

平成22年 5月31日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760304
 研究課題名 (和文) コンクリート内部のひずみ分布に着目した鉄筋腐食したRC部材のせん断耐荷機構の評価
 研究課題名 (英文) Evaluation for Shear Resisting Mechanism of RC Beams Having Localized Corrosion in Longitudinal Reinforcement
 研究代表者
 三木 朋広 (MIKI TOMOHIRO)
 神戸大学・工学研究科・准教授
 研究者番号：30401540

研究成果の概要 (和文)：鉄筋腐食した RC 部材の構造性能を評価するために、軸方向鉄筋が腐食した RC はりの載荷実験、ならびに非線形解析を行った。実験では、RC はりに埋め込んだ 3 軸ひずみゲージを用いてコンクリート内部ひずみを計測した。さらに、画像解析により供試体表面のひずみ分布を非接触に計測した。内部ひずみと画像解析の結果から、鉄筋腐食によって生じたひび割れが RC はりの破壊形態に影響を与えることを明らかにした。一方、解析によって、鉄筋腐食が進行し、鉄筋とコンクリートの付着強度が低下した場合、鉄筋腐食した RC はりのアーチ的耐荷機構が卓越する挙動を説明することができた。

研究成果の概要 (英文)：This study presents experimental and analytical investigations to evaluate the shear resisting mechanism of RC members damaged due to steel corrosion. In the experiment, a developed measurement instrument embedded in the web concrete of RC beams is used to obtain the internal information in the concrete being affected by the corrosion condition of reinforcement. In addition, an image analysis which can identify the localization of strain on the concrete surface is used in the experiment. The experiment shows the influence of corrosion cracks occurred along with the longitudinal reinforcement on the initiation and propagation of the decisive diagonal crack due to the further loading. Moreover, the nonlinear analysis shows that the shear carrying capacity of the RC beams having sufficient anchorage reinforcement increases when the bond property degrades as the steel corrosion proceeds. This behavior of the RC beams can be explained by means of the response of arch elements in the lattice model that represent the formation of the tied arch mechanism in the beam.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2008年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 2009年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,200,000 | 960,000 | 4,160,000 |

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：局所的、鉄筋腐食、せん断耐荷機構、コンクリート内部ひずみ、格子モデル、付着劣化、破壊モード、マクロ的評価

1. 研究開始当初の背景

国内におけるインフラ設備の大幅な更新が難しい現状では、既存構造物の延命化は急務の課題である。供用期間中の構造物は、様々な環境作用により少なからず劣化していき、要求する耐力や変形性能を保持することができなくなる場合もある。例えば鉄筋コンクリート（RC）構造物においては、塩化物イオンの浸透を原因とした鉄筋腐食による早期劣化が問題となっている。その際、鉄筋の腐食膨張圧に起因する鉄筋に沿った縦ひび割れといったコンクリートの劣化、およびそれに伴う鉄筋とコンクリートの付着劣化によって、曲げ耐力が鉄筋腐食による断面欠損分以上に低下することが指摘されている。RC部材のせん断に関しては、鉄筋腐食により、せん断から曲げへ破壊モードが移行し、せん断耐力が増加すると既往の文献で報告されている。腐食生成物やコンクリートのひび割れなどの影響によって、完全付着の状態から付着がない状態へと徐々に変化するが、それぞれの状態に応じた付着特性、ならびに任意の付着状態の際のRC部材のせん断耐力特性については、まだ明らかとなっていない。

本研究では、鉄筋腐食に起因した様々な付着状態のRCはりを対象とした実験から、付着とせん断耐力、ならびに破壊モードの変化に関する基礎的なデータを得ることを目的とする。また、簡便な解析モデルのひとつである格子モデルを用いた解析的な研究も進めていく。この非線形解析によって実験結果を検証するとともに、解析モデルの適用範囲を広げ、さらに鉄筋腐食により損傷を受けたRC構造部材の性能評価手法の確立を目指す。

2. 研究の目的

本研究では、鉄筋腐食に起因した様々な付着状態とせん断耐力、破壊モードの関係について評価することを目的とする。この最終目標のうち、まず実験的なアプローチから検討した。実験パラメータは、腐食の程度、腐食発生位置、腐食領域である。実験では、図-1に示す方法によって、電気化学的に鉄筋腐食を促進させた。このRC部材を対象としたせん断耐力実験を実施した。

つぎに、解析によって実験結果を検証した。特に、主鉄筋およびせん断補強筋の断面欠損に加え、付着劣化を考慮した格子モデルを用いて評価した。最終的には、昨年度と今年度の成果をまとめ、鉄筋腐食により損傷を受けたRC構造部材の性能評価手法の確立を目指す。

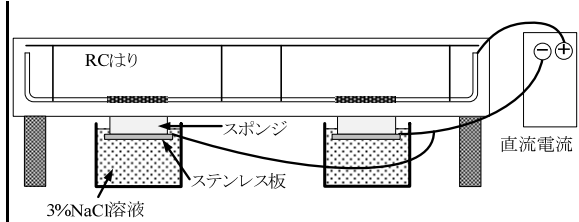


図-1 腐食試験

3. 研究の方法

実験では、まずコンクリート部材内部のひずみ分布を測定する方法の精度確認を行った。アクリル棒に3軸ひずみゲージを貼り付け、それをコンクリート部材中に埋め込むことによって、ウェブコンクリート内部のひずみ分布を測定した（図-2）。また、実験中、供試体表面に貼り付けた円形ターゲットを荷重段階ごとにデジタルカメラを用いて撮影し、そのターゲットを節点とする有限要素から表面ひずみの分布を求めた。それらの結果をまとめ、鉄筋腐食したRC部材の荷重にもなる耐荷機構の変化を視覚化した。

これらのコンクリートの内部ひずみと表面ひずみを計測する手法を用いて、局部的に鉄筋腐食したRC部材を対象とした荷重実験を行った。実構造物に見られる空間的にばらついた鉄筋腐食の状態を再現するため、コンクリートにひび割れを生じさせた上で電気的に促進させた。また、電極をRC部材の一部のみに配置し、その周辺の鉄筋を局部的に腐食させることにより、損傷領域を制御した。さらに、大型のRCはりを用いて、鉄筋腐食の程度、腐食の位置、予測される破壊モードなどをパラメータとした実験を系統的に実施した。

一方、解析的なアプローチとしては、3次元格子モデルを用いて、局部的に鉄筋腐食したRCはりを解析対象とした非線形解析を実施した。その際、本研究では、実際の鉄筋腐食の程度を、鉄筋の断面欠損、および主鉄筋とコンクリートの付着劣化として解析に反映させた。（図-3）

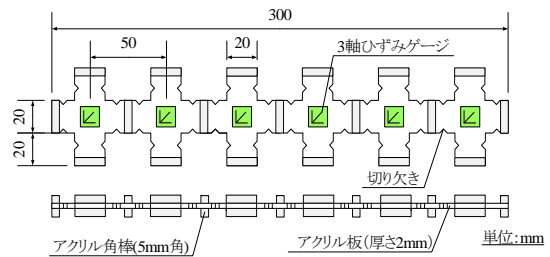


図-2 アクリルゲージ概要

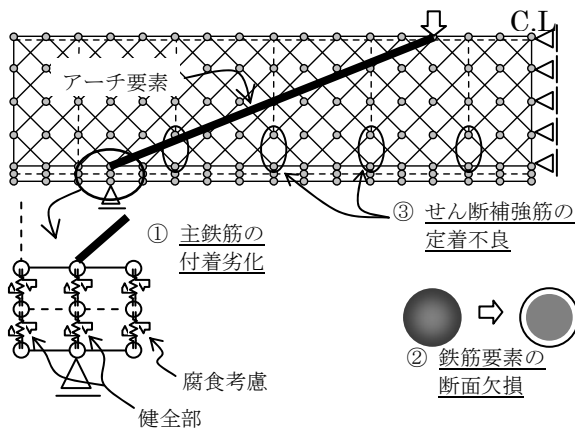


図-3 鉄筋腐食のモデル化

4. 研究成果

本研究では、コンクリート部材の内部ひずみと表面ひずみを計測する手法を、局部的に鉄筋腐食した RC 部材を対象とした载荷実験へ適用した。また、RC 部材中の一部の鉄筋を局部的に腐食させることにより、損傷が一部に集中した場合の検討を行った。さらに、格子モデルを用いて、鉄筋腐食により損傷した RC はりのマクロ的なせん断耐力機構を解析的に評価することを目指した。得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 鉄筋腐食した RC はりの载荷実験から、腐食の程度、腐食発生位置、腐食領域が耐力機構に与える影響について整理し、特に先行ひび割れの影響により、载荷によって生じるひび割れの角度が変化することがわかった。
- (2) せん断スパン内に局所的な鉄筋腐食が存在する試験体は、腐食がない試験体比較して耐力力が同等、もしくは上昇することが確認できた。
- (3) 供試体表面に貼り付けた円形ターゲットを用いた画像解析により、表面ひずみの分

