

コンクリートの吸水性状および耐凍害性に及ぼすひび割れの影響

正会員○ 小林和寛*1
同 浜 幸雄*21. 材料施工-2.モルタル・コンクリートの物性
耐凍害性、CIF 試験、乾燥、ひび割れ、吸水性状

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¹⁾。また、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が指摘されており、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。

本研究は、コンクリートの水和度、乾燥条件の違いがひび割れ発生に及ぼす影響と、ひび割れがコンクリートの吸水性状および耐凍害性に及ぼす影響を把握することを目的としている。

2. 実験計画および方法

表1に実験計画を示す。水セメント比、空気量および気泡間隔係数の異なる5種類のコンクリートを作製し、凍結融解開始までの養生期間と乾燥条件を変化させて30条件のコンクリートと6条件のモルタル供試体についてCIF法による凍結融解試とひび割れ観察を行った。また、一部のコンクリート供試体については、凍結融解中のコンクリート内部のひずみ変化も測定した。

セメントは普通ポルトランドセメント($\rho = 3.16 \text{ g/cm}^3$)を、細骨材は登別産陸砂(表乾密度 $= 2.67 \text{ g/cm}^3$ 、粗粒率 $= 2.70$ 、吸水率 $= 1.52\%$)、粗骨材は白老産砕石(敷生川水系安山岩、表乾密度 $= 2.67 \text{ g/cm}^3$ 、粗粒率 $= 6.64$ 、吸水率 $= 1.83\%$)を使用し、高性能AE減水剤、AE剤、および空気量調整剤を用いて空気量と気泡間隔係数を調整した。また、モルタル供試体はコンクリートをウェットスクリーニングしたモルタルを用いて作製した。表2にコンクリートの調合表を、表3に練り上がり性状および浮力法による気泡組織の測定結果を示す。

供試体の養生は、水中養生期間を2週と12週の2水準、水中養生後CIF試験(下面吸水試験)開始までの乾燥条件は 20°C 、 40°C 、 60°C の3水準とし、

表1 実験計画表

記号	試験体の種類	W/C (%)	Air (%)	気泡間隔係数 (μm)	乾燥条件	ひずみゲージ	
35NC-20	コンクリート	35	1	≥ 300	20°C	○	
35NC-40					40°C	○	
35NC-60					60°C	○	
35A1C-20			4	≥ 600	20°C		
35A1C-40					40°C		
35A1C-60					60°C		
35A2C-20		4	< 250	< 250	20°C		
35A2C-40					40°C		
35A2C-60					60°C		
55NC-20		モルタル	55	1	≥ 300	20°C	○
55NC-40						40°C	○
55NC-60						60°C	○
55AC-20	4		< 250	< 250	20°C		
55AC-40					40°C		
55AC-60					60°C		
35NM-40	モルタル	35	1	≥ 300	40°C		
55NM-40		55	1	≥ 300	40°C		
55AM-40			4	< 250	40°C		

表2 コンクリートの調合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m^3)	絶対容積 (l/m^3)			化学混和剤 [C×wt. (%)]			
				C	S	G	SB	SX	A	R
35N	35	44.3	180	164	286	360	—	0.9	—	0.02
35A1		44.3	175	159	277	349	0.9	—	0.00075	0.02
35A2		44.3	175	159	277	349	—	0.9	0.001	—
55N	55	44.5	210	121	293	366	—	—	—	—
55A		45.2	184	107	302	366	—	—	0.25	—

※高性能AE減水剤は原液で使用、AE剤および空気量調整剤は100倍希釈液で使用

表3 練り上がり性状と浮力法による気泡組織の測定結果

記号	練り上がり性状				気泡組織の測定結果		
	空気量 (%)	スランプ (cm)	フロー (mm)	練温 ($^\circ\text{C}$)	空気量 (%)	比表面積 (mm^{-1})	気泡間隔係数 (μm)
35N	1.5	23.5	435×435	23.5	0.8	9.8	1205
35A1	3.0	23.2	435×400	23.0	2.1	16.8	463
35A2	5.2	22.8	420×390	22.5	3.9	21.3	276
55N	1.3	23.1	—	26.1	0.4	12.2	1190
55A	5.2	20.3	—	24.8	2.8	15.2	376



