

2007年能登半島・新潟県中越沖地震関連報告

建築物の被害概要と特徴

構造研究グループ長 飯場 正紀

目次

- I はじめに
- II 建築物の被害概要
- III 各地の震度と地震動
- IV 木造建築物の被害
- V 搭状工作物の被害
- VI 非構造部材の被害
- VII 小規模建築物の基礎・擁壁の被害
- VIII 免震建築物の挙動
- IX おわりに
- 謝辞
- 参考文献

I はじめに

2007年(平成19年)3月25日9時42分頃、能登半島西岸沖を震源とする地震(マグニチュード6.9、以下能登半島地震)が発生し、石川県輪島市、七尾市、穴水町ほかの広い地域で、建築物に被害をもたらした。また、同年7月16日10時13分頃発生した、新潟県中越地方の日本海側を震源とする地震(マグニチュード6.8、以下中越沖地震)において、柏崎市や刈羽村等で多くの建築物等の被害が発生した。

1995年兵庫県南部地震以後、2007年12月までに、日本国内で最大震度が4を超える地震が87回発生しており、最大震度6弱が10回、6強が4回、7が1回(2004年(平成16年)新潟県中越地震)である¹⁾。

国土交通省国土技術政策総合研究所・建築住宅都市部門(以下、国総研)及び独立行政法人建築研究所(以下、建研)が連携し、地震による建築物の被害調査や余震観測を行った。調査内容は、被害の概要、地震動の特徴、木造・RC造・鉄骨造建築物、塔状

工作物、非構造部材及び宅地地盤・基礎の被害等である。

ここでは、これらの被害調査結果の概要を示す。地震動、木造建築物、搭状工作物、非構造部材及び小規模建築物の基礎・宅地の被害の特徴をまとめている。なお、ここに記述した内容は、主に国総研及び建研がまとめた既往の被害調査資料²⁾⁵⁾に基づいて作成されている。

II 建築物の被害概要

1) 能登半島地震

石川県を中心に多数の死傷者(死者1名を含め合計363名、石川県の数値は石川県発表6/27現在⁶⁾、石川県以外の数値は消防庁発表6/14現在⁷⁾)が発生した。

能登半島地震による建築物(住家及び非住家)の被害の状況は表1の通りである(石川県発表6/27現在⁶⁾)。なお、地震による火災発生に関する情報は見当たらない。

地震当日から、3月30日までに、延べ391名の判定士を投入して、

7,548棟を対象に、被災建築物の応急危険度判定が実施された。石川県内における判定結果の内訳は表2の通りである。なお、同表には、市町村の世帯数を示している。調査棟数のうち1,222棟（約16%）が危険判定、1,561棟（約21%）が要注意判定であったが、いずれも95%以上が木造に対するものであった。

2) 中越沖地震

新潟県を中心に多数の死傷者（死者15名を含め合計2,360人、消防庁発表（12/4現在⁸⁾）が発生した。

中越沖地震による住家の被害の状況は表3の通りである（消防庁発表12/4現在⁹⁾。なお、各市町村の規模を把握する際の参考のため、各市町村の世帯数（新潟県庁⁹⁾、11/1現在）を併記した。柏崎市の被害件数が圧倒的に多い。なお、地震による火災は、柏崎市において建築物の火災が1件、その他の火災が1件、長岡市でその他の火災が1件発生し、火災件数としては計3件である⁸⁾。その他、柏崎刈羽原子力発電所で3号機の変圧器が延焼した。

新潟県は、多くの県に対して、被災建築物の応急危険度判定の広域応援を要請し、34,048棟の応急危険度判定を行った。判定結果を表4に示す¹⁰⁾。なお、各市町村の規模を把握する際の参考のため、各市町村の世帯数（新潟県庁⁹⁾、11/1現在）を併記した。

さらに、国土交通省は、7月20日に本省職員1名と（独）都市再生機構職員2名を現地に派遣し、宅地の危険度判定に対応した。表5に結果を示すが、2,082件の宅地の危険度判定を行った¹⁰⁾。

表1 2007年能登半島地震による石川県の建築物の被害

市町村	世帯数	建築物の被害				非住家被害
		住家被害			一部損壊	
		全壊	半壊	一部		
輪島市	12,026	499	1,029	7,658	2,814	
穴水町	3,752	72	92	1,133	267	
七尾市	21,567	50	238	2,262	333	
志賀町	7,919	10	203	2,251	781	
羽咋市	8,197	3	13	131	27	
中能登町	6,120	3	6	158	13	
能登町	7,725	1	10	190	18	
珠洲市	6,488			158	23	
かほく市	10,741	3	2	17	11	
宝達志水町	4,661		3	21	1	
加賀市	26,368			6	6	
金沢市	184,680				16	
小松市	36,783				2	
白山市	36,075				7	
能美市	15,448				1	
合計		641	1,596	13,987	4,321	

注：表中の数値は石川県発表 6/27 現在⁶⁾

表2 2007年能登半島地震による石川県の被災建築物の応急危険度判定結果

自治体	世帯数	調査数	危険（赤）				要注意（黄）				調査済（緑）				班数	判定士数	
			木造	R C 造	鉄骨 造	計	木造	R C 造	鉄骨 造	計	木造	R C 造	鉄骨 造	計			
輪島市	旧輪島市	9,883	3,767	241	5	5	251	364	3	16	383	2,936	40	157	3,133	44	88
	旧門前町	3,349	1,886	609	3	2	614	541	4	2	547	674	22	29	725	35	70
	輪島市計	13,232	5,653	850	8	7	865	905	7	18	930	3,610	62	186	3,858	79	158
穴水町	3,752	685	131	0	3	134	182	1	5	188	330	9	24	363	15	31	
能登町	7,725	14	0	0	0	0	8	0	0	8	6	0	0	6	1	2	
七尾市	21,567	1,075	178	1	4	183	354	4	10	368	497	16	11	524	65	182	
中能登町	6,120	18	11	0	0	11	4	0	0	4	3	0	0	3	9	18	
志賀町	7,919	86	24	1	0	25	56	0	1	57	3	1	0	4			
羽咋市	8,197	17	4	0	0	4	6	0	0	6	7	0	0	7			
計		7,548	1,198	10	14	1,222	1,515	12	34	1,561	4,456	88	221	4,765	169	391	

III 各地の震度と地震動

1) 能登半島地震

能登半島地震は、マグニチュード6.9、震源深さ11kmである¹¹⁾。

この地震によって観測された各地の震度を表6に示す¹¹⁾。表中の*はK-NET¹²⁾の観測地点を、**は石川県震度情報ネットワークの観測地点を表し、印のないものは気象庁(JMA)の震度観測地点である。

