

中学生の部【教育委員会賞】

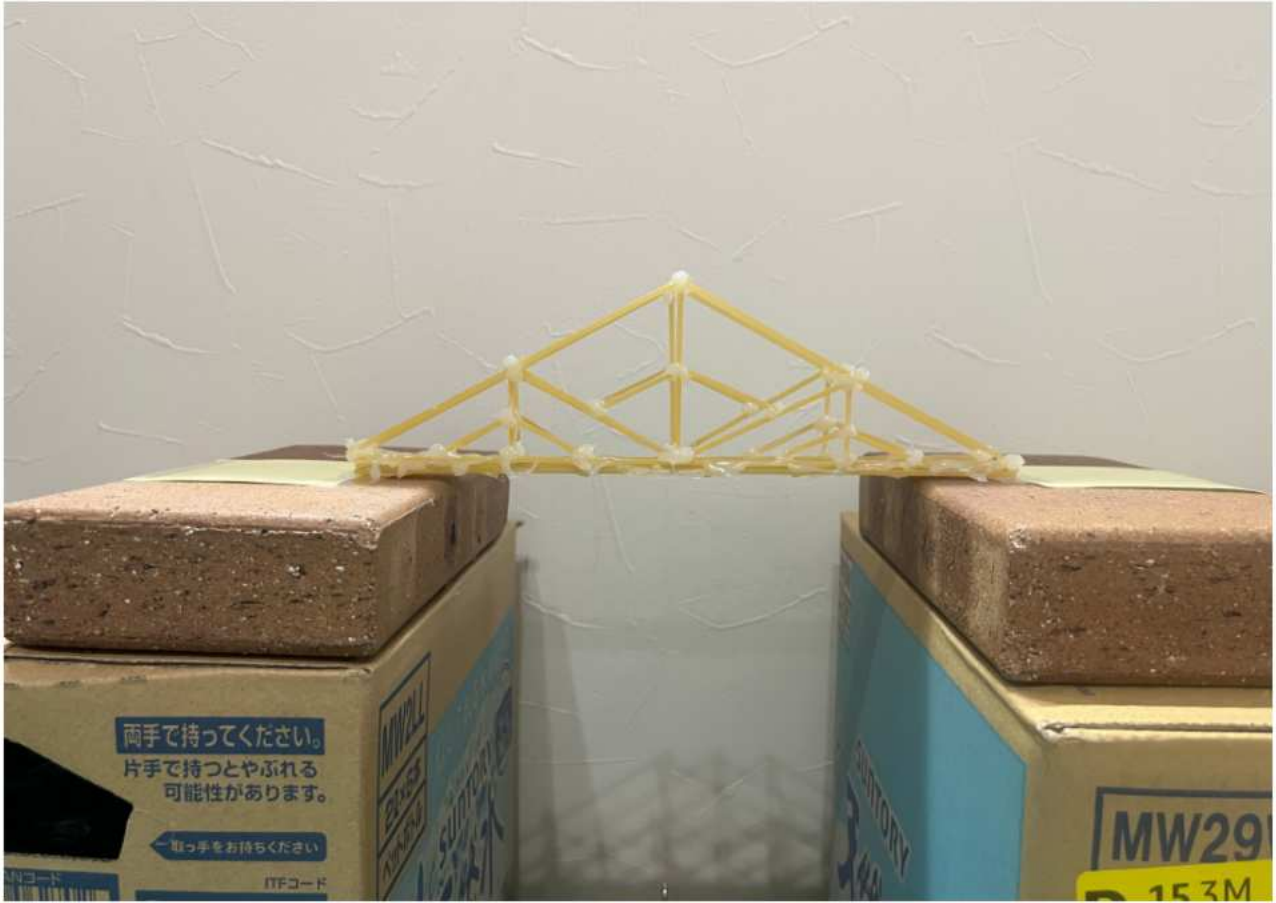
橋の種類と強度等の違い 3

学校名：和泉市立南松尾はつが野学園

学 年：9年

名 前：北浦 凜

橋の種類と強度等の違い 3



南松尾はつが野学園

9年1組7番 北浦凜

目次

1 要旨、概要	p.2
2 研究目的	p.3
3 研究方法	p.4～9
4 結果	p.10～13
5 考察	p.14～15
6 結論(課題)	p.16
7 参考文献	p.17

1.要旨、概要

橋の種類による、強度や変位（たわんだ長さ）の違いをこれまでの研究と継続し調べた。今年の研究では、これまでの研究を踏まえ、強度が大きく変位が小さいと考えられるパスタを自分で設計して橋の模型を3橋つくった。

オリジナル橋1…小さな斜張橋と大きな斜張橋を組み合わせた形で、トラス橋の要素も取り入れた構造

オリジナル橋2…斜張橋の柱をなくし、1点で支える構造

オリジナル橋3…桁の中央から部材を分散させる構造

次に、それぞれの橋の真ん中に容器を吊るし、おもり（乾電池）を順番に入れて、荷重をかけた。そして、橋が壊れた時の重さや様子、変位を記録し、橋ごとに比較した。

（実験は2回ずつ行う）

その結果、オリジナル橋1、オリジナル2の橋がほぼ同じくらいの強度と変位となった。今回、パスタブリッジの重さも計測して、その重さ=材料費や手間と仮定した場合、より優れている橋はオリジナル橋2であった。

これまでの結果と比較して、斜張橋までの強度は再現できなかったが、トラス橋などその他の橋以上の強度となった。

強度 オリジナル3<オリジナル1<オリジナル2

変位 オリジナル1<オリジナル2=オリジナル3

パスタは引っ張りには強いが、曲げには弱い。圧縮も引っ張りほど強くはないが、曲げよりは強い。よって、荷重がかかって働いた曲げの力を圧縮や引っ張りの力に分散することができれば、橋の強度は高くなると考えられる。

荷重をかけたときに、桁橋のように部材のない橋は、一点に力が集中し、曲げようとする力が働くため、変位も大きく、その部分がすぐに折れてしまった。だから、集中する力を分散させるために部材をつけた方がより強い橋ができる。

