

〈県学生科学賞 県教育長賞〉

3 橋の研究 VIII ラーメン構造とトラス構造、ケント紙で作る橋

1 はじめに

小学校1年生から毎年、橋の研究を続けてきた。中学3年生になった今、橋に関してずいぶん詳しくなった。橋を見ると、仕組みもわかるようになってきた。

浜名湖に架かる「はまゆう大橋」の基本構造がラーメン橋というものであることを知り、今年はラーメン構造とはどんな構造かをトラス構造と比較して調べてみることにした。

また8年前、ミニカーの橋を画用紙で作った原点にかえり、ケント紙を用いて強度実験を行い、小学1年生の時には考察できなかった部分を、中学3年生になった今、考察してみようと思う。

2 ラーメン構造

ラーメン構造とは接合部が剛節点で、部材が一体化した構造である。(ナツメ社「構造力学」より) つまり鉄なら、しっかり溶接することである。トラス構造は、ボルトなどで締めてあるので滑節点といって接合部が動くことができる。

(実験方法 1) 剛節点と滑節点の違いを次のような模型を作って確かめてみた。

- (1) スチレンボード2mm厚を2cm×20cmに切る。
- (2) Aはハトメでとめる。
- (3) Bは接合部(青色)の部分をボンドでつける。
- (4) 脚部を2cmずつ粘土に垂直に埋める。
- (5) 横材の中心を指で押してみる。

(結果)

滑節点Aの横材を指で軽く押すと、左右の2本の縦材がねじれたようにグニャとなった。剛節点Bは、少し強く押してみても安定感があった。

(考察)

B(ラーメン構造)は、自分の指で安定感を感じることができた。Aは、力を少しかけただけで縦材がねじれた。

スチレンボードは、発泡材を上質紙ではさんであるものなので曲げの力が伝わりにくいと指で押してみても感じた。ラーメン構造の仕組みを理解するためには、もう一つ違う材料で実験してみようと思った。

(実験方法 2)

2年前の実験(橋の研究VI)で、橋の部材にかかる力は、引張と圧縮で、そのバランスを取るように橋が設計されていることがわかった。いろいろな実験を行ったが、力のかかり方が一番わかりやすかったのは、ウレタンフォームだった。ただ、カットして必要な大きさにするのが困難だった。

スチレンボードは向きによって強度も異なるので、この実験は以下の理由から硬質スポンジを用いた。

- ア 曲げや引張の力のかかり方がわかりやすい。
- イ 細工がしやすい。(カッターでまっすぐ、簡単に切れる)
- ウ 向きによって、強度の差がない。

研磨スポンジ(硬質スポンジ)をカッターで2cm×2cm×20cmに切り、滑節面では、裁縫用のまち針をさす(A)。剛節面(ラーメン構造)では、接着剤で、しっかりとめ(B')横材の中心を指で押す。

(結果)

滑節点においては、力のかかった部材(横材)だけ曲がった。(A')

ラーメン構造では、少し力のかけただけではすぐ曲がらない。さらに力を加えると、構造物全体がゆがんだ。(B')

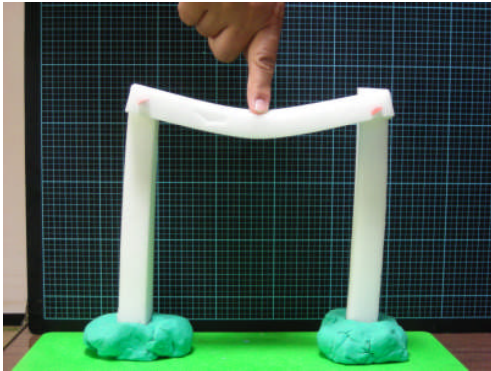


写真1 A' 滑節面

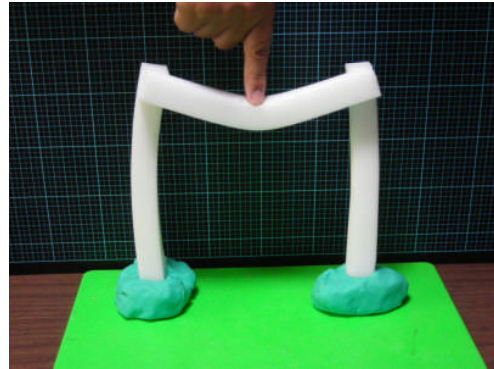


写真2 B' 剛節面

(考察)

横材の midpoint を指で軽く押すと、まち針を1本さした滑節点では、横材だけが曲がった。

横材をボンドでしっかり固定したラーメン構造では、かけた力のわりに部材が曲がらなかった。さらに強い力かけると縦材が曲がった。全体で一ヶ所にかかった力を分散させているのがよくわかった。だから、一つ一つの部材にかかる力は少なくてすむことになる。

研磨スポンジで実験を行ったため、方向による強さの差がなく、力のかかり方がよくわかってよかったと思う。滑節点で横の部材(荷重がかかった部材)が曲がったために、スチレンボードで行ったときのような縦材のゆがみも見られなかった。

力を分散させることができることが、ラーメン構造の強さの秘密だとわかった。また、滑節点と剛節点とでは、それぞれの部材の力の負担が異なっていることがわかった。

3 トラス構造

トラスとは三角形の枠組み、つまり部材を組み合わせて三角がいくつもつながった形をした骨組みである。天竜川河口にかかる鉄道橋はすべてトラス橋である。

「橋の研究VI」で新幹線、東海道本線等のトラス橋の形と仕組みを調べたが、滑節点のトラスで実験をしたことがないので、工作用紙でトラス橋の模型を作り、強度を確かめてみようと思った。

(実験方法)

- (1) 工作用紙を1cm幅に切り、20cmの平行弦ワーレントラスを作る。
- (2) 接合部はハトメでとめる。
- (3) 5cmメートル幅の桁をのせ、中央におもりをのせる。
- (4) 同じようにグルーガンで接着したものを作る。

(結果、考察)

どちらも1cm幅の工作用紙を組んだだけとは思えないほど安定した強さだった。

ハトメでとめたもの(滑節面のトラス)と、グルーガンで固定したもの(剛節面のトラス)では、固定したものの方が強度があった。しかし、気になったのはハトメでとめたものは自由に動いたけれど、とめるときの握る力の入れ方で、動きやすいところと動きにくいところが出たことである。

そこで、よりなめらかに動くように画びょうでさしただけのとめ方にして比べてみた。画びょうは外れやすく、一つが外れると、橋がバラバラにこわれてしまった。

グルーガンで固定したものが、強度があった理由を考えてみる。接合部をグルーガンで固定したことによって、見た目はトラス橋の模型であるものが、実はラーメン構造の桁橋なのだといえる。

橋脚と一体化していないので、ラーメン橋ではないが、桁の部分がラーメン構造になっていて、強度があると考えられる。

画びょうでトラス橋を作っている途中、グニャグニャで形をとどめなかったのに、一本つけて三角形のトラス構造ができあがった途端しっかりと形が決まった。お互いの部材が支えあって、容易に崩れることがないという三角形の強さを利用した構造だと理解できた。

アメリカのミネソタ州ミネアポリスで、ミシシッピ川にかかるトラス橋が崩壊した。この橋はトラス橋だった。実験で画びょう1つが外れたとたんに橋が崩れたことから、トラス構造の橋では、一部の部材が損傷しても構造物全体のバランスが崩れてしまうことがわかった。ラーメン構造では、部材の損傷の影響は少なくすむようだ。

小学生のとき、トラス橋を作ってみるまで、トラスは車や電車が川に落ちないように囲いの役割なのだと思っていたが、構造力学的に意味のある構造だとわかった。

今年、トラスの実験をラーメン構造と比べながらできたことは、理解を深めるのに大変役に立った。「ものの形には、すべて意味がある」と実感することができた。

4 ケント紙で橋を作る

僕が小学校1年で橋の研究を始めたきっかけは、ミニカーの橋を作るためだった。ただの画用紙を道幅に切って橋脚に置いただけで、自分の重みで曲がってしまった。それが、両側のふちを少し折り曲げただけで強度が増して、ミニカーを支えることができた。その驚きから始めて、続けてきた自由研究だった。

今、振り返ってみて、橋についてずいぶん研究をしてきたつもりだったが、あの時、どうしてふちを折り曲げただけで強くなったのだろうかと考えてみても、答えがうまくみつからない。

もう一度原点に戻るつもりで、紙で模型を作り、その強度を科学的に考察し、橋の研究のまとめをすることにした。

4-1 強度測定の方法

- ・ケント紙 (315 mm×540 mm) と木工用ボンドで模型をつくる。
- ・端の幅は5 cmとする。
- ・長さは、ケント紙の短い方 (315 mm) とする。
- ・橋脚は、コンクリートブロックにスチレンボードを巻いたものを用いる。これはコンクリートのままだと、面の粗さが一定でないためである。橋脚の安定のため、重さが必要なため、コンクリートブロックを用いた。
- ・橋脚間は25 cmとし、支承として幅広ゴム (1 cm×1 cm) を置く。
- ・模型を置いたら、橋脚間の中点の模型にゴムバンドをかけ、さらにS字フックをかけてビニール袋を吊るす。
- ・ビニール袋にグラニュー糖を少しずつ入れ、橋が落ちたら、ゴムバンド+S字フック+グラニュー糖入りのビニール袋の重さを測る。ゴムバンドを用いたのは、昨年までの研究で、力が加わってくると重心が移動し、ひものはずれてくることがあったためである。昨年はコンクリート素材だったので、屋外実験となった。今年は紙なので、湿度なども一定にするためにエアコンをつけた室内で、水以外で重さを調節しやすいものとしてグラニュー糖を選んだ。



写真3 グラニュー糖で強度測定

(1) 紙を重ねる

ケント紙を重ねていくと、どんどん強くなった。試験体も重くなるにもかかわらず、強度の増え方は予想以上だった。

かなり硬くなったので、ボンドも影響しているかもしれない。

(2) 両端を折る

ただ1枚の紙では、13gしか耐えられなかったものが、両端を1cm折り曲げただけで5倍以上の強度を持った。5cm折り曲げると強度実験は壁の力が垂直にかからず苦勞した。コの字型はケント紙では安定しない形ともいえる。断面積が大きいほうが大きな強度を得ることができると、この結果から仮定して次の実験を行う。

(3) 箱型にする

天井を取り付け、箱型にしたことによって、強度は一段と増した。

5cmのものは、グシャッとつぶれてしまい、かえって強度が落ちてしまった。高さ方向の強度があれば、強度が得られるだろうと予想して縦材をプラスして実験した。

(4) 縦材のある箱型

1cmごとに高さと同じ縦材をボンドでつけることによって、強度が増し、特に(3)の実験でつぶれてしまった高さ5cmのものは、3,000g近い数値だった。

(考察)

両端を折っただけのものも、天井があるものとして断面積を考えれば、断面積の大きい方が強度がある。ただ、断面積が大きくなるにつれて支えなどの補強が必要になる。ただ1枚の紙よりその両側を折り曲げることによって、その構造物の断面積が大きくなり強度が増すのだと考えた。

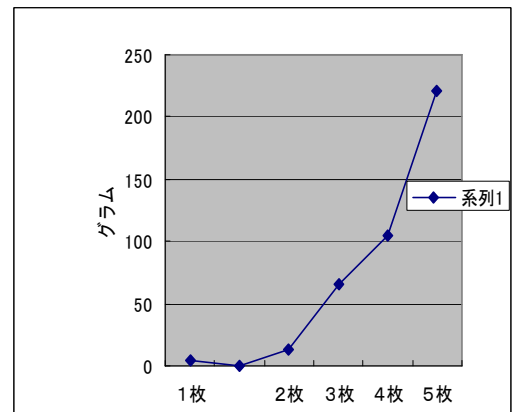


図3 ケント紙を重ねる実験

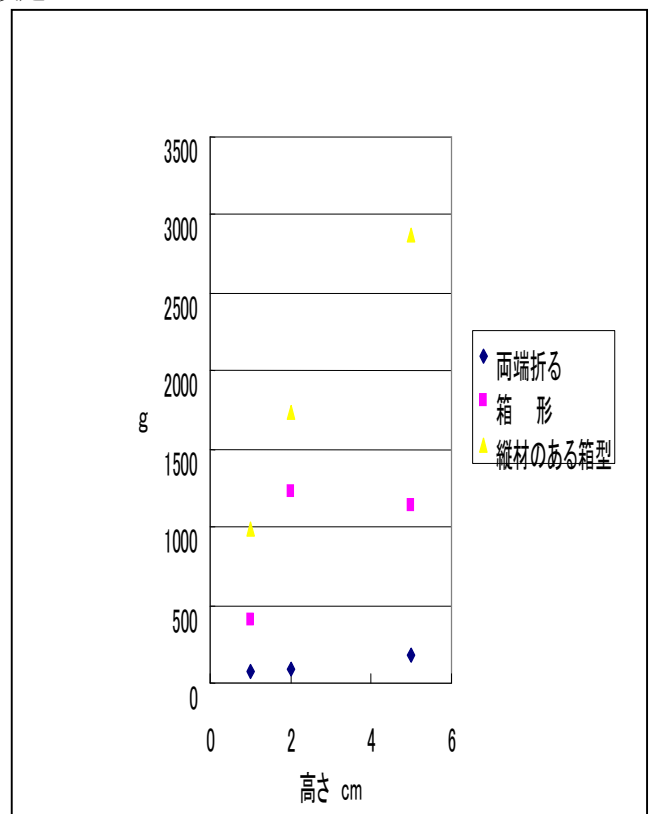


図4 高さを変えた3つの実験

5 おわりに

今年、ラーメン構造について調べていくうち、トラス構造についてもより理解を深める事ができた。小学校1年からずっと橋という一つのことを研究してきたことは、僕にとって大きな財産であると思う。

指導してくださった先生方、静岡県土木部、浜松土木事務所、国土交通省中部地方整備局 浜松河川国道事務所、浜松市土木課の皆様方、本当にありがとうございました。