岡市内で共同観測を実施した理由は、以下の通りである。

- ・ 静岡県は、想定東海地震の防災対策強化地域であるにも拘わらず、これまで（議論当時、筆者注）静岡県中西部以西では地震活動度が低いために、静岡市内の地震動特性についての知見が多くないと考えられること。
- ・ 日本建築学会が発行した「地震荷重 - 地震動の予測と建築物の応答 - 」⁵⁾の中で想定東海地震による地震動の予測が複数の方法で行われ、静岡の谷津山（1種地盤）、駿府公園（2種地盤）、大谷（2種地盤）、東静岡（3種地盤）の4カ所について地盤モデルの設定と強震動の予測が行われていること。
- ・ 建設会社各社の観測点や、科学技術庁 K-NET の強震計が比較的近接して分布していること。
- ・ 寄贈地震計の一部にはダイヤルアップの機能が付属しておらず、記録回収の利便性の制約条件から、関東周辺が望ましいこと。

静岡における共同観測は2005年3月を持って終了したが、この共同観測に関する公表資料としては、文献6)から9)がある。また、本報告書には強震計の配置を含めた詳細な記述があるので、参照されたい。静岡に移動した学会の強震計2台のうち、1台は共同観測終了後も静岡大学に設置されている（勝島製作所、Datol-100+SD-240）。また、応用地震

計測（株式会社パシコ貿易から所管替え）のSSA-16は、弘前大学に移動してさらに強震観測を継続している。

さて、IMV株式会社（SW-70）、株式会社電子応用（ASG-98）、国際計測器株式会社（KGS-S）、リオン株式会社（SM-24MR）から寄贈を受けた強震計は、1997年から順次、先の4台が設置されていた建築会館の地下1階に設置し、現在も観測を行っている。この4台の強震計による観測は、初期のSMAD-1の観測から数えて第3期の観測と言うことが出来よう。

建築会館に設置されていた強震計で得られた地震動記録は、1992年から強震観測小委員会の委員あるいはWGのメンバーにより管理されている。特に、東京で震度4以上が観測される度に、建築雑誌に報告しており、これまでに紹介した地震動記録は9地震におよぶ。なお、この報告が掲載された雑誌については、付録にリストを掲載した。

以上が建築学会が関与した強震観測の経緯である。これを簡単にまとめると図1.1のようになる。強震観測は息の長い事業であり、現在稼働している8台の強震計の寿命が長く続き、有用な記録が取れることを期待している。

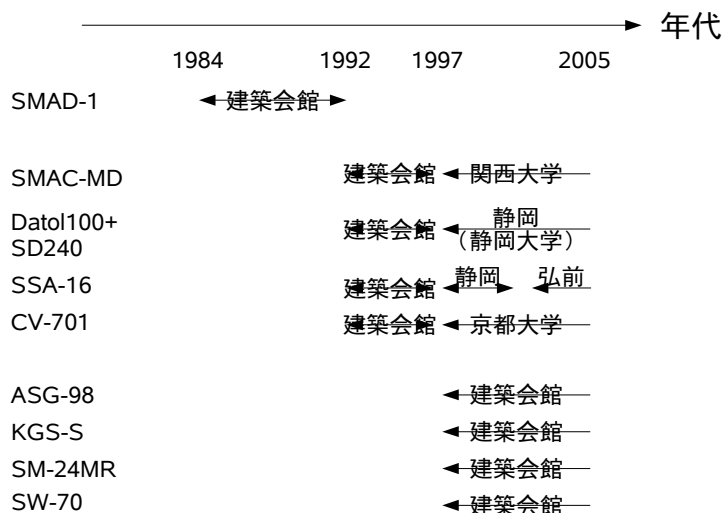


図 1.1 建築学会が関与した強震観測の経緯。強震計の設置場所の推移

参考文献

- 1) 大沢胖(耐震連絡委員会委員長)：建築会館で強震観測開始,建築雑誌,vo1.99, No.1222, 1984年7月, p(31).
- 2) 大谷圭一：建築会館強震観測システムの強化,建築雑誌,vo1,107,No.1331, 1992年8月, p.140.
- 3) 土肥博・日比野浩・小林孝至・齊藤芳人：同一基礎上に設置された複数地震計の記録について,強震データの活用に関するシンポジウム,日本建築学会, 31-38, 1995.
- 4) <http://www.eqgmo.aij.arch.metro-u.ac.jp/eqgmo/open.htm>

- 5) 日本建築学会：地震荷重 - 地震動の予測と建築物の応答 - ，丸善，240p，1992.
- 6) 小林孝至・境茂樹：静岡における共同観測，日本建築学会，第2回強震データの活用に関するシンポジウム，15-26，2000.
- 7) 片岡俊一：静岡における共同強震観測，日本建築学会大会（北陸）学術講演集，21048，95-96，2002.
- 8) 植竹富一・野口厚子：静岡共同強震観測記録による地震動の空間変動評価，日本建築学会大会（北陸）学術講演集，21049，97-98，2002.
- 9) 湯沢豊・植竹富一：静岡共同強震観測点におけるサイト増幅特性の評価，日本建築学会大会（北海道）学術講演集，21277，553-554，2004.

(文責：片岡俊一，渡壁守正)

2. 建築会館における強震計の比較観測

2.1 地盤概要

(1)地盤調査結果

現在の建築会館の建設にあたり、地盤調査が行われた¹⁾。敷地内で No.A~No.E の 5 本のボーリングが掘られた (図 2.1.1) ほか、各種土質試験が行われた。

図 2.1.2 に、No.B、No.C、No.D のボーリング位置を含む地層断面図を示す。深さ 7m 付近に N 値 50 以上の東京礫層(Dg-1)が現れ、支持地盤として選ばれた。その下は薄い粘土層(Dc-2)を挟むが、再び礫層(Dg-2)が続いている。最も深くまで調査された No.D では、下部東京層に相当する砂質土層(Ds-2)、上総層群に相当する粘土層、砂質土層(Dc, s)が見られた。

(2)地盤解析の事例

関東支部では、1997 年の創立 50 周年を迎えるに当り、首都圏の地震の備えを提言した特別研究を実施した。

東京都港区では、同区全域の地盤データ、建物データの整理が進められており、特別研究ではそれらの提供を受けた。

公募委員会も併置され、大成建設のグループは、港区の地盤データに基づく 2 次元地盤モデルを作成して地震応答解析を行っている²⁾。図 2.1.3 に断面位置を示す。図 2.1.4 に作成した 2 次元有限要素モデルを示す。表 2.1.1 に示す地盤物性を示す。図 2.1.5 に東西断面における工学的基盤解放波に対する増幅率を 1 次元モデルと 2 次元モデルで比較したものを示す。建築会館では 3Hz 付近の増幅が見られる。

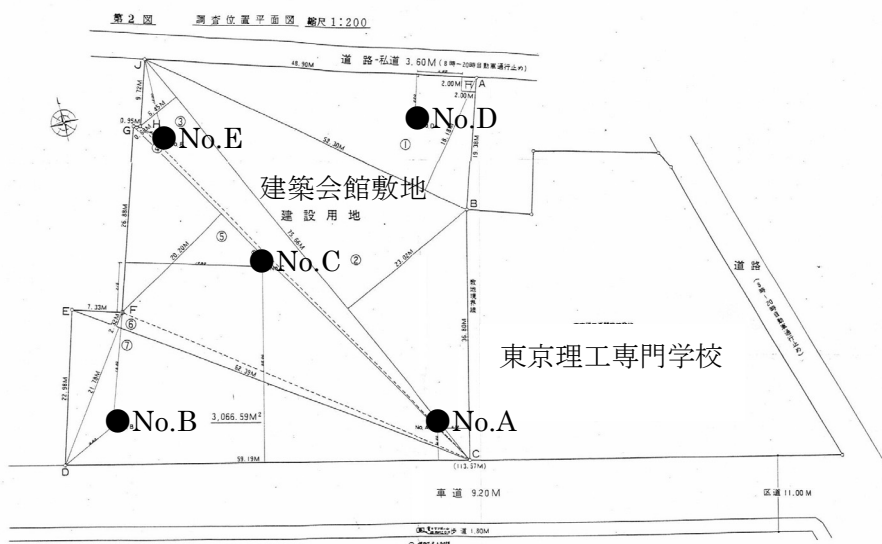
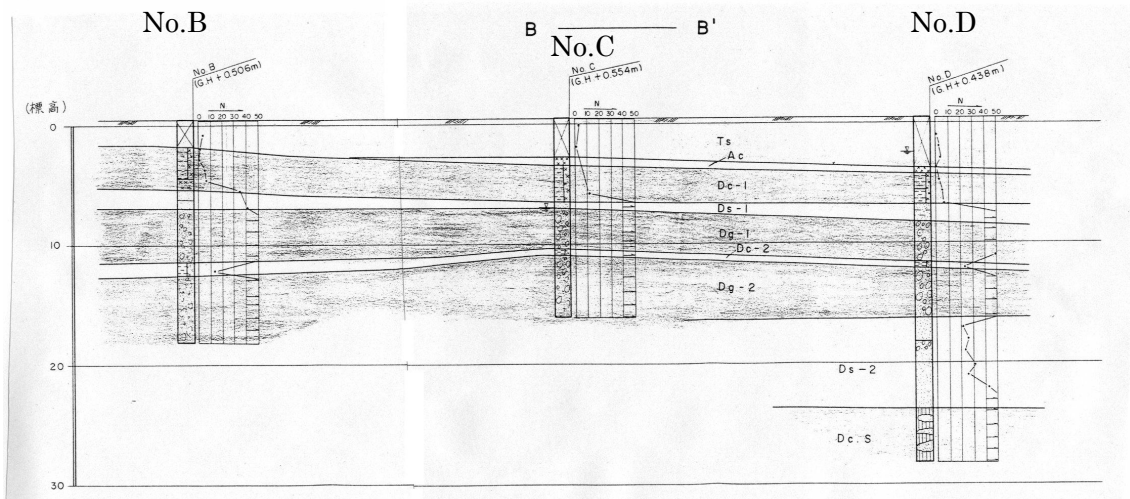


図 2.1.1 敷地図およびボーリング位置¹⁾

参考文献

- 1) 基礎地盤コンサルタンツ(1981)、新「建築会館」地盤調査
- 2) 日本建築学会関東支部震災関連特別研究委員会(1998)、関東支部震災特別研究報告書—首都圏直下地震への備え—、pp.73-100

(大成建設 吉村智昭)



凡 例

地質年代	地質名	記号	土質記号	備 考
沖積世	沖積層	Ts		敷地造成の際に人工的に埋立られたものである。主として粘性土より成るがレンガ、カラコングリート片等が不規則に混入する。N値は2~6。
		Ac		陸成の堆積物で草根等の腐植物や有機物を混入した軟弱なシルトより成る。色調は暗灰色~暗褐色。N値は1~4。
洪積世	東京層	Dc-1		海成の堆積物である。主として火山灰質の浮石と混入したシルト質粘土より成る。所々凝固している部分もある。色調は黄褐色~黄緑色。N値は2~14とバラツキが見られる。
		Ds-1		粘土混り細砂乃至中砂より成る。所々粘土質が凝固している部分もある。色調は黄褐色。N値は30~41。
		Dg-1		全体に粘土分を含んだ砂礫層である。レキは通常3~10%内外最大で30%内外の亜角レキが主体。色調は暗黄褐色。N値は平均50以上。
		Dc-2		礫層の間に帯状に連続性をもって堆積して粘土が全体に凝灰質を帯している。色調は淡黄灰。N値は14~23。
		Dg-2		上部の砂礫層に比べて粘土分の含有が少なくなる。レキは通常5~10% 最大30%内外の亜角レキマトリックスの中粒砂。色調は暗黄褐色。N値は平均50以上。
		Ds-2		中間に小礫を混入するか細砂~微砂を主体とする。下部に移行するにしたがって粒子が細くなる。色調は暗黄褐色。N値は21~50以上。
上総層群	Dc-S		泥質岩と細砂の互層状から成るか、どちらかと言うと泥質岩が主体となる。色調は暗緑灰。N値は平均50以上。	

図 2.1.2 地層断面図 1)

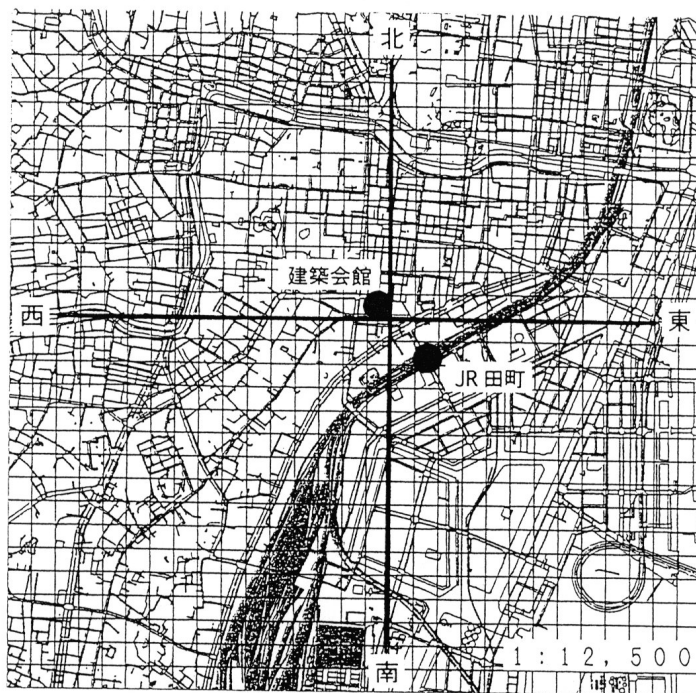
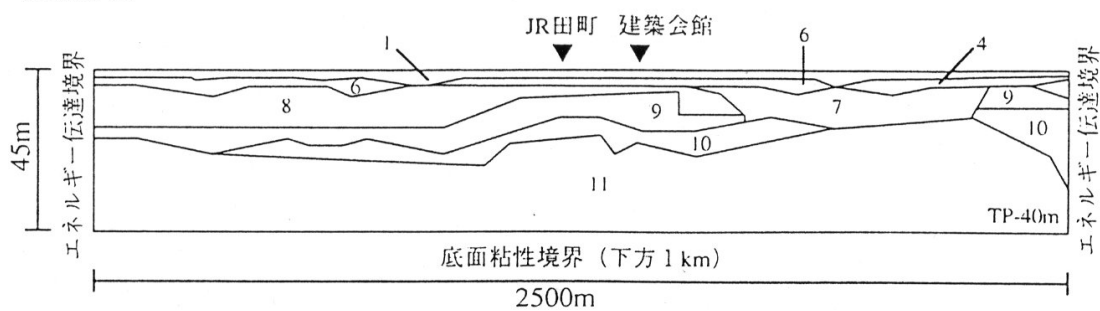


図 2.1.3 断面位置図²⁾

南北断面



東西断面

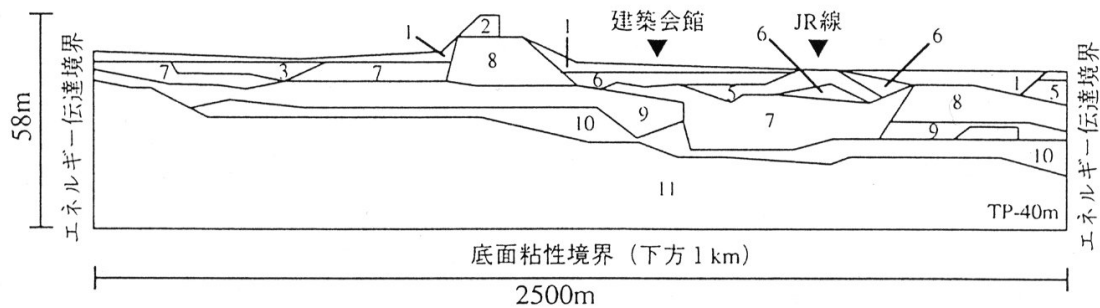


図 2.1.4 2次元有限要素モデル²⁾

表 2.1.1 物性値の設定²⁾

地質区分			鶴		臨海報告書			採用物性		
			Vs (m/sec)	ρ (t/m ³)	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	ρ (t/m ³)	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	ρ (t/m ³)
1	B	表土	100	1.5	100	—	1.6	100	800	1.5
2	Lm	ローム	150	1.4	—	—	—	150	800	1.4
3	Al-pt	腐食土	90	1.5	—	—	—	90	800	1.5
4	Al-c	粘性土	100	1.5	—	—	—	100	800	1.5
5	Yu-s	有楽層上部砂質土	170	1.8	160	1400	1.7	170	1400	1.8
6	Yu-c	有楽層上部粘性土	150	1.5	120	1400	1.6	150	1400	1.5
7	Yl-c	有楽層下部粘性土	150	1.5	—	—	—	150	1400	1.5
8	To-c	東京層粘性土	200	1.5	250	1400	1.8	200	1400	1.5
9	To-g	東京層砂礫	400	2.0	400	1800	2.0	400	1800	2.0
10	Ed-s	江戸川層砂質土	400	2.0	400	1800	2.0	400	1800	2.0
11	Ka-c	上総層群泥岩	550	2.0	580	1800	2.0	500	1800	2.0
12	Ka	上総層群	—	—	—	—	—	700	1800	2.0

地質区分			臨海報告書		建築学会		採用物性		
			γ_r ($\times 10^{-3}$)	hmax	γ_r ($\times 10^{-3}$)	hmax	γ_r ($\times 10^{-3}$)	hmax	hmin
1	B	表土	1.0	0.22	1.5	0.13	1.0	0.22	0.02
2	Lm	ローム	—	—	—	—	1.5	0.22	0.02
3	Al-pt	腐食土	—	—	—	—	1.0	0.22	0.02
4	Al-c	粘性土	—	—	—	—	1.0	0.22	0.02
5	Yu-s	有楽層上部砂質土	0.8	0.28	1.0	0.15	0.7	0.25	0.02
6	Yu-c	有楽層上部粘性土	0.9	0.22	1.5	0.13	0.7	0.22	0.02
7	Yl-c	有楽層下部粘性土	—	—	—	—	0.9	0.22	0.02
8	To-c	東京層粘性土	1.5	0.21	1.5	0.13	1.5	0.21	0.02
9	To-g	東京層砂礫	—	—	0.3	0.2	0.3	0.20	0.02
10	Ed-s	江戸川層砂質土	0.9	0.25	1.0	0.15	0.7	0.25	0.02
11	Ka-c	上総層群泥岩	—	—	—	—	—	0.02	0.02
12	Ka	上総層群	—	—	—	—	—	0.01	0.01

出典

- (1) 鶴：東京都23区の予測震度分布、第5回地盤震動シンポジウム、61-65、1977
- (2) 動的設計用入力地震動の想定に関する検討報告書、(財)日本建築防災協会、1991
- (3) 地震動と地盤 -地盤震動シンポジウム10年の歩み-、日本建築学会、1983

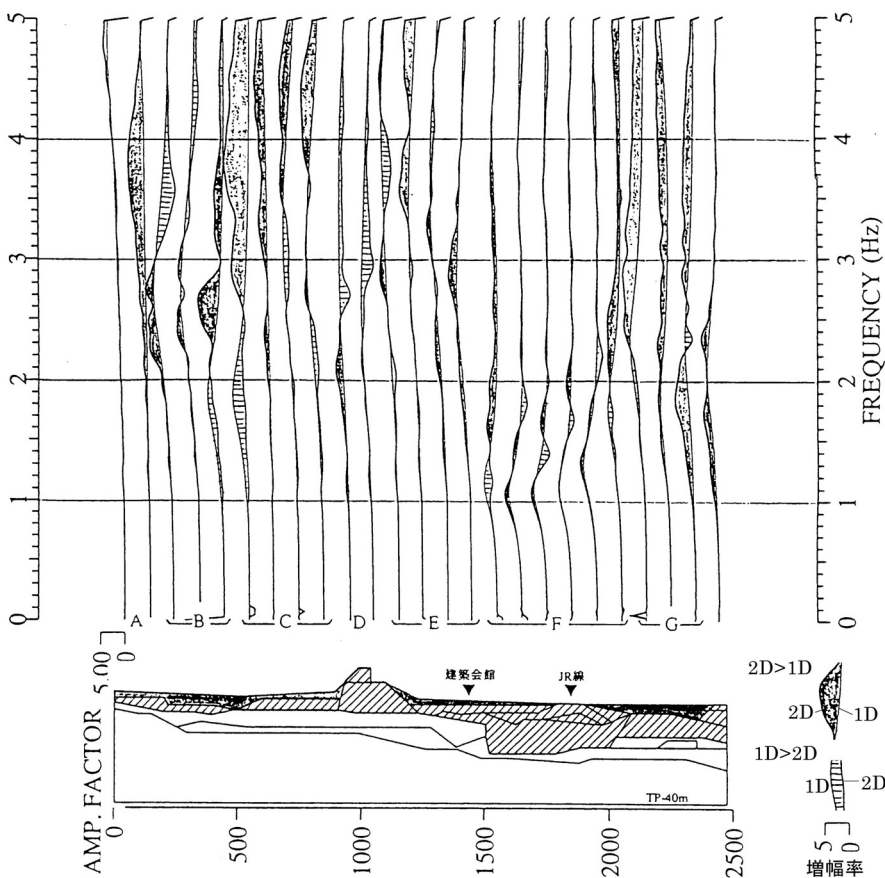


図 2.1.5 東西断面における工学的基盤解放波に対する増幅率（1次元、2次元の比較）²⁾

2.2 記録概要

I MV株式会社 (SW-70)、株式会社電子応用 (ASG-98)、国際計測器株式会社 (KGS-S)、リオン株式会社 (SM-24MR) より寄贈を受けた強震計は、1997年から順次、建築会館地下1階に設置された。各強震計は同一基礎の上に設置されており、設置方向はそれぞれ建物構造軸にあわせている。設置状況を写真 2.2.1、各強震計の仕様を表 2.2.1 に示す。

(1) 地震諸元

1997年の観測開始以来、2005年12月までの期間に建築会館地下で記録が得られた地震について、その地震諸元と得られた記録より算定した計測震度を表 2.2.2(a), (b) に示す。なお、これらの記録は、建築会館で観測された記録のうち、東京管区気象台(大手町)での震度が2程度の目安で抽出を行っている。対象となった地震の総数は71である。なお各強震計のトリガーレベルは、 1cm/s^2 または 2cm/s^2 である。抽出された地震の震央位置を図 2.2.1 に示す。図中の丸の大きさは地震の規模(M)に対応している。観測された地震の発生場所は、紀伊半島の沖合から三陸沖までの範囲でありその震央距離は6kmから756kmである。マグニチュードの範囲は3.6から7.4で、最も大きい地震は2004年9月5日の東海道沖の地震である。

(2) 観測記録の概要

観測された地震記録の年推移を図 2.2.2 に示す。2003年以降やや増加の傾向が見られる。図 2.2.3 には観測された地震の規模を示す。M4.0~M4.9の地震が最も多く約40%を占める。図 2.2.4 に観測記録より算定された震度階を示す。大手町で震度2程度以上の地震を対象としているが建築会館地下における震度は1程度以上となっている。観測記録から算定された計測震度が最も大きいのは2005年7月23日の千葉県北西部地震の3.5である。図 2.2.5 に観測された地震のマグニチュードと震央距離の関係を示す。マグニチュード5程度で震央距離100km程度まで、マグニチュード6程度では震央距離200km程度まで、マグニチュード7程度で震央距離400km程度までの地震が観測されている。

(3) 観測記録

観測記録の内、特徴的な地震について図 2.2.6(a)~(f) に加速度時刻歴波形、フーリエスペクトルおよび減衰定数 $h=5\%$ の擬似速度応答スペクトルを示す。なお時刻歴波形は零線の補正のみを行い、フーリエスペクトルは、バンド幅 0.2Hz の *Parzen-Window* により平滑化処理を行っている。

(a) には、2004年9月5日23時57分の東海道沖地震の観測記録を示す。震央距離が367kmと遠く疑似速度応答スペクトルによれば東西方向、南北方向とも周期6秒から10秒以上に渡って長周期成分が卓越している。

(b) には、2004年10月6日23時40分の茨城県南部地震の観測記録を示す。震央距離は49kmと比較的近く南北方向では0.5秒近傍、東西方向では0.3秒から1.0秒にかけて成分を持っている。

(c), (d)には、2004年10月23日の新潟県中越地震における本震(17時56分)、最大余震(18時34分)の観測記録を示す。震央距離が約200kmとやや離れており、いずれの記録も後半部に長周期成分が表れている。東西方向、南北方向とも6秒から7秒にかけての成分が卓越している。

(e)には2005年07月23日16時34分の千葉県北西部地震の観測記録を示す。震央距離は36kmと近く、観測記録中、最も大きな計測震度(3.5)を記録している。東西方向は約1秒近傍をピークに山形に膨らんでおり、南北方向は約0.7秒にピークを持っている。

(f)には、2005年08月16日11時46分の宮城県沖地震の観測記録を示す。震央距離は358kmと離れており、東西方向、南北方向とも0.5秒から7秒付近にかけて幅広く成分を持っている。(a)で示した東海道沖地震とは、地震の規模、震央距離とも似かよった地震であったが伝搬経路が異なるため、その振動性状は異なっている。

(奥村組 安井 健治)

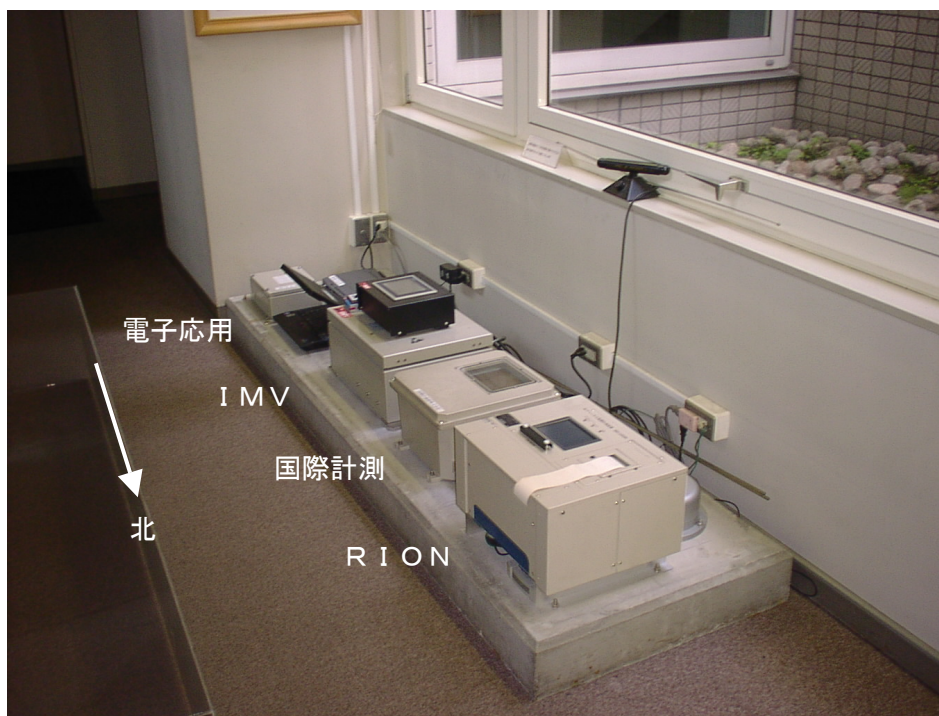


写真 2.2.1 観測システム設置状況

表 2.2.1 観測システム仕様一覧

	電子応用	IMV	国際計測	RION
地震計名	AGS-98	SW-70	KGS-S	SM-24MR
センサー形式	変位帰還方式	変位帰還方式	変位帰還方式	変位帰還方式
記録成分	加速度	加速度	加速度	加速度
記録範囲	$\pm 2000\text{cm/s}^2$	$\pm 2000\text{cm/s}^2$	$\pm 2000\text{cm/s}^2$	$\pm 2000\text{cm/s}^2$
サンプリング周波数	100Hz	200Hz	100Hz	100Hz
周波数範囲	0.01~30Hz	0.1Hz~50Hz(-3dB)	DC~30Hz	DC~40Hz(-3dB)
A/D分解能	16bit逐次比較	22bit $\Delta\Sigma$ 方式 (実効20bit)	22bit $\Delta\Sigma$ 方式 (実効20bit)	20bit $\Delta\Sigma$ 方式 (実効18bit)
起動論理	XYZ OR	XYZ OR	XYZ OR	XYZ OR
トリガーレベル	2cm/s^2	2cm/s^2	2cm/s^2	1cm/s^2
プリトリガー時間	10秒	10秒以上11秒未満 (10秒以前を含む正 秒より記録開始)	10秒	10秒以上20秒未満 (10秒以前を含む正 10秒より記録開始)
ポストトリガー時間	60秒	60秒	60秒	記録開始より 60秒
時刻較正	-	G P S	F Mラジオ	G P S

表 2.2.2(a) 地震諸元と建築会館における計測震度

No.	発震日時	震央地名	北緯 35° 38.7'	東経 139° 45.0'	深さ (km)	規模 (M)	震央距離 (km)	震度階 (大手町)	計測震度 (会館)
1	1997年08月09日 05時34分頃	埼玉県南部	35° 50.0'	139° 30.0'	68	4.7	30.8	3	
2	1997年09月08日 08時40分頃	東京湾	35° 33.0'	140° 00.0'	108	5.1	25.0	3	
3	1998年05月16日 03時45分頃	千葉県南部	34° 58.2'	139° 56.6'	74	4.8	77.1	3	1.2
4	1998年08月29日 08時46分頃	東京湾	35° 36.2'	140° 02.7'	67	5.1	27.2	4	2.4
5	1998年11月08日 21時40分頃	千葉県北西部	35° 36.6'	140° 03.2'	78	4.6	27.8	3	2.6
6	1999年08月11日 18時27分頃	東京湾	35° 24.0'	139° 49.8'	62	4.0	28.1	2	0.7
7	1999年09月13日 07時56分頃	千葉県北西部	35° 33.9'	140° 09.5'	77	5.0	38.1	3	2.0
8	2000年04月10日 06時30分頃	茨城県南部	36° 11.2'	140° 04.1'	55	4.6	66.9	2.5	2.0
9	2000年06月03日 17時54分頃	千葉県北東部	35° 40.6'	140° 43.1'	48	6.0	87.7	2.8	1.9
10	2000年07月21日 03時39分頃	茨城県沖	36° 31.3'	141° 05.8'	49	6.0	155.7	2.7	2.0
11	2000年08月06日 16時27分頃	鳥島近海	28° 51.5'	140° 04.1'	430	7.3	756.0	2.0	1.4
12	2000年08月18日 04時53分頃	東京都23区	35° 41.5'	139° 42.5'	36	3.6	6.4	2.6	0.8
13	2000年08月27日 08時42分頃	千葉県北西部	35° 45.2'	140° 08.4'	77	4.2	37.4	1.7	1.1
14	2000年09月29日 08時56分頃	神奈川県東部	35° 31.3'	139° 44.1'	86	4.5	13.7	2.6	1.5
15	2000年10月11日 15時15分頃	神奈川県東部	35° 31.8'	139° 43.3'	86	4.1	13.0	2.0	1.0
16	2000年10月24日 08時11分頃	千葉県北西部	35° 45.1'	140° 06.9'	75	4.2	35.2	2.0	1.2
17	2001年04月03日 23時57分頃	静岡県中部	34° 59.7'	138° 06.5'	33	5.1	165.6	2.0	1.2
18	2001年06月25日 01時27分頃	神奈川県東部	35° 36.6'	139° 33.4'	32	4.0	17.8	2.5	1.1
19	2001年07月20日 06時02分頃	茨城県南部	36° 10.0'	139° 49.5'	56	4.8	58.6	2.1	1.3
20	2001年09月18日 04時23分頃	東京湾	35° 25.2'	139° 48.7'	45	4.2	25.6	2.7	1.2
21	2001年11月17日 01時31分頃	千葉県北西部	35° 36.9'	140° 04.9'	73	4.4	30.3	2.2	1.0
22	2001年12月08日 04時07分頃	神奈川県西部	35° 32.2'	139° 08.9'	24	4.5	55.7	2.0	1.2
23	2002年02月12日 22時44分頃	茨城県沖	36° 35.1'	141° 05.1'	48	5.5	159.4	2.4	1.4
24	2002年05月19日 05時00分頃	千葉県北西部	35° 38.5'	140° 12.8'	72	4.6	42.0	2.1	1.0
25	2002年06月14日 11時42分頃	茨城県南部	36° 12.7'	139° 58.8'	57	4.9	66.5	2.7	1.9
26	2002年07月13日 21時45分頃	茨城県南部	35° 59.7'	140° 07.6'	65	4.8	51.8	2.9	1.6
27	2003年03月13日 12時12分頃	茨城県南部	36° 05.2'	139° 51.5'	47	4.8	50.2	2.5	1.4
28	2003年04月08日 04時17分頃	茨城県南部	36° 04.1'	139° 54.7'	47	4.6	49.4	2.0	0.9
29	2003年05月10日 11時45分頃	千葉県北西部	35° 48.5'	140° 06.7'	70	4.5	37.5	2.0	1.3
30	2003年05月12日 00時57分頃	茨城県南部	35° 51.9'	140° 05.3'	47	5.2	39.3	3.2	2.7
31	2003年05月12日 00時59分頃	茨城県南部	35° 52.3'	140° 04.3'	50	4.6	38.6	2.7	1.8
32	2003年05月17日 23時33分頃	千葉県北東部	35° 44.1'	140° 39.2'	47	5.1	82.4	2.0	1.0
33	2003年05月26日 18時24分頃	宮城県沖	38° 48.3'	140° 40.9'	71	7.0	361.4	3.0	2.5
34	2003年07月26日 07時13分頃	宮城県北部	38° 24.1'	141° 10.4'	12	6.2	332.0	1.4	1.1
35	2003年08月18日 18時59分頃	千葉県北西部	35° 48.0'	140° 06.7'	69	4.6	37.1	2.5	2.0
36	2003年09月20日 12時54分頃	千葉県南部	35° 12.9'	140° 18.2'	70	5.8	69.3	3.9	2.5
37	2003年10月15日 16時30分頃	千葉県北西部	35° 36.6'	140° 03.1'	74	5.1	27.6	3.3	2.9
38	2003年11月12日 21時20分頃	東海道沖	33° 10.2'	137° 03.4'	398	6.5	370.1	3.3	2.0
39	2003年11月15日 03時43分頃	茨城県沖	36° 25.7'	141° 10.1'	48	5.8	154.7	2.2	1.2
40	2004年04月04日 08時02分頃	茨城県沖	36° 23.2'	141° 09.4'	49	5.8	151.3	2.2	1.3
41	2004年07月17日 15時10分頃	房総半島南東沖	34° 50.0'	140° 21.5'	69	5.5	105.9	2.8	1.6
42	2004年08月06日 03時23分頃	千葉県北西部	35° 36.7'	140° 03.5'	75	4.6	28.2	2.7	2.1
43	2004年09月05日 19時07分頃	紀伊半島沖	33° 01.7'	136° 48.0'	38	6.9	397.8	1.5	1.0
44	2004年09月05日 23時57分頃	東海道沖	33° 08.6'	137° 08.5'	44	7.4	367.2	1.8	1.5
45	2004年10月06日 23時40分頃	茨城県南部	35° 59.1'	140° 05.5'	66	5.7	48.9	3.8	2.9
46	2004年10月23日 17時56分頃	新潟県中越	37° 17.3'	138° 52.2'	13	6.8	199.2	3.6	2.1
47	2004年10月23日 18時03分頃	新潟県中越	37° 21.0'	138° 59.1'	9	6.3	201.8	2.8	1.5
48	2004年10月23日 18時11分頃	新潟県中越	37° 15.0'	138° 49.9'	12	6.0	196.7	2.2	0.8
49	2004年10月23日 18時34分頃	新潟県中越	37° 18.2'	138° 55.9'	14	6.5	198.7	3.3	2.3
50	2004年10月27日 10時40分頃	新潟県中越	37° 17.3'	139° 02.1'	12	6.1	193.9	3.1	1.7

表 2.2.2 (b) 地震諸元と建築会館における計測震度

No.	発震日時	震央地名	北緯 35° 38.7'	東経 139° 45.0'	深さ (km)	規模 (M)	震央距離 (km)	震度階 (大手町)	計測震度 (会館)
51	2004年11月08日 11時15分頃	新潟県中越	37° 23.5'	139° 02.1'	0	5.9	204.7	2.2	1.0
52	2005年02月08日 11時29分頃	茨城県南部	36° 08.4'	140° 05.1'	67	4.8	63.0	2.0	1.0
53	2005年02月16日 04時46分頃	茨城県南部	36° 02.1'	139° 53.7'	45	5.4	45.5	3.4	2.8
54	2005年04月11日 07時22分頃	千葉県北東部	35° 43.6'	140° 37.2'	52	6.1	79.3	2.7	2.4
55	2005年05月07日 04時52分頃	東京都多摩東部	35° 38.0'	139° 26.0'	32	4.2	28.6	2.2	0.9
56	2005年05月08日 15時05分頃	栃木県南部	36° 37.8'	139° 29.5'	10	4.5	112.2	2.1	1.0
57	2005年05月19日 10時14分頃	千葉県東方沖	35° 33.5'	141° 04.9'	33	5.4	121.0	3.1	0.7
58	2005年06月01日 19時05分頃	東京湾	35° 32.9'	139° 49.1'	29	4.1	12.4	2.0	0.8
59	2005年06月01日 19時39分頃	東京湾	35° 32.9'	139° 49.2'	28	4.1	12.4	1.7	0.7
60	2005年06月01日 20時44分頃	東京湾	35° 33.0'	139° 48.9'	28	4.3	12.1	2.3	1.2
61	2005年06月09日 09時28分頃	千葉県北西部	35° 37.8'	140° 04.8'	72	4.5	30.0	2.3	1.0
62	2005年06月20日 01時15分頃	千葉県北東部	35° 44.0'	140° 41.6'	51	5.6	85.9	2.5	1.4
63	2005年07月23日 16時34分頃	千葉県北西部	35° 34.9'	140° 08.3'	73	6.0	35.9	4.3	3.5
64	2005年07月28日 19時15分頃	茨城県南部	36° 07.5'	139° 50.7'	51	5.0	54.2	2.8	1.8
65	2005年08月07日 01時05分頃	千葉県北西部	35° 33.5'	140° 06.8'	73	4.7	34.3	2.7	1.8
66	2005年08月08日 00時06分頃	茨城県沖	36° 20.3'	141° 26.7'	46	5.6	171.2	1.5	0.7
67	2005年08月16日 11時46分頃	宮城県沖	38° 09.0'	142° 16.7'	42	7.2	358.4	3.1	2.9
68	2005年10月19日 20時44分頃	茨城県沖	36° 22.9'	141° 02.5'	48	6.3	142.4	2.9	1.9
69	2005年11月15日 06時38分頃	三陸沖	38° 01.8'	144° 53.3'	83	7.1	529.2	1.8	0.7
70	2005年12月02日 22時13分頃	宮城県沖	38° 04.3'	142° 21.2'	40	6.6	356.1	1.5	1.1
71	2005年12月17日 03時32分頃	宮城県沖	38° 26.9'	142° 10.8'	40	6.1	379.5	1.6	1.1

※ 地震諸元および震度階(大手町)は、「地震・火山月報(防災編)」による。

※ 震央距離は、建築会館からの距離を算定した。

※ 計測震度(会館)は、観測記録より算定した。

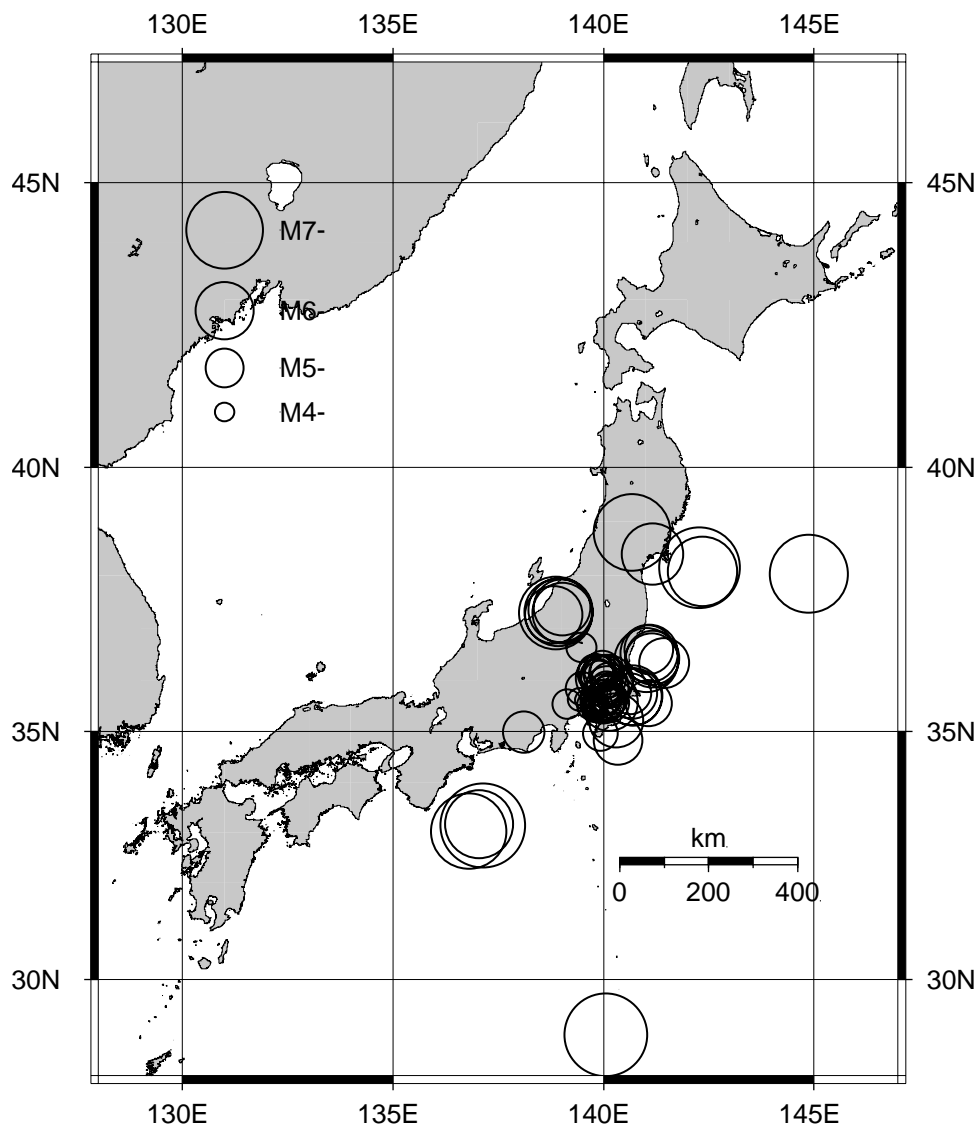


図 2.2.1 建築会館で記録が得られた地震の震央分布

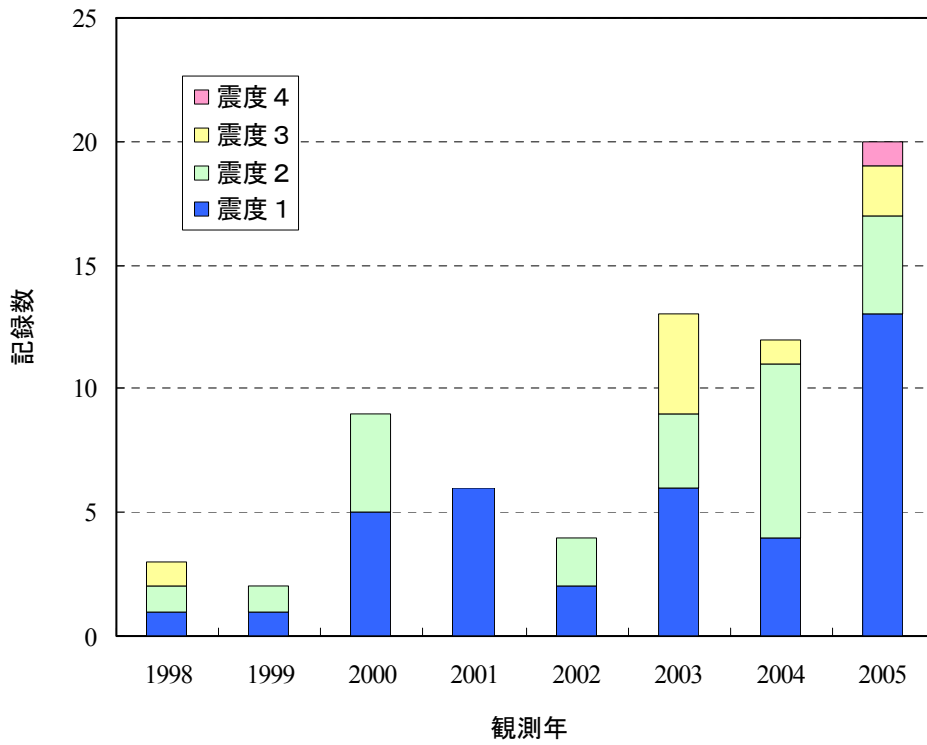


図 2.2.2 観測された地震記録数の年推移

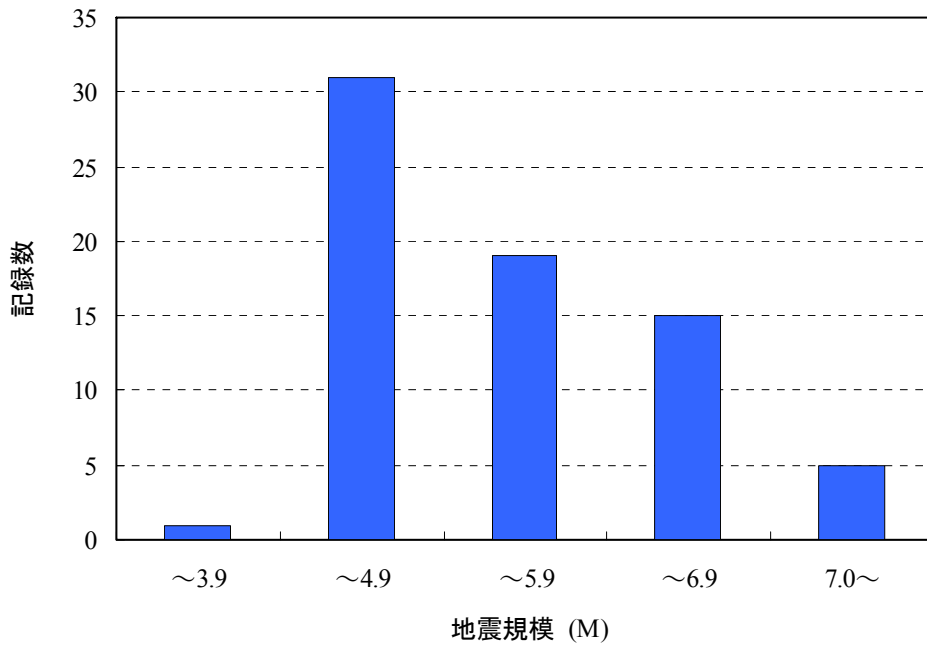


図 2.2.3 観測された地震の規模

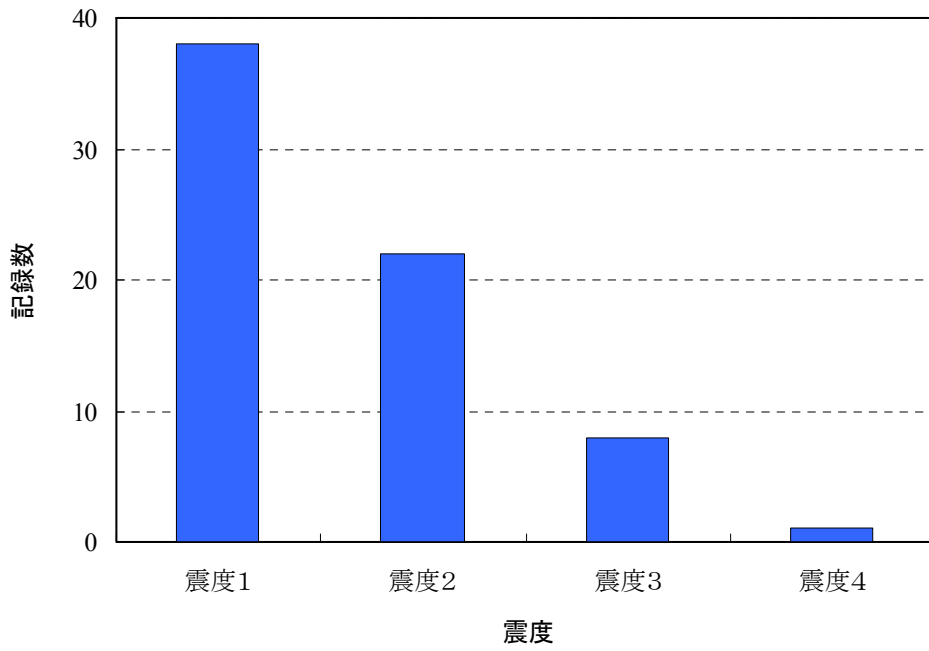


図 2.2.4 観測された地震記録より算定した震度階

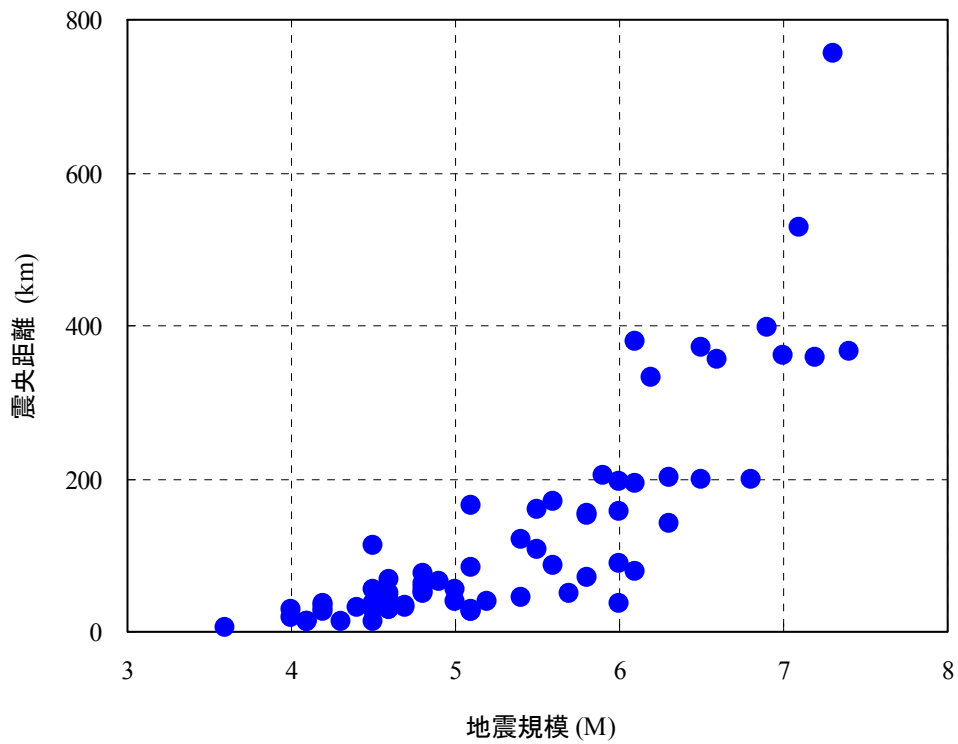
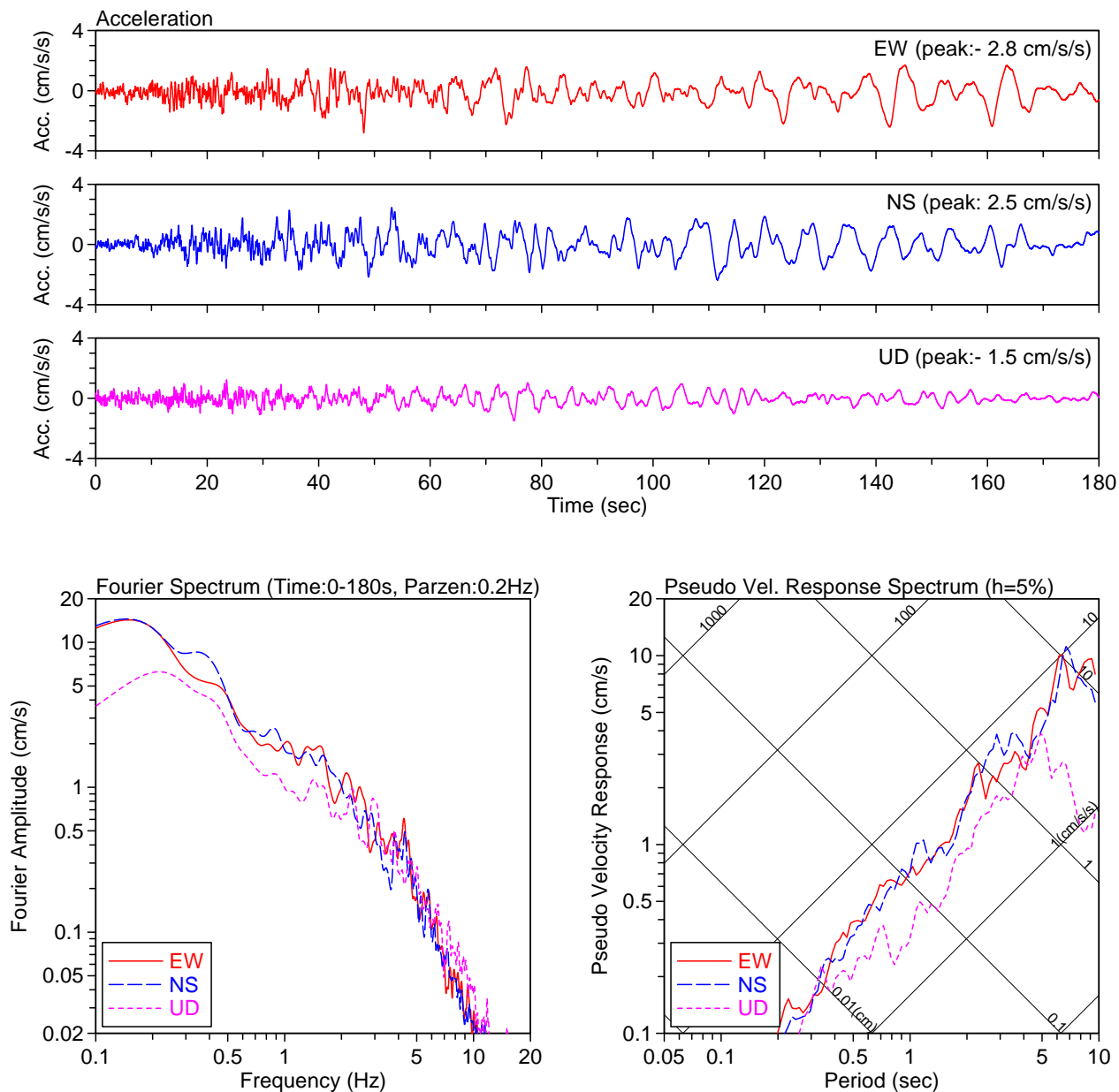
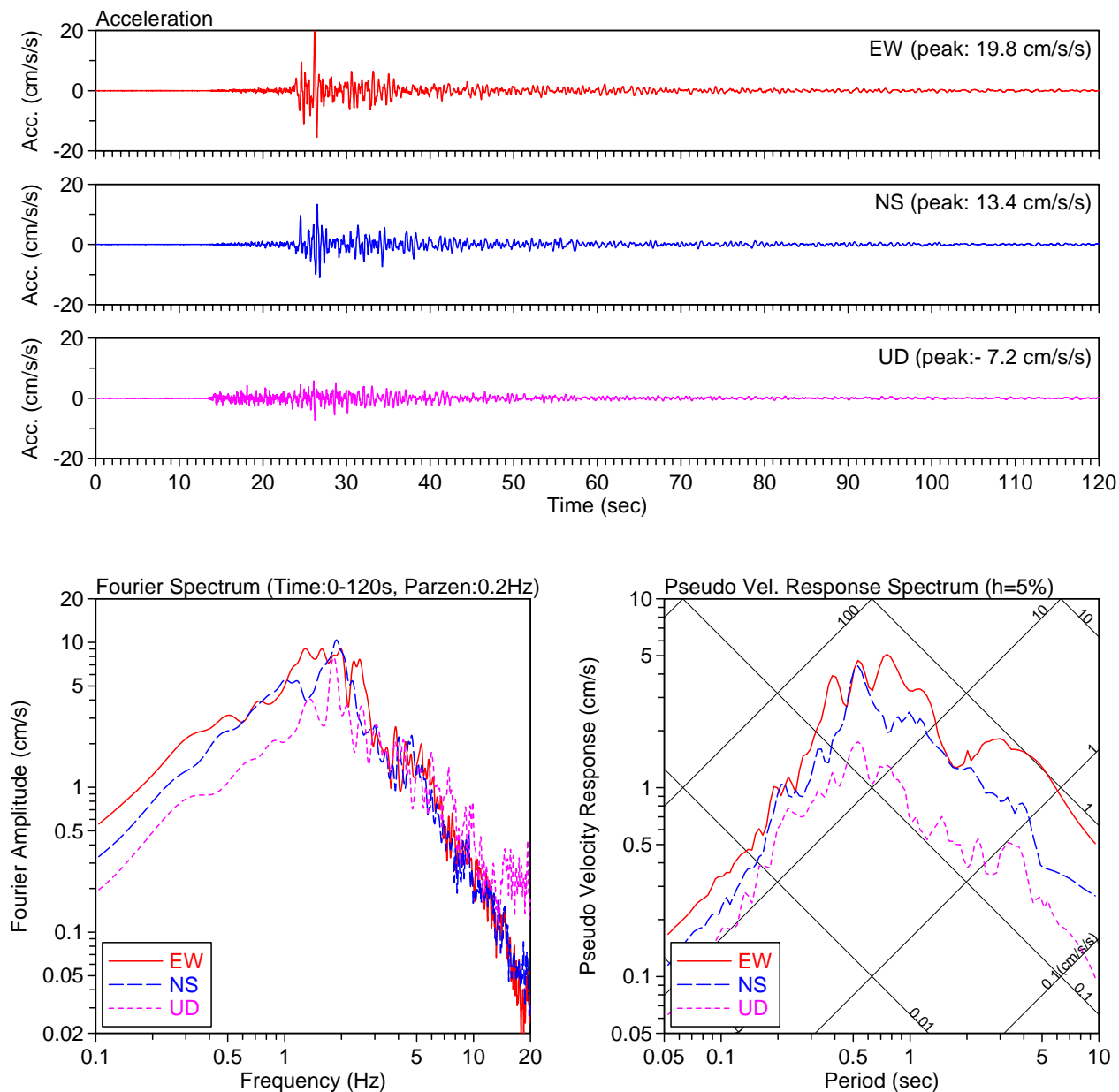


図 2.2.5 観測された地震の規模と震央距離



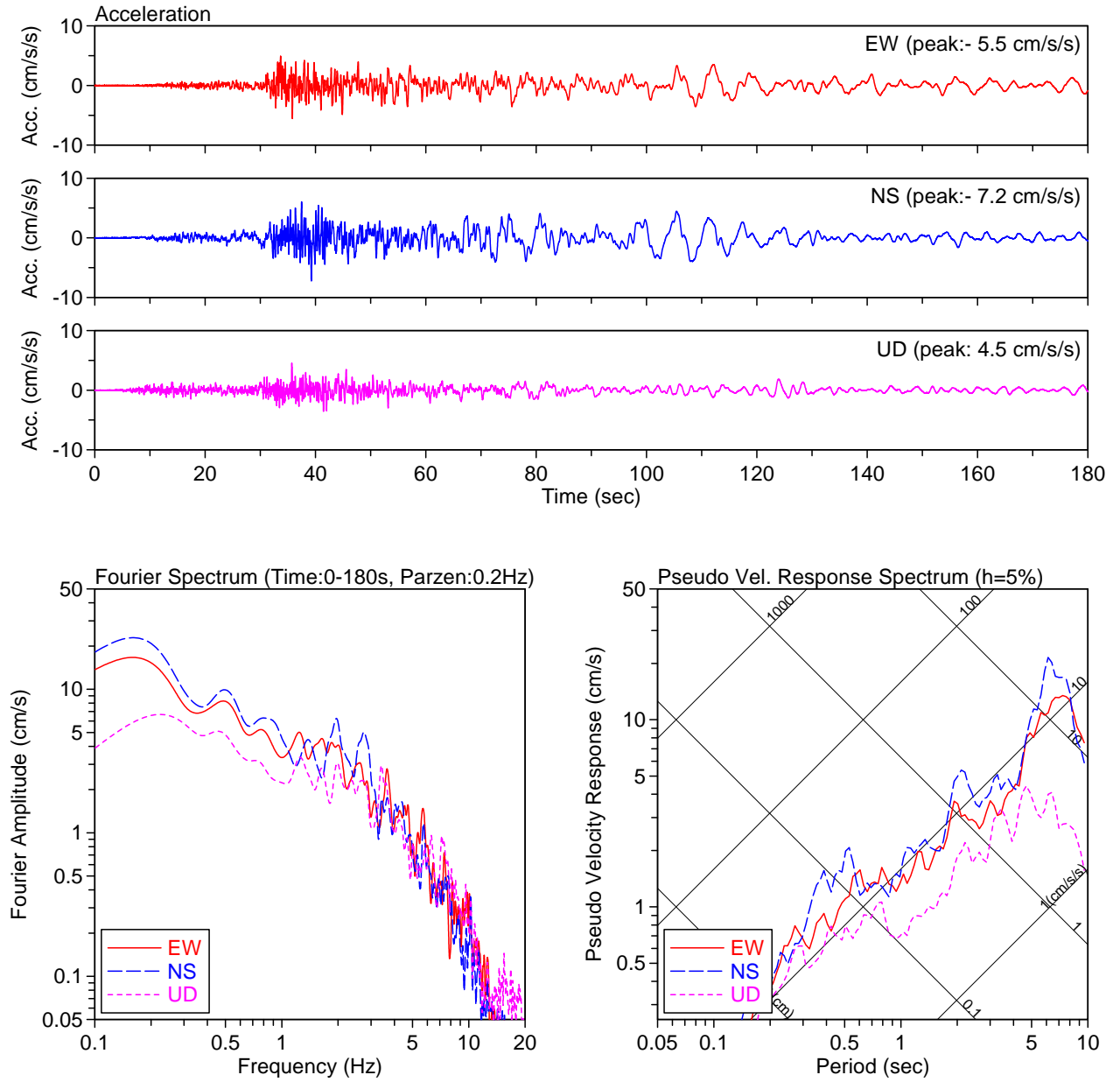
Record Time: 2004/09/05 23:59, Site: KAIKAN, Seismic Intensity: 1.5

図 2.2.6(a) 2004年09月05日23時57分頃 東海道沖地震



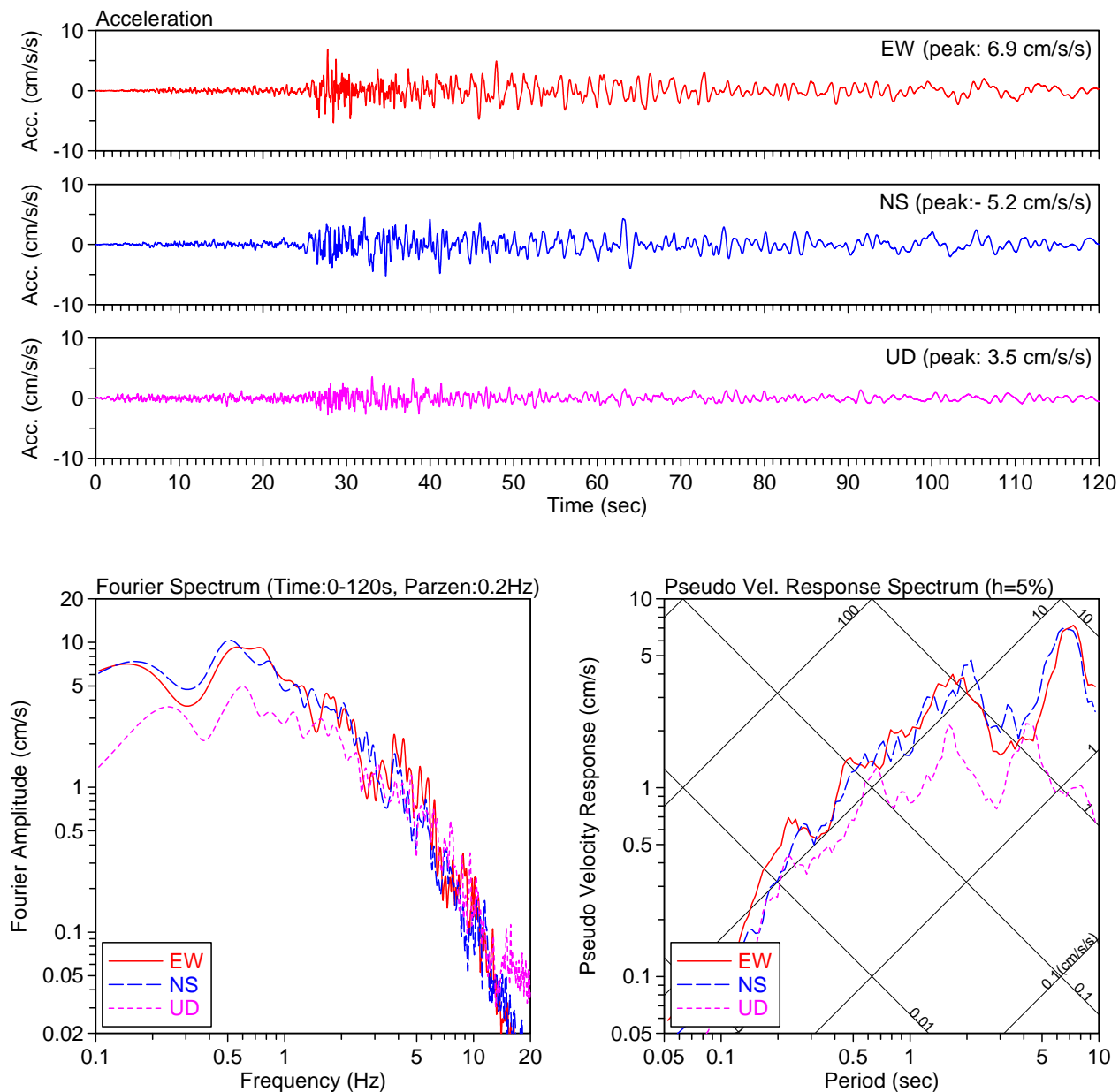
Record Time: 2004/10/06 23:40, Site: KAIKAN, Seismic Intensity: 2.9

図 2. 2. 6(b) 2004 年 10 月 06 日 23 時 40 分頃 茨城県南部地震



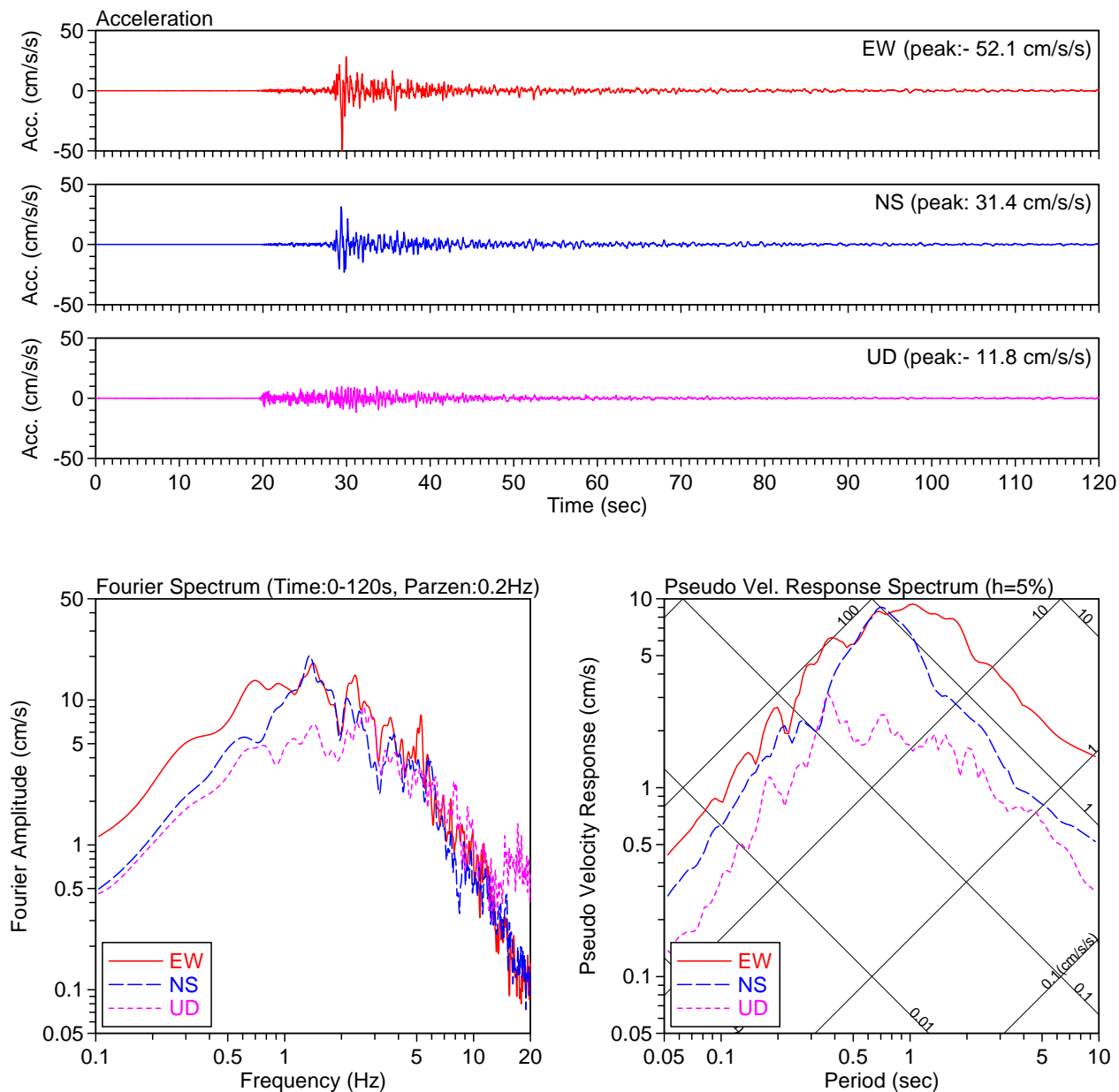
Record Time: 2004/10/23 17:56, Site: KAIKAN, Seismic Intensity: 2.1

図 2.2.6(c) 2004 年 10 月 23 日 17 時 56 分頃 新潟県中越地震 (本震)



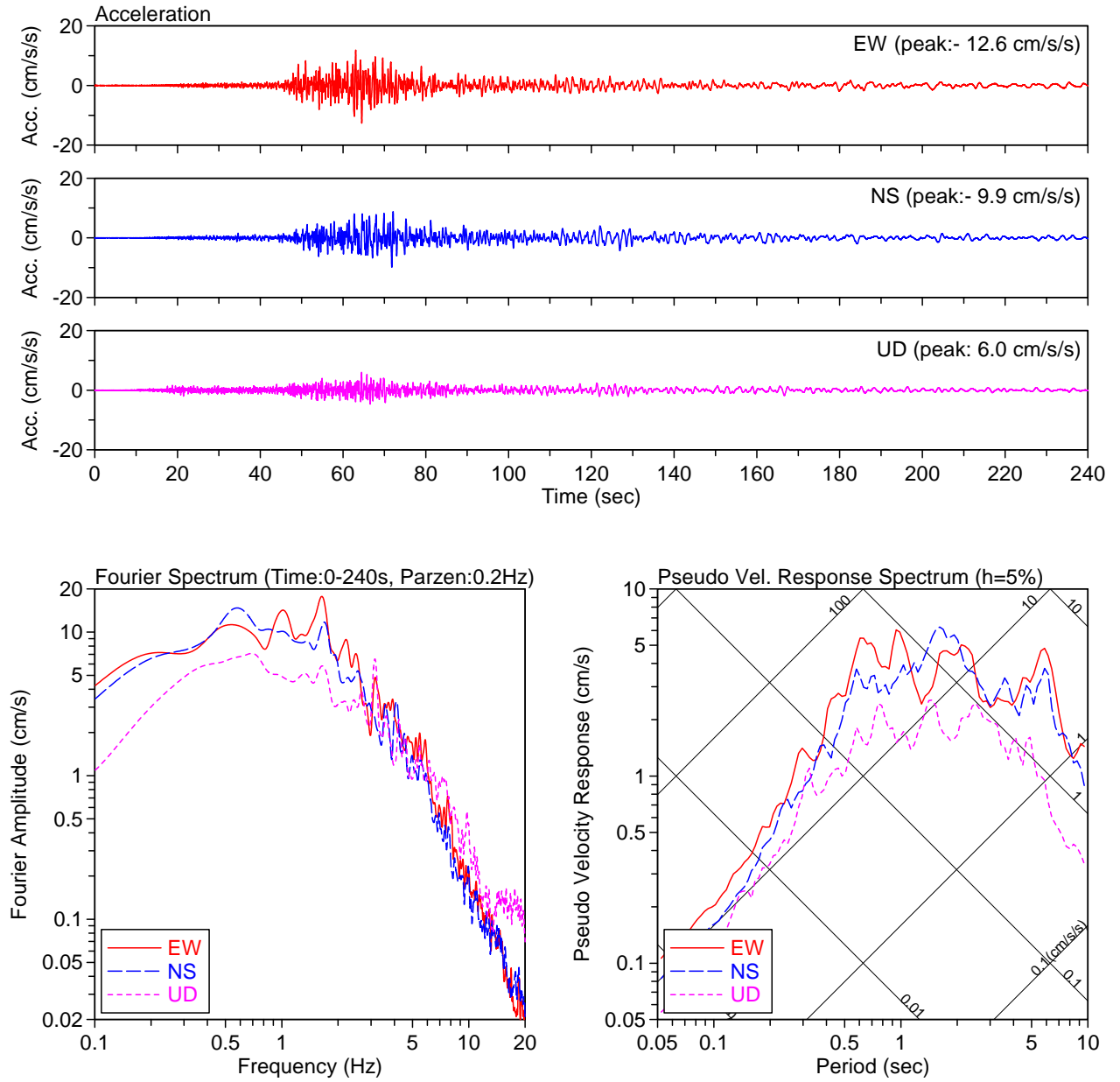
Record Time: 2004/10/23 18:34, Site: KAIKAN, Seismic Intensity: 2.3

図 2.2.6(d) 2004年10月23日18時34分頃 新潟県中越地震 (最大余震)



Record Time: 2005/07/23 16:34, Site: KAIKAN, Seismic Intensity: 3.5

図 2.2.6(e) 2005年07月23日 16時34分頃 千葉県北西部地震



Record Time: 2005/08/16 11:46, Site: KAIKAN, Seismic Intensity: 2.9

図 2.2.6(f) 2005年08月16日11時46分頃 宮城県沖地震

2.3 比較結果

前項で述べた 4 社により寄贈された強震計を用いた同時観測によって得られた記録について、記録が整理されている 2003 年末までのものについて、その特徴を比較する。比較に用いた記録は、表 2.3.1 に示した 2003 年に共通に観測された地震によるものである。これらのうち、最大加速度が 10Gal を上回った、2003 年 9 月 20 日の地震と、2003 年 10 月 15 日の地震について比較を行った。

