

## モルタルの耐凍害性に及ぼす環境変化養生の影響

## —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場合—

正会員 ○上田 尚人\*<sup>1</sup>  
 会員外 塚田 智昌\*<sup>2</sup>  
 同 新 大樹\*<sup>3</sup>  
 正会員 濱 幸雄\*<sup>4</sup>

## 1. 材料施工—2. モルタル・コンクリートの物性

耐凍害性、環境変化養生、乾燥、モルタル、普通ポルトランドセメント、フライアッシュ

## 1. はじめに

コンクリートなどのセメント系材料の凍害劣化は冬期の気象条件の影響も大きく受けるが、夏期の影響も大きい。高温状態での乾燥、降雨や相対湿度の上昇など、実環境下で経年することによりコンクリートの耐凍害性が著しく低下する可能性が指摘されている。<sup>1)</sup> これは環境変化によって発生する微細なひび割れが原因であると考えられているが、必ずしもひび割れだけでは説明できなく、経年を想定した乾燥や乾湿繰り返しにより細孔構造の粗大化により吸水率が増加し、凍害劣化につながっていることを示す報告もある<sup>2)</sup>。著者らは、普通ポルトランドセメントを用いたモルタルによる実験で、硬化後の乾燥および乾湿繰り返しによる細孔構造の粗大化とそれによる耐凍害性の低下を確認している。<sup>3)</sup> しかし、乾燥時の湿度や乾燥期間、セメント種別の影響については明らかになっていない。

本研究では、普通ポルトランドセメントのみ使用したモルタルとフライアッシュを混合したモルタルを対象として、標準水中養生・材齢4週後に湿度、乾燥期間などの環境条件が耐凍害性に及ぼす影響について検討を行った。

## 2. 実験計画及び方法

## (1) 試験体および養生条件

表1に調査表を、表2に養生条件を示す。使用したセメントは普通ポルトランドセメント(p=3.17)とフライアッシュ(JIS II種)を用いた。FAではセメントの内割りで15%混合し、フライアッシュセメントB種相当とした。細骨材は登別産陸砂(表乾密度2.69g/cm<sup>3</sup>、吸水率1.52%)を用

いた。W/Bは35%・55%の2水準とし、4×4×16cmの供試体を作製した。養生条件は材齢1日で脱型後、材齢4週まで20℃水中養生(4WK)を行い、その後50℃で水中(50W)、乾燥(50DL、50DH)、乾湿繰り返し養生(50DW)を行った。50℃乾燥においては、湿度の異なる条件を2水準加えた。また、50℃水中・乾燥・乾湿繰り返し養生では期

表1 調査表

試験体	W/B (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	質量(kg/m <sup>3</sup> )		
			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 養生条件

試験体記号	W/B	初期養生条件	環境変化条件	環境変化期間
35-4WK	0.35	20℃水中養生×4週	-	-
35-50W-2W			50℃水中	2週
35-50W-4W				4週
35-50DL-2W			50℃低湿度乾燥(RH5%)	2週
35-50DL-4W				4週
35-50DH-2W			50℃高湿度乾燥(RH60%)	2週
35-50DH-4W				4週
35-50DW-2W			50℃乾湿繰り返し*	2週
35-50DW-4W				4週
55-4WK			0.55	20℃水中養生×4週
55-50W-2W	50℃水中	2週		
55-50W-4W		4週		
55-50DL-2W	50℃低湿度乾燥(RH5%)	2週		
55-50DL-4W		4週		
55-50DH-2W	50℃高湿度乾燥(RH60%)	2週		
55-50DH-4W		4週		
55-50DW-2W	50℃乾湿繰り返し*	2週		
55-50DW-4W		4週		

\*繰り返し内容: 1サイクル=(50℃低湿度乾燥×3日)⇒(50℃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

Influence of Curing Condition to Frost Resistance of Mortal

—In case of Ordinary Portland Cement and Fly Ash Cement—

Ueda Naoto et al.

間を2週、4週とした。初期養生終了時と環境変化養生終了後に凍結融解試験を行った。

(2) 凍結融解試験

凍結融解試験は、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と56サイクルの凍結融解試験から成っている。凍結融解の条件は、最高温度+20℃を1時間保持、最低温度-20℃を3時間保持、温度勾配±10K/hourで1日2サイクルとし、下面吸水状態での一面凍結融解を行うものである。試験体は、下面吸水開始前に、恒温恒湿室で7日間の気中乾燥を行い、側面をブチルゴム付

のアルミテープでシールしたものを使用した。測定項目は下面吸水時の質量変化、および凍結融解時の質量変化、剥離量、たわみ振動法による一次共鳴振動数とした。

3. 実験結果

図1に相対動弾性係数の変化を示す。NではW/B 35%では環境変化期間に関わらず動弾性係数の低下は見られなかった。W/B 55%は2週環境変化後(以後2週後)では、50DL、50DH、50DWが凍結融解の進行とともに劣化した。また、4週環境変化後(以後4週後)では50DWが試験開始初期に著しく劣化し、50DL、50DHが凍結融解の

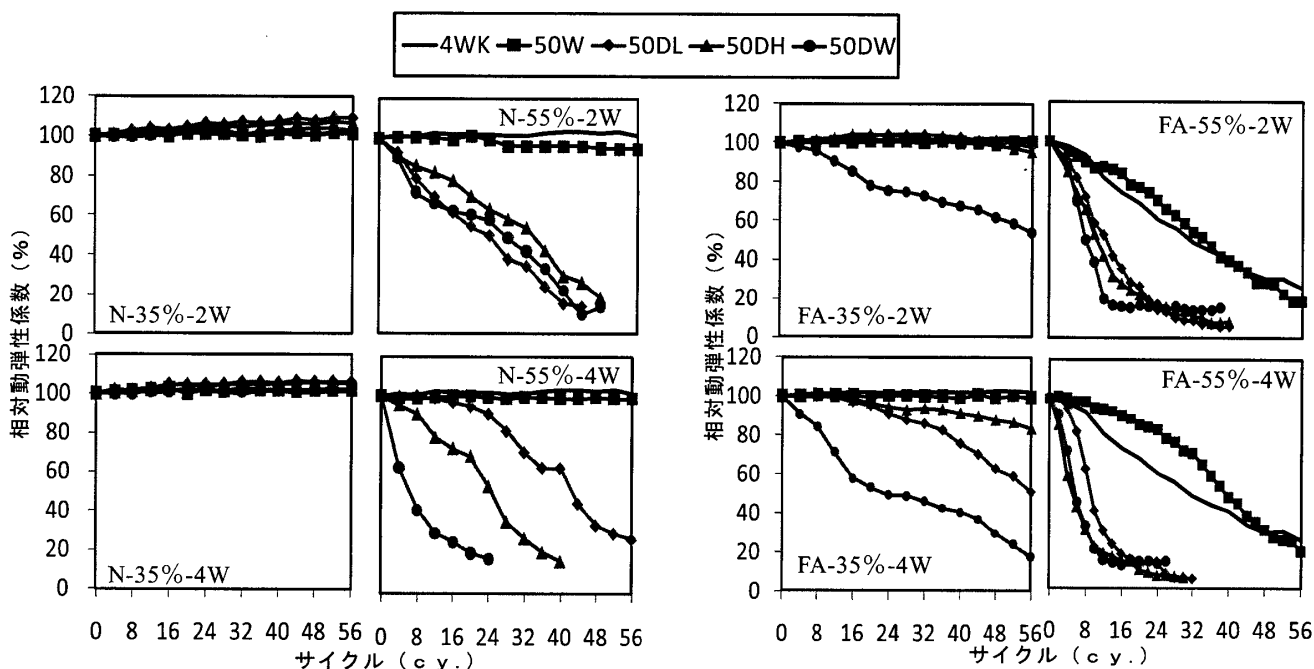


図1 相対動弾性係数の変化

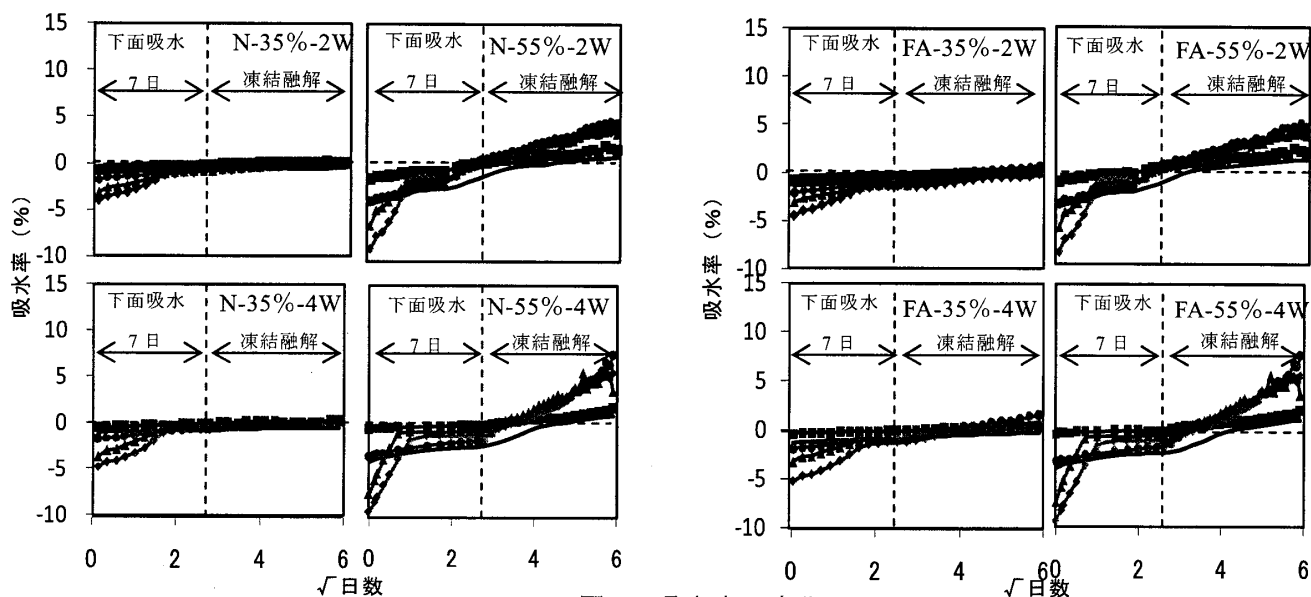


図2 吸水率の変化

進行とともに劣化した。FA の W/B 35%は2 週後に 50DW のみが凍結融解の進行とともに劣化した。4 週後に 50DW、50DH、50DL の順で凍結融解の進行とともに劣化した。W/B 55%では2 週後及び4 週後では 50DL、50DH、50DW が試験開始初期に著しく劣化した。4WK、50W は凍結融解の進行とともに劣化した。図2に吸水率の変化を示す。セメント種に関わらず下面吸水中にほぼ平衡状態に達している。その後の凍結融解 サイクル中に吸水率の増加が見られる。これは Micro-Ice-Lens Pump 効果と考えられる。また、W/B 55%の2 週後の N 及び FA の 50DL、50DH、50DW と4 週後の N-50DH、N-50DW、FA-50DL、FA-50DH、FA-50DW に急激な吸水率の上昇が見られたが、上昇始めたサイクル時にはすでに動弾性係数が著し Micro-Ice-Lens Pump 効果によるものではなく、劣化による組織の緩みが原因だと考えられる。

図3に、耐久性指数と養生条件の関係を示す。N の W/B35%は養生に関わらず耐凍害性に優れている。しかし、FA の W/B35%は耐凍害性の低下が見られ、2 週後では 50DW、50DH、50DL の順で耐凍害性が低下し、4 週後では 50DW、50DL、50DH の順で低下した。N の W/B55%は2 週後では、50DH、50DW、50DL の順で耐凍害性が低下している。また、4 週環境変化後では 50DW、50DH、50DL の順で耐凍害性が低下している。FA は2 及び4 週環境変化後で 50DL、50DH、50DW の耐久性指数が著しく低下している。また、N では耐凍害性の低下が見られなかった 4WK、50W も耐久性指数が低下した。FA は N より環境変化養生の影響を受け、耐凍害性が低下しやすいと言える。また、養生で耐凍害性を比較すると 50DW が最も養生の影響を受け耐凍害性が低下する。乾燥時の湿度の違う 50DL と 50DH を比較すると FA の

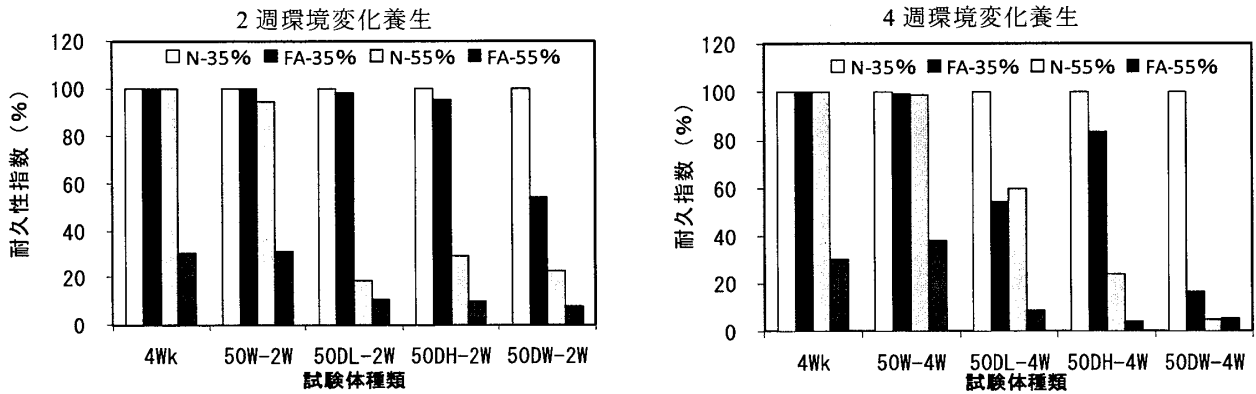


図3 耐久性指数と養生条件の関係

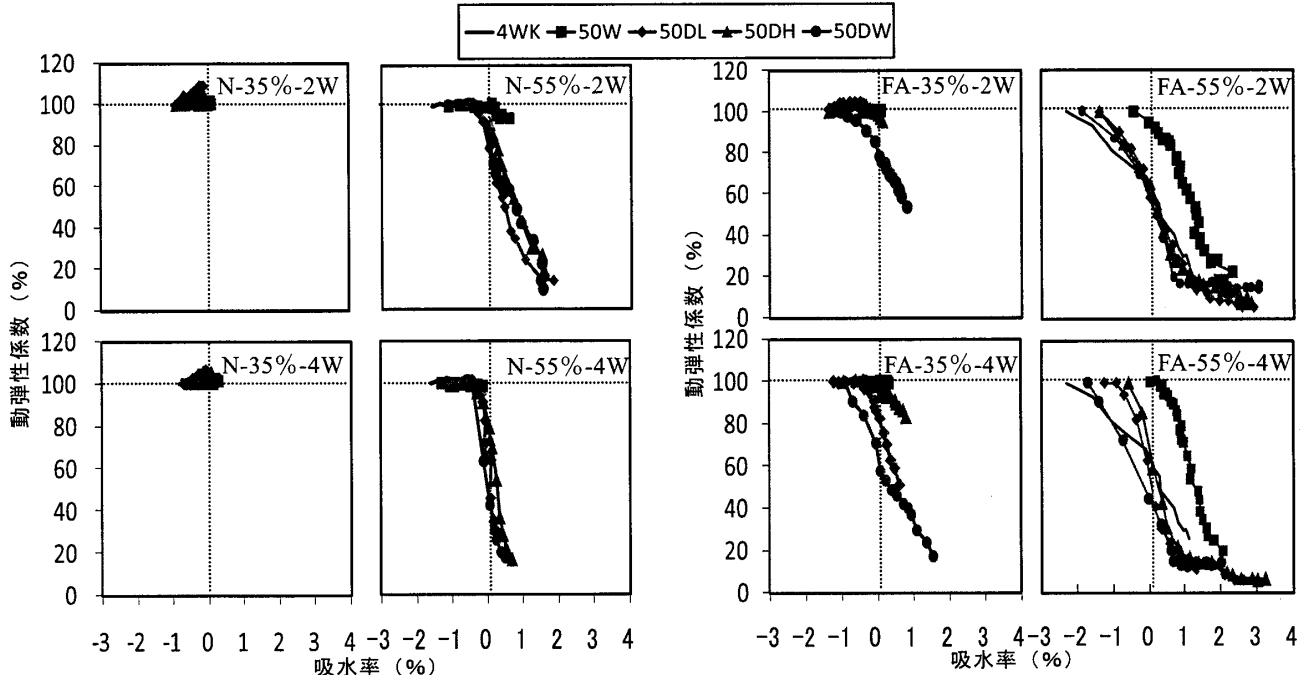


図4 吸水率と動弾性係数の変化

W/B35%の4週後とNのW/B55%の2週後は50DLが低い耐凍害性を示し、NのW/B55%の4週後は50DHが低い耐凍害性を示した。養生期間で比較すると環境変化期間が長くなるにつれて50Wは耐凍害性が向上し、50DH、50DWは耐凍害性が低下する。50DLはN-55%を除いて耐凍害性が低下している。

