

残留ひび割れ幅に基づく RC 梁部材の損傷度評価に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○十川貴行 皆川春奈 曾我部直樹 平 陽兵 小嶋進太郎

1. はじめに

地震などの大きな外力によって曲げ破壊に至る RC 部材の損傷度を評価するには、鉄筋の降伏や座屈の兆候を把握することが重要である。これらの現象は鉄筋に生じるひずみと関係があるが、地震時における鉄筋のひずみを計測するためには、コンクリート中の鉄筋にセンサを設置したうえで、動的な連続計測が必要となる。一方、部材表面に残留するひび割れ幅は、地震後でも外部から計測することが可能である。そのため、外力が作用した後における残留ひび割れ幅と外力が作用している段階で鉄筋に生じる最大ひずみとの関係が明らかになれば、RC 部材の損傷度を部材表面の外力作用後の計測から定量的に評価することが可能となる。筆者らはこれまで RC 部材の両引き実験にて、鉄筋の降伏強度を超える引張力を与え、除荷した後の残留ひび割れ幅と加力時の鉄筋ひずみとの間に一定の相関関係があることを確認している<sup>1)</sup>。本稿では、RC 梁部材の曲げ実験にて、残留ひび割れ幅と加力時の鉄筋ひずみの関係について検証した内容について報告する。

2. 実験概要

試験体の概要を図-1 に示す。試験体は断面幅 380mm、断面高さ 300mm、長さ 3,500mm で、軸方向鉄筋として D22 鉄筋 (SD345) を圧縮側、引張側にそれぞれ 3 本ずつ配置した RC 梁部材で、引張側鉄筋の有効高さは 250mm である。材料試験の結果を表-1 に示す。載荷は試験体をスパン長 3,000mm で単純支持し、等曲げ区間 500mm の 2 点載荷で実施した。載荷ステップは表-2 に示すとおりで、部材が降伏する前は引張鉄筋の応力度に基づき、部材が降伏した後は試験体の支間中央変位に基づき試験体が破壊に至るまで載荷と除荷を繰り返した。断面中央の引張側の軸方向鉄筋にはエポキシ樹脂系接着剤で光ファイバを設置し、ひずみを計測した。光ファイバによるひずみ計測は、空間分解能 (ひずみゲージの検長に相当) が 0.6mm、計測間隔が 0.6mm で計測可能な OFDR 法<sup>2)</sup>で計測した。引張縁のコンクリート表面にはパイ型変位計 (標点距離 200mm) を連続的に配置してひび割れ幅を計測した。

3. 実験結果

図-2 に加力時および除荷後における光ファイバで計測した鉄筋ひずみ分布とひび割れ幅分布の一例として、支間中央変位 53mm 時点での結果を示す。梁部材においても、両引き実験<sup>1)</sup>と同様に、鉄筋が降伏すると

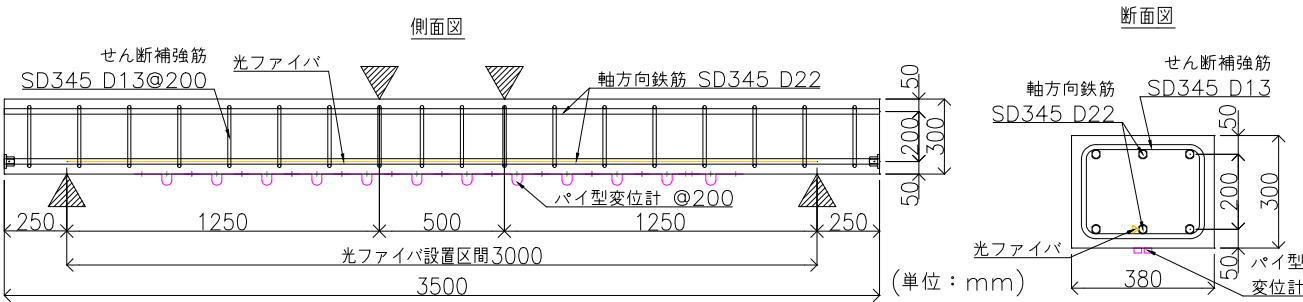


図-1 試験体の概要

表-1 材料試験結果

| 材料                 | 項目   | 試験結果(N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------------------|------|--------------------------|
| コンクリート             | 圧縮強度 | 34.6                     |
|                    | 弾性係数 | 26,400                   |
|                    | 引張強度 | 2.66                     |
| 軸方向鉄筋<br>D22 SD345 | 降伏強度 | 364                      |
|                    | 弾性係数 | 192,000                  |

表-2 載荷ステップ

| 載荷ステップ        |                                                                                       |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 降伏まで<br>(計算値) | 引張鉄筋応力度 90, 180, 270, 345N/mm <sup>2</sup> で載荷, 除荷を 1 回ずつ実施                           |
| 降伏後<br>(実測値)  | 支間中央変位 12, 15, 18, 21, 24, 28, 37, 53, 71mm で載荷, 除荷を 1 回ずつ実施 (ただし, 12mm では 3 回繰返しを実施) |

キーワード 残留ひび割れ幅, RC 部材, 損傷度評価, 光ファイバセンサ, 梁曲げ実験  
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

ひび割れ位置を中心にひずみが局所的に増加し、その後ひずみが増加する範囲がひび割れ位置を中心として周囲に広がることで、同位置のひび割れ幅も拡大する様子を確認した。除荷後には、鉄筋ひずみが直前の加力時に生じた弾性ひずみ分減少し、それに伴いひび割れ幅も減少した。

