

建築構造部材の弾塑性挙動の早期体験型実験

—建築構造力学演習の改善（2011～2014 年度）—

建築学科 岡部 猛

1. 緒言

本プロジェクトは、本来は建築学科 2 年次後期に学習する予定の内容を、1 年次後期に実験授業を通して早期体験させるものである^{1,2)}。今回は同プロジェクトの 4 年間の纏めとして、2011 年度以降から 2014 年度までに行った実施概要と改善点ならびに学生による授業評価の結果を実績報告書として報告する。

2. プロジェクトの実施概要と改善点

2.1 プロジェクトの位置付けと目的

本授業科目（建築構造力学演習(1 年次・後期)）では、100mm サイズの H 形断面鋼部材の弾塑性曲げ実験を行う。この実験は弾性域に留まらず塑性域まで加力するものであり、受講生は建築学科の学部 1 年生であるが、実施される実験の観察や実験結果の整理・解析を通して建築構造物の非弾性挙動を早期体験できる。

表 1 に建築学科における構造力学科目群（建築構造力学第一～第四、建築構造力学演習）の流れを示す。

建築構造力学は学部 1、2 年次に開講されて、3 年次より開講される建築構造学(鋼構造、鉄筋コンクリート構造、建築耐震構造等)の力学的基礎を学習する。また、同第一～第三の学習内容は弾性解析であり、第四で初めて塑性解析が登場する構成となっている。

また、1 年次後学期に建築構造力学第二と並行する形で開講される建築構造力学演習の実験テーマは、2011 年度以前は表 2 の 1)～4) に示されるような弾性実験に限定されていた。これは、実験を通して建築構造力学第一と同第二で学んだ力学的基礎理論を理解することに重点が置かれていたからである。

従って、2011 年度以降、表 2 に新たに加わった実験テーマ 5) , 6) は、大学に入学して建築学を学び始めた学部学生にとっては早期体験型の実験である。

なお、建築構造力学第四で取り扱う建築骨組の塑性解析は、建築構造における耐震設計で確認する保有水平耐力の基本的な解析法である。従って、本実験は、塑性解析法の条件である塑性ヒンジの概念を理解する上で大変重要で必要な内容である。

2.2 プロジェクト実験の内容

2.2.1 鋼はり試験体の作製

写真 1 に示す鋼はり試験体は H-100x100x6x8 のサイ

表 1 構造力学科目群の構成

	1 年次		2 年次	
	前 学 期	後 学 期	前 学 期	後 学 期
力 学	建築構造 力学第一②	建築構造 力学第二②	建築構造 力学第三②	建築構造 力学第四<2>
科 目		建築構造演習 ②		
内 容	静定力学	材料力学 弾性	不静定力学	建築骨組 塑性

数値は単位数。ただし、○：必修科目、< >：選択必修科目

表 2 建築構造力学演習の実験課題

実験テーマ	実験目的
1) アルミニウム製トラス	トラス部材のひずみ度の測定
2) 長方形断面金属製はり模型	はり材の縁ひずみ度の測定
3) H 形断面アクリルはり模型	はり断面のひずみ度分布の測定
4) T 形断面アクリルはり模型	はり材のたわみ量の測定
5) H 形断面鋼材の引張試験	応力度ひずみ度関係の観察
6) H 形断面鋼はり材の実験	弾塑性挙動の観察



写真 1 鋼はり試験体(H-100x100x6x8) (2011 年度)



写真 2 鋼はりの弾塑性曲げ実験 (全景) (2013 年度)

ズの圧延 H 形鋼から作製した。はり試験体材端の支持

点部分と材中央部 2 点の加力部分にはスチフナが溶接されている。鋼材料は SS400 であり H 形鋼のフランジ部分から採取した引張試験片で得られた降伏強さは $351 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 程度のものである。

2.2.2 実験システムと測定項目

写真 2 に示すように鋼はり材の弾塑性曲げ試験は容量 $1,000\text{kN}$ の万能試験機で実施した。はりの曲げ試験における測定項目は、万能試験機の荷重 (1 点)、はり試験体中央部のたわみ量 (表裏 2 点)、はり試験体中央部断面の軸方向ひずみ度 (表面 5 点) 等である。

これら測定装置やセンサーの出力はオンラインでひずみ測定機に収集し、同時に荷重・変形関係やひずみ・変位関係をパソコンのモニターに表示される。

なお、実験においては液晶プロジェクターを用いて同様の内容をスクリーンに投影し、実験の状態を多数の学生が同時に観察できるようになっている。

2.2.3 実験データの処理方法

実験で得られた数値データはコンピュータに収集され、表計算ソフトを用いてキャリブレーションや図化等のデータ処理が行われる。

2.3 授業の進め方

本実験に関連する授業は、(1)実験内容の説明と載荷試験(材料の引張試験とはり材の弾塑性曲げ実験)と、(2)実験結果の考察と弾塑性曲げ理論の解説、の 2 日間に分けて週を跨いで行った。

2.4 2011 年度以降 2014 年度までに行った改善点

2011 年度の報告書¹⁾に、改善すべき点として(1)荷重点と支持点の改良と(2)大きな変位が測定できる変位計の取付けの 2 点を挙げている。

前者に関しては、2011 年度の実験では、試験体の荷重点と支持点に丸棒材を直接溶接し(写真 1)、丸棒材が鋼製ブロック上を水平方向に滑る方式(写真 3、4)を用いている。この方式は簡便であるが、丸棒材と鋼製ブロックの間に水平方向の摩擦力が生じ、ピンローラーの条件を満たすものではない。

2012 年度からは、試験体の荷重点と支持点に関しては、丸鋼棒が平面を転がる鋼製ブロック(写真 5)の反対側に、試験体の荷重点と支持点の 4 位置に溶接した丸棒材にはめ込む形式(写真 5、6)のものに改良した。この方式の挙動はピンローラー形式に近い。

後者に関しては、2011 年度の実験では、試験体にアクリル製の小板ブロックを接着材で固定し(写真 4)、変位計の先端部を押し当てて変位を測定した。この方式では試験体の変形が大きくなるとアクリル製の小板ブロックが容易に剥がれ落ちてしまい、大きな変位が測定できないので、2012 年度からは、小板ブロックを



写真 3 試験体の左端部の支持状態 (2011 年度)



写真 4 試験体載荷部の状態 (2011 年度)



写真 5 試験体載荷部ピンローラー治具 (2013 年度)

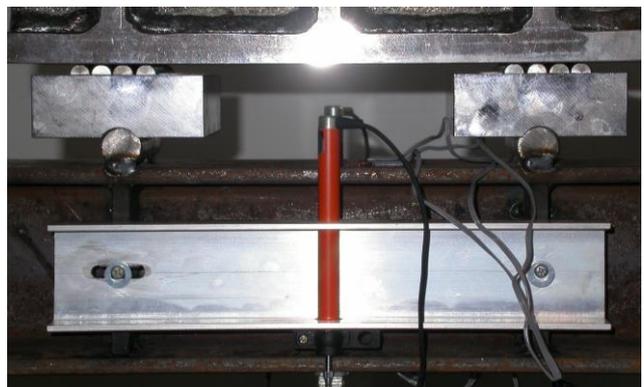


写真 6 試験体載荷部の状態 (2013 年度)

小ボルトで試験体に固定する方式(写真6)に改善した。

図1に2011と2013年度の実験で得られた荷重・中央部たわみ関係を比較して示す。

2011年度の結果(青色)は2013年度のそれ(黒色)よりも僅かではあるが大きくなっており、また挙動も滑らかではない。この挙動は、試験体の荷重点や支持点に摩擦力による拘束力が働いたことの影響を示していると考えられる。2013年度の実験結果(黒色)は滑らかに挙動しており、尚且つ十分な変形量が観察されている。

3. 授業アンケート結果の考察

表3に、2011年度から2014年度の建築構造力学演習の「授業改善のためのアンケート」の一部を比較して示す。本実験は表2に示す6課題の実験のうち2課題であるから、このアンケートの結果から本実験の直接の評価は得られないが参考意見としたい。

設問Q1では、この授業を難しいと感じている学生8~10名と比較的多いが、2014年度は「3.ちょうどよかった」が14名に増えている。この評価は実験が分かり易くなったことを示している。

また、設問Q3、Q8の結果も非常に改善しており、肯定的意見が増えていると考えられる。授業の効果が表れていると考えたい。

最後の授業改善のための学生の意見を見ると、2011年度は、とても充実しました、という肯定的ではあるが漠然としたコメントであった。しかし、2013~2014年度には、実験が楽しかった、実験をして、実際に数値を出してみることによって、教科書に載っている式がどのようにして使われるのかが分かって良かった、といった極めて具体的で肯定的な記述のコメントに変化している。この点は、本実験授業の改善の効果が上がっていることを示していると考えられる。

4. まとめ

建築構造力学演習において「早期体験型実験・演習科目開発プロジェクト」として4年間にわたり実施した「建築構造部材の弾塑性挙動実験」のプロジェクト実施概要と改善点及び授業アンケート結果を報告した。

謝辞：本実験の試験体や試験装置の作製ならびに実験の実施には熊本大学工学部技術部の全面的な支援を受けた。また、本プロジェクトの内容は日本工学教育協会年次発表会^{3, 4)}で発表した。関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

1) 岡部 猛：建築構造部材の弾塑性挙動の早期体験型実験、革新ものづくり展開力の協働教育事業実績報告

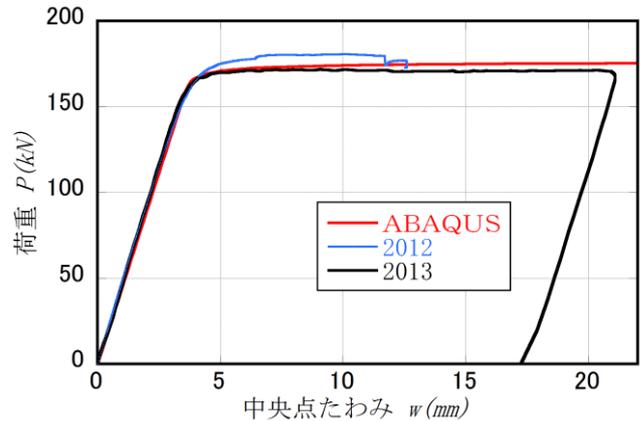


図1 荷重・中央部たわみ関係比較 (2011、2013年度)

表3 授業アンケートの結果比較 (2011、2013年度)

2011年度	2014年度	
Q1 授業の難易度はどうでしたか。		
8	10	1.非常に難しかった。
33	26	2.少し難しかった。
2	14	3.ちょうどよかった。
Q3 授業の手段(教科書プリント、板書、パワーポイントビデオ等)は、有効でしたか。		
7	16	1.非常に有効だった。
29	25	2.有効だった。
7	10	3.あまり有効ではなかった。
Q8 全体として、この授業はどの程度有意義でしたか。		
8	11	1.非常に有意義だった。
30	38	2.有意義だった。
5	2	3.あまり有意義ではなかった。
授業改善のための意見		
2011： とても充実しました。		
2013： 実験が楽しかった。 実験をして、実際に数値を出してみることによって、教科書に載っている式がどのようにして使われるのかが分かって良かった。		
2014： 実際に、目の前で実験を行ってもらったのが良かったです。 実際に実験を見ることができて良かったです。非常にためになりました。		

書 2011年度

2) 岡部 猛：建築構造部材の弾塑性挙動の早期体験型実験、革新ものづくり展開力の協働教育事業実績報告書 2013年度

3) 岡部 猛、他4名：建築構造部材の弾塑性挙動の早期体験型実験—鋼はり材の弾塑性曲げ実験の改善—、日本工学教育協会年次発表論文集、2012

4) 岡部 猛、他4名：建築構造部材の弾塑性挙動の早期体験型実験—鋼はり材の弾塑性曲げ実験の改善—、日本工学教育協会年次発表論文集、2014