

平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害第九次調査報告(速報) (免震建築物に関する調査)

1. 調査の目的及び概要

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建築物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、国土交通省住宅局の要請を踏まえて、熊本県内の免震建築物を対象に現地調査を行った。本報では、速報としてその概要について示す。

2. 調査者

国土交通省国土技術政策総合研究所	建築研究部構造基準研究室	室長	森田 高市
国立研究開発法人建築研究所	構造研究グループ	上席研究員	井上 波彦
		研究員	三木 徳人
	国際地震工学センター	上席研究員	小豆畑達哉

3. 調査地域及び建築物

調査対象とした建築物及び対象地域内の地震観測点の位置を図 3.1 に、また、各種の設計情報を表 3.1 に示す。調査は 4 月 29 日(金)(建築物 A~C、J)及び 30 日(土)(建築物 D~I)の二日間で実施した。

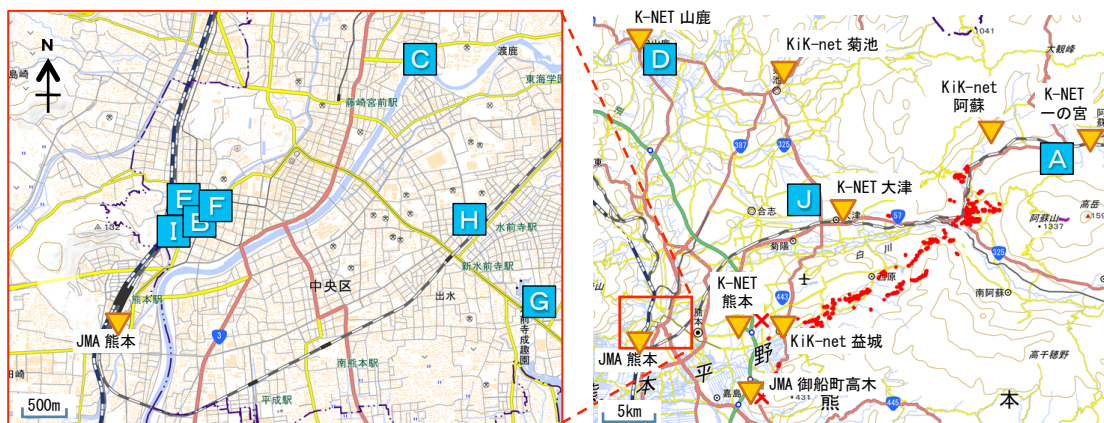


図 3.1 調査建築物 (A~J) 及び地震観測点 (▼) 位置 (左図は右図の熊本市内を拡大)

背景地図：国土地理院電子地形図 (タイトル)：×印は震央 (下が 4/14 前震、上が 4/16 本震)、●印は布田川断層帯周辺の地表の亀裂分布

表 3.1 調査建築物一覧（建築物 A～J は図 3.1 と対応）

建築物 （*は告示免震 ^{a)} ）	クリア ランス ^{b)}	上部構造		免震材料 ^{d)}	評定年 ^{e)} (建設年)	罫書き 記録	最寄り ^{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*	(未確認)	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	(未確認)	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	430mm	RC	14	HRB	1996		6 強
B 棟	430mm	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

a …平成 12 年建設省告示第 2009 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 …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取得した年を指す。
f …図 3.1 に示す観測点（▼印）のうち、それぞれの建築物に最も近い地点。A は K-NET 一の宮、D は K-NET 山鹿、G は K-NET 熊本、J は K-NET 大津、その他はすべて JMA 熊本である。

4. 地震動特性

調査対象建築物に作用した地震動に関する目安として、各建築物の最寄りの観測点のうち 5 地点での地震記録を用いた検討を実施した。

図 3.1 に▼印で示された観測点のうち、K-NET 一の宮、JMA 熊本、K-NET 熊本、K-NET 山鹿及び k-NET 大津で観測された本震時の地震記録による擬似速度応答スペクトルを図 4.1 に示す。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。A 医療施設近傍（約 4 km 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 4.2 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。現時点で、設計時における免震層の予測変位とクリアランスが判明している建築物については、それぞれの建築物の最寄りの観測点に対する線の色と同色とした上でこれらの値も図にプロットしている。最寄りの観測点での地震記録の変位応答スペクトルと設計時の免震層予測変位を比較した場合、A 医療施設においては K-NET 一の宮の NS と EW の両方向で、G 共同住宅において K-NET 熊本の EW 方向で、J 倉庫においては 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。

