

(様式 2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 金氏 裕也 印

題 目 コンクリート中の液状水浸透解析に関する基礎的研究

学位論文の概要及び要旨

鉄筋コンクリート構造物の劣化要因の一つである中性化による鋼材腐食の照査では、従来から中性化残りによる鋼材腐食の照査が行われている。コンクリート中に二酸化炭素等が侵入することによりコンクリートが中性化し、コンクリート中の鋼材が腐食しやすい状態となるが、近年、鋼材が腐食するためには鋼材への水分の供給が必要であることが報告されている。したがって、現在の中性化による鋼材腐食の照査では、従来の中性化残りによる鋼材腐食の照査に加えて、雨水等が供給されることにより生じるコンクリート中の液状水の浸透の影響も考慮されている。コンクリート中の液状水の浸透に関しては、毛細管浸透に基づく経験式である Washburn 式により液状水の浸透量を推定することが推奨されている。ここで、Washburn 式に用いられるコンクリート中の水分浸透速度を表す係数（以下、水分浸透速度係数）は、水分浸漬試験から求めることができる。しかし、水分浸漬試験では乾湿繰り返し作用による影響は考慮していないため、実環境下で乾湿繰り返し作用を受けるコンクリート中の液状水の浸透に対応しているか不明である。また、鉄筋コンクリート構造物の劣化要因の一つである塩害による鋼材腐食の照査においても、コンクリート中の液状水の浸透の影響を考慮する必要があると報告されている。一般的にコンクリートへの塩化物イオンの浸透特性は、コンクリート中の塩化物イオンの移動を拡散現象として捉え、Fick の拡散方程式を利用して評価されている。Fick の拡散方程式を用いた照査（以下、濃度拡散モデル）は、コンクリート中の内在水と外来塩分との濃度勾配に基づく塩分浸透を主体としているため、暗に飽和状態を仮定したコンクリート中の塩化物イオンの浸透を対象としている。しかし、実環境下では乾燥の影響でコンクリートは不飽和状態であるため、塩化物イオンの浸透を濃度拡散モデルで評価することは必ずしも適当とは言えない。

一方、コンクリートのような微細空隙を有する物体中の液状水の浸透に関する研究の多くは、Darcy 則に基づいた浸透問題として取り扱われている。Darcy 則は透水試験から決定する透水係数に大きく依存し、コンクリート中の液状水の浸透の場合、コンクリートの物性や乾燥程度等に応じて透水係数が変動するため、決定された透水係数の汎用性は低い。また、コンクリートのような不飽和状態における透水係数は約 $1.0 \times 10^{-11} \sim 1.0 \times 10^{-15} \text{ m/s}$ であり、コンクリート内の乾燥程度に応じて最大で 10000 倍程度のばらつきが生じるため、Darcy 則に基づく浸透解析の解析精度には疑問が残る。以上より、コンクリート中の液状水の浸透について未だ不明瞭な点が多く、コンクリートが有する微細空隙中を浸透する液状水の挙動を把握することは、中性化や塩害等に起因する鉄筋コンクリート構造物の鋼材腐食を照査する上で重要である。

そこで、本研究では、コンクリート中の液状水の浸透は毛細管浸透に基づくと考え、まず 1 本の鉛直毛細管内を浸透する液状水の基礎的な挙動を解析的、実験的に明らかにし、その動的なメカニズムをモルタル中の液状水の浸透に適用することを試みた。

本論文は、以下に示すように 6 章からなる。

第 1 章は、本論文の背景および目的を明確にし、論文の構成を示した。

第 2 章は、液状水の浸透が影響する中性化および塩害による鉄筋コンクリート構造物の鋼材腐食の照査の現状について述べるとともに、現行の照査手法の問題点を抽出した。次に、コンクリートのような微細空隙を有する物体中の液状水の浸透および毛細管内の液状水の浸透に関する既往の研究を示した。

第 3 章では、コンクリート中の液状水の浸透は毛細管浸透に基づくと考え、まず 1 本の鉛直毛細管内を浸透する液状水の基礎的な挙動を解析的、実験的に明らかにすることを試みた。既往の研究から接触角の速度依存性を考慮する毛細管内の液状水浸透解析を行う場合、接触角の動的変化の影響を含む毛管力（以下、動的毛管力）を定義する必要がある。本章では、ガラス毛細管内の液状水浸透高さを測定する毛細管浸透実験を行った。そして、接触角と液状水の浸透速度との関係について観察を行い、接触角の動的変化の影響を含む動的毛管力を定義し、力のつり合いに基づき液状水浸透を支配する方程式を導出した。さらに、同方程式の解を近似する解析解を求め、毛細管浸透実験の結果との比較、考察を行い、提案した動的なメカニズムと解析解導出時に仮定した近似が正しいことを確認した。

第 4 章では、管内断面が変化する毛細管内の液状水浸透解析を行った。これは、コンクリート構造物の表層と内部の空隙構造の差が空隙中の液状水の浸透挙動に影響を与えると考え、この影響を反映させた毛細管内の液状水浸透解析である。本章では、管内断面が変化することにより生じる毛細管内の気体の粘性摩擦力を定義して力のつり合いに基づき液状水浸透を支配する方程式を導出した。さらに、同方程式の解を近似する解析解を求め、毛細管浸透実験の結果との比較、考察を行い、管内断面が変化する毛細管内の液状水浸透に関する動的なメカニズムと解析解導出時に仮定した近似が正しいことを確認した。

第 5 章では、毛細管浸透モデルをモルタル中の液状水浸透解析に適用することを試みた。まずモルタル中の微細空隙を毛細管と仮定し、エタノール溶液があらゆる物体に対して静的接触角がほぼ 0 である特性を利用し、エタノール溶液浸漬試験により微細空隙の見かけの管内半径を推定した。次に、モルタル中の微細空隙と液状水との濡れ性を表す液状水の静的接触角については、モルタル中の液状水の浸透高さを測定し、測定結果と液状水浸透解析の結果とのフィッティングから液状水の静的接触角を推定した。最後に、得られた解析パラメータを毛細管浸透モデルに与えて解析し、その解析結果と液状水浸漬試験の結果との比較から、毛細管浸透に基づくモルタル中の液状水の浸透に関する解析モデルの妥当性と空隙構造の差が液状水の浸透挙動に与える影響について検証した。

第 6 章は、各章で得られた結果を取りまとめて結論とした。