

混和材を用いたセメントペーストの乾燥過程における水分移動に対する電気抵抗法の適用性

広島大学 学生会員 ○青木 孝紘
 広島大学 溝口 愛実
 広島大学 正会員 小川由布子
 広島大学 フェロー会員 河合 研至

1. はじめに

多孔質体であるコンクリートは内部に水分を安定して保持する能力を持ち、コンクリート中の水分状態はコンクリート構造物の劣化に密接に関係する。そのため水分移動を捉えることは構造物を維持管理するうえで重要である¹⁾。コンクリート中の水分移動を捉える方法は様々あるが、その中でも埋め込み式の電気抵抗法はコンクリート中に埋め込む電極端子を小型化することにより内部の水分分布を細かく測定することができ、含水率の経時変化および急速な変化における測定にも対応できるため実用的な方法である。電気抵抗法に関する研究は行われているものの、混和材を使用した場合に測定値に及ぼす影響について不明な点が多い。そこで本研究では混和材および水結合材比が異なるセメントペーストの水分移動に対する電気抵抗法の適用性を把握することを目的とし、実験的に検討した。

2. 実験方法

2. 1 供試体概要

本研究では、JIS R 5201 の普通ポルトランドセメント(OPC)(密度 3.16 g/cm³, 比表面積 3360 cm²/g)および JIS A 6201 のII種に分類されるフライアッシュ(FA)(密度 2.23 g/cm³, 比表面積 3530 cm²/g), JIS A 6206 の 4000 に分類される高炉スラグ微粉末(BFS)(密度 2.91 g/cm³, 比表面積 4170 cm²/g)を用いた。水結合材比は 0.35 と 0.55 とし、OPC および OPC に FA と BFS をそれぞれ 20%, 50%置換したセメントペースト供試体を作製した。乾燥試験用供試体は寸法を 40×35×80 mm とし、直径 0.9 mm のステンレス電極を 4 mm 間隔で供試体内部に埋め込んだ。乾燥過程における供試体内部の相対湿度と電気抵抗値の関係を得るためのキャリブレーション試験用供試体は、寸法 40×35×8 mm の供試体中央に 4 mm 間隔でステンレス電極を埋め込んだ。また細孔径分布試験用供試体は乾燥試験用供試体と同寸法の 40×35×80 mm で作製した。すべての供試体は打設後 24 時間で脱枠し、55 日間 40℃水中養生を行なった。また、OPC のペーストのみ打設後 24 時間で脱枠し、27 日間 20℃水中養生を行なった供試体も作製した。以下では、OPC のみを用い 28 日養生を行った供試体を OPC28、OPC のみ、また OPC に FA および BFS を置換し 56 日養生を行った供試体を OPC56、FA56、BFS56 と表す。

2. 2 試験方法

キャリブレーション試験は養生終了後に飽和塩法を用いて温度 20℃, 相対湿度 98%, 85%, 75%, 70%, 60% に調湿した空間に供試体を静置し、恒量になったのち、電気抵抗値を測定した。

乾燥試験は、養生終了後に乾燥面(40×35 mm)以外の 5 面をエポキシ樹脂でコーティングし、1 面暴露とした供試体を、温度 20℃, 相対湿度 60%の環境下に静置し、所定の期間後に電気抵抗値を測定した。

両試験における電気抵抗値は LCR メーターを用いて交流 1kHz で測定した²⁾。測定した電気抵抗値は式[1]を用いて比抵抗に変換した³⁾。

$$\rho = R/Sf = R/\{\log(d/a)/(\pi \times l)\} \quad [1]$$

ここで、R:電気抵抗値(kΩ), a:電極棒の半径(mm), d:電極間隔(mm), l:通電部の長さ(cm), ρ:比抵抗(kΩ・cm), Sf:電極固有の形状係数

キーワード 水分移動, 電気抵抗法, 混和材

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 A-2-522 構造材料工学研究室 TEL 082-424-7786

また、使用している OPC, FA, BFS の 3 種類の材料自体の電気抵抗値も測定した。ガラス製の容器に試料を詰め、乾燥試験と同様に間隔 4 mm, 通電部 35 mm となるように電極を配置して測定した。

細孔径分布試験は、乾燥試験開始時と試験開始 56 日に供試体を 2.5-5 mm に破碎し、アセトンを用いて水和停止を行った後、水銀圧入式ポロシメーターを用いて細孔径分布の測定を行った。乾燥試験開始直後では供試体中心部分を、56 日後では曝露面から 0-6 mm, 6-14 mm, 14-22 mm に切断して測定した。

