

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760419

研究課題名(和文) 画像解析によるRC棒部材のせん断耐荷機構の評価と設計の高度化

研究課題名(英文) Evaluation of shear resistance mechanism of RC liner members based on image analysis and upgrading the design method

研究代表者

松本 浩嗣 (Matsumoto, Koji)

東京工業大学・理工学研究科・助教

研究者番号：10573660

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：地震時の安全性確保のために重要となる鉄筋コンクリート棒部材のせん断設計手法の高度化を目指して、画像解析結果に基づく破壊メカニズムの検討と、新しいせん断耐力予測式の構築を行った。既存の画像解析システムを改良し、測定精度を高めたうえで、繊維補強コンクリートはりに対して、斜めひび割れ全長にわたるひび割れ変位の測定を実施した。測定したひび割れ変位と、別途要素試験で得た引張応力-ひび割れ開口変位を用いることで、ひび割れ面における繊維のせん断抵抗力を算出した。得られた繊維のせん断抵抗力を各パラメータにより定式化することで、既存のものよりも高い精度を有する新しいせん断耐力予測式を提案することに成功した。

研究成果の概要(英文)：To upgrade the shear design method of reinforced concrete liner members, which is important to ensure the safety of structures in seismic events, shear failure mechanism was investigated by using the image analysis technique and a new predictive equation for shear capacity was developed. The accuracy of the existing image analysis was improved, and then it was applied to measure the crack surface displacement along the shear crack of fiber reinforced concrete beams. The shear resistance of fibers at the crack was calculated by using the measured crack surface displacement and tensile stress-crack opening displacement relationships obtained from the separately-conducted elementary tests. By formulating the shear resistance of fibers respecting to each parameter, a new predictive equation for shear capacity which has higher accuracy than that of the existing equation, was developed.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：RC棒部材 せん断 画像解析

1. 研究開始当初の背景

土木学会コンクリート標準示方書における鉄筋コンクリート(以下、RC)棒部材のせん断耐力予測式は、コンクリートの分担せん断力とせん断補強鉄筋の分担せん断力の和で表される修正トラス理論に基づくものである。このうち、コンクリートの分担せん断力は、せん断補強鉄筋を有さないRCはりのせん断耐力予測式に基づくものであるが、せん断補強鉄筋を有する部材において、斜めひび割れ発生後もコンクリートの分担せん断抵抗力が一定値を保持する物理的根拠はなく、経験的に留まっていると言ってよい。

設計式が経験式であることは、様々な場面で問題点を生じさせている。たとえば、新しい材料が開発され、それを構造物に応用しようとしたとき、既存の設計式の適用性の確認がその都度必要となるという問題点がある。このような事態は、部材レベルでの検証実験が必要となることからコスト面の問題を生じさせ、新しい材料の開発・適用を妨げてしまうこととなる。

このような問題を解決するためには、経験的ではなく、より理論的な予測式を用いた新しいせん断設計手法の開発が必要となる。

2. 研究の目的

本研究は、非接触ひずみ計測手法のひとつである画像解析による測定結果をベースにして実施した。画像解析はひずみゲージや変位計等の従来の測定方法とは異なり、すべての位置、すべての方向の変形を測定することができるという利点を有する。この特徴を活かして、RC部材に発生するせん断ひび割れの開口変位、すべり変位を、ひび割れ全長にわたって測定することにより、ひび割れ面におけるせん断抵抗力を評価することを試みた。さらに、コンクリートの材料モデルを用いて、得られたひび割れ変位を応力に変換し、ひび割れ長さ方向に積分することにより、せん断抵抗力を算出することを試みた。

せん断挙動に影響を及ぼすと予測される各種パラメータを変化させた試験体に対して上記の方法を適用し、各パラメータを変数としてせん断抵抗力を定式化することで、新しいせん断耐力予測式の構築を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、格子法による画像解析を用いた。図1にその概要を示す。格子法による画像解析は、コンクリート表面に格子状に配したターゲットの重心位置を撮影画像から追跡し、各ターゲットの重心位置を節点とした有限要素モデルを作成することにより、荷重レベルごとの部材全体のひずみ分布を算出する方法である

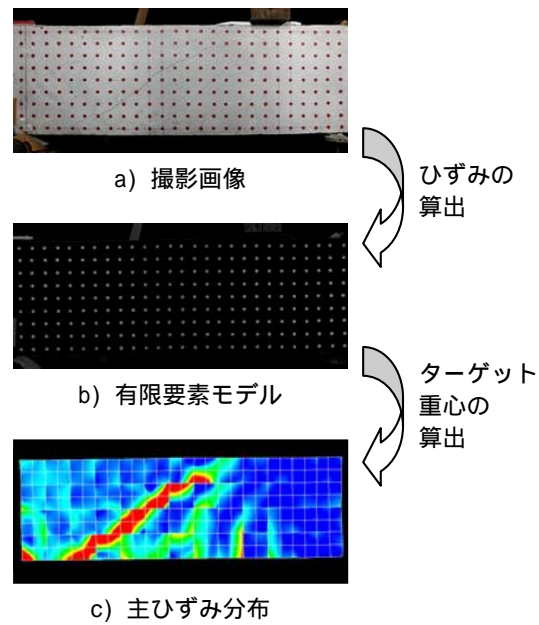


図1 格子法による画像解析のプロセス

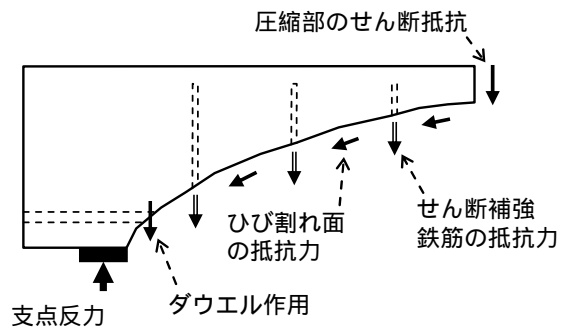


図2 RC棒部材のせん断抵抗メカニズム

図2に、RC棒部材のせん断抵抗メカニズムの模式図を示す。RC棒部材のせん断抵抗は、主鉄筋のダウエル作用、圧縮コンクリートのせん断抵抗、せん断補強鉄筋の抵抗力、ひび割れ面における抵抗力によってもたらされることが古くから指摘されている。本研究では特に、ひび割れ面における抵抗力に着目した。すなわち、せん断ひび割れの開口変位、すべり変位を、画像解析を用いて、ひび割れ全長にわたって測定することにより、ひび割れ面におけるせん断抵抗力を評価することを試みた。コンクリートの材料モデルを用いて、得られたひび割れ変位を応力に変換し、ひび割れ長さ方向に積分することにより、せん断抵抗力を算出した。

4. 研究成果

まず、既存の画像解析の改良を行った。既存の画像解析システムはカメラ1台分の撮影領域しか対応できておらず、部材中に生じるせん断ひび割れ全長にわたる測定が困難であったため、測定領域の広域化を試みた。具体的には、図3に示すシステムを構築した。

最大4台のカメラとコンピュータをネットワーク化し、各カメラの撮影画像をメインコンピュータに転送・統合することで、部材全域の画像解析を可能なものとした。

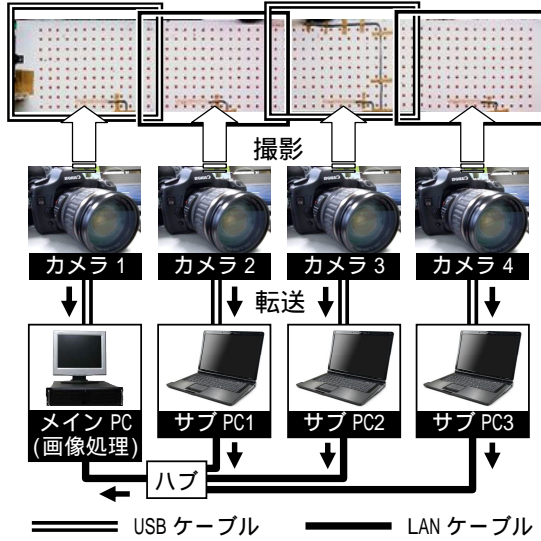


図3 広域化した画像解析システムの構成

次に、改良した画像解析を繊維補強コンクリートはりのせん断破壊実験に適用し、せん断ひび割れ面における抵抗力の評価を試みた。試験体の一例を図4に、ひび割れ面における抵抗力の算出プロセスを図5に示す。

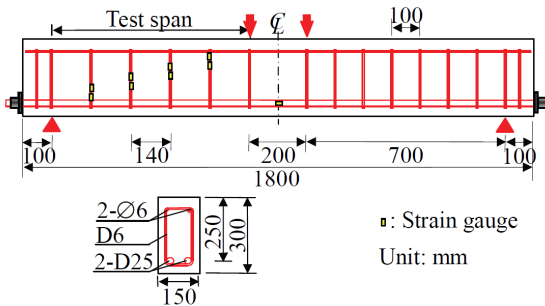


図4 繊維補強コンクリートはりの一例

まず、カメラにより試験体の表面の写真を撮影する(図5(a))。画像解析により、せん断ひび割れの各位置におけるひび割れ変位を求める(図5(b))。別途実施した要素試験で得られた引張軟化曲線(引張応力-ひび割れ開口変位関係)(図5(c))を用いて、ひび割れ変位分布を引張応力分布に変換する(図5(d))。

このようにして求めたひび割れ面における引張応力の平均値、ひび割れ長さ、ひび割れ角度を、本実験で実施した実験パラメータ(破壊エネルギー、せん断補強鉄筋比、有効高さ)で整理することにより、式(1)~(3)を得た。

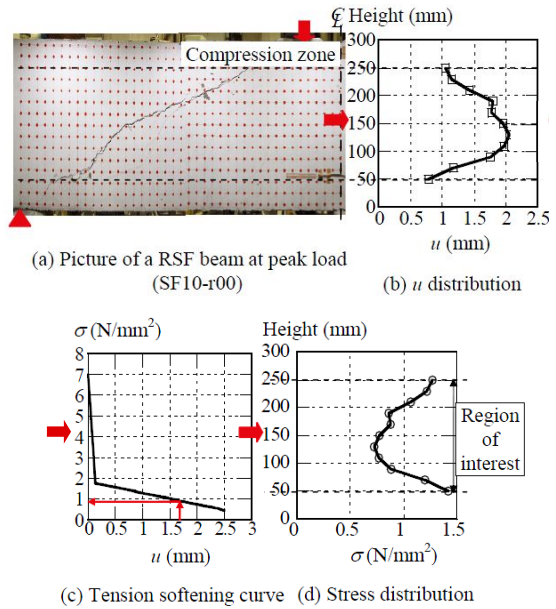


図5 ひび割れ面における抵抗力の算出プロセス

$$\sigma = G_F^{0.8} (8.2 + 3.1r_w) d^{-0.58} \quad (1)$$

$$L = G_F^{-0.25} (1.0 - 0.9r_w) d^{1.2} \quad (2)$$

$$\theta = G_F^{0.35} (6.6 + 1.95r_w) d^{0.2} \quad (3)$$

ここに、 σ : 引張応力の平均値(N/mm²)、 G_F : 破壊エネルギー(N/mm)、 r_w : せん断補強鉄筋比(%)、 d : 有効高さ(mm)、 L : 斜めひび割れの長さ(mm)、 θ : 斜めひび割れが部材軸と成す角度(°)、である。

また、斜めひび割れ面における引張応力の作用向きは、試験体によらず、部材軸方向に対して約63°であることが画像解析により確認された。

以上のことから、ひび割れ面におけるせん断抵抗力(ここでは繊維の分担せん断力 V_f)を、式(4)で定式化した。

$$V_f = 0.89\sigma \cdot b_w \cdot L \cdot \cos(\theta - 27) \quad (4)$$

ここに、 b_w : 棒部材のウェブ幅、である。

全せん断抵抗力をコンクリートの分担せん断力、せん断補強鉄筋の分担せん断力、繊維の分担せん断力の和と仮定し、コンクリートの分担せん断力 V_c を式(5)、せん断補強鉄筋の分担せん断力 V_s を式(6)で定めた。

$$V_c = 0.2 \cdot \sqrt[3]{f'_c} \cdot \sqrt[4]{1000/d} \cdot \sqrt[3]{100p_v} \cdot b_w d \quad (5)$$

$$V_s = A_w f_{wy} (z \cot \theta / s) \quad (6)$$

ここに、 f'_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)、 p_v : 引張鉄筋比、 A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積、 f_{wy} : せん断補強鉄筋の

降伏強度、 z : モーメントアーム長(=7/8d)、
 s : せん断補強鉄筋間隔、である。

以上から、繊維補強コンクリート棒部材の
せん断耐力予測式として、式(7)を提案した。

$$V_u = V_c + V_s + V_f \quad (7)$$

ここに、 V_u : せん断耐力、である。

提案式によるせん断耐力の算定結果と実
験値との比較を、既存の土木学会式による算
定結果と併せて図6に示す。

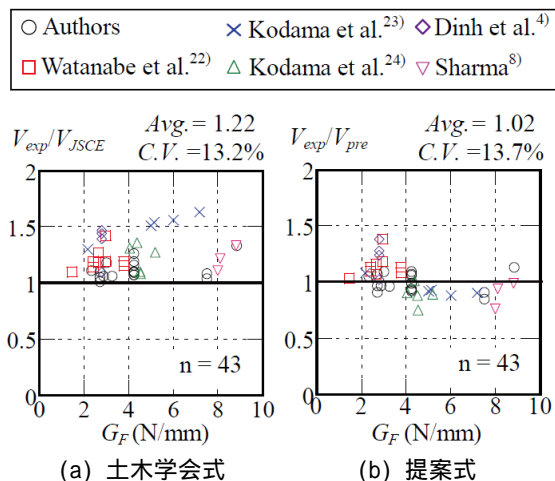


図6 土木学会式と提案式の予測精度

変動係数に大きな差はないものの、土木学
会式が実験値を過小評価しているのに対し
て、本研究で提案した式は平均値が実験値と
ほぼ一致している。

以上のように、画像解析によるひび割れ変
位の測定結果に基づき、より高い精度を有す
るせん断耐力算定式を構築することに成功
した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- 1) Jongvivatsakul, P., Matsumoto, K., Watanabe, K. and Niwa, J., "An Experimental Study on Shear Carried by Fibers of FRC Beams with Different Fiber Types and Combinations", コンクリート工学年次論文集, 第35巻, 第2号, pp. 1279-1284, 2013年(査読有)
- 2) Jongvivatsakul, P., Matsumoto, K. and Niwa, J., "Shear Capacity of Fiber Reinforced Concrete Beams with Various Types and Combination of Fibers", Journal of JSCE (土木学会英文論文集), Vol. 1, pp. 228-241, 2013. (査読有)
- 3) Jongvivatsakul, P., Matsumoto, K., Watanabe, K. and Niwa, J., "Investigation on the Shear of Fiber Reinforced Concrete Beams Considering

Various Types of Fibers", コンクリート工学年次論文集, 第34巻, 第2号, pp. 1267-1272, 2012年(査読有)

- 4) 梁田真広, 松本浩嗣, 二羽淳一郎, 「画像解析を用いたリアルタイム非接触ひずみ計測領域の広域化」, コンクリート工学年次論文集, 第33巻, 第2号, pp. 691-696, 2011年(査読有)
- 5) 岩永崇志, 松本浩嗣, 二羽淳一郎, 「ひび割れの形成過程に着目した変断面RCはりのせん断破壊メカニズムの評価」, コンクリート工学年次論文集, 第33巻, 第2号, pp. 49-54, 2011年(査読有)

〔学会発表〕(計3件)

- 1) 山本剛史, 松本浩嗣, 二羽淳一郎, 「圧縮破壊するRC部材に適した画像解析によるひずみ計測・算出手法の開発」, 土木学会第68回年次学術講演会, 日本大学生産工学部津田沼キャンパス, 2013年9月4日
- 2) Jongvivatsakul, P., Matsumoto, K., Watanabe, K. and Niwa, J., "Application of Tension Softening Curves to Investigate the Shear Carried by Fibers in Various Fiber Reinforced Concrete Beams", University of Castilla La-Mancha, Toledo, Spain, 2013年3月12日
- 3) 松本浩嗣, 佐藤孝昭, 二羽淳一郎, 「広域化リアルタイム画像解析システムの高度化とRCはりの破壊形態評価」, 土木学会第67回年次学術講演会, 名古屋大学, 2012年9月7日

〔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〕
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 浩嗣 (MATSUMOTO KOJI)
東京工業大学 大学院理工学研究科
土木工学専攻 助教

研究者番号 : 10573660

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :