

地震に強い 建物の構造とは？

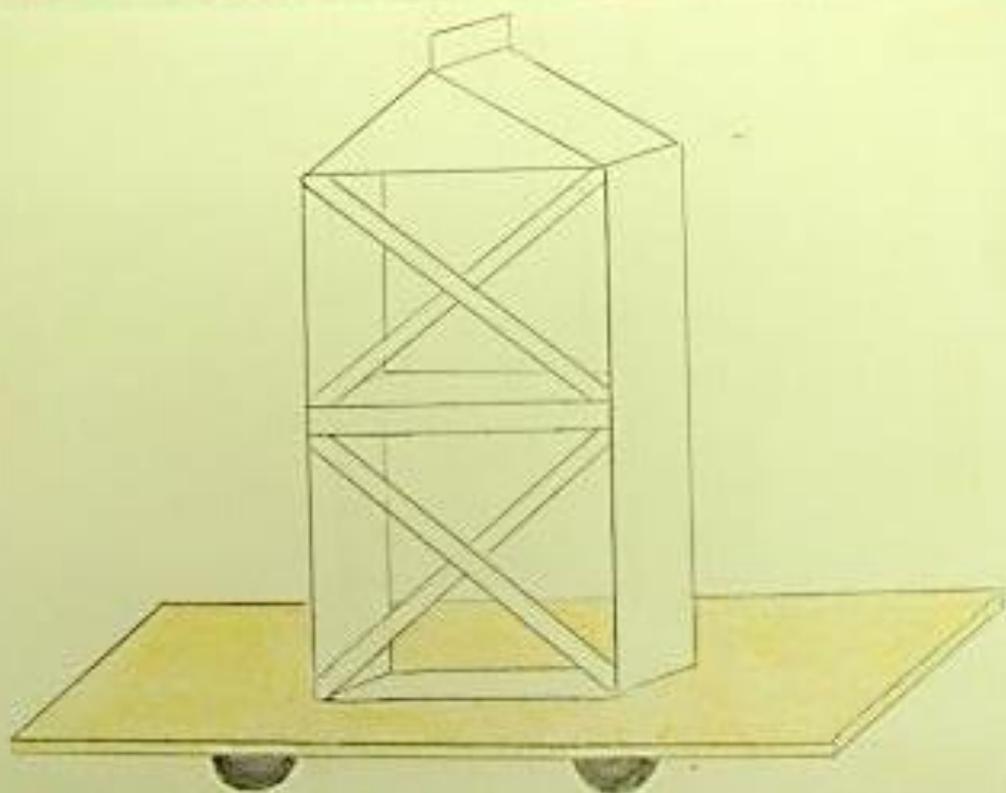
工夫作品	科学論文(地学)	学校番号	中33 5
研究作品名	地震に強い建物の構造とは？ 1/1		
ふりがな 学校名	〒212-0292 (神奈川県) 千葉市立真田西中学校		
学年	第三学年		
ふりがな 氏名	1891 (性別) 林 響希 (男・㊟)		
指導教員名	真田西中学校理科部会		
証明	本人の作品であることを証明する。 学校長名 先崎 秀樹 印		
<p>東日本大震災を体験して、地震被害の軽減に興味を持った。縦揺れと横揺れを起こせる装置を作り、耐震、免震、制震について実験をしている。模型に筋交い、スポンジ、重りを取り付ける条件をそれぞれ変えて、割れ難さを調べている。</p> <p>この研究から、強い筋交い+パネルの耐震補強が一番効果的であるという結論に至った。</p>			

3年B組
林 響希

地震に強い

建物の

構造とは？



目次

1. 動機

2. 地震と強い構造の種類

3. 実験装置の作り方

4. 実験1

- ① 目的
- ② 用意するもの
- ③ 耐震模型の作り方
- ④ 方法
- ⑤ 予想
- ⑥ 実験1
- ⑦ 結果
- ⑧ 考察

5. 実験2

- ① 目的
- ② 用意するもの
- ③ 建物と柱の模型の作り方
- ④ 方法
- ⑤ 予想
- ⑥ 実験2
- ⑦ 結果
- ⑧ 考察

6. 実験3

- ① 目的
- ② 用意するもの
- ③ 方法
- ④ 予想
- ⑤ 実験3
- ⑥ 結果
- ⑦ 考察

7. 実験4

- ① 五車塔の秘密
- ② 目的
- ③ 用意するもの
- ④ 方法
- ⑤ 予想
- ⑥ 実験4
- ⑦ 結果
- ⑧ 考察

8. まとめ (実験1~4)

9. 実験5

- ① 目的
- ② 用意するもの
- ③ 方法
- ④ 予想
- ⑤ 実験5
- ⑥ 結果
- ⑦ 考察

10. 追加実験

- ① 目的
- ② 用意するもの
- ③ 方法
- ④ 追加実験
- ⑤ 結果
- ⑥ 考察

11. 実験 6

- ① 目的
- ② 用意するもの
- ③ 方法
- ④ 実験 6
- ⑤ 結果
- ⑥ 考察

12. 感想・反省

13. 資料 1 (東日本大震災)

14. 資料 2 (阪神・淡路大震災)

15. 資料 3 (和歌山地震)

16. 参考資料

1 動機

2011年3月11日に東日本大震災がおこった。

その地震による、液状化現象や津波など多くの被害があった。

液状化は地下から土が、起きた砂が風が吹くことにより、土がたけ目に入り、土は、土と砂が混合して「どうした？砂が1番よく固まるのか？」というテーマで自由研究を行った。液状化による地下から土が、起きた砂を固める方法はいろいろあるかを研究した。

5年生の春休みには、宮城県に行き、農地が水が撒きの水田をみた。水は土が深いところまで埋まり、土が掘り出すのに2時間かかると聞いて、土の固さの測定と水が撒き、土。

そのように海水と水が撒きまじりの土、農地で野菜が育つのかと疑問に思った。そして「5年生」は「水を含んだ海水から、農作物は育つのか？」について研究した。

中学7年生では、地震が起きたとき、丈夫な建物、強い地盤はどれほど丈夫なのか疑問に思い、「地震に強い建物のつくりはどうか？おもしろいか？」というテーマで研究をした。

建物の形や重さを変えて、丈夫な建物や水の量を減らして強い地盤について研究した。

中学2年生では、津波の被害を少なくする方法はいろいろか疑問に思い、「津波に強い防波堤をつくるにはどうしたらいいのか？」というテーマで研究した。防波堤の形を変えて、工学的に津波をぶち壊す模型を作り、研究した。

今日は、修学旅行に行き、五重の塔を見て、なぜ五重の塔は地震に強いのかと疑問に思った。また、中学校には耐震の斜めの柱があった。耐震工事を調べると、どのような斜めの柱があるか疑問に思ったので、地震に強い建物の構造について調べようとした。

地震に強い構造の
種類

2 地震に強い構造の種類

また地震に強い構造の種類にはどのようなものがあるのかを調べた。その結果主に3つの構造の種類があった。

①耐震

構造体そのものの強度や剛性を向上させることで破壊や損傷を防ぐこと。・剛性・材質・柱・土台・金物などにより破壊されにくい性質のこと。

- (例) 骨組みの中に節交いを入れたり、側面から合板を打ちつけて固める。
・柱・梁の接合部を固定金物で補強する。

耐震リフォームのポイント

（地震に強い住宅の構造）
（地震に強い住宅の構造）

診断をもとに必要な工事を

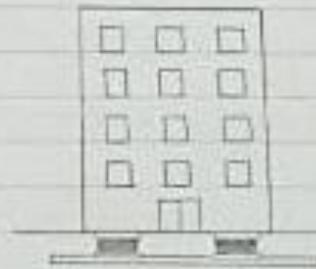
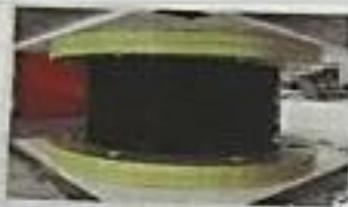
壁	筋交いを入れる、構造用合板を貼るなどして強化	土台	腐ったり、シロアリによる被害は補修
柱・梁	窓や開口部が多い場合、重や配重のバランスを調整	屋根	屋根材を軽いものに替える。瓦の場合は固定
基礎	柱や梁、土台、筋交いを、金物で接合して補強	窓	ブロック窓は崩れる可能性があるため替える
	ひび割れ等の老朽化は補修。鉄筋・アンカーで強化	室内	家具を固定する

専門家診断から補強計画へ

② 免震

基礎と土台を間接的につなぐことで、建物が基礎の上で動けるようにして、地震の揺れを建物に伝えないようにする方法。

(例) 振動を吸収するゴムのような素材をバネ、空気圧などの地面と構造物の間にはさまる。



(平成27年2月22日日曜日) 読売新聞掲載

③ 制震

地震の揺れを制御するための装置を設置したものを

(例)

屋上に設置 長周期地震動 6 割低減

(平成27年 6月22日日曜日) 読売新聞掲載

大地震で超高層ビルが大きくゆがくり揺れる「長周期地震動」を約6割低減する制震装置が、東京都新宿区の新宿三井ビルディング（仮称建て）の屋上に設置された。制震装置を開発した三井不動産と鹿島建設が1日、報道陣に公開した。

