

供用年数増加に伴う排水性舗装の機能に関する一考察

保全施設部保全技術課 杉岡弘一
神戸管理部調査設計課 林訓裕

要 旨

平成7年の兵庫県南部地震により阪神高速道路3号神戸線は甚大な被害を受けたが、その復旧に際し排水性舗装を採用した。これほど大規模に連続した高架橋の橋面舗装に施工された例は希少である。今後の合理的な維持管理を目的に、復旧後の平成8年度から舗装の機能について、経時変化を把握するための調査を実施してきた。本稿は過去6年間の追跡調査データから、各種の指標をもとに路面性状および機能劣化の傾向を明らかにするとともに、機能回復の結果について報告する。さらに、これらの調査結果に基づいて策定した設計基準および排水性舗装設計施工要領についても報告する。

キーワード：排水性舗装，橋面舗装，維持管理，機能回復，設計基準

はじめに

阪神高速道路3号神戸線は震災復旧に際し排水性舗装を採用し、平成8年9月末に全線復旧した。その延長は約30km、面積にして約565,000m²である。これほど大規模に橋梁を含む高架部に施工されたのは初めてであり、その後も連続高架橋において排水性舗装の施工例は増えているため、施工後の路面性状・機能性について各方面から注目されている。しかしながら維持管理に必要な補修基準等は確立されておらず、また維持管理計画策定の基礎となる損傷データの蓄積も僅かである。そのため複数の定点を定め、平成8年度から舗装性状の経時変化を測定している。また空隙詰まり等の機能低下に対しては、随時回復作業を実施しているが、その定量的な手法や基準はないのが実状である。

本稿は平成13年度までの追跡調査および路面測定車等による結果から、供用期間の増加に対する排水性舗装の路面性状とその機能について報告するものである。また平成14年に策定された設

計基準および設計施工要領についても述べる。

1. 舗装構造および材料

3号神戸線にて施工された排水性舗装の標準的な構造は図-1に示すように、表層は厚さ40mmの排水性アスファルト混合物である。基層は鋼床版ではグースアスファルト混合物、コンクリート床版では防水層を設けた上で密粒度アスファルト混合物としている。なお、表層に用いた材料のうち粗骨材の割合は80%、最大粒径は13mm、空隙率は20%を標準とした。

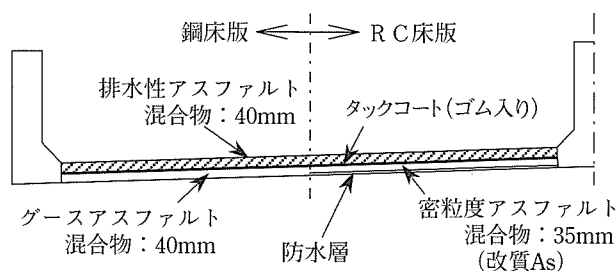


図-1 舗装断面

3 神戸線 (兵庫県)

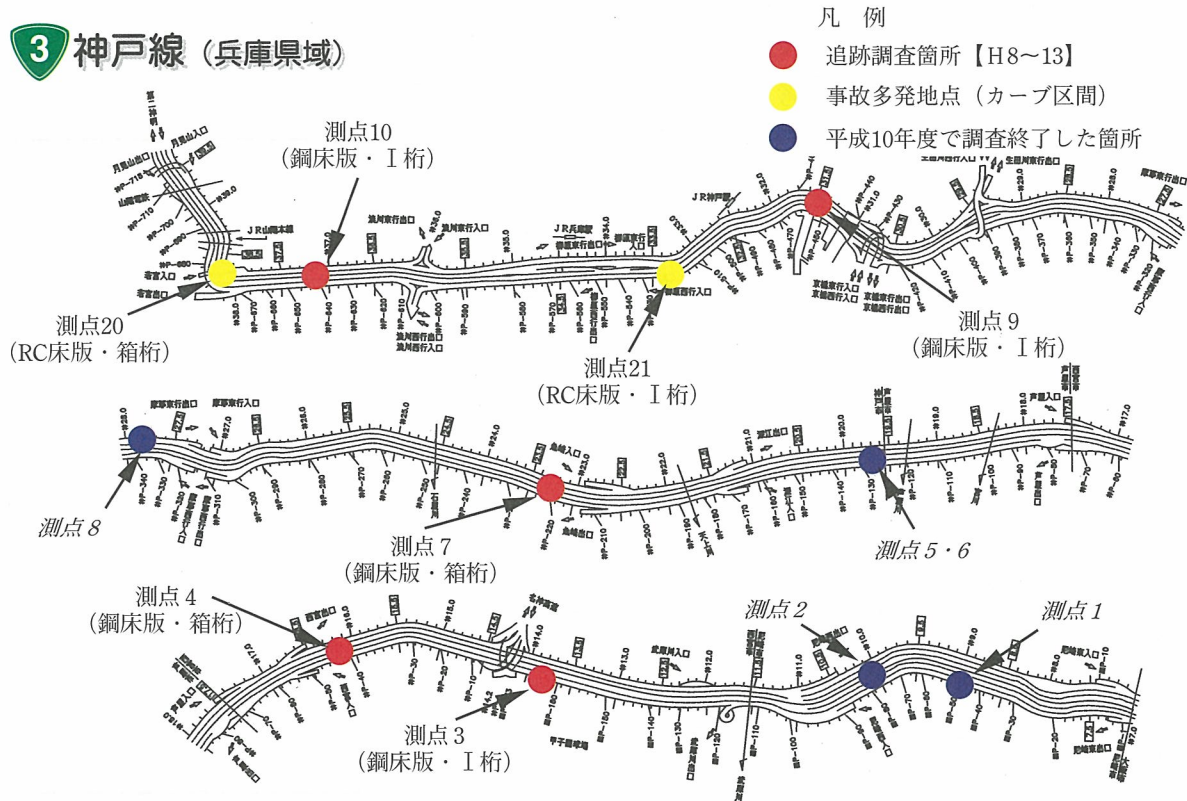


図-2 調査箇所

2. 追跡調査概要

復旧供用開始後の平成8年度より9回にわたり追跡調査を行っている。図-2に調査箇所を示す。これらの箇所に対し、以下に示す路面性状および機能性調査を実施した。

2-1 路面性状調査

排水性舗装について、通常のアスファルト舗装等で行われている路面性状確認を目的とした路面性状に関する調査を実施した。調査項目の一覧を表-1に示す。これらの項目のうち、本稿では①平坦性調査、②すべり抵抗測定、④段差測定の3項目について結果を報告し、考察を加える。

2-2 機能性調査

排水性舗装の有する機能を評価することを目的とした調査を実施する。調査の内容は表-1に示す2項目である。

表-1 路面性状および機能性調査項目

	調査項目	調査方法および器具
路面性状	①平坦性調査	3mプロファイルメータによる方法
	②すべり抵抗測定	DFテストによる方法
	③横断凹凸測定	横断プロファイルメータによる方法
	④段差測定	横断プロファイルメータによる方法
	⑤路面観察	目視観察
	⑥ひび割れ調査	スケッチによる方法
機能性	①現場透水試験	現場透水試験機による方法
	②騒音測定	普及型騒音計による騒音レベル測定

3. 調査方法および結果

3-1 路面性状調査

(1) 平坦性調査

3mプロファイルメータを使用して縦断方向の凹凸量を測定した。これにより路面平坦性を把握する。測定位置は車線の車輪走行位置 (IWP, OWP) である。測定は連続とし、データ整理の際に伸縮継手の前後1.5mの部分を除いて計算した。

累積交通量を時間軸として、測定結果を図-3に示す。一部で計測値が乱れているのは、ジョイント付近に施された補修の影響と考えられる。その他については供用開始時から若干悪くなった程度である。よって6年を経過した段階でも、良好な平坦性を示していることより、通行量のある程度の増加に対しても耐久性があることが判明した。

(2) すべり抵抗値測定

すべり抵抗試験には、排水性舗装のように粗面の測定にも測定値のばらつきが少なく、車の走行速度に換算して80km/h程度までのすべり摩擦係数が測定できるDFテスト法を採用した。測定対象速度は、同一位置において20、40、60km/hの3水準で行った。なお、測定位置は1測定区間で1箇所（走行車線はOWP、追越車線はIWP）選定した。

DFテストによる測定結果から、60km/h時の測定値と累積交通量との関係を図-4に示す。これによると累積交通量1,000万台まではほぼ横ばいだが、それを超えるとすべり摩擦係数が若干低下していく傾向にある。しかし供用後5年を経過した段階で、日本道路協会の提案する自動車専用道路における維持修繕要否判断の評価値 $\mu = 0.25$ ¹⁾を下回っている箇所は見られず、概ね良好である。

(3) 段差測定

高架道路のジョイントに生じる段差は車両の乗り心地に悪影響を与えるのみならず、通過車両により発生する騒音・振動によって沿道住民に多大な影響を及ぼすことになる。段差の問題は、従来の密粒度舗装においてもたびたび指摘されてきたが、特に排水性舗装は粗骨材が極めて多く、すり付けや十分な締固めが難しいことから、重要な項目と言える。

測定位置は、路面状況測定区間（1径間部分）の伸縮継手の前後について、走行車線のIWP、OWPとした。測定方法は伸縮継手前後2mの最大段差量 D_{max} を測定した。

伸縮継手位置の最大段差量と累積交通量との関係を図-5に示す。段差の補修目安は10mm（道

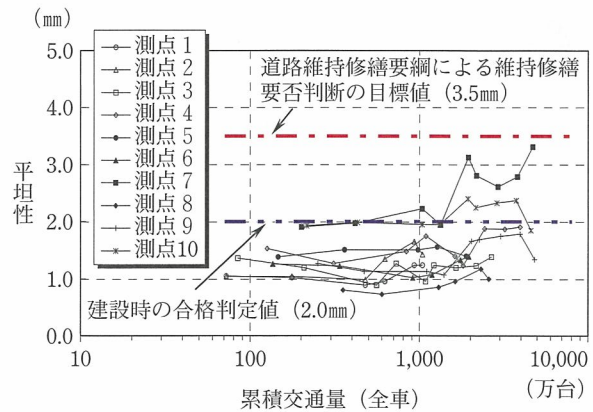


図-3 平坦性進行量

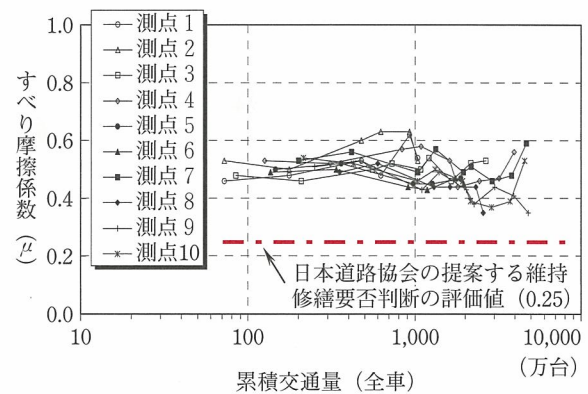


図-4 すべり摩擦係数の経時変化 (60 km/h)

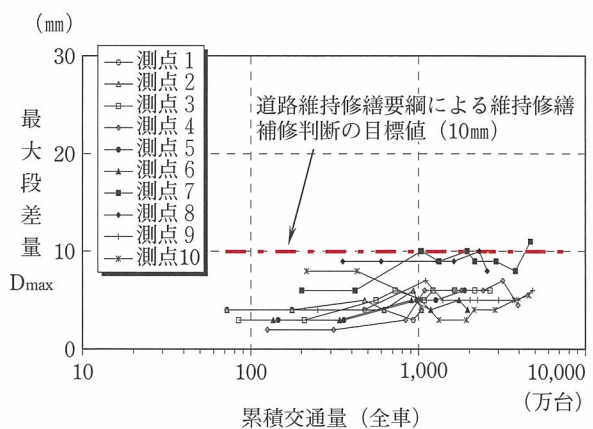


図-5 最大段差量の進行

路維持修繕要綱)であり、一部でそれに近い値を示しているものの、ほぼ横ばいの状態で推移している。これより比較的初期にある一定のレベルに達し、以後交通量が累積しても影響はそれほど大きくないことが判明した。

3-2 機能性調査

(1) 現場透水試験

ここでの試験は排水機能が持続しているかを把握するために行うものである。排水性舗装における現場透水試験は、『舗装試験法便覧』に準拠した変水位型現場透水法によるものとした(写真-1)。透水試験の測定位置は図-6に示すように、1車線で6箇所(走行車線：OWPで3箇所、BWP・ライン直近・路肩部で各1箇所、追越車線：IWPで3箇所、OWP・BWP・ライン直近で各1箇所)を選定した。



写真-1 現場透水試験状況

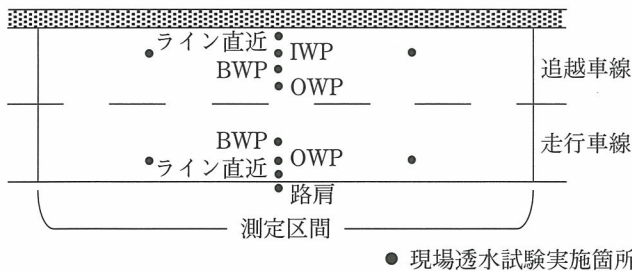


図-6 現場透水試験測定位置

走行車線のOWPにおける結果を図-7に示す。このうち測点9における低下が著しいが、ここは右カーブから直線への遷移区間で横断方向が緩勾配となっていることから、動水勾配がほとんどないものと推測される。そこで、図-8に横断方向の透水量の経時変化をまとめた。これによると路肩部で極端な低下がみられる。

なお、図中において透水量が増加している調査箇所があるが、これは後に述べる機能回復を実施したことによるものである。

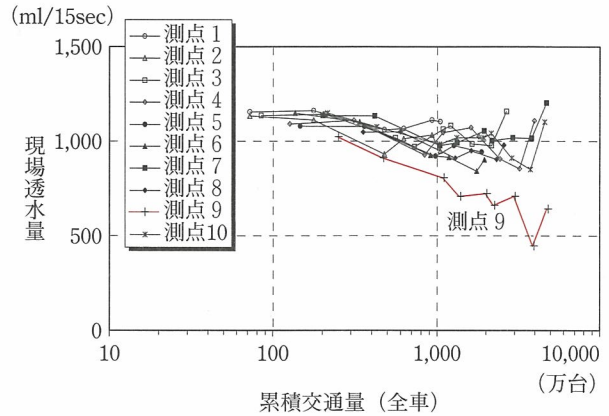


図-7 現場透水量の経時変化 (OWP)

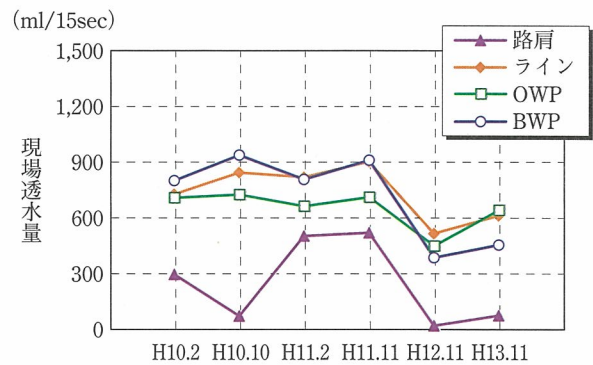


図-8 測点9における透水量の変化

(2) 騒音測定

排水性舗装の空隙による騒音低減効果は、走行音(主にタイヤと路面の摩擦音)の吸収によるものであるが、この経時変化を把握することを目的に、24時間測定を実施している。

測定方法は集音マイクロフォンを遮音壁に設置し、毎正時から10分間の騒音調査を24回実施後、1/3オクターブバンドでの周波数分析を行う。サンプリング間隔0.25秒で、音圧レベル L_{eq} 等を算出する。写真-2はその測定状況である。



写真-2 車両走行音測定状況

排水性舗装は密粒度舗装と比較して、一般に1kHz以上の周波数帯域において騒音低減効果が期待できると言われており²⁾、この範囲では施工2年後と施工5年後とのレベル差は、やや悪くなっている程度であり、全体的には騒音低減効果は持続している。

4. 日常点検および路面測定車による損傷状況

前章までは、局所的な「点」としての結果をまとめたものであるが、本章は3号神戸線全線、すなわち「線」のデータから排水性舗装の路面状況を把握するものである。

4-1 日常点検

日常点検で報告された損傷を発生種類別にまとめたものが、図-9である。比較のために、打換え前の密粒度舗装における損傷も並べた(図-10)。

排水性舗装では、半数以上がポットホールであり、ひび割れやきれつは少ない。これに対し、密粒度舗装では、ポットホールが種別の最多を占めるも、その割合は排水性舗装に対して低い。次いでひび割れ・もり上がりの発生が多い。このように、排水性舗装では密粒度舗装で多く発生しているひび割れ等が激減していることから、面的な耐久性は向上していると言える。また発生件数も、月平均8.6件(密粒度)→4.5件(排水性)と減少していることから高耐久性であることがうかがえる。

4-2 路面測定車

路面測定車は走行しながらデータを記録し、点検要領に基づいてわだち掘れとひび割れ(ポットホール・パッチングを含む)の損傷を算出する。神戸線では平成13年度末にランプ部を除く全線において測定車を走行させて、データを取得した。

まず、わだち掘れについて、図-11には最大量の度数分布を示す。また参考として図-2の測点4および測点4と同等の交通量のある密粒度舗装区間(東大阪線)における進行量を図-12に示す。

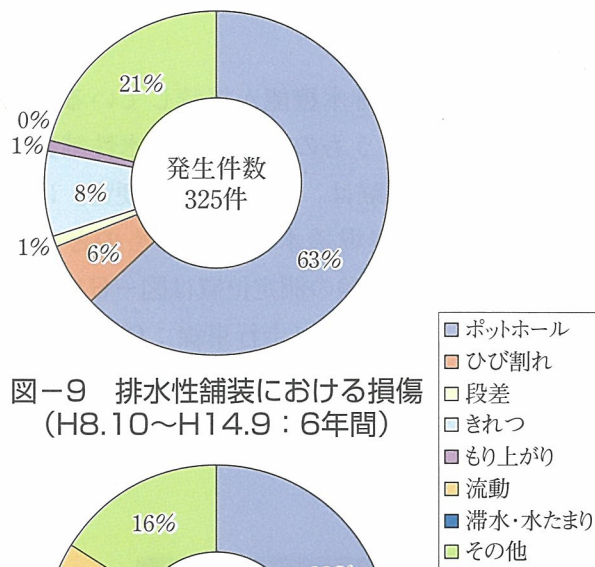


図-9 排水性舗装における損傷 (H8.10~H14.9: 6年間)

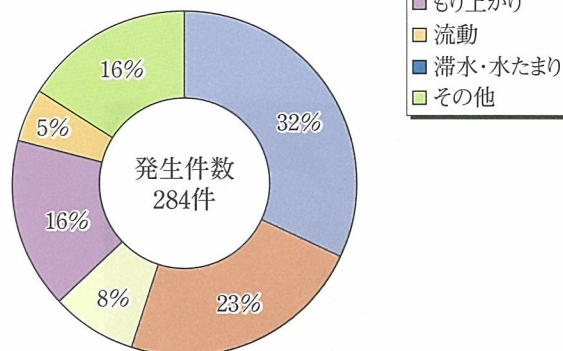


図-10 密粒度舗装における損傷 (H4.4~H7.1: 約3年間)

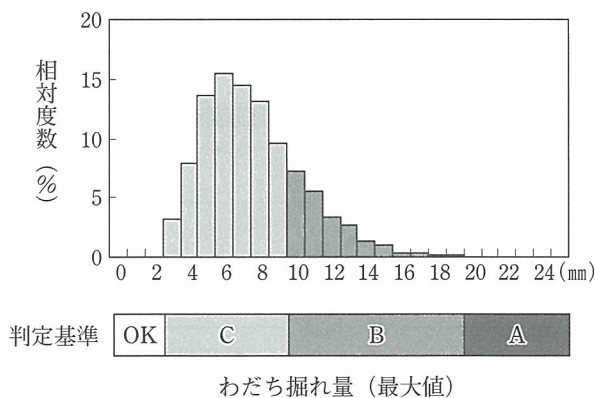


図-11 わだち掘れ量ヒストグラム

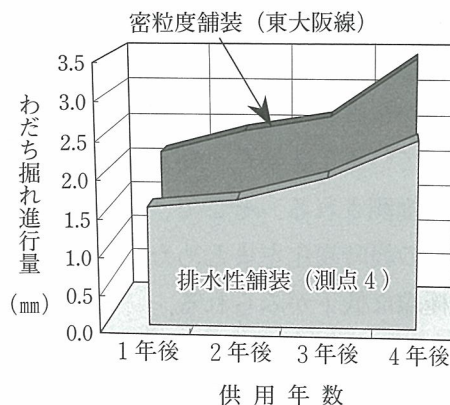


図-12 わだち掘れ量の推移

最大わだち掘れ量の度数分布からは、大半が10mm以下であり、その進行は密粒度舗装と比較して緩やかである。また、このことより供用開始より6年弱経過した段階でも、補修を要するような損傷はほとんど発生していない。

次いでひび割れ（最大ひび割れ率）について、それぞれ損傷ランク別に舗装全面積に対する割合を表-2に示す。

表-2 ひび割れ発生割合

ランク	A	B	C	OK
判定基準 (最大ひび割れ率)	~15%	15~5%	5~0%	0%
割合 (%)	0.03	0.59	38.48	60.90

早急な補修を要するAランク損傷は皆無で、大半が損傷なし、もしくは軽微な状態である。これから言えるのは、日常点検の結果と同様で面的な耐久性が向上しているということである。

5. 機能回復

排水機能は、空隙つぶれや空隙詰まりが発生することにより低下していく。前者に起因するものについては、現在のところ舗装打ち換え以外に機能回復させる手法は皆無であるが、空隙詰まりは舗装体内に堆積している土砂・粉塵等の異物を除去することにより機能回復が可能である。一度低下した機能を回復させることで長寿命化につながり、結果としてライフサイクルコストの低減が図られる。

神戸線では、2年に1回のサイクルで機能回復車（高圧水+吸引）による排水機能回復作業が行われている。また、カーブ区間等の事故多発箇所においては、重点的に回復作業を実施している。

本章では若宮カーブ（図-2の測点20）における作業前後の透水量と騒音値の変化を指標に、効果の検証を行った。当該区間においては、R=120mの急カーブがあり事故が比較的多い箇所であるため、安全対策を兼ねてバキュームによる回復作業を実施している。平成12年9月に実施した作業前

後の現場透水量および騒音値（追跡調査のみ）の比較を表-3に示す。

表-3 機能回復前後の各指標の変化

	H 11.11	H 12.9		H 12.11
	施工5ヶ月後	作業前	作業後	2ヶ月後
透水量 (OWP)	950	767	828	839
〃 (路肩)	664	98	80	90
騒音値 (A.P.)	H11.11~H12.11のレベル差:+0.3dB			

【単位：ml/15sec（透水量）】

ここでは、平成11年6月に交通安全対策として明色骨材（セラロードH）を粗骨材に入れた排水性舗装に打換えられている³⁾。施工から5か月経過した時点では、いずれの値も良好であるが、機能回復の直前では路肩部の透水量が劇的に悪化している。車輪走行部においては回復作業の後には透水量の改善が認められるが、路肩部では回復前から透水量がほとんどない状態であり、作業後も有意差は見られない。ゆえに空隙がつぶれている可能性が考えられる。

また、騒音値については回復作業の直前直後に測定したデータがないため、単純な比較はできないが、追跡調査の結果からは機能低下を起こしていないことがうかがえる。

以上、バキューム方式による機能回復効果を見てきたが、試験的な要素が大きく、あくまで一つの手法に過ぎない。このように現時点では定量的な回復方法の確立までは至っていないため、阪神高速道路公団以外にも各地で、その方法に関して様々な検討を行っている^{4),5)}。ゆえに作業の効率化かつ低コストを絶対条件に、機能回復手法を開発していくことが今後の課題と言える。

6. 要領・基準の策定

兵庫県南部地震により被害を受けた3号神戸線の復旧に際し、沿道環境の改善や車両の走行安全性の向上を目的に、排水性舗装を高架道路へ全面的に採用した。

排水性舗装の特性は、降雨時の高速走行時での

すべり摩擦抵抗係数が大きく、舗装路面の滞水による水はねやスモーク現象、およびハイドロプレーニング現象が抑制できる点である。また、夜間においては路面の光の乱反射による区画線などの視認性が向上し、車両の走行安全性に対する改善効果がある。一方、走行車両のエンジン音やタイヤより発生するエアポンピング音などの交通騒音が低減する効果もあり、環境対策の面でも利点を有する舗装である。さらに、排水性舗装は一般舗装に比べてわだち掘れの進行が小さいことから、走行安全性や快適性だけではなく耐久性においても評価されるものである。

しかし、当時、排水性舗装は土工部での採用が大部分であり、排水性舗装を大規模かつ連続した高架道路に採用するにあたって、橋面舗装という特殊な道路環境を十分配慮する必要がある。すなわち、橋面舗装では橋体保全の観点から、床版防水に配慮した舗装構造および排水処理構造や、舗装体に浸透した雨水を迅速に排出させることが求められた。

そこで、平成7年度より阪神高速道路公団では「舗装の耐久性に関する調査研究委員会」において排水性舗装に関する検討を重ね、3号神戸線の高架部に排水性舗装を採用する際の設計・施工について、技術的な基準を取りまとめ、排水性舗装設計施工要領を策定した。

その後、合理的な維持管理を目的に、復旧後の平成8年度から舗装面の損傷や機能について調査を実施してきたのは先に述べたとおりである。これら排水性舗装の追跡調査結果と損傷発生状況に基づき、併せて「舗装の構造に関する技術基準・同解説」(H13.7)、「舗装設計施工指針」(H13.12)および「舗装施工便覧」(H13.12)との整合を考慮して、平成14年5月に設計基準と排水性舗装設計施工要領を改訂した。同時に、これに関連する「土木工事共通仕様書」の一部を改訂した。これら改訂に伴い、表層はランプ部も含めて排水性舗装を標準とした。それにより、RC床版では防水層を設置することとした。また、鋼床版においては基層に水密性およびたわみ性に優れた砕石

マスチックアスファルト混合物(SMA)を用いることができたとした。

おわりに

本稿は橋面に施工した排水性舗装の追跡調査結果と損傷発生状況とを報告し、これらに基づいて策定した要領・基準に関する経緯を述べたものである。今回のケース(施工後6年間の追跡調査結果)においては、排水性舗装の耐久性は従来の密粒度舗装より高いことが確認された。

今後も追跡調査を実施すると同時に、さらなる耐久性向上のための技術指針等を確立していきたいと考えている。現在、性能規定工事発注を見据えて、「長期耐久性舗装に関する検討委員会」において性能規定値の設定等について検討を行っている。一方、機能の持続という観点から、供用路線における機能回復の手法や実施サイクルの検討も行っていくことが急がれる。

謝辞：排水性舗装の検討として、平成7年度の神戸線への適用検討からその後の追跡調査、そして設計基準および排水性舗装設計施工要領の策定にわたり多大なご指導をいただいた「舗装の耐久性に関する調査研究委員会(委員長：大阪市立大学山田優教授)」の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 市原薫, 小野田光之: 路面のすべり一新訂版一, 1986.
- 2) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会: 道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”, 日本音響学会誌, Vol.55/No.4, pp.281-324, 1999.
- 3) 赤間佳徳, 高橋祐史: 3号神戸線若宮カーブにおける舗装補修工事(排水性明色舗装)の施工概要について, 阪神高速道路公団技報第十九号, pp.91-96, 2001.
- 4) 新田弘之, 吉田武: 排水性舗装の騒音低減機

能の回復に関する一考察，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，V-025，pp.49-50，2002.

5) 酒井雅利，池田一壽，戸倉健司：低騒音舗装の維持清掃方法に関する検討，舗装，Vol.37 / No.10，pp.3-7，2002.

STUDY FOR FUNCTIONS OF DRAINAGE PAVEMENT

Koichi Sugioka and Kunihiro Hayashi

The Hyogoken-nambu earthquake occurred in 1995 hit Kobe metropolitan area and the Hanshin Expressway Kobe Route 3 was seriously damaged. The Hanshin Expressway Public Corporation (HEPC) restored damaged structures and conducted the drainage pavement on the area of 565,000 m² and length of 30 km continuous elevated structures.

There was really little case that the drainage pavement for bridges was conducted in such a huge scale and few basic data of a determination of the pavement existed to make a maintenance plan. HEPC have executed the investigation to know the time variation of serviceability of the road surface since 1996.

In this paper, the degradation of serviceability and function of the drainage pavement is specified by means of analyzing the damage data in past 6 years, and the results before and after works restored its function is discussed.

Keywords: drainage pavement, bridge deck pavement, maintenance, recovery of functions, design criteria