図 2.3.1~2.3.4 は擬似速度応答スペクトル比と、加速度フーリエスペクトル比による比較結果である。このうち 9 月 20 日の地震は、有効周期帯域の長周期限界が水平で 5 秒程度であり、上下がやや短くなっている。また、10 月 1 日の地震は、長周期限界が水平、上下共に 5 秒程度以上である。なお、短周期限界はどちらも 0.1 秒以下となっていることが確認されている。

2.3.1 周波数特性の比較

図 2.3.1 では、A 社と D 社を比較している。水平動に関しては、有効周期帯域である 5 秒程度まではよく一致しているが、上下動では、3 秒以上の領域で A 社の振幅が大きくなっている。これは、A 社の記録が 16bit の A/D 変換であるために、振幅の小さい長周期で十分な感度を得られていないためと考えられる。また、短周期側では多少のばらつきはあるものの、概ね 0.1 秒程度まではよく一致している。それよりも短周期側では、A 社が 30Hz、D 社が 40Hz のアンチエイリアスのためのハイカットフィルターを用いていることから、特にフーリエスペクトルでは 20Hz 前後の振幅比に若干の違いが見られる。ただし、ここでは図を記載していないが、A 社の地震計は、収録装置にノート型 PC を用いており、信号系統のシールド処理が、他の地震計と違って専用のものではない。そのため、特に地動入力小さい場合に、50Hz の電氣的なノイズを除去しきれていないことに注意が必要である。

図 2.3.2 の B 社と D 社との比較では、有効周期帯域の 5 秒程度までは概ね一致するが、上下動の長周期側で、A 社と同様に B 社の振幅がやや見かけ上やや大きい。この原因は、A 社と D 社の違いが A/D 変換方式の違いの影響を受けていると推定されるのとは異なり、B 社の長周期に設定されている 10 秒の緩やかなローカットフィルターによって地動に対する感度が低下しているため、電氣的ノイズの影響による見かけ上の S/N 比が、特に振幅の小さい長周期帯域の上下動においてやや低下しているためと考えられる。

図 2.3.3 の 10 月 15 日の地震による比較では、A 社と D 社の関係は 9 月 15 日の地震と同様であり、長周期側の振幅比のばらつきは、A/D 変換の違いによるものが主であると思われる。A 社の長周期限界が概ね 5 秒であるのに対して、D 社は 10 秒程度となっているため、見かけ上振幅比がばらついているのはノイズとの比較になっているためと思われる。

図 2.3.4 の B 社と D 社の比較では、上下動の長周期において B 社の記録が明らかに小さい。これも 9 月 20 日の地震記録と同様、もともと地震動が小さい上に、B 社がローカットフィルターを用いているためであると考えられる。

表 2.3.1 観測記録一覧

No.	発震日時		震央地名	北緯 35° 38.6'	東経 139° 44.9'	深さ (km)	規模 (M)	震央距離 (km)	震源距離 (km)	震度階 (大手町)	計測震度 (建築会館)
33	2003年05月26日	18時24分	宮城県沖	38° 48.3'	140° 40.9'	71	7.0	361.4	366.3	3.0	2.5
35	2003年08月18日	18時59分	千葉県北西部	35° 48.0'	140° 06.7'	69	4.6	37.1	78.2	2.5	2.0
36	2003年09月20日	12時54分	千葉県南部	35° 12.9'	140° 18.2'	70	5.8	69.3	98.3	3.9	2.5
37	2003年10月15日	16時30分	千葉県北西部	35° 36.6'	140° 03.1'	74	5.1	27.6	78.9	3	2.9

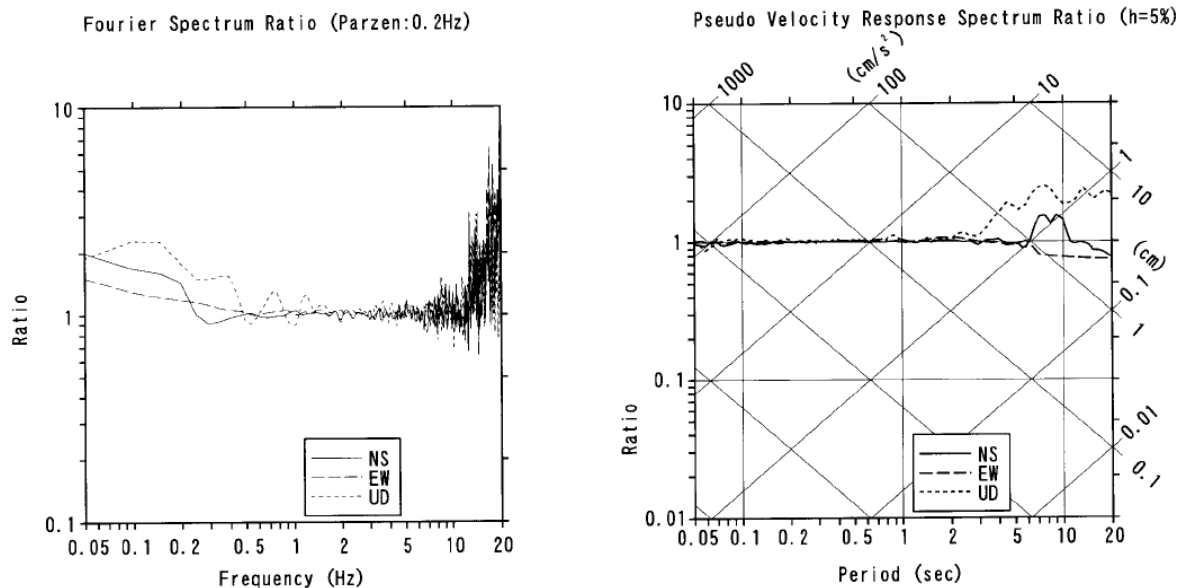


図 2.3.1 2003年9月20日の地震の比較：A社/D社

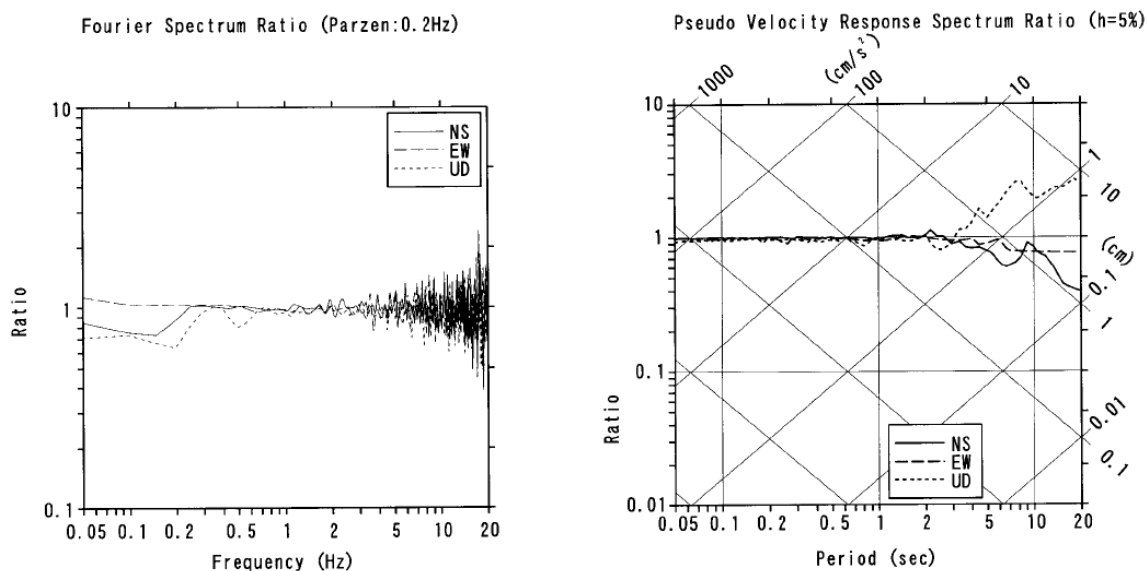


図 2.3.2 2003年9月20日の地震の比較：B社/D社

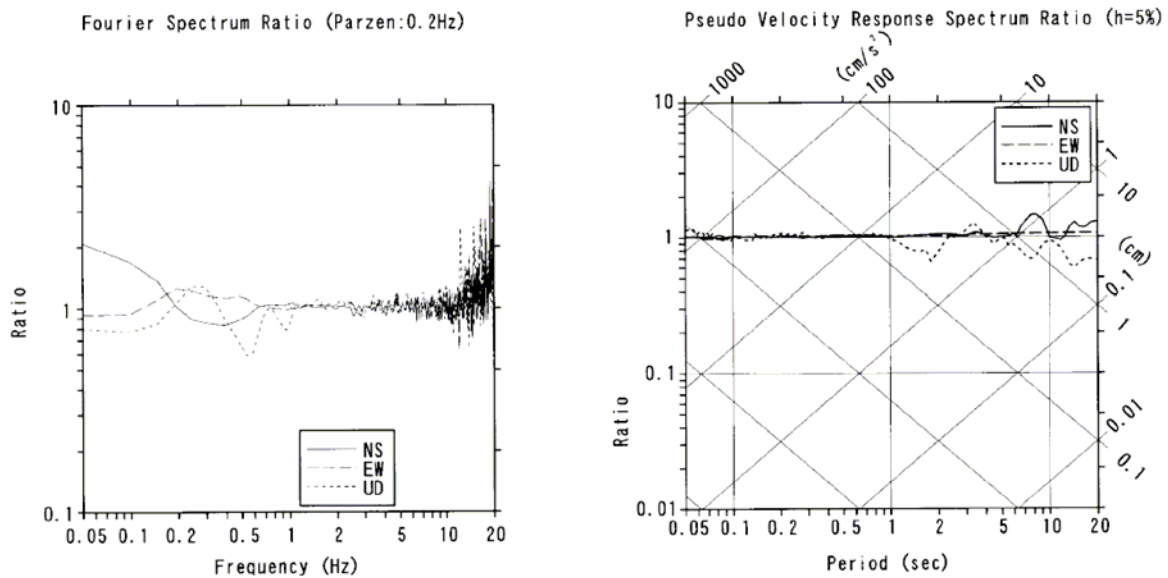


図 2.3.3 2003年10月15日の地震の比較：A社/D社

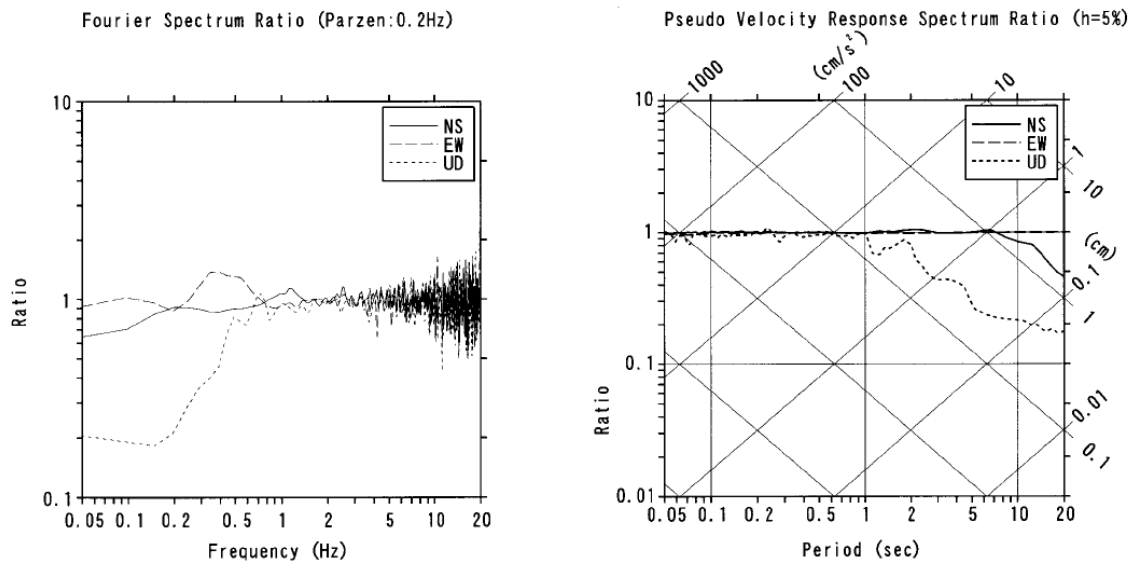


図 2.3.4 2003年10月15日の地震の比較：B社/D社

2.3.2 分解能の比較

建築会館に提供いただいている各社の強震計は、それぞれ異なる A/D 変換装置を持っている。このうち A 社は 1980 年代に主流であった逐次比較型の A/D 変換装置を、他の 3 社は 1990 年代以降に主流となってきたデルタ Σ 方式による A/D 変換装置を採用している。

図 2.3.5 には、1980 年代の地震観測機器としてはもっとも標準的な A/D 変換装置である SAR (successive approximation register) 逐次比較型変換機の仕組みを示した。この SAR に信号電圧を貯めて、入力信号との比較を n 回行うことによって、 n bit のデジタル信号に変換するのがこの方式である。ちなみに、異なるスレッシュホールド電圧による比較信号を n 個保有し、SAR を用いずに同時に n bit 分のカウンタ出力を得る方式をフラッシュ型(並列型)と呼び、超高速サンプリングに用いられているが、地震観測で用いられることはまずない。

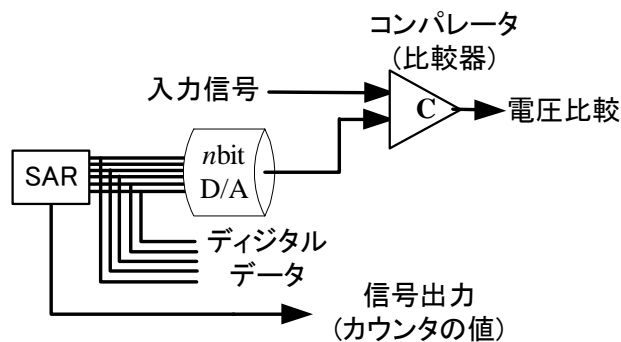


図 2.3.5 逐次比較型 A/D 変換装置の仕組み

図 2.3.6 は、1990 年代以降の $\Delta \Sigma$ 方式の基本的なシステム図である。この方式では、入力信号に近い 1 または 0 の信号を A/D から出力し、D/A でアナログ変換された 1 または 0 と、入力信号との比較を繰り返してその差(Δ)を積分(Σ)していくことによって、最終的に、multi-bit の A/D 変換結果と同等のデジタル出力を 1bit のシンプルな変換器によって得るものである。この方式では、最終的に得たいサンプリングレートに対して、より高倍率のサンプリング(オーバーサンプリング)を行うことによって、より真に近いデジタル出力を得ることが出来る。しかし、シンプルなオーバーサンプリングでは、図 2.3.7 に示すように、横軸方向に示すオーバーサンプリングの倍率に応じて、次第に信号入力との残差が収束していくものの、得たいサンプリング周波数よりも高周波の信号の揺らぎによって、収束の限界が生じる。また、入力信号のレベルや周波数の違いによって、この収束の仕方は違いが出てしまう。そこで、ハイカットフィルターや、サンプリングの間引きに相当する機能を持つデシメーシ

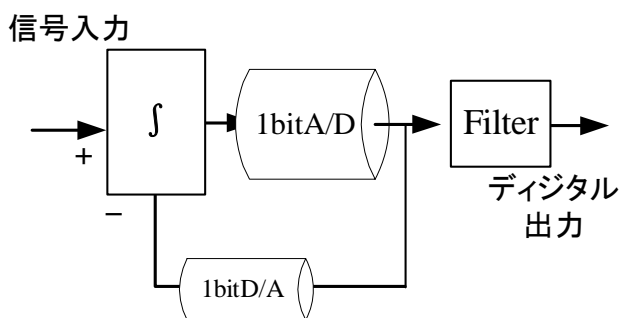


図 2.3.6 $\Delta \Sigma$ 型 A/D 変換装置の仕組み

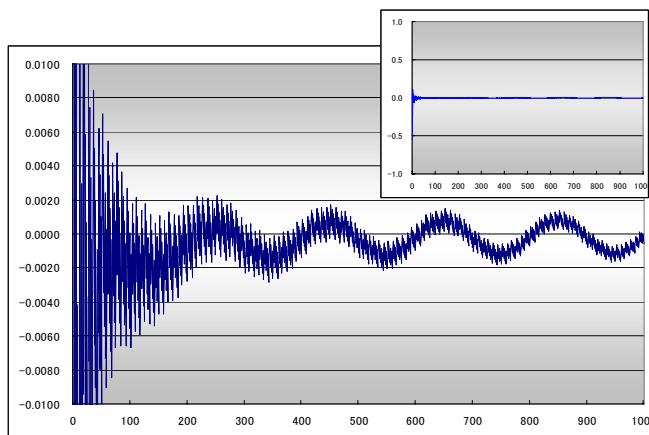


図 2.3.7 単純オーバーサンプリングによる収束

ョンフィルタによって、例えば図 2.3.8 に示すように収束性の向上が図られている。

今回、並列観測を行っている各社の強震計が設計・製造された 1990 年代前半は、計測器の A/D 変換方式が逐次比較型からデルタ Σ 型への移行時期にあたり、カンテラ社の収録装置のために開発された米アナログデバイス社 (Analog Devices, Inc.) の 24bit の $\Delta \Sigma$ A/D 変換器はまだ高価であったこともあり、20bit や 22bit の変換器を採用する地震計メーカーが多かった。また、デシメーションフィルタを含む変換器のチューニングが現在と比較すると十分ではなかったようで、実効分解能は 18bit 程度の場合が多く、安価な 16bit 逐次比較型の A/D 変換器に対する優位性はそれほど大きくはなかったとされる。

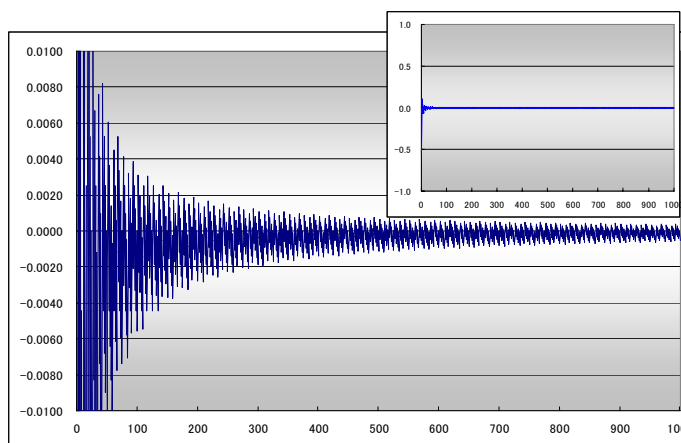


図 2.3.8 フィルター処理を付加した場合の収束

今回比較した計測器の観測記録では、例えば小さな地動入

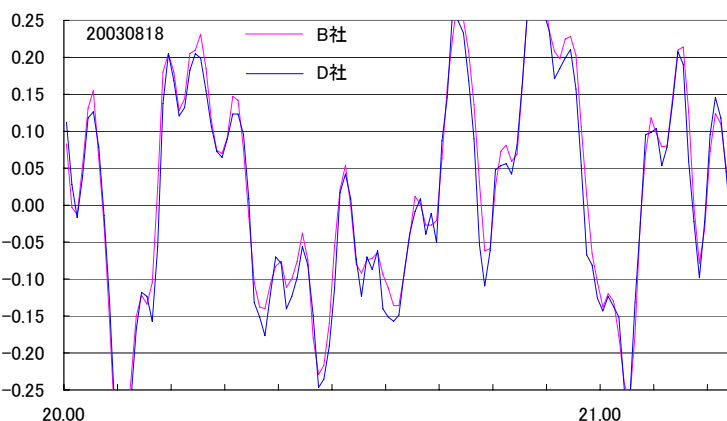


図 2.3.9 微小地動入力時の波形の比較

力に対する出力は、図 2.3.9 に示すように、見かけの分解能の違いによって、B 社の方が高周波の波が含まれているように見える。しかし、前項において比較したように、B 社/D 社のスペクトル比は高周波において必ずしも B 社の記録に大きな高周波入力が含まれていることを示してはならず、また、ここでみえる波形は 50Hz 前後であることから、この振幅の小さな高周波成分は電気的なノイズである可能性が高い。

このことは、実効 18 あるいは 20bit の地震計と、16bit の地震計を、同じフルスケール 2000Gal で用いる場合、建築会館の建屋内のようなノイズレベルの高い場所で観測している限り、有意な差が生じる可能性が低いことを示している。

2.3.3 記録された時刻の違い

地震観測記録の時刻は、時刻較正の方式やアルゴリズムによって異なるため、その特徴を踏まえておくことは有用である。そこで、同時に起動したと思われる上記 2 地震の起動時刻について表 2.3.2 に整理する。

A 社の仕様では時刻較正を行わず、収録装置として用いている PC の時刻が記録される。他社と時刻を比較することは困難である。D 社と B 社の違いは微妙であるが、どちらも同じ P 波初動によって収録装置の起動がかかっている。にもかかわらず違いが生じているのは、D 社がトリガーレベルを超えた次の正 10 秒から 20 秒間遡って記録を開始するのに対して、B 社はレベルを超えた次の正秒から 10 秒間遡って記録するためである。つまり、遅延時間を 10 秒に設定した場合の D 社の記録は、起動時刻よりも前の記録が 10 秒以上 20 秒未満であるのに対して、B 社は 10 秒以上 11 秒未満となっている。これは、定常作動状態におけるメモリ上に書き込まれたテンポラリファイルの管理方法として、D 社が 10 秒単位のファイルを繰り返し作成して管理しているのに対して、B 社は設定されたサイズを上限としてメモリ上に常に記録をとり続け、起動した時点でファイル化するという違いを反映しているものである。そのため、比較的規模が小さく継続時間の短い地震に対しても、D 社の設定ではファイルサイズが大きくなる傾向があるため、テレメータ観測の通信環境や、収録装置のデバイスメモリのサイズなど、このような仕様の違いを理解したうえで、設定することが重要である。

表 2.3.2 地震記録の起動時刻

	A 社	D 社	B 社
2003/9/10	12 時 56 分 15 秒	12 時 55 分 08 秒	12 時 55 分 12 秒
2003/10/15	16 時 31 分 41 秒	16 時 30 分 47 秒	16 時 30 分 46 秒

2.3.4 まとめ

以上見てきたように、いずれの観測記録もおおむね各々の地震計の仕様をよく反映しているものといえる。また、A 社の電気ノイズの混入や D 社のプレトリガー時間の設定条件、A 社、D 社は振子加速度の正負、B 社は地動加速度の正負を出力の正負と一致させていることなどカタログや取扱説明書などに記載されていない、あるいは直接的な記載のない仕様にも、各機種の特徴を反映したものがある。データの活用や、新たな観測の導入に際しては、このような特徴についても十分理解しておくことが望ましい。

2.4 記録の特徴

(1) はじめに

建築会館に設置されている強震計の記録は、構造委員会振動運営委員会傘下の強震観測小委員会が管理し、東京の震度がIV(4)を超えた場合に建築雑誌に公表している(例えば1)。さらに、第1期の記録のうち主要なものについては、既にホームページで公開している。

地震動記録を利用することを考えれば、その記録の特性を理解することが望ましい。これまで、公開するのみで特性の評価そのものは委員会としては行っていない。しかしながら、最近では周辺地域における地震動データも増え、会館における観測も順調に進んでいる。そこで、強震観測小委員会が管理している地震記録を基に、関連データを集め、群として評価してみた。

(2) 計測震度

まず、大手町の計測震度と建築会館の加速度記録から算出した計測震度を比較した。大手町における計測震度が地震月報(防災編)に発表されるようになったのが、2000年からであるので、2000年4月から2005年2月までの46地震を用いた。マグニチュードの範囲は、4.0から7.4、震源距離の範囲は37kmから847kmである。結果を図2.4.1に示す。大手町の計測震度は、1.4から3.9の間にある。建築会館の計測震度は、大手町の計測震度に比べて平均で約0.94小さい。また、差の標準偏差は0.37である。計測震度の差が大凡1で

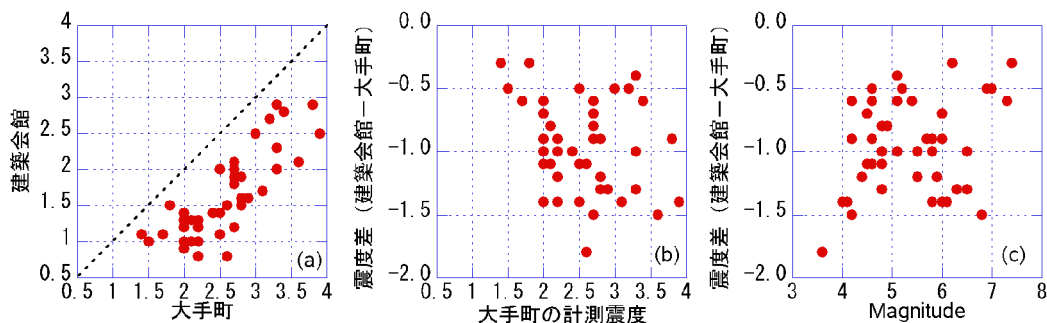


図 2.4.1 大手町と建築会館における計測震度の比較(a). 計測震度の差(b). マグニチュード依存性(c).

ある理由としては、地盤の影響に加えて、建物の影響が大きいと思われる。計測震度差は、震度2~3の範囲で大きいように見えるが、それ以上の震度が多くないので、明確なことは言えない。また、マグニチュードが大きくなるほど差が小さくなる傾向は見られる。

計測震度の算出に当たっては、高振動数成分を除去するようなフィルターが用いられているが²⁾、その減衰度合いは小さく、高振動数成分の計測震度に及ぼす影響は小さくない³⁾。これらのことから、建築会館における地震動記録には、大手町の記録に比

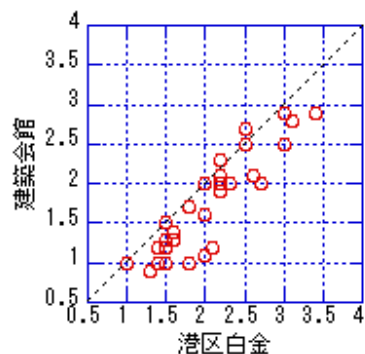


図 2.4.2 港区白金と建築会館における計測震度の比較

べ、高振動数成分が少ないことが想像される。

建築会館と大手町では約5kmも離れているので、最寄りの震度観測点である港区白金との比較を追加した。両者の距離は約1.4kmである。対象とした期間は、大手町と同じであるが、計測震度が発表されていない地震もあり、利用できた地震数は33である。結果を図2.4.2に示す。この比較でも、建築会館は平均で0.3(標準偏差は0.27)ほど白金よりも小さい。ただし、図からも分かるように、計測震度がほぼ同じである地震もある。

(3) 卓越振動数

まず、最大加速度(PGA)と最大速度(PGV)から、次式により見かけの卓越振動数(f_p)を求めた。

$$f_p = (PGA) / (2\pi PGV) \quad (2.4.1)$$

PGVを求めるために、加速度記録の積分が必要となるが、その際には、加速度を固有周期20秒、減衰定数0.7の1自由度系に入力し、その速度応答を求める方法を用いた。また、ここでのPGVはPGAの生成時間の前後2秒間の最大値としており、厳密な意味の最大速度とは異なる。用いた地震動記録は、2004年1月から2005年4月の間に観測された14記録のうちS波部分が観測されたと考えられる13記録である。

観測されたPGAとPGVを図2.4.3に示す。この図では、水平2成分は独立して評価している。このように評価すると、データは一つの直線上にあるように見え、(2.4.1)式で卓越振動数を評価することの妥当性が確認できよう。なお、データの固まりから離れている点は、10月23日に起きた新潟中越地震の本震と最大余震であり、相対的にPGAに対するPGVが大きい。これらのデータを除くと、平均的には f_p は約1.8Hzとなる。図3中の直線は、 f_p が1.8Hzの場合のPGAとPGVの関係を示すものである。

さらに別の評価方法として、前述した地震動の水平動と上下動とのスペクトル比を求めてみた。対象区間は、主要動の先頭部分10.24秒とし、スペクトルはバンド幅0.5HzのParzenウィンドで平滑化した。結果を図2.4.4に示す。スペクトル比は比較的ばらついているが、先に指摘したみかけの卓越振動数よりやや高い2Hz付近にピークが見られる。また、

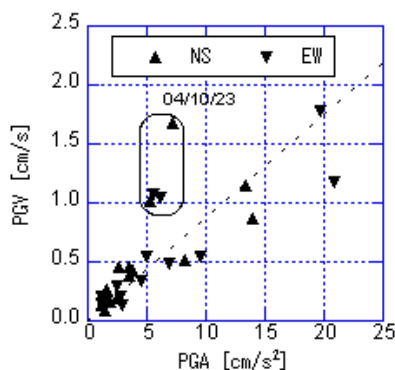


図2.4.3 最大加速度と最大速度の関係

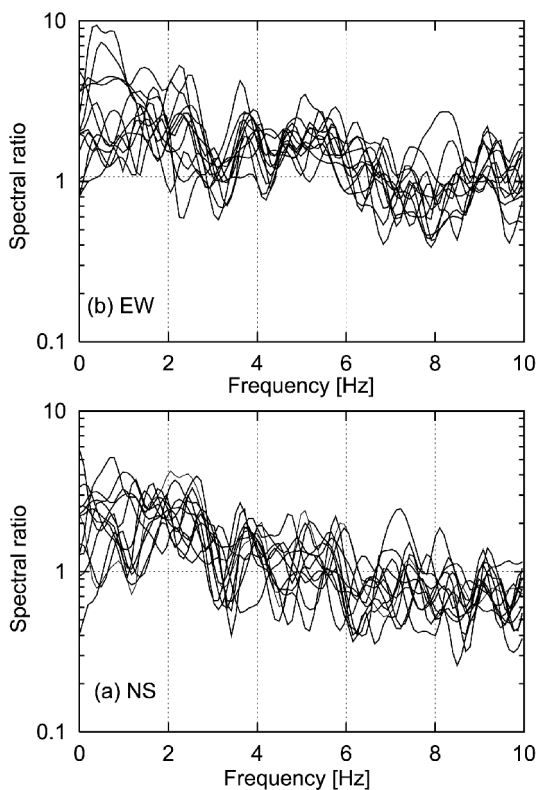


図2.4.4 水平動と上下動のスペクトル比

3Hz 付近に谷があるためか、4Hz 付近のピークも目立つ。

(4) 長周期地震動

次に、長周期成分に着目して、周辺観測点との比較を行った。

図 2.4.5 は、会館から田町駅を挟み、直線距離で約 400m 離れた東京工業大学附属工業高校（以下、TKF）で観測された新潟中越地震の記録との比較である。

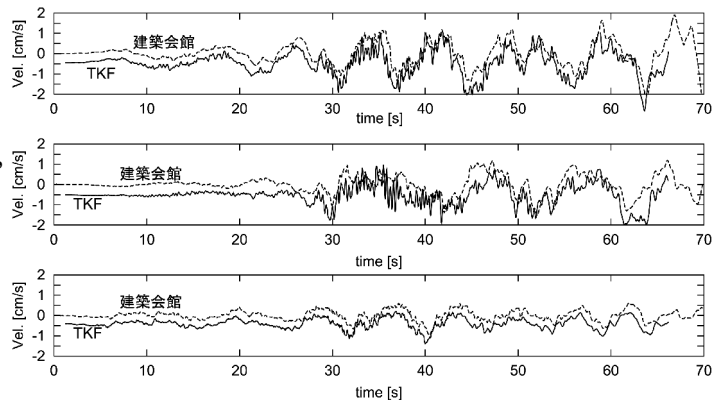


図 2.4.5 建築会館と TKF との速度波形の比較

TKF は、東京工業大学の大手町研究室が設置した観測点⁴⁾である。図 2.4.5 は、加速度記録を積分して求めた速度波形であるが、両者の主要な部分はほぼ一致している。波長を考えると当然ではあるが、長周期成分においては、会館の記録は周辺と大きな違いがないことが指摘できる。

(5) まとめ

建築会館における観測記録の特性を評価した。その結果次のことが分かった。

- ・計測震度は大手町に比べて平均で約 1 程度小さい。
- ・卓越振動数は約 2Hz である。
- ・一例ではあるが、長周期地震動は周辺と同じである。

謝辞

東京工業大学附属高校の地震記録の使用を快諾して頂いた大手町達夫教授、および観測を担当されている同研究室の博士後期課程 2 年橋本佳代子氏に謝意を示す。

参考文献

- 1) 安井健治：平成 15 年建築会館強震観測記録報告，活動レポート，建築雑誌，Vol.119, No.1517, 56, 2004.
- 2) 気象庁監修：震度を知る 基礎知識とその活用，ぎょうせい，238p, 1997.
- 3) 片岡・市村・菊地：近接した K-NET 観測記録から見た青森県震度情報ネットワークの計測震度の特徴，土木学会地震工学論文集，CD-ROM, c00086.pdf, 2005.
- 4) 橋本・大手町・井上：理科防災教育の一環としての強震観測の試み，67-68，第 23 回日本自然災害学会学術講演会，2004.

