

角柱を用いた桁橋と強度の関係

石川県立金沢泉丘高等学校 3年

宮村 真優奈 神 亮吾 田上 健秀 寺本 祐太 平林 一成

1. 要旨、概要

現代の社会にはさまざまな構造の橋がある。例えば、認知度の高いレインボーブリッジや明石海峡大橋はつり橋と呼ばれる構造であり、他にもアーチ橋やラーメン橋、トラス橋など、様々な種類が存在する。(図1)

その中で私たちが注目したのは桁橋と呼ばれる橋である。

この橋はもっともシンプルな構造の橋であり、その構造は、対岸に対して板を使い繋ぐ、といった言葉で説明できるほどだ。この橋は主に短い距離を繋ぐのに適しており、高速道路を横切るために通された橋などで使われる。ここで、桁橋の人や車などが通る部分のことを橋桁というが、その橋桁の構造を工夫することで材料の削減や強度の向上といった様々な恩恵が得られるのではないかと考えた。橋の基本構造ともいえる桁橋において有用な構造を見つけることができれば他の橋の構造にも応用でき、また、強度の大きい構造として、橋以外の他の建造物にも応用できるのではないかと考え、この研究を行うことにした。

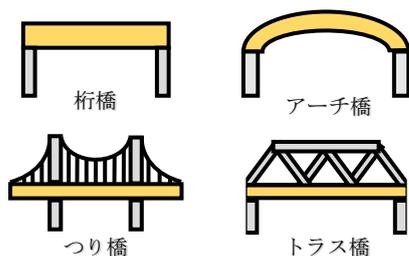


図1 橋の種類

2. 研究目的

研究概要でも述べたように桁橋の橋桁は主にコンクリートが流し込まれて作られている。また、建築学においてトラス構造、ラーメン構造、ハニカム構造が強いとされている。トラス構造は東京タワーや東京スカイツリー、ラーメン構造は

マンション、ハニカム構造は飛行機などに利用されている。

そこでこの3つの構造に注目しそれぞれの構造の基本となっている正三角形、正方形、正六角形を用いることでより強度の大きい橋の構造を考えようと試みた。強度の大きい構造を考えるにあたって、本来のすべてコンクリートが流し込まれたものよりも強度を保ちつつ使う材料を削減すること、また、図形を用いることから景観的にも美しい構造にすることを目的とした。そこで正三角柱、正四角柱、正六角柱を用いて橋桁の一部をくり抜くことで目的にあった橋が作れるのではないかと考えた。

3. 実験1

～実験方法～

「固まる土」という水をかけて乾燥させると固まる、園芸用のコンクリートと土を混ぜ合わせたものを用いてそれぞれのモデルを作る。(図2)モデルの型は発泡スチロールと厚紙を用いて作った。モデルはスタンドにのせ、橋の中央部にバッグを載せ、その中に400gのペットボトル5本、500gのペットボトル11本を順に乗せていき、モデルが壊れるまでにのせたおもりの重さによって強度を比較する。



図2 実験1で作成したモデル
(正六角柱)

～結果～

正三角柱、正四角柱、正六角柱を用いてそれぞれくり抜いたもの、本来の桁橋と同様に何もくり抜いていないものの計4つのモデルを1セットとし、5セットのモデルを作って実験を試みたが、すべて作成途中でモデルが壊れてしまい、強度の比較が困難だった。

～考察～

このようにうまくいかなかった原因は、モデル作成の際の条件をそろえるのが難しかったことが挙げられる。例えば、モデルは水をかけて乾燥させる過程ですべて壊れたため、土と型や土と土のあいだに空気による隙間が生じてそれがひび割れとなったり、日によって湿度や気温が異なるためモデルに含まれる水分が変わったりしてしまったことなどが考えられる。

4. 実験2

～実験方法～

前回の反省を生かして壊れにくいモデルを作るために3Dプリンターでモデルを作成し、そのモデルを用いて実験した。大きさ 1.0cm×1.0cm×10.0cm 角柱の厚さ 1mm の橋を 3DCAD のソフトウェアである Fusion360 を用いて作成し、学校に設置されている 3D プリンターで、ABS 樹脂を主原料とする材料でモデルを印刷した。(図3) 3D プリンターを用いることで実験1での反省点である気候条件に影響された点、モデルが正確性に欠けるという点を改善することができた。

この作成したモデルは正三角柱、正四角柱、正六角柱を用いた角柱の3種類である。ここで橋の両端を支える机の上にモデルを配置し、前回と同じように実験する。ただし、3D プリンターを使用して作成したモデルは丈夫で、壊すことが困難だったので、おもりをのせていった際の橋の端部の元の位置からの「変位」を計測した。

ここで、一定数の実験により、実験の範囲では乗せたおもりの質量と橋の中央部の「変位」がほぼ比例関係を示したため、その比例定数を Excel で算出してその値、すなわち一定量の荷重あたりの「変位」を橋の「たわみ」とした。橋の「変位」が目視で判断できるほど大きくなかったため、レーザーを用いて光の反射を生かして実験をし(図

4)、橋の「たわみ」を後に計算で導出した。3種類の橋を統一的に調べるために、独自で「橋の実用性」という値を以下のように定義する。

$$\text{橋の実用性}[\text{mm/g}^2] = \frac{\text{橋のたわみ}[\text{mm/g}]}{\text{橋の自重}[\text{g}]}$$

この定義から、橋の「たわみ」が小さく、また橋の自重が小さいほど、「橋の実用性」の値が小さくなり、実用性の高い橋になることがわかる。

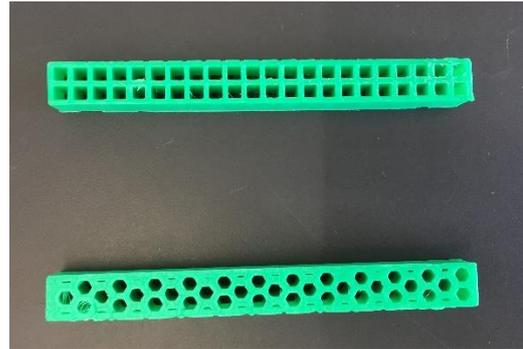


図3 3Dプリンターによるモデル (正四角柱、正六角柱)

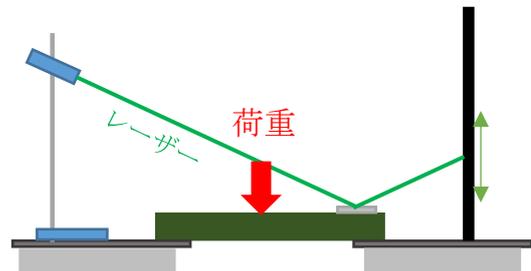


図4 レーザーを用いた実験

～結果～

形	橋の実用性[mm/g ²]
正三角柱	3.2 × 10 ⁻⁵
正四角柱	2.2 × 10 ⁻⁵
正六角柱	2.9 × 10 ⁻⁵

定義した「橋の実用性」は小さいほど有用であることを表すため、この結果から正四角柱を用いた構造が最も強く、正三角柱を用いた構造が最も弱いとわかる。

～考察～

正四角柱を用いたものが最も強く正三角柱を用いたものが最も弱かったため桁に対して垂直

な構造が多いほど上からの力には強いのではないかと考えた。

反省点として、1つのモデルを作るのに時間がかかり、すべての実験をそれぞれ1つのモデルのみで同じ実験を繰り返したことが挙げられる。同じモデルを複数作ることができなかつたので、実験回数を重ねていくうちにモデルのおもりのをせる部分に目には見えないゆがみができていた可能性がある。中央の部分のみに力を加えたので、必ずしも正しい結果とはいえない

5. 実験3

～実験方法～

3Dモデルを作成するために使用したソフトウェアである Fusion360 に内蔵されているコンピューターシミュレーション(図5)を用いて、橋の強度を精密に比べた。前回の実験結果から垂直な構造が橋の実用性を向上させるという仮説があったので、今回の実験では新たに垂直な「板」を橋桁の中央に用いたモデル(図6)と、比較のために角柱を用いない従来の橋のモデルも用意した。7つのモデルを作成し、角柱を用いた橋は角柱の厚さを0.20mとした。橋げたの上面に20000Nの負荷をかけ、重力を橋全体に加えた。モデルの材料としてFusion360内の「石材」を用いた。先の実験と同じように、「橋の実用性」の値を出した。この実験では、「橋の実用性」を次のように定義した。

$$\text{橋の実用性} = \frac{\text{橋の中央部の変位}}{\text{橋の自重(角柱不使用を1)}}$$

(橋の自重について角柱不使用のものを1とし、相対値を用いた。)

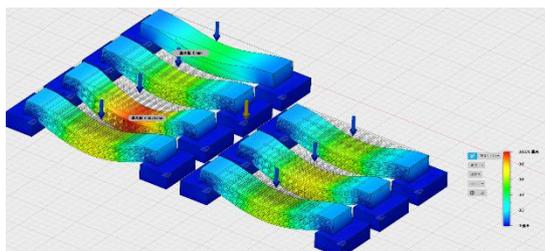


図5 コンピューターシミュレーション

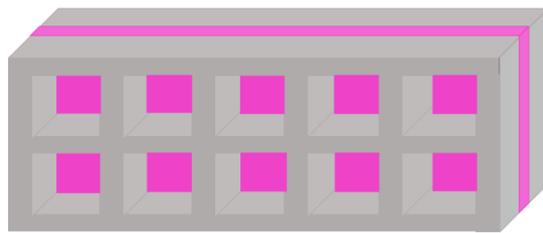


図6 板を導入した橋

～結果～

形	橋の実用性
角柱不使用	2.94×10^{-3}
正三角柱 (板なし)	6.57×10^{-3}
正三角柱 (板あり)	6.23×10^{-3}
正四角柱 (板なし)	1.30×10^{-2}
正三角柱 (板あり)	8.99×10^{-3}
正六角柱 (板なし)	8.38×10^{-3}
正六角柱 (板あり)	7.02×10^{-3}

～考察～

角柱を用いない橋のほうが、用いた橋よりもはるかに高い有用性を示したことがわかる。前回の実験とは反対に、有用性が高い順に、正三角柱、正六角柱、正四角柱となった。また、板を加えることで、高い有用性を示す橋を造ることに成功した。板を加えることで低下した「橋の実用性」の割合を以下に示す。

形	低下した割合
正三角柱	5%
正四角柱	31%
正六角柱	16%

この結果から、橋の有用性がかなり低い正四角柱の橋でも板を導入することで、橋の有用性を上げること大きく貢献することがわかった。

6. 結論

角柱を用いない従来の橋の構造が最も強度が大きいことがわかったが、角柱を用いた場合でも中央に板を用いることで橋の有用性を高めることを確認できた点で一定の結果が得られた。実験2と実験3で結果が大きく異なった理由として考察されることは、実験2で、1つのモデルで同じ試行を繰り返したこと、3Dプリンターで作られたモデルは内部が完全に均一でないこと、力の加え方の違いなどが挙げられる。

7. 参考文献

- 二宮公紀 馬場俊介 福田光修
『歴史的石造アーチ橋の安全性評価に関する考察』
第九回日本土木史研究発表会論文集 1989年
6月 P209-P216
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00044/1989/09-0209.pdf> (2017/3/4)
- 森祐記(2012年)
「GAを用いた多面体フレーム構造の冗長性に関する研究」
http://repo.lib.hosei.ac.jp/bitstream/10114/8444/1/11_k_m_mori.pdf
- 「図解・橋の科学—なぜその形なのか?どう架けるのか?」
土木学会関西支部 (ブルーバックス)