

塩害劣化の影響を受けるコンクリート構造物の塩分浸透性評価

鹿児島大学大学院 学生会員 ○劉 姁
 鹿児島大学大学院 正会員 武若 耕司
 鹿児島大学大学院 正会員 山口 明伸
 鹿児島大学 石橋 美希

1. はじめに

近年の財政状況の悪化を背景に、わが国の公共事業費は年々削減されており、今後は膨大な社会資本の効率的な維持管理が益々重要な課題となる。コンクリート構造物の維持管理を適切に実施するには、その前提として想定される劣化現象の把握とそれによる劣化進行を予測することが必要となる。四方を海に囲まれているわが国では、塩害が代表的な劣化現象の一つであり、その進行において最も重要な要因は、鉄筋腐食に直接影響を及ぼす塩化物イオンのコンクリート中への浸透特性である。

一般に、コンクリート中への塩化物イオンの移動は拡散現象として取り扱われており、その評価手法には、Fick の拡散方程式の解が用いられる¹⁾。Fick の式によってコンクリート中への塩化物イオンの浸透を予測する場合、その影響要因は、境界条件となるコンクリート表面における塩化物イオン濃度 C_0 と、コンクリート自体の品質を表す見掛けの拡散係数 D であり、通常、両者の値は土木学会標準示方書に示されている推定値あるいは推定式に基づいて設定されることが多い。

しかしながら、最近、コンクリートの見掛けの拡散係数が、セメントの種類や W/C だけでなく、環境条件やコンクリートの供用年数によっても変動する例が報告されており、推定手法に他の影響要因も加味する必要性が議論されている。さらに、使用するコンクリートの拡散係数を、室内試験による実測結果に基づいて設定する場合でも、試験方法に応じて得られる拡散係数の値に大きな差異が生じることも報告されている²⁾。

そこで本研究では、関連の国内文献を収集・整理し、各種影響要因や試験方法が見掛けの拡散係数に与える影響について検討することを試みた。

2. 文献調査の概要

調査対象とした文献は、主に 1996 年から 2009 年にコンクリート工学年次論文集中に発表されたコンクリートの塩化物イオン拡散係数に関する論文であり、特に「試験方法」、「曝露環境」、「経過年数」、の各要因に着目したデータ収集を行った。引用文献数および調査データ数は図-1 に示す。データ抽出に際しては、①塩化物イオン拡散係数が 3 ヶ所以上の深さあたりの塩化物イオン濃度、②コンクリート配合(W/C 、セメント種類)、③試験方法、④試験期間、⑤環境条件、の 5 項目が明記してあることを条件とした。なお、調査結果については普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの例について説明する。

図-1 引用文献数および調査データ数

	文献数	データ数	発表年度	W/C(%)	備考
浸せき	7	55	1996-2009	30-60	土木学会規準に準拠
電気泳動	5	33		30-50	土木学会規準に準拠
実環境曝露	3	76		35-60	「海中部」、「干満帯」、「飛沫帯」

3. 調査結果に基づく各要因の影響考察

3.1 試験方法の影響

室内試験により実測値を算出する方法には主に浸せき試験、電気泳動試験の 2 種類がある。

図-1 および図-2 は、文献から抽出した「浸せき試験」および「電気泳動試験」による見掛けの拡散係数

キーワード 塩分浸透, 見かけの拡散係数, 塩害劣化, 経過年数, 実環境

連絡先 〒890 - 0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 TEL 099 - 285 - 8480

を、示方書式による推定値と比較した結果である。「浸せき試験」による見掛けの拡散係数は、 W/C の全範囲で示方書よりも大きく評価する傾向を示しており、逆に電気泳動試験では、示方書よりも小さめに評価する傾向があることが分かる。ただし、いずれの試験方法の場合も得られる結果には大きなバラツキがあることから、さらに試験データを蓄積し、確率論的な評価方法の検討が必要と考えられる。

3.2 環境の影響

環境の影響については、実環境に基づく見掛けの拡散係数データを、「海中部」、「干満帯」、「飛沫帯」の3種類の環境条件に分類して抽出し、その影響を検討した。

各環境条件において、近似線を使った比較結果を図-3に示す。いずれの環境においてもバラツキはあるものの、「海中部」では示方書に極めて近い傾向を示したのに対し、「干満帯」と「飛沫帯」においては示方書より小さくなる傾向を示した。つまり、同一のコンクリートであっても、その使用環境に応じて見掛けの拡散係数は変化する可能性を示している。ただし、示方書の推定式は最も拡散係数の大きくなる「海中部」と同程度であることから、示方書式による劣化進行予測は安全側の評価となっていると言える。

