

一般06 ポーラスコンクリートの積雪寒冷地の適用に関する研究

研究予算：運営費交付金
 研究期間：平 18～平 22
 担当チーム：耐寒材料チーム
 研究担当者：草間祥吾

【要旨】

道路交通騒音の軽減策としてアスファルト（以下：As）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の機能低下が問題となっており、高耐久を有する排水性舗装技術が求められている。本研究では、結合材としてセメントを用いたポーラスコンクリート（以下：POC）を積雪寒冷地における排水性舗装に適用するため、室内試験および試験施工による性能調査を行った。その結果、排水性舗装として機能を満足する配合、構造、および適用範囲について確認することができた。

キーワード：ポーラスコンクリート、排水性舗装、プレキャスト舗装版

1. はじめに

道路交通騒音の軽減策として排水性 As 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、夏季には一般地域と同様に As の流動による目つぶれなどが発生し、冬季においては除雪やタイヤチェーンなどによる摩耗や骨材飛散等が発生するため、早期の機能低下が問題となっており、高強度、高耐久、高機能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 POC は、排水性 As 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、POC 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。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が十分に検討されていない。このため本研究では、積雪寒冷地における沿道環境改善のため POC を遮音壁や排水性舗装などに適用する場合の配合、構造、適用法の確立について、各性能の基準値を整理し、基準値を満足する強度、構造、適用箇所を提案することを目的として、室内試験や試験施工を行い各種性能の確認を行った。

2. POC の諸特性の把握

2.1 概要

POC を遮音壁や排水性舗装などに適用する場合の配合、構造、適用法を確立するために、各性能の基準値を整理し、基準値を満足する強度、構造、適用箇所を

提案することを目的として、室内試験を行った。また、積雪寒冷地という過酷環境を考慮して凍結融解試験を実施し、凍結融解作用後の各種性能も確認した。

2.2 室内試験

表-1 に室内試験を実施したコンクリートの配合を示す。POC の強度、耐久性及び機能性は空隙率の影響を受ける。例えば、空隙率を大きくすることにより排水性や吸音性の機能性は向上するが、強度や耐久性は低下する。このため、コンクリートの配合決定にあたっては空隙率の設定が極めて重要となり、要求性能に応じて適切に設定する必要があることから、目標空隙

表-1 コンクリートの配合

供試体番号	粗骨材粒径	セメントの種類	目標空隙率 (%)	モルタル粗骨材容積比 M/G (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
1	6号砕石 (5-13mm)	早強ポルトランドセメント	17	47.8	23	10	113	490	167	1494	
2			20	42.5			-	100			435
3			23	37.1			88	380			
4			17	47.8			87	376			
5			20	42.5			74	321			
6			23	37.1			61	267			
7			18	47.8			111	483			1476
8			20	47.8			109	472			1440
9			23	47.8			104	454			1386
10			18	46.1			103	489			1494
11			20	42.5			95	451			
12	23	37.1	83	395							
13	18	50.9	116	504							
14	20	47.2	108	468							
15	7号砕石 (2.5-5mm)	早強ポルトランドセメント	23	41.7	23	10	95	413	1435		

率は 17、18、20、23%とした。他方、空隙率を高めた場合、前述したように強度や耐久性が不足することが考えられるため粗骨材粒径、水セメント比、細骨材率、モルタル粗骨材容積比を変えた配合を設定した。

室内試験では、POC を排水性舗装に適用する際に必要となる諸特性を把握するため、コンクリート舗装として必要な曲げ強度や、排水性舗装として必要な空隙率、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。なお、各試験用の POC 供試体の締固めは、これまでの研究²⁾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。

2.3 室内試験結果

図-1 に材齢 28 日における曲げ強度と空隙率の関係を示す。曲げ強度はコンクリート舗装での規定値となる 4.5N/mm^2 以上を必要としている。空隙率が小さいほど曲げ強度は大きくなる傾向を示し、概ね空隙率 20% 以下の配合で規定値を満足していた。また、6号砕石と7号砕石を比較すると、6号砕石の方が空隙率が大きく出る結果となっていたが、同じ空隙率の時の曲げ強度は見ると、6号砕石を使用した方が、曲げ強度大きく出る結果となっていた。

図-2 に現場透水量試験による透水量と空隙率の関係を示す。現場透水量は北海道開発局における排水性 As 舗装の規定値である $800\text{ml}/15\text{sec}$ 以上を必要としている。空隙率が大きいほど透水量は増える傾向を示し、概ね空隙率 16% 以上で規定値の $800\text{ml}/15\text{sec}$ 以上を満足していた。7号砕石においては、実際の空隙率が小さく出る傾向があり、その影響からか透水量は低い結果となっていた。

図-3 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。カンタブロ試験は排水性 As 舗装の規定値である損失率 20% 以下を必要としている。空隙率が大きいほど損失率は増える傾向を示し、概ね空隙率 25% 以下で規定値の損失率 20% 以下を満足していた。

図-4 にすべり抵抗性試験による動的摩擦係数と空隙率の関係を示す。DF テスターによる動的摩擦係数の規定値は道路維持修繕要綱（（社）日本道路協会）による維持修繕の判断基準である 0.25μ 以上を必要としている。空隙率が大きいほど値が大きくなる傾向を示し、どの配合においても規定値を満足した。

図-5 に吸音率に関する試験結果を示す。空隙率が大きいほど吸音率の最大値は大きくなる傾向を示した。また、配合により吸音率が変化したり、最大値の周波数帯が変化したりした。例えば、6号砕石と7号砕石

を比較すると、6号砕石の方が吸音率が高い結果となっていた。また、水セメント比については、 $W/C=21\%$ の方が、吸音率の最大値が大きくなる結果であった。

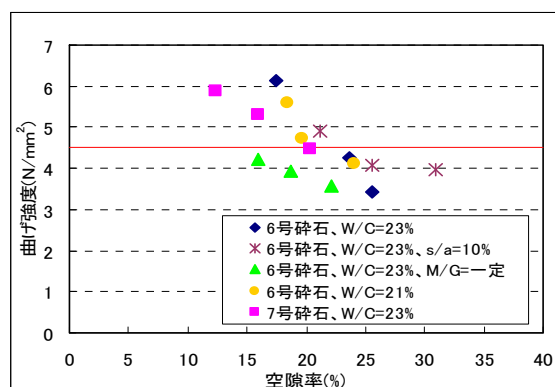


図-1 曲げ強度と空隙率の関係

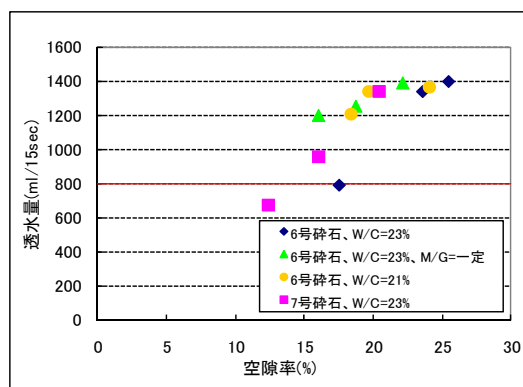


図-2 透水量と空隙率の関係

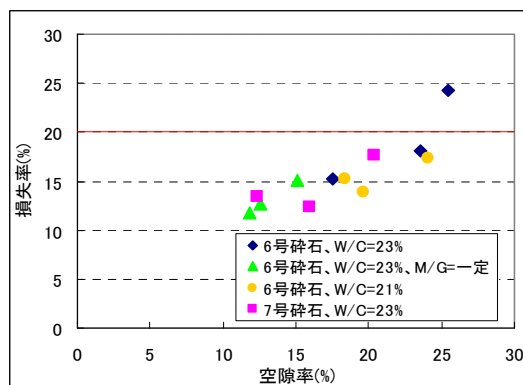


図-3 損失率と空隙率の関係

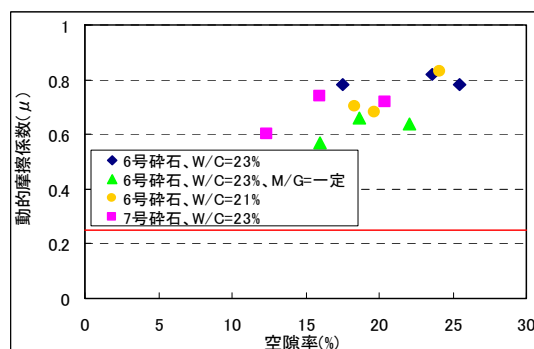


図-4 動的摩擦係数と空隙率の関係

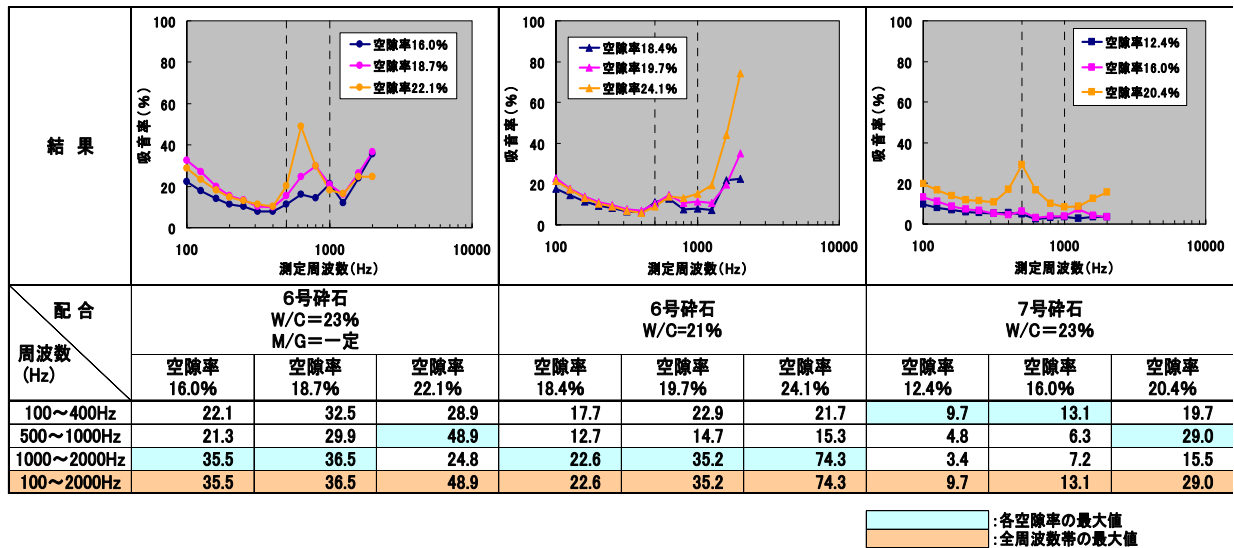


図-5 吸音率試験結果

2. 4 凍結融解作用後の室内試験

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、実環境で受けると想定される凍結融解条件を考慮した凍結融解試験を実施し、凍結融解作用後に各性能試験を行った。凍結融解試験は ASTM C 672 に準拠し、温度設定を -18°C を16時間、 20°C を8時間の24時間を1サイクルとして、50サイクルまで行った。作用面は実環境を考慮し、上部一面からとした。

配合は、2.2 試験結果より、粗骨材は6号砕石を使用し、設定目標空隙率は18、20、23%とし、水セメント比は21%とした。

2. 5 凍結融解作用後の室内試験結果

図-6 に曲げ強度と空隙率の関係を示す。曲げ強度は凍結融解作用後に低下し、規定値である $4.5\text{N}/\text{mm}^2$ を下回る結果となった。このため曲げ強度については凍結融解作用後に規定値を満足できるような配合や構造についての検討が必要となった。

図-7 に現場透水量試験による透水量と空隙率の関係を示す。凍結融解作用により空隙率は若干増加したが、透水量はほとんど変わらない結果となった。

図-8 にDFテスターによるすべり抵抗性試験による動的摩擦係数と空隙率の関係を示す。動的摩擦係数は凍結融解作用後の方が上がる傾向を示した。これは凍結融解作用により表面部のペーストが剥離し、粗面になることですべり抵抗は上がったためと思われる。

図-9 に低温カンタプロ試験による損失率と空隙率の関係を示す。損失率は凍結融解後の方が大きくなる傾向を示したものの、規定値を満足する結果であった。

図-10 に吸音率の試験結果を示す。凍結融解作用後に吸音率のピークが高周波数帯域に移動する傾向を示した。

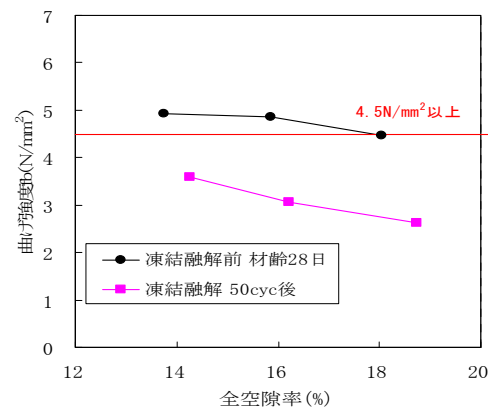


図-6 曲げ強度と空隙率の関係

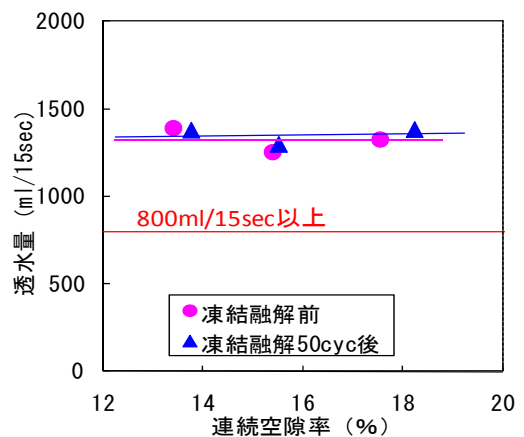


図-7 透水量と空隙率の関係

以上の結果から、POC の諸特性として、以下のことが確認された。

- (1) 粗骨材粒径が小さいほど、実際の空隙率が小さく出る傾向があり、その影響から透水性能は下がる傾向がみられた。
- (2) 締固め方法により空隙率に差がでることが確認された。
- (3) 空隙率と曲げ強度、透水量、骨材飛散、すべり抵抗の試験結果から、概ね実空隙率が 16~20%の配合において排水性舗装として必要な規定値を満足した。
- (4) 骨材は、6号砕石と7号砕石の比較を行った結果、6号砕石を使用した配合の方が透水性能や吸音性能において有利な結果となった。
- (5) 水セメント比についてはW/C=21%とW/C=23%での比較を行った結果、強度や透水性能などはほとんど同じ傾向であったが、吸音性能において、W/C=21%の配合の方が有利な結果となった。
- (6) 凍結融解作用後の各性能試験を行った結果、曲げ強度が規定値を下回る結果となった。また、他の性能は凍結融解作用後においても規定値を満足した。このことから、凍結融解後の曲げ強度の改善を行うことで、積雪寒冷地においてもPOCを排水性舗装に適用が可能であることが確認出来た。
- (7) また、曲げ強度以外の各性能は規定値を満足していることから、騒音軽減策としての遮音壁など、曲げ強度を必要としない箇所において透水性能や吸音性能等を活かすことが可能であることを確認した。

3. POC 舗装版の試験施工

3.1 概要

2章の結果から、凍結融解作用後の曲げ強度については規定値を満足することが出来なかったため、POC版と鉄筋コンクリート（以下：RC）版の複合構造を検討した。また、コンクリート舗装を施工するときに問題となる早期の交通開放や維持管理性を考慮してプレキャスト製品化した。

継手部は隙間や段差を生じさせないように、荷重伝達率が高くプレキャスト版間を平面一体化構造とするコッター式継手とした。コッター式継手は、ボルト固定式のため取り外しが容易で、プレキャスト版の部分的な交換が可能のため、維持管理をおこない易いという利点もある。

図-11 にプレキャスト POC 舗装版の「イメージ図」を示す。

上記構造において、室内試験では確認することがで

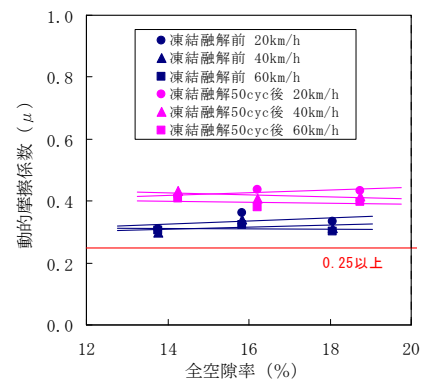


図-8 動的摩擦係数と空隙率の関係

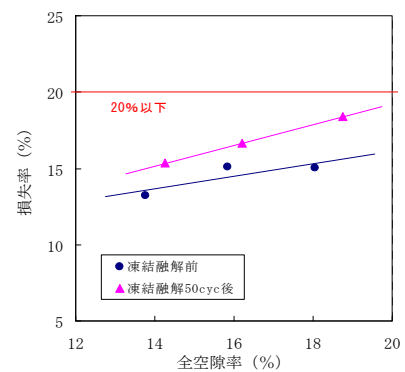


図-9 損失率と空隙率の関係

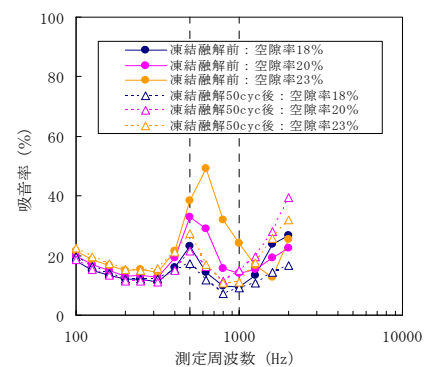


図-10 吸音率測定結果

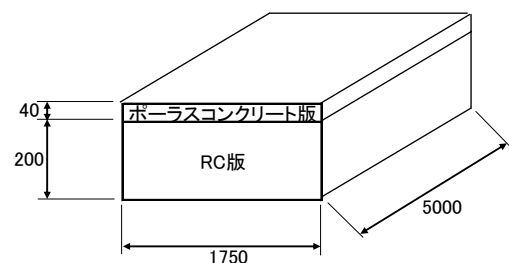


図-11 プレキャスト POC 舗装版イメージ

きない施工性の問題点や、実環境下における耐久性能や騒音低減性能等を確認するため、試験施工を行った。表-2 に試験施工箇所の概要を示す。

3. 2 プレキャスト POC 舗装版

3.2.1 配合および製造工程

これまでの室内試験結果から、耐久性、機能性の規定値を満足できる配合を選定した。表-3 に配合を示す。セメントは早強ポルトランドセメント(密度 3.14)を使用した。粗骨材は小樽市春香山産の 6 号砕石(実積率 56.5%)を使用した。また、混和剤は高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)を使用した。また、目標空隙率は 18%±2%とし、水セメント比は 21%とした。

プレキャスト POC 舗装版の製造工程を図-12 に示す。また、写真-1 に完成後のプレキャスト POC 舗装版を示す。

舗装版製造時に採取した POC を用いて供試体を作製し、空隙率を測定した。目標空隙率 18%±2%に対して測定値は 15.9~16.0%で、目標空隙率をほぼ満足した。

3.2.2 製造時の注意点

プレキャスト POC 舗装版の製造において、POC 打設後に RC 部のコンクリートを打設することから、型枠面からのコンクリートペーストの漏れが見られた。そのままではコンクリートペーストが POC 部の空隙を埋めてしまうことから、型枠と POC の境目に硬練りモルタルの塗布を行い、空隙の目詰まりを防ぐことで対策を施した。また、プレキャスト POC 舗装版製造時の締固め方法では、締固めの時間や程度によりペーストがダレを起こした。このようなことから、舗装版製造時に試験製造を行い、いくつかのパターンでの締固め方法を試すことが必要である

3.2.3 設置工程

製造したプレキャスト POC 舗装版を、苫小牧寒地試験道路及び一般国道 12 号深川市にあるバス停車帯部に設置した。実際に行った設置手順の工程を図-13 に示す。設置工程については、寒地試験道路での施工は舗装版同士のつなぎ合わせがあったことや、供用中のバス停車部では上部柵の設置等があったことから、両者は同じ工程にはならないが、ほぼ同じ工程である

3.2.4 設置時の注意点

プレキャスト POC 舗装版は普通のコンクリート舗装版と比べると表面がポーラスであるため、グラウト注入時にグラウト材の飛散によって空隙が埋まる危険性がある。そのため、舗装版表面にビニルシートをかける等の配慮が必要である。また、表面のポーラス部分は角欠け等の飛散が生じやすいため、舗装版設置時に油圧ジャッキなどを使用する場合はプレートを噛ますことや、周囲の As 舗設時に舗装版の角等が欠損しないように慎重な作業を行うことなどの配慮が必要である。

表-2 試験施工箇所

設置箇所	施工年月	設置枚数	延長・幅	舗装版厚	排水方法
試験道路での施工 苫小牧寒地試験道路 本線部	2009年3月	6枚設置	L=15.0m W=3.5m	t=0.24m POC部 t=0.04m RC部 t=0.20m	排水性As舗装 + ドレーンパイプ
供用中の道路での施工 一般国道12号 深川市 バス停車帯部	2010年11月	1枚設置	L=5.0m W=1.75m	t=0.24m POC部 t=0.05m RC部 t=0.19m	POC上部柵

