

## 建築構造設計を対象とした構造教育に関する研究

## (その4: 曲げ・せん断載荷時の発光状況に及ぼす試験体高さの影響)

正会員 ○服部 宏己\*<sup>1</sup> 正会員 三島 直生\*<sup>4</sup>  
 会員外 橋本 さくら\*<sup>2</sup> 正会員 畑中 重光\*<sup>5</sup>  
 正会員 犬飼 利嗣\*<sup>3</sup>

建築構造設計 教育 模擬実験ツール  
 応力発光材料 可視化 階調値

## 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>では、建築構造教育に関する新たな教育支援ツールを提示し、その中の可視確認実験ツールについて、応力発光材料<sup>2)</sup>を使用した試験体を用いて、圧縮載荷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<sup>1)</sup>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載荷実験を行い、その発光状況について考察した。

## 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、最大縁応力および縁応力速度とした。ここで、最大縁応力は、試験体の圧縮強度が $64\text{N/mm}^2$ であり弾性範囲内であることを確認している。また、縁応力速度は、最大縁応力の80%の応力値をそれまでの載荷時間で除した値として求めた。

## (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×長さ: 180mm(支点間距離: 160mm)とした。

写真-1に実験状況を示す。実験方法は、油圧シリンダーを用いて単純梁試験体の中央に集中載荷し、ロードセルによって荷重を測定した。

図-1に縁応力の時刻歴の一例を示す。ここで、応力速度(勾配)が一定(直線)になっていないのは、手動ポンプにより載荷しているためである。試験体の発光状況は、高感度モノクロCCDカメラで撮影し、映像をPCに記録した。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載荷を行った。

## 3. 実験結果および考察

## (1) 発光状況

図-2および図-3に縁応力速度:  $10\text{N/mm}^2/\text{s}$ 時の発光画像を示す。発光画像は、載荷中で最も発光している画像を目視により抽出した。

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 ( $\text{N/mm}^2$ )	10, 20, 30*
縁応力速度 ( $\text{N/mm}^2/\text{s}$ )	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: $5\sim 10\mu\text{m}$ 応力発光スペクトル: 520nm付近 発光色: 緑色 最大輝度: 約 $10\text{cd/m}^2$ (樹脂混合ペレット使用、圧縮荷重1kN時)	25

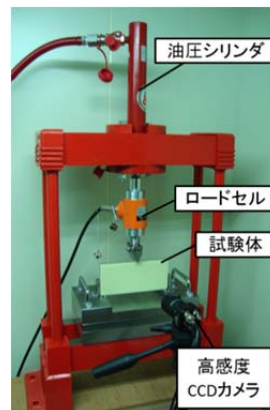


写真-1 実験状況

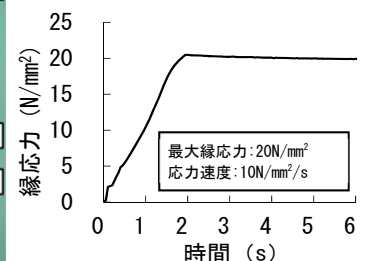


図-1 縁応力の時刻歴の例

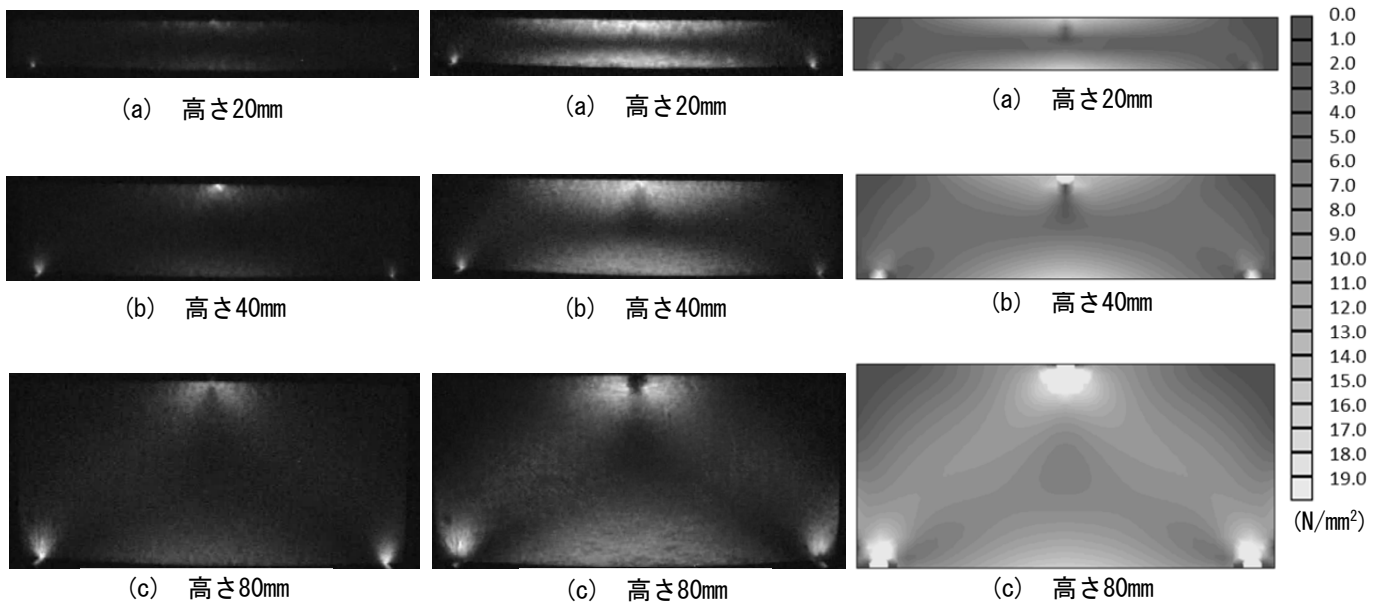


図-2 発光状況(縁応力: 10N/mm<sup>2</sup>) 図-3 発光状況(縁応力: 20N/mm<sup>2</sup>) 図-6 解析値(縁応力: 20N/mm<sup>2</sup>)

図-2(a)および図-3(a)より、高さ20mmの試験体では、梁理論に基づく曲げ応力分布と発光の分布が類似の関係にあることが分かる。しかしながら、図(a)~(c)を比較すると、梁せいが大きくなるほど発光範囲が広がるとともに、それぞれ異なった発光状況を示しており、曲げ応力以外の応力に対して発光していることが分かる。

図-2および図-3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。図-4に最大縁応力と階調値<sup>1)</sup>(試験体上端中央部: 4×4mmの範囲の平均値とし、値が大きいほど明るく発光していることを示す)の関係を示し、図-5に縁応力速度と階調値の関係を示す。これらの図によれば、縁応力が大きくなるほど、また縁応力速度が早くなるほど明るく発光しており、前報<sup>1)</sup>の結果と一致する。

## (2)有限要素法解析

図-3(最大縁応力: 20N/mm<sup>2</sup>)の画像に対し、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(解析プログラム: Easy-σ Lite)を行った。図-6に主応力図(ここでは、応力の大きさのみを示すため、ミーゼス応力としている)を示す。図-3の実験結果と比較すると、どの試験体高さに対しても主応力図と発光状況は極めて類似していることが分かる。したがって、応力発光材料とエポキシ樹脂を混合して

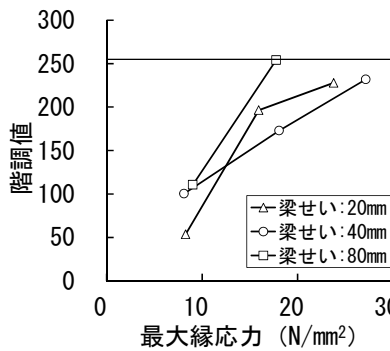


図-4 最大縁応力と階調値の関係

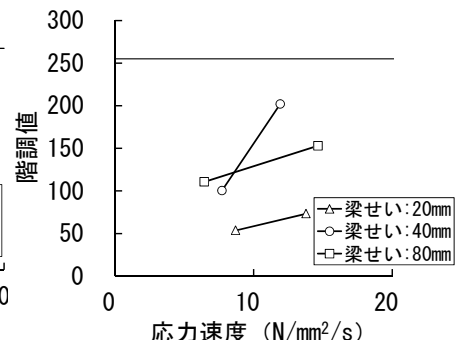


図-5 縁応力速度と階調値の関係

作成した本試験体では、主応力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・せん断載荷時においても、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、主応力に対して発光する。

### 【謝辞】

本研究の一部は、2012年度日本学術振興会科研費・挑戦的萌芽研究(研究代表者: 服部宏己)によった。付記して謝意を表します。

### 【参考文献】

- 1) 越野省吾、服部宏己、犬飼利嗣、三島直生、畑中重光: 建築構造設計を対象とした構造教育に関する研究(その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集、E-2、pp. 423-424、2011.9
- 2) 除 超男: ハイブリッド化応力発光材料、セラミックス、39、pp. 130-133、2004.2

\*1 岐阜市立女子短期大学生活デザイン学科 教授・博士(工学)  
 \*2 千葉大学工学部都市環境システム学科 大学生  
 \*3 岐阜工業高等専門学校建築学科 教授・博士(工博)  
 \*4 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)  
 \*5 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・工博

\*1 Prof., Dept. of Design for Contemp. Life, Gifu City Women's College, Dr. Eng.  
 \*2 Undergrad. Student, Dept. of Urban Environment Systems, Faculty of Eng., Chiba Univ.  
 \*3 Prof., Dept. of Arch., Gifu National College of Technology, Dr. Eng.  
 \*4 Assoc. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.  
 \*5 Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.