

家具に使用できる免震ゴムの作製

尾崎 友香*1・越智 俊哉*1・柳沢 蒼汰*1・渡部 智紀*1

指導教員：松下 吉之*2

Email: matsushita-yoshi@school.esnet.ed.jp

*1: 愛媛県立松山南高等学校理数科 3 年

*2: 愛媛県立松山南高等学校

◎Key Words 免震ゴム

1. はじめに

[1] 研究動機

現在、日本では非常に多くの地震が起こっており、甚大な被害をもたらしている。その被害の種類の中には、「家具の転倒」というものがある。東京消防庁によると、地震発生時に負傷した人のうち、約 3~5 割が家具類の転倒・落下・移動により負傷している。この問題を解決するため、我々は本来地震対策として建物の下に設置することで建物自体に揺れを伝えないようにする免震ゴムの、家具に用いることができないかと考えた。そこで、室内実験用の免震ゴム作製方法を考え、その方法で作った免震ゴムを用いて実験を行い、最も揺れを伝えない免震ゴムとはどんな条件を備えるものかということ調べることにした。

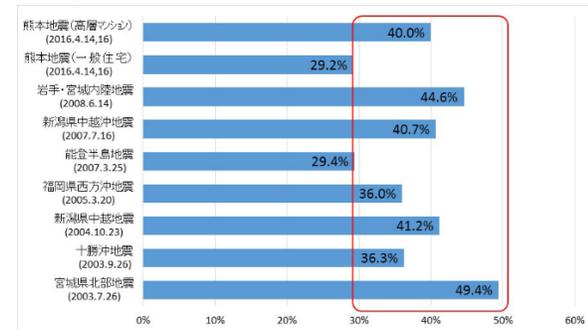


図 1 地震により負傷者の怪我の原因が家具の転倒・落下・移動によるものだった割合

[2] 基本事項

- ・免震…建物の固有周期を長くし、建物に地震の揺れを直接伝えないようにすること。
- ・免震ゴム…ゴムと鋼板を積み重ね、加硫結合した免震装置。水平方向に力が加わると内部の板同士がスライドし、地震の揺れを遅くすることができる。また、鉛直方向に力が加わっても全く動かないため、建物を支えることができる。

2. 研究方法

[1] 調べる条件について

実験では、免震ゴムの①潤滑油の有無、②形、③直径、④置くところ、⑤直径 4 cm における高さの関係、⑥直径 6 cm における高さの関係、⑦直径 8 cm における高さの関係の 7 つの観点で調べることにした。なお、実験する際は免震ゴムを構造物の下に 4 つ設置する。

表 1 今回の実験で調べる条件

調べる観点	比較する条件
①	(あ)(い)
②	(い)(う)
③	(い)(か)(き)
④	(い)(く)
⑤	(い)(え)(お)
⑥	(か)(け)(こ)
⑦	(き)(さ)(し)

(あ)潤滑油なし、直径 4cm の円、高さ 3cm、四隅
(い)潤滑油あり、直径 4cm の円、高さ 3cm、四隅
(う)潤滑油あり、一辺 4cm の正方形、高さ 3cm、四隅

(え)潤滑油あり、直径 4cm の円、高さ 4cm、四隅
(お)潤滑油あり、直径 4cm の円、高さ 5cm、四隅
(か)潤滑油あり、直径 6cm の円、高さ 3cm、四隅
(き)潤滑油あり、直径 8cm の円、高さ 3cm、四隅
(く)潤滑油あり、直径 4cm の円、高さ 3cm、箱の辺の midpoint

(け)潤滑油あり、直径 6cm の円、高さ 4cm、四隅
(こ)潤滑油あり、直径 6cm の円、高さ 5cm、四隅
(さ)潤滑油あり、直径 8cm の円、高さ 4cm、四隅
(し)潤滑油あり、直径 8cm の円、高さ 5cm、四隅

[2] 実験に用いる道具及び装置

<免震ゴム作製>

ゴム板、鉄板、金切りばさみ、カッター、プレス機、やすり、風船、潤滑油、セロハンテープ、マジックペン

<実験およびグラフ化>

自作の振動装置〔鉄板、段ボール、ビー玉、造波装置と接続するための鉄の棒、ナット、ボルト〕、造波装置、電源装置、ハイスピードカメラ (Panasonic DC-FZ85 4K LUMIX)、質量約 12.5kg の箱 (段ボールに石を入れたもの、家具の代わりに使用)、接着剤、セロハンテープ、ものさし、白い紙、パソコン



図2 自作の振動装置

[3] 免震ゴムの作製

家具に使用できる免震ゴムの作製方法は確立されていないので、実際に免震ゴムを作製し販売しているブリヂストンの製造方法に基づいて我々が考えた。

<我々が考えた作製方法>

1. ゴム板と鉄板にマジックペンで切り取る形を描き、それに沿って金切りばさみとカッターで切る。(枚数、形は以下の通り)

	直径 4 cm の円	直径 6 cm の円	直径 8 cm の円	一辺 4 cm の正方形
ゴム板 (枚)	44	36	36	36
鉄板 (枚)	40	32	32	32



図3 免震ゴムの断面(左から 4cm 円、4cm 正方形、6cm 円、8cm 円で高さは全て 3cm)

2. 切った鉄板をプレス機で平らにし、後に包むために使用する風船を破らないように鉄板、ゴム板の側面をやすりで削って滑らかにする。

3. 切った鉄板、ゴム板を「ゴム板、鉄板、ゴム板、鉄板、…、ゴム板」となるように積み重ね、それを 4 つずつ作る。(高さ 3cm のものはゴム板 7 枚と鉄板 6 枚、高さ 4cm のものはゴム板 9 枚と鉄板 8 枚、高さ 5cm のものはゴム板 11 枚と鉄板 10 枚で積み重ねる。)

4. 風船の口から 2.5cm の部分を口と平行になる

ようにはさみで切る。

5. 4 で切った風船の口を一人が大きく広げ、もう一人がゴム板と鉄板が水平に積み重なっている状態で、風船の中に押し込んで包み込む。

6. (あ)以外で使う免震ゴムには 1 枚 1 枚の板の間に潤滑油を吹き込む。そして、風船の口をセロハンテープで塞ぐ。

7. 実験で使用する際は本来の免震ゴムと同様にするため、一方の底面に接着剤を用いて鉄板を接着し、その鉄板をセロハンテープで振動装置に固定する。これで完成。



図4 免震ゴム(4cm、高さ 3cm)

[4] 実験

1. 振動装置の上に免震ゴムを 4 つ載せ、その上に箱を置く。

2. 振動装置の前に、白い紙をセロハンテープで貼って目盛りを見やすくしたものさしを置き、箱の端が映る位置にハイスピードカメラを置く。

3. 振動装置を揺らし(免震ゴムなしの時の揺れ幅は 1.5cm である)、箱が揺れる様子をハイスピードカメラで 10 秒間撮影する。(これをそれぞれの項目(あ)~(し)で 10 回ずつ行う。)

[5] グラフ化

1. 実験で撮影した映像をパソコンに転送し、その映像を見て、揺れる箱が端に着いた瞬間にものさしが示す値を記録する。

2. 揺れ始め 1 回と揺れ終わり 1 回を除き、箱が端から端まで移動した幅を記録する。

3. 箱が端から端まで移動した幅のうち、揺れ始めは正確な値が出ていないことを考慮するため、最後から 35 回分の平均値をとり、そのとった値を項目ごとに箱ひげ図で表す。



図5 値の取り方 (この場合、23.5cm を示す。)

3. 実験結果と考察

[実験1 潤滑油の有無]

<結果>

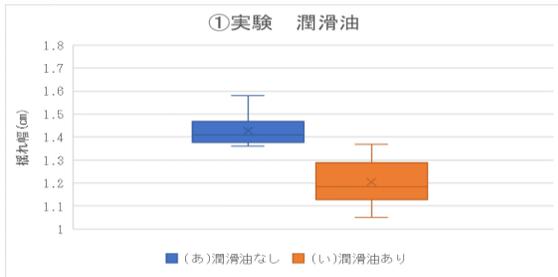


図6 実験1のグラフ

<考察>

・潤滑油を吹きかけたときの方がゴム板と鉄板の動摩擦力が小さくなり、板同士のスライドがスムーズに行われたため、潤滑油ありのほうが揺れ幅が小さくなった、つまり免震の効果があったと考えられる。

[実験2 形]

<結果>

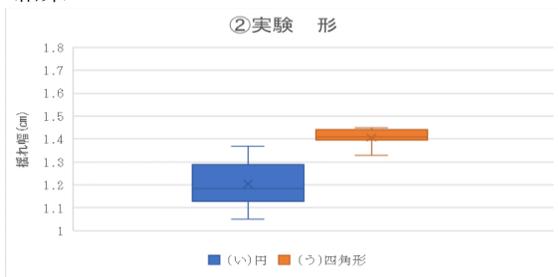


図7 実験2のグラフ

<考察>

・円はどこをとっても長さ（直径）が等しいが、正方形は一辺の長さとお角線の長さが違うため、お角線の方向に揺れを受けると一辺の長さ分より板同士がスライドする距離が長くなると考えられる。そのため、どこからの揺れに対しても等しい距離を板同士がスライドする円の方が正方形よりも揺れ幅が小さくなった、つまり免震の効果があったのだと推測できる。

[実験3 直径]

<結果>

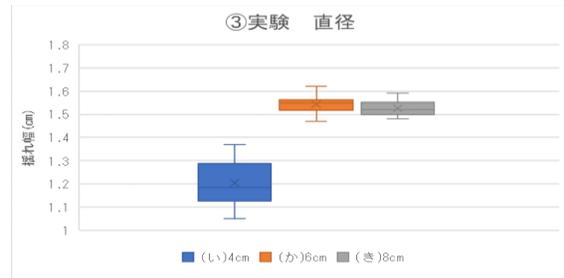


図8 実験3のグラフ

<考察>

・実験3を考慮し、直径に合わせて風船の大きさを変えたが、直径と風船の大きさの比は揃いであった。そのため、風船の張力の強さがそれぞれで異なり、風船内の空間的なゆとりがありすぎたと考えられる。そのため、適切な直径と風船の大きさの比を追って調べる必要がある。また、直径4cmと6cm・8cmは結果が大きく違うため、この差も詳しく調べる必要がある。

[実験4 置くところ]

<結果>

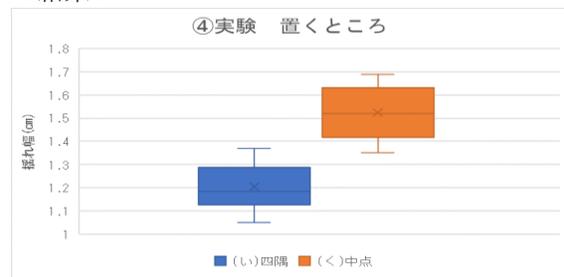


図9 実験4のグラフ

<考察>

・四隅に置いたときの方が安定するため、中点に置くよりも四隅に置いたときの方が揺れ幅が小さかった、つまり免震の効果があったと考えられる。

[実験5 直径4cmにおける高さの関係]

<結果>

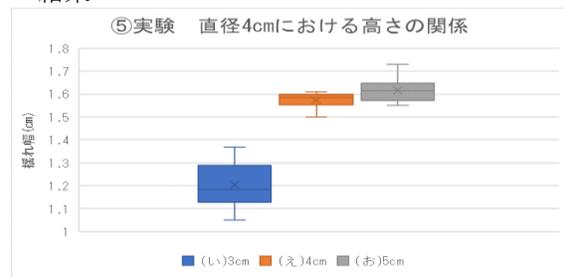


図10 実験5のグラフ

<考察>

・三種類の免震ゴムは高さ以外の条件をすべて等しくしているため、包むのに使用した風船の大き

さも等しい。そのため、高さが高くなる（板の枚数が増える）につれ、風船の張力が強く働いて、風船内に空間的なゆとりがなくなっていくと考えられる。つまり、条件を揃えるうえで適切だったのは風船の大きさではなく、高さと同様の大きさの比であった可能性がある。そのため、適切な高さと同様の大きさの比を追って調べる必要がある。また、高さ 3 cm と 4 cm・5 cm は結果が大きく違うため、この差も詳しく調べる必要がある。

[実験 6 直径 6 cm における高さの関係] ＜結果＞

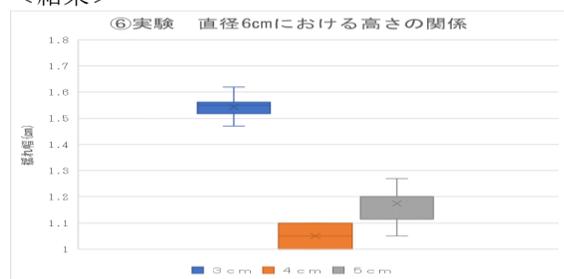


図 11 実験 6 のグラフ

＜考察＞

・高さが 4 cm のときだけ大幅に揺れ幅が小さいため、直径 6 cm、高さ 4 cm という条件がより効果的な条件であると考えられる。

[実験 7 直径 8 cm における高さの関係] ＜結果＞

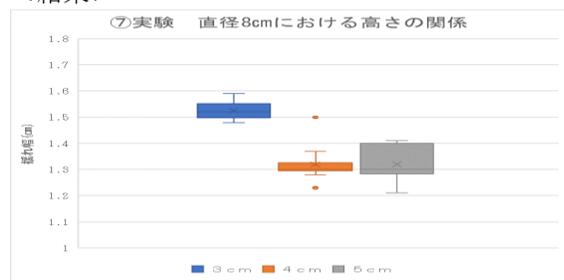


図 12 実験 7 のグラフ

＜考察＞

・高さが 4 cm のときだけ大幅に揺れ幅が小さいため、直径 8 cm、高さ 4 cm という条件がより効果的な条件であると考えられる。

4. おわりに

今回の実験から、潤滑油ありの円の免震ゴムを四隅に置いたとき、さらに直径 4 cm の場合は高さ 3 cm、直径 6 cm の場合は高さ 4 cm、直径 8 cm の場合は高さ 4 cm の免震ゴムが最も揺れを抑えることができると分かった。ただ、安価で実験しやすいことから風船を使い、変形させた風船の形を固定

するためにセロハンテープを用いて今まで研究してきたが、耐久性が乏しく再現性が低いため、市販できるような本格的な免震ゴムにするためには今一度材料の検討をする必要があると言える。そうすると、今回の実験で得られた条件が改良した材料でも同様の結果が得られるか検証しなければならないだろう。また、「一般に免震ゴムによる免震構造は水平地震力(加速度)を 1/3~1/5 に低減する効果を持っているとされている。⁽²⁾」つまり、今回の実験では振動装置の揺れ幅が 1.5 cm であったことから、揺れ幅が 0.3 cm~0.5 cm となる免震ゴムを作る必要があったため、もっと揺れを抑える免震ゴムを作らなければならない。そして、今回の実験で免震ゴムの上に載せたものは 1 種類しかなかったため、様々な大きさ、重さ、形のもの載せて、免震の効果を発揮するかどうか調べたい。

5. 参考文献

- (1) 室田伸夫” 免震用積層ゴムの技術概要と今後の動向”，日本機械学会誌, 116 巻, 1139 号, pp. 711-714 (2013).
- (2) 深堀美英” 免震用積層ゴムの耐久性予測と安全設計”，日本機械学会誌, 90 巻, 826 号, pp. 1162-1166 (1987).
- (3) 深堀美英” 免震構造の効果と免震ゴムの耐久安全設計”，日本ゴム協会誌, 60 巻, 7 号, pp. 397-408 (1987).
- (4) 東京消防庁ホームページ
<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/hp-bousaika/kaguten/index.html>
- (5) ブリヂストンホームページ
https://www.bridgestone.co.jp/products/dp/antismic_rubber/question/process.html