

モルタルの細孔構造と耐凍害性に及ぼす環境変化の影響
—普通ポルトランドセメントとフライアッシュセメントの比較—

正会員 ○ 澁谷 将*
同 新 大軌**
同 濱 幸雄***

耐凍害性 細孔構造 インクボトル細孔
乾燥 乾湿繰り返し 凍結融解試験

1. はじめに

一般に、低水セメント比のコンクリートは non-AE であっても優れた耐凍害性を示すと言われているが、実環境下で経年することにより耐凍害性が低下すると報告がある¹⁾。青野らは、普通セメントを使用したセメントペーストによる実験において、実環境で想定される乾燥・乾湿繰り返しにより直径 40~2000 nm の細孔量が増加し、耐凍害性が低下することを示した²⁾。

本研究では、普通セメント及びフライアッシュセメント³⁾を用いたモルタルにおいて、環境変化の種類を増やした場合の細孔構造と耐凍害性の関係を検証し、セメント種別による影響を比較することを目的としている。

2. 実験計画及び方法

2-1 実験計画

表 1 に調合表を示す。水結合材比は 35%・55% の 2 水準とし、セメントは普通ポルトランドセメント (N) とフライアッシュ B 種相当のセメント (FA) を使用し、4×4×16 cm の non-AE モルタルを作製した。

表 2 に環境変化養生条件を示す。初期養生は 20°C 4 週水中養生で一定とした。その後、20°C 又は 50°C それぞれで水中・乾燥・乾湿繰り返し養生を行った。50°C の乾燥養生においては湿度の異なる条件を 2 水準加えた。50°C 養生では期間を 2 週・4 週とし、20°C 養生では 4 週とした。

2-2 実験方法

初期養生、環境変化養生後に、耐凍害性の評価を CIF 試験、細孔構造の測定を水銀圧入法及びアルキメデス法を用いて検討した。凍結融解試験は RILEM CIF 法に準じて行った。測定項目は質量変化、剥離量、一次共鳴振動数とした。水銀圧入法及びアルキメデス法の試料はモルタルを 2.5~5.0mm に砕き、アセトン置換より水和停止を行った後、D-dry 乾燥を行った。水銀圧入法は JIS に準じて行った。アルキメデス法の測定は真空吸水させた試料の水中質量と表乾質量を測定し、その後 105°C で乾燥させて絶乾質量を測定し、真密度、全空隙量を求めた。

表 1 調合表

試験体	W/B (%)	単位水量 (kg/m ³)	質量 (kg/m ³)		
			普通ポルトランドセメント	フライアッシュ	細骨材
N	35	248	709	-	1418
	55	342	621	-	1242
FA	35	244	593	105	1396
	55	337	521	92	1225

表 2 環境変化養生条件

試験体記号	環境変化条件	環境変化期間
4WK	-	-
20W-4W	20°C 水中	4 週
20D-4W	20°C 乾燥 (RH60%)	4 週
50W-2W	50°C 水中	2 週
50W-4W		4 週
50DL-2W	50°C 低湿度乾燥 (RH5%)	2 週
50DL-4W		4 週
50DH-2W	50°C 高湿度乾燥 (RH60%)	2 週
50DH-4W		4 週
50DW-2W	50°C 乾湿繰り返し*	2 週
50DW-4W		4 週

*繰り返し内容: 1 サイクル=(50°C 低湿度乾燥 × 3 日)→(50°C 水中養生 × 0.5 日)
55-50DW-2W, 35-50DW-2W → 4 サイクル
55-50DW-4W, 35-50DW-4W → 8 サイクル

3. 実験結果

3-1 耐凍害性の評価

図 1 に凍結融解時の相対動弾性係数の変化を示す。環境変化養生の期間によらず、高温乾燥、乾湿繰り返し (50DL、50DH、50DW) により相対動弾性係数は大きく低下する。劣化程度については FA では差がみられないものの N を含めると、乾湿繰り返し (50DW) が最も耐凍害性を低下させると言える。また、温度の影響についてはセメント種別に関係なく、低温乾燥 (20D) で初期養生のみ (4WK) と同様の变化を示し、高温乾燥 (50DH) により相対動弾性係数が大幅に低下し、乾燥時の温度の影響が大きいと考えられる。

