

11 「頑丈な橋の構造をさぐろう」第 2 報

1 動機

パスタを使ってどのように組み立てれば橋の模型が頑丈になるのかを、橋の中央におもりを下げ実験しています。昨年は、平面的な桁橋と、立体的に組み合わせたトラス橋の 2 種類を比べ、桁橋に比べてトラス橋の方が、何倍も重いおもりを下げられることがわかりました。

そこで、桁橋でも構造を工夫すれば頑丈になると思い、今年は、桁橋を詳しく実験してみました。

2 実験の予想

(1) 実験に使う橋の模型

模型の橋は、パスタをホットボンドで接着させて組み立てます。また、橋の各部分は図-1 のように呼ぶことにしました。両端の支点には割箸を、横桁の上には薄いプラスチックの定規(床版)を置き、中央部分のパスタ部材におもりの力が集中しないように工夫しました。

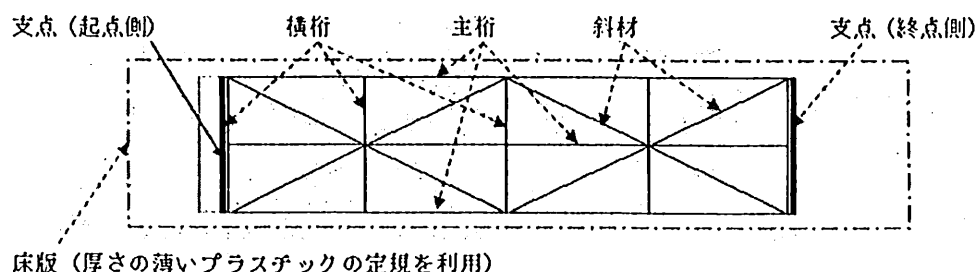


図-1 桁橋の模型の名称

(2) 実験の目的

建物の「すじかい」のように、模型の横桁へ多くの斜材を取りつければ、より重いおもりを下げるができると考えました。そこで、図-2～図-5 のように斜材の組合せを変えて、①～④の 4 種類作り、何グラムの重さで模型が壊れるのかを実験で確かめることにしました。

① 斜材がない場合

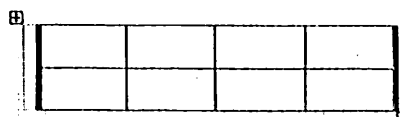


図-2 例①: 横桁 5 本の模型 (斜材なしの場合)

② ×型に斜材を連結した場合

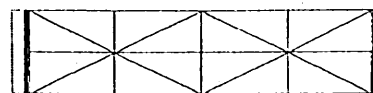


図-3 例: 横桁 5 本の模型 (斜材を×型に連結した場合)

③ ◇型に斜材を連結した場合

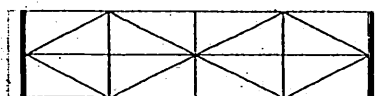


図-4 例: 横桁 5 本の模型 (斜材を◇型に連結した場合)

④ ×型の斜材を密に連結した場合

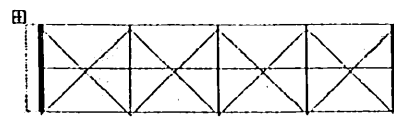


図-5 例: 横桁 5 本の模型 (斜材を密に×型に連結した場合)

3 実験の方法と結果の整理

(1) 橋の模型の大きさや構造を決める

- ・直径 2.1mm のパスタを使い、橋の長さ (24.8cm)、幅は 4cm、横桁は 4.5cm にする。
- ・主桁は、橋中央と両側の計 3 本。横桁は、3 本、4 本、5 本、6 本、7 本の計 5 種類にする。
- ・斜材は、①なし、②×型、③◇型、④密×型の 4 種類として、横桁が偶数の場合は、左右対称にするため、中央が④と同じ密な×型にした模型を作って比べてみる (図-2～5 参照)。

(2) 橋の模型の設計図【図-6～図-9 設計図の例参照】

橋模型の設計図を、横桁3～7本の5種類(斜材①～④)、合計20種類を作成しました。

(3) 橋の模型を組み立て

パスタ部材をホットボンドで接着させて、設計図と同じ大きさの模型を組み立てました。

(4) 橋の模型の中央におもりを下げる実験【写真-1、写真-6 参照】

水を入れたペットボトルでおもりの重さを調整し、模型が壊れるまでの重さを量りました。

(5) 実験結果を表やグラフにまとめて整理【表-1、表-2 参照】

横桁の本数別に、斜材①～④の形で実験した結果を表にまとめて整理しました。

横桁の本数とおもりの重さの関係は、横桁4本の橋が一番重いおもりを下げられました。

(各平均値) 横桁3本・6本・7本→143, 75g、横桁4本→162.5g、横桁5本→131.25g

また、斜材の形とおもりの重さの関係は、②×型が一番重いおもりを下げられました。

(各平均値) ①なし→110g、②×型→170g、③×型→160g、④密×型→145g

斜材の形 番号・型	横桁の本数 (本)	壊れたときの重さ (g)	平均 (g)
①なし	3	△ 125	△ 143.75
②あり×型	3	○ 150	
③あり○型	3	○ 150	
④あり密×型	3	○ 150	
		575	
①なし	4	○ 150	◎ 162.5
②あり×型	4	◎ 175	
③あり○型	4	◎ 175	
④あり密×型	4	○ 150	
		650	
①なし	5	× 75	× 131.25
②あり×型	5	◎ 175	
③あり○型	5	○ 150	
④あり密×型	5	△ 125	
		525	
①なし	6	△ 125	△ 143.75
②あり×型	6	◎ 175	
③あり○型	6	○ 150	
④あり密×型	6	△ 125	
		575	
①なし	7	× 75	△ 143.75
②あり×型	7	◎ 175	
③あり○型	7	◎ 175	
④あり密×型	7	○ 150	
		575	

表-1 横桁の本数とおもりの重さの関係

斜材の形 番号・型	横桁の本数 (本)	壊れたときの重さ (g)	平均 (g)
①なし	3	△ 125	× 110
②なし	4	○ 150	
③なし	5	× 75	
④なし	6	△ 125	
⑤なし	7	× 75	
		550	
②あり×型	3	○ 150	◎ 170
③あり×型	4	◎ 175	
④あり×型	5	◎ 175	
⑤あり×型	6	◎ 175	
⑥あり×型	7	◎ 175	
		850	
③あり○型	3	○ 150	○ 160
④あり○型	4	◎ 175	
⑤あり○型	5	○ 150	
⑥あり○型	6	○ 150	
⑦あり○型	7	◎ 175	
		800	
④あり密×型	3	○ 150	△ 145
⑤あり密×型	4	○ 150	
⑥あり密×型	5	○ 150	
⑦あり密×型	6	△ 125	
⑧あり密×型	7	○ 150	
		725	

表-2 斜材の形とおもりの重さの関係

凡 例	
◎ 強い	161g 以上
○ やや強い	131g ～ 160g
△ やや弱い	101g ～ 130g
× 弱い	100g 以下

(6) 予想と結果の比較と疑問点

結果をみると、横桁が多ければ頑丈になるわけではないことがわかりました。また、斜材の形は、模型の中で一番しっかりしていた④密×型はそれほど頑丈ではなく、予想外でした。

