

3. 地震及び地震動の特徴

3.1 地震の概要

3.1.1 地震諸元

気象庁が決定した2007年新潟県中越沖地震の本震の諸元は表-3.1の通りである^{3.1)}。

表-3.1 地震諸元

発震時	緯度	経度	深さ	M_{JMA}	震央地名
2007/07/16 10:13	37° 33.4' N	138° 36.5' E	17 km	6.8	新潟県上中越沖

M_{JMA} : 気象庁マグニチュード

震央位置を図-3.1に☆印で示す。図の左上の震源球は、気象庁による初期発震機構解である^{3.1)}。発震機構解はこの地震の断層が、北西-南東に圧縮軸を持つ逆断層であることを示している。ただし、断層面に関しては北西落ち(南東側が浅く北西側が深い)と南東落ちの2説あり、まだ確定していない^{3.2)}。

震源の破壊過程の解析結果がいくつか公表されている。ここでは八木の解析結果^{3.3)}を参照して、すべり量が0.5m以上の領域を図-3.1に破線で示している。八木の解析は北西落ちの断層面を仮定している。また図中点線で囲った領域は気象庁による余震の発生領域である^{3.1)}。これらの結果から、断層は出雲崎町の沖から柏崎市の沖まで30km近い長さを持ち、破壊は北東側から始まり南西方向へ伝播したと考えられる。

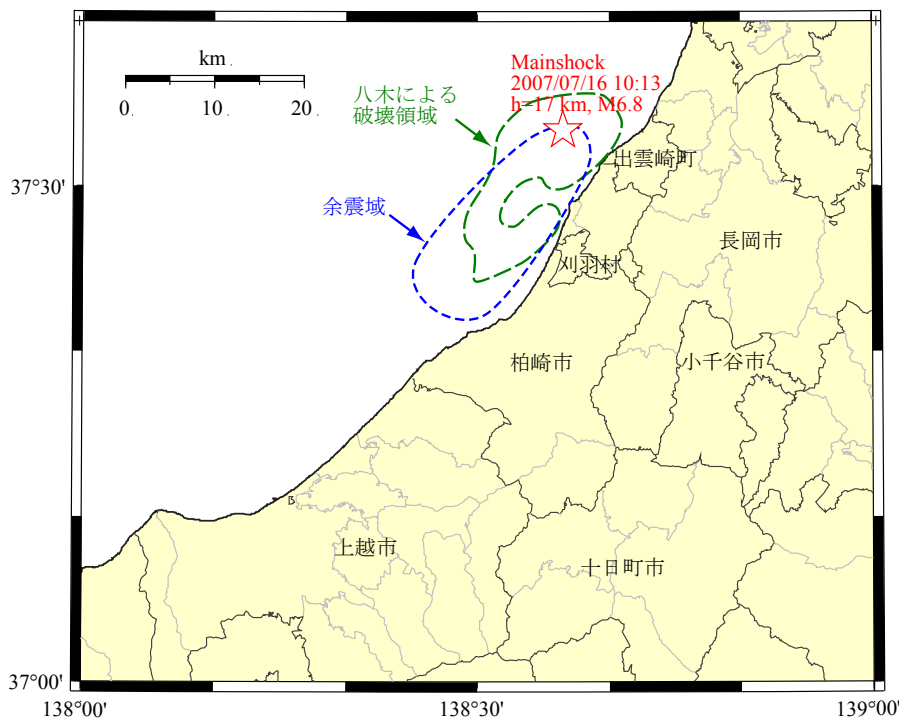


図-3.1 本震の震央位置と断層破壊領域。☆は本震の震央、破線は断層破壊領域^{3.3)}、点線は余震域^{3.1)}を表す

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-3.2に示す^{3.1)}。表中の*印は新潟県及び長野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)^{3.4)}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。これらの地点の震度を地図上にプロットしたものが図-3.2である。☆は震央、点線は余震域を表す。余震域はほぼ断層の領域に対応すると考えられる。大きな震度が観測された地点のうち柏崎市西山町池浦、刈羽村割町新田、柏崎市中央町の3点は、断層領域に平行に北東から南西に並んでおり、断層領域から近い。全般的に断層領域に近い観測地点ほど震度が大きい。

表-3.2 各地の震度(震度5弱以上)^{3.1)}

震度	観測地点
6強	刈羽村割町新田*、柏崎市西山町池浦*、柏崎市中央町*、長岡市小国町法坂*、飯綱町芋川*
6弱	出雲崎町川西*、出雲崎町米田、小千谷市土川*、柏崎市高柳町岡野町*、長岡市山古志竹沢*、長岡市上岩井*、長岡市中之島*、上越市三和区井ノ口*、上越市吉川区原之町*、上越市柿崎区柿崎*
5強	燕市分水桜町*、南魚沼市六日町、十日町市松代*、十日町市千歳町*、十日町市高山*、小千谷市城内、三条市新堀*、長岡市小島谷*、長岡市与板町与板*、長岡市浦*、長岡市千手*、上越市大島区岡*、上越市頸城区百間町*、上越市大潟区土底浜*、上越市牧区柳島*、上越市浦川原区釜淵*、上越市安塚区安塚*、上越市五智*、上越市大手町、飯綱町牟礼*、信濃町柏原東裏*、飯山市飯山福寿町*、中野市豊津*
5弱	新潟西蒲区巻甲*、新潟西蒲区役所、弥彦村矢作*、五泉市太田*、燕市吉田日之出町*、南魚沼市塩沢庁舎*、魚沼市堀之内*、川口町川口*、見附市昭和町*、十日町市松之山*、十日町市水口沢*、加茂市幸町*、三条市西裏館*、長岡市寺泊上田町*、長岡市寺泊一里塚*、長岡市幸町、上越市名立区名立大町*、上越市清里区荒牧*、上越市板倉区針*、上越市木田*、上越市中ノ俣、長野市戸隠*

注) *: 新潟県及び長野県震度情報ネットワークまたはK-NET

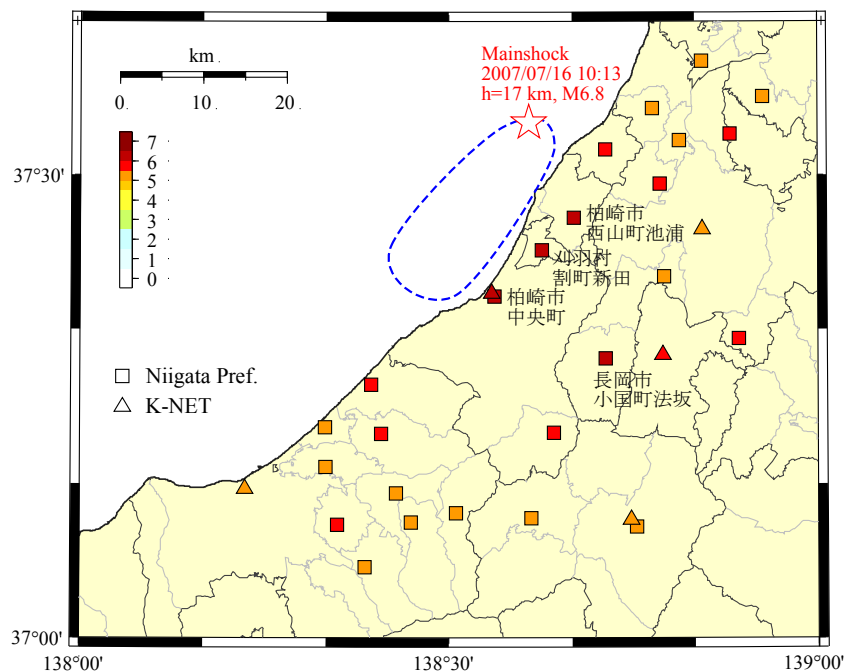


図-3.2 各地の震度(震度5弱以上)。☆は本震の震央、点線は余震域を表し、□は新潟県及び長野県震度情報ネットワークまたは気象庁、△はK-NETの観測地点を示す

3.2 被災地の地形及び地質

主な被災地域である柏崎平野は、新潟県中西南部に位置し、北西側が日本海、南西部は鮮新世火山岩類からなる米山の東斜面、東部および北部は新第三系の椎谷層、西山層や第四系の灰爪層、皆川層で構成されている東頸城丘陵に面している^{3.5), 3.6)}。柏崎平野の地質図を、図-3.3に示す^{3.5)}。

柏崎平野は、海岸部の砂丘、低地部、周辺の丘陵で構成される。海岸部の砂丘は、第四系完新統の新砂丘砂層からなり、日本海岸にそって柏崎市宮川から鯨波の間に幅2 km、長さ15 kmに分布している。南部の安田段丘や平野周縁部山麓沿いの丘陵は、更新世中期から後期の地層からなる。砂丘と周辺の丘陵・山地との間の低地部は、第四系完新統の柏崎層で、全層厚は100 m以上に達し、下部・上部・最上部に区分される。下部・上部柏崎層の層厚はそれぞれ20~30 m、N値は下からそれぞれ10~20、5~10、5以下である。余震観測を実施した柏崎市役所と西山事務所は、それぞれ新砂丘砂層、安田層・岩野層上に位置している。

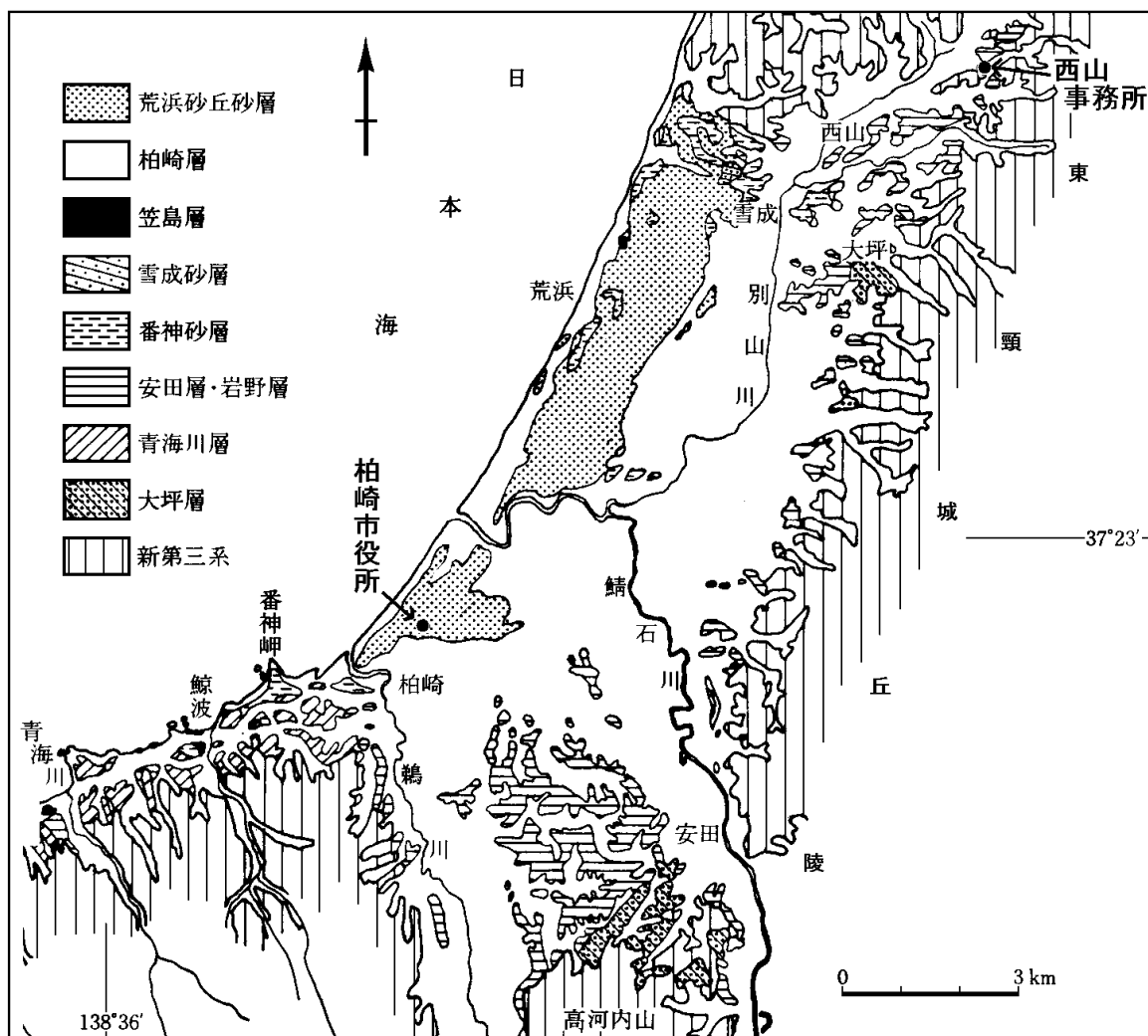


図-3.3 柏崎平野の第四系地質図(日本の地質「中部地方I」^{3.5)}に加筆)

柏崎市役所および、同じ新砂丘砂層に位置する東京電力柏崎刈羽原子力発電所の地盤に関しては、ボーリング調査結果が公開されている。柏崎市役所構内にあるK-NET観測地点(NIG018)では、図-3.4に示すように、深さ20 mまでのボーリング調査結果が得られている^{3.7), 3.8)}。それによると、深さ13 mまでは砂層でその下に粘性土が存在する。砂層のせん断波速度(括弧内は層厚)は、地表より80 m/s

(1 m)、130 m/s (2 m)、210 m/s (10 m)、粘性土のせん断波速度は190 m/sである。一方、東京電力が発表した「柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析に係る報告(第二報)について」に添付される「地盤系観測点の地盤概1」^{3.9)}に示されている、深度-250 m (標高は-182.3 m)まで達しているサービスホール地盤系におけるボーリング調査結果によると、第四系地盤の番神砂層のせん断波速度は310~350 m/s、安田層のせん断波速度は350 m/s、新第三系の西山層は500~640 m/sを有している。また深度-312 m (標高は-300 m)に達している5号機地盤系におけるボーリング調査結果によると、西山層より古い椎谷層のせん断波速度は660~870 m/sを有している。これらの新第三系の地層が、柏崎平野下部にも存在していると考えられ、花崗岩・蛇紋岩からなる基盤岩の深さは、平野東縁部の柏崎市の吉井油田では地下3,100 mよりも深いところに確認されている^{3.5)}。

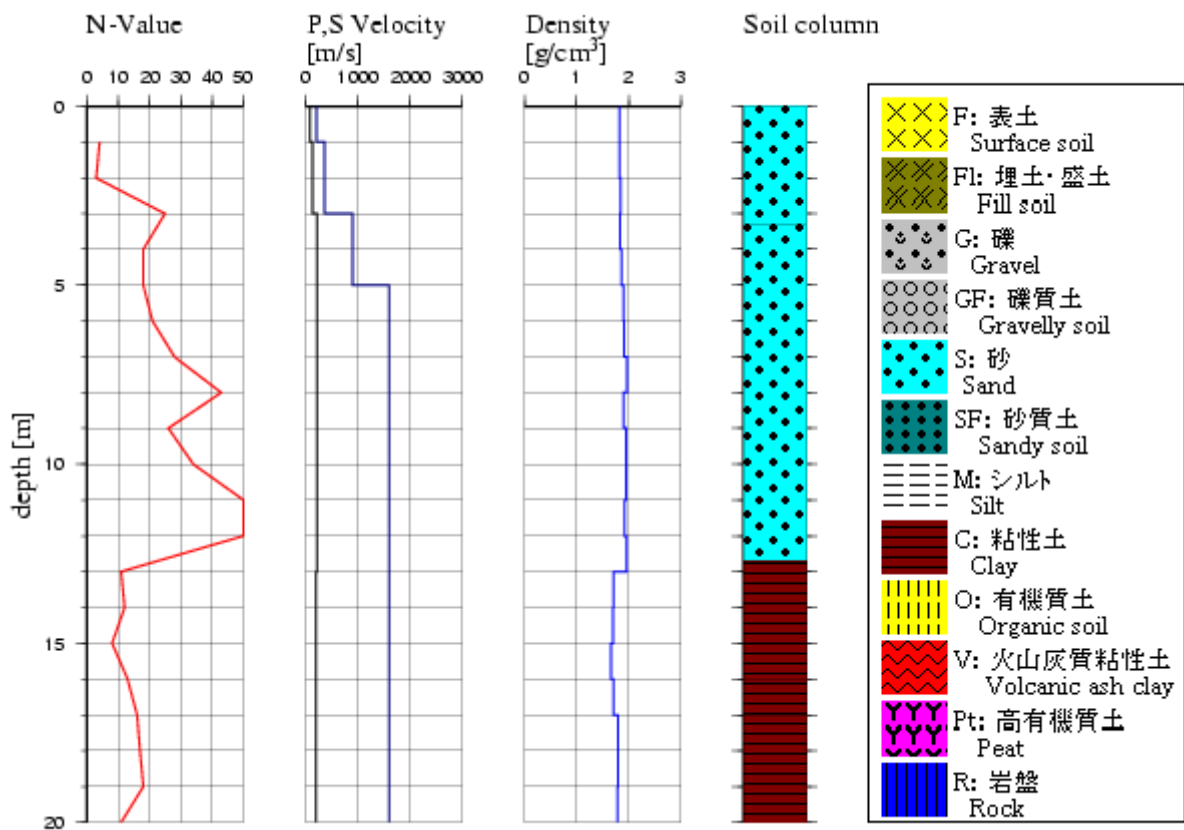


図-3.4 K-NET 観測地点(NIG018)のボーリング調査結果
(<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/pubdata/sitegif/NIG018.gif>)^{3.7)}

3.3 本震の地震動特性

2007年中越沖地震の震源近くの強震記録は、防災科学技術研究所強震ネットワーク(K-NET)の記録^{3.4)}、気象庁の震度計の記録、新潟県及び長野県の震度情報ネットワークの震度計の記録、及び東京電力柏崎刈羽原子力発電所の強震記録^{3.10)}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-3.3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-3.3に示す。なお、図-3.3の最大加速度は3成分の合成値を採っている。

表-3.3 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	
NIG018	K-NET 柏崎	21	6.4	668	511	360	108.7	84.8	26.5	図 3.4
65025	柏崎市中央町	21	6.3	472	638	323	94.5	95.7	26.2	図 3.5
65059	柏崎市西山町池浦	13	6.2	841	879	566	74.6	68.9	18.9	図 3.6
65057	長岡市小国町法坂	30	6.1	504	613	235	50.1	77.8	16.4	図 3.7
KKNPP	柏崎刈羽原発	15	6.1	338	441	590	94.3	122.6	45.5	図 3.8
65058	刈羽村割町新田	15	6.0	465	374	401	122.1	113.3	34.6	図 3.9
JMACB5	出雲崎町米田	11	5.9	615	494	254	43.5	48.3	9.3	
65010	上越市柿崎区柿崎	37	5.9	297	447	176	49.4	88.9	18.5	
65041	長岡市山古志竹沢	36	5.8	350	319	134	31.9	35.6	6.0	
65013	上越市吉川区原之町	41	5.8	308	444	104	51.8	47.3	9.7	
NIG019	K-NET 小千谷	32	5.6	391	455	117	21.2	45.7	8.9	
65036	長岡市上岩井	17	5.6	281	368	155	35.1	31.4	16.0	
65039	出雲崎町川西	10	5.5	350	317	136	38.7	34.9	9.0	
65034	長岡市中之島	24	5.5	346	318	84	32.9	30.0	8.6	
65056	柏崎市高柳町岡野町	37	5.5	716	358	399	53.3	22.8	16.3	
65019	上越市三和区井ノ口	54	5.5	206	269	51	34.7	40.4	5.7	

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

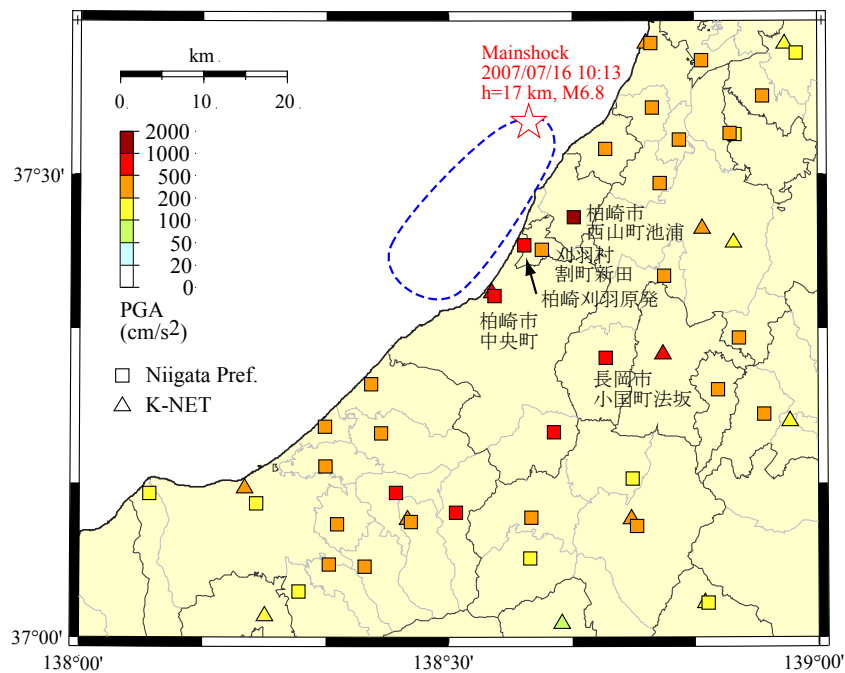


図-3.3 最大加速度の分布。☆は本震の震央、点線は余震域を表し、□は新潟県及び長野県震度情報ネットワークまたは気象庁、△はK-NETの観測地点を示す

3.3.1 柏崎市中央町の記録

柏崎市中央町の柏崎市役所の敷地内には、防災科学技術研究所 K-NET の柏崎観測地点 (NIG018) と、新潟県震度情報ネットワークの観測地点 (65025) が設置されている。K-NET 柏崎で観測さ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-3.4 に、新潟県震度情報ネットワークの震度計で観測された記録の加速度波形と擬似速度応答スペクトルを図-3.5 に示す。

K-NET 柏崎の加速度記録(図-3.4)では、激しい揺れが 10 秒間程度続いている。水平成分の波形を注意深く見ると、サイクリックモビリティと呼ばれる現象が認められる。サイクリックモビリティは、地盤の液状化によって失われたせん断剛性が、歪の更なる増大によって回復する現象で、加速度波形上は大きな振幅の部分へのスパイク状の波形の重畳として現れる。擬似速度応答スペクトルには、NS 成分で 2.4 秒、EW 方向で 2.1 秒に大きなピークがあり、NS 方向の応答は 466 cm/s に達する。

新潟県の柏崎震度計の加速度記録(図-3.5)も K-NET 柏崎と同様にサイクリックモビリティが表れ、擬似速度応答スペクトルも K-NET 柏崎とよく似た形状をしている。応答スペクトルのピークは NS 成分で 2.2 秒、EW 方向で 2.0 秒となっている。

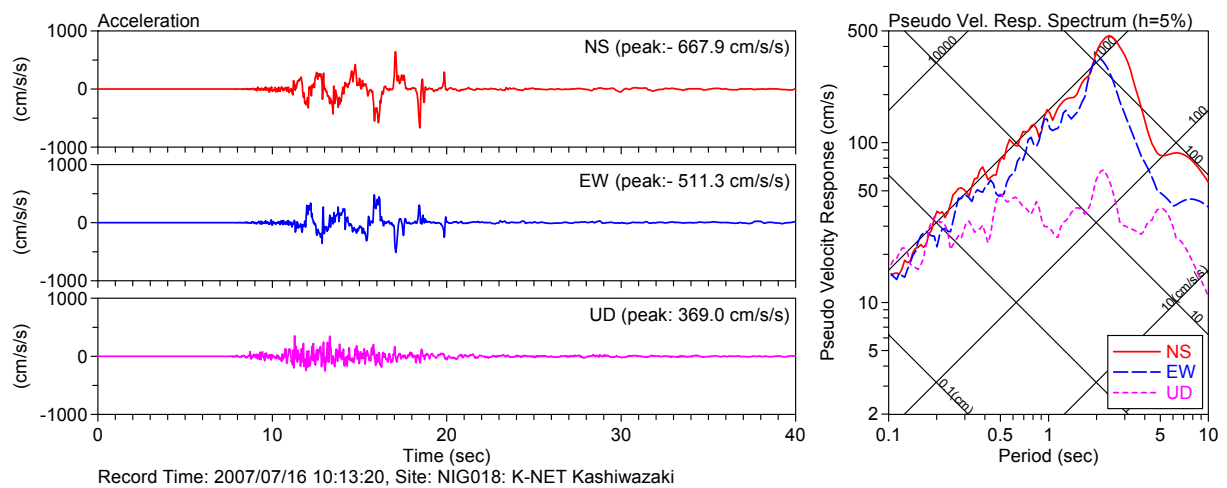


図-3.4 強震記録(K-NET NIG018: K-NET 柏崎)

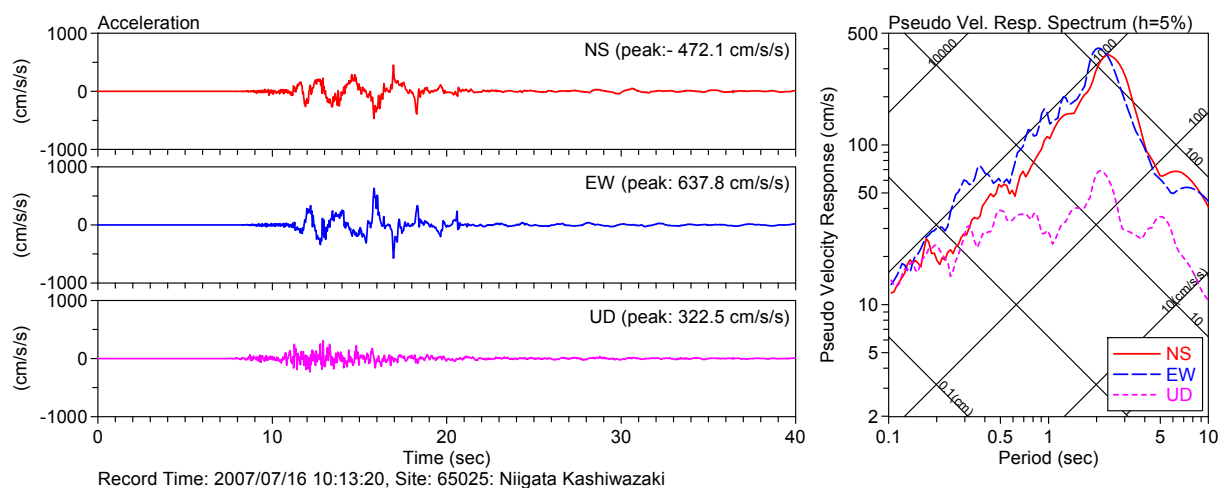


図-3.5 強震記録(65025: 新潟県震度情報ネットワーク 柏崎市中央)

3.3.2 柏崎市西山町池浦の記録

新潟県震度情報ネットワークの柏崎市西山町池浦の観測地点は、柏崎市西山町事務所(旧西山町役場)の敷地内に設置されている。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-3.6 に示す。加速度波形を見ると、水平成分の最大加速度が 800 cm/s^2 を超える激しい揺れが、10 秒ほど続いている。応答スペクトルはNS 方向 0.62 秒、EW 方向 0.65 秒にピークを有し、最大応答速度は 280 cm/s 程度である。柏崎市中央の記録と比べると短周期が優勢な地震動となっている。

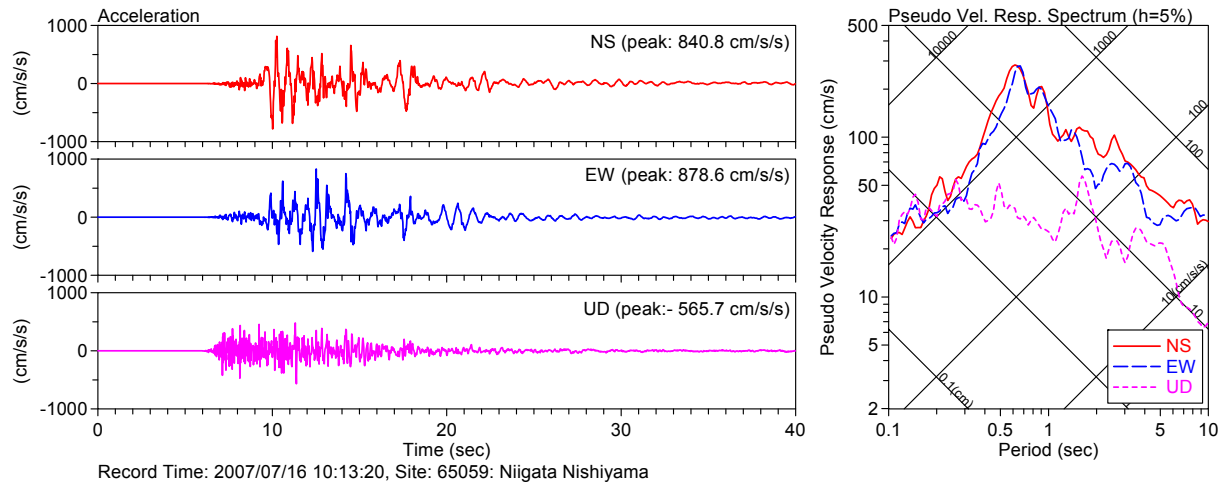


図-3.6 強震記録(65059: 新潟県震度情報ネットワーク柏崎市西山町池浦)

3.3.3 長岡市小国町法坂の記録

新潟県震度情報ネットワークの長岡市小国町法坂の観測地点は、長岡市小国支所(旧小国町役場)に設置されている。震央距離は 30 km とそれほど近いわけではないが、計測震度 6.1 の大きな地震動を観測した。長岡市小国町法坂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-3.7 に示す。最大加速度は NS 方向 504 cm/s^2 、EW 方向 613 cm/s^2 と大きな値を示し、激しい揺れが 15 秒程度続いている。水平成分の応答スペクトルを見ると、0.6 秒から 0.75 秒の周期成分が卓越している。

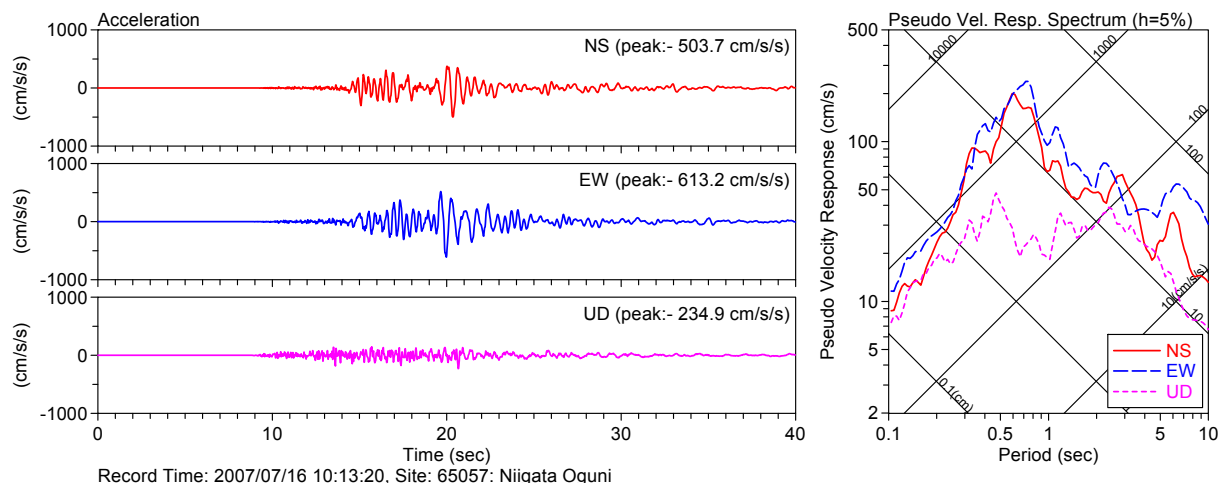


図-3.7 強震記録(65057: 新潟県震度情報ネットワーク長岡市小国町法坂)

3.3.4 東京電力柏崎刈羽原子力発電所サービスホールの記録

東京電力柏崎刈羽原子力発電所では、数多くの強震記録が得られ、公開されている^{3.10)}。このうち地盤系の観測が行われているサービスホールの地表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-3.8に示す。実際の加速度計の設置方位は、プラント軸に合わせられているが、ここでは水平成分をNS-EW方向に変換している。最大加速度はNS方向 338 cm/s²、EW方向 441 cm/s²、UD方向 590 cm/s²に達し、これまで見てきた記録に比べて上下動の最大加速度が相対的に大きくなっている。水平成分の応答スペクトルを見ると、NS方向で1.8秒、EW方向で2.2秒にピークが認められる。またUD方向の応答スペクトルは水平成分に比べ短周期成分が優越で、0.36秒にピークを有する。強震記録の全体的な傾向としては新潟県の刈羽村割町新田の震度計の記録に類似している。

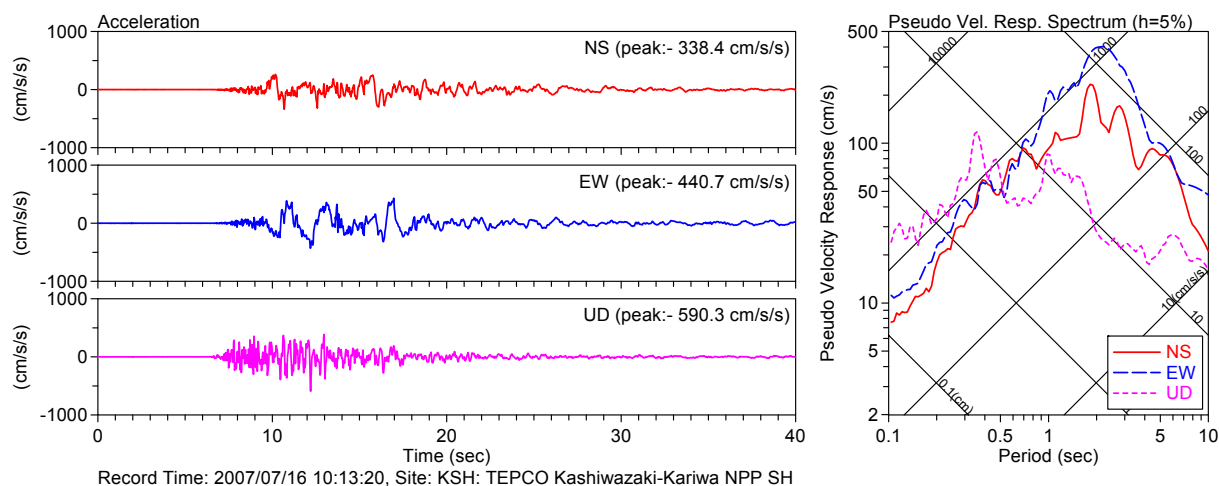


図-3.8 強震記録(KKNPP: 東京電力柏崎刈羽原子力発電所サービスホール地表)

3.3.5 刈羽村割町新田の記録

新潟県震度情報ネットワークの刈羽村割町新田の観測地点は、刈羽村役場の敷地内に設置されている。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-3.9に示す。加速度波形は長い周期成分が特徴的で、サイクリックモビリティのような非線形応答が観察できる。応答スペクトルには、NS方向で3.0秒、EW方向で2.3秒に大きなピークがあり、NS方向の応答は618 cm/sに達している。

