

建築構造設計を対象とした構造教育に関する研究 (その5: 曲げ・せん断載荷時の発光状況の解析的検討)

正会員 ○服部 宏己*¹ 正会員 三島 直生*⁴
 準会員 前田 佳穂*² 正会員 畑中 重光*⁵
 正会員 犬飼 利嗣*³

建築構造設計 教育 模擬実験ツール
 応力発光材料 FEM解析 階調値

1. はじめに

本研究は、建築構造教育に関する新たな教育支援ツールを開発することを目的としている。前報¹⁾では、その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、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。その結果、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、載荷時の試験体の発光量は、有限要素法解析(以下、FEM解析という)で得られる主応力と相関性が高いという知見が得られた(図-1参照、図(b)は絶対値で表示)。

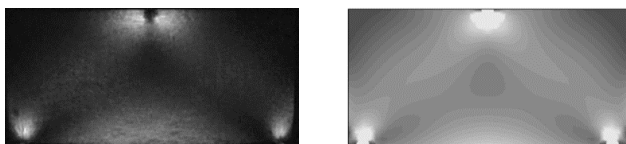
本報では、これらの実験結果を用いて、試験体の発光量と応力の関係を更に詳細に検討する。すなわち、実験で得られた発光画像を階調値(黒色~白色を0~255の数値で示し、値が大きいほど白色に近いことを示す)を用いて表し、一方でFEM解析によって主応力を求めることにより、両者の関係を数値的に明らかにする。

2. 解析モデルおよび解析方法

(1) 実験条件

表-1に前報¹⁾で行った実験要因を示す。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、試験体サイズは180×20×高さ(mm)とした。なお、支点間距離は160mmとしている。実験方法は、油圧シリンダーを用いてローラー支点で支持された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。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。

(2) 発光状況の画像解析



(a) 実験値(発光画像) (b) FEM解析値(主応力)

図-1 最大荷重時の実験値と解析値の比較例

(試験体高さ: 80mm)¹⁾

前報¹⁾で得られた試験体の発光画像は、画像解析ソフト(Image J)により階調値に変換した。発光画像を4×4mmのグリッドに分割し、グリッド毎に階調値の平均値を求めた。

(3) FEM解析によるシミュレーション

実験値と比較するため、解析ソフト(Easy-Sigma 2D Lite)を用いてFEM解析を行った。支点および載荷条件は(1)の実験条件と同様にローラー支点の単純梁に集中載荷し、グリッドの大きさは(2)の画像解析条件と同様に4×4mmとした。なお、本解析は弾性解析としており、今回の解析条件で得られた結果を3章に示す。

3. 解析結果および考察

(1) 試験体高さ(高さ-スパン比)の影響

図-2に、応力度と階調値の関係を示す。図中の●および○は、それぞれ引張応力度および圧縮応力度を示している(絶対値で表示)。ここで、応力度が2N/mm²以下のデータは棄却している。その理由として、試験体の蓄光に起因しているものと判断したためである。

同図(a)~(c)によれば、梁せいが20mmの試験体では、実験値のばらつきが小さく、両者の関係は極めて相関性が高いことが分かる。梁せいが40mmの試験体では、実験値のばらつきが若干大きくなっているが、両者の相関性は比較的高い。梁せいが80mmの試験体においては、更にばらつきが大きくなり、相関性が高いとはいえない難くなっている。この理由として、図-1に示すように、画像を比較する上では実験値と解析値の間に相関性は見られるが、数値化する場合には、梁せいが大きいほど画像の上下方向にカメラレンズによる歪みが生

表-1 実験要因¹⁾

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

Study on Education Method of Building Structures for Structural Design
(Part5: Analytical Study on Luminescence under Bending/Shearing Loads)

HATTORI Hiroki, MAEDA Kaho, INUKAI Toshitsugu, MISHIMA Naoki and HATANAKA Shigemitsu

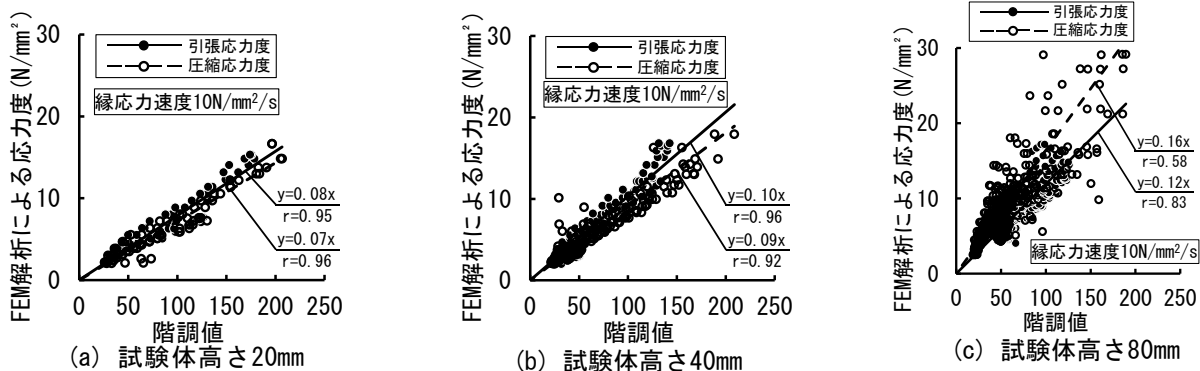


図-2 応力度と階調値の関係（最大縁応力：20N/mm²）

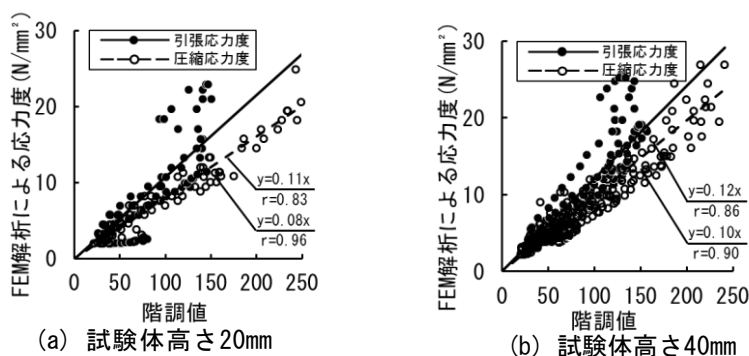


図-3 応力度と階調値の関係（最大縁応力：30N/mm²）

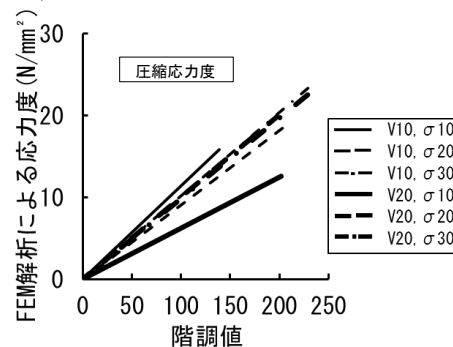


図-4 応力度と階調値の近似線

じ、この影響が大きいことが考えられる。

また、試験体高さ20mmおよび40mm試験体では、FEM解析の応力度が同じ値に対して、引張応力度よりも圧縮応力度の方が階調値が大きくなっている。すなわち、同じ応力度に対して、圧縮応力度の方が明るく発光する傾向にある。この理由として、圧縮時は引張時と比較して、応力発光材料の粒子間により有効な力が伝達されているものと考えられる。

(2) 最大縁応力の影響

図-3に、最大縁応力30N/mm²の結果を示す。同図によれば、20N/mm²の結果と同様に、応力度と階調値の間には相関性が見られる。ただし、階調値が100～150のあたりで同じ階調値に対して応力度が大きくなっているものがいくつかある。これは、载荷点または支点近傍において、実験では塑性化している箇所を弾性解析しているため違いが生じていることが考えられる（図-1参照）。

(3) 応力度と階調値の関係（近似線の比較）

図-4に応力度と階調値の近似線を示す。同図によれば、最大縁応力10N/mm²、縁応力速度20N/mm²/s以外の試験体は、概ね同程度の傾きとなっている。最大縁応力10N/mm²の他の試験体においても傾きが異なる傾向が見

られたが、最大縁応力20および30N/mm²の試験体においては、縁応力速度および試験体高さに関わらず近似線の傾きは同程度であり、引張応力時：0.08～0.12、圧縮応力時：0.07～0.10となっている。

4. まとめ

本解析結果から得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 試験体高さ（高さ・スパン比）が大きくなるとカメラレンズによる画像の歪みによって実験値のばらつきは大きくなる傾向にあるが、高さ20mmと40mmの試験体の応力度と階調値の相関性は高いと言える。
- 2) 圧縮応力度の方が引張応力度と比較し、明るく発光する傾向にある。
- 3) 最大縁応力が20および30N/mm²の試験体の応力度と階調値の相関性は高く、縁応力速度および試験体高さに関わらず、近似線の傾きは同程度となっている。

【謝辞】

本研究の一部は、平成26年度日本学術振興会科研費・基盤研究（C）（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) 服部宏己, 橋本さくら, 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4), 日本建築学会大会(北海道)学術講演梗概集, E-2, pp. 7-8, 2012. 9
- 2) 徐 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 岐阜工業高等専門学校専攻科建設工学専攻 専攻科生
 *3 岐阜工業高等専門学校建築学科 教授・博士(工学)
 *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・工学

*1 Prof., Dept. of Design for Contemp. Life, Gifu City Women's College, Dr. Eng.
 *2 Adv. Course Student, Adv. Course of Arch., National Institute of Tec., Gifu College
 *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.