また、横桁4本の模型が、なぜ一番重いおもりを下げることが出来たのか疑問に思いました。

4 壊れた橋の模型の観察と推測

昨年調べてみたように、模型の弱い部分と思われる、壊れた場所をよく観察してみました。

① 模型20種類の壊れた部分を、赤い水性ペンで着色する。【写真-1～写真-6 参照】

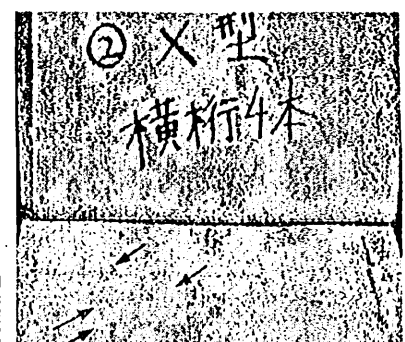


写真-1 実験の様子、

写真-2 ↑は破損箇所①斜材なし、

写真-3 ↑は破損箇所②×型



写真-4 実験前の模型を撮影 写真-5 ↑は破損箇所③◇型、 写真-6 ↑は破損箇所④密×型

② 設計図に壊れた場所を色付け（下図は黒色）して印を付ける。【図-6～図-9 参照】



図-6 黒色は破損箇所①斜材なしの設計図

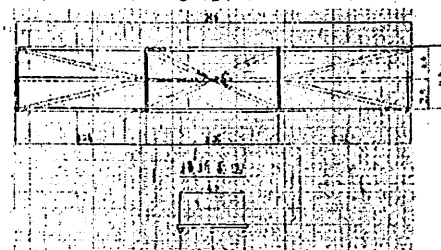


図-7 黒色は破損箇所②×型の設計図

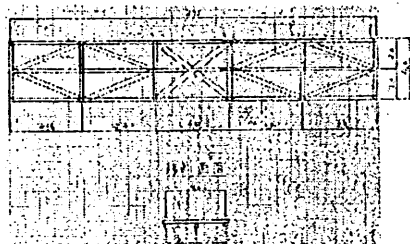


図-8 黒色は破損箇所③◇型の設計図

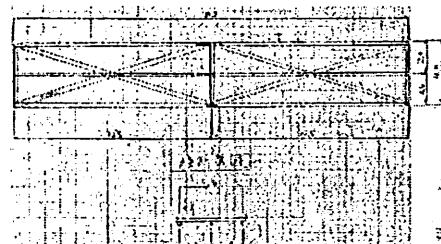


図-9 黒色は破損箇所④密×型の設計図

③ 観察してわかったこと

- ・横桁が奇数の模型は、どの主桁も橋の中心の横桁の下で折れていた。
- ・横桁が偶数の模型は、主桁が橋の中心に近い一方の横桁の下で折れていた。

理科教育ニュースによると、パスタは「側面からの力には弱いという性質」があります。

おもりを下げた中央部分に近い横桁に力が集中し、その下主桁を横方向から大きな力が押すことになったので、この主桁が折れてしまったのではないかと考えました。

また、一番重いおもりを下げられた「横桁4本、斜材②×型」の模型を観察してみると、

- ・中央の主桁は、橋の中心部で密×型に交差している斜材の下で折れていた。
- ・橋の両側的主桁は、橋の中心に近い片方の横桁下の部分で折れていた。

この模型は、折れた場所が橋の中心部と、中心部に近い横桁の部分に分散しておもりの力が伝わったと思いました。ほかの模型のように中央一箇所におもりの力が集中しなかったため、力が分散した分、少し重いおもりを下げることができたのではないかと考えました。

5 確認の実験をする【写真-7～写真-9 参照】

(1) 実験の内容

前回、一番重いおもりを下げられた「横桁4本、斜材②×型」の模型を再度つくり、主桁が壊れた所の下にパスタを1本補強すると、どのくらい頑丈になるのか実験してみました。

- ・主桁は、橋中央の斜材の下を1箇所と、中心に近い横桁の下を4箇所補強する。
- ・①5cm、②10cm の2種類のパスタで補強する。ホットボンドで取付けおもりを下げる。

(2) 実験の結果【写真－7～写真－9、グラフ－1、図－10～図－11 参照】

- ・ ①5cm で補強したものは、補強部分のボンドが1箇所はがれて、補強した主桁がすぐに折れてしまいました。おもりの重さも 150 g で、補強しないものと同じでした。
- ・ ②10cm で補強したものは 300 g まで下げることができ、補強しないものの倍の重さまで下げられました。また、補強したパスタが1箇所、主桁が1箇所折れました。



写真-7 確認の実験

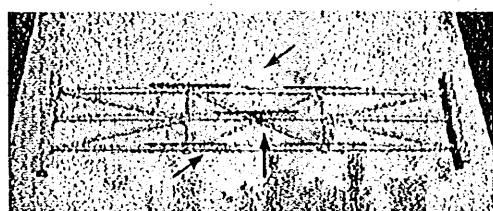


写真-8 ↑は破損箇所①5cm で補強

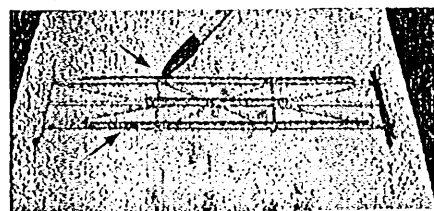
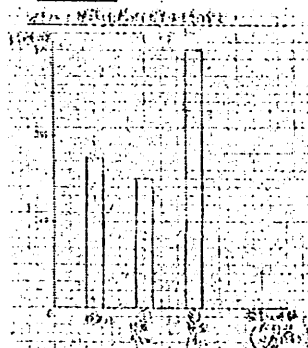


写真-9 ↑は破損箇所②10cm で補強



グラフ-1 実験結果

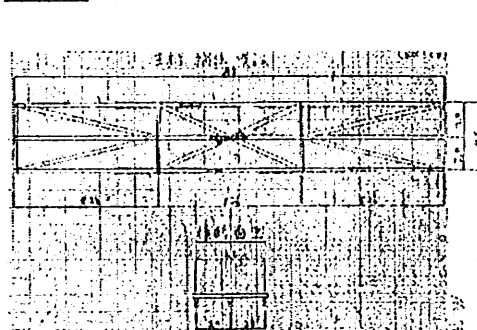


図-10 黒色は破損箇所①5cm で補強

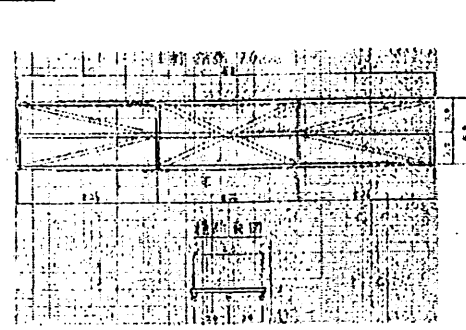


図-11 黒色は破損箇所②10cm で補強

6 考察

パスタは、側面方向からかかる力に弱く、芯方向にかかる力に強いという特徴があります。理科教育ニュースの説明には、「この性質を利用し、パスタを立体的に組み合わせて力を分散させる構造すると、より重いおもりに耐えられる橋になる」と書いてありました。この資料から、桁橋でもパスタをたくさん組み合わせれば、もっと頑丈な橋ができるのではないかと考えて、多くの種類の模型を作りましたが、結果はそうなりませんでした。

このことから、次のことがよくわかりました。

- ・ 桁橋の場合は、おもりの力が主桁にかかるので、主桁を丈夫にしないと頑丈にならない。
- ・ おもりの力は、橋中央部の主桁に集中するので、横桁や斜材を増やしても効果がない。
- ・ 主桁の1箇所に力がかからないように、横桁や斜材を配置したほうが頑丈な橋になる。

また、主桁の弱い部分に補強のパスタをとりつけた実験では、次のことがわかりました。

- ・ 補強の材料が先にはずれないように工夫すれば頑丈な橋になる。
- ・ おもりの力を、主桁だけでなく補強の材料にも分担させるようにすると頑丈な橋になる。

7 反省と感想

去年は、桁橋の主桁にパスタを何本も束にして使ったので、重いおもりを下げて壊れませんでした。しかし、今年はおもり 150 g くらいですぐ壊れ、実験が失敗したかと思いました。また、去年できなかった桁橋の主桁を補強した場合の実験ができてよかったです。次の研究では、トラス橋のように立体的な模型を作り、より頑丈な橋を考えたいと思いました。

8 参考にしたもの

- ・ 少年写真新聞社 理科教育ニュース No.729
- ・ 平成21年度「頑丈な橋の構造をさぐろう」(パスタを材料とした橋の模型の実験) 高塚真之