

8. 建築物

8.1 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、平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震（以下本章では単に「岩手・宮城内陸地震」と略記する）の発生直後から、宮城県栗原市、大崎市、岩手県一関市などにおいて、職員を順次派遣して現地調査を実施した。

本章では、別途まとめた建築物に関する調査報告¹⁾より、被害一般、余震観測等、非構造部材、免震部材及び各種地震応答解析による検討について、概要を報告する。

8.2 被害一般及び初動調査

8.2.1 被害一般

(1) 住家の被害状況²⁾

岩手・宮城内陸地震による住家の被害状況として、消防庁発表によるものを表-8.2.1に示す。表中岩手県及び宮城県については、各市町村の規模を把握する際の参考として、各市町村の世帯数^{3)、4)}を併記した（岩手県は2008年7月、宮城県は同年6月現在のデータを使用）。宮城県栗原市の被害が多い。地震によるとされる火災は、建物火災が4件で、危険物及びその他の火災は報告されていない。

(2) 被災建築物の応急危険度判定の状況⁵⁾

岩手・宮城内陸地震による被害状況の把握の一環として、岩手県及び宮城県においては、国土交通省地方整備局（東北、関東、北陸）の支援を受け、県・市の各自治体及び建築関係団体の判定士による応急危険度判定が実施された。6月14日から20日までに調査対象となった4043棟の判定結果を表-8.2.2に示す。表-8.2.1と同様に、世帯数を併記している。

(3) 被災宅地危険度判定の状況⁵⁾

岩手・宮城内陸地震による被害状況の把握の一環として、岩手県及び宮城県においては、被災宅地危険度判定を実施した。国土交通省は、被災状況調査の支援として、現地に職員1名を派遣している。6月18日から20日までに調査対象となった378棟の判定結果を表-8.2.3に示す。表-8.2.1と同様に、世帯数を併記している。

表-8.2.1 岩手・宮城内陸地震による住家の被害

県	市町村	世帯数	住家被害			
			全壊	半壊	一部破損	建物火災
岩手県	花巻市	35,521			3	
	北上市	33,610			3	
	一関市	42,230	1	2	145	
	奥州市	43,118		2	204	2
	金ヶ崎町	5,506			25	
	平泉町	2,608			7	
	西和賀町	2,511			6	
	合計		1	4	393	2
宮城県	仙台市	446,217			10	1
	石巻市	60,152			1	
	登米市	26,428			8	
	栗原市	24,709	26	90	886	
	大崎市	46,588	1	1	54	
	美里町	8,363		2	17	
	合計		27	93	976	1
秋田県	横手市				1	
	湯沢市			1	8	1
	大仙市				1	
	合計			1	10	1
山形県	山形市				1	
合計			28	98	1380	4

表-8.2.2 岩手・宮城内陸地震における被災建築物の応急危険度判定実施結果

県	市町村	世帯数	判定棟数	危険 (赤)	要注意 (黄)	調査済 (緑)
岩手県	奥州市	43,118	1106	45	249	812
	西和賀町	2,511	2	0	2	0
	一関市	42,230	53	9	22	22
	合計		1161	54	273	834
宮城県	栗原市	24,709	2880	190	517	2173
	美里町	8,363	2	1	1	0
	合計		2882	191	518	2173
合計			4043	245	791	3007

表-8.2.3 岩手・宮城内陸地震における被災宅地の危険度判定実施結果

県	市町村	世帯数	判定数	危険 (赤)	要注意 (黄)	調査済 (青)
岩手県	奥州市	43,118	293	8	37	248
	西和賀町	2,511	2	0	1	1
	合計		295	8	38	249
宮城県	栗原市	24,709	83	31	21	31
合計			378	39	59	280

8.2.2 初動調査

(1) 目的及び行程

岩手・宮城内陸地震の発生直後から、初動調査として、震後の対応方策を検討する目的で国土交通省緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）先遣班への協力⁶⁾を通じて建築物関係の被害概況を把握した。行程の概略を表-8.2.4に示す。なお、建築物の名称をA建築物～J小学校として記号化しているが、この記号は本節（8.2節）内で独立して用いているものである。

表-8.2.4 調査行程

	建物記号・名称等	所在地
6月14日	東北地方整備局（打合せ実施）	仙台市
6月15日	A建築物（打合せ実施＋調査）	栗原市築館
	B小学校	栗原市栗駒片子沢
	C小学校	栗原市栗駒稲屋敷
	D建築物	栗原市栗駒岩ヶ崎
	E小学校	栗原市栗駒松倉
	栗駒松倉・沼倉地区（F建築物ほか）	栗原市栗駒松倉・沼倉
	G工業高校及び鶯沢地区	栗原市鶯沢
	花山地区	栗原市花山
	H小学校及び岩出山下一栗地区	大崎市岩出山
	鳴子地区及び鬼首強震観測点	大崎市鳴子
	三日町強震観測点	大崎市古川
I中学校及びJ小学校	大崎市古川	

(2) 各建築物における被害状況

1) A 建築物

栗原市築館のA建築物では、内外の柱仕上げ材（タイル）の落下が確認された。（図-8.2.1）。その他、内装亀裂等の軽微な被害や、建築物周囲の地盤との間隙（5 cm 程度）も見られた。



(a) 外装タイルの剥落



(b) 内部柱の仕上げタイル剥落

図-8.2.1 A建築物被害状況

2) B 小学校

栗原市栗駒のB小学校では、体育館の妻面の外装ALCパネルの落下、法面の崩壊による校庭の亀裂が確認された。体育館は応急危険度判定で危険とされている。

体育館は平成4年に建てられた下部鉄筋コンクリート造、上部鉄骨造の体育館で、西側妻面のALCパネル4枚が落下し、隣接するパネルも下部が外側にずれて危険な状態にある（図-8.2.2）。ALCパネルは、縦壁挿入筋工法により、上部で鉄骨から金物を用いて止めつけられており、下部では鉄筋コンクリート外壁上に乗り、縦筋は鉄筋コンクリート壁上のアンクルに対して簡易な溶接がなされていたようである。

校庭の南側で法面の崩壊があり、校庭に亀裂が生じていた（図-8.2.3）。また、体育館の西側に隣接する木造建物の2階東側部分のサッシに脱落が生じていた。



(a) 西側妻面の外装ALCパネルの落下



(b) ALCパネル下部詳細

図-8.2.2 B小学校体育館被害状況



図-8.2.3 B小学校校庭南側の法面崩壊

3) C小学校

栗原市栗駒稲屋敷にあるC小学校では、体育館（1階鉄筋コンクリート造、2階鉄骨造）において、窓ガラスの破損、軒天のケイ酸カルシウム板の落下、吊照明の基部のゆがみ等の被害があった（図-8.2.4、図-8.2.5）。体育館は応急危険度判定では危険と判定されていた。

窓ガラスの破損及び軒天の外装材の落下は、南北両面で同様に発生している。3年前の地震（平成17年宮城県南部地震と思われる）においても同様の被害があったとのこと。サッシの上部は、軒のH形鋼には直接取り付けられておらず、軒先に設けた軽量鉄骨下地の垂れ壁につながっており、当該部分の面外剛性の不足によりサッシ上部が面外に振動したり、軒裏の金具が大きく変形した結果、これらの被害につながったと推定される。



(a) 被害状況



(b) 同内部

図-8.2.4 C小学校体育館（南側）の被害状況



(a) 被害状況

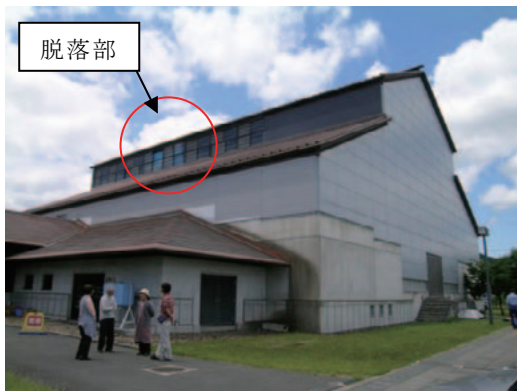


(b) 同詳細

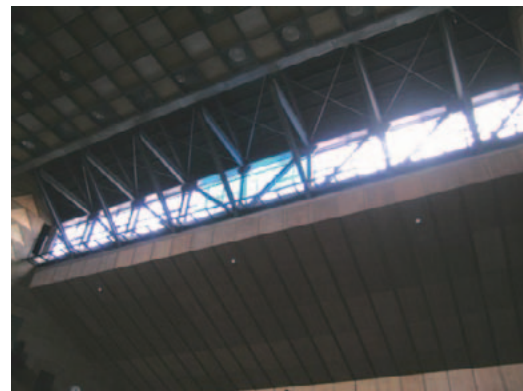
図-8.2.5 C小学校体育館（北側）の被害状況

4) D建築物

栗原市栗駒岩ヶ崎にあるD建築物において、南側高窓のサッシの脱落の被害があった（図-8.2.6）。応急危険度判定では要注意の判定である。D建築物は体育館（練武場）として利用されており、高窓が設けられた部分を鉄骨トラスとして張り間方向に大きなスパンを飛ばしており、振動による変形があったものと推定される。D建築物は南北に対称の構造となっているが、被害のあった南面と同様の高窓が設けられている北面ではサッシの脱落等の被害は確認されなかった（図-8.2.7）。



(a) D建築物外観及び南側脱落部



(b) 高窓部分内部鉄骨トラス

図-8.2.6 D建築物被害状況



図-8.2.7 D建築物北面（高窓に被害なし）

5) E小学校

栗原市栗駒松倉にあるE小学校において、コミュニティホール及び体育館の被害があった。応急危険度判定でコミュニティホールは要注意、体育館は危険と判定されている。

コミュニティホールは、下部が鉄筋コンクリート造で小屋組は木造である。木造小屋組部分に設けられた高窓の1か所でサッシの脱落（図-8.2.8）があった。体育館は鉄骨造で、けた行方向端部には比較的大きな軒の出があり、4隅のうち一か所で軒天のケイ酸カルシウム板の落下があった（図-8.2.9）。また、天井2か所に取り付けられたバスケットゴールのフレームを構成する斜材の接合部が破壊して、一台では斜材1本が脱落、もう1台では斜材1本が垂れ下がる被害があった。



(a) コミュニティホール外観

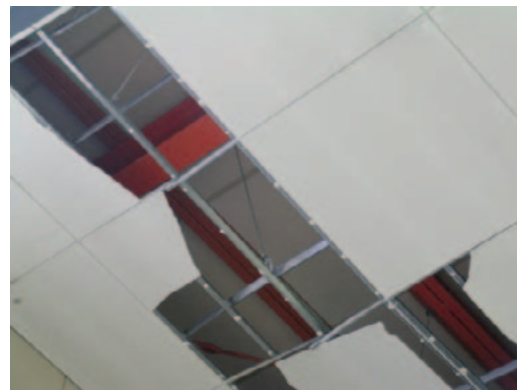


(b) 高窓サッシ脱落部の内部小屋組

図-8.2.8 E小学校コミュニティホール被害状況



(a) 軒天外装材落下



(b) 軒天外装材落下部分詳細

図-8.2.9 E小学校体育館被害状況

6) 栗駒松倉、栗駒沼倉両地区の住宅

栗駒松倉、栗駒沼倉の両地区では、道路から見る限り住宅の被害が軽微であるが、窓ガラスの損傷、外壁仕上げの剥落（**図-8.2.10**）、屋根瓦のずれなどが散見された。

栗駒沼倉上滝の原にあるF建築物では窓サッシの脱落があり、その向かいの2階建て木造住宅で窓の損傷がありシートが張られていた（**図-8.2.11**）。また、これと隣接する伝統的構法の住宅では、サッシの脱落、土壁の剥落等の被害があったが、残留変形は小さく、木造躯体の損傷は確認されなかった（**図-8.2.12(a)～(c)**）。また、同敷地内で礎石の上に土台を流した小屋で、壁量が多いこともあり、土台から上が滑動したのみで上部構造の被害がほとんどない建物もあった（**同図(d)**）。また、その近隣では、補強鉄筋の入っていないと見られるブロック塀の倒壊（**図-8.2.13**）や、石碑の基部を囲む擁壁の崩壊、水路際の地盤の沈下（2～3 cm 程度）（**図-8.2.14**）が確認された。



図-8.2.10 栗駒松倉地区の住家被害（妻壁仕上げ剥落）



(a) 建築物F（窓サッシ脱落）



(b) 住宅の窓の損傷

図-8.2.11 栗駒沼倉地区の住家被害（1）



(a) 外壁損傷及びサッシの脱落



(b) 同住宅牛小屋の土壁剥落



(c) 同住宅内部（特に躯体損傷なし）



(d) 隣接する小屋（滑動してほぼ無被害）

図-8.2.12 栗駒沼倉地区の住家被害（2）



(a) ブロック塀の倒壊



(b) 同詳細 鉄筋は見当たらない

図-8.2.13 栗駒沼倉地区の住家周辺の被害（ブロック塀）



(a) 石碑基部の崩壊



(b) 水路際の地盤の沈下

図-8.2.14 栗駒沼倉地区の住家周辺の被害（その他）

7) G工業高校

栗原市鶯沢のG工業高校では、敷地南側斜面の盛土擁壁で大規模な崩壊があり、擁壁上部の敷地で地盤に幅 10cm 程度の亀裂が1メートルほどの間隔で2箇所発生し、建物基礎下に隙間ができる状態となった（図-8.2.15(a)(b)）。敷地は切土・盛土によって4段に造成され、それぞれ盛土端部で軽微な地割れが見られた。また、最上段の擁壁頂部には、はらみ出しを生じていた（同図(c)）。体育館では妻面（西側）の窓ガラス1か所及び北面の窓ガラス1か所の破損、ステージ脇の2階天井板の一部落下があった（図-8.2.16）。



(a) 南側斜面擁壁の崩壊



(b) 南側斜面擁壁上部の建物



(c) 北側最上段の擁壁頂部のはらみ出し

図-8.2.15 G工業高校敷地周辺の被害



(a) 体育館妻面の窓ガラス破損



(b) ステージ脇 2 階天井板の落下

図-8.2.16 G工業高校体育館の被害

上記のほか、付近の鶯沢南郷の鉛川沿いの住宅で、川側の地盤の擁壁に亀裂が入り、応急危険度判定で要注意とされた例があった。川を挟んだ向かい側（西側）の町営住宅の敷地にも亀裂が認められた。道路対面（北側）の店舗併用住宅も要注意の判定を受けていた。

8) 花山地区の住宅

花山地区において、湖畔の座主及び御堂の両地区の住宅を道路から観察した。その限りでは、目立った被害は確認されなかった。応急危険度判定の結果が貼られている住宅では、判定結果はほとんど「調査済」であった。

9) H小学校

大崎市岩出山のH小学校では、新旧2棟の校舎のうち旧校舎において柱のせん断破壊等の構造的被害が、また、体育館においてブレースの座屈とブレース端部接合部の破断、窓ガラスの破損、軒天の落下等の被害が確認された。新校舎には被害は無かった。また、敷地南西のプールで、西側斜面に向かう地盤の沈下が確認された。

旧校舎は昭和 38 年に建てられた鉄筋コンクリート造の校舎で、南面外部に面した1階柱 11 本中、少なくとも7本において、せん断ひび割れが確認された。内部では、階段周り、及び2階の柱にも損傷が認められた（図-8.2.17）。

また、体育館は昭和 51 年に建てられた下部鉄筋コンクリート造、上部鉄骨造の体育館で、鉄骨造部分について、桁行方向に関してはブレースを両端部の架構のみに配置する設計であったが、これらのブレースが、すべての位置（計4箇所）において、座屈及び端部接合部の破壊を生じていた。また、両けた面（南面、北面）での窓ガラスの破損、北面の一部で内装面材の剥離、北側（2か所）及び西側（1か所）の一部軒天の落下等の被害が、確認された（図-8.2.18）。

これらの被害のほか、H小学校近くの下一栗地区において、住宅の棟瓦の落下、神社の石造鳥居の倒壊を確認した。



(a) 旧校舎外観



(b) 1階柱のせん断破壊



(c) 1階出入口脇の柱の損傷



(d) 1階階段上部の損傷

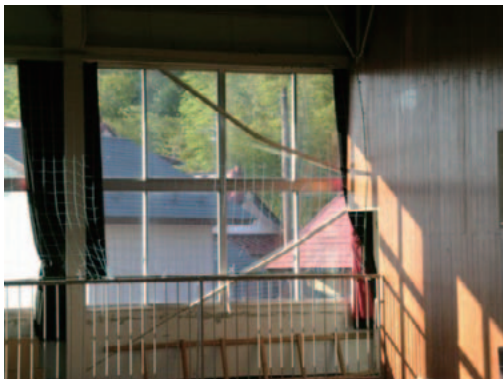
図-8.2.17 H小学校旧校舎の被害状況



(a) 体育館外観及びブレース配置



(b) 軒天落下及びブレース座屈



(c) ブレース座屈 (内部より)



(d) ブレース端部接合部の破壊

図-8.2.18 H小学校体育館の被害状況

10) 鳴子地区の住宅

鳴子温泉の周辺では、道路から見る限り、住宅に目立った被害は生じていなかった。

11) 鬼首強震観測点及び住宅

本震直後に公開された被災地域の加速度記録を用いた解析では、ごく短周期を除き、建築基準法の要求レベルを下回る応答であったが、独立行政法人防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET の観測点のうち、鳴子 (MYG005) の記録については、周期 2 秒～4 秒までで基準法の 2 倍 (最大) 程度の応答を示していた。そこで、MYG005 観測点 (鬼首地区) の設置状況確認を行った。観測点は旧中学校敷地南のプール脇にあり (図-8.2.19(a)(b))、観測点のさらに南側に 10m 程度離れた位置からは、南西方向に下り坂となる傾斜地となっている。

観測点の同一敷地内にある旧中学校の校舎は木造平家建てであり、外観上、特段の被害は見られなかった。また、旧中学校の北東側に木造住宅が数件あるが、いずれも特段の被害は見られなかった (図-8.2.19(c)(d))。



(a) K-net 鳴子観測点 (鬼首) 左は傾斜地



(b) プール北西側にある木造校舎



(c) 付近の住宅 (無被害)



(d) 付近の住宅 (無被害)

図-8.2.19 鳴子地区の状況

12) 大崎市役所及び強震観測点

本震では、大崎市役所で震度6弱を示す大きな記録が得られたが、強震計は市役所から南に400m離れた三日町公園の地盤上に設置されていた(図-8.2.20)。市役所の構造躯体及び強震計付近の市街地には被害建築物は見られなかった(図-8.2.21)。

また、市役所西側の水路際の高さ1m程度の石積み擁壁に軽微なはらみ出し、モルタルのはがれが見られたが、今回の地震によるものか不明である。



図-8.2.20 強震計設置状況(三日町公園)



(a) 三日町公園西側市街(無被害)



(b) 大崎市役所(無被害)

図-8.2.21 強震計付近の状況

13) I 中学校

大崎市古川のI中学校においては、鉄筋コンクリート造3階建ての新校舎（築年不明）の東側妻壁脚部にごく軽微な破損が見られた。また、現在は使用されていない木造2階建ての旧校舎（築年不明）の棟瓦の落下が見られた。

14) J 小学校

大崎市古川のJ小学校は、旧校舎として築80年程度の2階建て木造校舎が2棟建設されている。うち南側の校舎（昭和6年）は木造の補強壁を外構面に張り出して設置する耐震補強が行われており、現在も使用されているが、無補強の北側の校舎（昭和4年築）を含め、いずれも外観上の被害は見られなかった（図-8.2.22、図-8.2.23）。



図-8.2.22 J小学校旧校舎（北校舎）の外観（無被害）



(a) 妻面



(b) 外構面補強

図-8.2.23 J小学校旧校舎（南校舎）の外観（無被害）

8.3 余震観測調査

岩手・宮城内陸地震における建物への入力地震動や建物応答の検討に資するため、被災地での余震観測を行った。余震観測の対象は、震央に近い市街地の公的建物として栗原文化会館を、長周期地震動が観測された K-NET 鳴子観測地点の近傍として大崎市鬼首(おにこうべ)出張所周辺地盤を選定した。

8.3.1 栗原文化会館の観測の概要

栗原文化会館は旧築館町の中心部に位置し、震央距離は約 36km である。前述したように、栗原文化会館の南側約 200m の地点に設置された K-NET 築館観測地点では、最大加速度 740cm/s^2 、計測震度 5.7 の強震記録が得られている。このため K-NET の記録と比較することにより、地形の効果や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、栗原文化会館を余震観測の対象とした。

栗原文化会館は、事務所や集会室からなる鉄筋コンクリート造 2 階建ての低層棟と 1000 人収容のホール棟で構成されており、余震観測の対象は低層棟とした。栗原文化会館の強震計の配置を図-8.3.1 に示す。強震計は 3 台の Kinematics 社 Etna を用い、建物の地下 1 階 (B1F)、2 階 (2F)、及び地盤上 (GL) に設置した。地盤上にも強震計を設置したのは、前述のように K-NET 築館は文化会館と 200m ほど離れている上に、数 m の高低差があり、入力が同一と見なせるか確認するためである。観測期間は 2008 年 6 月 17 日より 8 月 7 日までである。



図-8.3.1 観測地点の配置

8.3.2 鬼首出張所の余震観測の概要

K-NET 鳴子観測地点は大崎市鬼首中学校(現在は廃校)校庭の端に設置され、本震の地震動は NS 成分に 3 秒の大きな卓越が見られる特徴的なものであった。この強震記録の特性の要因を検討するために K-NET 鳴子観測地点周辺に 3 台の強震計を設置した。設置位置を図-8.3.2 に示す。1 台は、K-NET 観測地点から北西に約 400m 離れた大崎市鳴子総合支所鬼首出張所の裏庭に設置した。この建物は規模の大きな木造 2 階建てで、今回の地震では目立った被害を受けていない。もう 2 台の強震計は、鬼首出張所と K-NET 鳴子の間を補間するため、鬼首出張所の裏のゲートボール場及び旧鬼首中学校後者裏に設置した。



図-8.3.2 大崎市鬼首出張所の強震計設置位置(国土地理院 2 万 5 千分の 1 地形図に加筆)

8.3.3 栗原文化会館の強震記録

栗原文化会館では、岩手・宮城内陸地震の余震に加え、東北地方で発生した他の地震の記録も得ることができた。主な地震の諸元と栗原文化会館の地表(GL)で得られた記録の計測震度及び最大加速度を表-8.3.1 に示す。EQ1 及び EQ4 は岩手・宮城内陸地震の余震である。EQ2 は福島県沖を震源地とする地震、EQ3 は岩手県沿岸北部を震源地とする地震である。特に 2008 年 7 月 24 日 00 時 26 分に岩手県沿岸北部で発生した EQ3 では、計測震度に換算して 5.0 の大きな地震動記録が得られた。この地震の震源深さは 108km、気象庁マグニチュードは 6.8、栗原文化会館からの震央距離は 123km であった。なお、X 及び Y は図-8.3.1 に示した方向、Z は上下方向である。

EQ3 について、各観測点の計測震度と最大加速度を表-8.3.2 に示す。表中には参考として、K-NET 築館(MYG004)で得られた強震記録の値も示している。K-NET の最大加速度の方位は X が東西(EW)成分、Y が北南(NS)に対応している。

表-8.3.1 栗原文化会館における主な観測記録(計測震度と最大加速度はGLの値)

#	日時	震央	h (km)	M	Δ (km)	I_{JMA}	最大加速度 (cm/s^2)		
							NS	EW	UD
EQ1	2008/06/17 21:30	岩手県内陸南部	11	4.1	43	1.2	5	7	3
EQ2	2008/07/19 11:39	福島県沖	32	6.9	173	3.3	28	32	13
EQ3	2008/07/24 00:26	岩手県沿岸北部	108	6.8	123	5.0	159	228	65
EQ4	2008/07/30 10:15	宮城県北部	5	3.6	20	1.9	9	24	10

h : 震源深さ, M : 気象庁マグニチュード, Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度

表-8.3.2 2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震の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}	最大加速度 (cm/s^2)			観測機器
					NS	EW	UD	
KRH	栗原文化会館	123	GL	5.0	228	159	65	Etna
			B1F	4.7	136	107	50	Etna
			2F	5.0	211	178	59	Etna
MYG004	K-NET 築館	123	GL	4.7	231	169	80	K-NET02

h : 震源深さ, M : 気象庁マグニチュード, Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度, K-NETの最大加速度は X: EW, Y: NS, Z: UD

(1) 栗原文化会館地表の記録と K-NET 築館の記録の比較

EQ3の地震時に、栗原文化会館の地表(GL)で得られた加速度記録と K-NET 築館で得られた加速度記録を図-8.3.3に示す。上段が文化会館の地表、下段が K-NET 築館で、それぞれ北南(NS)成分、東西(EW)成分、上下(UD)成分の順で並んでいる。なお図-8.3.1に示したように、文化会館の強震計は建物軸に合わせて設置しており、XがN098E(北から東回りに98度)、YがN008Eとなっているが、ここでは地表(GL)の記録を K-NET に合わせてNS及びEW成分に変換しており、その最大加速度は表-8.3.2の値とは異なっている。加速度記録を見ると、EW成分及びUD成分で K-NETの方が若干大きな最大加速度を記録しているものの、両者の包絡形はいずれの成分でも概ね共通している。

図-8.3.4に両者の加速度記録のフーリエスペクトル(幅0.2HzのParzen Windowで平滑化)を、図-8.3.5に K-NET 築館の栗原文化会館地表に対するフーリエスペクトル比(K-NET/GL)を示す。フーリエスペクトルからは、0.5秒及び1秒付近に山が認められ、全般的にこれらの周期を中心とした中周期成分が卓越した地震動の特性となっている。またフーリエスペクトル比からは、1秒以上の長周期では両者の特性はほぼ一致しているが、0.3秒から0.7秒の周期成分では栗原文化会館の地震動が、0.2秒以下の短周期成分では K-NET 築館の地震動がより優勢となっている。

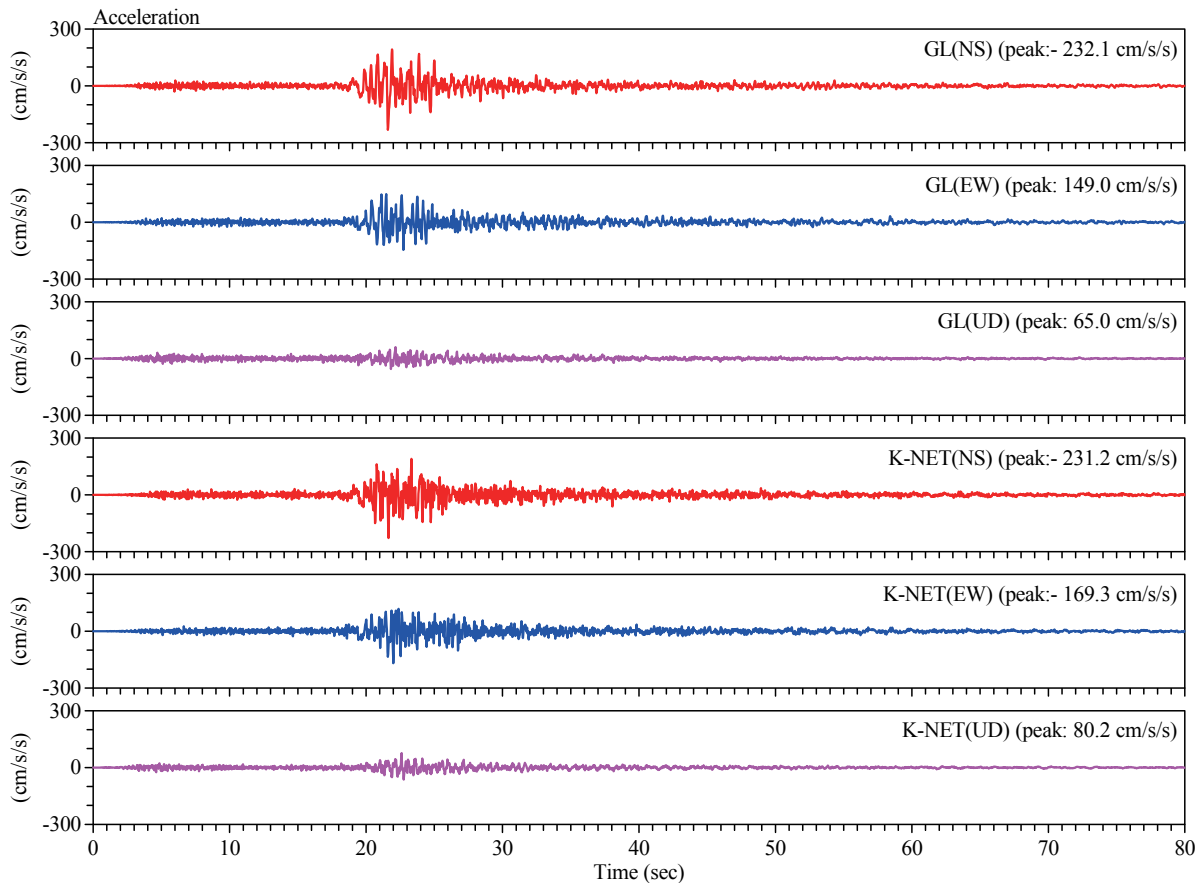


図-8.3.3 栗原文化会館地表 (GL) と K-NET 築館 (K-NET) の加速度記録。それぞれ北南 (NS) 成分、東西 (EW) 成分、上下 (UD) 成分の順で並ぶ

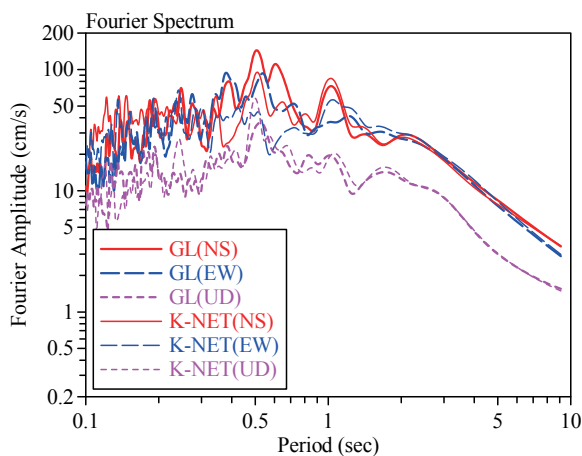


図-8.3.4 栗原文化会館 GL と K-NET 築館の加速度記録のフーリエスペクトル

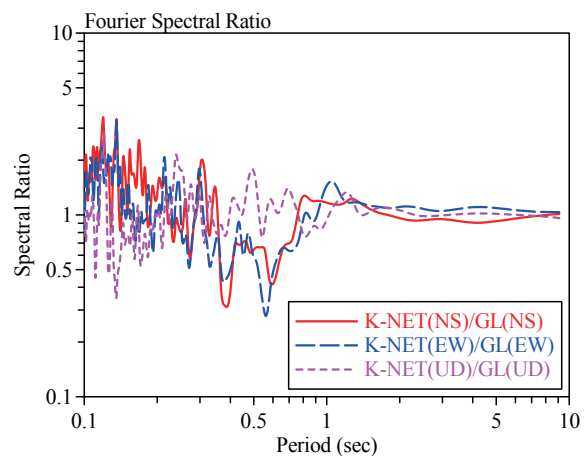


図-8.3.5 K-NET 築館の栗原文化会館 GL に対するフーリエスペクトル比

(2) 栗原文化会館の振動特性

EQ3 の地震時に、栗原文化会館の地表 (GL)、地下 1 階 (B1F) 及び 2 階 (02F) で得られた加速度記録を図-8.3.6 に示す。上段が地表 (GL)、中段が地下 1 階 (B1F)、下段が 2 階 (02F) の記録で、それぞれ X 成分 (建物長辺方向)、Y 成分 (建物短辺方向)、Z 成分 (上下方向) の順で並んでいる。

地下 1 階 (B1F) の水平成分の最大加速度は、地表 (GL) に比べ 2/3 程度に低下しており、2

階(02F)の最大加速度は地下1階(B1F)の1.5倍程度の値となっている。一方、各観測点の上下成分の最大加速度の差は、水平成分に比べて小さい。

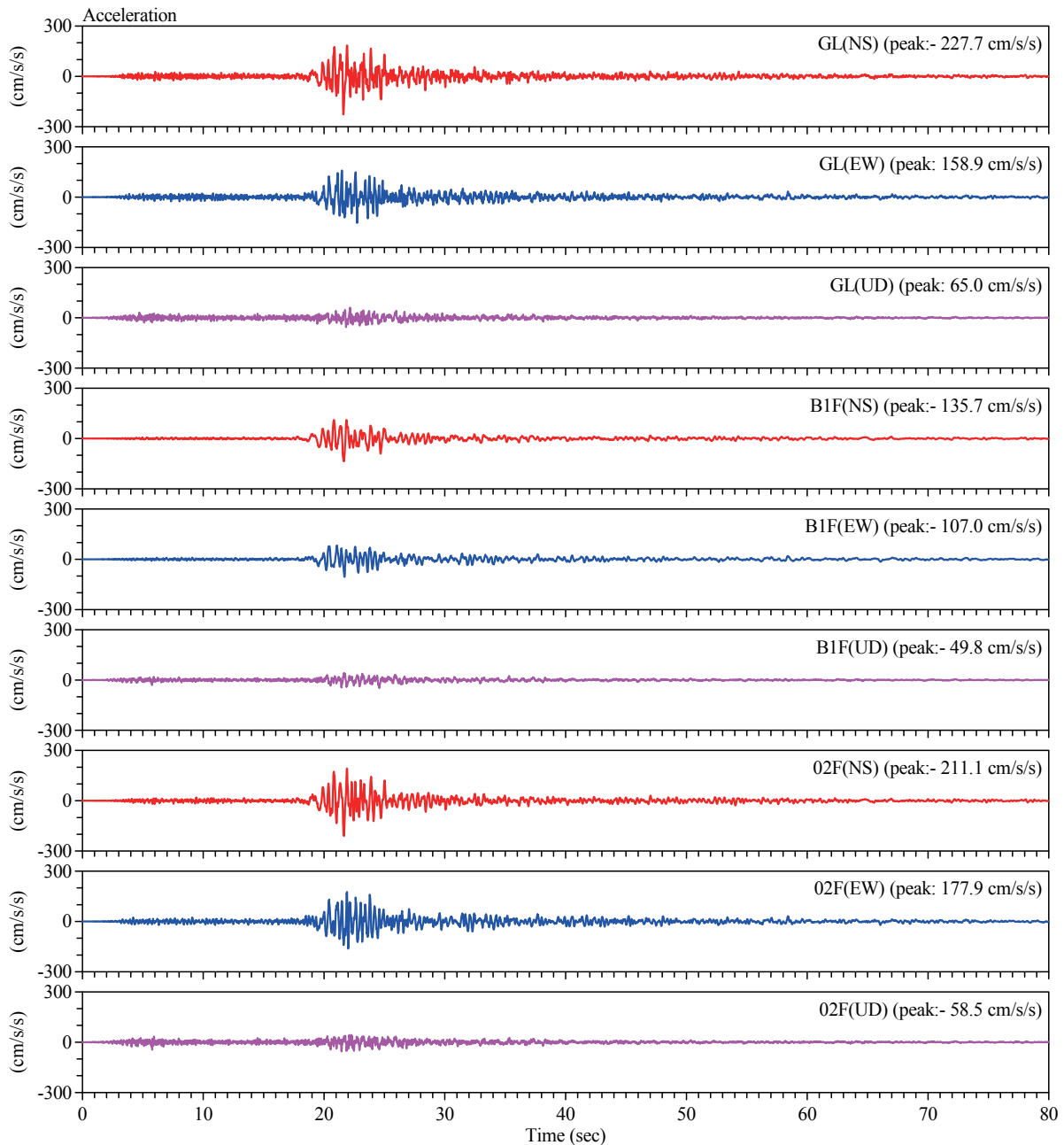


図-8.3.6 栗原文化会館地表(GL)、地下1階(B1F)及び2階(02F)の加速度記録。それぞれ X成分(建物長辺方向)、Y成分(建物短辺方向)、Z成分(上下方向)の順で並ぶ

地下1階の地表に対するフーリエスペクトル比(B1F/GL)を図-8.3.7に示す。いずれの成分も、0.3秒以下の周期領域でスペクトル比は大きく低下し、地震入力の高減が認められる。建物2階の地下1階に対するスペクトル比(02F/B1F)を図-8.3.8に示す。X成分の0.24秒及びY成分の0.22秒のピークは建物の固有周期と考えられる。図-8.3.9に建物2階の地表に対するスペクトル比(02F/GL)を示す。これは地盤と建物の相互作用を含んだ系の特性を表すが、建物による増幅が入力低減効果と相殺されて、ピークは不明瞭である。

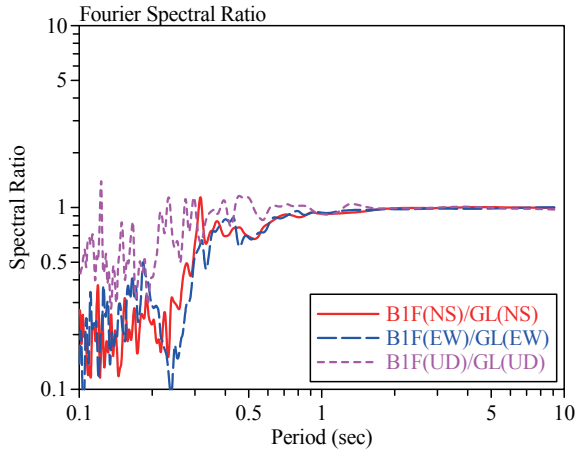


図-8.3.7 栗原文化会館 B1F/GL のフーリエスペクトル比

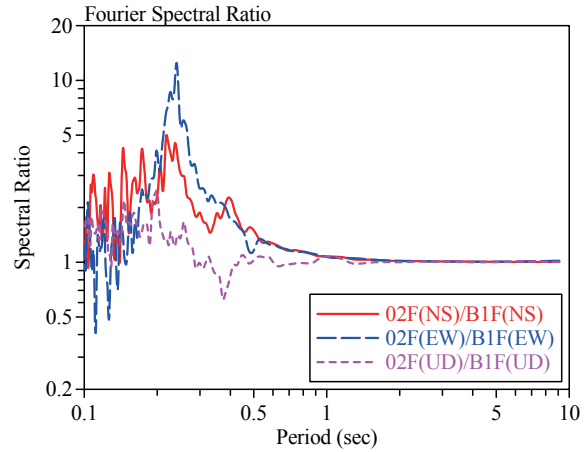


図-8.3.8 栗原文化会館 02F/B1F のフーリエスペクトル比

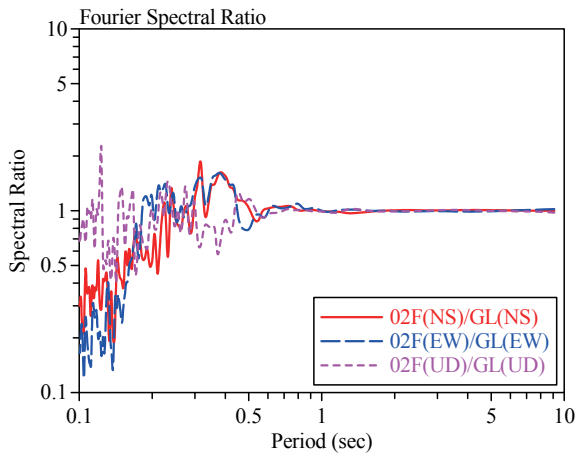


図-8.3.9 栗原文化会館 02F/GL のフーリエスペクトル比

8.3.4 鬼首出張所の余震記録

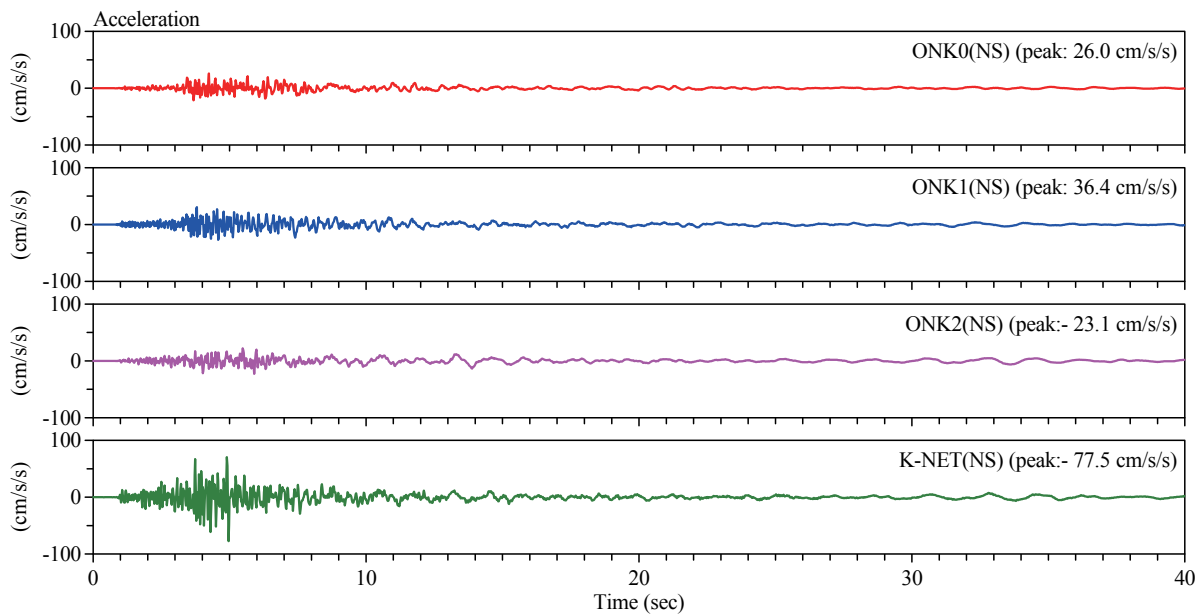
鬼首の余震観測では、150 を超える観測記録を得ることができたが、このうち K-NET 鳴子でも記録が得られ、比較分析できるものは 15 地震であった。このうち 2008 年 6 月 26 日 23 時 33 分に宮城県北部で発生した地震では K-NET 鳴子で余震観測期間中最大の計測震度 3.4 を記録した。この地震で得られた各地点の記録の計測震度と最大加速度を表-8.3.7 に示す。

表-8.3.7 2008 年 6 月 26 日 23 時 33 分宮城県北部の地震の記録の計測震度と最大加速度

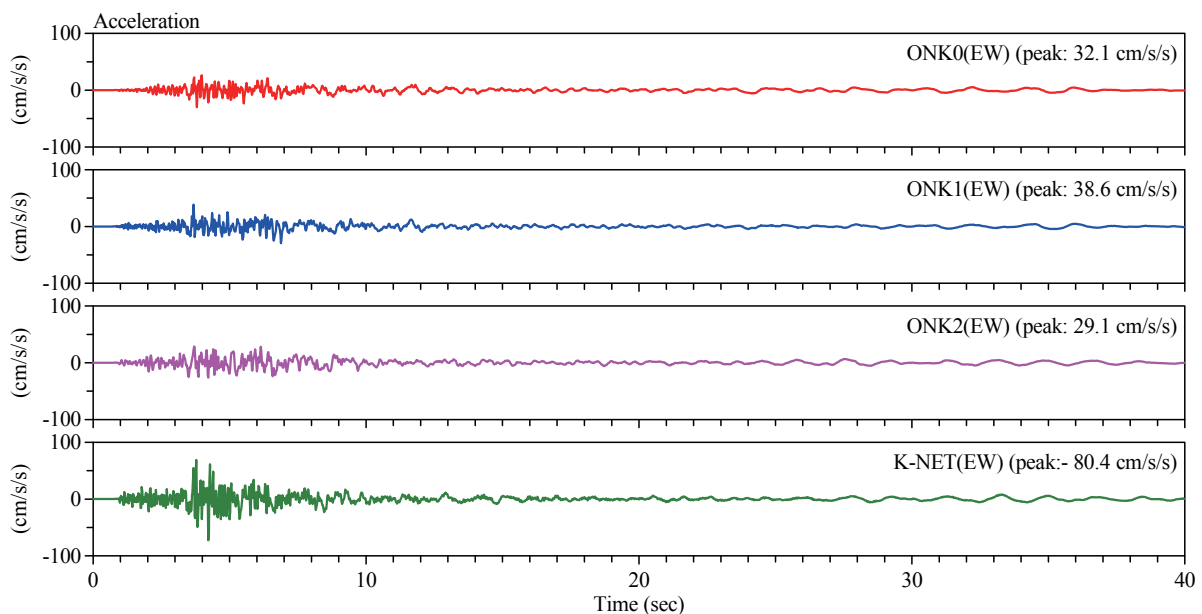
記号	観測地点	Δ (km)	設置 位置	I_{JMA}	最大加速度 (cm/s^2)			観測機器
					NS	EW	UD	
ONK0	鬼首出張所	12	GL	3.0	26	32	27	Etna
ONK1	ゲートボール場	12	GL	3.1	36	39	22	SMAR-6A3P
ONK2	旧鬼首中学校	12	GL	3.2	23	29	20	SMAR-6A3P
MYG005	K-NET 鳴子	12	GL	3.4	78	80	46	K-NET02

h : 震源深さ, M : 気象庁マグニチュード, Δ : 震央距離, I_{JMA} : 計測震度

この地震で、各観測地点で得られた水平成分の加速度記録を図-8.3.10 に示す。上段は NS 成分、下段は EW 成分を表し、各成分の上から大崎市鬼首出張所 (ONK0)、ゲートボール場 (ONK1)、旧鬼首中学校裏 (ONK2)、及び K-NET 鳴子 (K-NET) の加速度記録が並んでいる。観測地点の両端である ONK0 と K-NET の距離は 400m 程度であるが、加速度波形には明らかな差異が表れている。



(a) NS 成分



(b) EW 成分

図-8.3.10 鬼首で得られた余震記録。上段 NS 成分、下段 EW 成分。それぞれ上から大崎市鬼首出張所 (ONK0)、ゲートボール場 (ONK1)、旧鬼首中学校裏 (ONK2)、及び K-NET 鳴子 (K-NET)

図-8.3.10 に示した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-8.3.11 に示す。左側が NS 成分、右側が EW 成分で、実線が大崎市鬼首出張所 (ONK0)、破線がゲートボール場 (ONK1)、点線が旧鬼首中学校裏 (ONK2)、一点鎖線が K-NET 鳴子 (K-NET) を表す。0.3 秒以下の短周期領域では K-NET の応答が他に比べ大きくなっている。0.5 秒以上の周期領域では、ONK1 は ONK0 と、ONK2 は K-NET とそれぞれ似た特性を示している。また、2 秒辺りの卓越は各観測地点共通の特徴となっている。

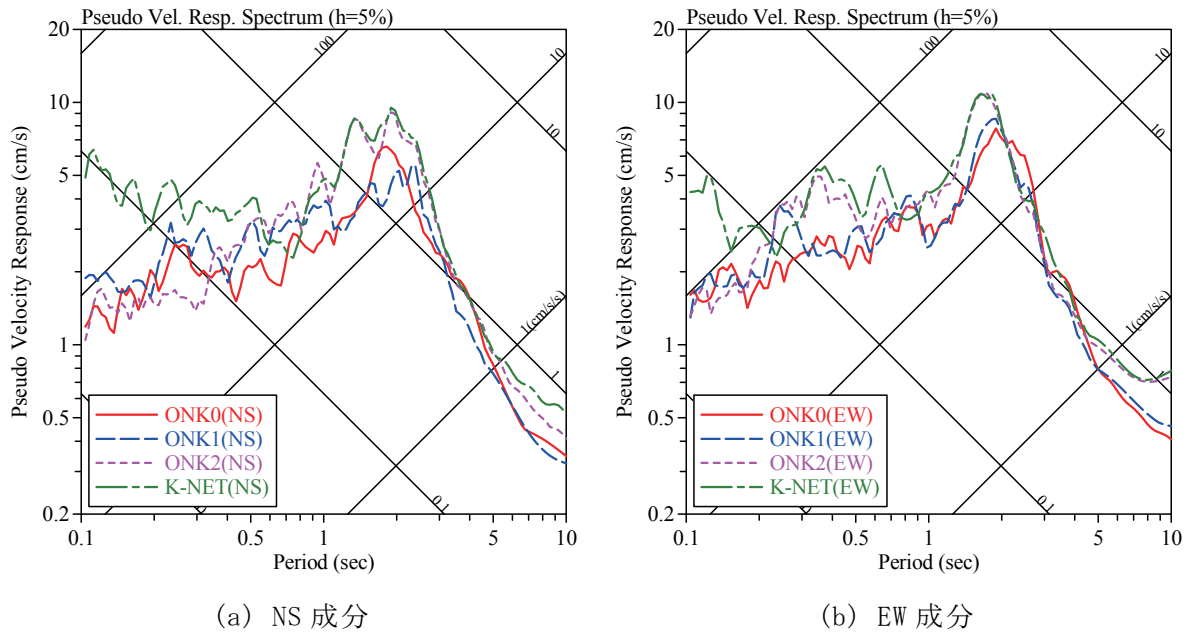











図-8.3.11 鬼首で得られた余震記録の 5%擬似速度応答スペクトル
左側 NS 成分、右側 EW 成分

8.3.5 微動観測調査

余震観測を実施する地盤および建物の振動特性に関する基礎的情報を得るため、-8.3.12 およびに示す地盤上および建物内(栗原文化会館の地下1階、2階ならびに大崎市鳴子総合支所鬼首出張所の2階)の各点において、2008年6月17日～18日に微動の移動1点観測を行った。観測では、固有周期5秒の3成分速度計((株)物探サービス製 GEONET1-5S3D、水平直交2成分+鉛直1成分)を用い、その水平成分の方向は、地盤上の観測点ではコンパスによる NS・EW 方向、建物内の観測点では建屋の向き(概ね NS・EW 方向)とした。観測波形は増幅後、サンプリング周波数 100Hz(ローパスフィルタのカットオフ周波数 12.5Hz)で A/D 変換(24bit)し、ノートパソコンに記録した。

各観測点において、記録波形が定常性を保っていると考えられる区間を選び、地盤上および栗原文化会館 B1F の観測点では各成分 40.96 秒、それ以外の建物 2F の観測点では各成分 10.24 秒のデータを 8-16 セット程度作成して、FFT およびブロック平均法⁷⁾によりフーリエスペクトルを求めた(バンド幅 0.2Hz の Parzen Window で平滑化)。さらに、地盤上および栗原文化会館 B1F の観測点では、得られた各成分のフーリエスペクトルから、H/V スペクトル^{8)、9)}を算定した。この際、水平動のスペクトルは、NS、EW あるいは両成分の 2 乗和平方根の 3 とおりとした。各観測点で得られた微動のフーリエスペクトルを-8.3.12 およびに、H/V スペクトルを-8.3.14 およびに、それぞれ示す。なお、では、観測で用いたセンサの性能や FFT データ長から有効と判断される周期帯を示している。

-8.3.12 からより、観測事実として、以下の点が指摘される。

【栗原文化会館周辺】

- ・地盤上の H/V の周期特性は、不明瞭な場合が多い。ただし、周期 3 秒程度にピークが存在するように見える場合もある。
- ・文化会館裏駐車場の H/V の周期 0.2-0.3 秒程度のピークは、おそらく盛土の影響と思われる。
- ・K-NET 築館と文化会館 B1F の H/V は、周期 0.3 秒程度以上で、比較的良く似ている。

【鬼首出張所周辺】

- ・地盤上の H/V の周期特性は、周期 3 秒程度に比較的明瞭なピークが見られる場合が多い。これは、佐藤ら¹⁰⁾や野津ら¹¹⁾が指摘しているように、カルデラ構造に起因するサイト特性を反映したものと思われる。

【共通】

- ・どの観測点でも、NS/UD と EW/UD のスペクトル特性に違いはほとんど見られない。
- ・地震計を設置した建物 2F の水平動スペクトルのピーク周期は、いずれも 0.3 秒程度で、建物の特性ではなく、入力(地盤の微動)の特性を見ている可能性がある。

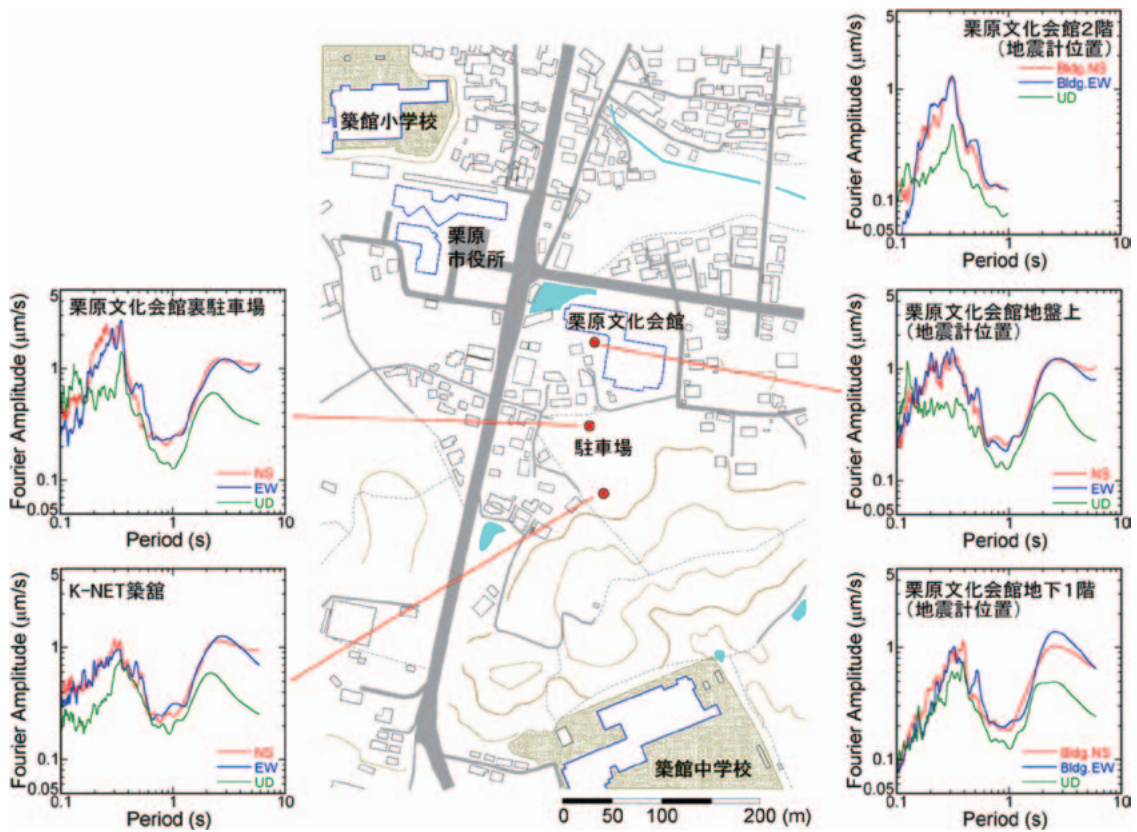


図-8.3.12 微動の観測点およびフーリエスペクトルの分布(栗原文化会館周辺)

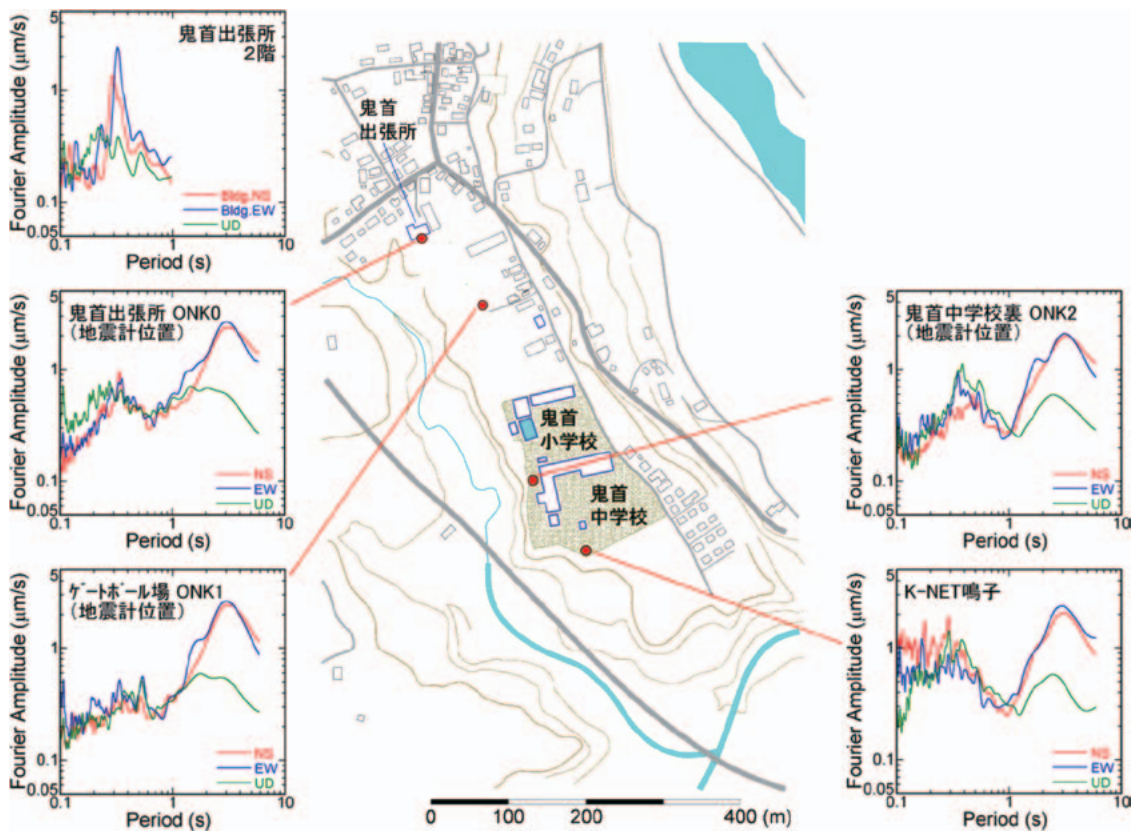


図-8.3.13 微動の観測点およびフーリエスペクトルの分布
(大崎市鳴子総合支所鬼首出張所周辺)

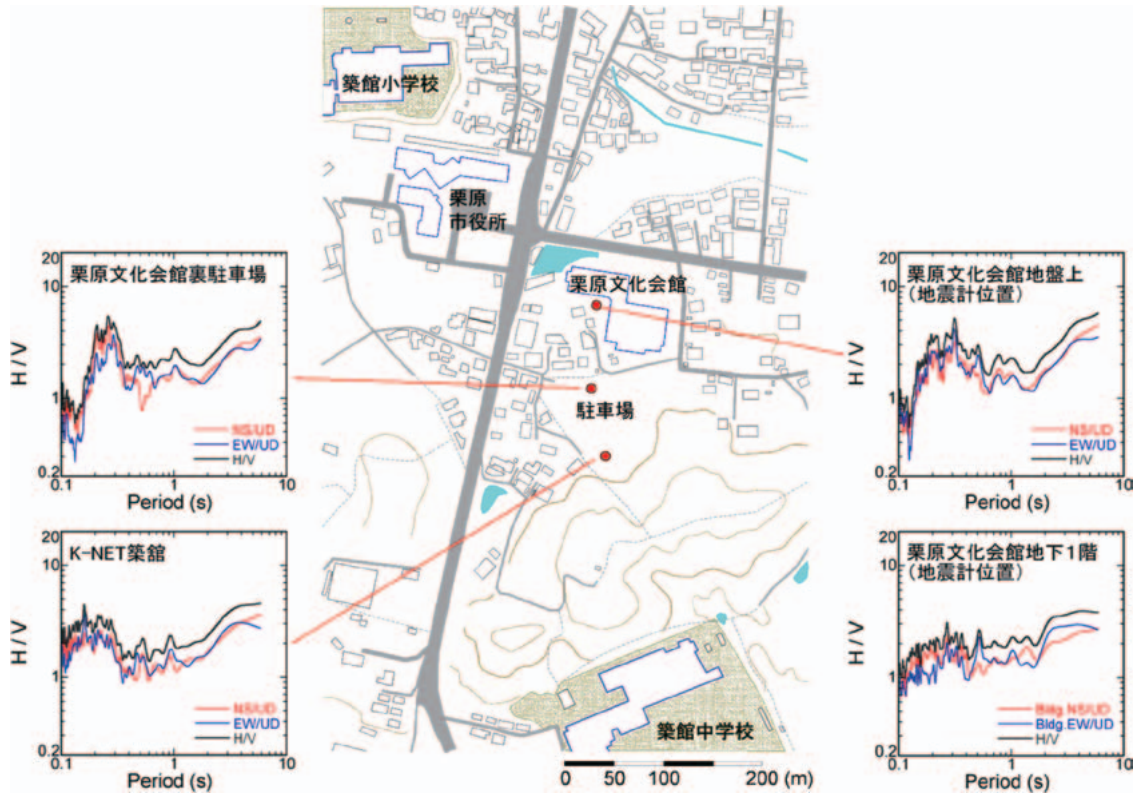


図-8.3.14 微動 H/V スペクトルの分布 (栗原文化会館周辺)

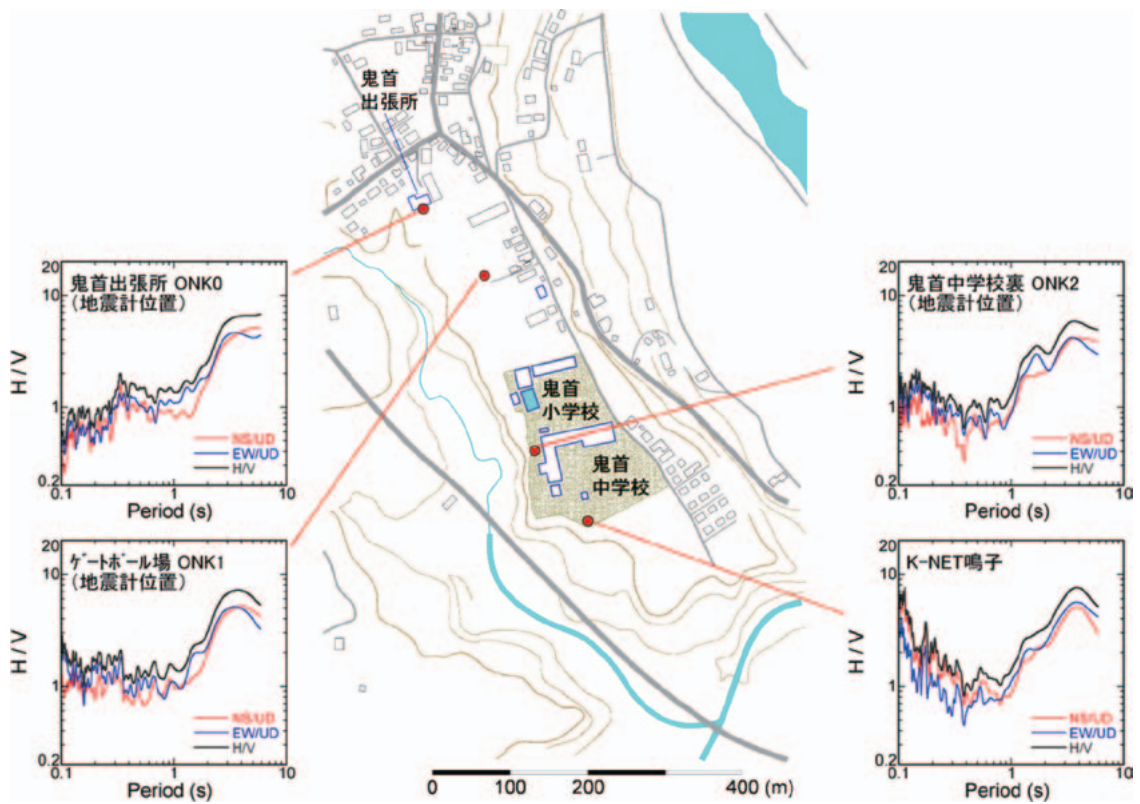


図-8.3.15 微動 H/V スペクトルの分布 (大崎市鳴子総合支所鬼首出張所周辺)

8.4 非構造部材

8.4.1 調査概要

初動調査により被害報告のあった建物を主対象に、宮城県仙台市及び栗原市において、非構造部材の被害状況の把握を行った。図-8.4.1 に調査建築物の位置を示す。同図中の○は気象庁、□は各県の震度情報ネットワーク、△は K-NET、◇は KiK-net の観測地点をそれぞれ表している。なお、建築物の名称を A 建築物～E 建築物として記号化しているが、この記号は本節（8.4 節）内で独立して用いているものである。

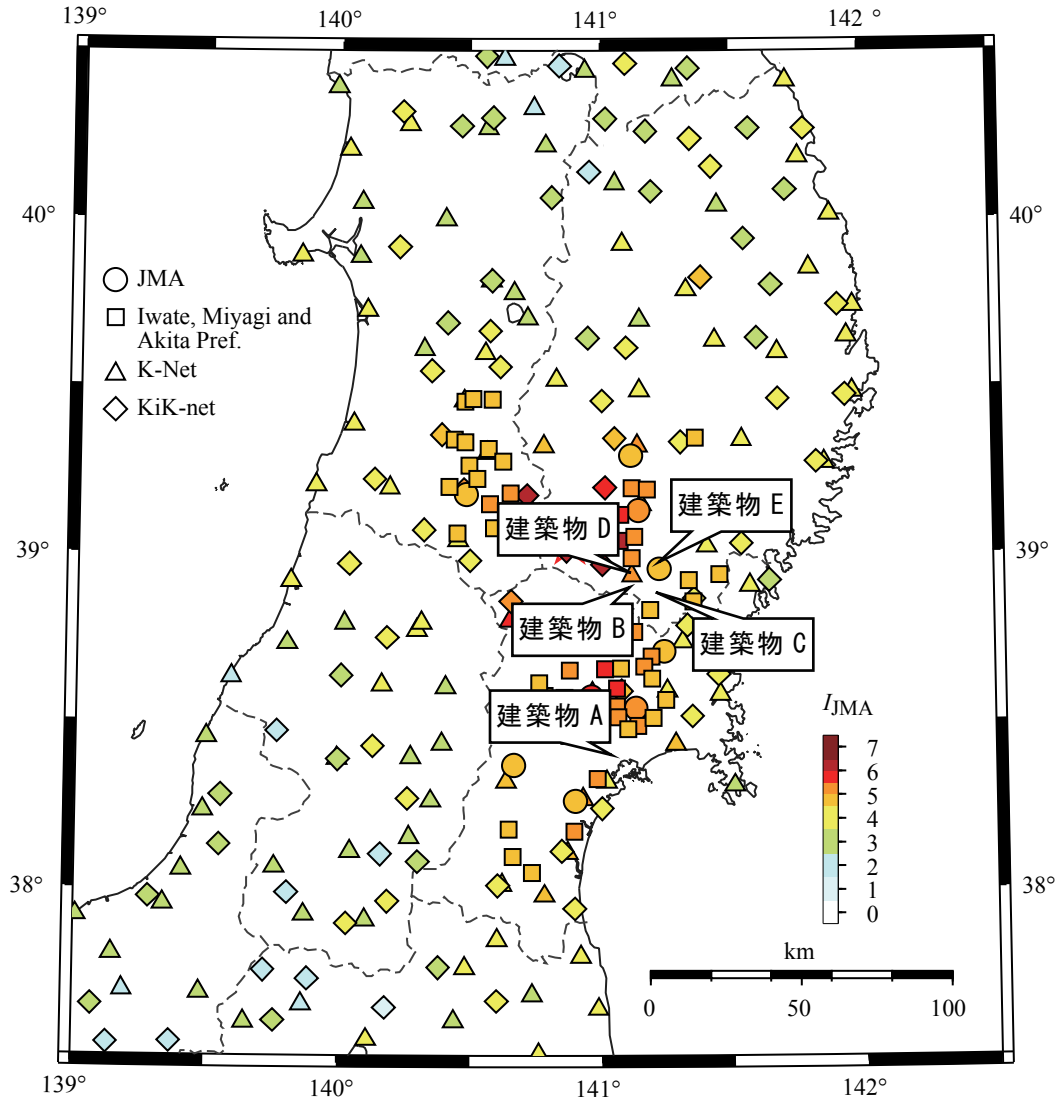


図-8.4.1 調査対象建物の位置

8.4.2 被害調査結果

(1) A 建築物（宮城県仙台市）

- ・昭和 39 年竣工のホテル（鉄骨鉄筋コンクリート造。地下 2 階、地上 9 階）。東西方向に延びる大通りにホテルの正面北側が面している。昭和 60 年に建物を増築し、さらに平成 9 年には耐震改修を行って 3 階と塔屋階を補強したとのこと。
- ・表通りに面する開口部はアルミサッシに複層ガラスを硬化性パテでとめ、さらにシーリングが施されている。バックヤード側のサッシはスチールサッシとのこと。

- ・今回の地震による被害は、窓ガラスの破損、鉄筋コンクリート内装間仕切り壁のひび割れ、エクスパンションジョイントの被害、タイルの剥落等である。避難階段周辺以外は構造体は仕上材で覆われており、確認した範囲では構造体のひび割れ等は見られなかった。
- ・破損落下のあった窓ガラスは、はめころし窓に硬化性パテでとめたガラスが2階で3枚（図-8.4.2）、4階で1枚割れたとのことであり、全体でガラスを28枚取替えたとのこと。平成9年の耐震改修の際に補強を行った3階はガラスの破損は見られなかった。
- ・過去の地震被害については、1978年の地震で窓ガラスが割れ、2003年の地震で窓ガラス1枚にひびが入ったとのことであり、2005年の地震では窓ガラスに被害が出た記憶はないとのこと。今回被害のあった窓ガラスは竣工時からのものであり、ガラスを取り外した際、ガラスをとめていたパテは非常に硬化した状態であったとのこと。
- ・4階の鉄筋コンクリート内装間仕切り壁（東西方向）は、仕上げ材の損傷状態からひび割れが生じていることが見て取れた（図-8.4.3）。東西方向である桁行き方向の壁に大きな亀裂が生じたと考えられる。
- ・タイルの剥落は、3階の洗面所と地下階への階段脇の壁で見られた。洗面所のタイルの剥落箇所では下地コンクリート壁にひび割れが生じていた。地下階への階段脇の剥落箇所では、既存タイルの上に改修施工したタイルが剥落しており（図-8.4.4）、剥落箇所以外でもタイルの浮きを確認された。
- ・建物関係者によると、地震後の室内の物の落下状況から、1978年の地震は南北方向に揺れ、今回の地震は南西・北東方向に揺れたような印象とのこと。



図-8.4.2 2階窓の被害（仙台市提供）

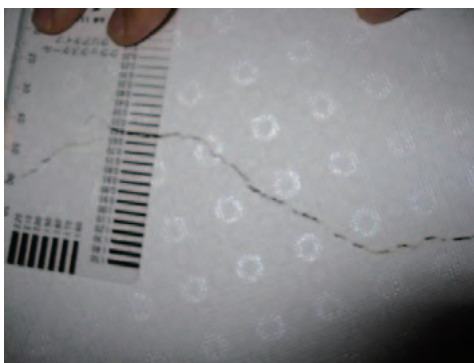


図-8.4.3 4階の鉄筋コンクリート造内壁に見られた亀裂



図-8.4.4 地下1階への階段で剥落したタイル

(2) B建築物（宮城県栗原市）

- ・竣工年不詳の中学校の体育館で、ほぼ南北方向の桁行方向に7スパン、東西の張間方向6スパンの鉄骨造。主屋西側に下屋がある。L形鋼によるブレースが桁行方向の両隅2スパンと真ん中1スパンの計3スパンに入っている。
- ・応急危険度判定で「危険」と判定されており、現地調査時には立入禁止であった。
- ・下屋がない側の桁行方向のブレースが全て座屈していた（図-8.4.5）。下屋側の桁行方向のブレースには座屈は見られなかった。
- ・他に柱脚部コンクリートの亀裂（図-8.4.6）、引き違い窓や出入り口ドアのガラスの破損等が見られた。被害は下屋のない東側桁行構面に集中していた。



図-8.4.5 ブレース及び窓ガラスの被害



図-8.4.6 鉄骨柱脚部かぶりコンクリート剥落

(3) C建築物（宮城県栗原市）

- ・平成4年竣工の小学校体育館。1階は鉄筋コンクリート造、2階は鉄骨造。規模は、桁行方向は6スパン33.6m、張間方向は4スパン20.2m。ブレースは張間方向、桁行方向とも両端のスパンに入っている。
- ・外壁はALCパネル縦壁挿入筋工法。妻壁は、西面は無開口、東面は中央部及び両端に開口がある。
- ・西面の妻壁中央部のALCパネルが4枚脱落した（図-8.4.7～図-8.4.10）。パネル下端の挿入筋と下地鉄骨の溶接部分が損傷していた。建物内ではアリーナの鉄筋コンクリート造部分に軽微なひび割れが見られ、ブレースには損傷は見られなかった。



図-8.4.7 ALCパネル脱落状況



図-8.4.8 脱落したALCパネル



図-8.4.9 ALCパネルの上部取付け部



図-8.4.10 ALCパネル下端部の溶接跡

(4) D建築物（宮城県栗原市）

- ・昭和 60 年設計の小学校体育館。1 階は鉄筋コンクリート造、2 階は鉄骨造。アリーナ部分と諸室部分からなる。アリーナ部分は、桁行方向は 6 スパン 32.2m、張間方向は 5 スパン 25m。ブレースは桁行方向の両端のスパンに入っている。
- ・ギャラリー桁行方向の開口は、鉄筋コンクリート造の腰壁の上に連窓の引き違い窓が 2 段になっている。上段の窓サッシ 20 箇所の内 3 箇所はサッシ枠の内側に窓サッシが設置された形になっている。
- ・今回の地震の被害としては、窓ガラスの破損・脱落、サッシ障子の脱落、ギャラリー箇所、柱脚部や手すり脚部の破損・脱落、軒天井の破損等が見られた。柱や屋根などの構造体には大きな被害は見られなかった。
- ・ギャラリー桁行方向の開口の上段の引き違い窓のサッシ障子が外れて落下するなどしていた。学校関係者によると、ガラスが割れただけのものもあったとのことである。割れたガラスの破片を実測したところ、厚さは 2.75mm であった。
- ・現地調査の時点でサッシ障子がなかったりガラスが割れたりするなどしていたサッシは、元からのサッシのみの箇所で 17 箇所中の 14 箇所、元からのサッシ枠の内側に新たに窓サッシを施工した箇所で 3 箇所中の 1 箇所あった。
- ・ギャラリーにある柱の脚部にひび割れが見られた。
- ・ギャラリー桁行方向の開口の下にある鉄筋コンクリート造の腰壁に補修の跡が多数見られた。
- ・ギャラリーの手すりの脚部が破損しており、箇所によっては以前に補修したような跡が見られた（図-8.4.11、図-8.4.12）。
- ・軒天井が桁行方向の中程で損傷し、繊維強化セメント板が一部脱落していた（図-8.4.13）。軒天井は建設時の設計図書によると、軽量鉄骨下地に繊維強化セメント板をとめ付けてアクリル樹脂エナメル塗りで仕上げたものである（図-8.4.14）。軒天全体では、ねじ止め箇所が分からないように塗装で仕上げられている箇所と、天井板を丸ねじで固定しているのが見て取れる箇所があり、後者は地震以前に行われた改修によると考えられる。今回軒天が破損・脱落した箇所は後者の天井箇所である。
- ・妻面のセメント系ボードによる外装材の端部が破損していた。



図-8.4.11 ギャラリー手すりの脚部の損傷



図-8.4.12 以前に改修したと思われる窓サッシ



図-8.4.13 損傷した軒天井



図-8.4.14 軒天の破損及びとめ付け状況

(5) E 建築物（宮城県栗原市）

- ・平成9年竣工の体育施設。施設内に体育館と屋内プールがある。
- ・体育館は屋根は鉄骨造、それ以外は鉄筋コンクリート造である。桁行方向7スパン42m、張間方向9スパン45mである。アリーナ上部は棟部分にトップライトが設けられており、それ以外の箇所は在来工法の天井が扁平なドーム状に張られている。天井下地の向きは、桁行方向が野縁方向、張間方向が野縁受け方向である。
- ・体育館の天井が、外周柱近傍（柱から1m程度離れた部分）で板状に2箇所、トップライト隣接部で3箇所脱落していた（図-8.4.15～図-8.4.17）。
- ・トップライト隣接部については、脱落箇所の状況から、野縁と天井板が脱落したとみられる。外周柱近傍では天井板とクリップ、ハンガーが脱落していたものの、野縁や野縁受けは脱落していない。天井板が脱落した箇所の天井裏の野縁を見ると、外周の柱などに衝突して座屈したような形状になっていた（図-8.4.18）。
- ・張間方向の天井端部が外周の取り合い部で損傷していたものの、脱落した部分はなかった（図-8.4.19）。
- ・施設関係者によると以前の地震で天井が破損した隅部は補修時にクリアランスを設けたとのことであり、今回は大きな被害は見られなかった。



図-8.4.15 アリーナ内観（パノラマ合成による像の歪み等あり）



図-8.4.16 トップライト近傍での天井損傷状況



図-8.4.17 脱落した天井版

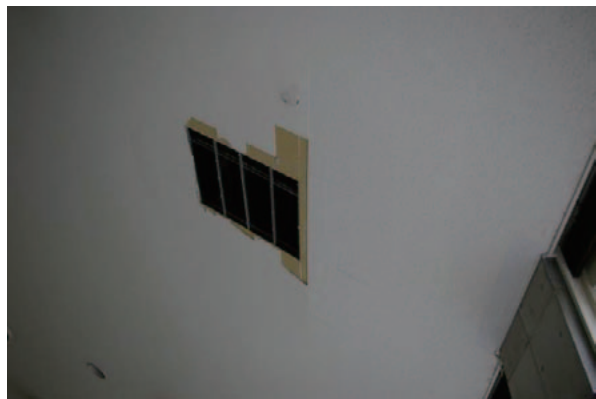


図-8.4.18 天井板脱落箇所及び下地材損傷状況

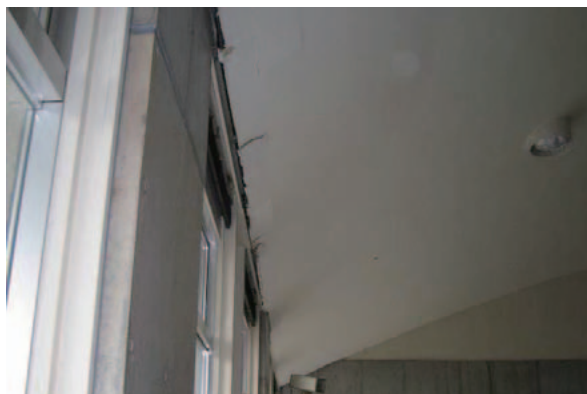


図-8.4.19 桁行方向の取り合いでの天井損傷状況

- ・屋内プールは屋根は鉄骨造、それ以外は鉄筋コンクリート造である。桁行方向 7 スパン 34m、張間方向 5 スパン 25m である。プール上部は棟部分にトップライトが設けられており、それ以外の箇所ははめ込み式の天井が水平方向に張られている。
- ・天井は、天井下地材に専用の金属下地材を取付け、そこに孔あきアルミパネルにグラスウールを裏打ちしたパネルをはめ込んだり、一部ではねじでとめ付けている（竣工図面には“天井アルミ吸音パネル張り”と表記されている）。トップライト下部の立ち上がり壁は天井と同じパネルで張られている。
- ・プールの天井のパネルが妻面近くで多く外れており、トップライトに続く立ち上がり壁のパネルが外れていた（図-8.4.20）。
- ・落ちかけているパネル（図-8.4.21）やプールサイドに積み重ねられていたパネルを見たところ（図-8.4.23）、専用の金属下地材への取付けは、ねじ止めによると思われる箇所もあるものの、はめ込みのみの箇所が多かった。パネルが脱落した箇所の天井裏を見たところ（図-8.4.22）、天井下地材に斜めの振れ止めが設置されていた。



図-8.4.20 屋内プールの被害状況



図-8.4.21 落ちかけている天井パネル



図-8.4.22 天井裏の状況

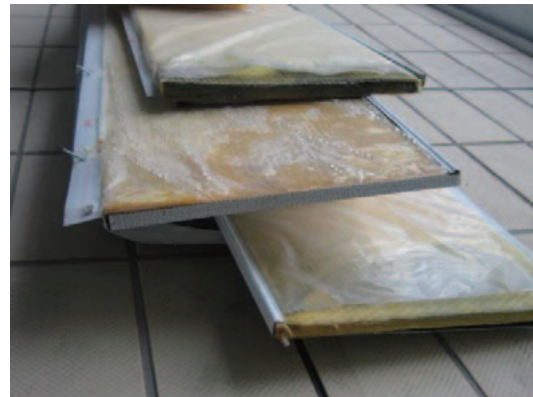


図-8.4.23 プールサイドに重ねられたパネル

8.5 免震建築物

8.5.1 調査概要

被災地に建設された免震建築物の現地調査を行った。図-8.5.1 に調査建築物の位置を、表-8.5.1 に概要を、それぞれ示す。なお、建築物の名称をA建築物～G建築物として記号化しているが、この記号は本節（8.5節）内で独立して定め、用いているものである。

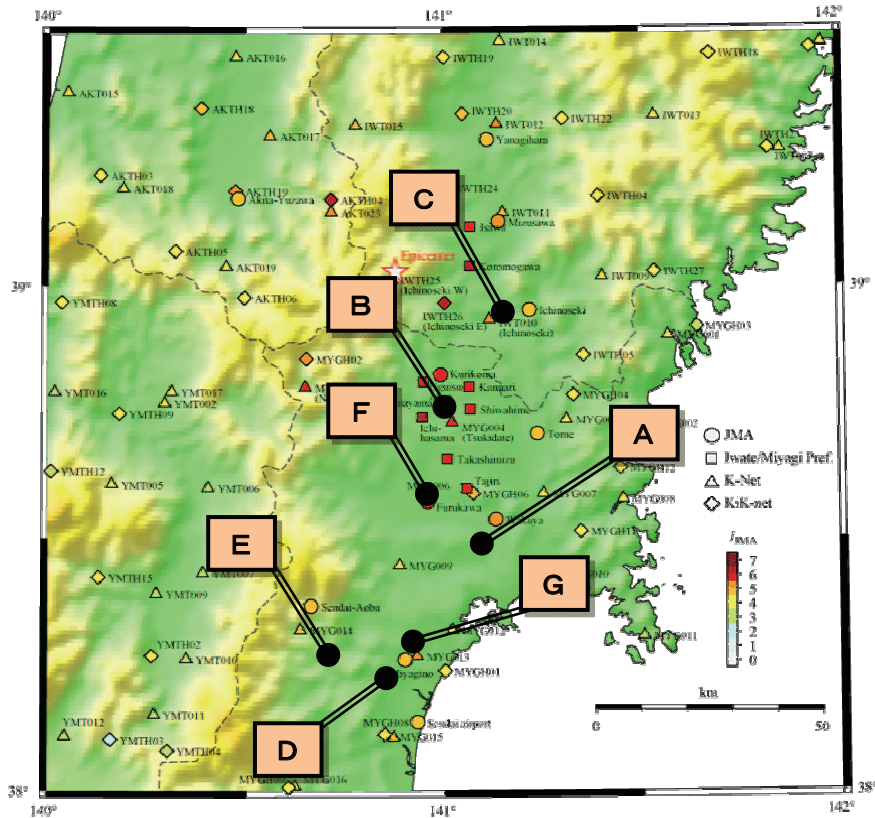


図-8.5.1 免震建築物位置（記号は表-8.5.1に対応）

表-8.5.1 調査建築物概要

	所在(震度*)	用途	上部構造	免震層面積	免震部材構成**
A	大崎市(5弱)	病院	鉄筋コンクリート造4F	約1350m ²	RBx8, LRBx12, ESBx13, ODx4
B	栗原市(6弱)	病院	鉄筋コンクリート造5F	約7200m ²	LRBx20, RBx163, ODx70
C	一関市(5強)	病院	鉄骨造5F+鉄骨鉄筋コンクリート造B1F 鉄筋コンクリート造3F+鉄筋コンクリート造B1F	約21600m ²	RBx142, LRBx32, UDx8, CLBx179
D	仙台市(5強)	救急施設	鉄筋コンクリート造6F	約1900m ²	LRBx34, ESBx4
E	仙台市(5弱)	病院	鉄筋コンクリート造4F	約8500m ²	RBx96, LRBx14, ESBx50, SDx32
F	大崎市(6弱)	宿泊施設	鉄筋コンクリート造12F	約200m ²	RBx8, LDx8, SDx2
G	仙台市(5弱)	個人住宅	木造2F	(不明)	RB, SB

*…気象庁発表 (http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2008_06_14_iwate-miyagi/) の最寄りの震度

**…RB：天然ゴム系積層ゴム、LRB：鉛プラグ入り積層ゴム、ESB：弾性すべり支承、SB：すべり支承、CLB：十字型転がり支承、OD：オイルダンパー、UD：U字ダンパー、SD：鋼棒ダンパー

8.5.2 被害調査結果

(1) A建築物

A建築物は、宮城県大崎市鹿島台において、平成17年に建設された鉄筋コンクリート造4階建ての免震建築物（病院）である。もともと耐震構造の病院として建てられていた（昭和40年ごろ築）が、平成15年の宮城県北部連続地震で構造躯体が損傷したため、免震構造を採用して全面改築されたものである。

建築物の平面形状はおおよそ南北約30m×東西約45mの矩形となっており、下記の免震装置が設置されている。

○天然ゴム系積層ゴム支承材…8基（φ600×4、φ650×4）

○鉛プラグ挿入型積層ゴム支承材…12基（φ600×5、φ650×5、φ700×2）

○弾性すべり支承…13基（φ500×12、φ300×1）

○オイルダンパー…4台（X方向×2、Y方向×2）

職員へのヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

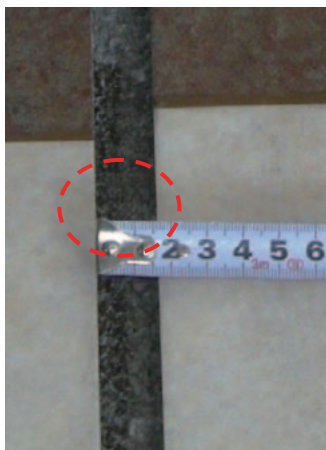
a) 本震時、病院にはスタッフ20名、患者60名程度が在所していた。

b) 免震挙動中は、めまいがするような感覚で、歩くことは可能だったがまっすぐには歩けなかった。

c) 免震建築物内部では転倒・落下等の被害はなかったが、隣接する非免震棟の事務所では、書棚の内容物が落下する被害があった。

d) 本震直後（09:20）の点検においては南西方向に1cm程度の残留変形が見られた。

目視調査の結果、**図-8.5.2(a)** (**b**) に示すとおり、エキスパンションジョイント（通路）床面内装には東西方向に1.5cm程度のずれが、免震建築物周囲のクリアランス保護用の蓋には、1cm程度の傷がみられた。また、上部構造の外周部には、免震建築物のクリアランスに近づけないよう侵入防止柵が設けられていたが、免震部分と非免震部分との両方に脚部が緊結されており、**図-8.5.2(c)** のようなゆがみを生じていた。



(a) 廊下内装のずれ
（東西約1.5cm）



(b) クリアランス部蓋の傷
（東西約1cm）



(c) 侵入防止柵のゆがみ

図-8.5.2 免震挙動の形跡等

(2) B建築物

B建築物は、宮城県栗原市築館において、平成14年に建設された鉄筋コンクリート造5階建て+棟屋1階の免震建築物（病院）である。

建築物の平面形状はおおよそ南北約60m×東西約120mの矩形となっており、下記の免震装置が設置されている。

- 鉛プラグ挿入型積層ゴム支承材…20基（φ750）
- 天然ゴム系積層ゴム支承材…163基（φ650×61、φ750×102）
- オイルダンパー…70基（980.7kN型）

なお、断面図や免震層のクリアランスの処理などの図面は入手できず詳細不明である。職員へのヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

- a) 本震時は休診日であったが、機器等の点検が行われており、20名程度の作業者がいた。
- b) 病院は10分停電した後復電した。
- c) 屋内では立ち上がるには不安があり、普通に歩くことは困難だった。本震時に外を見たところ他の建築物は細かく激しく揺れているのが見えた。
- d) 建屋内に構造・非構造を含め被害はなく、5階西側E V前の一箇所のみ、天井に取り付けられた誘導灯（はめ込み式）の落下があった。

病院を含め一帯はもと水田であったとの情報もあり、実際に敷地内のやや広い範囲で若干の沈下（舗装表面で約5cm）が見られたが、周辺一帯での噴砂や建築物の傾斜被害等の形跡は見られなかった。

目視調査の結果、免震層内において、犬走りの鉛直クリアランスのシール材と免震層周囲の擁壁の間のずれ（**図-8.5.3**）が確認された。このずれは南北方向については北側に1.5～2cm程度と見られ、免震建築物周辺ではシール材と躯体との縁切り用と見られるフィルム状のシートのはみ出しも見られた（**図-8.5.4**）が、免震層中央付近では残留変位が見られない積層ゴム部材もある等、躯体コンクリートの乾燥収縮による変形など他の要因である可能性も考慮すべきである。なお、スタッフによれば、本震時のゆれは東西方向に卓越していたとのことであり、フィルム状のシートのはみ出しは東側外周で大きく、南側では若干、他の部分ではほとんど見られなかった。ただし、当該建築物に関しては「岩手・宮城内陸地震：震度6弱の揺れを半減、宮城県栗原市内の病院で免震効果実証」¹²⁾において、地震時の免震層の変形量は東西方向と南北方向それぞれ100mm前後と推定されている。



図-8.5.3 シール材のずれ



図-8.5.4 フィルム状シートのはみ出し

その他クリアランス周りにおいて、躯体から外につながる配管の基部カバーの損傷・脱落（図-8.5.5）、周囲地盤の沈下及びそれによると見られる舗装ブロックの変状があった。また、エキスパンション部周辺では、カバーの衝突等によるものと見られる損傷や金属柵の傾斜の被害（図-8.5.6）が見られた。



(a) 接続状況



(b) 屈曲部カバーの損傷・脱落落下

図-8.5.5 配管部の被害



(a) 金属柵の傾斜



(b) 舗装の損傷（補修済み）

図-8.5.6 入口エキスパンション周辺部被害

(3) C建築物

C建築物は、岩手県内において平成18年に建設された、それぞれ鉄骨造5階＋鉄骨鉄筋コンクリート造地下1階（I棟）及び鉄筋コンクリート造3階＋同地下1階（N棟）の免震建築物（病院）である。もとは別々の場所に建つ病院であったものを移転し、免震層を共有する1棟の免震建築物にしたものである。

免震層は「J」を横に引き伸ばしたような形状（図-8.5.7）で、斜面地に建設されており、GL-9.5mとGL-4.1mとの段差のある支持層による直接基礎が採用されている。南側のI棟はおおよそX80m×Y120m、北側のN棟はおおよそX120m×Y100m程度であり、下記の免震装置が設置されている。

- 天然ゴム系積層ゴム支承材…142基（φ800×104、φ800U字ダンパーつき×38）
- 鉛プラグ挿入型積層ゴム支承材…32基（φ800）
- U字ダンパー…8基（型番U45）
- 十字型転がり支承…179基（600kN×8、800kN×1、972kN×3、1304kN×21、2451kN×113、3775kN×33）

本建築物においては、さらに、I棟及びN棟のそれぞれ基礎底盤及び上部構造（免震層直上及び最上階）で地震観測が行われており、本震時を含め多数の観測記録が得られている。図-8.5.8に本震の加速度記録（I棟・X方向）を、表-8.5.1に棟別・方向別の最大値を比較して示す。

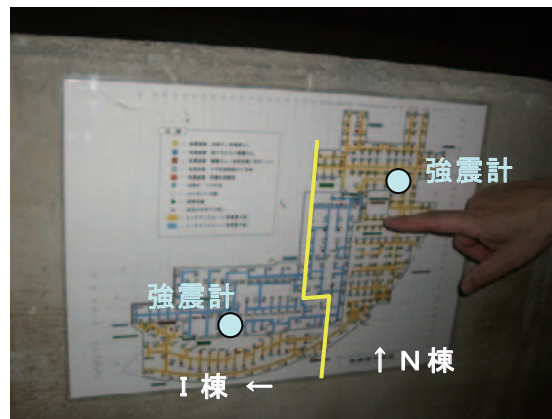


図-8.5.7 C建築物平面計画及び強震計位置

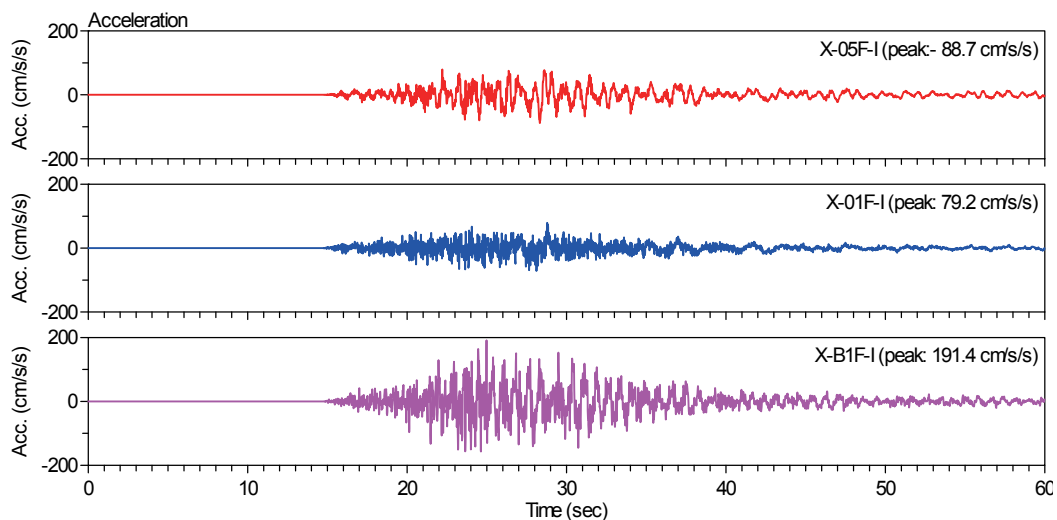


図-8.5.8 本震時の加速度波形（I棟・X方向）

表-8.5.1 C建築物における本震時の観測記録の最大値

棟	位置	最大加速度（絶対値） [gal]			計測震度
		X	Y	Z	
I棟（南側）	5 F	88.7	73.3	587.4	5.0
	免震上部	79.2	52.6	253.2	4.5
	免震基礎	191.4	155.7	241.0	4.8
N棟（北側）	3 F	65.0	56.9	349.0	4.8
	免震上部	81.3	92.1	294.1	4.7
	免震基礎	262.8	239.9	248.6	5.0

職員へのヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

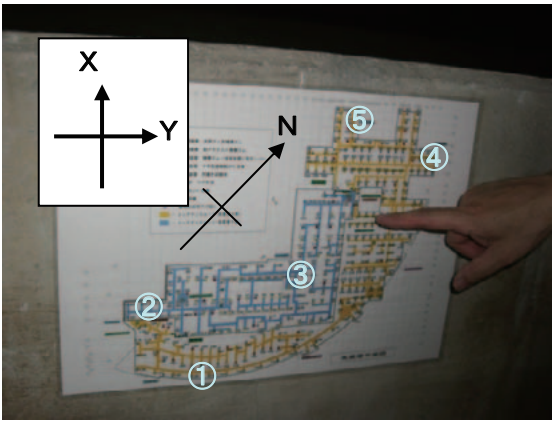
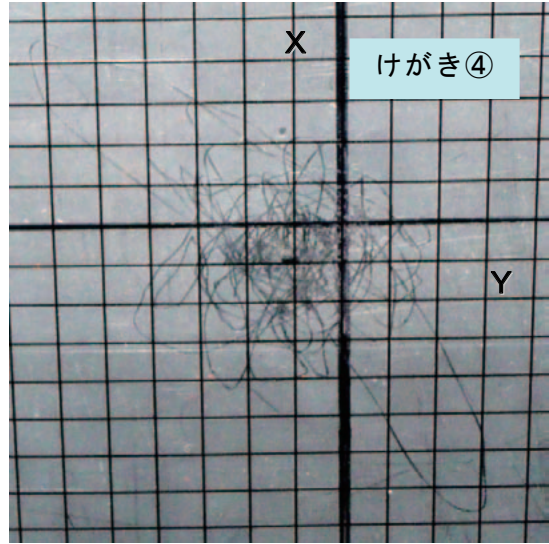
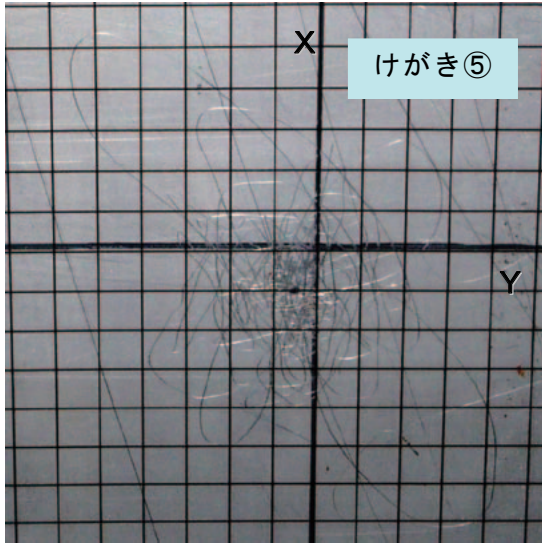
- a) 本震時の構造・非構造被害は特になかったが、防火戸が閉塞し、エレベータも停止した。
- b) 施設内の状況については、パソコンのモニタの転倒が1台（他の多数の同じようなモニタは無被害であったらしく、そのモニタの設置状況の問題と考えられる。）、スプリンクラーのカバーの脱落、防火戸の閉鎖などがあった。
- c) 体感としては小刻みな揺れも感じ、震度5程度と感じた。（2F勤務）
- d) 本敷地は、周辺に比べて、震度が小さいようである。他の場所（おそらくJMAによる周辺の公表値）と比較して、地震計の記録開始のトリガーが作動しないことがあった。（なお、今回の本震についても、一関山目（やまのめ）で震度5強と公表されているが、表-8.5.1に示すとおり、免震基礎の観測記録による計測震度は5弱にとどまっている。）
- e) 免震層内（5箇所）において、相対変位の軌跡を計測するためのけがき変位計が設けられており、本震直後の目視点検では、最大変位は北西方向に37mmであった。

免震層の目視調査により、上記 e) のけがき変位計による軌跡を確認した（図-8.5.9）。免震層内の位置によってそれぞれ軌跡の形状が異なっていたが、主要な変位の方法はすべて東西方向であると考えられる。その他の免震層の移動跡としては、図-8.5.10 に示すとおり十字型転がり支承の下側レールのカバーが、支承コマ部から北西（X）及び北東（Y）方向に、それぞれ3cm程度離間していた。

けがき変位計の本震直後（一次調査時）の残留変位は、けがき板の原点から5mm程度であった。また、図-8.5.11 に示す積層ゴムの残留変位（2cm程度）も確認した。しかしながら、躯体のコンクリートの施工後の乾燥収縮その他の経年変化等により、けがき変位計の設置後から本震直前までの間に原点位置が移動していた可能性もある。

建築物の周囲には、エキスパンション部を含め変状は見られなかった。

病院近くの薬局（非免震・1階建て）でも聞き取り調査を実施した。本震直後の状況としては、構造躯体に被害はなく、商品棚の最上段の商品や、調剤室の薬剤用プラスチックボトル、紙箱等の軽いものを中心に落下していたとのことであった。



けがき変位計位置
(免震層内5ヶ所)

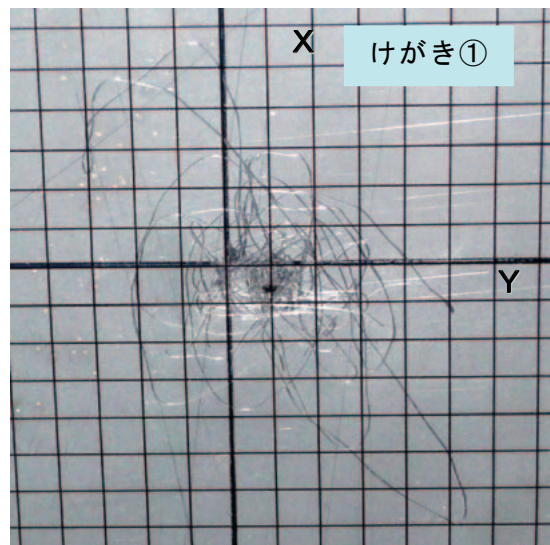
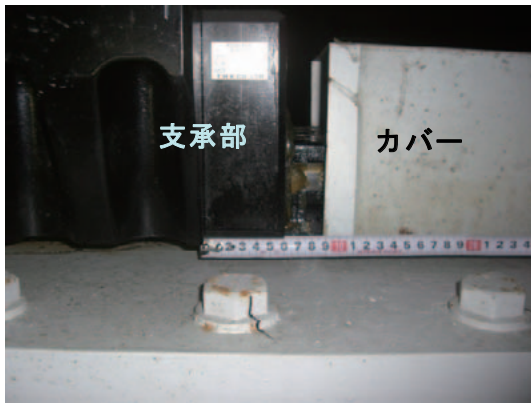


図-8.5.9 けがき変位計による本震の応答変位オービット (5mmグリッドを重ねて撮影)



(a) X方向：北西



(b) Y方向：北東

図-8.5.10 転がり支承カバーの離間

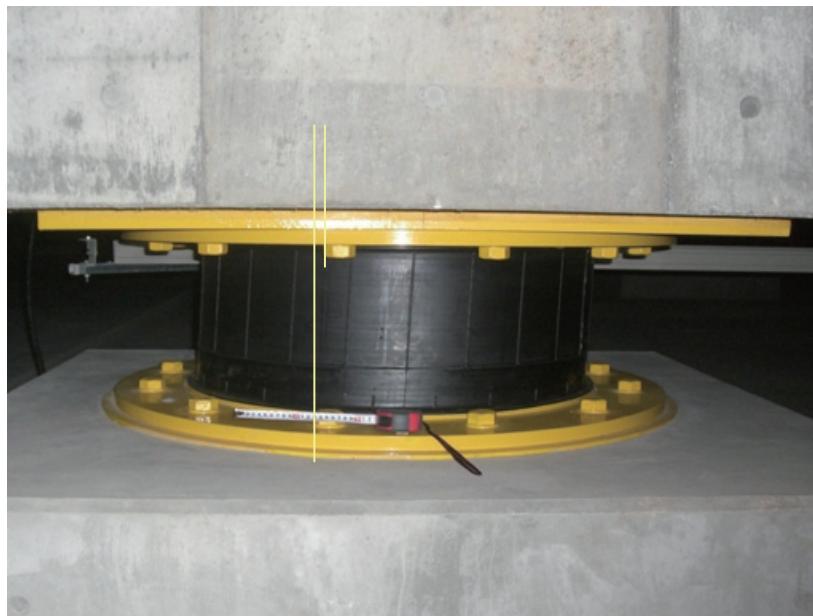


図-8.5.11 積層ゴム残留変位（X方向、2 cm程度）

(4) D 建築物

D 建築物は、宮城県仙台市若林区において、平成 13 年に建設された鉄筋コンクリート造 6 階（最高部）＋地下 1 階の免震建築物（救急施設）である。なお、地下階は駐車場として利用されており、地上部分のみが免震構造となっている。広瀬川より北東 100m 程度に位置しているが地盤は良好で $GL - 8\text{ m}$ を支持層（長期 25 t/m^2 、短期 50 t/m^2 ）とする直接基礎が採用されている。

建築物の平面形状はおおよそ東西 55 m × 南北 35 m で一部の欠けた矩形となっており、下記の免震装置が設置されている。

○鉛プラグ挿入型積層ゴム支承材…34基（ $\phi 800 \times 2$ 、 $\phi 850 \times 17$ 、 $\phi 900 \times 5$ 、 $\phi 950 \times 10$ ）

○弾性すべり支承…4基（ $\phi 450$ ）

職員へのヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

- a) 当該施設は夜間救急医療に使用されており、本震時、建築物内にはスタッフ 1 名、守衛所に当直の警備員 1 名（調査時は不在）がいるのみであった。
- b) 地震直後にスタッフが到着した段階では、什器等を含め被害はなかった。
- c) 市内で体感した揺れ方としては、2005年の宮城県沖地震の方が今回の地震よりも激しかった。
- d) 他の地震での経験によると、この建築物は小さい地震ではかえって周りの非免震建物よりもよく揺れている印象がある。

目視調査の結果、設置された下げ振りが数ミリ原点から移動していたが、本震以前の状況は記録されておらず、今回の地震によるものか不明である。また、建築物の周辺でエキスパンションカバー付近において 1 cm 程度の移動跡と見られる痕跡（図-8.5.12、東方向）が確認できた。



図-8.5.12 東側エキスパンションの移動跡（東西約 1 cm）

(5) E 建築物

E 建築物は、宮城県仙台市青葉区において、平成 15 年に建設された鉄筋コンクリート造 4 階建ての免震建築物（病院）である。GL - 4 m の砂礫層（一部盛土）を支持層とする直接基礎が採用されている。

建築物の平面形状は複雑（矩形の 1 辺から > 形に張り出した部分を有するような形状）であり、東西 85m × 南北約 100m である。下記の免震装置が設置されている。

- 天然ゴム系積層ゴム支承材…96基（φ 700×86、φ 800×10）
- 鉛プラグ挿入型積層ゴム支承材…14基（φ 700）
- 弾性すべり支承…50基（φ 400×24、φ 600×26）
- 鋼棒ダンパー…32基

職員へのヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

- a) 本震時、ホールで午前 9 時開始の研修会の準備をしていたが、あまり揺れを感じなかった（5 弱とは思わなかった）ので、そのまま研修会を実施した。自宅が泉区にあり、そちらは花瓶が落下・転倒する被害があった。（院長、1 F）
- b) 1978年の宮城県沖地震を、石巻の病院で執刀中に経験したことから、10年前のこども病院建設の作業部会長時に免震にすることを提案し、話し合いでそのように決めた。2005年8月の地震も大学の医学部での勤務時に非免震の建物で体験した。今回の免震建築物での体験と比較していずれも揺れが非常に大きかったことから、効果を経験できてよかった。（院長、1 F）

- c)水とエレベータは停止し、10～20分後に水が復旧した。
- d)本震時には患者100名程度、職員50～60名（うち看護師40名）程度、他に父母等の付き添いや研修会参加者15名程度が院内におり免震挙動を経験した。
- e)舟に乗ったような感じがし、20秒程度は揺れていたようである。周りの被害は何もなかった。病棟も大丈夫であった。過去の中・小地震でも、カーテンが揺れていることで地震であるとわかる程度で、揺れに気づかない場合もあるなど、免震挙動・効果は経験していることから、慣れている。2005年8月の宮城県沖地震の方が大きい揺れだった。2005年には、停電しパソコンの画面が突然切れたが、今回は停電しなかったので、あわてることもなかった。気持ち悪いと訴える人はいなかった。入院中の児童も余裕があり、逆に外部からは、あわてて駆けつける方もいた。（看護師、1階救急外来）
- f)開けておいたドアが、地震の揺れにより、自然に閉じた。（看護師、4階）
- 目視調査を行ったが、弾性すべり支承のすべり面がビニール製のカバーで覆われている等、免震層の内外で免震挙動の痕跡は確認できなかった。

(6) F 建築物

F 建築物は、宮城県大崎市古川において平成 10 年に建設された、鉄筋コンクリート造 12 階の免震建築物である。ホームページで免震の説明をする等、免震構造を採用していることを積極的に開示している。

建築物の平面形状はおおよそ東西約 15m×南北約 13mの矩形となっており、下記の免震装置が設置されている。

- 天然ゴム系積層ゴム支承材… 8 基（φ 650）
- 鉛ダンパー… 8 基（型番U180）
- 鋼棒ダンパー… 2 基（φ 70）

建設地周辺の本震による震度は6弱とされた地域であり、本震時に4名の職員が1F事務所付近に勤務していた。うち2名へのヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

- a)地震の最初は、「どかん」ときたようである。その後だんだんゆっくりとした揺れになってきた。めまいと勘違いもした。1階より上階の方の揺れが大きく感じられるようである。
- b)落下物等の被害はなかった。近隣にある従業員の自宅では、棚のものが落下した。
- c)この建築物では停電、断水、エレベータ停止等の被害はなかったが、周囲の他の宿泊施設ではエレベータが停まり、排水の逆流などの被害が見られたようである。
- d)駐車場付近ほか建屋の内外を防犯カメラで撮影しており、それによると約1分半ほどは揺れていたようである。（フロントやエレベータ付近の宿泊客の映像も記録されていたが、地震時に驚いたりした様子は見られなかった。）

目視調査の結果、免震層において鉛ダンパーの表面の変状（、屈曲部付近で、ささくれ状のしわが主に断面の南北方向の表面に生じている）や鋼材ダンパーの塗料のはがれ（）が確認できた。これらは、前回の地震で同様に変状があった跡をきれいにした部分であり、今回の地震で生じたものであるとの説明があった。また、犬走り部のゴムによるカバーも乱されていた（今回の地震によるものか不明）。なお、残留

変位は確認できなかった。また、免震表示はなかったが、クリアランスは実測で 45cm 程度であった。

現在免震層を管理している施工者にもヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

a) 地震直後の目視点検で積層ゴムのゴムカバーの脱落 (図-8.5.13(d)) が見られた。

現在はカバーを付け直している。

b) 鋼材ダンパーの取り付け部分ががたついており、ボルト増し締め等の措置を講ずる予定である。

c) 大臣認定の建築物であり、性能評価時の条件 (一定以上の震度を経験した場合) に該当するため、免震部材メーカーが点検を実施した。鉛ダンパーについては部材特性の変化 (エネルギー吸収性能の低下) の可能性があるが、メーカー撤退により代替品の調達が難しく、最終的に交換が必要かどうかについては、特性の変化を想定した上で改めて解析を行う等、免震建築物としての性能をトータルで評価した上で判断してもらいたい、と言われた。今後、学識経験者へ相談したいと考えている。



(a) 鉛ダンパー外観



(b) 鉛ダンパー屈曲部のささくれ状の変状



(c) 鋼材ダンパー及び塗料のはがれ



(d) 積層ゴム支承及びカバー脱落 (本震直後の点検時の状況を再現したもの)

図-8.5.13 免震部材の状況

(7) G建築物

G建築物は、宮城県仙台市宮城野区において平成18年10月に建設された、木造2階建て（+鋼製土台を使用）の戸建て免震住宅である（図-8.5.14）。免震材料の特性や配置等に関する資料は未入手である。

本震時に室内にいた住人にヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

- a) 1978年の宮城県沖地震の際には、小学3年生であり、福田町（水田の埋め立て地であった模様）の住居で室内のすべてのものの転倒・落下、サイドボードのガラス破損、停電、断水などを経験した。2005年の8月の地震の際には、田子（たご）のアパートの1階で、食器棚の食器の破損、地震後のテレビの移動（40cm程度）、お風呂（あるいは洗面所）のシャンプーがリビングまで飛んでいるのを体験した。周囲には液状化が発生し、道路が水浸しになった。
- b) 本震時、地響きがあった。地震が来ると考えたが、揺れ始めた直後に「カチッ」という音が聞こえた。（この音は、雨樋のフレックス部分の強制変形（5mm程度変形したことで金属音が出た）が原因とハウスメーカー担当者）そのあと免震挙動に移行したようである。朝食時であり牛乳とトマトジュースをグラス一杯についであったが、こぼれなかった。花瓶も全く何ともなかった。
- c) 大きくゆったり揺れたが、以前に体験施設で免震住宅の揺れを経験していたので、全く恐怖心はなかった。揺れている最中に窓から外を見たところ、庭の石が動いているように見えたことで、建物がゆっくり揺れていることを確認した。南北方向の動きが大きかったようである。9:20頃の余震は感じなかった。
- d) 本震直後の残留変位は2～3cm程度だった。最大変位は確認していない。

目視調査では、免震挙動の痕跡は認められなかった。調査時には残留変位は見られず、余震等によって残留変位が解消されたものと考えられる。

なお、本免震住宅を含め、一带に停電・断水等の被害はなかった。



(a) 玄関付近（変状なし）



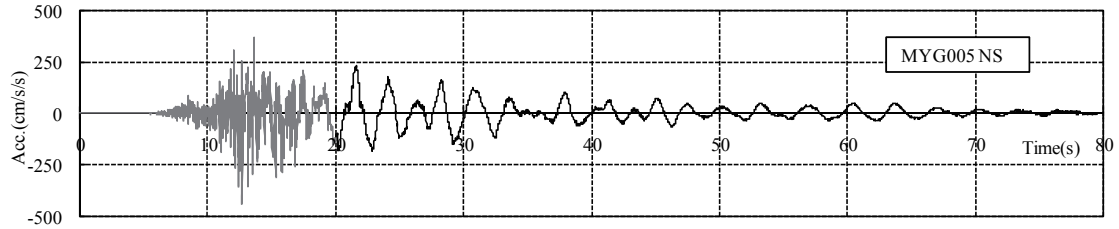
(b) 免震表示及び雨どいのフレックス部分

図-8.5.14 G建築物の周囲状況

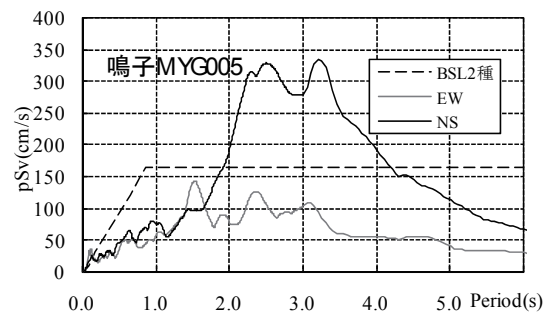
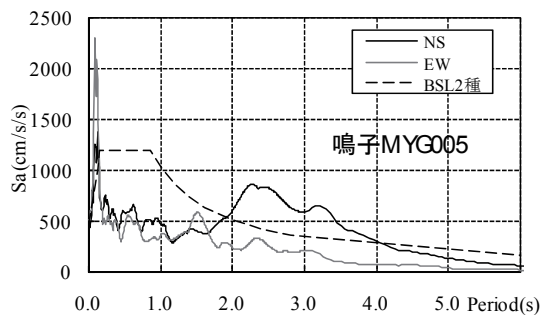
8.6 各種地震応答解析による検討

8.6.1 1自由度系の地震応答解析

構造物への影響を推測するため、2~3 秒程度の周期成分に特徴の見られた K-NET 鳴子 (MYG005) の観測記録 (図-8.6.1) を用いて、1 自由度系の弾塑性地震応答解析を行った。



(a) 地動加速度 NS 成分 80 秒間



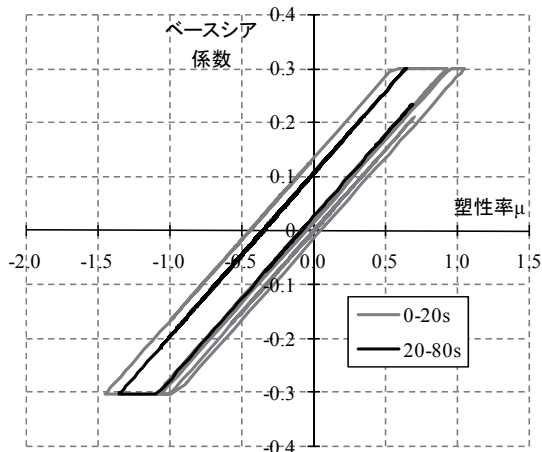
(b) 加速度応答スペクトル ($h=0.05$)

(c) 擬似速度応答スペクトル ($h=0.05$)

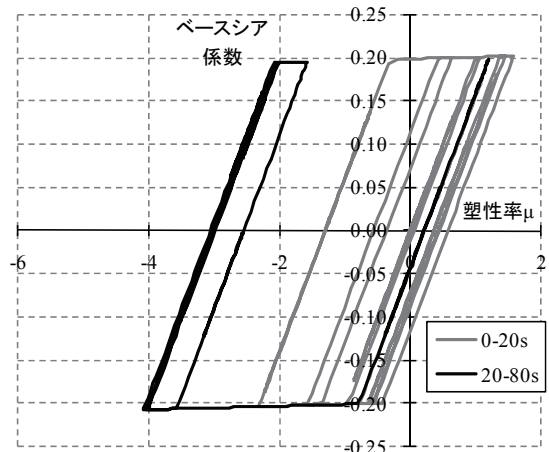
図-8.6.1 K-NET 鳴子 (MYG005) の記録

中低層建築物を想定し、初期周期を 0.7 秒とする。減衰は初期剛性比例減衰で 5%、降伏耐力はベースシア係数 (C_y とする) で 0.2 と 0.3 の 2 種類とした。復元力特性は (a) バイリニア、(b) 剛性・降伏耐力の比を同じとしたバイリニアとスリップとの組み合わせ、(c) 鉄筋コンクリート造を想定した復元力の 3 種類である。降伏後の 2 次勾配は初期勾配の 1/100 とした。時刻歴応答計算には平均加速度法を用い、時間刻みは 1/100 秒とした。

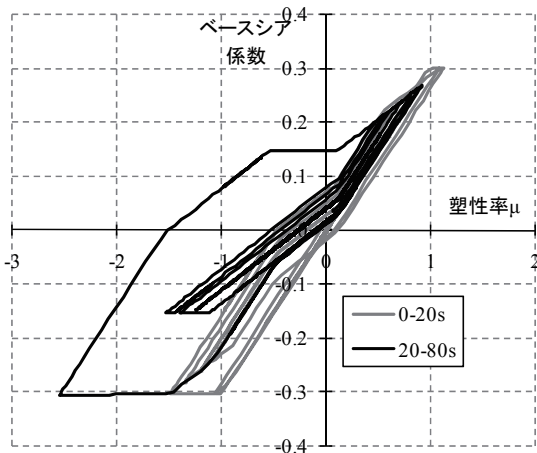
図-8.6.2 に縦軸をベースシア係数、横軸を塑性率とした履歴を示す。図-8.6.1(a) と同じく、短周期成分を多く含む 0~20 秒と (やや) 長周期成分が顕著な 20~80 秒とを分けして示している。 $C_y=0.3$ 程度の耐力があれば、塑性率は 2.5 程度であり、建築物に一定の靱性が期待できることを前提とすれば、大破や倒壊といった大きな構造的被害には至らなかったと予想される。実際の構造躯体の被害がほとんどなかったことからすると、やや大きい応答となる解析結果になっていると考えられるが、中低層建築物については少なくとも大破・倒壊といった大きな被害を及ぼすような地震動ではなかったことが確かめられた。



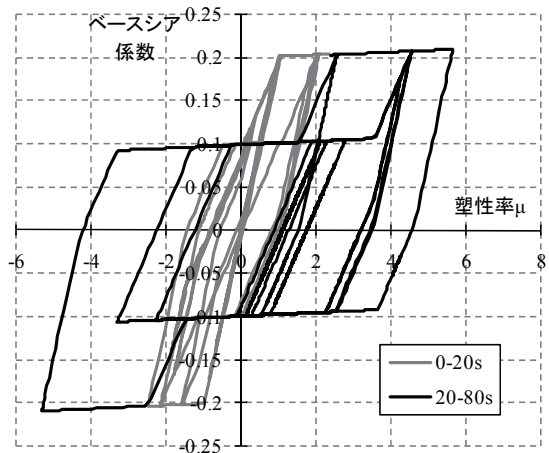
(a-1) $C_y=0.3$ 、バイリニア



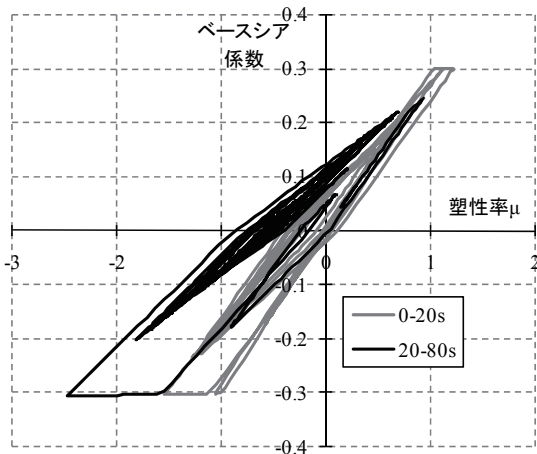
(a-2) $C_y=0.2$ 、バイリニア



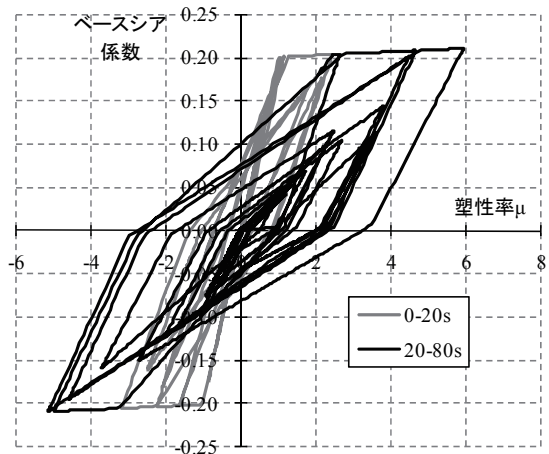
(b-1) $C_y=0.3$ 、バイリニア+スリップ



(b-2) $C_y=0.2$ 、バイリニア+スリップ



(c-1) $C_y=0.3$ 、鉄筋コンクリート造想定



(c-2) $C_y=0.2$ 、鉄筋コンクリート造想定

図-8.6.2 荷重変位関係

8.6.2 木造住宅の地震応答計算

(1) 検討概要

今回の地震では、木造住宅の建つ被災地において強震記録が得られており、場所によっては極めて大きな最大加速度が得られている。一方、木造住宅の被害調査等から被害の程度がおよそ把握されているが、概して被害は軽微である。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、4か所の強震記録の水平1方向成分、合計4つの記録地震波を用い、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。

計算に用いた入力地震波は、K-NET 築館 (MYG004) (地表) NS 成分、K-NET 鳴子 (MYG005) (地表) NS 成分、KiK-net 一関西 (IWTH25) 地表 EW 成分、KiK-net 東成瀬 (AKTH04) 地表 EW 成分の合計4波である。各地震波の観測地点、最大加速度等を表-8.6.1に示す。

表-8.6.1 計算に用いた地震波

観測地点	観測点コード	成分	震央距離 (km)	最大加速度 (cm/s^2)
K-NET 築館	MYG004	(地表) NS	32	739.9
K-NET 鳴子	MYG005	(地表) NS	31	440.3
KiK-net 一関西	IWTH25	地表 EW	3	1433.8
KiK-net 東成瀬	AKTH04	地表 EW	25	2448.1

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。被災地においては、屋根を鉄板葺きとしているものも多いが、建築基準法における必要壁量は屋根重量に応じて定められているため、どちらを想定しても、壁量充足率 (必要壁量に対する存在壁量の比) で整理すれば、結果に大きな差はないと考えられる。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-8.6.2に示す値を用いて計算した。これらの値は、住宅の品質確保の促進等に関する法律 (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。

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、後述の構造用合板耐力壁の倍率を2.5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、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。一つの地震波に対して1、2階の壁量充足率の組み合わせで36種類の計算を行ったことになる。なお、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。

表-8.6.2 各部の質量の想定（床面積 1 m²あたり 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

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-8.6.3 に履歴モデルを、表-8.6.3 に構造用合板耐力壁長さ 1 m 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。

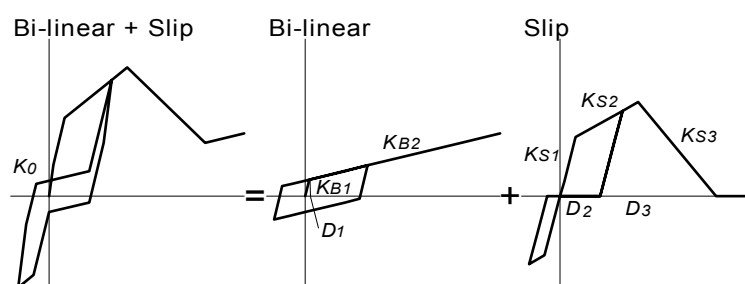


図-8.6.3 計算に用いた荷重変形の履歴特性（バイリニア+スリップ）

表-8.6.3 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-8.6.1 に対応）

初期剛性 (N/mm)	剛性 (N/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
478.6	$0.53K_0$	$0.03K_0$	$0.47K_0$	$0.07K_0$	$-0.11K_0$	4.5	18	90

応答計算は、線形加速度法を用い、強震記録 100 秒間（KiK-net 一関西及び KiK-net 東成瀬については 30 秒間）に対する応答計算を行った。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。

(2) 計算結果

2 種類の建物について入力地震波 4 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-8.6.4 から図-8.6.7 に示す。ただし、層間変位が 30cm を超える部分については、倒壊と見なしてプロットを省略している。

図-8.6.4 から図-8.6.7 により、地震波による応答の違いについて述べれば次の通りで

ある。

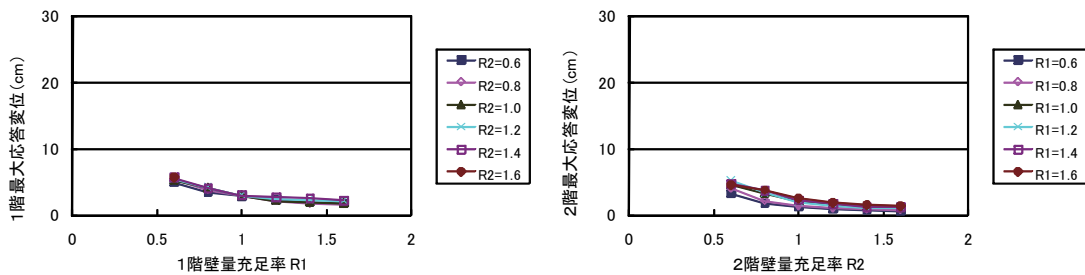
まず、計算に用いた 4 つの地震動記録のうち、最も大きな最大応答変位を示したのは K-NET 鳴子 (MYG005) NS である。壁量充足率 0.8 を切るあたりから、急激に応答変位が増大し、計算上、倒壊に至るという結果である。次に大きな最大応答変位を示すのが、KiK-net 一関東 (IWITH25) NS である。逆断層の上盤直上に位置し、上下動も含めた 3 方向成分の和で最大の加速度を示したと言われている。しかしながら、水平方向成分がそれほど大きくはないこともあり、本計算では、壁量充足率が 0.6 であっても、1 階で 15cm、2 階で 20cm 以下の応答変位 (層間変位) に収まっている。20cm の応答変位は、設計上の安全限界を超えてはいるが、現実には倒壊を免れる値である。

これに対し、K-NET 築館 (MYG004) NS、KiK-net 東成瀬 (AKTH04) 地表 EW に対する応答は、1、2 階とも、最大応答変位 (層間変位) でおおむね 10cm 以下であり、ほぼ設計上の安全限界以下の応答変位に収まっている。KiK-net 東成瀬 (AKTH04) EW は、最大加速度が 2448cm/s^2 という大きな値であるが、木造住宅の被害にはつながりにくい波形であることが、本計算によっても示されたと言えよう。

比較のため、同一の条件で計算した、平成 19 年新潟県中越沖地震での地震動記録に対する応答計算結果を図-8.6.8 に示す。K-NET 柏崎 NS に対しては壁量充足率 1.2、刈羽村割町新田 NS に対しては 1.4 を切ると急激に応答変位が増大し、計算上、倒壊に至るという結果である。この結果と比べると、今回記録された地震動は、これらの新潟県中越沖地震での記録に比べれば、木造住宅に対して被害を及ぼす程度が小さい地震動であったと言えよう。

なお、これらの計算結果と実際の被害との関係については、現実の応答変位は、計算による応答変位より小さく収まる傾向にあることが、これまでの地震被害における詳細調査と応答計算の経験からわかっている。

(1) K-NET 築館 (MYG004) NS 成分、総 2 階 (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) K-NET 築館 (MYG004) NS 成分、部分 2 階 (左 : 1 階、右 : 2 階)

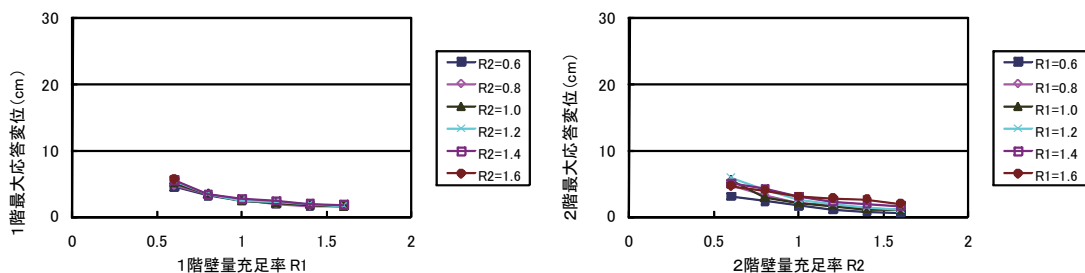
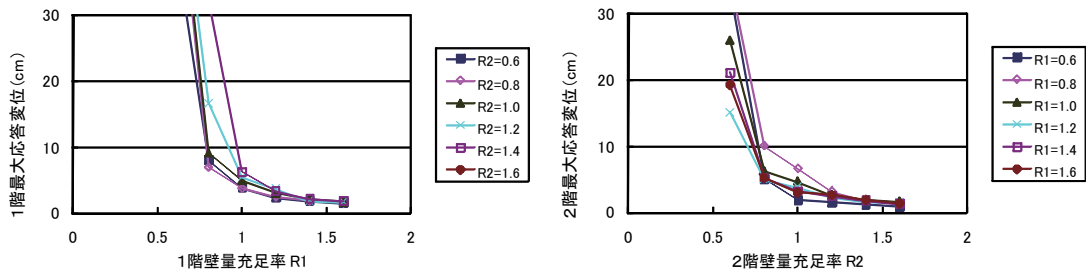


図-8.6.4 最大応答変位の計算結果 (①K-NET 築館 (MYG004) NS 成分に対する応答)

(1) K-NET 鳴子 (MYG005) NS 成分、総 2 階 (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) K-NET 鳴子 (MYG005) NS 成分、部分 2 階 (左 : 1 階、右 : 2 階)

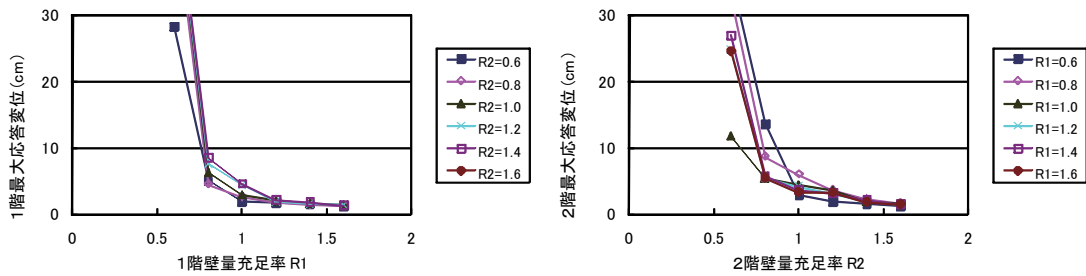
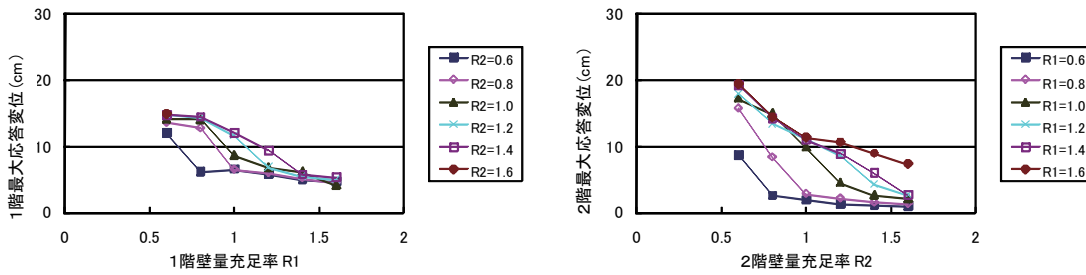


図-8.6.5 最大応答変位の計算結果 (②K-NET 鳴子 (MYG005) NS 成分に対する応答)

(1) KiK-net 一関西 (IWTH25) 地表 EW 成分、総 2 階 (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) KiK-net 一関西 (IWTH25) 地表 EW 成分、部分 2 階 (左 : 1 階、右 : 2 階)

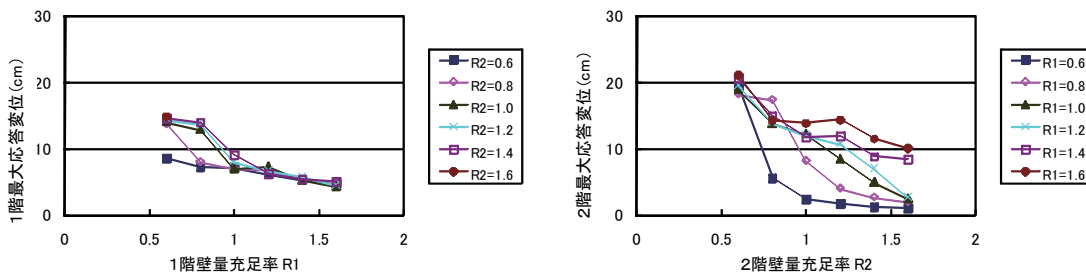
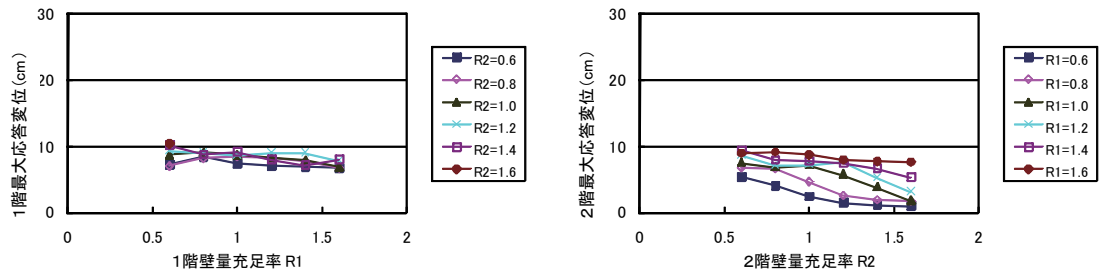


図-8.6.6 最大応答変位の計算結果 (③KiK-net 一関西 (IWTH25) EW 成分に対する応答)

(1) KiK-net 東成瀬 (AKTH04) 地表 EW 成分、総 2 階 (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) KiK-net 東成瀬 (AKTH04) 地表 EW 成分、部分 2 階 (左 : 1 階、右 : 2 階)

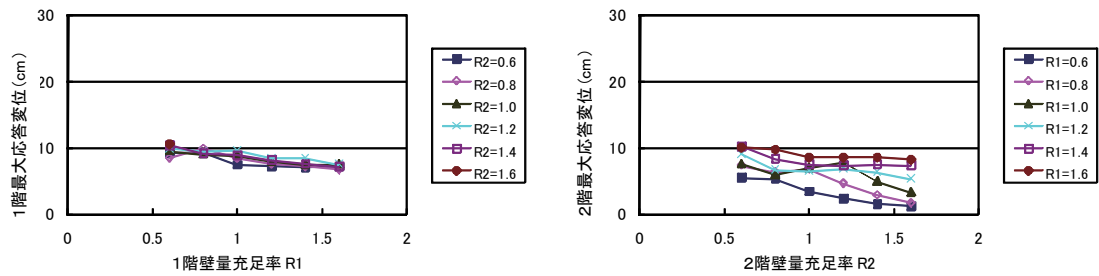
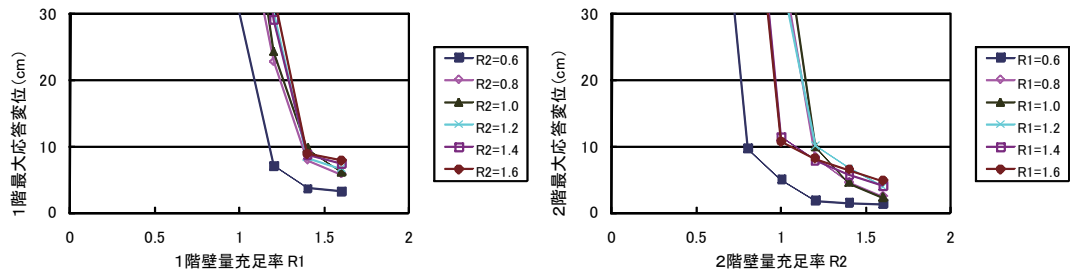


図-8.6.7 最大応答変位の計算結果 (④KiK-net 東成瀬 (AKTH04) EW 成分に対する応答)

(1) K-NET 柏崎 NS 成分、総 2 階 (左 : 1 階、右 : 2 階)



(2) 刈羽村割町新田 NS 成分、総 2 階 (左 : 1 階、右 : 2 階)

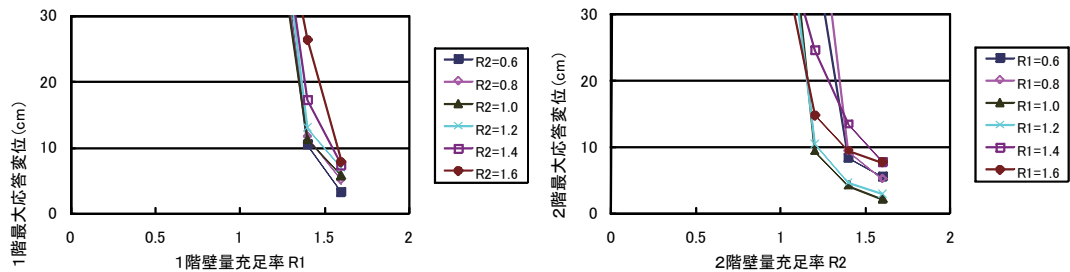


図-8.6.8 中越沖地震の地震動に対する最大応答変位の計算結果 (例)

8.6.3 今回の地震の建築物への影響について

今回の地震では、気象庁、防災科技研、自治体などにより、被災地周辺で加速度振幅レベルが高い強震記録が得られている。しかしながら地震後に公表された、震度6強を含む高い震度分布の情報から想定される構造被害の程度とは多少乖離している印象がある。本節では、これらの観測記録の建築物への影響度について、中高層建築物、木造建築物などを対象に簡略的なモデルを用いて、被害の検証を行った。それらの検討によると、観測地震動は加速度振幅は大きかったものの、いずれの構造種別でも大きな損傷、被害には至っておらず、実際の建築物被害の程度とも整合している。

現時点までに公表されている主要被災地付近の強震記録はすべて地盤上に設置された強震計によるものであり、それらが必ずしも建築物の基部に作用した地震動とは限らない。主要被災地域では、建築物に強震計が設置されておらず、建築物への入力地震動、あるいはこのような強い地震動に建築物がどのように応答したかを示す定量的なデータが得られていない。この件に関しては、種々の建築物の耐震性能の定量的な検証の観点から、今後地盤だけでなく建築物の上部構造への強震計の設置を進めていく必要がある。

今回の地震では、建築物については大きな構造被害を生じていない。地震動特性から判断すると、その理由は、概略以下のように推察される。

図-8.6.9 は、今回の地震での主要被災地域での観測記録と、被害地震の代表的なものとして、1995年兵庫県南部地震におけるJMA神戸とJR鷹取の記録を応答スペクトルと比較したものである。

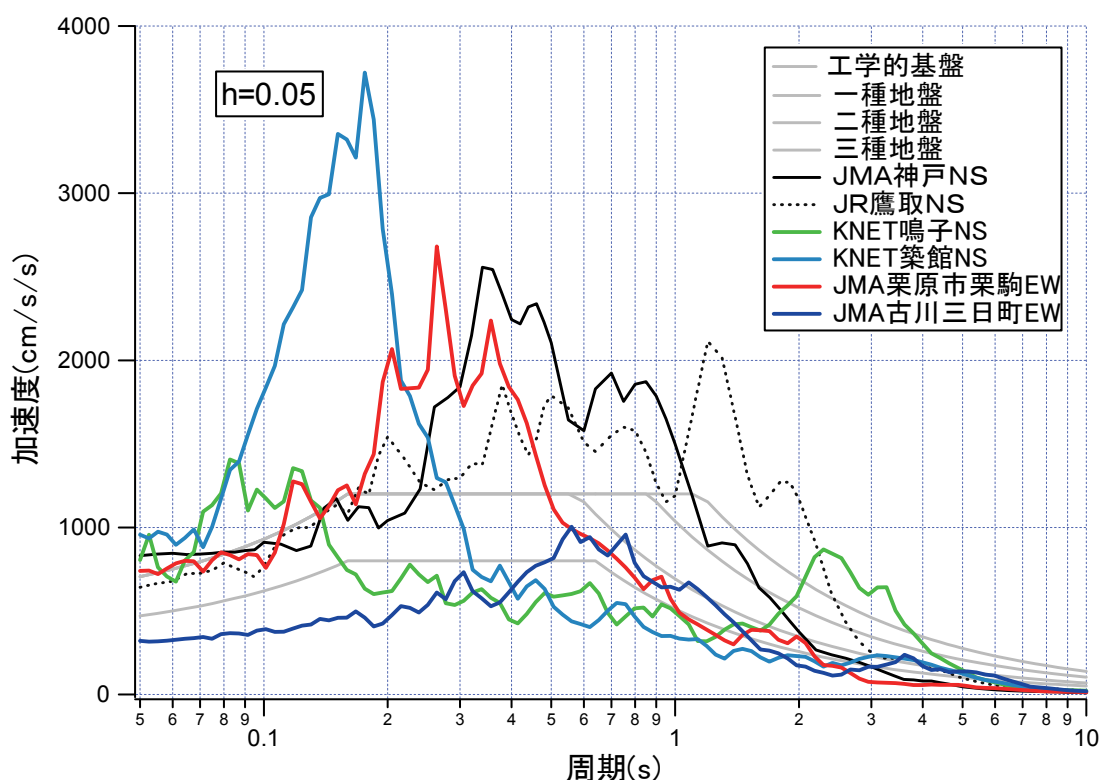


図-8.6.9 今回の地震による被災地の地震動と、過去の大地震動との比較

この図から、今回の被災地域での地震記録で最大の応答スペクトルレベルを示した K-NET 鳴子、K-NET 築館、JMA 栗駒、JMA 古川の各記録を減衰定数 5% の擬似速度応答スペク

トルは、周期 0.5 秒～2 秒間では、JMA 神戸、JR 鷹取よりも小さく、この周期帯域の差が顕著であることがわかる。すなわち、木造建築物や低層建築物などの応答に大きな影響を与えると考えられる周期 1 秒前後の地震動成分は、広い地域に構造被害をもたらすほど大きなレベルではなかった。

K-NET 鳴子のやや長周期成分の卓越については、観測地点のローカルな地盤条件によるものと見られている。その他の地点での同周期帯域地震動については卓越はしていたものの、大きなレベルには達しておらず、またその周期帯域に固有周期を持つ高層建物などがこの地域にはほとんどなかった。

以上のことを要因として、建築物には大きな被害が生じなかったものと考えられる。

ただし、今後留意すべきこととして、次の項目が挙げられる。

- ①浅い内陸地殻内地震でも規模が比較的大きければ、やや長周期の地震動を励起する。
- ②さらに、地域の深い地盤構造によって、あまり減衰せずに遠くまで地震動が伝播する。
- ③地域の震源位置と地震規模、地下構造等にも配慮して耐震対策を進める必要がある。

8.7 まとめ

平成20年（2008年）6月14日08時43分に発生した地震による、岩手県と宮城県における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、宮城県栗原市、大崎市および仙台市、岩手県一関市等において、被害調査や余震観測等を行った。本章は、これらの調査結果を整理し、まとめたものである。

地震発生の2日後より栗原文化会館と、大崎市鬼首出張所近傍で余震観測を行い、近傍のK-NET 築館の記録との比較や文化会館の建物の振動特性の検討を行った。余震観測と並行して、大崎市鬼首出張所近傍において、地盤および建物の微動観測を行った。鬼首出張所周辺では、地盤上のH/Vスペクトルに、周期3秒程度の比較的明瞭なピークが見られ、カルデラ構造に起因するサイト特性を反映したものである。

本地震において、鉄筋コンクリート造、鉄骨造及び木造建築物の構造的被害はほとんど無かった。一部の建築物に、鉄筋コンクリート造柱のせん断破壊、鉄骨ブレースの座屈やブレース端部接合部の破断などの構造被害が確認された。木造建築物では、屋根瓦のずれや土壁の剥落等の被害が見られた。

基礎・地盤部分では、建築物周囲の間隙、法面・擁壁の崩壊による地割れの発生や補強鉄筋の入っていないと見られるブロック塀の倒壊などが確認された。

非構造部材について、窓ガラス、外壁、軒天井、屋内天井などの被害が確認された。外装ALCパネルの落下、仕上げ材の落下、内装亀裂等の軽微な被害が確認された。また、窓ガラスの破損、窓サッシの脱落、軒天のケイ酸カルシウム板の落下、吊照明の基部のゆがみ等の被害があった。同じ建築物でも構造体の耐震補強が行われている階で、非構造部材の被害が見られないこと、また構造体との取り付け付近で非構造部材に被害が見られることから、非構造部材の検討にあたっては、被害部位の耐震性ととも、必要に応じて、構造体の挙動を含めた建物全体の耐震性の検討が必要である。

震度6弱と発表された地域に免震建築物が2棟建てられていたが、免震建築物周囲の状況や免震層周辺の目視調査の結果などを踏まえても、大きな応答変位は生じておらず、設計用地震力（地震動）より入力はかなり小さかったと考えられる。今回調査した他の免震建築物は、すべて被害はない状況であった。ヒアリング調査によると、これまでの他の地震も含め、免震挙動を経験した方の多くは、「あまり揺れを感じなかった。」、「地震そのものに気づかなかった」、「落下・破損等の被害がなかった。」など、その有効性を実感しているようである。

今回の観測された地震動の特徴は、加速度振幅が大きかったことだけでなく、周期2秒以上のいわゆるやや長周期地震動が卓越した記録が多く見られたことである。今回の地震での主要被災地域での観測記録と被害地震の代表的なものとして、1995年兵庫県南部地震におけるJMA神戸とJR鷹取の記録を応答スペクトルで比較すると、K-NET鳴子、K-NET築館、JMA栗駒、JMA古川の各記録の擬似速度応答スペクトルは、周期0.5秒～2秒間では、1995年兵庫県南部地震におけるJMA神戸、JR鷹取よりも小さく、この周期帯域の差が顕著であることがわかった。

木造建築物の地震応答計算結果から、1、2階とも、最大層間変位でおおむね10cm以下であり、ほぼ設計上の安全限界以下の応答変位に収まっていることや、KiK-net 東成瀬

(EW) の波形の最大加速度が 2446cm/s^2 という大きな値であるが、木造住宅の被害にはつながりにくいことが確認された。2007 年新潟県中越沖地震での地震動記録に対する地震応答計算から、K-NET 柏崎 (NS) に対しては壁量充足率が 1.2 を、刈羽村割町新田 (NS) に対しては 1.4 を切ると急激に応答変位が増大し、計算上、倒壊に至るという結果が得られたが、この結果と比べると、今回記録された地震動の場合、より壁量充足率の低い住宅においても、倒壊に至らないことが確認され、木造住宅に対して被害を及ぼす程度が小さい地震動であったと言える。

現時点までに公表されている被災地付近の強震記録はすべて地盤上に設置された強震計によって観測されたものであり、建築物の基礎部分に作用した地震動では、加速度振幅が低減していると考えられる。主要な被災地域では、残念ながら建築物に強震計が設置されておらず、建築物への入力地震動、あるいは建築物がどのように応答したかを示す定量的なデータが得られていない。種々の建築物の耐震性能の定量的な検証の観点から、地盤だけでなく建築物の上部構造への強震計の設置を進めていく必要がある。

(本章の特記なき地図類の描画には Paul Wessel 氏と Walter H. F. Smith 氏が作成した GMT (The Generic Mapping Tools: <http://gmt.soest.hawaii.edu/>) を用いていることを付記します。)

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20年（2008年）岩手・宮城内陸地震建築物被害調査報告／平成20年7月24日岩手県沿岸北部の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481号／建築研究資料 第114号、2008.10
- 2) 消防庁ホームページ：「平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震（第73報）」、
<http://www.fdma.go.jp/detail/811.html>
- 3) 岩手県ホームページ：「岩手の統計情報（最新）」、
<http://www3.pref.iwate.jp/webdb/view/outside/sl4Tokei/top.html>
- 4) 宮城県ホームページ：「住民基本台帳人口及び世帯数（月報）」、
http://www.pref.miyagi.jp/toukei/toukeidata/zinkou/jinkou/juki_tsuki/juki_tsuki.htm
- 5) 国土交通省ホームページ：「平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震 第40報（2008/07/30 13:00現在）」、http://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_080614.html
- 6) 国土交通省ホームページ：「平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震に関する緊急災害対策派遣隊TEC-FORCE（緊急調査団）の調査結果について」、
http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000046.html
- 7) Capon, J.: High-Resolution Frequency-Wave Number Spectrum Analysis, Geophysics, Vol. 34, No.1, pp.21-38, 1969
- 8) 中村豊、上野真：地表面震動の上下成分と水平成分を利用した表層地盤特性推定の試み、第7回日本地震工学シンポジウム、pp. 265-270、1986
- 9) 時松孝次、新井洋：レイリー波とラブ波の振幅比が微動の水平鉛直スペクトル比に与える影響、日本建築学会構造系論文集、No. 511、pp. 69-75、1998
- 10) 佐藤智美他：1996年8月秋田・宮城県境付近の地震群のK-NET強震記録から推定した震源・伝播・サイト特性、地震第2輯、第50巻、pp. 415-429、1998
- 11) 野津厚、長尾毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト特性、港湾空港技術研究所資料、No. 1112、p. 56、2005
- 12) 日経BP記事 (<http://www.nikkeibp.co.jp/news/const08q3/578479/>)