(文責：弘前大学 片岡俊一，奥村組技術研究所 安井健治)

3. 静岡市における共同観測

3.1 記録概要

3.1.1 静岡市中心部の地震観測

本ワーキンググループ(以降、WGと称す。)による共同強震観測は、JR静岡駅を中心とする地域に展開している。また、この地域には気象庁の震度観測点、防災科学技術研究所の強震ネットワーク(以降、K-NETと称す。)¹⁾などにより地震観測が行われている。各機関の観測点配置を図3.1.1.1に示す。また、以下に各機関の観測状況を記す。

(1) WGの観測状況

JR静岡駅周辺において、従来よりMYK(清水建設、1990年7月より)、HN5(大成建設、1997年2月より)及びSHW(竹中工務店、1997年2月より)の3点が観測を行っており、その後、MBC(大林組、1997年6月より)が観測を開始した。そして、日本建築学会の「地震荷重」²⁾の中で東海地震に対して強震動評価の検討が行われている、谷津山、駿府公園、大谷、東静岡の4箇所を考慮して、駿府公園(SNP:西松建設及び東京電力、1997年11月より)、大谷には静岡大学(SZU:電力中央研究所、1998年3月より)、谷津山には南東方向の延長部である清水山公園(KYM:建築研究所、1998年4月より)、東静岡のグランシップ(HSZ:清水建設、1998年8月より)に強震計が設置された。また、岩盤観測点として浅間神社(SGS:建築研究所、1998年4月より)にも強震計設置された。なお、観測点名の()内は担当機関と開始年月である。なお、HSZは1998年8月から1999年10月までの期間、県民国際プラザ建設工事事務所に、その後の1999年11月から2000年8月までをグランシップにおいて観測を行った。表3.1.1.1に各共同強震観測点の地点情報を示す。

MYK、HN5、SHW、SNP、KYMの地震計は構造物内部に設置されており、MBC、HSZ、SGSの地震計は地表に設置されている。なお、SZUの地震計は深さ16mの立孔の中に設置されている。

(2) 他機関の観測状況

気象庁

静岡市中心部には静岡地方気象台がある。

また、地方公共団体が管理している計測震度計の観測点は3点あり、駿府公園周辺の県庁、市役所、有明町である。有明町は、静岡地方気象台の南約1kmの静岡総合庁舎にある。

K-NET

防災科学技術研究所が管理している観測点は静岡市中心部に1点あり、静岡(SZO014)である。SZO014は、安倍川に近い駒形通の静岡県地震防災センターの敷地内にある。

3.1.2 静岡地域の地質・地盤状況

(1) 地質の概要

静岡県の地形は、山梨県、長野県との県境付近の北部に赤石山脈が広がり、駿河湾に富

土川、安倍川、大井川が、遠州灘には天竜川がそそぎ込んでいる。御前崎以西では牧ノ原台地が広がっており、伊豆半島は新しい時代の火山などから形成された山地で形成されている。

この地域の地質を図 3.1.2.1 に示す。これを見ると、糸魚川 - 静岡構造線を境に、西側が西南日本外帯、東側がフォッサマグナ地域に分けられ、静岡市周辺はその境界部になっている。フォッサマグナ地域の西側は北から領家帯、三波川帯・御荷鉾帯、秩父帯、四万十帯の順に配列している。

(2) 静岡市中心部の表層地質状況

静岡市中心部における表層地質・地盤の状況、共同強震観測点の位置を図 3.1.2.2 に示す。安倍川の西側の山地は、主に古第三系または白亜系の地質から構成されている。東側では南北に細長く走る山地、賤機山、浅間山などは新第三系の火山岩類であり、これにならぶ東側の山地は新第三系のシルト岩、砂岩及び礫岩から構成され、地質が変化している。また、駿府公園の東に位置する谷津山は、新第三系の堆積岩で構成されている。静岡市南東の有度丘陵をはじめとする日本平は洪積層で、礫層の段丘堆積物と段丘泥質堆積物から構成されている。

SNP、MYK、SHW、MBC、HN5 及び SZO014 は、砂質または砂礫質地盤に位置し、SGS は新第三系の火山岩類上に、KYM は堆積岩上に、HSZ は軟弱泥質層が堆積する地域に、また、SZU は段丘堆積物からなる日本平に位置している。

駿府公園を通る、東西及び南北の地質断面を図 3.1.2.3 に示す。これを見ると、安倍川の両岸は、礫または砂礫地盤が分布しているが、東側に広がる堆積平野は主に泥質、砂泥質または泥砂礫質地盤となっている。また、駿府公園の北東部にある国道 1 号線バイパス付近(図 3.1.2.2 では清水港の西側)に 15 m 以上の軟弱泥層が存在している。

地殻構造については図 3.1.2.4 に示す。1974 年から 1977 年にかけて名古屋大学、東京大学をはじめとする複数の大学による地下構造探査が実施され、 P 波の速度構造が推定されている³⁾。これを見ると、駿河湾西側の表層深さ 2 km から 3 km 程度までについては、糸魚川 - 静岡構造線(断面図中 D)と笹山構造線(断面図中 C)の間は $V_p = 3.9$ km/s、笹山構造線から中央構造線(断面図中 AB)の間は $V_p = 4.5$ km/s と推定されている。また、駿河湾の西側から $V_p = 6.0$ km/s の層の上面は、西に行くに従い深くなり、中央構造線で深さが急変し、最大で 8 km 程度の深さとなっている。

3.1.3 静岡地域の過去の被害地震

静岡県に被害を及ぼす地震は、主に南海トラフ、駿河トラフ、相模トラフ沿いで発生する海域の巨大地震と陸域の浅い地震である。過去の地震の震央分布を図 3.1.3.1 に示す。

南海トラフ、駿河トラフにおけるプレート間地震では、1707 年の宝永地震(マグニチュード 8.6)をはじめ、1854 年の安政東海地震(マグニチュード 8.4)、1944 年の東南海地震(マグニチュード 7.9)などがあり、これらの地震により、家屋の倒壊をはじめ、津波、火災、山崩れなどにより膨大な被害が生じている。一方、相模トラフにおけるプレート間地震では、1703 年の元禄地震(マグニチュード 7.9 ~ 8.2)、1923 年の関東地震(マグニチュード 7.9)などにより伊豆地方を中心として、津波、山崩れなどによる膨大な被害が生じ

ている。

また、静岡県中西部、清水付近から浜名湖付近に至る広い範囲では、深さ 20 km ~ 30 km の定常的な地震活動が点在しており、特に静岡市の中心部付近では、1589 年の駿河・近江の地震（マグニチュード 6.7）、1841 年の駿河の地震（マグニチュード $6\frac{1}{4}$ ）、1857 年の駿河の地震（マグニチュード 6.0~6.5）、1917 年の静岡県の地震（マグニチュード 6.3）、1935 年の静岡地震（マグニチュード 6.4）、1965 年の静岡付近の地震（マグニチュード 6.1）、2001 年の静岡県中部の地震（マグニチュード 5.1）などと、内陸を震源とするマグニチュード 6 クラスの被害地震が発生し、人的被害にまで及んでいる。

なお、活断層については、地震断層としては 1930 年の北伊豆地震（マグニチュード 7.3）を起こした北伊豆断層帯、1974 年の伊豆半島沖地震（マグニチュード 6.9）を起こした石廊崎断層、また、過去に繰り返し活動したと考えられる断層としては富士川河口断層帯などが存在する。断層の位置を示したものを図 3.1.3.2 に示す。地震調査研究推進本部⁴⁾によると、北伊豆断層帯は断層帯全体が 1 つの区間として活動する場合、マグニチュード 7.3 程度の地震が発生すると評価されている。また、富士川河口断層帯はマグニチュード 8 程度の地震が発生する可能性があるとして評価されている。

3.1.4 地震観測記録

(1) 地震諸元

1997 年の共同強震観測が開始以来、2005 年 3 月までの期間、各観測点で記録が得られた地震について、その地震諸元と各観測点での観測状況を表 3.1.4.1 に、震央位置の分布を図 3.1.4.1 に示す。なお、これらの地震は、共同強震観測点において観測された地震のうち、静岡地方気象台における震度 2 を目安として抽出を行っている。また、表 3.1.4.1 に示した震源距離は、静岡地方気象台までの距離である。

観測された地震の発生場所は、紀伊半島の沖合から宮城県までの範囲であり、その震源距離は約 27 km から約 522 km である。マグニチュードの範囲は 3.5 から 7.4 で、最も大きい地震は、2004 年 9 月 5 日の紀伊半島南東沖の地震である。また、震源深さの範囲は約 5 km から約 72 km であり、ほとんどは 40 km より浅い地震である。また、1999 年 5 月 7 日の静岡県中部の地震（マグニチュード 4.9）は、共同強震観測点のすべての観測点で記録が得られており、地震動の振幅も比較的大きい。

(2) 観測記録

静岡地方気象台において震度 5 弱を記録した、2001 年 4 月 3 日の静岡県中部の地震について、図 3.1.4.2 に各観測点の加速度時刻歴波形とフーリエスペクトルを記す。なお、SGS、KYM は記録が得られておらず、HSZ は観測を終了している。静岡地方気象台、SZO014 も併せて記載する。波形は零線の補正を行ったのみである。なお、フーリエスペクトルは、バンド幅 0.2 Hz の *Parzen-Window* により平滑化処理を行っている。

すべての観測点において、水平動成分のうち南北成分に比べ東西成分での最大加速度振幅値が大きくなっている。上下動成分では *S* 波よりも *P* 波での振幅値が大きい観測点もある。東西成分は約 1.5 Hz 付近に卓越振動数を持っていることが分かる。また、記録が得られている観測点は、段丘堆積物の日本平に存在している SZU を除くと、いずれも同様な表

層地質条件(砂質または砂礫地盤上)であるにも係わらず、スペクトル形状に違いが見られる。大まかに見て、SZO014、HN5、SNP と、SHW、MYK、MBC、静岡地方気象台に分類することが出来る。前者は、振動数 1.5 Hz から 6 Hz 付近にかけての振動数が平坦であるのに対し、後者では、振動数 1.5 Hz 付近を中心として山型であることが分かる。これに対し、1999 年 5 月 7 日の静岡県中部の地震を用いた小林ほか(2000)⁵⁾ の検討結果では、砂質または砂礫地盤上に設置された HN5、SHW、MBC、SNP は、水平動、上下動成分ともに振動数 4 Hz から 5 Hz 付近に卓越した振動数が見られ、2001 年の静岡県中部の地震とは傾向が違ふ。これは、2 つの地震の震源からの距離は同程度であるものの、震源の特性が異なるためと考えられる。

図 3.1.4.3 に減衰 5 % の擬似速度応答スペクトルを記す。なお、同図には、水平動 2 成分のベクトル合成を行った応答スペクトル(水平方向の 2 乗和の平方根)も併せて記載する。

同図と図 3.1.4.2 におけるフーリエスペクトルでは、それぞれの観測点ごとの卓越した振動数の位置が同じであり、同様な傾向であることが分かる。



● は共同強震観測点
▲ は気象庁、 ▼ は地方公共団体
■ は K-NET
注意) 共同強震観測点の () 内は担当機関である。

図 3.1.1.1 共同強震観測点配置

国土地理院、静岡地勢図(20万部の1)⁶⁾に加筆。

表 3.1.1.1 共同強震観測点の概要

	MYK	HN5	SHW	MBC	HSZ	SNP	SZU	SGS	KYM	
観測担当機関	清水建設	大成建設	竹中工務店	大林組	清水建設	西松建設 東京電力 (東電工業)	電力中央研究所	建築研究所	建築研究所	
観測地点	清水建設 静岡営業所	大成建設 静岡営業所	竹中工務店 静岡営業所	大林組 静岡工事事務所	グランシップ ^(*)	駿府公園 公園管理事務所	静岡大学 観測立孔	浅間神社	清水山公園 ポンプ小屋	
緯度	34°58'16"	34°58'08"	34°58'06"	34°57'47"	34°58'07" ^(*)	34°58'40"	34°57'39"	34°58'50"	34°58'34"	
経度	138°23'22"	138°22'46"	138°23'10"	138°23'30"	138°25'07" ^(*)	138°23'06"	138°26'17"	138°22'41"	138°23'58"	
地震計 設置場所	地下1階	1階床	地下1階	地表	地表	1階床	立孔内	地表	床	
	RC造7階、地下1階	RC造4階、地下1階	RC造3階、地下1階	地盤上に コンクリート基礎	RC造地上1階 ^(*)	軽量鉄骨造2階	深さ16m	露頭岩近くに コンクリート基礎	木造1階	
地震計	型式	CV-701	CV-910	CV-910	CV-701	SSA-16	SMAC-MD	SD240+Datol100	SMAC-MDU	SMAC-MD2
	種類	加速度	速度・加速度	速度・加速度	加速度	加速度	加速度	加速度	加速度	加速度
	絶対時刻	有	有	有	有	無	有	有	有	有
	時刻較正	ラジオ	GPS	ラジオ	ラジオ	- - -	ラジオ	ラジオ	ラジオ	ラジオ
観測開始	1990.07	1997.02.07	1997.02.22	1997.06.13	1997.08.05	1997.11.13	1998.03.16	1998.04.18	1998.04.18	
観測終了					2000.08.30			2005.04.27	2005.04.27	

注意 *1: HSZ は、1997年8月5日から1998年10月26日までの期間、国際プラザ建設事務所内に設置され、その後、グランシップ竣工後、館内に移設された。なお、国際プラザ建設事務所内に設置されていた際の緯度、経度は、34°58'07"、138°25'07"。

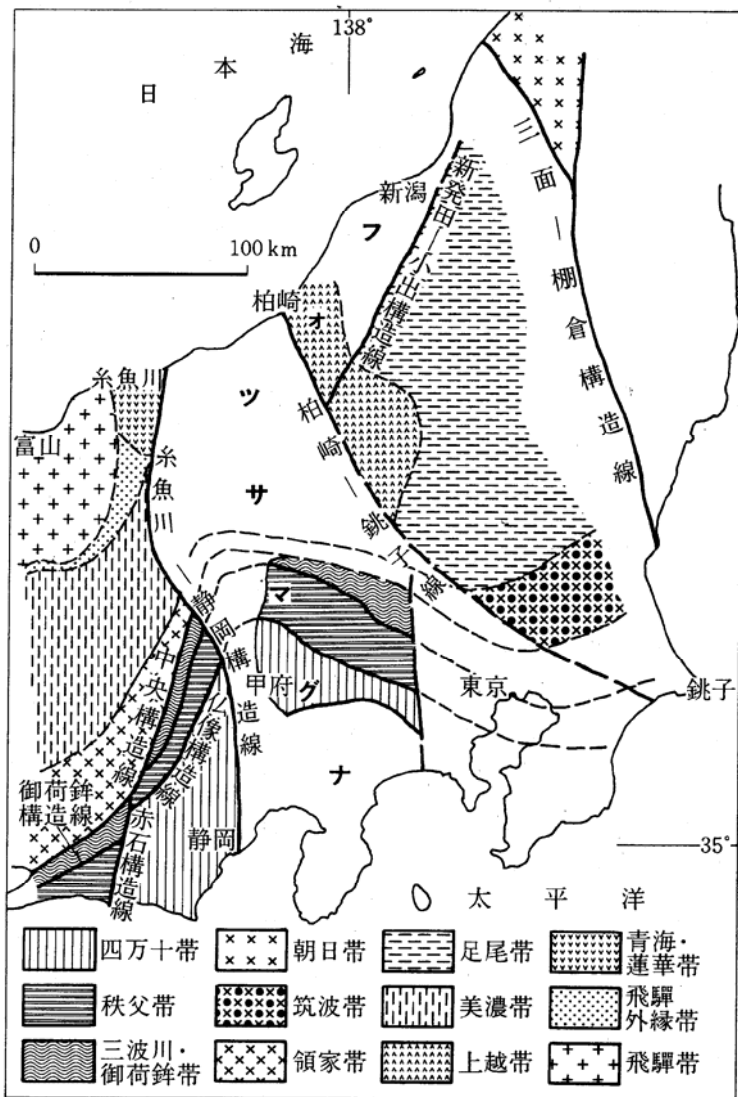
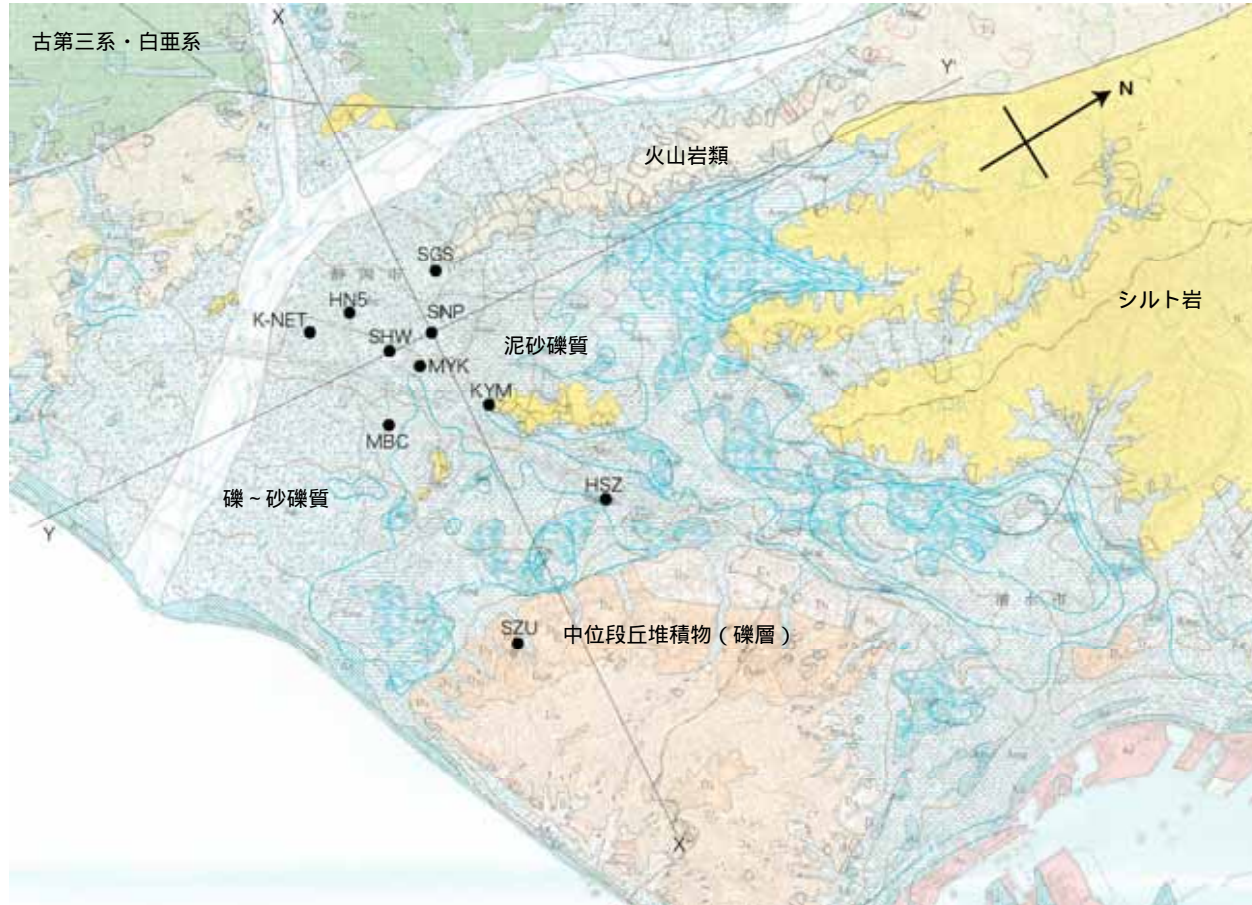


図 3.1.2.1 静岡地域の地質概要

「日本の地質 中部地方」⁷⁾より引用



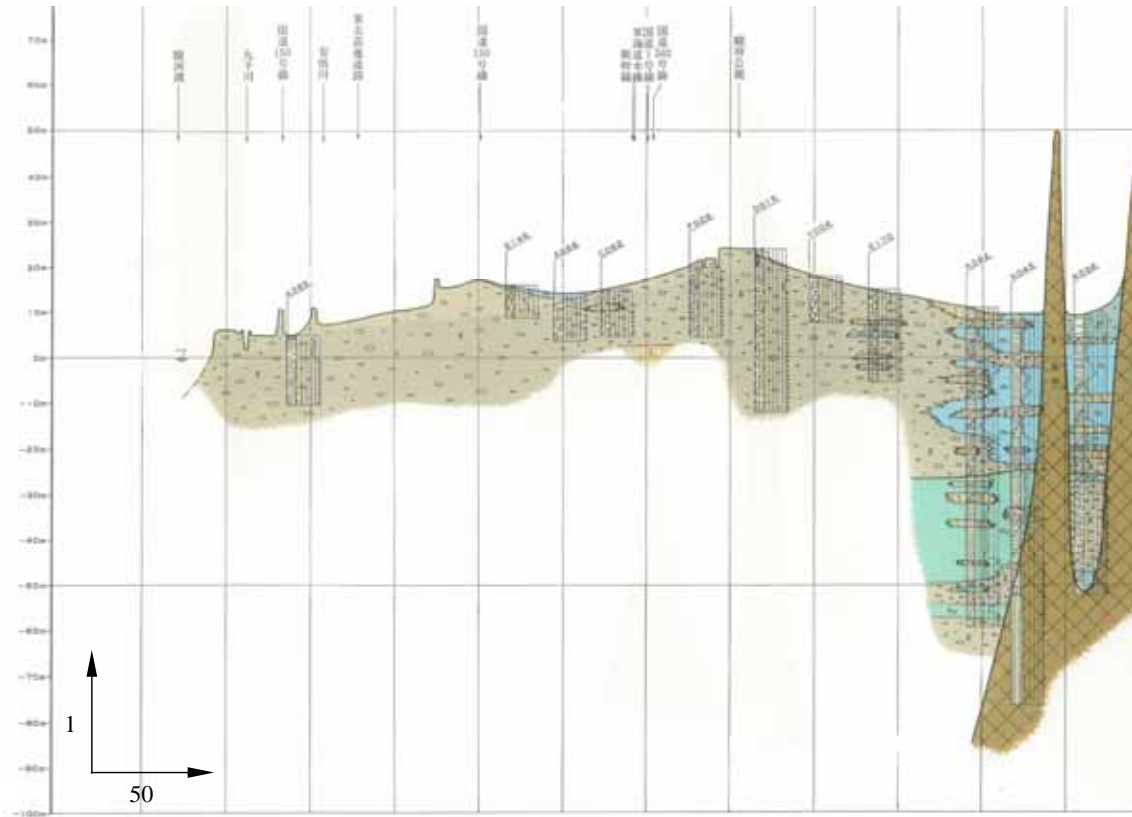
は共同強震観測点、K-NET



図 3.1.2.2 静岡市中心部の表層地質状況 静岡県東海地震対策土地条件図録集⁸⁾より引用。



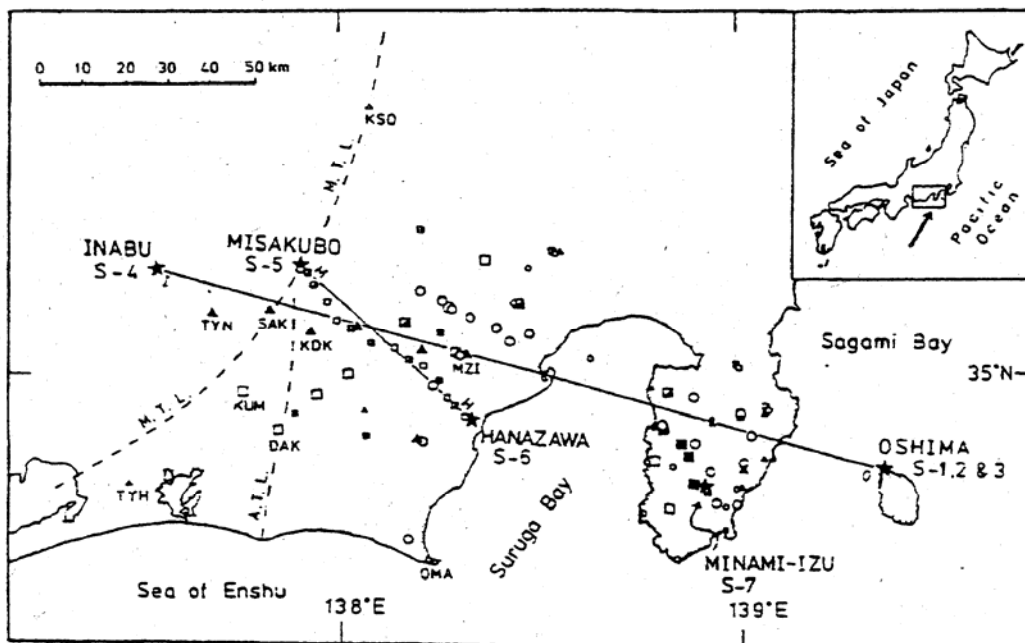
(a) 駿府公園を通る東西断面 (X-X'断面)



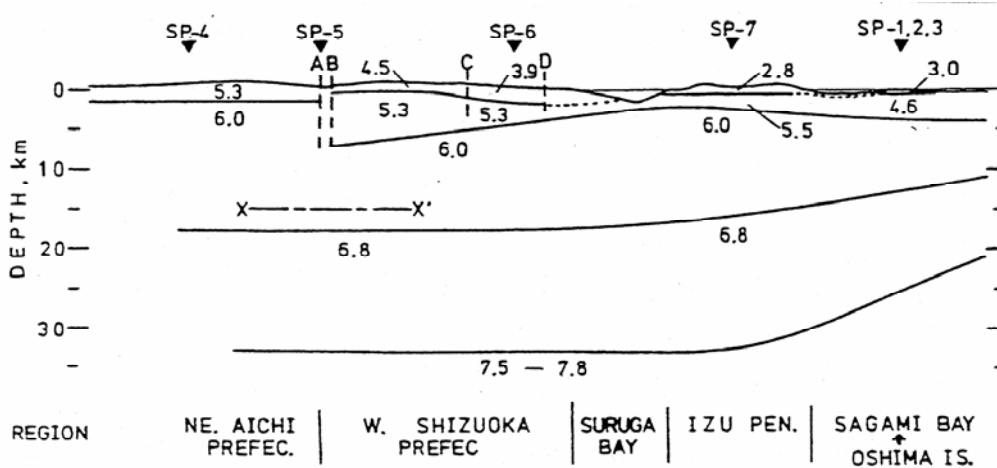
(b) 駿府公園を通る南北断面 (Y-Y'断面)

図 3.1.2.3 地質断面

静岡県地質断面図(静岡・清水地域)⁹⁾より引用。



(a) 発破点と観測点



(b) P波速度構造の推定結果

図中の AB は中央構造線、C は笹山構造線、D は糸魚川 - 静岡構造線。

図 3.1.2.4 静岡地域の深い地盤構造探査結果

Ikami (1978)より引用。

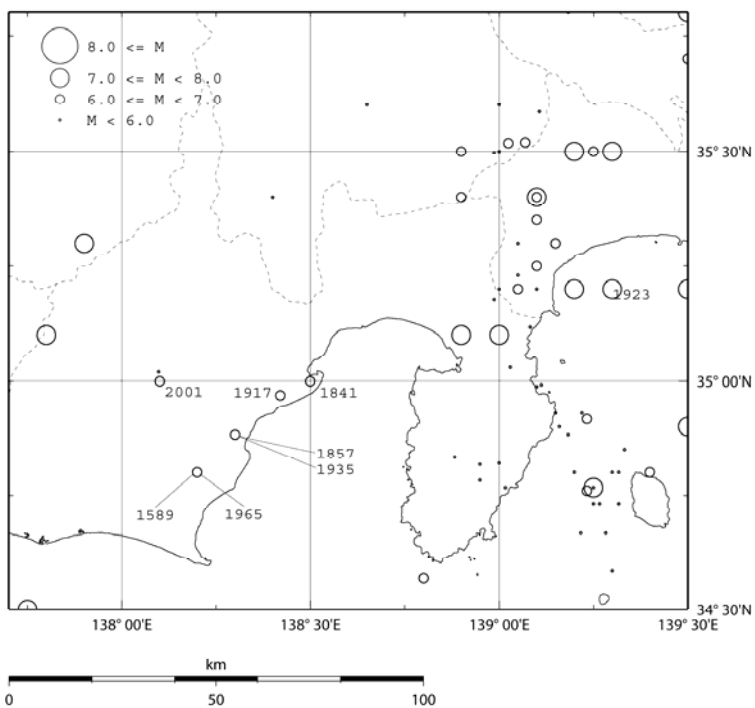
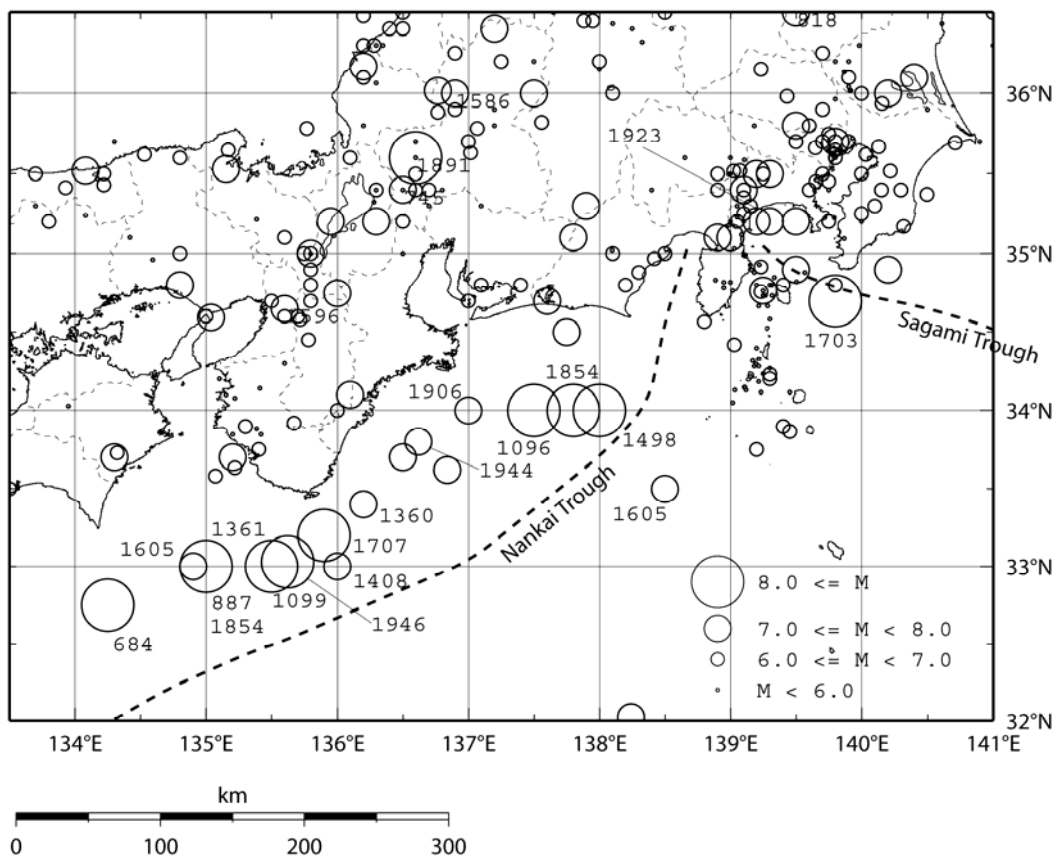


図 3.1.3.1 過去の地震の震央分布

地震の位置、マグニチュードは「最新版 日本被害地震総覧 [416] - 2001」¹⁰⁾より引用。
 図中の数字は地震発生年で、上段はマグニチュードが7.5以上の地震、下段は静岡市周辺で発生した地震。

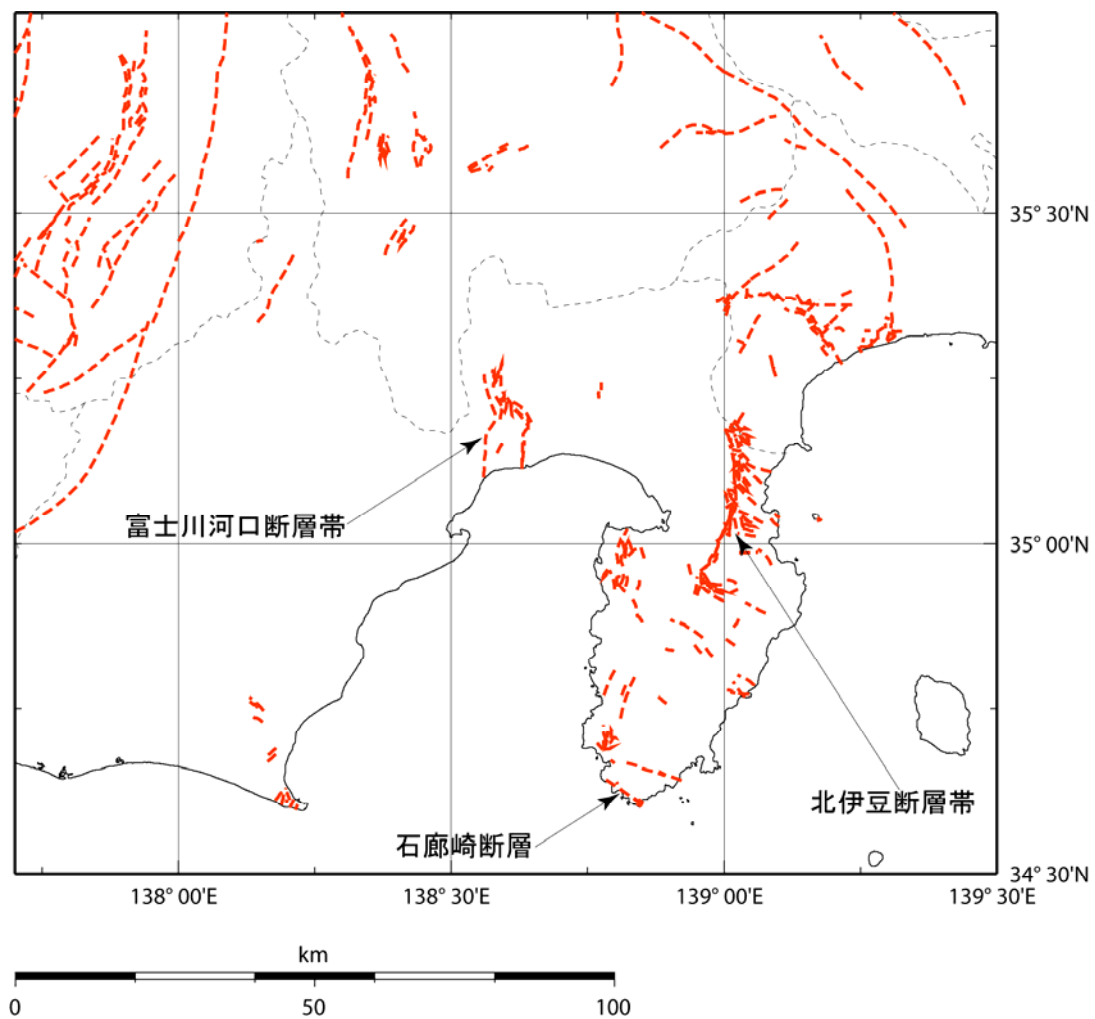


図 3.1.3.2 活断層

活断層の位置は「[新編]日本の活断層」¹¹⁾より引用。

表 3.1.4.1 地震諸元と各観測点観測状況

No.	地震諸元						震源距離 (km)	静岡震度 (曲金)	MYK	HN5	SHW	MBC	HSZ	SNP	SZU	SGS	KYM	SZO014 (K-NET)
	年月日	震央地名	北緯 (°)	東経 (°)	深さ (km)	地震規模												
1	1997. 03. 16 14: 51: 39.14	NE AICHI PREF	34° 55.49'	137° 31.69'	39.12	5.9	88.8	3										
2	1997. 07. 05 15: 27: 09.37	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 00.89'	138° 18.67'	25.04	3.9	26.9	2										
3	1997. 10. 11 14: 44: 35.70	S OF SURUGA BAY	34° 25.42'	138° 16.35'	34.14	5.1	70.2	3										
4	1997. 10. 21 19: 55: 25.59	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 06.98'	138° 13.83'	32.01	4.5	39.2	2										
5	1998. 05. 03 11: 09: 05.31	E OFF IZU PENINSULA	34° 57.44'	139° 10.74'	4.72	5.9	71.3	2										
6	1998. 05. 07 12: 28: 02.65	CENTRAL SHIZUOKA PREF	34° 51.99'	138° 14.85'	32.46	3.5	37	2										
7	1999. 03. 28 01: 37: 03.51	NEAR NIJIMA ISLAND	34° 05.78'	139° 00.63'	14.00	5.2	112.5	2										
8	1999. 05. 07 21: 48: 25.58	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 12.58'	138° 20.52'	19.82	4.9	33.9	3										
9	1999. 05. 08 10: 35: 03.26	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 13.26'	138° 20.29'	18.97	3.8	34.5	1										
10	2000. 07. 01 16: 01: 56.34	NEAR NIJIMA ISLAND	34° 11.20'	139° 11.80'	16.06	6.5	114.4	2										
11	2000. 07. 15 10: 30: 32.00	NEAR NIJIMA ISLAND	34° 25.20'	139° 14.70'	9.70	6.3	98.8	2										
12	2000. 09. 11 07: 49: 47.10	NEAR NIJIMA ISLAND	34° 30.79'	139° 13.35'	11.14	5.4	91.3	2										
13	2001. 02. 23 07: 23: 47.90	HAMANAKO LAKE REGION	34° 47.40'	137° 33.11'	32.34	5.0	86.3	2										
14	2001. 04. 03 23: 57: 12.43	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 01.25'	138° 05.84'	30.34	5.3	41.5	5強										
15	2001. 06. 01 00: 41: 45.83	CENTRAL SHIZUOKA PREF	34° 59.67'	138° 06.45'	30.27	5.0	40.5	3										
16	2001. 06. 03 11: 33: 43.18	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 00.11'	138° 06.19'	29.82	4.5	40.5	2										
17	2001. 06. 03 21: 01: 06.41	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 00.16'	138° 06.56'	29.91	3.9	40.2	2										
18	2002. 01. 04 14: 00: 10.77	CENTRAL SHIZUOKA PREF	34° 59.42'	138° 17.69'	16.19	3.5	19	2										
19	2003. 05. 26 18: 24: 33.42	NORTHERN MIYAGI PREF	38° 49.26'	141° 39.04'	72.03	7.1	521.5	2										
20	2004. 09. 05 19: 07: 07.5	SE OFF KII PENINSULA	33° 01.9'	136° 47.8'	38	7.1	263.5	2										
21	2004. 09. 05 23: 57: 16.8	SE OFF KII PENINSULA	33° 08.2'	137° 08.4'	44	7.4	238.1	2										
計									15	21	17	17	5	10	15	6	1	21

注意 1) 地震諸元は、No.1 から No.19 までは「地震年報 (2003) CD-ROM 版」、それ以降は「地震・火山月報 (カタログ編)」による。

2) 震源距離は気象庁静岡を対象とした距離。

3) 震度は気象庁静岡での値であり、No.1 から No.19 は「地震年報 (2003) CD-ROM 版」、それ以降は「地震・火山月報 (防災編)」による。

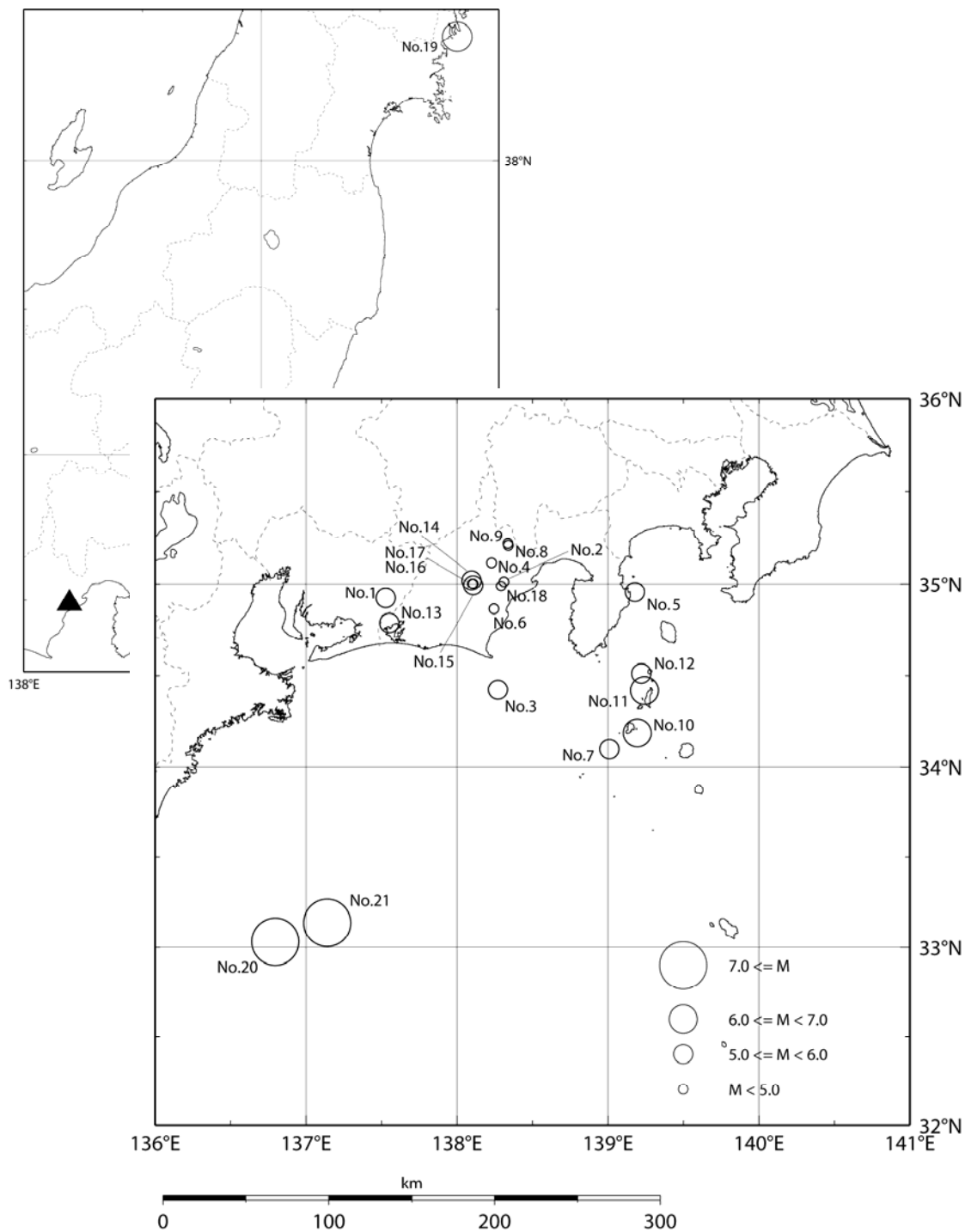


図 3.1.4.1 共同強震観測で記録が得られた地震の震央分布

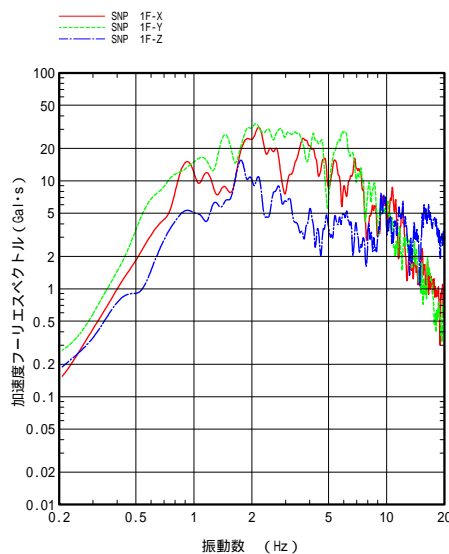
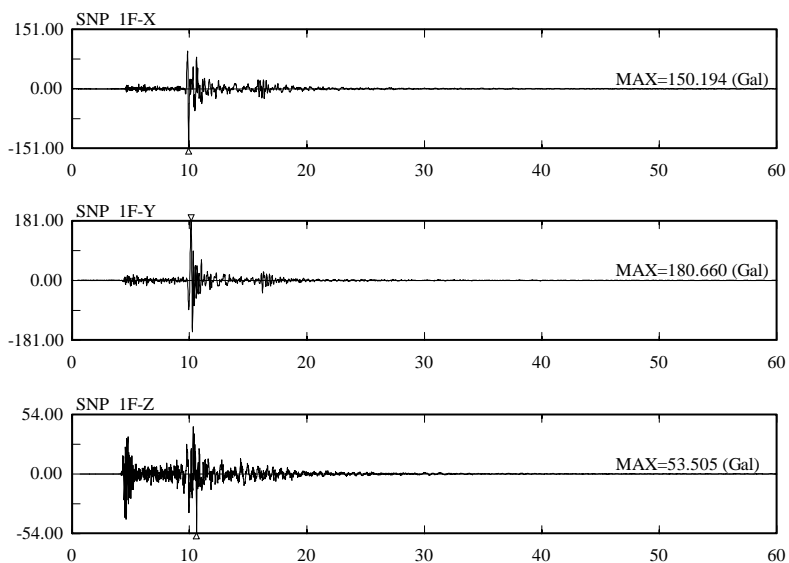
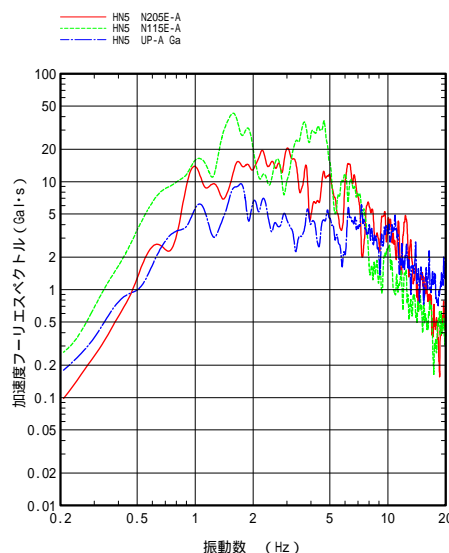
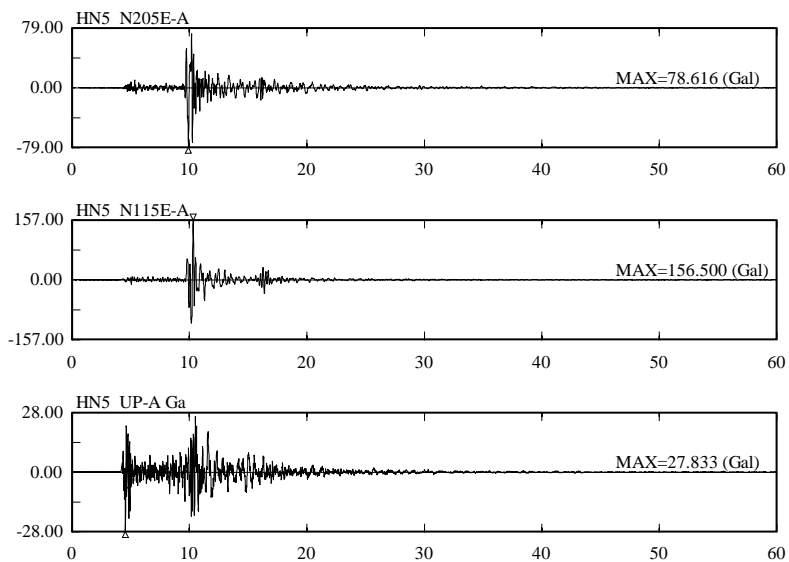
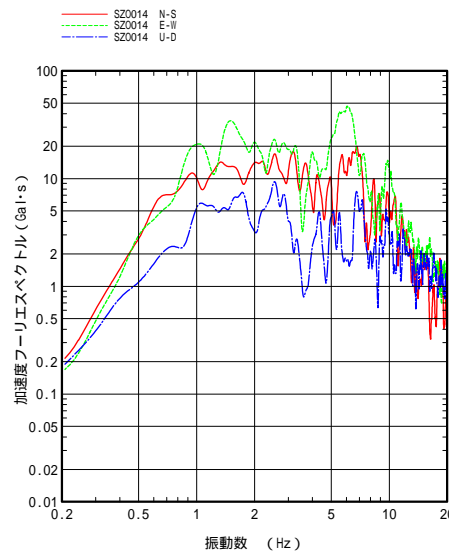
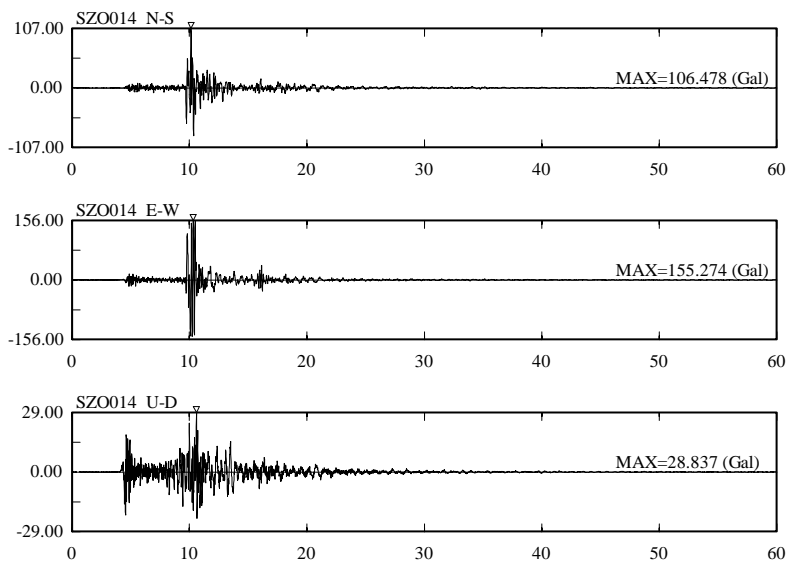


図 3.1.4.2(a) 加速度波形とフーリエスペクトル

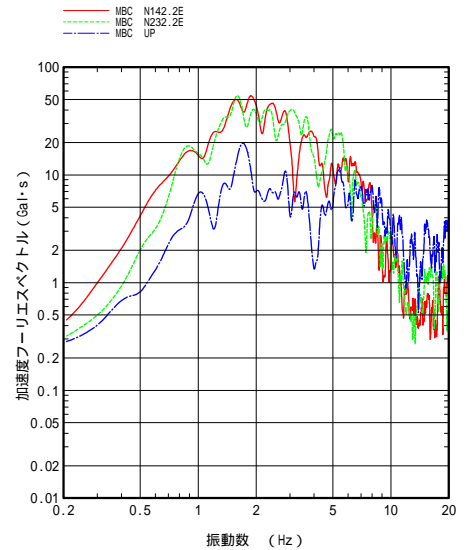
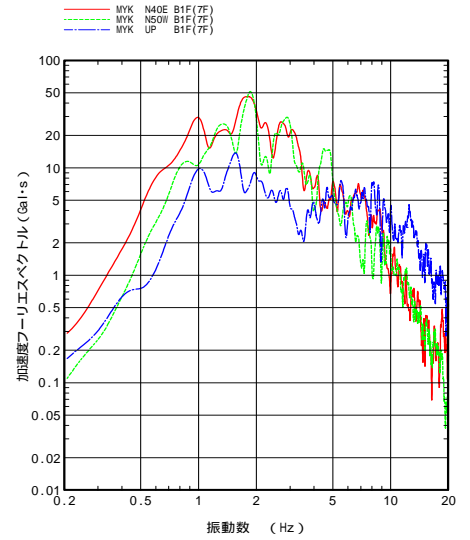
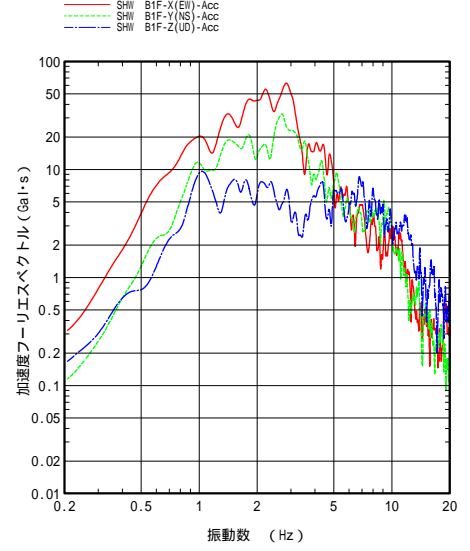
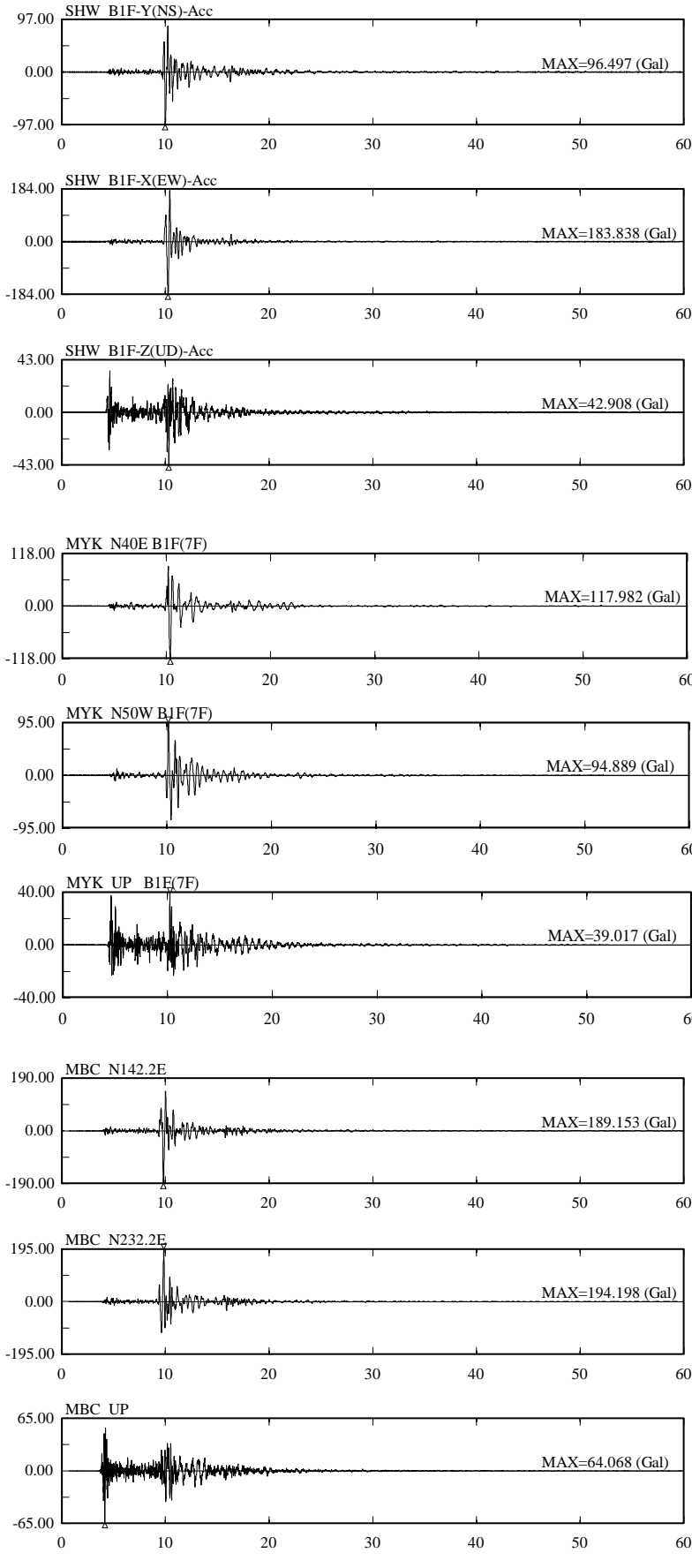


図 3.1.4.2(b) 加速度波形とフーリエスペクトル

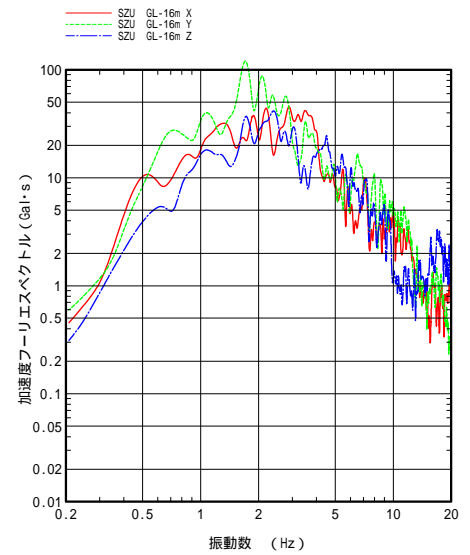
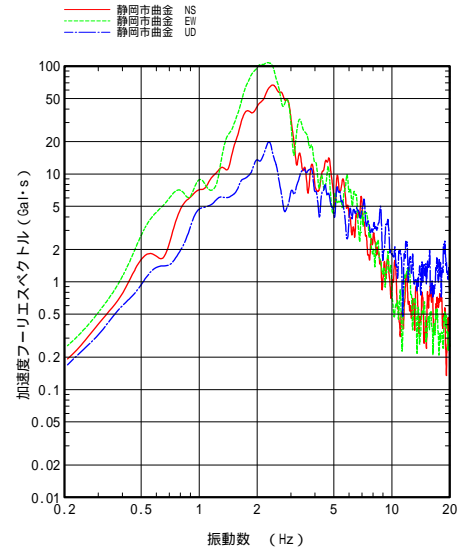
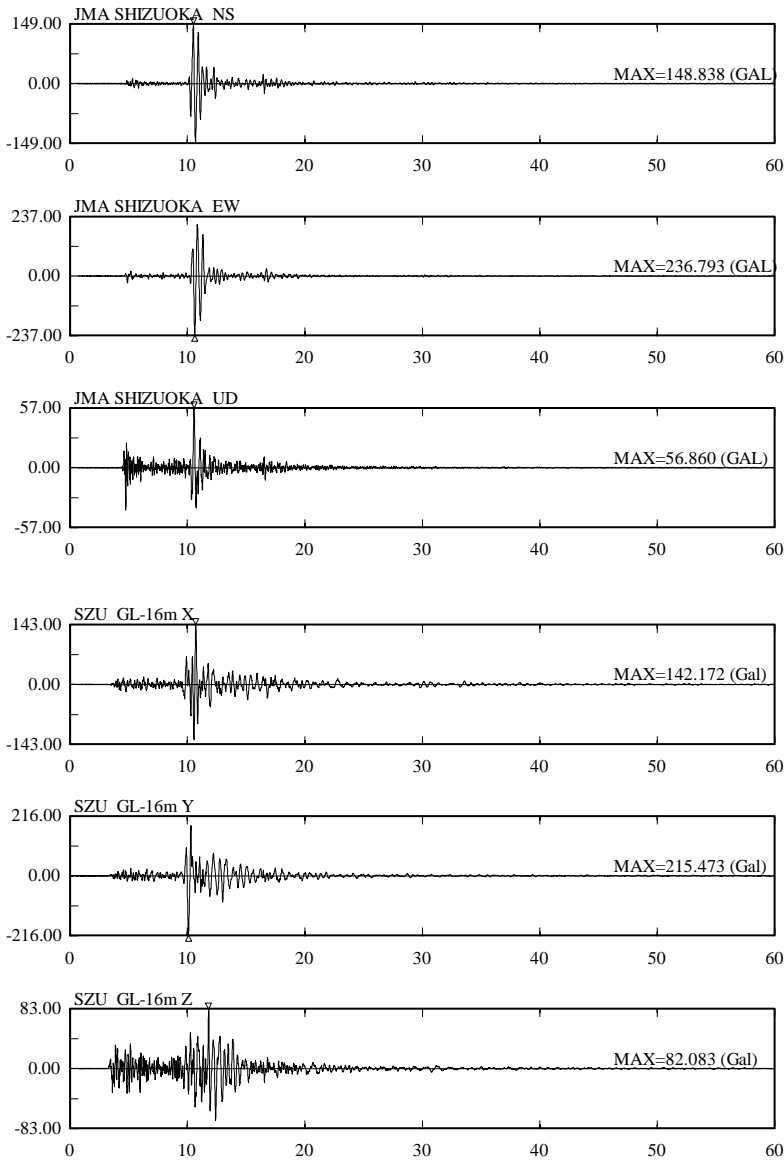
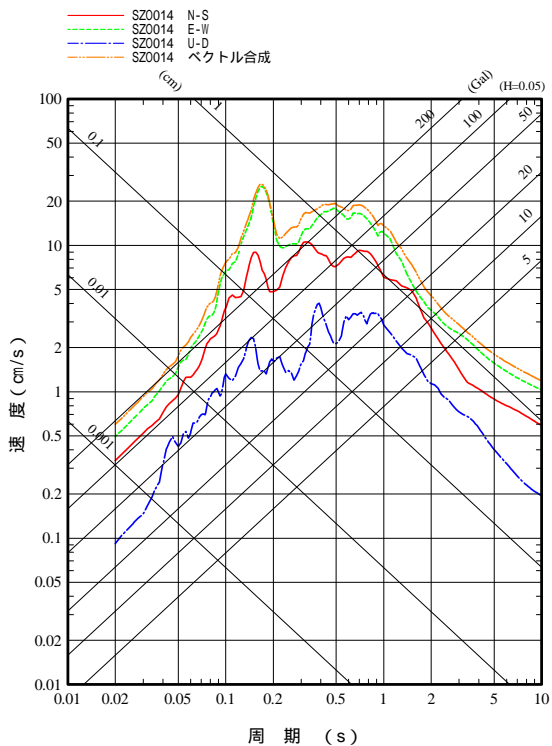
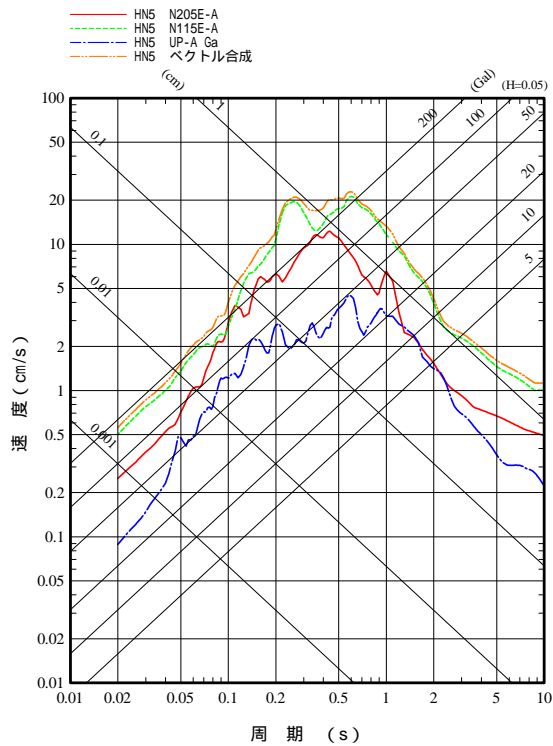


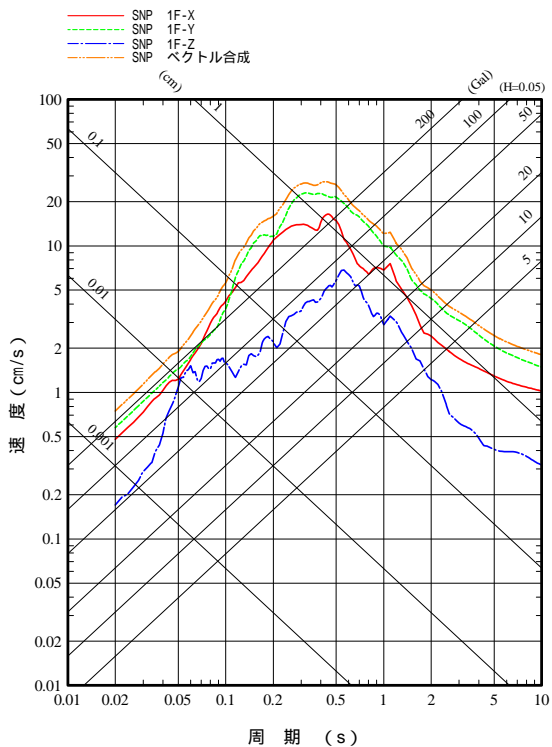
図 3.1.4.2(c) 加速度波形とフーリエスペクトル



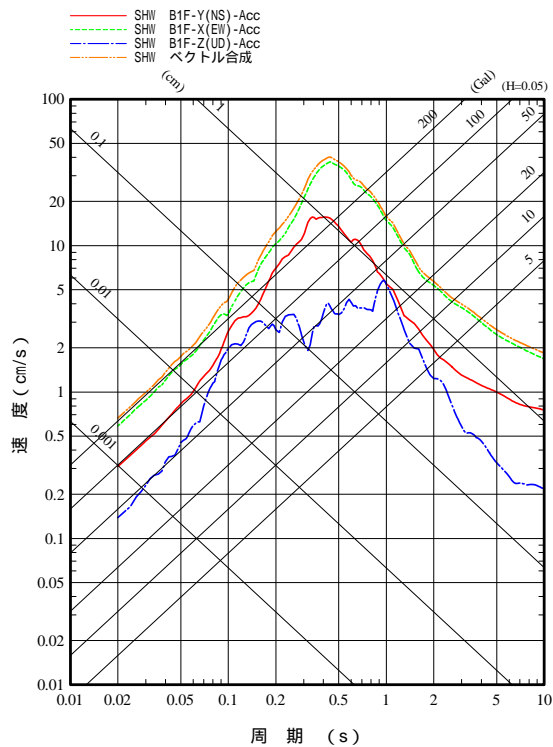
静岡(SZO014)



HN5



SNP



SHW

図 3.1.4.3(a) 減衰 5% の擬似速度応答スペクトル

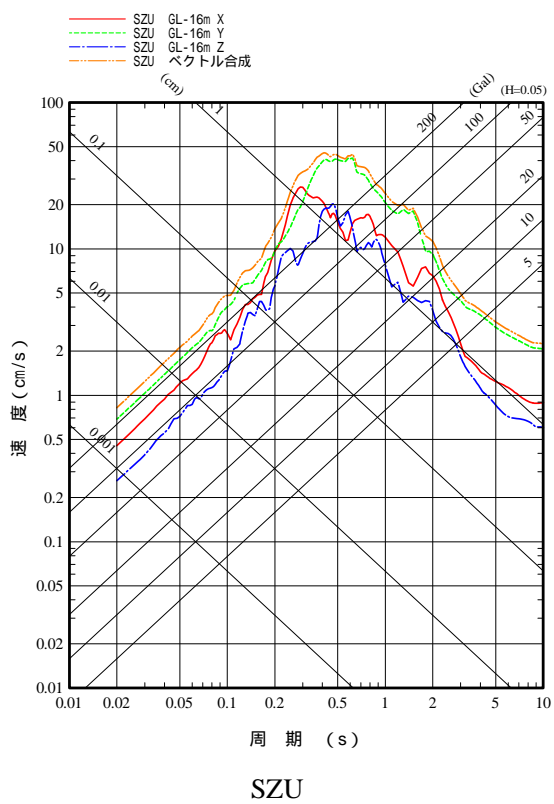
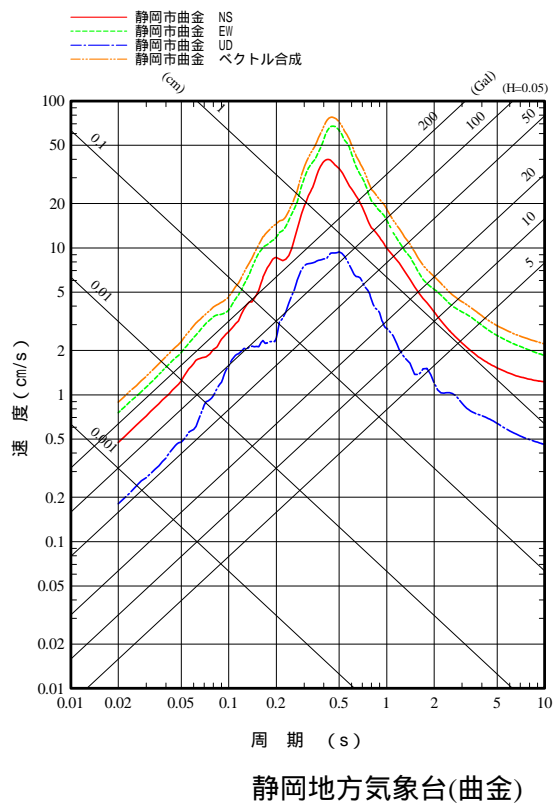
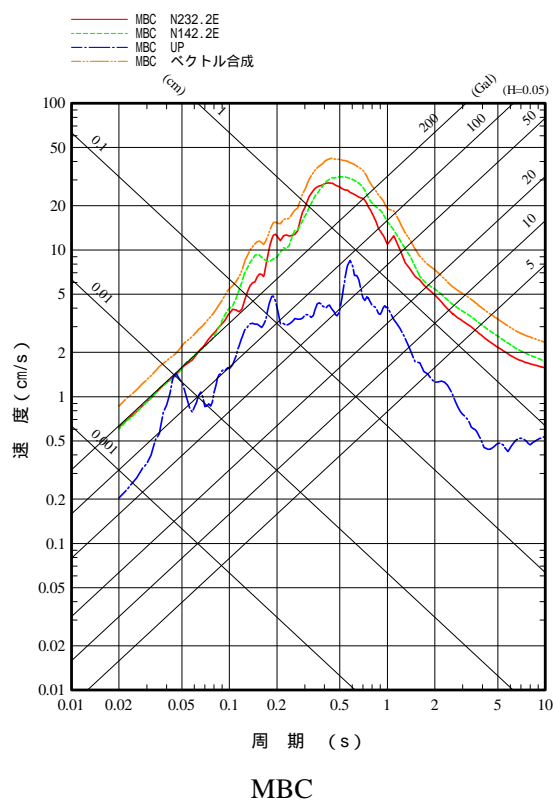
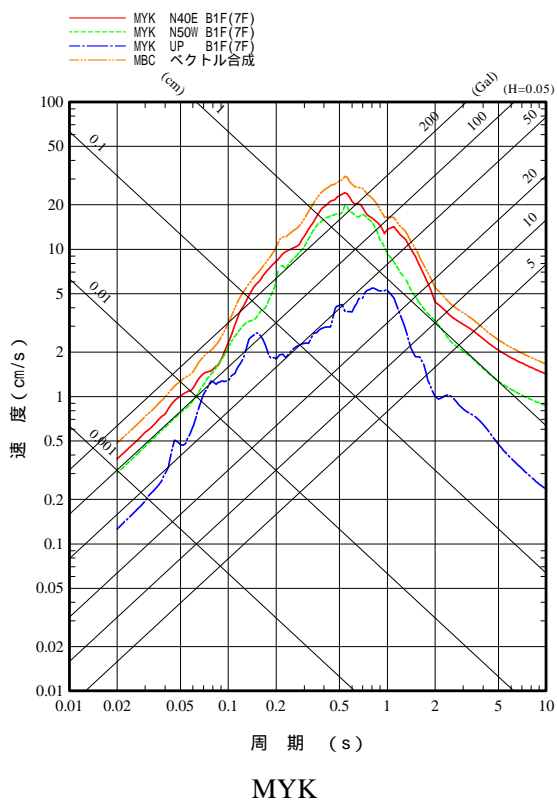


図 3.1.4.3(b) 減衰 5% の擬似速度応答スペクトル

参考文献

- 1) 木下繁夫・上原正義・斗沢敏雄・和田安司・小久江洋輔：K-NET95 型強震計の記録特性、地震 2、49、pp. 467-481、1997.
- 2) 日本建築学会：地震荷重 - 地震動の予測と建築物の応答、1992.
- 3) Ikami, A. : Crustal Structure in the Shizuoka District, Central Japan as Derived from Explosion Seismic Observation, J.P.E. 26, pp.299-331, 1978.
- 4) 地震調査研究推進本部：基盤的調査観測対象活断層の評価手法、2005.
- 5) 小林孝至・境茂樹：第 2 回強震データの活用に関するシンポジウム(2000) 建物の耐震性能設計を目指した強震観測、日本建築学会、pp.15-26、2000.
- 6) 国土地理院：静岡地勢図(20万分の1)、2002.
- 7) 植村武・山田哲雄：日本の地質4 中部地方、共立出版株式会社、1993.
- 8) 財団法人静岡県防災情報研究所：静岡県東海地震対策土地条件図録集、1993.
- 9) 静岡県地震対策課：静岡県地質断面図(静岡・清水地域)、1984.
- 10) 宇佐美龍夫：最新版 日本被害地震総覧[416] - 2001、東京大学出版会、2003.
- 11) 活断層研究会編：[新編]日本の活断層 - 分布図と資料 - 、東京大学出版会、1991.

(東電工業：湯沢 豊、東京電力：植竹富一)

3.2 静岡県内のサイト増幅特性

静岡県はその全域が東海地震により強い地震動を受けると想定されている。地震動特性は表層地盤の影響で大きく変わることから、観測記録などを基にサイト特性を把握しておくことは重要である。ここでは、共同強震観測の観測記録、静岡県内の K-NET¹⁾ 及び気象庁の観測記録を用いたスペクトルインバージョン解析により、静岡県内の観測点について、サイトの増幅特性の評価を行った。

3.2.1 対象地震及び観測点の概要

解析対象地震は共同強震観測点において記録された地震のうち、SNP を中心に半径約 60 km に入る 11 地震とした。マグニチュードは 3.8 から 5.7、震源深さは 5 km から 34 km である。観測点は共同強震観測点が、地震数が少ない KYM を除いた 8 観測点、K-NET 及び気象庁観測点が 42 観測点の計 50 観測点である。対象とした地震の諸元を表 3.2.1.1 に、対象地震と観測点の分布を図 3.2.1.1 に示す。

3.2.2 解析手法

観測記録のフーリエスペクトルから、震源特性・伝播経路特性・地盤増幅特性を分離するために、振動数領域の線形インバージョン解析 [岩田・入倉(1986)²⁾] を用いて、サイト増幅特性を抽出する。記録の S 波部分のフーリエスペクトルが式 3.2.2-1 で表されると仮定する。

$$F_{ij}(f) = S_i(f) X_{ij}^{-1} \exp\left(-\frac{\pi f X_{ij}}{Q(f) V_s}\right) G_j(f) G_0(f) \quad (\text{式 3.2.2-1})$$

F_{ij} は i 地震による j 観測点のスペクトル、 S_i は i 地震の震源スペクトル、 X_{ij} は i 地震と j 観測点の震源距離、 Q は伝播経路の Q 値、 V_s は伝播経路の平均的 S 波速度、 G_j は j 観測点の相対的増幅特性、 G_0 は基準点の増幅特性、 f は周波数である。

基準点は地質年代が比較的長く、また、フーリエスペクトルの振幅に目立ったピークがないことを条件に、新第三紀の凝灰岩である K-NET の掛川(SZO019)を選択した。また、拘束条件は基準点での地盤特性が 2 となるようにした。

ここで、解析は水平成分を対象とし、Kato et al.(1992)³⁾ と同様にマグニチュードから時間ウィンドウ (T_w) を決め、基線ずれを補正したデータから、下記に示す Cosine テーパ付き矩形タイムウィンドウ (式 3.2.2-2) により S 波部分を切り出した。こうして抽出したデータから、周波数 0.35 Hz から 20 Hz の区間が周波数軸上で等間隔になるよう有限フーリエ変換を用いてスペクトルを求め、水平成分のベクトル和を求めた。なお、観測記録の多くは加速度記録であることから、加速度フーリエスペクトルを解析対象とし、速度記録は加速度に変換した。

$$w(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t \leq t_s - 0.1T_w \\ \cos^2 \left\{ \frac{\pi(t-t_s)}{2 \times 0.1T_w} \right\} & t_s - 0.1T_w \leq t \leq t_s \\ 1 & t_s \leq t \leq t_s + T_w \\ \cos^2 \left\{ \frac{\pi(t-t_s-T_w)}{2 \times 0.1T_w} \right\} & t_s + T_w \leq t \leq t_s + 1.1T_w \\ 0 & t_s + 1.1T_w \leq t \end{cases} \quad (\text{式 3.2.2-2})$$

$$T_w = \frac{\sqrt{2 \times 10^{M-4.07}}}{3} + 2 = 0.00435 \times 10^{0.5M} + 2 \quad (\text{式 3.2.2-3})$$

ここで、 T_w (式 3.2.2-3) は Sato(1979)⁴⁾ の気象庁マグニチュードから断層を求める経験式[$S = 10^{(M-4.07)}$] にアスペクト比 2:1 を考えて断層長さを算出し、破壊伝播速度 $V_r = 3$ km/s を仮定して求められる破壊時間に 2 秒を加えて算出している。

3.2.3 解析結果

インバージョン解析より求められた静岡県内の増幅特性を図 3.2.3.1 に示す。また、11 地震の震源スペクトルを図 3.2.3.2 に、Q 値を図 3.2.3.3 に示す。

JR 静岡駅周辺の観測点の全体的な特徴として、1 Hz 付近ではおおむね 1~8 倍であるが、10 Hz 付近では 1 倍を大きく下回っている観測点が見られる。また、建物内に設置された観測点 (MYK、HN5、SHW、HSZ) では、自由地盤と建物の相互作用による影響が出ているとも考えられる。

静岡駅周辺の観測点 (MYK、HN5、SHW、MBC、SNP) では、2 Hz~3 Hz 付近で山となり、増幅率は 3~4 倍となるが、2 Hz 以下の低周波数では 2 倍程度である。また、静岡地方気象台(静岡)では、2.5 Hz 付近に 8 倍に達する大きなピークが見られ、SZU、K-NET 清水 (SZO013) 及び気象庁の清水観測点(清水)では、周波数 1 Hz 付近から低周波数側の増幅が大きいことが分かる。

SGS では、0.1 Hz~10 Hz の周波数帯でおおよそ 1 倍と増幅率が小さい。これは設置された地盤が基準点の掛川よりも硬く、増幅が小さいためであると考えられる。SGS を基準とすれば、静岡市街地の狭い範囲でも 10 倍近くサイト特性が変化している。

清水観測点では、2 Hz 以上の高周波数で増幅率が急激に落ち込んでいる。これは旧清水市街地周辺の強震観測点を対象とした野津(2003)⁵⁾ の結果でも同様である。軟弱地盤での高周波数における増幅率の低下は、東京湾岸を対象とした山中ほか(1998)⁶⁾ などの中でも報告されている。

震源スペクトルは、防災科学技術研究所における広帯域地震観測網⁷⁾ の地震モーメントを基に計算した結果 (計算には式 3.2.3-2 を使用) と比較した。全般的に対応がよく、大きくはずれるものは少ない。なお、4 番の伊豆半島東方沖の浅い地震では全周波数帯で差が大きく、11 番の静岡県中部の地震では高周波数側の差が大きい。なお、震源スペクトルは、

加速度地震モーメント密度関数 [Kanamori(1972)⁸⁾] (式 3.2.3-1) に変換し、地震基盤相当になるようインピーダンス比を乗じてある。

$$S'(f) = \frac{4\pi\rho V_s^3 S(f)}{R_{\theta\phi}} \quad (\text{式 3.2.3-1})$$

$$M(f) = \frac{(2\pi f_c)^2 M_0}{1 + (f_c/f)^2} \quad (\text{式 3.2.3-2})$$

$$\log M_0 = -3 \log f_c + 23.38 \quad (\text{式 3.2.3-3})$$

ここで、 $S'(f)$ は加速度地震モーメント密度関数 ($\text{dyne}\cdot\text{cm}/\text{s}^2$)、 $S(f)$ はインバージョンから求められた震源スペクトル (cm^2/s)、 ρ は密度 (g/cm^3)、 V_s は震源における S 波速度 (km/s)、 $R_{\theta\phi}$ はラディエーション係数、 $M(f)$ は加速度震源スペクトル ($\text{dyne}\cdot\text{cm}/\text{s}^2$)、 M_0 は地震モーメント ($\text{dyne}\cdot\text{cm}$)、 f_c はコーナー周波数 (Hz)、 f は周波数 (Hz) である。なお、密度は $3.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 S 波速度 V_s は $3.5 \text{ km}/\text{s}$ 、ラディエーション係数 $R_{\theta\phi}$ は 0.63 と仮定した。また、コーナー周波数 f_c は (式 3.2.3-3) の Takemura *et al.*(1993)⁹⁾ の $M_0 - f_c$ 関係式から推定した。

Q 値は、周波数が 0.7 Hz 付近より高い周波数領域で $Q = 70 \cdot f$ と対応が良い結果となっている。

また、日本建築学会の「地震荷重」¹⁰⁾ の中で東海地震を想定した地震動を評価している静岡市内の3つの観測点、駿府公園、大谷、東静岡について、「地震荷重」に記載された地盤モデルを基に次元重複反射理論により地盤増幅率を計算し、インバージョンで求められたサイト増幅特性とを比較して図 3.2.3.4 に示す。なお、計算に用いた地盤モデルは工学的基盤相当層より上のものを使用した。

駿府公園と SNP では、ピークの位置はややずれるものの、周波数 $0.8 \text{ Hz} \sim 5 \text{ Hz}$ で対応が良い。東静岡と HSZ では、周波数 0.7 Hz 付近の一次ピークが一致し、細かい山谷を別とすれば $0.5 \text{ Hz} \sim 10 \text{ Hz}$ で対応が良いことが分かる。大谷と SZU では、周波数 2 Hz 付近の1次のピークの対応は良いものの、 1 Hz 以下の周波数帯ではインバージョンによるサイト増幅特性が、 3 Hz 以上の周波数帯では地盤モデルに基づく結果が3倍ぐらい大きい。他の地点も同様であるが、比較を行った地盤モデルが、観測点の真の地盤構造と異なっている可能性に加え、SZU は深さ 16 m の立孔の中に設置されており、高周波数での差異が大きくなったと考えられる。また、低周波数側での差異を理解するためには、基準点と SZU の深部構造の違いを評価するなどさらなる検討が必要と考えられる。

3.2.4 観測記録による増幅率の妥当性検討

スペクトルインバージョンで得られた増幅率を、インバージョンに用いていない地震の記録で検証を行う。評価に用いる地震は、2004年9月5日の23時57分に紀伊半島の南東沖合で発生した地震 (マグニチュード 7.4、震源深さ 44 km) と、その約4時間50分前の19時07分に発生した前震 (マグニチュード 7.1、震源深さ 38 km) とした。これらの地震

は沈み込むフィリピン海プレートの内部で発生し、近畿地方において震度 5 弱を観測したほか、東北地方南部から九州地方にかけて震度 1 から 4 を観測した。

サイト増幅特性との比較には、紀伊半島沖の前震及び本震の観測記録から求めた基準点に対するフーリエスペクトル比を用いた。スペクトル比の算出手順は次のとおりである。

観測記録の水平動成分を対象とし、基線ずれを補正したデータから S 波部分 30 秒間を $Cosine$ テーパ付き矩形タイムウィンドウにより切り出した。次に、抽出したデータから周波数軸上で等間隔になるよう有限フーリエ変換を用いてスペクトルを求め、インバージョン解析において基準点とした K-NET の掛川(SZO019)を分母としたスペクトル比を求めた。また、インバージョンで求めたサイト増幅特性は、インバージョン解析の拘束条件として、基準点での地盤特性が 2 となるようにしたことから振幅値に $1/2$ を乗じた上で、スペクトル比と比較した。

サイト増幅特性と紀伊半島沖の前震及び本震から求めたスペクトル比の比較結果について、前震を図 3.2.4.1 に、本震を図 3.2.4.2 に示す。これを見ると、前震、本震ともおよその観測点でピークの位置、振幅値ともサイト増幅特性とスペクトル比の対応が良いことが分かる。また、水平動 2 成分での差がないことも分かる。しかしながら、SNP では周波数 10 Hz 付近ではサイト増幅特性とスペクトル比の対応が良いものの、低周波数側ではサイト増幅特性の振幅値とスペクトル比の差が大きくなっていることが分かる。

次に、SNP でのサイト増幅特性とスペクトル比の開きが大きい周波数 2 Hz と 3 Hz の周波数帯において、スペクトル比をサイト増幅特性で除算し、これを対数とした値の空間分布を図 3.2.4.3 に示す。これを見ると、周波数が 2 Hz、3 Hz どちらの周波数帯でも、県内のほとんどの観測点では、サイト増幅特性とスペクトル比の対応が良いことが分かる。しかしながら、御前崎と静岡中心部では、サイト増幅特性とスペクトル比の差が大きいことが分かる。ここで、SNP がある静岡市中心部に着目すると、周辺観測点の K-NET 清水(SZO013)や焼津(SZO016)などに比べて、特にスペクトル比の方が小さくなっていることが分かる。

増幅率が大きく異なる地域の波形の性状を見るために、SNP を南北に取り囲む K-NET 清水(SZO013)、焼津(SZO016)の観測点、御前崎を東西に取り囲む K-NET 榛原(SZO18)、浜岡(SZO017)の観測点を選択した。次に、紀伊半島沖の本震での加速度波形から、周波数 1 Hz から 3 Hz のバンドパス・フィルタ処理を行った速度波形を計算し、比較を行ったものを図 3.2.4.4(a)に示す。また、同様の処理を行った 2001 年 4 月 3 日の静岡県中部の地震について比較したものを図 3.2.4.4(b)に示す。これを見ると、紀伊半島沖の本震での SNP、御前崎では取り囲んだ観測点に比べ振幅値が小さいことが分かり、2001 年の静岡県中部の地震では同程度なことが分かる。

以上のことから、SNP、御前崎における周波数 0.35 Hz から 10 Hz 前後の帯域において、サイト増幅特性と観測記録から求められたフーリエスペクトル比の対応が悪いことは、地震波の入射方向と地盤の不整形性の相互作用の影響が考えられるが、今後さらに検討が必要と思われる。

表 3.2.1.1 解析対象地震の諸元

No.	発震年月日		北緯		東経		深さ (km)	M	Δ (km)	X (km)	静岡 震度	最大 震度
1	1997.	10. 11	14: 44: 35.70	S OF SURUGA BAY	34° 25.42'	138° 16.35'	34.14	4.9	62	71	3	3
2	1997.	10. 21	19: 55: 25.59	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 06.98'	138° 13.83'	32.01	4.4	21	38	2	2
3	1998.	04. 05	10: 53: 55.38	AKASHI MOUNTAINS REG	35° 24.39'	138° 16.54'	11.6	4.4	49	50	1	2
4	1998.	05. 03	11: 09: 05.31	E OFF IZU PENINSULA	34° 57.44'	139° 10.74'	4.72	5.7	73	73	2	4
5	1999.	05. 07	21: 48: 25.58	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 12.58'	138° 20.52'	19.82	4.7	26	33	3	3
6	1999.	05. 08	10: 35: 03.26	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 13.26'	138° 20.29'	18.97	3.8	27	33	1	2
7	2000.	09. 11	07: 49: 47.10	NEAR NIJIMA ISLAND	34° 30.79'	139° 13.35'	11.14	5.3	92	93	2	5弱
8	2000.	10. 31	04: 20: 37.64	NEAR NIJIMA ISLAND	34° 23.71'	139° 12.45'	12.55	4.7	99	100	1	4
9	2001.	02. 02	08: 10: 06.14	EASTERN YAMANASHI PREF	35° 29.81'	139° 04.48'	17.33	4.2	85	87	2	3
10	2001.	02. 23	07: 23: 47.90	HAMANAKO LAKE REGION	34° 47.40'	137° 33.11'	32.34	4.9	79	85	2	4
11	2001.	04. 03	23: 57: 12.43	CENTRAL SHIZUOKA PREF	35° 01.25'	138° 05.84'	30.34	5.1	27	40	5強	5強

注意) Δ (震央距離)、X (震源距離) は駿府公園 (SNP) からの距離。

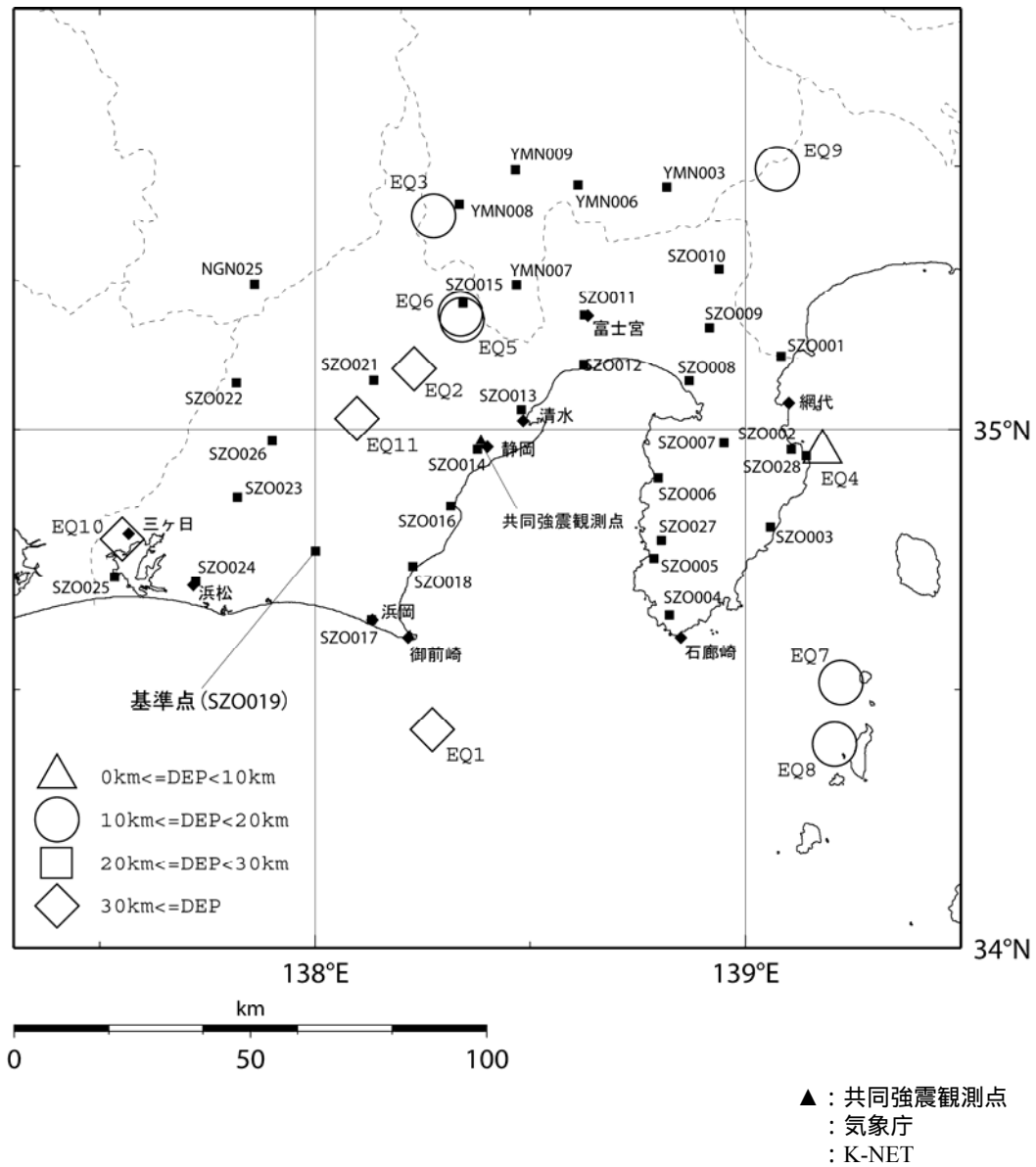


図 3.2.1.1 解析対象地震の震央分布と観測点分布

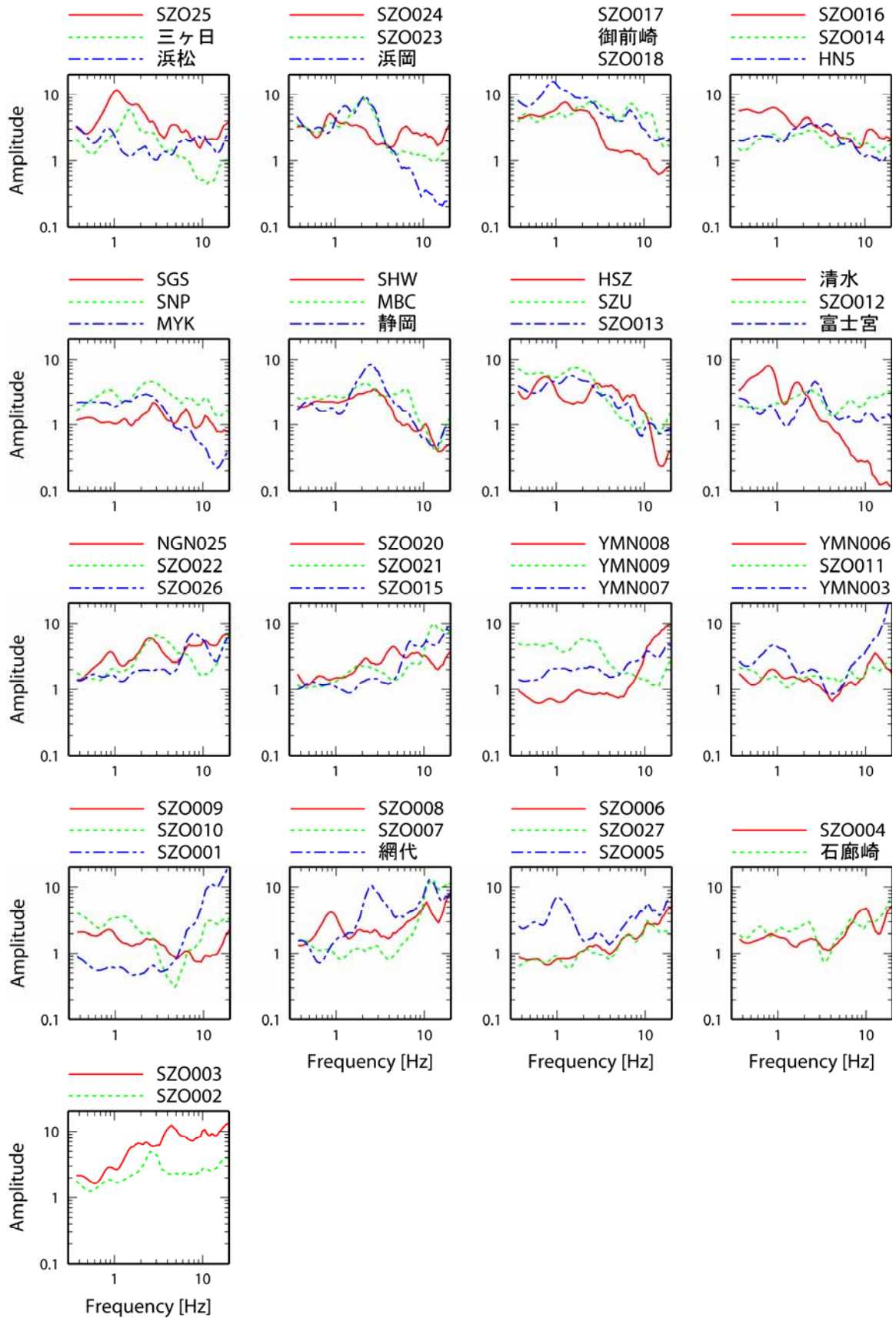


図 3.2.3.1 スペクトルインバージョン解析より求められた静岡県内のサイト増幅特性
観測点名が日本語は気象庁、サイトコードは共同強震観測点あるいはK-NET

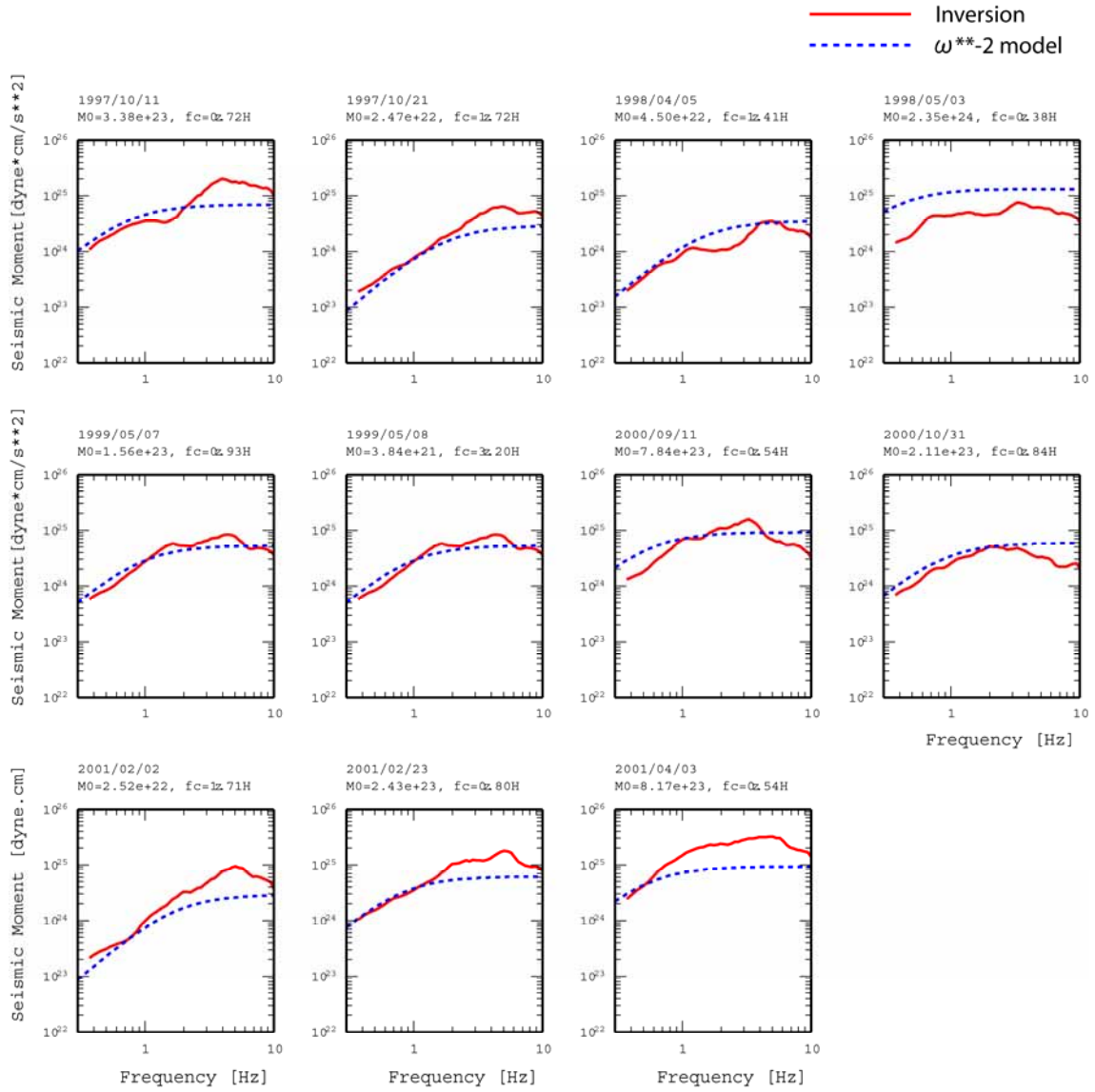


図 3.2.3.2 スペクトルインバージョン解析より求められた震源スペクトル

赤実線は震源スペクトル(加速度地震モーメント密度関数)、青点線は地震モーメントから求められた震源スペクトル。

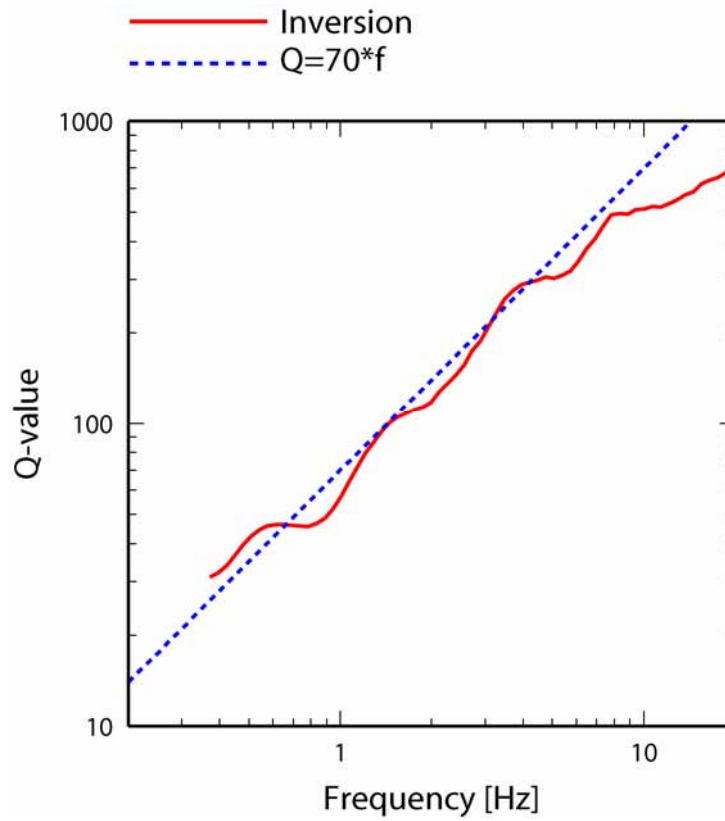


図 3.2.3.3 スペクトルインバージョン解析より求められた Q 値

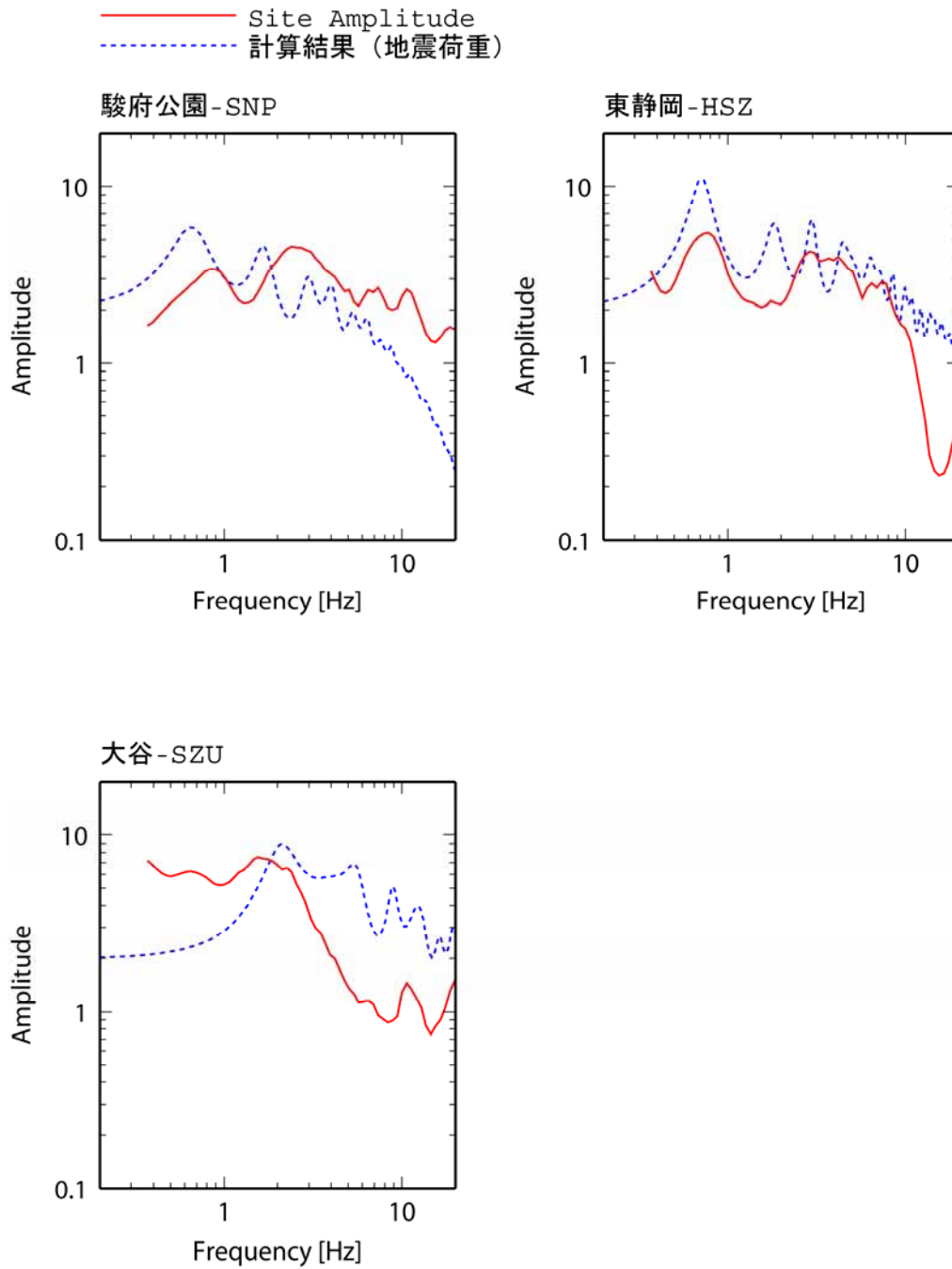


図 3.2.3.4 サイト増幅特性と駿府公園、東静岡、大谷における地盤増幅率の比較
 地盤モデルは工学的基盤相当層より上を使用。
 赤の実線はサイト増幅特性、青の点線は地盤モデルから計算された地盤増幅率。

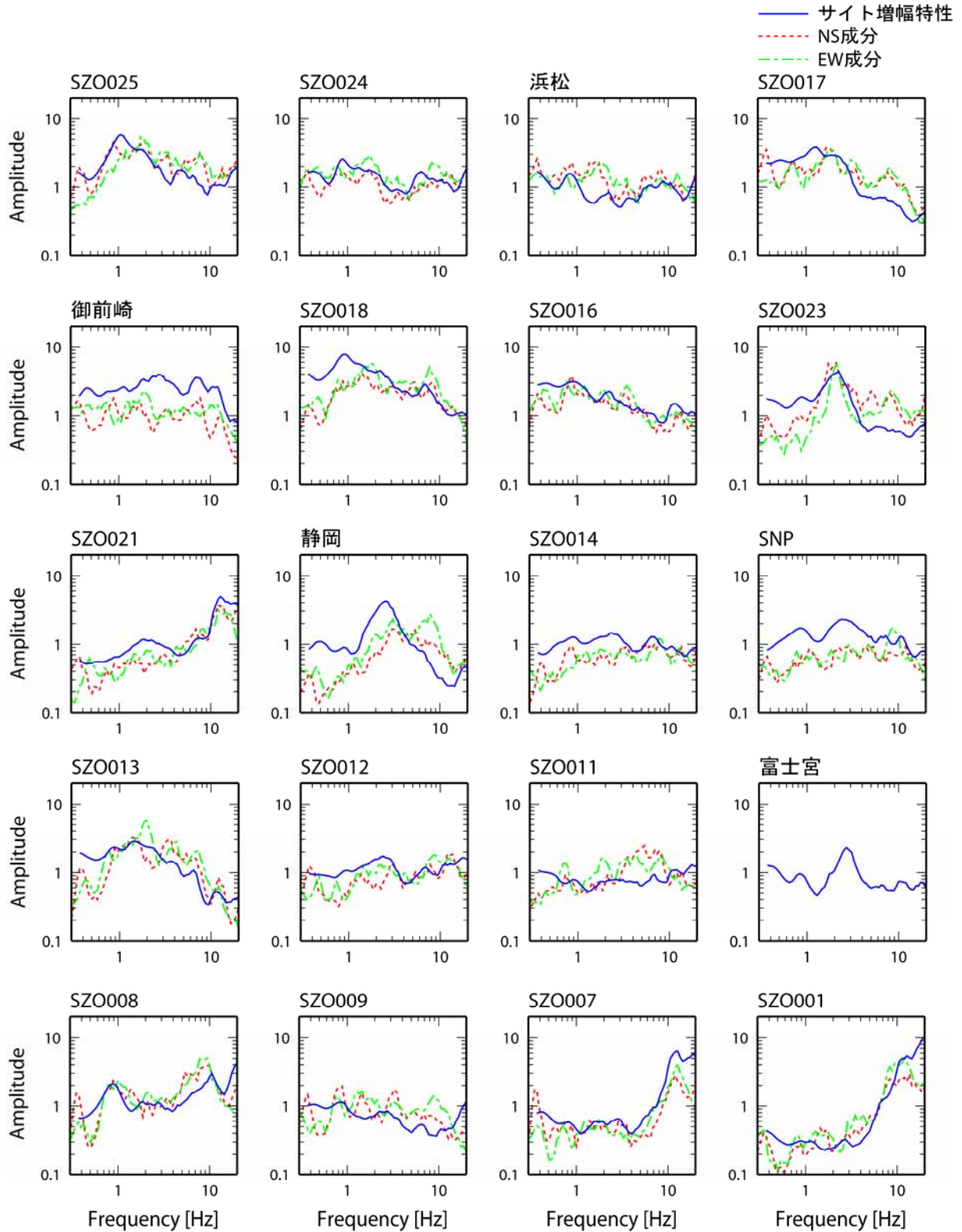


図 3.2.4.1 サイト増幅特性と紀伊半島沖の地震における前震記録との比較

青の実線はサイト増幅特性、赤の点線はSZO019に対するNS成分のフーリエスペクトル比、緑の一点鎖線はEW成分。観測点名が日本語は気象庁、サイトコードは共同強震観測点あるいはK-NET

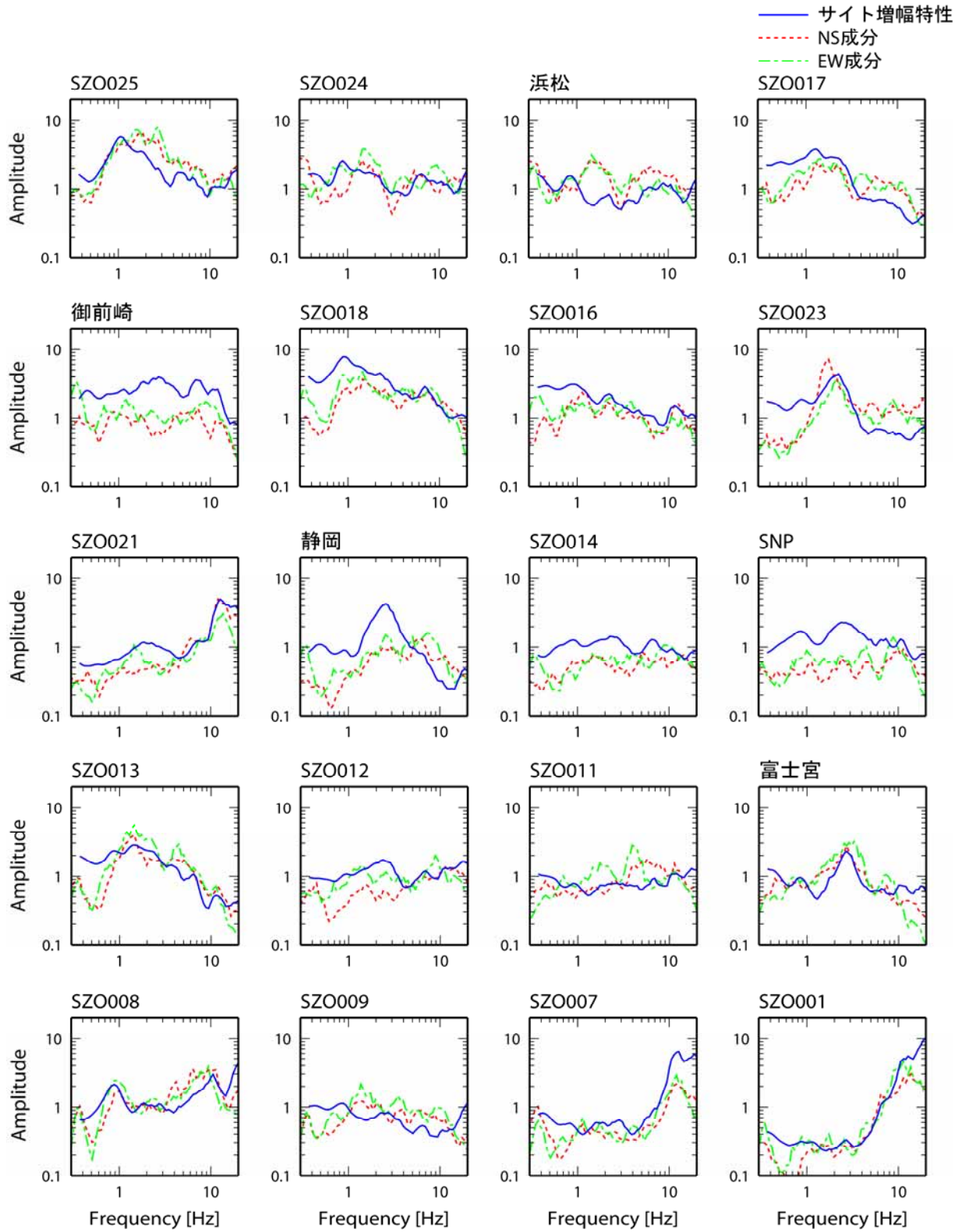


図 3.2.4.2 サイト増幅特性と紀伊半島沖の地震における本震記録との比較

青の実線はサイト増幅特性、赤の点線はSZO019に対するNS成分のフーリエスペクトル比、緑の一点鎖線はEW成分。観測点名が日本語は気象庁、サイトコードは共同強震観測点あるいはK-NET

LN(Fourier Spectrum Ratio / Site amplification factors)

Frequency=2.00Hz (Period=0.5sec)

Frequency=3.08Hz (Period=0.3sec)

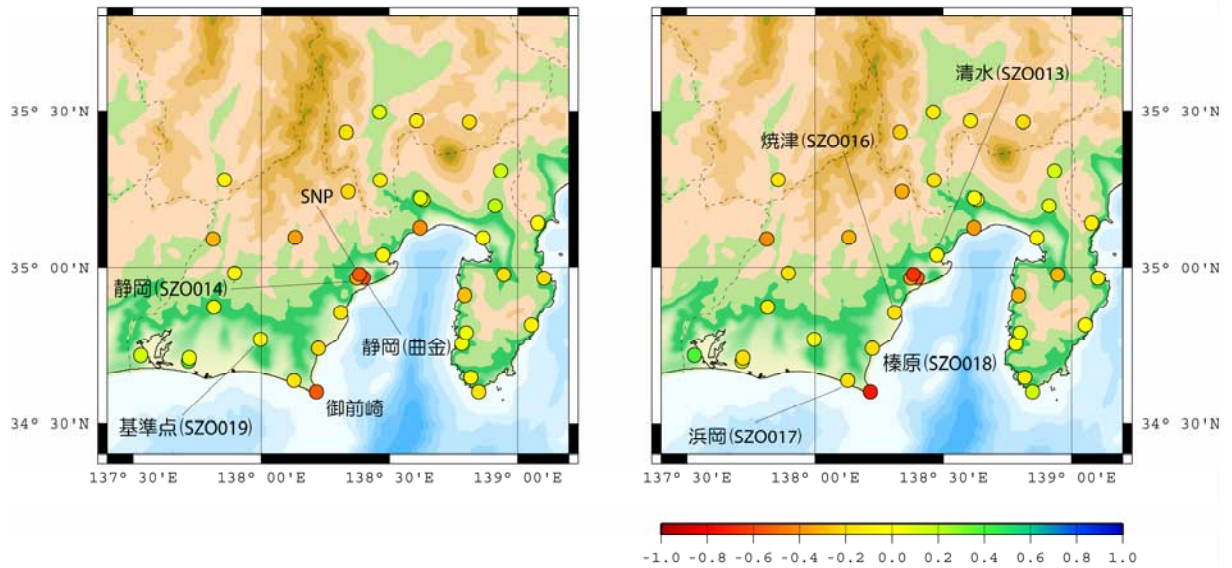


図 3.2.4.3 観測記録のフーリエスペクトル比をサイト増幅特性で除したものの対数を取った値の空間分布(本震) 左側は周波数 2 Hz、右側は周波数 3 Hz における値。

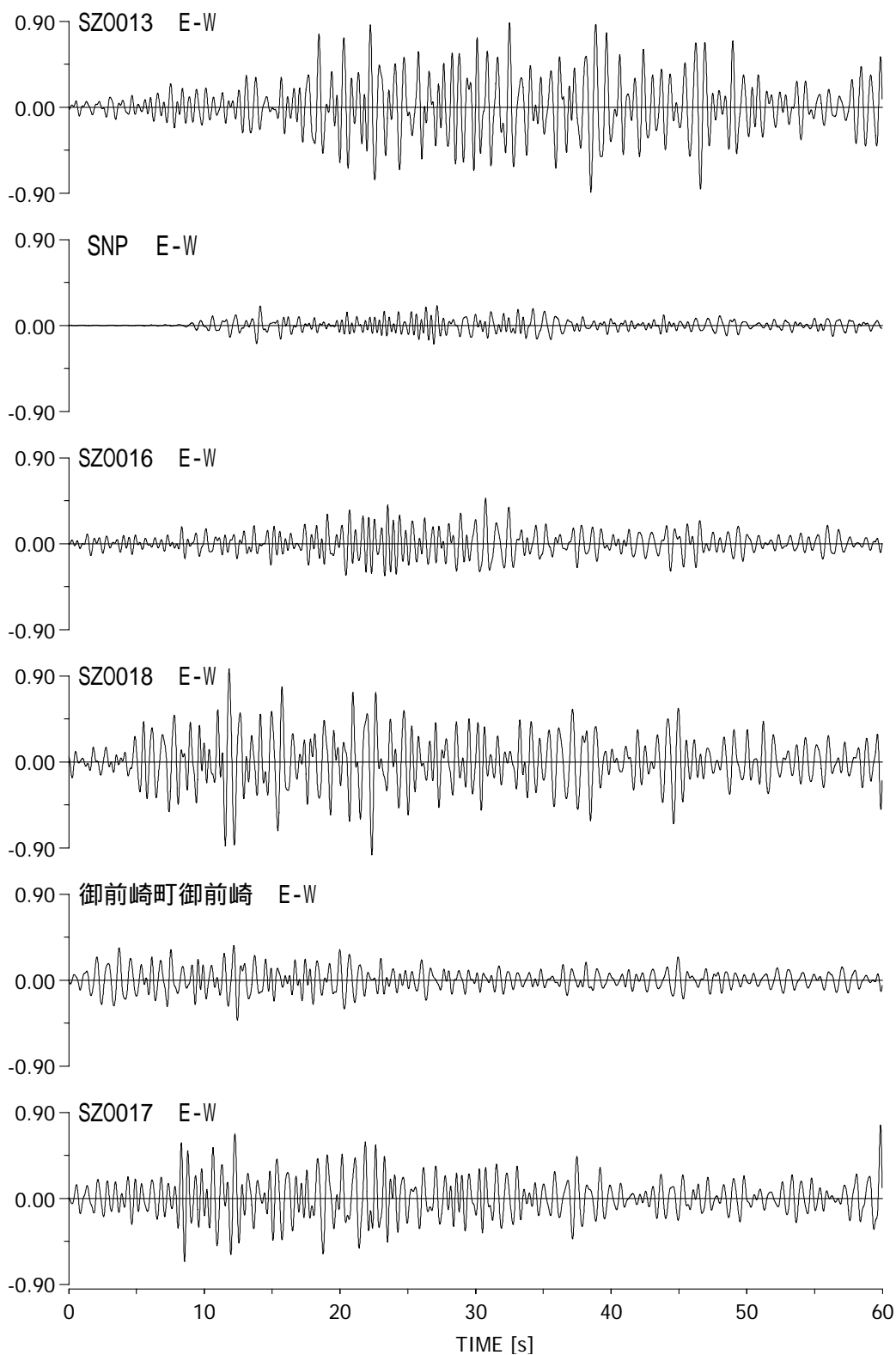


図 3.2.4.4(a) サイト増幅特性とフーリエスペクトル比の開きが大きい観測点での速度波形の比較(本震)

周波数 1 Hz - 3 Hz の区間に対し、バンドパス・フィルタ処理。

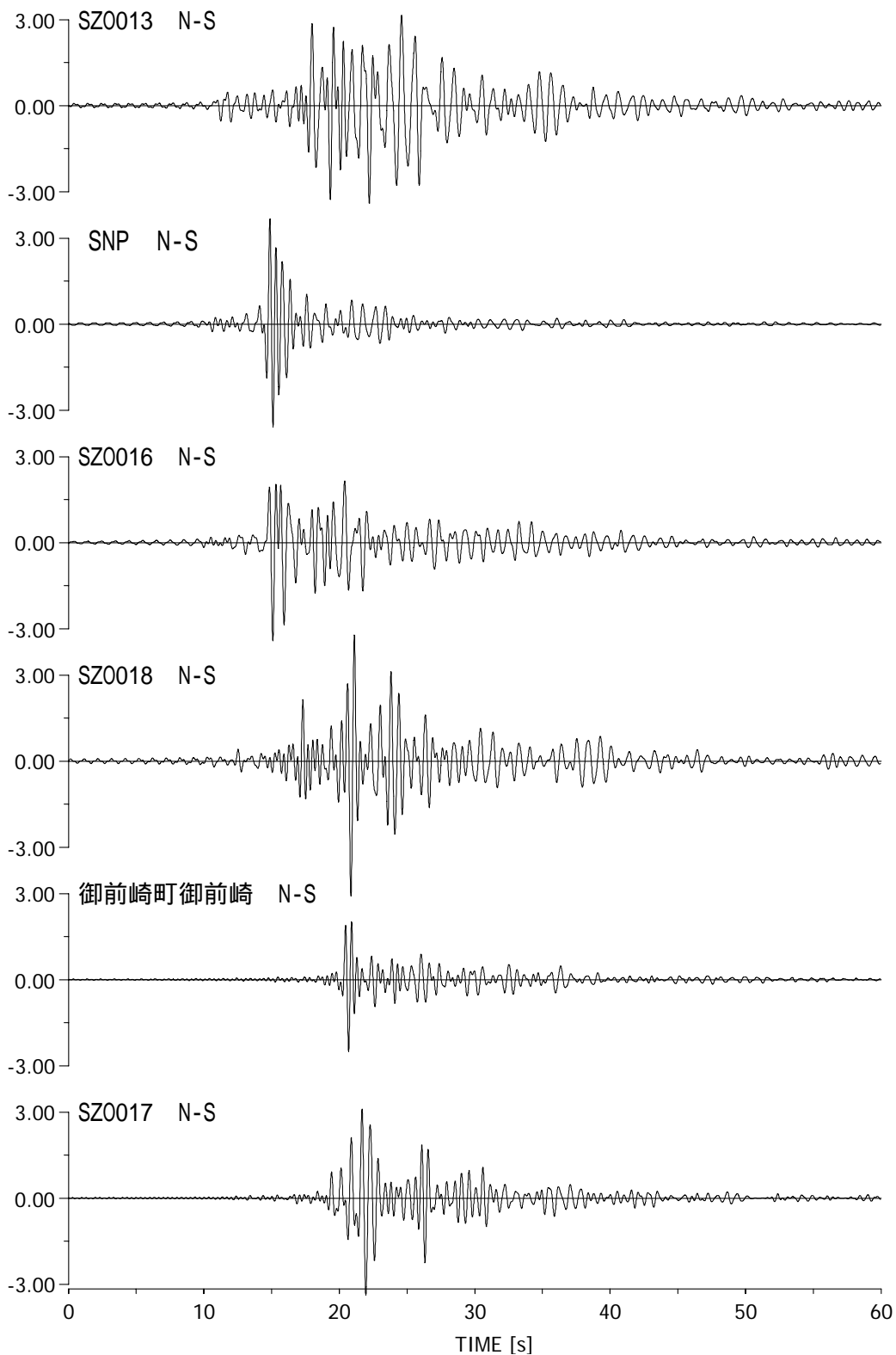


図 3.2.4.4(b) サイト増幅特性とフーリエスペクトル比の開きが大きい観測点での速度波形の比較(2001年4月3日静岡県中部の地震)

周波数 1 Hz - 3 Hz の区間に対し、バンドパス・フィルタ処理。

参考文献

- 1) 木下繁夫・上原正義・斗沢敏雄・和田安司・小久江洋輔：K-NET95 型強震計の記録特性、地震 2、49、pp.467-481、1997.
- 2) 岩田知孝・入倉孝次郎：観測された地震波から、震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み、地震 2、39、pp.579-593、1986.
- 3) Kato, K., M. Takemura, T. Ikeura, K. Urano and T. Uetake : Preliminary Analysis for Evaluation of Local Site Effects from Strong Motion Spectra by an Inversion Method , J. Phys. Earth , 40 , pp.175-191 , 1992.
- 4) Sato, R. : Theoretical basis on relationships between focal parameters and earthquake magnitude , J. Phys. Earth , 27 , pp.353-372 , 1979.
- 5) 野津厚：港湾地域強震観測の経緯と現状、日本地震工学会大会-2003 梗概集、pp.特 54-特 55、2003.
- 6) 山中浩明・中丸明子・栗田勝実・瀬尾和大：表層の地盤特性を拘束条件にした S 波スペクトルのインバージョンによるサイト特性の評価、地震 2、51、pp.193-202、1998.
- 7) 福山英一・石田瑞穂・Douglas S. Dreger・川井啓廉：オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定、地震 2、51、pp.149-156、1998.
- 8) Kanamori, H. : Mechanism of Tsunami Earthquakes , Phys. Earth Planet. Interiors , 6 , pp.346-359 , 1972.
- 9) Takemura, M., T. Ikeura, and T. Uetake : Characteristics of Source Spectra of Moderate Earthquakes in a Subduction Zone along the Pacific Coast of the Southern Tohoku District, Japan , J. Phys. Earth , 41 , pp.1-9 , 1993.
- 10) 日本建築学会：地震荷重 - 地震動の予測と建築物の応答、1992.

(東電工業：湯沢 豊、東京電力：植竹富一)

3.3 観測記録の分析例

共同観測記録の使用方法として、経験的グリーン関数法の要素地震記録として用いることが考えられる。東南海地震、東海地震の要素地震として使えるような地震記録の分析を行った。

東南海地震については、2004/9/5 東海道沖（紀伊半島南東沖）の地震を用いることができる。プレート境界地震の東南海地震とメカニズムは異なるが、発生位置が近く、長周期地震動を検討するのに有用である。東海地震については、深い部分は 2001/4/3 静岡県中部の地震を用い、浅い部分については 2000/7/15 新島近海の地震を用いることが考えられる。新島近海の地震は、東海地震の断層面からやや離れているが、断層面の浅部から発せられる周期数秒の表面波を考慮するために有用である。図 3.3.1 に断層面と要素地震震央位置を示す。表 3.3.1 に要素地震の諸元を示す。

図 3.3.2、図 3.3.3、図 3.3.4 にそれぞれ、東海道沖(紀伊半島南東沖)地震、静岡県中部の地震、新島近海の地震の速度および加速度波形を示す。地震記録は大成建設静岡営業所(HN5)の N115E、N205E、UP 成分の記録を示す。

図 3.3.5 に N115E 成分のフーリエスペクトル(Parzen window バンド幅 0.1Hz でスムージング)を3つの地震について示す。静岡県中部の地震では短周期成分が卓越し、一方、東海道沖の地震では周期 7~8 秒が卓越し、新島近海の地震では周期 1~2 秒の成分が卓越していることがわかる。

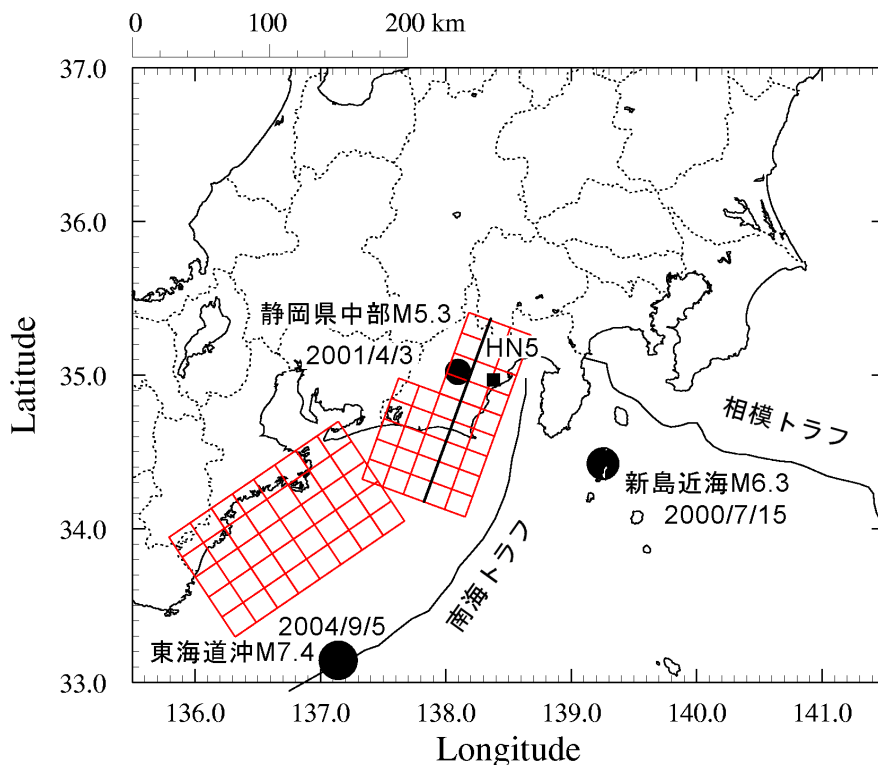


図 3.3.1 要素地震の震央位置と観測点位置

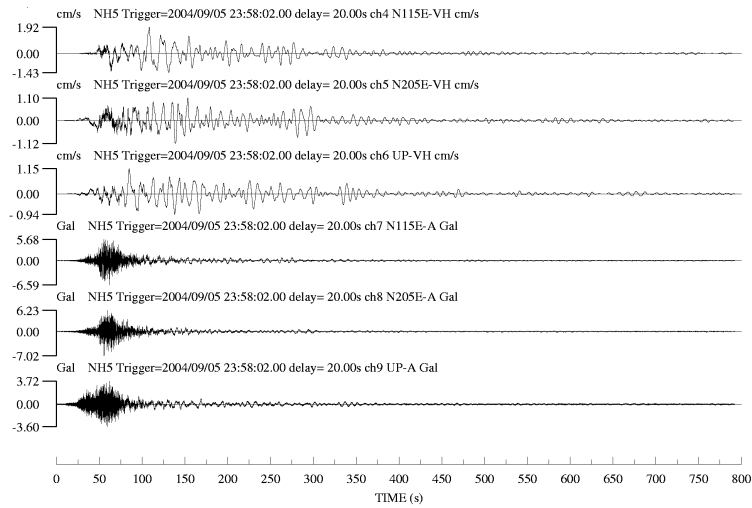


図 3.3.2 東海道沖(紀伊半島南東沖)地震(M7.4)の記録

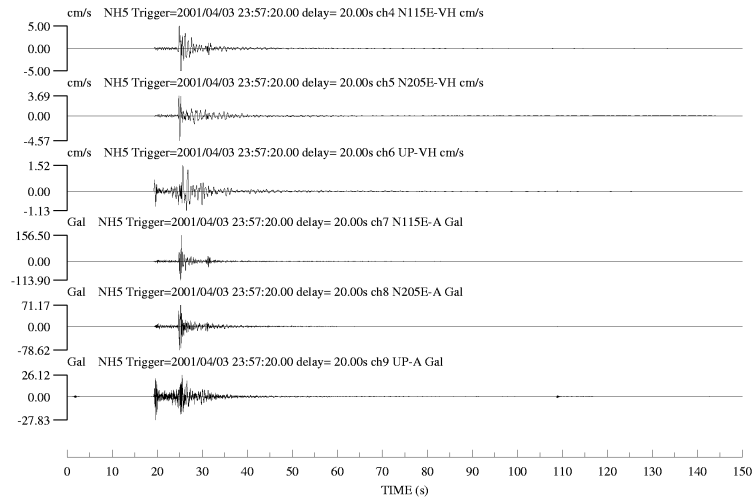


図 3.3.3 静岡県中部の地震(M5.3)の記録

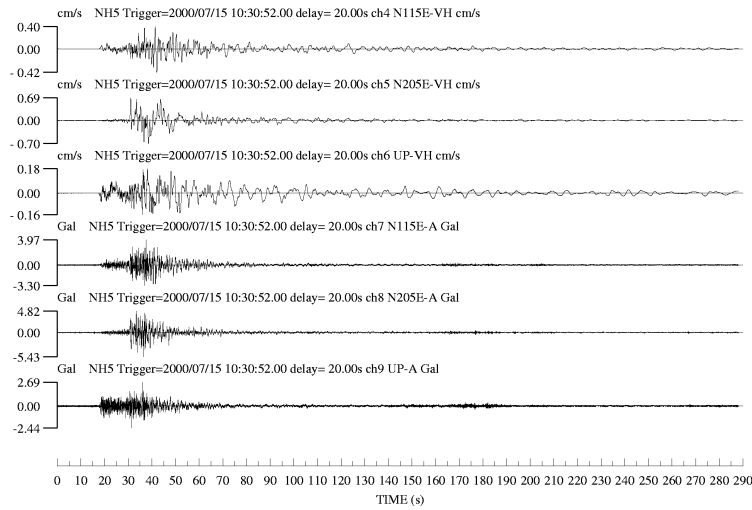


図 3.3.4 新島近海の地震(M6.3)の記録

表 3.3.1 要素地震の諸元

	東海道沖の地震	静岡県中部の地震	新島近海の地震
年月日	2004/9/5 ¹⁾	2001/4/3	2000/7/15
時分秒	23:57:16.9 ¹⁾	23:57:12.43	10:30:32.00
Mj	7.4 ¹⁾	5.3	6.3
北緯(°)	33.143 ¹⁾	35.021	34.420
東経(°)	137.142 ¹⁾	138.097	139.245
深さ(km)	44 ¹⁾	30.3	9.7
地震モーメント(Nm)	1.7×10^{20} ²⁾	6.5×10^{16} ⁴⁾	1.3×10^{18} ⁵⁾
応力降下量(MPa)	4.3 ³⁾	7.2 ⁴⁾	9.2 ⁵⁾

無印：気象庁(2004)、地震年報CD-ROM(2002年版)

1) 気象庁(2004)、地震概況、日本地震学会ニュースレター、Vol. 16、No. 4、November 10、pp. 25-47

2) 山中佳子(2004)、私信

3) $\Delta \sigma = 2.5 M_0 / S^{1.5}$

4) EIC地震学ノート No. 103

5) EIC地震学ノート No. 83

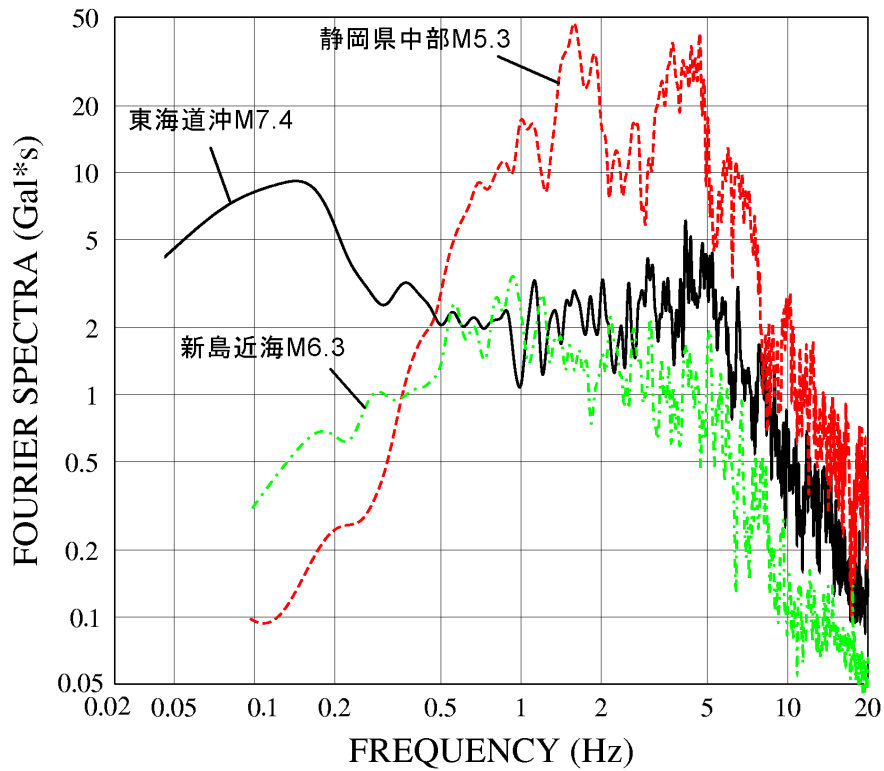


図 3.3.5 3つの地震のフーリエスペクトルの比較

静岡共同観測点の HN5 の他に、大成建設では戸塚（技術センター免震棟地下ピット）、新宿（新宿センタービル地下 65m）でも観測を行っている（図 3.3.6）。図 3.3.7 では K-NET 観測点の尾鷲を含めて加速度記録を比較した。短周期成分は、尾鷲、静岡、横浜、新宿となるにつれ小さくなっているが、後続する周期 7~8 秒の長周期成分は逆に振幅が増加しており、長周期成分が短周期成分のように距離と共に減衰するのではなく、遠方まで伝播し、平野の堆積構造などにより増幅されることがわかる。

(大成建設 吉村智昭)

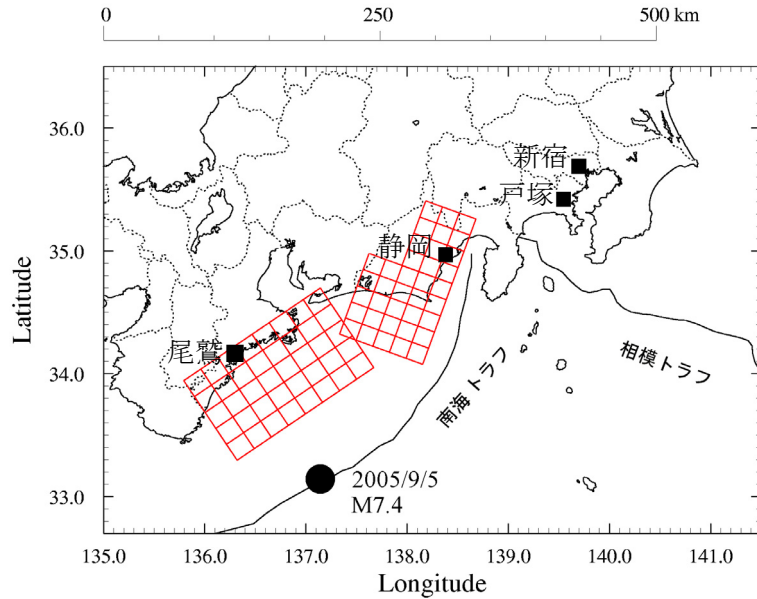


図 3.3.6 尾鷲、静岡、戸塚、新宿の位置

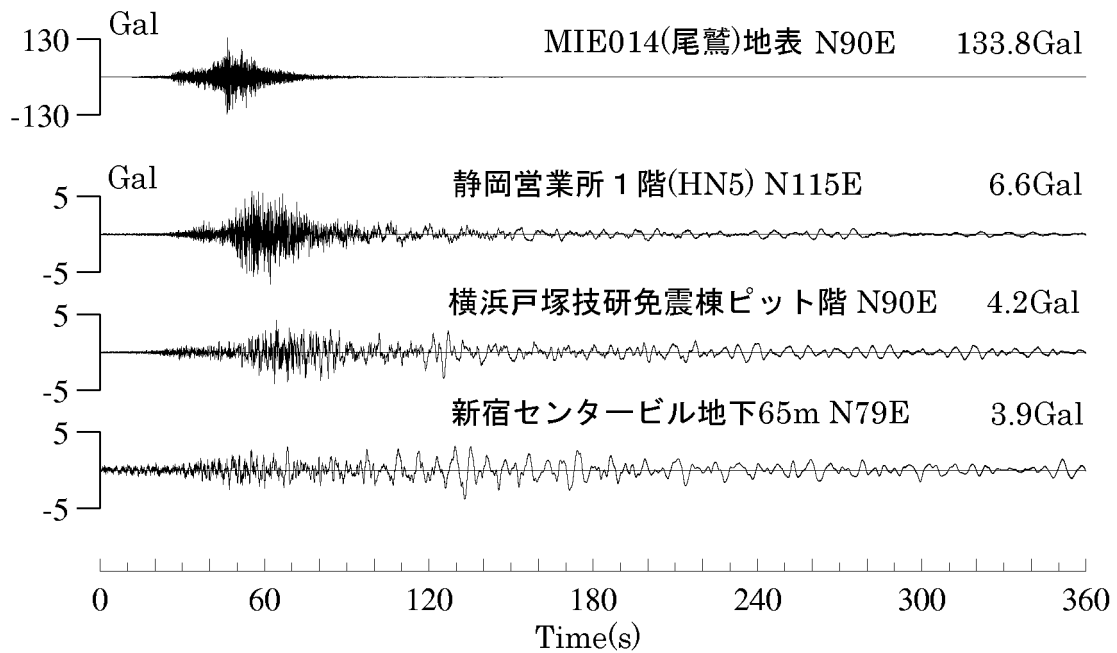


図 3.3.7 東海道沖(紀伊半島南東沖)地震(M7.4)の記録

4.1 関西大学における強震計 SMAC-MD の活用

関西大学 鈴木三四郎

(1) はじめに

建築学会から貸与された SMAC-MD (アカシ社製) は、本体には水平 2、上下 1 の 3 成分のセンサーが組み込まれていたものであった。この強震計に手を加え、1999 年から観測を始めた。2005 年までに 32 回の地震による記録が得られた。

(2) 関西大学における観測システムと記録

強震観測システムは、右の写真に示す吹田市千里山の関西大学千里山キャンパス内の工学部第 5 実験棟 (地下 1 階含む RC 4 階建て) に SMAC-MD の本体を設置し、建物横の地中 (GL-13m) 建物の地階および 4 階の床に、それぞれ 3 成分のセンサーを配置し、計 9 成分に拡張された。トリガーレベルは全てのチャンネルに OR で $1\text{cm}/\text{sec}^2$ に設定し、遠方発生地震を考慮して、遅延時間は 20sec、観測時間は基本的に 60sec とし、サンプリングは 100Hz である。



写真 関西大学第 5 実験棟

過去 5 年間の記録数は、表に示すように 16 回の地震によるものである。この中には、2001 年 3 月 24 日の芸予地震、大阪で震度 4 であった 2004 年の紀伊半島沖、東海道沖の地震などが含まれる。この中で、9 月 5 日発生東海道沖の地震の加速度時刻歴を図に示す。上から順に、地中、地階、4 階の NS、EW、UD の 3 成分の全 9 成分、継続時間としては記録の 15sec から 60sec 間が表示されている。地中で約 20、建物内で約 $50\text{cm}/\text{sec}^2$ の最大値が観測されている。図中には、各成分の最大値と最小値が表示されている。

表 過去 5 年間に採れた地震動波形とその震源情報

No.	発生年月日	時刻	緯度	経度	深 さ (Km)	マグニチ ユード	震央 (地震名)
1	2001/01/12	8:00	35.5N	134.5E	10	5.4	兵庫県北部
2	2001/01/26	8:42	35.1N	135.7E	20	4.2	京都府南部
3	2001/03/24	15:28	34.1N	132.7E	60	6.4	芸予地震
4	2001/08/25	22:21	35.1N	135.7E	10	5.3	京都府南部
5	2002/07/16	20:09	35.1N	135.7E	20	4.0	京都府南部
6	2003/10/08	23:37	35.2N	133.4E	10	3.1	鳥取県中・西部
7	2004/07/27	0:55	35.8N	137.1E	10	4.6	岐阜県美濃中西部
8	2004/09/05	19:07	33.2N	136.9E	10	6.8	紀伊半島沖の地震
9	2004/09/05	23:57	33.2N	137.1E	10	7.3	東海道沖の地震
10	2004/09/07	8:30	33.3N	137.2E	10	6.4	東海道沖
11	2004/09/08	3:36	33.3N	137.2E	10	5.4	東海道沖
12	2004/09/08	23:58	33.2N	137.2E	10	6.2	東海道沖
13	2004/11/30	16:02	34.7N	135.2E	6	3.3	兵庫県南部
14	2004/12/01	23:30	35.0N	135.8E	13	4.0	京都府南部
15	2005/02/14	0:22	34.7N	135.1E	10	4.2	兵庫県南東部
16	2005/06/20	14:05	35.8N	136.9E	9	4.6	岐阜県美濃中西部

(表の情報、地震予知総合研究振興会による)

(3) 波形の収録・処理

得られた波形の収録と処理に関しては、SMAC-MD を対象に独自に開発した NTT 公衆回線を利用した地震情報支援速報システム EIS (Earthquake Information Support System) を用いている。このシステムは、地震発生時に強震計が動き出し、地震の発生とその最大値を知らせ、記録終了と同時に強震計側から電話回線でデータが自動的に送られ、PC 内のハードディスクに生のバイナリーとアスキー変換された形式で収録するものである。

(4) おわりに

ここで使用している強震計 SMAC-MD については、貸与された当時から調子は良くなく、記録部の本体を入れ替え、センサーのみを使用している状況である。もちろん、地中計と他の地上用センサー、および9チャンネル拡張に要した費用などは関西大学の方で負担したものである。また、この強震計は16ビット仕様であること、比較的小さな地震が多いことなどから、波形にノイズ的なものは多く含まれる。しかし、建物を対象に観測を続ける限り、余り気にする必要はないと思われる。

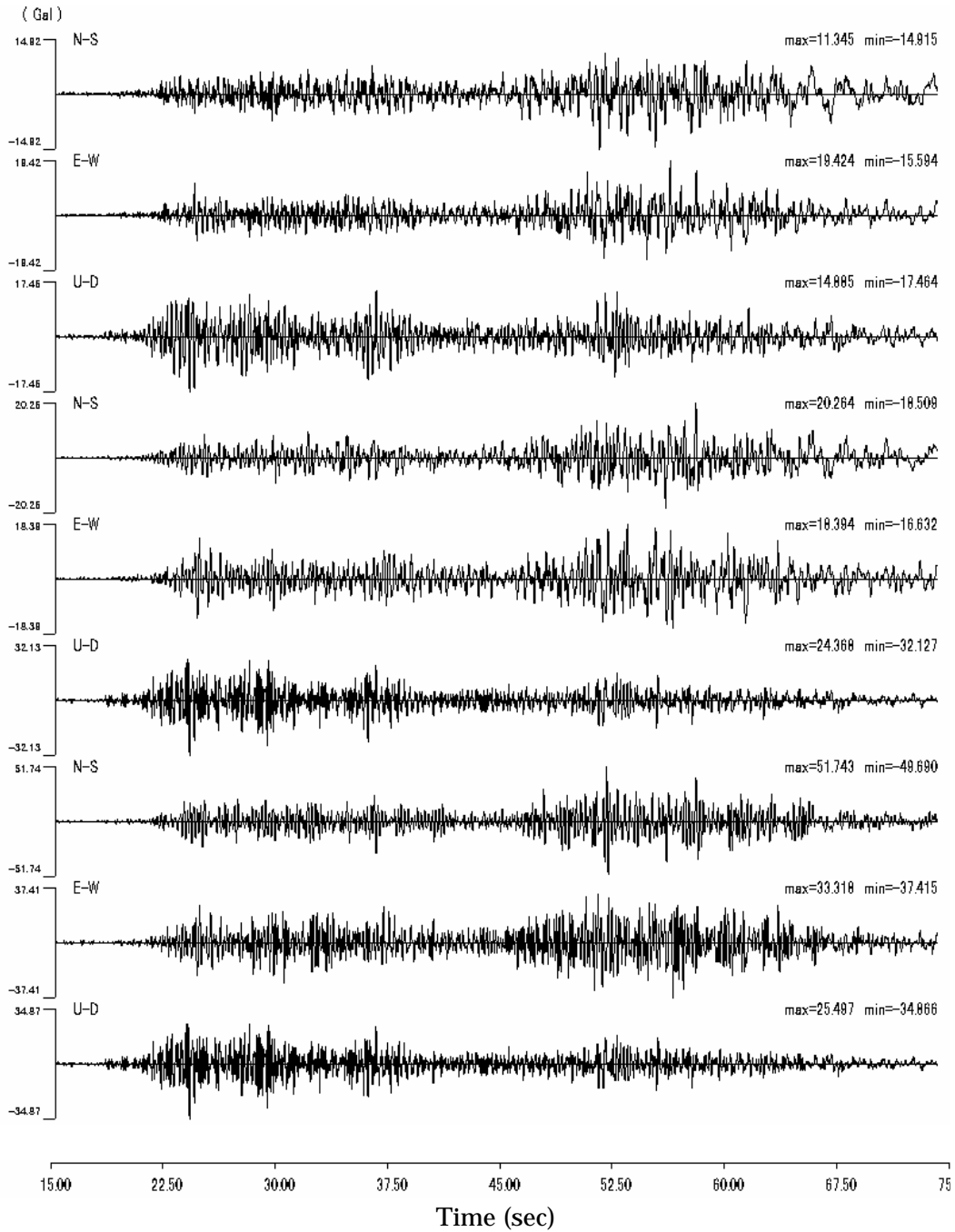


図 2004年9月5日東海道沖で発生した地震の加速度時刻歴

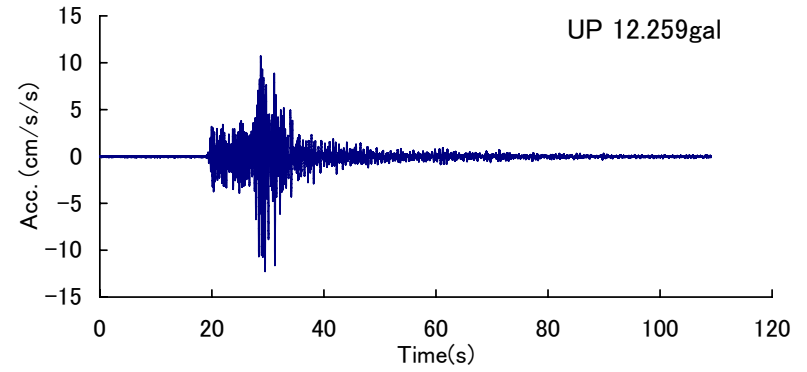
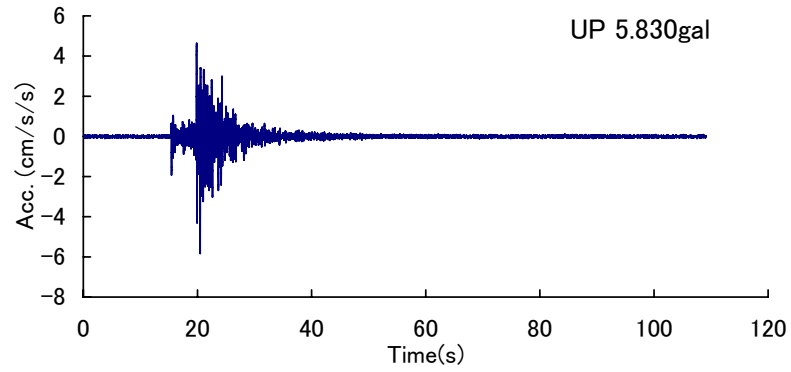
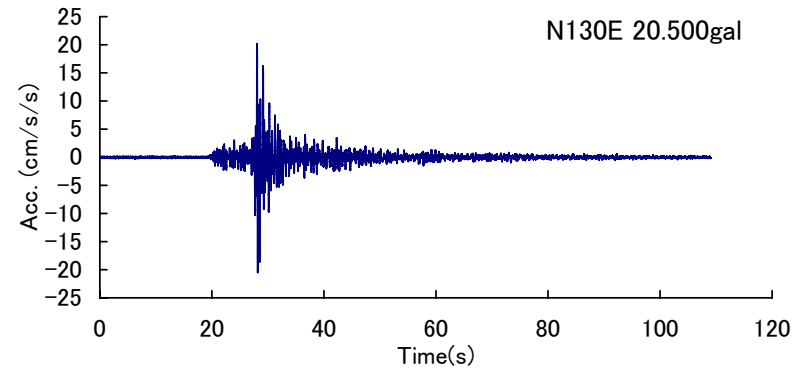
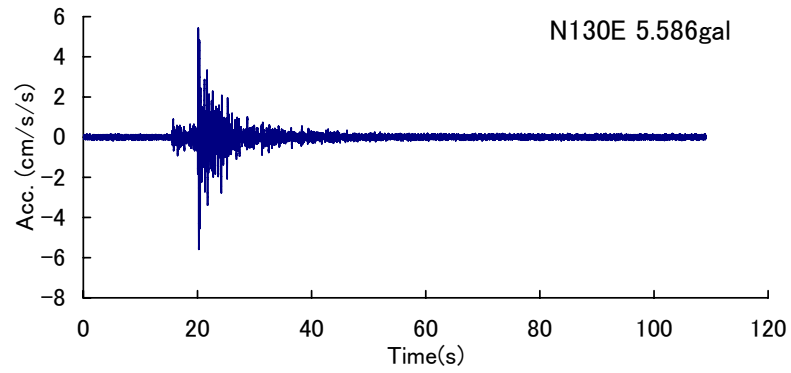
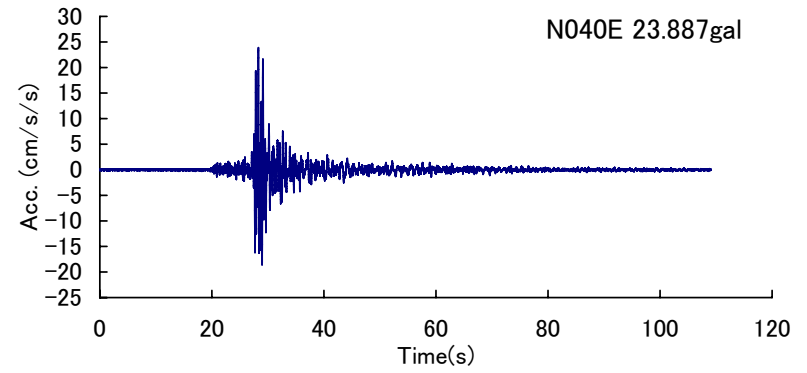
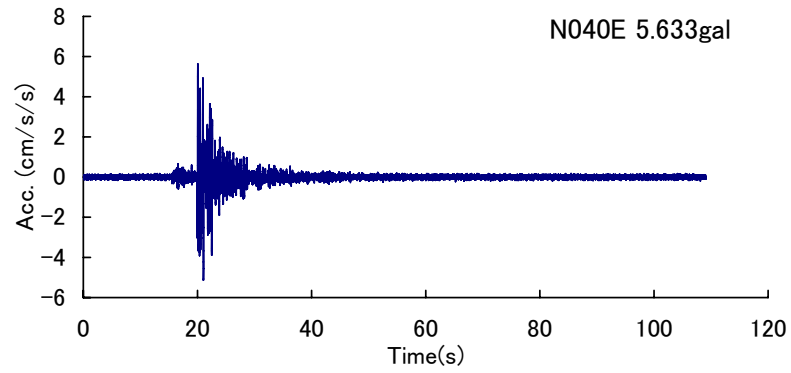
4.2 京都大学原子炉実験所における強震計 CV-701 の活用

京都大学原子炉実験所 釜江克宏

原子炉実験所では建築学会から貸与された CV-701（東京測振社製）と保有の強震計（CV-901 や震度計など）を併せて、敷地内自由地表面、原子炉建屋内で地震観測を行っている（CV-701 による観測は 1999 年から臨界実験装置という原子炉建屋の基盤上で行っている）。CV-701 によってこれまでに観測された主な地震を表-1 に示す。観測された地震としては 2000 年鳥取県西部地震(M7.3)、2000 年三重県中部地震(M5.5)、2001 年芸予地震(M6.7)、2004 年紀伊半島南東沖の地震(M7.4)が含まれる。観測波形（加速度）を付図に示す。波形はフィルター処理をしていない生の加速度波形である。得られた観測波形は原子炉建屋の地震応答特性の検討などに有効活用している。

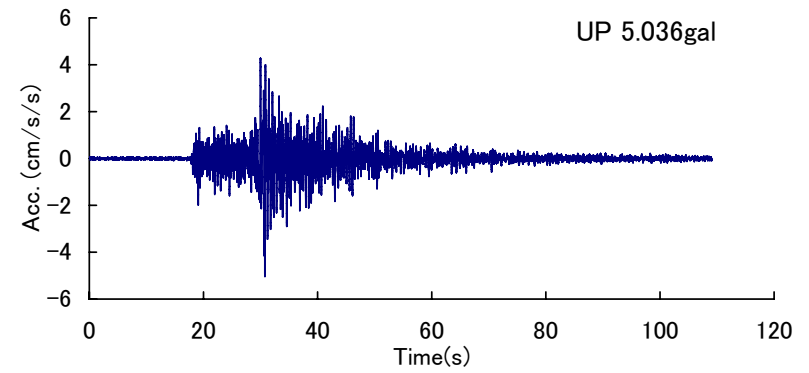
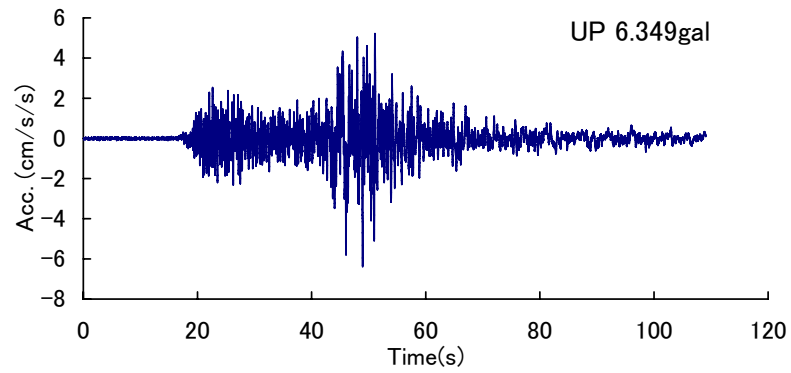
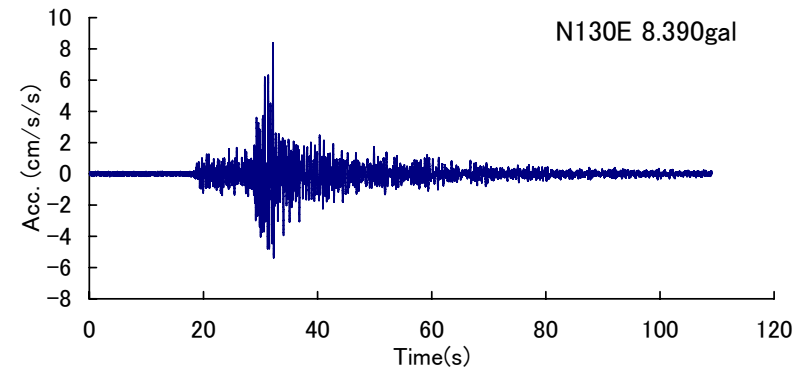
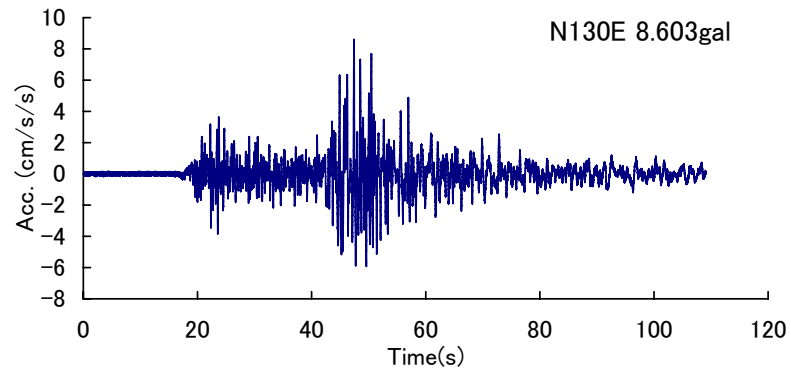
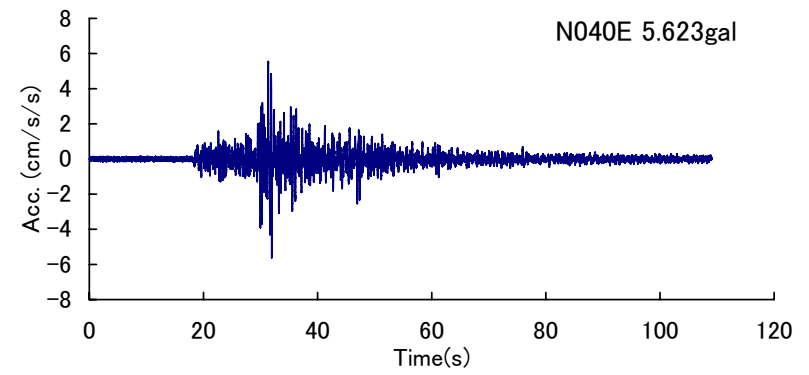
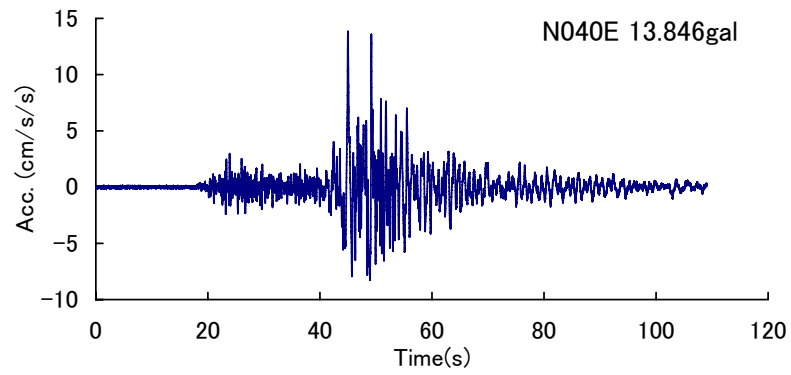
表-1 観測された主な地震の諸元

年	月	日	時	分	秒	緯度(°)	緯度(′)	経度(°)	経度(′)	深さ(km)	M	
1999	7	15	19	25	46.2	34	38.5	135	8.1	14	3.8	OSAKA BAY REGION
1999	8	21	5	33	10.9	34	2.5	135	28.4	70	5.4	CENTRAL WAKAYAMA PREF
2000	10	6	13	30	18	35	16.5	133	20.9	11	7.3	WESTERN TOTTORI PREF
2000	10	31	1	42	52.6	34	16.8	136	20.9	43	5.5	SHIMA PENINSULA REGION
2001	3	24	15	27	54.1	34	7.2	132	42.5	51	6.7	AKINADA SETONAIKAI
2001	8	10	15	42	31	34	8.8	135	7.1	9	4.3	NW WAKAYAMA PREF
2003	3	23	4	9	26.6	34	14.7	135	25.8	8	3.5	NE WAKAYAMA PREF
2003	10	8	23	35	11.7	34	40.8	135	8.4	14	4.2	SE HYOGO PREF
2004	9	5	23	57	16.8	33	8.2	137	8.4	44	7.4	SE OFF KII PENINSULA
2004	9	7	8	29	36.2	33	12.5	137	17.5	41	6.5	SE OFF KII PENINSULA



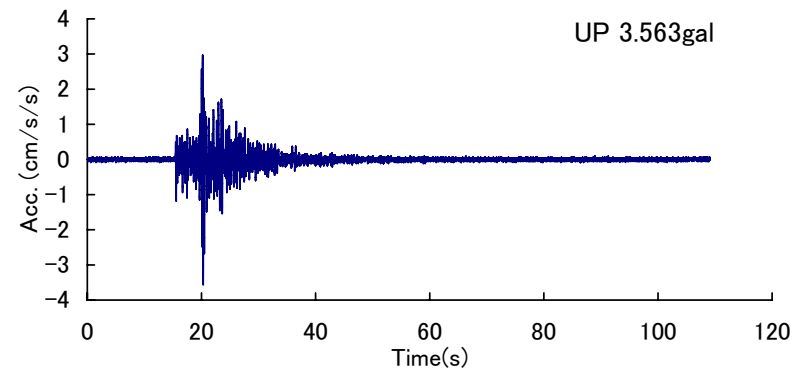
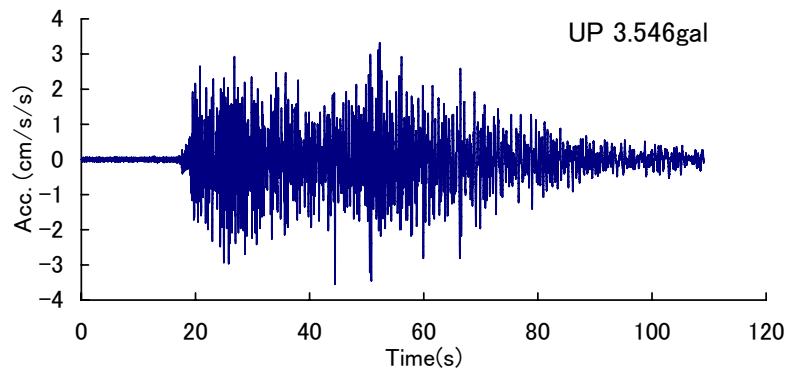
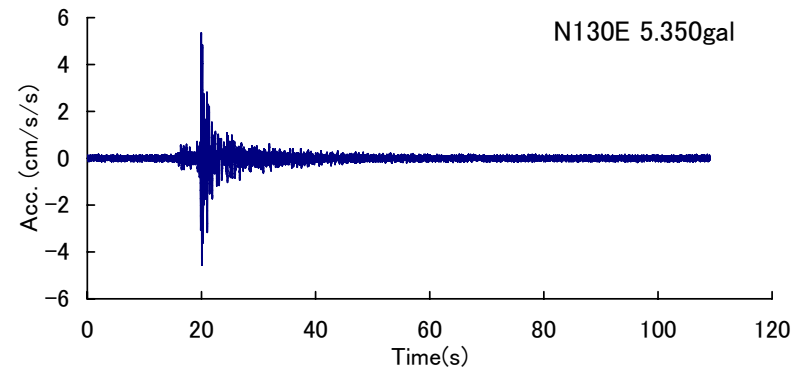
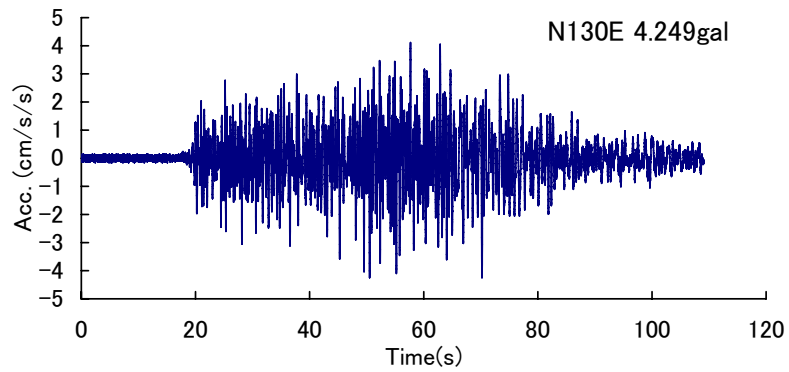
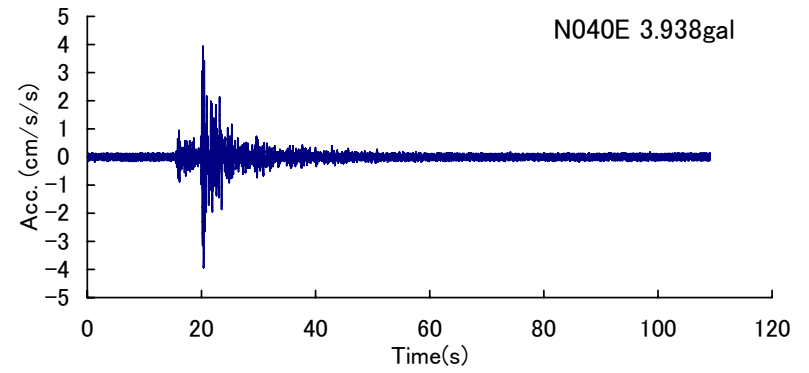
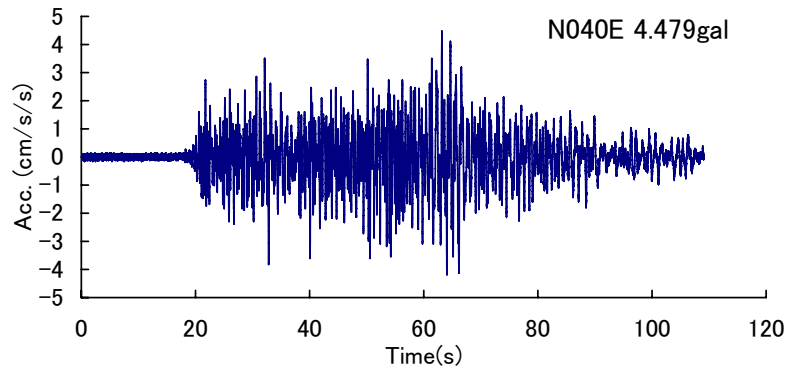
1999/7/15 19:25 N34° 38.5' E135° 8.1' Depth 14.0km M3.8 OSAKA BAY REGION

1999/8/21 5:33 N34° 2.5' E135° 28.4' Depth 70.0km M5.4 CENTRAL WAKAYAMA



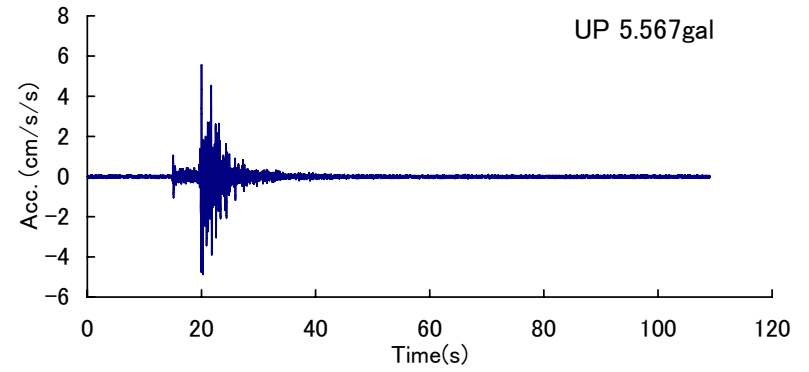
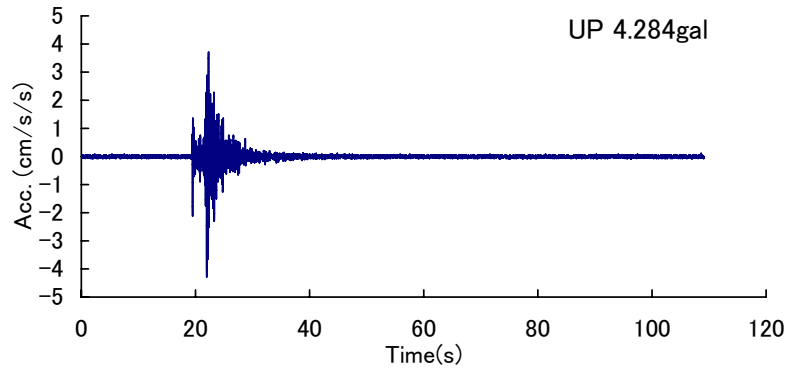
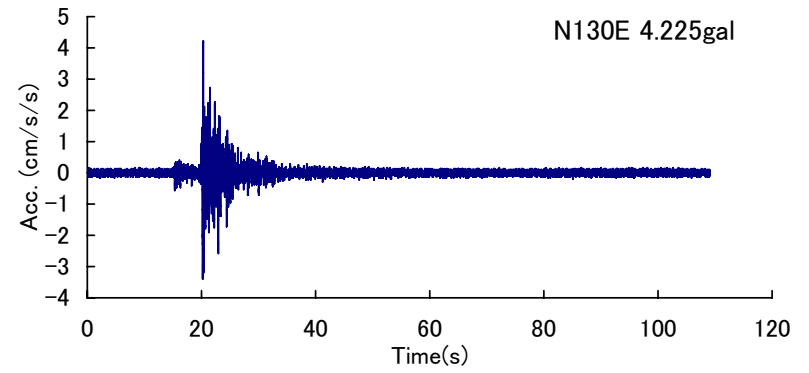
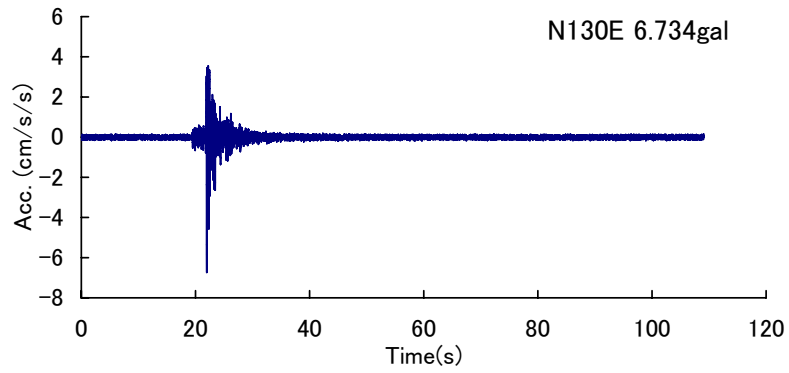
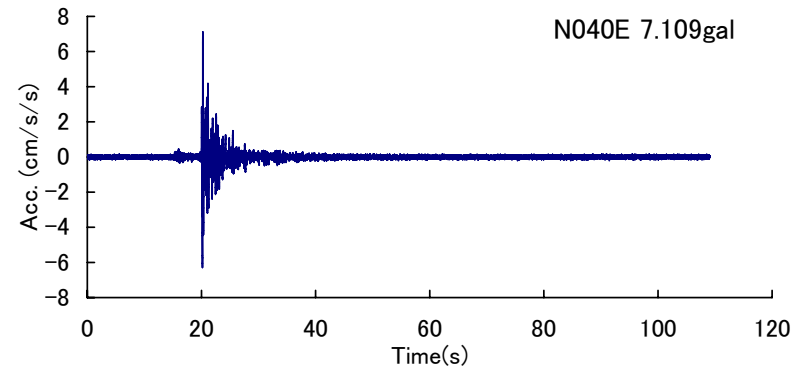
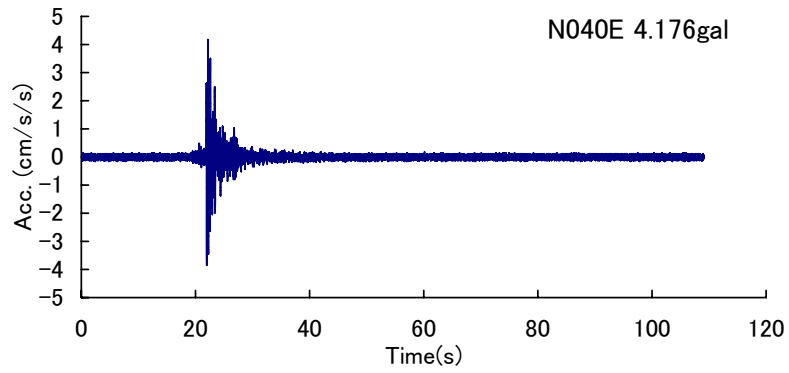
2000/10/6 13:30 N35° 16.5' E133° 20.9' Depth 11.0km M7.3 WESTERN TOTTORI

2000/10/31 1:42 N34° 16.8' E136° 20.9' Depth 43.0km M5.5 SHIMA PENINSULA F



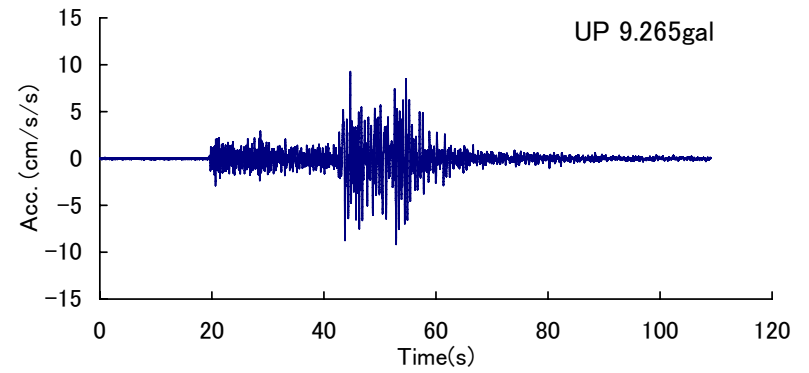
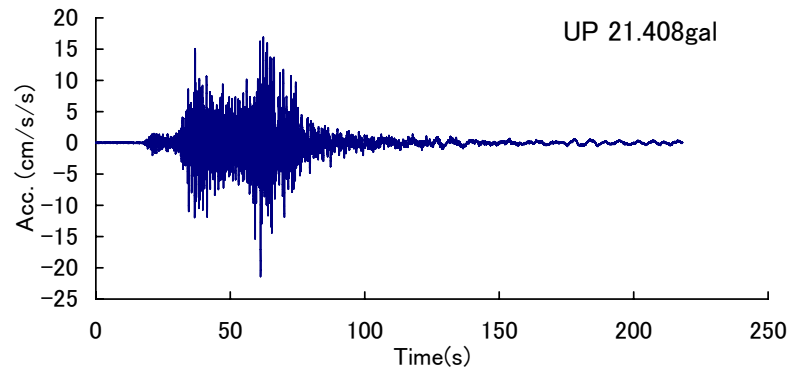
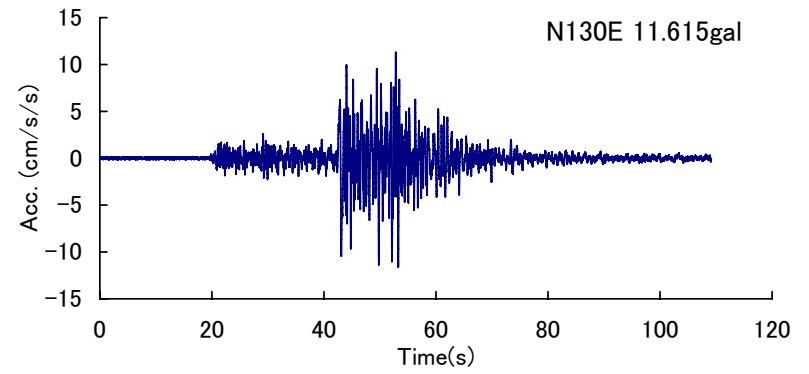
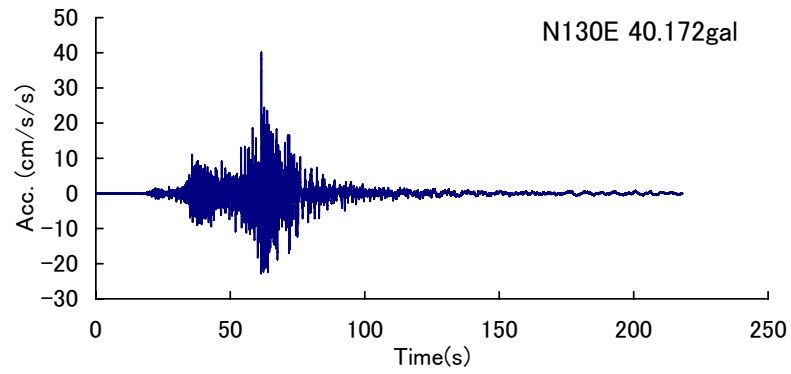
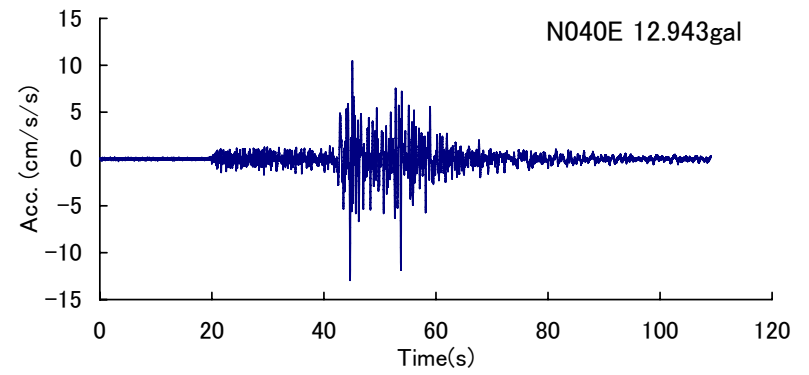
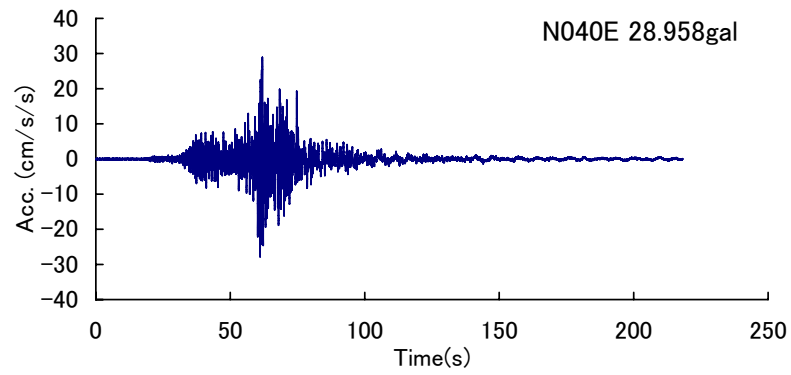
2001/3/24 15:27 N34° 7.2' E132° 42.5' Depth 51.0km M6.7 AKINADA SETONAIKA

2001/8/10 15:42 N34° 8.8' E135° 7.1' Depth 9.0km M4.3 NW WAKAYAMA PREF



2003/3/23 4:9 N34° 14.7' E135° 25.8' Depth 8.0km M3.5 NE WAKAYAMA PREF

2003/10/8 23:35 N34° 40.8' E135° 8.4' Depth 14.0km M4.2 SE HYOGO PREF



2004/9/5 23:57 N33° 8.2' E137° 8.4' Depth 44.0km M7.4 SE OFF KII PENINSULA

2004/9/7 8:29 N33° 12.5' E137° 17.5' Depth 41.0km M6.5 SE OFF KII PENINSULA

4.3 建築学会から貸与を受けた強震計による弘前大学における強震観測

弘前大学 片岡俊一

(1) はじめに

1992年に建築学会が寄贈をうけた Kinometrics 社の SSA-16 は、建築会館に設置後、1998年から2000年までの間、静岡における共同観測の一環として東静岡に設置された。

2000年以降は、地震観測に用いられていなかったが、2002年12月から片岡が貸与を受けた。しかしながら、強震計のチェックなどに時間がかかり、実際に設置したのは2005年の5月になってしまった。この間、後述するように有感地震の少ない弘前市においても、2003年5月26日の宮城県沖の地震や2003年十勝沖地震、同最大余震など震度2、3を記録した地震があり、設置できなかったことは痛恨の極みである。

(2) 弘前市における強震観測

弘前市内にある強震観測点としては、気象庁の観測点に加えて、K-NET 弘前、建築研究所の観測点 (HRH) がある。これらの地点で観測される地震動の特徴については、参考文献に記述してあるが、気象庁観測点の揺れが他と比べて小さいという特徴がある。

なお、弘前において過去10年間で震度1以上が報告されたのは計47回であり、有感地震の数が少ないことが分かる。このうち、震度2が7回、震度3が3回である他は、全て震度1である。このような地震環境であるので、強震計が作動する機会は多くはない。

(3) 強震計の設置状況

貸与を受けた強震計は、弘前大学工学部附属地震火山観測所内にある地震計用の基礎に設置した。トリガーレベルは全チャンネルともに 3cm/s^2 でありトリガーロジックは全チャンネルの OR とした。プレトリガーは15秒、最小継続時間は62秒と設定した。また、サンプリング振動数は200Hzである。弘前市街地は扇状地上に広がっているが、その標高により扇状地面が区分されている。弘前大学のある位置の標高は、図4.3.1にあるように HRH と同様であるので、HRH と同様の震動特性が期待される。

(4) 観測記録

2005年5月に設置した後では、2005年8月16日の宮城県沖の地震の記録が観測できた。図4.3.2にその記録を示す。最大加速度は 5cm/s^2 程度であり、さほど大きな振幅ではない。

この記録から、減衰定数5%の速度応答スペクトルを算出した。比較のために、同じ地点で観測された1983年日本海中部地震の記録のそれも併せて図4.3.3に示す。

(5) 近隣の観測記録との比較

前述したように周辺には、強震観測点があるので、各地点で得られた記録から算出された計測震度を比較してみ

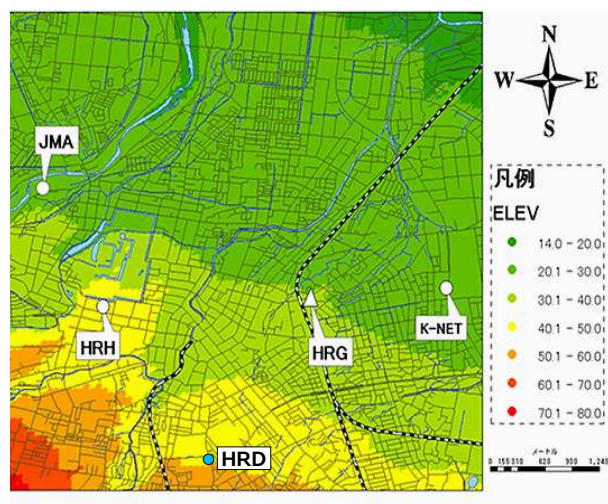


図4.3.1 弘前市内にある強震観測点。JMA：気象庁，HRH：建築研究所，HRG：ガス会社，HRD：今回設置した強震計

た. HRH と K-NET は公表値を使い, SSA16 は工学院大学の久田先生のプログラムを用いて計算した. 結果を表 4.3.1 に示す.

表 4.3.1 弘前市内の強震観測点における計測震度

観測点	計測震度
JMA	1.8
HRH	2.4
K-NET	2.6
SSA16	2.3

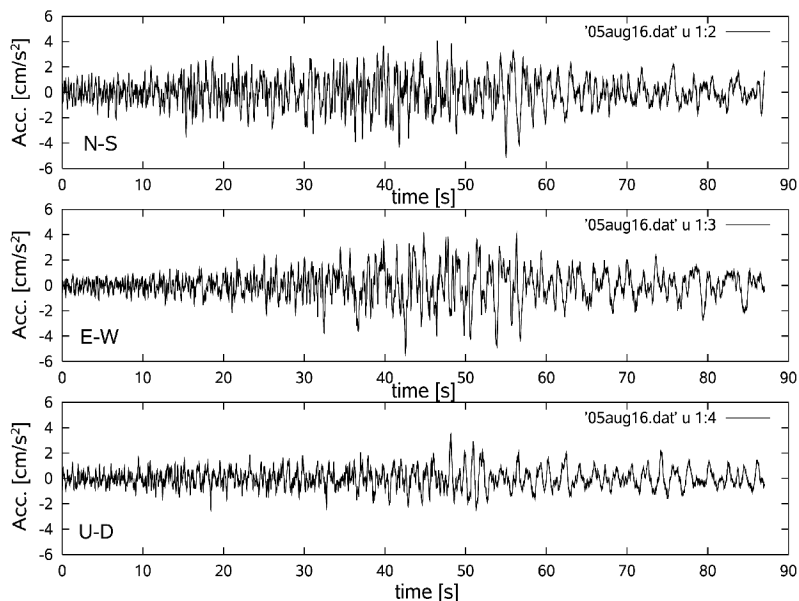


図 4.3.2 弘前大学において SSA-16 で観測された 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震

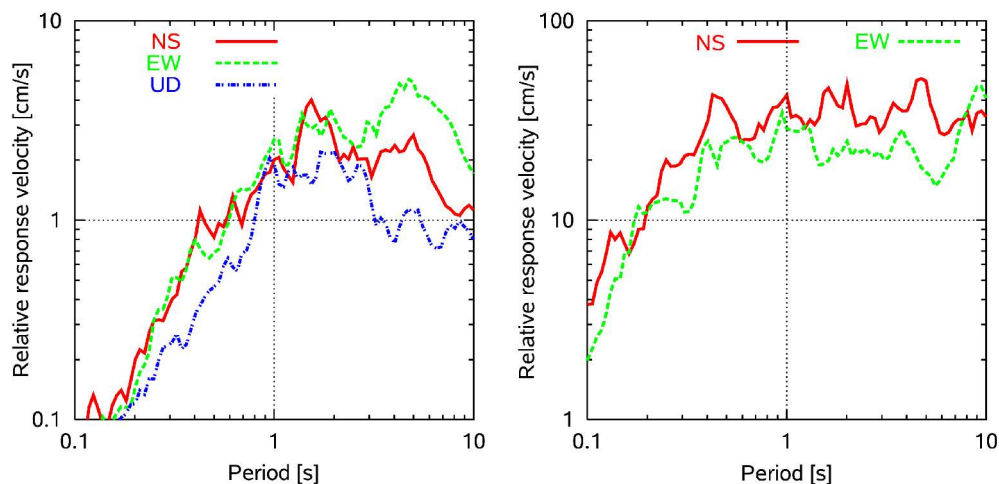


図 4.3.3 減衰定数 5% の速度応答スペクトル. (a) 2005 年 8 月 16 日, 宮城県沖の地震. (b) 1983 年日本海中部地震. 両記録とも弘前大学構内の同一地点で観測された.

(6) おわりに

ここで使用している SSA-16 は, 1992 年に製作されたものであるが, 現在でも十分に利用可能である. 最新式の強震計に比べソフトウェアなどが陳腐であり, PC の進化に対応できなくなる可能性も感じてはいるが, 息の長い観測を続けたいと考えている.

参考文献

- 1) 片岡俊一, 鳴海央子: 観測記録に基づく弘前市内 4 地点の地震動特性の比較, 第 23 回日本自然災害学会学術講演会, I-5-1, 49-50, 2004.

付録

これまでに公開された建築会館における地震観測記録

建築雑誌に公開された建築会館における強震観測記録

東京で震度4以上が観測される度に、建築会館における強震観測記録を建築雑誌に報告しており、これまでに報告した地震は9地震にのぼる。ここでは、参考のため掲載された号、ページなどを整理して記す。

1. 耐震連絡委員会：建築会館強震観測記録速報,建築雑誌,vol.03,No.1269.1988年2月, p.119.
2. 地震災害委員会強震観測運営委員会：建築会館強震記録,建築雑誌,vol.1.107, No.1331.1992年8月, pp141-142.
3. 地震災害委員会強震観測運営委員会強震観測データ小委員会：建築会館強震観測記録速報,,建築雑誌,vol.108, No.1347.1993年9月, p.95.
4. 地震災害委員会強震観測運営委員会強震観測データ小委員会：建築会館強震観測記録速報,建築雑誌,vol.108, No.1351, 1993年12月, p.86.
5. 渡部丹(地震災害委員会委員長)・大谷圭一(強震観測運営委員会主査)・瀬尾和大(強震データ小委員会主査)：デジタル強震データの公開,建築雑誌,vol.1.111, No.1388, 1996年4月, p.80-81.
6. 安井健治：建築会館強震観測記録報告 平成15年, 建築雑誌, 活動レポート, 2004年3月号, p.56, Vol.119, No.1517.

建築雑誌に公開された地震の諸元を整理すると、下表のようになる。

記事 No.	地震 No.	年月日	発震時	震源域	深さ [km]	規模	報告者
1	1	1987年12月17日	11:08	千葉県東方沖 35°21', 140°29'	58	6.7	耐震連絡委員会
2	2	1992年2月2日	04:04	東京湾 35°14', 139°48'	93	5.9	大谷圭一
3	3	1993年5月21日	11:36	茨城県南西部 36°03', 139°54'	61	5.4	記載なし
4	4	1993年10月12日	0:54	東海道はるか沖 32°01', 138°14'	388	7.1	記載なし
6	7	1998年8月29日	0:00	東京湾 35°36.2, 140°02.7'	67	5.1	安井健治
6	8	2003年9月20日	12:54	千葉県南部 36°12.9, 140°18.2'	70	5.8	安井健治
6	9	2003年5月26日	18:24	宮城県沖 38°48.3, 141°40.9'	71	7.0	安井健治

記事 No.	地震 No.	年月日	発震時	震源域	深さ [km]	規模	報告者
5	5	1990年2月20日		伊豆大島近海	6	6.5	
5	6	1990年8月5日		神奈川県西部	14	5.1	
5	2	1992年2月2日		東京湾	92	5.9	

ホームページで公開された建築会館における強震観測記録

1992年から1996年までの間で、東京で震度3以上を観測した際の建築会館における地震動記録はホームページで公開している。以下にはその諸元を記す。なお、ホームページのURLは、以下のとおりである。

<http://www.eqgmo.aij.arch.metro-u.ac.jp/eqgmo/open.htm>

地震番号	震源時 年月日時分秒	震央 地域名	北緯 (度)	東経 (度)	深さ [km]	規模 (M)	震度 (東京)	備考
eq-A1	1992/05/20 17:23:59.6	東京湾	35.21	139.77	92	4.8	III	
eq-A2	1993/05/21 11:36:37.9	茨城県南西部	36.04	139.90	61	5.3	IV	建築雑誌 93.9に掲載
eq-A3	1993/10/12 00:54:20.9	東海道はるか沖	32.02	138.24	390	7.1	IV	建築雑誌 93.12に掲載
eq-A4	1994/05/27 23:53:39.9	東京都東部	35.70	139.70	42	4	III	
eq-A5	1994/06/29 11:01:58.8	千葉県南部	34.95	139.88	60	5.2	III	
eq-A6	1994/07/22 03:36:31.5	日本海北部	42.28	133.55	552	7.6	III	
eq-A7	1994/10/04 22:22:56.3	北海道東方沖	43.37	147.71	23	8.1	III	
eq-A8	1995/01/07 21:34:39.7	茨城県南西部	36.30	139.98	71	5.4	III	
eq-A9	1995/03/23 07:24:32.3	茨城県南西部	36.10	140.02	56	4.9	III	
eq-A10	1995/07/03 08:53:23.2	相模湾	35.16	139.57	122	5.2	III	
eq-A11	1996/09/11 11:37:14.3	千葉県東方沖	35.64	141.22	52	6.4	III	
eq-A12	1996/12/21 10:28	千葉県南部	36.10	139.87	53	5.4	III	

(弘前大学 片岡俊一)