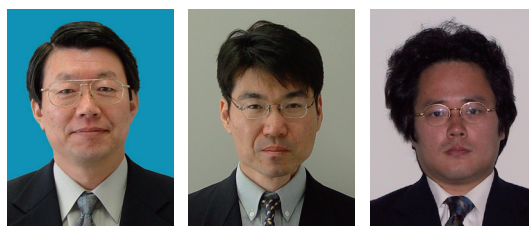


免震建築物における地震時の安全と地震後の機能維持の確保

危機管理技術研究センター 建築災害対策研究官
建築研究部 構造基準研究室 主任研究官
同 基準認証システム研究室 主任研究官

飯場 正紀
小豆畑達哉
井上 波彦



1. はじめに

ここ数年において、日本各地で比較的規模の大きな地震が発生し、建築物等に被害が見られている。近年の地震では、建築物等の構造的な被害に加えて、建築物内の家具等の状況、計測震度と負傷率または居住階と負傷率の関係も調査されており^{1), 2)}、構造的な安全性に加えて、室内の安全性への配慮も重要視されてきている。

一方、免震建築物においては、地震時の挙動や地震後の機能維持の状況も確認されている。

ここでは、地震時に効果を発揮する免震建築物をとりあげ、免震構造の特徴を示すとともに、地震動観測結果や免震建築物の居住者へのアンケート結果等に基づき、地震時および地震後の免震建築物の性状についてまとめる。

2. 免震建築物の特徴

(1) 免震構造とは

図-1に、免震構造の建築物の概要を示す。免震構造は、主に建築物の1階床と下部構造（基礎）の間（以下、免震層という）に免震部材を設置した構造である。

免震部材は、支承材、減衰材および復元材に分類される。免震部材の役目は、上部構造の荷重（鉛直荷重）を長期間支持するとともに、地震時には水平方向に大きく変形できることである。支承材は、主として鉛直荷重を支えるものであるが、水平方向に大きく変形する機能を併用させることも多い。一般の免震建築物では積層ゴムが用いられる。積層ゴムは、薄いゴムと鉄板を水平方向に何層にも貼り合わされて作られている。その結果、鉛直荷重に対してはゴムの横方向へのはらみだしが鉄板により拘束されるため、大きな荷重を支持できる。また水平方向

には、ゴムのみがせん断変形し、ゴム厚さの4倍程度変形できる特性を示す。写真-1に、積層ゴムが水平力を受けて変形している様子を示すが、大変形時にも鉛直荷重を支持することができる。

減衰材は、地震時の揺れを小さくするために設置される。建築物へ入力する地震動のエネルギーに対し、減衰材でそのエネルギーの大部分を吸収し、上部構造が負担するエネルギーを低減させ、建築物の地震時の揺れを抑えることができる。

(2) 地震時における免震構造の利点

地震時における建築物の揺れを抑えることにより、次に示す効果が現れる³⁾。

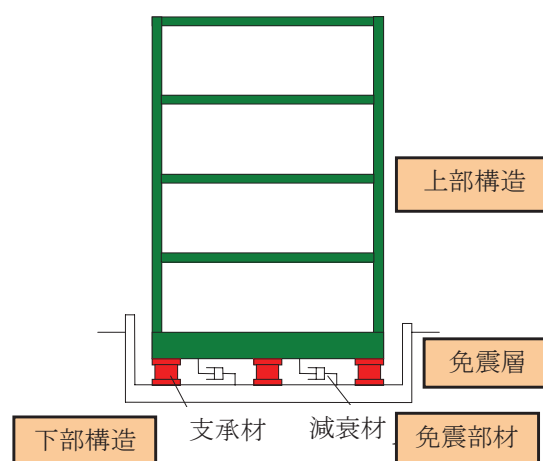


図-1 免震構造建築物

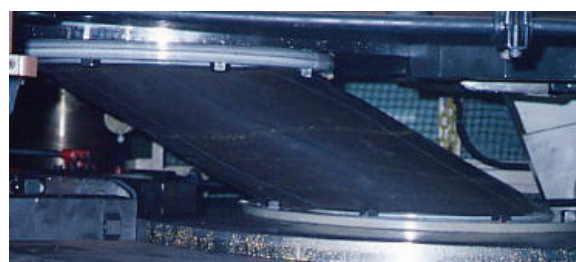


写真-1 水平変形時の積層ゴム

- ①構造部材および非構造部材の損傷低減
- ②家具・什器等の転倒および落下の防止
- ③避難路の確保
- ④心理的不安の緩和
- ⑤地震後の機能の維持または早期回復

地震時の揺れを抑えることにより、心理的な不安を低減するとともに、地震後の機能維持も確保することができる。

3. 免震建築物の建設状況

図-2に、我が国における免震建築物の建設棟数の推移を示す⁴⁾。ただしこのグラフには、戸建て免震住宅の棟数は含まれていない。1995年兵庫県南部地震後に免震建築物の建設数が急増し、免震構造が積極的に採用されるようになってきている。1996年には、マンションへの免震構造の採用が多くなり、1997年以降は、毎年110～150棟の免震建築物が建設されている。近年は、市庁舎や病院等の防災拠点となる建築物に免震構造が採用される例が多くなっている。

免震戸建て住宅の建設戸数もかなり多くなっていると思われるが、戸数は正確には把握できていない。2000年から戸数が増大し、2001年および2002年には、各年300戸程度の戸建て免震住宅の建設計画が確認されている⁴⁾。

4. 免震建築物における地震時の揺れ

1995年兵庫県南部地震をはじめ、この10年間に、免震建築物の揺れの状態を示す地震時の加速度記録

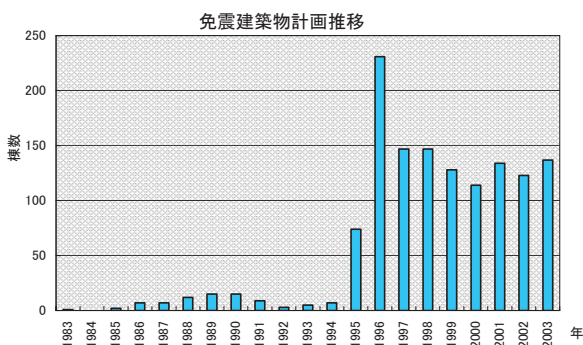


図-2 1983年から2003年までの建設棟数の推移⁴⁾

が得られ、免震効果が確認されている⁵⁾⁻⁸⁾。残念ながら免震戸建て住宅における地震時の検証はまだ報告されていない。

2004年新潟県中越地震の際、小千谷市の免震建築物において観測された加速度記録とその最大値を、それぞれ図-3と表-1に示す⁷⁾。基礎に対する1階の最大水平加速度の比は、南北(NS)方向、東西(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。免震構造でない一般建築物の場合、1階床では、基礎の値とほぼ同程度になることと比較しても、免震構造により、1階床の応答が大きく減少している。免震建築物では、上下(UD)方向には免震構造となっていないため、基礎に対する1階の最大上下加速度の比は、1.54であり、増幅する結果が確認されている。

表-1 免震建築物の最大加速度(単位: gal)⁷⁾

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

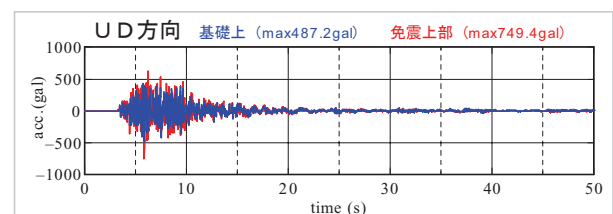
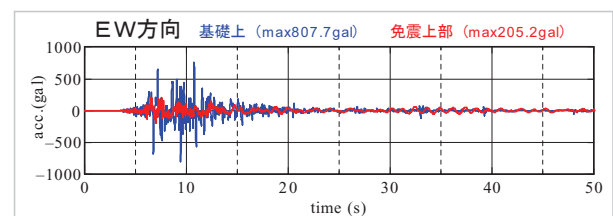
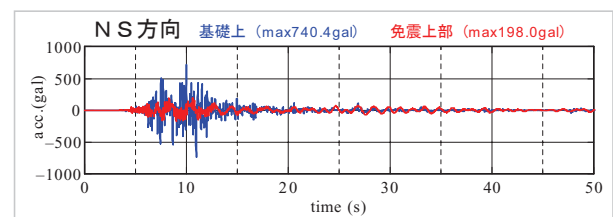


図-3 基礎と1階における加速度波形⁹⁾

5. 地震時の安全と地震後の機能維持の調査

地震時および地震後のより詳細な状況を把握するために、小千谷市の免震建築物において、職員へのアンケート調査を行った。2004年新潟県中越地震の発生が、土曜日の午後5時台であったことから、事務所の場合、建築物内に人がいない場合が多かった。一方小千谷市の免震建築物は、老人保健施設であり、長期滞在者を受け入れるとともに、デイケアも行っていたため、地震当日は多くの人が滞在していた。

地震時の揺れの感じ方や地震後の状況等に関するアンケート調査結果の一部を、以下に紹介する。

①アンケート回答者の内訳（図-4）

アンケート回答者が、地震時に免震建築物内に「いた」か「いなかった」の確認であり、回収数48において、13名が免震建築物内に、35名が別の場所にいたことになる。

②地震時の行動（図-5）

地震時におけるいくつかの行動項目を設定し、免震建築物内外での状況を質問した。免震建築物外の場合、「外に飛び出した」とする回答が最も多く、「ガス栓等の火の元の始末」、「作業を中断して様子を見た」の順に回答が続いている。一方、免震建築物では、「作業を中断して様子を見た」とする回答が圧倒的に多い。

③地震時の恐怖感（図-6）

地震時の恐怖感に関する質問であり、免震建築物外では、「かなりあった」とする回答が圧倒的に多いのに対し、免震建築物では、「かなりあった」と「少しあった」とする回答が同数となり、揺れが小さくなったことで、恐怖感が抑えられたと考えられる。

④室内での転倒物の有無（図-7）

家具等の転倒物に関するアンケート結果では、免震建築物外では、「かなりあった」と「少しあった」とする回答が多く、免震建築物では、「なかった」の回答が圧倒的に多く、地震後の室内の様

子が理解できる。

写真-2に、免震建築物と一般建築物における地震後の室内の様子を示す⁹⁾。非免震建築物では、室内での散乱状況が確認できる。

さらに、施設所有者や施設管理者へのヒアリングも行った。その結果は以下のようになる。

小千谷市内の免震建築物では、地震当日は、周辺の住人など400人程度が本建築物内に避難し、一夜を過ごした。地震後も室内施設は大丈夫であったが、地震後3日間是非常電源を使用しており、ガスの

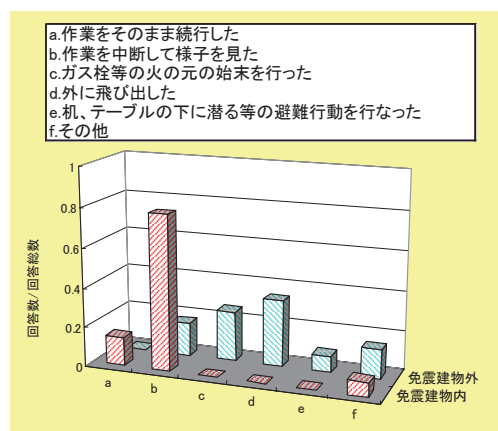


図-5 地震時の行動に関する回答

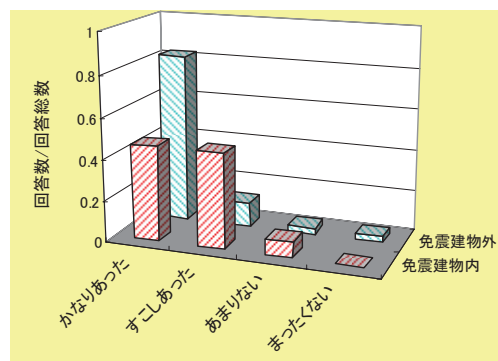


図-6 地震時の恐怖感に関する回答

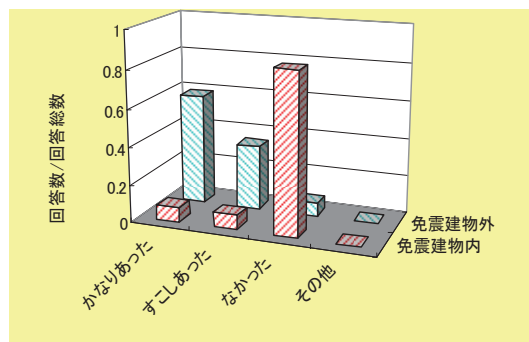


図-7 家具等の転倒に関する回答

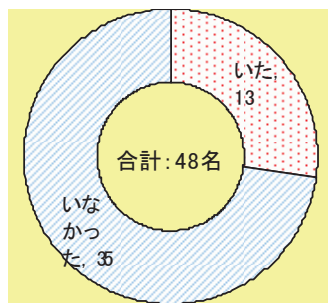


図-4 アンケート回答者の内訳

復旧には約1ヶ月を要した。

長岡市内の免震建築物では、設備・学習機材等に被害はなく、またエレベーターの緊急停止もなく、地震直後から通常の機能が保持でき、しばらくの間、生徒の避難先として利用したことが確認された。また電気は1時間程度で回復したが、水の復旧は3日、ガスは9日を要した。

6. まとめ

近年には震度の大きな地域で免震建築物の地震時の揺れの様子が確認できるようになってきた。地震応答を低減させることにより、構造体被害の軽減や室内の安全性を確保することができる。

免震構造は、人命を守るとともに人的被害を最小限に止め、建築物の財産価値を守ることを目指す構造方法の一つと考えられる。免震構造の利用により、建築物の居住者は「安全」が確保されるとともに、「安心」を手に入れることができる。

免震建築物の地震応答は、免震層の特性に大きく依存する。免震構造をより信頼できる構造とするためには、計算モデルの改良による地震応答予測の精度向上が必要である。さらに将来にわたって免震建築物が所定の性能を発揮するためには、免震部材や



(a) 免震建築物



(b) 非免震RC造建築物

写真－2 地震後の室内の状況の比較⁹⁾

免震層の不具合を早期に発見できる維持管理を継続していく必要がある。

国総研では、応答低減や損傷制御効果のある構造の研究を進め、建築基準体系での位置づけを明確にし、地震時においても、国民生活に支障をきたすことのない基盤整備を図っていきたいと考えている。

謝辞

免震建築物の地震動観測結果および室内の写真を提供していただきました、(株)三菱地所設計・構造設計部の溜正俊氏に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 村上ひとみ：2004年新潟県中越地震の人的被害と救急・救助活動の実態調査、日本建築学会大会、計画系、pp.849-850、2005.9
- 2) 日本建築学会：2005年福岡県西方沖地震災害調査報告書、pp.211-222、2005.9
- 3) 飯場正紀：戸建住宅の免震、建築技術、No.617、pp.142-148、2001.7
- 4) 社会ニーズWG：2004年度免震制振建物データ集積結果、mensin、日本免震構造協会、No.49、pp.41-42、2005.8
- 5) 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
- 6) 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、日本建築学会大会、構造系Ⅱ、pp.265-268、2004.8
- 7) 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、日本建築学会大会、構造系Ⅱ、pp.653-658、2005.9
- 8) 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
- 9) (株)三菱地所設計の溜正俊氏から提供