

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：43701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350301

研究課題名(和文) 応力を可視化する構造教育用実験ツールおよびCAIシステムの開発

研究課題名(英文) Development of the tool for building structures education which can visualize distribution of stress and CAI system

研究代表者

服部 宏己 (HATTORI, HIROKI)

岐阜市立女子短期大学・その他部局等・教授

研究者番号：50510476

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：建築構造に関する教育は、専門性や理解度などの点で十分と言えない。そこで、本研究は、建築構造に関する専門性の高い知識を習得することを目的とした、新しい教育方法を開発する。はじめに、これまで行ってきた既往の曲げ・せん断実験結果について、応力と発光量の詳細に検討した。次に、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を検討した。更に、実構造材料であるモルタルを基材とした試験体の発光状況を検討した。最後に、自由な形状を作成できる3Dプリンタを使用した試験体の発光状況により応力分布の可視化が可能であるかを考察した。

研究成果の概要(英文)：Education methods about building structures are not enough in respect of specialty and degree of comprehension etc. The target of the present study is to develop a new educational method for the students to master the specialty about building structures. Firstly, as to the bending/shearing experimental results, the authors considered the relationship between luminescence and stress in detail. Next, stress light emission of reinforced concrete beams test body made of mechanoluminescence material as simulated bars were considered. Furthermore, visualization of stress distribution occurring in mortar specimens were considered. Lastly, luminescence of specimens made with a 3D printer were considered.

研究分野：建築構造

キーワード：建築構造設計 教育 模型実験ツール 応力発光材料 可視化

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災の勃発や南海トラフ巨大地震発生の切迫性が叫ばれている中で、建物の安全性に対する社会的な要求が急速に高まっている。高等教育機関においては、建築を志す学生に対し、建築構造の知識を十分に理解した多くの学生を育成することが不可欠となっているが、全国的な学生の質的低下や理系離れなどの影響により、建築構造を不得意とする学生は増加する一方である。そこで本研究の目的は、これまでに無い新たな構造教育支援ツールを開発し、地域社会の安全・安心なまちづくりに広く貢献できる学生を多く輩出することにある。

これまでのアンケートによる調査研究結果では、建築構造教育においては、部材の設計に関する学習が特に重要であると言われている一方で、部材設計を行う際の応力分布の理解が極めて困難であることが挙げられている。また、視覚的・体験的な学習法が効果的であり、模型実験やパソコンを活用することが効果的であるとされている。そこで、本研究は、建築構造教育用の「実験ツール」と「CAIシステム」を併用した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。

特に、本研究の独創的な試みとして、これまでコンクリート、鉄筋、鉄骨の各材料に生じる応力状態を可視化することは不可能であったが、応力発光材料を用いることによって応力分布の可視化を可能にする実験ツールを開発するところに大きな特徴があり、これまでの研究結果に基づき、更に実現化に向け発展的に進めるものである。なおここでは、「実験ツール」について検討したので、その結果を報告する。

<引用文献>

徐長男：ハイブリッド化応力発光材料、セラミックス、39、2004

2. 研究の目的

建築構造教育においては、建物の耐震性を理解する上で、建物架構に生じる応力分布の理解が最も重要となるが、理論的に煩雑なため多くの学生が応力計算に対して苦手意識を持っている。この事実を克服するためには、視覚的・体験的な学習が極めて効果的であるが、応力状態を可視化することはこれまで不可能であった。本研究では、近年開発された応力発光材料を用いて応力分布の可視化を実現するツールを開発することに大きな特徴がある。本材料は応力が生じることによって発光する紛体であり、透明な樹脂との混練により、種々の架構に生じる複雑な応力分布を視覚的に理解することが可能となる。パソコンを活用した構造架構のアニメーションなどのCAIシステムを併用することができれば、建築構造の理解を更に高めることも可能である。

3. 研究の方法

まずこれまで行ってきた既往の曲げ・せん断実験結果について、詳細な検討を行い応力と発光量の関係を明らかにした。ここで、発光量は階調値(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)を用いてその明るさを数値化した。次いで、鉄筋コンクリート構造の主筋の役割を視覚的に理解できるツールを制作するため、応力発光材料とエポキシ樹脂を混練して模擬鉄筋を作成し、可視化実験を行った。更に、実材料としてモルタルを基材とした試験体について、その発光状況を検討した。最後に、研究レベルで扱うことのできるツールの開発を目的として、自由な形状を作ることが3Dプリンタを使用して制作した試験体の可視化実験を行った。

4. 研究成果

(1) 曲げ・せん断載荷時の発光状況の解析的検討

これまで行ってきた既往の曲げ・せん断実験結果について、試験体の応力度と階調値の関係を詳細に検討した。すなわち、実験で得られた発光画像を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。一方でFEM解析によって主応力(ここではミーゼス応力としている)を求めることにより、両者の関係を数値的に明らかにした。ここで、試験体サイズは180×20×高さ(mm)とし、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た。実験要因は、試験体高さ(20,40,80mmの3水準)、最大縁応力(10,20,30N/mm²の3水準)および縁応力速度(10,20N/mm²/sの2水準)としている。図1に応力度と階調値の関係の例を示し、得られた知見を以下に列挙する。

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。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。

最大縁応力が20および30N/mm²の試験体の

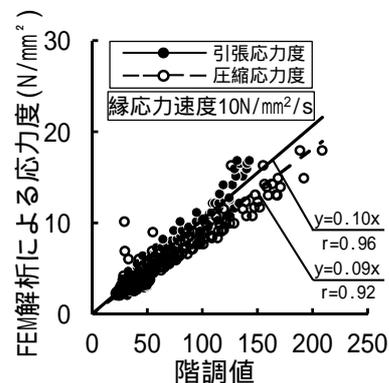


図1 応力度と階調値の関係 (高さ40mm)

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、両者の近似線の傾きは同程度となっている。

(2) 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

鉄筋コンクリート梁のうち、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た。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 梁模擬試験体を制作した。はじめに模擬鉄筋の特性を把握するため、単純引張載荷試験を行った。ここで、実験要因は、最大応力 (7, 14, 21N/mm² の 3 水準) および応力速度 (15, 20N/mm²/s の 2 水準) とした。次に、RC 梁模擬試験体について、ローラー支点で支持した試験体の中央部に集中荷重を載荷し実験を行った。ここで、実験要因は、配筋状態 (あばら筋の有無)、梁せい (40mm, 80mm の 2 水準) および最大縁応力 (7, 14N/mm² の 2 水準) とした。

図 2 に RC 梁模擬試験体の発光状況を示し、本実験により得られた結果を以下に列挙する。

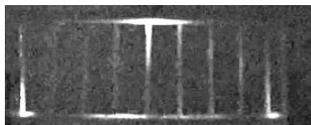
模擬鉄筋の引張載荷実験では、最大応力が大きいほど、また応力速度が大きいほど階調値が大きく明るく発光した。

RC 梁模擬試験体において、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。

RC 梁模擬試験体において、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。



(a) 梁せい 140mm (あばら筋無し)



(b) 梁せい 180mm (あばら筋有り)

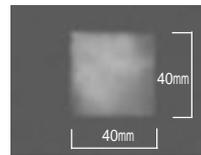
図 2 RC 梁模擬試験体の発光状況

(3) 応力発光材料を塗布したモルタル試験体に生じる応力分布の可視化に関する検討

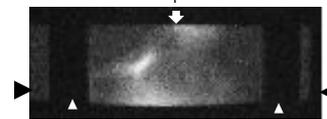
これまでの実験では、エポキシ樹脂を基材とした試験体しか応力発光状況は検討しておらず、模擬実験ツールへの適用性をより拡張するためには、その他の材料を基材とした試験体でも実験的に検討する必要がある。そこで、実材料として使用されるモルタルに応力発光材料を塗布した試験体を用い、その発光状況について検討した。まず、無筋のモルタル試験体 (試験体サイズは 40 × 40mm) の圧

