

V-3

セメント硬化体中の物質移動の評価方法に関する一考察

株式会社鹿島 技術研究所
早稲田大学理工学部
早稲田大学大学院

正会員 スジノ、A. S
正会員 関 博
木野 淳一

1. はじめに

コンクリートはマクロ的には緻密な材料であると考えられているが、ミクロ的には空隙が多量に存在する。このためコンクリート内の空隙を経て、外部から有害物質が侵入することにより劣化が進行すると考えられ、セメント硬化体内部の物質移動を把握する必要がある。既往の研究結果によると、気体・液体・イオンという3形態の物質の移動は、供試体内部の含有水分の状態により相違することが知られている。このため、本研究では、有効な含水状態設定法の一つである炉乾燥法を各物質移動の測定ための前処理として行い、供試体内の含水状態を相違させることを試みた。また、今回はモルタルの水セメント比を0.4、0.5、0.6の3種類とし、空隙量を変化させて実験を行った。

2. 実験概要

2.1 配合及び供試体の作製

本研究では、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は相模川産川砂を使用した。モルタルの配合を表1に示す。モルタル打設して材齢1日で脱型し、引き続き材齢7日まで水中養生（25℃）を行った。材齢7日でダイヤモンドカッターを用い、吸水試験及び比抵抗試験についてはφ150x50mm、酸素拡散試験については100x100x10mmの寸法に成型した。その後、供試体は含水状態の設定（炉乾燥法）を施すまで実験室中で保存した。

炉乾燥法における含水状態の設定方法としては、炉乾燥の温度設定を40℃、60℃、105℃の3種類として重量変化が0.1%以下になるまでとした。含水比0を飽水率0、飽水時の含水比を1と仮定し、105℃炉乾燥の前処理を施した供試体の飽水率は0としたときに、40℃炉乾燥および60℃炉乾燥の前処理を施した供試体の飽水率を図1～2に示す。さらに、3形態の物質移動と空隙構造の関係を調べるために各供試体に関して、全空隙率の測定およびポロシメーターによる細孔径分布の測定を行った。

2.2 測定方法

所定の材齢（35日、63日、133日）で気体の移動に関しては酸素拡散試験、液体の移動に関しては吸水試験、イオンの移動に関しては比抵抗測定試験を行った。

(1) 吸水試験

吸水試験方法は供試体を浸水させる方法で実施した。供試体の側面をテープでシールし、供試体を上下両方向から浸水させた。浸水後10分間、30分間、1時間、2時間及び4時間後に供試体を水槽から取り出して、表面の水分を拭き取ってから供試体の重量を測定し、その後水槽に戻した。吸水係数は浸透深さと水中浸漬時間の平方根の関係により求めた。

(2) 酸素拡散試験

酸素拡散試験は供試体両面を同じ圧力に保ち、片面には235cc/minの割合で窒素ガスを、別の片面に

表1 モルタルの配合

供試体の記号	水セメント比	単位量				フロー値 (mm)	空気量 (%)
		水 W kg/m ³	セメント C kg/m ³	細骨材 S kg/m ³	高性能減水剤 Cx %		
M4	0.4	250	628	1439	1.0	220～244	2.8～3.0
M5	0.5	259	563	1469	0.5	187～212	2.9～3.1
M6	0.6	289	489	1456	—	170～193	3.2～3.5

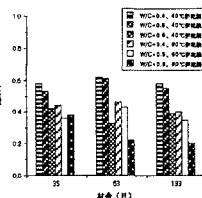


図1 150x50mm供試体の飽水率

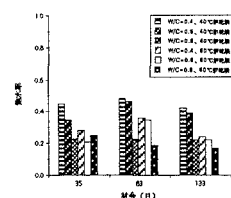


図2 100x100x10mm供試体の飽水率

は150cc/minの割合で酸素ガスを流し続け、室素ガス中の酸素ガス濃度を微量酸素分析計により測定し、ほぼ一定値となったときを定常状態と判断して、酸素の拡散係数を算出した。

(3) 比抵抗試験

供試体全体を水に浸漬し、30分間、1時間、2時間および4時間後に供試体を水槽から取り出して、表面の水分を拭き取ってから供試体の重量および比抵抗を測定した。比抵抗試験は、供試体上下面にカルボキシメチルセルロースを塩水(濃度5%)で練ったゲル状の物質を塗った後、銅板を張り付け、交流付加電圧10mV、周波数範囲10mHz～100kHzでインピーダンスの測定を行い、1kHzにおけるインピーダンスの実数成分を比抵抗に換算した。

