

建築研究資料

Building Research Data

No. 135

March 2012

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 における建物の強震観測記録

Strong Motion Records in Buildings from the 2011 off the Pacific coast of Tohoku
Earthquake

鹿嶋俊英、小山信、大川出

Toshihide Kashima, Shin Koyama and Izuru Okawa

独立行政法人 建築研究所

Published by

Building Research Institute

Incorporated Administrative Agency, Japan

はしがき

平成 23 年(2011 年)3 月 11 日 14 時 46 分に発生した、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震は、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県など東日本の太平洋沿岸の各県を中心に広い地域で、2 万人近い死者と行方不明者を出すとともに、地震動や津波により、数多くの建築物・工作物に倒壊や流失などの被害をもたらしました。

このような未曾有の大災害における建築物等被害から教訓を学び取り、今後の地震や津波対策に生かすため、独立行政法人建築研究所は国土交通省国土技術政策総合研究所と連携して、地震発生翌日からこれまでに、延べ 150 人日以上の職員を順次広範な被災地に派遣し、木造被害調査、鉄骨造被害調査、RC 造被害調査、宅地・地盤被害調査、非構造部材被害調査、津波被害調査、そして火災被害調査などを実施しました。これらの調査結果や研究成果は平成 23 年 5 月に速報として刊行し、さらに最終報告書を平成 24 年 3 月にホームページ上に掲載しました。

本報告書は、建築研究所の調査・研究活動の中から、東北地方太平洋沖地震で得られた強震観測記録についてまとめたものです。建築研究所は、昭和 32 年以来、実際の建物の地震時の揺れを計測し、その分析結果を建物の耐震設計技術の進展に役立てるべく、建物を対象とした強震観測を行っており、これまでに多くの貴重な成果を挙げてきております。東北地方太平洋沖地震では、多くの強震観測対象の建物は、初めて経験する激しい揺れを受け、その挙動が克明に記録されております。地震発生の日後にはこれらの記録を強震観測速報としてインターネット上に公開し、被害調査や分析に広く役立てて頂いたところです。現在、建築研究所の強震観測は、基盤研究課題「建物を対象とした強震観測」の下で実施しており、東北地方太平洋沖地震の強震記録はこの研究課題の重要な成果といえます。これらの観測記録は、今後も様々な分析が行われ詳細に検討されることにより、建物のさらなる耐震安全性の向上の礎となるものと確信しております。

最後に、本地震で亡くなられた方々及びそのご遺族に対し深く哀悼の意を表します。さらに、被災された方々に心からお見舞い申し上げますとともに、一日も早い復興をお祈りいたします。

平成 24 年 3 月
独立行政法人建築研究所
理事長 村上周三

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震における建物の強震観測記録

鹿嶋俊英¹⁾、小山信²⁾、大川出³⁾

概要

建築研究所は、実際の地震時の建物や建物を支持する地盤の挙動を計測し、その分析結果を建物の耐震性能の向上に役立てるために、建物を対象とした強震観測に取り組んでいる。建築研究所の強震観測の歴史は 50 年以上に及び、これまでに多くの貴重な成果を挙げてきた。

未曾有の災害をもたらした平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震(マグニチュード: M9.0)では、建築研究所の 60 地点の強震観測地点で強震記録が得られた。東北から関東にかけてのほとんどの観測地点では、観測開始以来最も強い地震動を受け、建物には未経験の大きな揺れが生じた。地表、あるいは地表に最も近い建物内で得られた加速度記録から気象庁震度を算出すると、震度 6 弱の観測地点が 1 地点、震度 5 強の観測地点が 17 地点、震度 5 弱の観測地点が 17 地点となっている。また、規模の大きな余震や誘発地震が多数発生し、東北地方から関東地方の観測地点では、幾度も強い揺れに見舞われた。特に 2011 年 3 月 11 日 15 時 15 分茨城県沖の地震(M7.7)、2011 年 4 月 7 日 23 時 32 分宮城県沖の地震(M7.1)、2011 年 4 月 11 日 17 時 16 分福島県浜通りの地震(M7.0)、2011 年 4 月 12 日 14 時 17 分福島県中通りの地震(M6.4)、及び 2011 年 6 月 23 日 6 時 50 分岩手県沖の地震(M6.9)では、29 から 53 か所の観測地点の強震計が起動し、最大で震度 5 弱以上の揺れを記録した。

東北地方太平洋沖地震で、震央から最も近い観測対象建物は、175 km の距離にある仙台市青葉区にある仙台第 2 合同庁舎である。この建物における水平方向の最大加速度は、地下 2 階で 163 cm/s^2 と 259 cm/s^2 、建物の 15 階では、 361 cm/s^2 と 346 cm/s^2 である。また、同じ仙台市青葉区に建つ東北大学人間環境系研究棟は、1 階の最大加速度で 333 cm/s^2 に及ぶ大きな地震動を受け、建物 9 階の最大加速度は 908 cm/s^2 に達し、建物は深刻な損傷を受けた。他にも、いわき市庁舎や建築研究所の管理研究本館や都市防災研究センター棟など、壁や仕上げに亀裂や損傷を受けた建物でも強震記録が得られている。

建築研究所の強震観測網には 6 棟の免震建物が含まれている。そのすべてで強震記録が得られ、大きな地震動を受ける免震構造の効果を明らかにした。例えば、つくば市庁舎では建物の基礎上で 327 cm/s^2 であった最大加速度が、免震層を挟んだ 1 階では 92 cm/s^2 となり、1/3 以下に低減された。

東京や大阪などの大規模な沖積平野上の都市域では、巨大地震に伴う長周期地震動とそれを受ける超高層建物の応答が克明に記録された。例えば、震央から 770 km 離れた大阪府咲洲庁舎では、共振した建物の大きな揺れが、15 分間近く続いた様子を捉えている。

以上のように建築研究所の強震観測網では、東北地方太平洋沖地震によって数多くの貴重な強震記録を得ることができた。今後さらに詳細な検討を続け、建物の耐震安全性の向上のための資料を提供する予定である。

-
- 1) 建築研究所国際地震工学センター主任研究員
 - 2) 建築研究所構造研究グループ上席研究員
 - 3) 建築研究所構造研究グループ主席研究監

Strong Motion Records in Buildings from the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

Toshihide Kashima¹⁾, Shin Koyama²⁾ and Izuru Okawa³⁾

Abstract

The Building Research Institute (BRI) is operating the strong motion network for building structures in order to contribute improvement of seismic safety of buildings. The BRI strong motion network has obtained the precious results in its history of more than 50 years.

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake with a magnitude of 9.0 caused devastating tsunami and severe shaking in extensive area. Sixty stations of the BRI strong motion network have been triggered by the earthquake. Most of the stations experienced the strongest shaking ever. In terms of the JMA (Japan Meteorological Agency) seismic intensity scale, six lower (6-) was recorded in one station, five upper (5+) was recorded in 17 stations, and five lower (5-) was recorded in 17 stations. A great number of aftershocks and induced earthquakes brought severe shaking repeatedly.

The closest building to the epicenter of the main shock in the BRI network is the Sendai Government Office Building #2 in Aoba-ku, Sendai City. The maximum accelerations in the horizontal directions on the second basement floor were 163 cm/s^2 and 259 cm/s^2 and those on the 15th floor were 361 cm/s^2 and 346 cm/s^2 . In a school building of the Tohoku University in Aoba-ku, the maximum acceleration on the first floor was 333 cm/s^2 and that on the ninth floor reached 908 cm/s^2 . The building suffered serious structural damage. Moreover, there were several strong motion records in the buildings, such as the Iwaki City Hall and BRI buildings, that suffered some damage on concrete walls and finishing materials.

Six base-isolated buildings are included in the BRI strong motion network. In all those buildings, strong motion data could be collected during the off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and showed the effect of the base-isolation system. For instance, the peak acceleration was reduced from 327 cm/s^2 on the foundation to 92 cm/s^2 on the first floor (above the base-isolation devices) in the Tsukuba City Hall.

In the urban area like Tokyo and Osaka, long-period earthquake motions and response of long-period structures were captured. For example, large and long seismic response due to the resonance could be recorded at the Sakishima Office of Osaka Prefecture with the epicentral distance of 770 km.

The BRI strong motion network has obtained valuable records from the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. We intend to contribute to improvement of the seismic safety of buildings through the further study on the strong motion data.

-
- 1) Senior Research Engineer, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute
 - 2) Chief Research Engineer, Structural Engineering Department, Building Research Institute
 - 3) Senior Research Fellow, Structural Engineering Department, Building Research Institute

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震における建物の強震観測記録

目次

1. はじめに	1
2. 建築研究所の強震観測の概要	2
3. 強震記録の概要	6
3.1 本震の強震記録一覧.....	6
3.2 余震の強震記録一覧.....	12
4. 主な建物の本震の強震記録	34
4.1 検討対象建物と検討方法.....	34
4.2 超高層建物の強震記録.....	36
4.2.1 仙台第 2 合同庁舎(SND)の強震記録.....	37
4.2.2 さいたま新都心合同庁舎 2 号館(SIT2)の強震記録	40
4.2.3 墨田区庁舎(SMD)の強震記録	44
4.2.4 コーシャタワー佃(TKD)の強震記録.....	46
4.2.5 中央合同庁舎 6 号館(CGC)の強震記録.....	50
4.2.6 中央合同庁舎 2 号館(CG2)の強震記録	52
4.2.7 横浜第 2 合同庁舎(YKH)の強震記録	54
4.2.8 大阪合同庁舎 3 号館(OSK)の強震記録	56
4.2.9 大阪府咲洲庁舎(SKS)の強震記録.....	58
4.3 免震建物の強震記録.....	64
4.3.1 八戸市庁舎別館(HCN2)の強震記録.....	65
4.3.2 つくば市庁舎(TKC)の強震記録.....	68
4.3.3 国立西洋美術館(NMW)の強震記録.....	72
4.3.4 中央合同庁舎 3 号館(CG3)の強震記録	75
4.4 地表に加速度計を有する建物の強震記録.....	78
4.4.1 宮古市庁舎(MYK)の強震記録.....	79
4.4.2 教員研修センター(NCTD)の強震記録.....	82
4.4.3 建築研究所(ANX)の強震記録	85
4.4.4 八千代市庁舎新館(YCY)の強震記録.....	89
4.4.5 日本工業大学(NIT)の強震記録	92
4.4.6 三郷市庁舎(MST)の強震記録.....	95

4.4.7	船橋市総合教育センター(FNB)の強震記録	98
4.4.8	千葉第2地方合同庁舎(CHB)の強震記録	100
4.4.9	戸田市庁舎(TDS)の強震記録	103
4.4.10	東京大学工学部11号館(UTK)の強震記録	106
4.4.11	東京海洋大学国際交流会館(TUF)の強震記録	109
4.4.12	国土交通大学校(KDI)の強震記録	112
4.5	建物内のみに複数の加速度計を有する建物の強震記録	115
4.5.1	東北大学人間環境系研究棟(THU)の強震記録	116
4.5.2	いわき市庁舎(IWK)の強震記録	119
4.5.3	八戸市庁舎本館(HCN)の強震記録	122
4.5.4	市川市行徳図書館(ICK)の強震記録	124
4.5.5	江戸川区庁舎(EDG)の強震記録	126
4.5.6	足立地方合同庁舎(ADC)の強震記録	128
4.5.7	北区赤羽会館(AKB)の強震記録	130
4.5.8	国立国会図書館本館(NDLM)の強震記録	132
4.5.9	国立国会図書館新館(NDLA)の強震記録	134
4.5.10	東京法務局中野出張所(NKN)の強震記録	137
4.5.11	川崎南労働基準監督署(KWS)の強震記録	139
	参考文献	141
5.	おわりに	142

1. はじめに

建築研究所は、実際の地震時の建物や建物を支持する地盤の挙動を計測し、その分析結果を建物の耐震性能の向上に役立てるために、建物を対象とした強震観測に取り組んでいる。建築研究所の強震観測の歴史は50年以上に及び、これまでに多くの貴重な成果を挙げてきた。

古くは、昭和39年(1964年)新潟地震において液状化した地盤上で傾斜した川岸町の4階建てアパートで得られた記録、昭和53年(1978年)宮城県沖地震における大学校舎建物9階での1Gを超える記録などが、建築研究所の強震観測の成果としてよく知られている。その後も、平成5年(1993年)釧路沖地震での釧路地方気象台敷地内で地盤上での大加速度記録をはじめ、平成6年(1994年)三陸はるか沖地震、平成7年(1995年)兵庫県南部地震、平成12年(2000年)鳥取県西部地震、平成16年(2004年)新潟県中越地震、同年紀伊半島沖地震とその余震、平成19年(2007年)新潟県中越沖地震、平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震など、多くの観測成果を蓄積してきた。

未曾有の災害をもたらした平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震では、多くの建築研究所の強震観測地点で強震記録が得られた。東北から関東にかけてのほとんどの観測地点では、観測開始以来最も強い地震動を受け、建物には未経験の大きな揺れが生じた。建築研究所では、地震発生直後から強震記録の回収に取り掛かり、2日後の3月13日には強震観測速報の第1報を強震観測のウェブサイト(<http://smo.kenken.go.jp/>)に掲載した。その後記録の収集の進行に合わせて、4度に渡り強震観測速報の改訂を行うとともに、主な余震についても順次速報を発行した。

本報告は、東北地方太平洋沖地震の際に、建築研究所の強震観測ネットワークで得られた強震記録をまとめたものである。強震観測記録やその分析結果は、前述のようにウェブサイトに随時掲載し、更に被害調査報告書や学会発表などで紹介してきたところではあるが、地震発生から1年を機に、全体が把握できるように報告書の形でまとめることとした。まず2章では、東北地方太平洋沖地震が発生した2011年3月時点での建築研究所の強震観測ネットワークの概要を述べる。次に3章では、東北地方太平洋沖地震で得られた強震記録の概要として、本震と主な余震で観測された強震記録の一覧を示している。更に4章では、すべての超高層建物9棟と、地表、あるいは地表に観測点がない場合は建物内の地表に近い加速度計で震度5弱以上(計測震度4.5以上)が得られたすべての建物27棟(免震建物4棟を含む)の計36棟の建物で得られた強震記録について、詳細に述べている。今後、得られた強震観測記録を基に更に詳細な分析や解析を行い、順次報告する予定である。

2. 建築研究所の強震観測の概要

建築研究所では、日本全国の主要な都市の建物や地盤に強震計を設置し、地震時の揺れを収録する強震観測を行っている。2011年3月時点で稼働していた79の強震観測地点の一覧を表2-1に、観測地点の位置を図2-1に示す。観測地点の半数近くは首都圏を中心とする関東地方にあり、他は全国を200km程度の間隔でカバーするように配置されている。このうち地盤のみを観測の対象としている観測地点が10地点、小規模な建物の1階や地下階のみに強震計がある地点が9地点で、これらの観測は地盤増幅やその地域の地震動特性の検討を目的としている。一方、建物内のみに複数の加速度計を配した観測地点が41地点(建物41棟)、建物内の複数の加速度計に加え地表や地中に加速度計を有する観測地点が19地点(建物19棟)あり、これらの観測地点で得られた強震記録は建物の地震時挙動や地盤と建物の動的相互作用の検討に用いることができる。なお、建築研究所(ANX)では一つの観測システムで連結された2棟(新館及び本館)の観測を行っているが、特段の断りがない限り本報告では新館で代表させて1棟として扱う。

これら建物内に複数の加速度計を配した60棟の構造種別をみると、鉄筋コンクリート(RC)造27棟、鉄骨(S)造9棟、鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)造23棟、プレキャストプレストレストコンクリート造1棟となっている。また60棟の中には、6棟の免震建物と9棟の高さ60mを超える超高層建物が含まれている。

なお、表2-1中の“加速度計数(位置)”は、強震計に接続されている加速度計^{*1}の数と位置を示し、加速度計の位置は最大4桁の記号で表している。建物内の場合は設置階を表す数値に“F”を加え、地下階の場合は頭に“B”を付す。例えば、“08F”は建物8階、“B2F”は建物の地下2階を表す。また、塔屋に加速度計が設置してある場合は階数を1階からの通算で表す。例えば、7階建ての建物の塔屋1階は“08F”となる。更に、同じ階に複数の加速度計を有する場合は、設置場所を区別する英字を適宜末尾に加える。例えば“8FE”と“8FW”があれば、8階の東側と西側の加速度計となる。

地盤上(地表)に加速度計が設置されている場合は記号を“GL”とし、地中に加速度計が埋設されている場合は“G”に深さを表す数字を加えて表している。例えば、“G30”は地中深さ30mに埋設された加速度計を表す。

なお、建築研究所(ANX)では、2棟の建物と周辺地盤に計22台の加速度計を有しており、加速度計の位置の表記も複雑になっている。A01、A14、A43、A89は地盤系列の同じ位置で、数値は深さを表している。N14は建物の直下の地中深さ14mを表し、B01とC01は異なる地表の加速度計である。BFE、BFN、BFS、1FE、2FE、2FW、5FE、5FW、8FE、8FN、8FSは新館建物の中の加速度計で、BFは地下階、1Fは1階、2Fは2階、5Fは5階、8Fは8階を表し、最後の文字E(東)、N(北)、S(南)、W(西)はその階の設置位置を方位で示している。MBC、M5C、M8C、M8Eは本館建物内で、それぞれ地下階中央、5階中央、8階中央、8階東側の加速度計である。

*1 強震計にはいくつか種類があるが、SMAC-MD、SMAC-MDU、AJE-8200及びKSG型強震計は複数の加速度計を接続して、その複数の加速度計の記録を一か所で収録できる。この場合、全体のシステムを「強震計」、各々の加速度計を「加速度計」と表記している。

表 2-1(1/3) 建築研究所の強震観測地点

番号	記号	名称	構造*1/階数*2	強震計*3	加速度計数(位置*4)	備考*5
1	KGC	釧路合同庁舎	SRC/9F+B1F	SMAC-MDU	6 (GL, G10, G34, B1F, /, 01F, 09F)	免震
2	HRO	広尾町役場	RC/2F	SMAC-MD	1 (01F)	
3	HKU	北海道大学工学部		SMAC-MD	1 (GL)	地盤
4	HKD	北海道開発局函館開発建設部		SMAC-MD	1 (GL)	地盤
5	HCN	八戸市庁舎本館	RC/6F+B1F	SMAC-MD	2 (B1F, 06F)	p.122
6	HCN2	八戸市庁舎別館	SRC/10F+B1F	SMAC-MDU	6 (GL, G30, G105, B1F, /, 01F, 10F)	免震 p.65
7	HRH	弘前法務合同庁舎	RC/3F	SMAC-MDU	1 (01F)	
8	AKT	秋田県庁	RC/6F+B1F	SMAC-MD	2 (08F, B1F)	
9	MYK	宮古市庁舎	RC/7F	SMAC-MDU	3 (GL, 01F, 07F)	p.79
10	SND	仙台第2合同庁舎	S/15F+B2F	SMAC-MD	3 (B2F, 15F, G40)	超高層 p.37
11	THU	東北大学人間環境系建物	SRC/9F	SMAC-MD	2 (01F, 09F)	p.116
12	MIYA2	仙台市立宮城野小学校		SAMTAC	4 (GL, G01, G22, G54)	地盤
13	NAKA2	仙台市立中野小学校		SAMTAC	4 (GL, G01, G30, G61)	地盤
14	TAMA2	塩竈市立玉川中学校		SAMTAC	4 (GL, G02, G11, G33)	地盤
15	ORID2	仙台市立折立小学校		SAMTAC	4 (GL, G01, G57, G76)	地盤
16	TRMA2	仙台市立鶴巻小学校		SAMTAC	4 (GL, G01, G25, G79)	地盤
17	TRO	鶴岡合同庁舎	RC/4F+B1F	SMAC-MDU	2 (01F, 04F)	
18	IWK	いわき市庁舎	SRC/8F+B1F	SMAC-MD	2 (B1F, 09F)	p.119
19	ANX	建築研究所 (地盤, 新館, 本館)	新館: SRC/8F+B1F 本館: SRC/7F+B1F	AJE-8200	22 (A01, A14, A43, A89, N14, B01, C01, BFE, BFN, BFS, 1FE, 2FE, 2FW, 5FE, 5FW, 8FE, 8FN, 8FS, MBC, M5C, M8C, M8E)	p.85
20	BRI	建築研究所地震観測研修棟	RC/1F	SMAC-MD	1 (01F)	
21	NCTD	教員研修センター	RC/7F	K2/Etna	6 (GL, 1FE, 1FEs, 1FS, 8FE, 8FW)	p.82
22	TKB	東京大学地震研究所筑波地震観測所		CV901	1 (GL)	地盤
23	TKC	つくば市庁舎	PC/7F	CV-374	3 (B1F, /, 01F, 06F)	免震 p.68
24	MTK	国土交通省下館河川事務所水海道出張所		CV901	1 (01F)	
25	KSG	さいたま地方法務局越谷支局	RC/2F	SMAC-MDU	1 (1F)	
26	MST	三郷市庁舎	SRC/7F+B1F	KSG	3 (GL, 01F, 07F)	p.95
27	SIT2	さいたま新都心合同庁舎 2号館	S/26F+B3F	CV-374	5 (B3F, 10FS, 10FN, 27FS, 27FC)	超高層 p.40
28	SITA	さいたま新都心合同庁舎 厚生棟	S/1F	CV-374	1 (01F)	
29	TDS	戸田市庁舎	SRC/8F+B1F	KSG	3 (GL, B1F, 08F)	p.103
30	TUS	東京理科大学野田キャンパス		CV901	1 (01F)	
31	ADC	足立地方合同庁舎	RC/5F+B1F	KSG	2 (01F, 04F)	p.128

表 2-1(2/3) 建築研究所の強震観測地点

番号	記号	名称	構造*1/階数*2	強震計*3	加速度計数(位置*4)	備考*5
32	AGO	上尾市庁舎	RC/7F	KSG	3 (B1F, 7FN, 7FS)	
33	NIT	日本工業大学	RC/6F	SMAC-MDU	3 (GL, 01F, 06F)	p.92
34	AKB	北区赤羽会館	SRC/7F	KSG	2 (B1F, 06F)	p.130
35	MNM	南砂住宅 3 号棟	SRC/14F	SMAC-MD	2 (15F, 01F)	
36	SMD	墨田区庁舎	S/19F+B2F	KSG	3 (B1F, 08F, 20F)	超高層 p.44
37	NMW	国立西洋美術館	RC/3F+B1F	SMAC-MDU	6 (GL, B1FW, B1FE, /, 01FW, 01FE, 04F)	免震 p.72
38	CGC	中央合同庁舎 6 号館	S/20F+B3F	SMAC-MD	3 (01F, 20B, 19C)	超高層 p.50
39	CG2	中央合同庁舎 2 号館	S/21F+B4F	SMAC-MDU	3 (B4F, 13F, 21F)	超高層 p.52
40	CG3	中央合同庁舎 3 号館	SRC/11F+B2F	SMAC-MDU	3 (B2F, B1F, 12F)	免震 p.75
41	NDLA	国立国会図書館新館	RC/4F+B8F	CV-374	4 (B8F, B4F, 01F, 04F)	p.134
42	NDLM	国立国会図書館本館	RC/6F+B1F (17S)	CV-374	2 (01S, 17S)	p.132
43	NDLG	国立国会図書館地盤		SMAC-MDU	3 (GL, G35, G24)	地盤
44	EDG	江戸川区庁舎	SRC/5F+B1F	KSG	2 (01F, 05F)	p.126
45	NKN	東京法務局中野出張所	RC/5F	KSG	2 (01F, 06F)	p.137
46	TKD	コーシャタワー佃	RC/37F+B1F	SMAC-MDU	3 (01F, 18F, 37F)	超高層 p.46
47	TUF	東京海洋大学品川国際交流会館	SRC/7F	KSG	3 (GL, 01F, 07F)	p.109
48	UTK	東京大学工学部 11 号館	SRC/9F	KSG	4 (GL, 01F, 7FN, 7FS)	p.106
49	YYG	国立オリンピック記念青少年総合センターC 棟	RC/4F+B1F	KSG	3 (GL, B1F, 04F)	
50	KDI	国土交通大学校	RC/3F	KSG	3 (GL, 01F, 03F)	p.112
51	CHB	千葉第 2 地方合同庁舎	SRC/8F+B1F	KSG	3 (GL, B1F, 08F)	p.100
52	FNB	船橋市総合教育センター	RC/8F	KSG	3 (GL, 01F, 08F)	p.98
53	ICK	市川市行徳図書館	RC/5F	KSG	3 (01F, 02F, 05F)	p.124
54	YCY	八千代市庁舎新館	RC/6F+B1F	KSG	3 (GL, B1F, 07F)	p.89
55	YKH	横浜第 2 合同庁舎	SRC/23F+B3F	SMAC-MD	2 (23F, B2F)	超高層 p.54
56	KWS	川崎南労働基準監督署	S/7F	KSG	3 (01F, 02F, 07F)	p.139
57	NIG	新潟市庁舎分館	RC/6F+B1F	SMAC-MD	2 (B1F, 07F)	
58	ISK	石川県庁広坂庁舎	RC/4F+B2F	SMAC-MD	2 B2F, 05F)	
59	NGN	長野県庁	SRC/10F+B1F	KSG	2 (B1F, 11F)	
60	KSO	長野県木曾合同庁舎	RC/5F+B1F	KSG	2 (B1F, 06F)	
61	YMN	山梨県庁本館	RC/8F+B1F	KSG	4 (GL, B1F, /, 01F, 08F)	免震
62	SMS	静岡県下田総合庁舎	SRC/7F+B1F	SMAC-MD	1 (GL)	地盤
63	SMZ	清水合同庁舎	SRC/6F	SMAC-MDU	2 (01F, 06F)	
64	NGY	名古屋合同庁舎 1 号館	SRC/11F+B2F	SMAC-MDU	3 (GL, B2F, 12F)	
65	MTS	三重県松阪庁舎	SRC/6F	SMAC-MD	2 (01F, 07F)	
66	SNG	新宮市庁舎	RC/4F+B1F	SMAC-MDU	2 (B1F, 05F)	
67	MIZ	舞鶴市庁舎	RC/4F+B1F	KSG	2 (01F, 05F)	
68	OSK	大阪合同庁舎 3 号館	S/15F+B3F	SMAC-MD	2 (B3F, 18F)	超高層 p.56

表 2-1(3/3) 建築研究所の強震観測地点

番号	記号	名称	構造*1/階数*2	強震計*3	加速度計数(位置*4)	備考*5
69	SKS	大阪府咲洲庁舎	S/52F+B3F	CV-374	5 (01F, 18F, 38F, 52FN, 52FS)	超高層 p.58
70	YNG	米子市庁舎	RC/5F+B1F	SMAC-MD	1 (B1F)	
71	HMD	島根県浜田合同庁舎新館	RC/3F	SMAC-MD	1 (01F)	
72	HRS	広島第2合同庁舎	SRC/11F+B1	SMAC-MD	2 (B1F, 11F)	
73	TKM	高松国税局	SRC/8F+B1F	SMAC-MDU	3 (GL, B1F, 09F)	
74	KCK	四国地方整備局高知工事事務所	RC/4F	KSG	2 (01F, 04F)	
75	FKO	福岡第2合同庁舎	SRC/10F+B1F	SMAC-MDU	3 (GL, B1F, 10F)	
76	OIT	大分市庁舎	SRC/9F+B2F	SMAC-MD	2 (01F, 09F)	
77	MYJ	宮崎県都城総合庁舎	RC/3F+B1F	SMAC-MDU	2 (01F, 05F)	
78	MYZ	宮崎県庁新館	SRC/9F+B1F	SMAC-MD	2 (01F, 09F)	
79	NBO	宮崎県延岡総合庁舎	RC/3F	SMAC-MDU	2 (01F, 04F)	

- *1) Sは鉄骨造, RC: 鉄筋コンクリート造, SRCは鉄骨鉄筋コンクリート造, PCはプレストレストコンクリート造
- *2) 地上階+地下階
- *3) SMAC-MD, SMAC-MDU, AJE-8200は(株)アカシまたは(株)ミットヨ製, SAMTAC, CV901, CV-374は(株)東京測振製, K2, EtnaはKinematics Inc.製, KSGは国際計測器(株)製
- *4) “/”は免震装置の位置を示す
- *5) 超高層は高さ60mを超える建物, 免震は免震建物, 地盤は地盤のみを対象にしている観測地点。pは本資料内の掲載ページを表す

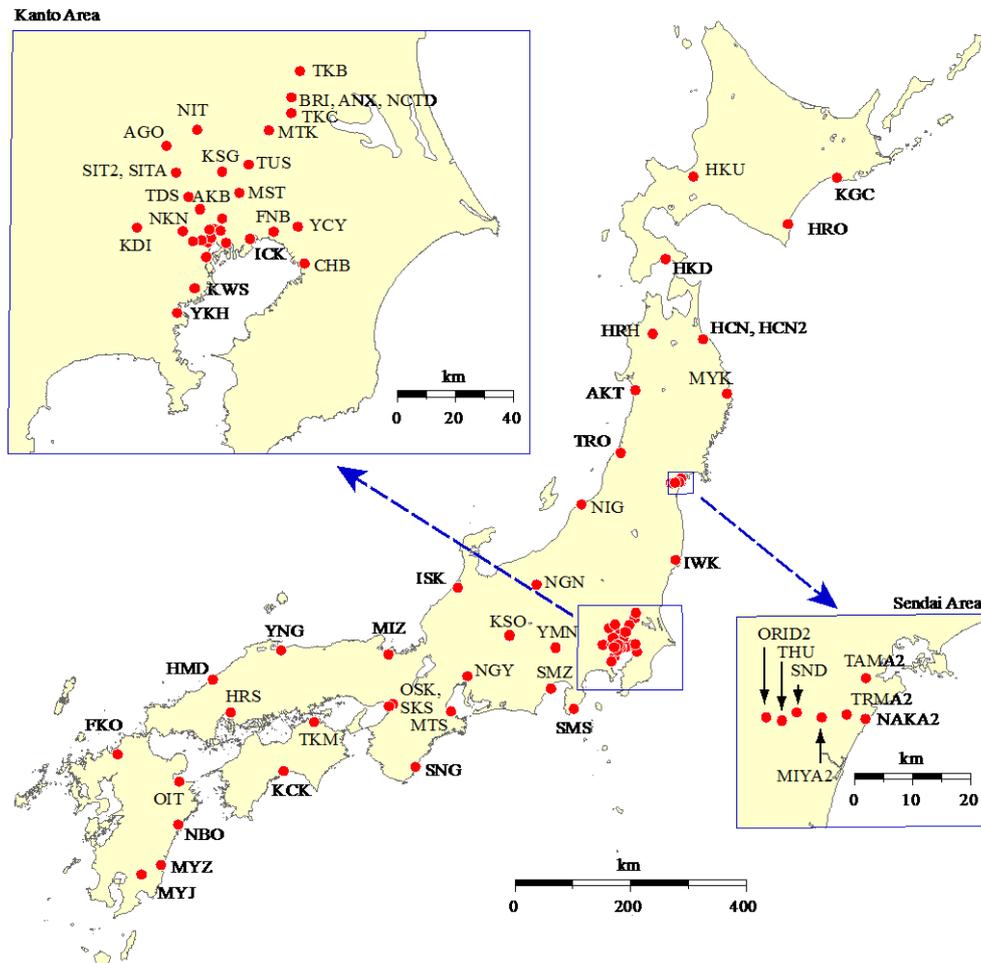


図 2-1 建築研究所の強震観測地点

3. 強震記録の概要

3.1 本震の強震記録一覧

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の本震において、建築研究所の強震観測ネットワークで得られた強震記録の一覧を、震央距離の近い順に表 3.1-1 に示す。また、強震記録が得られた観測地点の位置を震央位置(★)とともに図 3.1-1 に、このうち関東地方の観測地点の位置を図 3.1-2 に示す。観測地点の位置の記号(○)は、震度によって色分けしている。震度は、地表に加速度計を有する観測地点ではその加速度記録から、地表に加速度計を有しない観測地点では建物内の地表に最も近い位置で得られた加速度記録から算出したものである。なお、塩竈市立玉川中学校(TAMA2)及び仙台市立宮城野小学校(MIYA2)では地盤上に加速度計を設置しているが、地震直後の停電により 60 秒間の記録しか得られておらず、計測震度、最大加速度とも参考値である。建築研究所の強震観測ネットワークでは、79 地点中 60 地点の観測地点で東北地方太平洋沖地震の強震記録が得られた。このうち、震度 6 弱の観測地点が 1 地点、震度 5 強の観測地点が 17 地点(TAMA2 と MIYA2 を含む)、震度 5 弱の観測地点が 17 地点となっている。なお、震度 5 弱以上の観測地点 35 地点のうち、建物に複数の加速度計を設置している観測地点は 28 地点である。

各加速度計は、互いに直交する水平 2 成分と上下 1 成分の加速度を計測することができる。つまり、1 台の加速度計で 3 つの加速度記録が得られる。各加速度記録には、計測方向と加速度計の設置位置を表す記号を組み合わせたラベルを付している。例を挙げれば、“074-B1F”のような形式で、“074”が計測方向に、“B1F”が設置場所に対応する。この場合は、B1F(地下 1 階)に設置してある加速度計の N074°E(北から東回りに 074°の方位)方向の加速度記録となる。以下、ラベルの付け方を概説する。

建物の場合、加速度計は観測対象建物の軸に合わせて設置しているため、加速度計の設置方位は観測地点ごとに異なり、必ずしも東西、南北とは一致しない。このため、計測方向は、水平成分の場合は方位を北から東回りの角度(単位は度)として 3 桁の数値で表し、上下成分の場合は“UP”と表記している。例えば、北は“000”、東は“090”、南は“180”、西は“270”となる。いずれも、その方向に加速度が生じたとき正の値が記録される。

2 章で述べたように、加速度計の設置位置は最大 4 桁の記号で表され、建物内の場合は設置階を表す数値に“F”を加え、地下階の場合は頭に“B”を付す。例えば、“08F”は建物 8 階、“B2F”は建物の地下 2 階を表す。また、塔屋に加速度計が設置してある場合は 1 階からの通算階数で表す。例えば、7 階建ての建物の塔屋 1 階は“08F”となる。更に、同じ階に複数の加速度計を有する場合は、設置場所を区別する英字を適宜末尾に加える。例えば“8FE”と“8FW”があれば、8 階の東側と西側の加速度計となる。

地盤上(地表)に加速度計が設置されている場合は記号を“GL”とし、地中に加速度計が埋設されている場合は“G”に深さを表す数字を加えて表している。例えば、“G30”は地中深さ 30 m に埋設された加速度計を表す。

なお、設置位置の表し方にはいくつか例外があり、その場合は表中の備考欄に説明を加えている。

表 3.1-1(1/4) 東北地方太平洋沖地震の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{MA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考	頁
							H1	H2	V		
1	TAMA2	塩竈市立玉川中学校	164	5.0 ^{#1}	000°	GL*	257 ^{#1}	451 ^{#1}	172 ^{#1}		
2	MIYA2	仙台市立宮城野小学校	171	5.4 ^{#1}	000°	GL*	365 ^{#1}	270 ^{#1}	193 ^{#1}		
3	SND	仙台第2合同庁舎	175	5.2	074°	B2F*	163	259	147		37
						15F	361	346	543		
4	THU	東北大学人間環境系研究棟	177	5.6	192°	01F*	333	330	257		116
						09F	908	728	640		
5	MYK	宮古市庁舎	188	4.8	167°	GL*	174	174	240		79
						01F	138	122	277		
						07F	246	197	359		
6	IWK	いわき市庁舎	210	5.3	180°	B1F*	175	176	147		119
						09F	579	449	260		
7	TRO	鶴岡合同庁舎	275	3.9	182°	01F*	34	36	14		
						04F	37	39	15		
8	HCN2	八戸市庁舎別館(免震)	292	5.2	164°	GL*	286	210	61		65
						G30	86	89	49	地中 30 m	
						G105	36	46	32	地中 105 m	
						B1F	100	104	58		
						01F	91	122	73		
						10F	120	123	206		
9	HCN	八戸市庁舎本館	292	4.6	164°	B1F*	97	110	55		122
						06F	348	335	78		
10	AKT	秋田県庁	299	4.3	087°	B1F*	50	47	24		
						08F	175	192	44		
11	NCTD	教員研修センター	330	5.4	350°	GL*	373	375	376		82
						1FE	296	374	191	1階東	
						8FE	798	593	263	8階東	
12	ANX	建築研究所	330	5.3	180°	A01*	279	227	248	地表 A 点	85
						A89	142	153	102	地中 89 m	
						BFE	194	191	136	新館 B1F	
						8FE	597	506	344	新館 8F	
						MBC	203	206	152	本館 B1F	
						M8C	682	585	311	本館 8F	
13	BRI	建築研究所地震観測研修棟	330	5.4	180°	01F*	281	273	165		
14	TKC	つくば市庁舎(免震)	334	5.2	004°	B1F*	327	233	122		68
						01F	92	76	198		
						06F	126	91	243		
15	NIG	新潟市庁舎分館	335	3.9	061°	B1F*	28	40	14		
						07F	39	55	14		
16	MTK	国土交通省下館河川事務所水海道出張所	344	5.3	090°	01F*	261	257	183		
17	HRH	弘前法務合同庁舎	346	3.4	195°	01F*	28	25	15		

注) Δ : 震央距離, I_{MA} : 計測震度(*印のセンサーの3成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度, 頁: 本資料内での強震記録の掲載ページ

#1 停電のため記録が 60 秒間で終了しており、参考値。

表 3.1-1(2/4) 東北地方太平洋沖地震の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考	頁
							H1	H2	V		
18	TUS	東京理科大学野田キャンパス	357	5.1	000°	01F*	269	263	151		
19	YCY	八千代市庁舎新館	361	5.3	302°	GL*	312	306	171		89
						B1F	140	135	92		
						07F	486	359	145		
20	NIT	日本工業大学	362	5.1	288°	GL*	230	197	79		92
						01F	150	119	63		
						06F	283	322	131		
21	MST	三郷市庁舎	367	4.9	258°	GL*	130	127	73		95
						01F	72	104	71		
						07F	219	190	106		
22	FNB	船橋市総合教育センター	368	4.7	357°	GL*	133	145	105		98
						01F	144	147	63		
						08F	359	339	141		
23	CHB	千葉第2合同庁舎	369	4.9	346°	GL*	168	175	100		100
						B1F	152	122	51		
						08F	375	283	117		
24	ICK	市川市行徳図書館	375	5.2	321°	01F*	164	163	71		124
						02F	178	186	80		
						05F	240	300	104		
25	EDG	江戸川区庁舎	377	4.8	003°	01F*	112	112	69		126
						05F	256	299	77		
26	ADC	足立地方合同庁舎	377	4.8	012°	01F*	118	103	71		128
						04F	266	146	95		
27	SIT2	さいたま新都心合同庁舎2号館	378	4.4	340°	B3F*	74	63	42		40
						10FS	119	138	62	10階南	
						27FS	248	503	107	27階南	
28	SITA	さいたま新都心合同庁舎厚生棟	378	4.5	313°	01F*	90	105	47		
29	TDS	戸田市庁舎	380	5.0	354°	GL*	203	206	53		103
						B1F	140	173	65		
						08F	425	531	160		
30	AKB	北区赤羽会館	380	4.6	354°	B1F*	85	139	59		130
						06F	180	250	86		
31	SMD	墨田区庁舎	380	4.3	000°	B1F*	69	66	34		44
						08F	263	197	46		
						20F	385	290	81		
32	NMW	国立西洋美術館(免震)	382	4.8	218°	GL*	265	194	150		72
						B1FW	100	79	84	基礎上西	
						01FW	76	89	87	1階西	
33	UTK	東京大学工学部11号館	383	4.7	348°	GL*	197	218	79		106
						01F	73	151	49		
						7FN	181	212	58	7階北	
						7FS	201	360	160	7階南	
34	TKD	コーシャタワー佃	385	4.4	180°	01F*	87	98	41		46
						18F	118	141	64		
						37F	162	198	108		

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの3成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平1(設置方位), 水平2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度, 頁: 本資料内での強震記録の掲載ページ

表 3.1-1(3/4) 東北地方太平洋沖地震の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{MA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考	頁
							H1	H2	V		
35	CGC	中央合同庁舎 6号館	386	4.4	208°	01F*	90	86	45		50
						20B	208	148	173	B棟 20F	
						19C	179	133	130	C棟 19F	
36	CG2	中央合同庁舎 2号館	386	4.2	208°	B4F*	75	71	49		52
						13F	137	113	72		
						21F	121	131	104		
37	CG3	中央合同庁舎 3号館 (免震)	386	4.5	208°	B2F*	104	91	58		75
						B1F	55	41	62		
						12F	94	82	104		
38	NDLG	国立国会図書館地盤	387	5.0	345°	GL*	224	201	93		
						G24	95	116	54		
						G35	72	71	51		
39	NDLM	国立国会図書館本館	387	4.5	345°	01S*	70	94	60	書庫 1 層	132
						17S	458	489	111	書庫 17 層	
40	NDLA	国立国会図書館新館	387	4.5	345°	B8F	61	88	53		134
						B4F	68	101	56		
						01F*	76	104	84		
						04F	125	192	94		
41	NKN	東京法務局中野出張所	390	4.8	359°	01F*	126	158	54		137
						06F	172	375	56		
42	TUF	東京海洋大学品川国際交流会館	390	5.0	000°	GL*	181	189	71		109
						01F	174	169	60		
						07F	316	223	66		
43	KDI	国土交通大学校	401	4.6	090°	GL*	167	143	50		112
						01F	110	136	53		
						03F	129	329	55		
44	KWS	川崎南労働基準監督署	401	4.7	045°	01F*	107	77	30		139
						02F	133	123	49		
						07F	366	304	76		
45	YKH	横浜第 2 合同庁舎	412	.#2	213°	B2F	60	-	30		54
						23F	162	-	72		
46	NGN	長野県庁	444	2.7	157°	B1F*	8	7	8		
						11F	35	27	9		
47	HKD	北海道開発局函館開発建設部	447	3.5	180°	GL*	25	28	13		
48	HRO	広尾町役場	466	2.7	140°	01F*	17	20	8		
49	YMN	山梨県庁 (免震)	468	3.9	006°	GL*	51	44	20		
						B1F	47	39	18		
						01F	37	52	20		
						08F	41	51	25		
50	SMS	静岡県下田総合庁舎	517	2.9	225°	GL*	12	19	10		
51	SMZ	清水合同庁舎	520	4.2	165°	01F*	28	40	15		
						11F	81	56	18		
52	KSO	長野県木曾合同庁舎	524	2.6	292°	B1F*	9	10	8		
						6F	32	31	10		

注) Δ : 震央距離, I_{MA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度, 頁: 本資料内での強震記録の掲載ページ

#2 N303°E(H2)成分の記録異常のため、算出せず。

表 3.1-1(4/4) 東北地方太平洋沖地震の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考	頁
							H1	H2	V		
53	KGC	釧路合同庁舎 (免震)	558	2.6	167°	GL*	12	14	6		
						G10	10	10	4	地中 10 m	
						G34	5	5	3	地中 34 m	
						B1F	8	12	4		
						01F	10	16	6		
09F	16	19	12								
54	HKU	北海道大学工学部	567	2.7	172°	GL*	10	9	5		
55	ISK	石川県広坂庁舎	574	2.0	174°	B2F*	5	4	3		
						05F	6	4	3		
56	NGY	名古屋合同庁舎 1号館	623	3.2 ^{#3}	174°	GL	8	15	-		
						B2F*	9	14	7		
						12F	25	46	7		
57	MTS	三重県松阪庁舎	688	2.3	216°	01F*	6	5	3		
						07F	16	8	4		
58	MIZ	舞鶴市庁舎	726	0.9	085°	01F*	1	2	2		
						05F	1	2	2		
59	OSK	大阪合同庁舎 3 号館	759	2.9	189°	B3F*	11	9	5		56
						18F	65	38	7		
60	SKS	大阪府咲洲庁舎	770	3.0	229°	01F*	35	33	80		58
						18F	41	38	61		
						38F	85	57	18		
						52FN	127	88	13	52階北	
						52FS	129	85	12	52階南	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの3成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平1(設置方位), 水平2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度, 頁: 本資料内での強震記録の掲載ページ

^{#3} 地盤上(GL)の加速度計の上下(V)成分の記録異常(無信号)のため、地下2階(B2F)の加速度記録から算出

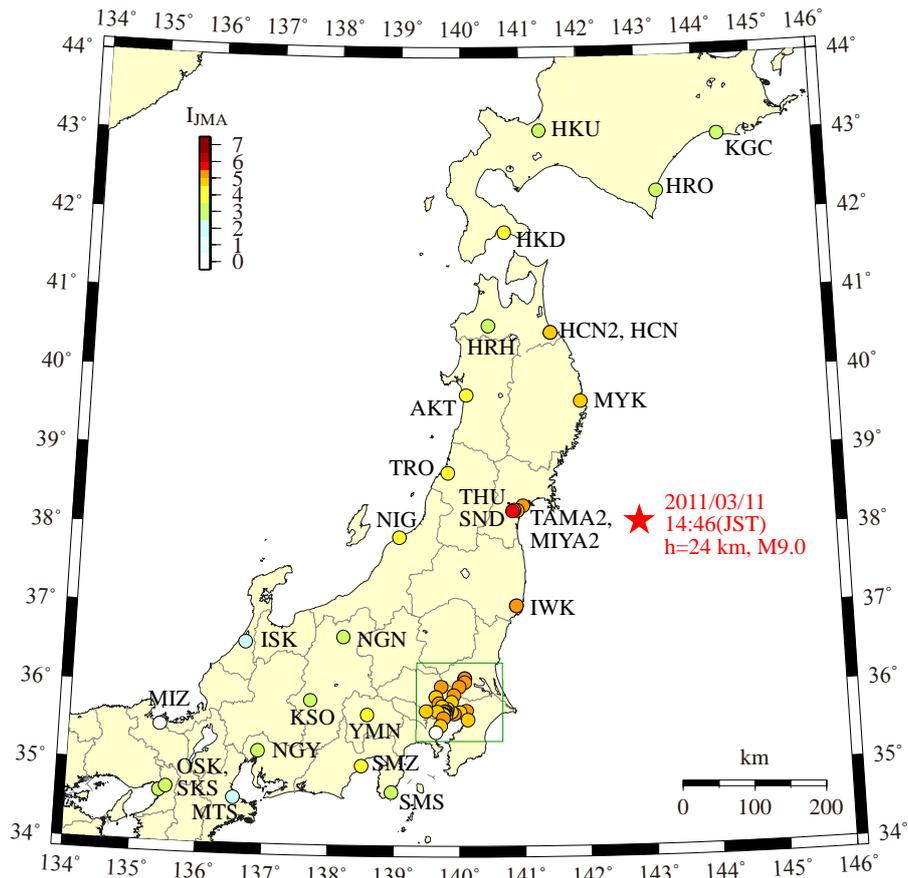


図 3.1-1 東北地方太平洋沖地震本震の震央位置(★)と強震記録が得られた建築研究所の観測地点

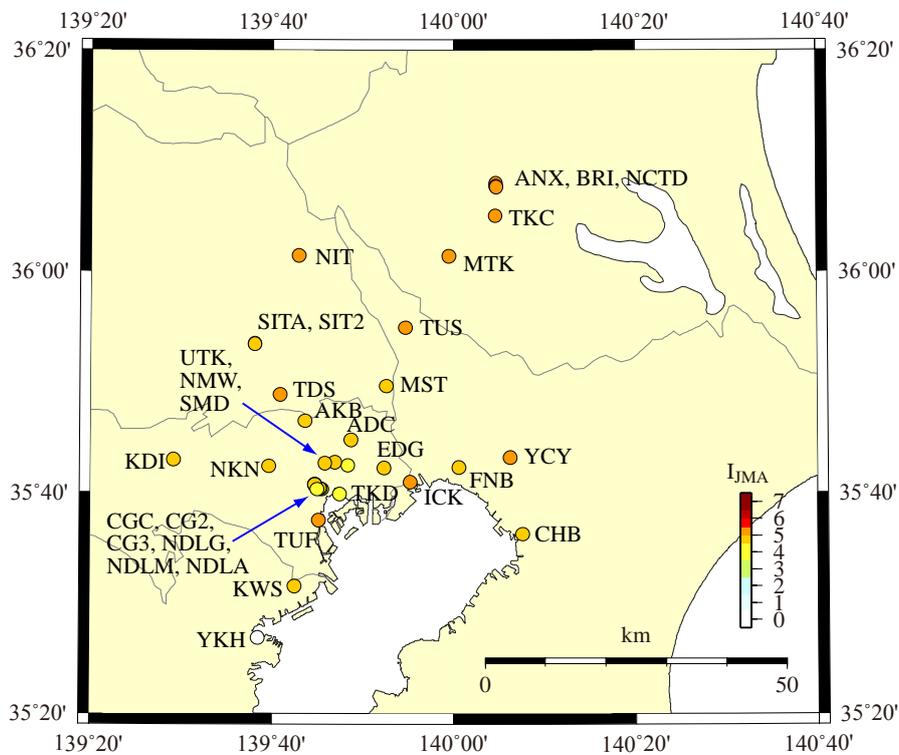


図 3.1-2 東北地方太平洋沖地震本震で強震記録が得られた関東地方の観測地点(図 3.1-1 の緑色の四角の部分)

3.2 余震の強震記録一覧

東北地方太平洋沖地震は、多くの余震や誘発地震を伴った。ここでは、建築研究所の強震観測ネットワークで、震度 5 弱以上を観測した余震や誘発地震を取り上げる。対象となる 5 つの地震の諸元を、本震の諸元(#0)と併せて表 3.2-1 に示す。また、各地震の震央位置(★)を、本震の震央(★)や本震の後 3 月中に発生した M4.0 以上の地震の震央(○)の位置とともに、図 3.2-1 に示す。東北から関東にかけての太平洋沖の震央(○)の広がり、本震の震源域(震源破壊が生じた領域)に対応すると考えられる。

2011 年 3 月 11 日 15 時 15 分の茨城県沖の地震(#1)は、本震の約 30 分後に震源域の南端で発生した。気象庁マグニチュードは M7.7 と、余震の中で最大である。表 3.2-2 に観測された強震記録の一覧を、図 3.2-2 と図 3.2-3 に震央と観測地点の位置を示す。茨城県つくば市の建築研究所(ANX と BRI)や教員研修センター(NCTD)で震度 5 弱を記録している。

2011 年 4 月 7 日 23 時 32 分の宮城県沖の地震(#2)は、本震の震源から 80 km ほど西側の、更に陸寄りで発生した M7.1 の余震である。表 3.2-3 に観測された強震記録の一覧を、図 3.2-4 と図 3.2-5 に震央と観測地点の位置を示す。仙台市宮城野区の鶴巻小学校(TRMA2)の地表で震度 6 弱、仙台市宮城野区の宮城野小学校(MIYA2)の地表で震度 5 強、仙台市青葉区の仙台第 2 合同庁舎の地下 2 階で震度 5 弱と、仙台市周辺で大きな揺れが観測された。

2011 年 4 月 11 日 17 時 16 分の地震(#3)の震源は福島県浜通りで、太平洋岸の陸域に入り込んでいる。本震の震源域から少し離れた地殻内部で発生した浅い地震であるので、誘発地震とも言われている。表 3.2-4 に観測された強震記録の一覧を、図 3.2-6 と図 3.2-7 に震央と観測地点の位置を示す。福島県のいわき市庁舎(IWK)の地下 1 階で震度 5 強を観測するなど、いわき市を中心に激しい地震動に見舞われ、いわき市の震央の周辺では地表地震断層が確認されている。

2011 年 4 月 12 日 14 時 07 分の地震(#4)の震源は福島県中通りで、前日の地震(#3)の震源に近い。表 3.2-5 に観測された強震記録の一覧を、図 3.2-8 と図 3.2-9 に震央と観測地点の位置を示す。マグニチュードは 6.4 と前日の地震より小さかったが、いわき市庁舎(IWK)の地下 1 階でまたも震度 5 強を観測するなど、いわき市周辺に強い地震動を引き起こしている。

2011 年 6 月 23 日 6 時 50 分の地震(#5)は、岩手県沖の本震の震源域の北端で起きている。表 3.2-6 に観測された強震記録の一覧を、図 3.2-10 と図 3.2-11 に震央と観測地点の位置を示す。震源から離れているため関東周辺ではそれほど大きな強震記録は得られていないが、震源から 112 km 離れた青森県の八戸市庁舎(HCN2)の地盤上で震度 5 強を観測している。

表 3.2-1 主な余震の地震諸元(気象庁による)

#	日時	緯度, 経度	深さ (km)	M_{JMA}^{*1}	震央地名
0	2011年3月11日14時46分	38°06.2'N, 142°51.6'E	24	9.0	三陸沖
1	2011年3月11日15時15分	36°06.5'N, 141°15.9'E	43	7.6	茨城県沖
2	2011年4月7日23時32分	38°12.2'N, 141°55.2'E	66	7.2	宮城県沖
3	2011年4月11日17時16分	36°56.7'N, 140°40.3'E	6	7.0	福島県浜通り
4	2011年4月12日14時07分	37°03.1'N, 140°38.6'E	15	6.4	福島県中通り
5	2011年6月23日6時50分	39°56.8'N, 142°35.4'E	36	6.9	岩手県沖

*) 気象庁マグニチュード, ただし本震はモーメントマグニチュード

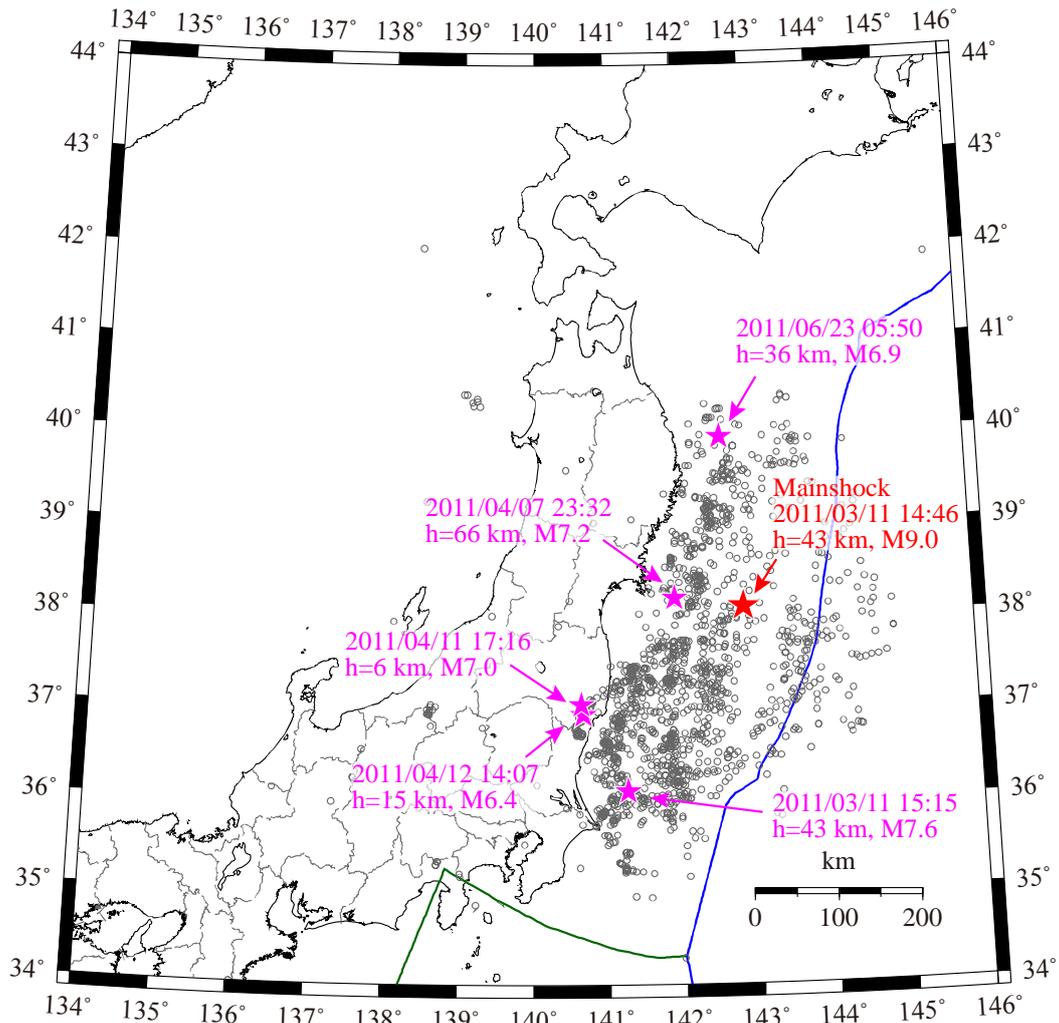


図 3.2-1 取り上げた余震や誘発地震の震央位置(気象庁による)

表 3.2-2(1/3) 2011 年 3 月 11 日 15 時 15 分の地震(#1)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
1	BRI	建築研究所地震観測研修棟	107	4.7	180°	01F*	98	148	71	
2	ANX	建築研究所	107	4.7	180°	A01*	101	151	78	地表 A 点
						A89	57	70	37	地中 89 m
						BFE	75	122	53	新館 B1F
						8FE	284	570	150	新館 8F
						MBC	82	119	69	本館 B1F
3	NCTD	教員研修センター	107	4.9	350°	M8C	447	479	106	本館 8F
						GL*	170	171	135	
4	TKC	つくば市庁舎(免震)	107	4.3	004°	1FE	136	222	96	
						8FE	397	337	110	
						B1F*	95	92	70	
5	YCY	八千代市庁舎新館	113	4.4	302°	01F	46	57	101	
						06F	63	71	118	
						GL*	133	143	88	
6	CHB	千葉第 2 合同庁舎	117	4.4	346°	B1F	57	49	29	
						07F	184	153	53	
						GL*	61	87	29	
7	TUS	東京理科大学野田キャンパス	124	4.3	000°	B1F	59	64	27	
						08F	202	190	64	
						01F*	114	113	75	
8	MST	三郷市庁舎	129	4.6	258°	GL*	72	89	37	
						01F	62	78	23	
						07F	100	104	31	
9	ICK	市川市行徳図書館	130	4.5	321°	01F*	82	73	28	
						02F	92	73	29	
						05F	133	127	35	
10	EDG	江戸川区庁舎	133	4.3	003°	01F*	57	65	26	
						05F	112	120	29	
11	ADC	足立地方合同庁舎	137	4.2	012°	01F*	50	55	22	
						04F	89	64	25	
12	SMD	墨田区庁舎	139	3.8	000°	B1F*	28	26	16	
						08F	65	72	25	
						20F	113	102	37	
13	NIT	日本工業大学	140	4.2	288°	GL*	99	79	24	
						01F	46	45	19	
						06F	118	135	47	
14	NMW	国立西洋美術館(免震)	141	4.0	218°	GL*	100	97	46	
						B1FW	40	43	27	基礎上西
						01FW	52	36	29	1 階西
15	TKD	コーシャタワー佃	142	3.9	180°	04F	51	38	35	
						01F*	44	34	18	
						18F	59	71	29	
16	UTK	東京大学工学部 11 号館	142	3.9	348°	37F	106	154	38	
						GL*	53	52	26	
						01F	35	48	16	
						7FN	78	78	18	7 階北
						7FS	95	169	45	7 階南

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

表 3.2-2(2/3) 2011 年 3 月 11 日 15 時 15 分の地震(#1)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
17	AKB	北区赤羽会館	143	3.8	354°	B1F*	37	35	24	
						06F	72	95	37	
18	CGC	中央合同庁舎 6 号館	144	3.5	208°	01F*	30	25	15	
						20B	114	74	55	B 棟 20F
						19C	102	71	45	C 棟 19F
19	CG2	中央合同庁舎 2 号館	144	3.5	208°	B4F*	27	23	15	
						13F	51	35	28	
						21F	74	51	41	
20	CG3	中央合同庁舎 3 号館 (免震)	145	3.6	208°	B2F*	30	27	17	
						B1F	28	28	28	
						12F	46	43	38	
21	NDLG	国立国会図書館地盤	145	3.9	345°	GL*	78	62	48	
						G24	28	28	19	
						G35	25	22	18	
22	NDLA	国立国会図書館新館	145	3.8	345°	B8F	27	24	21	
						B4F	28	28	23	
						01F*	28	32	25	
						04F	47	64	26	
23	NDLM	国立国会図書館本館	145	3.9	345°	01S*	29	30	18	1 層
						17S	162	109	35	17 層
24	TDS	戸田市庁舎	146	3.7	354°	GL*	24	33	15	
						B1F	24	34	19	
						08F	57	91	21	
25	TUF	東京海洋大学品川 国際交流会館	147	4.0	000°	GL*	69	57	22	
						01F	57	70	23	
						07F	125	80	28	
26	SIT2	さいたま新都心合 同庁舎 2 号館	149	3.3	340°	B3F*	19	24	10	
						10FS	42	45	18	10 階南
						27FS	99	143	45	27 階南
27	SITA	さいたま新都心合 同庁舎厚生棟	149	3.4	313°	01F*	26	33	14	
28	KWS	川崎南労働基準監 督署	155	3.8	045°	01F*	33	34	13	
						02F	48	40	13	
						07F	196	105	15	
29	KDI	国土交通大学校	166	3.5	090°	GL*	43	37	14	
						01F	36	35	16	
						03F	44	70	16	
30	THU	東北大学工学部人 間環境系建物	241	3.6	192°	01F*	29	31	14	
						09F	63	66	34	
31	SND	仙台第 2 合同庁舎	242	3.1	074°	B2F*	17	17	9	
						15F	26	42	29	
32	YMN	山梨県庁 (免震)	248	2.4	006°	GL*	9	9	6	
						B1F	8	8	5	
						01F	13	12	5	
						08F	18	15	7	
33	SMZ	清水合同庁舎	279	2.9	165°	01F*	11	11	4	
						11F	22	13	4	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

表 3.2-2(3/3) 2011 年 3 月 11 日 15 時 15 分の地震(#1)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s^2)			備考
							H1	H2	V	
34	NGN	長野県庁	282	1.7	157°	B1F*	3	3	2	
						11F	8	9	3	
35	KSO	長野県木曾合同庁舎	323	1.4	292°	B1F*	3	3	2	
						6F	11	14	3	
36	MYK	宮古市庁舎	397	2.7	167°	GL*	19	21	9	
						01F	14	15	10	
						07F	19	16	14	
37	OSK	大阪合同庁舎 3 号館	544	2.2	189°	B3F*	5	3	2	
						18F	18	26	2	
38	SKS	大阪府咲洲庁舎	555	2.5	229°	01F*	9	9	7	
						18F	28	59	7	
						38F	54	92	4	
						52FN	95	118	14	52 階北
						52FS	98	120	11	52 階南

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

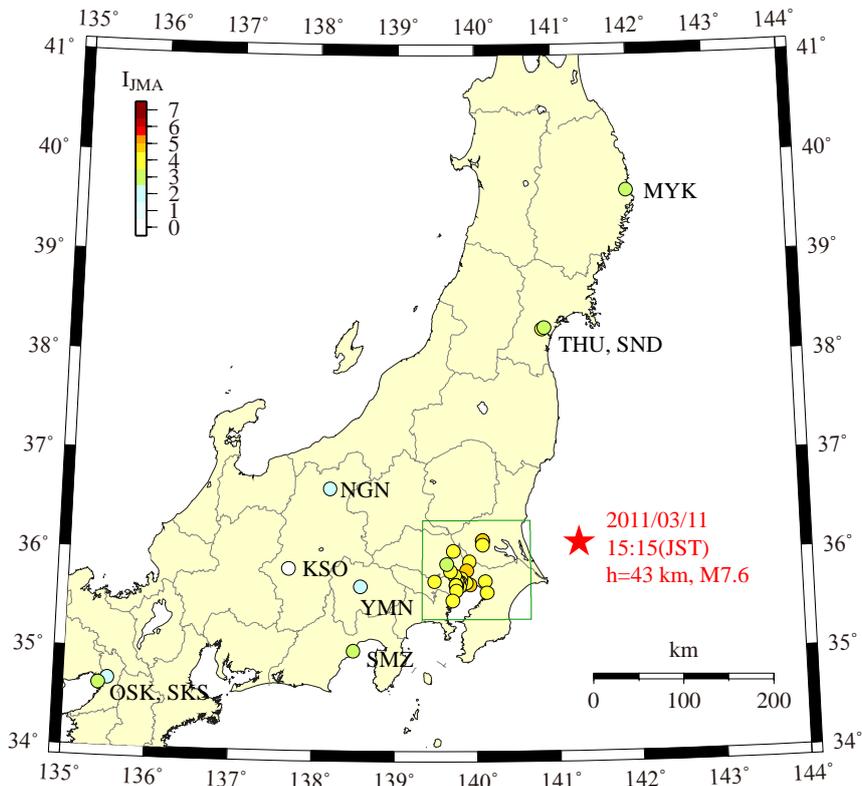


図 3.2-2 2011 年 3 月 11 日 15 時 15 分の地震(#1)の震央位置(★)とで記録が得られた強震観測地点

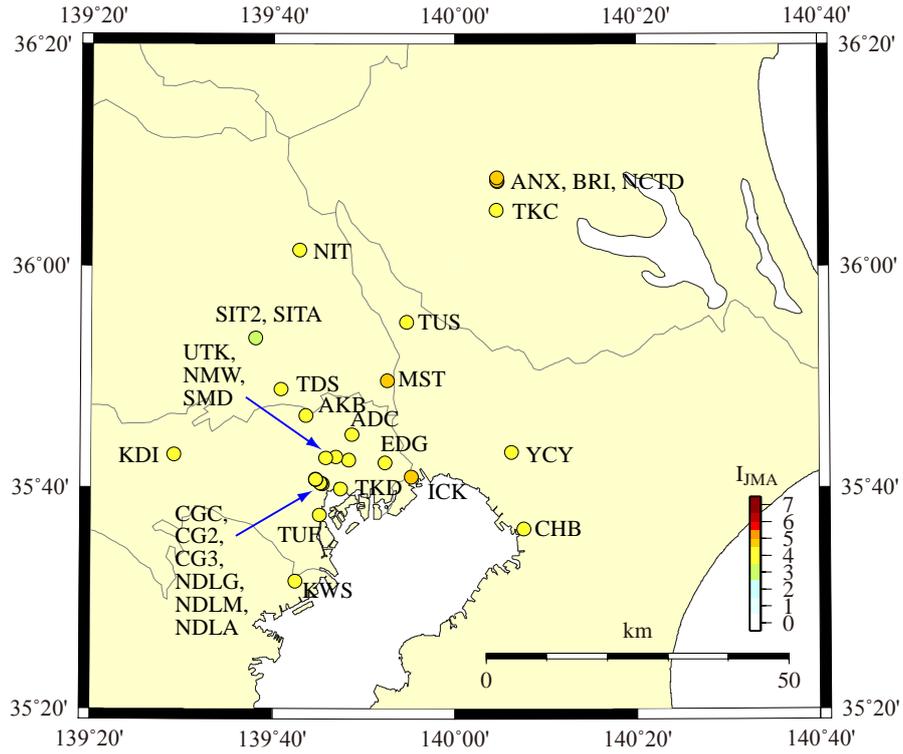


図 3.2-3 2011年3月11日15時15分の地震(#1)で記録が得られた関東地方の観測地点(図 3.2-2 の緑色の四角の部分)

表 3.2-3(1/4) 2011 年 4 月 7 日 23 時 32 分の地震(#2)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
1	TRMA2	仙台市立鶴巻小学校	84	5.8	000°	GL*	306	395	247	
2	MIYA2	仙台市立宮城野小学校	88	5.4	000°	GL*	487	355	290	
3	SND	仙台第 2 合同庁舎	92	4.9	074°	B2F*	161	199	130	
						15F	309	270	380	
4	IWK	いわき市庁舎	157	3.8	180°	B1F*	46	51	36	
						09F	84	199	56	
5	TRO	鶴岡合同庁舎	193	3.6	182°	01F*	28	23	10	
						04F	32	25	11	
6	AKT	秋田県庁	230	3.9	087°	B1F*	33	36	24	
						08F	140	194	44	
7	NIG	新潟市庁舎分館	254	3.0	061°	B1F*	10	11	5	
						07F	20	20	7	
8	HCN2	八戸市庁舎別館 (免震)	259	4.6	164°	GL*	97	114	47	
						G30	45	48	26	
						G105	20	19	15	
						B1F	73	56	51	
						01F	69	69	40	
						10F	77	87	109	
9	HCN	八戸市庁舎本館	259	4.0	164°	B1F*	71	55	24	
						06F	175	194	46	
10	TKB	東京大学地震研究所筑波地震観測所	273	2.8	000°	GL*	38	44	33	
11	NCTD	教員研修センター	282	3.5	350°	GL*	49	94	50	
						1FEe	47	52	30	
						8FE	#1	#1	#1	
12	ANX	建築研究所	283	3.4	180°	A01*	33	39	23	地表 A 点
						A89	21	19	10	地中 89 m
						BFE	17	23	15	新館 B1F
						8FE	57	73	32	新館 8F
						MBC	20	25	19	本館 B1F
						M8C	55	59	33	本館 8F
13	TKC	つくば市庁舎 (免震)	287	3.1	004°	B1F*	24	23	14	
						01F	23	23	26	
						06F	31	28	36	
14	HRH	弘前法務合同庁舎	294	2.8	195°	01F*	13	15	13	
15	TUS	東京理科大学野田キャンパス	311	3.2	000°	01F*	36	31	20	
16	NIT	日本工業大学	311	3.3	288°	GL*	32	39	10	
						01F	16	19	10	
						06F	36	39	23	
17	KSG	さいたま地方法務局越谷支局	318	3.3	150°	01F*	21	18	6	
18	YCY	八千代市庁舎新館	320	3.4	302°	GL*	50	43	22	
						B1F	13	13	6	
						07F	35	44	13	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

