

建築構造設計を対象とした教育用模擬実験ツールの開発

— 有限要素法解析による検討 —

Development of Educational Model Experiment Tool for Structural Design

— Discussion by FEM Analysis —

服部 宏己

Hiroki HATTORI

Abstract

Recently, the ideal way of an architectural and structural education is posing a problem. The field of structural mechanics is making the basis of structural education. On the other side there are many students with consciousness weak. Up to now, many discussions have been performed.

Main purpose of this study is to propose education method of building structures for raising special knowledge for structural design. This paper proposes educational model experiment tool using mechanoluminescence material as the new education method of building structures, and examines to which stress I emit light in FEM analysis about the amount of luminescence.

Keywords: 建築構造設計、教育、模擬実験ツール、応力発光材料

1. はじめに

本研究は、建築構造教育の改善を目的として、既に構造力学を修得した全学生（四年制大学、工業高等専門学校、短期大学等）を対象に、建築構造に関する専門性の高い効果的な教育方法として、構造設計（特に部材設計）の知識を視覚的・体験的に短時間で学習できるツールを開発することとしている（図-1 参照）。前報¹⁾では、図-1 中の可視確認実験ツールについて、応力発光材料²⁾を使用した試験体を用いて、圧縮荷重時の発光量の定量化を行うとともに、比較的高さの小さい試験体を用いた単純梁の曲げ実験により、その妥当性を検証した。その結果、梁理論に基づく曲げ応力の理論値と実験値の間には若干の違いが見られた。その原因として、試験体サイズが小さく、明るく発光した光がその近傍まで影響しているかまたは曲げ応力以外の応力によって発光しているものと推察した。そこで本報では、試験体サイズを前報¹⁾の 2 倍とし、試験体高さ（スパン-高さ比）を変化させた単純梁試験体の集中荷重実験を行うとともに、有限要素法による解析を行うことによって、どの応力によって発光しているかを考察する。

2. 実験概要

(1) 実験要因

表-1 に実験要因を示す。実験要因は、試験体高さ（20,40 および 80mm）、最大縁応力（10,20 および 30N/mm²）および縁応力速度（10 および 20N/mm²/s）とした。ここで、縁応力は、梁理論から求めた試験体中央最上部の曲げ応力としており、試験体の圧縮強度は 64N/mm² であり、最大縁応力は弾性範囲内であ

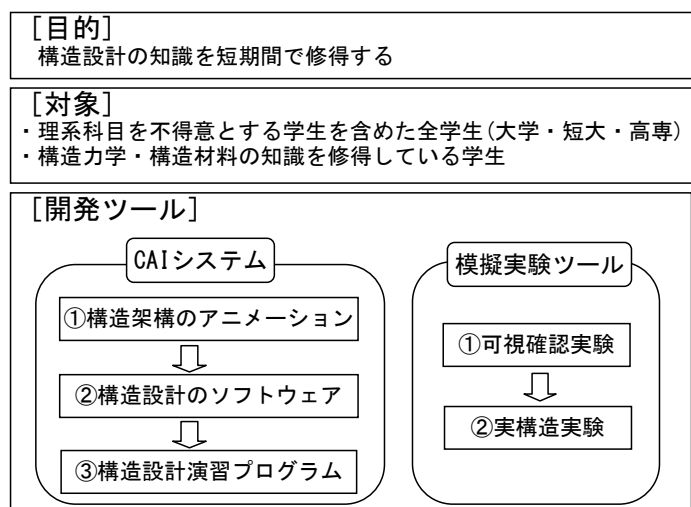


図1 教育支援ツールの概念図

建築構造設計を対象とした教育用模擬実験ツールの開発

ることを確認している。また、縁応力速度は、手動ポンプによる荷重を行い若干のばらつきが生じたため、最大縁応力の80%の応力値をそれまでの荷重時間で除した値として求めている。図-2に荷重した時の縁応力の時刻歴の一例を示す。

(2) 実験方法

表-2 に試験体の使用材料を示す。試験体に使用する樹脂剤は、剛性の高いエポキシ樹脂を主剤とし、樹脂剤：応力発光材料の重量比は6：1とした。試験体の寸法は、幅：20mm×高さ：20,40,80mm×長さ：180mmとした。写真-1に試験体例を示す。

写真-2 に実験状況を示す。実験方法は、試験体を支点間距離160mmとしてセットし、油圧シリンダーを用いて単純梁試験体の中央に手動ポンプにより集中荷重し、ロードセルによって荷重を測定した。ここで、応力発光材料は樹脂剤と比較し比重が重く底面に沈降するため、試験体は沈降した面が前面になるようにセットしている。

試験体の発光状況は、高感度モノクロ CCDカメラで撮影し、その映像を記録した。なお、試験体に一定量の光エネルギーを蓄えるため、約20秒間ブラックライトを照射し、その後約1時間静置して光量を低減した後に荷重を行った。

3. 実験結果および考察

(1) 発光状況

図-3および図-4に縁応力速度：10N/mm²/s時の発光画像を示し、図-5に縁応力速度：20N/mm²/s時の発光画像を示す。ここで、発光画像は、荷重中で最も発光している画像を目視により抽出した。

図-3(a)および図-4(a)より、高さ20mmの試験体では、試験体の上下方向の中央ライン上では発光が見られず、上面または下面にいくほど明るくかつ広く発光していることが分かる。これは、梁理論に基づく曲げ応力分布と発光の分布が比較的類似の関係にあることを示している。しかしながら、図(a)の20mm試験体および図(b)の40mm試験体

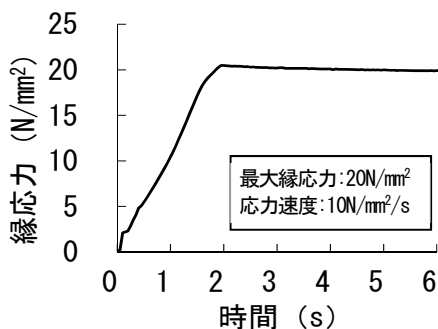


図-2 縁応力の時刻歴の例

を比較すると、40mm試験体では、試験体中央の両端側付近が若干発光している様子が見られ、20mm試験体に対して発光範囲が広がる傾向を示している。また、図(c)の80mm試験体では、荷重点と両側支点を結んだ線上を中心として明

表-1 実験要因

要因	水準
試験体高さ (高さ-スパン比)	20, 40, 80 (1/8) (1/4) (1/2)
最大縁応力 (N/mm ²)	10, 20, 30*
縁応力速度 (N/mm ² /s)	10, 20

* 試験体高さ：20, 40mmのみ

表-2 使用材料

材 料		重量比
樹脂剤 (Devcon)	エポキシ樹脂 (主剤)	100
	脂肪族ポリアミン (硬化剤)	50
応力発光材料 (粉末)	中心粒径：5~10μm 応力発光スペクトル：520nm付近 発光色：緑色 最大輝度：約10cd/m ² (樹脂混合ペレット使用、圧縮荷重1kN時)	25



写真-1 試験体例 (20×20×180mm)

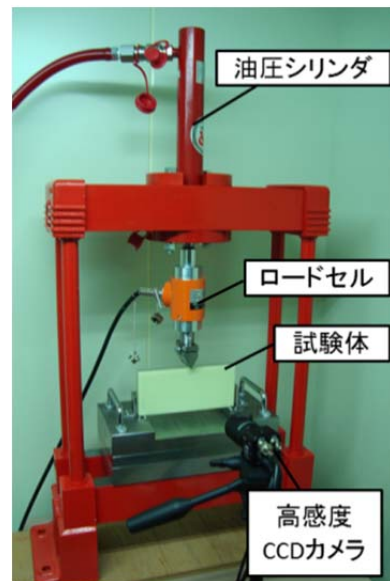


写真-2 実験状況

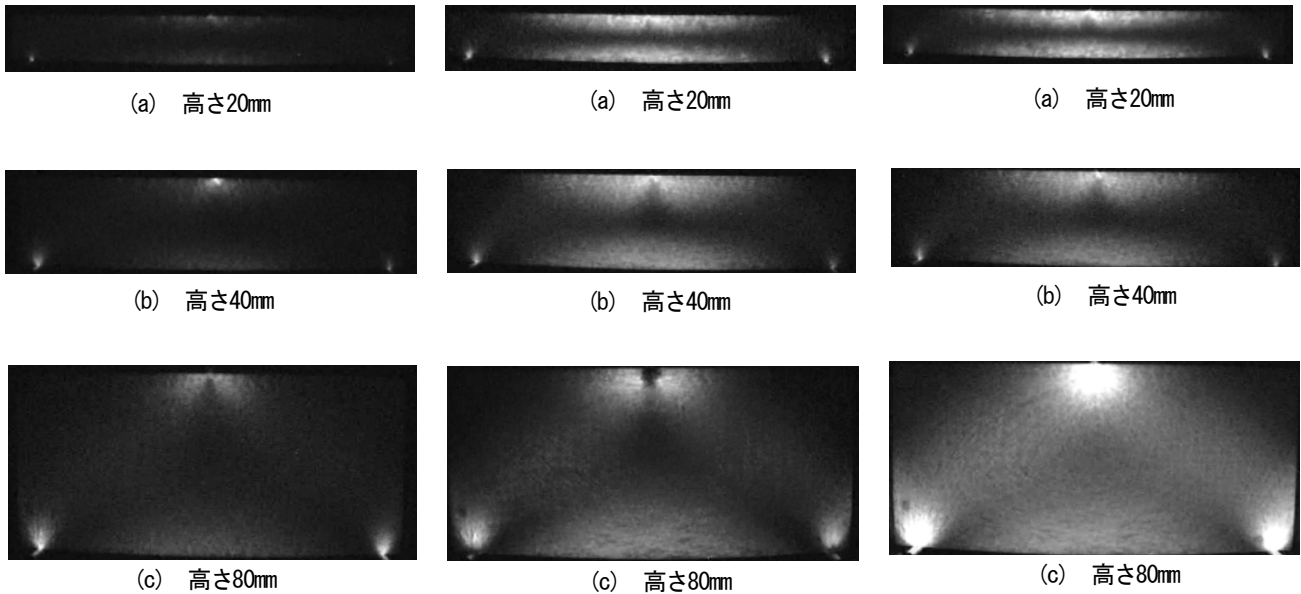


図-3 発光状況

(縁応力: 10N/mm^2 , 縁応力速度: $10\text{N/mm}^2/\text{s}$)

図-4 発光状況

(縁応力: 20N/mm^2 , 縁応力速度: $10\text{N/mm}^2/\text{s}$)

図-5 発光状況

(縁応力: 20N/mm^2 , 縁応力速度: $20\text{N/mm}^2/\text{s}$)

るく発光しており、更に曲げ応力によるものと思われる発光が、試験体下端の中央付近に最下端中央を中心とした円弧上に見られる。これらのことから、試験体の発光状況は、曲げ応力のみでは説明できず、これ以外の応力に対して発光していることが推察できる。

図-3 および図-4 を比較すると、どの高さの試験体も縁応力が大きくなるほど明るく発光している。この傾向を明らかにするため、図-6 に最大縁応力と階調値の関係を示す。ここで、最大縁応力は試験体上端中央の曲げ応力の計算値を用い、階調値は、試験体上端中央部の $4\times 4\text{mm}$ の範囲に対して、画像解析ソフト (Image J) を用いて求めた平均値としている。なお、階調値は、8 ビット 256 階調で表され、値が大きいほど明るく発光していることを示す。同図によれば、試験体によるばらつきはあるものの最大縁応力が大きくなるほど階調値もほぼ直線的に増大していることが分かる。

縁応力速度の影響について、図-4 の $10\text{N/mm}^2/\text{s}$ 時と図-5 の $20\text{N/mm}^2/\text{s}$ 時を比較すると、どの試験体においても縁応力速度が大きいほど明るく発光していることが分かる。特に高さ 80mm 試験体においてはその傾向が顕著に見られる。この傾向を明らかにするため、図-7 に縁応力速度と階調値の関係を示す。ここで、縁応力速度は試験体上端中央の値を用い、階調値は図-5 と同様な方法で求めた。同図によれば、試験体高さ (梁せい) による影響は見られないが、どの試験体も縁応力速度が速くなるほど階調値も増大することが分かる。最大縁応力および縁応力速度ともに、これら

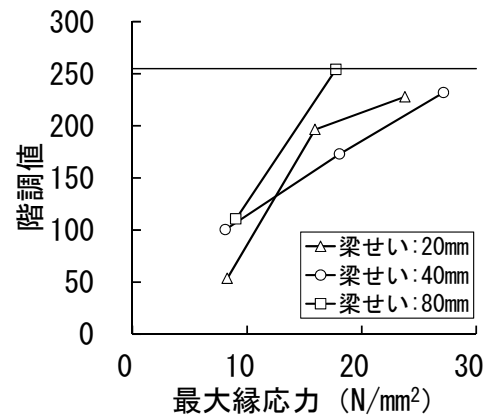


図-6 最大縁応力と階調値の関係

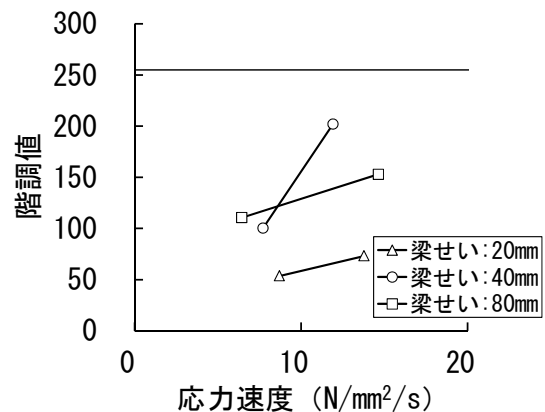


図-7 縁応力速度と階調値の関係

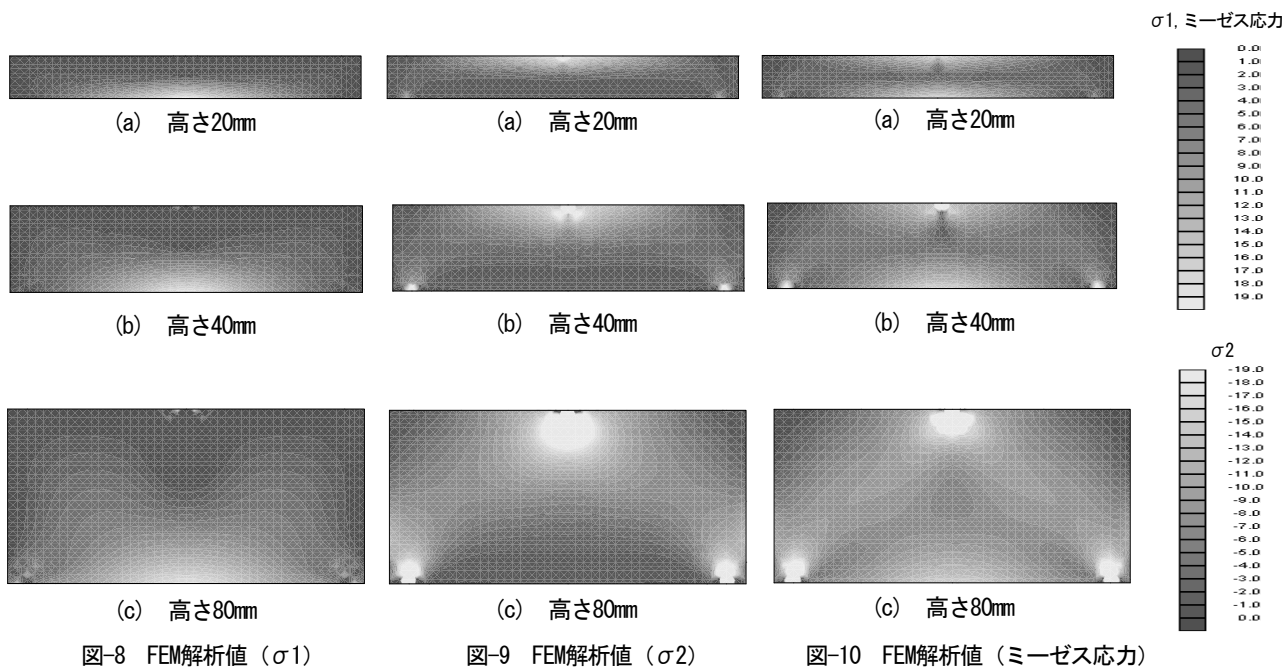
図-8 FEM解析値 (σ_1)図-9 FEM解析値 (σ_2)

図-10 FEM解析値 (ミーゼス応力)

の傾向は、前報¹⁾の結果と一致する。

(2) 有限要素法解析

実験による発光状況について、どの応力に対して発光しているかを明らかにするため、有限要素法解析を行った。解析プログラムは、Easy- σ Lite を使用した。支持条件、载荷条件は実験方法と同様とし、各試験体を 4×4 mm のグリッドに分割して解析した。

図-8、9 および図-10 にそれぞれ σ_1 、 σ_2 およびミーゼス応力の解析値を示す。本解析では、引張を正、圧縮を負の値としており、図-8 の σ_1 では、引張応力値が大きいほど白く、図-9 の σ_2 では、圧縮応力値が大きいほど白く表記されている。また、ミーゼス応力は圧縮・引張にかかわらず全て正の値で示し、値が大きいほど白く表記されている(凡例参照)。

図-8 によれば、どの試験体においても試験体中央から下側について、実験値と解析値が比較的良く一致していることが分かる。すなわち、主応力が引張側と予想される値に対して比較的よく一致している。また、図-9 によれば、試験体中央から上側および载荷点と支点を結んだ線上の値に対して、実験値と解析値が比較的よく一致していることが分かる。すなわち、主応力が圧縮側と予想される値に対して比較的良く一致している。図-10 については、どの試験体においても全ての範囲に対して、実験値と解析値が極めて類似していることが分かる。これらのことから、応力発光

材料とエポキシ樹脂を混合して作成した本試験体では、主応力の圧縮または引張の大きい方の値に対して発光するものと考えられる。

4. まとめ

本実験から得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 曲げ・せん断载荷時においても、応力が大きくなるほどまた応力速度が速くなるほど明るく発光する。
- 2) 応力発光材料とエポキシ樹脂を混合して作成した試験体では、主応力の圧縮または引張の大きい方の値に対して発光するものと考えられる。

【謝辞】

本研究の一部は、2013 年度日本学術振興会科研費・挑戦的萌芽研究によった。また、岐阜工業高等専門学校犬飼利嗣教授および学生のご助力を得た。付記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 服部宏己: 建築構造設計を対象とした教育用模擬実験ツールの開発—発光量の最大応力および応力速度の影響—, 岐阜市立女子短期大学紀要, 第 62 輯, pp.121-125, 2012.3
- 2) 除超男: ハイブリッド化応力発光材料, セラミクス, 39, pp.130-133, 2004.2

(提出日 平成 26 年 1 月 10 日)