

# 2007年能登半島・新潟県中越沖地震関連報告

## 最近の被害地震の地震動の特徴

国際地震工学センター 主任研究員 鹿嶋 俊英

### 目次

- I はじめに
- II 2007年能登半島地震
  - 1) 地震の概要
  - 2) 震源近傍の強震記録
    - ① 志賀町富来の強震記録
    - ② 穴水町の強震記録
    - ③ 輪島市の強震記録
  - 3) 余震観測
- III 2007年新潟県中越沖地震
  - 1) 地震の概要
  - 2) 震源近傍の強震記録
    - ① 柏崎市中央町の強震記録
    - ② 柏崎市西山町の強震記録
    - ③ 長岡市小国町の強震記録
    - ④ 刈羽村の強震記録
  - 3) 建築研究所の強震記録
  - 4) 余震観測
- IV おわりに
  - 参考文献

### I はじめに

2007年は3月に能登半島沖で、7月に新潟県中越地方で地震が発生し、少なからぬ犠牲者と、多大な家屋の被害をもたらした。いずれも地殻内の逆断層型の地震で、最大の震度は6強であった。

これらの地震では、気象庁の震度計、地方自治体の震度情報ネットワーク、防災科学技術研究所のK-NETなどの観測網で、多くの強震記録が得られ、公開されている。また、建築研究所はいずれの地震でも、被害が大きかった地域を対象に余震観測調査を行った。

本講演では、これらの地震の強震動の特徴を紹介するとともに、建築研究所の強震観測網で得られた観測記録や余震観測結果より得られた知見を述べる。

### II 2007年能登半島地震

#### 1) 地震の概要

2007年能登半島地震は、3月25日9時42分頃、能登半島西岸付近で発生した。この地震のマグニチュードは6.9、震源の深さは約11kmで、石川県の七尾市、輪島市(鳳至町及び門前町走出の2箇所)、穴水町で震度6強を、石川県の志賀町(3箇所)、中能登町(2箇所)、能登町(2箇所)で震度6弱を観測した<sup>1)</sup>。震央位置及び各地の震度を図1に示す。図中□及び△は防災科学技術研究所K-NET<sup>2)</sup>及びKiK-net<sup>3)</sup>の観測地点で、○は気象庁震度計<sup>1)</sup>で、◇は石川県の震度情報ネットワークで得られた震度<sup>1)</sup>である。また破線の領域は、気象庁<sup>1)</sup>及び八木<sup>4)</sup>が解析した断層の破壊領域であり、断層は志賀町富来から輪島市へかけての海岸線に沿うように存在し、破壊は断層の西南から北東方向へ伝播している。概して断層から近い地点での震度は大きくなっており、震度6弱以上の地点は震央からほぼ30km以内となっている。

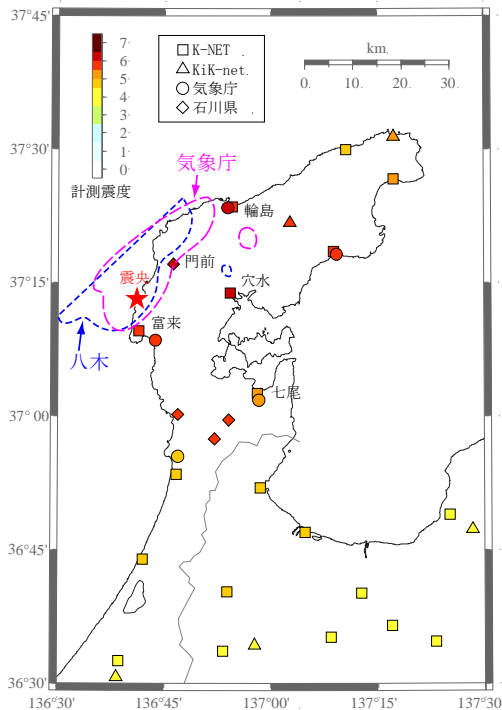


図1 震央位置と各地の震度

## 2) 震源近傍の強震記録

この地震では、気象庁<sup>6)</sup>、K-NET<sup>2)</sup>及びKiK-net<sup>3)</sup>の強震記録が公開されている。表1に、計測震度5.5(震度6弱)以上の強震記録を示す。記号がJMAで始まるものは気象庁の震度計、ISK及びISKHで始まるものはK-NET及びKiK-netの観測地点で得られた記録である。また、 $\Delta$ は震央距離、 $I_{JMA}$ は計測震度、PGAは最大加速度を表し、最大加速度はNS(北南)、EW(東西)、UD(上下)の方向成分毎に示している。

### ① 志賀町富来の強震記録

最も震源に近い志賀町ではK-NET(ISK006、以下K-NET 富来と

表1 2007年能登半島地震で得られた主な強震記録

記号	観測地点	$\Delta$ (km)	$I_{JMA}$	PGA (cm/s <sup>2</sup> )		
				NS	EW	UD
ISK006	志賀町香能	6.6	5.9	717	849	462
JMA-914	志賀町富来領家町	9.6	5.6	276	507	452
ISK005	穴水町宇大町	19.4	6.3	473	780	556
JMA-E10	輪島市鳳至町	26.7	6.1	464	439	190
ISK003	輪島市河井町	27.5	5.5	519	396	142
ISKH02	能登町柳田	35.5	5.5	274	359	204
ISK004	能登町宇出津	42.0	5.6	622	589	147
JMA-915	能登町宇出津	42.5	5.6	235	147	118

$\Delta$ : 震央距離,  $I_{JMA}$ : 計測震度, PGA: 最大加速度

称する)と気象庁(JMA-914、以下JMA 富来と称する)の2箇所で強震記録が得られている。いずれも旧富来町に位置し、震央距離はそれぞれ7kmと10kmとなっている。

震央距離が7km弱と震源に最も近いK-NET 富来の加速度記録を図2に示す。上段より北南(NS)成分、東西(EW)成分、上下(UD)成分と並んでいる。加速度記録を見ると比較的短周期成分が優勢で、激しい揺れが7秒間ほど続いている。

JMA 富来の震度計は、K-NET 富来の観測地点より3kmほど南東に位置する。加速度記録を図3に示す。K-NET 富来の記録と比べると短周期成分が少なく加速度振幅は小さい。

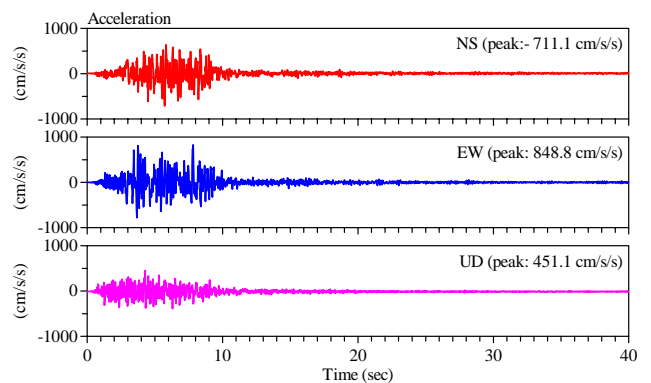


図2 本震の加速度記録(K-NET 富来)

