

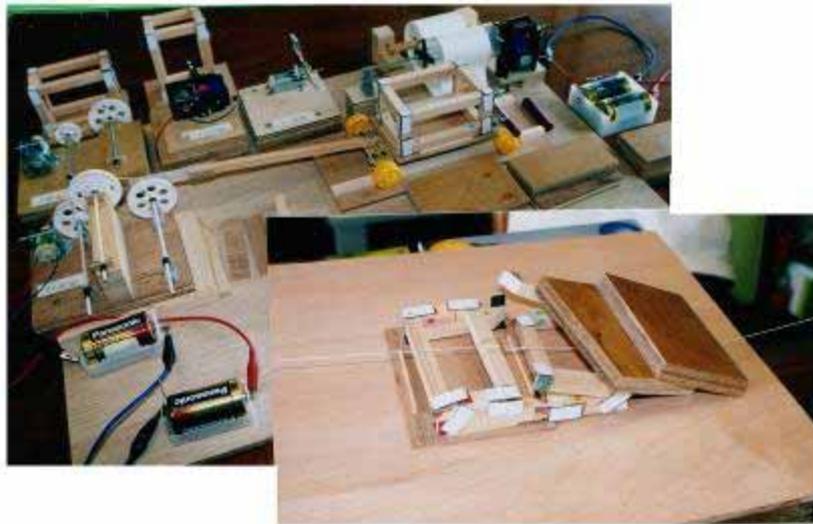
## 最優秀賞（中学校 個人研究の部）



『地震によって建物が  
倒れる仕組みについて』  
～ 自作のモデルと  
地震発生装置を用いて～

福島大学附属中学校

竹田 あかり 瑛



## ・研究の動機

日本は地震国といわれ、平成以降でも兵庫県南部地震、新潟県中越地震、能登半島地震、と大規模な地震が続いて起き、大きな被害が出ている。最近の中越沖地震でも17000棟の建物が損壊し、亡くなられた方も多い。また、耐震強度が偽装された建物が建築されたり、福島市でも耐震強度が不足している建物が見つかったりして、社会問題となった。

私は地震のニュースで倒れた建物を見ていて、不思議に思うことがあった。洪水や土石流などの災害では外から大きな力が加えられて建物が流されたり押しつぶされたりいることが理解できる。ところが地震の場合は見た目には大きな力が加えられているようには見えない。しかし実際には倒壊する建物があり、建物にはかなり大きな力が加えられていると推測できる。もし地震の時に、地面の揺れと、地上にある物の揺れが全く同じだったら、地上の物は一緒に揺れるだけで壊れるということは無いように思う。従って、実際の地震で建物が倒れるということは、地面と地上にある物が、ずれるか違う揺れ方をしているのではないかと思った。

そこで地震が起きると建物にはどのような力が加えられて建物が壊れるのか、自分で確かめてみたいと思い、今回の研究を始めた。

### 実験方法

#### 1. [実験 1] 基礎実験として地面の揺れと地上にある物体の揺れとの関係を調べる。

身近にある物を台車に載せ、手で動かす、揺らし方と揺れ方の関係を指先と目で捉える。

揺らす物体として、コンニャク、木綿豆腐(35×50×70 mm)、紙箱、ビー玉、角棒(木製、長さ90cm)を用意した。そして自作の台車の上に載せ、物の動きを(1)動かす速さを変えた場合、(2)直方体の物で置き方を変えた場合、について調べた。台車は揺れの方向がずれないようにレールをつけた板の上を手で左右に動かした。また、物を載せる台は別に作り台車に載せた(図1、図2)。

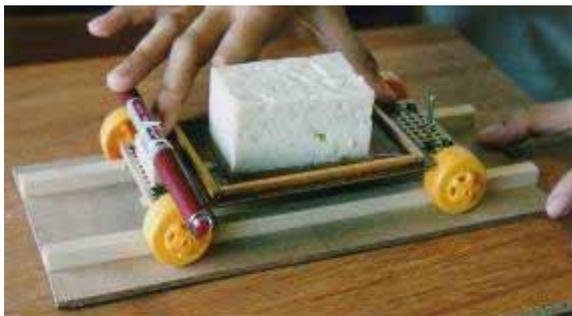


図1 とうふを動かす様子



図2ビー玉を動かす様子

#### 2. [実験 2] 建物は外からどのくらいの力が加えられると壊れるのかを調べる。

建物のモデルを作って、引っ張る力を加えていき、モデルがその力に耐えた上限の力の大きさを調べる。

##### (1)モデルの作製

ヒノキの角材(10 mm角)を切断し、建物の土台、柱、梁にあたる部品を作り、土台を組んだ上に柱を立て、その上に梁を組み、直方体を組み立て、屋根にあたるコンパネ(10 mm厚)で作った板を載せた。直方体の角(各部品の接合部)には鉄板(空き缶を伸ばして切断

した物)を貼り、その上から小さな板磁石で接合部を留めた。この構造だと、少し触っただけでは壊れないが、やや強く力を加えるとすぐ倒れ、しかも組み建て直しが簡単にできる(図3)。辺の長さが50×70×100mmの直方体を製作した。

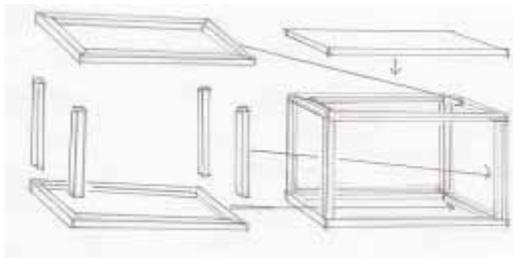


図3『モデル』の組立図

[置き方]により縦×横×高さで[A]50×70×100mm、[B]50×100×70mm、[C]70×100×50mm、の3種類に分け、[力のかかる向き]を、力のかかる方向に平行な辺が短い方を前、長い方を横とした。[屋根の枚数]は0・1・2枚の条件とし、<sup>置き方</sup> [A]-<sup>力の向き</sup>前-<sup>屋根の枚数</sup>0 というように、3つの要素を並べて表示した(図4)。置き方が違って



も柱と梁、屋根の乗り方の構造が同じくなるように、同じ50×70×100mmの直方体[A][B][C]の3個を作成し、力に対する強さをなるべく一定にした。直方体の重さは[A][B][C]とも50gで同じだった。[A][B][C]は床面積が変わるため、屋根の大きさも変わり、屋根1枚の重さは、[A]の屋根27g、[B]38g、[C]54gだった。

## (2)モデルに力を伝えるしくみ

糸の両端にカップ a、b を下げ、自由に回るようにした 2 つのプーリーに図 5 のようにかけ、動かないようにカップの重さのバランスをとった。糸の中央にモデルを引っ掛けるフックをつけた。フックはカップ b 側のモデルの梁にかけた。糸は梁と同じ高さにし、水平に張った。カップ a に分銅を載せ静かに離すと、カップ a が下がりモデルを引っ張る。これは、b 側から押したことと同じと考えられるので、分銅の重さをモデルに加えた力と考えた。



図5 [実験2]の様子

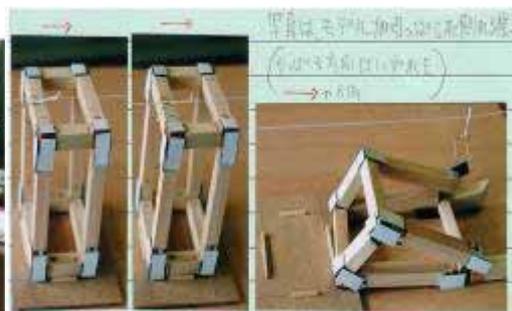


図6 [モデル]が耐えられる上限

## (3)測定手順

カップ a の分銅を 1g ずつ重くしていき、モデルが倒れたその一つ前の重さを、モデルが耐えられる力の上限とした(図 6)。

**[実験 3] 建物は地震でどのように揺れ、壊れるのかを調べる。**

震動数、震幅を変えることができる地震発生装置を自作する。そしてモデルに様々な揺れを与え、モデルが耐えることができた上限の条件を見出す。

### (1)実験用地震発生装置の製作

乾電池とモーターを動力とし、ギヤボックスとプーリーを使って回転運動を伝え、クランクで直線運動に変える。ギヤボックスとプーリーの組み合わせを変えることで震動数を、クランクの半径を変えることで震幅を設定した。4 種のギヤボックスとプーリーの組み合わせ(図 7)を製作し、それぞれの震動数は、およそ 1.0、2.5、3.2、5.0 回 / 秒であった。震幅はおよそ 10、20、30、40 mm となる 4 種のクラ

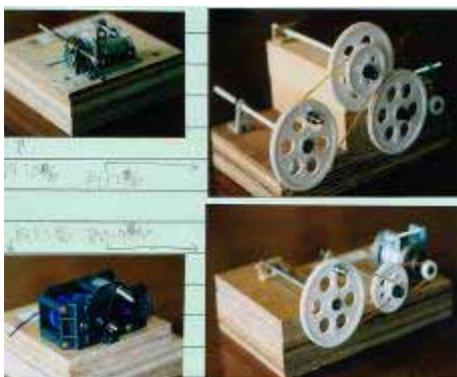


図7 ギヤボックスとプーリーの組合せ

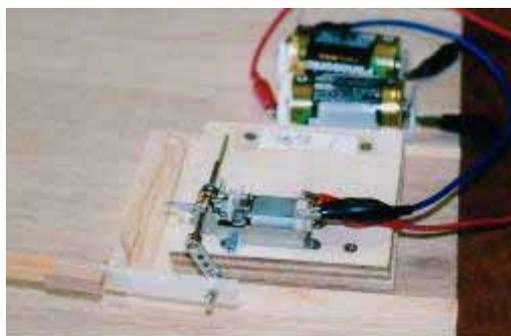


図8 地震発生装置と台車の連結

nk を用いた。[実験 2] で用いた台車にプラスチックと角棒で連結アームを作り、地震発生装置がスムーズに動けるようにゆるく取り付け(図 8)。

## (2)記録方法

地震発生装置により作られた震動がうまく伝わっているかをできるだけ正確に確認し記録できるようにした。台車に水性ボールペンを取り付け、モーターで自動的にレジロールペーパーを巻き上げて、ペーパーに台車の震幅と震動数を波形で記録できるようにした(図9)。

## (3)記録方法

モデルを地震発生装置で10秒間震動させ、壊れるまでを調べた(図10)。モデルの置き方は[実験2]と同じパターンとした。

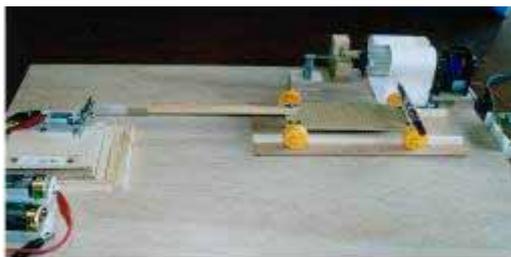


図9 震動数と震幅の記録装置

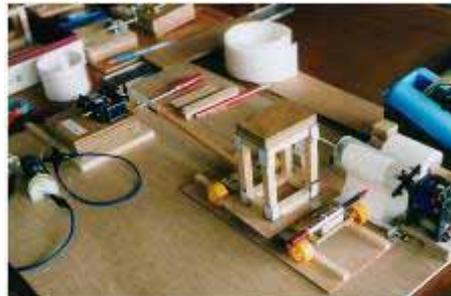


図10 [実験3]の様子

発生装置は、震幅と震動数を変えて、モデルが倒れるまで測定したが、明らかに次の結果が予測される場合は行わなかった。倒れるまでの時間はストップウォッチで測定し、ロール紙の波形を分析し、震動数と震幅が設定通りだったかを確認した。倒れる様子をデジタルカメラの連写モード(16コマ/3秒)で撮影した。

### ・実験結果

#### 1. [実験1] 物を手で動かし、揺れ方を見た実験。

##### (1)動かし方の違い

台車をゆっくり一方向に1回動かした場合。

コンニャク・豆腐・紙箱は、わずかに震えたが大きな変化はなかった。ビー玉は、一定の方向はなくころがった。角棒は先端の方向が定まらない揺れ方をした(図11)。



図11 角棒をゆっくり揺らした様子



図12 コンニャクをすばやく動かした様子



図13 ビー玉をすばやく動かした様子

台車をすばやく一方向に1回動かした場合。

コンニャク(図12)・豆腐・紙箱は台車を右に動かすと逆の左方向に倒れた。角棒は台

車を右に動かすと一度逆の左方向に傾き、左右の揺れを繰り返しながら、揺れはだんだん小さくなった。棒の先端が一番大きく揺れた。ビー玉(図13)は右に動かすと逆の左方向に転がって止まった。ビー玉は大きい方が動きは大きかった。

コンニャクと豆腐が倒れない程度の速さで左右に1回揺らした場合。

コンニャク・豆腐は、はじめ右に動かすと一度逆の左方向に傾いた後、右方向に傾いた。傾き方はコンニャクの方がはっきりしていた。紙箱は倒れない程度で揺れの様子が変わる揺らし方はできなかった。角棒はゆっくり動かせば揺れ幅が小さく、速く動かすと揺れ幅が大きくなった。ビー玉はさまざまな方向にころがり、一定の法則は見つからなかった。

の実験は、はじめに動かす方向が左と右どちらでも、結果に違いはなかった。

載せた物の動きに合わせて台車を左右に揺らした場合。

コンニャク、豆腐は揺れがだんだん大きくなり倒れた。この2つの揺れ方は似ていたが揺れた幅はコンニャクの方が大きかった。豆腐が倒れたときは2つの塊になって壊れていた。紙箱はすぐに倒れ、揺れの観察はできなかった。ビー玉は、はじけ飛んでしまい、台車の揺れとの関係はわからなかった。角棒は揺れがだんだん大きくなった。一番大きく揺れたのは棒の先端で、根元より何倍も大きく揺れた。

台車を小刻みにすばやく揺らした場合。

コンニャク、豆腐は小さくぶるぶる震えたが倒れなかった。紙箱はすぐに倒れ、揺れの観察はできなかった。角棒は長さ90cmの間に揺れ幅が大きい部分と小さい部分が交互に現れ、複雑な揺れだった。

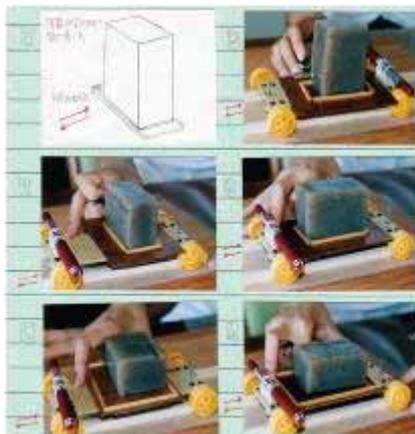


図14 コンニャクの置き方の違い

## (2) 同じ体積のコンニャクの置き方による違い。

左に示す図14のように、1から5の順に倒れにくくなり6は倒れなかった。同じ体積の場合、底面積が広く、低いほうが倒れにくかった。そして同じ体積、底面積の場合は揺れの方向に平行な辺の長さが長い方が倒れにくかった。

## 2. [実験 2] モデルを一方向に引っ張り、倒れ方を調べた実験結果。

引っ張る力の大きさと、家のモデルがその力に耐えた上限の力の大きさを調べた結果を次ページの表15に示す。

モデルの置き方と屋根の数を換え、合計189回実験した。○はモデルが倒れず、×は倒れたことを示す。

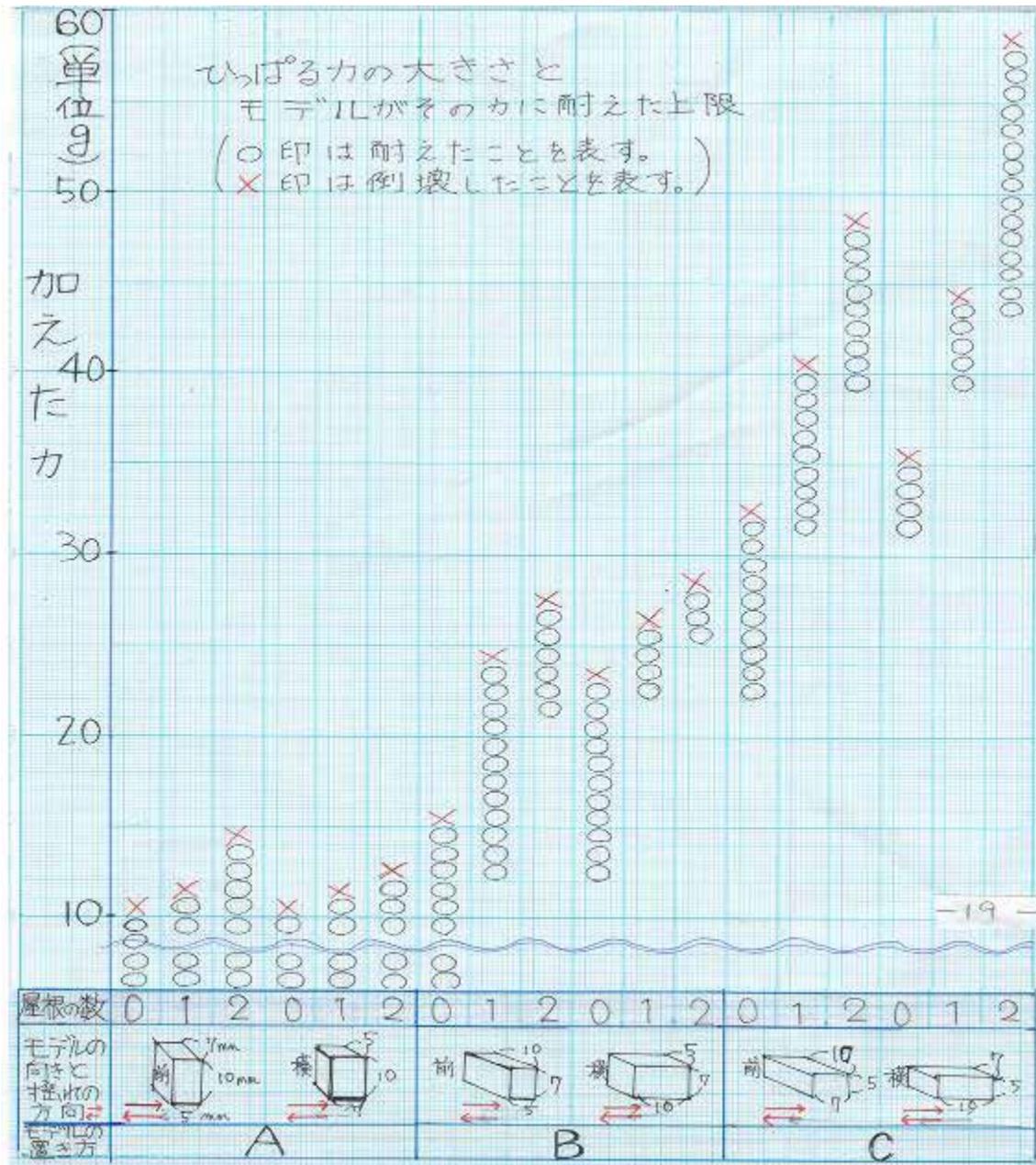


表15引っ張る力の大きさとモデルがそれに耐えた上限

最も倒れにくかったのは高さの低い<sup>置き方</sup> [ C ] - <sup>力の向き</sup> 横 - <sup>屋根の枚数</sup> 2 のパターンで、モデルの総重量158gに対し、58gの引っ張りまで倒れなかった。

[A] [B][C]の置き方とも、屋根として載せた板の数が多い方ほど倒れにくかった。

[A] [B][C]の置き方とも、横向き、すなわち引っ張られる方向に対し、平行な辺が長い方が倒れにくかった。





図17 [実験3]A-前-0のモデルが倒れる様子

1番倒れなかったのは[ C ]- <sup>置き方</sup>前 - <sup>揺らす向き</sup>0 と[ C ]- <sup>置き方</sup>横 - <sup>揺らす向き</sup>0 のパターンだった。

[A]ではあまり差はでなかったが、[B][C]では震動数、震幅とも大きいほど倒れやすかった。

[B]、[C]の置き方では、屋根として載せた板の数が少ないほど倒れにくかった。

[A] [B][C]のどの置き方も[実験2]ほど、前向き横向きでの倒れにくさに違いはなかった。

図17の連続写真からは、モデルがまず、地震発生装置側に傾き、2度立て直したものの3度目の傾きで倒れた様子がわかる。

図18にパターン[ A ]- <sup>置き方</sup>前 - <sup>揺らす向き</sup>0 で設定震動数1.0回 / 秒、震幅30mmの実験での波

形と図19にパターン[ A ]- <sup>置き方</sup>前 - <sup>揺らす向き</sup>1 で設定震動数2.5回 / 秒、震幅20mmの実験での波形を示す。

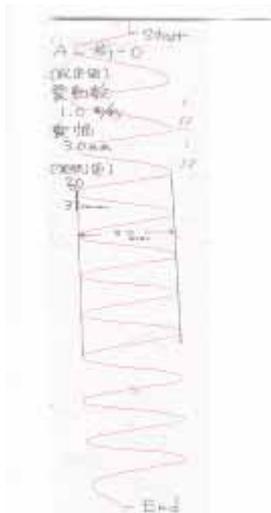


図18 震動数1.0回/秒  
震幅30mmの波形

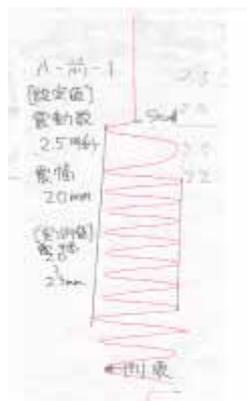


図19 震動数2.5回/秒  
震幅20mmの波形

(表16ではそれぞれ 1、 2の部分にあたる。)図18では、モデルは10秒間倒れず、実際の震動数震幅ともほぼ設定通りだったことがわかる。図19ではモデルは5秒で倒れ、震幅に2、3mm程度の違いがあった。

## ・考察

### 〔実験1〕の結果と考察

物を動かすと、物は動かした方向と反対の方向に動き、傾いたり、倒れたりする。逆に動いていた物を急に止めると、動いていた方向に動き続け、その後傾いたり倒れたりすることがわかった。このことは自動車で急発進や急ブレーキをかけたときに体が受ける感じに似ている。これは祖父に聞いたところ、物質には止まった物は止まり続ける、動いている物は動き続けるという性質があるということのようだ。揺らし方と揺れの様子は物によって全く違っていて、手で動かした今回の実験では規則性を見出すことはできなかったが、その物に応じた揺らし方をすると、揺れがとて大きくなることが分かった。今回は、揺れ方の違いには、物の性状と形状のどちらの影響が大きいのかまではわからなかった。

実際の地震の時には、地面の揺れと建物の揺れの間には違いやずれがあるのではないだろうか。そしてその中に建物の揺れを増強するような揺れがあって、その揺れは建物によって違っていると考えられる。

### 〔実験2〕の結果と考察

モデルの置き方のパターンと、一方向へ加える力との関係は、モデルの高さが低い程倒れにくかった。高さが同じだと、力のかかる向きに平行な辺が長い置き方が、倒れにくかった。また、モデルに屋根を載せ重くしていくと倒れにくくなり、その傾向は高さの低いモデルの方が著しかった。これはモデルの総重量や重心の違いの影響もあると思われるが、詳しくは来年の課題としたい。

### 〔実験3〕の結果と考察

モデルは震動数や震幅が大きくなるとすべてが倒れた。置き方のパターンでは〔実験

2]ほどに、差はでなかったが、高さの低いほうが倒れにくかった。どの置き方も屋根が軽い方が倒れにくかった。これは[実験2]の結果とは異なっていた。

角材で作った家のモデルと震動の発生装置で行った実験結果から得られた結果は規則正しく、再現性があった。しかし設定した震動数、震幅の数値と実際の測定した数値とは全く同じにはならなかった。その違いは、震幅により現れ、特に震幅を大きくしたときや、屋根を載せたとき、モデルが倒れそうになるときに幅のずれがでた。このようになったのは、台車も含めた重さが影響し、クランクを無理に引っ張ったためと考えられる。

モデルの壊れ方から、震動の強さは震動数が多く、震幅が大きい方が強いことがわかった。しかし、振動数と震幅をあわせて考えると、今回の実験の中で、震動数2.5回/秒、震幅40mmと、震動数3.2回/秒、震幅10mmではどちらが建物に対し、強い振動なのか分からないので、来年度の課題にしたい。

#### ・全体のまとめ

研究を通していろいろなことがわかった。中でも私が驚いたのは、[実験2]と[実験3]の結果から、外からの引っ張りに対して強かった建物が、震動には弱かったということである。また実際の建物では、引っ張る力の場合、屋根が重い家が強く、震動の場合は屋根の軽い家の方が倒れにくいと考えられた。

その理由を考えてみると、研究の動機でも述べたが、地震では一見外からの力が加えられているように見えないが、実は建物を土台ごと動かすという大きな力が下から加えられているからだと思った。地震の際、建物にはその場に残ろうとする働きと、動いていこうとする働きが起き、こうした動きが繰り返されて、倒壊にいたるのだと思う。屋根が重いと倒れやすいのは、建物自体の重さが倒れる力となって働くためと考えられる。

#### ・来年の課題

以下示す内容でさらに研究していきたい。

横揺れだけでなく、縦揺れのモデルが可能か考える。

地震に強い建物とはどういう建物か、モデルにかかる力について重量や、重心も考え、今年のモデルを改良して考える。

設定した震幅と実際の震幅との差が少なくなるような実験装置に改良し、震動数と震幅をあわせた震動の強さについて考える。

#### 参考資料

東京書籍 新編 新しい科学 2上

左巻健男 総合出版 新しい科学の教科書

ナショナルグラフィック 2006.4

気象庁ホームページ 地震関係

Wikipedia マグニチュード地震波関係