◆ *講座Ⅱ「橋の“かたち”をかがくしよう！」*

～どうしてコンクリート？鉄？～

小林智尚　先生

1．はじめに

私たちのまわりにはたくさんの橋があります。小さな橋から大きな橋まで、日本には世界一長い明石海峡大橋まであります。目的も様々です。川を越える橋、道路の立体交差、線路を越える橋、歩道橋など。橋のかたちにも鉄橋やつり橋など、色々なものがあります。

ところで、橋はどうしてあのような形になっているのでしょうか。橋は出来るだけシンプルで丈夫なように工夫されています。この橋のかたちを体験しながら調べてみます。

2．色々なかたちの橋（橋の種類）

橋には様々な種類があります。大きく分類すると次の６つになります。

ａ．桁橋

厚さのある板状の橋桁を、支柱（橋脚）に乗せた橋です。（プレートガーター橋とも言われています。）

ｂ．ラーメン橋

通行するまっすぐの橋桁に、支柱などがしっかりと固定された橋です。

ｃ．トラス橋

鉄骨や木材などの真っ直ぐな材料で作った骨組み構造の橋です。

ｄ．アーチ橋

上向きに凸になった円の一部の形をした材料で作られた橋です。

ｅ．斜張橋

高い支柱から、通行する真っ直ぐな橋桁にたくさんのロープ（ケーブル）をたるまないように張った橋です。

ｆ．つり橋

二つの高い支柱に太いロープ（ケーブル）をたるませて張り，そのロープ（ケーブル）から別のロープ（ケーブル）を使って通行する橋桁をぶら下げている橋です。

やってみよう：インターネットなどから橋の写真をえらんで、それぞれの橋がどの種類の橋かグループ分けしてみましょう。

（**ヒント：**橋の写真はインターネットに多くあります。(社)日本橋梁建設協会のホームページ（ http://www.jasbc.or.jp/ ）などが参考になります。）

調べてみよう：身近な橋を探してみましょう。そしてその橋の種類、何が通るための橋なのか、橋の長さはどれぐらいかを調べてみましょう。みんなで調べた結果を集めて整理してみましょう。

（**ヒント：**身の回りの小さな橋は桁橋（プレートガーター橋）がほとんどです。橋の上を通るものが重いほど、つまり人より自動車、自動車より電車が通る橋ほど、あるいは径間（支柱と次の支柱までの、橋がひとまたぎする長さ）が長いほど、トラス橋やつり橋が使われるようになります。）

3. 細長い桁でものを支える力（桁橋）

3-1 橋桁にかかる力を見てみよう

橋にものが乗ると、橋桁にはそれを支えようとする力が働きます。橋桁が弱いと折れてしまいます。ものを支えるための力って何でしょう。橋にかかる力を実験で見てみます。

消ゴムで橋を作る：消ゴムをいくつか並べて棒のようにします。それをみんなで協力して二つの台に渡してみます。もちろん壊れてしまいます。

ひもで橋を作る：ひもを二つの台に渡してみます。セロハンテープで留めれば渡せますが、ブラりとしていて通行できる橋とはちょっと違います。

消ゴムとひもで橋を作る：T 字の部品を 2 つ用意します。図-1 のようにT 字の部品を横にして、上側の端の方に並べた消ゴムをはさみます。T 字の部品の反対側には並べた消ゴムと同じ長さのひもを張ります。そして図のように台に渡してみます。無事に橋が掛ります。消ゴムの上は平らで通行することができそうです。（**ヒント：**T 字の部品は重い物で作ったほうがうまく行きます。）

図-1 消しゴムとひもの橋

解説：橋を折ろうとする力は、橋桁の上側の「押す力」と橋の下側の「引っ張る力」に分けられます。この実験では、橋の上側の「押す力」で消ゴム同士が押さえ付けられて支えます。また下側では「引っ張る力」がひもをピンと引っ張ります。「押す力」に強い消ゴムと「引っ張る力」に強いひもをうまく組み合わせて橋が折れないように支えています。実際の橋では鉄骨や鉄筋（鉄の棒）、コンクリートが使われています。このうちコンクリートは消ゴムと同じく「押す力」に強い材料です。鉄筋は細くひもと同じで「引っ張る力」に強い材料です。そして鉄骨は両方の力に適した材料です。橋はそれぞれの材料の特徴をうまく組み合わせて作られています。

（**対象：**中学 1 年生理科，力）

3-2 折れにくいウエハースを作ってみよう

図 2 折れたウエハース

折ると簡単に折れるウエハース。このウエハースを折れないようにセロハンテープで補強しましょう。補強するヒントは前の実験です。

図の様に折るとウエハースは簡単に折れてしまいます。折れる様子（図-2）を良く見ると折れる外側が離れるように二つに割れています。ウエハースは「引っ張る力」に弱く、「押す力」には強い材料で、並べた消ゴムやコンクリートと同じです。

補強に使うセロハンテープは「押す力」ではすぐクシャクシャになってしまいますが、「引っ張る力」には強いです。そこで、ウエハースを折る時の外側、「引っ張る力」が働くところにセロハンテープを張ります。

図-3.1 両端にセロハンテープを巻く

セロハンテープの張り方：

ａ．セロハンテープはウエハースには直接つきにくいので、まず、図-3.1 のようにウエハースの両端にセロハンテープを巻きます。

ｂ．次に図-3.2 のようにウエハース両端のセロハンテープの上から補強用のセロハンテープを貼ります。

図-3.2 補強用のセロハンテープを張る

補強したセロハンテープの反対側からウエハースに力を加えて、強くなったかどうか試してください（図-4）。また、セロハンテープを貼った側からウエハースに力を加えると、ウエハースは簡単に折れてしまうので、セロハンテープによる補強の意味が分かると思います。

この実験ではウエハースは「押す力」に強いコンクリート、セロハンテープは「引っ張る力」に強い鉄筋にあたります。そして、セロハンテープで補強したウエハースは鉄筋コンクリートと同じです。橋などで使われる材料はそれぞれの長所を組み合わせて上手に使われています。

図-4 セロハンテープで補強したウエハースを折る

（**対象：**中学 1 年生理科，力）

3-3 セメントはどうして固まるの？

コンクリートはセメントの粉に水や砂、砂利を混ぜて固めます。セメントは砂や砂利も一緒に固めて強い塊になります。ではどのようにしてセメントは固まるのでしょうか。

セメントは「水和反応」という、水との化学反応で固まります。代表的なセメント、普通ポルトランドセメントは成分の約半分が酸化カルシウム・酸化ケイ素（$3CaO \cdot SiO_2$）です。この成分が水和反応でエトリンガイトと呼ばれる水和物になります。酸化カルシウム・酸化ケイ素（$3CaO \cdot SiO_2$）の分子ひとつがエトリンガイトになるためには 32 もの水分子と結合する必要があります。その反応も数時間から数日と、比較的ゆっくり進みます。ですか

ら､セメントやコンクリートを固めるには｢乾かす」のではなく、水和反応がしやすいように「湿った状態」にすることが大事です。セメントを水と混ぜて、すぐに天日に干したコンクリートを手で割ったのが図-5 です。乾くまでに水和反応が進むので固まりはしますが、乾燥すると反応が止まってしまうので、固さも不十分、手で割れてしまいました。

図-5 手で割れたセメント，水と混ぜてすぐに乾燥させたのでもろい.

注意：セメントの水和反応では水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$）も生成されるため、セメントペース（まだ固まらないセメント）や出てくる水は強いアルカリ性になります。皮膚があれるので注意して下さい。

（**対象：**中学理科，化学反応；高校化学，水和反応）

4．強い形は三角形（トラス橋）

電車の鉄橋などでよく見掛けるトラス橋（５ページの図）はたくさんの棒を使った骨組みで出来ています。横から見ると上の横棒と下の横棒があります。これらの棒（部材）は普通鉄骨でできています。鉄骨は「引っ張る力」と「押す力」の両方に強い部材です。そう考えると上の横棒と下の横棒でできたトラス橋は「3-1 橋桁にかかる力を見てみよう」で出てきた「押す力」､「引っ張る力」を支えています。では、それ以外の部材，斜めの鉄骨はいらないのでしょうか？

トラス橋を太めのストローで作ります（図-6.1）。太めのストローは折れにくくて丈夫です。それに一度折るとそこでは自由に曲がることができて橋の工作には便利です。トラス橋のストロー模型から、不要そうな斜めのストローを取り除きます(図-6.2)。そして角を押すと...、模型は簡単に形が変わってしまいます（図-6.3）。

図-6.1 ストローで作ったトラス橋

図-6.2 斜め部材を取り除く

図-6.3 角を押すと，橋のかたちが変わってしまう

ストローの橋では真っ直ぐなストローは丈夫ですが、曲がったところは弱いです。本当の橋も同じです。真っ直ぐな鉄骨は丈夫ですが、それを接げるところ（接合部）には色々な力が集まってなかなか固定できません。すぐに部材の角度が変わってしまいます。橋で形が変わることは「壊れた」ことを意味します。形が変わらないようにする必要があります。

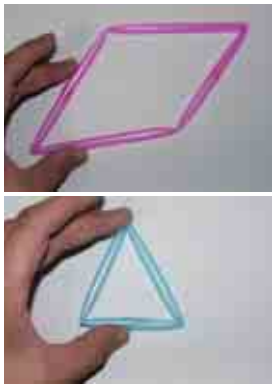

図-7 四角形と三角形のストローの変形

その答えが「三角形」です。ストローで三角形と四角形を作って、角を押したのが図-7 です。四角形はすぐに平行四辺形になってしまいますが、三角形は変形しません。トラス橋も三角形を作って形が壊れないようにしています。

調べてみよう：力を支えるための「三角形」は至る所にあります。家の骨組みなど。探してみてはどうでしょうか．ただし、最近はプラスチックなど材料が良くなったので「形で支える」という考えが少なくなってしまい、身近なものが少なくなりました。でも、橋などの土木構造物が必要な支える力があまりにも大きく、新しい材料を使っても「形で支える」アイデアがないと支えきれません。

発展：三角形は多角形の基本です。すべての多角形は三角形に分解できます。この事を利用して、コンピュータ・シミュレーションの一つ、有限要素法では、橋やダム、建物などを小さな三角形の部材に切り分け、計算することが一般的です。

（**対象：**小学 2，4 年，ものの形，面積．中学数学，相似図形）

5．重いものも両足の踏ん張りで支えます（アーチ橋）

アーチ橋には円弧の形の部材があります．この部材が，橋にかかる重さを左右に分けてくれます．

コンビーフ缶アーチ橋の作り方：

コンビーフ缶は台形の形をしています。この缶詰を並べてアーチ橋を作ってみます。

ａ．机か床の上に、コーンビーフ缶の橋を支える、橋の土台を作ります。

ｂ．土台の上に、缶を逆さまにしてコーンビーフ缶を横に並べます。コーンビーフ缶は台形をしているので、並べると図-8 のようにアーチの形になります。

ｃ．コーンビーフ缶の橋の完成です。

図-8 コンビーフ缶で作ったアーチ橋

この橋は丈夫なので重い物を乗せることもできます。（図-9 のようにこの橋には軽い人が乗ることもできます。ですがその際には細心の注意を払ってください。人が乗るときには、土台や橋が十分に丈夫か確認し、気をつけながら橋に乗ってください。この橋が崩れるときは突然です。十分に注意してください。）

実験のように、この円弧の形をした部材には「押す力」しか働きません。この形のおかげで、橋にかかる力が単純になって、設計も簡単になります。そのため、このアーチ橋に似た太鼓橋が日本では昔からあります。昔の人もこの形の強さを知っていて、橋に利用していました。

図-9 コンビーフ缶アーチ橋に人が乗ることもできる

6．おわりに

橋は単純な形をしていますが、必要なところに最適な材料を使って、橋の上の人やものを「かたち」で支えています。橋は様々なところにあります。生徒の皆さんにも、この単純で不思議な、橋のかたちを伝えてください。