図4に吸水率と動弾性係数の変化を示す。NのW/B35%を除き、吸水率の増加にともない凍害劣化は促進されることが確認できる。また、FAのW/B55%は養生によって劣化し始める吸水率がばらついている。ばらつきは2週後より4週後が大きく、FAの環境変化養生と環境変化期間の耐凍害性への及ぼす影響が大きいと言える。

図5に剥離量の変化を示す。N-55%の2週後では50DW、4週後では50DH、50DWの剥離が進行した。FA-55%では環境変化期間に関わらず50DL、50DH、50DWの剥離が進行した。

図6に剥離量と養生条件を示す。4WK、50Wはセメント種に関係なく剥離の進行がられなかった。環境変化期間が長くなるにつれて剥離量が多くなる。特に50DHの4週後の剥離量は2週後の剥離量の30倍が剥離した。Nでは50DW、50DHの順で剥離量が多く、FAでは50DH、50DL、50DWの順で剥離量が多い。乾燥時の湿度の違う50DLと50DHを比較すると50DHがセメント種に関係なく多く剥離している。乾燥時の湿度が高いと剥離が多くなると言える。

#### 4. まとめ

- (1) フライアッシュを混合したモルタルは普通ポルトランドセメントのみを用いたモルタルに比べて、環境変化養生の影響を受け耐凍害性の低下が大きい。
- (2) 乾燥及び乾湿繰り返しは耐凍害性が低下し、乾湿繰り返し養生が最も耐凍害性が低下する。
- (3) 環境変化期間が長くなると、耐凍害性に及ぼす影響が増加する傾向にあり、フライアッシュを用いたモルタルに対しての耐凍害性に及ぼす影響は大きい。
- (4) 乾燥時の湿度の違いは、剥離量では湿度が高いほど剥離する。また、劣化程度はセメント種やW/Bによって傾向が異なる。

