

平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震及び 岩手県沿岸北部を震源とする地震について

平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震の地震及び地震動の特徴	1
平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震 建築物関係調査速報	33
岩手県沿岸北部を震源とする地震の地震及び地震動の特徴	49
岩手県沿岸北部を震源とする地震における非構造部材等被害調査報告	65

平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震の地震及び地震動の特徴

担当

独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 大川出、新井洋
 独立行政法人建築研究所 国際地震工学センター 小山信、鹿嶋俊英

1. 地震の概要

(1) 地震諸元

気象庁が決定した平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震の本震の諸元は表 1 の通りである¹⁾。

表 1 地震諸元

発震時	緯度	経度	深さ	M_{JMA}	震央地名
2008/06/14 08:43	39°01.7'N	140°52.8'E	8 km	7.2	岩手県内陸南部

M_{JMA} : 気象庁マグニチュード

本震の震央位置を余震分布とともに図 1 に示す¹⁾。気象庁の分析によれば、この地震の発震機構は西北西-東南東に圧縮軸を持つ逆断層型とされている²⁾。断層面は西北西傾斜で、主要な破壊は震源より南南西方向へ進行した³⁾。余震は北北東から南南西に延びる長さ約 45 km、幅約 15 km の範囲に分布しており、断層の破壊領域と対応している。

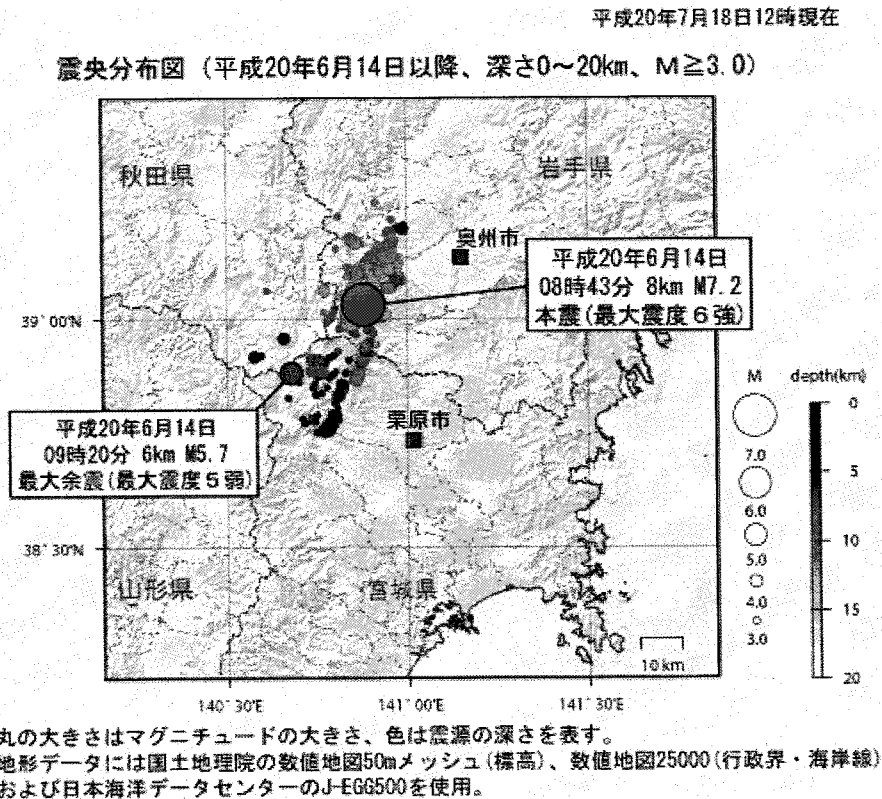


図 1 本震の震央位置と余震分布(気象庁^{3,1)})

(2) 震度分布

この地震によって観測された各地の震度を表 2 に示す¹⁾。表中の*印は岩手県、秋田県及び宮城県
 の震度情報ネットワークまたは防災科学技術研究所強震ネットワーク(K-NET)⁴⁾の観測地点を
 表し、印のないものは気象庁の震度観測地点である。各地点の震度を地図上にプロットしたもの
 が図 2 である。この図には、表 2 に含まれていない防災科学技術研究所基盤強震観測網(KiK-net)⁵⁾
 の観測地点の値も示している。

表2 各地の震度(震度5弱以上)¹⁾

震度	観測地点
6強	奥州市衣川区*、栗原市一迫*
6弱	奥州市胆沢区*、栗原市栗駒、栗原市築館*、栗原市高清水*、栗原市鶯沢*、栗原市金成*、栗原市志波姫*、栗原市花山*、大崎市古川三日町、大崎市鳴子*、大崎市古川北町*、大崎市田尻*
5強	北上市二子町*、一関市山目*、金ヶ崎町西根*、平泉町平泉*、奥州市水沢区大鐘町、奥州市江刺区*、奥州市前沢区*、宮城加美町中新田*、涌谷町新町、栗原市若柳*、登米市迫町*、登米市南方町*、宮城美里町北浦*、宮城美里町木間塚*、大崎市松山*、大崎市岩出山*、名取市増田*、仙台宮城野区苦竹*、仙台若林区遠見塚*、利府町利府*、湯沢市川連町*、東成瀬村椿川*、東成瀬村田子内*
5弱	北上市柳原町、遠野市宮守町*、一関市舞川、一関市花泉町*、一関市千厩町*、一関市室根町*、藤沢町藤沢*、西和賀町川尻*、奥州市水沢区佐倉河*、宮城加美町小野田*、宮城加美町宮崎*、色麻町四竈*、栗原市瀬峰*、登米市中田町、登米市米山町*、大崎市三本木*、大崎市鹿島台*、仙台空港、角田市 角田*、岩沼市桜*、蔵王町円田*、大河原町新南*、宮城川崎町前川*、仙台青葉区大倉、仙台青葉区作並*、仙台青葉区雨宮*、仙台宮城野区五輪、仙台泉 区将監*、石巻市前谷地*、石巻市桃生町*、大衡村大衡*、横手市安田柳堤地内*、横手市中央町*、横手市増田町増田*、横手市平鹿町浅舞*、横手市大森町*、横手市十文字町*、横手市山内土淵*、横手市大雄*、湯沢市沖鶴、湯沢市横堀*、湯沢市皆瀬*、羽後町西馬音内*、秋田美郷町土崎*、大仙市大曲花園町*、大仙市高梨*、最上町向町*、新地町谷地小屋

注) *:岩手県、秋田県及び宮城県の震度情報ネットワークまたは防災科学技術研究所 K-NET

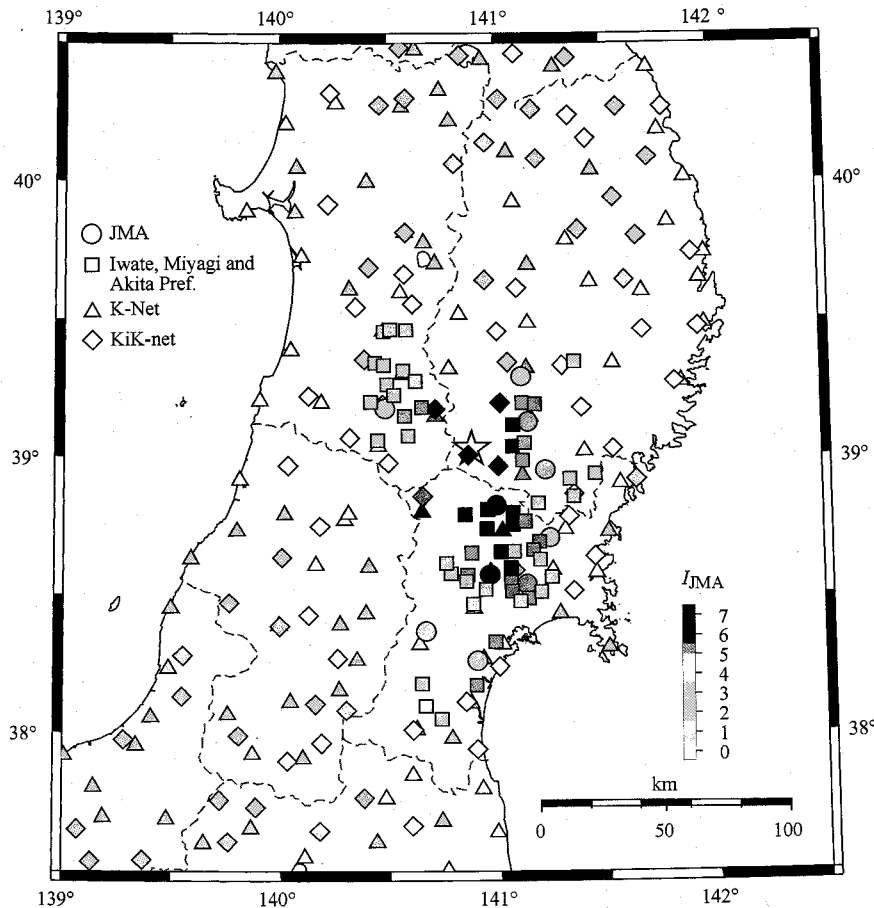


図2 各地の震度。☆は本震の震央を表し、○は気象庁、□は各県の震度情報ネットワーク、△はK-NET、◇はKiK-netの観測地点を示す

2. 被災地の地形及び地質

2008年岩手・宮城内陸地震が発生した岩手県南部・宮城県北部は、東北地方の中央部に位置する。東北地方地質略図を、図3に示す。

東北地方は、ほぼ南北方向に地形が配列している。高地帯は、太平洋側に北上山地・阿武隈山地が南北に雁行し、その西側に奥羽脊梁山脈と出羽丘陵が平行している。上記高地帯に挟まれて北上川・阿武隈川流域の低地帯、奥羽脊梁山脈と出羽丘陵のあいだの山間盆地群がある^{6),7)}。

表層地質は、先第三系が北上山地・阿武隈山地と出羽丘陵の太平・朝日・飯豊山地に集中するほか、奥羽脊梁山脈にも小分布が散在している。奥羽脊梁山脈および出羽丘陵には、おもにグリーンタフからなる新第三系の火山噴出物が広く分布している。奥羽脊梁山脈の頂部には、第四紀の火山が南北に配列している。これらの第四紀火山には、大型のカルデラを伴うのが特徴である⁶⁾。北上川・阿武隈川に代表される主要河川沿いには、扇状地・河岸段丘および沖積平野が広がっている。

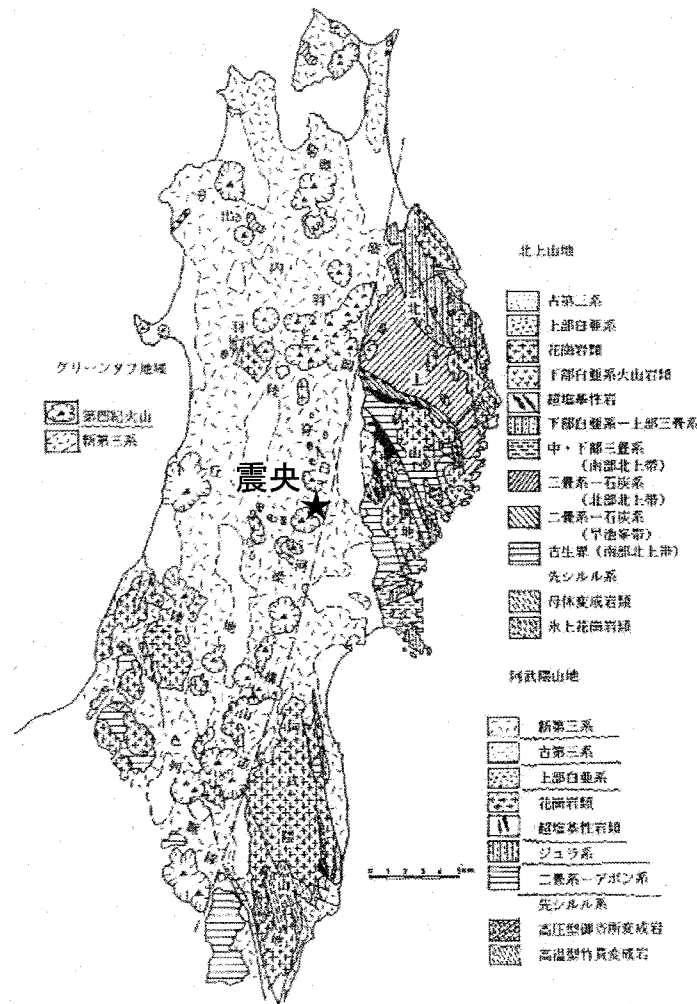


図3 東北地方地質略図(東北地方土木地質図解説書⁶⁾に加筆)

3. 本震の地震動特性

2008年岩手・宮城内陸地震の強震記録は、防災科学技術研究所強震ネットワーク(K-NET)及び基盤強震観測網(KiK-net)の記録^{4),5)}、気象庁の震度計及び宮城県、秋田県などの自治体の震度情報ネットワークの震度計の記録¹⁾が入手できる。このうち、計測震度に換算して5.5(震度6弱)以上の記録の最大加速度と最大速度を表3に示す。また、震源近傍の観測地点の最大加速度の分布を図4に示す。なお、図4の最大加速度は3成分の合成値を採っている。

表3 強震観測記録一覧(震度6弱以上のもの)

記号	観測地点	Δ (km)	I_{JMA}	PGA (cm/s ²)			PGV (cm/s)			備考
				NS	EW	UD	NS	EW	UD	
IWTH25	KiK-net 一関西	3	6.4	1143	1435	3866	71.9	62.4	88.7	図5
AKTH04	KiK-net 東成瀬	21	6.4	1318	2446	1094	53.8	73.8	32.9	図6
IWTH26	KiK-net 一関東	13	6.1	891	1056	928	57.1	44.1	28.1	図7
JMA-8A6	JMA 栗駒	25	5.9	415	689	281	43.1	49.0	17.1	図8
MYG004	K-NET 築館	36	5.7	740	678	224	45.6	39.5	15.1	図9
MYG006	K-NET 古川	50	5.6	238	233	104	35.1	40.8	15.5	図10
JMA-4B9	JMA 古川	51	5.6	232	312	130	33.4	46.0	12.6	図11
IWTH24	KiK-net 金ヶ崎	22	5.5	503	435	342	36.9	27.4	16.6	図12
MYG005	K-NET 鳴子	32	5.5	440	521	666	69.9	33.0	20.0	図13

Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度, PGA: 最大加速度, PGV: 最大速度

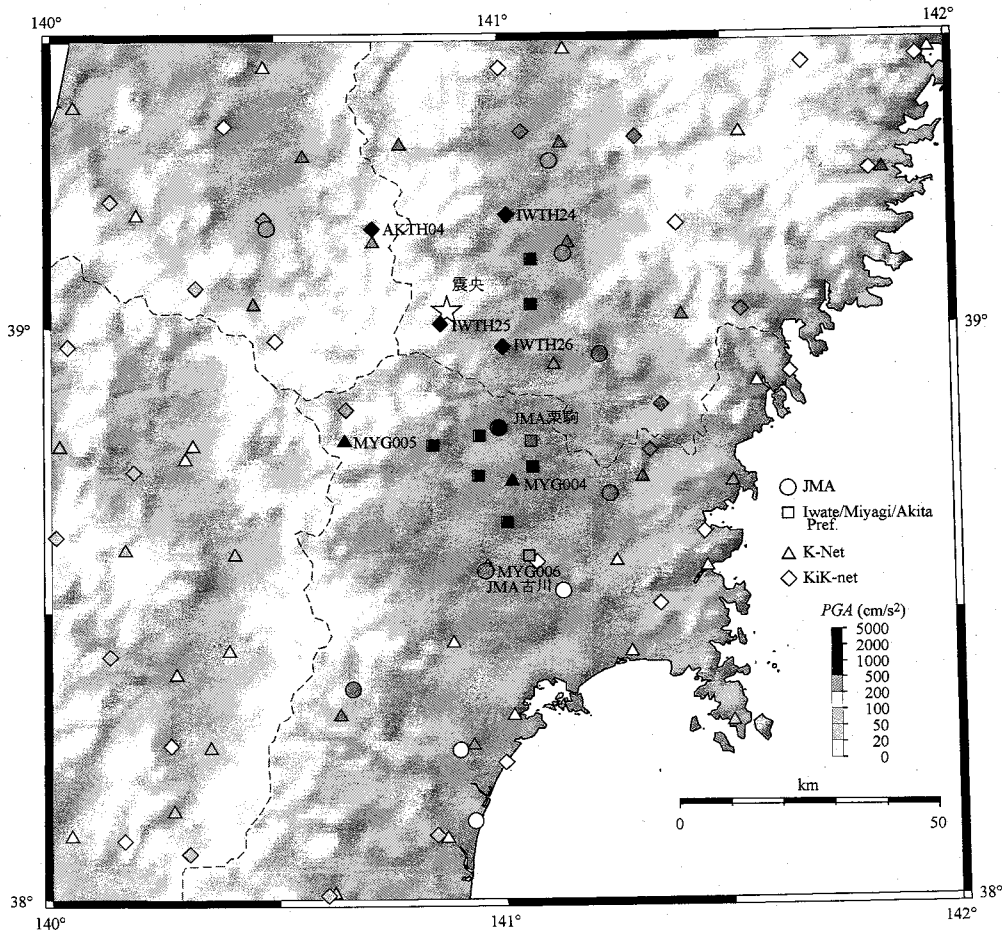


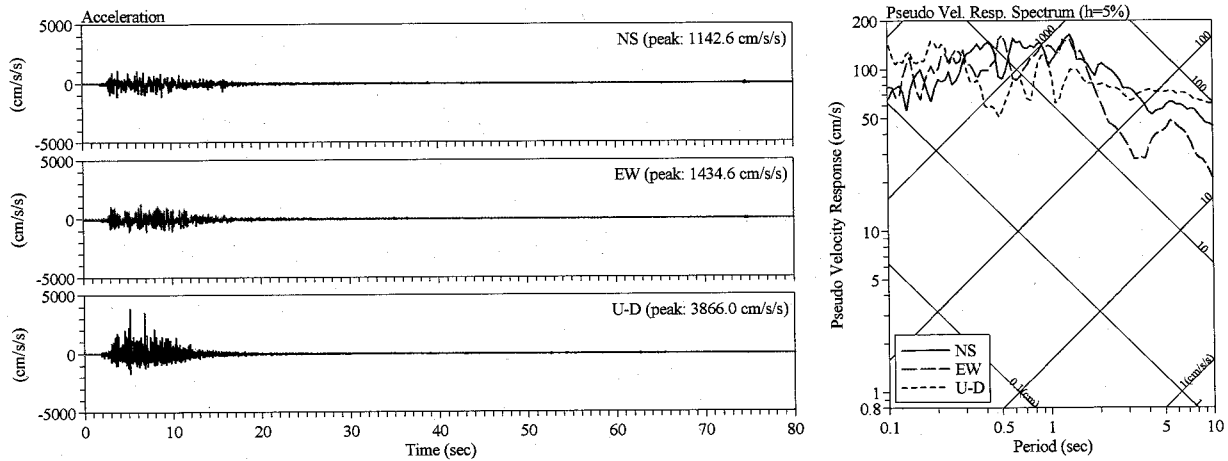
図4 最大加速度の分布。☆は本震の震央、○は気象庁、□は各県の震度情報ネットワーク△はK-NET、◇はKiK-netの観測地点を示す

(1) KiK-net 一関西(IWTH25)の記録

KiK-net 一関西(IWTH25)の観測地点は岩手県一関市の西側の山間に位置し、標高は 385 m となっている。震央距離は 3 km と近く、震源断層の直上と見做せる。KiK-net のウェブサイトで公開されているボーリング柱状図によれば、厚さ 1 m の表土($V_s = 430$ m/s)、厚さ 33 m の段丘堆積物($V_s = 530$ m/s)の下に凝灰岩($V_s = 680$ m/s)が表れる。この観測地点は断層域の直上に位置し、上下(U-D)成分で 3866 cm/s^2 と、極めて大きな加速度が得られている。KiK-net 一関西で得られた記録の加速度波形と減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 5 に示す。

加速度記録波形を見ると、 1000 cm/s^2 を超える激しい揺れが 10 秒強続いている。これは震源の破壊時間を反映したものと考えられる(例えば⁸⁾)。応答スペクトルに着目すると、2 秒以下の短周期成分が主体となっており、長周期成分は相対的に小さい。

青井はこの記録を積分することによって、東方向、北方向、上方向にそれぞれ 28 cm、60 cm、112 cm の永久変位を推定している⁹⁾。また KiK-net 一関西の観測施設内では、軽量ラックの跳躍が報告されている¹⁰⁾。

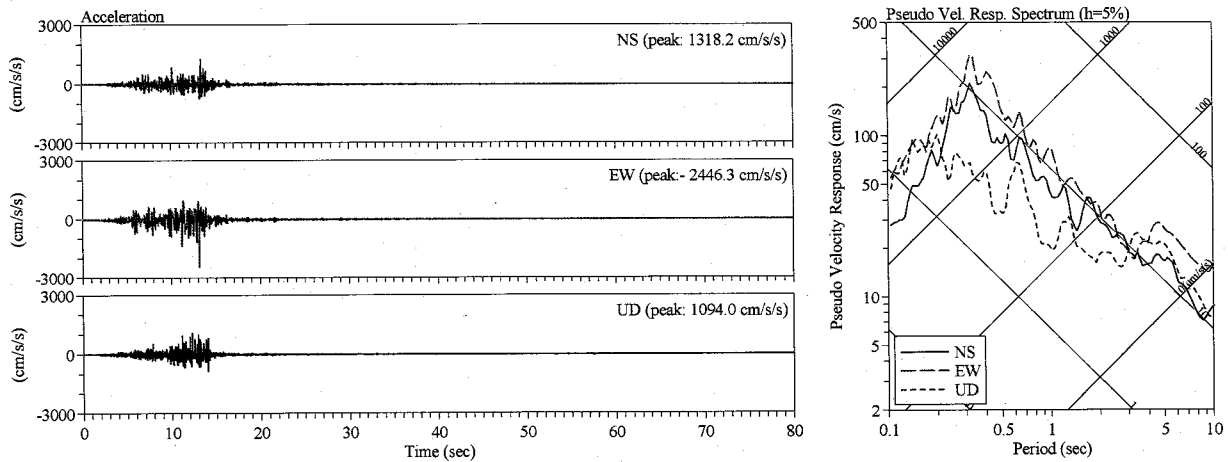


Record Time: 2008/06/14 08:43:45, Site: IWTH25: Ichinoseki-nishi
 図 5 KiK-net 一関西(IWTH25)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

(2) KiK-net 東成瀬(AKTH04)の記録

KiK-net 東成瀬(AKTH04)の観測地点は、震央から北西に 21 km の距離の秋田県雄勝郡東成瀬村の山間部に位置し、標高は 280 m となっている。KiK-net のボーリング柱状図によれば、礫岩が露頭し、深さ 20 m までのせん断波速度は $V_s = 430$ m/s、以深のせん断波速度は $V_s = 1000$ m/s 前後となっている。震央距離は 21 km と若干離れているものの、東西(EW)成分で 2446 cm/s^2 に及ぶ最大加速度が記録されている。KiK-net 東成瀬で得られた加速度記録と減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 6 に示す。

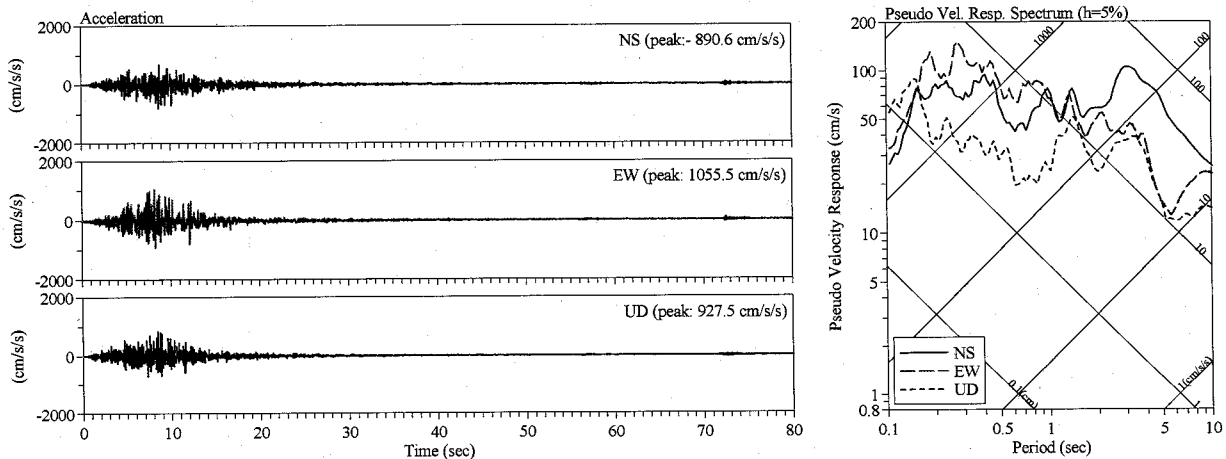
加速度記録波形を見ると、継続時間はやはり 10 秒程度で後続波はほとんど認められない。水平成分の応答スペクトルは、0.32 秒に鋭いピークを有し、応答値は EW 成分で 300 cm/s を超えている。対照的に 1 秒を超える長周期成分の応答は 50 cm/s 以下と小さくなっている。



Record Time: 2008/06/14 08:43:48, Site: AKTH04: Higashi-naruse
 図6 KiK-net 東成瀬(AKTH04)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

(3) KiK-net 一関東(IWTH26)の記録

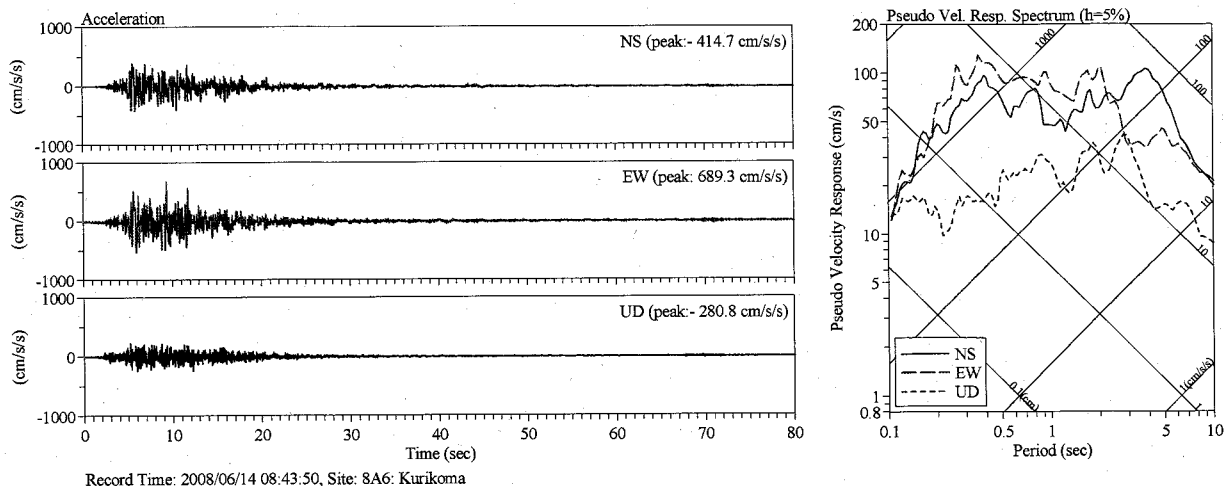
KiK-net 一関東(IWTH26)の観測地点は岩手県一関市巖美町に位置し、標高は 125 m となっている。KiK-net のボーリング柱状図によれば、厚さ 2 m の礫($V_s = 130$ m/s)の下に凝灰岩($V_s = 460$ m/s から 680 m/s)が表れる。KiK-net 一関東で得られた記録の加速度波形と減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図7に示す。応答スペクトルは、全般に 1 秒以下の短周期成分が優勢となっている。



Record Time: 2008/06/14 08:43:48, Site: IWTH26: Ichinoseki-e
 図6 KiK-net 一関東(IWTH26)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

(4) 気象庁(JMA)栗駒の記録

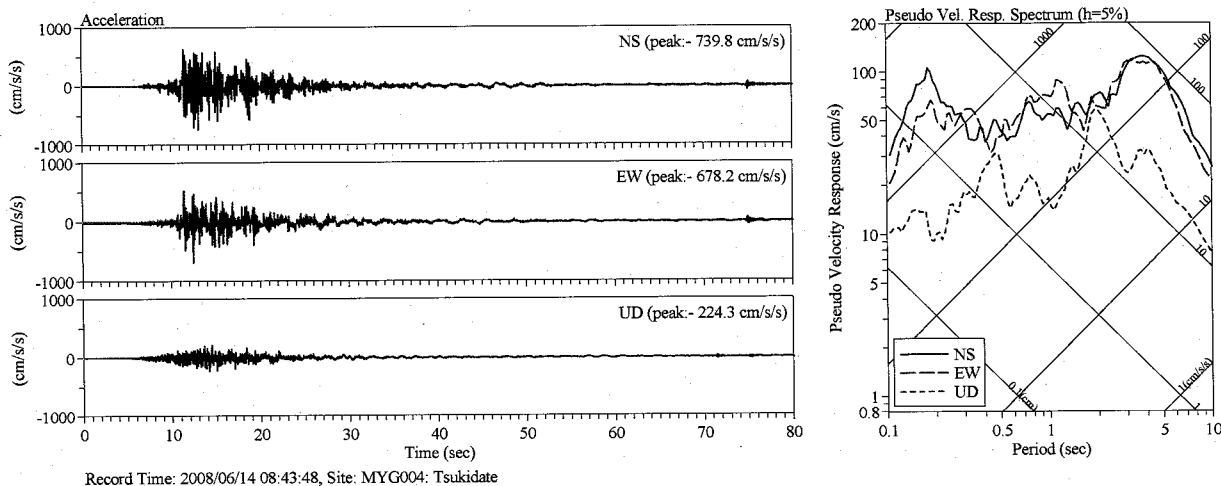
気象庁の栗駒震度観測地点(JMA 栗駒)で観測された加速度波形と擬似速度応答スペクトルを図8に示す。最大加速度はNS成分 415 cm/s²、EW成分 689 cm/s²と大きな値を示し、激しい揺れが15秒程続いている。NS成分の応答スペクトルは0.4秒から4秒の周期領域で、EW成分は0.3秒から2秒の周期領域で、応答速度が100 cm/s程度となっている。



Record Time: 2008/06/14 08:43:50, Site: 8A6: Kurikoma
 図8 JMA 栗駒(JMA-8A6)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

(5) K-NET 築館(MYG004)の記録

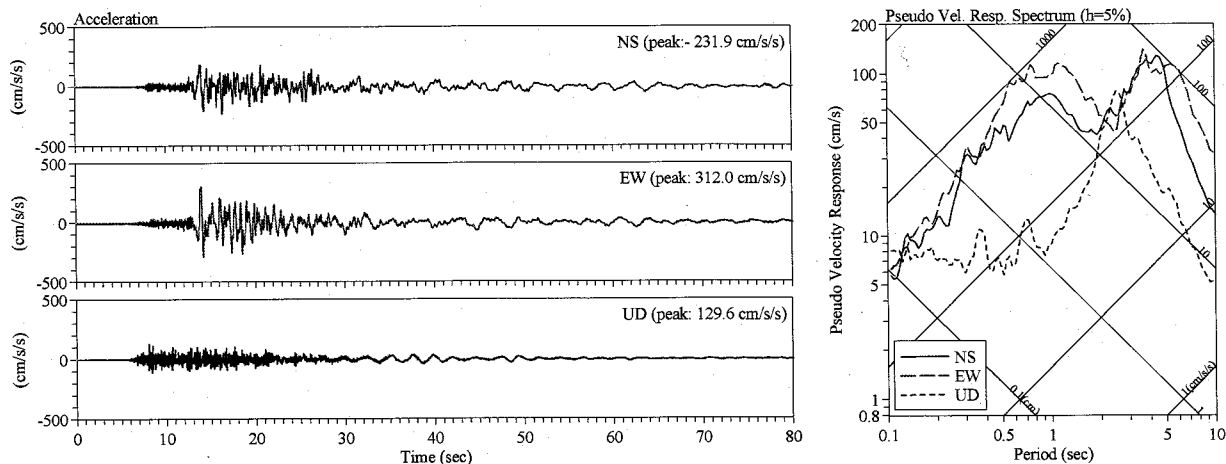
K-NET 築館(MYG004)の観測地点は、栗原市庁舎(旧築館町役場)の南東に位置する栗原文化会館南側駐車場の端に設置されている。ここで観測された加速度波形と擬似速度応答スペクトルを図9に示す。加速度波形は短周期成分が優勢で、若干の後続波が認められる。水平成分の応答スペクトルは、0.2秒辺りと4秒前後にピークを有している。



Record Time: 2008/06/14 08:43:48, Site: MYG004: Tsukidate
 図9 K-NET 築館(MYG004)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

