

報告 融雪排水コンクリート舗装版の基礎物性

松本 公一^{*1}・浅野 文男^{*2}・古川 浩司^{*3}・宮澤 聡^{*4}

要旨：車道や歩道の積雪の防止および路面の凍結を抑制する融雪排水コンクリート舗装版の開発に取り組んでいる。本報告は、道路用単粒度砕石の6号砕石または7号砕石を使用したポーラスコンクリート、および前記のポーラスコンクリートと高流動コンクリートを組み合わせた複合版の凍結融解作用に対する抵抗性を検討したものである。舗装版の設置環境や使用条件を想定した気中凍結気中融解試験を実施した結果、粗骨材の種類にかかわらず高い凍結融解抵抗性を有していることを確認した。一方、ポーラスコンクリートに対して厳しい条件である水中凍結融解試験では30サイクル以下で劣化した。

キーワード：排水性舗装, ポーラスコンクリート, 高流動コンクリート, 凍結融解抵抗性

1. はじめに

水, 空気および植物の根等を自由に通すポーラスコンクリートは, 透排水性, 保水性, 吸音性, 緑化, 断熱性および水質浄化性等に優れている。これらの長を有効に活用した構造物の適用事例として, 雨水流出抑制施設, 透排水性舗装, 河川護岸等がある。

著者らは, ポーラスコンクリートの特性のなかでも透排水性および断熱性に着目し, 積雪寒冷地の車道や歩道の路面状態を改善する融雪排水コンクリート舗装版の開発(写真-1参照)に取り組んでいる。本舗装版は, プレキャストコンクリート製品であり, 発熱ヒーター(写真-2参照)が設置された基層部の高流動コンクリートと表層部のポーラスコンクリートで構成された複合版である。路面の温度を適切にコントロールすることで, 積雪の防止と路面の凍結を抑制し, 融けた水を速やかに排水することが可能となる。

このような機能を有した本舗装版の凍結融解抵抗性を事前に検討したところ, 版の隅角部等で部分的に凍結融解作用を受ける可能性を完全

に排除することはできなかった。

本報告は, 粒形が異なる粗骨材を使用したポーラスコンクリート, および前記のポーラスコンクリートと高流動コンクリートを組み合わせた複合版の凍結融解抵抗性について検討したものである。



写真-1 融雪排水コンクリート舗装版



写真-2 発熱ヒーター

*1 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 (正会員)

*2 住友大阪セメント(株) 名古屋支店 技術センター 工修 (正会員)

*3 昭和コンクリート工業(株) 開発部 開発課 博士(工学) (正会員)

*4 昭和コンクリート工業(株) 製造部 生産管理課 工修 (正会員)

表-1 使用材料

材料	ポーラスコンクリート		高流動コンクリート	
	記号	仕様	記号	仕様
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度 3.15g/cm ³		
混練水	W	水道水		
混和材	-	-	E	石灰系膨張材, 密度 3.14g/cm ³
			L	石灰石微粉末, 密度 2.71g/cm ³
細骨材	S1	川砂, 密度 2.61g/cm ³ , FM=2.75		
粗骨材	G1	砕石, Gmax=15mm, 密度 2.67g/cm ³		
		砕石, Gmax=5mm, 密度 2.64g/cm ³		
混和剤	Ad1	減水剤, 標準形 I 種	Ad2	減水剤, 標準形 I 種
			Ad3	AE 剤

表-2 ポーラスコンクリートの配合

Gmax (mm)	空隙率 (%)	W/C (%)	Vm/Vg (vol.%)	Vs/Vm (vol.%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	C	S1	G1	Ad1
15	20	25.0	45.0	25.0	82	328	162	1473	1.64
5								1456	

表-3 高流動コンクリートの配合

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
			W	C	E	L	S2	G2	Ad2	Ad3
20	43.8	48.7	175	400	125	25	756	799	3.3	1.5

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

ポーラスコンクリートおよび高流動コンクリートの使用材料を表-1に示す。ポーラスコンクリートの粗骨材は、6号砕石（最大寸法 15mm）および7号砕石（最大寸法 5mm）の道路用単粒度砕石を使用した。