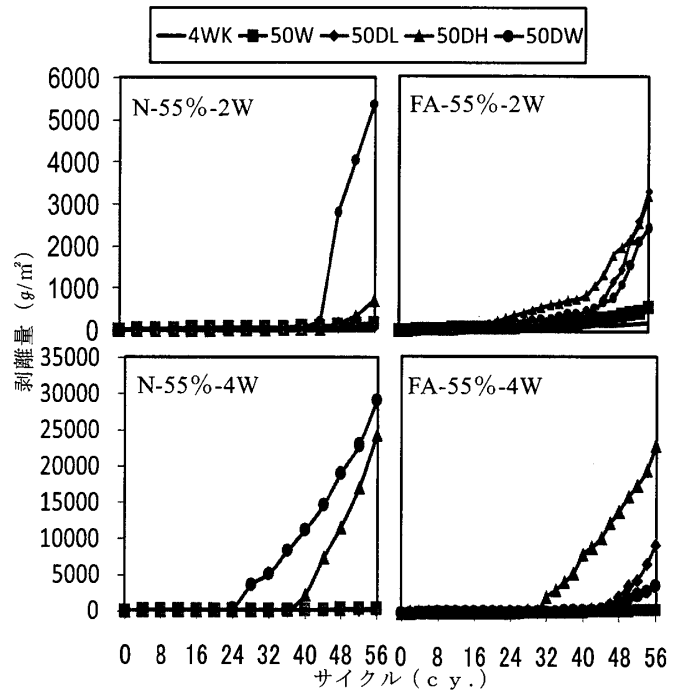


図5 剥離量の変化

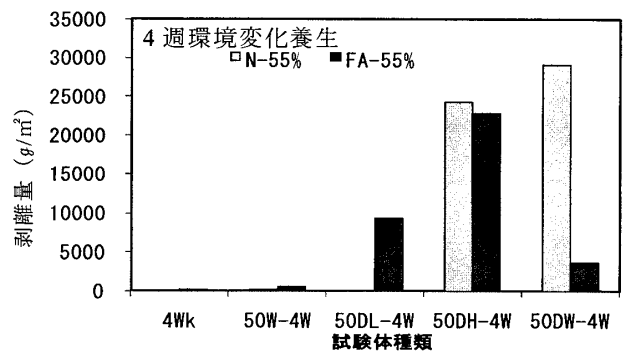
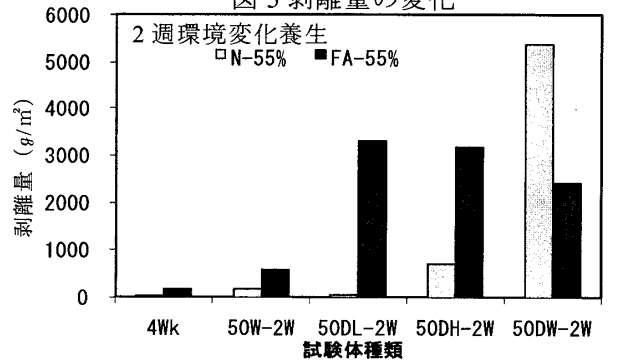


図6 剥離量と養生条件

#### 【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養生条件の影響と評価方法に関する研究、セメント・コンクリート、No.697、2005
- 2) 青野義道ら: 高強度コンクリートの耐凍害性に及ぼすマイクロクラックの影響、コンクリート工学年次論文集、2005
- 3) 上田尚人ら: 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、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、2007

\*1 室蘭工業大学大学院  
 \*2 積水ハウス株式会社  
 \*3 室蘭工業大学 助教・博士(工学)  
 \*4 室蘭工業大学 准教授・博士(工学)

Graduate School, Muroran Institute of Technology  
 Sekisui house Co., Ltd  
 Research Assoc., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng  
 Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng