破砕剤充填パイプにより鉄筋腐食ひび割れを模擬した RC 部材の曲げ耐力

筑波大学　学生会員　○油野　登梧
筑波大学　学生会員　Syll Amadou Sakhir
筑波大学　正会員　金久保　利之

1．はじめに

建設から 40～50 年以上経過した鉄筋コンクリート（以下 RC）造構造物の経年劣化による性能低下が危惧されている．著者らは，経年劣化の一つである鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れが RC 部材の構造性能に及ぼす影響について検討を行っている[1]．過去の研究では，鉄筋腐食によるひび割れを模擬する方法として，暴露試験や電食実験が行われているが，著者らは，コンクリート中に埋設した中空パイプに静的破砕剤を充填し，腐食生成物による場合と同様な内圧によってひび割れを生じさせる新たな手法を試みている[2]．

本研究では，腐食ひび割れが部材の構造性能に及ぼす影響について検討することを目的とし，著者らの既往研究[3]で行われた，鉄筋腐食によるひび割れを模擬した部材の加力実験試験体の断面解析を行った．

2．曲げせん断実験概要

著者らは，腐食ひび割れを模擬した RC 試験体の逆対称繰返し曲げせん断載荷を行っている．試験体一覧を**表 1** に，試験体配筋および変位計取付け位置を**図 1** に示す．変動因子は破砕剤によって生じる，加力前の目標最大ひび割れ幅とし，曲げ降伏後に付着割裂破壊が起こるように計画した．スタブ間の相対変位とともに，試験体内法スパンを 4 分割した区間の局部変形を計測した．

加力前および部材角 1/50rad 時のひび割れ状況を**図 2** に示す．いずれの試験体も加力によって付着割裂ひび割れが発生し，特に加力前ひび割れ幅が 0.8mm を超えた区間では，新たな付着割裂ひび割れは発生せず，加力前ひび割れの拡幅がみられた．

各試験体のせん断力―部材角関係の包絡線の比較を**図 3** に示す．直線は破砕剤充填パイプの影響を無視した日本建築学会の終局曲げ強度略算式[4]による曲げ耐力計算値を示す．加力前ひび割れ幅が大きい Level.3 試験体では初期剛性および大変形時の耐力低下がみられたが，最大耐力は計算値を上回っている．

表 1　試験体一覧

試験体名	共通事項	目標最大ひび割れ幅
Level.1	コンクリート強度:23.8MPa	ω_{cr}＜0.3mm
Level.2	せん断スパン比: 1.5	0.3≦ω_{cr}＜0.5mm
Level.3	せん断補強筋比: 0.32%	0.5mm≦ω_{cr}

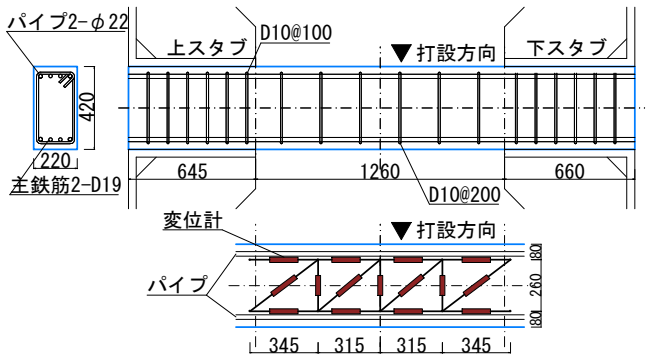

図 1　試験体配筋および変位計取付け図

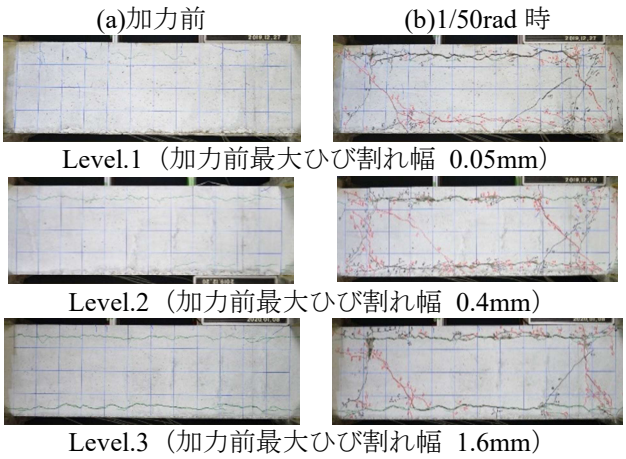

図 2　ひび割れ発生状況

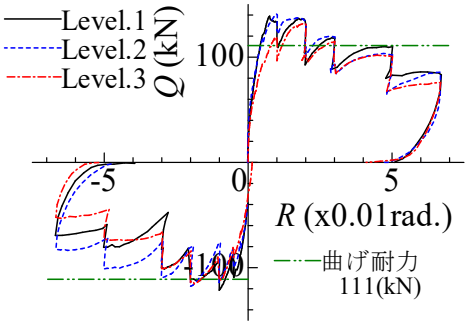

図 3　せん断力－部材角関係の包絡線の比較

キーワード　鉄筋腐食，ひび割れ幅，静的破砕剤，断面解析
連絡先　〒305-8573　茨城県つくば市天王台 1-1-1　筑波大学　TEL 029-853-5045

© Japan Society of Civil Engineers

4．断面解析

対象試験体について，平面保持仮定に基づくファイバーモデルによる断面解析を行った．なお，解析は一方向単調である．解析に用いた材料の構成則モデルを**図 4** に示す．コンクリートの応力－ひずみ関係には，式(1)に示す Popovics モデル [5]を使用した．

$$\frac{\sigma}{\sigma_c}=\frac{n(\varepsilon/\varepsilon_c)}{n-1+(\varepsilon/\varepsilon_c)^n} \quad (1)$$

σ_c:最大応力(MPa)，ε_c:最大応力時のひずみ，n:形状係数

鉄筋および引張側の破砕剤充填パイプの応力－ひずみ関係には，式(2)に示す完全弾塑性モデルを使用した．

$$\sigma = E\times\varepsilon \ \left(0\le\sigma\le\sigma_y\right) \quad (2)$$

E:弾性係数(MPa)，σ_y:降伏強度(MPa)

圧縮側の破砕剤充填パイプの応力－ひずみ関係には，既往の研究 [1]と同様に破砕剤充填パイプの圧縮試験結果より，最大応力までを式(3)に示す放物線，最大応力以降は式(4)に示す直線のモデルを使用した．

$$\sigma=\sigma_p\{2\,\varepsilon/\varepsilon_{max}-(\varepsilon/\varepsilon_{max})^2\} \quad (3)$$

$$\sigma=\sigma_p\left(1-\frac{\varepsilon-\varepsilon_{max}}{2m\varepsilon_{max}}\right) \quad (4)$$

σ_p:最大応力(MPa)，ε_{max}:最大応力時のひずみ

m:軟化勾配を表す係数

曲げモーメント－曲率関係の実験結果と解析の結果を**図 5** に示す．実験結果の曲げモーメントは危険断面位置のモーメント，曲率は**図 1** に示す試験体両端部の軸方向変形から算出した曲率の平均である．解析は，破砕剤充填パイプを考慮した場合と考慮しない場合の 2 通りを行った．解析結果より，破砕剤充填パイプを考慮した曲げモーメントの最大値は，考慮していない場合に比べて 1 割程度大きくなった．

正側の最大耐力実験値は破砕剤充填パイプを考慮した解析結果の方が対応しており，負側の実験値はパイプを考慮しない解析結果の方が適合している．Level.2, Level.3 試験体でこの傾向が強くみられた．負側の曲げ耐力実験値はひび割れによる主鉄筋の付着劣化が影響して低下し，曲げ耐力の解析値に至っていないと考えられる．

5．まとめ

最大耐力実験値は，破砕剤充填パイプを考慮した断面解析による曲げ耐力解析値と比較して，正側加力では上回り，負側では下回った．加力前ひび割れによる主鉄筋の付着劣化が影響していると考えられる．

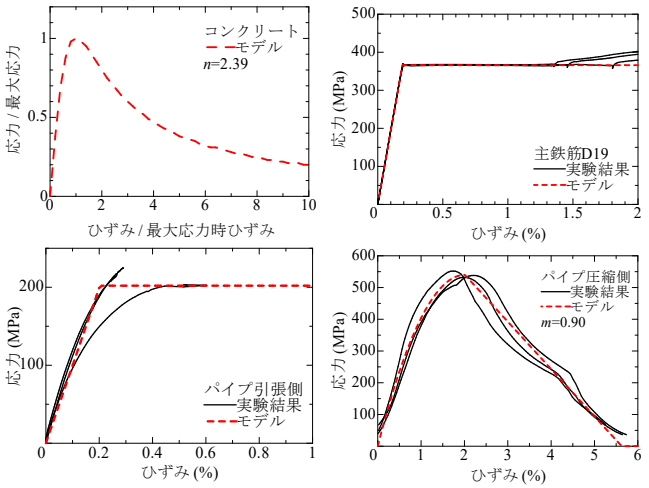

図 4　材料の構成則モデル

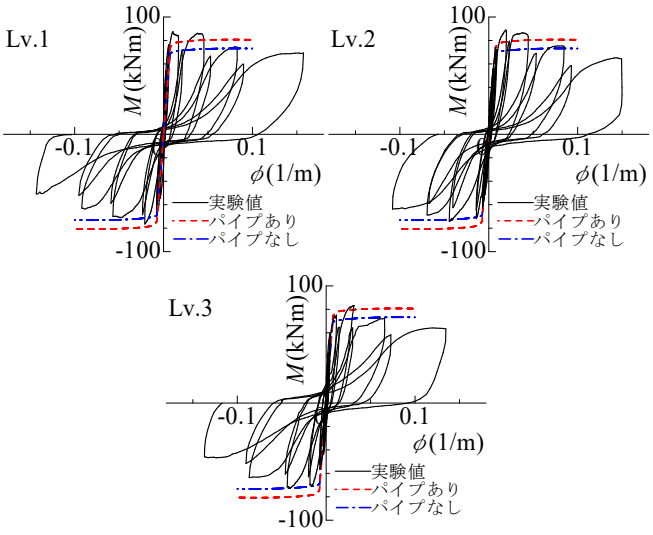

図 5　曲げモーメント－曲率関係

謝辞：本研究は JSPS 科研費挑戦的研究（萌芽）17K18917 によっている．

参考文献

1) 油野ほか：破砕剤充填パイプにより腐食ひび割れを模擬した RC 柱の中心圧縮性状，コンクリート工学会年次論文集，Vol.41，No.2，pp.109-114，2019.7

2) Syll ほか：Simulation of Concrete Cracks due to Bar Corrosion by Aluminum Pipe Filled with An Expansion Agent，Summaries of Technical Papers of Annual Meeting，Architectural Institute of Japan，Structure IV，pp.55-56，2018.9

3) 油野ほか：破砕剤充填パイプにより腐食ひび割れを模擬した RC 部材の構造性能，コンクリート工学年次論文集，2020.7

4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説，2010

5) Popovics, S：A Numerical Approach to the Complete Stress - Strain Curve of Concrete, Cement and Concrete Research, Vol.3, pp.583-599，1973

© Japan Society of Civil Engineers