

## 第9章 免震建築物

### 9.1 調査目的と内容

#### 9.1.1 調査目的

1995年兵庫県南部地震<sup>1)</sup>、2003年宮城県沖地震<sup>2)</sup>および2003年十勝沖地震<sup>3),4)</sup>において、地震動観測に基づいた免震建築物の挙動結果が報告され、地震時における免震効果の実証例が蓄積されている。

2004年10月時点で、新潟県内に9棟の免震建築物が建設されていたことを確認している。そこで、比較的大きな地震動が作用したと想定される免震建築物の挙動を把握するために、新潟県内の6棟の免震建築物の調査を行った。

免震建築物の調査目的は以下のようである。

- a) 地震時における免震建築物の地震時挙動を明確にする。
- b) 免震層および免震層周辺の状態を把握する。

#### 9.1.2 調査内容

免震建築物の調査として、以下の項目を実施した。

- a) 居住者・建物管理者のヒヤリング調査
- b) 居住者のアンケート調査
- c) 免震層および免震層周辺状況の調査
- d) 免震建築物における地震動観測記録の収集

ヒヤリング調査・アンケート調査においては、以下の内容を明らかにするために実施し、地震時および地震後における免震建築物の状況をまとめた。

- a) 建築物内の居住者の揺れの感じ方
- b) 地震中および地震後の室内の様子
- c) 地震後のインフラの復旧状況

また、免震建築物の免震層および免震層周辺における現地での調査項目は以下のものである。

- a) 地震後の免震部材の状況
- b) 免震部材の軌跡や免震層周囲の状況からの免震層変位の確認
- c) 水平・上下クリアランスの状況
- d) 免震層の施工状態
- e) 積雪時における免震層周辺の状況

さらに、免震建築物の地震観測結果を収集し、免震効果の確認を行った。

免震建築物の調査日程等は、以下のようである。

- a) 2004年11月11日(木)～12日(金)、18日(木)

場 所：小千谷市、三条市、湯沢町

調査者：国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター

建築災害対策研究官 飯場正紀

独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員 井上波彦

b) 2004年12月8日（水）～9日（木）

場 所：小千谷市、三条市、長岡市、新潟市、湯沢町

調査者：国土技術政策総合研究所 飯場正紀

同 建築研究部 主任研究官 小豆畑達哉

独立行政法人建築研究所 研究専門役 緑川光正

同 井上波彦

c) 2005年2月4日（金）～5日（土）

場 所：小千谷市、三条市、長岡市、湯沢町

調査者：国土技術政策総合研究所 飯場正紀、小豆畑達哉

独立行政法人建築研究所 緑川光正、井上波彦

## 9.2 調査免震建築物の概要

調査を実施した6棟の免震建築物の概要を、表9.2.1に示す。調査建築物は、3～8階建てのRC構造であり、一部3階建ての戸建て住宅が含まれている。免震部材としては、鉛プラグ入り積層ゴム支承が3棟、高減衰積層ゴム支承が1棟、弾性すべり支承が1棟、すべり支承が1棟である。

建築物Aおよび建築物Bには地震計が設置されており、2004年新潟県中越地震の本震の記録が観測されている<sup>5),6)</sup>。また建築物Cには、図9.2.1に示すけがき変位計が設置されており、免震層の変位の軌跡が観測されていた。

表9.2.1 調査免震建築物

名称	上部構造	階	用途	建設地	免震部材	地震動観測
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	
B	RC	8	専修学校	長岡市	高減衰積層ゴム支承	
C	RC	4	事務所	長岡市	鉛プラグ入り積層ゴム支承	*1
D	RC	3	診療所	三条市	鉛プラグ入り積層ゴム支承 + 天然ゴム系積層ゴム支承	
E	S	3	戸建て住宅	新潟市	すべり支承、積層ゴム	
F	RC	4	病院	湯沢町	鉛プラグ入り積層ゴム支承 + 天然ゴム積層ゴム支承、 球体転がり支承	

\* 1 : 免震層にけがき変位計を設置



図9.2.1 けがき変位計

### 9.3 地震時・地震後の居住者等のヒヤリング結果

免震建築物の施主または施設管理者に、地震時および地震後の建築物および室内の様子、地震後のインフラの復旧状況についてヒヤリングを行った。建築物毎に、ヒヤリング結果を列挙する。

#### (1)建築物 A（小千谷市、保健施設）(施設管理者にヒヤリング)

- ・平成 9 年 5 月竣工の老人保健施設。長期滞在者を受け入れている。常勤職員 53 名。
- ・デイケア来所者：最大で 20 人 / 日、平均的には 10 人 / 日。
- ・長期滞在者の定員 100 人で、地震当日(10/23)は 96 ~ 97 人の滞在者がいた。
- ・当日の勤務者は少なく、当番の職員(10 人程度)が建物内で仕事をしていた。
- ・当日、1 階に近所の住人など 400 人程度が避難してきた。避難は 1 日だけだった。
- ・室内の様子は以下のようである。
  - ・室内の書庫は倒れていない。
  - ・4 階で、壁掛けがはずれていることを職員が発見した。
- ・3 回目の余震までは自宅にいたので、建物内にはいなかった。
- ・4 回目の余震(震度 5)を体験した。ドンときて、いつまでも揺れが続く感じがした。
- ・非常電源装置(500 リットルの軽油)が作動。3 日間は大丈夫だったが、10 月 25 日には給油した。
- ・東西によく揺れた。
- ・ガスは約 1 ヶ月後の 11 月 24 日に復旧した。復旧まではプロパンガスで食事等に対応した。
- ・暖房はガスであったが、暖冬で助かった。さすがに 11 月中旬には寒くなり困った。
- ・土地が低いので、当日夜中まではきれいな水が使用できた。その後濁って使えなくなったが翌日まで水は使えた。
- ・貯水槽の容量は 30 立方メートル(飲み水、トイレ)。1 日 30 立方メートル程度使う。
- ・排水は問題なかった。
- ・(参考)自宅での様子
  - ・当日 2 階にいた。地震時は宙に浮いた感じであった。
  - ・テレビは落下し、蛍光灯は割れ、タンスが倒れた。
  - ・2 回目の余震では、もっと驚いた。
  - ・1964 年新潟地震を経験した。
  - ・自宅周辺は 5cm 程度地盤が沈下していた。
  - ・午後 8 時までには、母親と一緒に避難所に行った。

#### (2)建築物 B（長岡市、専修学校）(施主等にヒヤリング)

- ・敷地は旧長岡城跡に位置しており、地盤条件は良い。湿地帯や堀跡で被害があったようである。治山・治水が古くから課題であった土地であり、山沿いには古くからの人達はあまり家を建てない。

- ・長岡地震(1997年の秋)を経験した。
- ・150名の学生が3回目の余震を経験した。
- ・10月27日には震度6弱の余震があった。
- ・書物、実験室の設備等に落下物はなかった。
- ・18時13分や18時27分の余震は余り感じなかった。
- ・地震直後から通常の機能が保持できた。エレベーターは止まらなかった。他のビルでは、復旧に時間がかかった。
- ・他の建築物では、パソコンや大型機器の被害が大変だった。
- ・電気は1時間程度で回復した。
- ・水は3日後に復旧した。
- ・ガスの復旧は10月31日までかかった。
- ・免震建築物の良さをもっと周知させてほしい。
- ・地震計を設置していた。
- ・縦揺れの方が感じ易い。

#### (3)建築物C(長岡市、事務所)(施設管理者にヒヤリング)

- ・本震時は勤務時間外であり、建築物内には誰もいなかった。
- ・地震後、建築物内に初めて入った時、部屋の内部が散乱している様子は全く無く、何の異常もなかった。花びんも倒れていなかった。
- ・同市内の当社の建築物では、棚などが倒れて大変な状況だった。
- ・余震を経験したが、揺れはゆっくりとしたものだった。
- ・本建築物ではコンピュータのデータを保管しているが、この種の用途のためには、免震構造は有効であると実感している。
- ・けがき変位計により免震層の相対変位が記録され、その結果が建築物1階のパネルに展示されていた。
- ・日経新聞(2004年11月17日):新潟版よりの引用
  - ・6種類18個の積層ゴム
  - ・最大加速度(長岡):871gal
  - ・最大変位:87mm
  - ・28時間30分停電

#### (4)建築物D(三条市、診療所)(施主にヒヤリング)

- ・施主によれば、本震では免震効果が発揮されたとのことである。
- ・台風18号の時には床下浸水した。
- ・不安定なカルテ棚(高さ2m,奥行き33cm,足下奥行き28cm、写真9.5.15参照)が倒れた以外は特に異常は無かった。
- ・設計用積雪深は1.8mである。

(5)建築物F（湯沢町、病院）(施設管理者にヒヤリング)

- ・本震時、湯沢は震度4程度であった。
- ・地震時には付近一帯は夜中まで停電したが、自家発電により病院は機能を保持した。
- ・東西方向に免震層が3～4cm動いたようであり、復元材の効果によって残留変位は徐々に無くなったようである。
- ・免震構造では、地震の揺れはむしろ心地よいものと感じた、という感想も聞かれた。



表 9.4.1(2) アンケート質問項目(地震時に免震建築物の中にいた人用)

記入票 2

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。

．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

．その他

9．免震建物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。



表 9.4.1(3) アンケート質問項目(地震時に免震建築物の中にいなかった人用)

記入票 3

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

. 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.その他の建物 g.建物の外  
住所：(差し支えない範囲でお答え下さい)

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

(質問12～質問14は、表9.4.1(2)の質問6～8とそれぞれ同じ)

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

. その他

(質問16、17は、表9.4.1(2)の質問9、10とそれぞれ同じ)

## 9.4.2 アンケート結果について

### (1) アンケート回答数

図 9.4.1 は、各免震建築物についてのアンケート回答数と、質問 3 に対し地震時にその免震建築物内に「いた(はい)」または「いなかった(いいえ)」と回答した人数を示している。建築物 C(事務所)については、地震時において「いなかった」と回答した被験者の割合が 100%であった。これは地震の発生時間が土曜日の夕方であり、建築物 C の勤務時間外であったことによる。また、建築物 B(専修学校)についても、アンケート配布時のヒアリングにより、本震時に免震建築物内には人はいなかったことが明らかとなった。そのため、建築物 B については余震時(10月23日18時34分頃)に免震建築物内にいた人に、免震建築物内にいた人用の質問に回答することを依頼した。これらに対し、建築物 A(保健施設)および建築物 F(病院)については、本震時に免震建築物内にいた人からの回答を、比較的多く得ることができた。建築物 D は個人経営の診療所であり、地震時に免震建物内にいたと回答した被験者はその経営者のみである。建築物 E(戸建て住宅)のからは 1名の被験者から回答を得たが、本震時に免震建築物内に「いた」と回答している。

次節以降に、それぞれの建築物についてのアンケート集計結果を示す。

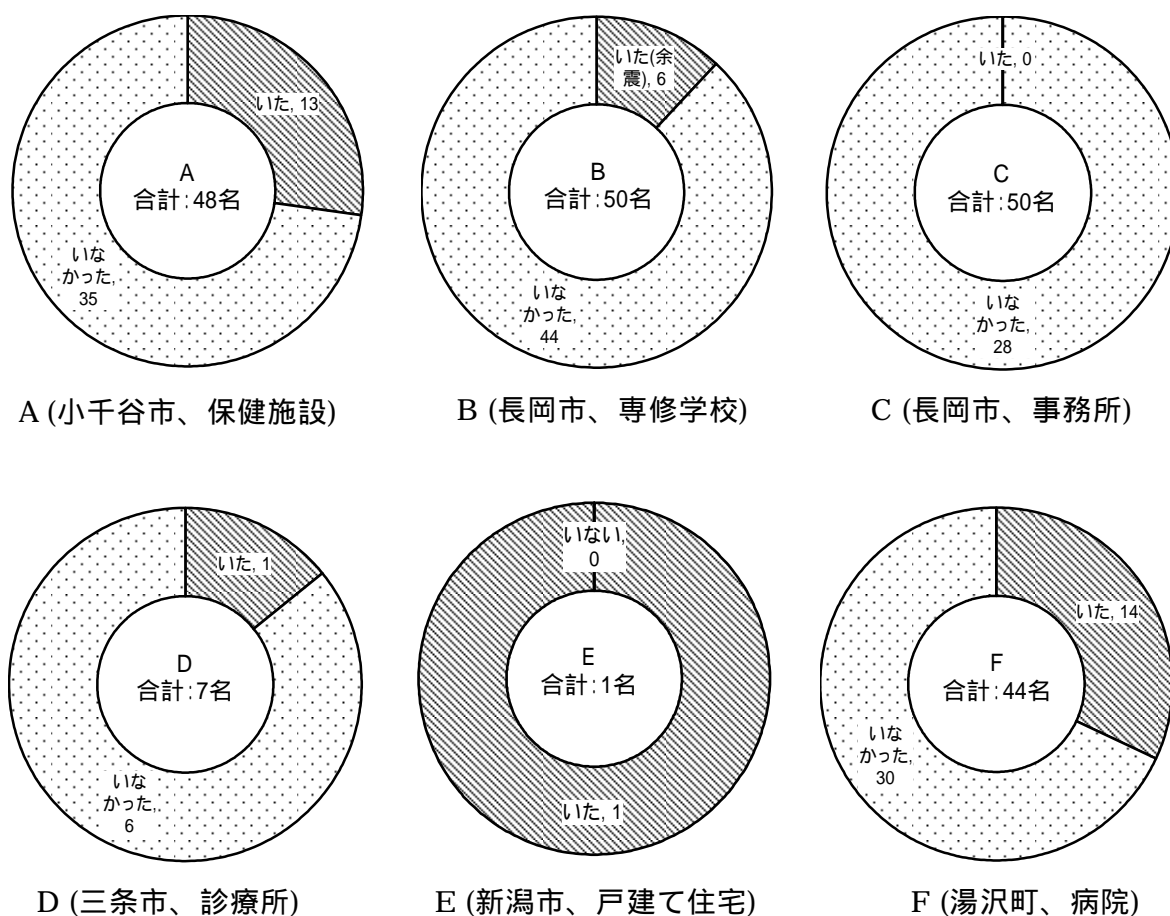


図 9.4.1 各免震建築物についてのアンケート回答

## (2)建築物 A (小千谷市、保健施設)

図 9.4.2 及び 9.4.3 に、地震時において建築物 A 内に「いた」人と、「いなかった」人毎に、アンケートの記入者情報を示す。また、図 9.4.4 には、免震建築物内に「いた」人への質問 4 及び 5 に対する回答集計結果を、図 9.4.5 には、「いなかった」人への質問 11 に対する回答集計結果を示す。

免震建築物の中にいた人といなかった人で、男女の比率は 2 : 8 程度であり、女性の割合が多い。年齢については、両者の場合とも 20 代から 50 代にかけての被験者から回答が得られているが、免震建築物にいたと回答とした人については、20 代の被験者が約 6 割を占めている。

また、地震時に免震建築物の中には、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。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もやはり約 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、以降に示す図 9.4.6 ~ 9.4.8 においては、建築物 A と近隣の木造個人住宅の地震時の様子を示している、と見なしてよいと考えられる。

図 9.4.6 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が、免震建築物以外の場合は、「外に飛び出した」と回答した被験者も 3 割程度を占めるのに対し、免震建築物にいた人の場合は、約 7 割が「作業を中断して様子を見た」と回答している。したがって、免震建築物内では、地震時においても冷静な行動が可能であったと考えられる。

図 9.4.7 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、震度を低めに感じる傾向が見られる。ただし、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)の不快感についても、免震建築物内の場合は、「かなりあった」と回答した人の割合は減少しており、免震建築物内では恐怖感及び不快感が低減されたと考えられる。

図 9.4.8 は、地震時の揺れの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、机の上の物などの場合とも、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。以上より、本地震において、免震構造の性能が有効に機能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、吊り下げ物や棚、机の上のもの等の落下が免震建築物内で全く無かった訳ではない。そこで、アンケート結果の回答集計後、免震建築物において、どのようなものが落下し、また転倒したか、現地調査を行った。その結果、落下した吊り下げ物は 4 階壁に架けられたパネル類であったことが判明した。また、棚、机のものは、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、転倒物は、やはり 4 階の窓際及びベランダの植木鉢と、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であった。文献 8)によると、免震建

築物であってもスレンダーな家具が急に転倒する、または滑りやすい家具の移動量が大きくなることに注意が必要であるとしている。建築物A内の落下物及び転倒物は、まさに、これらの事例に該当するものと考えられる。ただし、調査者が見た限りでは、これらの落下、転倒によって、周囲の居住者に危害を与えるようなものではなかったと感じられた。

以上の揺れの感じ方及び揺れの状況について、アンケートの自由コメント欄から、これらに関連するいくつかの代表的なコメントを以下に示す。

- ・揺れの不快感については、「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)」、「ゆらゆらと揺れが長いのが不快に感じました」、「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した」、「フェリーなどの大型の船に乗っている様」との特徴的なコメントが寄せられた。これらのコメントが示すように、免震建築物の揺れが「船酔い」にあったような不快感をもたらす場合があることは文献9)でも論じられている。ただし、今回の場合は、大地震に対する揺れであり、上記回答者の一人が言うように、「災害の一般の被害状況」から見れば、この種の不快感は、免震建築物に対する満足度を損なうものではないと考えられる。
- ・その他の揺れの感じ方や恐怖感については「やはり揺れはかなりあり恐怖感はあったが、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)も他の家屋があんな大事に到っているとは思えなかった」、「揺れは感じたが、他の建築物のひどさが分からないくらい、安全だった」、「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」、「縦揺れは強く感じたが横揺れはおだやかだった。物が落ちたり倒れたりしないため、恐怖感は少ない」とのコメントが寄せられた。免震建築物内であっても揺れを感じる限り多少なりとの恐怖感を感じるが、物の落下や家具の転倒が無いなど、周囲の状況を見渡すことにより恐怖感は低減されるようである。