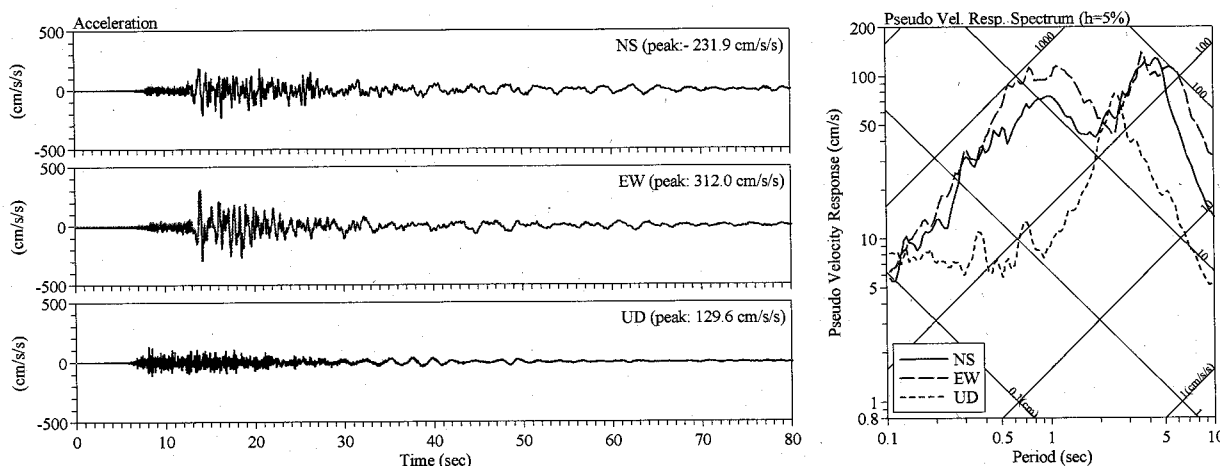
(6) K-NET 古川(MYG006)及び JMA 古川の記録

大崎市旧古川市内には K-NET 古川(MYG006)及び JMA 古川の 2 点の強震観測地点がある。K-NET 古川は古川北町の古川消防署敷地内に、JMA 古川は古川三日町の公園内に観測地点があり、両者の距離は 1 km 程である。K-NET 古川及び JMA 古川で観測された加速度波形と擬似速度応答スペクトルを図 10 及び図 11 に示す。両者の加速度波形はよく似ており、表面波と見られる後続波が観察できる。応答スペクトルの形状も共通しており、1 秒前後の周期領域と 5 秒前後の周期領域の応答が卓越している。



Record Time: 2008/06/14 08:43:50, Site: 4B9: Furukawa Mikkamachi

図 10 K-NET 古川(MYG006)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

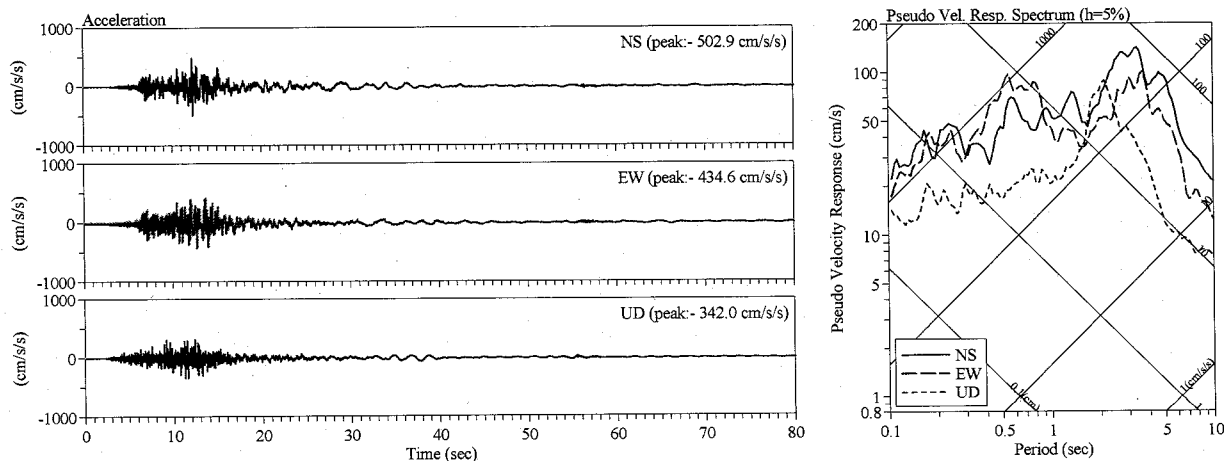


Record Time: 2008/06/14 08:43:50, Site: 4B9: Furukawa Mikkamachi

図 11 JMA 古川(JMA-4B9)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

(7) KiK-net 金ヶ崎(IWTH24)の記録

KiK-net 金ヶ崎(IWTH24)の観測地点は岩手県胆沢郡金ヶ崎町にあり、標高は 200 m となっている。KiK-net 金ヶ崎で観測された加速度波形と擬似速度応答スペクトルを図 12 に示す。応答スペクトルの水平成分に着目すると、3 秒から 4 秒の周期成分が優勢で、応答は 100 cm/s 前後となっている。



Record Time: 2008/06/14 08:43:48, Site: IWTH24: Kanagasaki

図 12 KiK-net 金ヶ崎(IWTH24)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

(8) K-NET 鳴子(MYG005)の記録

K-NET 鳴子(MYG005)の観測地点は、宮城県大崎市鳴子温泉鬼首の旧鬼首中学校の敷地内に設置されている。K-NET 鳴子で観測された加速度波形と擬似速度応答スペクトルを図 3.13 に示す。最大加速度は 666 cm/s^2 と突出したものではないが、特に NS 成分の記録に見られる 3 秒から 4 秒の長周期成分の重畳が特徴的である。この長周期成分の生成要因については、カルデラ地形の影響が指摘されている^{11), 12)}。

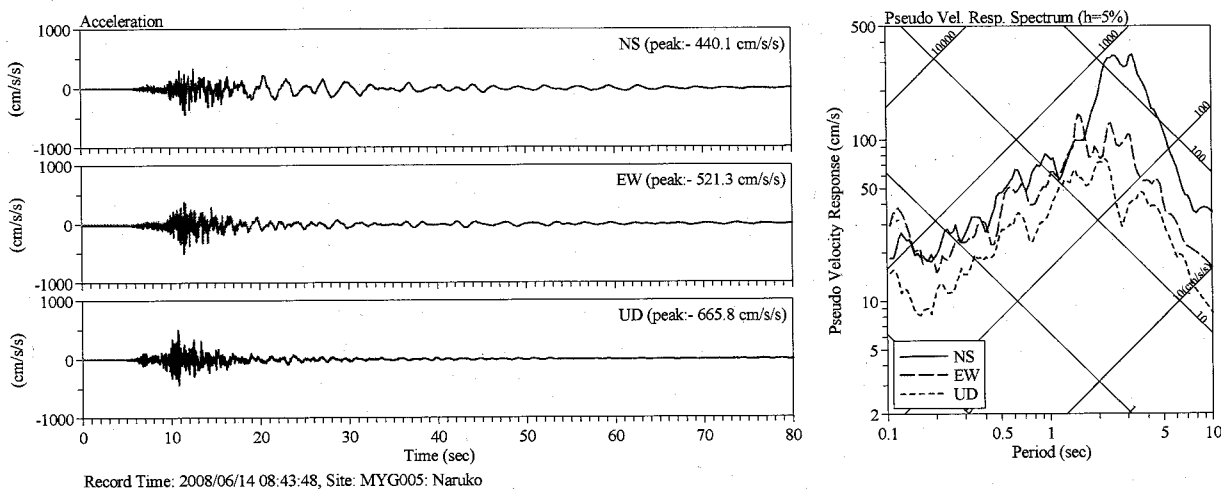


図 13 K-NET 鳴子(MYG005)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

4. 建築研究所の強震記録

建築研究所の強震観測網では、東北地方を中心に33の観測地点で強震記録が得られた。表4に観測記録の一覧を、図14に観測地点位置を示す。このうち震度4以上であった仙台第2合同庁舎(SND)、東北大学建設系建物(THU)、秋田県庁(AKT)、宮古市庁舎(MYK)及び建築研究所新館(ANX)の記録について次項以降に述べる。

表4 建築研究所の強震記録(1/2)

記号	観測地点	距離 (km)	計測 震度	設置 方位	設置 位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
						H1	H2	V	
SND	仙台第2合同庁舎	85	4.3	074°	B2F*	86	73	54	図15
					15F	104	98	144	図16
					G40	77	74	-	図17
THU	東北大学建設系建物	86	4.6	202°	01F*	87	69	49	図18
					09F	437	310	148	図19
AKT	秋田県庁	101	3.5	087°	B1F*	26	28	18	図20
					08F	102	116	44	図21
MYK	宮古市庁舎	115	3.8	180°	01F	52	48	37	図22
					07F	63	65	53	図23
					GL*	63	71	37	図24
HCN	八戸市庁舎本館	173	3.1	164°	B1F*	19	21	9	
					06F	61	88	15	
HRH	弘前法務合同庁舎	178	3.0	195°	01F*	18	18	9	
IWK	いわき市庁舎	220	3.2	180°	B1F*	18	20	10	
					09F	80	53	10	
HKD	函館開発建設部	306	2.0	180°	GL*	3	4	2	
					GL*	19	26	9	図25
ANX	建築研究所新館	330	3.5	180°	B1F	19	23	9	図26
					08F	90	95	12	図27
					GL*	8	10	2	
NIT	日本工業大学	350	2.6	288°	01F	8	7	2	
					06F	11	10	2	
					GL*	8	10	2	
NOD	東京理科大学野田校舎	356	2.7	90°	1F*	8.9	9.1	3.8	
					B1F	3.8	3.4	1.6	
AGO	上尾市役所	358	1.9	227°	7F1	5.5	12.2	2.6	
					7F2	5.3	12.5	2.1	
					GL	8.6	12.9	5.1	
MST	三郷市役所	367	3.1	258°	1F	10.7	13.9	2.0	
					7F	15.4	18.1	2.4	
					GL	6.9	5.5	1.5	
TDS	戸田市役所	372	2.3	34°	GL	6.9	5.5	1.5	
				354°	1F	5.2	5.9	1.5	
					8F	13.9	18.4	3.0	
YCY	八千代市役所	374	2.3	302°	GL	6.1	7.4	2.4	
					B1F	4.9	5.9	2.1	
					7F	16.6	11.7	2.7	
AKB	北区赤羽会館	376	2.0	354°	1F*	3.8	3.5	1.7	
					6F	5.6	7.3	2.2	
ADC	足立地方合同庁舎	377	2.7	12°	1F*	8.8	7.9	1.9	
					4F	11.1	8.9	2.6	

表4 建築研究所の強震記録(2/2)

記号	観測地点	距離 (km)	計測 震度	設置 方位	設置 位置	最大加速度 (cm/s ²)			備考
						H1	H2	V	
FNB	船橋市総合教育センター	377	2.3	357°	GL	5.4	5.9	2.3	
					1F	5.2	5.4	2.2	
					9F	15.7	13.1	2.4	
EDG	江戸川区役所	380	2.7	3°	1F	8.3	9.1	1.6	
					5F	9.3	11.4	1.6	
NMW	国立西洋美術館	381	2.0	218°	GL*	5	5	2	
					B1FW	5	3	2	
					B1FE	5	4	2	
					01FW	7	7	2	
					01FE	7	8	2	
					04F	9	8	2	
ICK	市川行徳図書館	381	2.8	321°	1F	7.6	8.7	2.7	
					2F	9.3	9.5	2.9	
					5F	12.6	13.3	2.8	
SMD	墨田区役所	381	1.9	0°	B1F	3.7	2.9	1.7	
					8F	14.6	13.1	1.9	
					20F	29.8	20.2	2.2	
UTK	東京大学工学部 11 号館	382	1.9	348°	GL	3.5	4.3	1.9	
					1F	3.3	3.7	2.0	
					7F1	8.7	8.2	1.7	
					7F2	9.2	10.9	3.2	
NKN	東京法務局中野出張所	384	1.9	0°	1F*	3.2	3.7	1.6	
					6F	5.2	5.8	1.5	
MNM	南砂住宅 3 号棟	385	2.5	180°	15F	14	22	2	
					01F*	7	6	1	
CG3	中央合同庁舎 3 号館	386	1.8	208°	B2F*	3	3	2	
					B1F	4	4	2	
					12F	10	9	2	
CG2	中央合同庁舎 2 号館	386	1.7	208°	B4F*	2	3	2	
					13F	12	9	3	
					21F	19	14	3	
TKD	コーシャタワー佃	386	2.1	180°	01F*	4	4	2	
					18F	8	14	2	
					37F	16	25	2	
CHB	千葉第二地方合同庁舎	386	2.1	346°	GL	5.0	5.1	1.6	
					B1F	4.9	4.8	1.9	
					8F	17.8	11.8	2.1	
YYG	国立オリンピック記念青少年総合センター	387	2.0	355°	GL	4.3	4.3	1.8	
					1F	3.6	4.4	1.8	
					4F	4.0	8.6	1.9	
KDI	国土交通大学校	388	1.8	90°	GL	3.6	2.9	1.3	
					1F	3.3	3.2	1.3	
					3F	3.7	4.7	1.4	
TUF	東京海洋大学国際交流会館	391	2.1	0°	1F	5.4	6.5	1.7	
					7F	12.2	7.9	1.7	

計測震度は*印の位置で算出。最大加速度の H1 は設置方位成分、H2 は直交する水平成分、V は鉛直成分。

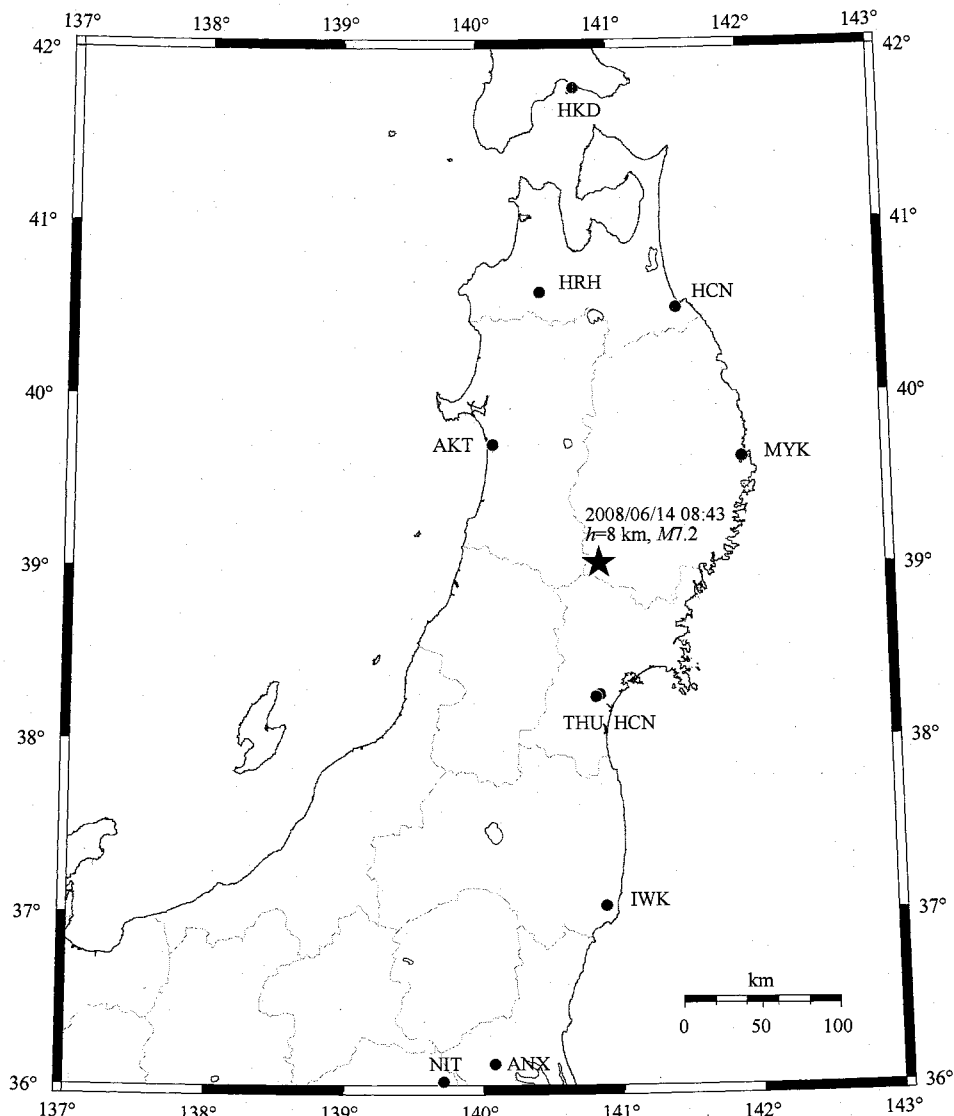
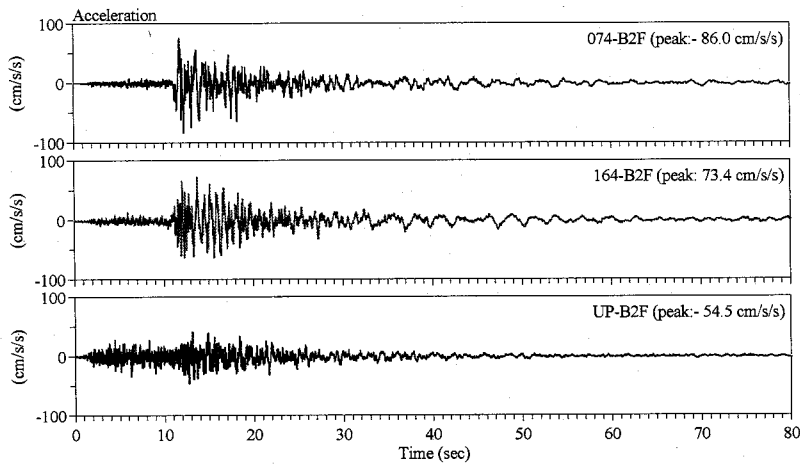


図 14 震央(★)と建築研究所の強震観測地点(●)の位置。記号は表 4 を参照

(1) 仙台第 2 合同庁舎(SND)の強震記録

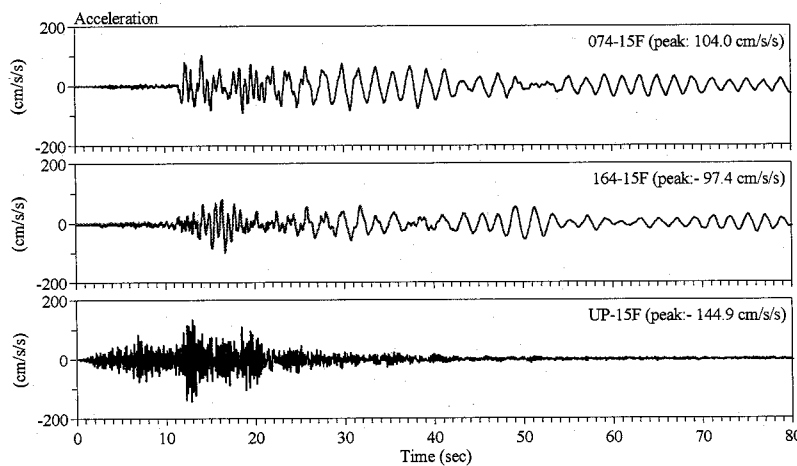
仙台第 2 合同庁舎(SND)は仙台市青葉区本町にある鉄骨造 15 階建ての庁舎建物である。加速度計は塔屋 1 階(15F)、地下 2 階(B2F)及び地中深さ 40 m(G40)に設置されている。仙台第 2 合同庁舎で観測された加速度記録と減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 15 から図 17 に示す。建物への入力と考えられる地下 2 階(B2F)の記録から算出した計測震度は 4.3 であった。なお、加速度計の設置方位は建物の軸に合わせてあり、波形成分のラベルの数字は方位(例えば 074 は北から時計回りに 74°)を表す。

B2F の記録の応答スペクトルに着目すると、水平成分では 0.8 秒付近と 3 秒から 4 秒の周期領域の卓越が観察できる。地中 40 m(G40)の記録にも同様のピークがあり、より深い地盤構造の影響を反映したものと考えられる。建物 15 階(15F)の記録を見ると、地震動の後続部分で建物の揺れが長く継続した様子が表れており、建物の固有周期は両方向とも約 2 秒であった。なお G40 の加速度計の上下成分が不調であり、ここでは除外している。



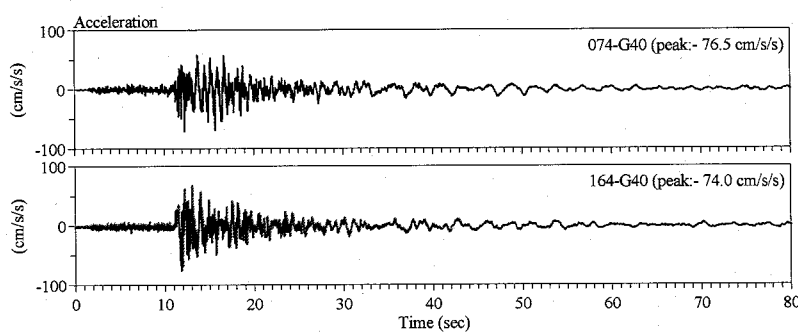
Record Time: 2008/06/14 08:44:00, Site: SND: Sendai Government Office Bldg. #2

図 15 仙台第 2 合同庁舎 B2F の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル



Record Time: 2008/06/14 08:44:00, Site: SND: Sendai Government Office Bldg. #2

図 16 仙台第 2 合同庁舎 15F の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル



Record Time: 2008/06/14 08:44:00, Site: SND: Sendai Government Office Bldg. #2

図 17 仙台第 2 合同庁舎 G40 の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

(2) 東北大学建設系建物(THU)の強震記録

東北大学建設系建物(THU)は仙台市青葉区の東北大学青葉山キャンパスにある SRC 造 9 階建ての校舎建物である(建物の呼称は現在異なるようだがここでは旧来の呼称を用いる)。加速度計は校舎 1 階及び 9 階に設置されている。東北大学建設系建物で観測された加速度記録と減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 18 及び図 19 に示す。建物 1 階(01F)の記録から算出した計測震度は 4.6 であった。

01F の記録の応答スペクトルを見ると、水平成分には 0.7 秒から 0.9 秒と 4 秒前後の 2 つのピークが見られ、仙台第 2 合同庁舎 B2F の記録と傾向は類似している。09F の記録の水平成分の応答スペクトルには 0.8 秒及び 0.9 秒に明瞭なピークが表れ、建物の 1 次固有周期に対応すると考えられる。

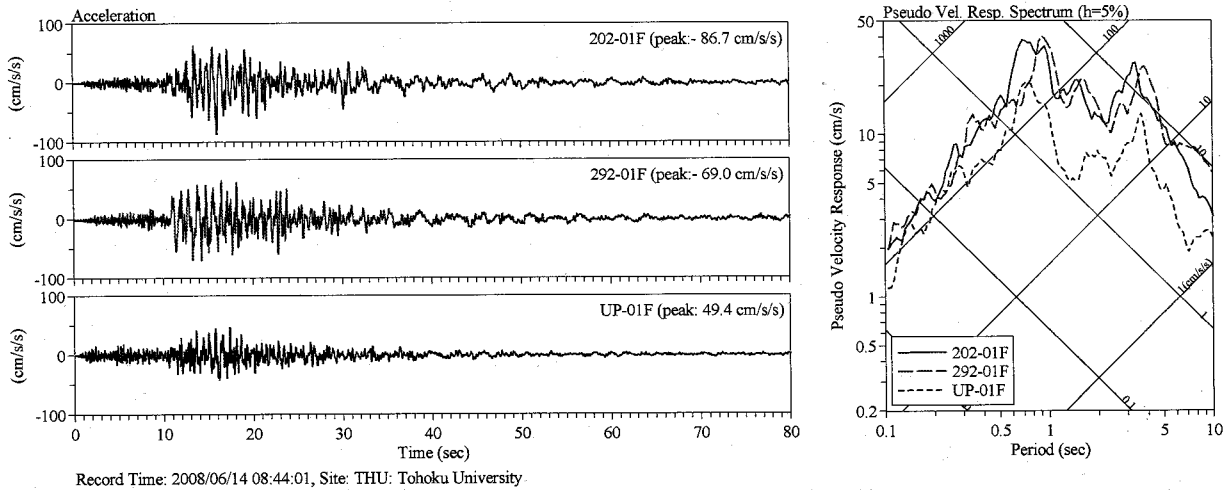


図 18 東北大学建設系建物 01F の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

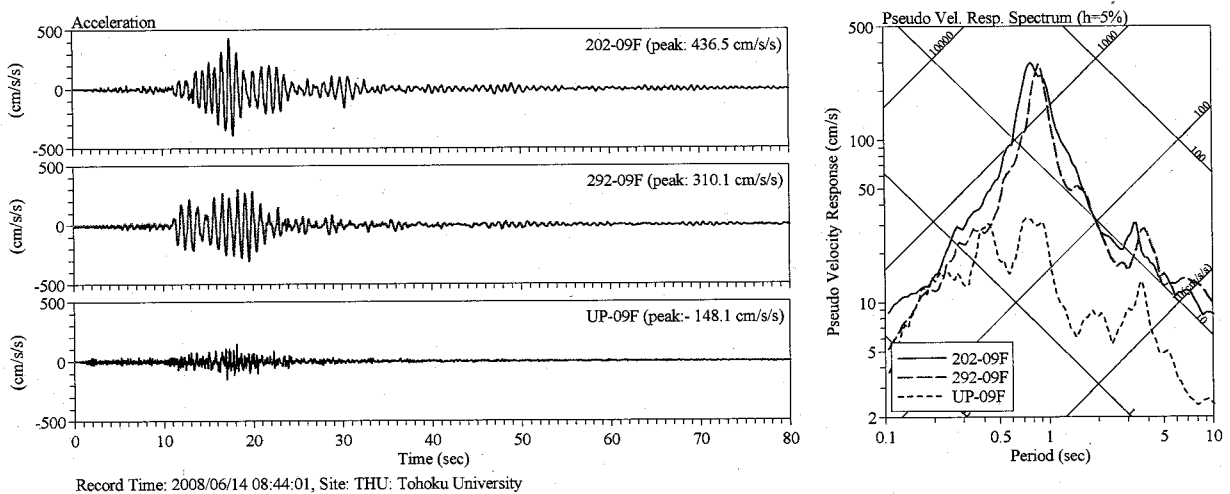
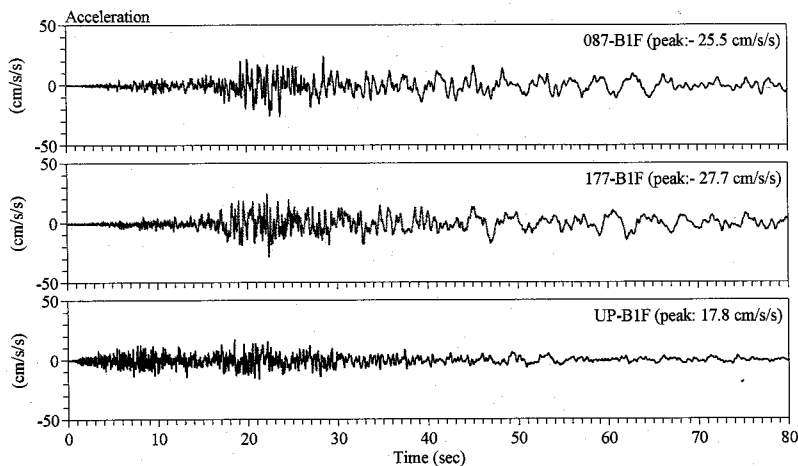


図 19 東北大学建設系建物 09F の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

(3) 秋田県庁(AKT)の強震記録

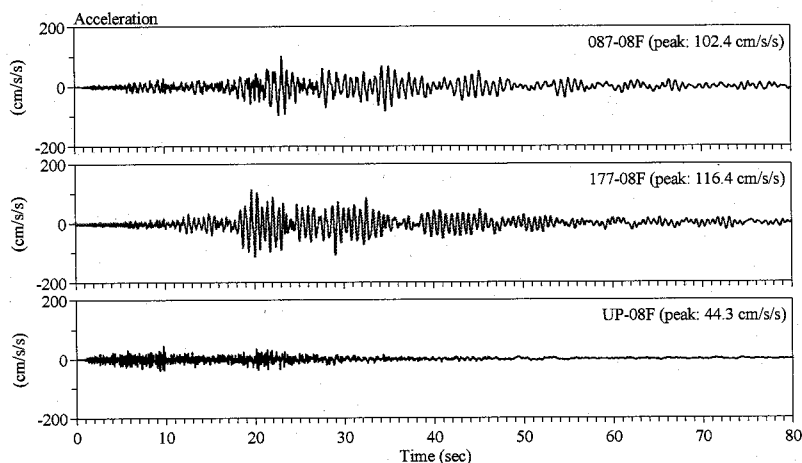
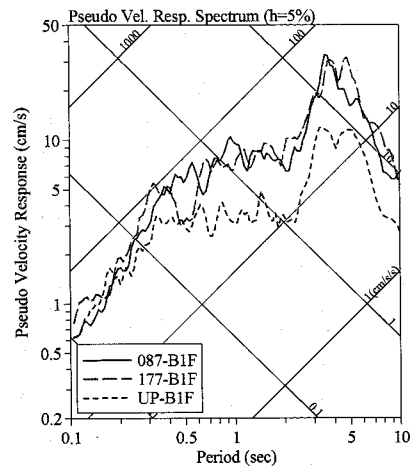
秋田県庁(AKT)は秋田市山王に建つ RC 造 6 階建ての庁舎建物である。加速度計は庁舎地下 1 階 (B1F)及び 9 塔屋 2 階(08F)階に設置されている。秋田県庁で観測された加速度記録と減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 20 及び図 21 に示す。地下 1 階(B1F)の記録から算出した計測震度は 3.5 であった。

B1F の加速度記録には後続の長周期成分が明瞭に表れている。応答スペクトルを見ると、この周期が 3.5 秒から 4.8 秒であることがわかる。08F の記録の水平成分の応答スペクトルから、建物の 1 次固有周期は 0.7 秒及び 0.6 秒と推察される。



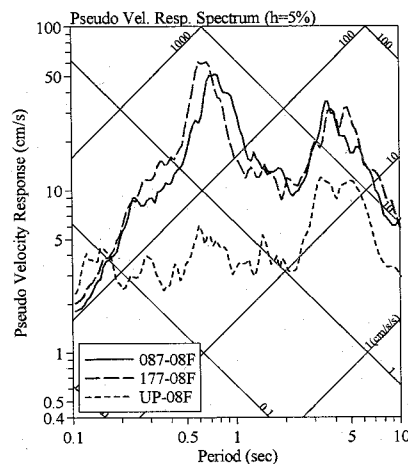
Record Time: 2008/06/14 08:44:03, Site: AKT: Akita Prefectural Office

図 20 秋田県庁 B1F の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル



Record Time: 2008/06/14 08:44:03, Site: AKT: Akita Prefectural Office

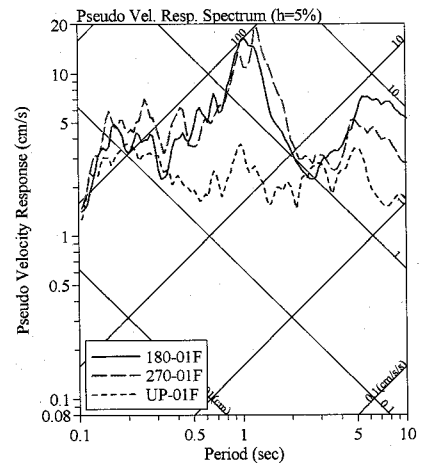
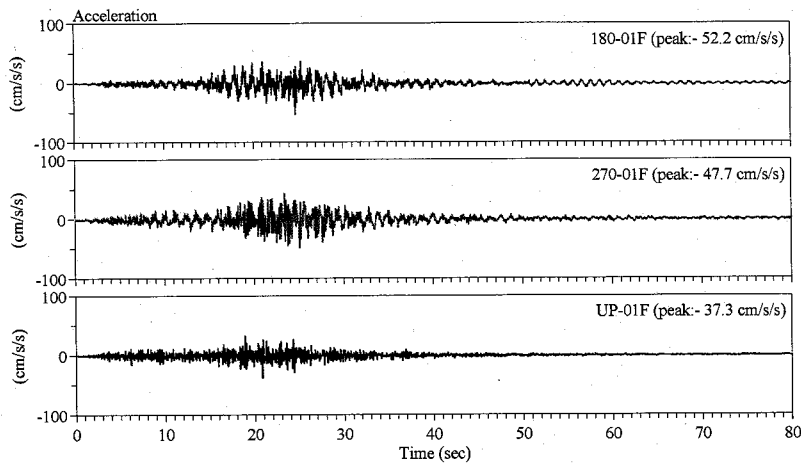
図 21 秋田県庁 08F の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル



(4) 宮古市庁舎(MYK)の強震記録

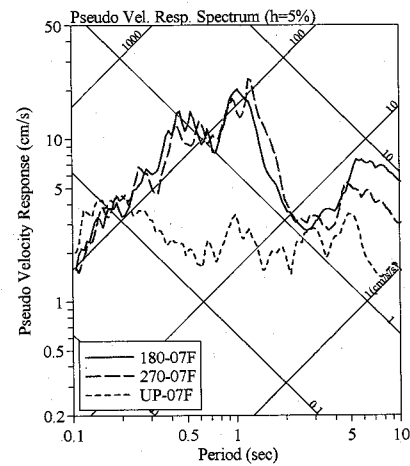
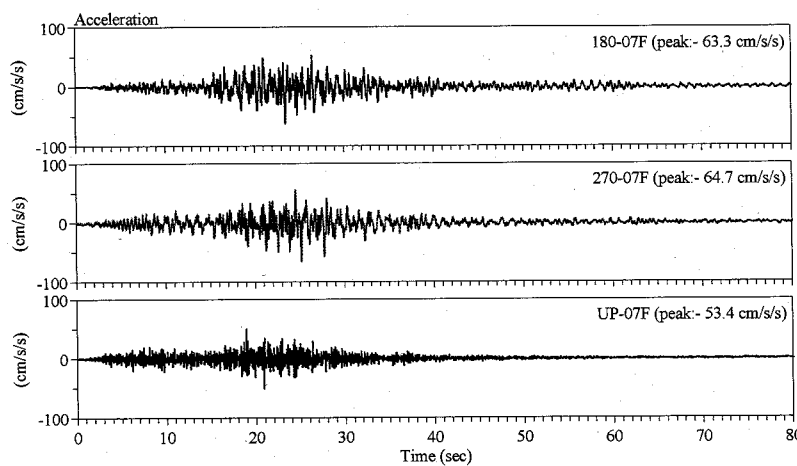
宮古市庁舎(MYK)は岩手県宮古市新川町に建つ RC 造 7 階建ての庁舎建物である。加速度計は庁舎 1 階(01F)、7 階(07F)及び地表(GL)に設置されている。宮古市庁舎で観測された加速度記録と減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 22 から図 24 に示す。地表(GL)の記録から算出した計測震度は 3.8 であった。