図1 凍結融解試験装置の概略図

Influence of Crack to Capillary Suction and Frost Damage of Concrete

KOBAYASHI kazuhiko

乾燥期間は全て2週間とした。

CIF 試験は、恒温恒湿室中 (20°C、60%RH) 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°C (1時間保持)、最低温度-20°C (3時間保持)、温度勾配±10K/hで1日2サイクルの下面吸水状態での一面凍結融解である。供試体寸法は7.5×7.5×20cmの直方体で、所定の養生後に4側面をブ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。図1にCIF試験装置の概略図を示す。CIF試験中の測定項目は質量変化、たわみ振動法による動弾性係数、スケーリング量、ひずみ変化とした。なお、ひずみの測定は、コンクリート打設時に供試体の中心に埋設した埋込型ひずみゲージ(1ゲージ法3線式)により測定し、測定間隔を1時間とした。

また、ひび割れの観察は乾燥終了後の供試体を用いて、リニアトラバース法に準じた方法で行った。顕微鏡の倍率は50倍であり、側線上を横切るペースト部分のひび割れ本数をカウントした。なお、モルタルとコンクリートのトラバース長を同程度とするために、コンクリートのトラバース長は粗骨材部分を除いた値に換算した。

3. 実験結果および考察

3.1 ひび割れ観察結果

図2に単位長さあたりのひび割れ本数を示す。養生期間が2週水中の場合、乾燥温度が高いほどひび割れ本数が多い傾向にあり、特に水セメント比55%のnonAEコンクリートで60°C乾燥したもののひび割れ本数が多い。しかし、養生期間が12週水中の場合には、乾燥条件による違いはあまり見られなくなっているが、ひび割れ本数には養生期間で顕著な差は認められない。

図3にモルタルとコンクリートのひび割れ本数を比較して示す。コンクリートでは粗骨材界面の遷移帯で幅が大きいひび割れが数多く発生していたが、単位長さあたりのひび割れ本数はほとんど同じであった。本研究で用いたリニアトラバース法を準用したひび割れ観察方法では、およそ50μm以上の幅のひび割れの本数を定量化することは可能であるが、それぞれのひび割れの幅、深さなどを定量化することはできず、ひび割れの質の影響を検討することは困難である。

3.2 凍結融解試験結果

図4に2週水中養生の供試体のCIF試験での相対動弾性係数の変化を示す。AEコンクリートでは、水セメント比、乾燥条件によらず、全ての条件で相対動弾性係数の低下は認められなかった。また、目標空気量を同じとして、意図的に気泡間隔係数を制