#1 欠測

表 3.2-3(2/4) 2011 年 4 月 7 日 23 時 32 分の地震(#2)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
19	MST	三郷市庁舎	321	3.1	258°	GL*	50	43	22	
						01F	13	13	6	
						07F	35	44	13	
20	AGO	上尾市庁舎	322	2.3	227°	B1F*	8	9	6	
						7FN	30	35	16	7 階北
						7FS	29	31	12	7 階南
21	FNB	船橋市総合教育センター	326	2.6	357°	GL*	15	17	11	
						01F	15	15	6	
						08F	56	44	15	
22	SIT2	さいたま新都心合同庁舎 2 号館	328	2.6	340°	B3F*	8	8	5	
						10FS	15	21	7	10 階南
						27FS	30	62	19	27 階南
23	SITA	さいたま新都心合同庁舎厚生棟	328	2.7	313°	01F*	11	11	8	
24	CHB	千葉第 2 合同庁舎	330	2.8	346°	GL*	18	20	10	
						B1F	12	12	6	
						08F	46	49	14	
25	ADC	足立地方合同庁舎	331	3.0	012°	01F*	17	13	9	
						04F	34	18	12	
26	TDS	戸田市庁舎	332	2.9	354°	GL*	18	15	9	
						B1F	12	10	6	
						08F	40	30	12	
27	ICK	市川市行徳図書館	332	3.1	321°	01F*	19	19	8	
						02F	24	24	11	
						05F	33	36	13	
28	EDG	江戸川区庁舎	332	2.9	003°	01F*	15	13	9	
						05F	39	33	10	
29	AKB	北区赤羽会館	333	2.5	354°	B1F*	10	11	7	
						06F	24	28	11	
30	SMD	墨田区庁舎	335	2.4	000°	B1F*	8	9	4	
						08F	26	19	6	
						20F	37	35	11	
31	NMW	国立西洋美術館 (免震)	336	3.1	218°	GL*	32	30	22	
						B1FW	14	14	10	基礎上西
						01FW	14	16	11	1 階西
32	UTK	東京大学工学部 11 号館	337	2.8	348°	04F	18	16	15	
						GL*	22	23	9	
						01F	8	13	6	
						7FN	20	24	6	7 階北
33	TKD	コーシャタワー佃	340	2.4	180°	7FS	24	39	13	7 階南
						01F*	9	8	4	
						18F	16	13	8	
34	CGC	中央合同庁舎 6 号館	341	2.4	208°	37F	22	17	15	
						01F*	13	10	7	
						20B	23	15	35	B 棟 20F
35	CG2	中央合同庁舎 2 号館	341	2.2	208°	19C	18	14	20	C 棟 19F
						B4F*	9	10	6	
						13F	16	14	10	
						21F	17	17	17	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

表 3.2-3(3/4) 2011 年 4 月 7 日 23 時 32 分の地震(#2)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
36	CG3	中央合同庁舎 3 号館 (免震)	341	2.4	208°	B2F*	13	10	7	
						B1F	9	10	8	
						12F	19	17	15	
37	NDLG	国立国会図書館地盤	341	3.1	345°	GL*	35	23	17	
						G24	11	9	7	
						G35	11	8	7	
38	NDLM	国立国会図書館本館	341	2.3	345°	01S*	11	7	9	書庫 1 層
						17S	57	35	18	書庫 17 層
39	NDLA	国立国会図書館新館	341	2.5	345°	B8F	8	7	9	
						B4F	8	8	9	
						01F*	9	11	13	
						04F	18	23	14	
40	NKN	東京法務局中野出張所	343	2.8	359°	01F*	17	17	7	
						06F	28	45	6	
41	YYG	国立オリンピック記念青少年総合センターC棟	344	3.0	355°	GL*	31	26	10	
						B1F	26	28	9	
						04F	37	48	9	
42	TUF	東京海洋大学品川国際交流会館	345	3.3	000°	GL*	35	31	13	
						01F	27	28	9	
						07F	63	46	10	
43	KDI	国土交通大学校	351	2.8	090°	GL*	17	17	7	
						01F	17	14	6	
						03F	21	27	8	
44	KWS	川崎南労働基準監督署	357	2.5	045°	01F*	10	11	5	
						02F	13	11	6	
						07F	27	32	8	
45	YKH	横浜第 2 合同庁舎	367	- ^{#2}	213°	B2F	5	-	4	
						23F	14	-	11	
46	HKD	北海道開発局函館開発建設部	410	2.8	180°	GL*	12	10	5	
47	YMN	山梨県庁(免震)	410	1.9	006°	GL*	7	8	4	
						B1F	5	5	3	
						01F	6	8	4	
						08F	10	8	6	
48	SMZ	清水合同庁舎	469	2.0	165°	01F*	4	3	2	
						06F	12	7	2	
49	HRO	広尾町役場	469	2.6	140°	01F*	19	15	8	
50	HKU	北海道大学工学部	543	1.6	172°	GL*	5	5	2	
51	NGY	名古屋合同庁舎 1 号館	559	1.2 ^{#3}	174°	GL	1	2	-	
						B2F*	1	2	1	
						12F	5	8	1	
52	KGC	釧路合同庁舎 (免震)	571	2.4	167°	GL*	12	11	9	
						G10	10	9	5	地中 10 m
						G34	5	5	2	地中 34 m
						B1F	6	8	4	
						01F	6	6	5	
						09F	10	9	9	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

^{#2} N303°E(H2)成分の記録異常のため、算出せず。

^{#3} 地盤上(GL)の加速度計の上下(V)成分の記録異常(無信号)のため、地下 2 階(B2F)の加速度記録から算出

表 3.2-3(4/4) 2011年4月7日23時32分の地震(#2)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
53	SKS	大阪府咲洲庁舎	704	1.3	229°	01F*	2	2	1	
						18F	5	4	1	
						38F	5	7	1	
						52FN	8	8	1	52 階北
						52FS	8	8	1	52 階南

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの3成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平1(設置方位), 水平2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

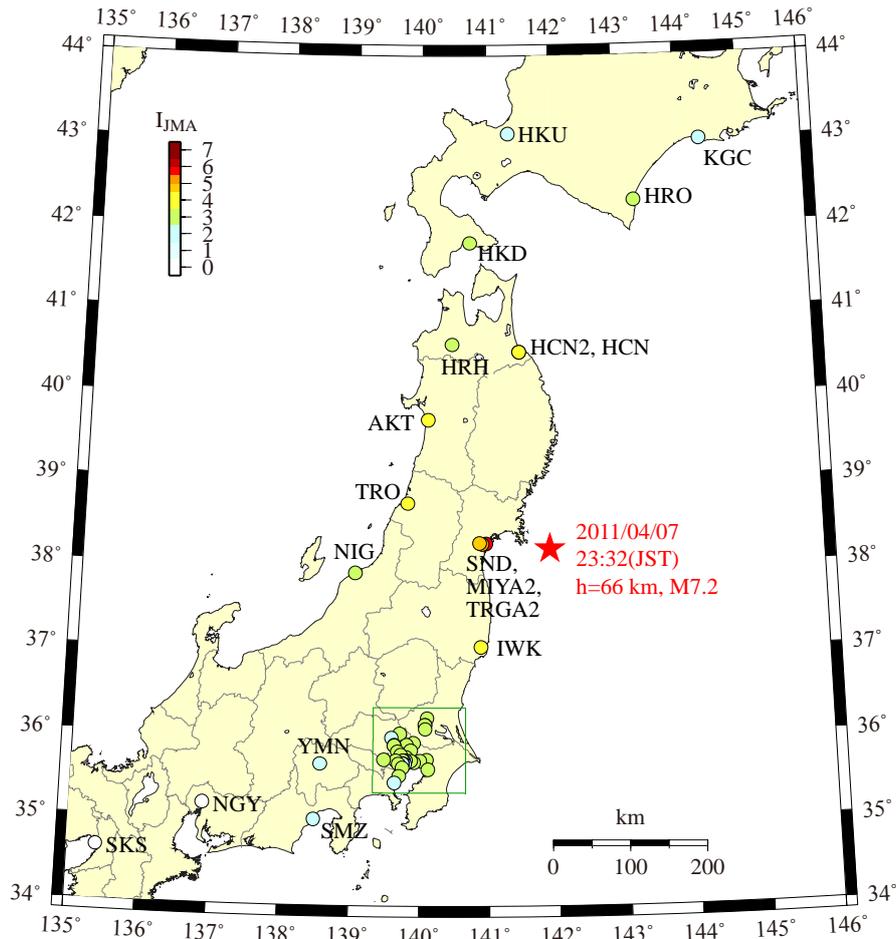


図 3.2-4 2011年4月7日23時32分の地震(#2)の震央位置(★)と記録が得られた強震観測地点

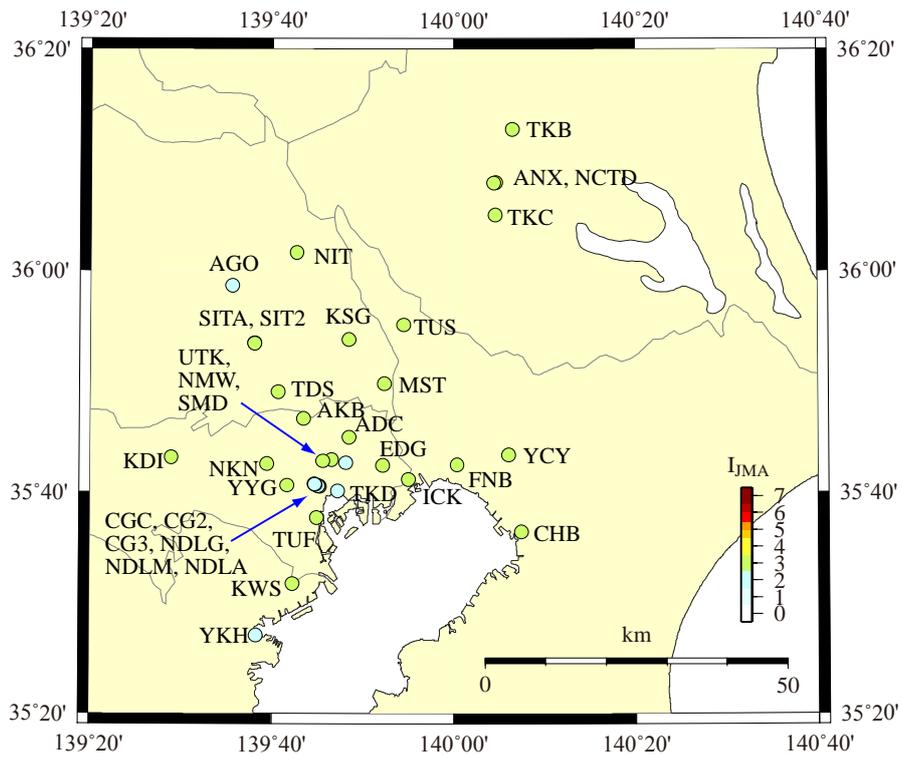


図 3.2-5 2011年4月7日23時32分の地震(#2)で記録が得られた関東地方の観測地点(図3.2-4の緑色の四角の部分)

表 3.2-4(1/3) 2011 年 4 月 11 日 17 時 16 分の地震(#3)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
1	IWK	いわき市庁舎	23	5.0	180°	B1F*	162	149	103	
						09F	447	395	174	
2	TKB	東京大学地震研究所筑波地震観測所	96	3.6	000°	GL*	65	81	58	
3	NCTD	教員研修センター	105	4.7	350°	GL*	132	151	96	
						1FEe	164	144	58	1階東
						8FE	-#1	-#1	-#1	
4	ANX	建築研究所	105	4.6	180°	A01*	118	90	59	地表 A 点
						A89	55	55	25	地中 89 m
						BFE	95	69	41	新館 B1F
						8FE	274	207	96	新館 8F
						MBC	84	76	50	本館 B1F
						M8C	283	344	111	本館 8F
5	TKC	つくば市庁舎(免震)	110	4.0	004°	B1F*	77	53	31	
						01F	46	45	50	
						06F	61	58	68	
6	TUS	東京理科大学野田キャンパス	133	4.0	000°	01F*	84	78	33	
7	NIT	日本工業大学	133	4.1	288°	GL*	83	86	22	
						01F	37	48	17	
						06F	123	128	33	
8	KSG	さいたま地方法務局越谷支局	140	3.9	150°	01F*	45	44	14	
9	MST	三郷市庁舎	143	3.9	258°	GL*	45	49	27	
						01F	29	40	12	
						07F	76	73	19	
10	AGO	上尾市庁舎	145	2.7	227°	B1F*	14	13	9	
						7FN	42	52	19	7階北
						7FS	40	62	20	7階南
11	YCY	八千代市庁舎新館	145	3.7	302°	GL*	69	50	28	
						B1F	20	21	10	
						07F	77	73	18	
12	THU	東北大学人間環境系研究棟	146	4.2	192°	01F*	68	64	32	
						09F	144	170	97	
13	ORID2	仙台市立折立小学校	147	4.2	000°	GL*	76	100	33	
14	SND	仙台第2合同庁舎	148	3.6	074°	B2F*	32	30	20	
						15F	55	79	62	
15	MIYA2	仙台市立宮城野小学校	148	3.6	000°	GL*	45	49	17	
16	TRMA2	仙台市立鶴巻小学校	149	4.1	000°	GL*	71	69	28	
17	SIT2	さいたま新都心合同庁舎2号館	150	3.4	340°	B3F*	19	19	9	
						10FS	39	52	20	
						27FS	92	175	47	
18	SITA	さいたま新都心合同庁舎厚生棟	150	3.6	313°	01F*	34	25	17	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの3成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平1(設置方位), 水平2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

#1 欠測

表 3.2-4(2/3) 2011 年 4 月 11 日 17 時 16 分の地震(#3)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
19	FNB	船橋市総合教育センター	150	3.2	357°	GL*	24	29	17	
						01F	23	23	10	
						08F	82	98	22	
20	TDS	戸田市庁舎	154	3.3	354°	GL*	27	25	10	
						B1F	18	21	9	
						08F	49	62	19	
21	ADC	足立地方合同庁舎	154	3.5	012°	01F*	23	30	13	
						04F	55	49	21	
22	AKB	北区赤羽会館	155	3.0	354°	B1F*	16	21	9	
						06F	34	67	14	
23	TAMA2	塩竈市立玉川中学校	156	3.0	000°	GL*	30	29	14	
24	EDG	江戸川区庁舎	156	3.5	003°	01F*	28	29	13	
						05F	70	66	15	
25	ICK	市川市行徳図書館	156	3.5	321°	01F*	25	28	15	
						02F	26	31	18	
						05F	44	53	21	
26	CHB	千葉第 2 合同庁舎	157	3.2	346°	GL*	26	24	13	
						B1F	21	17	7	
						08F	74	59	22	
27	SMD	墨田区庁舎	158	2.7	000°	B1F*	12	11	6	
						08F	40	31	10	
						20F	62	50	20	
28	NMW	国立西洋美術館 (免震)	159	3.4	218°	GL*	43	51	29	
						B1FW	22	28	19	基礎上西
						01FW	18	23	20	1 階西
						04F	27	18	16	
29	UTK	東京大学工学部 11 号館	160	3.3	348°	GL*	52	48	11	
						01F	13	27	10	
						7FN	52	48	11	7 階北
						7FS	58	57	20	7 階南
30	TKD	コーシャタワー佃	163	2.9	180°	01F*	18	13	10	
						18F	28	23	19	
						37F	39	35	27	
31	NDLG	国立国会図書館地 盤	164	3.3	345°	GL*	43	32	19	
						G24	15	18	12	
						G35	12	14	10	
32	NDLM	国立国会図書館本 館	164	2.9	345°	01S*	14	14	10	書庫 1 層
						17S	87	89	19	書庫 17 層
33	NDLA	国立国会図書館新 館	164	3.0	345°	B8F	11	12	10	
						B4F	12	15	11	
						01F*	15	19	14	
						04F	23	47	15	
34	CGC	中央合同庁舎 6 号館	164	2.8	208°	01F*	18	16	9	
						20B	30	30	35	B 棟 20F
						19C	32	30	26	C 棟 19F
35	CG2	中央合同庁舎 2 号館	164	2.9	208°	B4F*	14	15	7	
						13F	28	27	14	
						21F	29	29	18	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

表 3.2-4(3/3) 2011 年 4 月 11 日 17 時 16 分の地震(#3)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
36	CG3	中央合同庁舎 3 号館 (免震)	164	3.0	208°	B2F*	18	15	9	
						B1F	14	14	14	
						12F	28	28	15	
37	NKN	東京法務局中野出張所	165	3.1	359°	01F*	23	24	8	
						06F	33	47	10	
38	YYG	国立オリンピック記念青少年総合センターC 棟	166	3.3	355°	GL*	31	29	16	
						B1F	31	32	16	
						04F	37	67	16	
39	TUF	東京海洋大学品川国際交流会館	168	3.6	000°	GL*	44	37	14	
						01F	37	36	12	
						07F	73	51	14	
40	KDI	国土交通大学校	173	2.9	090°	GL*	22	18	7	
						01F	16	19	8	
						03F	20	41	10	
41	NIG	新潟市庁舎分館	180	3.5	061°	B1F*	18	22	6	
						07F	34	47	9	
42	KWS	川崎南労働基準監督署	180	3.1	045°	01F*	17	19	6	
						02F	18	23	6	
						07F	67	61	9	
43	YKH	横浜第 2 合同庁舎	190	- ^{#2}	213°	B2F	11	-	6	
						23F	26	-	15	
44	TRO	鶴岡合同庁舎	213	3.2	182°	01F*	11	17	4	
						04F	12	19	4	
45	NGN	長野県庁	224	1.5	157°	B1F*	2	2	2	
						11F	6	6	2	
46	YMN	山梨県庁(免震)	236	1.8	006°	GL*	6	6	3	
						B1F	5	5	3	
						01F	6	9	3	
						08F	8	9	4	
47	SMZ	清水合同庁舎	291	2.0	165°	01F*	3	5	2	
						06F	11	9	2	
48	AKT	秋田県庁	312	2.6	087°	B1F*	6	6	4	
						08F	17	19	3	
49	NGY	名古屋合同庁舎 1 号館	391	1.4 ^{#3}	174°	GL	1	2	-	
						B2F*	1	2	1	
						12F	6	10	1	
50	HCN2	八戸市庁舎別館 (免震)	403	2.6	164°	GL*	11	8	3	
						G30	5	3	2	
						G105	2	1	1	
						B1F	7	4	2	
						01F	9	11	2	
						10F	19	18	5	
51	HCN	八戸市庁舎本館	403	2.3	164°	B1F*	7	4	1	
						06F	15	18	2	
52	SKS	大阪府咲洲庁舎	539	1.0	229°	01F*	2	1	1	
						18F	3	3	1	
						38F	6	3	1	
						52FN	7	4	1	52 階北
						52FS	8	4	2	52 階南

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

^{#2} N303°E(H2)成分の記録異常のため、算出せず。

^{#3} 地盤上(GL)の加速度計の上下(V)成分の記録異常(無信号)のため、地下 2 階(B2F)の加速度記録から算出

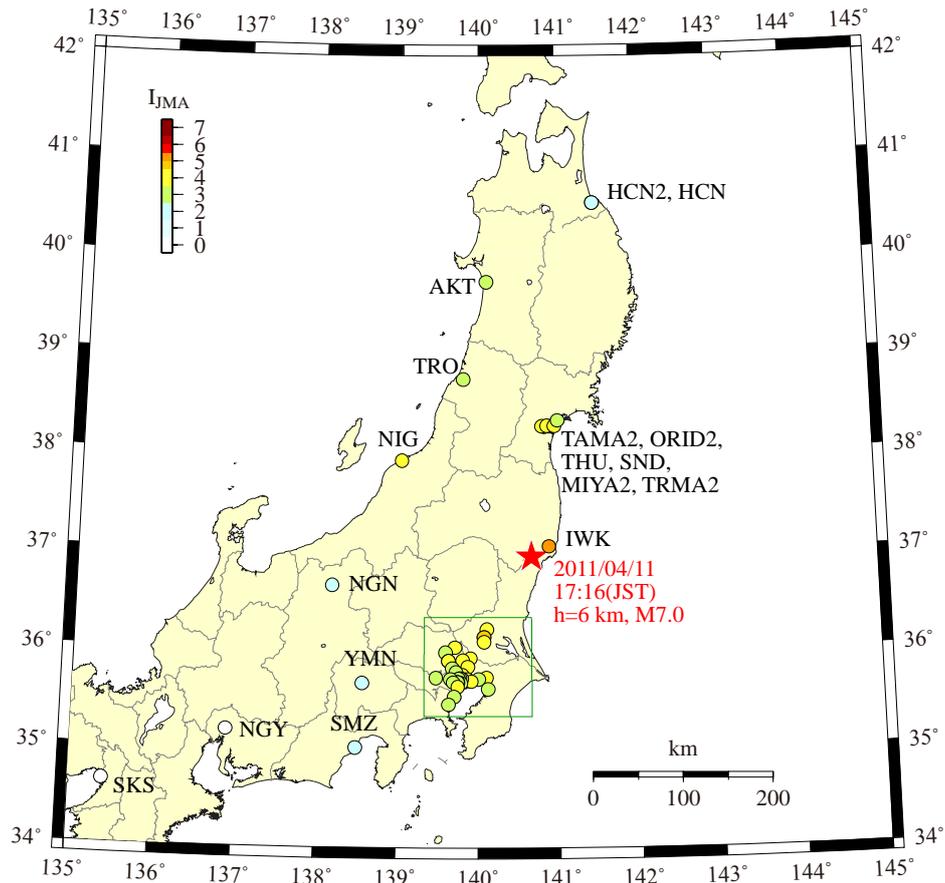


図 3.2-6 2011年4月11日17時16分の地震(#3)の震央位置(★)と記録が得られた強震観測地点

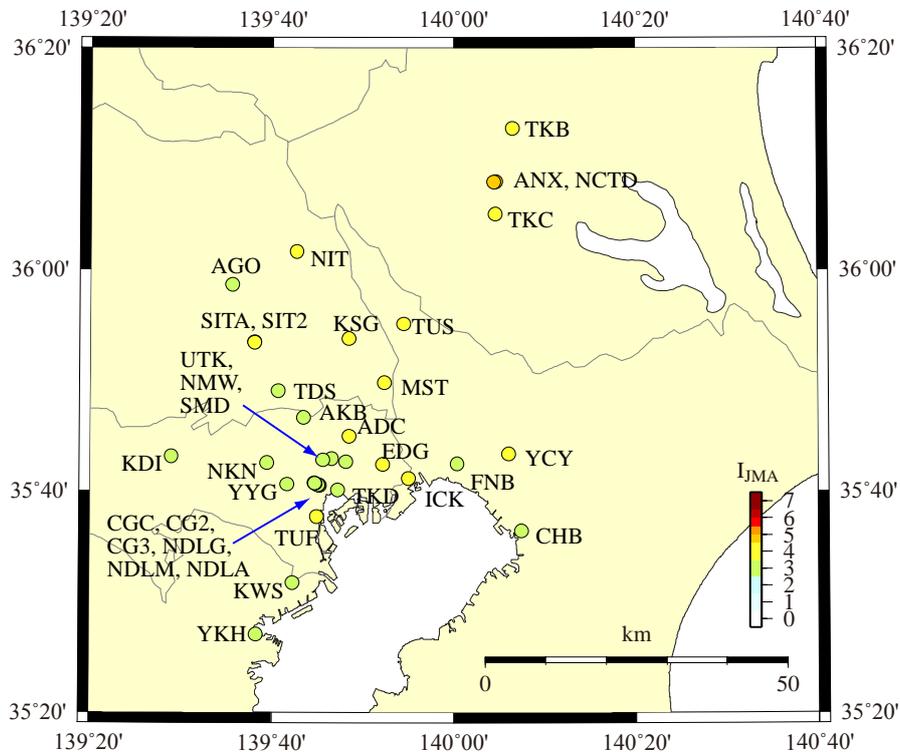


図 3.2-7 2011年4月11日17時16分の地震(#3)で記録が得られた関東地方の観測地点(図 3.2-6 の緑色の四角の部分)

表 3.2-5(1/3) 2011 年 4 月 12 日 14 時 07 分の地震(#4)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
1	IWK	いわき市庁舎	22	5.2	180°	B1F*	108	186	100	
						09F	310	527	154	
2	TKB	東京大学地震研究所筑波地震観測所	105	3.0	000°	GL*	40	54	41	
3	NCTD	教員研修センター	114	3.6	350°	GL*	44	51	41	
						1FEe	41	33	23	
						8FE	-#1	-#1	-#1	
3	ANX	建築研究所	114	3.5	180°	A01*	39	31	21	地表 A 点
						A89	21	19	12	地中 89 m
						BFE	30	26	16	新館 B1F
						8FE	64	131	34	新館 8F
						MBC	29	24	26	本館 B1F
M8C	64	64	43	本館 8F						
5	TKC	つくば市庁舎(免震)	119	3.2	004°	B1F*	29	25	11	
						01F	23	22	18	
						06F	30	29	25	
6	THU	東北大学人間環境系研究棟	135	3.3	192°	01F*	22	25	14	
						09F	44	78	32	
7	SND	仙台第 2 合同庁舎	136	2.8	074°	B2F*	14	16	6	
						15F	11	15	21	
8	NIT	日本工業大学	141	3.1	288°	GL*	23	19	8	
						01F	13	13	5	
						06F	33	30	12	
9	TUS	東京理科大学野田キャンパス	142	3.2	000°	01F*	26	31	17	
10	KSG	さいたま地方務局越谷支局	149	3.3	150°	01F*	21	17	5	
11	AGO	上尾市庁舎	152	1.9	227°	B1F*	4	4	2	
						7FN	12	17	5	7 階北
						7FS	11	18	6	7 階南
12	MST	三郷市庁舎	153	3.2	258°	GL*	15	18	8	
						01F	10	18	4	
						07F	29	24	8	
13	YCY	八千代市庁舎新館	156	2.9	302°	GL*	21	22	17	
						B1F	9	9	4	
						07F	27	23	9	
14	SIT2	さいたま新都心合同庁舎 2 号館	157	2.6	340°	B3F*	9	7	3	
						10FS	16	14	5	10 階南
						27FS	31	43	11	27 階南
15	SITA	さいたま新都心合同庁舎厚生棟	158	2.7	313°	01F*	10	9	4	
16	FNB	船橋市総合教育センター	160	2.6	357°	GL*	9	12	7	
						01F	10	9	4	
						08F	30	25	12	
17	TDS	戸田市庁舎	162	2.6	354°	GL*	9	10	3	
						B1F	8	9	3	
						08F	38	25	6	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度
 #1 欠測

表 3.2-5(2/3) 2011 年 4 月 12 日 14 時 07 分の地震(#4)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
18	ADC	足立地方合同庁舎	163	2.7	012°	01F*	13	9	6	
						04F	30	16	7	
19	AKB	北区赤羽会館	164	2.5	354°	B1F*	7	8	4	
						06F	13	15	5	
20	EDG	江戸川区庁舎	165	2.6	003°	01F*	10	10	5	
						05F	22	16	6	
21	SMD	墨田区庁舎	165	3.0	000°	B1F*	25	26	6	
						08F	16	17	5	
						20F	13	14	5	
22	ICK	市川市行徳図書館	167	1.9	321°	01F*	31	24	7	
						02F	14	13	4	
						05F	4	4	2	
23	CHB	千葉第 2 合同庁舎	168	2.5	346°	GL*	10	11	5	
						B1F	8	7	3	
						08F	33	26	7	
24	NMW	国立西洋美術館 (免震)	168	2.5	218°	GL*	16	14	9	
						B1FW	7	7	5	基礎上西
						01FW	7	9	6	1 階西
25	UTK	東京大学工学部 11 号館	169	2.3	348°	GL*	14	10	4	
						01F	4	7	3	
						7FN	11	19	3	7 階北
						7FS	12	27	6	7 階南
26	NIG	新潟市庁舎分館	171	1.8	061°	B1F*	4	6	2	
						07F	10	9	4	
27	TKD	コーシャタワー佃	172	2.2	180°	01F*	6	6	3	
						18F	11	9	4	
						37F	16	14	6	
28	NDLA	国立国会図書館新館	173	2.3	345°	B8F	5	6	4	
						B4F	6	6	5	
						01F*	7	7	5	
						04F	10	9	5	
29	NDLG	国立国会図書館地 盤	173	2.5	345°	GL*	16	11	7	
						G24	6	7	3	
						G35	7	5	3	
30	CGC	中央合同庁舎 6 号館	173	2.2	208°	01F*	7	6	2	
						20B	18	12	10	B 棟 20F
						19C	18	12	8	C 棟 19F
31	CG2	中央合同庁舎 2 号館	173	2.1	208°	B4F*	6	4	4	
						13F	14	8	5	
						21F	14	13	7	
32	CG3	中央合同庁舎 3 号館 (免震)	173	2.3	208°	B2F*	8	6	3	
						B1F	7	7	7	
						12F	17	14	5	
33	NKN	東京法務局中野出 張所	174	2.3	359°	01F*	8	7	3	
						06F	10	17	3	
34	YYG	国立オリンピック 記念青少年総合セ ンターC 棟	175	2.4	355°	GL*	12	12	4	
						B1F	11	10	5	
						04F	12	19	6	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

表 3.2-5(3/3) 2011 年 4 月 12 日 14 時 07 分の地震(#4)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s^2)			備考
							H1	H2	V	
35	TUF	東京海洋大学品川 国際交流会館	178	2.6	000°	GL*	14	12	5	
						01F	11	13	4	
						07F	25	19	5	
36	KDI	国土交通大学校	181	1.8	090°	GL*	7	6	2	
						01F	5	5	3	
						03F	5	10	2	
37	KWS	川崎南労働基準監 督署	189	2.4	045°	01F*	7	8	2	
						02F	8	9	3	
						07F	20	32	3	
38	TRO	鶴岡合同庁舎	201	2.0	182°	01F*	3	4	2	
						04F	4	5	2	
39	HCN2	八戸市庁舎別館 (免震)	391	1.7	164°	GL*	4	3	3	
						G30	2	2	1	地中 30 m
						G105	1	0	0	地中 105 m
						B1F	2	3	1	
						01F	6	5	2	
10F	14	13	2							

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

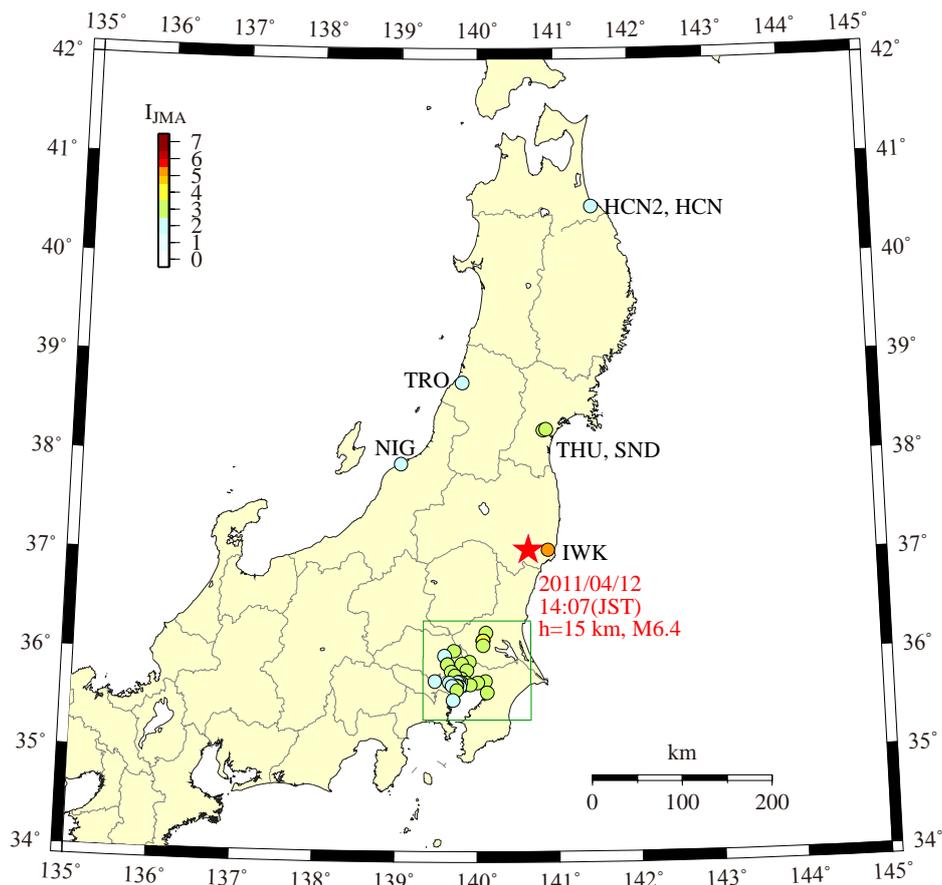


図 3.2-8 2011 年 4 月 12 日 14 時 07 分の地震(#4)の震央位置(★)と記録が得られた強震観測地点

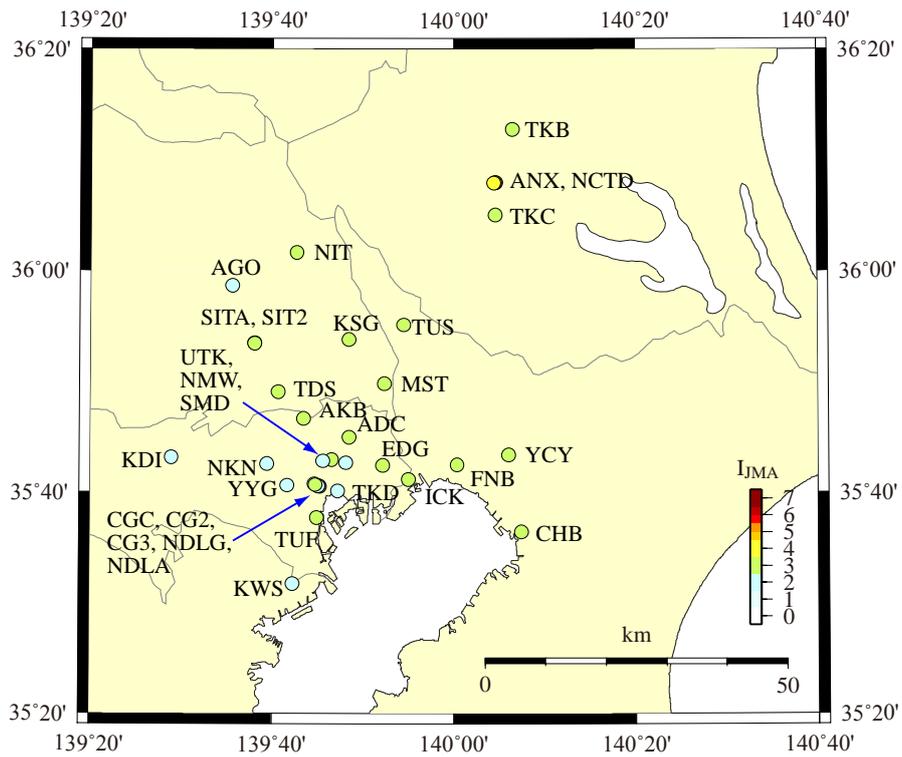


図 3.2-9 2011年4月12日14時07分の地震(#4)で記録が得られた関東地方の観測地点(図 3.2-8 の緑色の四角の部分)

表 3.2-6(1/2) 2011 年 6 月 23 日 6 時 50 分の地震(#5)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
1	MYK	宮古市庁舎	64	4.1	167°	01F	44	46	23	
						07F	65	60	29	
2	HCN2	八戸市庁舎別館 (免震)	112	5.0	164°	GL*	193	103	50	
						G30	52	40	32	地中 30 m
						G105	31	33	22	地中 105 m
						B1F	67	43	81	
						01F	83	43	37	
						10F	100	63	126	
3	HCN	八戸市庁舎本館	112	4.1	164°	B1F*	62	43	26	
						06F	360	158	49	
4	HRH	弘前法務合同庁舎	194	2.4	195°	01F*	9	7	3	
5	AKT	秋田県庁	214	2.4	087°	B1F*	7	5	3	
						08F	14	23	4	
6	SND	仙台第 2 合同庁舎	239	2.6	074°	B2F*	10	6	4	
						15F	20	8	12	
7	THU	東北大学人間環境 系研究棟	241	3.0	192°	01F*	16	11	6	
						09F	63	35	11	
8	HKD	北海道開発局函館 開発建設部	256	3.0	180°	GL*	14	17	8	
9	HRO	広尾町役場	267	2.7	140°	01F*	14	14	4	
10	TRO	鶴岡合同庁舎	274	2.4	182°	01F*	6	5	2	
						04F	7	5	2	
11	IWK	いわき市庁舎	355	1.9	180°	B1F*	4	4	2	
						09F	15	15	3	
12	HKU	北海道大学工学部	363	2.1	172°	GL*	5	7	2	
13	KGC	釧路合同庁舎 (免震)	369	1.9	167°	GL*	5	5	2	
						G10	4	4	2	地中 10 m
						G34	1	1	1	地中 34 m
						B1F	3	4	1	
						01F	4	4	1	
						09F	6	6	3	
14	TKB	東京大学地震研究 所筑波地震観測所	469	0.2	000°	GL*	1	1	1	
15	NCTD	教員研修センター	478	1.9	350°	GL*	3	5	2	
						1FE	4	4	2	
						8FE	12	6	2	
16	ANX	建築研究所	478	1.8	180°	A01*	3	4	1	地表 A 点
						A89	1	2	1	地中 89 m
						BFE	3	3	1	新館 B1F
						8FE	13	11	2	新館 8F
						MBC	3	3	1	本館 B1F
						M8C	10	15	2	本館 8F
17	TKC	つくば市庁舎 (免震)	483	1.4	004°	B1F*	3	2	1	
						01F	4	5	1	
						06F	9	6	2	
18	MTK	国土交通省下館河 川事務所水海道出 張所	492	1.7	090°	GL*	2	2	1	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

表 3.2-6(2/2) 2011 年 6 月 23 日 6 時 50 分の地震(#5)の強震記録一覧

番号	記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
							H1	H2	V	
19	NIT	日本工業大学	504	1.4	288°	GL*	2	3	1	
						01F	2	2	1	
						06F	4	5	1	
20	TUS	東京理科大学野田 キャンパス	506	1.3	000°	01F*	2	2	1	
21	KSG	さいたま地方法務 局越谷支局	512	1.7	150°	01F*	3	3	1	
22	MST	三郷市庁舎	516	1.7	258°	GL*	3	3	1	
						01F	3	3	1	
						07F	5	4	1	
23	ICK	市川市行徳図書館	529	1.5	321°	01F*	2	3	1	
						02F	3	3	1	
						05F	4	4	1	
24	SMD	墨田区庁舎	531	1.0	000°	B1F*	1	1	1	
						08F	3	3	1	
						20F	6	7	1	
25	MNM	南砂住宅 3 号棟	534	1.7	180°	15F	9	12	1	
						01F*	3	2	1	
26	TKD	コーシャタワー佃	536	1.1	180°	01F*	1	2	1	
						18F	3	3	1	
						37F	4	5	1	
27	NDLG	国立国会図書館地 盤	536	1.0	345°	GL*	2	1	1	
						G24	1	1	1	
						G35	1	1	1	
28	CG2	中央合同庁舎 2 号館	537	0.8	208°	B4F*	1	1	1	
						13F	1	1	1	
						21F	5	4	1	
29	CG3	中央合同庁舎 3 号館 (免震)	537	0.7	208°	B2F*	1	1	0	
						B1F	2	2	1	
						12F	3	3	1	

注) Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度(*印のセンサーの 3 成分の加速度記録から気象庁の方法で算出), 設置方位: 北から東回りに測った方位, H1, H2, V: 水平 1(設置方位), 水平 2(設置方位に直交)及び鉛直方向の最大加速度

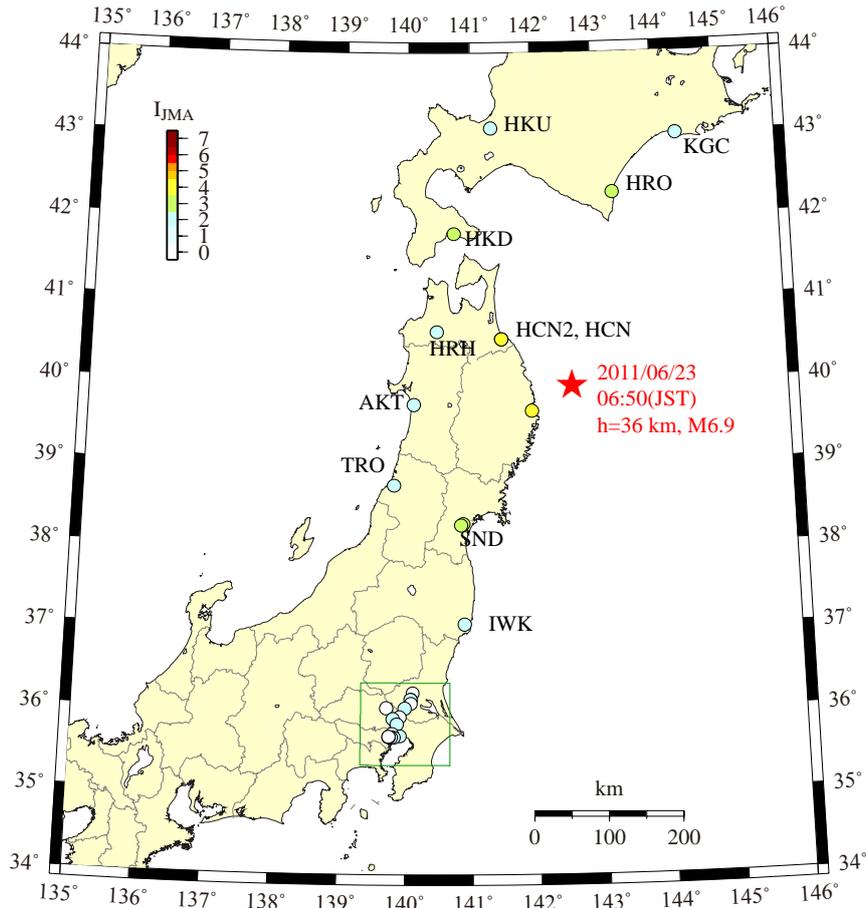


図 3.2-10 2011年6月23日6時50分の地震(#5)の震央位置(★)と記録が得られた強震観測地点

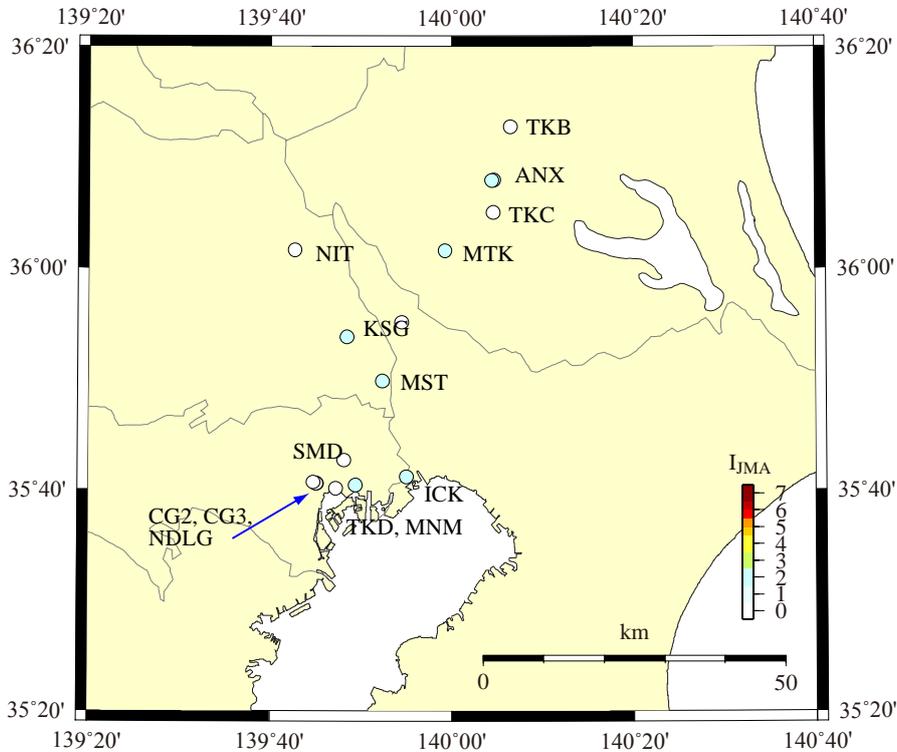


図 3.2-11 2011年6月23日6時50分の地震(#5)で記録が得られた関東地方の観測地点(図 3.2-10 の緑色の四角の部分)

4. 主な建物の本震の強震記録

4.1 検討対象建物と検討方法

本章では、東北地方太平洋沖地震の本震で得られた、36 棟の建物の強震記録について詳細に述べる。観測対象建物の特徴や観測体制によってまとめることを意図し、まず 4.2 節では、高さ 60 m 以上の超高層建物 9 棟の強震記録を取り扱う。次に 4.3 節では免震建物のうち、地表、あるいは地表に近い建物内の加速度計で震度 5 弱以上(計測震度 4.5 以上)が得られた 4 棟の建物を取り上げる。更に 4.4 節では、超高層や免震以外の建物の中で、地表にも加速度計を有し、地表で震度 5 弱以上を観測した 12 棟の建物の強震記録を扱う。4.5 節では、4.2 節から 4.4 節に述べた建物以外の、建物内に複数の加速度計を有する建物で、建物内の地表に近い加速度計で震度 5 弱以上が得られた 11 棟の建物を取り上げる。

以降の各節では、各観測地点について、加速度波形、地表あるいは地表に最も近い建物内の記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトル^{*2}、建物頂部の加速度記録の基礎部に対するフーリエ振幅スペクトル比^{*3}を示している。更に、地表に加速度計がある場合は地盤と建物の動的相互作用の影響を検討するため、建物基礎部の加速度記録の地表に対するフーリエ振幅スペクトル比と、建物頂部の加速度記録の地表に対するフーリエ振幅スペクトル比を追加している。また、免震建物では免震効果の確認のため、免震層の上下の加速度記録のフーリエ振幅スペクトル比を示している。

一部を除いて、加速度波形の描画時間は 300 秒間に統一している。すべての加速度記録はサンプル時間間隔 0.01 秒(サンプル振動数 100 Hz)で収録しているが、ここでの加速度波形は 0.05 秒間隔(20 Hz)に間引いて描画しているため、波形上の最大値が図中右上に示される最大加速度値と合わない場合がある。また、各強震計は時計を持っており、強震記録には時刻も同時に記録されているが、時刻校正の不安定さなどの原因で時計が正確ではない場合もあるため、ここでは絶対時刻は示さない。波形に関する議論は記録開始時からの経過時間を用いて行っている。

更に、いくつかの建物については、各加速度記録から算出した変位記録や、その 20 秒ごとの水平面内軌跡を示している。この時、変位は遮断振動数 0.1 Hz のローカットフィルターを用いた高速フーリエ変換(FFT)によって求めている。

*2 応答スペクトルは、ある減衰定数を有する 1 自由度の振動系を仮定し、解析対象の加速度記録が入力した場合の振動系の固有周期と最大応答値の関係をプロットしたものである。振動系の応答としては、絶対加速度応答、相対速度応答、相対変位応答の 3 種が考えられ、加速度応答スペクトル、速度応答スペクトル、及び変位応答スペクトルが固有周期 T の関数として得られる。減衰定数 $h=0\%$ の速度応答スペクトルは、その加速度記録のフーリエ振幅スペクトルとよい対応を示すことが知られており、応答スペクトルは建物などの振動系の最大応答値を表すとともに、地震動の周期特性を表すものとして、工学の分野で重用されている。加速度応答スペクトル(S_a)、速度応答スペクトル(S_v)、及び変位応答スペクトル(S_d)の間には固有周期 T を介して、 $S_a T/2\pi \cong S_v \cong 2\pi S_d/T$ の関係がある。擬似速度応答スペクトル(${}_p S_v$)は、この関係を用いて加速度応答スペクトルまたは変位応答スペクトルから換算した速度応答スペクトルである。すなわち、 ${}_p S_v = S_a T/2\pi$ または ${}_p S_v = 2\pi S_d/T$ で与えられる。本章では前者の関係から擬似速度応答スペクトルを算出している。また、擬似速度応答スペクトルを、横軸に周期を、縦軸に速度応答値を採って両対数軸グラフ上にプロットすれば、加速度応答値を左下がりの、変位応答値を右下がりの軸で与えることができる。このような描画を 3 軸表示と言ひ、ひとつのグラフからある周期の振動系の最大加速度、最大速度、最大変位を評価することができる。本章では 3 軸表示を採用しており、事例は次節以降(例えば図 4.2-3 など)を参照願いたい。

*3 フーリエ振幅スペクトル比は、2 つの記録のフーリエ振幅スペクトルの比を取ったもので、2 つの記録が入力と出力の関係にあればその間の伝達特性(振幅のみ)、あるいは増幅特性を表す。フーリエ振幅スペクトル比の

算出に用いた記録の時間は、加速度波形の描画に用いた時間と同じである。一部を除いて、フーリエ振幅スペクトル比は、幅 0.1Hz の Parzen Window によって平滑化したパワースペクトルから算出しており、横軸は擬似速度応答スペクトルと比較しやすいように、振動数の逆数を取って周期としている。

4.2 超高層建物の強震記録

本節では、高さ 60 m 以上の超高層建物を扱う。対象は表 4.2-1 に示す 9 棟の建物である。建築研究所の強震観測ネットワークの超高層建物は 9 棟あり、そのすべてで強震記録が得られている。立地による内訳は、仙台市に 1 棟、首都圏に 6 棟、大阪市に 2 棟となっており、建物の 1 階や地下階で得られた震度を見ると、仙台市では震度 5 強、首都圏では震度 4、大阪では震度 3 となっている。4.2.1 項以降に各超高層建物で得られた強震記録を示す。

表 4.2-1 対象建物一覧

項	記号	観測地点	計測震度	構造/階数	特徴
4.2.1	SND	仙台第 2 合同庁舎	5.2	S/15F+B2F	
4.2.2	SIT2	さいたま新都心合同庁舎 2 号館	4.4	S/26F+B3F	制振構造
4.2.3	SMD	墨田区庁舎	4.3	S/19F+B2F	
4.2.4	TKD	コーシャタワー佃	4.4	RC/37F+B1F	
4.2.5	CGC	中央合同庁舎 6 号館	4.4	S/20F+B3F	
4.2.6	CG2	中央合同庁舎 2 号館	4.2	S/21F+B4F	制振構造
4.2.7	YKH	横浜第 2 合同庁舎	-	S/22F+B3F	
4.2.8	OSK	大阪合同庁舎 3 号館	2.9	S/15F+B3F	
4.2.9	SKS	大阪府咲洲庁舎	3.0	S/52F+B3F	

注) 構造/階数: 構造は S が鉄骨造、RC が鉄筋コンクリート造を表す。階数は地上階+地下階。

4.2.1 仙台第2合同庁舎(SND)の強震記録

仙台第2合同庁舎は仙台市青葉区に立地する、地上15階、地下2階の鉄骨造庁舎建物である。震央距離は175 kmと、記録が得られた建築研究所の観測対象建物の中では最も近い。強震計は地下2階(B2F)、15階(15F)、及び建物直下の地中40 m(G40)に加速度計を有していたが、地中の加速度計は老朽化のため機能していない。図4.2-1と図4.2-2に、地下2階(B2F)と15階(15F)で得られた加速度記録を示す。地下2階(B2F)のN164°E(北から東回りに164°、南北に近い方位)方向の最大加速度は259 cm/s²となっており、地下2階(B2F)の記録から算出した計測震度は5.2(震度5強)であった。地下2階(B2F)の加速度記録には、30秒過ぎと80秒辺りに、ふたつの振幅の大きな波群が表れる。15階(15F)の水平方向の最大加速度はふたつ目の波群の後、100秒過ぎに記録され、N074°E方向で361 cm/s²、N164°E方向が346 cm/s²となっている。

図4.2-3に、地下2階(B2F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線がN074°E方向、破線がN164°E方向、点線がUP(上下)方向に対応する。擬似速度応答スペクトルは方向によって様相が異なり、周期0.5秒辺りの短周期領域ではN164°E方向成分が、周期3秒辺りの長周期領域ではN074°E方向成分が優勢となっている。

15階(15F)の地下2階(B2F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.2-4に示す。フーリエ振幅スペクトル比には建物の固有振動が明瞭なピークとなって表れ、1次固有周期は両水平方向とも2秒弱となっている。

地下2階(B2F)と15階(15F)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図4.2-5と図4.2-6に示す。地下2階(B2F)の変位は70秒付近の時刻で大きな振幅を記録し、最大変位はN074°E方向で30 cm近くに及ぶ。15階(15F)の変位は、更に建物の応答変位が加わり、N074°E方向の最大変位は40 cmを超える。図4.2-7と図4.2-8は、それぞれ地下2階(B2F)と15階(15F)の変位記録の水平面内軌跡を、20秒ごとに描画したものである。地下2階(B2F)の変位は、60秒から80秒の間に大きく東方向に揺れている。15階(15F)の変位は70秒から120秒の間が大きくなっており、建物の軸に対してほぼ斜め45°方向に揺れている。

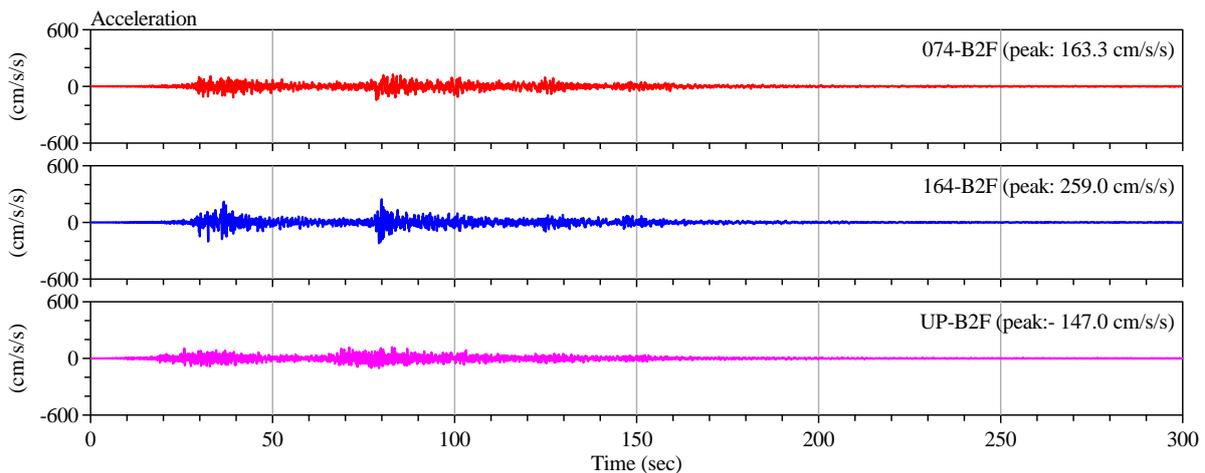


図4.2-1 地下2階(B2F)の加速度記録

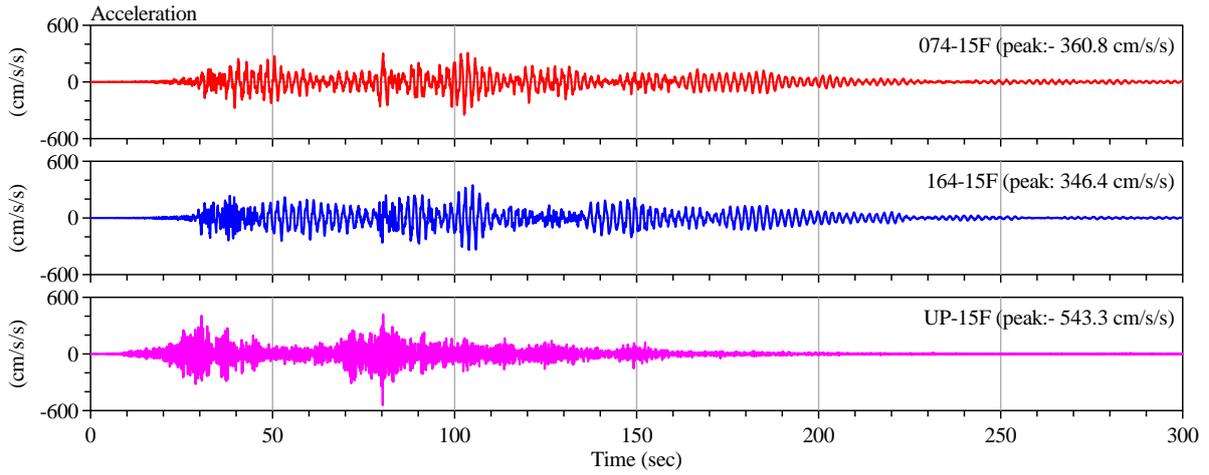


図 4.2-2 15 階(15F)の加速度記録

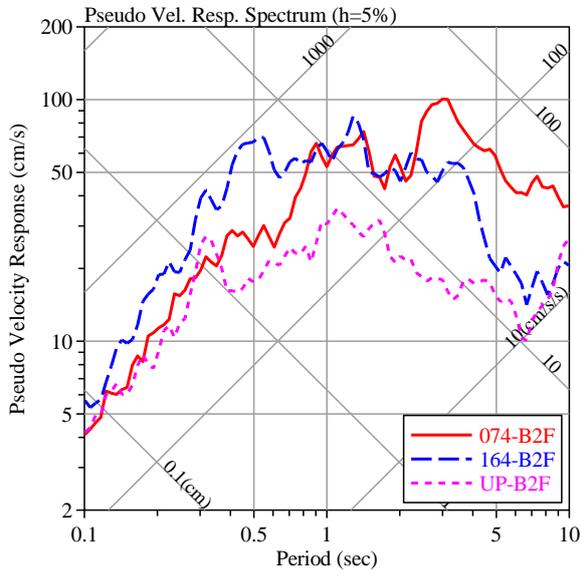


図 4.2-3 地下 2 階(B2F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

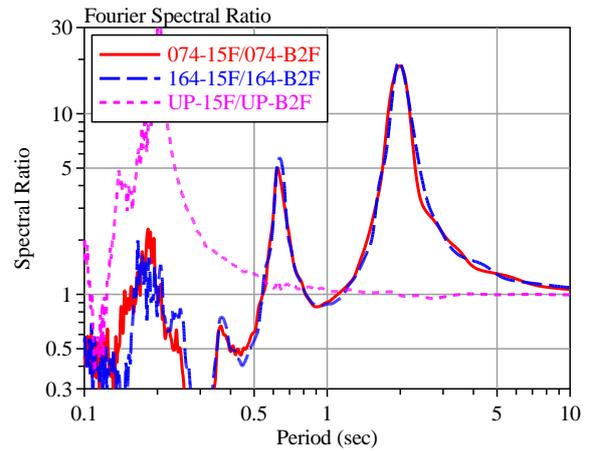


図 4.2-4 15 階(15F)の地下 2 階(B2F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

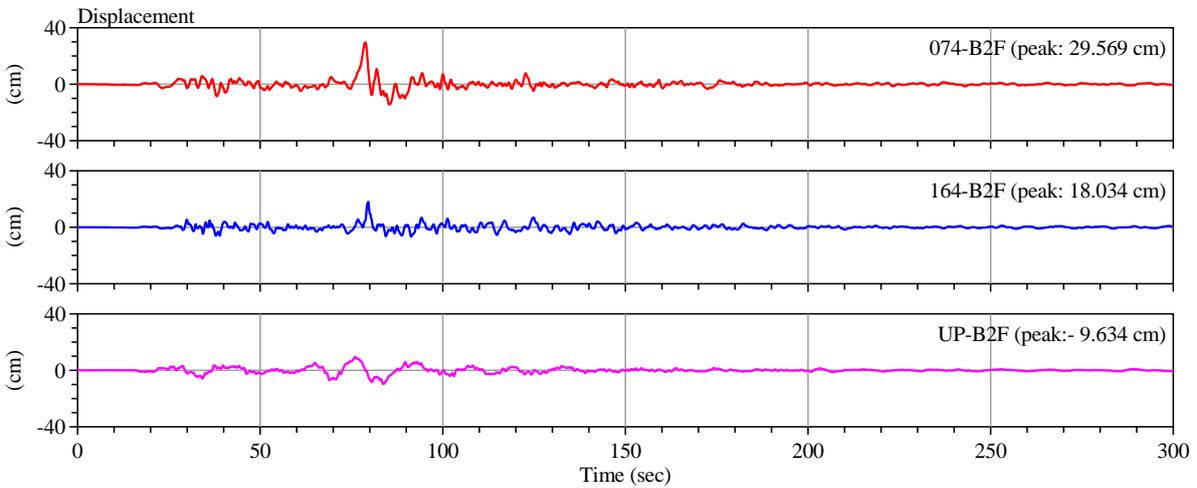


図 4.2-5 地下 2 階(B2F)の変位記録

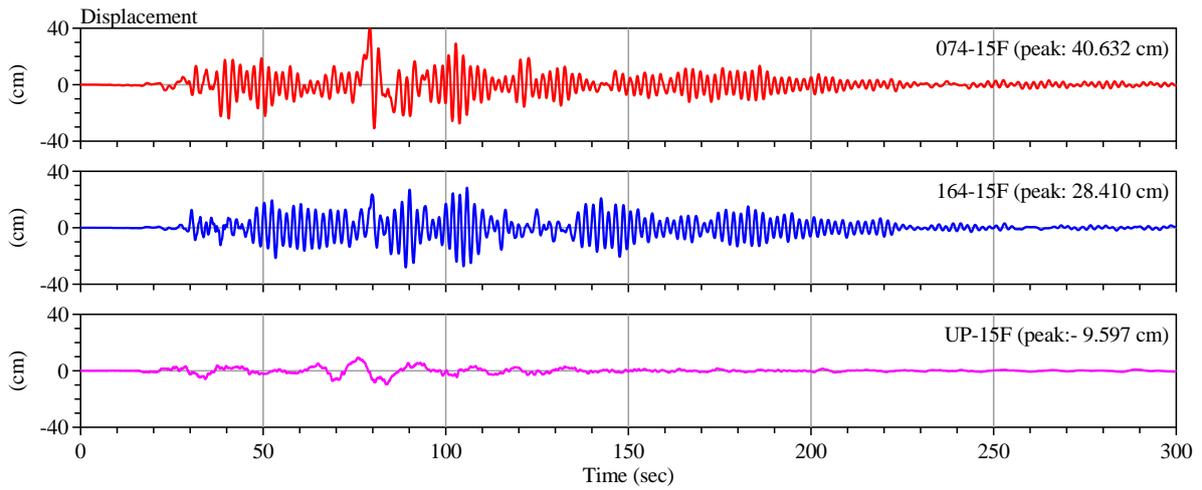


図 4.2-6 15 階(15F)の変位記録

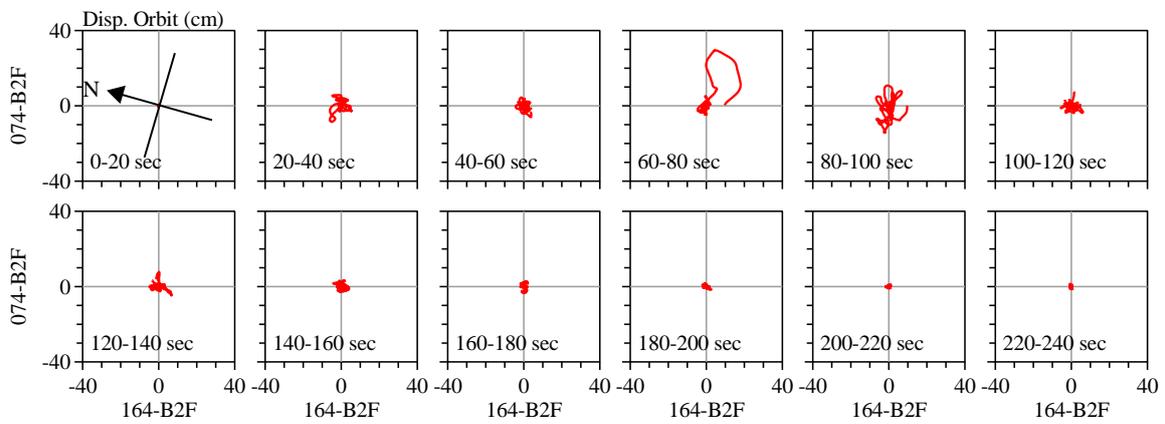


図 4.2-7 地下 2 階(B2F)の変位の水平面内軌跡

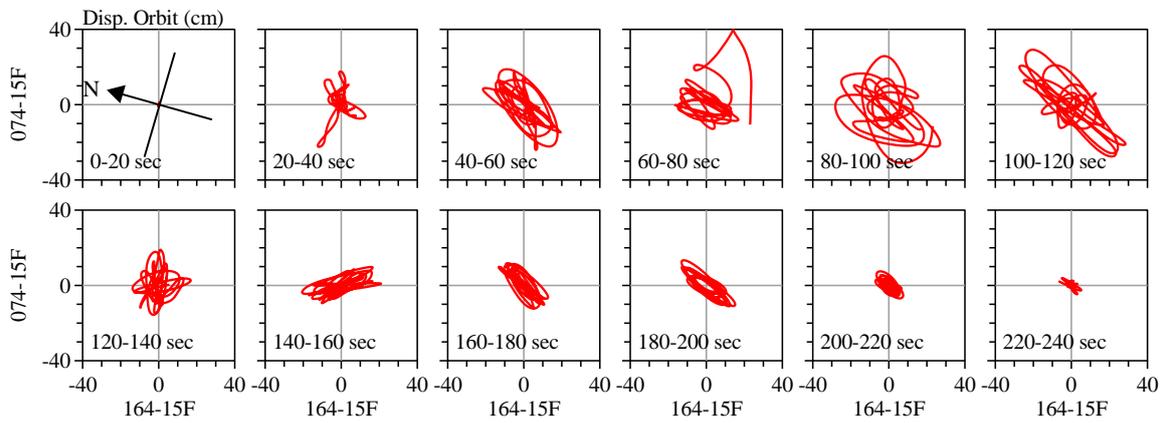


図 4.2-8 15 階(15F)の変位の水平面内軌跡

4.2.2 さいたま新都心合同庁舎 2 号館(SIT2)の強震記録

埼玉県さいたま市中央区のさいたま新都心合同庁舎 2 号館は、地上 26 階地下 3 階の鉄骨造建物で、極軟鋼制振壁を用いた制振構造となっている。ここでは、地下 3 階に 1 台(B3F)、10 階に 2 台(10FS と 10FN)、及び塔屋 1 階に 2 台(27FS と 27FS)の計 5 台の強震計を設置している。図 4.2-9 から図 4.2-11 に、地下 3 階(B3F)、10 階(10FS)、及び塔屋 1 階(27FS)で得られた加速度記録を示す。地下 3 階(B3F)の水平方向の最大加速度は 70 cm/s^2 前後で、地下 3 階(B3F)の記録から算出した計測震度は 4.4(震度 4)であった。一方、N340°E 方向の最大加速度は 10 階(10FS)で 119 cm/s^2 、塔屋 1 階(27FS)で 248 cm/s^2 と、それぞれ地下 3 階(B3F)の 1.6 倍と 3.4 倍になっている。更に、N070°E 方向の最大加速度は 10 階(10FS)で 138 cm/s^2 、塔屋 1 階(27FS)で 503 cm/s^2 と、それぞれ地下 3 階(B3F)の 2.2 倍と 8.0 倍と大きな値を示している。ただし、後述するように、塔屋 1 階(27FS)の N070°E 方向の大きな加速度は、高振動数の振動が信号が重畳したものである。

図 4.2-12 に、地下 3 階(B3F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N340°E 方向、破線が N070°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.6 秒辺りから若干右上がりの傾向を示し、N340°E 方向の周期 7 秒のピークは速度応答値は 50 cm/s を超える。

10 階(10FS)の地下 3 階(B3F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-13 に、塔屋 1 階(27FS)の地下 3 階(B3F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-14 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、N340°E 方向が 2.8 秒、N070°E 方向が 2.7 秒となっている。なお、塔屋 1 階(27FS)/地下 3 階(B3F)のフーリエ振幅スペクトル比の N070°E 方向には、0.1 秒から 0.3 秒の周期領域で N340°E 方向には見られない大きな増幅が表れている。塔屋 1 階(27FS)の N070°E 方向の加速度記録には、設置環境か、あるいは計測機器自体に起因する高振動数のノイズが乗っている可能性がある。

地下 3 階(B3F)と塔屋 1 階(27FS)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.2-15 と図 4.2-16 に示す。地下 3 階(B3F)の変位は 100 秒過ぎから振幅が大きくなり、揺れは 300 秒を過ぎても続いている。最大変位は N340°E 方向で 14 cm を超えている。建物の変位が加わった塔屋 1 階(27FS)の変位の最大値は、両水平方向で 26 cm 以上となっている。図 4.2-17 と図 4.2-18 は、それぞれ地下 3 階(B3F)と塔屋 1 階(27FS)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。塔屋 1 階(27FS)の変位軌跡を見ると、揺れの大きな時間帯では NS 方向の揺れが相対的に大きい。

