



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

小豆畑達哉¹⁾、飯場正紀²⁾、井上波彦³⁾、緑川光正⁴⁾

- 1) 正会員、国土技術政策総合研究所、主任研究官、博士(学術)
e-mail:azuhata-t92ta@nilim.go.jp
- 2) 正会員、国土技術政策総合研究所、建築災害対策研究官、博士(工学)
e-mail:iiba-m92hx@nilim.go.jp
- 3) 正会員、国土技術政策総合研究所、主任研究官、工修
e-mail:inoue-n92ta@nilim.go.jp
- 4) 正会員、北海道大学大学院建築都市空間デザイン専攻、教授、工博
e-mail:midorim@eng.hokudai.ac.jp

要約

本報告は、2004年新潟県中越地震の被災地域に建設されていた免震建築物の対地震性能について、建築物利用者に対し行ったアンケート調査結果を取りまとめたものである。アンケート項目は、室内の状況、揺れの感じ方、免震建築物に対する利用者の評価等に関するものである。また、室内の状況等について、免震建築物と周辺の建築物で比較できるようにしている。震度6強地域において、免震建築物は、その室内で一部の利用者が地震時に船酔いにあったような不快な感じを受けたり、ごく一部のすわりの悪い積載物が転倒したりしたが、免震構造の性能を十分に発揮し、その性能は一般の利用者からも高く評価されたことが明らかとなった。

キーワード: 免震構造、2004年新潟県中越地震、フロアレスポンス、アンケート調査

1. はじめに

建築物に免震構造を適用する効果は、上部構造の損傷を抑止できるとともに、フロアレスポンスを低減できることにある。これにより、免震構造は、従来の耐震構造よりも格段に建築物の地震被害を低減できるものと期待されている。しかしながら、これまでに免震建築物が大地震動に遭遇し、こうした性能が確認された事例^{例えば¹⁾5)}はまだ少ない。このような状況の下、著者らは2004年新潟県中越地震(以下「中越地震」と呼ぶ。)の被災地域において、免震建築物の対地震性能に関し調査する機会を得た。本調査では、地震後の免震層の状況等に関する実地調査のほか、建築物利用者に対するアンケート調査を行った。アンケート調査の目的は以下の2項である。

- 1) 免震構造のフロアレスポンス低減性能を検証する。
- 2) 大地震を経験した一般利用者の免震建築物に対する評価、理解度及び期待を把握する。

これまで地震時における免震建築物内のフロアレスポンスに着目し行われたアンケート調査としては、文献6)-10)が代表事例として挙げられる。中村ら⁹⁾の調査は、1991～1993年に発生した48例の中

小地震時における関東地域にある14棟の免震建築物の居住者を対象としている。これらの地震による震度は関東地域で1～5となっており、上部構造の最大床応答水平加速度の範囲は 0.3m/s^2 以下である。調査の結果、振動知覚閾を与える最大床応答水平加速度は平均値 0.0485m/s^2 、変動係数80%強の対数正規分布で表わされること(中間値は 0.0365 m/s^2)、居住者の不安感及び不快感には建築物が免震であるか否かという先験的意識の差が影響し易いことを明らかにしている。前田ら⁷⁾の調査は、2003年宮城県沖地震における仙台及び盛岡市内の免震建築物(用途:共同住宅)各1棟の居住者を、また、中川ら⁸⁾の調査は同地震における仙台市内の免震建築物(用途:電算センター)の勤務者を対象としている。前田らが調査を行った免震建築物は震度4～5弱の地域に立地しており、そのうち仙台市内の免震建築物で観測された免震層の応答変位は東西方向で最大約 0.034m であり、応答解析から推定される上部構造最大床応答水平加速度の範囲は $0.3\sim 0.6\text{m/s}^2$ である。また中川らが調査を行った免震建築物(地下1階、地上2階で、免震部材は地下1階の直下に配置)ではその敷地地盤で最大 2.0m/s^2 の、2階床で $0.6\sim 0.7\text{m/s}^2$ の水平加速度が観測されている。調査の結果として、前田らは「揺れの感じ方」と「室内に置かれた物の揺れ方や状態」に関する調査から周囲の非免震建築物と比較し免震建築物の優位性が確認されたとし、中川らも免震構造の効果として物品の転倒や電算機の誤作動の危険性が大幅に少なくなることが確認されたとしている。早川ら⁹⁾¹⁰⁾の調査は、2003年十勝沖地震における札幌、釧路及び千歳市内の免震建築物(用途:前二棟が共同住宅、残り1棟が病院)の居住者及び勤務者を対象としている。これらの建築物は震度4～5強の地域に立地している。調査の結果、免震建築物内でも回答者の約80%が恐怖感及び不快感を持ったが、免震建築物では地震被害がほとんどなかったということに対し80～90%の回答者により免震建築物に対する満足感が得られたことを明らかにしている。なお、地震時に免震建築物内でも恐怖感ないし不安感が感じられることは中川ら⁸⁾も報告しており、両者とも、こうした恐怖感等は建築物利用者に免震建築物の性能を事前に認識してもらうことで低減できる可能性があるとの考えを示している⁸⁾⁻¹⁰⁾。

今回、著者らがアンケート調査結果を報告するのは、震度6強の地域(小千谷市)及び4の地域(湯沢町)に立地した免震建築物各1棟に関するものである。このうち、震度6強地域の免震建築物については加速度記録等が公表されている³⁾⁴⁾。これらによると免震層床で観測された最大水平加速度は 8.236m/s^2 (N70E方向)、免震層直上で観測された最大床応答水平加速度は 2.230 m/s^2 (N20W方向)、応答解析から推定されるその他の床(2階～6階)の最大応答水平加速度の範囲は約 $1.0\sim 2.0\text{ m/s}^2$ である。また、免震層の最大応答変位は 0.190m (N20W方向)とされる。すなわち、この震度6強地域の免震建築物への地震入力及びその床応答加速度は、これまでアンケート調査が実施された免震建築物のものを大きく上回ると見なせる。したがって、このような地震応答等の増加に伴い、免震建築物内の揺れの状況やそれに対する利用者の感覚、反応がどのように推移するのか大いに関心の持たれるところであり、これらの調査結果は大地震時での免震建築物のフロアレスポンス低減性能を把握する上で貴重な情報となり得ると考えられる。

今回の地震のような大地震時における免震建築物の性能を実証し得るデータを収集、公表していくことは、今後、免震建築物の対地震性能に関する信頼性をより強固なものとする上で、大きな意義を有する。今回のアンケート調査結果は、このようなデータの一つとして位置づけられると考える。また、本アンケート調査が目的の一つとするように、大地震を経験した一般の利用者の免震建築物に対する評価等を把握することは、今後の免震建築物の普及方策を検討する上で有益であると考え。このような考えの下、ここに本アンケート調査結果を報告する。

2. 調査建築物の概要

著者らは、中越地震の被災地域において6棟の免震建築物の調査を行った。アンケート調査も、これらの全てについて行っているが、本震時に免震建築物内にいた人の中から10名以上の回答者が得られたのは表1に示す2棟であった。本報告はこの2棟に関するアンケート調査結果をまとめている。同表において、各免震建築物の建設地域の震度が示されているが、これらは気象庁による推計震度

分布の図¹⁾より読み取った値である。また、これらの値は最寄りの震度観測点(建築物Aについては小千谷市城内、建築物Bについては湯沢町神立)での値と一致する。

建築物Aは、保健施設であり、基礎免震の地上5階建て鉄筋コンクリート造である。免震層には図1に示すとおり、18基の積層ゴム支承と21基の弾性すべり支承が設置されている。本建築物については免震層上下の床位置での観測加速度記録や応答スペクトル、床応答加速度の推定値等が文献3), 4)で報告されている。これらの主な値を抜粋し表2に示す。また、著者らの実地調査では、地震時の建築物挙動の痕跡として、写真1に示すとおり、すべり支承のすべり面に生じた堆積物の移動跡と、写真2に示すとおり積層ゴムの残留変形が認められた。この移動跡と積層ゴム上下の緊結金具相互のずれの計測からは、建築物Aは、本震時には北西-南東方向に約20cm変位したものと推測される。この

表1 調査建築物の概要

名称	上部構造	階	用途	建設地	免震部材	建設地域の震度
A	RC	5	保健施設	小千谷市	弾性すべり支承 天然ゴム系積層ゴム支承	6強
B	RC	4	病院	湯沢町	鉛プラグ入り積層ゴム支承 天然ゴム系積層ゴム支承 球体転がり支承	4

