

防災意識向上のための木造模型教材の開発

中川 肇* 長嶋 隆一**

Development of Teaching Materials of Wooden House Models for the Promotion of Disaster Prevention Consciousness

Hajime NAKAGAWA, Ryuichi NAGASHIMA

ABSTRACT

This paper presents the shaking table test results of five types of wooden house models and the rocking base-isolated model based on the earthquake accelerogram recorded during the Niigata-ken Chuetsu (2004) earthquake. The wooden house model is a two-story frame model with braces and seismic walls. The rocking base isolation is composed of bearings arched in the lower part, steel balls and a stainless steel sheet. The experiments are carried out for sweep and two-direction vibration tests. In a sweep test, the first natural frequency of a base wooden model was 5.74Hz. In the two-direction vibration test, the safety model did not collapse, but the case-4 model collapsed due to the torsion vibration.

KEY WORDS: wooden house with parking, teaching materials, shaking table test, disaster prevention video

1. 序

1995年の兵庫県南部地震以後、数年間、市民の防災意識は改善され、自主防災組織が数多く設立し、防災訓練が毎年実施されるようになった。兵庫県南部地震後、11年経過した被災地である神戸の町から震災に対する恐怖感、災害への備えは日増しに希薄になっていると言えよう。

本論では、既存木造住宅の耐震化促進及び市民の防災意識向上を目指し、小・中学生に理解できる木造模型教材を開発することを目的にしている。木造模型は、兵庫県南部地震、2004年10月の新潟県中越地震での木造住宅の1階層崩壊を模擬する形で、狭小住宅で見られる1階に車庫を有する木造模型（以下、ビルトイン住宅）であり、耐力壁及び筋交い材の配置の異なる5体を製作し、新潟県中越地震による加振実験を行う。

2. 木造模型の設計及び製作

新潟県中越地震では、多くの木造住宅が半壊、倒壊した。写真1はビルトイン木造住宅で、1階が層

崩壊している¹⁾。本章では、写真1の住宅を模擬するために、在来軸組に木質パネルを併用した工法に基づき模型内の耐力壁及び筋交いの配置を変化させた5体の模型を設計・製作する。模型は振動台の制約から縮尺1/20とし、平面寸法は300mm×450mm、階高125mm、全高404mmである。

図1、2は夫々崩壊しない健全模型、捩れ崩壊する可能性がある崩壊模型の試験体平面図を示しており、小・中学生がレゴブロックの様に自分で組み立てることができるように、柱と梁の接合部は、ねじや接着剤で固定せず、面ファスナー（マジックテープ）を使用し何度でも復元できるように工夫している。2階は1階とほぼ同様の柱割りで構成しているが、紙面の関係上省略する。写真2は製作した健全、崩壊模型である。また、両模型以外との相違点を示すために、表1には、夫々桁行、張間方向（以下、X、Y方向）の壁量とX、Y方向の偏心率²⁾を示している。表1より、耐力壁を削除することにより、両方向の偏心率は増加し、崩壊模型では、X方向0.35、Y方向0.7で一般の耐震規準での0.15以上になっており、捩れを発生することが予想できる。

*建築学科、**鹿児島大学工学部



写真 1 木造住宅の倒壊状況 1)

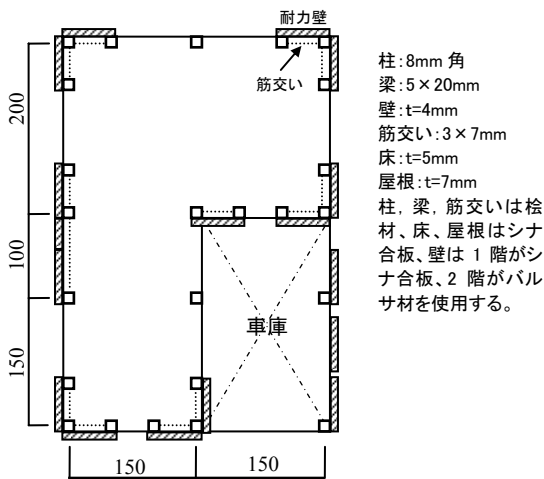


図 1 健全模型の試験体図(1階平面)