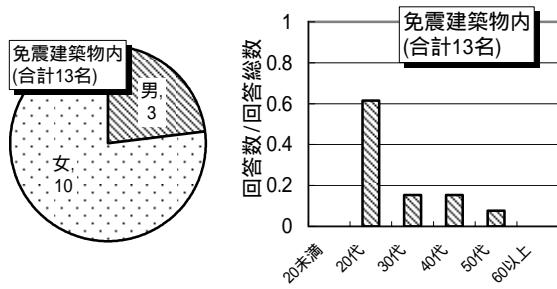
図9.4.9は、免震建築物内にいなかった人に地震後の免震建築物内の様子を質問した回答結果である。大部分が室内はほぼ元の状態であったと回答しているが、「家具が転倒し、食器類やその他の棚、机の上のものがかなり散乱していた」と回答した被験者もいる。これは、上記に示したファイリングケースからのファイルの散乱等にやや過敏に反応した結果だと思われる。

図9.4.10は、免震建築物利用者による免震建築物の有効性に関する判断結果である。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には驚いた」とコメントしている。これに対し「この建築物ではほとんど落下する物もなく、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」と回答した被験者の回答理由としては、「壁に亀裂が入る等一切無かった」、「落下物や倒れる物が無い」というコメントがほとんどである。上部構造

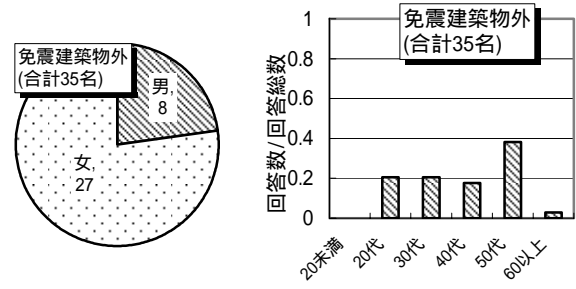
の損傷を防止し、フロアレスポンスを低減するという免震構造の特長が、一般の建築物利用者にも地震経験を通じ実感されたと言える。また、「優れている」と回答した被験者からは「今後、免震建築物を作っていくとよい(特に病院・施設等の人命に係る所)」「免震の建築物は絶対必要」「免震構造に対し強い信頼が生まれた」との期待感や信頼感を表すコメントも得られている。

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有効に発揮した、と言える。



(1)性別 (2)年代

図 9.4.2 記入者情報(免震建築物にいた人)



(1)性別 (2)年代

図 9.4.3 記入者情報(免震建築物にいなかった人)

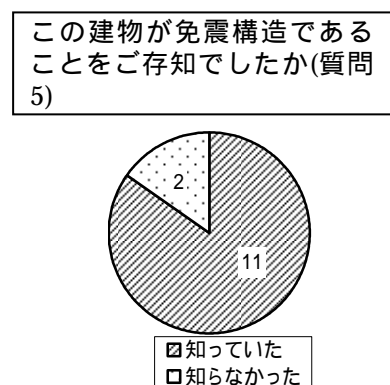
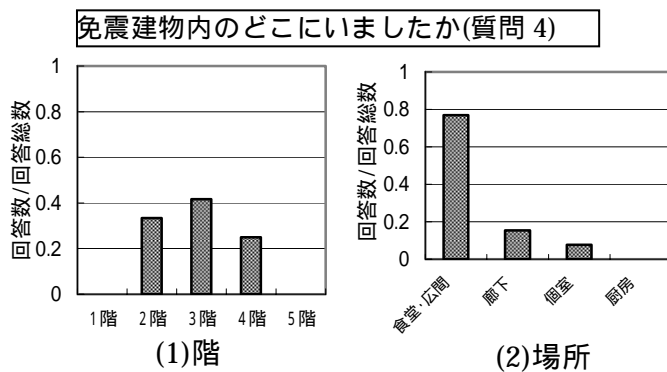


図 9.4.4 免震建築物にいた人への質問4、5に対する回答集計結果

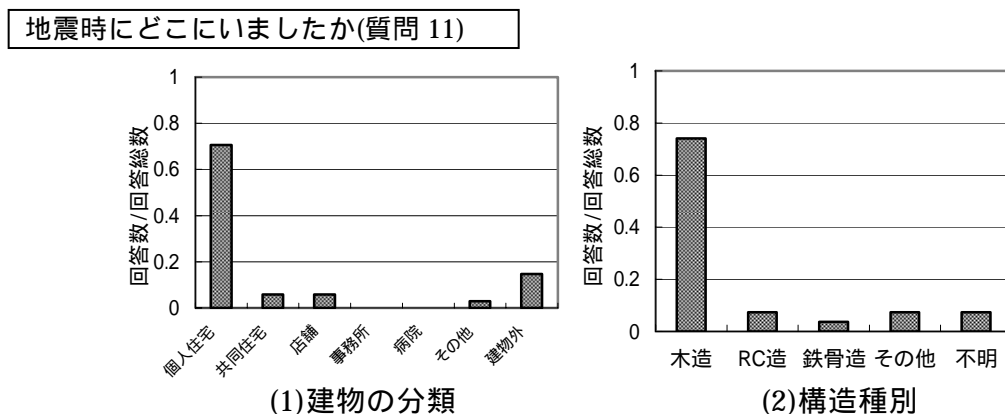
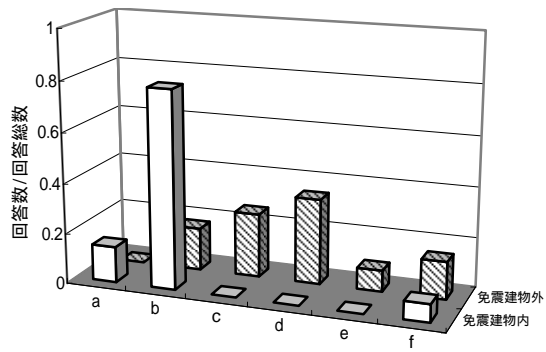


図 9.4.5 免震建築物にいなかった人への質問11に対する回答集計結果

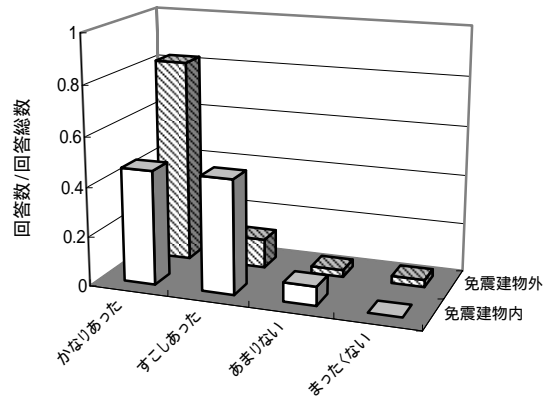
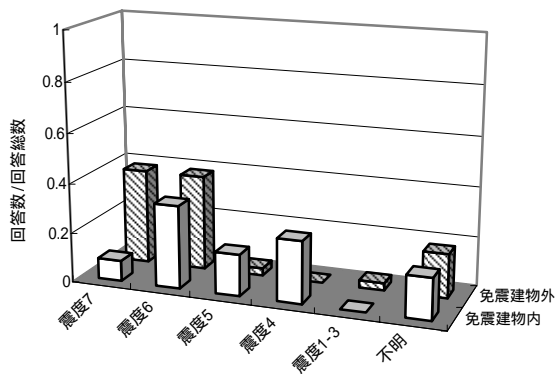
地震時の行動をお答え下さい[複数回答可](質問 6 及び質問 12)



- 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

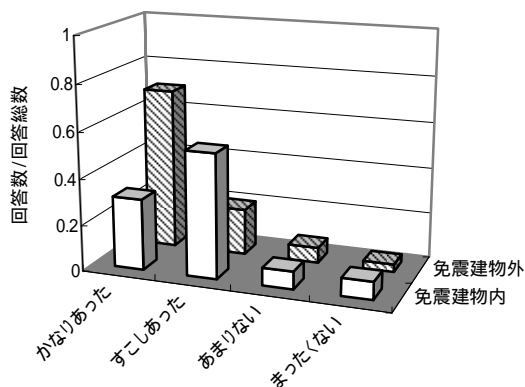
図 9.4.6 免震建築物にいた人といなかった人への質問 6 及び 12 に対する回答集計結果の比較

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) 震度としての揺れの感覚

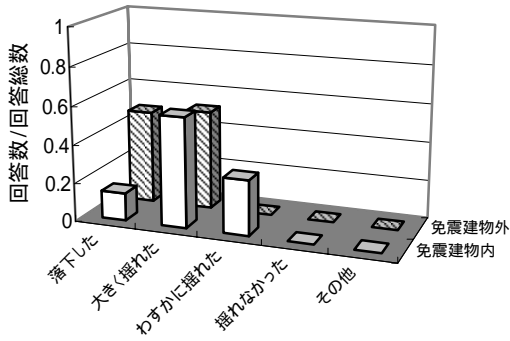
(2) 恐怖感



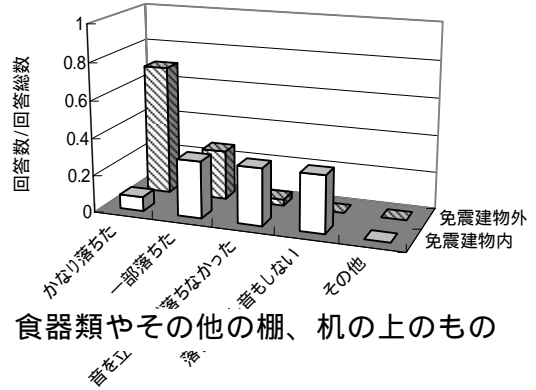
(3) 不快感

図 9.4.7 免震建築物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

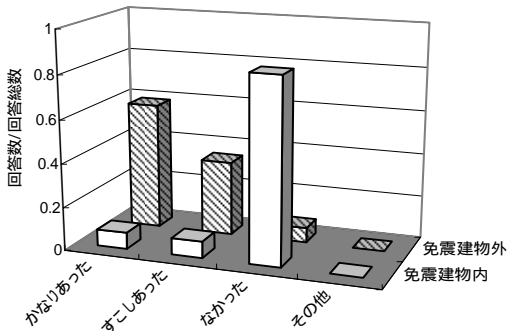
地震の最中での室内の揺れの状況についてお答え下さい(質問 8 及び質問 14)



(1) 吊り下げ物



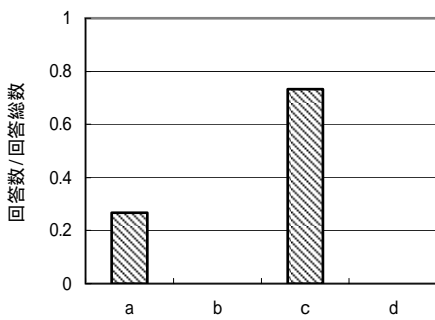
(2) 食器類やその他の棚、机の上のもの



(3) 転倒物

図 9.4.8 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

地震後の免震建物の室内での様相をお聞かせ下さい(質問 14)



- 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
- d. (不明)

図 9.4.9 免震建築物にいた人といなかった人への質問 14 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 15)

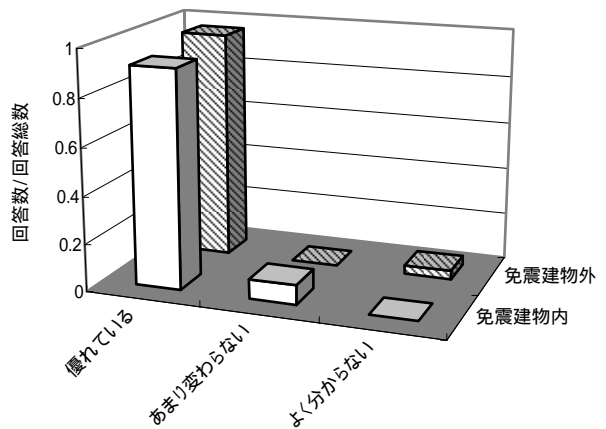


図 9.4.10 免震建築物にいた人といなかった人への質問 9 及び 15 に対する回答集計結果の比較

### (3) 建築物 B (長岡市、専修学校)

図 9.4.11 及び 9.4.12 に、地震時において建築物 B 内に「いた」人と、「いなかった」人毎に、アンケートの記入者情報を示す。ただし、ここでの地震とは本震時ではなく、余震時の結果である。また、図 9.4.13 には、免震建築物内に「いた」人への質問 4 及び 5 に対する回答集計結果を、図 9.4.14 には、「いなかった」人への質問 11 に対する回答集計結果を示す。

図 9.4.14 より、免震建築物にいなかった人の場合で、地震時にいた場所については、建築物 A の場合と同様、6 割程度が木造の個人住宅にいたことが分かる。したがって、図 9.4.15 ~ 図 9.4.17 から、地震時の行動、揺れの感じ方、および揺れの状況について、免震建築物以外の場所にいた人の回答は、建築物 A の場合と同様の傾向を示すことが見て取れる。免震建築物内にいた人については、図 9.4.15, 図 9.4.16 によると、地震時の行動は「作業をそのまま続行した」が最も多く、揺れの感じ方は、震度 1 ~ 3 程度であり、恐怖感及び不快感は、建築物 A の場合よりも低減されている。また、図 9.4.17 によると吊り下げ物、棚、机の上のものの落下、家具類の転倒は皆無である。建築物管理者へのヒヤリング結果からも、建築物 B では、物の落下、転倒は無かったとされているが、建築物 A の場合よりも、恐怖感及び不快感が低減されているのは、アンケート被験者が余震時の経験を元に回答していることにもよると考えられる。図 9.4.18 に見られる通り、建築物 B では地震後も室内はほぼ元の状態であったようであり、この結果に対応して、図 9.4.19 において、被験者全員が、免震構造物の有効性を実感できたと回答している。

免震建築物の有効性に関するコメントとしては、やはり棚、机の上の物の落下が無かったことに触れているものが多い。ここでは、「事務机上の文具や机内及び文具書類等には全く変化なく、また、衛生学関連実習機器(感熱滅菌機、高圧蒸気滅菌機、顕微鏡など)及びガラス機器(ピーカー、試薬瓶、ピペット類)にも、全くの破損等が見られず、地震の規模や長さから考えて、驚きに値すると同時に不思議でさえあった。なお、私は長年、東京都に住み、研究室(都内 9 階建ての 9 階)での勤務経験があり、多くの地震による機器破損等を経験している。」との詳細なコメントをこれらの代表例として掲げておく。



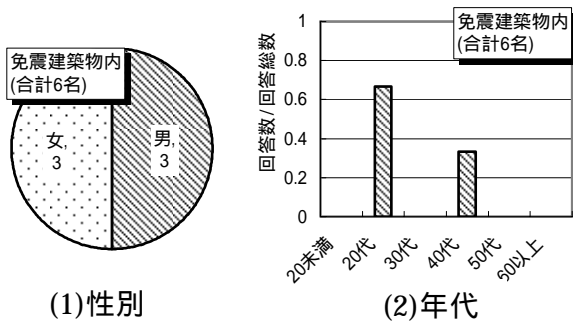


図 9.4.11 記入者情報(免震建築物にいた人)

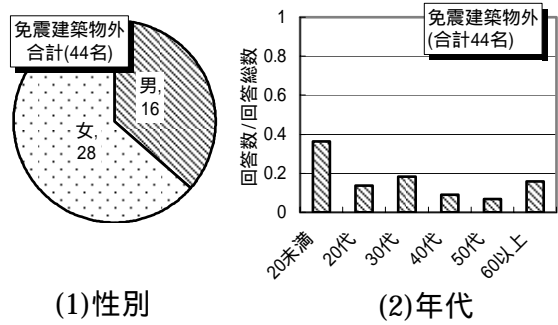


図 9.4.12 記入者情報(免震建築物にいなかった人)

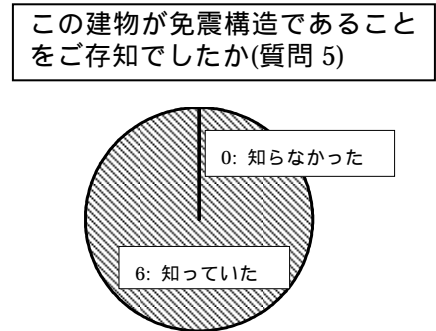
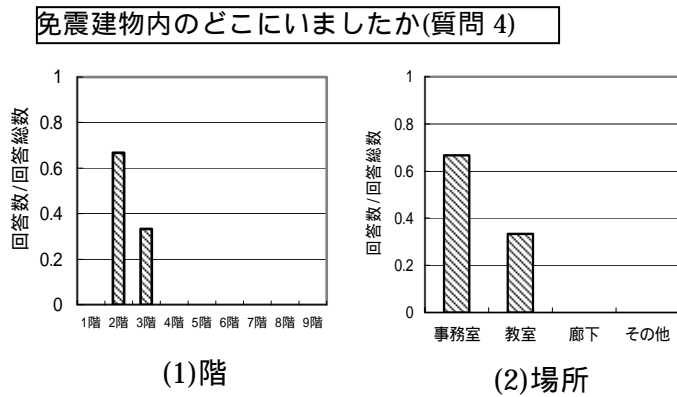


図 9.4.13 免震建築物にいた人への質問 4、5 に対する回答集計結果

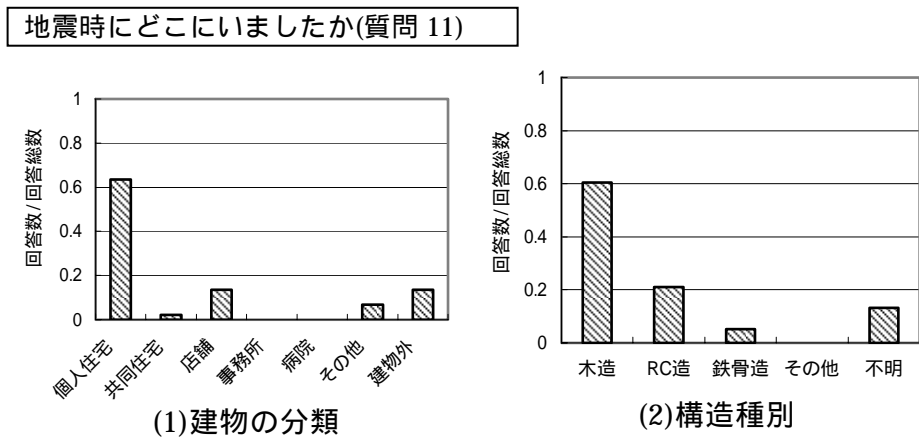


図 9.4.14 免震建築物にいなかった人への質問 11 に対する回答集計結果

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)

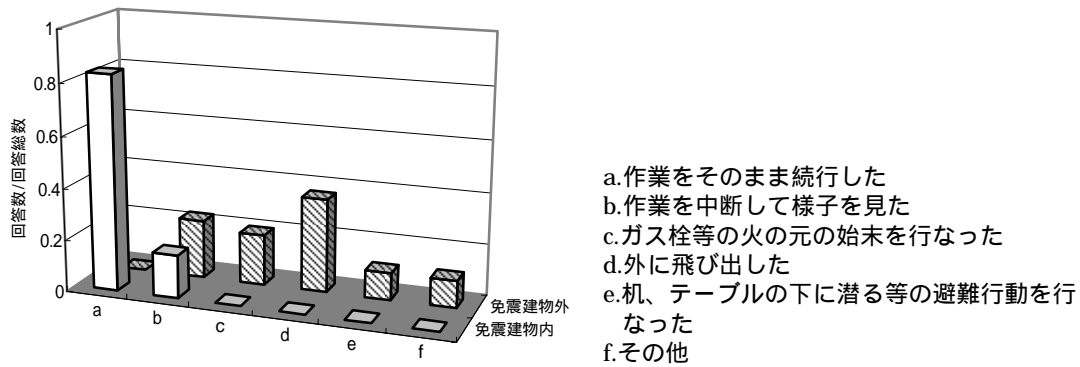
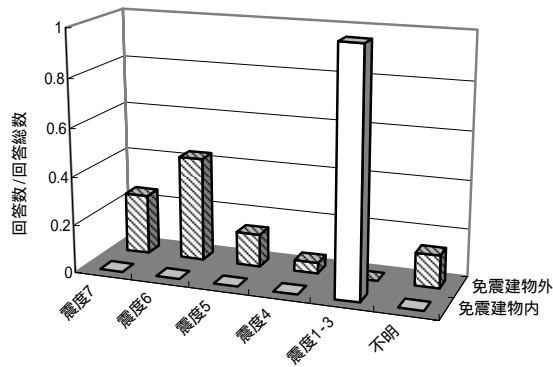
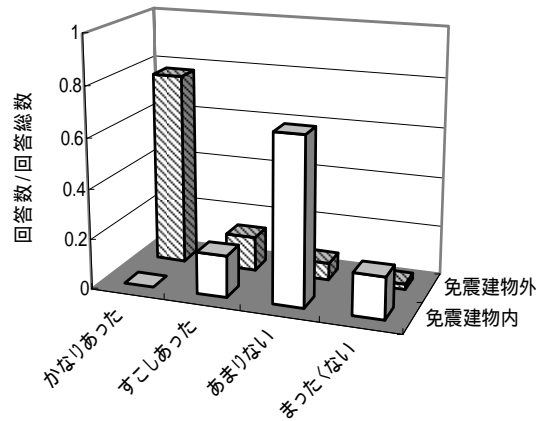


図 9.4.15 免震建築物にいた人といなかった人への質問 6 及び 12 に対する回答集計結果の比較

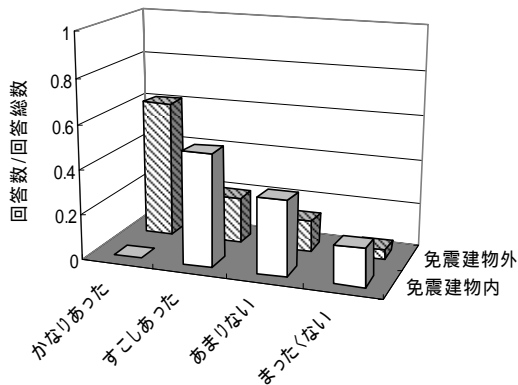
揺れを感じ方についてお答え下さい(質問 7 及び質問 13)



(1) 震度にした場合



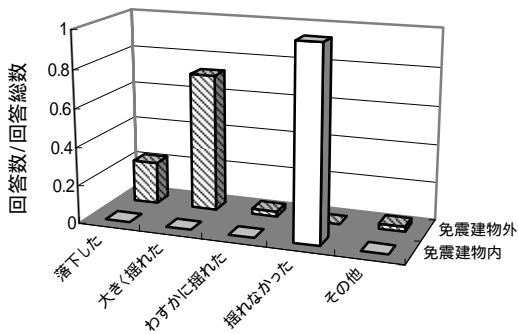
(2) 恐怖感



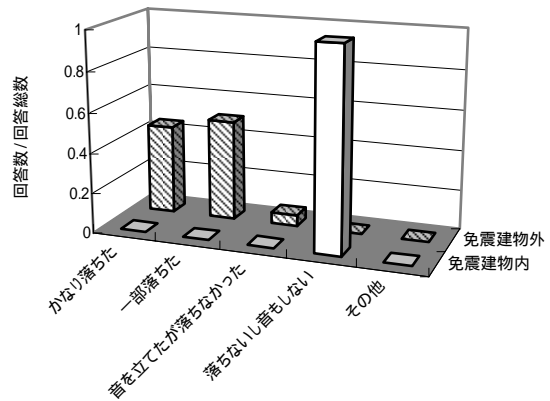
(3) 不快感

図 9.4.16 免震建築物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

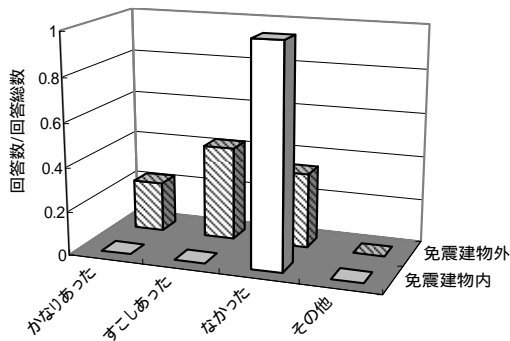
地震の最中での室内の揺れの状況についてお答え下さい(質問 8 及び質問 14)



(1) 吊り下げ物



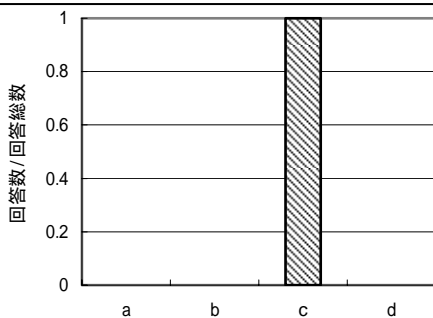
(2) 食器類やその他の棚、机の上のもの



(3) 転倒物

図 9.4.17 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

地震後の免震建物の室内での様相をお聞かせ下さい(質問 14)



- 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
- d. その他

図 9.4.18 免震建築物にいた人への質問 14 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 15)

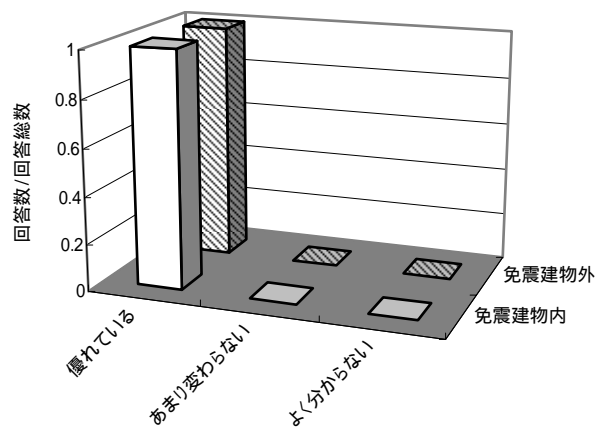


図 9.4.19 免震建築物にいた人といなかった人への質問 9 及び 15 に対する回答集計結果の比較

(4)建築物 C (長岡市、事務所)

地震時において、建築物 C に「いた」と回答した被験者は 0 であった。よって、ここでは、地震時に建築物 C に「いなかった」被験者の回答のみを示すこととなる。図 9.4.20 に、これらの被験者の記入者情報を、図 9.4.21 には、「いなかった」人への質問 11 に対する回答集計結果を示す。図 9.4.21 の結果は、同市内の建築物 B の場合とほぼ同様の傾向を示しており、木造の個人住宅にいた人の割合が約 6 割となっている。この結果に対応して、免震建築物にいなかった人への質問 12～14 に対する回答も両者でほぼ同様の傾向を示していた。建築物 C の場合は、これらの結果と比較すべき免震建築物に「いた」人の回答結果が無いことから、質問 12～14 に対する結果を示すことは省略する。図 9.4.22 及び図 9.4.23 に質問 14 及び 15 に対する回答集計結果を示す。

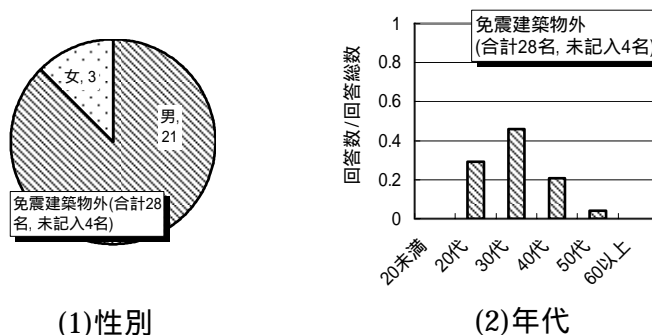


図 9.4.20 記入者情報(免震建築物にいなかった人)

地震時にどこにいましたか(質問 11)

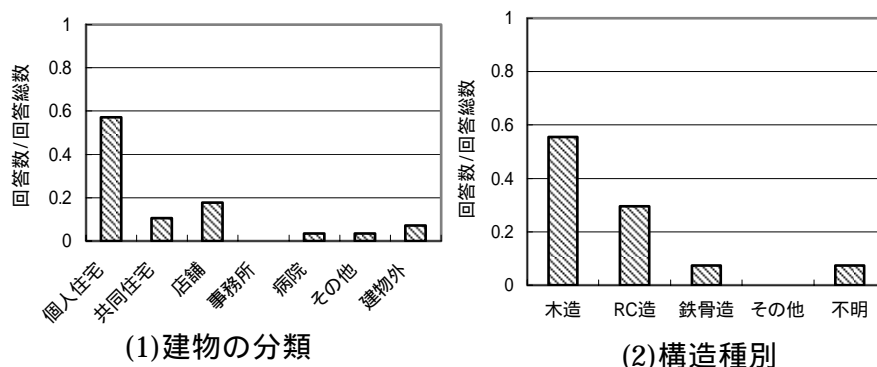


図 9.4.21 免震建築物にいなかった人への質問 11 に対する回答集計結果

図 9.4.22 から分かる通り、建築物 C についても、建築物 B と同様、地震後において、室内は、ほぼ元の通りであったようである。この結果に対応して、図 9.4.23 においてほとんどの回答者が、免震建築物が「優れている」と回答している。事実、「優れている」と回答した被験者の多くが「震度 6 程度の揺れに対しても転倒する物がない」ことを理由に掲げている。なお、「よく分からない」と回答した被験者 1 名の回答理由は、「直下型や液状化が起こった場合はどうか？」であり、免震建築物の地震時における安全性について、まだ十分な信頼を得ていないことを示すものである。

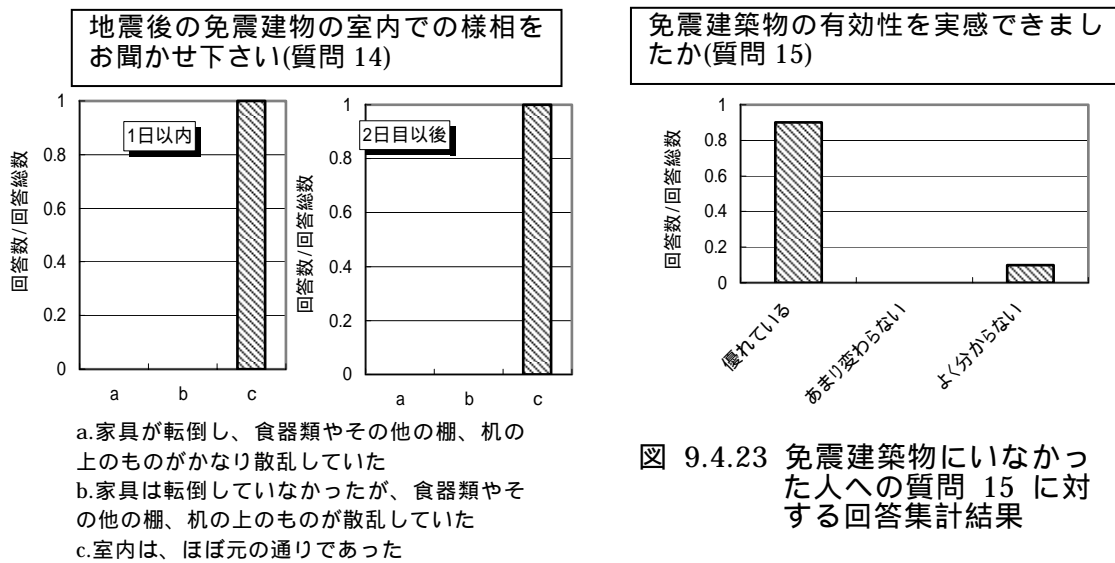


図 9.4.23 免震建築物にいなかった人への質問 15 に対する回答集計結果

図 9.4.22 免震建築物にいなかった人への質問 14 に対する回答集計結果

(5)建築物D（三条市、診療所）

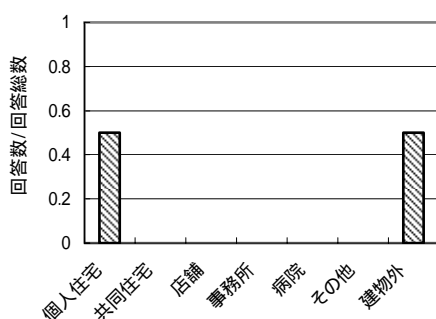
本震時において、建築物Dに「いた」と回答した被験者は1名であった。当被験者の記入者情報と、免震建築物内に「いた」人への質問4及び5に対する回答結果を、表9.4.2に示す。また、建築物Dに「いなかった」と回答した被験者6名の記入者情報と、「いなかった」人への質問11に対する回答集計結果を図9.4.24に示す。

建築物Dの場合、免震建築物にいなかったと回答した人の半数(3名)が地震時に屋外にあり、残りの半数が木造の個人住宅にいたと回答している。屋外にいた人のうち2名は、図9.4.25において、「作業を中断して様子を見た」と答えており、屋外でも体感可能な揺れの強さであったと推定される。ただし、図9.4.26(1)の震度についての回答を見れば、免震建築物以外のところにいた場合でも震度7と回答した被験者は皆無であり、建築物A～Cの建設地点よりは揺れが小さかったと考えられる。

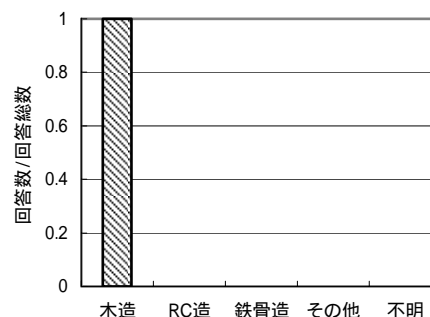
表 9.4.2 免震建築物の中に「いた」被験者の記入者情報と質問 4,5 に対する回答

質問	回答
I. 記入者情報	
1. 性別	男
2. 年齢	
3. あなたは地震時に（10月23日17時56分ころ）に免震建物の中にいましたか	はい
II. 地震時の様子	
4 免震建物の中のどこにいましたか	2階、居室
5. この建物が免震構造であることをご存知でしたか	はい

地震時にどこにいましたか(質問 11)



(1)建物の分類



(2)構造種別

図 9.4.24 免震建築物にいなかった人への質問 11 に対する回答集計結果

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)

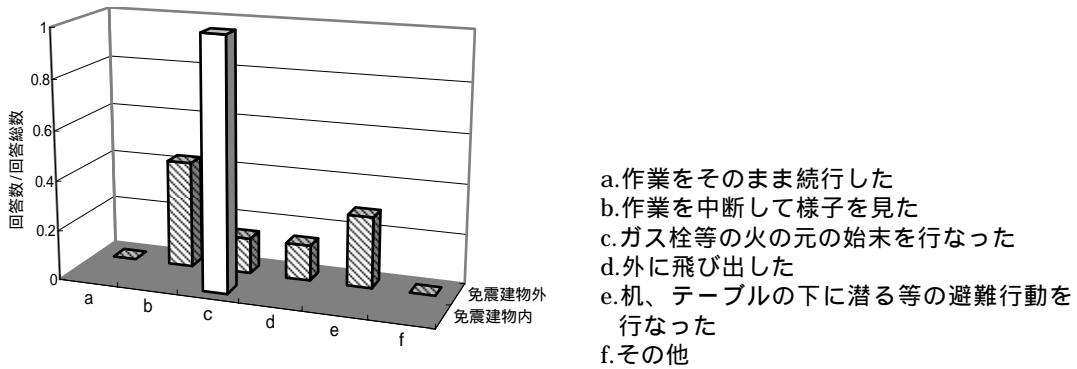


図 9.4.25 免震建築物にいた人といなかった人への質問 6 及び 12 に対する回答集計結果の比較

揺れの感じ方についてお答え下さい(質問 7 及び質問 13)

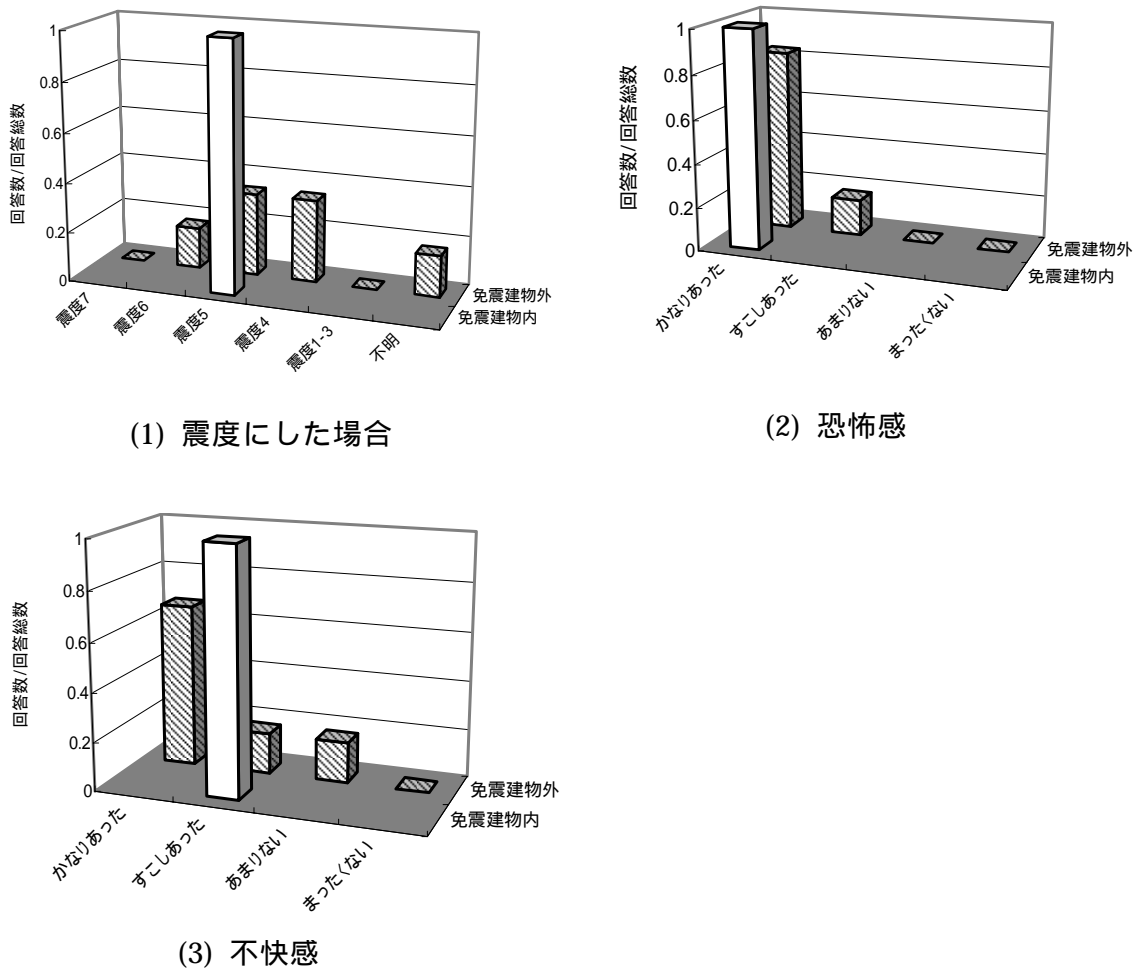
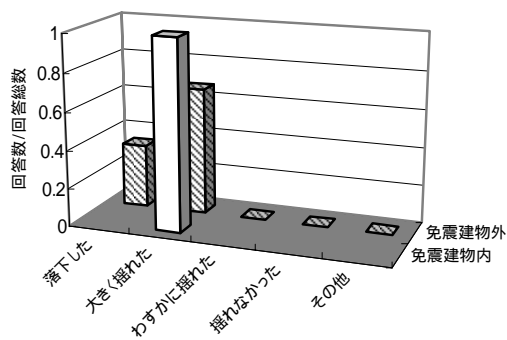


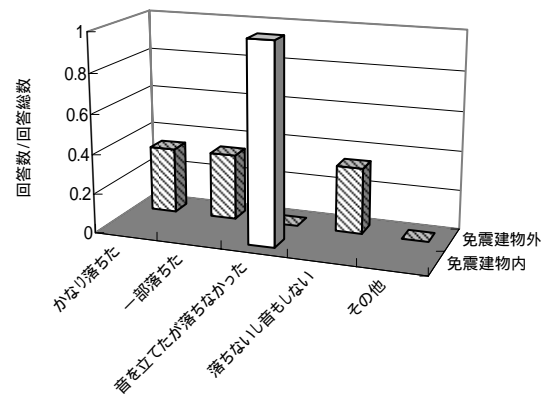
図 9.4.26 免震建築物にいた人といなかった人への質問 7 及び 13 に対する回答集計結果の比較

図 9.4.26 によると、免震建築物内でも揺れは感じられたようであり、恐怖感は「かなり」あり、不快感は「すこしあった」と回答されている。免震建築物の室内の揺れの状況については、図 9.4.27 によると、吊り下げ物は「大きく揺れ」、棚、机の上のものは「音を立てたが落ち」ず、転倒物は「少しあった」とされる。ここで転倒したものは、すわりの悪いカルテ棚であるが、前掲の文献 8) に指摘される通り、免震建築物であっても、特にスレンダーな家具は転倒する危険性がある。免震建築物にいた被験者は 1 名であるが、その被験者は、「揺れは一瞬遅れて大きく揺れるといった感じで、ちょうどビルの上階にいる様な感じ。大丈夫だとは分かっている、揺れの大きさからかなりの恐怖感があった。しかし、免震は生命・財産を守る上で是非とも導入しておくべき構造と思われる」とコメントしている。また、このコメントの通り、図 9.4.29 において、免震構造は「優れている」と回答している。

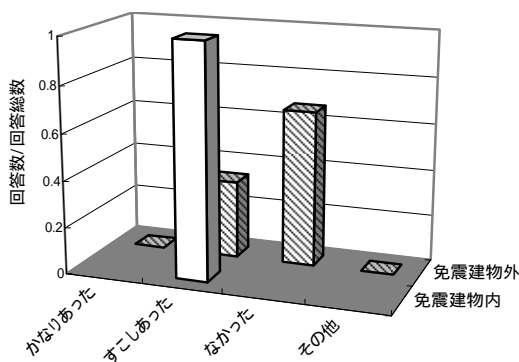
地震の最中での室内の揺れの状況についてお答え下さい(質問 8 及び質問 14)



(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 9.4.27 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



免震建築物にいなかった被験者は、図 9.4.28 で、地震直後、「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」と回答しているが、これは、カルテ棚の転倒に伴う状況を指している。この回答結果に対応して、図 9.4.29 において、半数以上の被験者が、免震構造物は従来の建築物と比較して「あまり変わらない」、有効性が「よく分からない」と回答している。周囲の建築物でも被害がそれほど大きくない分、カルテ棚の転倒というやや特殊な事例が際立ち、免震建築物の有効性に対する評価を低下させたと考えられる。

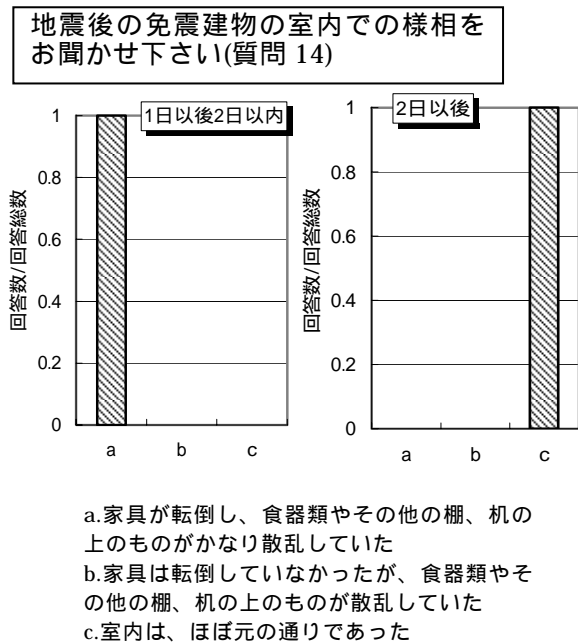


図 9.4.28 免震建築物にいなかった人への質問 14 に対する回答集計結果

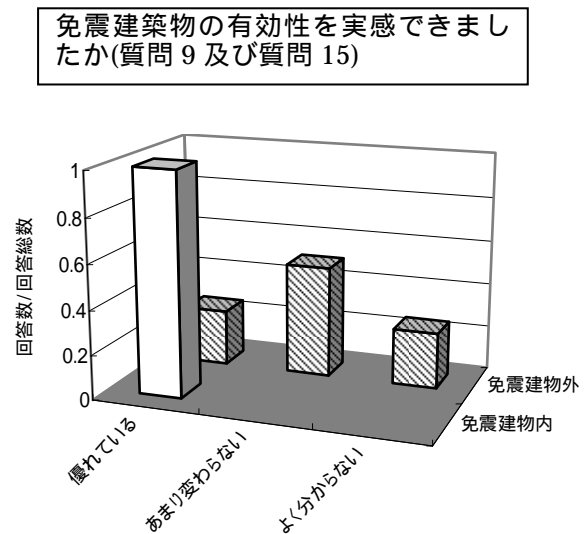


図 9.4.29 免震建築物にいた人といなかった人への質問 9 及び 15 に対する回答集計結果の比較

(6)建築物E (新潟市、戸建て住宅)

建築物Eは戸建て住宅であり、本震時に当建築物に「いた」1名の被験者より回答を得た。その回答を、表9.4.3に示す。揺れの感じ方としてはあまり大きくは感じなかったようであるが、地震の室内の揺れの状況として、棚、机の上のものが一部落ちたと回答している。アンケートのコメント欄によると、3階のテレビ台が少し動き、本棚の本2、3冊とテレビ上の置物が落下した、とある。また、「動き方が想像とは違っていた、ゆっくり大きくではなく動き出したり止まったりといった動きをした」「動くかどうか建築直後に確認すべき」とコメントしている。このようなコメントに対応して免震建築物の有効性については、「よく分からない」と回答している。ただし、「乗用車ではシートベルトの着用(設置)を義務づけているように、建築物には免震構造を標準化して安全性を高めることが望ましい」ともコメントしており、免震建築物に対する期待も大きいことが分かる。

表9.4.3 地震時に免震建築物に「いた」被験者のアンケート回答結果

質問	回答
I. 記入者情報	
1. 性別	男
2. 年齢	50代
3. あなたは地震時に(10月23日17時56分ころ)に免震建物の中にいましたか	はい
II. 地震時の様子	
4 免震建物の中のどこにいましたか	2階、居室
5. この建物が免震構造であることをご存知でしたか	はい
6. 地震時の行動をお答え下さい	ガス栓等の火の元の始末を行った
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	震度4
(2) 恐怖感	あまりなかった
(3) 不快感	あまりなかった
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	
(1) 吊り下げ物	大きく揺れた
(2) 食器類やその他の棚、机の上のもの	一部落ちた
(3) 家具の転倒	なかった
III. その他	
9. 免震構造の有効性を実感できましたか	今回の地震だけではよく分からない

(7)建築物 F (湯沢町、病院)

図 9.4.30 及び 9.4.31 に、地震時において建築物 F 内に「いた」人と、「いなかった」人毎に、アンケートの記入者情報を示す。また、図 9.4.32 には、免震建築物内に「いた」人への質問 4 及び 5 に対する回答集計結果を、図 9.4.33 には、「いなかった」人への質問 11 に対する回答集計結果を示す。

男女の比率は、免震構造物にいた人の場合は、女性が約 8 割を占め、いなかった人の場合は、同率となっている。このように男女の比率は異なるものの、年齢の分布は同様の傾向を示し、年齢構成は 20 代から 50 代あるいは 60 歳以上に渡り、両者の場合とも 30 代が最も大きな比率を示している。

地震時にいた場所として、免震建築物にいた人については、地下 1 階から地上 4 階まで全ての階から回答が得られた。免震建築物にいなかった人については、建築物 A ~ C の場合と同様、約 6 割が木造の個人住宅にいた。

地震時の行動については、図 9.4.34 によると、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 F 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考えられる。

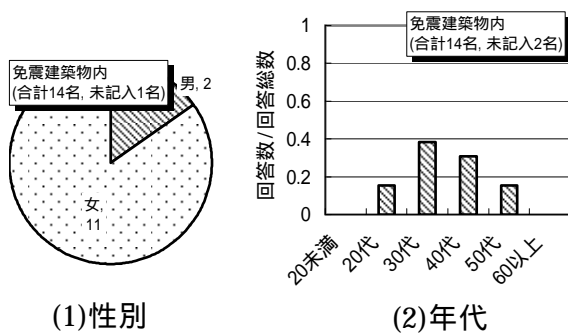


図 9.4.30 記入者情報(免震建築物にいた人)

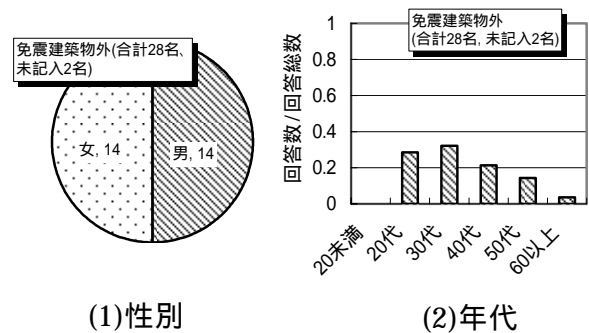


図 9.4.31 記入者情報(免震建築物にいなかった人)

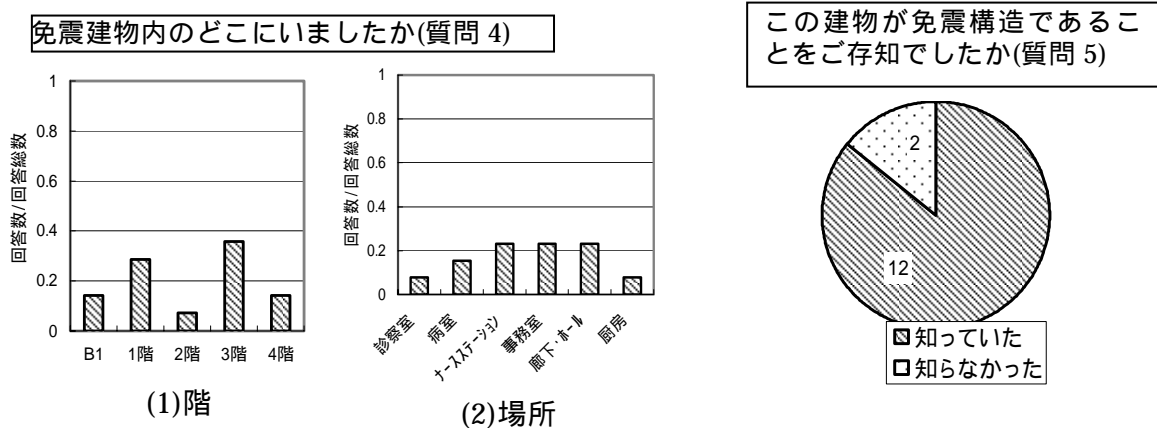


図 9.4.32 免震建築物にいた人への質問 4、5 に対する回答集計結果

図 9.4.35 に示すように、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違いは見られない。図 9.4.36 に示すように、室内の揺れの状況についても、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、免震建築物の中にいた場合により少なくなるものの、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違いはあまり見られない。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、これらは、アンケート回収後の現地調査によると、壁に掛けられたパネル類であることが明らかとなっている。また、図 9.4.37 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。

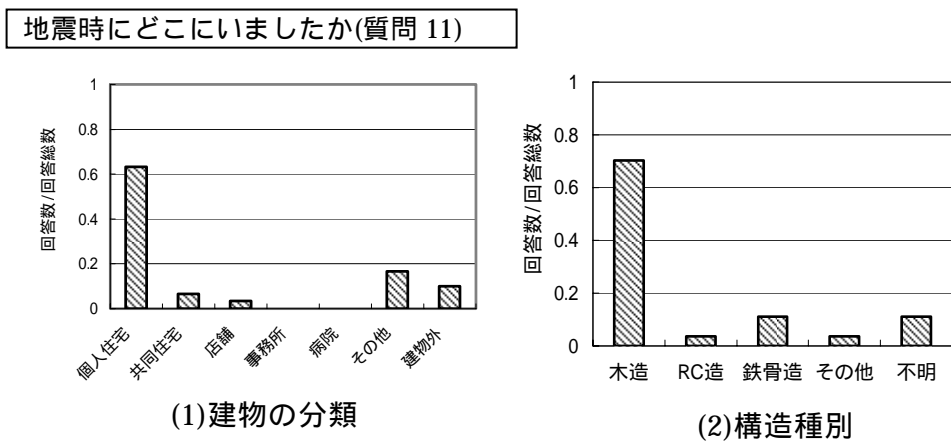


図 9.4.33 免震建築物にいなかった人への質問 11 に対する回答集計結果

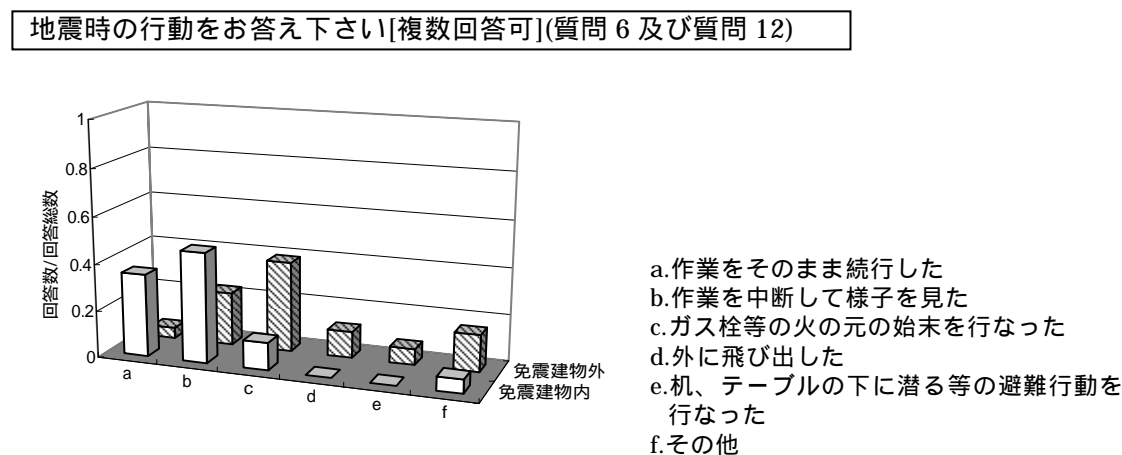
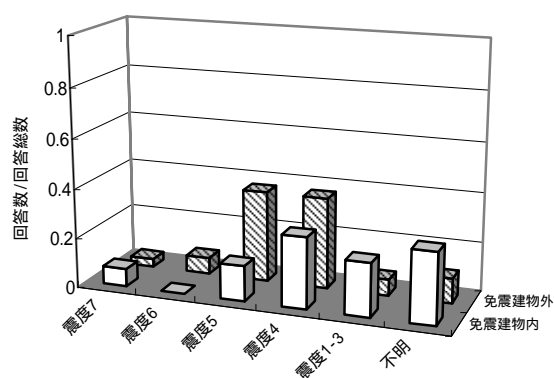


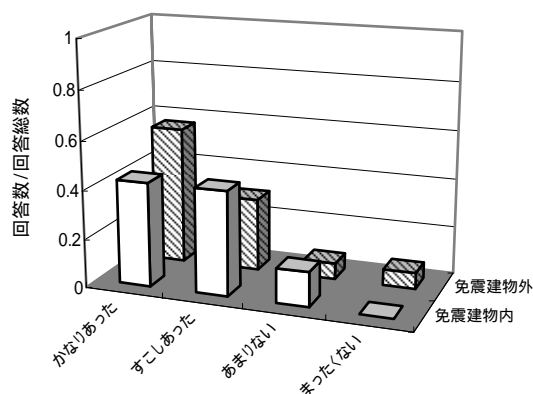
図 9.4.34 免震建築物にいた人といなかった人への質問 6 及び 12 に対する回答集計結果の比較

図 9.4.38 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、「よく分からない」と回答した被験者も残りの約 4 割を占めている。このように有効性に関する判断を保留した理由は、「今回の地震は、湯沢は震源地から離れていたし、湯沢全体で被害が少なかった。もしも、湯沢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する」「免震構造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、少しの恐怖感を感じました」とのコメントもある。すなわち、免震建築物内でもある程度の揺れは感じられた一方で、周囲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かった、と考えられる。

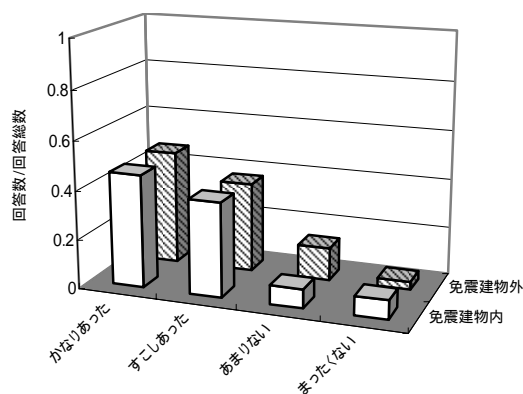
揺れの感じ方についてお答え下さい(質問 7 及び質問 13)



(1) 震度にした場合

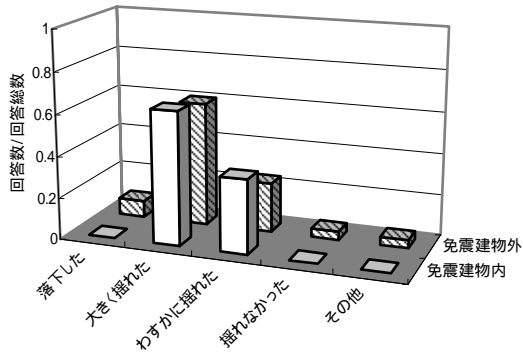


(2) 恐怖感

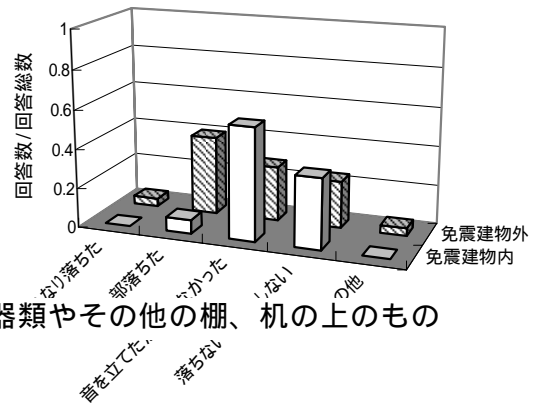


(3) 不快感

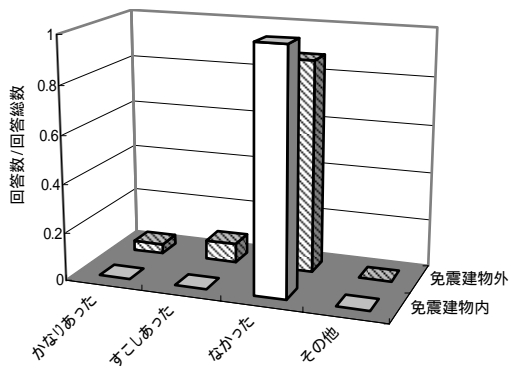
図 9.4.35 免震建築物にいた人といなかった人への質問 7 及び 13 に対する回答集計結果の比較



(1) 吊り下げ物



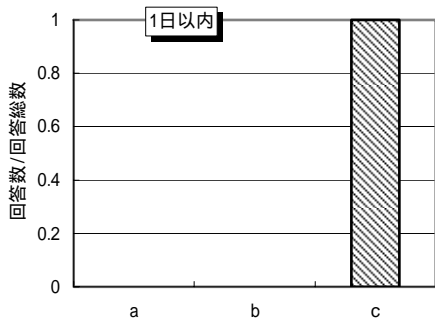
(2) 食器類やその他の棚、机の上のもの



(3) 転倒物

図 9.4.36 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

地震後の免震建物の室内での様相をお聞かせ下さい(質問 14)



- 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 9.4.37 免震建築物にいた人といなかった人への質問 14 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 15)

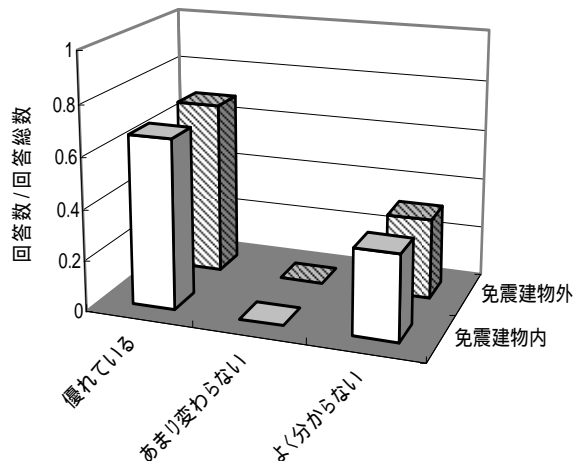


図 9.4.38 免震建築物にいた人といなかった人への質問 9 及び 15 に対する回答集計結果の比較

## 9.5 免震建築物の地震時性状および免震層の周辺状況

### 9.5.1 建築物 A（小千谷市、保健施設）

#### (1) 免震部材および周辺の状況

建築物 A は地上 5 階、基礎免震の鉄筋コンクリート造（竣工 1997 年）であり、免震層には、図 9.5.1 に示すとおり、18 基の積層ゴム支承（天然ゴム系： ）および 21 基の弾性すべり支承（SUS304+PTFE： ）が設置されている。地震時の挙動の痕跡としては、写真 9.5.1、9.5.2 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、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より、建築物 A は、地震時には北西 南東方向に最大 20cm 以上変位したものと推測される。

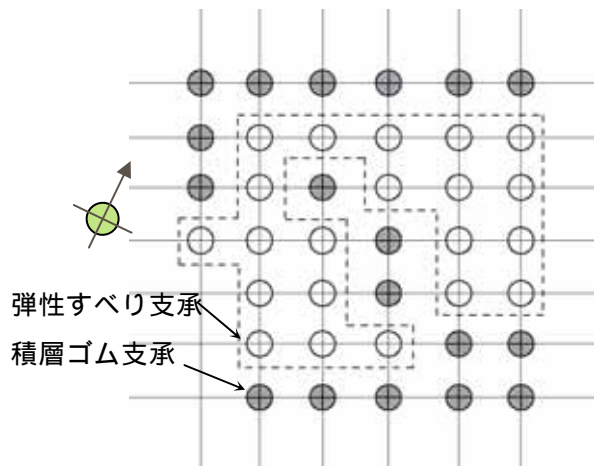


図 9.5.1 免震層の平面図

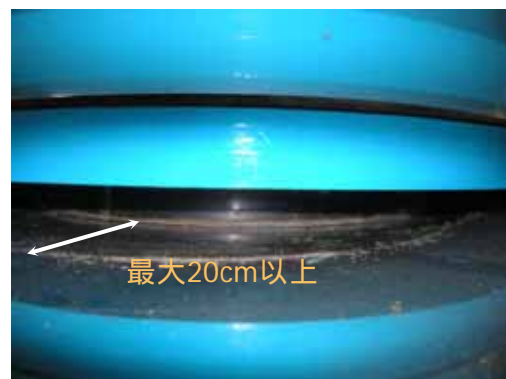


写真 9.5.1 弾性すべり支承の移動跡

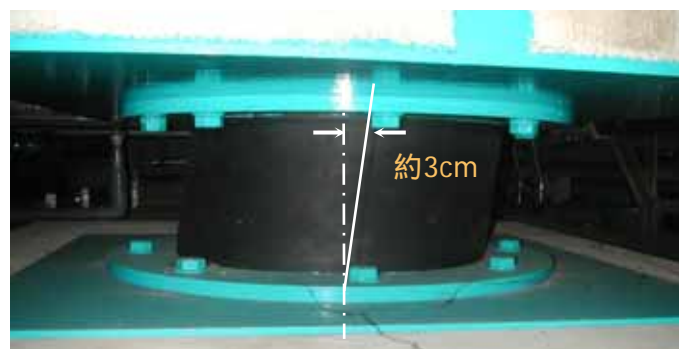


写真 9.5.2 積層ゴムの残留変形

建築物 A は保健施設であり、構造躯体および設備・内容物のいずれも無被害であったことから、地震直後より避難施設として機能したとのことである。被害状況による免震効果の確認以外に、建築物 A では地震観測が実施されており、次節に詳述するとおり高い免震効果が発揮されたことが確認されている。付近には通常の RC 造の医療施設があったが、こちらは対照的に、什器の転倒や構造躯体の被害が報告されている<sup>5)</sup>。この状況を比較して写真 9.5.3 および写真 9.5.4 に示した。



(a) 建築物 A



(b) 非免震 R C 造

写真 9.5.3 地震後の室内の状況の比較<sup>10)</sup>



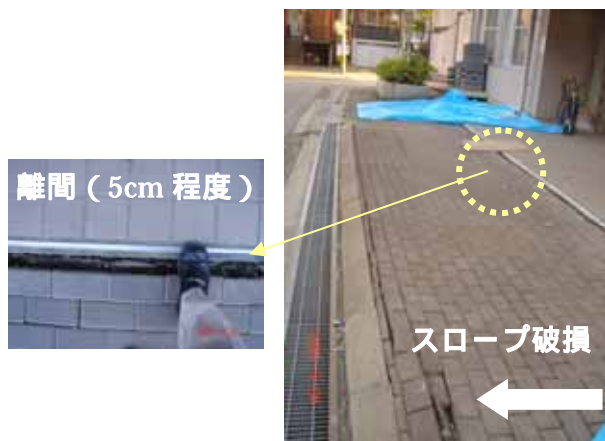
(a) 建築物 A<sup>10)</sup>



(b) 非免震 R C 造 (S43 築部分、大破)

写真 9.5.4 地震後の構造躯体の状況の比較

また、建築物 A のエントランス部の状況を写真 9.5.5 に示す。バリアフリーを目的として、エントランス部の免震部分と非免震部分に段差のない構造とされていた。地震後の現地調査においては、この免震部分と非免震部分に 5cm 程度の離間が見られた。これは免震部分と非免震部分に段差のない構造としたため、免震層の移動に伴い、非免震部分が道路側に変位を生じたものと考えられる。その後、スロープ部の補修(破損部をアスファルト舗装に変更)が行われ、アスファルト部にはスリットが設けられていた。



(a) 地震直後の状況



(b) 補修状況

写真 9.5.5 入り口付近の状況



この他、地震による変位を生じた際の影響と見られる現象として、支承のすべり面を保護するカバーの周囲への衝突による破損（写真 9.5.6）、配管の取り付け部の摺動跡等が見られた。ただし、いずれも地震時の挙動には影響が無かったものと考えられる。

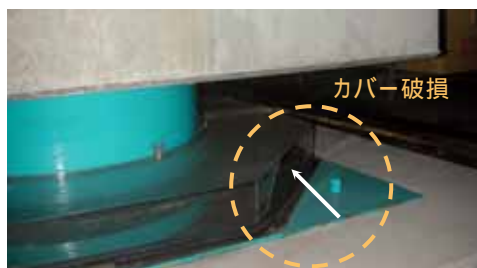


写真 9.5.6 保護カバーの破損

## (2) 積雪の状況

被災地は豪雪地帯であり、平時より積雪対策として建物外周部に融雪用の配水管が設置されていたことから、道路に面する上部構造のクリアランスにあたる部分の積雪は、おおむね除去されていた。ただし、施設の背面には隣接する構造物等があり、そこからの落雪等によって犬走り部に 1m～2m 程度の積雪が認められた部分も認められ、注意が必要である。ただし大半の積雪は除去されていることから融雪装置は適切に機能していることが確認され、今後の余震等に際しても免震挙動を阻害するおそれは小さいものと考えられる。これらの状況を図 9.5.2 および写真 9.5.7 としてまとめた。

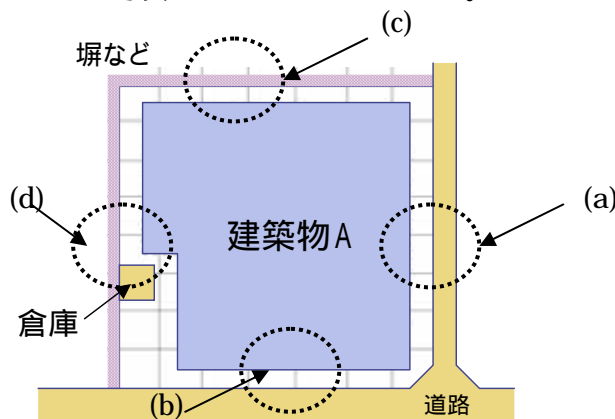


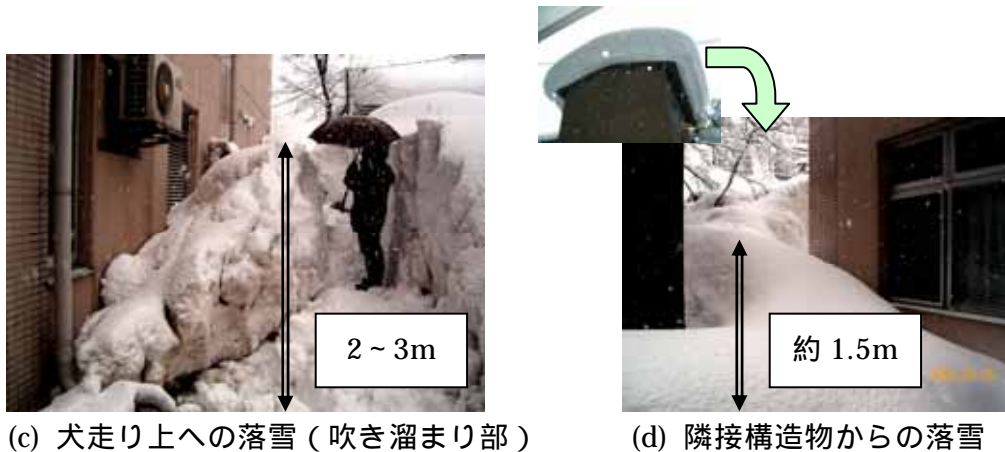
図 9.5.2 積雪状況確認位置（a～d は写真 9.5.7 中の対応する番号を示す）



(a) 融雪用の配管（放水中）



(b) 前面道路の融雪状況



(c) 犬走り上への落雪（吹き溜まり部）

(d) 隣接構造物からの落雪

写真 9.5.7 積雪および処理状況

## 9.5.2 建築物 B（長岡市、専修学校）

### (1) 免震部材および周辺の状況

建築物 B は地上 8 階、基礎免震の鉄筋コンクリート造（竣工 1997 年）であり、免震層には図 9.5.3 に示すとおり、17 基の高減衰積層ゴムが設置されている。免震層の犬走り部と免震層下部の基礎からの立ち上げ部分との上下クリアランスは 5cm であった。

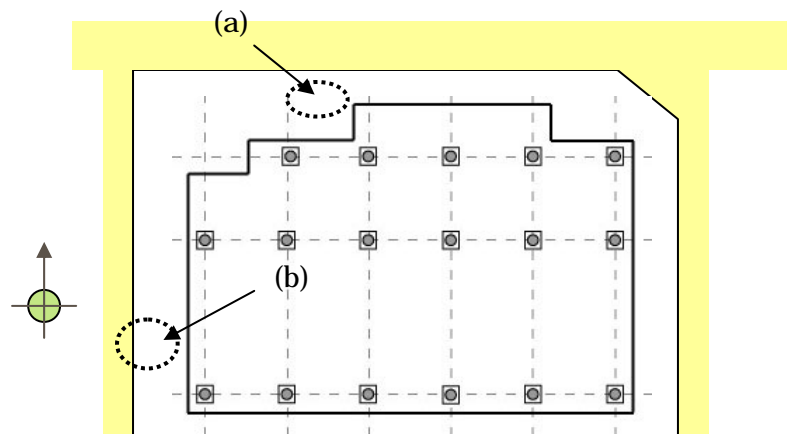


図 9.5.3 免震層の平面図（a、b は写真 9.5-10 中の対応する番号を示す）

写真 9.5.8 は調査時の積層ゴムの状況である。免震層に特に変状はなく、残留変形は見られなかった。また写真 9.5.9 に示すとおり、犬走り部分とその周辺の地盤との間には、水平方向に 6.5cm 程度の免震層の移動跡が認められた。



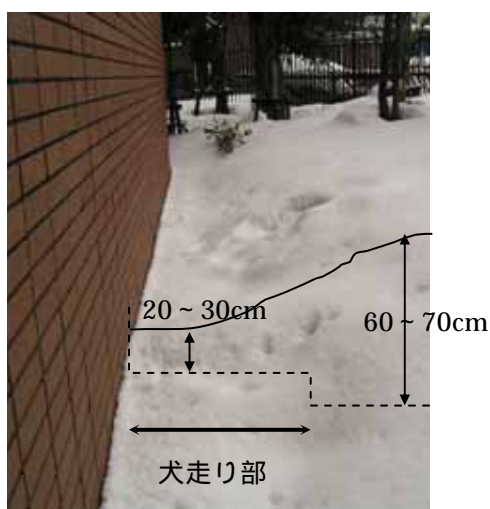
写真 9.5.8 積層ゴムの状況



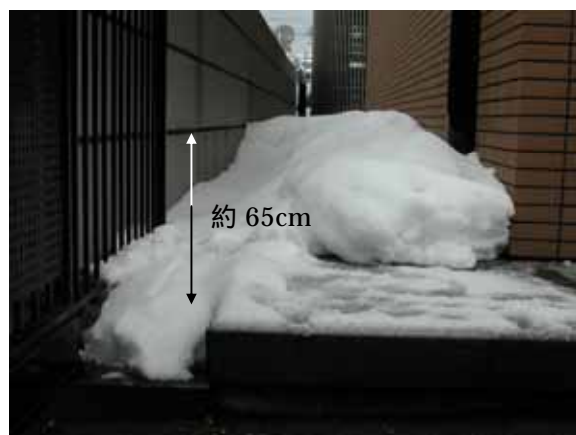
写真 9.5.9 犬走り周辺の離間

## (2) 積雪の状況

屋上の外周部分には融雪用の装置（電熱線）が設けられており、免震層周辺への落雪は見られなかった。雪かきなどの処理も、通路となる部分以外では行われていなかった。建築物B近くの空き地などでは1.5m程度の積雪も見られたが、写真9.5-10に示すとおり、建築物周囲の積雪は約60～70cmであり、犬走り上で建築物の外壁に近づくと従って漸減している。ただし、建築物Aと同様、吹き溜まりとなる部分には、他の周辺部よりも多くの積雪が見られた。



(a) 犬走り部近辺の状況



(b) 西側吹き溜まり部

写真 9.5.10 積雪の状況

### 9.5.3 建築物C（長岡市、事務所）

#### (1) 免震部材および周辺の状況

建築物Cは地上4階、基礎免震の鉄筋コンクリート造（竣工2003年）で、免震層には18基の鉛プラグ入り積層ゴムが設置されている。9.6節で示すように、免震層内でけがき変位計により約84mmの応答変位が計測されていた。免震層内の目視調査では、残留変形などの変状は生じていなかった。建築物Cの外壁には告示（平成12年建設省告示第2009号）の規定に従い、上部構造のクリアランスの確保の一環としての免震建築物であることを表示するプレートが周囲に設置されていた（写真9.5.11）。設計上の応答変位は最大50cmと表示されている。また周囲は駐車場として用いられていたが、駐車の際に上部構造に過度に近接しないよう、写真9.5.12に示すとおりポールとチェーンによる仕切りが設けられていた。



写真 9.5.11 免震建築物の表示

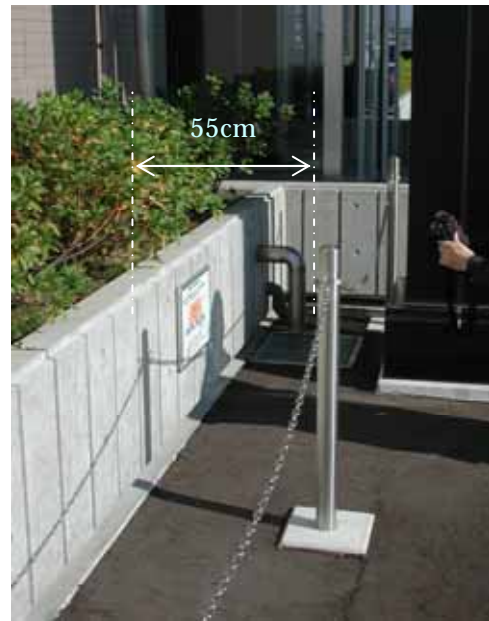


写真 9.5.12 衝突防止措置

## (2) 積雪の状況

敷地の周囲での積雪は 1m 程度であった。写真 9.5.13 に示すとおり、調査時には建築物 C の周囲の積雪はおおむね除去されていた（犬走り部に植栽があり、ここに積もった雪が残されているために、見かけ上の積雪が多く見える）。その他の状況として、積雪部に手を差し込み手のひらで水平方向に押したところ、15cm 程度は大きな抵抗もなく動かすことができたことから、犬走り側面の積雪の影響はほとんどないと判断される。



写真 9.5.13 積雪および処理状況

## 9.5.4 建築物 D（三条市、病院）

### (1) 免震部材および周辺の状況

建築物 D は基礎免震の鉄筋コンクリート造（竣工 1998 年）で、3 階建ての住居部分に 2 階建ての診療所部分が併設されている。免震層には、図 9.5.4 に示すとおり 19 基の鉛プラグ入り積層ゴムおよび 1 基の積層ゴムが設置されている。地震後の計測では、残留変位

等の変状はみられなかった。ただし、写真 9.5.14 に示すとおり、入り口部のスロープでは周囲との接触で目地部の破損が生じており、犬走り部の周囲に設けられた玉砂利を押しながら動いた形跡が認められた。また、北側では金属製のダクトにわずかに衝突の形跡が見られた。

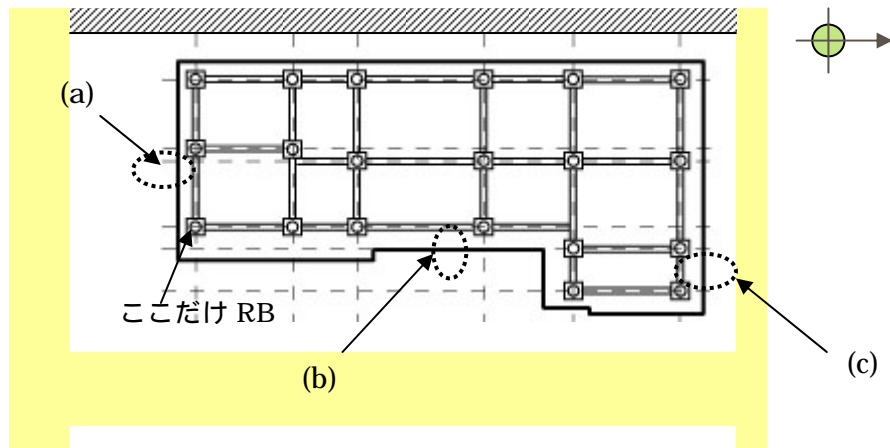


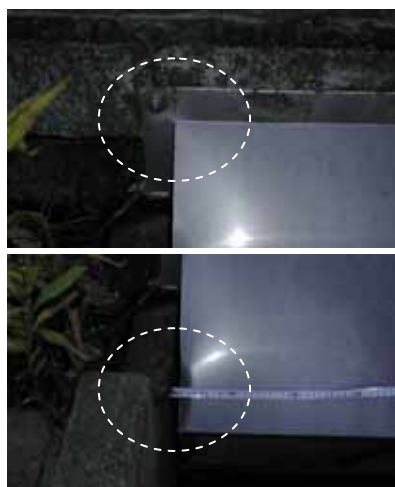
図 9.5.4 免震層の平面図 (a~c は写真 9.5.14 中の対応する番号を表す)



(a) 入り口部スロープ



(b) 犬走り部周囲の玉砂利



(c) ダクトの衝突跡

写真 9.5.14 免震層周辺の状況

免震層内で上部構造と周囲（免震ピット側壁）とのクリアランスを計測したところ、北側 340mm、南側 350mm、東側・西側 330mm であった。ただし西側の一部に、230mm の部分があり、注意が必要であると感じられた。また、上下のクリアランス部にはパテが充填してあった。

室内の状況としては、おおむね無被害とのことであったが、写真 9.5.15 に示すカルテ棚が転倒したとのことである。ただし、このカルテ棚はもう一つのカルテ棚と背中合わせにして使用することとされていたが、その棚が設置されておらず、安定の悪い状況で使用されていた。



写真 9.5.15 転倒したカルテ棚

## (2) 積雪の状況

建築物周辺の積雪は最大で 40～60cm 程度であった。使用者によれば、一度にその倍程度まで降雪があるが、雪が止むと自然に積雪深が下がり融雪するとのことである。これらは人の出入りのある部分を除き、特に融雪等の措置は講じられていなかった。建築物には設計用積雪深（1.8m）を示すプレートが掲げられていた。

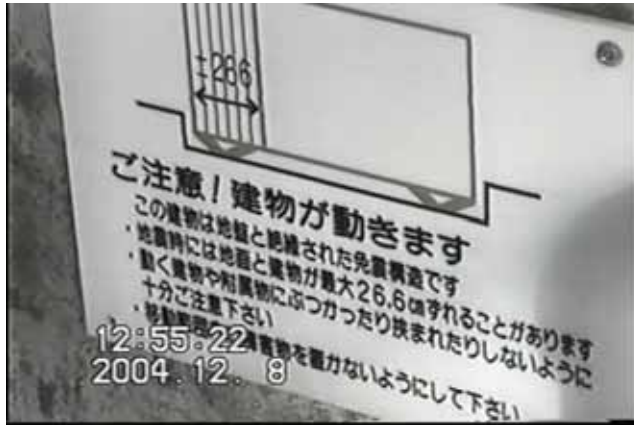


写真 9.5.16 積雪の状況

### 9.5.5 建築物E（新潟市、戸建て住宅）

#### (1) 免震部材および周辺の状況

建築物Eは地上3階、基礎免震の鉄骨造の個人住宅（竣工2002年）である。免震層の中央に2基の積層ゴム、その周囲に10基のすべり支承を配している。写真9.5.17に示すとおり、免震建築物の表示のほか、上部構造の周囲への立ち入り防止柵が設置されていた。



(a) 免震建築物の表示



(b) 進入防止柵の設置

写真 9.5.17 免震層周囲の状況

施主によれば、付近には新潟市の地震観測点があり、本震時の震度4.1と発表された地域である。建築物Eは設計上は震度3程度から免震効果を発揮するとのことであったが、写真9.5.18に示すとおり、免震層内部では上部構造の床版の合成スラブ施工時の打設コンクリートの漏れおよびその剥落片と見られる破片が散見された。この他にも、上下方向のクリアランス（約3cm）を確保するためのスペーサーとしてスチロール板や防寒用と見られるシーリング材が充填されており、これらが免震挙動に影響した可能性も高い。

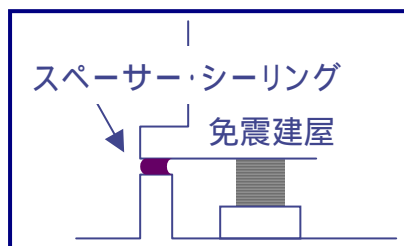


写真 9.5.18 免震層内部の状況

## 9.5.6 建築物F（湯沢町、病院）

### (1) 免震部材および周辺の状況

建築物Fは、図9.5.5、図9.5.6に示すとおり、地上5階、一部に柱頭免震を採用した免震構造である。32基の鉛プラグ入り積層ゴム（ ）5基の積層ゴム（ ）そして10基の球体転がり支承（ ）が設置されている。

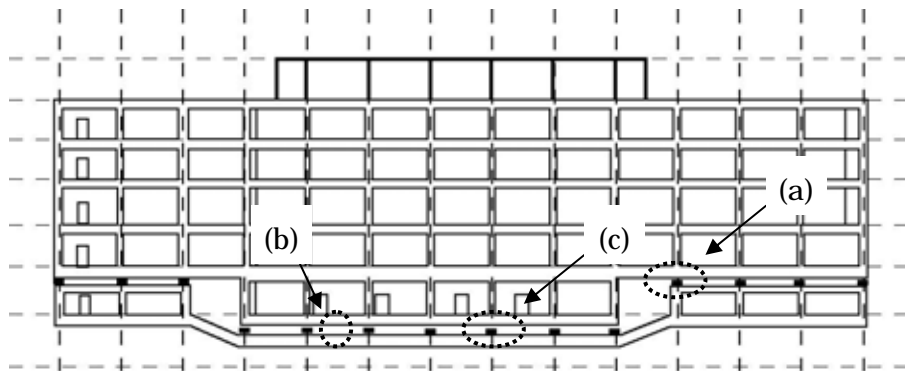
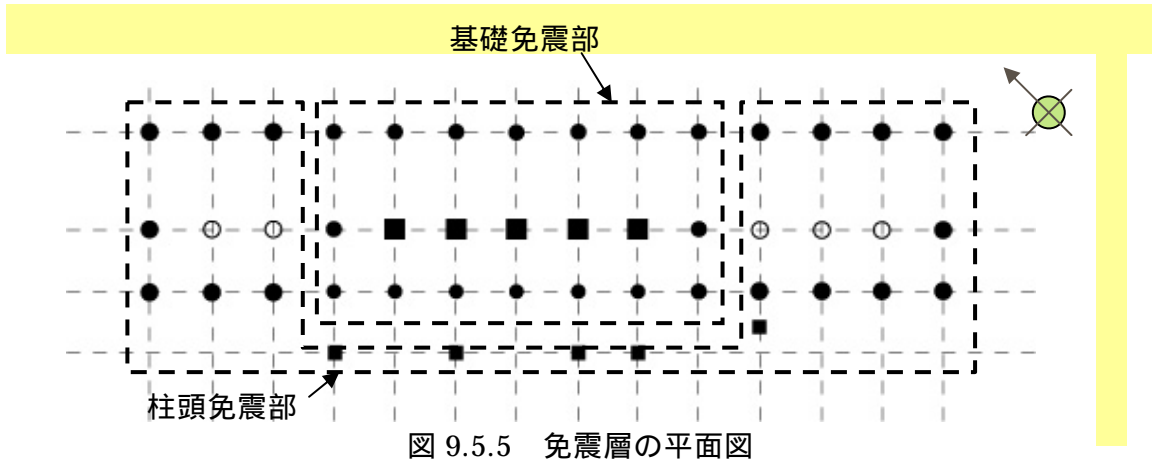


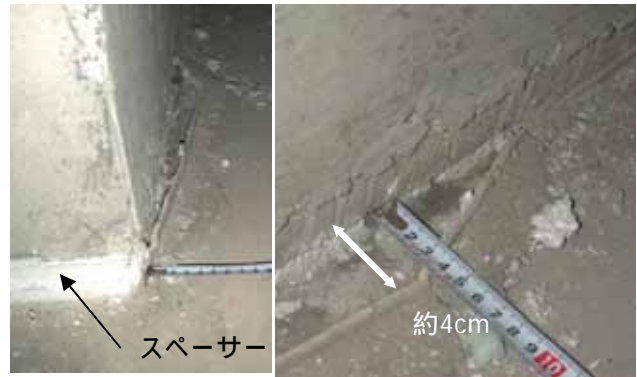
図 9.5.6 建築物Fの立面図（a～cは写真9.5.19中の対応する番号を示す）

写真9.5.19に示すとおり、積層ゴム周囲の防護用カバーの残留変位が認められた。施設管理者によると最大3cm程度で、余震により徐々に原点に復帰する傾向にあるとのことである。また、地下ピットには1階床から張り出す形で貯水タンクが設けられ、基礎底版との絶縁のためのスペーサー（厚さ約3cm）が挿入されていたが、この周囲にも最大4cm程度の擦過跡が見られた。これらのずれ等はいずれも同一の方向（北西方向）であり、地震動の卓越する方向を表しているものと考えられる。これらの他にも、一部の転がり支承からベアリングの潤滑油があふれているのを確認した。





(a) 積層ゴムカバー



(b) スペーサー周辺



(c) 潤滑油のあふれ

写真 9.5.19 免震層周辺の状況

## (2) 積雪の状況

建築物 F の周辺では 2m を越す積雪であったが、地下ピットへの落雪等はなく、また柱頭免震部においても、カバー周囲の着雪が見られたが、免震挙動への影響はごく軽微であると考えられる。ただし、1 階のロビーの前面が吹き溜まり部で、写真 9.5.20 に示すように、ガラス窓の下部 1m 付近までの積雪が見られた。植栽等もあり見かけほどの積雪量はないものと考えられるが、やや注意が必要であると感じられた。



写真 9.5.20 1 階ロビー外部の積雪状況

## 9.6 免震建築物における地震動観測結果

新潟県内の2棟の免震建築物には地震計が設置されており、2004年新潟県中越地震の本震の記録が観測されている<sup>5),6)</sup>。建築物Aでは、基礎(免震層下部)と1階(免震層上部)に、建築物Bでは、基礎、1階と8階に地震計が設置されていた。また建築物Cには、けがき変位計が設置されていた。

ここでは、地震計や変位計の観測記録を収集し、本震における免震建築物の加速度応答や免震層の変位応答を示すことにより、地震時の免震建築物の挙動を確認する。

### 1)建築物A<sup>11)</sup>

図9.6.1に、基礎と1階(免震層上部)における本震の加速度波形を、表9.6.1にそれらの最大値を示す。基礎に対する1階の水平最大加速度の比は、NS方向、EW方向で、それぞれ0.27、0.25となり、最大加速度は約1/4に低減されている。一方基礎に対する1階の上下最大加速度の比は、1.54であり、増幅する特性が見られる。

基礎での加速度波形の疑似速度応答スペクトル(減衰定数5%)を、図9.6.2に示す。水平動のNS方向では、周期1~3秒付近で疑似速度が大きくなるのに対し、水平動のEW方向では、周期0.8~2秒付近で疑似速度が大きくなる。図には、平成12年建設省告示1461号の「極めて稀に発生する地震動(解放工学的基盤上)」の疑似速度応答スペクトル(減衰定数5%)(以下、告示スペクトル)も示してある。本震における水平動の疑似応答速度スペクトルと比較すると、周期3秒以下の領域で告示スペクトルより大きな速度と示し、建築物Aの基礎での観測記録は、告示スペクトルを上回る地震動であることがわかる。

図9.6.3に、免震層の変位記録を示す。変位の時刻歴は、基礎と1階の加速度記録を積分し、両者の差から求めており、NS、EW方向ではなく、建物方向に変換して変位を示した。免震層は、北西 南東方向に大きく変位し、最大20cm程度の変位が生じたことが確認された。

### 2)建築物B<sup>12)</sup>

図9.6.4、図9.6.5に、それぞれ基礎、1階と8階(最上階)における本震のEW方向、UD方向の加速度波形を、表9.6.2にそれらの最大値を示す。建築物の短辺方向は、北に対して東寄りに約28°ずれている。基礎に対する1階の水平最大加速度の比は、NS方向、EW方向で、それぞれ0.60、0.60となり、最大加速度は6割に低減されている。一方基礎に対する1階の上下最大加速度の比は、1.03であり、ほぼ同程度の値であり、増幅は見られない。さらに、基礎に対する8階の水平最大加速度の比は、NS方向、EW方向で、それぞれ0.64、0.70となり、1階に比べると最大加速度比はやや大きくなる。基礎に対する1階の上下最大加速度の比は、1.29であり、増幅する特性が見られる。

基礎での加速度波形の疑似速度応答スペクトル(減衰定数5%)を、図9.6.6に示す。水平動のNS方向およびUD方向では、周期1.5~2秒付近で疑似速度が大きくなるのに対し、水平動のEW方向では、周期0.8~1.2秒付近で疑似速度が大きくなる。

図9.6.7に、免震層の変位応答の軌跡を示す。変位の時刻歴は、基礎と1階の加速度記録

を積分し、両者の差から求めた。NS、EW 方向の変位の最大値は、それぞれ 11.5cm、11.9cm となり、両方向で同程度の変位が生じている。

### 3) 建築物 C

図 9.6.8 に、免震層の変位軌跡を示す。表 9.6.3 に、本震を含め、主要な余震における免震層の変位の最大値を示す。本震においては、東側への変位が大きい結果(最大変位 84mm)が得られており、免震層が変形した様子が確認できる。余震においても、最寄りの気象庁の観測点での震度が 5 強程度になると、29mm 程度の最大変位が生じる。

K-NET(NIG017、長岡市)で観測された加速度記録とその疑似速度応答スペクトル(減衰定数 5%)を、それぞれ図 9.6.9、図 9.6.10 に示す。加速度記録の最大値は NS,EW,UD 方向でそれぞれ 468,369,331gal となる。水平動では、周期 0.4 秒以下の周期域では、告示スペクトルのレベルより大きな疑似速度と示す。

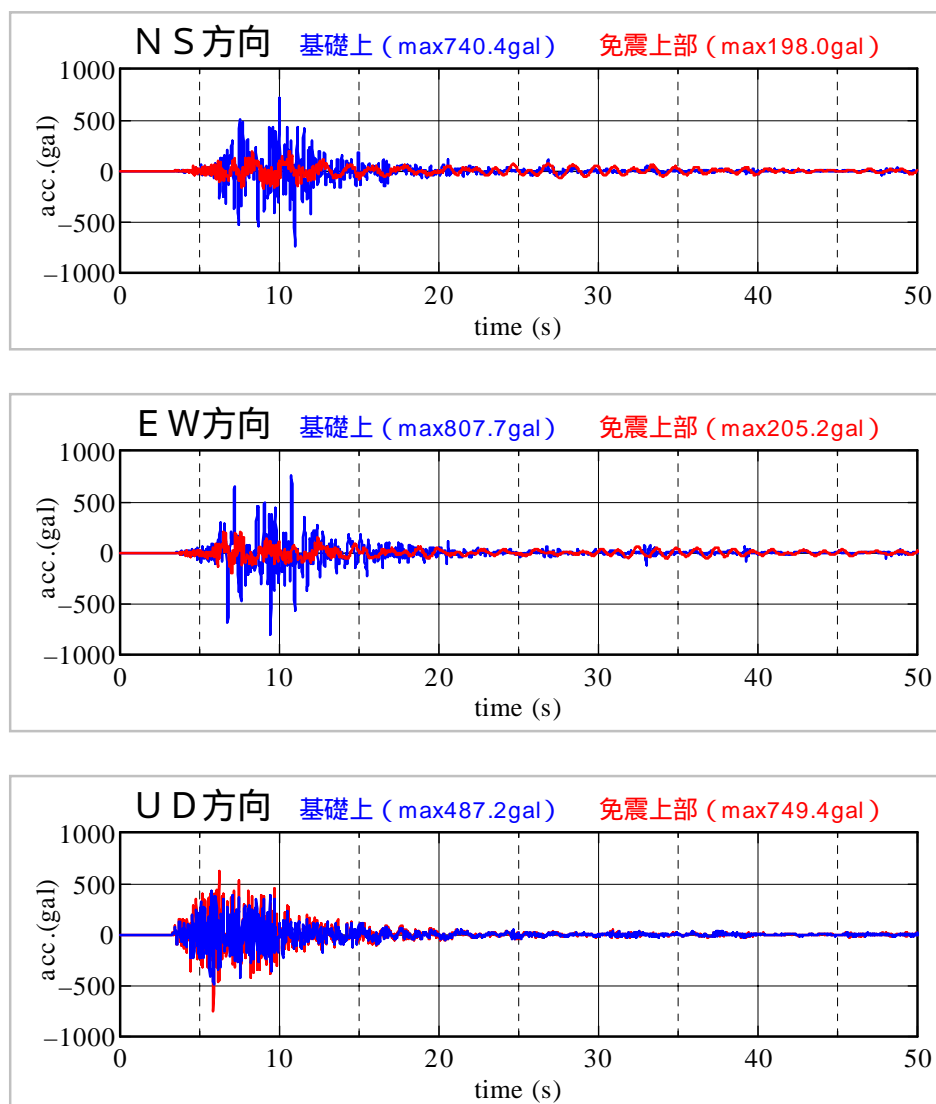


図 9.6.1 建築物 A の基礎と 1 階(免震上部)における加速度波形

表 9.6.1 建築物 A の最大加速度

方向	基礎(免震層下部)	1階(免震層上部)	1階/基礎
NS	740.4	198.0	0.27
EW	807.7	205.2	0.25
UD	487.2	749.4	1.54

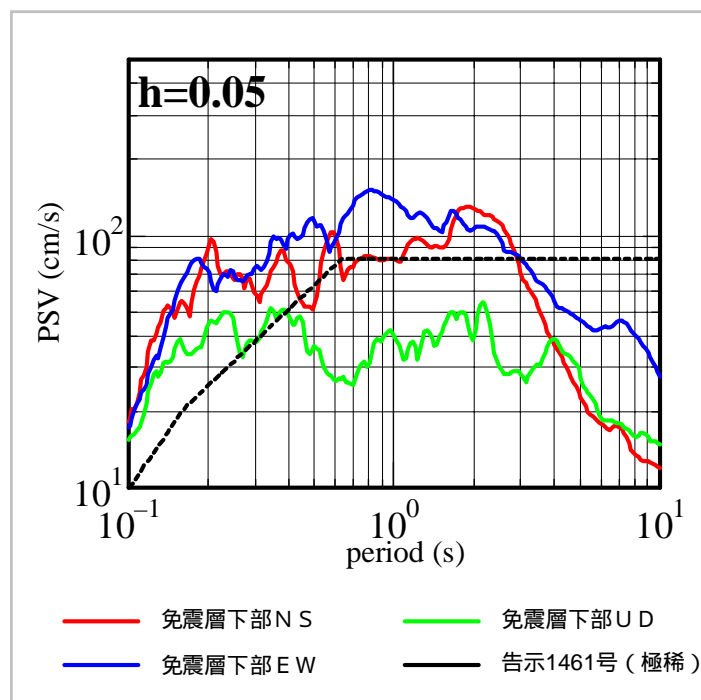


図 9.6.2 建築物 A における基礎の加速度波形の擬似速度応答スペクトル(減衰定数 5%)

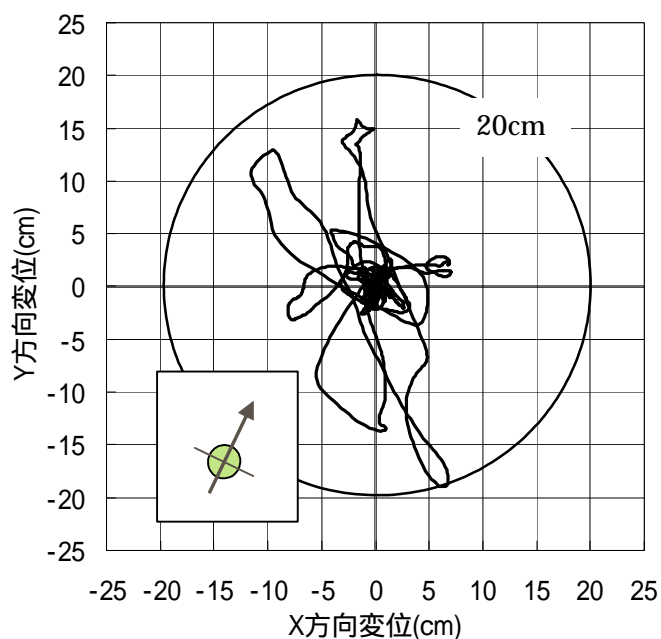


図 9.6.3 建築物 A における免震層の変位応答時刻歴

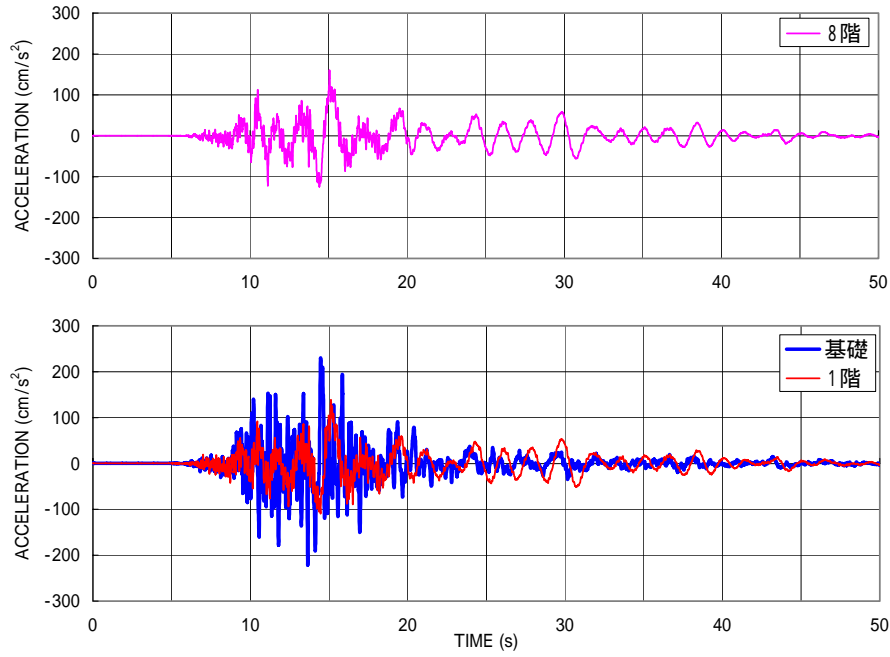


図 9.6.4 建築物 B の基礎、1 階と 8 階における加速度波形 (EW 成分)

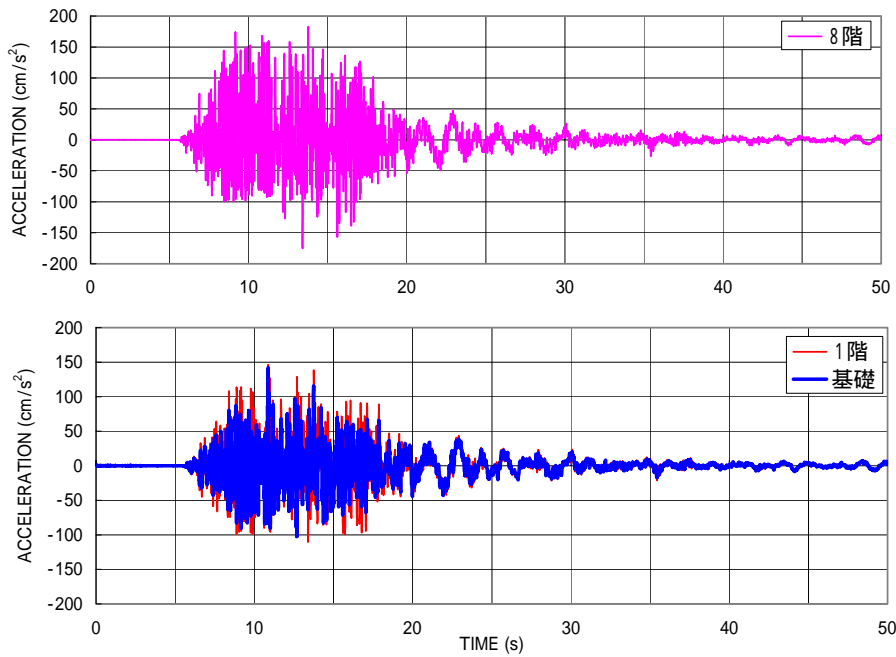


図 9.6.5 建築物 B の基礎、1 階と 8 階における加速度波形 (UD 成分)

