繰返し荷重を受けるRC部材の断面内ひび割れ進展に関する研究

名古屋大学　学生会員　○水野　さおり
名古屋大学大学院　正会員　中村　光，國枝　稔，上田　尚史

1. はじめに

繰返し荷重を受けるRC部材では，損傷が外部に表面化していない段階においても，内部では損傷が進展している可能性がある[1)]．本研究では，曲げ変形が卓越するRC部材に対して，外部の損傷が比較的軽微な段階における部材内部のひび割れ進展について，実験的および解析的に検討を行った．実験では，RC単純ばりに対して正負交番載荷を行い，載荷後断面を切断することにより内部のひび割れを観察し，内部ひび割れの発生時期および進展挙動の解明を試みた．また，解析では，鉄筋を線要素ではなく，3次元ソリッド要素でモデル化した有限要素解析を行うことにより，鉄筋の3次元的な変形を考慮した上で，内部ひび割れが発生する要因に関して検討を行った．

2. 実験的検討

2.1　実験概要

図-2.1に供試体概要を示す．供試体は，150mm×150mmの正方形断面を有する単純ばりで，圧縮鉄筋，引張鉄筋として，D10(345N/mm^2)をそれぞれ2本ずつ配置した．鉄筋近傍からの内部ひび割れとしては，リングテンションによる付着ひび割れが考えられるが，本研究では上下の芯かぶりを25mm，側方向の芯かぶりを50mmとし，上下のかぶり方向に付着ひび割れが発生しやすい状態で，付着ひび割れと異なる内部のひび割れ進展を検討できるようにした．また，内部ひび割れは曲げひび割れ発生断面内において顕著に進展するのではないかという予想から，曲げひび割れ発生断面内での観察が容易となるよう切欠きを導入した．切欠きは深さ10mmのものを，等曲げ区間の中央と中央から両側100mmの位置の断面全周に計3本導入した．試験は，同一の供試体を複数作成し，それぞれの供試体の目的とする変位レベルで載荷をやめ，断面の切断を行うことで，各変位段階での内部ひび割れの観察を行った．載荷は，目的とする変位レベルまで降伏変位(4mm)の整数倍毎に3cycleの正負交番載荷を行った．材料定数として，コンクリートの圧縮強度は45.7N/mm^2，弾性係数は2.89×10^{4}N/mm^{2}であった．

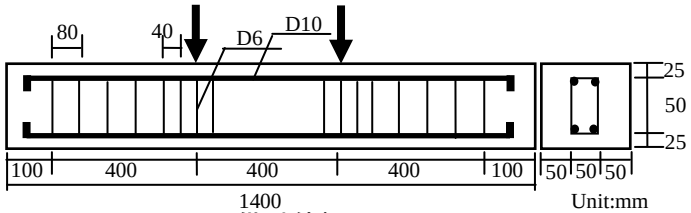


図-2.1　供試体概要

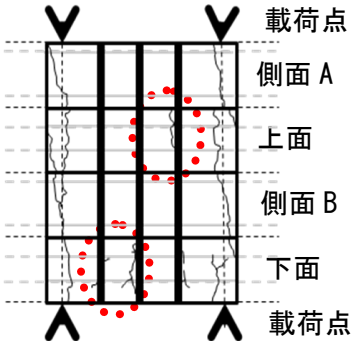
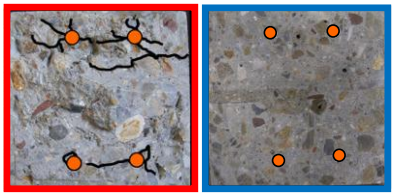


図-2.2　表面ひび割れ性状


(a) 切欠き断面　(b) 切欠きなし面
図-2.3　±3δy時内部ひび割れ性状

2.2　実験結果

図-2.2に±3δyまで正負交番載荷を行った供試体の等曲げ区間における表面ひび割れ性状スケッチを示す．図は供試体の展開図を示しており，上から順に側面A，上面，側面B，下面と対応している．中央付近の黒太線が切欠き部を表しており，曲げひび割れは切欠き内に発生していた．また，上面および下面において切欠き部付近に曲げひび割れと平行なひび割れが発生した(図-2.2中赤点線部)．このひび割れは側面では観察されず，載荷が進みひび割れ幅が大きく開いた位置の切欠きで発生していたため，曲げひび割れとは異なる，内部ひび割れの進展によるものではないかと考えられる．

(a) ±δy　　(b) ±2δy
図-2.4　内部ひび割れ性状

キーワード　内部ひび割れ，正負交番載荷，有限要素法，3次元ソリッド要素
連絡先　〒464-8603　愛知県名古屋市千種区不老町　工学部9号館526号室　ＴＥＬ052-789-4484

図-2.3(a),(b)に±3δyまで載荷を行った供試体の切欠き断面と切欠きを導入していない断面の内部ひび割れ性状の写真を示す．切欠きなし断面では内部ひび割れが観察されなかったが，切欠き断面では鉄筋近傍から側面へ向かって水平方向へ進展するひび割れや，鉄筋間をつなぐようなひび割れが観察された．このことから，曲げひび割れ発生断面内において，鉄筋近傍から水平方向へ進展する内部ひび割れの存在が示された．また，図-2.4(a)，(b)には±δy，±2δyまで正負交番載荷を行った供試体の切欠き断面内における内部ひび割れ性状の写真を示す．±δyではほとんど内部ひび割れが観察されないが，±2δyあたりから，内部ひび割れが発生していることがわかる．このことから，内部ひび割れの発生には曲げひび割れ発生部において鉄筋が降伏し，鉄筋の変形が局所化することが大きな要因となっていると考えられる．

3. 解析的検討

3.1 解析概要

解析は，図-2.1に示した供試体を3次元有限要素でモデル化して行った[2)]．解析モデルは供試体の対称性を考慮し，1/4モデルとした．本研究では，内部ひび割れの発生には鉄筋の3次元的な変形が大きく影響を与えていると考え，鉄筋を線要素ではなく3次元ソリッド要素でモデル化した．材料定数は実験値に準じ，鉄筋の弾性係数は2.0×10^5N/mm^2，ポアソン比は0.3とした．また，比較対象として鉄筋をトラス要素でモデル化した解析も行った．なお，解析は単調載荷で行った．

3.2 解析結果

図-3.1に鉄筋をソリッド要素ならびにトラス要素でモデル化した場合と，単調載荷実験から得られた荷重－変位関係を示す．図-3.2に3δy(12mm)時の軸方向供試体表面と供試体中央における鉛直方向ひずみ分布を示す．中央では切欠き部にひずみが集中しているのに対し，表面ではほとんどひずみの集中が見られないことから，鉄筋の3次元的な影響による，表面には見られない内部のひび割れが存在することが解析的に示された．

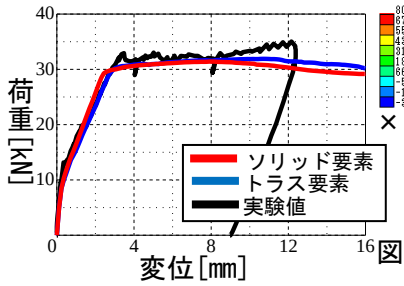


図-3.1 荷重－変位関係

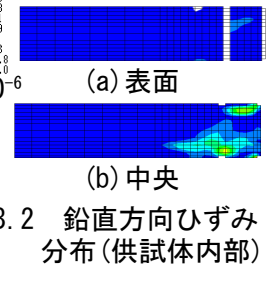


図-3.2 鉛直方向ひずみ分布(供試体内部)

図-3.3に鉄筋をソリッド要素でモデル化した場合の各変位段階における切欠き断面内鉛直方向ひずみ分布，および鉄筋をトラス要素でモデル化した場合の鉛直方向ひずみ分布を示す．鉄筋をソリッド要素でモデル化した場合ではひずみが集中している箇所が鉄筋近傍から水平方向に分布しているのに対し，トラス要素でモデル化した場合ではひずみの集中があまり見られない．また，ひずみは2δy程度から急激に増大していることがわかる．このことから，曲げひび割れ発生断面内において鉄筋が降伏し，鉄筋の3次元的な変形が局所化することが，内部ひび割れの発生および進展の要因となっていることがわかる．

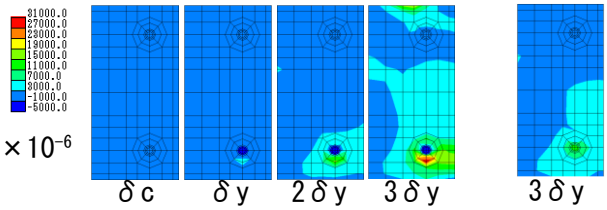


図-3.3 切欠き断面内における鉛直方向ひずみ分布

4. まとめ

正負交番繰返し載荷を行い，曲げひび割れ発生断面で切断し断面内のひび割れ性状を観察することにより，繰返し荷重を受ける RC 部材では，供試体内部において，鉄筋近傍から水平方向へ進展するひび割れが存在することが確認された．また，鉄筋まで 3 次元ソリッド要素でモデル化して有限要素解析を行うことにより，鉄筋の 3 次元的な変形が，内部ひび割れの発生に大きく影響を与えている可能性が示された．

参考文献 1) 水野さおり，中村光，國枝稔，上田尚史(2012)：繰り返し荷重を受ける RC 部材の内部ひび割れ進展に関する実験的研究，平成 24 年度 土木学会中部支部研究発表会，V-5

2)伊藤睦，Kongeo PHAMAVANH，中村光，田邉忠顕(2004)：格子等価連続体化法による鉄筋コンクリート部材の有限要素解析，土木学会論文集，No.767/V-64，pp.115-129