

電流電極の先端の形状が4プローブ法による電気抵抗率の測定値に及ぼす影響

東北大学 学生会員 ○矢野貴行, 正会員 皆川浩, 正会員 久田真
三井造船(株) 正会員 石原修二, ドーピー建設工業(株) 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、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。本研究は、電流電極の先端の形状が測定結果に及ぼす影響について、実験および数値解析にて評価した。

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2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日間の封緘養生後に室内にて気中曝露を250日間(以下条件B)とした。

2.2 測定項目

(1) 検討の要因と水準

検討の要因と水準は以下の通りである。

- ・電流電極の先端形状：円形，矩形
- ・円形の電流電極の直径： $\phi 4\text{ mm}$
- ・矩形の電流電極の寸法： $X=30, 60, 90\text{ mm}$, $Y=10\text{ mm}$
- ・電極間隔：20, 30, 40, 50, 60 mm

(2) 4プローブ法による電気抵抗率の測定

図-1に、4プローブ法の測定方法を示す。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、換算係数： k を用いて式(1)のように電気抵抗率： $\rho_a[\Omega\text{ m}]$ を評価した。

$$\rho_a = k \cdot \frac{V_p}{I_p} \quad (1)$$

ここで、電極間隔が等間隔に配置され、電極先端の寸

法が無限に小さいと仮定でき、かつ計測の場合が一様な無限体の場合の換算係数： k_0 は、電極間隔 a を用いて式(2)のように表せる¹⁾。本研究では、円形の電流電極にて電気抵抗率を計測した時の換算係数は式(2)を用いた。

$$k_0 = 2\pi \cdot a \quad (2)$$

一方、矩形の電流電極の場合の換算係数： k_r は、2.3に示す方法で算出した。

電流印可時間は70秒間とし、1秒ごとに電流と電圧を計測した。電流印可開始から60秒経過した後の10秒間で計測した電流・電圧から1秒ごとの電気抵抗率を算出し、それらの平均値を1回の測定の電気抵抗率の測定値とした。そして、この測定を電極設置位置をずらして10回実施し、得られた測定値の平均値を電気抵抗率： ρ_{a-60} とした。また、電流印可開始直後の測定値の変動を評価するために、電流印可直後から10秒間の測定で得られた電気抵抗率： ρ_{a-0} も算出した。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。

2.3 数値解析による換算係数の算出

数値解析は皆川ら²⁾と同様の構成則を用いた。モデル供試体は、電極間隔や電極寸法の影響を受けないように $800\times 800\times 800\text{ mm}$ の寸法とした。モデル供試体に導電率： $1/\rho_f$ を与え、流入する電流： I_f および電極間電位差： V_f を評価し、矩形の電流電極の換算係数： k_r を式(3)にて算出した。

$$k_1 = \rho_f \frac{I_f}{V_f} \quad (3)$$

3. 結果と考察

図-2に、数値解析により求めた各先端形状および電極間隔における換算係数比(k_r/k_0)を示す。図-2より、矩形の電流電極の寸法が大きくなるほど、換算係数の値が大きくなる。これは、電極寸法が大きくなると供試体表面に生じる電位分布が変化するためと考えられる。従って、寸法が比較的大きい矩形電極を用いて電気抵抗率の

キーワード 4プローブ法, 電気抵抗率, 電極間隔, 換算係数

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

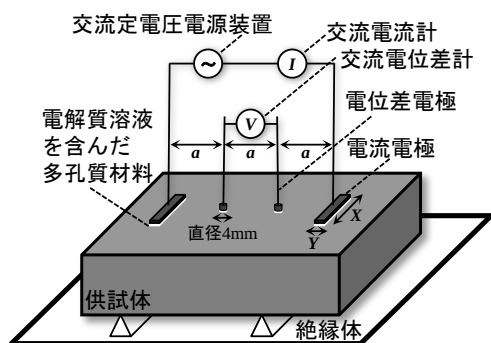


図-1 4プローブ法の測定概念図

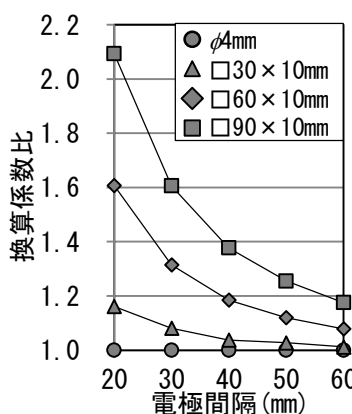


図-2 電極間隔と換算係数比

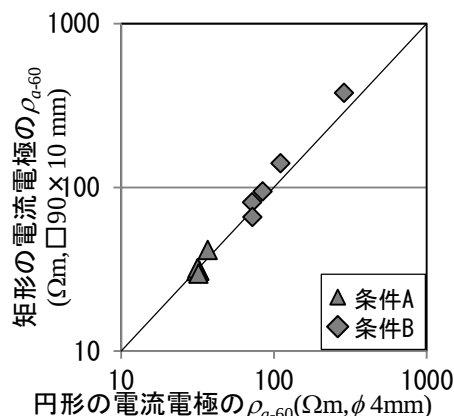
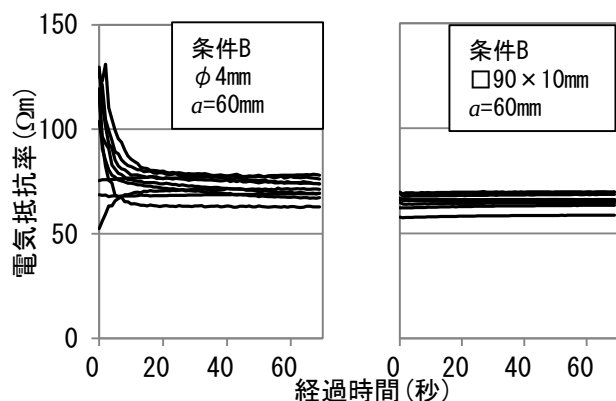
図-3 円状電極と矩形電極の ρ_{a-60} 

図-4 円状電流電極と矩形電流電極の電気抵抗率の変化

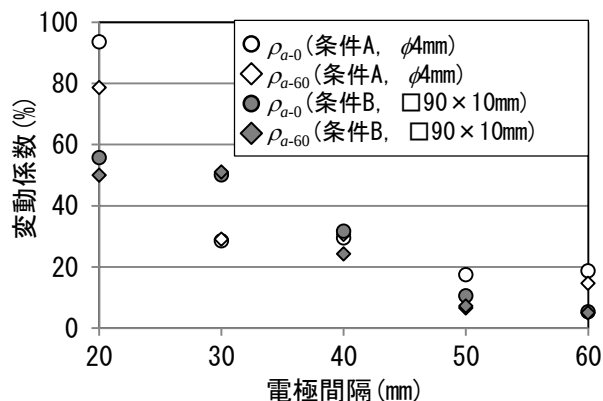


図-5 電極間隔と変動係数

測定を行う場合、電極形状および寸法に応じた換算係数を用いる必要があると言える。

図-3に、同じ電極間隔にて円形あるいは矩形の電流電極で測定した電気抵抗率の比較結果を示す。矩形の電流電極の換算係数は図-2に示すものを使用した。図-3より、含水率の変化に関わらず、円形および矩形の電流電極により測定した電気抵抗率はほぼ1:1の関係となっている。このことから、本研究の範囲では、電極形状に応じた換算係数を用いることで、電極形状の影響を受けずに電気抵抗率の測定が可能になると考えられる。

図-4に、電流印可からの経過時間と電気抵抗率の計測値の関係を示す。図-4より、矩形の電流電極による測定において、電流印可直後の測定値の変動が小さい。これは、矩形の電流電極の方が電流印可直後に供試体に流れる電流が安定しているためであり、接地面積の広さが安定した電流供給に寄与しているためと考えられる。

図-5に、各先端形状および電極間隔について、 ρ_{a-0} と ρ_{a-60} の10回の測定における変動係数を示す。図-5より、円形の電流電極に比べて矩形の電流電極による測定の

方が、変動係数が小さくなる傾向がある。ここから、4プローブ法により電気抵抗率を測定する場合に電極形状を大きくすることで、電気抵抗率の測定値の変動を抑制できる可能性があると考えられる。本研究の検討ではモルタルを用いているが、今後は粗骨材が含まれるコンクリートを用いた検討を実施する予定である。

4. 結論

電流電極の先端形状を矩形にしても、適切な換算係数を用いれば、4プローブ法により電気抵抗率の評価が可能になる。また、電流電極の寸法を大きくすることで、電気抵抗率の測定値の変動を抑制できる可能性がある。

参考文献

- 1) 矢野ら：4プローブ法によるコンクリートの電気抵抗率の測定方法における電極設置条件の影響，土木学会東北支部技術研究発表会，V-23，2012
- 2) 皆川ら：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