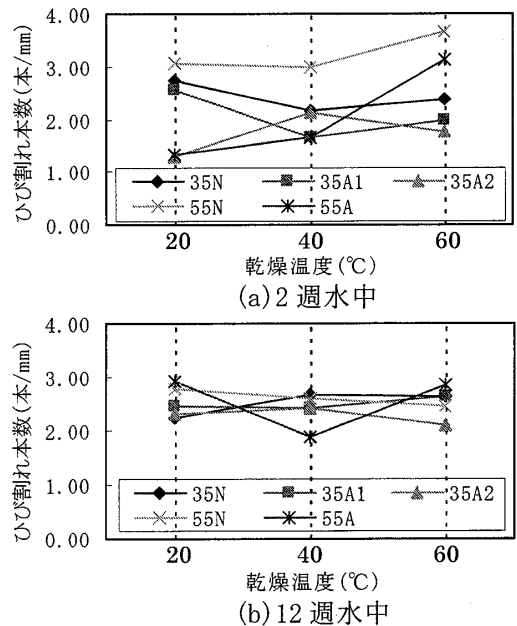


図2 単位長さあたりのひび割れ本数

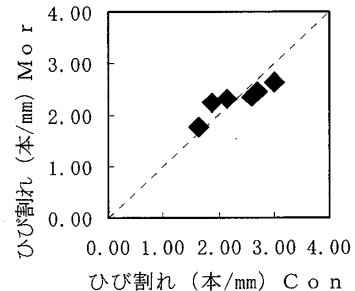


図3 モルタルとコンクリートのひび割れ本数の比較

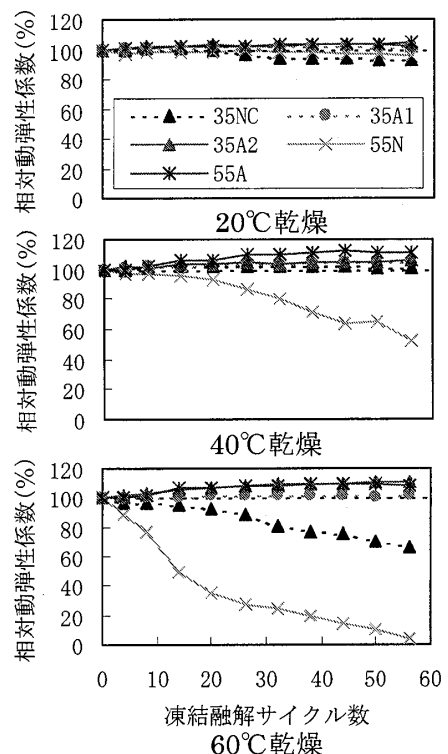


図4 2週水中養生した供試体の相対動弾性係数の変化

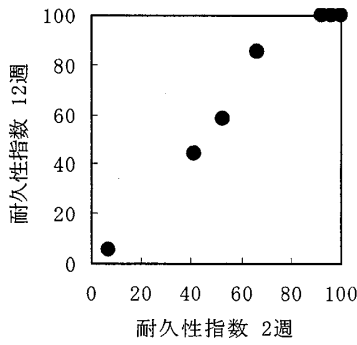


図5 養生期間の違いによる耐久性指数の比較

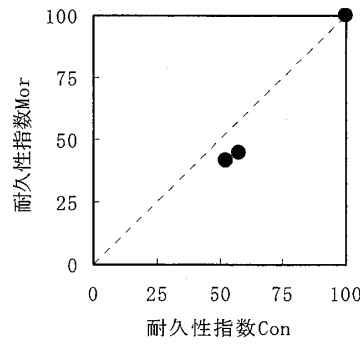


図6 コンクリートとモルタルの耐久性指数の比較

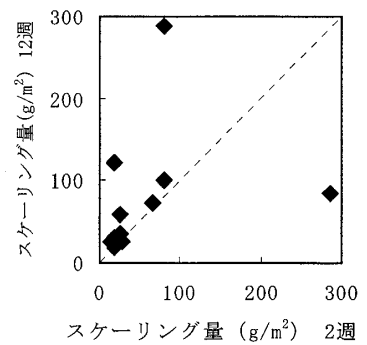


図7 コンクリートとモルタルによるスケーリング量の比較

御した供試体でも耐凍害性に差異が見られず、本実験の範囲では、AE コンクリートの気泡組織の違いが耐凍害性に及ぼす影響は確認できなかった。一方、nonAE コンクリートでは、水セメント比 35%の場合は 60℃乾燥で、水セメント比 55%の場合は 40℃乾燥および 60℃乾燥とした条件で、相対動弾性係数の低下が認められた。

図5に養生期間の違いによる耐久性指数の比較を示す。ここでの耐久性指数は、ASTM C666 に準じて CIF 試験での凍結融解 56 サイクル時の相対動弾性係数をもとに算出したものである。水中養生期間 12 週の方がやや耐久性指数が大きい傾向にあるものの、その差は小さく、凍結融解試験前の養生期間、すなわち水饱和度の違いが相対動弾性係数に変化に及ぼす影響はきわめて小さいといえる。

図6にコンクリートとモルタルの耐久性指数を比較して示す。両者の耐久性指数には大きな差は見られず、コンクリートの粗骨材界面の遷移帯部分が耐凍害性におよぼす影響は小さいといえる。

図7に養生期間の違いによるスケーリング量の比較を示す。水中養生期間 12 週の方がスケーリング量が増加する傾向にあり、乾燥条件によってもスケーリング性状が大きく異なるようである。

3.3 吸水性状

図8に2週水中養生の供試体の CIF 試験での吸水率の変化を示す。なお、ここでの吸水率は水中養生直後の質量を基準とした値である。AE コンクリートは、nonAE コンクリートに比べ、吸水率の上昇度が低くなっている。また、試験までの乾燥温度が高いほど、試験開始時の吸水率は低いが、7 日間の毛管吸引による吸水ではほぼ同程度の吸水率まで上昇し、その後の凍結融解作用によるマイクロ氷レンズのポンプ効果による吸水量が多く、最終的な吸水率が高くなる傾向が認められる。さらに、水セメント比 35%の高強度コンクリートは、水セメント比 55%の普通強度コンクリートに比べて、乾燥による

質量減少が少なく、20℃、40℃の乾燥条件では CIF 試験中の吸水率の増加も少ない傾向にあるが、60℃乾燥では CIF 試験中に水中養生終了時の吸水率（基準値）である 0%を超えるまで吸水するようになっている。このことは、過度な乾燥によって発生するひび割れの影響を考えられるが、3.1 で述べたように、乾燥条件によるひび割れ本数の差がなかったことから、ひび割れ本数ではなく、ひび割れの幅、深さあるいはセメントペーストの組織自体の変化が影響している可能性がある。

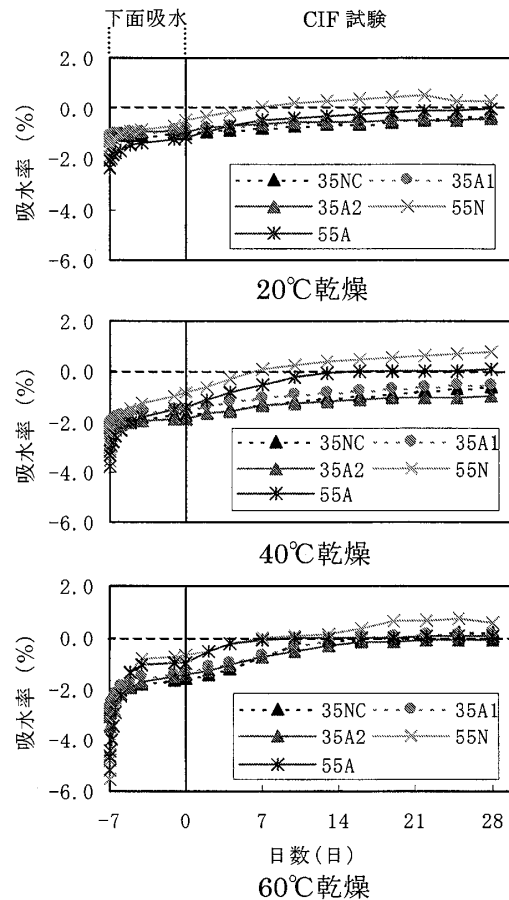


図8 CIF 試験での吸水率の変化 (2 週水中)

3.4 ひび割れ、吸水率、耐凍害性の関係

図9に単位長さ当りのひび割れ本数とCIF試験終了時の吸水率との関係を示す。ばらつきが大きいものの、ひび割れ本数が多いほど吸水率が高くなる傾向がみられた。

図10にCIF試験終了時の吸水率と耐久性指数の関係を示す。吸水率が水中養生終了時の吸水率（基準値）である0%を超えると耐久性指数が低下し始め、その後は吸水率が高いほど耐久性指数が低くなっている。このことは、凍害劣化が生じるか否かは、コンクリート中に含まれる水分量（飽水度）によって決まるという限界飽水度の考え方を証明するものといえる。また、ひび割れ本数が多いほど吸水率が高くなり、吸水率が高いほど耐久性指数が低くなっていることから、乾燥の影響も含めたコンクリートの耐凍害性の評価指標として、CIF試験における吸水率を用いることができる可能性がある。

