

## 8 「頑丈な橋の構造をさぐる」第 4 報

磐田市立磐田第一中学校  
3 年 高塚真之

### 1 研究の動機

「頑丈な橋の構造をさぐる」は、テレビで見た実験を参考にして、パスタを材料にして橋の模型を何種類も作り、模型の中央におもりを下げて強度を調べる研究です。

東京へ旅行したときに見た、勝鬨橋や日本橋、聖橋は、アーチの曲がり具合が、なぜ違うのだろうか、なぜ、アーチの位置が道路の下にあったり、上にあたりするのか、不思議に思いました。この疑問をするため、アーチ橋についてパスタを使った実験を行い、アーチの曲がり具合や、アーチの位置の違いについて調べることにしました。

### 2 研究の目的

アーチ橋について、アーチの形を変えてみて、どの曲がり具合が重いおもりを下げることのできるのか、また、アーチの部分が道路の上にある「上路式アーチ橋」と、下にある「下路式アーチ橋」では、どちらが頑丈かということを実験することにしました。

### 3 研究の方法

#### (1) 実験の条件

- ・アーチの位置は、底面（道路部分）がアーチの上にある上路式アーチと、底面（道路部分）がアーチの下にある下路式アーチの 2 種類を作りました。
- ・アーチ橋は、アーチの形が異なる 4 種類の模型を上路式と下路式で作って比較しました。
- ・4 種類の模型は次のようにしました。
  - ①円を 1/4 に分けた円弧 90 度
  - ②円を 1/3 に分けた円弧 120 度
  - ③円を 5/12 に分けた円弧 150 度
  - ④円を 1/2 に分けた円弧 180 度

#### (2) 実験の方法

##### ①橋の模型の大きさや構造の決定

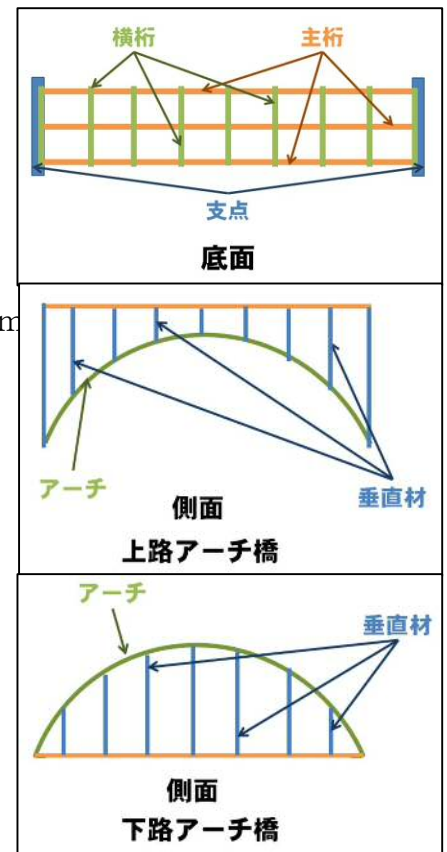
- ・直径 2.1mm のパスタを使い、橋の長さは 24.8cm、幅は 4cm、横桁は 4.5mm としました。
- ・主桁の本数は、橋の中央と両側の計 3 本、横桁の本数は 9 本に統一しました。
- ・おもりは、模型の底面の中央の横桁に下げました。
- ・上路式アーチの支点は、アーチの両端につけ、下路式アーチ橋の支点は、底面の両端につける。支点を支える土台は割り箸で固定しました。
- ・上路式アーチ橋は、アーチ部分の頂点が底面から 20mm の垂直材と交わるように配置しました。

##### ②橋の模型の設計図の作成

橋の模型の設計図を、8 種類の模型を作成しました。

##### ③橋の模型を組み立てる。

パスタの部材は、ホットボンドで接着させて、設計図どおりに模型を組み立てました。



④橋の中央におもりを設置

水の量で重さを調整したペットボトルをおもりにして、模型が壊れるまでのおもりの重さを量りました。

⑤実験結果のまとめ

各模型の実験結果を表やグラフに整理しました。

4 実験の結果

(1) 壊れた模型の観察

実験では、円弧180度の上路式アーチ橋・下路式アーチ橋や、円弧120度の上路式アーチ橋の模型がすぐに壊れてしまいました。壊れた模型を観察したところ、アーチの形がいびつな形をしていたため、おもりの力のかかり方が偏ってしまい、重いおもりに耐えられなかったことがわかりました。そこで、これらについて、再実験を行い、正確な結果を出すことにしました。



いびつな形のため破壊した円弧180度の上路式アーチ橋

(2) 再実験後の結果

円弧の大きさ	アーチの位置	壊れた時の重さ (g)	平均 (g)
90度	上路	225	243.75
120度	上路	250	
150度	上路	325	
180度	上路	175	
			243.75
90度	下路	350	437.5
120度	下路	425	
150度	下路	550	
180度	下路	425	
			437.5

①アーチの位置とおもりの関係

上路式アーチ橋の場合の平均値

243.75g

下路式アーチ橋の場合の平均値

437.50g

となりました。

この結果、下路式アーチ橋の方が、頑丈な構造になることがわかりました。

②アーチの形状とおもりの関係

アーチの形状を変えた4種類のアーチ橋は、上路式・下路式それぞれの場合で、次のような順で頑丈になりました。

・上路式アーチの場合

1位 円弧150度のアーチ橋

2位 円弧120度のアーチ橋

3位 円弧90度のアーチ橋

4位 円弧180度のアーチ橋

・下路式アーチの場合

1位 円弧150度のアーチ橋

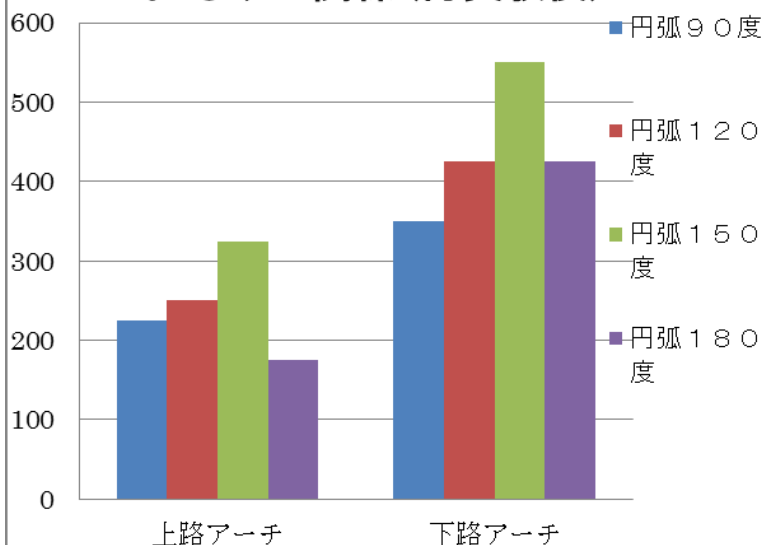
2位 円弧120度のアーチ橋

2位 円弧180度のアーチ橋

4位 円弧90度のアーチ橋

この結果、円弧150度のアーチの形状にした場合が、上路式・下路式ともに、一番重いおもりを下げられることがわかりました。

アーチの形状とおもりの関係(再実験後)



## 5 確認の実験（1）

今回の実験から、円弧150度のアーチ橋が、ほかの円弧のアーチ橋よりも重いおもりを下げられることがわかりました。この結果から、アーチ橋は、円弧の形によって橋の強度が違うのではないかと思います、円弧の大きさとアーチ橋の強さの関係を確かめるために、アーチの部分について実験を試みることにしました。

### （1）実験の方法

アーチ橋の強度が変わるのか調べるために、工作用紙（ボール紙）を材料にして幅4cmと円弧90度から180度までの円弧の長さをもつ、4種類の長方形を切り取り、アーチ橋の中央の部分がおもりの力で土台につくまで何gの重さに耐えられるか確認しました。

### （2）実験の結果

工作用紙で作った、円弧の大きさを変えた4種類のアーチ橋は、すべて、50gまでしか耐えることができませんでした。工作用紙のアーチでは、おもりの重さに耐えるほどの強度をもっていないことがわかりました。

## 6 確認の実験（2）

### （1）実験の目的

もう一度、壊れた場所の観察結果をみると、壊れた場所はおもりの力がかかる中央の部分に多く、支点に近い三角形の骨組みの部分には少ないことに気づきました。そこで、各アーチ橋のアーチについて、両端の角度について調べると、

円弧90度のアーチ橋 42度 円弧120度のアーチ橋 52度

円弧150度のアーチ橋 61度 円弧180度のアーチ橋 70度

となりました。

重いおもりを下げられた円弧150度のアーチ橋は、約60度となりました。60度は、トラス橋の側面の強度を保つために使われる正三角形の角度です。円弧150度のアーチ橋は、この60度という角度がアーチ橋の両端にあるため、4種類の円弧の中で力が均等にかかり安定していたため、最も重いおもりを下げられたのではないかと考え、実験することにしました。

### （2）実験の方法

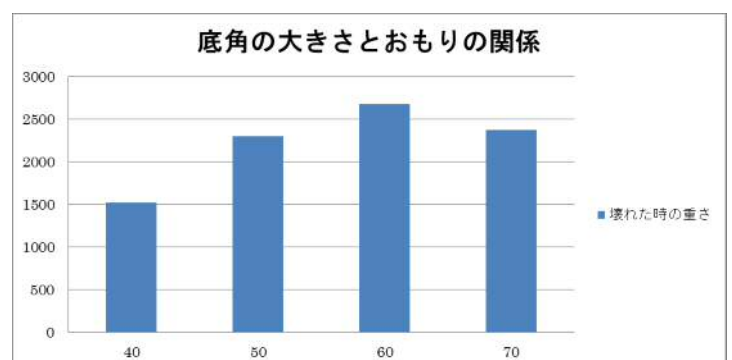
工作用紙を縦15cm、横15cmの正方形に切り出し、底角が40度・50度・60度・70度の二等辺三角形の断面を折って作り、この断面を筒状にした4種類の橋について筒の中央部に、おもりを下げて、完全に筒が折れ曲がるまでの重さを量り、比較しました。

### （3）実験の結果

この実験では、やはり、筒の底角が60度の断面の橋が4つの筒の中で最も重いおもりを下げることができました。ほかの形の断面の橋を観察すると、上から押しつぶされるように壊れていたり、横に曲がるようにして壊れていたりしていました。底角60度の断面の筒は、真ん中から折れるようにして壊れました。この結果から三角形の底辺や斜辺の長さが等しく、バランスの良い正三角形をした底角60度の断面の橋が最も頑丈になる角度だということがわかりました。

表－2 底角の大きさとおもりの関係

底角の大きさ	壊れた時の重さ (g)
底角40度	1525
底角50度	2300
底角60度	2675
底角70度	2375



## 7 考察

今回の実験では、模型の中で最も重いおもりを下げたのは、円弧150度のアーチ橋でした。確認実験(2)では、底角60度の断面の筒が、最も重いおもりを下げることができました。円弧150度のアーチ橋が頑丈な理由は、模型のアーチの支点と接している部分の角度が約60度になっていたことにより、橋全体にかかるおもりの力をバランスよく分散したのではないかと思います。

また、今回の結果から、下路式アーチ橋が上路式アーチ橋よりも頑丈な橋になることがわかりました。なぜ、下路式アーチ橋が強いのか、各橋の設計図に、おもりによって部材が引っ張られると思われる部分と押されていると思われる部分を色分けしました。

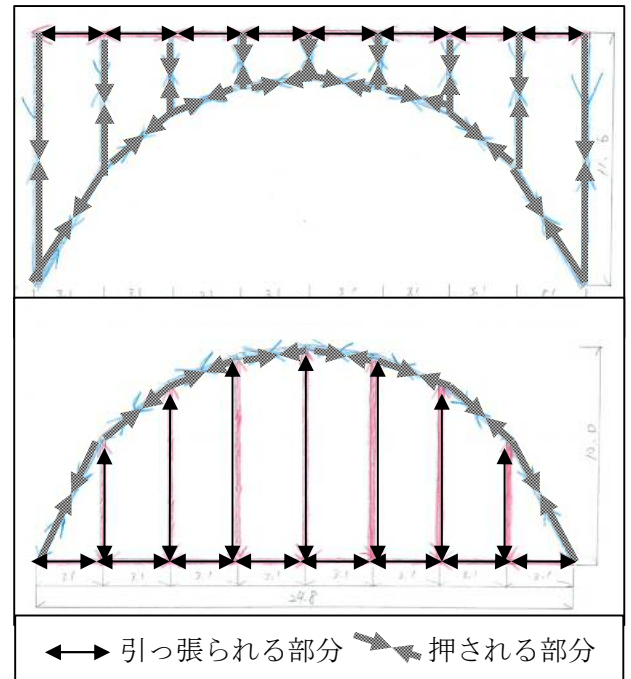
上路式アーチ橋は底面の部材がおもりの力で下に引っ張られるため、アーチ部分や垂直材は上からかかる力によって押されることとなります。底面に生じた引っ張られる力に対してアーチ部分や垂直材の押される力が耐えられなくなって、中央から折れてしまうと思います。

また、下路式アーチ橋は、橋の中央部におもりの力がかかると、底面の部材に引っ張られて、アーチ部分を押す力が働きます。その間に垂直材を入れることで、アーチ部分と底面が離れないようにつないでいるため、垂直材が引っ張られることにより、アーチの形を保っているのではないかと思います。

底面とアーチ部分の形が垂直材によって接続され、アーチと底面が一体となっておもりの力を分散するため、上路式アーチ橋より重いおもりを下げることができたのだと考えました。

今回の研究から、次のようなことがわかりました。

- ①アーチ橋の円弧の形は、150度のものが最も頑丈なものになった。それはアーチが作り出す支点の部分の部材の角度が60度という大きさが、橋全体にかかるおもりの重さをバランスよく分散しているため、円弧150度のアーチ橋が頑丈な構造になる。
- ②下路式アーチ橋は、底面とアーチ部分の形が垂直材によって一体的な構造となっているため、中央にかかるおもりの力をうまく分散している。



## 8 感想

今回の研究で、円弧150度のアーチ橋は、アーチの両端が60度という角度を持つため、最も重いおもりを下げることができました。去年の研究では、トラス橋も60度の正三角形を側面の部材に用いると重いおもりに耐えることができました。60度という角度はアーチ橋やトラス橋でも頑丈な構造の橋になる条件の一つだと思いました。

世界には、まだ、たくさんの種類の橋があります。いろんな構造の橋について、これからも研究を続け、頑丈な橋についての知識を深めたいと思います。