装置は、ワイヤで1個300kgのおもりを6個つり下げ、おもりがビルの揺れと逆方向に振れて、ビルの揺れを抑える仕組み。屋上に取り付けるタイプの制震装置は国内初で、総工費は約50億円という。

同ビルは1974年に完成。2011年3月の東日本大震災の際、最大約24cmの揺れが約2分間続いたとされる。同規模の地震が発生した場合、この装置による

おもり1800kgの装置公開

長周期地震動が起きると、オフィス機器などが動いて人に危害が及ぶ可能性が高まる。三井不動産によると、2010年以後に建設された超高層ビルには、制震装置が組み込まれていないが、それ以前のビルにはほとんど導入されていない。担当者は「この装置を取り付ければ新築並みの制震を実現できる」と話している。動画はYOUTUBEで

ついで、揺れを抑え、時間もり分の上で短くできるという。

長周期地震動を抑える制震装置



別荘装置の内部



別荘装置の内蔵（上）。巨大なおもりが振り子のよりのワイヤでつながれている。新築ビルディングの屋上には設置された。また、本社へリフト、資料館（東京新築区）

<まとめ>

形を保つのに必要な構造

耐震

地震の揺れに対して能力も
高くなる構造

制震, 免震

これを調べると、揺れたり動いたりする建物は
弱い建物だと思っていた。しかし、揺れたり
動いたりすることで被害軽減になることがわかった。
そのため、構造で揺れ、横揺れ、揺れに強いものを
実現することにした。

また、五重の塔はまさに地震に強いのか？という疑問を
解決するために五重の塔の構造を調べたところ、実現すること
にした。

実験装置を作る

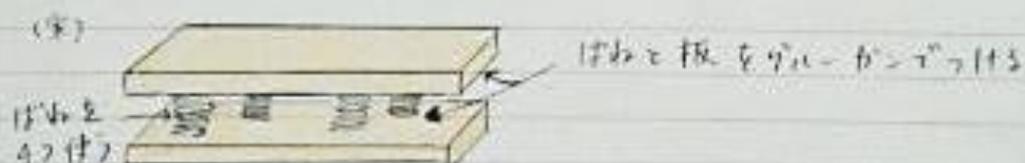
(縦揺れ、横揺れの装置)

耐震、免震、制震について実験するために
実験装置を作る。

3. 実験装置の作り方

板揺れ装置

最初に私が考えた案は下記の通りだ。



- ・板と板はグルーでくっついていないため、スポンジの切り込みを入れてばねを差す。
- ・ばね4つでは上下に揺れにくいから、6つを増やす。
- ・下板だと装置全体が動いしまうから、下板をやめて土台を使用する。



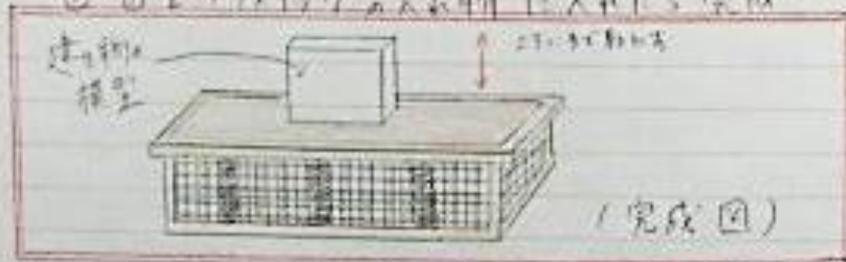
完成図は次のページの通りだ。

(作製手順)

- ① 作りかけの入水物 木板を用意する。
木板を作りかけの入水物に入水ホースに付ける。
- ② 作りかけの木板に6本のばねを付ける。
ばねを木板に付けた時に、スポンジに切り込みを入れてばねを
裏に差し、スポンジと木板をグーッと合わせる。

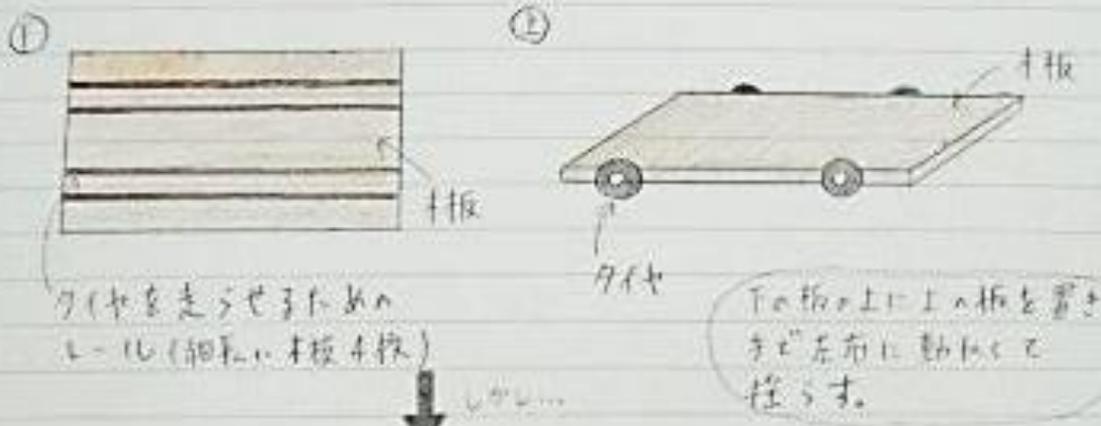


- ③ ①を作りかけの入水物に入水ホースを完成!



機軸の装置

最初に板が動く原理は下記の通りだ。



タイヤを走らせると
ローラー(細い板4枚)

ホームセンターに行き、タイヤが売れていないから、
ため、タイヤの代わりにパスターを使うことにした。

パスターはくさくさ回、でしようため、ローラー4枚→2枚
にし、細長い板をパスターの内側にパスターとに
した。



パスターの内側に板を
付けたらと思った理由は
「パスター」のボルトに
ローラーを、その仕組みを
参考にしようと思ったからだ。

完成図は次のページの通りだ。

(完成図)

57mm幅の板を2枚



板を1枚ずつ重ねて
下板の裏面に板を2枚
重ねて固定する。

① 上の板の裏面に木板を1枚貼る。

② 下板の裏面に板を2枚重ねて貼る。(57mm幅)



③ 上の板に木目紙を貼る。(60cm幅)



④ 上の板と下の板に木目紙を貼る"完成"



「縦揺れ、横揺れの
どちらに強いのか?」

実験1 耐震

実験2 免震

実験3 制震

実験4 五重の塔

(地震に強い構造は、それぞれ縦揺れ
横揺れのどちらに強いのか、実験装置を
使って調べる。)

4. 実験 1

(耐震: 筋交いをつけることで
縦揺れと横揺れの
どちらに強くなるのたろうか)

① 目的

小学校や中学校舎に耐震の筋交いが多く筋交いを
つけたことにより、この様な効果があつたか不思議に
思った。

そこで筋交いの効果を調べるために耐震模型を作り
調べさせた。ことにした。

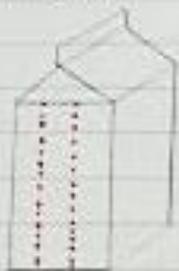
1. 縦揺れ	{ 1. 筋交いなし 2. 1階だけあり 3. 2階だけあり 4. 両方あり }
2. 横揺れ	{ 1. 筋交いなし 2. 1階だけあり 3. 2階だけあり 4. 両方あり }

