

舗装技術専門委員会報告
Report of the Committee on Pavement
R-36

車道用ポーラスコンクリート試験舗装報告
— 千葉県道 成田小見川鹿島港線・供用21年 —
Report on Porous Concrete Test Pavement in Katori, Narita-
Omigawa-Kashima port Line, after 21 Years in Service

2023年9月
(Sept. 2023)

一般社団法人 セメント協会
Japan Cement Association

序

一般社団法人セメント協会 舗装技術専門委員会は、コンクリート舗装の技術の開発と普及を目的に活動している。本委員会では雨天時の車両走行安全性や車両走行時の低騒音性などの効果が期待できる車道用のポーラスコンクリート舗装（透・排水性舗装、低騒音舗装）に注目して研究活動を続けてきた。

1999年に、車道用ポーラスコンクリートの性能の把握を目的に道路会社やセメント会社で開発した舗装用ポーラスコンクリートの共通試験を行い、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」を刊行した。R-11ではポーラスコンクリートの課題として懸念されていた強度性状に関し、有機系および無機系の高強度混和材料および高性能減水剤などの組合せによって、従来からの舗装用コンクリートと同等のレベルにあることを明らかにしている。この結果を受け、ポーラスコンクリートの機能維持を含めた耐久性を把握するため、実車道での試験施工や供用性の調査を行ってきた。

これまで、福井県道、千葉県道、福岡県の国道、宮城県道での試験施工を行い、その供用性の調査結果を随時取りまとめて委員会報告を刊行してきた。

本報告は、千葉県と共同で進めてきた千葉県道 成田小見川鹿島港線でのポーラスコンクリートの試験舗装の供用性調査として、供用 21 年最終調査の結果を取りまとめたものである。

供用 10 年の調査時点において、ポーラスコンクリート舗装の特徴である透水性や低騒音性能は認められなかった。今回の供用 21 年調査では、一部にひび割れが確認されたが走行性能上問題となるような状態ではなく、現在でも供用中であることから、ポーラスコンクリートは耐用年数 20 年を十分満足していることが実証出来た。

本報告が今後、道路インフラ整備の一助になれば幸いである。

最後になりましたが、試験舗装の調査実施に当たり、ご協力頂いた千葉県県土整備部および千葉県香取土木事務所に感謝致します。

2023年9月

一般社団法人 セメント協会
舗装技術専門委員会
委員長 小梁川 雅

舗装技術専門委員会

委員長	小梁川 雅	東京農業大学名誉教授
副委員長	玉滝 浩司	UBE三菱セメント株式会社
委員	西澤 辰男	石川工業高等専門学校名誉教授
	上野 敦	東京都立大学
	前島 拓	日本大学
	古賀 裕久	国立研究開発法人土木研究所
	藪 雅行	国立研究開発法人土木研究所
	松本大二郎	株式会社高速道路総合技術研究所
	美馬 孝之	日本道路株式会社
	村岡 克明	株式会社NIPPON
	児玉 孝喜	鹿島道路株式会社
	五島 泰宏	大成ロテック株式会社
	小関 裕二	大林道路株式会社
	坂本 寿信	株式会社佐藤渡辺
	永渕 克己	世紀東急工業株式会社
	入江 一次	全国生コンクリート工業組合連合会
	了道 久	日鉄セメント株式会社
	新見 龍男	株式会社トクヤマ
	岸良 竜	太平洋セメント株式会社
	安久 憲一	住友大阪セメント株式会社
	廣川 誠一	一般社団法人セメント協会
事務局	吉田 雅彦	一般社団法人セメント協会
	吉本 徹	一般社団法人セメント協会
	野田 悦郎	元一般社団法人セメント協会
	佐々木健一	一般社団法人セメント協会
	泉尾 英文	一般社団法人セメント協会

目次

1. はじめに	1
2. ポーラスコンクリート試験舗装の概要	2
2.1 舗装の計画	2
2.2 使用材料および配合	5
2.3 施工概要	6
2.4 供用性調査の試験項目、試験方法および実施時期の概要	11
2.5 各試験の測定位置および測定状況	13
2.6 たわみの測定方法(FWD試験方法)	17
2.6.1 FWDによるたわみの測定システム	17
2.6.2 FWDによるたわみの測定方法	17
2.7 中性化深さおよび二酸化炭素量の測定方法	18
2.7.1 中性化深さ	18
2.7.2 二酸化炭素量	18
3. 試験結果および考察	21
3.1 ポーラスコンクリートの曲げ強度(材齢7日および28日)	21
3.2 ひび割れ	21
3.3 目地段差	29
3.4 平坦性	30
3.5 わだち掘れ量	31
3.6 すべり抵抗	32
3.7 浸透水量	34
3.8 騒音	34
3.9 たわみ	34
3.9.1 版中央部のたわみ測定結果(aタイプ)	35
3.9.2 版中央部のたわみ測定結果(bタイプ)	37
3.9.3 目地部のたわみ測定結果(aタイプ)	38
3.9.4 目地部のたわみ測定結果(bタイプ)	40
3.10 中性化深さおよび二酸化炭素量	42
3.10.1 中性化深さ	42
3.10.2 二酸化炭素量	43
4. まとめ	45
参考文献	47

1. はじめに

ポーラスコンクリート舗装は、コンクリートに連続空隙を形成させることで排水や透水機能、騒音低減機能等の環境負荷低減性能を有し、以前では歩道や駐車場、建築外構等の軽交通の舗装で使われることが多かったが、現在では車道用の舗装に適用される例も見られ、技術開発がなされている。高速道路では 1990 年代後半に料金所施設で導入が開始され、2013 年 5 月に大阪市道高速道路淀川左岸線の本線上で採用された¹⁾。

近年、都市部ではヒートアイランド現象によると考えられる局地的な集中豪雨、いわゆるゲリラ豪雨が頻繁に発生し、都市型洪水対策が緊急の課題となっている。洪水対策には雨水を一時的に貯留又は地下に浸透させる機能を有するポーラスコンクリート舗装が有効である。また、車両通行時に発生する騒音は、エアポンピング音やタイヤ加振音等があるが、ポーラスコンクリート舗装を用いるとその空隙により、タイヤトレッドにたまった空気を逃がすことで低騒音化することができる。このように都市型洪水や騒音等の環境を重視する社会的要請は、今後ますます増え、ポーラスコンクリート舗装に対するニーズが高まると考えられる。

一般社団法人セメント協会 舗装技術専門委員会 新工法WGでは、ポーラスコンクリート舗装に着目し、1999 年 10 月の委員会報告 R-11「舗装用ポーラスコンクリート共通試験結果」の刊行を皮切りに、実車道での試験施工や供用性調査を行った。これらの成果は福井県での供用 17 年までの結果を 2018 年 7 月に R-32²⁾、千葉県松戸野田線での供用 5 年までの結果を 2006 年 9 月に R-20³⁾、福岡県での供用 5 年の結果を 2008 年 5 月に R-23⁴⁾、宮城県での供用 7 年の結果を 2009 年 2 月に R-25⁵⁾ として刊行した。

本報告は、供用性調査の一環として千葉県と共同で千葉県道成田小見川鹿島港線(舗装計画交通量:900 台/日・方向(交通量区分 N₅))に 2 種類のポーラスコンクリート舗装を適用し、供用 21 年までの調査試験の結果をとりまとめたものである。なお、同道における供用 3 年の調査結果を R-18⁶⁾ として 2006 年 1 月に、供用 5 年の調査結果を R-22⁷⁾ として 2007 年 10 月に、供用 10 年の調査結果を R-31⁸⁾ として 2015 年 3 月に、そして供用 17 年の調査結果を R-33⁹⁾ として 2020 年 3 月に刊行した。

最後になりましたが、本調査の実施に当たり、ご協力頂きました千葉県香取土木事務所に謝意を表します。

2. ポーラスコンクリート試験舗装の概要

2.1 舗装の計画

(1) 試験舗装の目的

試験舗装の目的は、交通量が比較的多い車道に適用した2種類のポーラスコンクリート舗装に対して、後述する各種の供用性に関する調査を実施し、これらの舗装の供用性能を明らかにすることである。

(2) ポーラスコンクリート舗装の種類

ポーラスコンクリートは、車道に適用できるポーラスコンクリートの製造技術や研究実績を有する企業から公募し、応募された中から千葉県が2社の技術を選定した。選定された2つのポーラスコンクリート舗装をaタイプ、bタイプと称す。これらの特徴は以下の通りである。

aタイプの特徴

コンクリート版全厚をポーラスコンクリートとするフルデプスタイプである。骨材の最大粒径は低騒音効果を期待して5mmの小粒径とし、セメントは環境負荷低減の観点からエコセメントを使用した。

bタイプの特徴

早期開放を目的に基層に転圧コンクリートを、表層にポーラスコンクリートを使用しWet on Wetで打ち継いだタイプである。骨材の最大粒径は13mmとし、セメントは早期交通開放を目的に早強ポルトランドセメントを使用した。

(3) 試験舗装の施工場所、規模および施工期間

試験舗装の概要を表-2.1、試験舗装の施工場所を図-2.1に、試験舗装の施工前後の状況を写真-2.1に示す。試験舗装は千葉県香取市の千葉県道・成田小見川鹿島港線上にポーラスコンクリート舗装1種類あたり延長100mの総延長200m(aタイプ100mおよびbタイプ100m)として2001年12月～2002年1月の期間に上下2車線を施工した。設計時の舗装計画交通量は900台/日・方向(交通量区分N₅:250台以上1000台未満)としたが、表-2.2に示す2010年度および2015年度の道路交通センサスによると、この路線の大型車両交通量は750～1,100台程度/日・方向であり、当初の想定と概ね一致していた。

表-2.1 試験舗装の概要

試験舗装の施工場所	施工延長	施工面積
千葉県道・成田小見川鹿島港線	200m (aタイプ100mおよびbタイプ100m)	1400m ² (幅員3.5mの上下2車線)

表-2.2 道路交通センサスによる当該道路の交通量

観測地点基本区間番号 12400440080	観測地点地名	24時間大型車交通量 (上下合計)	昼夜比率
2015年度	香取市沢	1,554台	1.32
2010年度	成田市前林	2,193台	1.35



拡大



国土地理院「地理院地図（電子国土Web）」をもとに（一社）セメント協会が作成

図-2.1 試験舗装の施工場所



写真-2.1 試験舗装の施工前後の状況（左：施工前、右：施工直後）

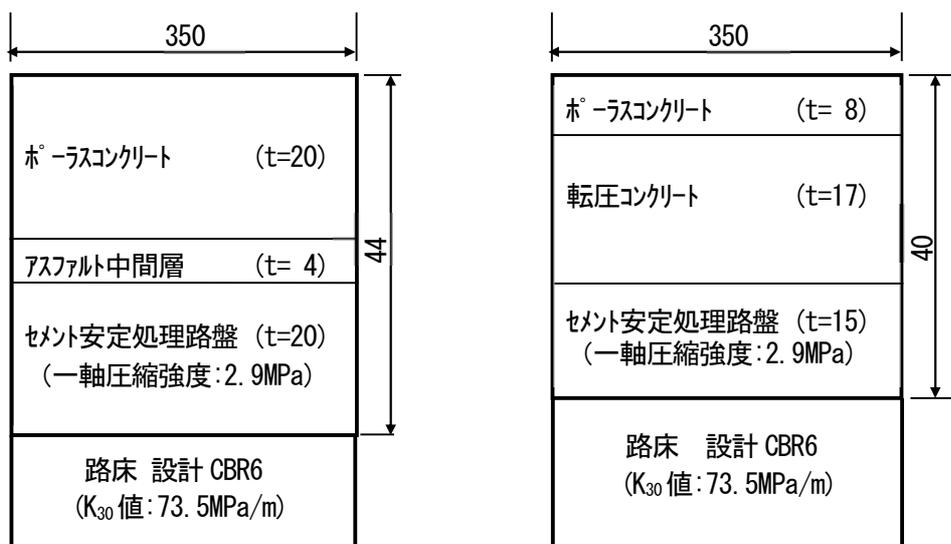
(4) 舗装構造

a タイプおよびb タイプのポーラスコンクリート舗装の断面図を図-2.2 に、施工の平面図を図-2.3 に示す。設計期間はa タイプおよびb タイプとも 20 年とした。

a タイプの舗装構造は、施工上の制限からポーラスコンクリート版の版厚を 20cm とした上で、日本道路協会発刊の「セメントコンクリート舗装要綱」（現 舗装設計便覧の理論的設計法においてはコンクリートの疲労曲線は(a)となる）の理論的設計法に基づいてセメント安定処理路盤を 20cm に増厚して、所定の疲労破壊回数を確保した。また遮水層として、厚さ 4cm のアスファルト中間層をコンクリート版下に設ける舗装構成とした。

b タイプの舗装構造は、「転圧コンクリート舗装技術指針（案）」の設計法に準拠し、厚さ 15cm のセメント安定処理路盤上に厚さ 25cm のコンクリート版を設置した。コンクリート版 25cm は、下層に厚さ 17cm の転圧コンクリート版と上層として厚さ 8cm のポーラスコンクリート版の複合版（Wet on Wet の 2 リフト工法）とした。

ポーラスコンクリート舗装の目地間隔は、ポーラスコンクリートの長さ変化特性を考慮し、a タイプを 4m、b タイプを 5m とした。



a タイプ(最大粒径: 5mm)

b タイプ(最大粒径: 13mm)

図-2.2 ポーラスコンクリート舗装の断面図

(単位 : cm)

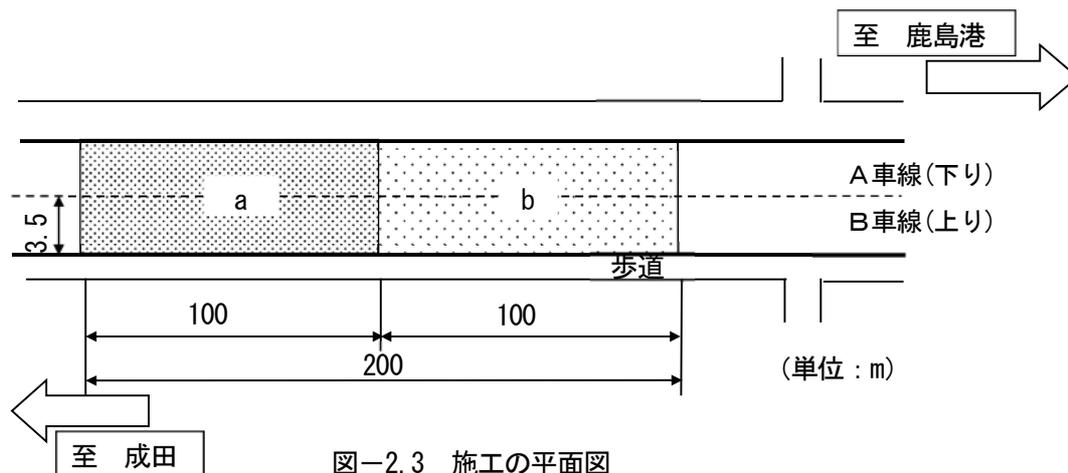


図-2.3 施工の平面図

(5) ポーラスコンクリートの設計基準曲げ強度および透水係数

a タイプおよび b タイプのポーラスコンクリートの設計基準曲げ強度（材齢 28 日）は 4.4N/mm^2 とした。また、透水係数は「排水性舗装技術指針（案）」に従って $1 \times 10^{-4} \text{m/sec}$ 以上とし、これまでの研究実績を踏まえて空隙率を 15～20%とした。

(6) ポーラスコンクリート舗装の透水量および平坦性の舗設時目標値

現場で透水係数を正確に測定することは困難であるから、代用特性値として透水量を測定することとし、透水量の目標値は「排水性舗装技術指針（案）」に基づいて $1000\text{ml}/15 \text{秒}$ 以上とした。

平坦性の目標値は「転圧コンクリート舗装技術指針（案）」に基づいて標準偏差 (σ) を 3.0mm 以下とした。

2.2 使用材料および配合

a タイプおよび b タイプのポーラスコンクリートの使用材料を表-2.3 に、配合を表-2.4 に示す。なお、品質管理試験としての空隙率および透水係数の測定方法を表-2.4 の注) に示す。

表-2.3 ポーラスコンクリートの使用材料

タイプ	材 料	性 質
a	セメント	エコセメント（太平洋セメント（株）製）
	混和材	無機質系特殊混和材（太平洋セメント（株）製）
	細骨材	茨城県鹿島産洗砂
	粗骨材	骨材の最大粒径:5mm、茨城県岩瀬町産 7 号碎石
b	セメント	早強ポルトランドセメント（住友大阪セメント（株）製）
	混和材	専用フライアッシュ
	細骨材	千葉県利根川産川砂
	粗骨材	骨材の最大粒径:13mm、茨城県笠間市産 6 号碎石
	混和剤	専用混和剤（住友大阪セメント（株）製）

