

セメントおよび養生条件の相違による細孔構造の変化

○東京都立大学大学院 学生会員 郭度連
 東京都立大学大学院 正会員 宇治公隆
 東京都立大学大学院 フェロー 國府勝郎
 東京都立大学大学院 正会員 上野敦

1. はじめに

コンクリートは、セメントの種類、配合条件、養生方法、養生期間等によって異なる細孔構造を有する。コンクリートの細孔構造は、圧縮強度、塩化物浸透性、中性化進行速度、乾燥収縮等の品質特性に影響を及ぼし、構造物の耐久性を支配する。また、コンクリートは一般に若材齢において脱型が行われ、外部環境に曝されるので、コンクリートの表層と内部では、細孔構造は異なることになるものと考えられる。本研究は、セメント及び養生条件の相違による細孔構造の深さ方向の変化について検討した。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

配合を表 2-1 に示す。セメントおよび混和材には、普通ポルトランドセメント(OPC)、早強ポルトランドセメント(HPC)および高炉スラグ微粉末(BFS)4000 プレーンを使用した。目標スランプは 8cm、Air は 4.5%である。

表 2-1 コンクリートの配合

種 類	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
			W	C	BFS	S	G
OPC	50	44.2	171	342	0	786	998
HPC	50	44.2	171	342	0	785	997
BFS	50	44.2	171	171	171	780	991

(2) 養生方法

図 2-1 に養生方法を示す。10×10×40cm の角柱供試体を使用した。打設後 24 時間で脱型し、養生を開始した。気中養生供試体は 20℃、相対湿度 60%の恒温恒湿室内で、封緘養生供試体は脱型後完全密封して所定の材齢まで恒温室で養生した。養生日数は 28 日を基本とし、OPC7 種類、HPC および BFS は 3 種類(3 日あるいは 7 日水中養生後 28 日まで気中、28 日水中)の総計 13 種類である。所定の養生後、気中に曝露される時点で、打設方向側面の 1 面を除いて樹脂でシールし、1 面のみが解放面となるようにした。

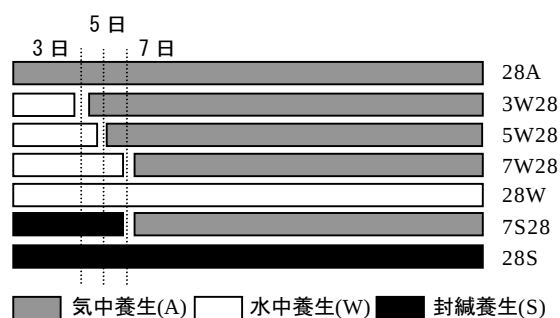


図 2-1 養生方法

(3) 試験方法

所定の材齢(3 日、5 日、7 日、28 日)で細孔径分布を測定した。細孔径分布測定用試料は、前記の解放面であるコンクリート表面から深さ方向 5cm まで、水を使わずにコンクリートカッターで 1cm ずつスライスし、2.5mm 以上 5mm 以下に砕いてアセトン処理および真空乾燥したものを用いた。

3. 実験結果および考察

図 3-1 に OPC の水和による細孔構造の変化を水中養生期間ごとに示す。図には、表面から 5cm まで 1cm ごとの細孔構造の分布を示している。各養生期間とも、表面から深さ方向の違いは見られず、水中養生を行えば均質な細孔構造が形成されることがわかる。また、養生日数の経過にともない、総細孔量は減少する。セメントの水和が進むことによって、もともと水で占められていた毛細管空隙は、セメントの水和生成物で満たされることから、50nm 以上の細孔が減少し、50nm 以下の細孔が増加したと言える。しかし、100nm 以上の大きな細孔は水和の進行に関わらず、あまり変化がない。したがって、水和による細孔構造の主な変化は 100~20nm の間で起こると推測

キーワード：養生条件、セメント種類、細孔構造、不均質性

連絡先：〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1、Tel 0426-77-1111、Fax 0426-77-2772

