

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501026

研究課題名(和文)縮尺鉄筋を用いたものづくり教育システムの開発

研究課題名(英文)Development on education system of reinforced concrete by using of miniature reinforcement

研究代表者

満木 泰郎(MAKI, Yasuro)

法政大学・大学院維持管理工学研究所・研究員

研究者番号：70229334

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、自らの手で縮尺鉄筋模型を組み、平面図面からの構造物の立体視を行える能力を高めるとともに、その部位に鉄筋が必要であるか等を理解させるための教育ツールシステムの開発を主たる目的としたものである。

本研究により、縮尺鉄筋を用いた構造部材および構造物モデルの作成、縮尺鉄筋およびミニチュアコンクリートの基礎物性、縮尺模型での温度応力によるひび割れ制御に関する実験、断面寸法・鉄筋比等を変えた模型はりの曲げ実験を行い、実習教育システム構築、施工・ディテールツールの開発、構造設計等の教育ツール開発のための資料を得た。

研究成果の概要(英文)：The main purpose of this research is development of an educational tool system including to constructing a model by using of miniature reinforcement by one's hand, heightening the ability to perform the corporal vision of the structure from a plan view, understanding whether steel bar is required for the member and etc.

Creation of the structure component and structure model using a miniature reinforcement, the basic physical-properties examination of a miniature reinforcement and miniature concrete, the crack control experiment by the temperature stress using a scale model and bending experiments the model beam which changed the cross-sectional size, the steel ratio, etc are performed, As the results, the data for educational tool development of a training education system construction, development of construction and a detail tool, a structural design, etc. were obtained.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：立体視向上技術 工学教育 縮尺鉄筋 ミニチュアコンクリート 曲げ試験 縮尺模型 付着特性 温度ひび割れ制御

## 1. 研究開始当初の背景

本研究を発想した社会的背景として、耐震設計による配筋量の増加・複雑化があげられる。1995年の阪神・淡路大震災以降、耐震設計の大幅な見直しで配筋量が増加する一方、近年の構造形式の多様化などで、配筋作業の複雑化を招いており、熟練工であっても複雑な配筋をなかなか組めない現状がある。また、設計できても配筋出来ないといったことがしばしば見受けられる。

一方、最近の学生はものづくりの経験が乏しいことから、図面を見てそれがどのような構造物であるのか、どのような配筋になっているのかを立体的に捉えること（立体視）ができなくなっている。また、2005年、日本中を震撼させた耐震偽装問題は、コンピュータで計算されたものは全て正しいという計算至上主義がもたらした大きな社会問題であった。この背景には、現場軽視、技術者倫理の欠如とともに、バーチャルなものに頼りすぎた弊害と言える。

上記の社会的背景を考えた時、何ができるのか、何をしたらよいか熟考した結果、「自ら手を動かし、構造物を造ることである」と結論した。しかしながら、大学教育において、製図などの実習はできても実物大の構造物を学生たちに組ませることは非常に難しいのが現状である。したがって、自らの手を使って模型を製作すること 特に縮尺鉄筋を用いて、自ら鉄筋の加工を行って配筋状況を再現する鉄筋模型を製作する教育ツールシステムを開発することこそが、これを打開するために絶対不可欠な方策と結論付けた。

本研究の実施により、以下の成果が期待できる。

作成した図面と構造物を比較することができ、立体視しやすいこと

出来上がった模型を手にとっていろいろな角度から構造物を観察することができ、内部の複雑な配筋も理解しやすくなること

鉄筋模型は、ものづくりの面白さ、立体視能力の向上だけでなく、バーチャルでは味わえない配筋する際の難しさ、達成感を体得することができること

卓上での構造実験が可能となれば、時間と

手間のかかる大型構造実験に比べて構造性能評価が飛躍的に向上すること

建設会社などの企業でも、建設現場において鉄筋の取り合いや内部構造物との関係などを確認することが可能となり、施工手順の確認も可能となること

## 2. 研究の目的

### (1) 教育ツールを用いた実習システムの開発

縮尺鉄筋を用いて CAD 等で作成した実構造物の図面を基に、鉄筋模型の作製を行い、設計図という2次元のものを模型という3次元のものに組み上げていく過程を体現させるための実習システムを開発する。

### (2) 施工・ディテールのための教育ツールの開発

鉄筋模型を組み、骨材寸法などを鉄筋と同じスケールに縮尺したコンクリートを打込んだ小型模型による構造実験を体現させ、構造特性を身近に体現させるためのシステムを開発する。

### (3) 構造設計・力の流れの教育ツールの開発

構造設計の意味、鉄筋コンクリートの力の流れを理解させるため、設計したはりを縮尺鉄筋で組み、ミニチュアコンクリートを打込んで、卓上で曲げ試験を行い、破壊挙動などを体現させるための教育ツールを開発する。

## 3. 研究の方法

本研究では、研究目的で挙げた3つの項目を達成させるため、1/24縮尺の縮尺鉄筋とミニチュアコンクリートを使用する。このために、縮尺鉄筋の物性評価、力学特性などを把握するとともに、ミニチュアコンクリートに使用する骨材の粒度を決定し、配合設計を行い、圧縮強さ、鉄筋との付着特性などの基本物性を把握する。また、ボックスカルバートの模型を用いて、配力鉄筋のひび割れ分散性を評価する。さらに、構造設計や力の流れを理解させるために、卓上ではりの曲げ試験を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 使用材料とその物性

縮尺鉄筋

使用した縮尺鉄筋を、写真-1に示す。これらの鉄筋は、異形棒鋼D13・D16・D22・D32・D41・D51の1/24スケールの縮尺鉄筋であり、フシについても可能な限り再現している。この縮尺鉄筋の引張強さは、330~500(N/mm<sup>2</sup>)、0.2%ひずみ耐力は、300~400(N/mm<sup>2</sup>)、ヤング係数は、100~125(kN/mm<sup>2</sup>)である。この鉄筋は、製造上鉱物組成が一般の鉄筋と異なるため、引張強さ、ヤング係数は再現できていない。この点は今後の課題といえる。

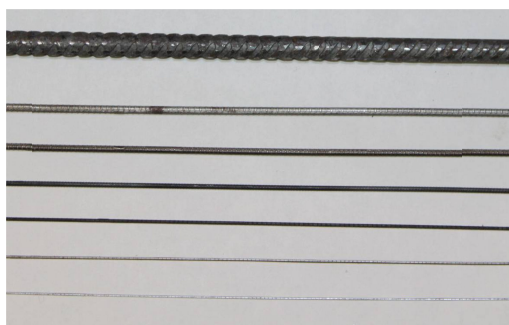


写真-1 使用鉄筋

#### ミニチュアコンクリート

縮尺鉄筋コンクリートでは、縮尺鉄筋の直径をJISG3112の異形鉄筋の1/24としているため、使用する骨材の最大寸法、粒度もこれに見合う必要がある。本実験では、これまでの研究および骨材として利便性の観点から市販の珪砂(竹折磁業所社製・シリカサンド)を使用することを考え、最大骨材寸法を2.4mmを主体に、8種類の粒度分布を作成し、フロー試験・圧縮試験を行い、粒度を選定した。ミニチュアコンクリートのフロー値および圧縮強さはRCを考慮し、フロー値として240mm、圧縮強さとして設定強度24N/mm<sup>2</sup>、目標強度を36N/mm<sup>2</sup>に設定し、砂セメント比=2、水セメント比=0.65とした。なお、強度の調整が必要な場合はセメントの1部をフライアッシュ、スラグ微粉末、石粉(タンカル)に置換することとした。実験に使用した粒度の一例を図-1に示す。

ミニチュアコンクリートの練り混ぜは、普通ポルトランドセメントを使用し、機械練り用練混ぜ機を用いて行った。測定したフロー値は180~290mm、50×100mmでの圧縮強

さは29~36(N/mm<sup>2</sup>)、ヤング係数は9.8~12.5(kN/mm<sup>2</sup>)である。本研究では、フロー値等を考慮し、提案の粒度を主として用いた。

なお、材齢1日で曲げ試験を行う場合は超速硬セメントを用いて可能となることを確認した。

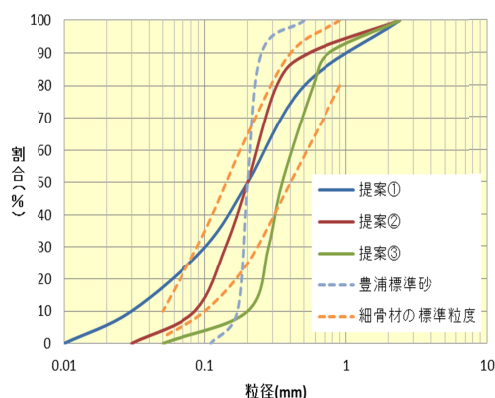


図-1 実験に使用した粒度分布の例

#### 縮尺鉄筋の付着特性

縮尺鉄筋とミニチュアコンクリートとの付着特性は、片引き試験及び両引き試験により評価した。

片引き試験による付着強度は、付着長、鉄筋径の影響を受けるが2~6(N/mm<sup>2</sup>)の範囲にあり、付着長が長くなれば付着強度が低下し、一定の値に収束する。必要付着長は、鉄筋径によるが50mmあれば十分であることが分かった。

両引き試験より求めた平均ひび割れ幅は、鉄筋応力度の増大に伴い大きくなり、鉄筋比が小さくなるほどその勾配が大きくなる結果となった。鉄筋比と最大ひび割れ間隔の関係では、どの鉄筋径においても、鉄筋比が大きいほど、最大ひび割れ間隔は小さくなる傾向となった。これらは、いずれも通常の鉄筋と同様の傾向であると言える。

#### (2) 縮尺鉄筋RCはり部材の曲げ試験

縮尺鉄筋RCはり部材の曲げ試験は、構造特性を身近に体現させるための卓上での曲げ試験に使用するRCはりの形状・寸法を決定する資料を得るために行った。

実験に使用するはりの形状については、は

りの幅は、20mm（一定）の長方形断面、はりの有効高さは、15～45mmとした。有効高さを変えたのは、有効高さが破壊形式に影響する可能性があること、せん断スパン・有効高さ比がはりの破壊に影響するためである。はりの長さは、200～500mm、定着長は、付着試験より50mmとした。使用するミニチュアコンクリートの圧縮強さは30 (N/mm<sup>2</sup>)、縮尺鉄筋はD41、主鉄筋の本数は1本、2本、3本とした。原則として単鉄筋とした。せん断補強する場合はスターラップを用いた。載荷は、原則として2点載荷である。

本実験により曲げ破壊を再現するはりとして、有効高さ35mm、スパン300mm、せん断スパン105mm、主鉄筋3D41（写真-2）、せん断破壊用は、有効高さ22mm、スパン130mm、せん断スパン44mm、主鉄筋3D41などが適切であることが分かった。縮尺RCはりの設計に関しては、鉄筋の降伏点が必要しも明確でないので鉄筋の製造を含めて今後の課題といえる。



写真-2 曲げ破壊の例

### (3) 学生への教育

学生による曲げ試験は、高校生、大学生、大学院生に対して行った。このうち高校生に対しては縮尺鉄筋 RC はりの卓上曲げ試験を主体としたセミナーにより行った。このセミナーでは1日目は、型枠材料、縮尺鉄筋、超速硬モルタル材料、各種工具を与え、型枠の組み立て、配筋、モルタルの練り混ぜと打設、2日目は脱枠によるRCはりの製作、卓上曲げ試験（写真-3）、結果の評価の順で行った。この試験では、配筋を変えることにより各種破壊形式のはりとしたが、鉄筋コンクリートを全く知らない学生に対しても鉄筋の役割を理解させることができるプログラムの作成が可能であるという結論を得た。大学生に対しては橋脚を題材に設計模型製作を行った。

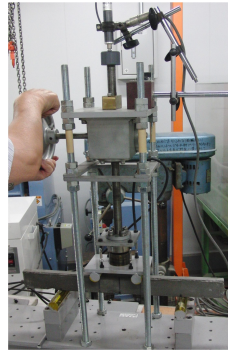


写真-3  
卓上曲げ試験

### (4) PC 道路橋模型の作成

コンクリート構造物の内、比較的良好に用いられているPC道路橋は、各種役割の鉄筋が多く用いられているので、1/24の縮尺鉄筋を用いたPC橋模型を作製している。この模型により、鉄筋の役割が理解に資すると考える。

### (5) RC 模型の温度ひび割れ制御

1/12のRCボックスカルバート模型を用いて配筋鉄筋による温度ひび割れ制御実験を行い、温度ひび割れ制御挙動を縮尺鉄筋を用いて再現できる見通しを得た。

### (6) まとめ

本研究をまとめると以下の通りである。

縮尺鉄筋模型の作成し使用する縮尺鉄筋、ミニチュアコンクリートについての基礎物性を得た。

縮尺鉄筋 RC はり曲げ試験に使用するはりの形状・寸法等を決定するための資料を得た。

縮尺鉄筋を用いて学生への教育を通してその有効性を明らかにした。

PC道路橋模型、橋脚を作成し、鉄筋の役割の理解に有効であることを示した。

RCボックスカルバート模型の温度応力実験により縮尺鉄筋使用の可能性を示した。

以上から、教育ツールシステム開発の資料を得た。

## 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)

〔学会発表〕(計3件)

仙場亮太、兄父貴浩、満木泰郎、溝淵利

明、縮小RCにおける温度ひび割れ特性への鉄筋量の影響に関する研究、コンクリート工学年次論文集、高松市、第36巻、査読あり 2014.07.9、論文集未完成のためページ数不明

兄父貴浩、橋本亮良、溝淵利明、縮尺鉄筋を用いた縮小RCの付着特性、土木学会第67回年次学術講演会（平成24年度）名古屋大学、V-619 p p.1237-1238、2012.09.7

橋本亮良、細川大介、満木泰郎、縮尺鉄筋を用いたRCの付着特性に関する基礎実験、土木学会第66回年次学術講演会（平成23年度）愛媛大学、V-134 p p.267-268、2011.09.9

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

満木 泰郎 (MAKI Yasuro)  
法政大学・大学院維持管理工学研究所・研究員  
研究者番号：70229334

### (2) 研究分担者

溝淵 利明 (MIZOBUCHI Toshiaki)  
法政大学・デザイン工学部・教授  
研究者番号：60339504