

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 21 日現在

機関番号：43701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650573

研究課題名(和文) 応力を可視化する構造教育用ツールおよび研究用ツールの開発

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

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) 2,500,000円、(間接経費) 750,000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、建築構造教育に関するこれまでの研究を調べた。次に、短期大学の学生を対象としたアンケート調査を実施した。これらの結果から、模型実験ツールとCAIシステムを組み合わせた新しい教育方法を提案した。模型実験ツールの中で、大きな特徴は、応力発光材料を使うことである。このツールは、応力の分布を可視化できる可能性がある。そこで、応力発光材料の適用性を圧縮実験および曲げ実験によって確かめた。

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, the authors investigated the previous research works on building structures education. Next, questionnaire for students of a junior college were carried out. Based on these results, the new educational method which combined small scale model tools and CAI system were proposed. The special feature in the small scale model tools is using mechanoluminescence material. These tools may be able to visualize distribution of stress. Then, the authors confirmed applicability of the mechanoluminescence material by compression experiments and bending experiments.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学、教育工学

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

近年、建物の安全性に対する社会的要求が高まっている中で、高等教育機関においては、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。また、建築士法の改正による受験資格の見直しにより、建築士の資質・能力の向上を図るため学歴要件の見直しが行われ、建築士の受験資格は、建築科目に限定した指定科目を履修することによって取得できるようになった。このことから、一級建築士の受験資格は、従来四年制大学または工業高等専門学校に限られて取得可能であったが、短期大学においても取得できるようになった。

一方で、全国的な学生の質的低下や理系離れなどにより、建築構造を不得意とする学生は増加する傾向にある。住居系の大学や短期大学においては、入学時点で理系科目を苦手とする学生も多く、数学や物理の知識を必要とする建築構造分野の教育の改善が急務であるものと考えられる。

しかしながら、これまでの建築系学生の状況からも明らかなように、建築構造に関する知識の習得は、工学・理工学系の学生にとっても容易ではなく、住居系の学生にとっては、更に困難さが増しているものと思われる。

これらの背景の中で、建築構造の基礎となる構造力学においては、ソフトウェアを有効に活用した教育や模型実験を活用した教育方法などが数多く提案され、その有効性が示されている。しかしながら、建築構造に関する教育が専門性や理解度などの点で十分になされているとは言い難いものと思われる。

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、透明な樹脂と混練することにより、種々の建物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。更に、構造教育用ツールに限らず、研究レベルで扱うあらゆる架構形状に生じる応力を容易に数値化できる可能性を併せ持っている。

3. 研究の方法

はじめに、建築構造教育に関するこれまでの研究を調べた。次に、短期大学の学生を対象としたアンケート調査を実施した。これらの結果から、模型実験ツールとCAI(Computer Aided Instruction)システムを組み合わせたい新しい教育方法を提案した。模型実験ツ

ルの中で、大きな特徴は、応力発光材料を使うことである。このツールは、応力の分布を可視化できる可能性がある。そこで、まず、応力発光材料の適用性を圧縮実験によって確かめた。次に、応力発光材料を用いた梁試験体を作成し、中央から載荷したときの発光の状況を調べた。

4. 研究成果

(1) 既往の研究

構造教育に関するこれまでの研究について、アンケートによる調査研究、コンピュータを活用した構造教育の研究、および模型実験を活用した構造教育の研究の3つに分けて調べた。その結果、構造教育に関する問題点は以下のようにまとめられる。

1) 学生の意欲・興味が少なく、教員の時間的な余裕もないことが挙げられる。

2) その対策として、南らは視覚的・体験的な学習が効果的であるとしている。

3) これまでに提案されているソフトウェアや模型実験を有効に活用した教育方法は、建築構造の基礎となる構造力学に対応したものが多くある。

4) 一方で、建築構造の重要な項目として、部材設計(S造)および断面算定(RC造)の修得が挙げられるが、これらの修得にまで踏み込んだ教育方法の提案は十分にはなされていない。

(2) アンケート調査の実施

建築を志す学生の中でも、特に構造分野を苦手とする学生が多いと思われる住居系短期大学(岐阜市立女子短期大学)の学生の実態を把握することを目的として、40名の学生に対しアンケート調査を実施した。その結果を以下に列挙する。

1) 建築士資格の取得については、一級建築士資格および二級建築士資格の取得を希望している者が、合わせて70%と比較的多く、専門性の高い構造教育が必要であることが認識できる。

2) 高校で学んだ理系科目については、数学・数学Cまで学習している学生は33%と少なく、数学的な要素を含む講義では、十分な配慮が必要であると思われる。また、物理を受講している学生は43%であり比較的多いことから、物理的要素を含んだ高度な知識を身に付けることは工夫次第で可能であると思われる。

3) 短期大学での講義については、35%の学生が構造力学に対して苦手意識を持っている一方で、80%および68%の学生がそれぞれ構造力学および構造設計の重要性を感じている。学生が興味を抱くような工夫により、建築構造に対する幅広い知識の修得が可能になるとと思われる。

(3) 新たな建築構造教育支援ツールの提案

既往の研究およびアンケート調査結果を基に新たな建築構造教育支援ツールを提案した。部材設計および断面算定の学習を補助することを目的とし、視覚的な理解および知識の検証をするための模型を利用した模型実験ツールと感覚的・理論的に理解するためのソフトウェアを利用したCAIシステムとに分け、これらを組み合わせたものとし、以下の1)~5)に示す。

- 1) 構造架構のアニメーション (CAI システム)
- 2) 可視化実験ツール (模型実験ツール)
- 3) 部材設計のソフトウェア (CAI システム)
- 4) 演習プログラム (CAI システム)
- 5) 実構造部材実験ツール (模型実験ツール)

(4) 応力発光材料を用いた実験ツールの試作

ここでは、(3)の2)に挙げた可視化実験ツールにおいて、応力発光材料を用いた模型実験ツールを試作した。

1) 応力発光材料の適用性 (実験1: 圧縮荷重実験)

応力発光材料を用いた試験体を作成し、圧縮荷重を行うことによって、模型実験ツールへの応力発光材料の適用性を明らかにする実験を行った。

実験要因は、最大応力度および応力速度とした。ここで、試験体の圧縮強度は 64N/mm^2 であり、本実験で設定した最大応力度でも弾性範囲内であることを確認している。また、応力速度は、最大応力度の80%の値をそれまでの荷重時間で除して求めた。

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。

筆者らが製作した簡易荷重装置を用いて圧縮荷重し、ロードセルによって荷重を測定した。ここで、応力速度 (勾配) は、手動により荷重しているため一定 (直線) になっていない。試験体の発光状況は、高感度モノクロ CCD ビデオカメラで撮影し、映像を PC に記録した。なお、荷重前に試験体に一定量の光エネルギーを蓄える必要がある。そのため、約20秒間ブラックライトを照射し、その後約1時間静置して蓄光量を一定量に低減した後荷重を行った。

発光画像は、荷重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。

圧縮荷重時の階調値と最大応力度の関係は、ほぼ直線的な関係となった。また、応力速度が大きいく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、応力度が 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。これらの結果から、応力発光材料を使用した試験体を用いることによって、発光画像から応力度の値を推定することが可能となる。すなわち模型実験ツールへの適用が可能であると言える。

2) 模型実験ツールの試作 (実験2: 弾性梁曲げ実験)

応力発光材料を用いた梁試験体を作成し、単純梁の中央に集中荷重したときにどのように発光するかを実験的に明らかにした。また、実験1の結果を用いて、発光画像から求めた応力度と理論式から求めた応力度を比較検討した。

実験要因は、荷重荷重 ($167, 250\text{N}$) および荷重速度 ($125, 250\text{N/s}$) とした。荷重荷重の水準は、曲げ試験体中央部の縁応力度が実験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 $10 \times 10 \times 90\text{mm}$ (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。試験体を画像解析する際のグリッドは、試験体 (10mm (縦) $\times 90\text{mm}$ (横)) に対して、 $2 \times 2\text{mm}$ を1グリッドとして分割している。

材料力学で扱う梁断面に生じる曲げ応力度分布は、上下方向において縁側で最大となり中央に向かって直線的に 0N/mm^2 に近づき、中央から上側が圧縮となり、中央から下側が引張となる。左右方向においても中央から左右の支点方向に向かって直線的に減少し 0N/mm^2 に近づく。実験結果から、中央位置を頂点として、上下方向に向かって三角形の形状を示し、縁側に行くにしたがって明るく発光しており、理論値による曲げ応力度の大きさと発光による明るさが概ね一致していることが分かった。すなわち、圧縮と引張の応力度の違いを区別することはできないが、発光画像を用いることによって、おおよその軸応力度分布の違いを視覚的に理解することができ、可視化実験ツールとして使用することが可能であると言える。

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1件)

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 (発光量の最大応力および応力速度の影響) 岐阜市立女子短期大学研究紀要、第62号、pp.121-125、査読無、2013

[学会発表] (計1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4: 曲げ・せん断荷重

時の発光状況に及ぼす試験体高さの影響)、
日本建築学会学術講演梗概集、教育、北海道
大学、2013

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