

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 イクバル プリンス オニール

コンクリート構造物の耐久性を大きく損なう現象に鋼材腐食現象がある。アルカリ性を有するコンクリートは、内部の鋼材表面に不動態皮膜を形成させ、通常環境では腐食進行から保護しているが、一旦内部に塩化物イオンなどが浸透すると、それまで安定して存在していた不動態皮膜は破壊され鋼材腐食が開始される。海水や融雪剤などの作用を受ける場合、塩化物イオンの浸透に伴う鋼材腐食により構造物の寿命が大きく左右されるのである。近年、コンクリート構造物の耐久性能照査の枠組みが、国内外の設計コードにおいて整いつつある。ここで線形拡散方程式などに基づく塩化物イオン浸透予測手法や、水分と塩化物イオンとの連成を考慮した非定常移流拡散方程式に基づく数値解析手法など、種々の研究が進められているものの、未だ任意の初期、環境条件に対して適用可能な一般化解析手法は確立されるに至っていない。質の高いコンクリート構造物を整備するためにも、適用範囲が広く精度の高い塩化物イオン浸透予測技術が、照査技術として設計段階で求められる現状にある。本博士論文は、任意の配合、使用材料、環境条件のもとで、ひび割れを含むコンクリートの塩化物イオン移動現象を予測する数値解析手法の提案に成功したものである。

本研究の成果として、様々な乾湿繰り返しを制御された実験室環境で再現し、水分移動と塩化物イオン移動の連成に着目して、実験ならびに解析の両面から詳細に検討している点がある。具体的には、常時塩水に浸漬させるケースと、1週間のサイクルの中で1時間、9時間、33時間塩分に浸漬させ残りの期間は乾燥に曝した3ケースについて、各々1年間にわたって乾湿のパターンを繰り返し、最終的に内部の塩化物イオン分布を精緻に測定している。その後、熱力学モデルにより算出される解析値と詳細に比較検討することで、水分と塩化物イオンの強連成問題に着目し材料モデルの検証を行った。ここでは、水蒸気移動が卓越する境界流と(RH=99.5%)、液状水が接触しサクシオンに支配される境界流(浸漬)の両者を厳密にモデル化し、境界条件の違いによりもたらされる水分移動現象の相違についても議論している。現在のモデルでは、RH=99.5%といった水蒸気移動に支配される境界条件のもとでは、吸湿、乾燥挙動が良好に再現される一方、浸漬条件では過大に水分移動を予測してしまうことが明らかになった。この理由として、既存の液状水移動モデルで考慮されている液状水粘性項(微細空隙と内部水分の相互作用を、仮想的に粘性増大によって表現する項)に改良の余地があることを見出した。その結果、簡便な修正を既存モデルに施すことによって、任意の水セメント比に対して、サクシオンによる吸水現象が精度良く追跡することができるようになったと同時に、任意の乾湿繰り返しのパターンに対して、塩化物イオンの浸透現象を高精度に予測することが可能となった。さらに、高炉スラグ微粉末やフライアッシュを使用した系についても検討し、提案するモデルにより普通セメントのみならず種々の混和材料を使用する場合においても適用可能であることを明示した。

外力や環境作用を受けることで、コンクリート構造物にはひび割れが生じる。発生したひび割れは外

部からの塩化物イオン侵入を加速させることから、この影響を解析モデルによって表現することは重要な課題である。本研究では、ひび割れを表現するにあたり、ミリメートルオーダーの場を表現する空隙構造モデルを既存のモデル(ナノ～マイクロメートルオーダーを包含)に組み込み、塩化物イオン移動解析を試みた。提案する手法はひび割れを離散的に取り扱う手法であるものの、ひび割れ幅の関数をモデルに含んでいることから、ひび割れの大小によって相違する塩化物イオン浸透現象を考慮することが可能である。検証の対象としては、常時浸漬のみの環境条件であるものの、任意のひび割れ幅、本数に対して、モデルは塩化物イオン分布を妥当に再現することに成功した。

以上のように、本研究では既存の水分移動モデル、および塩化物イオン移動モデルの高度化・検証を図ると共に、ひび割れを含むコンクリートの物質移動モデルの提案に成功した。工学的な貢献は大きいと認識され、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。