

論文の内容の要旨

論文題目 水の浸透と中性化によるコンクリート構造物中の鉄筋腐食に対する実態調査と影響要因の分析

氏名 轟 俊太郎

これまで、外気に曝される塩害等のない一般的なコンクリート構造物中の鉄筋は、コンクリートの中性化の進行によって腐食するとされてきた。中性化は、水が掛かる箇所と比べて、水が掛からない箇所で進行しやすい。これに従うと、水が掛からない箇所を早期に補修することになりえる。しかし、鉄筋が腐食するには「水」が必要である。これは、鉄筋腐食が原因であるコンクリート片のはく落が水の掛かる箇所で多く発生していることから明らかとなっている。この実態を踏まえ、2017年制定の土木学会 コンクリート標準示方書〔設計編〕（以降、コンクリート標準示方書〔設計編〕）では、中性化を指標とする従来の照査に代えて、鉄筋腐食の主要因を水とし、鉄筋腐食深さを指標とした照査を行うことが原則となった。しかし、現状では、従来の中性化に伴う鉄筋腐食に対する照査で定まるかぶりと同程度となるように照査式を構築しているため、照査式中の鉄筋腐食深さの限界値および設計値に関わる鉄筋腐食速度が実態を表したものになっていない可能性がある。

本論では、主に、塩害等がない一般環境に置かれるコンクリート構造物中の鉄筋腐食を対象とした実態調査から、鉄筋腐食深さの限界値および鉄筋腐食速度に対して以下の検討を行った。

- (1) 鉄筋腐食深さの限界値
 - a) 腐食によるひび割れ形態や腐食状態の実態評価（第2章）
 - b) 腐食ひび割れ形態に及ぼすかぶりや鉄筋間隔の影響評価（第3章）
- (2) 鉄筋腐食速度
 - a) 鉄筋腐食速度に及ぼす水と中性化の影響評価（第4章）
 - b) 供用中の構造物を対象とした鉄筋腐食速度の推定法の提案（第4章）

本論は5章で構成される。各章の概要および得られた知見は以下の通りである。

「第1章 序論」では、鉄筋腐食に対する照査の現状と課題、従来の中性化に伴う鉄筋腐食に対する照査、鉄筋腐食深さに対する照査の概要とそこで用いられる鉄筋腐食深さの限界値および鉄筋腐食速度に対する課題、本論の目的を示した。

「第2章 鉄筋腐食によるひび割れや腐食状態の実態調査」では、実績データの乏しい、ひび割れ形態、はく落形状、鉄筋の腐食状態について、鉄道RC構造物を対象に調査を行い、データの取得および検証を行った。既往の研究からかぶり c と鉄筋径 ϕ の比 c/ϕ が1.0以下ではく離するようなひび割れ形態となるとされるが、本調査より、鉄筋の腐食が進行すればより c/ϕ が大きな箇所でもはく離、はく落が発生する可能性があることを明らかにした。また、はく落幅、はく落角度、鉄筋腐食の発生状況など、修繕範囲の設定や腐食解析における腐食のモデル化および解析の妥当性の検証等に有益なデータを得た。

「第3章 腐食ひび割れ形態に及ぼすかぶりや鉄筋間隔の影響」では、FEMに基づき、ひび割れ形態や鉄筋腐食深さの限界値に及ぼすかぶりや鉄筋間隔の影響を検討した。また、FEMの結果とコンクリート標準示方書〔設計編〕に示される鉄筋腐食深さの限界値との比較検証を行った。かぶりが鉄筋のあきの1/2の0.6倍よりも小さい場合には、鉄筋から斜め方向にひび割れが進展し、表層にひび割れが達するはく離ひび割れ形態となり、それ以外の場合には、隣接する鉄筋からそれぞれ進展する水平方向のひび割れが繋がり、水平方向にひび割れが貫通する水平ひび割れ形態となることを明らかとした。鉄筋腐食深さの限界値は、はく離ひび割れ形態の場合には、かぶりに依存するが、水平ひび割れ形態の場合には、鉄筋のあきの影響を大きく受け、鉄筋のあきの1/2がかぶりよりも小さい場合には、鉄筋のあきに依存することを明らかとした。これにより、かぶりのみを変数としたコンクリート標準示方書〔設計編〕に示される鉄筋腐食深さの限界値に対して、鉄筋のあきの1/2の影響を踏まえて適用範囲を設定することで、かぶりや鉄筋間隔の影響を考慮した鉄筋腐食深さの限界値の算定式を提案した。

「第4章 鉄筋腐食に及ぼす水と中性化の影響」では、鉄筋を切り出すことなく腐食速度を推定する方法を提案すると共に、はく離はく落が生じた供用中の鉄道RC構造物を対象に調査を行い、腐食によるはく離はく落や腐食速度に及ぼす水と中性化の影響を分析した。また、調査結果に基づき、コンクリート標準示方書〔設計編〕に示される照査式の検証を行った。腐食によりはく離はく落した箇所の水掛かりと中性化残りから、水掛かりが有る場合には中性化していなくても腐食によりはく離はく落に至るのに対して、水掛かりが無い場合には中性化残りが10mm以下であってもはく離はく落に至る可能性が低いことを明らかとした。また、発生しているはく離はく落の状況を手掛かりに腐食速度を推定する方法を提案した。これにより鉄筋の切り出しをせずに供用中の構造物を対象に実態に即した腐食速度の取得を可能とした。この方法を用いて、腐食速度に及ぼす水と中性化の影響を検討した結

果、腐食速度と中性化残りの関係は明確ではなかった。このことから、鉄筋腐食の主要因は水であることを明らかとした。一方で、推定した腐食速度は、コンクリート標準示方書〔設計編〕の腐食速度の最大8倍であったが、腐食速度の推定に用いた鉄筋腐食深さの限界値もコンクリート標準示方書〔設計編〕の8倍程度であることから、推定した腐食速度と腐食速度の推定に用いた腐食深さの限界値から算定したかぶりは、コンクリート標準示方書〔設計編〕の腐食深さに対する照査値で定まるかぶりと同程度となることを確認した。算定したかぶりよりも小さいかぶりで概ねはく落が発生していたため、コンクリート標準示方書〔設計編〕の照査を用いても、実態を捉えた設計かぶりを得ることができることを明らかとした。

「第5章 結論」では、各章で得られた成果を総括して述べるとともに、今後の課題と展望を示した。