

電磁波を用いた塩化物イオン量推定のための コンクリート内部の陰イオンによる電磁波減衰理論に関する研究

法政大学 大学院	正会員	○野嶋 潤一郎
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	新井 淳一
法政大学	正会員	溝渕 利明

1. 研究目的

塩害の調査方法は、構造物からコアを採取し、化学分析を行うことによってコンクリート中の塩化物イオン量を求める方法が一般的である。しかし、コア採取による評価方法は、その測定点のみの評価であること、構造物に弱点部を生じさせる場合があること、また同一箇所での継続的な塩化物イオン量評価が行えないなどの課題を有している。

そこで本研究では、電磁波を用いて非破壊でコンクリート中の塩化物イオン量を推定する技術について、その高精度化を目的とした減衰シミュレーションを構築するため、コンクリート中の陰イオンの存在による電磁波減衰理論に関する研究を行った。

2. 電磁波減衰の理論式

2.1 電磁波の減衰方程式

著者らは既往の研究¹⁾にて、電磁波の減衰方程式を式(1)で示している。式(1)より、電磁波の減衰は、媒質の電気的性質より定まる減衰定数 α と媒質中を進む距離 z の指数関数で決まることとなる。

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

なお、電磁波は、導電電流と変位電流の比で示される $\sigma/\omega\epsilon$ の大きさによって、減衰定数 α および位相定数 β は、式(2)による誘電性媒質(lowloss)と、(3)による良導電性媒質(good conductor)の異なる方程式で求められる。

$\sigma/\omega\epsilon \ll 1$ (lowloss)

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

$\sigma/\omega\epsilon \gg 1$ (good conductor)

$$\alpha \cong \sqrt{\frac{\omega\sigma\mu}{2}}, \quad \beta \cong \sqrt{\frac{\omega\sigma\mu}{2}} \quad (3)$$

2.2 コンクリートを媒質とした場合の減衰特性

鉄筋かぶり領域の塩化物イオン量を推定するために、1.0GHz の電磁波を用いて計測を行ったとした場合、コンクリートの比誘電率 ϵ_r を一般的な8~12の範囲とす

ると、 $\sigma/\omega\epsilon$ は1より小さな値となる。すなわち、コンクリートは誘電体(lowloss)となり、減衰定数 α は式(2)が適用されることとなる。

ここで、コンクリートの透磁率は変化しないことから、コンクリートを媒質とした場合の電磁波減衰特性は、「導電率 σ 」と「誘電率 ϵ 」の変化によって決まることとなる。

3. 塩害環境下構造物の電気的定数の変化要因

3.1 海水中の陰イオンが導電率に及ぼす影響

pauling の電気陰性度²⁾より、周期表の右上に位置する元素ほど電気陰性度は大きくなる傾向にあり、周期表におけるハロゲン(17族)に属す塩素(Cl)は、-1価のイオンになりやすい元素であるといえる。

海水に含まれている主要なイオン成分の一覧とその溶質(%)を、表-1に示す。表-1より、海水の主要なイオンとして、塩化物イオン(Cl⁻)およびナトリウムイオン(Na⁺)があげられ、両イオンで全量の約85%を占めていることとなる。

海水の導電率が、超純水や水道水と比較して高い原因は、陰イオンによるイオン伝導現象(図-1参照)が生じたことによるものである。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が水中を移動し、電気伝導性を持つ。ここで、海水に

表-1 海水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

おける陰イオンとは、表-1 に示される割合から見て、主に Cl^- がその役割を担っていると考えられる。

3.2 コンクリート細孔溶液中の陰イオンについて

コンクリート中の細孔溶液における、塩化物イオン以外の陰イオンの存在について考える。セメントの水和反応によってセメント量の約 1/3 の量の水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)が生成される。

水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)は強塩基に分類され、電離度(=電離した電解質の物質質量/溶解した電解質の物質質量)は高く、カルシウムイオン(Ca^{2+})と水酸化物イオン(OH^-)に電離しやすい特性を有する。なお、塩化ナトリウム(NaCl)も同様に強塩基に分類され、ナトリウムイオン(Na^+)と塩化物イオン(Cl^-)に電離されやすい。

一方、結晶が水に溶けるためには、溶解という現象が必要となる。図-3 に塩化ナトリウムの溶解過程を示す。溶媒 100g に溶ける溶質の最大質量(g 数)を溶解度といい、その値は溶質によっても異なり、溶質の持つ温度依存性も異なる(図-2 参照)。液温 25℃においては、塩化ナトリウム(NaCl)の溶解度は約 26.4g であるのに対し、水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)の溶解度は約 0.1g である。すなわち、コンクリート中の水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)の量が多くても、細孔溶液中においては直ぐに飽和状態となり、電離する水酸化物イオン(OH^-)量は少なく、かつその値もほぼ一定量となる。

一方、塩化ナトリウム(NaCl)については、溶解度ならびに電離度は共に大きいことから、細孔溶液中の塩化物イオン(Cl^-)量は、塩化ナトリウム(NaCl)量に比例して増加する傾向にある。

以上のことから、コンクリートが本来持っている水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)による電磁波減衰影響は限定的であり、飛来塩分量などによる塩化ナトリウム(NaCl)が細孔溶液中に浸入し、電離した塩化物イオン(Cl^-)量によって、電磁波の減衰減少が生じるものと考えられる。

4. まとめ

本研究より、陰イオンによる電磁波減衰のメカニズムとコンクリート中の細孔溶液中の陰イオン環境が明らかになった。今後の研究課題としては、①各種コンクリートの電気特性値の把握、②電磁波の入反射による影響評価、③温度・相対湿度の影響を含めた高精度電磁波減衰シミュレーションの確立などがあげられる。

参考文献

- 1) 野嶋潤一郎, 内田真未, 池田大樹, 溝渕利明: 電磁波を用いた塩化物イオン量推定のための電磁波減衰特性に関する研究, 土木学会第 68 回年次学術講演会, 2013.
- 2) 日本化学会: 改訂 3 版 化学便覧基礎編 II, pp.588~589.

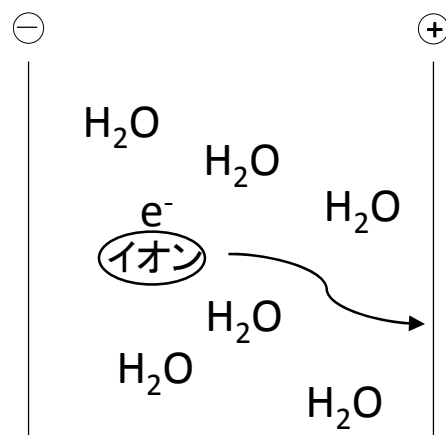


図-1 イオン伝導現象

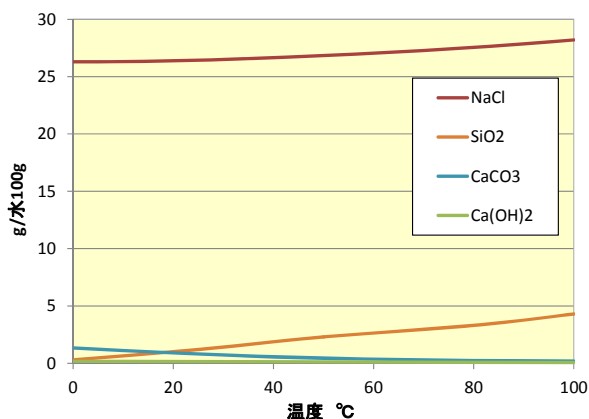


図-2 コンクリート中の主な物質の溶解度

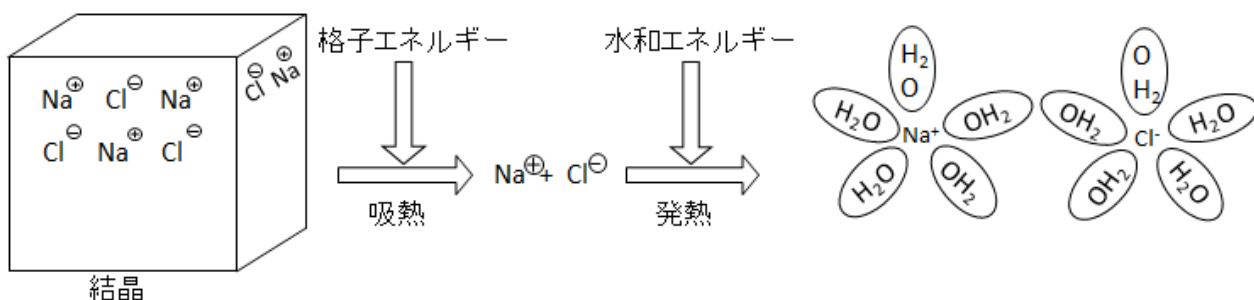


図-3 イオン結合物質の溶解過程模式図