表3 2007年新潟県中越沖地震による建築・住宅の被害

県	市町村	世帯数	住家被害		
			全壊	半壊	一部損壊
新潟県	新潟市	303,139		1	60
	長岡市	96,864	10	450	5,522
	三条市	33,658		1	95
	柏崎市	33,898	1,049	4,372	22,052
	小千谷市	12,360			235
	十日町市	19,934	1	14	181
	見附市	13,366			458
	燕市	26,713	2	13	814
	糸魚川市	17,618			6
	妙高市	12,242		2	33
	上越市	71,194	14	62	2,621
	阿賀野市	13,573			1
	魚沼市	13,491			6
	南魚沼市	18,841			6
	出雲崎町	1,832	17	130	1,381
	刈羽村	3,245	166	441	650
	川口町	1,519		1	8
計	695,007	1,259	5,487	34,129	

注、被害棟数は消防庁発表(12/4現在)⁸⁾

世帯数は新潟県庁ホームページ⁹⁾より

表4 2007年新潟県中越沖地震による被災建築物の応急危険度判定結果¹⁰⁾

市町村名	世帯数	判定棟数	危険(赤)	要注意(黄)	調査済(緑)
柏崎市	33,898	32,090	4,616	8,295	19,179
刈羽村	3,245	1,474	291	497	686
出雲崎町	1,832	484	48	151	285
計		34,048	4,955	8,943	20,150

注、世帯数は新潟県庁ホームページ⁹⁾より

これらの地点の震度に、KiK-net¹²⁾の観測地点の震度を加えて地図上にプロットしたものが図1である。大きな震度が観測された地点は、断層上及び断層に近い地点となっている。

各地で、地震動が観測されているが、ここでは輪島市における観測記録を取り上げる。輪島市街には、JMAとK-NETの地震観測地点がそれぞれ1箇所ある。輪島市河井町のK-NET輪島(ISK003)の地点は、中期から後期の中新世の丘陵部にあり¹³⁾、公開されている土質データ(図2)によると、厚さ10cmの表土の下に岩盤に

表5 2007年新潟県中越沖地震による被災宅地の危険度判定実施結果¹⁰⁾

市町村名	判定宅地	危険(赤)	要注意(黄)	調査済(青)
柏崎市	1,398	344	198	856
刈羽村	93	27	21	45
出雲崎町	489	22	51	416
上越市	102	26	37	39
計	2,082	419	307	1,356

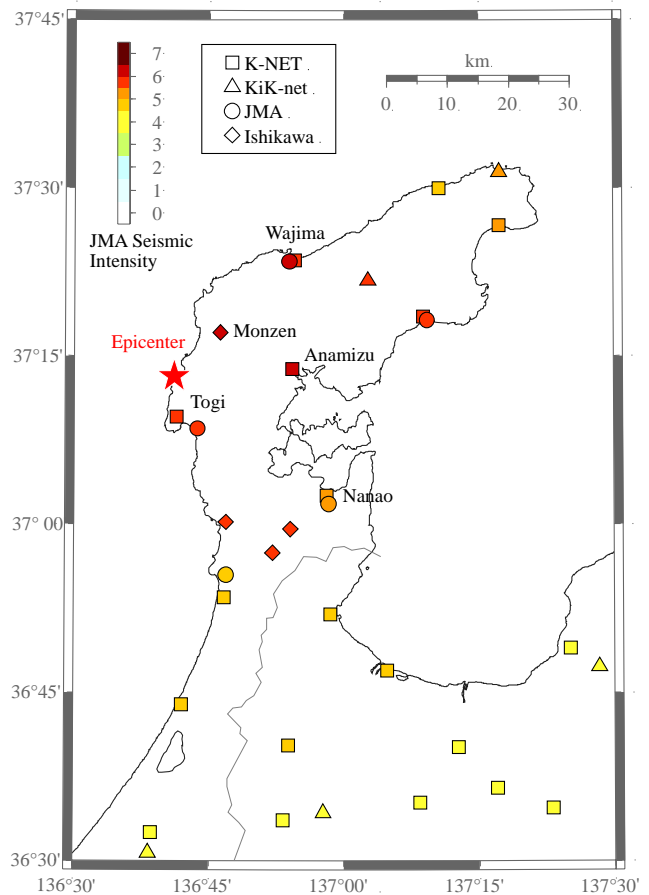


図1 各地の震度

分類される層が現れ、深さ 0.2~20m にせん断波速度 230m/s~790m/s の層がある¹²⁾。JMA 輪島（輪島市鳳至町）観測地点では、図 3 に示す深さ 35m までのボーリング柱状図が得られており¹⁴⁾、それらの N 値と、地盤の土質・堆積年代や深さに基づいた経験式¹⁵⁾により換算されるせん断波速度（換算 Vs）を示した。この地盤は、深さ 24m までは粘性土と砂質土が互層を成し、せん断波速度は Vs60m/s 程度から 200m/s 程度にあり、深さとともに増加している。それ以後も Vs が徐々に増加し、深さ 35m 程度で工学的基盤と考えられる砂岩が現れる。

図 4 に、K-NET 輪島（震度 6 弱）と JMA 輪島（震度 6 強）の NS 方向成分の加速度記録を示す。最大加速度は同程度(500 cm/s²)であるが、工学的基盤が表層近くにある K-NET 輪島では、主要動の後は、加速度振幅が小さくなっている。一方、JMA 輪島の記録には、周期の長い波形が確認される。JMA 輪島と K-NET 輪島の距離は約 1 km であるが、JMA 輪島は地形あるいは表層地盤の影響を大きく受けているものと考えられる。図 5 に、観測記録と建築基準法の告示で示される地震動の加速度応答スペクトル（減衰定数 5%）を比較した。K-NET 輪島の記録と建築基準法の H12 建設省告示 1461 号に示される解放工学的基盤での安全限界時の値との比較を、JMA 輪島の記録を表層地盤で増幅された後の地表面の結果と見なし、限界耐力計算（H12 建設省告示 1457 号）による地盤増幅係数を含めた値と比較した。K-NET 輪島の記録は、短周期を除いて、告示 1461 号の解放工学的基盤での値とほぼ同等である。また、JMA 輪島の記録は、限界耐力計算で求めた加速度応答スペクトルより、1.7 秒付近の大きな加速度値を示す。

2) 中越沖地震

中越沖地震の本震は、マグニチュード 6.8、震源深さ 17km である¹⁶⁾。この地震によって観測された各地の震度を表 7 に示す¹⁶⁾。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

表 6 能登半島地震の各地の震度（震度 5 強以上）⁸⁾

震度	観測地点
6 強	七尾市田鶴浜町**、輪島市鳳至町、輪島市門前町走出**、穴水町大町*
6 弱	輪島市河井町*、志賀町富来領家町、志賀町香能*、志賀町末吉千古**、中能登町末坂**、中能登町能登部下**、能登町宇出津、能登町松波*
5 強	七尾市本府中町、七尾市袖ヶ江町*、珠洲市正院町*

