

2021年度阪神高速研究助成(若手研究者助成) 研究概要書

申請者	所属 東京大学 職名 准教授	フリガナ ながい こうへい 氏名 長井 宏平
共同研究者	所属 職名	フリガナ 氏名
連絡先	所属 東京大学 職名 准教授	フリガナ ながい こうへい 氏名 長井 宏平
	住所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 電話 03-5452-6655	
研究課題名	多方向配筋下におけるRC構造の腐食ひび割れ進展の微細構造解析と剥落リスク推定	
研究結果	<p>本研究ではまず、鉄筋の多方向配置とコンクリートとの相互作用がRCパネルの腐食ひび割れに与える影響を、腐食促進実験を実施し明らかにした。腐食によって生じたコンクリートひび割れを詳細に観察し、鉄筋の方向、コンクリートのかぶり、腐食の位置、腐食の順序方法などに基づいて比較分析を行った。その結果、以下のような知見を得ることができた。</p> <ol style="list-style-type: none"> 鉄筋の配置のばらつきにより、腐食ひび割れのパターンが異なる。多方向鉄筋の配置により、横方向鉄筋が拘束され、腐食鉄筋に沿った垂直ひび割れの形成が抑制された。また、腐食した縦方向鉄筋からの膨張圧が横方向鉄筋を押し上げるように作用し、さらに横方向のひび割れを形成する。 コンクリートの拘束力が弱い場合、腐食しているすべての鉄筋に大きなひび割れが発生し、周囲の鉄筋の腐食により腐食していない鉄筋にもひび割れが発生することがある。一方向鉄筋配置でかぶり深さの異なるパネルでは、同様のひび割れパターンを示す。しかし、鉄筋の配向が多方向でかぶり深さが異なるパネルでは、パターンが異なる。一方、鉄筋の配置が一方向でも多方向でも、ひび割れパターンはコンクリートのかぶり厚さに依存することがわかった。 腐食鉄筋本数の増加により拘束領域が増加し、腐食ひび割れパターンが大きく変化した。腐食鉄筋の増加に伴う拘束応力の増加により、すべての腐食鉄筋に沿った垂直ひび割れの形成が制限され、最終的に大きな水平ひび割れの形成に至る。さらにこの境界条件の効果は、一方向および多方向の鉄筋配置を持つパネルのひび割れパターンを変化させる上で重要である。 腐食ひび割れは腐食箇所にも依存する。この依存性は、一方向鉄筋配置と多方向鉄筋配置の両方で観察された。外側の鉄筋の腐食による拘束効果は、腐食の順序 	

を中央から外側の鉄筋にシフトさせることで、既に発生したひび割れを減少させる。縦割れを減少させる膨張力は、横割れを増加させる。したがって、実検査等において表面ひび割れのみを検査対象とする場合、この縦ひび割れの現象が損傷を過小評価させる可能性がある。

5. 表面ひび割れは、腐食の程度が同程度であるにもかかわらず、亀裂パターンを複雑にする複数および多方向の鉄筋腐食の場合には、正しい損傷度を表さない可能性がある。複数の腐食鉄筋からの継続的な応力により表面に目に見える縦方向のひび割れがなく、横方向の鉄筋の効果により検出不可能な内部ひび割れが生じ、コンクリートの剥落の脆弱性を増大させる場合がある。

この実験を対象に三次元微細構造解析による再現シミュレーションを実施し、内部応力状態等について検討を行った。解析には三次元剛体バネモデル (3D-RBSM) の腐食モデル (CEM) を用い、腐食ひび割れ進展のシミュレーションを行い、鉄筋腐食の位置、順序、配置の影響を検討し、以下の成果を得た。

1. 一方向鉄筋配置の場合、すべての鉄筋が均等に腐食しても、位置や応力の力学的相互作用によって異なるひび割れ幅を持つひび割れが観察される。外側の鉄筋に沿ったひび割れは、境界付近で最も拘束力が弱いため早く開口する。しかし内側の鉄筋に沿うと、腐食している外側の鉄筋によって与えられる圧縮応力によってひび割れの進行が阻害される。したがって、ひび割れ幅と腐食の間には一意的な関係はなく、むしろ鉄筋の配置や腐食の位置に依存する。
2. 鉄筋が腐食する順番は、特に内側の鉄筋に沿ったひび割れの場合、最終的なひび割れ形状に影響を与えることが確認された。すべての鉄筋が同時に腐食した場合、腐食した鉄筋の力学相互作用から生じる圧縮応力により、内側の鉄筋に沿ったひび割れ開口は遅れる。しかし、腐食が同時に起こるのではなく2段階で起こる場合、この相互作用の効果は大幅に減少する。したがって2段階腐食のパネルでは、すべての鉄筋が同時に腐食されたパネルと比較して、より大きなひび割れが観察され得る。
3. 腐食の最初の段階で発生したクラックは、腐食の順序によっては閉じることがある。腐食の順序によっては、後段の腐食によって生じた応力が、前段の腐食によって生じた亀裂を閉塞させる反力となる場合がある。解析は、実験的に観察されたこの挙動を合理的にシミュレートし、均一な腐食をモデル化した場合、このメカニズムを明確に視覚化することができた。
4. 多方向鉄筋の配置では、追加の横方向鉄筋が表面亀裂の成長を抑制し、RC パネル全体に引張応力を分散させる役割を果たす。その結果、水平方向のひび割れが内部に進展する可能性がある。この内部ひび割れの発生は、表面に何のひび割れも無く、剥離を開始する場合があることを示唆している。