

セメントペーストの薄片供試体を対象とした小型電気泳動試験に関する基礎的検討

東北大学大学院 学生会員 ○高橋 広平 正会員 皆川 浩 宮本 慎太郎 久田 真
電力中央研究所 正会員 蔵重 勲

1. 背景と目的

遮塩性の高いコンクリートを製造するためには、その性能を付与できる結合材を選定することが重要である。一般的には、コンクリートを対象として、土木学会規準として規準化されている浸せき試験や電気泳動試験が試験方法として用いられる。しかし、高い遮塩性を有するコンクリートの場合、これらの試験方法の試験期間は長期化する場合が多い。

本研究では、この課題を解決するための一方策として、セメントペーストの薄片供試体を用いた小型電気泳動試験に着目した。そして、小型電気泳動試験が有する特性や諸問題の抽出を目的とし、異なる電流密度で薄片供試体に通電した際の電気泳動セル内の電極や電解液の挙動に着目した検討を実施した。

2. 実験概要

2.1 薄片供試体の概要

普通ポルトランドセメント（密度 3.16 g/cm^3 ）を結合材として、イオン交換水を練混ぜ水として使用し、 $W/C = 45\%$ のセメントペーストを作製した。セメントペーストは、JIS R 5201 に準拠して練り混ぜを行い、 $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$ の円柱供試体および $20 \times 20 \times 80 \text{ mm}$ の角柱供試体に打ち込んだ。打込みから 24 ± 2 時間後に脱型を行い、材齢 512 日まで 20°C の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和水溶液中で養生した。養生後のセメントペーストから $20 \times 20 \times 5 \text{ mm}$ の試験片を切出し、 $20 \times 20 \text{ mm}$ の面を暴露面として、そこを弱粘着テープでマスキングした。その試料を内径 40 mm 、厚さ 5 mm の亚克力製アタッチメントにエポキシ樹脂で固定して薄片供試体とした。薄片供試体は、樹脂が硬化した後、暴露面に貼付した弱粘着テープを剥がした上で、24 時間純水中に浸漬して吸水処理を施し、小型電気泳動試験に供した。

2.2 実施項目

(1) 小型電気泳動試験

土木学会規準の電気泳動試験では、 15 V の電流を印加する。この時の電流密度は大よそ 1 A/m^2 となる。し

かし、イオンが主として移動するセメントペースト部の実体積を考慮すると、セメントペーストに流れる実質的な電流密度は 1 A/m^2 よりも大きくなる。このことを考慮して、本研究の小型電気泳動試験では、暴露面の面積に対して $1.0, 7.0, 12.5, 17.5 \text{ A/m}^2$ となるように電流制御で直流電流を印加した。なお、直流電流を通電したケースと比較するために、無通電の拡散セル試験、および、周波数 73.3 Hz 、実効値 1.5 V の交流電圧を継続的に通電した試験も同時に行った。

電極には鉄筋コンクリートの電気防食用の陽極材であるチタンリボンメッシュ#100を使用した。ここで、1つの電極あたりの製作に使用したチタンリボンメッシュは軸方向長で 20 cm であり、それをほぼ等間隔に4本に切断したものをスポット溶接で板状になるように加工した。セル内溶液は、飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液をベースとし、陰極側セル内にはさらに質量パーセント濃度で 3% となるように NaCl を添加した溶液を用いた。セル内溶液の体積はおおよそ 200 mL であり、 1 mL 単位で封入量を管理した。

陰極と陽極の電位および供試体表面間の電位差は、銀-塩化銀照合電極をセル内に挿入し、電圧計の指示値を確認することで測定した。供試体に流れる電流は、直流電源装置の指示値を確認することで測定した。試験期間中のセル溶液の交換は行わなかった。

(2) 電気抵抗率

試験結果の材齢依存性を確認するために通電開始前と通電終了後の材齢で円柱供試体を用いて電気抵抗率を測定した。電気抵抗率は JSCE G-581-2018 に準拠し四電極法 A 法により測定した。小型電気泳動試験においては、同試験中の供試体に流れる電流と供試体表面間の電位差、または、同試験終了後に交流電圧を印加し、その時の供試体に流れる電流と供試体表面間の電圧を用いて、電気抵抗率を評価した。

(3) ポルトランドタイト量

通電前後のセメントペースト中のポルトランドタイト

キーワード 電気泳動試験 電流密度 電極反応 電気抵抗率

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科 TEL 022-795-7427

量（以下，CH 量）の変化を観察するために，熱重量・示差熱分析を行い，CH 量の増加率を求めた．分析に供した試料は，角柱供試体から採取した小片を減圧下でアセトンによる水和停止処理を施して得た．また，試料の CH 量は 400～515 °C 付近の質量減少量から求めた．

3. 実験結果および考察

通電開始前と終了後で電気抵抗率を測定した結果，通電前は 15.7 Ω m，通電終了後は 16.6 Ω m であった．この結果と長期材齢であるということから電気泳動試験の結果について材齢依存性の影響は少ないと考えた．

図-1 に陰極と陽極の電位の経時変化を示す．陰極側では直流通電の水準において通電開始時から 2 日目にかけて電位が上昇する傾向が確認できた．また，陽極側においては 12.5, 17.5 A/m² のケースで，通電開始後 2～3 日で陽極の電位が塩素ガス発生電位を上回った．この結果より，陽極で塩素ガスが発生し溶液内の組成が変化する可能性が考えられる．したがって，小型電気泳動試験では，電流密度を過剰に大きくしないこと，陽極表面積を増加させるなどして，陽極電位が塩素ガス発生電位に至らないように制御する必要がある．

図-2 に小型電気泳動試験で測定した電流と電圧から算出した薄片供試体の電気抵抗率の経時変化を示す．直流 1.0～17.5 A/m² で通電したケースでは直流電流を印加した時に得られる測定値を，交流電圧を印加したケースと拡散セルのケースでは，73.3 Hz, 1.5 V の正弦波の交流電圧を印加したときに得られる測定値を示した．また，φ5×10 cm の供試体を用いて四電極法 A 法により得た電気抵抗率も示す．図-2 より四電極法 A 法による電気抵抗率と比べて，電気泳動試験の測定値から算出した電気抵抗率は大きくなった．また，無通電の拡散セル，交流通電，直流 1.0 A/m² 通電の方が，直流 7.0～17.5 A/m² 通電よりも電気抵抗率が大きくなる傾向が確認された．

ここで，表-1 の通電前後の CH 量の増加率を見ると，全水準で通電後に CH 量が増加していること，その傾向は低い電流密度ほど顕著であることが確認できる．この CH の析出によりセメントペーストの空隙構造が変化し，電気抵抗率が上昇した可能性がある．なお，表-1 で，12.5, 17.5 A/m² 通電において CH 量の増加率が低かったのは，陽極の電極反応で生じる pH の低下が顕著であったことが原因と考えられる．

ただし，直流 7.0 A/m² 通電では，CH 量の増加率が最

も多いにもかかわらず，電気抵抗率の増加は直流 1.0 A/m² 通電ほどではなかった．一方で，無通電の拡散セルおよび交流通電の電気抵抗率は，四電極法 A 法と比較して明確に大きくなった．これらの事象の原因については現時点では不明であるが，今回のような薄片供試体を用いた電気泳動試験においては，直流または交流電流を通電中にセル溶液と薄片供試体の境界面に電解質であるイオンによる濃度分極が測定結果に影響を及ぼしている可能性がある．この点については定量的な評価は現時点ではできていないため，今後の検討課題である．

4. まとめ

薄片供試体にセル溶液 200 mL の小型電気泳動試験を適用する場合，電極反応に伴う塩化物イオンのガス化を防止できる電流密度を選択する必要がある．また，薄片供試体を用いるため，空隙構造の変化や濃度分極の影響について，検討が必要であることが示唆された．

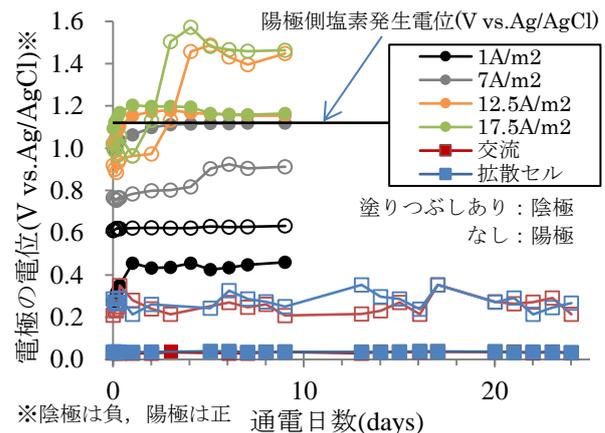


図-1 陰極側と陽極側電位の経時変化

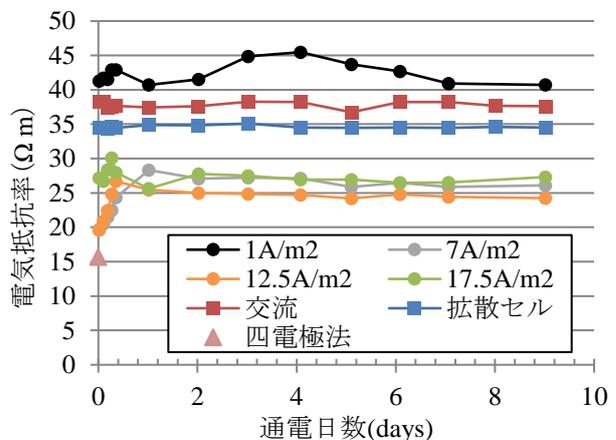


図-2 電気抵抗率の経時変化

表-1 通電前後の CH 量の増加率

1.0 A/m ²	7.0 A/m ²	12.5A/m ²	17.5A/m ²
12.32 %	16.16 %	6.05 %	2.34 %