注) *K-NET、**石川県震度情報ネットワーク

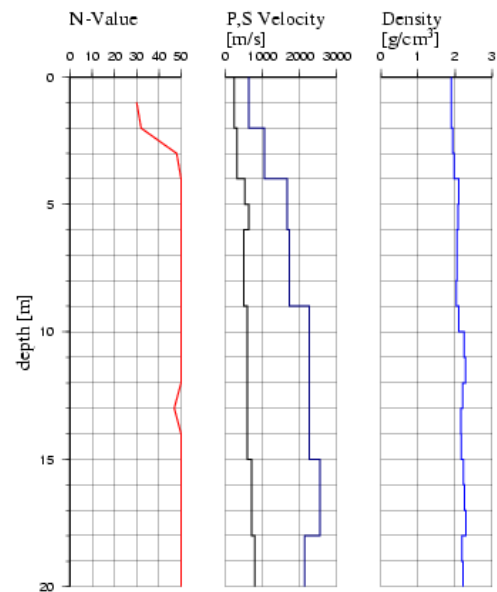


図 2 K-NET 輪島 (ISK003) の地盤情報¹²⁾

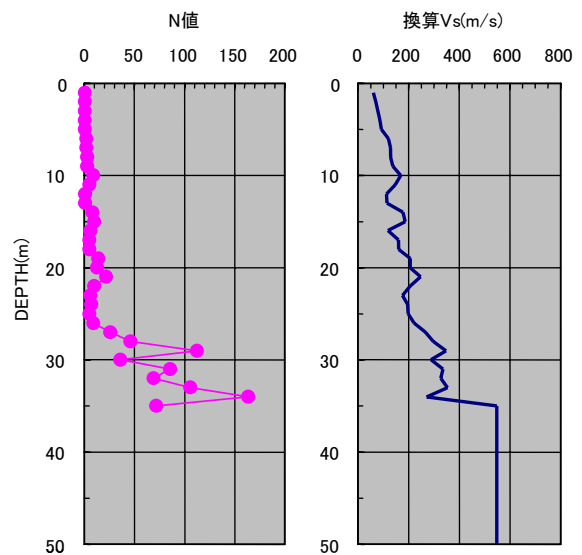


図 3 JMA 輪島での N 値と換算したせん断波速度¹⁴⁾

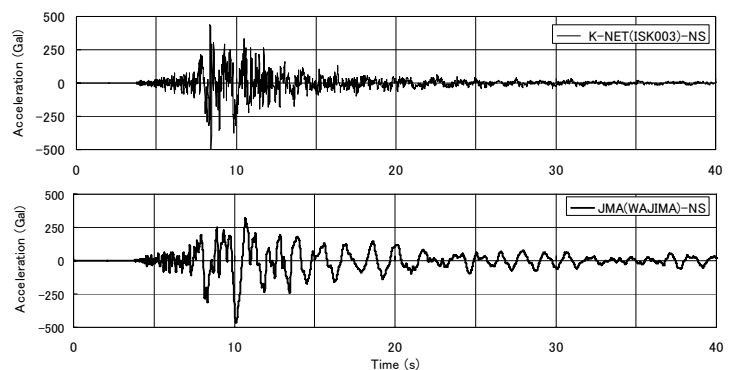
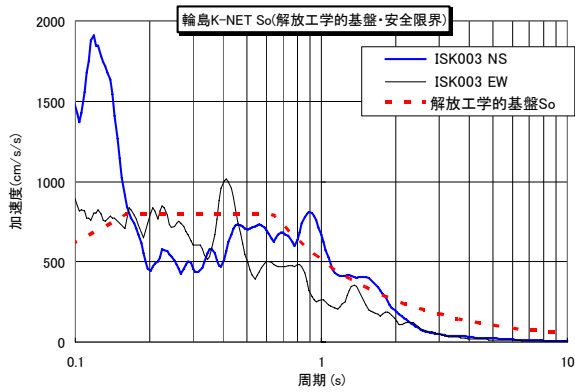
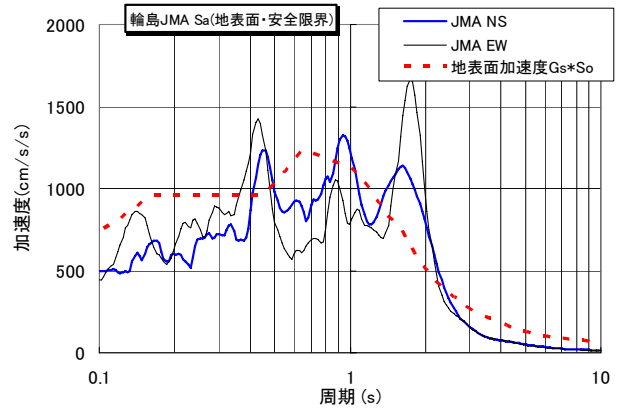


図 4 K-NET 輪島と JMA 輪島の観測記録（NS 方向成分）



a) K-NET 輪島の記録と解放工学的基盤の加速度応答スペクトル



b) JMA 輪島の記録と地表面の加速度応答スペクトル

図5 加速度応答スペクトルの比較

表7 中越沖地震の各地の震度(震度5強以上)¹⁶⁾

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*

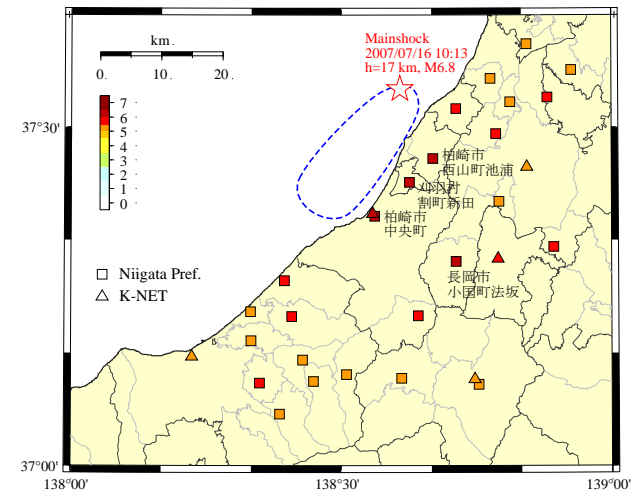


図6 地の震度(震度5弱以上) (☆は本震の震央、点線は余震域、□は新潟県及び長野県震度情報ネットワークまたは気象庁、△はK-NETの観測地点)

防災科学技術研究所強震ネットワーク(K-NET)¹²⁾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6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いる。

