

水セメント比および養生条件の異なるセメントペースト硬化体の透気係数に関する一考察

名古屋工業大学 学生会員 落合 昂雄
名古屋工業大学大学院 正会員 吉田 亮
東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治

1. はじめに

セメント硬化体はナノスケールの微細な空隙を無数に内包する多孔体であるため、物質透過性を有する。なかでも透気性は、コンクリート構造物の中性化に大きな影響を及ぼすことが知られている。またセメント硬化体は水セメント比や養生条件、材齢等の違いによって内部の空隙構造が変化する¹⁾。

そこで本研究では、水セメント比および養生条件を変化させたセメントペースト硬化体を作製し、透気試験および空隙構造分析を行い、セメントペースト硬化体の透気性について空隙構造を基に詳細に検討することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料・配合

供試体には普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比を 30%、45%、60% の 3 水準としてセメントペーストを 30×60×15 mm の型枠を用いて作製した。供試体は打設した翌日に脱枠し、材齢 2 年 9 カ月まで気中(A)、封緘(S)、水中(W)の各種養生を行った。ただし本研究では、OA30(記号の意味は OPC、気中(A)、W/C = 30%である。)、OS30、OW30、OA45、OW45 の 5 種を示す。

2.2 透気試験

透気試験の供試体は、上記の試料を割裂し、湿式の研磨機を用いて約 30×20×15 mm の直方体に整形し、アセトンで超音波洗浄を行った。その後、恒温恒湿槽(20℃、RH = 60%)内で試料質量が安定するまで静置し、透気面以外の 4 面にエポキシを塗布した。そして供試体の周囲にエポキシ樹脂を流し込み、供試体を中心とした直径 50 mm、厚さ約 15 mm の円盤状に加工した。透気試験は負荷圧力を 0.2~0.5 MPa の範囲で行い、試験体内部を透過した空気の流量が定常になった後、水上置換法により透過量を求めた。

2.3 空隙構造分析¹⁾

試料は、たがねとハンマーを使用し 1 辺 5 mm 程度の立方体に成形した後に、アセトン浸漬と D-dry による乾燥処理をそれぞれ 24 時間行い、空隙構造分析に用いた。空隙構造分析は、Micromeritics 社製 AutoPore III を用いて、水銀漸次繰返し圧入法¹⁾によって行った。また空隙直径の算出には、接触角 $\theta = 130^\circ$ 、 $\gamma = 484 \text{ dyne/cm}$ を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 透気係数

図 - 1 に 5 種類の供試体の透気係数を示す。まず水セメント比毎に透気係数との比較を行うと、W/C = 30% では気中養生、封緘養生、水中養生の順に透気係数が低く、W/C = 45% では気中養生、水中養生の順に低いことが分かる。これは養生の違いにより生じた差であると考えられる。一般に水中養生では水和が進行してセメントペースト部分が緻密化し、気中養生では逆に粗大化する。しかし、W/C = 30% まで低くなると非常に緻密となり、外部環境による乾燥の影響を受けにくくなる。そのため、OA30 と OS30 の透気係数は同じオーダーとなった。

つぎに養生条件毎に水セメント比の違いによる透気係数の比較

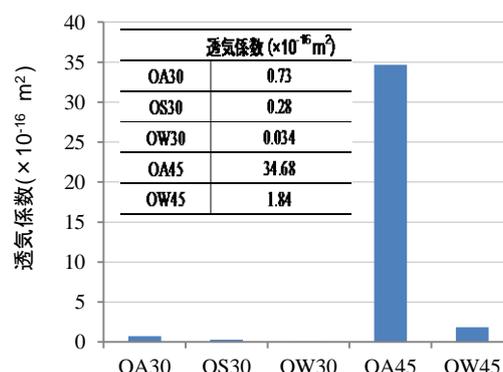


図 - 1 : 硬化セメントペーストの透気係数

を行うと、W/C = 30%の透気係数の方が1オーダー程度低いことがわかる。

3.2 空隙構造

図 - 2 に各供試体の累積空隙曲線を示す。気中養生および水中養生において水セメント比毎に比較を行うと、水セメント比が高いほど全空隙量が大きくなることわかる。前項で述べたが、透気係数と同じ傾向が伺える。

