

4 プローブ法の電極間隔を変化させて得られる電気抵抗率と奥行き方向の含水率分布の関係

東北大学

学生会員 ○矢野 貴行

東北大学

正会員 皆川 浩, 久田 真

三井造船株式会社

正会員 井上 浩男

ドーピー建設工業株式会社

非会員 長谷川 剛

1. 背景と目的

4プローブ法は非破壊で迅速に実構造物のコンクリートの電気抵抗率を測定する方法として有用である。しかし、材料の不均一性や測定の方法や手順、測定対象部材の寸法などが測定結果に影響を及ぼすことが指摘されている。本研究では、電極間隔を変えた電気抵抗率の測定と含水状態の関係について、実験および数値解析により評価した。

2. 実験概要

2. 1 供試体の概要

供試体は $W/C=50\%$, $S/C=2.1$ のモルタルにて作製した。結合材は普通ポルトランドセメント（密度： 3.15 g/cm^3 ，比表面積： $3290\text{ cm}^2/\text{g}$ ）を，細骨材は宮城県黒川郡の洗い砂（表乾密度： 2.63 g/cm^3 ，吸水率： 1.8% ，粗粒率： 2.67 ）を使用した。供試体寸法は $400\times 400\times 250\text{ mm}$ の角柱3体と $\phi 200\times 100\text{ mm}$ の円柱6体である。供試体の含水状態を深さ方向に変化させるため角柱の1面のみを開放し， $20\pm 3\text{ }^\circ\text{C}$ の水中で養生（以下条件A），28日間の水中養生終了後に相対湿度 $60\pm 5\%$ に曝露（以下条件B），28日間の封緘養生後に相対湿度 $35\pm 5\%$ に曝露（以下条件C）とした。

2. 2 測定項目

(1) 4プローブ法による電気抵抗率

条件A,B,Cの角柱3体に対しては，4プローブ法¹⁾により電気抵抗率を評価した。電圧 30 V ，周波数 73.3 Hz の交流電流を印可し，供試体に流れる電流： $I_p[\text{A}]$ と電位差電極間の電位差： $V_p[\text{V}]$ を測定し，式(1)のように電気抵抗率： $\rho_a[\Omega\text{ m}]$ を評価する。

$$\rho_a = 2\pi \cdot a \cdot \frac{V_p}{I_p} \quad (1)$$

測定に際しては，電極間隔を $30, 40, 50, 60\text{ mm}$ と変化さ

せた。また，電流電極の直径は 4 mm であり，5回測定した値の平均値を測定値とした。また，電極の先端には NaCl とカルボキシメチルセルロースの混合水溶液を含浸させた導電性スポンジを設置した。

(2) 四電極法による電気抵抗率

条件A,B,Cの円柱6体に対しては，四電極法²⁾により電気抵抗率： $\rho[\Omega\text{ m}]$ を評価した。電位差電極間の距離は 30 mm である。

2. 3 数値解析の概要

数値解析は皆川ら³⁾と同様の構成則を用いた。FEMによりモデル供試体に流入する電流および電位分布を評価し，4プローブ法により得られる電気抵抗率を計算した。モデル供試体の寸法は実験用供試体と同等とした。また，コンクリートを半無限体として解いた Fick の拡散方程式を最小二乗法にて実測値に fitting させて得た数式により，供試体内部の含水率分布を表現した。この含水率分布と式(2)を用い含水率分布の存在に伴う真の電気抵抗率の空間分布をモデル中に考慮した。

$$\rho_{\text{FEM}} = \frac{1}{58.4x^{-1.22}} \quad (2)$$

ここで， x ：相対含水率である。

3. 結果と考察

図-1に，電極間隔と電気抵抗率比（ $=\rho_a/\rho$ ）の関係を示す。図-1の電気抵抗率比において，四電極法にて測定した値を分母として評価した。図-1より，条件Aの電極間隔が 30 mm の時の ρ_a/ρ は $1:1$ の関係に近い。これは，条件Aの供試体の内部は十分に湿潤状態にあり，含水率分布が一様であるためと考えられる。また図-1より，電極間隔が 30 mm の時の条件BとCの ρ_a/ρ は 0.6 程度である。角柱供試体の含水率分布は深さ方向に変化する。一方，円柱供試体は供試体の中心軸に対して同心円状に含水率分布が変化しているものと考えられ

