

体験・体感型構造力学教材の開発研究

横内 基*1

Research and Development of Experience Type Teaching Materials for Structural Mechanics

Hajime YOKOUCHI

In this paper, we developed the experience type teaching materials, based on a survey for school students teaching structural mechanics. The experience type teaching materials are able to experience the strength and deformation. In addition, it can be easily performed the structural testing on the desktop. The results of the trial tests were confirmed to be effective as teaching materials that describes the theory and solution.

KEYWORDS : Structure Model, Rigid Frame, Simple Beam, Statically Determinate Structure, Statically Indeterminate Structure, Aluminum

1. はじめに

建築構造系の授業では、目に見えない『力』というものを想像し、力と変形の関係などを理解しなければならない。その『力』や『変形』を頭の中でのみ理解するのは難しく、実験や実習を並行し、実現象を確認しながら知識を深めることが有効と考える。

本研究は、建築構造力学に関する理論や解法の習得を少しでも容易にする補助教材の開発・運用を目指すものである。本報では、本校学生の構造力学の授業に対する意識調査に基づき、力や変形の大さを体感かつ視認できる構造実験が卓上で簡便に行える教材を提案する。そして、教材を製作し、それを用いて行った試行実験結果について検証することにより、本報で提案する教材が建築

構造力学に関する理論や解法を解説する教材になり得ることを明確にする。

2. 構造力学教材に関するニーズとシーズ

教材を考案するにあたり、構造力学の授業に対する学生の意識を調べるため、本校建築学科の2~5年生を対象にアンケート(有効回答者数:134人)を実施した。アンケートの結果を図1に示す。構造力学が『嫌い』と答えた学生は全体の1/3に達し、『どちらでもない』も含めて『好き』でない学生が75%にも及ぶことが分かった。構造力学が好きになれない理由として『授業がわかりづらい』ということを多くの学生が感じている。その背景には『実際の現象を想像することができない』『建物に働く力や変形が理解できない』などの理由も

*1 建築学科(Dept. of Architecture), E-mail: yokouchi@oyama-ct.ac.jp

絡んでいることが窺い知れた。これらの結果から、力や変形を目に見えやすくすること、さらに理論や解法に関する講義の場で実現象を想像し易くすることの重要性を把握できた。

一方の市販されている教材を調べると、それらの要望を具現化したような教材があるものの、“高価”“重くて持ち運びが不便”“製品としての完成度が高すぎて自主性を損なう”などが懸念事項として考えられた。

以上を踏まえ、建築物に働く目に見えない『力』や『変形』を想像しやすい大きさまでスケールダウンした構造模型を製作し、現象を体感しながら理論や解法を習得できる教材の開発・運用が極めて重要と考えた。

3. 構造力学教材の構成と特長

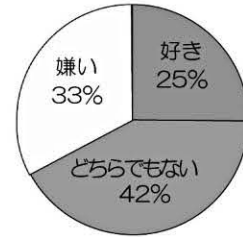
考案・製作した構造模型は、写真1に示す単純支持梁(以下、静定モデル)と固定柱脚とした1層1スパン不静定ラーメン構造(以下、不静定モデル)の2種類である。これらを考案するにあたり、“安価(保有機器の活用も考慮)”“軽量”“精度の確保”を重点的に考えた。また、それぞれの構造模型は構造力学など構造系科目において表1に関する解説に活用可能と考える。

構造模型用材料にはホームセンターなどで市販されているアルミニウムの平板を使用し、教材の大きさについては教卓の上に設置できるように配慮した。教材は、構造模型、ロードセル、変位計、ひずみゲージ、データロガー、パソコンで構成され、通常の構造実験で用いる計測システムによって卓上で簡便に実験ができる特長を持つ。また学生自身が直接加力することで力の大きさを体感できること、それと同時に部材の変形状態を視認できること、その時の物理量や荷重変形関係などをリアルタイムにパソコン画面上で確認できることなども特長として挙げられる。構造模型の形状を図2に、構成機器の一覧を表2に示す。

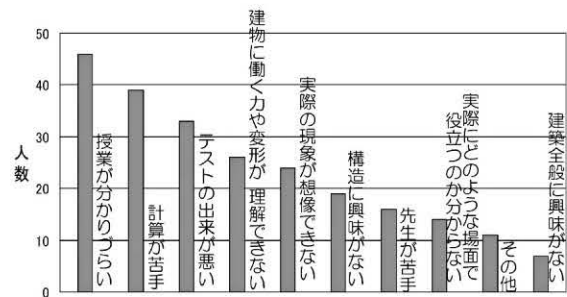
静定モデルは、支点間距離 600mm でスパン中央部を 100N 程度の力で加力した時に、最大変形が 10mm 程度になるように断面を設計した。なお、今回製作した教材は、支点間距離を 400mm～800mm の間で可変できるようにし、スパン中央部および中央部から左右 150mm の梁上下端にひずみゲージを貼付した。

不静定モデルは、テーブルバイスを用いて机の

天板と構造模型の柱脚部を固定するようにした。構造模型については、柱と梁の節点に水平力を加えた時に 100N 以下の水平力で柱よりも梁が先に

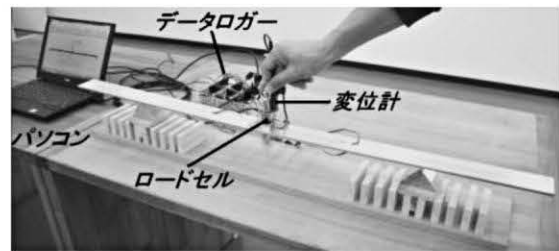


(a) 構造力学に対する意識

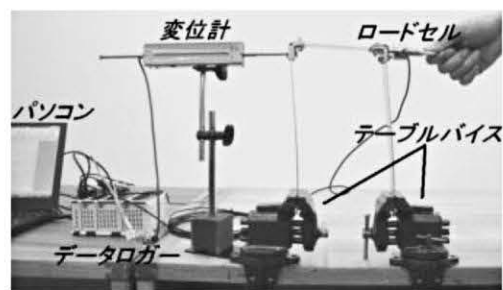


(b) 構造力学が好きになれない理由

図1 アンケート調査結果



(a) 静定モデル



(b) 不静定モデル

写真1 構造力学教材の全景

表1 活用可能な学習項目例

静定モデル	力の釣合い
	反力の計算
	部材応力の計算(M図、Q図)
	梁のたわみ(断面力、変形、曲率の計算)
不静定モデル	不静定骨組の構造解析
	弾性と弾塑性
	力と変形の関係
	建築構造設計

曲げ降伏するように、柱・梁の断面形状やスパン、高さを設計した。

4. 構造力学教材の精度検証

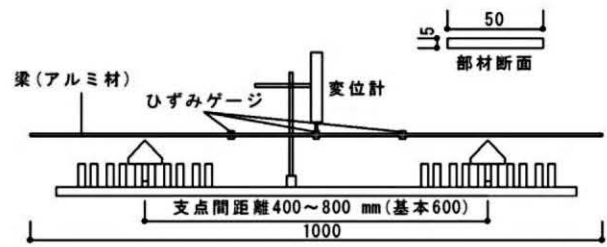
製作した構造力学教材が、理論や解法を実証できるだけの精度を有していることを確認するために、試行実験を行い計測データを分析する。

4. 1 静定モデル

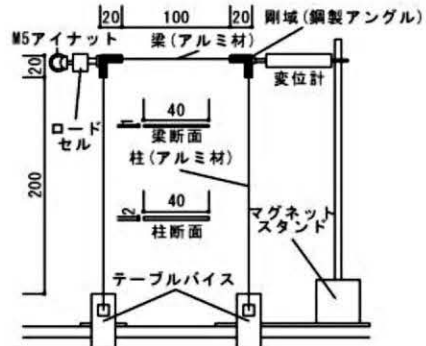
支点間距離を 600mm とし、スパン中央部を 100N 程度まで荷重・除荷を何度か繰返したときのデータを取得(計測サンプリング 0.5sec)し、取得データを分析する。図3には加力点(スパン中央部)に作用する曲げモーメントについて、力の釣り合いから算出した値と、計測したひずみから曲率を求め弾性曲線の基本式(1)式より算出した値を比較して示している。ここで、アルミニウムのヤング係数には $E=70\text{kN/mm}^2$ (アルミニウム合金の種類や質別に関わらず通常用いられる値¹⁾)を用いた。本来、両者は同じ値を示すべきだが、曲率から算出した値の方が比例的に大きくなる結果となった。そこで、線形近似式に基づきヤング係数を補正した。以後の検討では、この補正したヤング係数 ($E=65\text{kN/mm}^2$) を用いることとする。

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M \quad (1)$$

図4に最大荷重時の力の釣り合いから求めた場合と計測したひずみから求めた場合の M 図と Q 図を示す。両者の応力分布はよく一致していることがわかる。図5には加力点(スパン中央部)の変形について、(1)式より誘導された弾性理論式で算出した値と、計測したひずみから求めた曲率を部材長さ方向に2回積分して算出した値、さらに変位計で直接計測した値を比較して示している。ここで、ひずみを計測していない箇所



(a) 静定モデル



(b) 不静定モデル

図2 構造模型の形状

表2 構成機器一覧

機材	型番	製造元
パソコン		
データロガー	NR-500	キーエンス
ロードセル	TCLN-2KNA	東京測器研究所
変位計(静定モデル)	CDP-25	東京測器研究所
変位計(不静定モデル)	SDP100	東京測器研究所
ひずみゲージ	FLA3-23-3LT	東京測器研究所

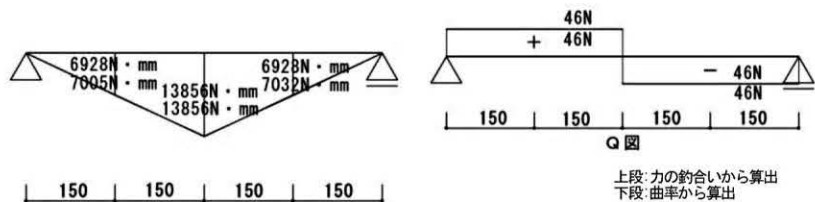


図4 応力図(最大変形時)

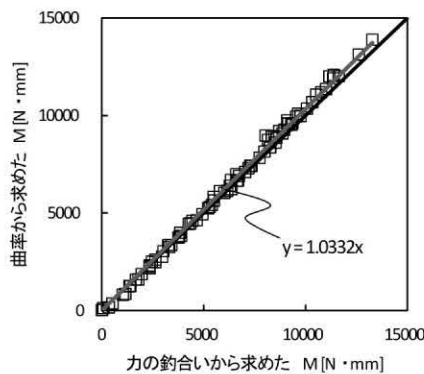


図3 曲げモーメントの比較

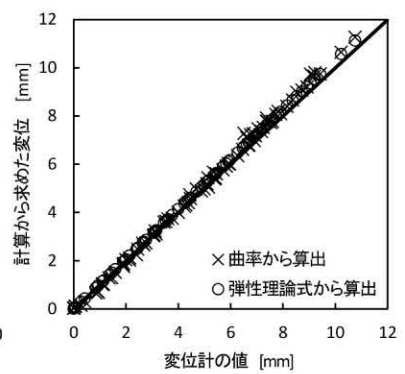


図5 鉛直変位の比較

については線形補間して求めた。また、せん断変形成分については最大でも 0.007mm 程度と極めて小さいため無視した。

弾性理論式から算出した変形と実測したひずみから求めた変形は良く一致しており、弾性理論式の原理をこの教材を使って説明できることが確認できた。また、変位計で直接計測した値とも両者はよく対応していることが確認できた。以上より静定モデルは、教材として活用するのに十分な精度を有していることを確認した。

4. 2 不静定モデル

構造模型を製作するにあたり、まず柱・梁に使用するアルミ材の引張試験を行い材料特性を調べた。試験片形状を図6に、引張試験状況を写真2に、引張試験結果の応力-ひずみ関係を図7に、材料試験結果一覧を表3に示す。

以上の材料を用いて製作した構造模型に対して、正負交番繰返し水平加力を行った。水平力と水平変位の関係を図8に示す。加力初期は弾性挙動を示し、さらに加力を進めると、梁端部が降伏モーメントに到達する時の水平力(計算値)を超えたあたりから構造模型は塑性化し、計算値と実現象が良く対応することが確認できた。本報の検証では、変位計のストロークの都合で塑性履歴の確認は正加力時のみとなったが、最大荷重からの除荷時剛性さらにその後の再載荷時剛性は、概ね初期剛性と同じ傾きを示していることから、金属系材料特有の安定した履歴曲線が得られると考える。以上より、不静定モデルは不静定ラーメンの構造解析法や弾性-弾塑性の違い、力と変形の間を解説する教材として十分な精度を有していることが確認できた。

5. あとがき

本報では、建築構造力学に関する理論や解法の習得を少しでも容易にする補助教材の開発・運用を目指し、静定モデルと不静定モデルの2種類の教材を考案ならびに製作した。そして、それらが理論や解法を解説するための補助教材として十分な精度を有していることを確認した。本教材を用いることで建築構造分野に関する理解をより深められるだけでなく、学生参加型のより充実した講

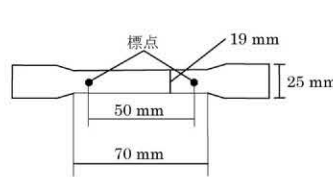


図6 材料試験片形状



写真2 引張試験状況

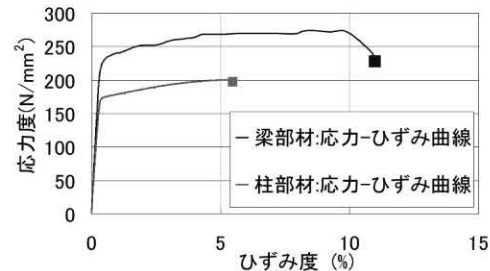


図7 応力-ひずみ関係

表3 材料試験結果

	梁部材	柱部材
ヤング係数(N/mm ²)	72904	55896
降伏強度(N/mm ²)	230	175
引張強さ(N/mm ²)	276	200
最大伸び(%)	11	5

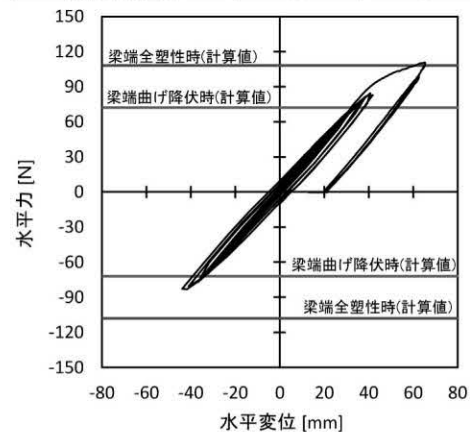


図8 水平力-水平変位関係

義や創造教育の実現が期待できる。今後は、実際の授業で早期に運用を始めるべく、運用方法の構築とその効果の検証を行う。

謝辞

構造模型の製作ならびにアルミ材試験片の引張試験を行うにあたり機械工学科・伊澤悟准教授をはじめ、ものづくり教育研究センターの方々にも多大なご指導とご協力を賜りました。ここに記し、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本アルミニウム協会:アルミニウムハンドブック第6版,p.26

【受理年月日 2011年 9月29日】