

自己つり合い型モデルの分析

藤原遙希　木元ひなた　佐藤優那　下山日菜　髙橋天音
髙橋とこ
指導教員　佐々木重宏

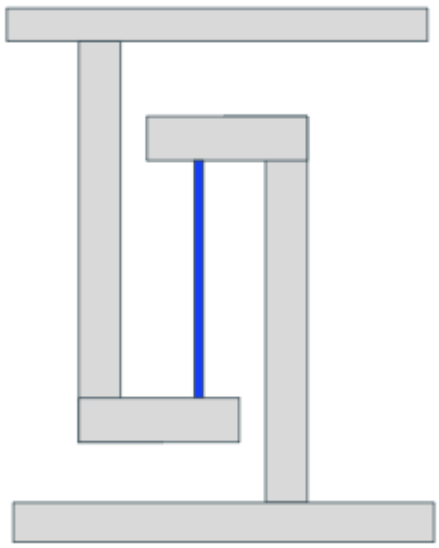
要旨
　インテリアなどにも用いられる視覚的に魅力のある構造があることを知り、その構造の仕組みについて調べてみたいと考えた。本研究では実際に大型の模型を制作し、基本的な力学法則が成り立つことを証明した。
　モデルを観察をしていくうちに、「自己つり合い型モデル」には、揺れる際に一定の周期があるように見えた。「模型に乗せる重り」、「模型の高さ（糸の長さ）」、「四隅の糸の長さと中央の糸の長さの比」の3つに着目し、それぞれ周期との関係を調べた。その結果、周期は中央の糸の長さとの関係性が高いという考察に至った。

キーワード：単振動　自己釣り合い型モデル　天板　中央の糸の長さ→ｌ、四隅の糸の長さ→Ｌ



←（図１）

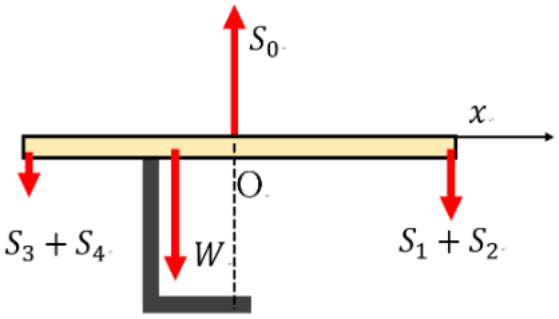
1．はじめに



○自己つり合い型構造とは
　圧縮材同士（木材等）が接触せずに、張力材（糸やワイヤー等）とのバランスによって成立する構造である。

　実際に作成したモデルは木製パーツと糸で構成されており、上下2層の台座をつなぐ四隅の糸（4本）とL字型の木製フレームをつなぐ中央の糸の計5本で支えている。単純な棒状の圧縮材ではなく、接続部分が含まれているため、一般的にテンセグリティ構造と呼ばれる構造ではない。そのため、この構造を自己つり合い型構造とし、作成したモデルを「自己つり合いモデル」と呼ぶことにする。また、ここからは、中央の糸の長さをｌ、四隅の糸の長さをＬ、L字の木製パーツの部分を腕とする。

←（図２）



力のつり合$W+(S_1+S_2+S_3+S_4)=S_0$　**（図３）**

　予備実験として、模型のLにかかる張力の和が、ｌの張力と一致することから、基本的力学法則が成り立つことを証明した。なお、これらの張力はテンションメーターで計測した。
力のつり合いは図３のようになる。

真ん中*２(N)	1 (cN)	2 (cN)	天板(cN)	おもり(cN)	和⇩(N)
T0	T1	T2	W	w	T1+T2+W+w
42.6	647	504	3136	0	42.87
62.3	962	870	3136	1225	61.93
85.4	1353	1266	3136	2450	82.05
85.4	1450	1420	3136	2450	84.56
108	1905	1886	3136	3675	106.02

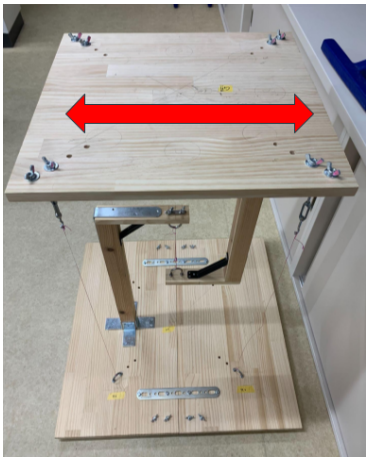
↑（図４）

2．目的

　自己つり合い型モデルには腕がたわむことで衝撃に耐えられる特性がある。この特性を地震の免震装置やレストランにいる配膳ロボットなど揺れを抑えたい部分に応用することを目指す。また、モデルに見られる周期の規則性を分析してモデルの揺れについての理解を深めることも目的とする。

３．方法

モデルに見られる揺れには一定の周期があることに気づいた（揺れは図の赤い矢印で示した一方向のみとみなす）。そこで周期と模型の関係性について、模型の高さ、天板の総質量を変えた実験１、Lを固定しｌのみを変えた実験２の２つの実験を通して調べることにした。



（図5）→

周期を測定する方法について

周期はスマートフォンで揺らしたモデルを正面から撮影し、図４のように天板の側面につけた線が目印の垂直に垂らした糸を通り過ぎる秒数を計って求めた。



（図６）→

４．実験
　実験１：腕の長さを固定
　実験２：Ｌを固定、ｌのみ変化

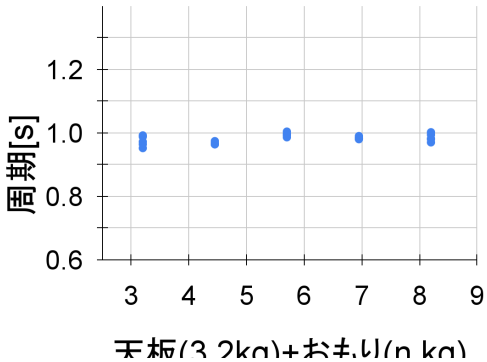
実験１　腕を固定

方法：「模型の天板の総質量」と周期の関係についての実験では、天板(3.2kg)に、おもり(1.25kg)　　を０～４個乗せて５段階で総質量を変え、それぞれの周期を測定した。

「模型の高さ」と周期の関係についての実験では、模型の高さを１０ｃｍずつ４段階に調節し、それぞれの周期を測定した。

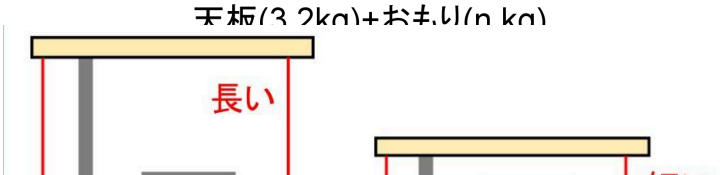
「天板の総質量」と「模型の高さ」においては、揺らす幅を三段階に分けて行った。

結果



　おもりの個数によって天板の総質量を変えたが、周期に目立った変化は見られなかった。（図７）このことから、天板の質量と周期には関係がないと言える。

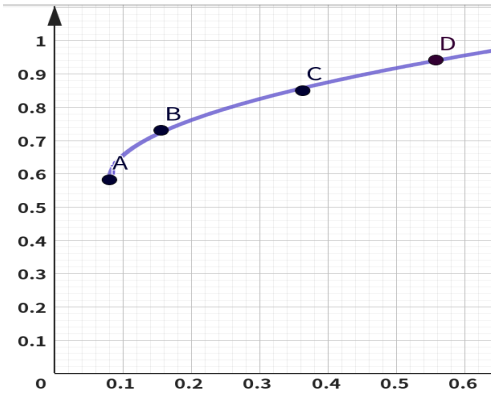
←（図７）



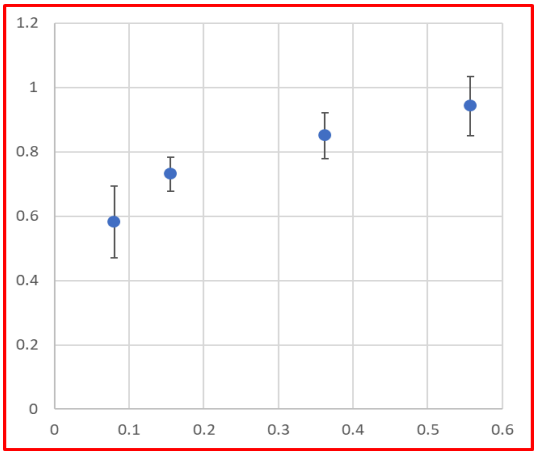
作成した模型はLと l の長さが連動して
変わるため（図８）、それぞれの糸を独立して変えるのは困難である（装置に対して不可逆な加工が必要）。よって、測定した記録を利用して、Lと l の長さの比を調べることにした。

←(図８)

下の２つの図の縦軸は「周期」、横軸は「（中央の糸の長さ l ）÷（四隅の糸の長さL）」を示している。糸の長さを変えるとそれに伴って周期も変化している。（図９）よって、糸の長さは周期に影響を与えている。
また、「 l ÷L」の値が小さくなるほど、周期が小さくなることがわかった。（図10）
模型の高さが高くなるほど周期が小さくなると言い換えることもできる。

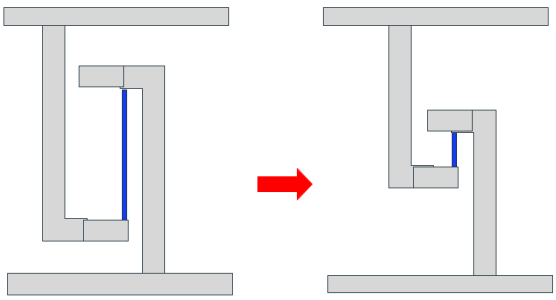


←(図９)



(図10) →

分析 $y = 0.582 + \sqrt{0.269(x - 0.08)}$



Lの長さよりも、 l の長さが周期に関係しているのではないかと考えた。

←(図11)

実験２　Ｌを固定、 l のみを変える。（図11）
連動して糸の長さの比（ l / L）も変わる。

目的：周期が l による単振り子であるかどうかを検証する。

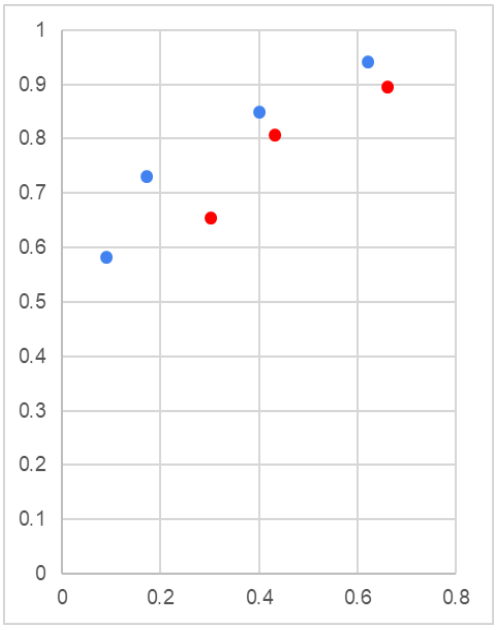
方法：Ｌを変えずに l のみを変えるために上の天板についた腕と下の天板についた腕をそれぞれ４cmずつ切り取り、合わせて l の長さを８cmずつ三段階で周期を測定した。
測定の方法は実験１と同様である。

結果

●Lと *l* が連動する（実験１のデータ）

●Lを固定して *l* のみを変化させたもの

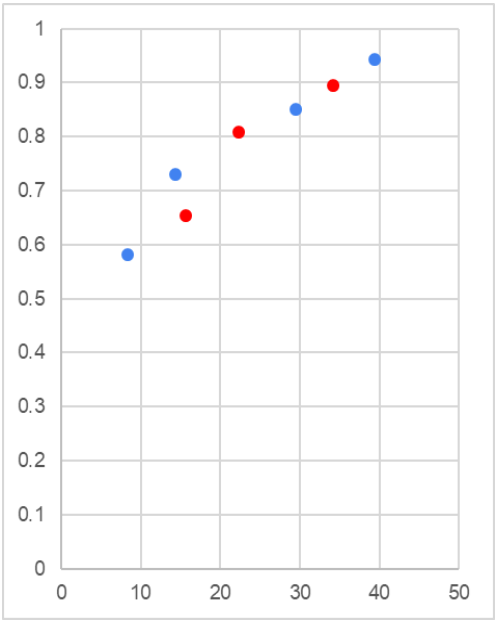
周期[s]



長さの比（ *l* /L）

（図12）

周期［s



l の長さ［cm］

（図13）

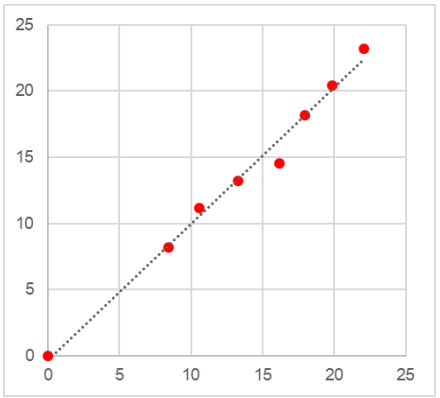
横軸を糸の長さの比（ｌ/L）にした図12では実験１と実験２のデータはそれぞれ別の曲線を描いていることが分かるが、横軸をｌの長さにした図13ではこれらのデータが同じ一つの曲線を通っていると分かる。
よって、比よりもｌの影響を受けていると言える。

考察
このモデルは単振り子のモデルに相当すると考えた。

５．今後の展望

モデルを単振り子と考えて、「T＝２π√ｌ/ｇ」の公式と計測した周期から、予測される糸の長さを計算した。すると、この模型のｌの50%に近い値であることが分かった。（図14）

実測値の50%［cm］



周期から予想される糸の長さ［cm］

（図14）

単振り子と考えたとき、周期から予想される糸の長さがlの実測値ではなく、実測値の50%に近いことの根拠を考察していきたい。

６．謝辞

秋田県立大学　建築環境システム学科　小幡 昭彦先生の多大なるご尽力に心から感謝します。

７．引用文献

反重力？テンセグリティ（Tensegrity）
http://physics.cocolog-nifty.com/weblog/2023/03/post-f9aa16.html
自立型平板状複層複合ケーブルグリッドの静的挙動に関する実験的研究
https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijs/62/502/62_KJ00004100800/_pdf/-char/ja