

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25630231

研究課題名(和文) デジタル画像相関法を用いた鉄筋コンクリート部材の破壊メカニズムの可視化

研究課題名(英文) Visualization on failure mechanism of reinforced concrete member

研究代表者

中村 聡宏 (Nakamura, Akihiro)

名古屋大学・環境学研究科・助教

研究者番号：10649065

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：非耐力壁つき柱梁架構の部材実験において、接合部周辺の変形を取得するために画像を撮影し処理を行った。画像解像度と標点距離の関係から、画像処理による変形の解像度は0.1mm程度となり、有意な変形を取得することができた。また、変形の面的な分布も同時に取得することができ、破壊の進行過程を視覚的に確認することができた。

研究成果の概要(英文)：Digital Image Correlation was applied for the captured image on the experiment of reinforced concrete frame with non-structural wall. The accuracy for the calculated displacement was 0.1 mm based on the resolution of the image. The significant displacement to understand the failure procedure and mechanism was observed from the processed image.

研究分野：鉄筋コンクリート

キーワード：鉄筋コンクリート 部材 ひび割れ

1. 研究開始当初の背景

近年、デジタル画像相関法を用いた面的な歪分布の把握に関する研究が注目されている(図1)。たとえば、野間ら¹⁾は、コンクリート断面を対象として圧縮強度試験時の平面的な歪分布を画像相関法により計測し、異なる水セメント比における圧縮強度の変動と破壊性状の関係について考察している。

コンクリート材料を対象とした場合、局所的に大きな引張り歪が生じる現象であるひび割れの観測にデジタル画像相関法が用いられることが多い。これは、デジタル画像相関法により計測される歪の精度および誤差に起因するものである。近年の画像の高解像度化や、デジタル画像処理技術の向上により、観測できる変形は高精度化しており、より高精度な情報を得ることが可能となっている。

鉄筋コンクリート部材の性能(曲げ強度、せん断強度)は、部材内の力の流れ、特に鉄筋の応力や鉄筋とコンクリートの付着力により形成されるコンクリートのストラット機構に立脚した評価式により評価されている。しかし、従来の実験では、歪ゲージや変位系による局所的な変形挙動や、局所的な歪で生じるひび割れを整理することで間接的に評価式の精度を議論している。

鉄筋コンクリート部材の破壊性状を把握し、鉄筋コンクリート部材の持つ耐震性能を明らかにするためには、ひび割れだけでなく、鉄筋コンクリート部材の圧縮力の流れを把握することが重要である。

2. 研究の目的

本研究は、デジタル画像相関法を用いて、実験では観測することが難しい、部材の面的な歪分布を把握するというを目的とした。特に、破壊性状を把握するために、部材内の圧縮力の流れを可視化するため、破壊が集中する領域に焦点を当てた面的な歪分布の把握を試みた。

3. 研究の方法

本研究では、非耐力壁つき柱梁架構の水平加力実験において、柱梁接合部周辺を観測対象とした画像計測を行った。

本研究で対象とした非耐力壁つき柱梁架構の水平加力実験における試験体の配筋図を図2に示す。試験体の縮尺は1/2.5スケールであり、試験体数は全9体である。試験体の一覧を図3に示す。試験体のパラメータは、袖壁長さ(非体力壁を含む柱梁耐力比)を3水準(試験体名 1.0:250mm, 0.8:200mm, 0.6:150mm)、壁厚を2水準(試験体名 t80:80mm, t45:45mm)、袖壁付き柱の柱主筋・袖壁端部筋を2水準(試験体名 2.9:柱主筋D13・袖壁端部筋D6, 2.1・1.4:柱主筋D10・袖壁端部筋D10)、梁主筋を2水準(試験体名 2.9・2.1:4-D13, 1.4:6-D13)とした。いずれのパラメータも、柱梁接合部周辺の破壊性状に影響を与えらる。

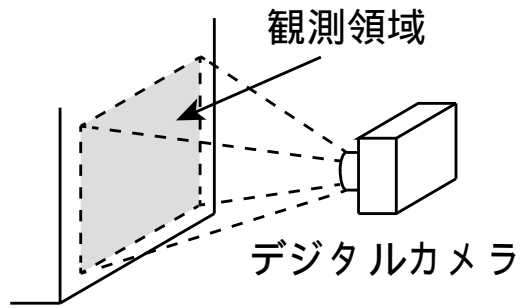
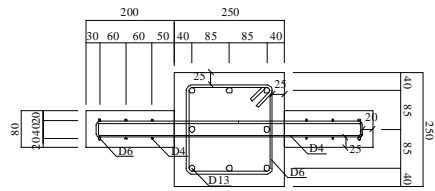
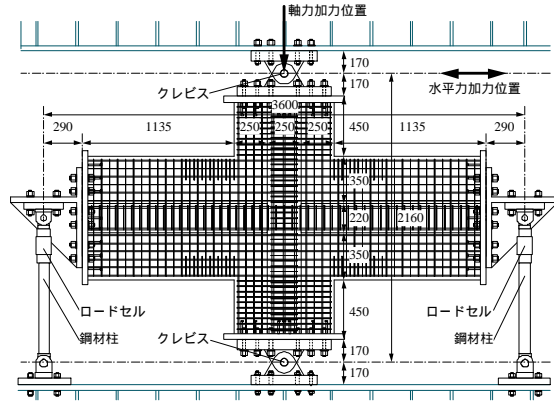


図1 観測概要



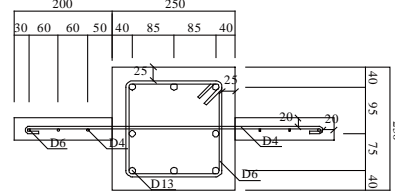
柱主筋 8-D13

柱帯筋 D6@40

壁縦筋 2-D4@60

壁横筋 2-D4@40

壁端部筋 2-D6



柱主筋 8-D13

柱帯筋 D6@40

壁縦筋 D4@60

壁横筋 D4@40

壁端部筋 D6

図2 配筋および加力装置図

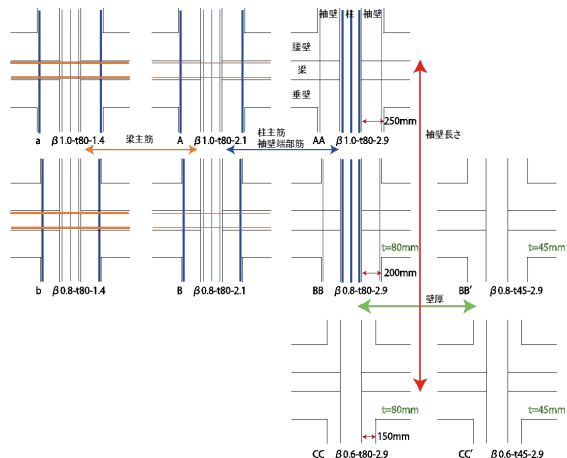


図3 試験体一覧

試験体に使用したコンクリートと鉄筋の材料特性を表2および表3に示す。

加力形式は一定軸力 165kN(柱断面に対する軸力比0.1)下での、正負交番繰返載荷とした。柱の上下端にクレビスを、梁端に両端ピンの鋼材柱を用いることで、十字柱梁架構に生じるモーメントを再現した。梁に対する柱の相対変形角Rで制御し、 $R \pm 1/1600, \pm 1/800, \pm 1/400, \pm 1/200(2), \pm 1/100(2), \pm 1/50(2), \pm 1/33$ (括弧内は繰返し回数)の各サイクルで繰り返した。

対象試験体に対し、観測領域を定め、内部の鉄筋が交差する位置全てに評点を設置し、図5のような画像を取得した。評点間距離は40mm~85mmである。画像解像度と撮影エリアの関係から、計測される最小変形量は約0.1mmとなる。画像の撮影は、市販の一眼レフカメラを使用した。

4. 研究成果

画像の処理には、MathWorks社のプログラム言語 MATLAB²⁾を使用した。画像処理のフローを図6に示す。

対象試験体の変形前および変形後に取得した画像を対象とした。カメラレンズによる画像のゆがみを補正するため、様々な角度、位置にドットパターン柄のパネルを設置して撮影した画像約20枚を用いて、MATLABのカメラキャリブレーション機能(図7)により、カメラ固有の画像補正係数を取得した。

ゆがみ補正後の画像に対して、RGB値を基準としたフィルターを施し、試験体表面に設置した評点(黄色)のみを示す画像を作成した。光の映りこみ等によるノイズも含まれるため、20x20px以内にフィルター外の点が10点以上含まれる場合を評点と自動判定し、判定結果を確認して適宜修正する半自動プログラムにより、評点を検出した。

対象とした試験体は、柱表面、梁表面、壁表面で、レンズからの距離が異なるため、距離による倍率補正を行った。各面における4隅の点の位置情報と、試験体寸法の関係から、各面における倍率を自動的に算出し、補正を行った。

変形前と変形後の評点位置を比較し、変形前後での相対変形量および歪量を算出した。相対変形量に倍率をかけた画像を図8に示す。図の背景には、試験体外形および観測されたひび割れを示し、特にひび割れ幅の大きいひび割れは太線で示した。また、変形前の評点位置を黒線で、変形後の評点位置(変形倍率10)を赤線で示した。