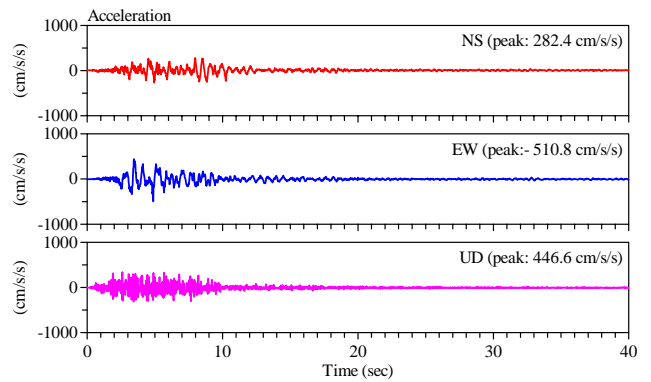


図3 本震の加速度記録(JMA 富来)

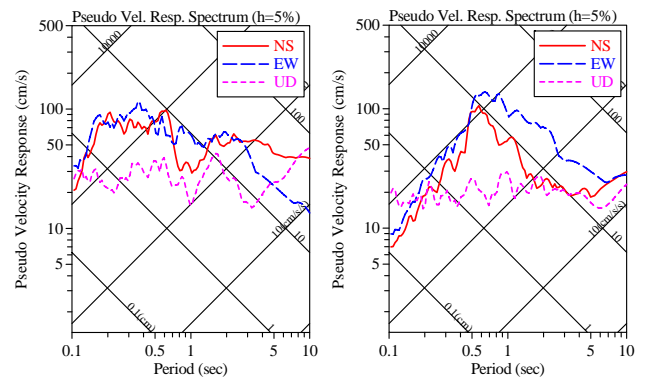


図4 擬似速度応答スペクトル(左: K-NET 富来、右: JMA 富来)

両者の記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 4 に示す。左が K-NET 富来の、右が JMA 富来の応答スペクトルである。スペクトルの実線が NS 成分、破線が EW 成分、点線が UD 成分に対応する。K-NET 富来の応答スペクトルは 1 秒以下の短周期成分の応答が 80 cm/s から 100 cm/s と大きく、1 秒以上の周期成分は相対的に劣勢である。一方 JMA 富来の応答スペクトルは 0.5 秒から 0.8 秒位の成分が大きく、100 cm/s を超えている。K-NET 富来の観測地点は山中にあり深さ 5 m 程で岩盤が確認されているが、気象庁の観測地点は富来川河口の堆積層の上にあり、表層地盤の影響が表れていると推察される。

## ② 穴水町の強震記録

穴水町には K-NET の観測地点 (ISK005、以下 K-NET 穴水と称する) があり、震央から約 19 km 離れている。K-NET 穴水で得られた加速度記録を図 5 に、その擬似速度応答スペクトルを図 6 に示す。加速度記録を見ると比較的長周期の成分が優勢となっている。特に EW 成分では最大加速度も 780 cm/s<sup>2</sup> と大きい。応答スペクトルを見ると、NS 成分で 1 秒程度、EW 成分で 1 秒から 2 秒の応答が際立っており、EW 成分の最大速度応答は 300 cm/s を超え

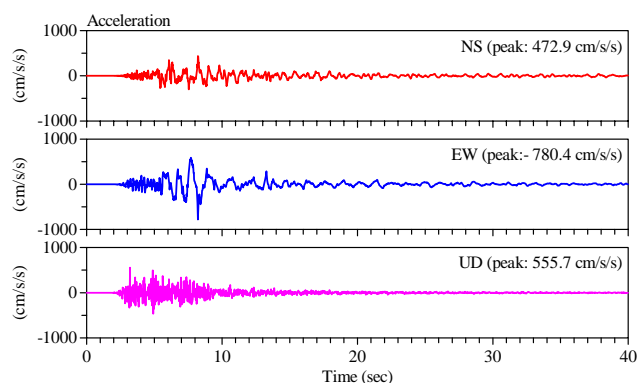


図 5 本震の加速度記録(K-NET 穴水)

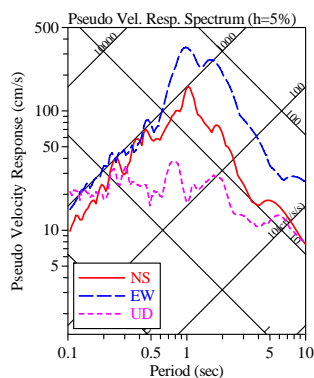


図 6 擬似速度応答スペクトル(K-NET 穴水)

る。K-NET 穴水観測地点の地盤は深さ 16 m 程度まで Vs=60 m/s から 130 m/s のピート層が堆積し、その下に岩盤が表れる。強震記録にはこの軟弱な表層地盤の影響が顕著に表れている。

## ③ 輪島市の強震記録

輪島市の市街地では、気象庁 (JMA-E10、以下 JMA 輪島と称す) の震度計と K-NET (ISK003、以下 K-NET 輪島と称す) の観測地点で強震記録が得られている。気象庁の震度計は、輪島市鳳至町の輪島測候所内に設置されており、K-NET 輪島は輪島測候所から約 1 km 東側の一本松総合運動公園の北側にある。

以下 JMA 輪島の加速度記録を図 7 に、K-NET 輪島 (ISK003) の加速度記録を図 8 に示す。以下 JMA 輪島の記録は、最大加速度は 500 cm/s<sup>2</sup> に満たないが、ゆっくりとした大きな揺れが 20 秒近く継続している。K-NET 輪島の加速度記録を見ると、最大加速度は JMA 輪島と大差ないが、短周期成分が主体となっており、JMA 輪島にみられた大きな揺れは見られない。

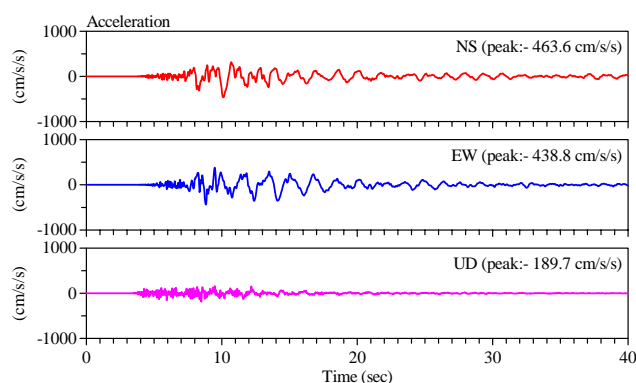


図 7 本震の加速度記録(JMA 輪島)

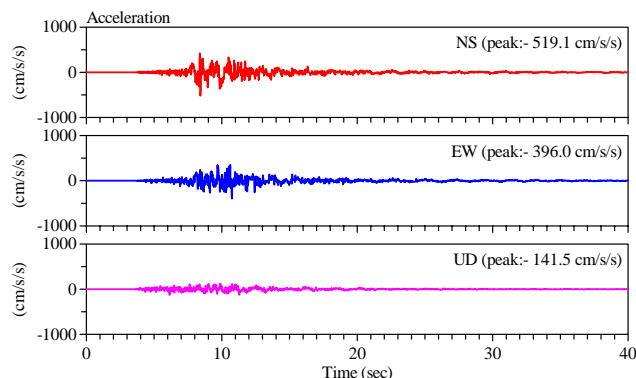


図 8 本震の加速度記録(K-NET 輪島)

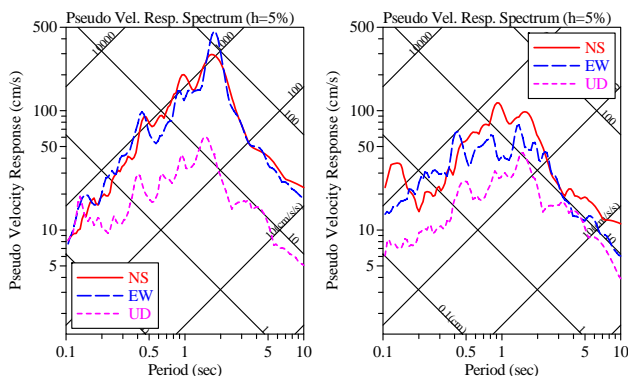


図9 擬似速度応答スペクトル(左: JMA 輪島、右: K-NET 輪島)

両者の記録の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 9 に示す。左が JMA 輪島、右が K-NET 輪島の応答スペクトルである。応答スペクトルでも両者の違いが明瞭に表れており、JMA 輪島の応答スペクトルは 1.7 秒から 1.8 秒の応答が 400 cm/s を超える強烈なものである。一方、K-NET 輪島の応答スペクトルは 1 秒前後の周期成分が主体で、応答値も 100 cm/s 程度となっている。K-NET 輪島は岩盤上にあるのに対し、JMA 輪島のある輪島測候所はシルト質の粘土やシルト質の砂が 30 m 程度堆積しており<sup>9)</sup>、その表層地盤の増幅の影響を大きく受けているものと考えられる。

### 3) 余震観測

建築研究所は地震活性の翌々日から輪島市内で余震観測を行った<sup>7)</sup>。観測の対象は輪島市庁舎と輪島市門前総合支所の 2 箇所で、いずれも建物の基部と頂部にそれぞれ 1 台ずつの強震計を設置した。

輪島市庁舎は輪島市市街地の中心部、河原田川と鳳至川の合流地点付近に位置する、RC 造 4 階建ての建物である。輪島市庁舎の平面形状はコの字型となっており、強震計 2 台を建物の南西端の 1 階(1F)機械室と 4 階(4F)議場裏側に設置し、2007 年 3 月 28 日より 5 月 1 日まで観測を行った。

輪島市役所門前総合支所は輪島市門前走出の總持寺祖院参道脇に建つ RC3 階建、一部地下 1 階の建物である。門前支所は L 字型の平面形状をしており、エクспанションジョイントにより 2 つの部分に分かれている。2 台の強震計を東側の庁舎の地下 1 階(B1F)機械室、及び 3 階(3F)南端の議場避難用バルコニーに設置し、は 2007 年 3 月 29 日より 5 月 1 日まで観測を行った。

前述のように、輪島市街地には気象庁の震度計と K-NET の 2 つの観測地点がある。ここでは 2007 年 3 月 28 日 13 時 05 分の余震(深さ 7 km, M4.7)の時に輪島市庁舎 1 階で得られた観測記録を、

JMA 輪島及び K-NET 輪島の余震記録と比較する。3 つの観測地点の位置関係を図 10 に示す。輪島市庁舎と JMA 輪島は約 400 m、輪島市庁舎と K-NET 輪島は約 800 m 離れている。



図 10 各観測地点の位置(国土地理院 1/25,000 地形図を利用)

輪島市庁舎 1 階(WJM)、JMA 輪島、及び K-NET 輪島で観測された余震の加速度記録を図 11 から図 13 に示す。輪島市庁舎の記録と JMA 輪島の記録を比較すると、包絡形や後続波の様子など全体的な傾向はほぼ共通しているが、JMA 輪島のほうがやや振幅が大きくなっている。K-NET 輪島は他の 2 つの記録とは様相が異なり、短周期成分が優勢となっている。

図 14 に、輪島市庁舎 1 階、JMA 輪島、及び K-NET 輪島の記録の水平成分の擬似速度応答スペクトルを示す。減衰定数は 5% で、比較のため左の図に 3 つの記録の NS 成分の応答スペクトルを、右の図に EW 成分の応答スペクトルを重ねて示している。輪島市庁舎の応答スペクトルと JMA 輪島の応答スペクトルを比較すると、0.5 秒より長い周期領域では両者はほぼ一致しており、短周期領域では JMA 輪島が輪島市庁舎を上回る。輪島市庁舎の強震計は建物の 1 階に設置してあり、その記録には短周期成分で入力損失が見込まれることを考慮すると、両観測地点の地震動の特性は殆ど変わらないと判断できる。一方 K-NET 輪島の応答スペクトルは全ての周期領域で、輪島市庁舎や JMA 輪島の応答スペクトルを下回っている。

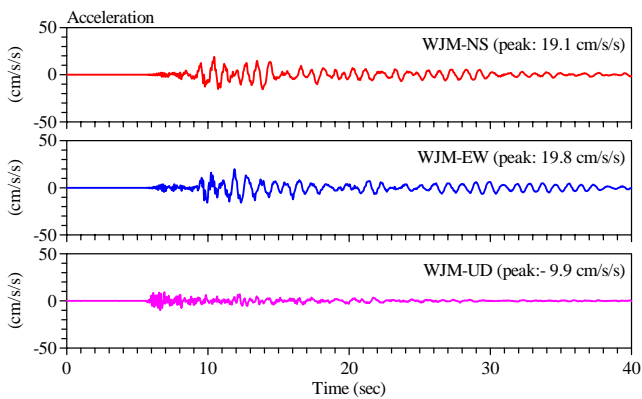


図 11 余震の加速度記録(輪島市庁舎 1F)

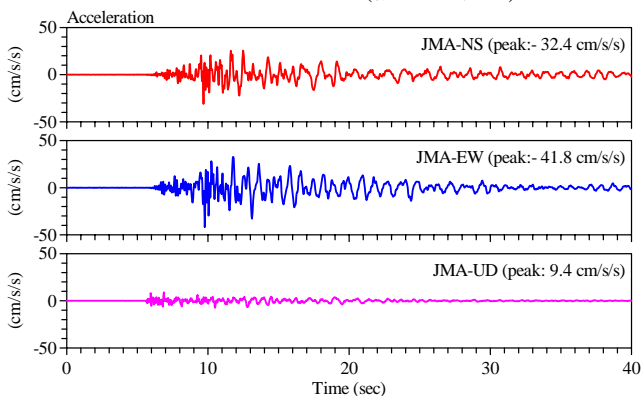


図 12 余震の加速度記録(JMA 輪島)

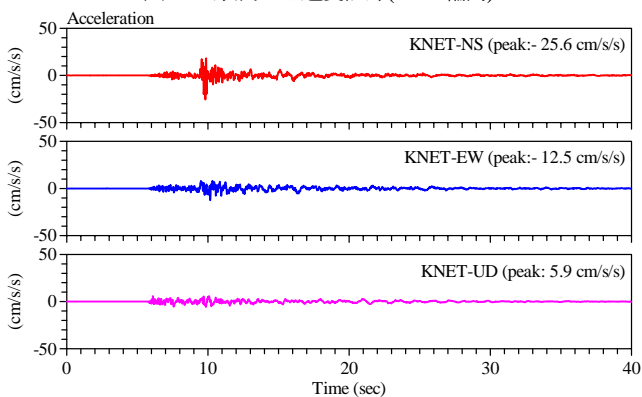


図 13 余震の加速度記録(K-NET 輪島)

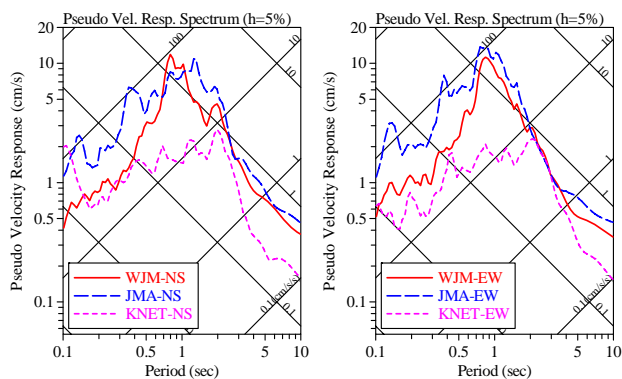


図 14 余震記録の擬似速度応答スペクトル(左: NS, 右: EW)

### III 2007年新潟県中越沖地震

#### 1) 地震の概要

2007年新潟県中越沖地震は、7月16日10時13分頃、新潟県上中越沖で発生した。この地震のマグニチュードは6.8、震源の深さは約17kmで、新潟県刈羽村割町新田、柏崎市西山町池浦、柏崎市中央町、長岡市小国町法坂、及び長野県飯綱町芋川で震度6強を、新潟県内の他の10地点で震度6弱を観測した<sup>8)</sup>。震央位置及び各地の震度を図15に示す。図中△は防災科学技術研究所K-NET<sup>2)</sup>の観測地点で、□は新潟県の震度情報ネットワークの震度計である。また破線の領域は、気象庁による余震の発生した領域で、断層領域に対応する。断層は出雲崎町から柏崎市にかけての海岸線とほぼ平行に存在し、破壊は北東から南西に向かって進行したと考えられる。

この地震の発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で地殻内の浅い地震である。断層面に関しては当初北西傾斜と南東傾斜の2説があったが、その後の分析により「大局的には南東傾斜(海から陸に向かって深くなる傾斜)の逆断層運動により発生した。また、震源域北東部では北西傾斜(陸から海に向かって深くなる傾斜)の断層も活動したと考えられる。」とされている<sup>9)</sup>。

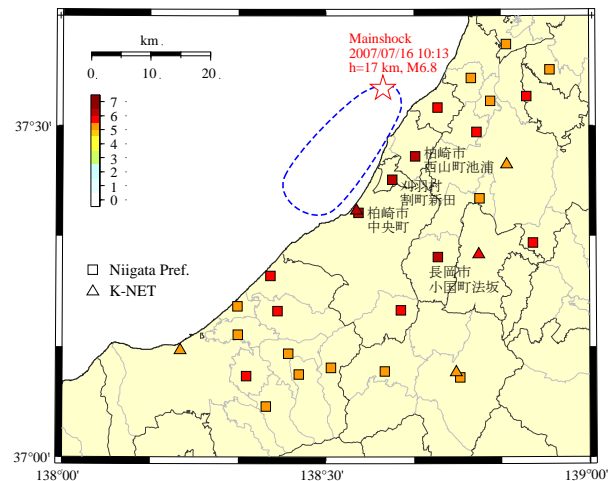


図 15 震央位置と各地の震度

#### 2) 震源近傍の強震記録

この地震では、気象庁<sup>6)</sup>、K-NET<sup>2)</sup>及びKiK-net<sup>3)</sup>の強震記録が公開されている。また新潟県や長野県などの地方自治体の震度情報ネットワークで得られた強震記録も気象庁を通じて頒布されている<sup>6)</sup>。表1に、計測震度5.5(震度6弱)以上の強震記録を示す。記号がJMAで始まるものは気象庁の震度計、数字5桁のものは新潟県震度情報ネットワークの震度計、NIGで始まるものはK-NET



の観測地点で得られた記録である。また、記号 KKNPP は東京電力柏崎刈羽原子力発電所のサービスホール(柏崎市青山町)で得られた記録である<sup>10)</sup>。表中、 $A$  は震央距離、 $I_{MA}$  は計測震度、 $PGA$  は最大加速度を表し、最大加速度は NS(北南)、EW(東西)、UD(上下)の方向成分毎に示している。

表 2 2007 年新潟県中越沖地震で得られた主な強震記録

記号	観測地点	$A$ (km)	$I_{MA}$	$PGA$ (cm/s <sup>2</sup> )		
				NS	EW	UD
NIG018	柏崎市中央町	21	6.4	668	511	360
65025	柏崎市中央町	21	6.3	472	638	323
65059	柏崎市西山町	13	6.2	841	879	566
65057	長岡市小国町	30	6.1	504	613	235
KKNPP	柏崎刈羽原発	15	6.1	338	441	590
65058	刈羽村割町新田	15	6.0	465	374	401
JMA-CB5	出雲崎町米田	11	5.9	615	494	254
65010	上越市柿崎区	37	5.9	297	447	176
65041	長岡市山古志	36	5.8	350	319	134
65013	上越市吉川区	41	5.8	308	444	104
NIG019	小千谷市	32	5.6	391	455	117
65036	長岡市上岩井	17	5.6	281	368	155
65039	出雲崎町川西	10	5.5	350	317	136
65034	長岡市中之島	24	5.5	346	318	84
65056	柏崎市高柳町	37	5.5	716	358	399
65019	上越市三和区	54	5.5	206	269	51

$A$ : 震央距離,  $I_{MA}$ : 計測震度,  $PGA$ : 最大加速度

### 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 の観測地点(NIG018、以下 K-NET 柏崎と称する)と、新潟県震度情報ネットワークの観測地点(65025、以下新潟県柏崎震度計と称する)が設置されている。それぞれの観測地点で得られた加速度記録を図 16 及び図 17 に示す。K-NET 柏崎の加速度記録(図 16)を見ると、激しい揺れが 10 秒間程度続いている。水平成分の波形に注目すると、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。新潟県柏崎震度計の加速度記録(図 17)も K-NET 柏崎と同様にサイクリックモビリティが表れている。

両者の記録の、減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 18 に示す。K-NET 柏崎の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。また新潟県柏崎震度計の記録の応答スペクトルも K-NET 柏崎とよく似た形状をしており、そのピークは NS 成分で

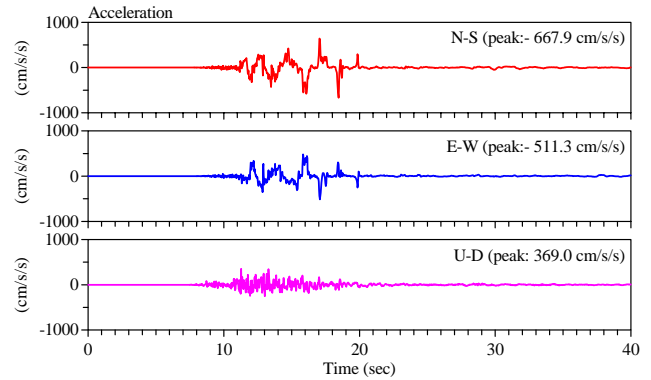


図 15 本震の加速度記録(K-NET 柏崎)

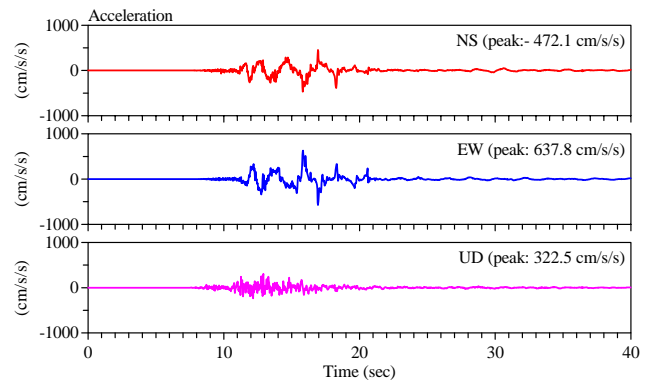


図 16 本震の加速度記録(新潟県柏崎震度計)

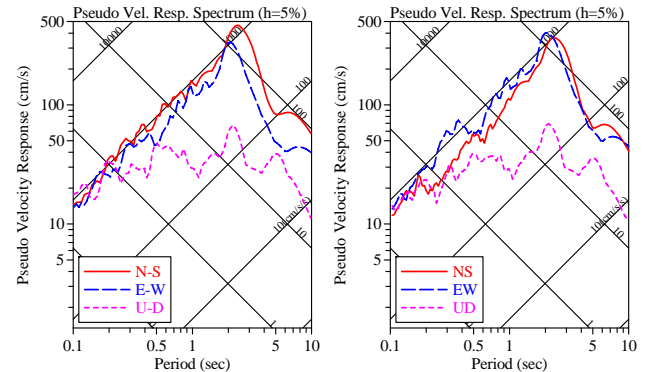


図 17 擬似速度応答スペクトル(左: K-NET 柏崎、右: 新潟県柏崎震度計)

2.2 秒、EW 方向で 2.0 秒となっている。

### ② 柏崎市西山町の記録

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(65059、以下新潟県西山震度計と称する)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を図 18 に、減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 19 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<sup>2</sup> 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

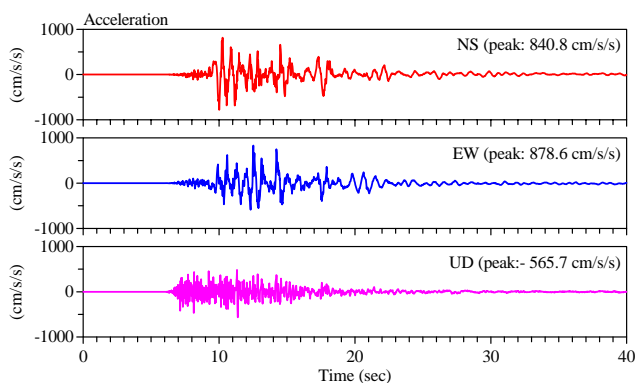


図 18 本震の加速度記録(新潟県西山震度計)

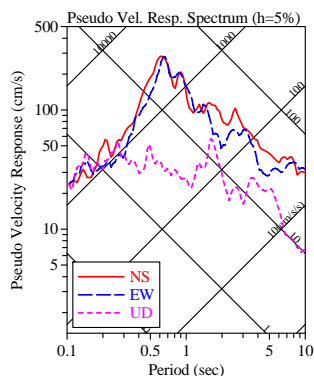


図 19 擬似速度応答スペクトル(新潟県西山震度計)

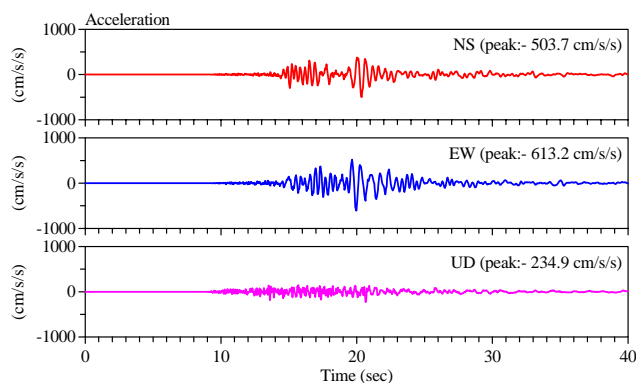


図 20 本震の加速度記録(新潟県小国震度計)

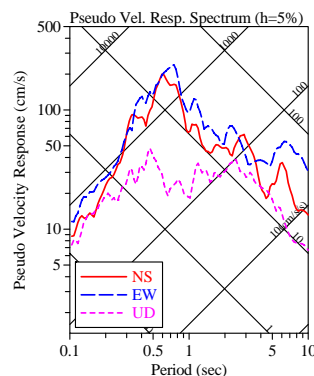


図 21 擬似速度応答スペクトル(新潟県小国震度計)

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。柏崎市中央町の記録と比べると短周期が優勢な地震動となっている。

### ③ 長岡市小国町の記録

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(65057、以下新潟県小国震度計と称する)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を図 20 に、擬似速度応答スペクトルを図 21 に示す。最大加速度は NS 方向  $504 \text{ cm/s}^2$ 、EW 方向  $613 \text{ cm/s}^2$  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。

### ④ 刈羽村の記録

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(65058、以下新潟県刈羽震度計と称する)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

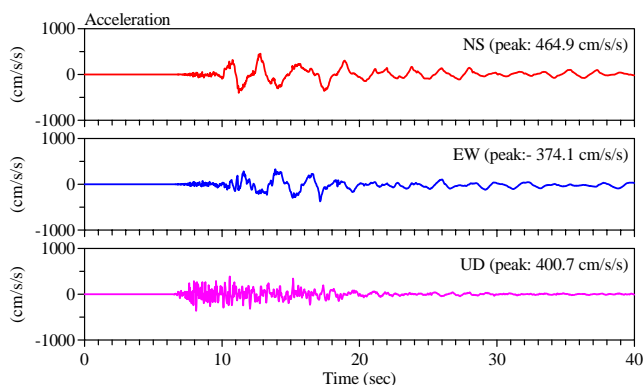


図 22 本震の加速度記録(新潟県刈羽震度計)

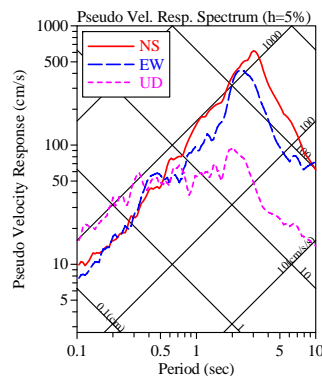


図 23 擬似速度応答スペクトル(新潟県刈羽震度計)

スペクトルを、図 22 及び図 23 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 に達する。

### 3) 建築研究所の強震記録

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。図 24 に観測地点位置を示す。

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。本節後半でこの記録を含めた小千谷市内の地震動の比較を行う。

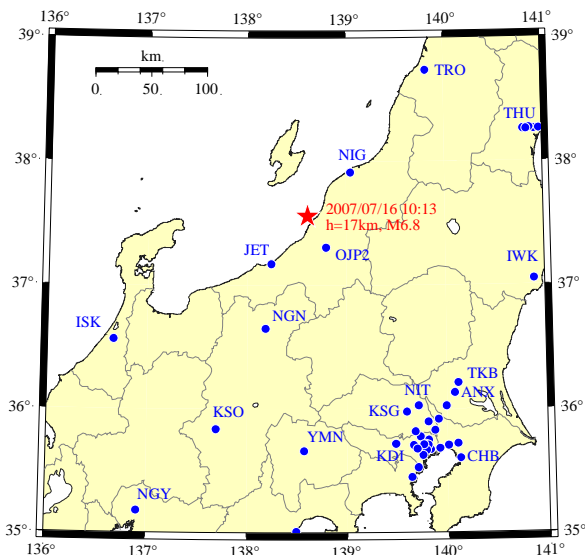


図 24 記録が得られた建築研究所の強震観測地点

このうち震度 5 以上であった小千谷小学校(OJP2)の 1 階東側(IFE)と上越社会教育館(JET)の 1 階(O1F)の加速度記録を図 25 及び図 26 に、減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを図 27 に示す。小千谷小学校は震央より南東へ約 33 km、小千谷市の市街地に建つ小学校の 1 階に強震計を設置している。強震記録から算出した計測震度は 4.7 で、震度では 5 弱に相当する。応答スペクトルは 0.3 秒から 6 秒辺りまでの周期領域で平坦な形状をしている。上越市社会教育館は震央より 54 km 南西の上越市の海沿いに位置する。ここでの計測震度は 4.8(震度 5 弱)であった。応答スペクトルの形状や応答振幅は小千谷小学校と大差ない。

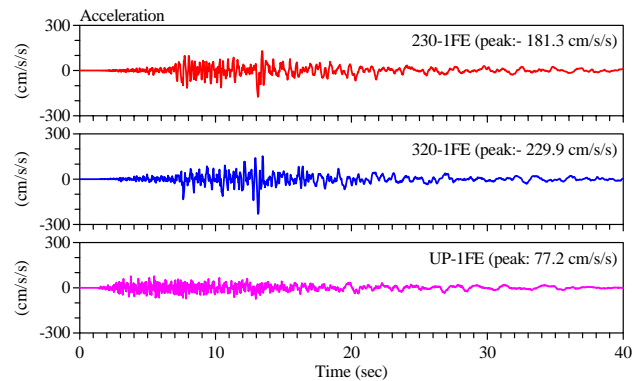


図 25 小千谷小学校(OJP2)の加速度記録

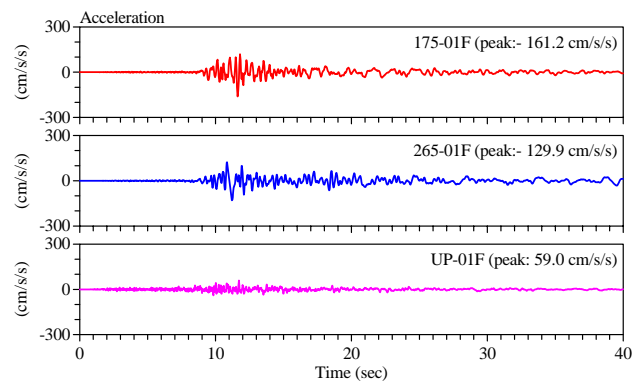


図 26 上越社会教育館(JET)の加速度記録

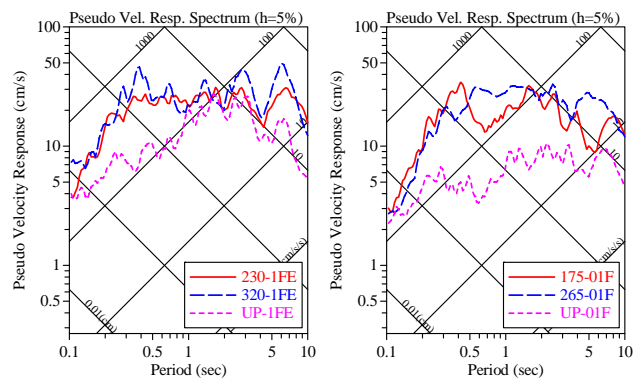


図 27 擬似速度応答スペクトル(左: 小千谷小学校、右: 上越社会教育館)

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 28 に示す。小千谷小学校(OJP2)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。

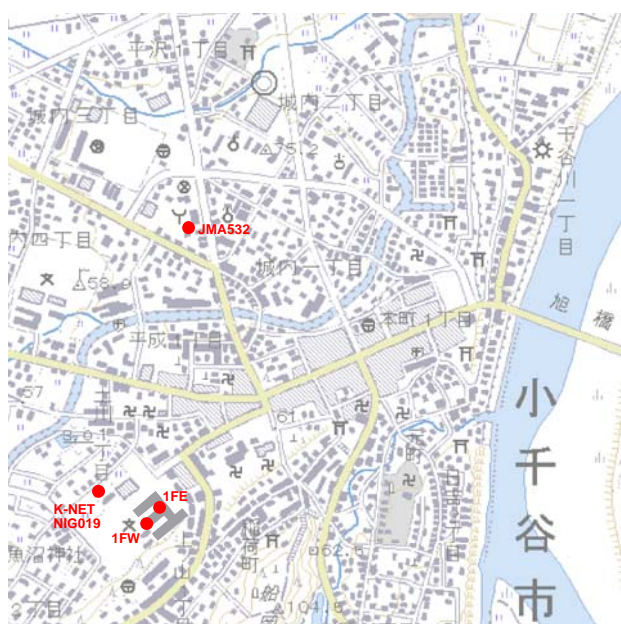


図 28 小千谷市内の強震観測地点位置(1FE, 1FW: 小千谷小学校、K-NET NIG019: K-NET 小千谷、JMA532: 気象庁小千谷震度計)。国土院の 1/25,000 地形図に加筆

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 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 29 から図 31 に示す。なお小千谷小学校(OJP2)の強震計の設置方位は、建物軸に合わせて N230°E となっているが、表 3 及び図 31 では水平成分を NS-EW 方向に変換している。

表 3 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。加速度波形の水平成分に着目すると、JMA 小千谷(図 29)の記録は短周期成分の卓越が優勢、K-NET 小千谷(図 30)の記録はある特定の周期成分が顕著、小千谷小学校(図 31)の記録は他の記録に比べて短周期成分が低減されたような特徴が認められる。

図 31 に各地点の記録の水平成分の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルを示す。左の図が NS 成分、右の図が EW 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 に対応する。いずれの方向でも 0.7 秒より長い周期成分では 3 者は良く一致している。しかし 0.7 秒以下の短周期領域では、3 地点の応答スペクトルに違いが表れる。特に顕著な違いは K-NET 小千谷の応答スペクトルの 0.4 秒前後に見られる大きなピークである。また、0.7 秒より短い周期成分では他の 2 者に比べて小千谷小学校のスペクトルが小さくなっている。小千谷小学校は建物の中の観測であり、JMA 小千谷及び K-NET 小千谷の観測機器は地盤上に設置されていることから、短周期領域における入力損失が原因として考えられる。2004 年新潟県中越地震の際の被害を考える上でも貴重な観測記録である。

表 3 小千谷市内の強震記録の最大加速度

記号	観測地点	$\Delta$ (km)	$I_{JMA}$	PGA (cm/s <sup>2</sup> )		
				NS	EW	UD
JMA532	JMA 小千谷	32	5.1	261	389	153
NIG019	K-NET 小千谷	33	5.6	391	455	117
OJP2	小千谷小学校(1FE)	33	4.7	121	286	77
OJP2	小千谷小学校(1FW)	33	4.7	150	279	126

$\Delta$ : 震央距離,  $I_{JMA}$ : 計測震度, PGA: 最大加速度

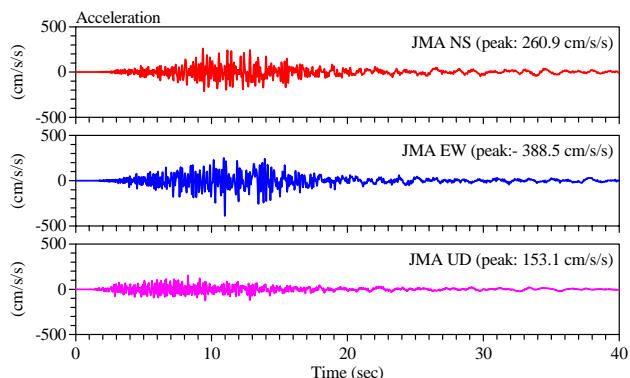


図 29 JMA 小千谷の加速度記録

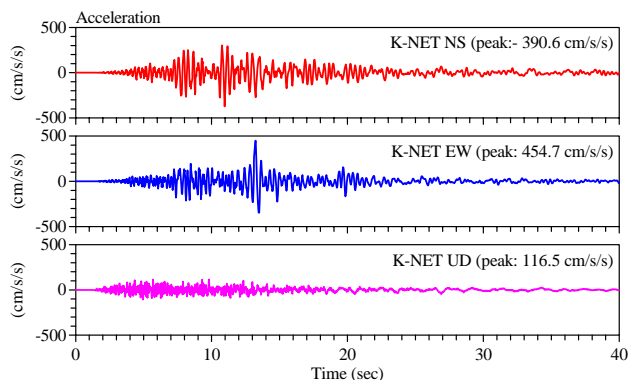


図 30 K-NET 小千谷の加速度記録

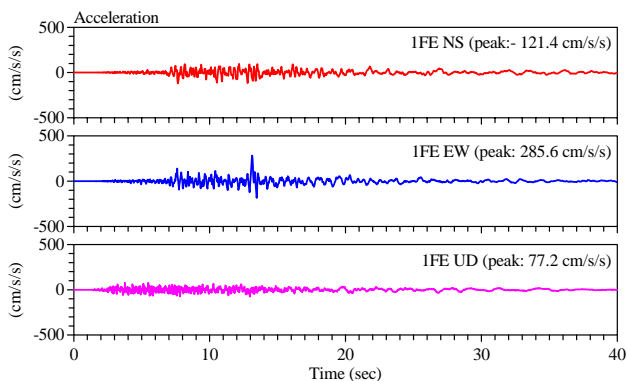


図 31 小千谷小学校(IFE)の加速度記録

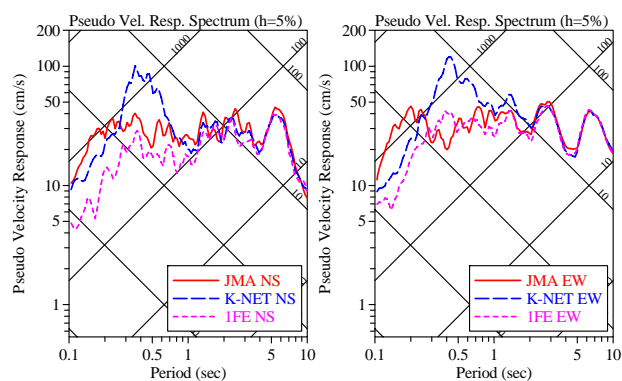


図 32 小千谷市内の記録の擬似速度応答スペクトル(左: NS、右: EW)

### 3) 余震観測

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、柏崎市内で余震観測を行った<sup>11)</sup>。このうち柏崎市役所での余震観測について以下に述べる。

新潟県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(NIG018)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おり、1968年(昭和43年)に竣工している。市役所本館建物の地下1階(B1F)及び塔屋2階展望室(7F)に2台の強震計を設置した。加えて、市役所本館に隣接する市民会館大ホール1階の西側通路の北側(1FN)と南側(1FS)に各1台の強震計を設置した。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、市役所本館と同時期に竣工している。強震計の設置位置を図33に示す。

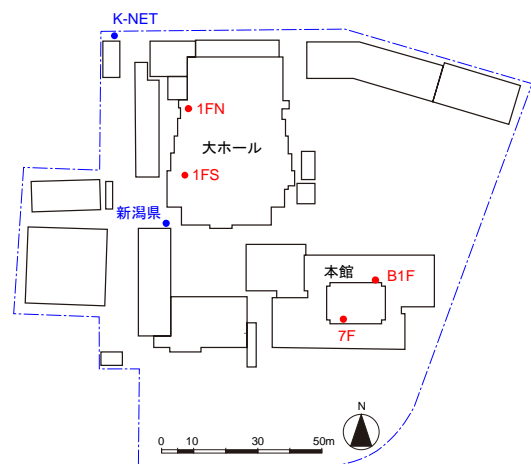


図 33 柏崎市役所敷地内の余震観測位置

2007年7月25日6時52分の余震(深さ24km、M4.8)による観測記録を用いて、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。

図34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 $39\text{ cm/s}^2$ と最も大きく、大ホール1階(1FNと1FS)がK-NETの半分弱の値、市役所本館地下1階(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の波形に重畳した短周期成分が特徴的である。

図35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の記録には短周期成分が優勢である。

各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36に、K-NETを基準とした応答スペクトル比を図37に示す。応答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0.5秒以上の周期領域でほぼ一致している。周期0.3秒辺りで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。

応答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0.3秒以下の短周期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、0.5秒前後の周期でもスペクトル比の落ち込みが確認できる。建物上部の余震記録からは、市役所本館建物の1次固有周期は0.3秒程度と推察され<sup>11)</sup>、この周期領域ではあ

る程度の入力損失も想定することができる。

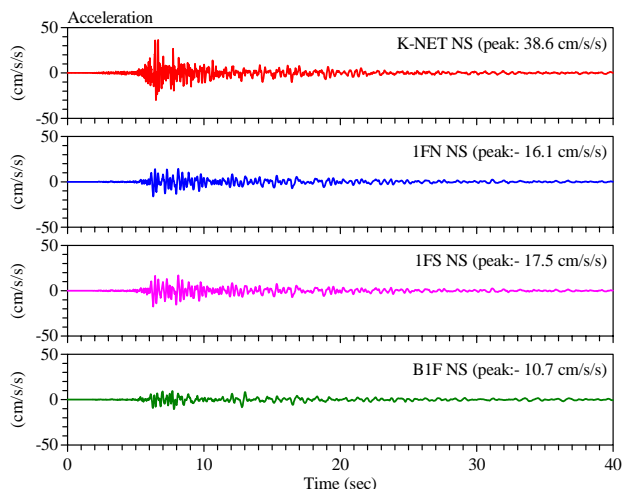


図34 柏崎市役所敷地内の余震記録(NS成分)

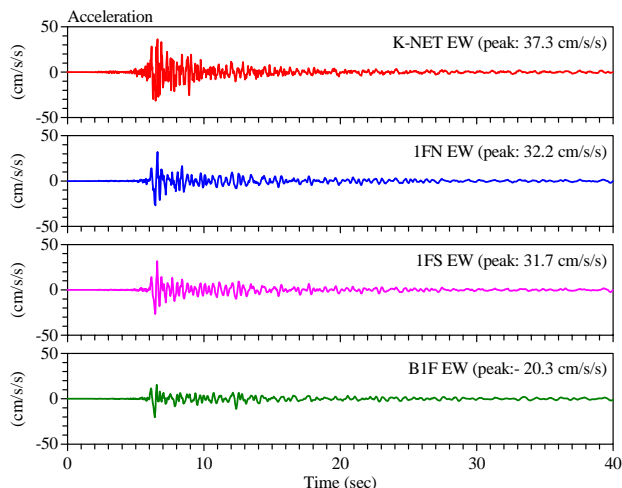


図35 柏崎市役所敷地内の余震記録(EW成分)

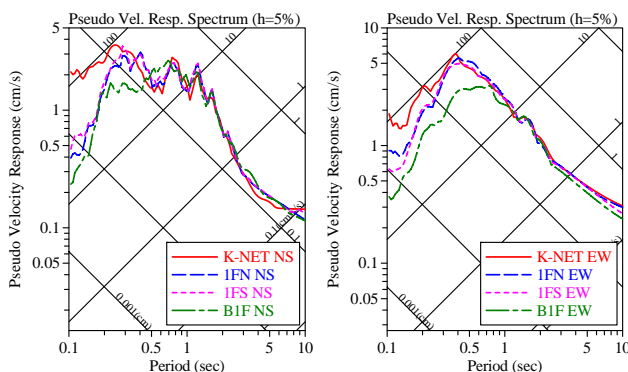


図36 柏崎市役所敷地内の余震記録の擬似速度応答スペクトル (左: NS成分, 右: EW成分)

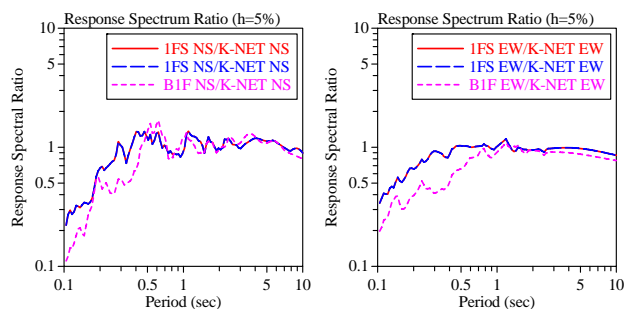


図37 余震記録の応答スペクトル比(左: NS成分, 右: EW成分)

#### IV おわりに

2007年に発生した能登半島地震と新潟県中越沖地震の強震記録を概観し、建築研究所の余震観測調査の結果や強震観測網で得られた成果を紹介した。これら2つの地震には、日本海側の海岸線に沿った地核内に震源断層を有する逆断層型の地震との共通点があり、マグニチュードが6.9と6.8と規模も同程度であった。またいずれの地震でも断層に近い海沿いの町を中心に最大で震度6強を観測し、非常に大きな強震動記録が得られている。

能登半島地震では、輪島市や志賀町富来の例に見られるように、近傍の観測地点で特性の異なった強震記録が得られている。いずれの違いも観測機器の設置場所の地盤条件に起因すると考えられ、地盤増幅の確かな把握が被害の説明に不可欠である。

新潟県中越沖地震では、柏崎市や刈羽村で、表層地盤の強い非線形挙動を窺わせる強震記録が得られている。一方でこれらの記録の大きさと観測地点周辺の建物被害との関連を説明するには、解決すべき課題が残されている。この点に関して、より詳細な検討を予定している。

兵庫県南部地震以降の観測網の充実により、震度6以上の強震記録が多数得られるようになり、強烈な地震動の特性を詳細に議論できるようになった。一方では建物の中で得られた強震記録の数は限られており、強震時の建物への入力地震動や建物の応答の実証資料は少ない。今回の地震では地震後迅速に既設の観測網を補うような余震観測を行うことで、入力地震動評価の面で一定の成果を挙げられたと考えている。強震動を受ける建物がどのように応答するのか、なぜ壊れるのか、あるいはなぜ壊れないのかを解明することは重要な課題であり、今回得られた成果の分析を通じ、この課題に取り組んでゆきたい。

## 謝辞

2007年能登半島地震及び2007年新潟県中越沖地震の余震観測調査に当たっては、国土交通省北陸地方整備局、石川県輪島市、新潟県柏崎市に多大なご協力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 気象庁: 平成19年(2007年)能登半島地震の特集,  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007\\_03\\_25\\_noto/index.html](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_03_25_noto/index.html)
- 2) 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/>
- 3) 防災科学技術研究所基盤強震観測網(KiK-net):  
<http://www.kik.bosai.go.jp/>
- 4) 八木勇治: 2007年3月25日能登半島沖の地震,  
[http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press\\_HP/yagi/EQ/20070325/](http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press_HP/yagi/EQ/20070325/)
- 5) 輪島地方合同庁舎地盤調査報告書, 建設省関東地方建設局金沢営繕工事事務所, 1983
- 6) 気象庁: 強震波形データ(95型), 気象業務支援センター, 2008
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所, 平成19年(2007年)能登半島地震建築物被害調査報告, 2007
- 8) 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](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/index.html)
- 9) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震の評価(主に断層面に関する評価),  
[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/08jan\\_chuetsu\\_oki/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/08jan_chuetsu_oki/index.htm), 2008
- 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
- 11) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所, 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震建築物被害調査報告, 2008