

乾燥を受けるセメント硬化体内部の水分移動における電気抵抗法測定の再現性評価

広島大学 学生会員 ○中村 拓
 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

コンクリート中の水分は塩化物イオンや二酸化炭素などの劣化因子の移動性状に大きな影響を及ぼすことが知られており、コンクリート内部の水分移動を把握することはコンクリート構造物の正常な機能を確保する上で重要である¹⁾。本研究ではコンクリートの電氣的性質を利用した電気抵抗法に着目し、その中でも電極を硬化体に埋め込む方式でコンクリート内部の水分移動を把握した。この手法は電極を小型化することで内部の水分分布を細かく測定することができるといった利点があるが、研究データが少なく、ばらつきも多く見られるため信頼性に乏しいといった欠点がある。そこで、本研究ではセメント硬化体中の水分移動の把握方法としての埋め込み式の電気抵抗法の確立に向けて、既往の研究²⁾と比較することで再現性を評価することを目的とした。また、キャリブレーション試験に用いる飽和塩を既往の5種から9種へと増加させることで測定精度の向上を試みた。

2. 実験方法

供試体は水セメント比 0.35 のセメントペーストとモルタルを作製した。使用材料は普通ポルトランドセメント、細骨材には珪砂 6号と7号を用いた。水分移動試験用供試体は寸法を 40×35×60 mm とし、水分移動の細かな経時変化を測定するために直径 0.9 mm のステンレス電極棒を長手方向に 4 mm 間隔で埋め込んだ。内部相対湿度と比抵抗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を 40×35×8 mm とし、供試体中央に 4 mm 間隔で電極を埋め込んだ。供試体は打設後 24 時間で脱枠し、温度 20°C で 27 日間水中養生を行なった。細孔径分布試験用供試体にはステンレス電極を埋め込んでいない 40×35×60 mm の角柱供試体を用いた。

水分移動試験では、暴露面となる 40×35mm の一断面以外の 5 面をエポキシ樹脂でコーティングすることで、供試体内部における一次元の水分移動を測定した。供試体は、養生後に乾燥面を除く 5 面をエポキシ樹脂で被覆し、飽水状態とした後に、温度 20°C、相対湿度 60% に調湿した空間に静置して乾燥開始とした。

キャリブレーション試験では、養生終了後、各相対湿度に調湿した環境下に供試体を静置した。本研究で用いた相対湿度は 98%、95%、85%、82%、80%、75%、73%、70%、60% であり、既往の北川の研究²⁾から新たに 4 種類の飽和塩を追加して測定精度の向上を試みた。供試体が恒量となったことを確認した後に電気抵抗を測定し、各相対湿度での比抵抗の値を算出した。電気抵抗の測定には LCR メーターを使用し、分極を抑えるため、交流 1V、1kHz を印加した。電気抵抗は電極形状や電極間隔などにより変化するため、一般的にこれらの影響を考慮した比抵抗 ρ が用いられ、次式(1)で表される。

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

ここで、 ρ :比抵抗(k Ω ・cm)、R:電気抵抗(k Ω)、d:電極間隔(mm)、a:電極棒の半径(mm)、l:通電部の長さ(cm)

細孔径分布試験では、水分移動試験を開始する材齢(31日)にて試料を採取し、角柱供試体を 2.5~5 mm に破砕し、アセトンを用いて水和停止を行なった。測定は、水銀圧入式ポロシメーターを用いて、測定範囲を 4.5 nm~10000 nm として行なった。

3. 実験結果および考察

本研究および文献²⁾において水分移動試験によって得られたセメントペーストの比抵抗の経時変化を図 1、図 2 にそれぞれ示す。測定開始時(0min)の比抵抗は、本研究では 7 k Ω ・cm、文献²⁾では 4~5 k Ω ・cm と若干異なる結

キーワード 水分移動, 電気抵抗法, 比抵抗, 細孔構造

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院先進理工系科学研究科 構造材料工学研究室

T E L 082-424-7786

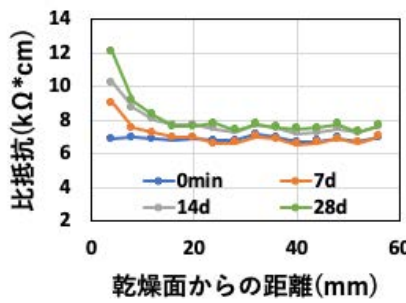


図1 比抵抗の経時変化
(本研究)

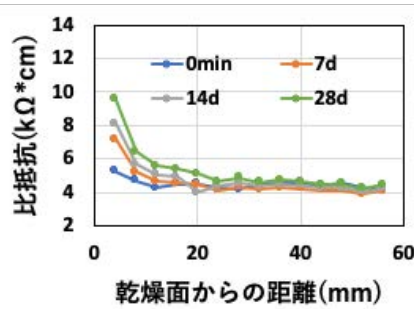


図2 比抵抗の経時変化
(文献2))

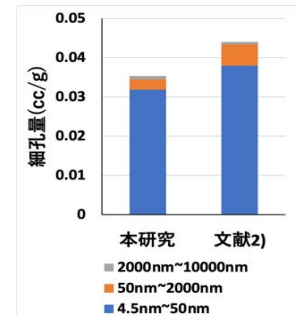


図3 細孔径分布試験結果

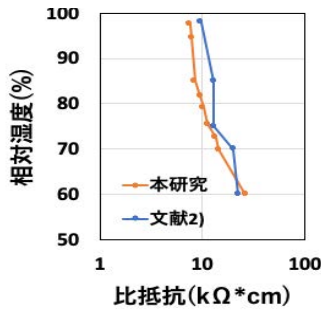


図4 キャリブレーション
試験結果

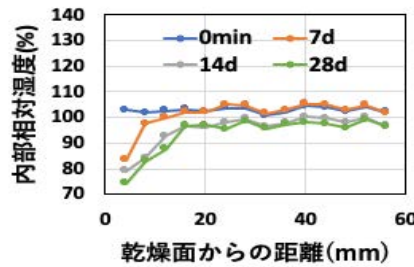


図5 内部相対湿度の変化
(本研究)

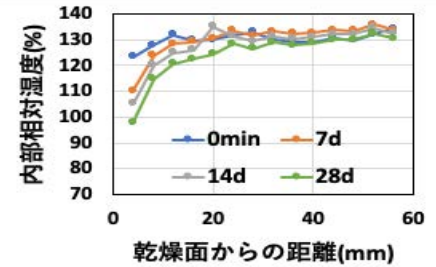


図6 内部相対湿度の変化
(文献2))

果となった。これは乾燥開始前に内部を飽水状態とするため水中に静置させる期間に水和が進行し、図3に示すとおり内部組織が緻密であったためと考えられる。キャリブレーション試験結果を図4に示す。使用材料や水セメント比は両実験にて同様のものを用いているものの、本研究では文献2)よりも低い比抵抗を示した。

それぞれの水分移動試験とキャリブレーション試験から得られた内部相対湿度の経時変化を図5、図6に示す。どちらも試験面から徐々に乾燥が進行していく様子が示された。しかし、本研究では試験開始7日から14日にかけて、供試体内部全体での相対湿度低下が見られた。試験開始7日の内部相対湿度は乾燥面以外では初期内部相対湿度から変化しておらず、自己乾燥に伴う比抵抗の上昇と考えられる。

モルタルでは測定開始時(0min)の比抵抗は、本研究では $10\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$ 、文献2)では $8\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$ と異なる結果を示した。細孔径分布試験結果を比較すると総細孔量、細孔径分布の傾向ともに本研究と文献2)では同様であったことから、細孔径以外にも比抵抗に影響を与える要因があることが考えられる。キャリブレーション試験結果を比較するとセメントペーストと同様に、本研究では文献2)よりもやや低い比抵抗を示した。

比抵抗の経時変化を内部相対湿度に変換したものを比較すると、試験面から内部相対湿度が低下していく様子は両実験で観察されたが、本研究では自己乾燥が原因と考えられる供試体内部での相対湿度の低下が顕著に現れており、再現性は十分に確認されなかった。

4. 結論

本研究を文献2)と比較した結果、試験面から一次的に乾燥が進行する様子は再現できていたが、比抵抗やキャリブレーション試験結果など異なる部分が多く、再現性は十分に確認できなかった。また、本研究ではキャリブレーション試験に用いる飽和塩を4種追加したことでさらに細かく内部相対湿度に変換することができた。

参考文献

- 1) 石田哲也, Rajest.P.CHAUBE, 岸利治, 前川宏一: 任意の乾湿繰り返しを受けるコンクリートの含水状態予測モデル, 土木学会論文集, Vol.35, No.564, pp.199-209, 1997
- 2) 北川達也: 電気抵抗法を用いたセメント硬化体の乾燥・吸水・吸湿過程における水分移動の検討, 広島大学工学部第四類社会基盤環境工学プログラム卒業論文, 2017