3.5 CIF試験中のひずみ挙動

図11にCIF試験中のひずみ変化を示す。CIF試験の凍結融解の繰り返しに対応して、コンクリートが膨張と収縮を繰り返している。また、全体的な傾向として、凍結融解回数の増加とともに膨張挙動を示し、凍害劣化が組織の膨張による劣化であることが確認できる。しかしながら、水セメント比35%のnonAEコンクリートでは、乾燥温度20℃と60℃の場合に膨張を示しているものの、40℃はほとんど変化していないこと、また、水セメント比55%のnonAEコンクリートで60℃乾燥した場合に、CIF試験開始後に膨張挙動を示し、大幅な相対動弾性係数の低下を示した15サイクル以降で顕著な収縮挙動に転じていることなど、ひずみ挙動の測定方法の課題と思われる現象も見られた。特に、60℃乾燥の水セメント比55%のnonAEコンクリートでの収縮挙動は、この供試体はひびわれ本数がきわめて多く、激しく劣化したため、供試体が崩壊する過程でコンクリートに埋め込んだひずみゲージの拘束が弱くなったことから、ひずみが収縮の挙動を示した可能性がある。

4. まとめ

本研究では、コンクリートの水和度、乾燥条件の違いがひび割れ発生に及ぼす影響と、ひび割れがコンクリートの吸水性状および耐凍害性に及ぼす影響を把握することを目的として、ひび割れ観察、CIF試験、CIF試験中のひずみ挙動の測定を行い、以下の結論を得た。

(1) 養生期間の違いによるひび割れ本数に顕著な

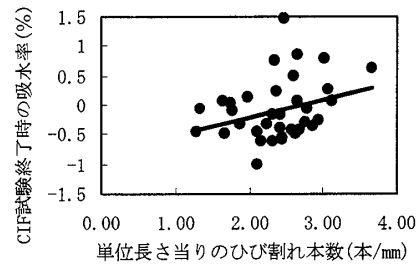


図10 ひび割れ本数と吸水率の関係

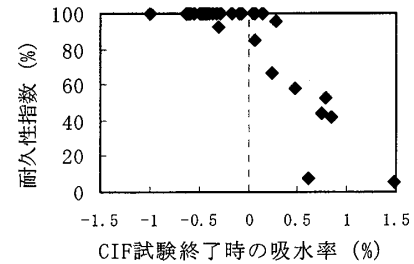


図9 ひび割れ本数と耐久性指数の関係

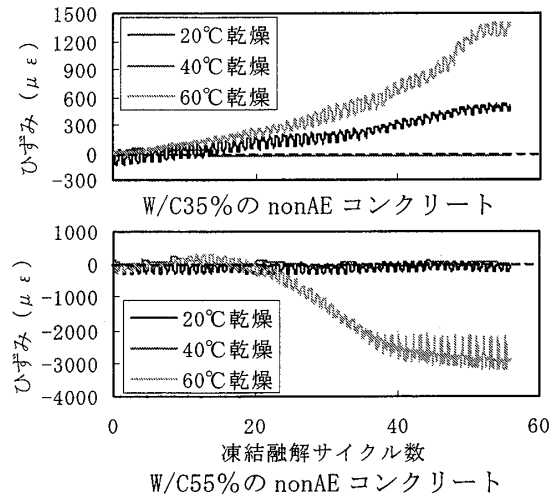


図11 CIF試験中のひずみ変化

差がみられなかった為、コンクリートの水和度がひび割れ発生におよぼす影響は明確にはならなかった。

- (2) 養生期間が2週水中の場合、乾燥温度が高いほどひび割れ本数が多い傾向があった。しかし1週水中の場合、乾燥条件による違いはあまりみられなかった。
- (3) ひび割れ本数、吸水率、耐久性指数の関係からCIF試験における吸水率が乾燥の影響も含めたコンクリートの耐凍害性の評価指標として用いることができる可能性がある。

【参考文献】

1) 田畑雅幸/コンクリートの凍害における環境条件の影響に関する研究/北海道大学学位論文、1986

【謝辞】

本実験を行うにあたり、本学卒論生の佐藤光君に多大なご協力をいただきましたことをここに付記して感謝の意を表します。

*1 室蘭工業大学大学院

*2 室蘭工業大学工学部 助教授・博士（工学）

Graduate School, Muroran Institute of Technology

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