

種々の養生温度下で形成されたセメント硬化体の空隙構造に関する一考察

千葉工業大学大学院 学生会員 伊藤 一聡
 東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治
 東京大学生産技術研究所 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劣化は、コンクリート中の空隙内を経路とする各種因子の移動によって大きく支配されるが、高流動コンクリートなどの多様化するコンクリートに対し、現状では種々の条件に応じて変化する空隙構造の特徴を詳細に把握するまでには至っていない。セメントの水和による空隙構造の形成過程を明らかにし、配合条件や養生条件による影響を把握することは、コンクリートの諸挙動を予測する上で極めて重要と考えられる。

そこで、本研究では、セメントペーストを用い、水セメント比、養生温度および養生方法を変え、各種要因が空隙構造の形成過程へ及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

本研究で用いたセメントペーストの配合を表-1に示す。供試体寸法は $2 \times 2 \times 8 \text{ cm}$ である。ブリーディングの影響を除去するため、分離低減剤を全ての配合において水に対し 0.15% 添加した。養生条件は図-1のように設定した。封緘養生の方法は、供試体をラップで包んだ後、アルミテープを二重に巻くことで封緘養生とした。封緘養生の高温下での質量減少率は、配合上供試体に含まれる水に対して、水セメント比 25% でおよそ 0.15%、水セメント比 50% で 0.01% と十分に小さいことを確認している。セメント硬化体の物性値として、結合水量、硬化体の密度、細孔量および細孔径分布を測定した。結合水量は強熱減量法により求めた。測定は 20 日では、養生開始後 1, 3, 5, 7, 14, 28, 56, 91 日で行い、それ以外は 1, 7, 56, 91 日で行った。また、測定時における試料の乾燥は 105 日で行った。

表-1 配合表 (kg/cm³)

種類	W/C	W	C	SP	増粘剤
セメント	25	424	1765	17.7	0.662
ペースト	50	612	1225		0.919

3. 結果と考察

図-2に水中養生時における水セメント比 25% の結合水量の測定結果を示す。20, 40 と比較すると、60, 80 日では、材齢初期において結合水量が全体の 20% ほど大きくなっている。セメント鉱物の水和反応は温度依存性を持つため、高温養生により初期に急激な水和反応を起こしたためと考えられる。

養生温度の相違が空隙構造に与えた影響を確認するため、図-3、図-4に水セメント比 25% における温度による細孔径分布の違いを示す。養生後 1 日では 20, 40 日養生は、細孔径のピークがほぼ同一の 50nm 付近にまとまっているが、60, 80 日のもは、ピーク位置が小さいほうへシフトしている様子が見られる。このことは、高温養生により初期に水和が進み結合水量が増加した傾向と一致する。高温による

材齢	0	1	57	92
20W		20°C 封緘養生	20°C 水中	
20S			20°C 封緘	
40W		20°C 封緘養生	40°C 水中	
40S			40°C 封緘	
60W		20°C 封緘養生	60°C 水中	
60S			60°C 封緘	
80W		20°C 封緘養生	80°C 水中	
80S			80°C 封緘	

図-1 養生条件

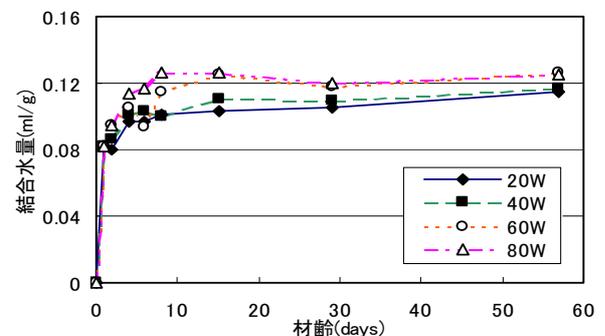


図-2 結合水量の推移(水セメント比 25%)

キーワード：高温養生、セメント水和、空隙組織構造、細孔径分布、低水セメント比

連絡先：〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1

03-5452-6098 (内線) 58090

水和反応により通常よりも緻密な構造になったものと考えられる。また、養生後 91 日では、20, 40 のピーク位置は 50nm 付近のままだが、60, 80 ではさらにピーク位置が小さいほうへシフトし、5~10nm の位置まで移動している。このことから、40 以下の温度では 50nm 付近に緻密になれる空隙径の限界があり、60 を越える温度になると、さらにその径を硬化体組織で埋め尽くし緻密になったものと考えられる。

以上の傾向をさらに定量的に確認するために、ゲル空隙を含む 3.2~20nm の空隙と毛細管空隙を含む 20nm 以上の空隙に分け、その細孔量と結合水量の関係を図-5、図-6 に示す。20nm 以上の空隙範囲では、水セメント比 50% のほうが空隙量が多く、いずれの水セメント比においても結合水量の増加に伴い空隙量は減少している。水セメント比 50% では、養生温度によらず結合水量と空隙量の関係に大きな変化は見られないが、水セメント比 25% では、養生温度が高くなると結合水量の増加に対する空隙量の減少量が著しく大きくなっている。一方、3.2~20nm の空隙範囲では、水セメント比の違いにより大きな違いが見られる。20 養生において、結合水量の増加に伴い、水セメント比 50% では逆に若干の上昇傾向にあり、水セメント比 25% では逆に減少している。養生温度が高くなると、水セメント比 50% では空隙の増加量が大きくなるが、水セメント比 25% では減少していた空隙量が逆に水セメント比 50% を上回る増加をしていることがわかる。これらの現象から、水セメント比の違いにより空隙の形成の過程が養生温度によって大きく異なることがわかる。特に、水セメント比 25% ではその相違は著しい。低水セメント比においては、もともと空隙量が少なく緻密な構造であるため、水和の進行により形成される水和物の析出場所が限られており、養生温度の違いによりその影響が大きく反映されるものと考えられる。しかし、水和物の具体的な形成過程についてはこれらのデータからは判断しにくく、今後の検討が必要といえる。

4. まとめ

本研究の範囲内で明らかにされたことを以下に示す。

- ・高温養生されたセメント硬化体は、初期に水和が急激に進み緻密な構造となる。
- ・セメント硬化体には、常温で到達可能な固有の細孔径のピークがあり、高温養生することにより、その限界を越えた緻密化が可能である。
- ・水セメント比の異なるセメント硬化体は、もともとの空隙構造が異なるため、高温養生されることによる複雑な空隙の形成過程も著しく異なると考えられる。

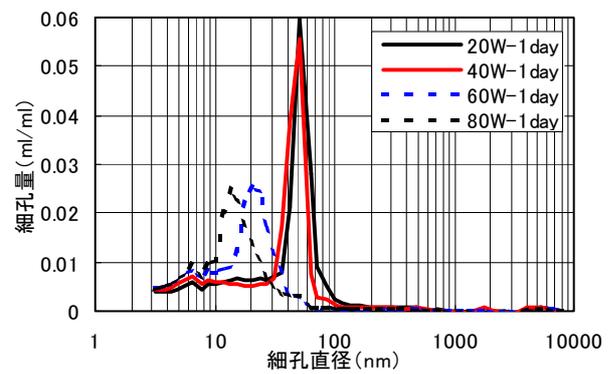


図-3 水セメント比 25%の細孔径分布(養生 1 日)

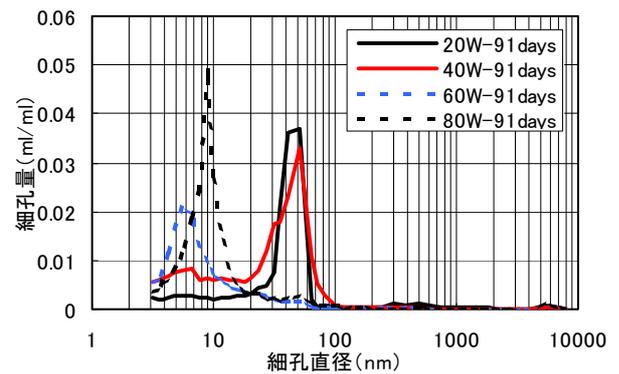


図-4 水セメント比 25%の細孔径分布(養生 56 日)

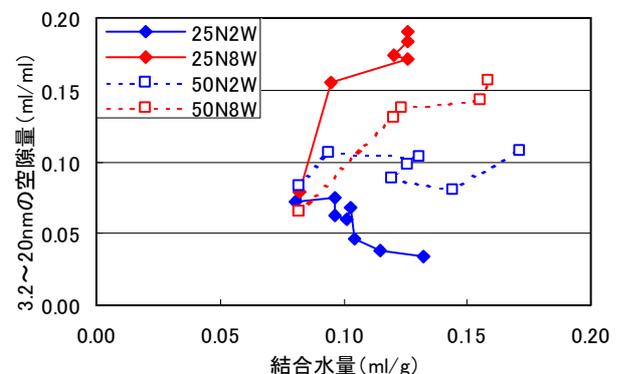


図-5 結合水量と 3.2~20nm の空隙量の関係

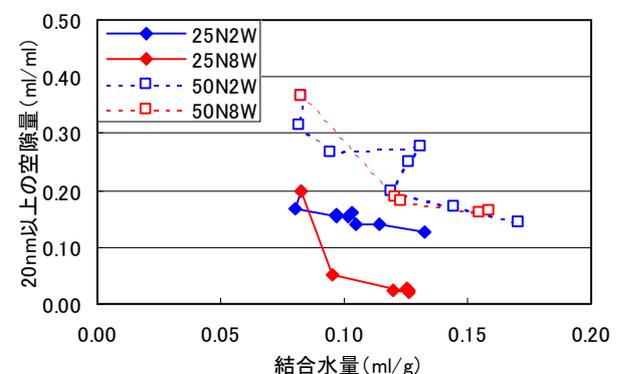


図-6 結合水量と 20nm 以上の空隙量の関係