

V-513

セメント硬化体の緻密性の評価方法に関する一考察

早稲田大学理工学部 正会員 関 博

早稲田大学大学院 学生員 アグス・サントーサ・スジョノ

早稲田大学

田之内 裕

1. まえがき

セメント硬化体の緻密性は空隙構造と密接な関係があると考えられる¹⁾。セメント硬化体中の空隙量あるいは空隙径が大きいほど、気体、液体あるいはイオンは浸入しやすく、緻密性が低くなる傾向にある。しかしながら、緻密性を明確に評価するためには空隙構造だけでなくセメント硬化体中の空隙に含まれる水分の影響も考慮する必要があると思われる。

そこで本研究では、水セメント比、養生方法および前処理としての炉乾燥の温度を相違させて、酸素拡散試験と比抵抗試験を行い、モルタルの緻密性の評価方法を検討した。

2. 実験概要

2.1. 供試体の作製と配合

本実験では、セメントは普通ポルトランド、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。打設後、1日間の湿潤養生を経てから脱型し、引き続き材令7日まで水中養生(20°C)を施した。材令7日でダイヤモンドカッターを用い、酸素拡散試験については10x10x1cm、比抵抗試験についてはΦ15x5cmの寸法に成型した。

表-1 モルタルの配合

供試体 記号	W/C (%)	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 C(%)
M4	39.8	239-277	2.6-3.5	250	628	1439	1.0
M6	58.7	239-279	1.5-1.9	287	489	1456	—

2.2. 実験方法

材令35日に酸素拡散および比抵抗試験を行った。供試体は、材令7日以降重量変化率が0.01%以下になるのに日数を35日から引いた材令まで気中養生あるいは水中養生とし、その後、前処理として炉乾燥を3種類の温度（設定温度105, 60 および40°C）のもとで実施した。前処理した後、酸素拡散試験についてはシリコンボン드로パッキングして、一日間経過後、酸素拡散試験を行い、比抵抗試験については残存水分率の相違を得るために水中浸漬1時間と24時間の比抵抗値および重量の変化を測定した。さらに、ポロシメーターによる全空隙量および細孔径分布の測定を行った。

2.3 測定方法

1) 酸素拡散試験

酸素拡散試験は、コンクリート酸素・塩素拡散試験装置（ODA-1000 型島津製作所製）を用いた。供試体両面を同じ圧力に保ち、片面には235-375cc/minの割合で窒素ガスを、別の片面には95-150cc/minの割合で酸素ガスを流し続け、窒素ガス中における酸素濃度を微量酸素分析計により測定し、ほぼ一定値になったときを定常状態と判断して、酸素の拡散を算出した。

2) 比抵抗試験

比抵抗試験は電気化学インピーダンス測定装置を用いて、交流インピーダンス法により測定した。供試体上下両面にカルボキシメチルセルローズを塩水（濃度5%）で練ったゲル状の物質を塗布した後、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とした。

2.4 残存水分率の算出方法

105°C炉乾燥を施した供試体の含水比(ω_1)を0%と仮定して、酸素拡散試験供試体および比抵抗供試体について、気中養生で既に蒸発している水分、各乾燥法により蒸発した水分、そして60°C炉乾燥および40°C炉乾燥を施した

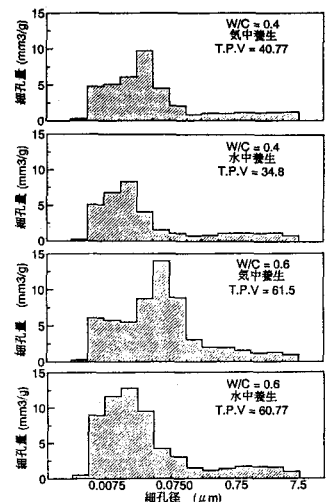


図-1 細孔径分布

供試体中の含水比(ω_1)を算出した。また、比抵抗供試体について残存水分率(ω_2)を $\omega_2=(W_1-W_2)/W_2 \times 100\% + \omega_1$ の式で算出した。ここでは、 W_1 =炉乾燥した後水中浸漬1時間あるいは24時間の供試体重量(g); W_2 =炉乾燥した後の供試体重量(g); ω_1 =炉乾燥した供試体中の含水比(%)である。

3. 実験結果および考察

1) 空隙構造の変化

図-1の結果より、水セメント比が小さいと、全細孔量が減少することがわかる。また、気中養生と水中養生を比較すると、後者は水和に必要な水が確保され全細孔径量自体は少し減少し、径の小さい細孔が多く分布する傾向が確認できる。

乾燥に伴う細孔では、温度が高いほど微細な空隙は減少し、全細孔量が増加する傾向にあった。

2) 酸素拡散試験

図-2の結果より、いずれの乾燥法においても、水セメント比と養生方法の相違を区別することは可能であるが、炉乾燥の温度に関しては、高い温度(105°C)と低い温度(40-60°C)の区別が明確となった程度である。なお、40°Cと60°Cの温度を比較すると、40°C炉乾燥が60°C炉乾燥より若干大きい傾向が見られる。これは、40°C炉乾燥の重量変化率が0.01%になる期間が十分長く(18日間)、水和の進行が少ないためと考えられる。

本研究では、酸素拡散係数と0.0135 μ m以上の毛細管空隙量(ポロシメーターによる細孔径分布の測定結果)との関係を調べてみた。図-3はその結果を示しており、酸素拡散係数と乾燥前の空隙構造の間は、それぞれ次式で表された。

$$105^\circ\text{C炉乾燥: } \ln(D_N) = -7.508 + 25.40 V_{0.0135\mu\text{m}} \quad (r=0.987)$$

$$60^\circ\text{C炉乾燥: } \ln(D_N) = -7.573 + 24.42 V_{0.0135\mu\text{m}} \quad (r=0.979)$$

3) 比抵抗試験

比抵抗は含水比あるいはセメント硬化体の空隙構造と密接な関係を持っていると考えられ^{2),3)}。図-4および図-5は比抵抗と残存水分率(ω_2)の逆数との関係を示しており、 $\ln(\rho) = A + C(\omega_2^{-1})$ の式で表すことができた。本式において、水中養生のCの値(傾き)は気中養生のC値より大きく、養生方法の相違を区別することが可能と思われる。図-1より水中養生と気中養生では微細細孔径量が異なるので、Cの値は微細細孔量と関係があると思われる。水セメント比においては、 $W/C=0.6$ のCの値が $W/C=0.4$ のCの値より大きく、全細孔量と関係があると考えられる。

4. まとめ

本研究結果より、モルタルの酸素拡散係数は0.0135 μ m以上の毛細管空隙量と密接な関係があると考えられる。また、比抵抗と残存水分率の逆数に良い相関性が認められた。

参考文献

- 1) 永尾拓洋、関博：セメント硬化体の緻密性の測定方法に関する一考察、土木学会第48回年次学術講演会、1993.9、pp. 986-987
- 2) Tashiro, et. al : Dependence of the Electrical Resistivity on Evaporable Water Content in Hardened Cement Paste, Journal of Material Science Letters, Vol. 6, No. 12, 1987, pp. 1379-1381
- 3) W.J. MacCarter, et. al : Dependence of Electrical Impedance of Cement-based Materials on Their Moisture Condition, J. Phys. D: Appl. Phys. 22, 1989, pp. 1773-1776

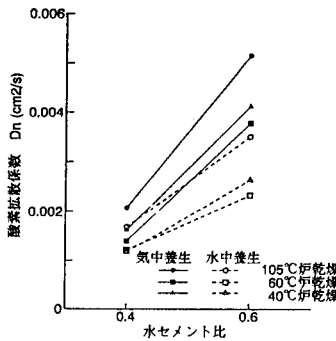


図-2 酸素拡散試験の結果

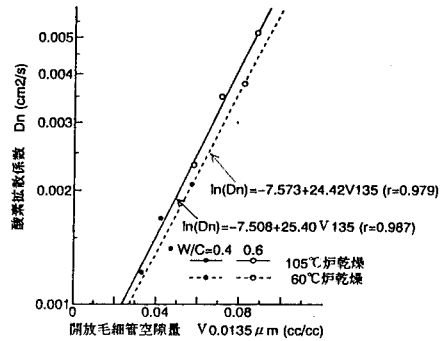


図-3 酸素拡散係数と開放毛細管空隙量の関係

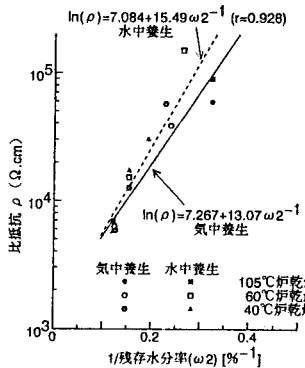


図-4 比抵抗と残存水分率の関係(W/C=0.4)

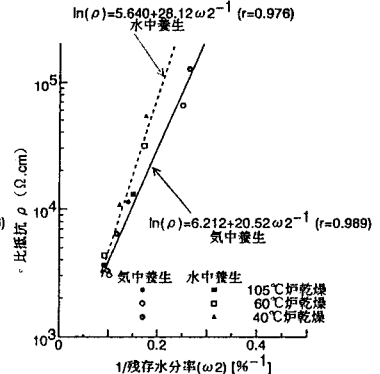


図-5 比抵抗と残存水分率の関係(W/C=0.6)