光ファイバセンシングによる鉄筋の腐食状況の検証

太平洋セメント(株) 正会員 〇早野 博幸 吉田 愛 江里口 玲

1. はじめに

RC 構造物の鉄筋腐食は、その開始から進展に伴うひび割れの発生、最終的にはかぶりコンクリートの剥落へと 繋がるもので、維持管理をするうえで腐食状態の把握は重要な項目の一つに挙げられる.一方、腐食の開始および 進展は従来より電気的手法によって推測されてきたが、上記のようなコンクリートの劣化現象を招く直接の原因は、 鉄が腐食生成物に変化する過程で体積膨張が生じ、周囲のコンクリートに応力が発生することである.したがって、 鉄筋の腐食過程における体積膨張の挙動を捉えることができれば、腐食状態やその進展を把握できる.本研究は、 光ファイバセンシングによるコンクリート中の電食下における鉄筋の腐食膨張ひずみの計測結果と、電食後の鉄筋 の腐食状況を検証した結果について検討したものである.

2. 実験概要

電食試験体の概要を図-1 に示す. 光ファイバセンサをみがき棒鋼の上,中,下部にそれぞれらせん状に1巻きし て固定し,計測器に接続した.これを内寸 φ 100×h100mmの型枠中央に配置し,軸方向から早強ポルトランドセメ ントを使用した W/C0.6 のコンクリートを打設した.脱型後,円柱試験体の上面および下面を被覆処理し,高さ方 向の中央表面を覆うようにコンクリート用ひずみゲージを3枚貼付して防水処理を施した.材齢28日に,円柱試験 体の周囲に銅板を配置し,20℃の養生槽内で7日まで0.1mA/cm²,それ以降は0.2mA/cm²の一定電流による電食試 験を開始した.電食期間中は,光ファイバセンサによる鉄筋の腐食膨張ひずみ,およびひずみゲージによるコンク リート表面の円周方向ひずみを各3ヶ所計測した.棒鋼は電食前と電食後に10%クエン酸水素二アンモニウム水溶 液(60℃)に浸漬した除錆後に、φ4mmのルビー球を用いた接触型3次元スキャナによる形状測定(高さ方向を5mm 間隔で円周方向を20点,計420点,計測精度0.002mm)と,質量測定を行った.

3.実験結果および考察

電食試験終了後に取り出した棒鋼の腐食状況の展開図を,光ファイバセンサの設置部分を明記して図-2 に示す. 腐食状況としては,上部から中央部にかけて激しく,下部でも腐食が生じており,中央部分はひずみゲージを貼付 していたために腐食の程度は軽微であった.光ファイバセンサによる円周方向の腐食膨張ひずみおよび表面ひずみ を図-3 に示す.腐食膨張は光ファイバセンサの接触部分のみを計測しているもので,棒鋼上部はセンサ接触部すべ てが腐食しているために,腐食膨張ひずみの最終値では最も大きい値を示した.中央および下部では,一部でしか 腐食が発生していないことから,上部に比べて腐食膨張ひずみは小さい値となった.しかし,腐食膨張ひずみは, コンクリートにひび割れが発生すると周囲のコンクリートによる拘束が低下し,応力が開放されて膨張ひずみが見 掛け上大きくなる.図-3の表面ひずみの急激な増大はひび割れ発生を表し,試験後の観察よりコンクリートに複数



連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株)中央研究所 TEL043-498-3902

-435-

の軸方向ひび割れが発生していた.したがって、ひび割れ後の腐食膨張ひずみは腐食量にそのまま結び付くもので はないが、腐食状況を推定するには十分な判断材料になると考えられる.

またひび割れ発生後は、常時水中に試験体があり、かぶり厚が小さい場合には短期間であっても腐食生成物が外部へ流出することが考えられ、本実験においても途中に錆汁として流出しているのを確認している。その場合には、 棒鋼に堆積する腐食生成物量が減少するため、腐食量に対して腐食膨張が小さくなることが予想される。図-3より、 最初に棒鋼上部で腐食膨張が増大するとともに腐食状況からも上部で全面腐食していたことから、ひび割れは上部 から発生し、11.5日付近で腐食生成物が流出し始め腐食膨張ひずみの勾配が緩やかになったと推測される。

一方,腐食状況の目視や腐食面積の評価においては、2次元での面的な腐食は確認できるが、深さ方向までは把 握できない.腐食膨張に大きく影響を及ぼすのは、基本的には鉄が様々な腐食生成物に変化する量、すなわち腐食 量である.腐食には孔食などの影響による深さ方向も考慮することが必要であり、図-4に示すように電食後に除錆

した棒鋼には多くの孔食がみられた.そこで,3次元形状計測 を行い,円柱座標系に変換して棒鋼の電食前および除錆後の側 面の測定点における半径差を算出して展開した結果を図-5 に 示す.実際の腐食状況は図-2のようであるが,図-5のように軸 方向(z)で高い部分の方が低い部分より深さ(半径)方向(r)に腐 食が激しく,腐食による損傷が大きいことが分かる.

光ファイバセンサを設置した棒鋼の上,中,下部における腐 食膨張ひずみと、3次元形状の計測結果より棒鋼の電食前と除 錆後の体積差から算出した直径変化量を図-6に示す.なお3次 元形状計測では、 φ4mm のルビー球を接触して計測するもの で小さな孔食の内部までは計測されないため,実際の体積減少 量はさらに大きい. したがって, 実腐食量と鉄密度 (0.00785g/mm³)から算出した体積減少量となるよう補正をして, 各区間の体積減少量を算出したうえで直径変化量を求めた.図 より,腐食膨張ひずみおよび直径変化量ともに全面腐食してい た上部が最も大きいのに対し、一部で腐食が見られた中央およ び下部はこれらより小さい値を示しており, 概ね傾向は一致し ている.ただし、腐食膨張ひずみの上部と中央・下部の差に比 べ, 直径変化量においてその差は大きくなっている. 直径変化 量は光ファイバを設置した区間全体の平均値を示すものであ り, 光ファイバが接触している部分のみを捉える腐食膨張ひず うみとは若干異なる傾向を示すことが影響していることが考 えられる.また、前述したように、特に上部において腐食が激 しく腐食生成物が外部に流出したことから、この影響がなけれ ば腐食膨張ひずみはさらに大きい値となり, 直径変化量と同様 の傾向を示したものと考えられる.

4. まとめ

コンクリート中の鉄筋の電食下における腐食膨張挙動を光 ファイバセンシングによって計測した結果,実際の腐食状況と 概ね整合した.しかし,ひび割れ後や腐食生成物が外部に流出 する影響が大きい場合には,腐食膨張ひずみは腐食量そのもの に直結するものではない可能性が示された.



図-4 除錆後における棒鋼の孔食



図-5 3次元スキャナによる形状計測結果



図-6 各部における腐食膨張ひずみと直径変化量

-436-