表-2.4 ポーラスコンクリートの配合および目標値

タイプ	最大粒径 (mm)	目標値		水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)					
		空隙率 (%)	透水係数 (×10 ⁻⁴ m/sec)		水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材	混和剤
a	5	15~20	1以上	20	74	347	25	186	1,446	—
b	13			25	92	313	55	189	1,492	3.68

注1) 空隙率は、a タイプの場合に沈下法によるコンシステンシー試験、b タイプの場合に VC 振動締固め法によるコンシステンシー試験で測定した。

ここで、「沈下法によるコンシステンシー試験」とは、テーブルバイブレータ上に、2.6kg の試料を入れ 4kg の重しを載せた φ10×20cm 鋼製型枠を置き、テーブルバイブレータを振動させ試料の沈下深さを測定する。沈下深さからコンクリートの密度を求めその密度とコンクリートの理論密度から空隙率を求める方法である。

また、「VC 振動締固め法によるコンシステンシー試験」とは、VC 振動台上に設置した φ24×22cm の容器の中に試料を 14.5kg 入れ、20kg の上載重錘がついた透明アクリル板を試料表面に載せる。VC 振動台を振動させ 5 秒経過後の試料の沈下深さを測定する。沈下深さからコンクリートの締固め密度を求めその密度とコンクリートの理論密度から空隙率を求める方法である。

注2) 透水係数は、a タイプの場合に JCI 委員会報告「ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)附属書(参考)角柱供試体によるポーラスコンクリートの透水試験方法」に準じ、b タイプの場合に JHS234「高機能舗装用混合物の室内透水試験方法」によった。

2.3 施工概要

ポーラスコンクリート舗装の施工は、路床工を実施し、その後タイプ毎の舗設方法によった。舗設は 2001 年 12 月～2002 年 1 月に実施した。舗設工程を表-2.5 に示す。

コンクリートは、a タイプが(株)安藤産業 多古生コンクリート工場（強制二軸パグミル型ミキサ使用）から、b タイプが佐倉エスオーシー(株)（二軸強制攪拌型ミキサ使用）から製造・出荷した。運搬時間は a タイプが約 30 分、b タイプが約 45 分であった。

表-2.5 舗設工程(2001 年 12 月～2002 年 1 月)

タイプ	工程	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a (最大粒径 5mm)	セメント安定 処理路盤	○	○													
	アスファルト 中間層									○						
	排水工										○					
	ポーラス コンクリート											○				
b (最大粒径 13mm)	セメント安定 処理路盤	○	○													
	排水工														○	
	転圧 コンクリート															○
	ポーラス コンクリート															○

注) b タイプは正月休暇を含む

(1) a タイプのポーラスコンクリート舗装

1) 路盤工

路盤材をダンプトラックで舗設現場まで搬入後にこれをモーターグレーダで整地し、タイヤローラで仮転圧した。予め行った配合試験の結果に従いセメントローリーから、路盤への添加量が 100kg/m^3 となるようセメントを散布した。混合は、スタビライザにより行い、モーターグレーダにより整地し、振動ローラ、タイヤローラにより転圧した。

2) アスファルト中間層

路盤工が終了後、アスファルトプラントで製造した密粒度アスファルト混合物（以下、密粒度アスコン）をダンプトラックで舗設現場まで運搬し、これをアスファルトフィニッシャで敷きならし後、4tコンバインドローラで転圧し仕上げた。転圧終了後、中間層端部路肩側に $\phi 20\text{mm}$ のフレキシブル導水パイプを設置した（写真-2.2）。

3) ポーラスコンクリートの舗設

生コンプラントで製造したポーラスコンクリートをダンプトラックで舗設現場まで搬入し、これをダブルタンパ型のアスファルトフィニッシャによって全幅で仕上り厚さが 20cm になるように敷きならした（写真-2.3、写真-2.4）。敷きならし速度は、約 $0.5\sim 1.0\text{m/分}$ とした。表面骨材の浮きを押さえ安定させるために、補助締固めとしてゴム巻きローラを3往復行った。

養生は、補助締固め終了直後に浸透式被膜養生剤を電動噴霧器によって散布（写真-2.5）し、冬期施工に準じ、農業用ビニールシート・養生マット・ブルーシートにて保温し、1週間行った（写真-2.6）。

舗設1週間後に、横目地として車両の両輪の同時衝撃を防ぐため、目地間隔 4m 、目地幅 3mm 、深さ 20mm の斜め目地（スキュー目地（延長方向：幅方向=1:6）（図-2.6を参照））を、縦目地としてセンター位置に幅 6mm 、深さ 70mm で施工した。なお、供用初期のすべり抵抗の低下を小さくするために、ポーラスコンクリート表面を洗出し工法により骨材を露出させた（写真-2.8、写真-2.9）。



写真-2.2 排水施設



写真-2.3 アスファルトフィニッシャへの
ポーラスコンクリートの荷卸し



写真-2.4 敷きならし状況



写真-2.5 養生剤の散布状況



写真-2.6 シートによる養生



写真-2.7 初期目地カッティング



写真-2.8 表面性状



写真-2.9 完成

(2) b タイプのポーラスコンクリート舗装

1) 路盤工

路盤材をダンプトラックで舗設現場まで搬入し、これをモーターグレーダで整地し、タイヤローラで仮転圧した。予め行った配合試験の結果に従いセメントローリーから、路盤への添加量が 100kg/m^3 となるようセメントを散布した。混合は、スタビライザにより行い、モーターグレーダにより整地し、振動ローラ、タイヤローラにより転圧した。

2) 転圧コンクリートの舗設

生コンプラントで製造した転圧コンクリートをダンプトラックで舗設現場まで搬入し、これを強化型アスファルトフィニッシャで敷きならした（写真-2.10、写真-2.11）。初転圧および二次転圧は、10tの振動ローラを、仕上げ転圧は15tのタイヤローラを使用した（写真-2.12）。転圧終了後にブルーシートにより養生を行った。

3) ポーラスコンクリートの舗設

転圧コンクリートとポーラスコンクリートを付着させるため、 $2.5\text{L}/\text{m}^2$ の無収縮モルタルを転圧終了した転圧コンクリート面に塗布した（写真-2.13）。



写真-2.10 アスファルトフィニッシャへの
転圧コンクリートの荷卸し



写真-2.11 転圧コンクリートの
敷きならし状況



写真-2.12 転圧コンクリートの締固め状況



写真-2.13 付着材(無収縮モルタル)の散布

無収縮モルタル塗布後に舗装端部の路肩側に $\phi 20\text{mm}$ のフレキシブル導水パイプを設置した（写真-2.14）。生コンプラントで製造したポーラスコンクリートをダンプトラックで舗設現場まで搬入し、これを強化型のアスファルトフィニッシャを用いて約 $0.5\sim 1.0\text{m}/\text{分}$ の速度で敷きならした（写真-2.15、写真-2.16）。端部のみ構造物との高さを合わせるためバイブレータで締固めを行った。

養生は、施工直後の初期養生としてブルーシート、養生マット、防災シートで覆い、後期養生として養生マット、ブルーシートで覆った。なお、初期養生と後期養生あわせて1週間養生を行った（写真-2.17～写真-2.19）。

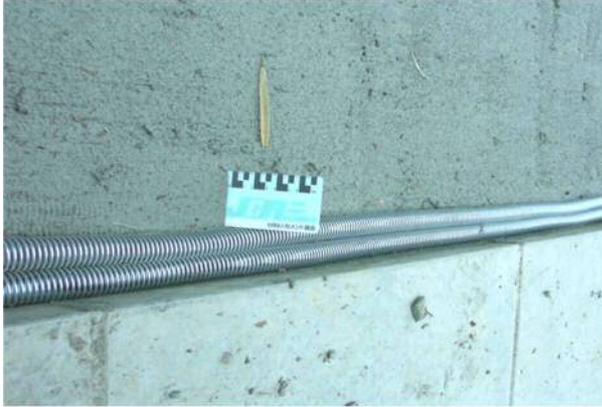


写真-2.14 排水施設



写真-2.15 アスファルトフィニッシャへの
ポーラスコンクリートの荷卸し



写真-2.16 敷きならし状況



写真-2.17 シートによる養生

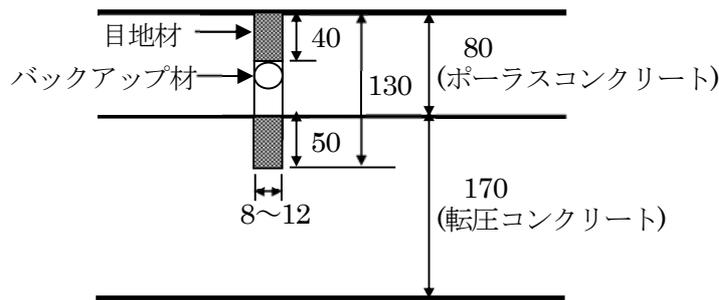


写真-2.18 表面性状



写真-2.19 完成

目地は、横目地が目地間隔 5m でまた縦目地がセンター位置で、図-2.4 に示すように深さ 130mm とし、基層および表層それぞれに 50mm および 40mm の深さまで目地材を注入した。なお、表層は深さ 40mm の位置にバックアップ材を設置した中空構造として排水機能を損なわないようにした。



(単位:mm)

図-2.4 目地の断面

2.4 供用性調査の試験項目、試験方法および実施時期の概要

ポーラスコンクリート舗装の供用性能を把握するために、供用性調査を実施した。供用性調査の試験項目および試験方法等を表-2.6に、供用性調査の実施時期を表-2.7に示す。

表-2.6 供用性調査の試験項目および方法、測定位置

試験項目	試験方法	測定位置
曲げ強度	JISA 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」	—
ひび割れ・路面性状	舗装調査・試験法便覧 S029「舗装路面のひび割れ測定方法」	路面全面
平坦性	舗装調査・試験法便覧 S028「舗装路面の平坦性測定方法」のうち、3m プロフィールメータによる方法	OWP (外側車輪通過位置)
すべり抵抗	舗装調査・試験法便覧 S021-3「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」	1車線3箇所 (OWP (外側車輪通過位置))、計6箇所
浸透水量	舗装調査・試験法便覧 S025「現場透水量試験方法」	1車線につき、幅員方向2箇所 (OWPと中央)、縦断方向3箇所の6箇所、計12箇所
わだち掘れ量	舗装調査・試験法便覧 S030「舗装路面のわだち掘れ量測定方法」のうち、横断プロフィールメータによる方法	現場透水量試験と同一横断位置
目地の段差	舗装調査・試験法便覧 S031「舗装路面の段差の測定」	OWP (外側車輪通過位置)
騒音	JIS D 1024-1976「自動車の車外騒音試験方法」のうち定常騒音試験方法 (以下、環境騒音)	騒音計の位置は車両の中心線から7.5m、高さは1.2m
	「タイヤ/路面騒音測定方法」で定常騒音試験方法 (以下、タイヤ/路面騒音)	騒音計の位置はタイヤ近傍
	路面騒音 (以下、路面騒音)	騒音計の位置はタイヤ近傍
たわみ	舗装調査・試験法便覧 S047「フォーリングウェイトデフレクトメータ (FWD) によるたわみ量測定方法」(載荷荷重: 98kN) (詳細は2.6項参照)	目地部と中央部
中性化深さ・二酸化炭素量	(中性化深さ) コア供試体の割裂面にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧 (二酸化炭素量) コア供試体の破碎試料を対象に炭素分析装置により測定 (詳細は2.7項参照)	—

注) 騒音およびたわみの測定方法は、資料を参照。

表-2.7 供用性調査の実施時期

試験項目	時 期 (○:実施、-:未実施)							
	施工直後	供用1年	供用3年	供用5年	供用10年		供用17年	供用21年
					機能回復前	機能回復後		
曲げ強度	○注)	-	-	-	-	-	-	-
ひび割れ・路面性状	○	○	○	○	○	-	○	○
平坦性	○	○	○	○	○	-	○	○
すべり抵抗	○	○	○	○	○	○	○	○
浸透水量	○	○	○	○	○	○	-	-
わだち掘れ量	○	○	○	○	○	-	○	○
目地の段差	○	○	○	○	○	-	○	○
騒音	環境騒音	○	○	○	○	-	-	-
	タイヤ/路面騒音	○	○	○	○	○	○	-
	路面騒音	○	○	○	○	-	-	-
たわみ	○	○	○	○	○	-	○	○
中性化深さ・二酸化炭素量	-	-	-	-	-	-	-	○

注) 材齢7日および28日

2.5 各試験の測定位置および測定状況

各種試験の測定位置を図-2.5～図-2.7に、測定状況を写真-2.20～写真-2.25に示す。

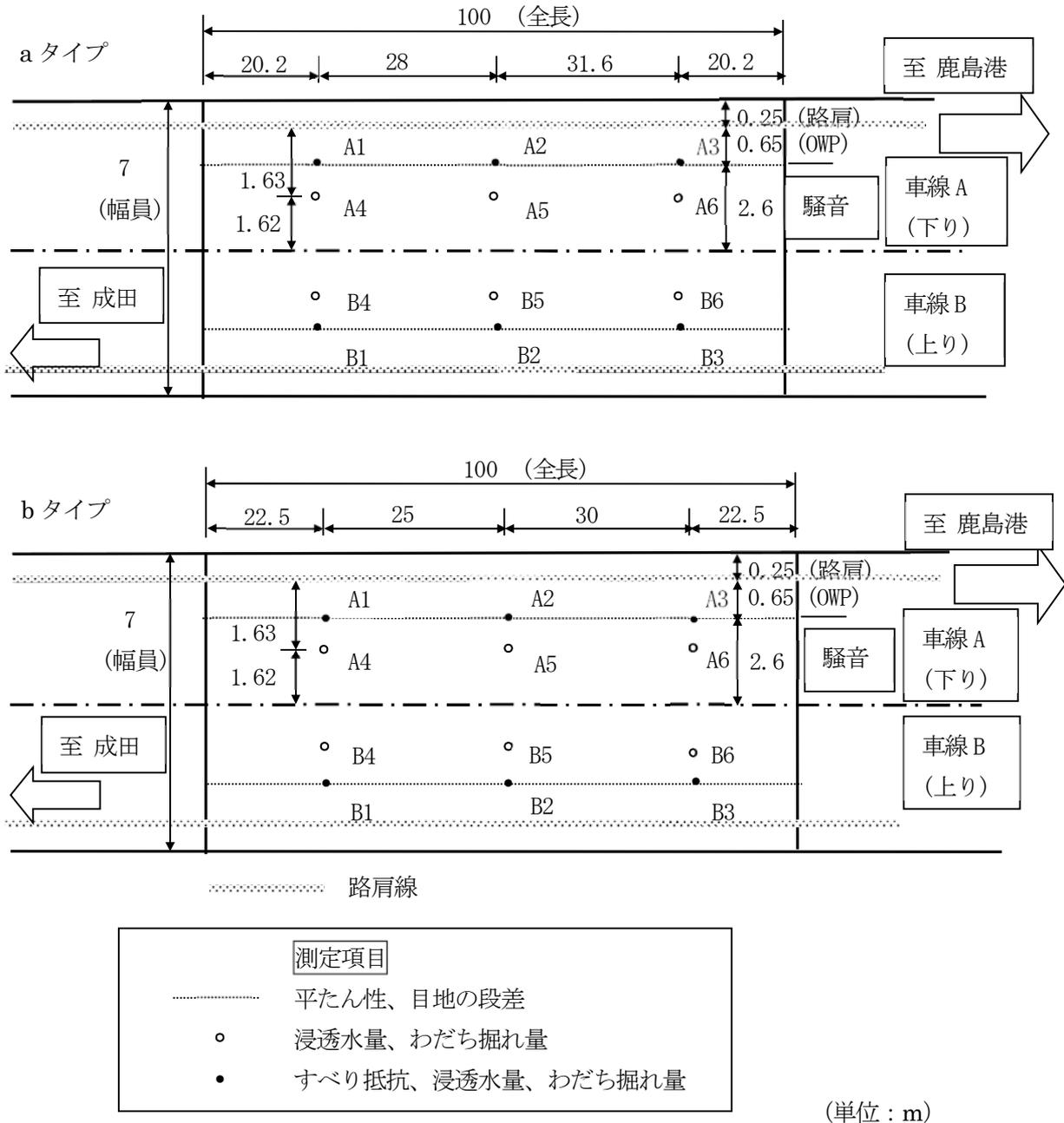


図-2.5 試験の測定位置 (FWDによるたわみの測定を除く)

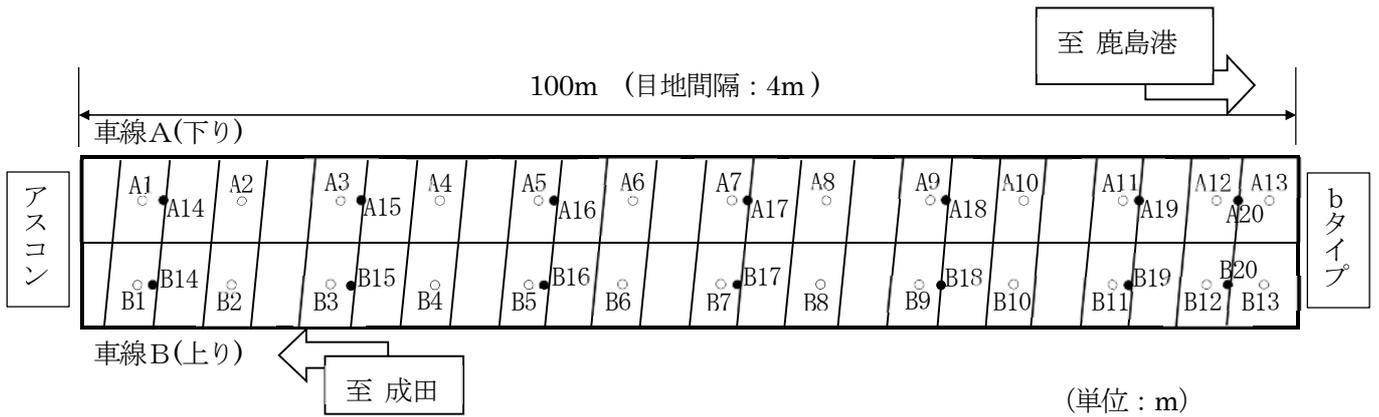


図-2.6 aタイプのFWDによるたわみの測定位置 (○—中央部、●—目地部)

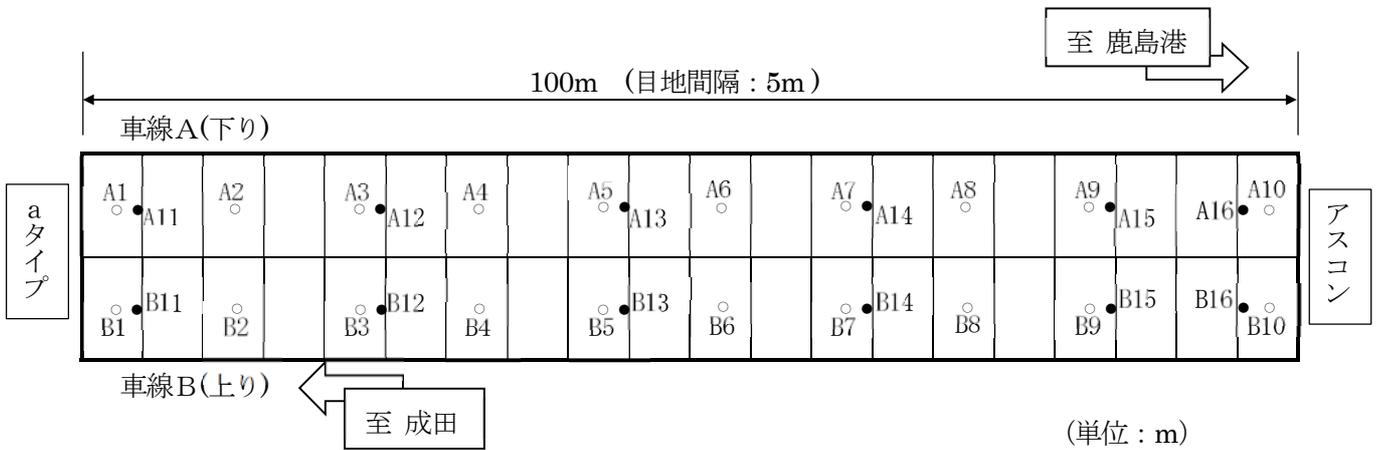


図-2.7 bタイプのFWDによるたわみの測定位置 (○—中央部、●—目地部)



写真-2.20 ひび割れの測定状況



写真-2.21 目地の段差の測定状況



写真-2.22 回転式すべり抵抗測定器 (DF テスタ) による動的摩擦係数の測定状況



写真-2.23 平坦性の測定状況



写真-2.24 わだち掘れの測定状況



写真-2.25 FWD によるたわみの測定状況



写真-2.26 コア供試体の採取状況



写真-2.27 コア供試体
(上：bタイプ、下：aタイプ)

2.6 たわみの測定方法（FWD試験方法）

たわみは、写真-2.25 に示すフォーリングウェイトデフレクトメータ（FWD）により測定した。たわみの測定方法および荷重伝達率の計算方法は、以下の通りである。

2.6.1 FWDによるたわみの測定システム

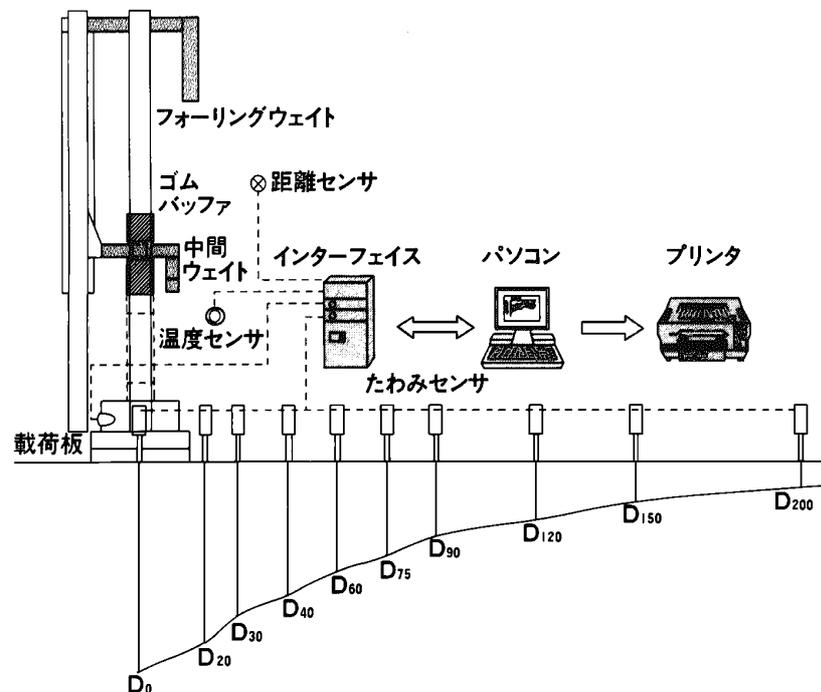


図-2.8 FWDによるたわみの測定システム

2.6.2 FWDによるたわみの測定方法

FWDの測定位置は、aタイプおよびbタイプの区間において、版中央部および目地部にて行った。なお、載荷荷重は、コンクリート舗装厚さ20cm以上、セメント安定処理路盤15cm以上であり、剛性が高いたわみ量が小さいことが予想されるため、コンクリート舗装での一般的な載荷荷重98kNで測定した。

載荷回数1箇所につき4回行い、1回目のデータを破棄して3回のデータを平均してその箇所のたわみ量とした。

なお、測定したたわみ量は、以下の式により、荷重補正を行った。

$$\text{荷重補正たわみ量(mm)} = \text{測定たわみ量(mm)} \times 98.06 \text{ (kN)} / \text{測定時の荷重(kN)}$$

また、以下の式により、荷重伝達率を算出した。

$$\text{荷重伝達率 (\%)} = D_{30}\text{たわみ (mm)} / ((D_0\text{たわみ (mm)} + D_{30}\text{たわみ (mm)}) / 2) \times 100$$

2.7 中性化深さおよび二酸化炭素量の測定方法

中性化深さおよび二酸化炭素量の測定は、a タイプのポーラスコンクリート舗装およびb タイプのポーラスコンクリート舗装の任意の場所から、それぞれ1本直径10cmの円柱コア供試体を採取し、採取したコア供試体をコンクリートカッターにより切断した一方を中性化深さ測定用に、他方を二酸化炭素量測定用に用いた。

2.7.1 中性化深さ

中性化深さの測定は、JISA 1152-2018「コンクリートの中性化深さの測定方法」に従って行った。コア供試体の割裂面を測定面とし、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、コンクリート表面（路面）から赤紫色に呈色した部分までの距離を中性化深さとした。

2.7.2 二酸化炭素量

割裂したコア供試体を、図-2.9に示すように、路面から深さ方向4cmずつコンクリートカッターで切断し、切断した半円版状のコア試料の二酸化炭素量を測定した。なお、コア試料の試料番号は、aタイプがA-1～A-5の5試料、bタイプがB-1～B-6の6試料とした。

(1)測定用試料の調製（写真-2.28～写真-2.38）

コア試料をジョークラッシャーで全量を粉砕し、二分器を用いて縮分して必要量（200g程度）を採取した。採取した粉砕試料をアセトンに浸漬した後、真空乾燥を行って余剰水を除去した（目的：空気中の二酸化炭素による炭酸化防止）。真空乾燥した試料を振動ミルで粉砕（150 μ m全通）し、V字混合器で混合して測定用試料を調製した（上記を全量粉砕するので、200g程度）。

(2)測定方法（写真-2.39）

測定は、炭素分析装置による方法とした。測定用試料をるつぼに入れ、約900 $^{\circ}$ Cまで強熱して、発生した二酸化炭素を赤外線検出器により検出し、粉砕試料中の二酸化炭素含有率（%）を測定した。

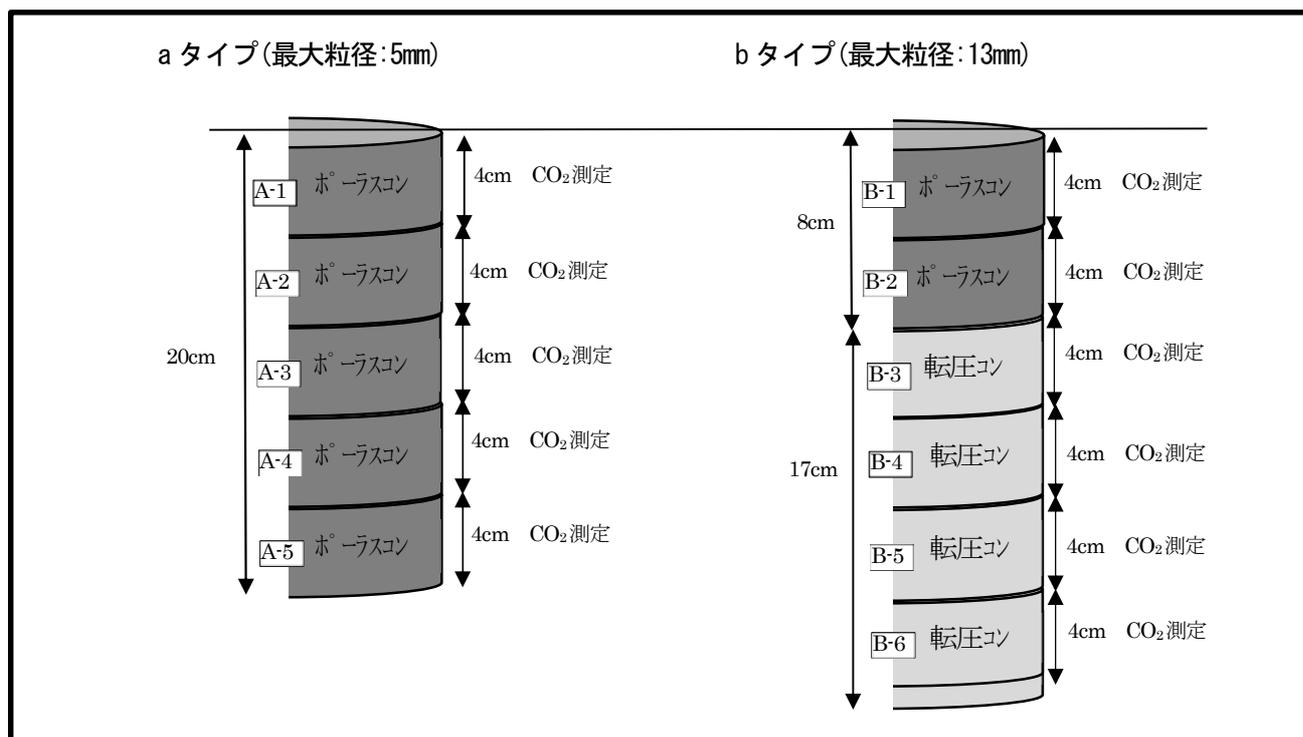


図-2.9 コア供試体から切断した二酸化炭素量測定用のコア試料の概要



写真-2.28 コア試料



写真-2.29 ジョークラッシャー



写真-2.30 ジョークラッシャーの破碎部分



写真-2.31 粗砕試料をアセトンに浸漬



写真-2.32 アセトン浸漬（静置中）



写真-2.33 真空乾燥装置による真空乾燥



写真-2.34 振動ミル



写真-2.35 真空乾燥した粗砕試料を入れた
振動ミル容器



写真-2.36 ふるい操作の外観



写真-2.37 150 μmふるいによるふるい

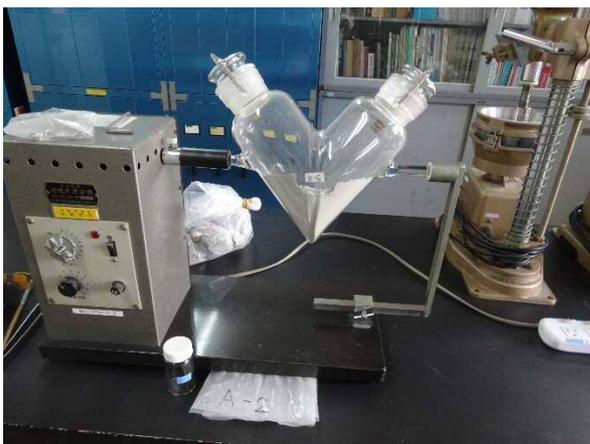


写真-2.38 V字混合器による混合



写真-2.39 測定に用いた炭素分析装置

3. 試験結果および考察

3.1 ポーラスコンクリートの曲げ強度（材齢 7 日および 28 日）

施工時に採取したポーラスコンクリート試料を用いて、a タイプ（最大粒径:5mm、以下 Gmax:5mm）および b タイプ（最大粒径:13mm、以下 Gmax:13mm）のポーラスコンクリートの 100×100×400mm 角柱供試体を作製し、所定の材齢時に曲げ強度、空隙率および透水係数の試験を行った。その試験結果を表-3.1 に示す。ポーラスコンクリートの曲げ強度は、材齢 7 日で設計基準曲げ強度 4.4N/mm² を満足した。

表-3.1 ポーラスコンクリートの曲げ強度、空隙率および透水係数の試験結果

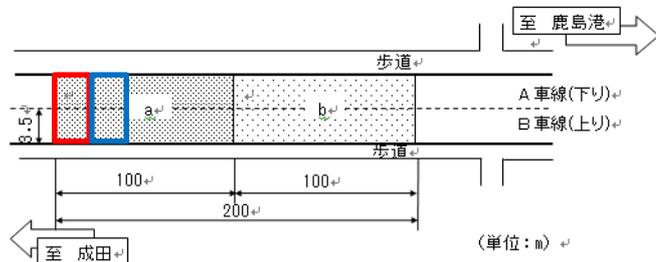
タイプ	曲げ強度(N/mm ²)		空隙率 (%)	透水係数 (×10 ⁻⁴ m/sec)
	7 日	28 日		
a タイプ	4.58	5.71	17.8	8.0
b タイプ	4.50	4.92	15.3	14.1

3.2 ひび割れ

供用 21 年におけるひび割れ調査結果として、ひび割れ図を図-3.1 に、供用年数とひび割れ度の関係を表-3.2 および図-3.2 に示す。これらの図より、版厚 20cm の a タイプのポーラスコンクリート舗装のひび割れ度は、供用期間が長くなるに従い増加する傾向であり、供用 21 年では 22cm/m² であった。一方、版厚が 25cm である b タイプのポーラスコンクリート舗装のひび割れ発生は皆無であった。

舗装性能評価法¹⁰⁾によれば、横目地を有するコンクリート舗装の疲労破壊状態は、横方向目地間に横ひび割れが 1 本発生した状態と定義されている。これによれば目地間隔が 10m の場合のひび割れ度は 10cm/m² (400cm/40m²) となる。a タイプの舗装の場合は、目地間隔は 4m であるので、疲労破壊状態のひび割れ度は 25cm/m² (400cm/16m²) となる。したがって、供用 21 年時の a タイプのポーラスコンクリート舗装の供用状態は、そのひび割れ度はかなり大きいものの、上述の定義によれば、疲労破壊状態にまでは至っていないと言える。しかしながら、b タイプと比較して、a タイプにはひび割れが多く発生している。a タイプでは交通量区分 N₅、設計期間 20 年の条件にて理論的設計方法に基づき、ポーラスコンクリート版厚を 20cm、路床 CBR を 6、セメント安定処理路盤を 20cm と設定したが、供用後のひび割れの発生状況からは、耐久性に改善の余地があることが示唆された。

図-3.3 および図-3.4 は、それぞれ a タイプおよび b タイプのひび割れ発生状況を示したものである。なお、図中の黒線で示したひび割れは供用 17 年までに発生したもの、赤線で示したひび割れは供用 21 年時に発見したひび割れである。ここで、各図の一番上段に示した平面図の赤枠と青枠の位置が中段と下段のひび割れ図に相当する。



黒線：供用 17 年までのひび割れ
赤線：供用 21 年時に発見したひび割れ

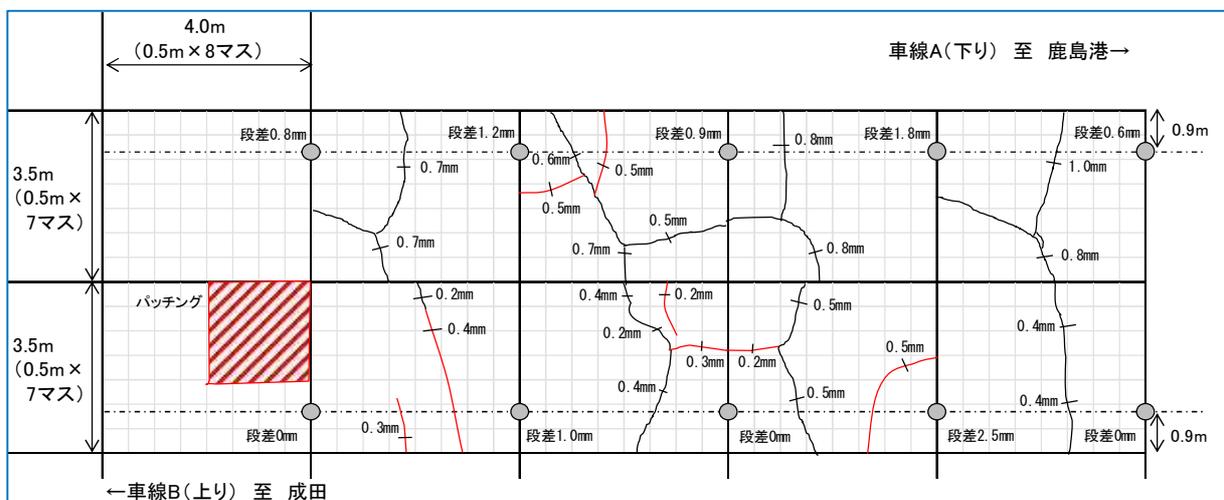
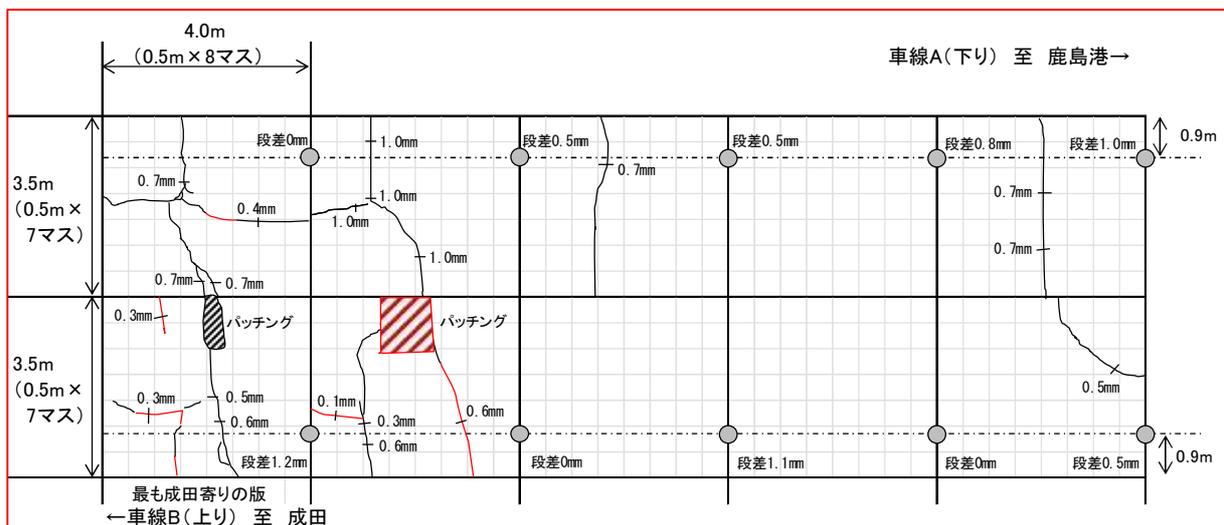
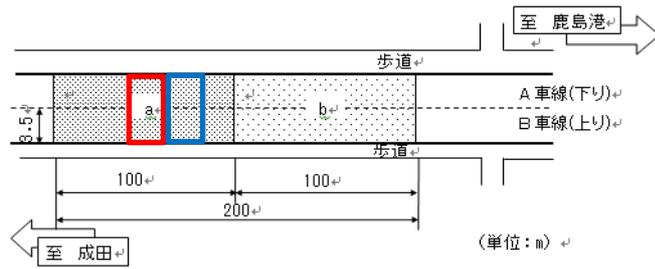


図-3.3(1) ひび割れおよび段差の調査結果 (a タイプ)



黒線：供用 17 年までのひび割れ
赤線：供用 21 年時に発見したひび割れ

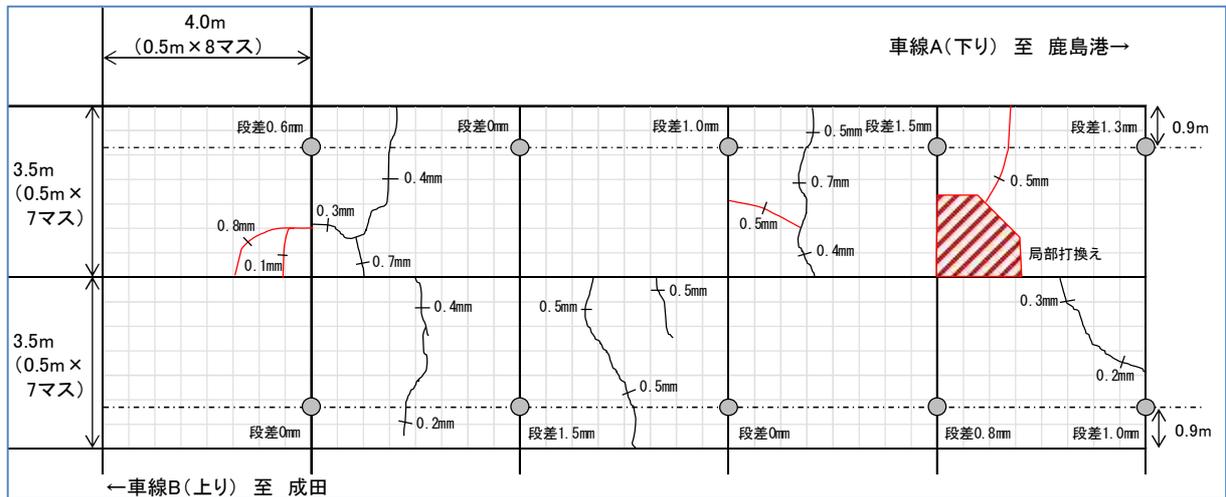
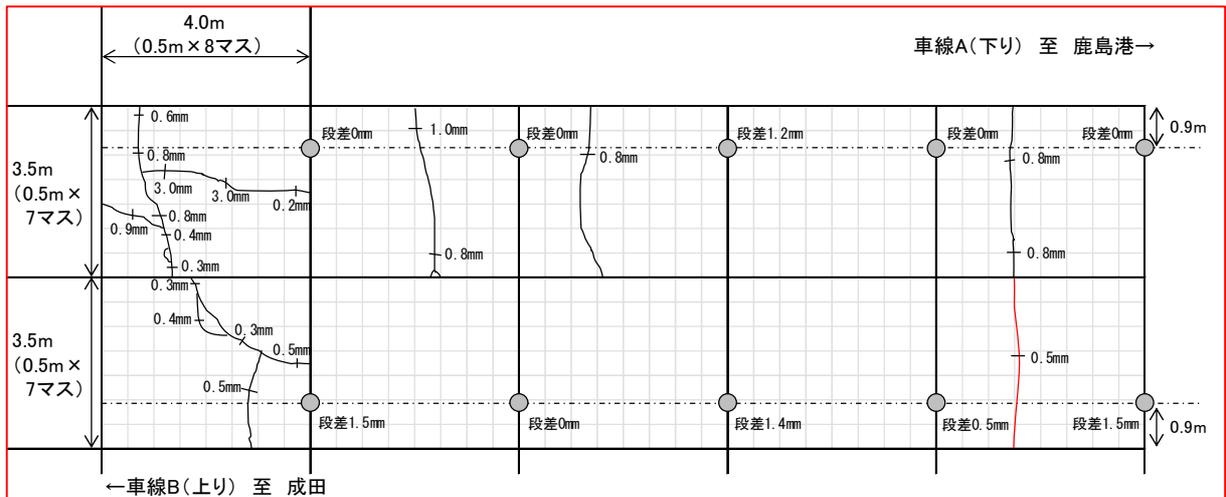
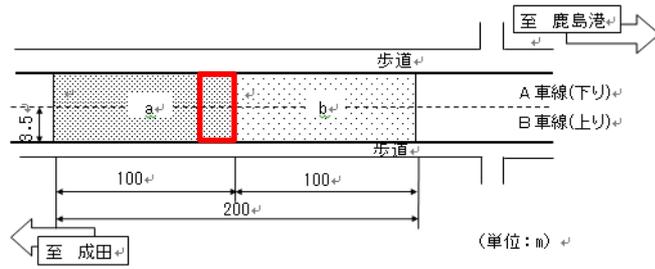


図-3.3(2) ひび割れおよび段差の調査結果 (aタイプ)



黒線：供用 17 年までのひび割れ
赤線：供用 21 年時に発見したひび割れ

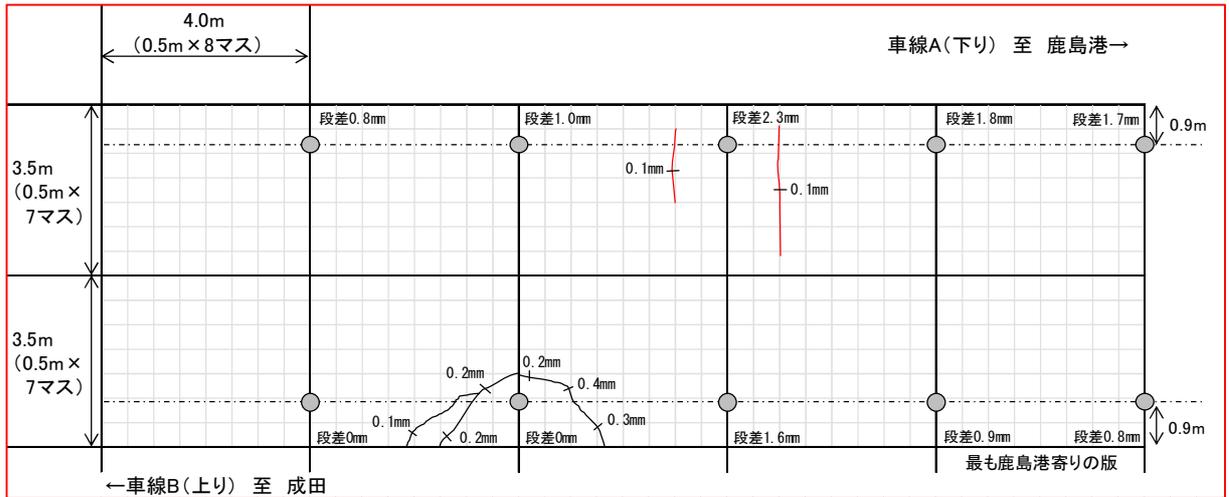
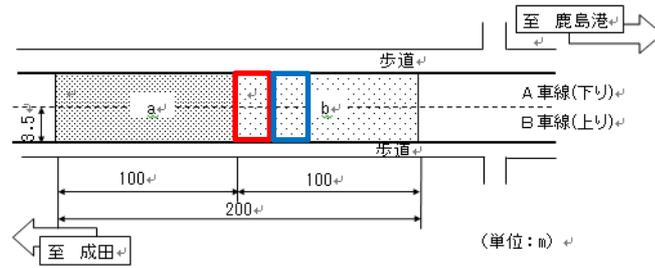


図-3.3(3) ひび割れおよび段差の調査結果 (aタイプ)



黒線：供用 17 年までのひび割れ
赤線：供用 21 年時に発見したひび割れ

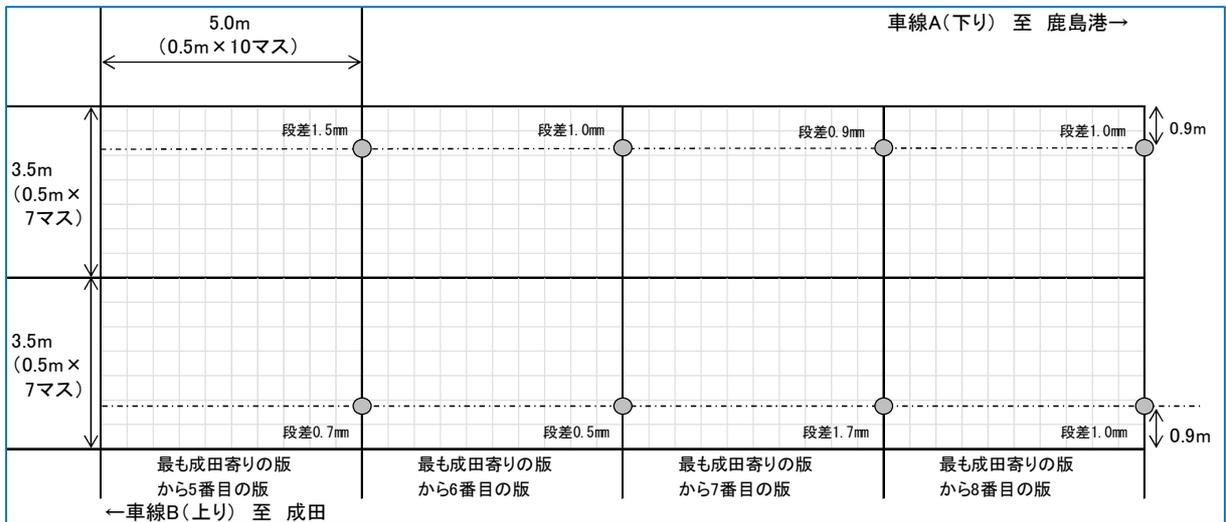
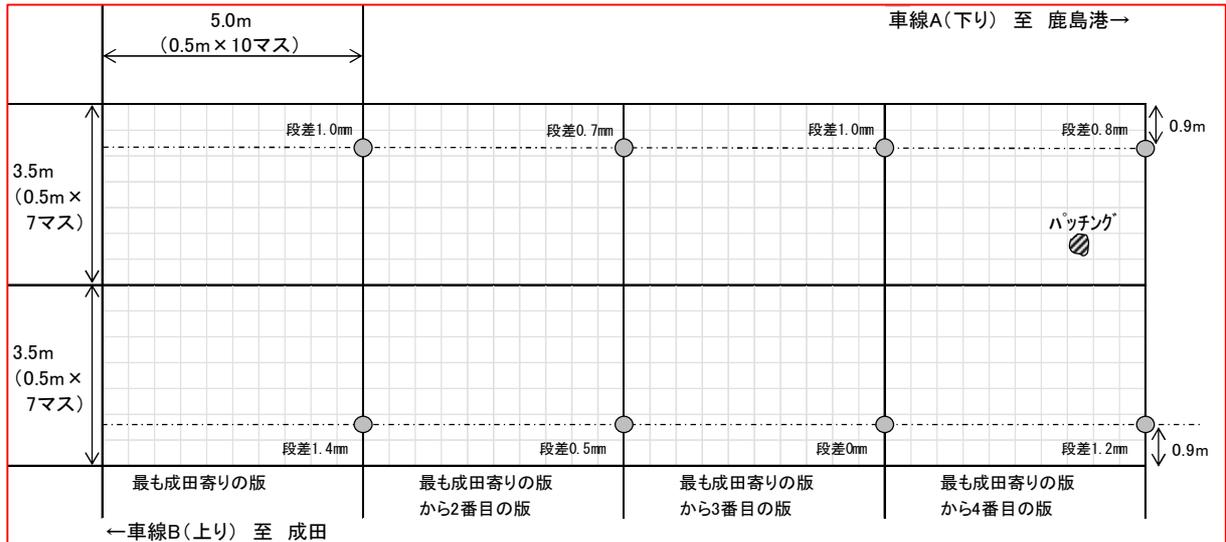
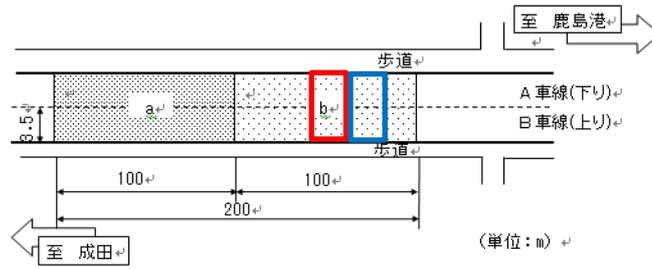


図 3-4 (1) ひび割れおよび段差の調査結果 (b タイプ)



黒線：供用 17 年までのひび割れ
赤線：供用 21 年時に発見したひび割れ

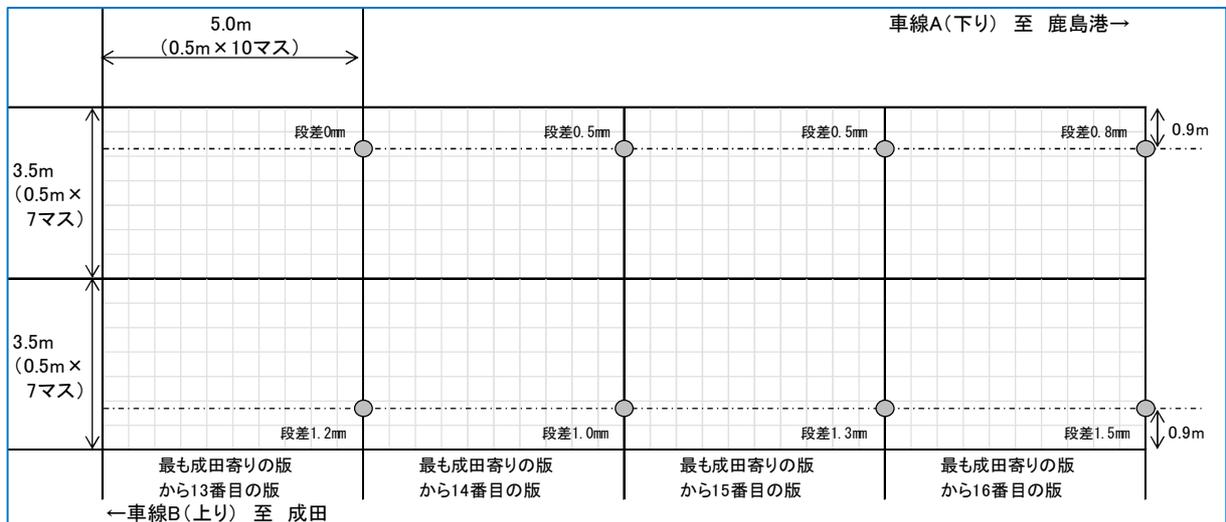
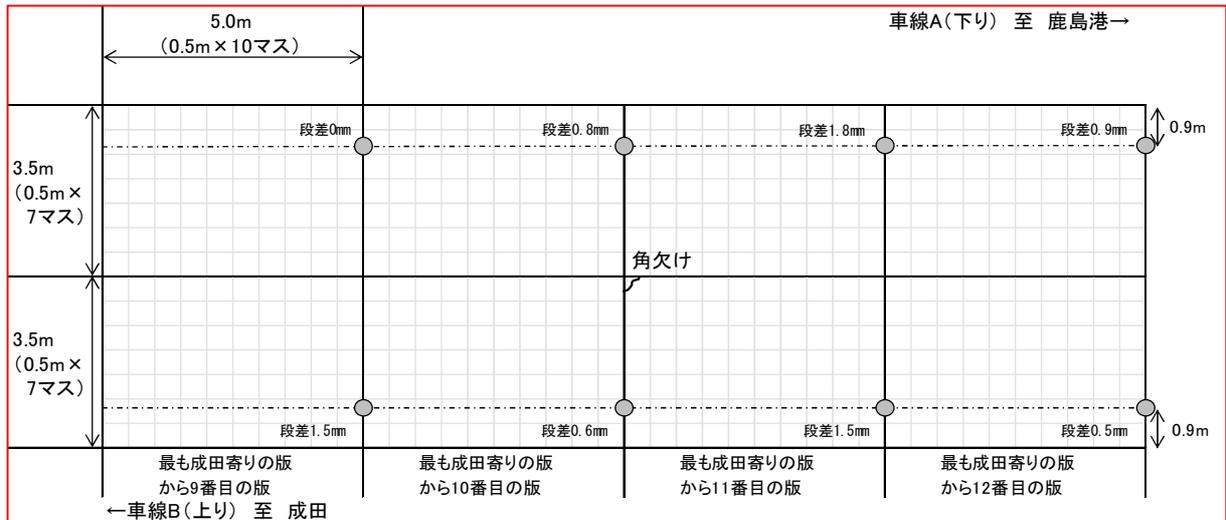
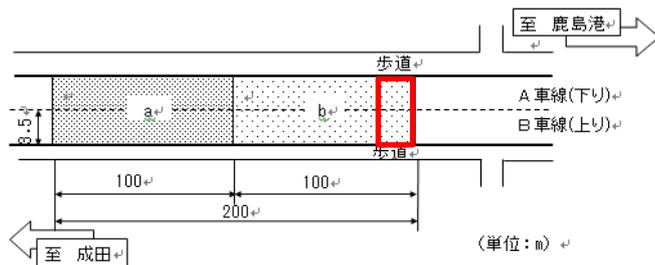


図 3-4 (2) ひび割れおよび段差の調査結果 (b タイプ)



黒線：供用 17 年までのひび割れ
赤線：供用 21 年時に発見したひび割れ

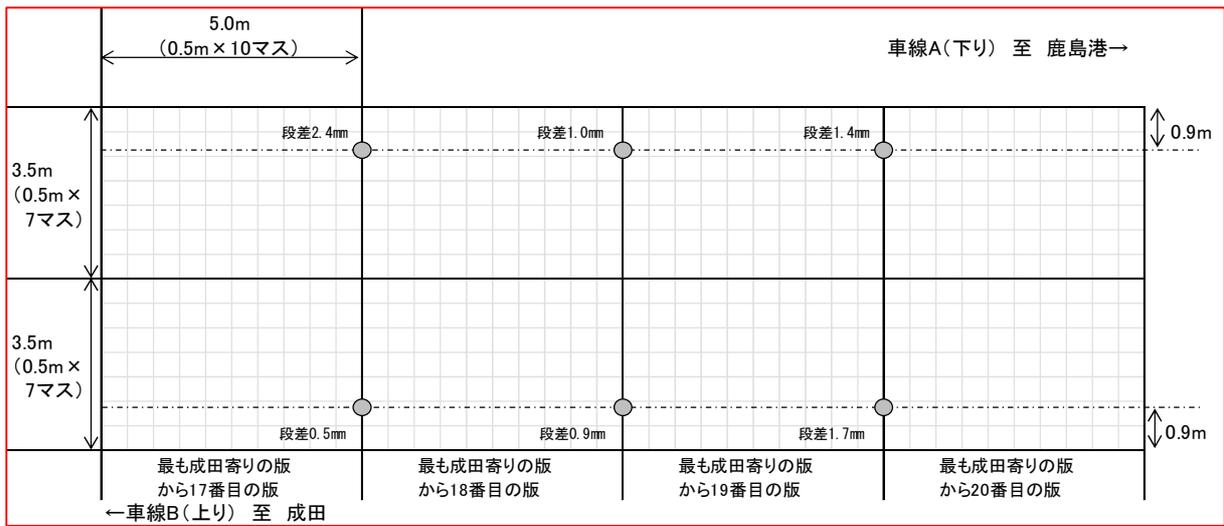


図 3-4 (3) ひび割れおよび段差の調査結果 (b タイプ)

3.3 目地段差

供用 21 年調査時の目地部の段差に関しては、上述の図-3.3～図-3.4 に、目地毎の測定結果を記した。その結果によれば、a タイプでは最大 2.5mm、b タイプは 2.4mm と小さかった。

表-3.3 および図-3.5 に、供用 1 年から供用 21 年調査までの測定結果を示す。記載した値は、各々の調査年に測定した目地の段差の最大値を記している。

ポーラスコンクリート舗装の a タイプおよび b タイプともに供用 5 年までは目地の段差は生じていないが、供用 10 年調査において a タイプが 1.8mm、b タイプが 2.3mm、供用 17 年調査において a タイプが 1.8mm、b タイプが 2.2mm の目地段差を確認した。その後の供用 21 年調査結果は、a タイプが 2.5mm、b タイプが 2.4mm であり、供用 10 年時の調査結果からほとんど変わらなかった。

日本道路協会発行の道路維持修繕要綱によると、維持修繕要否判断の目標値（交通量の多い一般道路）は 15mm であり、供用 21 年までの実測結果はこの目標値の 1/6 程度である。これらの結果を踏まえると、ダウエルバー等による目地部の補強を一切行っていないにもかかわらず当該ポーラスコンクリート舗装の目地段差は、a タイプ、b タイプとも全く問題ないことが明らかになった。

表-3.3 ポーラスコンクリート舗装の目地の段差の測定結果

タイプ	車線	目地の段差 (mm)					
		供用 1 年	供用 3 年	供用 5 年	供用 10 年	供用 17 年	供用 21 年
a タイプ	A 車線 (下り)	0.0	0.0	0.0	1.8	1.8	2.3
	B 車線 (上り)	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2	2.5
b タイプ	A 車線 (下り)	0.0	0.0	0.0	2.3	2.2	2.4
	B 車線 (上り)	0.0	0.0	0.0	2.0	1.8	1.7

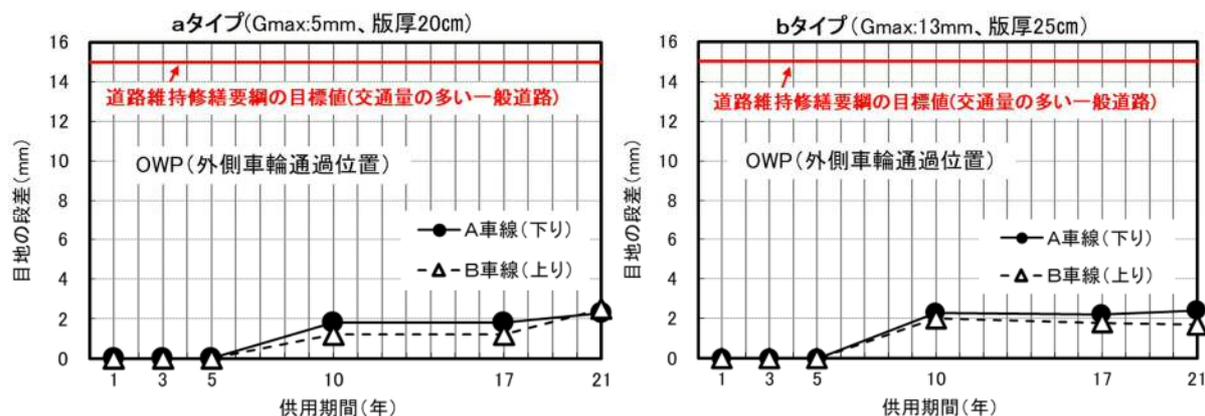


図-3.5 ポーラスコンクリート舗装の目地の段差の測定結果

3.4 平坦性

表-3.4 および図-3.6 に、平坦性に関する供用 21 年までのポーラスコンクリート舗装の試験結果を示す。また図-3.7 には、図-3.6 に示した A 車線（下り）の平坦性試験結果と、舗装技術専門委員会報告 R-31⁸⁾を引用し、供用 10 年までのポーラスアスファルト舗装の試験結果を比較して示した。

平坦性は、ポーラスコンクリート舗装の a タイプおよび b タイプともに供用 5 年まで徐々に増加し、その値は 3mm 程度であった。その後は供用 10 年で低下したものの再度増加し、供用 21 年での平坦性は 2.8~2.9mm 程度であった。供用期間中に平坦性が回復することは考え難いので、実際は供用 5 年以降、平坦性はあまり変化していないと考えられる。

一方、供用 15 年にオーバーレイされたポーラスアスファルト舗装である c タイプおよび d タイプの平坦性は、供用 5 年から 10 年で著しく大きくなり、a タイプおよび b タイプのポーラスコンクリート舗装の平坦性を大きく上回った。

表-3.4 ポーラスコンクリート舗装の平坦性の試験結果

タイプ	車線	平坦性 (mm)						
		施工直後	供用 1 年	供用 3 年	供用 5 年	供用 10 年	供用 17 年	供用 21 年
a タイプ	A 車線 (下り)	2.09	2.37	2.67	2.98	2.70	2.71	2.82
	B 車線 (上り)	2.29	2.34	2.33	2.39	2.32	2.49	2.94
b タイプ	A 車線 (下り)	1.75	1.82	1.97	2.95	2.29	2.80	2.90
	B 車線 (上り)	2.12	2.17	2.38	2.99	2.13	2.40	2.72

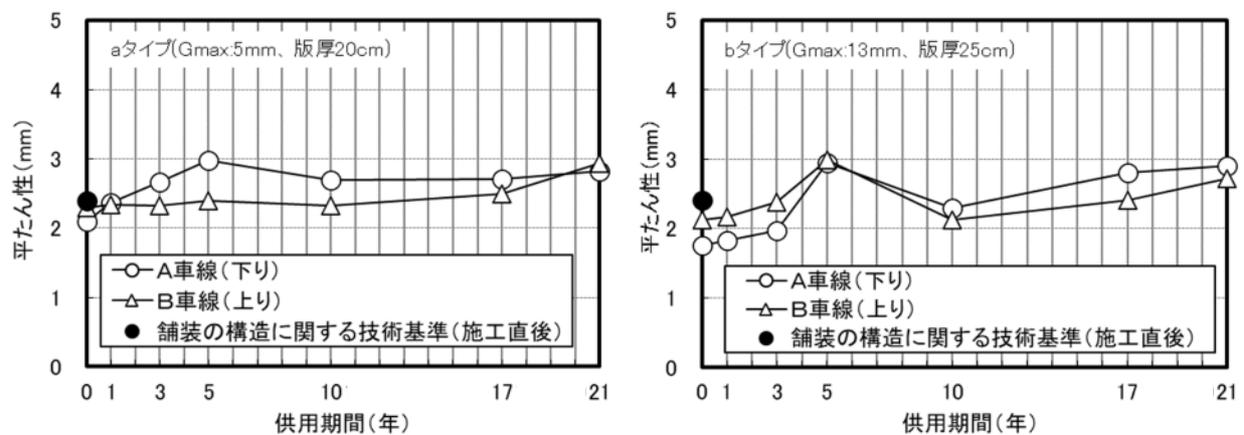


図-3.6 ポーラスコンクリート舗装の平坦性の試験結果

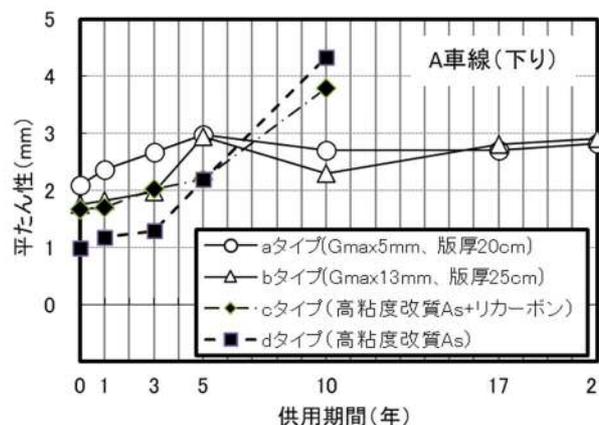


図-3.7 ポーラスアスファルト舗装の平坦性との比較

3.5 わだち掘れ量

表-3.5 および図-3.8 に、供用 21 年までのポーラスコンクリート舗装のわだち掘れ量の試験結果を示す。これは施工直後の測定値をイニシャルとして、供用に伴うわだち掘れの増加量として記した。

図-3.9 には、図-3.8 に示した A 車線（下り）のわだち掘れ量の試験結果と、舗装技術専門委員会報告 R-31⁸⁾を引用し、供用 10 年までのポーラスアスファルト舗装の試験結果を比較して示した。

ポーラスコンクリート舗装のわだち掘れ増加量は、a タイプおよび b タイプともに、供用 21 年経過しても 2~3mm であること、およびポーラスアスファルト舗装のそれは、供用 10 年時で 10~20mm であることより、ポーラスコンクリート舗装のわだち掘れに対する抵抗性（塑性変形抵抗性）は、ポーラスアスファルト舗装に比べて著しく優れていることが分かった。

表-3.5 ポーラスコンクリート舗装のわだち掘れ量の試験結果

タイプ	車線	わだち掘れ量 (mm)	わだち掘れ増加量 (mm)						
		(イニシャル)	施工直後	供用 1 年	供用 3 年	供用 5 年	供用 10 年	供用 17 年	供用 21 年
a タイプ	A 車線 (下り)	1.3	0.0	1.0	0.0	0.3	0.3	2.0	1.7
	B 車線 (上り)	2.0	0.0	0.3	1.3	0.3	0.7	1.7	2.3
b タイプ	A 車線 (下り)	2.0	0.0	0.3	0.0	1.0	0.3	1.0	2.6
	B 車線 (上り)	2.3	0.0	0.4	0.7	0.7	0.7	0.0	2.1

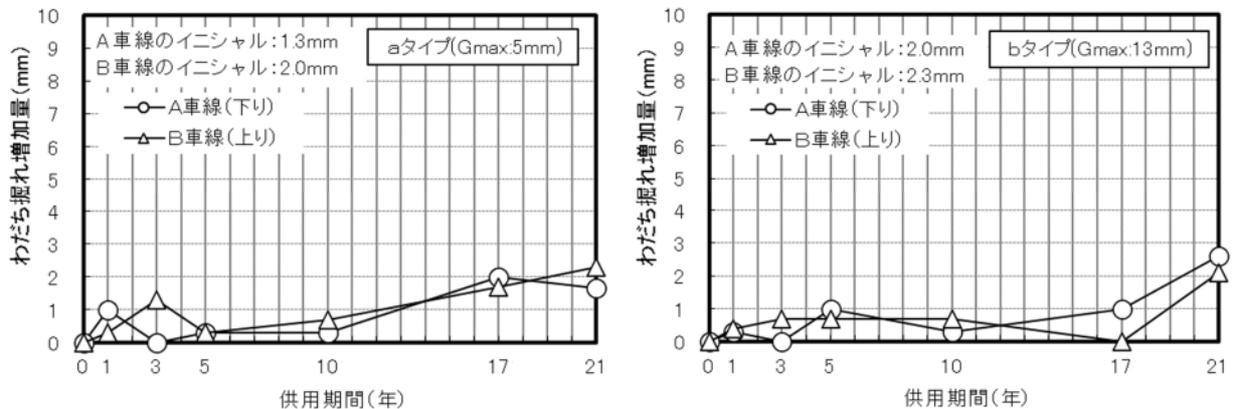


図-3.8 ポーラスコンクリート舗装のわだち掘れ量の試験結果

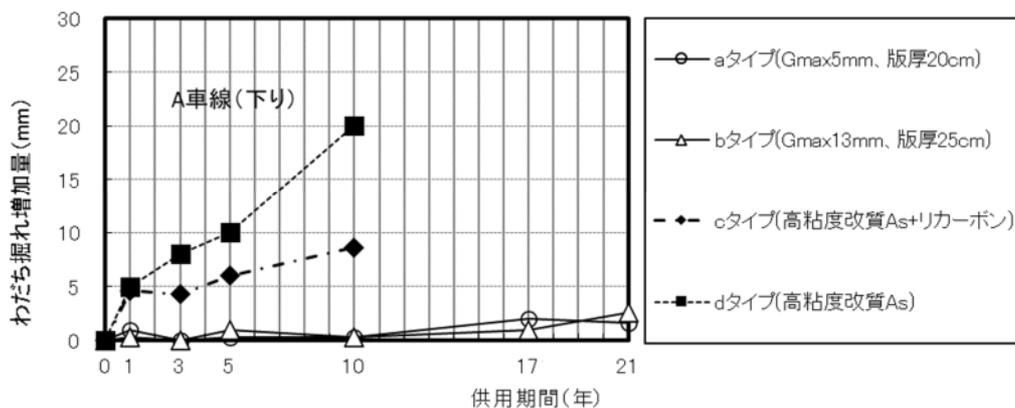


図-3.9 ポーラスアスファルト舗装のわだち掘れ増加量との比較

3.6 すべり抵抗

表-3.6 および図-3.10 に、供用 21 年までのポーラスコンクリート舗装の動的摩擦係数の試験結果を示す。

a タイプの動的摩擦係数は、供用 1 年で速度 40km/h および速度 60km/h が施工直後の 0.7 程度から 0.6 程度まで下がり、速度 80km/h が同等であった。その後、供用 21 年まで若干の増減はあるものの、供用 21 年では、いずれの速度でも動的摩擦係数は 0.5 程度と、0.4 以上は確保されていた。

一方、b タイプの動的摩擦係数は、供用 1 年で速度 40km/h および速度 60km/h が施工直後の 0.9 程度から 0.5 弱程度まで下がり、速度 80km/h が 0.58 から 0.43 まで下がった。その後、多少の増減はあるものの、いずれの速度においても供用 21 年で動的摩擦係数 0.4~0.5 程度となり、a タイプと同等の動的摩擦係数であった。b タイプは供用 1 年までに動的摩擦係数が大きく低下する傾向を示したが、このような傾向は福井県道の調査においても確認されている²⁾。これらの舗装の共通点は Gmax が 13mm である。施工直後では Gmax13mm の作る表面テクスチャの局所的な凹凸が、DF テスタのゴムスライダー（幅 15mm×長さ 20mm）の移動抵抗となり、動的摩擦係数が見かけ上大きくなったと考えられる（図-3.11）⁸⁾。また、供用に伴う動的摩擦係数の低下は骨材の磨耗により上記局所的な凹凸が平滑化され、動的摩擦係数に対して影響を与えなくなったとも考えられる。

以上より、供用 21 年までの a タイプおよび b タイプのポーラスコンクリート舗装のすべり抵抗性は、その経時変化は少なからずあるものの、十分確保されていることが分かった。

表-3.6 ポーラスコンクリート舗装の動的摩擦係数の試験結果

タイプ	車線	速度 (km/h)	動的摩擦係数 (μ)						
			施工直後	供用 1 年	供用 3 年	供用 5 年	供用 10 年	供用 17 年	供用 21 年
a タイプ	A 車線 (下り)	40	0.73	0.62	0.68	0.60	0.60	0.46	0.52
		60	0.70	0.59	0.61	0.57	0.57	0.44	0.52
		80	0.52	0.52	0.40	0.51	0.54	0.44	0.52
	B 車線 (上り)	40	0.74	0.60	0.63	0.61	0.59	0.48	0.52
		60	0.70	0.58	0.59	0.57	0.58	0.48	0.52
		80	0.53	0.54	0.48	0.50	0.53	0.51	0.54
b タイプ	A 車線 (下り)	40	0.94	0.50	0.49	0.49	0.54	0.56	0.44
		60	0.92	0.49	0.45	0.46	0.51	0.53	0.41
		80	0.58	0.43	0.40	0.43	0.50	0.56	0.44
	B 車線 (上り)	40	0.92	0.44	0.54	0.58	0.53	0.46	0.45
		60	0.88	0.44	0.50	0.55	0.50	0.41	0.41
		80	0.58	0.43	0.43	0.48	0.48	0.45	0.44

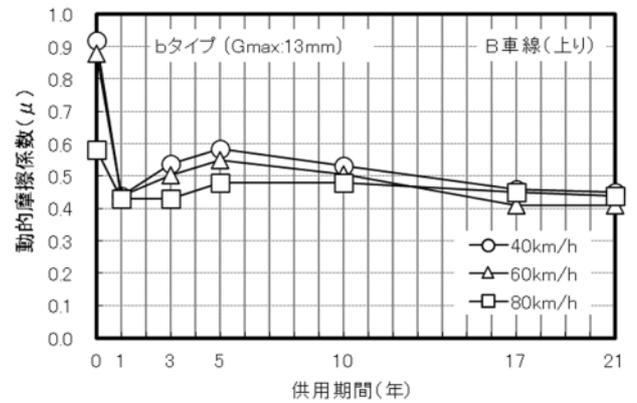
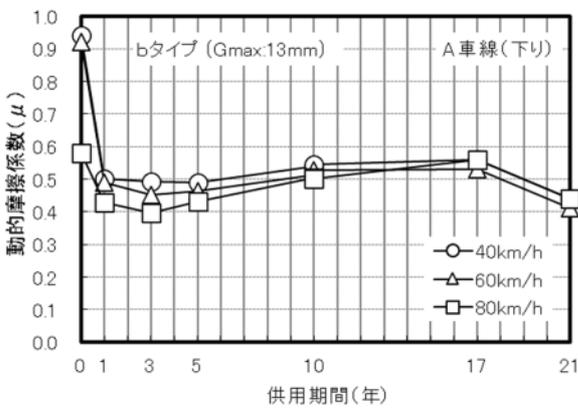
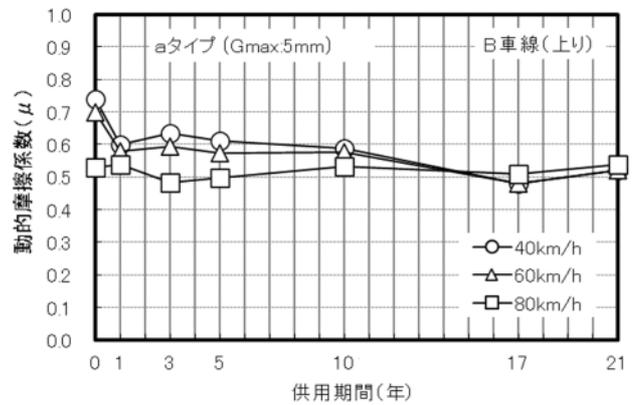
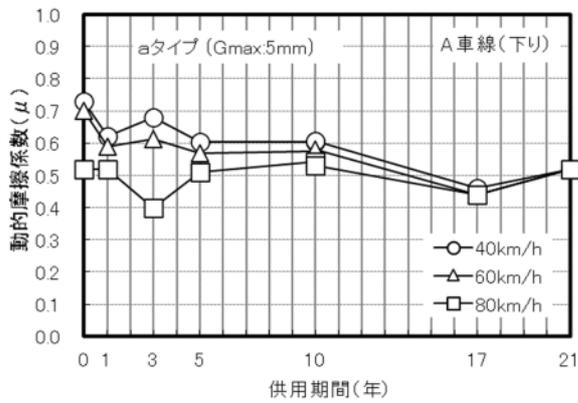


図-3.10 ポーラスコンクリート舗装の動的摩擦係数の試験結果

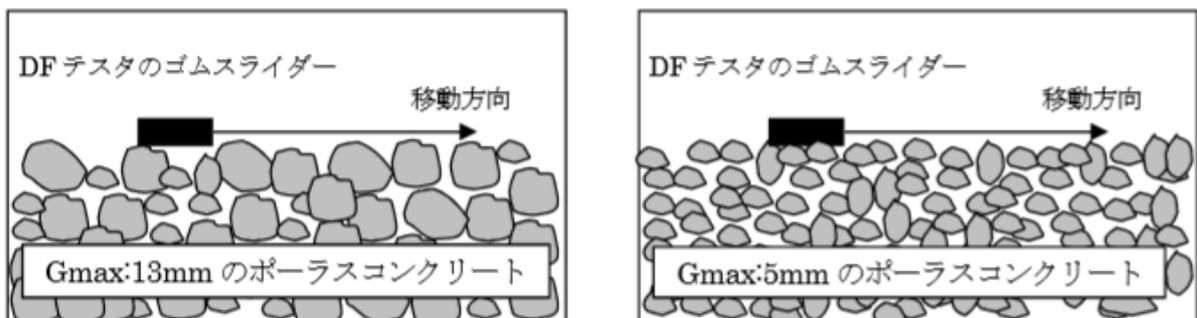


図-3.11 ポーラスコンクリート表面テクスチャ上のゴムスライダーの移動イメージ

3.7 浸透水量

現場透水試験は、供用10年時での試験において不透水⁸⁾であったため、今回実施しなかった。

3.8 騒音

騒音測定試験は、供用10年時ですでにポーラスコンクリート表面の空隙が詰っており騒音低減効果も確認できなかった⁸⁾ことより、今回実施しなかった。

3.9 たわみ

たわみの測定位置は図-3.12 (図-2.6) および図-3.13 (図-2.7) に示した。以下に、版中央部のたわみ測定結果および、版目地部のたわみ測定結果とこの目地部のたわみ測定結果から求めた荷重伝達率について述べる。

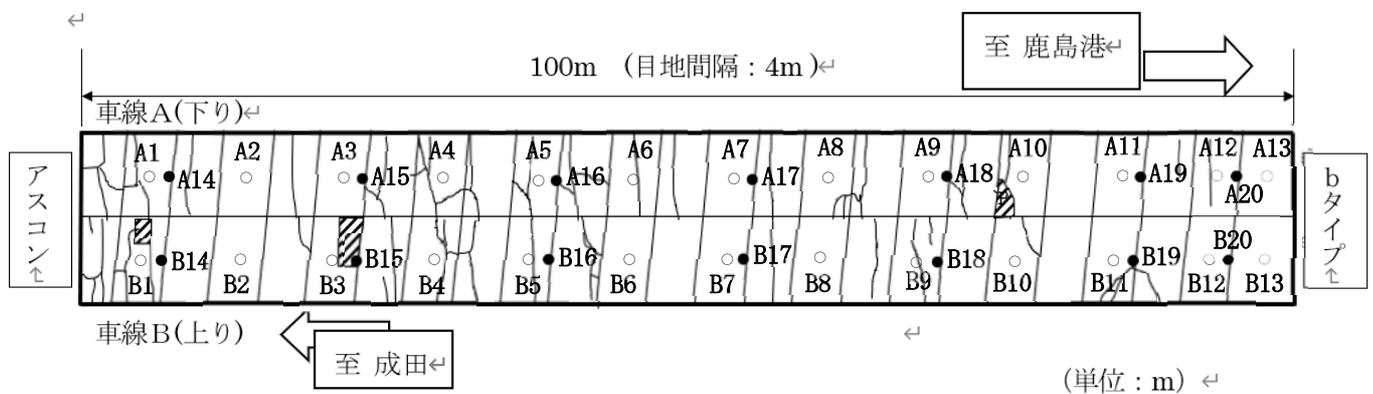


図-3.12 aタイプのFWDによるたわみの測定位置 (○---中央部、●---目地部)

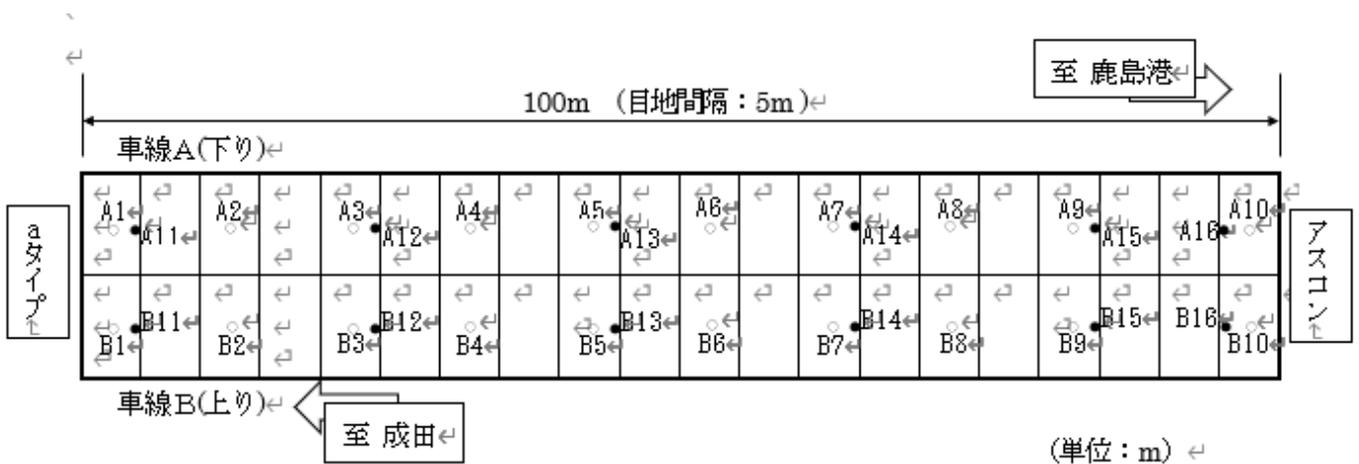


図-3.13 bタイプのFWDによるたわみの測定位置 (○---中央部、●---目地部)

3.9.1 版中央部のたわみ測定結果 (a タイプ)

図-3.14 に供用 21 年までの a タイプのポーラスコンクリート舗装の版中央部 D₀ たわみの測定結果を示す。

この図から同じ測定箇所においても調査年によりたわみ測定値が大きく異なっており、特に供用 10 年時の A 車線のたわみが大きいことが分かる。供用 10 年までの結果を取りまとめた舗装技術専門委員会報告 R-31⁸⁾によれば、その原因について「アスファルト中間層、ポーラスコンクリート版または路盤層に何らかの損傷が生じている、あるいは路盤層が雨水の浸透により洗堀され空隙が生じている可能性が考えられる」と推察した。しかし、今回の供用 21 年調査によるたわみの測定結果は、施工直後よりは大きいものの、供用 3 年時と同程度か小さい。以上から、ひび割れが多数発生しているものの、荷重支持性能には問題なく、舗装技術専門委員会報告 R-31⁸⁾で指摘した路盤等の損傷は生じていないものと思われる。

供用 10 年の車線 A のたわみが大きいのが、これは供用 10 年調査に限り 5 月に実施(他は 12 月～1 月)しており、試験中の路面温度が高かったため、上下面の温度差の影響で凸型にコンクリート版にそりが生じ、コンクリート版と路盤との接触が小さくなっていったと考えられる。車線 B 側のたわみは車線 A に比べて小さいが、車線 B 側は山の斜面に面しており、日射がさえぎられていたことによるものと考えられる。

なお、2021 年 2 月(供用 20 年)に超速硬コンクリートで実施した A10 近傍の隅角部の局部打換え箇所¹⁾の荷重伝達率は、81.5 (%)、92.5 (%)、93.7 (%) と良好であった。

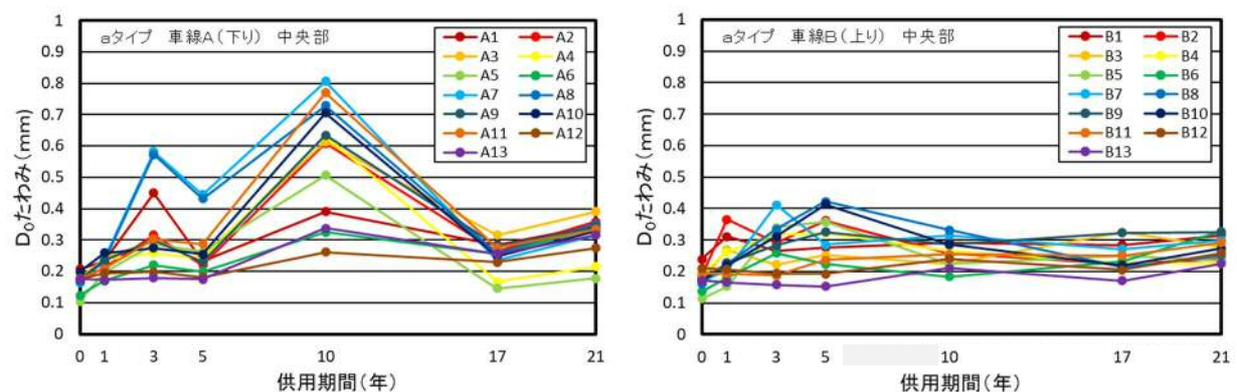


図-3.14 a タイプのポーラスコンクリート舗装の D₀ たわみ (中央部)

表-3.7 aタイプのポーラスコンクリート舗装のD₀たわみ（中央部）

タイプ	測定位置	D ₀ たわみ (mm)						
		施工直後	供用1年	供用3年	供用5年	供用10年	供用17年	供用21年
aタイプ 車線A (下り)	A1	0.207	0.232	0.450	0.233	0.390	0.284	0.346
	A2	0.170	0.211	0.315	0.220	0.608	0.264	0.358
	A3	0.169	0.242	0.296	0.248	0.613	0.316	0.390
	A4	0.180	0.237	0.259	0.240	0.631	0.167	0.215
	A5	0.105	0.197	0.286	0.263	0.507	0.145	0.177
	A6	0.123	0.170	0.22	0.200	0.324	0.256	0.337
	A7	0.163	0.241	0.581	0.445	0.806	0.234	0.316
	A8	0.167	0.233	0.572	0.432	0.728	0.258	0.351
	A9	0.175	0.234	0.300	0.230	0.635	0.282	0.341
	A10	0.198	0.259	0.274	0.255	0.705	0.249	0.328
	A11	0.178	0.208	0.303	0.287	0.769	0.276	0.334
	A12	0.176	0.194	0.198	0.181	0.261	0.229	0.274
	A13	0.175	0.172	0.179	0.175	0.338	0.256	0.315
aタイプ 車線B (上り)	B1	0.239	0.311	0.265	0.276	0.292	0.284	0.315
	B2	0.185	0.365	0.290	0.361	0.257	0.224	0.239
	B3	0.174	0.268	0.222	0.252	0.223	0.324	0.277
	B4	0.193	0.262	0.317	0.321	0.265	0.227	0.227
	B5	0.114	0.152	0.339	0.358	0.223	0.250	0.235
	B6	0.137	0.180	0.258	0.224	0.184	0.232	0.327
	B7	0.170	0.204	0.412	0.286	0.313	0.271	0.299
	B8	0.161	0.223	0.334	0.422	0.332	0.213	0.250
	B9	0.172	0.227	0.283	0.325	0.285	0.323	0.326
	B10	0.173	0.220	0.311	0.413	0.287	0.219	0.273
	B11	0.192	0.193	0.187	0.236	0.255	0.250	0.292
	B12	0.211	0.207	0.194	0.193	0.241	0.206	0.258
	B13	0.172	0.165	0.157	0.153	0.210	0.171	0.225

3.9.2 版中央部のたわみ測定結果 (bタイプ)

図-3.15 に供用 21 年までの b タイプのポーラスコンクリート舗装の版中央部 D_0 たわみの測定結果を示す。

この図から施工直後からたわみは 0.2mm 程度であり、ほとんど変化なく、ひび割れ発生状況も含めて良好な状態であることが分かった。

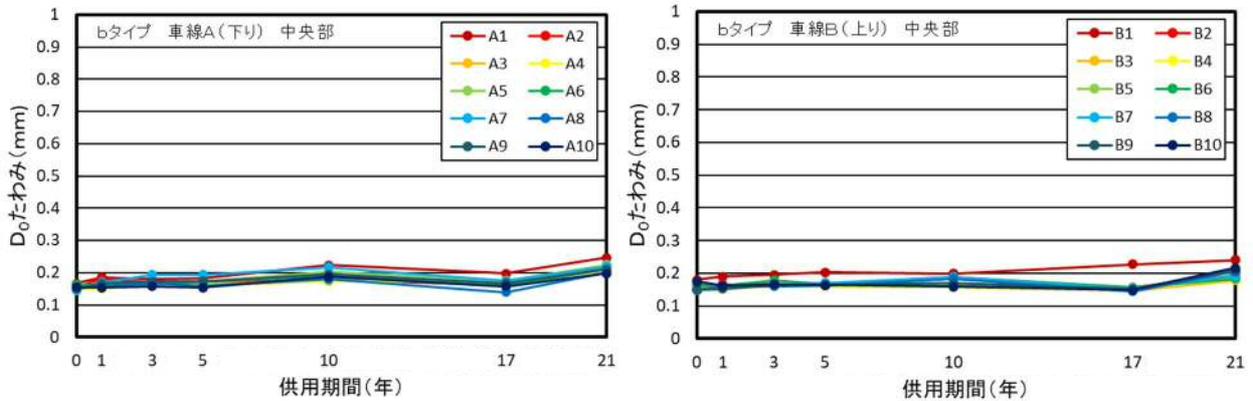


図-3.15 bタイプのポーラスコンクリート舗装の D_0 たわみ (中央部)

表-3.8 bタイプのポーラスコンクリート舗装の D_0 たわみ (中央部)

タイプ	測定位置	D_0 たわみ (mm)						
		施工直後	供用1年	供用3年	供用5年	供用10年	供用17年	供用21年
bタイプ 車線A (下り)	A1	0.166	0.186	0.179	0.182	0.223	0.197	0.247
	A2	0.154	0.179	0.171	0.170	0.178	0.163	0.215
	A3	0.156	0.166	0.164	0.160	0.174	0.171	0.212
	A4	0.149	0.151	0.159	0.165	0.175	0.170	0.207
	A5	0.153	0.160	0.166	0.173	0.204	0.175	0.224
	A6	0.163	0.162	0.165	0.173	0.191	0.159	0.210
	A7	0.146	0.171	0.193	0.193	0.217	0.174	0.219
	A8	0.152	0.156	0.167	0.159	0.180	0.139	0.200
	A9	0.150	0.167	0.172	0.173	0.195	0.168	0.210
	A10	0.155	0.153	0.158	0.154	0.187	0.157	0.197
bタイプ 車線B (上り)	B1	0.180	0.190	0.195	0.203	0.199	0.227	0.240
	B2	0.157	0.165	0.167	0.162	0.164	0.157	0.194
	B3	0.154	0.157	0.162	0.160	0.158	0.148	0.178
	B4	0.150	0.152	0.161	0.160	0.158	0.150	0.190
	B5	0.157	0.153	0.163	0.167	0.167	0.156	0.189
	B6	0.166	0.162	0.179	0.168	0.189	0.156	0.183
	B7	0.149	0.155	0.165	0.171	0.188	0.153	0.193
	B8	0.150	0.160	0.160	0.163	0.183	0.145	0.205
	B9	0.149	0.152	0.165	0.164	0.170	0.151	0.208
	B10	0.175	0.162	0.165	0.164	0.159	0.149	0.216

3.9.3 目地部のたわみ測定結果 (a タイプ)

図-3.16 に供用 21 年までの a タイプのポーラスコンクリート舗装における A 車線および B 車線の目地部の D_0 たわみの測定結果を、図-3.17 にそれらの測定結果を用いて算出した荷重伝達率を示す。

目地部のたわみは、車線 A、車線 B 共に、供用 10 年までは 0.4mm 以下とそれほど大きくなかったが、供用 17 年以降、測定位置によっては大きくなった。車線 A の測定位置 A15 においては供用 17 年から供用 21 年にかけて、たわみが極端に大きくなった。

また、たわみが大きい車線 A の測定位置 A15、A19 および車線 B の測定位置 B19 においては、荷重伝達率も小さくなった。これらの目地部 D_0 たわみは、0.5mm を超えるほど大きく、目地部に何らかの変状が起きつつあると考えられる。しかし、ひび割れは少なからず発生しているものの、調査時点では目地段差など走行快適性や走行安全性が危惧されるような変状は見当たらない。なお、測点 A16 の荷重伝達率が 100% を超えており異常値と考えられるが、その原因は不明である。

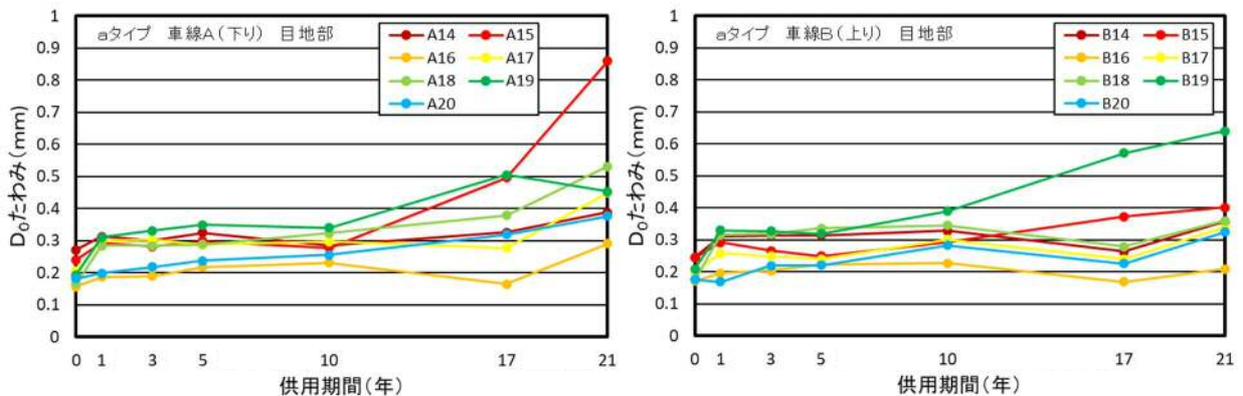


図-3.16 a タイプのポーラスコンクリート舗装の D_0 たわみ (目地部)

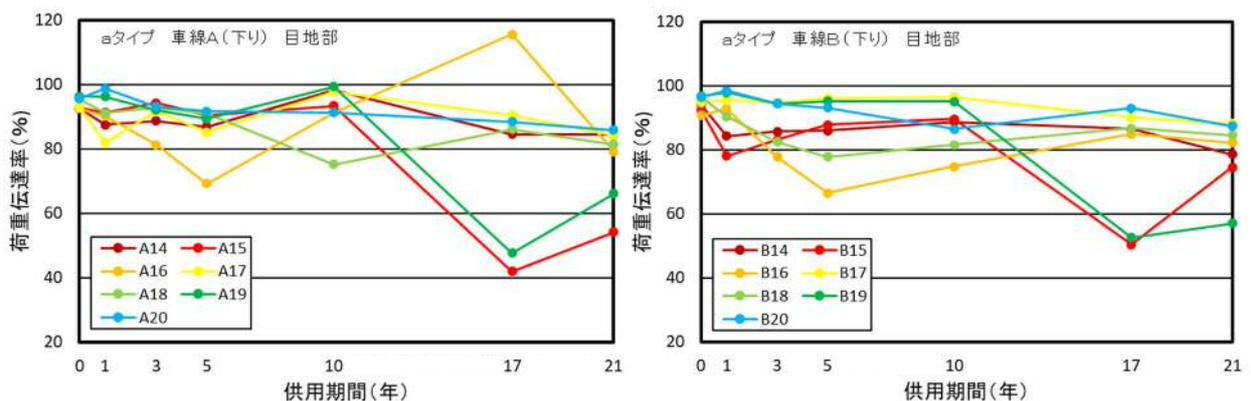


図-3.17 a タイプのポーラスコンクリート舗装の荷重伝達率 (目地部)

表-3.9 aタイプのポーラスコンクリート舗装のD₀たわみ（目地部）

タイプ	測定位置	D ₀ たわみ (mm)						
		施工直後	供用1年	供用3年	供用5年	供用10年	供用17年	供用21年
aタイプ 車線A (下り)	A14	0.272	0.313	0.300	0.325	0.285	0.326	0.388
	A15	0.241	0.293	0.282	0.299	0.278	0.496	0.860
	A16	0.158	0.187	0.190	0.219	0.231	0.165	0.291
	A17	0.206	0.302	0.303	0.287	0.298	0.278	0.449
	A18	0.167	0.285	0.285	0.288	0.324	0.380	0.531
	A19	0.194	0.310	0.331	0.350	0.340	0.505	0.454
	A20	0.182	0.199	0.219	0.238	0.257	0.320	0.377
aタイプ 車線B (上り)	B14	0.246	0.312	0.314	0.314	0.329	0.264	0.357
	B15	0.244	0.292	0.267	0.25	0.292	0.373	0.402
	B16	0.172	0.196	0.204	0.223	0.227	0.169	0.209
	B17	0.199	0.259	0.250	0.241	0.302	0.240	0.339
	B18	0.174	0.316	0.319	0.336	0.346	0.279	0.360
	B19	0.209	0.330	0.328	0.32	0.390	0.572	0.640
	B20	0.177	0.169	0.220	0.221	0.283	0.226	0.325

表-3.10 aタイプのポーラスコンクリート舗装の荷重伝達率（目地部）

タイプ	測定位置	荷重伝達率 (%)						
		施工直後	供用1年	供用3年	供用5年	供用10年	供用17年	供用21年
aタイプ 車線A (下り)	A14	92.6	87.6	88.7	87.0	98.2	84.6	84.5
	A15	92.8	91.3	94.4	90.5	93.5	42.0	54.2
	A16	92.6	90.3	81.3	69.3	91.3	115.6	79.3
	A17	93.0	82.0	91.8	85.2	97.8	90.6	84.4
	A18	95.5	91.2	92.9	91.1	75.3	86.1	81.5
	A19	96.4	96.3	92.2	89.4	99.4	47.7	66.1
	A20	95.8	98.7	93.2	91.8	91.4	88.5	85.9
aタイプ 車線B (上り)	B14	94.2	84.4	85.8	86.0	88.7	86.5	78.6
	B15	92.5	78.1	83.2	87.9	89.7	50.5	74.6
	B16	90.8	92.9	77.8	66.5	74.9	85.0	82.3
	B17	94.7	95.6	94.7	96.1	96.5	90.2	88.3
	B18	96.4	90.5	82.5	77.8	81.6	86.8	84.6
	B19	96.8	98.0	94.5	95.3	95.1	52.6	57.1
	B20	96.5	98.5	94.5	93.2	86.5	93.1	87.5

3.9.4 目地部のたわみ測定結果 (b タイプ)

図-3.18 に供用 21 年までの b タイプのポーラスコンクリート舗装の A 車線および B 車線の目地部の D_0 たわみの測定結果を、図-3.19 にそれらの測定結果を用いて算出した荷重伝達率を示す。

目地部のたわみは、供用 17 年から供用 21 年にかけてほとんど変化しなかった。荷重伝達率も、たわみが大きい供用 17 年および供用 21 年では小さくなっていった。供用 10 年に限ってたわみが小さく、荷重伝達率が高いが、これは供用 10 年までの結果を取りまとめた舗装技術専門委員会報告 R-31⁸⁾によれば、供用 10 年の調査時期のみ気温が高い 5 月に行われており、試験中の路面温度は 23~33℃と他の調査時期に比べて高かったため、コンクリート版の熱膨張により目地のかみ合わせ効果が相対的に高まったためと推察している。

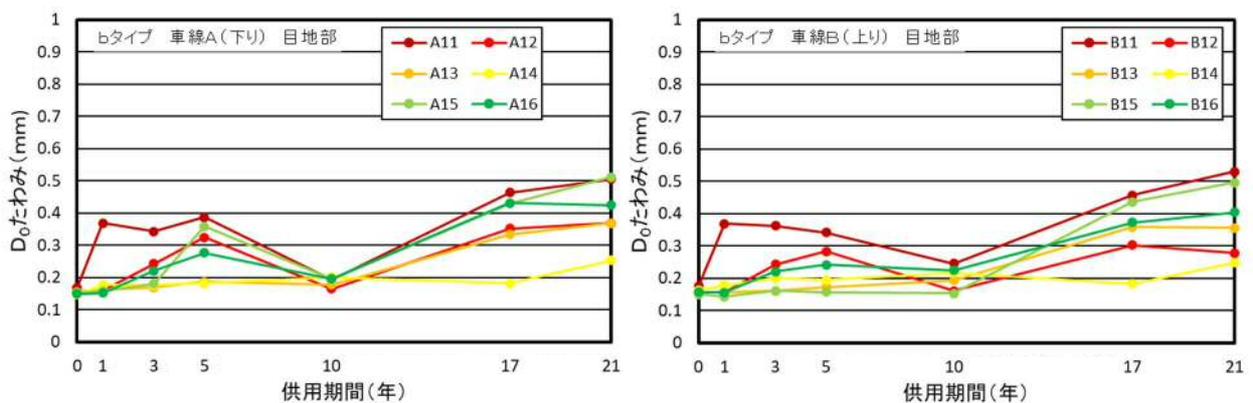


図-3.18 b タイプのポーラスコンクリート舗装の D_0 たわみ (目地部)

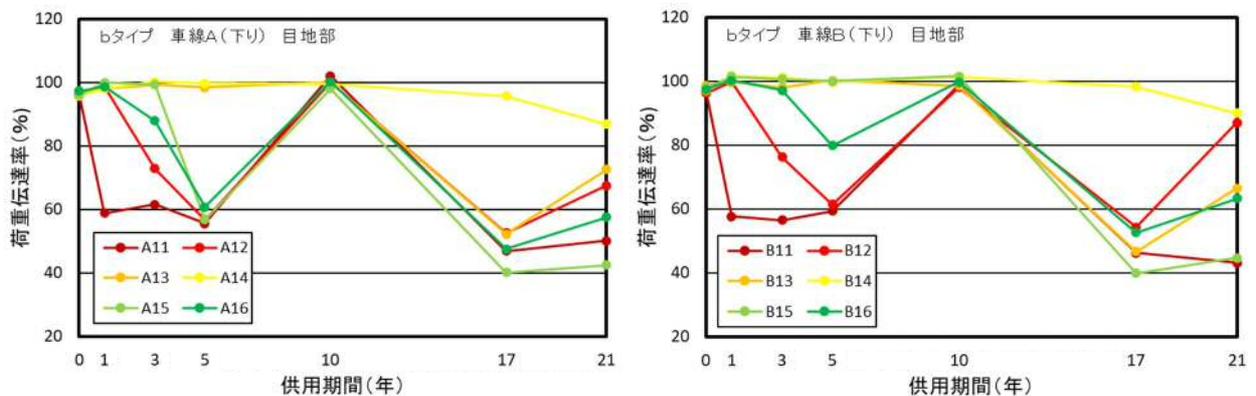


図-3.19 b タイプのポーラスコンクリート舗装の荷重伝達率 (目地部)

表-3.11 bタイプのポーラスコンクリート舗装のD₀たわみ（目地部）

タイプ	測定位置	D ₀ たわみ (mm)						
		施工直後	供用1年	供用3年	供用5年	供用10年	供用17年	供用21年
bタイプ 車線A (下り)	A11	0.169	0.37	0.344	0.387	0.194	0.464	0.506
	A12	0.156	0.160	0.244	0.325	0.166	0.353	0.369
	A13	0.157	0.162	0.169	0.187	0.179	0.334	0.370
	A14	0.147	0.177	0.177	0.182	0.202	0.183	0.254
	A15	0.153	0.159	0.181	0.359	0.195	0.431	0.512
	A16	0.150	0.152	0.222	0.277	0.197	0.432	0.425
bタイプ 車線B (上り)	B11	0.176	0.370	0.363	0.342	0.246	0.458	0.531
	B12	0.156	0.156	0.243	0.284	0.162	0.303	0.278
	B13	0.156	0.156	0.161	0.173	0.194	0.359	0.357
	B14	0.164	0.178	0.201	0.196	0.217	0.184	0.248
	B15	0.151	0.143	0.162	0.158	0.154	0.437	0.497
	B16	0.158	0.157	0.222	0.242	0.226	0.373	0.405

表-3.12 bタイプのポーラスコンクリート舗装の荷重伝達率（目地部）

タイプ	測定位置	荷重伝達率 (%)						
		施工直後	供用1年	供用3年	供用5年	供用10年	供用17年	供用21年
bタイプ 車線A (下り)	A11	95.8	58.8	61.6	55.6	102.1	46.9	50.1
	A12	96.4	98.7	72.9	56.8	100.0	52.6	67.5
	A13	97.4	98.1	99.4	98.4	100.0	52.2	72.6
	A14	95.8	98.0	100.3	99.7	99.5	95.7	86.9
	A15	96.0	100.0	99.4	56.7	98.1	40.1	42.5
	A16	97.3	98.7	87.9	60.8	100.3	47.6	57.6
bタイプ 車線B (上り)	B11	97.1	57.7	56.5	59.3	98.9	46.3	43.1
	B12	96.3	99.7	76.3	61.5	98.0	54.3	87.0
	B13	98.7	99.7	98.1	100.3	98.6	46.6	66.5
	B14	97.2	101.7	101.2	99.7	101.4	98.3	90.0
	B15	98.0	101.4	100.6	100.0	101.6	39.9	44.7
	B16	97.4	100.3	97.2	79.9	99.8	52.6	63.2

3.10 中性化深さおよび二酸化炭素量

3.10.1 中性化深さ

中性化深さの試験結果を、写真-3.5 および写真-3.6 に示す。

a タイプおよびb タイプとも、測定面の全体が赤紫色に呈色し、中性化深さは0mm となった。

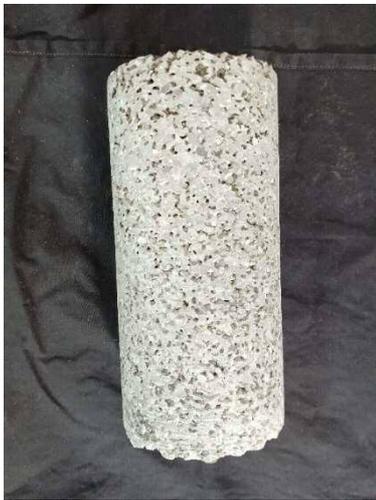


写真-3.1 aタイプのコア供試体



写真-3.2 bタイプのコア供試体



写真-3.3 aタイプの割裂後の断面



写真-3.4 bタイプの割裂後の断面



写真-3.5 aタイプの中性化試験結果(右)



写真-3.6 bタイプの中性化試験結果(右)

3.10.2 二酸化炭素量

表-3.13 に、a タイプの測定用試料 A-1 (路面～深さ 4cm)、A-2 (深さ 4cm～深さ 8cm)、A-3 (深さ 8cm～深さ 12cm)、A-4 (深さ 12cm～深さ 16cm)、A-5 (深さ 16cm～深さ 20cm) の真空乾燥質量と炭素分析装置により測定した二酸化炭素含有率との関係を示す。

二酸化炭素含有率は、A-1 が 1.9%、A-2 が 1.3%、A-3、A-4、A-5 が各々 1.2% であった。

路面から深い A-3～A-5 の値が、材料由来の二酸化炭素であると仮定すると、A-1 では 0.7% (1.9% - 1.2%)、A-2 では 0.1% (1.3% - 1.2%) の二酸化炭素含有率が、外部から侵入した二酸化炭素によるものと考えられる。

これを真空乾燥試料に対する質量に換算すると、A-1 では 2.3g (325.5 g × 0.007)、A-2 では 0.3g (294.8g × 0.001) となる。

この直径 10cm の半円の路面 (円柱コア供試体の半円の表面) から侵入した二酸化炭素量を、単位面積当たりの二酸化炭素量に換算すると、式(1)となり、a タイプのポーラスコンクリート舗装は単位面積当たり 660g の二酸化炭素を吸収したと考えられる。

$$\begin{aligned} & \text{二酸化炭素量 (2.3g+0.3g) / コア供試体の半円の断面積 (78.5cm}^2\text{/2)} \quad \dots\dots\dots \text{式 (1)} \\ & = (2.3\text{g}+0.3\text{g}) / (39.25\text{cm}^2) \\ & = 0.066\text{g/cm}^2 \\ & = 660\text{g/m}^2 \end{aligned}$$

表-3.14 に、b タイプの測定用試料 B-1 (路面～深さ 4cm)、B-2 (深さ 4cm～深さ 8cm)、B-3 (深さ 8cm～深さ 12cm)、B-4 (深さ 12cm～深さ 16cm)、B-5 (深さ 16cm～深さ 20cm)、B-6 (深さ 20cm～深さ 24cm) の真空乾燥質量と炭素分析装置により測定した二酸化炭素含有率との関係を示す。

二酸化炭素含有率は B-1～B-2、すなわち路面から 8cm までのポーラスコンクリートに比べて、B-3～B-6 の路面からより深い転圧コンクリートの方が多くなった。

路面から深い箇所で、かつポーラスコンクリートよりは確実に密実な転圧コンクリートの二酸化炭素含有率が多いことから、転圧コンクリートには生コンクリートの製造段階から材料中に炭酸カルシウムが入っていた可能性があると考えられる。しかし、2.2 項の使用材料からは転圧コンクリートに使用された材料の詳細が不明であるため、明言は出来ない。

以上から、コンクリートの種類によっては、舗装の路面から幾らかの二酸化炭素を吸収するものと考えられる。

表-3.13 aタイプの測定用試料の真空乾燥質量と二酸化炭素含有率

試料名	真空乾燥質量 (g)	二酸化炭素 含有率 (%)	参考	
			1回目	2回目
A-1 (路面～深さ 4cm、ポーラスコンクリート)	325.5	1.9	1.89	1.89
A-2 (深さ 4cm～深さ 8cm、ポーラスラコンクリート)	294.8	1.3	1.29	1.30
A-3 (深さ 8cm～深さ 12cm、ポーラスラコンクリート)	280.6	1.2	1.21	1.23
A-4 (深さ 12cm～深さ 16cm、ポーラスラコンクリート)	281.2	1.2	1.24	1.24
A-5 (深さ 16cm～深さ 20cm、ポーラスコンクリート)	261.4	1.2	1.22	1.23

表-3.14 bタイプの測定用試料の真空乾燥質量と二酸化炭素含有率

試料名	真空乾燥質量 (g)	二酸化炭素 含有率 (%)	参考	
			1回目	2回目
B-1 (路面～深さ 4cm、ポーラスコンクリート)	343.6	2.3	2.26	2.31
B-2 (深さ 4cm～深さ 8cm、ポーラスコンクリート)	318.0	2.0	2.02	2.04
B-3 (深さ 8cm～深さ 12cm、転圧コンクリート)	324.1	8.2	8.20	8.19
B-4 (深さ 12cm～深さ 16cm、転圧コンクリート)	312.7	9.2	9.16	9.30
B-5 (深さ 16cm～深さ 20cm、転圧コンクリート)	303.2	8.4	8.32	8.38
B-6 (深さ 20cm～深さ 24cm、転圧コンクリート)	283.0	7.3	7.28	7.31

4. まとめ

本調査は、千葉県道成田小見川鹿島港線に適用した、2種類のポーラスコンクリート舗装の供用性能を把握することを目的に、実施した。供用21年までの供用性の調査結果は、以下の通りである。

4.1 ひび割れ

版厚20cmのaタイプのポーラスコンクリート舗装のひび割れ度は、供用21年で22cm/m²である。一方、版厚が25cmであるbタイプのポーラスコンクリート舗装のひび割れ発生は皆無で、極めて良好であった。舗装性能評価法によれば、横目地を有するコンクリート舗装の疲労破壊状態は、横方向目地間に横ひび割れが1本発生した状態と定義され、これによればaタイプの舗装の疲労破壊状態のひび割れ度は25cm/m²となる。したがって、供用21年時のaタイプのポーラスコンクリート舗装の供用状態は、そのひび割れ度はかなり大きいものの、疲労破壊状態にまでは至っていないと言える。

4.2 目地段差

目地部の段差は、供用21年調査時ではポーラスコンクリート舗装のaタイプで最大2.5mm、bタイプで2.4mmと小さく、これまでの調査と同様に良好であった。

4.3 平たん性

平たん性は、ポーラスコンクリート舗装のaタイプおよびbタイプともに供用5年まで徐々に増加し、その値は2.4~3.0mm程度であった。その後は供用10年で2.1~2.7mmに低下し、供用21年時の平たん性は2.7~3.0mm程度と増加する傾向は認められなかった。

4.4 わだち掘れ量

わだち掘れは、ポーラスコンクリート舗装のaタイプおよびbタイプともにほとんど生じてなく、良好であった。

4.5 すべり抵抗

すべり抵抗は、ポーラスコンクリート舗装のaタイプおよびbタイプともに供用21年で動的摩擦係数0.4以上であり、良好であった。

4.6 たわみおよび荷重伝達

ポーラスコンクリート舗装のaタイプの版中央部のたわみに関しては、供用10年調査でD₀たわみが0.8mmと大きくなった場合もあったが、供用21年では0.2~0.4mmと小さかった。ポーラスコンクリート舗装のbタイプの版中央部のたわみに関しては、供用21年までD₀たわみが0.2mm程度であった。

荷重伝達に関しては、ポーラスコンクリート舗装のaタイプおよびbタイプともに、供用21年では荷重伝達率も80~100%と良好であった。一方で目地段差は4.2に示したようにaタイプおよびbタイプともにほとんど生じていなく、関連性が認められた。

4.7 中性化深さおよび二酸化炭素量

コンクリート舗装から採取したコア供試体について、フェノールフタレイン溶液噴霧による中性化深

さはゼロであった。しかし、コア供試体の深さ方向の二酸化炭素量を炭素分析装置で測定した結果、路面から二酸化炭素をある程度は吸収している可能性があることが示唆された。

4.8 浸透水量

供用 10 年までの現場透水試験の結果、ポーラスコンクリート舗装の a タイプおよび b タイプともに、透水量は供用に伴い低下し、供用 10 年でほとんど透水しなかった。また、機能回復の効果も認められなかった⁸⁾。

4.9 騒音

供用 10 年までの騒音レベルを測定した結果、ポーラスコンクリート舗装の a タイプおよび b タイプともに、供用に伴い騒音レベルは増加し、供用 5 年から供用 10 年にかけて、ほとんど変化しなかった。また、機能回復の効果も認められなかった⁸⁾。

総じて、供用 21 年の最終調査の結果、a タイプではひび割れの発生があるものの、a タイプ、b タイプ共に供用中であり、ポーラスコンクリート舗装に車両通行上の問題は生じていない。

以上のことより、当初の設計期間 20 年（耐用年数）を十分満足するポーラスコンクリート舗装の施工が出来たことを確認した。

参考文献

- 1) 森重和、鎌田修、高田佳彦：重交通路線におけるポーラスコンクリート舗装の施工報告、第 30 回日本道路会議論文集、No.3144、2013 年
- 2) (一社) セメント協会：舗装技術専門委員会報告 R-32、2018 年 7 月 (当協会ホームページに掲載中)
- 3) (一社) セメント協会：舗装技術専門委員会報告 R-20、2006 年 9 月 (当協会ホームページに掲載中)
- 4) (一社) セメント協会：舗装技術専門委員会報告 R-23、2008 年 5 月 (当協会ホームページに掲載中)
- 5) (一社) セメント協会：舗装技術専門委員会報告 R-25、2009 年 2 月 (当協会ホームページに掲載中)
- 6) (一社) セメント協会：舗装技術専門委員会報告 R-18、2006 年 1 月 (当協会ホームページに掲載中)
- 7) (一社) セメント協会：舗装技術専門委員会報告 R-22、2007 年 10 月 (当協会ホームページに掲載中)
- 8) (一社) セメント協会：舗装技術専門委員会報告 R-31、2015 年 3 月 (当協会ホームページに掲載中)
- 9) (一社) セメント協会：舗装技術専門委員会報告 R-33、2020 年 3 月 (当協会ホームページに掲載中)
- 10) (公社) 日本道路協会：舗装性能評価法 ー必須および主要な性能指標編ー、2013 年 4 月
- 11) 野田悦郎、弓木宏之、瀧波勇人：既設ポーラスコンクリート舗装の補修事例:隅角部の局部打換え、第 34 回日本道路会議論文集、No.3096、2021 年

ISBN978-4-88175-178-7 C3358

舗装技術専門委員会報告 R-36

2023年9月22日 発行

一般社団法人セメント協会
東京都中央区新富2丁目15番5号
RBM 築地ビル2階
電話 03 (5540) 6171 (代)

発行所 一般社団法人セメント協会 研究所
東京都北区豊島4丁目17番33号
電話 03 (3914) 2691 (代)

