

せん断補強されていない鉄筋コンクリートはりのせん断疲労耐荷挙動に及ぼす
軸方向圧縮鉄筋に沿うひび割れの影響

東京工業大学大学院 学生会員 ○山田 雄太
東京工業大学大学院 正会員 千々和 伸浩
東京工業大学大学院 正会員 岩波 光保

1. 目的

鉄筋コンクリート（RC）はりに発生した軸方向鉄筋に沿う鉄筋腐食ひび割れの中で、圧縮鉄筋に沿うひび割れがせん断疲労耐荷挙動に及ぼす影響は明らかにされていない。本稿では、軸方向圧縮鉄筋に沿うひび割れが、せん断補強されていない RC はりのせん断疲労挙動に及ぼす影響を確認するため行った、三次元有限要素解析の結果及びその考察について述べる。

2. 解析概要

2.1 解析対象

図-1 に解析対象諸元を示す。局所的なひび割れがはりの力学的挙動に及ぼす影響を明らかにするため、圧縮鉄筋に沿うひび割れを有する $a/d=2.9$ の RC はりを解析対象に選んだ。せん断補強筋の影響を除くため、せん断補強筋は配していない。はり内部の応力及びひずみ分布の算出には、前川らにより開発された三次元有限要素解析システム COM3¹⁾を用いた。解析モデルには、著者らが行った実験結果²⁾を基に、妥当性を確認したモデルを用いた。要素分割図を図-2 に示す。コンクリートの圧縮強度は、35.3MPa とした。ひび割れは、スパン中央から対称に位置するものを対象とした。鉄筋腐食ひび割れの解析的再現のため、ひび割れ導入位置には要素節点に Mohr-Coulomb の線形摩擦則を適用する接合要素を用いた。要素特性は、軸力を作用させた試験面を滑動させる要素実験²⁾に基づき定めた。要素のせん断伝達特性は、1.28mm のひび割れ開口幅に相当するひび割れ面のせん断伝達特性と等価である。

2.2 解析ケース

圧縮鉄筋位置にひび割れを有するはり（CC）に対して、損傷比 $\xi=1.0, 4.0, 7.7$ を解析変数に選んだ。図-3 に損傷比の定義を示す。各損傷比が示すひび割れ先端位置を図-1 に示した。ひび割れ先端位置は、載荷点と

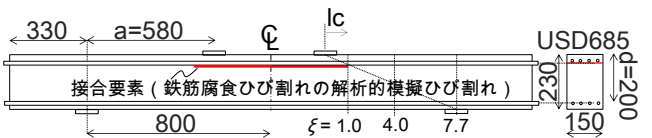


図-1 解析対象諸元 (単位：mm)

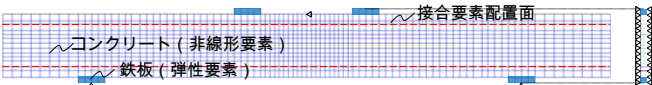


図-2 要素分割図

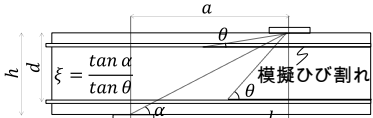


図-3 損傷比の定義

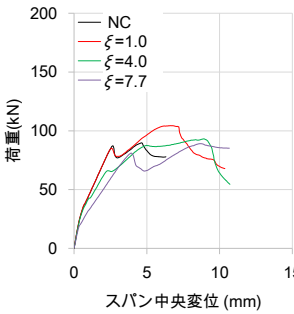


図-4 荷重変位図

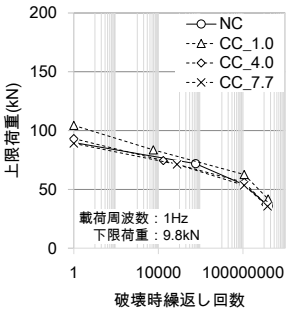


図-5 S-N 曲線

表-1 疲労耐力減少率

ξ	疲労耐力減少率(kN/回 $\times 10^6$)
1.0	0.040
4.0	0.047
7.7	0.037
NC	0.034

支点を結ぶ線上 ($\xi=1.0$)、スパン中央 ($\xi=4.0$)、支点直上 ($\xi=7.7$) とした。CC シリーズに加え、健全なはり (NC) に対し上限荷重比 S を 100, 80, 60, 40% として疲労解析を行った。下限荷重は 9.8kN、載荷周波数は 1Hz とした。疲労解析において、静的載荷時におけるピーク荷重時変位に達した時を破壊と定めた。

キーワード RC はり、鉄筋腐食ひび割れ、せん断疲労、有限要素解析

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 緑が丘 1 号館 512 TEL 03-5734-3194

3. 大局的挙動

図-4 に解析結果から得られた静的載荷時の荷重変位図を示す。 $\xi=1.0$ では、NC と比較して、剛性低下を伴わず静的耐力が約 16%増加した。図-5 に S-N 曲線を示す。表-1 に示す上限荷重比 100%から 40%までの疲労耐力の減少率は、 $\xi=4.0$ において若干高い値を示したが、各 ξ における減少率の差は無視できる。静的耐力の向上と、疲労耐力の減少率に変化が見られないことから、 $\xi=1.0$ では、健全なはり及びその他の損傷比を有するはりと比較して、高い疲労耐性を有していると言える。

4. 耐荷機構

図-6 に静的載荷時における破壊時の最小主応力分布を示す。支点と載荷点を結ぶ最小主応力分布の稜線を、荷重伝達経路と定義すると、ひび割れ先端の位置を変数に選ぶ時、最大の耐力を発揮する荷重伝達経路が存在すると思われる。いずれの損傷比のはりにおいても、ひび割れ面上の作用せん断応力が健全な場合と比較して低減することで、荷重伝達経路がひび割れ先端を迂回するように形成される。 $\xi=1.0$ の場合、荷重伝達経路の迂回を最小限に抑える位置にひび割れ先端が存在することで、荷重伝達経路が最大の耐力を発揮する荷重伝達経路に近接すると思われる。従って、 $\xi=1.0$ では、静的載荷時、他の損傷比を有するはりと比較して高い耐力を発揮したと考えられる。

図-7 に上限荷重比 80%及び 40%の破壊時最大主ひずみ分布を示す。 $\xi=1.0$ では、上限荷重比 80%から 60%にかけて、破壊形態が、定着部破壊から、斜め引張破壊に変化した。 $\xi=1.0$ では、アーチ的な耐荷機構を示すことで、定着部に作用する軸方向水平力が大きな値で推移し、破壊形態が変化したと考えられる。 $\xi=4.0$ では、いずれの上限荷重比においても、ひび割れ先端を起点とした斜め引張り破壊を呈した。 $\xi=7.7$ では、いずれの上限荷重比においても、定着部破壊を呈した。 $\xi=7.7$ では、支点直上のひび割れ先端位置から負曲げにより、鉛直下向きに進展するひび割れが、定着部を分かつことで、定着部破壊を呈したと考えられる。

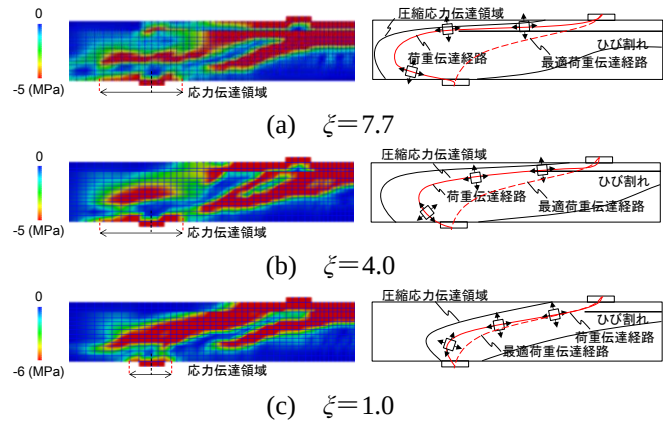


図-6 破壊時最小主応力分布図（下限値正規化）

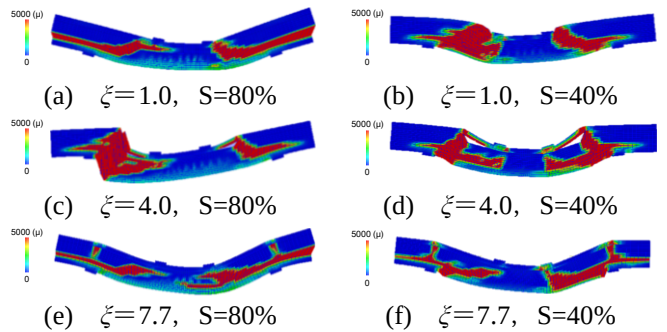


図-7 破壊時最大主ひずみ分布図（変形倍率 20 倍）

5. まとめ

本研究により得られた主な結果を以下に示す。

- 1) 圧縮鉄筋に沿うひび割れを有するはりでは、静的載荷時、健全なはりと比較して、剛性低下を伴うことなく、耐力の増加を期待できるひび割れ長が存在する。
- 2) 圧縮鉄筋に沿うひび割れの中で、健全なはりと比較して高い耐疲労性を発現するひび割れ長が存在する。

参考文献

- 1) K. Maekawa, A. Pimanmas, H. Okamura : Nonlinear mechanics of reinforced concrete, Spon, London, 2003
- 2) Y. Yamada, N. Chijiwa, M. Iwanami: Shear fatigue mechanism of reinforced concrete beams with cracks due to rebar corrosion, Proceedings of the Fourth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, Tokyo, Japan, 2014, 11