

転がり免震模型の振動台実験

中川 肇* 黒澤和輝** 井岡満***

Shaking Table Test of the Rocking Base Isolated Model

Hajime NAKAGAWA, Kazuki KUROSAWA, Mitsuru IOKA

ABSTRACT

This paper presents the shaking table test results of the rocking base isolated structure based on the earthquake accelerogram recorded during the Niigata-ken Chuetsu (2004), El Centro (1940) and Taft (1952) earthquakes. The upper structural model is a two-story wooden frame model. The rocking base isolation is composed of bearing arched in the lower part, steel ball and stainless steel sheet. The experiments are carried out for one and two-direction vibration tests. As a result, the response of the base isolated model can be reduced to less than 90% the input earthquake excitation response.

KEY WORDS: base isolated house, rocking base isolation, shaking table test

1. 序

1995年の兵庫県南部地震以後、2004年10月の新潟県中越地震が発生し、その震源地付近は「活褶曲」と呼ばれる地形で、地滑りなどの土砂災害により土木、建築構造物に被害をもたらした。昭和30～40年代に建設された木造建物の耐震性の弱さを露呈した。その意味で既存木造建物の耐震性の向上及び耐震補強が重要な課題と言える。

木造住宅の耐震性向上の一手段として、戸建免震構造の適用が挙げられる。戸建住宅に採用されている免震装置は、一般にすべり、転がり支承と天然ゴム等の復元力材で構成されており、既往の研究^{1),2)}では、すべり・転がり支承の性能試験及び木質系免震住宅の実大振動実験が行われている。

明石高専建築学科において、2002年から2年間に亘り開発したすべり免震装置³⁾は、すべり支承とステンレス板及び復元力ゴムで構成し、摩擦係数軽減のために支承下部にPTFE材(4フッ化エチレン樹脂)を添付し、木造2階建てを想定した1/20スケールの振動台実験を実施した。免震模型の応答は非免震模型のその60%まで低減することが可能になった。本論では、戸建て免震住宅用の転がり免震装

置を開発し、2次元振動台実験を実施し、その装置の基本性能と免震効果を確認する。次いで、すべりと転がり免震模型の振動実験結果を比較し、夫々の改良点を述べる。

2. 試験体の設計

上部構造は木造2階建てを想定し、振動台の制約から模型の縮尺を1/20とする。試験体寸法は300mm×400mm、全体の高さは489mmである。各階の床板は厚さ9mmの合板で、柱は幅20mm、厚さ2mm、高さ240mmのアルミ材とし、床板と柱はアルミ金物を介して接合している。上部構造の1次固有周期は0.1秒程度になる様に設計し、固有値解析の結果、本論では、図1に示すX方向で、0.112秒である。

免震層は、図1に示すような下部円弧支承(既製品)とステンレス板を1階床下面に添付する上部支承の間に直径30mmの鋼球を設置し構成している。試験体の設計図、転がり支承部の写真を夫々図1、写真1に示す。また、文献3に示したすべり支承装置を図2に示す。尚、転がり、すべり免震模型とも、上部構造模型は同じものを使用する。

*建築学科、**明石高専卒業生、**庶務課技術専門職員

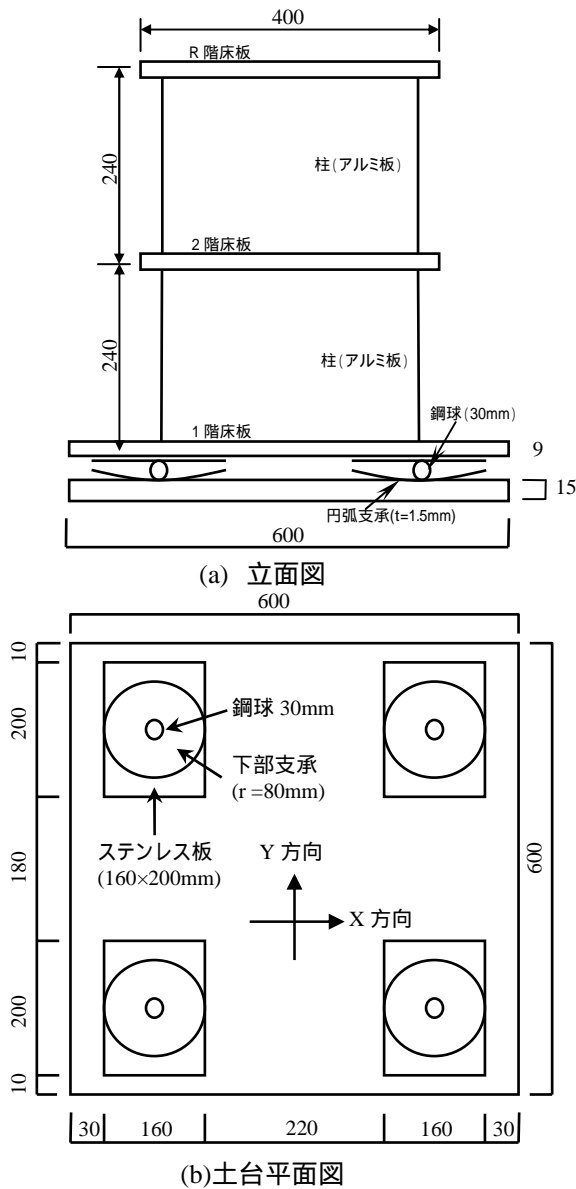


図1 転がり免震模型



写真1 転がり支承部

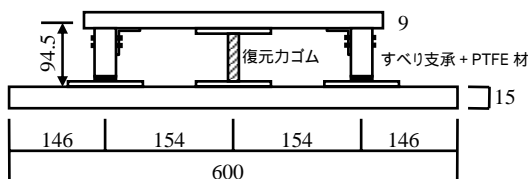


図2 すべり免震装置³⁾

3. 振動台実験と計測システムの概要

3.1 実験概要

本論では、免震模型に対する1方向、2方向加振実験を行う。免震模型の1方向加振では、入力地震動レベル(以下、加振波レベル)が免震効果に及ぼす影響を検討し、2方向加振では、免震装置が360度に対して運動可能か、また免震層の残留変形が生じないかを確認する。入力地震動は2004年の新潟県中越地震小千谷市EW成分、1940年のEl Centro地震NS成分及び1952年のTaft地震EW成分とし、最大加速度100~500cm/s²とする。図3は、新潟県中越地震小千谷市の観測記録とフリエスペクトルを描いている。図3より、地震動の卓越振動数及び強震部分の継続時間は夫々1.46Hz、10秒程度であり、木造、中低層鉄筋コンクリート造建物に被害をもたらす典型的な内陸活断層破壊であることが判る。

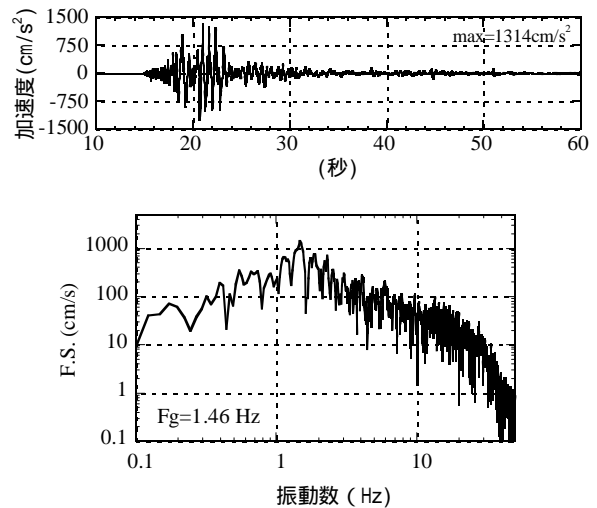


図3 新潟県中越地震(小千谷市)

3.2 計測システム

本計測システムは、ひずみゲージ式変位計、超小型加速度計で地震時の応答を計測し、超小型データロガを介してパソコンに取り込むシステムである。計測器の仕様及び計測システムの概念図を図4に示す。

表2 計測器の概要

| | 最大出力 | 周波数 | ch | 備考 |
|------|-----------------------|------------|----|-----|
| 変位計 | ±50mm | DC ~ 2Hz | 1 | 免震層 |
| | | | 2 | 1階床 |
| 加速度計 | 5000cm/s ² | DC ~ 130Hz | 3 | 2階床 |
| | | | 4 | R階床 |

注)ch はチャンネル番号を示す

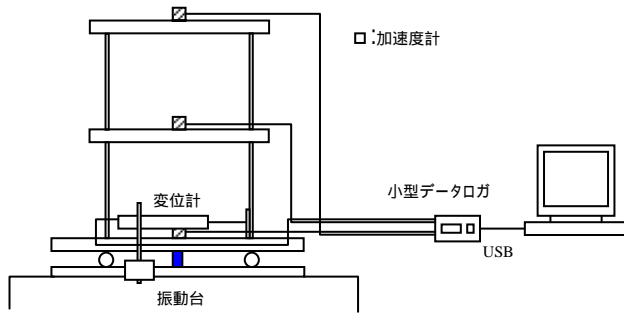


図4 計測システム

4. 実験結果

4.1 1方向加振実験

図5には、一例とし入力地震動を新潟県中越地震EW成分500cm/s²とした場合の各階の加速度応答及び免震層の層間変位応答の時刻歴が描かれている。図5より、鋼球の転がり運動により、1階床での加速度応答の最大値は45cm/s²で加振波の1/10程度まで振動が低減していることが判る。しかし、最上階では、加速度応答が増幅しているが、十分な免震効果が得られている。

