

DEF 劣化した鉄筋コンクリートの膨張・鉄筋引抜き過程の付着性状

名古屋大学 学生会員 ○藤島 実里

名古屋大学大学院 正会員 三浦 泰人, 中村 光

国立研究開発法人港湾空港技術研究所 正会員 川端 雄一郎

1. はじめに

コンクリートの内部膨張劣化の一つである遅延エトリングイト生成(DEF)が発生すると、膨張ひび割れが生じる。DEF 膨張はコンクリートの力学特性を著しく低下させるが、DEF 膨張による鉄筋付着性状の変化に関しては実験データが得られていないのが現状である。鉄筋腐食による付着性状の変化は多くの研究者によって実験的に評価されており、2つの付着性状低下の要因が提案されている¹⁾。すなわち、腐食ひび割れの発生によるコンクリートの抵抗力の低下と、腐食による鉄筋とコンクリート界面の状態の変化に分けられる。DEF 膨張では、コンクリートの力学特性が大幅に低下するため引抜き時のコンクリートの抵抗力が低下することや、ひび割れによる骨材界面の付着切れと同様の現象が鉄筋界面でも生じる可能性がある。しかしながら、鉄筋腐食とは劣化プロセスが異なるため、上記の付着性状の低下要因が DEF に適用できるかは不明である。そこで、本研究では DEF 膨張による鉄筋付着性状の変化を評価するために、鉄筋埋込み長さの大きい試験体による片引き試験を実施した。

2. 実験概要

本実験では、図-1 に示す鉄筋コンクリート試験体を DEF 膨張させた後、付着試験を行った。鉄筋には6箇所の両面にひずみゲージを貼付し、膨張中および付着試験中のひずみを測定した。所定の膨張量のときに、それぞれ3体の試験体を用いて付着試験を行った。また、コンクリートの膨張量変化や圧縮強

度を比較するために、円柱試験体を用意した。

試験体の作製には、早強ポルトランドセメントを使用し、水セメント比は50%とした。DEF 膨張を促進するために、セメント量のうち2.0%を K_2SO_4 に置き換えた。試験体の打設から6時間後、90°Cの高温蒸気養生を12時間行った。試験体の脱型後、封緘養生を行い、養生28日ですべての試験体を20°Cの水に浸漬し、膨張試験を開始した。膨張試験中には、試験体の両側面に貼付したチップを用いて、コンクリートの鉄筋軸方向と横方向の膨張量を定期的に測定した。膨張量は、チップ間の長さ変化を元の長さで割ることで求めた。

付着試験では、鉄筋の片引き試験を行った。センターホールジャッキを用いて載荷を行い、ロードセルで荷重を測定した。また、鉄筋の下端に変位計を取り付け、鉄筋の抜け出し量を測定した。

3. 実験結果

3.1 DEF 膨張過程のコンクリートと鉄筋のひずみ

図-2 にコンクリートの膨張量変化を示す。円柱試験体の膨張は30日程度から急激に増加し、120日以降で一定となり、最終的に1.7%に達した。付着試験体では、横方向の膨張量変化は円柱試験体と同様であるが、軸方向の膨張量は小さく、最終的に1.0%にとどまった。これは、鉄筋がコンクリートの膨張を軸方向に拘束した影響だと考えられる。そのため、本論では鉄筋の拘束を受けにくい横方向の膨張量を用いて実験結果を整理した。なお、横方向の膨張量が0.0, 0.15, 0.53, 1.2, 1.6%のときに実験を行い、

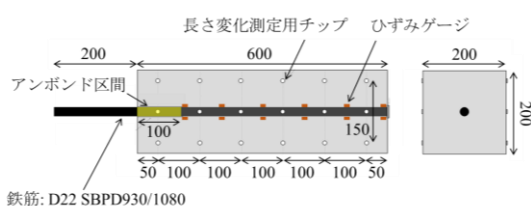


図-1 付着試験体概要

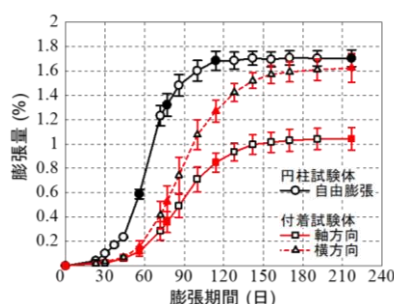


図-2 膨張量変化

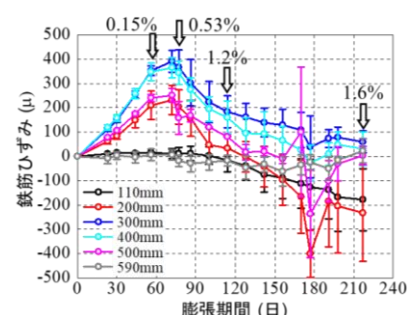


図-3 鉄筋ひずみ変化

このときの圧縮強度はそれぞれ 28.6, 13.4, 5.8, 4.2, 4.6 MPa であった。

図-3 に膨張試験中の鉄筋のひずみ変化を、上端からの距離ごとに示す。鉄筋のひずみは 70 日程度まで増加した後、減少した。各位置のひずみの大小関係に着目すると、鉄筋中央部で最大、端部で最小の軸方向に山なりの傾向が確認できる。これは、コンクリートの軸方向の膨張量が小さいことを踏まえると、鉄筋とコンクリートの界面に付着があることで、鉄筋がコンクリートの膨張を拘束していることを示している。さらに、70 日以降ではひずみが減少したことから、鉄筋とコンクリートの界面にひび割れが生じたことで、付着切れが生じた可能性がある。

3.2 DEF 膨張による鉄筋付着性状の変化

図-4 に付着試験によって得られた荷重すべり関係を示す。すべり量は、各位置の鉄筋ひずみの値を近傍の区間で鉄筋軸方向に積分し、鉄筋下端の自由端変位を加えたものである。荷重の増加とともに鉄筋のすべり量は増加し、その勾配は徐々に緩やかになりながら最大荷重に達した。最大荷重は膨張量

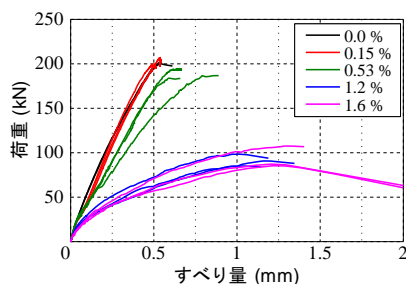


図-4 荷重すべり関係

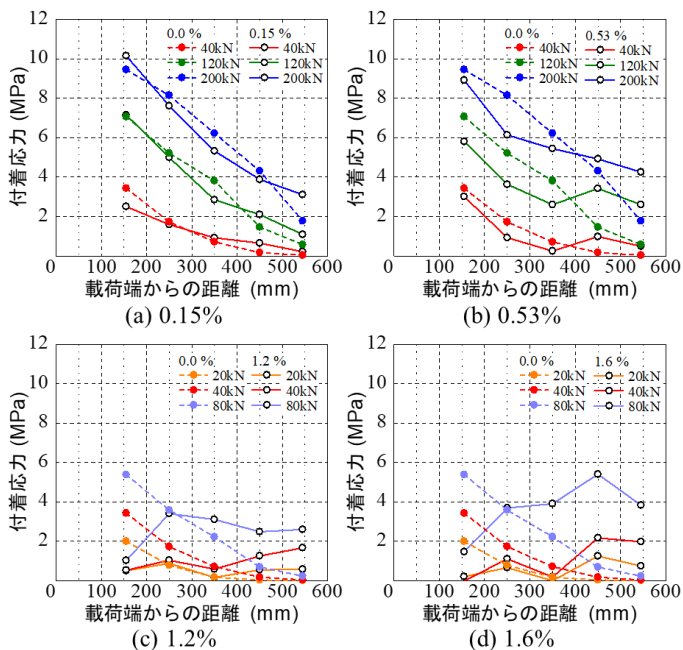


図-5 付着応力分布

0.53%でわずかに低下し、1.2%以上で大幅に低下した。また、膨張量の増加に伴い剛性も低下した。

図-5 に各荷重レベルの付着応力分布の推移を示す。付着応力は、鉄筋の応力と付着応力の関係を用いて、鉄筋のひずみ分布の勾配から算出した。なお、図には各膨張量の付着応力分布に加えて、膨張量 0.0%の結果も示している。膨張量 0.0%では、上端の付着応力が最大で、下端が最小となっており、荷重端から下部に向かって付着応力が伝達したことがわかる。膨張量が 0.15, 0.53%に増加すると、上部の付着応力は低下し、下部の付着応力が増加した。これは、DEF 膨張によって付着性状が低下したことで、下部にも付着応力が伝達するようになったためだと考えられる。膨張量 1.2%以上では、最大荷重時の付着応力が著しく低下し、鉄筋上端では付着応力がほぼ発生しないことも確認された。このとき、図-3 に示すように膨張中の鉄筋ひずみは減少傾向となっており、さらに、DEF 膨張によって圧縮強度は 16%程度まで低下している。このことから、鉄筋とコンクリート界面の状態の変化と、鉄筋の引抜きに対するコンクリートの抵抗力の低下によって、付着性状が著しく低下したと考えられる。

4. まとめ

- 1) 膨張試験から、コンクリートの DEF 膨張によって鉄筋は引っ張られ、鉄筋はこれに抵抗してコンクリートの膨張を拘束したことから、DEF の膨張過程において鉄筋とコンクリートの付着が強く影響することを明らかにした。
- 2) 付着試験から、DEF 膨張によって付着性状が大幅に低下することが確認された。これは、鉄筋とコンクリート界面の状態が変化するとともに、コンクリートの力学特性が低下することで鉄筋引抜き時のコンクリートの抵抗力が低下することが要因と考えられる。

参考文献

- 1) Yang, Y. et al.: Numerical simulation of bond degradation subjected to corrosion induced crack by simplified rebar and interface model using RBSM, Construction and Building Materials, Vol. 247, 2020
- 2) Bouzabata, H. et al.: Effects of restraint on expansion due to delayed ettringite formation, Cement and Concrete Research, Vol. 42, pp. 1024-1031, 2012