

# 構造力学における現象のイメージ化教育

浅野 照雄\*・岩井 哲\*

(平成14年7月6日受理)

## Education to Develop Ability to Image Mechanical Phenomena in Structural Mechanics

Teruo ASANO and Satoshi IWAI

(Received Jul. 6, 2002)

### Abstract

Structural mechanics is nominated as a difficult subject to be hard to understand for a student, however we think as one of the reasons that students lack for ability to image a mechanical phenomena. This paper describes about the ideas and application of program software to make students to bring up their ability to image mechanical phenomenon by computer visualization and the results applied it to the structural mechanics education.

The new developed system shows to visualize comparably such as deformation, bending moment and bending stress distribution over a whole structure member, and compare them with those of another kinds of structure form or loading, and the application to the education resulted that students understand with more precision in imaging the mechanical phenomena.

**Key Words:** Structural Mechanics, Education, Computer Visualization, Image, Experiment

### 1. ま え が き

力学教育には力学現象のイメージ化が概念の理解をする上で重要なものである<sup>1)</sup>。すなわち、「力」は一般に目に見えないものであり、状態を「想像する」(イメージ化する)という手法を取る。従って、力学現象のイメージ化に対する能力を育成することが力学を理解させるために必要であり、またそれによって、力学に興味を持つようになるものと期待される。

さて、本学の建設工学科のカリキュラムでは「理論の実証」と「現象の認識」を学生に行わせるために「実験」科目を設けている。しかし、実験の目的および方法などを事前に説明しても、実験レポートでは実験結果を整理することのみに注意を払い、実験の観察に無関心であったり、背景にある理論や実験目的さえも十分理解しない内容のものが多く見られる。実験を行う多くの教育的メリットが十分に機能されていない。また、その他に試験や演習で行う計

算では、得られた結果が計算ミスや単位の無視から生じる非常識なものになっても気がつかないでいるか、気づいてもその原因を解明しないまま済ますということをよく見かける。これらのことは、基本的に学生の独り善がりの計算至上主義や、基礎学力の不足から出てくるものであり、得られた結果の意味を考える姿勢の欠如の結果である。

理論を理解させることは最も重要であるが、一方で、現象との対比や現象の把握から得られる物理的意味の理解も極めて重要である。そのためには、概念や現象のイメージ化能力の開発が重要である。すなわち、イメージ化することにより概念の理解や現象の観察のための注意力を集中でき、また、自分なりの理解によるイメージ化と現実との対比により正しい理解が可能となる。

また、設計や現場施工では、力学現象を解析せずにイメージで想像できる能力を要求される。技術者は安全な構造物の設計や施工を行う上で、計算や施工の単純なミスを見逃さずにチェックできなければならない。

\* 広島工業大学工学部建設工学科

本学では建設技術者として必要な構造力学に興味をもたせるために座学に実験とシミュレーションを導入した新しいシステムを開発して実施し、その教育効果についてすでに報告しているが<sup>1)</sup>、特に、従来より学生に不足していた力学現象のイメージ化能力を開発するためにより効果が見られるように、システムのビジュアル化手法の改良を行った<sup>2)</sup>。本文は、イメージ化に有効なビジュアル化手法による教育支援システムについて説明し、その実施効果について述べるものである。

## 2. イメージ化のための支援システムの改良

### 2.1 部材全体の曲げ応力度分布の図示

従前のシステム<sup>1)</sup>では、部材全体の変形の図示はしたが、実験との対比に重点を置いたために、測定した部材の特定の点のみの曲げ応力度分布しか表さなかった。このことが、学生にとって部材全体の变形との関係をイメージしにくくしたと思われる。すなわち、部材の变形(曲率)と曲げモーメントの関係が正しくイメージできないことが分かった。そこで、曲げモーメントと部材特定点の曲げ応力度分布を表示した図1に示す旧システムのビジュアル画面を補足するために、本システムでは図2に示すように部材全体の曲げ応力度分布を引張応力度(青色)と圧縮応力度(赤色)に分け、その大きさに順じて濃淡で表した画面を作成するように改良した。この画面は、有限要素法を用いた解

析によって得られた結果を用いて作製している。これによって、1)部材の变形状態(曲率)、2)曲げモーメントの大小と曲げ応力度の大小(図では濃淡)との対応、3)部材の变形状態(曲率)と曲げモーメントの正負の符号と曲げ応力度の圧縮・引張との対応などが良く理解できるようになったと思われる。

### 2.2 構造形式、荷重の種類と自由な選択

力の伝達についてのイメージについて十分な効果が得られるように、構造形式、荷重が自由に変更できるようなシミュレーションソフトを作成した。図3に構造の選択をするためのメニュー画面を、図4に荷重の種類・位置・大きさ・向きを選択入力できる画面を示す。

### 2.3 比較モード

力の流れのイメージをより鮮明にするため、2種類の荷重状態でのシミュレーション結果を比較した画像を示すことができる様にした(比較モード)。例を図5に示す。支持条件・荷重位置・ヒンジの位置などによる断面力の違いが分かり、力の流れのイメージがしやすくなっている。な