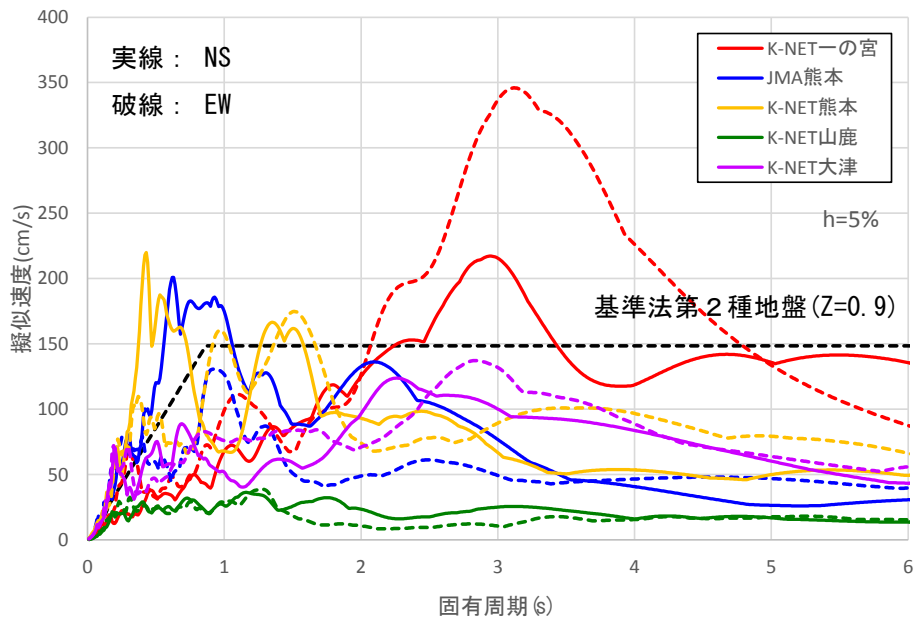


図 4.1 調査建築物近傍での地震記録による擬似速度応答スペクトル

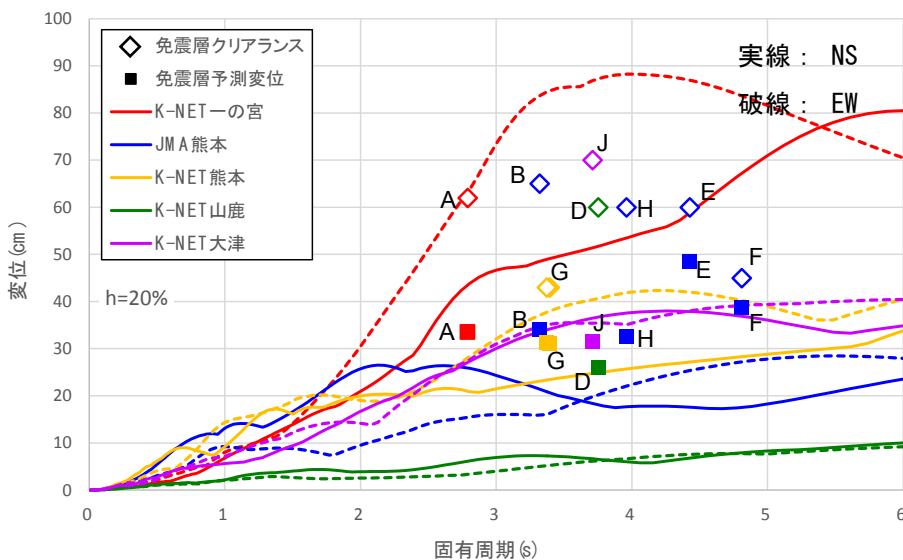


図 4.2 変位応答スペクトル (h=20%) 及び免震層の設計時予測変位とクリアランス

5. 調査結果の概要

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、同時に建物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、可能な場合には、前震又は本震時に建築物内で免震挙動を体験された方を対象に、調査票（末尾別紙参照）を用いたアンケート調査も行った。以下に各建築物における調査結果を示す。

5.1 A 医療施設

A医療施設は、阿蘇市に位置する免震建築物である。免震層には、天然ゴム系積層ゴム 45 基及び鉛プラグ入り積層ゴム 27 基が設置されている。上部構造は、併設された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。

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5.1.1）。別途入手した資料による本建築物の設計変位（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。その他、大変形を経験した積層ゴム支承カバーのふくれが見られた（写真5.1.2）。建物外周部では、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5.1.3：モルタルの欠けや金具の変形）があったが、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、下記の回答があったが、ライフライン途絶への対応を含め、いずれも機能継続上の問題はないとのことであった。

- ・エキスパンションカバーの破損（写真5.1.4：写真5.1.3の室内側）があった。（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されていた。）
- ・中央診療棟（免震構造）北側緊急外來出入り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5.1.5）。
- ・固定していないロッカー（写真5.1.6、写真5.1.7）の転倒があった。（病棟の2～4階の同じ位置でそれぞれ発生。写真5.1.6のロッカーの奥行きは37cm、高さは173cmあり、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」¹⁾の式を用いると床応答加速度は 230cm/s^2 以上と推定される。）
- ・2階で液晶TVの転倒・落下があった。
- ・中央診療棟1階で手術用器具の棚の転倒があった。

