

5.7 免震建築物の被害

5.7.1 調査の目的と概要

平成28年熊本地震の被災地である熊本県内には、病院、共同住宅など確認された範囲で十数棟の免震建築物が存在している。これまでの震災等を通じて免震構造の有効性が実証されつつあるところであるが、実際の大地震（地震動）を経験した免震建築物の事例は少なく、地震時の挙動や地震後の被害状況を把握し、今後の基準の整備や設計に資する知見を取りまとめることの重要性は高い。そこで、過去の大震認定等における性能評価やウェブで公開されている建築物情報に基づき抽出した免震建築物について、次に掲げる項目について調査・検討を実施した。

(1) 被害状況調査（建築物A～J）

熊本県内の免震建築物10件12棟について、地震発生後の状況を把握するための現地調査を行った。対象地域内の建築物及び地震観測点の位置を図5.7.1に、また、各種の設計情報を表5.7.1に示す。第1次調査を2016年4月29日（金）（建築物A～C、J）及び30日（土）（建築物D～I）、第2次調査を2016年7月2日（土）（建築物G・I）、第3次調査を2016年8月25日（土）（建築物A・B・J）に、それぞれ実施した。

(2) 地震動特性に関する検討（建築物A・B・D・F～J）

調査建築物のうち、構造計算書などの情報から設計時に想定（設定）した応答変位が把握できている建築物の設計情報を用いて、各建築物の近傍の観測点における地震記録を元に、被災地における地震動の特性についての検討を実施した。

(3) 免震挙動に関するアンケート調査（建築物C・I・G・K）

免震構造の特性は、免震層で揺れを吸収することにより、免震層より上部において、構造耐力上主要な部分の被害（損傷）の防止とともに家具の転倒等の室内被害を低減できることにあるとされる。熊本地震において、このような免震構造の特性が発揮されたかどうかを、居住者・使用者へのアンケート調査により検討した。

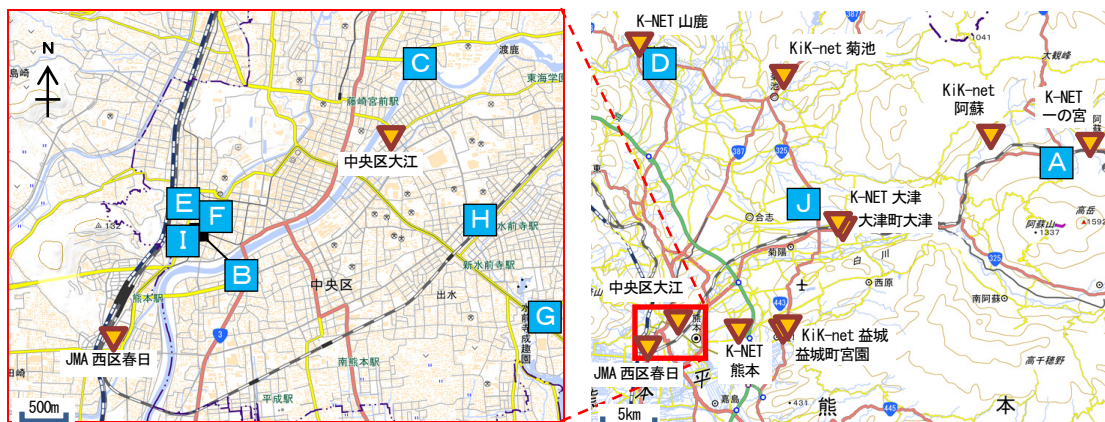


図 5.7.1 調査建築物（A～J）及び地震観測点（▼）位置（左図は右図の熊本市内を拡大）

表 5.7.1 調査建築物一覧（建築物A～Jは図 5.7.1 と対応）

用途等 （*は告示免震 ^a ）	クリア ランス ^b	上部構造		免震材料 ^d	評価年 ^e （建設年）	罫書き 記録	近傍 ^f の 震度（本震）
		形式 ^c	階数				
A 医療施設*	620mm	RC	4	RB, LRB	(2014)	○	6弱
B 事務所*	650mm	S+SRC	8	RB, SnRB, USD	(2015)	○	6強
C 共同住宅*	550mm	RC	13	RB, USD, LD	2007		6強
D 事務所	600mm	S	5+B1	RB, ESD, USD	2012	○	5弱
E 事務所	600mm	S	5+B1	RB, LRB, LSB, OD	2014		6強
F 宿泊施設	450mm	RC	12	HRB, OD	2001		6強
G 共同住宅	A棟	600mm	RC	14	HRB	1996	6強
	B棟	600mm	RC	11	HRB	1996	
H 共同住宅	E棟	600mm	RC	14	HRB	2000	6強
	W棟	600mm	RC	14	HRB	2000	
I 共同住宅*	600mm	RC	15	RB, USD, LD	2006		6強
J 倉庫	580mm	S+SRC	2	RB, LRB, ESD	2011	○	6強
K 共同住宅	550mm	RC	14	RB, USD, LD	2007		5強

a…平成12年建設省告示第209号を満たすものとして設計された免震建築物をいう。
b…免震建築物と周囲に設けられた擁壁等との間の水平距離。免震建築物の地震時の動きを損なわないように設けられる。
c…RC：鉄筋コンクリート造、S：鉄骨造、SRC：鉄骨鉄筋コンクリート造
d…RB：天然ゴム系積層ゴム、HRB：高減衰積層ゴム、LRB：鉛プラグ入り積層ゴム、SnRB：錫プラグ入り積層ゴム、ESD：弾性すべり支承、LSB：直動転がり支承、USD：U形鋼材ダンパー、LD：鉛ダンパー、OD：オイルダンパー
e…告示免震については建築確認の取得年を、時刻歴応答解析を行い指定性能評価機関等において性能評価を実施した建築物については性能評価の取得年を指す。
f…それぞれの建築物の近傍における地震観測点。AはK-NET一の宮、B及びIはJMA西区春日、DはK-NET山鹿、JはK-NET大津、KはJMA八代市松江城町、その他（C・E・F・G・H）はすべて中央区大江（自治体震度計）である。

5.7.2 被害状況調査（現地調査）結果

被害状況調査は、免震層内、免震層周囲及び建築物内の目視確認を中心に実施し、同時に管理者及び使用者への聞き取り調査（ヒアリング）も行った。さらに必要に応じ、後日の追加調査等による情報収集も行っている。以下に各建築物における調査結果を示す。

（1）建築物A（医療施設）

建築物Aは、阿蘇市に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、次のとおりである。

- ・天然ゴム系積層ゴム・・・45基
- ・鉛プラグ入り積層ゴム・・・27基

上部構造は、図 5.7.2-1 に示す通り、併設された鉄筋コンクリート（RC）造2階建ての中央診療棟とRC造4階建ての病棟が、1階の床版を共有する形で全体として一つの免震層に支えられる形式となっている。また、これらの免震部分は、さらにエキスパンションジョイントを介して平家建ての外來棟に接続されている。

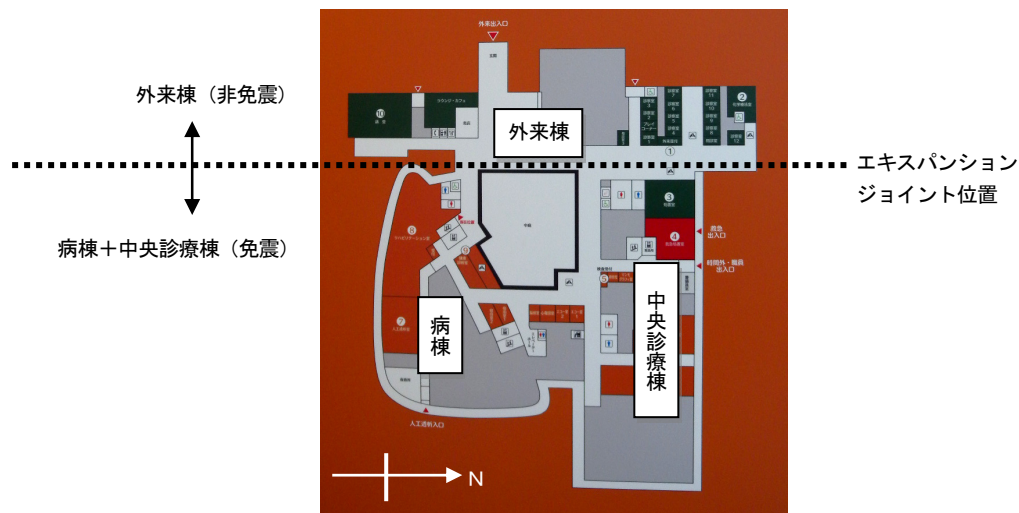


図 5.7.2-1 1階平面図 (建築物A)

免震層内に罫書き式の変位計が設置されており、最大で正負約 45cm (トータル約 90cm) の軌跡が記録されていた (写真 5.7.2-1)。建築物の設計変位 (地震応答変位) は正負各 33.5cm であり、これを超える数値となっている。ただしこの軌跡は設計上許容される変形量 (設計資料に基づく積層ゴム支承の限界変形 56cm に対してその 0.8 倍、すなわち 44.8cm) にはおおむね収まっている。その他、積層ゴム支承について、化粧カバーのずれや胴部保護ゴムの端部のめくれが見られた (写真 5.7.2-2)。外周部では、非免震部分との接続箇所であるエキスパンションカバー周囲の軽微な変状 (写真 5.7.2-3: モルタルの欠けや金具の変形) があつたが、使用上の問題は見られなかった。

上記のほか、職員の方 (1名) へのヒアリングでは、下記の回答があつた。

- ・ライフライン途絶への対応を含め、機能継続上の問題は生じなかった。
- ・エキスパンションカバーの破損 (写真 5.7.2-4: 写真 5.7.2-3 の室内側) があつた。前震時は軽微な変状で、本震後に破損が確認された。危険はなかったが修繕工事のため取り外した。
- ・中央診療棟 (免震構造) 北側緊急外来出入口のガラス製自動ドア (吊り下げ式) が開いたまま外れていた (写真 5.7.2-5)。
- ・固定していないロッカー (写真 5.7.2-6, 写真 5.7.2-7) の転倒があつた。(病棟の 2~4 階の同じ位置でそれぞれ発生)
- ・2階で液晶 TV の転倒・落下があつた。
- ・中央診療棟 1 階で手術用器具の棚の転倒があつた。

ロッカーの転倒に関して、日本建築学会「非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領」^{5.7-1)} では転倒物の寸法に基づく簡易な床応答加速度の計算式が示されており、写真 5.7.2-6 のロッカーの寸法 (奥行 37cm、高さ 173cm) を用いると、床応答は 230cm/s^2 以上と推定される。転倒方向は南側である。なお、建築物 A から東に約 4 km 離れた地点地震観測点 (K-NET 一の宮) があつて、そこで記録された本震時の加速度の最大値は、南北方向 261cm/s^2 、東西方向 347cm/s^2 と発表^{5.7-2)} されている。

また、当時勤務されていた方々 (7名) にヒアリングに代えて記入いただいた免震建築物の挙動に関する質問票によれば、ほとんどの方が地震時に入院患者や室内の様子を見たり周囲のものを抑えたりする等の行動が可能であつたことや、2階より上層では吊り下げ物の落下、食器類の落下、家具の転倒などの被害が見られたとの記入があつた。

敷地周囲の建築物等の被害は軽微で、住宅の屋根を覆うブルーシートやブロック塀の倒壊が散見される程度であった。

なお、免震建築物が性能を発揮する際には上部構造が大きく水平に動くことになるため、そのとき周囲の人や物に危険等がないよう、免震建築物にはその旨の表示（以下「免震表示」という。）を行っている。本建築物では、免震部分である中央診療棟の救急外来入口と、建築物内部の可動部分（パーティション）周辺に免震表示があった（写真5.7.2-8、写真5.7.2-9）。

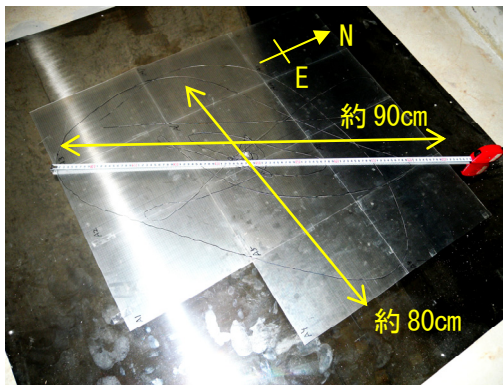


写真 5.7.2-1 野書き式の変位計（以降の写真では「野書き」と記す。）の軌跡（フィルムを重ねて写し取ったもの）

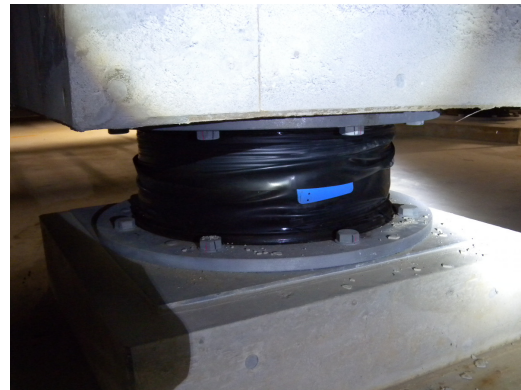


写真 5.7.2-2 積層ゴム支承の変状（化粧カバーのずれ、保護ゴムのめくれ）



写真 5.7.2-3 エキスパンションカバー周囲の変状



写真 5.7.2-4 破損したエキスパンションカバー（撤去済み）



写真 5.7.2-5 外れた自動ドアの扉（復旧済み）



写真 5.7.2-6 転倒したロッカー①
(2階病棟内)



写真 5.7.2-7 転倒したロッカー②
(2階病棟内)



写真 5.7.2-8 出入り口周辺における免震表示 (右図は左図囲みの表示内容の拡大)