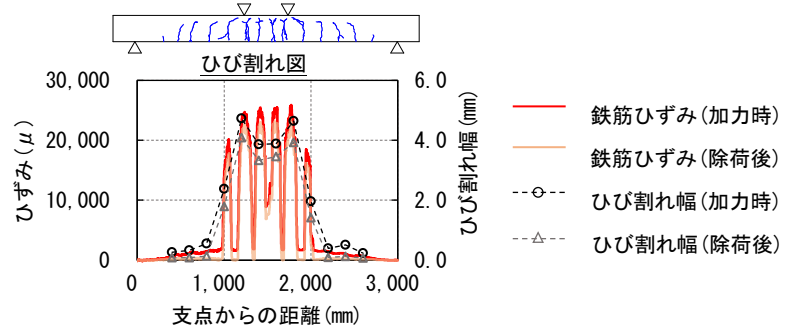


図-2 ひび割れ幅と鉄筋ひずみ分布(支間中央変位 53mm 時点)

図-3 には、ひび割れ位置を中心として隣り合うひび割れの間中点を積分区間とした鉄筋ひずみの積分値と同ひび割れ幅の比較について、本実験および両引き実験<sup>1)</sup>で得られた結果を示す。コンクリートの弾性ひずみを無視すると、ひび割れ幅は同位置の鉄筋の伸びとコンクリートからの拔出し量の和となる。そのため、両引き実験では、ひび割れ幅とその近傍の鉄筋ひずみの積分値はほぼ同値であった。これに対して、本実験では、鉄筋ひずみの積分値が小さくなる傾向が確認された。曲げモーメントが作用する梁部材では、曲率に応じて断面高さ方向にひずみ差が生じることが要因であると考えた。そこで、ひび割れ幅が断面高さ方向に線形的に変化すると仮定して、式(1)に示す補正係数  $C$  を鉄筋ひずみの積分値に乘ずることで、ひび割れ幅との比較を行った。

$$C = \frac{h - x}{d - x} \quad (1)$$

ここに、 $C$ : 補正係数、 $h$ : 断面高さ(mm)、 $d$ : 有効高さ(mm)、 $x$ : 中立軸高さ(mm)である。なお、中立軸高さ  $x$  は別途実施したファイバーモデル解析による計算値を用いた。

図-4 に等曲げ区間内のひび割れを対象とした補正係数を乗した鉄筋ひずみの積分値とひび割れ幅との比較を示す。補正係数を乗することで、両者の値が近づく傾向があることが確認できる。そこで、等曲げ区間内のひび割れを対象として、除荷後の残留ひび割れ幅と、除荷直前の加力時における鉄筋ひずみの積分値に補正係数  $C$  を乗じた結果の比較を行った(図-5)。その結果、両者の間に相関係数が 0.99 となる高い相関関係があることが確認できた。

#### 4. まとめ

本研究では、RC 梁部材における残留ひび割れ幅と加力時の鉄筋ひずみの関係を検証した。その結果、梁部材においても残留ひび割れ幅と加力時の鉄筋ひずみの積分値に、高い相関があることが確認できた。また、加力時における曲率に応じた断面高さ方向のひずみ差を考慮することで、部材の諸元によらず残留ひび割れ幅から加力時の鉄筋ひずみを精度良く推定できる可能性が示唆された。

#### 参考文献

- 1) 十川貴行ほか：残留ひび割れ幅に基づく RC 部材の損傷度評価に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文 Vol.45, 2023. (投稿中)
- 2) 井川寛隆ほか：OFDR を用いた長ゲージ FBG による分布計測の研究，日本機械学会論文集(A 編)，72 巻 724 号，2006.

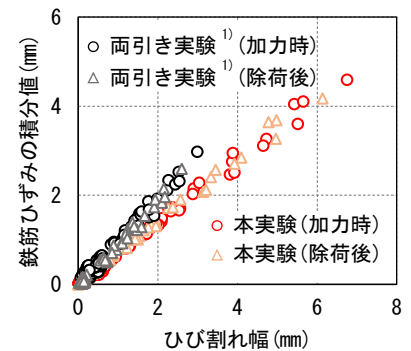


図-3 ひび割れ幅と鉄筋ひずみの積分値との関係

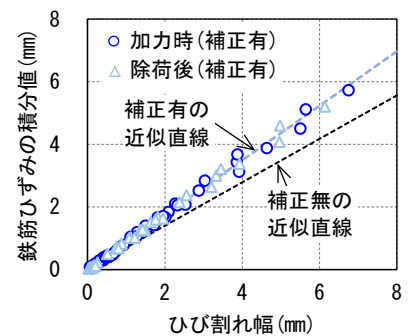


図-4 鉄筋ひずみの積分値の補正について

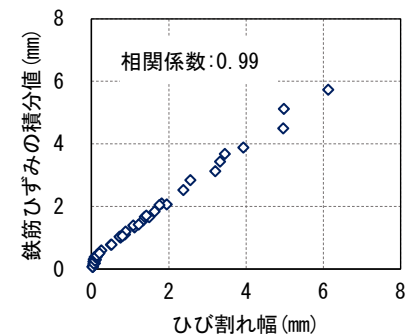


図-5 残留ひび割れ幅と加力時の鉄筋ひずみの積分値との関係

部材の諸元によらず残留ひび割れ