

## 審査の結果の要旨

氏名 轟 俊太郎

塩害環境ではない一般的な環境に置かれたコンクリート中の鉄筋腐食は、これまでコンクリートの中性化の進行によって評価されてきた。中性化は水の供給が多い湿潤状態に比べて、乾燥する場合に進行が速くなる。一方、鉄筋腐食を原因としたコンクリート片の剥落が、水の掛かる箇所が多く発生するという調査事例が報告されており、鉄筋腐食に対して水の供給を考慮する必要性が指摘されている。従って、中性化進行を指標として鉄筋腐食に対する照査を設計で行ったり、維持管理において補修箇所の決定を行ったりすることは、腐食進行のメカニズムに則して考えると不合理であると言える。以上の状況を踏まえ、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、土木学会示方書【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捉え、鉄筋腐食深さを指標とした照査を行うことが原則とされた。しかし現状では、従来の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、実際と異なる可能性がある。以上の背景をふまえ、一般的な環境に置かれたコンクリート構造物の鉄筋腐食を対象とした実態調査に基づき、鉄筋腐食深さの限界値および鉄筋腐食速度を捉えることを本研究の目的としている。

第1章では、鉄筋腐食に対する照査の現状と課題を述べたうえで、研究の目的および論文の構成について示している。

第2章では、鉄道RC構造物を対象として、鉄筋腐食によるひび割れ形態、剥落形状および鉄筋の腐食状態について調査結果を示している。既往研究では、かぶり  $c$  と鉄筋径  $\phi$  の比  $c/\phi$  が 1.0 以下となる条件において剥離が生じるとされていたが、本研究で実施した調査から、鉄筋腐食が進行した場合には、 $c/\phi$  がより大きな箇所においても、剥離および剥落が発生するひび割れ形態を取るという可能性を指摘している。

第3章では、有限要素法解析を用いて、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について検討している。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することで、表層にひび割れが達する剥離ひび割れ形態となること、またそれ以外の場合には、隣接する鉄筋から進展する水平方向のひび割れが相互につながり貫通する水平ひび割れ形態となる

ことを明らかにしている。また鉄筋腐食深さの限界値は、剥離ひび割れ形態の場合にはかぶりに依存する一方で、水平ひび割れ形態の場合には鉄筋のあきの1/2がかぶりよりも小さい条件において、鉄筋のあきに依存することを明らかにしている。これらの結果を踏まえ、かぶりと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ている。

第4章では、かぶりが30 mm以下で剥離剥落が生じた供用中の鉄道RC構造物を対象として、剥落発生に及ぼす水と中性化の影響について分析している。腐食によって剥落した箇所の雨掛かりと中性化残りの両者に着目した際、雨掛かりが有る場合には中性化が進行していなくても腐食による剥落が発生しているのに対して、雨掛かりが無い場合には中性化残りが10mm以下であっても剥落に至る可能性が低いことを明らかにしている。

また、剥離剥落の発生状況を手掛かりとして、鉄筋の切り出しをせずに構造物中の腐食速度を推定する手法を新たに提案している。その手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。これは、今回の調査対象のかぶりが30 mm以下と薄いために、雨掛かりが直接無いとみなされる部位においても、剥落が発生した個所では、結露・吸湿や他の部位からの水の浸透等により水が供給されていることが考えられる。すなわち、雨掛かりが直接無い部位においては、中性化進行が大きいことを鑑みても、水の供給が少ないことが示唆されるが、中性化によって腐食速度が増加することで、結果として雨掛かりが有る部位と同程度の腐食速度となった可能性を指摘している。

本手法で推定した腐食速度は、土木学会示方書【設計編】の腐食速度の最大8倍であったが、第3章の検討で得られた鉄筋腐食深さの限界値についても土木学会示方書【設計編】の8倍程度であることから、本研究の成果を総合して得られるかぶりは、土木学会示方書【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。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果についてまとめている。

以上、一般的な環境におかれたコンクリート中の鉄筋腐食に対して、鉄筋腐食深さの限界値に関わる剥落形状、腐食状態、ひび割れ形態について検討するとともに、鉄筋腐食速度に及ぼす水と中性化の影響を分析し、鉄筋腐食の主要因が水であるという実態を確認した。これらの成果は、メカニズムに則した適切な設計・維持管理手法につながる成果が含まれており、学術的および工学的観点の両者から研究の意義が認められる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。