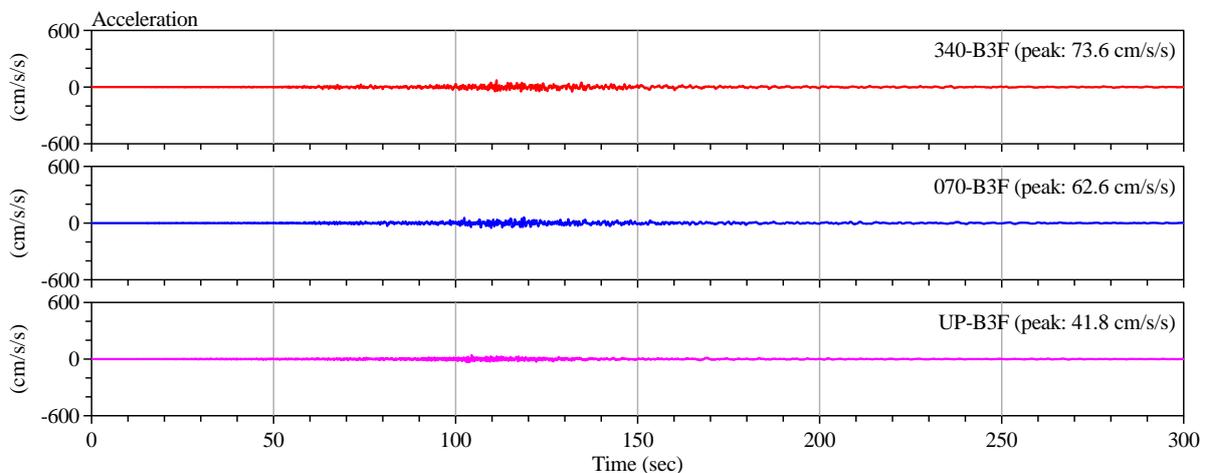


図 4.2-9 地下 3 階(B3F)の加速度記録

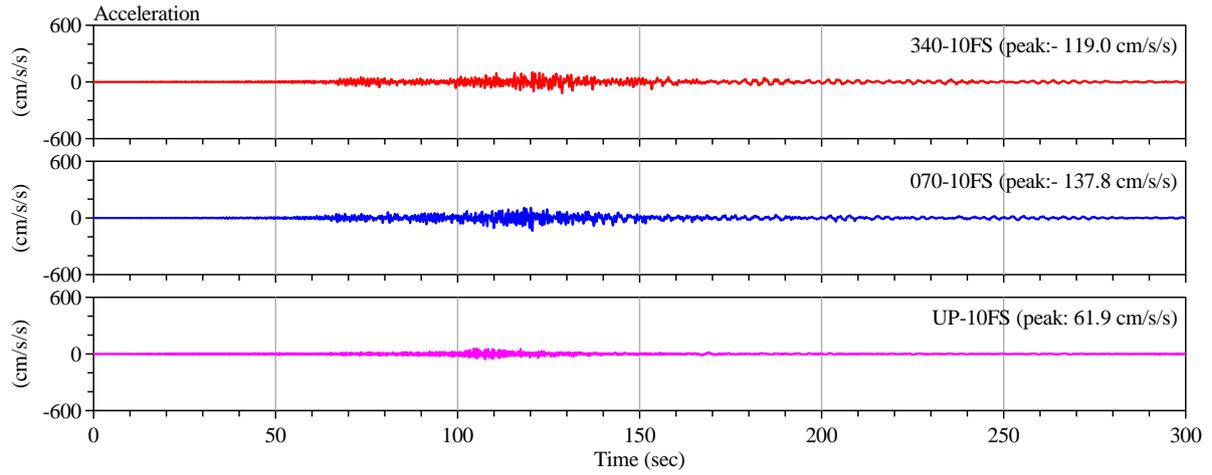


図 4.2-10 10階(10FS)の加速度記録

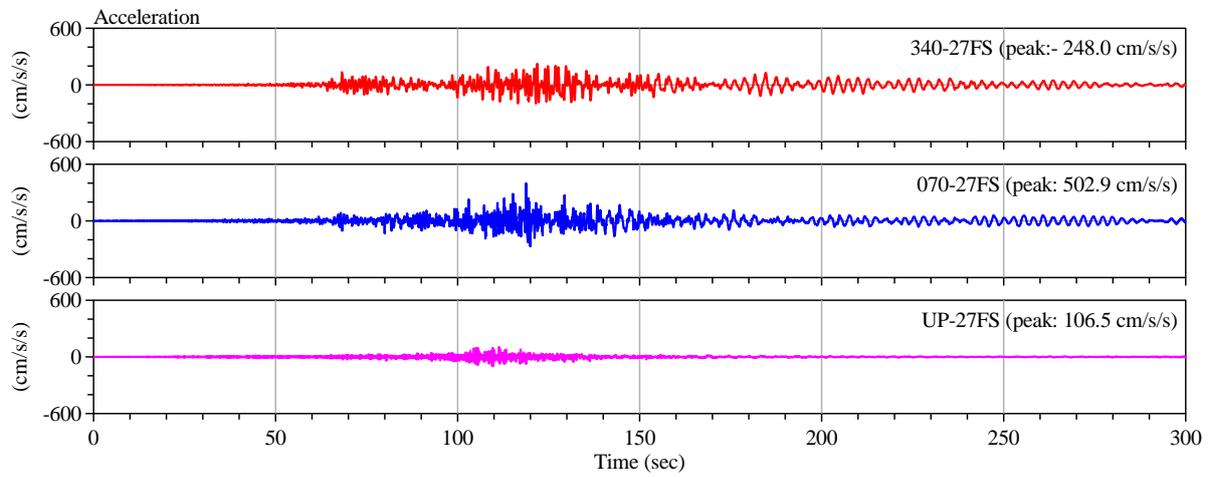


図 4.2-11 塔屋1階(27FS)の加速度記録

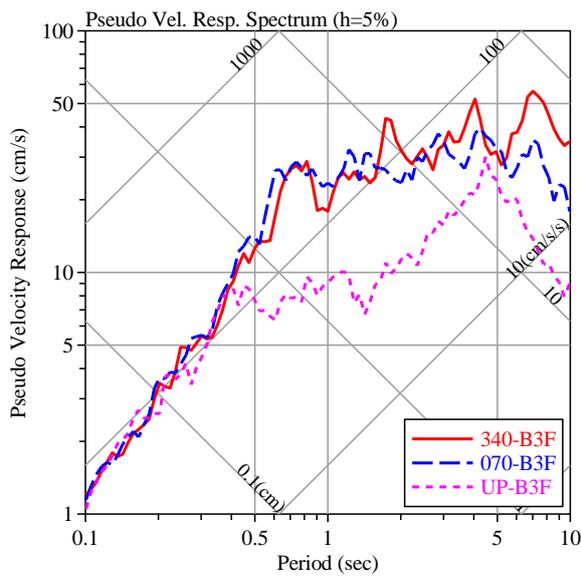


図 4.2-12 地下3階(B3F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

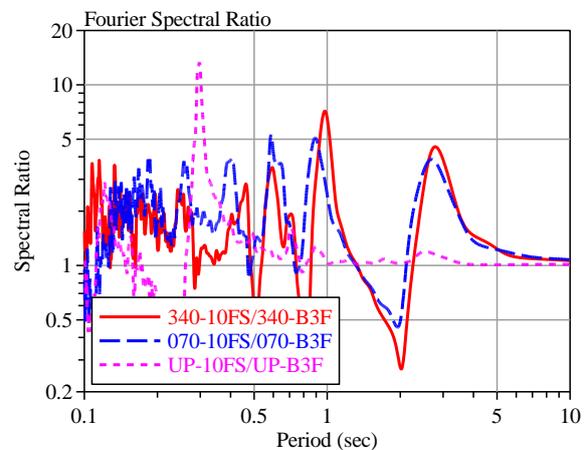


図 4.2-13 10階(10FS)の地下3階(B3F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

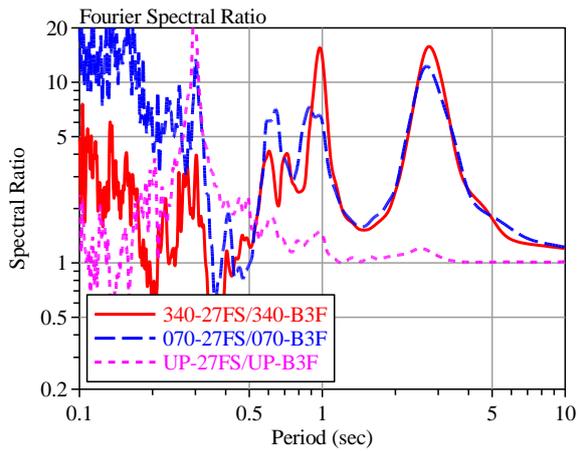


図 4.2-14 27階(27FS)の地下3階(B3F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

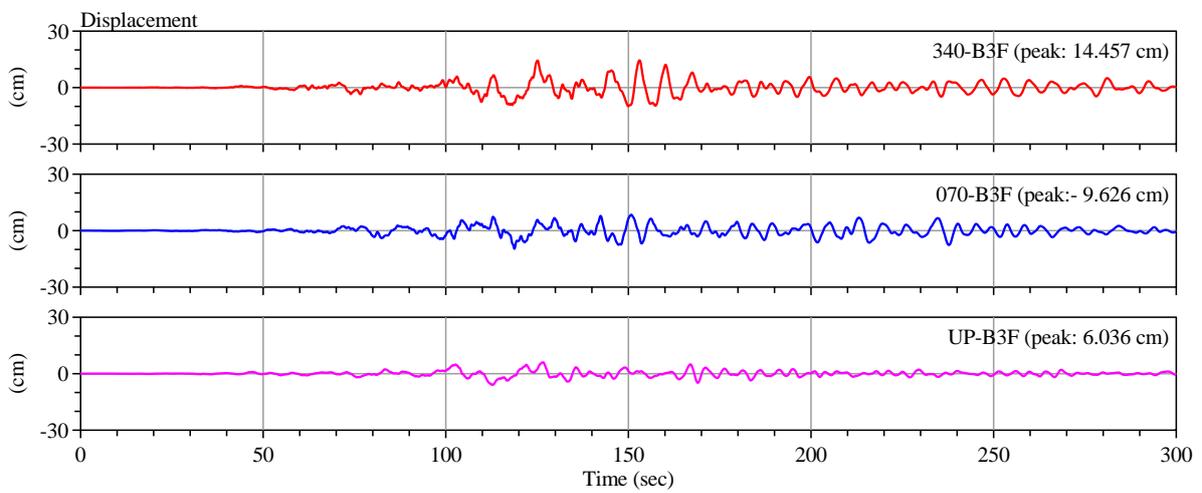


図 4.2-15 地下3階(B3F)の変位記録

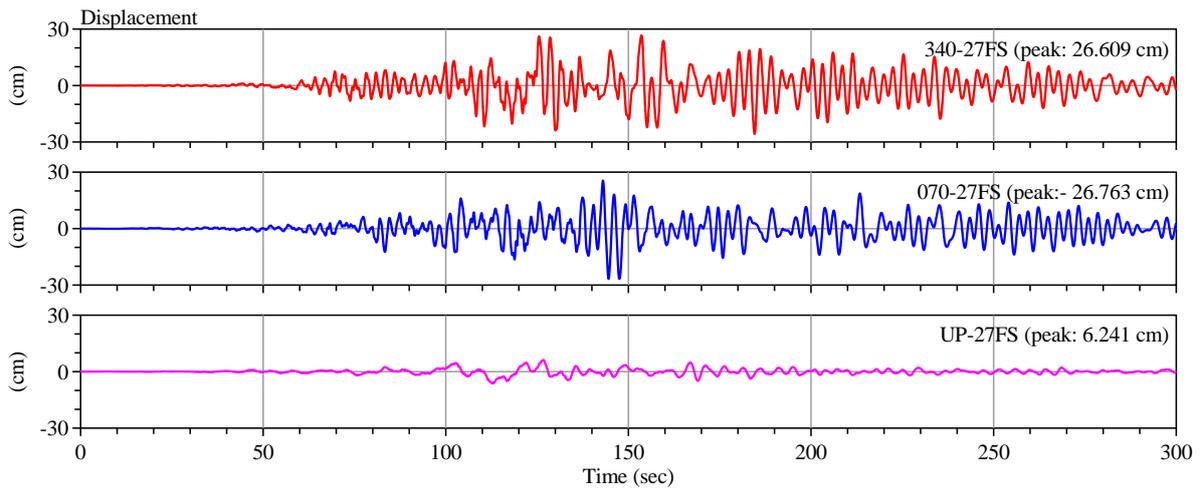


図 4.2-16 27階(27FS)の変位記録

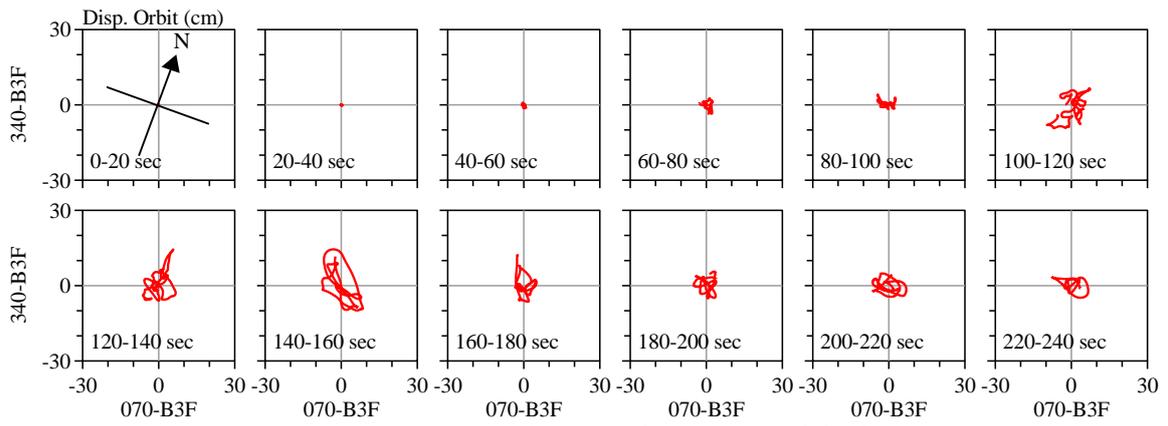


図 4.2-17 地下3階(B3F)の変位の水平面内軌跡

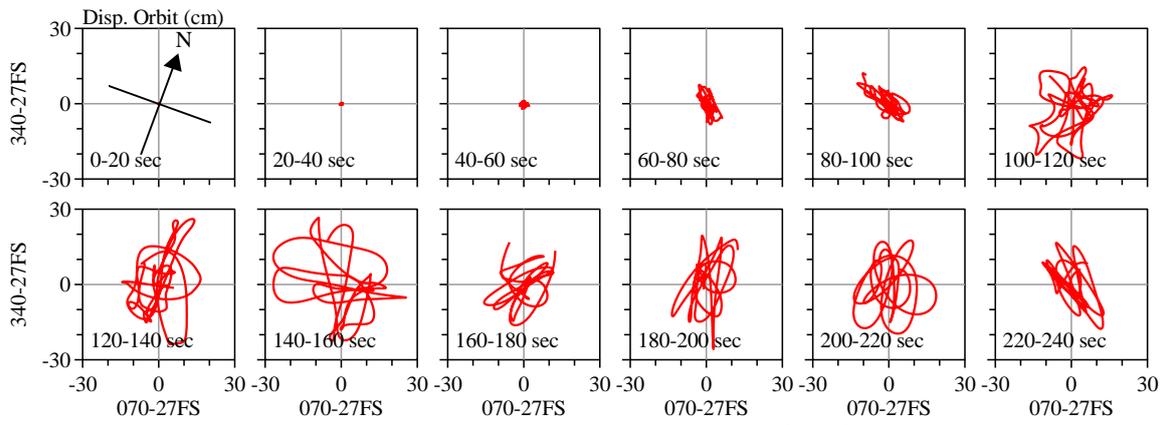


図 4.2-18 27階(27FS)の変位の水平面内軌跡

4.2.3 墨田区庁舎(SMD)の強震記録

東京都墨田区の墨田区庁舎は、地上 19 階地下 2 階の鉄骨造建物で、ここの強震計は地下 1 階(B1F)、8 階(08F)、及び塔屋 1 階(20F)に、計 3 台の加速度計を有している。図 4.2-19 から図 4.2-21 に、地下 1 階(B1F)、8 階(08F)、及び塔屋 1 階(20F)で得られた加速度記録を示す。地下 1 階(B1F)の水平方向の最大加速度は 70 cm/s^2 弱で、地下 1 階(B1F)の記録から算出した計測震度は 4.3(震度 4)であった。一方、N000°E 方向の最大加速度は 8 階(08F)で 262 cm/s^2 、塔屋 1 階(20F)で 385 cm/s^2 と、それぞれ地下 1 階(B1F)の 3.8 倍と 5.6 倍になっている。更に、N090°E 方向の最大加速度は 8 階(08F)で 197 cm/s^2 、塔屋 1 階(20F)で 290 cm/s^2 と、それぞれ地下 1 階(B1F)の 3.0 倍と 4.4 倍と、大きな増幅が認められる。

図 4.2-22 に、地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N000°E 方向、破線が N090°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.7 秒辺りから長周期領域で緩やかな若干右上がりの傾向を示している。

8 階(08F)の地下 1 階(B1F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-23 に、塔屋 1 階(20F)の地下 1 階(B1F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-24 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、N000°E 方向が 1.9 秒、N090°E 方向が 1.8 秒となっている。

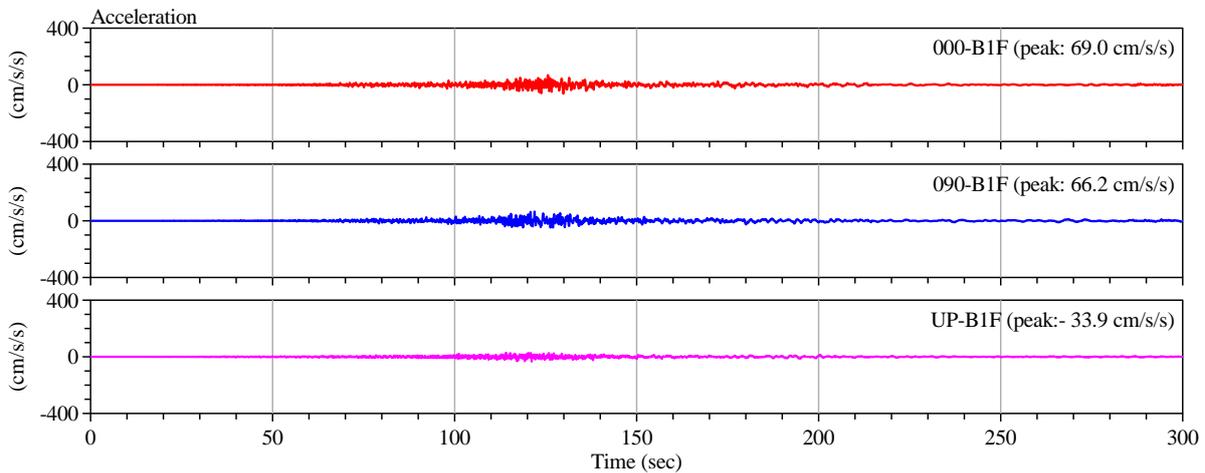


図 4.2-19 地下 1 階(B1F)の加速度記録

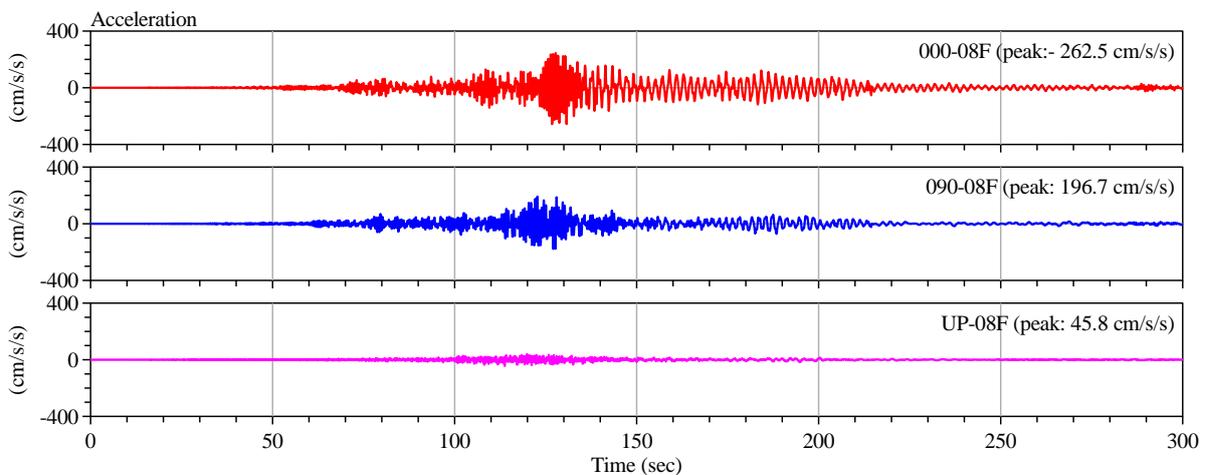


図 4.2-20 8 階(08F)の加速度記録

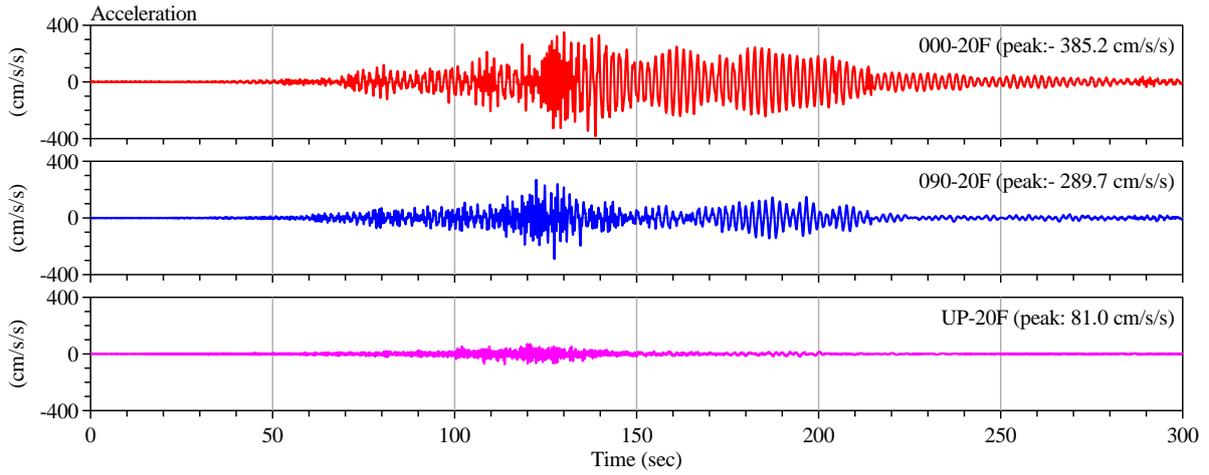


図 4.2-21 塔屋 1 階(20F)の加速度記録

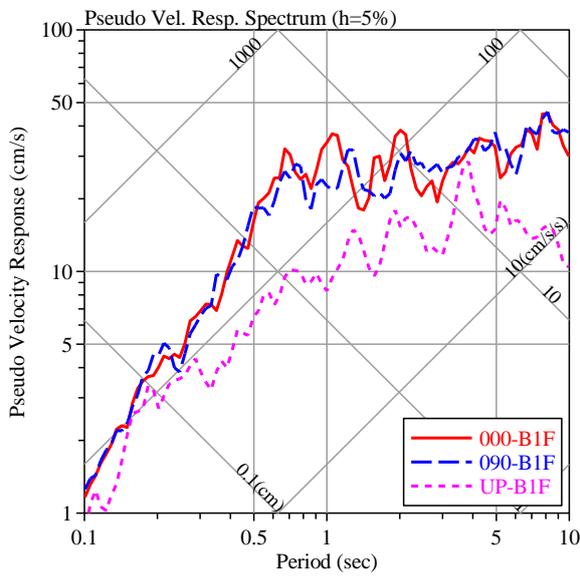


図 4.2-22 地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

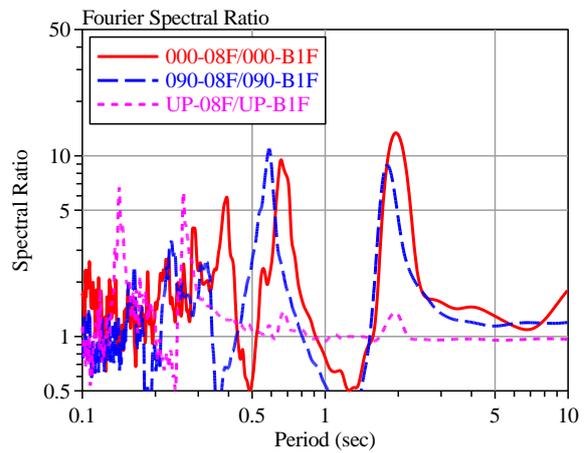


図 4.2-23 8 階(08F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

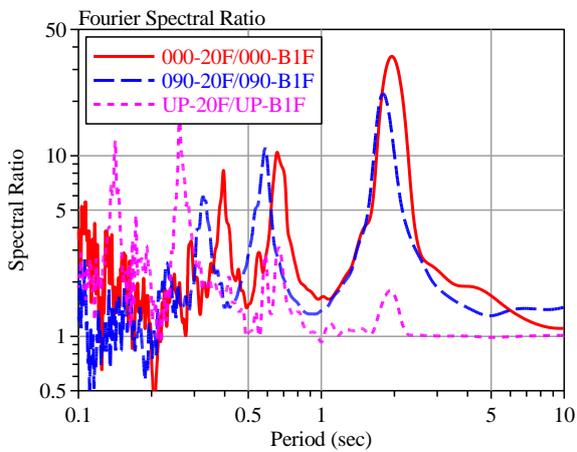


図 4.2-24 20 階(20F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.2.4 コーシャタワー佃(TKD)の強震記録

コーシャタワー佃は、東京都中央区に位置する地上 37 階地下 1 階の鉄筋コンクリート造建物で、1 階(01F)、18 階(18F)、及び 37 階(37F)に計 3 台の加速度計を有している。図 4.2-25 から図 4.2-27 に、1 階(01F)、18 階(18F)、及び 37 階(37F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 87 cm/s^2 から 98 cm/s^2 で、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.4(震度 4)であった。一方、N180°E 方向の最大加速度は、18 階(18F)で 118 cm/s^2 、37 階(37F)で 162 cm/s^2 と、それぞれ 1 階(01F)の 1.4 倍と 1.9 倍になっている。また、N270°E 方向の最大加速度は、18 階(18F)で 141 cm/s^2 、37 階(37F)で 198 cm/s^2 と、それぞれ 1 階(01F)の 1.4 倍と 2.0 倍となっている。

図 4.2-28 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N180°E 方向、破線が N270°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルには、1 秒か 1.2 秒、3 秒強にピークがあり、更に N270°E 方向には 7 秒にもピークが表れている。

18 階(18F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-29 に、37 階(37F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-30 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、両水平方向とも 2.5 秒程度である。

1 階(01F)と 37 階(37F)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.2-31 と図 4.2-32 に示す。1 階(01F)の変位は 100 秒過ぎから振幅が大きくなり、揺れは 300 秒を過ぎても続いている。最大変位は N270°E 方向で 7 cm 程度である。建物の変位が加わった 37 階(37F)の変位の最大値は、両水平方向で 20 cm 弱となっている。図 4.2-33 と図 4.2-34 は、それぞれ 1 階(01F)と 37 階(37F)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。37 階(37F)の変位軌跡を見ると、時刻によって揺れの方向が変遷してゆく様子が窺える。

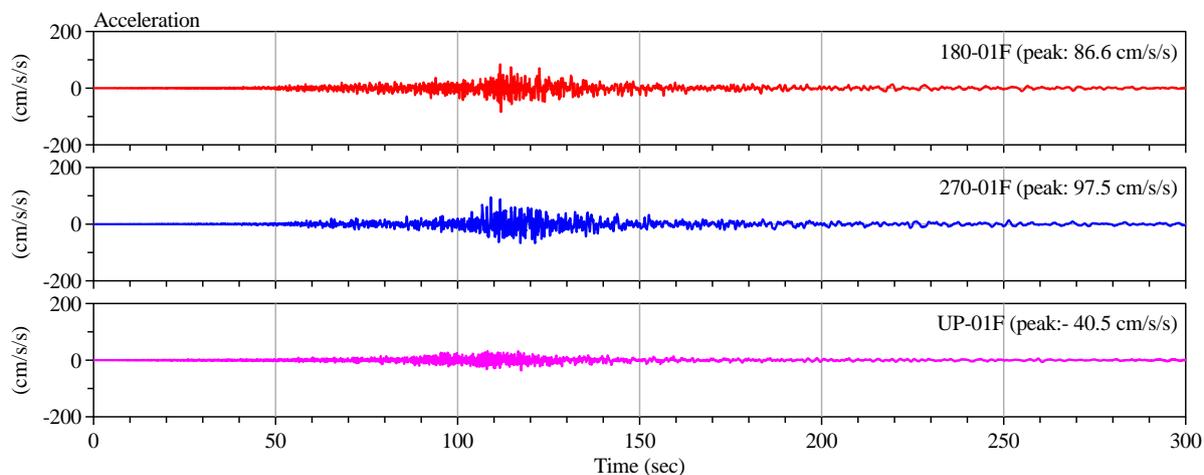


図 4.2-25 1 階(01F)の加速度記録

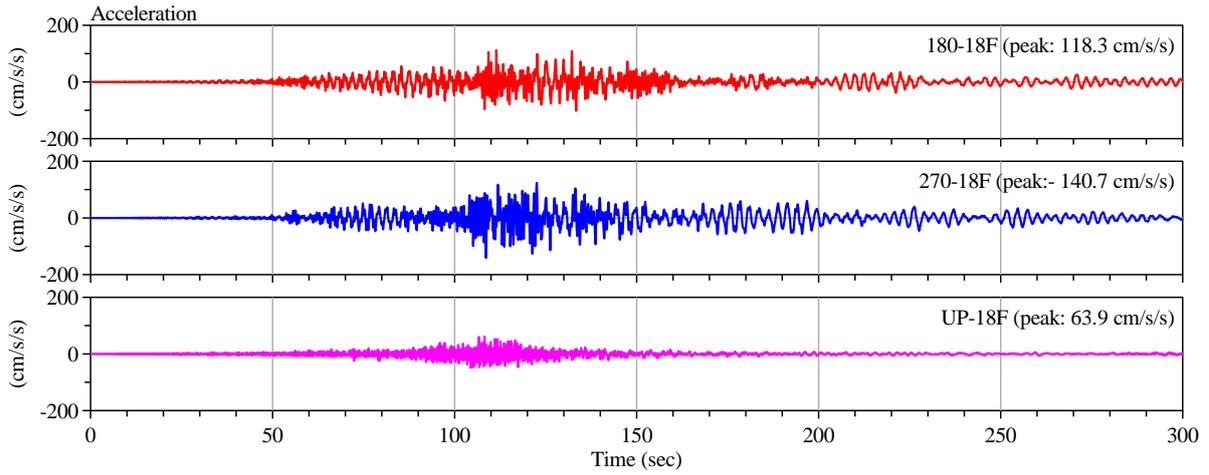


図 4.2-26 18階(18F)の加速度記録

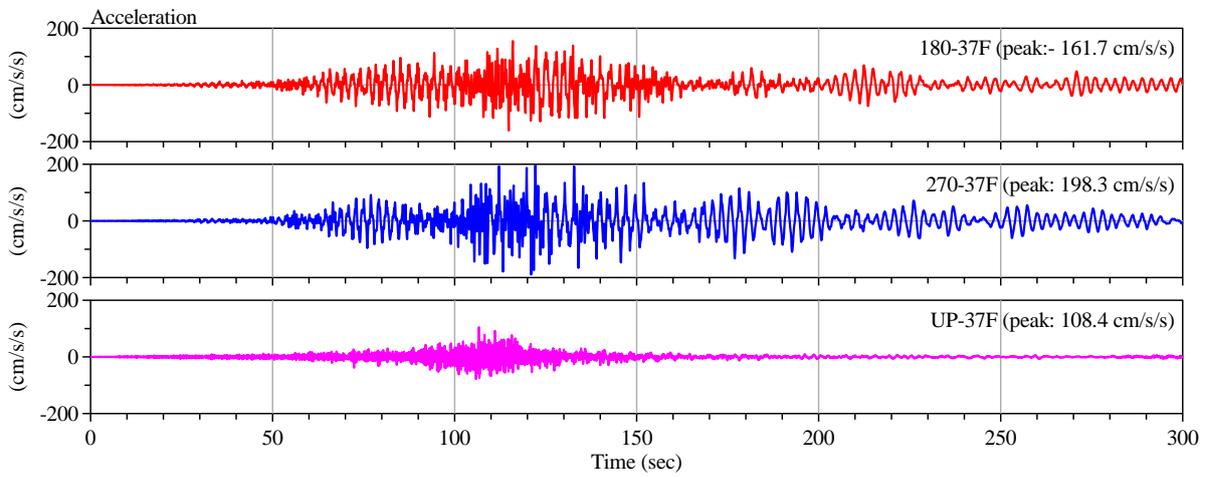


図 4.2-27 37階(37F)の加速度記録

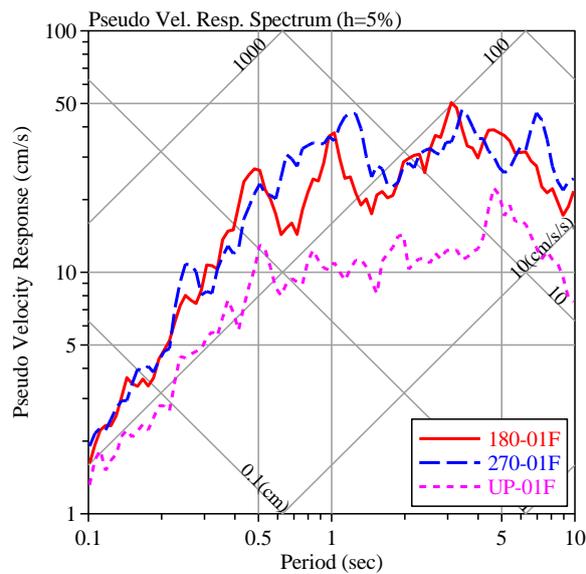


図 4.2-28 1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

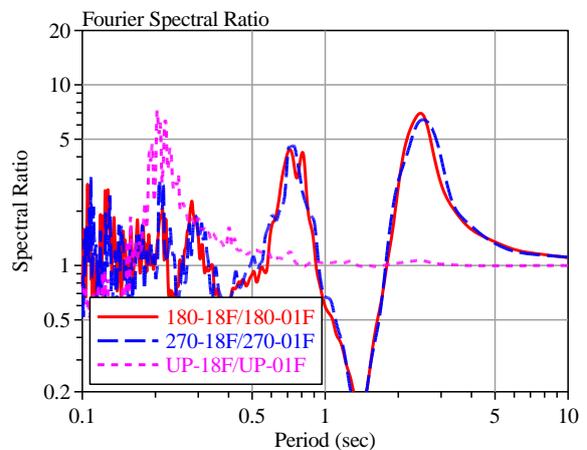


図 4.2-29 18階(18F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

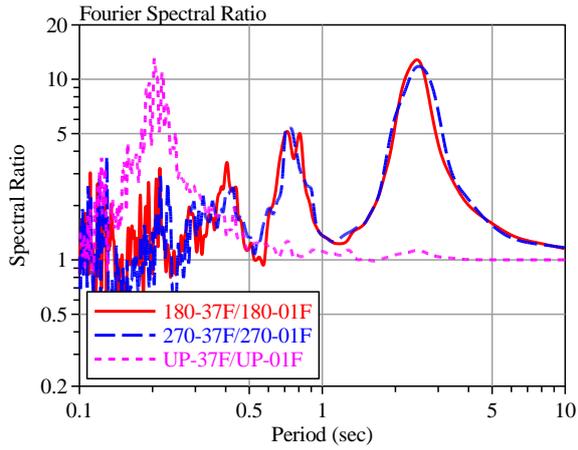


図 4.2-30 37階(37F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

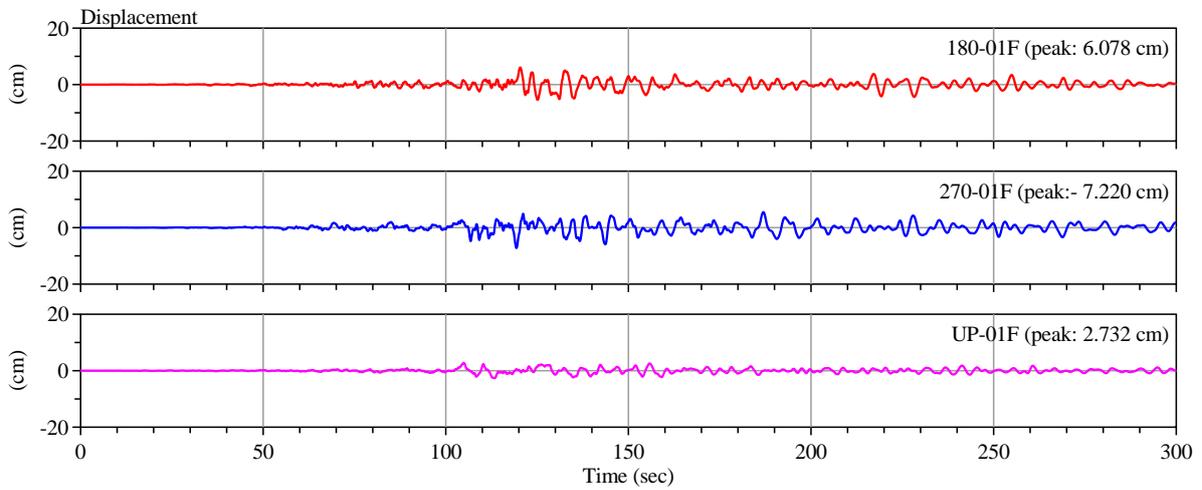


図 4.2-31 1階(01F)の変位記録

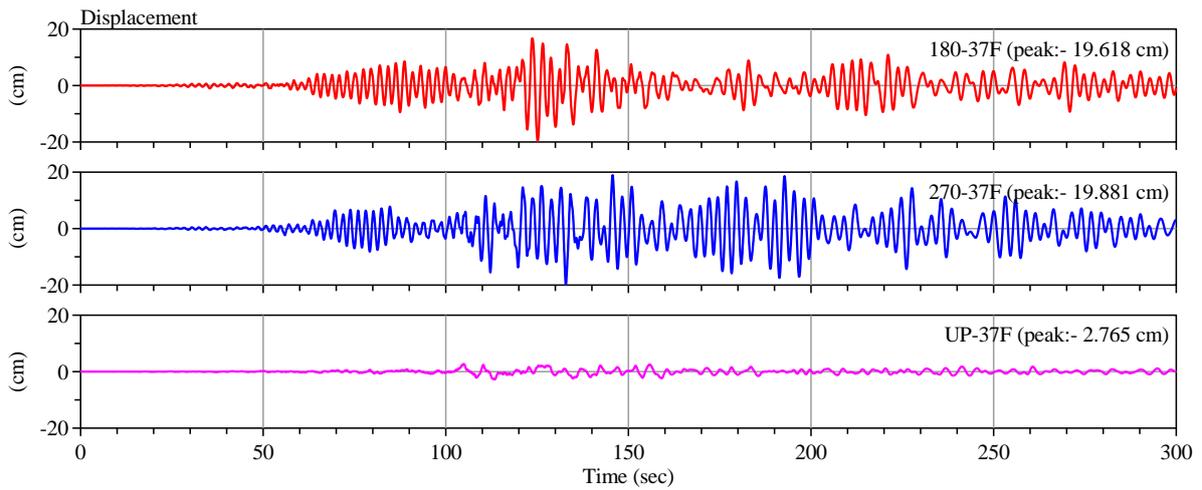


図 4.2-32 37階(37F)の変位記録

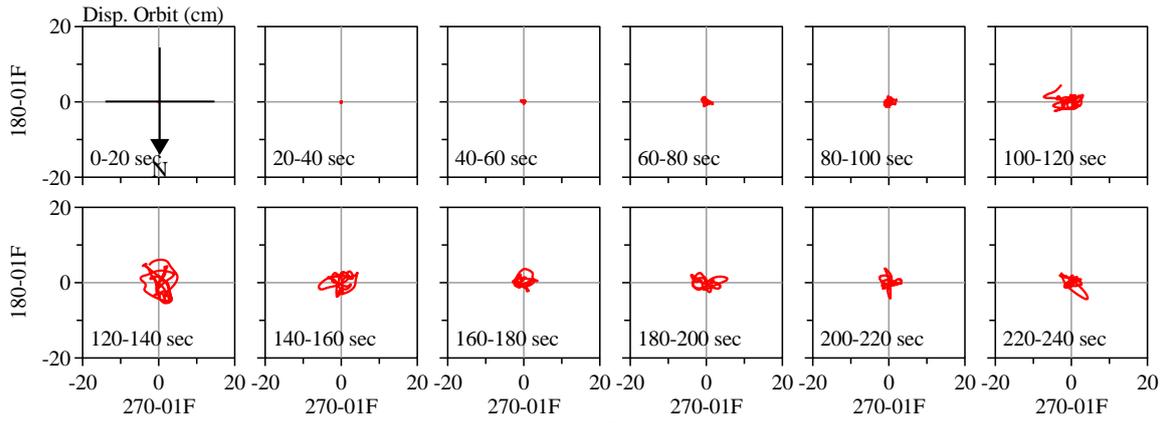


図 4.2-33 1 階(01F)の変位の水平面内軌跡

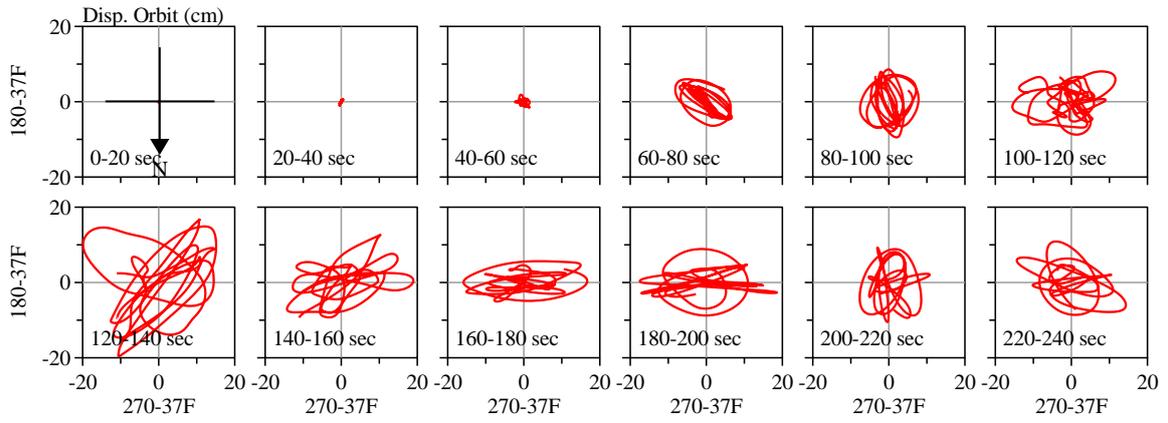


図 4.2-34 37 階(37F)の変位の水平面内軌跡

4.2.5 中央合同庁舎 6 号館(CGC)の強震記録

中央合同庁舎 6 号館は東京都千代田区に位置する、地上 20 階地下 3 階のツインタワー(B 棟及び C 棟と呼ぶ)の鉄骨造建物である。加速度計は 1 階(01F)、B 棟 20 階(20B)、及び C 棟 19 階(19C)の計 3 カ所に設置されている。図 4.2-35 から図 4.2-37 に、1 階(01F)、B 棟 20 階(20B)、及び C 棟 19 階(19C)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 90 cm/s^2 程度で、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.4(震度 4)であった。B 棟 20 階(20B)の最大加速度は、N208°E 方向で 208 cm/s^2 、N298°E 方向で 148 cm/s^2 、C 棟 19 階(19C)の最大加速度は、N208°E 方向で 179 cm/s^2 、N298°E 方向で 133 cm/s^2 と、C 棟 19 階(19C)の方が若干小さめである。

図 4.2-38 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N208°E 方向、破線が N298°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、方向によって若干起伏はあるものの、0.5 秒から長周期領域では、右上がりの傾向を持つ平坦な形状をしており、速度応答値は 20 cm/s から 40 cm/s 程度である。

B 棟 20 階(20B)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-39 に、C 棟 19 階(19C)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-40 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、B 棟及び C 棟とも、N208°E 方向で 2.0 秒、N298°E 方向で 1.8 秒程度である。

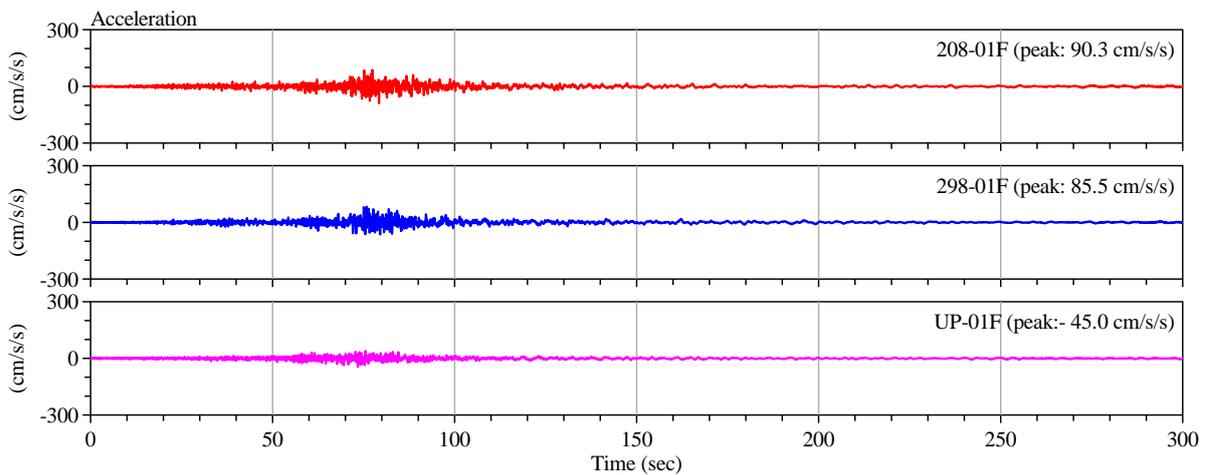


図 4.2-35 1 階(01F)の加速度記録

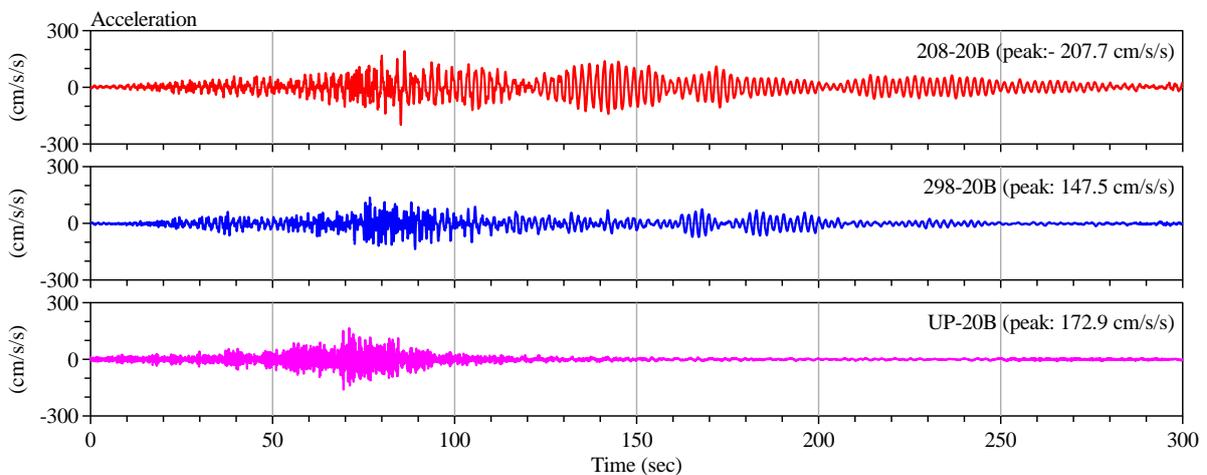


図 4.2-36 B 棟 20 階(20B)の加速度記録

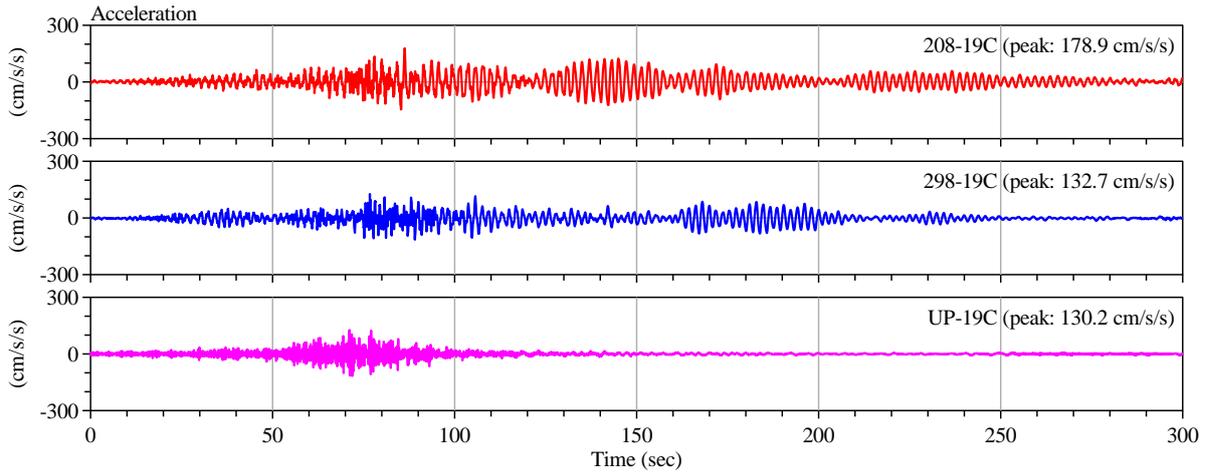


図 4.2-37 C 棟 19 階(19C)の加速度記録

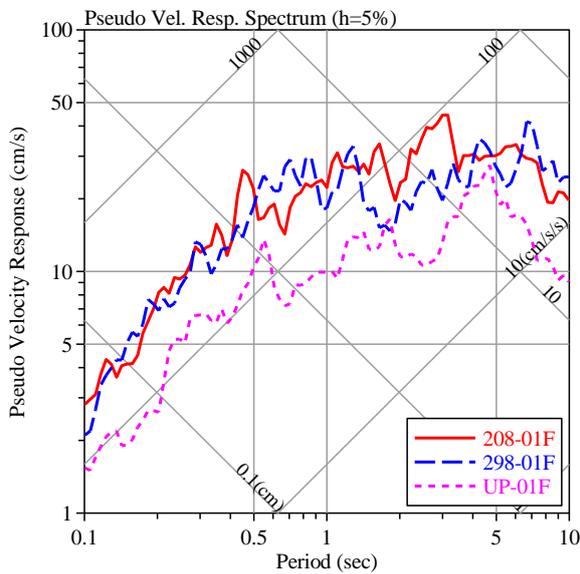


図 4.2-38 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

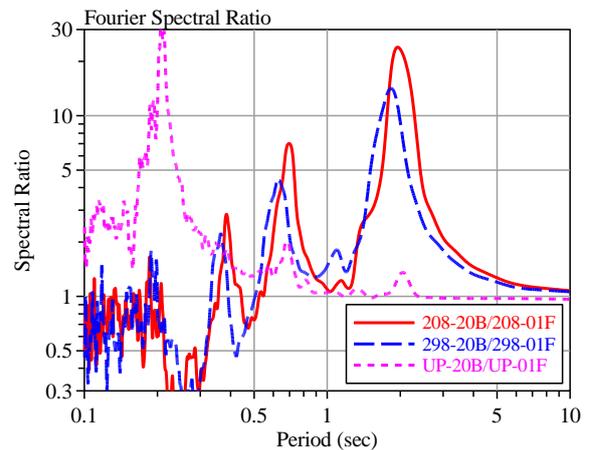


図 4.2-39 B 棟 20 階(20B)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

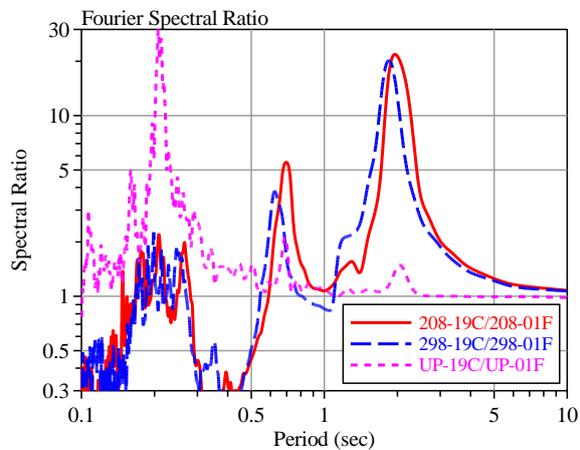


図 4.2-40 C 棟 19 階(19C)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.2.6 中央合同庁舎 2 号館(CG2)の強震記録

中央合同庁舎 2 号館は、東京都千代田区に位置する地上 21 階の鉄骨造建物で、極軟鋼制振壁と粘性体制振壁を配した制振構造となっている。この建物では、地下 4 階(B4F)、13 階(13F)、及び 21 階(21F)に計 3 台の加速度計を設置している。図 4.2-41 から図 4.2-43 に、地下 4 階(B4F)、13 階(13F)、及び 21 階(21F)で得られた加速度記録を示す。地下 4 階(B4F)の水平方向の最大加速度は 70 cm/s^2 強で、地下 4 階(B4F)の記録から算出した計測震度は 4.2(震度 4)であった。一方、N208°E 方向の最大加速度は、13 階(13F)で 137 cm/s^2 、21 階(21F)で 121 cm/s^2 と、それぞれ地下 4 階(B4F)の 1.8 倍と 1.6 倍になっている。また、N298°E 方向の最大加速度は、13 階(13F)で 113 cm/s^2 、21 階(21F)で 130 cm/s^2 と、それぞれ地下 4 階(B4F)の 1.6 倍と 1.8 倍となっている。

図 4.2-44 に、地下 4 階(B4F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N208°E 方向、破線が N298°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.5 秒から長周期側で漸増する傾向があり、N208°E 方向では 3.2 秒、N298°E 方向では 6.7 秒で速度応答値が最大となり、 40 cm/s を超えている。

13 階(13F)の地下 4 階(B4F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-45 に、21 階(21F)の地下 4 階(B4F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-46 に示す。スペクトル比から読み取った 1 次固有周期は、N208°E 方向が 1.9 秒、N298°E 方向が 2.0 秒である。

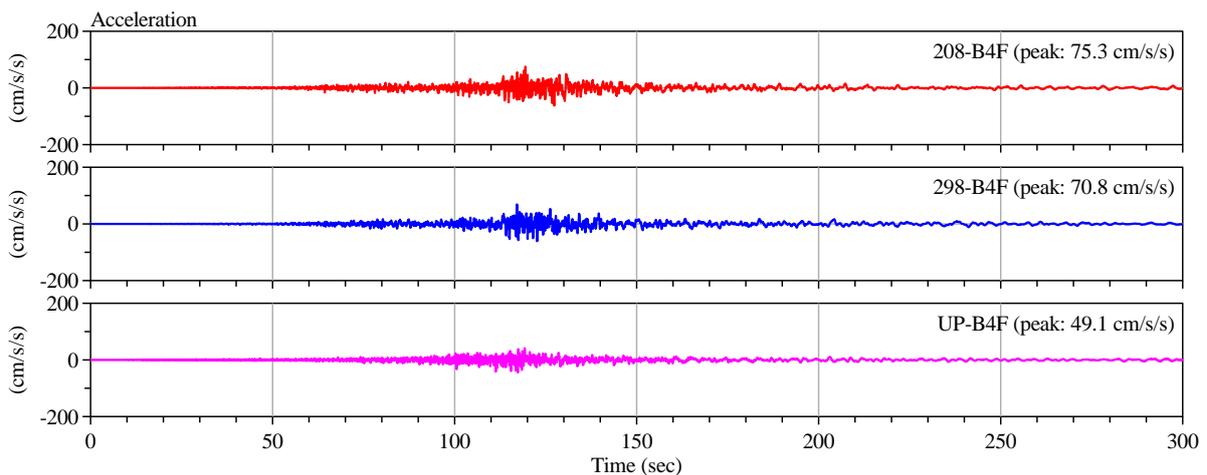


図 4.2-41 地下 4 階(B4F)の加速度記録

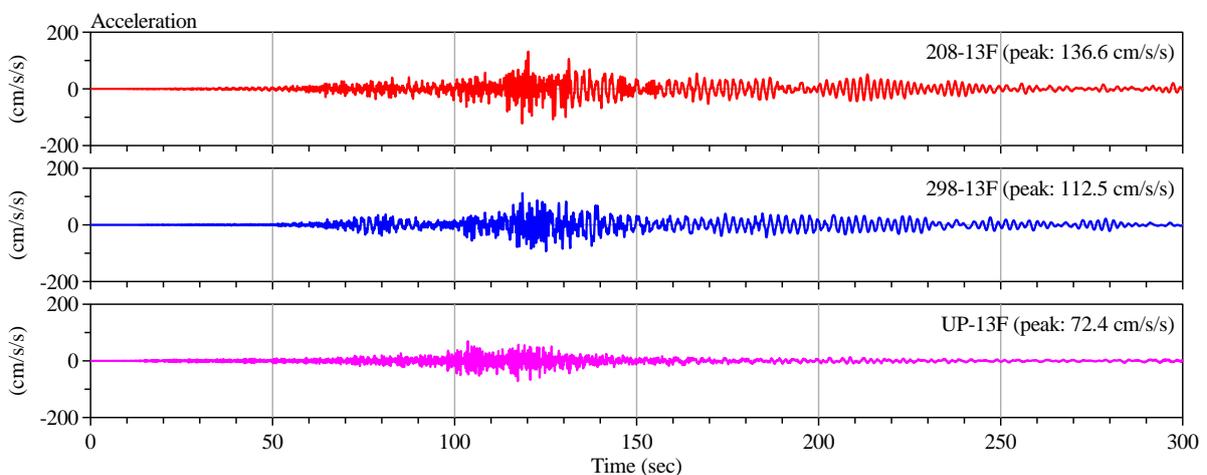


図 4.2-42 13 階(13F)の加速度記録

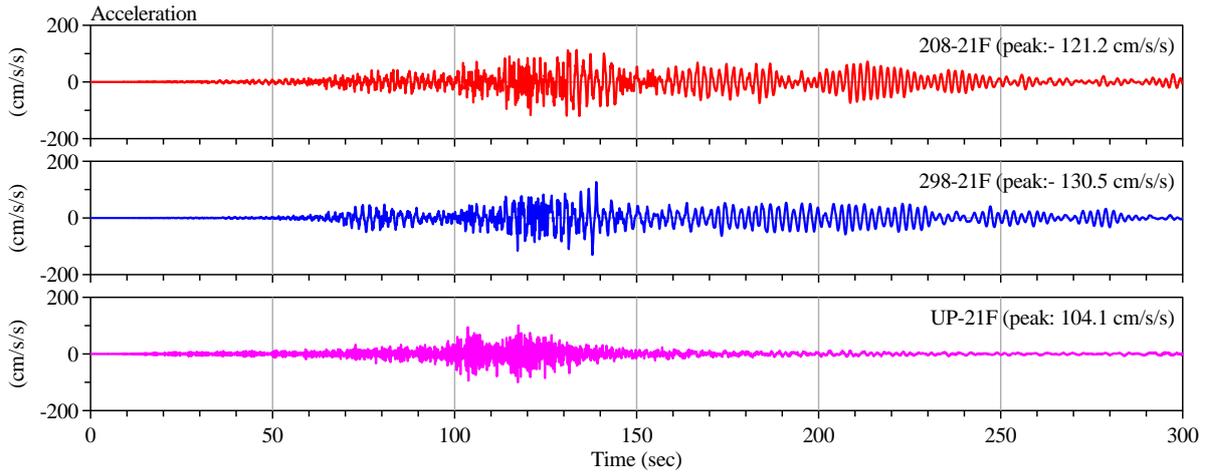


図 4.2-43 21 階(21F)の加速度記録

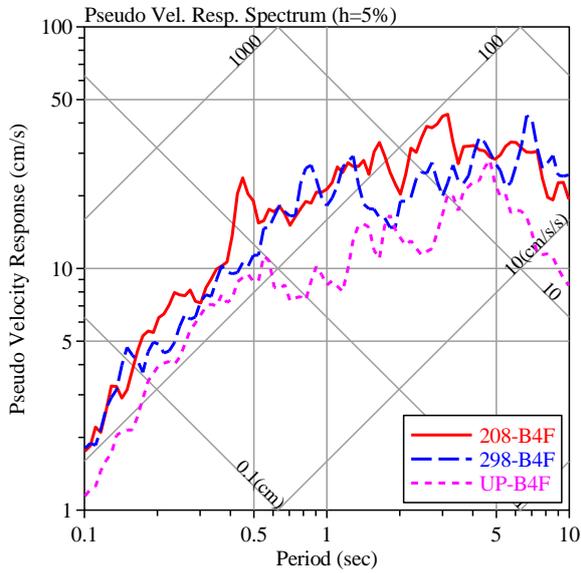


図 4.2-44 地下 4 階(B4F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

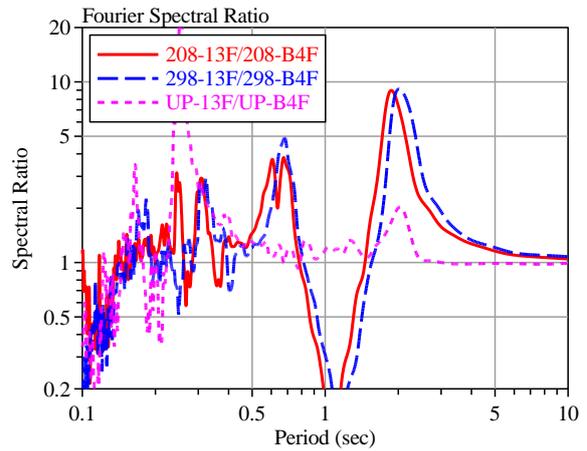


図 4.2-45 13 階(13F)の地下 4 階(B4F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

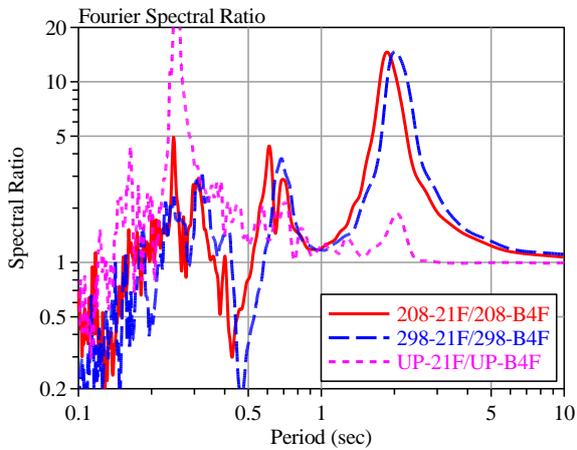


図 4.2-46 21 階(21F)の地下 4 階(B4F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.2.7 横浜第2合同庁舎(YKH)の強震記録

横浜第2合同庁舎は横浜市中区に立地する、地上23階地下3階の鉄骨造建物である。強震計は地下2階(B2F)と23階(23F)に加速度計を有している。図4.2-47と図4.2-48に、地下2階(B2F)と23階(23F)で得られた加速度記録を示す。なお、N303°E方向の記録は不良のため割愛する。地下2階(B2F)のN213°E方向の最大加速度は 60 cm/s^2 であった。一方、23階(23F)のN213°E方向の最大加速度は 162 cm/s^2 で、地下2階(B2F)に比べて2.7倍となっている。また、100秒以降の、地下2階(B2F)の加速度が小さくなった後も、大きな揺れが長く継続している。

図4.2-49に、地下2階(B2F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線がN213°E方向、点線がUP(上下)方向に対応する。比較的長周期成分が優勢な擬似速度応答スペクトルの形状で、2.7秒の速度応答値は、 50 cm/s 弱である。

23階(23F)の地下2階(B2F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.2-50に示す。スペクトル比からは、N213°E方向の1次固有周期は2.3秒である。

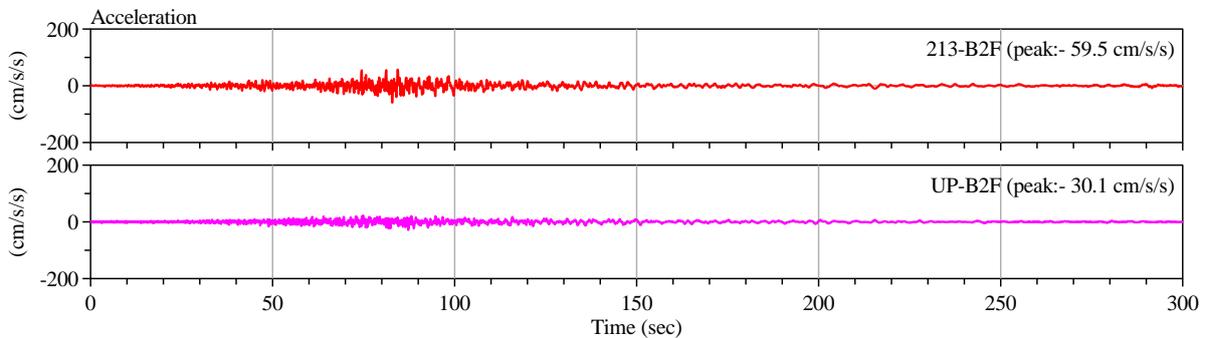


図 4.2-47 地下2階(B2F)の加速度記録

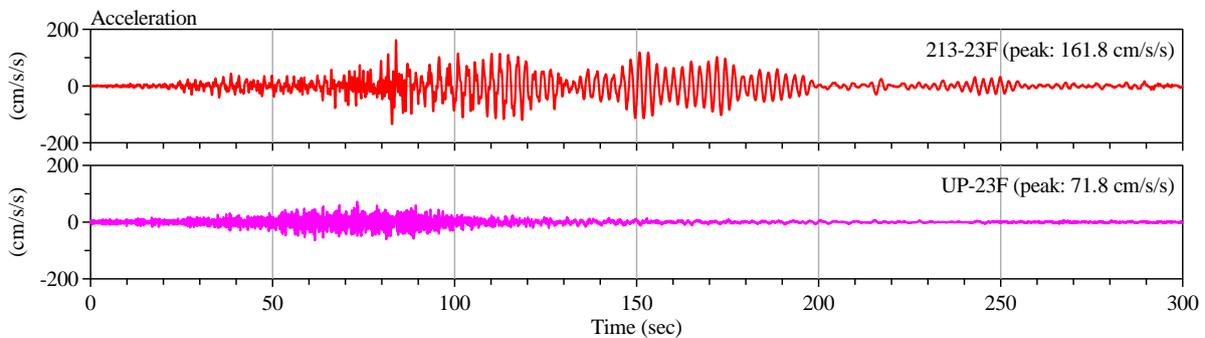


図 4.2-48 23階(23F)の加速度記録

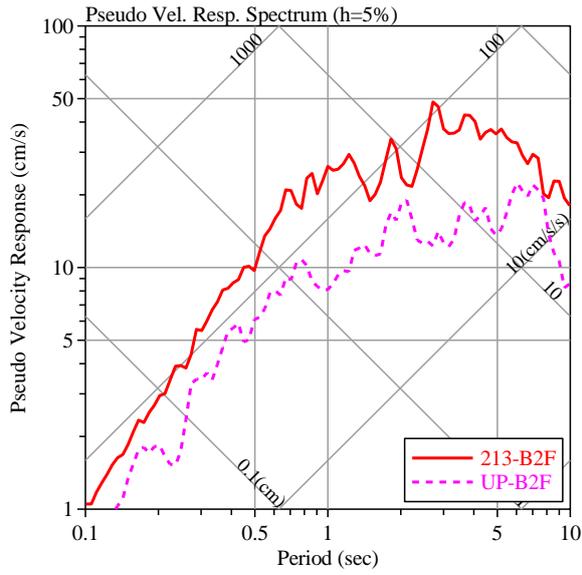


図 4.2-49 地下 2 階(B2F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

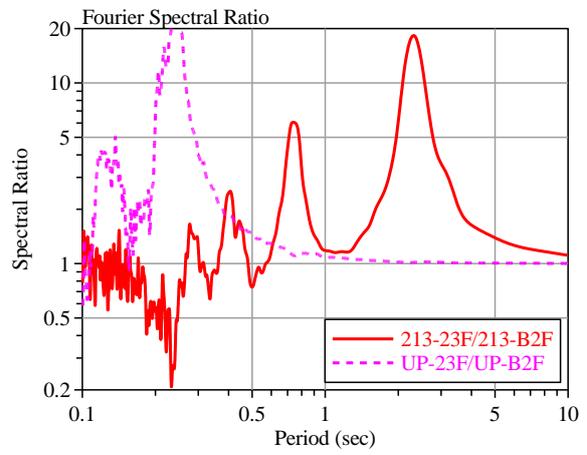


図 4.2-50 23階(23F)の地下 2 階(B2F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.2.8 大阪合同庁舎 3 号館(OSK)の強震記録

大阪合同庁舎 3 号館は大阪市中央区に立地する、地上 15 階地下 3 階の鉄骨造建物である。強震計は、地下 3 階(B3F)と塔屋 3 階(18F)に加速度計を有している。図 4.2-51 と図 4.2-52 に、地下 3 階(B3F)と塔屋 3 階(18F)で得られた加速度記録を示す。なお、ここの強震計は地下 3 階(B3F)の加速度計のトリガ(トリガレベル 4 cm/s^2)を掛けており、加速度レベルが小さかったため 157 秒間で記録が終了している。地下 3 階(B3F)の水平方向の最大加速度は 10 cm/s^2 程度で、地下 3 階(B3F)の記録から算出した計測震度は 2.9(震度 3)あった。一方、塔屋 3 階(18F)の最大加速度は、N189°E 方向で 65 cm/s^2 、N279°E 方向が 38 cm/s^2 と、地下 3 階(B3F)に比べて 5.9 倍から 4.3 倍と大きな増幅となっている。

図 4.2-53 に、地下 3 階(B3F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N189°E 方向、破線が N279°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。長周期成分が優勢な擬似速度応答スペクトルで、N189°E 方向では 2.5 秒、N279°E 方向では 4.9 秒に最大応答が表れている。

塔屋 3 階(18F)の地下 3 階(B3F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-54 に示す。スペクトル比から読み取った 1 次固有周期は、N189°E 方向で 1.7 秒、N279°E 方向で 1.4 秒となっている。

