電磁波を用いた塩化物イオン量推定の精度向上に関する検討

法政大学　大学院　　学生会員　○内田真未
法政大学　大学院　　非会員　池田大樹
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

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．しかし，この手法では局所的ではあるが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．

本研究では，室内試験において，電磁波を用いた塩化物イオン量推定における基礎実験として，塩化物イオン量による電磁波減衰の関係について検討した．また，実構造物において塩化物イオン量の調査を実施し，推定精度や適用性の検討を行った．

2. 電磁波の減衰

電磁波の特徴の一つとして，真空あるいは空気中では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点が挙げられる．コンクリートを媒体とした場合，電磁波の減衰に関わる主な要因は透磁率および誘電率，導電率となる．なお，コンクリート中の透磁率は電界がほぼ一定であることから変化はないとされている．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}(S/m)，海水で 4(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となる．ただし，コンクリートの含水状態により比誘電率および導電率が変化することから，含水率の影響も考慮する必要がある．

3. 研究方法

3.1 塩分濃度と電磁波形に関する基礎的実験

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を行った．本実験の水準および概要図を**表 1** および**図 1** に示す．

3.2 実構造物調査

電磁波による塩化物イオン量推定手法の非破壊検査としての適用性を検討するため，実構造物において電磁波測定およびコア採取による塩化物イオン量の調査を行った．電磁波測定により求められる構造物におけるかぶりおよび振幅値と塩化物イオン量実測値を用いて，重回帰分析により塩化物イオン量推定式を算出した．さらに，Fick の拡散方程式の解(1)を用いて鉄筋位置における塩化物イオン量を逆算した．なお，ここで取り上げる火力発電所(長崎)の構造物は，フライアッシュ A 種を利用し，水セメント比は 53%，供用年数 34 年である．

$$C(x,t) = C_{os}\left\{1 - erf\left(\frac{x}{2\sqrt{D_{aps}\cdot t}}\right)\right\} \qquad (1)$$

ここで，C(x,t)：深さ x(mm)，時間 t(年)における塩化物イオン濃度(kg/m^3)，C_{os}：表面における塩化物イオン濃度(kg/m^3)，D_{aps}：見掛けの拡散係数(cm^2/年)，erf：誤差関数　である．

表 1　塩化ナトリウム水溶液の水準

要因	水準
塩化ナトリウム濃度(%)	0，0.25，0.5，1.0

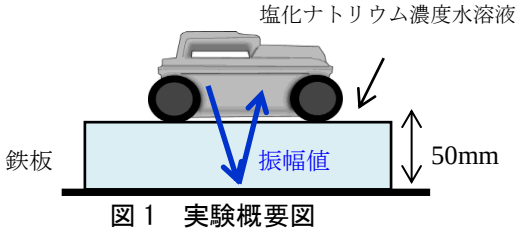

図 1　実験概要図

キーワード　非破壊試験，電磁波，塩化物イオン量
連絡先　〒184-8584　東京都小金井市梶野町 3-7-2　　TEL　042-387-6286

4. 試験結果

4.1 塩分濃度と電磁波形に関する基礎的実験

塩化ナトリウム濃度ごとの電磁波形を図 2 に示す．アンテナおよび水溶液の上面にはわずかではあるが空気層が存在するため，各波形とも表面波が 2 波長目に表示されている．よって，鉄板からの反射波は 3 波目にあたる．この 3 波目に着目すると，塩化ナトリウムの増加に伴い振幅が小さくなる傾向を確認した．この結果より，媒質中に塩化物イオンが多く存在することにより電磁波伝播の際に導電率が変化し，振幅値が減衰したと考えられる．この特性を利用することにより，電磁波を用いて媒質中の塩化物イオン量を推定できる可能性を示した．

