

建築構造設計を対象とした構造教育に関する研究

(その6：応力発光材料を模擬鉄筋に用いたRC梁模擬試験体の応力発光状況に関する検討)

準会員 ○ 町本 知奈美*1 正会員 三島 直生*4
 正会員 服部 宏己*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 応力発光材料
 階調値 模擬鉄筋 鉄筋コンクリート梁

1. はじめに

前報(その5)では、応力発光材料¹⁾を使用した試験体の発光状況(階調値)と有限要素法解析(以下、FEM解析という)による主応力の関係が相関関係にあることから、応力および応力速度と発光量の関係をより詳細に検討した。

本報(その6)では、これまでの研究成果²⁻⁵⁾を応用し、鉄筋コンクリート梁(以下、RC梁という)のうち、鉄筋に発生する応力状態のみを視覚的に理解することを目的とした模擬実験ツールの開発を試みる。応力発光材料とエポキシ樹脂を混練して鉄筋を模した棒状の模擬鉄筋を作成し、コンクリートを模した透明なエポキシ樹脂に配置することによってRC梁模擬試験体(以下、単に試験体という)を製作した。配筋状態、梁せい、および最大縁応力が試験体の発光状況に及ぼす影響について報告する。

2. 模擬鉄筋の引張載荷試験(実験1)

2.1 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。

2.2 実験方法

表-2に、模擬鉄筋の使用材料を示す。模擬鉄筋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を6：1とした。

引張載荷試験は、精密万能試験機で行い、模擬鉄筋の引張荷重と変位を測定した。また、模擬鉄筋の発光状況は、高感度モノクロCCDカメラにより撮影した。なお、引張載荷試験は、あらかじめ模擬鉄筋に一定量の

表-1 実験要因(実験1)

要因	水準
最大応力 (N/mm ²)	7, 14, 21
応力速度 (N/mm ² /s)	15, 30

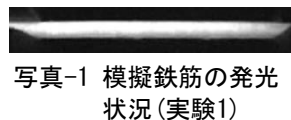


表-2 使用材料(実験1, 2)

材 料		重量比
樹脂剤	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	25
	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)	

光エネルギーを蓄える必要があるため、暗室でブラックライトを約20秒間照射し、その後約1時間静置して光量を低減した後に行った。

2.3 実験結果および考察

写真-1に、模擬鉄筋の発光状況を示す。発光状況は、画像解析ソフト(Image J)により階調値に変換した。模擬鉄筋の中央部20mmの画像を約4×4mmのグリッドに5分割し、1グリッドの階調値(8ビット256階調)の平均値と5グリッドの総平均値を求めて解析した。

図-1に階調値と最大応力の関係を、図-2に階調値と応力速度の関係を示す。両図から分かるように、最大応力が大きいほど、また応力速度が大きいほど階調値は大きくなっており、既報⁴⁾の実験結果を再現する傾向を示している。

3. 試験体の曲げ載荷試験(実験2)

3.1 実験要因

表-3に、実験要因を示す。実験要因は、配筋状態(写真-2参照)、梁せい、および最大縁応力とした。また、縁応力速度は、一律に30N/mm²/sとした。

3.2 実験方法

試験体の使用材料は、実験1と同様とした。

試験体は、写真-2に示すように、圧縮力および引張力を負担する主筋に模擬鉄筋を配置した試験体A系列と、主

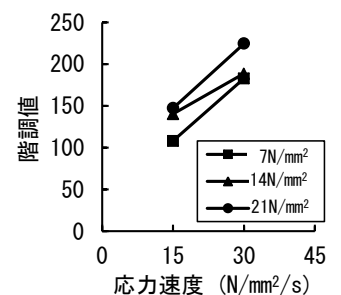
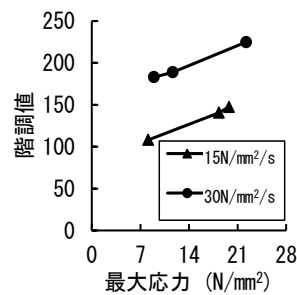


図-1 階調値と最大応力の関係

図-2 階調値と応力速度の関係

表-3 実験要因(実験2)

要因	水準
配筋状態	圧縮・引張鉄筋、圧縮・引張・せん断補強鉄筋
試験体の梁せい(mm) (スパン梁せい比)	40, 80 (1/4) (1/2)
最大縁応力(N/mm ²)	7, 14

Study on Education for Architectural Structure Design

(Part 6: Study on Stress Light Emission of Reinforced Concrete Beams Test Body Made of Mechanoluminescence Material as Simulated Bars)

MACHIMOTO Chinami, HATTORI Hiroki, INUKAI Toshitsugu, MISHIMA Naoki and HATANAKA Shigemitsu



(a) 試験体A系列
(梁せい40mm)



(b) 試験体B系列
(梁せい40mm)

