

揺れに対して最も動かないコップの検討～地震の際の二次災害の軽減～

Abstract

The purpose of our research is to find glass cups that are unlikely to move against the tremor. We would like to help victims by reducing damage from secondary disasters. First, we considered the following elements of the cup: height, weight, base, size of the mouth and its center of gravity. Second, we measure how the cup shifts by using a mini-earthquake generating machine. We fixed the amplitude to 2.5 centimeters and increased frequency from 0.5Hz to 6.0Hz in measures of 0.5Hz. Two trial experiments were conducted. First, with the cup upside down. Second, we did an experiment in which we changed only the center of gravity with a graduated cylinder. As a result, we found that the height of the center of gravity is related to displacement of cups the most, followed by the height of cups, base area, and weight. Also, if the cups were placed upside down, it fell over in most cases.

1 はじめに

1.1 動機

私たちは災害にスポットを当てて、自分たちには何ができるのかと考えた。私たちが住むこの日本では、地震が頻繁に起きている。私たちは日常の中でそれらに対して何かしらの対策をするべきだ。生活復帰が可能な規模の地震が起きた際、私たちはその後の手間や傷害を減らすことが可能だ。例えば、机や棚から落ちたコップが割れ、それによって私たちが怪我をすることがある。そこで、私たちは地震の際の二次災害、特にガラスのコップの落下による破損を防ぎたいと考えた。コップが落ちないようにするためには、コップがそこから動かない、ずれなければ良いということになるので、私たちはコップのずれにくさとそのコップの要素の相関を探り、具体的にどのコップの要素がどの程度ずれにくさに関係するのかを探る事にした。したがって私たちの問いは、「ずれにくいコップの要素とは？」である。

1.2 目的

コップの要素と変位の相関を調べ、一般化する。

1.3 問い

ずれにくいコップの要素とは？

1.4 言葉の定義

コップの要素とは、質量・重心の高さ・コップ自体の高さ・底面積といったコップを形成しているものをさす。じしん君miniとは、振幅と振動数の2つを変化させることで疑似的な地震を発生させる正弦波発生装置のことをさす。また、出力の特性上振動数が優先されるため、振動数に対する振幅の最大値が決まっている。

2 実験方法

(実験1)①コップの要素を計測。重心の高さは、大量生産されている市販のコップを用いるため、高さのみの計測となる。実際にひもでつるしたときにどの位置で釣り合うかで計測した。②参考文献より多くの地震の再現が可能という、じしん君miniを用いて、振幅2.5cmに固定し、振動数を2.0Hz～6.0Hzまで0.5Hzずつ、コップを置いた位置から5.0秒間でどれだけ移動したかを測る。振幅の値は、今回注目した物が落ちるなどの被害が起きる震度の振幅の平均から決定した。また、一般家庭で棚や机に使われている場面の多い木の板を土台として用いた。この実験で測定したコップの要素は、相関を調べるためであり、測定したコップの要素は対照実験のためではなく、コップの一つの特性としてとらえるものとして本研究で扱っている(以降グラフに記載する番号は下図のコップを示す。)(図1)。



図1 実験したコップ

(実験2)コップの呑み口を下にして置き、実験1と同様の実験方法で実験を行った(図2)。



図2 呑み口を下にしたコップ

3 結果

(実験1)グラフは、10種のグラスの各振動数での変位を示しており、そのうちグラフの形状が似たものでまとめた。またグラフは、横軸は振動数、縦軸はコップの変位を示している。1つ目のグラフ(図3)の特徴としては、2.0Hz～3.5Hzでは変位が見られず、主に4.0Hzからずれ出した。また、4.0Hz～5.5Hzでは単調増加をしているが、6.0Hzでは変位が小さくなっている。これは、振動が小刻みなので、コップが移動し終える前に逆向きのゆれが始まるというのを繰り返しているため、変位が小さくなっていると考えられる。2つ目のグラフ(図4)では、4.0～6.0Hzで単調増加をしており、5.5～6.0Hzでは大きく上昇しているとわかる。3つ目のグラフ(図5)では、前の2種類のグラフよりも変位とその変化が小さい。また、4.0Hzより前から変位が見られるものがある。コップの要素のうち正の相関が大きかったのは、重心の高さ:0.845、コップ自体の高さ:0.842、底面積:0.734だった。

実験で用いたコップの要素は図6のようになっている。

(実験2)グラフからどのコップも呑み口を下にして置いたときのほうが底を下にしたときよりも変位が大きくなった(図7)。

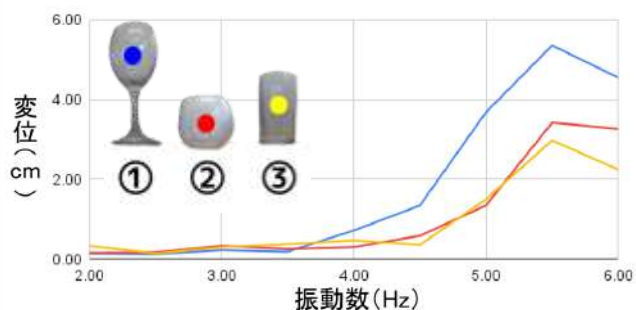


図3
一つ目のグラフ

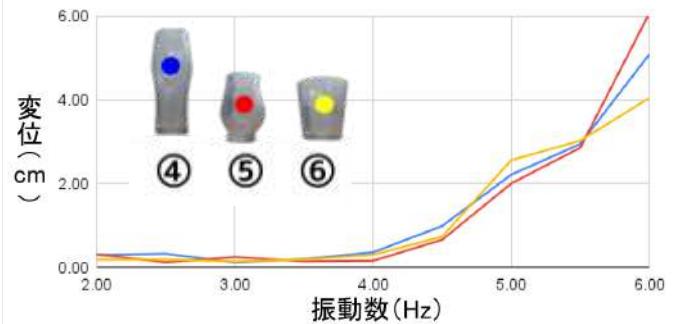


図4
二つ目のグラフ

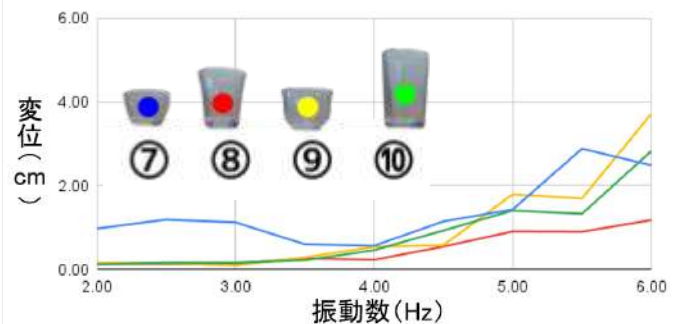


図5
3つ目のグラフ

	①	②	③	④	⑤
高さ(cm)	18.3	8.00	10.6	15.7	9.90
質量(g)	221	90.0	148	208	127
重心の高さ(cm)	9.00	2.50	3.70	5.6	3.20
底面積(cm ²)	12.3	5.06	7.56	7.02	4.00
重心の高さ÷高さ	0.492	0.312	0.349	0.357	0.323

	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
高さ(cm)	9.50	5.00	7.30	5.60	9.10
質量(g)	278	91.0	115	112	131
重心の高さ(cm)	3.80	1.00	2.30	2.70	2.70
底面積(cm ²)	10.7	3.06	5.06	6.25	6.25
重心の高さ÷高さ	0.400	0.200	0.315	0.482	0.297

図6

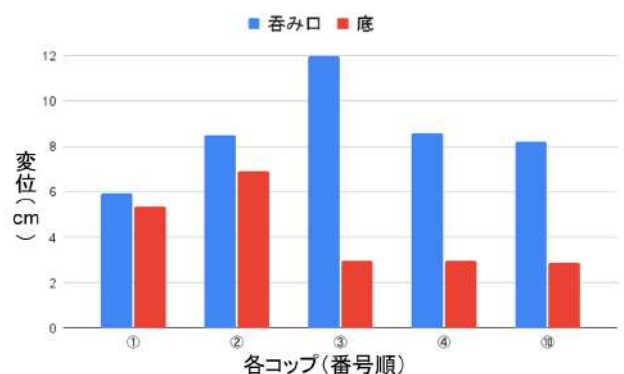


図7
呑み口を下にしたときのグラフ

4 考察

今回の実験では、外れ値がほとんどなく、それぞれの違いが明確な5.5Hzでの変位に注目して考察を行った。

(実験1)コップの鉛直方向の力はずりあっているため、摩擦力が動きに影響を与えている。摩擦力は質量と摩擦係数によって決まり、接地面積と関係がないため、変位と底面積には関係がないと考えた。このことから正の相関が大きい重心の高さ、コップ自体の高さ、底面積の3つの要素のうち、重心の高さとコップ自体の高さが変位に大きく関係していると考えられる。

(実験2)全てのコップが呑み口を下にしたときの方が底を下にしたときよりも変位が大きくなることがわかった。このことから変位には重心の高さが関係しており、重心の高さが低いほど変位が小さくなるのではないかと考えた。

実験1、実験2から重心の高さが変位に大きく関係するのではないかと考えたので重心の高さだけを変える対照実験(実験3)を行った。

5 実験方法(実験3)

メスシリンダー(25cm)におもり(67g)を入れて、メスシリンダーの底を0cmとし、重りの高さを5cmずつずらしてどれだけずれるかを計測する。

6 結果(実験3)

重心の高さが高くなるほど変位が小さくなり、重心の高さが低いほうが変位が大きくなった。しかし重心が高くなるほどメスシリンダーがガタガタと揺れ、不安定さが大きくなった(図8)。

メスシリンダーの重心の位置

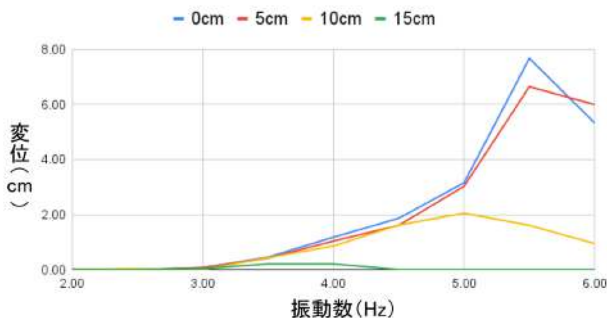


図8

メスシリンダーのグラフ

7 考察(実験3)

この実験から重心の高さが低いほど変位が大きくなり、重心の高さが高いほど変位が小さくなるが、ガタガタと揺れ、不安定さが大きくなるとわかった。メスシリンダーが傾いて止まった瞬間にメスシリンダーに働いている力を考えたとき、じしん君miniの作動部分の加速度を α 、水平面とメスシリンダーとなす角を θ とする。実験からじしん君miniの作動部分の加速度 α がある加速度 A を超えたときメスシリンダーが傾き始めると考え、(i) $\alpha = A$ になる前に $\theta = 0$ になるとき、(ii) $\alpha = A$ になると同時に $\theta = 0$ になるとき、の2つの場合にわけた。(i) $\alpha = A$ になる前に $\theta = 0$ になるとき(図9)、 $\theta = 0$ となった時間から $\alpha = A$ となった時間 Δt の間にコップが実験1と同じような運動をしてずれるため、傾きが小さい、つまり低重心のときのほうが変位が大きくなると考えた。(ii) $\alpha = A$ になると同時に $\theta = 0$ になるとき(図10)、 $\theta = 0$ になった瞬間に傾き始めるので絶えずガタガタと揺れ、変位がほとんど0になる。そのため傾きが大きい、つまり重心が高いほど変位が小さくなるのではないかと考えた。またメスシリンダーの高さが25cmであり、変位・不安定さがともに最も小さいと図8から推測した高さが7,8cmだった。このことから重心の高さがコップ自体の高さの3,4割のとき、変位と不安定さを加味すると、コップが最も安定すると考えられる。これらのことから重心の高さを調整することによって安定したコップが作れるのではないかと考えられる。