写真 5.7.2-9 建築物内部における免震表示 (右図は左図囲みの表示内容の拡大)



(2) 建築物B (事務所)

建築物Bは、熊本市中央区に建つ免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、次のとおりである。

- ・天然ゴム系積層ゴム・・・47 基
- ・錫プラグ入り積層ゴム・・・20 基

・U形鋼材ダンパー・・・・・・15基

上部構造は鉄骨造+鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）造の8階建てである。

免震層内に罫書き式の変位計が設置されており、正負約35cm（トータル71cm）の軌跡が記録されていた（写真5.7.2-10）。また、U形鋼材ダンパーの鋼材部分に大きな残留変形（ゆがみ）及びそれに伴う表面の塗装の剥がれが見られた（写真5.7.2-11）が、いずれも通常の作動範囲内で想定される変状であり、免震挙動への影響はなかったものと考えられる。管理者へのヒアリングでは、実際に地震時に室内では一部のパソコンのモニターが倒れたが、建物として求められている機能は、地震直後から全く支障がなく維持できたとのことであった。

上記のほか、地震応答の痕跡（被害）として、階段室の内装クロスの上り及び4階の窓サッシ部金具のずれが見られた（写真5.7.2-12、写真5.7.2-13）。建物周囲においては、通用口の鋼製扉の取付け部の変形、クリアランスのカバーの端の鉄板の折れ曲がり（写真5.7.2-14、カバー下に巻き込まれていた）が見られた。管理者によれば、この鉄板部の支障の範囲は前震時にカバー全体のうち1/3程度で、本震時にさらにもう1/3（トータル2/3）程度拡大したとのことであった。

免震表示（写真5.7.2-15）は、地下駐車場の出入り口付近の外壁面に設けられていた。

なお上部構造の外観上の変状は調査時点では全く見られなかったが、隣接する建築物では、タイル等の外装材の広範な落下が見られた（写真5.7.2-16）。

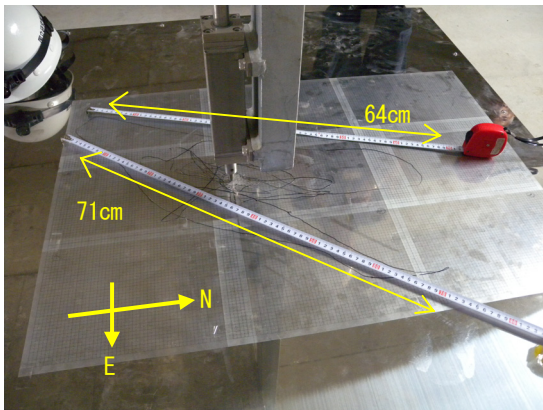


写真 5.7.2-10 罫書きの軌跡（フィルムを重ねて写し取ったもの）

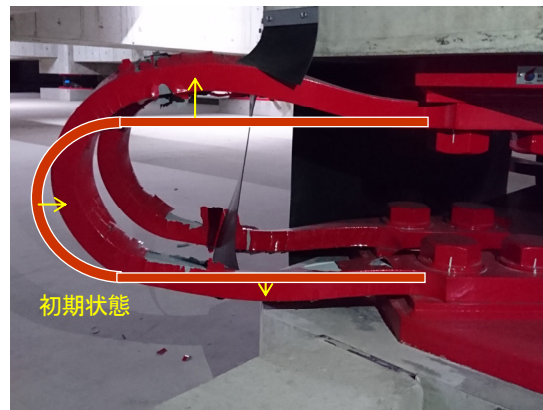


写真 5.7.2-11 鋼材部分の残留変形（ゆがみ）と塗装のはがれ



写真 5.7.2-12 階段室の内装クロスの上りに伴うしわ



写真 5.7.2-13 窓サッシ部金具のずれ

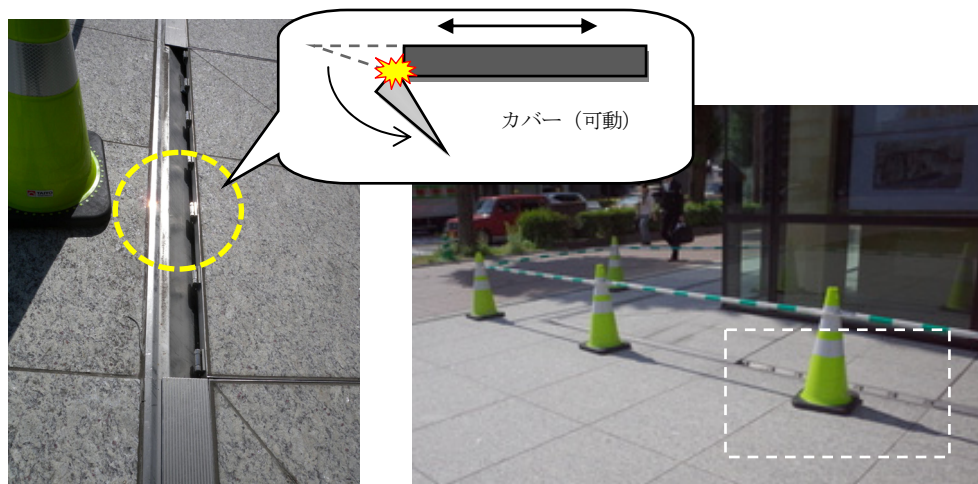


写真 5.7.2-14 外周部エクspansionカバーの変状（左図は右図囲み部の拡大）



写真 5.7.2-15 免震表示



写真 5.7.2-16 隣接建物（右側）の外装材落下被害

（3）建築物C（共同住宅）

建築物Cは、熊本市中央区に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、図 5.7.2-2 及び次に示すとおりである。

- ・天然ゴム系積層ゴム・・・14基
- ・U形鋼材ダンパー・・・4基
- ・鉛ダンパー・・・・・・・・・・6基

上部構造はRC造13階建てで、免震層底盤の周囲の立上り部分が約1m程度地表面から露出する形式となっている。

野書き式の変位計等の設置はなく、最大変位の把握はできていない。免震層内では、構造耐力上主要な部分の被害として、最も外側の床版に直付けして設置されている鉛ダンパーの全て（6基）で、取付け基部と免震層上面のスラブとの定着部が破壊する被害が見られた（写真 5.7.2-17）。鉛ダンパーの屈曲部の表面に生じている皺の目視観察からは、経験した水平変位は10cm以内程度と考えられ、破壊した取り付け基部での変形が原因でダンパーが十分にせん断変形できず、設計で想定した性能を発揮できなかった可能性がある。この被害の要因として、スラブ（Fc27、厚さ220mm、縦横配筋

D13 (SD295A)@100, D) の耐力や基部主筋の定着の不足など、当該部分の設計にあたって地震時にダンパーの基部に生ずる応力の想定が十分でなかったことが考えられる。これに対して、取付け基部にはり等が配置されたU形鋼材ダンパーについては、残留変形（ゆがみ）及び塗料の剥がれなど軽微な変状に留まっていた（写真 5.7.2-18、写真 5.7.2-19）。

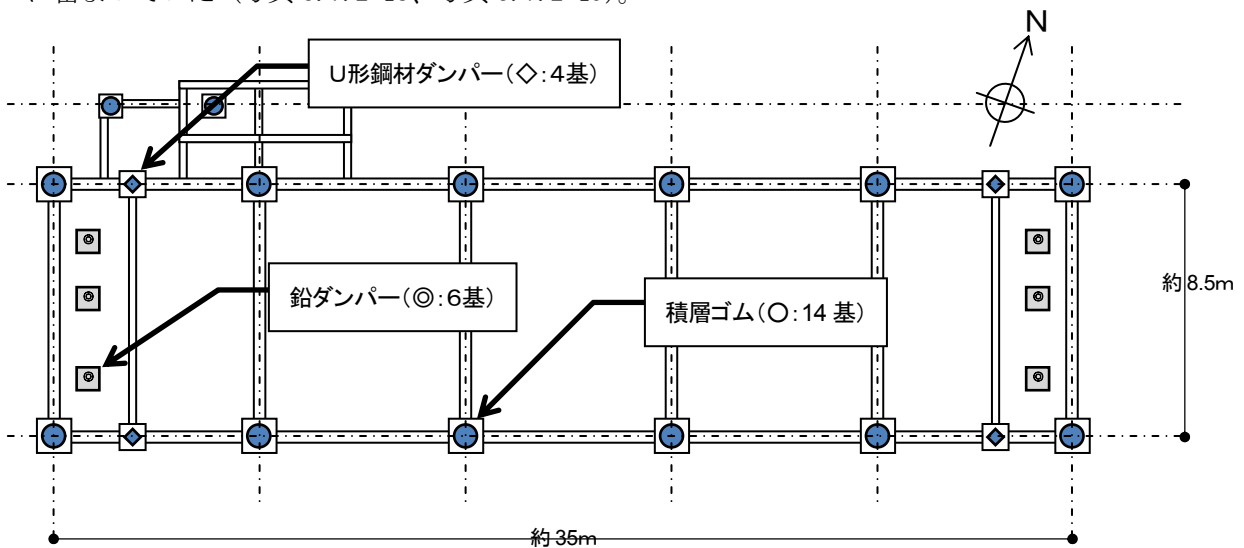


図 5.7.2-2 免震材料配置図（略図）



写真 5.7.2-17 鉛ダンパー取付け基部の被害（床スラブの破損）



写真 5.7.2-18 鋼材ダンパーと鉛ダンパーの比較



写真 5.7.2-19 鋼材ダンパーの変状

その他、積層ゴム支承について、化粧カバーの外れ（写真 5.7.2-20）が見られた。また、免震表示（写真 5.7.2-21）は出入口付近に掲示されていた。

上部構造について、13 階、8 階及び 7 階で構造躯体を目視観察したところ、ひび割れ等の発生は見られなかった。管理会社からのコメントでは、居住者は前震後の時点では内に留まっていたが、本震後には避難所に移動した居住者もいたとのことである。また構造設計者が 5 階の居住者に行った聞き取り調査では、前震後も本震後も室内のもの（家具等）は転倒していなかったとのことであった。さらに、本建築物については居住者を対象としたアンケート調査も実施しており、その結果からは大半の居住者は免震効果を実感したと考えられる（5.7.4 項参照）。



写真 5.7.2-20 積層ゴム化粧カバーの外れ

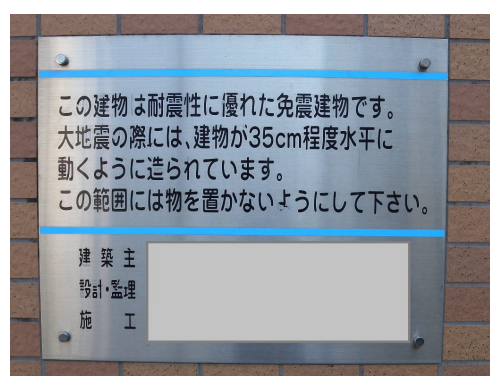


写真 5.7.2-21 免震表示

（４）建築物D（事務所）

建築物Dは、山鹿市に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、次のとおりである。

- ・天然ゴム系積層ゴム・・・30 基
- ・弾性すべり支承・・・・・・14 基
- ・U形鋼材ダンパー・・・・・・10 基

上部構造は鉄骨造 5 階＋地下 1 階である。

免震層内に罫書き式の変位計が設置されており、両振幅で南北に約 16cm の軌跡を確認した（写真 5.7.2-22）。免震表示（写真 5.7.2-23）は正面玄関周りには見られず、通用口周りに掲示されていた。免震材料及び免震層内外のクリアランス部の変状は、ごく軽微なものに納まっていた。

職員の方へのヒアリングによれば前震・本震とも継続使用上の支障はなかったとのことである。

敷地周囲においては、稀にブルーシートによる屋根覆いが見られる程度で、建築物等の被害は微少と思われる。その他、建築物Dより約 500m 北西に位置する K-NET 山鹿観測点の設置状況を確認した。観測点は高台の辺縁部に設置されていた（写真 5.7.2-27）。

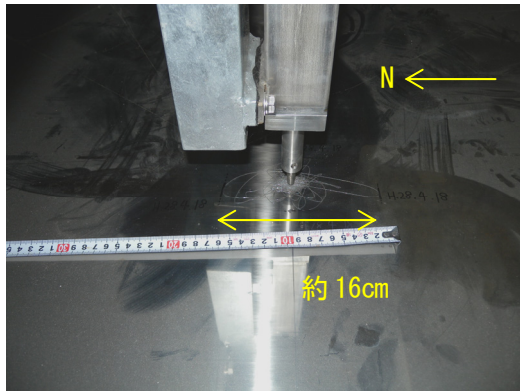


写真 5. 7. 2-22 罫書きの軌跡



写真 5. 7. 2-23 免震表示

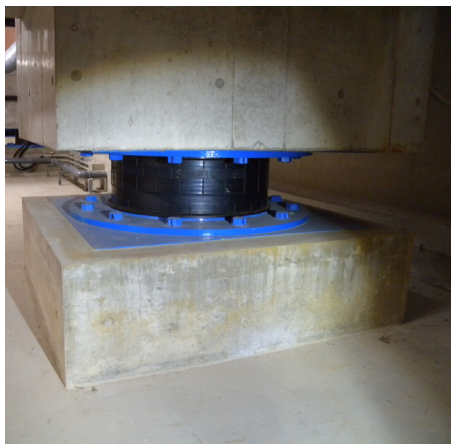


写真 5. 7. 2-24 積層ゴム支承の状況

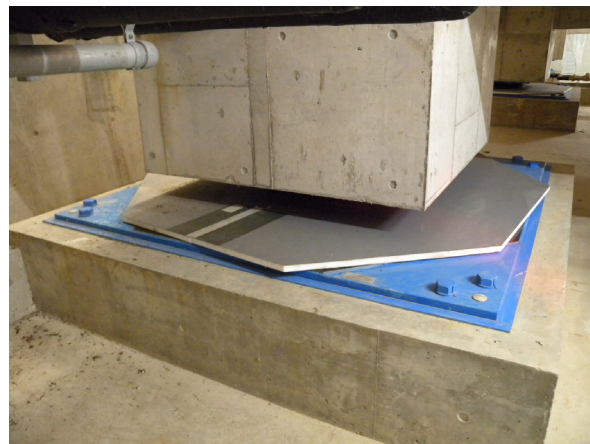


写真 5. 7. 2-25 弾性すべり支承の状況 (すべり面保護材のずれ)