3. 実験結果および考察

図 1 に細孔径分布試験結果の一例を示す。図では供試体名に加えて水結合材比と測定部分を示した。FA を OPC に置換した場合、水結合材比の減少に伴って総細孔量が減少するとともに、より小さい径へ細孔の分布が移行した。この傾向は使用材料に関わらず同様であった。FA を混和した場合、OPC と比較すると、総細孔量はほぼ同等であるが小さい径の割合が増加した。一方で BFS を使用すると総細孔量が OPC のみの場合より減少し、さらに小さい径の割合が増加した。これは混和材特有の反応である FA のポゾラン反応、BFS の潜在水硬性によるものと考えられる。

使用材料自体の比抵抗を図 2 に示す。FA の比抵抗が最も高く、次いで BFS, OPC の順になった。

図 3~図 6 に乾燥試験における比抵抗の経時変化を示す。乾燥期間の経過とともに、曝露面付近の比抵抗が高くなり、乾燥の過程を捉えることができています。使用材料による相違を比較すると、混和材を使用した場合に測定開始直後から全体的に比抵抗が高い。これは、材料自体の比抵抗が高いためであると考えられる。図 5, 図 6 により FA56 の場合について、水結合材比による相違を比較すると、測定開始時は $W/B=0.35$ が $W/B=0.55$ に比べて比抵抗が大きくなったが、時間経過に伴い曝露面付近の比抵抗の増加量は $W/B=0.55$ の方が大きくなった。これは、水結合材比が低い $W/B=0.35$ が細孔構造がより緻密であるため初期において比抵抗が高く、その後は乾燥による影響を受けにくいことを示していると考えられる。この傾向は、OPC28 および BFS56 においても同様であった。

図 7 にキャリブレーション試験結果を示す。同じ内部相対湿度における比抵抗は FA56 が最も高く、次いで BFS56, OPC28 の順になった。これは図 2 の使用材料自体の比抵抗の大小と同様の傾向を示すことから、材料固有の比抵抗の相違が影響していると考えられる。このキャリブレーション試験結果を用いて、図 5 に示した比抵抗の経時変化を内部相対湿度へ変換した結果を図 8 に示す。試験開始 70 日後において、曝露面から 4 mm では、内部相対湿度は周辺環境の湿度(60%RH)とほぼ同程度となった。

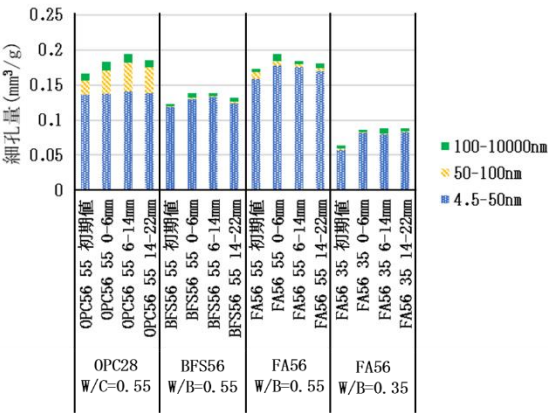


図 1 細孔径分布試験結果

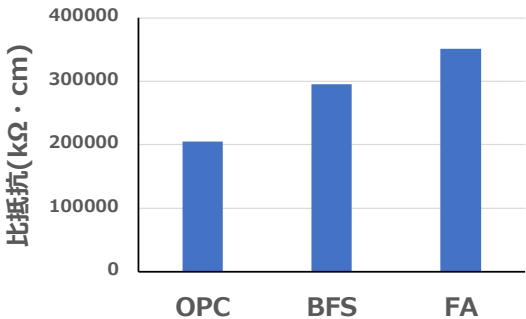


図 2 使用材料の比抵抗

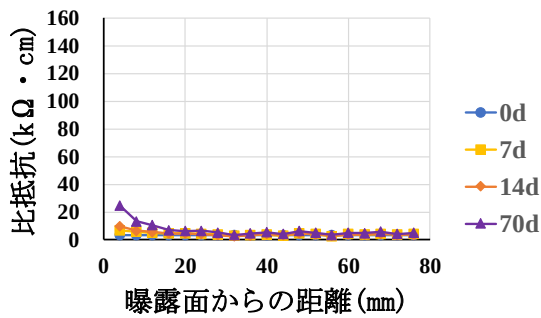


図3 OPC W/B=0.55 20°C28 日養生
比抵抗の経時変化

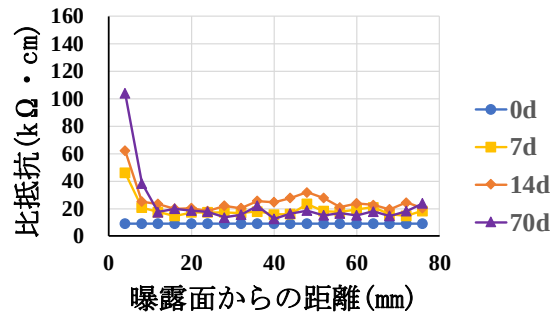


図4 BFS W/B=0.55 40°C56 日養生
比抵抗の経時変化

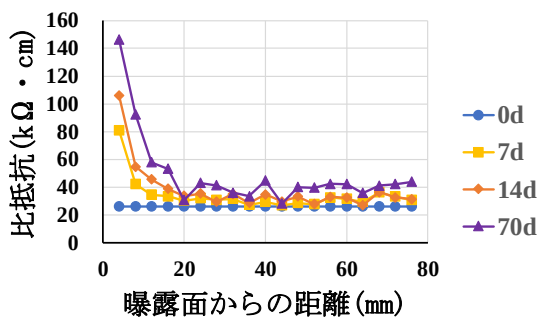


図5 FA W/B=0.55 40°C56 日養生
比抵抗の経時変化

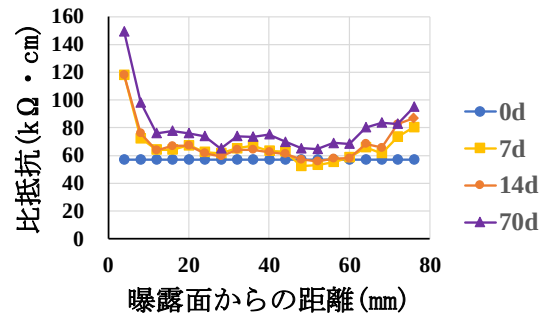


図6 FA W/B=0.35 40°C56 日養生
比抵抗の経時変化

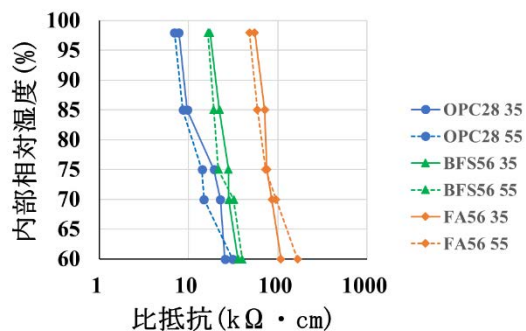


図7 キャリブレーション試験結果

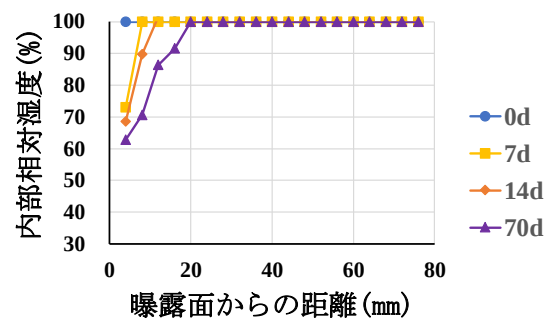


図8 FA W/B=0.55 40°C56 日養生
内部相対湿度の経時変化

4. 結論

- (1) 混和材を用いたペーストに対して、OPC のみを用いたセメントペーストと同様に電気抵抗法により乾燥過程における水分移動を捉えることができることがわかった。
- (2) 混和材の比抵抗は OPC より高く、FA は BFS よりも高かった。この相違は、硬化体の比抵抗にも影響する。
- (3) 乾燥試験開始直後では、低水結合材比の供試体の比抵抗が高水結合材比と比較して高くなったが、乾燥試験開始から 70 日後において、高水結合材比の方が低水結合材比よりも比抵抗は高くなった。
- (4) 相対湿度 60% の環境において乾燥試験を 70 日行くと、OPC に FA を 20% 置換した W/B=0.55 の供試体では、曝露面から 4mm の内部相対湿度は周辺環境の湿度と同程度となった。

参考文献

- 1) 石田哲也ら：任意の乾湿繰り返しを受けるコンクリートの含水率予測モデル，土木学会論文集，Vol.35，No.564，pp.199-209(1997)
- 2) 鹿島孝之ら：コンクリートの電気抵抗による耐久性評価の基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.21，No.2，pp.895-900(1999)
- 3) 桂修ら：交流 2 電極法によるコンクリート中の含水率測定についての理論的検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.16，No.1，pp.735-740(1994)