-539

せん断補強筋を有する RC はりの腐食ひび割れ進展挙動に関する数値解析的検討

香川大学大学院 学生会員 〇大熊 千紗都 正会員 岡崎慎一郎 フェロー 吉田秀典 茨城大学 正会員 車谷 麻緒

1. 目的

海洋沿岸部に位置する鉄筋コンクリート構造物は塩害による鉄筋腐食の影響を受ける.これらの維持管理を 実施する上で,残存性能の評価は重要である.構造物の構造性能および耐久性能は鉄筋の腐食の有無と腐食減 少量に強く依存している.劣化診断に必要な点検は,目視によるのが標準であるため,コンクリート表面に呈 した腐食ひび割れの開口幅でひび割れ部直下の鉄筋の腐食量の推定が可能であれば,高度な維持管理に資する ものと考えられる.本研究は,近年開発された破壊力学に基づく損傷モデルを採用することで,コンクリート の微細なひび割れ進展を再現できる有限要素スキームにより,異形鉄筋の腐食膨張によるコンクリートのひび 割れ進展シミュレーションを行い,鉄筋の腐食膨張がひび割れ幅に与える影響を検討するものである.

2. 基礎方程式

2.1 損傷モデル

本研究では、破壊力学に基づく有限要素モデルを利用する.式(1)に示す、コンクリートの塑性状態を考慮できる応力ひずみ関係を、式(2)の Damage Index により表現した.ここに、 σ は Cauchy の応力テンソル、 ϵ は弾性係数テンソル、 ϵ は微小ひずみテンソル、 κ は損傷後の等価ひずみ、 κ_0 は損傷開始時の等価ひずみ、Eはヤング係数、 G_f は破壊エネルギー、 h_e は要素長さである.損傷の程度(Damage Index)はコンクリート中のひび割れ分布と近似的に等価であるとみなせる¹⁾.

$$\boldsymbol{\sigma} = (1 - D(\kappa))\boldsymbol{c} : \boldsymbol{\varepsilon}$$
(1)
$$D(\kappa) = 1 - \frac{\kappa_0}{\kappa} \exp\left(-\frac{E\kappa_0 h_e}{E_0} (\kappa - \kappa_0)\right)$$
(2)

2. 2 RC はりのモデル

本研究では、既往の研究 2に示された鉄筋コンクリート試験 体を参考にした. 寸法を図-1に示す. なお、せん断補強筋は 丸鋼鉄筋とした. 直方体のコンクリートモデルから D16 、D6 相当の 3 次元の異形鉄筋モデルとせん断補強筋を差し引き、差 し引かれたコンクリートの空洞に形成された D16 の主鉄筋モ デル面要素すべてに法線方向に変位を与え、その変位量を漸増 させることで、鉄筋の腐食膨張を模擬的に再現した. 1step あ たり 0.001mm 相当の変位を与え、200step まで載荷した. また、 要素長さの平均は 5 mm とした. 梁の底面に生じるひび割れの 幅を検討対象とし、ひび割れ幅 w_c は、要素の等価ひずみ κ か ら損傷開始時の等価ひずみ κ_0 を引いたものに要素長さ h_e を 乗じたものと定義した.

 $w_c = (\kappa - \kappa_0) h_e \tag{3}$

キーワード 有限要素法,損傷モデル,ひび割れ幅, 連絡先 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20 TEL 087-864-2000

-539

3. 解析結果

3.1 ひび割れ進展の様子

step50,200の鉄筋膨張にひび割れ進展の様子をそれぞれ図-2,図-3に示す.損傷変数を $0.5 \le D \le 1$ の範囲を濃淡で示し,試験体中央のxy方向と主鉄筋中央のyz方向の断面のコンクリート損傷の様子を示す.図-2,図-3を見ると step が大きくなるにつれて鉄筋から損傷が広がっている様子が見られる,特に,節周辺における Damage Index が高くなっている.本解析で与えた変位を鉄筋の腐食に式(4)から換算する.*W*,は鉄筋の腐食量(mg/cm²), ρ_s は鉄筋の密度(=7.85×10³ mg/cm³),*U* は鉄筋の強制変位量(cm),*n* は腐食生成物の体積膨張率で 2.0 と 1.5 とする³.





図-2 鉄筋膨張によるひび割れ進展の様子(step50) 図-3 鉄筋膨張によるひび割れ進展の様子(step200)

3. 2 鉄筋腐食量

主鉄筋直下の底面の要素におけるひび割れ幅と腐食量の関係 に、文献 1)における実験結果(SN2-1~SN2-4)を追記したものを図 -4 に示す. 試験体は温水を使用し高温多湿と乾燥の繰返しによ り腐食を促進させ、実験結果の SN2-3 と解析結果の n=2.0、実験 結果の SN2-1 と解析結果 n=1.5 でそれぞれ似た傾向を得ること ができた. n=2.0、1.5 はそれぞれ四酸化三鉄(FeO)と酸化鉄 (II)(Fe₃O₄)の体積膨張率に近い値を示す. 今後はスターラップに ついての検討を行い、実験値と解析値を一致させる.



4. まとめ

本研究では鉄筋に強制変位を与え、鉄筋の腐食膨張を再現し、コンクリートへの損傷の様子をシミュレーションした.その結果、特に異形鉄筋の節から損傷が広がっている様子を確認した.既往の実験との比較では概 ね実験結果と解析結果が一致することを確認した.今後は正確な腐食生成物の体積膨張率やモデル作製を再検 し、実験と解析の比較を検討する.

参考文献

- 1) 車谷麻緒,根本優輝,相馬悠人,寺田賢二郎:コンクリートの破壊力学を考慮した鉄筋コンクリートの3次元 破壊シミュレーションとその性能評価,日本計算工学会論文集,2016,pp.20160004.
- 岡崎慎一郎, 釜本拓哉, 松島学: 種々の乾湿条件下にある RC はりの鉄筋腐食量がひび割れの開口幅に与える 影響, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.72,No.2,I_610-I_615,2016
- Youping Liu, Richard E. Weyers: Modeling the Time-to-Corrosion Cracking in Chloride Contaminated Reinforced Concrete Structures, ACI Material Journal, PP.675-681, Nov.-Dec. 1998 International, Vol.8, No.12, pp.28-31, Dec.1986