

建造物の耐震性(制震構造)について

2年3組 河野 敢太 2年5組 入船 太郎 2年5組 玉井丈太郎
指導者 教諭 二宮 正司

1 課題設定の理由

日本では、昔から地震が多く、最近でも阪神淡路大震災や東日本大震災などが発生し、私たちが住んでいる愛媛（宇和島市）でも、近い将来、南海トラフ大地震の発生が懸念され、大きな被害が予測されている。

そこで、日本の建造物の地震への対策に興味を持ち、主に、日本では、制震構造、免震構造、耐震構造などの構造が利用されていることが分かった。

建造物の簡易的な模型を製作し、それぞれの構造と何も対策をしていない通常構造の揺れ方を比較することにより、それぞれの構造の揺れ方を観察・比較し、どの構造が最も建物の揺れが小さくなるのかを確認し、特に、制震構造はおもりの重さや、模型を揺らす周期を変えた場合どのように変化するか調べてみようと思い、この課題を設定した。

2 仮説

制震構造は、おもりによる糸の張力が、建造物の揺れを軽減すると予測し、おもりの重さを変化させると、建造物の揺れ方も変化するのではないかと考えた。また、模型の運動とおもりの揺れ方の方向が異なるため、逆方向に力が働き、建物の揺れを軽減できると考え、建造物やおもりの周期を変化させると、建造物の揺れ方も変化するのではないかと考えた。

四つの構造の中では、耐震構造が最も揺れを抑えることができ、免震構造は建物に揺れがほとんど伝わらないので、この二つがほとんど揺れず、制震構造が地震対策を施したものの中では最も揺れが大きく、通常構造が最も大きく揺れるのではないかと考えた。

3 実験・研究の方法

(1) 建造物の模型の製作

【通常構造の模型】

厚紙を、長辺（22 cm×3 cm）4枚、短辺（14 cm×3 cm）2枚に切り、短辺は両端を1 cmずつ折り、図-1の通常構造のように組立て、紙のつなぎ目をセロハンテープで固定する。

【制震構造の模型】

通常構造と同じ形の模型の上の短辺の中心から、おもり（鉄球（大）（質量 $m=20.9\times 10^{-3}$ kg）鉄球（小）（ $m=12.6\times 10^{-3}$ kg））、ビー玉（ $m=9.90\times 10^{-3}$ kg））を先端につけた糸を10 cmの長さで吊り下げる。（図2）

【免震構造の模型】

通常構造の底の長辺を22 cm×10 cmの大きさで作成し、底にペットボトルのキャップを三角形の形になるように、貼り付け、ペットボトルのキャップにビー玉を入れた状態で、立てる。

（図3）

【耐震構造の模型】

通常構造と同じ形の模型の中に、16 cm×3 cmの辺の両端1 cmを折り、それを4枚、図のようにセロハンテープで固定する。（図4）

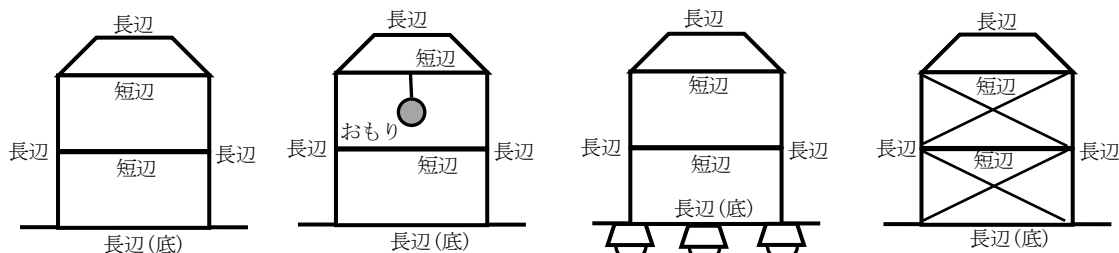


図 1 : 通常構造

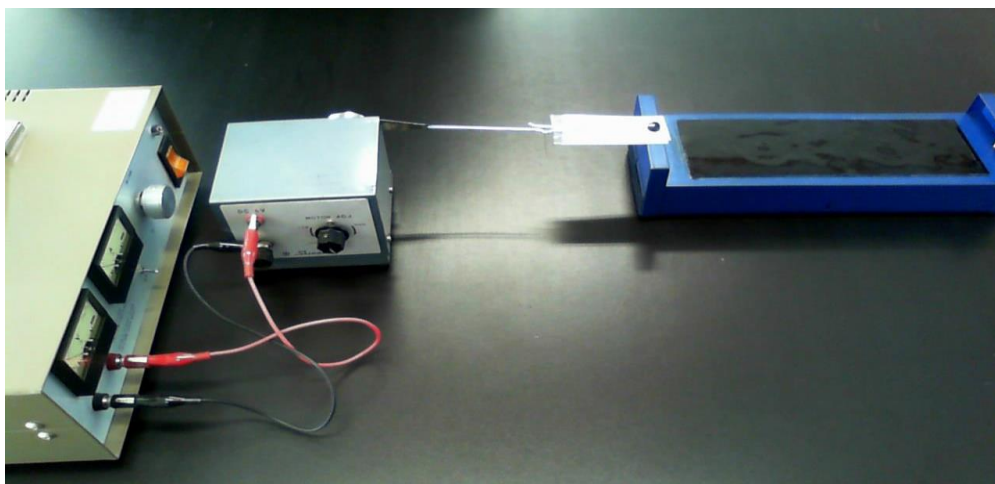
図 2 : 制震構造

図 3 : 免震構造

図 4 : 耐震構造

(2) 準備物

建造物の模型（図 1～図 4），力学台車，波動発生装置（直径 3.6 cm），直流電源装置，導線，Surface



写真：実験装置

(3) 実験方法

制震構造の模型では，おもりをつけた糸が模型の揺れの方向とは逆方向に模型を引っ張ることにより揺れを軽減するのではないかと考え，糸の張力に着目した。

おもりを付けた糸が最も大きく振れた時の糸の張力は，糸と鉛直方向の角度を θ とすると，張力： $S = mg \cos \theta$ の式から求められる。

（ S N：張力， m kg：質量， g m/s^2 ：重力加速度 ）

力学台車の揺れの周期を変化させると，糸と鉛直方向の角度が変化するので，おもりの重さと波動発生装置のモーターの周期（ $T=1.52$ s， $T=0.59$ s）を変化させ，6 パターンの糸の張力と模型の揺れ方を観察し，建物の揺れ方がどのように変化するかを調べる。Surface を用いて，動画から建造物の模型と，おもりの周期を求める。

通常構造，免震構造，耐震構造の模型では，模型を実験装置の力学台車の上に固定し，波動発生装置のモーターを回転させ，台車をモーターの周期（ $T=1.52$ s， $T=0.59$ s）で単振動させ，建物の揺れの大きさを観察し比較する。

4 結果

下の写真はそれぞれの条件で揺れ方を観測した時に、模型が最も大きく振れた瞬間のものである。

	鉄球(大) 質量 $m=20.9 \times 10^{-3} \text{ kg}$		鉄球(小) 質量 $m=12.6 \times 10^{-3} \text{ kg}$		ビー玉 質量 $m=9.90 \times 10^{-3} \text{ kg}$	
モーター周期 T [s]	① 1.52	② 0.59	③ 1.52	④ 0.59	⑤ 1.52	⑥ 0.59
糸と鉛直方向の角度 θ [°]	15	6	15	15	22	7
糸の張力 $S \times 10^{-3}$ [N]	198	204	119	119	90.0	96.3
建造物模型の揺れの周期 T [s]	0.42	1.28	0.70	0.77	0.70	1.30
おもりの揺れの周期 T [s]	0.55	0.84	0.67	0.79	0.64	0.75

制震構造 (鉄球(大) 質量 $m=20.9 \times 10^{-3} \text{ kg}$)

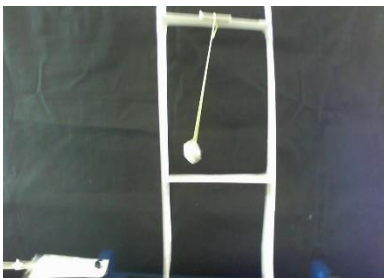


写真 ①:鉄球(大) モーター周期 $T=1.52\text{s}$



写真 ②:鉄球(大) モーター周期 $T=0.59\text{s}$

制震構造 (鉄球(小) 質量 $m=12.6 \times 10^{-3} \text{ kg}$)



写真 ③:鉄球(小) モーター周期 $T=1.52\text{s}$



写真 ④:鉄球(小) モーター周期 $T=0.59\text{s}$

制震構造 (ビー玉 質量 $m=9.90 \times 10^{-3} \text{ kg}$)



写真 ⑤:ビー玉 モーター周期 $T=1.52\text{s}$



写真 ⑥:ビー玉 モーター周期 $T=0.59\text{s}$

また、免震構造、耐震構造の模型では、周期を変えてもすべてほぼ揺れなかった。通常構造ではわずかに模型が揺れた。

5 考察とまとめ

仮説では、糸の張力を変化させると、揺れ方が変化するのではないかと考えていたが、結果は異なっており、糸の張力の大きさと模型の揺れ方に関係は見られなかった。また、条件の違うものを比較すると、おもりと模型の周期が近いものが、模型の揺れ方が大きく、逆に、周期の差が大きいものほど揺れが小さくなっていた。今回の実験で糸の張力の大きさと揺れ方に関係がなかったことから、制震構造においては、建造物の揺れを軽減させる条件に、おもりの重さは無関係と考えられる。また、おもりと模型の周期が近いと、おもりと模型が共振を起こすので、模型の揺れが大きくなったと考えられる。

以上のことから、制震構造の揺れを軽減する効果を大きくするためには、建造物もおもりも波動発生装置のモーターの周期を変化させると周期が変化したので、揺れに合わせて、おもりの周期と建造物の周期の差を大きくするために、糸の長さやおもりの重さを変える必要があると考えられる。

今回の実験では、制震構造のおもりの重さと波動発生装置のモーターの周期を変え、6パターンの揺れ方を観察したが、どれもが通常構造よりも揺れが大きくなっていた。この結果の理由として、制震構造の模型の中心に、おもりが取り付けられていなかったり、もともと模型の左右のバランスが取れていなかったりしたからではないだろうかと考えられる。また、通常構造の模型においては、柱を固定したセロハンテープが耐震構造のような役割をはたしていたのではないかと考える。

6 今後の課題

今回の実験では、耐震構造や免震構造は通常構造よりも揺れが小さくなっており、効果が確認できたが、制震構造では通常構造よりも揺れが大きくなっており、原因を研究する必要がある。今後も、建造物の耐震性について、探究し、近い将来に起こるであろう南海トラフ大地震への対策に役立てたいと思う。

7 参考文献

川村康文 2013 理論がわかる 光と音と波の手づくり実験

http://www.geocities.jp/p_taka0227/0005.htm

http://www.taisin-net.com/solution/online_seminar/mensin/index.html