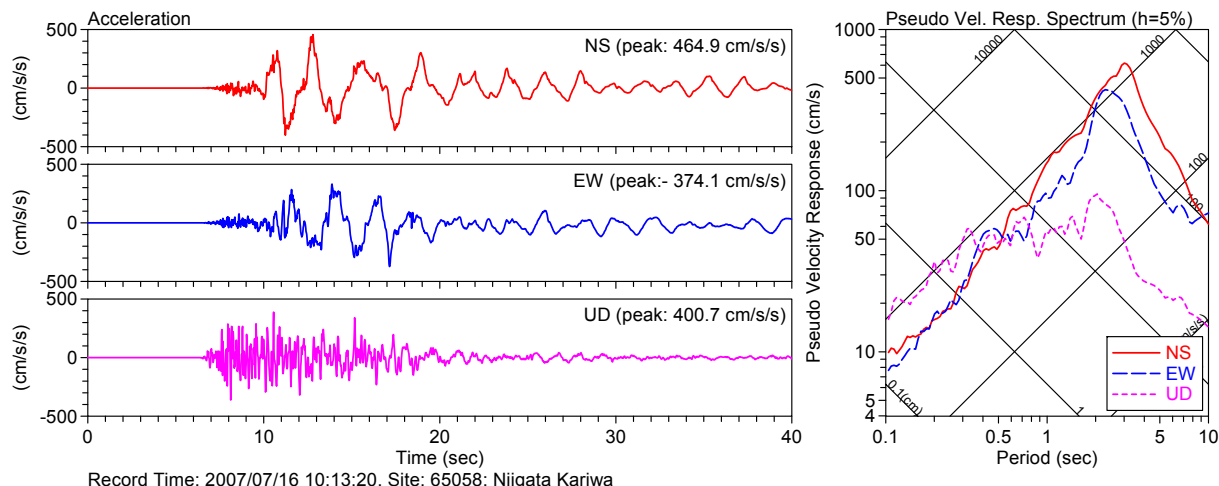


図-3.9 強震記録(65058: 新潟県震度情報ネットワーク刈羽村割町新田)

3.4 建築研究所の強震記録

3.4.1 観測記録の概要

建築研究所の強震観測網では、北陸から関東、東北にかけての 37 の観測地点で強震記録が得られた。表 3.4 に観測記録の一覧を、図-3.10 に観測地点位置を示す。このうち震度 4 以上であった小千谷小学校(OJP2)の 1 階東側(1FE)、上越社会教育館(JET)の 1 階(01F)、新潟市役所分館(NIG)の地下 1 階(B1F)、長野県庁(NGN)地下 1 階(B1F)、及び建築研究所新館(ANX)の地表(A01)の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-3.11 から図-3.15 に示す。

なお、震央に最も近かった小千谷小学校(OJP2)は、2004 年新潟県中越地震の調査活動の一環として余震観測を行った小千谷小学校を対象に、2006 年 12 月に再度強震計を設置し、短期的な観測を行っていたものである。この記録を含めた小千谷市内の地震動の比較は後述する。

表-3.4 建築研究所の強震記録(1/3)

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	
OJP2	小千谷小学校	33	4.7	230°	1FE*	181	230	77	図 3.11
					1FW	194	235	126	
JET	上越市社会教育館	54	4.8	175°	01F*	161	130	59	図 3.12
NIG	新潟市庁舎分館	55	3.5	061°	B1F*	31	36	16	図 3.13
					07F	56	93	38	
NGN	長野県庁	108	3.5	157°	B1F*	30	23	17	図 3.14
					11F	194	127	24	
TRO	鶴岡合同庁舎	168	3.1	182°	01F*	9	15	5	
					04F	10	19	5	
NIT	日本工業大学	197	3.3	288°	GL*	30	24	7	
					01F	17	17	5	
					06F	37	32	7	
TKB	東大震研筑波地震観測所	201	1.4	208°	01F*	4	4	3	
ISK	石川県広坂庁舎	205	2.0	174°	05F	17	17	4	
					B2F*	5	5	3	
ANX	建築研究所新館	206	3.6	180°	GL*	19	19	7	図 3.15
					-89m	8	7	6	
					B1F	18	18	8	
					8F	48	96	14	
KSO	長野県木曾合同庁舎	208	2.4	292°	B1F*	13	7	4	
					P1F	43	37	7	
IWK	いわき市役所	210	2.2	180°	B1F*	5	6	3	
					09F	19	15	3	
MTK	国交省水海道出張所	210	3.2	090°	01F*	16	19	6	
THU	東北大学建設系建物	211	2.3	202°	01F*	10	7	4	
					09F	40	20	7	
YMN	山梨県庁本館	211	2.4	006°	GL*	4	5	5	
					B1F	5	5	5	
					01F	7	7	5	
					08F	9	9	6	
KSG	さいたま法務局越谷支局	214	3.3	150°	1F*	21	14	4	

表-3.4 建築研究所の強震記録(2/3)

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	
TDS	戸田市庁舎	216	3.0	034°	08F	12	14	3	
					GL*	13	16	3	
					B1F	28	31	6	
TUS	東京理科大野田キャンパス	216	3.3	090°	01F*	30	23	8	
KDI	国土交通大学校	219	2.5	090°	03F	8	10	3	
					01F	8	8	3	
					GL*	7	8	3	
AKB	北区赤羽会館	222	2.7	354°	B1F*	8	6	3	
					06F	9	14	4	
MST	三郷市庁舎	223	3.1	258°	01F	8	14	4	
					GL*	11	14	5	
					07F	22	19	5	
NKN	東京法務局中野出張所	226	2.4	000°	06F	7	7	3	
					01F*	6	7	3	
ADC	足立地方合同庁舎	228	2.9	012°	01F*	10	9	4	
					04F	12	10	4	
UTK	東京大学工学部 11 号館	230	2.5	348°	7FN	14	13	3	
					7FS	16	15	4	
					1F	7	6	3	
					GL*	8	7	5	
NMW	国立西洋美術館	230	2.4	218°	GL*	7	8	4	
					B1FW	6	5	3	
					B1FE	6	5	4	
					01FW	7	9	3	
					01FE	7	8	4	
					04F	7	8	3	
YYG	国立オリンピック記念青少年総合センターC棟	231	2.5	355°	B1F	8	6	4	
					GL*	7	7	4	
					04F	8	10	4	
SMD	墨田区庁舎	232	2.4	000°	20F	33	37	4	
					08F	17	15	3	
					B1F*	7	5	3	
CG3	中央合同庁舎 3 号館	233	2.3	208°	B2F*	5	4	3	
					B1F	7	7	3	
					12F	12	12	3	
CG2	中央合同庁舎 2 号館	233	2.3	208°	B4F*	5	4	2	
					13F	15	15	4	
					21F	22	21	4	
EDG	江戸川区庁舎	235	3.1	003°	01F*	10	9	3	
					05F	11	11	3	
TKD	コーシャタワー佃	235	2.4	180°	01F*	5	6	3	
					18F	16	24	3	
					37F	29	51	3	

表-3.4 建築研究所の強震記録(3/3)

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	
TUF	東京水産大学国際交流会館	238	2.3	000°	01F	9	12	3	
					GL*	8	9	3	
					07F	20	17	3	
ICK	市川市行徳図書館	239	2.6	321°	01F*	11	9	3	
					02F	12	9	3	
					05F	16	11	3	
FNB	船橋市総合教育センター	241	2.7	357°	01F	10	9	4	
					GL*	9	8	4	
					08F	32	32	4	
YGY	八千代市庁舎新館	244	2.6	302°	B1F	7	5	3	
					GL*	9	8	4	
					07F	16	13	3	
CHB	千葉第二地方合同庁舎	256	3.2	346°	B1F	8	6	3	
					GL*	25	15	3	
					08F	8	8	3	
SMZ	清水合同庁舎	283	2.5	165°	01F*	8	7	3	
					06F	11	9	3	
NGY	名古屋合同庁舎 1号館	305	1.7	174°	GL*	2	2	2	
					B2F	2	2	2	
					12F	15	12	2	

