

ポーラスコンクリートにおける間隙の飽和・不飽和状態が凍結融解抵抗性に及ぼす影響 Effects of Saturated and Unsaturated States on Freeze-Thaw Resistance in Porous Concrete

○緒方 英彦*
OGATA Hidehiko*

1. はじめに

積雪寒冷地において凍害により劣化したコンクリート開水路の対策工法として、FRPM 板を既設水路内面に設置し、既設水路と FRPM 板の間に透水性および保温性に優れた中込材を充填した水路更生工法の開発が進められている¹⁾。この更生工法の中込材には、既設水路の凍害劣化を進行させないように、側壁背面から浸透した水を排水するための透水性、側壁内部の温度変化を緩慢にするための保温性が求められ、これらの二つの要求性能を満足する材料としてポーラスコンクリートが選択された。

多孔質体であるポーラスコンクリートには、独立空隙だけでなく連続空隙が存在し、ポーラスコンクリートの透水性は連続空隙率との相関性が高い²⁾ことから、中込材に要求される透水性は連続空隙率を調整することで容易に確保することができる。ただし、多孔質体であるポーラスコンクリートは、間隙中に入った水が凍結時に膨張することで破壊が進行³⁾するために、間隙中の水の保持状態によっては寒冷地で用いる材料に求められる耐久性である凍結融解抵抗性が低下する。ポーラスコンクリートの凍結融解抵抗性は普通コンクリートよりも一般に低く、特に水中凍結融解試験 (A 法) では低くなるのが既往の研究で示されている⁴⁾。したがって、本更生工法の中込材としてポーラスコンクリートを用いるためには、間隙の飽和・不飽和状態を踏まえた凍結融解抵抗性の評価が必要となる。

そこで、本研究では、中込材に要求される透水性 ($0.5 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 以上) を踏まえて設定した目標空隙率 20% のポーラスコンクリート (粗骨材が 7 号砕石) を対象に、間隙の飽和・不飽和状態が凍結融解抵抗性に及ぼす影響について考察を加える。

2. ポーラスコンクリートの概要

目標空隙率 20% のポーラスコンクリートの配合を表 1 に示す。材料は、水 (W) が水道水、セメント (C) が普通ポルトランドセメント (住友大阪セメント、密度 3.15g/cm^3)、混和材 (P) が無機系混和材

表1 ポーラスコンクリートの配合

目標空隙率 (%)	W/B (%)	W_m/W_g (Vol.%)	V_s/V_m (Vol.%)	単位量 (kg/m^3)				
				W	B		S	G
					C	P		
20	30.0	47.5	17.5	103	322	20	129	1464

W_m/W_g : モルタルと粗骨材の体積比

V_s/V_m : 細骨材とモルタルの体積比

(住友大阪セメント、密度 2.55g/cm^3)、細骨材 (S) が山口県蓋井島産の海砂 (密度 2.865g/cm^3 , F.M.2.05)、粗骨材 (G) が京都府亀岡産の砕石 7 号 (密度 2.70g/cm^3) である。このポーラスコンクリートの密度は 2.006g/cm^3 、空隙率は 18.2%、連続空隙率は 17.6% である。作製した供試体は $10 \times 10 \times 40 \text{cm}$ の角柱供試体である。

3. ポーラスコンクリートの凍結融解抵抗性

目標空隙率 20% のポーラスコンクリートの凍結融解抵抗性は、JIS A 1148 : 2010 「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠して評価した。本研究では、間隙の飽和・不飽和状態に加えて、凍結融解試験前の供試体の水分状態が凍結融解抵抗性に及ぼす影響を考察するために、次の 4 パターンで試験を実施している。ここで、試験開始材齢は 28 日であり、パターン 4 (P4) を除く全ての供試体は試験開始直前まで水温 20°C の水槽内で水中養生を行っている。パターン 1 (P1) は通常の水中凍結融解試験 (A 法) (間隙飽和)、パターン 2 (P2) は通常的气中凍結水中融解試験 (B 法) (間隙不飽和)、パターン 3 (P3) は気中凍結融解試験にあたり、A 法においてゴムスリーブの中に水を充填しない試験 (間隙不飽和・供試体湿潤)、パターン 4 (P4) は P3 と同様の気中凍結融解試験であるが供試体は試験開始 24 時間前に水槽から取り出し室内で気乾状態にした試験 (間隙不飽和・供試体乾燥) である。各試験パターンの供試体数はそれぞれ 3 本であり、結果はその平均値として示す。

凍結融解 300 サイクルまでの各試験パターンの質量変化率を図 1、たわみ振動の一次共鳴振動数による相対動弾性係数を図 2 に示す。

*鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University, ポーラスコンクリート, 凍結融解抵抗性, 間隙, 飽和・不飽和状態

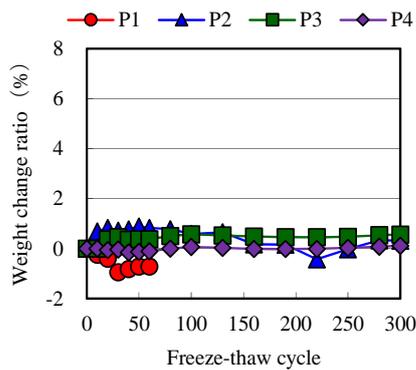


図1 質量変化率

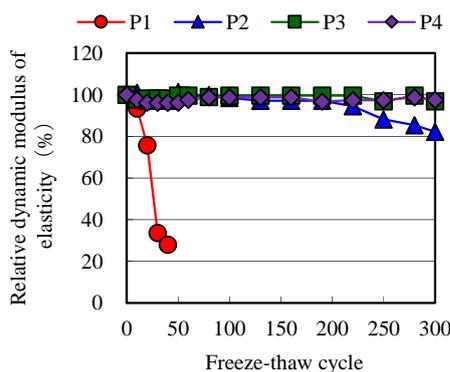


図2 相対動弾性係数



図3 P1 供試体の崩壊状況

いずれのパターンにおいても質量変化率はほとんど変化しておらず、スケーリングが生じていないことがわかる。相対動弾性係数に関しては、P1のみが急激に低下し、たわみ振動の一次共鳴振動数は40サイクルまでしか測定できず、80サイクルで崩壊した。崩壊時のP1の状況を図3に示すが、供試体の長さ方向に伸びるひび割れが発生していることから、間隙中の水が凍結時に膨張した内部膨張圧による破壊³⁾であることがわかる。このことから、凍結時に間隙が飽和している状態のポーラスコンクリートでは、凍結融解抵抗性を確保することが困難である。一方、間隙が不飽和状態であるP2の相対動弾性係数は、220サイクルから徐々に低下しはじめたが300サイクルで82.2%あり、凍結時に間隙が水で満たされていないと十分な凍結融解抵抗性を有することがわかる。P1とP2の間にこのような違いが生じた直接的な原因は、凍結時における間隙中の

水の保持状態の違いによるものであるが、その前提として今回のポーラスコンクリートの空隙構造の特徴が関係していると考えられる。前述のとおり今回のポーラスコンクリートの空隙のほとんどは連続空隙であり、この空隙構造の特徴のために、P1ではゴムスリーブ内の水が容易に空隙内に入り、P2では融解時に空隙内に浸透した水が凍結前に容易に排出されたためであると推察される。気中凍結融解試験であるP3、P4については、凍結膨張圧を生じさせる水が空隙中になく、またP2のように融解時に水が浸透しポーラスコンクリートを湿潤させる条件でもないことから、相対動弾性係数は低下せず凍結融解の繰返し作用による劣化がほとんど生じていない。

寒冷地における開水路では、冬期の凍結期は非灌漑期にあたり水路内を水が流れず、春期・夏期・秋期の非凍結期は灌漑期のために用水が水路内を流れる。つまり、非凍結期（灌漑期）に用水および側壁背面の地下水が中込材であるポーラスコンクリートに浸透としても、それ自体は凍結融解抵抗性の低下に大きな影響を及ぼさないと考察できる。また、凍結期においては、側壁背面の地下水および融雪水がポーラスコンクリートに浸透することが懸念されるが、空隙中に水が保持されていなければ十分に凍結融解抵抗性を有すると考察できる。

4. おわりに

本研究により、目標空隙率20%のポーラスコンクリート（粗骨材が7号砕石）は、水中凍結融解試験において内部膨張圧により破壊するが、気中凍結融解試験では300サイクルにおいて80%以上の相対動弾性係数を有することから、空隙中に水が保持されていなければ十分に凍結融解抵抗性を有することが確認された。

謝辞：本研究で使用したポーラスコンクリート試験体の作製には、住友大阪セメント株式会社セメント・コンクリート研究所の小林哲夫氏、竹津ひとみ氏にご協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 農林水産省：官民連携新技術研究開発事業 (<http://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/kanmin/keizoku.html>)
- 2) 梶尾聡、古屋貴之、宇治公隆、國府勝郎：流動性の異なるモルタルを用いたポーラスコンクリートの研究、コンクリート工学論文集, 29(2), pp.289-294 (2007)
- 3) 西林新蔵、小柳合、渡邊史夫、宮川豊章：コンクリート工学ハンドブック、朝倉書店, p.805 (2009)
- 4) 小尾総、田口史雄：ポーラスコンクリートの耐凍害性に関する基礎的研究、北海道開発土木研究所月報, 598, pp.36-40 (2003)