

表面電位分布の測定による不飽和モルタル中の含水率分布の評価方法に関する基礎的研究

東北大学 学生会員 ○駒井 道哉, 藤田 亮
東北大学 正会員 皆川 浩, 宮本 慎太郎, 久田 真

1. 研究の背景と目的

コンクリート構造物内部の含水状態は塩分浸透性・鉄筋の発錆・中性化・アルカリシリカ反応の進行などに影響を与えるため、コンクリート内部の含水状態を評価する事はコンクリートの維持管理を行う上で重要である。ここで、コンクリートの電気抵抗率は含水状態に依存することが既報^{例えば 1)}によって報告されており、電気抵抗率を測定することによってコンクリートの含水状態を予測できる可能性がある。

本研究では、実構造物の含水状態を非破壊で簡便に評価する指標として通電時の表面電位分布に着目し、計測値と数値解析を組み合わせた含水率分布の評価方法の可能性を検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体の概要

使用材料には、普通ポルトランドセメント(密度: 3.15 g/cm³)、山砂(密度: 2.59 g/cm³)、水道水を用いて、W/C=0.5、S/C=2.4 のモルタル供試体を作製した。内寸法は 40×40×25 cm と 10×10×25 cm の型枠に打込み、その後 24±2 時間で脱型し、28 日間の水中養生を施した。養生終了後、40×40 cm と 10×10 cm の 1 面のみを開放してシーリングを施し、相対湿度を 30±5% に調整した環境下に曝露することで乾燥処理を実施した。40×40×25 cm の供試体を表面電位分布の測定に、10×10×25 cm の供試体を含水率分布の測定に使用した。

2.2 測定項目

(1)表面電位分布

表面電位分布は図-1 に示す電極配置により測定した。電流電極から周波数 73.3 Hz の交流電流を印加し、表面中心と図-1 に示す各点(A1~A5, B1~B5)の電位差を測定した。なお、電流電極と表面中心の電位差電極間の距離は 6 cm とし、電位差の測定位置の間隔は 1 cm とした。

(2)相对含水率分布

相対含水率は式(1)を用いて算出した.

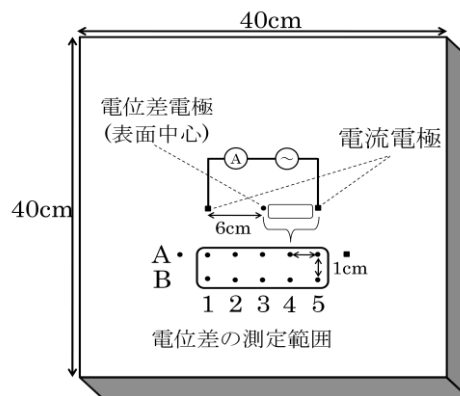


図-1 電極の設置位置

$$w = \frac{(W_2 - W_1) - (W_2 - W_3)}{W_2 - W_1} \quad (1)$$

ここで、 w ：相対含水率、 W_1 ：絶乾状態における試料の気中質量(g)、 W_2 ：表乾状態における試料の気中質量(g)、 W_3 ：測定時における試料の気中質量(g)である。試料は、乾式カッターを用いて $10 \times 10 \times 25$ cm の供試体を開放面より約 1 cm 間隔で採取した。

2.3 数値解析を用いた含水率分布の評価方法

数値解析には、皆川ら¹⁾と同様の支配方程式を基に汎用FEMソフトウェア(COMSOL Multiphysics ver 4.4)を用いて行った。なお、電気抵抗率と含水率の関係は、皆川らの構築した電気抵抗率比 $\rho(w)/\rho_1$ と相対含水率 w の関係式¹⁾である式(2)を使用した。

$$\rho(w) = \rho_1 \cdot (w^{-1.56} + w^{-4.16}) / 2 \quad (2)$$

ここで、 $\rho(w)$: 相対含水率が w のときの電気抵抗率、 ρ_1 : 相対含水率 $w=1$ のときの電気抵抗率である。

本研究で構築したモルタル内部の含水率分布の評価方法は以下の通りである。既報²⁾によれば、モルタル内部の相対含水率の分布によって電気抵抗率の分布が変化するため、通電時に表面に形成される電位分布も変動する。そこで、本研究では皆川ら¹⁾と同様に、モルタル内部の相対含水率分布は式(3)で表現できると仮定し、式(2)の ρ_1 、式(3)の w_0 、 w_d 、 Dt を変数としてパラメータ解析を実施し、解析ソフト内でモルタル表面の電

キーワード 含水率, 電位分布, 電気抵抗率

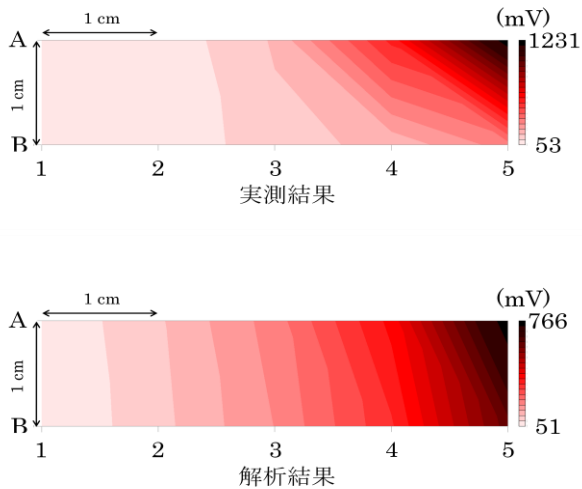


図-2 表面電位分布の実測と解析

位分布を変動させる。

$$w(x) = (w_0 - w_d) \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right\} + w_d \quad (3)$$

ここで、 w_0 ：表面相対含水率、 w_d ：深部の相対含水率、 x ：表面からの深さ(cm)、 Dt ：分布パラメータである。そして、図-1に示す表面中心と各測定位置の電位差の解析値および実測値の二乗誤差の総和が最小となるように変数を決定して、相対含水率分布 $w(x)$ を評価する。

3. 実験結果および考察

乾燥 49 日目において、 $3.5 \mu\text{A}$ の交流電流を電流電極より印加して供試体の表面電位分布を測定した。図-2に表面電位分布の実測結果と解析結果のコンター図を、図-3に各測定位置における電位差の実測値と解析値の比較結果を示す。

図-2より電位分布の実測結果は電流電極から表面中心への電位の変化を測定できており、特に電流電極と 1 cm の距離にある A5 から A4 にかけての電位勾配が大きい。一方、解析結果は実測結果と概ね一致しているが、実測値よりも電位の勾配が小さい。

図-3より A5 の実測値と解析値に着目すると、実測値は解析値の約 3.9 倍の値を示している。この要因として電位勾配の大きい電流電極付近において、電位差電極の接地面積や測定位置のずれによる影響が他の測定点よりも大きいため、電位差を過大評価したためだと考えられる。

図-4に乾燥 49 日目の相対含水率分布の実測値と本研究で構築した方法による評価結果を示す。表面からの距離が 3.5 cm 以深の範囲では、実測値と解析値は概

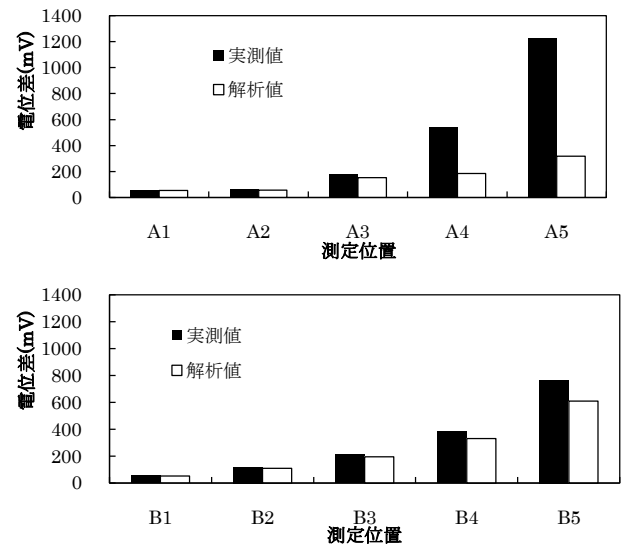


図-3 電位差の実測値と解析値

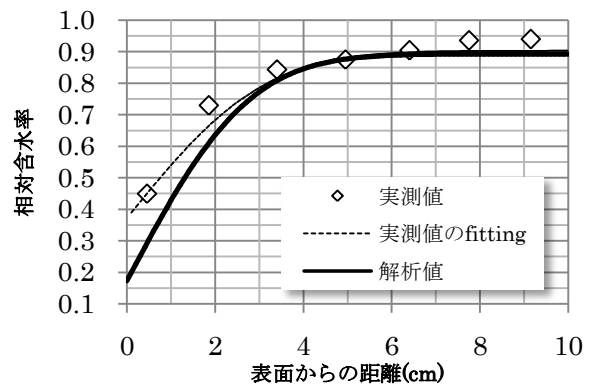


図-4 相対含水率分布

ね一致しているが、表面近傍の 0~2 cm の範囲では表面に近いほど解析値が実測値から乖離する傾向が確認された。しかし、含水率が乾燥に伴って低下しだす深さについては概ね評価ができていた結果となった。

4. 結論

乾燥を受けたモルタル供試体に対して、数値解析を用いて、交流電流印加時の表面電位分布から内部の相対含水率分布を予測できる可能性が示唆された。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 26709031 の助成によるものです。

参考文献

- 1) 皆川浩, 矢野貴行, 久田真: 乾燥により生じた含水率分布が 4 プローブ法により計測されるコンクリートの電気抵抗率に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集 Vol.35, No.1, pp.1116-1092, 2013
- 2) H.Minagawa et al.: Water Content Gradient Dependency of Apparent Electric Resistivity of Concrete Measured by a Non-destructive Method, International Conference on the Regeneration and Conservation of Concrete Structures, 2015