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。

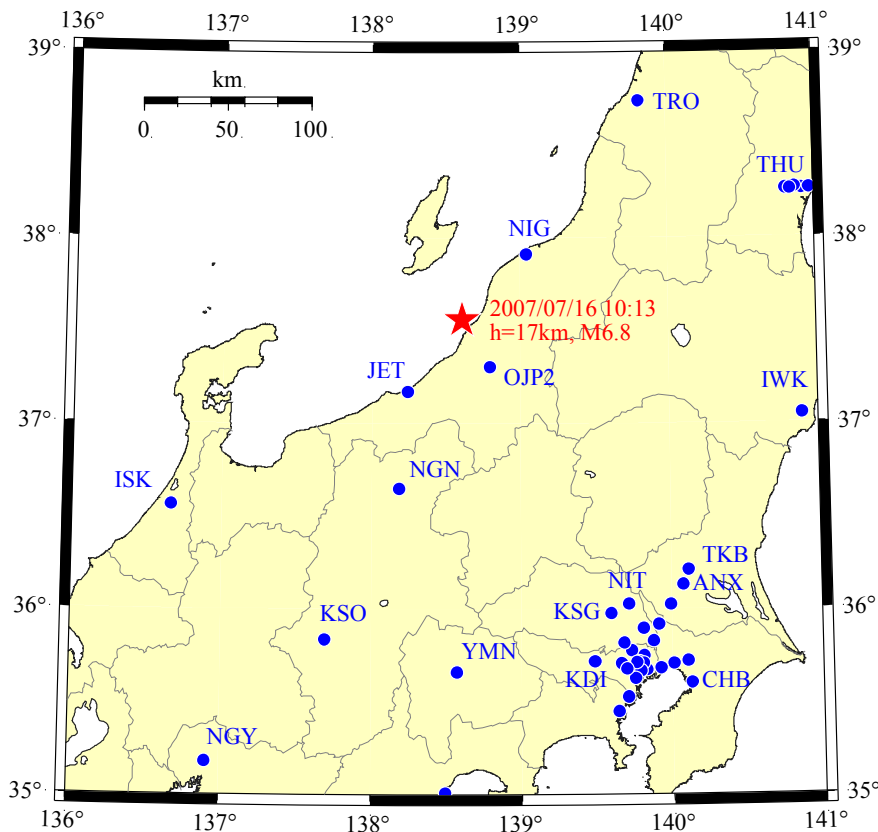


図-3.10 震央(★)と建築研究所の強震観測地点(●)の位置。記号は表-3.4を参照

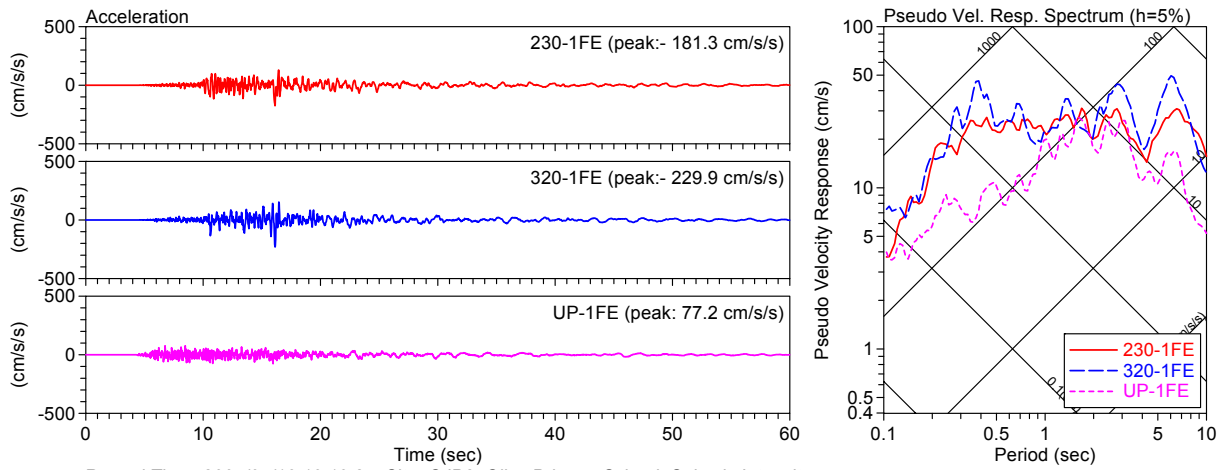


図-3.11 小千谷小学校(OJP2)の1階東側(1FE)で得られた強震記録

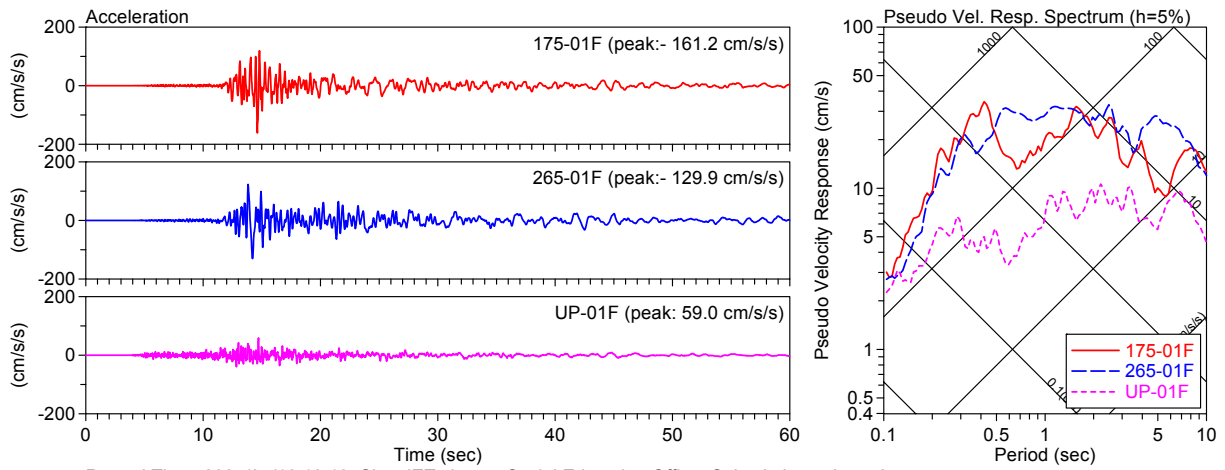


図-3.12 上越市社会教育館(JET)の1階(01F)で得られた強震記録

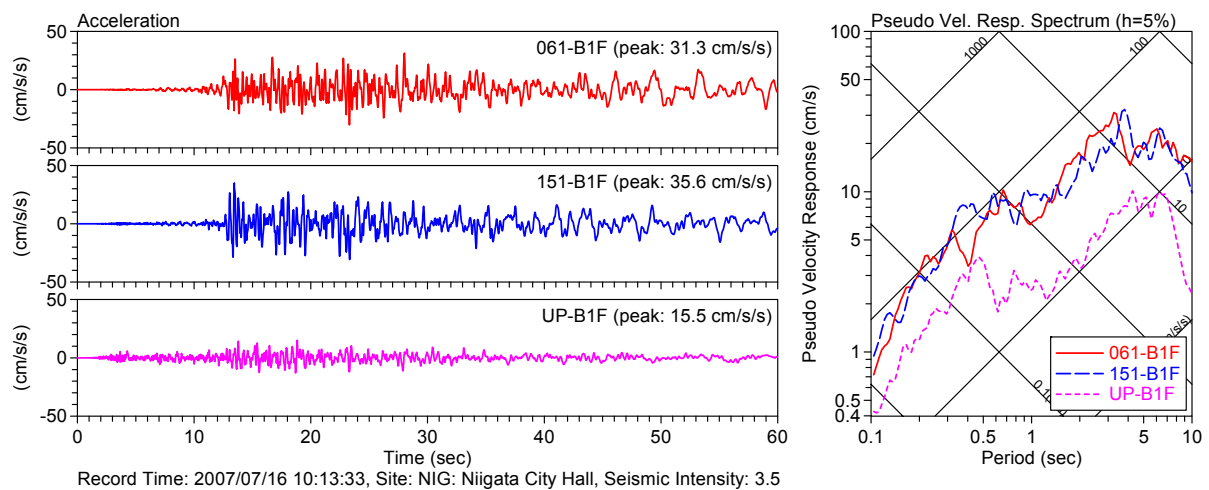


図-3.13 新潟市庁舎分館(NIG)の地下1階(B1F)で得られた強震記録

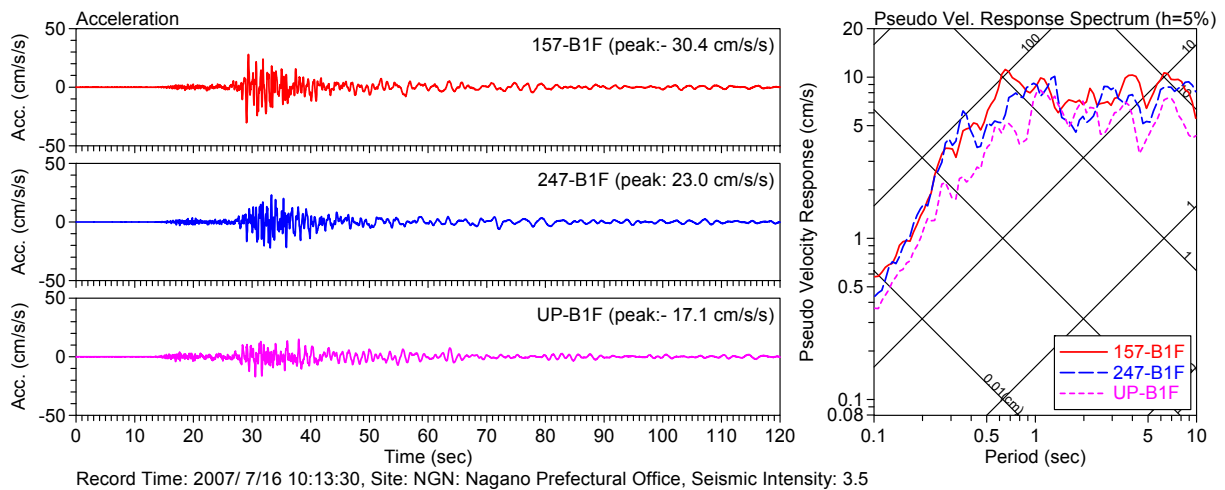


図-3.14 長野県庁 (NGN) の地下 1 階 (B1F) で得られた強震記録

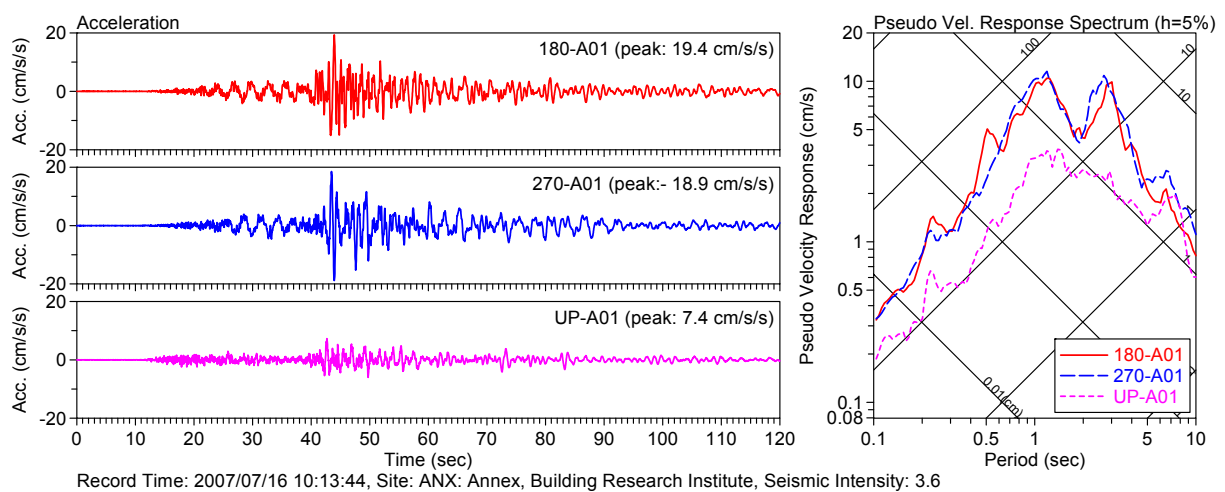


図-3.15 建築研究所新館 (ANX) の地表 (A01) で得られた強震記録

3.4.2 小千谷市内の地震動

小千谷市は、2004 年新潟県中越地震で、大きな被害を受けた地域のひとつである。小千谷市土川にある防災科学技術研究所の K-NET 小千谷 (NIG019) で 3 成分の合成最大加速度が 1.5 G に及ぶ強烈な地震動が観測されたが、敷地内の小千谷小学校校舎の被害は軽微で、その現象を説明すべく、その後様々な検討が行われている。

その研究活動の一環として、小千谷小学校内に 2 台の強震計を設置し、2006 年 12 月から短期的な強震観測を行っており、2007 年新潟県中越沖地震の強震記録を得ることができた。ここでは小千谷市内の地盤上の観測地点である K-NET 小千谷 (NIG019) 及び気象庁の小千谷震度計 (JMA532) の記録と比較分析する。各観測地点の位置を図 3.16 に示す。小千谷小学校 (0JP2) の強震計は建物の面的な広がりの影響を検討するために、建物 1 階の東側 (1FE) と西側 (1FW) に 2 台設置している。



図-3.16 小千谷市内の強震観測地点位置(1FE, 1FW: 小千谷小学校、K-NET NIG019: K-NET 小千谷、JMA532: 気象庁小千谷)。国土地理院の1/25000地形図に加筆

新潟県中越沖地震の際、各観測地点で得られた記録の最大加速度を表 3.5 に、JMA 小千谷、K-NET 小千谷、小千谷小学校 1FE の加速度波形を図-3.17 に示す。なお小千谷小学校(0JP2)の強震計の設置方位は、建物軸に合わせて $N230^{\circ} E$ となっているが、表-3.5 及び図-3.17 では水平成分をNS-EW 方向に変換している。

表-3.5 を見ると、計測震度、最大加速度とも K-NET 小千谷が最も大きく、次が JMA 小千谷、小千谷小学校が最も小さくなっている。図-3.17 の加速度波形の水平成分に着目すると、JMA 小千谷(上段)の記録は高振動数成分の卓越が優勢、K-NET 小千谷(中段)の記録はある特定の振動数成分が顕著、小千谷小学校(下段)の記録は他の記録に比べて高振動数成分が低減されたような特徴が認められる。

図-3.18 は各記録のフーリエスペクトルを、方向成分毎に比較して示す。左上が NS 成分、右上が EW 成分、左下が UD 成分で、各図中の実線が JMA 小千谷、破線が K-NET 小千谷、点線が小千谷小学校 1FE を表す。いずれの方向成分とも 1.5 Hz より低い振動数成分では 3 者は良く一致している。1.5 Hz 以上の高振動数領域では、UD 成分では 3 者間に大差はないが、NS 成分及び EW 成分では違いが表れる。

図-3.19 は各記録間のフーリエスペクトル比を、やはり方向成分毎に比較して示す。左上が NS 成分、右上が EW 成分で(UD 成分は割愛)、各図中の実線が(K-NET 小千谷/JMA 小千谷)、破線が(小千谷小学校 1FE/K-NET 小千谷)、点線が(小千谷小学校 1FE/JMA 小千谷)を表す。水平成分のスペクトル比では、まず主要な違いが 1.5 Hz から 4 Hz の振動数領域に現れ、この振動数成分は K-NET 小千谷の記録が他の 2 つの記録より数倍も大きい。また 5 Hz から 9 Hz の振動数領域では異なった傾向となっており、JMA 小千谷の記録が他の記録より優勢となっている。

K-NET 小千谷は小千谷小学校に近接しており、K-NET 小千谷の記録を地表で観測された地震動、小千谷小学校 1F の記録を建物への入力地震動と考えれば、図-3.19 の破線(1FE/K-NET)が入力損失を表

すことになる。この仮定に立てば、1.5 Hz から 3.5 Hz の振動数領域で一定の入力損失を見込むことができる。

表-3.5 小千谷市内の強震記録の最大加速度

記号	観測地点	距離 (km)	計測 震度	設置 位置	最大加速度 (cm/s ²)		
					NS	EW	UD
JMA532	JMA 小千谷	32	5.1	GL	260.9	388.5	153.1
NIG019	K-NET 小千谷	33	5.6	GL	390.6	454.7	116.5
OJP2	小千谷小学校	33	4.7	1FE	121.4	285.6	77.2
			4.7	1FW	149.6	278.9	125.9

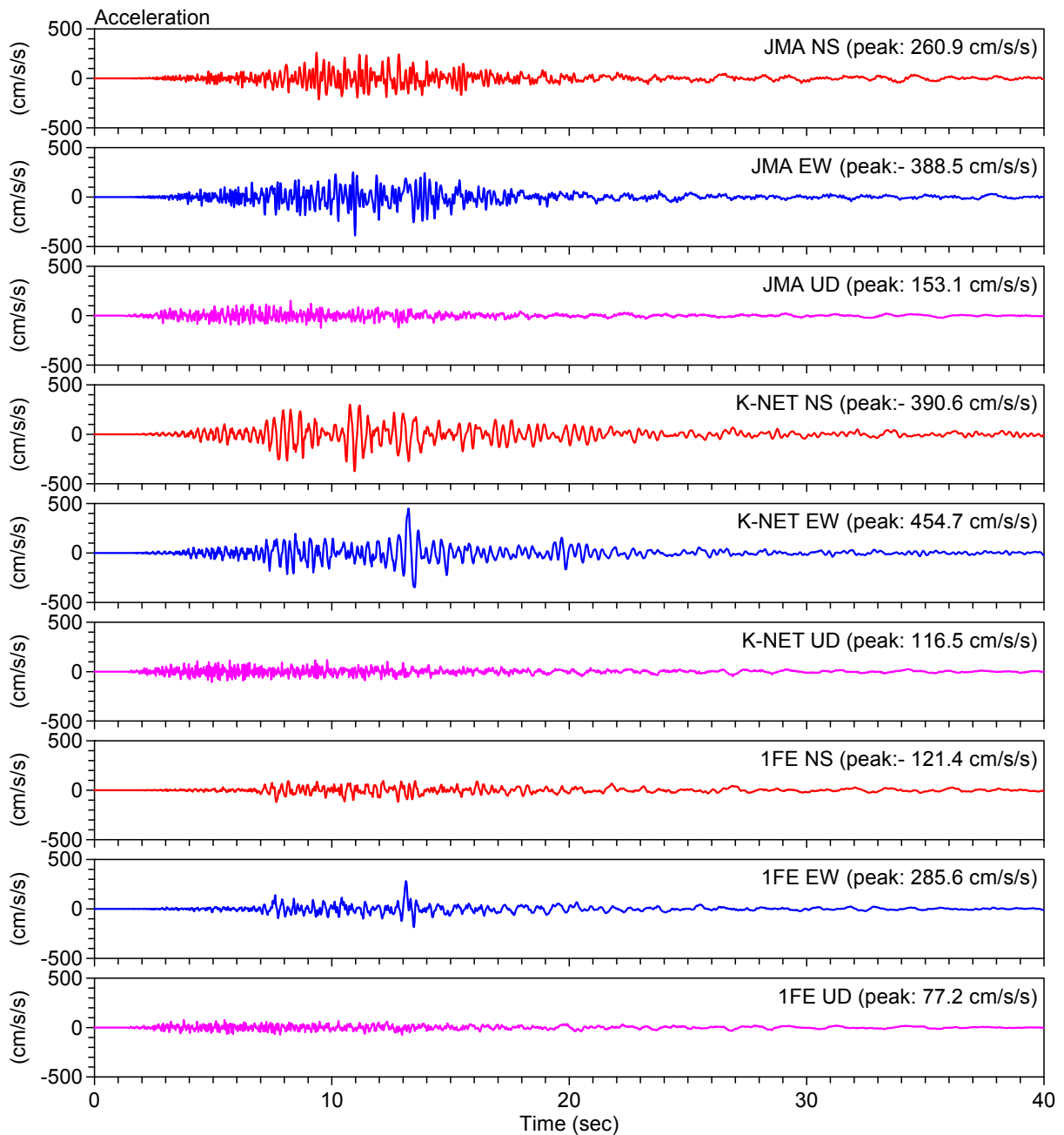


図-3.17 JMA 小千谷(上段)、K-NET 小千谷(中段)及び小千谷小学校 1F (1FE: 下段)で得られた加速度記録

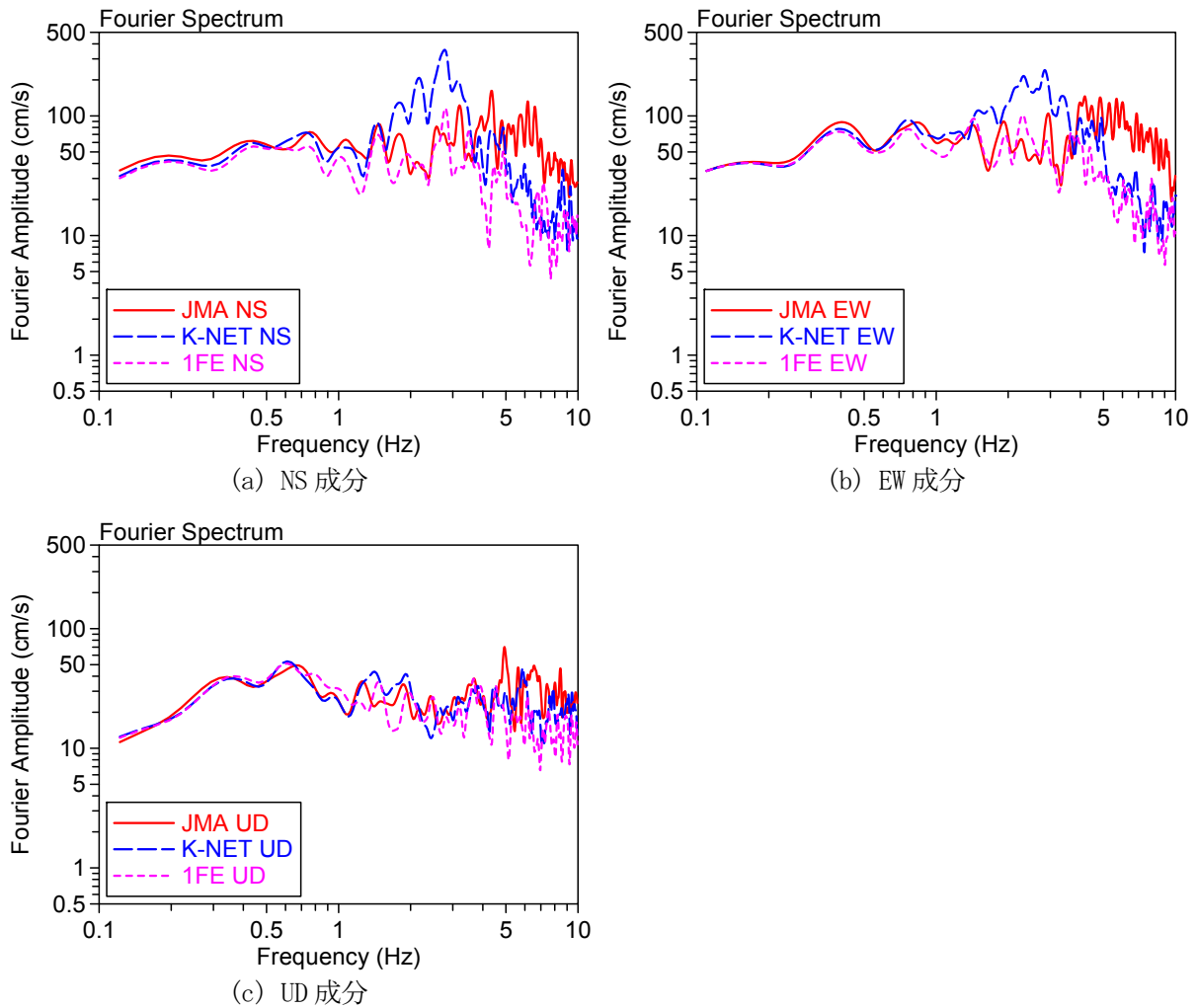


図-3.18 各観測地点で得られた加速度記録のフーリエスペクトル (Parzen Window 0.2 Hz)

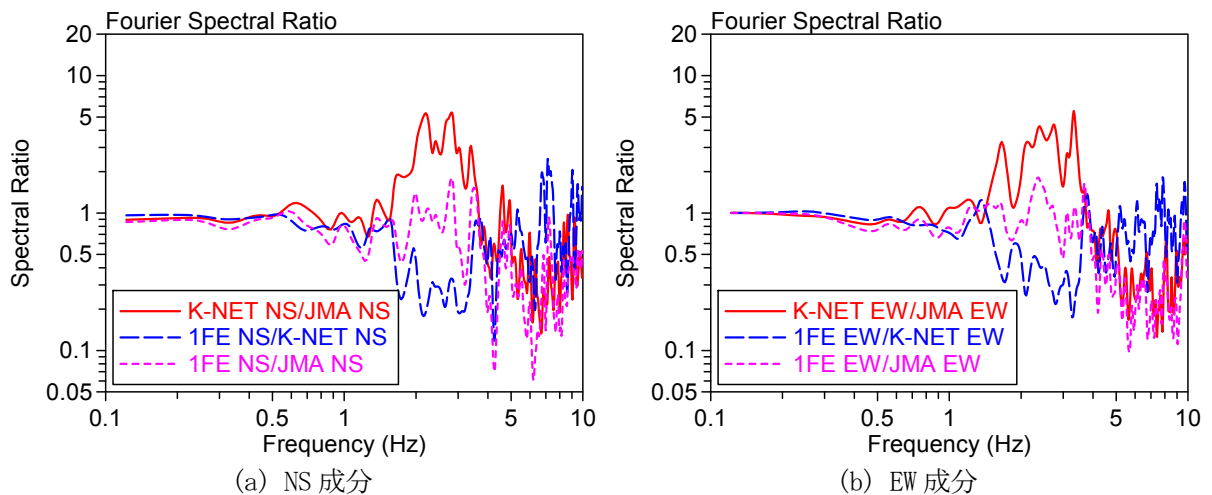


図-3.19 各観測地点間のフーリエスペクトル比 (Parzen Window 0.2 Hz)

次に小千谷小学校 1F に設置した 2 台の強震計の記録を比較する。ここでは建物軸にあわせ、水平成分を、 $N230^\circ E$ 及び $N320^\circ E$ として扱う。

各強震計で得られた加速度波形を図-3.20 に示す。上段が 1FE の 3 成分、下段が 1FW の 3 成分である。1FE と 1FW の加速度波形は良く似ているが、最大加速度は各成分とも 1FW の方が若干大きい。

1FE と 1FW の記録のフーリエスペクトル比と位相差を図-3.21 に示す。実線が N230° E 成分、破線が N320° E 成分、点線が UD 成分である。フーリエスペクトル比を見ると、各成分とも 2 Hz 辺りまでは値が 1 で、2 Hz 以上の振動数成分は乱れが生じ始め、4 Hz 辺りから乱れが激しくなる。また位相差に着目すると、水平成分では 4 Hz 辺りまではほぼゼロで、同位相で震動していることがわかる。以上のことから、小千谷小学校 1 階の東側と西側の強震記録は、4 Hz 以下の低振動数領域ではほとんど差がないと結論できる。

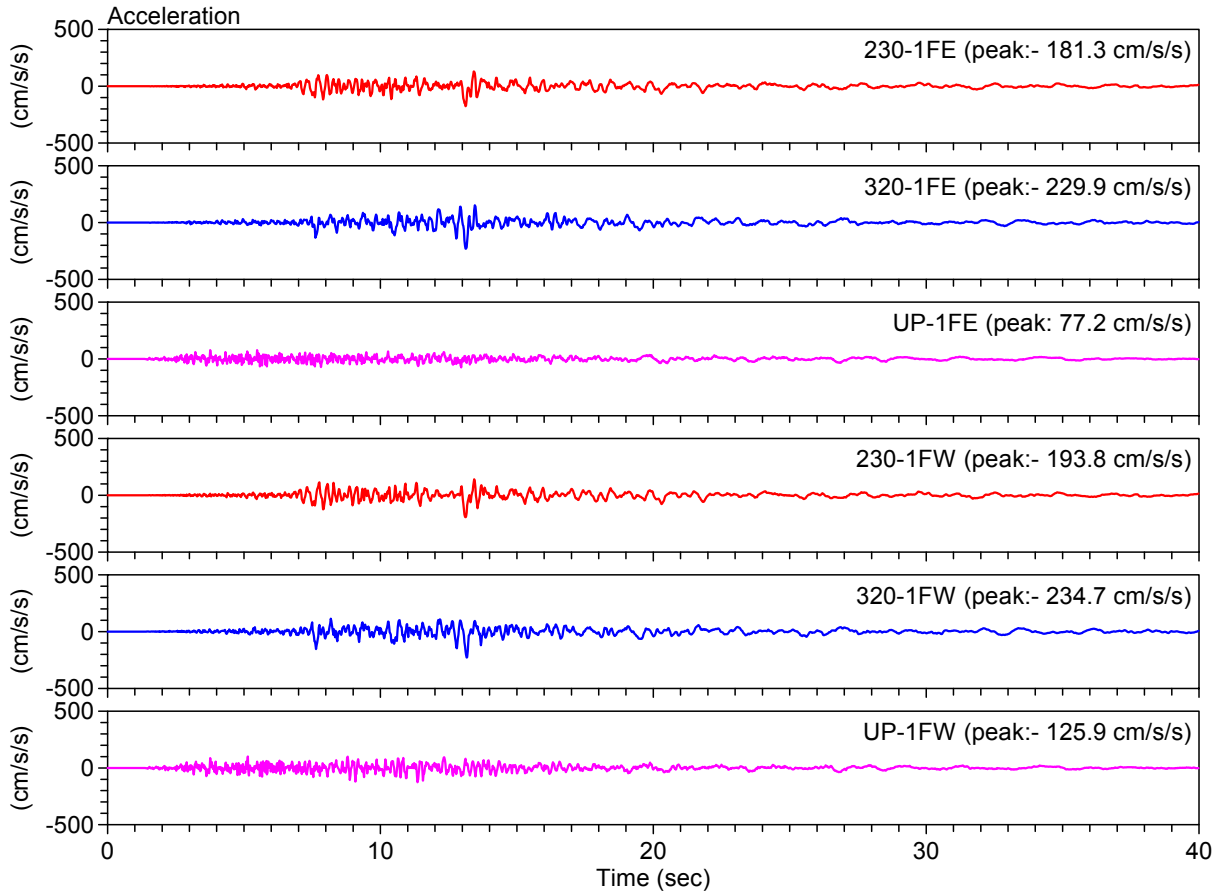
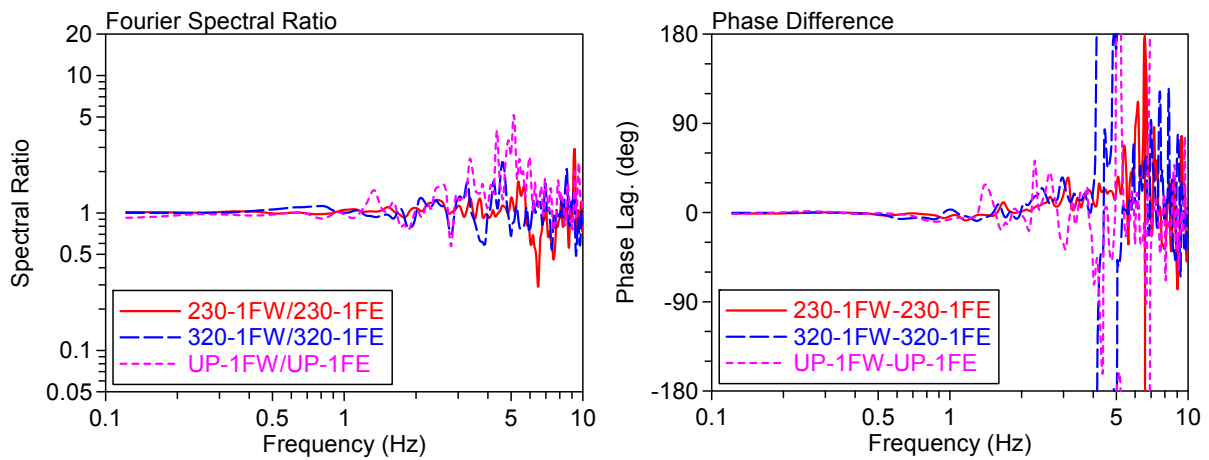


図-3.20 小千谷小学校 1F で得られた加速度記録(上段 1FE、下段 1FW)



(a) フーリエスペクトル比

(b) 位相差

図-3.21 1F の 2 点間のフーリエスペクトル比と位相差 (Parzen Window 0.2 Hz)

3.4.3 東京の地震動と建物の応答

2007年新潟県中越沖地震の揺れは東京でも感じられ、長周期地震動が話題になった。ここでは建築研究所の強震観測網のうち、中央合同庁舎2号館(CG2: 東京都千代田区霞ヶ関)及びコーシャタワー佃(TKD: 東京都中央区佃)の記録を分析する。

図-3.22は中央合同庁舎2号館の地下4階(B4F)で得られた強震記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトル、図-3.23はコーシャタワー佃の1階(01F)で得られた強震記録の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルである。両者の形状はよく似ており、水平成分の応答スペクトルは6.2秒から7.0秒に大きな卓越が見られる。

図-3.24は中央合同庁舎2号館(CG2)で得られた地下4階(B4F)及び21階(21F)の加速度波形(上段)と速度波形(下段)である。この建物は、東京都千代田区霞ヶ関に立つ地上21階、地下4階の鉄骨骨組構造で、極軟鋼及び粘性体を用いた制振壁を有している。この地震記録から求めた1次固有周期は桁行(N208°E)方向1.62秒、梁間(N298°E)方向1.86秒である。B4Fの速度波形に着目すると、ゆっくりとした揺れが100秒ほど続き、振幅は小さくなるものの300秒以上揺れが継続している。

図-3.25はコーシャタワー佃(TKD)で得られた地下1階(01F)及び37階(37F)の加速度波形(上段)と速度波形(下段)である。この建物は、東京都中央区佃に立つ地上37階、地下1階の鉄筋コンクリート造の共同住宅である。この地震記録から求めた1次固有周期は桁行(N180°E)、梁間(N270°E)両方向とも1.92秒である。01Fの速度波形に着目すると、やはり300秒以上揺れが継続している。

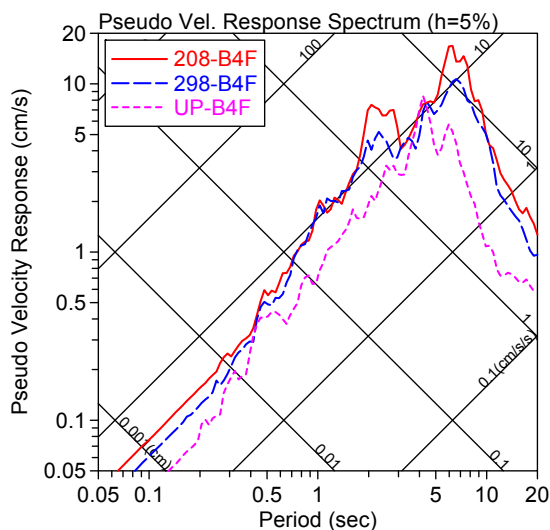


図-3.22 中央合同庁舎2号館B4Fの擬似速度応答スペクトル

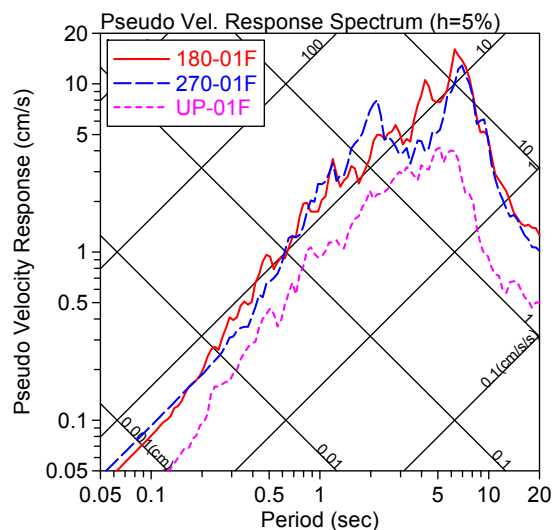


図-3.23 コーシャタワー佃01Fの擬似速度応答スペクトル

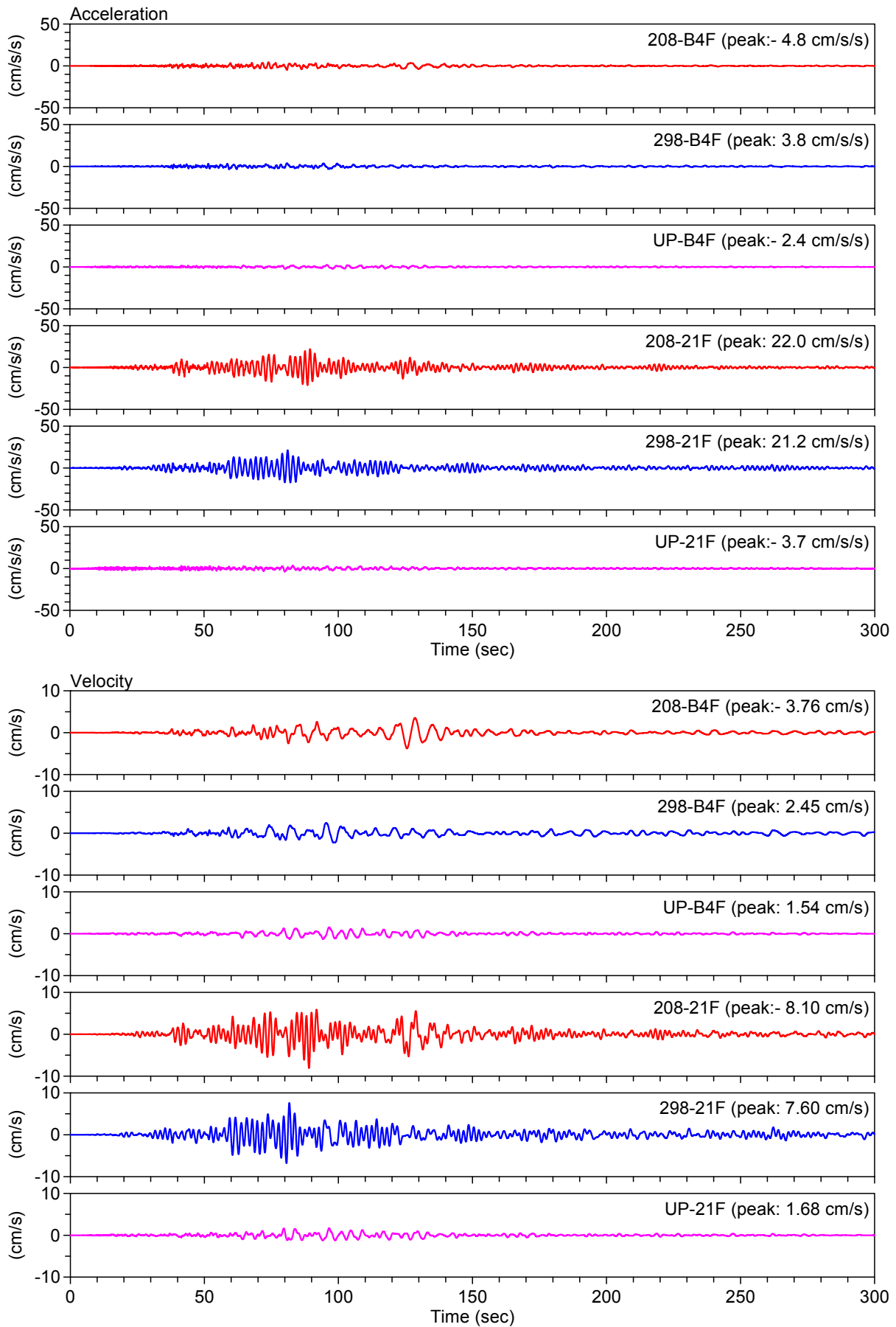


図-3.24 中央合同庁舎 2 号館 (CG2) の加速度波形(上段)と速度波形(下段)

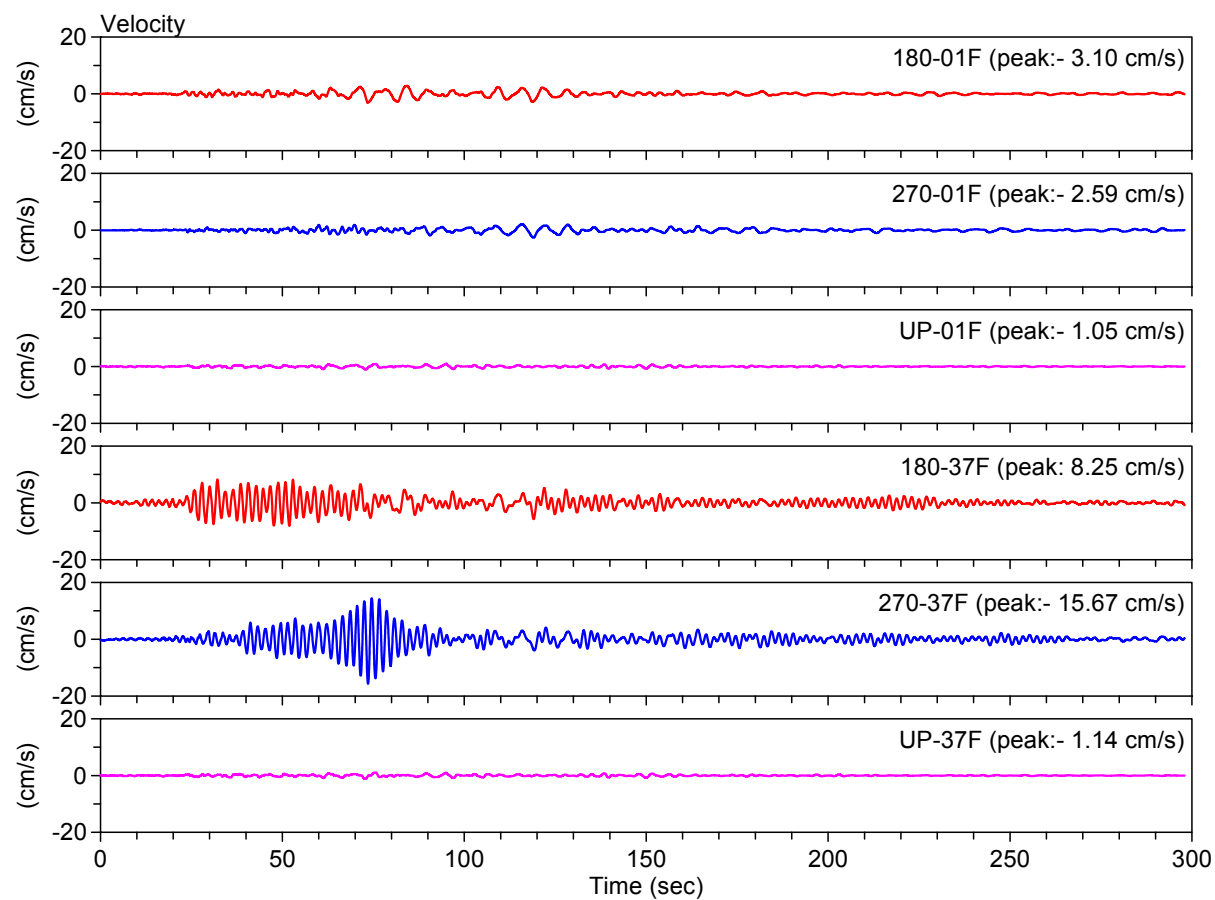
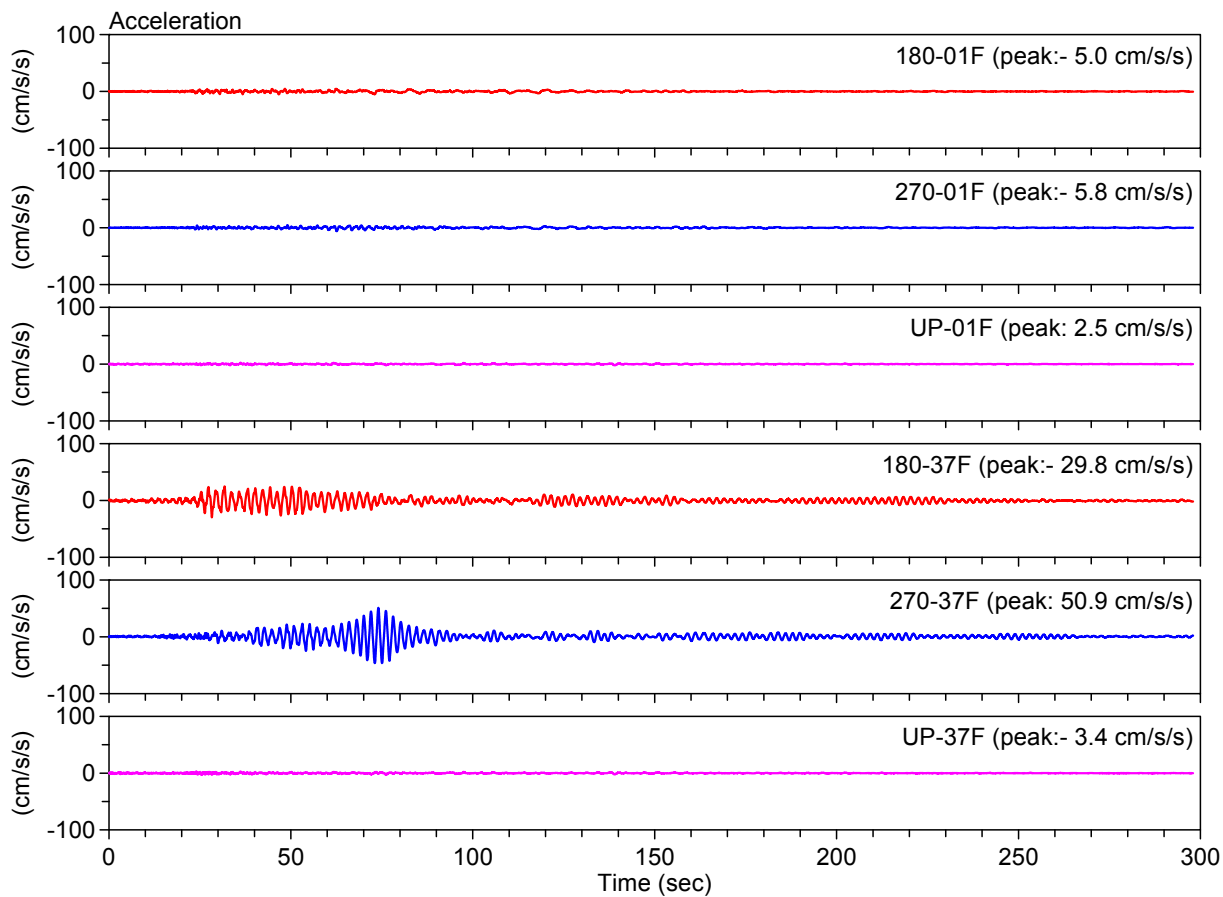


図-3.25 コーシャタワー佃(TKD)の加速度波形(上段)と速度波形(下段)

3.5 関東平野における地震動

前節(3)では東京の建物で観測された地震動及び応答を示したが、本節では防災科学技術研究所 K-NET の観測記録^{3,4)}を用い、関東平野の広域に渡る地震動特性を、特に長周期地震動に着目して概観する。

図-3.26 に K-NET 観測地点を示した関東平野の地図と、各観測地点における本震記録の NS、EW 成分を用いて作成した擬似速度応答スペクトル(減衰定数 $h=0.05$)を示す。青線が EW 成分、赤線が NS 成分を表している。横軸の周期はいずれの図でも 0~10 秒の範囲で描いてあるが、スペクトルの形状を見るため、縦軸の最大値は地点ごとに変えてあることに注意されたい。多くの地点で周期 6~8 秒程度のスペクトルの値が大きくなっており、広範囲に渡って長周期地震動が観測されている。

地域別に見ると、西側にある川越、小金井、八王子では、EW 成分はあまり長周期成分が卓越していないが、NS 成分では卓越していることが特徴的である。北西にある熊谷では長周期成分が卓越しているが、館林や久喜では長周期成分はあまり卓越していない。北東にある岩井、下妻、つくばでは 6~8 秒程度の長周期成分は卓越していないが、2~4 秒付近に卓越が見られる。東側にある白井、佐倉、姉崎では長周期成分にも卓越が見られるが、それらの間にある千葉では長周期成分は卓越していない。これらの地域的な特性は、山や河川などを含めた地形に大きく依存するものと考えられる。

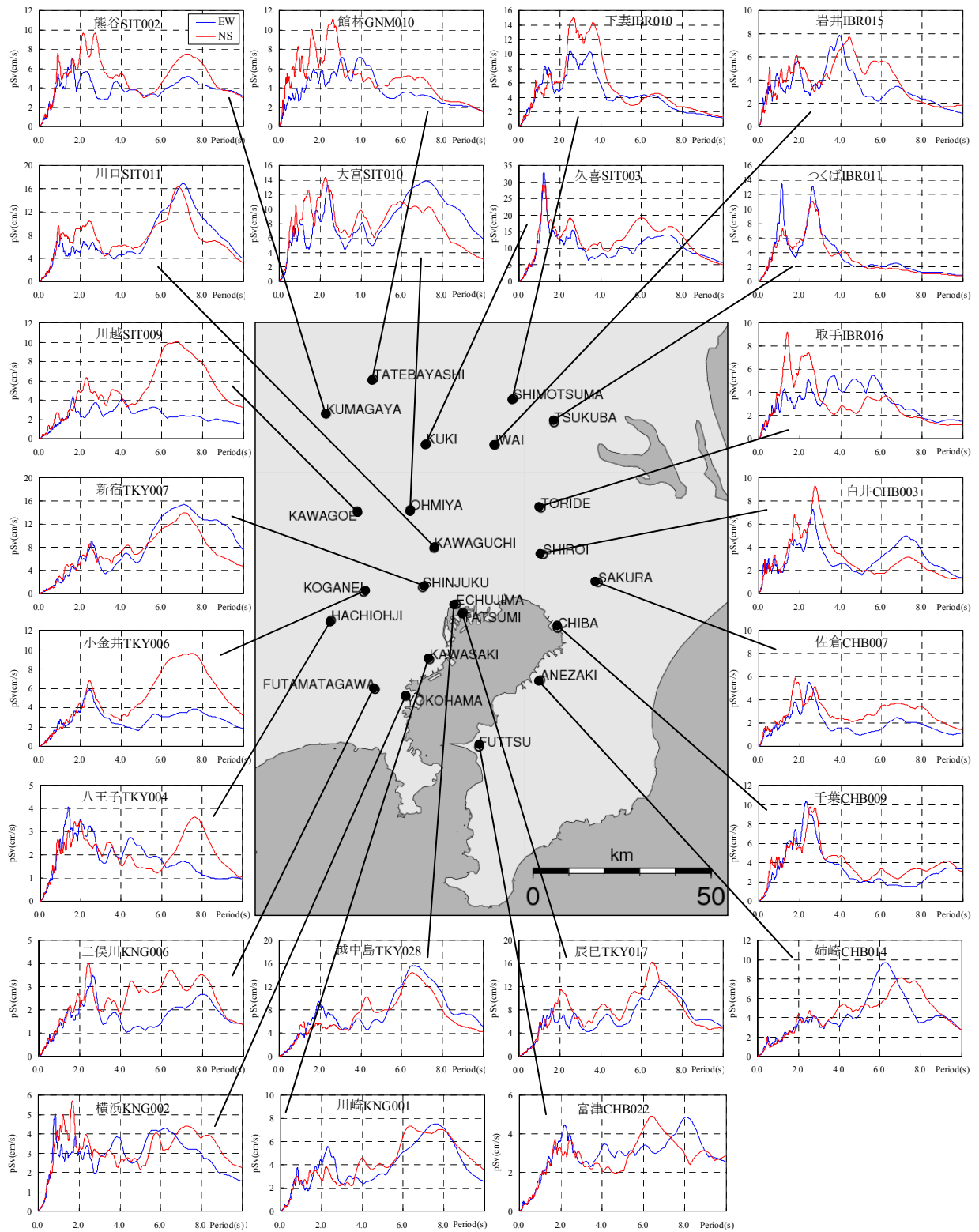


図-3.26 関東平野のK-NET観測地点の記録の擬似速度応答スペクトル(h=0.05)

3.6 余震観測調査

2007年新潟県中越沖地震発生の翌々日の7月18日より8月9日までの間、柏崎市役所及び柏崎市西山町事務所を対象に余震観測を行った。以下に余震観測調査の概要を報告する。

3.6.1 柏崎市役所

中越沖地震の公表されている強震記録のうち、最も大きな計測震度の記録を観測したK-NET 柏崎観測地点(NIG018)^{3,4)}は、柏崎市役所の敷地内にある。このため、K-NETの記録と比較することにより、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、柏崎市役所を余震観測の対象とした。

柏崎市役所の敷地には、市役所本館や分館、市民会館が建てられており、K-NET 柏崎観測地点は敷地の北西の端に位置する。市役所本館は鉄筋コンクリート(RC)造地上5階地下1階の建物で、塔屋2階が展望室となっている。竣工年は未確認だが、後述の市民ホールと同時期と思われる。強震計はKinematics社Etnaを用い、本館建物の地下1階(B1F)及び塔屋2階展望室(7F)に設置した。

加えて、市役所本館とK-NET観測地点の間に立地する市民会館大ホールの1階に強震計を設置した。強震計はAkashi社のSMAR-6A3Pを用い、大ホールの建物規模を考慮に入れ、西側通路の北側(1FN)と南側(1FS)に各1台設置した。市民会館大ホールは1,113席の客席を有するRC造の建物で、1968年(昭和43年)に竣工している。

強震計の設置位置を図-3.27に、市役所本館及び市民会館大ホールの外観を写真-3.1と写真-3.2に、各強震計の設置状況を写真-3.3から写真-3.6に示す。

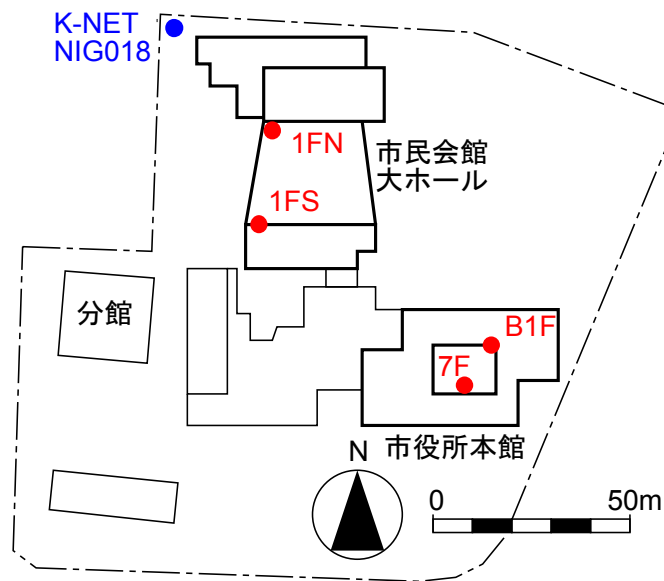


図-3.27 柏崎市役所の強震計設置位置(1FN、1FS、B1F及び7F)



写真-3.1 柏崎市役所本館外観(南から)



写真-3.2 柏崎市民会館大ホール外観(市役所屋上から)



写真-3.3 柏崎市役所本館 B1F 設置状況



写真-3.4 柏崎市役所本館 7F 設置状況



写真-3.5 柏崎市民会館大ホール 1FN 設置状況



写真-3.6 柏崎市民会館大ホール 1FS 設置状況

3.6.2 柏崎市西山町事務所

柏崎市西山町事務所は、2005年5月に柏崎市へ編入された西山町地域を管轄する市の事務所で、旧西山町役場が使用されている。西山町事務所は鉄筋コンクリート造3階建ての建物で、1981年(昭和56年)に竣工している。新潟県の震度計が事務所脇に設置されており、本震の震度は6強と発表されている。

西山事務所は比較的整形な建物であるが、東西方向に長い平面形を有することを考慮し、建物1階(1F)に1台、建物3階の東西の端に1台ずつ計3台の強震計を設置した。強震計はアカシ社のSMAR-6A3Pを用いている。強震計の設置位置を図-3.28に、建物の外観を写真-3.7に、各強震計の設置状況を写真-3.8から写真-3.10に示す。

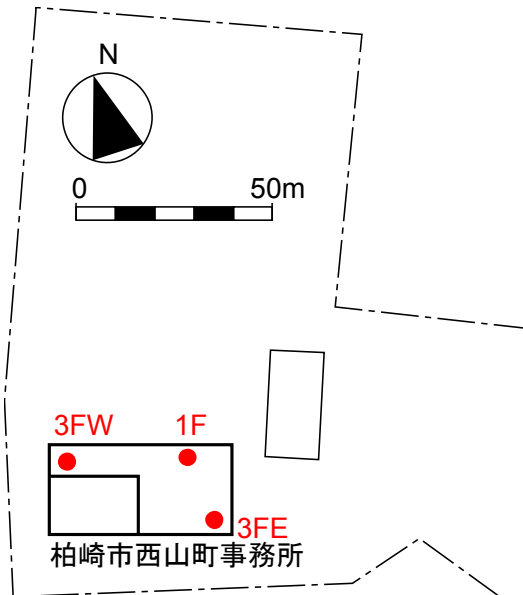


図-3.28 柏崎市西山町事務所の強震計設置位置(1F、3FE及び3FW)



写真-3.7 西山町事務所外観(西から)



写真-3.8 西山町事務所 1F 設置状況



写真-3.9 西山町事務所 3FE 設置状況



写真-3.10 西山町事務所 3FW 設置状況

3.6.3 余震記録

調査期間中にもいくつかの余震が発生し、多くの記録を収集することができた。このうち最も大きな震度を観測した2007年7月25日6時52分の地震(深さ24km、M4.8)^{3.1)}の記録を分析する。各地点での観測記録の計測震度と最大加速度(3成分合成)を表-3.6に示す。表中には、K-NET 柏崎(NIG018)の記録^{3.4)}も参考として示している。

表-3.6 2007年7月25日6時52分の余震で得られた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}	PGA (cm/s^2)	観測機器
KSW	柏崎市役所本館	23	B1F	2.7	21.1	Etna
			7F	3.6	58.7	Etna
KSW2	柏崎市民会館大ホール	23	1FN	3.0	32.6	SMAR-6A3P
			1FS	3.0	32.8	SMAR-6A3P
NIG018	K-NET 柏崎	23	GL	3.2	43.8	K-NET02
NSY	柏崎市西山町事務所	10	1F	3.1	38.3	SMAR-6A3P
			3FE	3.3	58.5	SMAR-6A3P
			3FW	3.3	64.2	SMAR-6A3P

Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度, PGA : 3成分合成最大加速度

3.6.4 柏崎市役所本館の余震記録

柏崎市役所本館で観測された余震記録を図-3.29に示す。上から地下1階(B1F)の短辺方向(NS)成分、長辺方向(EW)成分、上下(UD)成分、塔屋2階(7F)の短辺、長辺、上下成分と並んでいる。建物の地下1階で 11 cm/s^2 から 20 cm/s^2 であった最大加速度は建物頂部で 19 cm/s^2 から 58 cm/s^2 と、2倍から3倍程度に増幅している。図-3.30は、B1Fの記録のフーリエスペクトル(解析時間は40秒間、幅0.2HzのParzen Windowで平滑化)である。実線(赤)が建物の短辺方向に、破線(青)が長辺方向に、点線が上下方向に対応する。水平成分のスペクトルを見ると1Hzから2Hzの振動数成分を中心として、比較的広い振動数成分が含まれている。

図-3.31は7F/B1Fのフーリエスペクトル比を表す。水平成分のフーリエスペクトル比には2Hzから3Hz辺りにピークが現れ、建物の1次固有振動数と考えられる。また8Hz付近の高次成分の鋭い増幅も観察される。

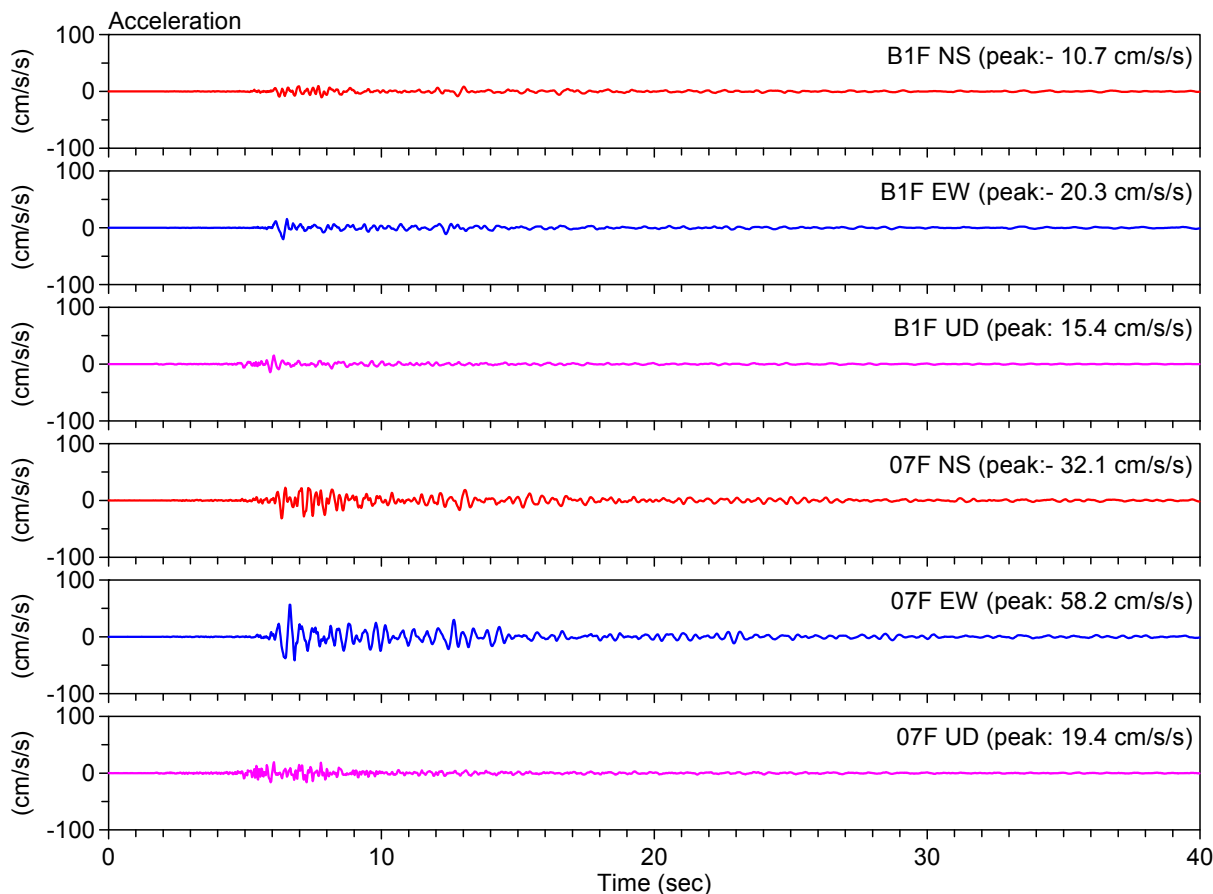


図-3.29 柏崎市役所本館で観測された加速度記録(2007/07/25 06:52, $L=24$ km, $M=8$)

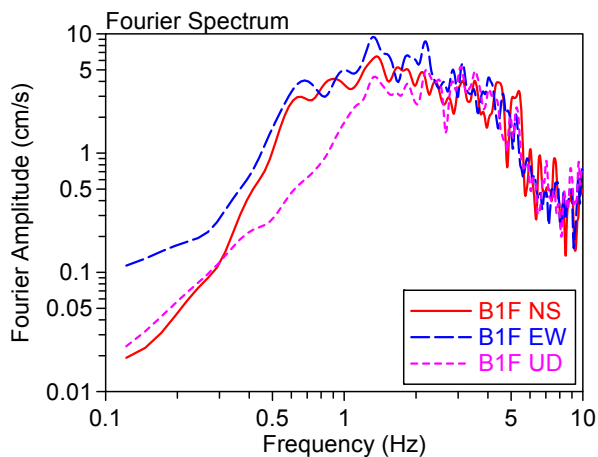


図-3.30 柏崎市役所本館 B1F の記録のフーリエスペクトル

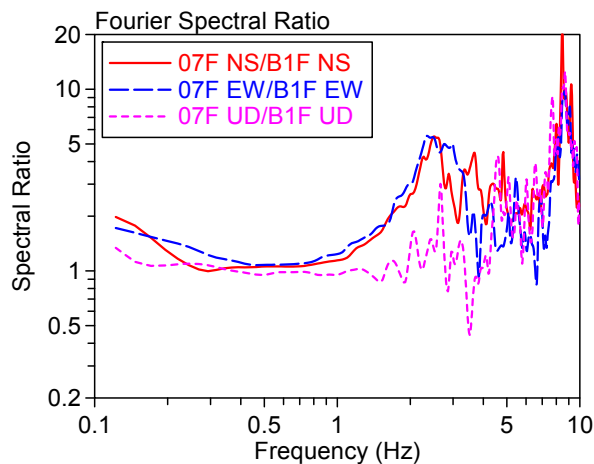


図-3.31 柏崎市役所本館 7F/B1F のフーリエスペクトル比

3.6.5 柏崎市民会館大ホールの記録

同じく7月25日の余震について、柏崎市民会館大ホールで得られた加速度記録を図-3.32に示す。上の3波が大ホール北側に設置した強震計(1FN)の、下の3波が南側に設置した強震計(1FS)の加速度記録で、それぞれNS成分、EW成分、UD成分の順に並んでいる。1FNと1FSの最大加速度に若干差があるが、その差は1割未満である。

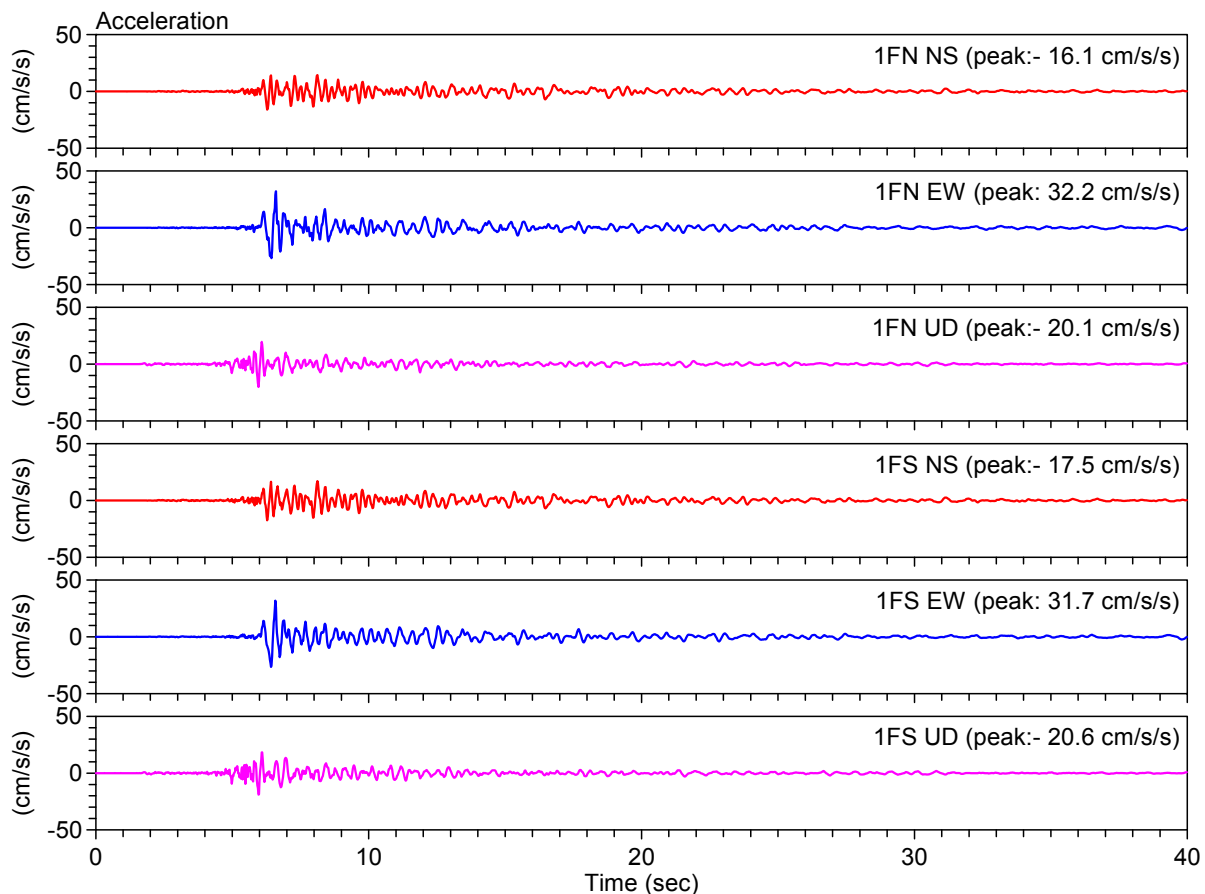


図-3.32 柏崎市民会館大ホールで観測された加速度記録(2007/07/25 06:52, h=24 km, M4.8)

3.6.6 西山町事務所の余震記録

西山町事務所で観測された記録を図-3.33 に示す。観測機器の記憶容量の制約から、一部の記録時間長が短いため、全ての成分をその時間長に合わせてある。図-3.34 は、1F の記録のフーリエスペクトルである。実線(赤)が建物の短辺方向(N162° E)に、破線(青)が長辺方向(N252° E)に、点線が上下方向に対応する。水平成分のスペクトルを見ると 3 Hz 付近の振動数成分が優勢となっている。

図-3.35 及び図-3.36 は 3FE/1F 及び 3FW/1F のフーリエスペクトル比を示している。いずれのフーリエスペクトル比にも 4 Hz から 5 Hz 辺りにピークが現れ、建物の 1 次固有振動数と考えられる。フーリエスペクトル比における 3FE/1F と 3FW/1F の差は、顕著ではない。

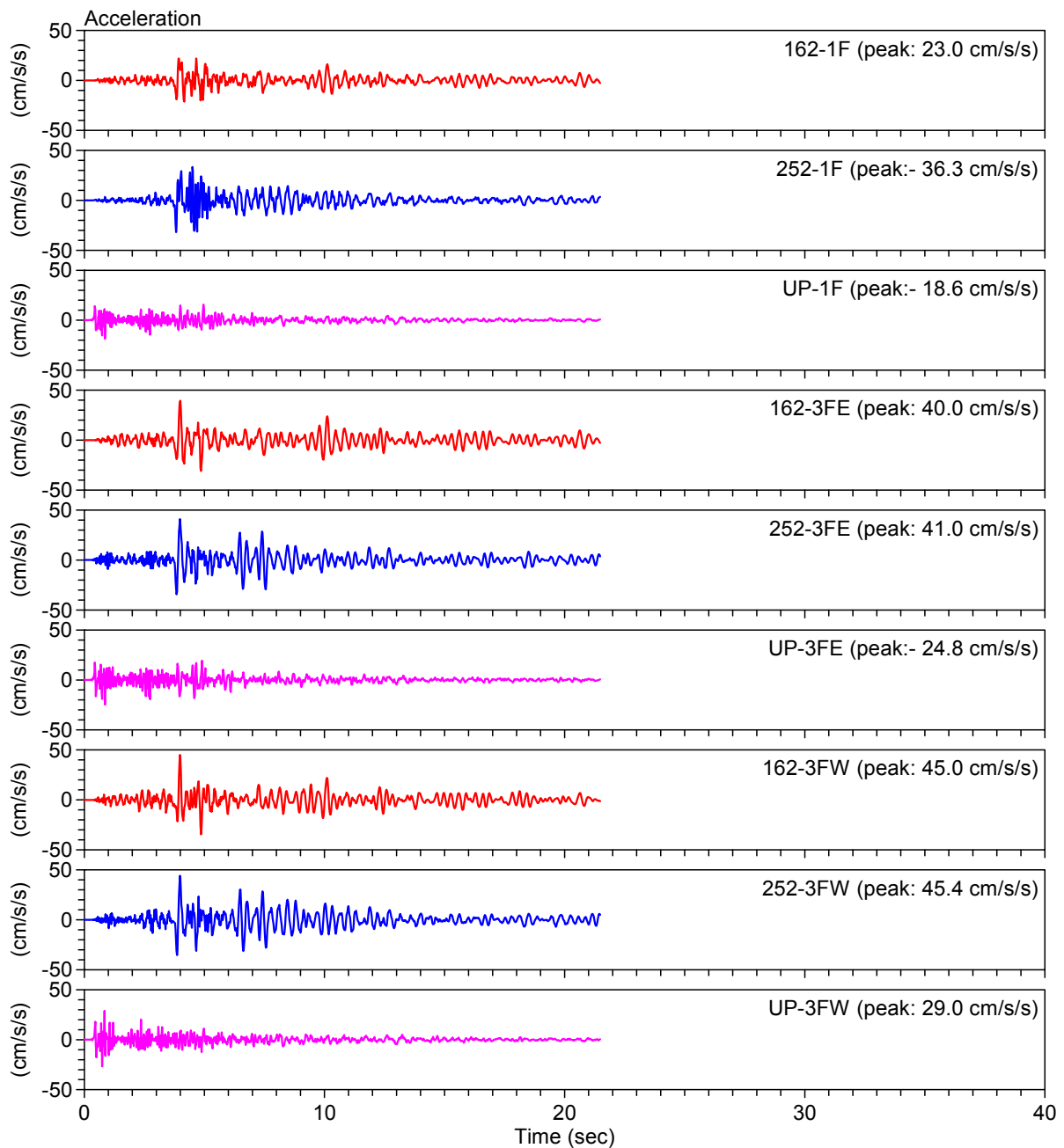


図-3.33 西山町事務所で観測された加速度記録(2007/07/25 05:52, h=24 km, M4.8)

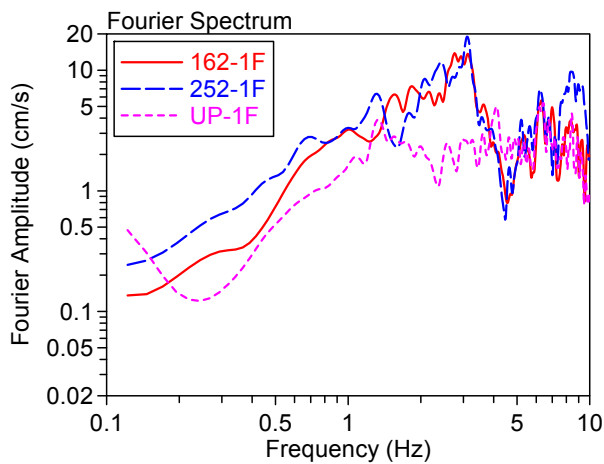


図-3.34 西山町事務所 1F の記録のフーリエスペクトル

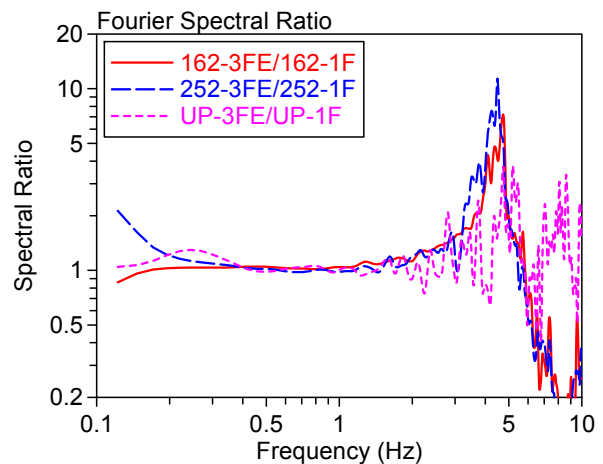


図-3.35 西山町事務所 3FE/1F のフーリエスペクトル比

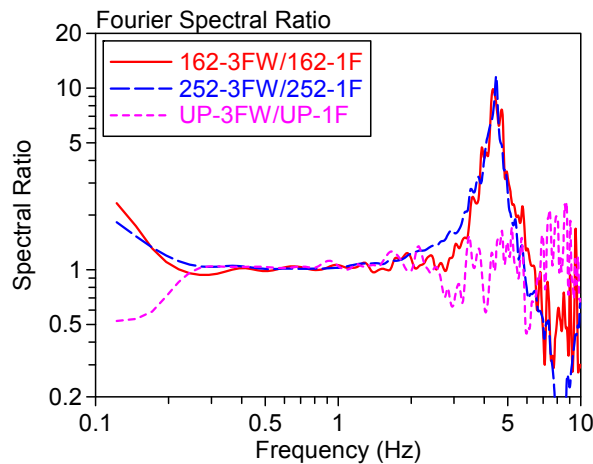


図-3.36 西山町事務所 3FW/1F のフーリエスペクトル比

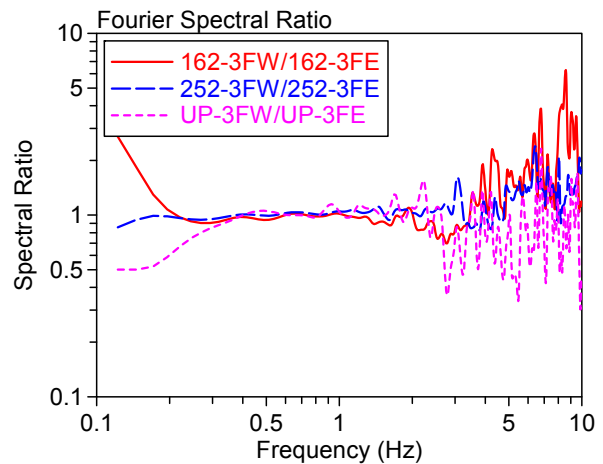


図-3.37 西山町事務所 3FW/3FE のフーリエスペクトル比

3.6.7 柏崎市役所における入力地震動に関する考察

2007年7月25日6時52分の地震(深さ24km、M4.8)^{3.1)}による余震記録を用いて、柏崎市民会館大ホール及び柏崎市役所本館の入力地震動の特性について考察する。

柏崎市役所の敷地内には、防災科学技術研究所のK-NETの観測地点(NIG018)と新潟県震度情報ネットワークの柏崎と2つの観測装置が設置されている。余震観測期間中は4台の強震計を加え、計6点での観測が実施されていたことになる。各観測装置の位置を図-3.38に示す。このうちK-NETと県の震度計は地盤上の観測地点であり、1FNと1FSは柏崎市民会館大ホール1階に、B1Fは柏崎市役所本館の地下1階に設置されており、これらの記録を比較することにより、これらの建物への入力地震動を検討することができる。

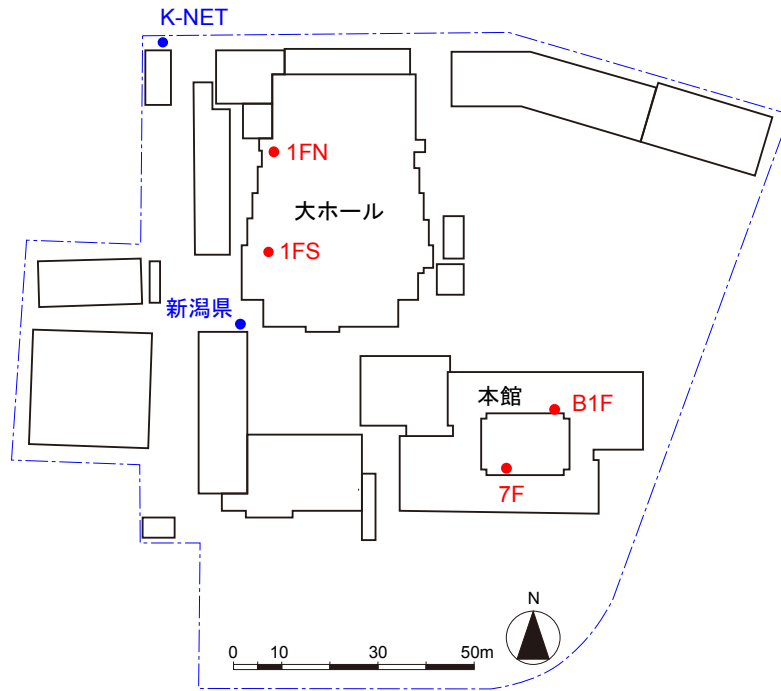


図-3.38 柏崎市役所敷地内の強震観測地点(K-NET 及び新潟県の震度計)と余震観測位置(1FN、1FS、B1F 及び 7F)

図-3.39 に、柏崎市民会館大ホール 1 階北側(1FN)、同南側(1FS)、柏崎市役所本館の地下 1 階(B1F)、及び K-NET 柏崎(K-NET)で得られた加速度記録の NS 成分を並べて示す。最大加速度は K-NET が 39 cm/s^2 と最も大きく、1FN と 1FS が K-NET の半分弱の値、B1F は K-NET の $1/3$ 以下の値となっている。加速度波形に着目すると、特に K-NET の波形に重畳した高振動数成分が特徴的である。

図-3.40 は同様に、EW 成分の加速度記録を並べたものである。最大加速度の差は NS 成分より小さくなり、K-NET に対する 1FN と B1F の最大加速度の比率は 9 割強、5 割強となっている。加速度波形を見ると、NS 成分の場合と同様に、K-NET の記録には高振動数成分が優勢である。

各加速度記録のフーリエスペクトルと K-NET を基準としたフーリエスペクトル比を、NS 成分について図-3.41 に、EW 成分について図-3.42 に示す。フーリエスペクトルを見ると、NS 成分、EW 成分とも、建物の中の記録(1FN、1FS 及び B1F)は 2 Hz 以下の低振動数領域でほぼ一致している。 3 Hz 辺りで B1F は 1FN 及び 1FS を下回っており、1FN と 1FS は全般に良く一致している。

フーリエスペクトル比に着目すると、両方向成分とも、建物の中の記録(1FN、1FS 及び B1F)は地盤上の記録(K-NET)に比べて 4 Hz 以上の高振動数領域で振幅が著しく低下している。特に市役所本館地下 1 階(B1F)の場合、 3 Hz 前後の振動数でもスペクトル比の落ち込みが確認できる。ただし、 2 Hz 付近ではスペクトル比が 1 を上回っており、建物の中の記録が地盤上の記録より大きい現象が現れており、注意が必要である。地盤の非線形効果も考慮した検討が更に必要であるが、余震記録から判断すれば、前述のように市役所本館建物の 1 次固有振動数は 3 Hz 前後と推察され、この振動数領域ではある程度の入力低減も想定することができる。

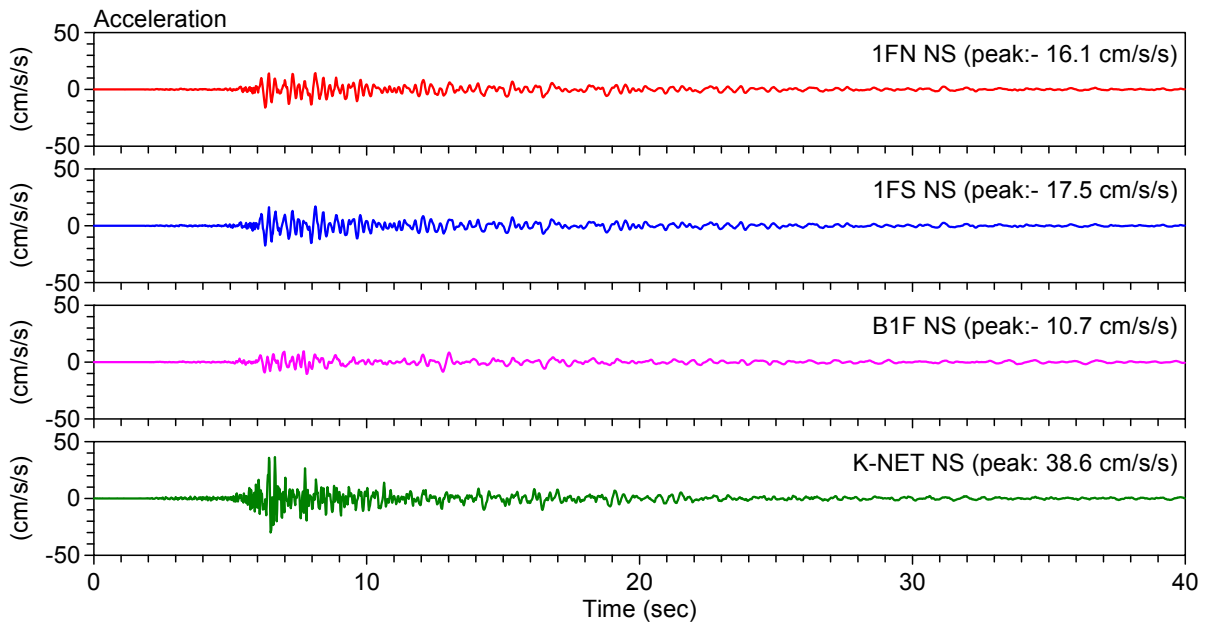


図-3.39 市民会館大ホール1階(1FN及び1FS)、市役所本館地下1階(B1F)、及びK-NET 柏崎(K-NET)の加速度記録(NS成分)

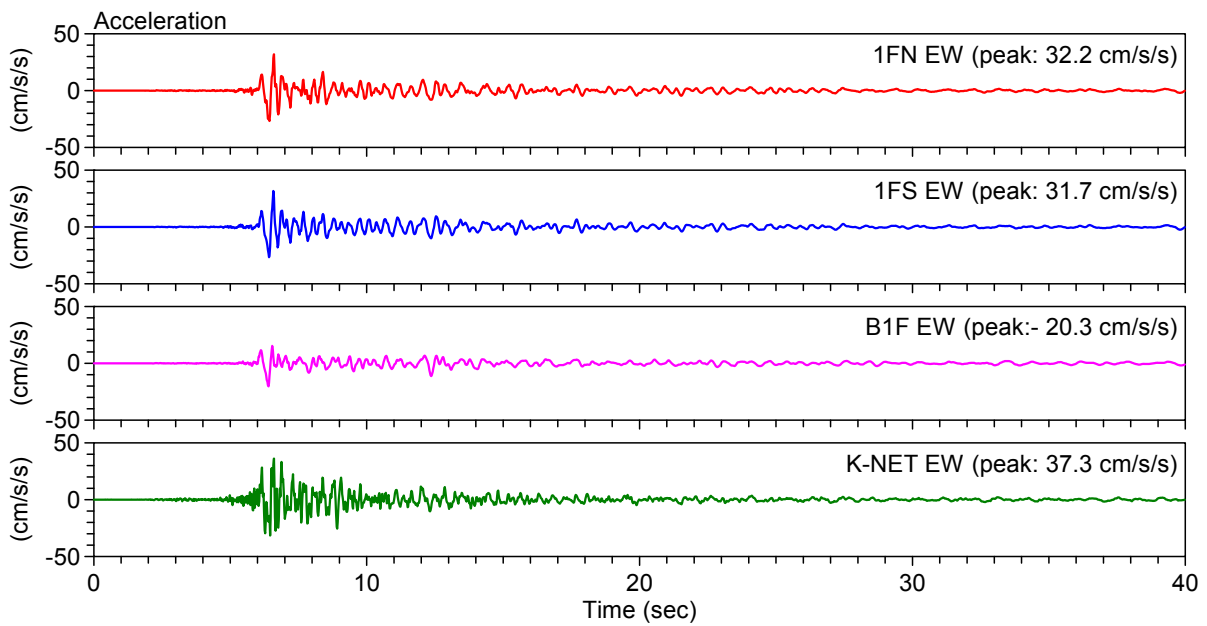


図-3.40 市民会館大ホール1階(1FN及び1FS)、市役所本館地下1階(B1F)、及びK-NET 柏崎(K-NET)の加速度記録(EW成分)

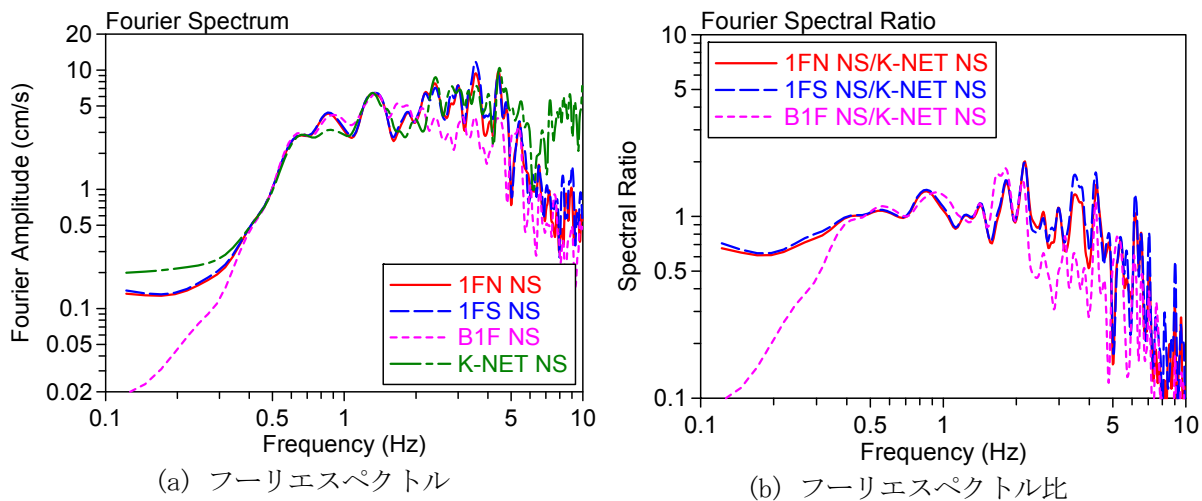


図-3.41 市民会館大ホール1階(1FN及び1FS)、市役所本館地下1階(B1F)、及びK-NET 柏崎(K-NET)の加速度記録のフーリエスペクトルとK-NETに対するフーリエスペクトル比(NS成分)

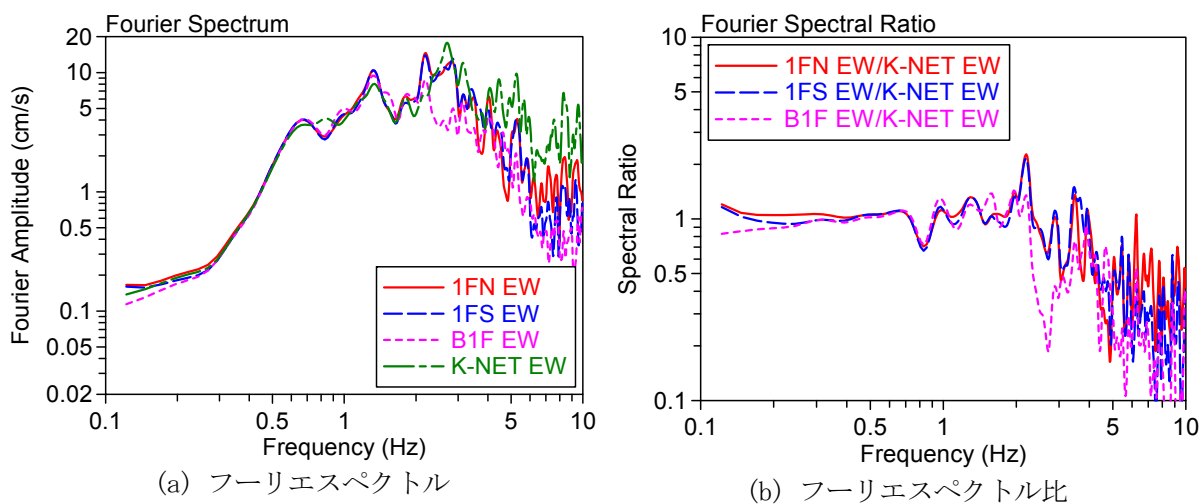


図-3.42 市民会館大ホール1階(1FN及び1FS)、市役所本館地下1階(B1F)、及びK-NET 柏崎(K-NET)の加速度記録のフーリエスペクトルとK-NETに対するフーリエスペクトル比(EW成分)

3.7 まとめ

2007年新潟県中越沖地震の本震は、新潟県上中越沖の深さ17 kmを震源とする、気象庁マグニチュード6.8の地震であった。発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であったが、断層面は確定していない。震源断層は、新潟県出雲崎町の沖合から柏崎市の沖合まで約30 kmに達し、破壊は北東から南西へ伝播した。

この地震では、新潟県や長野県の震度情報ネットワーク、気象庁の震度計、防災科学技術研究所のK-NET観測地点のうち、5箇所で震度6強が、10箇所で震度6弱が観測された。震度の大きな観測地点は、概ね震源断層に近い地点である。

大きな被害が発生した柏崎市及び刈羽村は、柏崎平野に位置し、平野部は第四系の新砂丘砂層と柏崎層で構成されている。東京電力柏崎刈羽原子力発電所の地盤調査資料によれば、深さ20 mから30 mで新第三系の西山層が、深さ100 m程度で西山層より古い椎谷層が表れる。花崗岩・蛇紋岩からなる基盤岩の深さは、平野東縁部の柏崎市の吉井油田では地下3,100 mよりも深い。

この地震により、新潟県や長野県の震度情報ネットワーク、気象庁の震度計、防災科学技術研究所のK-NET、東京電力柏崎刈羽原子力発電所で得られた強震記録が公開されている。このうち、柏崎市役所敷地内で観測された記録は、地盤の非線形挙動の影響を強く受け、2秒強の周期成分の卓越した激しい地震動記録であった。また、刈羽村役場や柏崎刈羽原子力発電所の地盤上で得られた記録にも地盤の非線形性の影響が見られ、2秒から3秒の周期成分が優越となっている。一方、柏崎市西山事務所の記録は、他の記録とは対照的に、0.6秒強の比較的短い周期成分の卓越が特徴的である。これらの特徴は、表層地盤条件を反映したものと考えられる。

建築研究所の強震観測網では、北陸から関東、東北にかけての37の観測地点で強震記録が得られた。このうち、小千谷小学校と上越社会教育館で震度5を、新潟市役所分館、長野県庁、及び建築研究所新館で震度4を観測した。

K-NETの記録の分析を通じて関東平野の地震動の特徴を見ると、多くの観測地点で6秒から8秒の長周期成分の卓越が観察された。関東平野の西の観測地点ではNS成分のみ6秒から8秒の周期成分が表れ、北東の観測地点では2秒から4秒の周期成分が卓越するなど、関東平野の端の観測地点では地形の影響を反映した地域性が表れている。

建築研究所は本震発生日の翌々日の7月18日より8月9日までの間、柏崎市役所及び柏崎市西山町事務所を対象に余震観測を行い、貴重な記録を多数収集した。柏崎市役所では、市役所本館と市民会館大ホールで余震観測を行い、建物への入力地震動に関して貴重な観測資料を得ることができた。また西山事務所では庁舎建物の振動特性を把握することができた。

謝辞

柏崎市役所及び柏崎市西山事務所の余震観測に当たっては、地震直後の極めて多忙な中、柏崎市総合企画部人事課入澤昇氏、柏崎市西山事務所総務課栗田哲雄氏をはじめとして、柏崎市の関係各位に便宜を図っていただいた。ここに記して心から謝意を表す。

本章で扱っている新潟県震度情報ネットワークの記録は、気象庁と建築研究所の共同研究「地方自治体等の強震記録波形を使用した建物への入力地震動の研究」に基づき使用している。また、東京電力柏崎刈羽原子力発電所の記録は、(株)東京電力より提供されたものである^{3,10)}。加えて、本章で扱っている記録の一部は、防災科学技術研究所強震ネットワーク(K-NET)で得られたものである³⁻⁴⁾。関係者のご尽力に感謝を表す。

また、特記なき地図の描画には Paul Wessel 氏と Walter H. F. Smith 氏が作成した GMT³⁻¹¹⁾を用い、地図中の市町村境界は国土交通省の国土数値情報³⁻¹²⁾を利用していることを付記する。

参考文献/参照サイト

3. 1) 気象庁: 「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」の特集,
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/index.html
3. 2) 地震調査推進本部: 平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震の評価,
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/07aug_chuetsu_oki/index.htm
3. 3) 八木勇治: 2007 年 7 月 16 日新潟県上越沖の地震の震源過程(改訂 ver. 2),
http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press_HP/yagi/EQ/2007niigata/
3. 4) 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET: <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>
3. 5) 日本の地質「中部地方 I」編集委員会編, 日本の地質 4 中部地方 I, 共立出版, 1990
3. 6) 日本地質図体系中部地方, pp.122-123, 朝倉書店, 1991
3. 7) <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/pubdata/sitegif/NIG018.gif>
3. 8) <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/pubdata/sitedat/NIG018.dat>
3. 9) http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu07_j/images/070822c.pdf
3. 10) 東京電力: 平成 19 年新潟県中越沖地震に際して、東京電力(株) 柏崎刈羽原子力発電所において観測された本震記録, 財団法人震災予防協会, 2007 年 8 月
3. 11) GMT - The Generic Mapping Tools: <http://gmt.soest.hawaii.edu/>
3. 12) 国土数値情報ダウンロードサービス: <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>