3. 実験結果および考察

3.1 吸水試験結果

図3の結果より、水セメント比、炉乾燥の温度、材齢により吸水係数の相違が認められた。炉乾燥の温度が高くなると吸水係数が大きくなる。これは、空隙構造の変化だけに依存するのではなく、空隙に含まれる水分が非常に影響を与えるためと考えられる。図4より、吸水係数は開放空隙容積と密接な関係があり、半径42.0nm以上の開放空隙容積と最も高い相関性がある。半径42.0nm以上の範囲で遷移帯が多く存在すること、炉乾燥により半径42.0nm以下の空隙が減少し、半径42.0nm以上が多くなることによるためと思われる。ここで、開放空隙容積は次式で算出した。

$$V_a = (1 - \omega)(\epsilon - v_s)$$

ここに、 V_a : 半径a nm以上の開放空隙容積(cc/cc)、 ω : 飽水率、 ϵ : 全空隙容積(cc/cc)、 v_s : 細孔径分布による半径a nm以下の空隙容積(cc/cc)。

3.2 酸素拡散試験

図5の結果より、吸水試験と同様に、水セメント比、炉乾燥の温度、材齢により吸水係数の相違が認めれた。また炉乾燥の温度が高くなると酸素拡散係数が大きくなる。図6より、酸素拡散係数は半径42.0nm以上の開放空隙容積と密接な関係がある。この理由も吸水試験と同じと考えられる。

3.3 比抵抗試験

図7に比抵抗と吸水率の逆数との関係を示す。図より、浸漬前の供試体の含水比が大きいほど、吸水量が少なくても、比抵抗の値が小さくなる。これは、比抵抗は飽水している連続的な空隙容積と密接な関係があることによるためと考えられる。

4. まとめ

本実験結果より、気体・液体はセメント硬化体の半径42.0nm以上の開放空隙径で多く移動することと、イオンは飽水している連続的な空隙で移動することなどが明らかになったと思われる。

謝辞: 最後に、細孔径分布の測定にご助言頂いた三菱マテリアル(株)研究所の方々、実験に協力を頂いた川上 康夫氏(日本技術開発)、岡田 真人氏(日本国土開発)に深謝致します。

参考文献: 1) 羽原 俊祐: 硬化コンクリートの組織および空隙構造と物性の関係に関する研究、1992 2) S. Kelham: A Water Absorption Test for Concrete, Mag. of Concrete Res., Vol. 40 No. 143, 1988, pp. 106～110 3) C. D. Lawrence: Transport of Oxygen Through Concrete, Proc. British of Ceramic Soc., 1984.9, pp. 277～293

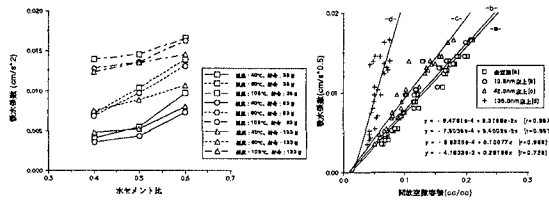


図3 吸水試験の結果

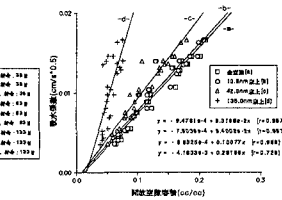


図4 吸水係数と開放空隙容積の関係

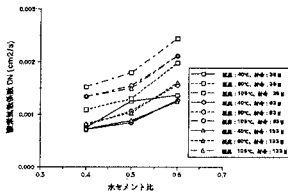


図5 酸素拡散試験の結果

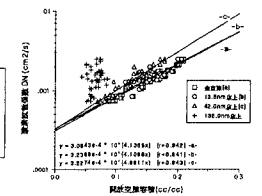


図6 酸素拡散係数と開放空隙容積の関係

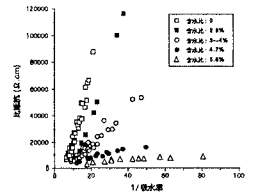


図7 比抵抗と吸水率の逆数の関係