

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—

Development of Educational Model Experiment Tool for Structural Design

—Influence of Maximum Stress and Stress Speed to Luminescence—

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 reports the result of influence of maximum stress and stress speed to 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

近年、大学全入時代を前に学生の質的低下の懸念や建築士法の改正による受験資格の見直しなど、建築環境が大きく変わりつつある中で、今後の建築教育のあり方が問われている。

建築士法の改正に伴い、一級建築士の受験資格がいくつかの短期大学においても取得可能となった。建築士の資質・能力の向上を図るためには、短期間に効率よく専門性の高い知識を修得できる学習法が求められる。

建築構造教育の改善については、これまで多くの議論がなされてきた。その背景として、これまでの調査研究からも明らかなように、建築構造に関する教育は、工学・理工学系の学生にとっても困難であることが挙げられ、住居系の学生にとっては、更に困難さが増すものと思われる。

本研究は、既に構造力学を修得した学生に対し、建築構造に関する専門性の高い効果的な教育方法を提示することを目的としている。

既報では、図 1 に示すように建築構造教育に関す

る新たな教育支援ツールを提案し、その一つである可視確認実験ツールにおいて、応力発光材料¹⁾の適用の可能性を示した²⁾。更に、応力発光材料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³⁾。

本報では、発光量がほぼ最大となる応力レベルを設定し、

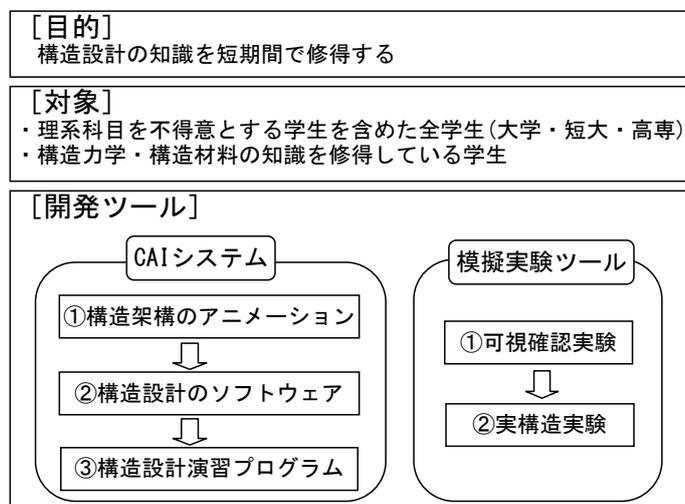


図 1 教育支援ツールの概念図

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 (N/mm ² /s)	15, 30

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

圧縮荷重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. 圧縮荷重実験(実験 1)

実験 1 では、圧縮荷重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 (10, 20 および 30N/mm²) および応力速度 (15 および 30N/mm²/s) とした。ここで、最大応力は、試験体の圧縮強度が 64N/mm² 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荷重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 5.0×10.0mm とした。ここで、試験体の製作は、まずダンベル型の金型を用いてシリコンゴムで型を取り、あらかじめ混ぜ合わせたエポキシ樹脂と応力発光材料をシリコンゴムに流し込んで製作した。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荷重装置を用い、上部に取り付けたハンドルを回すことによって試験体に荷重がかかる仕組みとなっている。荷重の値は、ロードセルによって測定した。図 2 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、手動により荷重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荷重を

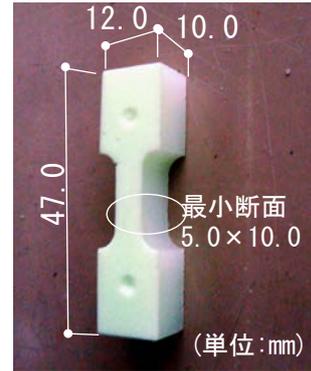


写真 1 試験体

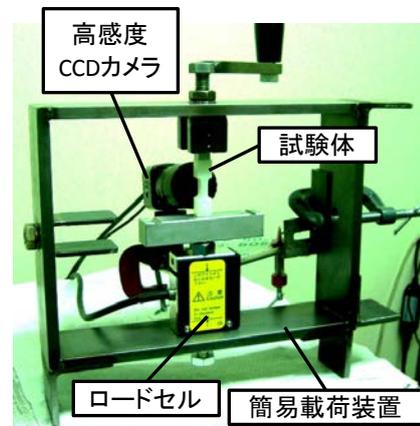


写真 2 圧縮実験状況

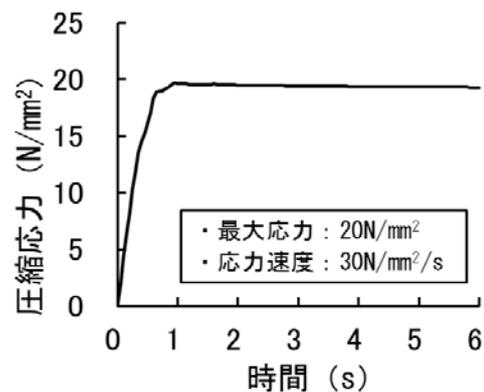


図 2 圧縮応力の時刻歴の例

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、発光状況の画像を示す。発光画像は、载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4×4mm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3に、応力と階調値の関係を示す。ここでの応力値は、1つの試験体に対して時間の経過に伴う応力の値を示しており、階調値はその応力に対する値としている。なお、図3中の値は、階調値の最大値までを表記している。同図によれば、多少のばらつきはあるものの、階調値と応力はほぼ比例の関係にあることがわかる。このことから、動的な挙動に対しても発光量から応力の大きさを推定することが可能であると考えられる。

図4に各試験体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30N/mm²/sの試験体では、応力が20N/mm²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载荷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。

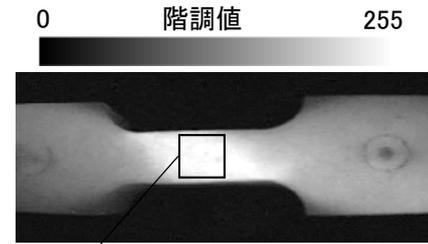
(1) 実験要因および実験方法

表3に実験要因を示す。実験要因は、载荷荷重（167,250N）および载荷速度（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载荷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、载荷荷重が大きいほど明るくなっており、実験1の結果と一致



試験体中央部の階調値：247

写真3 発光画像の例

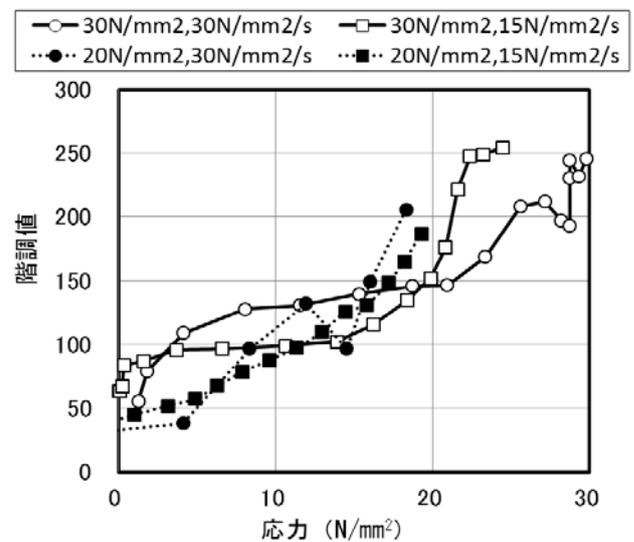


図3 階調値と応力の関係

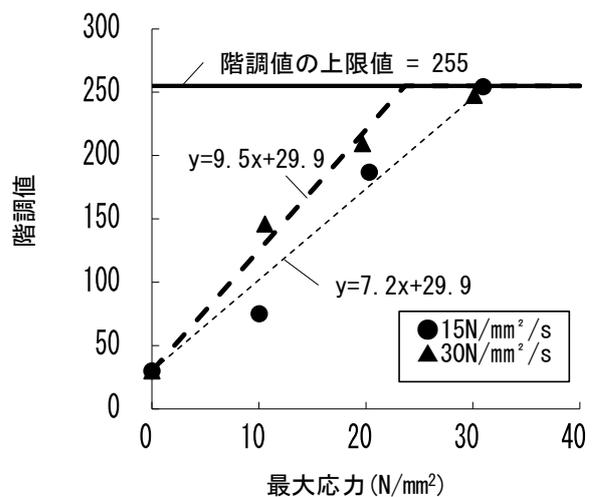


図4 階調値と最大応力の関係

する。

図5 (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4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。

$$\sigma = \frac{M}{I} y$$

図4 階調値と最大応力の関係

- 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5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

表3 実験要因(実験2)

要因	水準
載荷荷重 (N)	167, 250
載荷速度 (N/s)	125, 250*

*: 載荷荷重=167Nのみ

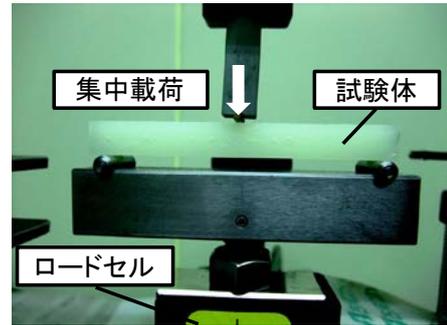
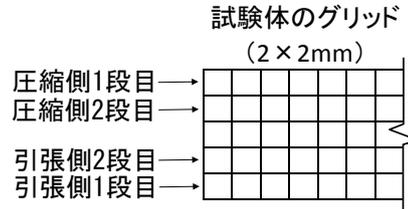
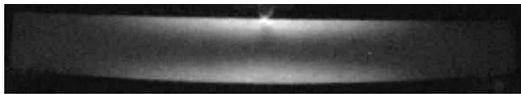


写真4 曲げ実験状況



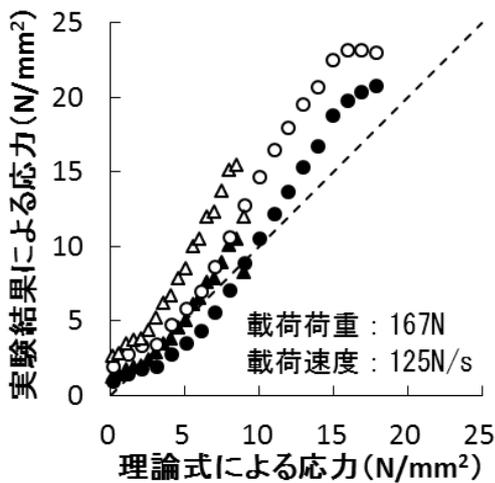
(a) 載荷荷重:167N



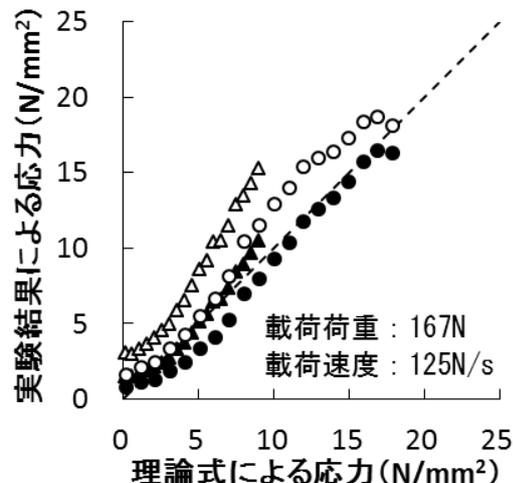
(b) 載荷荷重:250N

写真5 曲げ試験体の発光状況(載荷速度:125N/s)

○: 1段目(直線補間) △: 2段目(直線補間) ●: 1段目(縁応力速度) ▲: 2段目(縁応力速度)



(a) 圧縮側



(b) 引張側

図5 実験値と理論値の比較

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5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（ $24.6\text{N/mm}^2/\text{s}$ ）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

本実験から得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 階調値と応力はほぼ比例の関係にあり、動的な挙動に対しても発光量から応力の大きさを推定することが可能であると考えられる。
- 2) 階調値と最大応力の関係は直線的に表され、応力速度が大きいほどその勾配は大きくなる。
- 3) 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。

[謝辞]

本実験に際し、越野省吾君（信州大学）のご助力を得た。付記して、謝意を表す。また、本研究費は、平成23年度 公益財団法人小川科学技術財団助成金（研究代表者：服部宏己）によったことを付記する。

[参考文献]

- 1) 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
- 2) 服部宏己：住居系短期大学を対象とした建築構造の教育方法に関する一提案、岐阜市立女子短期大学紀要、第59輯、pp.121-125、2010.3
- 3) 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ー応力発光材料を用いた基礎実験ー、岐阜市立女子短期大学紀要、第61輯、pp.93-97、2011.3
(提出日 平成25年1月11日)