

配向分極特性を利用した既設コンクリートの塩分濃度測定技術の基礎的検討

竹中道路 正会員	○ 田中 大
竹中技術研究所	山崎 慶太
竹中技術研究所	三井 健郎
佐賀大学	村松 和弘
東北学院大学	芳賀 昭

1.はじめに

近年、建設業界の新築需要は低下傾向にあり、リフォーム技術が主体となりつつある。これに伴って高度成長期に建設されたインフラ（新幹線や高速道路の高架橋、トンネル等）の寿命診断の需要が急増している。特に塩害や中性化といったコンクリートの劣化は鉄筋腐食の原因の一つとされ構造物の強度を著しく低下させることが知られている。しかし、現状の検査方法はコアサンプリングなど破壊検査が主流となっている。

そのため、筆者らは、コンクリートに含まれる物質の誘電率の周波数特性に着目して、含有塩分濃度を簡易な交流電気法で非破壊的に検査する方法を提案している¹⁾。本方法を確立させる為には、まずコンクリートの含有塩分濃度などが、その導電率や誘電率の周波数特性に及ぼす影響を検討しなければならず、電極間のインピーダンスからコンクリート自体の導電率および誘電率を逆問題的に推定する必要がある²⁾。

そこで今回、まず、コンクリートの打設から5ヶ月、10ヶ月の供試体を用いて、導電率、誘電率が供試体の塩分濃度を評価できるパラメーターであるかを確認するための実験を行った。次に、コンクリートの導電率と誘電率を逆問題的に推定する基礎的検討として、変位電流を考慮した電磁界解析法を開発し、コンクリートのインピーダンスの周波数特性を順問題で解析し、測定結果と比較検討をした。

2.実験的検討

2.1 実験方法

図1に、コンクリートのインピーダンスの周波数特性を測定する実験システムを示す。直径100mm、長さ200mmの円柱コンクリートの供試体の上下に銅電極を設置し、この電極にLCRメータの電流端子を接続し、電圧端子を供試体中央部に35mm間隔に巻きつけた2本のステンレスワイヤーに接続した。パソコンで周波数をスキャンし、コンクリートのインピーダンスとして並列抵抗 R_p と並列容量 C_p の周波数特性を測定する。

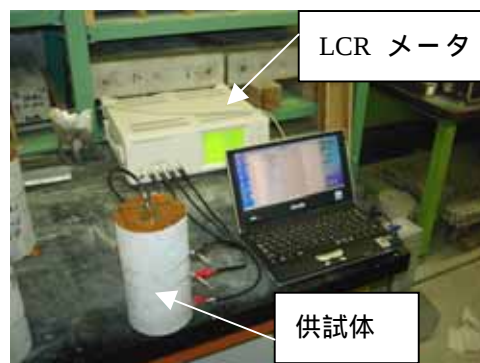


図1 供試体とLCRメーター

2.2 実験結果

コンクリートの試験体に含まれる塩化物の量を 1m^3 当り0.0, 0.6, 2.4kgとし、それぞれ2個の試験体を準備した。作成から5ヵ月後および10ヵ月後の並列抵抗 R_p 、並列容量 C_p の周波数特性をそれぞれ図2、3に示す。 R_p の測定結果からは、塩分濃度による差は見られず材令5ヶ月から10ヶ月にも大きな差は見られなかった。一方、 C_p の測定結果からは、材令5ヵ月で塩化物量による顕著な差が見られた。また10ヵ月後では、塩化物量が0.0の場合だけ低周波帯(100Hz付近)で材令5ヵ月より下がる傾向が認められたものの、塩化物量が0.6と2.4では数値に大きな変化は見られなかった。この結果から、塩分濃度を評価できるパラメーターとしては、並列抵抗 R_p より、並列容量 C_p が適している。また、 R_p 、 C_p の周波数特性が複雑な挙動を示すのは、電極間に伝導電流と変位電流の両方が流れ、また、インダクタンス成分も関係するなどの理由が考えられ、LCRメータで測定された R_p 、 C_p からコンクリートの導電率、誘電率を逆問題的に推定するためには、伝導電流と変位電流を考慮した電磁界解析法が必要になると思われる。

キーワード 非破壊，塩分濃度，誘電率，並列容量，並列抵抗，電磁界解析

連絡先 〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1 竹中技術研究所 TEL0476-47-1700

3. 解析的検討²⁾

3.1 解析方法

伝導電流と変位電流の両方を考慮した周波数領域における電磁界解析法の基礎方程式は次式で表される．

$$\text{rot}(\nu \text{rot} \dot{A}) = -\sigma(j\omega \dot{A} + \text{grad} \phi) - \varepsilon(-\omega^2 \dot{A} + j\omega \text{grad} \phi) \quad (1)$$

$$\text{div}\{-\sigma(j\omega \dot{A} + \text{grad} \phi) - \varepsilon(-\omega^2 \dot{A} + j\omega \text{grad} \phi)\} = 0 \quad (2)$$

ここで、 A 、 ϕ 、 ν 、 σ 、 ε 、 ω は、それぞれ磁気ベクトルポテンシャル、電気スカラーポテンシャル、磁気抵抗率、導電率、誘電率、各周波数であり、(1)式の右辺第一項が伝導電流、第二項が変位電流に対応する．

3.2 解析モデル

今回は簡単のため、電流が x 、 y 成分、磁束が z 成分のみを有する二次元場で検討を行った．図4に、図1のコンクリート試験片を想定した解析モデルを示す．ただし、図では対称性を考慮して1/4領域のみを示している．未知数は、 A_x 、 A_y 、 ϕ とし、 $y=0$ 、125mm 線上に、それぞれ $\phi=0$ 、1Vの境界条件を与えることにより、コンクリートに電圧を印加し、電流を流した．また、

コンクリート上下に設置された電極のみから電流が流れるように、電氣的に絶縁な領域 a-b-c-d ($\sigma=\varepsilon=0$) を設けた．他の固定境界条件は図に示される通りである．今回はコンクリートの導電率、誘電率を一定とし、周波数を変化させて電流分布を求め、得られた電流分布より、LCR メータで計測されるコンクリートのインピーダンスを算出した．なお、コンクリートの σ は 10^{-3}S/m 、比誘電率 ε_s を1、比透磁率 μ_s は1とした．

3.3 解析結果

図5に、並列抵抗 R_p の周波数特性を図6に並列容量 C_p の周波数特性を示す．周波数を高くするにつれて並列抵抗 R_p は小さくなる．並列容量 C_p も小さくなるが、これは伝導電流の位相がインダクタンス成分のために遅れ、変位電流を打ち消す成分が大きくなるからである．これらの傾向は並列抵抗 R_p 、並列容量 C_p 、それぞれの実験結果である図2、図3と同じ傾向である．

4. まとめ

今後、引き続き主に並列容量 C_p を測定し、材令による変化を確認するとともに、実験結果と定量的に周波数特性が一致するように解析モデル、解析手法を改善し、電極間のインピーダンスからコンクリート自体の導電率および誘電率の逆問題的な推定が可能になるような解析手法を確立したい．

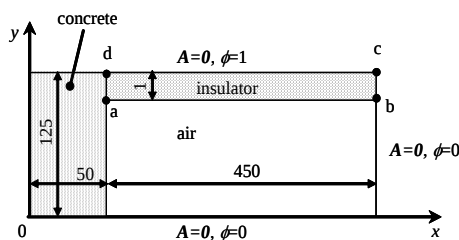


図4 解析モデル

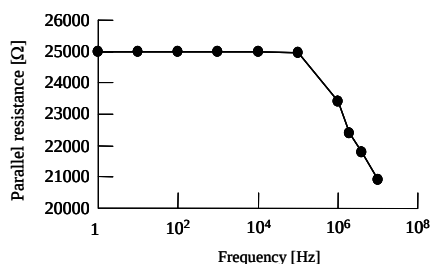
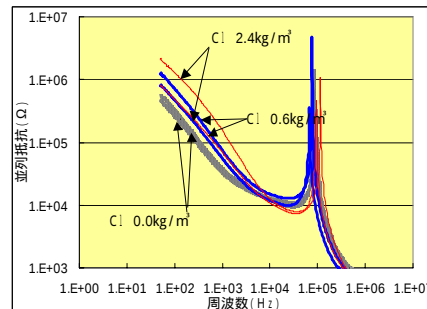
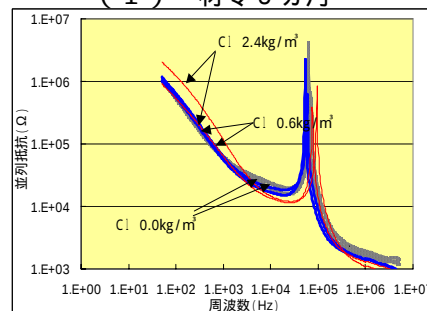


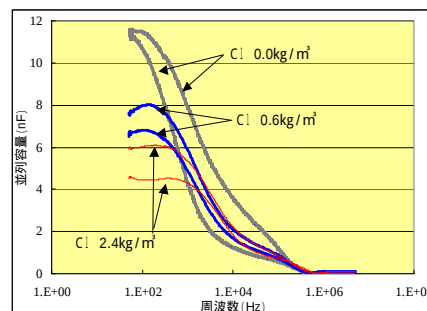
図5 並列抵抗の周波数特性



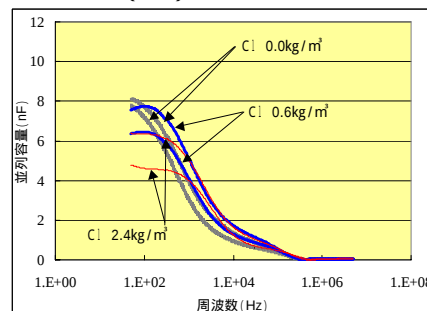
(i) 材令5ヵ月



(ii) 材令10ヵ月
図2 並列抵抗測定結果



(i) 材令5ヶ月



(ii) 材令10ヶ月

図3 並列容量測定結果

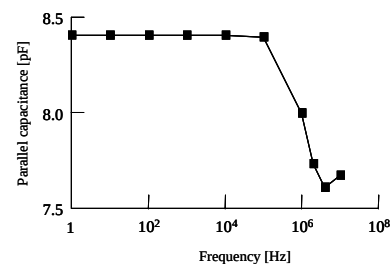


図6 並列容量の周波数特性

参考文献

- 1) 平17電気学会全国大会, no. 4-195
- 2) 電気学会静止器・回転機合同研究会, SA-06-29, RM-06-29 (平18)