つぎに養生毎に全空隙量の比較を行う。W/C = 30%の全空隙量は水中養生、気中養生、封緘養生の順に大きい。水セメント比が30%まで低くなると、気中乾燥の影響を受けにくくなる。そして極表面のみ炭酸化することで、より緻密になっていると考えられる。封緘養生試料内部でも未水和セメントが多く残り、自己乾燥が進む。このようなことから、試料の採取位置によっては、気中養生と封緘養生の緻密さが逆転することも有り得る。しきい空隙径は水中養生で30~40 nmであり、気中養生ではW/C = 30%で100 nm程度、W/C = 45%で400 nm程度である。OA30は気中養生にもかかわらず、封緘養生をしたOS30のしきい空隙径とほぼ同じである。

3.3 空隙構造と透気性の関係

図 - 3 に各供試体におけるしきい空隙径および透気係数との関係を示し、図 - 4 は空隙径が10 nmおよび40 nmまでの累積空隙量と透気係数との関係を示している。図 - 3 におけるしきい空隙径と透気係数との決定係数 R^2 は約0.61であるのに対し、図 - 4 における累積空隙量と透気係数との決定係数 R^2 はいずれも約0.7以上を有しており、高い相関がみられる。このことから透気係数にはしきい空隙径だけではなく、空隙量も関係していることが推測される。また図 - 4 において、各空隙径での透気係数に対する全空隙量及び連続空隙量との決定係数 R^2 を比較すると、10 nm および 40 nm のどちらの空隙径でも透気係数は連続空隙量との相関が高いことがわかる。連続空隙量にはインクボトル空隙が含まれておらず、透気係数が連続空隙量と高い相関を持つということは、透気性にはインクボトル空隙などの貯留空間の影響が少ないと推測される。

4. まとめ

本研究では、水セメント比および養生条件を変化させたセメント硬化体を用いて透気試験および空隙構造分析を行った。その結果、透気係数は水銀圧入法で得られる空隙量と高い相関を持つことが確認された。なかでも連続空隙量の方が全空隙量より高い相関があることがわかった。

謝辞：名古屋工業大学 鶴飼貴史氏には実験の実施にあたり多くの御協力を頂きました。ここに記し深く感謝します。

参考文献：1)吉田亮, 岸利治, 半井健一郎, 李春鶴：水銀漸次繰返圧入法によって同定される連続空隙の有意性とその指標化, コンクリート技術シリーズ No.87 歴代構造物品質評価/品質検査制度研究小委員会(216 委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集, 2009

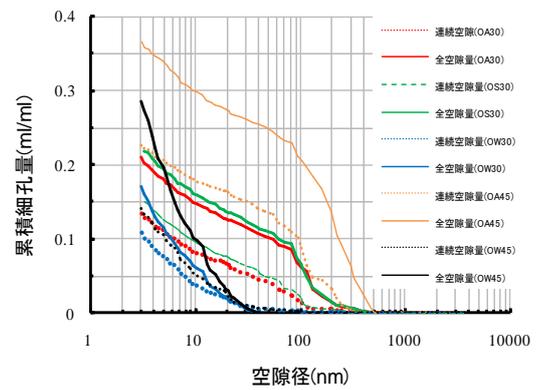


図 - 2 : 累積全空隙量及び累積連続空隙量

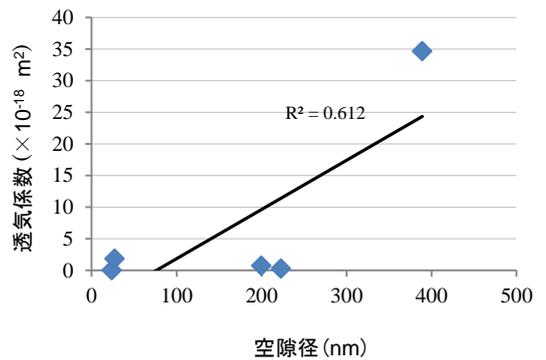


図 - 3 : 透気係数としきい空隙径の関係

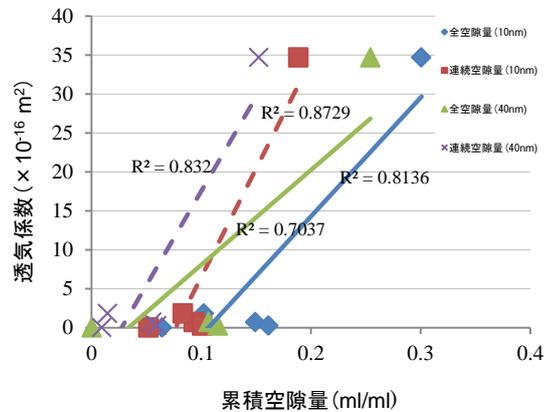


図 - 4 : 透気係数と累積空隙量の関係