表 9.6.2 建築物 B の最大加速度

方向	基礎	1 階	8 階	1 階 / 基礎	8 階 / 基礎
NS	190.0	114.5	120.8	0.60	0.64
EW	230.4	138.9	160.8	0.60	0.70
UD	141.8	146.1	182.6	1.03	1.29

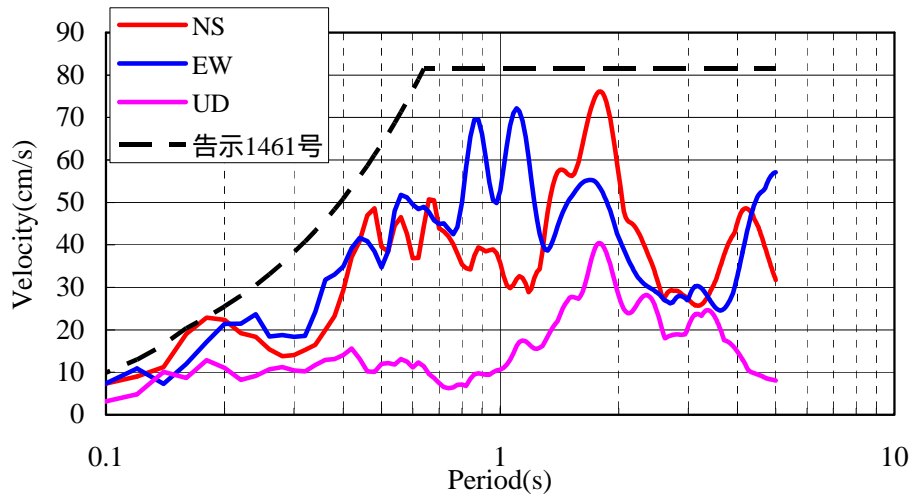


図 9.6.6 建築物 B における基礎の加速度波形の擬似速度応答スペクトル(減衰定数 5%)

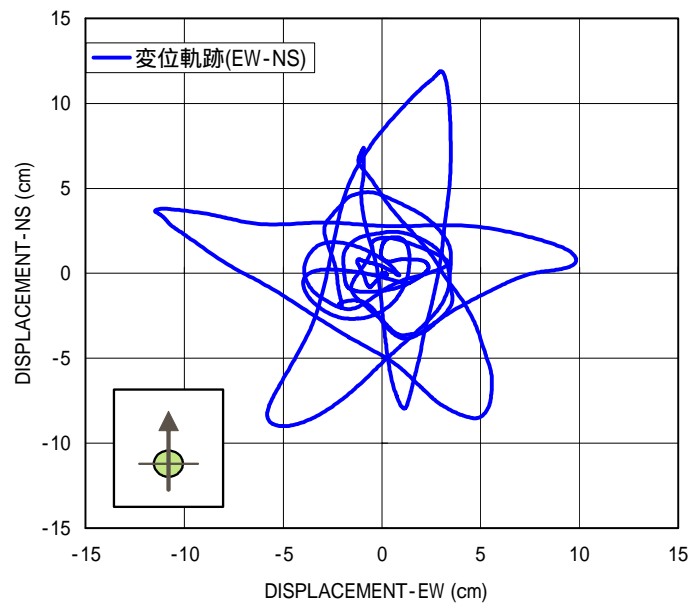


図 9.6.7 建築物 B における免震層の変位応答時刻歴

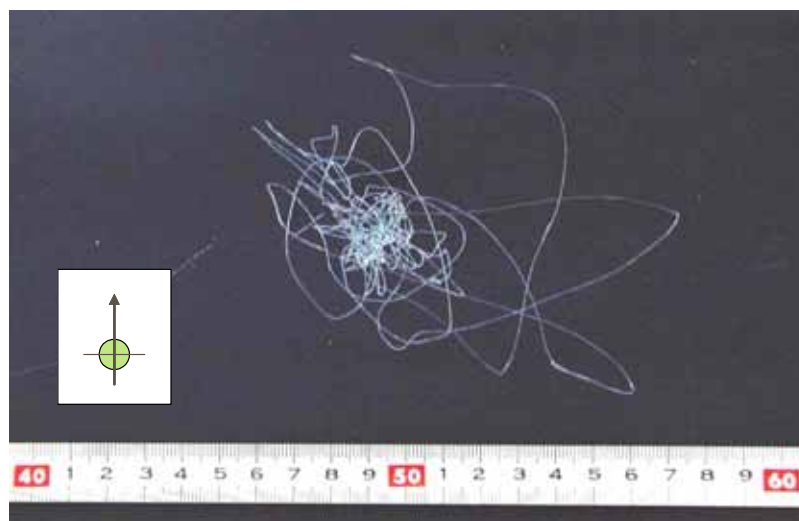


図 9.6.8 けがき変位計による免震層の変位軌跡

表 9.6.3 免震層の最大変位

(建築物 C に表示されていた変位を記述、K-NET の結果は追記)

月日	時分	長岡震度	K-NET(NIG017)での最大加速度 (gal)	免震層の最大変位 (mm)
10/23	17:56	6 弱	NS : 468 EW : 369 UD : 331	東へ 84、西へ 20 南へ 28、北へ 45
10/27	10:40	5 強	NS : 228 EW : 359 UD : 114	東南東へ 8、西北西へ 29 西南西へ 3、北北東へ 11
11/4	8:57	4	NS : 195 EW : 149 UD : 205	東へ 5、西へ 9 南へ 5、北へ 2
11/8	11:16	4	NS : 135 EW : 126 UD : 96	東へ 4、西へ 3 南へ 2、北へ 5

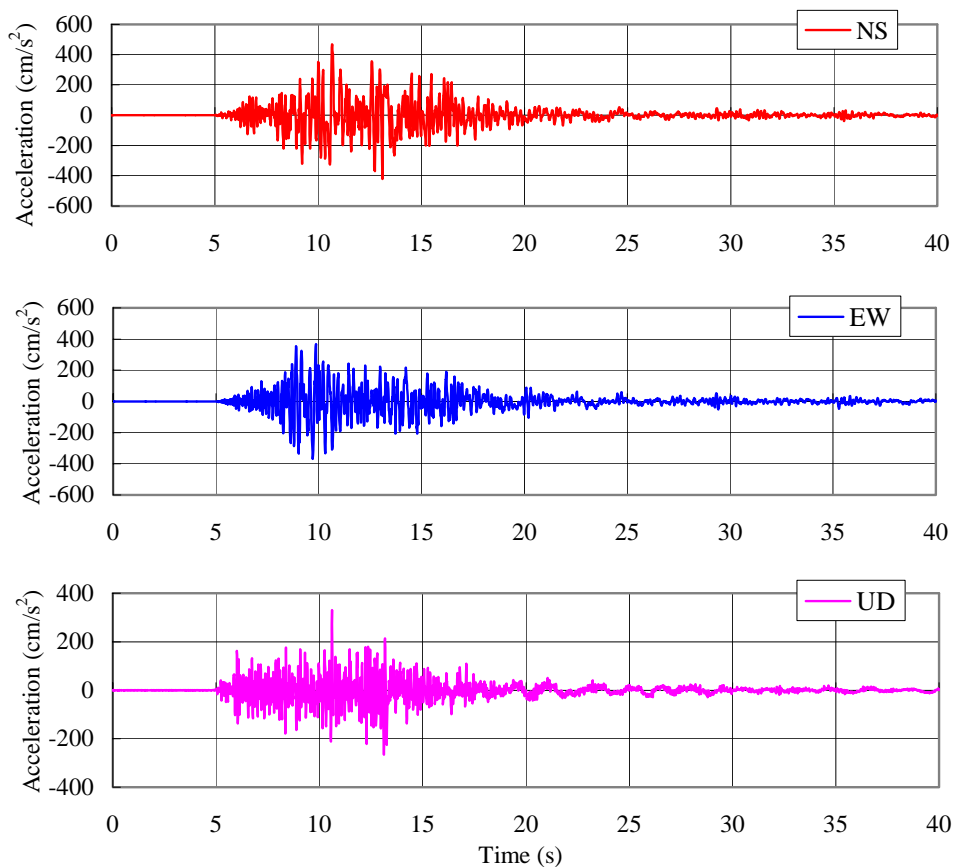


図 9.6.9 K-NET(NIG017、長岡市)の加速度記録

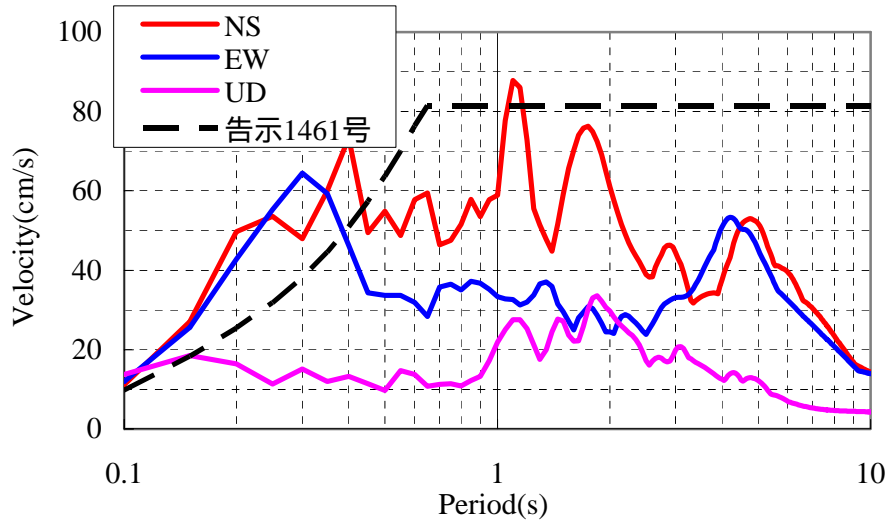


図 9.6.10 長岡 k-net 加速度記録の疑似速度応答スペクトル(減衰定数 5%)



## 9.7 まとめ

地震時における免震建築物の地震時挙動を明確にし、免震層および免震層周辺の状態を把握することを目的として、新潟県内の6棟の免震建築物の調査を行った。

免震建築物の調査内容は以下のようである。

- a) 居住者・建物管理者のヒヤリング調査・居住者のアンケート調査
- b) 免震層および免震層周辺状況の調査
- d) 地震動観測記録の収集・整理

アンケート調査においては、免震建築物での居住者の揺れの感じ方、地震中および地震後の室内の様子や免震建築物の有効性に対する結果をまとめた。

免震建築物の免震層および免震層周辺における現地での調査結果については、地震後の免震部材の状況、免震部材の軌跡や免震層周囲の状況からの免震層変位の確認、免震層の施工状態および積雪時における免震層周辺の状況をまとめた。

さらに、免震建築物の地震観測結果を収集し、免震効果の確認を行った。

免震建築物における調査結果は以下のようにまとめられる。

### 1) アンケート調査結果

免震建築物の地震時挙動を明確にするために、免震建築物の中にいた人といなかった人に対する地震時および地震後の様子に関するアンケート調査を行った。免震建築物が本格的に普及して間もない今日において、今回のような大地震の経験を通じた一般の建築物利用者の免震建築物に対する評価と期待を認識しておくことは、今後の免震建築物の普及を進めていく上で、非常に意義深いものと考えられる。

免震建築物の地震時挙動に関するアンケート調査結果をまとめると、以下のようになる。

- a) 震度6弱以上の地域の一般建築物では「外にとび出すような揺れ」であったが、免震建築物の中にいた回答者は、地震時に「作業を中断して様子を見た」等、冷静な行動が可能であったことがうかがわれる。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確認された。
- b) 震度6弱以上の地域において、かなりの恐怖感またはかなりの不快感があった人の割合は、周辺建築物に比べて免震建築物の方が少ない結果となり、免震建築物では、個人差はあるにしろ、地震時での恐怖感および不快感を低減させる効果を発揮したことが確認された。免震建築物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」のようなものである。
- c) 震度6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、アンケート回収後の現地調査により、免震建築物内で、揺れ、落下又は転倒した建築物内の積載物は、壁に架かったパネル類や植木鉢、座りの極めて悪い棚、物置内で重ねられた机の上のパソコンモニター等であり、これらの転倒等によって、周囲の建物利用者が危害を被るようなことはなかったことを確認している。また免震建築物でも、建物の階数が高くなるほど落下・転倒する可能性が大きくなる。

d) 免震構造の有効性は、震度 6 地域で、より強く実感される結果が認められた。一方、震度 4 地域では、周囲の建築物の被害程度が小さいこともあり、免震建築物の有効性を確認できる回答の割合は小さくなる。

## 2) 免震建築物の地震時性状

免震建築物の免震層および免震層周辺における現地調査結果および地震観測結果より、免震建築物の地震時挙動は以下のようにまとめられる。

2 棟の免震建築物の地震観測結果から、免震層の基礎と 1 階の加速度記録が得られた。基礎に対する 1 階の水平最大加速度の比は、小千谷市の免震建築物では約 0.25、長岡市の免震建築物では 0.6 となり、最大加速度が大幅に低減する免震効果が確認された。一方基礎に対する 1 階の最大上下加速度の比は、それぞれ 1.54、1.03 となり、上下加速度については増幅する特性が見られた。

小千谷市の免震建築物においては、免震部材の移動跡や地震観測結果から、免震層は最大 20cm 程度変位したことが確認された。また長岡市の免震建築物では、10cm 前後の免震層の最大変位が確認された。弾性すべり支承と天然ゴム系積層ゴムを用いた免震建築物では、3cm 程度の残留変形が認められたが、高減衰積層ゴムおよび鉛プラグ入り積層ゴムを用いた免震建築物においては、残留変位は確認できなかった。

小千谷市の免震建築物の近隣の RC 造建築物では、資料棚等の散乱・転倒の発生や建築物の一部の構造躯体の被害が見られたのに対し、免震建築物では、構造躯体および設備・内容物のいずれもほとんど無被害の状況であった。

これらの結果から、震度 6 弱以上の地域では、免震層が大きく変位し、免震建築物の加速度応答値が大きく低減される免震構造の性能が発揮されたことが確認された。

## 3) 免震建築物周辺の積雪状況

免震建築物外周部に融雪用の配水管・配水ホースが設置されているエントランスや道路に面する上部構造のクリアランス部分の積雪は、ほとんど見られなかった。しかしエントランスとの反対側や雪の吹き溜まり部分には、多い場所では 2m 程度の積雪となっている部分もあり、注意が必要である。

積雪深が 50cm 程度の場所で、積雪部を手で水平に押したところ 15cm 程度は雪が移動し締固まったことから、この程度の雪であれば犬走り側面の積雪の影響は小さいと判断される。

また屋上の外周部分には融雪装置が設けられており、建築物周辺下部への落雪を防止する対策がとられている建築物も見られた。

## 4) 免震層および免震層周辺のその他の状況

・長岡市の免震建築物の外壁には平成 12 年建設省告示第 2009 号の規定に従い、上部構造のクリアランスの確保の一環としての免震建築物であることを表示するプレートが周囲に設置されており、設計上の応答変位は最大 50cm と表示されていた。

- ・クリアランスの確保のために、駐車の際に上部構造に過度に近接しないようポールとチェーンによる仕切りが設けられていた。また上部構造の周囲への立ち入り防止柵が設置されていた。
- ・免震層の入り口部で周囲との接触で目地部の破損が生じていた建築物が見られた。
- ・免震層でのクリアランスが部分的に小さくなっている箇所が見られた。
- ・上下のクリアランス部にはパテやスチロール板が充填され、免震層の移動に影響があると考えられる箇所が見られた。
- ・免震部材の一部より潤滑油があふれているのを確認した。

## 謝辞

免震建築物でのヒヤリング調査やアンケート調査にご協力いただきました、免震建築物の施主、建物管理者及び居住者棟の皆様には感謝致します。

免震建築物の地震動観測結果を提供いただきました、株式会社三菱地所設計構造設計部・鴫田隆氏および溜正俊氏、鹿島建設株式会社小堀研究室・竹中康雄氏に感謝いたします。

## 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 PART 2 -, 1995
- 2) 中川太郎、吉井靖典：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、MENSIN、No.42、pp.38-42、2003.11
- 3) 鹿嶋俊英、藤田久志、伊藤昭浩、関弘義：2003 年十勝沖地震における釧路合同庁舎の地震時応答、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.265-268、2004.8
- 4) 「MENSIN、No.43」に 2003 年十勝沖地震における免震建築物の地震時挙動結果が数例示されている、2004.2
- 5) 溜正俊、鴫田隆：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、地震学会他、pp.111-116、2004.12
- 6) 鹿島ホームページ(<http://www.kajima.co.jp/>)、プレスリリース
- 7) 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、pp. 287-288、2004.8
- 8) 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
- 9) 鈴木健司、北川良和：免震建築物の中小地震時における居住性能評価手法とその検証、日本地震工学会・大会-2004 梗概集、pp. 268-269
- 10) 株式会社三菱地所設計より被害写真の提供
- 11) 株式会社三菱地所設計より地震観測記録の提供
- 12) 鹿島建設株式会社より地震観測記録の提供