図8より、ひび割れ発生位置に対応するように評点間距離が変動する様子が確認できる。また、ひび割れが生じていないエリアにおいても小さな変形が取得でき、接合部周辺の面的な変形分布が把握できることが確認された。

パラメータごとの画像による計測結果の比較を行い、パラメータの違いによる破壊性

表2 使用鉄筋の材料特性

径	材質	降伏強度 [N/mm ²]	降伏歪 [μ]	引張強度 [N/mm ²]
D4	SD295A	412	2242	548
D6	SD345	444	2084	569
D10	SD345	412	2223	569
D13	SD345	393	2415	556

表3 使用コンクリートの材料特性

試験体	圧縮強度 [N/mm ²]	割裂強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [kN/mm ²]
β1.0-t80-2.9	26.6	1.88	23.5
β0.8-t80-2.9,β0.6-t80-2.9	27.4	2.42	22.0
β0.8-t45-2.9,β0.6-t45-2.9	27.7	2.70	24.8
β1.0-t80-2.1,β0.8-t80-2.1	28.2	2.28	24.1
β1.0-t80-1.4	28.3	2.89	24.0
β0.8-t80-1.4	27.7	2.61	24.6



図5 撮影画像(拡大)

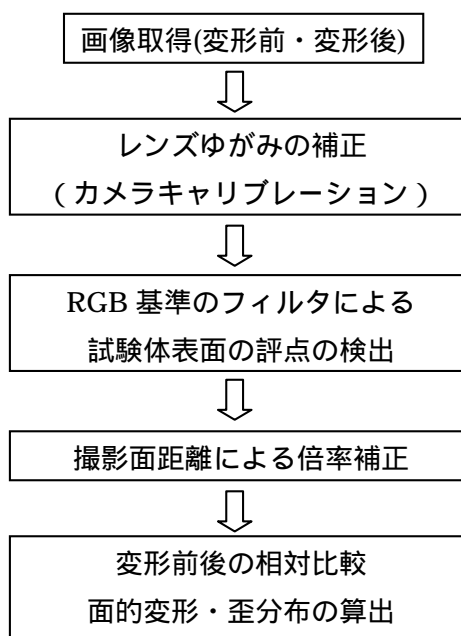


図6 画像処理フロー

状の違いと、計測結果がおおむね対応していることが確認された。

今後は、得られた画像のより詳細な解析を行うとともに、画像解析の自動化に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 野間康雄, 渡辺健, 二羽淳一郎; 画像解析による高強度コンクリートの圧縮破壊性状の可視化ならびに評価, 土木学会論文集 E, 66(1), pp.68-79, 2010
- 2) MathWorks: MATLAB, <http://jp.mathworks.com/products/matlab/> 2016

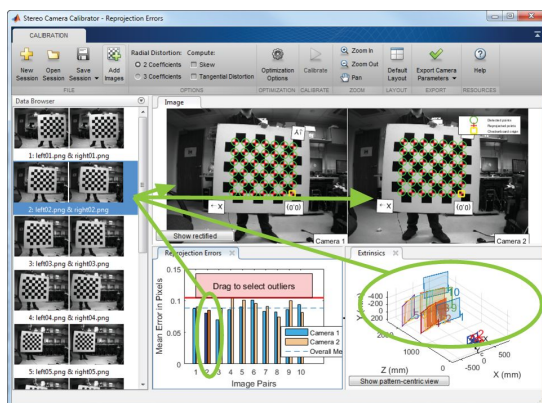


図7 カメラキャリブレーション²⁾

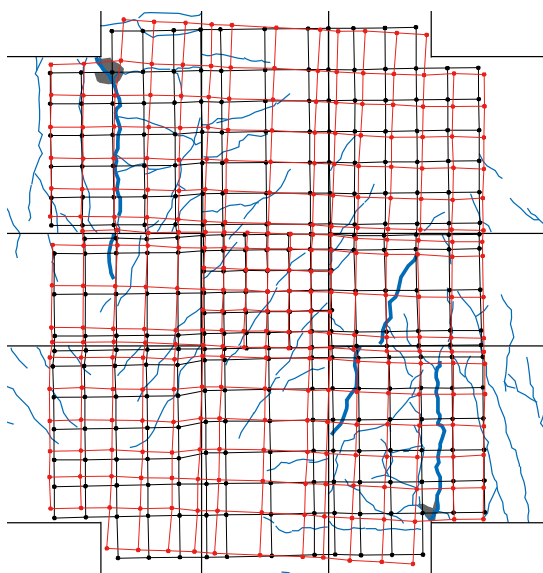


図8 画像による変位計測結果

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 0件)

〔学会発表〕(計 0件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 聡宏 (NAKAMURA Akihiro)
名古屋大学環境学研究科 助教

研究者番号: 10649065