今回やこれまでの実験結果を踏まえて、集中する荷重に働く曲げの力をできるだけ引っ張りに分散し、圧縮が働く部分は、部材の短い構造にする工夫を行って、オリジナル橋を設計して実験した。斜張橋は超えられなかったが、満足な結果となった。

2.研究目的

私は物理に興味がある。

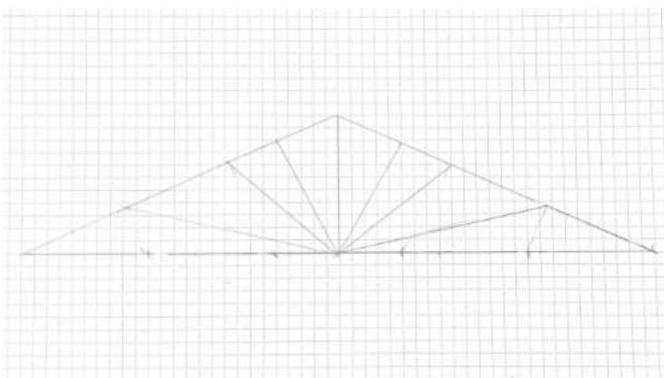
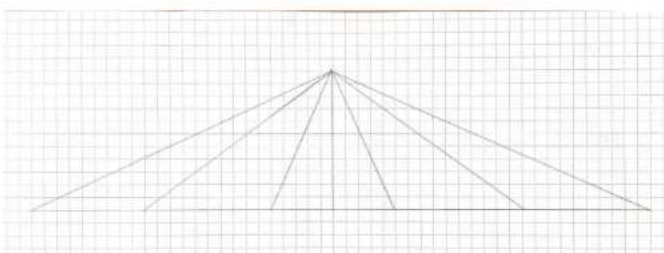
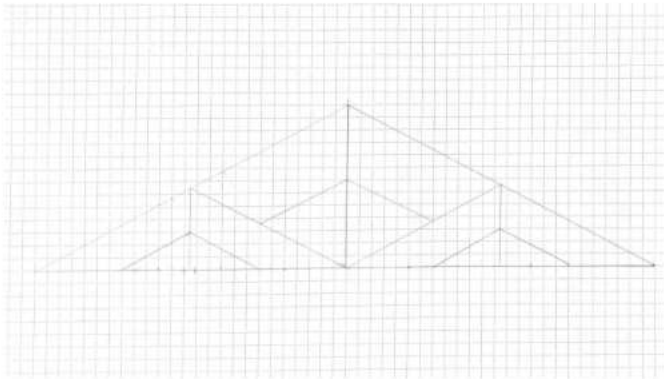
そのため、外出時に様々な橋を見て、その構造に興味を持ち、これまで研究を行ってきた。

7年の自由研究では、様々な種類のパスタブリッジを製作し、荷重をかけて、強度や変位等の違いを研究した。

8年では、様々なアート橋やトラス橋の強度を研究した。

今回は、まとめとして過去の研究で得られた結果も踏まえて、強度が強くなるオリジナルの構造を考え、荷重実験を行い、これまで最も強い結果が得られた斜張橋を超える構造のパスタブリッジが作られるのか実験を行う。

設計した図面とパスタで作成したオリジナル橋



3.研究方法

3-1 研究材料

パスタ(太さ2.2mm)※1

方眼紙

鉛筆

定規

コンパス

電子てんびん※2

工作マット

はさみ

マスキングテープ

ピンセット

ダンボール(台、ペットボトル入り)

グルーガン

クッキングシート

セロハンテープ®

乾電池(おもり)

風糸

おもりを入れる容器

割り箸

油性ペン

カッターナイフ

レンガ(付箋付き)

S字フック

ペンチ

※1 基本は過去2年と同様の材料を準備(同じ太さのパスタ)
(昨年のパスタブリッジの結果とも比較するため)

※2 製作にかかったパスタブリッジの正確な重さを計測

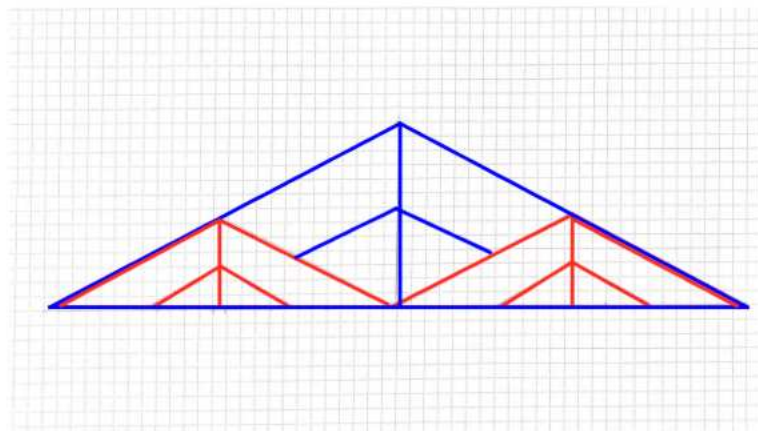


3-2 研究する橋の種類

<実験>

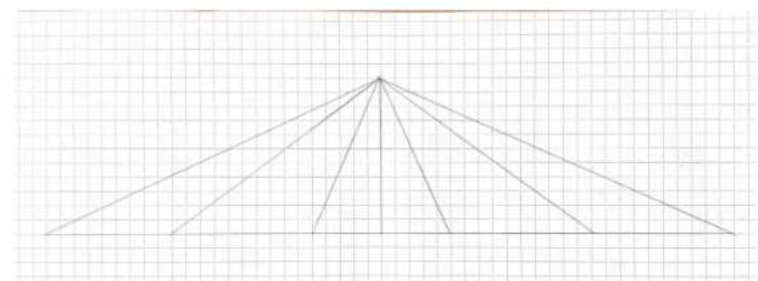
以下の通り強度が強くなるように異なる設計図を考え、オリジナル橋3橋で実験を行う。