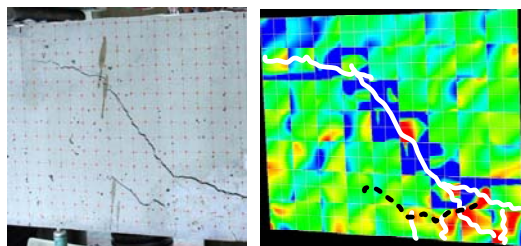


図-4 最大荷重時の表面ひずみ分布

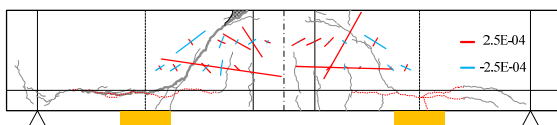


図-5 最大荷重時の内部ひずみ分布

布から腐食ひび割れによる耐力機構の変化を把握できることを確認した。(図-4)

(4) コンクリート部材内部のひずみ分布を測定する方法の精度を確認した。また、内部ひずみの測定結果より、载荷中コンクリート表面で目視観察できるひび割れより早期に内部ひずみが急変することがあることがわかった。(図-5)

(5) 画像解析や内部ひずみの計測結果を通して、耐力力が上昇した腐食試験体では、斜めひび割れに沿うように圧縮ひずみが卓越する領域を確認した。また、腐食領域と腐食状況から RC はりの破壊モードを斜め引張破壊とせん断圧縮破壊に区分することができた。

(6) 支点外の主鉄筋定着部が健全である場合、主鉄筋の腐食程度が進行するにつれてタイドアーチ的な耐力機構になり、その結果せん断耐力が上昇することを、格子モデルのアーチ部材に着目することによって解析的に明示することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- ① 三木朋広, 竹内靖人: 局所的に鉄筋腐食したRCはりのせん断耐力機構に関する実験的研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol. 9, pp. 405-410, 2009.10, 査読有
- ② 三木朋広, 鈴木暢恵, 二羽淳一郎: 鉄筋腐食した鉄筋コンクリートはりのせん断耐力機構のマクロ的評価, コンクリート工学論文集, Vol.19, No.3, pp. 61-70, 2008.9, 査読有
- ③ 東 広憲, 渡辺 健, 三木朋広, 二羽淳一郎: 画像解析を用いた鉄筋コンクリートはりの破壊性状の予測, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp. 793-798, 2008, 査読有
- ④ 角田真彦, 渡辺 健, 三木朋広, 二羽淳一郎: 局所的な鉄筋腐食を有するRCはり部材のせん断耐力性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp. 1705-1710, 2008, 査読有

〔学会発表〕(計5件)

- ① 三木朋広, 林 大輔: 画像相関法を用いた局所的圧縮力を受けるコンクリートのひずみ計測, 平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 第V部門, V-6, 2010.5
- ② 松田知子, 三木朋広: 定着部の腐食ひび割れがRC はりの破壊性状に与える影響に関する研究, 平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会, V-39, 2010.5

- ③ 竹内靖人, 三木朋広: 局所的鉄筋腐食を有するRCはりのせん断耐荷機構評価に関する実験的研究, 平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会, V-40, 2010.5
- ④ 西野康弘, 三木朋広: アルカリ骨材反応が生じたコンクリートの圧縮破壊挙動に関する基礎的研究, 平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 第V部門, V-42, 2010.5
- ⑤ 三木朋広, 平岡伸朗: LEDターゲットを用いた画像解析によるコンクリートの圧縮破壊挙動の評価, 平成 21 年度土木学会関西支部年次学術講演会, V-5, 2009.5

[その他]

ホームページ等

<http://www2.kobe-u.ac.jp/~mikitomo/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三木 朋広 (MIKI TOMOHIRO)
神戸大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 30401540

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし