

コンクリートの耐凍害性に及ぼす乾湿ひび割れの影響—CIF 試験による評価—

正会員 ○ 浜 幸雄*1 正会員 千歩 修*2
 会員外 伊藤芳明*2 正会員 濱田英介*4

部門—細分類:1.材料・施工—2.モルタル・コンクリートの物性

キーワード:コンクリート、耐凍害性、乾湿繰り返し、ひび割れ、CIF 試験

1. はじめに

コンクリートの凍害劣化は凍結温度、凍結融解回数など、冬期の気象条件の影響を大きく受けるが、夏期の乾燥や養生の影響も大きい。経年したコンクリートにおいて、乾燥収縮などに起因する微細なひび割れが耐凍害性を低下させる可能性のあることが最近の研究で指摘されており、このようなひび割れと吸水性状および耐凍害性の関係を明らかにする必要がある。

一方、コンクリートの吸水性状と耐凍害性の関係を適切に評価できる新しい凍結融解試験として、CIF 試験が 2001 年に RILEM で提案されている。この試験は下面吸水条件での一面凍結融解を行うもので、凍結融解の繰り返しによる凍害劣化とあわせて凍結融解条件下での吸水性状を測定することにより、限界飽水度も把握することができる方法である。

そこで、本研究では乾湿繰り返しによってコンクリートに生じる微細ひび割れが、吸水性状と耐凍害性に及ぼす影響を CIF 試験によって把握することを目的としている。

2. 実験概要

空気量、水セメント比を変えた 4 種類の調合の供試体で実験を行った。使用材料を表 1 に、調合を表 2 に、本練り結果を表 3 に示す。また、供試体の養生は 2 週水中養生後に 20℃ 気中養生、50℃ および 80℃ 乾湿繰り返しを行う 3 つの条件とした。なお、乾湿繰り返しはそれぞれの温度で 5 日間の乾燥と 2 日間の 20℃ での水中浸漬を 12 サイクル行った。供試体記号を表 4 に示す。供試体は 7.5×7.5×20 の直方体とした。

CIF 試験は、供試体側面をシールした後、20℃、65%RH の恒温恒湿室での 7 日間の下面吸水を経て、凍結融解を行うものである。なお、凍結融解の条件は最低温度 -20℃ (3 時間保持)、最高温度 20℃ (1 時間保持) とし、1 日 2 サイクルで、56 サイクルまで行

表 1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	勇払産陸砂
粗骨材	常盤産砕石
混和剤	マイクロエア101
	マイクロエア101
	レオビルドSP8S

表 2 調合表

水セメント比 (%)	目標空気量 (%)	細骨材 (%)	単位水量 (kg/m ³)	重量 (kg/m ³)			高性能 AE 減水剤 (%)	AE 剤 (%)
				セメント	細骨材	粗骨材		
25	1	39.3	175	700	623	968	1.30	
	4	36.1	175	700	543	968	1.30	0.40
50	1	48.9	175	350	919	968	0.60	1.00*
	4	46.6	175	350	839	968	0.60	0.20*

表 3 本練り結果

	水温	練温	スランプ	フロー	空気量	重量
5N	5	21	11.5	-	1.8	17013
5A	5	21	19.2	-	3.1	16968
2N	5	20	25以上	67.0×70.5	0.8	17355
2A	5	24	25以上	77.0×73.0	4.1	16848

表 4 供試体記号

記号	W/C (%)	Air (%)	乾湿	記号	W/C (%)	Air (%)	乾湿	記号	W/C (%)	Air (%)	乾湿
5Ni	50	1	なし	5Nm	50	1	50℃	5Ns	50	1	80℃
5Ai	50	4		5Am	50	4		5As	50	4	
2Ni	25	1	なし	2Nm	25	1	20℃	2Ns	25	1	20℃
2Ai	25	4		2Am	25	4		2As	25	4	

った。測定項目は下面吸水時の質量変化と凍結融解時の質量変化・剥離量・たわみ振動法による 1 次共鳴振動数・超音波通過時間とした。

さらに、下面吸水のみを行った供試体を切断し、マイクロスコープによるひび割れ観察とガリウム圧入法による空隙構造の測定を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 吸水性状と耐凍害性

図 1 に 2 週水中養生後の質量を基準とした吸水率の経時変化の一例を示す。養生条件により吸水試験時の吸水率に差があるが、20℃、65%RH での下面吸水によって、基準とした 2 週水中養生後の状態まで吸水率が戻っている。しかし、吸水開始後 7 日目から凍

Study on Influence of Micro-crack by drying and wetting to Frost Resistance of Concrete
-Evaluation by RILEM CIF Test-

HAMA Yukio et al.

