

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：応力発光材料を用いた発光量の定量化実験)

準会員 ○ 越野 省吾*1 正会員 三島 直生*4
 正会員 服部 宏己*2 同 畑中 重光*5
 同 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 可視化 階調値

1. はじめに

前報¹⁾では、建築構造教育に関する新たな教育支援ツールの提案として、可視確認実験ツールに適用する応力発光材料²⁾を用いた試験体の発光状態の傾向を示したが、応力レベルが小さく、発光量の定量化には至らなかった。本報では、発光量がほぼ最大となる応力レベルを設定し、圧縮載荷時の応力の大きさおよび応力速度と発光量の関係の定量化を試みる。また、単純梁の曲げ実験により、その妥当性を検証する。

2. 圧縮載荷実験(実験1)

実験1では、圧縮載荷時における応力と発光量の関係を実験的に明らかにするとともに発光量の定量化を試みた。

(1) 実験要因

表-1に実験要因を示す。実験要因は、最大応力および応力速度とした。ここで、最大応力は、試験体の圧縮強度が 64N/mm^2 であり弾性範囲内であることを確認している。また、応力速度は、最大応力の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。試験体の形状はダンベル型とし、最小断面寸法は $5.0 \times 10.0\text{mm}$ とした。写真-1に試験体の形状および寸法を示す。

写真-2に実験状況を示す。筆者らが製作した簡易載荷装置を用いて圧縮載荷し、ロードセルによって荷重を測定した。図-1に圧縮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

写真-3に実験結果の一例として、発光状況の画像を

表-1 実験要因(実験1)

要因	水準
最大応力 (N/mm^2)	10, 20, 30
応力速度 ($\text{N/mm}^2/\text{s}$)	15, 30

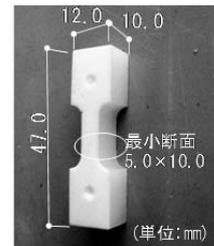


写真-1 試験体

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：5~10 μm 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

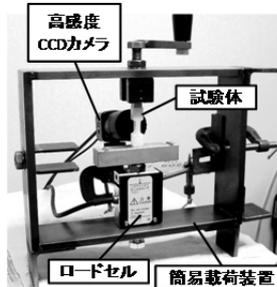


写真-2 圧縮実験状況

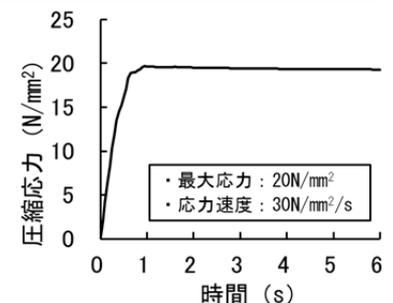


図-1 圧縮応力の時刻歴の例

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。得られた画像から画像解析ソフト(Image J)を用いて、試験体中心部の $4 \times 4\text{mm}$ の面積の階調値(8ビット256階調)の平均値を求めた。ここで、階調値は数値が大きくなるほど明るく発光したことを示している。

図-2に、圧縮載荷時の階調値と最大応力の関係を示す。同図によれば、最大応力と階調値は、ほぼ直線的な関係にあることがわかる。また、応力速度が大きいほどその勾配は大きくなり、応力速度が $30\text{N/mm}^2/\text{s}$ の試験体では、応力が 20N/mm^2 を超えるあたりで階調値の上限値(255)を示すことが推測される。図には、近似直

線と近似式も示した。

3. 曲げ実験 (実験2)

実験2では、単純梁の中央に集中荷重したときの発光量から求めた応力分布と理論式から求めた応力分布を比較し、実験1で得られた近似式の妥当性を検証した。

(1) 実験要因および実験方法

表-3に実験要因を示す。実験要因は、荷重荷重(167, 250N)および荷重速度(125, 250N/s)とした。これらの水準は、曲げ試験体中央部の縁応力が実験1の水準と対応するように定めた。

曲げ試験体に使用する材料は、実験1と同様とし、試験体の形状は10×10×90mm(支点間距離：80mm)とした。実験方法は、曲げ試験体の中央に集中荷重することを除いては実験1と同様とした。写真-4に実験状況および試験体のグリッド(2×2mm)を示す。

(2) 実験結果および考察

写真-5に曲げ試験体の発光状況を示す。同図より、荷重荷重が大きいくほど明るくなっており、実験1の結果と一致する。

図-3(a)および(b)にそれぞれ、圧縮側および引張側の実験値と理論値の比較を示す。実験値は、試験体を2×2mmのグリッドに分割し、各グリッドの階調値に対し、図-2中の近似式を用いて応力を算出した。なお、近似式中の応力にかかる係数は、応力速度によって変化すると仮定し、各グリッドについて直線補間して求めた(係数=0.18×応力速度+4.0、図中の○および△)。また理論値は、各グリッドについて梁理論に基づいた曲げ応力を下式によって算出した。

$$\sigma = \frac{M}{I}y \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 σ : 曲げ応力 (N/mm²)、
 M : 曲げモーメント (N・mm)、
 y : 中立軸からの距離 (mm)、
 I : 断面2次モーメント (mm⁴)

図-3によれば、圧縮側および引張側ともに実験値の方が大きな値となっており、特に2段目の精度が良くない。これは、明るく発光した光がその近傍にまで影響しているものと思われる。したがって、発光画像から応力分布を推定するには、発光量とその影響範囲を考慮する必要があると考えられる。なお参考として、図-3中には、荷重の実測値から算出した最大縁応力の応力速度(24.6N/mm²/s)を用いた係数(=8.4、一定)による値を併記している(●および▲)。

4. まとめ

*1 信州大学工学部建築学科 大学生
 *2 岐阜市立女子短期大学生活デザイン学科 准教授・博士(工学)
 *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

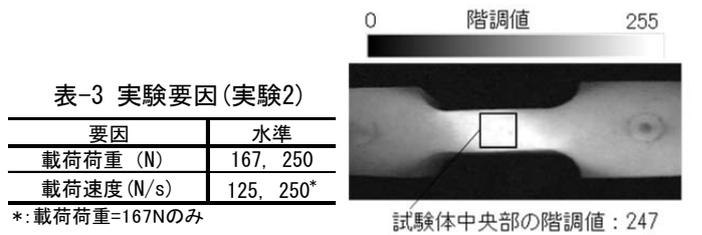


図-3 実験値と理論値の比較

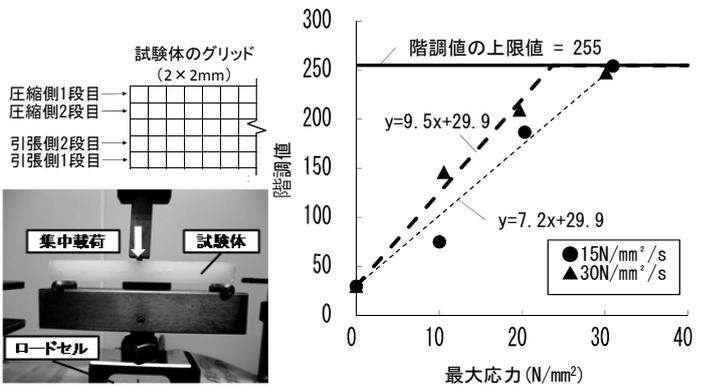


図-2 階調値と最大応力の関係

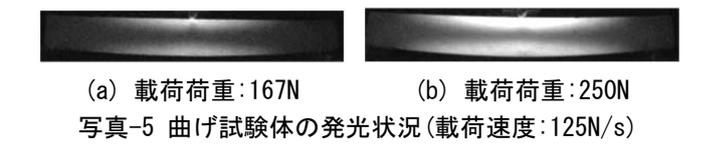


写真-4 曲げ実験状況

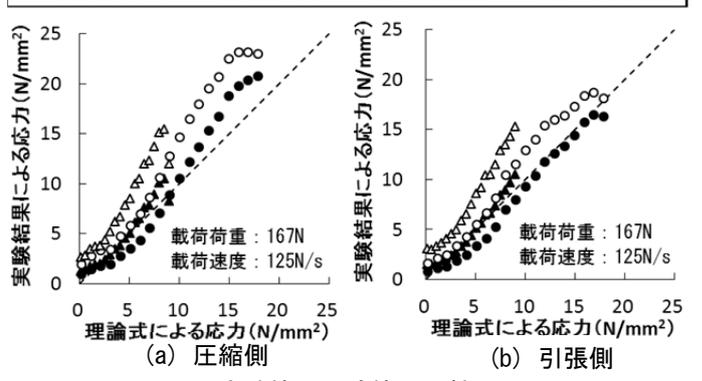


写真-5 曲げ試験体の発光状況 (荷重速度: 125N/s)

- 本実験から得られた知見を以下にまとめる。
- 1) 圧縮荷重時の階調値と最大応力の関係は直線的に表され、応力速度が大きいくほどその勾配は大きくなる。
 - 2) 曲げ実験結果より、発光画像を用いて応力分布を推定するには発光量の影響範囲を考慮する必要がある。
- 【参考文献】
- 1) 服部宏己、三島直生、犬飼利嗣、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2：応力発光材料を用いた基礎実験)、日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集、E-2、pp. 625-626、2011. 8
 - 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