柏崎市中央町の柏崎市役所の敷地内には、K-NET 観測地点(NIG018)として地震計が設置されている。本観測地点では、図7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¹²⁾。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。K-NET 柏崎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(減衰定数5%)を図8に示す。K-NET 柏崎の加速度記録では、激しい揺れが10秒間程度続いて

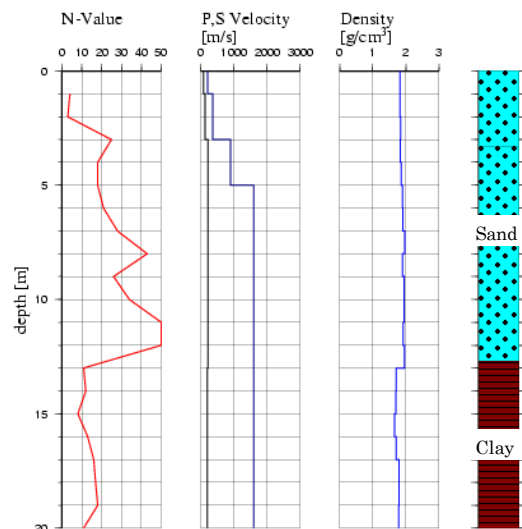


図7 K-NET 観測地点のボーリング調査結果¹³⁾

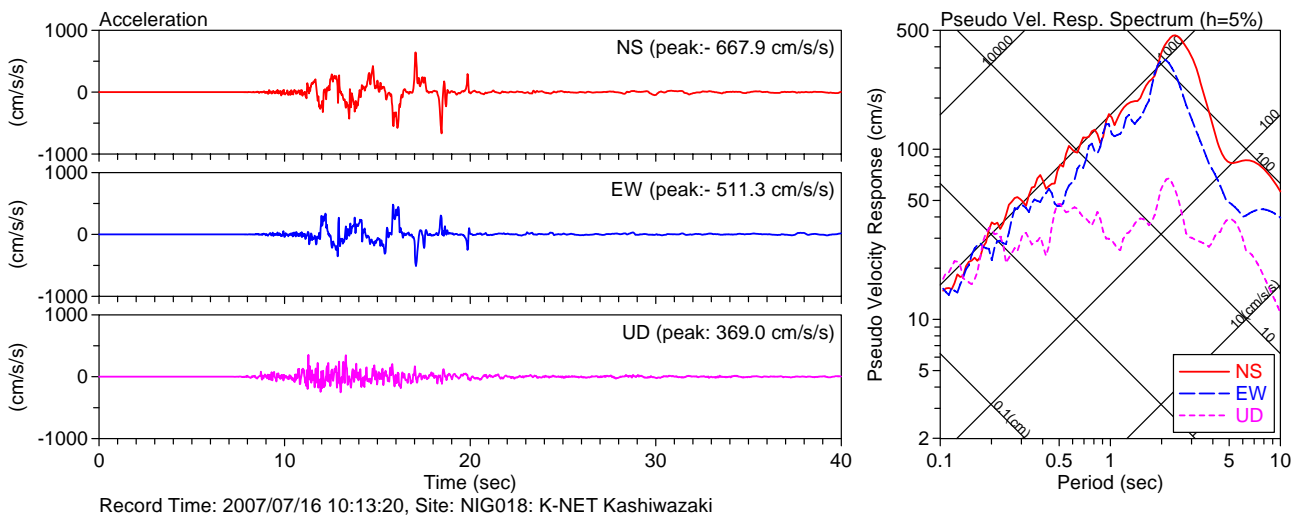


図8 加速度波形と疑似速度応答スペクトル(K-NET 柏崎(NIG018))

いる。水平成分の波形には、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でのスパイク状の波形が現れる。本地盤において、地震応答解析が行われており、表層のから5から11mの範囲で、地中の間隙水圧が上昇する結果が報告されている¹⁷⁾。疑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。

- 集中している。
- 2) 被災地の比較的古い木造家屋の多くは、漆器搬出路等として使用されてきた通り庭を有する町屋建築で、総じて壁量が少ない。
- 3) 輪島市の旧門前町地域で、特に道下地区、門前・館・走出地区(写真3)の被害が大きく、かつ被災建築物の割合も高い。
- 4) 被害が集中した道下地区では、町屋建築としては典型的に前面道路と平行方向の壁量が直角方向より不足しており、道路と直角方向への残留変形が目立った(写真4)が平行方向の変形の

IV 木造建築物の被害

1) 能登半島地震

能登半島地震による木造建築物の被害の状況を調査した結果、以下の知見を得た。

- 1) 木造建築物の被害は、土塗り壁などを有する比較的古い構法による木造家屋(写真1)、店舗併用住宅(写真2)、比較的簡素な作りの倉庫・納屋の類(土蔵を含む)に



写真1 大破した比較的古い木造家屋



写真2 大破した店舗併用住宅



写真3 門前地区で軒並み倒壊する家屋群



写真4 家屋の残留変形が目立った道下地区

方が大きかった。

5) 輪島市(旧輪島市地域)の被害は、旧門前町地域よりも少なく、軽微であるが、鳳至地区、河井町地区には、選択的に倒壊した家屋や大破した家屋などが複数見られた。



写真5 K-net 穴水とはほぼ無被害の木造住宅

6) 穴水町の被害は、その程度、割合共に輪島市より小さいが、のと鉄道穴水駅周辺の店舗併用住宅に被害が多く見られた。



写真6 比較的古い構法による木造家屋の被害

7) 震度6強を記録した穴水町大町のK-netの地震計は河川の土手の側に設置されており、隣接する木造住宅はほぼ無被害(写真5)であった。



写真7 軒並み倒壊した倉庫・車庫

2) 中越沖地震

中越沖地震による木造建築物の被害の状況を調査した結果、以下の知見を得た。

- 1) 木造建築物の被害は、土塗り壁などを有する比較的古い構法による専用住宅(写真6)、店舗併用住宅、土蔵を含む比較的簡素な造りの倉庫・納屋の類に集中している。
- 2) 柏崎市中心市街地の木造家屋の多くは築50~60年以上と推定される家屋が多く、特に柏崎市東本町、新花町付近では、倒壊家屋が連続する状態が複数確認された。
- 3) 柏崎市茨目、上田尻、春日等の地区の木造家屋は、築30~40年以下と推定される比較的新しいものも多く、これらの地区における被害は倉庫、車庫、納屋、作業所の類の被害(写真7)が中心で、大きな被害を受けた住宅の割合は低い。
- 4) 柏崎市西本町、茨目、松波、橋場町、山本町、刈羽村刈羽などの地区においては、一部に液状化するなどの地盤の被害も見られ、これが原因と推定される上部構造の被害例(写真8)も見られた。

高さは59メートルである。敷地は、日本海と鯖石川に挟まれた海岸沿いの荒浜砂丘の南の端あたりの高台にあり、本震の震央から南南西、距離18kmに位置している。敷地およびその周辺は、厚い砂質地盤である。

煙突の構造は、正方形箱形断面を有する自立型であり、外筒は高さ58メートル、鉄筋コンクリート造で、その内部には鋼製の2本の内筒(高さ59メートル)がある(写真9)。外筒は、一辺の寸法がおよそ4.6メートルの正方形断面を有しており鉄筋コンクリート造の壁4枚を正方形に並べた構造となっている。外筒は、下から壁厚、壁筋を高さ方向に減らしていくように設計されている。高さ方向の途中では、壁主筋がダブル配筋からシングル配筋に変更され、鉄筋径も

V 塔状工作物の被害

柏崎市、長岡市及び小千谷市にある5棟の塔状工作物の調査を行った。以下に被害の発生した工作物について示す。

1) 柏崎市橋場の塔状工作物

本塔状工作物は、1992年2月に竣工したゴミ処理施設の自立型煙突で、



写真8 地盤変状により不同沈下した店舗併用住宅



写真9 塔状工作物(自立型煙突)の全景

変更されている。ほぼ同じ高さ位置で、帯筋もダブル配筋からシングル配筋に変更され、帯筋間隔も変更されている。なお、帯筋量は、壁隅角部においても各壁平板部分とほぼ同量とされている。外筒と内筒は、高さ13メートル毎に、つなぎ梁により接続されており、その部分には鋼製である内筒の温度伸縮による変位を吸収できるように、鉛直方向のローラーが設置されている。



写真10 煙突の北側面



写真11 煙突と木造工場

煙突の4面には、採光と換気のために、高さ13メートル毎に幅約0.5メートル、高さ約1.5メートルの縦開口が設けられている。煙突の最下部には、東側面(写真9の正面)に機器搬入用の高さ約7メートルの縦開口が、その反対側のゴミ処理棟側には、水平煙道を煙突に導き入れるための縦開口(幅約



写真12 体育館天井の被害(1)



写真13 体育館天井の被害(2)

1メートル、高さ約3メートル)が2つ、水平に並べて設けられている。水平煙道と外筒開口の間には、防水用の蓋が設置されているが、水平煙道周囲に7センチメートルほどの厚さの断熱材が巻き付けられているため、地震時には、断熱材の厚さの変形までは水平煙道と外筒の衝突を回避できる構造となっている。

煙突の地震被害は、鉄筋コンクリート造外筒の折損および一部崩落である(写真9、写真10)。地上から高さがおよそ17メートル付近に水平破断面が見られる。水平破断面の上部及び下部への曲げひび割れ領域の進展などは見られなかった、一方で、水平破断面の周辺にはコンクリートの剥落や鉄筋の露出などの破壊が発生し、折損位置より上の部分が北西方向に約60cm水平移動し、さらに鋼製の内筒をガイドとするようにして、およそ6メートル降下して崩落の進行が止まったものである。調査時点での上部の煙突の傾きはおよそ1/25であった。これほど傾いているにも関わらず鉄筋コンクリート造外筒が転倒しなかった理由は、鋼製の内筒が、上部の鉄筋コンクリート造外筒のP-Δ(デルタ)効果による水平力を、支えているためと考えられる。

なお、敷地内の煙突周辺の地盤には、不同沈下や地割れは見られなかった。

2) 柏崎市新橋の塔状工作物

本塔状工作物(写真11)は、高さが約20メートル、1937年頃竣工の鉄筋コンクリート造自立型煙突である。

この煙突は、コンクリートの継ぎ目と思われる高さで、輪切りに3本に折れ、上2本が倒壊し、下1本が残っている。倒壊した方向は、ほぼ北方向である。周辺の木造工場の倒壊により近寄ることが出来なかったが、煙突の断面には鉄筋が確認された。

VI 非構造部材の被害

1) 能登半島地震

非構造部材の地震被害調査は主に建物被害情報のあった公共建物について行った。

写真12は平成元年に竣工した小学校(閉校)の体育館の天井被害である。構造はRC造、屋根は山形H形鋼鉄骨造である。天井は、桁行方向にクロスTバー、梁間方向にメインTバーが配置されている。天井面は中央部が平坦な山形をしており、平坦な部分から勾配のある部分に変わる箇所まで天井面が分かれている。

被害としては、グラスウールボードが多数脱落していた。脱落箇所は、妻壁際、照明器具部分、天井が桁と取り合う段違い部分の垂直面が主な箇所であった。舞台と反対側の妻面では、長さ約1.3m、質量約800gのクロスTバーが複数本落下していた。窓の被害は見られなかった。構造的には、体育館アリーナの2階ギャラリーの床レベルで、柱に曲げひび割れがあった。

写真13は昭和60年竣工の小学校(閉校)の体育館における天井被害である。構造はRC造、屋根は山形H形鋼鉄骨造である。

天井は、梁間方向にTバーが、桁行方向にHバーが配置されている。HバーがTバーに留められていた形跡は見られない。吊りボルトはH鋼梁に溶接されたり屋根折板に取り付けた金属部材に溶接されたりしている。天井パネルはロックウール吸音板で、幅300mm×長さ1,657mm又は1,480mm×厚さ15mmである。

ほぼ全面で天井パネルが落下していた。構造的には屋根面の水平ブレース1箇所わずかな変形が見られる程度であった。

写真14は昭和54年竣工の鉄骨造3階建て校舎の間仕切り壁の被害である。校舎は張間方向はブレース構造、桁行き方向はラーメン構造である。柱はH形鋼、梁は両端をプレートガーダーとし、中央部をラチス梁としている。構造的被害は確認されていない。

教室の内装は多くの箇所天井勝ちであった。天井は軽量鋼製下地に9mmの化粧ロックウール吸音板による仕上げとなっていた。間仕切り壁は建築用鋼製下地材にせっこうボードを2枚張りとしたものである。間仕切り壁が面外方向に移動しており、中には写真に示すように転倒しているものもあった。この間仕切り壁は天井パネルにねじ止めされ、教室窓側のH形鋼柱にも留め付けられているものの、廊下側の壁には留められていなかった。3階にある教室の間仕切り壁の被害が特に大きかった。その他、ALCパネルの内壁に目地に沿ったひび割れが見られた。

2) 中越沖地震

非構造部材の地震被害調査を主に公共建物について行った。公共建物について各自治体から構造体の被害報告がほとんどない中、非構造部材の被害は少なからず報告されている。

写真15は平成5年竣工の体育館の天井被害である。平屋建てであり、構造は下部がRC造、上部が鉄骨造である。張間方向は、鉄筋コンクリート柱(下部)とH形断面の鉄骨柱(上部)およびH形断面の鉄骨梁によるラーメン構造である。桁行き方向は鉄筋コンクリートラーメン構造(下部)、X形の鉄骨軸組筋かい構造(上