表-3 POC の配合

水セメント比 (%)	モルタル粗骨材容積比 (%)	単位量 (kg/m ³)			
		水	セメント	粗骨材	混和剤 (3GS-2043)
21	46.1	102.7	489.2	1493.5	3.424

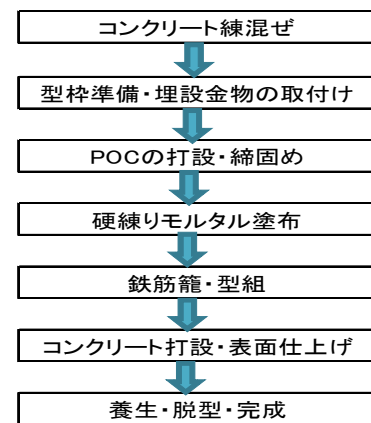


図-12 プレキャスト POC 舗装版製造工



写真-1 プレキャスト POC 舗装版

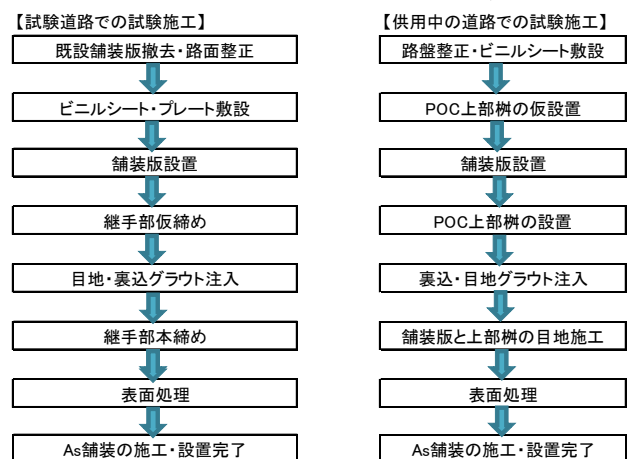


図-13 プレキャスト POC 舗装版設置工程

試験道路では、細かい高さの調整に時間を要し、舗装版設置の所要時間が1枚当たり1時間程度であった。設置時間の短縮や設置精度を向上させるために、高さ調整治具などを埋設していくことで短縮が可能と思われる。また、舗装版サイズの大小に関わらず1枚の設置時間がほぼ同一なことから、運搬時に問題がない範囲で舗装版を大きくすることで、継手部や目地部でのコスト削減と施工性向上、および走行性向上を図ることが出来ると思われる。

バス停車帯部では、POC 上部柵の設置位置の微調整において、吊治具が側面部であったため舗装版設置後は吊治具で吊ることができなくなり、調整に時間を要した。さらに、舗装版と POC 上部柵の目地部の施工では、POC の現場練りを行い約 1cm の目地溝に POC の空隙を確保するように慎重に打設したことから、完了までに時間を要した。プレキャスト POC 舗装版と POC 上部柵の施工は、1 日での完了を予定していたが、POC 上部柵設置調整等に時間がかかり、完成に 2 日間を要した。このようなことから、今後は、POC 上部柵を設置調整し易く改良するか、もしくは、舗装版と上部柵を一体化させた形状を検討するなどの改善を行うことにより施工時間を短縮することができるとされる。

3. 3 試験施工による性能調査

3.3.1 調査項目

寒地試験道路および供用中のバス停車帯でおこなったプレキャスト POC 舗装版の試験施工について、表-4 に示す各種性能調査を行った。

3.3.2 調査結果

(1) 苫小牧寒地試験道路での試験施工

苫小牧寒地試験道路に設置したプレキャスト POC 舗装版について、設置後から 2 年後までの路面性状調査を行った。調査箇所図を図-14 に示す。

1) 現場透水量

現場透水量試験結果を図-15 に示す。全ての舗装版において、規定値となる 800ml/15sec を大きく上回り良好な値を示した。また、路肩部に施工した排水性 As 舗装 (空隙率 17%) と POC 舗装版 (空隙率 15.9~16.0%) とを比較すると、POC 舗装版のほうが空隙率が小さいにもかかわらず、全ての POC 舗装版において排水性 As 舗装の透水量を上回った。これにより、POC 舗装版の優位性が確認出来た。

また、施工直後と 2 年後を比較すると、No2~No6 において僅かであるが透水量が減少した。試験施工箇所は通過交通量が少ないため輪荷重による目つぶれによるものとは考えられず、外観上目立った劣化も確認さ

表-4 調査項目

試験項目	試験方法	測定の有無	
		苫小牧試験道路	深川バス停
平坦性	舗装調査・試験法便覧(第1分冊)「舗装路面の平坦性測定方法」のうち、3mプロファイル計による方法	○	○
すべり抵抗	舗装調査・試験法便覧(第1分冊)「回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定方法」	○	○
現場透水量	舗装調査・試験法便覧(第1分冊)「現場透水量試験方法」	○	○
わだち掘れ量	舗装調査・試験法便覧(第1分冊)「舗装路面のわだち掘れ量測定方法」のうち、横断プロファイル計による方法	○	○
きめ深さ測定	舗装調査・試験法便覧(第1分冊)「センサきめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法」	○	-
	舗装調査・試験法便覧(第1分冊)「回転式きめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法」	-	○
目地の段差	舗装調査・試験法便覧(第1分冊)「舗装路面の段差の測定」	○	○ (舗装版とAs舗装部の目地)
騒音	-JIS D 1024「自動車の車外騒音試験方法」のうち定常騒音試験方法	○	○
	-「タイヤ/路面騒音測定方法」で定常騒音試験方法	○	○
冬期路面温度	放射温度計を用いて路面温度の測定	○	-

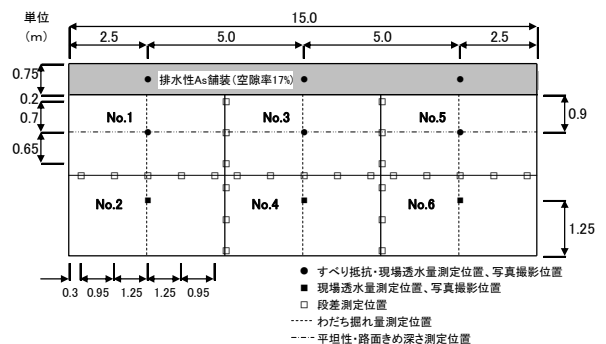


図-14 調査箇所図

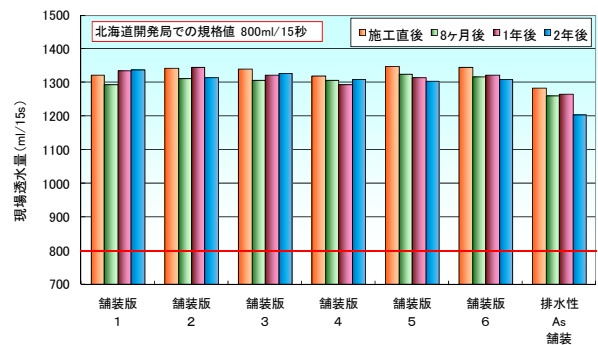


図-15 現場透水量試験結果

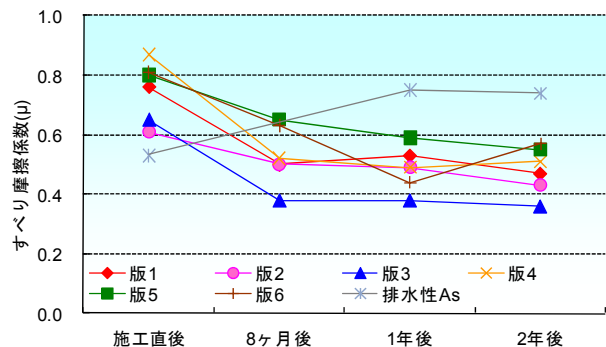


図-16 すべり抵抗性試験結果

れないことから、風によって運ばれてきたゴミ等が空隙内部に詰まったことが原因と考えられる。

2) すべり抵抗性

DF テスタによるすべり摩擦係数測定結果（回転速度 60km/h）を図-16 に示す。すべり摩擦係数は舗装版によりばらつきがあるものの、施工直後の測定で高い値を示した。しかし、8ヶ月後および1年後、2年後の測定結果は施工直後より下がる傾向があった。また、路肩部の排水性 As 舗装のすべり摩擦係数と比べてみると、施工直後ではプレキャスト POC 舗装版の方が大きかったが、1年後には排水性 As 舗装の方が大きくなった。これは、骨材寸法 13mm の時の舗装表面の局所的な凹凸が、DF テスタのゴムスライダの移動抵抗となり、見かけ上大きくなったものと思われる。また8ヶ月後までに値が下がったことについては若干の交通量ではあったが、車の通行により局所的な凹凸が平滑化され、摩擦係数に影響を与えなくなったと思われる。これらの二つの傾向は既往の文献⁴⁾でも報告されており、本調査でも同様の傾向を示した。

3) わだちぼれ量

わだちぼれ量の調査結果を図-17 に示す。施工直後のわだちぼれ量は、測定時に車両が走行していないにもかかわらず、2.2mm となっていた。なお、その後のわだちぼれ量は8ヶ月後が1.3mm、1年後が2.1mm、2年後が1.8mm となっており、調査時において若干の差が見られた。これは、POC の表面が凸凹となっていることから、測定箇所により誤差が生じたものと思われる。施工直後から2年後までは、車両の通行がほとんどないことから、大きなわだちぼれは見られず、維持修繕の判断基準値である40mm 以下だった。

4) 平坦性

平坦性の調査結果を図-17 に示す。施工直後の測定値は0.57mm となっており、8ヶ月後においてもほぼ同程度の0.54mm、1年後0.69mm、2年後0.63mm であった。施工直後から2年後までの平坦性は、車両の通行がほとんどないことから平坦性にほとんど変化はなく、北海道開発局における規定値の2.4mm 以下であった。

5) きめ深さ測定

きめ深さの調査結果を図-17 に示す。施工直後のきめ深さは0.89mm となっており、8ヶ月後および1年後、2年後においてもほとんど変わらず0.88mm、0.85mm、0.84mm となっていた。過去に一般国道において排水性 As 舗装の試験施工を行った施工直後の測定結果の一例⁵⁾によると、きめ深さは0.78mm であったため、ほぼ同程度の値を示していた。

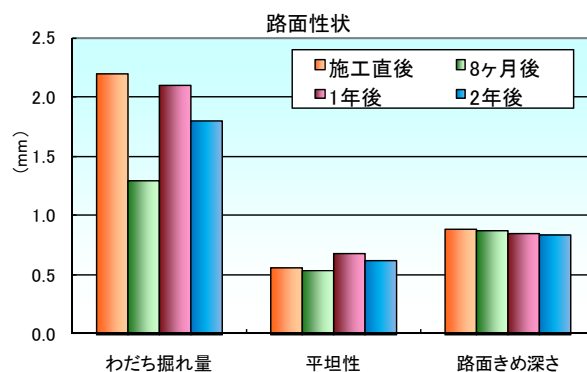


図-17 路面性状測定結果

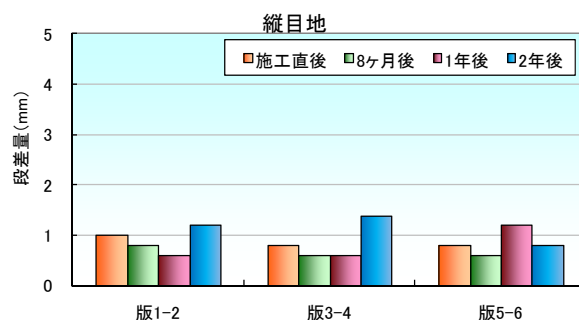


図-18 縦目地部の段差量測定結果

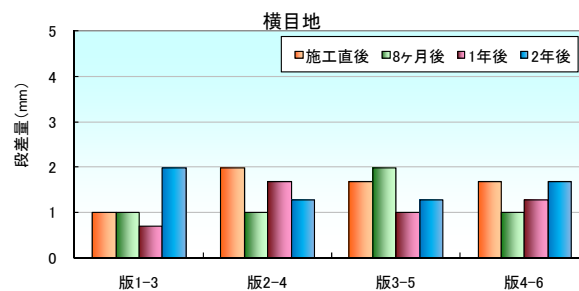


図-19 横目地部の段差量測定結果

6) 目地の段差

縦目地の段差量の測定結果を図-18 に示す。また横目地の段差量の測定結果を図-19 に示す。なお、段差量は図-14 に示した測定箇所において、縦目地が5箇所の平均値、横目地が3箇所の平均値を示している。段差量は施工後から2年後において、縦目地、横目地ともにほとんど変化がないが、極僅かに段差量に変化する版がみられた。これらについては、表面部に骨材が露出していることから、少ない交通量ではあったが、表面部の骨材に付着しているペーストが若干はく離したためと思われる。なお、プレキャスト POC 舗装版における規格値は規定されていないが、北海道開発局での現場打ちのコンクリート舗装の規格値である±2mm をいずれも満足する結果であった。

7) 騒音

タイヤ路面騒音の測定結果を図-20に示す。タイヤ蹴り出し騒音は、走行速度が速いほど高い傾向にあった。POC 舗装版のタイヤ蹴り出し騒音測定値は走行速度 30km/h、40km/h では1年後までほとんど変わらない値を示したが、50km/hにおいては施工直後より1年後において4dB低下していた。また既設のAs舗装(細粒度ギャップアスコン)とPOC舗装版を比較すると、施工直後の走行速度30km/hの時、2dB低下したが、その後はほぼ同程度の値であった。2年後の調査において、30km/hと40km/hの時に3~6dB程度差が見られたのは、騒音調査時に雪が降り、路面が湿潤状態になったことから、As舗装部では水が浮き、騒音値が大きくなったためと思われる。

8) 冬季における路面温度

プレキャストPOC舗装版の路面温度について図-21に示す。比較のため路肩に施工した排水性As舗装の温度、および既設のAs舗装の温度も示している。なお、この日の日中の天気は曇りで一時的に日がさす天気であった。既設のAs舗装と比べると路面温度が上昇する時には同様な傾向を示していたが、最高温度に達した時に、既設のAs舗装の方が2°C程度高い結果となった。これはPOC舗装版には空隙があることから、熱の伝わりが少なくなるためと考えられる。その後の温度低下の過程においては、低下していく勾配は同様なもの示した。一方、排水性As舗装と比較すると、温度が上昇していく過程や最高温度についてはほぼ同程度の値を示したが、温度低下の過程は排水性As舗装より早く低下していく傾向が見られた。これについては排水性As舗装の方が色が黒く熱を吸収しやすいため、排水性As舗装の方が温度低下の過程が遅くなったものと思われる。

このようなことから、プレキャストPOC舗装版は排水性As舗装よりも舗装表面温度の低下が早いため、融雪期において舗装表面の雪が残りやすいことが考えられる。今後、積雪期から融雪期における舗装表面状態の確認を行っていきたい。

9) 冬季路面状況

冬季におけるプレキャストPOC舗装版の状況について、写真-2に示す。調査時の日中の天気は曇りであったが、真夜中に降雪があったため雪が舗装面を覆っていた。降雪後から車輦が走っていないことから、空隙に雪が詰まっている状況は確認できなかった。また、凍結融解による舗装体の破壊も見られなかった。しかし、プレキャストPOC舗装版設置時に周りを舗装

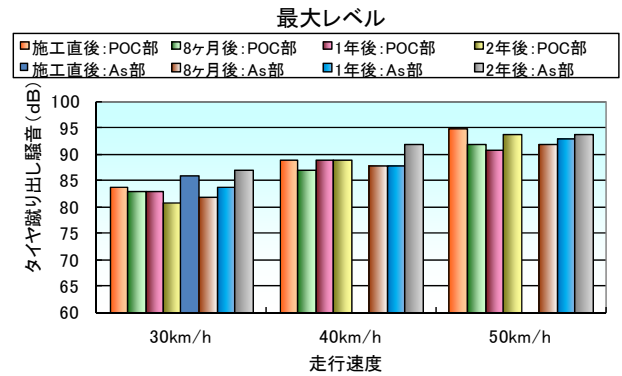


図-20 タイヤ路面騒音測定結果

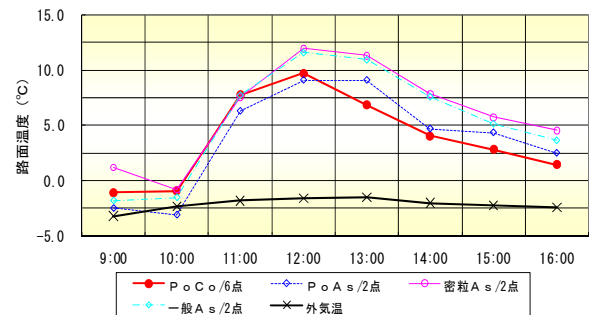


図-21 冬季路面温度測定結果



写真-2 POC舗装版冬季路面状況



写真-3 As部の状況

した As 舗装部分に削られている跡がいくつか見られた。その状況を写真-3に示す。これは冬季において除雪作業が行われたため、As 舗装部分が除雪により削られたものと思われる。POC 舗装版施工時に As 舗装部の施工の施工幅が狭く人力での締固めとなったため、POC 舗装部より若干高くなり、除雪の機械が As 舗装部にひっかかったものと思われる。今後は除雪をスムーズにできるように、施工時に POC 舗装部と高さと同じになるよう締固めを行う必要がある。

写真-4に冬季における POC 内部の状況を示す。内部の状態を確認すると、凍結状態は確認できず、ポーラスコンクリート上部は乾燥しているが、下部においては湿潤状態であった。このことから、プレキャスト POC 舗装版においては凍結融解の過程が上部から下部へ進行していくものと思われる。その結果、下部においては上部より水が残りやすく、上部においては下部よりも温度の影響を受けやすい状態であることから、これらを総合的に判断するため、今後継続的に調査を行い、冬季における劣化の状況を確認していきたい。

(2) 一般国道 12 号深川市のバス停車帯での試験施工

供用中の道路である、一般国道 12 号深川市にあるバス停車帯に設置した、プレキャスト POC 舗装版設置後から 4 ヶ月後までの路面性状調査を行った。現地調査箇所は図-22に示す。

1) 調査結果

a) 現場透水量

現現場透水量試験結果を図-23に示す。プレキャスト POC 舗装版の透水量は、4 ヶ月後に若干の低下は見られるが、北海道開発局の排水性 As 舗装の規定値である 800ml/15sec を大きく上回り、良好な値を示した。POC 上部柵についても舗装版とほぼ同じ値となった。また、POC 上部柵の集水効果を確認するため、舗装版端部から連続して水を流した結果、POC 上部柵の空隙られるが、北海道開発局の排水性 As 舗装の規定値である 800ml/15sec を大きく上回り、良好な値を示した。POC 上部柵についても舗装版とほぼ同じ値となった。また、POC 上部柵の集水効果を確認するため、舗装版端部から連続して水を流した結果、POC 上部柵の空隙から柵内部に排水している状況が確認できたことから、POC 上部柵の有用性を確認することができた。このことから、プレキャスト POC 舗装版を設置する場合、POC 上部柵を設置することが有効であると思われる。

b) すべり抵抗性

DF テスタによるすべり摩擦係数測定結果を図-24に示す。すべり摩擦係数は道路維持修繕要綱 ((社)日



写真-4 ポーラスコンクリート舗装版内部状

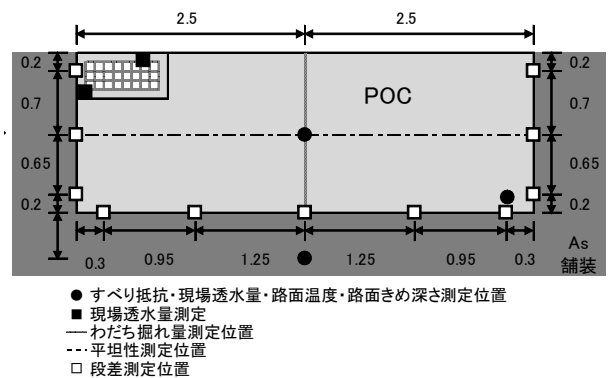


図-22 現地調査箇所

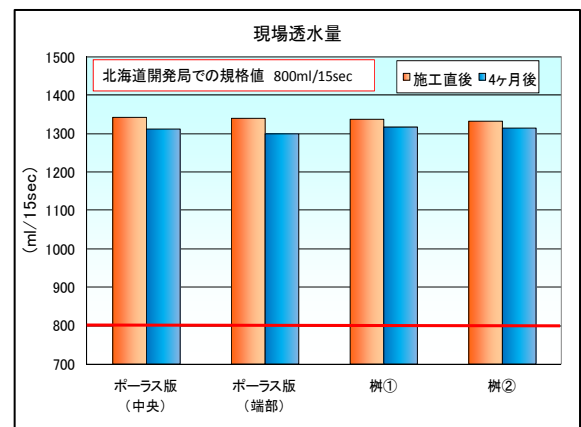


図-23 現場透水量試験結果

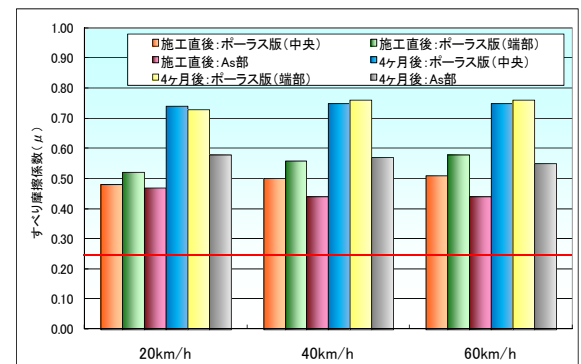


図-24 すべり抵抗性試験

本道路協会)による維持修繕の判断基準とされている0.25 μ 以上を十分に満足する値であり、速度が速くなるほど、プレキャストPOC舗装版のすべり摩擦係数は大きくなる傾向となった。施工直後と4ヶ月後を比べてみると、4ヶ月後の方が0.2程度大きくなる傾向であった。これについては試験道路での試験施工時と逆の傾向を示していた。また、周囲のAs舗装部と比較すると、プレキャストPOC舗装版の方が値が大きく、速度が速くなるにつれ、値の差が大きくなる傾向がみられた。こちらについても試験道路での試験施工と逆の傾向であった。これらについては、舗装版の表面性状の違いや舗装版の摩耗の仕方の違いが考えられるが、今後検討が必要である。また、舗装版の中央部と端部を比較すると、施工直後は端部の方が値は大きくなった。これは後述するきめ深さの値の違いからこのような結果になったと考えられる。

c) わだちぼれ量

わだちぼれ量の調査結果を図-25に示す。4ヶ月後までの測定値は、0.50mm、0.40mmとなっており、わだちぼれは見られず、維持修繕の判断基準値である40mm以下であった。

d) 平坦性

平坦性の調査結果を図-25に示す。プレキャストPOC舗装版の平坦性の規定値は、北海道開発局におけるコンクリート舗装の規定値2.4mm以下を基準とした。測定値は2.14mm、2.05mmであり、4ヶ月後までにほとんど変化は見られず、規定値以下を満足していた。

e) きめ深さ

回転式きめ深さ測定装置を用いて測定したきめ深さ(MPD)の調査結果を図-25に示す。4ヶ月後までの測定値は中央部では1.37mm、1.68mmと推移し、端部では1.60mm、1.61であった。4ヶ月後までの結果はほとんど変わらず、排水性As舗装で過去に行った測定の一例⁶⁾の値が1.58mmであったことから、ほぼ同程度の結果となった。施工直後においては中央部と端部で値に差があったことから、前述したすべり抵抗性にも差があったが、4ヶ月後においてはきめ深さの値に差がなかったことから、すべり抵抗性においてもほぼ同じ結果となっていた。このことから、きめ深さとすべり抵抗性には密接な関係があると考えられる。

f) As舗装部との段差

プレキャストPOC舗装版とAs舗装の境界部の段差量の測定結果を図-26に示す。段差量は図-22に示した調査箇所において、縦断部は5箇所の平均値、横断部は起点側と終点側それぞれ3箇所の平均値とした。4

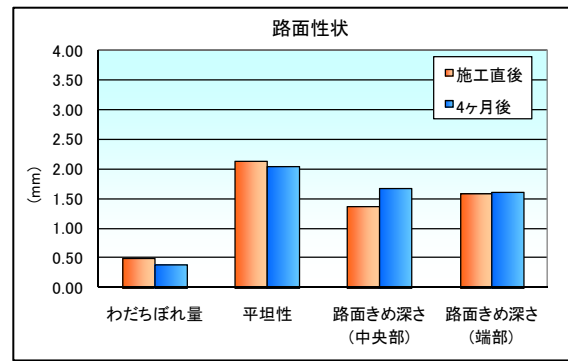


図-25 路面性状測定結果

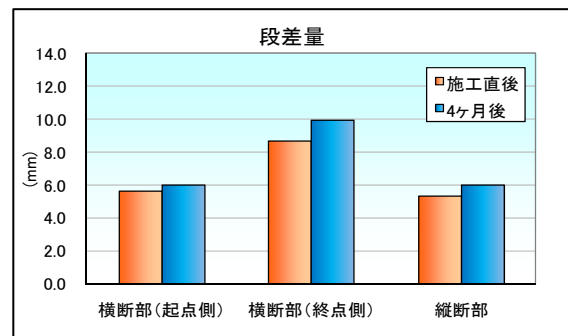


図-26 As舗装部との段差量測定

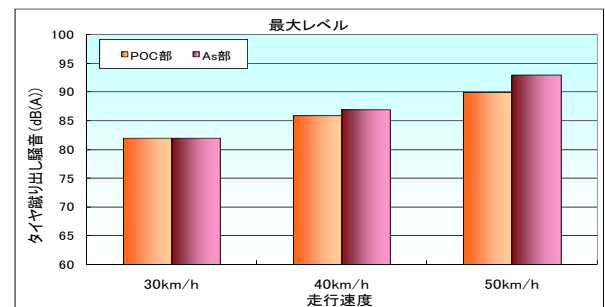


図-27 速度によるタイヤ蹴り出し騒音測定

ヶ月後までの測定結果の推移は、縦断部は5.4mm、6.0mm横断部の起点側で5.7mm、6.0mm、終点側で8.7mm、10mmでAs舗装部の方が高い結果となった。横断部の終点側が高くなったのは、縦断勾配が終点側に向って登りであるため、すりつけ勾配がきつくなることから、すりつけ端部の舗設が難しかったためと考えられる。

h) 騒音

図-27に施工直後におけるタイヤ路面騒音測定によるタイヤ蹴り出し騒音の測定結果を示す。POC部とAs部を比較すると、走行速度が速くなるほどPOC部の測定値がAs舗装部よりも1~3dB低下した。これにより、騒音低減対策としてAs舗装よりもPOC舗装版のほうが優位であることを確認した。

また、POC舗装版と排水性As舗装の比較については、

既往の研究⁵⁾によりほぼ同等の騒音低減効果を有することが示されている。

以上の結果から、以下のことがわかった。

- (1)排水性舗装版の曲げ強度や施工性を考慮し、POC版と鉄筋コンクリート（以下：RC）版の複合構造であるプレキャストPOC舗装版を提案した。また、継手は施工性、走行性、維持管理を考慮してコッター式継手とした。
- (2)寒地試験道路での施工2年後までの性能は、排水性舗装としての機能は満足している結果であった。寒地試験道路では車輛の通行がわずかであったため、すべり抵抗性以外の調査結果についてはほとんど変わらなかった。
- (3)プレキャスト POC 舗装版の冬季路面状況については、除雪により As 舗装部が削られている箇所が何カ所かあったが、良好な状態であった。また、冬季における舗装表面温度の温度変化の過程を確認することができ、As 舗装よりも雪が残りにやすいのではないかと考えられた。また、内部の状況も確認することができ、凍結融解過程を確認することができた。
- (4)タイヤ蹴り出し騒音測定の結果より、プレキャスト POC 舗装版の騒音低減効果を確認した。騒音低減効果は走行速度が速くなるほど高くなった。
- (4)供用中の道路での4ヶ月後までの性能においても、排水性舗装としての機能は満足する結果であった。今後、バス等の停車・発進を多く受けた時の耐久性について確認を行っていきたい。また、同時に施工した POC 上部柵についても舗装版からの集水が確認でき、良好な結果であった。

4. POC 舗装の適用方法及び適用範囲

4.1 概要

これまでの室内試験や現地試験、調査の結果から、POC を排水性舗装に適用する場合の配合や構造について確認を行ってきた。これらを踏まえ、実際にプレキャスト POC 舗装版を設置するための適用方法や適用範囲を提案する。

4.2 適用方法

これまでの室内試験の結果から POC 舗装版と RC 舗装版を一体化させた構造とし、プレキャスト製品として試験施工を行い、性能調査を行った。その結果から、施工性、耐久性および機能性について良好な結果が得られた。また、プレキャスト POC 舗装版からの排水を直接集水柵へ流れるよう、POC 集水柵を作製し、設置

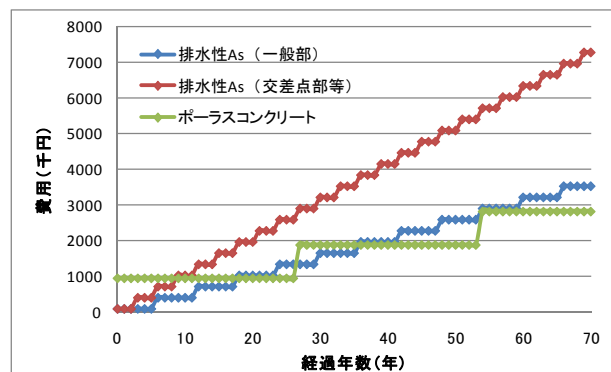


図-28 ライフサイクルコスト(今回の試験施工時の例)

を行った。これについても施工してまだ間もないが、

表-5 ライフサイクルコスト比較基礎表

条件:D交通		1枚当たり(8.75m ²)			
舗装種別	規格	設置費(材工共)	修繕費(材工共)	修繕間隔	
排水性As舗装	表層	t=5cm	100千円	310千円	交差点部 3年 一般部 6年
	基層	t=6cm			
	基層	t=6cm			
	上層路盤	t=9cm			
プレキャストPOC舗装	ポーラス部 RC部 グラウト	t=5cm t=19cm t=2cm	935千円	945千円	27年

良好な集水性能を示していた。

このような結果から、POC を積雪寒冷地における舗装に適用する際には、POC 単体として舗装するのではなく、POC 舗装版と RC 舗装版を一体化させた複合版としたプレキャスト POC 舗装版として、適用していくことが望ましいと考えられる。

4.3 適用範囲

プレキャスト POC 舗装版は、排水性 As 舗装に比べ耐久性に優れているが初期費用が高いことから、維持修繕費を含めたライフサイクルコスト（以下:LCC）を算定し、優位性の検討を行った。3章での供用中の道路での試験施工における費用と今後の修繕費用を想定し、排水性 As 舗装との LCC を比較すると図-28 のようになった。表-5 に算定に使用したコスト基礎表を示すなお、排水性 As 舗装の修繕は切削オーバーレイとし、プレキャスト POC 舗装版の修繕は舗装版の取替え（撤去・設置）とした。修繕間隔は、既往の調査文献等^{4),6),7),8)}から、排水性 As 舗装の一般部で約6年、交差点部等の条件の厳しい箇所では約3年、プレキャスト POC 舗装版は約27年と仮定した。ライフサイクルコスト比較表を表-5 に示す。その結果、交差点部等において、約10年で POC が排水性 As 舗装を逆転する結果となった。また、一般部では LCC がほぼ同等となった。

このことから、プレキャスト POC 舗装版の適用とし

ては、タイヤ据えきりや停止・発進が多く排水性 As 舗装では条件が厳しい交差点部やバス停車帯などが有効であることがわかった。また、一般部では、交通量が多く交通規制が困難で修繕間隔を出来るだけ長くしたい都心部の道路などへの適用が有効である。

今後、プレキャスト POC 舗装版が普及していくことにより、舗装版の製造費や施工費は下がることが予想される。現時点では、排水性 As 舗装よりも初期費用が多くかかっているが、費用の差は少なくなり、一般部の排水性舗装箇所においてもライフサイクルコストの差は縮まると思われる。

5. まとめ

積雪寒冷地でのポーラスコンクリートの排水性舗装への適用について、室内試験を行い、実用化に向けて試験施工を行い、施工後の各種性能の確認を行った。これらの成果をまとめると以下のようになる。

- (1) 室内試験の結果より、POC の諸特性について把握を行い、排水性舗装の規定値を満足するための POC の配合として、目標空隙率を 18%±2%、碎石は 6 号碎石、水セメント比は W/C=21%とする配合が良い条件であることを確認した。
- (2) 排水性 POC 舗装版の構造は、凍結融解作用後に曲げ強度が下がることを考慮して、POC 版と RC 版の複合構造を提案した。舗装版は、早期の交通開放ができるようプレキャスト製品化とし、継ぎ手部は施工性、走行性。維持管理を考慮してコッター式継ぎ手とした。
- (3) プレキャスト POC 舗装版の製造に当たっては、締固めの程度により表面にペーストのダレが生じるため、締固め方法については事前に試験版を作製し確認する必要がある。
- (4) プレキャスト POC 舗装版の施工に当たっては、空隙にグラウト材等がつかまらないようにすることや、角

欠け等に配慮する必要がある。また、舗装版や上部柵の位置調整に時間を要することから、高さ調整の治具や、上部柵の吊り具の工夫や、舗装版と上部柵を一体化するなどの検討を行うことにより、施工時間短縮が可能である。

- (5) LCC の比較により、プレキャスト POC 舗装版の適用範囲を検討した結果、タイヤ据え切りや停止・発進が多く排水性 As 舗装では条件の厳しい交差点部やバス停車帯部に適用することが有効であることを確認した。また、一般舗装部においても交通量が多く交通規制が困難で修繕間隔をなるべく長くとりたい都心部の道路などに有効であることを確認した。

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クリート共通試験結果報告、1999. 10
- 2) 小尾稔、田口史雄；耐凍害性を考慮したポーラスコンク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
- 3) 千葉学、田高淳、成田勇太；排水性舗装の機能低下要因と耐久性向上に関する検討、第 49 回北海道開発局技術研究発表会、2006. 2
- 4) 保久原均、寺田剛；路面とすべりの関係、アスファルト Vol. 46 No. 214、2003
- 5) 社団法人セメント協会；舗装技術専門委員会報告 R-22、2007. 10
- 6) 社団法人セメント協会；舗装技術専門委員会報告 R-17、2005. 12
- 7) 須田幸彦、佐久間孝司、菅沼多恵；低騒音舗装の維持清掃方法に関する検討、舗装 2006. 10
- 8) 国道 298 号排水性舗装打ち替え工事（埼玉県）、排水性舗装トップコート研究会トピックス、<http://www.haisuitop.com/topixtop.html>