

第5章 目次 (5-1～5-30)

5 . 免震建築物の調査	1
5.1 はじめに	1
5.2 調査行程	1
5.3 調査体制	2
5.4 被害調査の結果	3
5.4.1 A 建築物	3
5.4.2 B 建築物	5
5.4.3 C 建築物	9
5.4.4 D 建築物	15
5.4.5 E 建築物	17
5.4.6 F 建築物	19
5.4.7 G 建築物	22
5.5 観測地震記録に基づく免震挙動の解析	23
5.6 まとめ	30

5. 免震建築物の調査

5.1 はじめに

免震建築物は、1980年代から国内で建設が始められ、現在に至るまで大臣認定（時刻歴応答解析）のほか、平成12年以降は告示（平12建告第1446号、同第2009号）に基づく安全確認が行われていることもあり、広く普及しつつある。本震発生直後より被災地に建設された免震建築物の情報を収集^{5.1)}し、現地調査を行った。その目的は、免震挙動の形跡を目視で確認するとともに、建物使用者へのヒアリングや観測記録の入手・分析等を行うことで、地震時の免震建築物の安全性確保が適切に行われていることを確かめることである。

5.2 調査行程

図-5.2.1に調査建築物位置を示す。最北の1つ（C）のみ岩手県内に、他はすべて宮城県内に存している。また、表-5.2.1の調査行程に示すとおり現地調査は3回（計7棟）に分けて実施した。

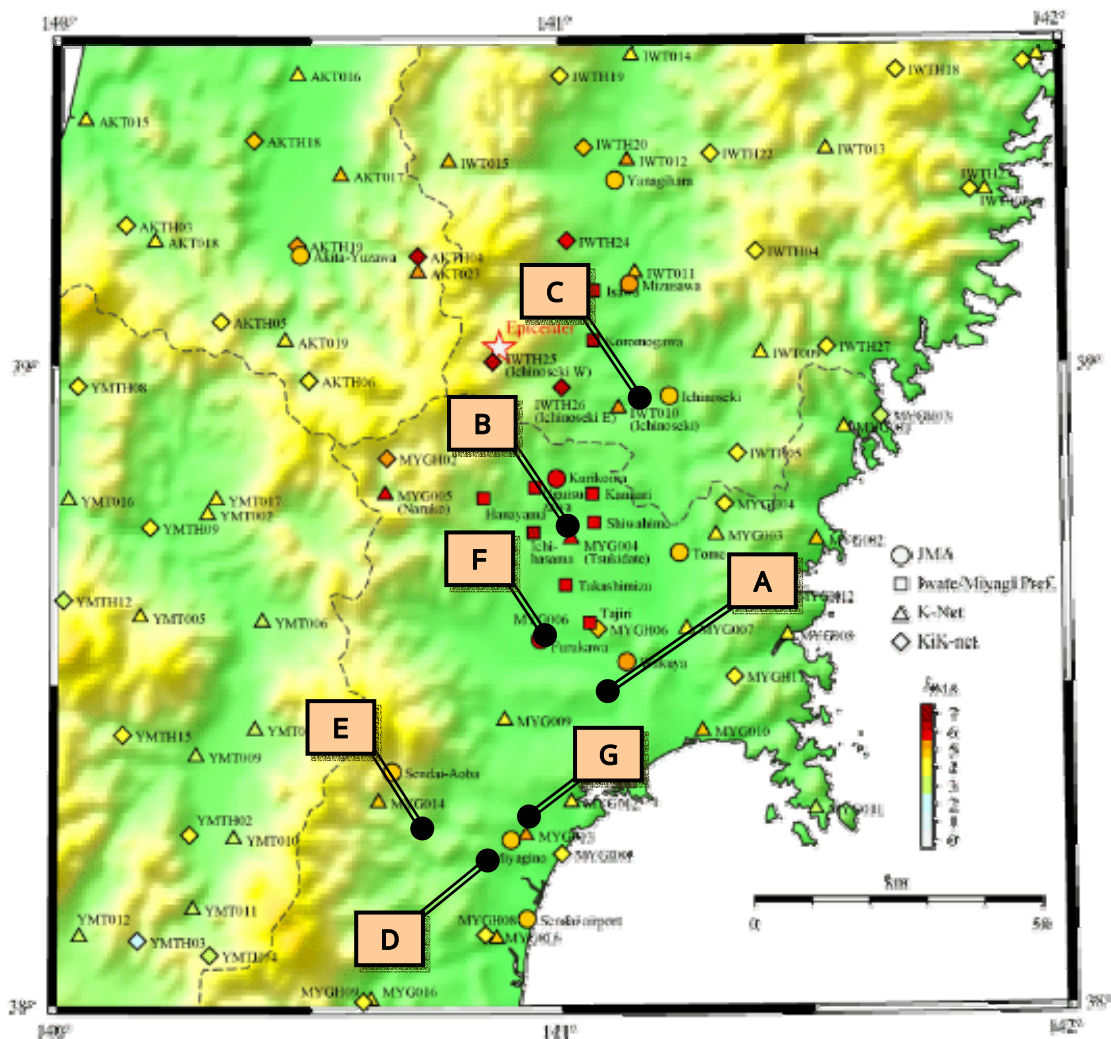


図-5.2.1 免震建築物位置（記号は表-5.2.1に対応）

表-5.2.1 調査行程及び免震建築物概要

	記号	建物用途	上部構造形式と階数	最寄りの 気象庁震度
一次調査 6/17	A 建築物	病院	R C 造 4 F	5 強
	B 建築物	病院	R C 造 5 F + P H 1 F	6 弱
	C 建築物	病院	I 棟 : S 造 5 F + S R C 造 B 1 F N 棟 : R C 造 3 F + B 1 F	5 弱
二次調査 7/3 ~ 7/4	D 建築物	救急施設	R C 造 6 F	5 強
	E 建築物	病院	R C 造 4 F	5 弱
	F 建築物	宿泊施設	R C 造 1 2 F	6 弱
	C 建築物	病院	(前出)	
	B 建築物	病院	(前出)	
	G 建築物	住宅	木造 2 F	5 弱
三次調査 7/31 ~ 8/1	C 建築物	病院	(前出)	

5.3 調査体制

調査は次の体制で実施した。(カッコ内にそれぞれ参加した調査を示す)

飯場 正紀 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ長 (二次調査・三次調査)

小豆畑達哉 国土交通省国土技術政策総合研究所 構造基準研究室長 (三次調査)

井上 波彦 国土交通省国土技術政策総合研究所 基準認証システム研究室 主任研究官
(一次調査・二次調査・三次調査)

5.4 被害調査の結果

5.4.1 A建築物

(1) 建築物概要

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。



図-5.4.1 A建築物（RC造4階建て）

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（ 600×4、 650×4 ）

鉛プラグ挿入型積層ゴム支承材...12基（ 600×5、 650×5、 700×2 ）

弾性すべり支承...13基（ 500×12、 300×1 ）

オイルダンパー... 4台（ X方向×2、 Y方向×2 ）

(2) 被害等の状況

建設地周辺の本震による震度は5弱とされている。

職員へのヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

- 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。
- 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。
- 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。
- 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、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。さらに、入口ポーチの先端部の支承において、すべり跡と考えられる3～4cm程度のほこりの除去が見られた。免震層内の変位計は、単に免震層にグリッドの描かれた板を設置し、板の表面に接しないように上部構造から指示棒が固定されたもので、ヒアリングにあるような最大変位は確認できず、調査時の残留変位は、南西に2mm程度であった。本震直後の計測以降、余震で徐々に免震層が原点復帰したと考えられる。

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、ゆがみを生じていた。



(a) 変位計 (非けがき)



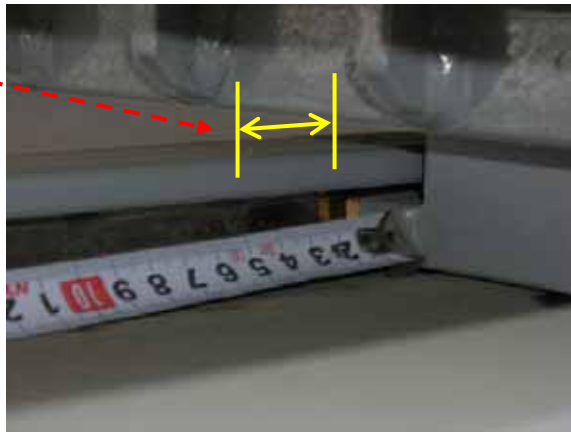
(b) 廊下内装のずれ
(東西約1.5cm)



(c) クリアランス部蓋の傷
(東西約1cm)



(d) 入口ポーチ支柱



(e) 支柱内部すべり跡 (南北約3~4cm)

図-5.4.2 免震挙動の形跡等



(a) 落下のあった書棚 (非免震棟)



(b) 侵入防止柵のゆがみ

図-5.4.3 その他の被害状況

5.4.2 B 建築物

(1) 建築物概要

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。



図-5.4.4 B 建築物（RC造5階建て）

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（750）

天然ゴム系積層ゴム支承材...163基（650×61、750×102）

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。

(2) 被害等の状況

建設地周辺の本震による震度は6弱とされている。

職員へのヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

- 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。
- 病院は10分停電した後復電した。
- 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。
- 建屋内に構造・非構造を含め被害はなく、5階西側EV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。



図-5.4.5 落下した誘導灯

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、積層ゴムの残留変位、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が、免震層中央付近では残留変位が見られない部材もある等、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」^{5.2)}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。

その他クリアランス周りにおいて、犬走り下面シール材によると見られる破損や、躯体から外につながる配管の基部カバーの損傷・脱落、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が見られた。



図-5.4.6 シール材(スチレンボード:水色)と免震層周囲の擁壁とのずれ(北に1.5~2cm程度)



図-5.4.7 フィルム状シートのはみ出し(東側外周部)



(a) 外周部 (約2.5cm)



(b) 中央部 (ほぼゼロ)

図-5.4.8 積層ゴムの残留変位



図-5.4.9 免震層犬走り (茶色タイル部) の破損 (5 ~ 10cm程度)



(a) 接続状況



(b) 屈曲部カバーの損傷・脱落落下

図-5.4.10 配管部の被害



(a) タイルの乱れ



(b) 立上り部の露出（最大5 cm程度）

図-5.4.11 地盤変状による被害



(a) 金属柵の傾斜



(b) 舗装の損傷（補修済み）

図-5.4.12 入口エキスパンション周辺部被害

5.4.3 C 建築物

(1) 建築物概要

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。



(a) 建築物外観（I棟） (b) 免震であることの表示（最大変位65cm）

図-5.4.13 C 建築物（S造5階建て及びRC造3階建て）

免震層は「J」を横に引き伸ばしたような形状（図-5.4.14：職員によれば「夢」をイメージしているとのことである）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（800×104、800U字ダンパーつき×38）

鉛プラグ挿入型積層ゴム支承材...32基（800）

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。観測記録については、デジタルデータを入手し、解析を実施した。詳細は5.5節を参照されたい。



図-5.4.14 C 建築物平面計画及び強震計位置



(a) 3階EPS内



(b) 免震層内

図-5.4.15 強震計設置状況 (I棟)



(a) 5階EPS内



(b) 免震層内

図-5.4.16 強震計設置状況 (N棟)



(a) 外観



(b) 管理画面

図-5.4.17 収録装置 (Akashi製SMAC-CG、I棟B1F中央監視室)

(2) 被害等の状況

表-5.5.1に示すとおり、免震基礎の観測記録による計測震度は5弱であった。

職員へのヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

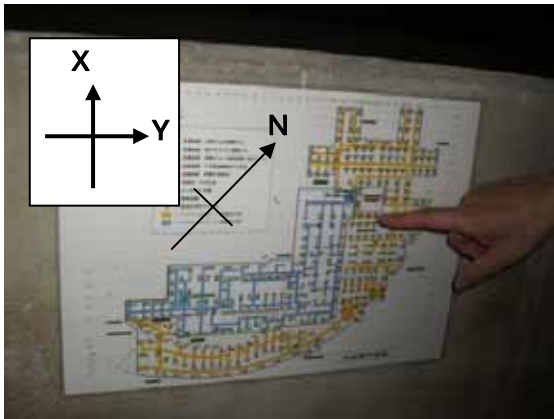
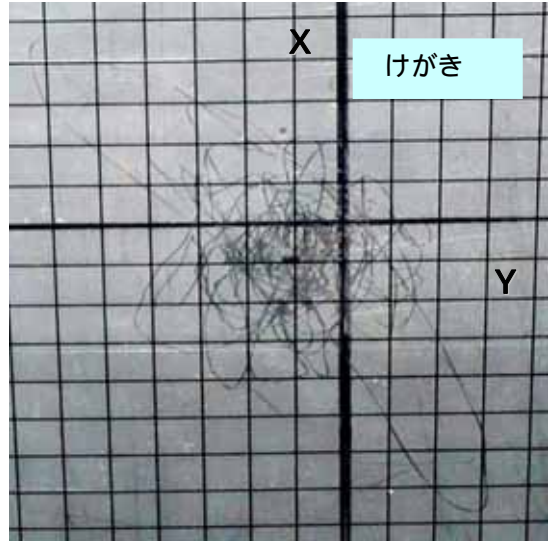
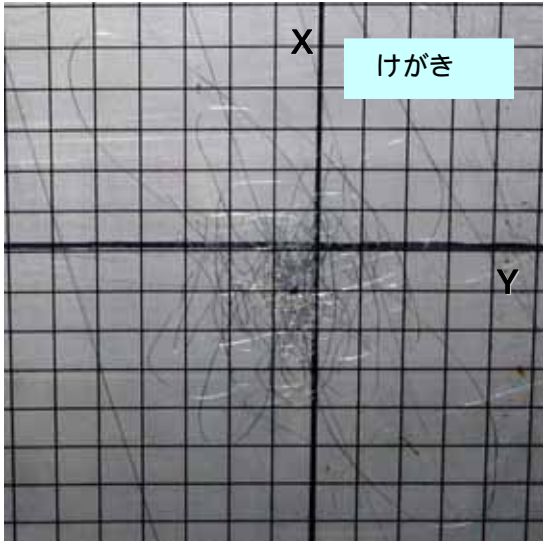
- a) 本震時の構造・非構造被害は特になかったが、防火戸が閉塞し、エレベータも停止した。
- b) 施設内の状況については、パソコンのモニタの転倒が1台（他の多数の同じようなモニタは無被害であったらしく、そのモニタの設置状況の問題と考えられる。）スプリンクラーのカバーの脱落、防火戸の閉鎖などがあった。
- c) 体感としては小刻みな揺れも感じ、震度5程度と感じた。（2F勤務）
- d) 本敷地は、周辺に比べて、震度が小さいようである。他の場所（おそらくJMAによる周辺の公表値）と比較して、地震計の記録開始のトリガーが作動しないことがあった。（なお、今回の本震についても、一関山目（やまのめ）で震度5強と公表されているが、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-5.4.18参照）。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、主要な変位の方向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、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5mm程度であった。また、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の経年変化等の原因により、けがき変位計設置後に原点位置が変化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)

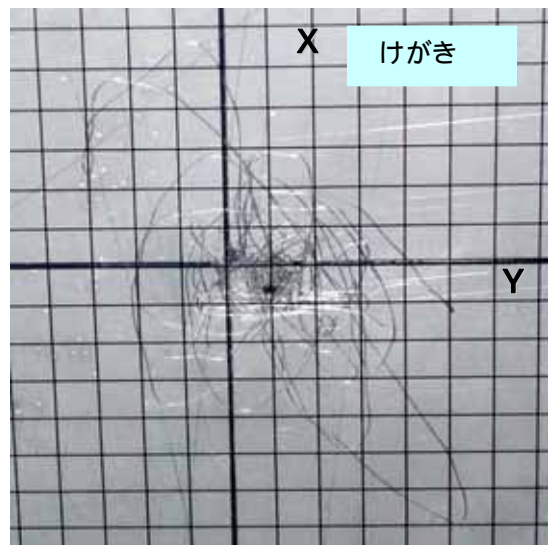
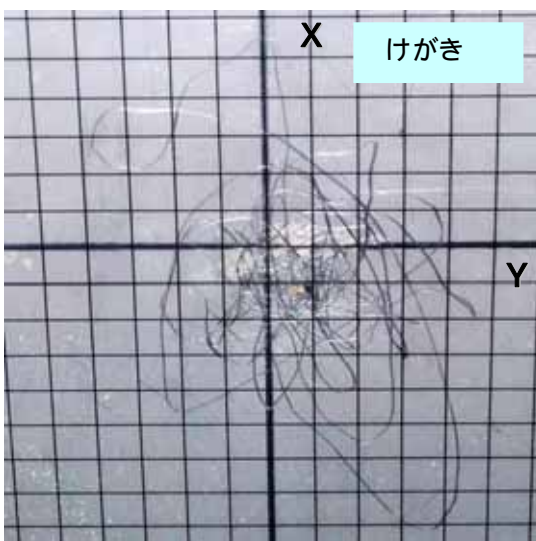
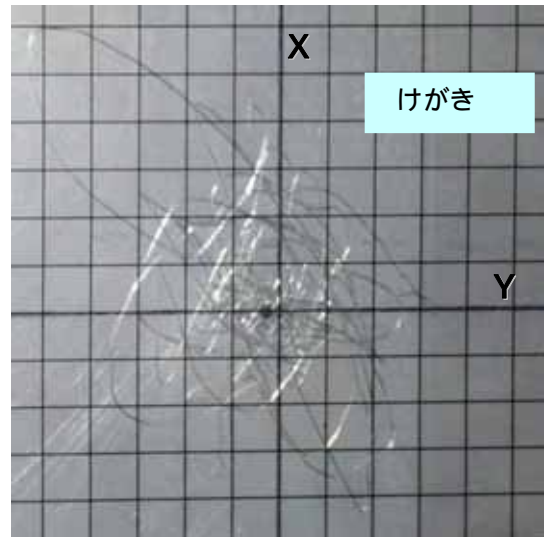
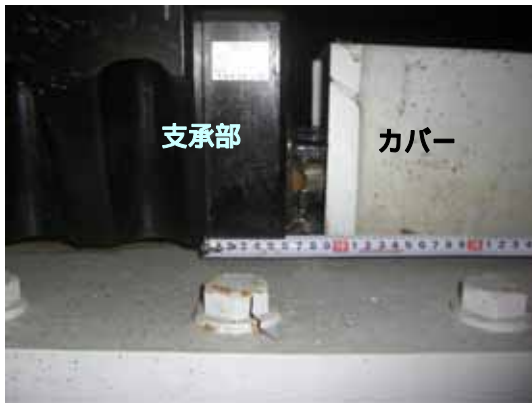


図-5.4.18 けがき変位計による本震の応答変位オービット (5mmグリッドを重ねて撮影)



(a) X方向：北西



(b) Y方向：北東

図-5.4.19 転がり支承カバーの離間

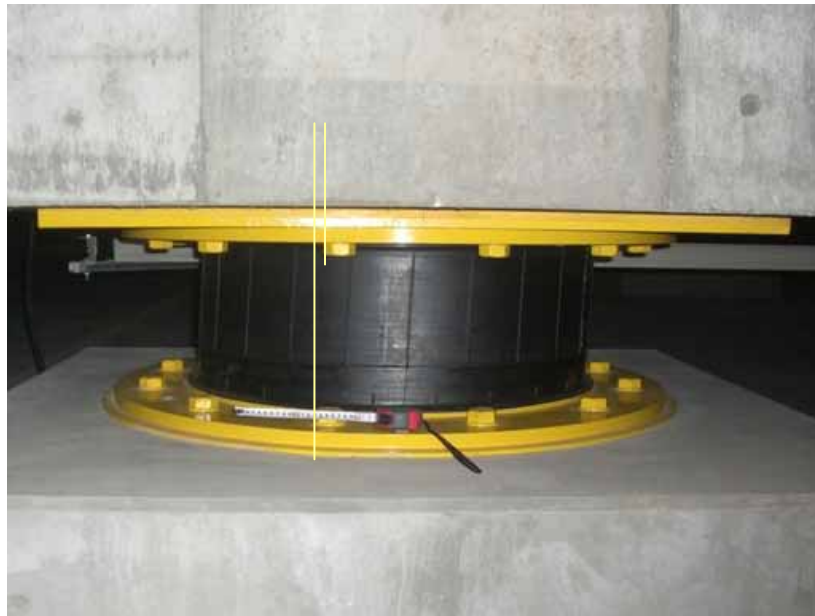
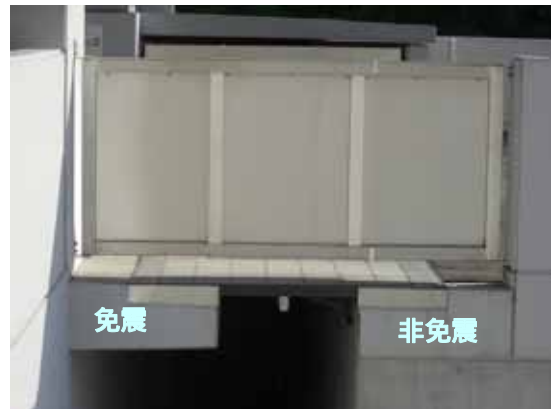


図-5.4.20 積層ゴム残留変位 (X方向、2 cm程度)



(a) 地下エキスパンション



(b) 1Fエキスパンション

図-5.4.21 エクスパンション (無被害)



図-5.4.22 I棟南東側出入口エキスパンション（無被害）



図-5.4.23 付近の薬局における被害箇所（最上段の商品が落下。調査時は復旧）



(a) 落下した紙箱



(b) 落下したプラスチックボトル

図-5.4.24 付近の薬局における被害箇所2（調剤室。調査時は復旧）

5.4.4 D 建築物

(1) 建築物概要

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 mを支持層（長期25t/m²、短期50t/m²）とする直接基礎が採用されている。



図-5.4.25 D 建築物（RC造6階建て）

建築物の平面形状はおおよそ東西55m×南北35m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（ 800×2、 850×17、 900×5、 950×10）
弾性すべり支承...4基（ 450）

(2) 被害等の状況

建設地周辺の本震による震度は5強（若林遠見塚）とされている。

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) 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1cm程度の移動跡と見られる痕跡（東方向）が確認できた。

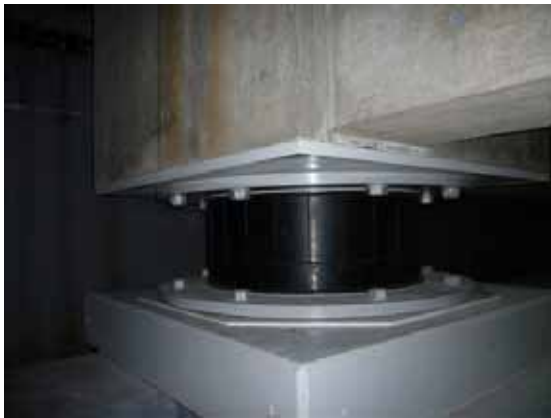
なお、周囲のクリアランスは55cm程度とられていたが、表示板等は見当たらず、設計限界変位は不明である。設計・施工者による免震層の点検は調査時において計画中であった。



図-5.4.26 下げ振り設置状況（積層ゴム台座部分）



図-5.4.27 東側エキスパンションの移動跡（東西約1cm）



(a) 鉛プラグ挿入型積層ゴム支承材



(b) 弾性すべり支承

図-5.4.28 使用免震部材

5.4.5 E 建築物

(1) 建築物概要

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 - 4m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。



(a) 建築物外観



(b) 免震表示（最大変位60cm）

図-5.4.29 D 建築物（RC造4階建て）

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（700×86、800×10）

鉛プラグ挿入型積層ゴム支承材...14基（700）

弾性すべり支承...50基（400×24、600×26）

鋼棒ダンパー...32基

(2) 被害等の状況

建設地周辺の本震による震度は5弱とされている。

職員へのヒアリングを行い、次のような証言が得られた。

- 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、1F）
- 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、1F）
- 水とエレベータは停止し、10～20分後に水が復旧した。
- 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。
- 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ため、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。

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。



図-5.4.30 弾性すべり支承のカバー



図-5.4.31 積層ゴム支承 (RB / LRBの別は不明)



図-5.4.32 鋼棒ダンパー

5.4.6 F 建築物

(1) 建築物概要

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。



図-5.4.33 F 建築物（RC造12階建て）

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（650）

鉛ダンパー... 8基（型番U180）

鋼棒ダンパー... 2基（70）

(2) 被害等の状況

建設地周辺の本震による震度は6弱とされた地域である。

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) このホテルでは停電、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。



図-5.4.34 防犯カメラ（免震部分に固定され、周囲敷地を撮影する1台）



(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-5.4.35 免震部材の状況

5.4.7 G建築物

(1) 建築物概要

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。免震材料の特性や配置等に関する資料は未入手である。

(2) 被害等の状況

建設地周辺の本震による震度は5弱とされた地域である。

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、地響きがした。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、余震等によって原点に復帰したものと考えられる。

なお、本免震住宅を含め、一帯に停電・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-5.4.36 G建築物の周囲状況

5.5 観測地震記録に基づく免震挙動の解析

C建築物では、図-5.5.1に示すとおり、I棟及びN棟のそれぞれ基礎（免震層直下（地下1階））、1階（免震層直上）及び最上階（5階または3階床）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。ここでは、建物所有者より提供いただいた本震時の加速度記録を用いて、免震建築物の挙動（免震建築物の特性及び免震効果）に関する解析を行い、さらに、けがき変位計の記録との比較により実挙動との対応を確かめたので、その結果を示す。

図-5.5.1に示すとおり、水平方向に関する記号については建築物の方向に対応させ、X、Y方向は、それぞれ北に対して-45度及び+45度回転させた方向に対応する。Z方向は鉛直方向を意味する。

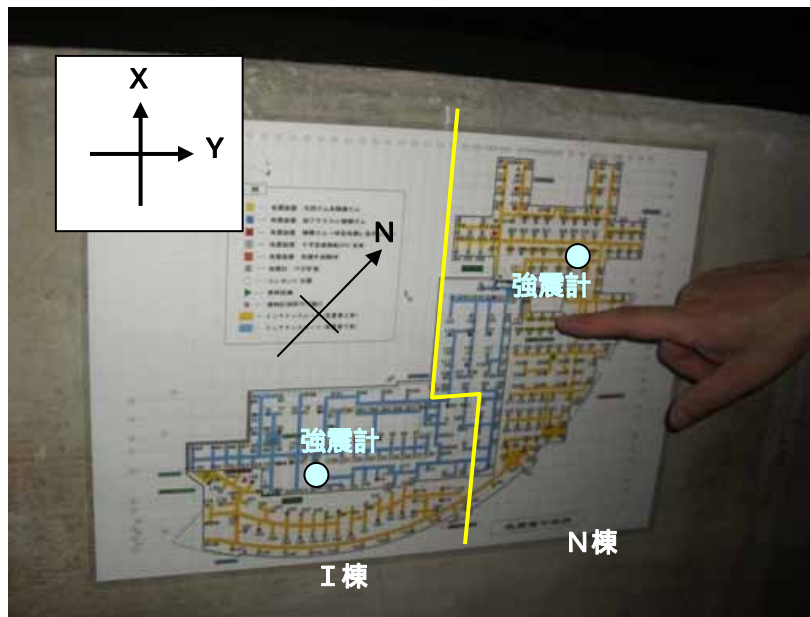
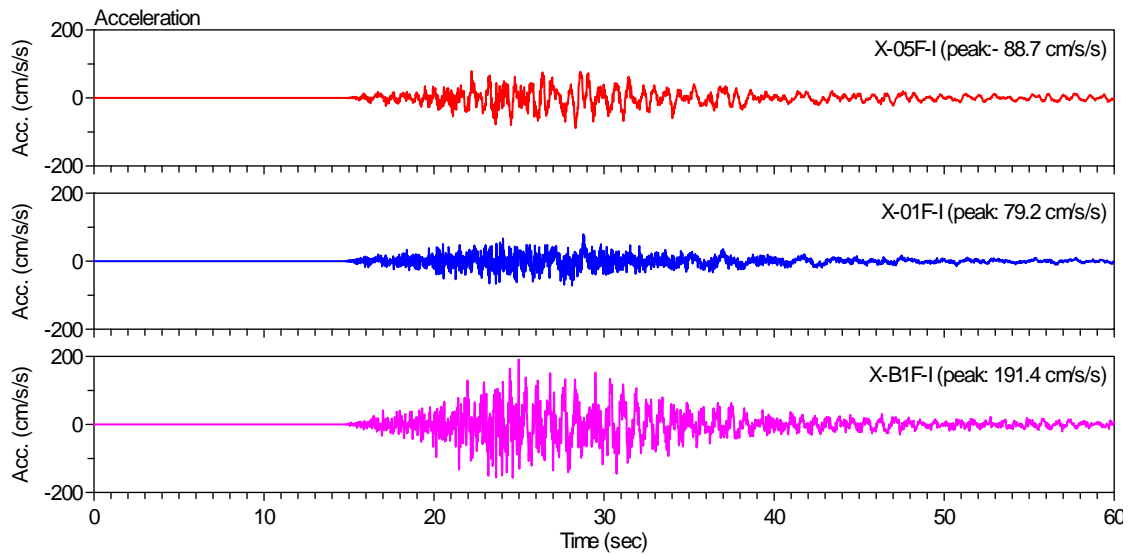
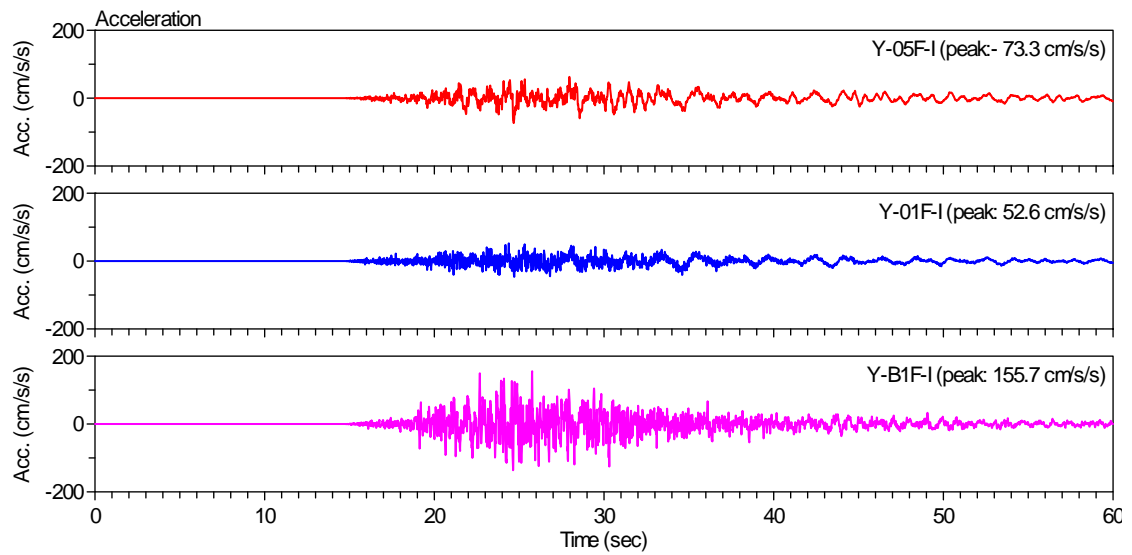


図-5.5.1 強震計設置位置・方向及びけがき変位計（ ~ ）位置

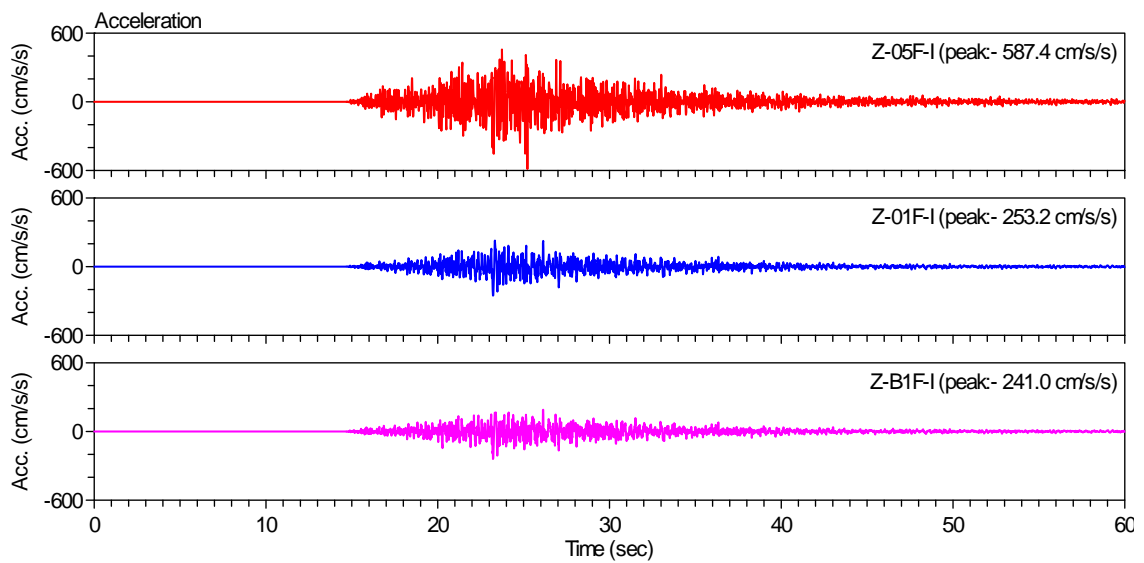
図-5.5.2(a)~(c)に、I棟の水平2方向（X，Y）と鉛直方向（Z）それぞれの方向における地下1階、1階及び最上階の加速度波形を並べた。また、図-5.5.3(a)~(c)に、N棟の加速度波形を示す。これらの最大値について比較して表-5.5.1にまとめた。水平方向の1階最大加速度は、地下1階のそれに比べて1/2~1/3程度に低減されている一方で、鉛直動については、1階では大きく増幅しないが、最上階では、地下1階の1.5~2倍程度の増幅が観測されている。



(a) I棟X方向

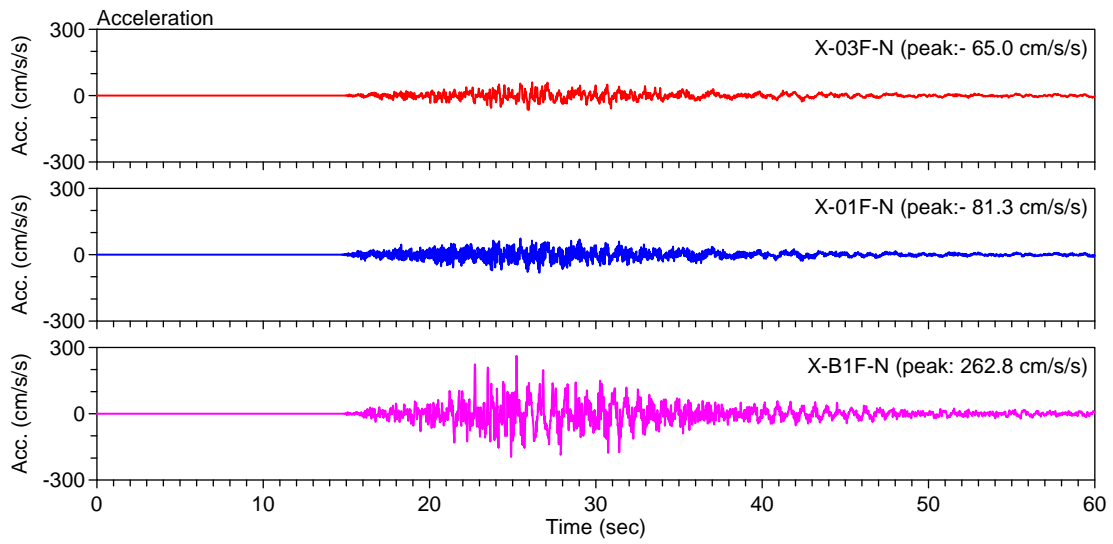


(b) I棟Y方向

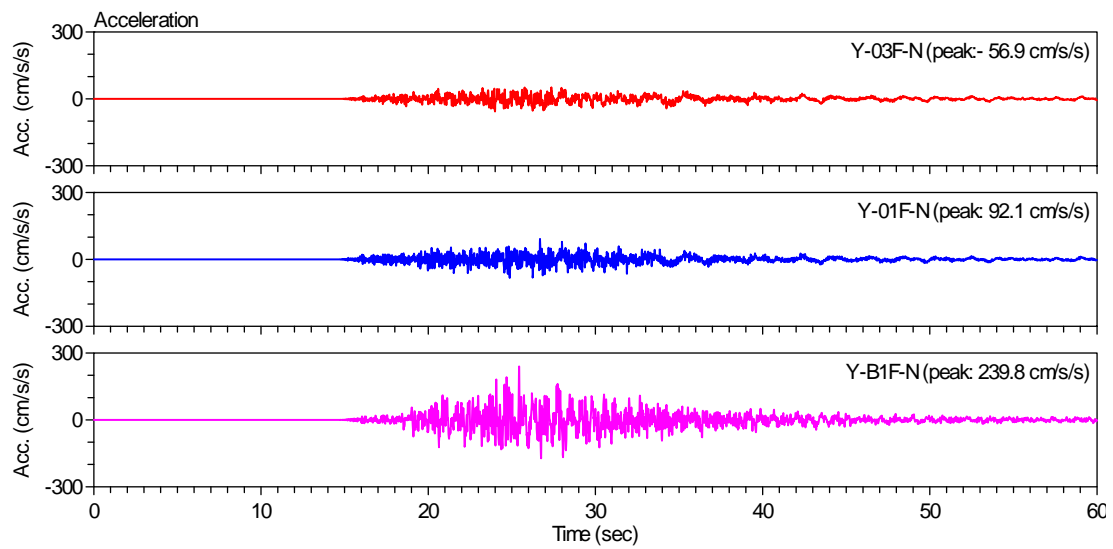


(c) I棟Z方向

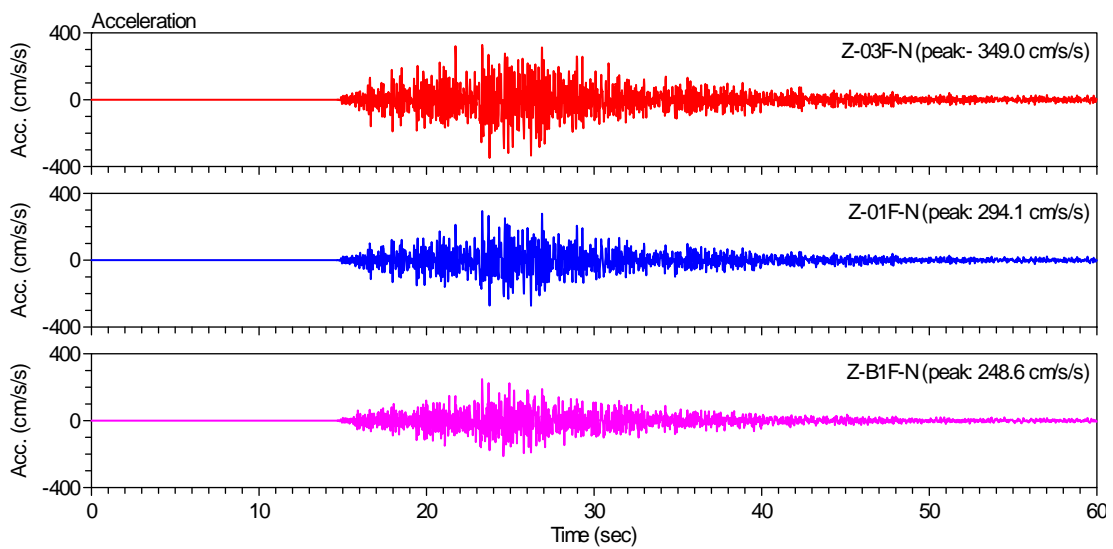
図-5.5.2 加速度波形 (I棟)



(a) N棟X方向



(b) N棟Y方向



(c) N棟Z方向

図-5.5.3 加速度波形 (N棟)

表-5.5.1 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

図-5.5.4に、I棟及びN棟の地下1階の記録を用いて計算した疑似速度応答スペクトル（減衰定数5%）を示す。地下1階の水平方向の疑似速度応答スペクトルは、0.8~1.0秒にピークを示す特性を有する。鉛直方向の疑似速度応答スペクトルは、より短周期域（0.2~0.5秒）で大きくなる。

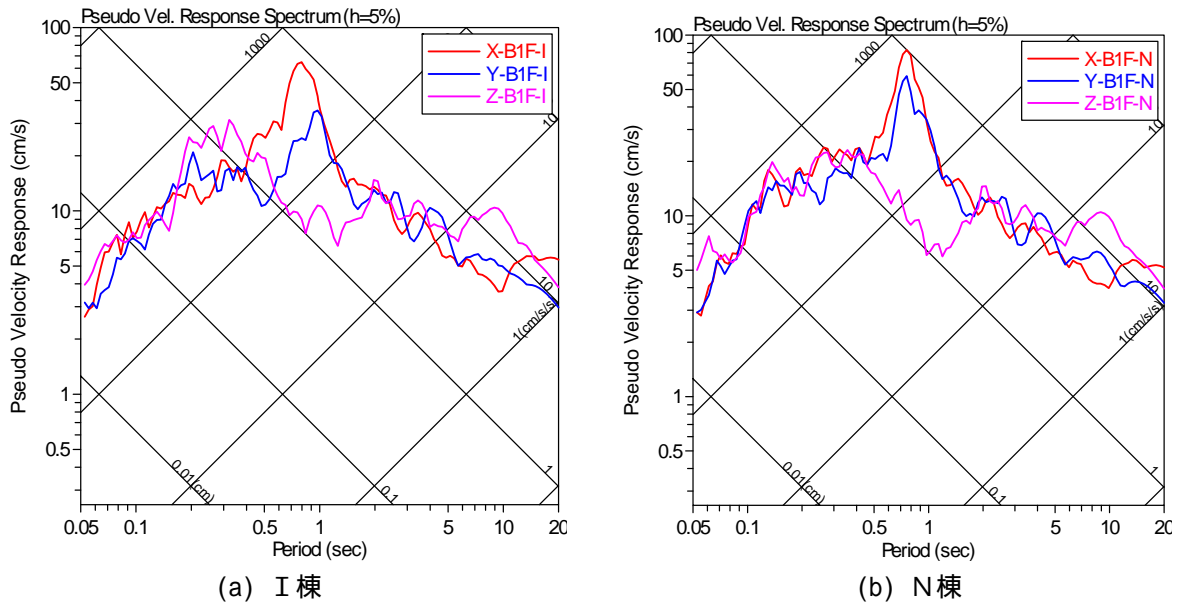


図-5.5.4 地下1階における疑似速度応答スペクトル（減衰定数5%）

図-5.5.5と図-5.5.6に、I棟及びN棟における、地下1階に対する1階及び最上階の加速度波形(水平方向)のフーリエスペクトル比を示す。地下1階に対する1階及び最上階のフーリエスペクトル比における1次の卓越振動数は、0.5Hz(2秒)付近にあり、免震層を含めた建物の卓越振動数と考えることができる。

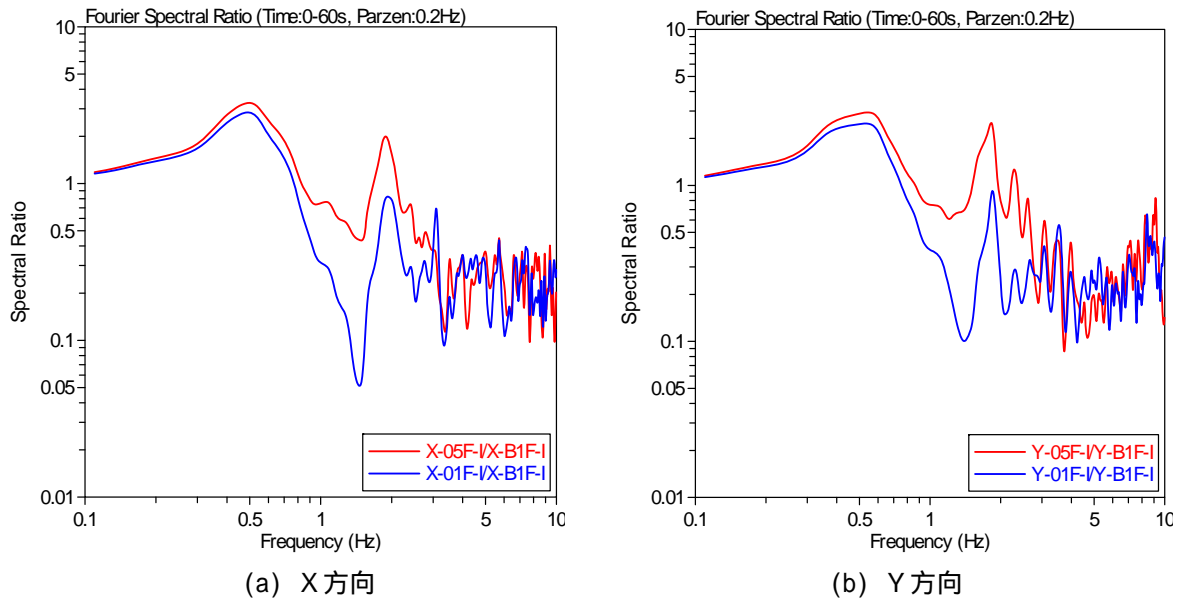


図-5.5.5 地下1階に対する1階及び最上階のフーリエスペクトル比
(水平方向、I棟)

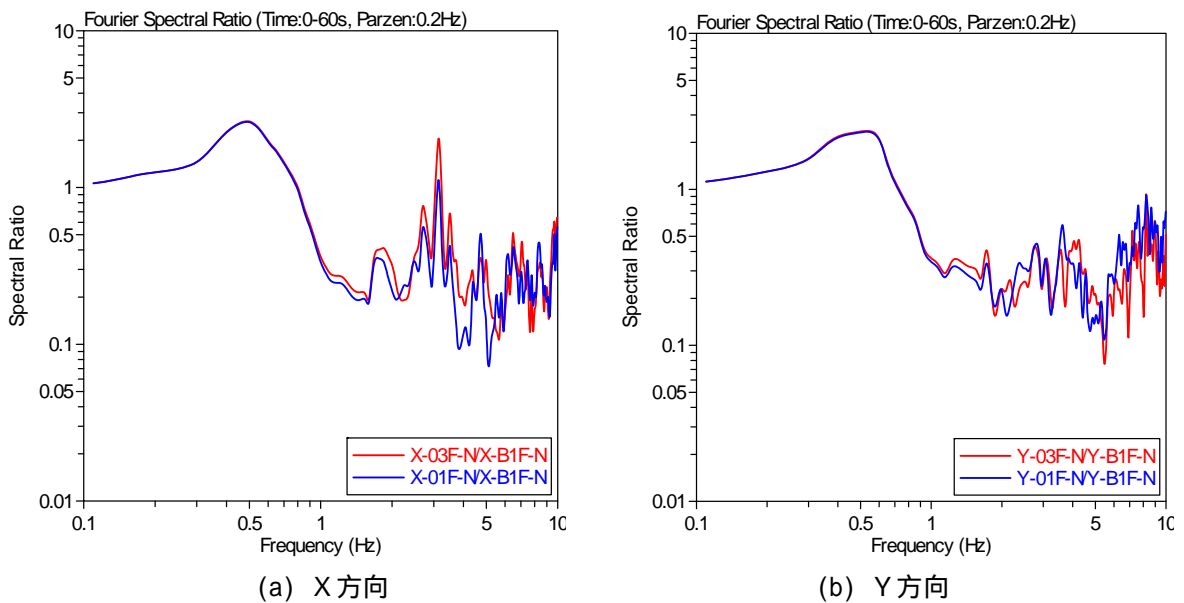


図-5.5.6 地下1階に対する1階及び最上階のフーリエスペクトル比
(水平方向、N棟)

図-5.5.7に、I棟及びN棟における、1階に対する最上階の加速度波形（水平方向）のフーリエスペクトル比を示す。I棟の上部構造の卓越振動数は、X、Y方向とも約1.5Hzである。一方、N棟の上部構造の卓越振動数は、X方向で約3～4Hz付近と考えられるが、Y方向は明確でない。

図-5.5.8に、I棟及びN棟における、地下1階に対する1階及び最上階の加速度波形（鉛直方向）のフーリエスペクトル比を示す。I棟の鉛直方向における上部構造の卓越振動数は、7Hzより高くなる一方、N棟のそれは、10Hzを超え、免震建築物の上下方向の卓越振動数は、水平方向に比べて非常に高くなる特性を示す。

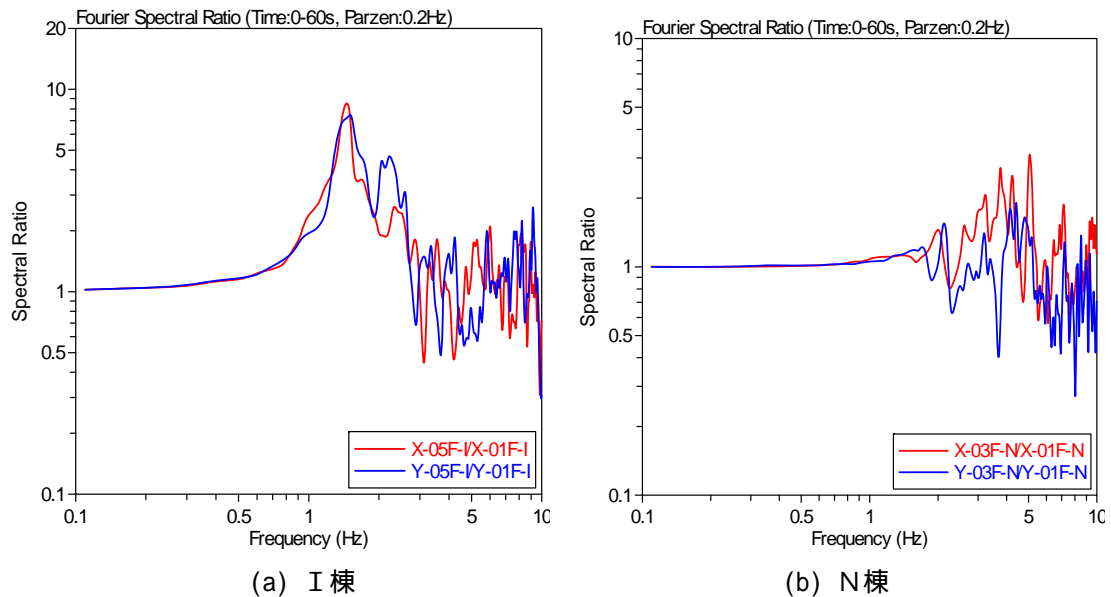


図-5.5.7 1階に対する最上階のフーリエスペクトル比（水平方向）

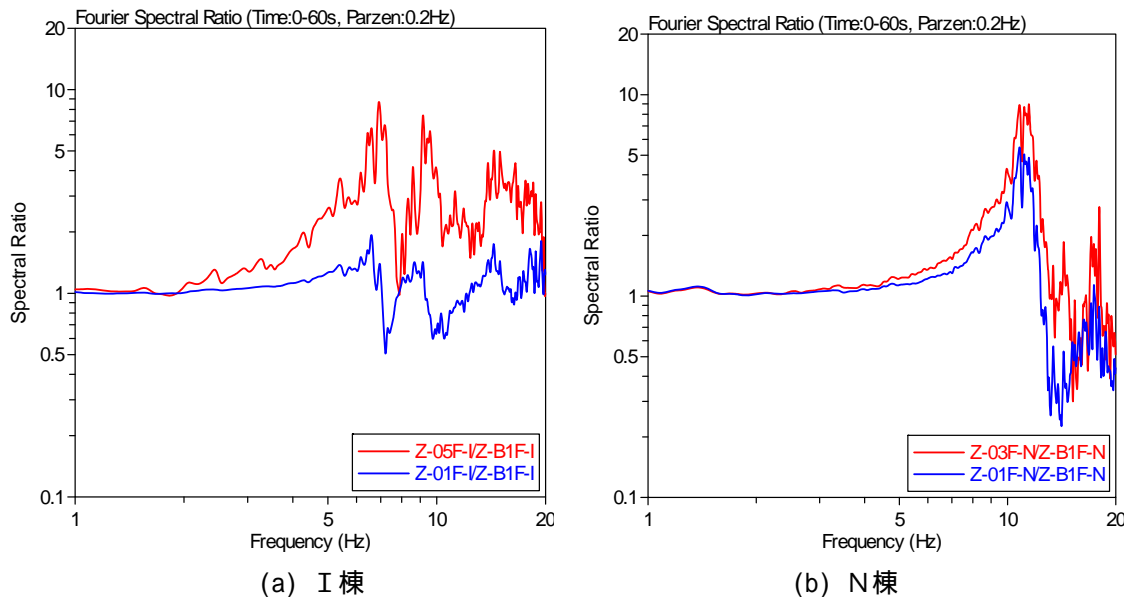
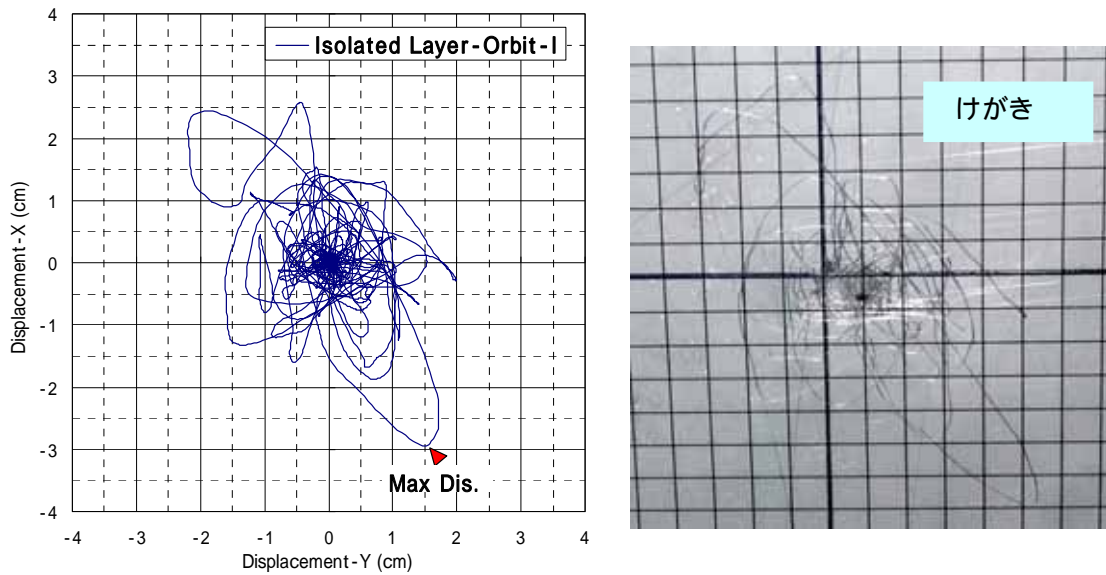
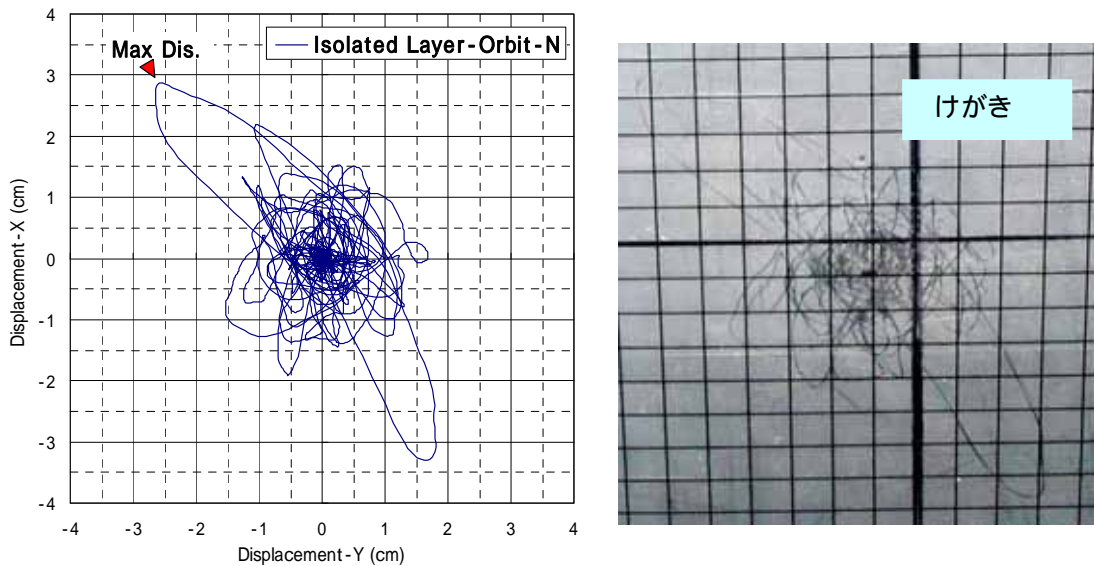


図-5.5.8 地下1階に対する1階及び最上階のフーリエスペクトル比（鉛直方向）

図-5.5.9に、I棟及びN棟における免震層の水平変位の軌跡を示す。免震層の変位は、1階（免震層の直上）と地下1階（免震層の直下）の加速度波形を、変位波形に変換（0.1Hzのハイパスフィルタによるフーリエ変換）し、その差として求めた。免震層の最大変位は、I棟及びN棟で、それぞれ原点より約3.3cm、約3.8cm（図中「Max Dis.」で示した位置）となる。図-5.5.1に示すとおり、I棟の加速度計の設置位置は、けがき変位計の または の設置位置に、N棟の加速度計の設置位置は、けがき変位計の の設置位置に近いことから、それぞれ両者の結果を比較すると、比較的良く対応した変位軌跡を描いている。



(a) I棟（左図：解析値・右図：5mmグリッドによる実測値）



(b) N棟（左図：解析値・右図：5mmグリッドによる実測値）

図-5.5.9 免震層の水平変位の軌跡

5.6 まとめ

2008年岩手・宮城内陸地震における免震建築物の実態調査を行った。

- a) 本震の最大震度6弱と発表された地域に免震建築物（B建築物、F建築物）が建てられていたが、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についてもすべて被害はなく同様の状況であったが、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使用者の多くは、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（D建築物）、落下・破損等の被害がなかった（A建築物、D建築物、F建築物、G建築物）など、その有効性を実感しているようである。しかしながら、小さな地震に対しては却ってよく揺れる（D建築物）、歩くことは可能だがまっすぐ歩けない（A建築物、B建築物）といった問題点も指摘されている。

なお、免震建築物は大地震時に大きく変形することから、建物使用者に対して注意喚起を行う表示板を設置する規定が義務付けられているが、調査時には表示が発見できないものがあった。また、非構造部材で免震挙動に影響ないと考えられるが、地震時の変形に伴い損傷を生じているもの（手すり、エキスパンションジョイント等）も見られた。

- b) 免震建築物の挙動を明らかにするために、建築物の本震時の加速度記録の解析を行った。地下1階（免震層直下）に対する1階（免震層直上）の水平方向の最大加速度は、1/2～1/3程度に低減し、免震効果が確認された。一方、鉛直動については、地下1階に対する最上階の最大加速度は、1.5～2倍程度の増幅が観測された。また本建物の5箇所に、けがき変位計が設置されており、その軌跡より主要な水平変位の方向はすべて東西方向であること、さらに免震層内の位置により、それぞれの軌跡の形状がやや異なることが確認された。加速度記録を積分して得られた免震層の水平変位の軌跡は、加速度計に近い位置にあるけがき変位計の軌跡と良い対応を示した。

今後は、調査建築物のうち、本震時に一定以上の使用者が免震挙動を経験したものを対象に、より客観的に免震挙動を評価することを目的としたアンケート調査を実施することで、免震建築物の設計基準の高度化に資する検討を加える予定である。

謝辞

各建築物の現地調査に当たっては、地震直後の混乱した状況にもかかわらず、建築物図面の提供や免震層の目視調査へご協力いただきました。また、解析に当たっては、けがき変位計の記録及び地震観測のデジタルデータの提供、さらにそれらの公開について快く許可をいただきました。それぞれご担当いただいた方々に深く感謝いたします。

図-5.2.1はPaul Wessel氏とWalter H. F. Smith氏が作成したGM T^{3.18})を用いて作成したものです。

参考文献及び参照サイト

- 5.1) (社)日本免震構造協会：国内の免震建物一覧表、MENSIN、No.28(2000.5)、No.33(2001.8)、No.60(2008.5)
- 5.2) 日経BP記事 (<http://www.nikkeibp.co.jp/news/const08q3/578479/>)