

不凍多糖の混入によるコンクリートの凍害抑制効果に関する基礎検討

関西大学大学院 学生員 ○李 井榮
関西大学環境都市工学部 正会員 鶴田浩章
関西大学化学生命工学部 河原秀久

1. はじめに

寒冷地域で供用されているコンクリート構造物は冬季の厳しい寒冷気象のため、古くから凍害による劣化被害が大きな問題となっている。凍害とは、コンクリート中の水分が凍結・融解を繰り返す際に生じる約9%の体積膨張によって、徐々に崩壊していく現象である¹⁾。本研究では、冷凍食品分野に実用化されている不凍多糖に着目し、耐凍害性改善の検討および必要な不凍多糖の添加量を明らかにすることを目的とした。

2. 試験概要

2.1 不凍多糖とは

不凍多糖とは、生物が5℃以下の低温環境下を生き抜くために細胞壁で精製する多糖のことである²⁾。不凍多糖が有する特性は、氷結晶成長抑制効果と氷再結晶抑制効果である³⁾。

2.2 使用材料および配合

使用した材料を表-1に、配合を表-2に示す。濃度とは、コンクリートもしくはモルタルを作製する際に使用する練混ぜ水1mlに対して不凍多糖が何μg入っているかを示すものである。コンクリートとモルタルの配合は表-2の内容として、スランプ10cm、モルタルフロー（15打）140mm、空気量はいずれも2.0%を目標値とした。

表-1 使用材料

材 料	記号	摘要
水	W	水道水
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント、密度：3.15 g/cm ³
細 骨 材	S1	川砂，淀川産，表乾密度：2.59g/cm ³
	S2	川砂，淀川産，S1を2.5mm以下に分級したもの
粗 骨 材	G	碎石，高槻産，表乾密度：2.68 g/cm ³
不凍多糖	Ⅱ	原液濃度：2014 μg/ml
	Ⅲ	原液濃度：1500 μg/ml，Ⅱより活性が高い

表-2 配合

No.	G . max (mm)	W/C (%)	s / a (%)	S/C	単位量 (kg / m ³)				
					W	OPC	S1	S2	G
1	20	50	48.5	-	200	400	820	-	901
2	-		-	2.5	275	550	-	1374	-

2.3 フレッシュ性状および強度性状

コンクリートとモルタルの性状については、スランプ、空気量、凝結性状、強度の測定を行った。

2.4 実験方法

(1)凍結融解試験法(A法)

凍結融解試験では、表-2のNo. 1の配合を使用し、NとⅡ-PC6、Ⅱ-PC59の3種類、各三本を製作した。ここで、Ⅱ-PC6とは不凍多糖の混入により練混ぜ水の濃度(糖濃度)が 6μg/mlであることを示す。

評価方法に関しては、300サイクル完了もしくは、相対動弾性係数が60%未満で、試験終了とされている。

(2)小片凍結融解試験法

表-2に示した No. 2 の配合を用い、4×4×16cm のモルタル角柱供試体を作製し、材齢 28 日まで水中養生を施した。1 辺が約 0.8cm になるように切断し、これを試験供試体として凍結防止剤溶液入りの容器に投入し、-20℃の冷凍庫で 12 時間、20℃の恒温恒湿室で 12 時間を 1 サイクルとし、1, 3, 5, 7, 10 回の凍結融解繰返しを与えた。所定のサイクルの後、ろ紙上で試料を精製水で洗浄しながら分離した。分離した試料は 55℃の炉乾燥機にて、約 24 時間乾燥させた後、2.5mm のふるいで分級した。

スケーリング抑制効果の評価方法は、試験前質量より得られるふるい上に残った試料の質量の残存率により評価した。また、質量残存率より得られたスケーリング耐久性指標（SDI）を求め、定量的な評価を行った。SDI が 40 以上を示せば、スケーリング抑制効果を有すると判断した⁴⁾。

3. 結果および考察

3.1 フレッシュ性状および強度性状への影響

コンクリートのフレッシュ性状については、Ⅱ-PC59においては空気量が他の場合と比較して大きく増加しスランプも大きくなった。モルタルのフレッシュ性状については、糖濃度が大きくなるにつれて、やや空気量

キーワード：コンクリート構造物，凍害，不凍多糖，凍結融解試験，小片凍結融解試験

連絡先：〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 関西大学 環境都市工学部 TEL 06-6368-0899

が大きくなりフローも増加する傾向にあった。

凝結時間に関して、NとII-PC6の凝結時間は、ほぼ同等であった。しかし、II-PC59では、終結時間に約1時間の遅れが確認され、糖分の影響と考えられる。

コンクリートの圧縮強度については、不凍多糖の混入により若干低下傾向となった。モルタルの圧縮強度に関して、タイプIIについては、不凍多糖の濃度が増加すると圧縮強さが減少した。一方、タイプIIIについては糖濃度の増加に伴う圧縮強さの低下は見られず、不凍多糖の活性の違いによる影響の違いがみられた。また、曲げ強さについてはいずれのタイプにおいても糖濃度の増加に伴う曲げ強さの低下傾向は顕著でなかった。

3.2 凍結融解試験結果

図-1に相対動弾性係数の変化を示す。図-1よりNが120サイクル、II-PC6が150サイクルの時点で60%未満になったのに対して、II-PC59は300サイクルで90.5%を維持した。また、質量減少率の変化においてもII-PC59の優位性が確認できた。

3.3 小片凍結融解試験結果

小片凍結融解試験の結果については、タイプIIを混入した全ての試験体がN（無添加）より高いスケーリング抵抗性を示した。しかし、タイプIIIを混入した場合には、スケーリング抵抗性が認められなかった。

また、各凍結防止剤において、糖濃度を段階的に増加させたことによる糖濃度とSDIの関係を図-2に示す。その結果、本研究で試験に供した硬化体の中では、II-PC20のSDI最大値をピークにして、II-PC20、49が優れたスケーリング抵抗性を示した。

4. まとめ

(1)不凍多糖を少量混入した場合、コンクリートのスランプ、空気量、凝結時間および強度性状については無添加とほぼ同じであるが、混入量が多くなると若干の影響が見られた。

(2)凍結融解試験にて、不凍多糖の混入条件でコンクリート構造物の凍結融解抵抗性に対してある程度改善できることが認められる。また、II-PC6のように、低濃度の添加では、無添加のNより抵抗性が高く、本試験における最大濃度59 $\mu\text{g/ml}$ で、優れた内部損傷抵抗性が認められた。

(3)小片凍結融解試験では、タイプIIにてスケーリング抵抗性を有する糖濃度の適正範囲が存在することが示唆された。本研究では、糖濃度が11 $\mu\text{g/ml}$ ～99 $\mu\text{g/ml}$ で

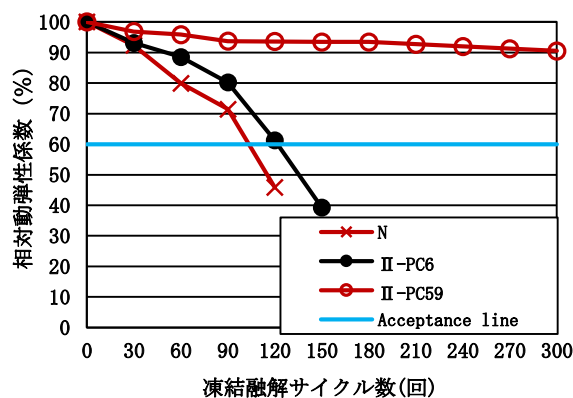


図-1 凍結融解試験結果

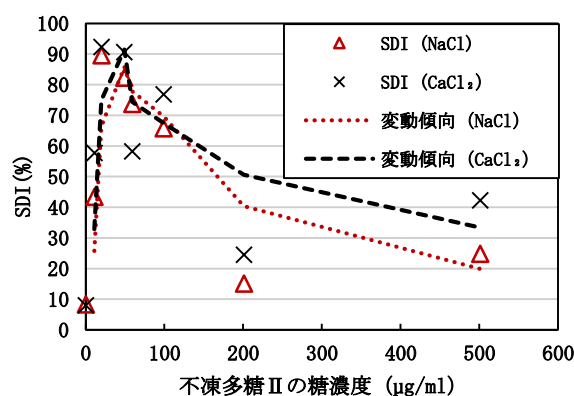


図-2 不凍多糖の糖濃度とSDIの関係

抵抗性が確認され、20 $\mu\text{g/ml}$ で最も優れた効果発現を得た。加えて、糖濃度の増加に伴うSDIの増加・減少傾向は、塩化ナトリウム溶液および塩化カルシウム溶液で類似した傾向にあった。しかし、タイプIIIを使用した硬化体では、スケーリング抵抗性を確認できなかった。

以上より、不凍多糖タイプIIを適正な糖濃度範囲でコンクリートに混入することにより、コンクリートの耐凍害性改善を期待できる可能性が高いことがわかった。

参考文献

- 1) 庄谷征美ら：東北地方のコンクリート構造物の凍害について、コンクリート工学, Vol. 42, No. 12, pp. 3-8, 2004
- 2) 河原秀久ら：エノキタケ由来の不凍多糖の抽出とその諸性質, 雪氷研究大会講演要旨集, Vol. 2014, p. 230, 2014.
- 3) ニチレイの不凍タンパク質 (ニチレイ ホームページ) .
- 4) 小山田哲也ら：コンクリートのスケーリング劣化に及ぼす凍結防止剤の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 67, pp. 95-101, 2013.