

(V-5) セメント硬化体の強度に与える細孔量の影響

芝浦工業大学 学生会員 ○ 三輪 理
 芝浦工業大学 正会員 矢島 哲司
 日本セメント(株) 正会員 後藤 孝治
 東京大学生産技術研究所 正会員 魚本 健人

1. はじめに

セメント水和物の性質は、コンクリートの強度や耐久性に最も大きな影響及ぼすものである。セメントの水和反応を強度と関係づけるには、セメント強度発現のしくみを解明する必要がある。ここでは、水和反応が進むことによりセメント粒子間の細孔が減少し、それと同時に強度が増加すると考える。また、過去の研究では細孔の定義が異なる場合があることから、ここでは細孔の定義を明かにした上で、セメントの細孔量と強度の関係を簡潔に示すことが必要である。本研究では、セメントでの実験を行う前に、ポルトランドセメントに多く含まれていて、水和の様子が明かであり、なおかつ、強度発現に大きく貢献するエーライトについて、そのペーストの水和反応量と細孔量及び強度との関係について実験的に検討した。

2. 実験概要

2. 1 試料

エーライトは、山口らの組成¹⁾により配合したものを電気炉により1500℃で8時間焼成したものをを用いた。このとき、f-C a Oは0.17%であった。その後、ボールミルでブレン値3240(L), 3950(M), 4580(H)cm²/gに粉碎した。

2. 2 方法

水エーライト比40, 50, 60%のエーライトペーストを1×1×7cm供試体に作製し、材令3, 7, 28, 91日まで水中養生を行った。

2. 3 測定

各供試体重量を測定し強度試験を行った。強度試験は1×1×1cmの圧縮試験である。強度試験を行った後のペースト片について、湿度15%での乾燥とその後1000℃の強熱乾燥の差によって結合水量を求めた。さらに、D-dryしたものを水銀ポロシメータにより全細孔量を測定した。なお、水銀ポロシメータはオートポア9220形(圧入圧力約0.035~4200kg/cm²)を使用した。

3. 実験結果と考察

結果を、表-1に示す。

水銀ポロシメータの結果からは、図-1に示すとおり細孔量は1000Å付近以下では水セメント比による差が余り見られない。図-2では100Å付近以下で材令が進むにつれ

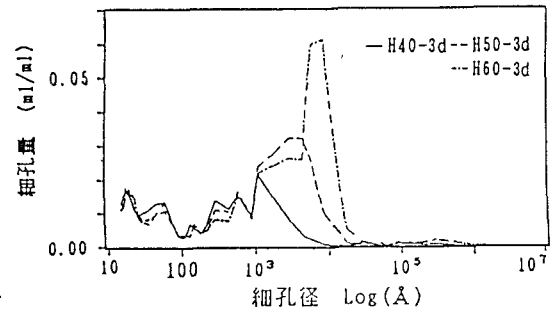


図-1 各水セメント比の細孔径分布

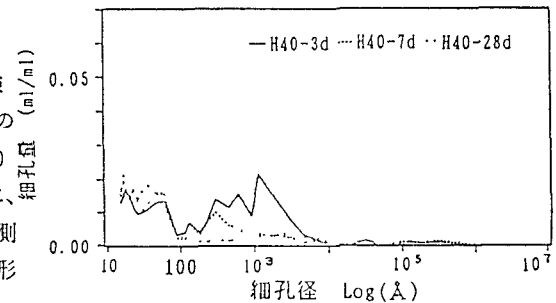


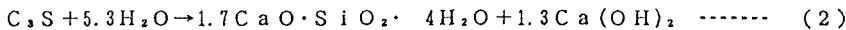
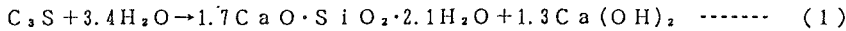
図-2 各材令の細孔径分布

表-1 各種実験結果

	W/C (%)	実質W/C (%)	強度 (kg/cm ²)			全細孔量 (ml/ml)			結合水量 (g/g-AIite)		
			3d	7d	28d	3d	7d	28d	3d	7d	28d
L	40	37.1	290	470	867	0.306	0.250	0.215	0.170	0.203	0.248
	50	45.9	118	190	442	0.407	0.327	0.301	0.164	0.195	0.247
	60	54.9	56	100	242	0.465	0.401	0.366	0.163	0.196	0.246
M	40	38.9	370	538	867	0.304	0.218	0.200	0.181	0.212	0.263
	50	46.8	153	243	468	0.395	0.329	0.285	0.178	0.212	0.263
	60	57.6	69	120	275	0.436	0.377	0.352	0.185	0.214	0.261
H	40	39.3	450	620	757	0.268	0.214	0.194	0.201	0.232	0.268
	50	47.9	196	278	517	0.350	0.302	0.223	0.190	0.226	0.266
	60	56.5	89	140	302	0.426	0.387	0.332	0.191	0.220	0.270

てわずかながら多くなっている。これは、100Å付近以下の細孔は強度低下には関係しないことを意味するのではないと思われる。これにより100Å以上の細孔量と強度の関係をグラフにし、 $\sigma = \sigma_0 \text{EXP}(-bp)$ をもとにして回帰式を求めた(図-3)。

C₃Sの水和反応の生成物であるC-S-Hの湿度15%乾燥時の組成は1.7CaO・SiO₂・2.1H₂Oであるとされている²⁾。また、C₃Sが水和するために必要な水すなわちゲル水を含めた化学式は 1.7CaO・SiO₂・4H₂Oであるとされている³⁾。これらを、C₃SとH₂Oの反応として式を作ると(1)，(2)式となる。



つまり、前者ではC₃S 1モルに3.4モル、後者では5.3モルのH₂Oが反応すると考えられる。結合水量がC₃S 1モルに対する3.4モルのH₂Oに当たるなら、5.3モルのH₂Oの重量は容易に求めることができる。そして、湿度15%乾燥による蒸発する水は比重1g/cm³であると考えると細孔量は次のようになる。

$$\text{細孔量} \text{ ml/ml} = \text{細孔内の水量} \text{ g/ml}$$

$$= [\text{エーライト単位重量当たりの湿度15\%乾燥の蒸発量} \text{ g/g}]$$

$$- \{ (4-2.1) / 3.4 \} \times \text{エーライト単位重量当たりの結合水量} \text{ g/g}]$$

$$/ \text{供試体単位体積当たりエーライト重量} \text{ g/ml}$$

これにより、得られた細孔量と強度の関係をグラフにし回帰式を求めた(図-4)。これらのグラフを比べるとある程度の違いはあるものの傾きも値も実験値に近くエーライトの反応を考えると強度に影響する細孔を100Å以上としたことは適当であったと思われる。これらにより、ゲル水を除いた細孔量が強度低下の原因であると考えられる。

ポロシメータで100Å以上の範囲で求めた早強ポルトランドセメント(V)の細孔量を先のグラフに重ねてみると近い傾きであることが解る(図-5)。即ち、この方法がセメントにも応用できるのではないかと推測される。

4. まとめ

- ①100Å以下の細孔は、水セメント比や材令による変化が非常に少ない。
- ②ゲル水を除く細孔量と強度のグラフと100Å以下の細孔量と強度のグラフの回帰式が近かった。
- ③早強ポルトランドセメントの100Å以上の細孔量と強度のグラフの傾きがC₃Sの結合水量により求めたものに近かった。

参考文献

- 1) Yamaguchi, G. and Takagi, S., proceedings of the 5th International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo 1968, Vol. I, P181(1969)
- 2) Young, J. F. and Hansen, W., Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 85, 313(1987)
- 3) Taylor, H. F. W., Mater. Sci. Monogr. 28A, P39(1985)

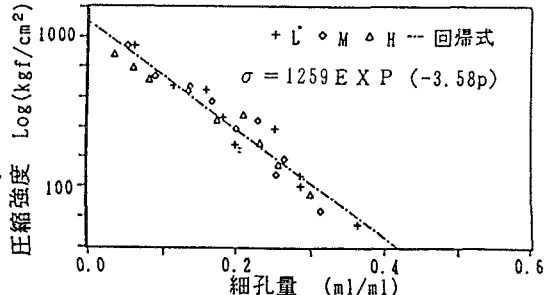


図-3 細孔径100Å以上の細孔量と強度の関係

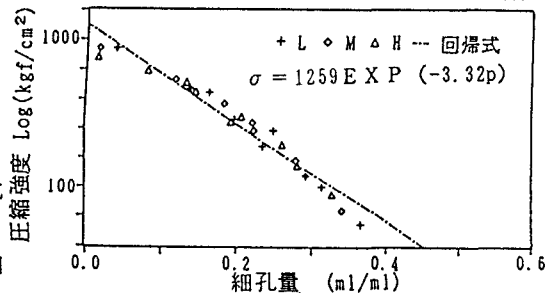


図-4 結合水より求めた細孔量と強度の関係

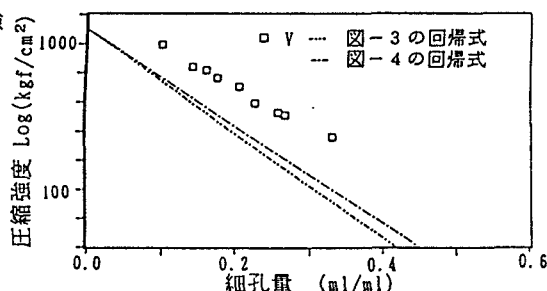


図-5 細孔量と強度の関係
(早強ポルトランドセメントとの関係)