

圧縮鉄筋の腐食によるコンクリートひび割れを模擬した RC 梁部材の構造性能

筑波大学
筑波大学
鉄道総合技術研究所

学生会員
学生会員
正会員

○村井 凌
藻川 哲平
大屋戸理明

筑波大学
筑波大学
筑波大学

学生会員
正会員
正会員

墨野倉 駿
金久保利之
八十島 章

1. はじめに

腐食による鉄筋の損傷は、通常、鉄筋の引張性能に対して考慮されるが、既往の研究¹⁾では、圧縮鉄筋の腐食および圧縮側コンクリートの損傷により、鉄筋コンクリート (RC) 梁部材が脆性的に破壊することが報告されている。筆者らは鉄筋の腐食によって圧縮耐荷機構が崩壊する現象の解明に取り組んでいる。

本研究では圧縮側コンクリートおよび圧縮鉄筋が劣化した RC 梁部材を想定し、腐食による鉄筋断面積減少およびコンクリートのひび割れを模擬した試験体に対して実験を行い、圧縮性能の低下が RC 梁部材の構造性能に及ぼす影響を把握することを目的とする。

2. 実験概要

試験体形状を図 1 に、使用材料の力学的性質を表 1 および表 2 に示す。試験体の断面は 150mm×235mm で、等曲げスパン 400mm の 4 点曲げ加力を行った。低強度のコンクリートおよび高強度の引張鉄筋を用い、圧縮側コンクリートの圧壊が先行するように計画している。試験体一覧を表 3 に示す。変動因子は、腐食を模擬した圧縮鉄筋の切削の有無と、鉄筋腐食によるコンクリートかぶり部分のひび割れを模擬したスリットの有無および設置位置 (図 2) である。スリットはアクリルシートで作製し、等曲げ区間に設けた。鉄筋の切削は断面積で 30% を切削し (腐食率 30%)、試験体中央から左右 100mm の位置の 2 ヶ所に設けた。

3. 実験結果

最終破壊状況を図 3 に示す。B-N および B-Si 試験体ではせん断スパンで圧壊が生じ、他の試験体では等曲げ区間で圧壊が生じた。すべての試験体において圧縮鉄筋が断面外側に座屈していた。

各試験体の荷重－載荷点たわみ曲線を図 4 に示す。等曲げ区間で破壊した試験体では最大荷重後に大きく耐力が低下し、靱性の乏しい挙動を示した。コンクリート損傷の種類、鉄筋切削の有無によって曲線に違いがみられる。

表 1 コンクリートの力学的性能

圧縮強度 (MPa)	圧縮強度時歪 (%)	弾性係数 (GPa)	割裂強度 (MPa)
12.8	0.21	20.6	1.46

表 2 鉄筋の力学的性能

種別	降伏強度 (MPa)	降伏歪 (%)	弾性係数 (GPa)	備考
D10	385	0.21	185	圧縮鉄筋
D16	597	0.29	201	引張鉄筋

表 3 試験体一覧

名称	共通事項	コンクリートの損傷模擬	鉄筋の損傷模擬
B-N	断面(mm)	健全	健全
B-N(R)	235×150	—	切削 30%
B-Sc	引張鉄筋	側面ひび割れ(連続)	—
B-Sc(R)	3-D16	側面ひび割れ(連続)	切削 30%
B-Si	圧縮鉄筋	側面ひび割れ(断続)	—
B-US	2-D10	上・側面ひび割れ	—

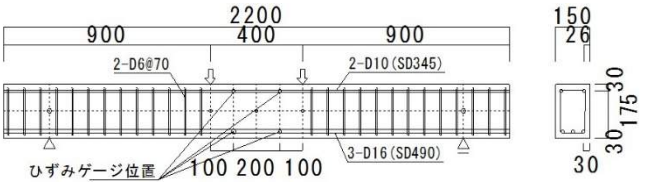


図 1 試験体形状

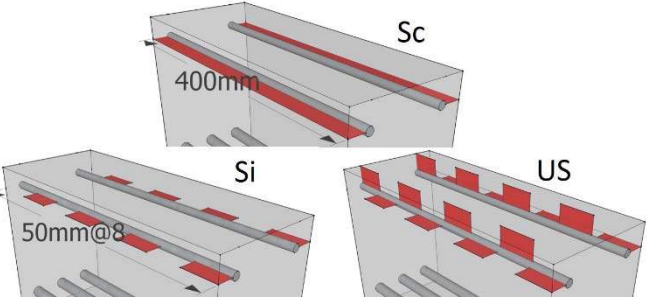


図 2 模擬ひび割れ

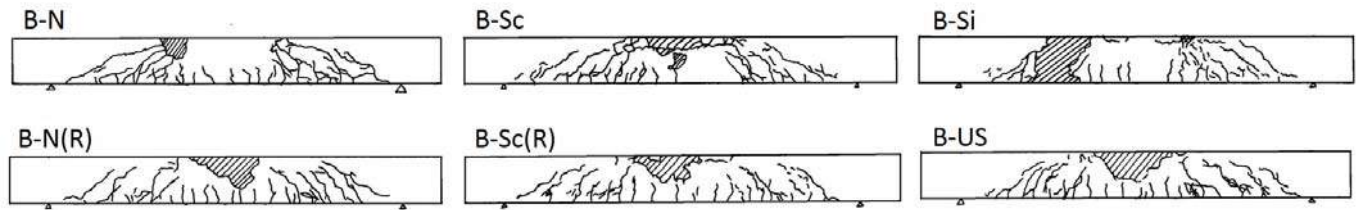


図 3 最終破壊状況

キーワード 鉄筋腐食、ひび割れ、圧縮破壊、座屈、応力－歪関係、断面解析

連絡先 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1 丁目 1-1 筑波大学 TEL029-853-2024

4. 材料構成則のモデル化と断面解析

4.1 鉄筋の座屈試験とモデル化

既往の研究²⁾と同一の方法で圧縮鉄筋 D10 の座屈試験を行った。境界条件は両端固定、鉄筋の試験長は梁試験体の等曲げ区間と同じ 400mm である。

実験で得られた応力-歪曲線を図 5 左図に示す。鉄筋の短径(節の腹の部分の径)を円とした有効細長比は 200 程度で、弾性座屈の範囲である。最大応力以降の負勾配を、著者らの研究³⁾と同様に(1)式でモデル化する。なお、実験係数 β は 0.568 とした。

$$\sigma_s = \sigma_{smax} \times \left(\frac{\varepsilon_{smax}}{\varepsilon_s} \right)^{\beta \times (1 - \frac{\gamma}{100})^{0.5}} \quad (1)$$

ここで、 σ_{smax} : 鉄筋の最大応力、 ε_{smax} : 最大応力時の歪、 β : 実験係数、 γ : 断面減少率である。

4.2 コンクリートのモデル化

コンクリートの応力-歪モデルには popovics 式にひび割れによる影響係数 α を導入した式(2)を用いた。ひび割れによる影響係数の変動による応力-歪モデルの変化を図 5 右図に示す。

$$\sigma_c = \sigma_{cmax} \times \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cmax}} \times \frac{n}{n-1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cmax}} \right)^n} \quad (2)$$

$$n = \frac{0.0582}{e^{-\alpha}} \times \sigma_{cmax} + 1$$

$$\alpha = \frac{L_{cr}}{L}$$

ここで、 σ_{cmax} : コンクリートの圧縮強度、 ε_{cmax} : 圧縮強度時の歪、 α : ひび割れによる影響係数、 L : 対象区間長(等曲げ区間長)、 L_{cr} : 対象区間におけるひび割れ長さの合計である。本試験体の場合、Sc および US 試験体では $\alpha=1.0$ 、Si 試験体では $\alpha=0.5$ である。

4.3 実験結果と解析結果の比較

ファイバーモデルによる断面解析を行った。解析結果である曲率と実験結果のたわみを比較するために、それぞれを引張鉄筋の歪が 2000 μ に達した時の曲率およびたわみで基準化した。各試験体のモーメント-基準化たわみ曲線を図 6 に示す。B-N(R)と B-Si 試験体を除いた試験体の解析結果は、実験結果の負勾配をほぼ表現することができた。B-N(R)試験体では切削鉄筋の座屈によるかぶりコンクリートへの影響により、B-Si 試験体ではせん断スパンでの圧壊により、解析結果が実験結果と合致しないと思われる。

5. まとめ

- (1) 圧縮側コンクリートのひび割れの種類、圧縮鉄筋の切削の有無によって RC 梁の破壊挙動が異なる。
- (2) コンクリートのひび割れの度合いおよび鉄筋の座屈を考慮した断面解析より、破壊挙動をある程度再現できる。

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。

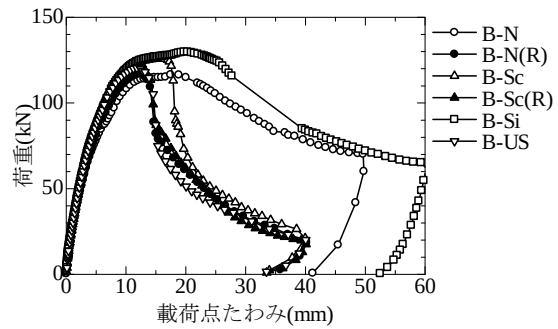


図4 荷重-載荷点たわみ曲線

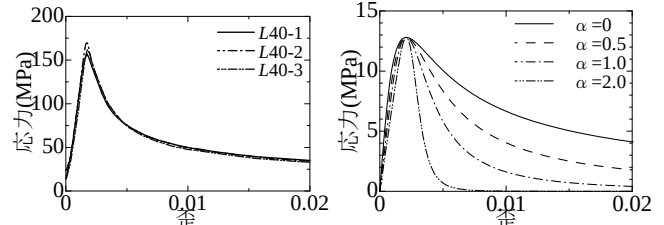


図5 応力-歪曲線(左:鉄筋, 右:コンクリート)

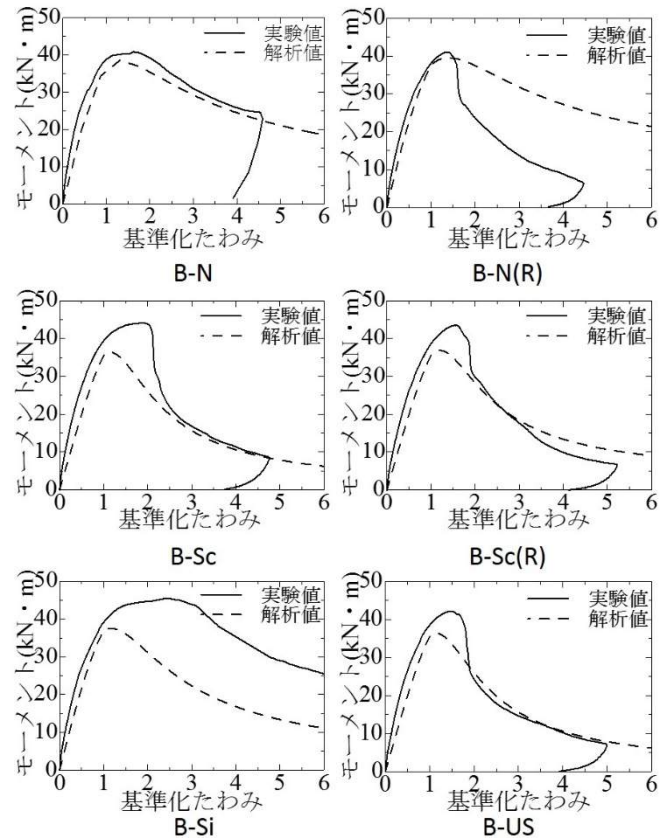


図6 モーメント-基準化たわみ曲線

参考文献

- 1) 大屋戸理明, 金久保利之, 八十島 章: 26 年長期暴露した鉄筋コンクリート梁の劣化性状と曲げ性能, 土木学会第 68 回年次学術講演会, V-206, 2013.9
- 2) 金久保利之, 八十島章, 大屋戸理明: 切削模擬した腐食鉄筋の座屈挙動と RC の中心圧縮性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1258~1263, 2014.7
- 3) 墨野倉駿, 金久保利之, 八十島章, 大屋戸 理明: 腐食を模擬した鉄筋の座屈性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, 2015