

9. 建築物

9.1 概要

建築物を中心とした被害から今後の地震対策に生かすべき教訓を得るべく国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所が連携して、新潟県柏崎市、刈羽村、長岡市、小千谷市、上越市などにおいて、建築物の余震観測の他、木造建築物、鉄骨造建築物、搭状工作物（鉄筋コンクリート造）、非構造部材、及び宅地地盤・基礎の各被害調査を、地震発生当日（平成19年7月16日）から10月9日までの間、延べ98名の職員を順次現地に派遣して、実施した¹⁾。

本章では、別途まとめた報告¹⁾より、被害一般、地震及び地震動の特徴（主に、余震観測）、木造建築物の被害、搭状工作物（鉄筋コンクリート造）の被害、及び宅地地盤・基礎の被害、の概要を報告する。

9.2 被害一般

9.2.1 各種災害対策法令等の適用

(1) 災害救助法等の適用²⁾

厚生労働省から、7月16日から新潟県長岡市、柏崎市、小千谷市、上越市、三島郡出雲崎町、刈羽郡刈羽村の4市1町1村に対し、災害救助法（昭和22年法律第118号）による救助を実施することが公示された。また、7月25日には、三条市、十日町市、燕市、南魚沼市の4市が同法適用対象市町村として追加された。

(2) 被災者生活再建支援法の対象³⁾

内閣府より、平成19年新潟県中越沖地震による災害に被災者生活再建支援法（平成10年法律第66号）を適用し、対象地域として新潟県全域とすることが公示された。

(3) 激甚災害の指定⁴⁾

「平成19年新潟県中越沖地震による新潟県長岡市等の区域に係る災害」は激甚災害に指定され、新潟県長岡市、柏崎市、出雲崎町の2市1町について、公共土木施設災害復旧事業等に関する特別の財政援助、農地等の災害復旧事業等に係る補助の特別措置、中小企業関係の特例措置等を適用（8月7日閣議決定、8月10日公布）した。

9.2.2 人的被害

(1) 死傷者

新潟県を中心に多数の死傷者（合計2,360人：富山県、長野県の重軽傷者計30人を含む）が発生した。自治体ごとの内訳は表-9.2.1の通りであるが、いずれのデータも気象庁発表（12/4現在）⁵⁾である。

表-9.2.1 平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震による死傷者数

県	市町村	人的被害			
		死者	重傷	軽傷	計
新潟県	新潟市		2	7	9
	長岡市		65	178	243
	三条市		4	28	32
	柏崎市	14	54	1,610	1,678
	小千谷市		1	39	40
	十日町市			8	8
	見附市			14	14
	燕市		3	7	10
	糸魚川市			1	1
	上越市		21	136	157
	魚沼市		2	4	6
	南魚沼市			4	4
	出雲崎町		2	8	10
	湯沢町		1		1
	刈羽村	1	31	85	117
		計	15	186	2,129
長野県	長野市		1	2	3
	中野市		1	3	4
	飯山市		2	17	19
	飯綱町		2	1	3
		計		6	23
富山県	高岡市			1	1
総 計		15	192	2,153	2,360

注、気象庁発表 12/4 現在

(2) 避難者

平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震により、柏崎市、長岡市、出雲崎町において避難者が地震当日から発生した。避難指示は 7 月 16 日～21 日にわたって柏崎市の 62 世帯、172 人に対して発令され、避難勧告は 7 月 16 日～8 月 1 日にかけて柏崎市、長岡市、出雲崎町で 725 世帯、1,838 人に対して出された。避難指示、勧告の発令状況を表-9.2.2⁵⁾に示す。全ての避難指示と避難勧告の一部は 12/4 現在解除されていないが、避難所と避難者数はいずれの市町村においても 0 となっている。

表-9.2.2 平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震による避難指示・勧告発令状況

	市町村	対象世帯数	対象人数	指示／勧告日時	解除日時
避難指示	柏崎市	8	38	7月16日 18:30	
		1	2	7月17日 13:15	
		10	23	7月17日 20:30	
		42	107	7月18日 16:30	
		1	2	7月21日 13:00	
	合計	62	172		
避難勧告	柏崎市	20	60	7月16日 14:10	
		4	18	7月19日 22:40	
		34	81	7月21日 13:30	
		1	6	7月22日 10:30	
		2	6	7月22日 18:30	
		3	9	7月24日 15:00	一部 9月25日 10:00
		23	66	7月25日 15:00	
		2	2	7月27日 15:00	
		1	1	8月1日 18:00	
	長岡市	2	7	7月17日 18:00	7月23日 16:00
	出雲崎町	633	1,582	7月16日 10:21	7月16日 11:37
	合計	725	1,838		

注、消防庁発表（12/4 現在）⁵⁾

9.2.3 建築・住宅に係る被害

平成 19 年新潟県中越沖地震による住家の被害の状況は表-9.2.3 の通りである。表中の数値は消防庁発表 12/4 現在⁵⁾である。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、長岡市におけるその他の火災が 1 件発生し、火災件数としては計 3 件である⁵⁾。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ことが判明している。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⁶⁾、11/1 現在）を併記した。

9.2.4 危険度判定の状況

(1) 被災建築物の応急危険度判定の状況

新潟県は、北海道、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、富山県、石川県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県、長野県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、鳥取県、大阪府、京都府、兵庫県、

奈良県、和歌山県、徳島県に対して、被災建築物の応急危険度判定の広域応援を要請した。7月23日をもって34,048棟の応急危険度判定を終了した。判定結果は表-9.2.4⁷⁾に示す。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⁶⁾、11/1現在）を併記した。

表-9.2.3 平成19年（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
長野県	長野市				15
	上田市				1
	中野市				75
	飯山市				102
	東御市				3
	小布施町				18
	飯綱町				142
	計		0	0	356
総計			1,259	5,487	34,485

注、被害棟数は消防庁発表（12/4現在）⁵⁾

世帯数は新潟県庁ホームページ⁵⁾より

表-9.2.4 平成19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実施結果

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	1,519	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⁶⁾より

(2) 宅地の危険度判定⁷⁾

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名を被災状況調査を目的として現地に派遣した。新潟市、長岡市、燕市、妙高市、見附市、十日町市、五泉市、新発田市、加茂市、魚沼市、三条市、糸魚川市は職員を、柏崎市、出雲崎町における宅地の危険度判定に対して応援派遣した。7月25日をもって2,082件の宅地の危険度判定を終了した。

表-9.2.5 平成19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

市町村名	判定宅地	危険（赤）	要注意（黄）	調査済（青）	実施期間	備考
柏崎市	1,398	344	198	856	7/17～7/25	県に派遣要請
刈羽村	93	27	21	45	7/17～7/25	県に派遣要請
出雲崎町	489	22	51	416	7/19～7/25	県に派遣要請
上越市	102	26	37	39	7/19～7/25	市職員で対応
計	2,082	419	307	1,356		

9.3 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。

9.3.1 柏崎市役所の観測概要

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)⁸⁾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-9.3.1に、市役所本館及び市民会館大ホールの外観を写真-9.3.1と写真-9.3.2に、各強震計の設置状況を写真-9.3.3から写真-9.3.6に示す。

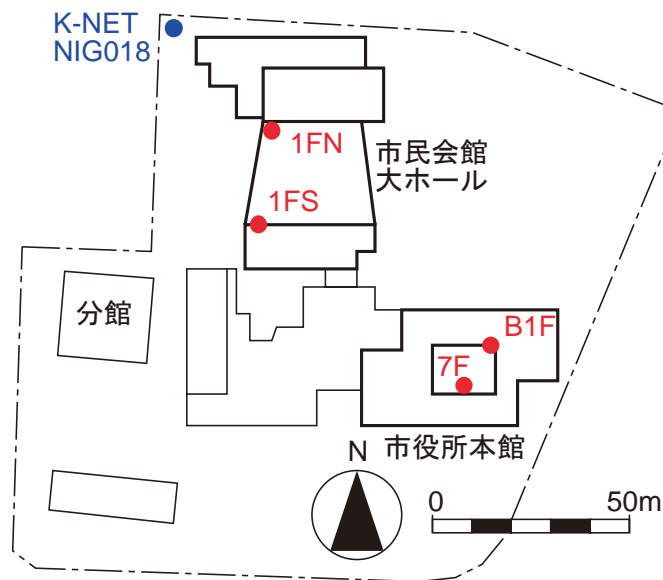


図-9.3.1 柏崎市役所の強震計設置位置(1FN、1FS、B1F及び7F)



写真-9.3.1 柏崎市役所本館外観(南から)



写真-9.3.2 柏崎市民会館大ホール外観(市役所屋上から)



写真-9.3.3 柏崎市役所本館 B1F 設置状況



写真-9.3.4 柏崎市役所本館 7F 設置状況



写真-9.3.5 柏崎市民会館大ホール 1FN 設置状況



写真-9.3.6 柏崎市民会館大ホール 1FS 設置状況

9.3.2 柏崎市西山町事務所の観測概要

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-9.3.2に、建物の外観を写真-9.3.7に、各強震計の設置状況を写真-9.3.8から写真-9.3.10に示す。



図-9.3.2 柏崎市西山町事務所の強震計設置位置(1F、3FE及び2FW)



写真-9.3.7 西山町事務所外観(西から)



写真-9.3.8 西山町事務所 1F 設置状況



写真-9.3.9 西山町事務所 3FE 設置状況



写真-9.3.10 西山町事務所 3FW 設置状況

9.3.3 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)⁹⁾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-9.3.1に示す。表中には、K-NET柏崎(NIG018)の記録⁸⁾も参考として示している。

表-9.3.1 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

9.3.4 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-9.3.3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 $11cm/s^2$ から $20cm/s^2$ であった最大加速度は建物頂部で $19cm/s^2$ から $58cm/s^2$ と、2倍から3倍程度に増幅している。図-9.3.4は、B1Fの記録のフーリエスペクトル(解析時間は40秒間、幅0.2Hz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-9.3.5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。

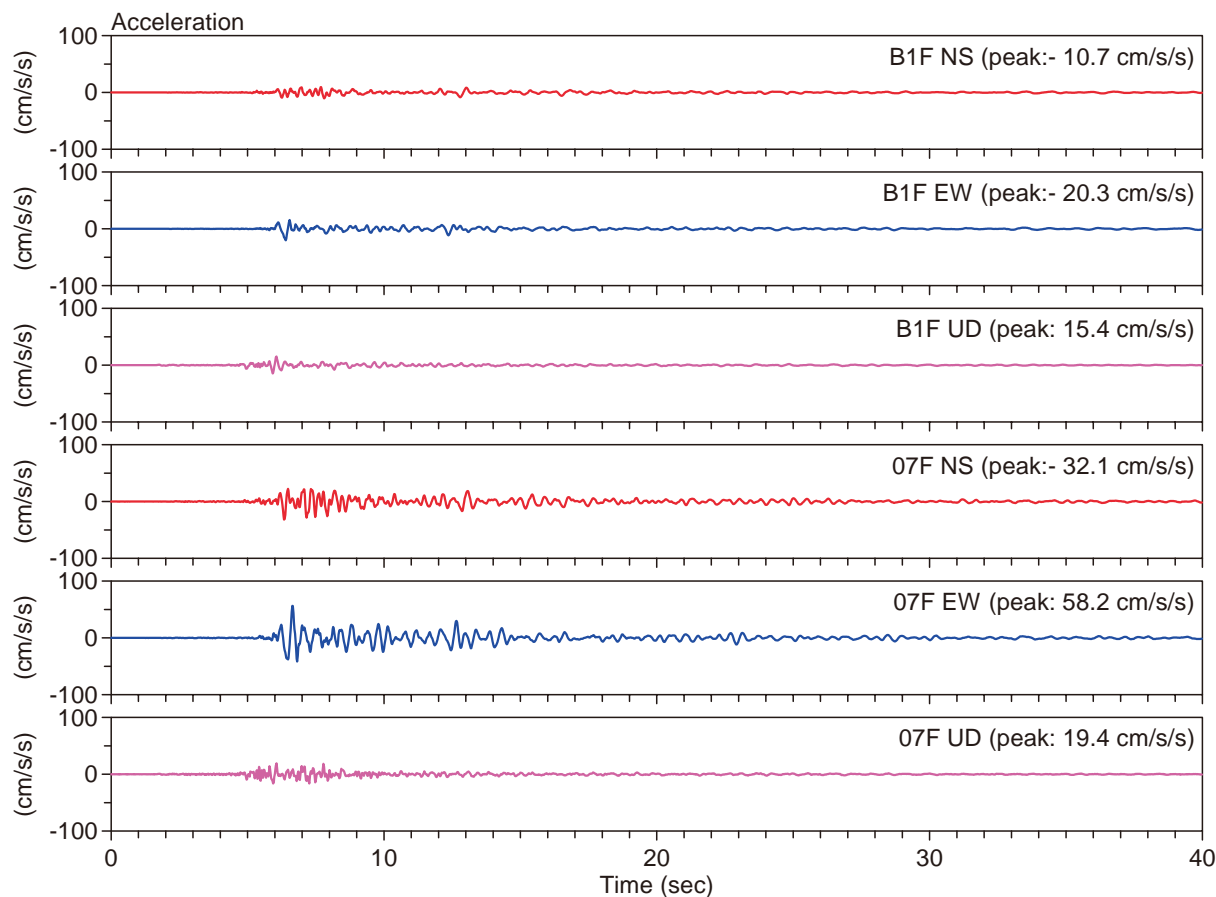


図-9.3.3 柏崎市役所本館で観測された加速度記録(2007/07/25 06:52、h=24 km、M4.8)

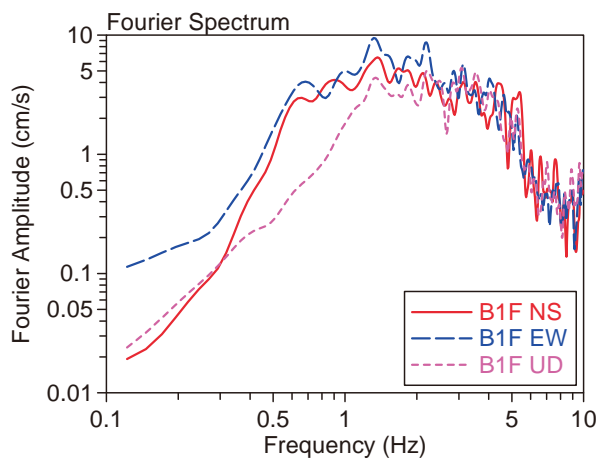


図-9.3.4 柏崎市役所本館 B1F の記録のフーリエスペクトル

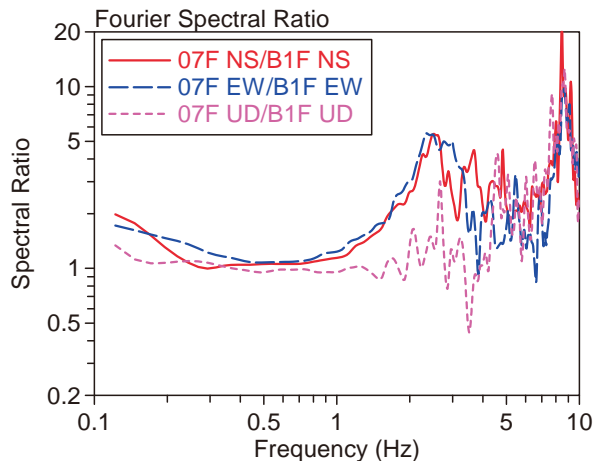


図-9.3.5 柏崎市役所本館 7F/B1F のフーリエスペクトル比

9.3.5 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-9.3.6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、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。

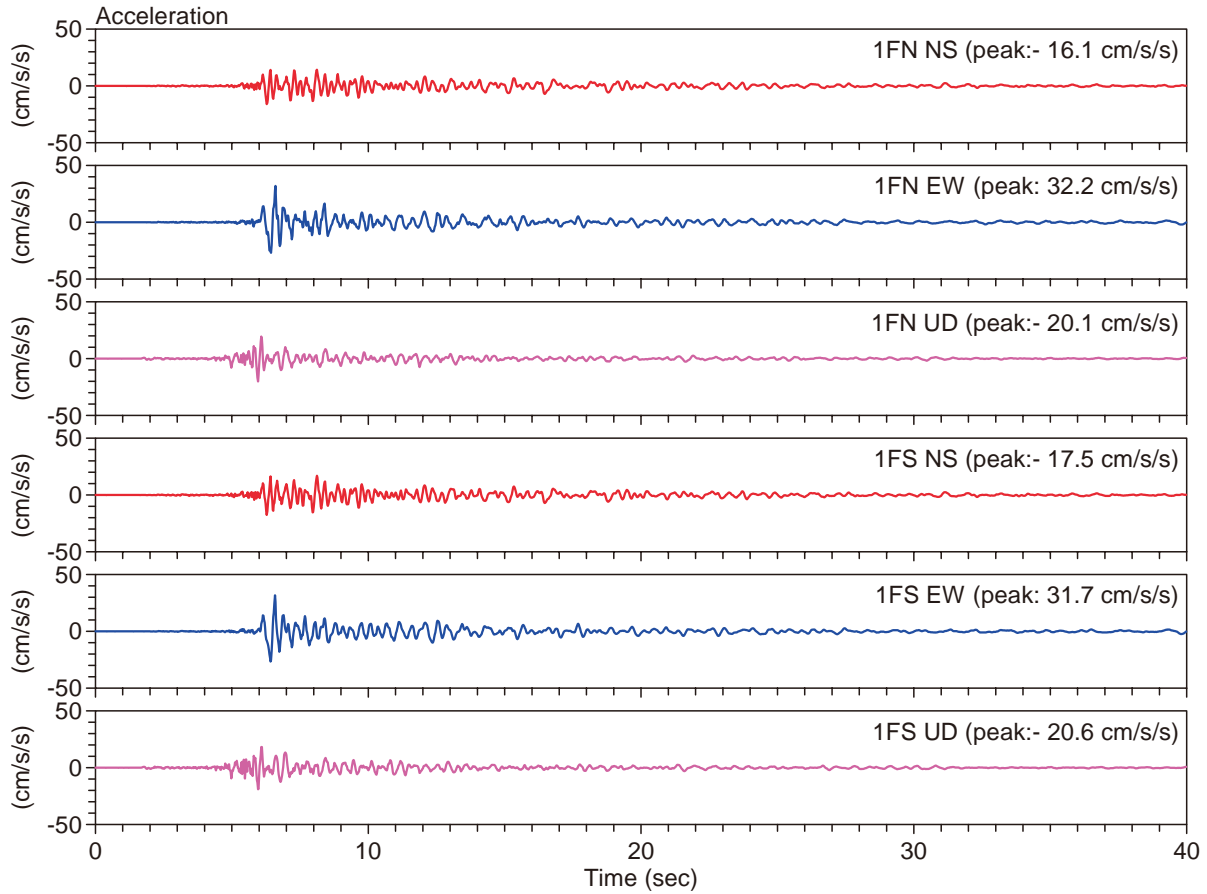


図-9.3.6 柏崎市民会館大ホールで観測された加速度記録(2007/07/25 06:52、h=24km、M4.8)

9.3.6 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-9.3.7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-9.3.8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3Hz付近の振動数成分が優勢となっている。

図-9.3.9及び図-9.3.10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4Hzから5Hz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。

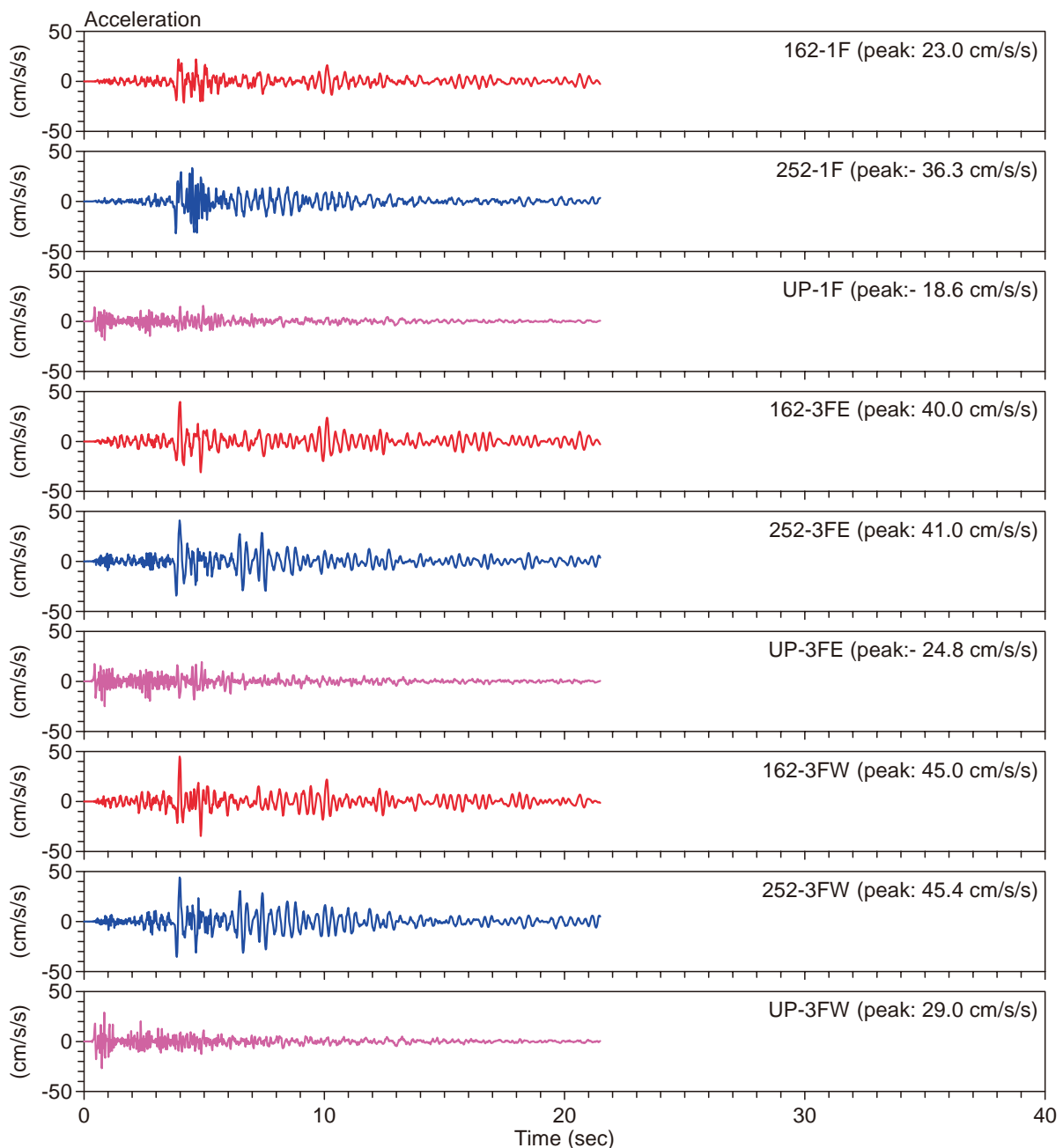


図-9.3.7 西山町事務所で観測された加速度記録(2007/07/25 05:52、h=24km、M4.8)

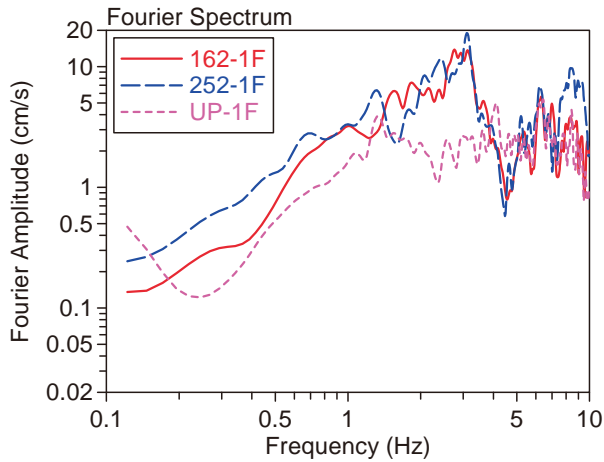


図-9.3.8 西山町事務所 1F の記録のフーリエスペクトル

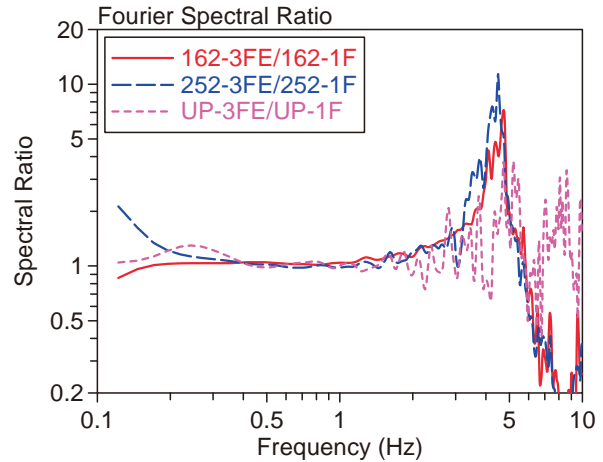


図-9.3.9 西山町事務所 3FE/1F のフーリエスペクトル比

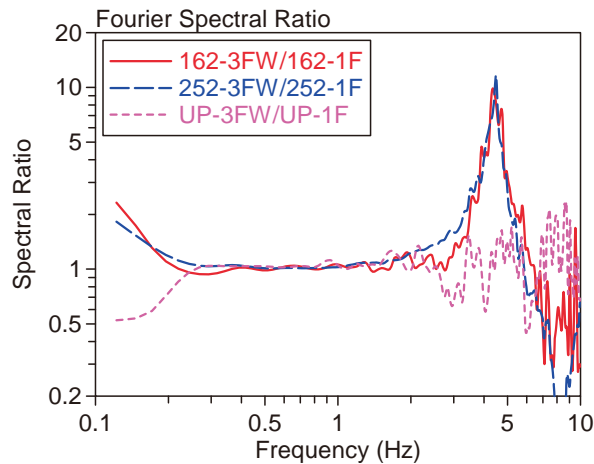


図-9.3.10 西山町事務所 3FW/1F のフーリエスペクトル比

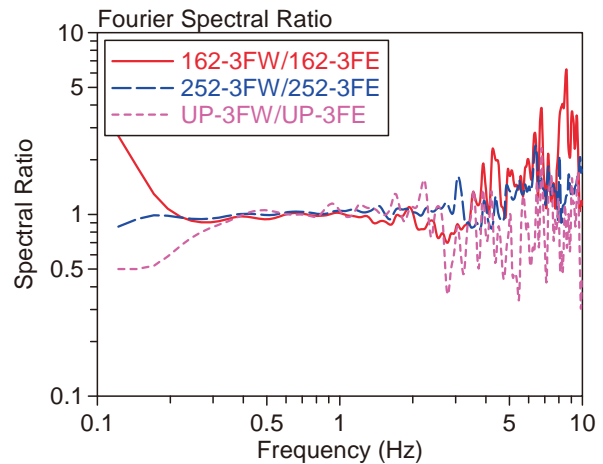


図-9.3.11 西山町事務所 3FW/3FE のフーリエスペクトル比

9.3.7 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)⁹⁾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-9.3.12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-9.3.13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 39cm/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。

