

## 力の流れを読む

# 模型から把握する力の流れ

## 「力と形」の授業を通して

石川孝重●日本女子大学住居学科教授

## はじめに

近年の学生は幼少期から各種メディアに親しんでいるが、想定力や理屈による理解が不得手な者が少なくない。構造安全にかかわる授業では、建物に働く「ちから」を理解することが必要となるが、「力学」の授業では、単なる計算として捉えられる傾向が強い。これは建物に働く力が目に見えないため、認識しにくいことが原因の一つと考えられる。

ここでは、住宅・建築設計の基礎となる「建物内の人と財産の安全を守るための知識とセンスを養う」ことを意識し、模型を多用して力の流れをビジュアルに実感できるように工夫した体験型授業を紹介する。

## 構造安全分野の

## 体験型授業「力と形」

数年間の検討および試行を重ねた後、体験型授業「力と形」を、1年次の科目として1996年度に新設した。この授業では、「力」と「形」を初学者が体感的に理解するよう計画している。実際にデザインするうえで不可欠なのは、数式や数値による構造に関する知識だけでなく、素養としての構造安全に対する感覚である。特に、構造力学や構造学のような理論的な科目は、学生にとっては数式展開ばかりでイメージしにくく、難しく感じられるため、構造の理論を学ぶ前に、各自が力のイメージをもち、それをビジュアルに見る

ことで学ぶ気持ちが高めることを授業のねらいとしている。いわゆる初年次の動機づけ教育である。授業の中で各自が発想したり、実際に手を動かしてもものをつくり、その結果を実験で確かめる作業を繰り返しながら学べるように工夫している。

授業回ごとのテーマは、最初に力と形に関する人間の工夫の歴史をたどり、次に建物に働く力の種類を学ぶ流れになっている。その中で力の特性を知り、力が作用することで形にどのような変化が起こるのか、どうしたら強くて丈夫な構造システム(形)になるかを理解するプログラムとした。簡単なテーブル実験から始まり、回が進むと計算や実験の精度が高くなるが、各回とも、学生がビジュアルに理解できるような「しかけ」を盛り込んでいる。それにより、次のような効果が期待できる。

## 情報の個別化——個への働きかけ

学生が興味をもち、授業に積極的に参加するためには、リアルなライブ感覚が必要になる。学生自身で行うことが難しい実験は教卓上でデモンストレーションを行うが、その場合はCCDカメラで中継して、細部まで映像化して示し、個々の学生に直接話しかけるような臨場感をもたせる工夫が有効である。

## 即時的な刺激(教材)の切り替え

各回のテーマとリンクしたビジュアルな教材を並行して見せ、学生に刺激を与えることが必要である。例えば、机の上でできる簡単な実習をしながら、実際の建物への応用がど

のようになされているかをスライドやビデオで理解するといった即時的な切り替え手法を多用している。

## 場の共有化——対話・双方向性

マルチメディア機器を使うことで表現手段が多様化され、学生と教員相互の対話がスムーズになり、授業内容に対して深い理解が得られる。模型などの立体、グラフや図形などを用いた説明には特に有効である。

このように、楽しく、イメージしやすい授業を組み込み、学生の抵抗感を少なくすることも、多様化した学生ニーズに応える体験型授業の効果の一つであるといえよう。

## 授業の具体的な事例の紹介

授業は2コマ続きで行い、実験・実習とまとめをじっくりと行う。教科書は構造入門教材『ちからとかたち』<sup>1)</sup>を主に使用し、必要に応じて配布プリントで補足している。

## 第1回

## 力と形の歴史的展開・積み上げる

人々がどのように風や地震、建物の自重といった外力に対して工夫して建物を建ててきたかについて、具体例を見ながら古代から現代までの歴史的展開を辿る。美しい建物を生み出す前に、力に耐えるという工夫が必要であり、またその工夫が美しい形の一要素となっていくプロセスを見取っていく。「積み上げる」では、写①のような200個のミニレンガを積み上げ、どのくらい高くできるかというアイデアを競う。学生

は積み上げたレンガが崩れるという体験を繰り返すことで、建物を安全に保つ工夫の必要性を感じる。

### 第2回 折板の制作

美しい折板をつくり、力と形のバランスを考える。写②③のように教科書の型紙にそって折板を制作し、おもりを載荷して力の流れを確認する。折板のオリジナル作品も作成する。

### 第3回 荷重とその挙動

住宅・建物の骨組を表した構造モデルは、部材に伝わる力の流れが具体的なものとして捉えにくい。そこで、力の伝達状態を可視化した模型を作成し、写④のようにデモ実験を行う。自重、家具や人間による積載荷重、地震や風、雪といった外力を再現する。この模型を使うと柱の軸力をはかりの値の変化として直接読み取ることができるため、建物に作用する荷重を理解しやすい。積載物の偏在による影響や、風・地震などの動的な荷重に対する建物の挙動も実際に見ることができる。これらの荷重・外力の存在を理解し、建物はこれらの力に耐え、安全な空間を保つことが重要であることを学ぶ。

### 第4回

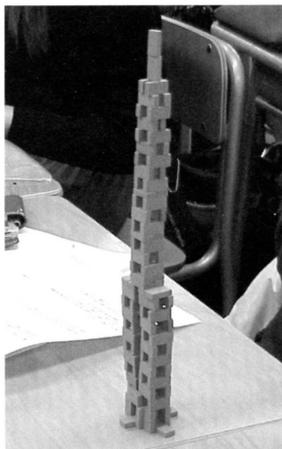
とにかく作ってみよう試してみよう

#### — 下から支える

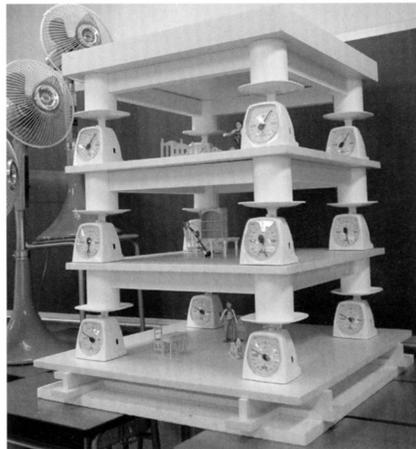
自分のアイデアで平面に立つ形を考え、強度を競う。同じ紙1枚を同じ高さで使い、各自の発想を作品にする。学生全員が持っている講義概要をおもりにして作品の上に乗せ、どのくらいの重さまで耐えられるのかを写⑤のように実験して確かめる。どのような形が強かったのか、どのように壊れたのかなどを観察することで、強度を高めるための条件や工夫を理解することができる。

### 第5回 引張材・アーチ

ここまで理解した「力に耐える強い形」を生み出すために、引張力



①積み上げる実験



④荷重とその挙動



②折板の制作



⑤下から支える実験

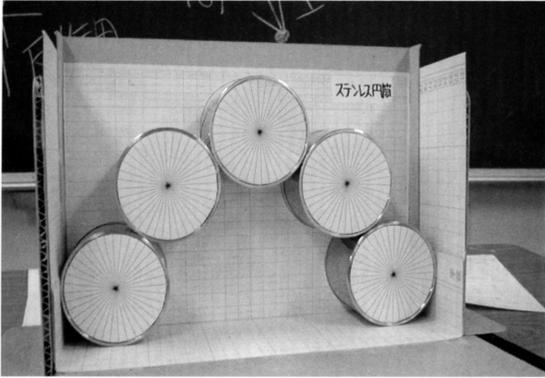


③折板の載荷実験

と圧縮力を理解する実験を行い、力による変形について学ぶ。

引張材の実験では、輪ゴムと10円玉を使用して引張力と変形との関係を確認する。ここで、基本的な法則であるフックの法則を体験学習する。

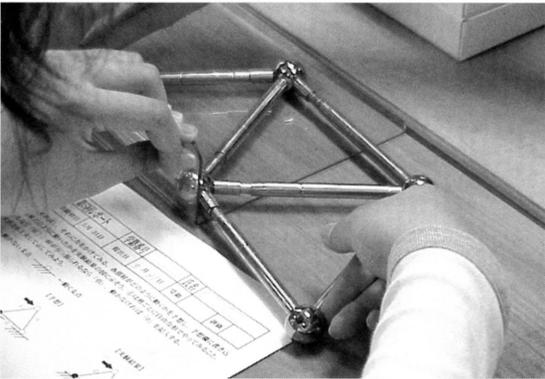
続いて、接点に作用する圧縮力を利用したアーチを、写⑥のように円筒を利用して作成し、力の流れを考えながら示力図を学ぶ。ここで、建物が安全を保つために不可欠な条件である「力のつりあい」を学ぶ。



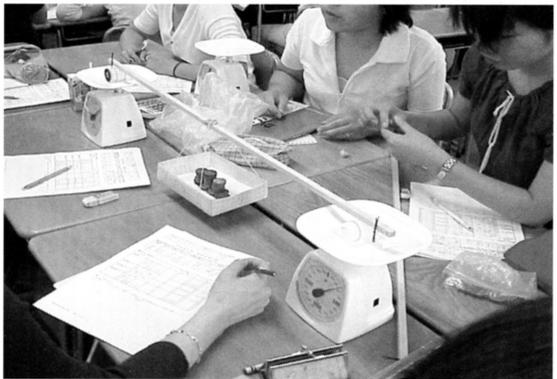
⑥アーチの実験



⑧座屈の実験



⑦トラスの実験



⑨単純梁の実験

## 第6回 トラス

さらに、引張力と圧縮力を効果的に利用した構造であるトラスを学ぶ。圧縮力と引張力を部材の変形として可視化できるように作成した模型を用い、各自がトラスを組み立てる。このトラスに、写⑦のように力をかけ、それが各部材にどのように伝わるのかを実験によって確かめ、トラスの力学的な仕組みを理解する。また、言葉の説明だけでは理解しにくい「ピン接合」についても、この模型を各自が実験することで容易に体験学習することができる。

## 第7回 座屈・モーメント

建物の安全を保つうえでどうしても避けなければならない不安定現象である「座屈」について、写⑧のようにヒノキの角材を用いたデモ実験から学ぶ。材や両端の支持条件を変えて、座屈が起こる条件を体験的に学んだうえで、理論的な裏づけを図

る。また、さおばかりで力のつりあいを利用した実験を行い、引張力・圧縮力以外の力として、モーメントの原理を理解する。

## 第8回 単純梁

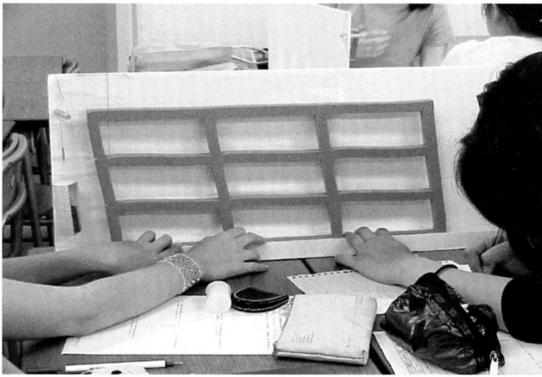
力学などで学ぶ単純梁の反力や応力、たわみの算出は、学生にとって抽象的でわかりにくい。そこで、ヒノキの角材を梁に見立て、おもりをかけたときの力と変形の関係を写⑨のようにグループ実験で確かめる。支点をはかりにすることで、外力と反力との関係を即時に確かめることができる。おもりをかける位置や材の太さを変えて実験を行い、力の流れや変形量の変化について理解を深める。また、引張力では目に見える変形は生じない一方、曲げの力による変形は目に見えるほど大きいことも実感できる。実験結果に基づいて、断面2次モーメントなどを算出し、理論的な裏づけを定量的に理解する。

## 第9回 交差梁

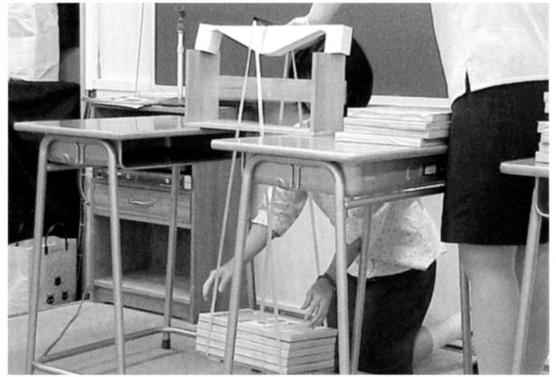
単純梁実験で使用したヒノキ材を交差させ、交差梁を組み立てる。その交差点におもりをかけて、力がどのように梁材に分担されるのかを実験する。梁の断面積、交差位置などが異なる場合の実験を行い、外力と反力との関係を定量的に理解するとともに、不静定構造物の成り立ちについても体験的に学習する。

## 第10回 ラーメン

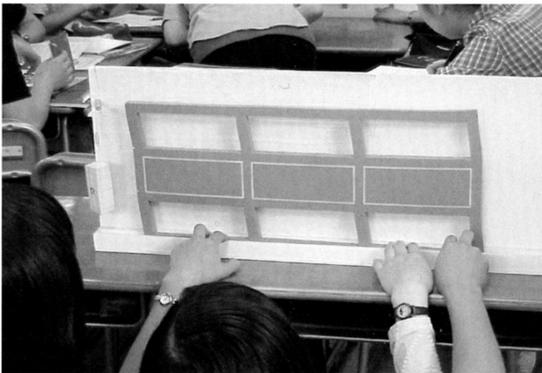
ラーメンに水平方向の荷重が作用したときの力と変形の関係について、写⑩⑪のような実験を行う。梁や柱の変形を可視化できる材料を使ってラーメンの模型を作成し、おもりを増やししながら、各層の変形を定量的に計測する。さらに、耐震要素として有効な筋かいや壁の配置の違いによる変形への影響を実験し、その効果を実感する。



⑩ラーメンの実験（純ラーメンの変形）



⑫両端から支える模型の実験（載荷の様子）



⑪ラーメンの実験（ピロティ型ラーメンの変形）



⑬両端から支える模型の実験（崩壊の状態）

## 第11, 12回

とにかく作ってみよう  
—— 両端から支える

授業の集大成として、各自が「両端から支える」作品を自由に作成し、強さを競う。工作用紙1枚と木工用ボンドだけを使うという条件で作った作品を、両端から支えて中央部におもりを載荷し、どのくらいの力に耐えられるかを写⑫⑬のように実験する。授業で学んだ座屈、曲がりにくさ、変形などさまざまな知識を総括し、最も強い形を考える。強い作品、弱い作品、さまざまな壊れ方を観察し、強い形のメカニズムを実感する。ほかの作品の結果も踏まえて、再度実験する。

## 第13回 まとめ

まとめとして、安全な建物をつくることをテーマに、住宅などの建物の実例スライドなどを交えて授業の流れをトレースする。生命や財産を

守るという建物の使命を果たすためにどうしたら強く変形しにくい構造ができるのか、体感しながらイメージをつかむことを試みる。後に続く力学の授業では、「力と形」で動機づけられた興味をもって、これまでに得られた、あるいは新しい知識の論理的な展開を学ぶことになる。

## ビジュアル体験型授業の今後

このような体験的視覚型の授業は、初年次導入教育（興味づけ）としては適しているといえる。ただし、論理的蓄積としての効果は薄い。これについては、古典的ともいえる演習や思考の繰返しやがやはり効果的であると、授業を通して実感している。

したがって、授業では、実感できる実習と理論的な展開とを同時に進めることを心がけた。理論を理解するうえで助けになるようなイメージ

を学生にもたせる実験を行うだけでなく、これに対応する力学も並行して教える方法をできるだけとるようにした。力学の授業内容の範囲からすると一部分の内容ではあるが、結果として理解度向上への寄与が大きくなった。

導入の平易さと詳細な理論の追究の両輪が教育効果には欠くことができなことを、体験視覚型授業「力と形」の実践を通して学んだ。いずれにしろ、構造安全分野のカリキュラムにおいて、この「力と形」で展開した動機づけのモチベーションを、後の力学などの授業でいかに活用していくかが重要と考えている。

（いしかわ たかしげ）

## 【参考文献】

- 1) 日本建築学会：構造入門教材 ちからと かたち、丸善、1998年9月