ポーラスコンクリートの配合を表-2、高流動コンクリートの配合を表-3に示す。

ポーラスコンクリートの配合は予備実験によって決定した。すなわち、配合上の空隙率 20%、水セメント比 25%および細骨材モルタル容積比（以下、Vs/Vm）25vol.%を固定し、モルタル粗骨材容積比（以下、Vm/Vg）40、45 および 50vol.%の3水準に変化させてポーラスコンクリートのコンシステンシーを評価した。評価は、所定質量（0.785L 分）のポーラスコンクリートをφ10

×h20cm の円柱型枠に詰め、転圧コンクリートのコンシステンシー評価試験¹⁾で使用されている4.5kgランマ（落下高さ45cm）を用いて締固め（落下回数5、10、15、30、45回）、目標とする空隙率と供試体の上面と底面に発生するモルタルの垂れ具合を目視観察することによって行った。

落下回数と空隙率の関係を図-1に示す。ポーラスコンクリートの空隙率は、粗骨材の最大寸法、Vm/Vg および落下回数の影響によって異なる。供試体の上面と底面を目視観察した結果（写真-3参照）、透排水機能を損なわないと判断されたVm/Vgは、6号砕石を使用したポーラスコンクリート（以下、6号POC）および7号砕石を使用したポーラスコンクリート（以下、7号POC）とも45vol.%の配合であった。

高流動コンクリートの配合は、スランプフロ

—65±5cm, 空気量 4.5±1.5%を目標値として, 型枠の隅々まで材料分離することなく充てんすることが可能な配合とした。

2.2 練混ぜ方法

ポーラスコンクリートと高流動コンクリートの練混ぜは, 容量 50L の強制練りミキサ (二軸形) を使用し, 練り量を 35L とした。練混ぜは, 水以外の材料をミキサ内に投入し 30 秒間の空練りを行い, その後混和剤を含んだ所定量の水を投入し 90 秒間実施した。

2.3 供試体の作製方法

ポーラスコンクリートは, 4.5kg ランマ (円柱供試体) と振動タンパ (角柱供試体) を用いて所定密度 (空隙率) に締固めた。高流動コンクリートの打込みは, 円柱および角柱供試体とも土木学会の高流動コンクリート施工指針²⁾に従った。

2.4 試験項目

(1) 圧縮強度

φ10×h20cm の円柱供試体を用いて JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従った。供試体の種類は, 6号 POC, 7号 POC および高流動コンクリートの 3 種類とし, 材齢 7, 28 日で実施した。

(2) 曲げ強度

10×10×40cm の角柱供試体を用いて JIS A 1106 「コンクリートの曲げ強度試験方法」に従った。供試体の種類は, 6号 POC, 7号 POC および高流動コンクリートの 3 種類とし, 材齢 7, 28 日で実施した。

(3) 透水係数

φ10×h20cm の円柱供試体を用い, JCI の「ポーラスコンクリートの透水試験方法 (案)」に従った。供試体の種類は, 6号 POC と 7号 POC の 2 種類とし, 材齢 1 日で実施した。

(4) 凍結融解抵抗性

ポーラスコンクリートの凍結融解抵抗性を評価する試験方法は確立されていないが, 様々な試験方法が提案されている³⁾。そこで, 路面の凍結抑制が可能であり, 排水によって本舗装版に

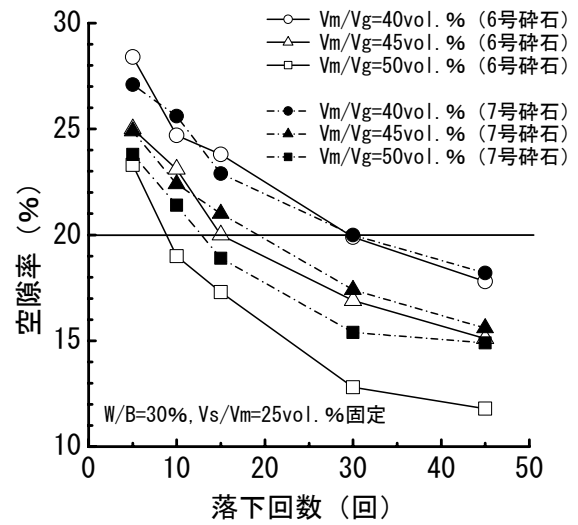


図-1 落下回数と空隙率との関係



写真-3 目視観察 (7号 POC)

