

積雪寒冷地におけるポーラスコンクリートの排水性舗装への適用性について

寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○草間 祥吾
吉田 行
田口 史雄

道路交通騒音の軽減策としてアスファルトを用いた排水性舗装が広く普及しているが、積雪寒冷地のような過酷環境下では摩耗や骨材飛散等の早期機能低下が問題となっている。このため、より高強度、高耐久性、高機能性を有する排水性舗装技術が求められている。本研究ではポーラスコンクリートを積雪寒冷地の排水性舗装に用いるため、耐凍害性を有する配合設計及び、構造形式や適用範囲等について整理することを目的に、ポーラスコンクリート自体の凍結融解作用後の強度、耐久性、機能性の評価を行った。その結果、凍結融解作用後の曲げ強度を確保できる配合や構造を検討することにより、積雪寒冷地で適用可能となることが確認された。

キーワード：ポーラスコンクリート、排水性舗装、積雪寒冷地、空隙率

1. はじめに

道路交通騒音の軽減策としてアスファルトを用いた排水性舗装が広く普及しているが、積雪寒冷地のような過酷環境下では、除雪による摩耗やタイヤチェーンによる骨材飛散等による早期機能低下が問題となっており、高強度、高耐久性、高機能性を有する排水性舗装技術が求められている。

一方、結合材としてセメントを用いたポーラスコンクリートは、アスファルトを用いた排水性舗装よりも強度および耐久性に優れていることが既往の研究¹⁾で報告されており、ポーラスコンクリートを排水性舗装に適用することは、排水性舗装の耐久性をさらに向上させるものとして期待が高い。また、高耐久化されることにより、北海道ではこれまですえきりなどの耐久性の点で問題があり排水性舗装が適用されていなかった、交差点部等での適用なども期待される。

しかし、積雪寒冷環境下における凍結融解や骨材飛散に対する耐久性、排水や騒音低減効果の持続性等は十分に検討されていないことから、本研究では、ポーラスコンクリートを積雪寒冷地における排水性舗装に適用した場合に問題となる、凍結融解作用を受けた後の強度、耐久性、機能性について室内試験により検討を行った。

2. 試験概要

(1) 使用材料

セメントは現場施工時の早期の交通開放を想定し早強

ポルトランドセメント（密度 3.16）を使用した。粗骨材はこれまでの試験結果²⁾から強度や透水性を考慮し、小樽市見晴産の 6 号砕石（実積率 57.2%）を使用した。また、混和剤はポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用した。

(2) 配合

試験に用いた配合を表-1 に示す。配合はこれまでの試験結果²⁾より、排水性舗装に要求される耐久性、機能性等の規定値を満足した配合を選定し、目標空隙率 18、20%と設定した。また、吸音性向上の観点から空隙率を高めた場合の凍結融解作用後の性能を確認するため、参考に目標空隙率 23%も設定した。なお、水セメント比は 21%とした。

(3) 試験項目

試験項目を表-2 に示す。本研究では、凍結融解作用を受けた前後の性能を評価するため、凍結融解作用を与える前の供試体と与えた後の供試体に対して、コンクリート舗装として必要な曲げ強度、および排水性舗装とし

表-1 配合表

供試体番号	粗骨材種類 (粒径mm)	セメントの種類	ペースト粗骨材容積比 (%)	水セメント比 (%)	目標全空隙率 (%)	混和剤 (%)	単用量 (kg/m ³)		
							水 W	セメント C	粗骨材 G
1	6号砕石 (5-13)	早強ポルトランド	46	21	18	0.6	103	489	1494
2			43		20	0.7	95	451	
3			37		23	0.7	83	395	

て必要な空隙率、透水性、骨材飛散抵抗性、すべり抵抗性、吸音性について試験を行った。供試体は各試験項目に応じてそれぞれ作製し、凍結融解作用前の供試体については、材齢 28 日まで 20℃水中養生を行った後、試験に供した。また、凍結融解作用後の性能の確認は、同様に材齢 28 日まで養生した後、所定のサイクル数、凍結融解作用を与え、その後（凍結融解作用前と同様に）各種試験を実施した。なお、各種試験用のポーラスコンクリート供試体の締固めは、これまでの研究³⁾で行われた締固め方法を参考として、供試体寸法ごとに締固め条件を一定とし、表面振動機（振動数 43.3Hz）を用いて行った。