4.2 実構造物における塩化物イオン量推定

火力発電所(長崎)において試料採取および電磁波測定を行った．目的変数をかぶり間の平均塩化物イオン量，説明変数を振幅値およびかぶりとして重回帰分析を行い，塩化物イオン量推定式(2)を算出した．

$$Cc = 0.155\alpha + 0.013c - 7.41 \qquad (2)$$

Cc：塩化物イオン量推定値(kg/m^3)

α：振幅値　c：かぶり(mm)

重相関係数は 0.81 となり，塩化物イオン量の推定値と実測値との間に比較的高い相関関係を確認することができた．

ここで，塩害による劣化状況を相対的に評価するためには，鉄筋位置における塩化物イオン量を推定することが必要となる．推定式(2)を用いて電磁波測定面におけるかぶり間の平均塩化物イオン量を求め，Fick の拡散方程式の解(1)を利用して鉄筋位置における塩化物イオン量を推定した．一例に火力発電所(長崎)の物揚場の天端におけるかぶり間の平均塩化物イオン量分布を図 3 に，鉄筋位置における塩化物イオン量分布を図 4 に示す．図 3 および図 4 より塩化物イオン量が相対的に高い数値を示した個所は一致し，かぶりが 50~80mm の比較的小さい個所であった．また，塩化物イオンの浸入による鋼材の腐食発生限界量は 1.2kg/m^3 以上とされており，図 4 における推定分布での黄色から赤色に示す箇所においては鉄筋の腐食が発生している可能性があると推測される．このように，鉄筋位置における塩化物イオン量推定値をマッピングすることにより，広範囲に渡る鉄筋の劣化評価をより簡易に行える可能性を示した．

5. まとめ

本研究により以下の知見が得られた．

(1) 塩化ナトリウム水溶液を媒質とした場合，塩化ナトリウムの増加に伴い導電率に変化が生じ，電磁波の振幅値が減衰する傾向を示した．

(2) 鉄筋位置における塩化物イオン量を求めることにより，塩害による鉄筋の劣化評価をより簡易に行える可能性を示した．

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，№1，2002

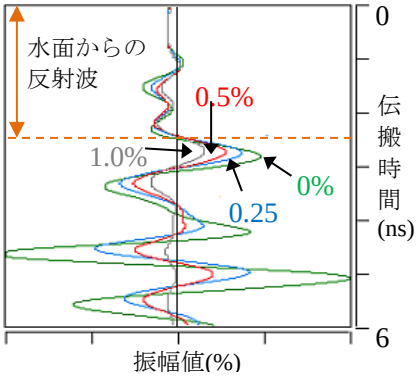

図 2　振幅値の減衰比較

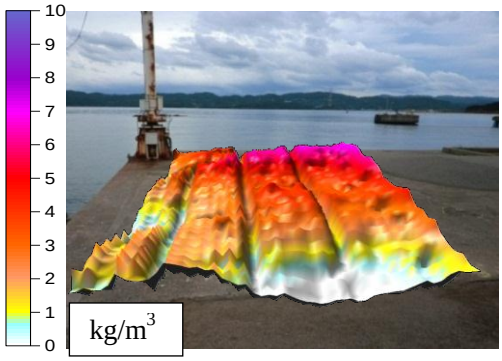

図 3　かぶり間の平均塩化物イオン量分布

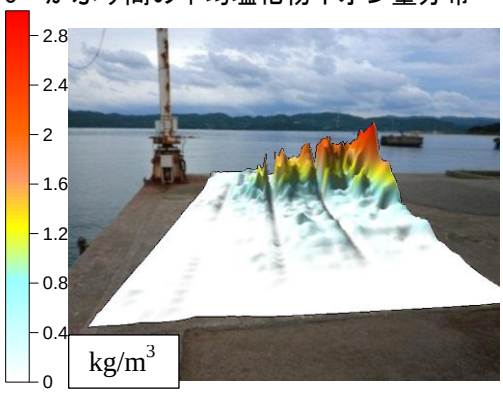

図 4　鉄筋位置における塩化物イオン量分布