② 用意するもの

- ・ 片乳パック
- ・ 木、千枚紙
- ・ 縦揺れ装置
- ・ 横揺れ装置
- ・ 内筒 $\pi = 20$
- ・ はさみ

③ 耐震模型の作り方

1. まず牛乳パックを用意。
パレット紙を縦に3等分に切る。



2. 次に2階建ての建物の形にする。



ホチキスで固定。

3. 筋交いをつける。

4通り(1階のみ、2階のみ、両方つけた、両方つけず)を1つずつ作る。



ホチキスで固定。

4. 牛乳パックの裏に両面テープを貼る。縦揺れ装置の横揺れ装置に接続して完成。

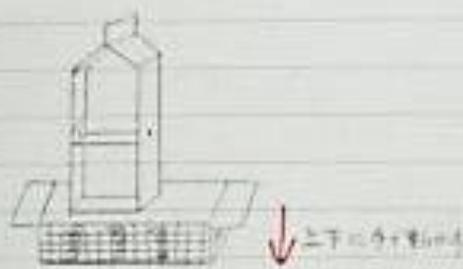


④ 方法

1. 継接水の装置を用き、紙を10回押し、耐震模型の動きを見る。

• 継接水の装置の上へ耐震模型をのせる。

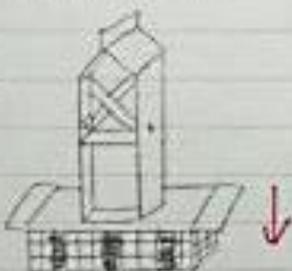
1. 両方筋交いなし



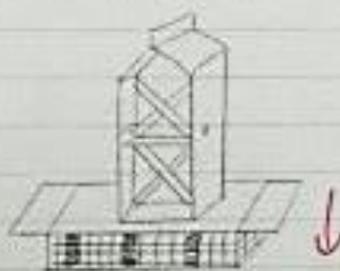
2. 1階だけあり



3. 2階だけあり



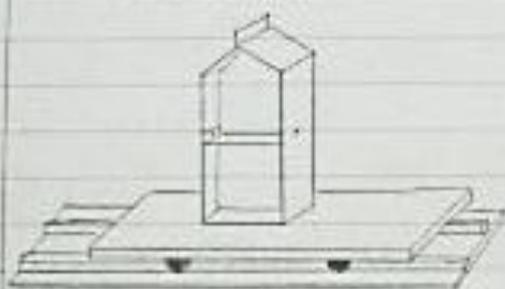
4. 両方あり



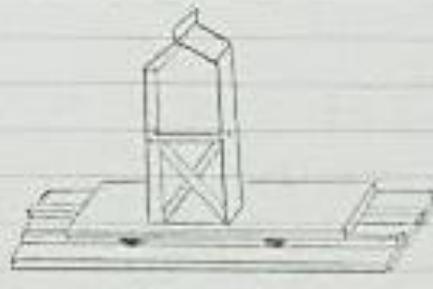
2. 振蕩の装置を用意せよ。
板を10回程の17建築物の動きを見る。

• 振蕩機の装置の上に
 耐震模型をのせよ。

1. 両方を固定せよ

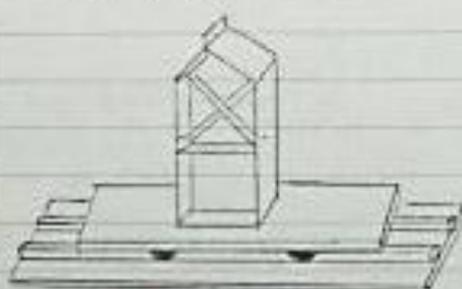


2. 1階だけ作り

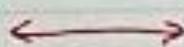
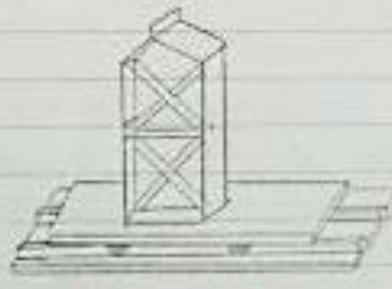


← 上下2階の両階に耐震板をのせよ →

3. 2階だけ作り



4. 両方作り



⑤ 予想

	縦揺れ	横揺れ
1階交いなし	大きく揺れず	大きく揺れず
	理由 建物の支える土台が 何もないから。	理由 縦揺れと同様で 支える土台何もないから。
2階だけあり	少し揺れず	少し揺れず
	理由 学校などの建物は 1階より階上の耐震 工事をしていないから。 1階は揺れに強い 肉付柱があると思う。	理由 縦揺れと同様。 縦揺れにも横揺れにも 強いため、1階の 耐震工事をしていない と思うから。
3階だけあり	少し揺れず	大きく揺れず
	理由 1階支える土台がない よって震動を伝える から、少しは揺れ ると思う。	理由 横に揺れると、 <u>筋交い</u> 重たさで何もないと よって大きく揺れる と思う。
4階あり	ほとんど揺れない	ほとんど揺れない
	理由 上も下もしっかり 支えているから。	理由 縦揺れと同様で 縦揺れにも横揺れ にも強いと思う。

※ 縦揺れに強いと思うラック

1. 肉付あり
2. 1階だけあり
3. 2階だけあり
4. 筋交いなし

※ 横揺れに強いと思うラック

1. 肉付あり
2. 1階だけあり
3. 筋交いなし
4. 2階だけあり

⑥ 実験1

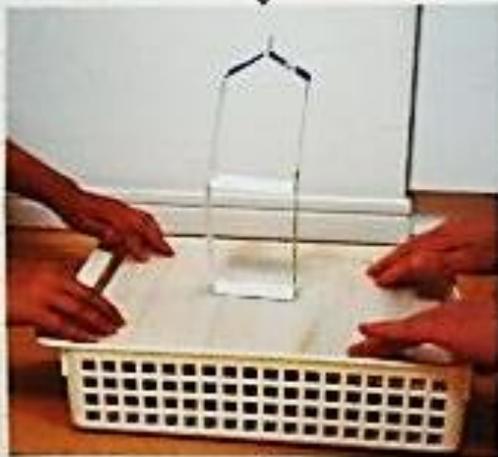
2. 節交り紙

縦揺れ

実験前



実験中 (1回目)



実験後



3回押し紙は倒れず付いた。

横揺れ

実験前



実験中 (2回目)



大した揺れがなかった 倒れず付いた

2. 1階倒れ

倒れ前

倒れ中

実験前



実験前



実験後



実験後



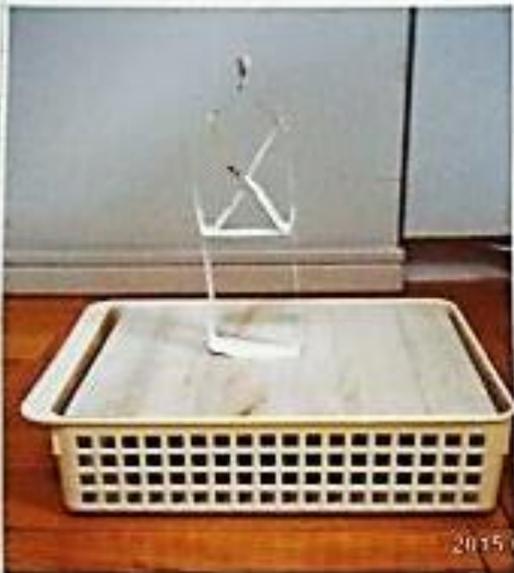
大きく揺れたが、倒れは
しなかった。

ほとんど動かなかった。

3. 2種に付録

縦揺れ

実験前



実験中



大きく揺ると水が倒れかけし状態

横揺れ

実験前



実験中



実験後



5回揺ると水が倒れかけし状態

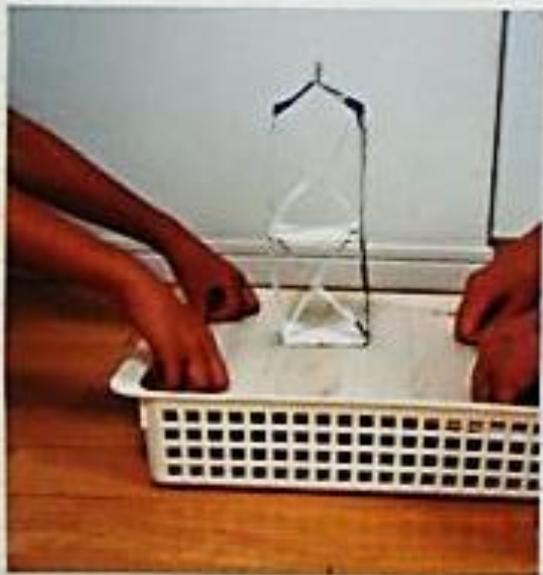
4. (水)

揺らす

実験前



実験中



水が安定した時に
針を抜いた。

揺らす

実験前



実験中（揺らす）



水が安定した時に
針を抜いた。

⑦ 結果

(◎ 1階だけ ◎ 2階だけ
○ 両方 × 両方)

	縦揺れ	揺れ	横揺れ	揺れ
1階だけ	<u>揺れが大きかった</u> <u>倒れかけた。</u>	×	<u>揺れが小さかった。</u> <u>倒れなかった。</u>	△
2階だけ	<u>少し揺れが大きかった</u> <u>安定していた。</u>	○	<u>ほとんど動かなかった。</u>	○
1階だけ	<u>揺れが小さかった。</u> <u>倒れなかった。</u>	△	<u>揺れが大きかった。</u> <u>5回揺らしただけ</u> <u>倒れかけた。</u>	×
両方	<u>この2つの中で1階</u> <u>安定していたのは</u> <u>揺れなかった。</u>	◎	<u>横揺れの中で1階</u> <u>揺れがほとんど</u> <u>動かなかった。</u>	◎



1階だけに設置したときも揺れは小さいが、両方に設置した方が安定していた。

両方に設置した建物は縦揺れよりも横揺れに強く揺れた。

⑧ 考察

耐震の筋交いがあることにより震動をおさえることができた。しかし、2階だけに筋交いを設置した場合は逆効果になりしうことがわかった。

耐震工事をしない建物の揺れ方が全然違う。この実験から、学校で耐震工事が行われている理由がわかった。

耐震工事をしない建物を支えたのがたに毛
なくとも震動が伝わりやすかったと考えられる。

1階のみを設置でも震動をおさえることはできるが、
1階にも2階にも設置するとより安全だとわかった。

このことから、耐震工事は地震に効果的で、地震に強い建物をつくるためには、すべての階に設置する必要があるとわかった。

筋交いがあると縦揺れにも横揺れにも強くなる。

5. 実験 2

(免震：基礎と土台を間接的に
つなぐことで縦揺れと
横揺れのどちらに強くなるの
だろうか)

① 目的

地震に強い構造の種類を調べ、気象庁では振動を吸収するゴムのような素材の土と地面と建築物の間に鉄釘という例があることを知った。

さらに振動を吸収するゴムのような素材の土を地面と建築物の間に鉄釘とともに土とどのような違いがあるのか疑問に思い、調べた。

- | | |
|--------|--|
| 1. 縦揺れ | (1) 振動を吸収するゴムの模型あり
(2) 振動を吸収するゴムの模型なし |
| 2. 横揺れ | (1) 振動を吸収するゴムの模型あり
(2) 振動を吸収するゴムの模型なし |

② 用意するもの

- 5円玉 8枚
- スポンジ 12個
- 対角線 8本
- 土
- カッター
- 牛乳パック
- セロハンテープ
- はさみ

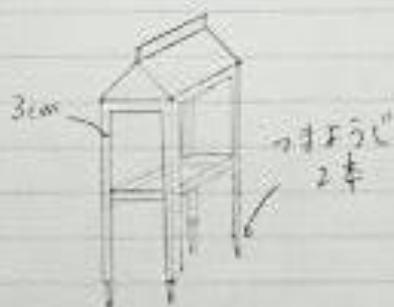
- 縦揺れ装置
- 横揺れ装置

③ 建て物とゴム製の模型の作り方

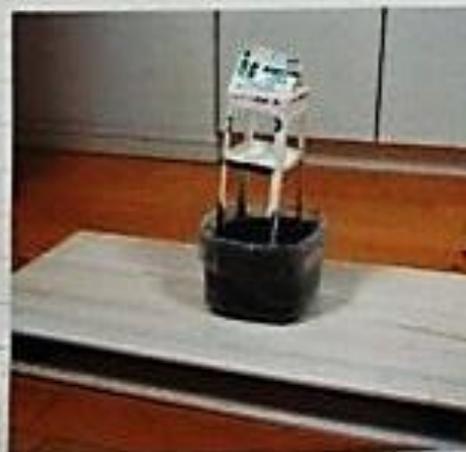
1. まず、振動を吸収するゴムの模型をつくる。
5円玉と5円玉の間に2枚のゴムを3個入れ、
7枚のゴムを巻き込む。



2. 次に、建て物を牛乳パックでつくる。
はさみで牛乳パックを切り、2階建ての家をつくる。



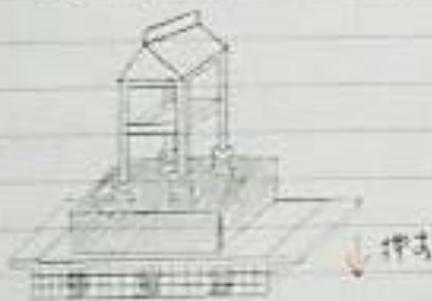
3. つたわらじを土に埋めたら完成です。
1で作ったゴムの模型を入れている場合は、
牛乳パックに模型をセロハンテープで
埋めたら完成。



④ 方法

1. 縦揺れの装置を用意する。
板を10回押し、牛乳パックの模型が
どう動くか変化を見る。

(1) 縦揺れ装置の上に
牛乳パックの建つ物
(ごま割) をのせる。

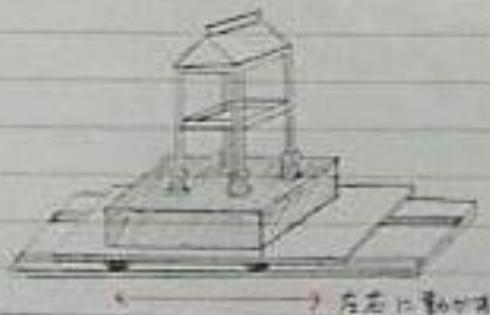


(2) 縦揺れ装置の上に
牛乳パックの建つ物
(ごま割) をのせる。

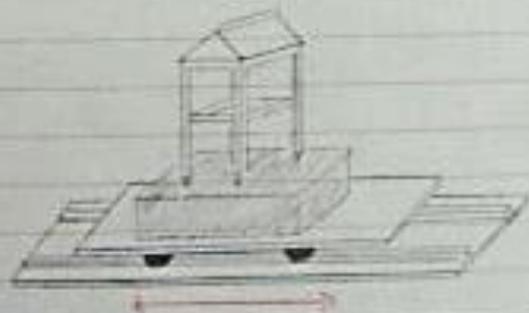


2. 横揺れの装置を用意する。
板を10回左右に動かして牛乳パックの模型が
どう動くか変化を見る。

(1) 横揺れ装置の上に
牛乳パックの建つ物
(ごま割) をのせる。



(2) 横揺れ装置の上に
牛乳パックの建つ物
(ごま割) をのせる。



⑤ 予想

	横揺れ	横揺れ
①振動を吸収する 工場の様子	倒れない 理由 2階の壁は建物の骨 組の下に揺れを吸収 すると思う。	倒れない 理由 5階と2階の間に 7-7の柱がある間に 揺れが少ないと 思う。地震工場の 特徴だと思う。
②振動を吸収する 工場の様子	5階と2階の間に 倒れる 理由 縦に揺れるから 横揺れより傾いたり 倒れにくいと思う。 また、5階と2階 間の柱が あるから倒れにくい と思う。	5階と2階の間に 倒れる 理由 7-7の柱があるから 揺れが少ないと 思う。地震工場の 特徴だと思う。

④ 実験2

(土の模型作り)

縦柱水

横柱水

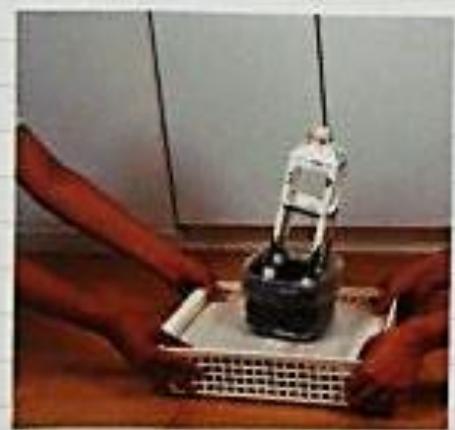
実験前



実験中



実験後



少しおたふいた

少しおたふいた

(アムシ模型なし)

縦揺水

アムシ側



アムシ側へ移動



アムシ側



3回押しただけで倒れた。

横揺水



5回揺らしただけで倒れた。

⑧ 考察

振動を吸収するゴム模型を入れたのは
特に縦揺れに強いことがわかった。

このことから、振動を吸収するゴム模型を
設置することで地震に強くなることがわかった。

その理由はやはり、基礎と土台を間接的に
つなぐことで地盤の揺れを建て物に伝えることが
できることだと思う。

一方、振動を吸収するゴム模型がない場合は、
振動がそのまま建て物に伝わり、マシマシと
わかった。だから縦揺れは3回押しただけで
横揺れは8回揺らしただけで建て物が
倒れてしまったと考えられる。

これらのことから、免震構造には建て物を振動
から守ることができるとわかった。

6. 実験3

判震 地震の揺れを卸御する
ための装置を設置すると
縦揺れと横揺れのどちらに
強くなるのだろうか

① 目的

「地震に強い構造の種類」を調べて、判別構造には建物の上におもりをつけることで、建物の揺れを低減するといった例があることを知りました。

そこで建物の上のおもりをつけることでどのような違いがあるのか疑問に思ひ、調べてみることにしました。

- | | |
|--------|-----------|
| 1. 縦揺れ | (1) おもりあり |
| | (2) おもりなし |
| 2. 横揺れ | (1) おもりあり |
| | (2) おもりなし |

② 用意するもの

- ・ コリ
- ・ 粘土
- ・ ひも
- ・ 30cm x 30cm x 30cm
- ・ 縦揺れ装置
- ・ 横揺れ装置
- ・ 紙テープ

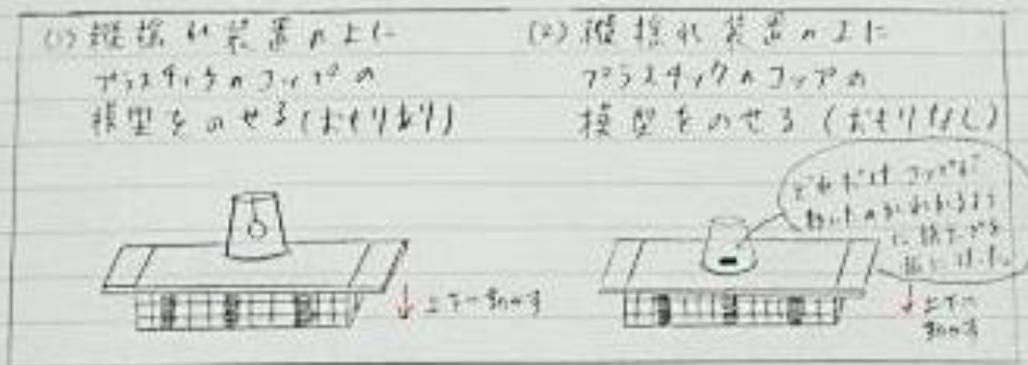
(判別構造の模型)



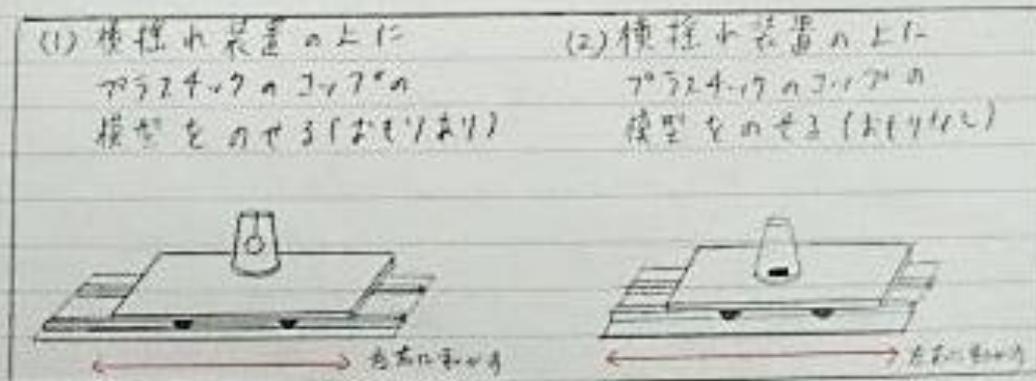
30cm x 30cm x 30cmの底にコリで穴をあけ、おもり(粘土)をついておもりを置く。

③ 方法

1. 横揺れ装置を用意する。
板を10回押しプラスチックのコップの模型が
どう動くかの变化を見る。



2. 横揺れ装置を用意する。
板を10回左右に動かしてプラスチックのコップの模型が
どう動くかの变化を見る。



④ 予想

	縦揺れ	横揺れ
(1) 太りすぎ	倒れやすくなる(ない)	倒れやすくなる(ない)
	理由 太りの揺れが建物の揺れを低減すると思うから。	理由 縦揺れと同じ
(2) 太りすぎ	倒れる	大きく動く
	理由 揺れを低減するものに何もなければ、倒れると思う。	理由 横揺れも揺れを低減することができず、横揺れ装置と一緒に動くと思う。

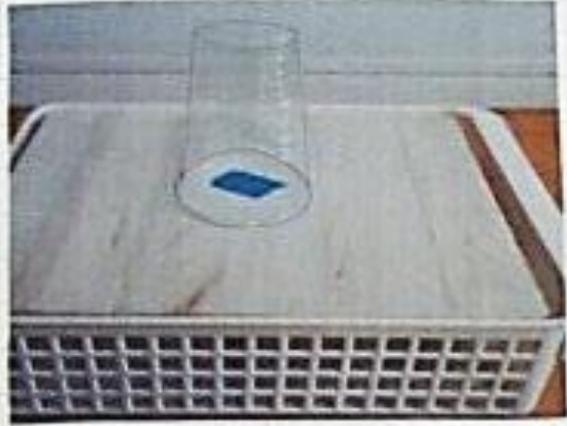
⑤ 実験3

(2011/2/17)

	推張水 (上から見た写真)	押込み水 (横から見た写真)	押込み水
準備中 (準備)			
実験中 (準備)			
実験中 (準備)			
	少し傾き出した	少し傾き出した	少し傾き出した

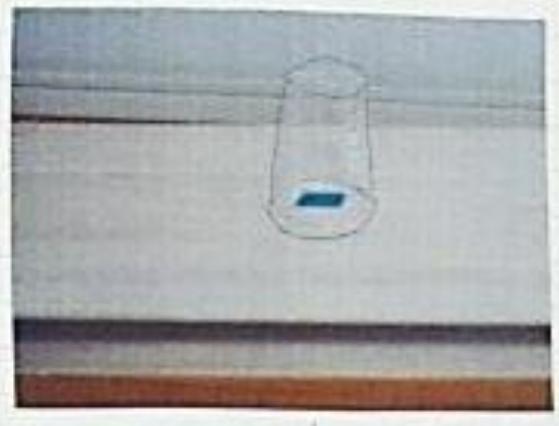
(水と紙の力)

縦揺れ

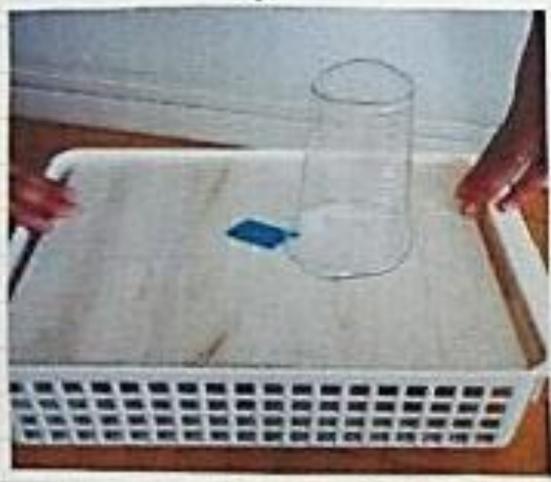


実験前

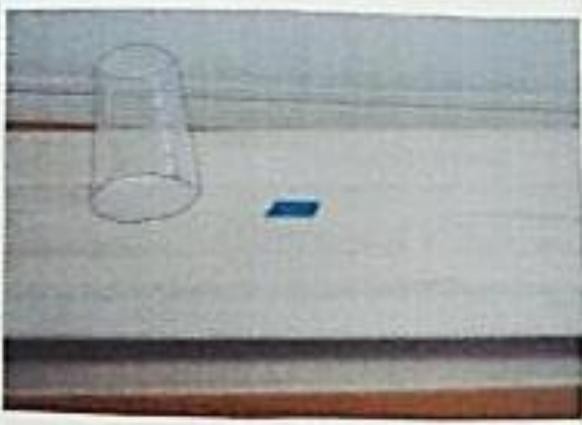
横揺れ



実験後



少くとも半分は横に動いた。



大分横に動いた。

⑥ 結果

○ 対応量比較 ○ 対応量比較
○ 対応量比較 ○ 対応量比較

	縦揺れ		横揺れ	
ふわりあり	少し横に動いた。 倒れることはなかった。 ふわりは寸丈左右に揺れ 少したつと時計回りに 回った。	○	少し横に動いた。 倒れることはなかった。	◎
ふわりなし	上下に少し揺れた。 少し横に動いた。	×	大きく横に動いた。 倒れることはなかった。	×



地震の揺れを制御するための
装置を設置すると特に横揺れ
に強くなる。

⑦ 考察

おもりを設置する上特に横揺れに強い。た。

縦揺れ、横揺れ共におもりを設置することで効果がある。

このことから、制震工事をして建物の上の方に
おもりをつけると地震に強い建物になると
わかった。

また、縦揺れはおもりが常に左右に揺れて、

分した時に時計回りに回っていることに気がついた。

おもりが回ることで建物が上下に揺れるのを
おさえている。

横揺れは揺れ装置が右に動くとおもりが左に
揺れて、建物が揺れを減らしている。

例えば、建物の屋上を貯水タンクや備蓄庫にすると
地震に強い建物になるのではないかと考えた。

6. 実験 4

(五重の塔の特徴を踏まえて
汁碗の実験)

① 五重ごじゅうの塔たの秘密

五重ごじゅうの塔たは日本の伝統建築を代表する美しい木造建築、180年頃に建立され、世界最古の木造建築とされている。

五重ごじゅうの塔たはたおむくむくと言われている。それはなぜなのかと疑問に思った。

私は中学2年生の国語の授業で「五重ごじゅうの塔たはなぜ倒れなかった」という説明的文章を読んだことを思い出し、その文章をもう一度読み直した。

<五重ごじゅうの塔たの特徴>



五重ごじゅうの塔たは、5階建ての建つ物では
なく、5つの建つ物を組み上げただけで
つくりになっている。

五重ごじゅうの塔たの真ん中に心柱しんちゅうというたけが
通っている。しかし、心柱しんちゅうが
五重ごじゅうの塔たを支えているわけではない。

五重ごじゅうの塔たは揺れで各接合部が
揺れしきくむとす摩擦による
地震エネルギーが減少していくこと
になっている。

↳ 免震構造

揺れ、揺れると各層が同じ方向に揺れ
バランスを保つため、下の層が揺れ
動く方向に揺れずれている。

↳ 重箱構造

「免震構造」「重箱構造」ほどなくして接合部を緩やかにする「剛構造」。
建つ物が柔軟して揺れしきくむとす地震の力を小さくする「免震構造」
による、倒れにくい五重ごじゅうの塔たができるわけだ。

② 目的

五重の塔の特徴を知り、その本当に五重の塔は倒れにくいのかを調べようとした。

五重の塔は縦揺れにも横揺れにも強いのか疑問に思った。

1. 縦揺れ	(1) 心柱 (茅葺) あり (2) 心柱 (茅葺) なし
2. 横揺れ	(1) 心柱 (茅葺) あり (2) 心柱 (茅葺) なし

③ 用意するもの

- 汁碗 5つ
- 茅葺
- 汁碗に貼りシール
- きり
- 縦揺れ装置
- 横揺れ装置



心柱なし、汁碗を5つ貼り付け

(心柱(茅葺)ありの横揺れ)

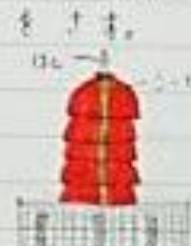


心柱あり、汁碗5つ貼り付け



④ 方法

1. ①の 縦揺れの装置 を用意する。
板を10回押し、汁碗がどう動くか変化を見る。

<p>(1) 縦揺れの装置の上に 五重の汁碗をのせる。</p>  <p>↑ 汁碗の中心 が中心に 振動する。</p>	<p>(2) 縦揺れの装置の上に 五重の汁碗をのせ、中心に 筆番をつける。</p> 
---	---

2. ②の 横揺れの装置 を用意する。
板を10回左右に動かして汁碗がどう動くか変化を見る。

<p>(1) 横揺れの装置の上に 五重の汁碗をのせる。</p> 	<p>(2) 横揺れの装置の上に 五重の汁碗をのせ、中心に 筆番をつける。</p> 
---	--

⑤ 予想

	縦揺れ	横揺れ
中心に 茶番あり	<p>少しだけおぼろげに 倒れることはない</p> <p><u>理由</u> 縦揺れだから、傾いたリ 倒れることはないけど 茶番は、これだけ計画的 におぼろげと思う。</p>	<p>左右どちらかに少し傾く</p> <p>横揺れだから、(心柱揺る) 傾いたとしても少しは <u>傾いてしまう</u>と思う。</p>
中心に 茶番なし	<p>おに汁碗がある。 倒れることはない。</p> <p><u>理由</u> 中心に茶番があるときだけ 汁碗が揺れると思う。 それ、茶番があるときと 同様に倒れたり揺るこ はないと思う。</p>	<p>おに汁に倒れる。</p> <p>中心に茶番がないので おに汁が不安定で、おに汁に <u>倒れる</u>と思う。</p>

⑥ 実験 4

日時	縦揺れ	横揺れ
<p>実験後</p> <p>中心に葉巻入り</p>		
	<p>揺る前とほとんど変わり有り</p>	<p>少し左に傾いたが傾いた</p>
<p>実験後</p> <p>中心に葉巻なし</p>		
	<p>バラバラにこぼれし、た</p>	<p>上から2つ目程の片だけ たおれし、た</p>

⑦ 結果

(○ 1168021 △ 51502111)
 (○ 51502111 × 1168021)

	縦揺れ	軸	横揺れ	傾
中心に 菜箸あり	ほどほど揺る前より 変な感じになった。 シールの位置もほど と揺らぐようになった。	○	少し左に傾いた。 1も傾くだけじゃ倒れな し揺らぐ。シールの位置 はさほど揺らぐ。	○
中心に 菜箸なし	上から1~3ヶ月が 倒れてしまった。 残った2ヶ月もシール の位置がずれた。	×	上から1~2ヶ月が倒れて しまった。3ヶ月もその 数回揺らしたと倒れて けうと思う。 シールの位置は4ヶ月 はた11月だった。	×



中心に菜箸(心柱)があることにより
特に縦揺れに強くなる。

⑧ 考察

草香を中心としたものは横揺れで少し傾き、縦揺れには、ほとんど揺れの影響がなかった。

一方、草香を中心としていないものは北に上方だけ倒れ倒れた。

このことから、心柱がある場合とない場合ではまったく結果が違い、心柱があることが地震に強くなることがわかった。

その理由はやはり、「五重の塔の秘密」に書いたように免震構造と重箱構造が関係していると思う。

だから、地震エネルギーをどれだけ減少させることができるというものが「大切な」とわかった。

心柱がないものは、地震エネルギーを減少させることがなかったため、北に上方は倒れ倒れたと考えられる。

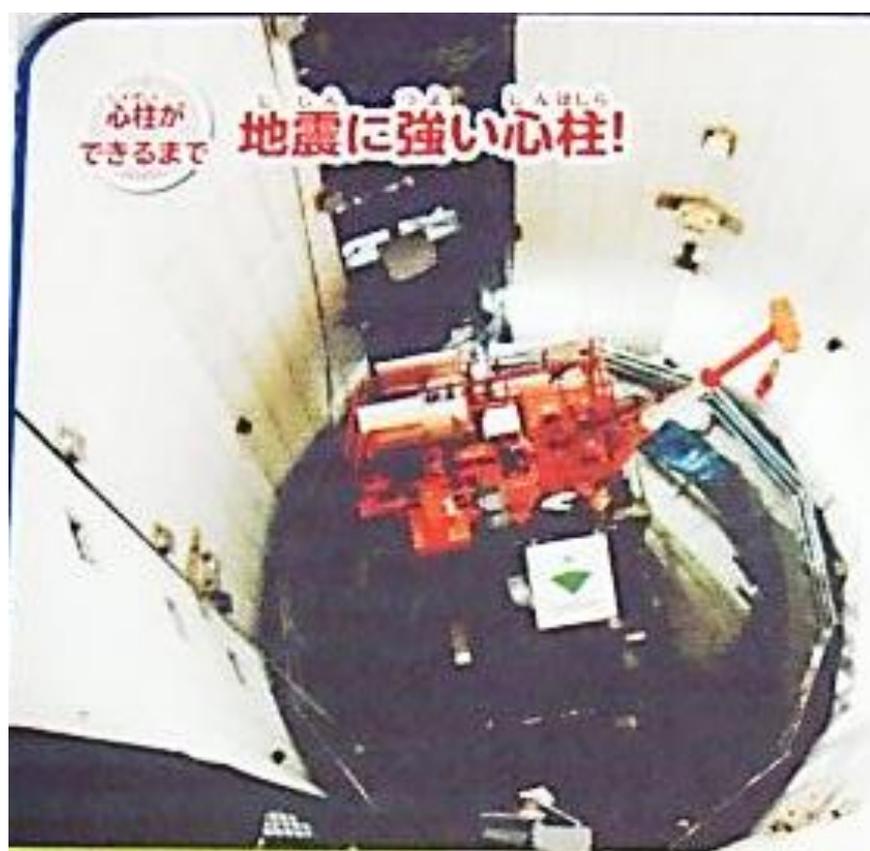
このことから、五重の塔が地震に強いことは事実で、同時に縦揺れに強いことがわかった。

調べた後に、柱の本に「カイワリ」の心柱のしくみが「カ」載っているのを見つけた。(その本は「カ」)

五重の塔：同じ「カ」の「カ」ができて驚いた。

心柱が
できるまで

地震に強い心柱!



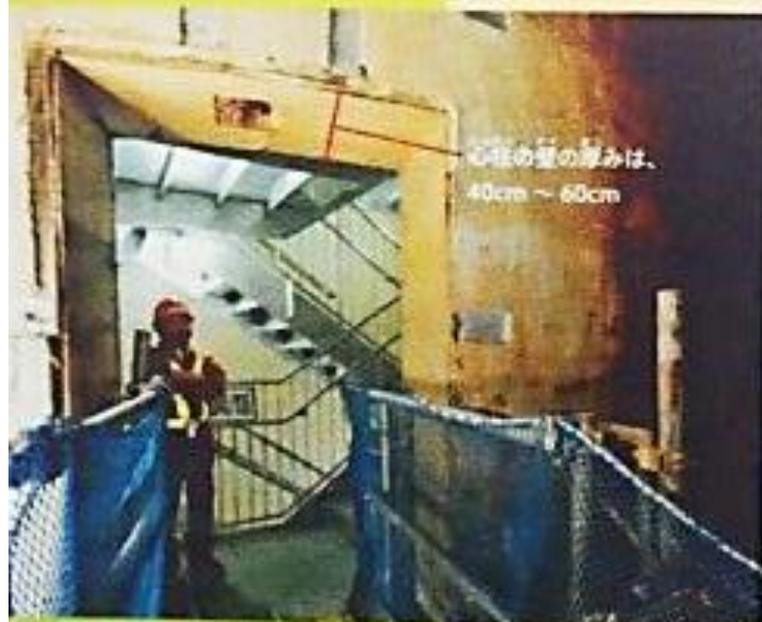
心柱のしくみ

心柱はタワー本体とはなれている。そのため、地震のときにはタワーとちがう動き方をするので、タワーのゆれを小さくする。

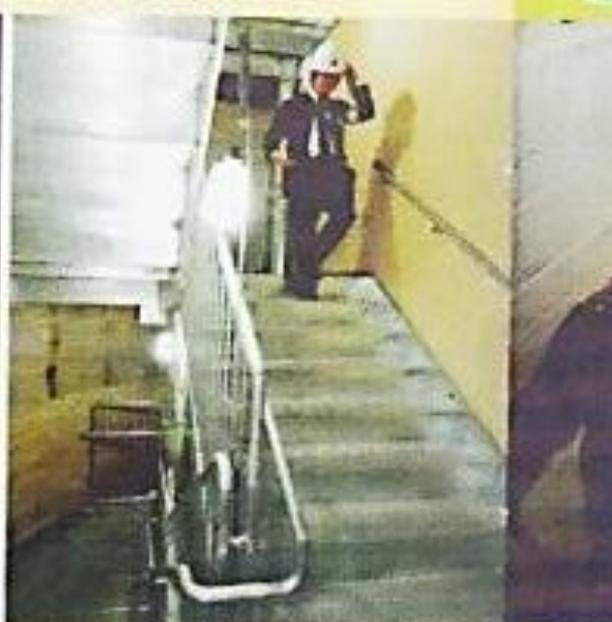


68 心柱のしくみ

タワーの真ん中にある心柱は、地震のときのゆれをおさえます。アンテナを取りつけながら、タワーの下から心柱をつくっていきます。



心柱の壁の厚みは、
40cm ~ 60cm



69 非常用の避難階段

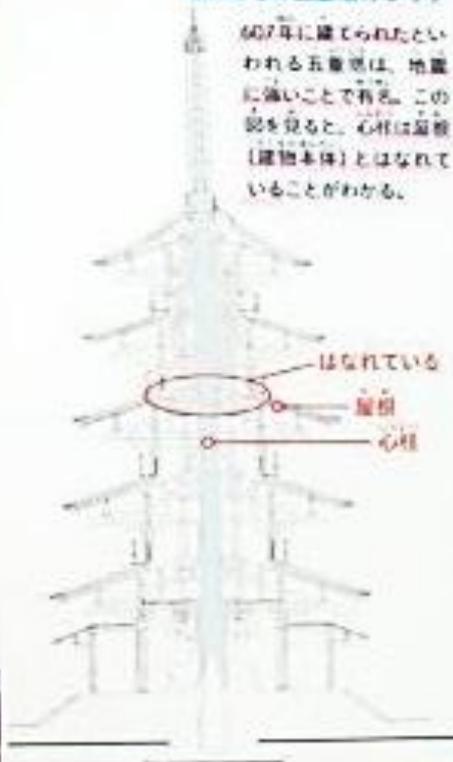
心柱の中には、地震などでエレベーターが動かないときに使う避難階段があります。1階から東京スカイツリー展望回廊までの階段の数は2523段です。

71



法隆寺の五重塔のつくり

607年に建てられたといわれる五重塔は、地震に強いことで有名。この図を見ると、心柱は屋根（建物本体）とはなれていることがわかる。



70 ヒントになった五重塔の心柱

法隆寺の五重塔（奈良県）の心柱にちなんで名づけられました。五重塔の心柱は屋根とはなれていて、地震のときのゆれをおさえる役割をしています。



心柱とオイルダンパー（断面図）

心柱と塔体は、オイルダンパーでつながっている。全部で96台つけられた。



ゆれると、オイルダンパーがクッションのはたらきをする。



71 オイルダンパー

シャフトと心柱のあいだに取りつけられたオイルダンパーは、地震などでゆれたときにクッションのはたらきをして、塔体と心柱がぶつかるのをふせぎます。

8. まとめ

(実験1~4)

まとめ

	縦揺れ	横揺れ
① 耐震	木"と安定していて、 <u>ほとんど動かなかった。</u>	木"と安定していて、 <u>ほとんど動かなかった。</u>
② 免震	少し動いたが、 免震の構造がないとき に比べると <u>効果があった。</u>	縦揺れと同様に 少し動いたが、 免震の構造がないとき に比べると <u>効果があった。</u>
③ 制震	木"が揺れるときよりは <u>効果があった。</u> 少し 横に動いた。	特に横揺れに効果 があった。斜めたり 横に動くことは なかった。
④ 両面	ほとんど揺る前と なれず、 <u>とても</u> <u>効果があった。</u>	少しだけ傾いて しまったが、 <u>縦揺れ</u> <u>には効果があった。</u>

考察

①~④で 耐震が地震に一番効果的だった。
耐震は縦揺れにも横揺れにも強かった。

そこで、実験5では耐震構造を工夫して、
どの構造が一番地震に強いのか調べることにした。

9. 実験 5

(実験 1 の結果を踏まえて、

もと地震に強い建て物を
つくるにはどのような耐震構造
にすればよいのか

① 目的

実験1-4を行い、それぞれ地帯に結果が異なることがわかったが、既存の建築物と地帯に強くするには、工事にかける費用、時間を考え、実験1の耐震が最も手軽にできると思った。そこで、7種類の耐震構造模型をつくり、最も地帯に適した構造を調べようとした。

実験1の結果から、筋交いは2階だけを設置するより1階だけを設置する方が揺れを小さくすることができた。実験4では、2階だけ揺れを小さくすることができたのかをわかりやすくするために、また2階だけに筋交いを設置する。

<7種類の耐震構造>

1. 実験1の2階だけありと同じもの
2. 円形
3. 三角形
4. 逆三角形
5. 階段
6. 低い筋交い
7. 筋交い + ばね

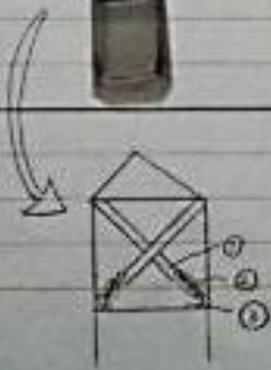
それぞれ縦揺れと横揺れを実験する。

② 用意するもの

- 牛乳パック
- ホッチキス
- 縦揺れ装置
- 横揺れ装置
- 両面テープ
- はさみ
- ばね
- 尺0-

(私の考えた耐震構造)

形	写真	考え(その理由)
円形		円形は壁に比べている部分が少ないから、建物の全体を支えきれない。
三角形		初めて「地震に強い建物の形」について研究した際、三角形の建物は地震に強いから耐震構造として強いのが知りたかった。
逆三角形		床に接する部分が少ないから不安定な耐震効果はないと考えた。
階段		おもしろい為、揺れによる力が分散され、耐震と免震のダブル効果を期待できると思った。
低い筋交い		普通の高さの筋交いと低い筋交いでは、やはり耐震の効果が違うと知りたかった。
筋交い+はね		2D-を2D-3D-のことにより、はねが横に大きく揺れろのを防ぐ。さらに筋交いは縦方向の耐震と免震のダブル効果が一番高いと考えた。



- ① 牛乳パックの筋交いの先に穴を開け、2D-3D- (7.7) を入れる。
- ② 2D-の中央にはねを入れる (7.7a参照)。
- ③ L字型に切り、牛乳パックに穴を開けて1層の先(7.7)を入れる。

③ 方法

1. 縦揺れ装置の上に7種類の振動を発生させる板の上にのせ、板を10回押し、揺れ方を見る。
 2. 横揺れ装置の上に7種類の振動を発生させる板の上にのせ、板を10回押し、揺れ方を見る。
- ※ 縦揺れ装置、横揺れ装置に定規を置き、揺れ幅を何センチかをも記録する。

④ 予想

	握持水	様持水
1. 筋力	大きく握れる。 <u>理由</u> 中層より同じ力がある。	大きく握れる。 <u>理由</u> 中層より同じ力がある。
2. 円形	少いから握れる。 <u>理由</u> 円形だと、骨の間に いさ部分が空いたから 建築物全体を支える と考えると思ふ。	少いから握れる。 <u>理由</u> 握持水と同様に 柔軟な部分で支えられている から。
3. 三角形	大きく握れる。 <u>理由</u> 中層の地面に強い建築物の ために、調子が結果的に、 強い建築物は地面に強 いから、強い三角形の力 を支えられた面積が狭い と思ふ。	大きく握れる。 <u>理由</u> 握持水と同様に。
4. 逆三角形	こり骨の力から握れる。 <u>理由</u> 下層を支える面積が小さい から、不安定なところと 思ふ。	こり骨の力から握れる。 <u>理由</u> 下層を支える面積が 小さいから、耐震を して支えるには、 握れると思ふ。

	揺揺れ ほとんど動かない	揺揺れ ほとんど動かない
5. 階段	<p>(理由) 階段の形に付いてい から <u>揺れが分散</u> <u>(7揺れが小さく</u> <u>なる)と思う</u></p>	<p>(理由) <u>揺揺れと同じ</u> 理由でほとんど 動かないと思う。</p>
6. 低い筋交い	<p>大きな揺れ (理由) 低い筋交いを見た ことがなく、家など には1つ2つな普通の 大きさの筋交いが 使われているから。 <u>低い筋交いは地震に</u> <u>弱い)と思う。</u></p>	<p>(理由) <u>揺揺れと同じ</u> 1つ筋交いが地震に 強いから使われている と思う。</p>
7. 筋交い + ばね	<p>ほとんど動かない (理由) ばねをつけること により、<u>ばねが動いて</u> <u>建物の揺れを減</u> <u>らす)と思う。</u></p>	<p>ほとんど動かない (理由) 揺揺れの場合も ばねが動いて <u>建物の揺れを減</u> <u>らす)と思う。</u></p>

⑤ 實驗 5

1. 目的

縱徑小

橫徑大

實驗前



實驗中 - 調整小孔



最大 3cm 點水

最大 8cm 點水

2. 材料

撥水紙

養生紙

実験前



実験中
水を注ぎます



撥水紙 10cm 径

養生紙 10cm 径

2. 材料

図 2.1

図 2.2



図 2.1 図 2.2
 図 2.1 図 2.2
 図 2.1 図 2.2

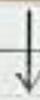
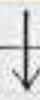
図 2.1 図 2.2