01F と GL の加速度波形や応答スペクトルはよく似ており、応答スペクトルは周期 1 秒に卓越が認められる。07F の波形や応答スペクトルには建物の 1 次固有振動が明瞭には表れていないが、フーリエスペクトル解析からは建物の 1 次固有周期は 0.4 秒及び 0.5 秒と見られ、01F と 07F の応答スペクトルもこの周期領域で違いが見られる。



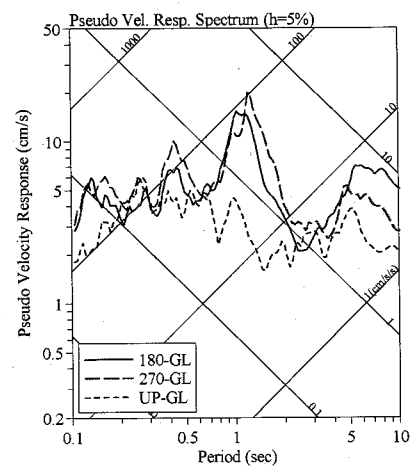
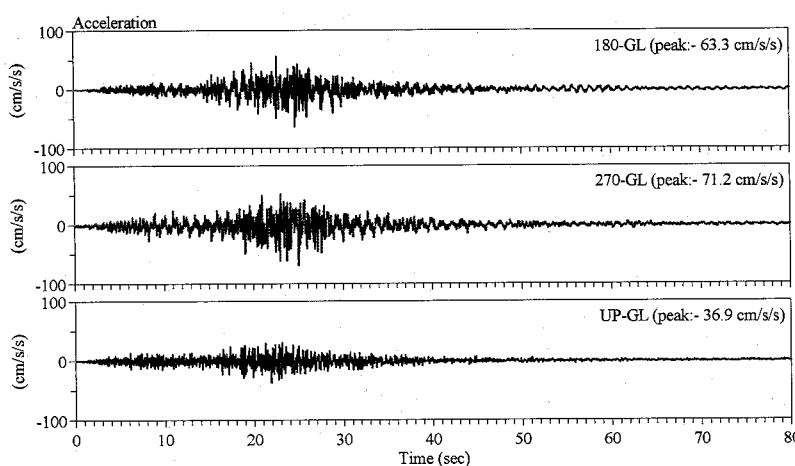
Record Time: 2008/06/14 08:45:59, Site: MYK: Miyako City Hall, Seismic Intensity: 3.7

図 22 宮古市庁舎 01F の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル



Record Time: 2008/06/14 08:45:59, Site: MYK: Miyako City Hall, Seismic Intensity: 3.7

図 23 宮古市庁舎 07F の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

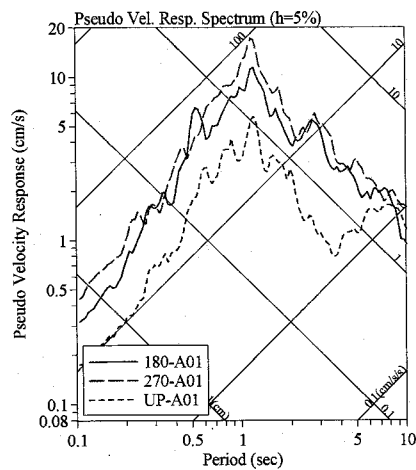
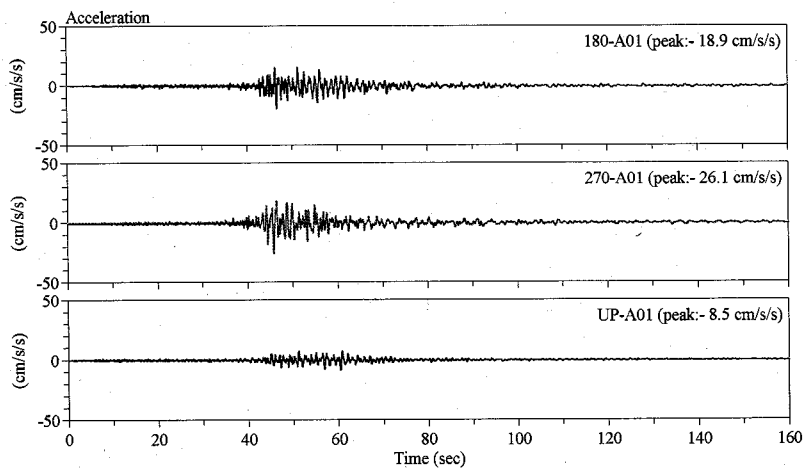


Record Time: 2008/06/14 08:45:59, Site: MYK: Miyako City Hall, Seismic Intensity: 3.7

図 24 宮古市庁舎 GL の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

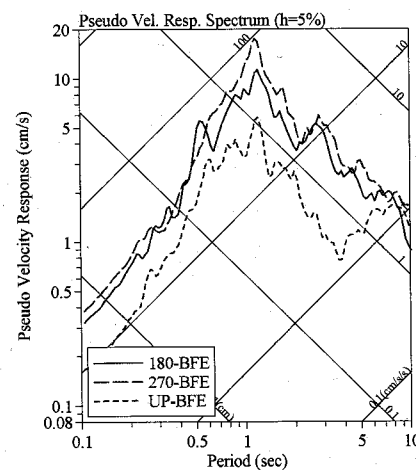
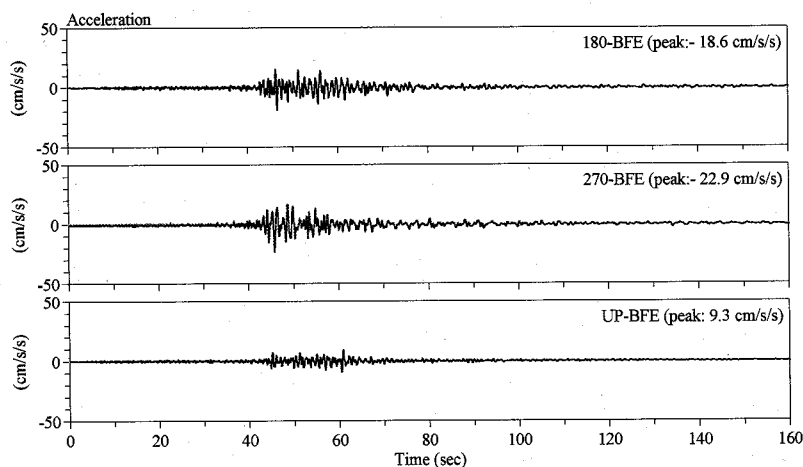
(5) 建築研究所新館(ANX)の強震記録

建築研究所新館(ANX)は茨城県つくば市に建つ SRC 造 8 階建ての建物である。この建物では、周辺地盤と隣接建物を含めて 22 台の加速度計を配した高密度の強震観測を行っている¹³⁾。ここではそのうち地表(A01)、建物地下 1 階(B1F)及び 8 階(08F)で得られた加速度記録と減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 25 から図 27 に示す。地表(A01)の記録から算出した計測震度は 3.5 であった。



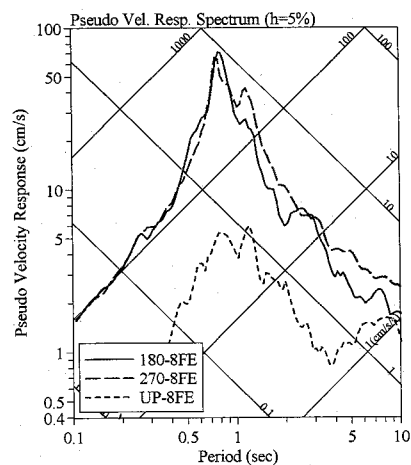
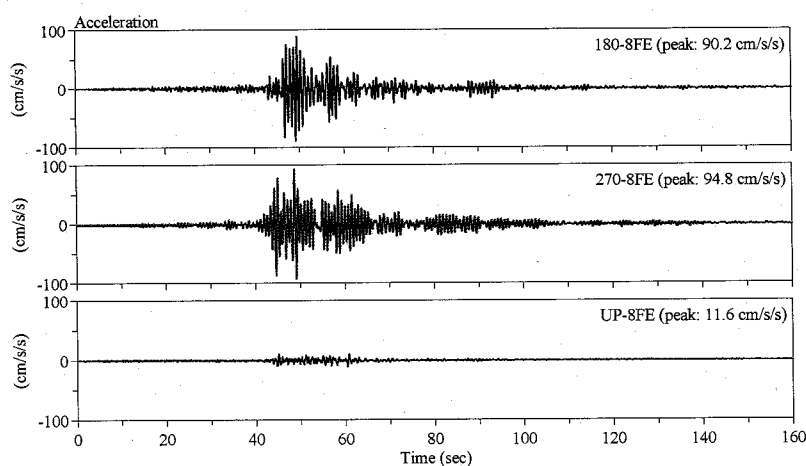
Record Time: 2008/06/14 08:44:36, Site: ANX: Annex, Building Research Institute

図 25 建築研究所新館(A01)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル



Record Time: 2008/06/14 08:44:36, Site: ANX: Annex, Building Research Institute

図 26 建築研究所新館 B1F(BFE)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル



Record Time: 2008/06/14 08:44:36, Site: ANX: Annex, Building Research Institute

図 27 建築研究所新館 08F(8FE)の加速度記録と 5%擬似速度応答スペクトル

5. 余震観測調査

2008年岩手・宮城内陸地震における建物への入力地震動や建物応答の検討に資するため、被災地での余震観測を行った。余震観測の対象は、震央に近い市街地の公的建物として栗原文化会館を、長周期地震動が観測された K-NET 鳴子観測地点の近傍として大崎市鬼首出張所周辺地盤を選定した。以下に余震観測の状況を述べる。

(1) 栗原文化会館の観測の概要

栗原文化会館は旧築館町の中心部に位置し、震央距離は約 36 km である。前述したように、栗原文化会館の南側約 200 m の地点に設置された K-NET 築館観測地点では、最大加速度 740 cm/s^2 、計測震度 5.7 の強震記録が得られている。このため K-NET の記録と比較することにより、地形の効果や建物への入力地震動に関する知見を得ることができると考え、栗原文化会館を余震観測の対象とした。

栗原文化会館は、事務所や集会室からなる RC2 階建ての低層棟と 1000 人収容のホール棟で構成されており、余震観測の対象は低層棟とした。強震計は 3 台の Kinematics 社 Etna を用い、建物の地下 1 階、2 階、及び地盤上に設置した。地盤上にも強震計を設置したのは、前述のように K-NET 築館は文化会館と 200 m ほど離れている上に、数 m の高低差があり、入力が同一と見なせるか確認するためである。観測期間は 2008 年 6 月 17 日より 8 月 7 日までである。

栗原文化会館の強震計の配置を図 28 に、低層棟の外観を写真 1 に、各強震計の設置状況を写真 2 から写真 4 に示す。

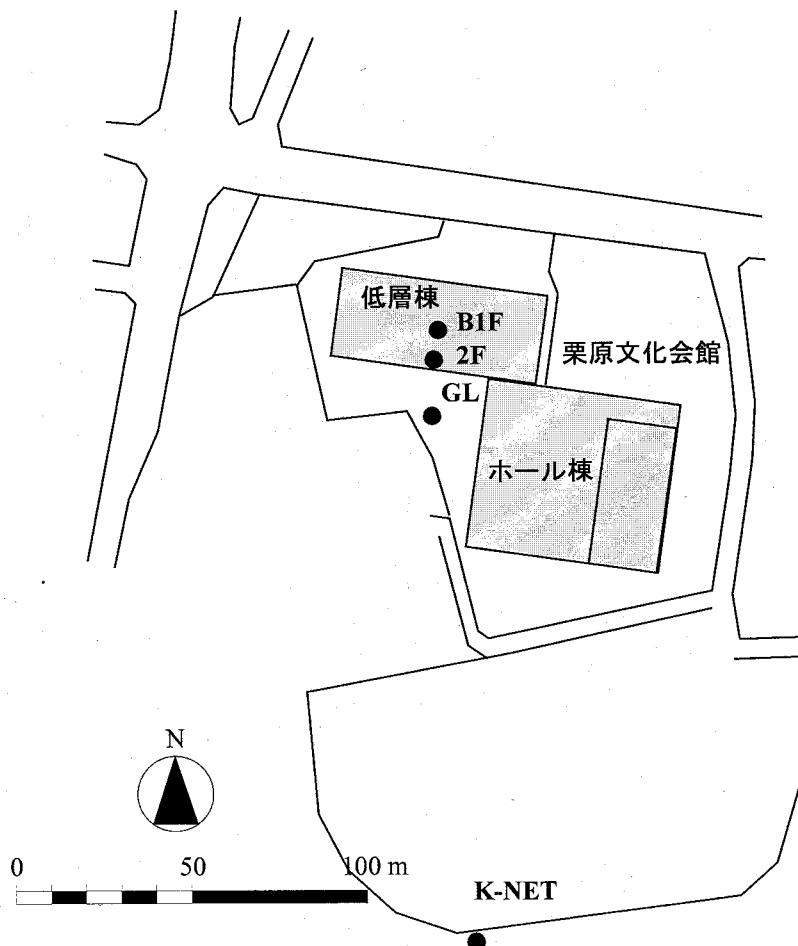


図 28 観測地点の配置。B1F 及び 2F は建物内の地下 1 階及び 2 階



写真1 栗原文化会館外観

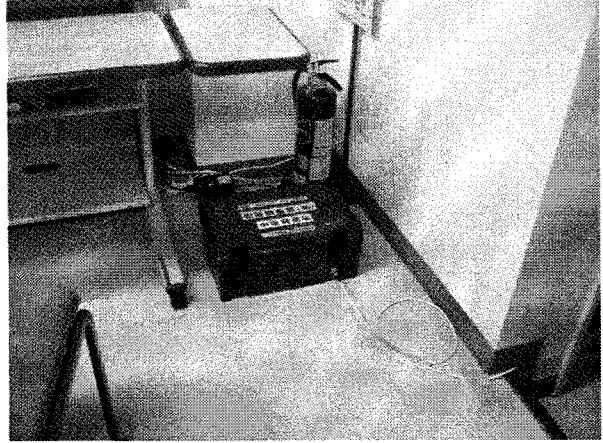


写真2 栗原文化会館 B1F 強震計

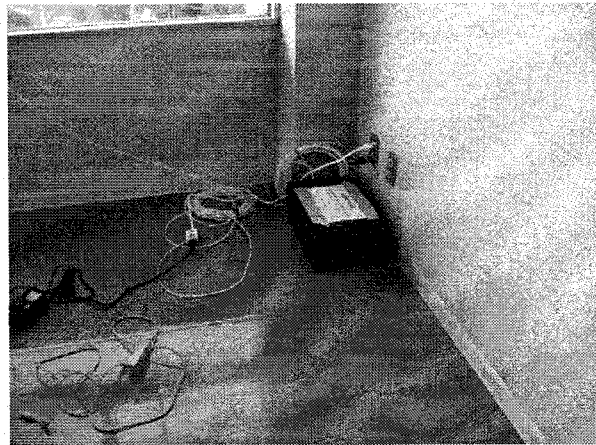


写真3 栗原文化会館 2F 強震計

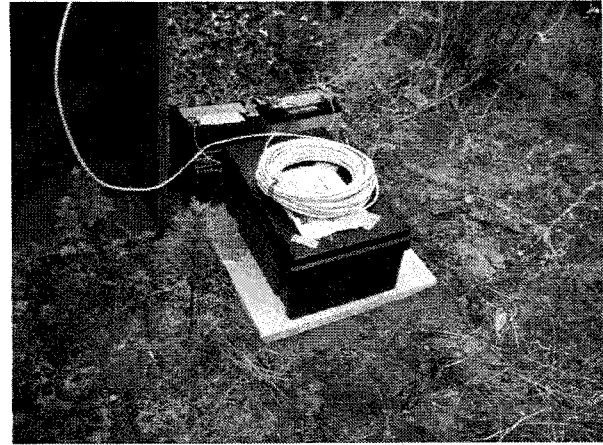


写真4 栗原文化会館 GL 強震計

(2) 鬼首出張所の余震観測の概要

K-NET 鳴子観測地点は大崎市鬼首中学校(現在は廃校)校庭の端に設置され、本震の地震動はNS成分に3秒の大きな卓越が見られる特徴的なものであった。この強震記録の特性の要因を検討するためにK-NET 鳴子観測地点周辺に3台の強震計を設置した。設置位置を図29に示す。1台は、K-NET 観測地点から北西に約400m離れた大崎市鳴子総合支所鬼首出張所の裏庭に設置した。この建物は規模の大きな木造2階建てで、今回の地震では目立った被害を受けていない。建物の外観を写真5に、強震計の設置状況を写真6に示す。

もう2台の強震計は、鬼首出張所とK-NET 鳴子の間を補間するため、鬼首出張所の裏のゲートボール場及び旧鬼首中学校後者裏に設置した。設置状況を写真7及び写真8に示す。観測期間は2008年6月18日より7月18日までである。



図 29 大崎市鬼首出張所の強震計設置位置(国土地理院 2 万 5 千分 1 地形図に加筆)

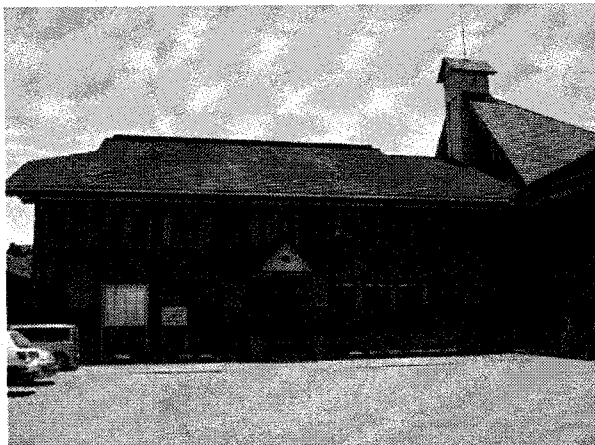


写真 5 鬼首出張所外観

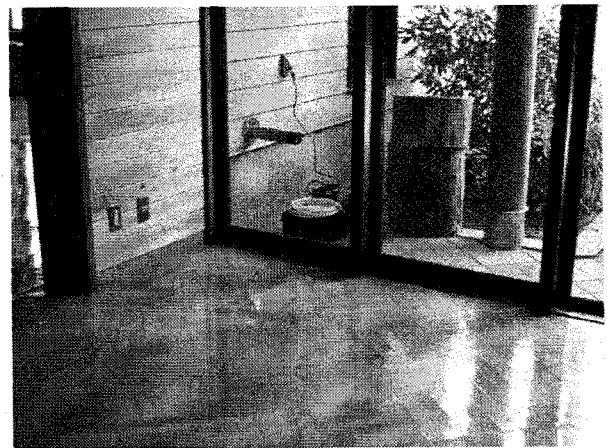


写真 6 鬼首出張所強震計設置状況



写真 7 ゲートボール場強震計設置状況

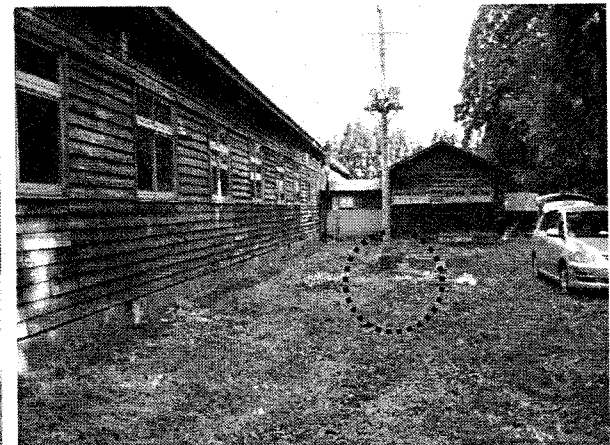


写真 8 鬼首中学校強震計設置状況

(3) 栗原文化会館の強震記録

栗原文化会館では、岩手・宮城内陸地震の余震に加え、東北地方で発生した他の地震の記録も得ることができた。主な地震の諸元と栗原文化会館の地表(GL)で得られた記録の計測震度及び最大加速度を表5に示す。EQ1及びEQ4は岩手・宮城内陸地震の余震である。EQ2は福島県沖を震源地とする地震、EQ3は岩手県沿岸北部を震源地とする地震である。特に2008年7月24日00時26分に岩手県沿岸北部で発生したEQ3では、計測震度に換算して5.0の大きな地震動記録が得られた。この地震の震源深さは108 km、気象庁マグニチュードは6.8、栗原文化会館からの震央距離は123 kmであった。

表5 栗原文化会館における主な観測記録(計測震度と最大加速度はGLの値)

#	日時	震央	h (km)	M	Δ (km)	I _{JMA}	最大加速度 (cm/s ²)		
							NS	EW	UD
EQ1	2008/06/17 21:30	岩手県内陸南部	11	4.1	43	1.2	7	5	3
EQ2	2008/07/19 11:39	福島県沖	32	6.9	173	3.3	32	28	13
EQ3	2008/07/24 00:26	岩手県沿岸北部	108	6.8	123	5.0	228	159	65
EQ4	2008/07/30 10:15	宮城県北部	5	3.6	20	1.9	24	9	10

h: 震源深さ, M: 気象庁マグニチュード, Δ: 震央距離, I_{JMA}: 計測震度

EQ3について、各観測点の計測震度と最大加速度を表6に示す。表中には参考として、K-NET 築館(MYG004)で得られた強震記録の値⁴⁾も示している。なお、栗原文化会館の強震計は建物軸に合わせて設置しており、設置方位は東西南北より8度ほど時計回りに振れているが、ここでは水平成分を北南(NS)、東西(EW)と表記する。

表6 2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震の記録の計測震度と最大加速度

記号	観測地点	Δ (km)	設置 位置	I _{JMA}	最大加速度 (cm/s ²)			観測機器
					NS	EW	UD	
KRH	栗原文化会館	123	GL	5.0	228	159	65	Etna
			B1F	4.7	136	107	50	Etna
			2F	5.0	211	178	59	Etna
MYG004	K-NET 築館	123	GL	4.7	231	169	80	K-NET02

h: 震源深さ, M: 気象庁マグニチュード, Δ: 震央距離, I_{JMA}: 計測震度

(a) 栗原文化会館地表の記録と K-NET 築館の記録の比較

EQ3の地震時に、栗原文化会館の地表(GL)で得られた加速度記録と K-NET 築館で得られた加速度記録を図30に示す。上段が文化会館の地表、下段が K-NET 築館で、それぞれ北南(NS)成分、東西(EW)成分、上下(UD)成分の順で並んでいる。なお文化会館の地表の記録の水平成分は偏角の補正を行っており、その最大加速度は表6の値とは異なっている。

加速度記録を見ると、EW成分及びUD成分で K-NETの方が若干大きな最大加速度を記録しているものの、両者の包絡形はいずれの成分でも概ね共通している。

図31に両者の加速度記録のフーリエスペクトル(幅0.2 HzのParzen Windowで平滑化)を、図32に K-NET 築館の栗原文化会館地表に対するフーリエスペクトル比(K-NET/GL)を示す。フーリエスペクトルからは、0.5秒及び1秒付近に山が認められ、全般的にこれらの周期を中心とした中周期成分が卓越した地震動の特性となっている。またフーリエスペクトル比からは、1秒以上の長周期では両者の特性はほぼ一致しているが、0.3秒から0.7秒の周期成分では栗原文化会館の地震動が、0.2秒以下の短周期成分では K-NET 築館の地震動がより優勢となっている。

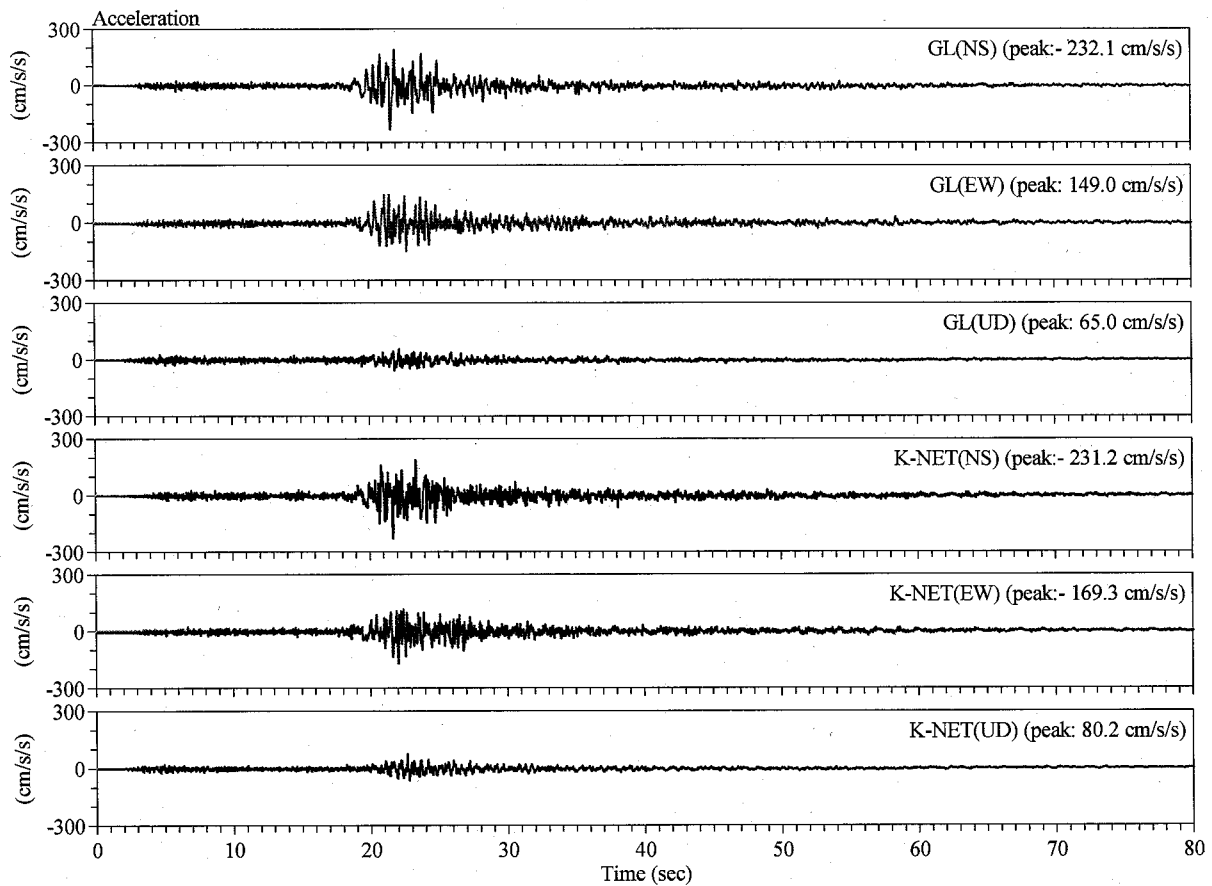


図 30 栗原文化会館地表(GL)と K-NET 築館(K-NET)の加速度記録。それぞれ北南(NS)成分、東西(EW)成分、上下(UD)成分の順で並ぶ

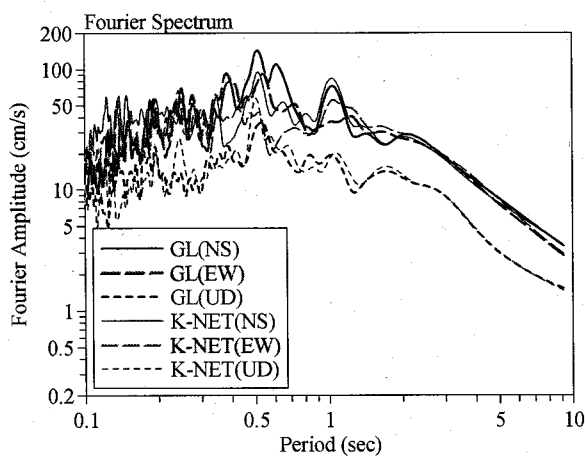


図 31 栗原文化会館 GL と K-NET 築館の加速度記録のフーリエスペクトル

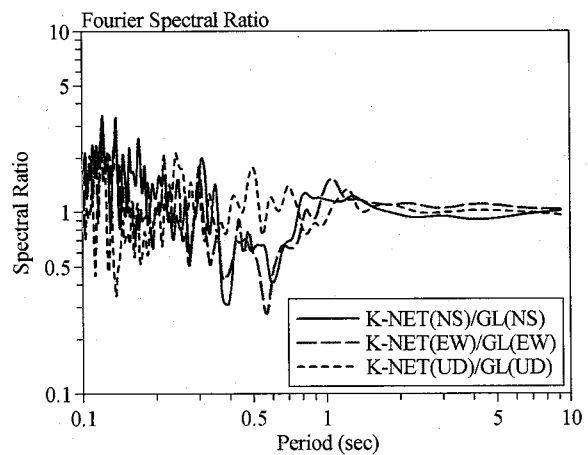


図 32 K-NET 築館の栗原文化会館 GL に対するフーリエスペクトル比

(b) 栗原文化会館の振動特性

EQ3 の地震時に、栗原文化会館の地表(GL)、地下 1 階(B1F)及び 2 階(02F)で得られた加速度記録を図 33 に示す。上段が地表(GL)、中段が地下 1 階(B1F)、下段が 2 階(02F)の記録で、それぞれ北南(NS)成分、東西(EW)成分、上下(UD)成分の順で並んでいる。ここでの NS 及び EW は設置方位を示す。

地下 1 階(B1F)の水平成分の最大加速度は、地表(GL)に比べ 2/3 程度に低下しており、2 階(02F)の最大加速度は地下 1 階(B1F)の 1.5 倍程度の値となっている。一方、各観測点の上下成分の最大

加速度の差は、水平成分に比べて小さい。

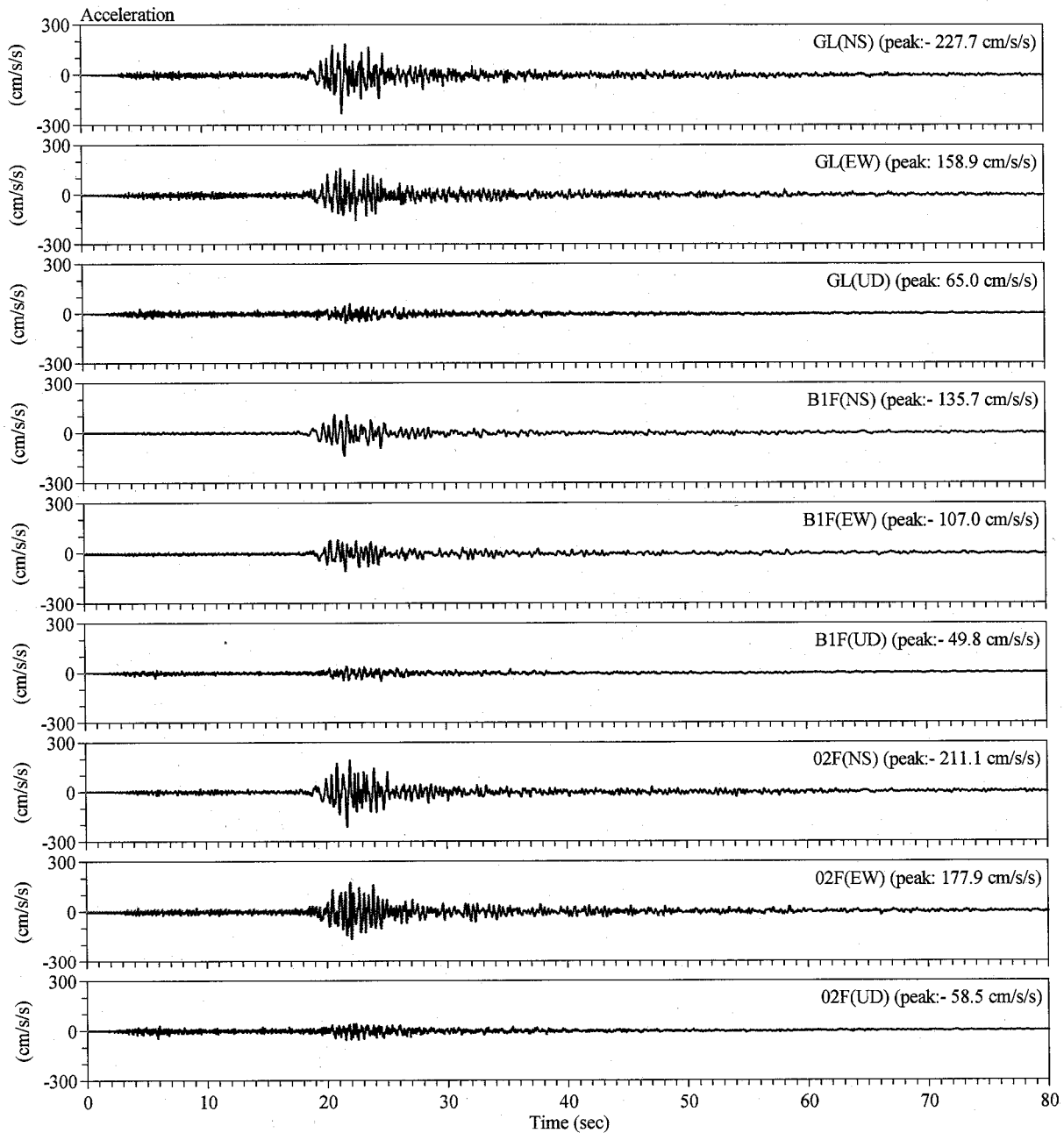


図 33 栗原文化会館地表(GL)、地下 1 階(B1F)及び 2 階(02F)の加速度記録。それぞれ北南(NS)成分、東西(EW)成分、上下(UD)成分の順で並ぶ

地下 1 階の地表に対するフーリエスペクトル比(B1F/GL)を図 34 に示す。いずれの成分も、0.3 秒以下の周期領域でスペクトル比は大きく低下し、地震入力の高減が認められる。建物 2 階の地下 1 階に対するスペクトル比(02F/B1F)を図 35 に示す。NS 成分では 0.22 秒、EW 成分では 0.24 秒にピークが認められ、建物の固有周期と考えられる。図 36 に建物 2 階の地表に対するスペクトル比(02F/GL)を示す。これは地盤と建物の相互作用を含んだ系の特性を表すものだが、建物による増幅が入力低減効果と相殺されて、ピークは不明瞭である。

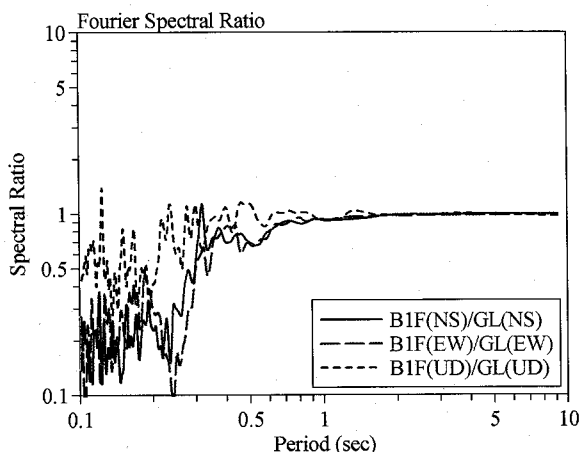


図 34 栗原文化会館 B1F/GL のフーリエスペクトル比

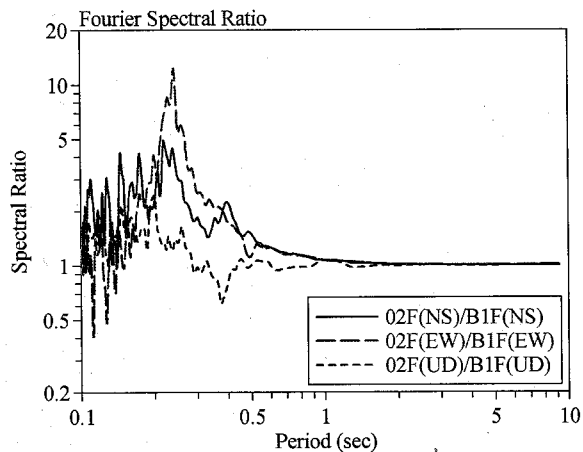


図 35 栗原文化会館 02F/B1F のフーリエスペクトル比

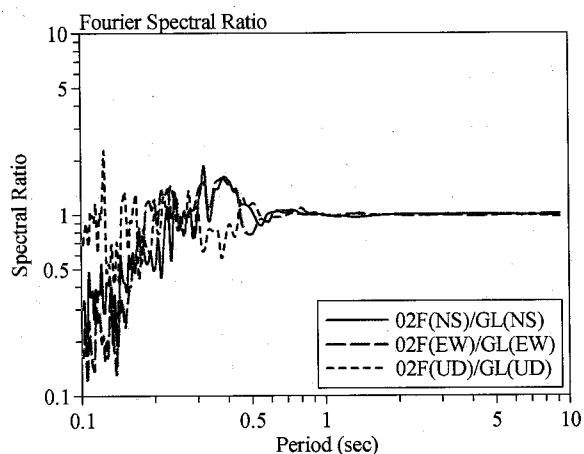


図 36 栗原文化会館 02F/GL のフーリエスペクトル比

(4) 鬼首出張所の余震記録

鬼首の余震観測では、150 を超える観測記録を得ることができたが、このうち K-NET 鳴子でも記録が得られ、比較分析できるものは 15 地震であった。このうち 2008 年 6 月 26 日 23 時 33 分に宮城県北部で発生した地震では K-NET 鳴子で余震観測期間中最大の計測震度 3.4 を記録した。この地震で得られた各地点の記録の計測震度と最大加速度を表 7 に示す。

表 7 2008 年 6 月 26 日 23 時 33 分宮城県北部の地震の記録の計測震度と最大加速度

記号	観測地点	Δ (km)	設置 位置	I_{JMA}	最大加速度 (cm/s^2)			観測機器
					NS	EW	UD	
ONK0	鬼首出張所	12	GL	3.0	26	32	27	Etna
ONK1	ゲートボール場	12	GL	3.1	36	39	22	SMAR-6A3P
ONK2	旧鬼首中学校	12	GL	3.2	23	29	20	SMAR-6A3P
MYG005	K-NET 鳴子	12	GL	3.4	78	80	46	K-NET02

h : 震源深さ, M : 気象庁マグニチュード, Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度

この地震で、各観測地点で得られた水平成分の加速度記録を図 37 に示す。上段は NS 成分、下段は EW 成分を表し、各成分は上から大崎市鬼首出張所(ONK0)、ゲートボール場(ONK1)、旧鬼首中学校裏(ONK2)、及び K-NET 鳴子(K-NET)の加速度記録が並んでいる。観測地点の両端である ONK0 と K-NET の距離は 400 m 程度とそれほど離れてはいないが、加速度波形には明らかな差異が表れている。

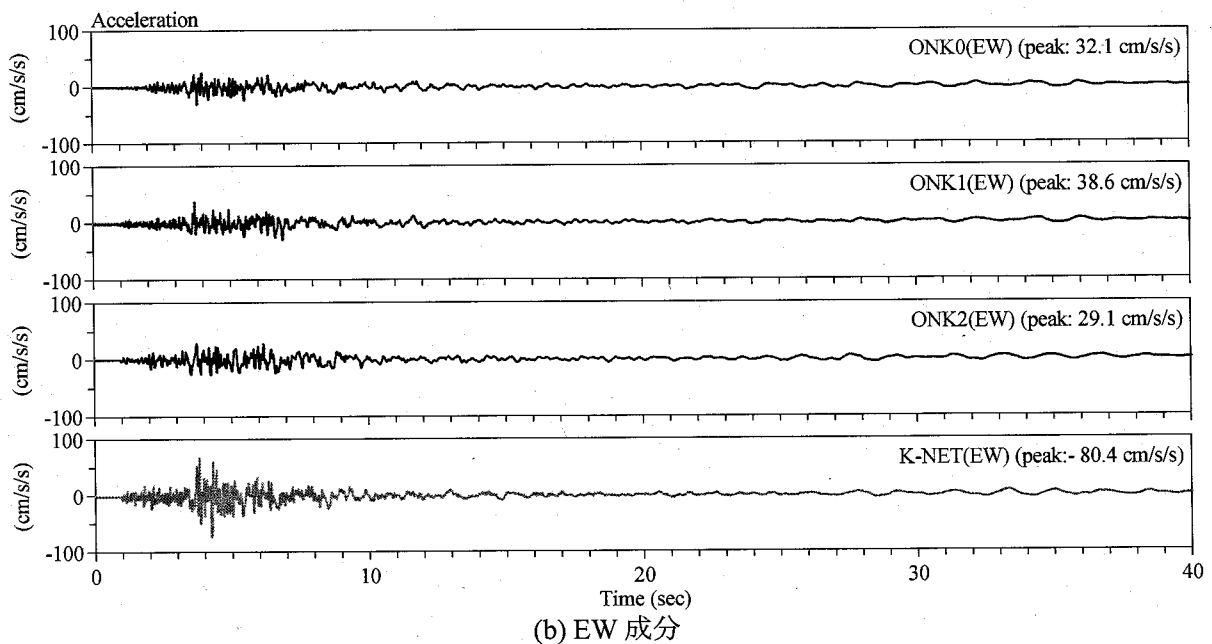
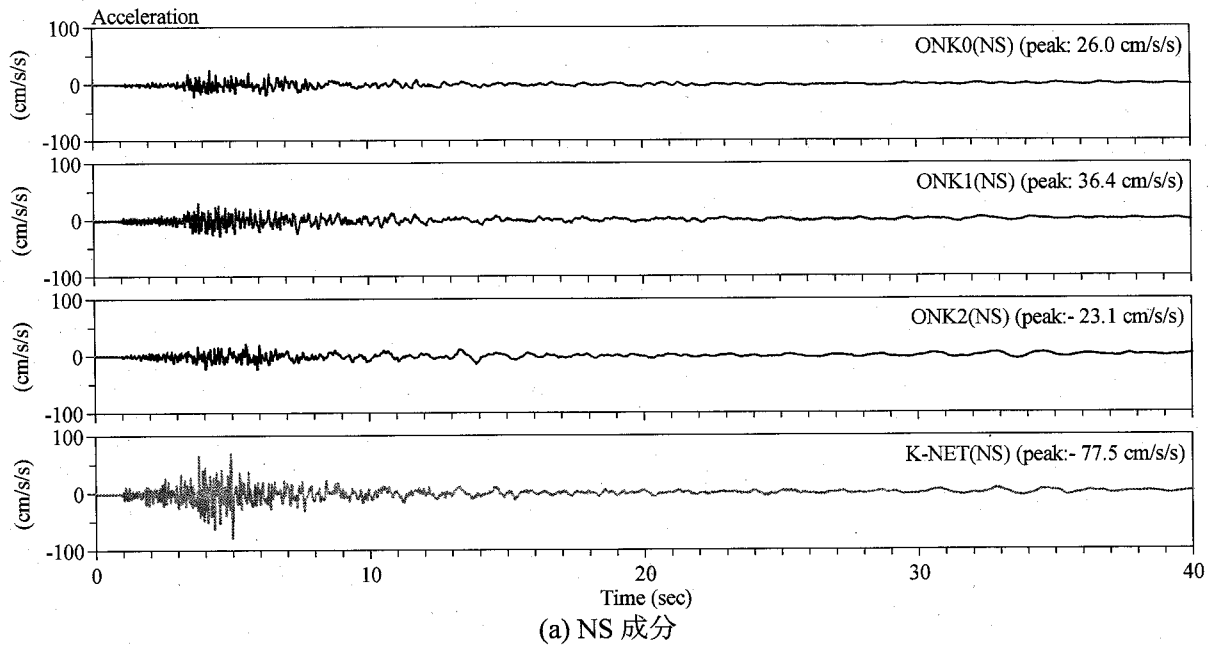
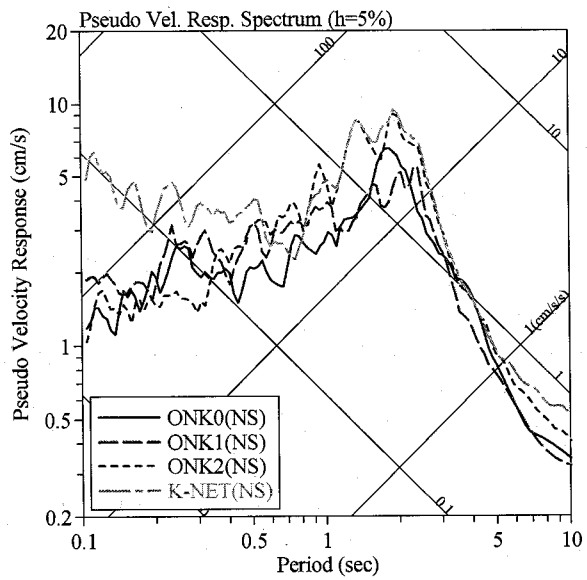
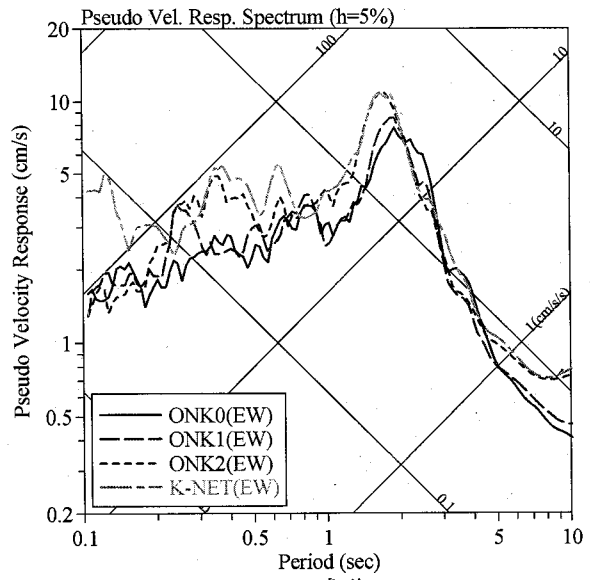


図 37 鬼首で得られた余震記録。上段 NS 成分、下段 EW 成分。それぞれ上から大崎市鬼首出張所(ONK0)、ゲートボール場(ONK1)、旧鬼首中学校裏(ONK2)、及び K-NET 鳴子(K-NET)

図 37 に示した加速度記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 38 に示す。左側が NS 成分、右側が EW 成分で、実線が大崎市鬼首出張所(ONK0)、破線がゲートボール場(ONK1)、点線が旧鬼首中学校裏(ONK2)、一点鎖線が K-NET 鳴子(K-NET)を表す。0.3 秒以下の短周期領域では K-NET の応答が他に比べ大きくなっている。0.5 秒以上の周期領域では、ONK1 は ONK0 と、ONK2 は K-NET とそれぞれ似た特性を示している。また、2 秒辺りの卓越は各観測地点共通の特徴となっている。



(a) NS 成分



(b) EW 成分

図 38 鬼首で得られた余震記録の 5%擬似速度応答スペクトル。左側 NS 成分、右側 EW 成分。

6. 微動観測調査

余震観測を実施する地盤および建物の振動特性に関する基礎的情報を得るため、図 39 および図 40 に示す地盤上および建物内(栗原文化会館の地下 1 階、2 階ならびに大崎市鳴子総合支所鬼首出張所の 2 階)の各点において、微動の移動 1 点観測を行った。地盤上および建物内での微動観測の例を写真 9 および写真 10 に示す。

観測では、固有周期 5 秒の 3 成分速度計((株)物探サービス製 GEONET1-5S3D, 水平直交 2 成分 + 鉛直 1 成分)を用い、その水平成分の方向は、地盤上の観測点ではコンパスによる NS・EW 方向、建物内の観測点では建屋の向き(概ね NS・EW 方向)とした。観測波形は増幅後、サンプリング周波数 100Hz (ローパスフィルタのカットオフ周波数 12.5Hz)で A/D 変換(24bit)し、ノートパソコンに記録した。

各観測点において、記録波形が定常性を保っていると考えられる区間を選び、地盤上および栗原文化会館 B1F の観測点では各成分 40.96 秒、それ以外の建物 2F の観測点では各成分 10.24 秒のデータを 8-16 セット程度作成して、FFT およびブロック平均法¹⁴⁾によりフーリエスペクトルを求めた(バンド幅 0.2Hz の Parzen Window で平滑化)。さらに、地盤上および栗原文化会館 B1F の観測点では、得られた各成分のフーリエスペクトルから、H/V スペクトル^{15), 16)}を算定した。この際、水平動のスペクトルは、NS, EW あるいは両成分の 2 乗和平方根の 3 とおりとした。各観測点で得られた微動のフーリエスペクトルを図 39 および図 40 に、H/V スペクトルを図 41 および図 42 に、それぞれ示す。なお、図では、観測で用いたセンサの性能や FFT データ長から有効と判断される周期帯を示している。

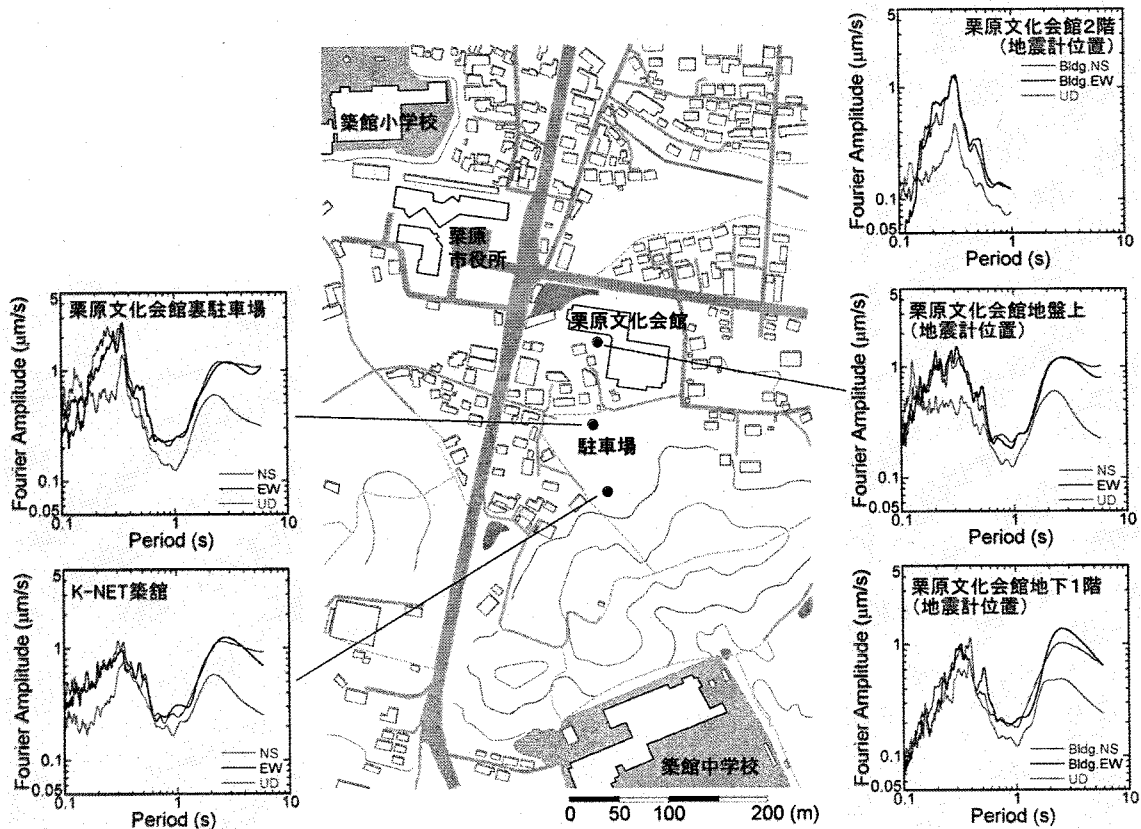


図 39 微動の観測点およびフーリエスペクトルの分布(栗原文化会館周辺)

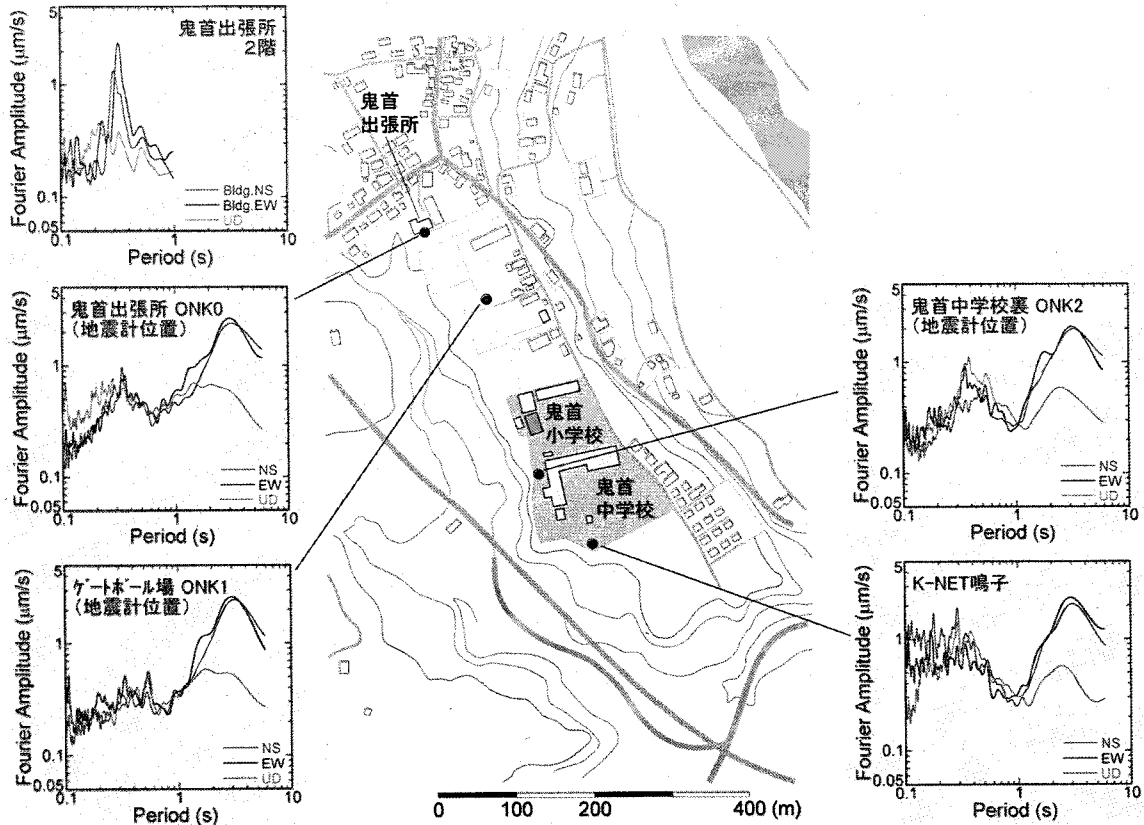


図 40 微動の観測点およびフーリエスペクトルの分布(大崎市鳴子総合支所鬼首出張所周辺)

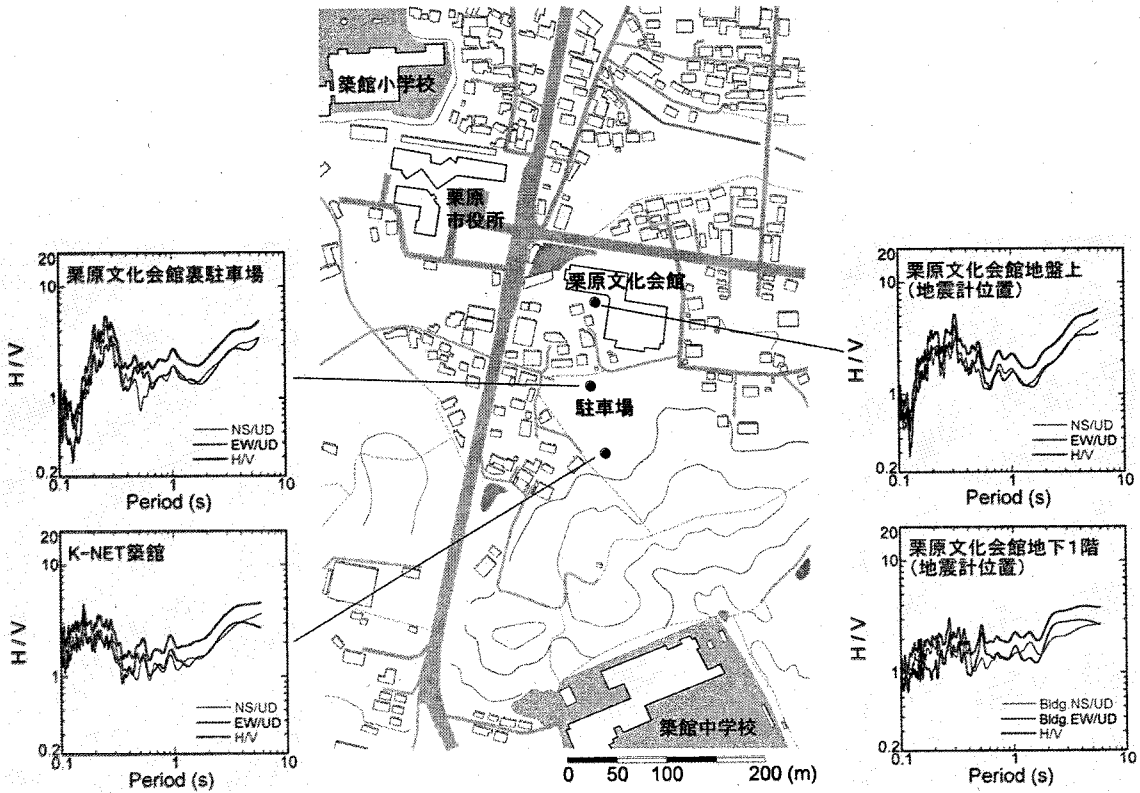


図 41 微動 H/V スペクトルの分布(栗原文化会館周辺)

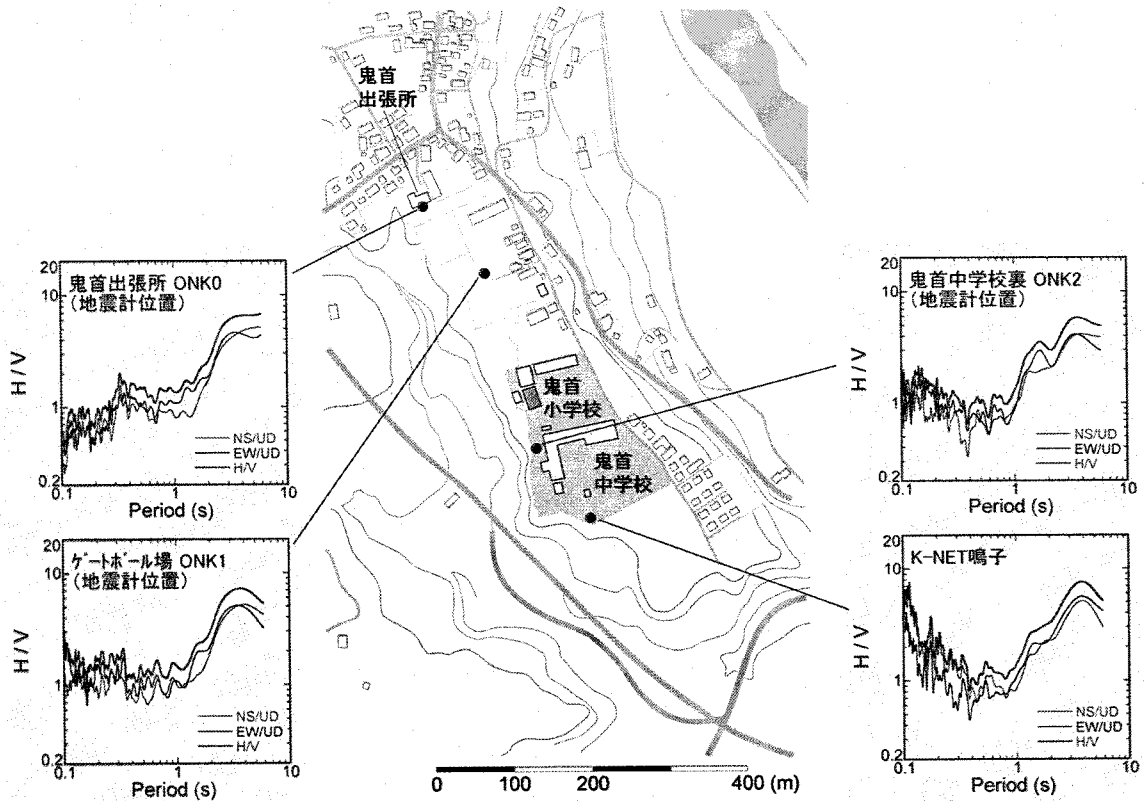


図 42 微動 H/V スペクトルの分布(大崎市鳴子総合支所鬼首出張所周辺)



写真 9 K-NET 鳴子での微動観測

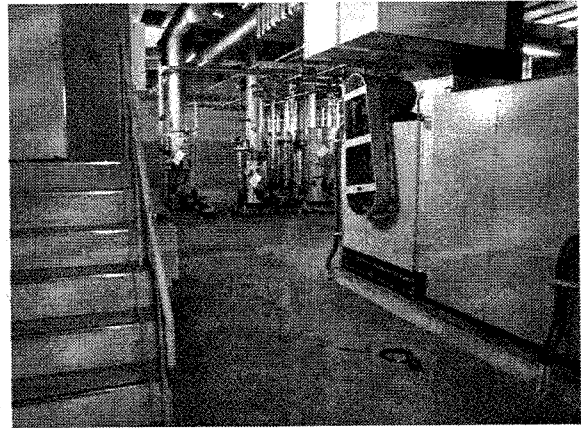


写真 10 栗原文化会館 B1F での微動観測

図 39 から図 42 より、観測事実として、以下の点が指摘される。

【栗原文化会館周辺】

- 地盤上の H/V の周期特性は、不明瞭な場合が多い。ただし、周期 3 秒程度にピークが存在するように見える場合もある。
- 文化会館裏駐車場の H/V の周期 0.2-0.3 秒程度のピークは、おそらく盛土の影響と思われる。
- K-NET 築館と文化会館 B1F の H/V は、周期 0.3 秒程度以上で、比較的良く似ている。

【鬼首出張所周辺】

- 地盤上の H/V の周期特性は、周期 3 秒程度に比較的明瞭なピークが見られる場合が多い。これは、佐藤ら¹²⁾や野津ら¹⁷⁾が指摘しているように、カルデラ構造に起因するサイト特性を反映したものである。

【共通】

- ・どの観測点でも、NS/UD と EW/UD のスペクトル特性に違いはほとんど見られない。
- ・地震計を設置した建物 2F の水平動スペクトルのピーク周期は、いずれも 0.3 秒程度で、建物の特性ではなく、入力(地盤の微動)の特性を見ている可能性がある。

7. まとめ

2008 年岩手・宮城内陸地震の震源は西北西-東南東に圧縮軸を持つ逆断層型で、西北西傾斜の断層面を有し、主要な破壊は震源より南南西方向へ進行した。

気象庁、岩手県、宮城県、秋田県などの自治体の震度情報ネットワーク、及び K-NET の観測地点では、奥州市衣川区と栗原市一迫の 2 箇所で震度 6 強を、他の 13 地点で震度 6 弱を観測した。加えて震源近傍の KiK-net の 3 観測地点で震度 6 強相当の揺れが観測された。

気象庁、K-NET、KiK-net の多くの観測地点で強震記録が得られ、特に震源断層直上の KiK-net 一関西では上下成分で 3866cm/s^2 もの大きな最大加速度が記録された。一方、震度 6 弱以上の強震記録を分析したところ、短周期成分が主体の記録が多く、また KiK-net 東成瀬を除いて擬似速度応答値は大きくとも 100cm/s 前後であった。

建築研究所の強震観測網では、東北地方を中心に 33 の観測地点で観測記録が得られた。仙台市や秋田市の市街地では 3 秒から 5 秒の長周期成分の卓越が観測された。

建築研究所は地震発生の日後より栗原文化会館と、大崎市鬼首出張所近傍で 6 台の強震計を用いて余震を行った。栗原文化会館では 2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分に岩手県沿岸北部で発生した地震を始めとしていくつかの強震記録が得られ、近傍の K-NET 築館の記録との比較や文化会館の建物の振動特性の検討を行った。

余震観測と並行して、栗原文化会館と大崎市鬼首出張所近傍において、地盤および建物の微動の移動 1 点観測を行った。栗原文化会館周辺では、地盤上の H/V スペクトルの周期特性は、3 秒程度にピークが存在するように見える場合もあるが、不明瞭な場合が多い。一方、鬼首出張所周辺では、地盤上の H/V スペクトルに、周期 3 秒程度の比較的明瞭なピークが見られる場合が多い。これは、カルデラ構造に起因するサイト特性を反映したものである。

謝辞

余震観測調査に当たっては、栗原市栗原文化会館佐藤氏及び大崎市鬼首地区公民館大沼氏を始めとして関係諸氏にご協力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表す。

また、特記なき地図類の描画には Paul Wessel 氏と Walter H. F. Smith 氏が作成した GMT^{3,18)}を用いていることを付記する。

参考文献/参照サイト

- 1) 気象庁: 「平成 20 年(2008 年) 岩手・宮城内陸地震」の特集,
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2008_06_14_iwate-miyagi/index.html
- 2) 気象庁: 「平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震」について(第 4 報),
<http://www.jma.go.jp/jma/press/0806/14d/h20iwate-miyagi-4.html>
- 3) 地震調査推進本部: 平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震の評価,
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/08jun_iwate_miyagi2/index.htm
- 4) 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET: <http://www.k-net.bosai.go.jp/>
- 5) 防災科学技術研究所基盤強震観測網 KiK-net: <http://www.kik.bosai.go.jp/>
- 6) 東北地方土木地質図編纂委員会:東北地方土木地質図解説書, 1988.
- 7) 日本の地質「東北地方」編集委員会編、日本の地質 2 東北地方、共立出版、1991.
- 8) 八木勇治: 2008 年 6 月 14 日岩手・宮城内陸地震(暫定),
http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press_HP/yagi/EQ/20080613/
- 9) 青井真: 平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震にともなう断層直上の強震動記録による永久変位の推定,
http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/Iwatemiyaginairiku_080614/IWT_displacement/

- 10) 防災科学技術研究所: Hi-net/KiK-net 一関西観測点(IWTH25)において軽量棚が飛んだ形跡について, http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/Iwatemiyaginairiku_080614/IWTH25_shelf.pdf
- 11) 山中浩明, 瀬尾和夫: 宮城県北部に発生した1996年8月11日の地震について その2 強震記録と地盤について, 地震工学研究レポート, 60, pp.33-42, 1996
- 12) 佐藤智美他: 1996年8月秋田・宮城県境付近の地震群のK-NET強震記録から推定した震源・伝播・サイト特性, 地震第2輯, 第50巻, pp.415-429, 1998
- 13) 鹿嶋俊英他: 8層SRC建物と周辺地盤におけるアレー観測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), B-2, pp.213-214, 1998
- 14) Capon, J.: High-Resolution Frequency-Wave Number Spectrum Analysis, *Geophysics*, Vol. 34, No. 1, pp. 21-38, 1969
- 15) 中村豊, 上野真: 地表面震動の上下成分と水平成分を利用した表層地盤特性推定の試み, 第7回日本地震工学シンポジウム, pp. 265-270, 1986
- 16) 時松孝次, 新井洋: レイリー波とラブ波の振幅比が微動の水平鉛直スペクトル比に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, No. 511, pp. 69-75, 1998
- 17) 野津厚, 長尾毅: スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト特性, 港湾空港技術研究所資料, No. 1112, 56pp, 2005
- 18) GMT - The Generic Mapping Tools: <http://gmt.soest.hawaii.edu/>