される。養生期間別に見ると、3日から5日の間で50nm以上の細孔量が急減し、5日以後はそれほど変化しないことがわかる。土木学会コンクリート標準示方書では、湿潤状態に保つ期間を、普通ポルトランドセメントの場合、5日間以上を標準としているが、圧縮強度、劣化因子の浸透性に影響を及ぼすと言われている50nm以上の大きな径の変化を見る限り、OPCの標準養生日数を5日とした規定は妥当であると考えられる。図3-2に、OPCを用いた場合の材齢28日における細孔構造を養生方法ごとに示す。総細孔量に大きな差は見られない。しかし、細孔径による構成は、各養生方法で大きな違いが認められる。特に、100nm～2μmの範囲の細孔量の違いが顕著である。圧縮強度、劣化因子の浸透性、体積変化などに影響を与えるのは総細孔量ではなくて、細孔径分布であると言われている。水分の供給を十分に受けた水中養生の場合、50nm以上の大きな細孔が少ないことがわかる。一方、気中養生の場合、50nm以上の大きな細孔が50%以上を占めている。また、内部ほど50nm以上の大きな径は減り、50nm以下の小さな径は増えており、表面からの乾燥によって深さ方向の不均質性が表れている。これは、表面付近のみが乾燥の影響を受け、内部では水和が進んでいることを意味する。図3-3に、セメント種類別の細孔構造の変化を水中養生期間ごとに示す。水中養生の場合、深さ方向の違いはないことから、ここでは、表面から5cmまでの5スライス測定値の平均を用いている。水中養生3日では、水和反応の速いHPCは総細孔量も少なく、100nm以上の大きな細孔量も少ない。一方、セメントの水和によって生成したCa(OH)₂を刺激材として反応するBFSの場合、材齢7日の時点で、50nm以上の細孔量が減少し、50nm以下の細孔に変わっていることがわかる。28日でこの傾向はさらに顕著となる。OPC、HPCの場合、7日から28日にかけて顕著な変化は見られないが、BFSの水和反応は28日まで継続し、総細孔量も他に比べて最も少なくなり、緻密な細孔組織を形成していることがわかる。

4. まとめ

セメントの種類、養生条件を変化させ、細孔構造の違いについて検討した結果、以下の事項が明らかになった。

- (1) 水和による主な変化は100～20nmの間で起こる。100nm以上の大きな空隙は水和の進行にかかわらずあまり変化しない。
- (2) 水中養生を行えば深さ方向に均質な細孔構造が形成されるが、気中養生では表面からの乾燥により、深さ方向の不均質性が生じる。
- (3) セメント種類の違いにより、細孔構造の形成時期に差があることを確認した。

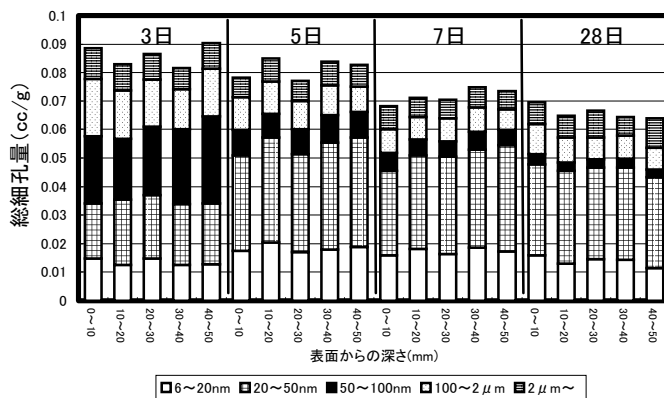


図 3-1 水和による細孔構造の変化

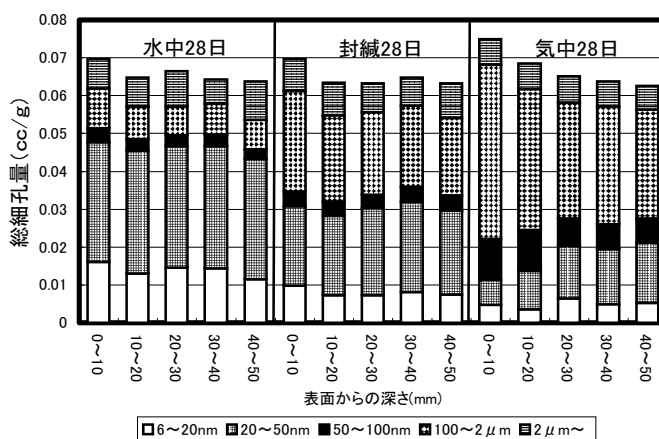


図 3-2 養生方法による細孔構造の変化

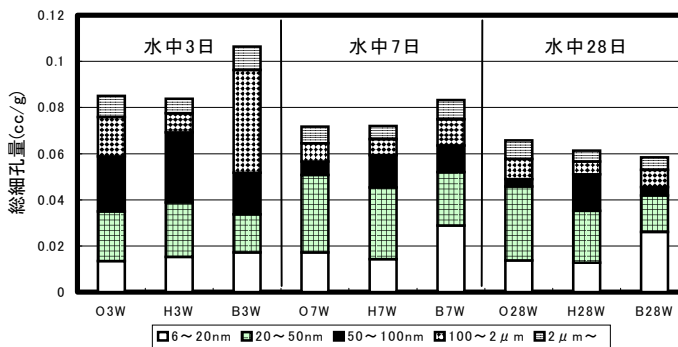


図 3-3 セメント種類による細孔構造の変化