写真-2 配筋状態

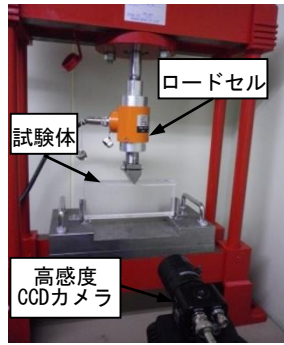
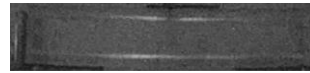
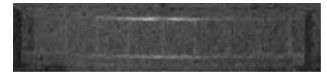


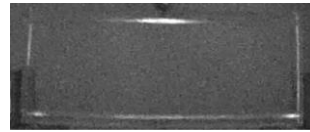
写真-3 曲げ載荷試験装置⁵⁾



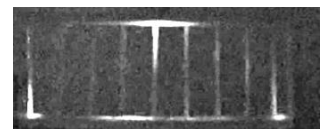
(a) 梁せい40mm



(a) 梁せい40mm



(b) 梁せい80mm



(b) 梁せい80mm

(1) 試験体A系列

(2) 試験体B系列

写真-4 試験体の発光状況 (最大縁応力 14N/mm²)

筋およびせん断補強筋に模擬鉄筋を配置した試験体B系列の2系列とし、形状および寸法を、それぞれ180×20×梁せい(40および80mm)とした。

曲げ載荷試験は、写真-3に示すように、筆者ら⁵⁾が考案した曲げ載荷装置を用いて、試験体を両端のローラー支点で支持されるように設置し、その中央部に集中荷重を載荷し、ロードセルによって測定した。また、その他の実験方法は、実験1と同様とした。

3.3 実験結果および考察

写真-4に、最大縁応力14N/mm²の試験体の発光状況を示す。写真(1)の試験体A系列では、梁せいが小さく曲げモーメントが卓越する(a)梁せい40mmの試験体の模擬鉄筋において、左右方向の中央部ほど明るく、また上下が同程度に発光している様子が分かる。これは、主筋に働く軸力を計算によって求めた場合と同様な傾向を示しており、主筋に働く軸力を視覚的に理解する教育ツールとして有効であると思われる。なお、本試験体の模擬鉄筋とコンクリートを模した樹脂は、実際の鉄筋とコンクリートの関係と異なり両者は同程度の剛性であるが、鉄筋に発生する応力状態のみを視覚的に示す上では、特に問題ないものと思われる。

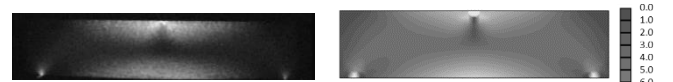
写真-4(2)の試験体B系列では、梁せいが大きくせん断力が卓越する(b)梁せい80mmの試験体の模擬鉄筋において、試験体上部中央から左右斜め下方向に向かって発光している様子が分かる。これは、せん断補強筋を設計する際に想定する部材のせん断力と同様な傾向を示しているが、写真-5および図-3に示すように、この発光状況は、主応力に対して発光していると考察され⁵⁾、教育ツールとして利用するには注意を要する。

なお、最大縁応力が7N/mm²の試験体の発光量の様子もほぼ同様な傾向が見られた。

4. まとめ

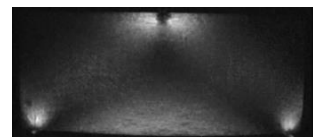
本実験から得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 引張載荷時では、最大応力が大きいほど、また応力速度が大きいほど階調値が大きく明るく発光する。



(a) 梁せい40mm

(a) 梁せい40mm



(b) 梁せい80mm

(b) 梁せい80mm

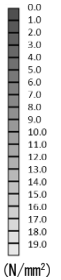


写真-5 実験値(発光画像)⁵⁾ 図-3 FEM解析値(主応力)⁵⁾

- 2) 曲げモーメントが卓越する梁せい40mmの試験体は、主筋に働く軸力を視覚的に理解する教育ツールとして有効である。
- 3) せん断力が卓越する梁せい80mmの試験体は、せん断補強筋の役割を視覚的に学ぶ教育用ツールとして利用する際には注意を要する。

今後は、実験1で得られた引張載荷時の実験結果を利用して、実験2で得られた画像を基に模擬鉄筋に働く応力を推定し、計算値との比較検討を試みる。

【謝辞】

本研究費の一部は、平成26年度日本学術振興会学術研究助成基金助成金・基盤研究(C)(研究代表者：服部宏己)によった。また本実験に際し、綿貫裕二氏(東亜合成)には接着剤を快く提供していただいた。ここに記して謝意を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 服部宏己，畑中重光，三島直生，犬飼利嗣：建築構造設計を対象とした構造教育に関する研究(その1：応力発光材料の適用性)，日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集，E-2，pp. 661-662，2010. 9
- 3) 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
- 4) 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：応力発光材料を用いた発光量の定量化)，日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集，E-2，pp. 5-6，2012. 9
- 5) 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：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)，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

*1 東海旅客鉄道株式会社

*2 岐阜市立女子短期大学生活デザイン学科 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

*1 Central Japan Railway Company

*2 Prof., Dept. of Design for Contemp. Life, Gifu City Women's College, Dr. Eng.

*3 Prof., Dept. of Arch., National Institute of Technology, Gifu College, 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.