

表層透気係数と電気泳動試験結果の相関に関する一検討

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○毛塚 貴洋
東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治

東京大学大学院 学生会員 高橋 佑弥
芝浦工業大学 フェロー会員 魚本 健人

1. はじめに

コンクリート構造物の塩化物イオン拡散係数を計測するには、構造物からコアを採取し、電気泳動試験または浸せき試験を行うのが一般的である。しかし、これらの手法は時間や手間がかかるため、頻繁に実施することは難しい。そこで、非破壊かつ短時間で計測ができるトレント法による表層透気係数と電気泳動試験で求められた拡散係数との対応関係について実験的に検討した。また、電気泳動試験における試料の水和不良の影響、試験前の飽水处理期間が長くなった場合の影響、電気抵抗率との関係等についても考察を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体諸元

(1)セメント種類シリーズ

セメント種類が実効拡散係数へ与える影響を検討するために、5種類の異なるセメント種類(普通ポルトランドセメント、早強セメント、高炉セメントA種、高炉セメントB種、フライアッシュB種。以下、OPC、H、BA、BB、FBとする。)でコンクリート供試体を作製した。W/C=55%とし、OPC、Hの単位水量は180、BAは179、BBは175、FBは173(単位:kg/m³)であった。φ100×200mmの円柱型枠に2層で打設し、打設後24時間で脱型を行い、初期養生として水中養生、封緘養生、脱型直後から工場扇により強制的な乾燥を与える養生(以下、送風養生とする)の3種類で28日間養生し、その後、約91日まで20℃の恒温恒湿の中で養生した。

(2)水セメント比シリーズ

既往の研究¹⁾において作製された供試体を用いて、W/Cが実効拡散係数に与える影響を検討した。配合はW/Cは30、45、60%の3水準とし、単位水量は175kg/m³とした。セメントにはOPCを用い、φ150×300mmの円柱型枠に2層で打設している。打込み面のみを養生面とし、初期養生として湛水養生、封緘養生、気中養生の3種類で28日間養生し、脱型した後、約1年間、20℃の恒温恒湿環境の中で保管したものを使用した。この水セメント比シリーズは、打設から1年程経過しており、ある程度乾燥が進んでいると考えられる供試体である。

2.2 電気泳動試験

電気泳動試験は、「電気泳動によるコンクリート中の

塩化物イオンの実効拡散係数試験方法(JSCE-G 571-2003)」に準拠して行った²⁾。試験体は、セメント種類シリーズのφ100供試体については養生後、打設面から100~150mmの部分から、水セメント比シリーズのφ150供試体については、打設面より0~50mmの部分より採取した。水セメント比シリーズの封緘および気中養生の試験体は、試験器具の不具合により作業手順に手戻りが生じ、真空飽和处理を間隔を空けて2回行うこととなった。その間、試料は水中で保管しており、結果的に電気泳動試験開始前の飽水处理期間が10日程度と通常よりも長くなった。また、電気泳動試験中に得られる電流値、電位値から試験体における電気抵抗率も観察した。

2.3 透気試験

トレント法による表層透気試験を行った。試験には最低φ150のコンクリート面が必要なため、セメント種類シリーズのφ100供試体については、同配合・養生条件のφ150×300mmの円柱供試体を別途作製し、その供試体の打設面で計測した。水セメント比シリーズのφ150供試体については、電気泳動用試験体を切り出す前に打設面で計測を行った。

3. 試験結果および考察

(1)セメント種類シリーズ

図-1にセメント種類シリーズにおける表層透気係数と実効拡散係数との関係を示す。まず、養生の違いに着目すると、OPC、H、BAの送風養生をした供試体について、表層透気係数は大きく、物質移動抵抗性が低いと考えられるにもかかわらず、実効拡散係数の値は小さい結果となった。これについて、OPCの電気泳動試験中の陽極側セルの塩化物イオン濃度の増加傾向をみると(図-2)、一般には経過日数の増加と共に塩化物イオン濃度の増加率は徐々に大きくなって一定値を示すようになるのに対して、送風養生した供試体の場合は、逆に時間の経過と共に傾きが小さくなっていることがわかる。このような傾向は、同様に表層透気係数と実効拡散係数の不整合が認められた送風養生を行ったH、BAでもみられた。

また、各供試体について材齢初期より四電極法による電気抵抗率測定を行っているが、送風養生の供試体は表-1に示すように著しく大きな電気抵抗率を示しており、材齢初期から厳しい乾燥状態にあったと考えら

キーワード 電気泳動法 実効拡散係数 トレント法 透気係数 電気抵抗率

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 芝浦工業大学 複合材料研究室 TEL03-5859-8358

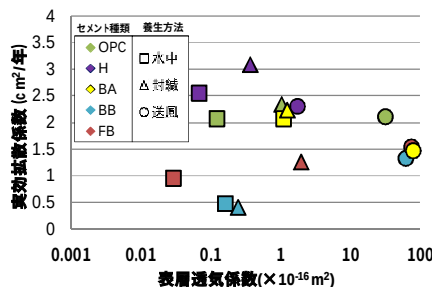


図-1 セメント種類による透気係数と実効拡散係数との相関

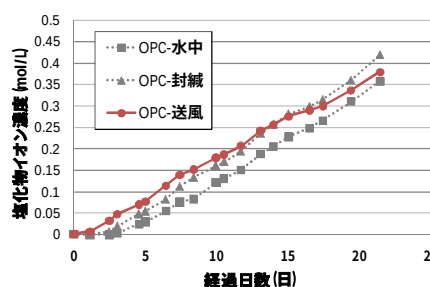


図-2 OPCの塩化物イオン増加のグラフ

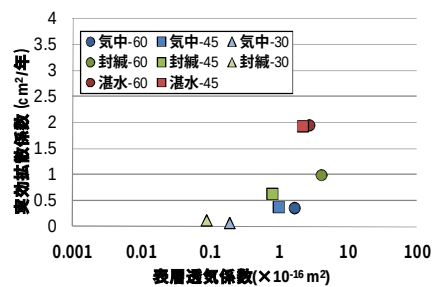


図-3 水セメント比による透気係数と実効拡散係数との相関

れる。以上のことから、送風養生を行った場合には、初期からの極端な乾燥により、表層透気試験を実施した時点では水和阻害が生じた状態であったのに対して、電気泳動試験中には水の供給により未反応セメントの再水和が生じて、試験体の空隙構造が緻密化したものと考えられる。

表-1 四電極法による材齢 28 日時点の電気抵抗率 ($k\Omega \cdot cm$)

養生方法	OPC	H	BA	BB	FB
水中	6.4	6.7	9.4	13	9.2
封緘	11.4	10.3	11.7	19.3	13
送風	999以上	999以上	999以上	999以上	999以上

図-1 (上記の理由により送風養生を除く) では、同程度の表層透気係数でも、セメント種類により実効拡散係数が大きく異なっている。特に BB, FB は実効拡散係数が小さく、透気性が同等でも、遮塩性は著しく高い。これは、空隙壁面における高い塩化物イオン吸着および固定化性能等の化学的な要因による効果と考えられる。また、他のセメント種類においても、実効拡散係数には差があり、表層透気係数から拡散係数を推定するには、少なくともセメント種類を考慮に入れる必要があるといえる。

(2)水セメント比シリーズ

水セメント比シリーズの表層透気係数と実効拡散係数との関係を図-3に示す。結果を図-1と比較すると、電気泳動試験開始前の飽水处理期間が10日程度と長く、真空飽和处理を2回行った封緘および気中養生の場合のみ、表層透気係数の割に実効拡散係数が極端に小さくなった。一方、セメント種類シリーズと同様の飽水处理を行った湛水養生の場合の実効拡散係数は、セメント種類シリーズと同等であった。このことから、飽水に関する前処理の程度が、電気泳動試験の結果に影響を与えたと考えられる。10日程度に及んだ長い飽水处理期間が、(1)で述べたのと同様に再水和を促した可能性も否定できないが、水セメント比シリーズの試料は材齢1年程度であることから、少なくとも水セメント比の高い試料に大きな水和余力が残存していたとは考え難い。飽水处理の程度が電気泳動試験の測定結果に影響を与えた可能性について、詳細な検討が必要と考えられる。

(3)電気泳動試験における電気抵抗率と実効拡散係数の関係

図-4に電気泳動試験における電気抵抗率と実効拡散係

数との関係を示す。セメント種類シリーズ、水セメント比シリーズを合わせて1つの図に示している。結果を見ると、ほぼすべての点が同一曲線上にあるように見える。これより、実効拡散係数は、セメント種類、水セメント比、養生にかかわらず、電気抵抗率から推定できる可能性があるのではないかと考える。本研究では、この関係を反比例とみなし、以下のような近似式(3.3.1)を導出した。

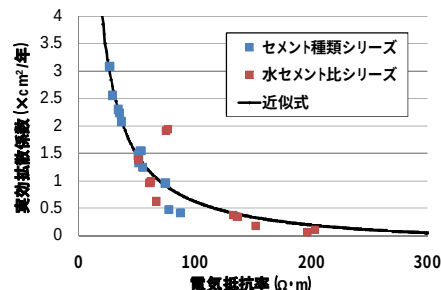


図-4 電気泳動試験における電気抵抗率と実効拡散係数との関係

$$D = \frac{85.919}{\rho} - 0.2443 \quad (3.3.1)$$

ここで、 D ：塩化物イオン実効拡散係数($cm^2/年$)
 ρ ：電気抵抗率($\Omega \cdot m$) である。

4. まとめ

- (1) 表層透気係数と実効拡散係数の関係は、セメント種類によって異なること、また、飽水前処理により、場合によっては電気泳動試験の測定結果に影響を受ける可能性があることが分かった。
- (2) 種々の供試体で電気抵抗率と実効拡散係数の関係を調べ、セメント種類・水結合材比・養生条件が大きく異なっても、両者の関係は高い相関を有することを確認した。

謝辞

本研究は、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」による支援を受けて実施しました。

参考文献

- 1) 松崎晋一郎, 吉田亮, 岸利治: 配合と養生がコンクリート表層の透気性に及ぼす影響程度に関する一考察, 土木学会第64回年次学術講演会講演概要集, 第V部, pp431-432, 2009.9
- 2) (社)土木学会: コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と標準化が望まれる試験方法の動向, コンクリート技術シリーズ55, 2003.11