

急速凍結融解試験による透水性コンクリートの凍害劣化について

秋田大学 正員 ○徳重英信
 秋田大学 フェロー 川上 洵
 秋田大学 正員 加賀谷誠

1. はじめに

コンクリートを多孔質とすることは、排水、吸音、軽量化、緑化などアプリケーションとしての用途を多様化する事ができ、近年、多孔質コンクリートに関する研究も数多く行われつつある。透水性は多孔質材料の特性の一つであり、コンクリートを多孔質化して細砂から粗砂程度の透水係数(10^{-3}cm/s 程度～ 10^0cm/s 程度)を持たせることは、例えば雨水浸透や地下水流遮断防止などによる構造物周辺環境の生態系保全などに対して、有効な材料となると考えられる。透水性コンクリートは通常のコンクリートに比べて、水分環境がその耐久性に対して大きく影響することが考えられ、特に寒冷地で用いる場合においては凍害に関する検討が重要となる。本研究では、透水性コンクリートとしてポーラスコンクリートを用い、通常のコンクリートの凍結融解試験として一般的な急速凍結融解試験法を用い、透水性コンクリートの凍害劣化に対する検討を行ったものである。

2. 実験概要

ASTM C666急速凍結融解試験はコンクリートの耐凍害性の評価に一般的に用いられている方法で、A法(水中凍結融解試験)とB法(気中凍結融解試験)の2つがある。A法の方が厳しい条件で行われ、この方法を透水性コンクリートに対して用いている研究¹⁾では耐凍害性の評価は一般のコンクリートに比べかなり低い結果となっている。本研究においても、コンクリートの凍害の室内試験として一般であるこの方法を用いて、水中凍結融解試験(A法)により実験を行った。表-1はこの実験に用いた供試体であり $10\times 10\times 40\text{cm}$ のものを用いた。なお、混和剤としてアミノスルホン酸系の高性能AE減水剤を用い、またNo.5にはシリカフュームを15%置換で用い

表-1 水中凍結融解試験に用いた供試体

No.	W/C	ξ	$G_{\max}(\text{mm})$	s/a	Permeability(cm/s)	Ultimate Tensile Strain
5	0.2	0.28	7	0	0.1	-
6	0.2	0.28	7	0	0.06	-
7	0.2	0.28	7	0.15	0.05	-
8	0.2	0.28	7	0.3	0.01	-
11	0.28	0.36	13	0	1.09	250×10^{-6}
13	0.28	0.36	7	0.3	0.04	350×10^{-6}

No.11とNo.13の供試体の端から50mmに短軸方向に設置した。

ξ :セメントペーストと骨材の総容積比

3. 実験結果および考察

実験を行った結果について以降に述べる。なお、ひずみの値は 0°C 以上の値が温度によって変化しないように補正する事によって、線膨張係数を差し引いている。図-1に動弾性係数の測定結果、図-2に質量減少率の測定結果を示す。No.11とNo.13については、43サイクルまで約5サイクル毎に測定を行ったものを折線で、実験開始時と43サイクル目のみにおいて測定を行ったものとをプロットで示している。No.5～No.8の供試体のほとんどは約10サイクル～20サイクルで相対動弾性係数が60%以下を示し、また20サイクル前後において、供試体長軸方向中心部でひび割れが発生しており、耐凍害性としては非常に低い結果となった。また、No.11～No.13はNo.5～No.8に比べて若干の耐凍害性の向上がみられるが、20～30サイクルでひび割れが発生し、通常のAEコンクリートなどに比べると非常に低い結果となった。以上のように現在までの急速凍結融解試験を用いた多孔質コンクリートの凍害に対する報告¹⁾と同様に、本研究においても

低い耐凍害性を示す結果となった。しかし、No.5～No.8に比べてNo.11～No.13は若干の耐凍害性の向上を示しており、セメントペースト量の増加やその性質の改善等によって耐凍害性が向上する可能性があると考えられる。透水性コンクリートのこの試験方法による劣化の形態は、図-1に示すように相対動弾性係数の低下が著しく大きいことに比べ、図-2に示すように重量の減少がほとんど無く、前述したように供試体長軸方向のひび割れによる破壊の進行である。本研究ではこの破壊の進行を供試体の膨張として把握するために、No.11とNo.13に対してひずみゲージを供試体内に設置した。供試体中心部は端部に比べて若干の膨張の拘束が考えられるため、供試体端

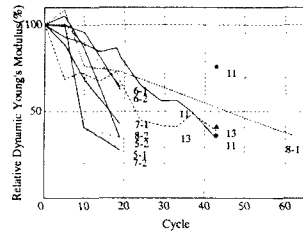


図-1 相対動弾性係数の変化

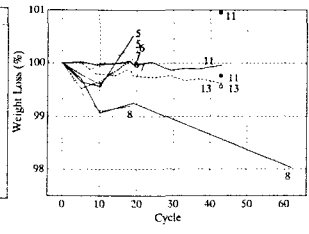


図-2 質量減少率の変化

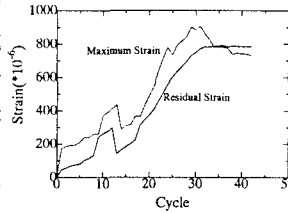


図-3 No.11のひずみ測定結果

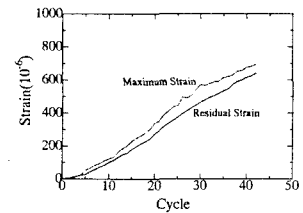


図-4 No.13のひずみ測定結果

部から50mmの部分に短軸方向に標点30mmの埋込型ゲージを設置した。図-3はNo.11、図-4はNo.13の結果である。それぞれのひずみの値のうち、Maximum Strainは各サイクルで発生した最大のひずみであり、Residual Strainは各サイクルでの最高温度での残留ひずみの値である。凍結融解サイクルが進行するにつれて、特にNo.11はひずみの値の増加率が低下する現象が生じた。これはひび割れによる影響が大きいものと考えられる。以上のように実験結果から、急速凍結融解試験下での透水性コンクリートは非常に低い耐凍害性を示し、特に供試体長軸方向中心部のひび割れの進展によって劣化が進行することがわかった。

一方、この試験法では供試体が水で満たされ、凍結過程では供試体周囲から内部へと水分の凍結が進行していくこととなる。透水性コンクリートはその多孔質性ゆえに空隙も多く、また空隙径も大きい。従って多量の水分の凍結による膨張圧が、供試体内部へと押し込められる形になることが考えられる。この圧力は氷生成時の9%の体積膨張量と供試体の実際の空隙量などのパラメータを用い、ダルシー則により凍結の進行と発生水圧との関係として求めることができ、発生圧力がそれぞれのコンクリートの引張強度を越えると、ひび割れが生じることとなる。曲げ試験で求めたNo.11とNo.13各々の終局曲げ引張ひずみは表-1に示したとおりであり、また円柱供試体による圧縮試験で求めた弾性係数はそれぞれ $1.76 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、 $2.55 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ であった。凍結による水分の内部への移動は氷晶中で起こるため、氷晶の透水係数を 10^{-8} cm/s 程度として実際に発生圧力の計算を行い、上述の弾性係数によりひずみへと換算して比較した結果、凍結が供試体中心部に達する以前に表-1のひずみの値に達することを確認した。一回のサイクルでひび割れが発生し、その後ひび割れの発生に水圧が緩和されてひび割れの進展が終了するという挙動が、凍結融解サイクルの進行とともに繰り返されることにより、破壊が進行すると考えられる。

4. まとめ

本研究で行った実験結果より、急速凍結融解試験による透水性コンクリートの耐凍害性は非常に低いものとして評価されることが確認された。これは凍結過程で供試体周囲が氷によって覆われ、凍結の進行とともに供試体内部に高い水圧が発生し、ひび割れが非常に初期のサイクルで発生するためであると考えられる。この試験状態においては、セメント量の増加などのマトリックスの改善や水圧の逃げ道としてのエントレインドエアの導入によって、若干の耐凍害性の向上の評価が可能であると考えられる。

[参考文献]自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文報告集:日本コンクリート工学協会、1995