5. 階段

微注水

吊注水

実験前



実験中
一番注水したとき



最大 2cm 水位

最大 2.5cm 水位

6. 出口箭交行

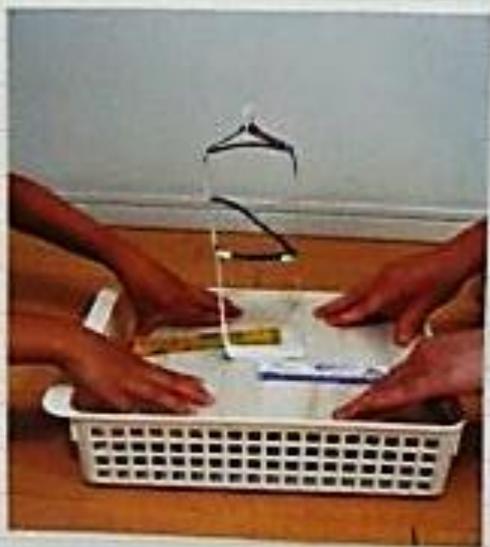
控控小

集控小

实验前



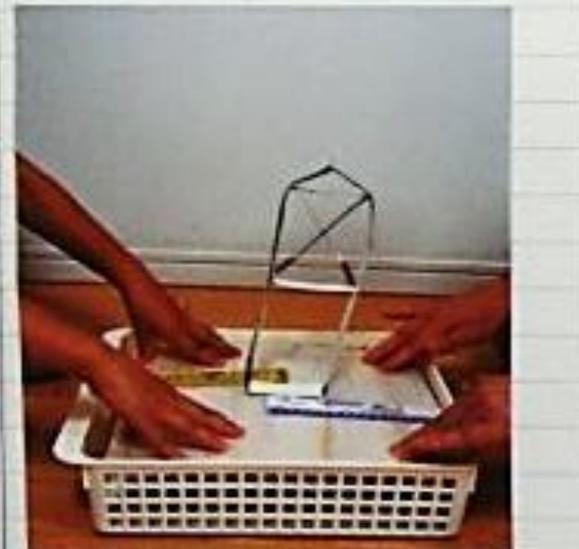
实验过程中



最大 0.9cm 30.11%

最大 1cm 30.11%

7. 節分川+びわ

	推括水	徳括水
実験前		
実験中 / 手を動かすとき		
	最も早く動く時	最も早く動く時

⑥ 結果

(横に最大採水長さ)

	縦採水	横採水
1 筋交い	3cm	8cm
2 円形	1cm	10.5cm
3 三角形	1cm	9.5cm
4 逆三角形	2cm	9.5cm
5 階段	2cm	7.5cm
6 低い筋交い	0.5cm	1cm
7 筋交い+はし	3cm	4cm



縦採水 横採水 共に低い筋交いが強かった。

⑦ 考察

低い筋交いは縦揺れに強く横揺れに強く、
高さの高い筋交いは低い筋交いの方が地震に
強く耐えた。

しかし、建物が揺れにくいと建物がこぼれ
入る、つまり崩れる可能性がある。

実験の結果より、縦揺れ、横揺れ共にほどよく揺れたのは
筋交い+ばねの建物だ。

低い筋交いを使用することで耐震の効果がある。
ばねをつけることで免震の効果がある。このことから、
耐震と免震のダブル効果で、揺れを防ぎ
たび割れや建物が崩れることも防ぐことが
できるのではないかと考えた。

10. 追加実験

(実験の結果を踏まえて
地震に最も強い構造を
検証する。)

① 目的

実験を行って、1層地震に強い耐震構造は低い筋交いとした。しかし、地震に強い2層建築物は筋交いが入り、耐震として可能性がある。

だから、本程度建築物を揺らす必要があった。実験で縦揺れ、横揺れ、共に1層2層揺らした時は筋交い+1層とした。

そこで、追加実験では、低い筋交い+1層2層と地震に強い、耐震の可能性のない建築物を試すと考えた。

1. 縦揺れ	低い筋交い+1層2層
2. 横揺れ	低い筋交い+1層2層

② 用意するもの

- ・ 牛乳パック
- ・ ホップコ
- ・ はさみ
- ・ はね
- ・ 2リットル
- ・ 両面テープ
- ・ 縦揺れ装置
- ・ 横揺れ装置

③ 方法

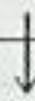
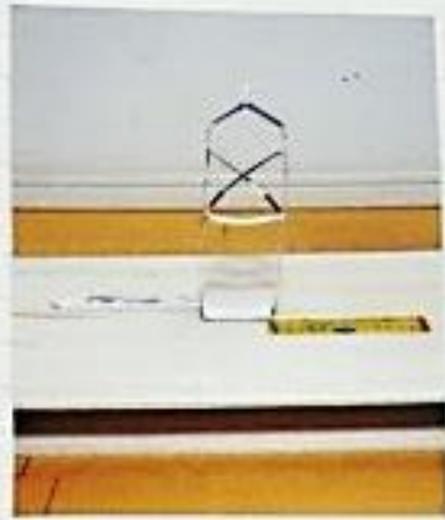
1. 縦揺れ装置の上に低い筋交い+1層2層の模型をのせ、板を10回押しつけて揺れ方を見る。
2. 横揺れ装置の上に低い筋交い+1層2層の模型をのせ、板を10回揺らして揺れ方を見る。

④ 追加実験

遊錐水

換錐水

実験前



実験中
一重板水



板厚 0.5cm 銅板

板厚 0.2cm 銅板

⑤ 結果

(横に最大の揺れをうけた)

	縦揺れ	横揺れ
低い筋交い + ばね	0.9 cm	0.2 cm
1階のみ 低い筋交い	0.9 cm	1 cm
1階のみ 筋交い + ばね	3 cm	4 cm



低い筋交い + ばね は 特に横揺れ
に強かった。

⑥ 考察

低い筋交い + ばね は 特に横揺れに強いことが
わかった。このことから、建てる物には低い筋交い + ばねの
耐震構造を設置すると一番揺れに強いとわかった。

揺れがは、おとわかったから、2階のみに筋交いを
設置して、た。追加実験の結果が低い筋交い + ばね
が地震に強いとわかったため、1階、2階の両方に
設置して実験することにした。

11. 実験 6

(追加実験をふまえて、耐震構造
を1階、2階の両方に設置する。)

① 目的

追加実験を行い、低い筋交い+げねが（高地震に
強い）ことがわかった。

このことから、これを1階、2階の両方に設置すること
どのような結果になるのか調べる。

1. 縦揺れ	(1) 筋交い (2) 低い筋交い+げね
2. 横揺れ	(1) 筋交い (2) 低い筋交い+げね

② 用意するもの

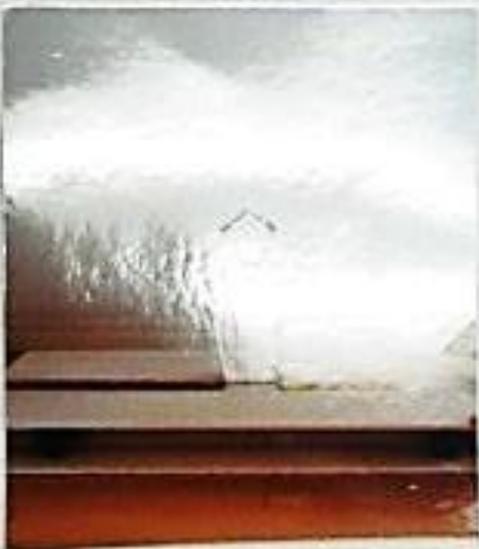
- ・ 4孔ボック
- ・ 木、4キス
- ・ はね
- ・ はさみ
- ・ 2トク-
- ・ 両面テープ
- ・ 縦揺れの装置
- ・ 横揺れの装置

③ 方法

1. 縦揺れの装置を用意する。
板を10回押し耐震模型がどう動くか変化を見る。
2. 横揺れの装置を用意する。
板を10回揺らし耐震模型がどう動くか変化を見る。

④ 實驗 6

水質改良

	攪拌水	靜置水
實驗前		
↓	↓	
實驗後		
	最大貯水量約 1.5L	最大貯水量約 1.5L

11. 紙の飛行機と紙の船

推進機

推進機

準備前



準備中



飛行機の出発

紙の飛行機の出発

⑤ 結果

(横に最大で揺れた長さ)

	細揺れ	横揺れ
筋交い	0.5 cm	0.9 cm
低い筋交い + ばね	1 cm	1 cm



低い筋交い + ばね は ばねが
建物の揺れをおさえていた。

⑥ 考察

筋交いは揺れた幅は狭い。だが、この構造だと
建物が動かなさずおとこびが入ると思われる。

だから、横に揺れた長さが 1cm の 低い筋交い + ばね
が地震に強いと考えられる。

低い筋交い + ばねは、ばねがあることにより
弾力があり 建物の揺れを吸収していた。

地震に強い構造



12. 感想・反省

①②. 地震に強い構造 について調べて耐震の
低い筋交い+はねが1番強いことがわかった。
耐震 免震 制震のそれぞれで模型をつくらせ、
少(多)量の変位を繰り返して実験することで より強い建物を
見つけることができた。と思う。

③. 予想せ結果などの重要なところに赤線をひいたり
してわかりやすくまとめるように心がけた。

東日本大震災や阪神・淡路大震災で多くの人が犠牲に
なり、今でも苦しんでいる人がたくさんいることを忘れな
いけなうと思ふ。(※ 毎日新聞 東日本大震災 阪神淡路大震災 全世)

最近箱根や梅島などの噴火警戒レベルが引き上げられた。
今後の大きな地震が起こるのかわからない。
だから私達はこれからの地震の被害を最少限に
おさえるために知恵をしぼって技術発展をやる必要が
ある。

そして、地震は日本だけでなく、世界の問題でもある。
(※ 2011-11 地震参照)
日本の防災技術をもっと発展させ、世界中の人々が
地震により辛い思いをしないようにしたい。
そのために私も地震の研究を続けていきたいと思ふ。

16. 参考資料

・ 読志新聞

・ 因語 2 刊 「五重の塔はなぜ倒れなかったか」 作者 上田 寛
光村図書

・ 講談社の 7000 年 - 2000 年
2000 年 7000 年 (巻) 23 東洋文芸 100
構成 文 1767 303

・ 東京新聞 - 100 年 記念号 (第 6 版)
講談社