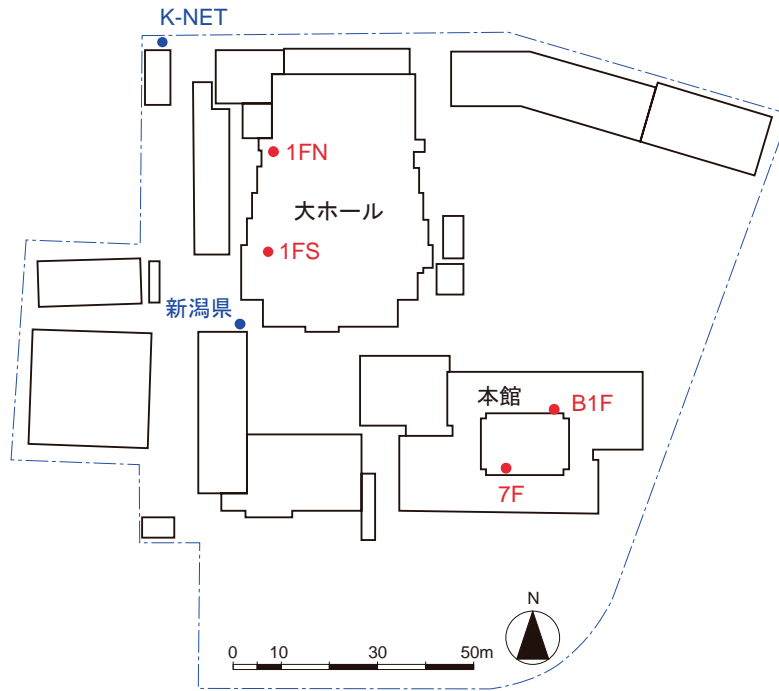


図-9.3.12 柏崎市役所敷地内の強震観測地点(K-NET及び新潟県の震度計)と余震観測位置(1FN、1FS、B1F及び7F)

図-9.3.14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-9.3.15に、EW成分について図-9.3.16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2Hz以下の低振動数領域でほぼ一致している。3Hz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4Hz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、3Hz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、2Hz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3Hz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。

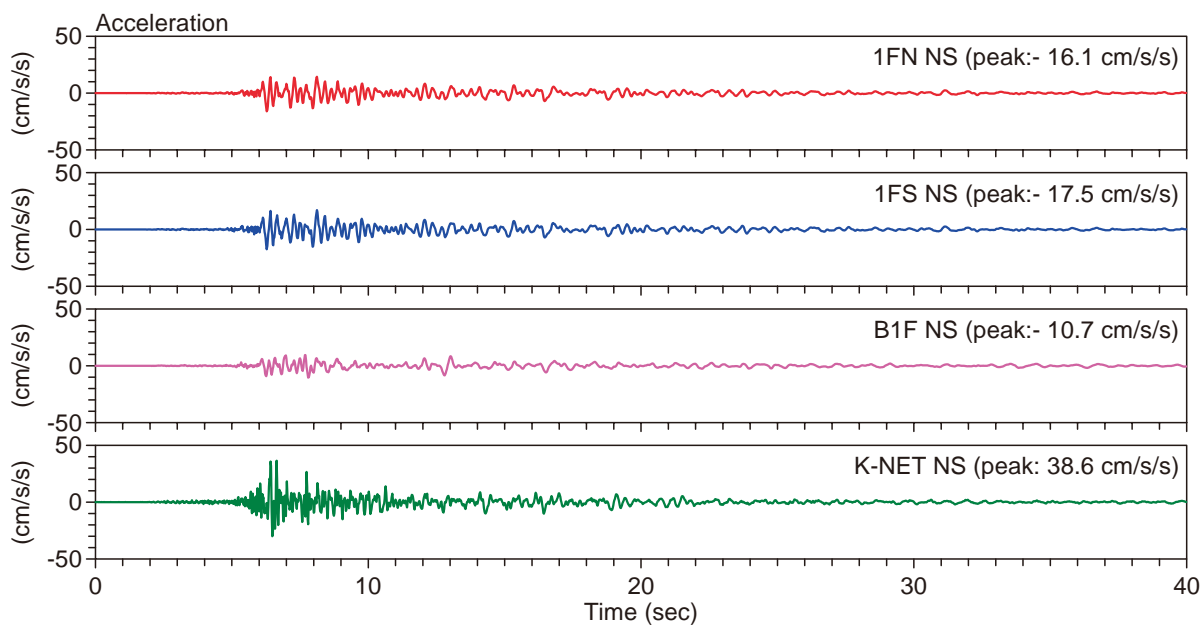


図-9.3.13 市民会館大ホール1階(1FN及び1FS)、市役所本館地下1階(B1F)、及びK-NET 柏崎(K-NET)の加速度記録(NS成分)

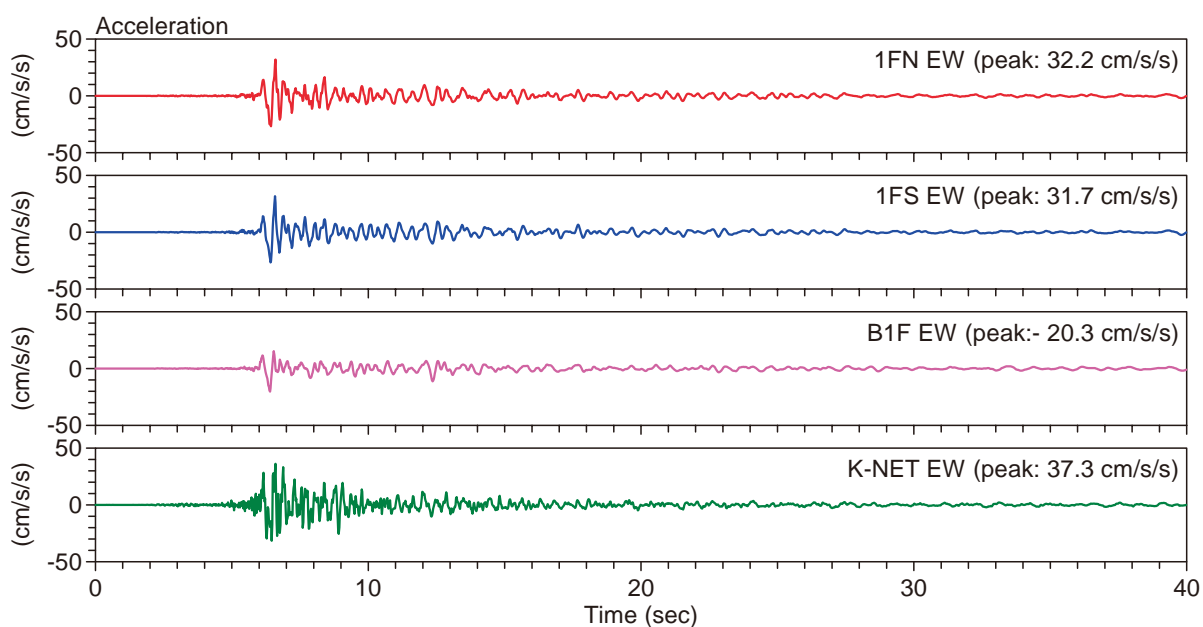
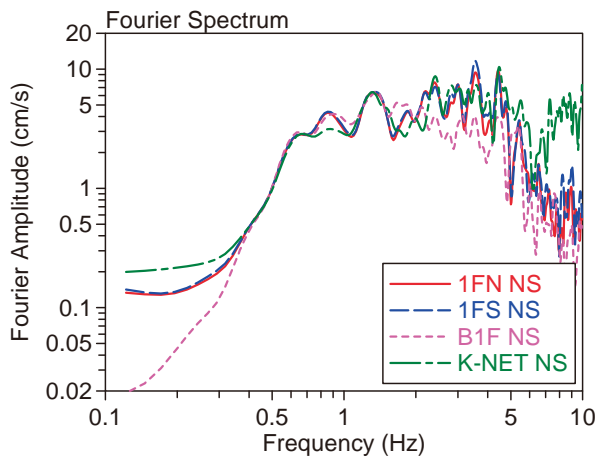


図-9.3.14 市民会館大ホール1階(1FN及び1FS)、市役所本館地下1階(B1F)、及びK-NET 柏崎(K-NET)の加速度記録(EW成分)

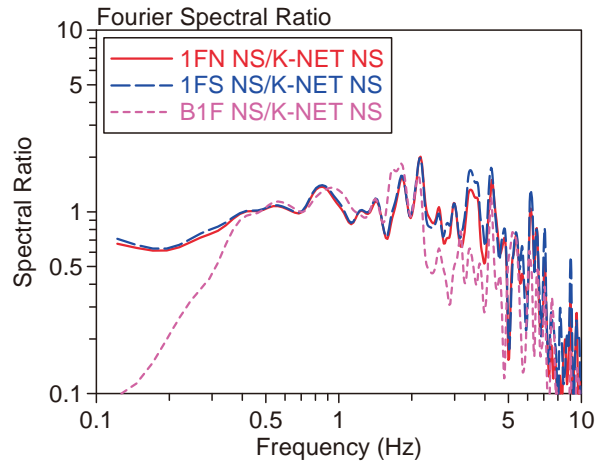
9.3.8 本節のまとめ

2007年新潟県中越沖地震の本震は、新潟県上中越沖の深さ17km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30kmに達し、破壊は北東から南西へ伝播した。

この地震において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、

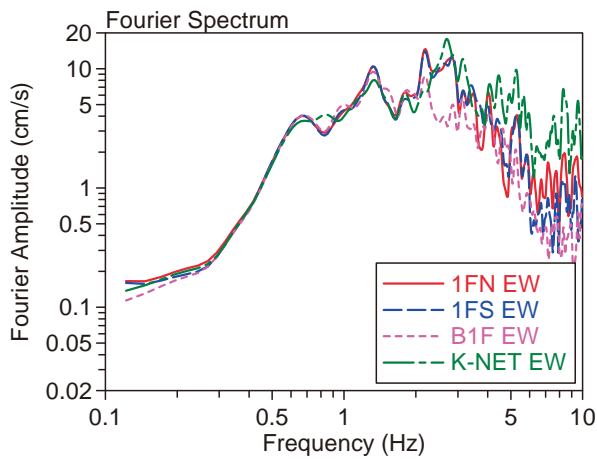


(a) フーリエスペクトル

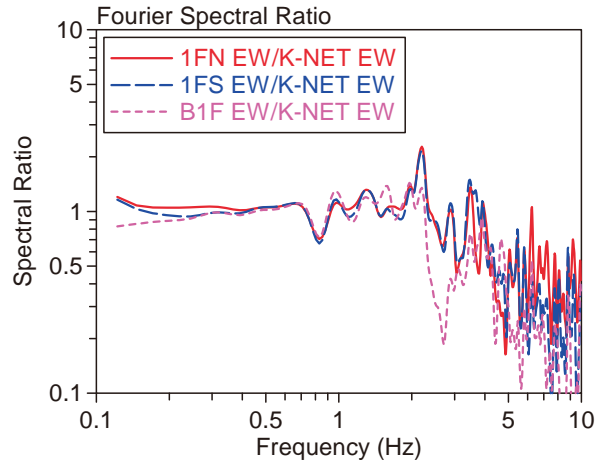


(b) フーリエスペクトル比

図-9.3.15 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)



(a) フーリエスペクトル



(b) フーリエスペクトル比

図-9.3.16 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)

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。

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（余震観測関係）

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。

9.4 木造建築物の被害

9.4.1 調査目的と概要

(1) 調査の目的

平成 19 年新潟県中越沖地震の発生に伴い、木造建築物にも多数の被害が発生した。国土交通省並びに同国土技術政策総合研究所は地震の発生当日から緊急調査団を派遣し、被害の概要を把握した。また、国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所は、地震発生の翌日から木造建築物の被害概況を把握し、以後の調査計画を策定するための基礎資料を得る目的で、初動調査を行った。初動調査に続いて被害概要の把握を継続するとともに、木造建築物の構法、構造要素の配置、被害程度との関係から被害の特徴を把握し、被害原因を究明するための基礎資料を得る目的で、2次調査を実施した。

本節では、これらの調査によって得られた調査結果¹⁾の概要を抜粋して報告するとともに、収集した資料、情報から耐力壁量と被害程度の関係、地震応答解析結果と被害の関係に関する考察を行い、被害原因について検討した結果¹⁾の概要を報告する。

(2) 初動調査（平成 19 年 7 月 16 日～18 日）の概要

国土交通省北陸地方整備局、報道等による被害情報に基づき、被害が集中しており、かつアクセスが可能な地区を調査対象に選定し、柏崎市と刈羽村の中心市街地周辺、柏崎市茨目、田尻地区等の郊外、刈羽村十日市、井岡地区等の田園地帯、並びにそれらの調査地への経路上経由する地区等において、主として道路からの観察及び建物の外観目視により被害の概要調査を行った。

(3) 第 2 次調査（平成 19 年 7 月 20 日～23 日）の概要

初動調査の結果、被害が多いと判断された柏崎市東本町、茨目、上田尻、田塚、荒浜、並びに刈羽村刈羽において被災した木造建築物のなかから、詳細な調査を実施する建物を選定して、詳細調査を実施した。調査対象の選定にあたっては、可能な範囲で、被害の大きい建物と、その近傍に建つ外観上は被害が比較的軽微に見える建物を選定した。

詳細調査では、建築物の属性（階数、用途、構造方法、基礎の構造方法等）、敷地条件（地盤、擁壁の状況等）とその被害状況を調査するとともに、各部の残留変形を計測し、建築物の間取り及び壁の配置等の作図又は図面を収集し、併せて建設年代や増改築履歴等に関する居住者に対するヒアリングを行った。以上の調査を行った主な地域と震央の関係を図-9.4.1 に示す。各地の調査日等を整理すると以下の通りとなる。

調査地	概要調査	第 2 次(詳細)調査
柏崎市東本町	7/17	7/22
柏崎市新花町、小倉町、諏訪町	7/18, 21	—
柏崎市茨目、田尻、田塚	7/18	7/21
柏崎市松波、橋場町	7/18	—
柏崎市荒浜	—	7/23
刈羽村刈羽	7/17, 23	7/23
刈羽村十日市、井岡、新屋敷、上高町等	7/17, 23	—

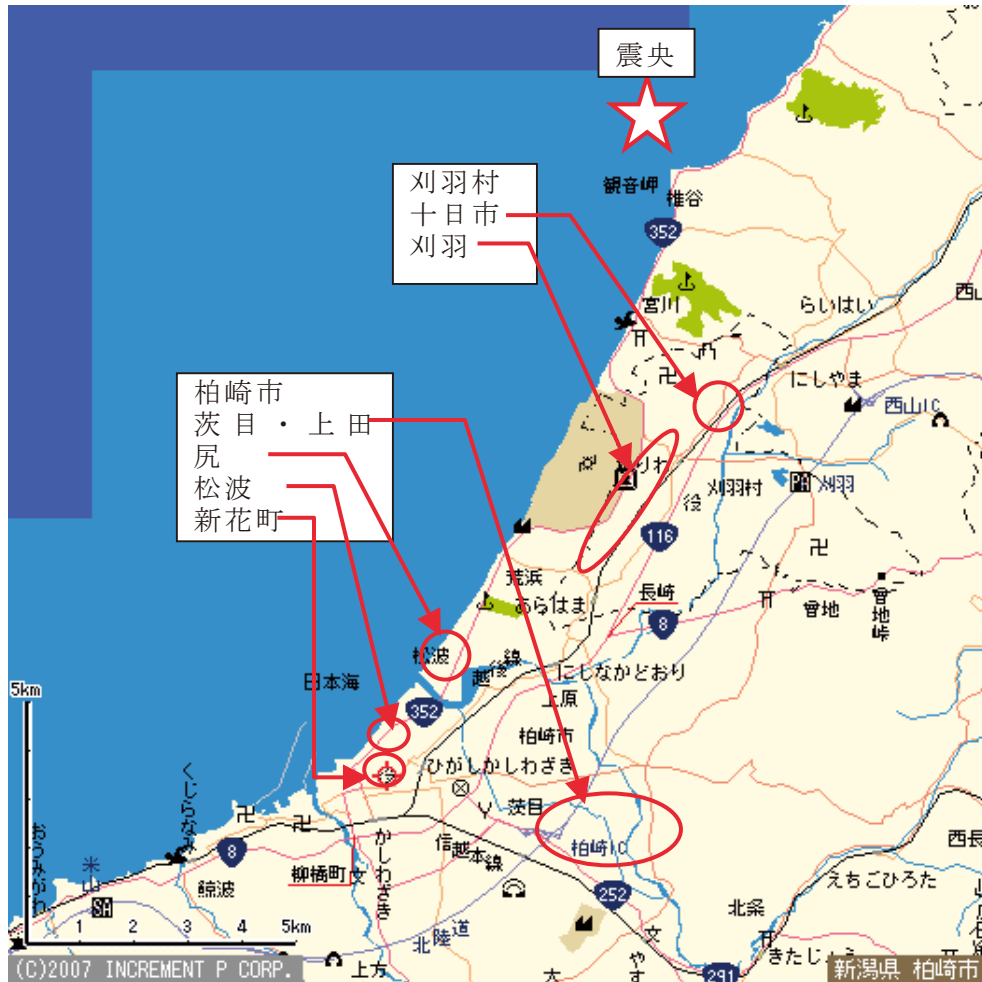


図-9.4.1 震央と主な調査地の位置関係

(4) 調査者

国土交通省国土技術政策総合研究所

建築研究部基準認証システム研究室 主任研究官 植本敬大 (7/16～18、7/20～7/23)

建築研究部構造基準研究室 主任研究官 宮村雅史 (7/20～7/23)

独立行政法人建築研究所

構造研究グループ上席研究員 河合直人 (7/20～7/23)

材料研究グループ上席研究員 中島史郎 (7/20～7/23)

材料研究グループ主任研究員 山口修由 (7/20～7/23)

材料研究グループ研究員 中川貴文 (7/20～7/23)

構造研究グループ交流研究員 小松弘昭 (7/20～7/23)

9.4.2 各地の被害状況

(1) 柏崎市役所南側（東本町、西本町、小倉町、四谷、日吉町等）の被害概況

日吉町は倉庫や車庫の被害はあるものの、住家に目立った被害は無い。四谷付近から次第に被害が多くなる。JR 越後線の踏切を越えると（東本町）通りの両側から交通を

遮断するように倒壊した複数の家屋（写真-9.4.1）が確認された。線路に向かって倒壊している家屋も確認された。その他、比較的古い構法による木造家屋が軒並み倒壊している状況（写真-9.4.2）も確認された。東本町～西本町にかけては古い商店街であり、築 50～60 年を超えると推定される家屋が密集している。店舗併用住宅が多く見られ、特に古い構法によるものは、倒壊を含む甚大な被害（写真-9.4.3）を受けていた。

絵本館と称されるほぼ総 2 階建ての木造建築物（写真-9.4.4）は、倒壊は免れたものの、極めて大きい残留変形（西へ 1/5）を有していた。この建物については、2 次調査を行った結果、昭和 9 年に（築 73 年）病院（産婦人科）として建築され、現在では営業しておらず、医学書等書籍、資料を全て 2 階に上げ、1 階を絵本館として開放していた。有筋の基礎を有し、外周壁には 55×118mm 程度の筋かい（釘留め）が入っているが、2 階にある書籍は書棚の内法容積 20.6m² に基づいて、書籍の充填率を 0.7 と推定し、紙の密度（0.8g/cm³）¹⁰ から推定した結果、約 11.5t（約 120kg/m²）と考えられ、少なからず、被害に影響を及ぼしたと考えられる。その他、樹木を倒して倒壊した例や、倒壊した家屋（写真-9.4.5）の構造部材に腐朽、蟻害（写真-9.4.6）も確認された。



写真-9.4.1 東本町 3 丁目で道路閉塞した倒壊家屋群



写真-9.4.2 軒並み倒壊した古い構法による家屋



写真-9.4.3 倒壊した店舗併用住宅



写真-9.4.4 残留変形が大きい総 2 階の比較的立派な造りの木造



写真-9.4.5 土壁を有する古い構法の倒壊 写真-9.4.6 写真-9.4.5の部材の腐朽・蟻害

(2) 柏崎市役所北側（新花町、中央町等）の被害概況

この地区も築 50～60 年を超えると推定される家屋が多いが、それほど古くない家屋とも混在している。古い構法による家屋が連続して倒壊している状況（写真-9.4.7）が確認された。印象では倒壊家屋の多さは東本町 3 丁目付近の次に多い。比較的古い建物で、間口に大開口を設けない店舗併用住宅（写真-9.4.8 右）も多いが、開口を設けたものは大きな残留変形を有するなどの被害（写真-9.4.8 左）を受けていた。車庫、納屋の類の倒壊も多数有る。また、2階のみが崩落する被害例（写真-9.4.9）なども確認された。一見して新しいように見える住宅の被害（写真-9.4.10）も少数あるが、よく見ると外壁のみ改修したもので、甚大な被害を受けて土塗り壁が露出した例（写真-9.4.11）があった。社寺建築も壊滅的な被害を受けていた。



写真-9.4.7 倒壊家屋が連続する新花町



写真-9.4.8 新花町の店舗



写真-9.4.9 2階が崩壊した例



写真-9.4.10 一見新しく見える住宅の倒壊



写真-9.4.11 写真-9.4.12 の近景（土壁の残骸が確認された）

(3) 茨目、上田尻、田塚地区の被害概況

この地域には比較的新しい住宅（概ね築 30 年以下と推定される）が多く、比較的住家の被害は軽微で、車庫、倉庫、納屋、作業所の類が倒壊を含む大きな被害を受けた例は数多く確認（写真-9.4.12）された。調査した範囲では、倒壊または大破した住宅は少なく、残留変形の大きな住宅もあるが比較的構法が古いもの（写真-9.4.13）か、外周のみ改修して一見新しく見えるが構造要素は土塗り壁など比較的古い構法と想像されるもの（写真-9.4.14）である。また、地盤変状により極低い擁壁が倒れ（写真-9.4.15）、噴砂痕（写真-9.4.16）も確認された敷地に建つ店舗併用住宅が不同沈下している被害例（写真-9.4.17）等も確認された。



写真-9.4.12 多くの車庫、倉庫が倒壊



写真-9.4.13 大破した比較的古い構法による住宅



写真-9.4.14 残留変形が大きい住宅（外壁のみ改修し構造要素は土塗り壁等比較的古いものであると推測される）



写真-9.4.15 地盤変状により倒れた極低い擁壁



写真-9.4.16 写真-9.4.17 の敷地の噴砂痕 写真-9.4.17 不同沈下した店舗併用住宅
（平屋と2階建て部分の境界付近が不同沈下）

(4) 春日地区の被害概況

春日地区には、比較的新しい住宅（概ね 築 30 年以下と推定される＝写真-9.4.18）が多く、専用住宅の被害は少ないが、店舗併用住宅などで倒壊したものが1棟、倉庫、車庫、作業所の類の倒壊例が複数確認された。



写真-9.4.18 比較的新しい住宅が立ち並ぶ春日地区

(5) 松波、橋場町地区の被害概況

柏崎市松波地区は、比較的新しい住宅（概ね築 15 年以下と推定）が多く、液状化を含む地盤被害が顕著であった。特に平成橋の南西から、鯖石川改修記念公園にかけて大きな地割れが走り、比較的新しい木造住宅（写真-9.4.19）、1階をRC造とする高床式の木造（写真-9.4.20）、軽量鉄骨造の社員寮、木造の集合住宅（写真-9.4.21）などの建物が被害を受けていた。この集合住宅の被害は、下屋部分の継ぎ目が分裂（写真-9.4.22）し、有筋の基礎も破断（写真-9.4.23）していた。この地割れはゴミ焼却場の損傷した煙突の方向へ延び（写真-9.4.24）、煙突付近では約 3m の高低差の断層を生じていた。



写真-9.4.19 地盤変状により大きな被害を受けた比較的新しい木造住宅



写真-9.4.20 地盤変状により傾斜が生じた高床式木造（1階部分RC造）



写真-9.4.21 部分的に大破した木造共同住宅 写真-9.4.23 地盤変状で破壊した基礎



写真-9.4.22 写真-9.4.21 の下屋部分の接続部の破壊



写真-9.4.24 地割れの延長線上にある損傷したゴミ焼却場の煙突

(6) 刈羽村の被害

刈羽村役場の被害情報、並びに報道等によって人的被害が発生した地点等の情報に基づいて、7/17 に刈羽村刈羽、十日市、西元寺、井岡、西谷、大塚、新屋敷、上高町地区の被害の概要を調査した。

木造建築物の被害としては、土塗り壁を有するような比較的古い構法による家屋が選択的に倒壊し、道路交通を遮断している例（写真-9.4.25）も見られた。比較的築年数が新しいと推定される家屋が倒壊している例（写真-9.4.26）も確認されたが、1階を車庫、倉庫、または作業所として使用していて、道路と平行方向の1階の壁量が少ないことが被害の原因として推測された。倉庫、車庫、納屋の類は、比較的築年数が新しいと思われるものでも倒壊を含む大きな被害を受けたものが多く確認された。また、増築部と既存部が分裂した被害例（写真-9.4.27）や、小屋組が崩落するような希少な被害例（写真-9.4.28）も確認された。

刈羽村の各地区の一部には、液状化などの地盤の被害も見られた。まれに1階をRC造、2、3階を木造とする高床式の住宅も見られたが、いずれも外観上はほぼ無被害のように見えた。また、作業場で土間コンクリートに大きなひび割れが入るような被害を受けたにもかかわらず、筋かいが入っていたために上部構造は無被害であったものがあった。



写真-9.4.25 倒壊して道路を塞いだ木造家屋



写真-9.4.26 比較的新しい構法で倒壊した1階を車庫、又は倉庫等にした家屋



写真-9.4.27 増築部と既存部が分裂した被害例



写真-9.4.28 小屋組の一部が崩壊する希少な被害例

9.4.3 被災地の木造家屋の特徴

詳細調査の対象とした木造家屋に一定の特徴はあまりなく、一般的な総2階建ての専用住宅（図-9.4.2）、通り庭を有する町屋建築（図-9.4.3）、田の字に続き間が配列する農家型の民家（図-9.4.4）、店舗併用住宅（図-9.4.5）など多様である。なるべく、多様な物件を調査するように調査対象を選定したためとも考えられるが、今回の被災地域には、商店街、住宅街、農村地域等様々な地域が含まれていたためとも考えられる。

また、伝統的な構法による町屋建築等の一部には、サシヅクリ（写真-9.4.29）と言われる、梁桁を井桁状に組んだ吹抜、又は天井を高くした部屋が建物中央部に存在する。2階建てであっても、この部分には2階の居室が無い。水平構面が連続していないので、少なからず耐震性能に影響は及ぼしていると想像されるものの、その功罪については次項以降の分析でも明らかにはなっていない。



写真-9.4.29 サシヅクリ

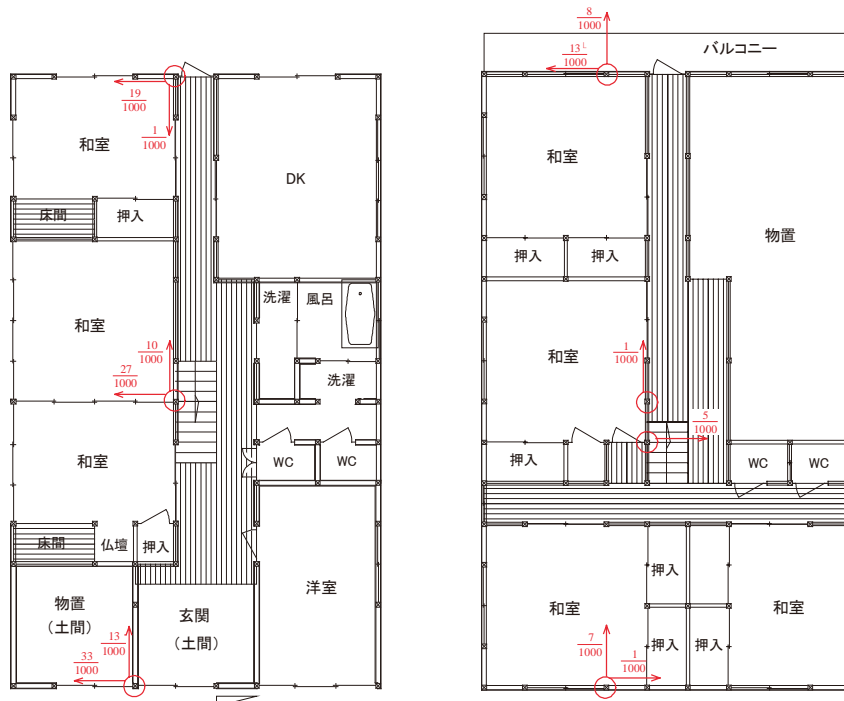


図-9.4.2 一般的な総2階建て専用住宅の調査対象物件の平面

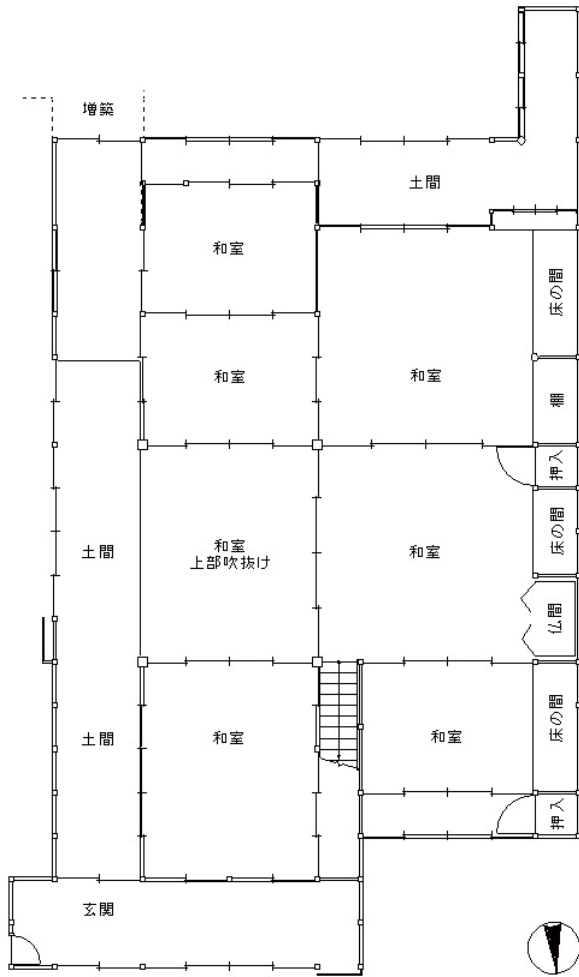


図-9.4.3 町屋建築の調査対象建物の平面

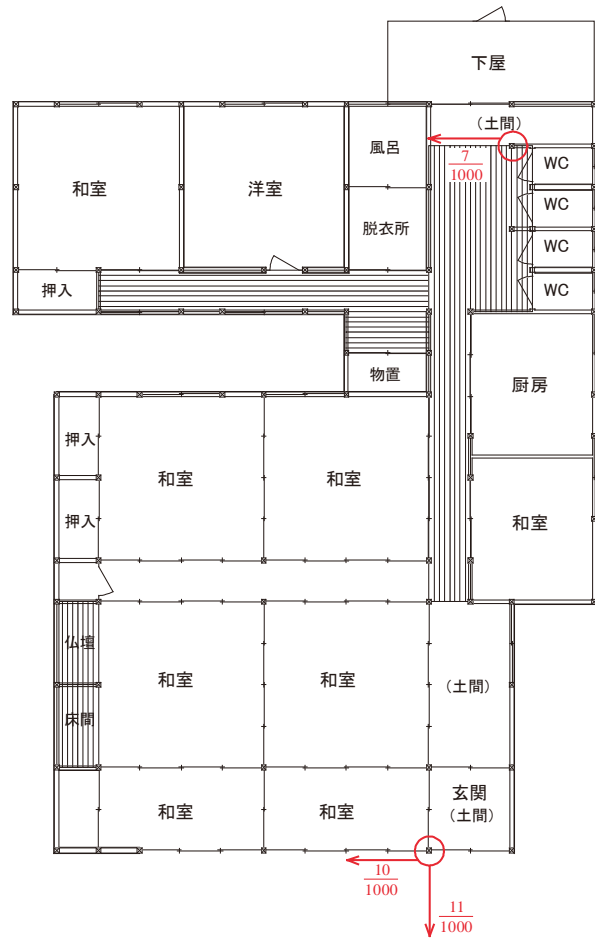


図-9.4.4 農家型の調査対象建物の平面

9.4.4 被災地の木造家屋の壁量

(1) 壁量の算出方法

表-9.4.1 に示す詳細調査を実施した建物それぞれの壁量と被害程度の間を考察した。壁量の算出には2通りの方法を適用した。

第一の方法では、筋かいや合板の有無・寸法等が不明である場合が多いため、無開口壁を倍率1として壁量を算出した。図面を拝借するなどして筋かいの配置が判明したものは筋かいの倍率を1として、無開口の壁量に加えた。これらに基づいて現行建築基準法の必要壁量に対する充足率（以下、基準法の壁量充足率と称する）を求めた。

第二の方法では、第一の方法によって算出した壁量に、開口壁の腰壁、垂れ壁を評価し、壁量として加えた。壁量として算入する開口壁は、少なくとも一方が無開口壁と隣接するものに限り、その評価方

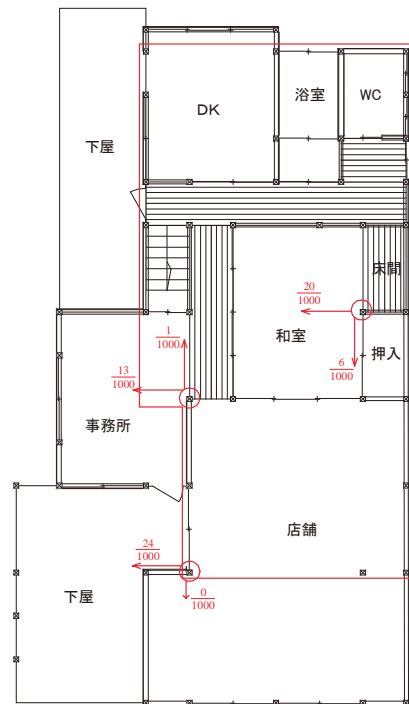


図-9.4.5 店舗併用住宅の調査対象建物の平面

法は、開口低減係数¹¹⁾を準用して表-9.4.2に示す通りとした。ここで得られた壁量を住宅の品質確保促進法（以下、品確法）の壁量評価法に基づいて耐震等級1と同等に要求される壁量のうち、一般地に要求されるもの（表-9.4.3¹²⁾）と比較して壁量充足率（以下、品確法の壁量充足率と称する）を算出した。

表-9.4.1 被災木造建築物の詳細調査結果の概要

地区	邸名	築年数	階数	応急危険度	残留変形角の 最大値	被害概況	図面
柏崎市田塚・上田尻	T-1	41	2	危険	東へ1/30、 南へ1/77	地盤変状、不同沈下有り。筋かいあり。常時微動卓越周波数約3 Hz。	作図
	T-2	43	2	危険	東へ1/40、 南へ1/77	地盤変状、不同沈下有り。金融公庫融資。	作図
	T-3	70	2	要注意	1階1/50、 2階1/60	20年前に一部増築。建物は南東方向へ傾斜。土塗り壁に大きく亀裂がはいる。	作図
	T-4	27	2	危険	東へ1/60	東側に隣接する水田へ向かって傾斜。基礎の傾斜はほぼ無し。	複写一部作図
柏崎市東本町	H-1	73	2	危険	西へ1/5	座屈した筋かいを確認。基礎の割れ確認。2階に約11.5tの書籍が積載。土壁崩落。	作図
	H-2	80	2	危険	西へ1/6	築120年の平屋部分に増築した部分。柱の折損確認。	作図
	H-3	20	2	調査済	0	1階が倉庫・車庫で2階が作業場。被害無し。クロスも亀裂無し。	作図
	H-4	51	2	危険	東へ1階1/17、 2階1/90	1階店舗。隣接建物に衝突痕有り。切石基礎が端部で転倒。	作図
	H-5	100以上	2	危険	東へ1/10	建物中央部はサシヅクリ。ケヤキの21 cm角の柱。上部は井桁状の梁。差し鴨居1箇所落下あり。	作図
柏崎市荒浜	A-1	75	1		南西1/100、 南東1/91	S45年の増築部は金融公庫融資受ける。砂地盤。小屋の一部が崩落。	作図
	A-2	110	2	危険	北東1/100、 北西1/111	建物中央部の柱は195 mm角で、吹抜のあるサシヅクリ。	作図
刈羽村刈羽	K-1	100	1	危険	南に1/30、 西に1/40	建物中央部はサシヅクリ、柱222mm角。165mm角の柱が折損。床下地盤に割れ。	作図
	K-2	15	2	危険	東へ 1F:1/400、 2F:1/170	K-1の増築部分。K-1との接続部分で分離し、その壁線で石膏ボード剥落。	作図
	K-3	25	2	危険	北西に 1/28、 北東に1/50	H16中越地震で液状化、その後地盤改良。今回は不同沈下有り。柱折損。	作図
	K-4	2	2	調査済	1/125	ログハウス。ほぼ無被害。	撮影

注、壁量等の考察において、ログハウスであるK-4を除外している。

表-9.4.2 有開口壁の評価方法

開口幅	単位長さ当たりの倍率	
	窓型開口	掃出し開口
1m以下	0.4	0.2
1m～2m未満	0.3	0.15
2m以上*	0.2	0.1

*：ただし、3m以上は3mと見なす。

表-9.4.3 品確法の壁量評価法に基づいて耐震等級1と同等に要求される壁量

屋根・壁の種類	必要壁量	
	1階	2階
重い材料による場合	$46K_1Z$	$20K_2Z$
軽い材料による場合	$36K_1Z$	$14K_2Z$

ただし、 $K_1=0.4+0.6R_f$ 、 $K_2=1.3+0.07/R_f$
 (R_f は2階の床面積の1階の床面積に対する割合、0.1未満の場合は $K_2=2.0$ 。Z：建築基準法施行令第88条に規定する地震地域係数、石川県輪島市は0.9)

(2) 調査対象建物の壁量充足率と偏心率

詳細調査建物の各方向の基準法と品確法の壁量充足率を比較してそれぞれ図-9.4.6、図-9.4.7に示す。ここで、X方向と称する方向は、概ね東西方向を示し、建物の梁間方向、桁行方向が東西南北と必ずしも一致していない場合は、採光を考慮したと推定される縁側等を南向きと判断し、X、Y方向を決めた。また、比較のために平成19年に能登半島地震の際に実施した詳細調査対象建物の基準法と品確法の壁量充足率をそれぞれ図-9.4.8、図-9.4.9に、さらに平成16年新潟県中越地震に詳細調査した建物の基準法と品確法の壁量充足率をそれぞれ図-9.4.10、図-9.4.11に示す。

壁量充足率は、X方向とY方向の壁量の相関性は低い。これは、前述の通り、通りに面する方向に依存して壁量が決まる傾向にあるためである。平成19年能登半島地震による被災建築物と比較して基準法の壁量充足率は若干高いが、平成16年新潟県中越地震¹³⁾による被災建築物とは同程度である。1階よりも2階の充足率が高い建物が多いのも前述のH19能登半島地震、H16新潟県中越地震の場合とほぼ同じ傾向である。

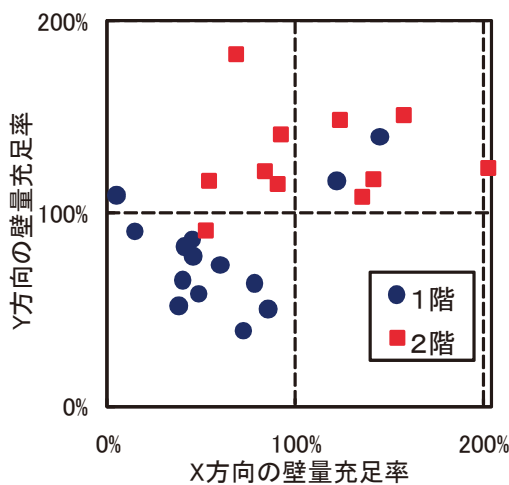


図-9.4.6 H19新潟県中越沖地震詳細調査建物における基準法の壁量充足率

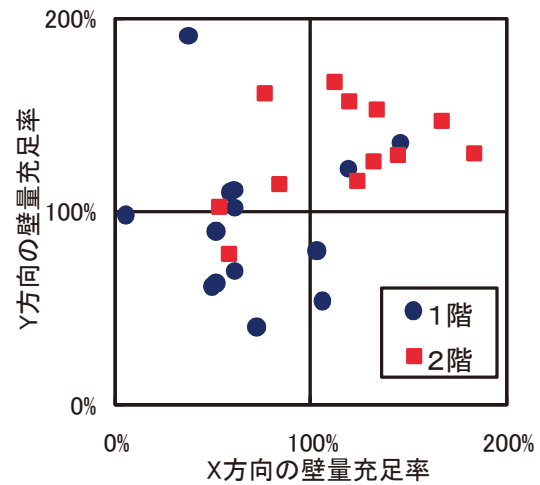


図-9.4.7 H19新潟県中越沖地震詳細調査建物における品確法の壁量充足率

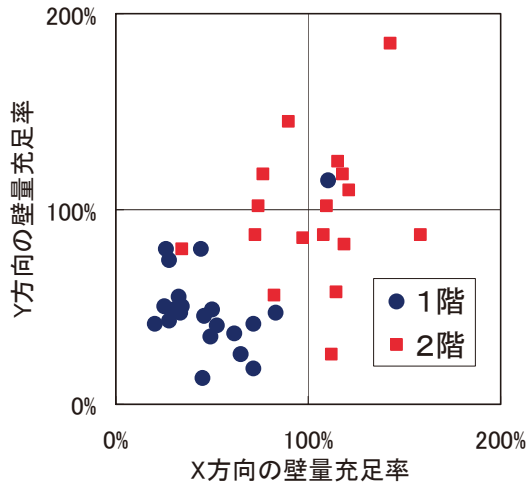


図-9.4.8 H19 能登半島地震詳細調査建物における基準法の壁量充足率

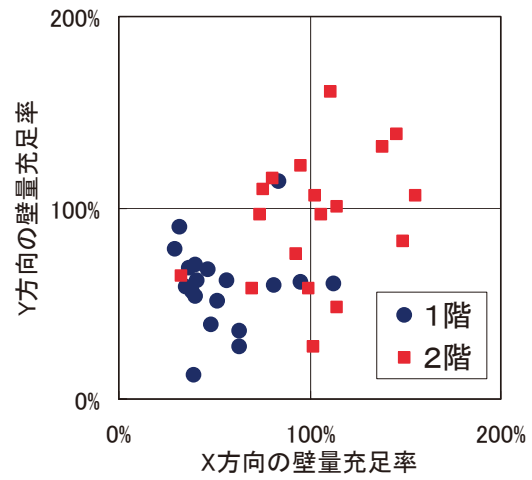


図-9.4.9 H19 能登半島地震詳細調査建物における品確法の壁量充足率

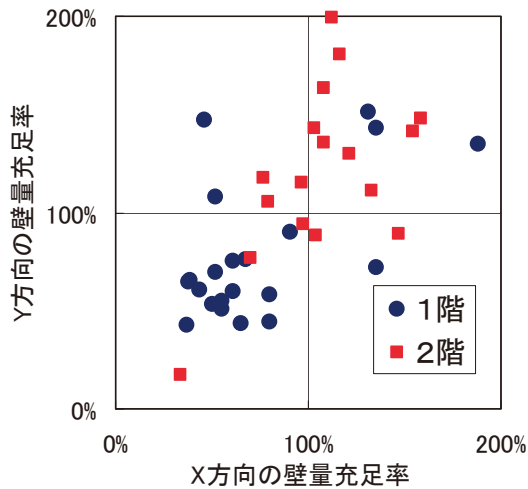


図-9.4.10 H16 新潟県中越地震詳細調査建物における基準法の壁量充足率

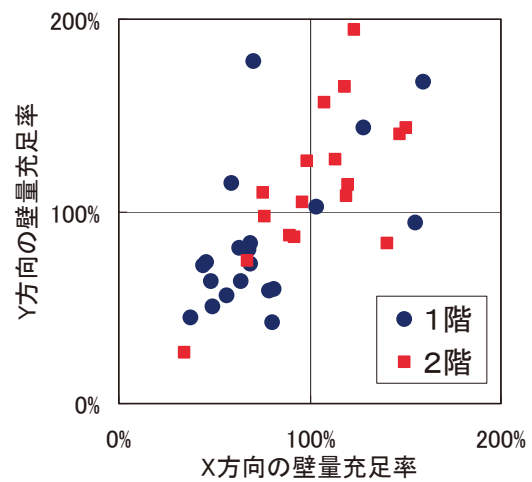


図-9.4.11 H16 新潟県中越地震詳細調査建物における品確法の壁量充足率

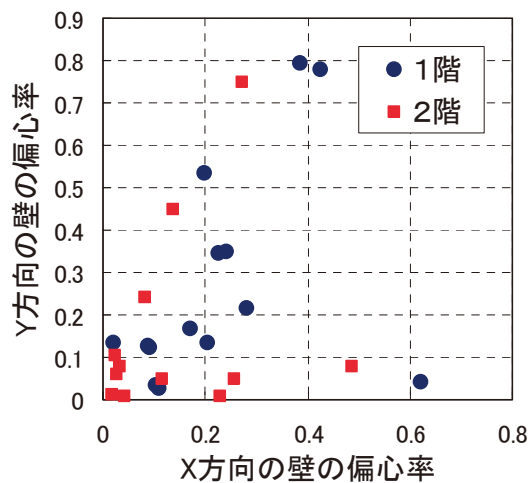


図-9.4.12 H19 新潟県中越沖地震詳細調査建物の偏心率

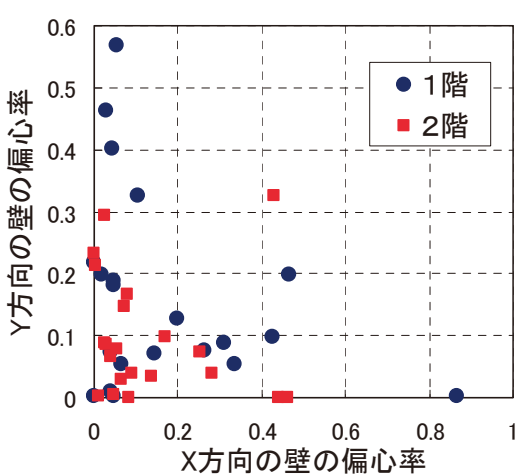


図-9.4.13 H19 能登半島地震詳細調査建物の偏心率

また、品確法の壁量充足率算出に用いた壁量の配置に基づく偏心率を算出して図-9.4.12に示す。また、H19 能登半島地震の詳細調査建物の偏心率を比較のための図-9.4.13に示す。被災建築物の1階と2階の偏心率、X、Y方向の偏心率には有意な差が認められない。今回の調査建物の偏心率は、H19 能登半島地震の調査建物より平均値は若干高いが、ほぼ同程度によくないし、極端に大きな値を示すものもない。

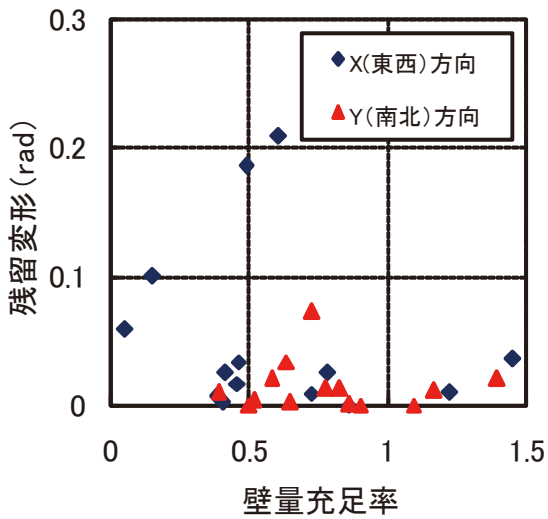
9.4.5 壁量充足率、偏心率と残留変形

(1) 壁量充足率と残留変形の関係

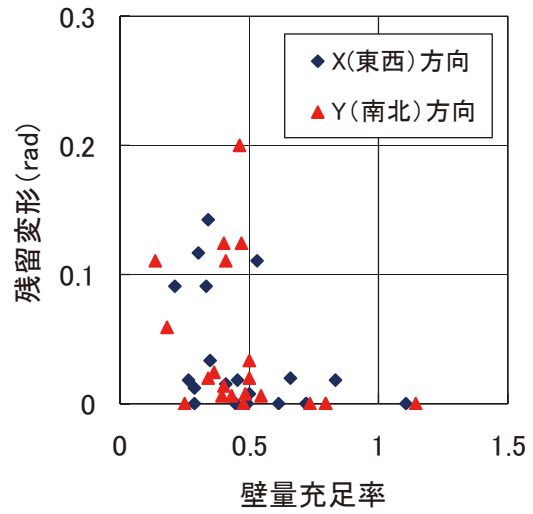
基準法、品確法の壁量充足率と残留変形を比較してそれぞれ図-9.4.14、図-9.4.15に示す。また、比較のためにH19 能登半島地震の詳細調査建物に対する壁量充足率と残留変形の関係も併記した。いずれについても、両者の間には明確な相関関係があるとは言えない。これは、耐力要素の仕様が明確でないこと、残留変形と地震時による経験変形は個々の建物ごとに異なることによるものと考えられる。

一方で、今回の中越沖地震の被害調査結果に基づけば、本報告による壁量推計に基づく壁量充足率が約60～70%以上で震度6強を記録する地震動が入力されても1/100radを超えるような被害が無いことが分かる。H19 能登半島地震の結果からは、壁量充足率が約60～70%以上で1/200radを超える被害がなかったことが得られているのに対し、壁量充足率75%～100%以上で1/200を超える被害を受けた建物が2つあるためである。これを、壁量の推計の不確実性と見るか、地震動の固有周期の際が与えたと見るかの結論は出せない。10～20の被害調査から、能登半島より今回の中越沖地震による被害が大きいと結論づけることもできない。

平成16年新潟県中越地震による震度7地域及びその近傍の調査結果では、前述のような簡易な壁量推計に基づく基準法、または品確法の壁量充足率でも、100%を超えていればせん断変形が1/10radを超えて倒壊の可能性が生じるような被害を受ける可能性はまずないこと¹³⁾が分かっており、合わせて考えると、簡易な壁量計算によっても壁量充足率が余裕をもって100%を超えていれば、H19 新潟県中越沖地震、H19 能登半島地、H16 新潟県中越地震等の震度6強から震度7に至るような大きな地震入力を与えられても使用限界1/120radを超えるような大きな被害を受ける可能性は極めて低いといえる。

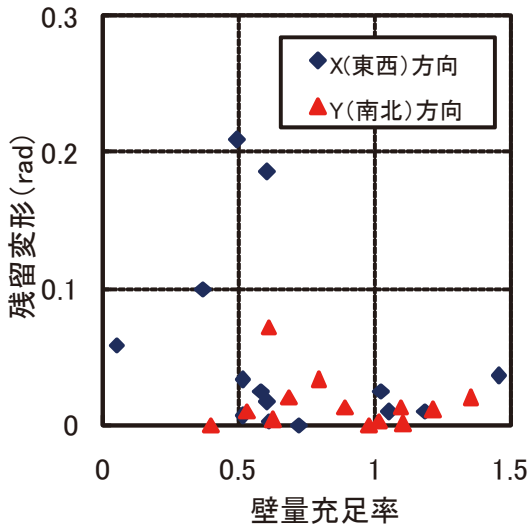


(a) H19 新潟県中越沖地震 (1階のみ)

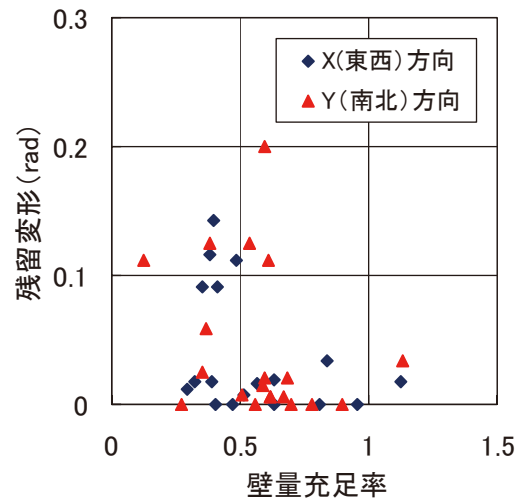


(b) H19 能登半島地震 (1階のみ)

図-9.4.14 基準法の壁量充足率と残留変形の関係



(a) H19 新潟県中越沖地震 (1階のみ)

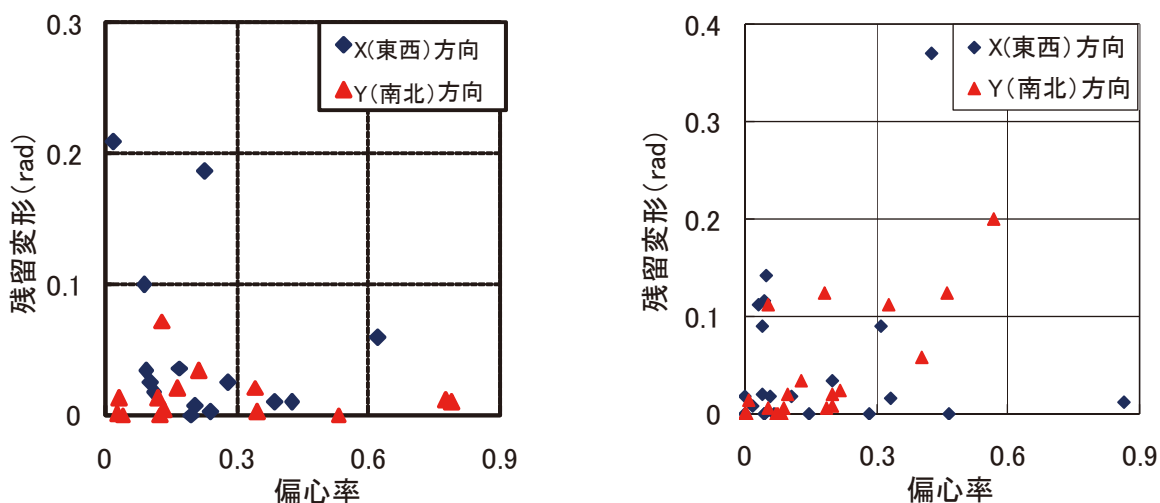


(b) H19 能登半島地震 (1階のみ)

図-9.4.15 品確法の壁量充足率と残留変形の関係

(2) 偏心率と残留変形の関係

偏心率と残留変形を比較して図-9.4.16(a)に示す。比較のためにH19能登半島地震における詳細調査建物の偏心率と残留変形の関係も併記した。H19能登半島地震における関係は、明確ではないものの、どちらかと言えば偏心率の増大とともに残留変形は大きくなる可能性があったが、H19新潟県中越沖地震においては、どちらかと言えば偏心率と残留変形は反比例している可能性が見受けられる。H19新潟県中越沖地震での調査建物は、H19能登半島地震の調査建物と比べて、偏心率は同程度で、壁量が多いため相対的に残留変形が小さい。このため、特異に残留変形が大きくなった建物が支配してそのような傾向が見えるに過ぎないと言える。



(a) H19 新潟県中越沖地震（1階のみ） (b) H19 能登半島地震（1階のみ）

図-9.4.16 偏心率と残留変形の関係

9.4.6 地震応答計算による耐力壁量と最大応答変位の関係

(1) 目的と概要

今回の地震では、木造住宅の被害が甚大な被災地において強震記録が得られており、一方で木造住宅の詳細調査から、木造住宅の各部の仕様及び主要な耐震要素の量がおおよそ把握されている。ここでは、木造住宅の被害原因の定量的考察に資することを目的として、強震記録で得られた地震波を用い、2階建て木造住宅に対して、各階の壁量及び1、2階の床面積比をパラメータとして行った地震応答計算の結果について述べる。

(2) 計算の方法

計算に用いた入力地震波は、K-net 柏崎（NIG018）、新潟県刈羽村割町新田、新潟県西山町池浦、柏崎刈羽原子力発電所1号機地震観測小屋（地表）のそれぞれのNS成分及びEW成分、合計8波である。各地震波の諸元を表-9.4.4に示す。

表-9.4.4 計算に用いた地震波の諸元

観測地点	計測震度	最大加速度 (gal)				震央距離 (km)
		3成分合成	南北	東西	上下	
K-net 柏崎	6.4	810.6	667.9	511.3	369.0	21
刈羽村割町新田	6.0	496.4	464.9	374.1	400.7	15
柏崎市西山町池浦	6.2	1018.9	840.7	878.6	565.8	13
刈羽原子力発電所 1号機地震観測小屋	6.5	1012.0	890	890	715	16

計算の対象とした建物は、以下の2種類である。

- ・ 2階建て木造 総2階
- ・ 2階建て木造 部分2階（床面積比は1階：2階＝1：0.7と仮定）

建物の重量は、重い屋根を想定した。これは、被災地において2階建ての木造住宅では2階の屋根を瓦葺きとしているものが多いことによるものである。固定荷重及び積載荷重の具体的な想定値は、単位床面積当たりの質量として表-9.4.5に示す値を用いて計算した。これらの値は、品確法における性能表示制度の評価方法基準で、耐震等級2以上における必要壁量の根拠とされる値である。

表-9.4.5 各部の質量の想定（床面積1㎡当たりkg）

	重い屋根の場合
屋根の質量 G1	130
各階の外壁の質量 G2	120
各階の内壁の質量 G3	20
各階の床の質量 G4	60
床の積載の質量 P1	61

地震応答計算は、上記の2種類の建物について、それぞれ各階の壁量をパラメータとして、建築基準法施行令第46条に規定する必要壁量に対して、木造部分の各階の壁量充足率が各階独立に0.6から1.6の間、0.2きざみで変化するように、各階の剛性耐力を変動させて行った。ただし、耐力壁以外の寄与を考慮し、耐力壁の耐力の50%が耐力壁以外の部分で負担されるものと仮定して、耐力壁による荷重変形関係を1.5倍して層の荷重変形関係とした。

用いた荷重変形関係及び履歴性状は、構造用合板耐力壁の実験結果をトレースする形でバイリニア+スリップにモデル化したものである。図-9.4.17に履歴モデルを、表-9.4.6に構造用合板耐力壁長さ1m当たりの荷重変形履歴モデルに対応するパラメータの値を示す。

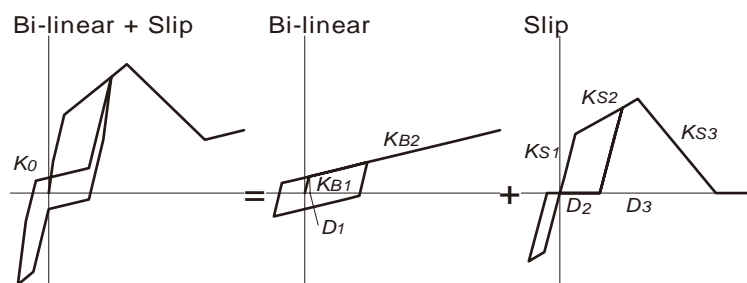


図-9.4.17 計算に用いた荷重変形の履歴特性（バイリニア+スリップ）

表-9.4.6 構造用合板耐力壁 1 m に対するパラメータの値（記号は図-9.4.17 に対応）

初期剛性 (kN/mm)	剛性 (kN/mm)					剛性変化点の変位 (mm)		
K_0	K_{B1}	K_{B2}	K_{S1}	K_{S2}	K_{S3}	D_1	D_2	D_3
48.76	$0.53K_0$	$0.03K_0$	$0.47K_0$	$0.07K_0$	$-0.11K_0$	4.5	18	90

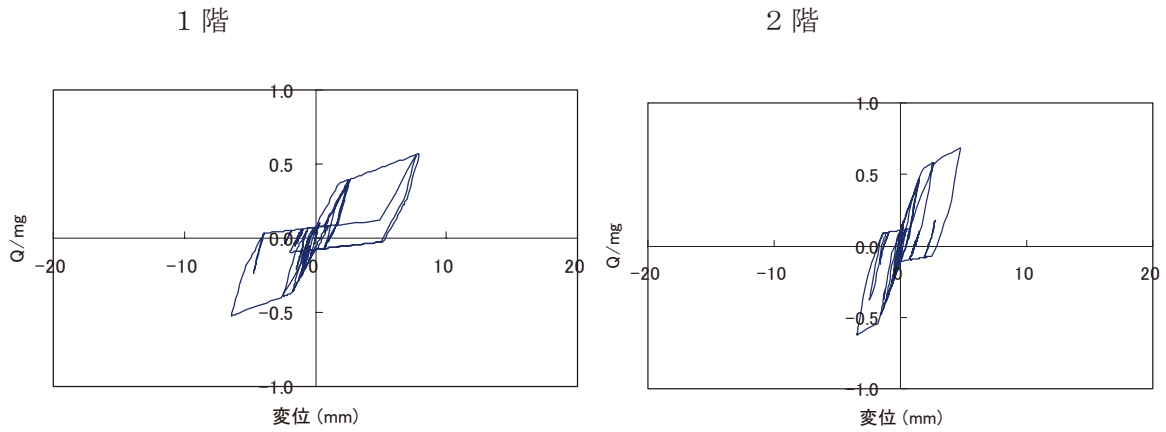
建築基準法上は、木造に対して単位床面積当たりの必要壁量が与えられているが、倍率 1 の壁で長さ 1 m 当たりの基準耐力は 1.96 (kN) である。このことから、2 種類の建物を対象に壁量充足率が 1 の場合の木造下階（2 階建ての 1 階、又は 1 階鉄筋コンクリート造 3 階建ての 2 階）について、非耐力部分の寄与も考慮して許容せん断耐力を算出し、層の許容せん断耐力を支持する重量で除した値、すなわち充足率 1 の想定モデルについて許容せん断耐力に対応する地震層せん断力係数を算出すると 2 階建ての場合、総 2 階で 0.215、部分 2 階で 0.259 となる。これを見ると、セットバックした住宅の場合には上階の重量が小さくなるために、いくらか余裕のある想定となっていることがわかる。

応答計算は、線形加速度法を用い、強震記録 20 秒間に対して、計算の 1 ステップの時間きざみは強震記録の 0.01 秒の 50 分の 1 として行った。減衰は初期剛性比例型で 1 次モードに対する減衰定数 2 % の減衰を仮定している。

(3) 計算結果

計算結果の荷重変形関係の例を図-9.4.18 に、2 種類の建物について入力地震波 8 種類、壁量の充足率 36 通りの組み合わせで行った地震応答計算の結果を、各階の層間変位の最大応答値として、図-9.4.19~26 に示す。ただし、履歴モデルの想定から、層間変位が 30cm を超えた場合には、倒壊と見なして打ち切った。

1) 総2階建て、壁量充足率1階 $R1=1.6$ 、2階 $R2=1.6$ 、入力地震動 K-net 柏崎 NS
の場合



2) 総2階建て、壁量充足率1階 $R1=1.4$ 、2階 $R2=1.4$ 、入力地震動 刈羽村割町新田
NS の場合

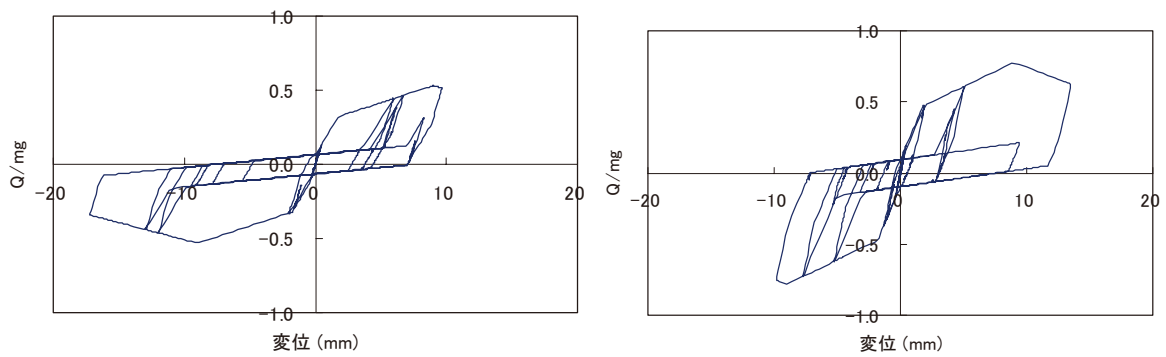
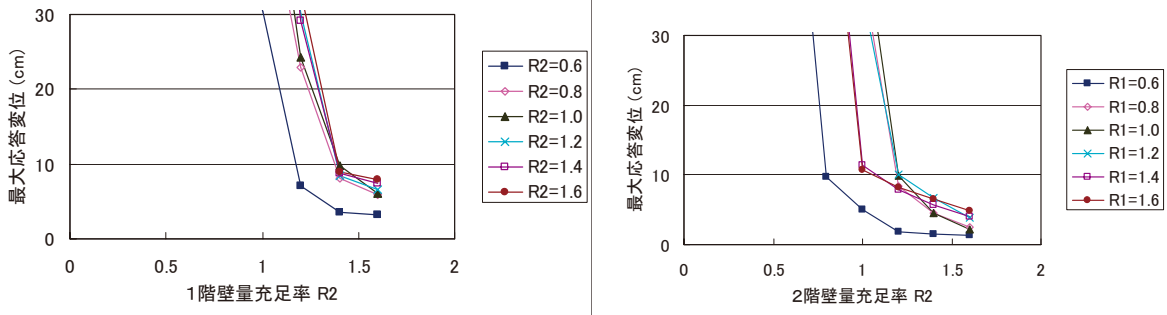


図-9.4.18 応答計算結果の荷重変形関係の例

(1) K-net 柏崎 NS (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) K-net 柏崎 EW (左 : 1 階、右 : 2 階)

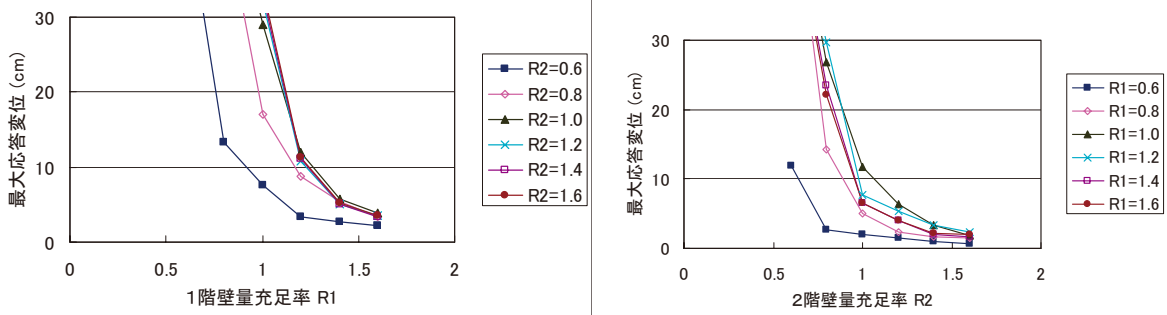
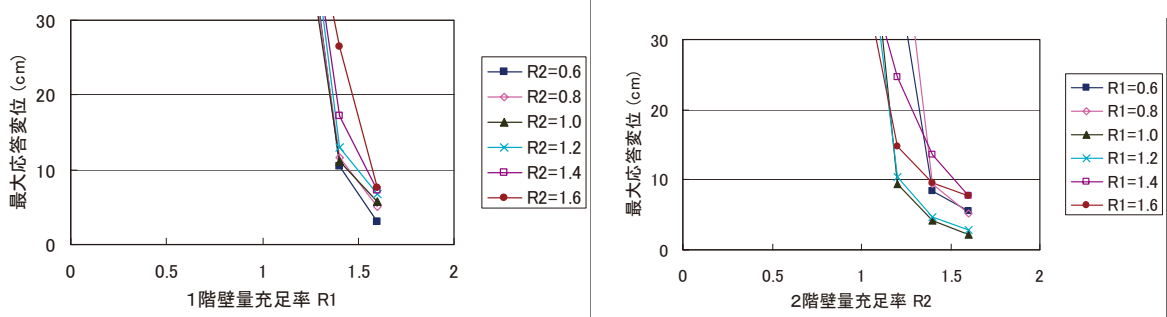


図-9.4.19 最大応答変位の計算結果-1 (総2階建て、入力地震動 : K-net 柏崎)

(1) 刈羽村割町新田 NS (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) 刈羽村割町新田 EW (左 : 1 階、右 : 2 階)

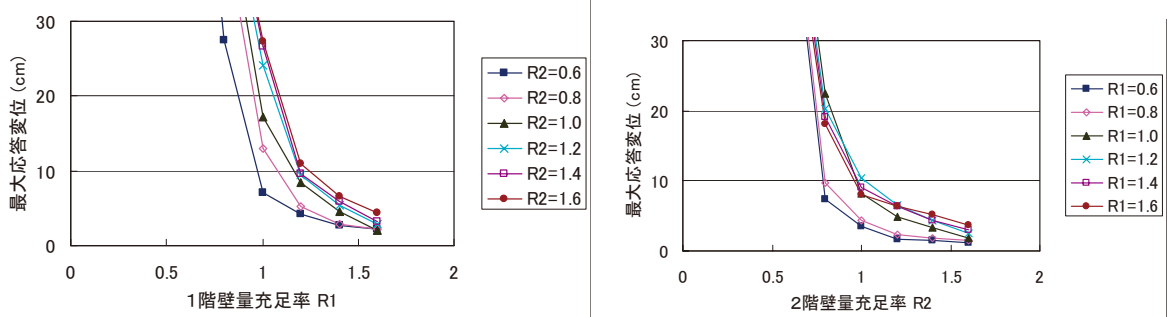
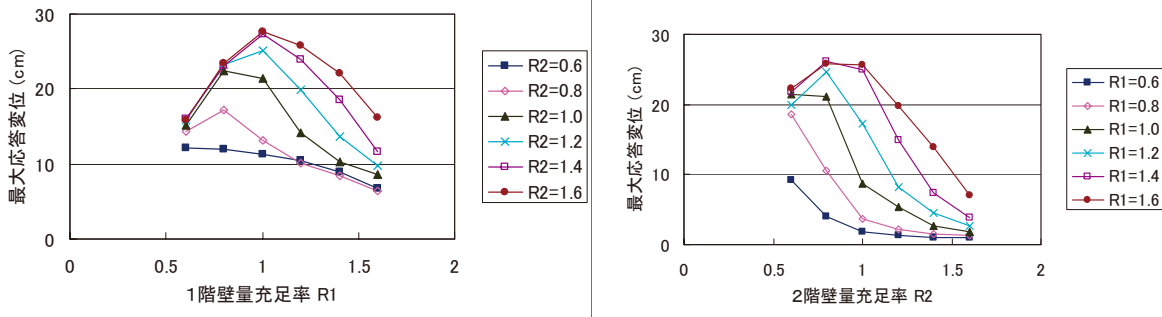


図-9.4.20 最大応答変位の計算結果-2 (総2階建て、入力地震動 : 刈羽村割町新田)

(1) 西山町池浦 NS (左: 1階、右: 2階)



(2) 西山町池浦 EW (左: 1階、右: 2階)

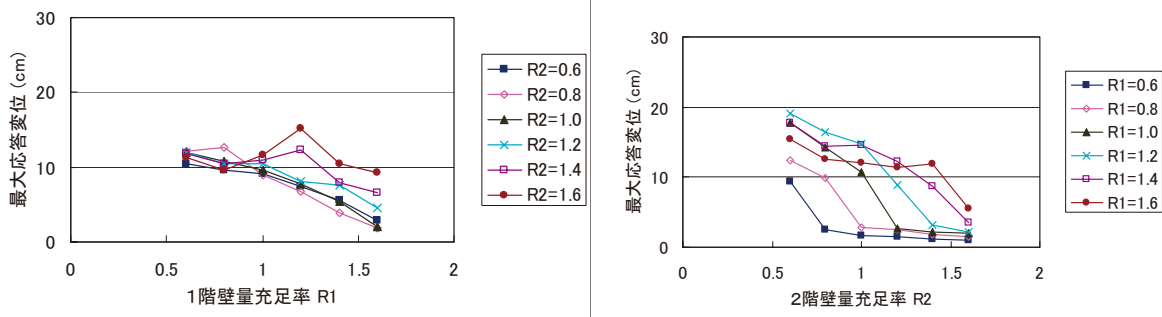
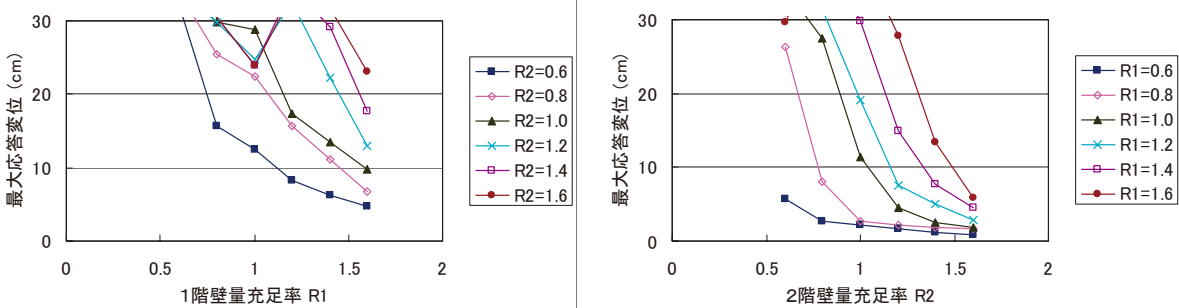


図-9.4.21 最大応答変位の計算結果-3 (総2階建て、入力地震動: 西山町池浦)

(1) 1号機地震観測小屋 NS (左: 1階、右: 2階)



(2) 1号機地震観測小屋 EW (左: 1階、右: 2階)

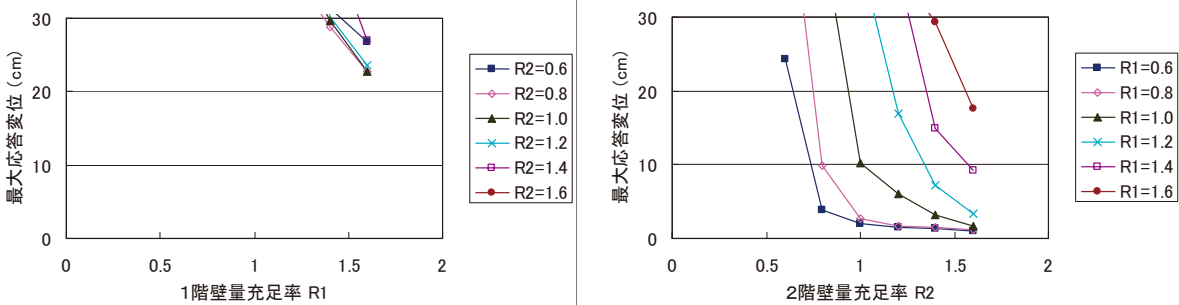
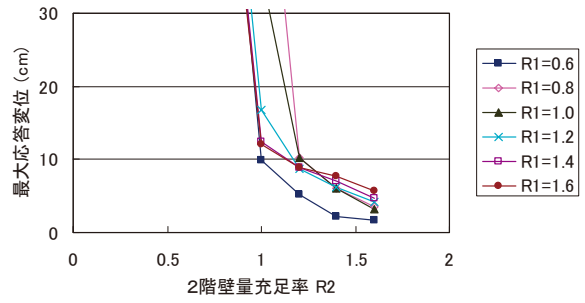
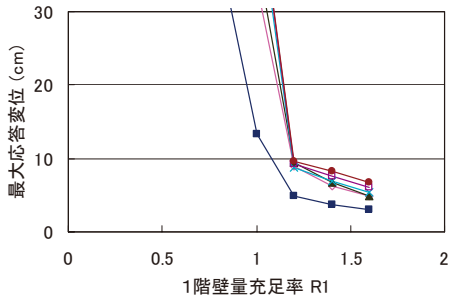


図-9.4.22 最大応答変位の計算結果-4 (総2階建て、入力地震動: 1号機地震観測小屋)

(1) K-net 柏崎 NS (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) K-net 柏崎 EW (左 : 1 階、右 : 2 階)

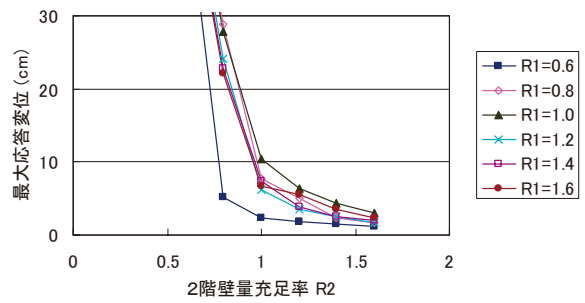
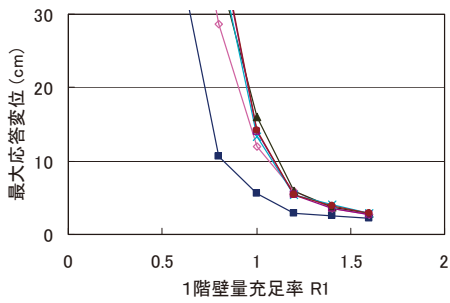
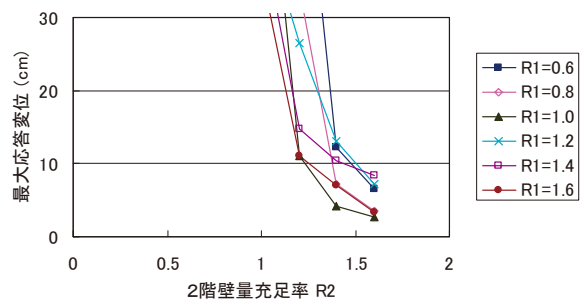
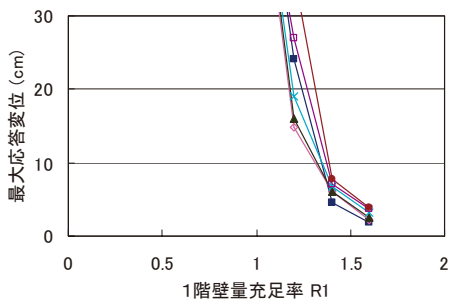


図-9.4.23 最大応答変位の計算結果-5 (部分2階建て、入力地震動: K-net 柏崎)

(1) 刈羽村割町新田 NS (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) 刈羽村割町新田 EW (左 : 1 階、右 : 2 階)