以下に各種試験の詳細を示す。

a) 凍結融解作用

積雪寒冷地における排水性舗装としての適用性を確認するために、実際の道路上で受けると想定される凍結融解条件を考慮し、上部 1 面からのみの凍結融解試験を実施した。試験は ASTM C 672 に準拠し、図-1 に示すように各供試体の 5 面を断熱材（発泡スチロール）で囲み、上部の 1 面からのみ凍結融解作用を与えるものとした。凍結融解条件は、温度設定を-18℃を 16h、20℃を 8h の 1 日 1 サイクルとし、50 サイクルまで行った。

b) 空隙率

空隙率試験は、JCI のポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する委員会報告書における「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法（案）」⁴⁾に従った。なお、ここでの空隙率とは、連続および非連続な空隙構造の体積の総和で、ポーラスコンクリート総体積に占める割合をいう（全空隙率）。全空隙率は式(1)より算出される。また、連続空隙率とは、連続した空隙構造の体積がポーラスコンクリートの総体積に占める割合をいい、式(2)より算出される。供試体は 10×10×20cm のものを使用した。

$$A_t(\%) = \left(\frac{1 - (W_2 - W_1) / \rho_w}{V_1} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$A_c(\%) = A_t - \left(\frac{(W_1 - W_3) / \rho_w}{V_1} \right) \times 100 \quad (2)$$

ここに、 A_t ：全空隙率(%)

A_c ：連続空隙率(%)

W_1 ：供試体の水中質量(g)

W_2 ：24 時間自然放置後の気中質量(g)

W_3 ：24 時間自然放置後に再び測定された水中質量(g)

V_1 ：供試体の容積(cm^3)

ρ_w ：水の密度(g/cm^3)

c) 曲げ強度

曲げ強度試験は、JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に従って材齢 3 日、7 日、28 日および凍結

融解作用を与えた後行った。供試体は 10×10×40cm のものを使用した。

d) 透水性

排水性舗装の透水性を評価する試験として、現場透水量試験⁵⁾を行った。透水性は、現場透水量試験機を用いて水 400ml の流下に要した時間から式(3)を用い透水量を算出して評価した。また、供試体は 40×40×5cm のものを使用した。

$$V_w = (400/t) \times 15 \quad (3)$$

ここに、 V_w ：透水量(ml/15 秒)

t ：流下平均時間(秒)

e) 骨材飛散抵抗性

骨材飛散抵抗性試験は、低温カンタブロ試験⁶⁾により行った。骨材飛散抵抗性は、ロサンゼルス試験機を用いて毎分 30~33 回転の回転数でドラムを 300 回転させた後、質量を量り損失率を算出して評価した。供試体は-20℃の部屋に一日置いた後、試験を実施した。供試体は $\phi 10 \times 6.35\text{cm}$ のものを使用した。

表-2 試験項目

試験項目	試験目的	試験条件
一面凍結融解試験	凍結融解作用を与える	ASTM C 672に準拠
空隙率試験	空隙率の評価	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 ⁴⁾ に準拠
曲げ強度試験	曲げ強度の評価	JIS A 1106に準拠
現場透水量試験	透水性の評価	舗装調査・試験法便覧に準拠
低温カンタブロ試験	骨材飛散抵抗性評価	舗装調査・試験法便覧に準拠
D F テスターによるすべり抵抗性試験	すべり抵抗性評価	舗装調査・試験法便覧に準拠
吸音率試験	吸音性評価	JIS A 1405に準拠

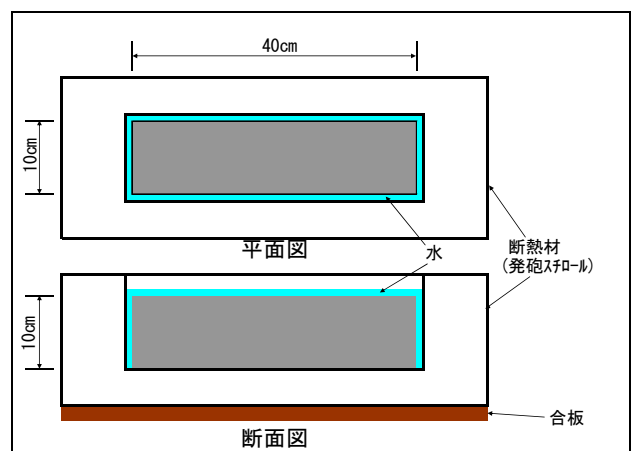


図-1 一面凍結融解試験供試体の一例 (10×10×40cm 供試体)

g) すべり抵抗性

すべり抵抗性試験は、舗装路面のすべり抵抗を回転式のすべり抵抗測定器 (DF テスター) ⁵⁾により路面の動的摩擦係数を測定し評価した。供試体は 40×40×5cm のものを使用した。

h) 吸音性

吸音性は JIS A 1405 の「管内法による建築材料の垂直入射吸音率測定方法」により測定を行った。吸音率は供試体を円筒状の主管の端部に垂直に装着し、管の反対側より音波を送り、管内音圧の極大、極小から算出して評価した。ここで、吸音率とは入射した音のエネルギーに対する反射されてこない音のエネルギーの比率のことをいう。供試体はφ10×5cm のものを使用した。

3. 試験結果

(1) 空隙率

図-2 に凍結融解作用前後の空隙率の値を示す。凍結融解作用前のどの配合においても、実際の空隙率は目標空隙率より小さかった。これはこれまでも報告 ²⁾されているが、配合要素の違いにより、締め固め方法が違ふと考えられていることから、このような結果になったと思われる。これについては今後、実施工を考慮した最適な締め固め方法などを検討する必要がある。空隙率は、凍結融解作用後、目標空隙率 18%の配合では 0.5%、20%の配合では 0.3%、23%の配合では 0.7%と若干増加する結果となった。今回実施したのは、上部 1 面からの凍結融解作用であり、凍結融解は上面から徐々に内部に進行することから、ポーラスコンクリート内部のペーストの剥離は少ないと考えられる。また、後述するすべり抵抗性の結果からも表面部のペーストが剥離していることから、凍結融解作用後の空隙率の増加は、供試体の表面部や上部のペーストの剥離に起因して生じたものと考えられる。

(2) 曲げ強度

図-3 に曲げ強度と空隙率の関係を示す。凍結融解作用前の曲げ強度は空隙率が小さいほど大きくなる傾向を示し、コンクリート舗装における規定値の 4.5N/mm²以上をほぼ満足した。一方、凍結融解作用後においても同様な傾向を示したが、凍結融解作用前よりも強度は低下し、規定値の 4.5N/mm²を下回った。これは、骨材同士の接着部のペーストの剥離やひび割れにより、ぜい弱になったことが原因の一つと考えられる。

(3) 透水性

図-4 に現場透水量試験による透水量と空隙率の関係を示す。ここでの空隙率は透水性との関係から連続空隙率で示す。なお、今回の試験での全空隙率における連続空隙率の割合は約 97%で、ほとんどが連続空隙率であつた。

凍結融解作用前の透水量は、空隙率に関係なくほぼ一定の値であった。凍結融解作用後においても、凍結融解により空隙率は若干増加したものの、透水量はほとんど変わらない結果となった。透水量は空隙率の影響を大きく受けるものの、凍結融解作用後の空隙率の増加が微

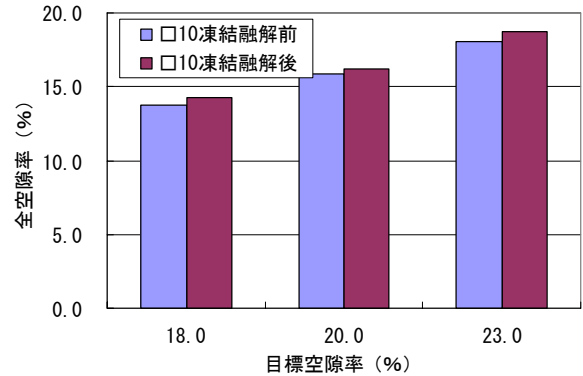


図-2 凍結融解作用前後の空隙率

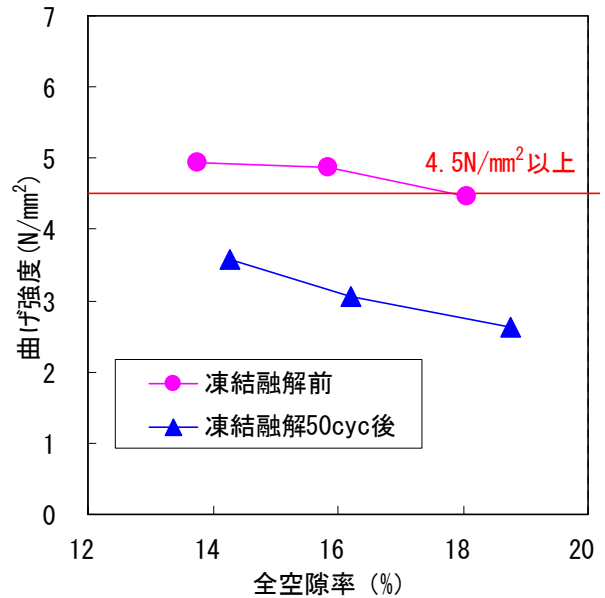


図-3 曲げ強度と空隙率の関係

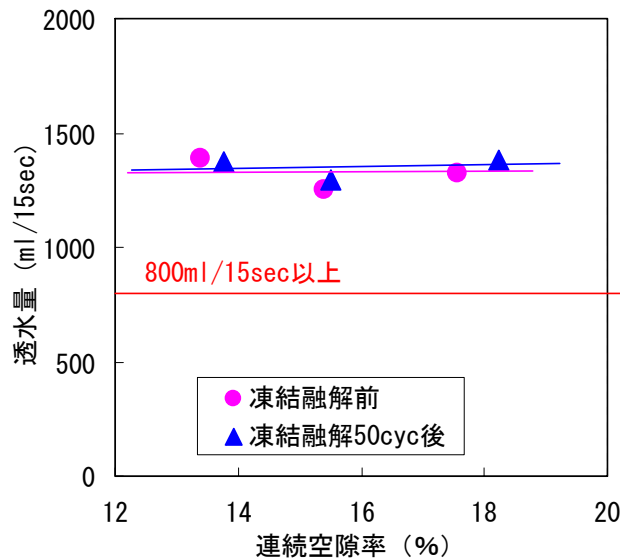


図-4 透水量と空隙率の関係

少であったため、透水量はほとんど変わらなかったものと思われる。いずれにしても透水量は、凍結融解作用前後において、北海道における排水性舗装での規定値である 800ml/15sec 以上を満足した。

(4) すべり抵抗性

図-5 に DF テスターによるすべり抵抗性試験により得られた動的摩擦係数と空隙率の関係を示す。凍結融解作用前には空隙率の大小により若干の違いはあるが、ほぼ同程度の値を示していた。一方、凍結融解作用後は全体に凍結融解作用前よりも動的摩擦係数は 0.1 μ 程度大きくなる傾向を示した。これは凍結融解により表面部のペーストが剥離し粗面になることで摩擦抵抗が増大したためと思われる。なお、本試験では、凍結融解作用を与えたのが上部からの1面のみであったため、表面部でのペーストの剥離が顕著になったものと思われる。また、動的摩擦係数について特に規定されている値はないが、維持修繕の判断基準とされている 0.25 以上を満足した。

(5) 骨材飛散抵抗性

図-6 に低温カンタブロ試験による損失率と空隙率の関係を示す。凍結融解作用前は空隙率が大きくなるほど、損失率も大きくなる傾向を示していた。一方、凍結融解作用後も凍結融解作用前と同様の傾向を示したが、損失率は凍結融解作用前よりも大きくなった。損失率とはロサンゼルス試験機による試験で骨材が飛散する量であり、飛散は強度と相関があると考えられる。そこで、図-7 に損失率と曲げ強度の関係を示す。曲げ強度が低下するほど損失率が上がる、すなわち飛散量が増加する傾向があることから、凍結融解作用後に損失率が大きくなったのは、凍結融解作用後の強度の低下が影響したものと思われる。

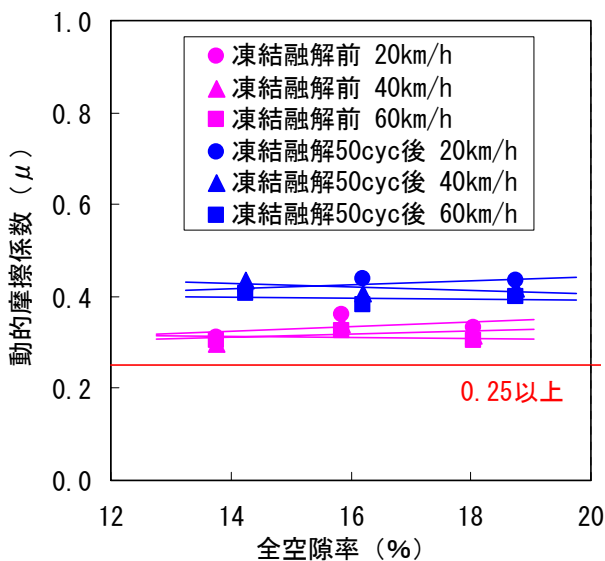


図-5 動的摩擦係数と空隙率の関係

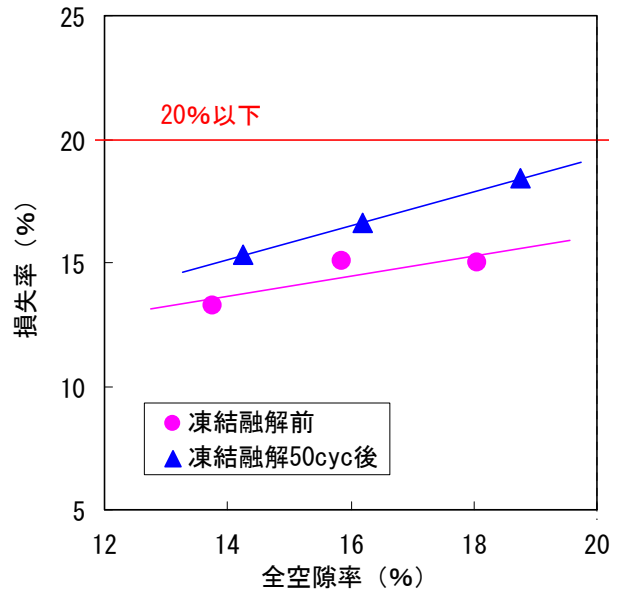


図-6 損失率と空隙率の関係

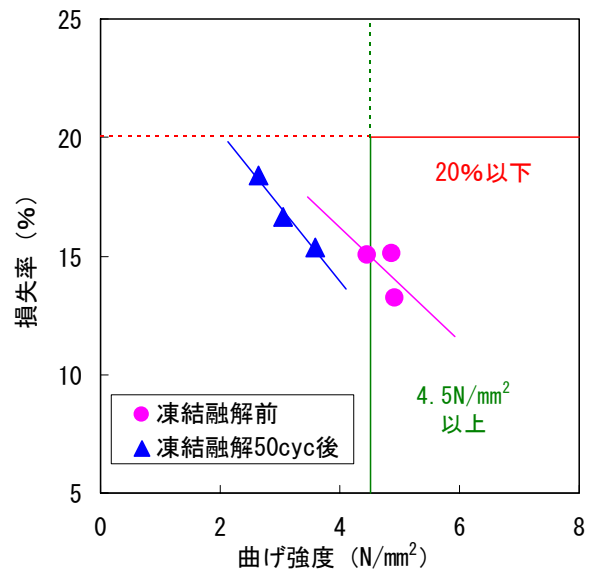


図-7 損失率と曲げ強度の関係

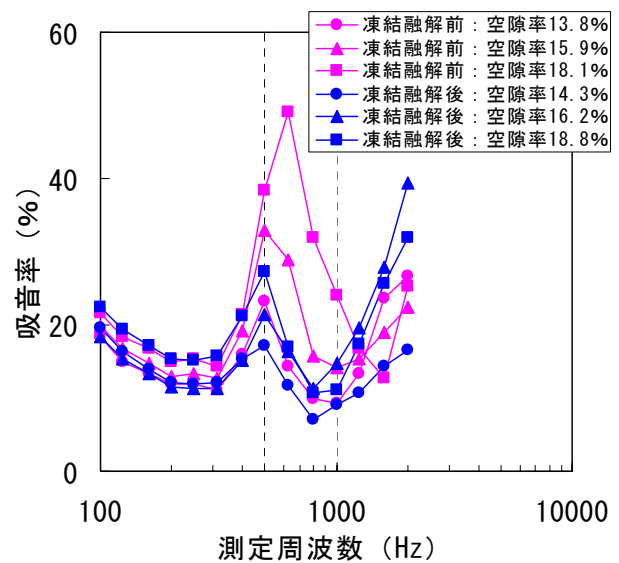


図-8 吸音率試験結果

表-3 試験結果一覧

供試体 番号	粗骨材粒 径	セメント の種類	ペースト 粗骨材容 積比 M/G (%)	水セ メント比 (%)	目標 空隙率 (%)	試験結果								
						凍 結 融 解	実空隙率 (%) □	曲げ強度 (N/mm ²)	現場透水量 (ml/15sec)	損失率 (%)	動的摩擦係数			吸音率 (%)
											20km/h	40km/h	60km/h	
規定値							4.5以上	800以上	20%以下	0.25以上				
1	6号碎石 (5- 13mm)	早強ポル トランド セメント	46.1	21	18	前	13.8	4.93	1386	13.2	0.31	0.30	0.29	32.2
						後	14.3	3.59	1378	15.3	0.43	0.41	0.40	20.8
20					前	15.9	4.87	1255	15.1	0.36	0.34	0.33	33.5	
					後	16.2	3.06	1298	16.6	0.44	0.41	0.38	39.5	
23					前	18.1	4.47	1327	15.0	0.33	0.31	0.30	49.0	
					後	18.8	2.63	1381	18.4	0.41	0.39	0.36	33.9	

規定値を確保できていないもの

しかしながら、凍結融解作用後においても、損失率の規定値である20%以下を満足する結果であった。

(6) 吸音性

図-8 に吸音率の試験結果を示す。凍結融解作用前において、吸音率の最大値は空隙率の増加と共に大きくなり、また交通騒音の主たる周波数帯域である500～1000Hzで吸音率の最大値を示していた。一方、凍結融解作用後においては、吸音率の最大値が高周波数帯域に移動する傾向を示した。これは凍結融解により空隙率が若干増加したことにより、空隙の形状などが変化したことによるものと思われる。今回の配合においては、交通騒音の主たる周波数帯である500～1000Hzにおける凍結融解作用後の吸音性は下がる結果となったが、凍結融解作用後においても吸音率が30%程度の吸音性を確保できることが確認された。

4. 性能評価

表-3 に試験結果一覧を示す。凍結融解作用前は目標空隙率23%の配合の曲げ強度を除き、規定値を満足する結果となった。凍結融解作用後では全ての配合の曲げ強度が、規定値を満足しない結果となった。このことから、凍結融解作用後においても曲げ強度の確保が可能となる配合や構造的工夫の検討が必要である。例えば、今回の配合では透水量について既定値よりも十分な値が確保できたため、空隙率を小さくすることにより強度を上げることが可能と思われる。その他として骨材粒径を今回の配合より小さいものにし、強度を上げる手法も考えられる。また、別の方法として、構造的に強度を持たせるように、通常のコングリート舗装版上にポーラスコングリート舗装版を舗設する積層構造にして強度を確保する方法なども考えられる。

曲げ強度以外の性能を見ると、凍結融解作用後は現場透水量と動的摩擦係数は増加する傾向を示したが、その他の性能については空隙率の上昇による性能の低下がみ

られた。しかし、凍結融解作用後においても排水性舗装としての既定値は満足していることから、排水性舗装への適用は十分に可能と思われる。

5. まとめ

今回の調査結果から、凍結融解作用を与えた後の曲げ強度以外については排水性舗装として規定値を満足できる結果が得られたことから、曲げ強度の確保が可能となる配合や構造的検討を行うことにより、積雪寒冷地においても適用可能と考えられる。ただし、今回の試験では室内試験における凍結融解作用50サイクルでの評価であり、今後行う試験施工などで実環境における耐久性などの検討を行っていく必要がある。

今後、現場でポーラスコングリート舗装を施工していくにあたり、コングリート舗装として問題となると思われる、施工後の早期の交通開放の問題や、維持管理の方法などについて、適切に行えるようなポーラスコングリート舗装のプレキャスト化なども検討する必要がある。

また、コングリート舗装に要求される曲げ強度を満足しないものでも、排水性能や吸音性能などの材料としての特性を活かすことにより、集水柵や吸音板などの道路附属物に適用することが可能と考えられることから、今後このようなものについても検討していきたい。

参考文献

- 1) 社団法人セメント協会；舗装技術専門委員会報告 R-11 舗装用ポーラスコングリート共通試験結果報告、1999.10
- 2) 草間祥吾、田口史雄、吉田行；騒音対策として用いられる排水性舗装へのポーラスコングリートの適用性について、第51回北海道開発局技術研究発表会、2008.2
- 3) 小尾稔、田口史雄；耐凍害性を考慮したポーラスコングリートの配合の検討、第48回北海道開発局技

術研究発表会、2005.2

- 4) 社団法人日本コンクリート工学協会；ポー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、2003.5
- 5) 社団法人日本道路協会；舗装調査・試験法便覧[第1分冊]，2007.6
- 6) 社団法人日本道路協会；舗装調査・試験法便覧[第3分冊]，2007.6