キーワード 電気抵抗率，電気抵抗率比，電極間隔，相対含水率

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院土木工学専攻 TEL 022-795-7430

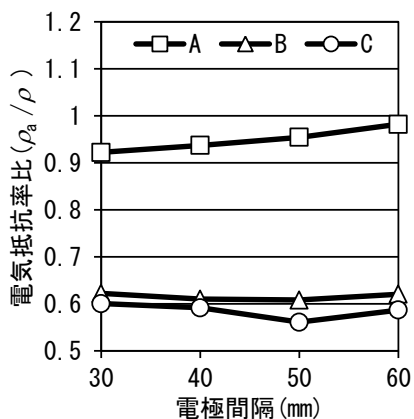
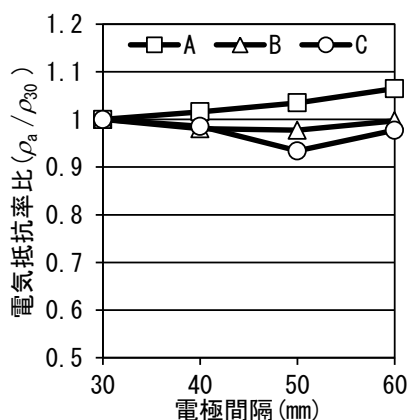
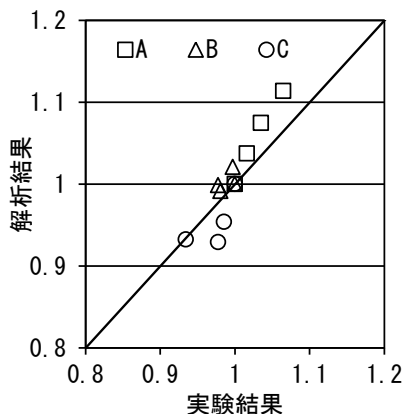
図-1 電極間隔と電気抵抗率比 (ρ_a/ρ)図-2 電極間隔と電気抵抗率比 (ρ_a/ρ_{30})

図-3 実験結果と解析結果

る。さらに、それらの含水率分布に対して電流を流そうとする方向がそれぞれの測定手法で異なり、電位差電極間付近に生じる電位分布もそれぞれの測定手法で異なってしまうために、電気抵抗率比が条件 A と比較して変化したものと考えられる。

図-2 に、電極間隔と電気抵抗率比 ($=\rho_a/\rho_{30}$) の関係を示す。ここで、 ρ_{30} は 4 プローブ法において電極間隔

30 mm の時に得られた電気抵抗率である。図-2 より、条件 A の ρ_a/ρ_{30} は、電極間隔を広げるにつれて大きくなる。条件 A では含水率分布の影響は小さいと考えられるため、既往の文献³⁾で指摘されているように、電極間隔を広げるに伴い供試体寸法の影響を受け、半無限体の仮想供試体における理想的な電位分布と乖離するためであると考えられる。一方、条件 B, C の ρ_a/ρ_{30} は、電極間隔を広げるにつれて小さくなる。これは供試体寸法よりも、供試体表層の乾燥に伴う含水率分布の変化の影響を強く受けたためと考えられる。乾燥の影響を受けている供試体に対して電極間隔を小さくして測定を行った場合、電流が乾燥した表層を流れるため、電気抵抗率は大きくなると考えられる。電極間隔を広くして電気抵抗率を測定した場合、電流が乾燥を受けていない層まで流れるため、電気抵抗率は小さくなると考えられる。

図-3 に、 ρ_a/ρ_{30} の実験結果と数値解析結果の関係を示す。図-3 より、実験結果と数値解析結果はほぼ 1:1 の関係となっており、含水率分布の変化が 4 プローブ法により評価される電気抵抗率に及ぼす影響を数値解析的に説明できていることがわかる。このことから、4 プローブ法により電極間隔を変えた電気抵抗率の測定結果と本研究で用いた数値解析法の逆解析を実施することでコンクリート中の電気抵抗率や含水率分布を評価することが可能になると考えられる。

4. 結論

コンクリート内部の含水率の分布は 4 プローブ法により評価される電気抵抗率に影響を及ぼし、その程度は電極間隔によって変化することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 土木学会：土木学会規準として制定が望まれる試験方法の動向，コンクリート技術シリーズ，No.84，pp.108-113, 2009.4
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[規準編]，JSCE-K562，pp.406-411, 2010.11
- 3) 皆川浩ら：電極の設置条件が 4 プローブ法における体積抵抗率の測定結果に及ぼす影響についての基礎的研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.31，No.1，pp.1087-1092, 2009
- 4) 榎原彩野ら：乾湿に伴う含水状態の変化がモルタルの電気抵抗率の測定値に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1109