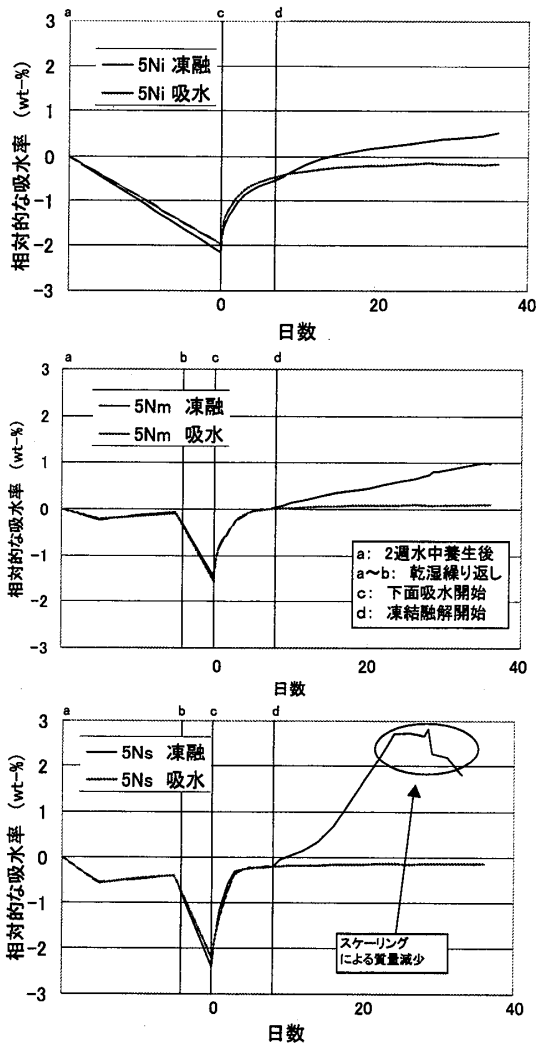


図1 吸水率の経時変化（調合ごとの下面吸水試験と凍結融解試験の比較）

結融解を開始した供試体では、凍結時の水の押込みおよび融解時の水の吸込みの効果により、20℃、65%RHでの下面吸水を継続した場合に比べて吸水率の増加が大きくなっている。図2に吸水率の経時変化（乾湿繰り返しの比較）を示す。乾湿繰り返しの乾燥温度が高いほど、凍結融解時の吸水率の増加が大きくなっている。

図3にたわみ振動法による相対動弾性係数の変化の一例を示す。乾湿繰り返し温度が高いほど、相対動弾性係数が早い段階から低下を始め、その低下量も大きくなっている。高い温度での乾燥を受けるほど、耐凍害性が低下すると言える。

図4に各コンクリートの耐久性指数を比較して示す。従来から言われているように、低水セメント比のコンクリートおよびAEコンクリートは耐凍害性に優れている。しかし、凍結融解試験の開始前に乾湿繰り返し養生

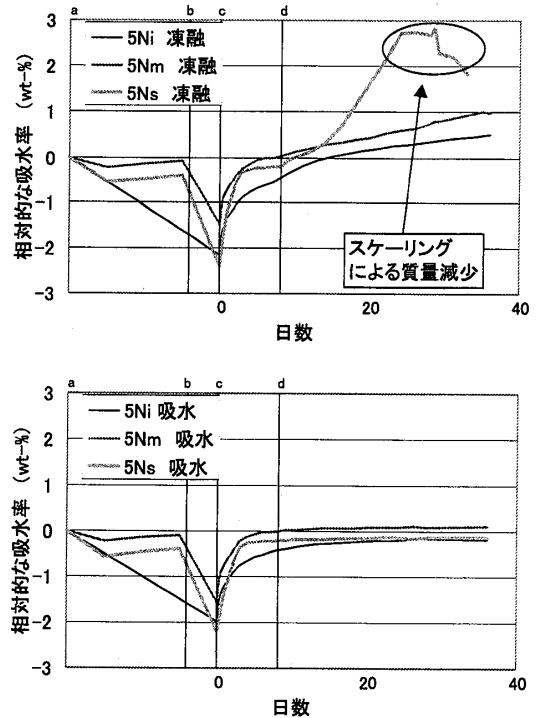


図2 吸水率の経時変化（乾湿繰り返しの比較）

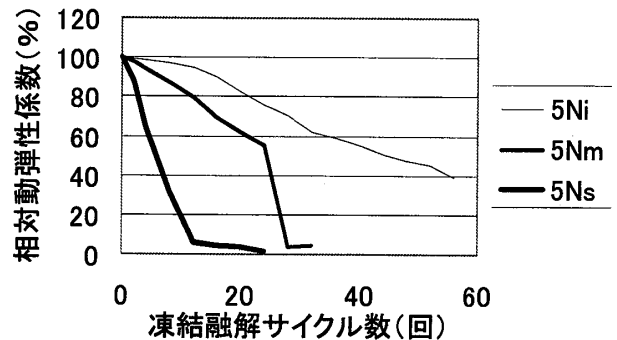


図3 たわみ振動法による相対動弾性係数の変化

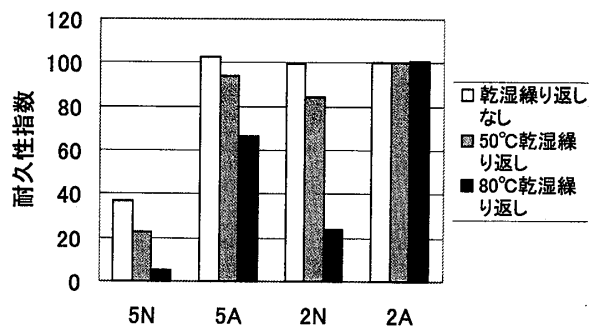


図4 各コンクリートの耐久性指数の比較

を行った場合には、耐久性指数が低下しており、水セメント比が高く、高温で乾燥したもののほど耐久性指数の低下が顕著である。

図5に2週水中養生後の質量を基準とした試験終了時の吸水率と耐久性指数の関係を示す。

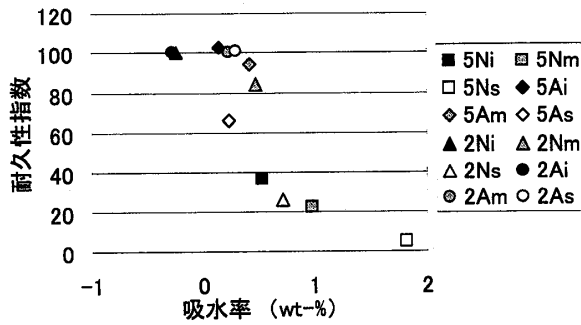


図5 試験終了時の吸水率と耐久性指数の関係

コンクリートの調合、養生条件によらず、吸水率がある値を超えた段階で耐久性指数の低下が見られ、吸水率の増加にともないさらに耐久性指数が低下している。なお、この耐久性指数が低下する吸水率が凍害劣化に対する限界飽水度を示していると考えられる。

図6に剥離量の経時変化の一例を示す。凍結融解サイクル数が多くなるほどスケール量の増加が激しくなっている。図7に各コンクリートの28サイクル終了時のスケール量を示す。耐久性指数とスケール量は必ずしも一致していないが、水セメント比が大きく、乾燥条件が厳しいほどスケール量が多い傾向にある。また、水セメント比50%、空気量1%の供試体(5N)では、写真1に示すような顕著なスケールが確認された。特に5Nsの劣化は激しい。

3.2 乾湿繰り返しコンクリート組織に与える影響

写真2に顕微鏡による供試体表面のひび割れ写真の一例を示す。骨材界面およびマトリクス部分に微細なひび割れが見られ、それらは気泡を繋ぐように連続している特徴がある。このひび割れは乾燥収縮に起因するものと考えられ、低水セメント比のコンクリートに多く発生しているようである。

写真3にガリウム圧入法のEPMAによる面分析写真を示す。ここで、ガリウムの濃度が高いほど、つまり空隙が多いほど、画像は白に近づいている。水セメント比25%の供試体よりも、50%の供試体の方が白い部分が多く、空隙が多いことがわかる。また、乾湿繰り返しを行った場合には全体的に白い部分が多くなり、空隙が増加し、かなり粗い構造になっていることがわかる。特に80℃の乾湿繰り返しの条件でその傾向が顕著である。

CIF試験の結果から凍結融解試験前の乾湿繰り返しによって、吸水率が上昇し、耐久性指数が低下することが明らかとなった。また、ひび割れ観察およびガリウム圧入法の結果から、乾湿を繰り返すことによってひび割れ量や空隙量が増える傾向にあることが確

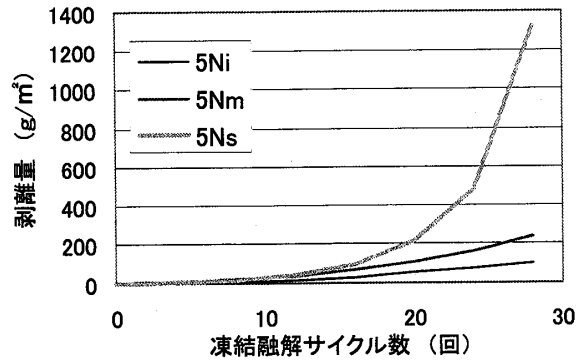


図6 剥離量の経時変化

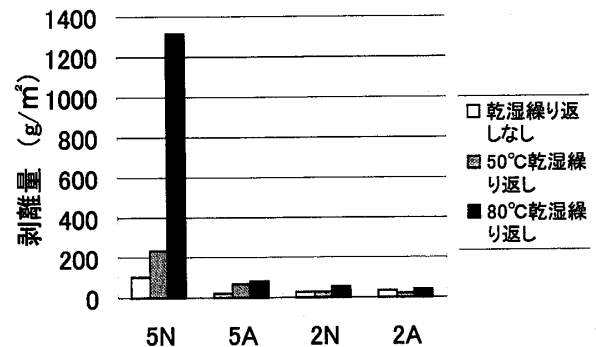


図7 各コンクリートの28サイクル終了時のスケール量

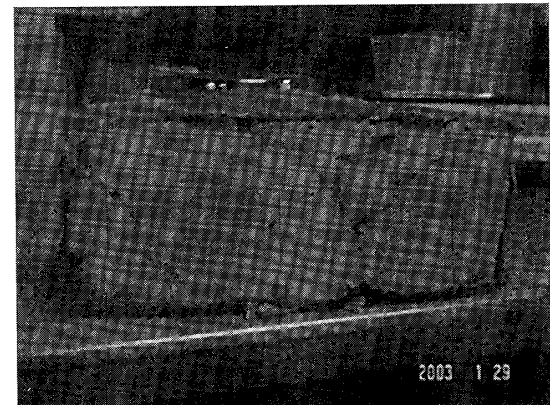
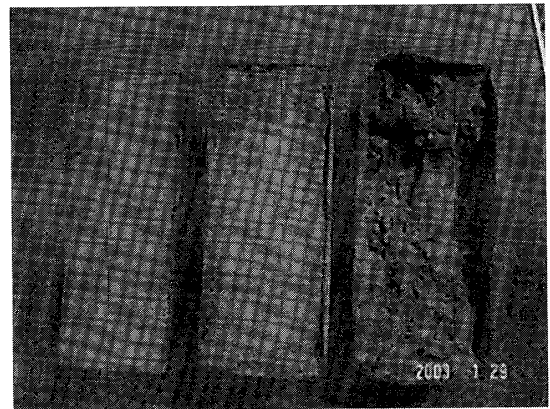


写真1 5Nのスケール状況 (上図:左からi, m, s 下図:s)

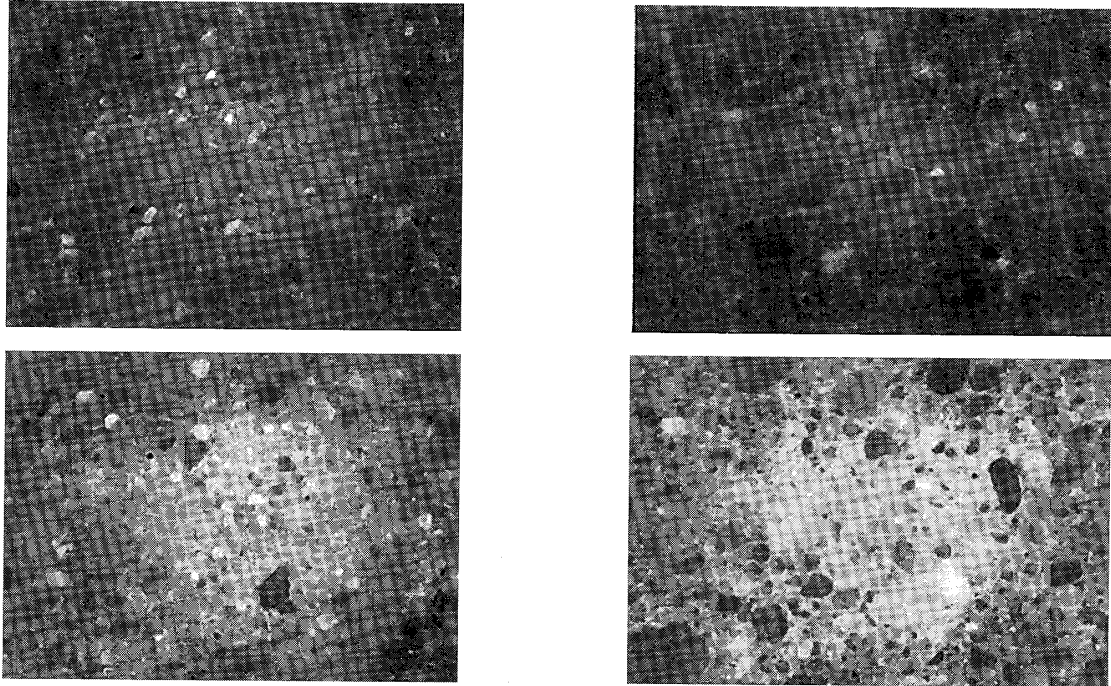


写真2 マイクロスコープによる供試体表面のひび割れ (左上:2Ni 右上:2Nm 左下:2Ns 右下:5Ni)

認められた。このことから、乾湿繰り返しによる微細ひび割れがコンクリートの耐凍害性を低下させるものと考えられるが、ひび割れ観察およびガリウム圧入法のいずれにおいても、現段階ではひび割れや空隙量を定量的に評価できないため、本研究の範囲ではこれらのひび割れがコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響について定量的に明らかにすることはできなかった。

4. まとめ

(1) 乾湿の繰り返し温度が高くなるほど、吸水率の上昇の仕方が増し、それに伴い相対動弾性係数の低下も著しくなる。過度の乾燥が起きた場合、耐凍害性が大幅に減少するということがわかる。

(2) 調合、乾湿繰り返しによらず、相対動弾性係数の低下が始まる吸水率は、ほぼ一定であり、さらに吸水率が上昇すると、それに伴い耐久性指数が低下する。

(3) 乾湿繰り返しによって、骨材界面と気泡をつなぐひび割れが発生し、さらに、組織が粗い構造になる。この変化によって、吸水率が上昇し、耐凍害性が低下した可能性がある。

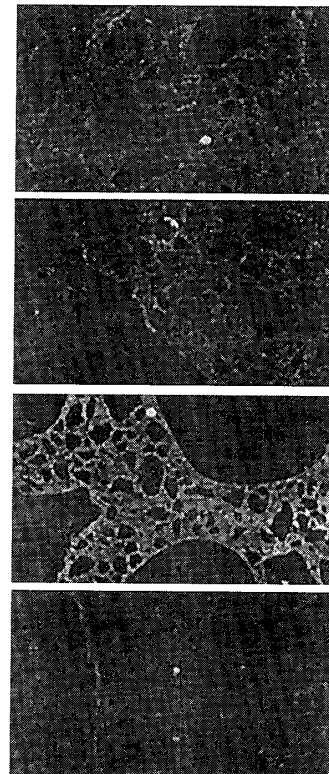


写真3 ガリウム圧入法のEPMAによる面分析写真 (上から5Ni・5Nm・5Ns・2Ni)

*1 室蘭工業大学 助教授・博士(工学)

*2 室蘭工業大学

*3 北海道大学大学院 教授・工博

*4 北海道大学大学院

Associate Professor, Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

Muroran Institute of Technology

Professor, Graduate school, Hokkaido University, Dr. Eng.

Graduate school, Hokkaido University