

地震動班余震観測調査報告

1. 概要

2007年7月16日に発生した中越沖地震では、K-NET 柏崎をはじめとして強烈な強震記録が観測され、公開されている^{1), 2)}。これらは地盤上で観測された地震動であり、建物の被害を検討する上では建物への入力地震動がどうであったかを考える必要がある。このためには実際に建物の中での地震動を測定することが有効な手段であり、この観点から、被災地での余震観測を行った。余震観測の対象は、被害が甚大だった地域の公的建物として、柏崎市役所及び柏崎市西山町事務所を選択した。以下に余震観測調査の概要を報告する。

2. 調査担当者

構造研究グループ 小山信
国際地震工学センター 鹿嶋俊英

3. 調査日程

7月18日～7月20日 余震観測のための機器設置と周辺状況の調査。
8月9日～8月10日 余震記録の回収と観測機器撤去。

4. 余震観測の概要

4.1 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 柏崎観測点(NIG018)¹⁾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 Kinemetrics 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1に、市役所本館及び市民会館大ホールの外観を写真1と写真2に、各強震計の設置状況を写真3から写真6に示す。

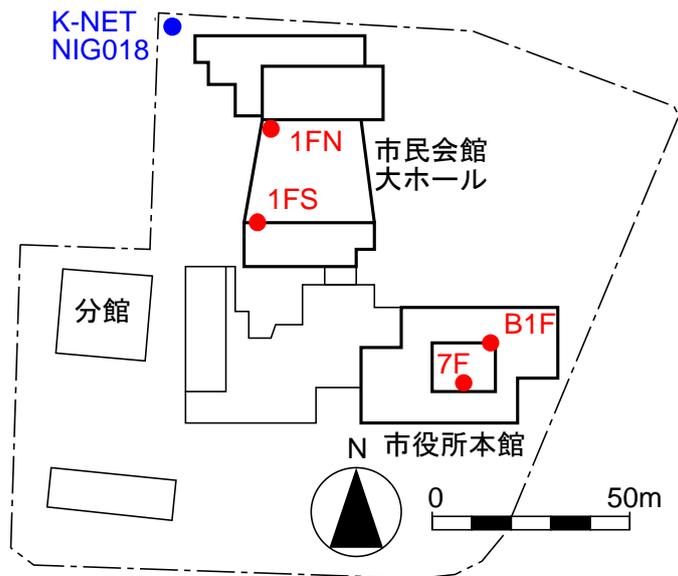


図1 柏崎市役所の強震計設置位置



写真1 柏崎市役所本館外観(南から)



写真2 柏崎市民会館大ホール外観(市役所屋上から)



写真3 柏崎市役所本館 B1F 設置状況



写真4 柏崎市役所本館 7F 設置状況



写真5 柏崎市民会館大ホール 1FN 設置状況



写真6 柏崎市民会館大ホール 1FS 設置状況

4.2 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Akashi社のSMAR-6A3Pを用いている。強震計の設置位置を図2に、建物の外観を写真7に、各強震計の設置状況を写真8から写真10に示す。

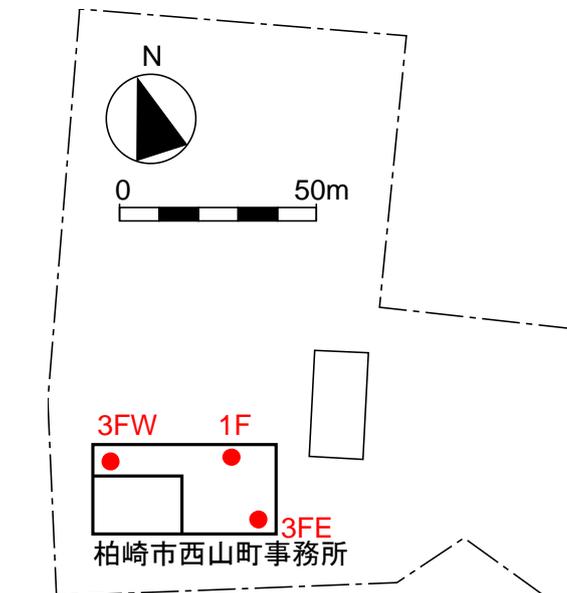


図2 柏崎市西山町事務所の強震計設置位置



写真7 西山町事務所外観(西から)



写真8 西山町事務所 1F 設置状況



写真9 西山町事務所 3FE 設置状況



写真10 西山町事務所 3FW 設置状況

5. 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 06 時 52 分の地震(深さ 24 km、M4.8)²⁾の記録について分析する。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 1 に示す。表中には、K-NET 柏崎(NIG018)の記録¹⁾も参考として示している。

表 1 K-NET 及び KiK-net の主な記録

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

5.1 柏崎市役所本館の記録

柏崎市役所本館で観測された余震記録を図 3 に示す。上から地下 1 階(B1F)の短辺方向(N000°E)

成分、長辺方向(N090°E)成分、上下成分、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 4 は、B1F の記録のフーリエスペクトル(解析時間は 40 秒間、幅 0.2 Hz 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 1 Hz から 2 Hz 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 5 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 2 Hz から 3 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。また 8 Hz 付近の高次成分の鋭い増幅も観察される。

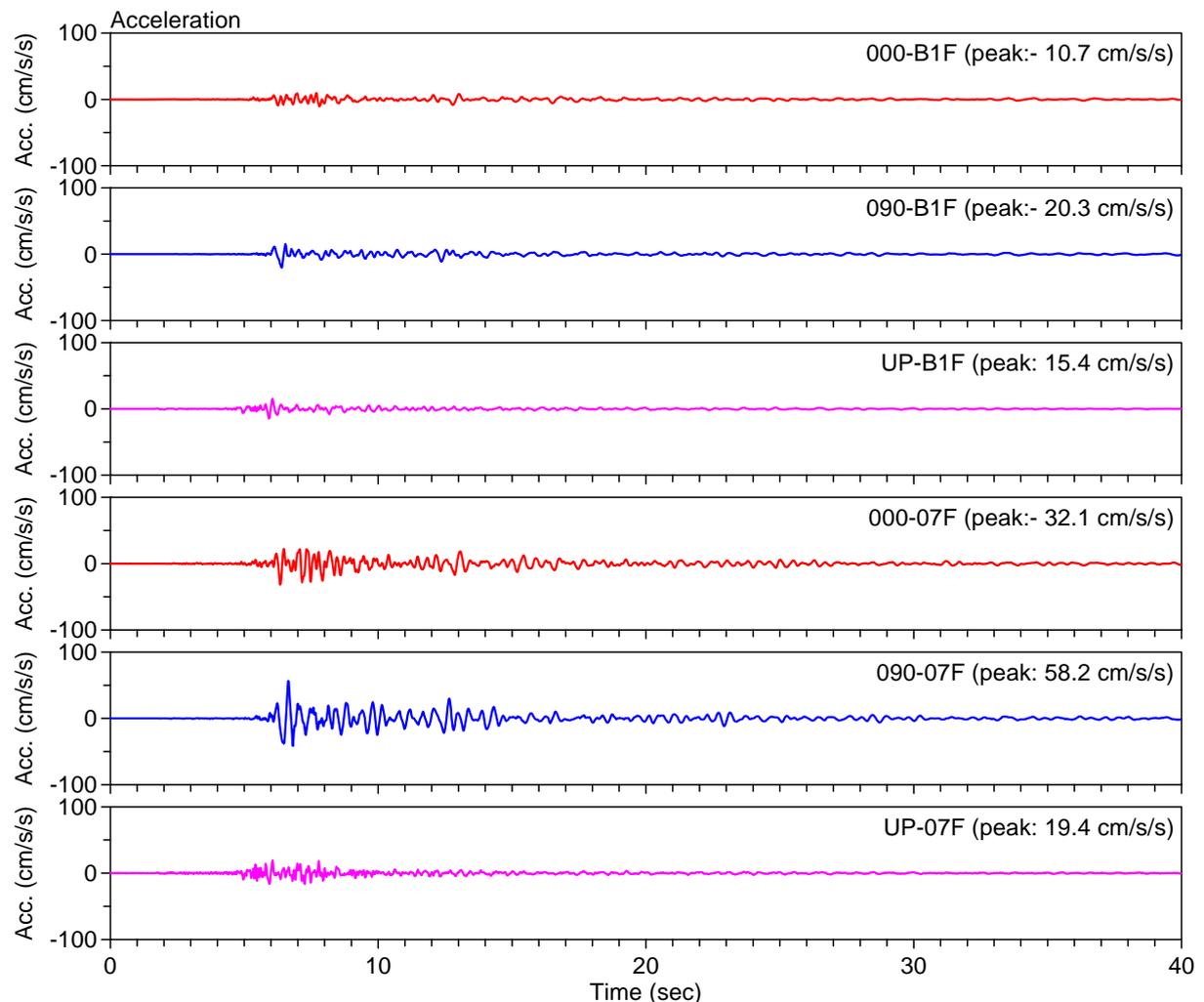


図 3 柏崎市役所本館で観測された加速度記録(2007/07/25 05:52, $h=24 \text{ km}$, $M4.8$)

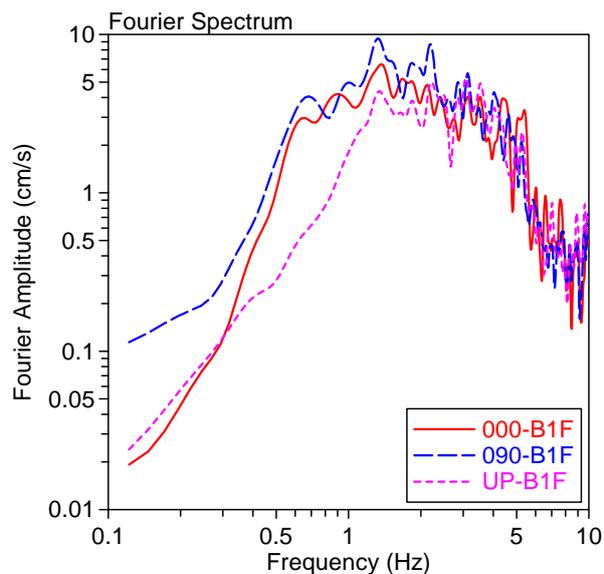


図4 柏崎市役所本館 B1F の記録のフーリエスペクトル

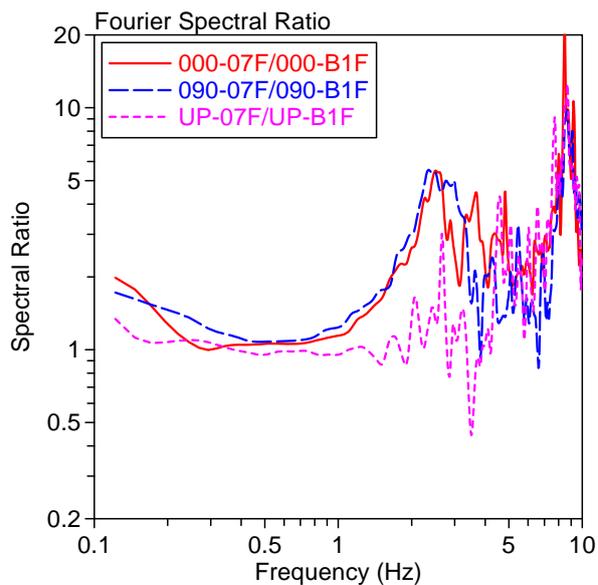


図5 柏崎市役所本館 7F/B1F のフーリエスペクトル比

5.2 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6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(N000°E)、EW成分(N090°E)、上下成分(UD)の順に並んでいる。同じ建物の1階であるが、最大加速度は若干ばらつくが、その差は1割未満である。

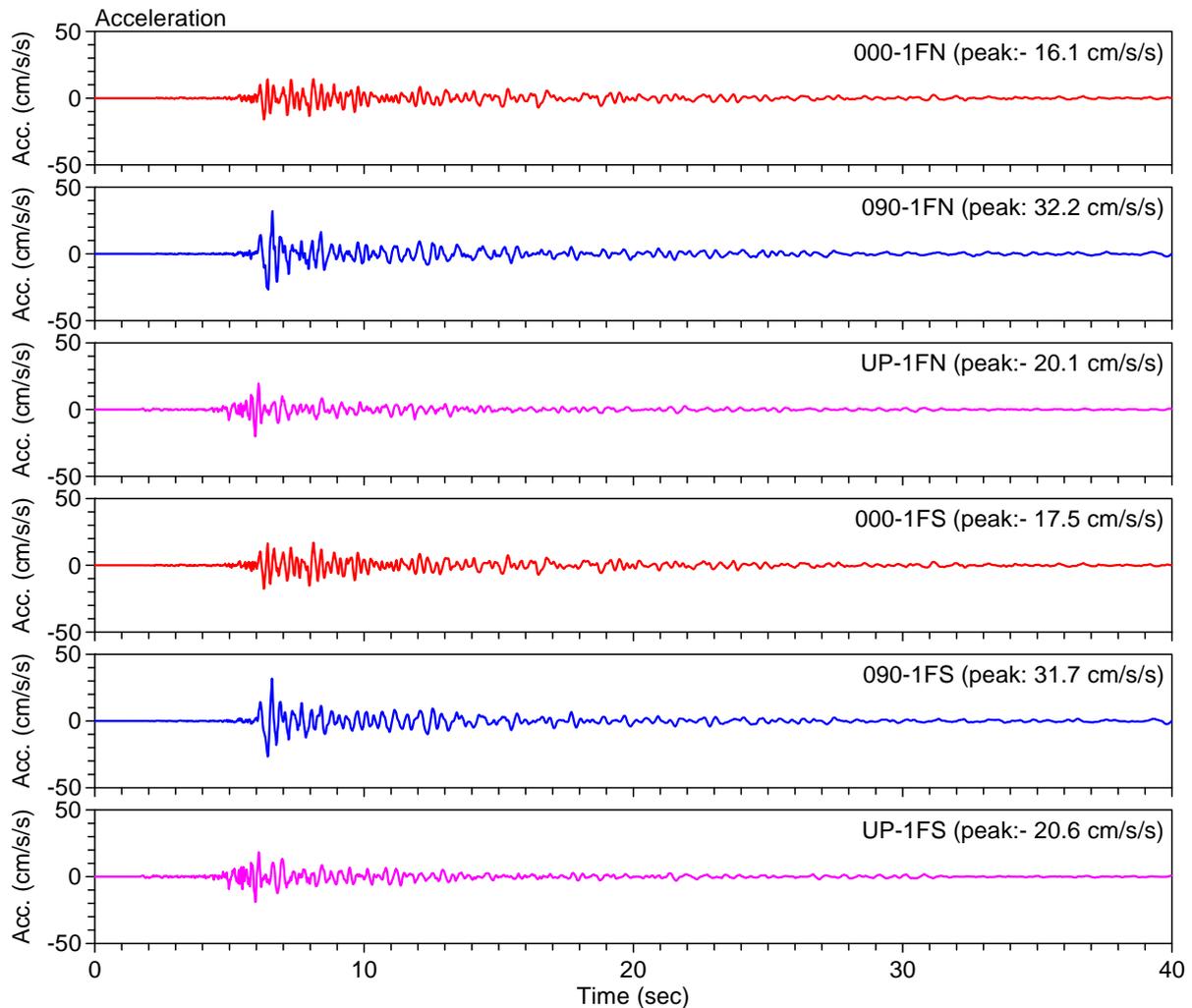


図 6 柏崎市民会館大ホールで観測された加速度記録(2007/07/25 05:52, $h=24$ km, $M4.8$)

5.3 西山町事務所の記録

西山町事務所で観測された記録を図 7 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 8 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 9 及び図 10 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。

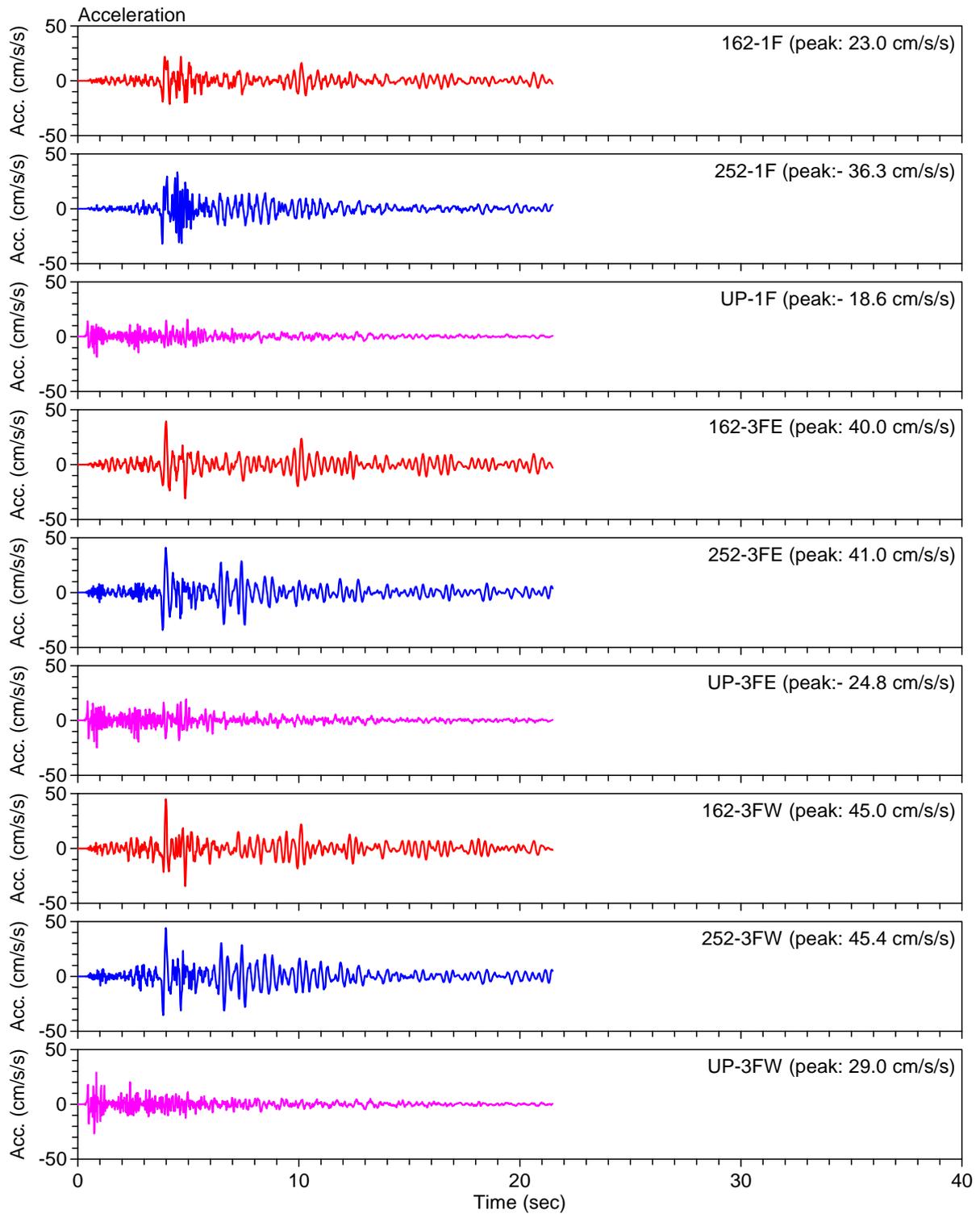


図7 西山町事務所で観測された加速度記録(2007/07/25 05:52, $h=24$ km, $M4.8$)

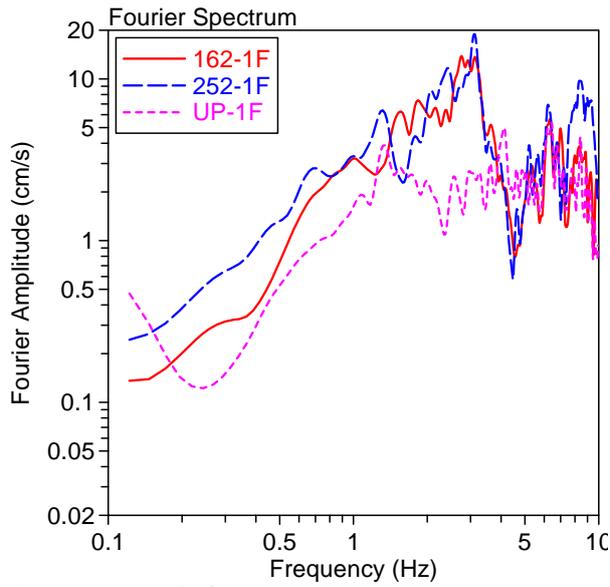


図8 西山町事務所 1Fの記録のフーリエスペクトル

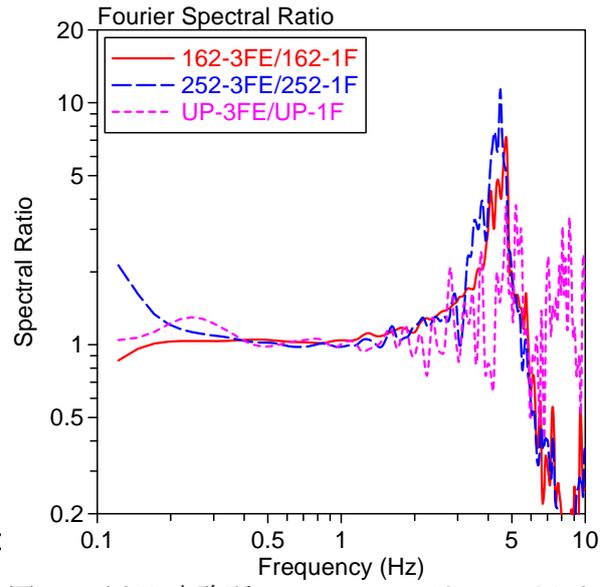


図9 西山町事務所 3FE/1Fのフーリエスペクトル比

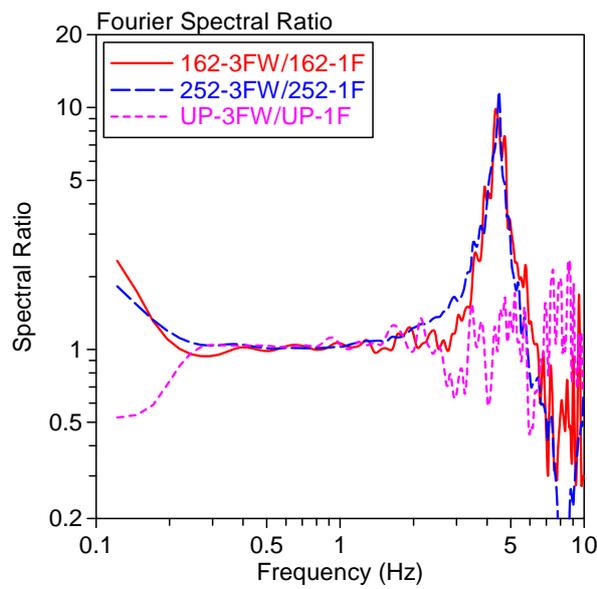


図10 西山町事務所 3FW/1Fのフーリエスペクトル比

6. 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06時52分の地震(深さ24 km、M4.8)²⁾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11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。

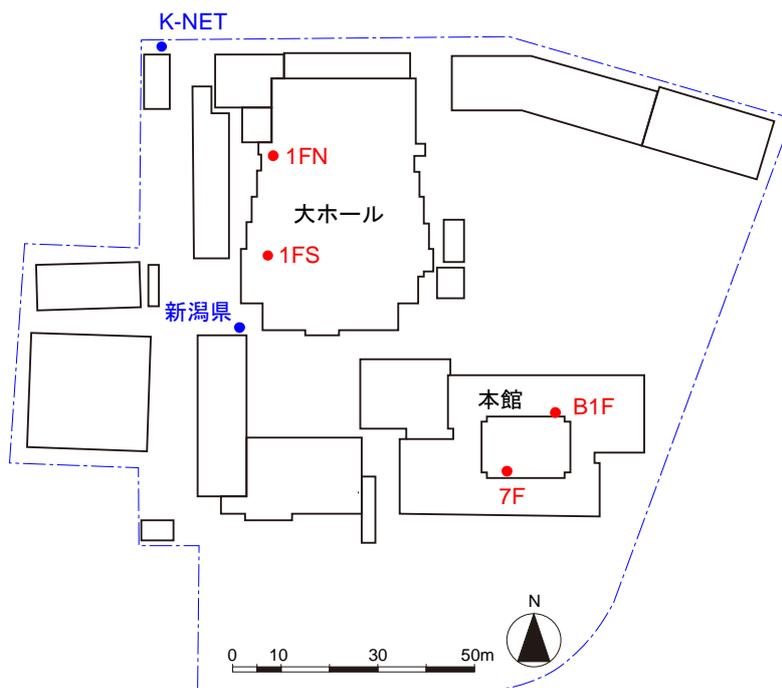


図11 柏崎市役所敷地内の強震観測点と余震観測装置の設置位置

図12に、K-NET 柏崎(K-NET)、柏崎市民会館大ホール1階北側(1FN)、同南側(1FS)及び柏崎市役所本館の地下1階(B1F)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目につく。

図13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の優勢な高振動数成分が特徴的である。

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14に、EW成分について図15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はほぼ一致している。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。

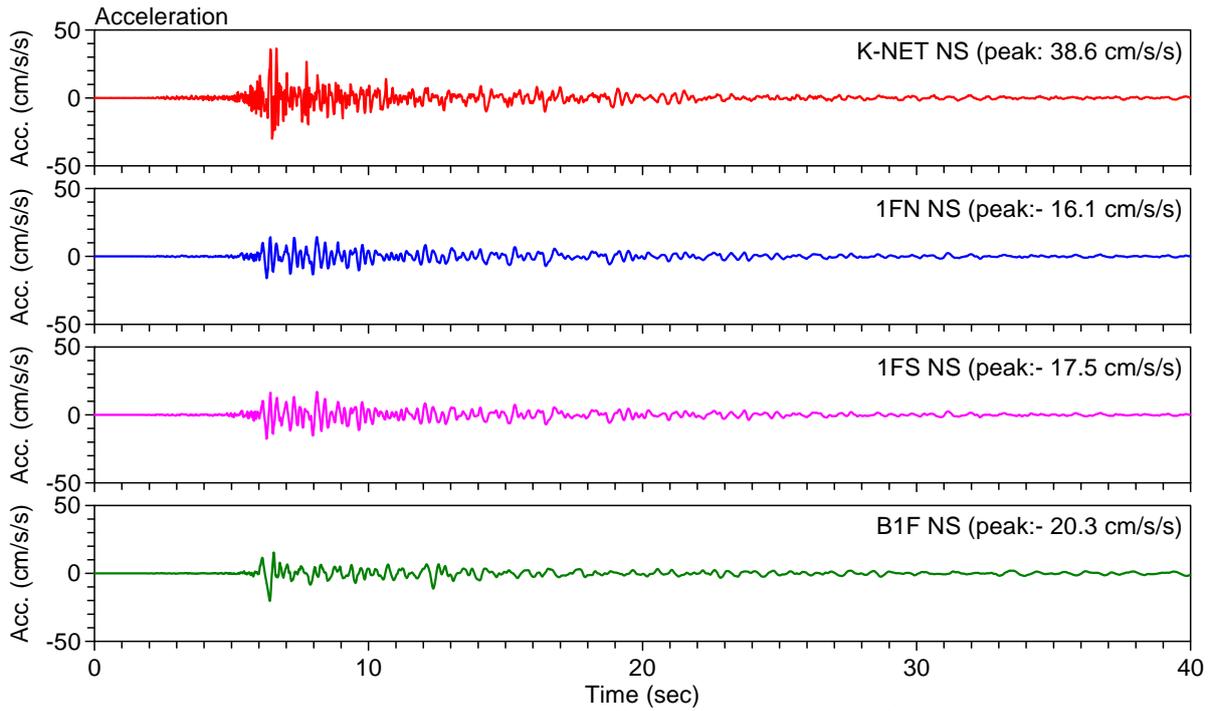


図 12 K-NET 柏崎(K-NET)、市民会館大ホール 1 階(1FN 及び 1FS)及び市役所本館地下 1 階(B1F)の加速度記録(EW 成分)

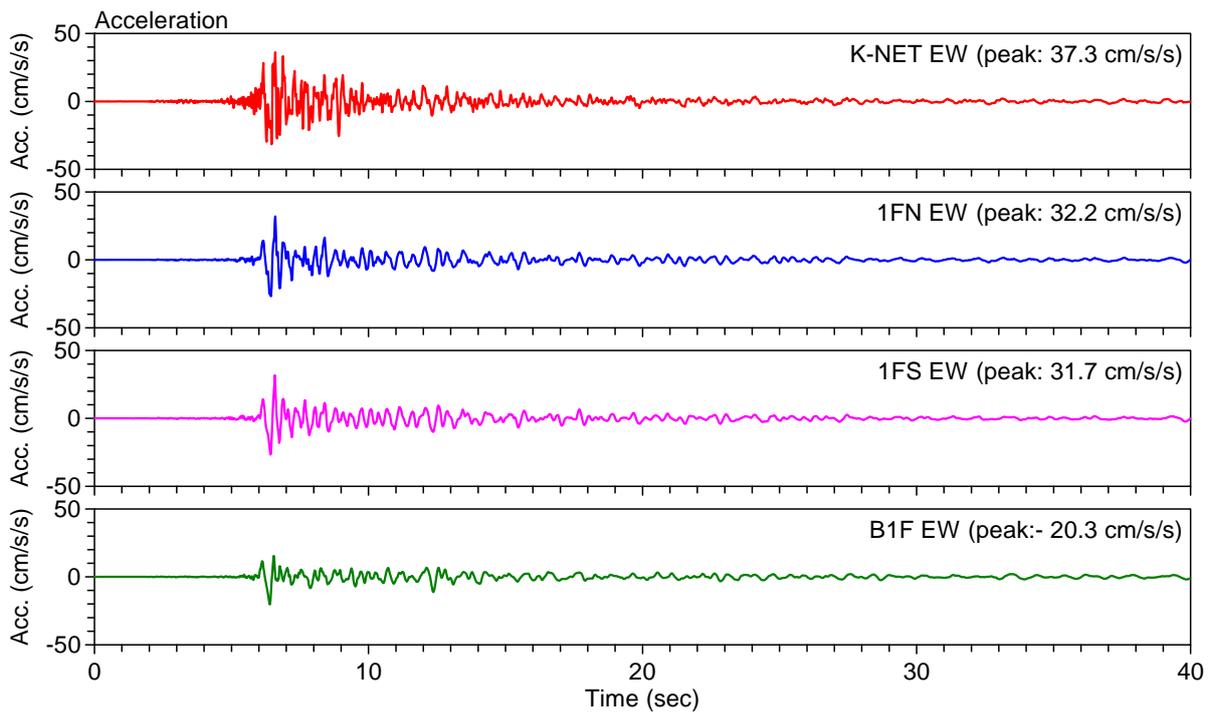


図 13 K-NET 柏崎(K-NET)、市民会館大ホール 1 階(1FN 及び 1FS)及び市役所本館地下 1 階(B1F)の加速度記録(EW 成分)

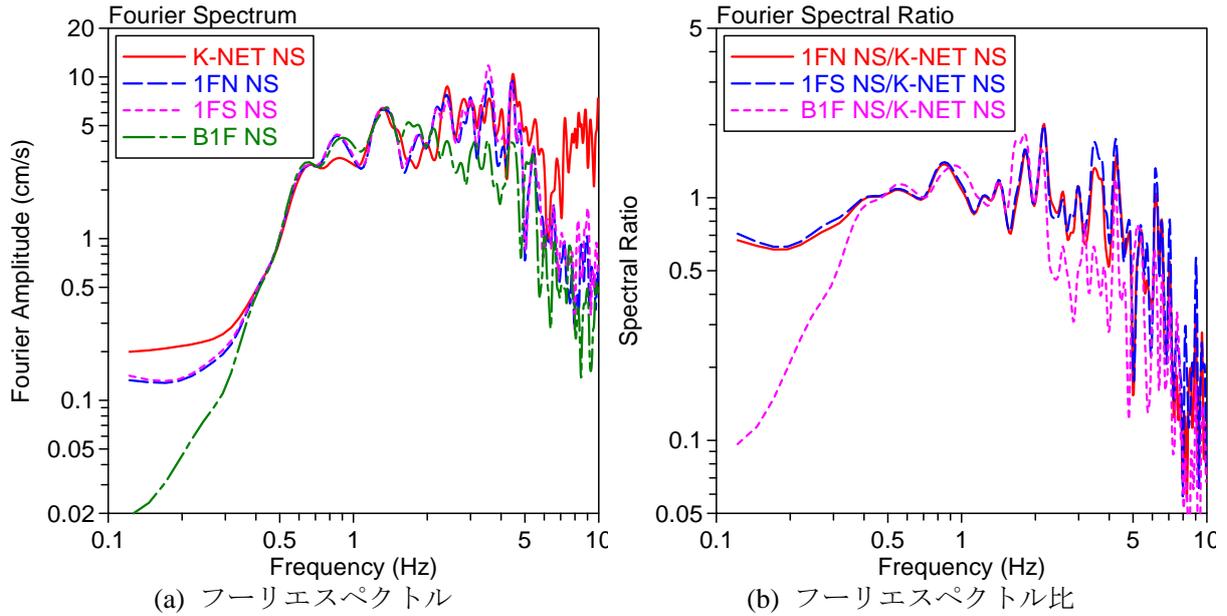


図 14 K-NET 柏崎(K-NET)、市民会館大ホール 1 階(1FN 及び 1FS)及び市役所本館地下 1 階(B1F)の加速度記録のフーリエスペクトルと K-NET に対するフーリエスペクトル比(NS 成分)

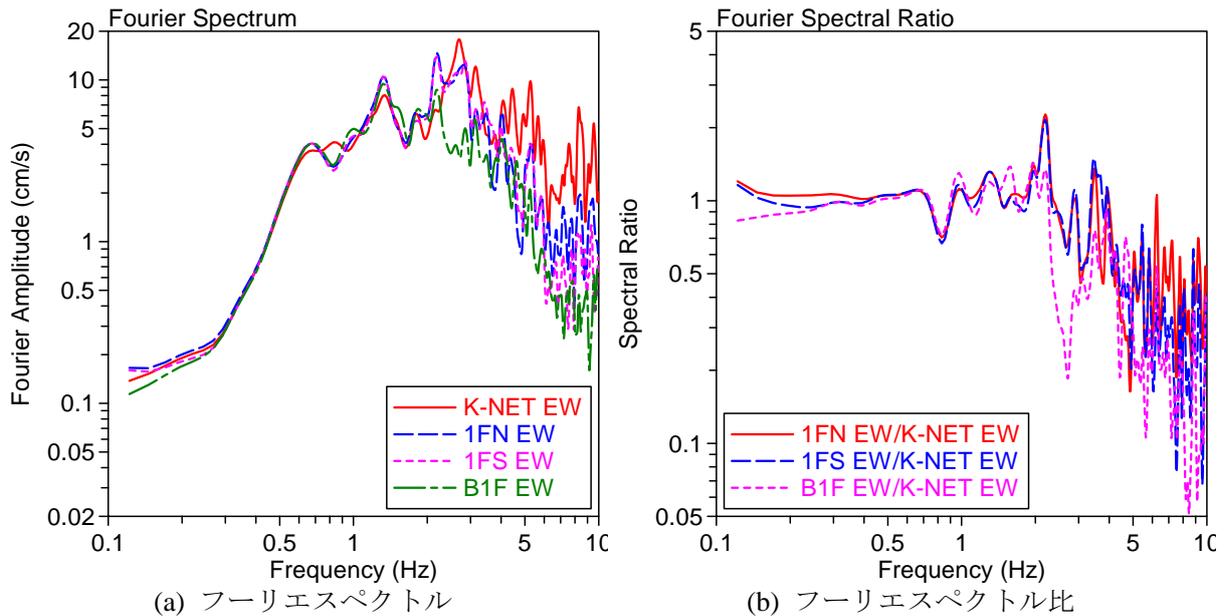


図 15 K-NET 柏崎(K-NET)、市民会館大ホール 1 階(1FN 及び 1FS)及び市役所本館地下 1 階(B1F)の加速度記録のフーリエスペクトルと K-NET に対するフーリエスペクトル比(EW 成分)

謝辞

余震観測調査に当たっては、極めて緊迫した状況にもかかわらず、柏崎市及び柏崎市西山事務所には観測場所や関連資料を提供していただいた。柏崎市及び西山事務所の関係各位に深く感謝する。

参照サイト

- 1) 防災科学技術研究所強震ネット: <http://www.k-net.bosai.go.jp/>
- 2) 気象庁: <http://www.jma.go.jp/>