

構造力学における梁の曲げモーメント図の誤答の傾向と対策

岩井 哲*・大林 眞*

(平成17年10月7日受理)

Mistakes of Bending Moment Diagram of Beams and the Measures for Understanding in Structural Mechanics

Satoshi IWAI and Makoto OHBAYASHI

(Received Oct. 7, 2005)

Abstract

Structural mechanics is the studies in which students must grasp physical phenomena substantially, especially students in civil and architectural engineering. In the past three years, we have given the same test of structural mechanics to the third grade students, before an experiment of construction engineering is carried out. There are serious mistakes in the test solutions, although the students could solve the problems correctly in the first grade. We fear that they might learn the solutions for several types of problems in mechanics by heart. This paper presents typical mistakes in deformed shape, bending moment diagram and maximum stress location of statically determinate beams or statically indeterminate beams. The visualized teaching system, such as a failure test system of a cantilever beam, is useful to lead to a correct understanding of structural mechanics.

Key Words: structural mechanics, bending moment diagram, visual materials for teaching

1. はじめに

構造力学は物理現象を内容的に理解すべき科目であるにも拘わらず、受講する学生の答えの中には、丸暗記しているのではないかと懸念されるものがある。かつて学部1年生の時には答えることのできたと思われる梁の曲げモーメントの問題を、3年生の段階で問うたところ、正答率は意外と低いことがわかった。最近の3年間、毎年続けて3年生に出した同じ問題の解答率に基づいて誤答の傾向を調べた結果を報告する。また大変形や破壊に至る実験を見せることによって、納得しながら構造力学の正しい理解へ進むための方策を考えた。

2. 調査方法

工学部建設工学科の3年生の必修科目である建設工学実験

* 広島工業大学工学部建設工学科

で、梁模型を使った簡単な曲げ載荷実験を実施している。^{1)~3)}この実験を行う直前の10分~15分程度の時間で、図1に示すような梁の課題8問について解かせることを続けた。実験実施する模型のモデルに荷重を作用させたときの模型の変形状況について、図2にあるように変形図をなるべく正確に描かせる。さらに、部材内部で最大の引張曲げ応力が生ずる位置を予想させ図に記入させる。荷重の大きさおよび位置は、図2のように概略を示しただけで、数値は全く与えていない。このとき、曲げ応力度と曲げモーメントの対応を確認することが重要なので、曲げモーメントのイメージ図も併せて描かせる。梁の課題は図1に示す静定梁の単純梁・片持梁、および不静定梁の一端固定一端ローラー支持梁・両端固定梁の4種類で、それぞれ作用させる荷重位置が材長の中央と4分の1の2種類としている。ここでは、荷重の作用位置と力の流れについて、特に片持ち

梁と他の形式の梁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。

以上、想像される曲げ変形をイメージし、その上で実験に臨み、自分のイメージと対比して正しい現象の理解を得るために、毎年課したものである。曲げ応力下で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させることなどが調査の大きなポイントである。

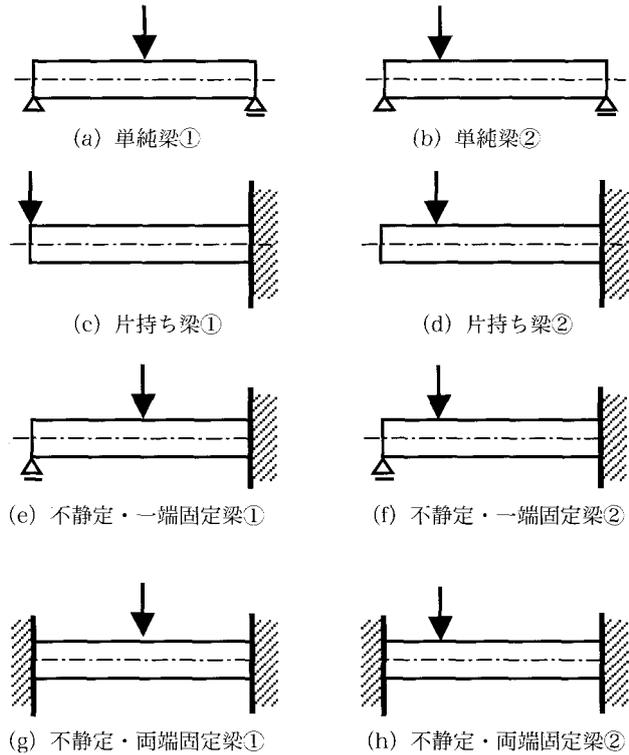


図1 課題に出した梁と荷重の種類

問題 下の荷重を受ける2つの梁の曲げモーメント図と曲げ変形の形状を描きなさい。また最も大きな引張応力が生じる位置に▼を記入しなさい。

図2 解答用紙の例

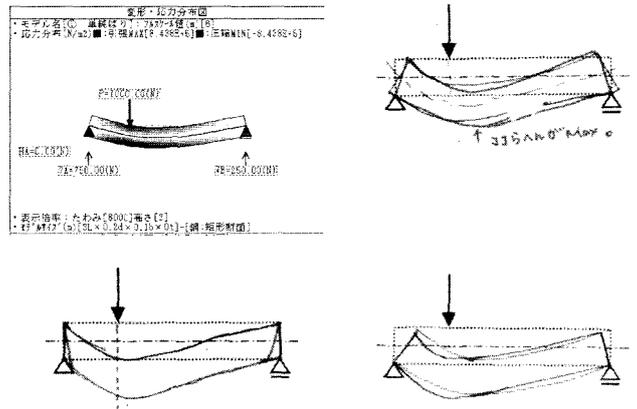


図3 単純梁②たわみ解答の例

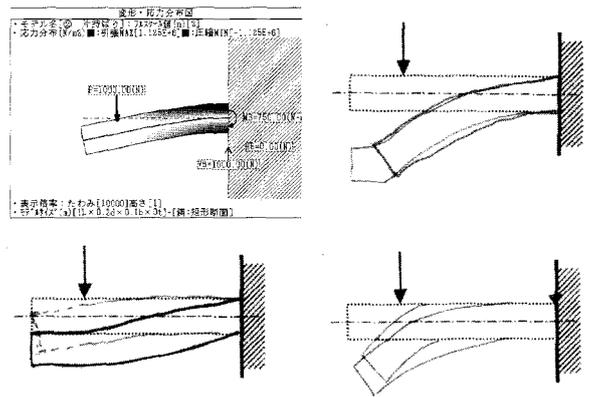


図4 片持ち梁②たわみ解答の例

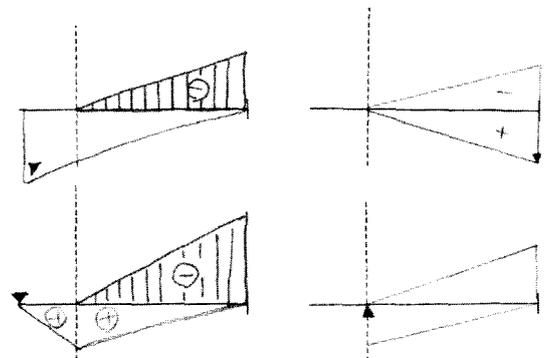


図5 片持ち梁②曲げモーメント図解答の例

表1 曲げモーメント (M) 図, 引張応力点, たわみ形の解答率集計結果

		単純ばり①						
		M図		たわみ形				
		正解	引張応力 最大位置	正解	せん断変形	その他	未記入	最大たわみ 位置
2002年	A	85%	62%	60%	38%	1%	0%	98%
	B	99%	94%	74%	22%	2%	0%	99%
2003年	A	88%	86%	39%	61%	0%	0%	100%
	B	100%	91%	78%	22%	0%	0%	100%
2004年	A	94%	80%	51%	33%	14%	2%	97%
	B	99%	89%	75%	25%	0%	0%	100%

M図等の「正解」、および引張応力とたわみ形の「最大位置」は正解の率を、それ以外は誤答の率をそれぞれ表す。例えば、M図の注記付きにある解答など。たわみ形で「せん断変形」とあるのは、せん断変形の生じない部分に描かれたものを表す。

		片持ちばり②												
		M図			引張応力				たわみ形					
		正解	上下逆	左右逆	上下・左右逆	分布形 その他	応力0 区間	未記入	最大 位置	正解	せん断変形	固定端 たわみ角 あり	先端集 中変形	その他
2002年	A	16%	7%	3%	15%	40%	13%	13%	24%	45%	23%	1%	14%	18%
	B	74%	2%	2%	4%	10%	11%	0%	54%	48%	17%	0%	13%	22%
2003年	A	59%	9%	0%	1%	13%	3%	14%	34%	32%	38%	7%	13%	17%
	B	61%	7%	0%	3%	21%	3%	5%	70%	49%	15%	4%	13%	18%
2004年	A	18%	13%	14%	32%	3%	33%	15%	26%	30%	23%	4%	20%	23%
	B	58%	10%	4%	14%	5%	20%	3%	65%	35%	21%	2%	30%	12%

		不静定・一端固定①										
		M図			引張応力				たわみ形			
		正解	ローラー部 Mあり	固定部 Mなし	その他	未記入	最大 位置	正解	ロー ラー 部 せん 断 変 形	固定 端 た わ み 角 あり	その他	未記 入
2002年	A	19%	2%	17%	38%	25%	1%	34%	30%	52%	0%	7%
	B	78%	7%	4%	11%	0%	16%	54%	17%	28%	10%	0%
2003年	A	17%	0%	32%	26%	25%	8%	16%	53%	68%	4%	5%
	B	70%	2%	12%	12%	5%	8%	51%	20%	29%	8%	3%
2004年	A	11%	4%	41%	19%	29%	3%	23%	31%	41%	15%	14%
	B	56%	2%	14%	19%	11%	5%	29%	31%	53%	3%	5%

		不静定・両端固定①									
		M図		引張応力				たわみ形			
		正解	固定部 Mなし	その他	未記入	最大 位置	正解	固定端た わみ角 あり	その他	未記 入	
2002年	A	20%	21%	28%	31%	0%	36%	52%	4%	7%	
	B	89%	10%	1%	0%	7%	60%	35%	5%	0%	
2003年	A	18%	24%	25%	33%	1%	21%	62%	8%	9%	
	B	76%	11%	8%	5%	10%	55%	36%	4%	4%	
2004年	A	13%	32%	18%	37%	0%	24%	43%	16%	17%	
	B	62%	12%	12%	14%	3%	30%	58%	8%	4%	

Aコース学生数は2002年107名, 2003年76名, 2004年93名, Bコース学生数は2002年82名, 2003年92名, 2004年91名である。

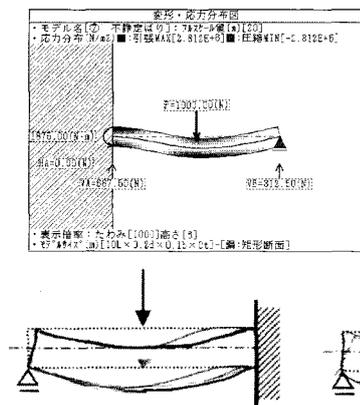


図6 不静定・一端固定梁①たわみ解答の例

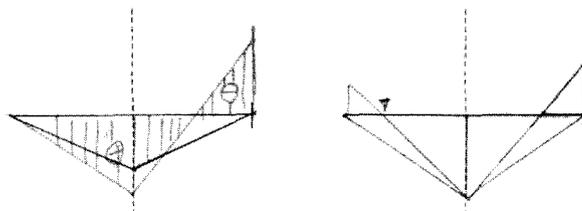


図7 不静定・一端固定梁①曲げモーメント図解答の例

3. 調査結果および考察

3.1 誤答の中身

図3から図9に学生の誤った解答の例を示す。また表1に曲げモーメント (M) 図, 引張応力点, たわみ形の解答

率の集計結果をまとめた。ここで曲げモーメント図等の「正解」、および引張応力とたわみ形の「最大位置」は正答率を、それ以外は誤答率をそれぞれ表す。コースのAとBは社会建設工学コースと建築工学コースの違いである。最近3ヶ年で構造力学を教えてきた教員は、著者も含め変わっていないが、近年の学生になるほど正答率が確実に下がってきているのも気になるところである。

図3の変形・応力分布図にある正解に対して、誤答の例として、曲げモーメントが最大となる荷重点におけるたわみが必ずしも最大ではないのを、無理矢理最大たわみになるよう描いた解答、たわみ形で材端のせん断変形の生じない部分に「せん断変形」しているように描いた解答などが見られる(授業の中で解説しているのに、正解が学生自身の手で書き直されている)。図4の片持ち梁では、自由端側の応力の作用していないところに曲げ変形を描いたり、無理矢理水平にねじ曲げたり、固定端側で部材回転角が現れるなどの例がある。また図4の片持ち梁の曲げモーメント図が、図5に示すようにあらゆるパターンで出てくるのも構造力学の教員にとってはおなじみの解答かと思われる。

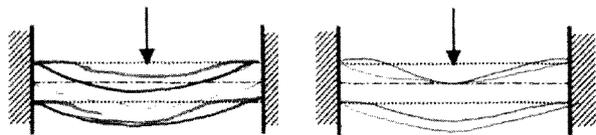
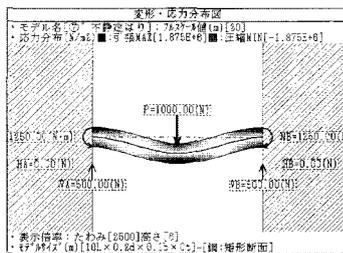


図8 不静定・両端固定梁①たわみ解答の例

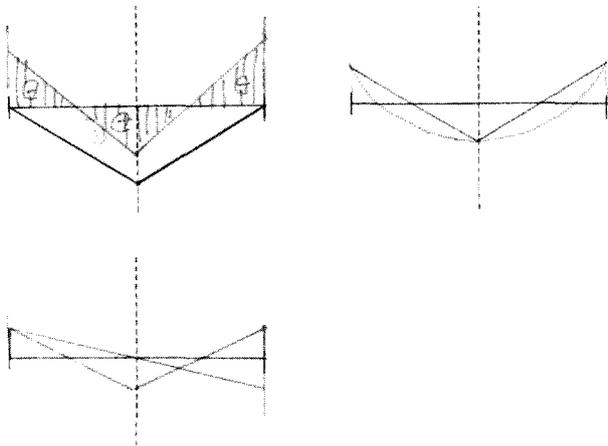


図9 不静定・両端固定梁①曲げモーメント図解答の例

単純梁と片持ち梁は、構造力学の中で最も基本となる部材である。しかし、単純梁の曲げ応力分布に比べて、片持ち梁の曲げ応力分布を求めることは学生にとって苦手な課題なようで、表1に見るように片持ち梁は一般に正答率が悪い。

図7から図9に示す不静定構造の問題は、Bコースの学生の方が慣れていることが考えられ、Aコースに比べると正答率が高い。

3.2 実験前の梁課題に対する学生の評価

実験前のイメージ化問題に対する学生の評価からは、「先に自分で考えてから実験に参加させるのは、大変印象に残り、ためになる」という意見が多く出た。

後で実施した実験で、梁の亚克力製模型に破壊するまで徐々に荷重をかけ、破壊する位置を予想させながら計測・観察させた。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させるものである。学生からは「映像で実際に変形するところが見られて分かり易かったのでよかった」、「今までは理論的な説明ばかりでやってきたので、目で見てみることで、とても分かり易かった」、「曲げモーメントの最大点と変形の最大点は一致するとは限らないということがわかった」など、見るべきポイントを押さえたような意見と反響を得ている。

4. おわりに

実験前に現象のイメージ化を行うことにより「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」が図れ、それにより理解を深めることになる。イメージ化教育はその意味で重要なものである。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の利用は、学生アンケートでも力学の理解に有用であるとの声が多くあった。建設工学では重要な構造力学分野の教育に何か役立てれば幸いである。

文 献

- 1) 浅野・皆田・伊藤・岩井：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, 49巻, 6号, 2001, pp.31-37.
- 2) 浅野・岩井：構造力学における現象のイメージ化教育, 工学教育, 51巻, 5号, 2003, pp.4-10.
- 3) 浅野・岩井・石井：力学概念の理解と学習意欲増進のためのビジュアル教材作成システム, 広島工業大学紀要, 教育編, 第3巻, 2004, pp.45-49.