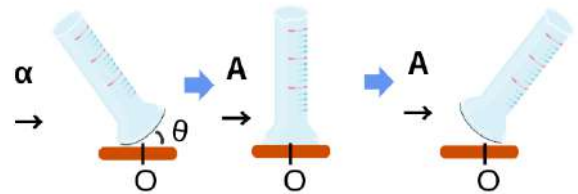


図9

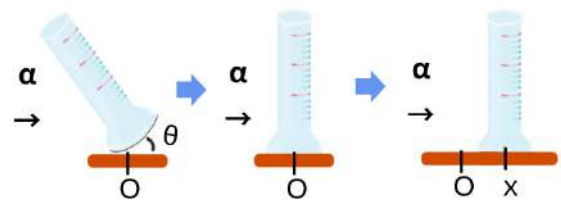


図10

8 実験方法(実験4)

先程の考察の裏付けに、この考察の裏付けに①のグラスの下部に合計96gのおもりを取り付け、変位の違いを調べるという検証を行った。重心の高さが10種のコップ

の中で最も高く、他のグラスと比べて変位が大きかったことから、①のグラスを用いた。

9 結果(実験4)

結果はこのようにすべての振動数において、変位はほとんど同じまたは小さくなることがわかった(図11)。

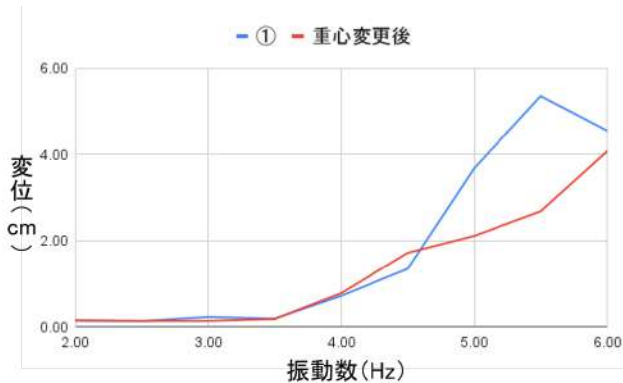


図11

重心の高さを変えた実験
(青が①のグラス、赤が①の重心を変えたもの)

10 結論

主に重心の高さ・コップ自体の高さがコップの変位に大きく関わるとわかった。重心の高さが、コップ自体の高さの3,4割のとき、コップが最も安定すると考え、このことから最も安定したコップをつくれると考えた。減災のために私たち個人ができることは呑み口を上にしてコップを置くことである。

11 今後の課題

今後の展望としては、今回の実験結果の中で、5.5Hzで最大値をとるコップや6.0Hzで急激に値が大きくなるコップの違いが起こる原因が不明なので、これからも試行錯誤していきたい。また、今回は正弦波での実験、つまりS波のみのため、ここにP波がある時にどうなるか、実際の地震の状況に近づけていきたい。

参考文献

1. 気象庁. (2024年). 強振観測データ.
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html>. 2023年5月25日
2. 気象庁. (2009年). 気象庁震度階級関連解説表.
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/kaisetsu.html>. 2023年5月25日

3. 新開晴太, 大川内一真, 田中龍尚, 中西俊太郎, 山下倖生. (2021年). 「杭と建物の振動の関係」. 『令和3年度課題研究論文集』