

2022年度自由研究 橋と構造計算

同志社中学校3年E組15番 見次 秀斗

目次

1. はじめに
2. 自由研究の内容
3. 力とそのつり合い・構造力学についての基本事項
 - (1) 力
 - (2) 質点と剛体
 - (3) 力のモーメント
 - (4) 物体の力のつり合い
 - (5) 構造力学
 - (6) 荷重
 - (7) 基本的な橋の構造
4. 実験準備
5. 単純梁の太さによる強度の違いについての実験
 - (1) 実験方法
 - (2) 実験前の予想
 - (3) 実験結果

- (4) 考察
- 6. 単純梁・ラーメン橋・トラス橋という3つの種類の橋の強度の違いについての実験
 - (1) 実験方法
 - (2) 実験前の予想
 - (3) 実験結果
 - (4) 考察
- 7. トラス橋の形状による強度の違いについての実験
 - (1) 実験方法
 - (2) 実験前の予想
 - (3) 実験結果
 - (4) 考察
- 8. 現地まで行って撮ってきたいろいろな橋
- 9. 感想・反省・今後に向けて
 - (1) 感想
 - (2) 反省
 - (3) 今後に向けて
- 10. 参考文献・webページ
- 11. 構造力学の勉強ノート

1. はじめに

この自由研究をしようと思ったきっかけは、一年生の時の技術の授業で、「ブリッジコンテスト」という、作った木材の橋が何gまで耐えられるかを競い合ったということだ。その時に力の伝わり方や原理などは分かっていなかったが、色々と考えたり工夫したりして橋を作り、大変興味深く勉強になった。今回、その原理や構造をもっと詳しく知りたくなり、構造力学について調べたり、実験したりすることにした。

2. 自由研究の内容

まず、構造力学に必要な力とそのつり合いについて調べ、その後、構造力学について調べた。それを3章で述べる。

主な構造の橋を三種類用意し、どのくらいの重さまで耐えられるか実験を行った。実験準備についてを4章、単純梁についての実験結果とその考察を5章、単純梁、ラーメン橋、トラス橋についての実験結果とその考察を6章に述べる。

今回の自由研究では、構造力学の勉強や実験は僕の中で途中段階なので、今後も続けていく予定である。7章では、感想・反省と、今後の勉強や実験の予定を述べる。

また、構造力学を学習する際に、基本的な計算練習を行ったが(これもまだ途中段階)、そのノート写真を最後の9章に載せた。

3. 力とそのつり合い・構造力学についての基本事項

(1)力

力とは、物体の変形や移動、加速の原因になるものである。身近な力には、重力がある。地球上では、全ての物体には重力がかかっている。

力を図示する時は、矢印で表す。力の作用点(はたらく点)から力の方向を向いた矢印をかき、その矢印の長さは力の大きさに比例する。

力の大きさは、通常N(ニュートン)という単位で表される。地球上の質量1kgの物体が受ける重力の大きさは9.8Nである。

力は、大きさと向きを持つベクトル(Vector)である。ベクトルは、平行四辺形の方法で合成でき、合わせた力を合力という。また、それと反対に分解もできる。

(2) 質点と剛体

物体を質量を持つ一つの点とみなし、この1点にいろいろな力がはたらくと考えるとき、この点を質点という。質量と大きさをもち、力による変形を無視できるような物体を剛体という。

今回の自由研究では、木材を使用していたわんだり変形したりするが、力のつり合いについては、剛体の考え方を使う。

以降、剛体のことを物体と記載する。

(3) 力のモーメント

物体のある一点Oのまわりに物体を回転させる能力を力のモーメント(Moment)という。これは、同じ力で同じものを動かす時の力の効率を表す。

力のモーメントは、物体にはたらくある力の大きさと、点Oからその力の作用線上に下ろした垂線の長さとの積で求められる。

力のモーメントの単位は $N \cdot m$ で表す。

(4) 物体の力のつり合い

次の二つの条件が満たされる時、その物体はつり合っているという。

- 1 物体にはたらく力の合力が0(→移動し始めない)
- 2 力のモーメントの和が0(→回転し始めない)

(5) 構造力学

構造力学とは、建築物のような、構造物が倒れたり、傾いたりしないように、構造的な安全性を確かめるための力学だ。私たちの身近な建物(家、駅、ビル、橋など)は全て構造力学に基づいて作られている。

(6) 荷重

構造物に作用する力を荷重という。

1 荷重の種類1

荷重には鉛直方向に作用する鉛直荷重と、水平方向に作用する水平荷重とがある。鉛直荷重は、構造物に常時作用する荷重で、構造物そのものの重量、人や家具などの重量を表す。水平荷重は、主に地震や大風などの外部要因によって作用する荷重を表す。

今回の自由研究では、水平荷重については考えず、鉛直荷重についてのみ考えて実験を行った。

2 荷重の種類2

部材のある一点に作用する力を集中荷重という。部材のどの位置においても同じ大きさの荷重が作用している場合、この荷重のことを等分布荷重という。その他、等変分布荷重、モーメント荷重がある。

今回の自由研究では、橋中央の集中荷重についてのみ考えて実験を行った。

(7) 基本的な橋の構造

1 単純梁

単純梁とは、片側を鉛直と水平方向に固定され(ピン支点)、もう一方は鉛直のみ固定されている(ローラー支点)梁のことである。場合によっては、両方ピン支点のものも指すことがある。構造力学では通常、片側ピン支点、片側ローラー支点のものを指す。

2 ラーメン橋

ラーメン橋は、桁(橋の柱の上に渡してその上にのせる梁を受けさせる材木のこと)の途中で斜め柱を設け、桁と斜め柱を剛接合することにより強度を高めた構造である。今回は、ラーメン橋のうちの一つである、不完全トラスという構造を使った。

3 トラス橋

トラス橋は、部材を三角形になるよう接合した骨組みで作る橋である。

4 その他

- ・プレートガーター橋
- ・アーチ橋
- ・斜張橋
- ・吊り橋

4. 実験準備

1 実験装置を作成(写真1)

橋を乗せて実験をする土台となる装置を作成した。

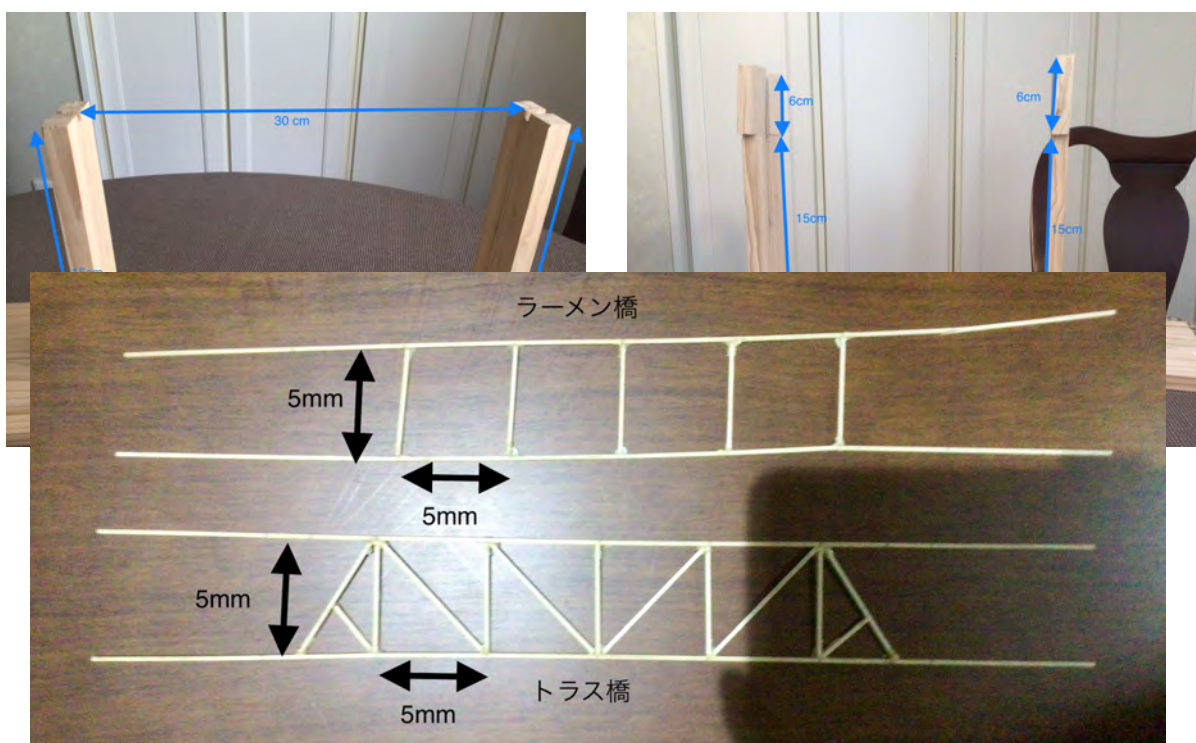
- ・材料:木材(ヒノキ)
- ・橋脚の間の距離(橋の長さ):30cm
- ・単純梁以外の橋(ラーメン橋、トラス橋)の実験の時には、橋が横に倒れてしまうので、それを防ぐために写真2のように高さ6cmの支えを付け足して実験した。なお、これは単純梁の時につけていても結果は変わらないので実験条件が変わったとはいえない。

写真1 単純梁のとき

写真2 ラーメン橋、トラス橋のとき

2 橋を作成

単純梁、ラーメン橋、トラス橋をそれぞれ準備した。単純梁は角材その物を橋とした。ラーム



ン橋、トラス橋は自分でサイズを考えて設計し、作成した(写真3)。

- ・材料:角材(ヒノキ)ただし、断面は正方形
以降、1辺の長さを「角材の太さ」と記載する。
- ・使用した角材の太さ:単純梁のとき 1、2、3、4、5mm
ラーメン橋、トラス橋のとき 全て2mm

写真3 ラーメン橋、トラス橋

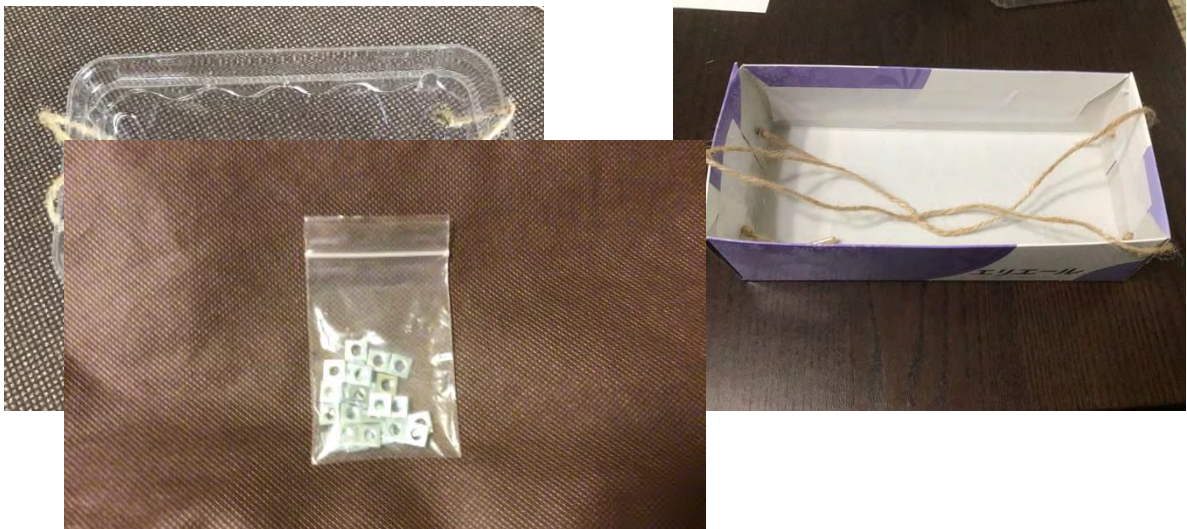
3 重り容器を作成

重りを入れる容器を作成した(写真4、5)。

- ・材料:麻紐、プラスチックの容器、ティッシュの空き箱

写真4 重り容器

写真5 重り容器



4 重りの準備

重りとして、金属のナットやボルトなど、調整がしやすいものを使用した(写真6)。重りは1000g(1kg)まで用意した。

写真6 重り(一部)

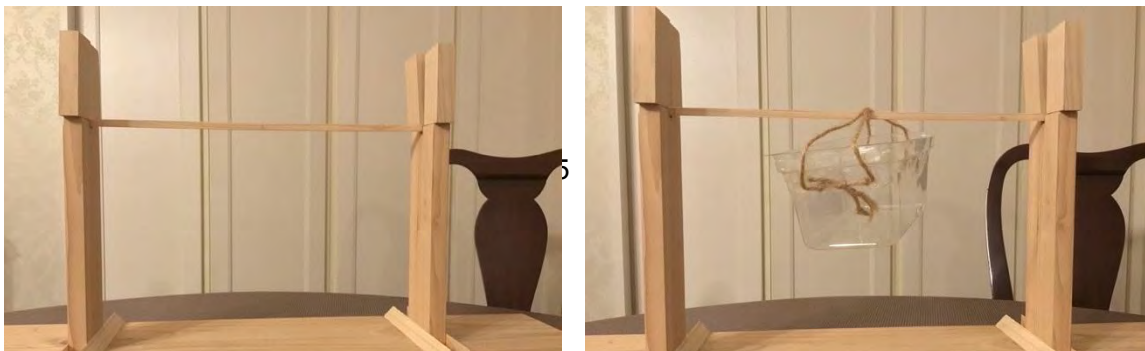
5. 単純梁の太さによる強度の違いについての実験

(1)実験方法

- 1 実験の対象となる太さの橋(角材)を実験装置にセットする(写真7)。太さの種類は1、2、3、4、5mmで実験を行う。
- 2 重り容器を橋の中央に吊す(写真8)。
- 3 重り容器に重りを入れる(25gから25g刻みで増やしていく)。
- 4 橋が何cm曲がって元の位置から下がったかを測る(写真9)。
- 5 橋が折れるまで行う。重りが何gの時に橋が折れたかを記録する。重りは1kgになるまで行った。

写真7 単純梁をかけた実験装置の様子

写真8 重り容器を単純梁にかけた様子



(写真7、8はどちらも5mmの様子)
 写真9 橋が何cm下がったか測る場所
 (2mmの様子)

(2)実験前の予想

橋の太さが大きくなると、橋は強くなる。
 橋の太さが2倍になると橋が折れる重さは4倍(2の二乗)になる。なぜなら、橋の太さが2倍になると、橋の体積は4倍(橋の長さは変わらない)になるからだと考えたからだ。

(3)実験結果

実験結果を表1と図1に示す。

表1 単純梁の実験において
 元の位置から下がった距離[mm]

重り[g]	角材の太さ				
	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
25	23	10	2	0	0
50	折れた	12	5	0	0
75	-	14	9	0	0
100	-	21	11	0	0
125	-	25	11	0	0
150	-	折れた	14	0	0
175	-	-	14	0	0
200	-	-	20	0	0
225	-	-	20	0	0
250	-	-	25	0	0
275	-	-	25	1	0
300	-	-	25	1	1
325	-	-	25	1	1
350	-	-	27	1	1
375	-	-	27	2	1
400	-	-	30	2	2
425	-	-	30	2	3
450	-	-	34	3	3
475	-	-	37	4	4
500	-	-	37	4	4
525	-	-	39	6	5
550	-	-	折れた	8	5
575	-	-	-	8	5
600	-	-	-	9	5

625	-	-	-	9	6
650	-	-	-	9	6
675	-	-	-	9	8
700	-	-	-	10	9
725	-	-	-	10	9
750	-	-	-	10	9
775	-	-	-	10	9
800	-	-	-	10	9
825	-	-	-	10	9
850	-	-	-	10	9
875	-	-	-	11	9
900	-	-	-	11	9
925	-	-	-	11	9
950	-	-	-	11	10
975	-	-	-	12	10
1000	-	-	-	折れた	10

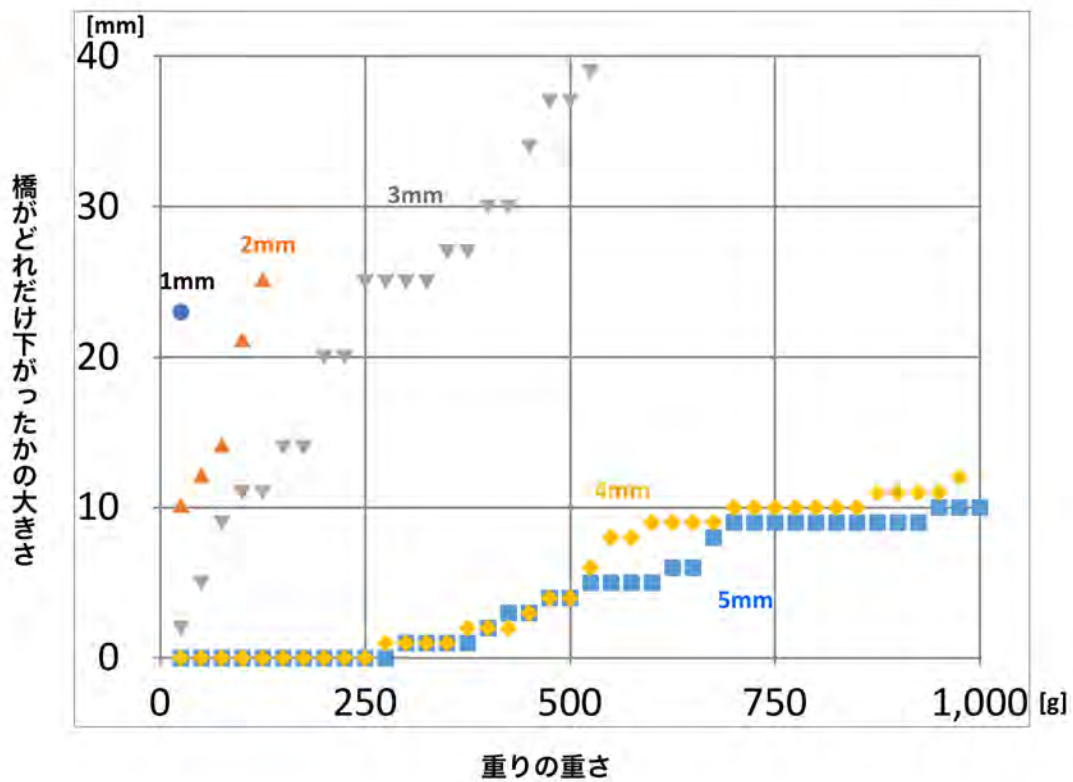


図1 単純梁についての実験結果のグラフ

(4) 考察

橋の太さが大きくなればなるほど、橋が折れる時の重りの重さが大きくなった。やはり、橋を太くすればするほど、橋は頑丈になることが分かった。また、元の橋の位置からどれだけ下がるか測った結果から、橋の太さが小さければ小さいほど、たわみが大きいことがわかった。

次に、橋の太さと橋が折れたときの重りの重さとの関係を考えて。ただし、カゴの重さが15gなので、重りの重さに15gを足して考えた。

・橋の太さが1mmの時、橋が折れた重りの重さは65g、2mmの時、165gとなっている。これより、太さが2倍になった時、橋が折れる重りの重さは2.54倍となっている。2の2乗の4倍より大変小さい。

・橋の太さが1mmの時、橋が折れた重りの重さは65g、3mmの時、565gとなっている。これより、太さが3倍になった時、橋が折れる重りの重さは8.46倍となっている。3の2乗の9倍より小さいが割と近い値となっている。

・橋の太さが1mmの時、橋が折れた重りの重さは65g、4mmの時、1015gとなっている。これより、太さが4倍になった時、橋が折れる重りの重さは15.384倍となっている。4の2乗の16倍より小さいが割と近い値になっている。

これより、もっと細かく計測するともう少し近づくかもしれないが、橋を太くすると強くなる他の要素もあると考えられる。ヒノキの強さを入れた計算方法や、たわみの計算方法などがあるかどうかを今後調べていきたい。

6. 単純梁・ラーメン橋・トラス橋という3つの種類の橋の強度についての実験

(1) 実験方法

①実験の対象となる橋を実験装置にセットする(橋は全て同じ2mmの角材で作っている)。単純梁については、5の実験結果をそのまま使用した。ラーメン橋とトラス橋を装置にセットした様子を写真10、11で表す。

②重り容器を橋の中央に吊す(写真12、13)。

③重り容器に重りを入れる(25gから25g刻みで増やしていく)。

④橋が何cm曲がって元の位置から下がったかを測る(測り方は単純梁の時と同じ)。

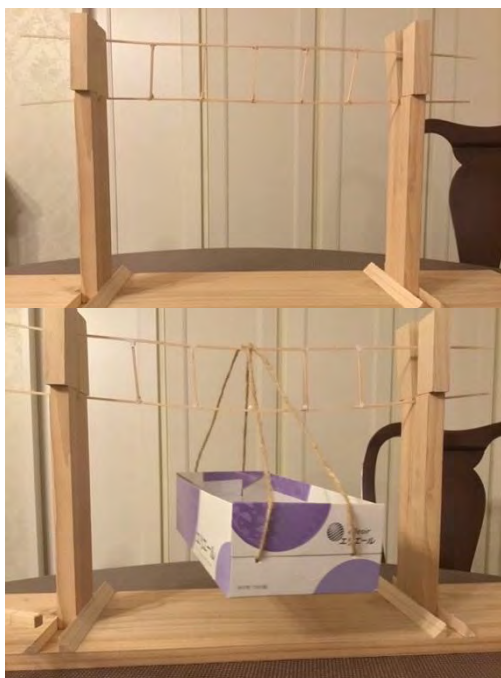
⑤橋が折れるまで行い、重りが何gの時に橋が折れたか記録する。または、重りが1kgになるか装置の土台の底に重り容器がついてしまい計測不能になるまで実験を行う。

写真10 ラーメン橋をかけた実験装置の様子 写真11 トラス橋をかけた実験装置の様子

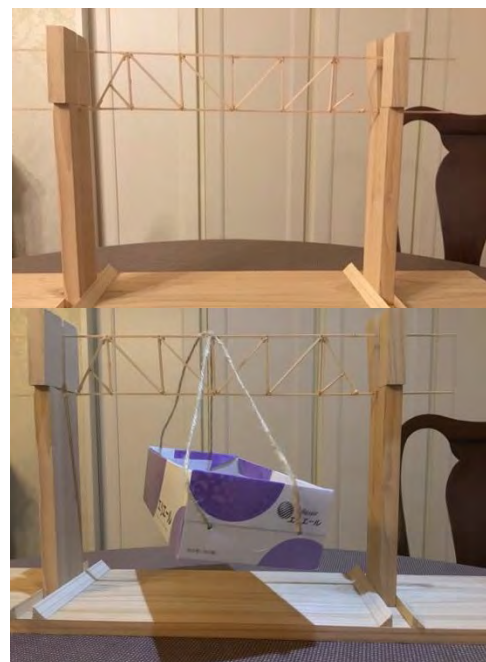
写真12 重り容器をラーメン橋にかけた様子 写真13 重り容器をトラス橋にかけた様子

(2) 実験前の予想

同じ2mmの太さの角材を使用した橋では、単純梁よりラーメン橋の方が強い。また、ラーメン橋



8



よりトラス橋の方が強い。

(3)実験結果

実験結果を表2と図2に示す。

表2 単純梁・ラーメン橋・トラス橋の実験において
元の位置から下がった距離[mm]

重り[g]	橋の種類		
	単純梁	ラーメン橋	トラス橋
25	10	10	0
50	12	計測不能になった	1
75	14	-	1
100	21	-	1
125	25	-	1
150	折れた	-	2
175	-	-	5
200	-	-	7
225	-	-	12
250	-	-	計測不能になった