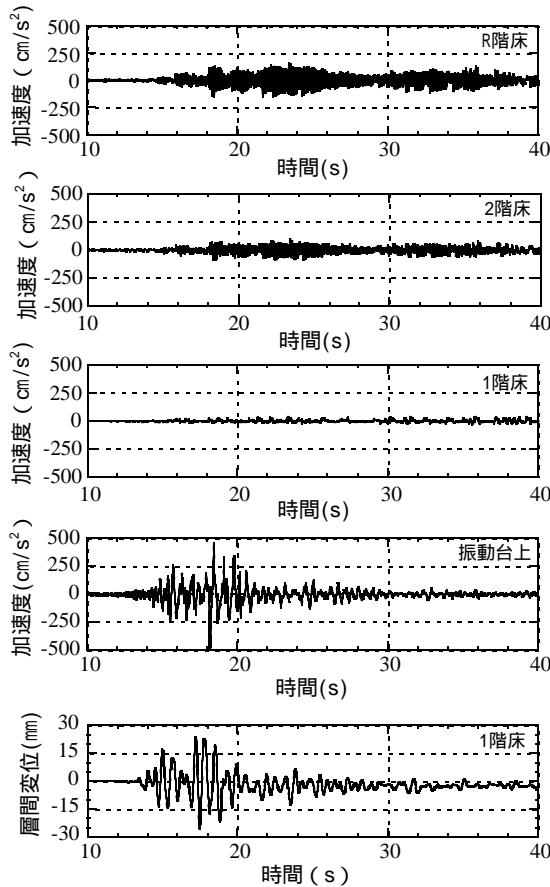


図5 絶対加速度, 層間変位応答

この原因は、計測時のデータロガにおいて、30Hz以上の振動数を検知しないように設定しているが、本論で最も望ましくない10~30Hzの振動を削除することがこのシステムではできないためである。この点については、実験データを基にフィルター処理を今後実施する予定である。

図6, 7には、加振波レベルを100~500cm/s²まで変動させた場合の各階の最大加速度と免震層の最大変位応答が描かれている。図6より、加振波レベルが増加しても各階床での最大加速度の値は殆ど変化しないことが判る。また、転がり免震装置は100cm/s²以下の中小地震では免震効果はあまり期待できない。これは、下部支承が円弧になっているために、支承がフラットな場合に比べ転がり量が少なくなるためと推察される。図7より、加振レベルが増加するにつれて、支承部の変位量は大きくなるが、500cm/s²の場合、最大変位量は28mmである。

また、新潟県中越地震以外のEl Centro, Taft地震に対しても同様の傾向を示していることを確認している。以上の結果より、転がり免震模型は、加振波の1/10~1/4程度の応答に低減することは可能であり、戸建て免震住宅に適用できる。

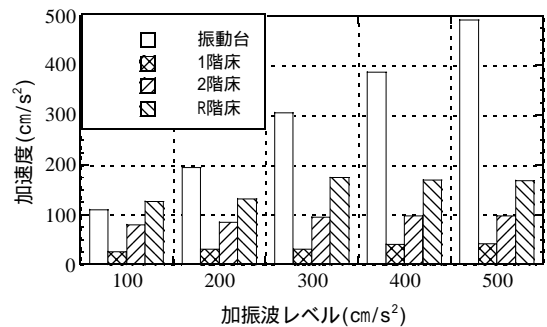


図6 加振波レベルに対する最大加速度

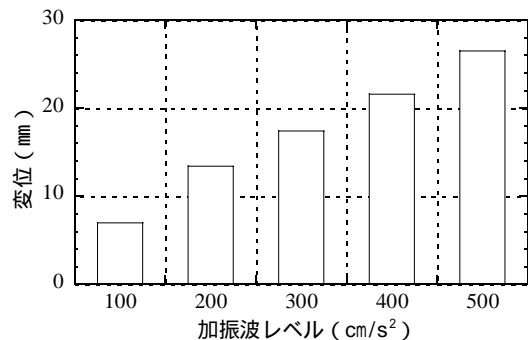


図7 加振波レベルに対する最大変位

4.2 2方向加振実験

図8には、入力地震動を新潟県中越地震小千谷市の観測記録のNS及びEW成分とし、その最大加速

度を 500cm/s^2 に規準化し、夫々の方向で計測した各階の最大加速度を示している。図 8 より、本免震模型では、360 度に対して運動可能で残留変位もなく、加振波の $1/10 \sim 1/3$ の応答まで低減することが可能である。

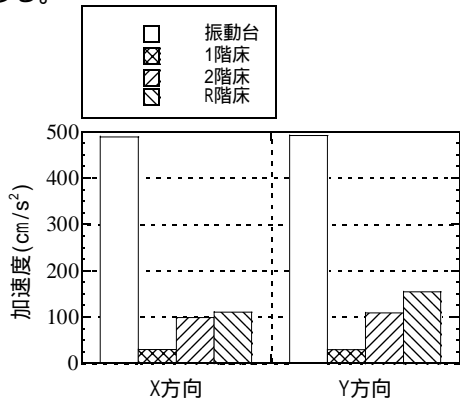


図 8 2 方向加振時の各階の最大加速度

4.3 すべり及び転がり免震模型の応答特性の比較

本節では、既往の研究で開発したすべり免震装置と本論の転がり装置が免震効果にどの程度影響を及ぼすかを検討する。

図 9 には、入力地震動を Taft 地震 EW 成分、最大加速度 350cm/s^2 とし、振動台上、1 階床での加速度応答及び 1 階床の層間変位応答が描かれている。図 9 より、すべり免震装置では、最大加速度は 136cm/s^2 で加振波の $1/2.5$ の応答まで低減できるのに対し、転がり免震装置では、最大加速度が 20cm/s^2 で加振波の $1/17$ の応答まで低減することが可能である。

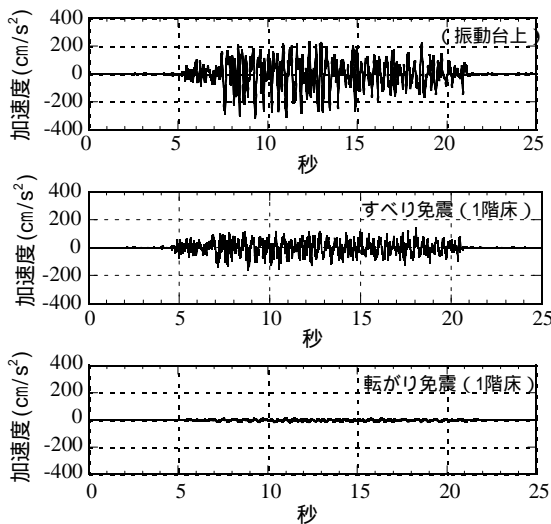


図 9 すべり、転がり免震模型の応答特性

これは、すべり支承はステンレス板との摩擦係数が $0.04 \sim 0.06$ 程度で、転がり支承に比べ高いために、

加速度応答が低減できない。以上の結果より、すべり免震装置は下部のステンレス板との摩擦係数を如何に軽減できるかが今後の課題である。

5. 結語

既存木造建物の耐震性の向上と住宅免震構造の適用性を PR するために、本論では、木造 2 階建てを想定した転がり免震模型を設計・製作し、2 次元振動台実験を実施した。実験結果から軽々に結論を述べることはできないが、それらが示す幾つかの工学的知見を述べる。

- (1) 転がり免震模型の最大加速度は加振波のその 90% 程度まで低減できる。
- (2) 転がり免震支承は 360 度に対して運動可能であり、残留変形もない。
- (3) 転がり免震支承はすべり支承に比べ、摩擦係数が低く、劇的に振動を低減できる。

なお、本論は、平成 14~16 年度の卒業研究で実施した内容を纏め、すべり及び転がり支承の基本性能を把握することである。これまでの研究成果を踏まえて、今後、新しい免震装置を若い学生の自由な発想・アイディアに期待し開発したいと考えている。

謝辞

本研究の実施に際し、16 年度の明石高専研究支援経費・個人プロジェクト「大震災の教訓を語り継ぐ地震・防災教育に関する試み」(研究代表者: 中川肇)の補助を受けました。ここに深く謝意を表します。また、本実験に採用しました新潟県中越地震小千谷市の観測記録は、独立行政法人防災科学技術研究所 (K-NET、KiK-net) より使用させて頂きました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 大森裕、千田菜穂子ほか：木質系免震住宅の実大モデルの振動台実験、日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集、pp.257-258 (2001)
- 2) 三浦雅史、槻田宏幸ほか：3 階建て木質免震住宅の実大振動実験に関する研究、日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集、pp.261-262 (2001)
- 3) 中川肇、谷本祝紀、井岡満ほか：すべり免震模型の振動台実験、明石工業高等専門学校研究紀要、第 47 号、pp.109-114 (2004)