3.3 経過年数の影響

コンクリートは、経時的に材料特性が変化することが予想される。そこで収集した文献データから、コンクリートの経過年数の影響について検討した。図-4は、前述の各環境における見掛けの拡散係数から、 $W/C=40\%$ の場合を抽出し、経過年数と見掛けの拡散係数の関係として整理したものである。「海中部」では経時的にほとんど変化していないのに対し、「干満帯」および「飛沫帯」では経過年数が増加するにつれて大幅に減少する傾向が示された。なお、示方書式による値は、各環境における経過年数の影響が明確に表れない1~2年程の期間における見掛けの拡散係数と同程度となっている。

4. まとめ

文献調査によって得られたデータを基に、コンクリートの見掛けの拡散係数に及ぼす影響要因を検討した結果、示方書の式で取り上げているセメント種類や W/C だけでなく、試験方法、環境条件、経過年数によっても影響を受けることが分かった。また、これらの影響を加味した場合でも、示方書式による見掛けの拡散係数は概ね安全側の評価となっていることが分かった。

なお、今後更にデータを蓄積し、セメント種類および単位セメント量などの影響についての検討する必要がある。

参考文献：1) 2007年度版コンクリート標準示方書、土木学会、2008

2) 例えば、コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術小委員会（338委員会）委員会報告書、土木学会、2009

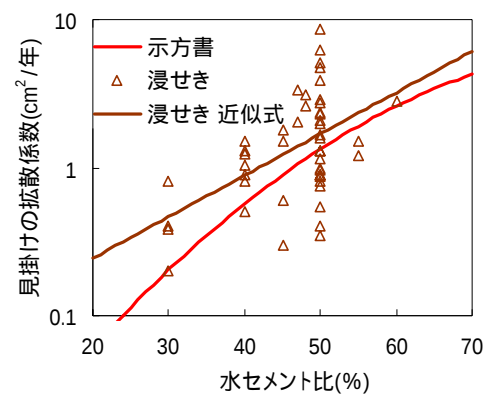


図 - 1 浸せき試験による見掛けの拡散係数

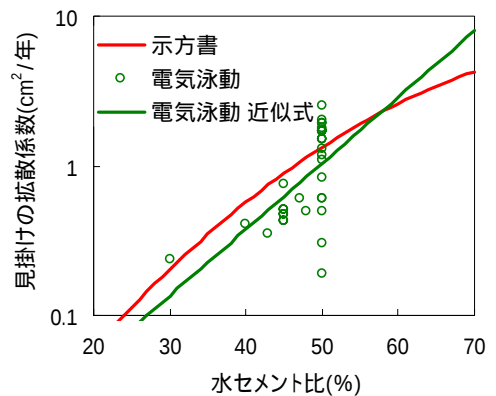


図 - 2 電気泳動試験による見掛けの拡散係数

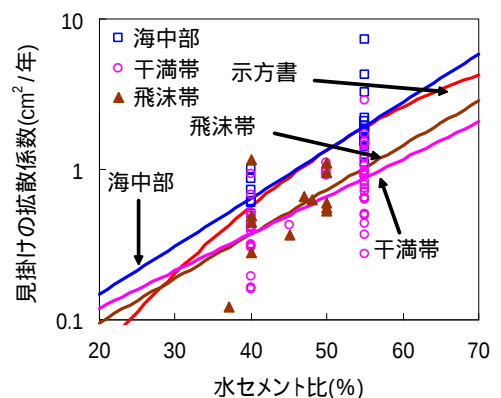


図 - 3 曝露環境ごとの比較結果

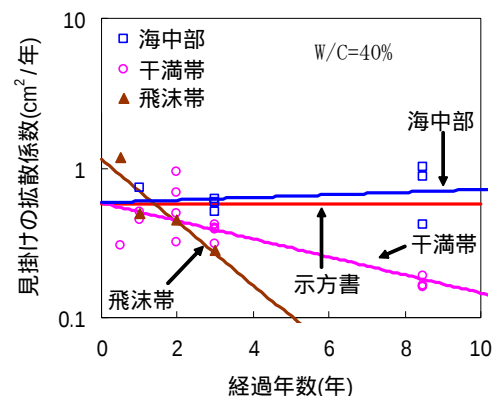


図 - 4 曝露環境ごとの経年変化