

審査の結果の要旨

氏名 イسلام モハメッド シャフィクル
Islam M d. Shafiqul

塩分浸透による鉄筋腐食は、鉄筋コンクリートの最も深刻な劣化現象の一つであり、土木学会コンクリート標準示方書をはじめとする各規準類は、設計段階において、フィックの拡散則に基づいた劣化予測を行うこととしている。コンクリート品質が悪い場合には表面からの塩分の侵入が数十 cm にも及ぶ事例があることは知られているが、コンクリート品質が十分であったとしても、100 年にも及ぶ設計耐用期間を対象とした耐久性照査においては、塩分浸透の算定結果は深部に及ぶ。実際に、かぶりが 200mm にも及ぶ新設の事例が出てきているが、近年、耐久設計の結果として、設計かぶりが著しく厚くなってしまうことの不都合が指摘されている。200mm にも及ぶ厚いかぶりは、経済性の観点のみならず、鉄筋コンクリートとしてのひび割れ発生以降の靱性を喪失しかねないという負の側面も持っている。一方、近年実施された実構造物の調査によって、沿岸部に建設された護岸構造物であっても、特に遮塩性の高い混合セメントを用いた場合に塩分の侵入が表層近傍のみに留まり、現行の耐久設計を適用すると過度に安全側で不経済な評価になる事例があることが報告されている。また、コンクリート中への液状水の浸潤は、コンクリート品質に応じて、ある深さで停滞するとの報告もある。

このような背景の下、本研究は、液状水の浸潤位置と塩分の浸透深さの関係に関する実験的な検討を行い、両者の対応関係がコンクリート品質に応じて三段階に区分できることを明らかにした。そして、液状水浸潤位置とそのばらつきを考慮しつつ、それぞれの区分に適した塩分浸透評価手法を適用することで、現実に即した合理的な塩分浸透予測とライフサイクルコスト（LCC）評価が可能になることを示したものである。

まず、セメント種類、水セメント比をそれぞれ段階的に振った供試体を作製し、液状水の浸潤試験を実施した。そして、供試体の重量変化が長期材齢で収束傾向を示すことを確認した後、重量増加収束後の供試体を割裂して、液状水の浸潤深さを把握した。その結果、液状水の浸潤停滞深さはコンクリート品質に応じて大きく異なり、高品質で液状水浸潤停滞深さが浅い場合には、そのばらつきが少ないのに対して、低品質で液状水浸潤停滞深さが深い場合には、飽和領域と不飽和領域の境界が不明瞭であり、そのばらつきも大きくなることを確認した。

また、塩水浸せき試験を実施し、コンクリート表層から深さ方向の塩分分布、特に塩分浸透最深部と液状水浸潤深さとの位置関係を比較した。その結果、高品質で液状水の浸透がごく表層に留まる場合には、塩分の浸透も液状水の浸透領域に留まることを確認した。一方、低品質の場合には、液状水の浸透がかなり深い位置で停滞傾向を示すものの、塩分の浸透は液状水の浸透停滞位置をはるかに越えて進行することを確認した。また、品質が両者の中間的な場合には、液状水の浸透は両者の中間程度の位置で停滞し、塩分の浸透は液状水浸透停滞位置の平均値を一定程度越えたところで停滞することを確認した。そして、液状水浸潤深さと塩分浸透最深部との位置関係は上記三段階に区分できることを指摘した。

続いて、液状水浸潤深さと塩分浸透最深部との位置関係に関する三段階の区分ごとに、塩分浸透を適切に予測するための評価手法の検討を行った。その結果、高品質で液状水の浸透がごく表層に留まる場合には、まず液状水の浸透可能深さを確定的に予測し、その範囲においてコンクリート品質に応じた拡散係数を用いた浸透解析を行い、液状水が浸透しない不飽和領域においては拡散係数を0として塩分浸透は生じないとする解析が妥当とした。低品質で塩分浸透が液状水の浸透停滞位置をはるかに越えて進行する場合には、液状水の浸透深さにかかわらず、コンクリートを深さ方向に一樣と見なして、従来同様に拡散係数を一定とした評価を行うのが妥当とした。塩分の浸透が液状水浸透停滞位置の平均値を一定程度越えたところで停滞する中間の場合には、液状水の浸透可能深さにばらつきを考慮した確率的な予測を行い、飽和領域から不飽和領域への遷移区間では、拡散係数をコンクリート品質に応じた値から0へと漸減させた解析を行うのが妥当とした。そして、三段階の適用評価手法の使い分けは、設計段階ではセメント種類および水セメント比に応じて場合分けを行い、実構造物に対しては、表層透気試験結果等の非破壊試験結果に基づいて場合分けを行うのが妥当とした。

また、提案した塩分浸透解析手法を品質が大きく異なる三種類のコンクリートに適用してLCCを試算した結果、遮塩性能の高い高品質コンクリートほどLCC評価が合理的になり、LCCに関する実務者の経験的な感覚に近いLCC試算結果を得ることが可能となった。

以上、本研究は、コンクリート中への塩分浸透における液状水浸潤の関与を明らかにし、コンクリート品質に応じて液状水浸潤の影響を考慮に入れた適切な塩分浸透評価手法を提示した意義は大きく、今後、耐久設計とLCC評価の両面で評価精度の向上に寄与することが期待され、学術的な新規性と実務における有用性を備えた研究成果と評価できる。

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。