写真 5. 7. 2-26 U形鋼材ダンパーの状況



写真 5. 7. 2-27 K-NET 山鹿観測点

(5) 建築物E (事務所)

建築物Eは、熊本市中央区に位置する施工中の免震建築物で、上部構造は鉄骨造5階+地下1階+屋上工作物(鉄塔)である。

本建築物は施工中(躯体については5階まで及び鉄塔の一部の工事が終了した段階)で敷地外周に鋼板による仮囲いやフェンス等が配置され、免震層内への立ち入り調査等はできなかった。現場担当

者へのヒアリングでは、免震層内には天然ゴム系積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴム、直動転がり支承及びオイルダンパー（いずれも基数未確認）が設置されており、工事中であるため免震層が動かないよう止め付けていたターンバックル等が本震の際には外れてしまったが、上部構造は無傷とのことであった。

（6）建築物F（宿泊施設）

建築物Fは、熊本市中央区に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、次のとおりである。

- ・高減衰積層ゴム・・・12基
- ・オイルダンパー・・・4基

上部構造はRC造12階建てである。

免震層に罫書き式変位計等の設置はないが、免震層の変位の発生に伴う痕跡として、クリアランス部に設けられた配管用の吊り下げボルトの変形（写真 5.7.2-28）、オイルダンパー軸部の摺動痕、オイルダンパーの周囲柵等への接触痕（写真 5.7.2-29）などにより、南に約 28cm、西に約 18cm 程度（北及び東方向については不明）の変位が生じたものと考えられる。さらに、積層ゴムの最上層部分にはわずかな凹凸が見られたが（写真 5.7.2-30）、大きなせん断変形により積層ゴムのゴム部分（積層された鋼板の間にあるゴム）が若干外部に膨らみ出したものと考えられる。



写真 5.7.2-28 配管吊り下げ用ボルトの変形（ボルトの接触痕から擁壁まで約 28cm）

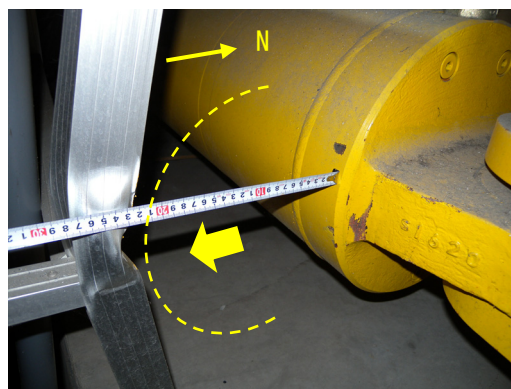


写真 5.7.2-29 オイルダンパー胴部の移動・接触に伴う周囲柵の変形

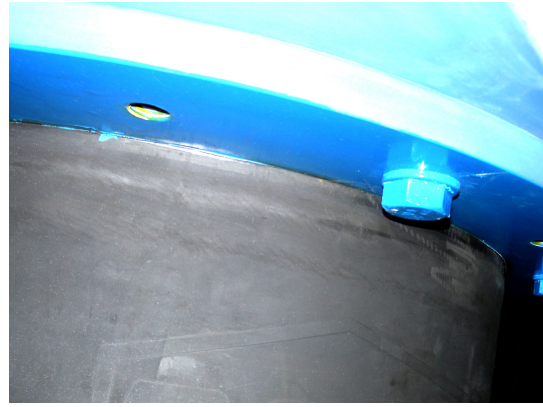
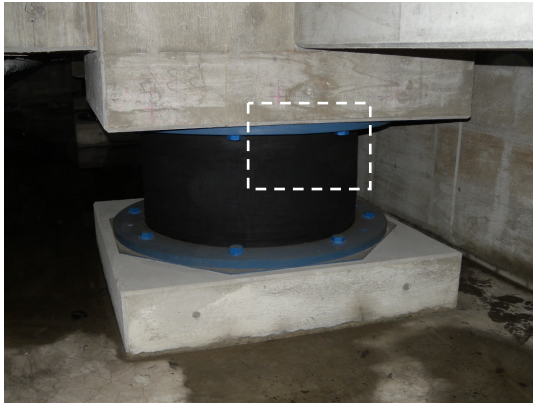


写真 5. 7. 2-30 積層ゴムの状況とゴム部分の変状 (右図は左図囲み部分の拡大)

事務員（2名）へのヒアリングでは、次の回答があった。

- ・前震、本震共に宿泊室及び1 F 食堂ではいずれも被害（備品落下等も含む）は見られなかった。
- ・前震時に、1階事務室の隅に置いていたコピー機（写真 5. 7. 2-31）が約 30cm 移動した。
- ・本震時に、5階宿泊室での姿見の転倒及び1階事務室のパーティション（写真 5. 7. 2-32）の転倒があった。
- ・本震直後には、免震建築物であるとして1階ロビー内に周辺の通行人も含め約 50 人が避難していた。
- ・他の宿泊施設では、客室のTV転倒やエレベータ停止などの被害で営業できないものがあったが、この施設は継続して営業が可能だった。
- ・免震建築物の揺れ方は、ゆっくりしているが歩けるほどではなく、免震とわかっていても恐怖感のあるものであった。ただし、継続して営業可能だったことなどから、免震の有効性は高いと感じている。
- ・本震の特徴として、初期の上下動が大きかった。前震はそのような感じはなかった。



写真 5. 7. 2-31 移動したコピー機



写真 5. 7. 2-32 転倒したパーティション

(7) 建築物G（共同住宅）

建築物Gは、熊本市中央区に位置する2棟の免震建築物で、中間に配置された非免震のC棟（渡り廊下兼集会場、地上2階）を挟んで、RC造14階建ての基礎免震であるA棟と、RC造11階建ての

中間階免震であるB棟（免震層は2階床下）が建てられている。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、図 5.7.2-3 及び次に示すとおりである。

A棟 ・高減衰積層ゴム・・・15基

B棟 ・高減衰積層ゴム・・・15基（中間階免震部分）及び1基（外階段直下）

居住者へのヒアリングでは、前震より本震の方が縦揺れなどを強く感じ、実際に前震では特に使用上の支障がなかった渡り廊下のエキスパンションジョイント部が本震で破損し、避難経路でもあったことから除去の必要が生じたこと、また、A棟とB棟が角度を付けて配置されており、南北方向が張り間方向になるA棟の方が家具の転倒などの被害の報告が少ないことから、主要な地震動の方向は南北方向と推測されること（張り間方向の戸境壁に家具の背を付けた場合、揺れが南北方向であれば倒れにくい家具の長辺方向で耐えられることになるため）等の回答があった。また外装タイル等について、落下等の被害は見られなかったとのことであった。その他、前震後の時点では建物内に留まっていた住民の多くが、本震後には隣接する駐車場に避難（車中泊）したとのことであった。さらに、本建築物については居住者を対象としたアンケート調査も実施しており、その結果からは大半の居住者は免震効果を実感したと考えられる（5.7.4項参照）。

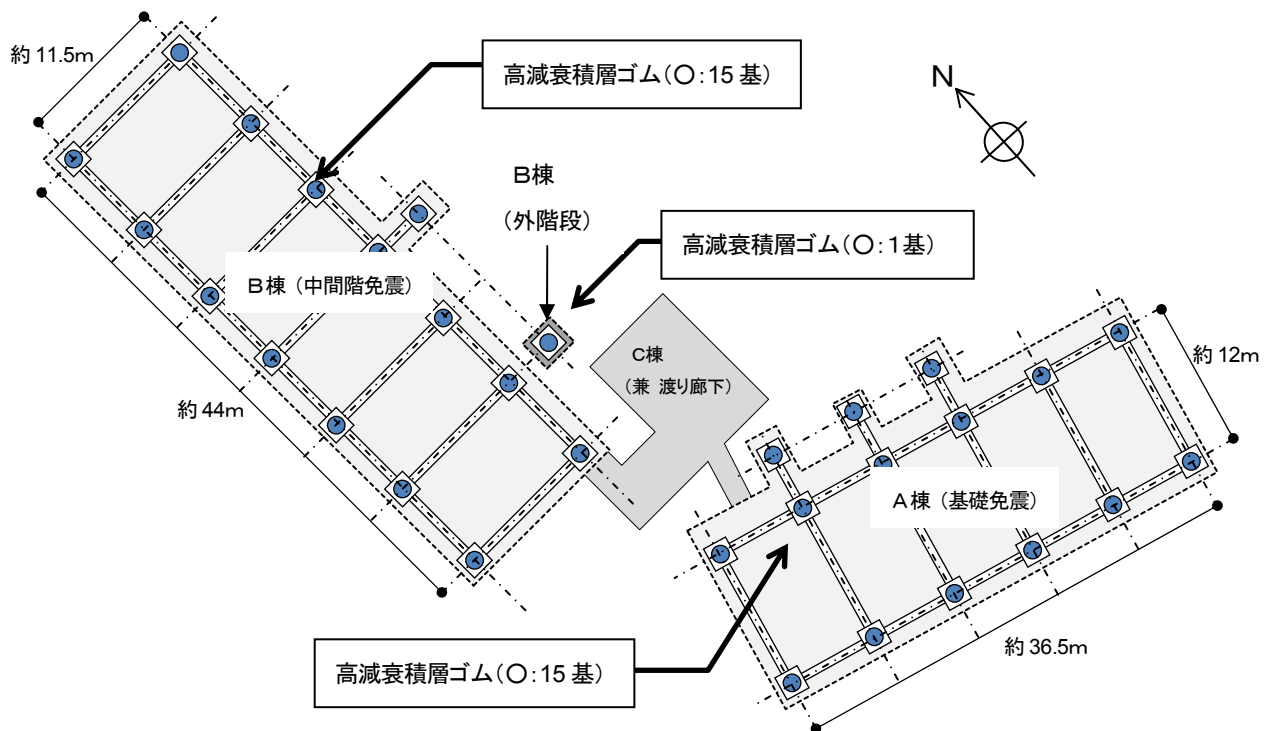


図 5.7.2-3 免震材料配置図（略図）

(i) A棟の被害状況

免震層に罫書き式変位計等の設置はないが、A棟では、免震層の変位に伴うものと見られる痕跡として、自転車置き金の具の変形及び接触、免震層周囲の石の移動、犬走り部分の周囲への接触、エントランス部周囲で柵の脱落等の変状があり（写真 5.7.2-33～写真 5.7.2-36）、北に約 30cm 程度の変位が生じたものと考えられる（他の方向は不明）。

A棟とC棟をつなぐ渡り廊下にはエキスパンションジョイントが設けられていたが、本震後に通行に際し脱落等の危険を生ずる恐れがあり、カバー（天井被覆）が撤去された状態であった（写真 5.7.2-37）。

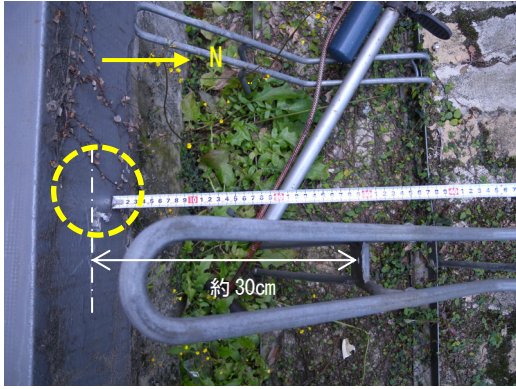


写真 5.7.2-33 自転車置き金の接触跡

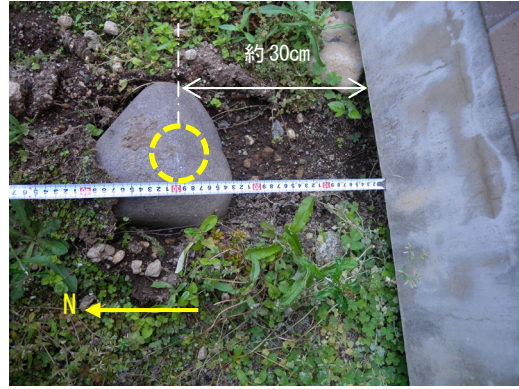


写真 5.7.2-34 免震層周囲の石の移動跡

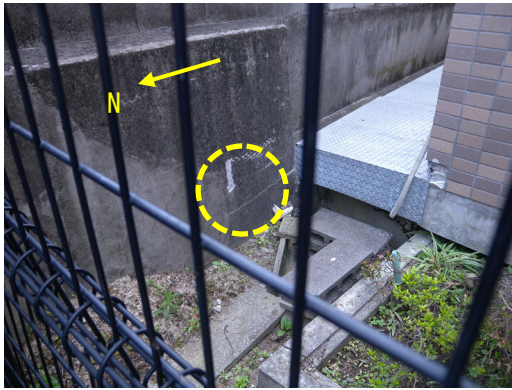


写真 5.7.2-35 犬走り部分の周囲への接触跡

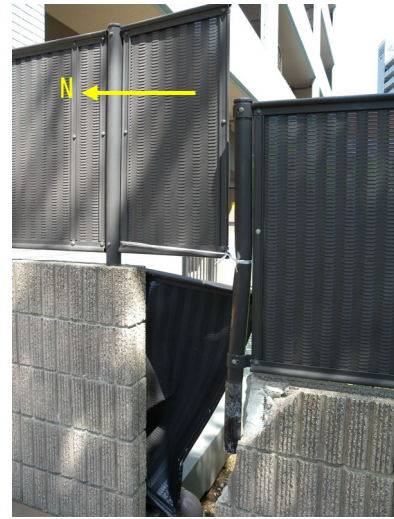


写真 5.7.2-36 エントランス部変形・脱落



写真 5.7.2-37 渡り廊下エキスパンション部の状況（天井被覆を撤去済み）



また、A棟の積層ゴム支承で、北に3cm程度の残留変位が観察された（写真5.7.2-38）。この建築物では免震層の定期的な点検の一環として下げ振りをを用いた変位の観測を実施しており、管理会社によれば直近の点検時（約一か月前、3月）にはほぼ原点を示していたとのことで、この残留変位は今回の一連の地震で生じたものと考えられる。

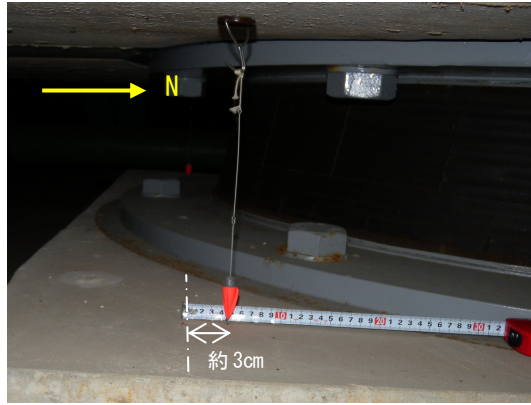


写真 5. 7. 2-38 積層ゴムの残留変形

(ii) B棟の被害状況

中間階免震となっているB棟は、図 5. 7. 2-3 及び図 5. 7. 2-4 に示す通り免震部分から構面外に張り出して立ち下げる形式で外階段を設けており、階段の脚部の地下にも積層ゴム支承が設置されている。この外階段の被害が大きく、1階階段中央の壁部分のせん断破壊によって使用禁止となっていた（写真 5. 7. 2-39、写真 5. 7. 2-40）。損傷部分の周囲の階段踊り場に設けられた柵の破損の状況から、上部構造が大きく南側に動いた際に、階段下の積層ゴムに生じた水平変形に対して階段中央の壁部分（厚さ 250mm、縦横配筋 D10(SD295A)@200 ダブル、鉄筋端部は閉鎖なし）が面外方向に追従できず、大きく破壊したものと考えられる。

また、階段下の積層ゴム支承について、上側の取付け基部の損傷（かぶりコンクリート部分の剥落）や鉛直クリアランス部の変状も観察された（写真 5. 7. 2-41、写真 5. 7. 2-42）。

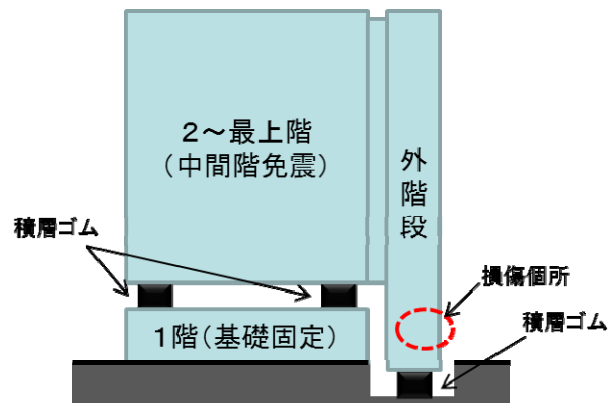


図 5. 7. 2-4 B棟（中間階免震）及び階段損傷箇所



写真 5. 7. 2-39 外付け階段の被害状況① (階段南側)



写真 5. 7. 2-40 外付け階段の被害状況② (階段北側)



写真 5. 7. 2-41 階段下に設置された積層ゴム支承の取り付け基部の損傷 (左図は右図囲みの拡大)



写真 5.7.2-42 鉛直クリアランス部分の変状

(8) 建築物H (共同住宅)

建築物Hは、熊本市中央区に位置する2棟の免震建築物で、中間に配置された非免震の渡り廊下(地上2階)を挟んで、いずれもRC造14階建ての中間階免震であるE棟・W棟(共に免震層は2階床下)が建てられている。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、それぞれ次のとおりである。

E棟 ・高減衰積層ゴム・・・8基(中間階免震部分)及び1基(外階段直下)

W棟 ・高減衰積層ゴム・・・15基(中間階免震部分)及び1基(外階段直下)

免震層に罫書き式変位計等の設置はないが、免震層の変位の発生に伴う痕跡として、免震層内の配管について、非免震部分である鉄製の架台との接触部分での断熱被覆に約70cmにわたる損傷、可動式の配管基部に約40cmのこすれ跡が見られ(写真5.7.2-43、写真5.7.2-44)、北東—南西方向に両振幅70cm程度の変位が生じたものと考えられる。

この建築物も5.7.2(7)項の建築物Gと同様に外側に張り出して独立した免震基部を設ける形式の外階段があり、階段部分の損傷等の被害が生じていた(写真5.7.2-45)。また、エキスパンション部の損傷として、カバー(天井被覆)の破損及び二次壁の変形等があった(写真5.7.2-46～写真5.7.2-48)。天井被覆については、管理会社によれば損傷することを想定していたとのことであったが、避難経路部分であることや損傷後の部材の落下の危険があるため、調査時には除去されていた。

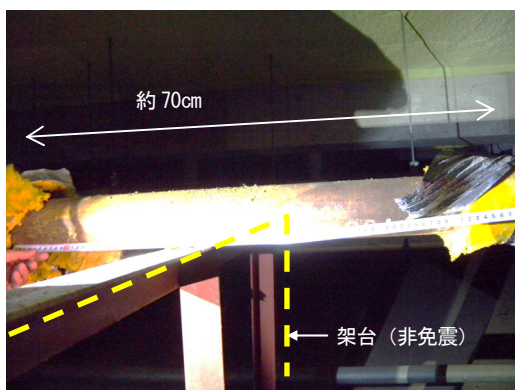


写真 5.7.2-43 配管の断熱被覆の損傷

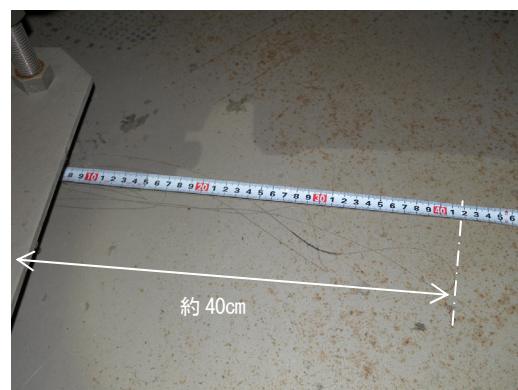


写真 5.7.2-44 可動式の配管基部のこすれ跡



写真 5.7.2-45 外階段の被害



写真 5.7.2-46 渡り廊下エキスパンション部の状況①（天井被覆を撤去済み）

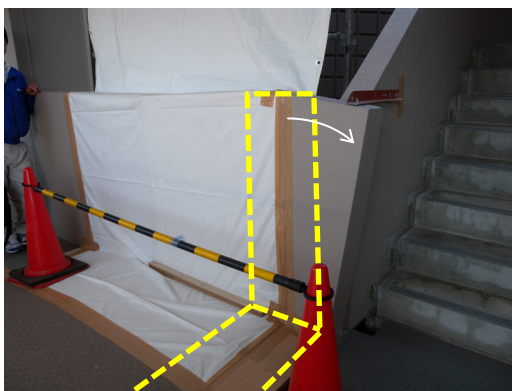


写真 5.7.2-47 同 状況②（二次壁の変形）



写真 5.7.2-48 同 状況③（カバーの変形）

（9）建築物Ⅰ（共同住宅）

建築物Ⅰは、熊本市中央区に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、図 5.7.2-5 及び次に示すとおりである。

- ・天然ゴム系積層ゴム・・・20基
- ・U形鋼材ダンパー・・・8基
- ・鉛ダンパー・・・・・・・・8基

上部構造はRC造15階建てである。建築物入口付近に掲示されていた免震表示（写真5.7.2-49）によれば、大地震時の想定（設計）変位は32cmである。

平面は3×3スパンでほぼ正方形であり、免震層内では、5.7.2（3）項の建築物Cと同様の構造的な被害として、8基取り付けられた鉛ダンパーの全てにおいて、取付け基部と床スラブとの接合部で破壊を生じていた（写真5.7.2-50）。取付け基部の主筋は床スラブ内に折り曲げて定着されていたが、この定着部分（D25、90度フック、定着長4d）が耐力不足によって抜け出すことで破壊したものと考えられる。設計図書に基づくスラブの厚さは200mmであった。

また、8基のU形鋼材ダンパーが取付け基部を免震層外周の大梁に添わせるように配置されていたが、3基で被害を生じていた。取付け基部が大梁から引き剥がされるように分離し鉛ダンパー同様にスラブとの接合部で破壊を生じたもの（写真5.7.2-51）があった。他に取付け基部が大梁に対し偏心しないよう取り付けられており被害が見られなかった鋼材ダンパー（写真5.7.2-52）も存在したことから、一体化が十分でなかったために当該部分に想定外の力が作用したためと考えられる。この損傷は床スラブの上面にあたる1階の駐車場部分まで達していた（写真5.7.2-53）。ただし、大梁との一体化が図られていても、梁下端面とダンパー部間で損傷を生じている場合があり（写真5.7.2-54）、基部に対して周囲の部材（大梁）が偏心して取り付けられていることが却って被害を拡大したと考えられる。これらの鋼材ダンパーの被害の要因としては、鉛ダンパーの被害（あるいは建築物Cの被害）と同様に当該部分の設計にあたって地震時にダンパーの取付け基部に生ずる応力の想定が十分でなかったことが考えられる。なお、写真5.7.2-54ではコアコンクリート部分が落下する重度の損傷に至っているが、この写真は2016年7月上旬（本震後約3か月後）に撮影したもので、別途本震後から約1か月までの期間に実施した現地調査の時点では顕在化しておらず、その後の余震で被害が拡大したものと考えられる。その他、柱直下の位置にない小型の積層ゴム支承の取り付け基部のスラブ下面にひび割れが確認された（写真5.7.2-55）。

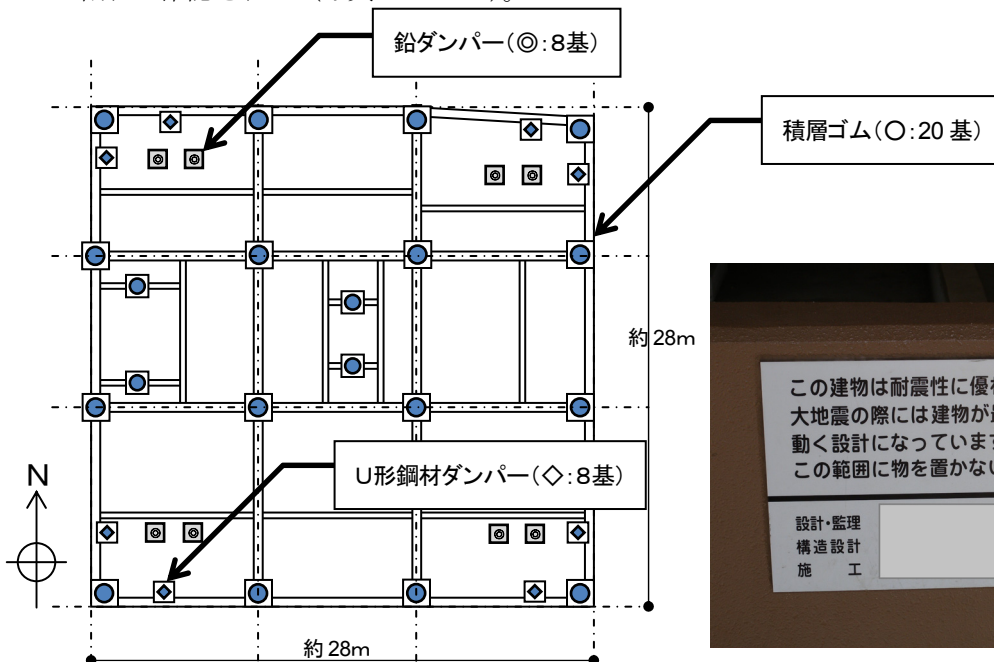


図 5.7.2-5 免震材料配置図（略図）

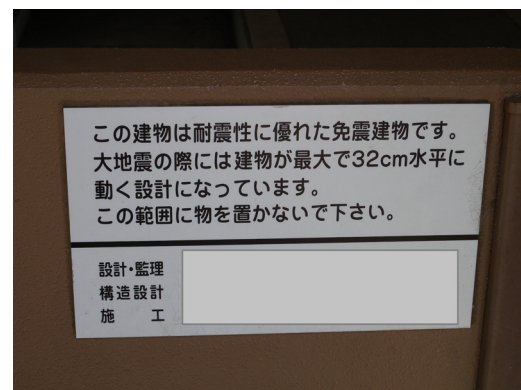


写真 5.7.2-49 免震表示



写真 5. 7. 2-50 鉛ダンパー取付け基部の損傷



写真 5. 7. 2-51 鋼材ダンパー取付け基部の損傷①（北西部）

写真 5. 7. 2-52 無被害と見られる鋼材ダンパー及び取付け基部（北東部）



写真 5. 7. 2-53 免震層上面の床スラブの損傷（西側外周部の大梁内側にあたる部分）



写真 5. 7. 2-54 鋼材ダンパー取付け基部の損傷②（南東部）



写真 5. 7. 2-55 小型の積層ゴム取付け基部のひび割れ

その他、エキスパンション部分で、免震部分と非免震部分の双方に止め付けられていた手すりの変形が見られた（写真 5. 7. 2-56）。また、このエキスパンション部分の移動痕、犬走り部分と周囲の接触痕（写真 5. 7. 2-57）からは、少なくとも 10cm 程度、またはそれ以上の免震層の水平変位が生じたことが考えられる。建築物の北西角部ではエキスパンション部分の鉄板に 5 cm 程度の鉛直方向の隙間が見られたほか、敷地境界の塀の傾斜があり（写真 5. 7. 2-58）、地盤の沈下に起因する現象と考えられる。