3-2 細孔構造の変化

図 2 に乾燥を行った試験体の細孔構造の累積及び微分細孔容積を示す。セメント種別、環境変化養生の期間によらず、低湿度乾燥 (50DL) と高湿度乾燥 (50DH) は同様な細孔構造の変化を示し、初期養生のみ (4WK) と比較して細孔容積が大きく、細孔径分布の 100nm 付近へのピークのずれが確認された。乾燥時の温度で比較すると、高温乾燥 (50DH) は低温乾燥 (20D) より細孔径分布のピークのずれが明確に確認され、細孔容積の増加量も多く、乾燥時の温度の影響が大きいと言える。

図 3 に空隙量又は固相体積を示す。セメント種別によらず、高温乾燥 (50DL、50DH) により、耐凍害性に影響を及ぼす直径 40~2000nm の細孔量の増加がみられた。しかし、乾湿繰り返し養生 (50DW) は N では 40~2000 nm の細孔量の増加を確認したが、FA では確認できなかった。

3-3 細孔構造と耐凍害性の関係

図 4 に直径 40~2000nm の細孔量と耐凍害性の関係を示す。本実験では、試験体作製時の空気量の違いにより一様に細孔構造で耐凍害性を評価できないが、セメント種別によらず、既往の研究²⁾と同様に、直径 40~2000 nm の細孔量が増加することにより耐凍害性が低下した。

3-4 インクボトル細孔の検討

本研究では、インクボトル細孔についても検討を行った。図5に乾燥を行った試験体のインクボトル細孔の累積及び微分細孔容積を示す。セメント種別によらず、初期養生のみ(4WK)に比べ高温乾燥(50DL, 50DH)によりインクボトル細孔容積の増加がみられ、入り口径のピークが直径100nm付近にシフトした。これより、高温乾燥を行うとインクボトル細孔の入り口径の粗大化やインクボトル細孔容積が増加することが明らかになった。

3-5 直径40~2000nmの細孔量とインクボトル細孔量

直径40~2000nmの細孔量とインクボトル細孔量の関係を図6に示す。直径40~2000nmの細孔量だけでなくインクボトル細孔量も増加しており、今後インクボトル細孔が耐凍害性に与える影響についてさらに検討する必要がある。また、FAでは乾湿繰り返し(50DW)が最も耐凍害性を低下させるにも関わらず、直径40~2000nm及びインクボトル細孔量の増加はみられなかった。

4. まとめ

- 1) セメント種別によらず、高温乾燥により細孔構造が粗大化し、直径40~2000nmの細孔量の増加により耐凍害性が低下した。また、インクボトル細孔では入り口径の粗大化、インクボトル細孔容積の増加がみられ、凍結水量及び耐凍害性に影響を及ぼしている可能性がある。
- 2) FAでは乾湿繰り返しにより耐凍害性が低下しているにも関わらず、細孔構造及びインクボトル細孔の変化をはっきりと確認することができず、細孔構造とは別の要因が寄与したと考えられる。

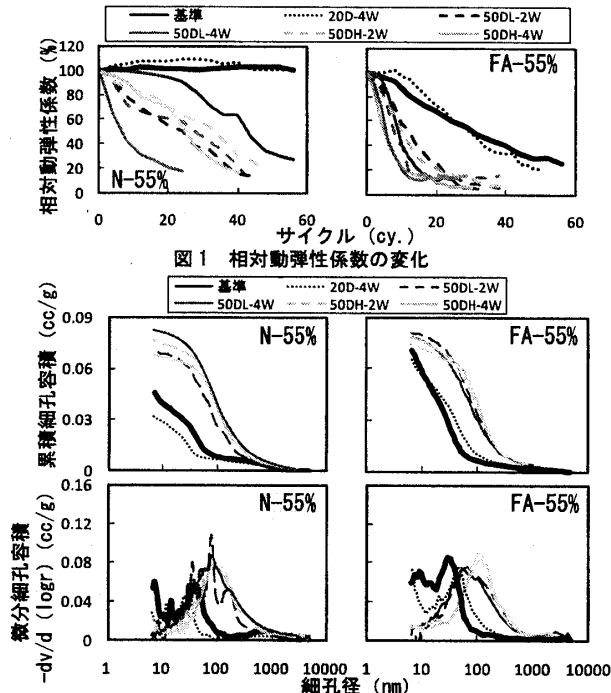


図2 乾燥を行った試験体の細孔構造の累積及び微分細孔容積

*室蘭工業大学大学院

**室蘭工業大学 助教授・博士(工学)

***室蘭工業大学 准教授・博士(工学)

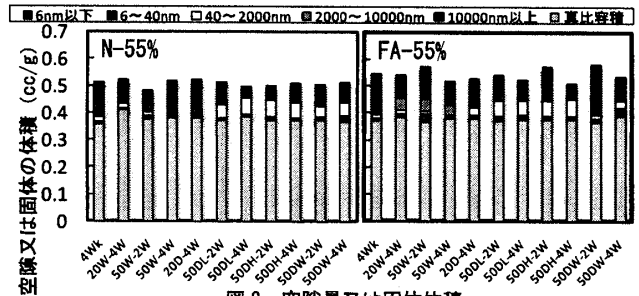


図3 空隙量又は固体体積

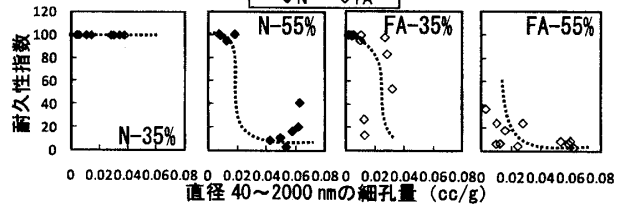


図4 直径40~2000nmの細孔量と耐凍害性の関係

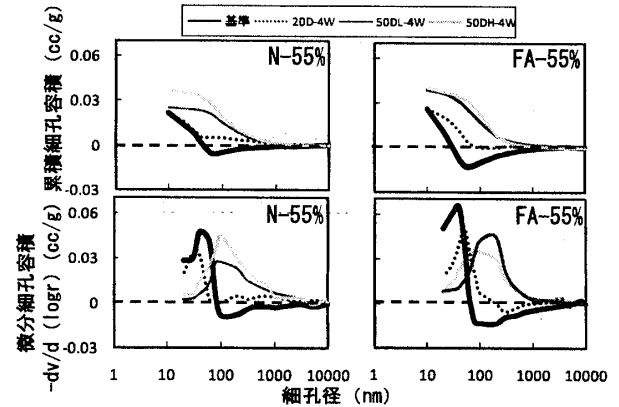


図5 乾燥を行った試験体のインクボトル細孔の累積及び微分細孔容積

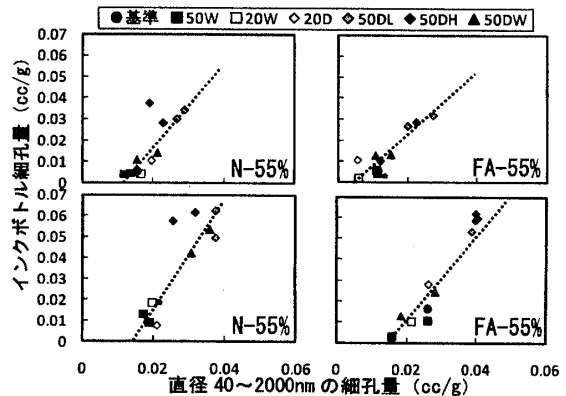


図6 直径40~2000nmの細孔量とインクボトル細孔量の関係

【謝辞】

本研究は、住友金属山シボレックス(株)、青野義道氏、室蘭工業大学大学院卒業生・上田尚人氏との共同研究として実施したものである。関係諸氏に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 濱幸雄ら：高強度・高流動コンクリートの耐凍害性に及ぼす凍結融解試験の養生条件の影響、セメント・コンクリート論文集、NO. 56、2002
- 2) 青野義道ら：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、室蘭工業大学大学院工学研究科、博士学位論文、2005
- 3) 塚田智昌ら：フライアッシュを用いたモルタルの細孔構造と耐凍害性に及ぼす環境変化の影響、室蘭工業大学、学士論文、2007

* Graduate School, Muroran Institute of Technology

** Assis. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng

*** Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng