赤外線を用いたコンクリート中の鉄筋腐食状況の把握に関する基礎的研究

法政大学大学院	学正会員	○内田	真未
法政大学大学院	正会員	野嶋	潤一郎
法政大学	正会員	溝渕	利明

1. はじめに

塩害や中性化による鉄筋腐食は、生成される腐食生成物によって鉄筋周囲を膨張させ、コンクリートにひび 割れや剥離等を引き起こし、構造物の耐久性を大きく損なう要因となる.従来の鉄筋の腐食状況の確認は、は つりだしを行う場合が多いが、多くの時間と費用がかかるだけでなく、構造物に局所的な損傷を与えることと なる.また、非破壊検査法として自然電位法といった電気化学的な手法が広く使用されているが、鉄筋の形状、 かぶりコンクリートの品質、湿潤状態、ひび割れの有無などによって測定値に差異が生じ、測定精度に課題を 有しているのが現状である.そのため、鉄筋腐食状況を定量的に測定することのできる非破壊検査法の確立が 望まれている.そこで、本研究では新たな非破壊による鉄筋腐食評価手法として、赤外線法に着目した.温度 変化の勾配を比較的容易に大きくすることが可能である液体窒素を用いて、腐食していない鉄筋(以後、健全 鉄筋と称す)と腐食している鉄筋(以後、腐食鉄筋と称す)を埋設したコンクリート表面の熱画像によってコンク リート中の鉄筋の腐食状況評価の可能性について検討を行った.

2. 研究方法

2.1 鉄筋単体の温度変化測定

本実験では、健全鉄筋および腐食鉄筋の端部を液体窒素で冷却し、腐 食生成物の有無によって熱伝播に影響するかどうか検討を行った.本実 験で使用した腐食鉄筋の断面写真を写真-1に示す.腐食生成物は層状に 形成されており、間には空隙を有していることがわかる.写真-2に示す ように鉄筋は長さ 500mm の D16 異形鉄筋を用い、冷却側端部から 100mm と 200mm の位置に温度センサを埋め込んだ.

2.2 鉄筋を埋設した供試体の温度変化測定

本実験では、鉄筋をコンクリートに埋設した状態において、コンクリ ート表面においても腐食生成物の有無による熱伝播の違いを赤外線サ ーモグラフィにより確認可能かどうか検討した.図-1 に示すかぶり 54mmの供試体を用い、鉄筋表面まで開けた冷却穴に通した漏斗から、 同時に 500mlの液体窒素を注入し、冷却側の裏面を赤外線サーモグラフ ィにより温度測定を行った.なお、埋設した鉄筋には鉄筋中央部(冷却 部)に温度センサを埋め込み、鉄筋中心の温度測定を行った.腐食鉄筋 は鉄筋単体実験で用いた腐食度と同一のものを使用した.

2.3 実験結果をもとにした温度解析シミュレーション

鉄筋を埋設した供試体表面の温度履歴を温度解析によりシミュレー トできる可能性について検討を行った.腐食層を特殊な熱伝達境界と仮 定してモデルを作成した.鉄筋中央部に設置した温度センサより得られ た温度履歴を鉄筋温度とし、コンクリート表面温度を逆解析することで 各鉄筋の境界面の熱伝達率を求めた.

キーワード 赤外線,鉄筋腐食,腐食生成物,液体窒素,非破壊検査 連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 TEL 042-387-6286



写真-1 腐食鉄筋の腐食生成物



写真-2 鉄筋単体の冷却方法



3.結果

3.1 鉄筋単体の温度変化測定結果

冷却側鉄筋端部から 100mm 位置での健全鉄筋と腐食鉄筋の温度 の経時変化の結果の一例を図-2 に示す.図-2 より,冷却時間が短い 場合,両者の温度変化に差が見られなかった.一方,冷却時間が長 くなるほど両者の温度変化に差異が生じ,健全鉄筋が腐食鉄筋より も最下点温度が低くなる結果となった.これは,写真-1 に示した腐 食鉄筋の腐食生成物の存在により熱伝搬が抑制されたためと考え られる.

3. 2 鉄筋を埋設した供試体の温度変化測定結果

図-3 にかぶり 54mm におけるコンクリート表面温度と両鉄筋冷却 部の温度差を示す.健全鉄筋よりも腐食鉄筋の方が温度差は大きく なる傾向がみられた.本実験方法では,冷却穴に通したパイプ内に 空気が滞留するため,鉄筋まで到達する液体窒素の量や冷却時間を 統一することができず,冷却部においては腐食鉄筋の方が冷却され る結果となった.しかし,コンクリート表面温度をみると,健全側 の方が腐食側よりも温度が低くなる逆転現象がみられた.これは, 腐食生成物の存在により鉄筋からコンクリート表面へ伝わる熱伝播 が抑制されたためと考えられる.また,本実験で得られた冷却前及 び両鉄筋の差異が最も大きくなった冷却 8 分後における熱画像を図 -4 に示す.ここで,コンクリート表面において 17℃以下を示した面 積を求めると,冷却側は 45.8cm²,腐食側は 4.3cm² となり,腐食側 は健全側の 1/10 の冷却領域を示した.なお,複数回の実験において 同様の傾向を確認している.

2.3 実験結果をもとにした温度解析シミュレーション結果

図-5 にコンクリート表面温度履歴の逆解析結果と実験データとを 比較した結果を示す.両鉄筋における最低温度に達するまでの温度 履歴は両者とほぼ同様の挙動を示した.しかし,最低温度からの立 ち上がりは,解析値の方が早い結果となった.これは,現段階での 解析では液体窒素の気化に伴う熱量変化を考慮することができてい ないためと推察される.また,両鉄筋の熱伝達率は,健全鉄筋は 1.40(W/m²k),腐食鉄筋は 0.41(W/m²k)となり,腐食鉄筋は健全鉄筋 と比較して小さい値となった.図-4 に示すコンクリート表面の熱画 像から,実験値よりも解析値の冷却領域が大きい結果となった.こ れは,本解析において鉄筋内温度を鉄筋全面で一定としていること が原因であると考えられる.したがって今後は鉄筋境界で液体窒素 の蒸発散について検討していく必要があると思われる.





図-4 コンクリート表面における熱画像の実験値と解析値の比較



3. まとめ

室内実験により,鉄筋腐食の有無により生じる熱伝播の違いを赤外線法により評価できる可能性を見出した. また,実験結果をもとにした温度解析では,腐食生成物による熱伝搬の抑制効果を再現でき,解析による鉄筋 腐食状況の評価をシミュレートする可能性を見出した.今後は,腐食生成物の厚さによる熱伝播の違いを把握 し,本手法の定量的な鉄筋腐食度評価システムの構築を目指していく予定である.

-202-