遮水性材料を併用した高機能舗装の 基層部損傷抑制効果に関する一考察

松本 大二郎¹・加藤 亮²・佐藤 正和³・神谷 恵三⁴

¹ 非会員 (株)高速道路総合技術研究所 舗装研究室主任 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)
E-mail:d.matsumoto.aa@ri-nexco.co.jp

² 正会員 (株)高速道路総合技術研究所 舗装研究室主任 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

³ 正会員 (株)高速道路総合技術研究所 舗装研究室長 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

⁴ 正会員 博 (工) (株)高速道路総合技術研究所 舗装研究部長 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

高濃度改質アスファルト乳剤または特殊改質アスファルトを併用し、高機能舗装混合物の下層に遮水性を持たせる工法について、基層部の損傷抑制効果等の評価を試みた。実物大の供試体を用いた実験結果から、通常工法に比べ、基層に損傷が無く舗装構造が健全な場合には、はく離進行抑制効果を有することを確認した。しかし、基層に損傷がある場合は、損傷程度が比較的低い段階までは、急速な損傷の進行は緩和される可能性があるものの、繰返しの交通荷重の作用により基層の損傷が進行していくことを確認した。これらの結果を踏まえ、本工法の適用について考察した。

Key Word : *porous asphalt surface layer, highly concentrated modified emulsion, modified asphalt, binder layer, segregation*

1. はじめに

高機能 (ポーラスアスファルト) 舗装は、東日本高速道路 (株)、中日本高速道路 (株)、西日本高速道路 (株) (以下、NEXCO という) により運営管理されている高速道路の舗装の標準的な表層混合物として使用されており、全車線面積の 7 割を超える施工実績を有している。高機能舗装については、舗装体内の連続した空隙により、密粒度舗装に比べ雨天時の水はねやスモーク現象が軽減され、視認性やすべり抵抗が向上する。また、タイヤ騒音が軽減するなどの特徴を有する。しかし、雨水を基層上面に滞留・流下させることから、特に切削オーバーレイ工等により既設基層の補修を行わず、表層に高機能舗装混合物を施工した場合、基層混合物の状態によっては、はく離に起因したポンピングや局部流動といった高機能舗装特有の損傷¹⁾が供用後比較的早期に顕在化する場合がある。

近年、高機能舗装混合物の下層に通常使用されているゴム入りタックコート (PKR-T) と異なる性状・散布量の材料で形成された層を構築することで、上記損傷の要因となる基層への水の浸透を抑制させる工法 (以下、遮水型工法という) が開発されており、NEXCO でも、主に舗装修繕の現場において、既設基層を活用 (存置) する

ことによるコスト削減を目的とした遮水型工法の施工事例が散見されるようになっている。

一方、遮水型工法の性能については、現状において、統一的に定められた基準等がなく、同一の尺度で効果を確認することができない。また、既設基層の状態によって、効果が異なってくることが考えられる。

このような背景から、(株)高速道路総合技術研究所 (以下、NEXCO 総研という) では、実物大の舗装構成で、大型車の載荷重により走行実験を行うことが可能な回転式舗装試験機 (NEXCO 総研保有) を使用し、通常工法と数種類の遮水型工法について各種の実験を行い、基層部の損傷抑制効果の評価を試みた。また、高速道路本線で遮水型工法が施工された箇所において、FWD 測定による追跡調査を実施し、アスファルト層の構造的な強度への影響等について評価を行った。

本文は、これらの結果等に基づき、遮水型工法の基層部損傷抑制効果について考察する。

2. 遮水型工法の概要

図-1 に本研究で扱う遮水型工法概念を示す。

遮水型工法に使用されている材料は、高濃度改質アス

図-1 遮水型工法の概念

表-1 遮水型工法の種類

種 類	遮水型工法A	遮水型工法B	遮水型工法C
主要材料	高濃度改質アスファルト乳剤	特殊改質アスファルト	特殊改質アスファルト
性 状			
針入度※ (1/10mm)	60～100	5～60	20～50
軟化点※ (°C)	48以上	60以上	80以上
散布量	1.2 L/m ²	1.2 L/m ²	1.2 L/m ²

※ 製品規格値, 「遮水型工法A」は蒸発残留物での値

ファルト乳剤または特殊改質アスファルトであり, 一般的な散布量は, 概ね 1.2L/m²となっている. この多量に散布される材料により層を形成し, 高機能舗装混合物の下層に遮水性を持たせることや, 表・基層間の接着引張強度 (性能) をゴム入りタックコート (PKR-T) に比べて高めることを目的としている.

遮水型工法の施工には, 通常, 高濃度改質アスファルト乳剤の場合は, 強制的に水とアスファルトの分離を促す分解剤を同時散布する機能を備えた乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャーを用い²⁾, 特殊改質アスファルトの場合は, 専用のディストリビュータが使用されている.

3. 遮水型工法による基層の損傷抑制効果に関する評価実験

高機能舗装混合物を表層に適用した箇所における基層の損傷としては, 表層から浸透した水の影響により, 上面方向 (表・基層の境界) からはく離が進行し脆弱化する事象が挙げられる³⁾. また, ひび割れが発生していた既設基層を存置した場合は, そのひび割れを起因とした基層混合物自体の損傷進行や表層へひび割れが進展する事象 (リフレクティブクラックの発生) が挙げられる.

そこで, NEXCO で使用実績のある表-1 に示す種類の遮水型工法を対象に, 回転式舗装試験機を使用し, これら損傷等の再現を考慮した条件 (環境設定, 模擬供試体) により試験を行い, 遮水型工法による基層の損傷抑制効果について評価した.

(1) 基層のはく離進行抑制効果の評価

図-2 供試体の構成

表-2 試験条件

項 目	試験軌道	外軌道
タイヤの種類	大型車タイヤ (シングル)	【散水条件】
載荷重 (ton)	2.5	・水温 60°C
速 度 (km/h)	60	・走行試験前および 5000 輪毎に散水。散布量は約 10L/m ² ・回
路面温度 (°C)	40～50	
累積走行輪数 (輪)	54万	

a) 試験概要

本試験は, 図-2 に示す供試体の舗装構成において, 表-2 に示す試験条件により実施した. なお, 基層上面からはく離を促進させるため, 温水 (60°C) を日々の走行試験前と所定の走行輪数毎に, 高機能舗装混合物の空隙が十分に温水で満たされる程度, 路面に対し散布した. また, 基層面は, 補修工事を想定し, 切削を施した.

走行試験終了後は, 軌道部 (軌道部の位置は図-5 参照) から水浸ホイールトラッキング試験に準じ, 300mm×300mm でブロックサンプリングし, 基層断面のはく離面積率を算出し評価した. また, 遮水型工法を施工した混合物の防水性を確認する目的で, 供試体の外軌道部から採取したコア試料 (基層部を 2cm 残して整形した表・基層一体の試料) について, 加圧透水試験を実施し, 透水係数を算出した. 加圧条件は, 水圧 150kPa, 24 時間加圧した時点で透水が確認されなかった場合, 更に水圧を 500kPa に変更し, 引き続き 24 時間加圧を行った.

b) 試験結果および考察

基層断面のはく離面積率を図-3 に, 加圧透水試験結果 (透水係数) を図-4 に示す. なお, 両図には, 比較として同時に実施したゴム入りアスファルト乳剤 (PKR-T) および NEXCO で使用実績のあるタイヤ付着抑制型アスファルト乳剤 (PKM-T) の試験結果も併記した.

遮水型工法を施工した基層においては, タックコート (PKR-T, PKM-T) を施工した基層に比べ, はく離面積率が小さく, 3 種類ともほとんどはく離が発生している状況は確認できなかった. なお, はく離が確認された試料は, いずれも基層上面から進行していた.

図-3 基層断面のはく離面積率

図-4 加圧透水試験による透水係数

表-3 供試体の構成

試験条件 舗装構成		試験条件	試験条件Ⅱ			
		供試体No.	B-①		B-②	B-③
		【標準供試体】	【損傷模擬供試体】			
表 層	混合物種別	密粒度舗装 (13mm-タイプA)	高機能舗装 (13mm-空隙率20%)			密粒度舗装 (13mm-タイプA)
	厚さ	4cm	4cm			4cm
アスファルト乳剤 遮水型工法	材料種別	—	遮水型工法A	遮水型工法B	PKR-T	PK-4
	散布量	—	1.2 L/m ²	1.2 L/m ²	0.4 L/m ²	0.2 L/m ²
基 層	混合物種別	粗粒度舗装(20mm-基層用)				
	厚さ	6cm	5cm			
	模擬クラック	無	有(カッター目地)			
損傷想定層	材料種別	無	ゴム弾性舗装材 (ウレタンバインダー + 加硫ゴムチップ〔最大粒径2.5mm〕 + 珪砂3号)			
	厚さ	—	1cm			
路 盤	混合物種別	上層:アスファルト安定処理(StAs60～80) , 下層:セメント安定処理				
	厚さ	10cm		30cm		

遮水型工法を施工した混合物は、図-4 に示すようにタックコート (PKR-T, PKM-T) を施工した混合物に比べ、繰返しの輪荷重の作用を受けた走行試験後であっても、相対的に透水係数が小さくなっている。特に、高い加圧条件 (500kPa) の試験において不透水となった試料が確認されていることから、遮水型工法を施工した混合物では、表面からの水が基層部へ浸透しにくい状態が走行試験中担保され、基層のはく離進行を抑制したものと考えられる。

(2) ひび割れ進行抑制効果の評価

a) 試験概要

基層のはく離抑制効果については、3 種類の遮水型工法に明確な差異が見られなかったことから、本試験では、主材料が乳剤タイプのもの、アスファルトタイプのものそれぞれ 1 種類 (遮水型工法AおよびB) を対象に、下層に損傷を模擬した供試体を使用して走行試験を行い、路面性状等を観察することで、ひび割れ等の進行抑制効果を評価することにした。損傷の模擬方法については、実際のひび割れを定量的 (定められた位置、長さ、幅、深さ) に発生させることが困難であるため、コンクリー

トカッターで基層に目地切りする手法を用いた。また、現場では、損傷の進行に伴って舗装のたわみ量が大きくなる事象が確認されている⁴⁾ことから、基層の直下にゴム弾性舗装材で構築した損傷想定層を設けることにより、車輪通過時に生じるたわみ量が健全な舗装構造 (標準供試体) に比べ大きくなる状況を再現した。

本試験の供試体構成を表-3 および図-5 に、試験条件を表-4 に示す。なお、当該の供試体構成は、標準供試体と数種類の損傷模擬供試体を使用した試験条件 I において、累積走行輪数が概ね 50 万輪で表層 (クラックが明確に確認できるように密粒度舗装を適用) にリフレクティブクラックが発生した供試体を参考とした。ここで、50 万輪を目安にしたのは、試験が長期間に及ばないこと、ならびに基層のはく離進行抑制効果の評価試験における累積走行輪数程度で、標準供試体には損傷が発生しない条件を考慮したからである。

各供試体の評価については、日々の走行試験終了後に、路面での損傷発生状況を観察するとともに、車輪走行軌道部のたわみ量を小型 FWD (載荷板直径 100mm, 重錘質量 15kg, 落下高さ 30cm) により、わだち掘れ量を横断プロファイルメータによりそれぞれ測定した。

図-5 供試体の構成 (試験条件II)

表-4 試験条件

項目	試験条件 I (外軌道)				試験条件 II (内軌道)
	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	
タイヤの種類	大型車タイヤ (シングル)				大型車タイヤ (シングル)
載荷重 (ton)	2.5				2.5
速度 (km/h)	20	40	40	40	60
散水条件	無			常時散	常時散水
路面温度 (°C)	10~15		20~25	20	10~20
累積走行輪数	9.5万	13.5万	17万	10万	44万
	50万				

b) 試験結果および考察

各供試体の小型 FWD による載荷点直下のたわみ量および路面の最大わだち掘れ量の推移を図-6～図-7 に示す。同図には、二つの試験条件の結果を併記している。

表層に高機能舗装混合物、基層にタックコート (PKR-T) を適用した供試体 (B-③) は、他の供試体に比べ、たわみ量、わだち掘れ量ともに増加進捗が大きく、走行試験終盤では路面の陥没等著しい変状が生じ、35 万輪以降計測不能となった。

表層に密粒度舗装混合物を適用した供試体 (B-④) は、10 万輪走行時点で路面にひび割れの発生が確認され、その後は、模擬クラックに沿ったかたちでひび割れが拡大するとともに、たわみ量が増加した。

表層に高機能舗装混合物、基層に遮水型工法を適用した供試体 (B-①, B-②) は、30 万輪走行時点まで主立った路面の変状は見られなかった。しかし、たわみ量については、他の供試体に比べ傾向は緩やかなものの、走行輪数が累積するにつれ、徐々に増加し、わだち掘れ量についても、温度影響が少ない (常温下) にも拘わらず、ひび割れ等の変状が生じた供試体 (B-④) と同様に増加進捗が大きくなった。表層混合物や試験条件に違いはあるものの、試験条件 I において舗装構造が比較的健全な

図-6 たわみ量の推移

図-7 最大わだち掘れ量の推移

写真-1 採取試料の状況 (供試体 B-①の例)

場合は、たわみ量の増加やわだち掘れ量に顕著な進捗がみられないことを考慮すると、基層等の下層部で損傷が進行している状態がこれらの事象から推察された。

そこで、下層部の損傷状況を確認するため、走行試験終了後に、基層に遮水型工法を適用した供試体 (B-①, B-②) の軌道部からブロックサンプリングを行い、基層部の状態を観察した。その結果、両試料とも写真-1 (写真は基層の下面を表側にして撮影) に示すように、直線的な模擬クラック (カッター目地) 以外に、路面上で把

図-8 小型FWDとFWDのたわみ量の関係

図-10 Di (想定値) の推移

図-9 D_0 たわみ量と D_i の関係

表-5 アスファルト層の健全度評価区分

評価区分	想定される損傷層
損傷区分A	アスファルト層全層
損傷区分B	表層および基層
損傷区分C	表層(構造としては健全)

定データから算出したアスファルト層の損傷指標 (D_i) の関係 (図-9) から、 D_0 に相当する D_i を求める手順で、 D_p から D_i を想定した。

ここで、アスファルト層の損傷指標 (D_i) とは、アスファルト層の損傷状況を舗装構成、アスファルト層の厚さから評価する指標であり⁴⁾、NEXCO の設計要領⁵⁾には、本指標に基づく評価区分が表-5 のとおり定められている。

基層に遮水型工法を適用した供試体 (B-①) と構造的に健全な標準供試体 (A-①) の D_i (想定値) の推移を図-10 に示す。この D_i の推移を評価区分で表すと、供試体 (B-①) の走行前の状態は、「損傷区分B」の臨界域に、10 万輪通過時では「損傷区分A」に判定され、 D_i の変化 (増加) が非常に大きくなっている。それに比べ標準供試体 (A-①) の D_i は小さく、変化も無い状態で試験中推移していることから、構造的な損傷が進行しない健全な状態が担保されていることがわかる。

実道 (高速道路) に対する健全度評価区分を、試験供試体へ適用することの可否は別として、図-6 に示す遮水型工法を適用した供試体 (B-①、B-②) のたわみ量の増加推移は、アスファルト層の構造的な損傷が進行している状況であることが、この試行からも推察できる。

以上のことから、損傷した基層上に遮水型工法を施工しても、繰返しの交通荷重等の作用によって基層部を中心に構造的な損傷は進行していく可能性が高いと考えられる。この傾向は、構造的な損傷が生じている箇所で、密粒度舗装混合物等で表層のみを補修した場合も同様と考えられる。

握できなかった不規則な形状をしたひび割れが多く発生している状況を確認した。このことから、基層部では、実際に損傷が進行していたことが判明した。

c) 損傷の進行に関する推察

損傷の進行を確認したことから、基層に遮水型工法を適用した供試体 (B-①) 作製時に模擬した損傷の程度と、その後走行試験によって進行した同供試体の損傷の程度を、次のとおり高速道路本線の損傷状態に当てはめて想定することを試みた。

供試体の評価に使用した小型 FWD 測定器を用い同じ荷重設定により、高速道路本線 (舗装構成=高機能舗装、粒状路盤、アスファルト層厚: 18~20cm、舗装全厚: 40~50cm) を測定した載荷点直下のたわみ量 (D_p) と、同一箇所でも同一日 (路面温度: 10℃程度) に FWD 測定 (荷重設定: 49kN) し、荷重および温度 (20℃) 補正を行ったたわみ量 (D_0) の関係を図-8 に示す。このたわみ量の関係から、小型 FWD 測定によるたわみ量 (D_p) に相当する FWD 測定によるたわみ量 (D_0) を求め、次にその D_0 と同たわみ測

4. 遮水型工法の施工によるアスファルト層の構造的な強度への影響

遮水型工法の施工によるアスファルト層の構造的な強度への影響と経時変化を確認するため、高速道路本線の施工箇所において FWD 測定により追跡調査を行っている。このうち、今回の分析対象箇所として、遮水型工法の施工前直近の測定データを有する区間を選定し、遮水型工法施工時のアスファルト層の構造的な健全度（強度）の違いによる供用後の健全度の変化状況を確認した。

選定した2区間の追跡調査結果を図-11～図-12に示す。両区間とも遮水型工法（遮水型工法A）のみで、基層以深の補修は行っていない。なお、同図ではアスファルト層の健全度を表すため、FWD 測定値を前出のアスファルト層の損傷指標（ D_i ）で示している。

2区間とも施工前に比べ、施工1年後に D_i の値が大きくなる傾向となっている。また、施工前の D_i の値が、評価区分の「損傷区分B」以上に該当する箇所では、経年によるたわみ量の増加が特に大きくなっている箇所が存在している（図中の矢印部）。前章の回転式舗装試験機を使用した評価実験の状況から、このようにたわみ量の増加が大きくなっている箇所については、交通荷重等の作用によって、損傷が進行していることが考えられる。これらの傾向から、遮水型工法を施しても、舗装の構造的な強度にはほとんど寄与していないことがわかる。また、基層以深の補修を行わない場合は、施工前の舗装の状態（健全度）によって、供用後の構造強度の持続性に違いが生じる可能性がうかがえる。

5. まとめ

本検討の結果ならびに考察をまとめると、以下のとおりである。

- 1) 回転式舗装試験において、損傷が無く健全な基層部に遮水型工法を施工した場合、タックコート（PKR-T、PKM-T）を施工した場合に比べ、基層部のはく離進行を抑制させる効果が高いことを確認した。これは、タックコートに比べて多量に散布される材料で形成される層の効果により、繰返しの輪荷重の作用を受けても比較的低い透水係数が維持され、表面からの水が基層部へ浸透しにくい状態が、走行試験中担保されたことが要因として考えられる。
- 2) 回転式舗装試験において、基層部に損傷を模擬し遮水型工法を施工した供試体は、遮水型工法を施工していない供試体に比べ、傾向は緩やかであるものの、走行輪数の累積に伴いたわみ量、わだち掘れ量とともに増加することを確認した。同試験で舗装構造が比較的健全な供試体では、走行輪数の累積に伴うたわみ量、わだち掘れ量に顕著な進行がみられないことや、走行試

図-11 D_i の経年変化（施工箇所A）

図-12 D_i の経年変化（施工箇所B）

験後に遮水型工法を施工した供試体でブロックサンプリングした基層においてひび割れが進展している状態を確認した。これらより、損傷した基層上に遮水型工法を施工しても、繰返しの交通荷重等の作用によって基層部を中心に構造的な損傷は進行していく可能性が高いことが考えられる。

- 3) 高速道路本線に遮水型工法が施工された代表箇所における FWD 測定による追跡調査結果から、施工前に比べ、施工1年後にアスファルト層の損傷指標（ D_i ）の値が大きくなる傾向を確認した。また、施工前の D_i の値が、評価区分の「損傷区分B」以上に該当する箇所では、経年によるたわみ量の増加が特に大きくなる場合があることを確認した。これらより、遮水型工法を施しても、舗装の構造的な強度にはほとんど寄与しないため、基層以深の補修を行わない場合は、施工前の舗装の状態（健全度）によって、供用後の構造強度の持続性に違いが生じる可能性が考えられる。

6. 遮水型工法の適用について

本検討により得られた知見から考えられる、遮水型工法の適用条件や留意点等を以下に示す。

健全な舗装構造において遮水型工法が適用された場合は、基層上にタックコート（PKR-T, PKM-T）を適用した場合に比べ、基層部のはく離進行が抑制されと考えられる。しかし、はく離に伴う基層の脆弱化による損傷は、はく離抵抗の低い材料・配合が使用された箇所が主体であることから、はく離抵抗性の高い材料・配合を使用した基層等に対し、更に遮水型工法を適用することの効果等を定量的に示すことは難しい。

このため、新設時や損傷が表層部のみの補修時など、健全な舗装構造において遮水型工法を適用するケースとしては、はく離の進行が助長される次に示すような条件が考えられる。

- サグ部、反方向点部など、高機能舗装混合物に雨水等が滞りし易い箇所。
⇒ 水の浸透リスクの高い箇所における基層等の防水性の向上
- 舗装構造としては健全であるものの、存置する既設基層混合物のはく離抵抗性が懸念される場合。
⇒ 水の浸透を抑制することで基層混合物の性能を担保

一方、FWD 調査や採取コア等による評価において基層以深に損傷が確認され、かつ当該の基層以深を存置したかたちで遮水型工法が適用された場合については、次の点に留意する必要があると考えられる。

表面からの雨水等は、遮水型工法を適用しない場合に比べて下層へ浸透しにくいいため、遮水型工法を施工した直後などの損傷程度が比較的低い段階までは、急速な損傷の進行は緩和される可能性はある。しかし、遮水型工法を施工しても舗装の構造的な強化は図れないため、水

の浸透が抑制されていても、繰返し交通荷重等の作用によって基層部を中心に構造的な損傷は徐々に進行してゆき、特に交通量の多い路線では、基層等が健全な場合に比べて比較的早期に表層を含むかたちで損傷が顕在化することが懸念される。

よって、遮水型工法の適用に際しては、対象箇所の舗装構造等を十分に把握し、上記の特徴を踏まえ、適用を判断することが重要であると考えられる。

7. おわりに

舗装の修繕については、損傷の状態、環境条件や路線の特性、補修目的などが多様であり、補修方法等が一義的に定まるものではない。よって、遮水型工法の適用についても、前章に述べた内容がすべてではなく、工法の特徴を踏まえ、補修目的を明確にすることで、様々なケースへの適用も考えられると思っている。

最後に、本報告が舗装補修の現場等に従事されている方々の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 川村和将, 神谷恵三: NEXCO における舗装補修の現状と課題, アスファルト, Vol.50 No.222, 2007.10
- 2) 樫野誠, 井上彰, 伊藤春彦, 松村高志, 松本大二郎: 遮水型排水性舗装工法の開発, 道路建設, No.688, 2005.7.
- 3) 本松資朗, 神谷恵三, 松本大二郎, 山田優: 既設基層混合物のはく離抵抗性の評価方法に関する研究, 土木学会舗装工学論文集第9巻, pp.73-79, 2004. 12
- 4) 風戸崇之, 神谷恵三: 高速道路舗装の補修設計に関する研究, 土木学会舗装工学論文集第15巻, pp.73-79, 2010. 12
- 5) 東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株): 設計要領 第一集 舗装編, 2010.7

A STUDY ON EFFECT OF PREVENTION FROM BINDER LAYER'S DISTRESS UNDER POROUS ASPHALT SURFACE LAYER USING LARGE AMOUNTS OF HIGHLY CONCENTRATED MODIFIED EMULSION OR MODIFIED ASPHALT

Daijiro MATSUMOTO, Ryo KATO, Masakazu SATO and Keizo KAMIYA

This study is to evaluate whether or not a highly concentrated modified emulsion or a specially modified asphalt will prevent porous asphalt surface layer's underlying binder layer from getting deteriorated. Judging from full-scale accelerated pavement testing, both of the materials can be more preventive to the binder layer's segregation than conventional emulsions, in case there is no defect in the original binder layer. If the original binder layer is already defected, however, the layer tends to be further defected due to repeated traffic loads, although the two materials can retard the distress at early traffic stages. Based on these results, applicability of the materials in the field are to be considered.