

## 動機付け教育における視覚・体験型授業の実施とその効果 —本学「力と形」の授業を通して—

正会員 ○ 石川 孝重\*1

体験型授業	ビジュアル教材	動機付け
力学	構造原理	初年次教育

### § 1 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世代であるが、想定力や理屈による理解が不得手な学生が少なくない。学問を学ぶ際に必要な「目に見えないものに対する理解」を不得手とする学生が少なからずいる。建築なかでも、人命や財産保全にかかわる構造安全に関する分野では、建物に働く「ちから」という目に見えないモノを理解することが必要となる。しかし、計算によって安全性を確かめる「力学」の授業では、力について理解するより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ひとつと考えられる。構造安全分野の授業目的は「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」であり、この知識とセンスは住宅・建築設計の基礎となるものである。

数年間の検討および試行を重ねた後、1996年より体験型授業「力と形」を本学科1年次の科目として新設した。近年になって他大学でも同様の授業が実施される傾向になったが、当時は非常に新しい取り組みであったといえる。本報ではビジュアル教育・体験型授業の実施経験を報告するとともに、その結果の分析を試みる。

### § 2 構造安全分野の体験型授業「力と形」

住宅・建築はその内部で行われる営みを守る器である。設計者はすべからず、建物に働く「力」を理解し、安全を守りながら、住みやすく美しい「形（フォルム）」をつくることが求められる。本学の授業「力と形」では、こうした「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上で不可欠なのは、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学問は、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を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付け教育である。授業の中で各自が設定されたテーマに対して発想したり、実際に手を動かしてものをつくり、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。

テーマは各回で設定しているが、全体的な流れとして、

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。その上で一つ一つの力の特性を知り、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。はじめは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。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、その場合は実験状況をCCDカメラで中継し、細部まで映像化して学生に示し、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。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。体験が学生にとって机上の実験で終わらないよう、各回の授業テーマの構造や成り立ちを実現した建物の実例をビジュアルに見せ、実際の建物への応用についても理解できるよう組み立てている。

### § 3 使用機材とその効果

この授業は体験型授業であることから、マルチメディア（パソコン、書画カメラ、CCDカメラ、プロジェクター、スクリーン、モニタ、ビデオ、スライド、OHP）を駆使して、学生がビジュアルに理解できるように構成した。それにより、次のような効果を期待できる。

#### ①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。教師から学生集団への語りではなく、教師が個々の学生に話しかけるような臨場感が大切である。そのためには、教材を多人数で見ているという感覚でなく、一人一人が見ている感じを作り出すことが重要になる。全員の前で行うデモンストレーション実験などで、教室の後ろの方にいる学生には見えないような小さいものを扱う場合は、大型スクリーンを活用し、CCDカメラなどで必要な部分を拡大して、モニタやスクリーンに映し出せば、後方の学生にも実験結果を見せることが可能になる。

#### ②即時的な刺激（教材）の切り替え

講義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。

Model Class Showing the Effects of Motivational Education

— "Principles of Structural Design", Department of Housing and Architecture, Japan Women's University —

ISHIKAWA Takashige

### ③場の共有化—対話・双方向性

授業内における教員と学生個々との双方向のやりとりは理想的である。つまりこれまでは教員からの情報発信が主だった授業内でお互いが対話することを助け、お互いが理解しながら実験や実習を進めることの一端を可能にする。具体的には、学生が理解しにくい点についてマルチメディア機器を使って、その場で絵や図を見せながら質問したり、補足説明することができる。学生との対話はこれまで授業内で十分に行うことは難しかったが、表現手段が多様化されることによって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ことになる。

特に構造安全分野のように理論的学問は難解で現代の学生にはとっつきにくい分野であり、ややもすると学んでいる内容をイメージできずに後れをとる初学者も少なくない状況にあった。しかし上述のようなマルチメディア機器を活用した、楽しくて、イメージしやすい授業をカリキュラム内に組み込み、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ひとつであるといえよう。

## § 4 授業内容の具体的な事例ごとの分析

授業内容の具体的な事例を紹介し、分析する。教科書は本会発行の構造入門教材「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。この教材は構造安全を勉強する初学者にわかりやすいよう、机上実験を行いながら動機付けする目的で作った入門書である。筆者も作成当初から参加し執筆している。

### 第1回 力と形の歴史的展開・積み上げる

最初に「何のために構造安全を学ぶのか」を理解するために、人々がどのようにして自然がもたらす風や地震、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、これまでの歴史的展開を古代から現代までビジュアルにたどる。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みとっていく。

また「積み上げる」では、200個のミニレンガを積み上げて、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

美しい折板を作りながら、力と形のバランスを考える。写真1のように、教科書の型紙にそって折板を制作し、おもりを載荷しながら力の流れを確認する。また、折板のオリジナル作品も課題として作成する。

### 第3回 荷重とその挙動

人間の住まう建物には、どんな力がどのように働くのだろうか。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できる模型を作成し、これを用いて写真2のようにデモ実験を行う。実験では建物自体の自重、家具や人間などの積載物による荷重、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



b) 載荷実験

a) 折板の制作

写真1 折板の制作と実験

に作用する軸力が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の影響が理解しやすくなる。この模型では、積載物の偏在状態に対する影響や、風荷重・地震荷重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

授業目的のひとつに、構造物の強度を理解することがある。この回では各自が自分のアイデアで地面に立つものの形を考え、その強度を競うのがテーマである。各自1枚の紙を与えられ、同じ高さのものを作成する。どのような形が最も強いのか？ 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載せ、それぞれの作品がどの位の重さまで耐えることができるのかを写真3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、どのようにして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。



写真3 下から支える実験

写真2 荷重とその挙動

## 第5回 引張材・アーチ

第1回から4回までで理解した「力に耐える強い形」を生み出すために、物体に作用する力のひとつである引張力と圧縮力についてそれぞれ理解するための実験を行い、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。ここで力と変形の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円

筒を利用して**写真4**のように作成し、力の流れを考えながら示力図について学ぶ。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。

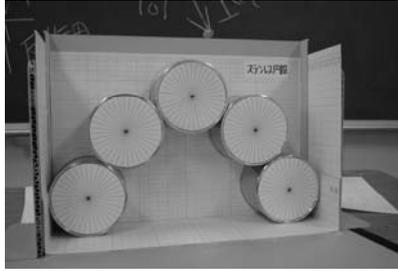


写真4 アーチの実験

**第6回 トラス**

前回学んだ引張力と圧縮力を効果的に利用した構造のひとつとしてトラスを学ぶ。圧縮力と引張力を部材の縮みと伸びとして可視化した模型をオリジナルに作成した。この模型を

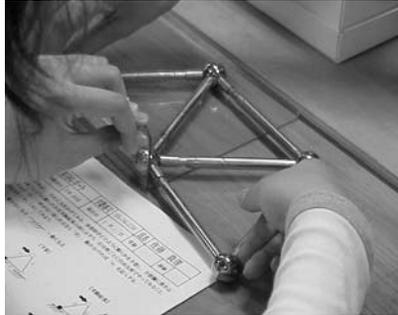


写真5 トラスの実験

使用し、各自がトラスを組み立てる。このトラスに、**写真5**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**

建物の安全を保つ上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」を、**写真6**のようにヒノキの角材を用いたデモンストレーション実験でビジュアルに表現する。材料の条件や両端の支持条件を変えた実験を通して、座屈が



写真6 座屈の実験

起こる条件を体験的に学び、理論的な裏付けを知る。また、引張力・圧縮力以外の力の種類として、曲げの力であるモーメントの原理を、さおばかりによる力のつりあいを利用した実験を通して理解する。

**第8回 単純梁**

力学の授業などで行われる単純梁の反力や応力、たわみなどの算出は、学生にとって抽象的でわかりにくい。この授業ではひのきの角材を梁に見立て、この梁におも



写真7 単純梁の実験

りをおもりのかけた時の力と変形を**写真7**のようにグループ実験で確かめる。実験では、おもりでかけた外力と反力との関係も可視化できる。おもりをかける位置や材の太さも変化さ

せて力の流れや変形量の変化などを確認しながら理解を深めることができる。この実験では、ひのきの角材に引張力が生じた場合は目に見える変形は生じず、曲げの力が働くと変形が目に見えるほど大きいことなども体験することができる。実験結果に基づいて、断面2次モーメントなどを算出し、理論的な裏付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ひのき材を交差させて、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、種々の条件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。また4つの支点をもつ構造物の実験を通して、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、**写真8**のような実験を行う。この実験では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、おもりを増やしながらか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違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。



a) 純ラーメンの変形 b) ピロティ型ラーメンの変形  
写真8 ラーメンの実験

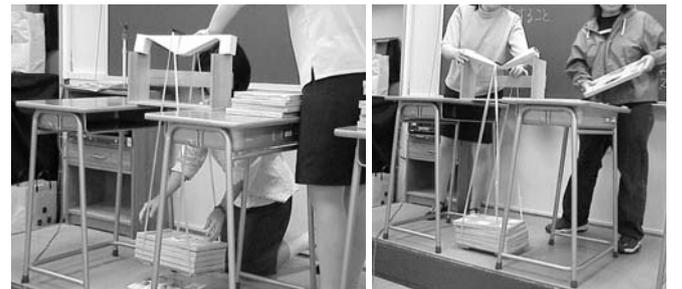
**第11回 とにかく作ってみよう試してみよう**

—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各自が発想した作品を、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**写真9**のように実験する。授業で学んだ座屈、曲がりにくさ、変形など様々な知識を総括し、最も強い形を考える。実験から、強い作品、弱い作品、様々な壊れ方を観察し、強い形のメカニズムを実感する。

**第12回 まとめ**

授業全体のまとめとして、安全な建物を造ることを



a) 載荷の様子 b) 崩壊の状態  
写真9 両端から支える模型の実験

テーマとして、住宅などの建物の実例スライドなどをまじえて授業の流れをトレースする。生命や財産を守るといふ建物の使命を果たすためにどうしたら強くて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」で動機付けられた興味を持って、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。

### § 5 授業「力と形」の学生による評価

半期の体験型授業を通して、学生がどのように理解を深めることができたのか、また授業をどのように評価しているのかを分析した。調査は無記名式のアンケートで89名の回答を得た。結果の一部を図1～4に示す。

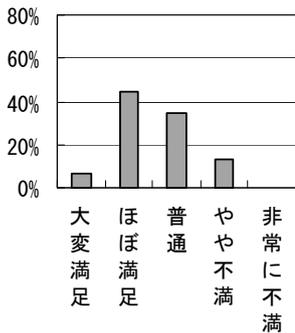


図1 総合評価

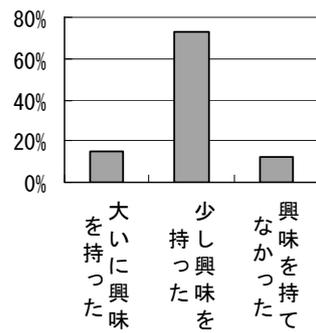


図2 興味の有無

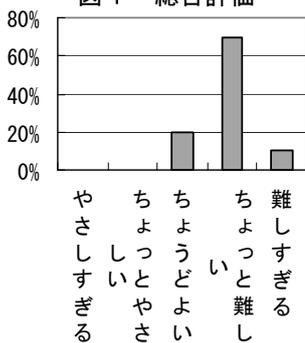


図3 難易度

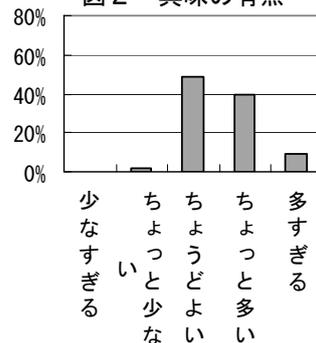


図4 内容量

図1の総合評価では、半数以上が満足と回答したが、約1割はやや不満と回答した。クロス集計の結果、「やや不満」の半数は授業内容を「難しすぎる」とし、残りの半数は「ちょっと難しい」と回答している。また実験の解説等を「わかりにくい」と回答した割合も多いことから、授業の難易度が満足度合に影響することがわかる。

図2の興味度合では、「少し興味を持った」以上の回答が8割を超えている。住居学や建築学系のカリキュラムにおいて、構造安全分野は「難しい」「計算」といったイメージが強いが、動機付けとしては効果があったものと考えている。興味を持てなかった学生は授業内容が難しく、説明もわかりにくいとする傾向にある。このように興味や授業の総合評価は難易度に影響する傾向が強い。

図3の難易度については、やさしいという回答はなく、学生にとってやや難易度の高い授業になっていることがわかる。図4の授業内容の量については「ちょうどよい」「ちょうど多い」という回答に二分された。また、難易

度を「ちょうどよい」あるいは「難しすぎる」と回答した学生の予習時間は短く、「ちょっと難しい」と回答した学生は、2割弱が週に4時間以上予習復習を行っていた。

また自由コメントでは「意味の大きい授業だと思う」「一年前期で実施してほしい」「いろいろ考えさせられた」といった全体的な感想や、「ハイペースである」「内容が多すぎる」「通年の授業にしてほしい」などの内容量が多いという指摘も多かった。また「力学の計算や理論が難しい」という意見がある一方で、「もっと物理的要素を強くしてほしい」という意見もあり、個人差も大きい。

さらに具体的な項目ごとの学習内容に対する理解度合について調査を行った。その結果、おおむね理解されている傾向にあったが、「静定構造物と不静定構造物の違い」「梁の断面形状と曲げ剛性の関係」などについては説明不足の回答が多く、理解が難しい項目と考えられる。これらは影響条件が多く、多少複雑な計算を伴う内容であったことも要因であろう。ただし、これらの内容はその後の構造力学等で詳細に学ぶことになるため、その際に今回の実験が具体的なイメージとして記憶されていれば、動機付けとしての教育目的は達成されたことになる。

### § 6 ビジュアル教育および体験型授業の問題点

これまでも述べたように、体験的視覚型の授業は初年次導入教育（興味付け）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うすい。これについては古典的とも言える演習や思考の繰り返しや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。理論を理解する上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いことを、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」で展開した動機付けのモチベーションを、後の力学等の授業でいかに活用していくかが重要と考えている。

### § 7 おわりに

本報告では、体験視覚型授業の試行状況とその効果に関する現状分析を纏めた。教授法や教材は時代とともに変化するが、学生の資質を鑑みつつ授業目的を達成するための手法を確立することが教育の原点である。

本研究における体験型授業にあたり、日本女子大学平田京子准教授、武蔵野大学伊村則子准教授、文化女子大学久木章江准教授に協力戴いた。謝意を表す。

#### 【引用文献】

- 1) 日本建築学会：構造入門教材 ちからとカタチ，丸善，1998年9月10日。

\*1 日本女子大学住居学科 教授・工学博士

\*1 Prof., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's Univ., Dr. Eng.