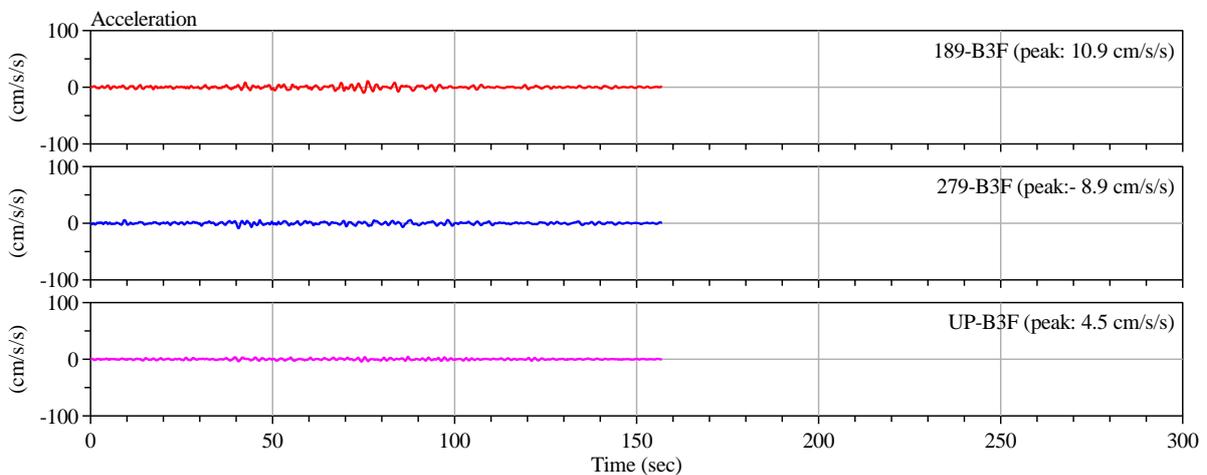


図 4.2-51 地下 3 階(B3F)の加速度記録

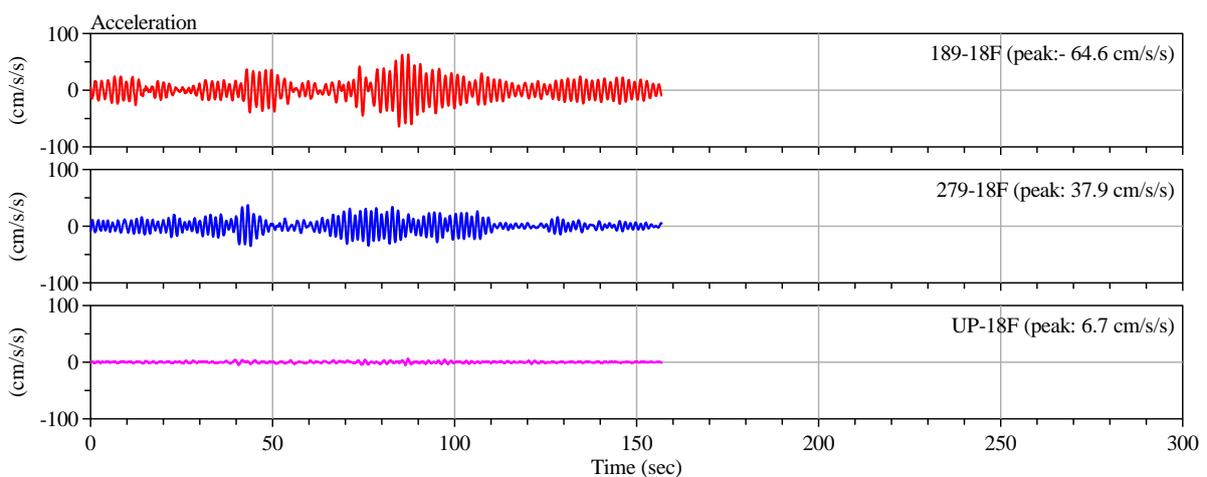


図 4.2-52 塔屋 3 階(18F)の加速度記録

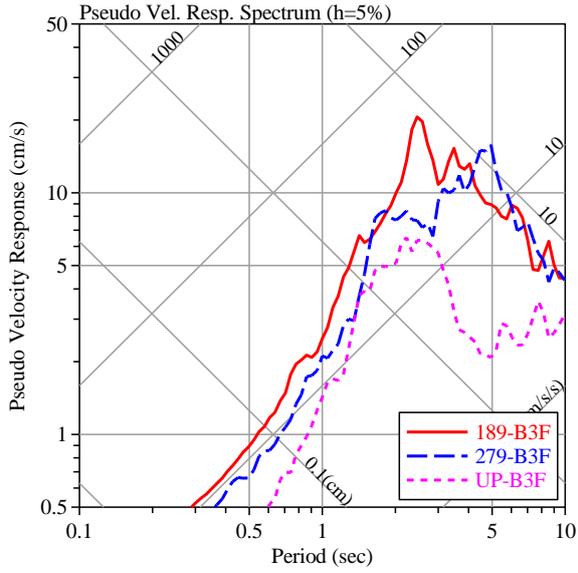


図 4.2-53 地下 3 階(B3F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

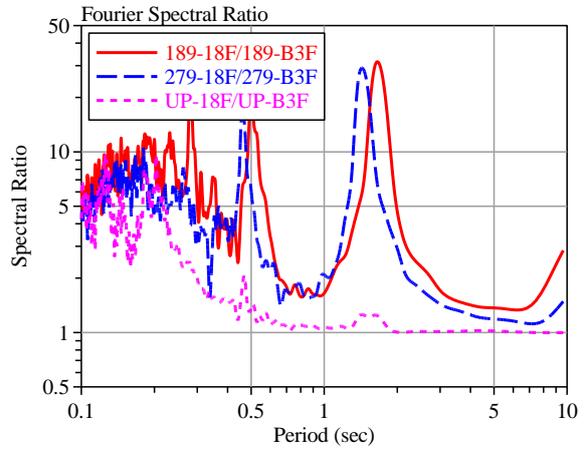


図 4.2-54 塔屋 3 階(18F)の地下 3 階(B3F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.2.9 大阪府咲洲庁舎(SKS)の強震記録

大阪府咲洲庁舎は、大阪市住之江区に建つ地上 52 階地下 3 階の鉄骨造建物で、ここには 1 階(01F)、18 階(18F)、38 階(38F)、及び 52 階に 2 台(52FN と 52FS)の計 5 台の強震計を設置している。この庁舎は、東北地方太平洋沖地震によって、内装材や防火戸等の一部に破損が生じた⁴⁾。図 4.2-55 から図 4.2-58 に、1 階(01F)、18 階(18F)、38 階(38F)、及び 52 階(52FN)で得られた加速度記録を示す。なお地震動の継続時間が長いため、時間軸を 800 秒に拡大している。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 30 cm/s^2 を超えるが、これには設備機器の衝突に起因するパルス状のノイズが含まれている。1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 3.0(震度 3)であった。一方、建物内の最大加速度は、N229°E 方向では、18 階(18F)で 41 cm/s^2 、38 階(38F)で 86 cm/s^2 、52 階(52FN)で 126 cm/s^2 と増幅している。また、N319°E 方向では、18 階(18F)で 39 cm/s^2 、38 階(38F)で 56 cm/s^2 、52 階(52FN)で 88 cm/s^2 と、最大加速度は N229°E 方向より小さめである。

図 4.2-59 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。なお、周期軸は 0.2 秒から 20 秒の範囲に変更している。実線が N229°E 方向、破線が N319°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。長周期が極めて卓越した地震動特性となっており、N229°E 方向では 6.7 秒、N319°E 方向では 7 秒がピークとなっており、速度応答値はそれぞれ 42 cm/s と 35 cm/s となっている。7 秒前後の周期領域の速度応答値は、東京周辺と変わらないレベルにある。

18 階(18F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-60 に、38 階(38F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-61 に、52 階(52FN)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.2-62 に示す。なお、周期軸は 0.2 秒から 20 秒とし、平滑化のための Parzen Window の幅を 0.025Hz としている。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、N229°E 方向が 6.5 秒、N319°E 方向が 6.9 秒となっており、地震動の優勢な周期とほぼ一致する。また、いずれのスペクトル比でも、N319°E 方向の 1 次のピークと同じ周期に上下(UP)方向にもピークが表れている。52 階(52FN)の加速度計は長辺(N319°E)方向の北端に設置されており、上下方向のピークは建物の曲げ振動の影響と考えられる。

1 階(01F)と 52 階(52FN)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.2-63 と図 4.2-64 に示す。なお、図 4.2-63 と図 4.2-64 は振幅軸が異なることに留意されたい。1 階(01F)の変位は 200 秒過ぎから大きな振幅が 60 秒ほど続き、その後振幅は小さくなるものの揺れは 800 秒を超えて続いている。最大変位は N229°E 方向で 8 cm 程度となっている。52 階(52FN)の変位記録を見ると、その最大値は、N229°E 方向で 135 cm を超えており、52 階(52FN)の変位のほとんどは建物の変形による変位が占める。図 4.2-65 と図 4.2-66 は、それぞれ 1 階(01F)と 52 階(52FN)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。1 階(01F)の変位軌跡を見ると、200 秒から 260 秒の大きな振幅の時間帯は、主に南北方向に揺れていることがわかる。52 階(52FN)の変位軌跡を見ると、260 秒から 300 秒の時間帯では楕円を描くように揺れ、以降はほぼ N229°E 方向に振動している。

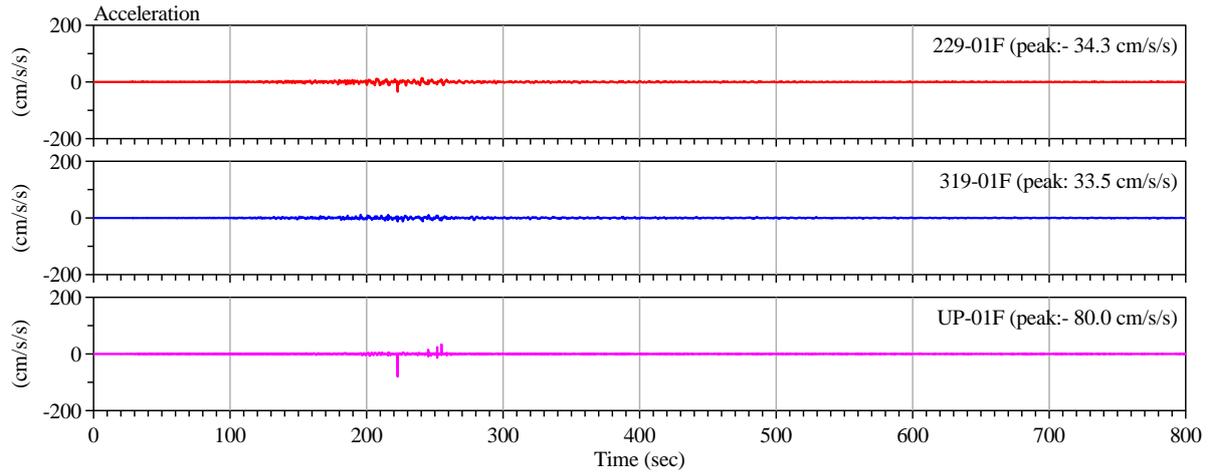


図 4.2-55 1 階(01F)の加速度記録

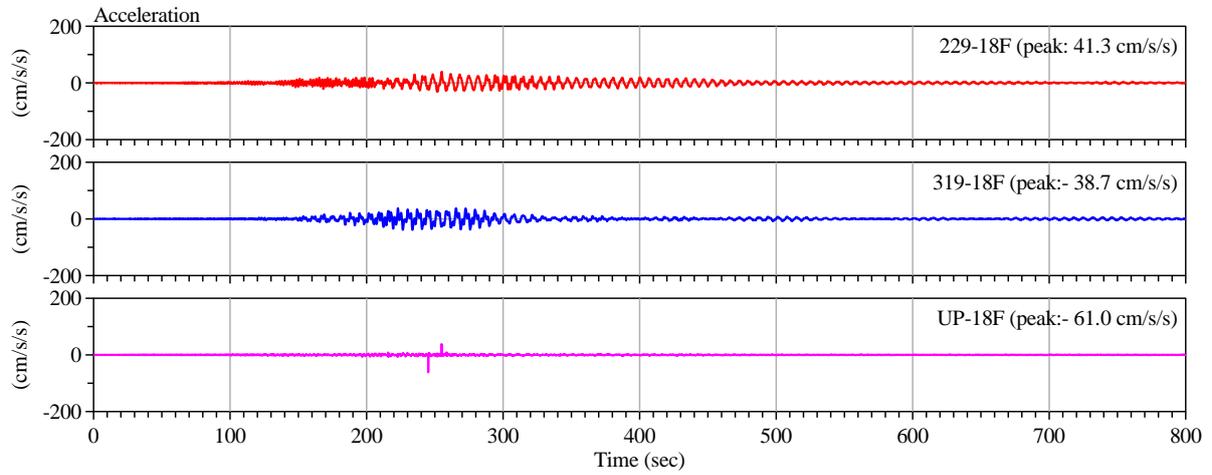


図 4.2-56 18 階(18F)の加速度記録

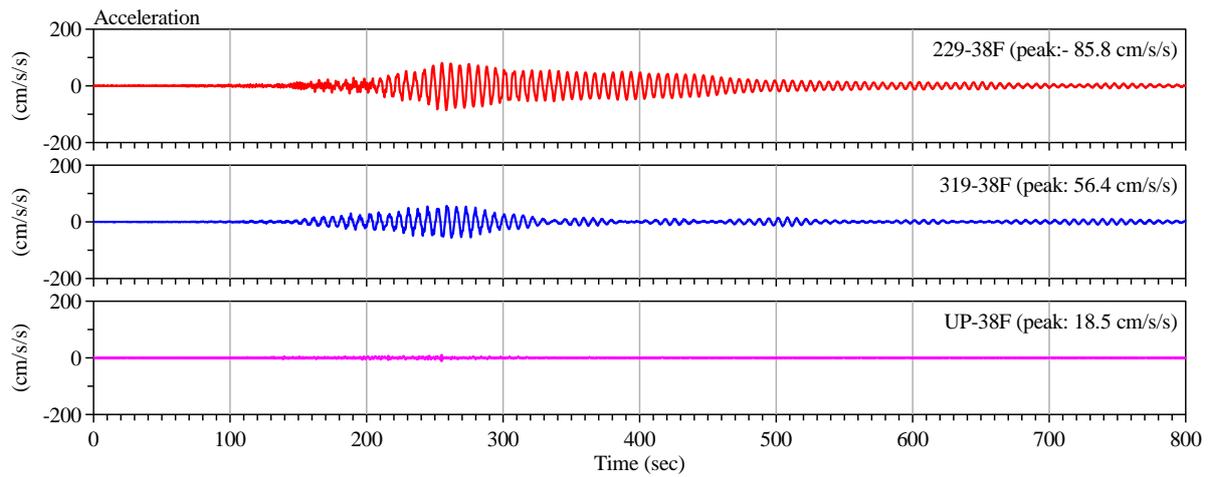


図 4.2-57 38 階(38F)の加速度記録

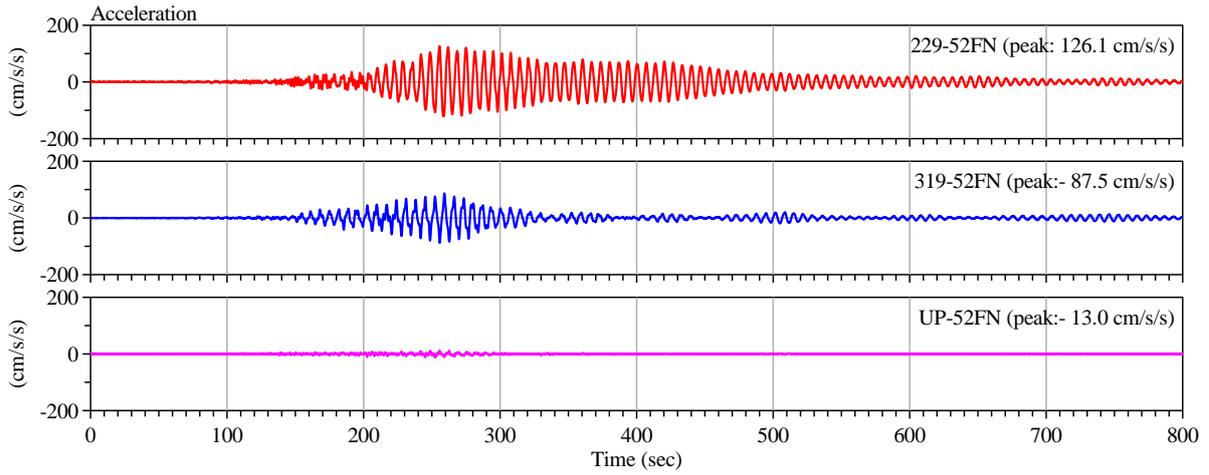


図 4.2-58 52 階(52FN)の加速度記録

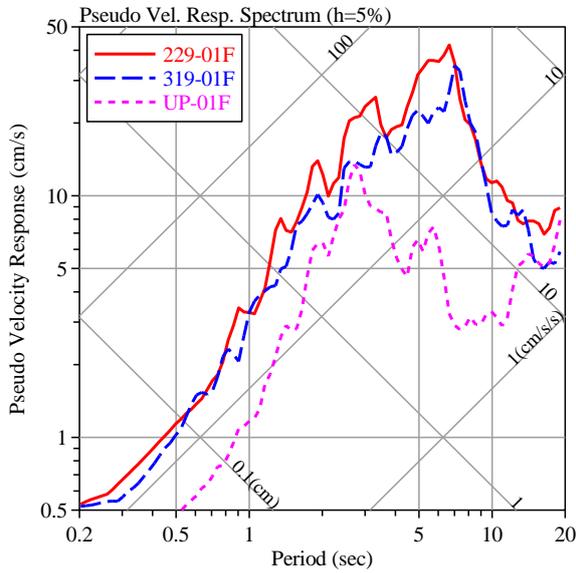


図 4.2-59 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

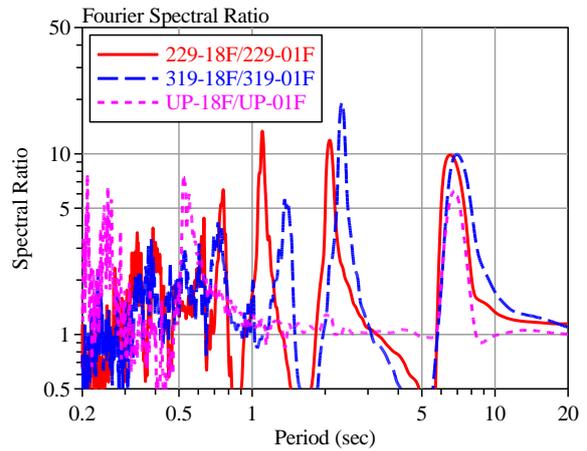


図 4.2-60 18 階(18F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

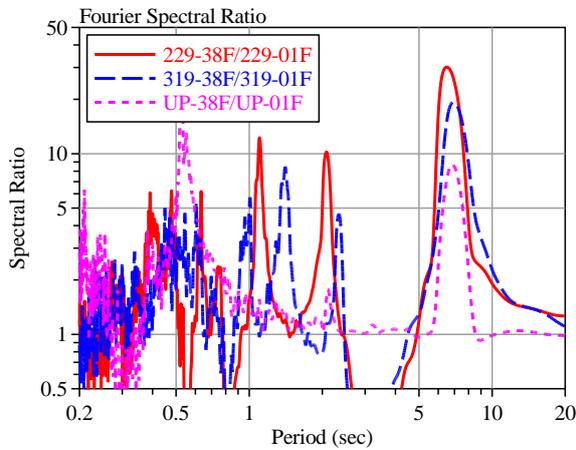


図 4.2-61 38 階(38F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

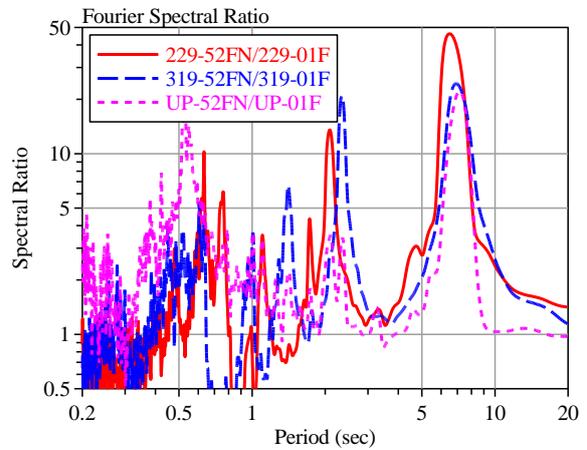


図 4.2-62 52 階(52FN)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

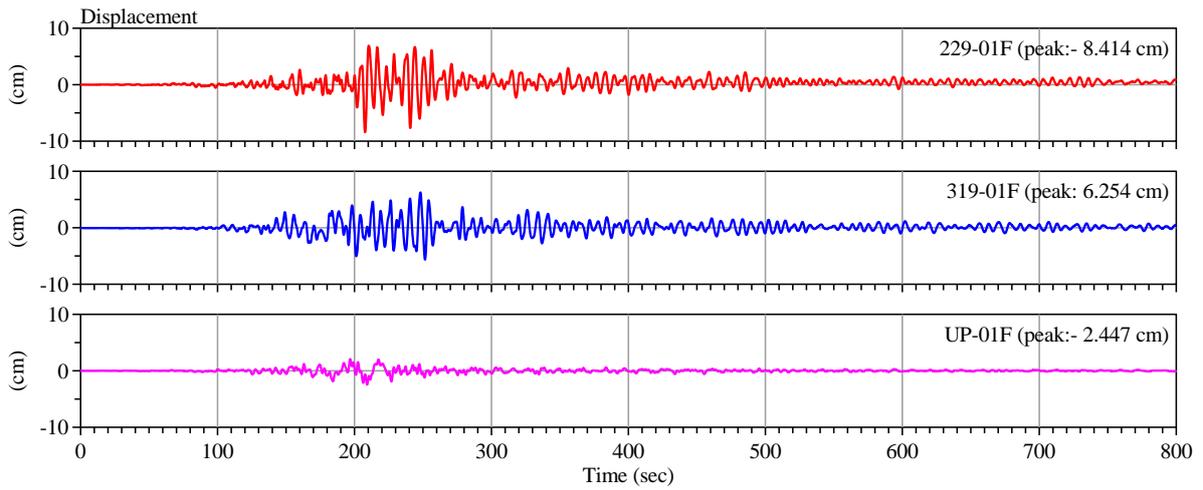


図 4.2-63 1 階(01F)の変位記録

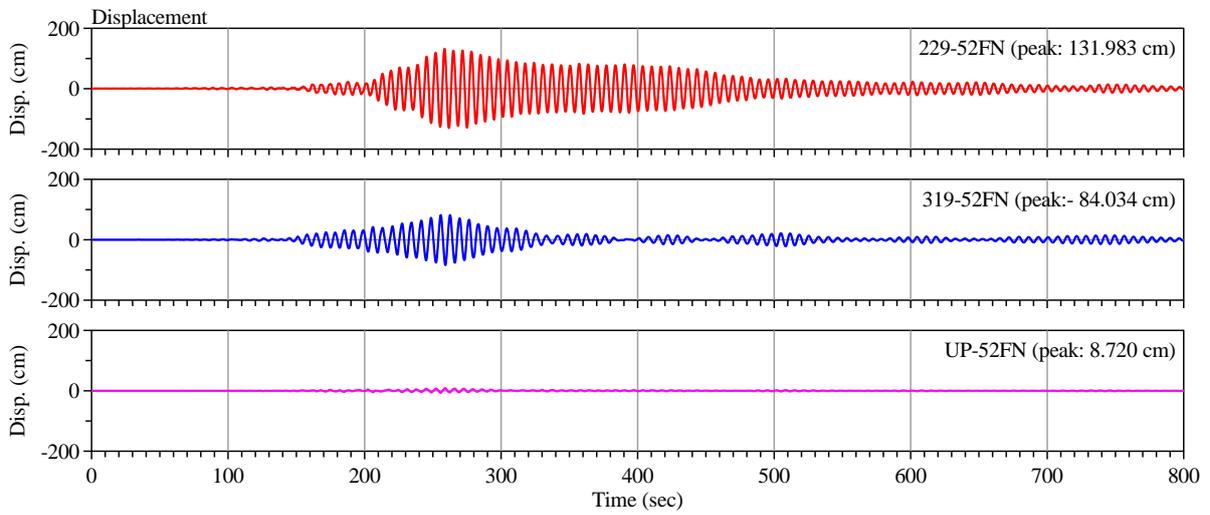


図 4.2-64 52 階(52FN)の変位記録

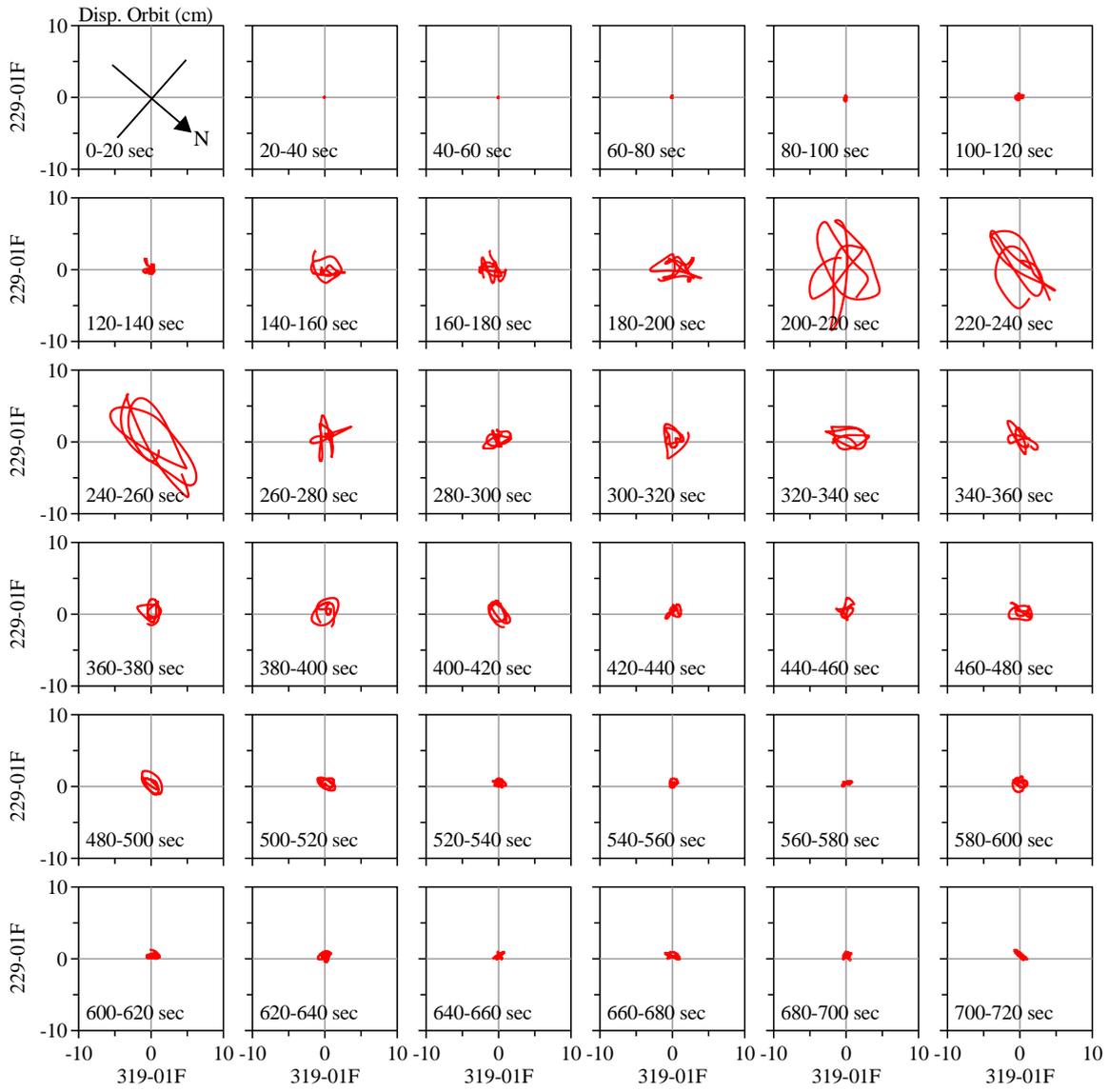


図 4.2-65 1 階(01F)の変位の水平面内軌跡

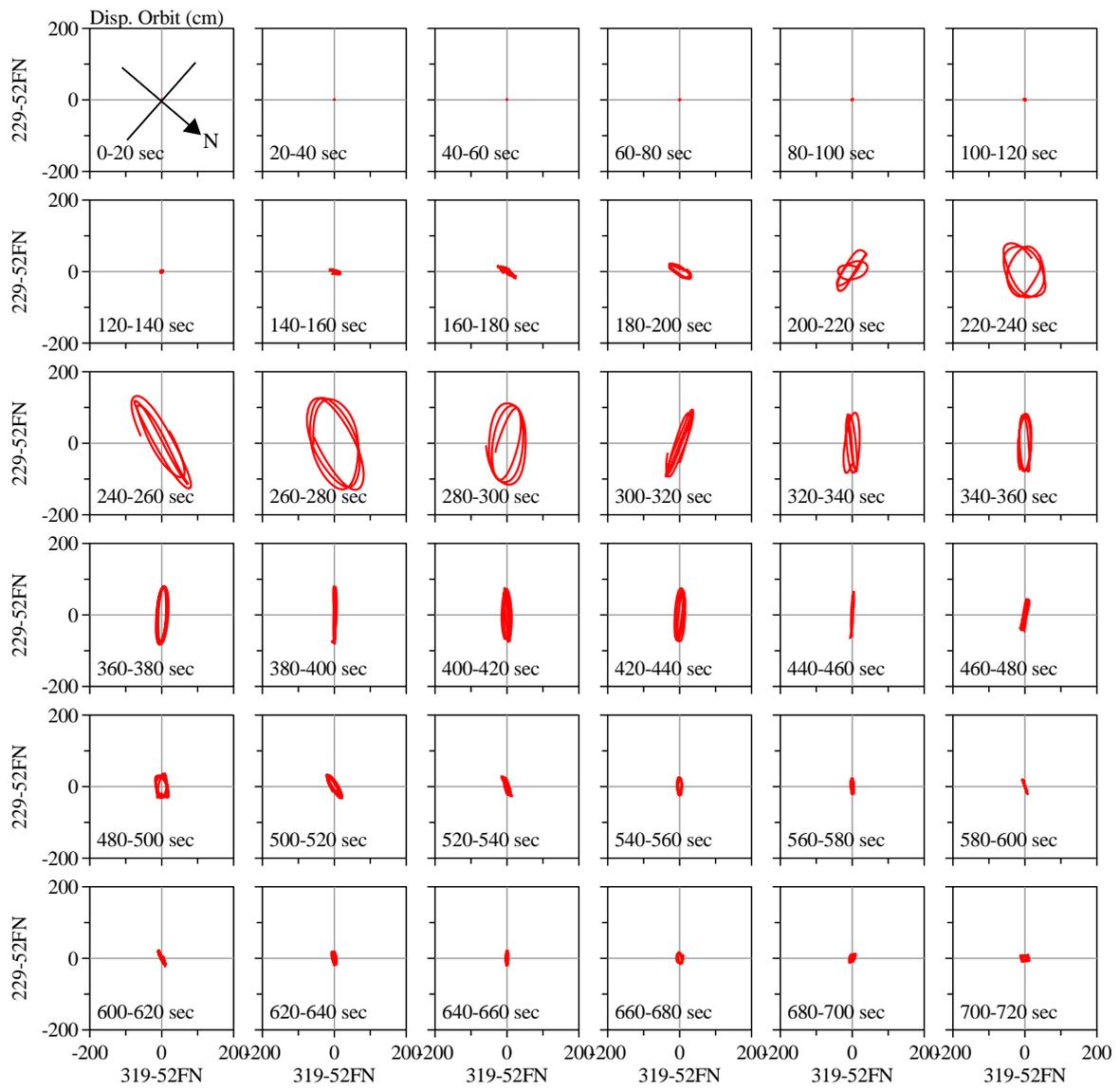


図 4.2-66 52 階(52FN)の変位の水平面内軌跡

4.3 免震建物の強震記録

本節では、建築研究所の強震観測ネットワークのうち、震度 5 弱以上が得られた免震建物を扱う。対象は表 4.3-1 に示す 4 棟の建物である。建築研究所の強震観測ネットワークの免震建物は 6 棟あり、このうち八戸市庁舎別館(HCN2)とつくば市庁舎(TKC)の 2 棟で震度 5 強を、国立西洋美術館(NMW)と中央合同庁舎 3 号館(CG3)の 2 棟で震度 5 弱を観測した。4.3.1 項以降に、各免震建物で得られた強震観測記録を示す。

表 4.3-1 対象建物一覧

項	記号	観測地点	計測震度	構造/階数	特徴
4.3.1	HCN2	八戸市庁舎別館	5.2	SRC/10F+B1F	地表・地中に加速度計あり
4.3.2	TKC	つくば市庁舎	5.2	PC/7F	
4.3.3	NMW	国立西洋美術館	4.8	RC/3F+B1F	免震改修、地表に加速度計あり
4.3.4	CG3	中央合同庁舎 3 号館	4.5	SRC/11F+B2F	免震改修

注) 構造/階数: 構造は RC が鉄筋コンクリート造、SRC が鉄骨鉄筋コンクリート造、PC がプレストレストコンクリート造を表す。階数は地上階+地下階。

4.3.1 八戸市庁舎別館(HCN2)の強震記録

八戸市庁舎別館は、青森県八戸市にある、地上 10 階建ての鉄骨鉄筋コンクリート造の免震建物である。強震計は地表(GL)、地中深さ 30 m(G30)、地中深さ 105 m(G105)、建物の基礎(免震層の下側、B1F)、1 階床梁下(免震層の上側、01F)、及び 10 階(10F)に計 6 台の加速度計を有している^{4,2)}。図 4.3-1 から図 4.3-4 に、地表(GL)、建物基礎(B1F)、1 階(01F)、及び 10 階(10F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の最大加速度は、N164°E 方向で 286 cm/s²、N254°E 方向で 210 cm/s²となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 5.2(震度 5 強)であった。また、建物の基礎(B1F)の最大加速度は、それぞれ 100 cm/s²と 104 cm/s²となっており、地表(GL)に比べ 1/3 から 1/2 に減少している。免震層の上となる 1 階(01F)の最大加速度は、N164°E 方向で 91 cm/s²、N254°E 方向で 122 cm/s²と、建物基礎(B1F)と大きな差はない。建物の 10 階(10F)の最大加速度は、N164°E 方向で 120 cm/s²、N254°E 方向で 123 cm/s²となっており、建物内での加速度の増幅は大きくはない。

図 4.3-5 に、地表(GL)と基礎(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が N164°E 方向、破線が N254°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。地表(GL)と基礎(B1F)の擬似速度応答スペクトルは、周期 0.8 秒から 0.9 秒に共通のピークを有しており、地表(GL)の速度応答値は 100 cm/s 近くに達する。しかしながら、基礎(B1F)の擬似速度応答スペクトルは、1.5 秒以下の周期領域で地表(GL)を下回り、0.4 秒前後の周期領域の差が特に顕著である。

図 4.3-6 に、基礎(B1F)の記録の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。水平方向のスペクトル比は 0.4 秒から 0.5 秒の間に深い谷が表れている。

図 4.3-7 は 1 階(01F)の基礎(B1F)に対するフーリエスペクトル比で、免震層の上下の記録を比較したものである。1 秒から 4 秒の間が若干盛り上がり、0.5 秒から 1 秒の周期領域が谷となっている。更に 0.3 秒付近に山があり、免震層の上下で加速度に差がない原因と考えられる。図 4.3-8 は 10 階(10F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比で、上部構造の特性を反映したものである。スペクトル比には、周期 0.7 秒辺りにピークが表れ、上部構造の 1 次固有周期と判断できる。図 4.3-9 は 10 階(10F)の基礎(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比で、免震建物として全体の特性を見たものである。0.7 秒から 0.9 秒の周期に緩やかなピークがあり、全体系の 1 次固有振動と考えられる。また、水平方向の 0.3 秒付近のピークは全体系の 2 次の固有振動に対応しており、その影響が図 4.3-7 にも表れている。全体系の 1 次と 2 次のピークの高さは 3 程度であり、結果として建物の応答は抑制されている。

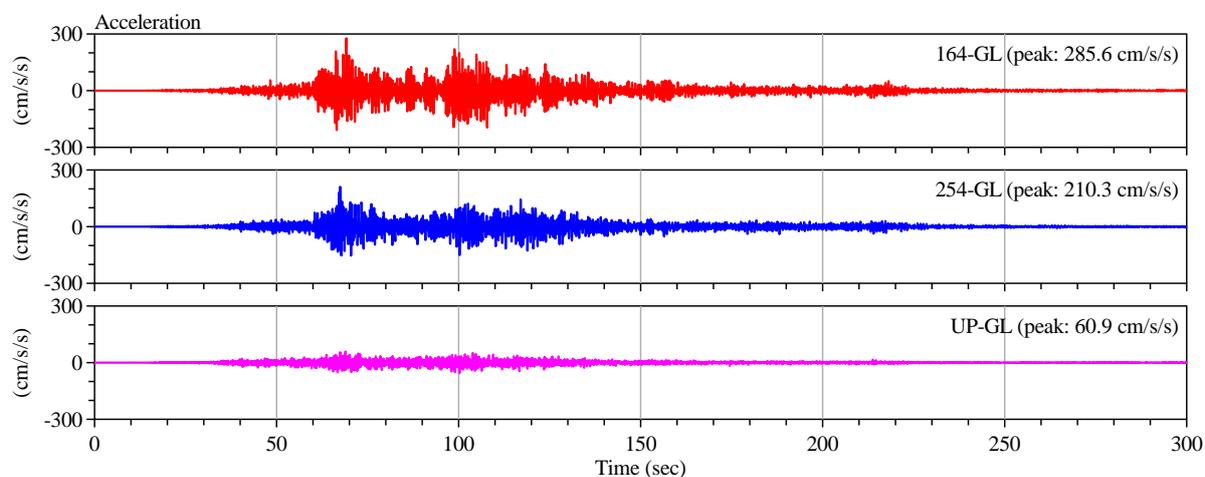


図 4.3-1 地表(GL)の加速度記録

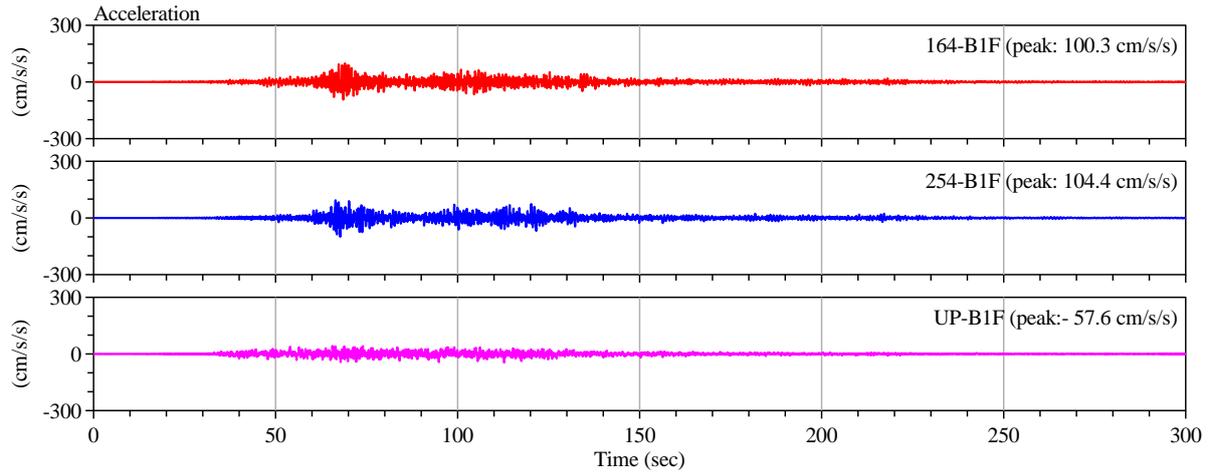


図 4.3-2 基礎上(B1F)の加速度記録

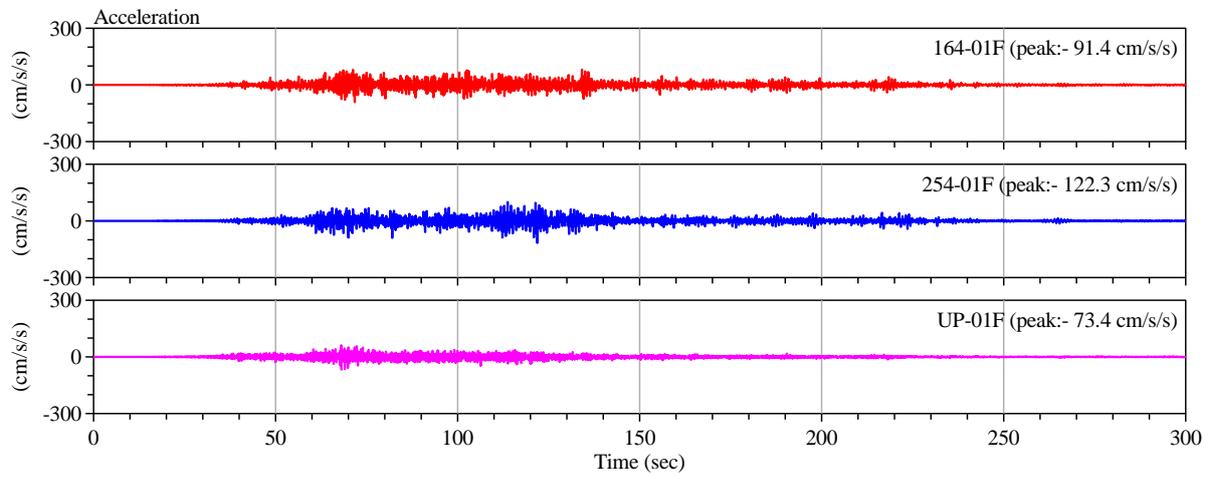


図 4.3-3 1階(01F)の加速度記録

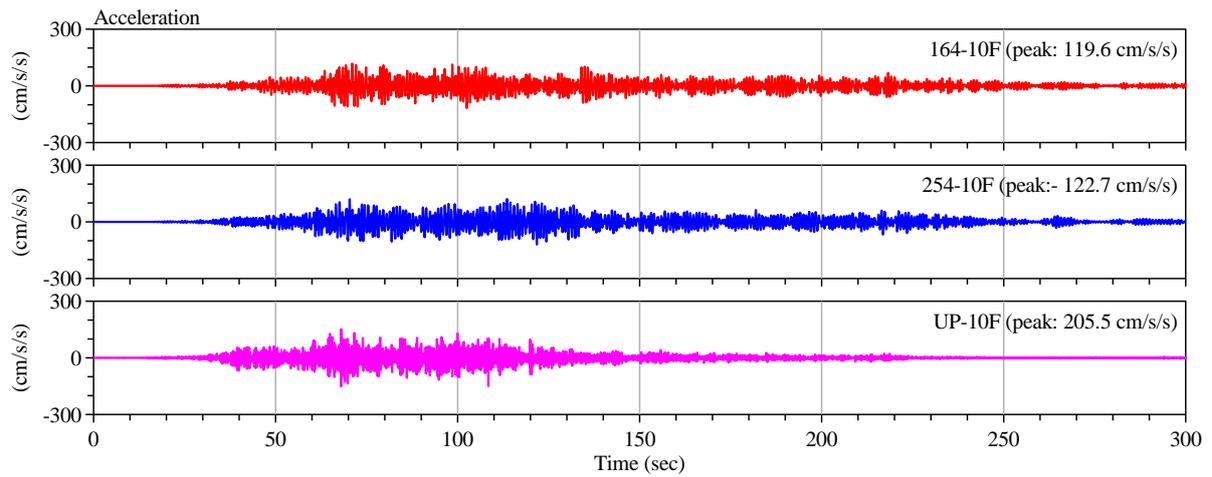


図 4.3-4 10階(10F)の加速度記録

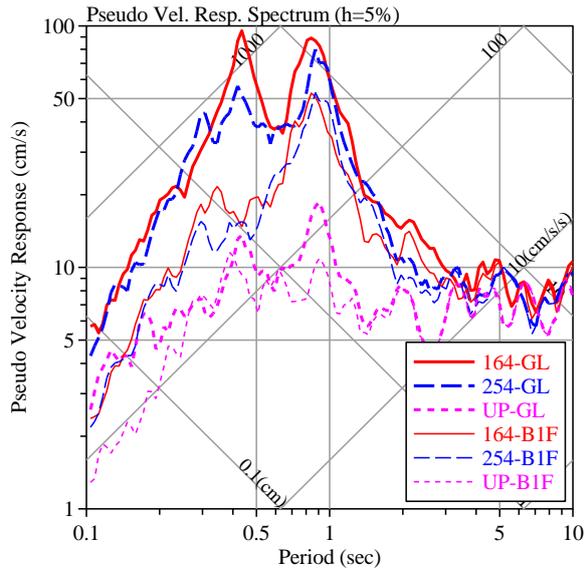


図 4.3-5 地表(GL)と基礎上(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

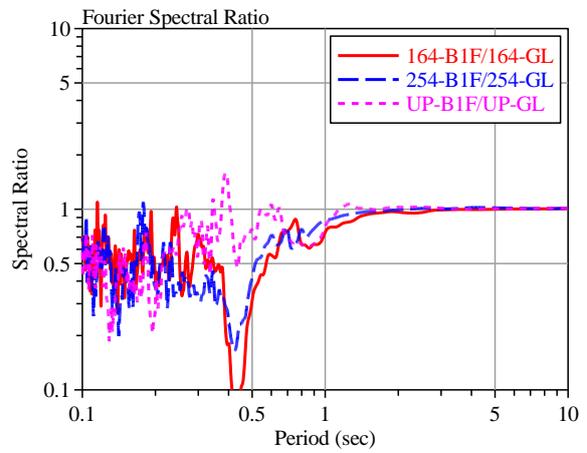


図 4.3-6 基礎上(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

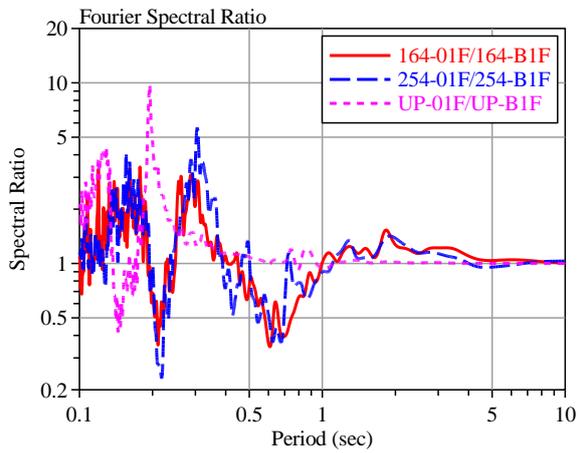


図 4.3-7 1階(01F)の基礎上(B1F)に対するフーリエスペクトル比

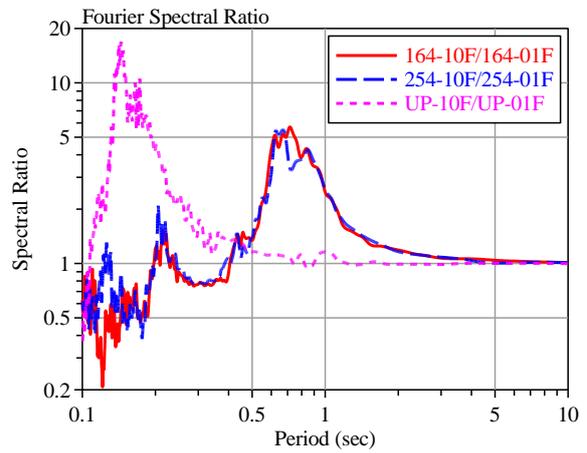


図 4.3-8 10階(10F)の1階(01F)に対するフーリエスペクトル比

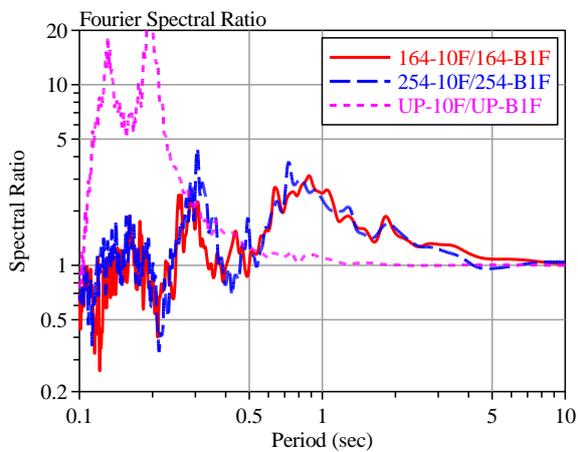


図 4.3-9 10階(10F)の基礎上(B1F)に対するフーリエスペクトル比

4.3.2 つくば市庁舎(TKC)の強震記録

つくば市庁舎は、茨城県つくば市に建つ、地上 7 階建てのプレキャストプレストレストコンクリート造の免震建物である。強震計は、建物基礎(免震層下部、B1F)、1 階(免震層上部、01F)、及び 6 階(06F)に、計 3 台設置している。図 4.3-10 から図 4.3-12 に、基礎(01F)、1 階(01F)、及び 6 階(06F)で得られた加速度記録を示す。基礎(01F)の記録から算出した計測震度は 5.2(震度 5 強)であった。基礎(01F)に比べて 1 階(01F)の水平方向の最大加速度は、1/3 以下に低減されており、免震装置の効果と考えられる。6 階(06F)の最大加速度は 1 階(01F)に比べて若干大きくなっているが、その値は 1.4 倍から 1.2 倍程度である。

図 4.3-13 に、基礎(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N004°E 方向、破線が N094°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。3.5 秒辺りの周期にピークが表れ、また、0.5 秒から 1.5 秒の周期領域で応答速度が 50 cm/s を超えている。同じつくば市内の、教員研修センター(NCTD)や建築研究所(ANX)の記録とも少々様相が異なる。

図 4.3-14 は 1 階(01F)の基礎(01F)に対するフーリエスペクトル比で、免震層の上下の記録を比較したものである。2 秒辺りで若干盛り上がり、0.5 秒付近が深い谷となっている。図 4.3-15 は 6 階(06F)の 1 階(01F)に対するフーリエスペクトル比で、上部構造の特性を反映したものである。0.45 秒辺りに両方向とも明瞭なピークを有し、上部構造の 1 次固有周期と判断できる。図 4.3-16 は 6 階(06F)の基礎(01F)に対するフーリエスペクトル比で、免震建物として全体の特性を見たものである。2 秒前後に周期に緩やかな山があり、全体系の 1 次固有振動と考えられる。上部構造の応答はほとんど増幅していない。

基礎(01F)と 6 階(06F)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.3-17 と図 4.3-18 に示す。基礎(01F)の変位は 100 秒から 150 秒過ぎの時間で大きく、最大変位は両水平方向とも 10 cm を超える。免震装置と建物の変位が加わった 6 階(06F)の変位の最大値は、水平方向で 13 cm から 11 cm と、基礎(01F)と比べてそれほど大きくなっていない。図 4.3-19 と図 4.3-20 は、それぞれ基礎(01F)と 6 階(06F)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。6 階(06F)の変位軌跡は基礎(01F)より振幅が大きめだが、両者の様相はよく似ている。

図 4.3-21 に 1 階(01F)の基礎(01F)に対する相対変位の時刻歴を、図 4.3-22 にその水平面内軌跡を示す。1 階(01F)の変位から基礎(01F)の変位を引いたもので、免震層の変位に相当する。免震層の最大変位は、N094°E 方向で 6 cm ほどで、水平面内でみると南東方向の 6.8 cm となる。

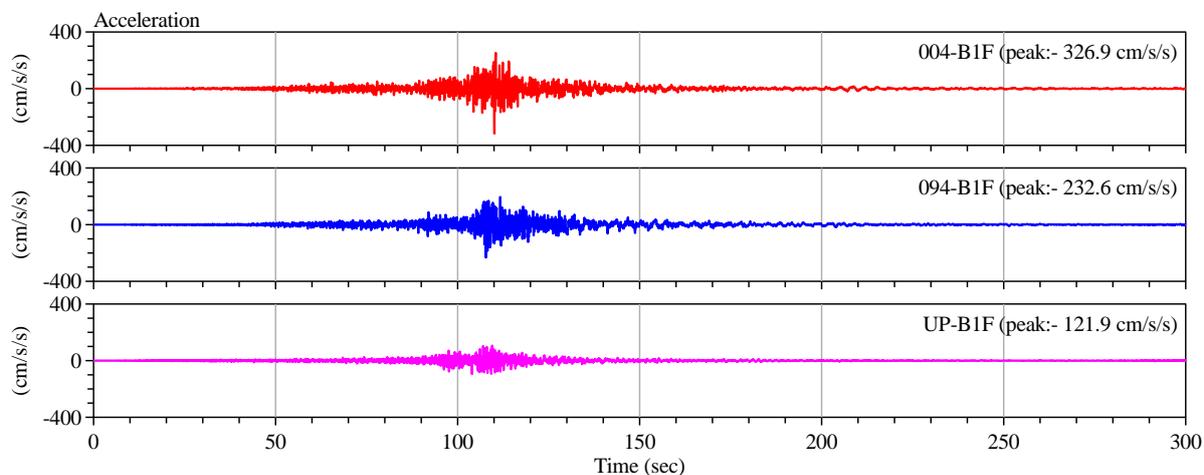


図 4.3-10 基礎(01F)の加速度記録

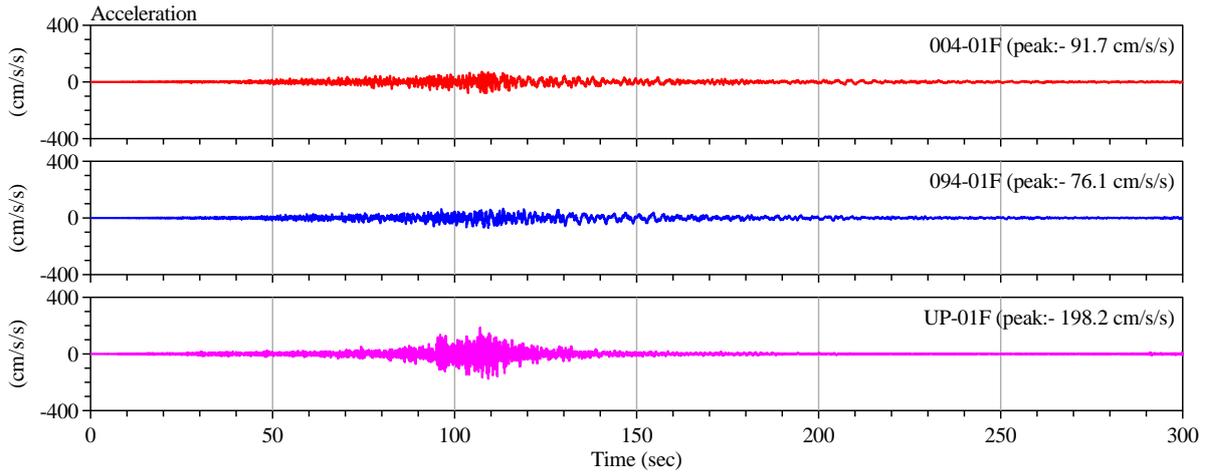


図 4.3-11 1階(01F)の加速度記録

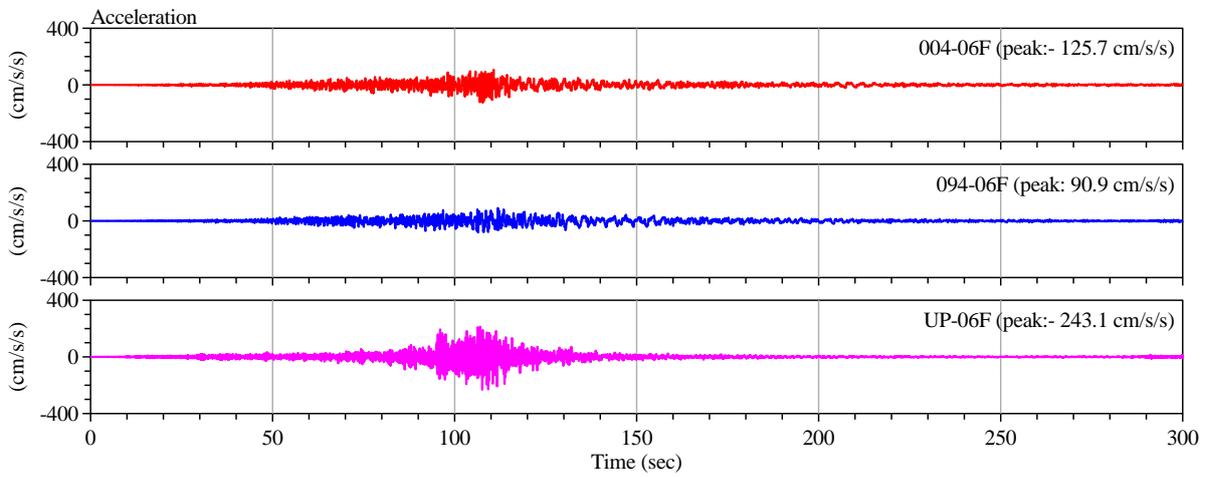


図 4.3-12 6階(06F)の加速度記録

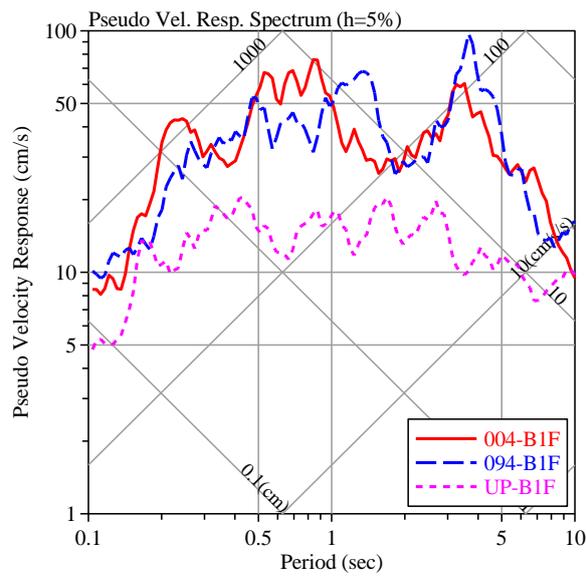


図 4.3-13 基礎上(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

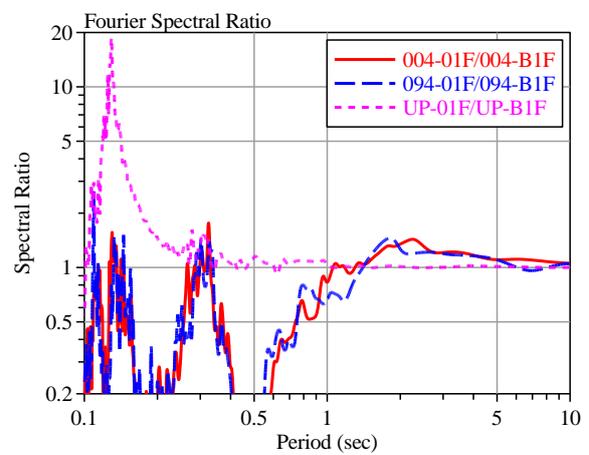


図 4.3-14 1階(01F)の基礎上(B1F)に対するフーリエスペクトル比

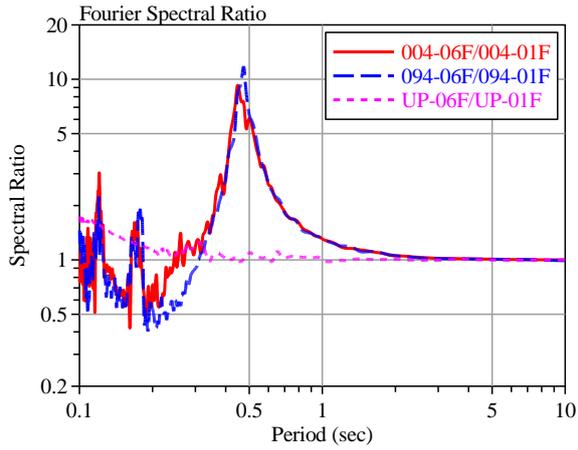


図 4.3-15 6階(06F)の1階(01F)に対するフーリエスペクトル比

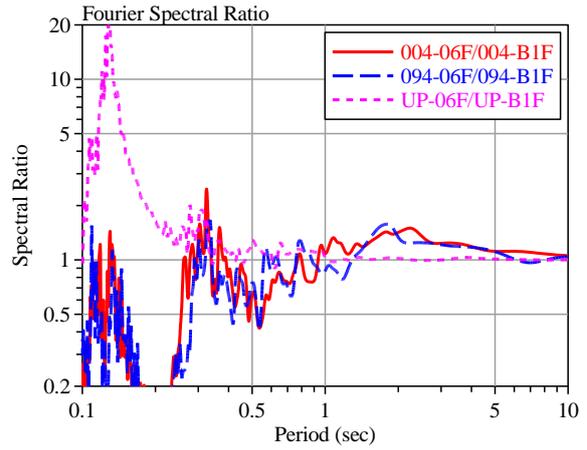


図 4.3-16 6階(06F)の基礎(B1F)に対するフーリエスペクトル比

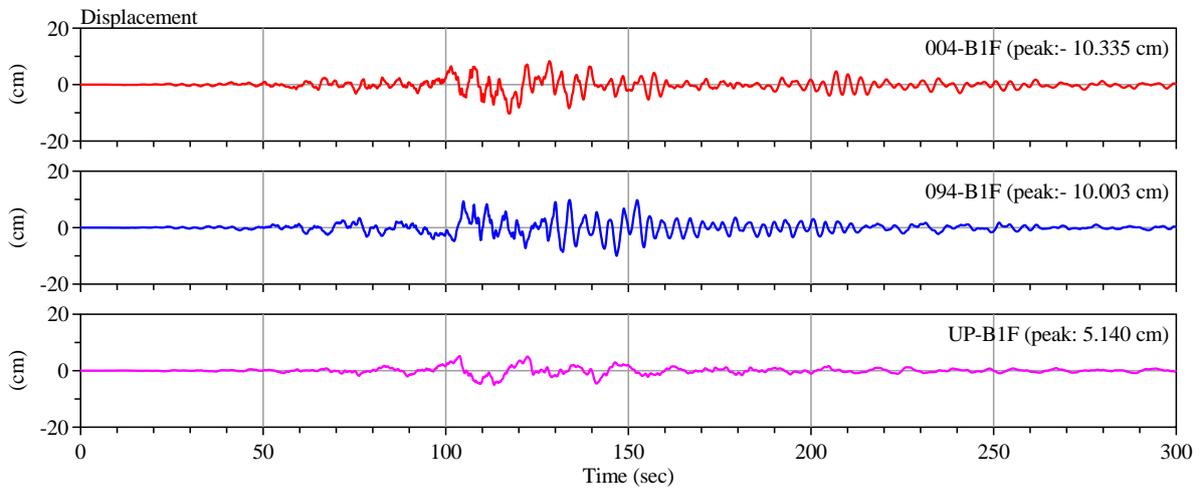


図 4.3-17 基礎上(B1F)の変位記録

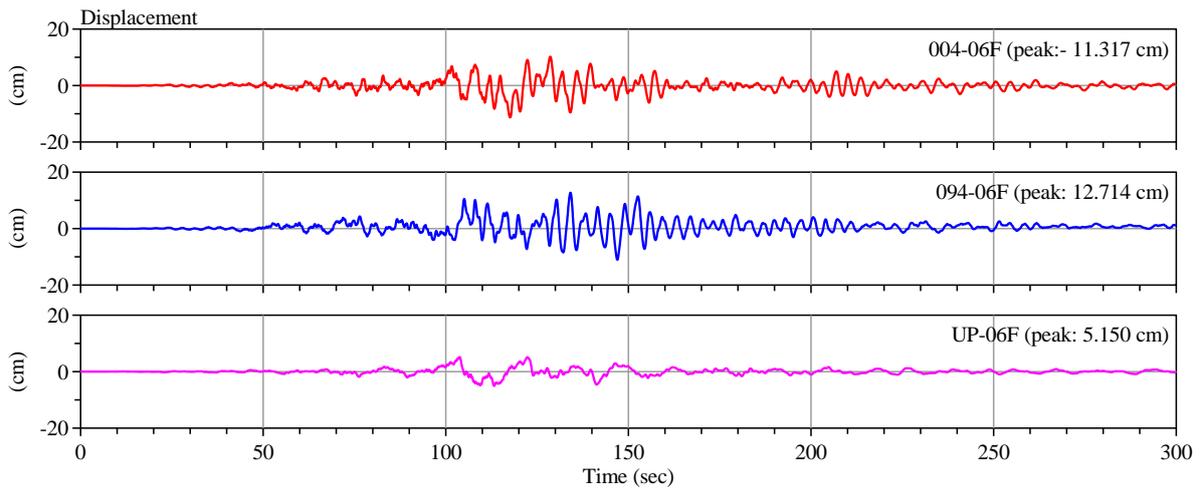


図 4.3-18 6階(06F)の変位記録

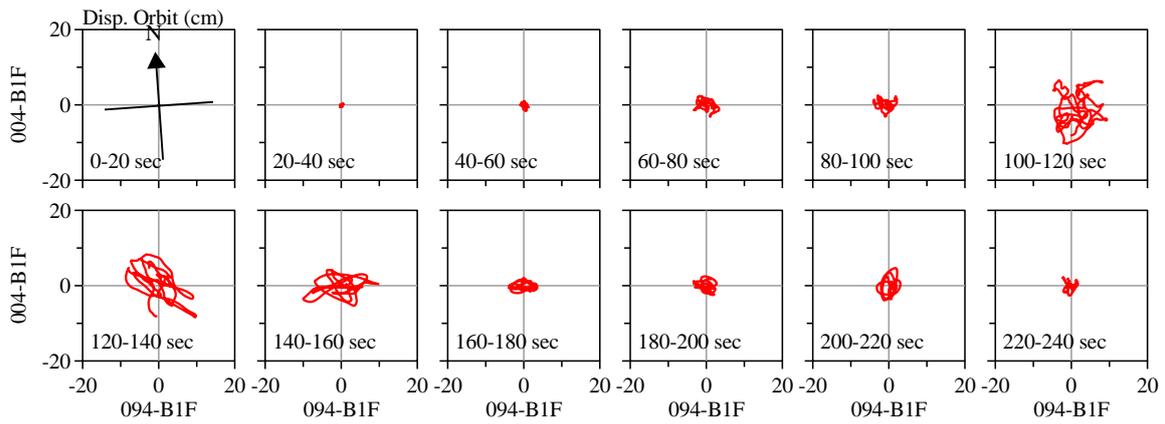


図 4.3-19 基礎上(B1F)の変位の水平面内軌跡

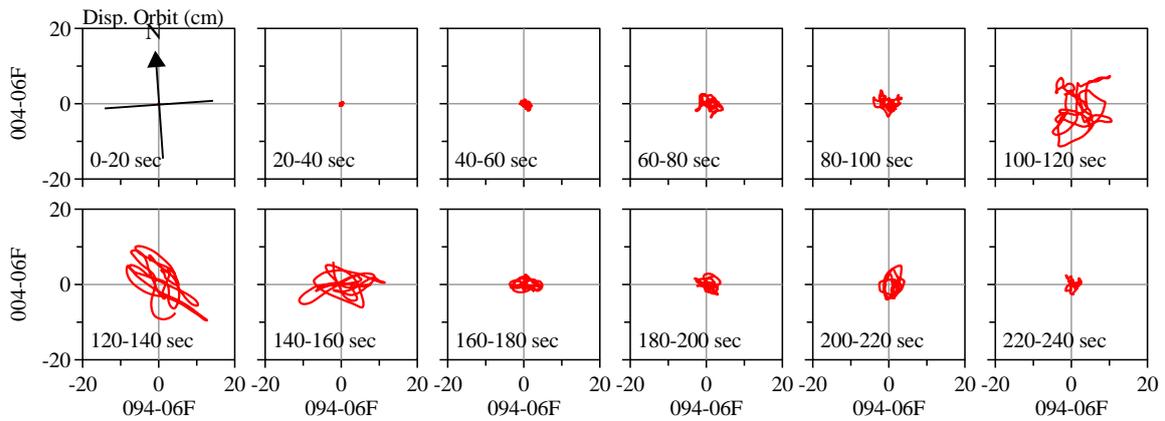


図 4.3-20 6階(06F)の変位の水平面内軌跡

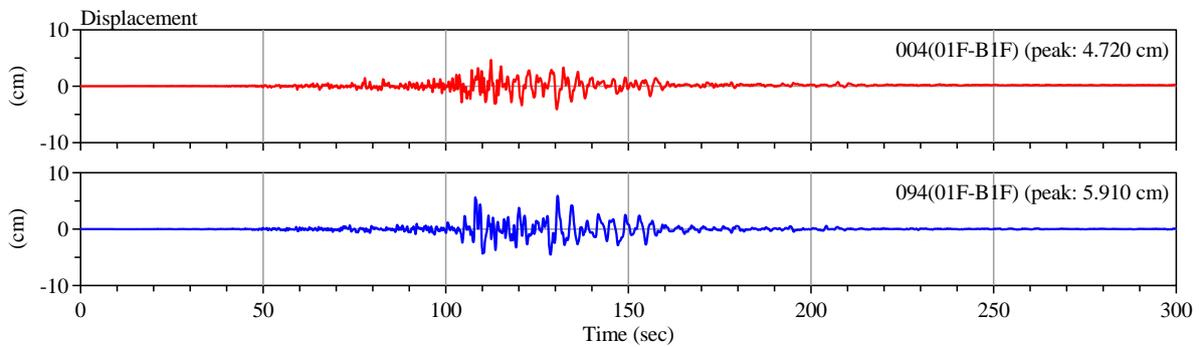


図 4.3-21 1階(01F)の基礎上(B1F)に対する相対変位(免震層変位)