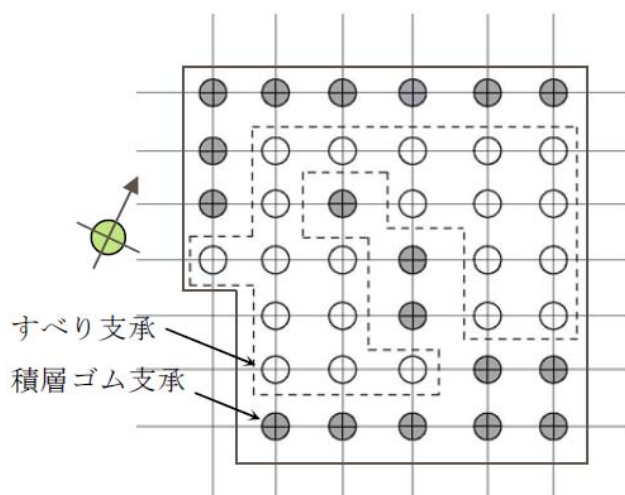


図1 免震層の平面図(建築物A)

表2 建築物Aに関する主な観測記録等(文献3), 4)より)

免震層床の最大水平加速度観測記録	8.236 m/s ² (建築物X軸方向 [N70E]) 6.705 m/s ² (建築物Y軸方向 [N20W])
免震層直上の床(1階床)の最大水平加速度観測記録	1.943 m/s ² (建築物X軸方向 [N70E]) 2.230 m/s ² (建築物Y軸方向 [N20W])
免震層の最大応答水平変位	0.116 m (建築物X軸方向 [N70E]) 0.190 m (建築物Y軸方向 [N20W]) ※ Y軸方向最大変位時のX軸方向変位は約0.07m
上部構造床の最大応答水平加速度の推定値	約1.0 m/s ² ~2.0 m/s ² (建築物X軸及びY軸方向) ※ 最大加速度の分布は「く」の字状の様相を示し、屋上階床で最大、3階で最小



写真1 弾性すべり支承のすべり移動跡
(建築物A)

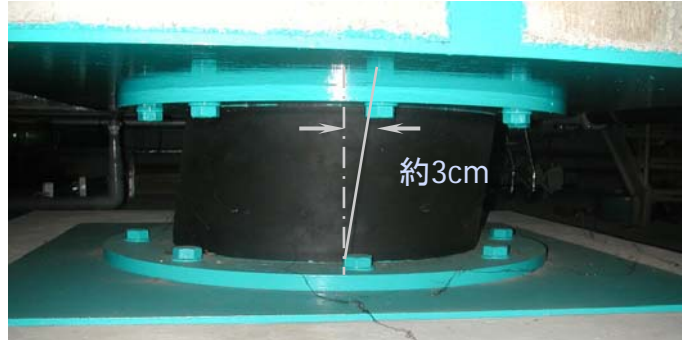


写真2 積層ゴムの残留変位 (建築物A)

値は文献4)のその3に示された変位の観測記録とも一致する。

建築物Bは、病院であり、一部柱頭免震を採用した地上5階建て鉄筋コンクリート造である。図2、3に示すとおり、32基の鉛プラグ入り積層ゴム、5基の積層ゴム及び10基の球体転がり支承が設置されている。著者らの実地調査によると、地震時の挙動の痕跡として、写真3に示すように柱頭免震部における積層ゴム周辺の防護用カバーに残留変位が認められた。施設管理者によると、この残留変位は、地震直後では北西方向に最大3cm程度であったが、余震により徐々に原点に復帰する様相を示したとのことである。本建築物については加速度の観測記録等は公表されていない。ただし、推計震度分布¹¹⁾によると、本建築物の周囲はかなり広範な範囲で震度4の地域に含まれており、周囲の木造建築に被害が見られないことや後に示す周囲の非免震建築物の室内状況に関するアンケート調査結果も、震度階級関連解説表¹²⁾の震度4に関する解説とよく対応することから、本建築物には震度4相当の揺れをもたらす地震動が入力されたものと推定される。

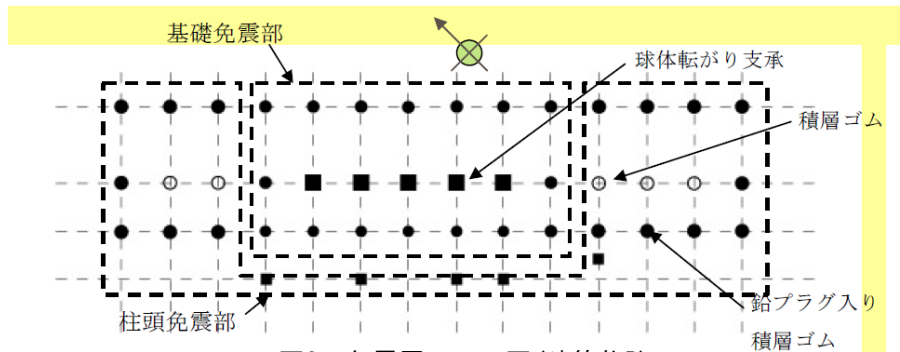


図2 免震層の平面図 (建築物B)

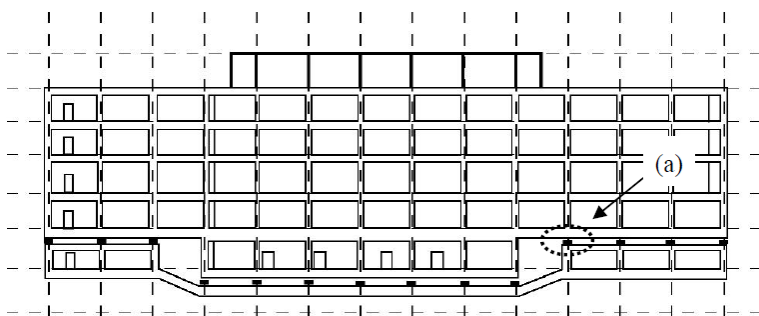


図3 立面図 (建築物B)



写真3 柱頭免震部積層ゴム支承の
カバー (図3の(a)部分)

以上、建築物AとBでは、建設地域での震度の違いはあるが、いずれも免震部材が作動したことを確認している。また、著者らの実地調査によれば、いずれの建築物でも構造躯体の損傷は認められなかった。

3. アンケート調査方法

アンケート調査は、各免震建築物の利用者を被験者として、各免震建築物の管理者に、アンケート調査票の配布と回収を依頼して実施した。アンケートの調査項目を、図4～6に示す。これらの設定に

I. 記入者情報 1. 性別 a.男 b.女 2. 年齢 a.20代未満 b.20代 c.30代 d.40代 e.50代 f.60以上 3. 地震時(10月23日17時56分ころ)に免震建築物[]の中にいましたか a.はい b.いいえ 「a.はい」とお答えした方は、「記入票2」の質問に、「b.いいえ」とお答えした方は、「記入票3」の質問(1以降の質問)に、お進み下さい。	記入票1
--	------

図4 アンケート記入票1

この記入票の質問は、地震時に免震建築物の中にいた方に対するものです。 II. 地震時の様子 4. 免震建築物の中のどこにいましたか 階:() 場所:a.居室 b.事務室 c.病室 d.教室 e.廊下 f.その他() 5. この建築物が免震構造であることをご存知でしたか a.はい b.いいえ 6. 地震時の行動をお答え下さい(複数回答可) a.作業をそのまま続行した b.作業を中断して様子を見た c.ガス栓等の火の元の始末を行なった d.外に飛び出した e.机、テーブルの下に潜る等の避難行動を行なった f.その他() 7. 揺れの感じ方についてお答え下さい (1) 震度にした場合 a.震度1～3程度 b.震度4 c.震度5 d.震度6 e.震度7 f.不明 (2) 恐怖感 a.かなりあった b.すこしあった c.あまりなかった d.まったくなかった (3) 不快感 a.かなりあった b.すこしあった c.あまりなかった d.まったくなかった 8. 地震の最中での室内の揺れの状況についてお答え下さい(地震時に確認できたもののみで結構です) (1) 吊下げ物 a.落下した b.大きく揺れた c.わずかに揺れた d.揺れなかった e.その他 (2) 食器類やその他の棚、机の上のもの a.かなり落ちた b.一部落ちた c.音を立てたが落ちなかった d.落ちないし音もしない e.その他 (3) 家具の転倒 a.かなりあった b.すこしあった c.なかった d.その他 III. その他 9. 免震建築物の有効性を実感できましたか a.一般の建築物と比較して耐震性に優れている b.一般の建築物と比較してあまり変わらない c.今回の地震だけではよく分からない (できれば、上記回答の理由をお聞かせ下さい) 理由: 10. 免震構造に関する意見、感想(揺れ方の印象など)、期待などを、お聞かせ下さい。	記入票2
--	------

図5 アンケート記入票2(免震建築物の中にいた人用)

この記入票の質問は、地震時に免震建築物以外の建築物の中または屋外にいた方に対するものです。

記入票3

II. 地震時の様子

1 1. 地震時(10月23日17時56分ころ)にどこにいましたか

分類：a.個人住宅 b.共同住宅 c.店舗 d.事務所 e.病院 f.その他の建築物 g.建築物の外

住所：(差し支えない範囲でお答え下さい)

建築物の構造：a.木造 b.鉄筋コンクリート造 c.鉄骨造 d.その他 e.不明

1 2～1 4. 略(それぞれ図5の質問6～8と同じ)

1 5. 地震後の免震建築物での室内の様相についてお聞かせ下さい

- a.地震直後(1日以内)は、家具が転倒し、食器類やその他の棚、机の上のものがかなり散乱していた
- b.地震直後(1日以内)も、家具は転倒していなかったが、食器類やその他の棚、机の上のものが散乱していた
- c.地震直後(1日以内)も、室内は、ほぼ元の通りであった
- d.本震から()日後に、初めて免震建築物に入った時には、家具が転倒し、食器類やその他の棚、机の上のものがかなり散乱していた
- e.本震から()日後に、初めて免震建築物に入った時には、家具は転倒していなかったが、食器類やその他の棚、机の上のものが散乱していた
- f.本震から()日後に、初めて免震建築物に入った時には、室内はほぼ元の通りであった
- g.その他

III. その他

1 6, 1 7. 略(それぞれ図5の質問9、1 0と同じ)

図6 アンケート記入票3(免震建築物以外にいた人用)

当っては既往のアンケート調査⁶⁾⁻¹⁰⁾を参考とした。また、本調査では、アンケート回答者を地震時に免震建築物にいた人といなかった人に分け、いなかった人には、その人のいた建築物での室内の状況等を回答してもらうことにより、免震建築物とその周辺の建築物で、室内の状況等を比較できるようにしている。すなわち、アンケート被験者は、まず、図4の記入票1において、地震時に免震建築物の中にいた人と、いなかった人に分類され、それぞれが、図5の記入票2(免震建築物の中にいた人用)または図6の記入票3(免震建築物以外にいた人用)に示される質問事項に答えることになる。アンケートの最後では、免震構造に関する意見、揺れ方、期待等についてのコメントを求めている。

4. アンケート調査結果

4.1 建築物Aにおけるアンケート結果

図7は、建築物Aについてのアンケート回答数と、地震時に免震建築物内に「いた」または「いなかった」と回答したそれぞれの人数を示す。また、アンケートの記入者情報を、地震時に建築物A内に「いた」人と「いなかった」人毎に図8及び図9に示す。

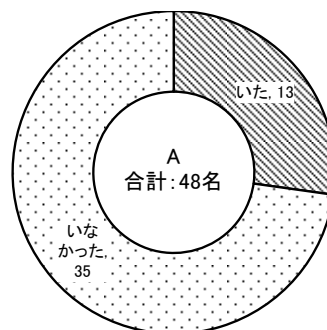


図7 建築物Aのアンケート集計数

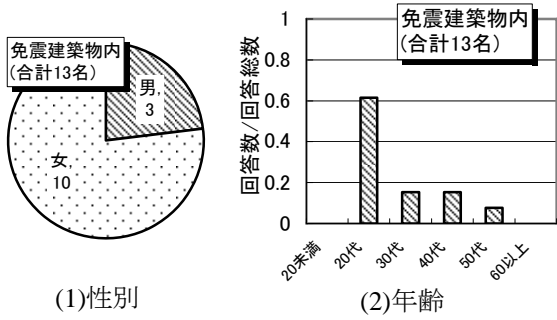


図8 記入者情報(免震建築物Aにいた人)

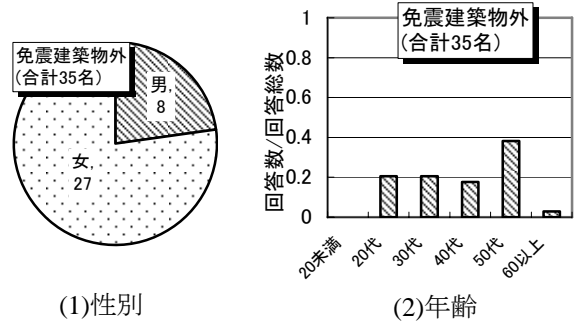


図9 記入者情報(免震建築物Aにいなかった人)

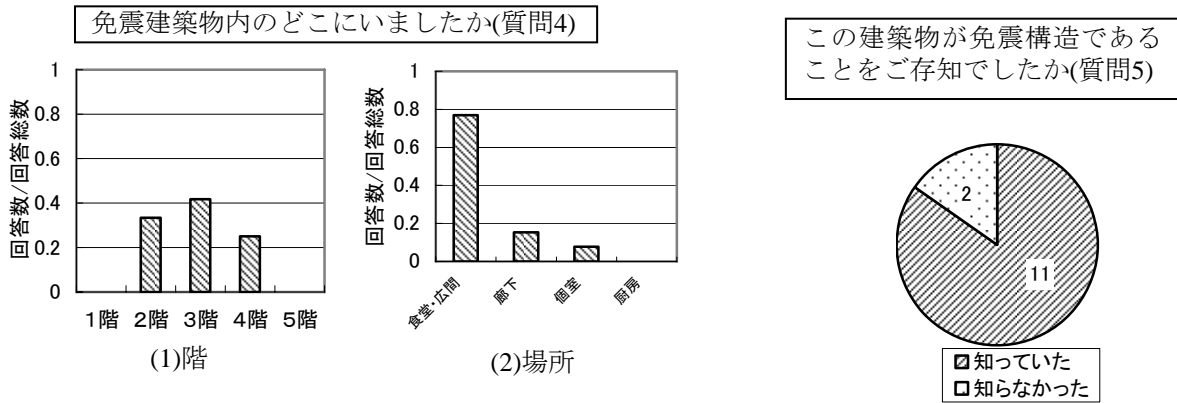


図10 免震建築物Aにいた人への質問4、5に対する回答集計結果

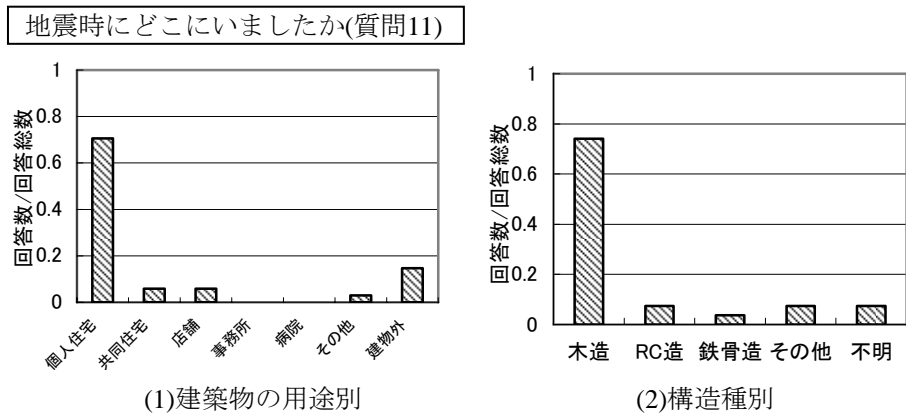


図11 免震建築物Aにいなかった人への質問11に対する回答集計結果

図10は、建築物A内に「いた」人への質問4及び質問5に対する回答集計結果を、図11は、「いなかった」人への質問11に対する回答集計結果を示す。

免震建築物にいたと回答した人については、2階から4階にかけて、ほぼ同人数の被験者が存在し、そのほとんどが、各階に配置された食堂・広間にいたと回答している。また、図10の質問5に対する回答結果より、ほとんどの回答者が建築物に免震構造が適用されていることを知っていたことが分かる。

免震建築物にいなかったと回答した人は、地震を経験した場所については、約7割が個人住宅にいたと回答し、構造種別について約7割が木造と回答している。なお、これらの免震建築物にいなかった全員が、建築物Aの近隣の震度6地域にいたことを確認している。したがって、図12～14に示す結果にお

地震時の行動をお答え下さい[複数回答可](質問6及び質問12)

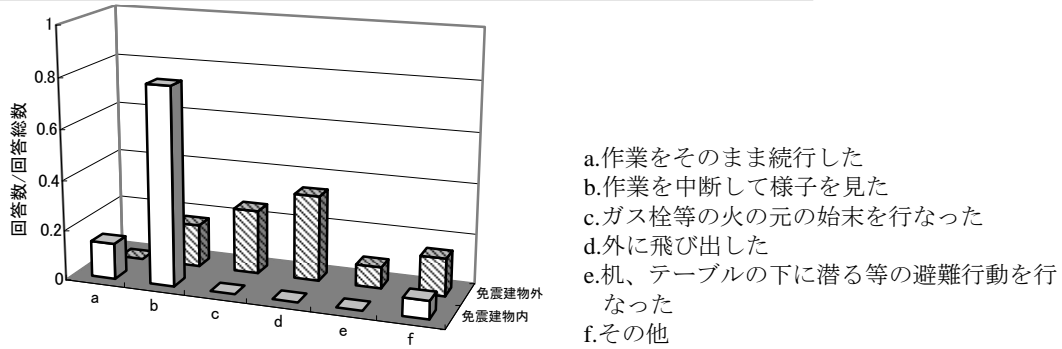
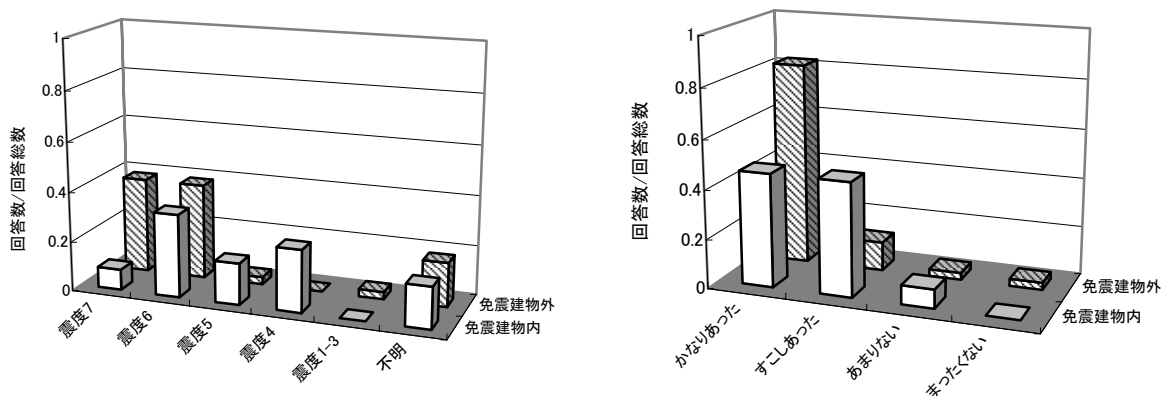


図12 免震建築物Aにいた人といなかった人への質問6及び12に対する回答集計結果の比較

いては、建築物Aと近隣の木造個人住宅の地震時の様相を比較している、と見なしてほぼ差し支えない。

図12は、地震時の行動に関する質問に対する回答集計結果である。免震建築物以外の場合は、「外に飛び出した」と回答した被験者が3割程度を占めるのに対し、免震建築物の場合は、約7割が「作業を中断して様子を見た」と回答している。また、免震建築物以外及び免震建築物の双方の場合とも「その他」と回答した被験者が見られる。アンケート記入票の回答「f. その他()」の括弧書きの部分には、免震建築物以外の場合は「階段の下、身動きが出来なかった」「家族の安全を確認し全く動けずに行った」「家族に言われ外へ避難した」とのコメントがあったのに対し、免震建築物の場合は「利用者の人数確認、声かけ、水の確保、安全確認などを行った」との、本建築物用途(保健施設)の特徴を示すコメントがあった。免震建築物の場合のこのコメントの回答者は「作業を中断して様子を見た」とも回答している。すなわち、地震時に「何も出来なかった」場合は「その他」として回答するようであり、また、後に示す免震建築物内の室内状況に関する回答も合わせて考えると、免震建築物内で「作業を中断して様子を見た」ことは、その間に揺れを感じたと思われるが、その大きさがそれほどでもなく、また室内の状況もほとんど変化がなかったことにより、「地震後の冷静な行動が可能であった」ことを意味すると考えられる。なお、免震建築物以外で、「火の元の始末を行った」と回答した被験者が2割程度を占めるのに対し、免震建築物で0であるのは、地震時に被験者が非免震建築物で予想す

揺れの感じ方についてお答え下さい(質問7及び質問13)

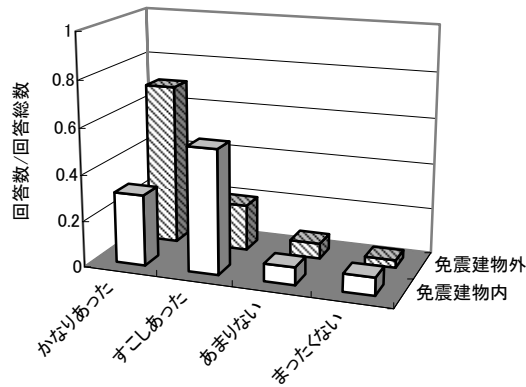


(1) 震度にした場合

(2) 恐怖感

図13-1 免震建築物Aにいた人といなかった人への質問7及び13に対する回答集計結果の比較

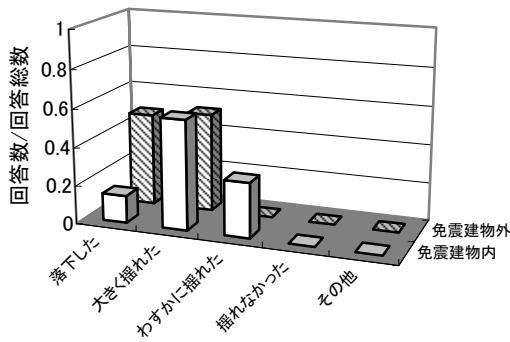
揺れの感じ方についてお答え下さい(質問7及び質問13)



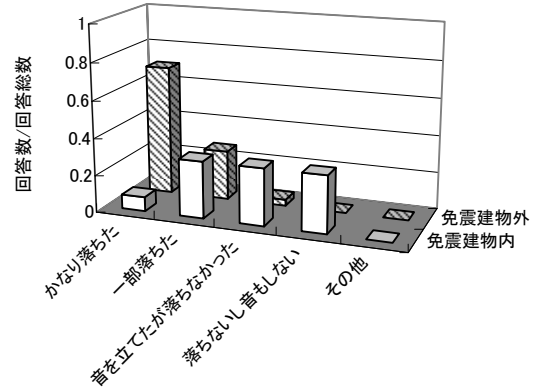
(3) 不快感

図13-2 免震建築物Aにいた人といなかった人への質問7及び13に対する回答集計結果の比較

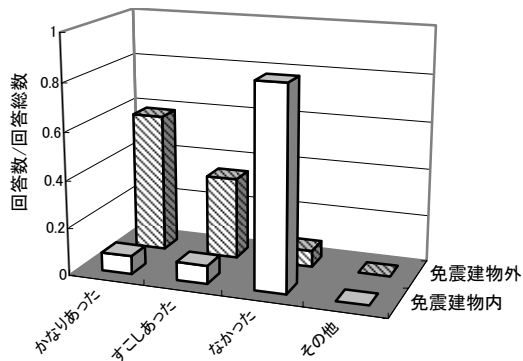
地震の最中での室内の揺れの状況についてお答え下さい(質問8及び質問14)



(1) 吊り下げ物



(2) 食器類やその他の棚、机の上のもの



(3) 転倒物

図14 免震建築物にいた人といなかった人への質問8及び14に対する回答集計結果の比較

る揺れの感覚とは違ったことや被験者のほとんどが調理場から離れた食堂・広間に居たことが要因として考えられる。

図13-1, 2は、地震時の揺れの感じ方に関する質問に対する回答集計結果である。(1)の震度については、免震建築物内にいた人の方が、震度をやや低めに感じる傾向が見られが、免震建築物内であっても揺れを全く感じなかったと言う訳ではない。(2)の恐怖感及び(3)の不快感については、免震建築物内においても「かなりあった」又は「すこしあった」と回答した人の割合は恐怖感の場合で約90%、不快感の場合で約80%となった。そのうち、別途集計した結果によると、両者の場合とも、建築物Aが免震構造であることをあらかじめ「知っていた」と回答した人が80%強を占めており、建築物が免震であることを認識していても、ある程度の大きさの揺れを感じる以上、何らかの恐怖感及び不快感を覚えたという結果となっている。ただし、免震建築物以外の場合と比較すると、「かなりあった」と回答した人の割合は減少しており、免震建築物内では総じて恐怖感及び不快感が低減されたと言える。

図14は、地震時の室内状況に関する質問に対する回答集計結果である。(1)の吊り下げ物及び(2)の棚、机の上の物などが落下したと回答した被験者の割合は、免震建築物内の場合、それ以外と比較すると明らかに減少している。また、(3)の転倒物については、免震建築物外では、「かなりあった」と回答した被験者が多数を占めるのに対し、免震建築物内では、「なかった」と回答した被験者がほとんどである。これにより、本地震においては、免震構造はその性能を十分に発揮し、フロアレスポンスが確実に低減されたと言える。ただし、同図によれば、一部の被験者が、免震建築物内でも、吊り下げ物が落下し、食器類やその他の棚、机の上のものが落ち、転倒物があった、と回答している。著者らは、このような回答結果と実際の免震建築物内での様相との対応を検証するため、アンケート回答集計後に追加現地調査を行ったが、その結果は4.3節に示す。

以上の揺れの感じ方及び室内の状況について、アンケートの自由コメント欄に記述されたいくつかの代表的なコメントを以下に紹介する。

a) 揺れの不快感について

(1) ゆらゆらと揺れが長いのが不快に感じました。

(2) 恐怖感はさほど強くなかったのですが、その後の横揺れのため頭痛と吐き気を感じました(船酔い状態)。

(3) 横揺れはかなりの時間続くため船酔いの様になり嘔吐した利用者も数名いたが、震度6強という災害の一般の被害状況から見るとこの建物の状態は嘘のようである。

以上のコメントの回答者は、いずれも建築物Aが免震構造であることを「知っていた」と回答し、そのうち(1)の回答者が、不快感は「かなりあった」、(2)(3)の回答者が「少しあった」と回答している。また、地震(本震)時に建築物Aには「いなかった」が自由コメント欄で余震時での免震建築物の揺れ方を「フェリーなどの大型の船に乗っている様でした」と記した人もいた。免震建築物の揺れが「船酔い」にあったような感覚をもたらすことは、前田ら⁷⁾、早川ら^{9),10)}のアンケート調査結果でも報告されている。すなわち、建築物Aでの不快感は「ゆらゆらと」揺れる免震構造特有の振動特性に起因するものであり、建築物が免震構造であることを先験的に認識していても、ある程度の大きさの揺れを感じる限り何らかの不快感は覚えるものと考えられる。

なお、以上のコメントにおいて、「ゆらゆらと揺れが長い」「横揺れはかなりの時間続く」との記述が見られる。今回の地震は、一般に継続時間が短いとされる内陸直下地震であり、文献3)4)に示された免震層床面での加速度観測記録の波形から著者らの目視で判断する限り、主要動の継続時間は15秒程度である。しかしながら、中村ら⁶⁾によると免震構造での振動知覚閾は 0.04m/s^2 程度であることから、主要動の継続時間より、揺れはより長い間、感じられたと思われる。また、同じく中村ら⁶⁾が指摘するように、より少ない床応答加速度の下でも免震構造においては、不安感より不快感の方がより強く感じられる傾向があることから、このように揺れをより長く感じたことと関連付けて不快感を説明するコメントが寄せられたものと考えられる。

b) 揺れの感じ方や恐怖感について

- (1)やはり揺れはかなりあり恐怖感があったが、ほとんど落下物や倒れる物もなく、自分も含め他者(利用者)も実際外の他の家屋があんな大事になっているとは思えなかった。
- (2)最初のつきあげ、その後の左右の横揺れは激しいが、とにかく、物の落下は全くないことに驚かされた。そのため、「ここは安全だ」と確信でき安心できた。
- (3)揺れは大きかったが激しい揺れではなかった。
- (4)揺れは感じたが外のひどさが分からないくらい、安全だった。
- (5)物の落下や家具の転倒がほとんどなかったことから恐怖感が最小限に抑えられていた。
- (6)縦揺れは強く感じたが横揺れはおだやか。物が落ちたり倒れたりしないため恐怖感は少ない。

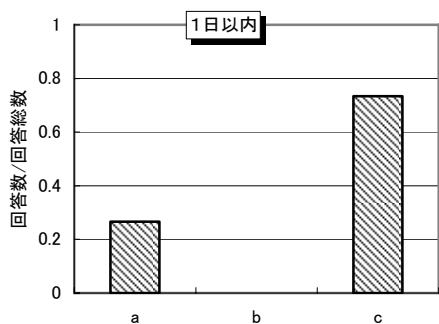
以上のコメントの回答者は、いずれも建築物Aが免震構造であることを「知っていた」と回答し、そのうち(1)(2)の回答者が、恐怖感「かなりあった」、残りの回答者が「少しあった」と回答している。(1)のコメント冒頭に「やはり」とあるように建築物Aが免震構造であると認識しているにも係わらず、免震建築物内であってもある程度の大きさの揺れを感じる限り恐怖感を感じるようである。しかしながら、コメント(1)(2)(5)及び(6)から、物の落下や家具の転倒が無いことにより恐怖感が抑制されていたことが分かる。このような周囲の状況に関する記述に、建築物Aが免震構造であるという先験的知識がどの程度、反映されているかは不明であるが、各回答者により免震構造のフロアレスポンス低減性能が実感されたことは明らかであると言える。また、このことが、図13に示すように免震建築物内で、恐怖感が「かなりあった」と回答した人の割合が周辺建築物よりも少なくなったことにつながったと考えられる。

図15は、免震建築物内にいなかった人に地震後の免震建築物内の様相を質問した回答結果である。大部分が室内はほぼ元の状態であったと回答しているが、「家具が転倒し、食器類やその他の棚、机の上のものがかなり散乱していた」と回答した被験者もいる。これは、図14にも示されたとおり、免震建築物内でも転倒した積載物等が皆無でなかったことによると考えられる。

図16は、免震建築物の有効性に関する質問に対する回答集計結果である。ほとんどの被験者が免震建築物は「優れている」と回答している。

「あまり変わらない」と回答した被験者は「もう少し揺れが小さいものだと思っていたので、正直こんなに揺れたので驚いた」とコメントしている。これに対し「この建物ではほとんど落下する事も

地震後の免震建築物の室内での様相をお聞かせ下さい(質問15)



- a.家具が転倒し、食器類やその他の棚、机の上のものがかなり散乱していた
- b.家具は転倒していなかったが、食器類やその他の棚、机の上のものが散乱していた
- c.室内は、ほぼ元の通りであった

図15 免震建築物Aにいなかった人への質問15に対する回答集計結果

免震建築物の有効性を実感できましたか(質問9及び質問16)

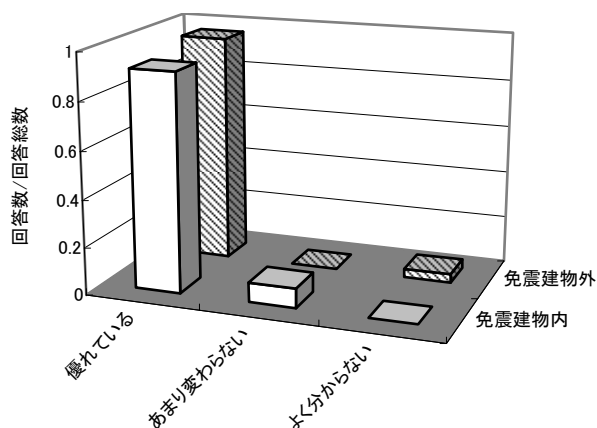


図16 免震建築物Aにいた人といなかった人への質問9及び16に対する回答集計結果の比較

なく、ただ揺れるだけであることに驚き、その後の余震はほぼ安心して過ごせた様に思う。この安心感はとても有意義であると思う」とのコメントもある。すなわち、免震構造の「ゆっくり揺れる」という特質が建築物利用者に理解されれば、より多くの安心感をもたらすことができると考えられる。

免震建築物は「優れている」と回答した理由については、「壁に亀裂が入る等一切無かった」「落下物や倒れる物がない」とするものがほとんどである。これらより上部構造の損傷を抑えしフロアレスポンスを低減するという免震構造の特長が、一般利用者にも地震経験を通じ実感されたことが分かる。また、建築物Aでは、地震時に恐怖感及び不快感を覚えた人がほとんどであったが、図16に示すように免震建築に対する高い評価が得られているのは、非常に大きな地震動に対しては安全性及び地震後の機能維持が建築構造の評価の基準として最優先された結果と言える。なお、「優れている」と回答した被験者からは「今後、免震建築物を建設していくとよい(特に病院・施設等の人命に係る所)」「免震の建物は絶対必要」「免震構造に対し強い信頼が生まれた」との期待感や信頼感を表すコメントも得られている。

以上の回答結果から、震度6強地域において建築物Aは免震構造としての性能を十分に発揮し、また建築物利用者からもその性能が高く評価されたと言える。

4.2 建築物Bにおけるアンケート結果

図17は、建築物Bについてのアンケート回答数と、地震時に免震建築物内に「いた」または「いなかった」と回答したそれぞれの人数を示す。また、アンケートの記入者情報を、地震時に建築物B内に「いた」人と「いなかった」人毎に、図18及び図19に示す。

図20は、建築物B内に「いた」人への質問4及び質問5に対する回答集計結果を、図21は、「いなかった」人への質問11に対する回答集計結果を示す。

免震建築物にいた人については、地下1階から4階までの各階から回答が得られた。また、図20の質

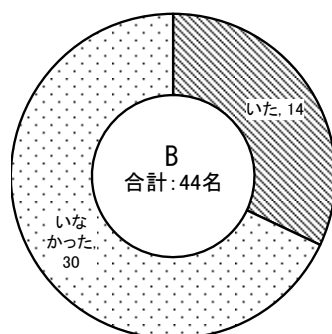
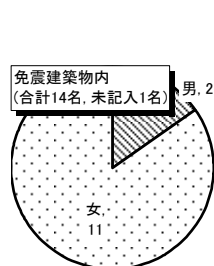
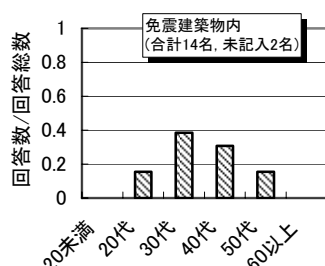


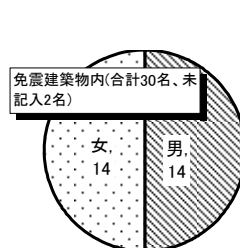
図17 建築物Bのアンケート集計数



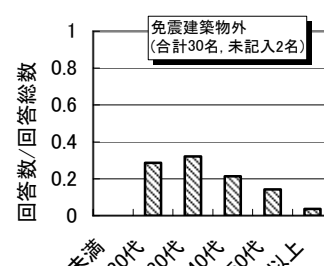
(1)性別



(2)年齢



(1)性別



(2)年齢

図18 記入者情報(免震建築物Bにいた人)

図19 記入者情報(免震建築物Bにいなかった人)

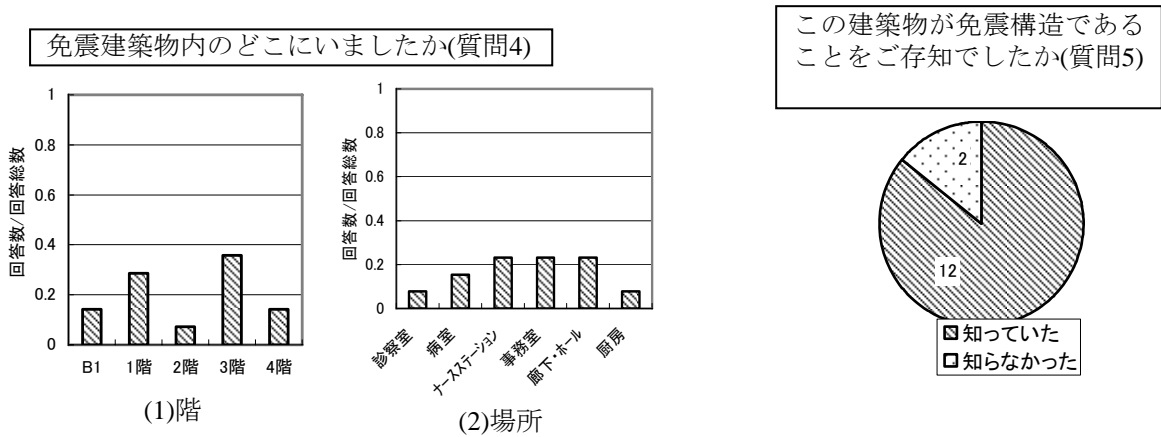


図20 免震建築物Bにいた人への質問4、5に対する回答集計結果

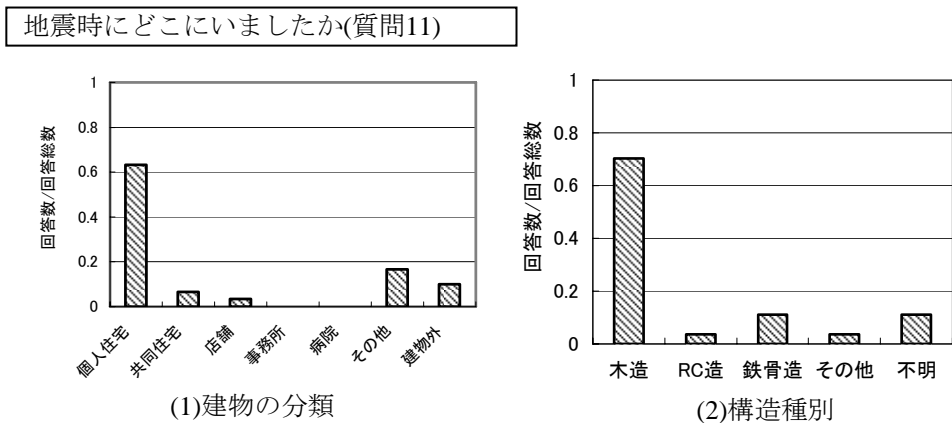


図21 免震建築物Bにいなかった人への質問11に対する回答集計結果

問5に対する回答結果より、ほとんどの人が建築物に免震構造が適用されていたことを知っていたことが分かる。

免震建築物にいなかったと回答した人については、約7割が個人住宅又は共同住宅にいたと回答し、地震時にいた建築物の構造種別については約7割が木造と回答している。なお、これらの免震建築物にいなかった全員が、建築物Bの近隣の震度4地域にいたことを確認している。したがって、図22～24に示す結果においては、建築物Bと近隣の木造個人住宅又は共同住宅の地震時の様相を比較している、と見なしてはば差し支えない。

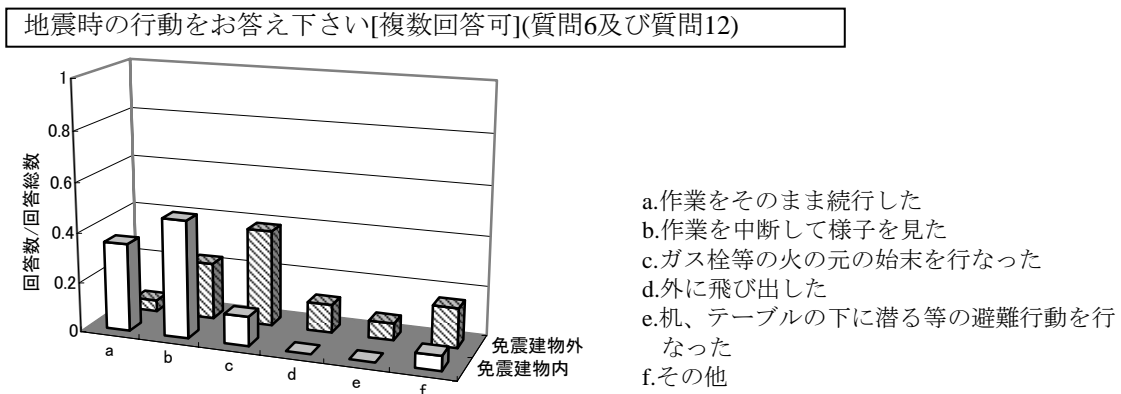
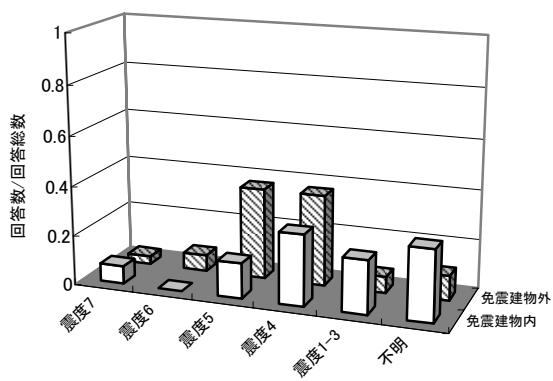
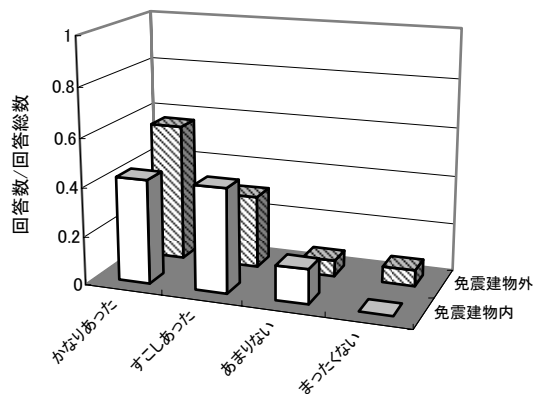


図22 免震建築物Bにいた人といなかった人への質問6及び12に対する回答集計結果の比較

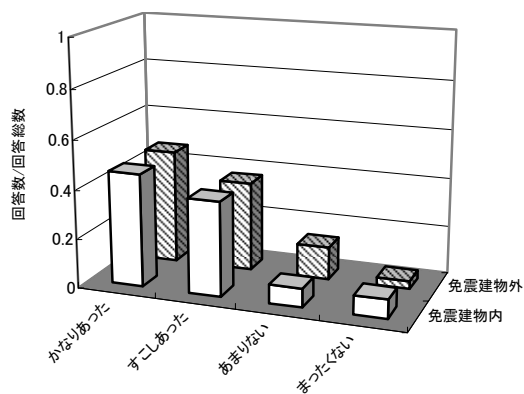
揺れの感じ方についてお答え下さい(質問7及び質問13)



(1) 震度にした場合



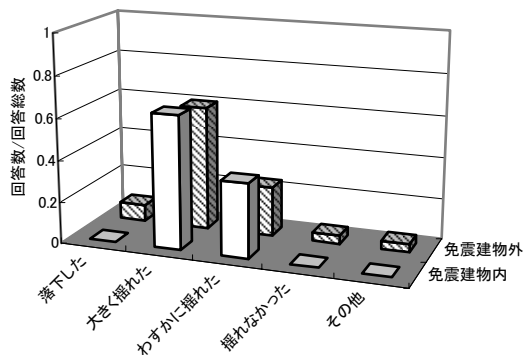
(2) 恐怖感



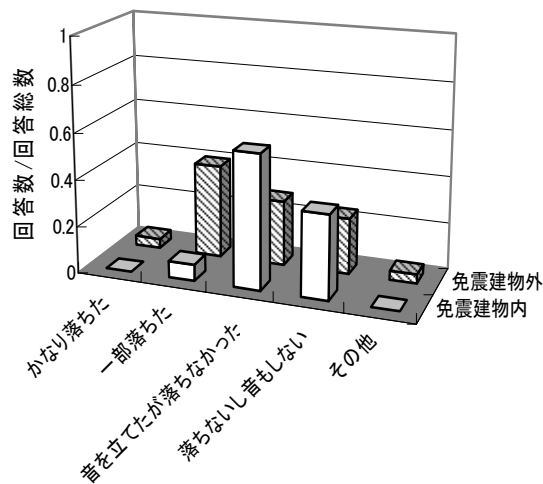
(3) 不快感

図23 免震建築物Bにいた人といなかった人への質問7及び13に対する回答集計結果の比較

地震の最中での室内の揺れの状況についてお答え下さい(質問8及び質問14)



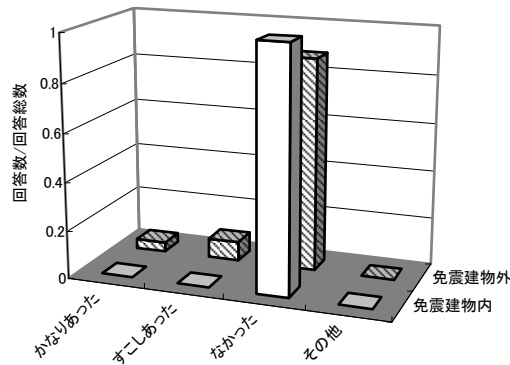
(1) 吊り下げ物



(2) 食器類やその他の棚、机の上のもの

図24-1 免震建築物Bにいた人といなかった人への質問8及び14に対する回答集計結果の比較

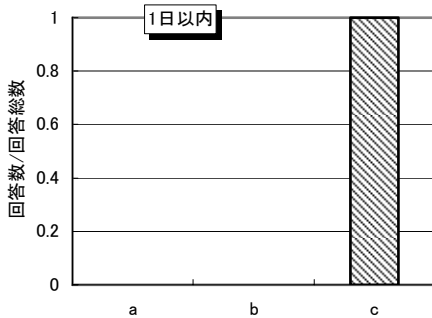
地震の最中での室内の揺れの状況についてお答え下さい(質問8及び質問14)



(3) 転倒物

図24-2 免震建築物Bにいた人といなかった人への質問8及び14に対する回答集計結果の比較

地震後の免震建築物の室内での様相をお聞かせ下さい(質問15)



- a.家具が転倒し、食器類やその他の棚、机の上のものがかなり散乱していた
- b.家具は転倒していなかったが、食器類やその他の棚、机の上のものが散乱していた
- c.室内は、ほぼ元の通りであった

図25 免震建築物Bにいた人といなかった人への質問15に対する回答集計結果

免震建築物の有効性を実感できましたか(質問9及び質問16)

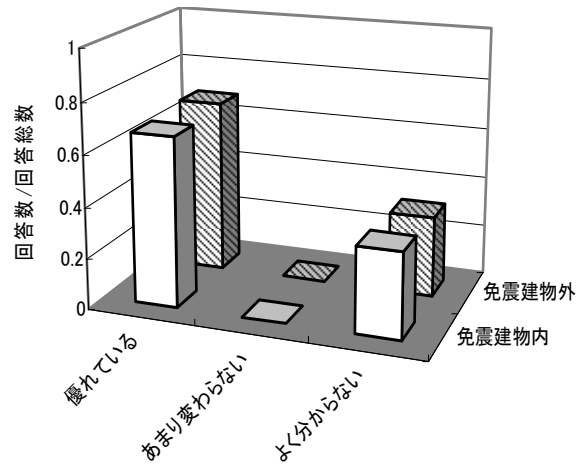


図26 免震建築物Bにいた人といなかった人への質問9及び16に対する回答集計結果の比較

以下、建築物Aの場合と同様に、地震時の行動、揺れの感じ方及び室内の状況についての回答を、地震時に免震建築物にいた人と、いなかった人で比較する。

図22に示す地震時の行動については、免震建築物内では「作業をそのまま続行した」と回答した被験者も多いことが分かる。建築物Bは震度4の地域に建設されており、動きのある作業の中では、揺れを感じなかった可能性もあることが考えられる。

図23に示す揺れの感じ方については、免震建築物以外よりも免震建築物の中にいた方が震度を低めに評価する傾向が見られるが、恐怖感及び不快感については、免震建築物の中とそれ以外で際立った差は見られない。これらについて、免震建築物内で「かなりあった」又は「少しあった」と回答した人の割合は、恐怖感及び不安感の場合とも約85%である。そのうち、両者の場合とも、建築物Bが免震構造であることを「知っていた」と回答した人が約80%強を占めており、建築物Aの場合と同様、建築

物が免震であることを認識していても、ある程度の大きさの揺れを感じる以上、何らかの恐怖感及び不快感を覚えたという結果となっている。図24に示す室内の状況についても、棚、机の上のものが「一部落ちた」と回答した被験者の割合が、免震建築物内では少なくなるものの、吊り下げ物、転倒物については、免震建築物の内外で顕著な差は見られない。なお、免震建築物であっても吊り下げ物が「大きく揺れた」と回答した被験者が多いが、これらの回答と実際の免震建築物内の様相との対応については、建築物Aの場合と同様、やはりアンケート回答集計後に追加現地調査を行っている。その結果は4.3節に示す。また、図25によると、地震時に免震建築物にいなかった被験者全員が、地震後の免震建築物の「室内は、ほぼ元の通りであった」と回答している。

図26によると、免震建築物の有効性に関する質問に対し、約6割が「優れている」と回答しているが、残りの4割の被験者は「よく分からない」と回答している。このように有効性に関する判断を保留した理由は、「今回の地震では、湯沢町は震源地から離れていたし、湯沢町全体で被害が少なかった。もしも、湯沢町が震源地であったら、どの程度まで耐震性を発揮できるのか分からない」とのコメントに集約されると考えられる。また、「免震構造の特徴(ゆっくりと揺れを吸収する)なのか、揺れている時間が他の建物より少し長いような気がした」「免震建築物内での体感は初めてでしたが、この度、結構揺れが大きく感じました。免震であるために、揺れたのだと思ったが、少しの恐怖感は感じました」とのコメントもある。すなわち、震度4地域においては、免震建築物内でもある程度の揺れは感じられた一方で、周辺の建築物での被害がそれほど大きくなかったことにより、免震建築物の有効性が実感されにくく、そのため、有効性に関する判断を保留する回答が多くなったと考えられる。

4.3. アンケート調査結果を踏まえた追加現地調査

図14によると、建築物Aでは、一部の被験者が、「免震建築物内でも、吊り下げ物が落下し、食器類やその他の棚、机の上のものが落ち、転倒物があった。」と回答し、図24によると、建築物Bでは、6割弱の回答者が「吊り下げ物が大きく揺れた。」と回答している。アンケート記入票からこのように回答した被験者は建築物Aでは全て4階におり、建築物Bでは地下1階から4階まで分散していたことが明らかとなっている。

これらの被験者の回答と、実際の免震建築物内の様相との対応について、アンケート回答集計後に、追加現地調査を行った。本調査では、各建築物の管理者に図14及び図22のアンケート調査結果を示し、該当する吊り下げ物等を指摘してもらった。

まず建築物Aであるが、落下した吊り下げ物は写真4に示す4階壁に架けられたパネル類であったこ



写真4 地震時に落下したとされるパネルの例(建築物A、4階)



写真5 地震時に机の下から飛び出したとされるキャスター付きファイルケース(建築物A、4階)



写真6 地震時に一部が転倒したとされる植木鉢群 (建築物A、4階)



写真7 地震時に転倒したとされるパソコンモニター (建築物A、5階)

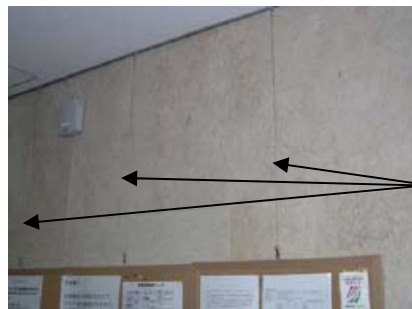


写真8 地震時に大きく揺れたとされるパネルの例 (建築物B、1階)

とが判明した。また、落下したものは、4階の机の下に格納されたキャスター付きファイルケースが机の下から飛び出したのに伴い、中のファイルが散乱したものであり(写真5参照)、転倒物は、同じく4階の窓際及びベランダの植木鉢(写真6参照)と、5階の物置内の2段に積み重ねた机の上のパソコンのモニター(写真7参照)であった。金子¹³⁾によると、大きな地震動に対しては、免震建築物内であってもスレンダーな家具が転倒したり、滑りやすい家具の移動量が大きくなる場合があることに注意が必要であるとしている。建築物A内の落下及び転倒物の多くは、これらの事例に該当するものと考えられる。

次に建築物Bであるが、地震時に大きく揺れたとされた吊り下げ物は、ピアノ線により壁に掛けられたパネル類等であることが判明した。その代表事例を写真8に示す。なお、免震建築物において吊り下げ物が大きく揺れた事例があったことは早川ら⁹⁾¹⁰⁾のアンケート調査でも報告されている。

免震建築物内で落下、転倒等を起こした吊り下げ物等の事例は以上の通りであるが、著者らが見た限りでは、これらの落下、転倒等によって、周囲の建築物利用者が危害を被るようなものではなかったと判断された。特に、建築物Aでは、震度6強地域に位置するにも係わらず、3階以下においては全く積載物の落下、転倒等が生じなかったことに着目すべきであり、全体の様相を通してみれば、免震構造の性能が十分発揮されたことが確認できた。

5. まとめ

免震建築物の対地震性能に関するアンケート調査の結果を以下にまとめる。

- 1) 震度6強地域において、免震建築物の周辺の建築物では「外にとび出す」ような揺れであったが、免震建築物内では、地震時に「作業を中断して様子を見た」と回答した被験者が多く、室内状況に関するアンケート調査結果等も合わせて考えると、地震直後においても冷静な行動が可能で

あったと考えられる。また、免震建築物内にいた人の方が、体感震度を小さ目に感じる傾向が見られた。

- 2) 本調査においては、震度4地域及び震度6強地域の双方で、免震建築物内であっても恐怖感及び不快感が「かなりあった」又は「すこしあった」と回答した人の割合が全体の80～90%となった。また、これらの回答者の80%強が、建築物が免震構造であることを認識していた。すなわち、地震時にある程度の大きさの揺れを感じる以上、建築物が免震構造であるか否かという先験的知識の有無に係わらず、免震建築物内でもなんらかの恐怖感及び不快感を覚えたものと考えられる。ただし、震度6強地域においては、免震建築物内で恐怖感及び不快感が「かなりあった」と回答した人の割合は、周辺建築物の場合と比べ低減されており、免震建築物は同地域において総じて地震時での恐怖感及び不快感を低減させる効果を発揮したと考えられる。
- 3) 免震建築物内での不快感の一例は「ゆっくりとした横揺れに対する船酔い」のようなものであり、長周期で振動する免震建築物特有の応答特性が反映されたものと考えられる。
- 4) 震度6地域で恐怖感を覚えた回答者からは、免震建築物内で物の落下や家具の転倒が無いことにより恐怖感が抑えられたという主旨の複数のコメントが示された。これらのコメントは回答者により免震構造のフロアレスポンス低減性能が実感されていたことを示すものであり、また、このことが、免震建築物内で、恐怖感が「かなりあった」と回答した人の割合が周辺建築物よりも少なくなったことにつながったと考えられる。
- 5) 震度6強地域において、免震建築物内の方が、周辺建築物内よりも、吊り下げ物の揺れ、食器類等の棚からの落下、家具類等の転倒はかなり少なくなることが確認された。なお、アンケートの回答によると、免震建築物内でも大きく揺れたり、落下、転倒したりした積載物は皆無ではなかったが、アンケート回答集計後に行った追加現地調査によると、これらは、壁に架けられたパネル類や植木鉢、物置内で重ねられた机の上のパソコンモニター等であった。著者らの見る限り、これらの落下等によって、周囲の建築物利用者が危害を被るようなことはなかったと判断されるものであった。
- 6) 建築物利用者にとり、免震構造の有効性は、震度4地域より、震度6強地域の方が、より強く実感される傾向が認められた。

謝辞

ここに報告したアンケート調査の実施に当っては、地震被災直後の慌ただしい状況にも係わらず、免震建築物の施主、管理者及び利用者の皆様の多大なる御協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本建築センター：免震構造建築物、-その技術開発と地震観測結果 Part2-、1995
- 2) 鹿嶋俊英ほか：2003年十勝沖地震における釧路合同庁舎の地震時応答(その1～2)、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.265-268、2004.8
- 3) 溜正俊、鶴田隆：免震建物の地震観測記録と振動解析結果、平成16年新潟県中越地震被害調査報告会梗概集、日本地震工学会他、pp.111-116、2004.12.
- 4) 太田俊也ほか：平成16年(2004年)新潟県中越地震における小千谷市内の免震建物の挙動(その1～その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.653-658、2005.9
- 5) 日本建築学会：2005年福岡県西方沖地震災害調査報告書、pp.193-205、2005.9
- 6) 中村敏治、神田順、塩谷清人、長屋雅文：免震建物における地震時振動知覚の統計的調査、日本建築学会構造系論文集第472号、pp.185-192、1995年6月
- 7) 前田信之、小川雄一郎：2003.05.26宮城県沖の地震に関するアンケート結果とその分析、MENSJIN NO.42、pp.29-32、2003年11月
- 8) 中川太郎、鳥居次夫：仙台市に建つ免震電算センターの2003年5月26日宮城県沖の地震での挙動、

MENSHIN NO.42、pp.33-37、2003年11月

- 9) 早川邦夫、鈴木幹夫、伊藤佳展、世良信次、太田崇士、鶴谷千明、可児長英、平野範彰、上河内宏文、前林和彦、新保香奈子：平成15年十勝沖地震における免震建物居住者へのアンケート調査、MENSHIN NO.45、pp.34-37、2004年8月
- 10) 前林和彦、早川邦夫、鈴木幹夫、伊藤佳展：平成15年十勝沖地震における免震建物居住者へのアンケート調査、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp. 287-288、2004.8.
- 11) 気象庁：特集 平成16年(2004年)新潟県中越地震について、平成16年地震・火山月報(防災編)、pp. 41-87、2004. 10
- 12) 気象庁ホームページ(<http://www.kisyuu.go.jp>)：震度階級関連解説表
- 13) 金子美香：免震建物の地震時室内被害に関する検討、日本地震工学会・大会-2004梗概集、pp. 270-271

(受理：2006年 2月14日)

(掲載決定：2006年 9月 6日)

QUESTIONNAIRE SURVEY TO INHABITANTS' IMPRESSION ON PERFORMANCE OF SEISMICALLY ISOLATED BUILDINGS IN THE 2004 MID NIIGATA EARTHQUAKE

T. Azuhata¹, M. Iiba², N. Inoue³ and M. Midorikawa⁴

1) Member, Senior Researcher, National Institute for Land and Infrastructure Management, ph.D.

2) Member, Research Coordinator for Disaster Mitigation of Buildings, National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr. Eng.

3) Member, Senior Researcher, National Institute for Land and Infrastructure Management, Mr. Eng.

4) Member, Professor, Division of Architectural and Structural Design, Hokkaido University, Dr. Eng.

ABSTRACT

In seismic areas of the 2004 Mid Niigata earthquake of Japan, the authors carried out questionnaire surveys on inhabitants' impression about performance of seismically isolated buildings. The questionnaire mainly deals with floor responses. And its items are concerned about the ability of evacuation action, feeling and aspects of floor vibration, valuation of seismically isolated buildings and so on. In the 6+ seismic intensity area, some inhabitants felt discomfort like seasickness during the earthquake and a few light or unstable interior things fell down or overturned on the floor. But on the whole, seismically isolated building effectively reduced floor responses and most of the inhabitants highly appreciated its performance.

Key Words: Seismically Isolated Structure, 2004 Mid Niigata Earthquake, Floor Response, Questionnaire Survey