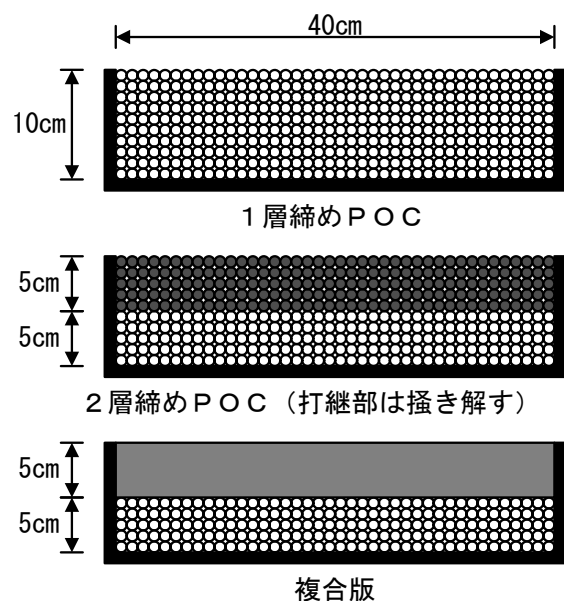


図-2 凍結融解試験に用いた供試体の種類

表-4 物性試験結果

試験項目	材齢 7 日			材齢 28 日		
	6 号 POC	7 号 POC	高流動 C	6 号 POC	7 号 POC	高流動 C
圧縮強度 (N/mm ²)	24.3	22.6	54.7	26.1	26.8	67.5
曲げ強度 (N/mm ²)	3.24	3.38	6.13	3.75	3.39	6.98
透水係数* (cm/sec)	0.535	0.273	—	—	—	—

※透水係数は材齢 1 日で実施した結果である。

水が滞留する可能性が少ないことを考慮して、ゴム容器内に水を入れず、空气中で凍結融解を繰り返す気中凍結気中融解試験方法⁴⁾（以下、気中法）に準拠して実施した。なお、比較対象として JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に従い、A 法の水中凍結融解試験（以下、水中法）についても実施した。

凍結融解試験に用いた供試体の種類は図-2 に示すとおりであり、1 層で締固めたポーラスコンクリート供試体（以下、1 層 6 号 POC と 1 層 7 号 POC）、2 層で締固めたポーラスコンクリート供試体（以下、2 層 6 号 POC と 2 層 7 号 POC）、およびポーラスコンクリートと高流動コンクリートの複合版供試体（以下、6 号複合版と 7 号複合版と称す）の計 6 種類とし、10×10×40cm の角柱供試体を用いて材齢 28 日で試験を開始した。

3. 実験結果と考察

3.1 強度特性

物性試験結果を表-4 に示す。同一の空隙率で作製されたポーラスコンクリートの圧縮強度と曲げ強度は、粗骨材の寸法による明確な強度差が認められずほぼ同様の結果であった。

本舗装版は、表層部のポーラスコンクリートと基層部の高流動コンクリートで構成された複合版である。基層である高流動コンクリートは高い曲げ強度が得られているが、複合版としての一体性や力学的挙動等の確認は今後検討する。

3.2 透水係数

同一の空隙率で作製されたポーラスコンクリートの透水係数は、7 号 POC よりも 6 号 POC の方が大きい。この結果は既往の報告³⁾と同様で

あり、空隙径の大きさの違いによる影響と考えられる。なお、本舗装版の重要な機能である透排水性については、排水性舗装技術指針（案）による 0.01cm/sec 以上を大きく上回る結果が得られており、十分な性能を有している。

3.3 凍結融解抵抗性

(1) 気中法

サイクル数と相対動弾性係数との関係を図-3 に示す。全ての供試体において、相対動弾性係数の低下は 300 サイクルまで認められなかった。したがって、寒冷地の気象条件によっても異なるが、本舗装版の環境条件に近いと想定した気中法では、高い凍結融解抵抗性を備えていると考えられる。

サイクル数と質量減少率との関係を図-4 に示す。300 サイクルの凍結融解作用を受けたポーラスコンクリートの表面は、モルタル層が剥がれ骨材が露出するスケーリングが確認された。一方、複合版における高流動コンクリートの表面では、スケーリングやポップアウトが認められなかった。

試験終了後の質量減少率は、粗骨材の種類によって異なり、6 号 POC よりも 7 号 POC の方が大きい。この原因は、同一の Vm/Vg で作製されたポーラスコンクリートは、6 号砕石よりも粒径が小さい 7 号砕石の方が粗骨材の総表面積が大きくなり、粗骨材を包むモルタル層の厚さが薄くなったためと考えられる。

(2) 水中法

サイクル数と相対動弾性係数との関係を図-5 に示す。いずれの供試体を用いても 20~30 サ

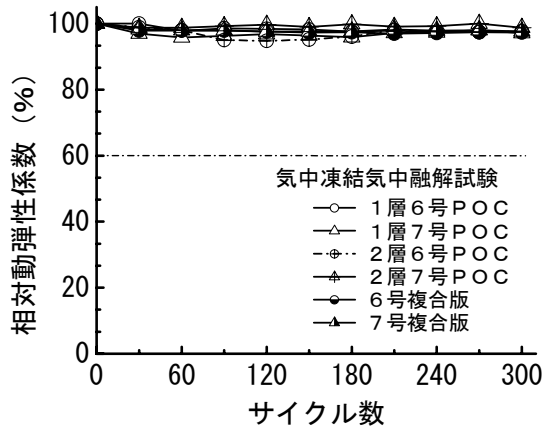


図-3 サイクル数と相対動弾性係数との関係（気中法）

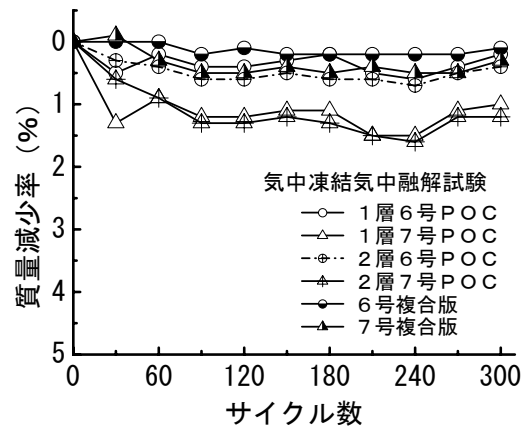


図-4 サイクル数と質量減少率との関係（気中法）

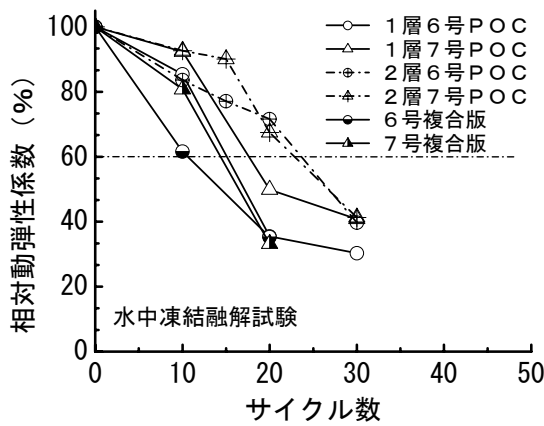


図-5 サイクル数と相対動弾性係数との関係（水中法）

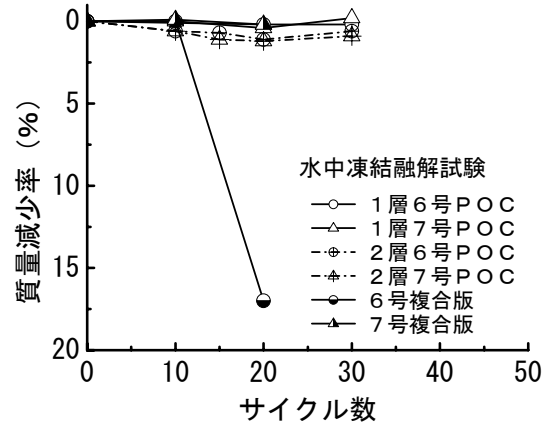


図-6 サイクル数と質量減少率との関係（水中法）

サイクルで相対動弾性係数が 60%以下となった。この結果は既往の報告³⁾と同様であり、水中法における凍結融解抵抗性は極めて低いことが再確認された。なお、劣化の進行は同一の空隙率であっても粗骨材寸法、供試体の種類および締固め方法によって若干異なり、7号 POC よりも 6号 POC の方が、POC よりも複合版の方が、2層 POC よりも 1層 POC の方が若干はやく劣化する傾向であった。

サイクル数と質量減少率との関係を図-6、1層 6号 POC の劣化状況を写真-4、1層 7号 POC の劣化状況を写真-5、6号複合版の劣化状況を写真-6、7号複合版の劣化状況を写真-7 に示す。

6号複合版の質量減少率は 20 サイクルにおいて急激に大きい値を示している。これは、写真-6 に示すように崩壊したためである。その他の供試体の質量減少率は比較的小さいがポーラスコンクリートの側面部や表面部等にはひび割れが発生している（写真-4、写真-5、写真-7 参照）。これらの原因は、骨材間の粗大な空隙中の水が凍結する際の膨張圧によってコンクリートに引張破壊が生じたためと考えられる⁴⁾。

