

膨張材を用いたセメント硬化体の緻密性評価に関する基礎的研究

宮崎大学	正会員	○李	春鶴
栃木県庁		田中	佳宏
前橋工科大学	フェロー会員	辻	幸和
太平洋マテリアル株式会社	正会員	郭	度連

1. はじめに

セメント硬化体の耐久性評価において、その緻密性は重要な指標である。また、膨張材を置換しセメント硬化体は、作製および養生時の水分供給などの影響を強く受ける¹⁾。著者らは既往の研究²⁾で、拘束状態で透気性の評価ができる酸素拡散装置を用いて、膨張モルタルの外的拘束による透気性の変化について検討を行った。

本研究では、水結合材比、膨張材の置換率および養生を要因に採った膨張モルタルの緻密性を、一つの枠組みで的確に評価・予測する手法を検討した結果をする。その手法により、膨張材を置換したセメント硬化体の任意の条件における緻密性の定量的な評価が可能になり、耐久設計や寿命予測が期待できる。

2. 実験概要

本研究で使用したセメントは、普通ポルトランドセメントである。膨張材には、エトリンガイト・石灰複合系膨張材とエーライト・酸化カルシウムを主成分とする石灰系膨張材の2種類を用いた。

配合は、水結合材比が40, 50, 60%の3種類のモルタルとし、40, 60%のシリーズは、エトリンガイト・石灰複合系膨張材を用いた。また、水結合材比が50%のシリーズは、石灰系膨張材を用いた。なお、膨張材の置換率は、6.5, 8.0, 10.0%の3種類とした。細骨材は、セメント強さ試験用標準砂を用いた。

供試体は、直径が50mm、高さが100mmの円柱とし、拘束無の供試体は鋼製型枠に、拘束有の供試体は、厚さが0.22mm、ヤング率が $2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ の鋼製モールドに打ち込んだ。24時間の封緘養生後、拘束無の供試体は脱型し、拘束有の供試体は、鋼製モールドのままモルタル供試体を厚さ15mmのサイズで3体ずつ切り取り、所定の養生、曝露に供した。拘束膨張量の測定のため、一部分のモールドの中央部分には、予め円周方向の一軸ひ

ずみゲージを貼付した。

養生および曝露条件は2種類とした。1種類目は、24時間の封緘養生後、材齢7日まで $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中養生とし、その後、温度が $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、相対湿度が $60 \pm 5\%$ の気中曝露に供する養生（養生WDと称する。）、2種類目は、24時間の封緘養生後、そのまま気中曝露（上記と同様な条件）に供する養生（養生Dと称する。）の2種類とした。

全ての供試体の水分移動はほとんど無くて安定していると考えられる材齢57日～63日において、所定の酸素拡散試験と水銀圧入試験の計測を行った。

酸素拡散係数の測定には、白川らが提案する気体拡散係数測定方法を用いた。詳細は既往の研究²⁾を参照する。酸素拡散試験を行った供試体は5mm角程度に粗粉碎し、アセトンで水和を停止させた。その後、 40°C の温度環境で48時間の真空乾燥をし、水銀圧入試験を行った。測定方法は、約 $3.6\text{nm} \sim 960\mu\text{m}$ までの総空隙量および細孔径分布の比較を行った。

3. 実験結果および考察

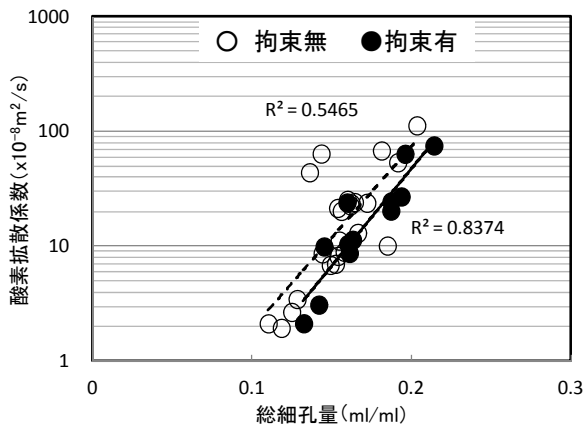
3. 1 酸素拡散係数と細孔量の関係

細孔量と酸素拡散係数の関係を図1に示す。また、気体の物質移動特性と相関関係が大きいとされる、細孔径が10nm以上の細孔量、40nm以上の細孔量と酸素拡散係数の関係を検討しているが、図に示す傾向と同様である。また、細孔径が100nm以上の細孔量と酸素拡散係数の相関関係が、一番よいことが確認された。

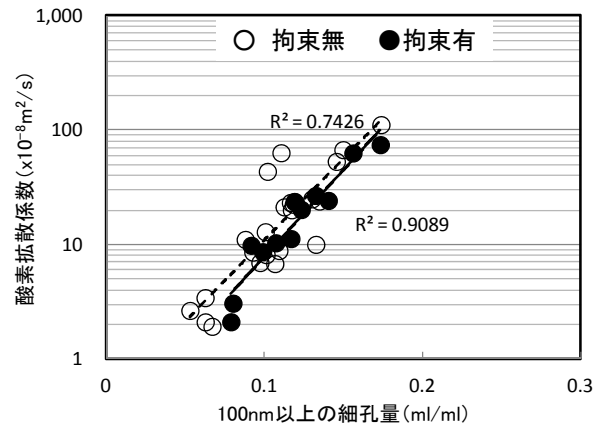
図に示すように、拘束の有無に関わらず、細孔量が増加すると酸素拡散係数も増加する傾向になっている。また、全ての細孔径範囲内の細孔量において、拘束有の供試体の酸素拡散係数は拘束無の供試体の酸素拡散係数より小さいことが確認できる。膨張材の置換によって生じる膨張を拘束することで、膨張生成物が空隙を埋めるように生成され、細孔の連続性を阻害したと考えられる。

キーワード 膨張材, 緻密性, 仕事量, 養生, 水結合材比, 評価

連絡先 〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1 宮崎大学 TEL 0985-58-7338 FAX 0985-58-7344



(a) 総細孔量



(b) 100nm 以上の細孔量

図1 酸素拡散係数と細孔量の関係

3. 2 累積仕事量と細孔量の関係

養生WDにおける円周方向の拘束膨張量の測定結果を図2に示す。養生Dも同様な傾向である。図に示すように、水分供給状態にかかわらず、円周方向の拘束膨張量は水結合材比が大きいほど小さく、膨張材の置換が大きいほど大きくなるなどの一定の傾向を示していることが見て取れる。

細孔径が100nm以上の細孔量と細孔量測定時までの円周方向の累積仕事量の関係を図3に示す。モールドの仕事量は既往の文献³⁾に基づいて算定した。図に示すように、それぞれの養生・曝露条件において、最外部の四つの点を結びつけた台形に、ほかのデータが大凡載っていることが見て取れる。すなわち、水分供給程度や膨張材の種類に関わらず、水結合材比、膨張材の置換率により、一律した傾向を示していると考えられる。また、異なる養生環境において、水結合材比、膨張材の置換率の影響が異なることが見て取れる。従って、本研究の検討範囲内の配合や養生・曝露条件において、仕事量を計測することで、細孔構造の推定が可能であると考えられる。

4. まとめ

酸素拡散係数と細孔構造の関係において、W/Bと拘束の有無に関わらず大凡100nm以上の細孔量と相関関係が認められるが、セメントマトリックスと膨張材の膨張圧のバランスにより改めて形成される細孔構造とも関連があることが考えられる。また、膨張材の種類に関わらず、累積仕事量によって膨張モルタルの緻密性が評価できることが示唆された。

参考文献：

- 1) 盛岡実：コンクリート用膨張材，クリップボード[セメント化学編]，pp.133-134，2008
- 2) 李春鶴，田中佳宏，辻幸和，郭度連：膨張材を用い

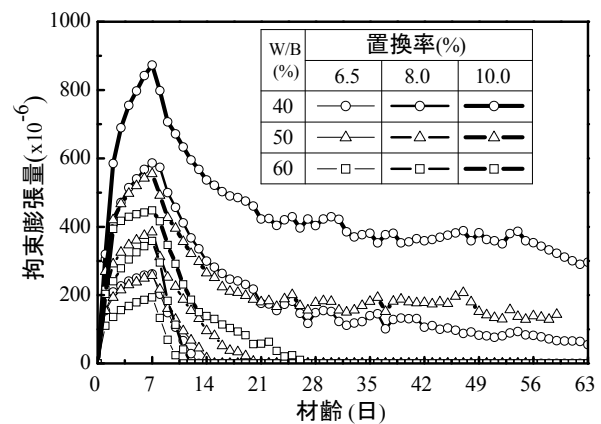


図2 拘束膨張量 (養生WD)

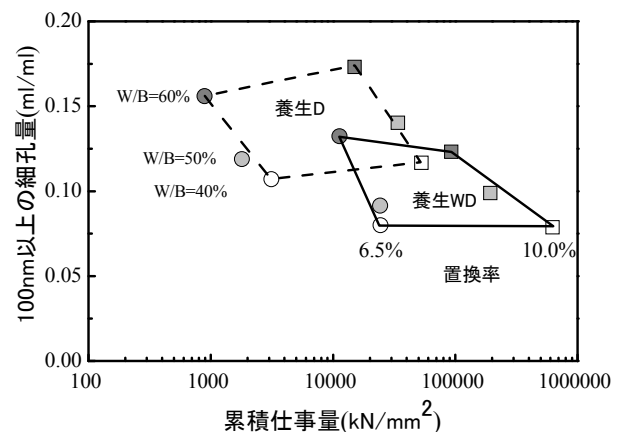


図3 累積仕事量と細孔量の関係

- たセメント硬化体の透気性評価に関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，2014（投稿中）
- 3) 辻幸和：コンクリート工学における膨張エネルギーの評価方法，コンクリート工学，Vol.26，No.10，pp.5-13，1988.10

謝辞：

本研究は，土木学会 H24 年度吉田研究奨励賞の助成を受け実施したものです。関係者各位に深く感謝いたします。