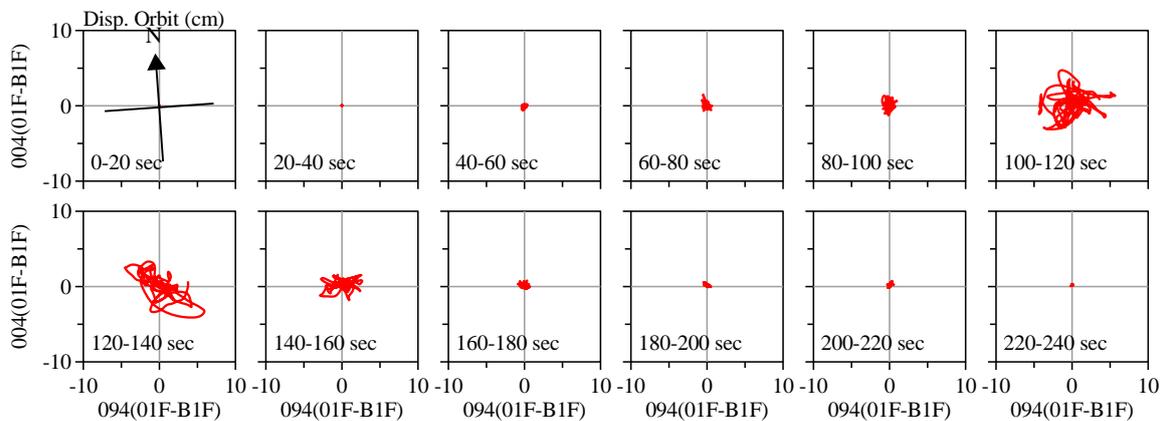


図 4.3-22 1階(01F)の基礎上(B1F)に対する相対変位(免震層変位)の水平面内軌跡

4.3.3 国立西洋美術館(NMW)の強震記録

国立西洋美術館は、東京都台東区に位置する、地上3階地下1階の鉄筋コンクリート造の免震建物である。強震計は地表(GL)1台、建物の基礎上に2台(B1FWとB1FE)、1階床梁下に2台(O1FWとO1FE)、及び屋上階(04F)に1台の、計6台の加速度計を有している^{4,3)}。図4.3-23から図4.3-26に地表(GL)、建物基礎(B1FW)、1階(O1FW)、及び屋上階(04F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の最大加速度は、N218°E方向で265 cm/s²、N308°E方向で194 cm/s²となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は、4.8(震度5弱)であった。建物基礎上(B1FW)の最大加速度は、それぞれ100 cm/s²と79 cm/s²となっており、地表(GL)に比べていずれも4割ほどに減少している。1階(O1FW)の最大加速度は、N218°E方向で76 cm/s²、N308°E方向で89 cm/s²となっており、屋上階(04F)の最大加速度は、それぞれ100 cm/s²、76 cm/s²となっている。最大加速度で見ると、建物基礎(B1FW)から屋上階(04F)までの大きな増幅は認められない。

図4.3-27に、地表(GL)と基礎上(B1FW)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が基礎上(B1FW)に対応し、実線がN218°E方向、破線がN308°E方向、点線がUP(上下)方向に対応する。地表(GL)の擬似速度応答スペクトルは、周期0.2秒から10秒にかけての広い周期範囲で平坦な形状を示しており、平均的な速度応答値は30 cm/s程度である。

図4.3-28に、基礎上(B1FW)の記録の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。1秒から周期が短くなるにつれてスペクトル比は低下し、0.2秒から0.3秒で谷となっている。

図4.3-29は1階(O1FW)の基礎上(B1FW)に対するフーリエスペクトル比で、免震層の上下の記録を比較したものである。1.4秒付近に山があり、0.3秒から0.5秒の周期領域が深い谷となっている。図4.3-30は屋上階(04F)の1階(O1FW)に対するフーリエスペクトル比で、上部構造の特性を反映したものである。ピークの形状は少々複雑だが、0.3秒から0.4秒に上部構造の1次固有周期があると考えられる。図4.3-31は屋上階(04F)の基礎上(B1FW)に対するフーリエスペクトル比で、免震建物として全体の特性を見たものである。両水平方向ともスペクトル比の1.4秒付近に山があり、全体系の1次固有振動と考えられる。

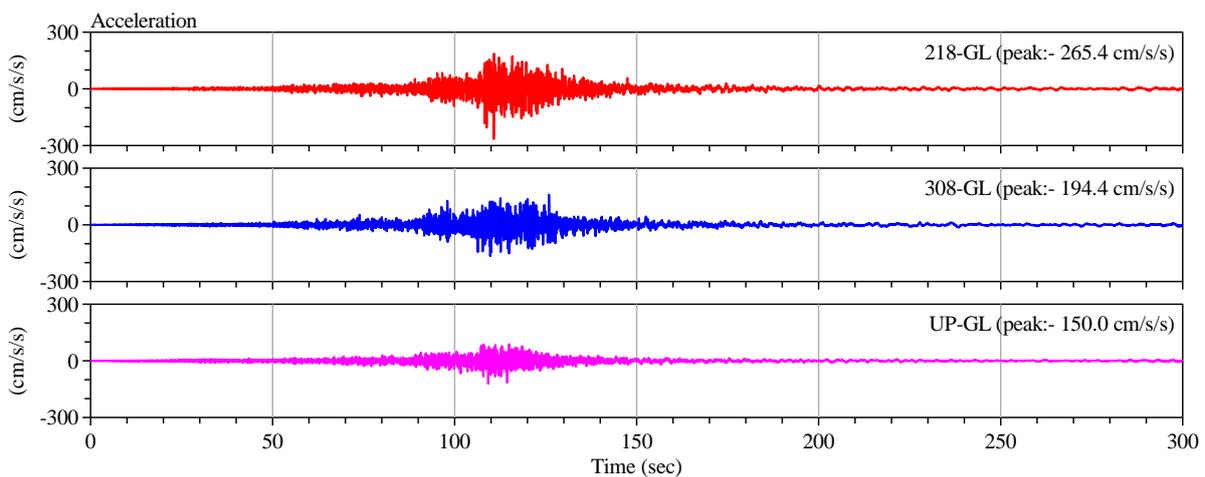


図 4.3-23 地表(GL)の加速度記録

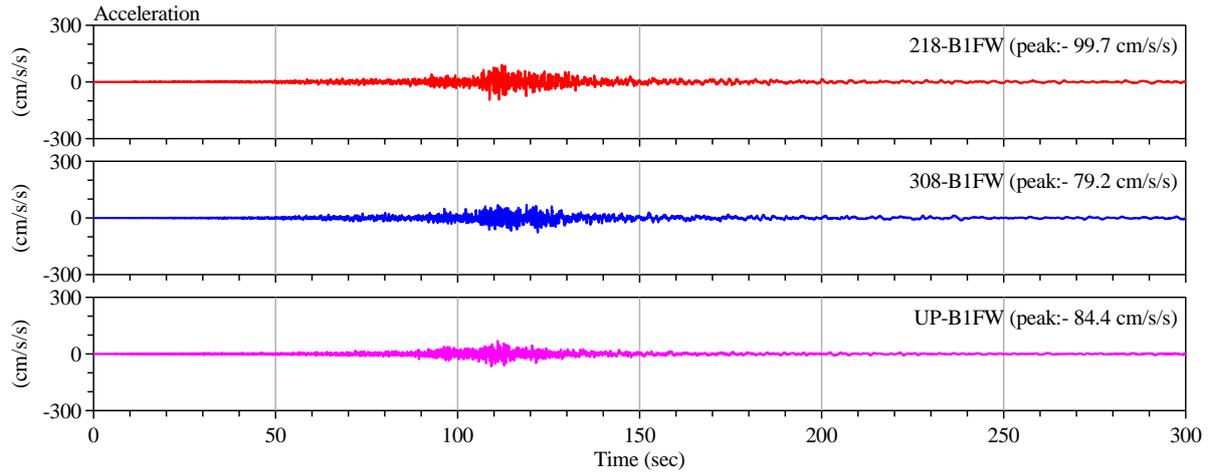


図 4.3-24 基礎上(B1FW)の加速度記録

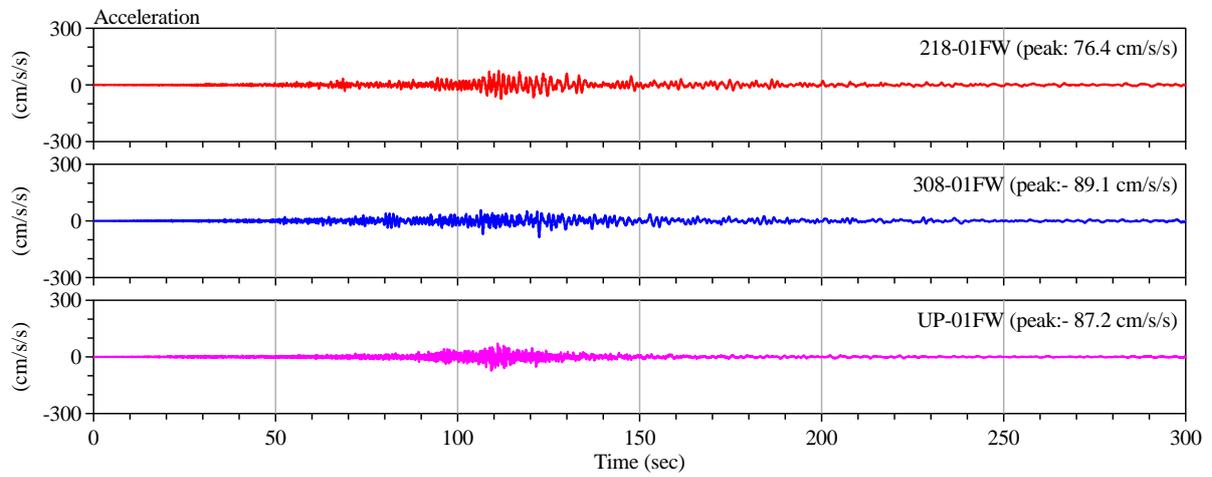


図 4.3-25 1階(01FW)の加速度記録

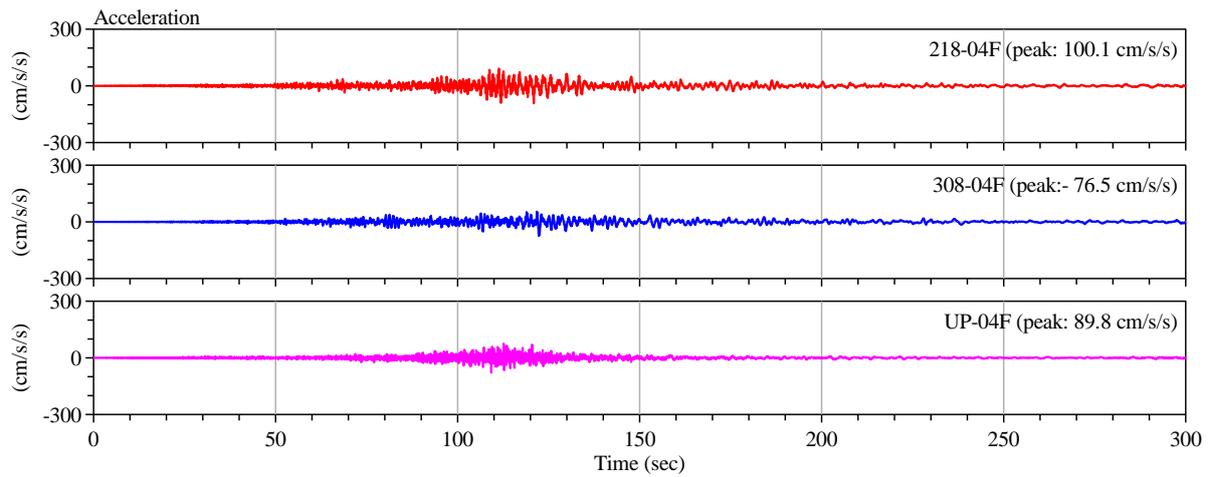


図 4.3-26 屋上階(04F)の加速度記録

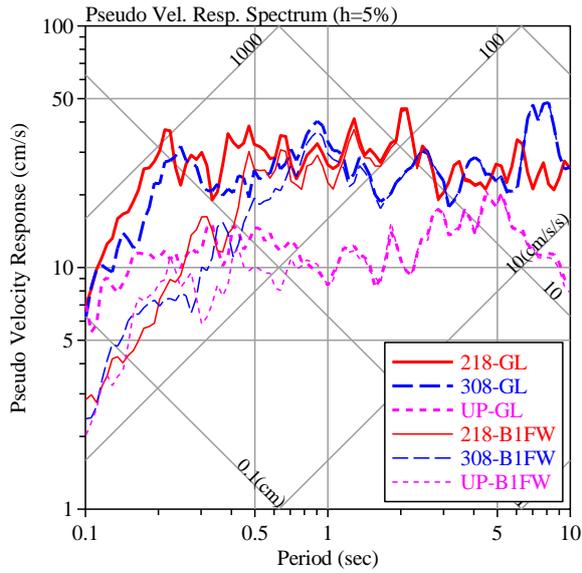


図 4.3-27 地表(GL)と基礎上(B1FW)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

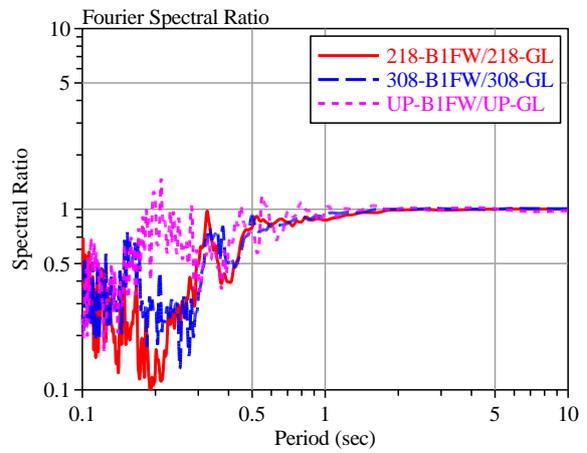


図 4.3-28 基礎上(B1FW)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

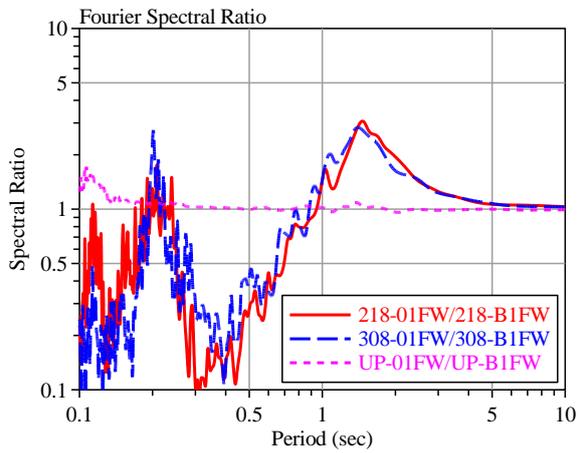


図 4.3-29 1階(01FW)の基礎上(B1FW)に対するフーリエスペクトル比

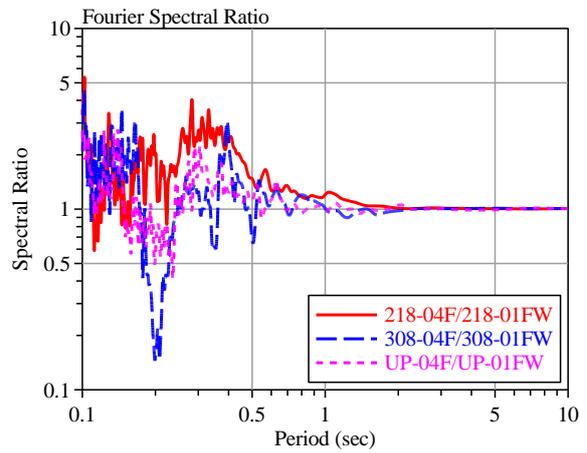


図 4.3-30 屋上階(04F)の1階(01FW)に対するフーリエスペクトル比

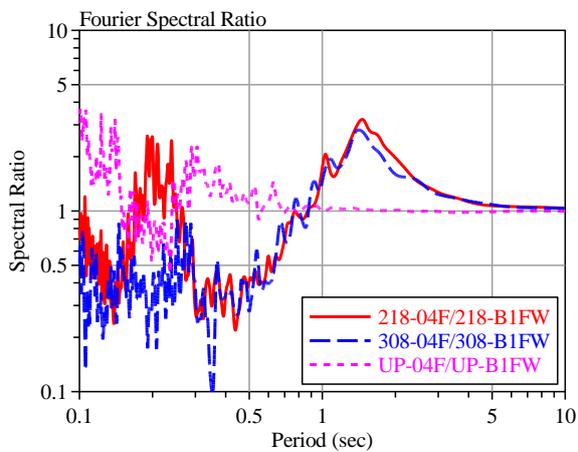


図 4.3-31 屋上階(04F)の基礎上(B1FW)に対するフーリエスペクトル比

4.3.4 中央合同庁舎 3 号館(CG3)の強震記録

中央合同庁舎 3 号館は、東京都千代田区に建つ、地上 7 階地下 2 階の鉄骨鉄筋コンクリート造の免震建物である。強震計は、免震層下部基礎上(B3F)、免震層上部(地下 2 階相当、B2F)、及び塔屋 1 階(08F)に、計 3 台の加速度計を有する。図 4.3-32 から図 4.3-34 に、基礎上(B3F)、地下 2 階(B2F)、及び塔屋 1 階(08F)にて得られた加速度記録を示す。基礎上(B3F)の水平方向の最大加速度は 100 cm/s^2 前後で、基礎上(B3F)の記録から算出した計測震度は、4.5(震度 5 弱)であった。免震層の上にあたる地下 2 階(B2F)の水平方向の最大加速度は 50 cm/s^2 前後で、基礎上(B3F)の半分程度に低減されている。また、塔屋 1 階(08F)の水平方向の最大加速度は、 100 cm/s^2 に満たない。

図 4.3-35 に、基礎上(B3F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N208°E 方向、破線が N298°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.5 秒から長周期側で漸増する傾向があり、N208°E 方向では 3.2 秒、N298°E 方向では 6.7 秒で最大となり、速度応答値が 40 cm/s を超えている。

図 4.3-36 は地下 2 階(B2F)の基礎上(B3F)に対するフーリエスペクトル比で、免震層の上下の記録を比較したものである。スペクトル比は 2 秒辺りで若干盛り上がり、0.8 秒から 0.9 秒付近が深い谷となっている。図 4.3-37 は塔屋 1 階(08F)の地下 2 階(B2F)に対するフーリエスペクトル比で、上部構造の特性を反映したものである。0.85 秒前後に両水平方向とも明瞭なピークを有し、上部構造の 1 次固有周期と判断できる。図 4.3-38 は塔屋 1 階(08F)の基礎上(B3F)に対するフーリエスペクトル比で、免震建物として全体の特性を見たものである。1 秒から 2 秒にかけての緩やかな山が全体系の 1 次固有振動に対応すると考えられる。

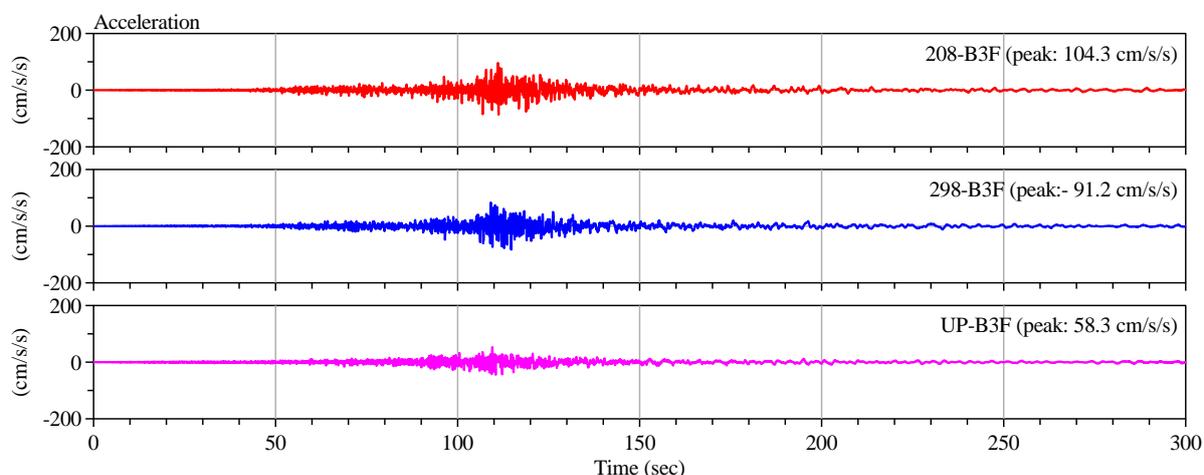


図 4.3-32 基礎上(B3F)の加速度記録

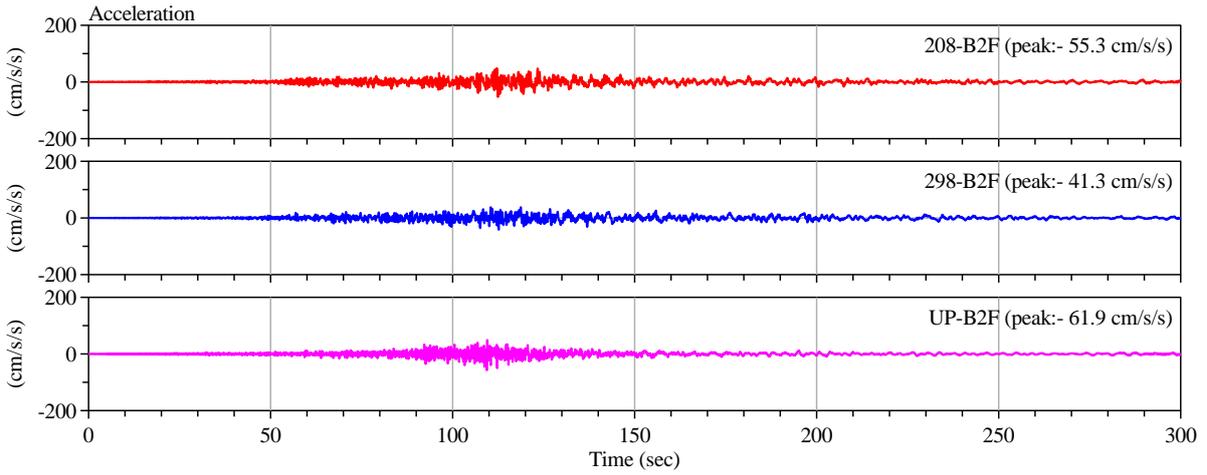


図 4.3-33 地下 2 階(B2F)の加速度記録

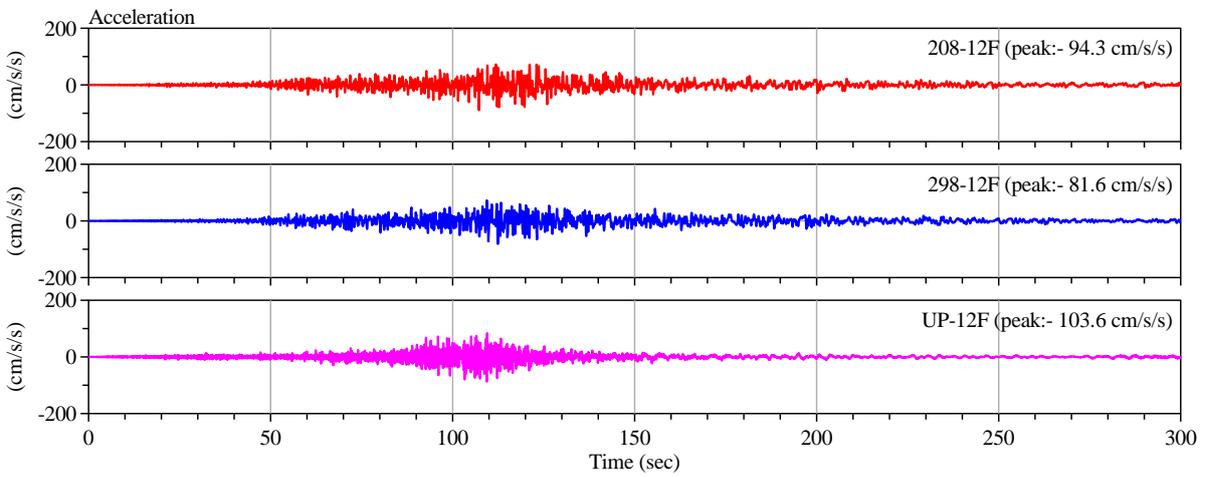


図 4.3-34 塔屋 1 階(12F)の加速度記録

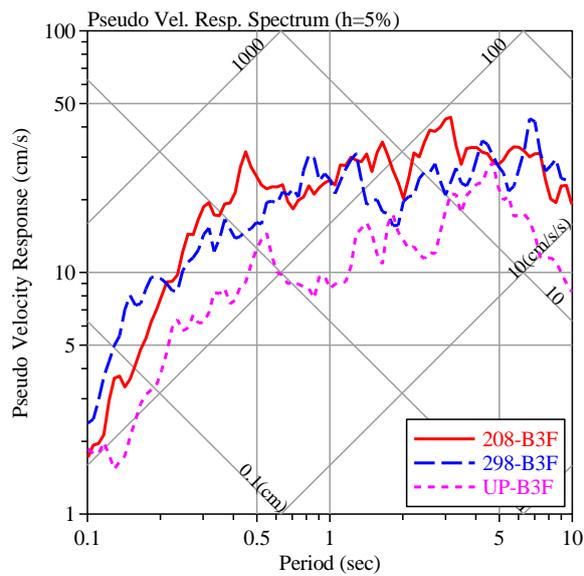


図 4.3-35 基礎上(B3F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

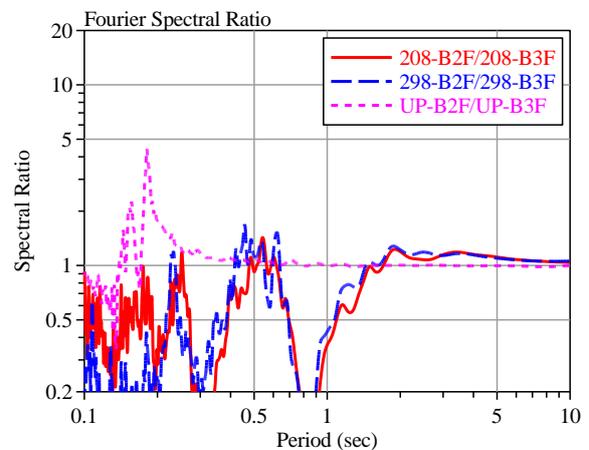


図 4.3-36 地下 2 階(B2F)の基礎上(B3F)に対するフーリエスペクトル比

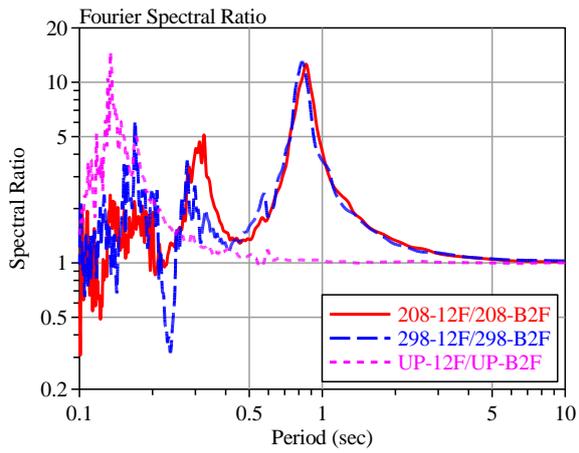


図 4.3-37 塔屋 1 階(12F)の地下 2 階(B2F)に対するフーリエスペクトル比

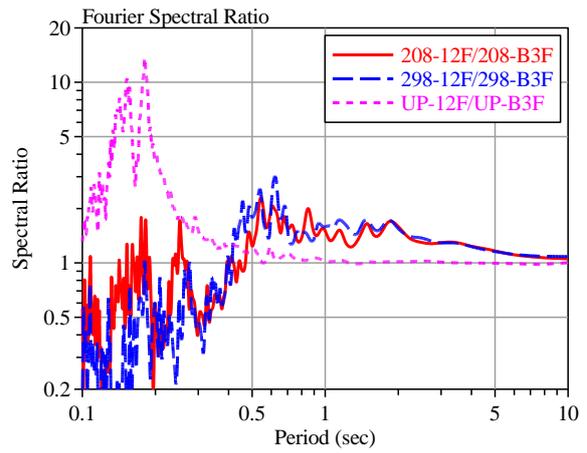


図 4.3-38 塔屋 1 階(12F)の基礎上(B3F)に対するフーリエスペクトル比

4.4 地表に加速度計を有する建物の強震記録

本節では、超高層や免震以外の建物のうち、地表に加速度計を設置している建物で、地表で観測された震度が5弱以上の建物の強震記録を取り扱う。対象となる建物を表4.4-1に示す。震度をみると、震度5強が6棟、震度5弱が6棟となっている。これらの建物では、上部構造の振動特性に加え、地表と建物基礎部の記録を比較することにより、地盤と建物の動的相互作用の影響を検討することができる。4.4.1項以降に、各建物で得られた強震観測記録を示す。

表 4.4-1 対象建物一覧

項	記号	観測地点	計測震度	構造/階数	特徴
4.4.1	MYK	宮古市庁舎	4.8	RC/7F	地震後に津波で被災
4.4.2	NCTD	教員研修センター	5.4	RC/7F	
4.4.3	ANX	建築研究所	5.3	SRC/8F+B1F	RC壁や仕上げ、エキスパンションジョイントに被害
4.4.4	YCY	八千代市庁舎新館	5.3	RC/6F+B1F	
4.4.5	NIT	日本工業大学	5.1	RC/6F	
4.4.6	MST	三郷市庁舎	4.9	SRC/7F+B1F	
4.4.7	FNB	船橋市総合教育センター	4.7	RC/8F	
4.4.8	CHB	千葉第2合同庁舎	4.9	SRC/8F+B1F	
4.4.9	TDS	戸田市庁舎	5.0	SRC/8F+B1F	
4.4.10	UTK	東京大学工学部11号館	4.7	SRC/9F	
4.4.11	TUF	東京海洋大学品川国際交流会館	5.0	SRC/7F	
4.4.12	KDI	国土交通大学校	4.6	RC/3F	

注) 構造/階数: 構造はRCが鉄筋コンクリート造、SRCが鉄骨鉄筋コンクリート造を表す。階数は地上階+地下階。

4.4.1 宮古市庁舎(MYK)の強震記録

宮古市庁舎は、岩手県宮古市に位置する、地上 7 階建ての鉄筋コンクリート造建物である。強震計は敷地内地表(GL)、建物の 1 階(01F)、及び 7 階(07F)に、計 3 台の加速度計を有している。図 4.4-1 から図 4.4-3 に地表(GL)、1 階(01F)、及び 7 階(07F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は両方向とも 174 cm/s^2 となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 4.8(震度 5 弱)であった。一方、1 階(01F)の最大加速度は、N167°E 方向で 138 cm/s^2 、N257°E 方向で 122 cm/s^2 となっており、地表(GL)と比較して 8 割から 7 割に減少している。建物 7 階(07F)の最大加速度は、N167°E 方向で 246 cm/s^2 、N257°E 方向で 197 cm/s^2 と、1 階(01F)の最大加速度の 1.8 倍から 1.6 倍となっている。また、地表(GL)の上下方向の加速度記録には、時刻 50 秒に大振幅の周期の短い波動が表れ最大加速度は 240 cm/s^2 に及んでいる。この波動は建物の中にも伝わって 7 階(07F)の最大加速度は 359 cm/s^2 に達している。

図 4.4-4 に、地表(GL)と 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が N167°E 方向、破線が N257°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。いずれの記録の擬似速度応答スペクトルも、周期 1.2 秒辺りに応答速度が 70 cm/s に達するピークを有するが、他の周期領域では応答速度が 20 cm/s 前後と大きな値ではない。1 階(01F)と地表(GL)は 1 秒以下の短周期領域で違いが表れている。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-5 に示す。相互作用を含んだ 1 次固有周期(0.7 秒)辺りでスペクトル比は 1 を上回り、それより短い周期領域のスペクトル比は 1 を下回っている。ちなみに、上部構造のアスペクト比は、N167°E 方向で 0.6、N257°E 方向で 1.1 である。

図 4.4-6 と図 4.4-7 に、7 階(07F)の記録の地表(GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。7 階(07F)/1 階(01F)のフーリエ振幅スペクトル比(図 4.4-7)をみると、N167°E 方向で 0.45 秒、N257°E 方向で 0.59 秒に一次固有周期に対応するピークが表れるが、7 階(07F)/地表(GL)のフーリエ振幅スペクトル比(図 4.4-6)ではそれぞれ 0.73 秒と 0.71 秒に延びており、その差は地盤と建物の動的相互作用の影響が表れたものと考えられる。

なお、その後到来した津波によって庁舎は 2 階まで冠水し、地表と 1 階の加速度計は機能を失った。

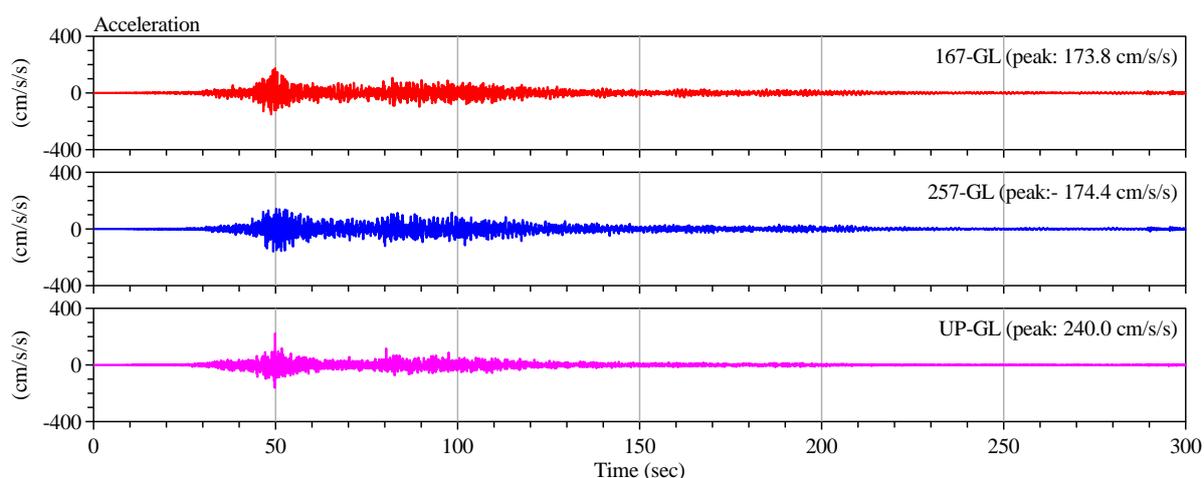


図 4.4-1 地表(GL)の加速度記録

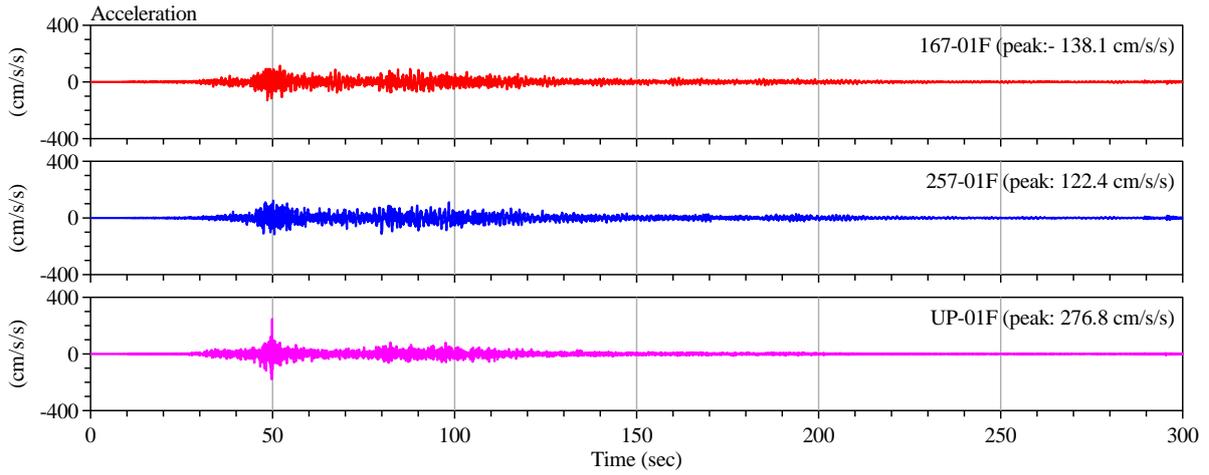


図 4.4-2 1 階(01F)の加速度記録

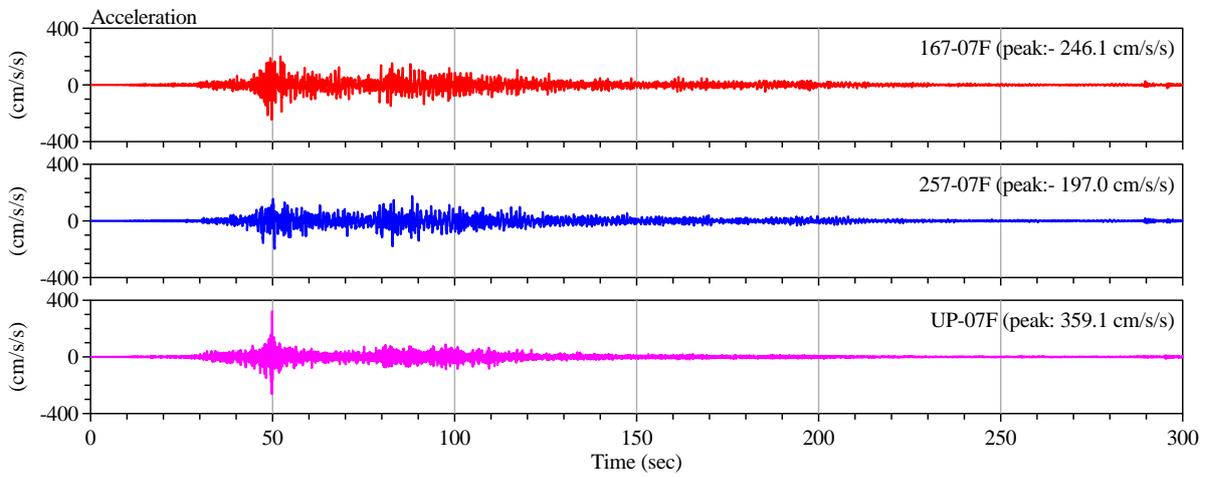


図 4.4-3 7 階(07F)の加速度記録

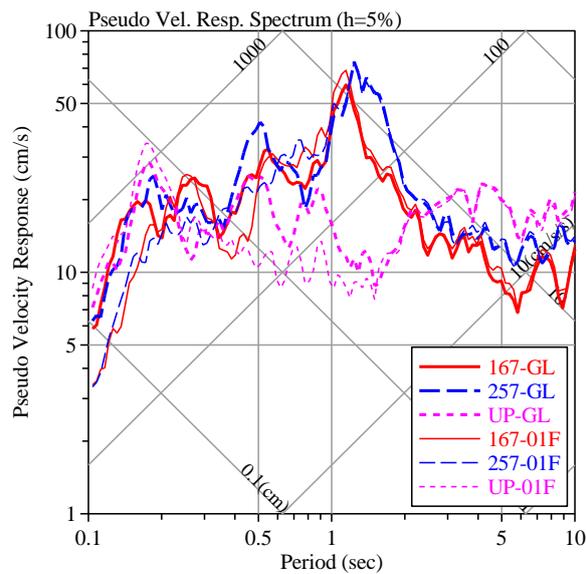


図 4.4-4 地表(GL)と 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

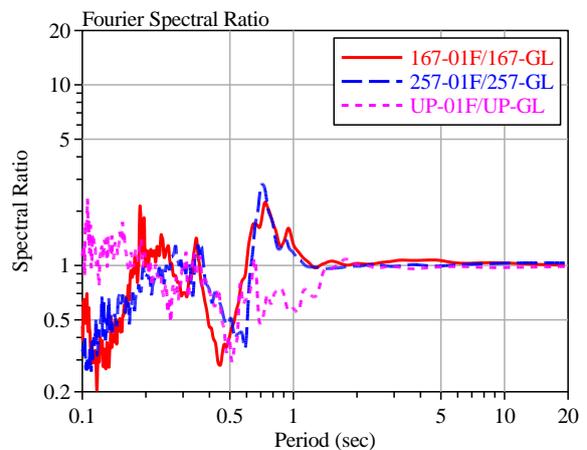


図 4.4-5 1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

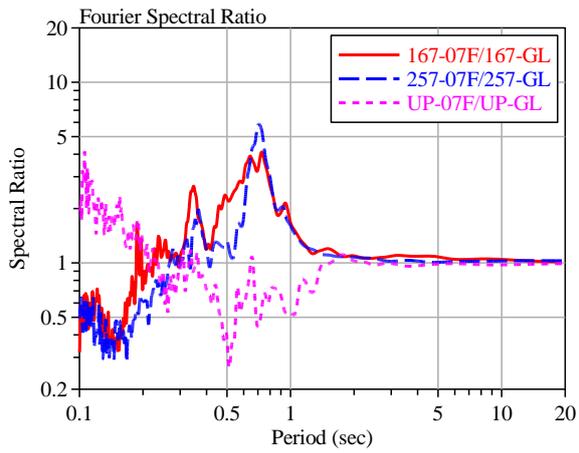


図 4.4-6 7階(07F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

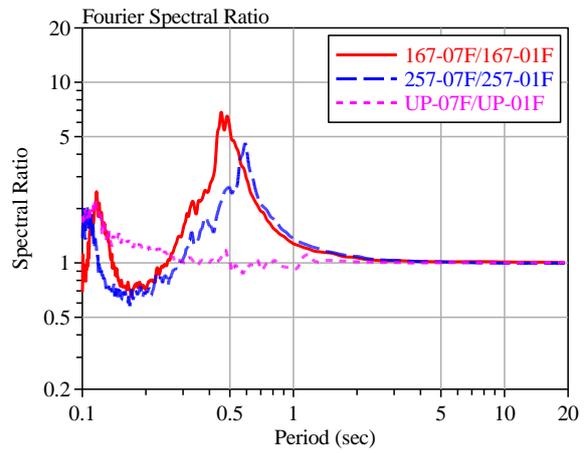


図 4.4-7 7階(07F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.2 教員研修センター(NCTD)の強震記録

教員研修センターは茨城県つくば市に位置し、強震観測の対象は地上 8 階建ての鉄筋コンクリート造の宿泊棟である。強震計は、地表(GL)、建物の 1 階に 3 台(1FE, 1FEs, 1FS)、8 階に 2 台(8FE, 8FW)の計 6 台設置されている⁴⁴⁾。建物は短辺(N350°E)方向が 9.6 m、長辺(N040°E)方向が 54.7 m と非常に細長い形状をしている。図 4.4-8 から図 4.4-10 に地表(GL)、1 階(1FE)、及び 8 階(8FE)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は両方向とも 370 cm/s^2 を超えており、地表の記録から算出した計測震度は 5.4(震度 5 強)であった。1 階(1FE)の加速度記録を見ると、N350°E 方向の最大加速度は 296 cm/s^2 と地表に比べ 8 割ほどに減少しているが、N080°E 方向の最大加速度は 374 cm/s^2 と地表と大きな差はない。8 階(8FE)の最大加速度は、N350°E 方向で 798 cm/s^2 、N080°E 方向で 593 cm/s^2 と、1 階(1FE)の 2.6 倍から 1.6 倍の値を示している。

図 4.4-11 に、地表(GL)と 1 階(1FE)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(1FE)に対応し、実線が N350°E 方向、破線が N080°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、周期 1.3 秒と 3 秒に顕著なピークを有しており、N080°E 方向の周期 1.3 秒の応答は 100 cm/s を超えている。1 階(1FE)と地表(GL)の擬似速度応答スペクトルは 1 秒以上の周期領域ではほぼ一致しているが、1 秒以下の短周期領域では違いが表れている。

1 階(1FE)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-12 に示す。山谷の多い複雑な形状をしており、入力の低減効果は明瞭ではない。図 4.4-13 と図 4.4-14 に、8 階(8FE)の記録の地表(GL)と 1 階(1FE)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。N080°E 方向では、地盤と建物の相互作用による周期の伸びと減衰の増大が窺えるが、N350°E 方向の特性は複雑である。

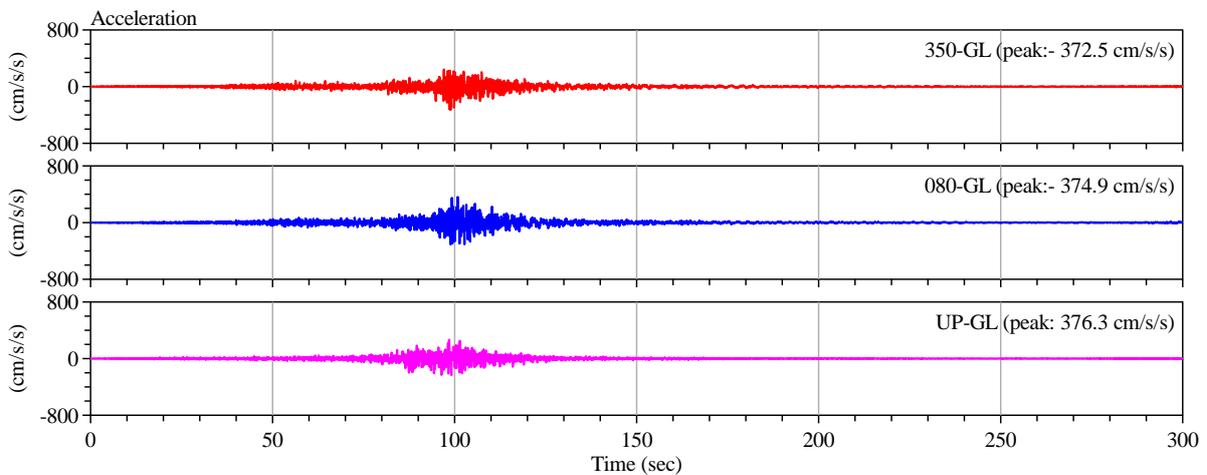


図 4.4-8 地表(GL)の加速度記録

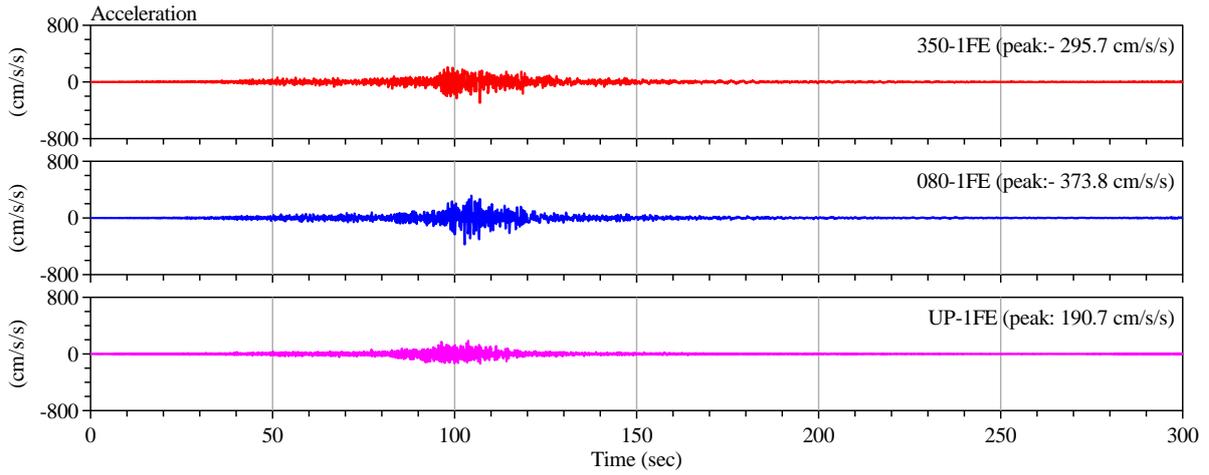


図 4.4-9 1 階(1FE)の加速度記録

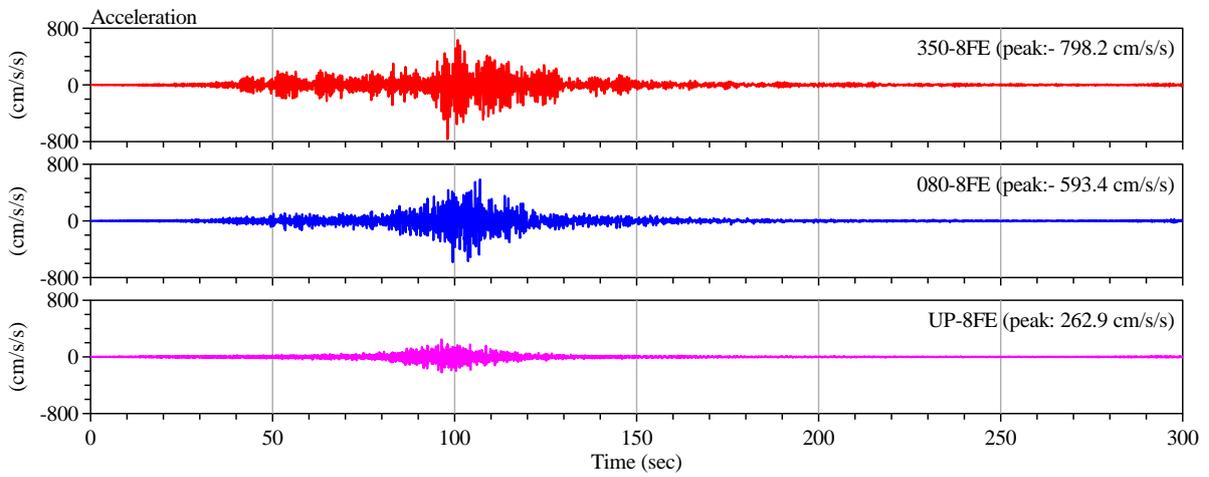


図 4.4-10 8 階(8FE)の加速度記録

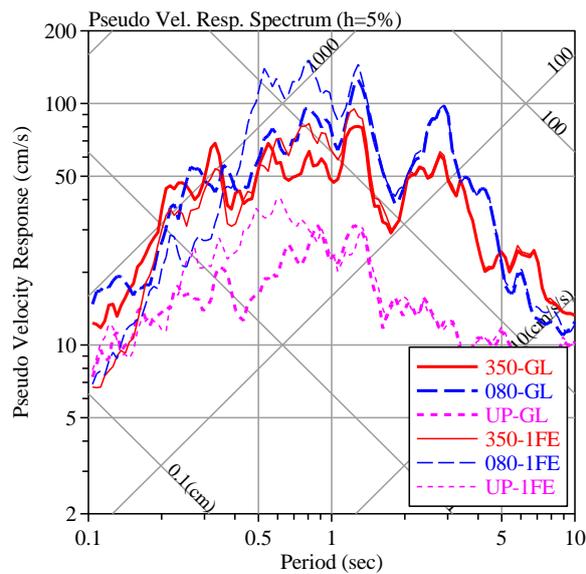


図 4.4-11 地表(GL)と1階(1FE)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

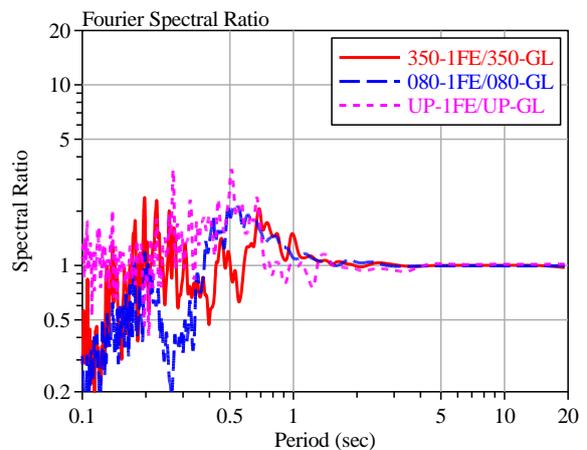


図 4.4-12 1 階(1FE)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

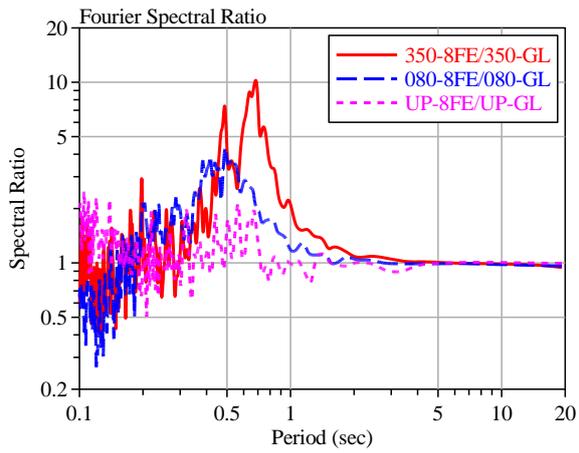


図 4.4-13 8階(8FE)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

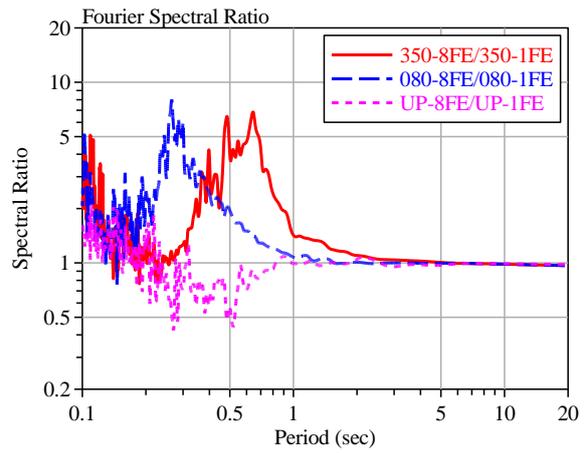


図 4.4-14 8階(8FE)の1階(1FE)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.3 建築研究所(ANX)の強震記録

茨城県つくば市の建築研究所での強震観測は、管理研究本館(以下本館と呼ぶ)と都市防災研究センター棟(以下新館と呼ぶ)の2棟の建物と敷地地盤を対象としている。本館は地上7階、地下1階の鉄骨鉄筋コンクリート造、新館は地上8階、地下1階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、エキスパンションジョイントを有する渡り廊下で接続されている。2011年東北地方太平洋沖地震では、新館本館とも、コンクリート壁の亀裂や、仕上げ材の亀裂・損傷、渡り廊下の天井材の落下など、非構造部材を中心に少なからぬ損傷を受けている^{4,5)}。強震計は、地盤上と地中に7台、新館建物内に11台、本館建物内に4台の加速度計を有している。本節では新館の記録について述べる。

図4.3-15から図4.3-17に地表(A01)、新館地下1階(BFE)、及び新館8階(8FE)で得られた加速度記録を示す。地表(A01)の水平方向の最大加速度はN180°E方向で 279 cm/s^2 となっており、地表の記録から算出した計測震度は5.3(震度5強)であった。地下1階(BFE)の最大加速度は、N180°E方向で 194 cm/s^2 、N270°E方向で 191 cm/s^2 と地表に比べ7割から8割に減少している。新館8階(8FE)の最大加速度は、N180°E方向で 597 cm/s^2 、N270°E方向で 506 cm/s^2 と大きな値を示し、地下1階(BFE)の3.0倍から2.6倍となっている。

図4.3-18に、地表(A01)と地下1階(BFE)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が地下1階(BFE)に対応し、実線がN180°E方向、破線がN270°E方向、点線がUP(上下)方向を表す。擬似速度応答スペクトルは、隣接する教員研修センター(NCTD)と同様に、周期1.3秒と3秒に顕著なピークを有しており、周期1.3秒の応答速度は両水平方向で 100 cm/s を超えている。また3秒のピークはN270°E方向で特に顕著で、応答速度はやはり 100 cm/s を超える。

地下1階(BFE)の地表(A01)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.3-19に示す。0.8秒より低い周期領域で、スペクトル比は緩やかに低下しており、地表に比べて地下1階で地震動入力が高減している様子が窺える。

図4.3-20と図4.3-21に、8階(8FE)の記録の地表(A01)と地下1階(BFE)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。8階(8FE)/地表(A01)と8階(8FE)/地下1階(BFE)のスペクトル比の形状はよく似ており、この場合、地盤と建物の相互作用の影響は、大きくないと考えられる。

地下1階(BFE)と8階(8FE)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図4.3-22と図4.3-23に示す。地下1階(BFE)の変位は100秒から150秒辺りの時間で大きく、最大変位は両水平方向とも 10 cm を超える程度である。8階(8FE)の変位は、建物の応答変位が加わって、最大変位は両水平方向とも 15 cm を超える。図4.3-24と図4.3-25は、それぞれ地下1階(BFE)と8階(8FE)の変位記録の水平面内軌跡を、20秒ごとに描画したものである。地下1階(BFE)及び8階(8FE)の変位のいずれにも、特筆すべき振動の方向性は表れていない。

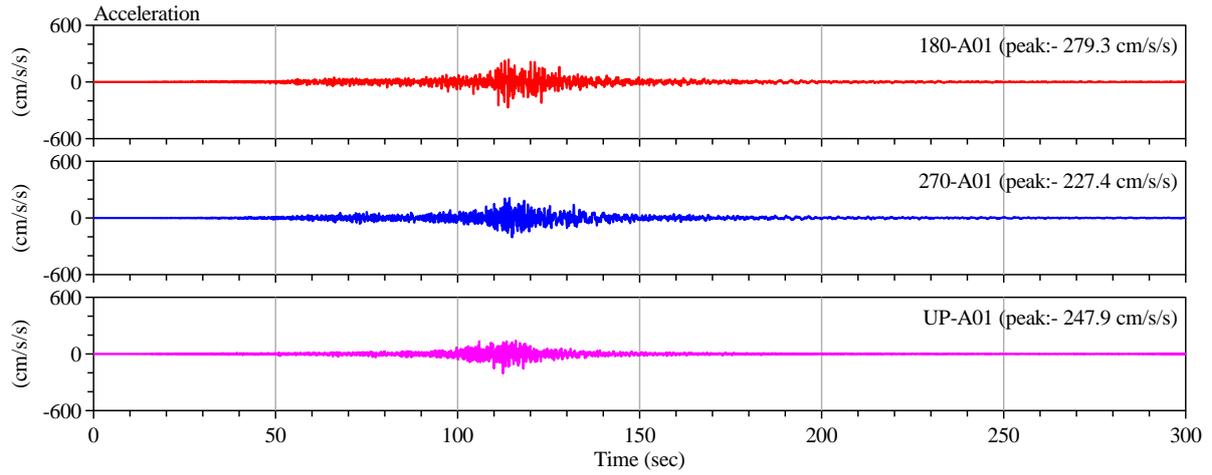


図 4.4-15 地表(A01)の加速度記録

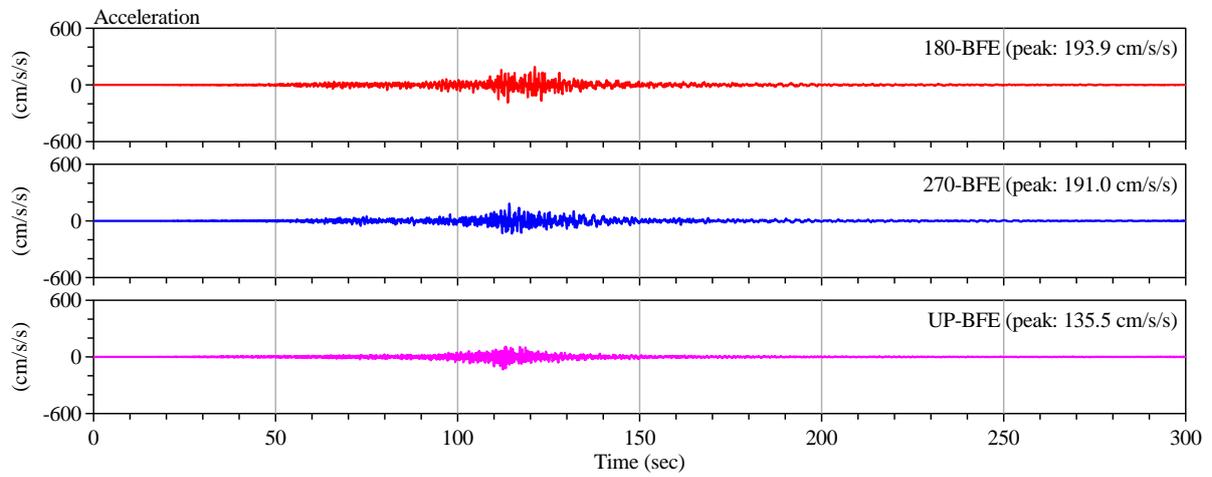


図 4.4-16 地下1階(BFE)の加速度記録

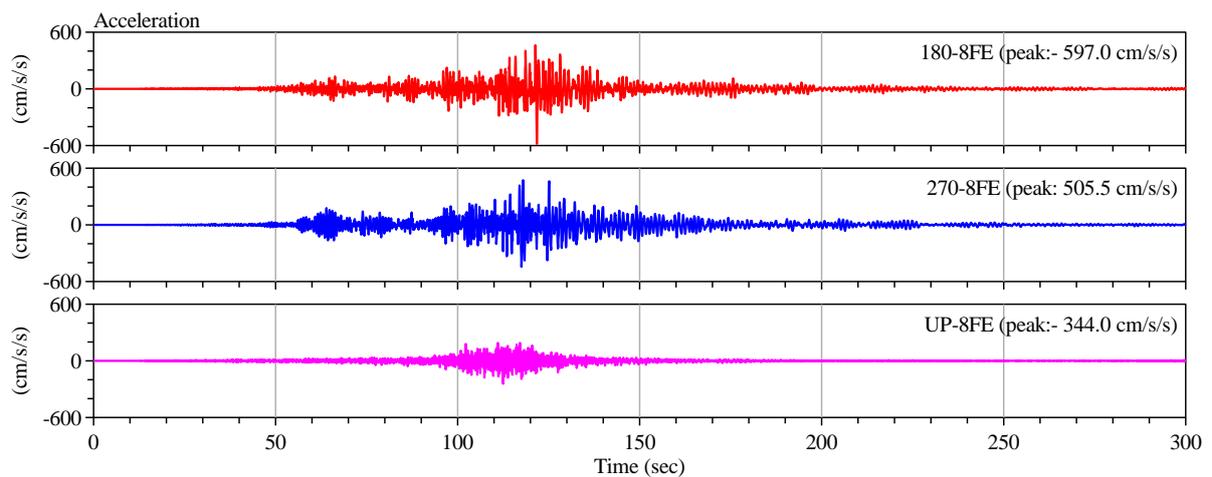


図 4.4-17 8階(8FE)の加速度記録

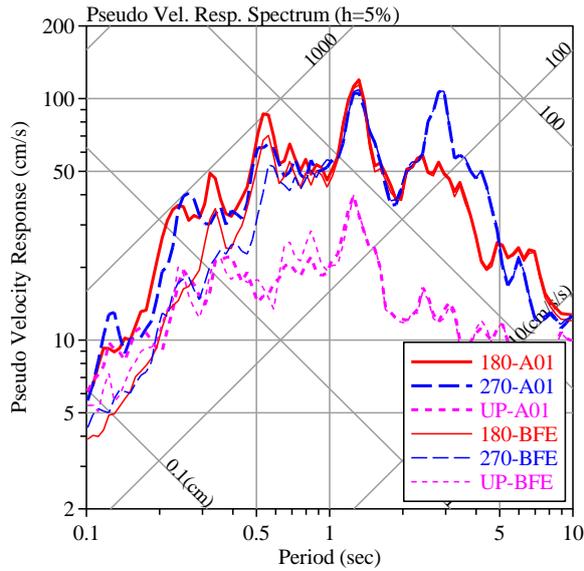


図 4.4-18 地表(A01)と地下 1 階(BFE)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

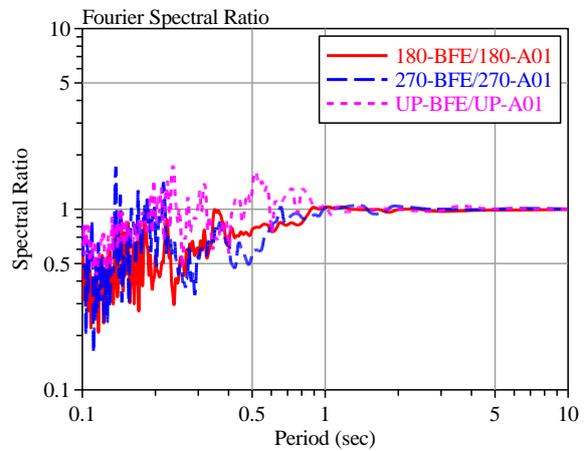


図 4.4-19 地下 1 階(BFE)の地表(A01)に対するフーリエ振幅スペクトル比

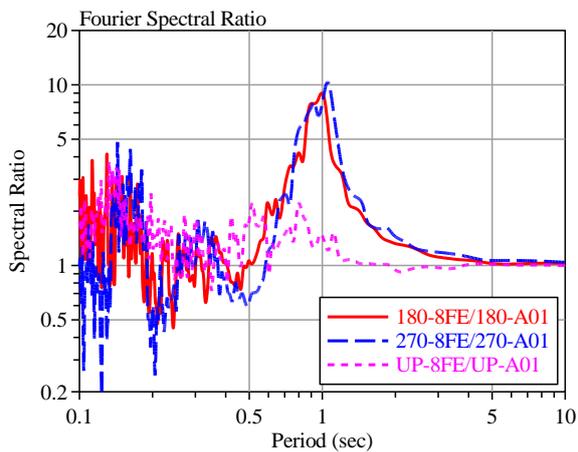


図 4.4-20 8 階(8FE)の地表(A01)に対するフーリエ振幅スペクトル比

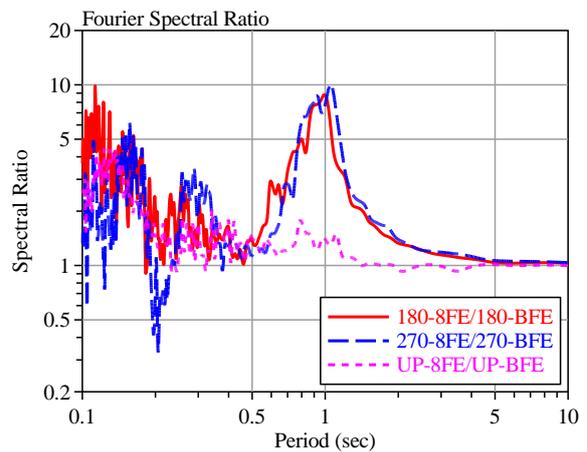


図 4.4-21 8 階(8FE)の地下 1 階(BFE)に対するフーリエ振幅スペクトル比

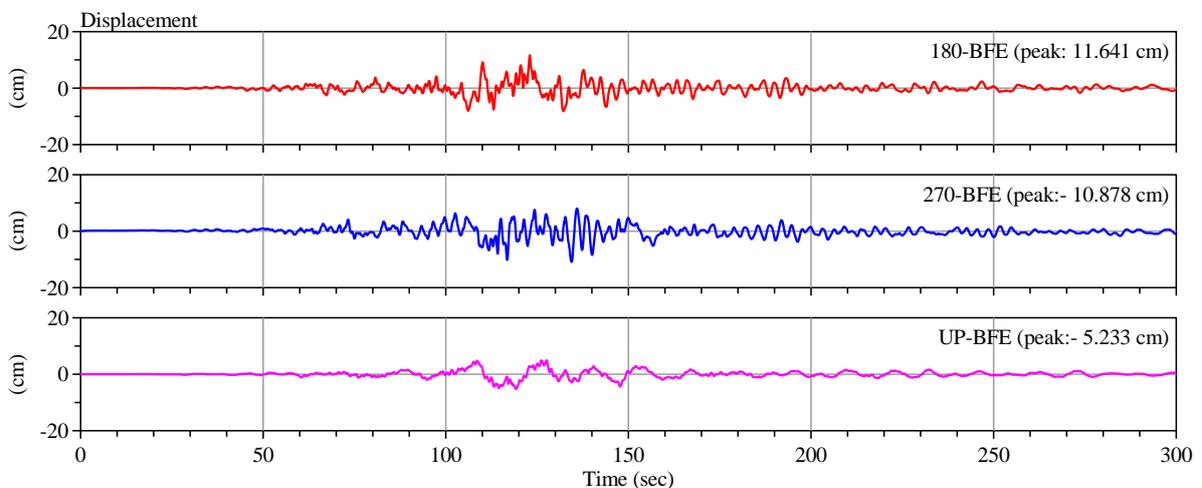


図 4.4-22 地下 1 階(BFE)の変位記録

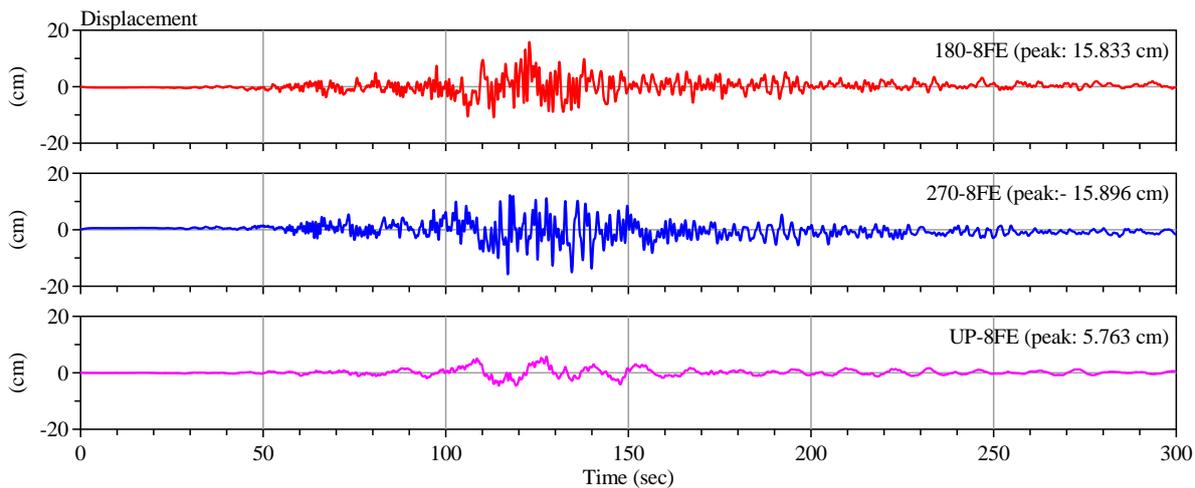


図 4.4-23 8階(8FE)の変位記録

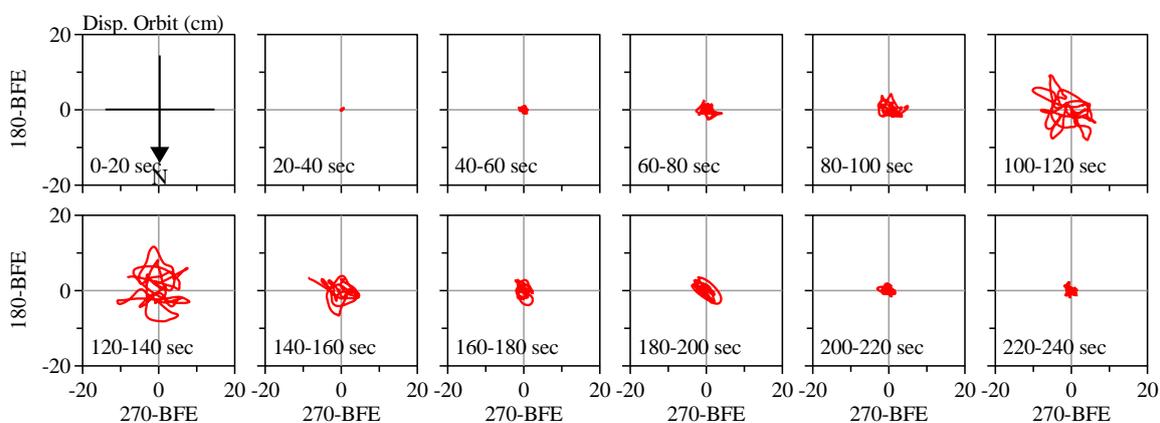


図 4.4-24 地下1階(BFE)の変位の水平面内軌跡

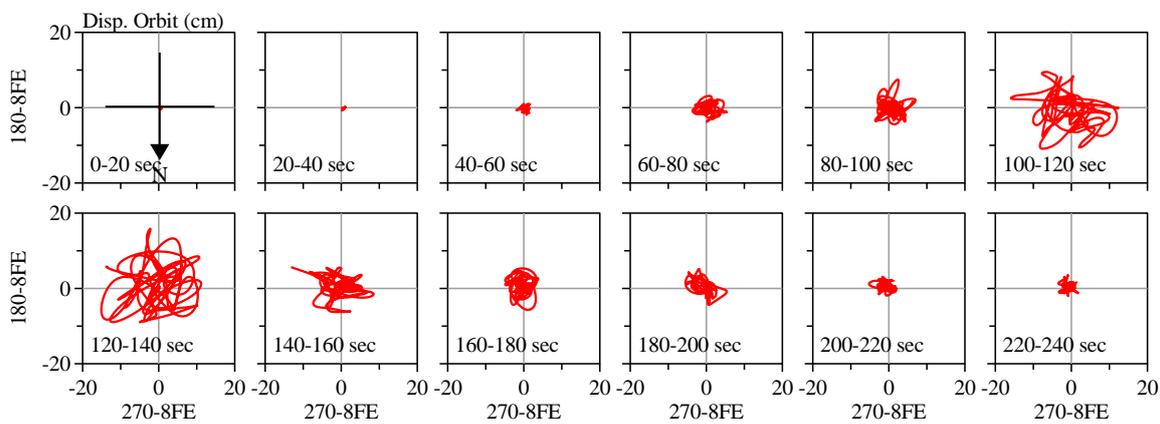


図 4.4-25 8階(8FE)の変位の水平面内軌跡

4.4.4 八千代市庁舎新館(YCY)の強震記録

千葉県八千代市の八千代市庁舎新館は、地上 6 階地下 1 階の鉄筋コンクリート建物である。強震計は、地表(GL)、建物の地下 1 階(B1F)、及び塔屋 1 階(07F)に加速度計を設置している^{4,6)}。図 4.4-26 から図 4.4-28 に地表(GL)、地下 1 階(B1F)、及び塔屋 1 階(07F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向で 279 cm/s^2 を超えており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 5.3(震度 5 強)であった。建物の地下 1 階(B1F)の最大加速度は地表(GL)の半分以下に減少しており、 140 cm/s^2 前後の値となっている。建物の塔屋 1 階(07F)の最大加速度は、N302°E 方向で 486 cm/s^2 、N032°E 方向で 359 cm/s^2 と地下 1 階(B1F)の 3.5 倍から 2.7 倍の値となっている。

図 4.4-29 に、地表(GL)と建物地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が地下 1 階(B1F)に対応し、実線が N302°E 方向、破線が N032°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。擬似速度応答スペクトルは、多少の起伏あるものの、0.3 秒より長い周期領域で比較的平坦な形状をしている。N032°E 方向の擬似速度応答スペクトルは、周期 0.35 秒で最大となり、速度応答値は 80 cm/s を超えている。

地下 1 階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-30 に示す。0.5 秒より長い周期領域ではスペクトル比は概ね 1 となっているが、0.5 秒より短い周期領域ではスペクトル比は急激に低下し、地震動入力の低減効果が窺える。図 4.4-31 と図 4.4-32 に、塔屋 1 階(07F)の記録の地表(GL)と地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。0.5 秒から 0.6 秒の周期に、1 次固有振動は表れているが、ピークの形状は幅を持ち、地震の間に振動特性が変動したと思われる。また、塔屋 1 階(07F)/地表(GL)と塔屋 1 階(07F)/地下 1 階(B1F)のフーリエ振幅スペクトル比を比べると、N032°E 方向では前者のピークが後者のピークより長周期側に移動しており、地盤と建物の動的相互作用の影響も表れている。

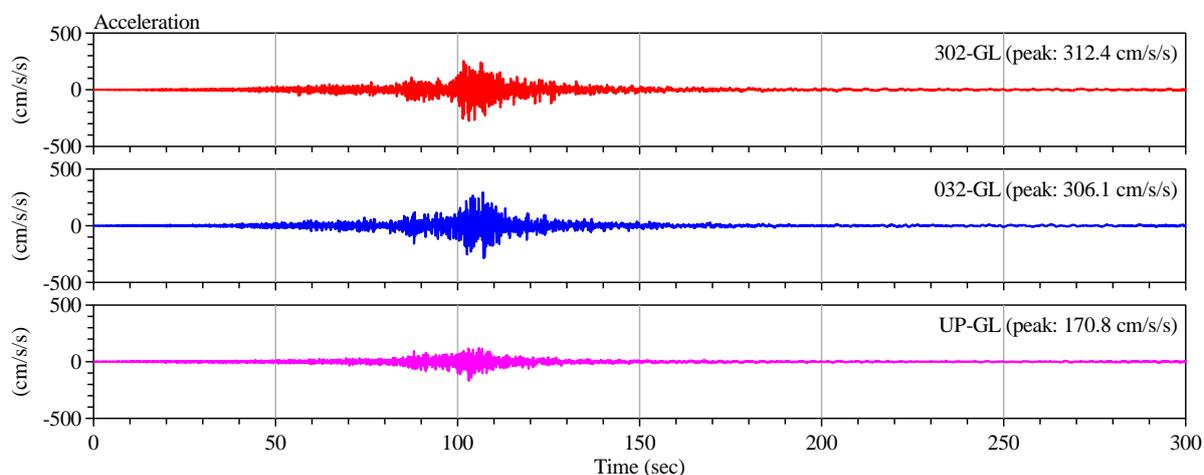


図 4.4-26 地表(GL)の加速度記録

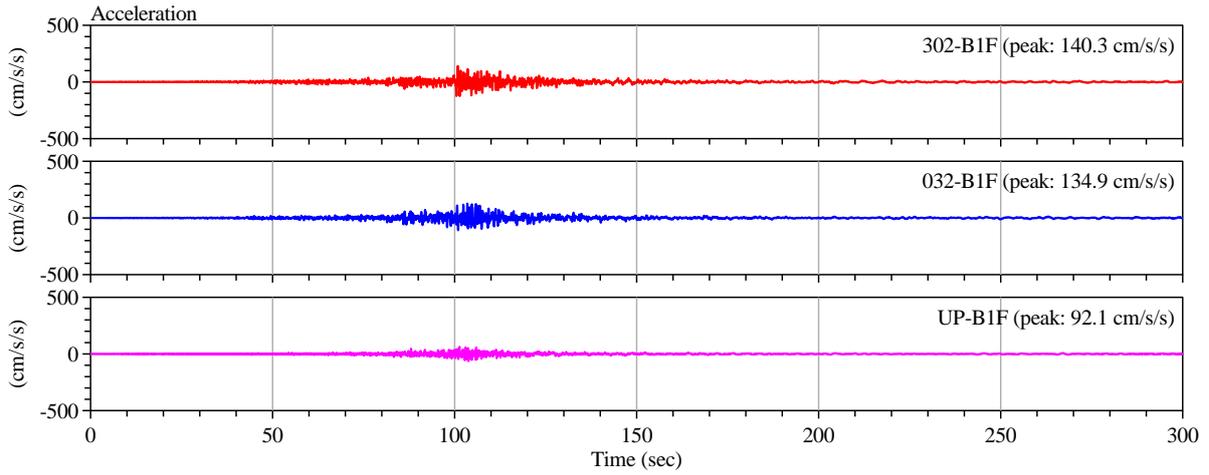


図 4.4-27 地下 1 階(B1F)の加速度記録

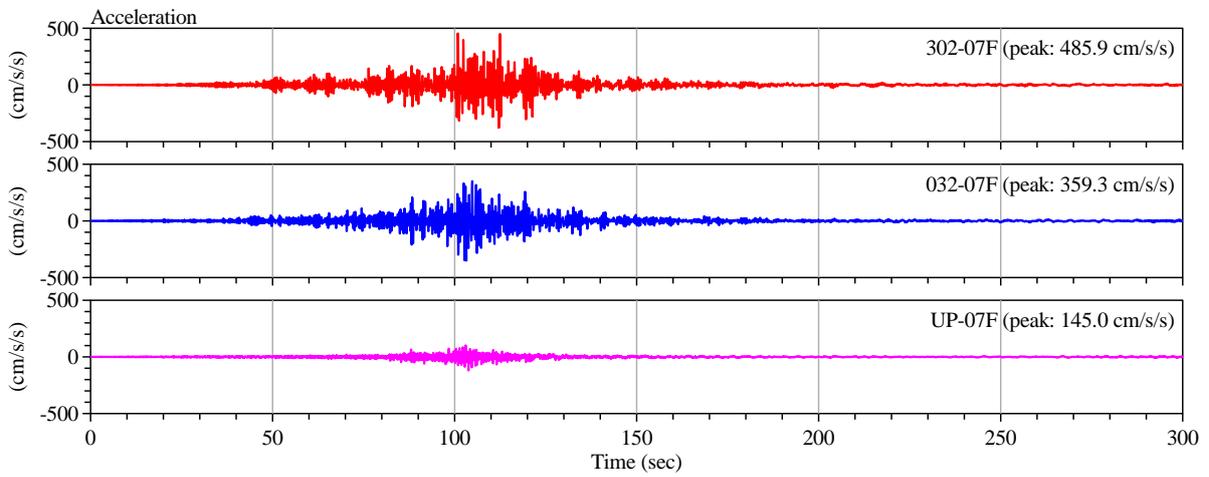


図 4.4-28 塔屋 1 階(07F)の加速度記録

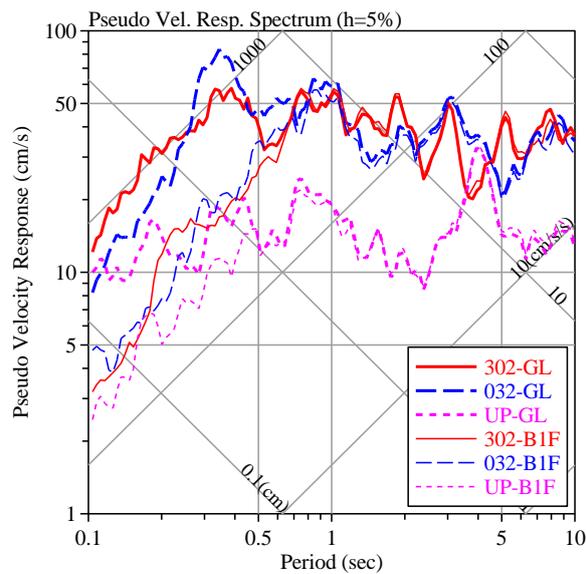


図 4.4-29 地表(GL)と地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

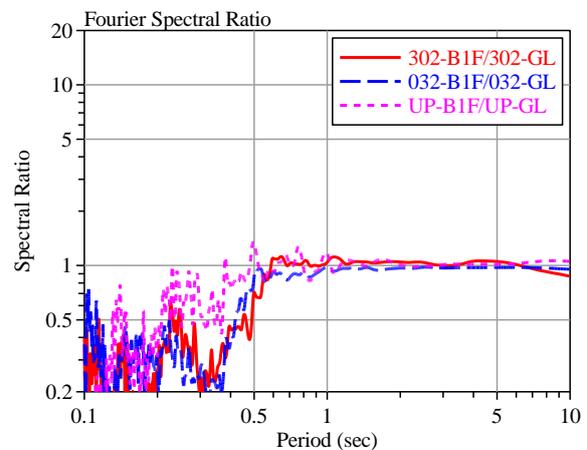


図 4.4-30 地下 1 階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

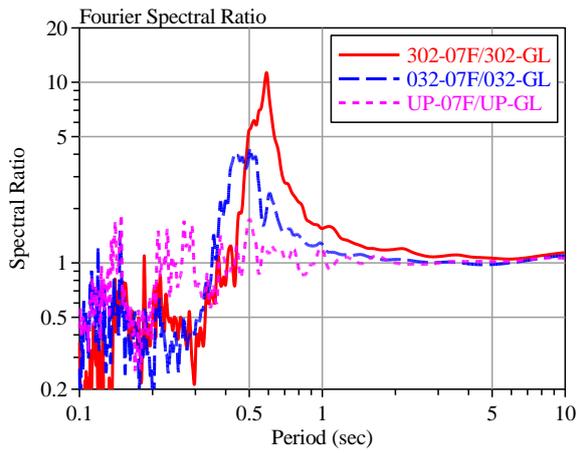


図 4.4-31 塔屋 1 階(07F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

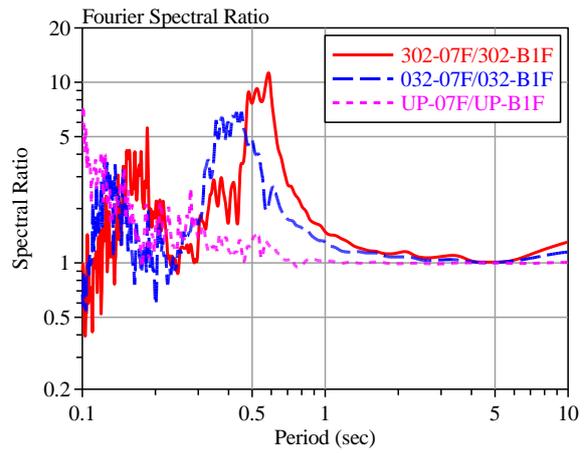


図 4.4-32 塔屋 1 階(07F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.5 日本工業大学(NIT)の強震記録

日本工業大学の強震観測は、埼玉県南埼玉郡宮代町にある宮代キャンパスの建築デザイン学群棟を対象に行っている。建築デザイン学群棟は、地上6階建ての鉄筋コンクリート建物で、強震計は地表(GL)、1階(01F)、及び6階(06F)に加速度計を有している。図4.4-33から図4.4-35に地表(GL)、建物1階(01F)、及び6階(06F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)のN288°E方向の最大加速度は 230 cm/s^2 となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は5.1(震度5強)であった。建物の1階(01F)の最大加速度はN288°E方向が 150 cm/s^2 、N018°E方向が 119 cm/s^2 と、地表(GL)の2/3以下に減少している。一方、建物の6階(06F)の最大加速度はN288°E方向が 283 cm/s^2 、N018°E方向が 322 cm/s^2 と、1階(01F)の最大加速度の1.9倍から2.7倍の値を示している。

図4.4-36に、地表(GL)と建物1階(01F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が1階(01F)に対応し、実線がN288°E方向、破線がN018°E方向、点線がUP(上下)方向を表す。擬似速度応答スペクトルは、0.3秒より長い周期領域で概ね平坦な形状をしており、6秒前後の周期のピークが目立つ。N018°E方向の周期6.6秒の速度応答値は 80 cm/s を超えている。

1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.4-37に示す。0.5秒より短い周期領域で、スペクトル比は大きく低下し、地震動入力の低減効果が表れている。図4.4-38と図4.4-39に、6階(06F)の記録の、地表(GL)と1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。6階(06F)/地表(GL)に比べ6階(06F)/1階(01F)のスペクトル比のピークは短周期側に表れ、またその高さも高くなっており、地盤と建物の動的相互作用の影響が表れている。

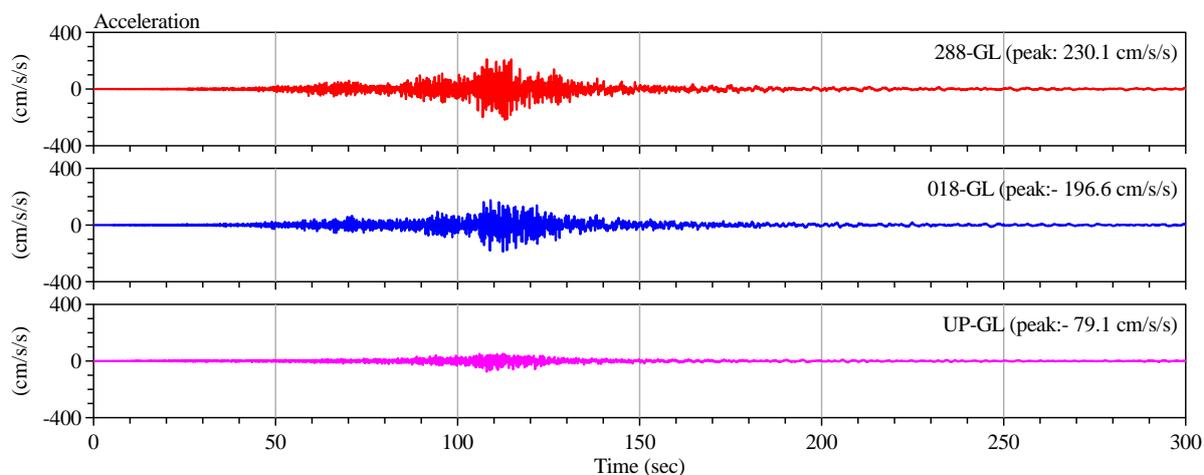


図 4.4-33 地表(GL)の加速度記録

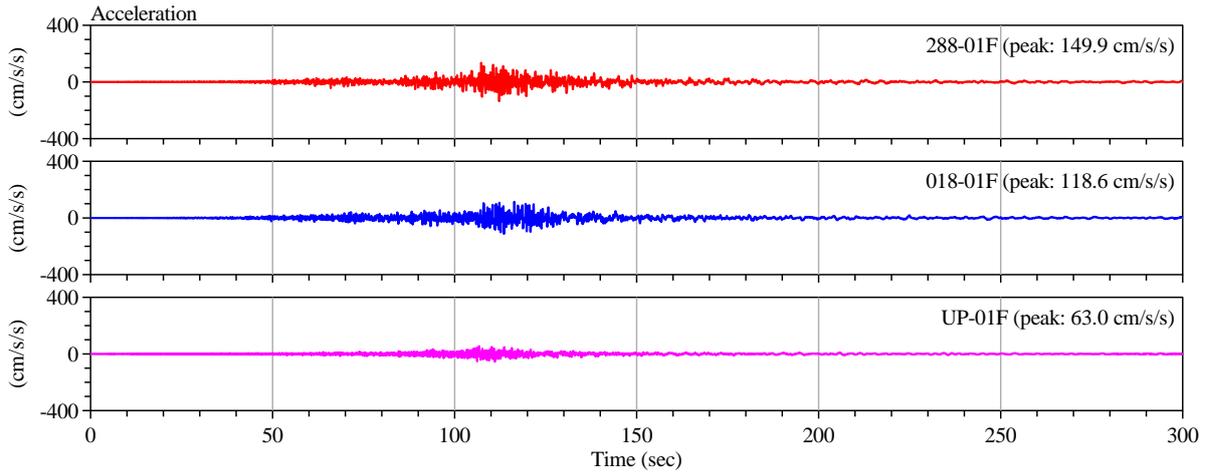


図 4.4-34 1階(01F)の加速度記録

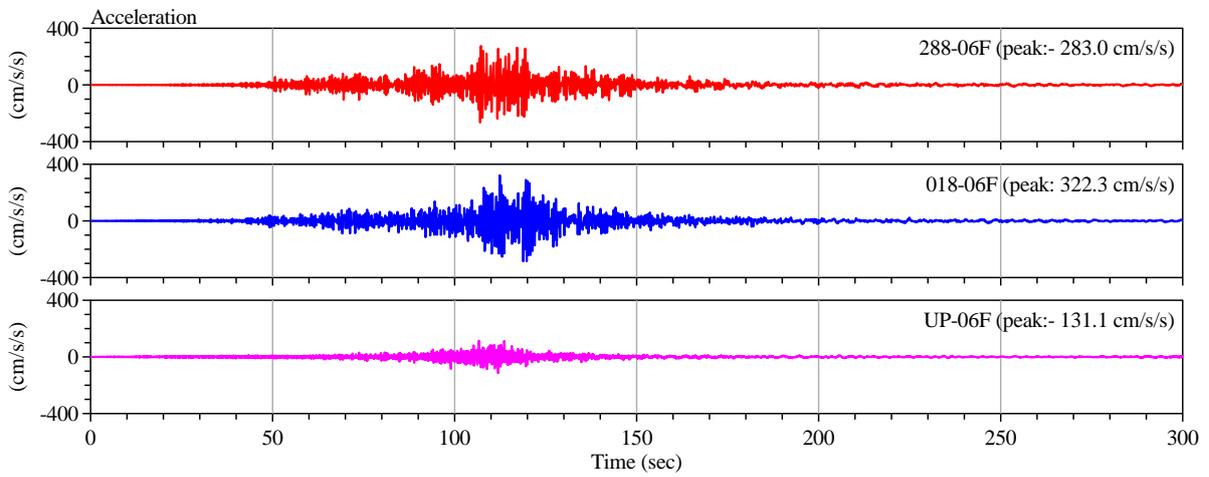


図 4.4-35 6階(06F)の加速度記録

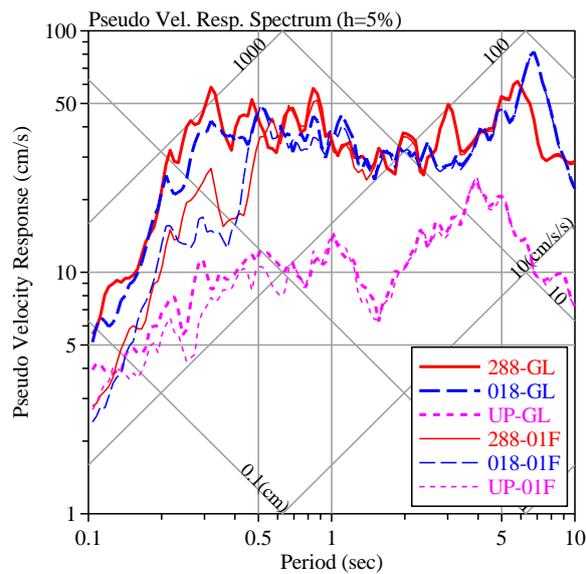


図 4.4-36 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

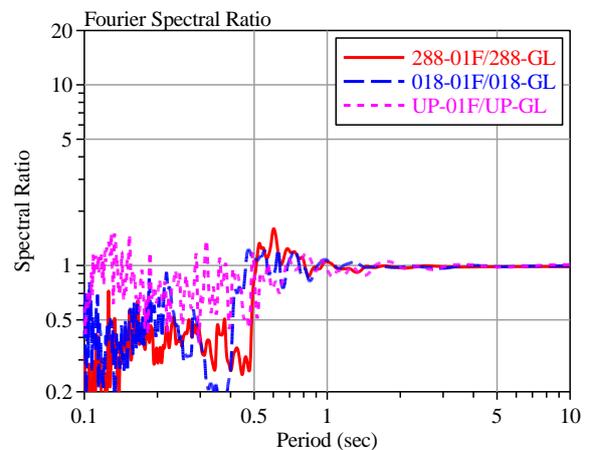


図 4.4-37 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

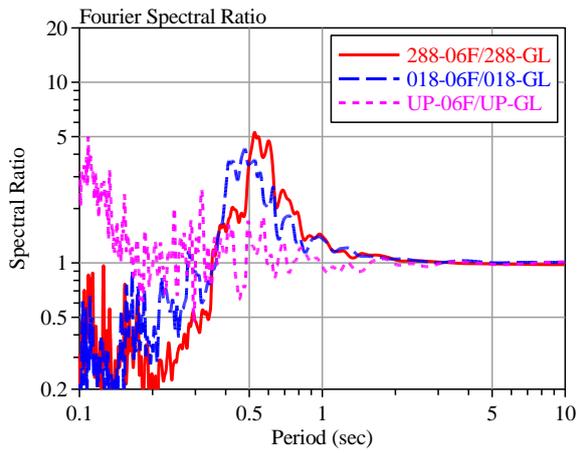


図 4.4-38 6階(06F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

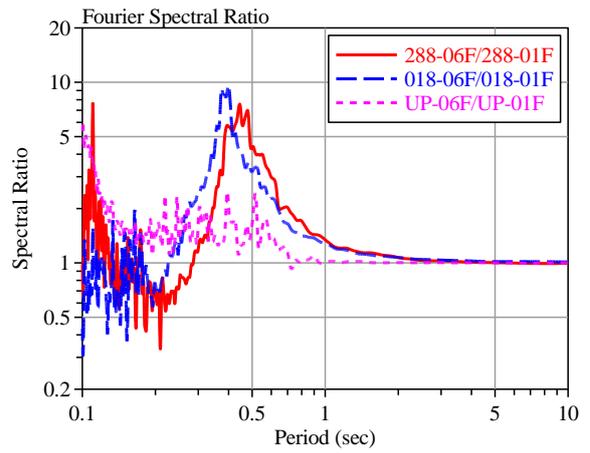


図 4.4-39 6階(06F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.6 三郷市庁舎(MST)の強震記録

埼玉県三郷市の三郷市庁舎は、地上 7 階地下 1 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、強震計は地表 (GL)、1 階(01F)、及び 7 階(07F)に加速度計を有している。図 4.4-40 から図 4.4-42 に地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 7 階(07F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 130 cm/s^2 弱となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 4.9(震度 5 弱)であった。建物の 1 階(01F)の最大加速度は、地表(GL)の最大加速度の 6 割から 8 割に減少しており、N258°E 方向で 72 cm/s^2 、N348°E 方向で 104 cm/s^2 となっている。また、建物 7 階(07F)の最大加速度は、1 階(01F)と比べて、N258°E 方向では 3.0 倍の 219 cm/s^2 、N348°E 方向は 1.8 倍の 190 cm/s^2 となっている。

図 4.4-43 に、地表(GL)と建物 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が N258°E 方向、破線が N348°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。擬似速度応答スペクトルには、N258°E 方向と N348°E 方向で異なった傾向が認められ、N258°E 方向では 7 秒辺りのピークが、N348°E 方向では 1 秒強の山が特徴的である。地表(GL)と建物 1 階(01F)の擬似応答スペクトルは、0.8 秒より長い周期領域で、ほぼ一致している。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-44 に示す。0.7 秒より短い周期領域で、スペクトル比が低下していることが確認できる。図 4.4-45 と図 4.4-46 に、7 階(07F)の記録の地表 (GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。7 階(07F)/1 階(01F)のスペクトル比より、上部構造の固有周期は N258°E 方向が 0.54 秒、N348°E 方向が 0.44 秒と判断できる。7 階(07F)/地表(GL)のスペクトル比は山が潰れ、相互作用を含んだ系の固有周期はかなり延びている。

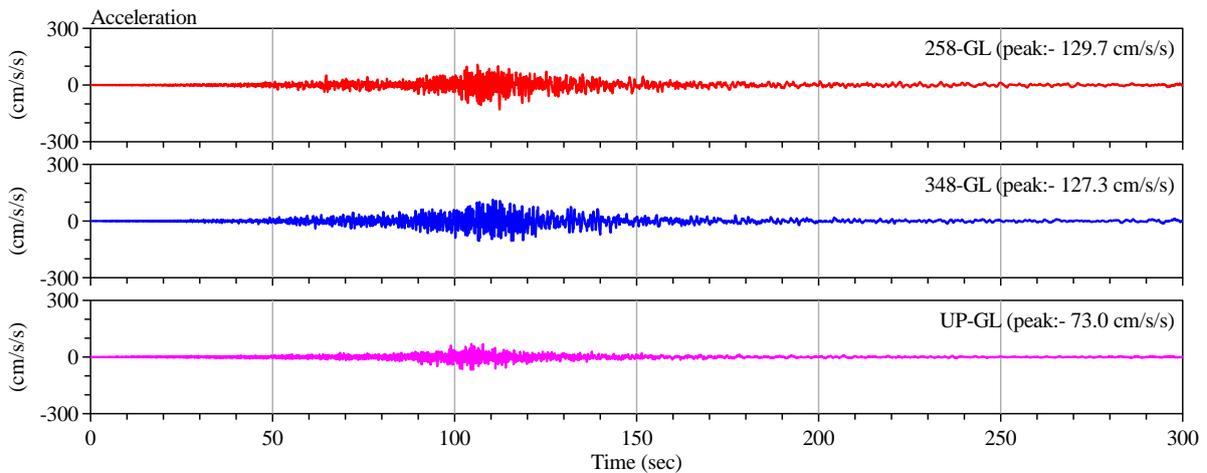


図 4.4-40 地表(GL)の加速度記録

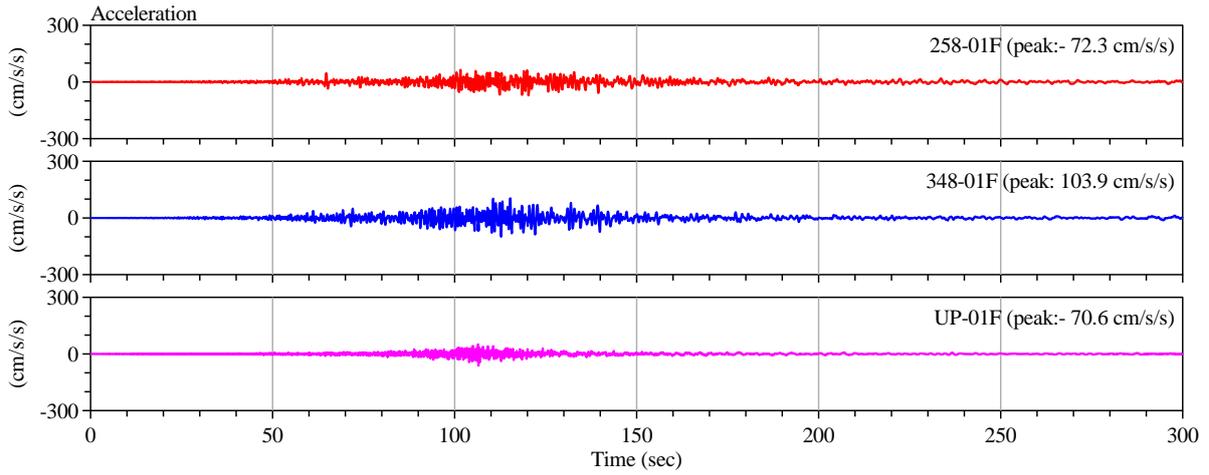


図 4.4-41 1階(01F)の加速度記録

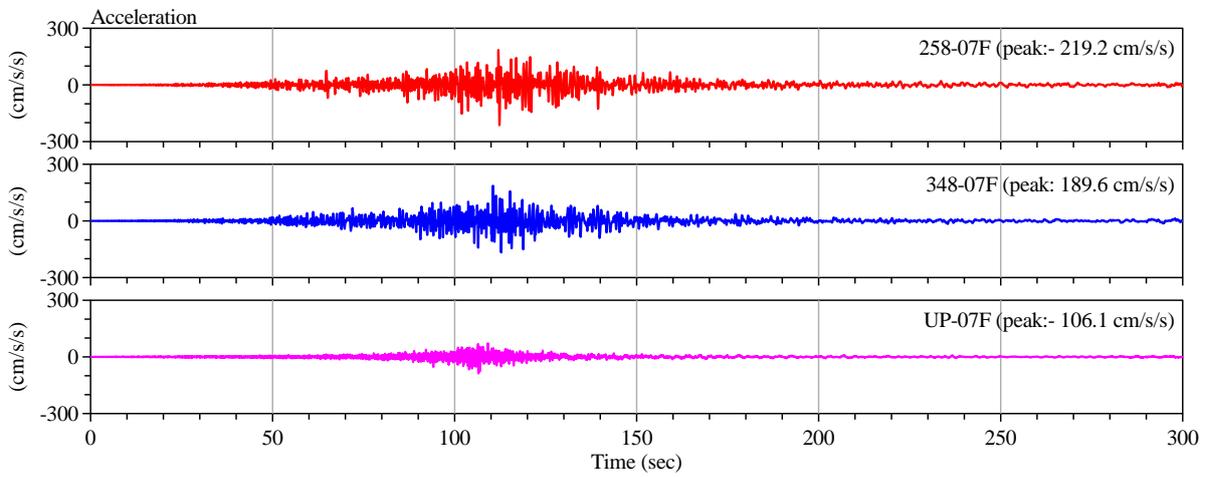


図 4.4-42 7階(07F)の加速度記録

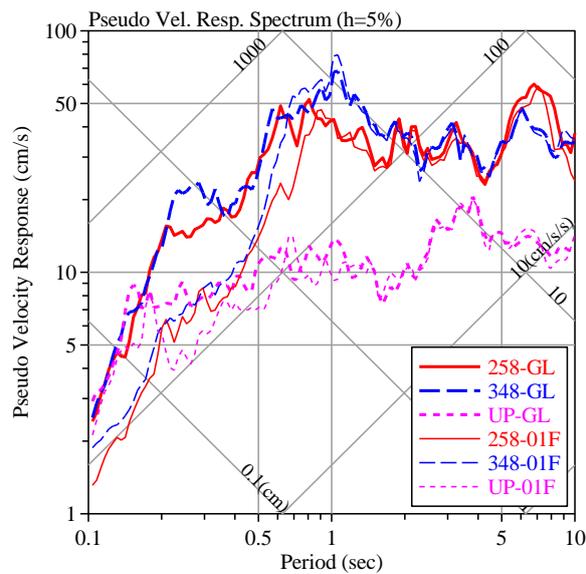


図 4.4-43 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

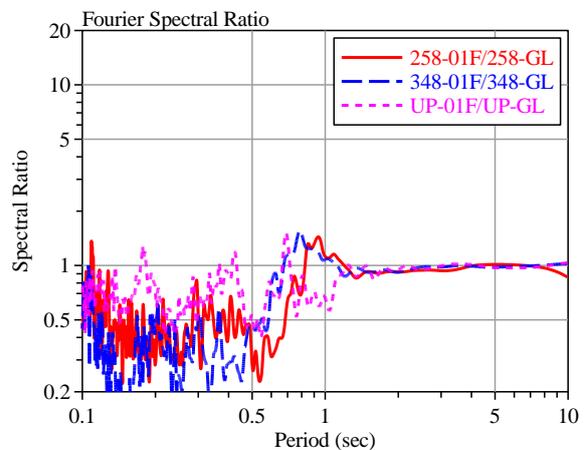


図 4.4-44 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

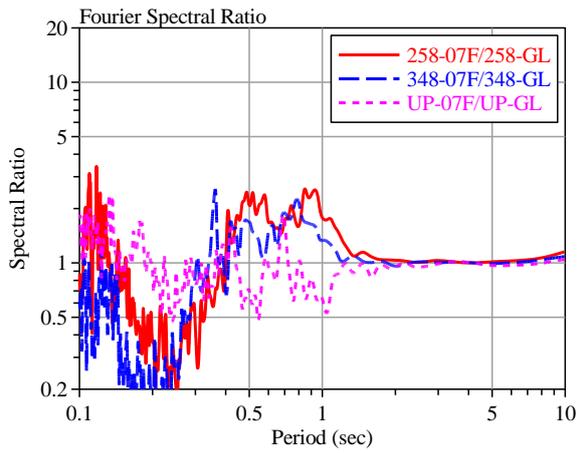


図 4.4-45 7階(07F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

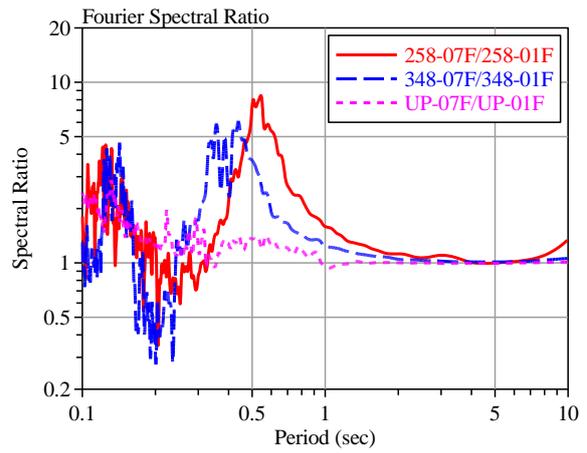


図 4.4-46 7階(07F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.7 船橋市総合教育センター(FNB)の強震記録

千葉県船橋市の船橋市総合教育センターは、地上 8 階建ての鉄筋コンクリート造建物で、地表(GL)、1 階(01F)、及び 8 階(08F)に加速度計を設置している。図 4.4-47 から図 4.4-49 に地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 8 階(08F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は、N357°E 方向が 133 cm/s^2 、N087°E 方向が 145 cm/s^2 となっており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 4.7(震度 5 弱)であった。建物の 1 階(01F)の最大加速度は、両水平方向とも地表(GL)より若干大きい。また、建物 8 階(08F)の最大加速度は、1 階(01F)の 2.3 倍から 2.5 倍となっている。

図 4.4-50 に、地表(GL)と建物 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が N357°E 方向、破線が N087°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.2 秒辺りから長周期にかけて徐々に応答が大きくなる特徴的な形状で、1 秒辺りに小さなピークがある。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-51 に示す。0.5 秒から 1 秒の周期では 1 を上回り、0.5 秒以下の短い周期領域では 1 を下回る。その変動幅は大きなものではない。

図 4.4-52 と図 4.4-53 に、8 階(08F)の記録の地表(GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。8 階(08F)/1 階(01F)のスペクトル比より、上部構造の固有周期は両方向とも 0.5 秒程度と判断でき、8 階(08F)/地表(GL)のピークの位置は 8 階(08F)/1 階(01F)よりも若干長周期側にある。

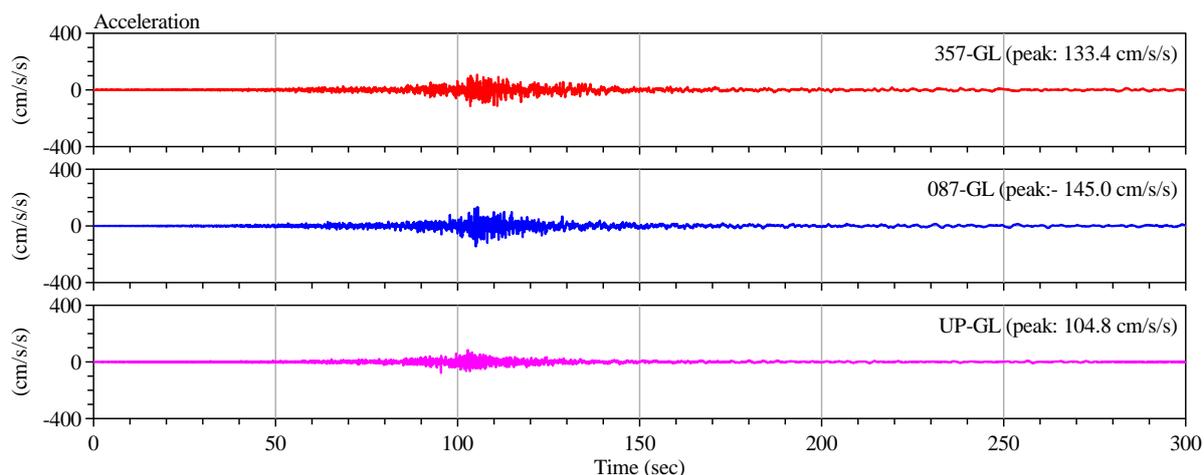


図 4.4-47 地表(GL)の加速度記録

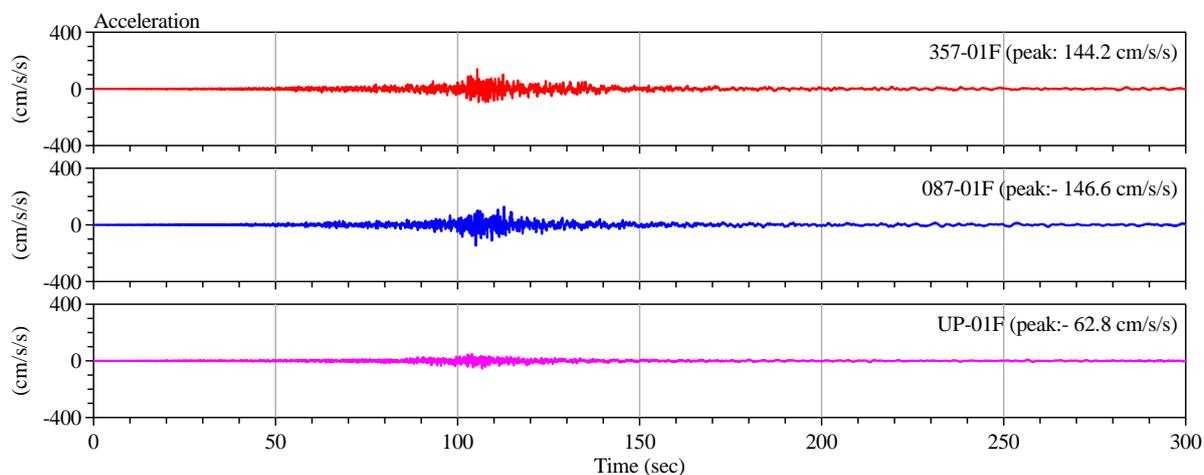


図 4.4-48 1 階(01F)の加速度記録

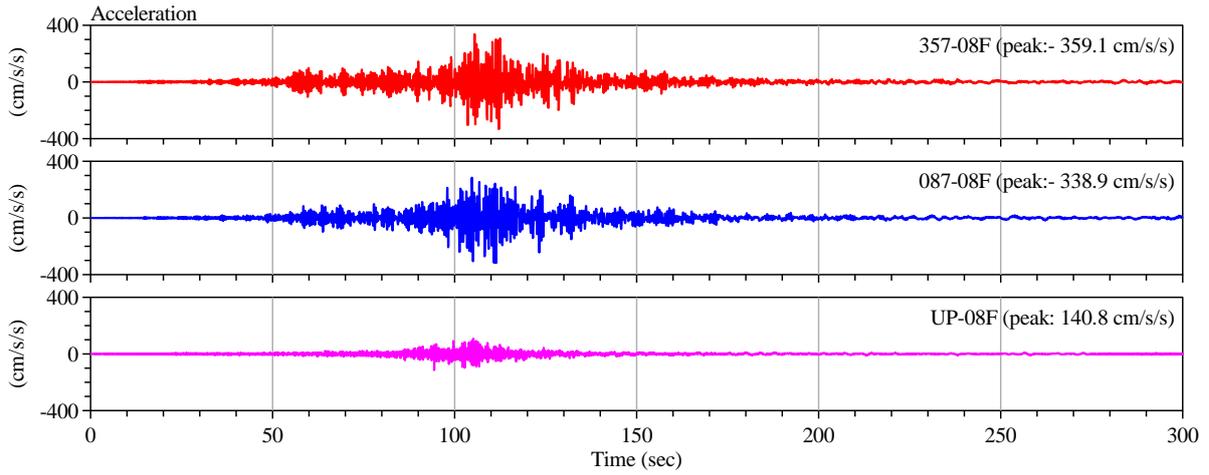


図 4.4-49 8階(08F)の加速度記録

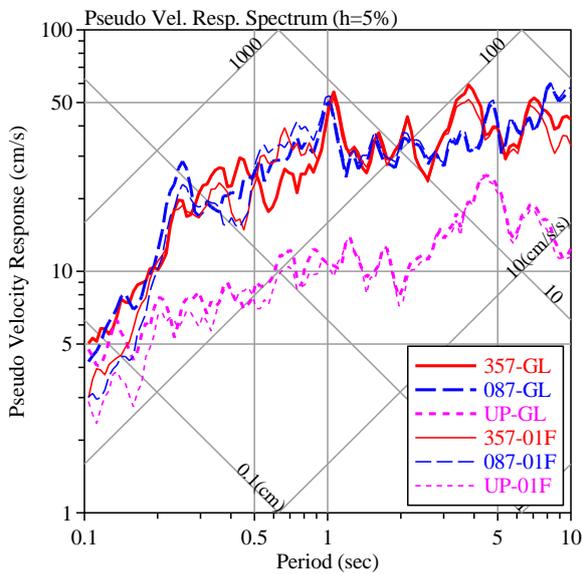


図 4.4-50 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

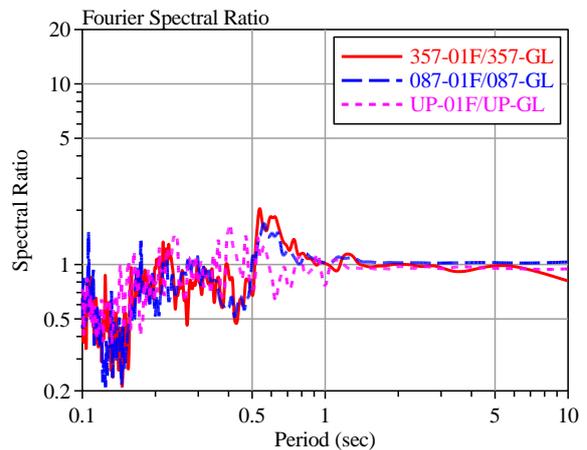


図 4.4-51 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

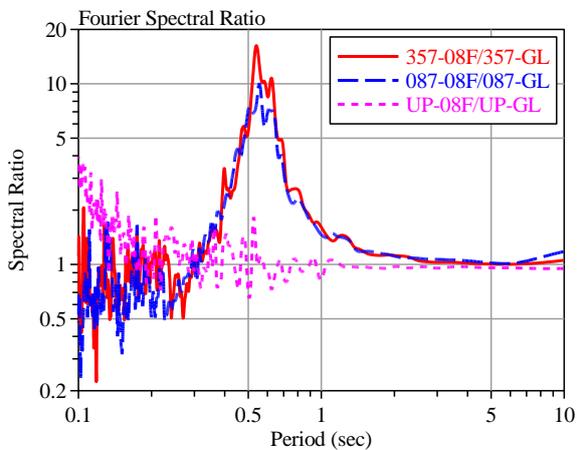


図 4.4-52 8階(08F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

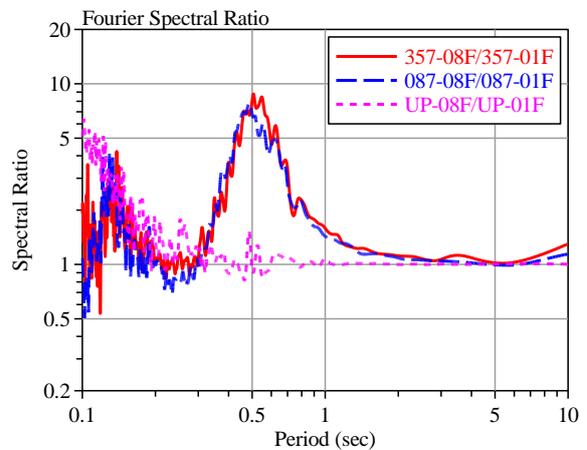


図 4.4-53 8階(08F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.8 千葉第2地方合同庁舎(CHB)の強震記録

千葉県千葉市中央区の千葉第2地方合同庁舎は、地上8階地下1階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、地表(GL)、建物地下1階(B1F)、及び8階(08F)に加速度計を設置している。図4.4-54から図4.4-56に地表(GL)、地下1階(B1F)、及び8階(08F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 170 cm/s^2 前後であり、地表(GL)の記録から算出した計測震度は4.9(震度5弱)であった。建物の地下1階(B1F)の最大加速度は、地表(GL)の最大加速度の9割から7割の値となっている。一方、8階(08F)で得られた最大加速度は、N346°E方向で 375 cm/s^2 、N076°E方向で 284 cm/s^2 と、地下1階(B1F)の最大加速度の2.5倍から2.3倍の値となっている。

図4.4-57に、地表(GL)と地下1階(B1F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が地下1階(B1F)に対応し、実線がN346°E方向、破線がN076°E方向、点線がUP(上下)方向を表す。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.5秒以上の長周期領域で概ね平坦な形状をしている。8秒より更に長周期にかけて応答が大きくなる様子が見られるが、この部分は加速度記録にノイズが乗っている可能性がある。地表(GL)と地下1階(B1F)の擬似速度応答スペクトルは、1秒より短い周期領域で違いが表れる。

地下1階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を、図4.4-58に示す。1秒以下の周期領域で山谷が表れ、平均的には1を下回っている。図4.4-59と図4.4-60に、8階(08F)の記録の地表(GL)と地下1階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。8階(08F)/地表(GL)のスペクトル比と8階(08F)/地下1階(B1F)のスペクトル比の間には、顕著な差は認められない。

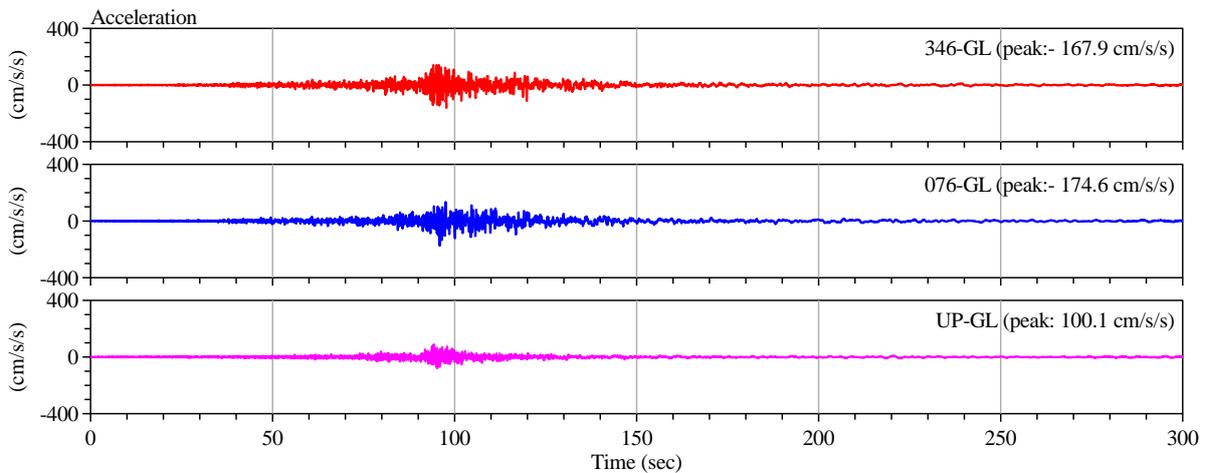


図4.4-54 地表(GL)の加速度記録

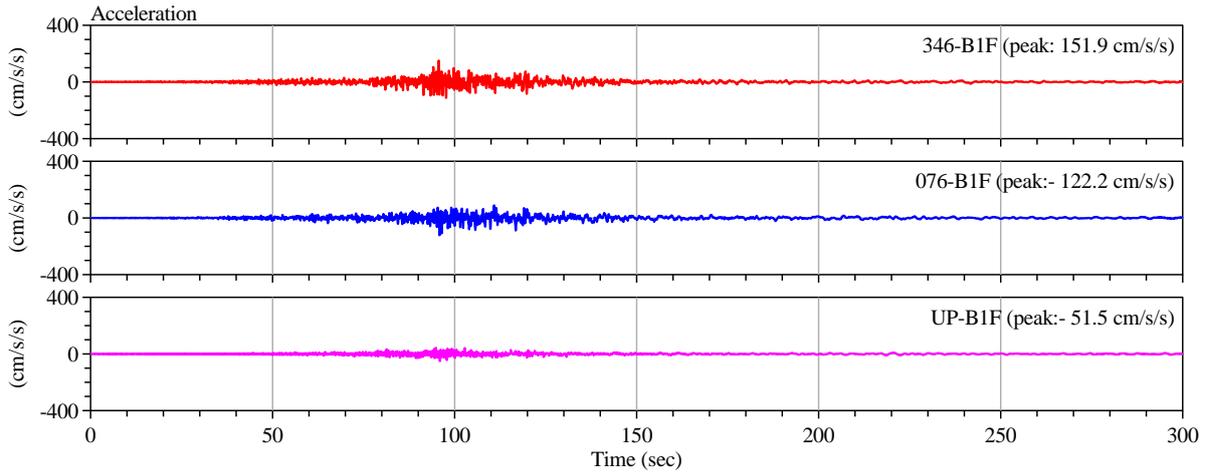


図 4.4-55 地下 1 階(B1F)の加速度記録

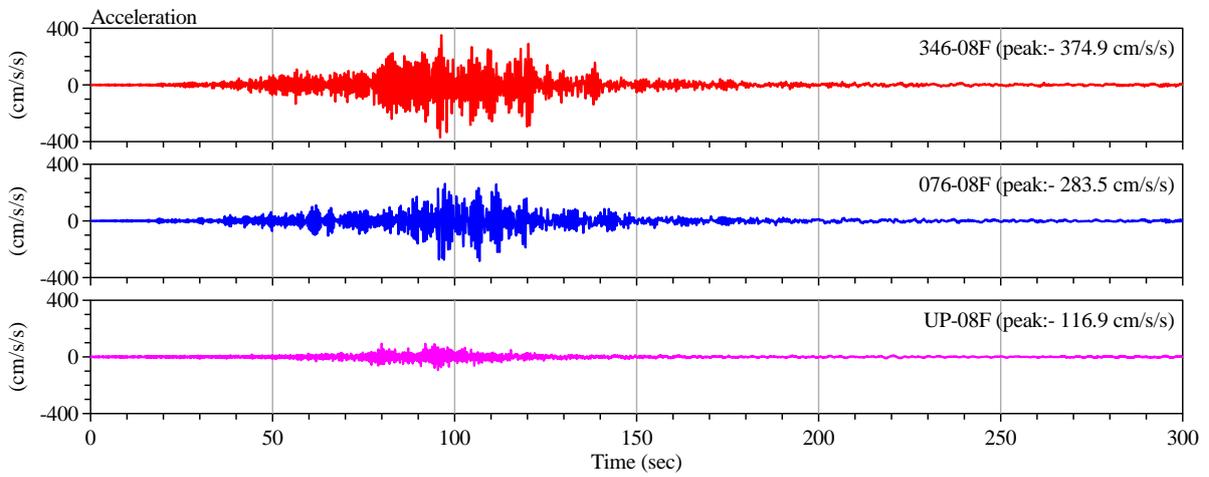


図 4.4-56 8 階(08F)の加速度記録

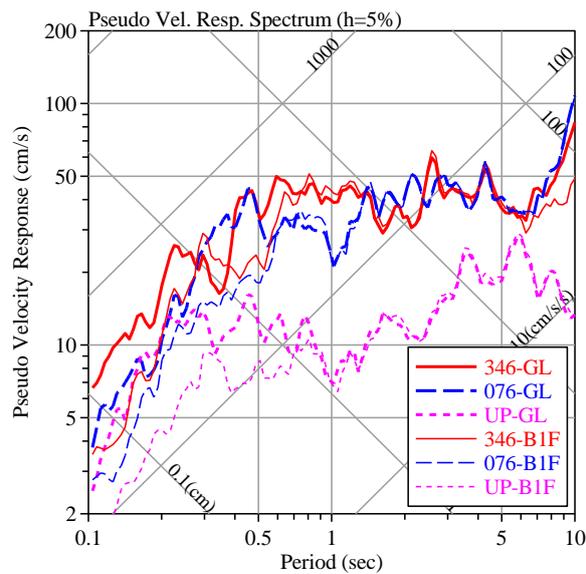


図 4.4-57 地表(GL)と地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

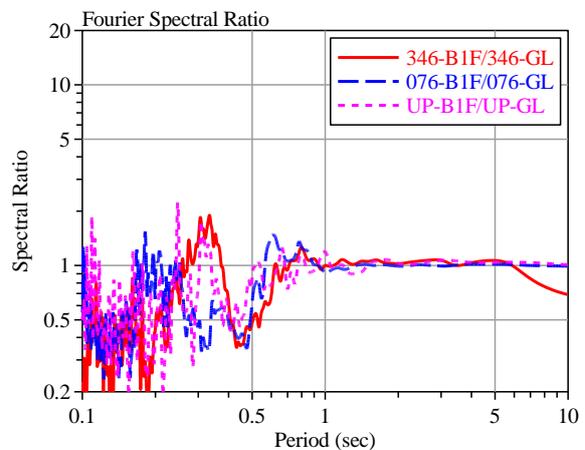


図 4.4-58 地下 1 階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

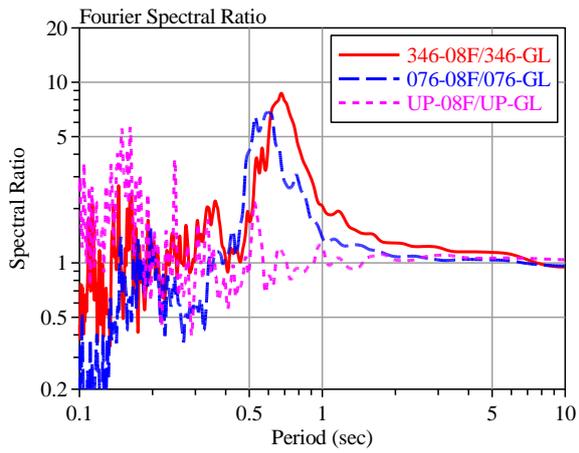


図 4.4-59 8階(08F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

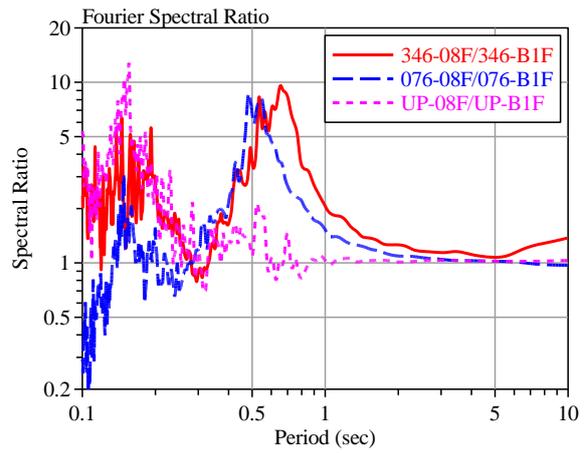


図 4.4-60 8階(08F)の地下1階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.9 戸田市庁舎(TDS)の強震記録

埼玉県戸田市の戸田市庁舎は、地上 8 階地下 1 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、地表(GL)、地下 1 階(B1F)、及び 8 階(08F)に加速度計を設置している。図 4.4-61 から図 4.4-63 に地表(GL)、建物地下 1 階(B1F)、及び 8 階(08F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 200 cm/s^2 を超えており、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 5.0(震度 5 強)であった。一方、建物の地下 1 階(B1F)の最大加速度は、N354°E 方向で 140 cm/s^2 、N084°E 方向で 173 cm/s^2 と、地表(GL)の最大加速度の 7 割から 8 割強の値となっている。建物の 8 階(08F)では、N354°E 方向の最大加速度は 425 cm/s^2 、N084°E 方向の最大加速度は 531 cm/s^2 と、両方向とも地下 1 階(B1F)の最大加速度に比べて約 3 倍の値となっている。

図 4.4-64 に、地表(GL)と地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が地下 1 階(B1F)に対応し、実線が N354°E 方向、破線が N084°E 方向、点線が UP(上下)方向を表す。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、1 秒付近に大きなピークを持ち、応答速度は 80 cm/s 近くに達する。N084°E 方向の擬似速度応答スペクトルには、更に 0.6 秒のピークも表れている。

地下 1 階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-65 に示す。水平方向のスペクトル比は、0.8 秒以下の周期領域で 1 を下回る。図 4.4-66 と図 4.4-67 に、8 階(08F)の記録の地表(GL)と地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。8 階(08F)/地下 1 階(B1F)のスペクトル比をみると、N084°E 方向では 0.65 秒に明瞭なピークが表れているが、N354°E 方向では山がつぶれて、明瞭ではない。8 階(08F)/地表(GL)のスペクトル比も同様の傾向を示している。

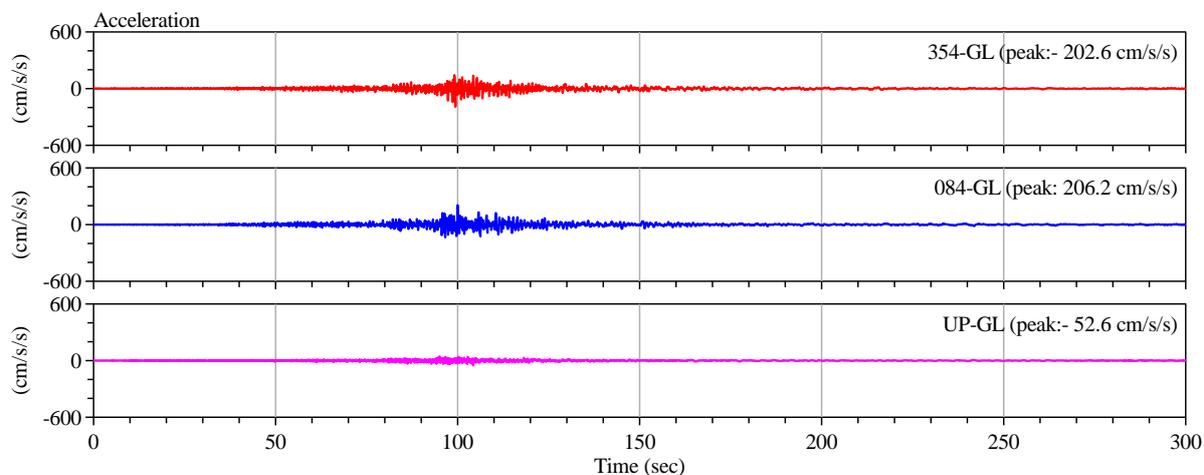


図 4.4-61 地表(GL)の加速度記録

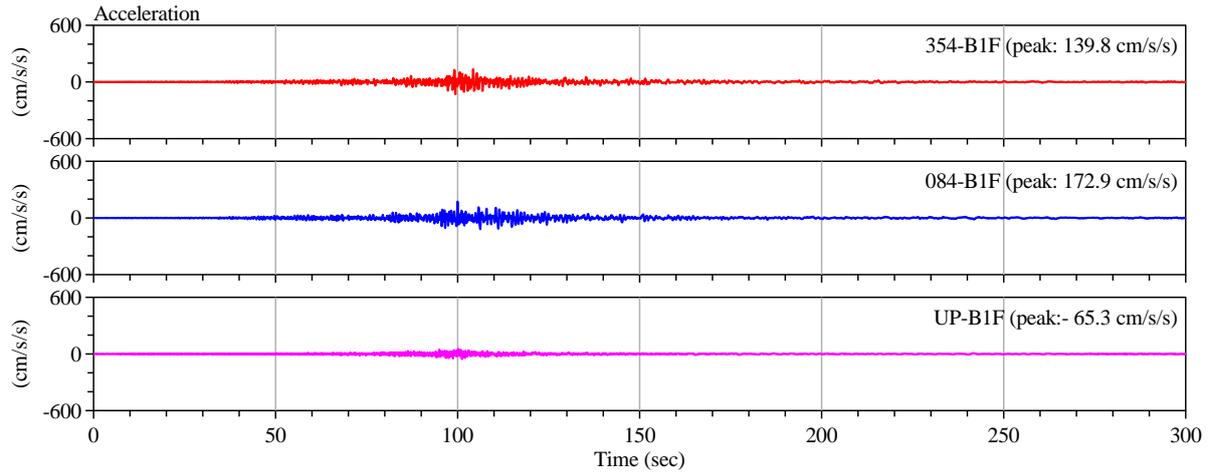


図 4.4-62 地下 1 階(B1F)の加速度記録

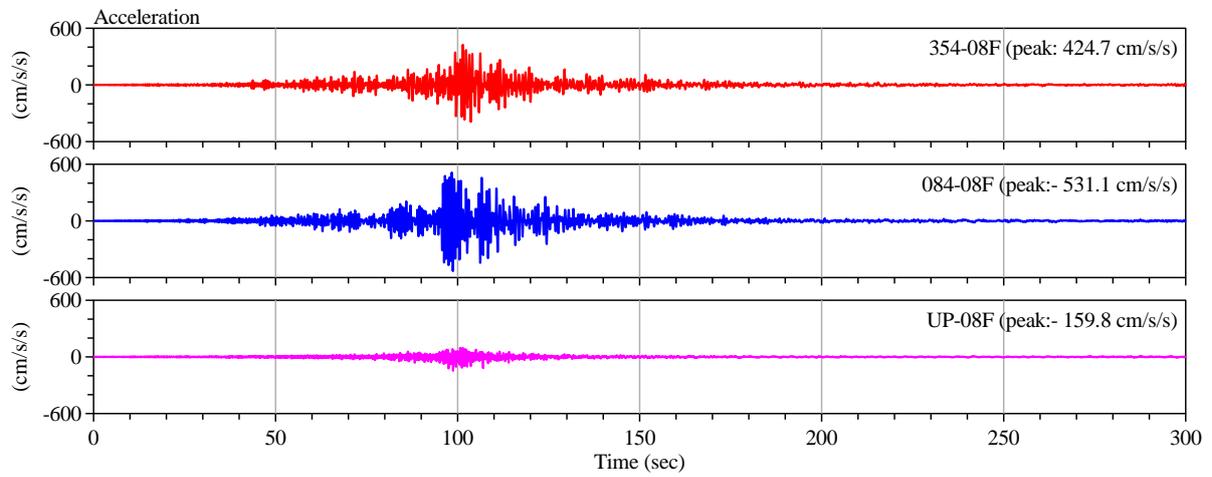


図 4.4-63 8 階(08F)の加速度記録

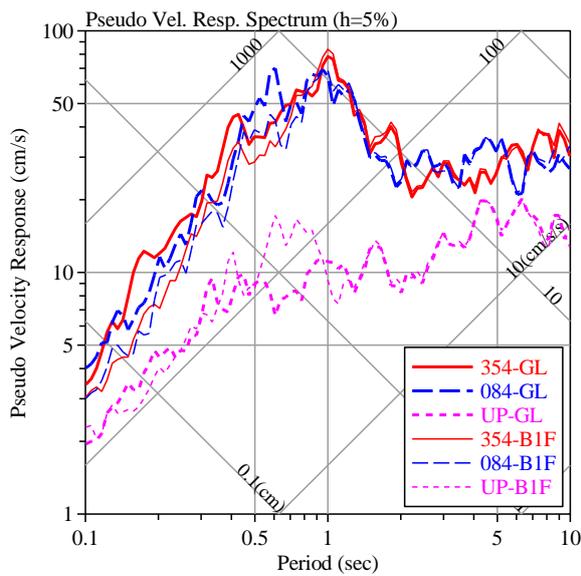


図 4.4-64 地表(GL)と地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

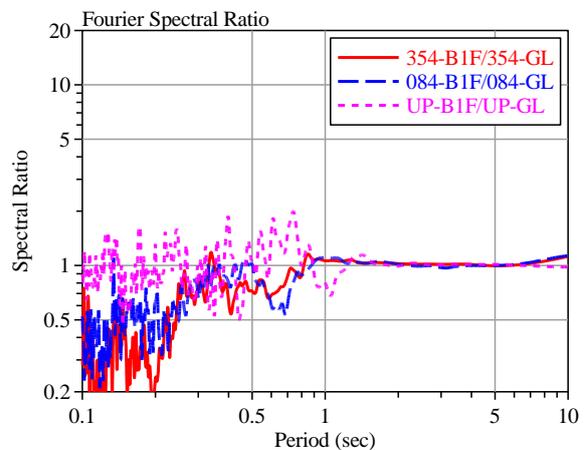


図 4.4-65 地下 1 階(B1F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

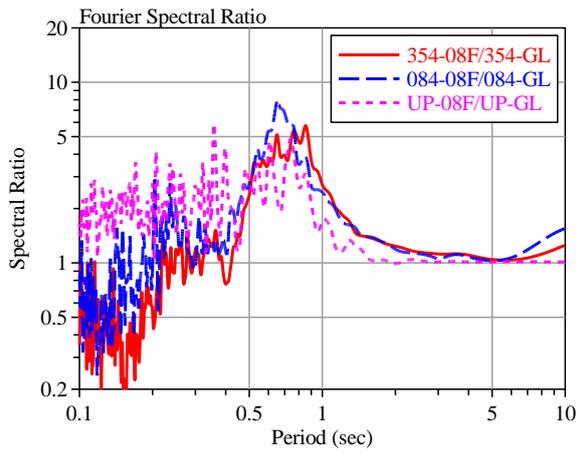


図 4.4-66 8階(08F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

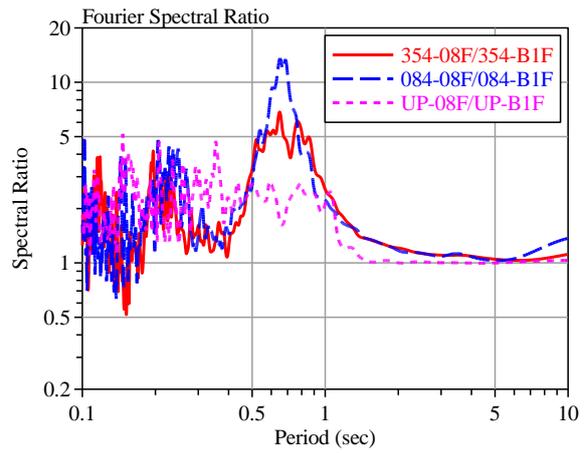


図 4.4-67 8階(08F)の地下1階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.10 東京大学工学部 11 号館(UTK)の強震記録

東京都文京区にある東京大学工学部 11 号館は、地上 9 階建ての鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、2006 年に耐震改修工事が行われている。強震計は、地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 7 階に 2 台(07FN と 07FS)の計 4 台の加速度計を有している。図 4.4-68 から図 4.4-70 に地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 7 階(07FN)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 200 cm/s^2 前後であり、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 4.7(震度 5 弱)であった。建物の 1 階(01F)の最大加速度は、地表(GL)の 4 割から 7 割強の値となっている。また、建物の 7 階(07FN)の最大加速度は、 $N348^\circ E$ 方向が 181 cm/s^2 、 $N078^\circ E$ 方向が 212 cm/s^2 と、1 階(01F)の最大加速度の 2.5 倍から 1.4 倍となっている。

図 4.4-71 に、地表(GL)と建物 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が $N348^\circ E$ 方向、破線が $N078^\circ E$ 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。地表(GL)の水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.25 秒から長周期領域にかけて平坦ながら右上がりの傾向を示している。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-72 に示す。水平方向のスペクトル比は、0.6 秒以下の周期領域で 1 を下回り、特に $N348^\circ E$ 方向の落ち込みが大きい。

図 4.4-73 と図 4.4-74 に、7 階(07FN)の記録の地表(GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。7 階(07FN)/1 階(01F)のスペクトル比(図 4.4-74)をみると、 $N348^\circ E$ 方向では約 0.5 秒、 $N078^\circ E$ 方向では約 0.6 秒にピークが表れて、上部構造の 1 次固有周期と考えられる。7 階(07FN)/地表(GL)のスペクトル比(図 4.4-73)をみると、ピークの位置は 7 階(07FN)/1 階(01F)と、ほとんど変わらない。

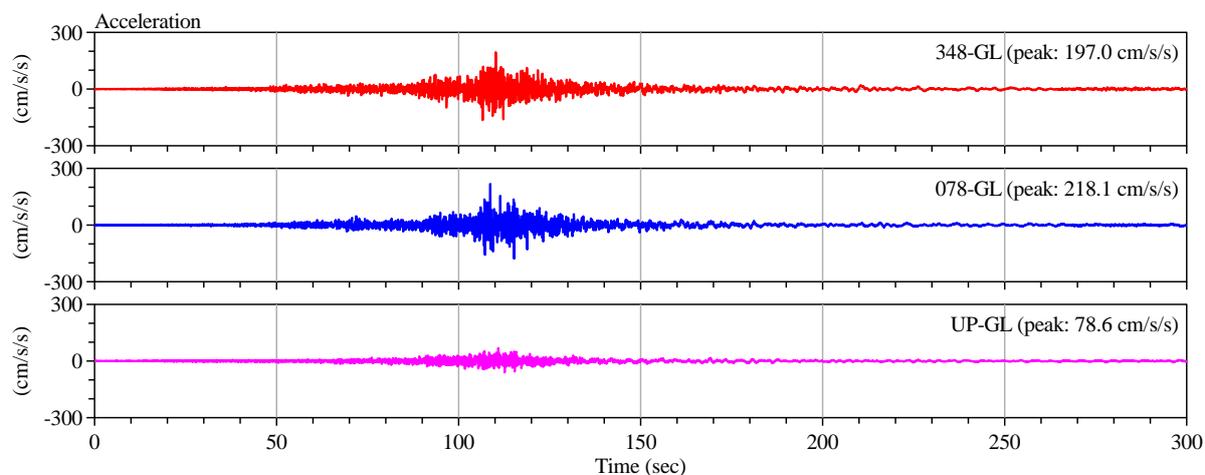


図 4.4-68 地表(GL)の加速度記録

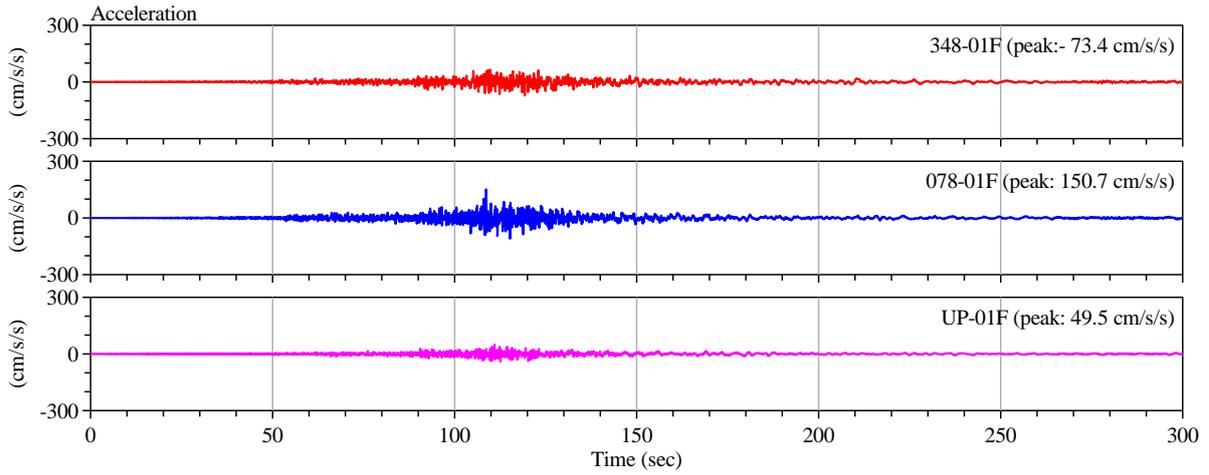


図 4.4-69 1階(01F)の加速度記録

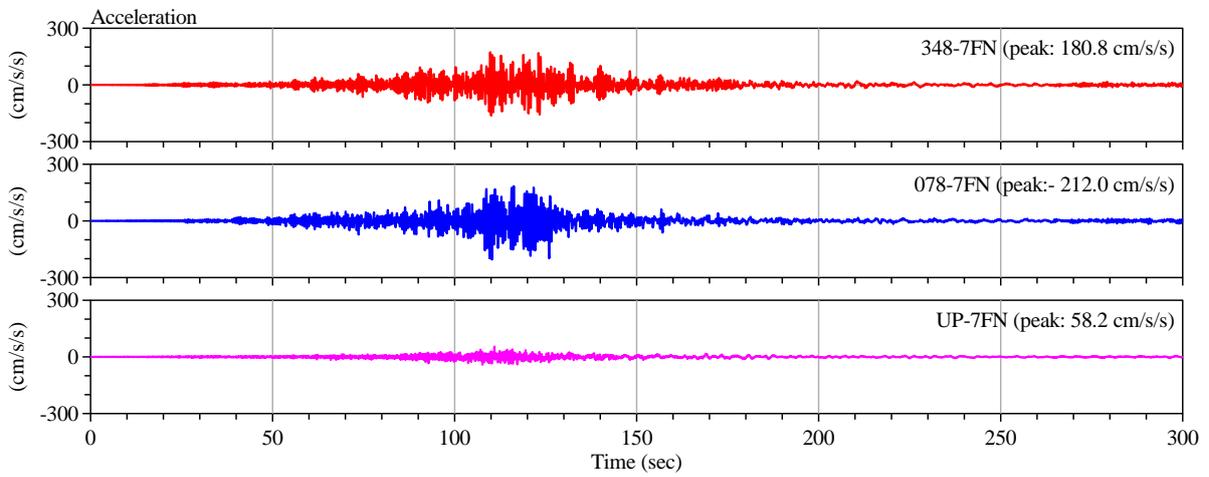


図 4.4-70 7階(07FN)の加速度記録

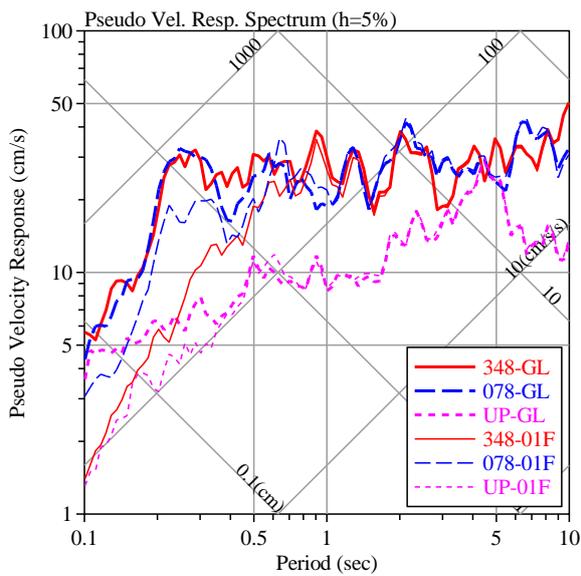


図 4.4-71 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

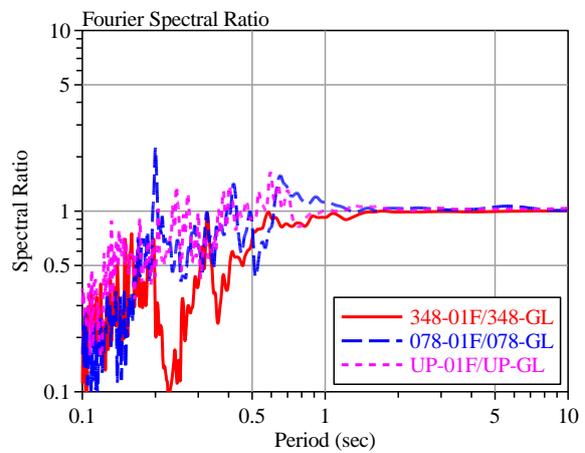


図 4.4-72 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

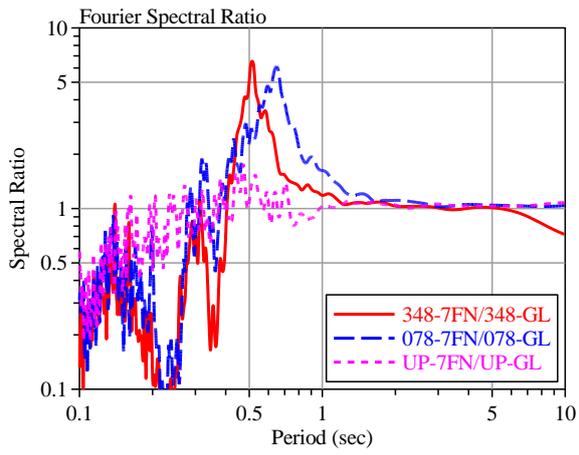


図 4.4-73 7階(07FN)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

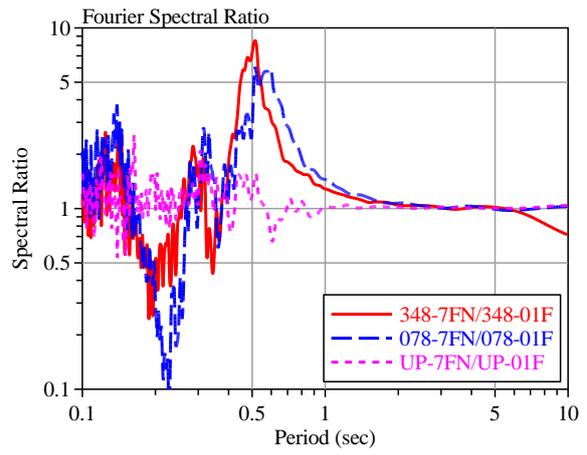


図 4.4-74 7階(07FN)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.11 東京海洋大学国際交流会館(TUF)の強震記録

東京海洋大学国際交流会館は、東京都港区にある東京海洋大学品川キャンパス内に立地する地上 7 階建ての鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。強震計は、地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 7 階(07F)に加速度計を有している。図 4.4-75 から図 4.4-77 に地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 7 階(07F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 180 cm/s^2 強であり、地表(GL)の記録から算出した計測震度は 5.0(震度 5 強)であった。建物の 1 階(01F)の最大加速度は地表より若干小さめである。7 階(07F)の最大加速度は、 $\text{N}000^\circ\text{E}$ 方向で 316 cm/s^2 、 $\text{N}090^\circ\text{E}$ 方向で 223 cm/s^2 であった。

図 4.4-78 に、地表(GL)と建物 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が $\text{N}000^\circ\text{E}$ 方向、破線が $\text{N}090^\circ\text{E}$ 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。地表(GL)の水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.4 秒から長周期領域にかけて概ね平坦で、0.5 秒から 0.8 秒の周期領域では 1 階(01F)の応答が地表(GL)を上回っている。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-79 に示す。水平方向のスペクトル比は、0.5 秒強に山があり、0.3 秒前後に深い谷が表れる。

4.4-80 と図 4.4-81 に、7 階(07F)の記録の地表(GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。7 階(07F)/1 階(01F)のスペクトル比をみると、 $\text{N}000^\circ\text{E}$ 方向では約 0.36 秒に明瞭なピークが表れて、上部構造の 1 次固有周期と考えられる。一方、 $\text{N}090^\circ\text{E}$ 方向では 0.23 秒にピークが表れるが、位相特性から判断すると、1 次固有周期はもう少し長周期側にあると推察できる。7 階(07F)/地表(GL)のスペクトル比ではピークは長周期側にずれ、相互作用の影響が窺える。

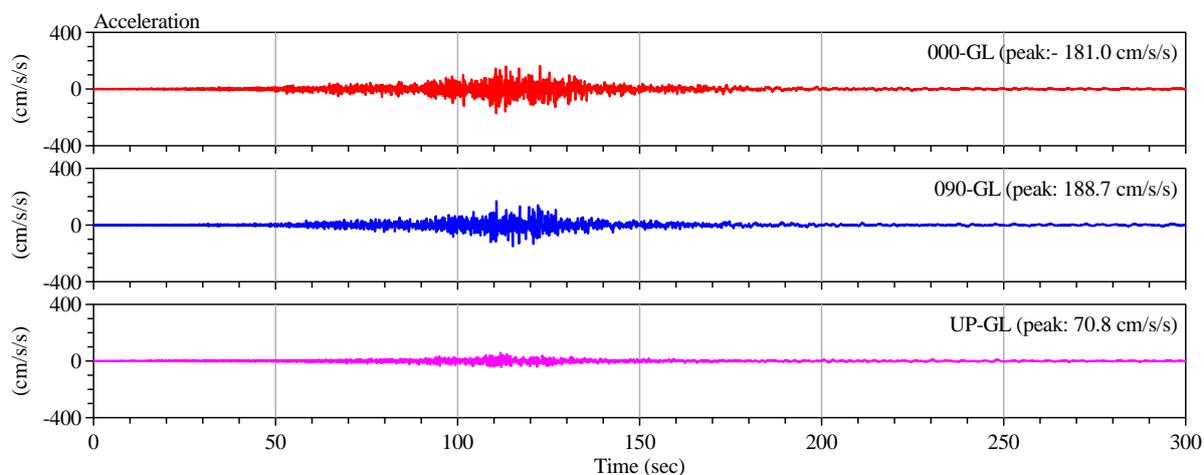


図 4.4-75 地表(GL)の加速度記録

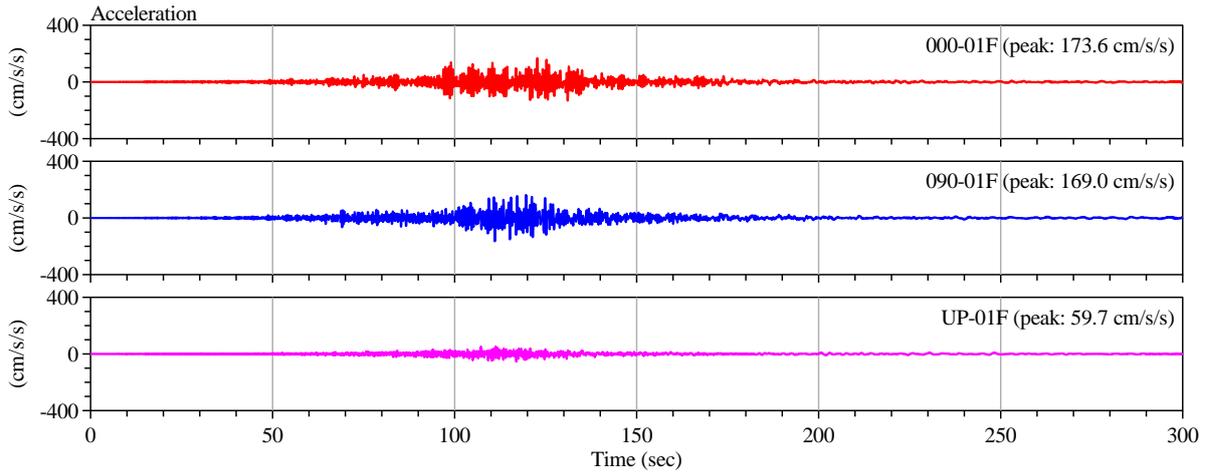


図 4.4-76 1階(01F)の加速度記録

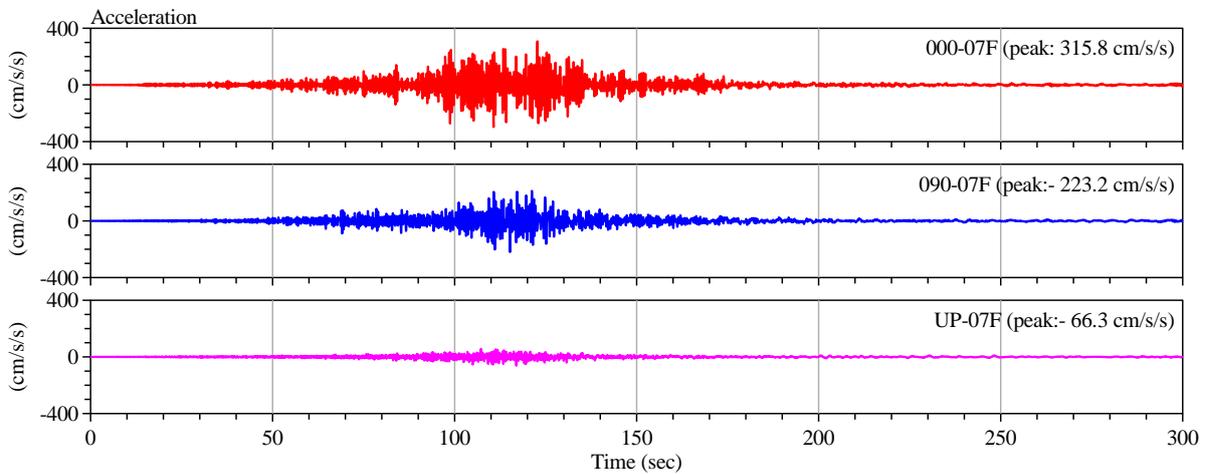


図 4.4-77 7階(07F)の加速度記録

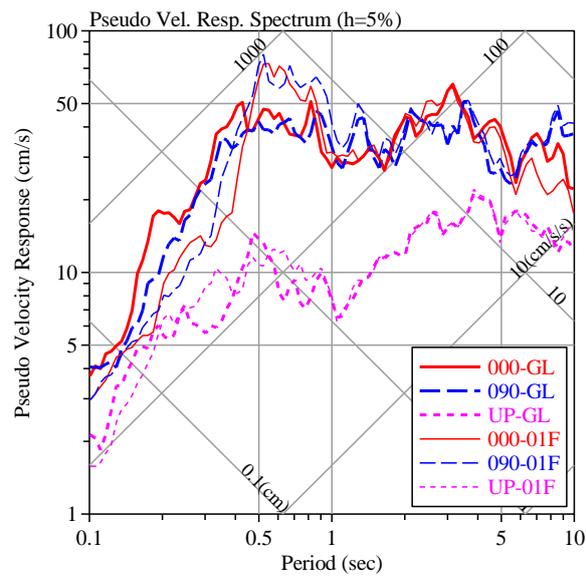


図 4.4-78 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

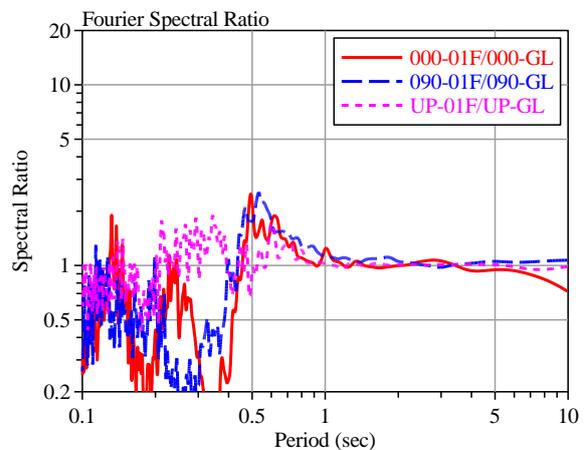


図 4.4-79 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

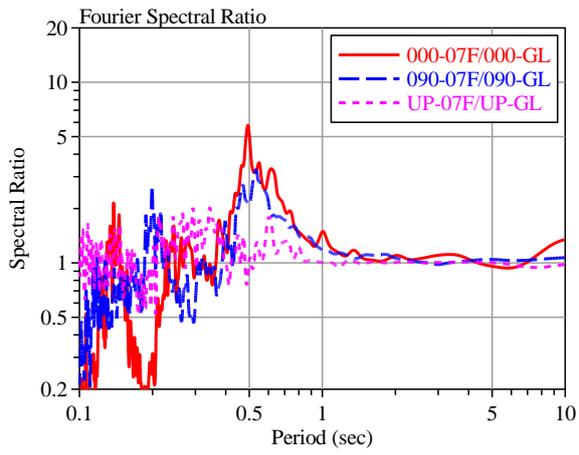


図 4.4-80 7階(07F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

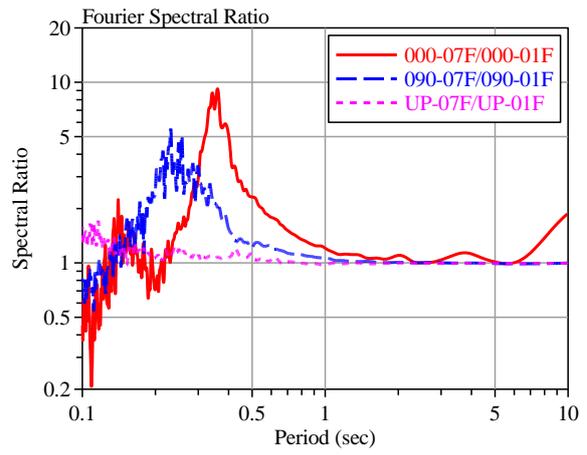


図 4.4-81 7階(07F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.4.12 国土交通大学校(KDI)の強震記録

国土交通大学校は、東京都小平市に立地し、観測対象は地上 3 階建ての鉄筋コンクリート造の管理厚生棟である。強震計は、地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 3 階(03F)に加速度計を有している。図 4.4-82 から図 4.4-84 に地表(GL)、建物 1 階(01F)、及び 3 階(03F)で得られた加速度記録を示す。地表(GL)の水平方向の最大加速度は 143 cm/s^2 から 167 cm/s^2 であり、地表(GL)の記録から算出した計測震度は、4.6(震度 5 弱)であった。建物の 1 階(01F)の最大加速度は、N090°E 方向では地表の 2/3 程となっている。また、建物の 3 階(03F)の最大加速度は、N090°E 方向で 129 cm/s^2 、N180°E 方向で 329 cm/s^2 と、1 階(01F)に比べ N180°E 方向で 2.4 倍に増幅している。

図 4.4-85 に、地表(GL)と建物 1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地表(GL)に、細線が 1 階(01F)に対応し、実線が N090°E 方向、破線が N180°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。地表(GL)の水平方向の擬似速度応答スペクトルは、短周期領域では起伏があり、0.2 秒強、0.4 秒弱にピークがある。長周期領域は比較的平坦で、周期 2.5 秒から 3 秒で 45 cm/s 程度の速度応答を示している。

1 階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-86 に示す。水平方向のスペクトル比は、0.5 秒以上の周期領域で 1 を示し、0.3 秒から 0.4 秒で盛り上がり、0.25 秒以下の周期領域で 1 を下回る。

図 4.4-87 と図 4.4-88 に、3 階(03F)の記録の地表(GL)と 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を示す。3 階(03F)/1 階(01F)のスペクトル比をみると、N090°E 方向では約 0.13 秒に、N180°E 方向では 0.26 秒に明瞭なピークが表れて、上部構造の 1 次固有周期と考えられる。3 階(03F)/地表(GL)のスペクトル比では N180°E 方向ピークは長周期側にずれ、相互作用の影響が伺えるが、N090°E 方向のピークは不明瞭である。

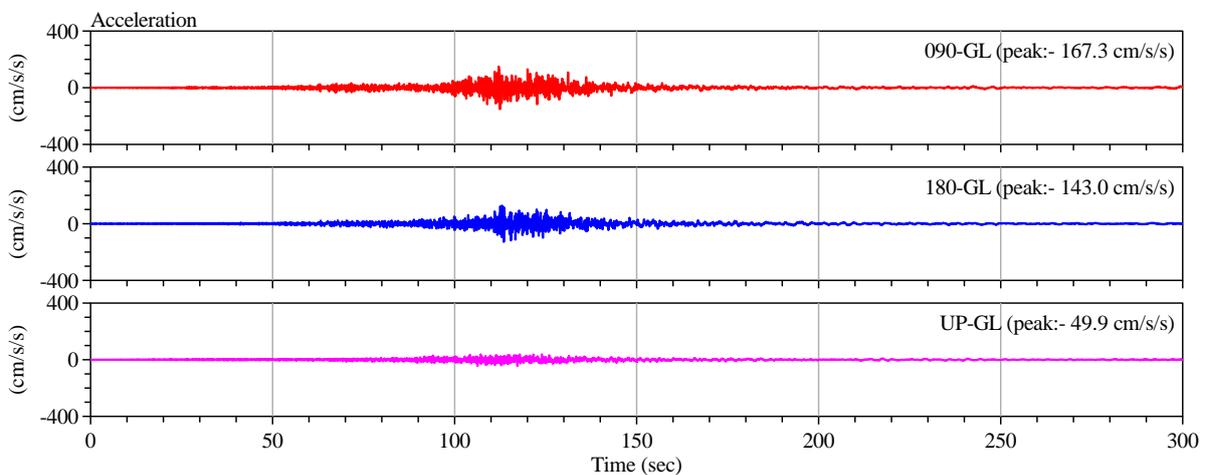


図 4.4-82 地表(GL)の加速度記録

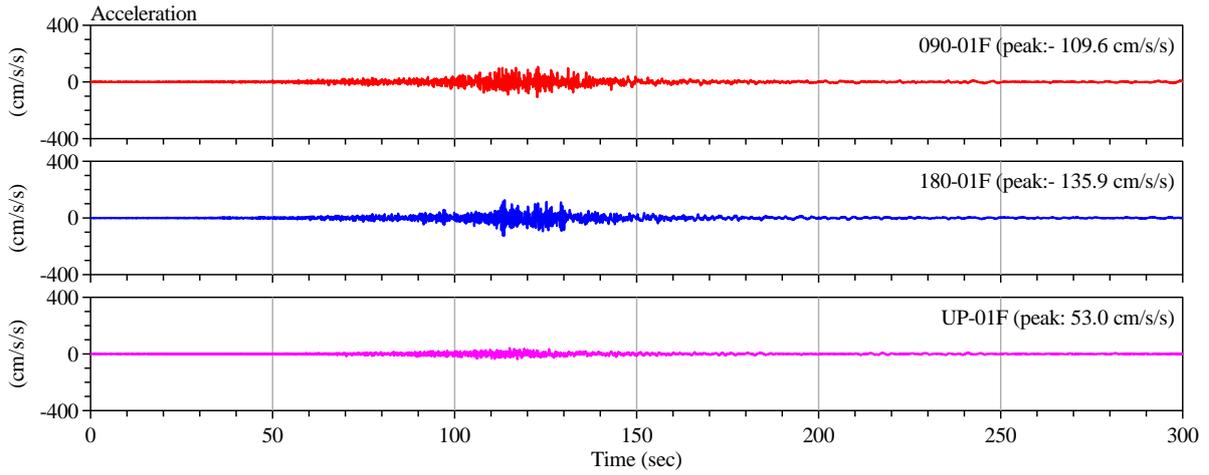


図 4.4-83 1階(01F)の加速度記録

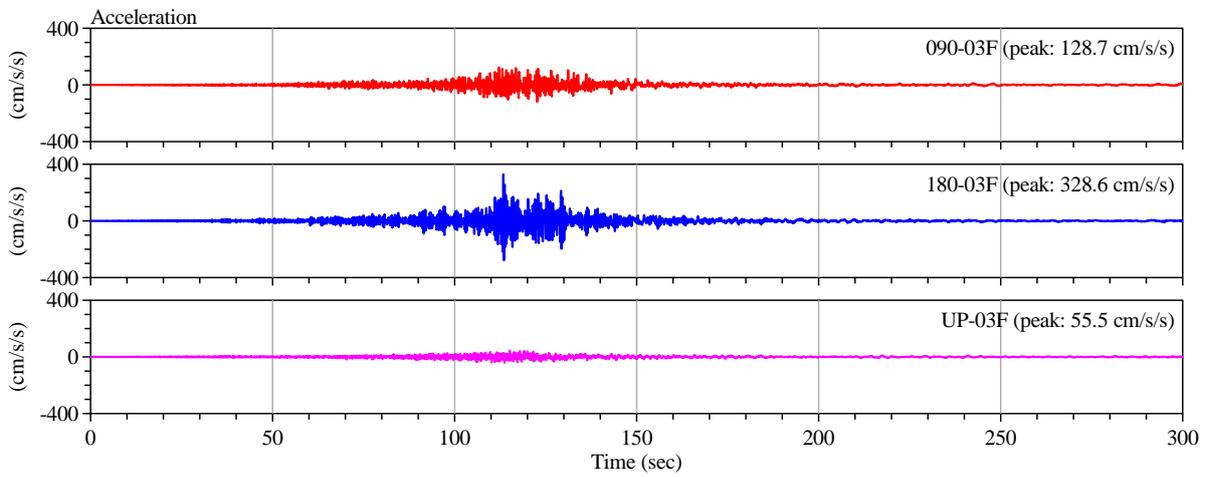


図 4.4-84 3階(03F)の加速度記録

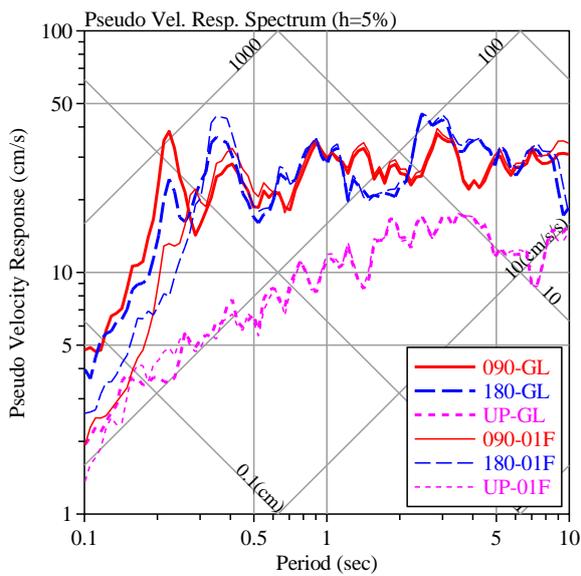


図 4.4-85 地表(GL)と1階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

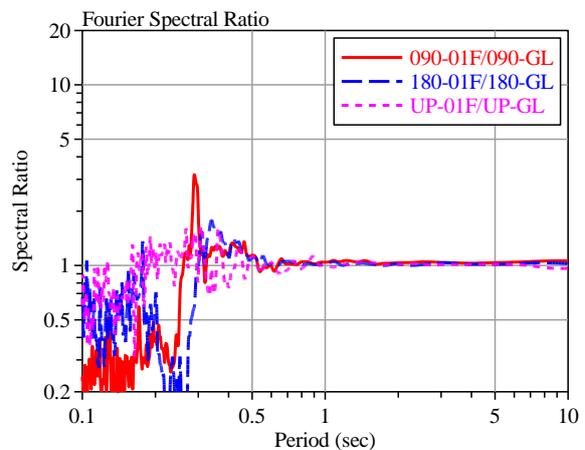


図 4.4-86 1階(01F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

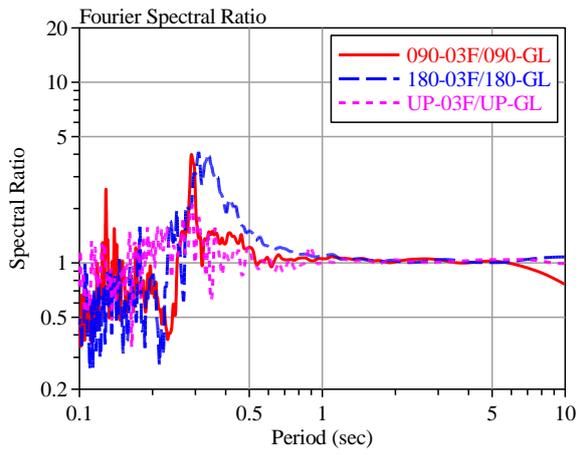


図 4.4-87 3 階(03F)の地表(GL)に対するフーリエ振幅スペクトル比

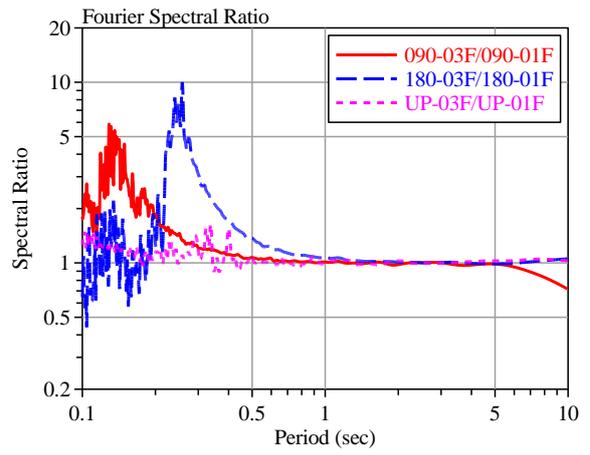


図 4.4-88 3 階(03F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5 建物内だけに複数の加速度計を有する建物の強震記録

本節では、超高層や免震以外の建物のうち、建物内だけに複数の加速度計を設置している建物で、地表に最も近い加速度計で震度 5 弱以上を計測した建物の強震記録を取り扱う。対象となる建物は表 4.5-1 に示す 11 棟である。震度の内訳をみると、震度 6 弱 1 棟、震度 5 強 2 棟、震度 5 弱 8 棟となっている。これらの建物には、少なくとも建物の基礎部と頂部に 2 台の加速度計が設置されているので、地震時の建物の応答特性の検討が行える。4.5.1 項以降に、各建物で得られた強震観測記録を示す。

表 4.5-1 対象建物一覧

項	記号	観測地点	計測震度	構造/階数	特徴
4.5.1	THU	東北大学人間環境系研究棟	5.6	SRC/9F	耐震壁が曲げ破壊し大破
4.5.2	IWK	いわき市庁舎	5.3	SRC/8F+B1F	RC 壁や仕上げに被害
4.5.3	HCN	八戸市庁舎本館	4.6	RC/6F+B1F	
4.5.4	ICK	市川市行徳図書館	5.2	RC/5F	
4.5.5	EDG	江戸川区庁舎	4.8	SRC/5F+B1F	
4.5.6	ADC	足立地方合同庁舎	4.8	RC/5F+B1F	
4.5.7	AKB	北区赤羽会館	4.6	SRC/7F+B2F	
4.5.8	NDLM	国立国会図書館本館	4.5	RC/6F+B1F(17S)	観測対象は 17 層の書庫棟
4.5.9	NDLA	国立国会図書館新館	4.5	RC/4F+B8F	深い地下階
4.5.10	NKN	東京法務局中野出張所	4.8	RC/5F	
4.5.11	KWS	川崎南労働基準監督署	4.7	S/7F	

注) 構造/階数: 構造は S が鉄骨造、RC が鉄筋コンクリート造、SRC が鉄骨鉄筋コンクリート造、PC がプレストレストコンクリート造を表す。階数は地上階+地下階。

4.5.1 東北大学人間環境系研究棟(THU)の強震記録

東北大学人間環境系研究棟は、仙台市青葉区の東北大学青葉山キャンパスに位置する、地上 9 階建ての鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。この建物は東北地方太平洋沖地震で、連層耐震壁が曲げ破壊するなど大破した^{4,7)}。強震計は、建物の 1 階(01F)と 9 階(09F)に計 2 台の加速度計を有している。図 4.5-1 と図 4.5-2 に、1 階(01F)と 9 階(09F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の N192°E 方向の最大加速度は 333 cm/s^2 に達し、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 5.6(震度 6 弱)であった。地震動の強さは、前節で述べた仙台第 2 合同庁舎より大きかったと言える。1 階(01F)の加速度記録を見ると、やはり大きな振幅のふたつの波群が 50 秒ほどの間隔をおいて表れ、ふたつ目の波群の振幅が若干大きい。9 階(09F)の加速度記録を見ると、N192°E 方向の最大加速度はふたつ目の波群に対応した時刻に表れているが、N282°E 方向では 10 秒ほど遅れて最大応答値を記録している。なお、N192°E 方向が建物の短辺方向で、曲げ破壊した連層耐震壁の配置方向に対応する。

1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 4.5-3 に示す。実線が N192°E 方向、破線が N282°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N192°E 成分の擬似速度応答スペクトルは、周期 1 秒辺りのピークが特徴的となっており、速度応答値は 180 cm/s に達する。

図 4.5-4 は、9 階(09F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比である。フーリエ振幅スペクトル比には、N192°E 方向で周期 1.3 秒、N282°E 方向で周期 1.2 秒に 1 次固有周期に対応するピークが表れるが、その形状は緩やかで、建物が損傷を受けて地震の継続中に固有周期が変化した影響と考えられる。

1 階(01F)と 9 階(09F)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.5-5 と図 4.5-6 に示す。1 階(01F)の変位は 80 秒過ぎに大きな振幅を記録し、最大変位は N282°E 方向で 30 cm を超えている。9 階(09F)の変位は、更に建物の応答変位が加わり、最大変位は N192°E 方向で 33 cm、N282°E 方向で 35 cm となっている。図 4.5-7 と図 4.5-8 は、それぞれ 1 階(01F)と 9 階(09F)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。1 階(01F)の変位は、80 秒から 100 秒の間に大きく東方向に揺れており、4.2.1 項で述べた仙台第 2 合同庁舎の地下 2 階(B2F)の変位軌跡と調和的である。9 階(09F)の変位は 80 秒から 100 秒の間の揺れが特に激しい。

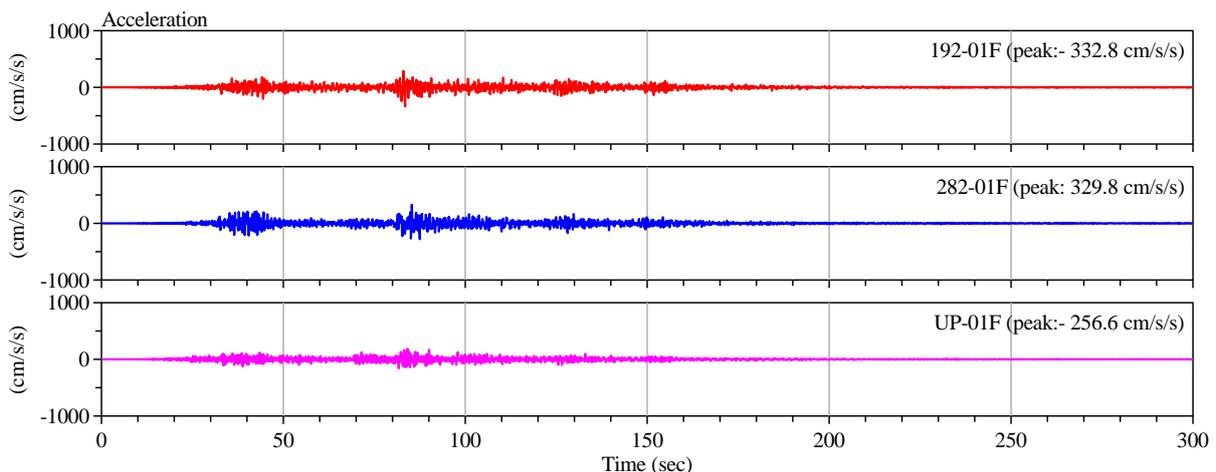


図 4.5-1 1 階(01F)の加速度記録

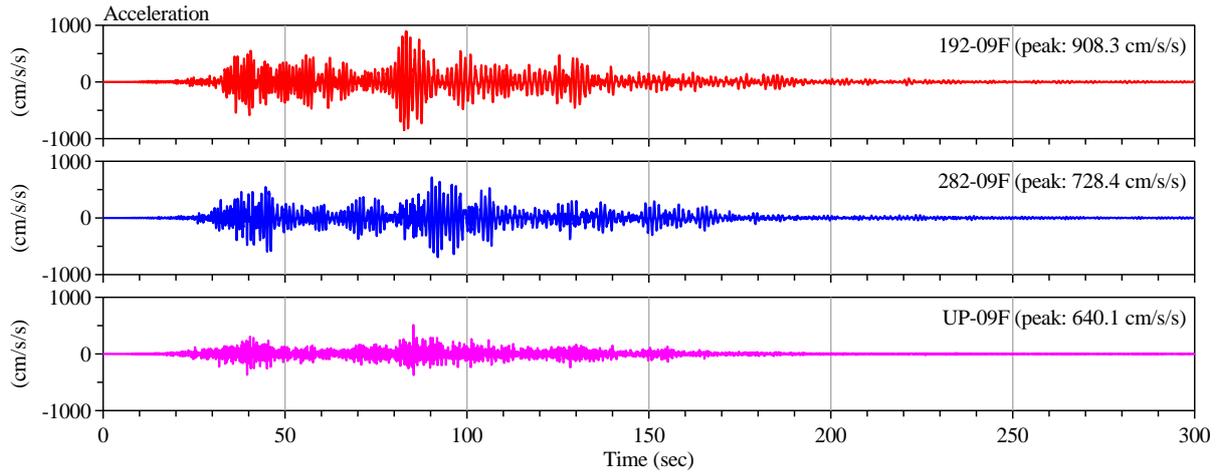


図 4.5-2 9 階(09F)の加速度記録

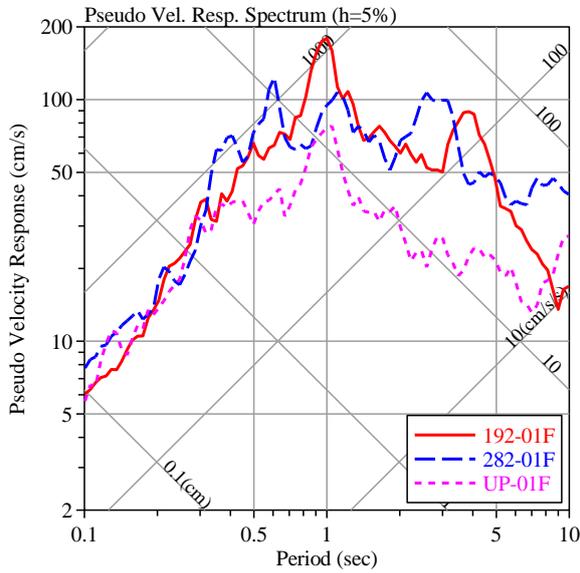


図 4.5-3 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

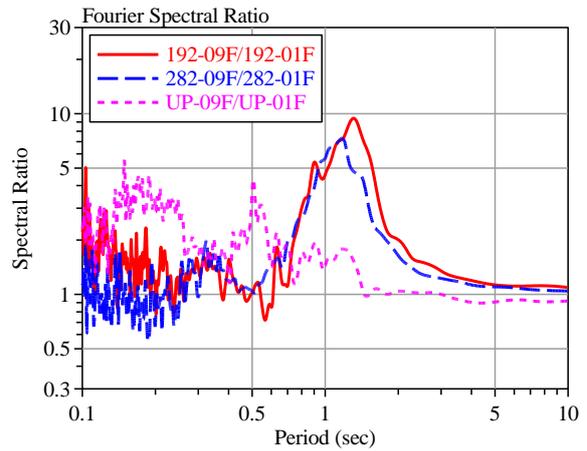


図 4.5-4 9 階(09F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

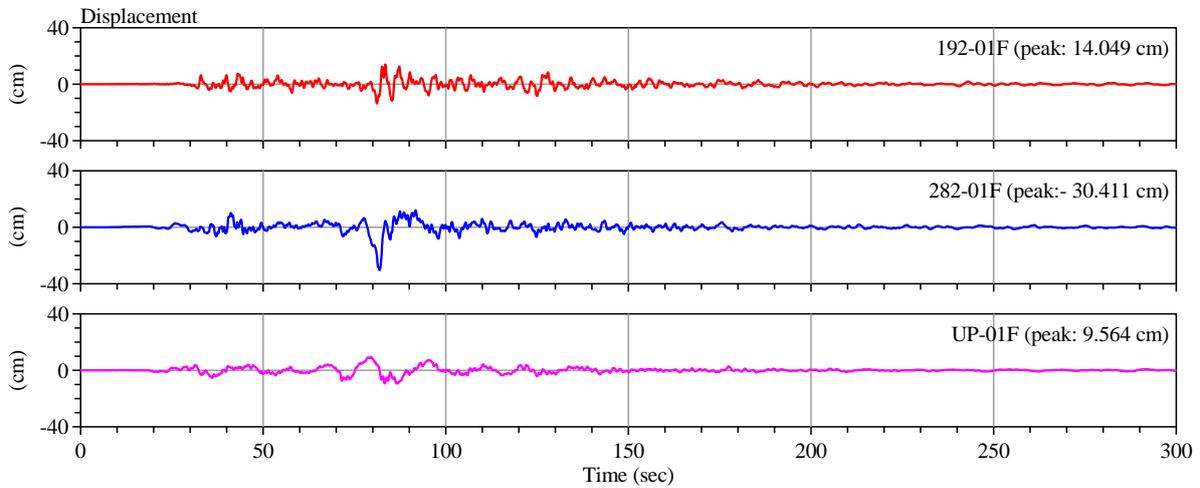


図 4.5-5 1 階(01F)の変位記録

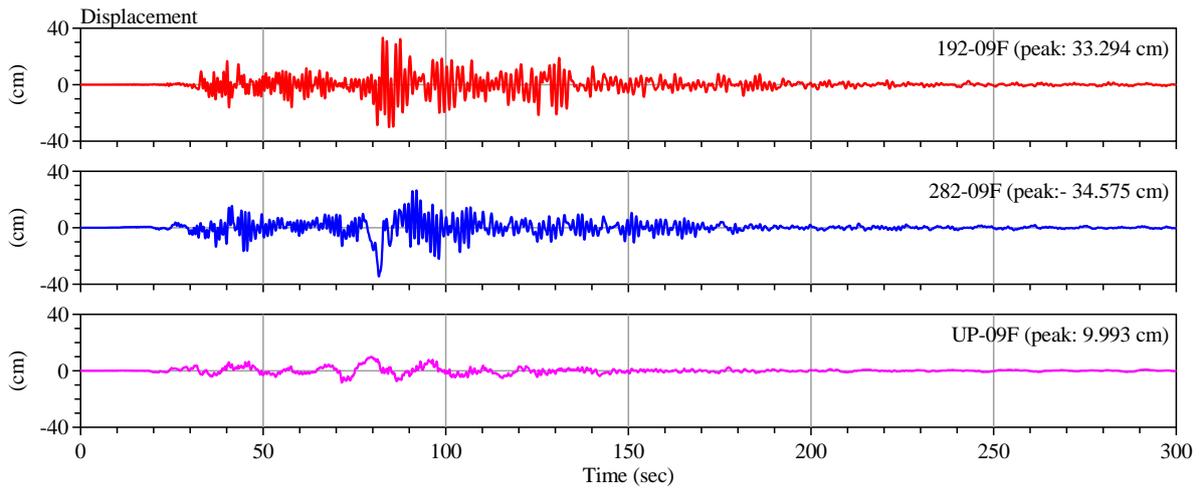


図 4.5-6 9階(09F)の変位記録

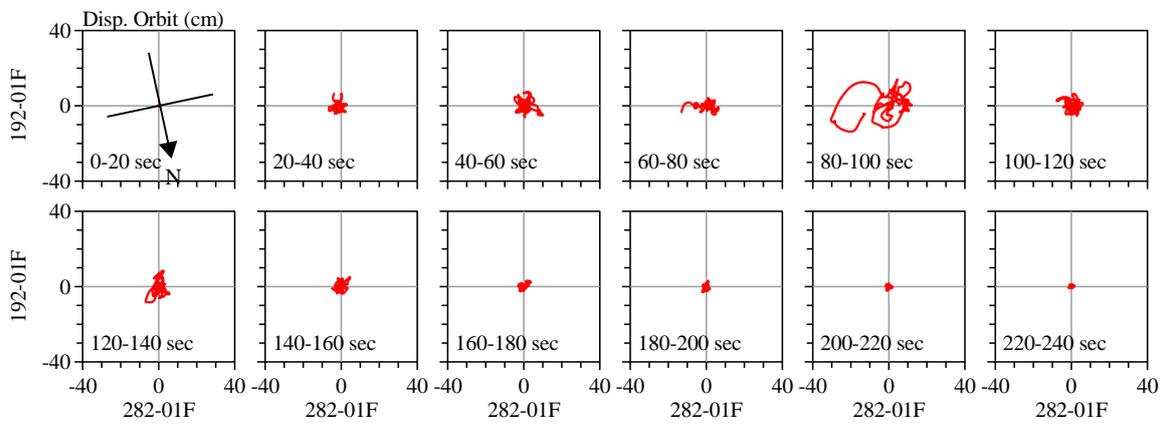


図 4.5-7 1階(01F)の変位の水平面内軌跡

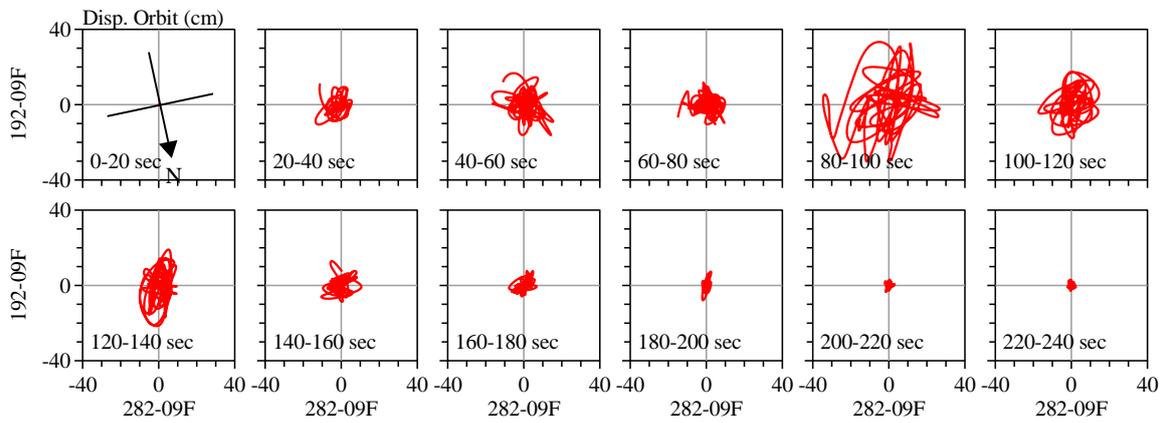


図 4.5-8 9階(09F)の変位の水平面内軌跡

4.5.2 いわき市庁舎(IWK)の強震記録

いわき市庁舎は福島県いわき市に立地する、地上 8 階、地下 1 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。2011 年東北地方太平洋沖地震によって、庁舎はコンクリート壁の亀裂や仕上げ材の損傷などの被害を受けた⁴⁻⁸⁾。強震計は、地下 1 階(B1F)と塔屋 1 階(09F)に加速度計を有している。図 4.5-9 と図 4.5-10 に、地下 1 階(B1F)と塔屋 1 階(09F)で得られた加速度記録を示す。地下 1 階(B1F)の水平方向の最大加速度は 175 cm/s^2 前後であり、地下 1 階(B1F)の記録から算出した計測震度は 5.3(震度 5 強)であった。地下 1 階(B1F)の加速度記録には、仙台市内の記録に見られたような、明瞭なふたつの波群は認められないが、主要動が 30 秒辺りに到来し、更に大きな振幅の揺れが 70 秒から 120 秒に生じている。塔屋 1 階(09F)の加速度記録は、最初の主要動が到達したとみられる 30 秒辺りから大きな値を示しており、70 秒過ぎから更に大きな揺れを生じ、水平方向の最大加速度は N180°E 方向で 579 cm/s^2 、N270°E 方向で 449 cm/s^2 と、地下 1 階(B1F)の 3.3 倍から 2.5 倍となっている。

図 4.5-11 に、地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N180°E 方向、破線が N270°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。1 秒から 3 秒の周期領域が優勢な形状をしており、応答速度の最大値は周期 2 秒付近で 100 cm/s を超えている。

塔屋 1 階(09F)の記録の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-12 に示す。N180°E 方向で 0.88 秒、N270°E 方向で 0.60 秒に 1 次固有周期に対応するピークが表れており、低く幅の広い形状をしている。この形状は、地震動の継続中に周期特性が変化した影響と考えられる⁴⁻⁸⁾。

地下 1 階(B1F)と塔屋 1 階(09F)の加速度記録を積分して求めた変位記録(絶対変位)を、図 4.5-13 と図 4.5-14 に示す。地下 1 階(B1F)の変位は 90 秒過ぎに大きな振幅を記録し、最大変位は N180°E 方向で 24 cm を超えている。塔屋 1 階(09F)の変位は、更に建物の応答変位が加わり、最大変位は N180°E 方向で 35 cm となっている。図 4.3-15 と図 4.3-16 は、それぞれ地下 1 階(B1F)と塔屋 1 階(09F)の変位記録の水平面内軌跡を、20 秒ごとに描画したものである。地下 1 階(B1F)の変位は、80 秒から 100 秒の間に大きく南南東に揺れている。

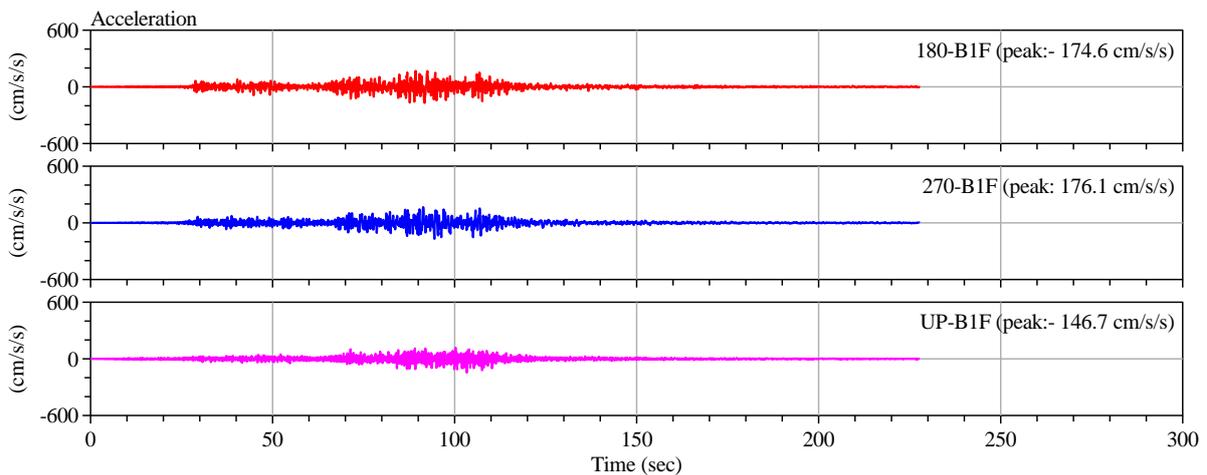


図 4.5-9 地下 1 階(B1F)の加速度記録

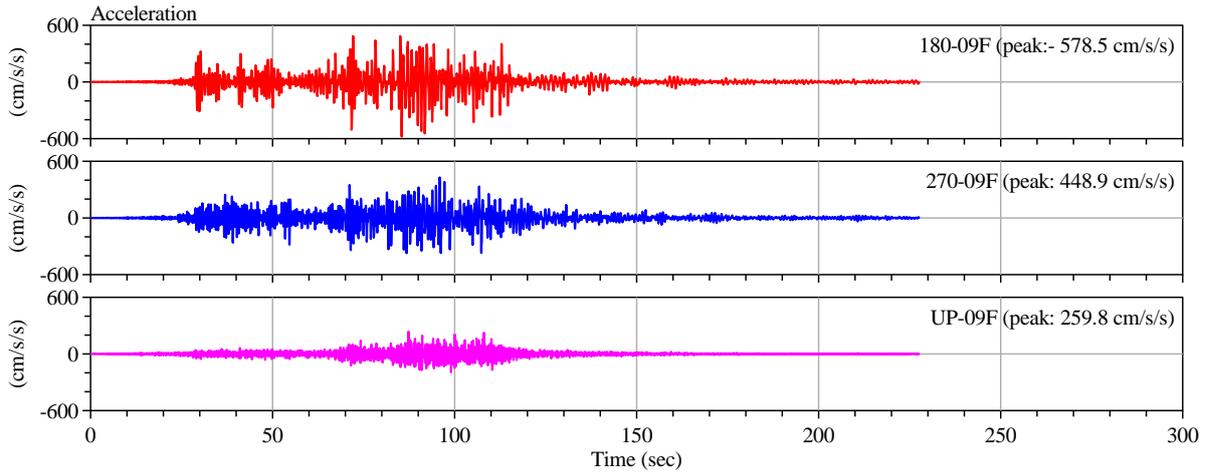


図 4.5-10 塔屋 1 階(09F)の加速度記録

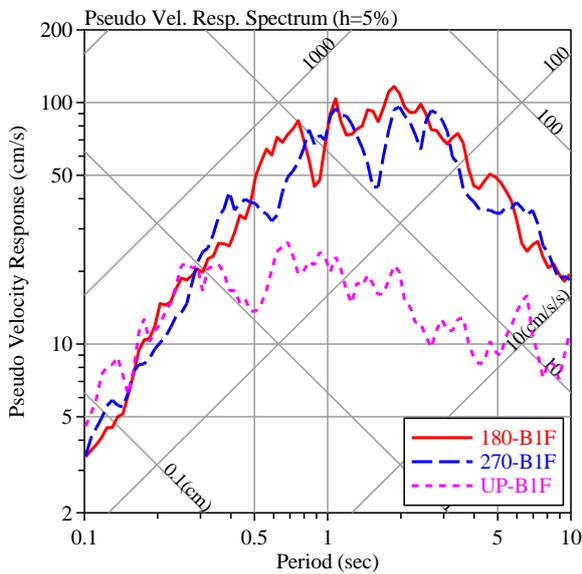


図 4.5-11 地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

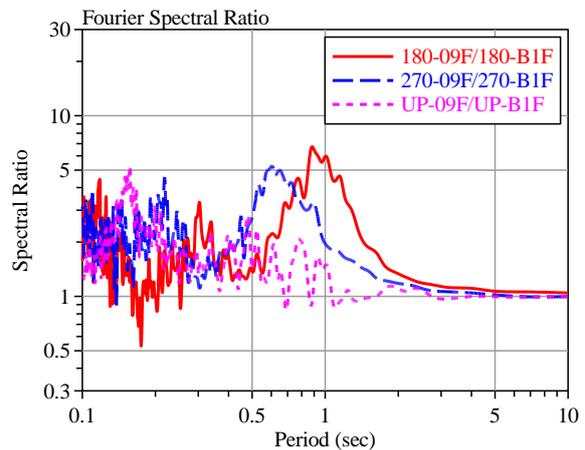


図 4.5-12 塔屋 1 階(09F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

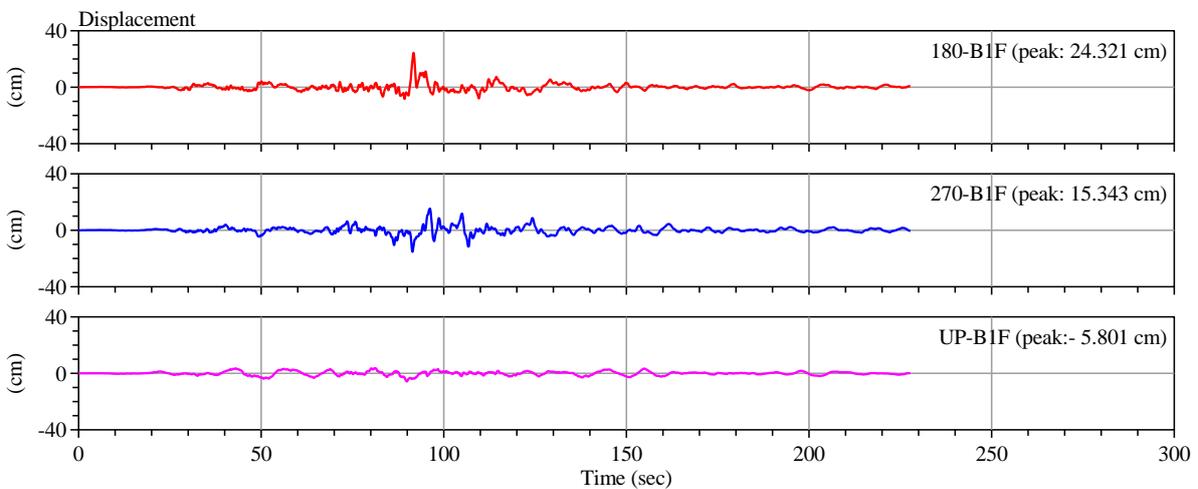


図 4.5-13 地下 1 階(B1F)の変位記録

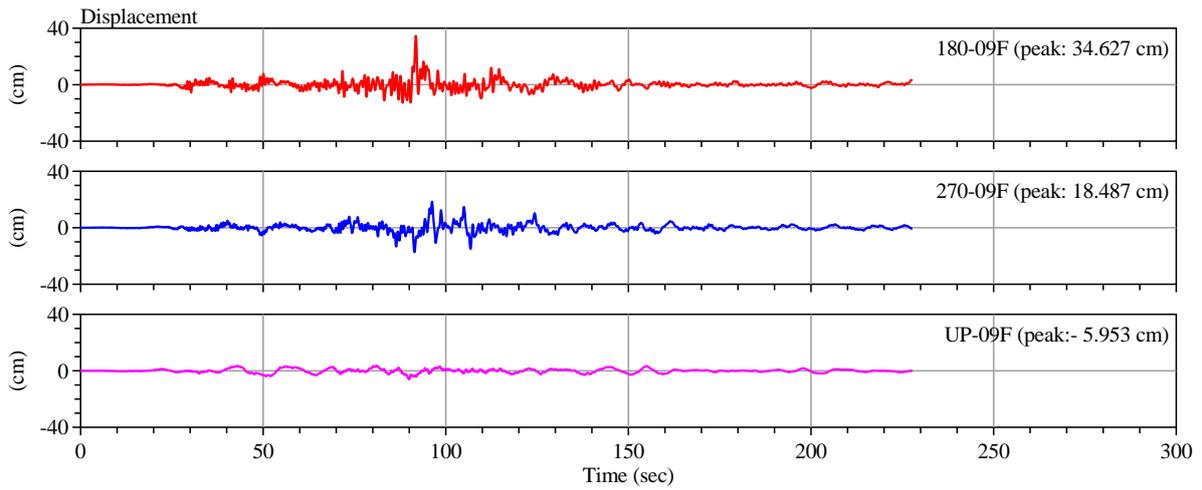


図 4.5-14 塔屋 1 階(09F)の変位記録

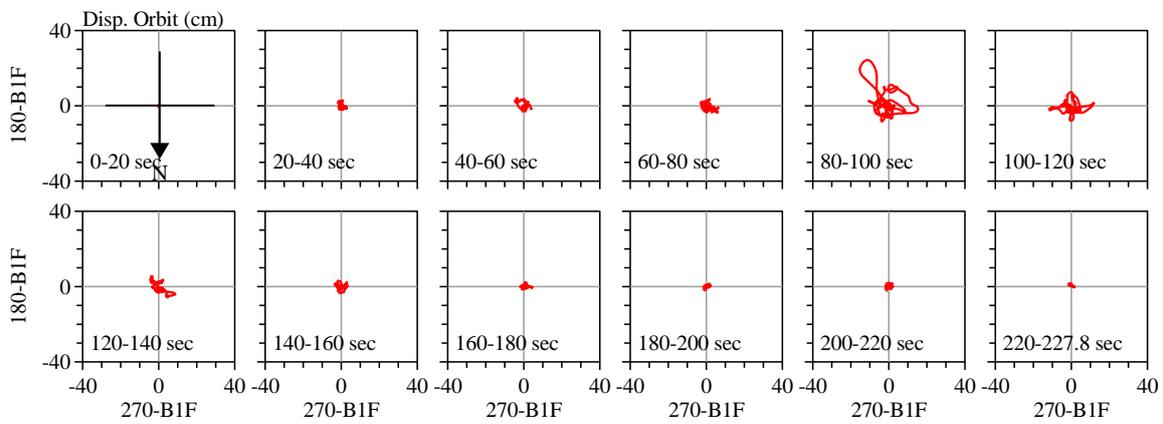


図 4.5-15 地下 1 階(B1F)の変位の水平面内軌跡

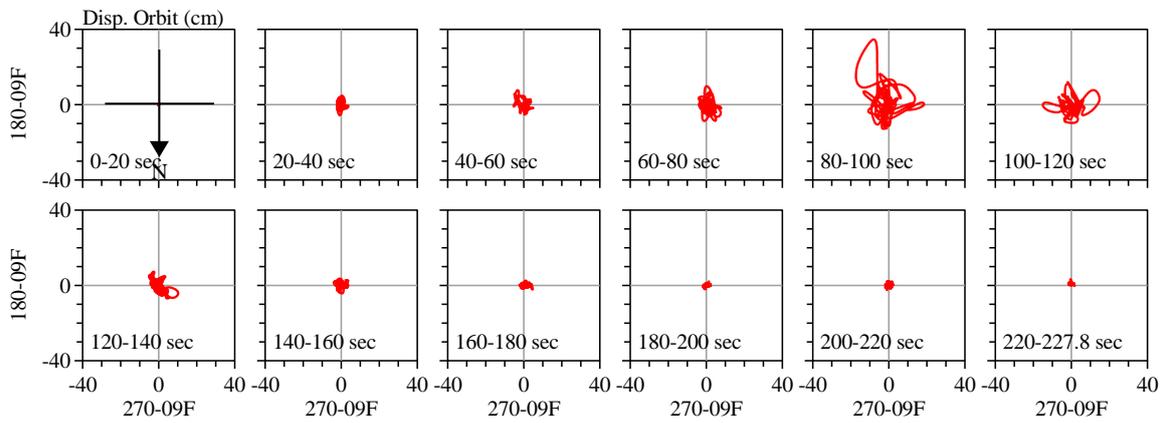


図 4.5-16 塔屋 1 階(09F)の変位の水平面内軌跡

4.5.3 八戸市庁舎本館(HCN)の強震記録

八戸市庁舎本館は、前節の八戸市庁舎別館と同じ敷地に建つ、地上 6 階、地下 1 階の鉄筋コンクリート造建物である。強震計は、地下 1 階(B1F)と 6 階(06F)に加速度計を有している。図 4.5-17 と図 4.5-18 に、地下 1 階(B1F)と 6 階(06F)で得られた加速度記録を示す。地下 1 階(B1F)の水平方向の最大加速度は 100 cm/s^2 前後であり、地下 1 階(B1F)の記録から算出した計測震度は 4.6(震度 5 弱)であった。建物の 6 階(06F)の最大加速度は N164°E 方向で 348 cm/s^2 、N254°E 方向で 335 cm/s^2 と、地下 1 階(B1F)の 3 倍程度の値となっている。

図 4.5-19 に、地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N164°E 方向、破線が N254°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平 2 方向の擬似速度応答スペクトルに大きな差はなく、0.9 秒付近に大きな山を持つ形状となっている。

6 階(06F)の地下 1 階(B1F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-20 に示す。水平成分のスペクトル比には 1 次固有振動の明瞭なピークが表れ、固有周期は N164°E 方向で 0.41 秒、N254°E 方向で 0.43 秒となっている。

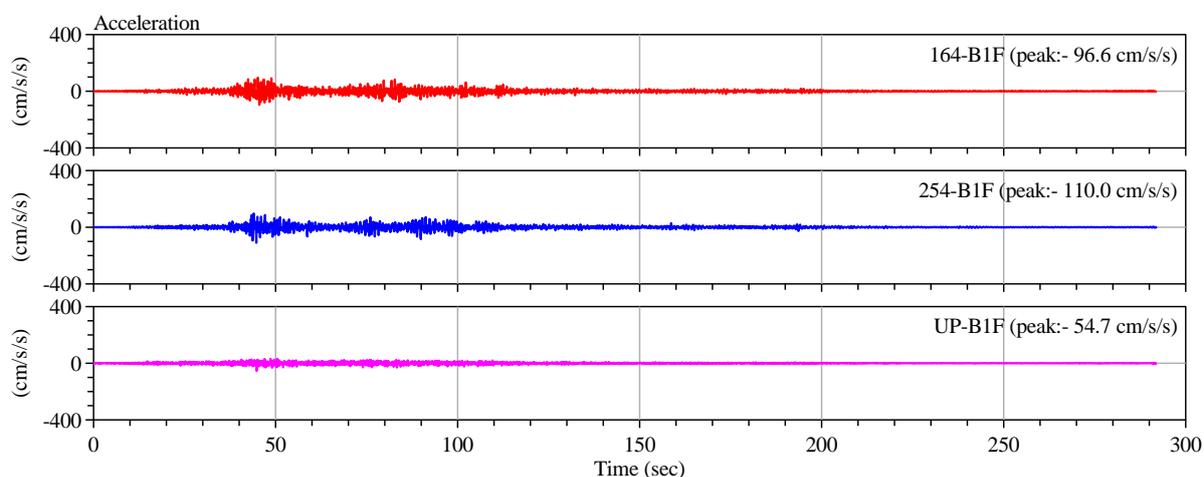


図 4.5-17 地下 1 階(B1F)の加速度記録

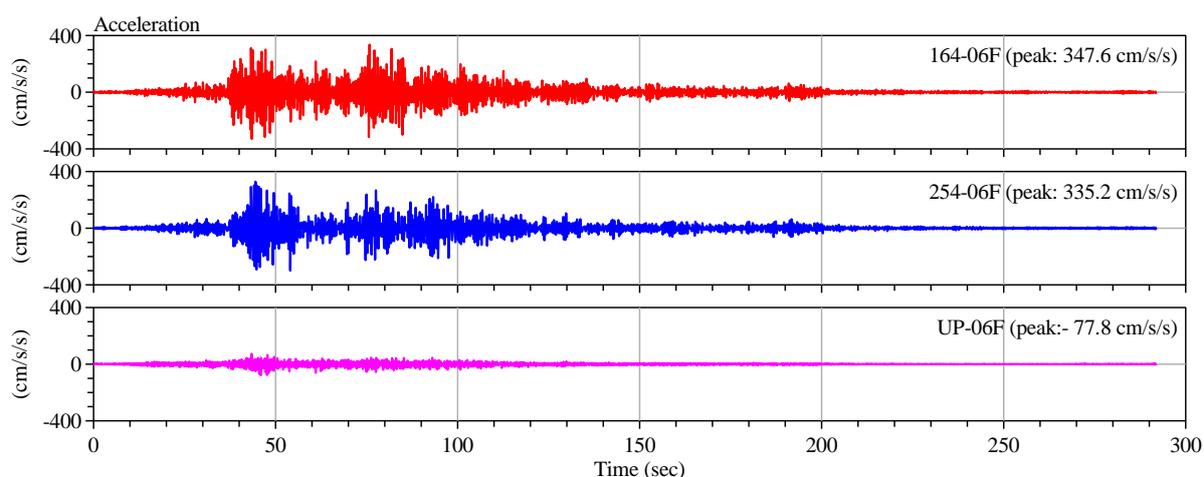


図 4.5-18 6 階(06F)の加速度記録

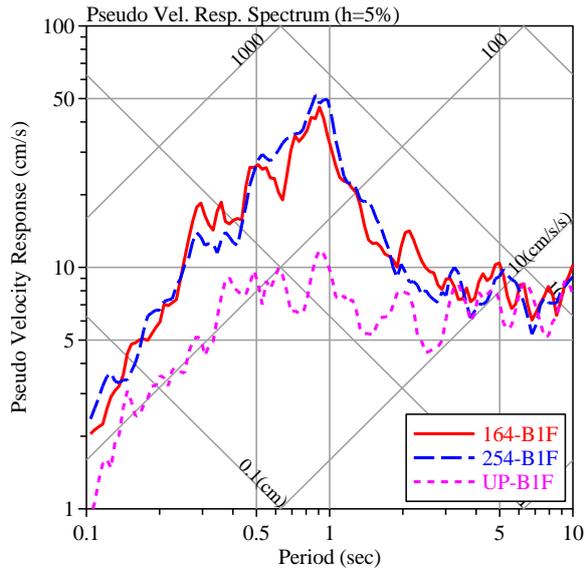


図 4.5-19 地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

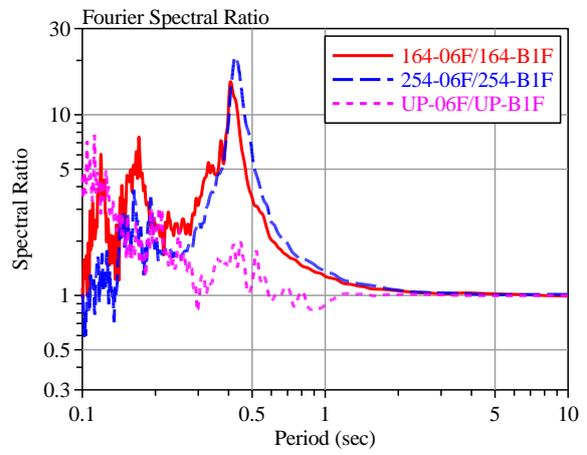


図 4.5-20 6 階(06F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.4 市川市行徳図書館(ICK)の強震記録

千葉県市川市の行徳図書館は、地上5階建ての鉄筋コンクリート造建物である。強震計は1階(01F)、2階(02F)、及び5階(05F)に加速度計を有している。図4.5-21と図4.5-22に1階(01F)と5階(05F)で得られた加速度記録を示す。1階(01F)の水平方向の最大加速度は 160 cm/s^2 強であり、1階(01F)の記録から算出した計測震度は5.2(震度5強)であった。一方、5階(05F)で得られた最大加速度は、N321°E方向で 240 cm/s^2 、N051°E方向で 300 cm/s^2 と、1階(01F)の1.5倍から1.8倍の値を示している。

図4.5-23に、1階(01F)の記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線がN321°E方向、破線がN051°E方向、点線がUP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは0.7秒から0.8秒の応答が大きく、 100 cm/s 近くに達している。長周期領域では方向によって様相が異なり、N051°E方向の3秒強の山が特徴的である。

5階(05F)の1階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図4.5-24に示す。スペクトル比から判断した1次固有周期は、N321°E方向が0.39秒、N051°E方向が0.43秒であった。

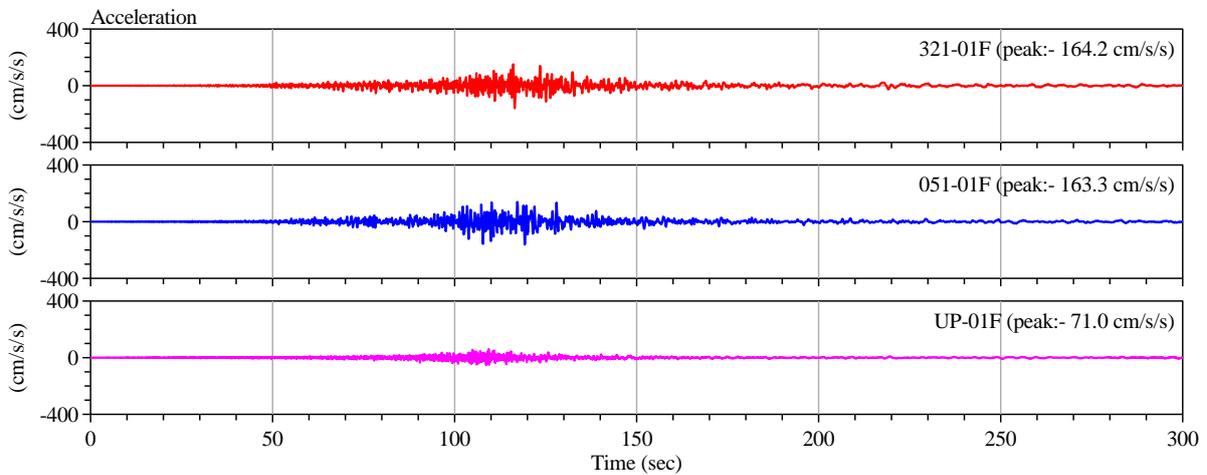


図 4.5-21 1階(01F)の加速度記録

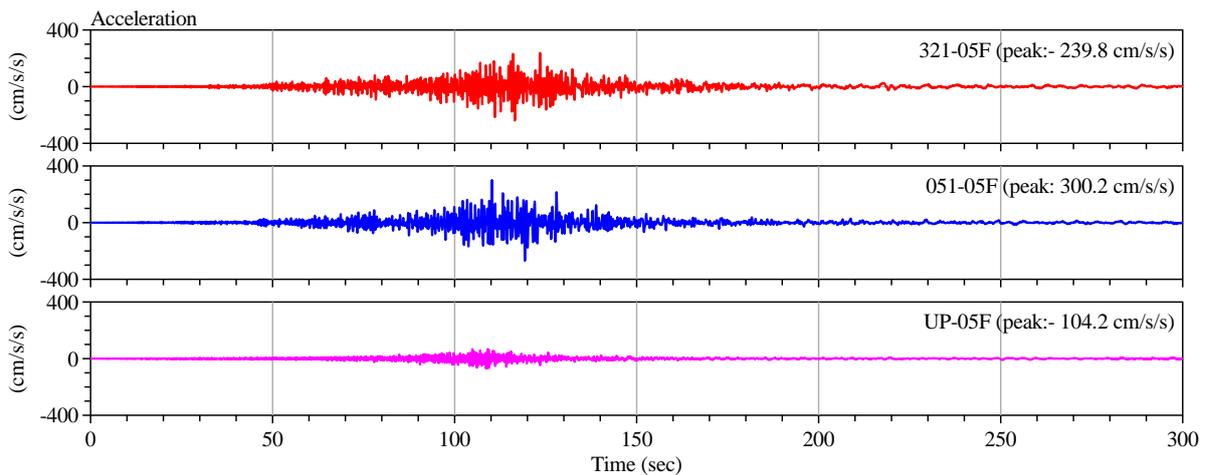


図 4.5-22 5階(05F)の加速度記録

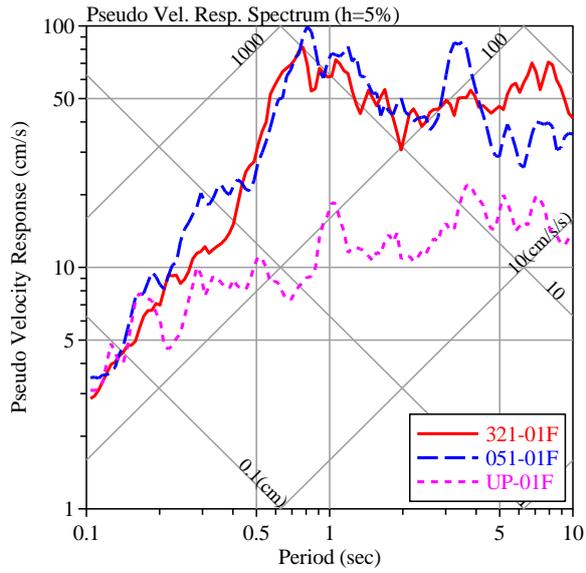


図 4.5-23 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

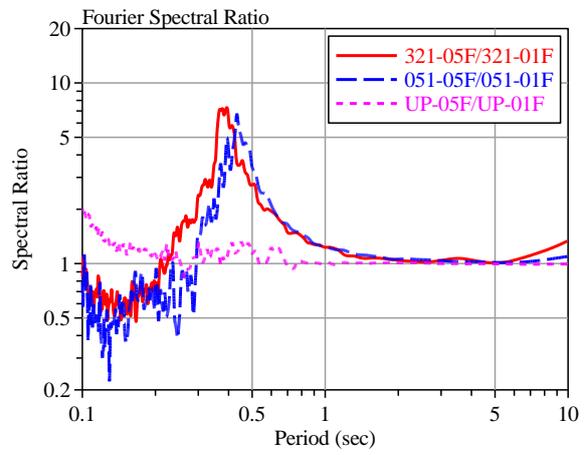


図 4.5-24 5 階(05F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.5 江戸川区庁舎(EDG)の強震記録

東京都江戸川区の江戸川区庁舎は、地上 5 階地下 1 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。強震計は 1 階(01F)と 5 階(05F)に加速度計を有している。図 4.5-25 と図 4.5-26 に 1 階(01F)と 5 階(05F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 110 cm/s^2 を超える程度で、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.8(震度 5 弱)であった。一方、5 階(05F)で得られた最大加速度は、N003°E 方向で 256 cm/s^2 、N093°E 方向で 299 cm/s^2 と、1 階(01F)の 2.3 倍から 2.7 倍の値を示している。

図 4.5-27 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N003°E 方向、破線が N093°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N093°E 方向の擬似速度応答スペクトルは、1 秒以上の周期領域で概ね平坦な形状を示し、速度応答値は 50 cm/s 前後である。N003°E 方向の擬似速度応答スペクトルは、N093°E 方向のより起伏があり、周期 1.5 秒の応答速度は 80 cm/s を超えている。

5 階(05F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-28 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、N003°E 方向が 0.22 秒、N093°E 方向が 0.27 秒であった。

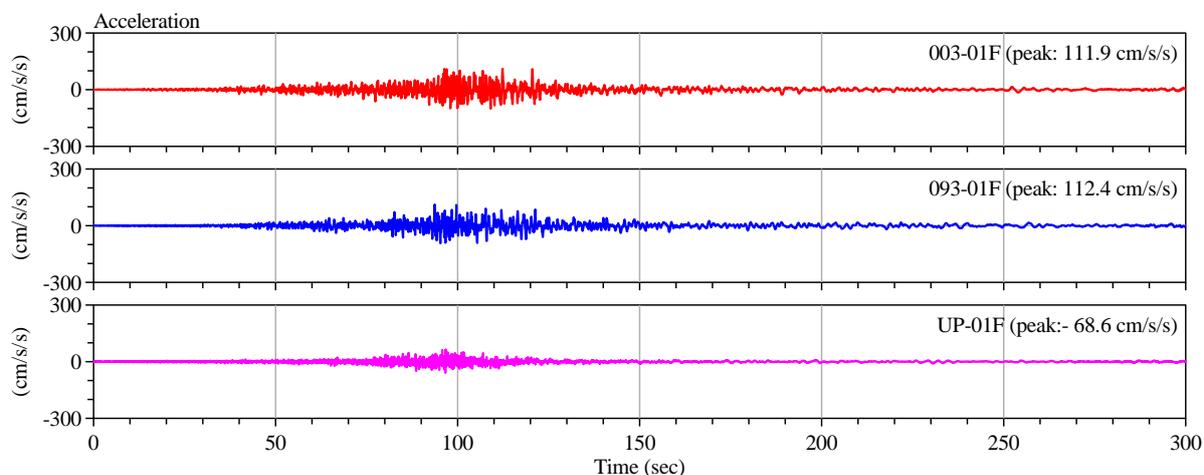


図 4.5-25 1 階(01F)の加速度記録

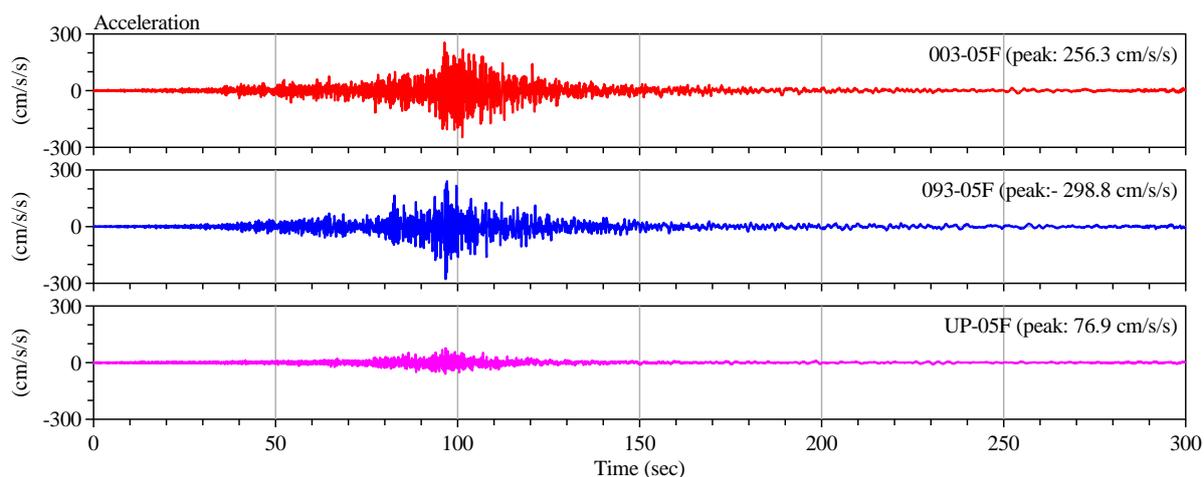


図 4.5-26 5 階(05F)の加速度記録

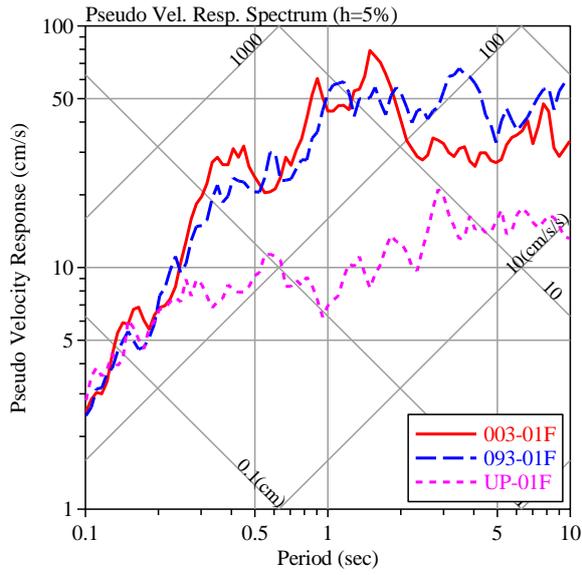


図 4.5-27 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

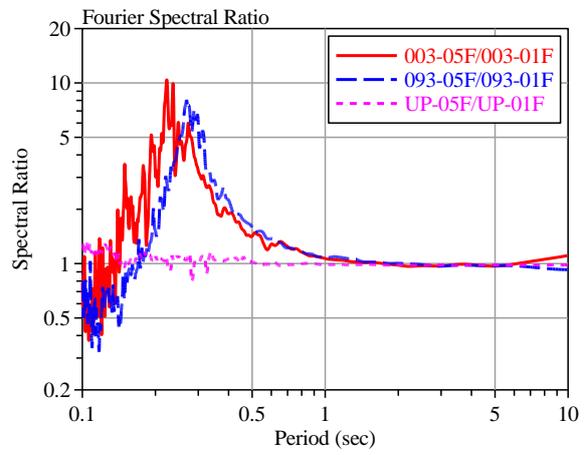


図 4.5-28 5 階(05F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.6 足立地方合同庁舎(ADC)の強震記録

東京都足立区の足立地方合同庁舎は、地上 5 階地下 1 階の鉄筋コンクリート造建物である。強震計は 1 階(01F)と 4 階(04F)に加速度計を有している。図 4.5-29 と図 4.5-30 に、1 階(01F)と 4 階(04F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 100 cm/s^2 を超える程度で、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.8(震度 5 弱)であった。一方、4 階(04F)で得られた最大加速度は、N102°E 方向で 266 cm/s^2 、N102°E 方向で 146 cm/s^2 と、それぞれ 1 階(01F)の最大加速度の 2.3 倍と 1.4 倍となっている。

図 4.5-31 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N102°E 方向、破線が N102°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、1 秒前後の応答が大きく、N102°E 方向の速度応答値は 60 cm/s から 80 cm/s に及ぶ。

4 階(04F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-32 に示す。スペクトル比から判断した 1 次固有周期は、N102°E 方向が 0.35 秒、N102°E 方向が 0.29 秒であった。

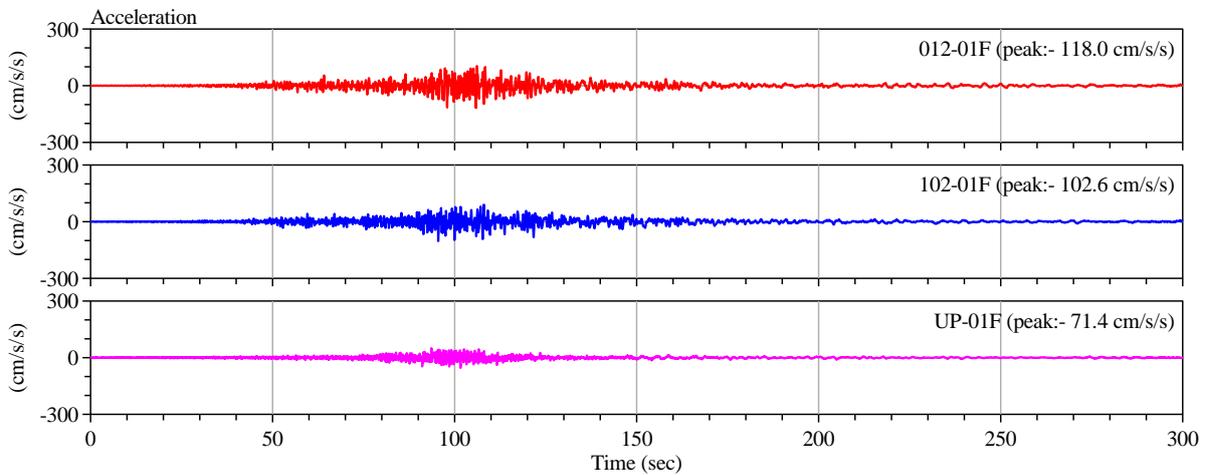


図 4.5-29 1 階(01F)の加速度記録

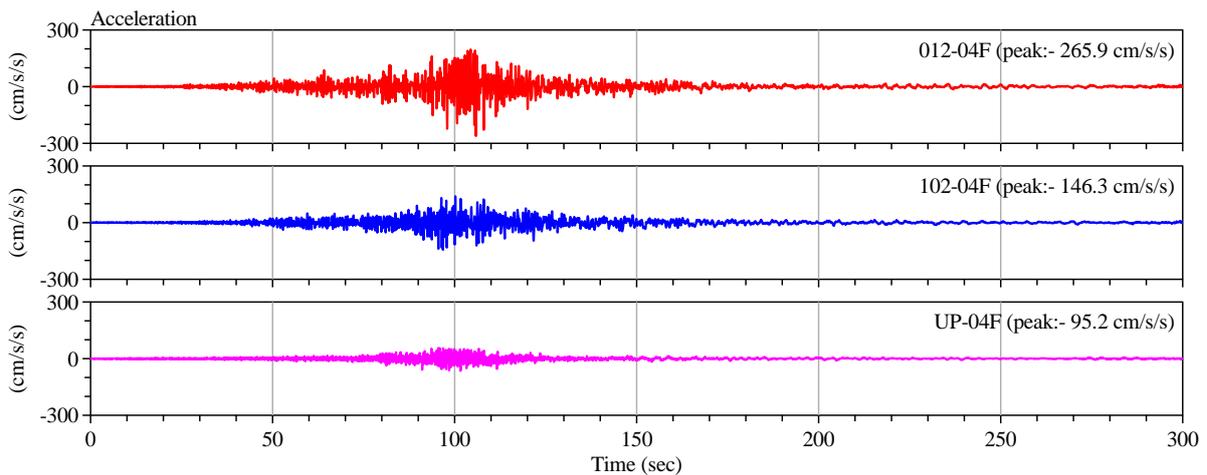


図 4.5-30 4 階(04F)の加速度記録

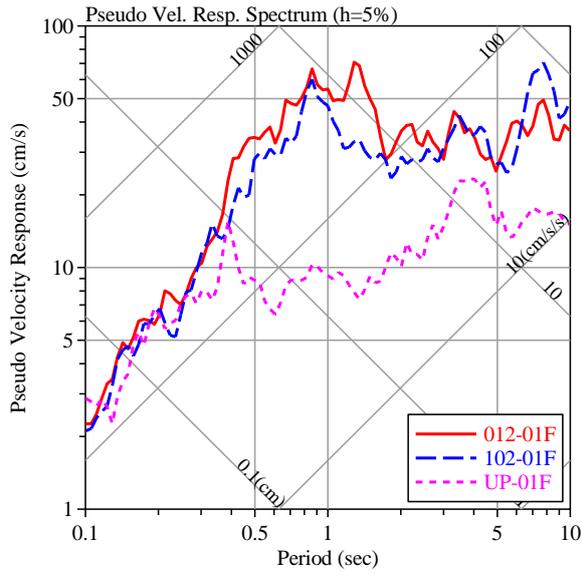


図 4.5-31 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

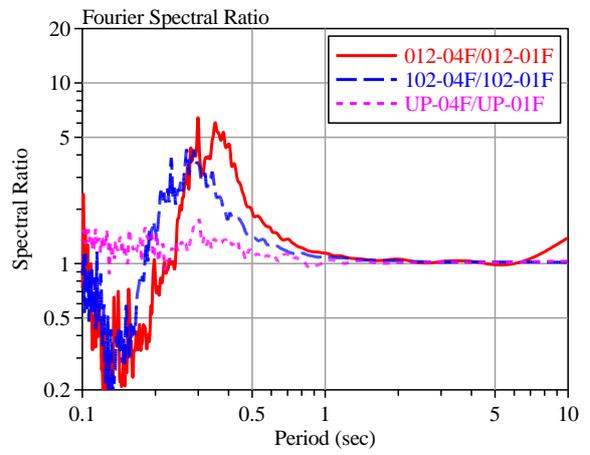


図 4.5-32 4 階(04F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.7 北区赤羽会館(AKB)の強震記録

東京都北区の北区赤羽会館は、地上 7 階地下 2 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。強震計は地下 1 階(B1F)と 6 階(06F)に加速度計を有している。図 4.5-33 と図 4.5-34 に、地下 1 階(B1F)と 6 階(06F)で得られた加速度記録を示す。地下 1 階(B1F)の水平方向の最大加速度は N354°E 方向で 85 cm/s^2 、N084°E 方向で 139 cm/s^2 となっており、地下 1 階(B1F)の記録から算出した計測震度は 4.6(震度 5 弱)であった。6 階(06F)で得られた加速度の最大値は、N354°E 方向で 180 cm/s^2 を、N084°E 方向で 250 cm/s^2 と、地下 1 階(B1F)の値の 2.0 倍から 1.8 倍であった。

図 4.5-35 に、地下 1 階(B1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N354°E 方向、破線が N084°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。水平方向の擬似速度応答スペクトルは、0.5 秒以上の周期領域で概ね平坦な形状を示し、応答速度値は 50 cm/s 以下である。

6 階(06F)の地下 1 階(B1F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-36 に示す。スペクトル比からは、N354°E 方向の 1 次固有周期は 0.30 秒程度と判断できるが、N084°E 方向には 0.3 秒強と 0.4 秒と 0.5 秒の間の 2 つのピークが表れている。

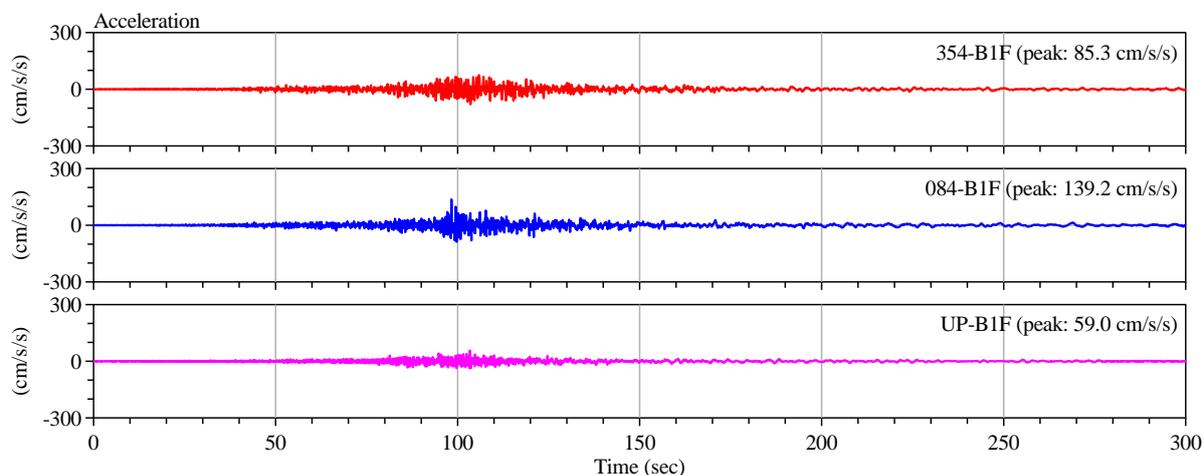


図 4.5-33 地下 1 階(B1F)の加速度記録

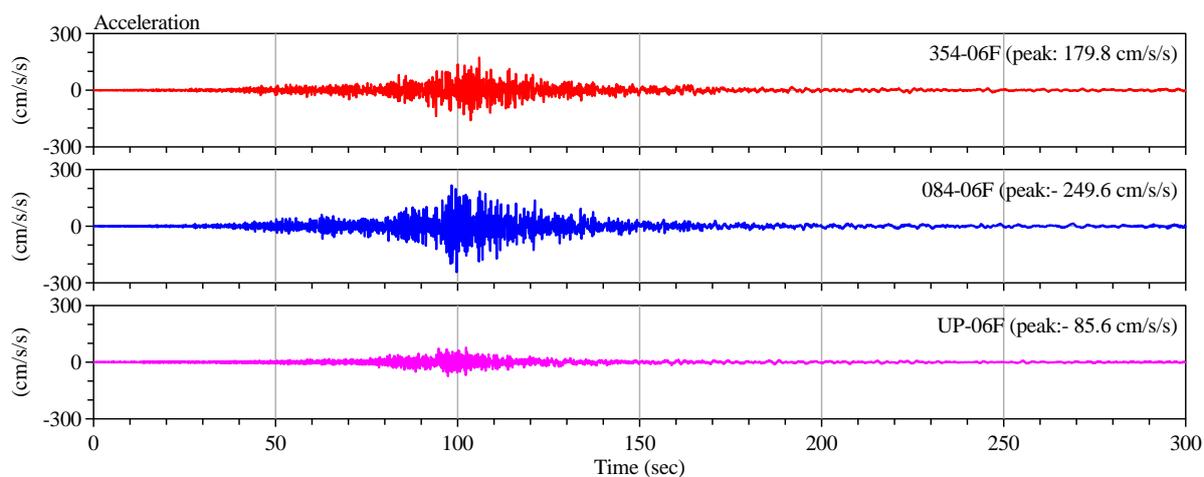


図 4.5-34 6 階(06F)の加速度記録

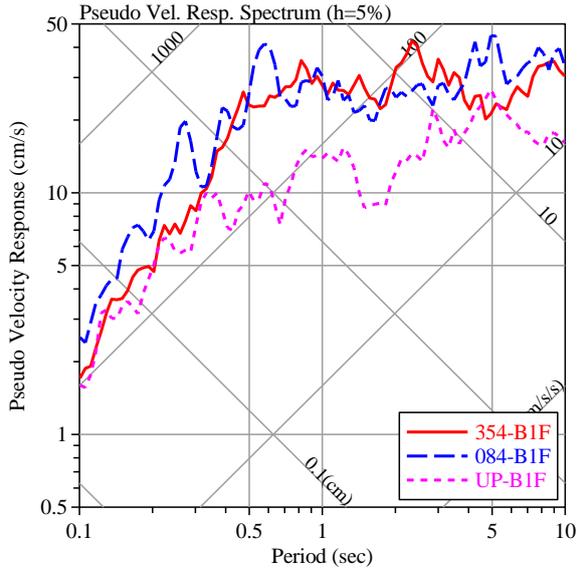


図 4.5-35 地下 1 階(B1F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

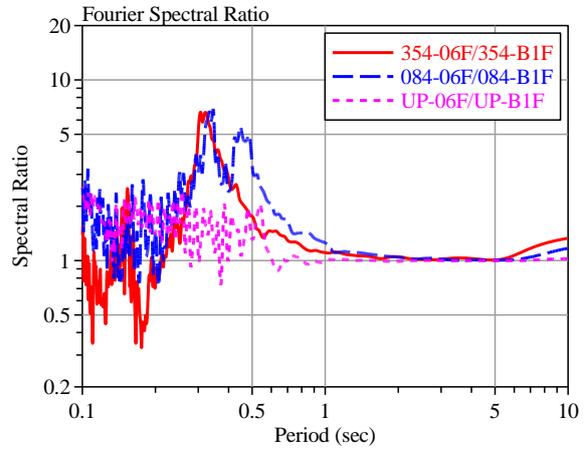


図 4.5-36 6 階(06F)の地下 1 階(B1F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.8 国立国会図書館本館(NDLM)の強震記録

東京都千代田区に位置する国立国会図書館本館は、地上 6 階地下 1 階の事務棟と、中央部に配置された 17 層の書庫棟で構成される鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。なお、書庫棟の階高は、事務棟の 2/3 となるように設計されており、書庫棟の階と事務棟の階は対応しない。このため書庫棟の階は層と称されており最下層が 1 層、最上層が 17 層となっており、ここでの呼称もそれに準じる。強震計は書庫棟の 1 層(01S)と 17 階(17S)に設置されている⁴⁹⁾。図 4.5-37 と図 4.5-38 に、1 層(01S)と 17 層(17S)で得られた加速度記録を示す。1 層(01S)の水平方向の最大加速度は 100 cm/s^2 を下回り、1 層(01S)の記録から算出した計測震度は 4.5(震度 5 弱)であった。一方、17 階(17S)の加速度記録には大きな増幅が認められ、最大加速度は N345°E 方向で 458 cm/s^2 、N075°E 方向で 489 cm/s^2 と、1 層(01S)の最大加速度の 6.5 倍から 5.2 倍の値となっている。

図 4.5-39 に、1 層(01S)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N345°E 方向、破線が N075°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N075°E 方向の擬似速度応答スペクトルは、1.3 秒に応答速度が 60 cm/s に近いピークを有するが、擬似速度応答スペクトルの形状は全般に平坦である。

17 層(17S)の 1 層(01S)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-40 に示す。スペクトル比は、N345°E 方向で 0.6 秒、N075°E 方向で 0.5 秒にピークを有し、1 次固有周期に対応すると考えられるが、その形状には幅がある。

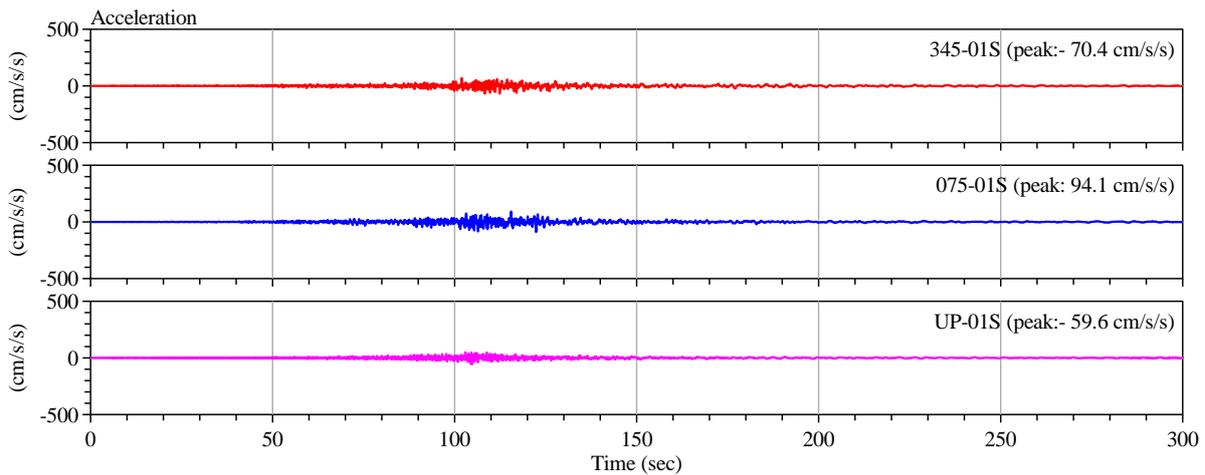


図 4.5-37 1 層(01S)の加速度記録

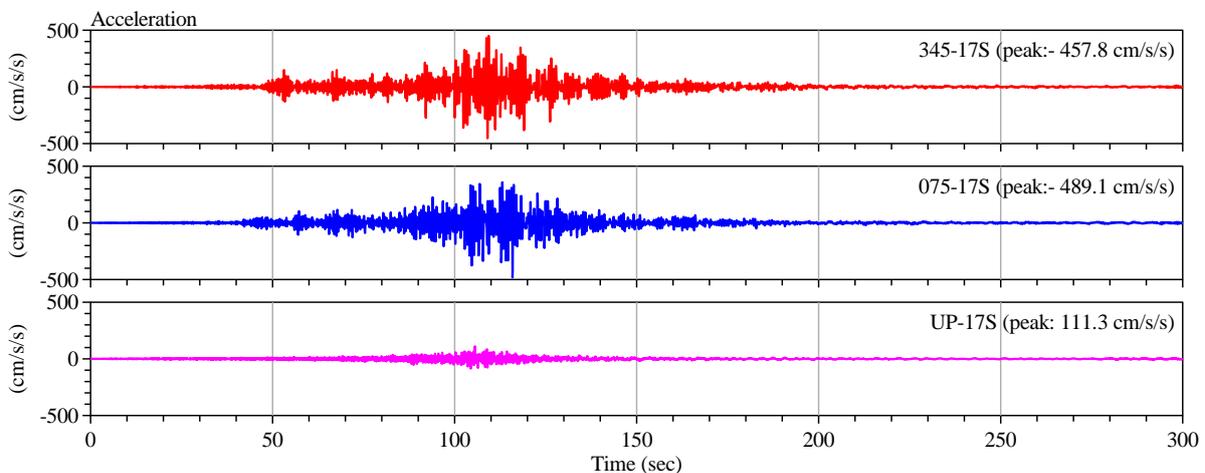


図 4.5-38 17 層(17S)の加速度記録

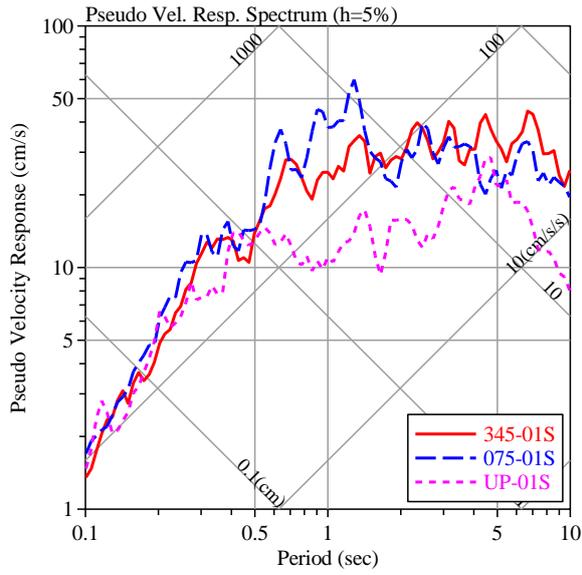


図 4.5-39 1層(01S)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

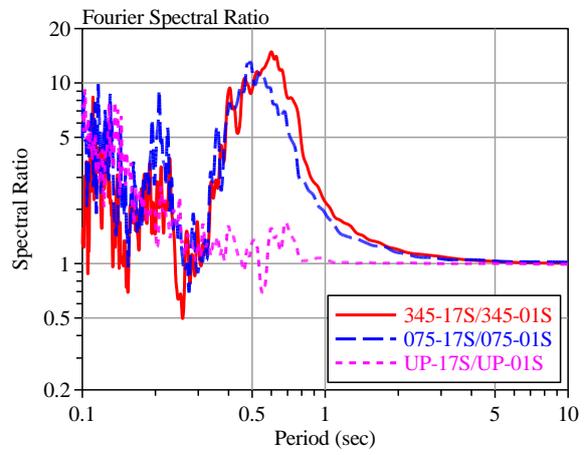


図 4.5-40 17層(17S)の1層(01S)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.9 国立国会図書館新館(NDLA)の強震記録

東京都千代田区に位置する国立国会図書館新館は、地上 4 階地下 8 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。強震計は地下 8 階(B8F)、地下 4 階(B4F)、1 階(O1F)、及び 4 階(O4F)に、計 4 台設置されている⁴⁻⁸⁾。図 4.5-41 から図 4.5-44 に、地下 8 階(B8F)、地下 4 階(B4F)、1 階(O1F)、及び 4 階(O4F)で得られた加速度記録を示す。1 階(O1F)の記録から算出した計測震度は、4.5(震度 5 弱)であった。

図 4.5-45 に、地下 8 階(B8F)と 1 階(O1F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。太線が地下 8 階(B8F)を、細線が 1 階(O1F)を表し、実線が N345°E 方向、破線が N075°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N075°E 方向の擬似速度応答スペクトルは周期 1.3 秒に応答速度が 50 cm/s を超えるピークを有し、地下 8 階(B8F)と 1 階(O1F)の擬似速度応答スペクトルの違いは N345°E 方向では 1.0 秒、N075°E 方向では 0.8 秒より短い周期で表れている。

1 階(O1F)の地下 8 階(B8F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-46 に、4 階(O4F)の 1 階(O1F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-47 に、4 階(O4F)の地下 8 階(B8F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-48 に示す。N345°E 方向のスペクトル比は複雑だが、地下 8 階から 4 階までの全体を考えると 0.3 秒、地上部の構造だけを考えると約 0.15 秒が固有周期と思われる。N075°E 方向は 0.4 秒弱に共通のピークが認められ、地下階も含めた 1 次固有周期と判断できる。

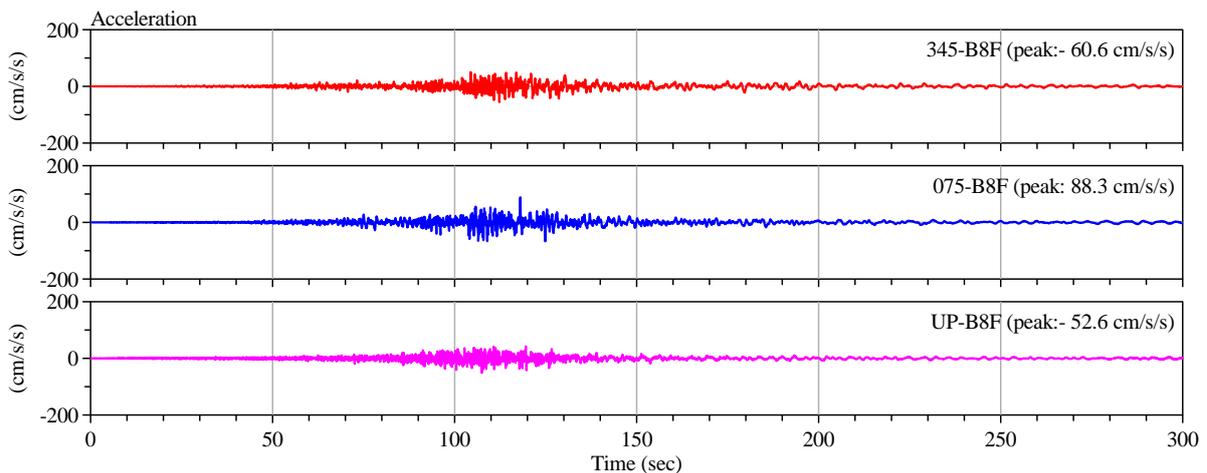


図 4.5-41 地下 8 階(B8F)の加速度記録

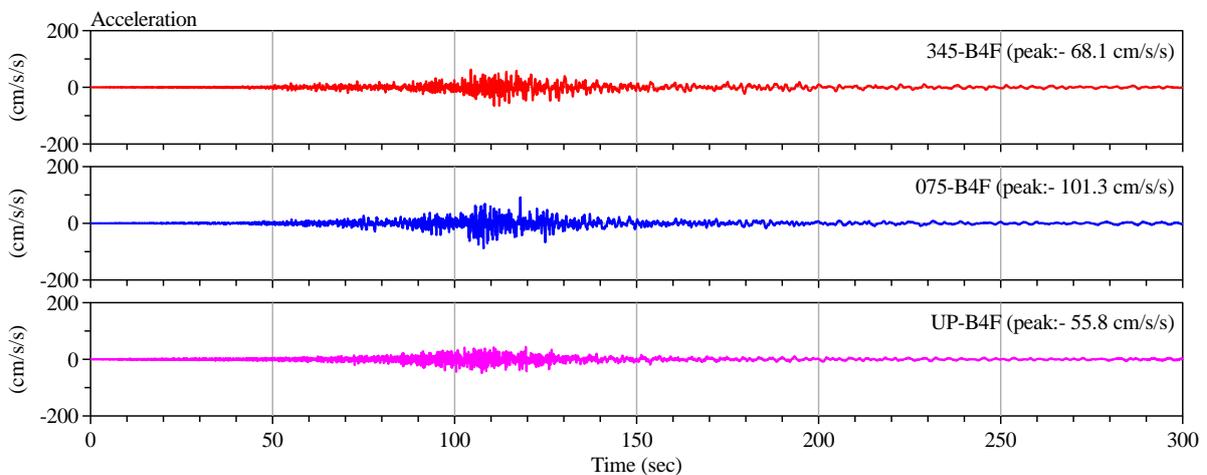


図 4.5-42 地下 4 階(B4F)の加速度記録

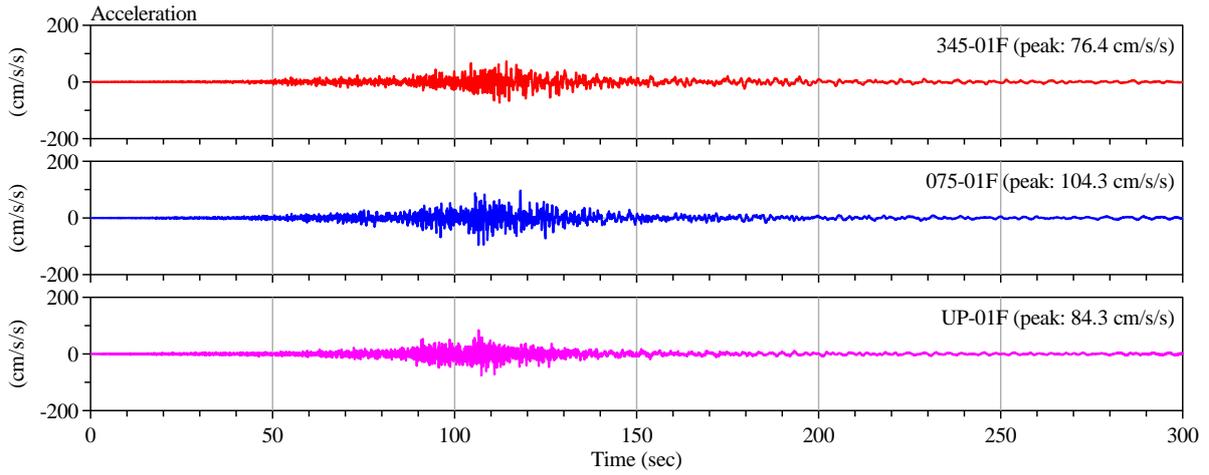


図 4.5-43 1階(01F)の加速度記録

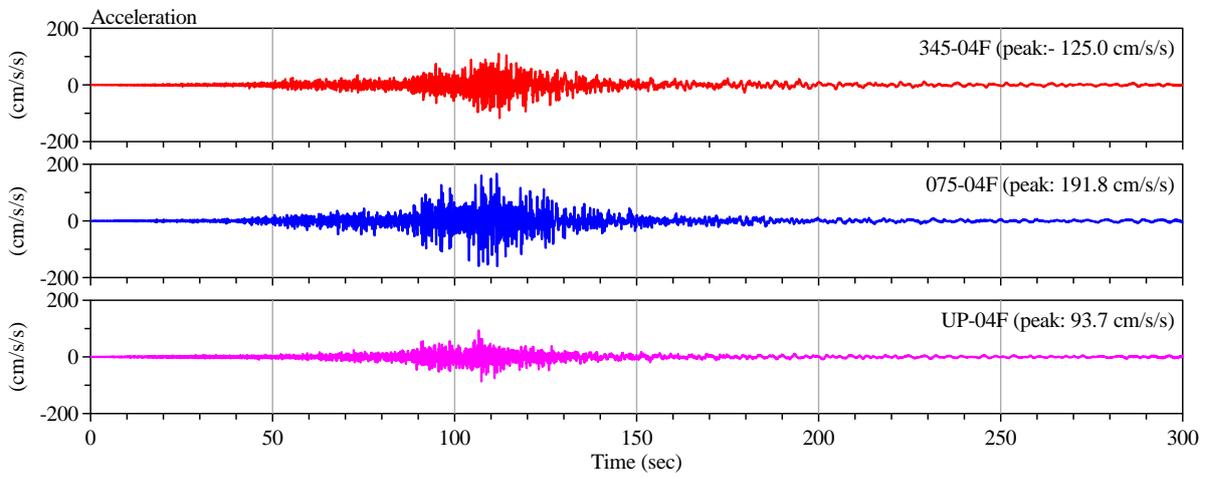


図 4.5-44 4階(04F)の加速度記録

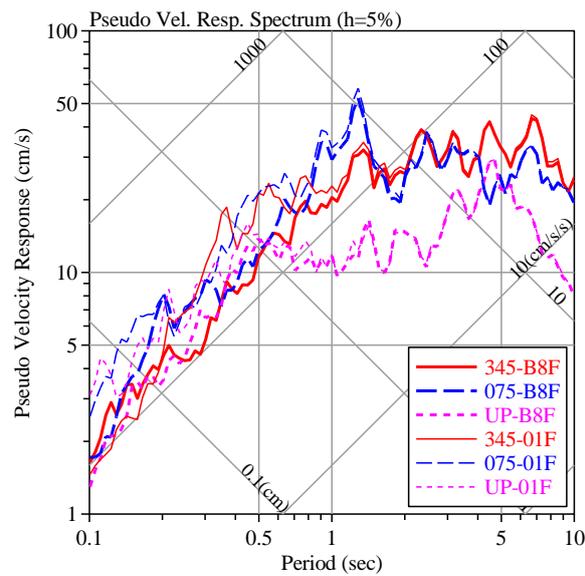


図 4.5-45 地下 8 階(B8F)と 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

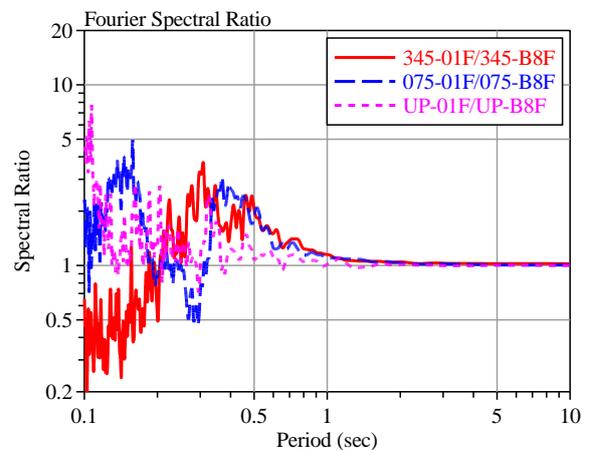


図 4.5-46 1階(01F)の地下 8 階(B8F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

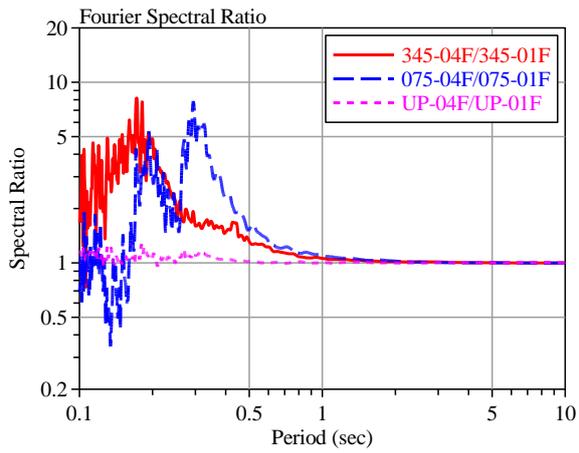


図 4.5-47 4階(04F)の1階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

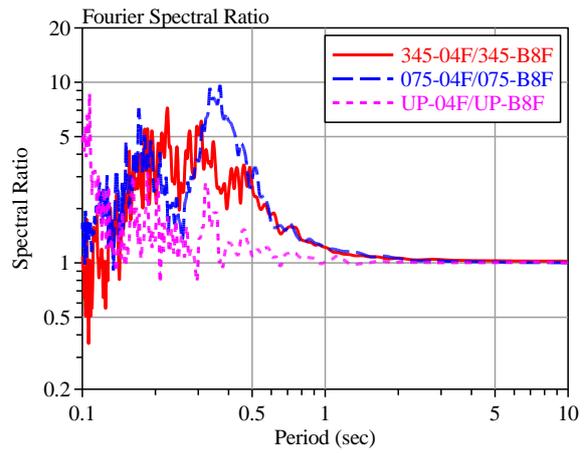


図 4.5-48 4階(04F)の地下8階(B8F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.10 東京法務局中野出張所(NKN)の強震記録

東京都中野区の東京法務局中野出張所は、地上 5 階建ての鉄筋コンクリート造建物である。強震計は 1 階(01F)と塔屋 1 階(06F)に加速度計を有している。図 4.5-49 及び図 4.5-50 に、1 階(01F)及び塔屋 1 階(06F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は 126 cm/s^2 から 158 cm/s^2 となっており、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.8(震度 5 弱)であった。塔屋 1 階(06F)の最大加速度は、N359°E 方向が 172 cm/s^2 、N089°E 方向が 375 cm/s^2 と、N089°E 方向の応答が大きい。

図 4.5-51 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N359°E 方向、破線が N089°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N359°E 方向の擬似速度応答スペクトルは、周期 2.7 秒で、N089°E 方向は周期 0.4 秒で、応答速度値が、 50 cm/s を超えている。

塔屋 1 階(06F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-52 に示す。スペクトル比からは、N359°E 方向の 1 次固有周期は 0.2 秒、N089°E 方向は 0.4 秒と推察される。

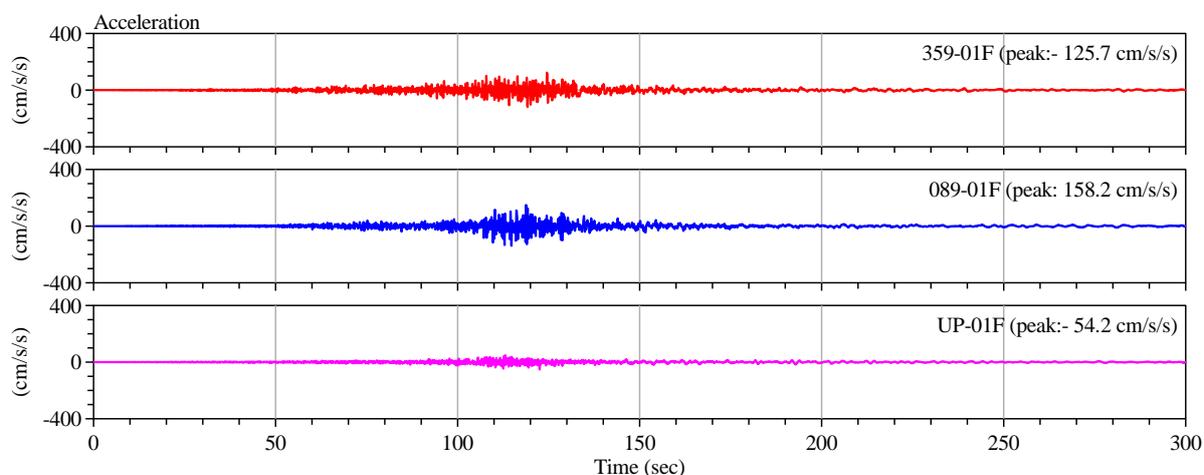


図 4.5-49 1 階(01F)の加速度記録

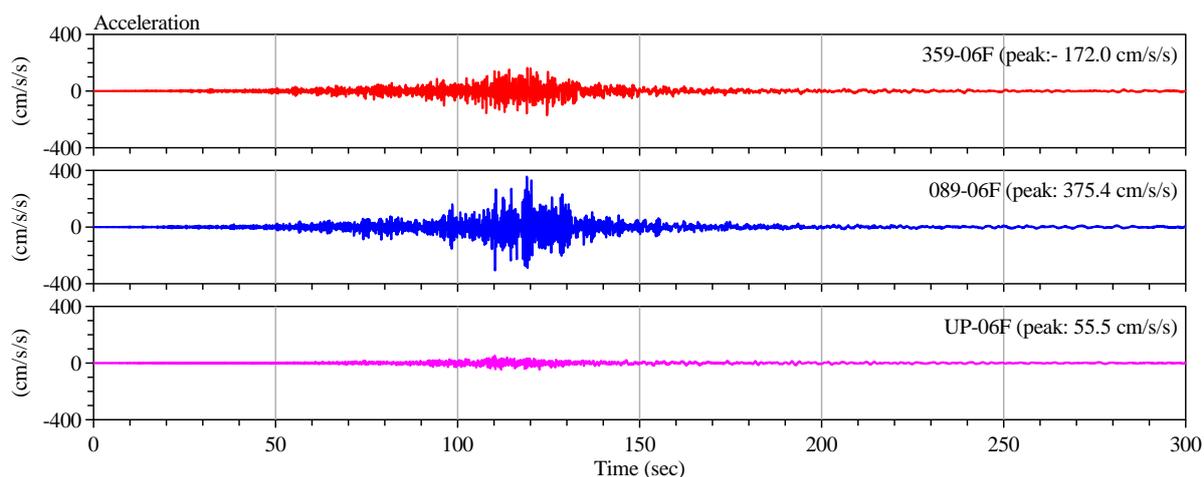


図 4.5-50 塔屋 1 階(06F)の加速度記録

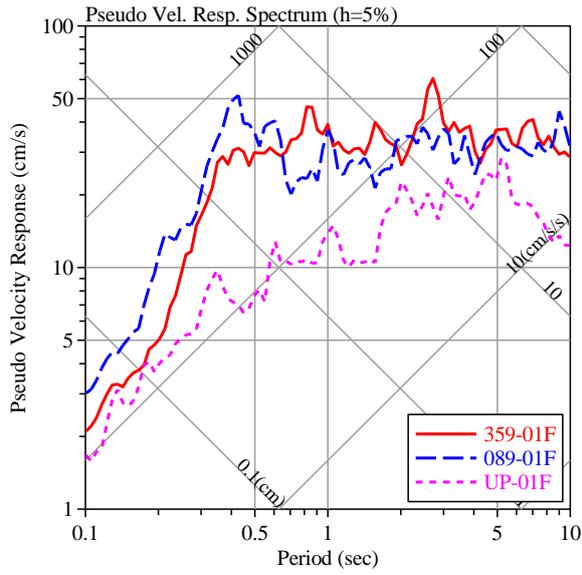


図 4.5-51 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

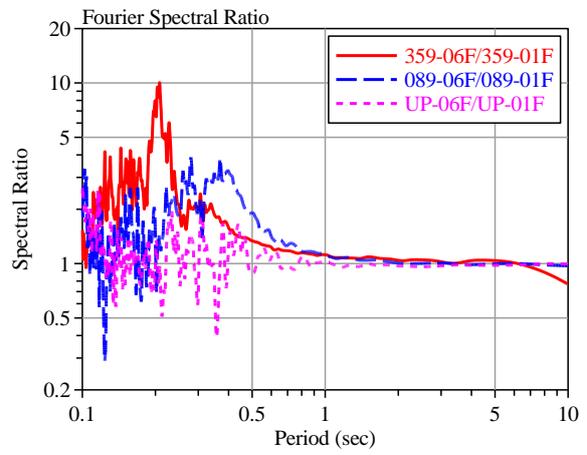


図 4.5-52 塔屋 1 階(06F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

4.5.11 川崎南労働基準監督署(KWS)の強震記録

川崎南労働基準監督署は川崎市川崎区に位置する、地上 7 階建ての鉄骨造建物である。強震計は 1 階(01F)、2 階(02F)、及び 7 階(07F)に加速度計を有している。図 4.5-53 と図 4.5-54 に、1 階(01F)と 7 階(07F)で得られた加速度記録を示す。1 階(01F)の水平方向の最大加速度は、N045°E 方向と N135°E 方向で、それぞれ 107 cm/s^2 と 77 cm/s^2 であり、1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.7(震度 5 弱)であった。一方、7 階(07F)で得られた加速度記録の最大値は 366 cm/s^2 と 304 cm/s^2 で、1 階(01F)に比べ 3.5 倍と 3.9 倍となっている。

図 4.5-55 に、1 階(01F)の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを示す。実線が N045°E 方向、破線が N135°E 方向、点線が UP(上下)方向に対応する。N045°E 方向の擬似速度応答スペクトルが N135°E 方向に比べて優勢で、0.8 秒と 2 秒から 3.5 秒の周期で 50 cm/s を超えている。

7 階(07F)の 1 階(01F)の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.5-56 に示す。スペクトル比には、N045°E 方向では周期 1 秒に、N135°E 方向では周期 0.9 秒に明瞭なピークがあり、1 次固有周期と考えられる。

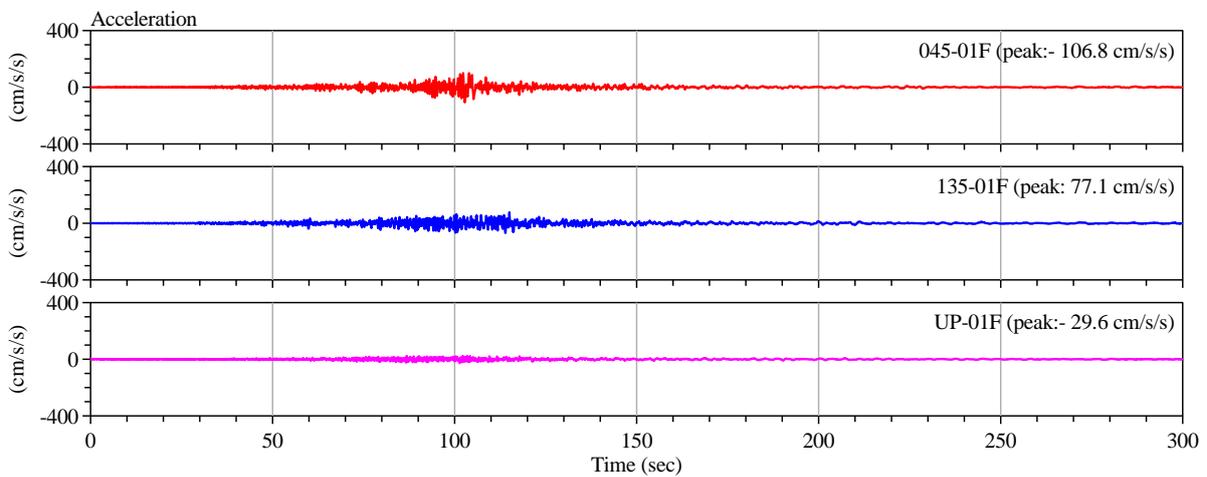


図 4.5-53 1 階(01F)の加速度記録

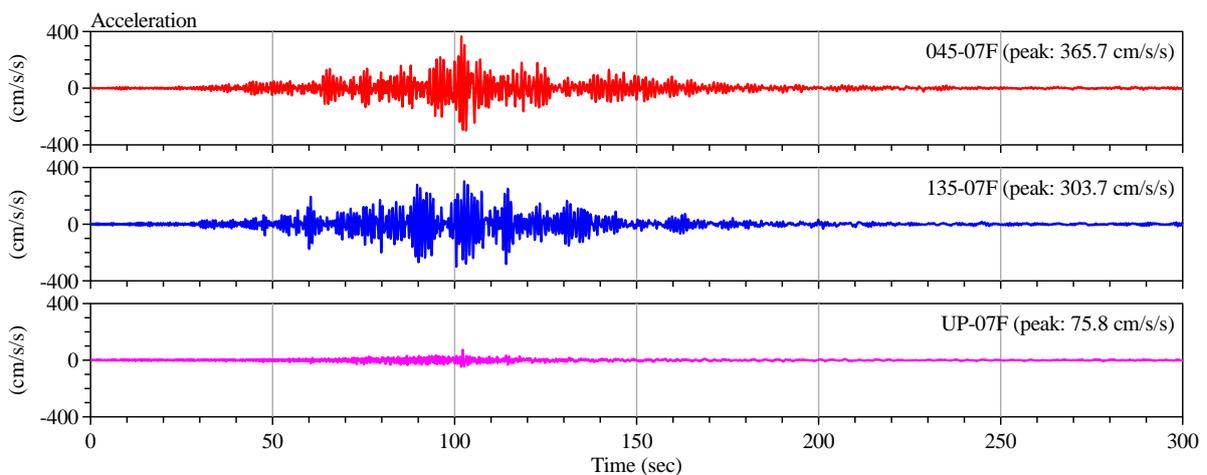


図 4.5-54 7 階(07F)の加速度記録

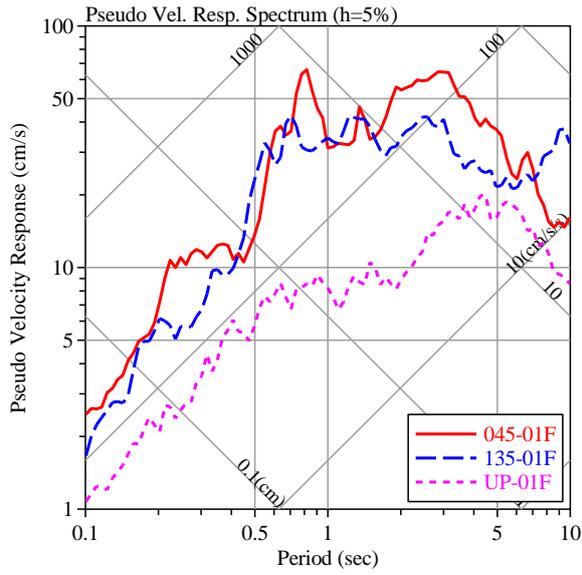


図 4.5-55 1 階(01F)の記録の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

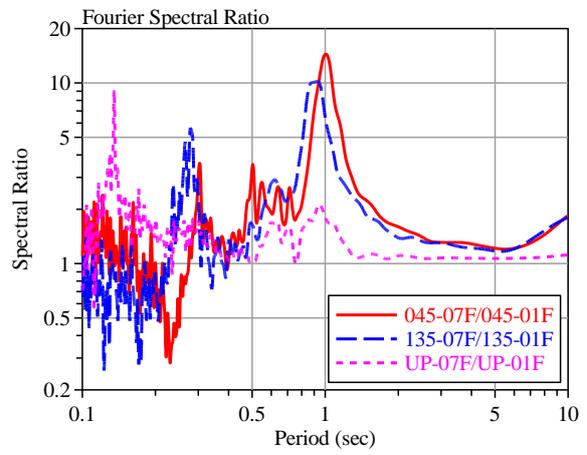


図 4.5-56 7 階(07F)の 1 階(01F)に対するフーリエ振幅スペクトル比

参考文献

- 4-1) 大阪府総務部: 咲洲庁舎の安全性等についての検証結果, <http://www.pref.osaka.jp/otemaemachi/saseibi/bousaitai.html>, 2011年5月
- 4-2) 鹿嶋俊英, 小山信, 飯場正紀, 大川出: 八戸市庁舎における強震観測, 第13回日本地震工学シンポジウム, pp.3998-4005, 2010年11月
- 4-3) 鹿嶋俊英, 大川出, 小山信, 飯場正紀: 免震耐震改修された国立西洋美術館本館の地震時挙動, 第12回日本地震工学シンポジウム(12JEES)論文集, pp.1194-1197, 2006年11月
- 4-4) 小山信, 飯場正紀, 保井美敏, 渡壁守正, 藤井睦: 細長い平面形状を有する建物の地震観測 その1地震記録, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.553-554, 2009年8月
- 4-5) 鹿嶋俊英: 2011年東北地方太平洋沖地震の建築研究所建物の強震記録, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.319-320, 2011年8月
- 4-6) 飯場正紀, 小山信, 鹿嶋俊英: 八千代市内建物における2011年東北地方太平洋沖地震前の卓越振動数の変化, 日本地震工学会大会-2011梗概集, pp.136-137, 2011年11月
- 4-7) 源栄正人, 三辻和弥, 田中匠子, 鹿嶋俊英, 大野晋: 2011年東北地方太平洋沖地震における被害建物の地震前後の振動特性の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.45-46, 2011年8月
- 4-8) 鹿嶋俊英, 小山信, 石原直, 飯場正紀: いわき市庁舎における2011年東北地方太平洋沖地震の強震記録と余震観測, 日本地震工学会大会-2011梗概集, pp.294-295, 2011年11月
- 4-9) 鹿嶋俊英: 国立国会図書館東京本館の強震観測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.9-10, 2010年9月

5. おわりに

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震で得られた、建築研究所の強震観測ネットワークで得られた強震記録の概要を紹介し、建物内で得られた強震記録の詳細を報告した。この中には、大破した建物 1 棟、構造的には軽微であるが設備機器や非構造部材に被害が生じた建物が数棟含まれている。また、超高層建物が 9 棟、免震建物が 6 棟あり、長周期地震動に対する長周期構造物の応答も観測されている。本報告では、東北地方太平洋沖地震の本震の記録を詳細に扱ったが、紹介した以外にも前震や余震、更には誘発地震で膨大な強震記録が得られている。この貴重な強震記録が、さらなる分析や解析を通じて、建物の耐震安全性の向上に資することを願っている。

なお、東北地方太平洋沖地震を含め、建築研究所の強震観測で得られた強震記録は、強震観測のウェブサイト(<http://smo.kenken.go.jp>)上のデータベースに随時登録され、ウェブサイト上で強震記録の検索に加えて、加速度波形や応答スペクトルの表示が可能である。また、地表や建物の地表に近い加速度計の強震記録は自由にダウンロードできるようになっている。

最後に、建築研究所の強震観測は、観測対象建物の所有者や管理者、利用者の深いご理解と多大なご協力の上に成り立っている。ここに関係各位に心から謝意を表す。