写真 5.7.2-56 エキスパンション部の変状（手すりの変形、移動跡）

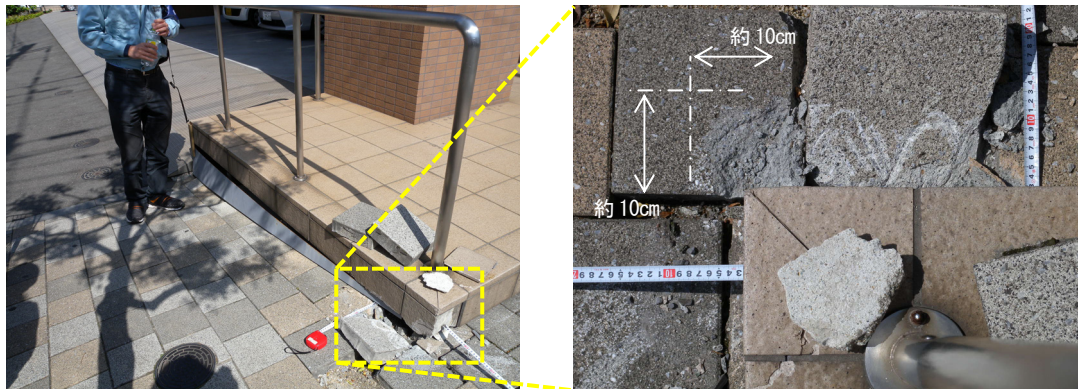


写真 5.7.2-57 犬走り部分の周囲との接触跡（右図は左図囲み部分の拡大）



写真 5.7.2-58 周囲における地盤沈下の痕跡（隣接する塀の傾斜、エキスパンション部の隙間）

管理会社及び住民へのヒアリングでは、上部構造には全くクラックが見られず、本震後もライフラインが止まらず生活が継続できた、室内の被害は周囲の共同住宅と比較しても少なく、家具の転倒の報告もなかった等、免震の効果は発揮されたと思うとの回答があった。さらに、本建築物については居住者を対象としたアンケート調査も実施しており、その結果からは大半の居住者は免震効果を実感したと考えられる（5.7.4項参照）。

(10) 建築物J (倉庫)

建築物Jは、菊池郡に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、次のとおりである。

- ・天然ゴム系積層ゴム・・・6基
- ・鉛プラグ入り積層ゴム・・・19基
- ・弾性すべり支承・・・・・・・・9基

上部構造は柱SRC造はり鉄骨造の2階建てである。

免震層内に罫書き式変位計が設置されており、東に約32cm、北西に約23cmの軌跡が確認された(写真5.7.2-59、罫書き板取り外し後に別途撮影したもの)。免震材料には異常は見られなかったが、免震層内部及び周辺で、鉛直クリアランス部のゴムカバー(免震スカート)のはみ出し、エキスパンション部の破損などが見られた(写真5.7.2-60、写真5.7.2-61)。また、周囲地盤に最大5cm程度の沈下の形跡があった。

その他、免震材料の周囲、建築物の周囲に、上部構造の可動範囲を示すと思われるマーキングが行われていた(写真5.7.2-62。写真5.7.2-60の白線も同様)。

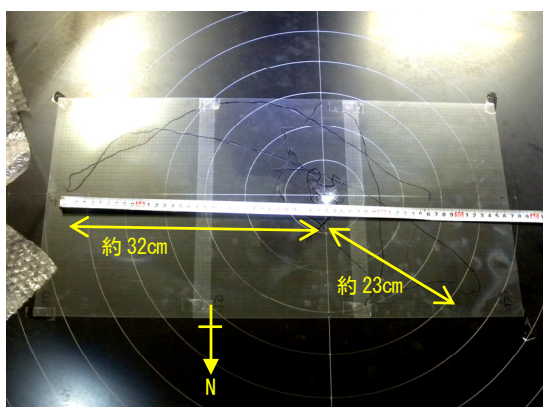


写真 5.7.2-59 罫書きの軌跡 (フィルムを重ねて写し取ったもの。同心円は5 cm 間隔)



写真 5.7.2-60 免震スカートのはみ出し



写真 5.7.2-61 エキスパンション部の破損と取り外されたカバー

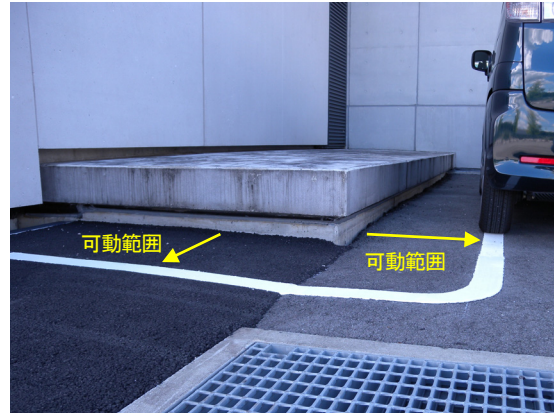


写真 5. 7. 2-61 免震材料及び建築物周辺のマーキング

5.7.3 地震動特性に関する検討

今回の被災地域に存する免震建築物に作用した地震動の特性について、各建築物の近傍の観測点のうち5地点での地震記録を用いた検討を実施した。

図5.7.3-1に、K-NET一の宮、JMA西区春日、中央区大江、K-NET山鹿及びK-NET大津で観測された本震時における擬似速度応答スペクトルを示す。参考として、建築基準法令による第二種地盤（地震地域係数 $Z=0.9$ ）での擬似速度応答スペクトルを黒点線で示す。建築物Aの近傍（約4km東）のK-NET一の宮において、周期約3秒の長周期成分が大きくなっていることが特徴的である。

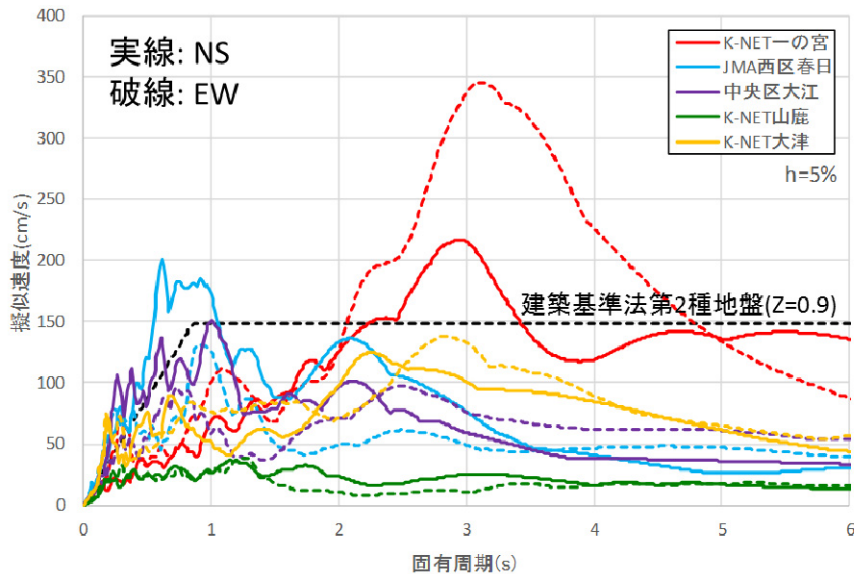


図 5.7.3-1 擬似速度応答スペクトル

図5.7.3-2は、各地震記録による変位応答スペクトルである。減衰定数は20%とした。調査対象とした建築物のうち設計図書等から情報が得られているものについては、設計時における免震層の予測変位（■印）とクリアランス（◇印。建築物Gのみ、クリアランス600mmより免震材料の限界変形430mmが小さく、免震層の変位がクリアランスに達する前に免震材料の破断等の限界に至るおそれがあるので、当該限界変位を用いて記入）を各建築物の等価周期（免震周期）と対応させた上で、それぞれの建築物の近傍の観測点に対する線の色と同色でプロットしている。また、野書き変位が得られている建築物A・B・D・Jについては、その最大振幅（片側、●印）を参考として同色のプロットで記入している。近傍の観測点での地震記録の変位応答スペクトルと、これと同色のプロット点で示す設計時の免震層の予測変位を比較した場合、建築物AにおいてはK-NET一の宮のNSとEWの両方向で、建築物JにおいてはK-NET大津のNSとEWの両方向で、それぞれ応答変位が予測変位を上回る結果となっている。

今回の調査により観察された免震層の変位軌跡の大きさと、近傍の観測点での地震記録による変位応答スペクトルの大きさとは、かなりの相関性が認められた。すなわち、周期2秒以上において、明らかにK-NET一の宮の変位応答スペクトルが他より大きくなっているが、これは、今回調査した建築物の中で最も大きな変位が確認された建築物Aの野書き（両振幅で約90cm）と対応している。一方、K-NET山鹿の変位応答スペクトルが最も小さいが、その近傍に位置する建築物Dの免震層変位は最も小さく、野書きから観察された変位は両振幅で約16cmに留まっている。K-NET大津と、熊本市内のJMA

西区春日及び中央区大江の変位応答スペクトルを比較した場合、K-NET 大津がやや大きくなっているが、これらはほぼ同程度の大きさと言える。これらの観測点の近傍に位置する建築物の免震層では、概ね両振幅で 60cm~70cm の変位が観察されている。

このように、今回各建築物について把握した地震時の変位は、極めて稀に生じる地震動（2次設計レベルの地震動）に対し、設計時において予測した免震層変位とほぼ等しいかやや小さめの値であり、これらの地区の免震建築物には、2次設計レベルの地震力が作用したものと考えられる。

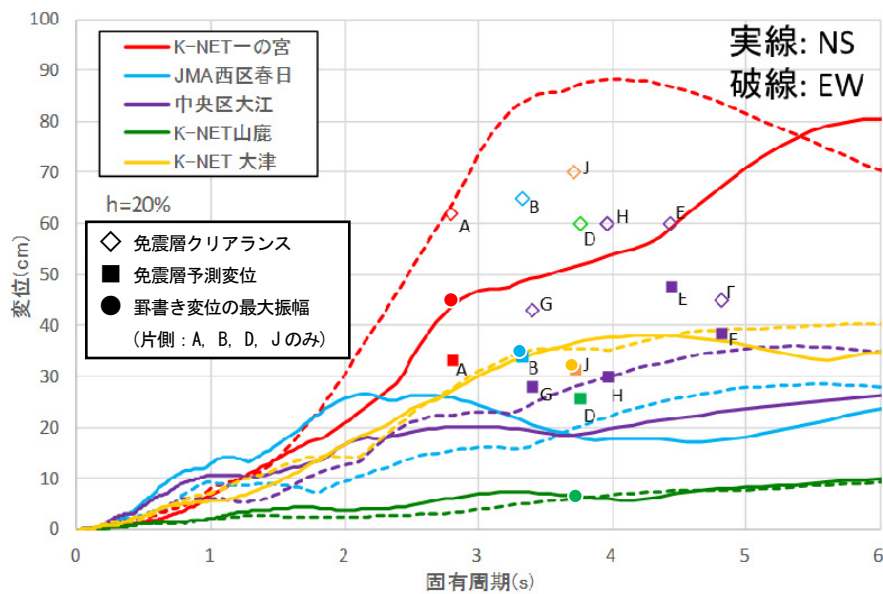


図 5.7.3-2 変位応答スペクトル (h=20%) と免震建築物の設計情報 (免震層のクリアランス及び設計時予測変位)・罫書き変位の比較

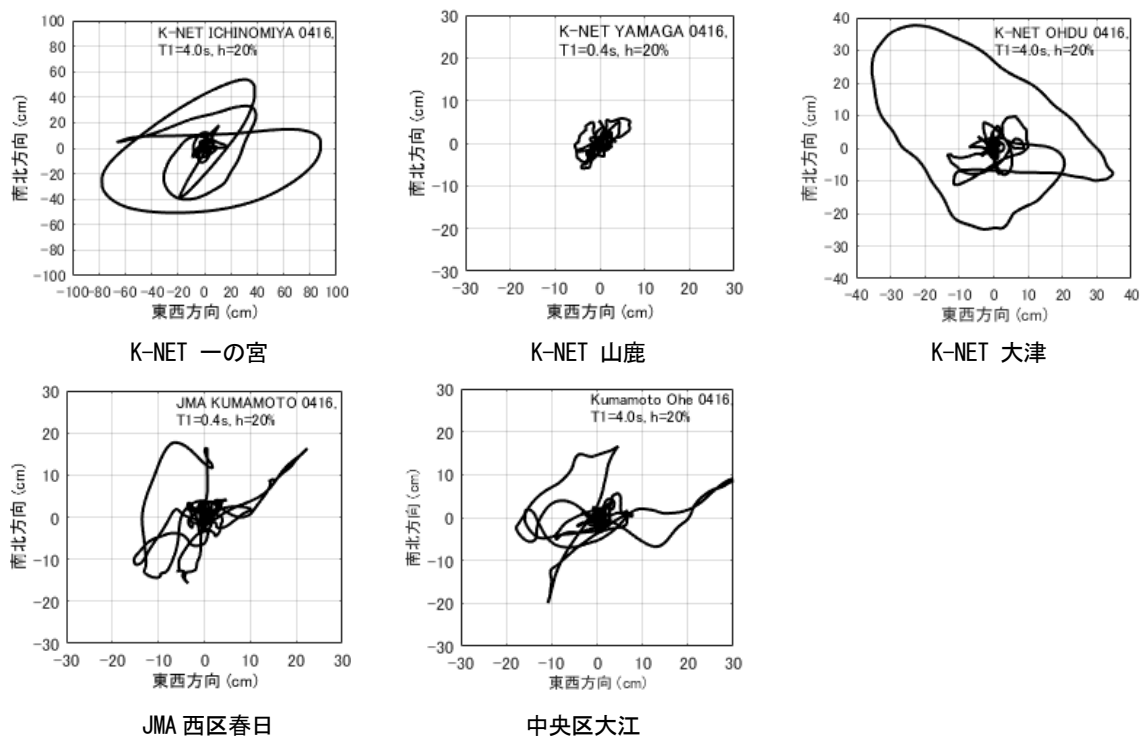


図 5.7.3-3 変位軌跡

図 5.7.3-3 は、各地震動の NS 及び EW 成分を、固有周期 4.0 秒で減衰定数 0.2 (20%) の 1 質点モデルに X 及び Y の両方向に作用させたときの変位軌跡である。

建築物 A の罫書き記録 (写真 5.7.2-1) と K-NET 一の宮、また建築物 B の罫書き記録 (写真 5.7.2-10) と JMA 西区春日を比較した場合、これらには類似性が認められる。また、中央区大江と JMA 西区春日の軌跡は類似しているが、中央区大江の方が東西方向の変位がやや大きくなっている。建築物 G (熊本市中央区) の外側避難階段は EW 方向にせん断破壊が生じているが、このような地震動の方向性に対応しているとも考えられる。

図 5.7.3-3 の変位軌跡は、1 質点モデルの固有周期を 4.0 秒、減衰定数を 0.2 (20%) と仮定しており、当然、これらは実際の免震建築物の値とは異なる。しかしながら、図 5.7.3-3 の変位軌跡は、現地調査で観測した変位軌跡や変位の痕跡とある程度対応している。このことは、最寄りの観測点の地震記録から免震建築物の挙動を推定し、建設地に生じた地震動の特性を評価できる可能性があることを示していると言える。

5. 室内の揺れの状況

- (1) 吊下げ物 a. 揺れなかった b. わずかに揺れた c. 大きく揺れた d. 落下した e. その他
- (2) 食器類 a. 落ちないし音もしない b. 音を立てたが落ちなかった c. 一部落ちた
d. かなり落ちた e. その他
- (3) 家具の転倒 a. なかった b. あった c. その他

図 5.7.4-1(c) アンケート記入票 1 (地震時の様子③：室内の揺れの状況)

免震建物について

6. 免震構造の有効性

- (1) この建物が免震構造であることを知っていましたか a. はい b. いいえ
- (2) 免震構造の有効性を実感できましたか
- a. 一般の建物と比較して耐震性に優れている
 - b. 一般の建物と比較してもあまり変わらない
 - c. 今回の地震だけではよく分からない

7. その他、免震建物に関する感想をお聞かせください

図 5.7.4-2 アンケート記入票 2 (免震建物について)

(3) アンケート調査結果

1) 建築物C (熊本市) におけるアンケート結果

図 5.7.4-3 は建築物Cの記入者情報である。8割が女性であり、ほぼ全てが20代未満と20代であるという特徴がある。また、階数による分布では中間階がやや多く、上層階(11階以上)・中間階(6~10階)・下層階(1~5階)と分類して分析しても、揺れの感じ方等の傾向は大きく変わらない。

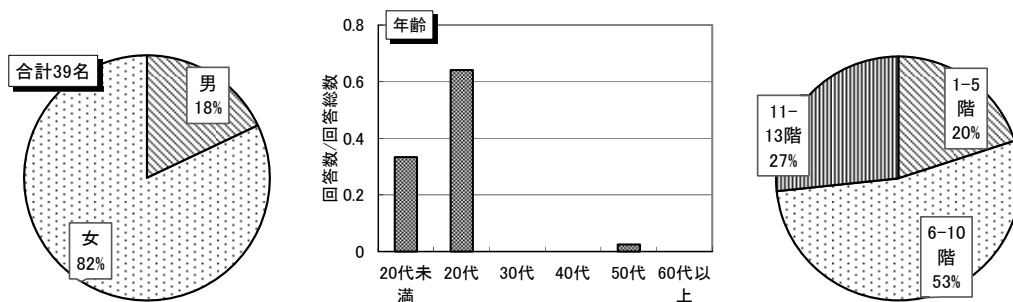
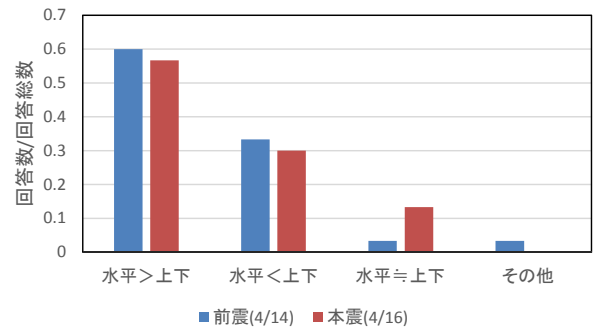
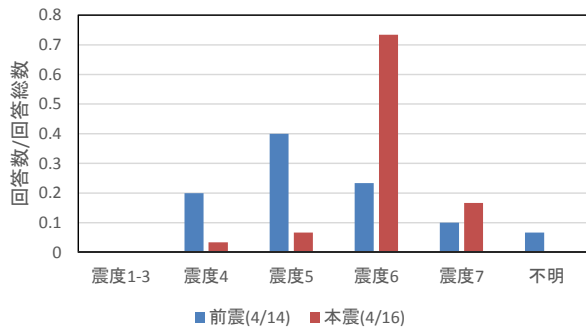


図 5.7.4-3 建築物Cの記入者情報

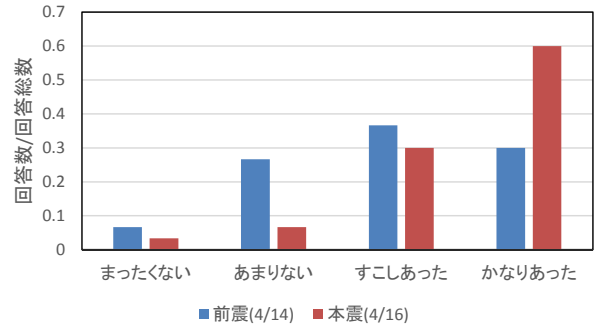
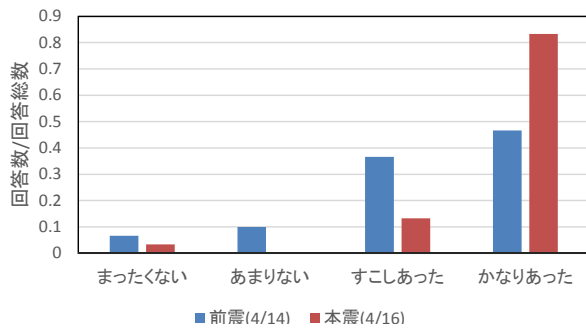
図 5.7.4-4-1 及び図 5.7.4-4-2 は、揺れの感じ方について前震(4/14)と本震(4/16)の比較結果である。(a)の震度にした場合は、前震では震度5を中心に分布しているのに対し、本震では震度6以上が90%程度を占めた。(b)の上下と水平の揺れの感じ方であるが、上下より水平のほうが大きいと感じる人の方がやや多い。前震と本震で、傾向はほぼ同じである。(c)の恐怖感については、「かなりあった」が前震では40%程度、本震では80%程度であった。(d)の不快感については、前震では「あまりない」「少しあった」「かなりあった」それぞれの意見が多いが、本震では60%が「かなりあった」と回答している。



(a) 震度にした場合

(b) 上下と水平の揺れ

図 5.7.4-1 揺れの感じ方①



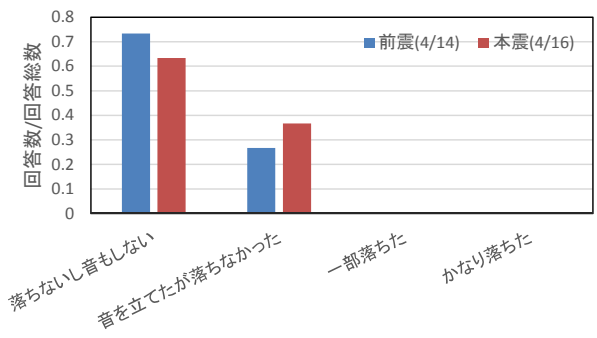
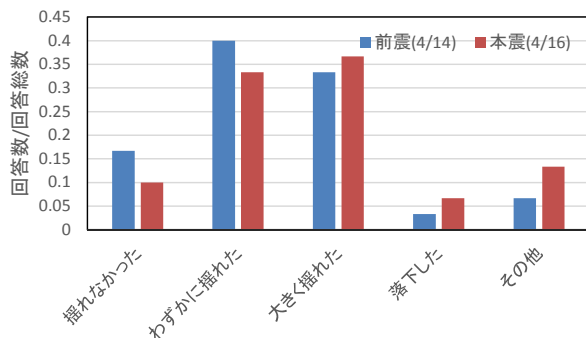
(c) 恐怖感

(d) 不快感

図 5.7.4-2 揺れの感じ方②

図 5.7.4-5 は吊り下げ物や食器の状況に関するアンケート回答の比較結果である。(a)の吊り下げ物は、「揺れなかった」「わずかに揺れた」「大きく揺れた」という回答が多いが、「落下した」という回答は前震・本震ともに 10%以下であった。(b)の食器類は、「落ちないし音もしない」「音を立てたが落ちなかった」という回答が全てで、「一部落ちた」「かなり落ちた」という回答はなかった。家具に関しては、前震・本震ともに、「転倒はなかった」という回答が約 98%であった。

回答者のうち、免震構造であったことを事前に知っていた人は、約 92%である。今回の地震を通して、「一般の建物と比較して耐震性に優れている」と感じた回答が約 98%であった。



(a) 吊り下げ物

(b) 食器類

図 5.7.4-5 室内の揺れの状況

2) 建築物G（熊本市）におけるアンケート結果

図 5.7.4-6 は建築物Gの記入者情報である。回答人数が少ないため、階による違いは分析していない。

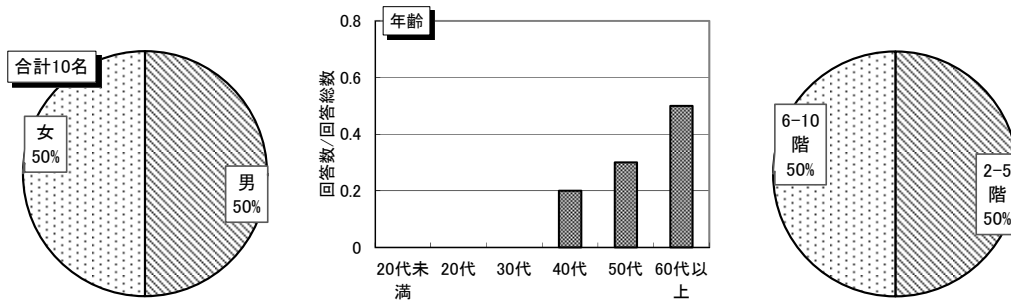


図 5.7.4-6 建築物Gの記入者情報

図 5.7.4-7-1 及び図 5.7.4-7-2 は、揺れの感じ方について前震(4/14)と本震(4/16)の比較結果である。(a)の震度にした場合は、前震では震度5と6が多いのに対し、本震では震度6以上が70%程度であった。(b)の上下と水平の揺れの感じ方であるが、上下より水平のほうが大きいと感じる人の方がやや多い。(c)の恐怖感については、「かなりあった」が前震では30%程度、本震では全員であった。(d)の不快感については、前震では「少しあった」「かなりあった」の意見が多いが、本震では90%が「かなりあった」と回答している。

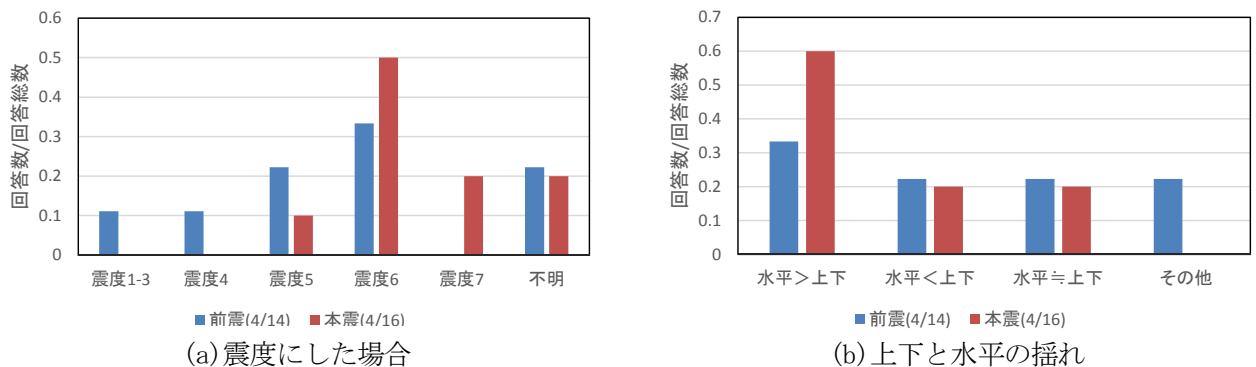


図 5.7.4-7-1 揺れの感じ方①

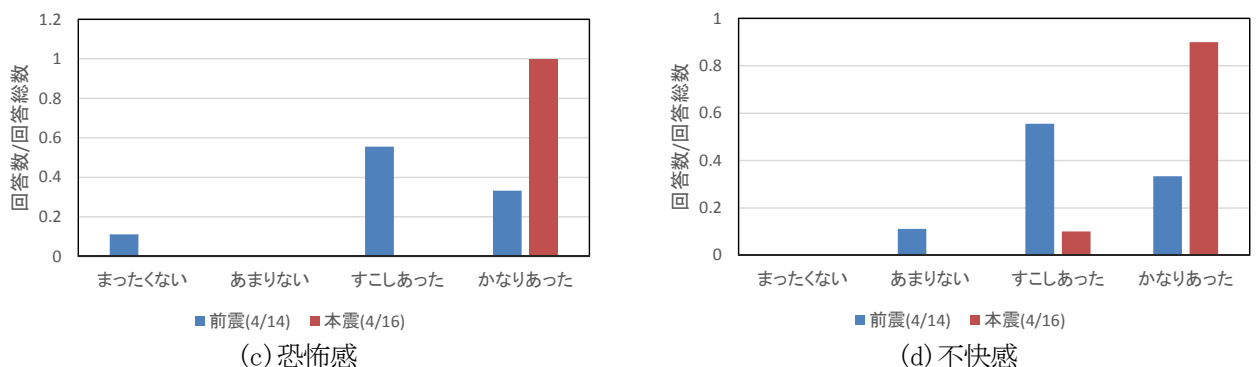


図 5.7.4-7-2 揺れの感じ方②

図 5.7.4-8 は吊り下げ物や食器の状況に関するアンケート回答の比較結果である。(a)の吊り下げ物は、「大きく揺れた」という回答が多いが、「落下した」という回答は本震で10%であった。(b)の食

器類は、前震では「落ちないし音もしない」「音を立てたが落ちなかった」という回答が全てで、本震では「一部落ちた」「かなり落ちた」という回答が60%であった。家具に関しては、前震では、全てが「転倒はなかった」という回答であったが、本震では「転倒はなかった」が50%であった。

回答者のうち、全員が免震構造であったことを事前に知っていた。今回の地震を通して、「一般の建物と比較して耐震性に優れている」と感じた回答が70%であった。

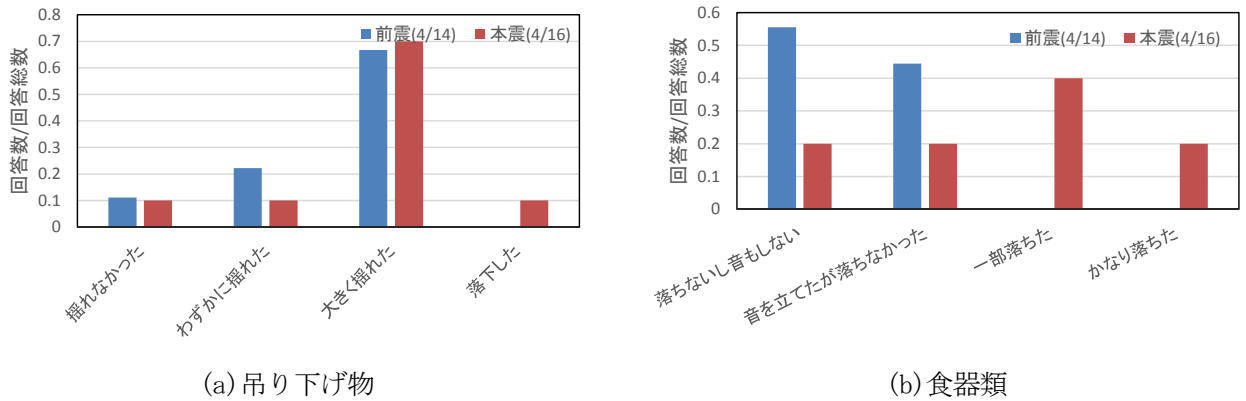


図 5.7.4-8 室内の揺れの状況

3) 建築物 I (熊本市) におけるアンケート結果

図 5.7.4-9 は建築物 I の記入者情報である。回答者のほとんどが 30 代以上である。上層階（11 階以上）・中間階（6～10 階）・下層階（1～5 階）と分類して分析しても、揺れの感じ方等の傾向は大きく変わらない。

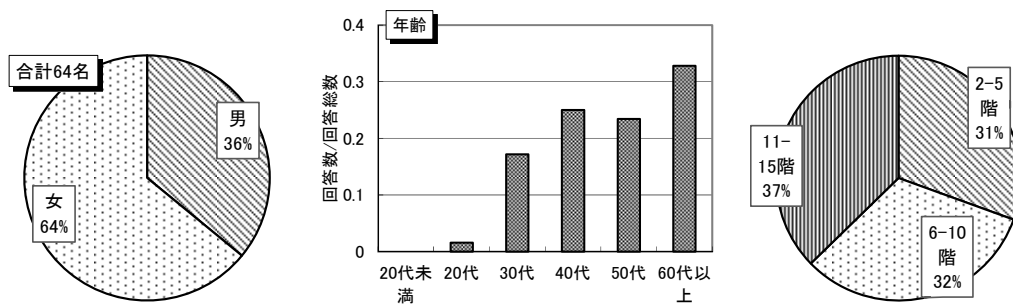
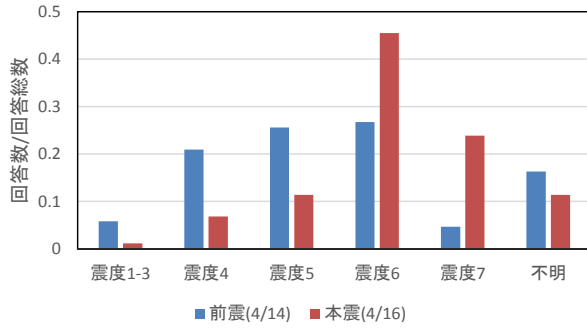
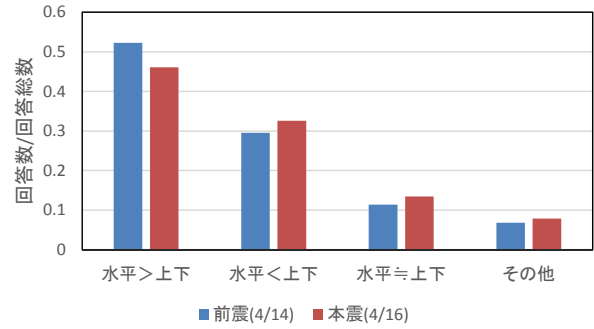


図 5.7.4-9 建築物 I の記入者情報

図 5.7.4-10-1 及び図 5.7.4-10-2 は、揺れの感じ方について前震(4/14) と本震(4/16) の比較結果である。(a) の震度にした場合は、前震では震度 4 から震度 6 に均等に分布しているのに対し、本震では震度 6 以上が 70%程度を占めた。(b) の上下と水平の揺れの感じ方であるが、上下より水平のほうが大きいと感じる人の方がやや多い。前震と本震で、傾向はほぼ同じである。(c) の恐怖感については、「かなりあった」が前震では 50%程度、本震では 70%程度であった。(d) の不快感については、前震では「あまりない」「少しあった」「かなりあった」それぞれの意見が多いが、本震では半数以上が「かなりあった」と回答している。

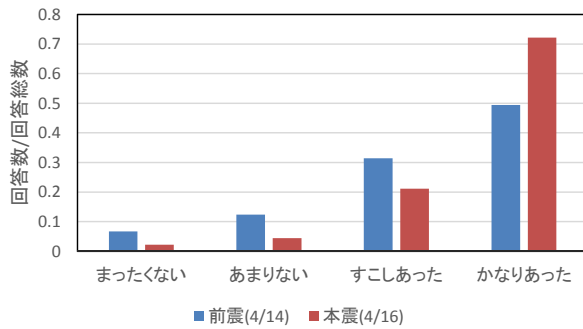


(a) 震度にした場合

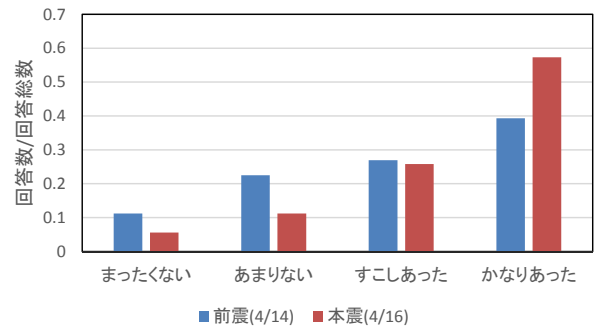


(b) 上下と水平の揺れ

図 5.7.4-10-1 揺れの感じ方①



(c) 恐怖感

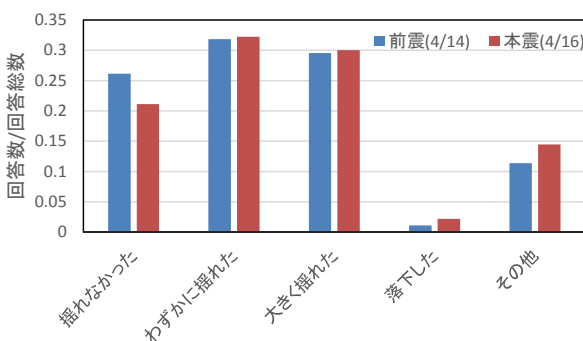


(d) 不快感

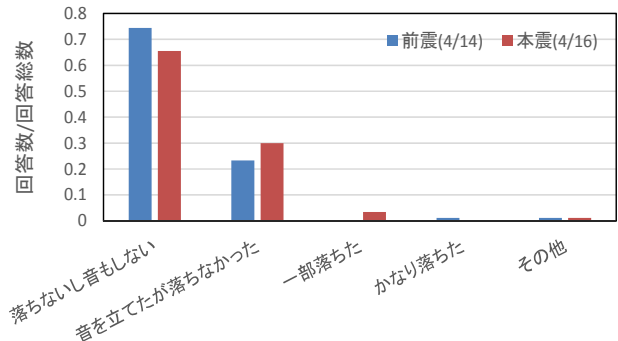
図 5.7.4-10-2 揺れの感じ方②

図 5.7.4-11 は吊り下げ物や食器の状況に関するアンケート回答の比較結果である。(a)の吊り下げ物は、「揺れなかった」「わずかに揺れた」「大きく揺れた」という回答が多いが、「落下した」という回答は前震・本震ともに3%以下であった。(b)の食器類は、「落ちないし音もしない」「音を立てたが落ちなかった」という回答がほとんどで、「一部落ちた」「かなり落ちた」という回答は5%以下であった。家具に関しては、前震・本震ともに、「転倒はなかった」という回答が約98%であった。

回答者のうち、免震構造であったことを事前に知っていた人は、約92%である。今回の地震を通して、「一般の建物と比較して耐震性に優れている」と感じた回答が約98%であった。



(a) 吊り下げ物



(b) 食器類

図 5.7.4-11 室内の揺れの状況

4) 建築物K（八代市）におけるアンケート結果

図 5. 7. 4-12 は建築物Kの記入者情報である。男女半々で年代の偏りもない。人数が少ないため、階による違いは分析していない。

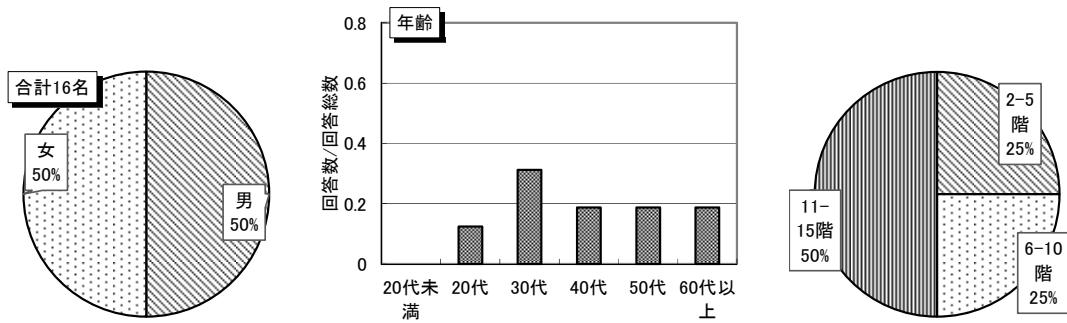


図 5. 7. 4-12 建築物Kの記入者情報

図 5. 7. 4-13-1 及び図 5. 7. 4-13-2 は、揺れの感じ方について前震(4/14) と本震(4/16)の比較結果である。(a)の震度にした場合は、前震では震度5以下が80%以上であるが、本震では震度1-3から震度6までそれぞれ20%~30%程度であった。(b)の上下と水平の揺れの感じ方であるが、上下より水平のほうが大きいと感じる人が多い。(c)の恐怖感については、「かなりあった」が50%程度、「かなりあった」「すこしあった」の合計で約90%であった。(d)の不快感については、本震では「すこしあった」と「かなりあった」の合計が70%以上であった。

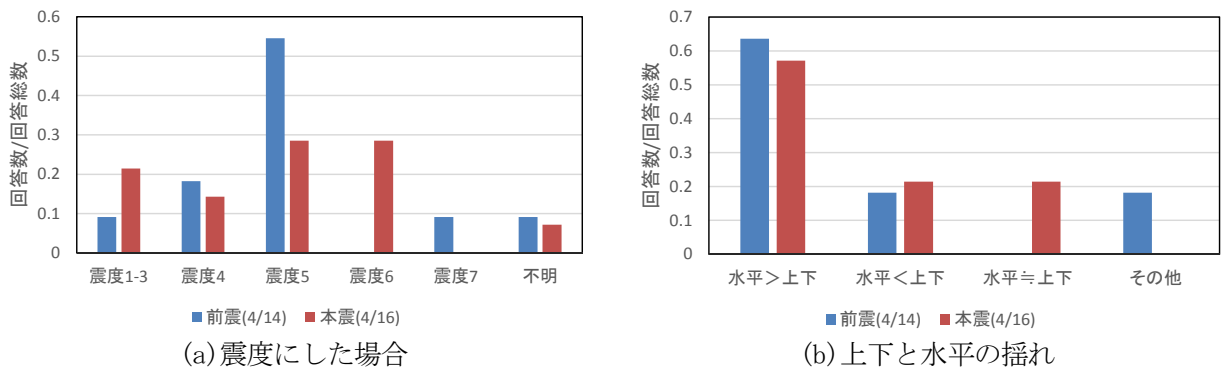


図 5. 7. 4-13-1 揺れの感じ方①

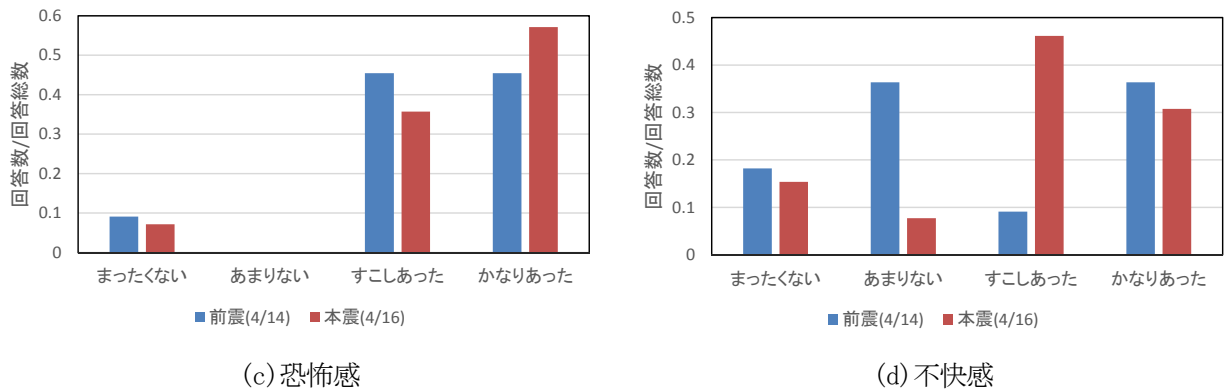


図 5. 7. 4-13-2 揺れの感じ方②

図 5.7.4-14 は吊り下げ物や食器の状況に関するアンケート回答の比較結果である。(a)の吊り下げ物は、「揺れなかった」「わずかに揺れた」「大きく揺れた」という回答がほとんどで、「落下した」という回答は前震・本震ともにゼロであった。(b)の食器類は、すべての回答が「落ちないし音もしない」「音を立てたが落ちなかった」であり、「一部落ちた」「かなり落ちた」はゼロであった。家具に関しては、前震はすべての回答が「転倒はなかった」であり、本震では約 90%が「転倒はなかった」という回答であった。

回答者のうち、免震構造であったことを事前に知っていた人は、約 88%である。今回の地震を通して、「一般の建物と比較して耐震性に優れている」と感じた回答が約 94%であった。

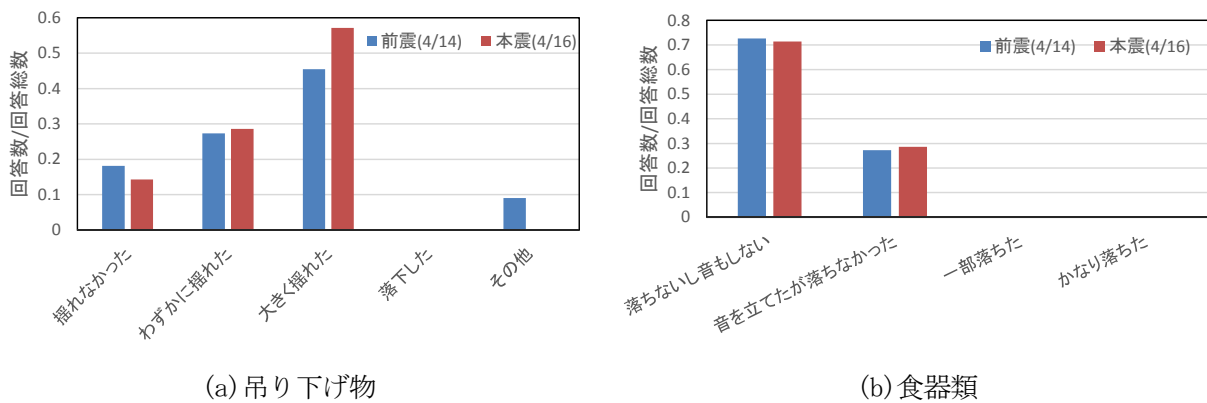


図 5.7.4-14 室内の揺れの状況

5) 免震建築物に対する意見や感想

免震建築物に対するコメントの一部について以下に示す。

①免震建築物の有効性に関する意見

- ・ 免震性の良さが実感出来た。地震後も車中泊なしで部屋で過ごせた。
- ・ 前震、本震共に仕事で、別の建物の 6F に居ましたがそこはかなり揺れ、物が落ちたり散乱しました。帰ってから物一つ落ちておらず、免震構造のすごさを実感しました。
- ・ 外に出るより室内に居たほうが安全だと感じた。
- ・ 室内の物が殆ど動かず、落ちず、倒れず免震のありがたさを強く感じました。

②その他意見

- ・ 縦揺れ（水平方向の揺れに対する免震構造のためと思われたが）は強く感じた。
- ・ 免震機能が何回持つのか不安だった。業者が点検したか不明で、細かなヒビ等も入っていたため、免震といえ恐怖感があった。
- ・ 台風のとくに大きくゆれて地震よりも持続時間が長いので酔いそうで気持ちわるい。
- ・ 今回の地震で免震部のダメージなどを解りやすく住民に説明していただきたい。
- ・ 震度 7 以上の地震では対応出来るのか？又、何度も地震が続いたら免震構造でも有効性はあるのか？不安です。
- ・ 建物の周りに被害が出たので、周囲との兼ねあいをもう少し考えて建ててあれば、さらに安全性が高まるのではと思いました。

5.7.5 まとめと今後の課題

免震建築物の地震時の挙動や地震後の被害状況を把握するために、被害状況に関する現地調査、各地点の観測記録を用いた解析的検討及び居住者を対象としたアンケート調査を実施した。以下にそのまとめと、今回の被害事例等を踏まえた今後の課題を示す。

(1) 調査結果のまとめ

1) 被害状況調査（現地調査）

- ・建物使用者・管理者等へのヒアリング等によれば、いずれの免震建築物も継続使用上の大きな支障は見られず、周囲の建築物（耐震設計）と比較して一定の効果が見られたとの回答があった。
- ・今回の調査で見られた被害は、大きく次の4種類に分類できる。
 - ①ダンパー取付け基部の損傷（建築物C、建築物I）
 - ②外付け階段の損傷（建築物G（B棟）、建築物H（E棟・W棟））
 - ③免震材料の変状（多数）
 - ④クリアランス部の変状（多数）
- ・被害①及び②は、構造耐力上主要な部分に関する損傷であり、過去の震災調査では報告されたことのないものである。これらの要因はいずれも、免震材料や架構・部材のモデル化などで構造計算において考慮されていなかった部分があったことから地震時の設計の際に想定した免震材料の変形等に対し当該部位に生ずるせん断応力や曲げ応力等の想定が十分でなく、周囲のはり等の部材の配置、損傷部位の配筋などについて適切な設計が行われなかったことが考えられる。
- ・被害③は、鋼材ダンパーの屈曲部の残留変形や塗料の剥がれ、積層ゴム支承のカバーのずれ・脱落やゴム部分の膨れなどである。これらの要因は、地震時に免震材料に生ずる一方向又は繰返しの変形と考えられる。なお、今回の地震においては性能評価の範囲を超えるような著しい変形が作用したものはなく、地震時の免震性能の低下などの問題は発生しなかったと考えられる。
- ・被害④は、免震建築物が免震効果を発揮するために周囲や免震層内に設けられたクリアランス部において見られた変状である。免震建築物が性能を発揮するためには、免震層の水平方向の変形量を確保するため、免震部分の周囲にクリアランス部等を設け、免震挙動を阻害しないようにする必要がある。建築物を使用する上では、このクリアランス部等には居住者や利用者の通行のためのエキスパンションジョイントや、逆に誤って人が立ち入ることによる危険（落下・挟まれ等）防止のための立ち入り禁止措置としてカバーが設置されることが多い。被害はこうした部分を中心に生じており、建築物の応答に合わせて可動するように設計されるが実際には想定したとおりの挙動をしなかったことや、設計者・管理者等が地震時の免震層の可動範囲や動きの影響を適切に想定できなかったことが主な被害の要因と考えられる。その他、今回の調査の範囲では、損傷する前提で設計されているがその後の継続使用にあたって支障となる（通常は予想外の）大きな損傷に至ったものなどがあった。なお、こうしたクリアランス部の被害によって地震時の免震性能の低下などの影響が生ずることはなかったと考えられる。

2) 地震時特性に関する検討

- ・設計情報や罫書きなどの情報のある免震建築物を対象として、作用した地震動の特性の把握のための検討を行った。
- ・免震建築物の特性を仮定した上で、近傍の地震観測点における記録を用いて推定した応答変位と免

震建築物の設計時に想定した変位とを比較したところ、厳密には一致しないものの一定の対応が見られた。発生した地震に対しその被災地域における免震建築物の状況を推定するために有効な方法となり得ると考えられる。

3) 免震挙動に関するアンケート調査

- ・熊本県内の免震建築物（共同住宅）4棟について、居住者に対するアンケート調査を実施した。
- ・地震時に居住者が感じた震度は、前震より本震の方が大きい傾向を示した。
- ・4棟中1棟では70%以上の、他の3棟では90%以上の居住者が、免震建築物について「一般の建物と比較して耐震性に優れている」と答えた。ただし、恐怖感や不快感については「まったくない」「あまりない」より「すこしあった」「かなりあった」とした居住者が多く、本震時には半数以上の居住者が恐怖感を「かなりあった」と答えた。
- ・室内の揺れの状況として、吊り下げ物の落下があったとした居住者は4棟すべてで10%以下であった。食器類について落下があったとした居住者は、4棟中1棟では50%を超えていたが、他の3棟ではほとんどいなかった。

(2) 今後の課題

調査結果を踏まえた今後の課題として、次のような項目が考えられる。

- 1) 構造耐力上主要な部分の被害が見られた項目（ダンパーの取付け基部及び外付け階段の損傷・破壊）については、今回の地震では安全上の支障は生じておらず、また一定の免震性能は発揮されたとみられるものの、場合によっては免震性能の低下など重大な影響につながる可能性がある。ダンパーの取付け基部の被害に類似のものとして、過去に2005年福岡県西方沖地震で報告された鉛ダンパーの構造躯体への定着位置における破損被害^{5.2-4)}がある。この原因として同報告では、定着部の設計についてダンパーの水平変形に伴って生ずる（せん断力以外の）曲げと引張力に対する配慮不足を指摘しており、2009年には設計用の資料も整備（最新版は2014年の第2版^{5.7-5)}された。被害①が見られた建築物はこの資料以前の設計であるが、今回の被害についても、再発の防止のため、今後注意喚起や適切な設計用の技術資料の整備を行う必要がある。
- 2) 免震材料の変状については、構造性能のほか耐久性への影響も考慮して維持管理に関する規定が整備されていることが多い^{例えば 5.7-6)}。今回の地震を踏まえた点検・交換の実績や、過去の定期点検の記録等を収集して、実態を把握する必要がある。
- 3) 免震建築物の周囲に設けるクリアランス部の変状について、免震構造を採用する主要な目的の一つに、構造耐力上主要な部分の損傷を防止し地震直後から（避難等をすることなく）継続的な使用を可能にすることが挙げられるが、エキスパンションジョイントなど人の通行がある部分の損傷が過大であれば、その後の継続使用にあたって支障となることから、注意が必要である。したがってこのような部分における想定外の被害の発生を防止し、適切な設計が行われるよう、被害事例を含めた技術資料^{5.7-7)}等に関する周知や構造設計者と意匠・設備設計者及び建物管理者との情報共有のあり方等について検討を行うことが望ましい。
- 4) 免震表示は、必ずしも免震構造であることやどのようにして免震性能が発揮されるかの理解が十分でないままに免震建築物を使用する居住者や所有者に対して、最低限の注意事項としての掲示を行うものである。過去の震災調査も含めて様々な表示が行われていることが報告されているが、危険防止や被害防止の観点から、居住者や所有者が日常的に免震建築物の挙動を意識できるような、

より有効な表示のあり方について検討することが望ましい。

- 5) 地震観測記録に基づく略算的な免震応答の推定手法について、より精度を高めるための検討を行うことが望ましい。
- 6) 今回調査対象としていない戸建て住宅など小規模な免震建築物については、引き続き情報収集を行って被害状況の把握に努める必要がある。

参考文献

- 5.7-1) (社) 日本建築学会：「非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領」, p. 271, 2003. 1
- 5.7-2) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET, KiK-net),
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin>
- 5.7-3) 小豆畑達哉, 飯場正紀, 井上波彦, 緑川光正：2004年新潟県中越地震における免震建築物の対地震性能に関する建築物利用者へのアンケート調査, 日本地震工学会論文集, Vol. 6、No. 4、p. 19-37, 2006
- 5.7-4) (社) 日本建築学会：「2005年福岡県西方沖地震災害調査報告」, pp. 201~205, 2005
- 5.7-5) (一社) 日本免震構造協会：「免震部材の接合部・取付け躯体の設計指針」, 2014
- 5.7-6) (一社) 日本免震構造協会：「免震建物の維持管理基準<改訂版> -2014-」, 2014
- 5.7-7) (一社) 日本免震構造協会：「免震エキスパンションジョイントガイドライン」, 2013