

## 地震が木質構造に及ぼす影響

システム科学技術学部 建築環境システム学科

1年 川野 菜々美

1年 高橋 史穂

指導教員 システム科学技術学部 建築環境システム学科

准教授 菅野 秀人

### 1. はじめに

東日本大震災や熊本地震では、多くの木造住宅が被災したことが知られている。本研究は、木造住宅の地震時挙動を把握するため、“ピノキオぶる”を用いた振動実験を行った。また近年普及が進みつつある免震に着目し、身近で入手可能な材料で免震装置の原理模型を作成し、実験でその免震効果を調べた。

### 2. 免震について<sup>1), 2)</sup>

免震とは、建物に伝わる地震の揺れが逃がすことである。建物と基礎との間に免震装置を設置し、地盤と切り離すことで建物に地震の揺れを直接伝えない構造のことである。免震装置は主に3種類に分けられる。

積層ゴム支承 積層ゴム支承は、薄いゴムと鋼板が交互に重なった構造をしている。地震時に水平方向に加わる力に対して、柔らかいゴムが建物の揺れの周期を長くし、地震の振動を建物に伝えにくくする性質がある。鋼板を使用し荷重に耐えることができるため、ビルなどの重い建物によく用いられる。

すべり支承 すべり支承は、2つの鋼板が滑りあうことで地震の揺れを小さくする性質がある。地震のエネルギーを吸収しながらゆっくりと地震の揺れを逃がす。

転がり支承 (ベアリング支承) 建物に取り付けたボールベアリングが設置したレールの上を動くことで地震の揺れを逃がす性質がある。レールが設置された方向にボールベアリングが移動する。住宅によく用いられる。

通常、免震装置が設置された建物は、大地震の揺れを対象に設計され、加速度が $1/3\sim 1/5$ に低減され、震度が1あるいは2ランク小さくなる。また、層間変形も小さくなるため、構造部材や二次部材などのひび割れの発生が少ない。しかし、免震層では長い周期で大きく変形するため、1階の建物周りに変形に対応できるクリアランスが必要となる。

### 3. 実験で使用する住宅模型について

本研究では、木造住宅模型として応用地震計測(株)社製の“ピノキオぶる”(木造住宅倒壊模型)を使用した。外形寸法は、(重い屋根取り付け時):60cm(桁行方向)×66cm(梁間方向)×86.5cm(高さ方向)となっている。また特徴として、各部材に磁石とゴム紐を利用することで、僅か10秒程度の短時間で組立、実験ができる。さらに、倒壊後の再組立ても簡易である。

また、耐震要素（筋交い、壁）をマジックテープで容易に着脱でき、耐震要素の平面内、上下階間での配置バランスによる揺れや壊れ方の違いを観察できる。そして、軽重2種類の屋根があり、それぞれの揺れや壊れ方の違いを観察できる。さらに、加振実験は、建物桁行（長手）方向、梁間（短手）方向に加え、45度方向からの3方向で行える。

#### 4. 予備実験

まず、使用する木造住宅模型の基本的な特徴を把握するための予備実験を行った。ここでは、そのうち、壁の位置の違いによる建物の揺れ方への影響について報告する。

図1, 2のように、壁を4枚用いて、壁の偏在による揺れ方の違いを観察した。壁の配置の異なる2つの住宅模型に木棒を取り付けて、手動で同時に揺らした。

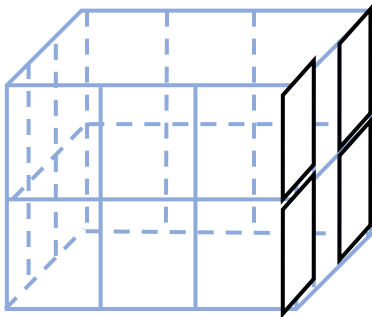


図1 1面に4枚の壁をつける

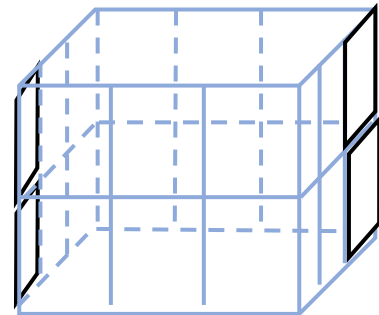


図2 対面して2枚ずつ壁をつける

図3に実験結果を示す。左図は揺らす前の様子である。上右図は揺らしたときに奥のピノキオぶるるがねじれ（偏心し）ながら崩れていった様子である。



図3 予備実験の様子

壁の位置により、住宅模型の揺れ方が違うことが確認できた。しかし、予備実験では、ピノキオぶるるを手動で揺らしているため、揺らし方が均等ではなく、実際の地震の揺れとは違うことが懸念される。そこで、振動台を用いて実際の地震の揺れで実験をしてみることにした。

## 5. 振動台実験

地震時の揺れを精度よく再現する振動台を用いて、加振条件を同一にして、免震装置の違いによる効果の違いを調査する。免震原理模型を製作するにあたり、材料はホームセンター等で入手可能な身近な材料で免震装置の原理模型を作ることとし、次の5種類の免震模型を製作した。

- ①すべり支承：クロロプレンゴム板（1mm×100mm×100mm）
- ②転がり支承（キャスター）：エラストマー樹脂車輪（車輪径65mm）
- ③転がり支承（戸車）：K3F（Y5型）車輪φ30ポリアセタール＋フロアレールYTA25-5B
- ④積層ゴム支承：耐震マット（φ25×3）合成樹脂＋ステンレスワッシャー（φ25×1.5）
- ⑤弾性支承：発泡ゴムボール（φ65mm）

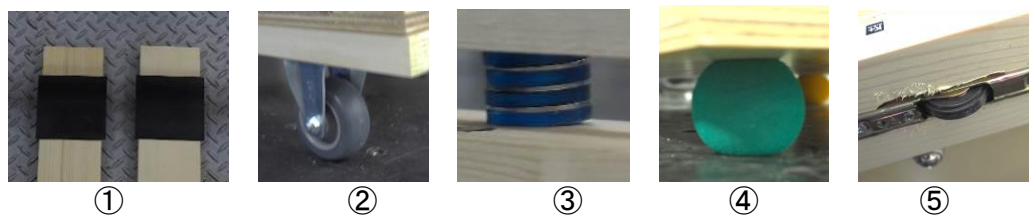


図4 製作した免震原理模型

振動台実験では、阪神・淡路大震災時の揺れ（神戸海洋気象台観測波）を一方向で加振し、振幅は原波の半分の大きさで実験する。また、振動台上、ピノキオぶるのの1階、2階に加速度センサーをとりつけて計測した。

実験結果として、表1に各計測点の最大加速度の値、図5には左図が免震積層ゴム支承、右図が免震転がり支承（戸車）を取り付けた際の加振後の様子である。表1より、1階につけた加速度センサーの最大値が1番大きい免震積層ゴム支承と1番小さい免震転がり支承（戸車）を比較した。

表1 加速度の最大値（数値の単位は $m/s^2$ ）

	振動台	1 F	2 F
非免震偏心あり	3.759	3.766	9.768
非免震偏心なし	3.735	3.728	8.804
免震すべり支承	3.786	3.850	9.550
免震積層ゴム支承	3.787	5.682	13.49
免震弾性支承	3.852	3.650	5.952
免震転がり支承（キャスター）	3.785	0.515	0.667
免震転がり支承（戸車）	3.771	0.216	0.248

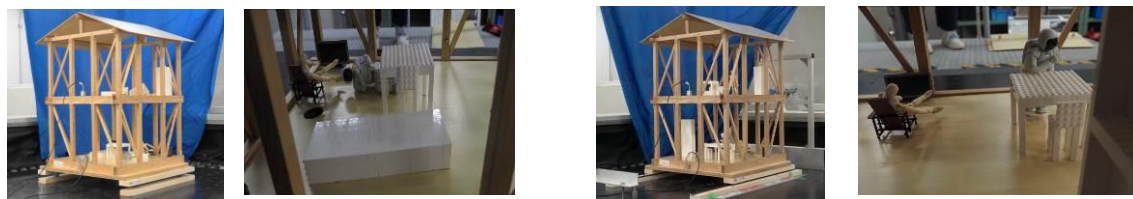


図5 振動台実験の様子（左：積層ゴム支承、右：転がり支承（戸車））

実験結果より、転がり支承が一番免震装置としての役割を果たした。表1より、振動台上の最大値は全てほぼ同一であるが、1階における最大値が $0.5\text{m/s}^2$ 未満、 $1.0\text{m/s}^2$ 未満であるため、加振後のピノキオぶるる室内様子の変化は小さかった。しかし、免震転がり支承の問題点としては、加振後に約10cm移動して元の位置に戻らなかった。

免震機能が再現できなかったケースについては、すべり支承は、ゴム板があまり滑らなかったことがあげられる。本実験に用いたゴム板より厚いものを用いたら免震効果が期待できると考える。積層ゴム支承の場合は、耐震マットが硬すぎたと考えられる。そのため、うまく揺れを吸収できずに免震の効果を発揮できなかった。弾性支承がうまく機能しなかった理由としては、発泡ゴムボールが柔らかく、ピノキオぶるるとの接続が不安定だったため、加振の最中に外れてしまった。

免震積層ゴム支承と免震弾性支承の実験結果の比較より、免震としての機能を発揮するためには、適度なゴムの柔らかさが必要だと分かった。発泡ゴムボールと鋼板を積層ゴム支承のように製作したら、免震装置としての機能を発揮できたと予想される。

## 6. 結論

予備実験から、壁や筋違の本数、位置によって揺れ方に違いが出ることが分かった。ある面に壁や筋違を集中して入れると、ねじれるようにして揺れるため、建物が崩れやすく、建物内部の影響も大きい。このことから、壁や筋違を多く入れると、揺れに対して強いことが分かった。しかし、実際の建物で多くの壁や筋違を入れると、建物内の使える場所が狭くなり、開口部も少なくなる。また、建物自体を強くしすぎると、地震の時に大きく変形し、揺れた後も変形が残ってしまうことがある。

これらの問題点を解決するために、免震装置を取り付け、揺れが建物に与える影響を小さくする。振動台実験では、4種類の免震装置の原理模型を作り、免震効果の違いを調べた。その結果、転がり支承が免震装置として最も効果的に機能した。実際の住宅建築でも転がり支承がよく用いられているため、その原理を確認することができた。しかし、この原理模型では、加振後のことは視野に入れていなかった。そのため、ピノキオぶるるが大きく移動し、元の位置には戻らなかった。元の位置に戻すためには、ピノキオぶるると振動台の間にばねを取り付けたら良いのではないかと考えた。ばねの伸縮により違いがあるから、適当なものを検討する必要がある。

実際の住宅建築では、免震装置が取り付けられているということをあまり耳にしない。その理由としてコストがかかることがあげられる。今後、住宅建築での免震装置取り付けが普及するには、今より安価に設置できることが必要である。免震構造の建物が増えることで、地震や台風などの揺れに対し強い建物になり、人の助けになるのではないかと考える。

## 参考文献

- 1) 図解雑学 地震に強い建物 (著: 安心技術研究会/ナツメ社) 2003年
- 2) 耐震・免震・制震のはなし (著: 斉藤大樹/日刊工業新聞社) 2005年