■ オリジナル橋①



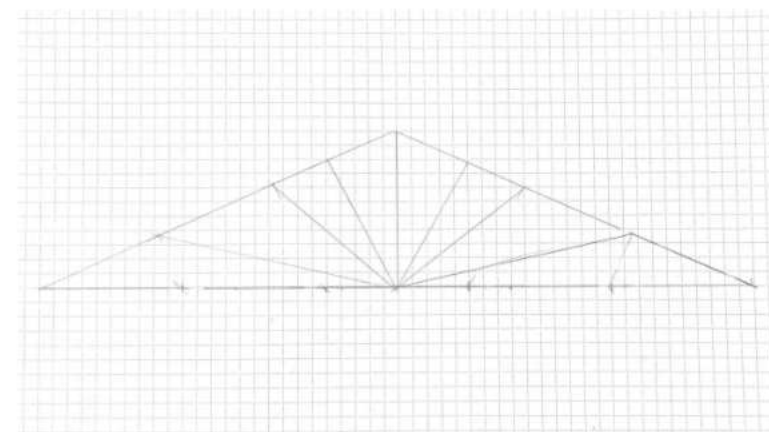
斜張橋が強かったので、それをベースに小さな斜張橋と大きな斜張橋を組み合わせた形にした。
トラス橋の要素も入れた。

■ オリジナル橋②



斜張橋は真ん中の1本の柱で支えている。
それを1点で支えるようにすれば
どうなるのか疑問に思ったから。

■ オリジナル橋③



荷重が中央にかかるので、それを引っ張りの力として、上の部材に分散させられそうだと考えたから。

図1 設計図の種類

3-3 材料の作成方法

1.様々な橋の設計図を作成する。

(設計図は自分で設計したもの)

