

電磁波によるコンクリート中の塩分量推定技術の実用化に向けた基礎研究

法政大学大学院 学生会員 ○内田 真未
 法政大学大学院 正会員 野嶋 潤一郎
 法政大学 正会員 溝渕 利明

1. はじめに

高度経済成長期に大量に建設された我が国の社会インフラは、老朽化が進んでおり、今後の維持管理・更新時代を見据えた効率的かつ経済的な点検・調査技術の開発が急務といえる。鉄筋コンクリート構造物の劣化要因の一つに塩害がある。現在、実構造物から塩化物イオン量を測定するには、試料採取および化学分析の手法がとられているが、局所的に構造物に損傷を与え、同一部位での継時的変化の測定が難しい等の課題がある。一方、非破壊検査でコンクリート中の塩化物イオン量を測定することが可能となれば、大規模な部材において広範囲の推定を行うことができ、また、同一部位の時間経過に伴う変化を把握することも可能となる。これにより、塩害による被害が軽微なうちに計画的な修繕を行うことが可能となり、社会インフラの長寿命化および修繕架け替えに要するコスト縮減に貢献することができることとなる。

本研究では、塩害環境におけるコンクリート中の電磁波の減衰を理論的に解明するとともに、室内試験において、その現象を実証した。また、実構造物において塩化物イオン量の調査を実施し、本手法の推定精度や適用性について検討を行った。

2. 塩分を含んだコンクリートの電磁波減衰理論

電磁波は、真空あるいは空気中であれば無損失伝搬するが、媒質が電磁波を減衰する特性を持っている場合は損失しながら伝搬するという特性を持っている。ここに 1.0GHz の電磁波を用いて、コンクリートを媒体とした場合における電界 E の減衰方程式を式(1)に示す。z 方向に電磁波が進む距離および減衰定数 α により指数関数的に減衰することがわかる。なお、式(2)に示すように減衰定数 α は電気的特性である導電率 σ および透磁率 μ 、誘電率 ϵ により構成されている。

$$|E| = |E_0| \exp(-\alpha z) \quad (1)$$

$$\alpha \cong \left(\frac{\sigma}{2}\right) \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (2)$$

コンクリート中は電界がほぼ一定であるため、透磁率の変化はない。さらに、水溶液を媒質とした場合、塩分濃度に関わらず比誘電率は 80~81 程度であり、塩分濃度による変化はないが、導電率においては真水で $10^{-4}(\text{S/m})$ 、海水で $4(\text{S/m})$ 程度の値が示されている¹⁾。以上のことから、コンクリート中に塩化物イオンが存在すると導電率に変化が生じ、電磁波の減衰に影響を及ぼすことがわかる。なお、海水の導電率が真水に比べ高い原因は、陰イオンによるイオン化伝導現象が生じたためと考えられる。海水に含まれている主要なイオン成分は表-1 に示す通り、塩化物イオン(Cl⁻)およびナトリウムイオン(Na⁺)で全量の約 85% を占めている。NaCl などの電解質の物質を溶かした水溶液は、水によって電離した陰イオン(ここでいう Cl⁻)が水中を移動し、電気伝導性をもつ。なお、コンクリート細孔溶液中において塩化物イオン以外の陰イオンの存在が考えられる。セメントの水和反応により生成される主な化学物質の溶解度を図-1 に示す。コンクリート細孔溶液の半数を占めるとされる水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)は水 100g に溶ける溶質の最大質量 g が液温 25°C において約 0.1g と、NaCl の溶解度 26.4g に比べ著しく低い。このため、コンクリート中に水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)の量が多くても、細孔溶液中ではすぐに飽和状態となり、電離する水酸化物イオン(OH⁻)の量は少なく、ほぼ一定量となる。よって、細孔溶液中の陰イオンの増減は、セメントの水和反応に伴う水酸化カルシウムの影響は限りなく小さく、塩化ナトリウム(NaCl)が電離した塩化物イオン(Cl⁻)量によって変動するものと考えられる。

表-1 海水中に含まれる主要イオン割合

成分	割合(%)
Cl ⁻	55.05
Na ⁺	30.61
SO ₄ ²⁻	7.68
Mg ²⁺	3.69
Ca ²⁺	1.16
K ⁺	1.10
HCO ₃ ⁻	0.41
Br ⁻	0.19
H ₃ BO ₃	0.07
Sr ²⁺	0.03

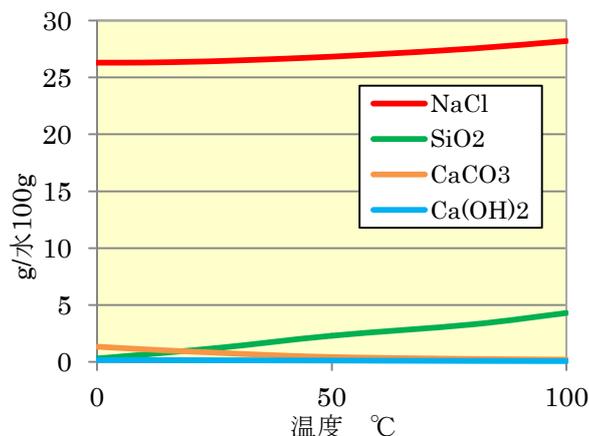


図-1 コンクリート中の主な物質の溶解度

4. 室内試験による電磁波減衰の実証

塩化ナトリウム濃度による電磁波減衰の関係について検討を行うため、所定の塩化ナトリウム水溶液を作成し、アクリルボックスに各濃度の塩化ナトリウム水溶液を満たして電磁波測定および溶液中の導電率を測定した。結果として、塩化ナトリウム濃度ごとの電磁波の振幅値および導電率の変化を図-2に示す。塩化ナトリウムの増加に伴い導電率が増加し、振幅は減少する傾向を示した。これにより、陰イオン(Cl⁻)のイオン伝導現象による導電率の増加が電磁波減衰を引き起こすことを実証した。

5. 実構造物を対象とした調査結果

本研究室では、本手法の非破壊検査としての適用性を検討するため、2010年から4年間、実構造物を対象とした調査を実施している。ここでは、一例として海際での構造物における調査結果を図-4に示す。現在、本手法ならびにFickの拡散方程式の解を利用することで、鉄筋位置での塩化物イオン量を推定可能となっている。図-3において黄色から赤色

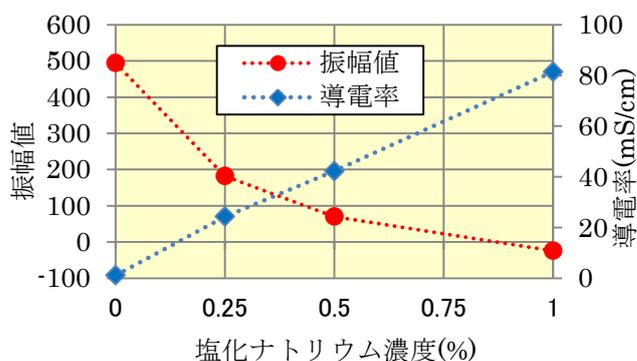


図-2 振幅値と導電率の関係

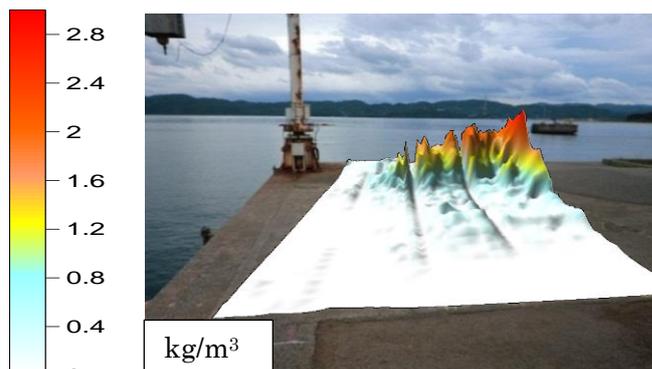


図-3 鉄筋位置における塩化物イオン量分布図

の範囲は鋼材腐食発生限界量である 1.2kg/m^3 以上の塩化物イオン量が分布している箇所であり、鉄筋腐食が生じている可能性があるとして推測される。このように、本手法を用いて鉄筋位置における塩化物イオン量を推定することにより、広範囲にわたるコンクリート構造物の劣化評価を簡易に行え、その分布状況を把握できることを示した。

6. まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- (1) 塩分を含んだコンクリートにおいて、塩化物イオン(Cl⁻)によるイオン伝導現象が導電率の増加を引き起こし、電磁波を減衰させる。
- (2) (1)の現象において、コンクリート細孔溶液中の他の陰イオンの影響は限りなく小さい。
- (3) 電磁波を用いた塩化物イオン量推定技術により、鉄筋位置における塩化物イオン量分布図を示すことが可能となっている。

参考文献

- 1) 新井淳一, 溝淵利明, 坂田昇, 須田久美子: 非破壊による鉄筋コンクリート中の塩分測定に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No1, 2002