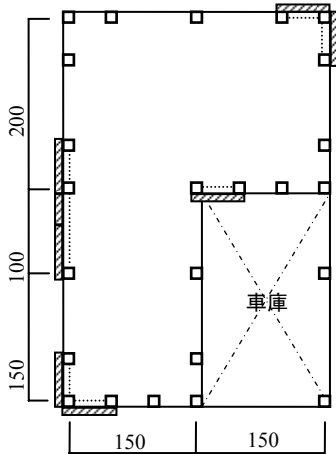


図 2 崩壊模型の試験体図(1階平面)



写真 2 健全、崩壊模型全景

表 1 耐力壁の配置及び偏心率一覧

	壁枚数		偏心率	
	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向
健全模型	6	11	0.11	0.16
Case-1	5	8	0.05	0.36
Case-2	4	9	0.02	0.51
Case-3	3	8	0.06	0.51
崩壊模型 (Case-4)	3	5	0.35	0.70

さらに、本節で製作した 5 体の模型以外に、地震に強い住宅を示すために、崩壊模型の基礎部に文献 3) で開発した転がり免震装置を設置した免震模型を製作する。写真 3 に免震模型全景を示す。



写真 3 転がり免震模型全景

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、まず、木造模型の固有周期を計測するために、2 章で述べた健全模型に対してスイープ試験を実施する。次いで、6 体の木造模型に対して 2 方向加振実験を実施し、耐力壁、筋交いの配置によりどのような応答性状、倒壊状態を示すかを確認する。木造模型教材を開発するために、各実験の様子をビデオカメラに収録し、ビデオ教材も作成する。

入力地震動は 2004 年の新潟県中越地震小千谷市で観測された加速度波形 (原波) の 60% とする。図 3 には南北及び東西方向の加速度波形を描いている。

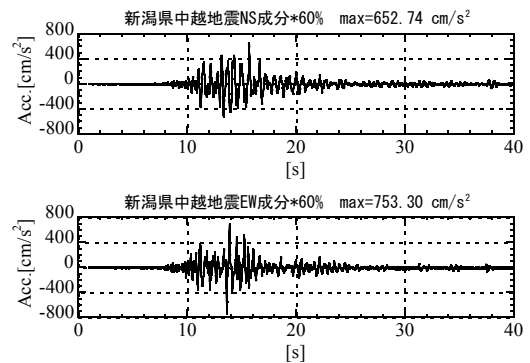


図 3 新潟県中越地震小千谷市(60%加振波)

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
加速度計	5000cm/s ²	DC~130Hz	1	1階床
			2	2階床
			3	屋根
変位計	±50mm	DC~2Hz	4	1階

注) ch はチャンネル番号を示す

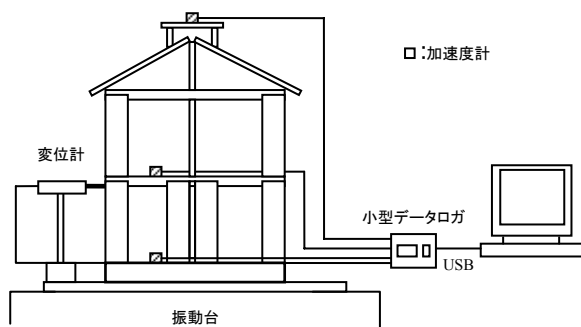


図4 計測システム

4. 実験結果

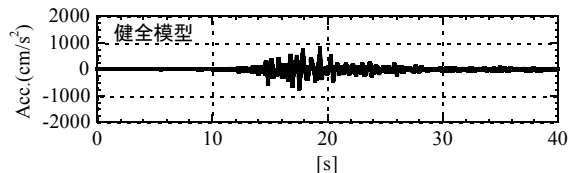
4-1 スイープ加振試験

スイープ試験では、加振波の振動数を0.5~30Hzまで時々刻々変動させた場合の振動台の加速度応答に対するR階床でのそれとの伝達関数を計算し計測する。試験の結果、健全模型の1次固有振動数は5.74Hz(0.174秒)で一般的な木造と同等であるが、明確な2次固有振動数は得られなかった。

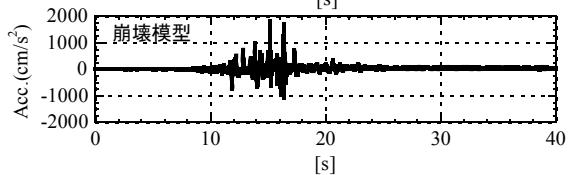
4-2 2方向加振実験

図5には、健全模型と崩壊模型時に計測されたNS方向の2階床、屋根での加速度応答及び1階の変位応答波形が描かれている。図5(a)より、2階床において、健全模型では、最大加速度で814cm/s²で加振波の1.25倍まで増幅しているが、崩壊モデルでは1837cm/s²で加振波の2.87倍まで増幅している。これは崩壊模型に大きな地震力が作用していることと揺れ振動が生じているためと推察される。(b)図より、屋根階では、崩壊モデルの加速度応答は5000cm/s²以上となっていることが判る。これは、加振14秒後に1階が倒壊し、2階以上が振動台上に落下し、衝撃荷重によるものと判断し

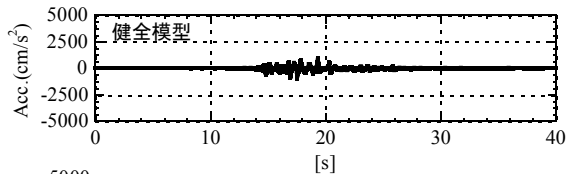
ている。(c)図より、健全模型は最大変位13.3mmを経験し、加振終了後に2mm程度の残留変形が生じているが崩壊はしていない。一方、崩壊模型では、加振14秒後に最大変位25.7mmを経験し1階が南東方向に倒壊していることが判る。これは、表1で示したように、車庫側の耐力壁が全くなく、揺れ崩壊を誘発した結果と判断できる。写真4に崩壊模型の振動実験後の様子を示す。



(a) 加速度応答(2階床)



(b) 加速度応答(屋根)



(c) 変位応答(1階)

図5 2方向加振実験結果

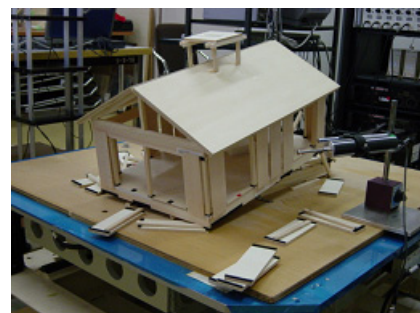


写真4 崩壊模型の1階層倒壊

図 6 には、屋根で計測された加速度波形を基に高速フーリエ変換を行い、0.8Hz の Parzen ウィンドウ⁴⁾を用いて平滑化したフーリエスペクトルを描いている。図 6 より健全模型は加振後、13.3mm 変形したために 1 次固有振動数がスワイプ試験時の 5.74Hz から 1.46Hz (0.68 秒) まで左側にシフトしていることが判る。一方、崩壊モデルでは、25mm 以上の大変形を経験し倒壊したために、明確な固有振動数は得られていない。

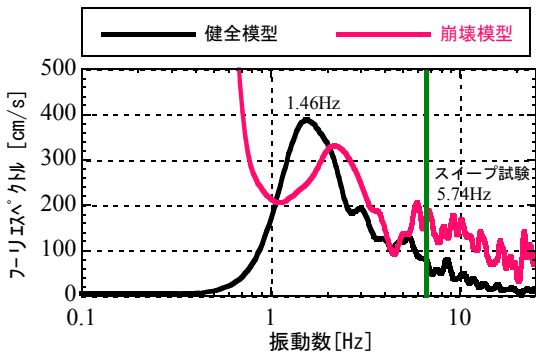


図 6 周波数特性

次に、図 7 には、免震模型において計測された 2 階、屋根階の加速度応答波形を描いている。図 7 より、免震装置を設置することで崩壊模型は全く揺れなくなり、加速度応答は格段に小さくなることが判る。また、図 8 には、健全模型から免震模型までの 6 体の模型での各階の最大加速度及び 1 階の最大変位応答を描いている。図 8 より、耐力壁、筋交いが削除されるほど、大きな地震力を木造フレームが負担することになり、加速度及び変位応答がかなり増大していることが判る。つまり、本研究のような 1 階に車庫を有するビルトイン住宅では耐力壁の配置が重要な要素となると言えよう。

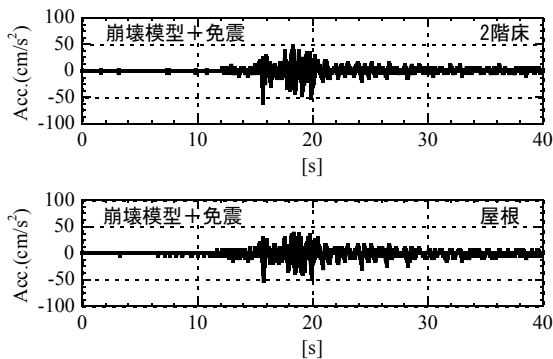


図 7 免震模型実験結果

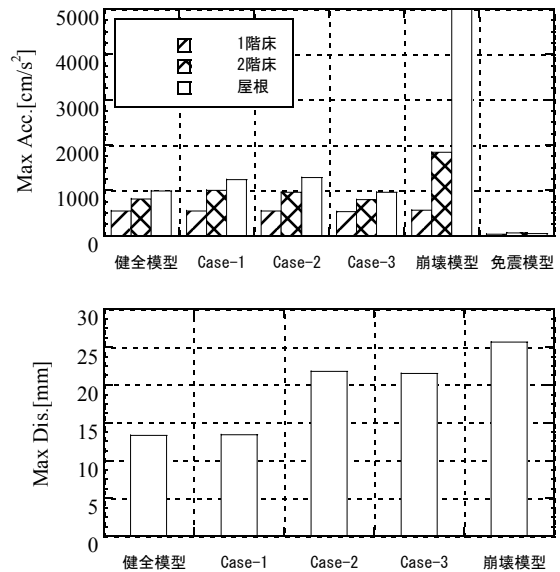


図 8 各模型の応答結果の比較

5. 結語

1995 年の兵庫県南部地震以後、11 年が経過した今、既存建物の耐震化促進及び市民の防災意識を再確認することは重要な課題である。本論では、狭小住宅で見られる 1 階に車庫をもつ木造住宅の模型実験を行い、車庫付き木造住宅の耐震性の弱さを指摘した。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) 木造模型の柱、梁接合部に面ファスナーを用いることで小・中学生が簡単に作成、復元できる模型教材を開発し、防災教育用ビデオを製作した。
 (2) 健全模型のように、耐力壁、筋交いを適切に配置した場合は、倒壊することはないが、崩壊模型では振れ振動を誘発し、新潟県中越地震の 60% 加振で倒壊した。
 (3) 崩壊模型を免震化することで、耐力壁の配置に関係なく、倒壊する恐れはない。

なお、防災意識向上のための木造模型教材は、他に在来軸組工法のみ、地盤の軟弱性、建物の平面、立面形状のバランス、接合部の補強方法などが考えられる。この点について今後の研究課題とし、次号で報告する予定である。

謝辞

本研究の実施に際し、17 年度の明石高専教育研究支援経費・個人プロジェクト「明石市魚住町周辺の地震被害想定に関する試み－南海・東南海地震に備えて－」(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) 新潟県中越地震朝日新聞報道（2004）

- 2) 里川長生著：「わかりやすい木造設計の手引き」、pp.147～157（2004）
- 3) 中川肇、黒澤和輝ほか：転が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48号、pp.96-99（2005）
- 4) 大崎順彦著：「新・地震動のスペクトル解析」、鹿島出版会、pp.25～80, 93～110（1994）