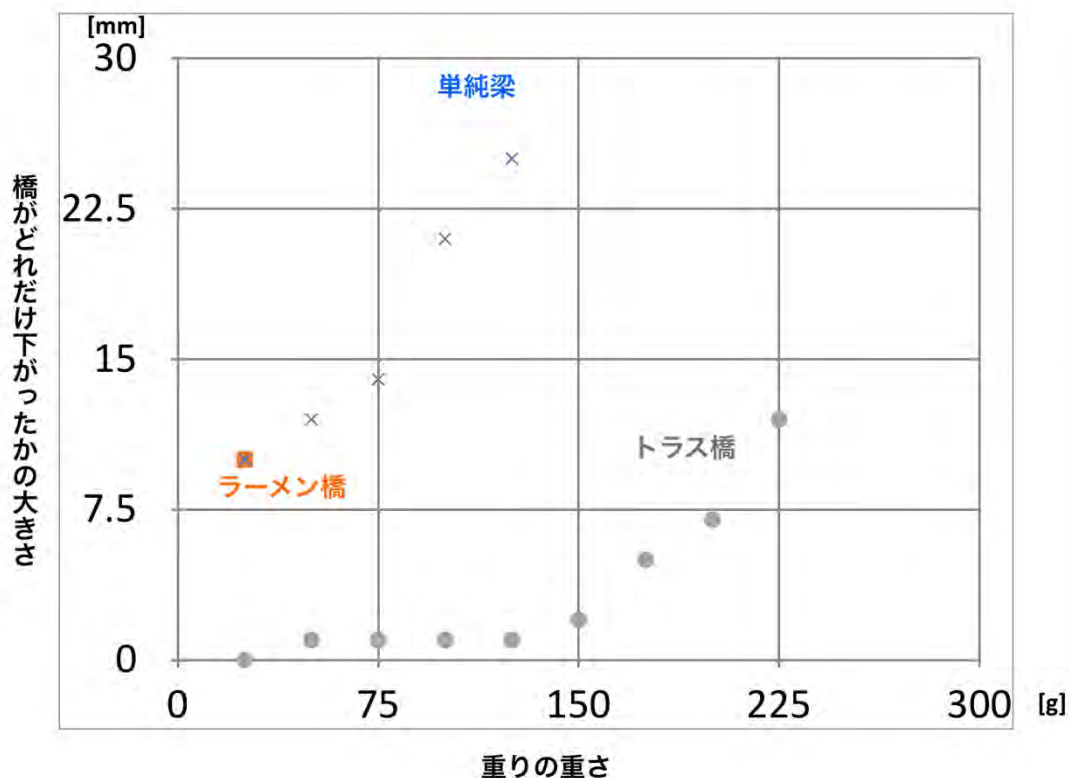


図2 単純梁・ラーメン橋・トラス橋についての実験結果のグラフ

(4)考察

予想通り、トラス橋が最も強かった。

ラーメン橋については、うまく計測できておらず、どのくらい強いのか判断できなかった。しかし、作成した感触から、単純梁よりは強いと思われる。また今後の実験の課題としたい。

7. トラス橋の形状による強度の違いについての実験

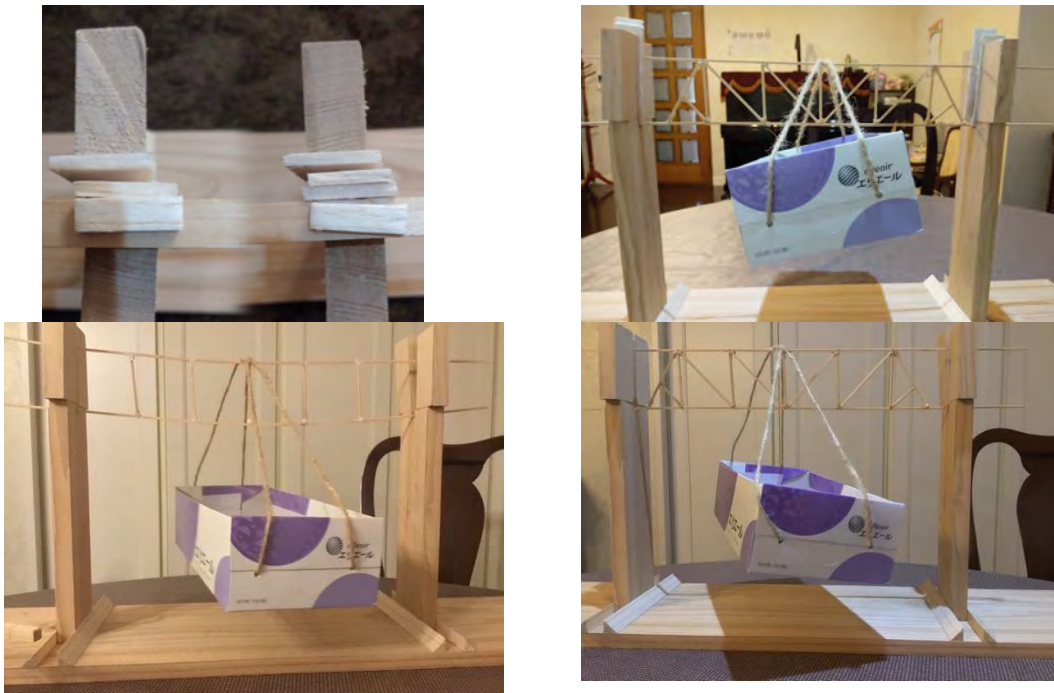
(1) 実験方法

- ①実験の対象となる橋を実験装置にセットする(橋は全て同じ2mmの角材で作っている)。実験装置は箸が横に曲がるのを防ぐため6章の実験の時と変わっている(写真14)。ラーメン橋とトラス橋を装置にセットした様子を写真15で表す。
- ②重り容器を橋の中央に吊す(写真16、17)。
- ③重り容器に重りを入れる(25gから25g刻みで増やしていく)。
- ④橋が何cm曲がって元の位置から下がったかを測る(測り方は単純梁の時と同じ)。
- ⑤橋が折れるまで行い、重りが何gの時に橋が折れたか記録する。または、重りが1kgになるか装置の土台の底に重り容器がついてしまい計測不能になるまで実験を行う。

写真14 新しくした実験装置 写真15 トラス橋をかけた実験装置の様子
写真16 重り容器をラーメン橋にかけた様子 写真17 重り容器をトラス橋にかけた様子

(2) 実験前の予想

同じ2mmの太さの角材を使用した橋では、単純梁よりラーメン橋の方が強い。また、ラーメン橋



よりトラス橋の方が強い。

(3)実験結果

実験結果を表3と図3に示す。

表3 単純梁・ラーメン橋・トラス橋の実験において
元の位置から下がった距離[mm]

重り[g]	橋の種類		
	単純梁	ラーメン橋	トラス橋
25	10	10	0
50	12	計測不能になった	1
75	14	-	1
100	21	-	1
125	25	-	1
150	折れた	-	2
175	-	-	5
200	-	-	7
225	-	-	12
250	-	-	計測不能になった

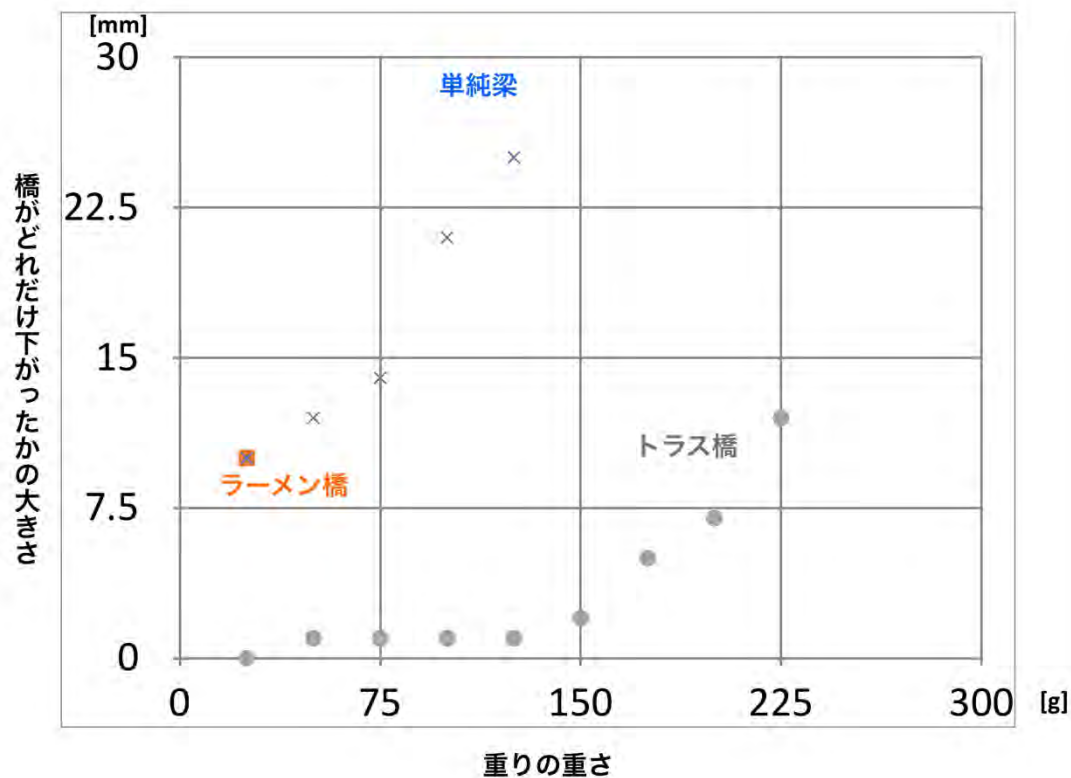


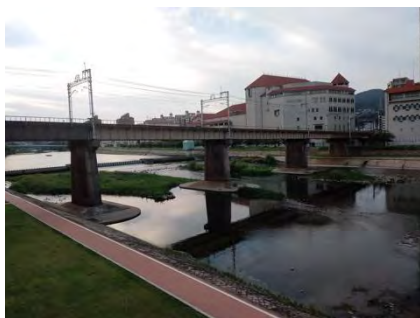
図3 単純梁・ラーメン橋・トラス橋についての実験結果のグラフ

(4) 考察

予想通り、トラス橋が最も強かった。

ラーメン橋については、うまく計測できておらず、どのくらい強いのか判断できなかった。しかし、作成した感触から、単純梁よりは強いと思われる。また今後の実験の課題としたい。

8. 現地まで行って撮ってきたいろいな橋 阪急今津線宝塚～宝塚南口にある鉄道橋



阪神本線武庫川駅



能勢電鉄鶯の森～鼓滝にある鉄橋



大阪湾 りんくう大橋