

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 ワッタナポーンプロム ルンラウィー

コンクリート構造物の耐久性を損なう要因の一つとして、海からの飛来塩分による鋼材腐食がある。特に北海道や東北・北陸地方の日本海側においては、冬季の激しい波浪に伴って大量の海水粒子が発生し、沿岸のコンクリート構造物に塩害をもたらしている。現行のコンクリート標準示方書においては、海岸からの距離と構造物の置かれる地域区分という2つの指標によって表面塩化物イオン濃度  $C_0$  を一律に決定し、それを用いた Fick の拡散則に基づいて、コンクリート中への塩化物イオン浸透を予測する手法が示されている。しかしながら海岸からの距離が同じであっても、 $C_0$  は大きく異なることが報告されている。海水飛沫の飛来は、気象条件、波浪条件、海岸形状・地形等に強く影響を受け、環境作用（飛来塩分量）の強弱は海岸からの距離のみでは表現できないこと、またコンクリート内部の塩化物イオン分布に基づき決定される  $C_0$  は、コンクリート内部への浸透量（環境作用に対する応答値）に依存する物理量であり、コンクリートの品質にも依存することが理由として挙げられる。現行の示方書は、このような不確実性、変動要因も含めて安全側の評価を与えるものであるが、様々な飛来塩分作用下における合理的な塩分浸透量予測手法の確立が強く望まれる状況にある。

以上の背景のもと、本博士論文は、海岸での飛来塩分の発生、輸送と、コンクリート構造物への付着、浸透の各現象を記述するモデルを組み合わせ、様々な飛来塩分作用および気象作用下でのコンクリート内部への塩化物イオン浸透現象を、統一的に評価する手法の構築に取り組んだものである。主たる成果は以下に列挙される。

第一の成果として、コンクリート構造物への飛来塩分の付着と浸透を表現する簡易な境界流束モデルについて、系統的な実験を実施し、解析手法の精度と適用性の検証を行った点が挙げられる。塩水粒子発生機構を備えた風洞装置を用いて、飛来塩分量を様々な変化させた条件下に供試体を設置し、モルタル内部への水分および塩分浸透量の測定を試みている。モデルの精度検証に資する信頼性と精度を担保するため、吸水ポリマー、ガーゼ・コットンと、モルタルから構成されるドーナツ形状の新たな試験体を試行錯誤の末に開発し、供試体近傍に達する飛来塩分量と供試体内部への塩分浸透量を直接対応させることに成功した。その結果、配合が相違するモルタル供試体内部の塩化物イオン分布について、モデルが良好な精度で予測されることを確認した。更に、降雨による洗い流しの影響を解析モデルで表現するため、供給される水分量に応じてコンクリート表面に留まる塩化物イオンが消失するモデルを提案した。本モデルは、塩分浸漬後に最大で60日間純水に曝した供試体内部の塩化物イオン分布との比較により検証されている。

第二の成果として、様々な温湿度と降雨が作用する実環境下のもとでの飛来塩分浸透現象を

予測する手法を提案した点が挙げられる。土木研究所による全国各地での飛来塩分暴露試験結果と、薄片モルタル、ウェットキャンドル法およびガーゼ法を用いた既往研究の成果を活用して、提案手法の妥当性を検証している。解析に必要な入力条件として、気象庁アメダスのデータベースから相対湿度、温度、および降雨量を取得し、飛来塩分捕集装置によって実測された飛来塩分量を境界流束に変換することで、北海道から沖縄また太平洋側と日本海側を含む各々の地域において、モルタル・コンクリート内部への飛来塩分浸透量が良好に予測されることを示している。また解析モデルを用いた計算結果に基づき、複数の飛来塩分捕集法の適用性についても議論を行っており、工学的に有用な成果を得ている。

第三の成果は、飛来塩分の発生・輸送から、コンクリート構造物の付着・浸透に至る一連の過程を記述する物理モデルを相互に組み合わせ、飛来塩分量に関するデータが無くとも、塩化物イオン浸透量を予測可能とした点にある。海岸で発生する飛来塩分量の発生量と輸送量については、過去、小窪・岡村らが提案したモデルをベースとして、新たに降雨の影響を加味して既往観測値との比較検証を行っている。気象庁アメダスおよびリアルタイムナウファス（国土交通省港湾局全国港湾海洋波浪情報網）の気象・波浪データベースと現地の地形に関わる情報を与える事で、地域・季節毎に大きく相違する飛来塩分量が妥当に予測されることを示した。その上で、前述のコンクリート構造物の付着・浸透を取り扱うモデルと組み合わせて、日本海沿岸において供用されている実 PC 構造物への塩分浸透量（1974 年から 1999 年の 25 年間）との比較を行った。PC 桁のフランジ部について、解析値は実測の傾向を概ね追跡可能であることを明らかにした。またウェブの塩分浸透量の比較検討から、降雨による洗流の影響についても論じている。

以上のように、本研究では、海岸で発生する飛来塩分の発生、輸送、および構造物への付着、浸透の一連のプロセスを、解析モデルによって統一的に追跡可能な手法を提案し、過去の実測データとの比較を系統的に行うことで提案手法の適用性と妥当性を論じた。本研究の成果は、今後、飛来塩分環境下におけるコンクリート構造物の耐久設計手法および性能評価技術の高度化に貢献し得るものと判断される。以上から、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。