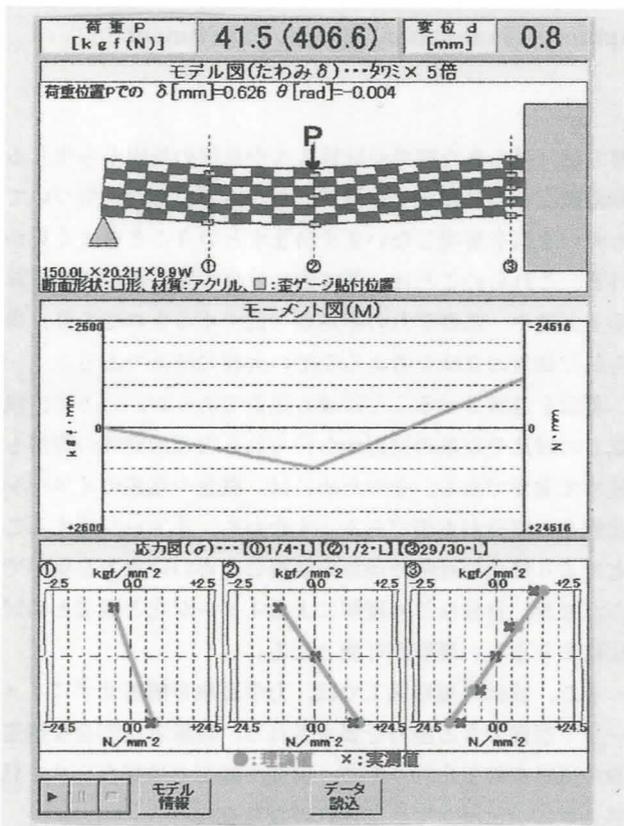


図1 曲げモーメントと曲げ応力度

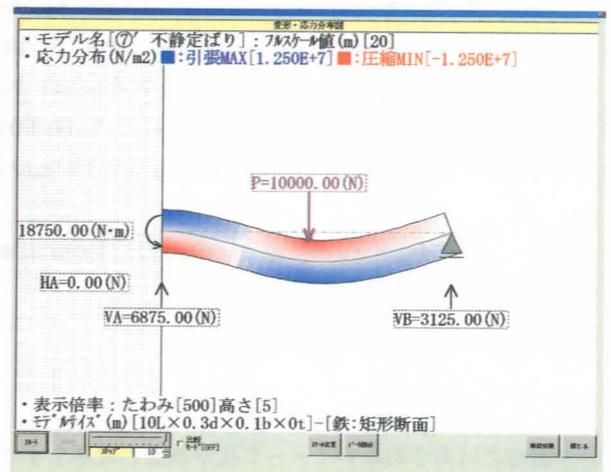


図2 曲げ応力度分布の拡大表示

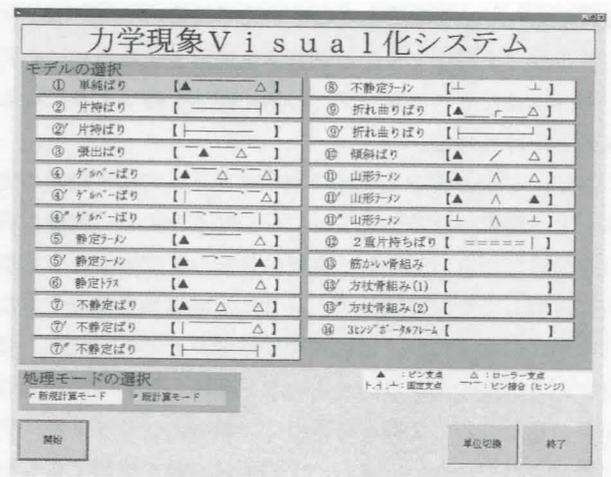


図3 構造形式の選択メニュー画面

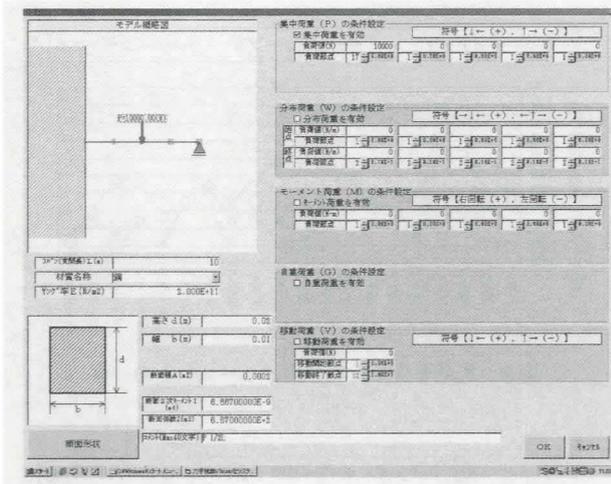


図4 荷重種類・位置・大きさ・向きの入力画面

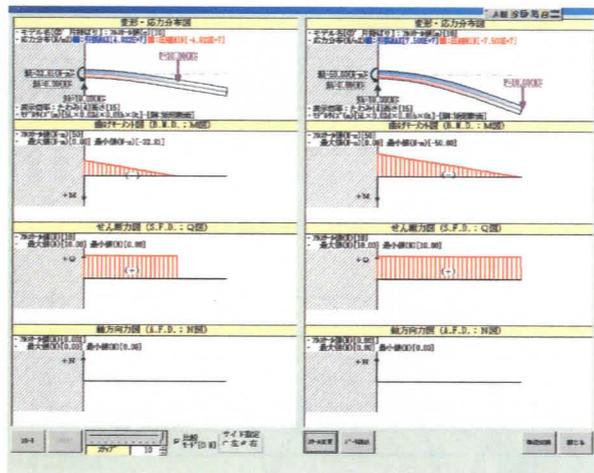


図5 比較モード

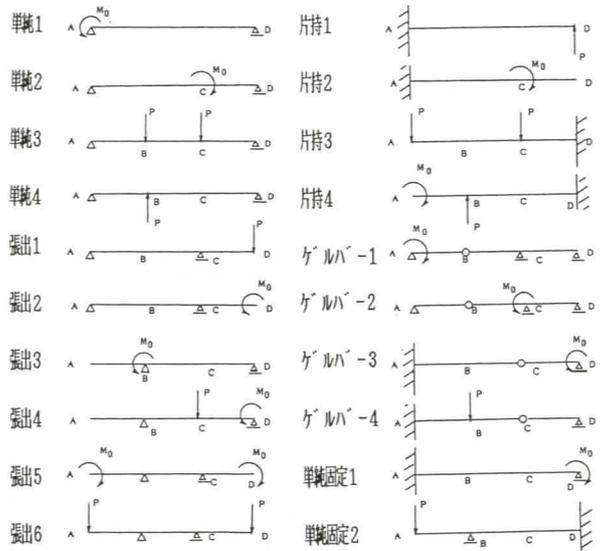


図6 曲げモーメント図のイメージ化課題

以下、これらの事例を示す。

### 3.1 建設工学演習 (担当: 浅野)

#### 3.1.1 曲げモーメントのイメージ図

演習方法は図6に示す課題の曲げモーメント図<sup>1)</sup>のイメージを30分間で描き、提出させ (ステップI)、次に改良前の支援システム<sup>1)</sup>によって、曲げモーメントと変形の関係について図1に示す例題を用いて説明する。その上で、提出したイメージ図のコピーを学生に渡し、30分間で訂正・加筆して再提出させる (ステップII)。このあと更に改良システム<sup>2)</sup>を用い、部材内部全体の曲げ応力度分布と変形について例題を示して説明し、さらに、力の流れの理解をさせるために、ゲルバーばりを例に示し、荷重の位置による力の流れの違いを比較モードによって説明し、その後、ステップIIで再提出したイメージ図を再度訂正、加筆させて提出させた (ステップIII)。

この演習により、次の事項に注目した。すなわち、(1) 正解率 (2) はりの両端の曲げモーメントの大きさ (符号は不問) (3) はりの両端の曲げモーメントの大きさと符号 (ただし、曲げモーメントが0のときは境界近傍の曲げモーメント) (4) 無答率 (5) イメージ図のパターン数などの5種類である。これらの事項についての各ステップ毎の結果をまとめて以下に示す。

図7は正解率を比較したものであり、課題によっては正解率が低いままシステムの効果が見られないものがあるが、全般にステップ毎に正解率が上がっており、ステップIIでは単純ばり3と4で、ステップIIIについては片持ばり1とゲルバーばり3と4で顕著である。

図8は符号については不問にして、はり両端の曲げモーメントの有無の誤り個数を解答したものに対する割合で示している。当然ながら正解率の高い課題のものは小さな

お、画面の変形や部材高さなどの表示は拡大が可能となっており、変形と部材曲げ応力度の関係の理解を容易にしている。

そのほか、従来のシステムになかった分布荷重の実験、材料試験による弾性定数の算定なども可能にして、材料定数の意味や各種荷重の変形の理解などに役立てるように配慮した。

### 3. 実施事例

ここでは、2つの科目で実施した事例を以下に述べる。

(1) 「建設工学演習」: 建設工学科建築工学コース2年

曲げモーメントのイメージ図を描く演習を行った。それまでに座学で履修した内容は静定ばりの断面力、曲げ応力である。2001年4月

(2) 「建設工学実験」: 建設工学科3年

社会建設工学コースと建築工学コース3年全員を対象として、事前に現象のイメージ化を意識させて模型実験を行った。2001年10月~2002年1月

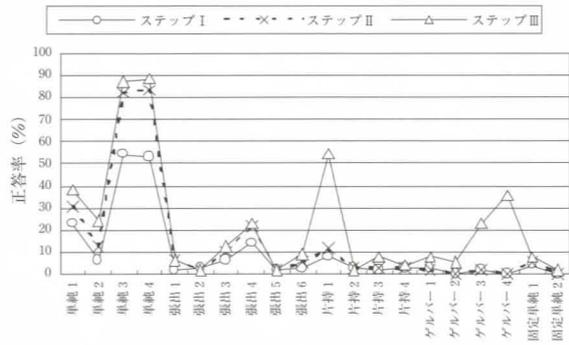


図7 正答率

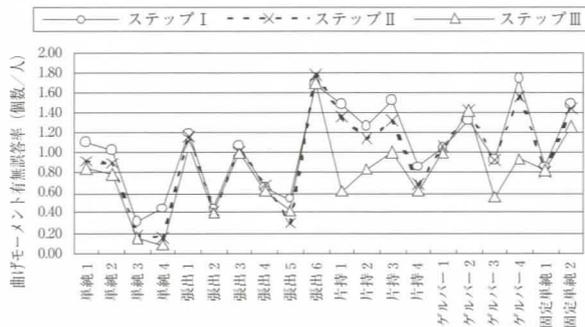


図8 境界の曲げモーメントの有無の誤り

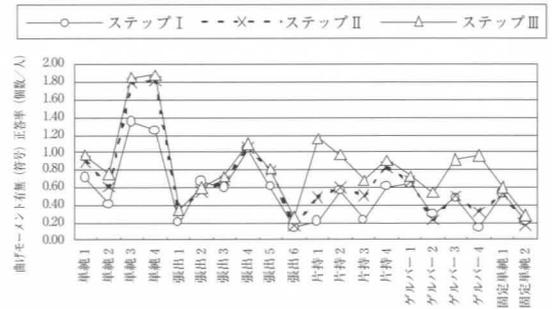


図9 符号を含めた境界曲げモーメントの一致

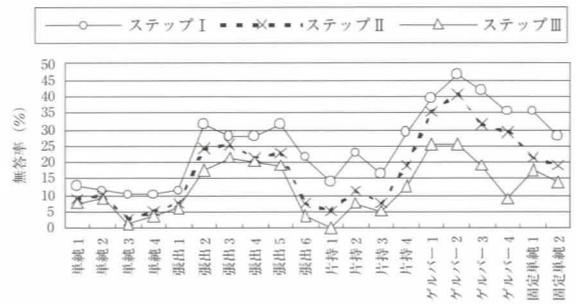


図10 無答率

値となっている。これから、ステップ毎に境界の曲げモーメントの有無の誤りが減少しており、ステップⅢでは特に片持ばりとゲルバーばりの一部で顕著であることがわかる。なお、正答率が低い課題でも、比較的小さな値のものがあるが、荷重がモーメント荷重の場合に限られているようである。

図9に符号を含めた曲げモーメントが正しい個数を解答したものに対する割合として示す。これは、図8の場合よりも正確に境界の曲げモーメントがわかっているものに注目している。全般に割合はステップ毎に上がっているが、ステップⅡでは単純ばり3と4で、ステップⅢでは片持ばり1と2およびゲルバーばりに特に効果が見られている。

図10に無答率を、図11に曲げモーメントのパターン数を示した。

図10ではシステムを使用しないときは張出ばり、ゲルバーばりおよび不静定ばりで無答率が特に高いが、ステップⅢではゲルバーばりに対して無答率の減少が著しいことが分かる。ゲルバーばりの無答率が高いのは力の伝達(流れ)のイメージが湧きにくいと思われるが、ステップⅢでの比較モードでゲルバーばりの力の流れの比較を行ったことによりイメージ化が容易になったため無答率が低下したと思われる。

図11では解答した曲げモーメント図のパターン数が正答率の高いもの以外はステップに関係ないことが分かる。本システムを用いてもまだモーメント荷重の場合のイメージ

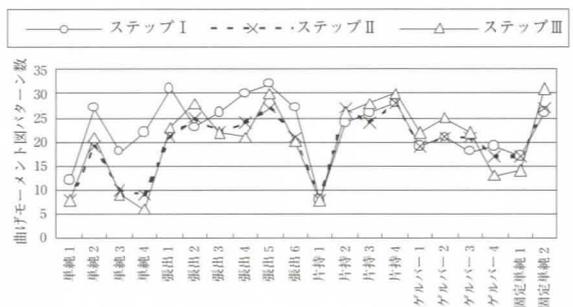


図11 曲げモーメント図のパターン数

化が苦手のようなのである。ただ、はり両端の境界の曲げモーメントの有無、符号などには改良した新システムの効果が見られた。

このイメージ教育を4年間行ってきた。そのうち、前述のステップⅠの正答率と主な誤答例をまとめて図12～13に示す。この中で1998年入学生は他の入学年度と異なり、実施時期が2年後期であり他の入学年度と比べ半年遅くなっている。そのため、演習結果も良くなったものとも思われる。これより、1999年生以降はほぼ同様な傾向を示し、また、誤答例も似たものが増えている。

曲げモーメント図のイメージを描かせる課題を4年間行ってきたが、近年イメージを思い浮かべるための基礎学力が低下している傾向が見られる。それは、イメージ図のパターンが増える傾向にある事から伺える。符号の逆転はまだ良いほうで、直線分布が曲線になったり、折れ曲がった

構造力学における現象のイメージ化教育

はりの形式 荷重状態	1998年入学生		1999年入学生		2000年入学生		2001年入学生		
	正解率 (%)	主な誤解答例 (数字は割合)	正解率 (%)	主な誤解答例 (数字は割合)	正解率 (%)	主な誤解答例 (数字は割合)	正解率 (%)	主な誤解答例 (数字は割合)	
単 純 ば り	1	95.7		52.4	22.2	22.8	15.2 12.7 11.4	35.4	19.8 11.5
	2	34.8	41.3	12.7	41.3 22.2	6.3	15.2 12.7	3.1	39.6 10.4
	3	98.5		54.0	14.3 11.1	54.4	11.4	71.9	7.3
	4	64.8		55.6	20.6	53.2	6.3	64.6	9.4
	平均	77.2		43.7		34.2		43.8	
片 持 ば り	1	32.6	23.9 15.2 13.0	15.9	23.8 15.9	7.6	48.1	15.6	24.0
	2	41.3	10.9	4.8	9.5	2.5	10.1	4.2	18.8
	3	23.9	13.0 10.9	9.5	7.9	1.3	32.9	10.4	10.4
	4	23.9	13.0 10.9	3.2	9.5	2.5	15.2	6.3	15.6
	平均	30.4		8.4		3.5		9.1	
張 出 ば り	1	6.5	13.0 13.0 13.0	11.1	19.0	1.3	29.1 10.1	5.2	17.7
	2	13.0	21.7 13.0	9.5	17.5	2.5	15.2 11.4	1.0	14.6
	3	23.9	15.2	14.3	17.5 15.9	6.3	7.6	7.3	18.8
	4	19.6	17.4 10.9	1.6	11.1	13.9	7.6	5.2	8.3
	5	10.9	37.0 10.9	3.2	17.5	1.3	8.9	0	18.8
	平均	14.9	28.3	7.7	20.6	4.6	21.5 11.4	4.7	18.8
ゲ ル バ ー ば り	1	6.5	34.8	3.2	14.3	2.5	19.0 11.4	6.3	21.8
	2	0	15.2 10.9 10.9	0	9.5	0	12.7 11.4	2.1	14.6
	3	17.4	17.4 15.2	11.1	7.9	1.3	16.5 12.7	6.3	16.7
	4	2.2	13.0	3.2	6.3	0	26.6	1.0	13.5
	平均	6.5		4.4		1.0		3.8	
固 定 単 純 ば り	1	6.5	41.3 10.9	3.2	11.1	3.8	21.5 12.7	2.1	13.5 12.5
	平均	3.3	21.7 13.0	2.4	7.9	1.9	22.8	1.5	7.3

図12 近年4カ年の曲げモーメントイメージ図の主な誤解答例

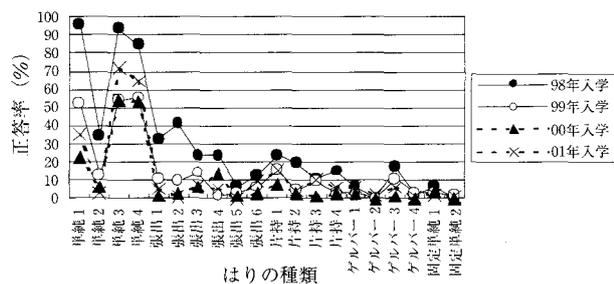


図13 近年4カ年の曲げモーメントイメージ図正解率

直線になったりなど、理論で得られる式の意味を理解していないものが増えてきている。また、力学の成績の良いものでもイメージ図の正解率が低いものが少なからずいる<sup>1)</sup>一方、成績が例え悪いものでも20%程度の正解率を残しているものもある。イメージ図を描くとき、記憶の中から思い浮かべるものや支援システムの中で説明しているように変形などを考慮しながら推測していくものなどがあると思われるが、前者が成績の悪いもの、後者が成績の良いものが行う方法なのではないかと思われる。

3.1.2 アンケートによる学生の感想

本システムを実施した後、学生にシステムの印象についての簡単なアンケート調査を行った。以下、その概要を述べる。

質問1 あなたにとって本システムが力学の理解に役立つと思いますか。

- 思う 62人
- 思わない 0人
- どちらともいえない 12人

質問2 このようなシステムを取り入れるとすればどの科目がよいですか。

- 応用力学, 材料力学, 構造力学 34
- 力学系 13
- この授業 (構造工学演習) 3
- 講義が楽しくなるのでできるだけ多く 2
- 動きのあるものの解析をする講義 1
- イメージが必要な科目 1
- 専門科目は全部 1

質問3 本システムの良い点・悪い点

(1) 良い点

- ・変形, 変化 (動き), 力の分布などが分かりやすい 49人
  - ・イメージがしやすくなる 9人
  - ・イメージと現実との比較でより理解が深まる 3人
  - ・好奇心を持って勉強できる 1人
  - ・練習問題が数多くできる 1人
- これから, システムを利用して分かりやすい, イメージがしやすいという意見が多くあり, 自分の持っていた理解と現実との比較を行うことによって更に理解を深める効果もあることが伺える。
- 次に, 主な良い点とと思っているものを列記する。
- ・部材にどのような力がかかりどのように変化していくのか分かりやすい
  - ・力の加わり方がよく分かった
  - ・リアルで分かりやすい, 力がどのようにかかっているのか, また, 実際にどのような動きをするのか分かりとてもいいと思う
  - ・実際に力が加わったように見えて, 想像するよりもよいところ
  - ・力が加わることによって生じる変化を目で見られるので分かりやすい
  - ・それぞれの荷重の違うところでの応力  $N$ ,  $M$ ,  $Q$  が目に見えてわかるようになっていてよかった
  - ・曲げモーメントのイメージが分かりやすい
  - ・イメージがすごく湧く
  - ・ $M$  図や圧縮や引張りなどが実際に見えるので, 説明だけより分かりやすい気がした
  - ・イメージしにくい変形を, 順を追って見えるから分かりやすい
  - ・講義が少し楽しくなる, 図だから理解しやすい
  - ・目で見えない引張りや圧縮が色分けしてあり分かりやすかった, 理解しやすくなった
  - ・復習になる
  - ・複雑な動きで平面では表しにくいようなものを実際にアニメーションで見ることによってイメージが湧く点
  - ・考えやすい
  - ・拡大できて見やすくイメージを作りやすい
  - ・図で描かれるよりも, 動きがあるので分かりやすい
  - ・すぐさま結果を見ることができるのでそれが理解につながる
  - ・間違ったイメージが直せる
  - ・実際に授業でやることのできないことを本当にやっているのと近い状態でわかりやすく見ることができる
  - ・数値を図として表すことができるので, 力のかかり方が

- 頭の中で想像しやすくなる
- ・頭でイメージして考えるのと, このシステムで実際「目」で見て学ぶのでは理解しやすさが違うと思った
- ・何となくだけ引張応力や圧縮応力の働きが少しわかったように気がしました
- ・分布がよくわかる
- ・練習問題を数多くできるのでよいと思います
- ・好奇心を持って勉強できると思う
- ・目で見て理解できる, 極端な例が分かりやすかった
- ・よく曲げモーメントの図が視覚化されて分かりやすかった
- ・分かりやすくてよいと思う, 特に力のかかり方が極端なところはよかった
- ・見るだけである程度理解力が増す
- ・見ることで今後頭の中でイメージしやすくなりました
- ・力がかかってどのように曲がるかが想像つかないときに引張側と圧縮側がよく分かってよかった
- ・概念として理解しやすくなる
- ・実際にどうなるか自分の目で変化などが分かるため, とても分かりやすかった。考え方なども思いつきやすいと思う。

(2) 悪い点

- ・なし 13人
- ・計算時間がかかる 10人
- ・一寸見にくくわかりにくい 12人
- ・ある程度自分の頭で計算できる力がないと理解しにくいところがあるかもしれない 1人

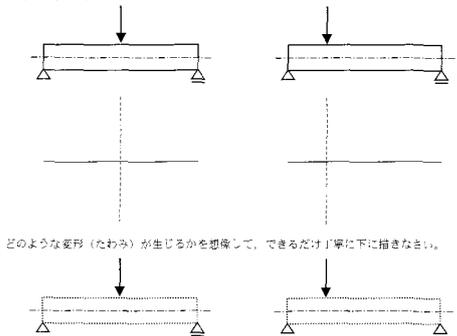
3.2 建設工学実験 (担当: 岩井)

今回の事例は建設工学科3年生全員を対象にして「建設工学実験」の科目で行ったものである。この時点で, 多くの学生は静定・不静定構造の解析理論を履修している。実施は4段階に分けられる。第1段階の実験前では実験結果のイメージを図に描かせる。第2段階では, 教育支援システムでFEM解析によるシミュレーションを行った結果のビジュアル化した図を見せる。第3段階では模型実験を行い所定の荷重での模型の曲げ応力度を理論値と実験値と比較させる。第4段階として一例だけ最終破断の状態まで行う。以下, それぞれの説明を行う。

3.2.1 実験前のイメージ化

これから行う模型実験のモデルをプリントにして渡し, 荷重を作用させたときの模型の変形状況の概略図をなるべく正確に描かせ, さらに, 内部に生ずる曲げ応力度の最大が生ずる位置を引張応力度に対して予想させ図に記入させる。このとき, 曲げ応力度と曲げモーメントの対応が重要なので, 曲げモーメントのイメージ図も合わせて描かせる。図14に示すように静定ばりの単純ばり・片持ばり, および

(1) 下の荷重を受ける2つのはりの曲げモーメント図を描きなさい。最も大きな引張応力が生じる位置に▼を記入しなさい。



(2) 下の荷重を受ける2つのはりの曲げモーメント図を描きなさい。最も大きな引張応力が生じる位置に▼を記入しなさい。

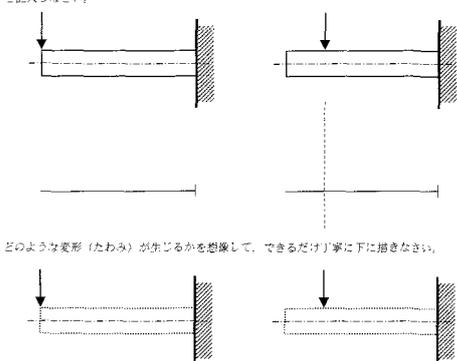
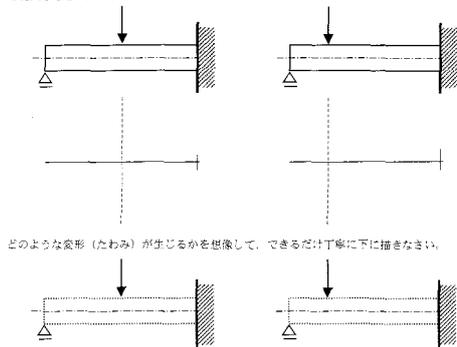


図14-1 実験前のイメージ（静定ばり）

(3) 下の荷重を受ける2つのはりの曲げモーメント図を描きなさい。最も大きな引張応力が生じる位置に▼を記入しなさい。



(4) 下の荷重を受ける2つのはりの曲げモーメント図を描きなさい。最も大きな引張応力が生じる位置に▼を記入しなさい。

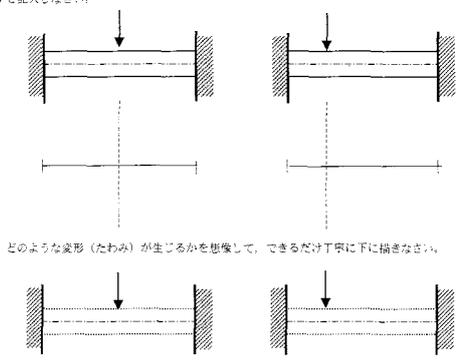


図14-2 実験前のイメージ（不静定ばり）

不静定ばりの一端固定一端ローラー支持ばり・両端固定ばりの4種類で、それぞれ荷重位置が材長の中央と4分の1の2種類である。ここでは、荷重の位置と力の流れについて特に片持ばりと他の形式のはりで明瞭な違いが見られるのでそのイメージの差異に注目する。

### 3.2.2 シミュレーション

著者等が開発した教育支援システムを用いて図2に示したようにFEM解析によるはり全体の変形の状況を荷重の増大と共に段階的に示し、同時に曲げ応力度分布を濃淡で大きさを、赤と青の色彩で引張・圧縮の区別を表した図として示し、引張・圧縮の違いや最大の応力度の位置などを認識する。なお、部材せいやたわみのスケールを変えて変形を誇張して示し、実際の模型では微小で認識できない変形を知るようになる。

### 3.2.3 模型実験

図15の例に示すように模型（アクリル樹脂）には所定の位置にひずみゲージが貼付してあり、コンピュータで応力度を計算してその結果を図化するようになっている。学生には、データとして荷重と載荷点の変位（たわみ）を実測値として与えて、これらからゲージ貼付の位置の応力度を計算させて実測値と比較させる。また、載荷点の変位と荷重の関係を図に描かせる。こうして、1) 曲げモーメントおよび曲げ応力度の算出や不静定構造の解析を行う能力の

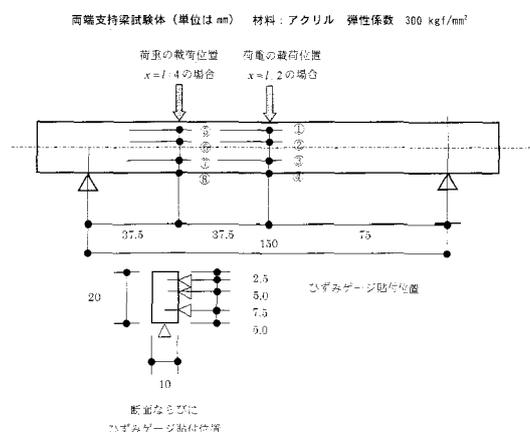
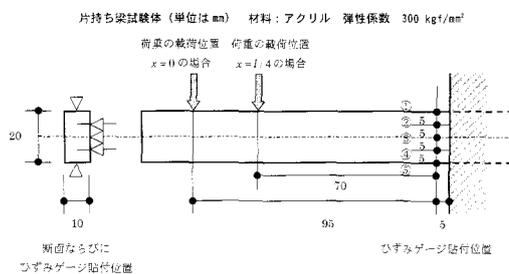


図15 静定ばりの模型とゲージ貼付位置

育成、および2) 曲げモーメントの符号と曲げ応力度の圧縮・引張の関係、さらに荷重と変位の関係などについての力学現象の認識などが期待される。

最後に、ゲージを貼付していない模型に替えて破壊するまで荷重をかけ、破壊する位置を予想させながら観察させ、最大引張曲げ応力度の生ずる位置と破壊する位置との関係を認識する。

### 3.2.4 学生の感想

実験後のレポートでの感想の中で主なものを以下に示す。

- ・今回は実験をする前にテスト形式のプリントを先にして実験に入るといものでした。実験をする前にするテストは、理解を深める上で実に効果的だったと思う。
- ・アクリルの破壊試験により最大曲げモーメントのかかる位置での破壊を頭の中で理解すると共に、実際に目で見て理解することができたので良かった。
- ・構造物に対してその特徴を知り、常に頭の中でイメージすることが大事だと思った。
- ・パソコンで結果を見るとあっという間にモーメント図とせん断力図と荷重のかかる様子を詳しく知ることができたので良かった。また、静定ばりと不静定ばりの曲げモーメント図とせん断力図を比べながら知ることができたので勉強になった。
- ・梁のたわみ図と曲げ応力図、せん断力図の3つが同時に表され、力の増加とともに図も変化し分かりやすい。
- ・自分は、構造関係は苦手なのだが、荷重のかかり方による曲げモーメントの推移を映像で見たときすごく参考になった。式や図では分かりにくい部分が理解できた。
- ・圧縮側、引張側を分かりやすく色により分けていた絵は、構造物を造ろうとしている私には興味深かった。このシステムはとても便利でわかりやすかったので、機会があったら、その他の構造形式でも実験してみたいと思った。
- ・荷重の変化によるひずみ、たわみの変化などが今まで分からなかったが分かるようになった。また、破断する時に目に見えない速さで大きな音を出して壊れる様子にとっても興味を持った。
- ・物体の破壊のプロセスをすぐ目の前で見る事が出来たのでとても貴重な体験が出来た。
- ・力学の講義などで学んだ通りの現象が実際の試験でも現れることがビジュアル的に確認することができた。
- ・事前に荷重を受けた際の梁の挙動を各自予想を立てていたが、私の立てた予想と実際同じような挙動をしたので予想が正しいことが検証された。
- ・最初に曲げモーメント図のイメージをして実験を行うことが出来たのでより理解することが出来た。

### 3.2.5 教育効果に関する自己評価

力の作用とそれによる効果を想像させることは、力学教育の重大な目標の一つと考える。「建設工学実験」は本来、自分の手で実験を実施して挙動の理解を深める科目であるが、事前に現象のイメージなしで、いきなり実験を見せた

だけでは、どんな結果を予想するかという事前の考察が学生自身に十分できているか否かが不明である。第1段階で荷重を受けた梁のたわみ変形のイメージと、曲げ応力度の関連を解答させ、あらかじめ解の正当性に対する自信の有無を確認させる手順を踏んだ。第2段階で荷重の増大の過程を追って、実験で観察すべきポイントを意識させた。ここで初めて第3段階の実験の目的を確実に認識させ得ることになったと考える。単純支持梁の応力と変形がほとんど間違えずに答えられるのは、変形の大きさと応力の大きさが一対一に対応していてイメージし易いからであろう。しかし片持ち梁は正解率が低くなる。第4段階では特に、曲げ破壊する片持ち梁の場合に、破壊箇所がたわみの大きく生じる先端部ではなく、固定端であることと、そこが曲げ応力の大きいところになっていることを正しく認識することが大きなポイントであった。

学生の感想では実験する前にイメージすることは力学現象を理解する上で効果があったとか、事前のイメージと現実との対比により自分の理解の正しさを確認できたなどというものもいた。事前のイメージ化は注意力の集中や理論で求められる結果の物理的意味を認識したり確認する上で重要な役割を果していると思われる。システムを用いた実験教育のねらいが、ある程度の射た結果になったと受けとめている。

## 4. あ と が き

曲げ応力度分布をはり全体に示し、比較モードで力の流れの違いを示すことによって力と変形の関係がよりイメージし、理解しやすくなった。「注意力の集中」と「イメージと現実との対比から生まれる認識」による理解は真の理解を得るために重要なものである。本学で開発された力学現象をビジュアル化するシステムは学生アンケートでも力学の理解に有用性があるとの声が多くあった。

本文で用いた教育支援システムは2年次と3年次の学生に用いられている。繰り返してイメージ教育を行うことによってその効果を上げるようにしている。今後、運用法などに工夫を入れて多方面に利用する予定である。

なお、本システムは日本私立学校振興・共済事業団から「特色ある教育研究の推進」の補助を受けて開発されたものであることを付記する。

## 参 考 文 献

- 1) 浅野・皆田・岩井・伊藤：座学に実験とコンピュータシミュレーションを導入した構造力学教育，工学教育，Vol. 49, No. 6, pp. 31-37 (2001)
- 2) 浅野，皆田，岩井，伊藤：力学現象のビジュアル化による構造力学教育，平成13年度工学・工業研究講演会講演論文集，pp. 261-264 (2001)