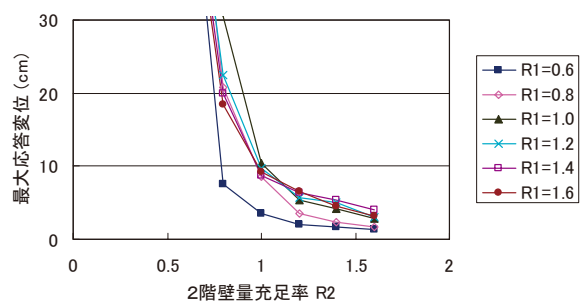
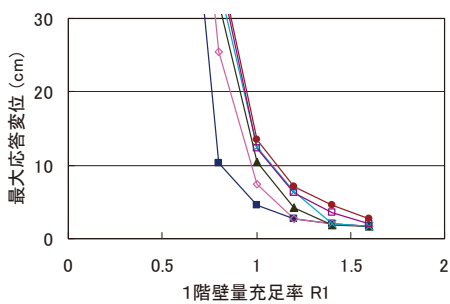
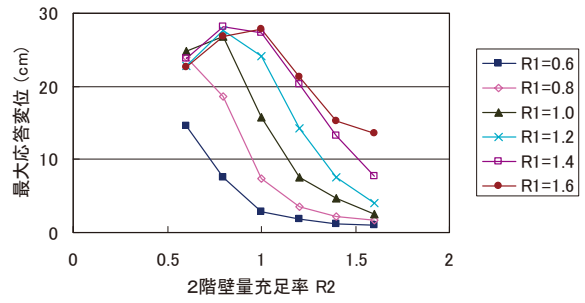
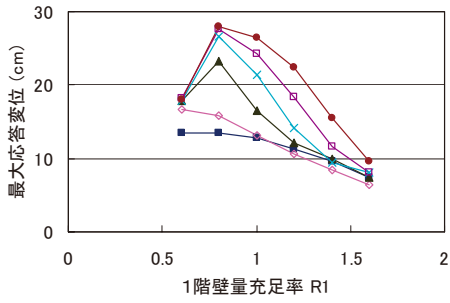


図-9.4.24 最大応答変位の計算結果-6 (部分2階建て、入力地震動: 刈羽村割町新田)

(1) 西山町池浦 NS (左: 1階、右: 2階)



(2) 西山町池浦 EW (左: 1階、右: 2階)

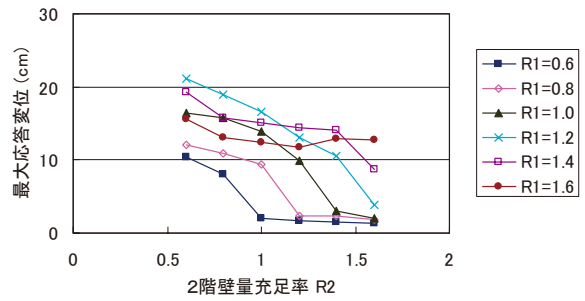
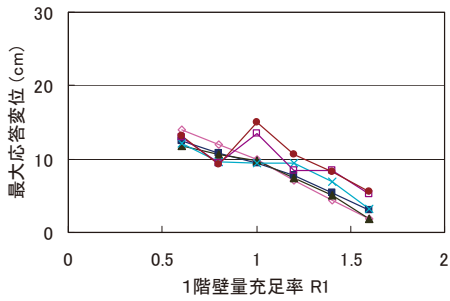
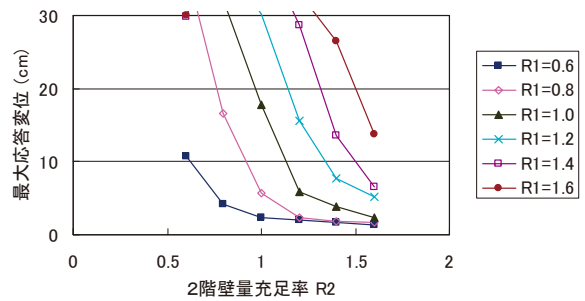
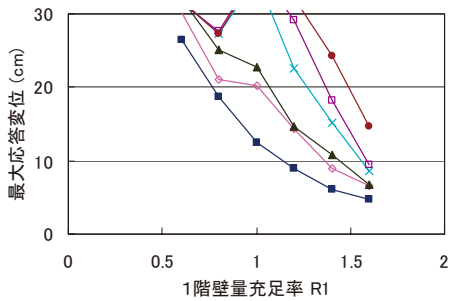


図-9.4.25 最大応答変位の計算結果-7 (部分2階建て、入力地震動: 西山町池浦)

(1) 1号機地震観測小屋 NS (左: 1階、右: 2階)



(2) 1号機地震観測小屋 EW (左: 1階、右: 2階)

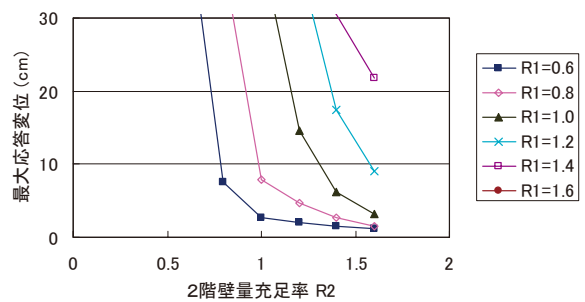
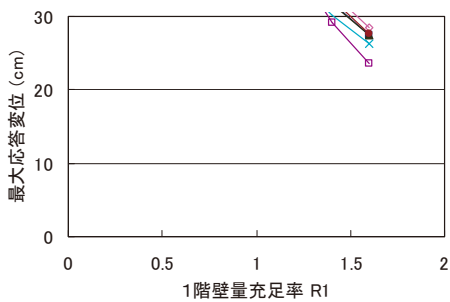


図-9.4.26 最大応答変位の計算結果-8 (部分2階建て、入力地震動: 1号機地震観測小屋)

図-9.4.19～26 から、まず地震波による応答の違いについて大まかに述べれば次の通りである。

K-net 柏崎や刈羽村割町新田では、壁量充足率がある値より小さくなると急激に応答変形が増大して、本解析で倒壊の危険性があると判断する 30cm を超える層間変形角に達する傾向がある。この、倒壊の危険性が急激に増大することとなる壁量充足率のおよその値は、総 2 階か部分 2 階かの違い、1 階であるか 2 階であるかの違い、あるいは他の階の壁量充足率などによっても若干の相違はあるが、K-net 柏崎 NS で 1.0 から 1.2、K-net 柏崎 EW で 0.8、刈羽村割町新田 NS で 1.0 から 1.2、刈羽村割町新田 EW で 0.6 から 0.8 といったところである。

一方、同じ震度 6 強でも西山町池浦 NS、EW に対しては、壁量充足率 0.6 程度でも最大応答層間変形角は 30cm を超えず、倒壊は免れている。ただし、西山町池浦 NS に対しては、壁量充足率が 0.6 から 0.8 ないし 1.0（場合によっては 1.4 程度まで）に増加すると、逆に応答変位が増える場合がある。地震動の周波数特性の影響と考えられる。

また、柏崎刈羽原子力発電所 1 号機地震観測小屋の記録は、今回解析に使用した地震波の中では木造住宅に対して最も過酷であり、特に EW 成分に対しては、壁量充足率 1.6 程度がなければ倒壊の恐れがあるという結果になっている。NS 成分に対しては、壁量充足率の増加に伴って緩やかに応答変位が減少し、1、2 階の壁量充足率が 1.0 程度あれば倒壊を免れるという結果である。

次に、総 2 階の場合と部分 2 階の場合を比較してみると、全体的な傾向としては大きな差がないと言って良からう。建築基準法による 1 階の必要壁量は総 2 階、部分 2 階を問わず同じ値であることから、部分 2 階の場合の方が 1 階については有利であり、応答変位が小さいと予測される。計算結果を見ると、確かに同じ壁量充足率に対して 1 階の応答変位は部分 2 階に比べて総 2 階（総 3 階）の方が大きく、2 階の応答は逆に部分 2 階の方が大きいという傾向が幾分見られる。ただし、その差はそれほど大きなものではない。

また、他の階の壁量充足率が当該階の応答変位に及ぼす影響については、入力地震波によってかなり違いが見られた。K-net 柏崎や刈羽村割町新田では、例えば 1 階の壁量充足率と応答変位の関係は 2 階の壁量充足率の大小にかかわらずほぼ同じカーブを示すのに対して、西山町池浦や 1 号機地震観測小屋に対しては、その関係が 2 階の壁量充足率によって相当異なるという結果であった。

これらの応答計算結果を、詳細調査によって得られた壁量充足率と残留変形角の関係と比べてみると、次のようなことが言える。

詳細調査によって得られた壁量充足率と残留変形角の関係では、概ね壁量充足率が 0.7 程度あれば、10 分の 1 といった大きな残留変形角には至らないという結果であった。一方、応答計算結果では、壁量充足率が 1.0 程度ないと、K-net 柏崎 NS や刈羽村割町新田 NS では 10 分の 1 以上の最大応答変位に達する恐れがあるという結果であった。両者には、変形の側の尺度が残留変形であるか最大応答変位であるかの違いがあるため直接の比較はできないが、応答計算結果を見るかぎりでは、壁量充足率 0.7 程度では明らかに倒壊の恐れがあると思われる。

この差異については様々な理由が考えられるが、可能性のひとつとして、本解析での想定に比べて実建物の性能が相当に高いことが考えられる。解析においては、計算の方法で述べたように、壁単体の荷重変形関係のみならず、雑壁の効果等を考慮して建物全体で 1.5 倍の耐力の割り増しを行っているが、雑壁の効果、仕上げ材の効果、立体効果

など様々な要因により、実建物ではさらに高い耐力を有していることが可能性として考えられる。その他に、地質条件による入力の違いや基礎の破壊による減衰効果なども、差異の原因となっている可能性がある。

(4) 地震応答計算のまとめ

入力地震波として K-net 柏崎 (NIG018)、新潟県刈羽村割町新田、新潟県西山町池浦、柏崎刈羽原子力発電所 1 号機地震観測小屋 (地表) のそれぞれの NS 成分及び EW 成分、合計 8 波を用い、総 2 階建てと部分 2 階建ての 2 種類の木造住宅を想定した地震応答計算を行い、各階壁量充足率と各階最大応答変位の関係を求めた。

その結果、K-net 柏崎や刈羽村割町新田の地震波に対しては、壁量充足率がある値より小さくなると急激に応答変形が増大して倒壊の危険に至った。この壁量充足率は、K-net 柏崎 NS で 1.0 から 1.2、K-net 柏崎 EW で 0.8、刈羽村割町新田 NS で 1.0 から 1.2、刈羽村割町新田 EW で 0.6 から 0.8 といった値である。一方、西山町池浦に対しては、壁量充足率 0.6 程度でも最大応答層間変形角は 30cm を超えずに倒壊を免れ、柏崎刈羽原子力発電所 1 号機地震観測小屋に対しては、特に EW 成分について壁量充足率 1.6 程度がなければ倒壊の恐れがあるという結果であった。

これらの応答計算結果を、詳細調査によって得られた壁量充足率と残留変形角との関係と比較してみると、同じ壁量充足率に対して応答計算による応答が実際よりも過大であるように見受けられる。その理由としては、雑壁の効果、仕上げ材の効果、立体効果など様々な要因により、実建物では本計算での想定以上に高い耐力を有している可能性が考えられる。

9.4.7 本節のまとめ

平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震による木造建築物の被害を調査し、被災建築物の壁量を分析した結果をまとめると以下の通りとなる。

- ・住宅の全壊数は平成 16 年新潟県中越地震の 1/3 程度であった。
- ・大破、倒壊していた建築物は、主に土塗り壁を有するような比較的古い構法による住宅、倉庫、車庫、納屋の類、並びに店舗併用住宅であった。
- ・柏崎市東本町、西本町、新花町、中央町、小倉町、諏訪町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、倒壊家屋が多く見られた。比較的立派なつくりであるものの、大量の書籍による積載荷重が原因で大破した木造建築物も確認された。
- ・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が多く、これらの地区における被害は倉庫、車庫、納屋、作業所の類の被害が中心で、大きな被害を受けた住宅の割合は低い。
- ・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も見られた。
- ・柏崎市松波の木造家屋はいずれも築 15 年以下と推定されるかなり新しいものが多かったが、地盤の被害が大きく (鯖石川改修記念公園に向かって南南西～北北東へ大きな地割れが走っており、その延長線上に損傷したゴミ焼却場の煙突がある)、こ

れにより損傷を受けた建物が服す確認され、振動的被害は確認されなかった。

- ・被災地区には、建物中央付近に梁・桁を井桁状に組んだ吹抜を設けるサシヅクリと呼ばれる構法が散見されたが、吹抜け部分の大きな被害は見られなかった。
- ・被災地区において外壁のみ補修し、一見新しい建物のように見える建物が倒壊した例も複数確認された。
- ・被災地区で任意に抽出して詳細調査対象とした木造家屋の壁量充足率は、2007年能登半島地震の被災地区の調査建物よりも多少高いが、偏心率は両者に大きな差がない。
- ・個別の建物を詳細に調査し壁量と残留変形の間を比べると、簡易な推計法によって算出された壁量で建築基準法や品確法の評価法に基づいてその等級1で要求されている壁量に対する充足率が60～70%を超えていれば、残留変形1/100 radを超えるような大きな被害は受けていない。

謝辞（木造調査関連）

本章において時刻歴応答計算に用いた強震記録は、K-net 柏崎については独立行政法人防災科学技術研究所より、また、柏崎刈羽原子力発電所1号機地震観測小屋については東京電力株式会社より入手した。新潟県の刈羽村割町新田及び柏崎市西山町池浦の2つの強震記録については、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。

関係諸氏にこの場を借りて謝意を表す。

9.5 塔状工作物（鉄筋コンクリート造）の被害

9.5.1 調査概要

(1) 調査内容

柏崎市橋場の塔状工作物の地震被害を調査するとともに、その周辺にある、長岡市鳥越、長岡市小国町武石および小千谷市時水の塔状工作物についても、調査を行った。

調査は、2007年7月23日、24日、8月9日及び10月9日に国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所が共同実施したものであり、財団法人日本建築防災協会の被害調査チームが調査協力した。本節では、この調査結果¹⁾の概要を報告する。

(2) 調査日程

調査日程は、表-9.5.1の通りである。各調査対象の位置を図-9.5.1に示す。

表-9.5.1 調査日程表

月日	調査対象
7月23日	柏崎市橋場の塔状工作物 〃 新橋の塔状工作物
7月24日	長岡市鳥越の塔状工作物 長岡市小国町武石の塔状工作物 小千谷市時水の塔状工作物
8月9日	柏崎市橋場の塔状工作物
10月9日	柏崎市橋場の塔状工作物



図-9.5.1 塔状工作物調査位置と本震震源位置 (●: 塔状工作物)

9.5.2 調査結果

(1) 柏崎市橋場にある塔状工作物

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、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。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 枚を矩形に並べた構造となっている。外筒は、下から壁厚、壁筋を上に向かって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、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、接続箇所に設置されている。

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-9.5.1～9.5.2）。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。



写真-9.5.1 柏崎市橋場にある塔状工作物（自立型煙突）の全景

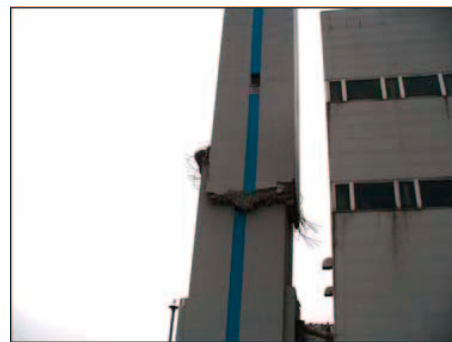


写真-9.5.2 煙突の北側面（写真-9.5.1の右側面）

(2) 長岡市鳥越にある塔状工作物

本塔状工作物（写真-9.5.3）は、高さ 59 メートル、外筒が鉄筋コンクリート造、内筒が鉄骨造の自立型煙突であり、竣工は 1986 年である。外筒は、鉄筋コンクリート造壁 4 枚を矩形に並べた構造であり、下から壁厚、壁筋を減らしていくように設計されている。高さ 45 メートルまで、壁主筋をダブル配筋とし、隅角部には、ハンチを設けて、補強筋が配筋されている。外筒には、換気用、出入口用、水平煙道用の開口が設けられている。外観からは、被害は認められなかった。



写真-9.5.3 長岡市鳥越にある塔状工作物

(3) 長岡市小国町武石にある塔状工作物

本塔状工作物（写真-9.5.4）は、高さ 40 メートル、鉄筋コンクリート造の自立型煙突であり、煙道内壁に耐火煉瓦が貼り付けられている。竣工は 1992 年であるが、現在、焼却施設は稼働しておらず、煙突は使用されていない。煙突は、外側が八角形、内側が円形の断面をしており、外側及び内側に主筋が配筋され、それぞれが帯筋でつながられている。また、鉄筋コンクリート造部分の厚みが 400 ミリメートル近いところで、更に幅止め筋が配筋されている。下から壁厚、壁筋を減らしていくように設計されているが、高さ 40 メートルまでダブル配筋とされている。煙突には、水平煙道用、灰取り出し用の開口が設けられている。外観からは、被害は認められなかった。



写真-9.5.4 長岡市小国町武石にある塔状工作物



写真-9.5.5 小千谷市時水にある塔状工作物

(4) 小千谷市時水にある塔状工作物

本塔状工作物（写真-9.5.5）は、高さ 59 メートル、外筒が鉄筋コンクリート造、内筒が鉄骨造の自立型煙突であり、竣工は 1990 年である。外筒は、鉄筋コンクリート造壁 4 枚を矩形に並べた構造であり、下から壁厚、壁筋を減らしていくように設計されている。高さ 9 メートルまで、壁主筋をダブル配筋とし、高さ 9 メートル以上では壁主筋をシングル配筋とされている。隅角部には、ハンチを設けて、補強筋が配筋されている。外筒には、換気用、機器搬入用、水平煙道用の開口が設けられている。外観からは、被

害は認められなかった。

(5) 柏崎市新橋にある塔状工作物

本塔状工作物（写真-9.5.6）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、輪切り状に 3 本に折れ、上 2 本が倒壊し、下 1 本が残っている。倒れた方向は、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。



写真-9.5.6 煙突と木造工場
(写真中央に、煙突の低層部(奥)、中層部、先端部(手前)が 3 本見える)

9.5.3 塔状工作物の鉄筋コンクリート造部分の配筋について

本調査のうち、9.5.2(1)～(4)の各塔状工作物に関しては、現地調査時に提供していただいた竣工図と思われる図面により、鉄筋コンクリート造部分の配筋を参照することができた。9.5.2 に示したとおり、これらの塔状工作物の中には、鉄筋コンクリート造の壁主筋を、全高にわたってダブル配筋とする場合と、途中の高さでダブル配筋からシングル配筋に切り替える場合が見られた。

今回の地震により途中の高さで折損し、一部崩落した塔状工作物では、途中の高さで壁主筋をダブル配筋からシングル配筋に切り替えており（図-9.5.2）、破断箇所と、ダブル配筋からシングル配筋に切り替えた位置とが、ほぼ一致していた。

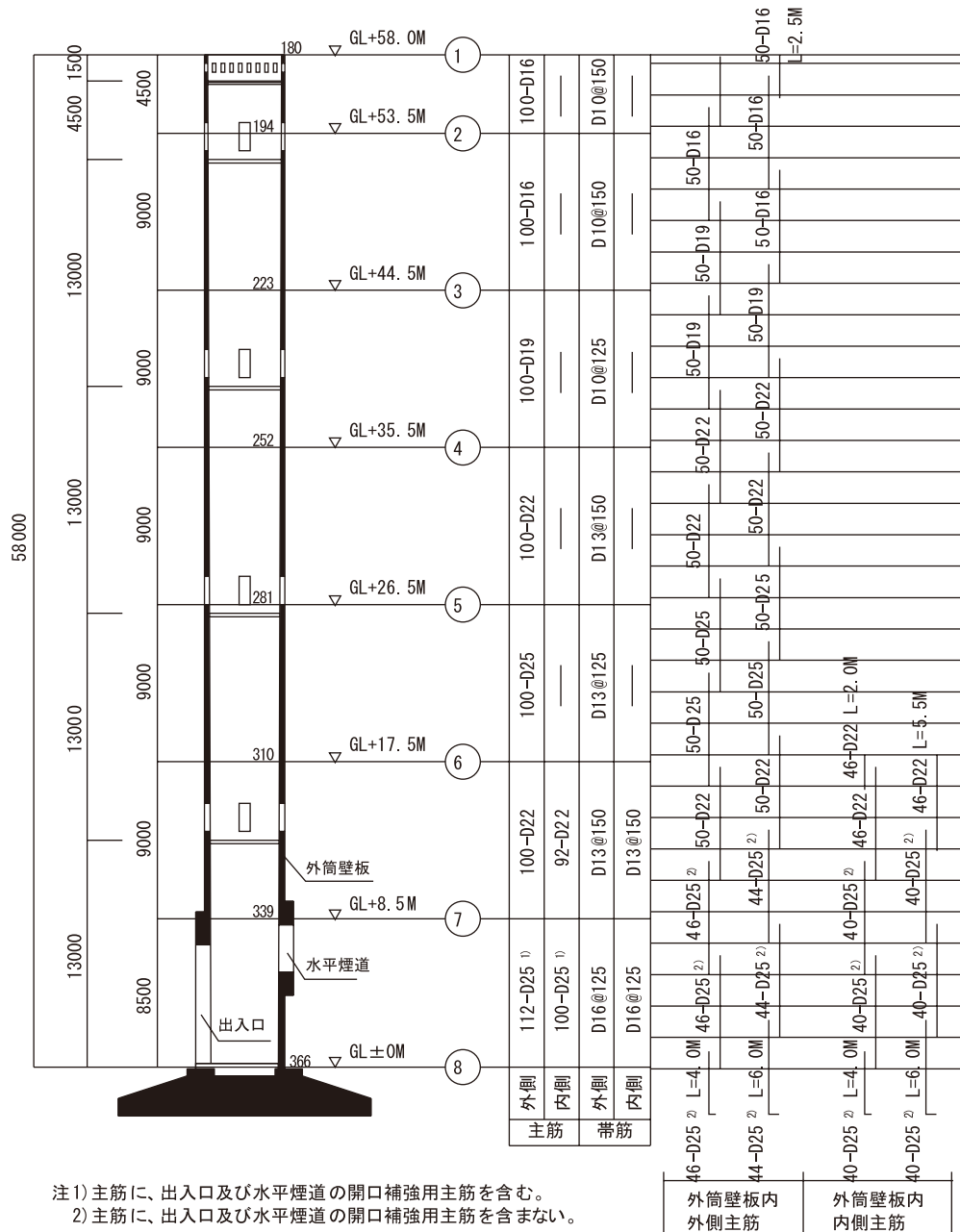
9.5.4 塔状工作物の耐震性の検討

9.5.2(1)に示した塔状工作物について、昭和 56 年建設省告示第 1104 号¹⁴⁾(現在は、平成 12 年建設省告示第 1449 号に移行)に規定される必要曲げモーメントを計算し、「鉄筋コンクリート煙突の構造設計指針」¹⁵⁾を参照して算定した、軸力、曲げモーメントを同時に受ける（煙突）断面の短期許容曲げモーメントと比較する。

(1) 告示に規定される必要曲げモーメント

告示に規定される必要曲げモーメント M_n を、以下の式により求めた。なお、ここで検討する塔状工作物は、外筒が鉄筋コンクリート造、内筒が鉄骨造からなる。

$$\text{必要曲げモーメント } M_n = 0.4 \cdot h \cdot C_{si} \cdot W \quad [\text{ton} \cdot \text{m}]$$



注1) 主筋に、出入口及び水平煙道の開口補強用主筋を含む。
 2) 主筋に、出入口及び水平煙道の開口補強用主筋を含まない。

(1) 立面断面図 (2) レベル番号 (3) 配筋量 (4) 主筋の継手位置
 図-9.5.2 塔状工作物の外筒部分(鉄筋コンクリート造)の配筋例

h 、 C_{si} 及び W は、それぞれ次の数値を表す。

h : 外筒の地盤面からの高さ [m] ($h=58\text{m}$)

C_{si} : 外筒の地上部分の高さ方向の力の分布を表す係数で、計算しようとする当該外筒の部分の高さに応じて次の式に適合する数値

$$C_{si} \geq 0.3Z \left(1 - \frac{h_i}{h} \right)$$

この式において、 Z 及び h_i は、それぞれ次の数値を表す。

Z : 建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する Z の数値

(柏崎市橋場は $Z = 0.9$)

h_i : 外筒の地上部分の各部分の地盤面からの高さ [m]

W : 外筒及び内筒の地上部分の固定荷重と積載荷重との和 [ton]

表-9.5.2 塔状工作物の各レベルにおける外力 W 、 M_n 等

レベル	高さ h_i [m]	外径 D [m]	壁厚 t [cm]	断面 積 A_c [m ²]	地震力 用重量 W [ton]	C_{si} [-]	必要曲げ モーメント M_n [ton·m]
②	53.5	4.60	19.4	3.42	57.1	0.02	370
③	44.5	4.60	22.3	3.90	148.5	0.06	1109
④	35.5	4.60	25.2	4.38	250.7	0.10	1849
⑤	26.5	4.60	28.1	4.85	360.4	0.15	2528
⑥	17.5	4.60	31.0	5.32	482.9	0.19	3327
⑦	8.5	4.60	33.9	5.78	615.2	0.23	4067
⑧	0.0	4.60	36.6	6.20	760.7	0.27	4765

注)高さ、外径、壁厚、地震力用重量、 C_{si} は、構造計算書を参照して求めた。

(2) 短期許容曲げモーメント

短期許容曲げモーメント M_s は、調査した塔状工作物のうち、外筒の鉄筋コンクリート造部分について、各高さの断面が、一定軸力を受ける時に負担し得る曲げモーメントとして求めた。外筒及び内筒の接続部分は、鉛直ローラーが設置されているので、外筒に作用する軸力には内筒の固定荷重を加えないこととする。

$$\text{軸力 } N = W - W_s \quad [\text{ton}]$$

W_s : 鉄骨造内筒の固定荷重と積載荷重の和 [ton]

鉄骨造内筒は、高さ 59m、外径 1.3m、肉厚 12m の円筒形 2 基で構成され、その固定荷重と積載荷重の和は、煙突脚部において、62.0[ton]である。この重量は、表-9.5.2 のレベル⑧の地震力用重量 W に含まれている。

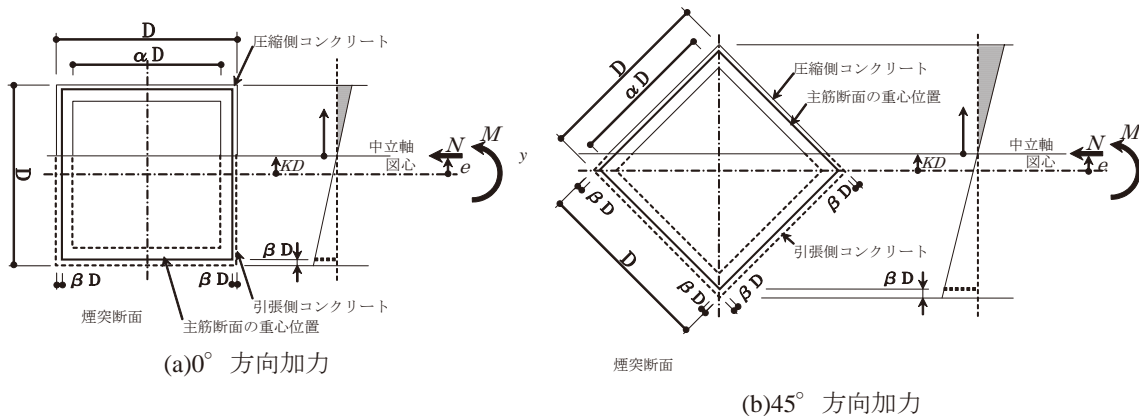


図-9.5.3 平面保持を仮定した断面と外力(軸力 N 、曲げモーメント M)

外力 N 、 M を受ける断面の応力は、図-9.5.3 に示すように、平面保持の仮定により、求めた。図-9.5.3 の断面図は、平面断面図が中空正方形の場合を示している。断面の

外径は D 、内径は αD 、主筋は最外縁から βD の位置にあり、平面保持を仮定した時の力の釣り合いの状態を図-9.5.3の右側に示す。中立軸位置は、図心位置から KD 離れたところであり、圧縮領域では、コンクリートと主筋が応力を伝達し、引張領域では主筋のみが応力を伝達するものとする。主筋は、多数配筋されていることから、主筋断面の壁厚方向の重心位置に集中する、等価なシングル等分布配筋とみなした。

図-9.5.4には、各レベルにおける図面上の主筋比等を基に、必要曲げモーメント M_n と図面上の主筋比から求めた短期許容曲げモーメント M_s を比較した。図-9.5.4では、レベル②～⑧の他、内側主筋 92-D25 のカットオフ位置であるレベル⑥(高さ 17.9m)、その上2つのレベル、下2つのレベルについても、計算した。 M_{s00} は、 0° 方向加力時の短期許容曲げモーメントであり、 M_{s45} は、 45° 方向加力時のものである。レベル②～⑤及び⑦～⑧の直下に関しては、1レベル下の主筋が上がってきていると仮定した主筋比について、計算した。いずれのレベルにおいても、短期許容曲げモーメントが必要曲げモーメント以上であり、建築基準法の耐震基準に適合していたと考えられる。

図-9.5.4に示すように、必要曲げモーメントは上方ほど直線的に小さくなるので、これに従って上方ほど壁主筋量を減じた設計となっているが、鉄筋は定尺長さがあるので、許容曲げモーメントは主筋量を変えた高さで変化し、階段状に上方に向かって減じている。ただし、レベル⑥(18.9)～⑦(17.1)において、主筋の断面積を、定着長さに応じて低減したことにより、各レベルにおける短期許容曲げモーメントが必要曲げモーメント近くまで局所的に小さくなっており、特に、内側主筋がカットオフされたレベル⑥(17.9)において、最も必要曲げモーメントに近い値となった。

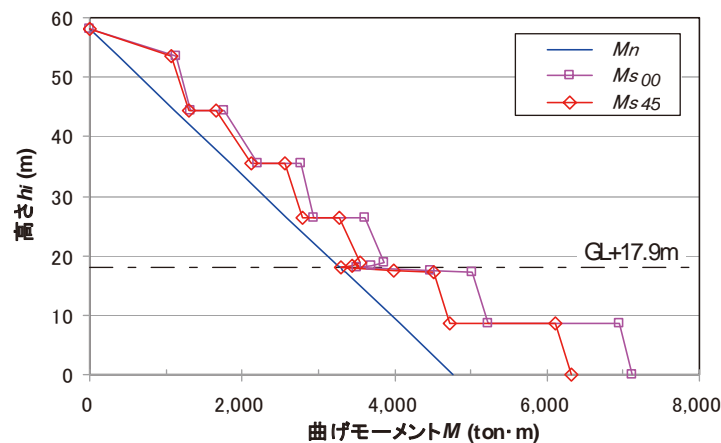


図-9.5.4 各高さの必要曲げモーメント(M_n)と短期許容曲げモーメント(M_{s00} 、 M_{s45})

9.5.5 本節のまとめ

今回調査した5棟の塔状工作物では、鉄筋コンクリート造の壁主筋を、全高にわたってダブル配筋とする場合と、途中の高さでダブル配筋からシングル配筋に切り替える場合が見られた。これらの塔状工作物のうち、折損を生じたものは、高さ 59 メートルの自立型煙突(1992年竣工)、高さ約 20 メートルの鉄筋コンクリート造自立型煙突(1937年頃竣工)の2棟であった。これら2棟の内、配筋詳細の判明している塔状工作物1棟について、図面情報等に基づいて、各高さ位置での許容曲げモーメントを検討

したところ、建築基準法の耐震基準で要求される必要曲げモーメントを上回っていた。

搭状工作物における必要曲げモーメントは上方ほど直線的に小さくなっているのが一般的である。しかし、鉄筋には定尺長さがあるため、鉄筋断面を切り替えた位置で、許容曲げモーメントは高さ方向に階段状に減じることになる。特に、壁主筋をダブル配筋からシングル配筋に切り替える位置では、壁主筋の重ね継手やカットオフの配置によっては局所的に許容曲げモーメントが大きく不連続となることがあるので、詳細設計にあたっては十分な配慮が望まれる。

断面に作用する曲げモーメントが許容曲げモーメントに達し、曲げひび割れが発生したとしても、じん性が確保されていれば、折損には至らない。帯筋等の配置の工夫等による断面の一体性確保のための検討は、今後の課題と言えよう。

最後に、今回の地震では、各地でかなり大きな地震動が記録されており、現行耐震基準の要求値の妥当性についての継続した調査研究が望まれる。

9.6 非構造部材の被害

9.6.1 概要

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。以下に主な非構造部材の被害例を公共運動施設、公共福祉施設、民間宿泊施設について示す。

9.6.2 公共運動施設

(1) 建物A（長岡市）

昭和54年竣工の体育館。構造は下部がRC造で上部がS造の体育館で一部2階建てである。上部のS造は、張間方向がH形断面材柱とラチス梁のラーメン構造であり、桁行き方向が山形鋼を筋かいに用いたブレース構造である。アリーナの寸法は図面より約36m×29mである。構造躯体に特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天井に被害が見られた。天井はせっこうボード捨て張り工法であり、中央部が平坦な山形をしている。床から天井の最も高い部分までは実測12m、天井懐は図面によると最も深い所で5m程度である。この天井について、長さは1.7mと2.5mのチャンネル材がアリーナに2本落下したとのことである。天井の平坦な部分に穴があいており、天井下地を構成する部材が脱落して天井面を貫通したものと考えられる。アリーナ床材にはチャンネル材の断面に相当する凹みがあり、チャンネル材が床面に衝突した際にできたものと考えられる。平成16年新潟県中越地震の際にも天井に被害があったとのことである。



写真-9.6.1 建物A内観

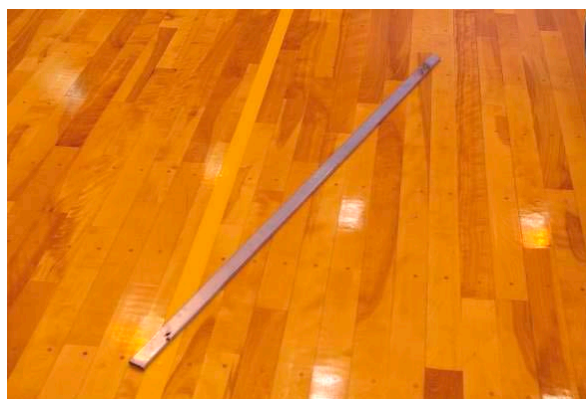


写真-9.6.2 落下したチャンネル材

(2) 建物B（刈羽村）

平成5年竣工の体育館。平屋建であり、構造は下部がRC造、上部がS造。張間方向は、鉄筋コンクリート柱（下部）と鉄骨柱（上部）および鉄骨梁からなるラーメン構造である。この鉄骨柱と鉄骨梁は、共にH形断面材である。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（上部）である。軸組筋かいは、円形鋼管を用いている。図面によると、アリーナ内法は約25m×18mであり、アリーナ床面から平らな天井面まで約8m、天井懐は1m程度である。

構造に大きな被害が見られた。鋼管筋かい材の割り込みプレートでは高力ボルト接合

孔欠損部で引張破断が発生しており、X型鋼管筋かい材中央交差部のガセットプレートは面外変形していた。鉄骨柱脚部ではコンクリートの破壊やひび割れ、一部のアンカーボルトでは引き抜けが見られた。

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。ガラスはギャラリー脇の窓ガラスが、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。平成16年新潟県中越地震の際にも被害があったとのことである。



写真-9.6.3 ガラスの被害



写真-9.6.4 建物B内観

(3) 建物C（上越市）

平成6年竣工の多目的施設。構造は下部がRC造、上部がS造の山形ラーメン構造で、一部3階建てである。図面によるとアリーナ内法は約35m×28m。構造躯体に特に目立った被害は見られなかった。

非構造部材は体育館でアリーナの天井に被害が見られた。天井面は凹凸があり、床面から天井面まで最大で約14m、天井懐は最最大で5m程度である。仕様により天井は大きく3つの部分に分かれる。

エリア1：建築用鋼製下地材＋有孔ケイ酸カルシウム板を直張り。巻き上げられたバスケットゴール直上の平面箇所と、その平面箇所と他エリアの天井を区切る黒い箱状の箇所。

エリア2：建築用鋼製下地材＋せっこうボード捨張り＋ロックウール吸音板仕上げ。蛇腹状の箇所。

エリア3：バー材（桁行方向にTバー、張間方向にクロスTバー）の下地＋グラスウールボードをはめ込み。①②以外の勾配天井や平らな箇所。

キャットウォークから天井裏を確認したところ、つりボルトを水平方向につなぐ材は天井面近くにあるものの、つり元までの間には見られなかった。斜めの振れ止めはほとんど見られず、水平な材と設備用のフレームの間、水平な材同士の間、水平な材とつりボルトの間に斜めの材が部分的に見られた。

天井の各部分で脱落などの被害が見られた。エリア1ではバスケットゴールとの取り付け箇所では有孔ケイ酸カルシウム板が破損・脱落しており、黒い箱状の箇所にエリア2

の天井が衝突した時に出来たと見られる破損箇所があった。エリア2の天井は部分的に脱落していた。エリア3の勾配箇所でガラスボードが外縁を支持するバー材から外れていたものの、多くはボード中程を支持するバー材にひっかかって落下に至っていなかった。その他、天井面から照明器具が5個落下していた。平成16年新潟県中越地震の際にも被害があったとのことである。



写真-9.6.5 建物C内観（パノラマ合成）



写真-9.6.6 脱落した様々な部材

9.6.3 公共福祉施設

(1) 建物D（長岡市）

平成10年に当初の建物に増築を行ったコミュニティセンター。構造はS造2階建て、角形鋼管柱とH形断面柱のラーメン構造である。構造躯体に特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。これらの防火扉は増築した建物が当初の建物に接続する箇所の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。この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（破損した床仕上材は一方の扉については調査時には取り除かれており、開閉可能な状態になっていた）。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出ている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-9.6.7 開扉に支障を来した防火扉



写真-9.6.8 床仕上材のせり上がり

(2) 建物E（長岡市）

平成元年竣工のコミュニティセンター。児童館が併設されている。構造はS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。構造躯体の被害は、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。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。畳面からの距離を実測した所、天井面までは約2.8m、屋根下面までは約3.5mであった。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。平成16年新潟県中越地震の際にも被害があったとのことである。



写真-9.6.9 二階和室内部被害状況（パノラマ合成）

9.6.4 民間宿泊施設

(1) 建物F（柏崎市）

平成6年竣工の宿泊施設。構造はS造3階建て。構造躯体に特に目立った被害は見られなかったものの、敷地内の海側の地面に亀裂ができたとのことである。

非構造部材の被害は、建物外部は外壁の仕上材の剥落、玄関ポーチ上部の天井の破損、外部階段の手すりを支持するガラスの破損が見られた。建物内部の被害は3階部分に多く見られた。客室・廊下の間仕切壁・天井が多数破損・脱落していた。受付ラウンジの吹き抜けの壁が、壁に取り付けられていた大きな壁飾りが脱落する際に破損・脱落したとのことである。



写真-9.6.10 客室内装の被害



写真-9.6.11 手すり支持部のガラスの破損

9.6.5 本節のまとめ

新潟県中越沖地震による非構造部材の被害について、主に公共建物の現地調査を行った。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。現地調査では主に天井と防火扉・ドアについて複数の被害状況を確認した。

天井の被害はこれまでの地震被害と同様に在来工法による天井とはめ込み式の天井について確認された。被害の確認された天井の規模は、体育館のように面積が比較的広いものから、小部屋や廊下など面積が比較的小さいものまで様々である。天井面付近を主とした被害に加えて、天井裏の下地材が脱落したのもも数例確認されており、何らかの被害が確認された建物について下地材を含めた天井の状態を確認することが必要とされる。構造体に大きな被害が見られた建物で天井が全面的に脱落したものがあり、構造体に大きな被害が見られなかった建物で階によって天井の被害程度に差が見られたものがあった。今回の地震被害を受けて天井の耐震対策を検討するにあたっては、天井の被害を把握するとともに、天井にそのような被害を生じさせた構造体の影響を踏まえる必要がある。

地震時の避難経路の確保の必要性については従来より指摘のある通りであり、現地調査では防火扉やドアなどの建具に開閉支障の被害が確認された。これらの防火扉・ドアは増築などによる建物の接続箇所に設けられたものであり、接続箇所に面する構造体の相対的な変位により開閉に支障を来している。防火扉・ドアの耐震対策の検討を行うにあたっては天井同様に構造体による影響を踏まえる必要がある。

9.7 宅地地盤・基礎の被害

建築物の基礎及び地盤の被害とその特徴を把握し、被害原因究明の基礎資料を得る目的で調査を実施した。以下に被害概要と調査結果を述べる。

9.7.1 地盤の被害概要

柏崎市（橋場地区、松波地区など）、刈羽村などでは、液状化による被害が多発していた。前回の新潟県中越地震では橋場地区において液状化被害が顕著であったが、今回は周囲の松波地区に被害が拡大している（写真-9.7.1）。刈羽村では、前回の中越地震の際に鉄道沿線から海側に一段高くなった十数戸の住宅に被害が集中したが、今回も同様であり、前回の地震によって解体撤去した後に新築した住宅においても裏山のがけの崩壊や地盤変動で被害を受けた例もあった（写真-9.7.2）。また、柏崎市南半田地区においても、地盤変動や滑落などの状況が確認できた。（写真-9.7.3）。



写真-9.7.1 柏崎市松波地区の液状化被害



写真-9.7.2 刈羽村の液状化等に起因する地盤変動による新築住宅の被害



写真-9.7.3 南半田地区で認められた外周道路等での地盤変動・滑動等

9.7.2 擁壁の被害概要

柏崎市番神町や山本地区など、多くの地域で宅地（斜面、擁壁など）の崩壊が発生していた。構造計算等による確認を要しない2m以下の擁壁や土留めの被害も数多く認められた（写真-9.7.4）。崩壊した擁壁のなかには、ブロック塀として地上の塀のために利用している壁材を擁壁として利用していたものも多かった。また、壁高5m、厚さ50cm程度のブロック積みが転倒した例（写真-9.7.5）や斜面地で全体的な地盤変動が生じたため、擁壁前面の側溝がつぶれるほどに押し出されたものもあった（写真-9.7.6）。

種々の擁壁の被害状況を写真-9.7.7に示すが、ブロック塀の土留めや吹きつけモルタルで覆った擁壁だけでなく、間知ブロックやL型擁壁にも被害が認められた。



写真-9.7.4 ブロック塀による土留め擁壁の崩壊



(地震直後にほぼ鉛直に起き上がり、数日後に転倒状態に達し、背面住宅にもたれかかった例)



(背面地盤全体のすべりにより、擁壁が押し出されて前面の側溝がつぶされた状態)

写真-9.7.5 ブロック積み擁壁の転倒例

写真-9.7.6 間知ブロック擁壁の前面側への滑り出し



写真-9.7.7 擁壁の被害例

9.7.3 基礎の被害概要

(1) 戸建て住宅の基礎

写真-9.7.8 に基礎の被害状況を示す。これら基礎の被害の大半は、液状化や地盤変動に伴って生じている。基礎の被害の殆どは、古い木造の無筋・ブロック・束またはこれらに類する基礎で現在の規準を満足しないものが大半であり、現行規定を満足するような鉄筋コンクリート造の基礎が大きく破断した例は確認できなかった。

著しい液状化等が生じた地点では、地盤改良や小口径鋼管杭を利用した住宅も多いと考えられるが、鋼管杭の浮き上がりなどの被害も認められた。

また、今回の調査した範囲では、増築を行った住宅のなかには、増築部で地盤改良などを採用しており、増築部の沈下は生じていなかったが、既存基礎と増築部の基礎で支持性能が異なっていたため、既存基礎が沈下した例も認められた。



写真-9.7.8 住宅基礎の被害例

(2) 一般建築物の基礎

一般建築物の基礎の被害は、ほとんど認められなかったが、柏崎市沿岸部の杭基礎と考えられる RC 建物の建物外周付近での地盤の陥没（建物の相対的な浮き上がり）や松波地区の鉄骨 2 階建て事務所及び木造集合住宅等に被害が見られた（写真-9.7.9～写真 9.7.11）。写真-9.7.10、写真-9.7.11 は、築 15 年ほどの建物で、両建物とも直接基礎である。この地区は、かつては旧河道沿いの低地（三角州）であったが、数十年前（30～40 年前）に整理された宅地である。いずれの建物も不同沈下による壁の亀裂やドアの開閉不良などが著しい状況であった。傾斜の方向は、建物背面側であり、高さ 1m 程度のブロック擁壁（通常のブロック塀を擁壁利用したもの）が前面道路側に押し出されることにより、建物がより沈下したものと考えられる。1m 程度のブロック擁壁の基礎は、通常、前面の道路面より下 50cm 程度にあると考えられるので、擁壁の基礎が液状化により沈下したため、建物もより大きく傾斜したと考えられる。



写真-9.7.9 建物周辺地盤の陥没

杭基礎建物（RC造）、建物周辺の地盤沈下平均 30cm 程度（最大 70cm 程度）



写真-9.7.10 鉄骨造 2 階の建物の不同沈下
（基礎形式：直接基礎、数十 cm の不同沈下）



写真-9.7.11 液状化による木造建物の被害状況
（基礎形式：直接基礎、数十 cm の不同沈下）

9.7.4 調査結果

(1) 柏崎市番神町

番神町は、柏崎駅から西に約2kmに位置する丘にある古くからの集落である。聞き取り調査の結果、新潟地震(1964)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-9.7.1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、新潟地震(1964)の際に、崖に平行な地割れが発生し、壁厚約50cm程度の間知ブロック擁壁(高さ2~5m、勾配地表面から約75度)で崖を覆って、道路が約3mに拓げられた。壁に近接する部分は、盛土と考えられる。今回の地震により、壁高約3.5~5m(擁壁上部のり面を含めると全高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-9.7.2に、転倒したブロック擁壁と周辺状況の関係をまとめて示す。

写真-9.7.12は、斜面地でモルタル吹き付け壁面が崩壊した事例で、隣接する住宅の外壁に崩壊土が達している。この他に、写真-9.7.13に示すようなL型擁壁とブロック塀の土留めの被害が確認された。

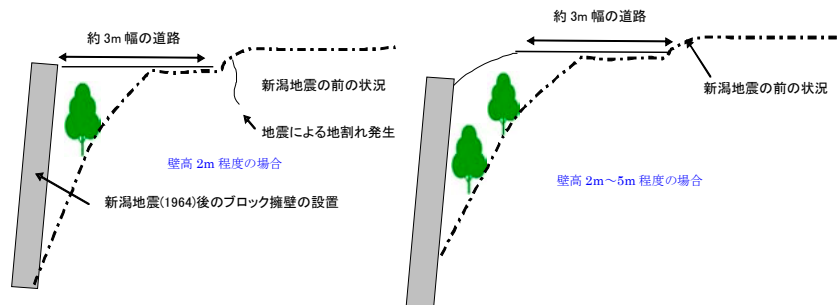


図-9.7.1 転倒したブロック積み擁壁(壁高2~5m)の概要

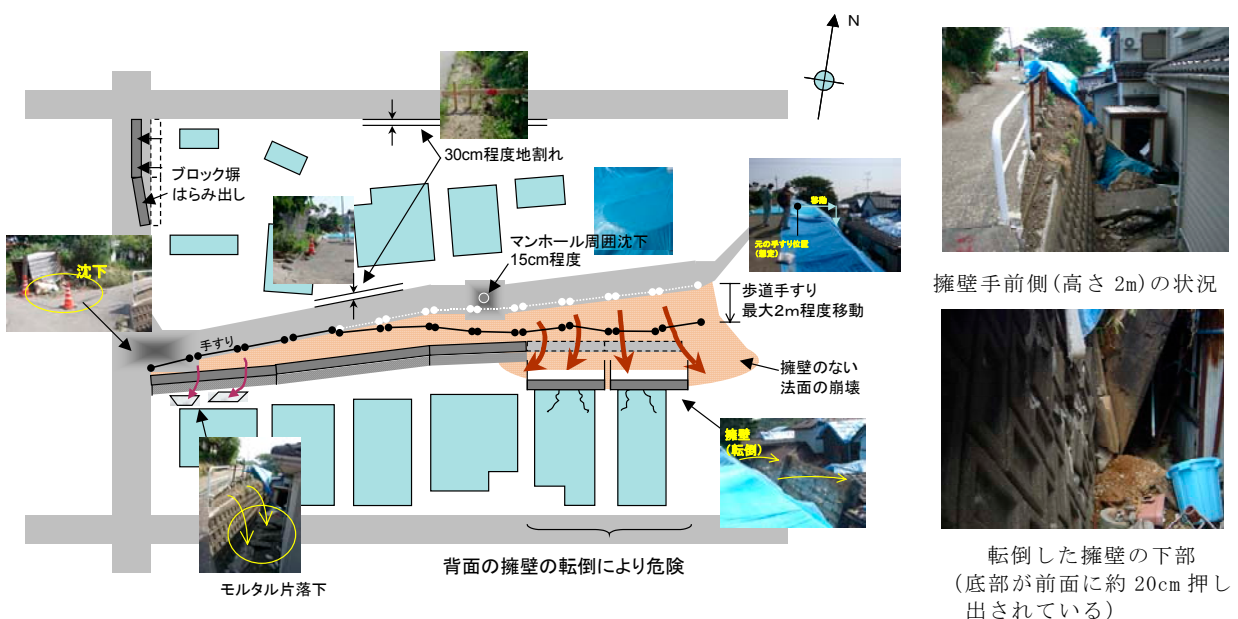


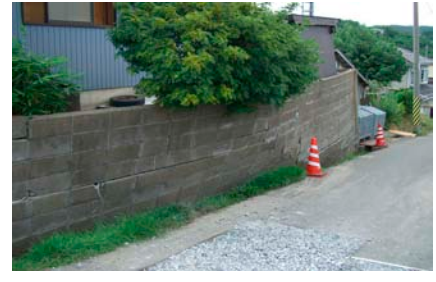
図-9.7.2 転倒したブロック擁壁と周辺状況の関係



写真-9.7.12 モルタル吹き
付け壁面の崩壊



壁高 2m 程度の L 型擁壁



ブロック土留め壁体のねじれ

写真-9.7.13 番神町における擁壁の被害状況

(2) 刈羽村

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。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-9.7.14 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。建物の写真右側の部分は、前面のコンクリート製道路盤のため水平方向の変位が建物左側より相対的に小さかったが、左側は水平方向の支持が小さかったので、約 60cm 右側より押しだされた形で建物がちぎれていた。図-9.7.3、図-9.7.4 には、この敷地内で実施したスウェーデン式サウンディング試験（SWS 試験）及び表面波探査の結果を示す。この通り沿いの他の住宅敷地では、地表面から約 3~6m で締まった砂の支持層が存在しているが、この敷地では、深度 10m まで SWS 試験による貫入が可能であり、周辺地域と比較すると地盤がやや軟弱であると判断できる。

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表面波探査を行なった。図-9.7.5 に解析結果を示す。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 以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-9.7.6 に、当該地域における基礎・地盤の被害状況の一例を示す。裏山の崩壊による土砂圧が基礎等に作用して敷地と共に建物が前面にわずかに押出された例である。また、図-9.7.7 は、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。



被災住宅 前面

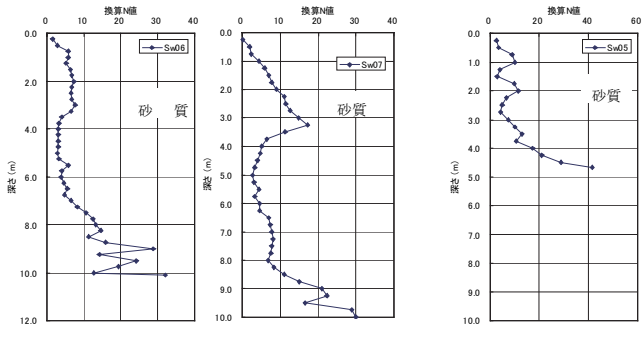


被災住宅 崖面側



崖側の建物基礎が押し上
げられた状況

写真-9.7.14 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



当該被災敷地内 他の刈羽村内敷地
 図-9.7.3 被災敷地内のスウェーデン式
 サウンディング試験結果

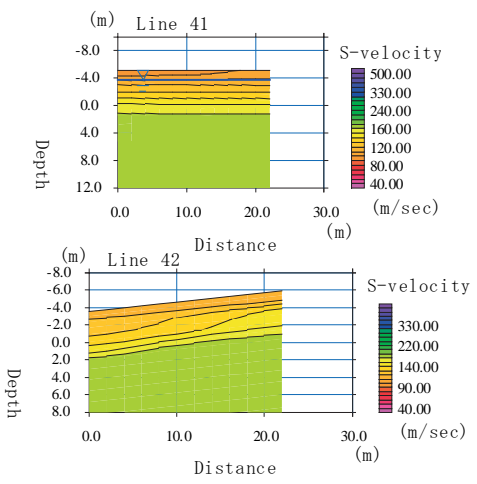
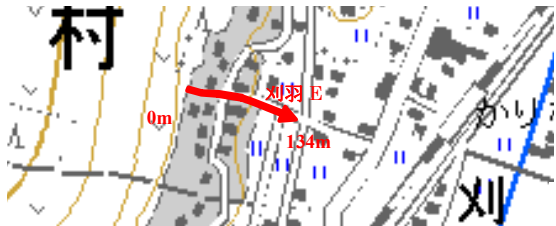
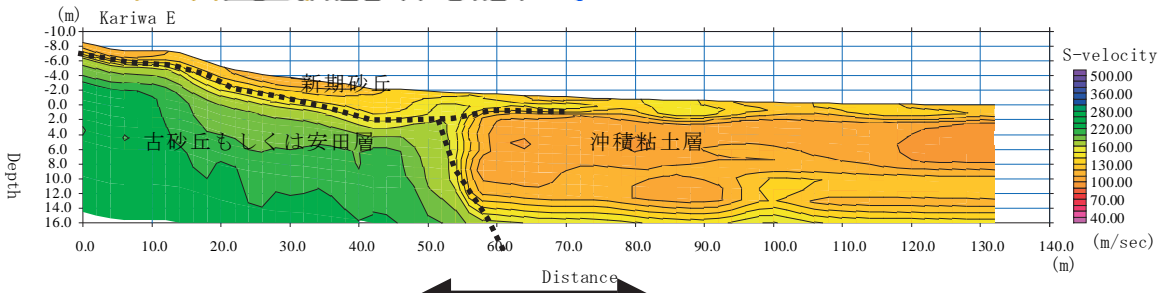


図-9.7.4 被災敷地内の表面波探査



(国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用)



地盤構造が急変しているためやや精度が悪い

図-9.7.5 被災敷地内の表面波探査結果

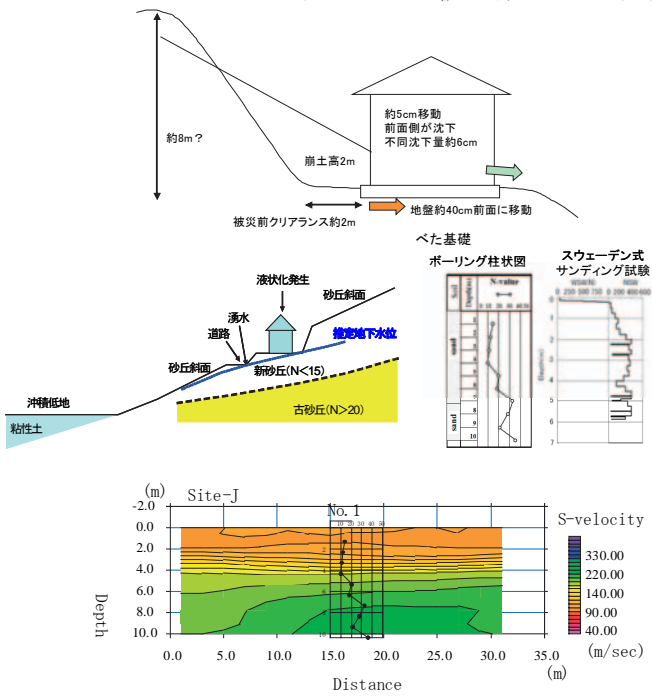


図-9.7.6 当該地域における基礎・地盤の被害状況

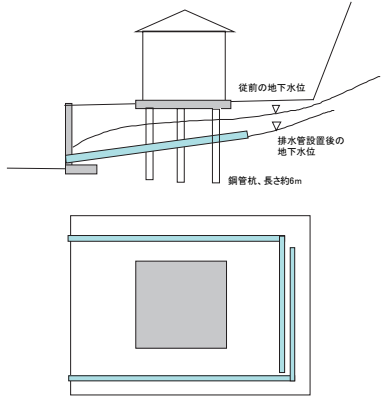


図-9.7.7 排水管（ドレン）を建物下に配して、地下水位を低減した

(3) 松波・橋場地区

柏崎駅から北東約 5km の松波・橋場地区では、旧河道を埋めたと考えられる地域で液状化被害が多発した。液状化被害地域を図-9.7.8 に、新旧地形図の比較を図-9.7.9 に示す。図-9.7.10、図-9.7.11 には、地形図に調査地域の表層地質と調査地域の微地形分類をそれぞれ重ねあわせたものを示した。また、写真-9.7.15 に松波地区の被害概要を示した。段差・地割れは、地層・地形の境界（針葉樹林（被覆砂丘））と低地（三角州）で生じていた。松波地区で液状化被害が特に顕著であった地域の延長線上に、倒れた樹木や鯖石川改修祈念公園内の大きな地割れが位置すると考えられる。

聞き取り調査や旧地形図によると松波地区は、35～40 年前に開発された宅地である。鯖石川を渡る直前の松波 2 丁目では、旧河道との境界と考えられる部分で数十 cm の段差が生じ、この段差の直上に立つ住宅は大破し、建築物の不同沈下は最大 60cm 程度であった。また、不同沈下量 10cm、傾斜角 10/1000 を超える場合も少なからず認められた。

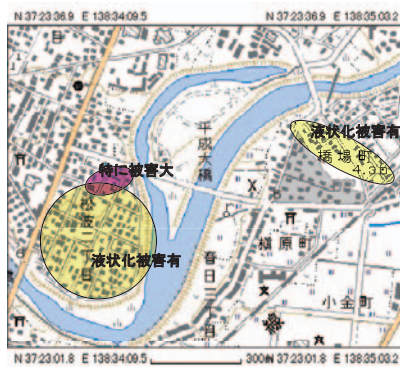
図-9.7.12 に、この地区の地震後の道路面高低差を示す。国道 352 号に平行する A1-A7 間では最大約 2.5m、直交する方向では最大 2m 程度に達している。松波地区及び公園内で実施した表面波探査結果を図-9.7.13 に、スウェーデン式サウンディング試験（SWS 試験）結果を図-9.7.14 にそれぞれ示す。被害が顕著であった地点は、地形の境界部付近であると考えられるが、表面波探査結果で三角洲と被覆砂丘で表層の地盤構成に違いが認められ、SWS 試験の結果においても、三角洲範囲が被覆砂丘よりも概ね軟弱であることがわかる。

鯖石川を越えた橋場地区でも液状化被害が多発した。橋場地区では、2004 年中越地震でも液状化被害が発生しており、2006 年に地盤調査を行なっている。図-9.7.15 に、2006 年に実施した表面波探査結果とスウェーデン式サウンディング試験結果の例を示す。液状化が発生したのは主に旧河道であり、旧河道内の主に砂質土と思われる埋土が液状化したと考えられる。旧河道の外周は粘土質であり、旧河道の砂質系との差異が認められる。

橋場地区では、深度 10m 程度まで S 波速度は 100m/s 程度であり数 m 以深は概ね粘性土主体と考えられる。一方、松波地区では、約 5m 以浅は S 波速度 120～150m/s でやや緩んだ砂質土、5m 以深は 150～200m/s で締まった砂質土と考えられる。このような橋場地区と松波地区の土質の違いは、図-9.7.10 に示した表層地質図と一致している。また、松波地区は、一般に地盤が良好と考えられており、微地形分類で被害を受けなかった範囲は、被覆砂丘、被害を受けた範囲は三角州に分類されており、S 波速度や被害の違いはこのような地盤環境の違いに起因していると考えられる。

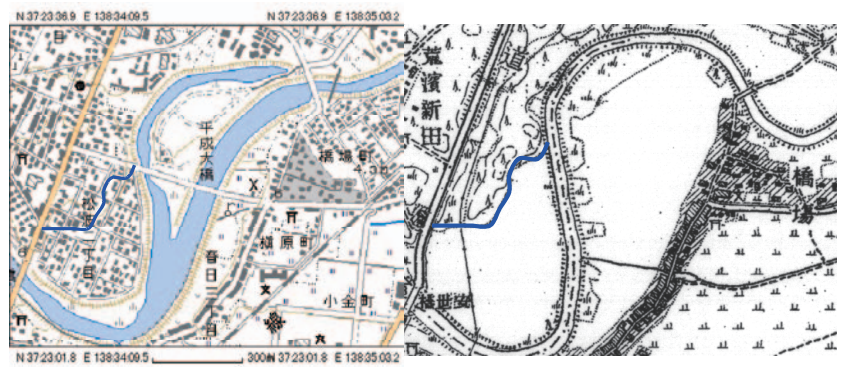
図-9.7.16 に、今回の地震による橋場地区の被害概要と地盤調査地点を示す。前回の著しい被害が生じた地域は、図中黄色で塗りつぶした範囲であり、聞き取り調査では、2004 年の中越地震では、道路全体に泥水が溶岩のようにわき上がり、住宅の沈下障害が顕著であったが、今回この地域での被害は比較的少なく、他の地域で被害が生じていた。図中には、旧河道の位置の凡を示しているが、被害は概ね旧河道とその外周との境界付近で多いように思われる。特に、図中右上の旧河道と鯖石川が交差する土手付近では、土手の一部が大きく沈下し、その段差に伴う地割れにより土間コンクリート等が大きく割れ裂け、建物に被害が生じていた（写真-9.7.16）。そのほか、液状化により段差が生じ、大きく傾いた住宅も認められた。なお、当該敷地で確認した新築住宅 10 棟前後（2004 年中越地震後の着工）の多くは、地盤改良や鋼管による地盤補強を採用しており、剛体的な傾斜が生じ

ている可能性はあるものの、基礎の著しいひび割れなどの構造的被害はほとんど認められなかった。図-9.7.17、図-9.7.18に、今回実施したSWS試験結果と表面波探査結果を示す。



(国土地理院の数値地図25000(地図画像)を使用)

図-9.7.8 松波・橋場地区の被害地域



(左：国土地理院の数値地図25000(地図画像)を使用、右：旧地形図(明治45年)、青線は旧地形図における針葉樹林の低地の境界線)

図-9.7.9 松波・橋場地区の新旧地形図の比較



(黄色：新期砂丘堆積層、白：沖積平野堆積層)
(柏崎市,刈羽村の地形・表層地質状況(出典:新潟県土地分類基本調査図)の表層地質と地形図の調査地域部分を重ねあわせたもの)

図-9.7.10 調査地の表層地質



(緑：三角州、黄色：被覆砂丘)
(柏崎市,刈羽村の地形・表層地質状況(出典:新潟県土地分類基本調査図)の地形と地形図の調査地域部分を重ねあわせたもの)

図-9.7.11 調査地の微地形区分

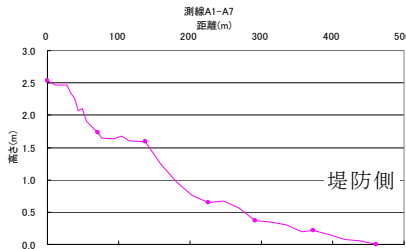


左：地盤変動による被害が甚大であった地点の状況
中：上記地点において建物の不同沈下を増大させたと考えられる擁壁の変形
右：川に沿った道路の変形に伴う電信柱の傾斜

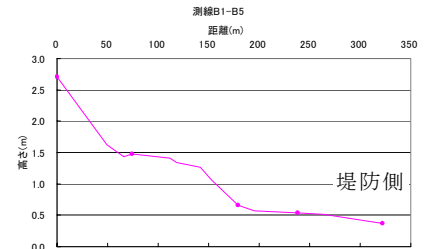
写真-9.7.15 松波地区の被害概要



各測定、計測の位置
 (レベル、スウェーデン式サウンディング試験、表面波探査)
 (国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用)

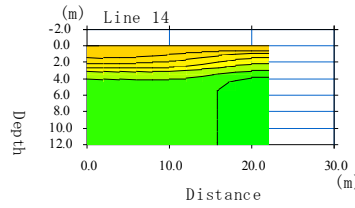


A:国道 352 号に平行な道路

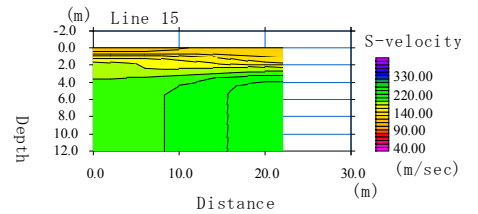


B:国道 352 号に直交する道路

図-9.7.12 道路面のレベル測定結果



松波第 1 公園 測線 1



松波第 1 公園 測線 2

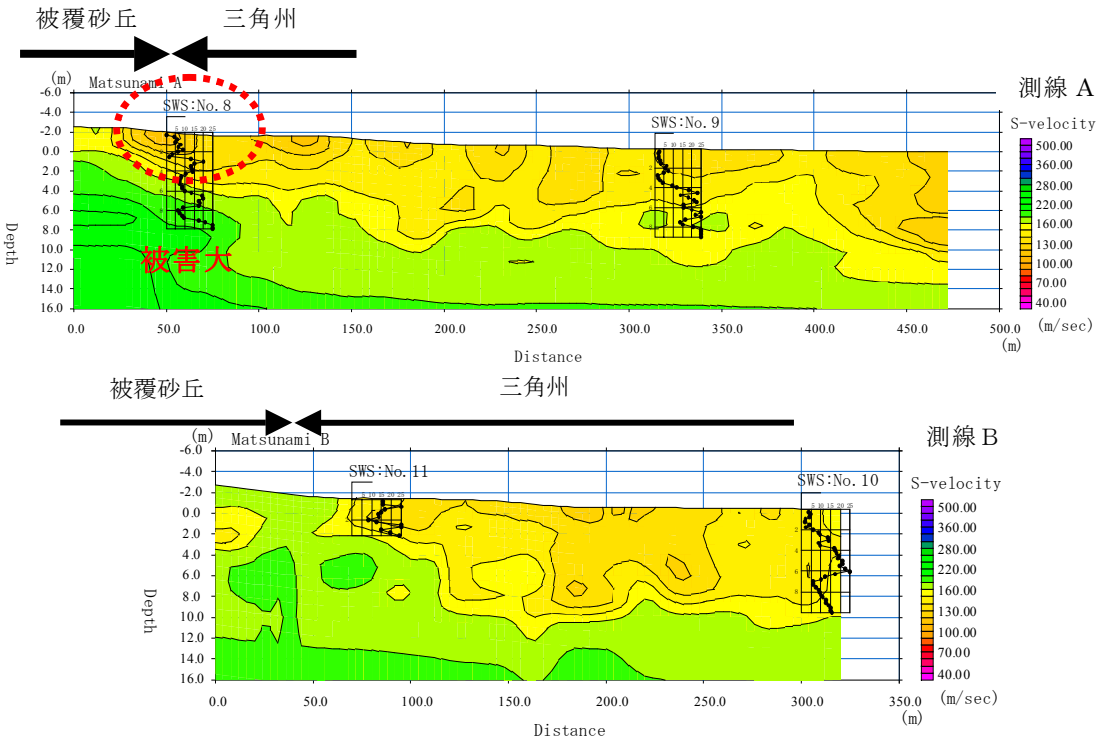


図-9.7.13 表面波探査結果

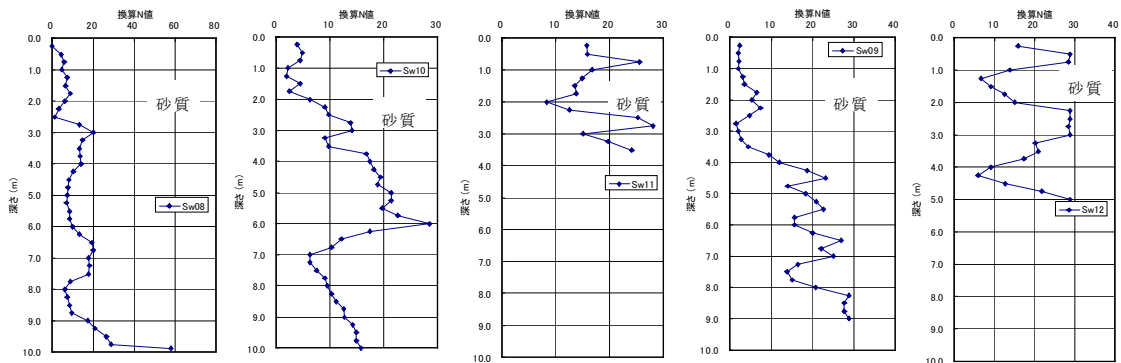


図-9.7.14 スウェーデン式サウンディング試験結果

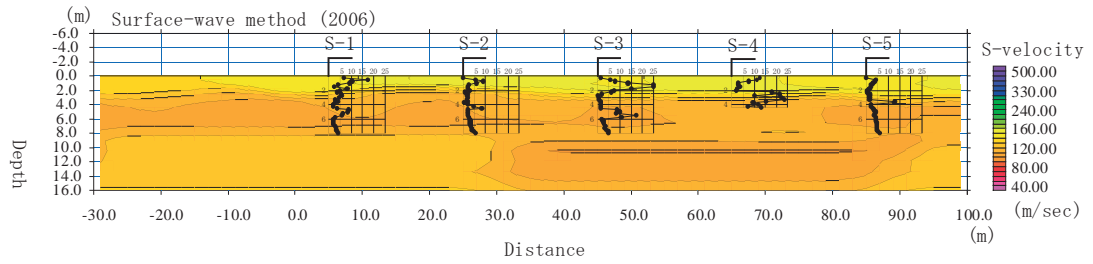
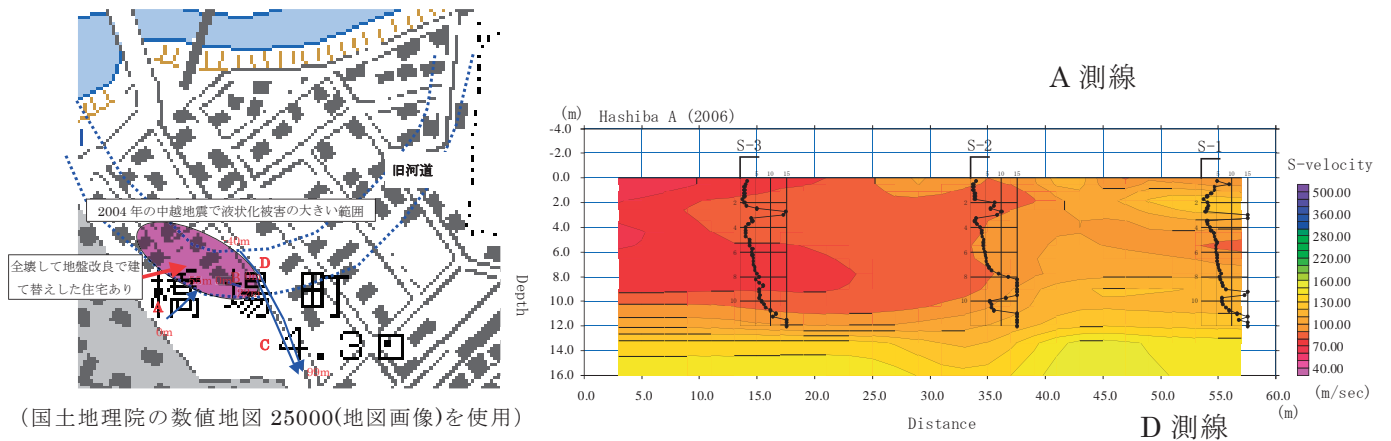


図-9.7.15 2006年に実施した橋場地区での地盤調査結果
(表面波探査とスウェーデン式サウンディング試験結果)

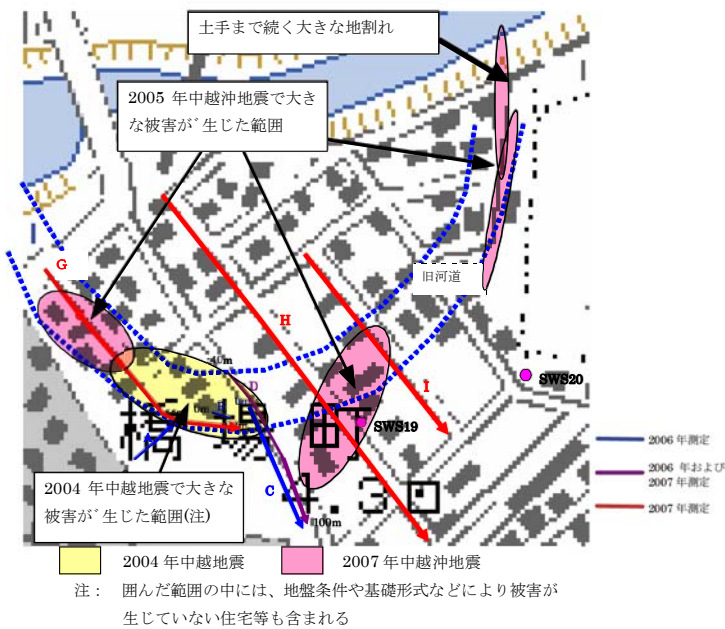


写真-9.7.16 橋場における大きな地割れ
地層境界付近の土手の陥没、赤く囲んだ範囲が沈下範囲(約 30cm)、地割れは矢印の方向

図-9.7.16 橋場地区の被害と地盤調査の実施地点

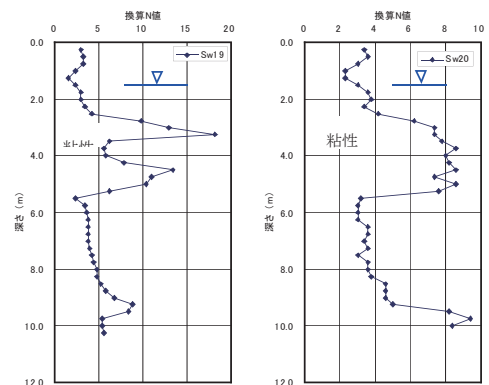


図-9.7.17 スウェーデン式サウンディング試験結果

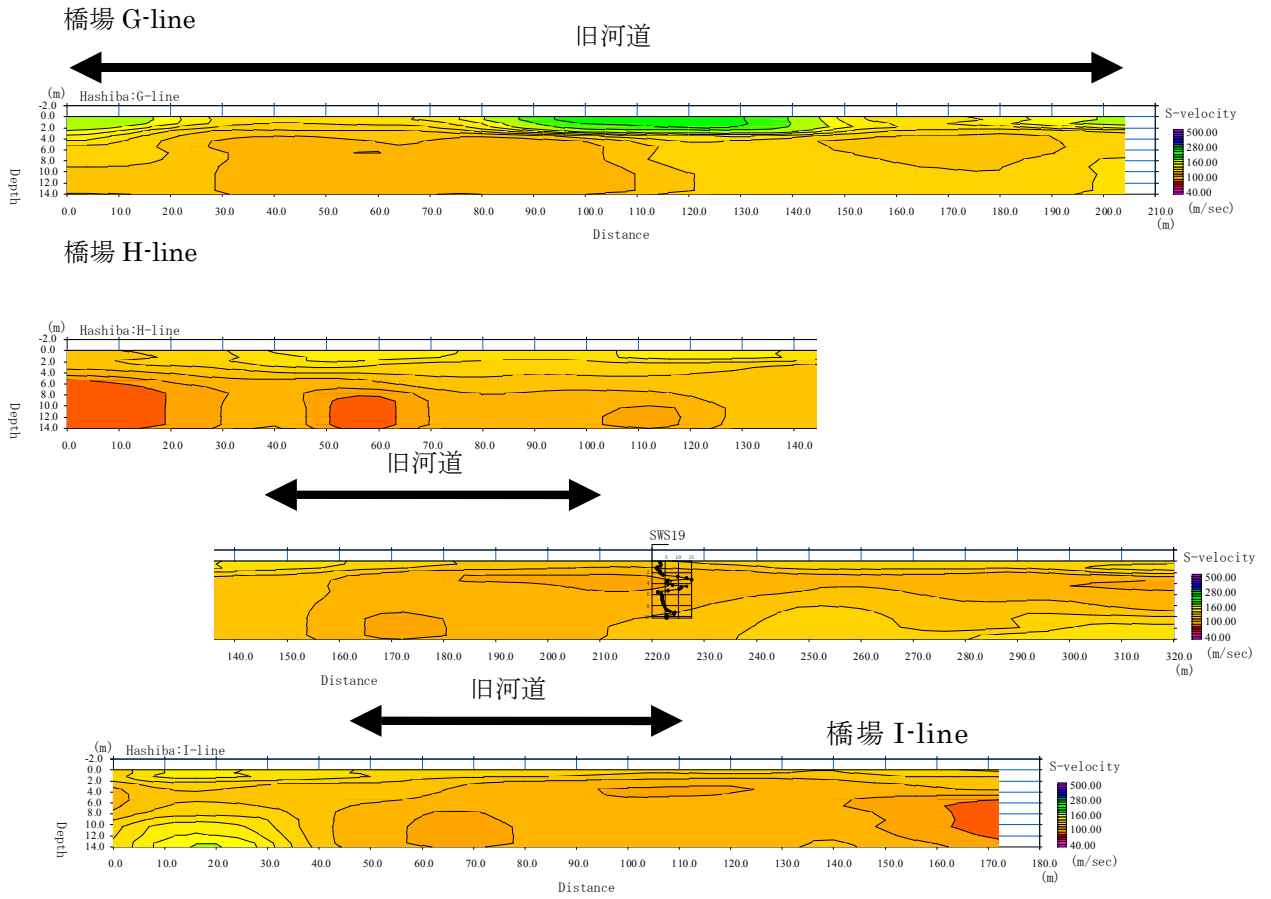


図-9.7.18 表面波探査の結果

(4) 山本団地

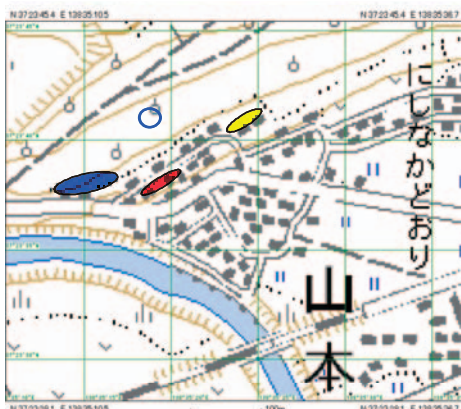
橋場地区から東北約 1km にある山本団地では、液状化及びそれに起因すると考えられる裏山の崩壊により、住宅や宅地・擁壁に数多くの被害が発生した。図-9.7.19 に被害概要を、写真-9.7.17 に被害状況を示す。この団地周辺は、表層地質図（新潟県土地分類基本調査図、国土庁、昭和 61 年）から判断すると、崖上が砂丘、崖下が低地に位置する地形等の境界付近に位置する。聞き取り調査の結果からこの団地は約 34 年前に造成され、山側の砂丘を崩して切り盛り造成したと考えられる。玄関脇で高さ 1m 程度、地下水位が吹き出し、地盤の沈下等が生じた地域もあったようである。なお、写真-9.7.18 は、図-9.7.19 において青で囲んだ砂丘斜面の頂部付近で確認した地表面での湧水の状況であり、砂丘全体に地下水位が高い可能性が考えられる。

図-9.7.20 は、被害状況の概要を断面図としてまとめたものである。最上部の砂丘裏山の崩壊、最上段の擁壁の滑り出しによる側溝のつぶれ、中段の住宅敷地における地盤の陥没による基礎の破断や住宅の著しい傾斜、下段側の擁壁の転倒とそれに伴う擁壁前面側の住宅の外壁の損傷などがあげられる。一体の鉄筋コンクリート造の基礎を有する新しい住宅では、概ね剛体的な傾斜であったが、無筋・ブロック・独立基礎と考えられる古い基礎では基礎が大きく破断して上部構造の崩壊に繋がった事例が認められた。

上段擁壁は、高さ 2～2.5m 程度の間知の谷積みブロック（壁勾配は水平面から約 70 度）である。下段側の宅地擁壁は高さ 2m 前後である。上段間知ブロックの壁体自体の損傷は軽微であるが、最大 30cm 程度の滑りだしが認められた。住宅下段側の擁壁は、壁高 50cm 程度のコンクリート擁壁の上にブロック等を鉛直に積み上げた増し積み擁壁が大半である。

図-9.7.21 は、当該地域における造成段階及び住宅建設後の擁壁工事の関係と地震による被害の関係を示したものである。また、図-9.7.22 は、被害を受けた擁壁の概要である。聞き取り調査によると、造成段階では高さ 500 程度のコンクリート擁壁の背面にはのり面（高さ 1m 程度）があったが、住宅建設後に 1m 程度増し積んだ例が多いことがわかった。被害状況から判断すると、地震による液状化等によって増し積み下部のコンクリート擁壁に沈下や水平変位が生じて、上部のブロック擁壁等の転倒をもたらしたと考えられる。

図-9.7.23 に、山本団地における地盤調査の測定位置を、図-9.7.24、図-9.7.25 に、表面波探査結果及び SWS 試験結果を示す。推定されるせん断波速度の値は 100m/s 程度と小さく、粘土質の可能性も考えられる。また、SWS 試験結果から判断すると、下段擁壁の背面地盤はかなり軟弱な砂層が表層にあり、上段擁壁の背面の表層部はやや締まった砂層と考えられる。地下水位は下段擁壁の前面では地表面付近に存在していると考えられる。



青（図中、左側の楕円で囲んだ地域）：裏山も崩壊が顕著な地域、赤（同、中央の楕円）：宅地の陥没・水平変位による住宅の著しい被害、黄（同、右側の楕円）：道路面の変状が特に顕著であった範囲、青丸（同、丸印）：写真-9.7.18 湧水確認地点

（国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用）

図-9.7.19 山本団地の被害概要



写真-9.7.17 山本団地における擁壁の被害例

左：裏山の崩壊による崖下住宅への危害、中：増し積み擁壁の被害
 右：敷地全体のすべり等により前面に押し出された擁壁



写真-9.7.18 砂丘斜面の頂部付近で確認した地表面の湧水

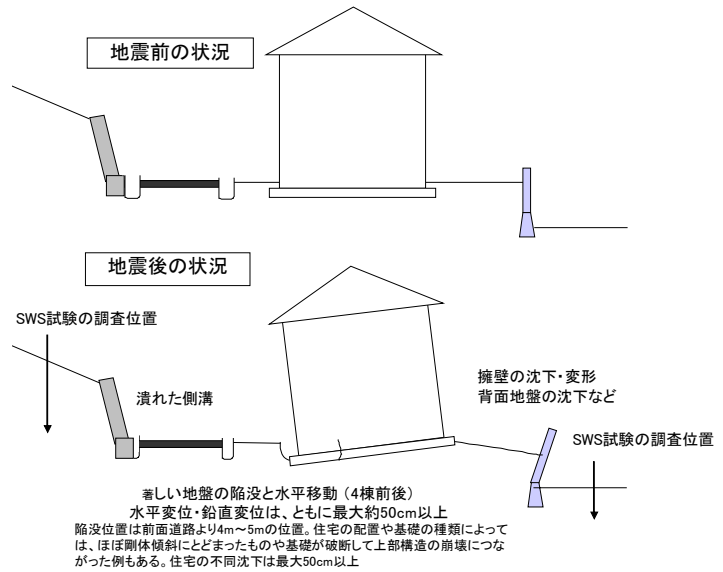


図-9.7.20 山本団地における地震前後の住宅・宅地の状況

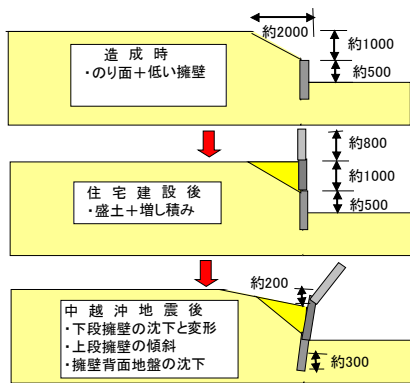


図-9.7.21 山本団地における宅地造成と擁壁の被害

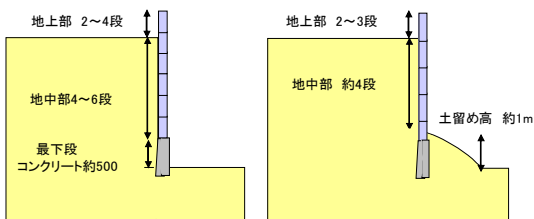
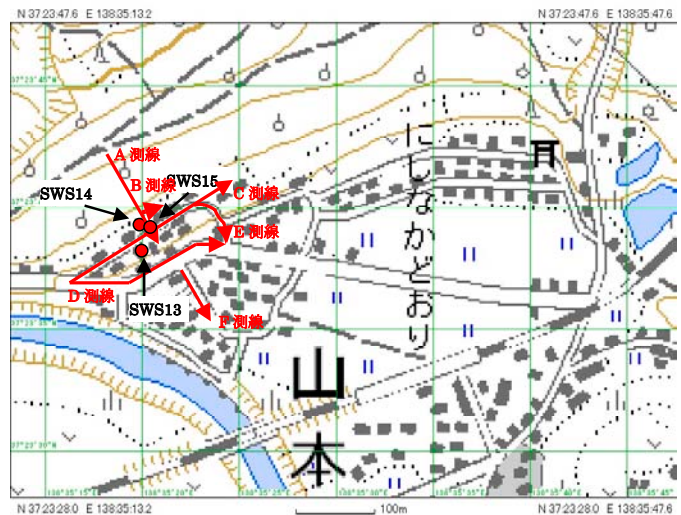


図-9.7.22 山本団地において擁壁の被害が数多く認められた擁壁の構造例



(国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用)

図-9.7.23 山本団地における調査位置

(表面波探査、スウェデン式サウンディング試験)

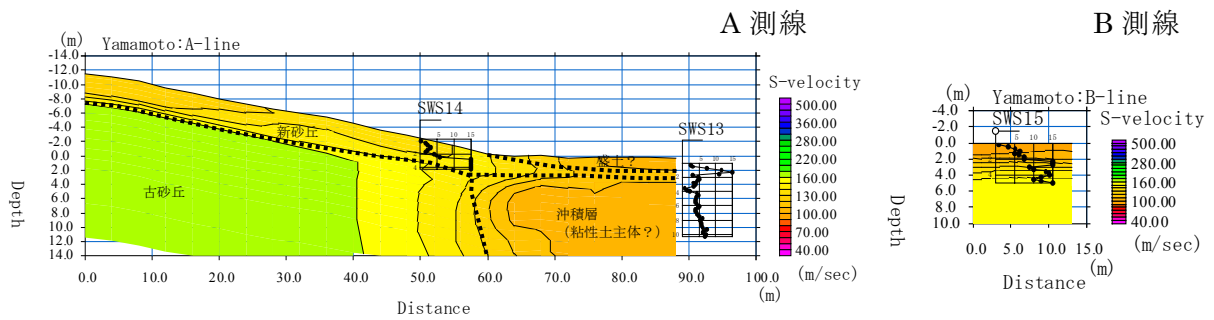


図-9.7.24 山本団地における表面波探査結果

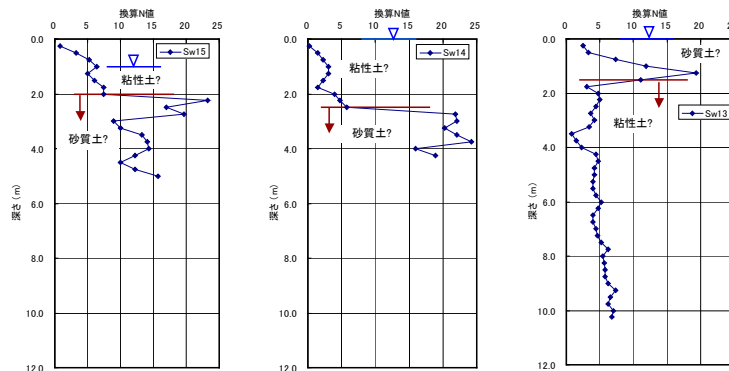


図-9.7.25 山本団地におけるスウェーデン式サウンディング試験結果

(5) その他の地区

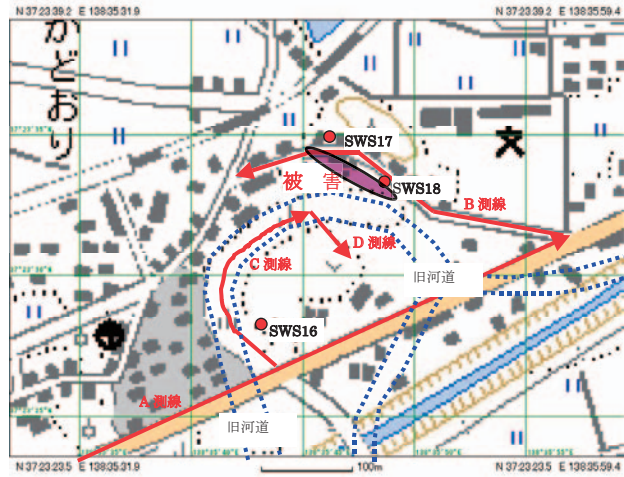
1) 日吉小学校付近（山本地区）

山本団地から東約 1km の日吉小学校から西側に向かう道路沿いの地域では、住宅 10 棟前後が液状化によって大きく落ち込み、著しい被害が生じていた（写真-9.7.19）。道路から西側は旧河道、東側は河川堤防と考えられ、道路の近傍の西側低地で段差等が生じ、大きな被害に繋がったと考えられる。

図-9.7.26 に、地盤調査位置と被害概要を、図-9.7.27、図-9.7.28 に、スウェーデン式サウンディング試験結果と表面波探査結果をそれぞれ示す。A 測線 50～100m 付近の高速度部分は、国道の鯖石川の橋に近いことから、地盤改良などにより地盤が硬くなっていることや、埋設物の影響の可能性が考えられる。旧街道沿いに測定した B 測線は、微地形区分で自然堤防および微高地に相当し、150～250m 付近の標高がやや高くなっている部分の S 波速度が 150m/s 以上とやや高速度になっている。これはスウェーデン式サウンディング試験結果と一致しており、微地形区分に対応して地盤条件が異なっていると思われる。C 測線、D 測線は、旧河道上およびその周囲に位置しているが、深度数 m までの浅部地盤は場所によって S 波速度が異なっている。



写真-9.7.19 日吉小学校周辺の道路沿いで生じた段差による住宅の沈下障害による被害例



(国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用)

図-9.7.26 日吉小学校周辺における地盤調査位置と被害概要

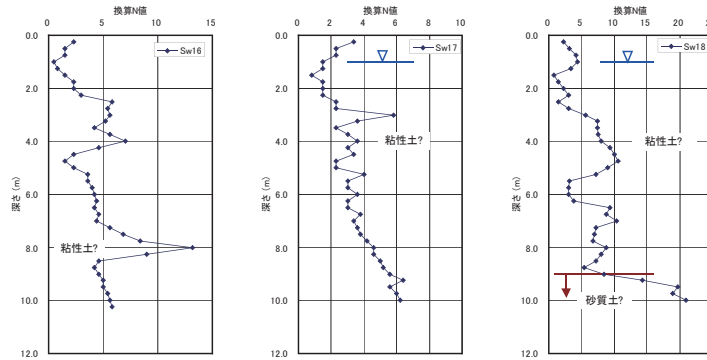


図-9.7.27 日吉小学校周辺におけるスウェデン式サウンディング試験結果

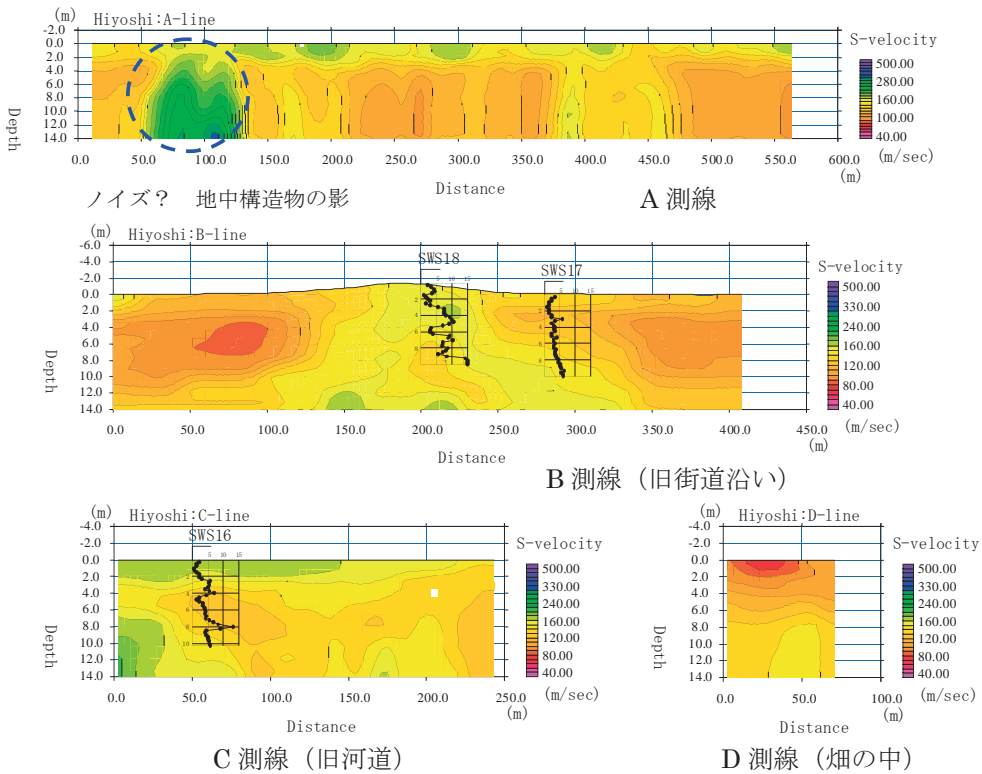


図-9.7.28 日吉小学校周辺における表面波探査結果

2) 西本町

柏崎駅から北西約 1km の市街地にある西本町では大通りに直行する緩斜面で地盤変動による被害が発生していた。被害が甚大な道路に面した歩道付近の住宅地では、地盤の水平変位約 50cm、鉛直変位（沈下）約 30cm（**図-9.7.29** 参照）。聞き取り調査などの結果から判断すると、地盤高の高い左側は砂丘が主、右側の低地部は沖積粘土層の可能性が考えられる。地盤変動による被害が生じた住宅の基礎は、大半がブロック基礎であった（**写真-9.7.20**）。被災地には新築住宅が 1 棟と少なかったこともあるが、調査した範囲では基礎のひび割れなどは生じていなかった。周辺には R C 造 7 階の共同住宅があったが、杭基礎のため 30cm 程度の浮き上がり発生していた（**写真-9.7.21**）。

表面波探査の測線と結果を **図-9.7.30** に示す。A 測線や B 測線の前半では深度数 m から S 波速度 150m/s 以上となり、比較的締まった砂層と思われるのに対して、B 測線後半や C 測線では、深度数 m 以深では S 波速度は 100m/s 前後と低速度である。このことから本町通り（A 測線）を境に、南側では粘性土主体の軟弱な地盤上に緩んだ砂層や砂質盛土が存在している可能性が考えられる。

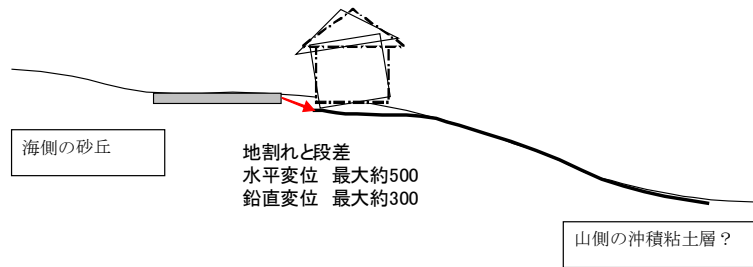
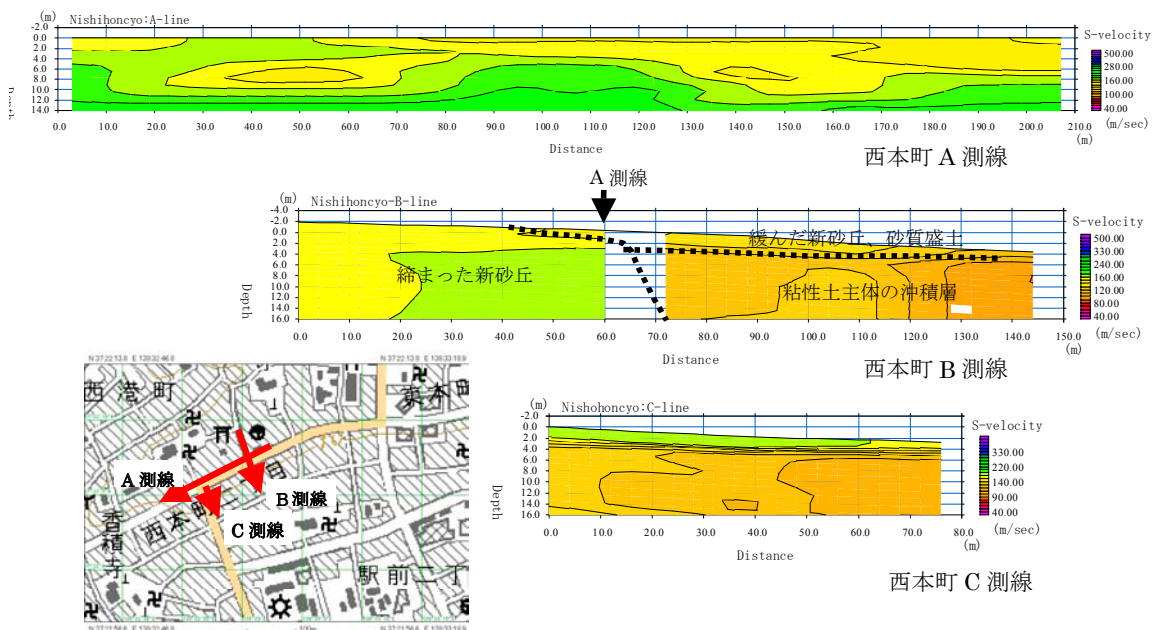


図-9.7.29 西本町の地盤変動被害の概要



(国土地理院の数値地図 25000(地図画像)を使用)

図-9.7.30 表面波探査結果



写真-9.7.20 西本町での地盤変動による被害

(左：歩道上に認められた地盤変動、鉛直、水平で 300-500 程度)
(右：大破した住宅の沈下修正工事、基礎はブロック基礎)



写真-9.7.21 杭基礎建物の被害

(最大 500 程度の建物の相対的な浮き上がり)

3) 池の峰団地

池の峰団地における擁壁の被災状況を写真-9.7.22 に示す。外周部の擁壁がはらみ、一部の擁壁接合部で鉄筋が破断していた。



被災状況の全景（応急措置済）



接合部右側擁壁のはらみ



擁壁接合部の状況

写真-9.7.22 池の峰団地の被災状況

4) 半田地区

半田地区における擁壁の被災状況を写真-9.7.23 に示す。半田地区は、新潟県中越地震においても被害が顕著であった地域であり、新潟県中越地震時と比較のため調査を行った。



擁壁隅部の破壊



コンクリート擁壁のはらみ



写真-9.7.23 半田地区の擁壁被災状況

5) 北条地区

北条地区は、新潟県中越地震において被害が顕著であった地域であり、比較のため調査を行った。新潟県中越地震での被災地域は、接道道路等復旧されており、聞き取り調査から、危険地域として柏崎市から住宅の建設は禁止されているとのことであった。今回の地震においても、ほぼ同一の地域で地盤の移動が確認された。

9.7.5 本節のまとめ

新潟県中越沖地震による建築物の基礎及び地盤の被害とその特徴等を以下に示す。

- 1) 建築物の基礎・地盤の著しい被害のほとんどは、木造等の小規模建築物で発生していた。ひび割れなど著しい基礎の損傷は、古い基礎（ブロック基礎や無筋基礎等）で生じており、現行基準を満足する鉄筋コンクリート造による一体基礎の破壊等の被害は、剛体的な傾斜や不同沈下を除くと、ほとんど認められなかった。
- 2) 杭支持建物のなかには、液状化によって建物周辺の地盤が数十 cm 沈下し、杭支持された建物が相対的に浮き上がった例がいくつか確認された。なお、これらの建物において、著しい傾斜や不同沈下等の被害は今回調査した範囲では確認できなかった。
- 3) 地盤変動による住宅・宅地の被害は、液状化またはそれに起因する地すべりなどによって生じていた。今回の調査範囲において、液状化による住宅等の被害が大きい地域は、刈羽村、松波・橋場地区、山本地区などであった。
- 4) 液状化による著しい地盤変動は、地形・地質の境界付近などで生じていた。旧河道を埋めた部分と周辺の河川堤防などの境界、砂丘斜面と沖積低地との境界付近などで、大きな地割れや段差が生じていた例が確認された。また、液状化に伴う砂丘斜面の崩壊により、裏山が崩壊して、住宅の外壁等が被害をもたらした例もあった。
- 5) 鉛直に増設した増積み擁壁、ブロック塀を擁壁の代替に用いた土留め壁など、安定性に支障のある擁壁の崩壊や変形によって、背面の住宅や宅地に被害をもたらした例が数多く認められた。高さ 4、5m の練り積み造（傾斜 75 度前後）が転倒に至り、前面側の住宅にもられかかった例もあった。
- 6) 増改築の際、増築部分の基礎は地盤改良などにより補強することがあるが、液状化による地盤沈下によって、地盤改良などを採用していない既存基礎が沈下し住宅に沈下障害をもたらした例が認められた。

また、被害事例から判断すると、住宅・宅地の地盤災害の軽減・防止を図るには、敷地の履歴や生い立ち（例えば、敷地周辺の旧河道や旧水路の存在）、基礎の構造と一体性、敷地内の既設擁壁の健全性、などを考慮した住宅の基礎設計が重要であり、液状化のおそれのある地形・地質の境界部付近では特に注意を要すると考えられる。

【謝辞】

本調査における地盤調査は、敷地を所有する建築主の方々のご協力により実現したものである。調査の実施に際しては、国際地震工学センターで研修中の JICA 研修生並びに敷地基礎分科会・同作業 WG 関係者（耐震化率向上を目指した普及型耐震改修技術の開発、H18～20）の方々のご協力を得た。林宏一氏（応用地質㈱）には、JICA 研修生（Yu Shinzhou）の研修指導者として、解析等のご協力を得た。また、被災地における地盤調査等に際しては、大塚悟研究室（長岡技術科学大学）及び若井明彦研究室（群馬大学）のご協力を得た。記して感謝する次第である。

9.8 まとめ

平成19年（2007年）7月16日10時13分頃発生した地震による、新潟県中越地方の建築物の被害性状及び地震動の特徴を把握する目的で、国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所が連携し、平成19年7月17日から10月9日まで、新潟県柏崎市、刈羽村、長岡市等において、被害調査や余震観測等を行った。本報告書は、調査結果を整理し、まとめたものである。

この地震において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。

本震発生日の翌々の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。

本地震において、木造建築物の被害が顕著であった。大破、倒壊した木造建築物は、主に土塗り壁を有するような比較的古い構法による住宅、倉庫、車庫、納屋の類、並びに店舗併用住宅であり、住宅の全壊数は、平成16年新潟県中越地震の1/3程度であった。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。建築基準法や品確法の評価法における等級1で要求されている壁量に対する簡易な推計法による壁量の充足率が60～70%を超えると、大きな被害は見られないことが確認された。

住宅基礎においては、古い基礎（ブロック基礎や無筋基礎等）に著しいひび割れ等の被害が見られたが、現行基準を満足する鉄筋コンクリート造の基礎の被害は、ほとんど認められなかった。住宅・宅地の被害は、液状化またはそれに起因する地すべりなどによって生じている場合も見られ、また液状化に伴う砂丘斜面の崩壊により、住宅の外壁等に被害が見られた例もあった。

住宅における地震被害の軽減には、地震動の揺れに対する上部構造の耐力を確保するとともに、敷地の情報（履歴や生い立ち）に基づいた宅地（擁壁等を含む）の安全性・損傷性の把握、及び上部構造と基礎構造と一体性の確保等が必要と考えられる。

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。配筋等の検討から、各高さ位置の許容曲げモーメントは建築基準法の耐震基準で要求される必要曲げモーメントを上回っていた。主筋をダブルからシングル配筋に切り替える位置では、主筋の重ね継手やカットオフの位置によって、許容曲げモーメントが不連続となることがあるので、設計にあたっては十分な配慮が望まれる。

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、天井が全面的に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、接続箇所面に面する両建物の相対的な変位の影響について検討が必要である。

本調査の実施、資料の収集及び調査結果の整理にあたっては、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) 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被害調査報告、国土技術政策総合研究所資料、第430号、建築研究資料、第109号、2007.12
- 2) 厚生労働省：<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2007/07/h0716-2.html>
- 3) 内閣府：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震について（第24報）
http://www.bousai.go.jp/4fukkyu_fukkou/niigata/24pou.pdf
- 4) 国土交通省：http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/05/050806_.html
- 5) 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>
- 6) 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>
- 7) 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）
http://www.mlit.go.jp/bosai/disaster/saigaijyouhou/h19/cyuetuoki_28.pdf
- 8) 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/>
- 9) 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
- 10) 「紙の基礎講座」ホームページ：
<http://homepage2.nifty.com/t-nakajima/kamikiso05.html>
- 11) (財)日本建築防災協会：木造住宅の耐震精密診断と補強方法、p.60、2004
- 12) 河合直人：建築技術、No.608、p.124、2000
- 13) 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16年新潟県中越地震建築物被害調査報告、pp.176～223、2006
- 14) (社)日本建築学会：建築基準法令集 平成元年版、1989.12
- 15) (社)日本建築学会：鉄筋コンクリート煙突の構造設計指針、1976.6