また、2層 POC の供試体は、粗骨材の種類にかかわらず打継面からひび割れが生じていた。このことは、図-2 に示すように打継部である 1層目のポーラスコンクリートを掻き解した影響と考えられる。一方、打継部を掻き解さずに 2



写真-4 1層6号 POC (30 サイクル)

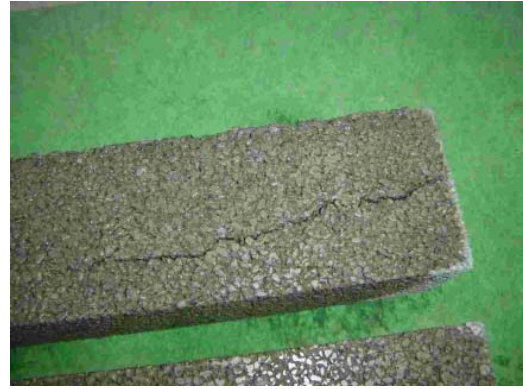


写真-5 1層7号 POC (30 サイクル)



写真-6 6号複合版 (20 サイクル)



写真-7 7号複合版 (20 サイクル)

層でポーラスコンクリートを締固めた場合の影響は、既往の研究⁵⁾によれば打継面で劣化すると報告されている。したがって、両者とも劣化の原因になる可能性が高いためポーラスコンクリートの締固め方法は、1層詰めの方が望ましいと考えられる。

4. まとめ

本実験の範囲において以下のことが明らかとなった。

- (1) 本舗装版の設置環境や使用条件を想定し気中凍結気中融解試験を実施した結果、粗骨材に6号砕石または7号砕石を用いたポーラスコンクリートおよび複合版は、300サイクルにおいても相対動弾性係数の低下が認められず十分な凍結融解抵抗性を有することが確認された。
- (2) ポーラスコンクリートにとって厳しい条件で実施した水中凍結融解試験は、30サイクル以内で相対動弾性係数が60%以下となり、供試体の崩壊やひび割れによる劣化が確認された。ま

た、2層で締固め作製したポーラスコンクリートは、打継面が弱部となりひび割れが生じた。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：転圧コンクリート舗装技術指針(案)，pp.67, 1990.10
- 2) (社)土木学会：コンクリートライブラリー93 高流動コンクリート施工指針，pp.172-176, 1998.7
- 3) (社)日本コンクリート工学協会：ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書，pp.8-11, pp.71-77, pp.182-184, 2003.5
- 4) 片平博，河野広隆：ポーラスコンクリートの凍結融解耐久性，土木技術資料，41-11, pp.66-71, 1999
- 5) 玉井元治：まぶしコンクリートの動弾性係数と凍結融解に対する抵抗性，セメント技術大会講演集，Vol.43, pp.376-381, 1989