また、事前に送付し当時勤務されていた方々（7名）に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る等の行動が可能であったことや、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った。

その他、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・物に危険や支障がないよう、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來入口と、建築物内部のエキスパンション周辺に免震表示があった（写真5.1.8、写真5.1.9）。

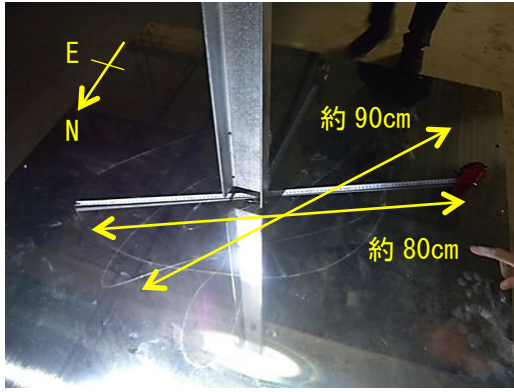


写真 5.1.1 野書き式の変位計（以降の写真では「野書き」と記す）の軌跡

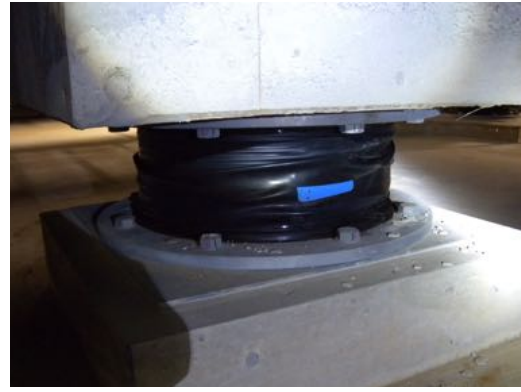


写真 5.1.2 積層ゴム支承のカバーのふくれ



写真 5.1.3 エクスパンションカバー周囲の変状



写真 5.1.4 破損したエキスパンションカバー（撤去済み）



写真 5.1.5 外れた自動ドアの扉



写真 5.1.6 転倒したロッカー①



写真 5.1.7 転倒したロッカー②



写真 5.1.8 出入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 5.1.9 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）

5.2 B事務所

B事務所は、熊本市中央区に建つ免震建築物で、免震層には天然ゴム系積層ゴム、錫プラグ入り積層ゴム及びU形鋼材ダンパー（いずれも基数未確認）が設置されている。上部構造は鉄骨造＋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 5.2.1）。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 5.2.2）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。管理者の方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が倒れたが、地震直後から建物として求められている機能は、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しわ及び4階の窓サッシ部金具のずれが見られた（写真 5.2.3、写真 5.2.4）。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（カバー下に巻き込まれていた）が見られた。管理者の方によれば、この鉄板部の支障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）程度で見られたとのことであった。

免震表示（写真 5.2.5）は、屋外に面した入り口付近に設けられていた。

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、外装材の広範な落下が見られた（写真 5.2.6）。

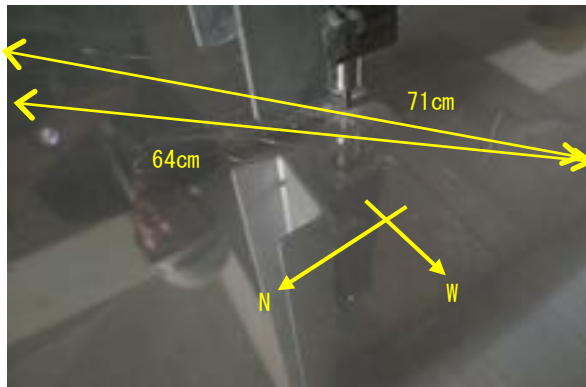


写真 5.2.1 野書きの軌跡



写真 5.2.2 鋼材部分の残留変形と塗装のはがれ

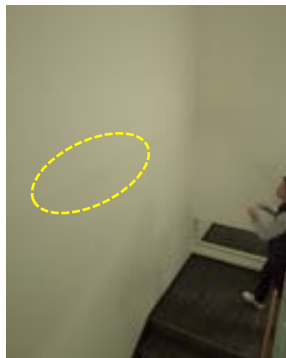


写真 5.2.3 階段室の内装クロスのずれに伴うしわ



写真 5.2.4 窓サッシ部の金具のずれ



写真 5.2.5 免震表示



写真 5.2.6 隣接建物（右）の外装材落下被害

5.3 C共同住宅

C共同住宅は、熊本市中央区に位置する免震建築物である。免震層には、天然ゴム系積層ゴム、U形鋼材ダンパー（いずれも基数未確認）及び鉛ダンパー6基が設置されている。上部構造はRC造13階建てで、免震層を掘り下げるのではなく、免震層底盤の周囲に立上り部分を設け、地表面より上に免震層が位置する形式となっている。免震表示（写真 5.3.1）は出入口付近に掲示されていた。

罫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、積層ゴムの被覆（保護）カバーの外れ（写真 5.3.2）やU形鋼材ダンパーの鋼材部分の軽微な残留変形（ゆがみ）及び塗料の剥がれが見られたほか、構造上の被害として、鉛ダンパーの取付け基部周辺のスラブの大きな破損が見られた（写真 5.3.3）。鉛ダンパーの屈曲部の表面に生じているしわの目視観察からは、10cm内程度の変形と考えられ、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。

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。管理会社の方からのコメントでは、住民は前震後の時点では建物内に留まっていたが、本震後には避難所に移動した住人もいたとのことである。また構造設計者から5階の住人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。

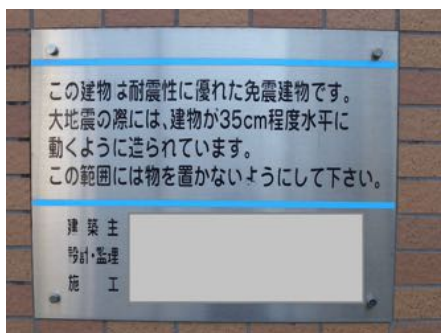


写真 5.3.1 免震表示



写真 5.3.2 積層ゴム被覆カバーの外れ



写真 5.3.3 鉛ダンパー取付け基部の被害（床スラブの破損）

5.4 D事務所

D事務所は、山鹿市に位置する免震建築物である。免震層には、天然ゴム系積層ゴム、弾性すべり支承及びU形鋼材ダンパー（いずれも基数未確認）が設置されている。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5.4.1）。免震表示（写真5.4.2）は正面玄関周りにはみられず、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、ごく軽微なものを除き見られなかった。

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、D事務所より約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5.4.3）。

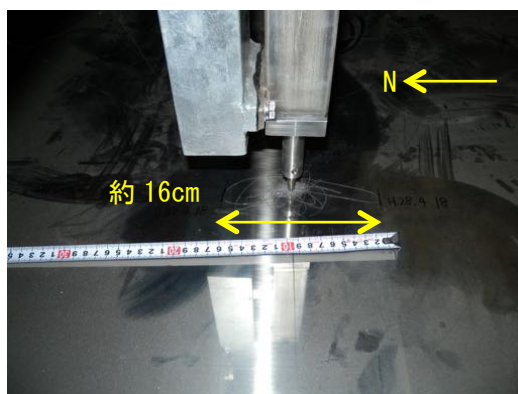


写真 5.4.1 罫書きの軌跡



写真 5.4.2 免震表示



写真 5.4.3 K-NET 山鹿観測点

5.5 E 事務所

E 事務所は、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。現場担当者の方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。

5.6 F 宿泊施設

F 宿泊施設は、熊本市中央区に位置する免震建築物で、免震層には高減衰積層ゴムとオイルダンパー（いずれも基数未確認）が設置されている。上部構造は R C 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の吊りボルトの変形（写真 5.6.1）、オイルダンパー軸部の摺動跡、オイルダンパーの周囲柵等への接触跡（写真 5.6.2）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変形跡が見られたが、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。

事務員の方（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 5.6.3）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 5.6.4）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 T V 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. 6. 1 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）

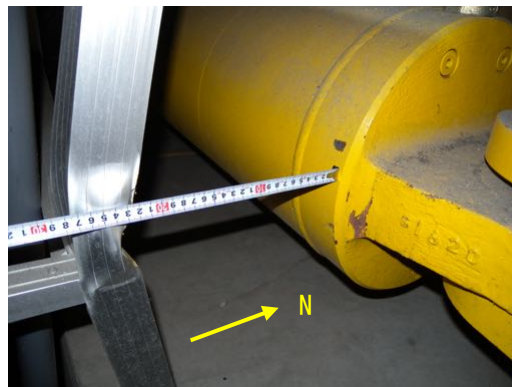


写真 5. 6. 2 オイルダンパー胴部の移動・接触に伴う周囲柵の変形



写真 5. 6. 3 移動したコピー機



写真 5. 6. 4 転倒したパーティション

5.7 G共同住宅

G共同住宅は、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（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。A棟の免震層内には高減衰積層ゴム15基が、B棟の免震層内には高減衰積層ゴム15基（中間階免震部分）及び2基（外階段及び渡り廊下部直下）が、それぞれ設置されている。

免震層に罫書き式変位計等の設置はないが、A棟では、免震層の変位の発生に伴う痕跡として、自転車置ききの金具の変形、免震層周囲の石の移動痕、犬走り部分の周囲への接触、エキスパンション周囲での変状があり（写真5.7.1～写真5.7.4）、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）。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5.7.5）。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（約一月前、3月）にはほぼ原点とのことで、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。

中間階免震となっているB棟は、図5.7.1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、階段中央の壁部分の損傷によって使用禁止となっていた（写真5.7.6）。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）も観察された。

住民の方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エキスパンションジョイント部が本震で破損し補修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、南北が張り間になる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、主要な南北方向と推測される（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長辺方向で耐えられることになるため）との意見があった。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。

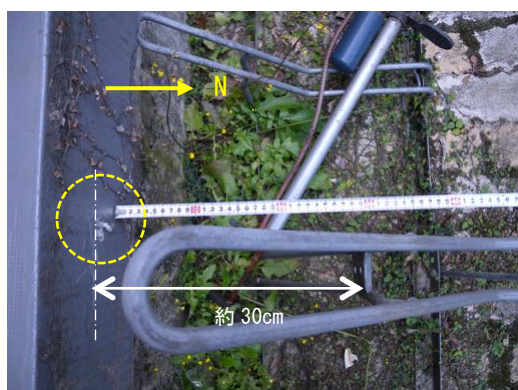


写真 5.7.1 自転車置ききの金具の接触跡



写真 5.7.2 免震層周囲の石の移動跡

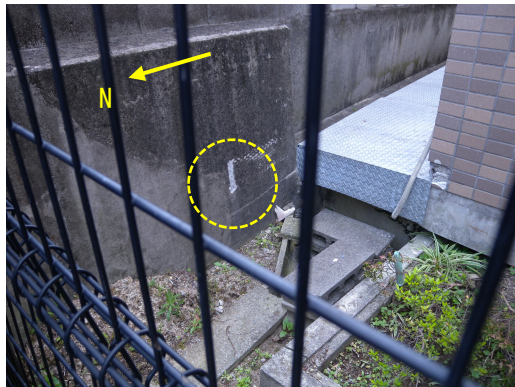


写真 5.7.3 犬走り部分の周囲への接触跡

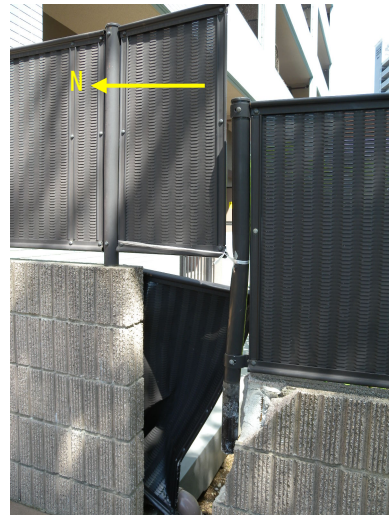


写真 5.7.4 エキスパンション部変形

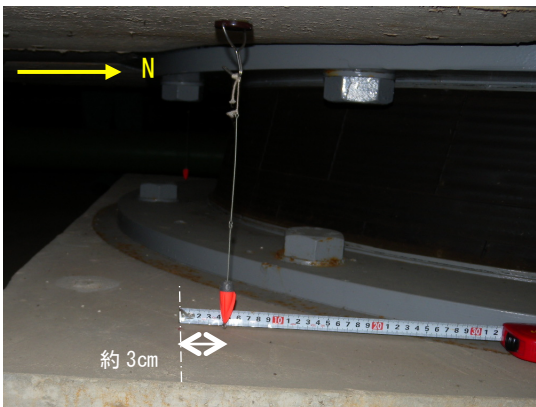


写真 5.7.5 積層ゴムの残留変形

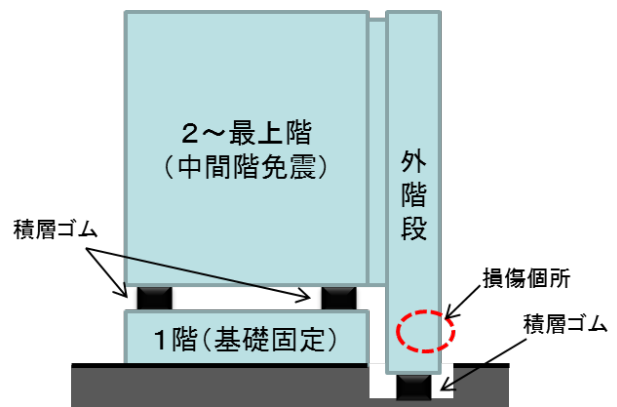


図 5.7.1 B棟(中間階免震)及び階段損傷位置

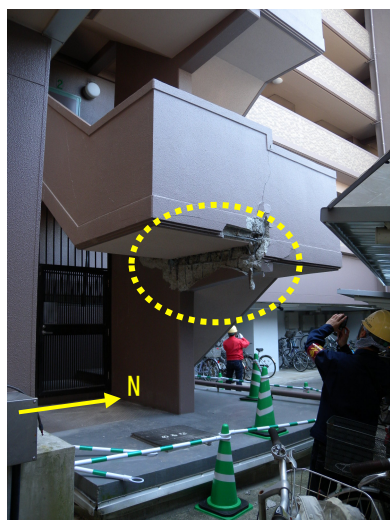


写真 5.7.6 外付け階段の被害と階段下に設置された積層ゴム支承の取り付け基部の損傷



5.8 H共同住宅

H共同住宅は、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。E棟の免震層内には高減衰積層ゴム8基（中間階免震部分）及び1基（外階段直下）、W棟の免震層内には高減衰積層ゴム15基（中間階免震部分）及び1基（外階段直下）が、それぞれ設置されている。

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、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5.8.1、写真5.8.2）、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節のG共同住宅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、階段部分の損傷や同様の被害が生じていた（写真5.8.3）。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5.8.4～写真5.8.6）。天井被覆については、管理会社の方によれば想定内とのことであったが、避難経路部分であることや落下の危険があるため、調査時には除去されていた。

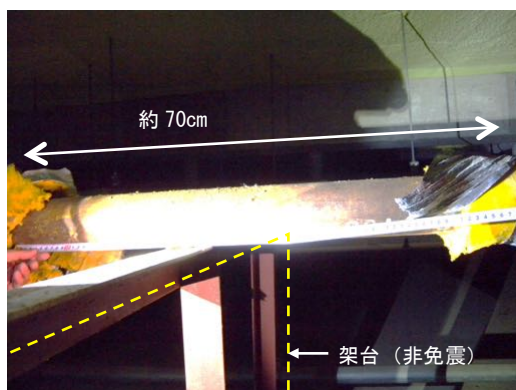


写真 5.8.1 配管の断熱被覆の損傷

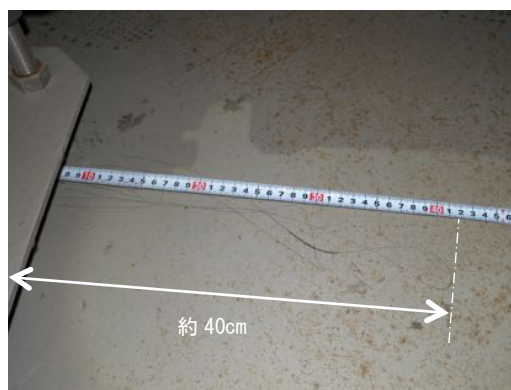


写真 5.8.2 可動式の配管基部のこすれ跡



写真 5.8.3 外階段の被害



写真 5.8.4 エキスパンション部の変状①（天井被覆は撤去済み）

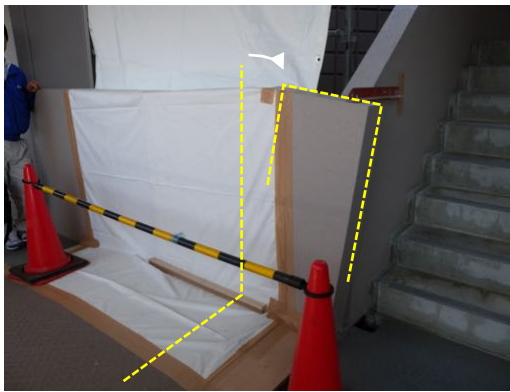


写真 5.8.5 同 変状②（二次壁の変形）



写真 5.8.6 同 変状③（カバーの変形）

5.9 I 共同住宅

I 共同住宅は、熊本市中央区に位置する免震建築物で、免震層内には天然ゴム系積層ゴム 18 基、U形鋼材ダンパー 8 基及び鉛ダンパー 8 基が設置されている。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 5.9.1）によれば、大地震時の想定（設計）変位は 32cm である。

免震層内では、5.3 節のC 共同住宅と同様の構造的な被害として、U形鋼材ダンパーや鉛ダンパーの取付け基部と床スラブとの間で損傷を生じていた（写真 5.9.2）。また、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 5.9.3）。なお設計図書に基づくスラブの厚さは 200mm であった。

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 5.9.4）。また、このエキスパンション部分の移動跡、犬走り部分と周囲の接触跡（写真 5.9.5）からは、少なくとも 10cm 程度の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 5cm 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 5.9.6）、地盤の沈下に起因する現象と考えられる。

管理会社及び住民の方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。

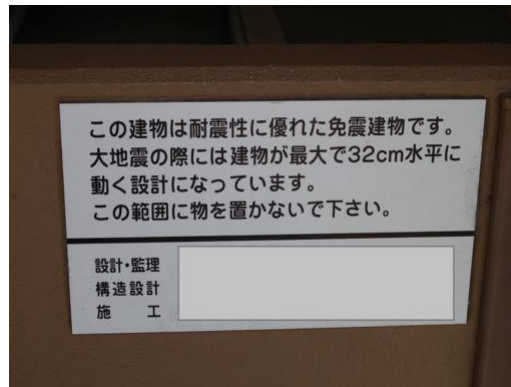


写真 5.9.1 免震表示

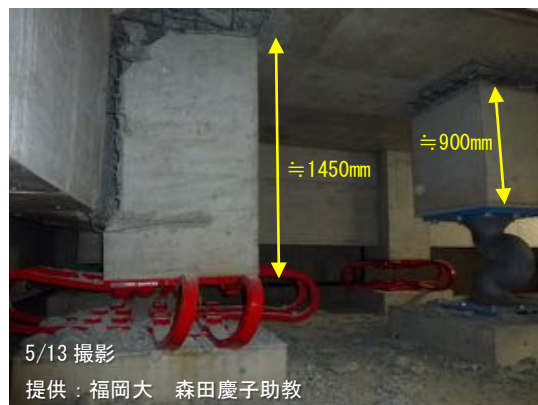


写真 5.9.2 ダンパー取付け基部の損傷

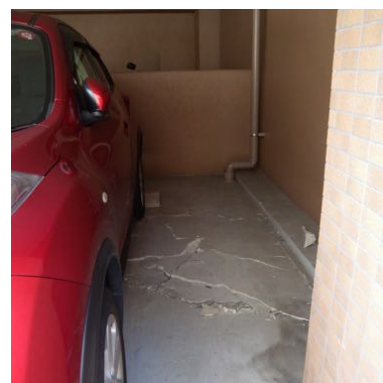
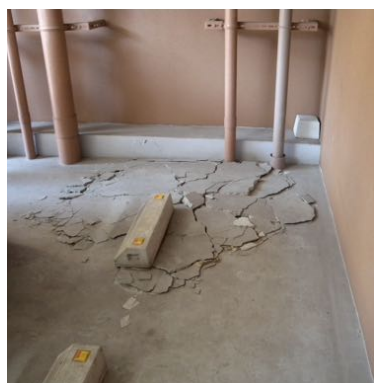


写真 5.9.3 免震層上面にあたる床スラブの損傷



写真 5.9.4 エキスパンション部の変状 (手すりの変形、移動跡)

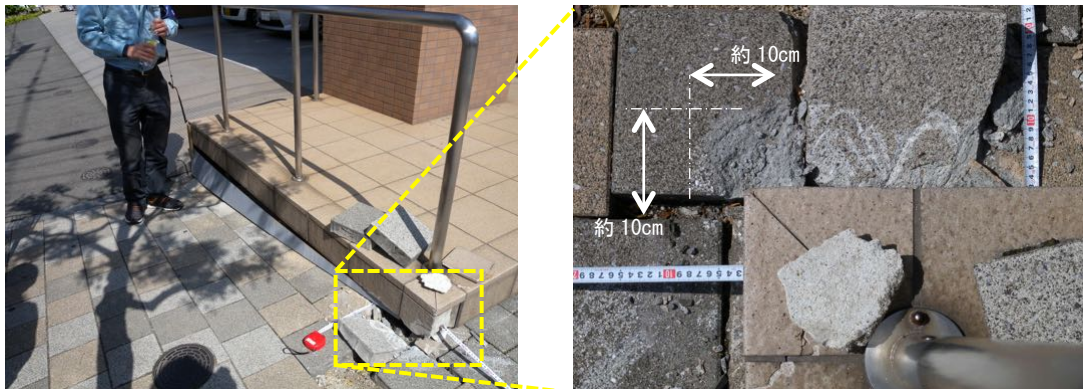


写真 5.9.5 犬走り部分の周囲との接触跡 (右図は左図囲み部分の拡大)



写真 5.9.6 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)

5.10 J倉庫

J倉庫は、菊池郡に位置する免震建築物で、免震層内には天然ゴム系積層ゴム6基、鉛プラグ入り積層ゴム19基及び弾性すべり支承9基が設置されている。上部構造は柱SRC造り鉄骨造の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5.10.1)。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. 10. 2、写真 5. 10. 3）。

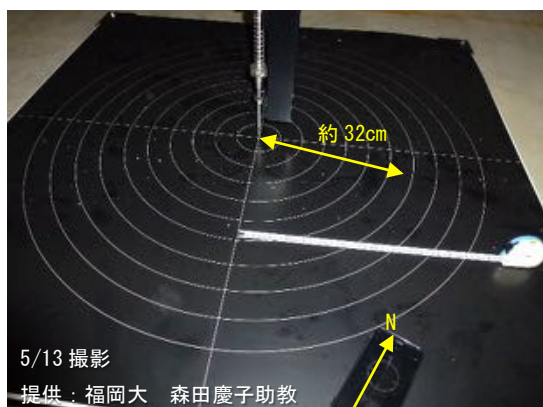


写真 5. 10. 1 野書きの軌跡



写真 5. 10. 2 免震スカートのはみ出し



写真 5. 10. 3 エキスパンション部の破損と取り外されたカバー

6. まとめと今後の課題

今回の現地調査のまとめを以下に示す。

- ・現地調査を実施した際の建物使用者・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指摘があった。
- ・構造的な被害として、ダンパーの取付け基部と鉄筋コンクリート造の床スラブとの間で破壊を生じていたものがあつた（C共同住宅、I共同住宅）。ダンパーの応答変形に伴うせん断力及び曲げモーメント等の作用に対する強度が十分でなかったことが考えられる。
- ・別の構造的な被害として、外付け階段の損傷を生じていたものがあつた（G共同住宅、H共同住宅）。中間階免震の上部構造に対し外付け階段を張り出して立ち下げ、階段部分を個別に積層ゴム支承で支える形式としたもので、当該階段の基部に取り付けた積層ゴムの応答変形に伴って作用する荷重・外力に対する強度が十分でなかったことが考えられる。こうした階段の損傷

は、避難上の支障に直結することから避けるべきであるといえる。

- ・設計時に想定した変位を超える応答を生じた免震材料があった（A医療施設）。原因としては、建築物に作用した地震動の特性が免震の応答周期に近いものであった可能性が高い。積層ゴムは大変形においてハードニングと呼ばれる剛性の上昇が見られることから、それに至らない範囲で設計されるが、今回その（通常は使用しない）ハードニング領域での挙動を経験し、設置時の特性からの変動（差異）を生じている可能性がある。
- ・エキスパンション部分及びクリアランス内において、柵やカバー等の変状が見られた（多数）。免震建築物の周囲には、免震効果を発揮するためにクリアランスを設ける必要があり、通行のためや立ち入り防止のためにカバー等が設置されることが多い。このカバー等は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せず損傷してしまったもの、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大きな損傷に至ったものなどがあった。

今後の課題としては次のような項目が考えられる。

- 1) 構造的な被害が見られた2項目（ダンパーの取付け基部と鉄筋コンクリート造床スラブとの接合部及び外付け階段）については、設計の実態を把握するとともに、再発の防止のため、設計用の適切な荷重及び外力の設定等に関する技術資料の整備等について検討する必要がある。
- 2) 設計で想定した変形を超える応答を生じた積層ゴムについては、性能評価時の実験等の結果を踏まえて、ハードニング等の影響（特性の変動）の評価の必要性等について検討する必要がある。
- 3) 免震建築物の周囲に設けるクリアランスやエキスパンション部については、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に注意喚起の必要性等について検討を行う必要がある。

おわりに

本地震で亡くなられた方及びそのご遺族に対し、深く哀悼の意を表します。また、被災された方々に心からお見舞いを申し上げますとともに、一刻も早い復興を祈念いたします。

本調査を実施するにあたり、現地で建物管理者・使用者をはじめとする多数の方にご協力をいただきました。深く感謝いたします。また、調査計画及び結果の取りまとめに際し、福岡大学工学部建築学科 高山峯夫教授及び森田慶子助教の両名の協力を得ました。特に、5.9 節の一部及び5.10 節の調査内容については、森田氏に提供いただいた資料に基づいています。その他、本稿では、国立研究開発法人防災科学技術研究所による K-NET の観測記録及び気象庁による観測記録を利用させていただきました。これらについても、ここに感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) (一社)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

免震建物の地震時挙動に関する調査票

国土交通省国土技術政策総合研究所
国立研究開発法人建築研究所

(記入： 年 月 日)

1. 性別

男 女

2. 年齢

20代未満 20代 30代 40代 50代 60以上

3. 地震時にいた階と地震時の行動

階： 場所(居室、廊下など)：

日常行為をそのまま続行した 就寝中だった 立ち止まって様子を見た
ガス栓等の火の元の始末を行なった
机、テーブルの下に潜る等の避難行動を行なった
その他 ()

4. 揺れの感じ方

(1) 震度にした場合

震度 1~3 程度 震度 4 震度 5 震度 6 震度 7 不明

(2) 恐怖感

まったくない あまりない すこしあった かなりあった

(3) 不快感

まったくない あまりない すこしあった かなりあった

5. 室内の揺れの状況

(1) 吊下げ物

揺れなかった わずかに揺れた 大きく揺れた 落下した その他

(2) 食器類

落ちないし音もしない 音を立てたが落ちなかった 一部落ちた
かなり落ちた その他

(3) 家具の転倒

なかった あった その他

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

はい いいえ

(2) 免震構造の有効性を実感できましたか

一般の建物と比較して耐震性に優れている
一般の建物と比較してもあまり変わらない
今回の地震だけではよく分からない

※ その他、免震構造に関する感想をお聞かせ下さい