※橋の長さはパスタ1本の長さである25cmに統一して作成

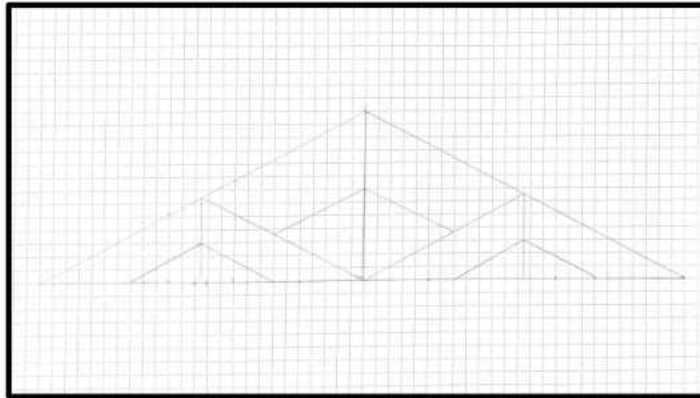


図2:オリジナル橋1の設計

2.設計図の上にクッキングシートを敷き、設計図の橋の長さに合わせて切ったパスタをその上にのせる。パスタが動かないように、マスキングテープで固定する。

3.パスタを10本横一列に並べ、グルーガンで接着し、橋の桁を作る。

※桁の強度の条件を揃えるために、接着する箇所を7箇所に統一した。



写真2:桁を接着する様子

4.2のマスキングテープで仮止めしたパスタの節点をグルーガンで接着する。

構造によっては、2つの部材を(橋の左右両側)作成し、さらにグルーガンで接着する。

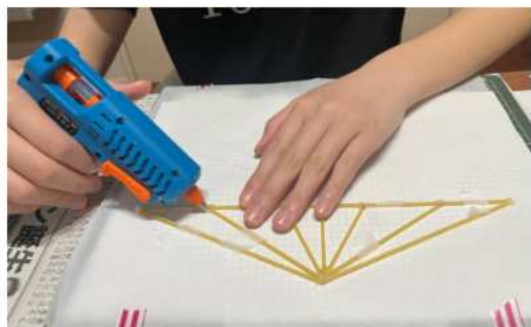


写真3:節点を接着する様子

5.3で作った橋の桁と、4で作った部材を組み合わせてグルーガンで接着し、橋を完成させる。

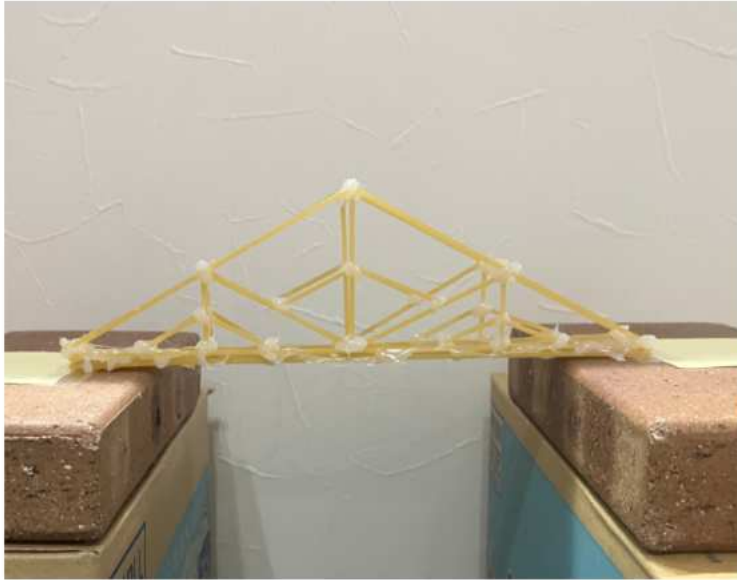
6.5で作った橋の重さを電子計りで計測する。



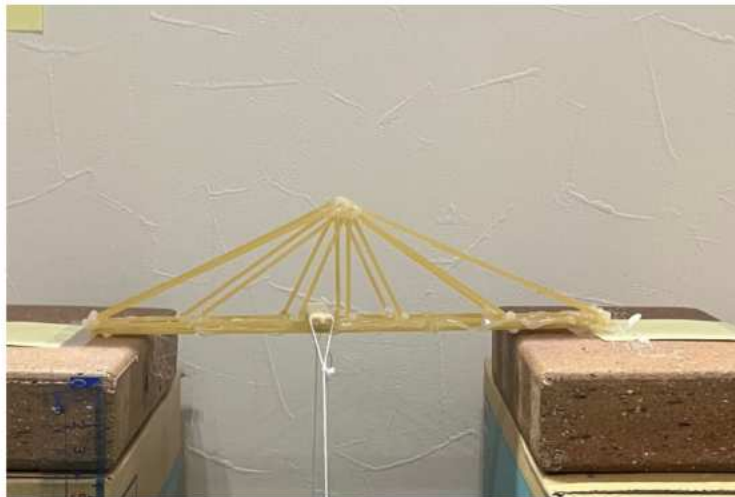
写真4:完成した橋の重さの計測

3-4 実際に完成したパスタブリッジ

オリジナル橋①



オリジナル橋②



オリジナル橋③

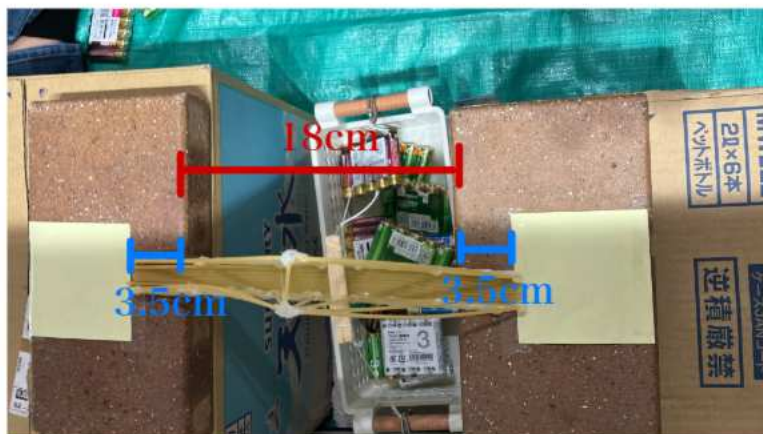


写真5:完成したオリジナル橋

3-5 実験方法

- 1.ダンボールを土台として使用し、その上にレンガをのせる。
これを2つ用意し、その間の長さを測り、長さを18cmに統一する。
- 2.パスタブリッジの重さを計測し、1の上にパスタの橋を置き、レンガに架かる橋の長さは、左右で等しくなるように、3.5cmで統一する。
(橋の設置位置の目安として付箋を貼った。)

写真6:橋を架けた上からの状態



- 3.割り箸を橋の中心にのせ、風糸を引っ掛けて電池を入れるための容器を吊るす。
- 4.橋が破壊するまで容器の中に電池を順番に入れ、橋の中心部の変位や破壊の様子、壊れたときの電池の数を記録する。
- 5.電池、容器の重さを測定し、橋が壊れたときの重さを算出する。

※誤差による影響を減らし、結果の精度を上げるために、
実験はそれぞれ2回行う

電池をおもりとして使用した理由

電池は質量の割に体積が小さい(密度が大きい)ため、容器に少ししか入れなくても多くの荷重をかけることができるから。また、質量が一定なので計測が容易にできるから。

定規をダンボールに設置した理由

橋がどのくらいたわんだかを数値として測定し、橋の種類ごとで比較するため。また、後から写真などで変位を確認することができるから。



写真7:橋に吊るした容器におもりをのせて計測した状態

<実験>

オリジナルの橋3種類の強度や変位を比較する。

4.結果

予想(乾電池の本数)

<実験>

オリジナル橋① 光明池大橋より多い(68本前後)

オリジナル橋② プラットトラスより少ない(70本前後)

オリジナル橋③ ハウトラスと同じくらい(85本前後)

オリジナル橋③を1番多くした理由

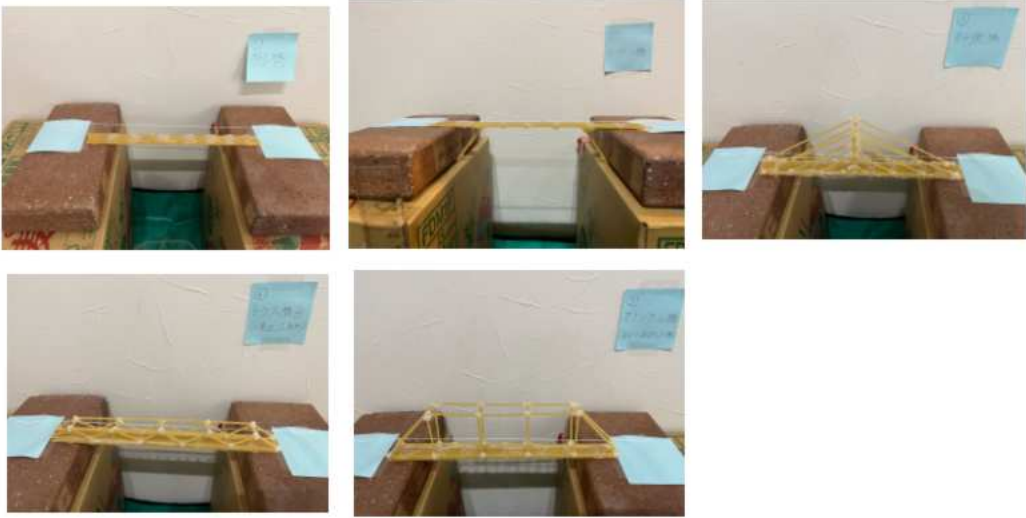
真ん中に集中してかかっている荷重を引っ張りの力に変えて分散させられそうだったから。

オリジナル橋①を1番少なくした理由

部材が多い分、接合部が多くなるため折れやすそうだから。

参考：令和5年の電池の本数

橋の種類	電池の数（本）
①桁橋	38
	34
②ラーメン橋	38
	53
③斜張橋	130
	109
④トラス橋A	72
	100
⑤オリジナル橋	74
	63



参考：令和6年の電池の本数

橋の種類		電池の数（本） a
アーチ （実験1）	1-a 泉大津大橋	37
		45
	1-b 泉大津大橋 （円弧140°版）	46
		54
	2 光明池大橋	66
		60
トラス （実験2）	3 檜尾大橋	31
		34
	4 ハウトラス	80
		83
	5 プラットトラス	62
		77
実験3	6 キングボストラス	33
		32
実験3	7 オリジナル （アーチトラス）	46
		35



結果

<実験1>

1-オリジナル橋①

実験中	崩れた瞬間	壊れた状態	壊れた状態（上面）
			
変位が小さかった。 桁の部分がほぼまっすぐだった。	突然壊れた。 桁から折れた。	桁と、1番上の部材が折れていた。	上の部材が少し斜めになって、ゆがんでいた。

2-オリジナル橋②

実験中	崩れた瞬間	壊れた状態	壊れた状態（上面）
			
変位が小さかった。 上の部材が少したわんでいた。	桁の端の部分から折れた。	桁と、1番上の部材が折れていた。	上の長い部材が斜めになってたわんでいた。

3- オリジナル橋③

実験中	崩れた瞬間	壊れた状態	壊れた状態（上面）
			
変位が小さかった。 斜材が少したわんでいた。	斜材の真ん中の部分が壊れて、桁が折れた。	斜材の接合部が折れていた。	上の部材は②よりもゆがんでいなかった。

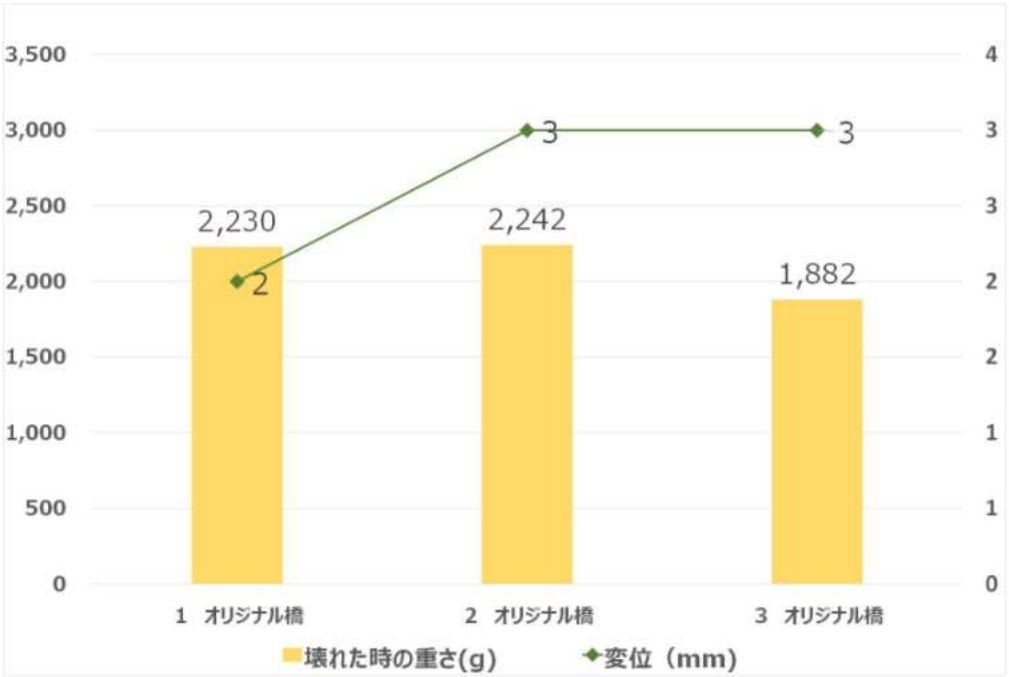


図3:各橋の壊れたときの重さと変位のグラフ

橋の種類		電池の数 (本) a	電池の重さ (g) A=a×24	容器の重さ (g) B	壊れた時の重さ(g) C=A+B	変位 (mm)	橋の重さ(g) D	
実験	1 オリジナル橋		72	1,728	130	1,858	2	33
			103	2,472	130	2,602	2	33
	2 オリジナル橋		90	2,160	130	2,290	3	30
			86	2,064	130	2,194	3	28
	3 オリジナル橋		74	1,776	130	1,906	3	33
			72	1,728	130	1,858	3	31

表1:実験結果

橋の種類		壊れた時の重さ(g)	変位 (mm)
実験	1 オリジナル橋	2,230	2
	2 オリジナル橋	2,242	3
	3 オリジナル橋	1,882	3

橋の重さ(g) D	壊れた重さ/橋の重さ C/D
33	68
29	77
32	59

表2:2回の実験結果の平均値

参考：令和6年の結果

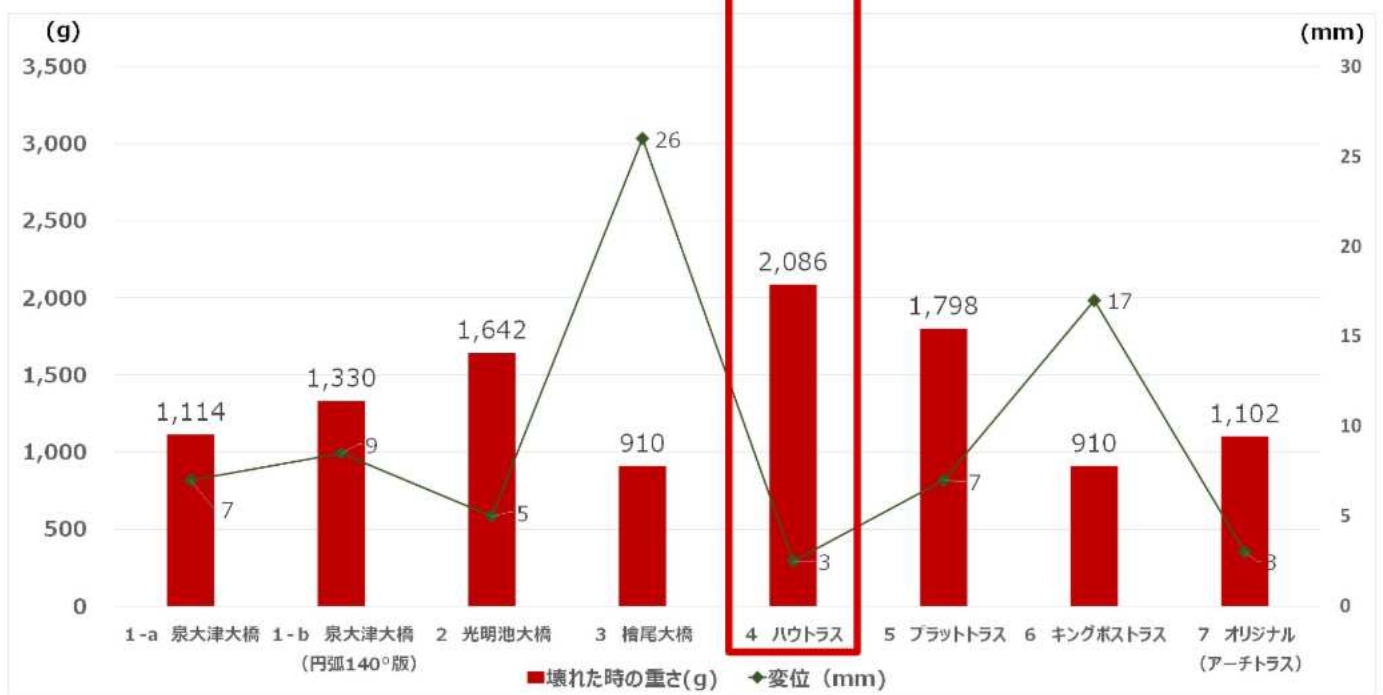


図4:各橋の壊れたときの重さと変位のグラフ
(2回の実験結果の平均値)



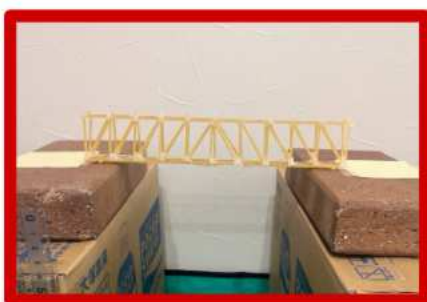
1 泉大津大橋



2 光明池大橋



3 檜尾大橋



4 ハウトラス



5 プラットトラス



6 キングボストラス



7 オリジナル (アーチトラス)

参考：令和5年の結果

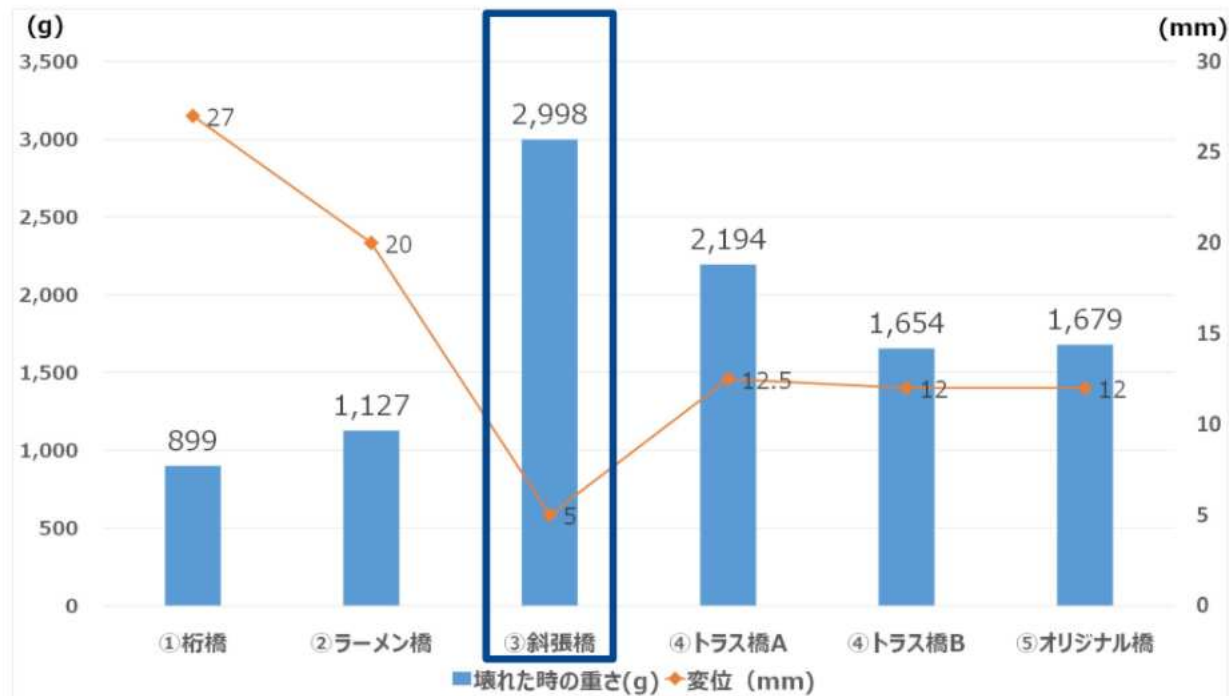


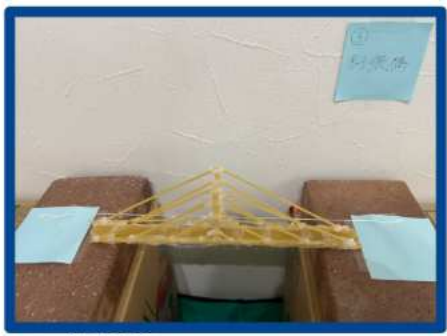
図5:各橋の壊れたときの重さと変位のグラフ
(2回の実験結果の平均値)



1 桁橋



2 ラーメン橋



3 斜張橋



4 トラス橋A



4 トラス橋B



5 オリジナル橋

5.考察

オリジナル橋①,②,③の中で最も強度が大きかった橋はオリジナル橋②で、最も強度が小さかった橋はオリジナル橋③だった。

オリジナル橋①と②は平均すると強度がほとんど同じであったが、最大値に着目するとオリジナル橋①が最も強度が大きかった。これは、短い斜材に圧縮の力、長い斜材に引っ張りの力がかかり、力が上手く分散されたからであると考えられる。

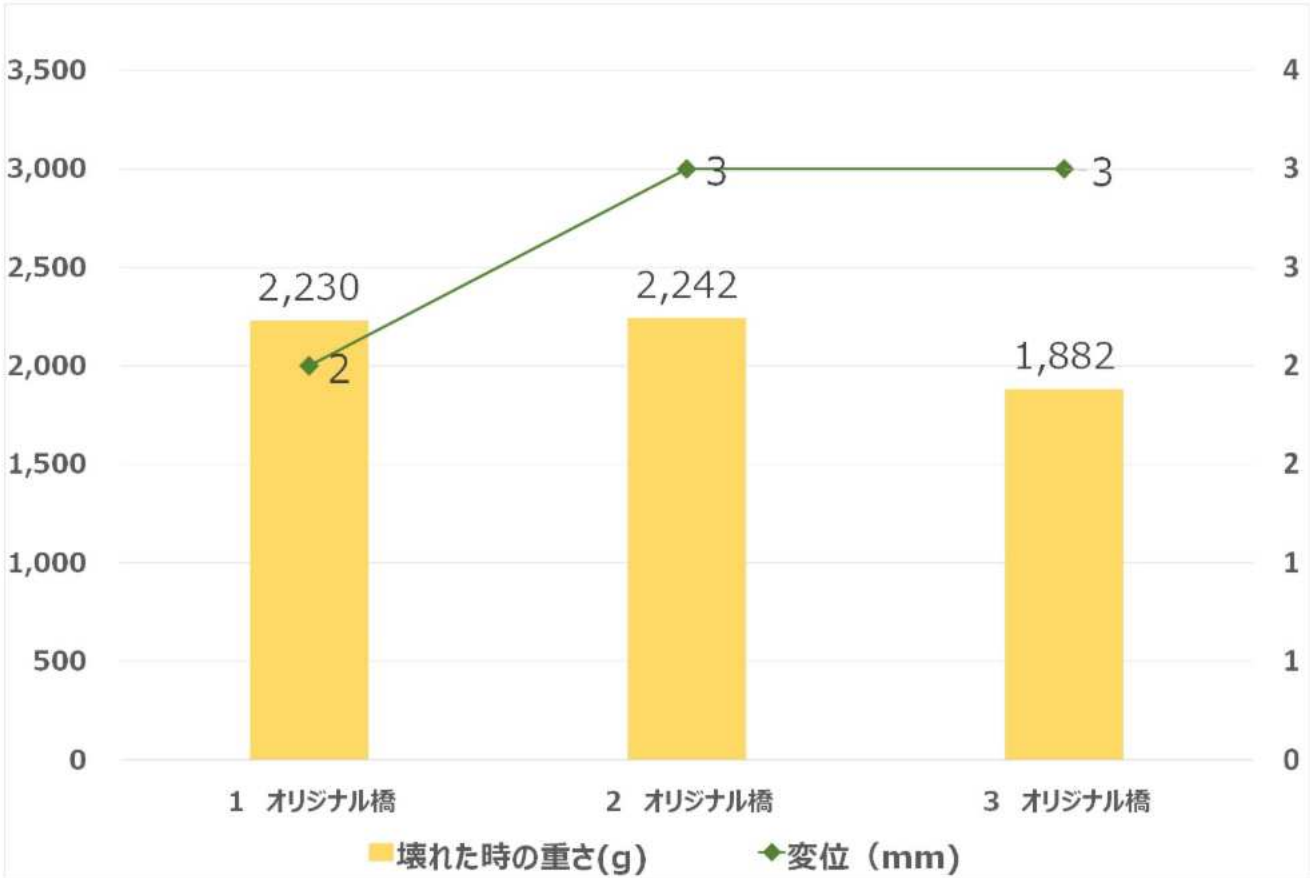
しかし、橋自体の質量がオリジナル橋②のほうが小さかったので、オリジナル橋②のほうがコストと強度のバランスが良いと考えられる。

パスタの模型では数グラムの差でも、実際に橋では大きな差となるため、オリジナル橋②は経済的にも優れた橋である。

パスタは引っ張りには強いが、曲げには弱い。圧縮も引っ張りほど強くはないが、曲げよりは強い。よって、荷重がかかって働いた曲げの力を圧縮や引っ張りの力に分散することができれば、橋の強度は高くなると考えられる。これは昨年の研究を通して得られた結論である。

オリジナル橋①②③ともに斜材によって力を分散し、桁の変位を3mm以下に抑えられたのは大きな成果だった。

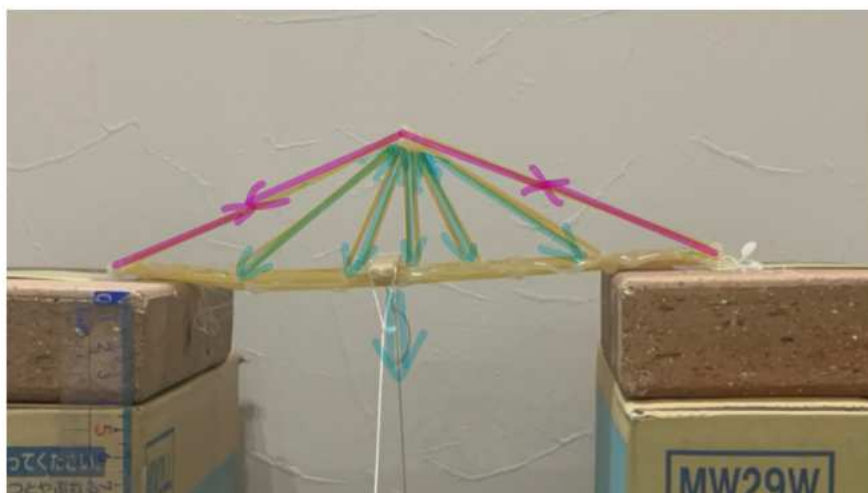
オリジナル橋①や②は斜材に引っ張りの力として分散させられたが、オリジナル橋③は斜材に曲げの力が働いたため、比較的強度が小さかったと考えられる。



橋の部材にかかった想定される力の種類



オリジナル橋①



オリジナル橋②



オリジナル橋③

圧縮

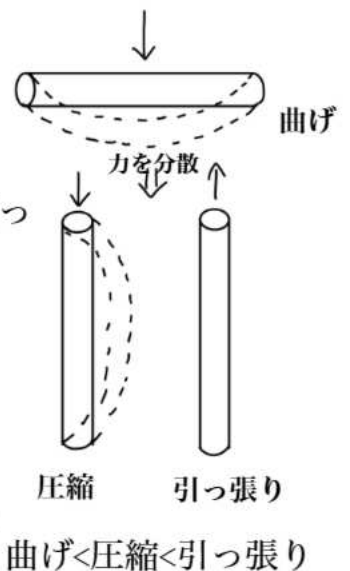
引っ張り

6.結論(課題)

結論

1点に集中する桁にかかる曲げの力を引っ張りや圧縮として分散させることができれば、強い橋ができる。そのために部材をつける際、斜張橋のような斜材を用いれば強度が高くなる。しかし、1番上の長い斜材に曲げの力がはたらくと壊れやすくなるため、そこに引っ張りの力がかかるような設計にすれば、特に強い橋になる。オリジナル橋②は、最も長い斜材が壊れる前にゆがんでおり、曲げの力がかかっていたため、斜張橋に比べると強度が低かった。

また、コストと強度のバランスを考えることが実際の橋の設計においても重要になる。パスタブリッジにおいても、材料（太さなど）や構造による作成時の難易度や所要時間など、橋によって様々な違いがある。そういったことにも着目して総合的に判断する必要がある。



研究課題(感想)

和泉市からも繋がる国道170号の見出川に架かる熊取町の大宮橋(長さ21.6m、幅6m)は、昭和6年に架けられたトラス橋である。この橋に使用されているトラスが、明治7年(1874)、日本で2番目に開業した大阪―神戸間の鉄道で使用された日本最古の鉄道橋を転用したものであることが判明し、6月17日に(公益社団法人)土木学会関西支部より発表されたと知った。この鉄道橋は、イギリス製のワーレントラスと呼ばれるもので、私もパスタブリッジで作成した構造だった。

橋は、とても長い間使われていて、私たちの暮らしや生活を支えているものだと改めて実感した。

この橋がなぜこんなにも頑丈だったのか、これまでの研究を踏まえて考えたい。

また、パスタブリッジを作ることで、実際に橋をつくる时候にも、多くの実験や試行錯誤を繰り返して、長い間使えるような設計を考えているのだなと思った。

これまでは1点に集中した荷重で実験していたが、分散した荷重や均一な荷重がかかった場合でもどんな結果となるか研究したい。



7.参考文献

株式会社ピーエス三装HP (田尻スカイブリッジ図面を引用) 8/11

<https://www.psmic.co.jp/works/pdf/2010.pdf>

国土交通省九州地方整備局HP (橋の種類を引用) 8/11

[name.pdf](#)

<http://www.qsr.mlit.go.jp/miyazaki/html/kasen/iware2/pdf/>

一般社団法人日本橋梁建設協会HP 8/11

<https://www.jasbc.or.jp/>

東京大学大学院 工学系研究科 機械工学 泉・波田野研究室HP 8/11

(パスタブリッジコンテスト)

<https://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/pasta/>

泉・波田野研究室 (YouTube・パスタブリッジの作成) 8/11

<https://youtu.be/o5wLbj9oVjM>

建設コンサルタント 株式会社 長野技研HP (橋の種類) 8/11

<https://www.naganogiken.co.jp/knowledge00/knowledge1/>

国土交通省 中部地方整備局 中部道路メンテナンスセンター (橋の種類) 8/11

<https://www.cbr.mlit.go.jp/chubumc/document/glossary/>

泉大津市HP (泉大津大橋の概要) 8/11

<https://www.city.izumiotsu.lg.jp/kakuka/seisaku/tiikikeizaika/kowanshinko/rinkaibu/1298435517968.html>

泉大津大橋図面 (大阪港湾局より)

CVV HP (光明池大橋の概要) 8/11

[https://www.cvv.jp/CVV2/kengakukai/naniwa%20no%20meikyo\(+bridge\)_2018/naniwa%20no%20meikyo\(+bridge\)\(W\)/\(2\)komyoike%20bridge/komyuike%20bridge.html](https://www.cvv.jp/CVV2/kengakukai/naniwa%20no%20meikyo(+bridge)_2018/naniwa%20no%20meikyo(+bridge)(W)/(2)komyoike%20bridge/komyuike%20bridge.html)

三井住友建設HP (光明池大橋の図面を引用) 8/11

<https://www.smcon.co.jp/sp/hashi-girl/2016/10/19/2204/>

東京大学HPパスタの性質等 8/11

https://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/pasta/img/PastaBridge_SPP2010.pdf

熊取町広報8月号 8/12

<https://www.town.kumatori.lg.jp/material/files/group/1/kouhoukumatoriR78.pdf>