

環境変化養生による細孔構造変化がモルタルの中性化及び耐凍害性に及ぼす影響

正会員 ○上田尚人*
同 鈴木邦康**
同 濱 幸雄***

乾燥 乾湿繰り返し オートクレーブ養生
細孔構造 耐凍害性 中性化

1. はじめに

セメント硬化体の物性は、骨材、硬化セメントペースト、空隙など多くの要因に支配されている。その中でも空隙構造は耐久性に大きな影響を及ぼすとされており、凍害劣化に対しては、直径 40 nm を下限とする中程度の細孔が影響を及ぼし¹⁾、中性化に対しては、75~7500 nm の細孔量の影響が大きい²⁾とされている。一般にセメント硬化体の細孔構造は、W/C、養生条件、材齢によって変化し、セメントの水和反応が進行するほど緻密になり、耐凍害性や中性化抵抗性が向上すると言われている。一方、実環境での乾湿繰り返しなどの環境変化によりコンクリートの細孔構造が粗大化し耐凍害性が低下するとの報告もある³⁾。

本研究では、環境変化養生によるモルタルの細孔構造の変化と中性化及び耐凍害性の関係について検討した。

2. 実験計画および方法

1) 試験体および養生条件

使用材料は普通ポルトランドセメント ($\rho = 3.16 \text{ g/cm}^3$)、登別産陸砂 (表乾密度 = 2.69 g/cm^3 、吸水率 = 1.52%) および AE 剤とし、表 1 に示す 4 種類の調合の 1 : 2 モルタルを用い、 $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ の供試体を作成した。

養生は、図 1 に示すように実環境での経年を想定した環境変化養生として乾燥および乾湿繰り返しの 3 条件とセメントの水和反応を促進させる目的でのオートクレーブ養生の合計 4 条件とした。乾燥および乾湿繰り返し養生では、nonAE の試験体を用い、材齢 1 日で脱型後、材齢

表 1 配合表

W/C	目標 空気量 (%)	混練水 セメント 細骨材			AE 剤 ($C_w \times \%$)
		(kg/バッチ)			
0.35	4	3.85	11	22	0.002
0.35	2	3.85	11	22	-
0.55	4	5.50	10	20	0.01
0.55	2	5.50	10	20	-

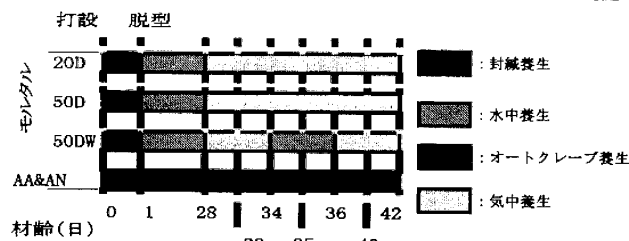


図 1 試験体の脱型及び養生条件

28 日まで 20℃ 水中養生を行い、その後、I : 20℃ 乾 (20℃・60%RH の恒温恒湿室中で 2 週間)、II : 50℃ 乾 (50℃ 乾燥器中で 2 週間)、III : 50℃ 乾湿繰り返し (50℃ 乾燥器中で 6 日間 → 20℃ 水中 2 日間 → 50℃ 乾燥器中で 6 日間) の 3 条件の養生を行った。また、オートクレーブ養生は nonAE および AE の 4 種類の試験体を用い、材齢 1 日で脱型後、185℃、10 気圧の条件で 6.5 時間の養生を行った。

2) 細孔構造の測定

20℃ 水中養生後、環境変化養生後の供試体を 2.5~5.0mm に破碎し、アセトンによる水和停止と D-dry 乾燥を行った後、水銀圧入法による細孔構造の測定を行った。また、水銀圧入法では測定できない直径 6nm 程度以下のゲル空隙を含めた全空隙量をアルキメデス法によって測定した。アルキメデス法は、D-dry 乾燥終了後の試料を真空吸水させて表乾質量と水中質量を測定し、その後、105℃ で乾燥させて絶乾質量を測定し、以下の式によってかさ密度、真密度および全空隙量を求めた。

$$\text{かさ密度} (\text{g/cm}^3) = \frac{1}{\text{かさ比容積} (\text{cm}^3/\text{g})} = \frac{\text{絶乾質量} (\text{g})}{(\text{表乾質量} (\text{g}) - \text{水中質量} (\text{g}))} \quad (1)$$

$$\text{真密度} (\text{g/cm}^3) = \frac{1}{\text{真比容積} (\text{cm}^3/\text{g})} = \frac{\text{絶乾質量} (\text{g})}{(\text{絶乾質量} (\text{g}) - \text{水中質量} (\text{g}))} \quad (2)$$

$$\text{全空隙量} (\text{cm}^3/\text{g}) = \text{かさ比容積} - \text{真比容積} \quad (3)$$

3) 凍結融解試験

凍結融解試験は、所定の養生終了後に、RILEM CIF 法に準じて行った。CIF 試験は、恒温恒湿室中 (20℃、RH60%) での 7 日間の下面吸水試験を行った後 56 サイクルの一面凍結融解試験を行う。試験体は、中性化と同様に側面をプチルゴム付きのアルミテープでシールしたものをを用いた。測定項目は下面吸水時で質量変化、凍結融解時には質量変化、剥離量、たわみ振動法による一次共鳴振動数とした。

4) 促進中性化試験

促進中性化試験は JIS A 1153 に準じて、所定の養生終了後に、温度 20℃、RH60%、CO₂ 濃度 5% で行い、1、4、13 週目に試験体を割裂し、割裂面にフェノールフタレインを噴霧して中性化深さを測定した。

3. 実験結果および考察

1) 環境変化養生による細孔構造の変化

図 2 に細孔径分布を示す。W/C によらず 20°C 水中養生後の細孔構造と比較して、環境変化養生後には総細孔量が増大し、細孔径分布も粗大化する傾向にある。また、セメントの水和が十分に進行していると考えられるオートクレーブ養生の方が、乾燥および乾湿繰り返し養生に比べて総細孔量が多くなっている。オートクレーブ養生では 10~100 nm、乾燥および乾湿繰り返し養生では 100 nm 付近の細孔量の増加が顕著である。

ここで、アルキメデス法による全空隙量および固体部分の体積と水銀圧入法による細孔量の測定結果から、各試験体の全体積に占める固体部分、直径 6~10000nm の細孔および水銀圧入法では測定できない直径 6nm 以下のゲル孔のそれぞれの割合の変化を図 3 に示す。環境変化養生によって、固体部分の収縮傾向が確認され、全空隙量はほとんど変化していないものの、6nm 以下のゲル孔の割合が減少して、直径 6~10000nm の細孔が増加していることがわかる。

2) 細孔構造の変化と耐凍害性・中性化速度の関係

図 4 に CIF 試験における耐久性指数と直径 6~10000nm の細孔量の関係を示す。W/C によってその勾配は異なるものの、直径 6~10000nm の細孔量が増加するほど耐久性指数が低下しており、環境変化養生による細孔構造の粗大化が耐凍害性を低下させるものと考えられる。また、オートクレーブ養生した場合でも、AE 剤を用いたものの耐久性指数の低下は見られなかった。

図 5 に中性化速度係数と直径 6~10000nm の細孔量の関係を示す。耐凍害性と同様に、W/C によってその勾配は異なるものの、直径 6~10000nm の細孔量は増加するほど中性化速度係数が大きくなる傾向を示しており、環境変化養生による細孔構造の粗大化は中性化抵抗性も低下させるものと考えられる。

4. まとめ

- 1) 環境変化養生により、セメント硬化体の固体部分が収縮する。また、全空隙量には変化がないが、6nm 以下のゲル孔の割合が減少して、直径 6~10000nm (特に 100nm 付近) の細孔が増加し、細孔構造が粗大化する
- 2) 環境変化養生による細孔構造の粗大化は、耐凍害性および中性化抵抗性を低下させる。

【謝辞】本研究の実施にあたり、住友金属鉱山シボレックス(株)・青野義道氏、室蘭工業大学大学院・三高信吾氏(現 三井住友建設(株))の協力を得ました。また、細孔構造の測定では日本大学・湯浅昇先生の協力を得ました。心より感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 鎌田英治, 千歩修, 田畑雅幸, 田中宏和: コンクリートの凍害に及ぼす細孔構造の役割についての統計的解析, 日本建築学会構造系論文集, No. 487, pp. 1-9, 1996
- 2) 鄭載東, 平井和喜, 三橋博三: 中性化速度に及ぼすコンクリートの調合及び細孔構造の影響に関する実験的研究, コンクリート工学論文集, Vol. 1, No. 1, pp. 61-73, 1990
- 3) 青野義道: コンクリートのナノ構造変化がおよぼす耐凍害性への影響に関する研究, 室蘭工業大学博士論文, 2006

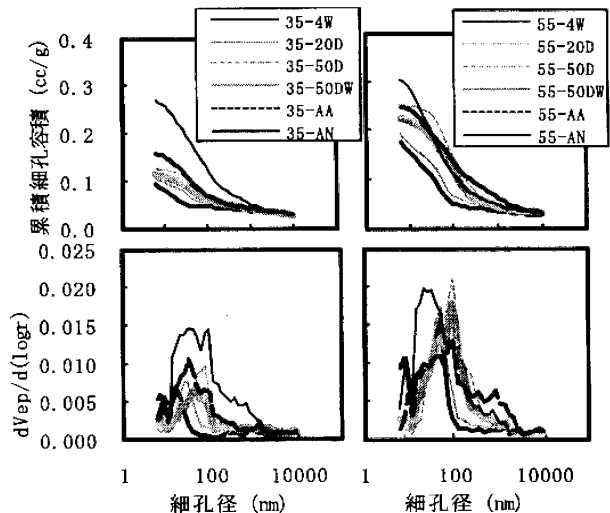


図 2 細孔径分布(上段; 累積プロット, 下段; 微分プロット)

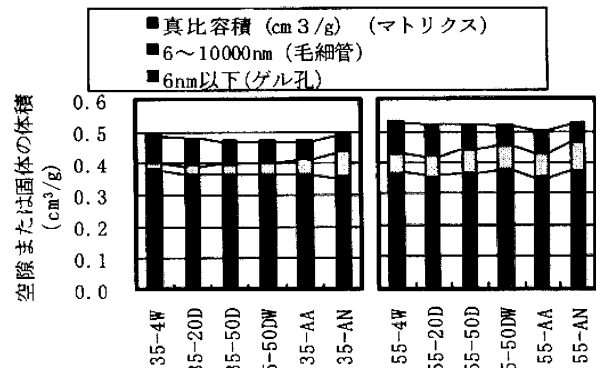


図 3 毛細管の細孔量とゲル孔の細孔量と固体の比較

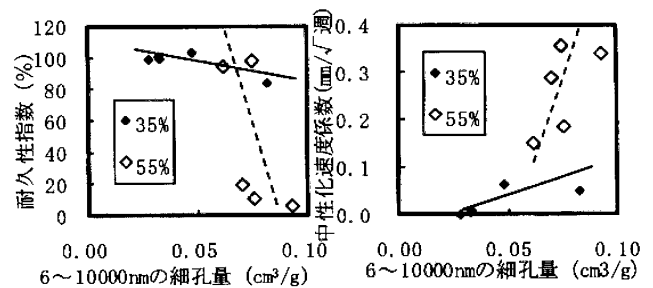


図 4 6~10000nm の細孔量と耐久性指数の関係

図 5 6~10000nm の細孔量と中性化速度係数の関係

*室蘭工業大学大学院
 **室蘭工業大学 講師・博士 (工学)
 ***室蘭工業大学 准教授・博士 (工学)

* Graduate School, Muroran Institute of Technology
 ** Assis. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng
 *** Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng