

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—

建築学科 岡部 猛

1. 緒言

本プロジェクトは、建築構造力学の初学者である建築学科1年次学生に建築構造物の弾塑性挙動を早期体験させる実験授業を開発・実施することを目的とし、建築構造力学演習(1年次・後期)において100mm角サイズのH形断面鋼部材の弾塑性曲げ実験を行うものである。なお、本実験は、弾性域に留まらず塑性域まで加力するものであり、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の一端を早期体験できる。ここでは本プロジェクトの試みを紹介する。

2. 建築構造力学演習とプロジェクトの実施概要

2.1 プロジェクトの位置付けと目的

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年次に開講されており、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ものである。また、同第一―第三の学習内容は弾性解析であり、第四で塑性解析が登場する。

一方、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内容は、従来は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、建築構造力学演習において今回新たに弾塑性実験を実施することは、大学に入学して建築学を学び始めた学生にとっては早期体験型の実験と言える。

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。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有用であり、必要な内容である。

2.2 プロジェクト実験の内容

建築構造力学演習の最後の実験課題に今回新たに、広幅H形鋼で作製されたはり部材模型の4点曲げ試験を加えた。この実験により学生は建築部材の弾性挙動と弾塑性挙動の体験を得ることができる。

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

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。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(写真2)で得られた降伏強さは351(N/mm²)である。

2.2.2 実験システムと測定項目

写真4,5に示すように引張試験は容量500kNの万能試験機で実施した。

また、写真7～9に示すように鋼はり材の弾塑性曲げ試験は容量1,000kN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5点)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した。

なお、写真3に示すように、今回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した。

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パソコンに収集し(写真6)、表計算ソフトを用いてキャリブレーションや図化を行った(図1,2)。

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。

1週目の(1)の授業の前半(4時限目)は講義室で実験内容の説明を行い、後半(5時限目)の載荷試験(引張試験(写真4)、はり材の曲げ試験(写真7))は構造材料実験室に場所を変えて行った。

また、2週目の(2)の実験結果の考察は、前半(4時限目)に、得られた実験データを用いて材料の応力・ひずみ関係(図1)やはり材の荷重・たわみ関係(図2)を実際に描く作業を行い、後半(5時限目)にははり材の弾塑性曲げ理論の講義を行った(図4)。

なお、1週目の構造材料実験室における物理的な実験は1名の教員で担当することは不可能である。従って、実際は3名の技術職員の支援を受けて実施した。

(写真4,6)。また、本実験については実験後に報告レポートを提出させ、成績の評価を行っている。

2.4 現時点の改善点

1週目の後半の载荷試験は新年早々1月の寒さの非常に厳しい時期での実施となった。構造材料実験室は暖房が行われないので学生の防寒が心配された(写真3)。この点は、引張試験だけでも授業の前半の時期、例えば10月に実施するなどの工夫が必要と感じた。

また、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点が指摘される。今回、荷重点や支持点は写真8-10に示すように試験体に棒材を溶接し、棒材が鋼製ブロック上を滑るピンローラー形式とした。この方法は簡便であるが力学的に合理的なものではない。また、鋼製はり材のたわみ変形はかなり大きなものであり、塑性ヒンジが構成されるような十分な塑性域まで実験を継続するためには、変位計の取り付けに工夫が必要であることが分かった。

3. 授業アンケート結果の考察

建築構造力学演習の「授業改善のためのアンケート」(2011年度)の結果の一部を図3に示す。本実験は6課題の実験のうちのひとつであるから、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、殆どの学生がこの授業を難しいと感じていることが分かる。材料力学の初学者にとっては当然のことと思われる。しかし、設問Q3では8割以上学生が授業の手段が有効であると答えている。従って、本実験の手段は肯定されていると判断したい。

また、設問Q8では、殆どの学生がこの授業を有意義であったと回答している。従って、本演習科目における取組みの工夫は良く理解されていると思われ、本演習における学生の達成感が高いものと判断される。

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」として実施した「建築構造部材の弾塑性挙動実験」の試みを紹介した。

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。関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

1) 若林 實：鉄骨構造学詳論、丸善株式会社

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
力学科目	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>
		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

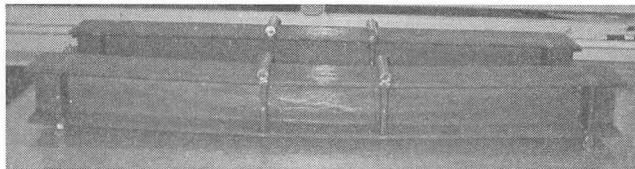


写真1 鋼はり試験体(H-100x100x6x8)

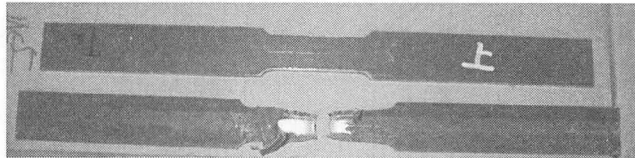


写真2 引張試験片(1号試験片)

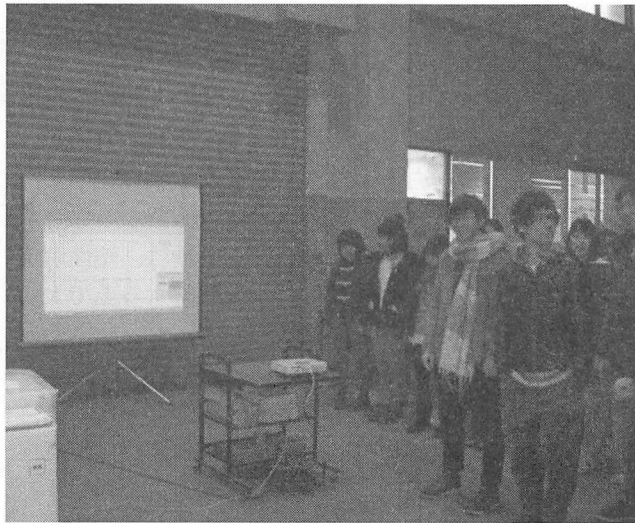


写真3 実験風景(オンラインでプロジェクター映写)

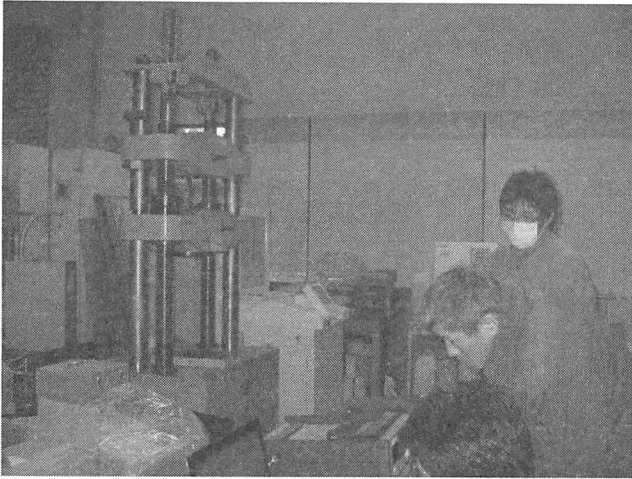


写真4 引張試験の様子(500kN 万能試験機)

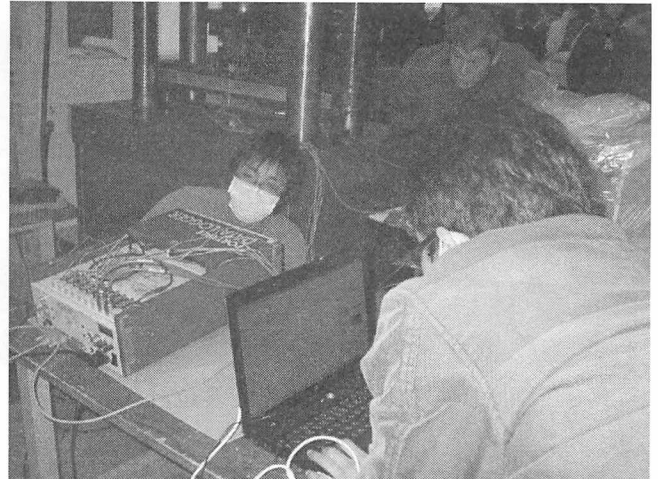


写真6 ひずみ測定機の操作

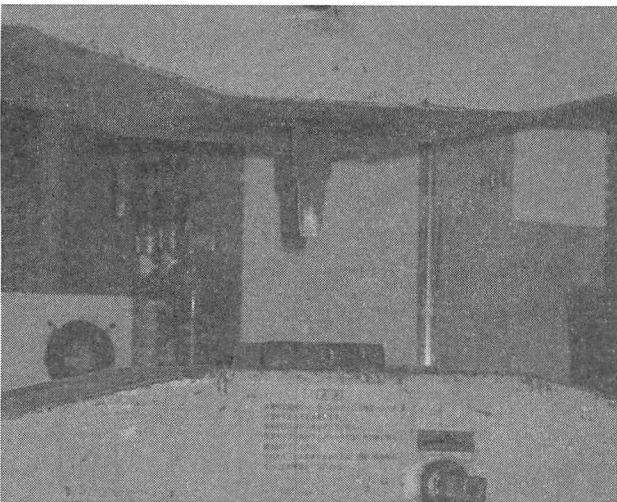


写真5 破断した引張試験片

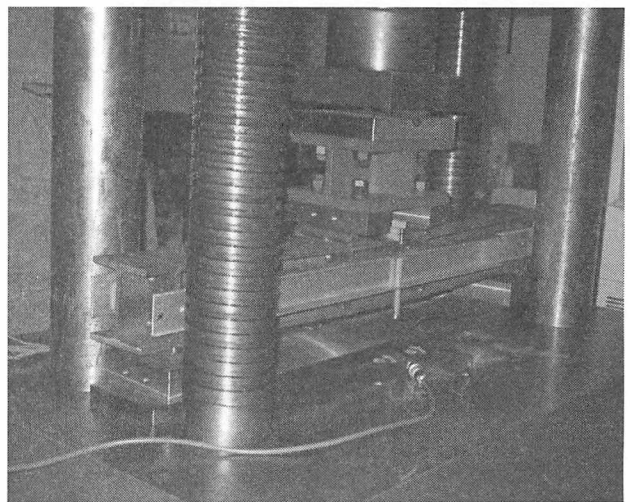


写真7 鋼はりの弾塑性曲げ実験

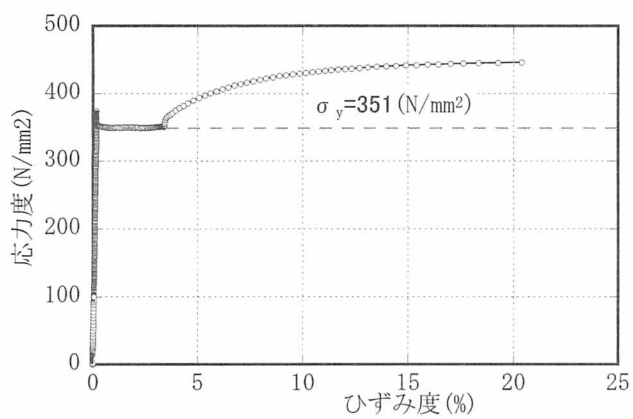


図1 鋼はり試験体の応力・ひずみ関係

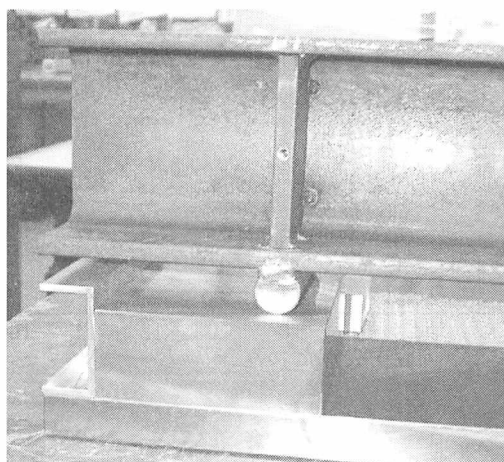


写真8 鋼はり試験体の端部の支持状態

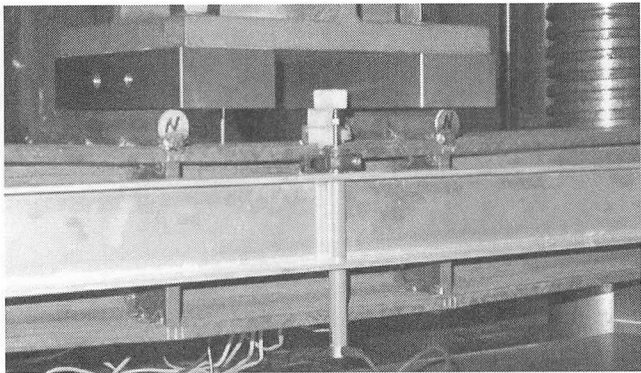


写真9 鋼はり試験体の载荷状態と変位計

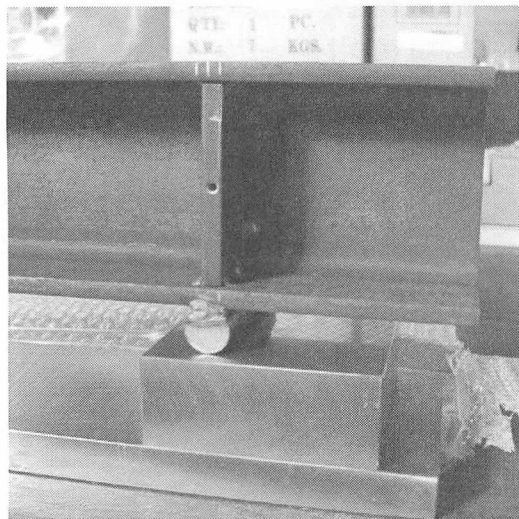


写真10 鋼はり試験体の端部の支持状態

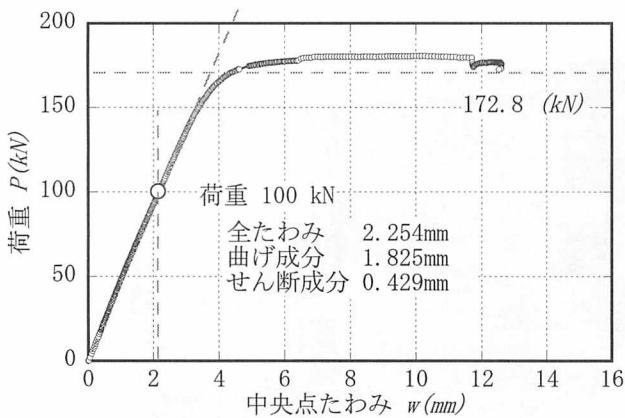


図2 荷重・中央部たわみ関係

Q1 授業の難易度はどうでしたか。		
8 ■■		1. 非常に難しかった。
33 ■■■■■■■■■■		2. 少し難しかった。
2 ■		3. ちょうどよかった。
Q3 授業の手段(教科書プリント、板書、PoerPoint、ビデオ等)は、有効でしたか。		
7 ■■		1. 非常に難しかった。
29 ■■■■■■■■■■		2. 少し難しかった。
7 ■		3. ちょうどよかった。
Q8 全体として、この授業はどの程度有意義でしたか。		
8 ■■		1. 非常に難しかった。
30 ■■■■■■■■■■		2. 少し難しかった。
5 ■		3. ちょうどよかった。
授業改善のための意見：とても充実しました。		

図3 授業アンケートの結果 (2011 年度)

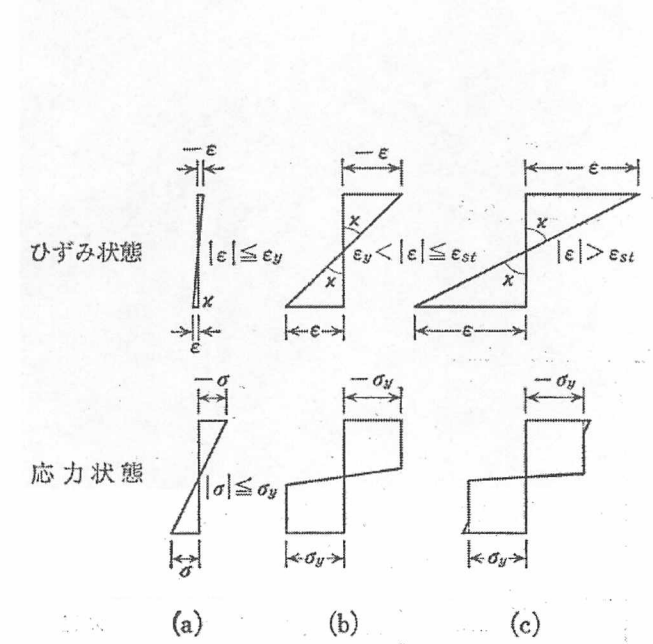


図4 弾塑性挙動におけるひずみと応力分布の推移 (文献1)