

鉄筋の腐食を模擬した RC 部材の中心圧縮性状に関する研究
(その 1 実験概要と応力-歪曲線のモデル化)

筑波大学大学院 学生会員○藻川 哲平

筑波大学大学院 学生会員 墨野倉 駿

筑波大学大学院 学生会員 村井 凌

筑波大学システム情報系 正会員 金久保 利之

筑波大学システム情報系 正会員 八十島 章

鉄道総合技術研究所 正会員 大屋戸 理明

1. はじめに

著者らは、鉄筋の腐食によって発生したコンクリートのひび割れと腐食鉄筋の座屈が、RC 部材の圧縮耐荷機構に及ぼす影響を検討してきている¹⁾。本研究では、鉄筋の腐食によって発生したコンクリートのひび割れに着目し、スリットによりひび割れを模擬した RC 柱部材の中心圧縮試験を行う。

2. 実験概要

試験体一覧を表 1 に、試験体概要図を図 1 に示す。試験体は全 8 体で、断面 150mm×235mm、高さ 700mm の矩形柱であり、試験体両端部 150mm 区間には帯鉄筋 (D6@30) を配し、中央部 400mm 区間を試験区間とした。過去に実施した梁試験体¹⁾の等曲げ区間を抽出し模擬したものであり、主鉄筋には D10 異形鉄筋を 4 本使用した。変動因子はスリットの方向、配置および鉄筋の腐食による断面欠損を模した主鉄筋の切削の有無である。試験体 N は比較のための基準試験体である。鉄筋の腐食によるコンクリートのひび割れは、アクリルシート ($t=0.2\text{mm}$) をコンクリート打設前に主鉄筋表面に接着し、かぶりコンクリートにスリットを入れることにより模擬した。スリットを断面長辺方向または短辺方向に連続して設置した試験体 (Sc, Uc)、断続して設置した試験体 (Si) および各方向に千鳥状に設置した試験体 (US) を作成した。試験体記号末尾の(R)は鉄筋切削を示し、腐食による局所的な断面欠損を想定して、公称断面積と等価な断面積を有する楕円に対して切削率 30%となるように切削した。切削位置は試験体中央から上下 100mm の位置である。使用したコンクリートの圧縮強度は 14.4MPa、鉄筋の降伏強度は 385MPa であった。加力には 2MN ユニバーサル試験機を用いて、一方向単調圧縮载荷を行った。計測項目は、軸圧縮力および軸方向変形量である。

3. 実験結果

キーワード 鉄筋腐食、ひび割れ、中心圧縮、Popovics モデル

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

表 1 中心圧縮試験体一覧

試験体 No.	記号	スリット 方向	スリット 長さ(mm)	鉄筋切削率 (%)
1	N	-	0	-
2	Sc	長辺	400	-
3	Uc	短辺	400	-
4	Si	長辺	200	-
5	US	両辺	400	-
6	N(R)	-	0	30
7	Sc(R)	長辺	400	30
8	Uc(R)	短辺	400	30

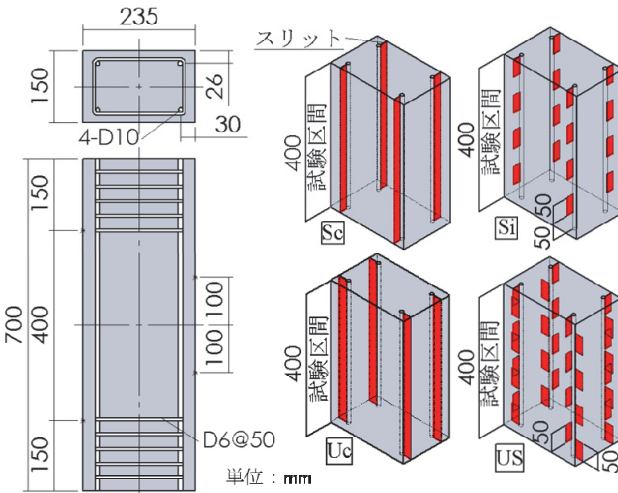


図 1 試験体概要図

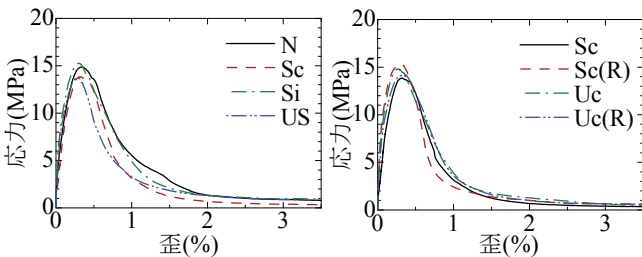


図 2 応力-歪曲線

全ての試験体においてかぶりコンクリートにひび割れが発生した後に最大荷重を迎えた。その後、かぶりコンクリートの剥離および剥落が起こり、荷重が急激に低下し、最終破壊に至った。かぶりコンクリートの

剥落位置において主鉄筋の座屈が見られた。各試験体の応力-歪曲線を図 2 に示す。最大応力は各試験体で大きな差異は見られず、変動因子による明瞭な傾向も見られないことから、スリットが最大応力に及ぼす影響は少ないと考えられる。鉄筋切削について、本実験の試験体では鉄筋の座屈長が試験区間 (400mm) であるとする弾性座屈を生じる長さであるため、切削の影響が全体挙動に現れなかったと考えられる。スリットを設置した試験体の応力-歪曲線を基準試験体 N と比較すると、スリットの存在が応力-歪曲線の最大応力以降の挙動に影響を及ぼし、軟化勾配が大きくなっている傾向が見られた。

4. 応力-歪曲線のモデル化

座屈する鉄筋の応力-歪曲線は既往の研究²⁾と同一の方法で圧縮鉄筋 D10 の座屈試験を行ってモデル化した。境界条件は両端固定、鉄筋の試験長は 400mm である。コンクリートのモデルには Popovics モデル³⁾を用い、スリットの差異による軟化勾配の違いを表現する。式(1)中の係数 n は、応力-歪曲線の形状を決定する係数であり、鉄筋の腐食によるひび割れを模擬したスリットは係数 n の値に影響していることが考えられる。各試験体の応力-歪曲線を用いて、最小二乗法による近似により係数 n を算出した。スリットが断続的である場合、応力-歪曲線の軟化勾配が緩やかであったため、スリット長さ (腐食ひび割れ長さ) の和 l_{cr} を試験区間長 L で除した値 (以下、腐食ひび割れ長さ比) を用いて評価する。腐食ひび割れ長さ比と係数 n の関係を図 3 に示す。最小二乗法による直線近似を行い、式 (2) を得た。平面保持の仮定に基づき、座屈鉄筋の応力-歪曲線と、提案したコンクリートの応力-歪曲線を足し合わせ、全荷重を試験体断面積で除した応力-歪曲線のモデルを算出した。なお、最大応力時の歪 ε_c には、各試験体の平均値 ($=0.32\%$) を適用することとする。各試験体の最大応力で基準化した応力-歪曲線の実験結果とモデルの比較を図 4 に示す。応力-歪曲線のモデルは、最大応力以降の負勾配領域を含めて、十分な精度で実験値を表している。

5. まとめ

コンクリートのひび割れを模擬したスリットが、応力-歪曲線の最大応力以降の挙動に影響を及ぼすことを確認した。また、腐食ひび割れ長さと試験区間長の比である腐食ひび割れ長さ比を用いて応力-歪曲線の

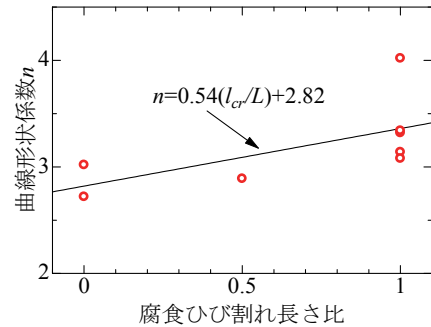


図 3 腐食ひび割れ長さ比と係数 n の関係

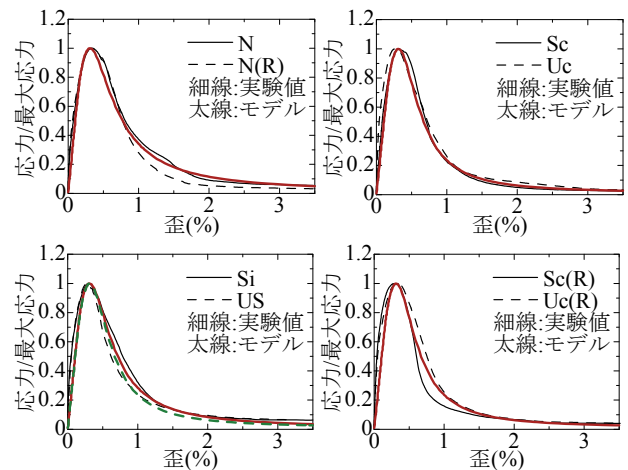


図 4 実験値とモデルの比較

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

ここで σ_c : 最大応力 (MPa), ε_c : 最大応力時の歪

n : 曲線形状係数

$$n = 0.54(l_{cr}/L) + 2.82 \quad (2)$$

ここで l_{cr} : 腐食ひび割れ長さ (mm), L : 試験区間長 (mm)

形状を決定し、鉄筋の腐食によるひび割れを有するコンクリートの応力-歪曲線のモデル化を行った。

謝辞

本研究は科学研究費助成事業 (基盤研究(C)課題番号 24560593) による。

参考文献

- 1) 鈴木ほか: 圧縮鉄筋が腐食した RC 梁部材の曲げ挙動, JCI, 鉄筋腐食したコンクリート構造物の構造・耐久性能評価の体系化シンポジウム論文集, pp.259-264, 2013.11
- 2) 金久保ほか: 切削模擬した腐食鉄筋の座屈挙動と RC の中心圧縮性状, コンクリート学会年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1258-1263, 2014.7
- 3) S.Popovics: A Numerical Approach to the Complete Stress - Strain Curve of Concrete, Cement and Concrete Research, Vol.3, pp.583-599, 1973