縮試験により、圧縮応力度による応力発光状況を確認した。実験方法は、JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」に準じて行った。次に、模擬鉄筋 (M3 の長ネジボルト) を配筋したモルタル試験体 (試験体サイズは、40 × 40 × 160mm) の曲げ試験により、曲げ応力度が応力発光状況に及ぼす影響について検討した。実験方法は、二等分点曲げ載荷試験を JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」に準じて行った。ここで、実験要因は、圧縮縁から模擬鉄筋までの距離 (20, 25, 30 および 35mm の 4 水準) とした。図 3 にモルタル試験体の発光状況を示す。

本実験結果から、応力発光材料を塗布したモルタル試験体においても、その応力分布は可視化できることを示唆した。



(a) 圧縮試験



(b) 曲げ試験

(: 模擬鉄筋位置, : 支点)

図 3 モルタル試験体の発光状況

(4) 3D プリンタを使用した試験体の発光状況に関する検討

試験体作成の簡便性と自由な形状の試験体を作成できる 3D プリンタに着目し、3D プリンタを使用した試験体の発光状況により応力分布の可視化が可能であるかを考察した。



(a) 高さ 20mm



(b) 高さ 40mm



(c) 高さ 80mm

図 4 3D プリンタによる試験体の発光状況

試験体は、3D プリンタ(FDM法、充填率100%)を使用して作成した角柱体(180×20×高さmm)の表面に、応力発光材料を混合した剛性の高いエポキシ樹脂を約2mm厚で塗布して製作した。実験方法は、ネジ式万能試験機を用いて単純梁試験体の中央に集中載荷した。ここで、実験要因は、試験体高さ(20,40,80mmの3水準)、最大縁応力(5,10,15N/mm²の3水準)および縁応力速度(15,30N/mm²/sの2水準)とした。

図4に3Dプリンタによる試験体の発光状況を示し、本実験により得られた結果を以下に列挙する。

3Dプリンタを使用した試験体においても発光の分布が確認され、応力が大きくなるほど明るく発光する傾向が見られた。

エポキシ樹脂と混練した試験体((1)の試験体)と比較し、3Dプリンタを使用した試験体は発光量が小さくばらつきも見られることから、厚さを薄くするなど3Dプリンタの熱による変形を抑え試験体の精度を高める必要がある。

<引用文献>

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、教育、pp.7-8、2013.8

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

服部宏己、前田佳穂、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5:応力および応力速度と発光量の関係に関する定量化)、日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集、査読無、教育、pp.23-24、2015.9

町本知奈美、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)、日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集、査読無、教育、pp.25-26、2015.9

中島幹人、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7:応力発光材料を塗布したモルタル試験体に生じる応力分布の可視化に関する検討)、日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集、査読無、教育、pp.55-56、2016.8

服部宏己、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8:3Dプリンタを使用した試験体の発光状況に関する検討)、日本建築学会大会(東北)学術講演梗概集、査読無、教育、2018.9(投

稿中)

[学会発表](計4件)

服部宏己：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:応力および応力速度と発光量の関係に関する定量化)、日本建築学会大会(関東)、2015.9

町本知奈美：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)、日本建築学会大会(関東)、2015.9

中島幹人：建築構造設計を対象とした構造教育に関する研究(その7:応力発光材料を塗布したモルタル試験体に生じる応力分布の可視化に関する検討)、日本建築学会大会(九州)、2016.8

服部宏己：建築構造設計を対象とした構造教育に関する研究(その8:3Dプリンタを使用した試験体の発光状況に関する検討)、日本建築学会大会(東北)、2018.9(発表予定)

6. 研究組織

(1)研究代表者

服部宏己(HATTORI Hiroki)

岐阜市立女子短期大学・教授

研究者番号：50510476