写真14 教室の間仕切り壁の転倒



写真15 体育館天井の被害(3)



写真16 防火扉の被害



写真17 和室の被害

部)である。軸組筋かいは円形鋼管を用いている。

構造について、鋼筋かいは材の割り込みプレートで高力ボルト接合孔欠損部での引張破断、X型鋼筋かいは材中央交差部のガセットプレートで面外変形、鉄骨柱脚部でコンクリートの破壊やひび割れ、一部アンカーボルトの引き抜け等の被害が見られた。

非構造部材は天井、内壁、窓ガラス、外壁に被害が見られた。天井は天井面材がほぼ全面で脱落しており、野縁や野縁受けの脱落も見られた。内壁では有孔合板が下地から浮いていた。ガラスはギャラリ脇の窓ガラスが、ブレースのあるスパンでのみ計15枚破損していた。外壁は体育館ステージを囲む外壁の押出成形セメント板が、破損・脱落していた。

写真16は平成10年に増築を行ったコミュニティセンターの防火扉の被害である。鉄骨造2階建て、角形鋼管柱とH形断面柱のラーメン構造で、構造体に目立った被害は見られなかった。

非構造部材については防火扉の開扉に支障が出ていた。被害があったのは2階に隣り合わせにある防火扉2箇所である。これらの防火扉は新旧接続箇所であって当初の建物側に取り付けられており、増築部に向かって開くようになっている。増築部の床仕上材がせり上がって防火扉が開かなくなっていた。図面によると仕上材がせり上がった床は増築した建物の柱から持ち出した片持梁に支えられており、床仕上材のせり上がりは床が当初の建物に接している箇所のみで見られた。

写真17は平成元年竣工のコミュニティセンターでの天井被害である。構造は鉄骨造2階建て、角形鋼管柱を用いたラーメン構造である。1階に事務室、会議室、講堂などが、2階に和室（28畳と21畳の2室）、調理室、児童館などがある。構造体には、一部の柱脚のコンクリート部分に亀裂や剥落が見られた。

非構造部材の被害が建物内の各所の天井に見られた。玄関ホール吹き抜け部分の天井は四隅の柱付近で破損して部分的に落下していた。2階の和室では天井面の相当部分が落下した（写真17）。和室の天井は中央の格天井の部分と周辺の口の字型の部分に大きく分けられる。口の字の天井を構成する下地材は隅では突き付けとなっており、格天井と口の字の天井も下地材はつながっていなかった。2階の児童室では壁際部分の天井が落下していた。調理室では天井の部材が一部落下していた。

Ⅶ 小規模建築物の基礎・擁壁の被害

1) 能登半島地震

輪島市門前町道下など今回の調査地点の住宅は築数十年の古い木造住宅が多いため、その基礎形式は地盤面近くに土台を設置したもの（以下、土台基礎）やブロック基礎が多く、土台基礎等の住宅の床下には礎石・玉石・ブロックの上に設置した束等が認められた。外見から判断して無筋コンクリートと思われる基礎も多かったが、地上に立ち上げたブロックや土台基礎の外周を改修工事の際にモルタル等で化粧したと考えられるものもあった。

ひび割れ・欠損などが認められた基礎は、ブロック基礎や無筋コンクリートと考えられるものである。写真18の左のように木質の土台の外周をモルタル等で覆っているものの被害も認められた。無筋コンクリートの基礎の場合は、大きなひび割れや損傷がいくつか認められた（写真19）。また、土台から上が地震被害のために解体・撤去され、残されている無筋コンクリート造の基礎には、アンカーボルトが設置されていないものも認められた。

鉄筋コンクリート造の基礎を有する住宅の被害は、地盤面と土



写真18 ブロック基礎の被害例



写真19 コンクリート基礎の被害

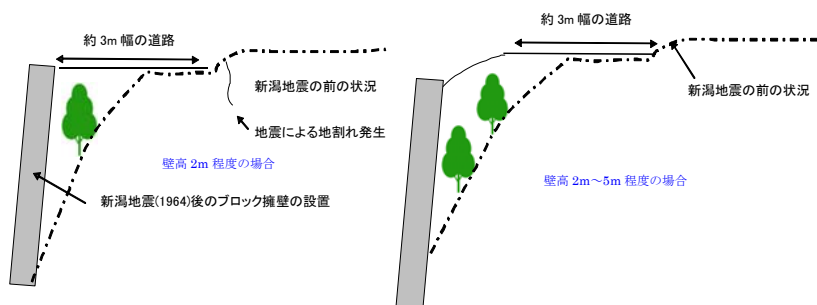


図9 転倒したブロック積み擁壁（壁高2～5m）の概要

間との段差や基礎コンクリートの軽微なひび割れ・欠損、土間コンクリートのひび割れなどを除くと、今回調査した範囲では被害を確認できなかった。

2) 中越沖地震

i) 擁壁の被害

聞き取り調査によると、柏崎市番神町では、1964年新潟地震の際に海側及び山側の端部の斜面に地割れが発生し、擁壁等の補強が実施された地域である。図9に、今回の地震で転倒したブロック積み擁壁（壁高2～5m）の概要を示した。かつては、松を有するがけ面上に細い道が設けられていたが、1964年新潟地震後に、壁厚約50cm程度の間知ブロック擁壁（高さ2～5m、勾配は約75度）で崖を覆って、道路が約3mに拡げられた。壁に近接する部分

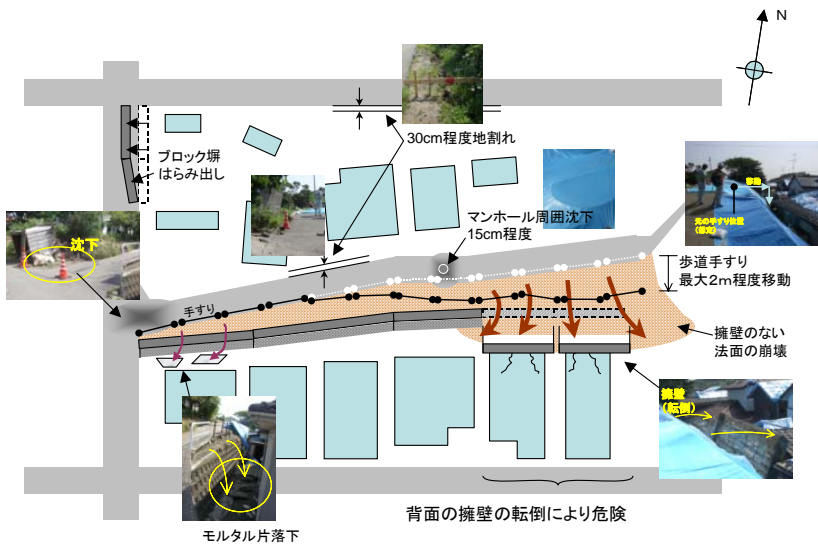


図10 転倒したブロック擁壁と周辺状況の関係



写真20 番神町における擁壁の被害状況

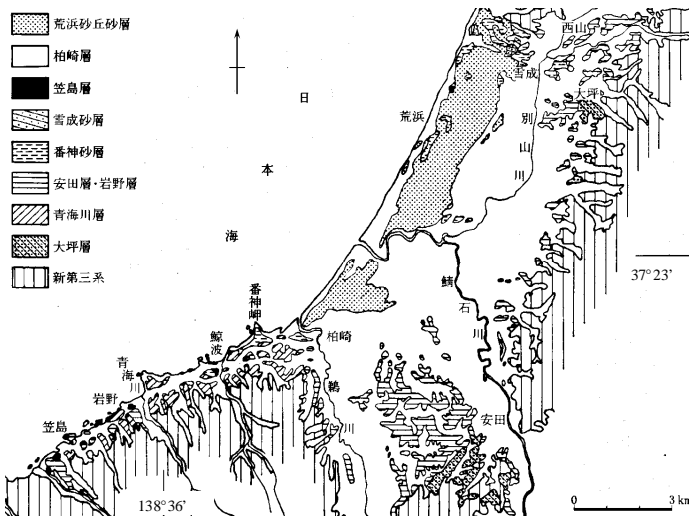


図11 柏崎平野の第四系地質図(日本の地質「中部地方I」18)

は、盛土と考えられる。今回の地震により、壁高約 3.5~5m (擁壁上部の面を含めると全高 5~6m の範囲) の擁壁が転倒した。転倒の状況は、地震直後に壁体がほぼ鉛直になり、数日間のうちに前面側に徐々に傾き、転倒したと考えられており、転倒した擁壁の底部が前面に約 20cm 押し出されている。図10と写真20に、擁壁周辺の被害の状況を示す。

ii) 液状化による被害

図11に示すように、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 の範囲に分布している。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 100m 以上に達

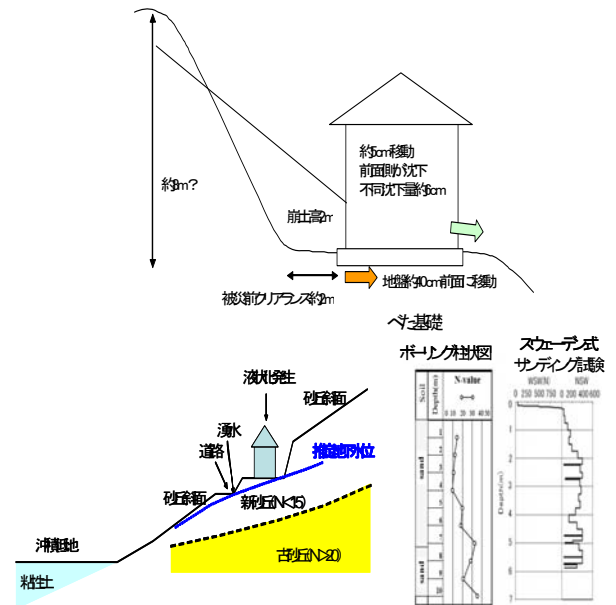


図12 当該地域における基礎・地盤の被害状況

し、N値は深い層で10-20、浅い層では5以下である(18), (19)。

刈羽村では、液状化や液状化に伴う裏山の崩壊により、多くの家屋に被害が発生していた。図12に示すように、砂丘からなる裏山の崩壊により、住宅背面の外壁に土砂が1~2mの高さにわたって積み上がり、窓等を破ったケースも見られた。写真21は、新築された平屋が地盤変動により上向きに突き上げられた例である。

同写真左側の写真では、建物の右側の部分は、前面のコンクリート製道路盤のため水平方向の変位が拘束され、建物左側の移動量が相対的に大きくなった。

調査地域の中心付近において、砂丘斜面から下方に向かった測線で行った表面波探査結果を図13に示す。この結果から判断すると、地層構成が砂丘斜面とさらに下方の平坦地ではかなり異なっている。砂丘斜面では深度数mで浅では新期砂丘に相当する比較的緩んだ砂層であるが、数m以深では古砂丘（番神砂層）もしくは安田層に相当する締まった砂層と思われる。一方、平坦地では深度10m程度までS波速度は100m/s程度であり、沖積粘土層が厚く堆積していると思われる。

図14は、2004年新潟県中越地震による当該地域の液状化現象を教訓として地下水位低下工法（暗渠工、ドレン）を採用した事例であるが、被害はごく軽微にとどまっていた。

VIII 免震建築物の挙動

震央に近い地域に建設されていた免震建築物で、地震観測記録が報告されている^{20),21)}。ここでは小千谷市に建設されている建築物の地震動観測記録に基づき、免震効果について紹介する。本建



写真21 液状化に伴う住宅背面崖の地盤変動により下方から突き上げられた住宅

築物は、2004年新潟県中越地震にも大きな地震動を受けており、その比較も示す。

表8に、建築物の基礎部（免震層の下部）と1階床（免震層の上部）における最大加速度値を示す。地震動としては、2004年新潟県中越地震の方が大きく（基礎部の地震動の計測震度は6.1）、1階の最大加速度（水平方向）は、基礎部の約4分の1となっている。中越沖地震（基礎部の地震動の計測震度は4.8）では、最大加速度の

表8 基礎と1階の最大加速度の比較

地震名	方向	基礎	1階	1階/基礎
		(免震層下部)	(免震層上部)	
2004年新潟県中越地震	南北	740	198	0.27
	東西	808	205	0.25
	上下	487	749	1.54
2007年新潟県中越沖地震	南北	227	107	0.47
	東西	170	133	0.78
	上下	98	119	1.21

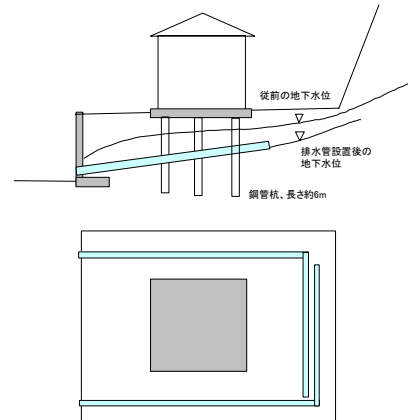
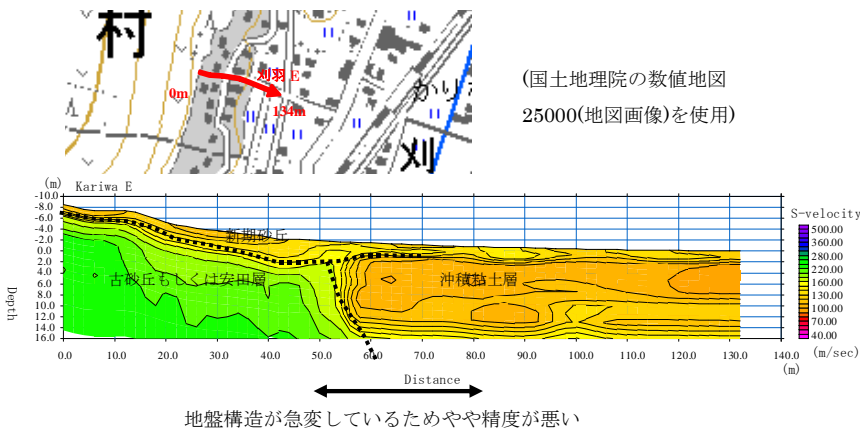


図14 排水管により地下水位を低減した構法



地盤構造が急変しているためやや精度が悪い

図13 被災地域内での表面波探査結果

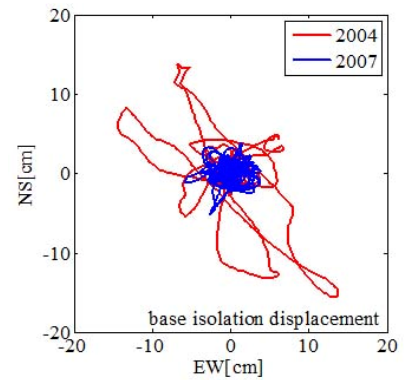


図15 免震層の変位の軌跡（水平面）

比は約半分から4分の3程度であるが、最大加速度における免震効果が確認されている。

図15に、加速度記録を積分して得られた変位記録より、免震層の水平面内の移動（相対変位）²²⁾の様子を示す。中越沖地震における免震層の水平変位は、NS、EW方向ともに5～6cm程度であったと考えられる。一方、2004年新潟県中越地震では、免震層の水平変位は、NS、EW方向ともに15～16cm程度であった。

IX おわりに

2007年能登半島地震と2007年新潟県中越地震の建築物等の被害の概要をまとめた。

能登半島地震では、七尾市、輪島市、穴水町で6強を観測した。輪島市内の観測記録から、JMA輪島（震度6強）とK-NET輪島（震度6弱）の最大加速度はほぼ同程度であるが、JMA輪島で卓越周期が長く、表層地盤条件による差が明確に見られた。

中越沖地震では、柏崎市、刈羽村等で震度6強が観測され、柏崎市中心部では、地盤の非線形挙動（液状化）の影響を強く受けた地震動が観測され、2秒から3秒の周期成分の卓越した地震動となっている。

木造建築物の被害は、比較的古い構法による木造家屋、店舗併用住宅、及び倉庫・納屋の類（土蔵を含む）に集中している。築50～60年以上と推定される木造家屋では、倒壊家屋が多く見られたが、築30～40年以下と推定される比較的新しい家屋では、大きな被害を受けた住宅の割合は低かった。店舗併用住宅や町屋建築では、前面道路と平行方向の壁量が直交方向より不足していることが被害原因と考えられる。また一部に液状化するなどの地盤の被害が原因と推定される木造建築物等の被害も見られた。

高層の塔状工作物（煙突）では、鉄筋コンクリート造の壁主筋がダブル配筋からシングル配筋に切り替えられた高さの位置で被害が発生した。主筋をダブルからシングル配筋に切り替える位置での不連続性については、十分な配慮が必要である。

天井の被害は、比較的大規模なものから小規模な天井まで被害が確認された。天井における加速度による振動的な要因とともに、構造体の被害に伴い、天井が脱落したものがある。防火扉やドアなどの建具に開閉支障が生じた被害が見られ、構造体の相対的な変位の影響について検討が必要である。

被害を受けた住宅基礎のほとんどは、ブロックや無筋コンクリート造の基礎形式であり、鉄筋コンクリート造基礎には著しい被害は認められなかった。中越沖地震において、擁壁の倒壊等に関する被害とともに、液状化に起因する地すべり等による被害も見

られた。

免震建築物において、最大加速度は約半分から4分の3程度となり、免震効果が確認されたが、2004年新潟県中越地震に比べると地震動が小さいこともあり、免震効果は小さかった。

今後、被害調査結果の分析等を行い、建築物の地震時安全性・耐震設計に関する知見を蓄積していく予定である。

謝辞

本調査の実施にあたっては、多くの方々のご協力、ご支援をいただきました。ここに改めて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁のホームページより
- 1) 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、国土技術政策総合研究所資料第415号、2007.10、建築研究資料第107号、2007.10（印刷中）
- 3) 国総研・建研：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震建築物被害調査報告、国総研資料第415号、2007.10、建研資料第107号、2007.10（印刷中）
- 4) 国総研・独立行政法人土木研究所・建研：：平成19年（2007年）能登半島地震被害調査報告、（印刷中）
- 5) 国総研・土研・建研：：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震被害調査報告、（印刷中）
- 6) 石川県消防防災Web(<http://www.bousai.pref.ishikawa.jp/top.asp>)
- 7) 消防庁、平成19年（2007年）能登半島地震（第46報）(<http://www.fdma.go.jp/detail/710.html>)
- 8) 消防庁、平成19年(2007年)新潟県中越沖地震（第48報）(<http://www.fdma.go.jp/data/010711040932501142.pdf>)
- 9) 新潟県庁：「新潟県推計人口（平成19年11月1日現在）」(<http://www.pref.niigata.lg.jp/tokei/1195661794952.html>)
- 10) 国土交通省、平成19年（2007年）新潟県中越沖地震について（第28報：最終報）
- 11) 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)
- 12) 防災科学技術研究所・強震ネットワーク K-NET、基盤強震観測網 KiK-net (<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>、<http://www.kik.bosai.go.jp/>)
- 13) 日本地質図大系中部地方、朝倉書店、1991

- 14) 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
- 15) 太田裕, 後藤典俊: 横波速度を推定するための実験式とその物理的背景, 物理探鉱, 第31巻第1号, pp.8-17, 1978
- 16) 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)
- 17) 古山田耕司, 山添正稔他: 2007年新潟県中越沖地震における強震観測と建物応答, 日本地震工学会大会—2007梗概集, 日本地震工学会, 2007.11, pp.154-157
- 18) 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
- 19) 日本地質図体系中部地方, pp.122-123, 朝倉書店, 1991
- 20) 溜正俊: 平成19年新潟県中越沖地震における小千谷市内免震建物の地震観測記録, mensin, No.58, 2007.11, pp.23-25
- 21) 矢川豊, 岩下敬三: 長岡市に建つ情報センターの免震効果, mensin, No.58, 2007.11, pp.26-28
- 22) 溜正俊氏(三菱地所設計)からの提供