

異なる測定法により求めたセメントペーストの電気伝導特性の対応

金沢大学 学生会員 ○岡倉 洋平

金沢大学 正会員 五十嵐 心一

1. 序論

コンクリートの物質移動抵抗性から耐久性を評価する手段として、電気化学的手法を用いた電気伝導特性の測定が広く行われている。測定法には直流電源や、交流電源を用いるものなど様々な手法があるが、それぞれ電気泳動法および四電極法と称される方法が代表的な測定方法として知られている。測定原理はそれぞれにおいて異なり、測定の目的や対象物によって使い分けられているようである。¹⁾

本研究においては、普通セメントペースト供試体の電気伝導特性を電気泳動法および四電極法により測定し、セメントペーストの内部組織の特徴との関連において両者の特性の対応を検討することを目的とする。

2. 実験概要

2. 1 供試体の作製

普通ポルトランドセメント（密度：3.15g/cm³，比表面積：3310cm²/g）を使用して、JIS R 5201に基づき水セメント比 0.25, 0.40, 0.50 および 0.60 の直径 100mm，高さ 200mm の円柱ならびに 40×40×160mm の角柱の普通セメントペースト供試体を作製した。打設後 24 時間で脱型を行った後、所定材齢まで 20℃の標準水中養生を行った。

2. 2 電気泳動法による電気伝導率の測定

所定材齢にて円柱供試体中央部から直径 100mm，高さ約 50mm の円盤型試料を切り出し、周面上にエポキシ樹脂を塗布した。これが硬化した後、24 時間真空飽水処理を行った。その後、JSCE-G571 および ASTM C 1202 に基づいた電気泳動法により電気伝導率の測定を行った。電解溶液として 0.3mol/l の水酸化ナトリウム溶液を供試体両側のセルに注入し 30V の直流電圧を供試体に印加した。15 分後の電流値を測定し、以下の式により電気伝導率 σ (S/cm) を得た。

$$\sigma = (I \cdot L) / (V \cdot A) \quad (1)$$

ここに、I は 15 分後の電流値(A)，L は供試体の厚さ(cm)，V は直流電圧(V)，A は供試体の投影面積(cm²)である。

2. 3 四電極法による体積抵抗率の測定

所定材齢において JSCE-K 562-2008 に基づき角柱供試体を用いて四電極法による体積抵抗率の測定を行った。両端の通電極により交流の定電圧(電圧 30V，周波数 80Hz)を供試体に印加し、電流および供試体中央を跨ぎ点接触された 2 つの電極間の電位差を測定し以下の式により体積抵抗率 ρ ($\Omega \cdot m$)を得た。

$$\rho = (V \cdot A) / (I \cdot L) \quad (2)$$

ここに、V は電位差電極間の電位差(V)，A は供試体の断面積(m²)，I は供試体に流れる電流(A)，L は電位差電極間の距離(m)である。

2. 4 乾燥による質量変化，体積抵抗率変化，含水率変化の測定

材齢 28 日に達した角柱供試体を湿度 60%，温度 20℃の恒温室内にて静置し、乾燥にともなう質量変化および体積抵抗率の変化を測定した。またその時の含水率を高周波容量式水分計により測定した。

2. 5 画像解析による内部組織構成相割合の推定

所定材齢において走査型電子顕微鏡を用いてセメントペーストの反射電子像を取得し、粗大毛細管空隙率および未水和セメントを抽出した。セメントペーストマトリックス単位体積当たりの未水和セメントの体積率と、初期のセメント量の差から水和度を求めた。その後、画像解析より求めた粗大毛細管空隙率および水和度を用いて Powers の水和反応モデルを適用し、セメントペーストの内部組織構成相の体積率の推定を行った。

3. 結果および考察

図-1 および図-2 はそれぞれ材齢の進行にともなう電気伝導率の変化と体積抵抗率の変化を示したものである。いずれの水セメント比においても、材齢の進行とともに電気伝導性は低下していることが確認でき、特に高水セメント比のセメントペーストほど初期からの低下割合は大きい。また W/C=0.40 以上では材齢 7 日以降の伝導性の変化は小さく、体積抵抗率の変化もこれ

キーワード 電気泳動法，四電極法，電気伝導率，体積抵抗率，自己乾燥，含水率

連絡先 〒920-0092 石川県金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科環境デザイン学専攻 TEL 076-264-6373

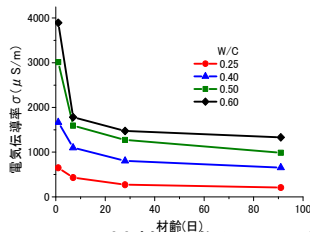


図-1 材齢の進行にともなう
電気伝導率の変化

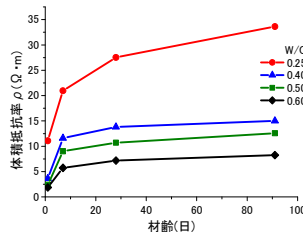


図-2 材齢の進行にともなう
体積抵抗率の変化

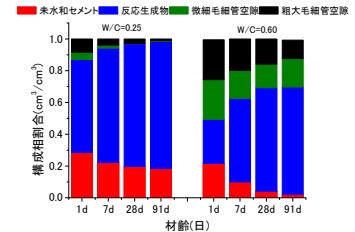


図-3 セメントペーストの
内部組織構成割合

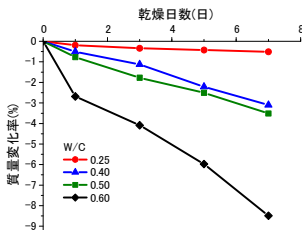


図-4 乾燥による質量の変化

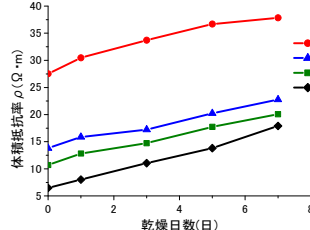


図-5 乾燥による体積抵抗率の変化

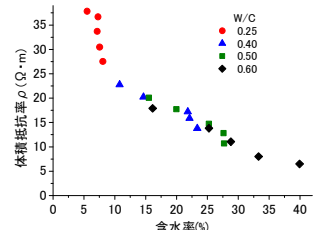


図-6 体積抵抗率と含水率の関係

に対応している．しかし、 $W/C=0.25$ においては材齢 7 日以降も体積抵抗率は増大している．

図-3はセメントペーストの水和度から Powers モデルを用いて計算したセメントペーストの内部組織構成割合を示したものである． $W/C=0.25$ では材齢 7 日以降の水和反応の進行は非常に小さい．一方、 $W/C=0.60$ では材齢 7 日以降においても水和反応の進行が確認できる．この様に組織の緻密化の程度が異なるにも関わらず電気伝導率の変化割合が同様であることより、電流の伝導経路となる空隙の連続性は材齢 7 日を過ぎた時点ですでに決定されており、その後の空隙率の減少が電気伝導率の変化に及ぼす影響は小さいと考えられる．

図-4 および図-5 は材齢 28 日の供試体を乾燥環境下に置いた時の水分逸散による質量変化率とその時の体積抵抗率の変化を示したものである． $W/C=0.25$ では乾燥による水分逸散量は非常に小さい．しかし抵抗率の増大傾向を比較すると、乾燥期間を通じて初期からの体積抵抗率の上昇量はいずれの水セメント比でも同程度となっている．

図-6 は体積抵抗率と含水率の関係を示したものである． $W/C=0.40$ 以上の水セメント比では両者の間に良好な相関性が認められ、体積抵抗率は供試体表面部の乾燥の影響を強く受けている．しかし、 $W/C=0.25$ においては含水率の変化量は乏しいにも関わらず、体積抵抗率の増大量は大きい．このように含水率が低い場合、抵抗値が含水率の高い場合と比べて特異な変化を示すことは川俣ら²⁾も指摘している．

一般にセメント系材料の電気伝導性はその空隙率および含水状態に関連していると考えられている．図-4

および図-5 の対応から、乾燥環境下での水セメント比によって表面からの含水分分布は異なると考えられるにも関わらず体積抵抗率の変化割合は同程度であるため、一旦表面近傍が乾燥してしまえば、その後の乾燥による影響は小さいと考えられる．また、図-2 に示される $W/C=0.25$ での長期材齢における体積抵抗率の増大に関しては、自己乾燥の影響が示唆される．このような低水セメント比では材齢 28 日以降では電流の伝導経路はほぼ完成されている．この時、電気伝導率の測定では事前に飽水処理を行うことにより最低限の伝導性が確保される．しかし、体積抵抗率の測定ではそのような前処理を行わないため、自己乾燥と不飽和な状態の影響を強く受け、体積抵抗率は増大したと考えられる．

4. 結論

低水セメント比においては電気伝導率の変化と体積抵抗率の変化の対応が高水セメント比のものと異なり、自己乾燥の影響が示唆される．

謝辞

本研究の遂行に当たり東北大学大学院工学研究科 皆川浩先生にご助言を賜りました．ここに謝意を表します．

参考文献

- 1) 皆川ら:電極の設置条件が 4 プローブ法によ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, 2009
- 2) 川俣ら:セメント系材料の電気抵抗率測定方法に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, 2004