

アスファルト

第47巻 第215号 平成16年5月発行

215

特集・透・排水性舗装

特集にあたって	中村俊行	1
雨水を浸透させる舗装の普及の実態と今後の展開	伊藤正秀	2
排水性舗装関連技術の変遷		
	(社)日本道路建設業協会 技術政策等情報部会	7
車道透水性舗装の試行の現状	竹田敏憲	15
車道透水性舗装実用化に向けての取組み	菊池俊浩	20
排水性混合物の再生利用への取組み	神谷恵三	27

<アスファルト舗装技術研究グループ・第47回報告>

峰岸順一 35

INNOVATE PAVEMENT - 革新的な舗装 -

井真宏・市岡孝夫・岩岡宏美

高馬克治・佐藤雅規・鈴木徹

武本敏男・東本 崇・増山幸衛 36

<統計資料> 石油アスファルト需給統計資料 50

ASPHALT

有限責任中間法人 日本アスファルト協会
THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

特集にあたって

中村 俊行

国土交通省国土技術政策総合研究所研究総務官

平成13年6月に制定された「舗装の構造に関する技術基準」では、舗装の構造の原則として「舗装の構造の決定に当たっては、道路の存する地域の状況、沿道の土地利用の状況及び自動車交通の状況を勘案して、当該舗装の構造に起因する環境への負荷を低減するよう努めるものとする。また、舗装発生材及び他産業再生資材の使用等リサイクルの推進に努めるものとする。」と規定し、環境への取り組みの必要性を強調している。

道路技術を支えてきた技術の中でも、とりわけ舗装技術は道路利用者や地域住民の生活と密接に関連し、環境と調和を図りながら多様化、高度化するニーズに積極的に対応してきたといえる。排水性舗装・透水性舗装は、環境負荷低減の観点から、現在までに実用化された舗装技術の中でも特筆すべきものとして挙げられる。

排水性舗装が日本で最初に施工されたのは、1987年の東京都の環状7号線とされている。車両走行騒音の低減のみならず、雨天時のすべり抵抗性や視認性改善など交通安全対策にも効果があることから1995年頃より飛躍的に普及し、現在では高速道路から都市内の一般道路まで広く用いられている。施工当初は、密粒度混合物に比べて粗い表面を持つ舗装で本当に走行騒音を低減できるのか、雨水を舗装内部に浸透させて、耐久性に問題はないのかといった疑問の声があった。しかし、騒音低減効果については各種試験舗装が施工され、その測定結果から骨材粒度・形状、空隙率、舗装厚等との関係が明確になった。耐久性の問題は、主としてアスファルトパイプの改善によりその解決を図ってきている。

これまでの技術開発と施工実績から、排水性舗装は広く実用化してきているが、いくつかの課題も残されている。技術的には、騒音低減機能の持続性の問題であり、維持管理方法や機能回復手法の確立が求められている。さらにソフト面では、排水性舗装の環境負荷低減機能をどう評価するかという問題も

残されている。舗装マネージメントを考えた場合には、沿道環境が排水性舗装によりどのように改善されるのかを定量的に把握し、その環境負荷低減効果を便益換算して比較検討する必要がある、この面での研究が求められている。

透水性舗装については、舗装が地面を覆うことによる負荷の軽減や歩行性の改善を期待して約30年前から歩道透水性舗装が施工されている。さらに、排水性舗装の普及に伴う高粘度改質アスファルトの性能向上を背景に、透水性舗装の車道への適用も試験的に行われてきている。しかし、車道透水性舗装の疲労耐久性や排水機能の効果・持続性等はその路床条件により大きく影響を受けることから、さらに試験施工等による検討が必要である。

一方で、近年の都市水害の頻発を受けて、都市河川流域における新たなスキームによる浸水被害対策が必要とされ、昨年6月に「特定都市河川浸水被害対策法」が制定されている。この法律では、指定された特定都市河川流域において流域水害対策計画を策定することとされており、指定区域内での雨水浸透阻害行為（新たな道路の建設も含まれる）を行う場合には雨水浸透貯留施設を設置することとされている。このために透水性舗装を雨水浸透貯留施設として考えた場合の効果を定量的に把握することが必要であり、耐久性も含めた試験施工が独法土研等で行われているところである。

本特集では、歩道透水性舗装・排水性舗装の普及の実態、雨水を浸透させるアスファルト混合物を重交通道路の車道にまで適用可能とした舗装材料等の進歩、騒音低減性能の向上などの排水性舗装技術の変遷、車道透水性舗装に関する取り組みの現状と課題などを紹介するものである。

本特集が、今後の透水性舗装、排水性舗装の技術開発と更なる普及に寄与することを祈念するものである。

雨水を浸透させる舗装の普及の実態と今後の展開

(Present situation and future prospect of permeable pavements)

伊藤正秀*

近年、雨水を舗装体に浸透させる舗装技術が急速に普及している。歩道から車道へ、そして表層への浸透から路盤・路床への浸透とそのニーズ、そして技術開発も益々進展している。本稿では、これら舗装技術にいて、普及の現状を紹介するとともに、一般の方にもわかりやすくそのメカニズムを解説し、さらには今後の課題を踏まえた展開の見通しについて、私見を交えながら述べることとする。

はじめに

道路舗装は、降雨と交通による泥濘化を防ぐ目的で実施されてきたものであり、舗装体に水を入れることは舗装の耐久性を低下させるものとして従来タブー視されてきた。

これに対し、路面湛水による走行安全性の改善、騒音の低減、雨水の地盤への還元、下水道や河川への雨水の流出抑制等の観点から、雨水を舗装面へ浸透させるための技術開発が行われてきた。その代表例が、歩道透水性舗装と車道用の排水性舗装である。本稿では、これらに加え、近年実用化のための取組が進められつつある車道透水性について、その普及の現状と今後の展開の見通し、およびその際の課題について述べることにしたい。

1. 普及の現状

1.1 歩道透水性舗装

1.1.1 技術の概要

歩道透水性舗装は通常の歩道舗装の表層部に空隙の大きい材料を用いたもので、湛水による路床のポンピング防止のための遮断層を設けることが多い。図 - 1

表層	透水性アスファルト混合物	厚さ (4 cm)
路盤	再生クラッシャーラン (RC-30) あるいはクラッシャーラン (C-20)	(10 cm)
フィルター層 路床	遮断層用砂	(5 cm)

図 - 1 歩道透水性舗装の標準構造

に東京都における、歩道透水性舗装の標準構造¹⁾を示す。なお、ブロックや平板コンクリート舗装も目地砂の部分から透水することから、広い意味でこれらも歩道透水性舗装の一つであるといえる。

1.1.2 導入の背景

歩道透水性舗装は、1970年頃より市街地の街路樹育成等の観点から東京都を中心に研究・実施され、1978年には「アスファルト舗装要綱」(昭和53年版)の特殊舗装として取り上げられた。

国土交通省(旧建設省)は、1980年「総合治水対策の推進」(建設事務次官通達)において、「歩道における透水性舗装の適用など保水機能の向上に努める」旨を記載し、また、東京都は本技術を1982年度から区部の歩道舗装へ、1983年には「総合治水対策流域貯留・浸透事業実施要綱」の施行により、原則として、島しょを除く区部および多摩部のすべての歩道を対象に導入するようになった。

一方、住宅公団は、1995年に「透水性舗装設計・施工マニュアル(案)」を作成し、歩道舗装には原則として全て透水性舗装を適用することにした。

1.1.3 普及の現状

このように、歩道透水性舗装は研究・開発から約30年が経過しており、東京都においては平成12年4月現在で約270万 m^2 、全歩道の約40%に歩道透水性舗装が施工されている²⁾。地下埋設物周辺での空洞の発生、目詰まりによる透水機能の低下等の課題はあるものの、一般的な舗装構造として普及している技術と考えてよい。

*いとう まさひで 独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ上席研究員

1.2 車道排水性舗装

1.2.1 技術の概要

一般的な排水性舗装の構造を図-2に示す。排水性舗装は、空隙率が大きく（15～20%程度）水を浸透させることができる排水機能層の下に不透水の基層、さらにその下には通常の路盤等を設けるものである。表層が透水機能を有する以外は、通常のアスファルト舗装と構造上の違いはない。さらに、この排水機能層の構造上の強度も通常の密粒度アスファルト混合物と同等されている。なお、近年は透水性コンクリート舗装の開発も進められている³⁾。

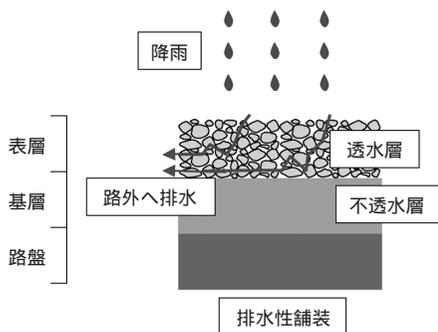


図-2 排水性舗装の構造概念図

1.2.2 導入の背景

排水性舗装は当初は外国で実用化されていた技術である。アメリカでは1960年代から、ヨーロッパでは1980年代から、走行安全性の改善や路面騒音の低減を目的として採用されていた¹⁾。その効果は期待されていたものの、高温多雨、重交通の我が国では外国の技術をそのまま適用できないことから、1987年の東京都環状7号線における試験舗装を初めとして各方面で努力が続けられ、排水性舗装用高粘度改質アスファルトの開発等を経て、1996年に排水性舗装技術指針²⁾が日本道路協会より刊行された。これにより、排水性舗装の一般的な利用が進んだ。さらに、その後2001年に改正された道路構造令において「第4種の道路の舗装は、(中略)雨水を道路の路面下に浸透させ、かつ、道路交通騒音の発生を減少させることができる構造とする」と明記されている。

1.2.3 普及の現状

上記のように排水性舗装については、技術基準等が整備され、排水性舗装用材料や配合設計のノウハウ等も蓄積されたこと、排水による安全性向上や一定の騒音低減効果が認められたことから、広く一般的に使用

されるようになった。特に国土交通省では平成10年度以降、路面騒音値を性能目標値とした性能規定方式発注の試行を推進するとともに、日本道路公団においても、「高機能舗装」と称して高速道路の表層の標準工種として採用したこともあって、施工量が急速に増大している。図-3に排水性舗装（性能規定方式発注関連：国土交通省分）の施工実績を示す。これには高速道路、自治体施工等は含まれておらず、それらを含めると相当量の施工実績があり、もはや一般的な舗装技術の一つと認識してよい状況にある。

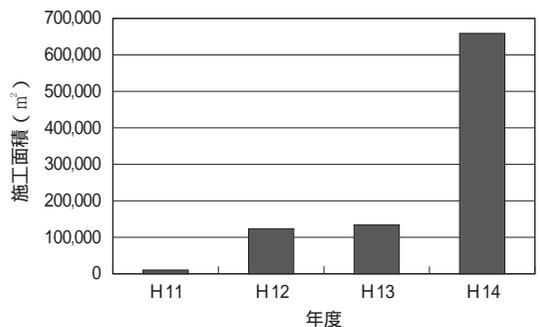


図-3 排水性舗装施工実績

1.3 車道透水性舗装

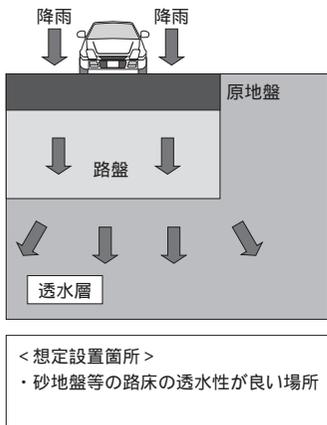
1.3.1 技術の概要

車道透水性舗装とは舗装路面から浸透した雨水を表層を経て路盤や路床にまで浸透させる構造を有する舗装である。しかし、その機能は路床や地盤の透水性能に大きく左右される。透水係数の低い粘性土では十分な透水性が期待できないばかりか舗装体内の滞水による支持力低下の懸念もあることから、路床面から適宜舗装体外に排水するような構造も試験施工されている。この場合であっても、舗装面の雨水流出の遅れによるピークカット効果は認められるため、下水道や河川への負荷軽減には一定の効果は期待できると考えられる(図-4)。

1.3.2 導入の背景

一方、特定都市河川浸水被害対策法（平成15年6月11日法律第七十七号）の成立により「特定都市河川流域内における道路を含む一定規模以上の雨水浸透阻害行為については、流出水量の増加を原地盤と同じ程度に抑制すること」が義務づけられることになった。その主要な対策の一つとして車道透水性舗装が注目されており、重交通にも適用可能な技術の確立が急務となっている。

①舗装体内一時貯留 + 路床浸透型



②舗装体内一時貯留 + トレンチ・原地盤浸透型

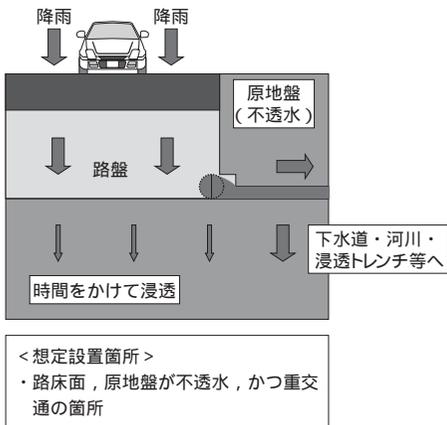


図 - 4 透水性舗装の概念図⁵⁾

1.3.3 普及の現状

車道透水性舗装は、雨水を路盤、路床に浸透させる構造であるため、路床、路盤の支持力が低下し、疲労破壊等供用性能に支障をきたすことが懸念されることから、生活道路や舗装計画交通量100台/日・方向以下の道路で多く検討されてきた。その後、地方自治体での試験施工が数多く報告されるようになってきた(表 - 1)。

表 - 1 地方自治体における車道透水性舗装の実績

自治体名	施工時期	交通量区分	施工実績
東京都	平成12年度～	L, A, B	7件
大阪府	平成13年度～	L	2件
名古屋市	平成12年度～	L	2件以上
京都市	平成13年度～	L	2件
岐阜市	平成10年度～	L～A(?)	延長235m
新潟市		L～C	20万m ²
守口市	平成13年度	A	延長20m

注)1 第25回道路会議論文集他参照

注)2 第16回近畿地方整備局内技術研究発表会論文集参照

注)3 舗装2003年8月号参照

注)4 京都市より資料受領

注)5 第25回道路会議論文集参照

特に新潟市では地下水位が低い場合等、一定条件の下で市道の標準仕様として採用され、20万m²以上の施工実績を上げている。

重交通路線においては、平成5年一般国道24号和歌山バイパスで試験舗装されたものが最初である。その後、国土交通省、東京都、愛知県等での試験施工がなされてきており、現在のところ経年に伴う透水機能の

低下は認められる一方で供用性の著しい低下は見られてない。なお、背景で述べた特定都市河川浸水被害対策法の成立を受け、国土交通省、独立行政法人土木研究所が中心となって直轄国道における全国的な試験舗装(図 - 5)を通じた重交通への適用の検討に着手しており、このうち、4箇所で既に供用が始まっている⁵⁾。



図 - 5 車道透水性舗装の全国試験舗装箇所

2. 技術的課題

技術的課題は、舗装設計上の課題と雨水浸透効果に大別され、それぞれに整理して簡単に紹介したい。

2.1 歩道透水性舗装

2.1.1 舗装設計上の課題

歩道下には浅い位置に地下埋設物が設置されており、車道等に比較して舗装構造が薄いこともあって、雨水浸透による「水みち」等が形成されやすく、地下埋設物周りに空洞が生じる事例が見られる。

2.1.2 雨水浸透効果上の課題

① 目詰まりによる機能低下

土砂、落ち葉、捨て煙草等により、表層が目詰まりして経年とともに目詰まりし、1～3年程度で透水機能が大きく低下すると言われている。東京都の事例⁶⁾

では、高圧水噴射による洗浄機を用いることにより、透水能を大幅に回復させることができると報告しているが、一方で洗浄に伴う骨材飛散等の課題がある。

② 環境改善効果

歩道透水性舗装の雨水浸透効果として、街路樹等の生態系の改善と雨水の地中還元が期待されているが、いずれもその効果は明確ではない。一方、水たまりによる歩行環境改善効果は明白であり、このことから、後述する「重点地区における移動円滑化のために必要な道路の構造に関する規準」において、その設置が明確に位置付けられている。

2.2 排水性舗装

2.2.1 舗装設計上の課題

排水性舗装は前述のように広く実用に供され、バインダー等の改良が進んだこともあって、その設計法はほぼ確立した感があるものの、新たに次のような課題が指摘されるようになってきている。

① 新たな形態の破損の発生

交差点部、パーキングエリア、寒冷地等における骨材飛散、重交通道路における早期の塑性変形によるわだち掘れやひび割れが報告されている。前者は交通の制動や低速でのハンドル切り返し、タイヤチェーン等による剥離である。これらについては、バインダーの改良、樹脂コーティングによる表層のすべり抵抗性の緩和等の対策が検討されている。後者は、既設舗装を一層切削オーバーレイして排水機能層を設けた場合に多く見られ、切削の際に生じた基層面の不陸への湛水、既設の基層の耐流動性の不足等が原因として指摘されている。

② リサイクル

排水性舗装はバインダーに高粘度アスファルトが使用されていることから、再生材の配合設計に必要なバインダーの回収が困難である、合材混合時に新アスファルトと旧アスファルトが十分混合しづらい、切削の際の細粒化により特に排水性混合物として再生する場合の粒度調整が困難である等の課題も指摘されている。これらについては、各機関で検討が進められており、密粒度アスファルト混合物への再生はほぼ可能であることがわかってきた他、排水性混合物への再生技術確立への取組も進められつつある。

2.2.2 雨水浸透上の課題

歩道と同様に車道においても、土砂等による空隙の目詰まりが生じ（写真 - 1）、透水機能や騒音低減機能が低下していく。国土交通省の性能規定方式発注工事における実績によると、騒音について1年で1dB

土のように見える部分が空隙が目詰まりした状態

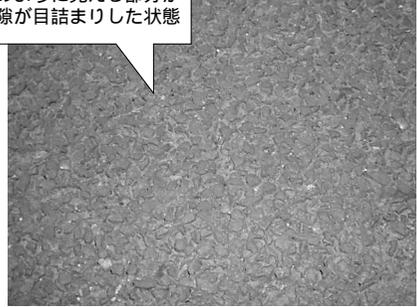


写真 - 1 目詰まりした排水性舗装

程度、タイヤ/路面騒音が増大する結果も得られている。一方で舗装構造体としての機能は持続していることから、透水・騒音低減機能の低下のみで修繕を行うことは不経済となり、透水機能・騒音低減機能の持続性の向上、回復方法の開発が必要とされている。前者については、近年、2層構造で上部層の粒度を改善したタイプ等が提案されている。機能の回復については、歩道同様に洗浄による方法があるが、目詰まりが進行してからの洗浄は機能回復の効果が薄いとされ、効果的な洗浄タイミングの設定が必要と考えられる。

2.3 車道透水性舗装

2.3.1 舗装設計上の課題

車道透水性舗装では、路盤下が飽和状態に近い状態で交通車両による繰返し荷重を受けることがあり、このような条件が加わった場合においても、舗装本来の機能である疲労耐久性を長期にわたって維持できるか明確になっていない。

これについては、表 - 1 に示した自治体による試験舗装に関する報告、新潟市の実績等から判断すると、地下水位が高くなく、交通量が少ない場合には問題はないようである。また、重交通路線の供用性の実績は、先に述べた一般国道24号を含め数箇所のみでしかないものの、路床・地盤が砂質土等で透水性能が高い場合にはひび割れや支持力の低下は認められないとされている。一方、粘性土や安定処理等、透水性の低い地盤・路床の重交通路線における耐久性については解明されていない。

さらに、埋設物周辺の空洞発生による陥没が懸念されることから、東京都、国土交通省等において試験舗装の追跡調査が続けられている。

2.3.2 雨水浸透上の課題

透水性舗装として期待されている主な効果は、局所

的な集中豪雨に対する下水道、河川への負荷軽減、雨水の地下還元による水循環の回復である。

透水性舗装の雨水流出特性は、舗装体の空隙への一時的貯留による流出遅延と路床・地盤浸透による流出総量の抑制にある。しかし、前者については骨材の空隙のうちどの程度が貯留に有効であるか、後者についても通常は土の透水係数に基づいて浸透量を計算することが多いものの、そのとおりに浸透するのかわからない部分が多く、その流出抑制効果ははっきりしない。特定都市河川浸水被害対策法では、原地盤並に流出抑制することが義務づけられるため、流出抑制機能を算定する方法が必要となっている。図-6⁵⁾に実物大の試験舗装における流出実験結果の例を示す。従前の交通量区分でいうB交通に相当する舗装断面で、かつ路床・地盤は関東ローム層であるものの、かなり高い流出抑制効果を示している。ただし、流出抑制機能が高いということはそれだけ舗装内に水が滞留していることを意味するため、流出抑制機能の設計は舗装の耐久性とのバランスの上で考える必要があるといえる。

加えて、これらは舗装体としての性能を示すものであって、環境全体としての改善効果を直接表すものではない。地下水等の水循環の健全化、実際の洪水抑制への寄与の程度等の効果については確定した評価はない。

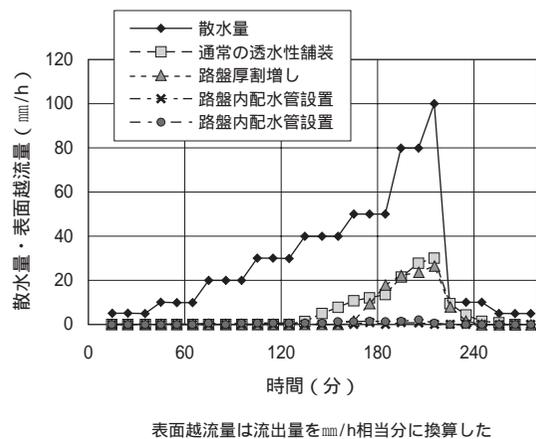


図-6 車道透水性舗装の流出抑制機能測定例

3. 今後の展開

3.1 歩道透水性舗装

「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律」を受け国土交通省では「重点地区における移動円滑化のために必要な道路の構造に関する基準」(平成12年11月)において、

「歩道等の舗装は、雨水を地下に円滑に浸透させることができる構造とする」と明記した。歩道を透水性舗装にすることによる環境面での効果の程度は不明であるものの、歩行の快適性の観点から、都市部を中心にその普及が浸透していくものと考えられる。

3.2 排水性舗装

既に述べたように都市部や高速道路における一般的な舗装となりつつある。今後は耐久性や機能持続性の向上やより高い騒音低減効果を狙った技術開発が進められるものと思われる。一方で、機能回復やりサイクルといった課題への重点的な研究開発が望まれるところである。

3.3 車道透水性舗装

前2者に比較すると、舗装としての耐久性、設計法、流出抑制機能の評価等、不明点が多い。しかし、各方面の調査研究により、舗装に水を入れるという従来のタブーがそうでなくなりつつある。直ぐに一般的に普及する技術とは考えにくいですが、関連する法律も踏まえると、今後、数年間の間には一般的に適用可能な技術の確立が成されるものと考えられる。

おわりに

以上、歩道透水性舗装、排水性舗装、車道透水性舗装の現状と今後の展開見通しについて、若干の私見も交えながら記した。排水性舗装がいつの間にか舗装の中心的存在となったように、今後ともこれら舗装技術のニーズはより高まっていくものと考えられる。

参考文献

- 1) 東京都建設局：平成13年度 道路工事設計基準，2001.4
- 2) 竹田敏憲，峰岸順一，野村敏明：車道透水性舗装の雨水浸透メカニズムの検討と実道における試験施工例，土木施工，44巻11号，2003.11
- 3) (社)セメント協会：舗装技術専門委員会報告R-15，2003.10
- 4) (社)日本道路協会：排水性舗装技術指針(案)，1996.10
- 5) 第2回道路雨水の流出抑制技術実用化に関する検討委員会資料(公表済)，(財)道路保全技術センター，2004.2
- 6) 矢島富廣，小林正稔，松岡直人：東京都における透水性舗装と透水能回復方法，舗装，1984.2

排水性舗装関連技術の変遷

(社)日本道路建設業協会 技術政策等情報部会

排水性舗装は、本格的に施工されるようになってから約17年が経過したが、走行安全性の向上や騒音低減効果が高く評価され適用面積が拡大している。施工が開始された当初は、通常の舗装で使用されている材料の組み合わせを工夫するなどして性能向上が図られていた。その後は、高粘度改質アスファルトが開発、改良されたり、骨材粒径が工夫されるなどして、性能の持続性等が飛躍的に向上している。ここでは、排水性舗装に関する技術の変遷を紹介する。

1. はじめに

我が国における排水性舗装の原型としては、1977年1月、坂路下部の冠水抑制を目的に、世田谷区道で施工されたものが挙げられる¹⁾。

現在の形の排水性舗装が最初に施工されたのは、1987年5月、騒音低減を目的とした東京都の環状七号線での適用とされている²⁾。また、同年11月には一般国道171号線³⁾、1989年7月には東北自動車道で施工されている。

その後、1990年頃より日本道路公団が雨天時のすべり事故対策として積極的に排水性舗装を採用し、1995年ごろからは、建設省（現、国土交通省）が直轄国道の低騒音対策として採用し始めたことから、急激に適用面積を増やし現在に至っている³⁾。

さらには、排水性舗装の適用例の増加に伴い、骨材やアスファルトなどの“素材”、“舗装構成”および“施工法”などが研究され、排水性舗装の適用範囲が拡大するとともに、性能の持続性等が飛躍的に進歩している。

ここでは、①素材、②配合設計手法、③舗装構成、④施工法、⑤維持修繕・機能回復を取り上げて、排水性舗装に関する技術の変遷の概要を紹介する。

2. 素材

2.1 骨材

排水性混合物には、一般的に、通常の舗装と同様の骨材が使用されており、粗骨材としては6号砕石（13 - 5mm）が用いられる。なお、当初は透水能力に着目するなどして5号砕石（20 - 13mm）が使用された

こともあったが、タイヤ/路面騒音が密粒度アスファルト混合物に比較しても大きい場合があり、使用されることは少なくなっている。また、連続した空隙率を確保するためには、粒径がそろった単粒の粗骨材が望ましいが、6号砕石では最大粒径（13mm）は最小粒径（5mm）の2.5倍もあり、単粒と言うよりは連続粒度に近いことから、特に、騒音低減性能の向上やその持続性の向上が必要な箇所では、粗骨材のさらなる単粒化や小粒径化が検討されてきた。

2.1.1 単粒化粗骨材

1991年、透水性能や吸音性能を良好とするには、連続した空隙の確保が有効であるとして、粒径を均一にした“単粒化粗骨材”が提案された^{5) 6)}。

建設省土木研究所が1994年に実施した走行実験でも、10～5mmの単粒化粗骨材を使用することが適当であると報告している⁷⁾。

実路における単粒化粗骨材の本格的な適用例としては、1999年に建設省から発注された“大森本町の性能規定発注工事”が挙げられる⁸⁾。本工事では、性能規定項目の「騒音値」に対応するために、10～5mmの単粒度砕石が使用されている。

同年、“排水機能とわだち掘れ量”を性能規定項目としてJHから発注された性能規定発注工事では、連続空隙率と動的安定度を確保するために、13～8mmの単粒化砕石が使用されている⁸⁾。

その後も、多くの性能規定発注工事や総合評価落札方式の工事では、単粒化砕石が使用されている。

2.1.2 小粒径化粗骨材

建設省は、1992年～1993年に直轄国道で試験施工行

い、粗骨材の最大粒径に関する検討を実施している。この結果から、「騒音低減機能を期待する場合は、骨材最大粒径の小さい7号砕石（5 - 2.5mm）を単独で用いるとよい。」としている⁹⁾。

また、建設省土木研究所は、1996年に実施した走行実験結果から、「騒音低減効果をより大きくし、その効果を持続するするには、粒径が小さく単粒化してある粗骨材を使用することが有効である。」と報告している⁷⁾。

実路での小粒径化粗骨材の適用例としては、1999年に建設省から発注された“品川区八潮の性能規定発注工事”が挙げられる¹⁰⁾。本工事では、性能規定項目の「騒音値」を確保するために、表層上部2cmに8～5mmの小粒径化骨材を、下部3cmに通常の6号砕石を採用している¹⁰⁾。

その後、7号砕石を含む小粒径化骨材が、多くの性能規定発注方式や総合評価落札方式の工事で使用されている。

2.1.3 細骨材

排水性混合物では、通常のアスファルト混合物に比べて細骨材の使用量が極端に少ないこともあり、細骨材の影響に関する検討例はあまり多くない。ここでは、室内試験による検討結果2例を紹介する。

図-1は、1996年に報告されたもので、細骨材（含石粉）の粒度別に「空隙率とカンタブロ損失率の関係」を示したものである⁹⁾。粗骨材量85%一定にもかかわらず、細骨材の粒度によって、空隙率が9%も異なっている。

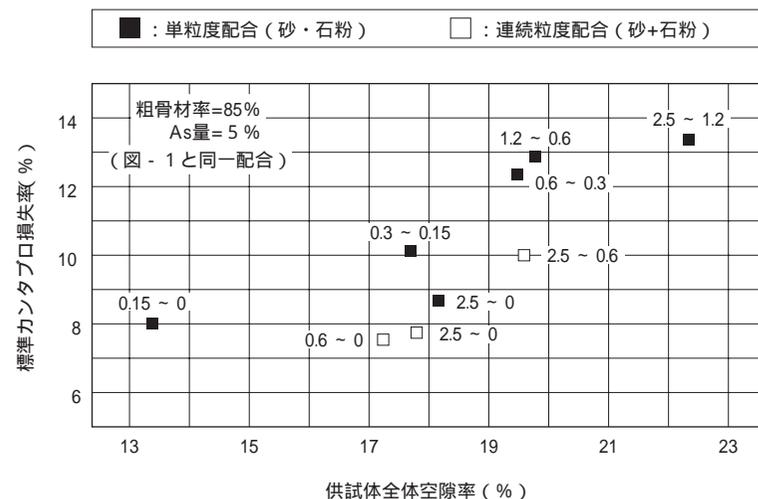


図-1 細骨材粒度と空隙率・飛散抵抗性の関係⁹⁾

図-2は、2003年に報告されたもので、細骨材が異なる4種類の排水性混合物の「試験温度とカンタブロ損失率の関係」である¹¹⁾。この図から、細骨材が、特に低温域のカンタブロ損失率に影響することが分かる。

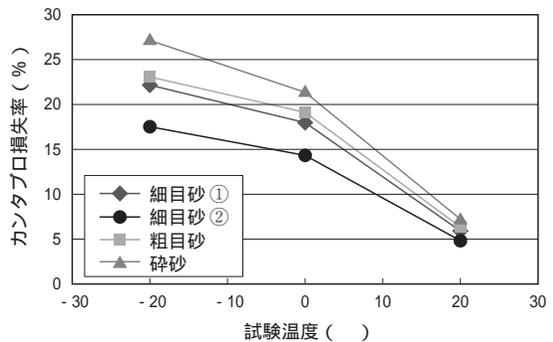


図-2 細骨材種とカンタブロ損失率の関係¹¹⁾

2.2 アスファルト

排水性混合物では、骨材と骨材とが接触する面積が小さく、層内部でも空気や水に接触することから、被膜を厚くでき、骨材の把握力が大きく、劣化しにくいアスファルトが求められる。

1987年の環状七号線では“ストレートアスファルト（植物繊維を併用）”が²⁾、1989年の東北自動車道では“改質アスファルトⅡ型（植物繊維を併用）”が使用された。また、建設省が実施した初期の排水性舗装では、“ストレートアスファルト（植物繊維や消石灰を併用）”や“改質アスファルトⅡ型”が使用された。しかし、

空隙つぶれなどのため、供用性は必ずしも良好なものではなかった。

2.2.1 高粘度改質アスファルト

排水性混合物の特殊性を考慮して、高粘度改質アスファルトが開発・実用化されたのは1989年になってからで、北陸自動車道での試験施工が最初である¹³⁾。

高粘度改質アスファルトは、その後、排水性舗装技術指針（案）に「標準的なアスファルト」として採用されたこともあり、2000年には出荷量が12万t/年を越え、現在施工されている排水性舗装のほとんどに使用されている。

2.2.2 鋼床版用高粘度改質アスファルト

1995年当時、建設省土木研究所において“排水性混合物の高架橋への適用性”が検討された。この結果、通常の高粘度改質アスファルトを用いた排水性混合物は、本四公団で定めている曲げ試験による破断ひずみの基準値 6×10^{-3} 以上を満足しないことが明らかとなった。

これを受けて1997年に“鋼床版用高粘度改質アスファルト”が開発された。曲げ試験による破断ひずみを、**図-3**に示す¹³⁾。

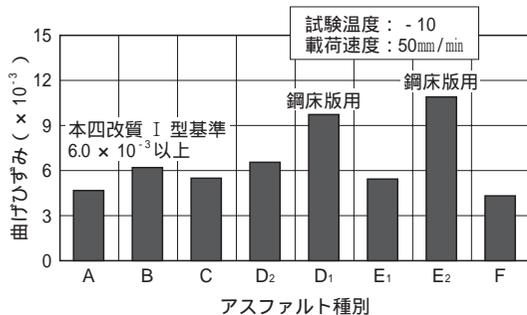


図-3 排水性混合物の曲げ試験結果¹³⁾

鋼床版用高粘度改質アスファルトは、1997年5月に山口県下関で実路に使用され、その後、首都高速道路などで施工実績を伸ばし、首都高速道路公団で標準的性状が定められるに至っている¹³⁾。

2.2.3 積雪寒冷地用高粘度改質アスファルト

1994年当時、供試体の温度が低いほどカンタブロ損失率が高くなることに着目し、JHから-20でのカンタブロ試験が提案された¹⁴⁾。

これらを踏まえ、低温域での骨材飛散抵抗性や耐摩耗性の向上などを図るために、1999年に積雪寒冷地用の高粘度改質アスファルトが開発された。同アスファルトを使用した排水性混合物の低温カンタブロ試験結果を、**図-4**に示す¹³⁾。

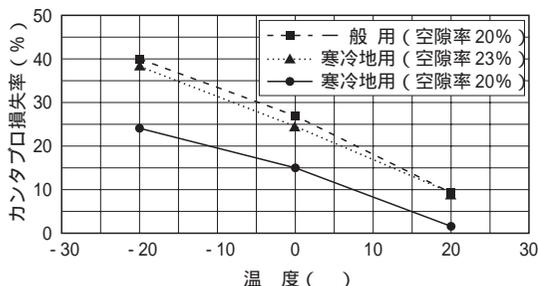


図-4 低温カンタブロ試験結果¹³⁾

積雪寒冷地用の高粘度改質アスファルトは、1999年6月に北海道の高速道路で初めて使用され、使用実績を伸ばしている¹³⁾。

2.2.4 小粒径用の高粘度改質アスファルト

前述した“小粒径化骨材”を使用すると、一般的に耐流動性や空隙つぶれに対する抵抗性が低下する。これを補うために1999年当時に開発されたものが、“小粒径用の高粘度改質アスファルト”である¹⁵⁾。

ホイールトラッキング試験結果を、通常の高粘度改質アスファルトと比較して**図-5**に示す¹⁰⁾。

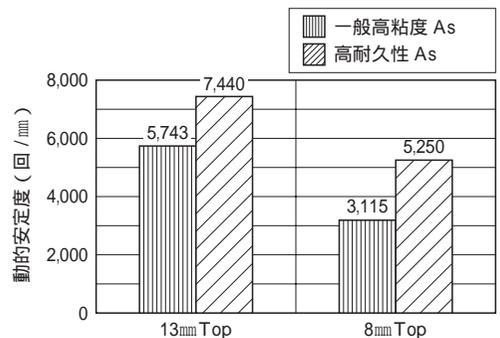


図-5 動的安定度の比較¹⁰⁾

本アスファルトは、前述した“品川区八潮の性能規定発注工事”で初めて使用され、“2層同時舗設用アスファルトフィニシャ”を用いる工法とともに、適用例が増加している。

2.2.5 排水性舗装用エポキシアスファルト

“排水性舗装用エポキシアスファルト”は、高粘度改質アスファルト類では十分に対応しきれない重交通路線等への適用が期待されているものである。

1991年に東名高速道路で試験的に使用されるなど、当初は、バインダーメーカー独自で研究されていた¹⁶⁾。その後、アスファルト協会技術委員会材料開発分科会が、**表-1**に示す目標値を定め、1992年から数社のバインダーメーカーと共同で研究を開始した¹⁷⁾。同分科会

表-1 エポキシアスファルトの開発目標値¹⁷⁾

項目	目標値	備考
可使用時間 (min) *	90程度	混合時温度
マーシャル安定度 [KN (kgf)]	4.9 (500) 以上	促進硬化140 24hr養生後測定
動的安定度 (回/mm)	6000以上	〃
空隙率 (%)	20程度	〃
透水係数 (cm/sec)	1×10^{-2}	〃

* 混合物の製造から初期 (一次) 転圧後までの舗設が可能な時間

では、試験施工等を重ね、1997に「排水性舗装用エボキシアスファルト混合物施工の手引き（案）」を発行している^{18）}。

なお、施工性や供用性の面では実用性に支障がないことが確認されているが、高価なために施工実績が伸び悩んでおり、その特徴を生かした限定的な適用が期待されている^{17）}。

2.3 添加剤

排水性舗装の試行初期段階では、被膜厚さや耐水性等を確保するために、ストレートアスファルトや改質アスファルトⅡ型と共に、植物繊維（セルロース）、や消石灰が使用されていた。また、中温化剤が開発されてからは、施工性の改良に応用されるようになっていく。

2.3.1 植物繊維

植物繊維は、アスファルトの粘性を増加させ、①骨材どうしの接点を大きくして飛散抵抗性を高める、②被膜を厚くして劣化に対する抵抗性を向上させる、等を目的に、1987年から使用されてきた^{2）5）}。なお、高粘度改質アスファルトの性能が向上したこともあり、添加されるケースが少なくなっている。

2.3.2 消石灰

消石灰は、はく離防止や空隙つぶれの抑制を目的に使用されていたが^{19）}、高粘度改質アスファルトの性能向上とともに、ほとんど使用されなくなっている。

2.3.3 中温化剤

排水性混合物の骨材飛散抵抗性は、締め固めが低下するとともに小さくなる^{12）}。

このため、寒冷期の施工などで、混合物の製造・施工温度を30 程度低下できる“中温化剤”が併用されることがある^{20）}。その原理は、中温化剤を添加、無添加の場合と同温度で混合物を製造・出荷して、締め固めが可能な時間を延長しようとするものである。

なお、この場合には、中温化剤の本来の使用目的である“CO₂発生量の低減”は期待できない。

3．配合設計手法

排水性舗装の試行初期段階には、配合設計法が確立されていなかった。中でも目標空隙率をどの程度にするかが大きな課題であった。当時、実用化されていた歩道用の透水性アスファルト混合物の目標空隙率は13%であったが、車道用としての耐久性を確保しながら、いかに空隙を大きくするかが課題であった。

例えば、1987年に環状七号線で使用された混合物の

配合（空隙率10.8～15.6%の5種）は、マーシャル安定度、空隙率、動的安定度等の目標値を定め決定されている。また、1989年に東北自動車道で使用された混合物の配合（空隙率15.6%）は、空隙率、動的安定度および対摩耗性等の目標値を定め決定されている。一方、1990年から建設省で実施された試験施工では、目標空隙率を10～12%、15%、20%に設定していた^{6）}。

1990～91年に排水性舗装の先進国である欧州に派遣された調査団は、良好に供用されている排水性舗装の空隙率が20%以上であることを目の当たりにしてきた。これ以後、“排水性舗装の目標空隙率は20%”との機運が高まったようである。目標空隙率が定まったことから、これに対応する配合設計の技術、さらには必要な材料性状も確立されてきた。

1992年には、JHから、排水性舗装技術指針（案）に示される配合設計法の原型といえる“ダレ試験”と“カンタブロ試験”による配合設計法が提案された^{21）}。

本手法は、粒度を3点選び、それぞれの粒度の骨材に対し「骨材飛散を起こさない最小のアスファルト量をカンタブロー試験」で、「混合物の運搬、施工の過程で、アスファルトが分離しない最大のアスファルト量をダレ試験」で求め、空隙率が20%となる配合を求めようとするものであった^{22）}。しかし、この手法は試験個数が多く、配合設計に多大な労力と時間を要した。

1996年に発行された排水性舗装技術指針（案）では、「耐劣化性等を考慮すると、ダレない範囲でできる限りアスファルト量は多い方が望ましい。」との発想から、ダレ試験のみで最適アスファルト量を設定し、適用箇所の条件に応じてホイールトラッキング試験等を実施して“室内配合・設計アスファルト量”を決定する配合設計法が示された^{23）}。

4．排水性混合物層の厚さと構成

排水性混合物の骨材の形状や粒径、ならびに空隙率のほかに、排水性混合物層厚も排水性舗装の騒音低減能力に影響を及ぼすのではないかと考えられるようになった。また、騒音低減能力が大きい“小粒径骨材”を使用した場合に低下する“耐流動性”の向上策として、排水性混合物層の構成を工夫した“2層式排水性舗装”や、経済性を優先させた“薄層化”が検討されるようになった。

4.1 排水性混合物層厚

1987年に施工された環状七号線では、8 cm切削後、排水性混合物でオーバーレイしている^{2）}。また、1989年

に施工された東北自動車道では、5 cm切削後、排水性混合物をオーバーレイしている⁴⁾。

その後、建設省が排水性混合物層厚を変化させ試験施工を実施したが、1996年時点では「特に明確な差はいまのところ得られていない。」と報告している²⁴⁾。

一方、建設省土木研究所は、1996年に排水性混合物層厚3 cm、5 cm、8 cmで走行実験を行い、「舗装厚の違いによる騒音パワーレベルの違いはほとんど見られない。従って、排水性混合物層は3～5 cmの範囲とすればよい。」と結論づけている。

4.2 2層式排水性舗装

1996～1998年には、排水性混合物層を上下に分け、上部に小粒径骨材を適用する“2層式排水性舗装”が提案された²⁵⁾²⁶⁾。2層式とする利点としては、①上部に小粒径の排水性混合物を用いることで、高い騒音低減効果が期待できる、②全層に小粒径の排水性混合物を用いた場合に比べ、耐流動性の向上が期待できる、等を挙げている²⁵⁾²⁶⁾。

当初の2層式排水性舗装は、上部と下部をそれぞれ別に敷均していた。その後、“2層同時舗設用アスファルトフィニッシャー”が開発され、1999年の“品川区八潮の性能規定発注工事”を初め、上部と下部を同時に敷きならす事例が増えている。

4.3 薄層化

1993年、材料費の削減等を目的に、排水性混合物層厚を25～30mmにする薄層化が検討され、中央自動車道で試験施工が実施されている²⁷⁾²⁸⁾。

なお、薄層化することで30%程度の材料費削減が見

込めるが、通常の排水性舗装に比べ、排水機能や吸音機能等が若干劣ると言われている²⁷⁾。

5. 施工

排水性混合物がアスファルトモルタルをほとんど含まないこともあり、初期段階では、いろいろな施工法が試行されたようである。

例えば、1987年に施工された環状七号線では、1層の仕上がり厚さを最大8 cmとしていることから、敷きならしにハイコンパクションスクリードを装着したアスファルトフィニッシャーを用い、有振・無振の鉄輪振動ローラで転圧している。

高粘度改質アスファルトが使用されるようになってからは、タイヤへの骨材の付着を避けるために、通常、初転圧に引き続き実施されるロードローラによる2次転圧で所定の締め固め度を確保し、仕上げ転圧にタイヤローラやタンデムローラを用いている。また、最近では転圧に要する時間を短縮するなどの目的で、水平振動ローラが使用されることもある²⁹⁾。

その後、“2層式排水性舗装”や“薄層化”が実用化されるようになると、これらの施工に適した敷均し機械が開発されるようになった。

5.1 2層同時舗設用アスファルトフィニッシャー

“2層同時舗設用アスファルトフィニッシャー”は、**図-6**に示すように下層用と上層用のホッパ・スクリュウ・スクリードを装備している。このため、2層式排水性舗装をワンパスで敷きならすことができ、施工の合理化が期待できる。

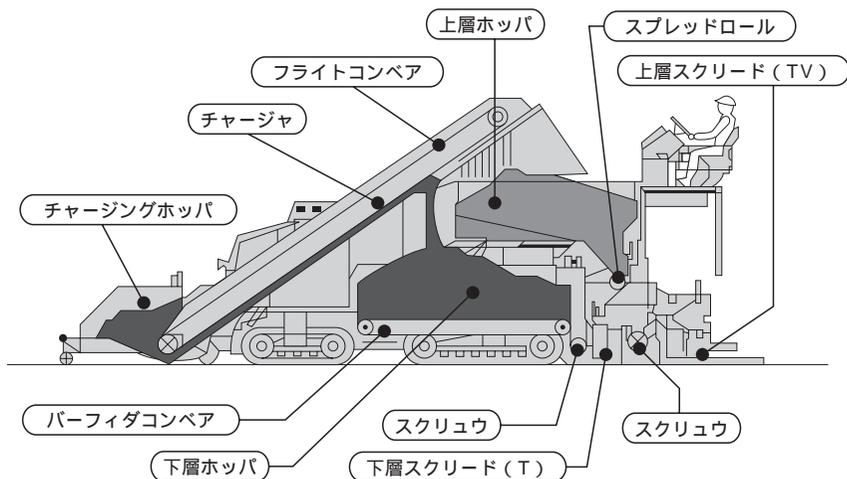


図-6 2層同時舗設用アスファルトフィニッシャーの機構³⁰⁾

本アスファルトフィニッシャは、前述した“品川区八潮の性能規定発注工事”で使用され、騒音低減性能を要求性能とする総合評価落札方式工事を中心に、適用例が増加している。

なお、上部2cmに7号砕石・下部3cmに6号砕石を用いた排水性舗装からの切り取り供試体の動的安定度が、上・下別々に敷きならした場合には2,670回/mmであったのに対し、上・下を同時に敷きならした場合には7,580回/mmを示したとの報告がある³¹⁾。

5.3 乳剤散布装置付アスファルトフィニッシャ

“乳剤散布装置付アスファルトフィニッシャ”は、**図-7**に示すように、アスファルトフィニッシャのスクリード前方にアスファルト乳剤散布装置を装備したものである³⁰⁾。

本装置は、高濃度アスファルト乳剤の多量散布を伴う“薄層化した排水性舗装”の施工を対象に開発されたもので、施工の合理化のほか、混合物運搬車のタイヤへのアスファルト乳剤の付着防止が期待できる。

6. 維持修繕，機能回復

排水性舗装の破損の形態には、ポットホール、骨材飛散、わだち掘れ、ひびわれ等、通常の舗装でも発生するもののほか、空隙詰まりや空隙つぶれがある³²⁾。

これらの破損が進行した場合には、通常、切削オーバーレイ等で修繕されるが、部分的なポットホールや骨材飛散を対象に、小規模補修用材料が開発されている。

また、骨材飛散や空隙つぶれを抑制する、いわゆる予防的な補修方法が開発されているほか、空隙詰まりが生じた場合の対策として、機能回復法が開発されている。

6.1 小規模補修用材料

小規模なポットホールや骨材飛散を対象とした補修材としては、エポキシ樹脂をバインダとしたポーラスな常温混合物が開発されている³³⁾³⁴⁾。

これらは、使用する直前に骨材にバインダーまたは硬化剤を添加混合して使用する。硬化した混合物は、通常、排水性混合物より大きな骨材飛散抵抗性等を示す³³⁾³⁴⁾。なお、製品によっては、気温が0 程度でも使用が可能である³³⁾。

また、反応性の樹脂を併用するアスファルト乳剤をバインダとする常温混合物も検討されている³⁵⁾。この混合物も、使用する直前に骨材にアスファルト乳剤や添加剤を添加混合して使用する³⁵⁾。このほか、透水型樹脂モルタルによる補修等も検討され、室内試験でその有効性が確認されている³⁶⁾³⁷⁾。

これら補修材料は、一種が1985年に開発されたほかは³³⁾、ここ数年内に開発されている³⁴⁾³⁵⁾。

6.2 予防的維持工法

骨材飛散や空隙つぶれの予防的維持工法としては、①排水性舗装表面に樹脂を散布し被膜を形成する“トップコート工法”、②透水性の樹脂モルタルを排水性舗装表面の凹部に充填する“透水性樹脂モルタル充填工法”が1999年前後に開発され、室内試験等でその有効性が確認されている³⁸⁾³²⁾³⁶⁾。

図-8に、トップコート工法を適用した場合の、排水性混合物の締固め度と骨材飛散抵抗性試験による飛散損失率の関係を示す³⁶⁾。この図から、トップコート工法を適用することで、排水性混合物の締固め度が小さい場合でも、骨材飛散の予防効果が期待できると推察される。

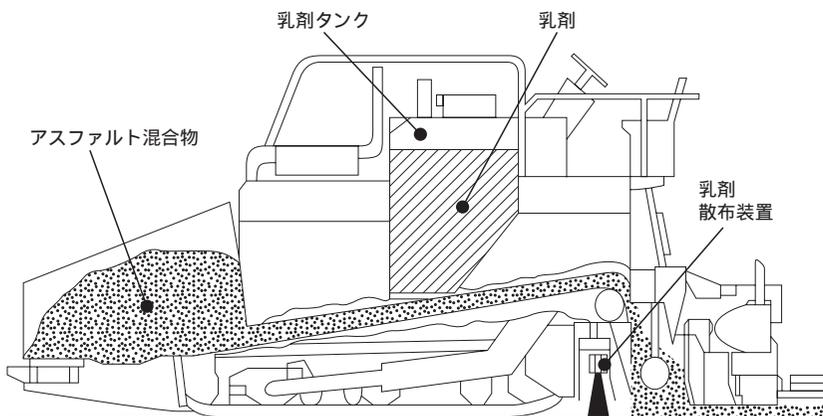


図-7 乳剤散布装置付アスファルトフィニッシャ³⁰⁾

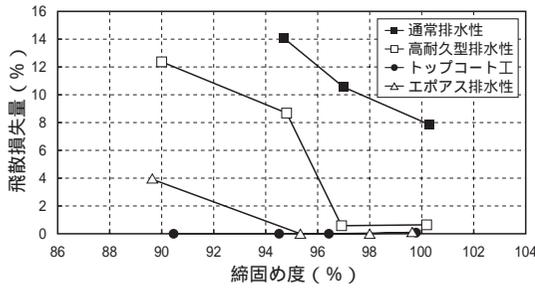


図 - 8 締固め度と飛散損失率の関係³⁶⁾

6.3 機能回復

排水性舗装が本格的に普及し、空隙詰まりによる機能低下への対応策の必要性が高まったことを受け、1994年、建設技術評価制度の課題に「排水性舗装の機能回復器の開発」が取り上げられた。なお、本課題には4グループ5社が応募、一定の成果が得られたものの、作業速度が遅いなどの課題も残された³⁹⁾。

本開発の成果を含め、これまでに、高圧水洗浄方式、吸引方式、高圧水洗浄方式+吸引方式、過酸化水素水方式、プロアのエアを利用したエアカーテン方式および高圧洗浄方式の改良型などが試行され、作業速度の向上を主体に逐次改良されている^{39) 40)}。

最近の適用事例としては、①“高圧洗浄方式の改良型”を適用した結果、図-9に示すように、空隙つまりが生じた箇所では現場透水量が200~300ml/s、RAC車による騒音値が0.5dB程度回復した、②土砂が詰まっている可能性のある施工直後の排水性舗装に“エアカーテン方式”を適用した結果、RAC車による騒音値が0.7dB程度回復した⁴²⁾、との報告がある。

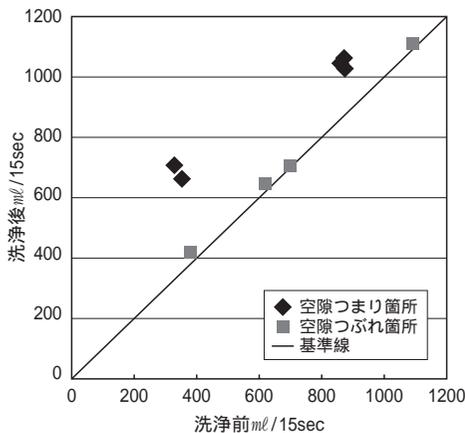


図 - 9 洗浄前・後の現場透水試験結果⁴⁰⁾

7. おわりに

排水性舗装の適用範囲拡大に伴う、素材、配合設計手法、舗装構成、施工法および維持修繕・機能回復に関する技術の変遷の概要を紹介した。

紙面の関係から、さわり程度の紹介にとどめてあることを御理解願いたい。また、時系列等に誤りがある場合には、御指摘願いたい。必要に応じ、機会を見て訂正させて頂きたいと考えている。

文責：野村健一郎（大成ロテック株式会社）
橋本修治（日本道路株式会社）

参考文献

- 1) 桜井正己, 荒木美民: 透水性舗装の車道への適用 - 世田谷区における施工例 -, 舗装, pp.24~28, 1977.6
- 2) 達下文一, 森尚之, 阿部博: 低騒音舗装の試験施工と結果 (上), 舗装, pp.3~8, 1988.11
- 3) 久保和幸: 一般国道における排水性舗装の供用性調査, 舗装, pp.39~41, 1992.8
- 4) 渡辺幸二, 神谷誠, 中村研: 東北自動車道における排水性舗装, 舗装, pp.4~9, 1989.11
- 5) 笠原彰彦: アスファルト舗装における新素材・新材料 - 排水性舗装と新素材 -, 舗装, pp.4~10, 1991.8
- 6) 久保和幸: 排水性舗装の粗骨材形状と最適被膜厚さ, 舗装, pp.3~5, 192.8
- 7) 大西博文, 明嵐政司: 排水性舗装の騒音低減効果に関する研究, 道路, pp.82~84, 1996.4
- 8) 橋本修治, 綿引直志, 松井順雄: 性能規定発注方式による排水性舗装等の施工, 舗装, pp.21~24, 2000.4
- 9) 久保和幸: 排水性舗装用アスファルト混合物と骨材性状, 舗装, pp.3~6, 1993.3
- 10) 松田敏昭, 清水浩昭, 佐々木寛, 渡辺裕貴: 性能規定発注方式による低騒音舗装の施工, pp.14~20, 2000.4
- 11) 上野貞治, 綿谷茂: 排水性混合物における骨材の種類と混合物性状の関係に関する一検討, 第25回日本道路会議論文集, 09204, 2003.11
- 12) 佐藤大, 岳本秀人, 阿部隆二: 北海道における排水性舗装の機能性低下に関する一考察, 土木学会第58回年次学術講演会概要集, pp.1319~1320, 2003.9
- 13) 菅野宏: 最近の排水性舗装用高粘度改質アスファ

- ルト～鋼床版用および積雪寒冷地用高粘度改質アスファルトについて～, pp.7～13, 2002.5
- 14) 佐藤正彦, 徳嵩秀晴: 排水性舗装混合物カンタブ口試験の低温特性に関する検討, 北陸道路舗装会議技術報文集, pp.207～210, 1994.6
- 15) 村山雅人, 伊藤達也: 排水性舗装用バインダの研究開発, アスファルト, pp.6～13, 2001.4
- 16) 酒井脩・橋本修治: エポキシ複合バインダを使用した排水性舗装…東名高速道路松田 - 御殿場間… , 第19回日本道路会議論文集, pp.634～635, 1991.10
- 17) アスファルト舗装技術委員会材料開発研究分科会, 排水性舗装用エポキシアスファルトの研究開発, アスファルト, pp.27～30
- 18) (社)日本アスファルト協会: 排水性舗装用エポキシアスファルト混合物施工の手引き(案), 1997.
- 19) 安崎裕, 久保和幸, 高木信幸: 排水性舗装の機能性についての調査報告, 第19回日本道路会議論文集, pp.598～599, 1991.10
- 20) 松本茂, 高田佳彦, 瀧口高: 排水性舗装への中温化技術の適用, 第24回日本道路会議論文集, pp.32～33, 2001.10
- 21) 鶴窪廣洋, 大野滋也, 中島裕寿: 排水性舗装の特性と配合設計, 日本道路公団試験研所報, pp.35～46, 1992.11
- 22) アスファルト舗装排水性舗装検討分科会: 排水性舗装技術指針(案)の刊行, 道路, pp.67～71, 1996.10
- 23) (社)日本道路協会: 排水性舗装技術指針(案): pp.26～35, 1996.11
- 24) 建設省, 土木研究所, 地方建設局等: 排水性舗装の車道への適用性調査, 土木技術資料, pp.34～39, 1995.5
- 25) 山本豊, 廣津栄三郎, 雑賀義夫: ツイン例排水性舗装の騒音低減効果について, 第22回日本道路会議論文集, pp.472～473, 1997.10
- 26) 岡本信人, 浜田幸二: 二層式低騒音舗装の性状について, 第22回日本道路会議論文集, pp.488～489, 1997.10
- 27) 新田弘之: 技術開発の進む排水性舗装用混合物, アスファルト, pp.2～5, 2001.4
- 28) 伊藤功, 小向清隆, 中村勝司: 薄層排水性舗装の試験施工について, 第20回日本道路会議論文集, pp.718～719, 1993.10
- 29) 金森泰継, 田口仁, 坂本康文: 水平振動ローラの排水性舗装への適用について, 第24回日本道路会議論文集, pp.228～229, 2001.10
- 30) (社)日本道路建設業協会技術管理部会: 施工における技術開発, アスファルト, pp.14～19, 2001.4
- 31) 小柴剛, 上坂克巳, 並河良治, 大西博文, 近藤升: 騒音低減効果に着目した各種排水性舗装の評価, 日本音響学会講演論文集, pp.853～854, 2001.10
- 32) 峰岸順一, 高橋光彦: 低騒音舗装の骨材飛散の進行実態と抑制対策の検討, 土木学会舗装工学論文集第8巻, pp.71～79, 2003.12
- 33) 古財武久, 野村健一郎, 三田浩史: 寒冷地域のポットホール補修材, 第3回北陸道路舗装会議報文集, pp.141～144, 1985.6
- 34) 小野寺陵太郎, 上野貞治, 相場道郎: 排水性舗装補修用材料の開発, 第24回日本道路会議論文集, pp.40～41, 2001.10
- 35) 青木政樹, 小林秀行, 加納孝志: 小規模補修に対応した排水性舗装補修用常温混合物の検討, 第24回日本道路会議論文集, pp.246～247, 2001.10
- 36) 山口三郎, 澤田昭吾: 骨材飛散対策工法における室内試験評価について, 第25回日本道路会議論文集, 09200, 2003.10
- 37) 鎌田修, 新田弘之, 伊藤正秀: 排水性舗装の補修による機能回復に関する検討, 第25回日本道路会議論文集, 09152, 2003.10
- 38) 峰岸順一: 低騒音舗装の油によるポットホールの原因究明と抑制対策の検討, 土木学会舗装工学論文集第8巻, pp.81～91, 2003.12
- 39) 稲垣竜興: 排水性舗装機能回復工法, アスファルト, pp.20～24, 2001.4
- 40) 勝敏行, 斉藤徹, 鈴木宏: 高速型排水性舗装機能回復車の開発, 第25回日本道路会議論文集, 09153, 2003.10
- 41) 桜井正己, 荒木美民, 西沢典夫: 車道に施工した透水性舗装の追跡調査, 舗装, pp.14～17, 1984.2
- 42) 山口康広, 浅野将直: 機能回復効果の九州地区(総合評価落札方式)の一例, 第25回日本道路会議論文集, 09154, 2003.10

車道透水性舗装の試行の現状

(The Actual State of Permeable Pavement)

竹田 敏 憲*

近年、車道透水性舗装の施工事例が数多く報告されるようになったが、これまでは生活道路を対象とした交通量の少ない道路での適用が中心であった。最近、下水や河川への負担軽減、雨水の地下浸透等を目的として幹線道路への適用をも視野に入れた検討が行われている。本文では、国土交通省、愛知県、東京都、新潟市等を中心とした車道透水性舗装への取り組みの現状について整理し報告する。

1. はじめに

車道透水性舗装は、これまでは生活道路を中心とした施工事例が多かったが、最近の特徴として、幹線道路への適用を視野に入れた取り組みが見受けられるようになってきた。しかも国土交通省と東京都による「環境舗装東京プロジェクト」や国土交通省と愛知県とが協働した取り組みにみられるように、国と自治体とが一体となって進めているケースが目立つ。昨年末「特定都市河川浸水被害対策法」が施行され、雨水流出抑制のためのための方策が検討されているが、車道透水性舗装導入への期待は一層高まっている。

これまで実施されている車道透水性舗装の適用条件は、路床条件、交通条件、道路幾何構造等様々であり、各施工事例を同列で評価することができない。また、

適用にあたって舗装の耐久性を低下させず、どう透水性を高めていくかという大きな課題を抱えている。

本文は、これまでに公表された報文を中心に全国で実施した施工事例を整理したうえで、現段階における車道透水性舗装導入の効果、問題点についてまとめたものである。前段では、生活道路への適用状況として日本道路会議での報告事例を、後段では重交通道路への適用を視野に入れて組んでいる国土交通省、愛知県、東京都、新潟市の事例について紹介する。

2. 日本道路会議における最近の報告状況

車道透水性舗装の生活道路への適用については、古くから東京都世田谷区¹⁾をはじめとしたいくつかの区市で実施例がある。表-1は、最近の取り組みとして、

表-1 日本道路会議における報告事例一覧²⁾

No.	発表	実施機関	施工年次	対象道路	舗装構成	評価時点	供用後の状況等
1	第22回	神奈川県	H 8.3	B 交通	As 5cm, poセメ処理 15cm, C-40 10cm 注) poは、ポーラスの略	18月後	・路面状況良好 ・湘南砂丘地域に位置しており有効
2	第23回	住宅都市整備公団	H 6.	生活道路 駐車場	表層混合物の配合を変えた5タイプ	5年後	・改質As II型の優位性確認 ・「透水性舗装設計施工マニュアル(案)」の妥当性確認
3	第23回 第25回	岐阜市	H10.3	生活道路	①As 5cm(20%) C-30 20cm ②As 5cm(15%) C-30 20cm	57月後	・路面状況良好、支持力低下みられない ・透水性能:(20%)工区良好,(15%)工区半分以下
4	第25回	新発田市	H14.10	B 交通	①As 11cm, poAs処理 8cm, C-40 15cm ②As 11cm, C-25 16cm, C-40 15cm	11月後	・路面状況良好、FWDたわみ量低下なし
5	第25回	守口市	H13.11	A 交通	①As 10cm, M 10cm, C10cm, 路床改良60cm ②As 10cm, C-40 20cm, 砂10, 路床改良60cm	15月後	・平坦性変化なし、現場透水量若干低下 ・路床の支持力低下みられない
6	第24回	名古屋市	H13.3	生活道路	As 5cm, 上層路盤 5cm, 下層路盤20, 15cm フィルター層(再生骨材)	24月後	・平坦性、わだち掘れ変化なし、現場透水量若干低下 ・FWDたわみ既設路盤タイプは低下、その他良好
7	第22回 第25回	東京都 世田谷区	H 9.2	生活道路	2路線で各々4タイプ ①As 5cm, poAs処理 10cm, C(又はRC)・40 20cm ②As 5cm, poAs処理 10(15)cm, RC・40 20(25)cm	5~6年後	・供用5~6年で支持力低下見られず良好な状態 ・路盤に再生材を使用することによる問題なし

*ただ としのり 東京都土木技術研究所 技術部長

第22回（平成9年）～第25回（平成15年）の日本道路会議²⁾で報告されたもののうち、生活道路等軽交通道路で適用された事例の一覧である。

路床条件は、守口市のCBR 4 % 以外は明記されておらず不明である。施工規模は、いづれも試験施工として実施しているため小規模で、施工区間をいくつかに分割して数種類の舗装区間を設けて比較検討しているケースが多い。舗装構成は、透水性アスコンの下にクラッシュラン層、フィルター層（砂層）を設けているのが一般的である。供用後の状況は、最大6年経過しているが概ね良好で、とくに路床への浸透水による支持力低下が見られた例はない。

3. 幹線道路への適用に向けた取り組み

車道透水性舗装は、地下への雨水浸透効果のみならず、一時貯留機能、排水機能及び騒音低減機能さらには路面温度低減等多面的に期待して、最近では幹線道路への適用も視野に入れた導入検討が行われている。代表的な例として、国土交通省、愛知県、東京都、新潟市等の取り組みがある。

3.1 国土交通省の取り組み

表 - 2 は国土交通省及び愛知県が実施した試験施工である。

表 - 2 国土交通、愛知県の施工事例

No.	施工年度	施工箇所	施工規模	交通条件	路床条件
1	平5	一般国道24号(和歌山)	L=350m	D交通	CBR 12
2	平12	一般国道155号(豊田南)	L= 90m	D交通	CBR 12
3	平13	主要地方道豊田安城線	L= 60m	C交通	CBR 12

3.1.1 近畿地方整備局（以下近畿地整）^{3) 4)}

国土交通省近畿地方建設局（当時）は、「雨水の地下還元」、「路面温度の低下」、「自動車騒音の低減」等環境の創造に資する舗装を目標に車道透水性舗装の導入を昭和62年度より検討を進め、平成5年に試験施工を行っている。D交通道路への適用は、わが国ではこの試験施工³⁾が最初の試みである。舗装構造を図 - 1 に示す。表層～上層路盤まで全て同じ構造であるが、下層路盤の使用材料及び遮断層、ジオテキスタイルの有無による6断面の組み合わせと標準工区を含めて7工区設置している。

3.1.2 中部地方整備局(以下中部地整)と愛知県^{5) 6)}

中部地整と愛知県は、環境に配慮した舗装構造の技術開発を共同で進めている。開発のねらいは、浸透性路盤に産業廃棄物等を活用すること、重交通道路を対象とし

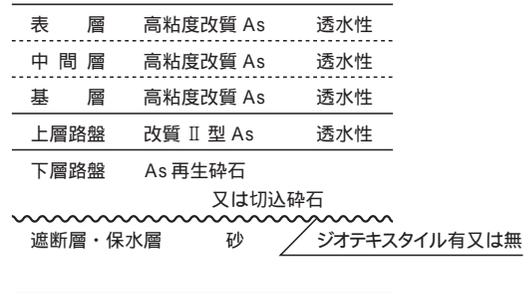


図 - 1 舗装構造（近畿地整の例³⁾）

ていることにある。舗装構造は、アスファルト系2種類、コンクリート系2種類及び標準舗装の5種類である。

3.2 東京都の取り組み^{7) 8)}

東京都は、歩道透水性舗装については街路樹育成、歩行性向上を目的として昭和48年に試験施工を開始し、昭和51年から本格導入に入っている。また昭和58年には総合治水対策の一環としてさらに適用拡大を図り積極的に施工している。平成12年からは都市型洪水対策の一環として透水面積拡大の観点から、車道透水性舗装の導入に向け取り組んでいる。平成12年には研究所構内でモデル実験を行い、引き続き現道での試験施工に入った。表 - 3 は、これまで実施してきた試験施工の一覧である。適用箇所の交通条件は、L交通からB交通、路床条件はCBR 2～4である。標準構造は、図 - 2 に示すとおりであり、フィルター層の上下面に

表 - 3 東京都の施工事例

No.	施工年度	施工箇所	施工規模	交通条件	路床条件
1	平12	主要地方道3号(世田谷)	L= 63m	L交通	CBR 3
2	平13	都道230号(小平市)	L= 50m	A交通	CBR 4
3	"	都道132号(西東京市)	L=100m L=250m	B交通 "	CBR 2 CBR 2
4	"	主要地方道25号(練馬区)	L= 58m	A交通	CBR 2
5	"	都道427号(杉並区)	L=100m	B交通	CBR 3
6	平14	主要地方道44号(瑞穂町)	L=500m	B交通	CBR 3
7	" "	都道132号(西東京市)	L=730m	B交通	CBR 4
8	平15	都道132号(西東京市)	L=400m	B交通	CBR 3



図 - 2 舗装構造（東京都の例¹⁸⁾）

は、埋設管周辺の埋め戻し用砂等の流出防止のために、ジオテキスタイル（透水性シート）を敷設している。

3.3 新潟市の取り組み^{9) 10)}

新潟市は、全体面積の約4割が海拔ゼロメートル地帯で、地形が平坦なため雨水の河川への自然排水が困難な状況にある。そのため雨水による浸水被害が発生したこと、また農地の宅地化による不透水面積の拡大も顕著になってきたこと等から、平成5年度から車道透水性舗装の導入検討に取り組んでいる。地域の地盤が砂質系と取り入れやすい条件下にあったため、早くから適用基準、材料規定を定め積極的に導入を図っている。車道透水性舗装適用の条件を表-4に、舗装構成を図-3に示す。施工実績は、平成12年現在で約

85,000㎡になり（平成13年以降の実績は不明である）、施工件数は100件にも及ぶ。

4. 環境改善への効果

以上紹介した国交省と愛知県、東京都、新潟市が実施した試験施工で得られた主な結果は、以下の通りである。

4.1 路面透水性

路面の透水性は、現場透水量試験を利用して評価しているが、施工直後の規格値については、「排水性舗装技術指針（案）」又は「舗装の構造に関する技術基準」（社）日本道路協会）に基づいているケースが多い。

表-4 車道用透水性舗装の適用と材料規定（新潟市）⁹⁾

種別	市道【A断面】	市道【B断面】	市道【C断面】	私道
区分	都市計画街路及び主要幹線道路	一般道路	幅員6m以下の生活道路	
大型車交通量	250以上	100～250	100未満	10未満
表層	透水性表層(13) *1	・使用As：高粘度改質As ・混合物：空隙率 20%，透水係数 10^{-2} マーシャル安定度 3.43KN		・使用As：改質Ⅱ型As ・混合物：*1に準ずる（*4）
基層	透水性基層(20) *2	・使用As，混合物は*1に準ずる		
上層路盤	ATPM (透水性As安定処理) *3	・使用As：改質Ⅱ型As ・混合物：空隙率 23%，透水係数 10^{-2} マーシャル安定度 2.45KN		
下層路盤	C-40（修正CBR 30）			
路床	設計CBR 8			

適用路床条件：CBR 8の砂地盤（透水係数：10-2cm/sec以上）

地下水位は、現況の地表面より1.5m以深

注）市道における表・基層用混合物の仕様は「排水性舗装技術指針（案）」に準ずる

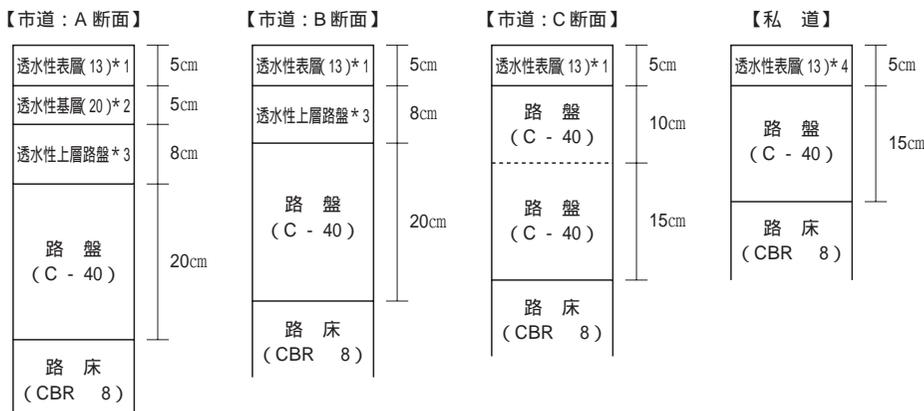


図-3 新潟市における車道用透水性舗装の舗装構成

供用後の透水性能の持続性は、近畿地整では累積交通量の増加とともに透水性能は低下しており、6年後には全ての工区で規格値（900cc/15sec（小規模））を下回っている。中部地整等の例では、供用後30ヶ月経過した段階で一部を除き透水性能（1000cc/15sec）は維持されている。東京都の例では図-4に示すように、1年後で若干の低下がみられる程度である。新潟市の例⁹⁾では、表層混合物の種類で比較しているが、高粘度改質を用いた例では、施工直後1,200cc/15secであったものが、6年後では半分程度に低下、改質型を用いた例では空隙詰まり、つぶれ等により6年後には不透水の状態であった。ここでは、排水性舗装との比較も行っているが、経年による機能の低下率は、透水性舗装の方がかなり小さい。いづれにしても透水性能の持続性は、施工箇所の道路の利用状況や環境によって左右されるようである。

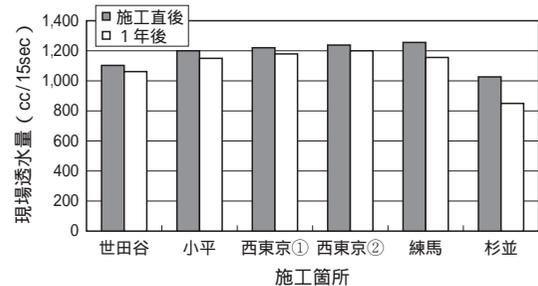


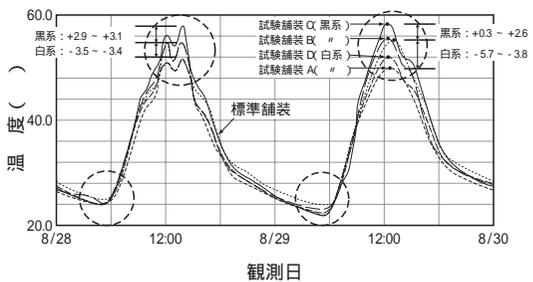
図-4 現場透水量の経年変化（東京都）

4.2 雨水流出抑制効果

流出抑制効果は、雨水が舗装表面から越流し、直接下水管に流入するかどうかで評価している。各試験施工では、まず舗装体の貯留能力を試算し、降雨強度による舗装表面からの越流状況を確認している。東京都が行った散水実験では、最大日降雨強度160mm/日の場合で越流は見られなかった。また、新潟市の例では、施工前後の流出量比較を行ったところ大幅な流出量低減が図られ、観測期間中の最大日降雨強度は91.5mmであったが、表面流の発生は見られなかった。

4.3 路面温度低減効果

透水性舗装は、ヒートアイランド現象の緩和効果をも期待して、温度低減効果を検討している。中部地整は、最高路面温度時での標準舗装との温度差は、図-5に示すように黒系（B、C工区）で0.3~2.6、白系（A、D工区）で4~6低くなるなどの結果を得ているがこれはアルベドの効果であろう。



最高路面温度時での標準舗装との温度差 (平成13年8月29日)

・黒系：+0.3 ~ +2.6 ・白系：-5.7 ~ -3.8

図-5 路面温度（中部地整⁶⁾）

東京都が実施した試験施工では、路面温度が50を超える夏季においては、透水性舗装は密粒型舗装より0~2低い。冬季においては、低騒音舗装と比較して0~3低い。

新潟市の例では、詳細な温度測定を行っているが、傾向として表層の温度は、透水性舗装の方が夏季に低く、冬季に高い。しかしその差は小さく、時間帯により逆になる場合もある。いづれにしても、透水性舗装の路面温度低減効果は、夏季の高温時に若干みられる程度といえる。

5. 舗装構造に与える影響

透水性舗装は、雨水を舗装以下に浸透することにより様々なメリットが生ずるが、舗装本来の機能を低下させないことも重要である。試験施工では、路面性状調査やFWDによるたわみ調査等が行われている。

5.1 舗装構造への影響

図-6は、近畿地整のFWDによる路床の弾性係数の経年変化である。この図は6年間の追跡調査の結果であるが支持力低下が認められない。中部地整の例でも、30ヶ月経過後においても支持力低下がみられない。

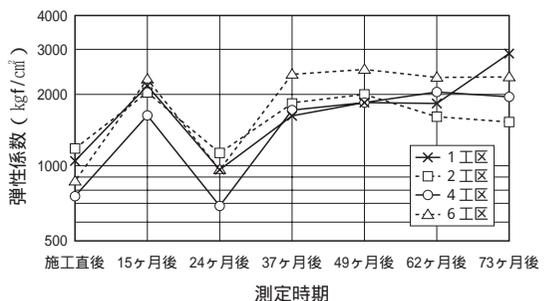


図-6 路床弾性係数の経年変化（近畿地整⁴⁾）

東京都は、路盤、路床への水の浸入による舗装支持力への影響について、降雨前後でFWDによるたわみ測定により検討している。図-7は、表-3に示した施工箇所No.1～No.5の特定車線（上り）における測定結果である。No.2では、影響を受けているようにみられるが、その他はほとんど変化がない。

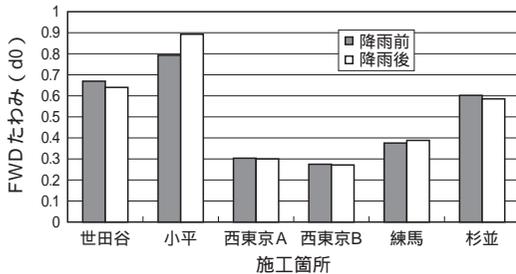


図-7 降雨前後のFWDたわみ (d0)

5.2 路面性状への影響

近畿地整の例では、標準舗装と比較して透水性舗装のわだちぼれがやや大きく、またすべり抵抗値は透水性の方が大きい。全体的には路面性状は良好である。中部地整の例では、平坦性、わだちぼれ、すべり抵抗とも30ヶ月経過後においても変化がなく、良好な路面状態を保っている。東京都の例でも、平坦性、すべり抵抗とも施工直後と1年経過後ではほとんど変化がない。

5.3 地下埋設物への影響

東京都は、水の浸入により地下埋設物周辺の土砂流出による空洞化を懸念し、空洞探査を行っている。1年経過した段階では、いづれの箇所にも空洞発生はみられない。

6. これまでの評価と今後の方向性

区市における実施例では、管理する道路の性格から生活道路への適用が中心であった。生活道路では、ほとんど供用後に問題の生じている例がなく、また各自治体には本格的に適用していこうという姿勢が伺える。

一方、国土省と愛知県、東京都、新潟市は重交通道路への適用も視野に入れての取り組みである。舗装内に水を浸入させることによるリスクは当然大きなものとなる。透水性舗装とはいえども、透水機能を優先するばかりに舗装としての性能を低下させることは避けなければならない。必須の条件である疲労破壊輪数、塑性変形輪数、平坦性は確保するのが前提である。透水性舗装による流出抑制には、①舗装体による貯留効

果、②舗装体から路床下への浸透、③舗装体の側方に設けた排水管を経由して下水へ排出する等の方法がある。これらのどの方法をねらいとして適用するかは、対象地域の地形、路床の土質、透水係数等によって異なる。例えば新潟市の砂質系地盤と東京都のようなローム系地盤は、極端な例であろう。今後さらに、施工実績を増やし検討を進めていく必要がある。

7. おわりに

今回取り上げた事例は、これまでに何らかの形で公表されている報文に基づくものである。現時点での状況を出来るだけ忠実に整理しとりまとめたつもりであるが、しかしこれ以外にも取り組んでいる例もあるであろうし、また、今回参考にした報文についてもその後新たな知見が得られているかもしれない。今後も新しい情報が数多く報告されることを期待したい。なお、透水性能や流出抑制効果については、室内実験等で検討している例もあるが、ここではあくまでも試験施工など実道で実施したものに限定して頂いた。

参考文献

- 1) 桜井正巳, 荒木美民: 透水性舗装の車道への適用, 舗装12-6, 1977.6
- 2) 日本道路協会: 第22～25回日本道路会議一般論文集(C), 1997～2003
- 3) 上山二郎, 浦上康文: 車道透水性舗装, 道路, 1994.2
- 4) 兼田実, 村上勝利: 車道透水性舗装, アスファルト, Vol.43, No.207, 2001
- 5) 川西寛, 藤井則義: 環境に配慮した舗装構造の技術開発, 舗装36-2, 2001.2
- 6) 森成道, 松下敏郎, 古川正勝, 菊池俊浩: 透水性舗装の車道への適用, 舗装, 38-11, 2003.11
- 7) 小林一雄, 峰岸順一, 近江淳一, 阿部忠行: 車道透水性舗装の構造及び機能の検討, 平14.都土木技術年報, 2002
- 8) 竹田敏憲, 峰岸順一, 野村敏明: 車道透水性舗装の雨水浸透メカニズムの検討と実道における試験施工例, 土木施工44巻11号, 2003.11
- 9) 堀越重男, 大竹和彦, 木下銀治郎: 新潟市における車道透水性舗装について(第二報), 第8回北陸道路会議, 8-11, 2000.6
- 10) 荒井進, 大川秀雄, 田口仁, 大竹和彦: 新潟市における車道透水性舗装の試み, 舗装33-3, 1998

車道透水性舗装実用化に向けての取組み

(The measure towards utilization of permeable pavement : driveway)

菊池俊浩*

国土交通省中部地方整備局と愛知県では、道路構造本体による環境対策として車道透水性舗装の有効性に着目した。国道クラスの重交通へ対応可能な技術の確立をめざし、平成10年度より「環境に配慮した舗装構造」として車道透水性舗装の技術開発に取り組んでいる。本技術開発では、民間企業から公募した技術を選定し、それらの技術について試験舗装を実施したうえで現在までの3年間にわたり追跡調査を行っている。

本文は、試験舗装の調査結果に基づき、開発技術の重交通への対応可能性を述べるとともに、それらから得られた技術的知見を基にとりまとめた「環境に配慮した舗装構造 設計・施工・維持管理要領（参考試案）」の概要について報告する。

1. はじめに

近年、道路の分野においても、以下のような環境に対する広範な取組みがなされてきている¹⁾。

①生活環境の向上

沿道法、低騒音舗装、遮音壁の設置、ノージョイント化等

②自然環境との調和

エコロード、ピオトープ、自然への影響に配慮した道づくり（ミティゲーション）等

③地球環境の保全

バイパス・環状道路の整備、交差点改良、マルチモーダル、交通渋滞の解消等

国土交通省中部地方整備局（以下、中部地整）と愛知県では、これら取組みの一つとして、道路建設の環境への影響低減を目指し、平成10年度から共同で「環境に配慮した舗装構造」の技術開発に取り組んでいる。

「環境に配慮した舗装構造」とは、「産業廃棄物等を活用した雨水浸透型の舗装構造」を意味している。従来の重交通を対象とした舗装構造が路盤内への水の浸入を許さないことを基本としているのに対して、路盤を介して雨水を地中に還元し、周辺地盤と同等の水循環を保持し得る舗装構造である。図-1に環境に配慮した舗装構造の概念を示す。

財団法人先端建設技術センターでは、中部地整と愛知県より委託を受け、本技術開発のために民間技術を

公募し、成立性の高い4技術を選定した。その4技術については、中部地整および愛知県が管理する国道、県道で試験舗装を実施し、各技術の性能を把握するための追跡調査を行っている。

本稿では、まず技術開発の経緯と試験舗装の概要について述べ、次に試験舗装の追跡調査で得られた技術的知見を基にとりまとめた「環境に配慮した舗装構造 設計・施工・維持管理要領（参考試案）」について紹介する。

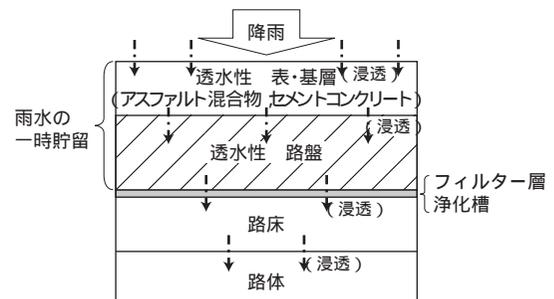


図-1 環境に配慮した舗装構造の概念

2. 技術開発の経緯

2.1 背景

(1) 道路構造本体による環境対策

道路分野においては、公害対策ばかりでなく、廃棄物対策の強化や生物多様性保全の観点からの取組みも

*きくち としひろ 財団法人先端建設技術センター 先端建設技術研究所研究第一部 主任研究員

積極的に進められ、環境対策の充実が図られてきている。しかし、これらの対策は道路の周辺構造物関連施設を利用したものが多く、道路本体が対策効果をあげているものは少ない。

今後、多様化する環境問題への対応をさらに強化していくことから、道路構造本体に着目した取組みを行うことが重要であると考えられる。

そこで、道路構造本体による環境対策としては、①水環境の保全、②雨水の貯留効果による流出の抑制、③道路交通騒音の低減、④路面ヒート現象の抑制、⑤産業廃棄物発生抑制とその再利用の5つに大別される。特にこれらは道路の舗装構造に着目することにより効果的な対応を図ることができると考えられる。

(2) 透水性舗装への着目

上記対策のうち、①～④に対して有効な舗装構造として、以下のような理由から透水性舗装に着目した。

- ・路面が水を通し、雨水を地中に還元することにより地中生物の生息環境を保持するとともに、より自然に近い透水性を有する構造とすることができる。
- ・舗装体に連続した空隙を有することから、雨水を一時的に空隙内に貯留し徐々に地中へ浸透させることで、舗装表面からの流出抑制を期待できる。また、その空隙により排水性舗装と同様の騒音低減効果が期待できる。
- ・還元された水の蒸散作用等により路面ヒート現象の緩和につながる可能性が大きい。

透水性舗装は、雨水による路盤の脆弱化等の理由か

ら軽交通に対応した技術にとどまり、国道クラスの高交通への対応は進まない状況にあった。しかし、近年の高性能バインダの開発やポーラスコンクリート技術の向上などにより実現の可能性が高くなってきた。図-2にそれら効果の概念を示す。

(3) 産業廃棄物の活用

道路を建設・維持管理していくうえで産業廃棄物が発生するが、ゼロエミッションの観点から、発生した副産物を極力再利用し、廃棄物の発生量を抑える努力がなされている。⑤に対して、本技術開発ではこれらの研究成果を活かすとともに、他産業から発生する廃棄物をも道路本体の一部に活用することにより社会全体の廃棄物問題へ貢献することを目指している。

ただし透水性舗装の場合、雨水が舗装体内を通じ地中へ浸透することから、有害物質の溶出等について使用する材料の安全性を十分確認する必要がある。

2.2 目標の設定

車道透水性舗装の技術開発では、「舗装の構造に関する技術基準²⁾」(以下、舗装技術基準)で要求されている必須の諸性能を満足することを基本とし、以下に示す4項目を目標として設定した。

- ①舗装計画交通量は1,000台/日以上とすること。
- ②雨水の浸透能力を有すること。
透水性係数として、
 - ・表層 1.0×10^{-3} cm/s以上
 - ・路盤 1.0×10^{-4} cm/s以上
- ③建設副産物や焼却灰の溶融スラグ等の産業再生資

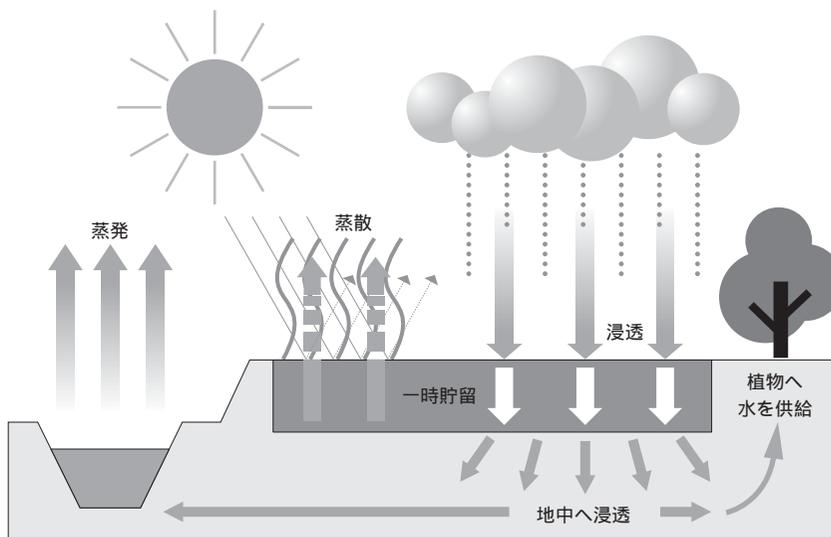


図-2 透水性舗装の効果の概念

材、さらにタイル碎・ガラス等の産業廃棄物を可能な限り活用すること。

④施工、維持管理、ライフサイクルコスト等に配慮すること。

2.3 開発の方法

上記の目標を達成するため、新しい民間技術を活用するなど技術開発を適切に誘導することが必要である。

そこで、民間企業から技術を公募・選定のうえ、供用している道路で試験舗装と追跡調査を行い、設定した目標に対する評価を行うものとした。

技術開発を進めるにあたっては、財団法人道路保全技術センター理事長である多田宏行氏を会長として、舗装に関する有識者から構成された「環境に配慮した道路構造研究会」を設立し、指導・助言を受けるものとした。

2.4 技術の選定

平成10年度から11年度にかけて技術開発参加者を公募し、提出された25技術の開発計画書を審査のうえ、8技術について、室内試験、小規模試験施工、走行試験等を実施した。その結果、最終的にアスファルトコンクリート系（以下、アスファルト系）舗装2技術とセメントコンクリート系（以下、コンクリート系）舗装2技術の計4技術を選定した。

平成12年度には、選定された4技術について試験舗装を実施し、現在まで継続的に調査を行っている。

2.5 技術の概要

選定された4技術の概要を表-1に示す。

3. 試験舗装の概要

3.1 目的

試験舗装では、選定した4技術について施工時の課題、供用状態での舗装の耐久性、環境への影響、透水性能の持続性等を把握することを目的としている。

3.2 概要

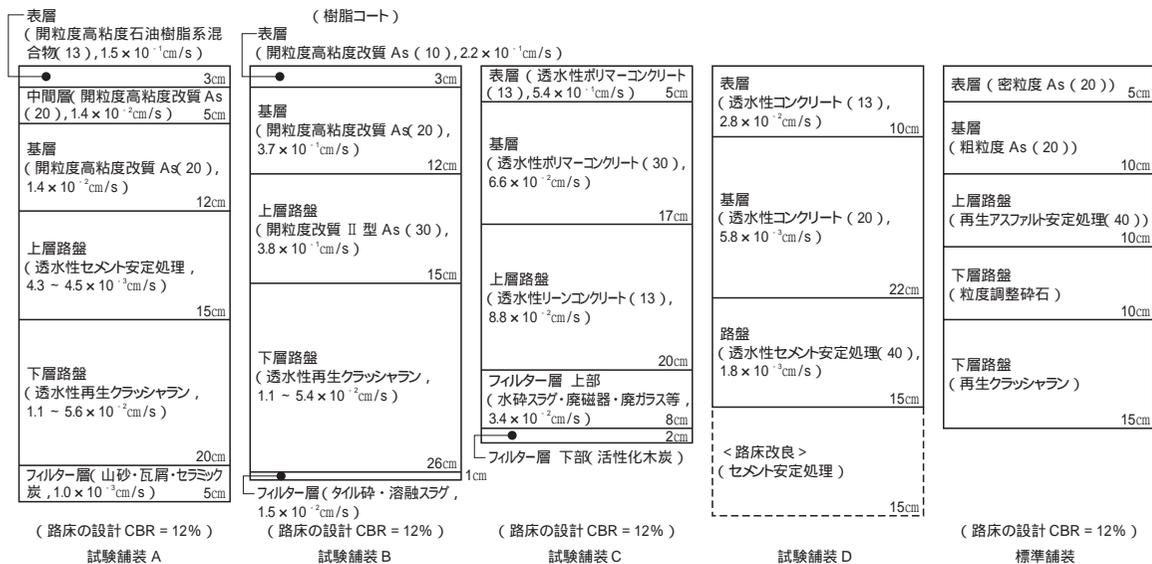
中部地整、愛知県それぞれの試験舗装箇所の概要を表-2に示す。また、中部地整における各技術の舗装構成を図-3に示す。

表-2 試験舗装箇所

管理者 項目	中部地整	愛知県
施工箇所	一般国道155号 (豊田南BP)	主要地方道 豊田安城線
舗装計画 交通量	3,000台/日以上	1,000以上 3,000台/日未満
実測交通量	1,480台/日 (平成13年)	1,770台/日 (平成15年)
施工面積 (1技術あたり)	幅40m×延長90.0m	幅3.2m×延長60.0m
設計CBR	12	8
舗装時期	平成12年8月	平成13年3月
供用時期	平成12年10月	平成14年10月

表-1 技術の概要

種別	名称	開発者	特徴
アスファルト系舗装	舗装A	大有建設 ニチレキ 東レJV	・表層に樹脂系バインダを使用して明色化することにより、路面温度上昇抑制や走行車両の安全性向上を図る。 ・フィルター層をジオテキスタイルで包み込み保護することで、雨水が浸透する際に生じる細粒分の抜け出し防止を図る。
	舗装B	NIPPOコーポレーション	・表層骨材の最大粒径を10mmとして空隙径を小さくすることによりフィルターとしての役割を持たせ、ダスト等の侵入防止を図る。 ・さらに表層に樹脂コートを行うことにより、ダスト等の付着抑制を図るとともに、空隙詰まり時の洗浄によるダスト等の除去率向上を図る。
コンクリート系舗装	舗装C	住友大阪セメント 大林道路 住友金属工業 丸栄コンクリート工業JV	・セメントとアスファルト乳剤をバインダとするポリマーコンクリートを使用しており、アスファルトの特徴である施工の容易性や早期供用性を有しつつ、コンクリートの特徴である耐久性向上を図る。
	舗装D	鹿島道路 小沢コンクリート工業 住友大阪セメントJV	・若干曲げ強度が低く透水係数の高い表層と、若干透水係数が低く所定の曲げ強度を有する基層のポーラスコンクリートから成るハイブリッド構造で、表・基層の透水係数差で、雨水の一時貯留効果を見込む。 ・エロージョン対策として路床にセメント安定処理を行い、フィルター層の機能を合わせ持たせている。



注1. 表中 () の数値は骨材の最大粒径を示す
 注2. () の下段に記載する数値は透水係数を示す
 注3. 路床の平均透水係数: 5.65×10^{-2} cm/s

図 - 3 各技術の舗装構成 (中部地整)

3.3 調査項目と目標値

試験舗装の主な調査項目と目標値を表 - 3 に示す。

表 - 3 調査項目と目標値

	期待する効果	確認項目	目標値
構造項目	構造の安定性	たわみ量	FWDによる D_0 たわみ量が標準舗装と同等以下
		土圧	路床上面の土圧が標準舗装と同等以下
路面性状項目	路面の安定性	すべり抵抗値	DFテスターにて 0.25μ 以下 ³⁾
		平坦性	プロフィールメータにてAs:4.0, Co:5.0mm以下 ³⁾
		わだち掘れ深さ	プロフィールメータにて25mm以下 ³⁾
環境項目	水環境の保全	浸透水量	400ml/15s以上
	雨水流出の抑制	(降雨の)流出量	流出抑制効果が得られること
	降雨時走行性の改善	浸透水量	400ml/15s以上
	道路交通騒音の低減	タイヤ/路面騒音レベル	標準舗装と比較し低減効果が得られること
	路面ヒート化の抑制	舗装温度	路面温度が標準舗装と同等以下

3.4 調査結果

中部地整の試験舗装において3年間(平成15年10月時点)にわたり行った追跡調査により得られた結果から確認された効果を以下に示す。

(1) 構造と路面の安定性

たわみ量はFWD (Falling Weight Deflection) 試験車により載荷点直下 (D_0) の値を計測している。図 - 4 に示すとおり、 D_0 たわみ量は施工直後から0.2mm以下の安定した状態を維持している。一般的に良好な舗装の D_0 たわみ量は舗装計画交通量3,000台/日以上の場合で0.3mm以下⁴⁾とされており、構造的な問題が発生していないことを示している。その他、土圧、すべり抵抗値、平坦性、わだち掘れ深さについても目標値を満足しており、舗装計画交通量1,000台/日以上の車道への適用可能性が高いことが確認された。

(2) 水環境の保全と降雨時走行性の改善

現場透水試験による浸透水量測定結果を図 - 5 に示す。施工直後は舗装技術基準に示される1,000ml/15s以上を満足している。供用後においては、空隙詰まり等による透水性能の低下を考慮して設定した目標値(400ml/15s以上)を満足している。低下傾向は見られるものの透水性能が持続していることから、雨水の路面下ならびに地中への浸透による走行性改善と水環境保全に寄与していると考えられる。

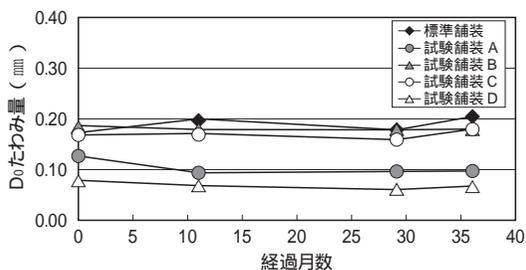


図 - 4 FWD試験によるD₀たわみ量の推移

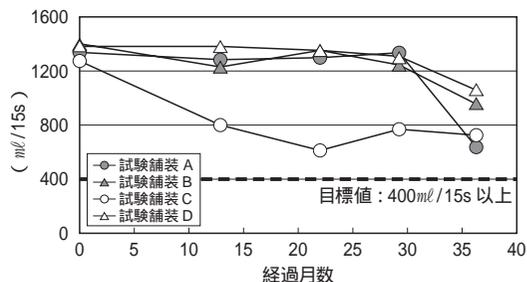


図 - 5 現場透水試験による浸透水量の推移

(3) 雨水流出の抑制

舗装内の水の流れにダルシーの法則 ($v = k \cdot i$ v : 浸透速度 (cm/s), k : 透水係数, i : 動水勾配) が適用できるものとし, かつ $i = 1$ と仮定する⁵⁾。この場合, 舗装と路床の透水係数差がそのまま浸透速度の差となるため, 舗装内の雨水の浸透速度を v_1 , 路床への浸透速度を v_2 とすれば, $v_1 - v_2$ の速度で舗装内に雨水がオーバーフローすることになる〔本試験舗装では (舗装の透水係数) > (路床の透水係数) であるため〕。

今回の調査では路床上面に有孔管を設置し, 上述のオーバーフロー分 (流出量) を集水・計測することで, 舗装内に浸透した雨水のうち路床へ浸透した量を推測した。平成14年10月21日から22日にかけての降雨量・流出量の測定結果を図 - 6 に示す。

降雨開始から流出開始までは4時間の遅れが生じている。また, 11時に降雨量がピークとなっているのに対し, 流出量のピークは12時であり, 1時間の差が生じている。さらにピーク時の降雨量と流出量を比較すると約4割のピークカットが生じており, かつ路面からの溢流がないとすれば, 図 - 6 中の数値に示すよう

に全体降雨量 (12.1 m³) の約3割 (4.4 m³) が路床に浸透していることになる。

以上のことから, 雨水の流出抑制に一定の効果が期待できる。ただし, 今回対象とした降雨は多くても9 mm/h程度の降雨強度であり, 大雨時にどのような挙動を示すか今後の研究が必要である。

(4) 道路交通騒音の低減

舗装路面騒音測定車 (RAC車) によるタイヤ/路面騒音測定結果を図 - 7 に示す。タイヤ/路面騒音レベルに若干の上昇傾向は見られるものの, 標準舗装に比べ8 dB程度低く, 低減効果が持続している。

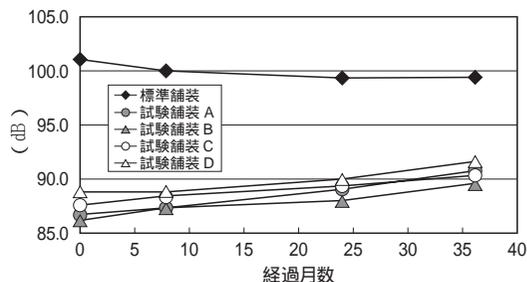
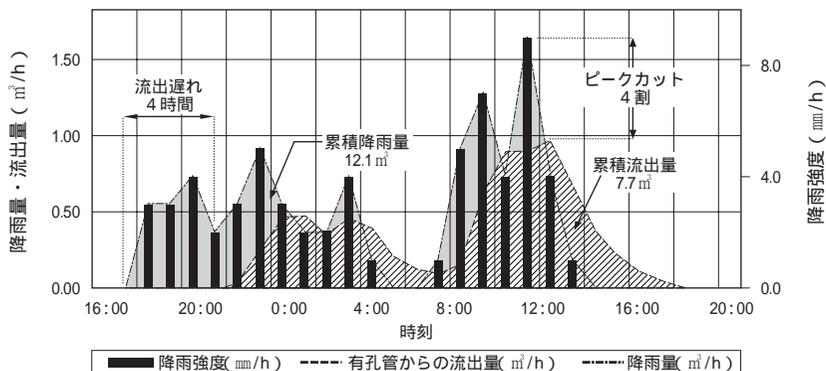


図 - 7 RAC車によるタイヤ/路面騒音レベルの推移



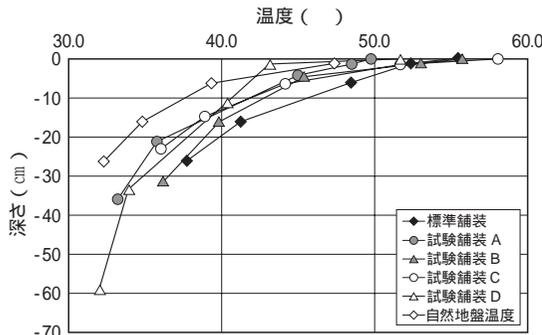
注) データは平成14年10月21日~22日

図 - 6 降雨量・流出量の関係 (試験舗装B)

(5) 路面ヒート化の抑制

平成13年8月29日に測定した最高路面温度時における舗装内温度分布を図-8に示す。深さ方向における試験舗装内の温度分布は標準舗装より低く、自然地盤により近い傾向にある。

このことから、標準舗装に比べ路面ヒート化の抑制に寄与することが期待される。



注) データは平成13年8月29日路面温度最高時

図-8 舗装内温度分布

4. 環境に配慮した舗装構造

設計・施工・維持管理 要領(参考試案)

前項の調査結果により得られた技術的知見について、「環境に配慮した舗装構造 設計・施工・維持管理要領(参考試案)」「以下、要領(試案)」としてとりまとめを行った。開発技術が幅広く活用され、今後新たな技術が開発されやすい環境を作り出すことを目的に、従来の舗装材料規定にしばられることなく、多様な材料の使用が可能な内容としている。

なお、要領(試案)は平成15年7月版として配布した「環境に配慮した舗装構造 設計・施工・維持管理要領(案)」について、その後の試験舗装の調査結果等を加味したうえで、平成16年3月版として内容の見直しおよび名称変更を行ったものである。

4.1 概要

(1) 適用と位置づけ

要領(試案)では、環境に配慮した舗装構造の設計、施工、維持管理を行うために必要とされる事項を記述している。既存の指針等に示される事項の記載は最小限にとどめ、詳細は当該指針等を参照することとしている。要領(試案)と既存指針等との関係を図-9に示す。

(2) 舗装の性能指標

「舗装技術基準」に従い、舗装として要求される事項を満足し、かつ「環境の保全と改善」に着目したう

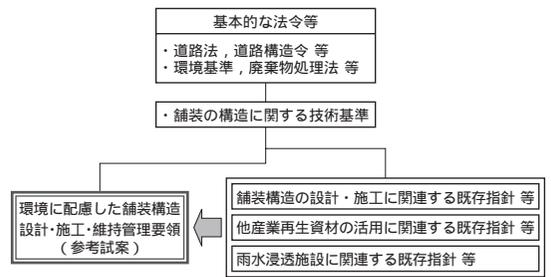


図-9 要領(試案)と既存指針等との関係

えで性能指標を設定している。表-4に要領(試案)における性能指標を示す。

表-4 要領(試案)における性能指標

路面の機能	性能指標	
	環境の保全と改善	浸透水量
快適な交通の確保	雨水一時貯留量	要領(試案)で必要に応じ設定する性能指標
円滑な交通の確保	タイヤ/路面騒音レベル	
安全な交通の確保	疲労破壊輪数	「舗装技術基準」に示される必須の性能指標
	塑性変形輪数	
	平坦性	

(3) 設計

構造設計は、「舗装技術基準」に示される「経験に基づく設計方法」(T_A法、土研法)もしくは「舗装設計施工指針⁶⁾」に示される「理論的設計方法」に基づき行うこととしている。ただし、雨水の浸透による強度低下を考慮した状況下で各層の強度等が品質規格を満足することが必要としている。

透水設計では、舗装の透水係数を路床の透水係数以上で、かつ 1.0×10^{-4} cm/s以上としている。ただし表・基層部では、透水係数が低い場合、雨水の溢流が多くなることが考えられるため 1.0×10^{-2} cm/s以上を推奨している。

また設計の照査では、過去に実績のない技術を適用する場合、「走行の安定性」「周辺環境の保全」「経済性」「施工性」について試験舗装により確認することとしている。

(4) 材料

表層材料については、表-5に示す基準値を満足するものを使用することとしている。

表 - 5 表層材料の試験内容と基準値

表層材料	試験	基準値
アスファルト系	水浸マーシャル安定度試験	残留安定度75%以上
	ホイールトラッキング試験	動的安定度3,000回/mm以上
	カンタプロ試験	損失率20%以下
コンクリート系	曲げ強度試験	4.5N/mm ² 以上
すべての材料	ラベリング試験	すり減り量 2 cm以下
	すべり抵抗測定	BPNで50以上
	透水試験	設計で定めた値以上
	空隙率測定	設計で定めた値以上
(参考)ブロック	曲げ強度試験	3.0N/mm ² 以上

4.2 課題

要領（試案）の内容のうち、以下に示す事項については、今後引き続き研究・検討を行う必要がある。

(1) 適用にあたっての留意事項

透水性舗装適用にあたっては、①雨水の浸透による盛土構造の不安定化、②積雪寒冷地における路床の水分による凍上、③高地下水位地域で路床が浸水することによる支持力低下等の現象が懸念される。しかし今回の試験舗装施工箇所は前述のいずれにも該当しておらず、これらの影響について確認されていない。

(2) 舗装構成

透水性舗装では通常の密粒度アスファルトコンクリート舗装とは異なり、路床細粒分の浮き上がりを防止するフィルター層や汚染物質を吸着する浄化層を設ける事例がある。しかしこれらの機能・効果については明確となっていない。

(3) 効果の定量化

「雨水の流出抑制」に代表される透水性舗装の効果については、長期的かつ広範囲な適用を考慮した定量化を行う必要がある。特に雨水の一時貯留等による流出抑制効果把握の確実性を高めるために、実験等による検証・データの集積が必要である。ただし、これらの効果は透水性能を確保することで持続するが、透水性能を左右する空隙詰まりのメカニズムは未解明であり、透水性能回復方法についても未確立である。

(4) 耐久性の確保

今回の試験舗装で得られたデータは、二路線という限られた地盤条件のものである。しかし路床や路体の材質は地域毎に異なり、材質によっては水の影響を受

けやすいものや交通荷重の繰り返し载荷により耐久性が損なわれやすいものがある。また、切土・盛土構造や隣接構造物を組み合わせた様々な道路構造全体に対する試験は実施していない。

5. まとめ

愛知県では、今回の技術開発の成果を取り入れ、「2005年日本国際博覧会」の瀬戸会場へのアクセス道路である県道広久手八草線に透水性舗装を適用する予定である。

また、平成15年6月に「特定都市河川浸水被害対策法」が成立したことを受け、国土交通省道路局国道・防災課および独立行政法人土木研究所において、車道透水性舗装に関する技術の確立を目指した検討が始まったところである。

このように車道透水性舗装のニーズが増大している中、今回とりまとめた要領（試案）が、舗装関係の実務者にとって有益なものとなることを願うとともに、様々な場面でその内容が議論されることで、経済性も含めた車道透水性舗装技術の更なる発展に寄与することを望むものである。

最後にこの稿を発表するにあたり、本技術開発にご尽力いただいた関係諸氏に、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局：人と自然にやさしい道路環境づくりホームページ
(<http://www.cbr.mlit.go.jp/road/f/index.html>)
(2004年3月現在)
- 2) (社)日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説（平成13年7月）
- 3) (社)日本道路協会：道路維持修繕要綱（昭和53年7月）
- 4) (財)道路保全技術センター：FWD運用マニュアル（案）（平成8年3月）
- 5) (社)日本道路建設業協会：透水性舗装ハンドブック、pp.16～17（1979）
- 6) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針（平成13年12月）

排水性混合物の再生利用への取組み

(Status of Recycling of Porous Asphalt Mix)

神谷 恵三*

排水性舗装は国内での使用が増えており、排水性混合物から同混合物への再生利用のニーズは今後さらに高まるものと思われる。

JHでは高機能舗装の再生工法確立に向けて、再生剤及び再生合材の製造設備または路上再生用施工機械を保有する民間6社と共に共同研究を行った。開発目標に基づく再生剤を使用した再生混合物について、室内試験及び回転式舗装試験を行った結果、粒度調整を行えば、新規の高機能舗装と同等の耐久性及び機能性を有することが確認された。これを踏まえて、プラント再生工法及び路上再生工法による試験施工を実施した。

JHの施工事例は再生技術の基礎的な成果を示したが、一般的な再生利用技術の確立に向けては、混合物の劣化評価手法の開発や再生プラントにおける運用上の問題等を勘案していく必要がある。

1. はじめに

アスコン塊の再生利用は再資源化率で現在98%にも達しているが、建設リサイクル法の特定建設資材に指定されていることから、「リサイクルの量」に加え「リサイクルの質」の観点での取組みを行う必要性が指摘¹⁾されている。

この考え方は、ストレートアスファルトや改質アスファルトを使用した密粒系の混合物だけではなく、高粘度改質アスファルトを使用した排水性混合物に対しても適用されるべきである。しかし、排水性混合物を再生させた事例はまだ多くない。

東京都では、環状8号線から発生した排水性混合物を再生プラントに持ち込み、新材を加えて再生の特開アスコンを製造し、足立区内で低騒音舗装の表層材として使用した事例がある。ここでは加熱ドライヤへの付着防止対策が講じられ、新材と同等の路面性状が得られている。また、発生材の管理に当たっては、専用のストックヤードが不可欠²⁾としている。このような実施工から得られる課題は、排水性混合物から同混合物への再生を促進するための貴重な布石である。

JHでは、高機能舗装用混合物の使用が年々増加して行く情勢に鑑みて、平成11年度から3年度にわたり

再生剤及び再生合材の製造設備または路上再生用施工機械を保有している民間6社とともに、高機能舗装の再生に関する共同研究を実施した。つまり、この研究では、プラント再生工法と路上再生工法の2つを扱うこととした。

以下には高機能舗装用混合物から同混合物への再生に取り組んだJHの施工事例を紹介することとして、最後に今後の展望を述べたい。なお、JHでは排水性という言葉ではなく高機能という言葉を使用しているが、これは排水性以外の優れた機能も有しているという考えに基づいていることをご理解いただきたい。

2. 共同研究における室内検討

2.1 発生材の性状確認³⁾

高機能舗装の再生工法を検討する中で発生材の粒度が耐久性、機能性を確保する上で重要な要因となる。そこで、高機能舗装の発生材粒度を確かめるために供用中の高速道路上において再生工法ごとに発生材を採取し、粒度及びアスファルトの性状を確認することとした。

2.2 再生剤の開発³⁾

劣化したアスファルトの性状を回復するためには、

*かみや けいぞう JH試験研究所 道路研究部舗装研究室

再生剤が必要であるが、当時市販されているものはストレートアスファルトを対象にしたものでポリマー分を含んだ高粘度改質アスファルトの性状回復には効果がなかった。そこで、再生剤の開発目標は以下のとおりとした。

- ①再生混合物は新規混合物と同等の耐久性および排水機能を有すること。
- ②工事費用は、従来の補修工法（発生材の処分費を含む）と同程度であること。

共同研究で扱った再生剤は4種類であり、プラント再生工法を対象にしたものが再生剤A、B、Cで、路上再生工法を対象にしたものが再生剤Dである。各再生剤の特徴については表-1に示す。各再生剤ともに基本的な考え方としては、劣化した高粘度改質アスファルトに含まれるアスファルト分の性状を回復させるとともに、それぞれの改質材により、低下したポリマー分の改質効果を補填するものである。

2.3 再生混合物の検討

2.3.1 プラント再生工法⁴⁾

高機能舗装の発生材は旧アスファルトが高粘度改質アスファルトであり、これを抽出・回収する適切な方法が未だ確立されていない。また、回収したアスファルトの劣化や再生の程度を評価する適切な指標も未定であることから、高機能舗装の発生材を使用した再生混合物の配合設計は定まった方法がない。

そこで、本検討では発生材からの旧アスファルトの性状や再生材の添加量の決定方法を規定せずに、再生混合物の骨材飛散抵抗性（カンタブロ損失率）を指標として配合を定める方法を試用することとした。

再生骨材の配合割合は事前検討結果に基づき、新規

材料で目標粒度に調整が可能である限界を考慮して50%とした。再生剤A、B、Cを使用した再生混合物は、残留安定度、カンタブロ損失量、動的安定度において、新規混合物と遜色ない性状を示した。このほか、耐水性を確認するために水浸ホイールトラッキング試験も併せて実施したが、再生混合物A、B、Cとも、はく離率が0%と良好な結果が得られた。

2.3.2 路上再生工法⁵⁾

本工法の再生剤Dは、オイル系の再生用添加剤（A剤）と熱可塑性エラストマーをエマルジョン化した改質添加剤（B剤）の2種類を使用するものである。前者は劣化により硬化した旧高粘度バインダを軟化し、アスファルト組成を回復するためのもので、後者は劣化により減少した改質材の効果を補うために用いる。

添加剤の混合物への効果を評価するために、適切な添加量のA剤及びB剤を旧高機能舗装混合物に添加し、種々の混合物性状を調べた。

混合物の作製では、現場での既設材の加熱温度限界を考慮して旧高機能舗装混合物の加熱温度を140とし、添加剤を投入・混合した後130で締固めを行った。ここで、各添加剤の分散性や再生した混合物のハンドリング特性は、目視と触感による評価では十分に路上表層再生工法に適用できると判断された。

再生剤Dを使用した再生混合物は、B剤を6.0%添加した時の動的安定度が新規材料とほぼ同等の値を示した。また、低温カンタブロ試験による損失率も目標値を満足し、曲げ破断ひずみにも大きな回復が見られた。しかし、空隙率は目標を若干下回った。

2.4 回転式舗装試験³⁾

交通荷重に対しての耐久性及び機能性を確認するた

表 - 1 再生剤の特徴

名称	構成材料	種別	特徴
再生剤A (プラント再生用)	主剤：再生用アスファルト	高粘度改質アスファルト (再生効果有)	・アスファルトタイプであることから、新規骨材と廃材に同時に添加することが出来、プラントにおいても従来のアスファルトタンク1基で対応出来る。
再生剤B (プラント再生用)	主剤：再生添加剤 副剤：改質剤	オイル系 ゴム系改質材	・使用する再生骨材に含まれるアスファルトの劣化の程度や再生骨材量に合わせて、再生用添加剤および改質剤の添加量を調整できる。
再生剤C (プラント再生用)	主剤：再生添加剤 (改質材入り)	オイル系 熱可塑性樹脂	・熱可塑性樹脂が含まれていることから、低下した改質効果を向上する。
再生剤D (路上再生用)	主剤：再生添加剤 副剤：改質剤	オイル系 熱可塑性エラストマー エマルジョン	・副剤はエマルジョンタイプなので、温度が低い場合でも優れた分散性を有している。 ・副剤は熱可塑性エラストマーであり、低下した改質効果を改善する。 ・副剤の中に、はく離防止に有効なアミンが入っている。

めに回転式舗装試験機（写真 - 1）を使って、促進型の実路再現試験を行った。なお、供試体作製にあたっては、回転式舗装試験機専用のプラント及び転圧装置を使用し、再生混合物の製造施工過程も再現した。

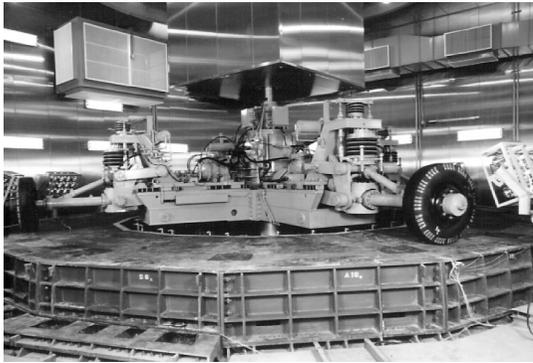


写真 - 1 回転式舗装試験機

2.4.1 流動試験

回転式舗装試験機の内軌道を用いて、各再生混合物の骨材飛散抵抗性および耐流動性を確認した(図 - 1)。発生材のみを再加熱した混合物については、試験開始早々に骨材飛散が生じ、急激にわだち掘れ深さが増加した。再生剤 A, B, C, D を使用した再生混合物の骨材飛散抵抗性及び耐流動性については、新規混合物と比べて遜色のないことが確認できた。

2.4.2 摩耗試験

外軌道を用いて、各再生混合物のチェーンに対する耐摩耗性（チェーンによる骨材飛散も含む）を確認した。発生材のみを再加熱した混合物については、流動

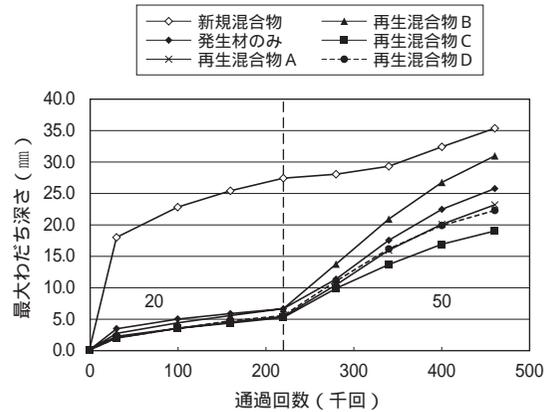


図 - 1 最大わだち掘れ深さ

試験同様、試験開始早々に骨材飛散が発生し、通過回数1,800回時点ですべて飛散消失してしまっ。再生混合物 A, B, C, D の耐摩耗性（骨材飛散抵抗性を含む）は、いずれも新規混合物に比べて遜色のないことが確認できた。

3. 試験施工

3.1 プラント再生工法⁴⁾

(1) 施工概要

1) 施工場所および施工方法

平成13年11月15日に中央自動車道の本線上で、図 - 2 に示す工区割りで、通常の切削オーバーレイ工（ $t = 4\text{ cm}$ ）と同一施工体制で行った。また、同時期に施工された隣接する新規高機能舗装を比較区間とした。

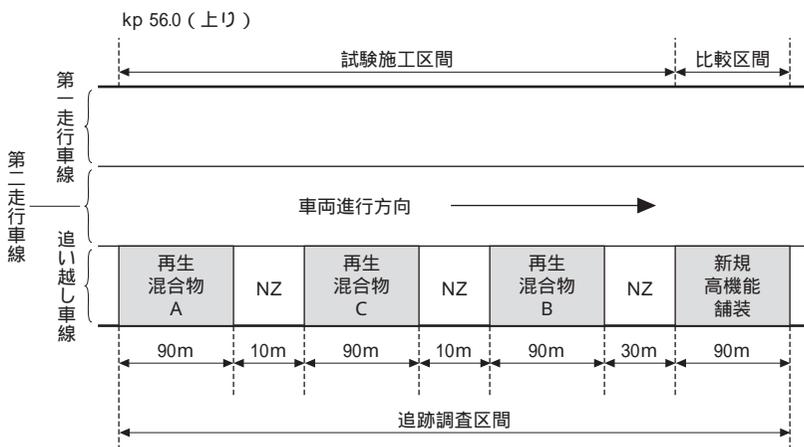


図 - 2 試験施工平面図

2) 使用材料と再生混合物の配合

使用材料を表-2に再生混合物の配合を表-3に示す。再生骨材は中央自動車道の大月IC～上野原IC間から切削により採取したもので、供用後8年6ヶ月経過した高機能舗装である。

表-2 使用材料

名称	材質	備考
再生骨材	13 - 5mm	
6号碎石	閃緑岩	
粗砂	川砂	
フィラー	石灰岩	
再生用アスファルト	再生用高粘度改質アスファルト	再生混合物A
再生用添加剤	オイル系 + ゴム系改質剤	再生混合物B
再生用添加剤	オイル系 + 熱可塑性樹脂	再生混合物C
新規アスファルト	高粘度改質アスファルト	再生混合物B, C

表-3 各再生混合物の配合

種類	骨材配合率 (%)				アスファルト量 (%)
	6号碎石	粗砂	フィラー	再生骨材	
再生混合物A (プレミックスタイプ)					4.8
再生混合物B (プラントミックスタイプ)	40.0	6.5	3.5	50.0	5.0
再生混合物C (プラントミックスタイプ)					4.8

再生骨材は、空隙詰まり物質や切削およびクラッシングの影響によって細粒化しており、骨材合成粒度を高機能舗装用混合物の粒度範囲に調整しようとする場合に再生骨材混入率の制約を大きく受けることや、細粒分(5~0mm)には旧アスファルトが多く含まれていることから、13~5mmに分級したもののみを用いた。再生骨材の配合率は、目標粒度に調整が可能である限界を考慮して、室内試験時と同様に50%とした。なお、再生混合物の目標空隙率は高機能舗装混合物(一般用)の20%を採用した。

(2) 結果と考察

1) 施工状況

試験施工は通常の舗装機械編成で行い、特に施工上の問題はなかった。

なお、再生混合物の舗設時にアスファルトモルタルの団塊が一部観察されたが、人力除去で十分対応できる程度であった。団塊は混合物製造時におけるプラントミックスタイプの再生用添加剤の添加方法に起因す

ると考えられ、これを改善するためには添加剤パックの小分けなどの対策が必要と判断された。

2) 混合物の粒度とアスファルト量

製造直後にサンプリングした混合物の抽出アスファルト量と粒度を表-4に示す。この表より、各再生混合物のアスファルト量および粒度に若干のばらつきが見られた。これは、再生骨材の粒度の変動に起因するものと考えられ、したがって再生骨材をプラントに供給する際、再生骨材の粒度の変動や材料分離には十分留意する必要があると思われる。

表-4 各再生混合物の抽出配合

項目	JMF	再生混合物の種類			
		A	B	C	
As量 (%)	A, B 4.8	4.84	4.73	4.86	
	C 5.0				
通過質量百分率 (%)	19.0mm	100.0	100	100	100
	13.2	98.3	99.9	98.6	98.8
	9.5	75.0	77.7	74.2	73.2
	4.75	20.2	21.2	16.0	21.1
	2.36	14.3	15.9	9.9	16.1
	0.6	10.6	11.4	7.9	11.2
	0.3	8.3	9.1	6.5	8.8
	0.15	6.3	6.9	4.5	6.4
0.075	4.8	5.0	3.1	5.2	

3) 飛散抵抗性

製造直後にサンプリングした混合物によるカンタプロ試験の結果を図-3に示す。この図から、いずれの再生剤を用いた場合もカンタプロ損失率は20%以下であり、プラントで製造されたこれらの再生混合物は、新規混合物のカンタプロ損失率の規格を満足するものであること、また目視観察の結果、供用12ヶ月後において骨材飛散が見られないことから、飛散抵抗性に問題がないことが確認できた。

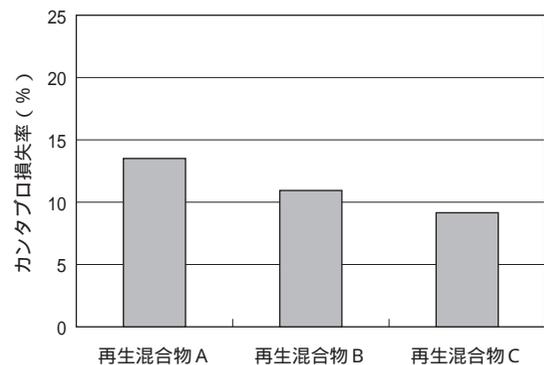


図-3 カンタプロ損失率 (プラント混合物)

4) 空隙率

供用期間と切取り供試体の空隙率の関係を図-4に示す。この図から、各々の再生混合物の空隙率は新規のものと同様に施工直後は19~21%程度である。また、供用17ヶ月後においても空隙率は18~20%程度であり、供用期間の経過にしたがって空隙率は徐々に減少するが、その傾向は小さく良好な性状を維持していると考えられる。

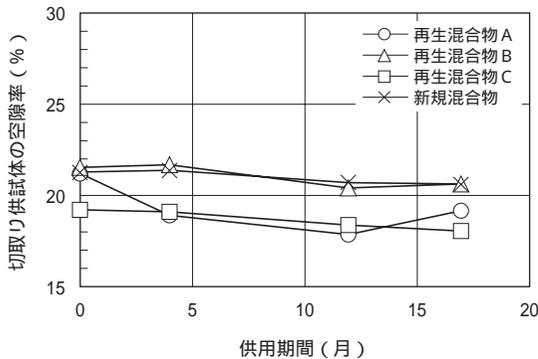


図-4 空隙率の経時変化

5) 透水性

供用期間と現場透水試験による流下時間の関係を図-5に示す。各々の再生混合物と新規混合物の流下時間は、供用期間の経過とともに徐々に増加する傾向にあるが、供用17ヶ月後においても初期性能の基準である6秒/400ml以下であり、良好な性能を維持している。

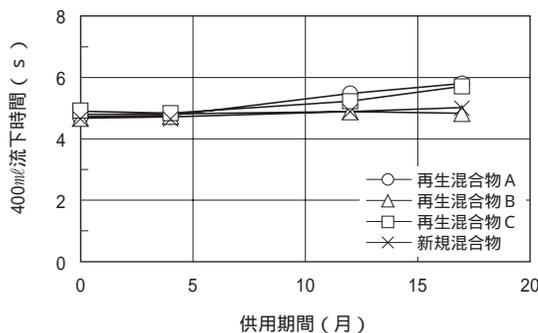


図-5 透水性の経時変化

6) すべり抵抗性

供用期間とDFテストによる動摩擦係数の関係を図-6に示す。この図から、施工直後における各再生

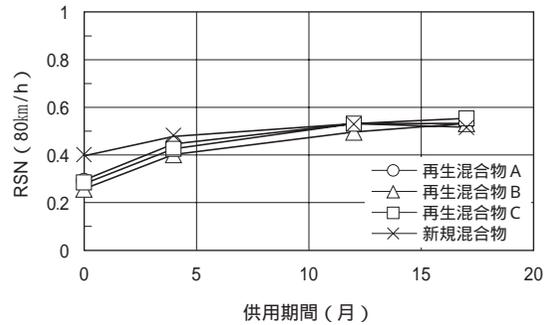


図-6 すべり抵抗性の経時変化

混合物の動摩擦係数は小さいが、供用期間の経過によって徐々に大きくなり、供用17ヶ月後には何れの混合物においても0.5程度以上の高いすべり抵抗性を示すことがわかる。

再生混合物の初期の動摩擦係数が小さい理由は、新規混合物が施工の数日後に測定されたのに対し、再生混合物は施工終了後直ちに測定されたためであり、混合物の油分の影響と考えられる。

7) 平坦性とわだち掘れ

供用期間と平坦性の関係を表-5に示す。調査の結果、施工直後から供用17ヶ月にわたり、良好な平坦性を維持している。一方、供用期間とわだち掘れ量の関係を示した表-6によると、供用12ヶ月後までわだち掘れは0mmで見られなかったが、二冬経過した17ヶ月後の横断形状では、新規混合物ともわずかに2mm程度のわだち掘れが計測された。

表-5 平坦性の経時変化

	平坦性 (mm)							
	混合物 A		混合物 B		混合物 C		新規	
	IWP	OWP	IWP	OWP	IWP	OWP	IWP	OWP
施工直後	0.88	0.65	0.83	0.82	0.99	1.16	1.03	1.41
4か月後	0.91	0.75	0.88	0.85	1.12	1.15	1.03	1.08
12か月後	0.97	0.83	0.89	0.77	1.12	1.20	0.98	0.93
17か月後	1.17	1.00	1.41	1.08	1.23	1.41	0.96	1.53

表-6 わだち掘れ量の経時変化

	わだち掘れ量 (mm)			
	混合物 A	混合物 B	混合物 C	新規
施工直後	0	0	0	0
4か月後	0	0	0	0
12か月後	0	0	0	0
17か月後	1.7	1.7	2.3	2.0

3.2 路上再生工法⁵⁾

(1) 施工概要

1) 施工場所および施工方法

路上再生工法 (t = 4 cm) の試験施工は、中央自動車道大月IC～上野原IC間の上り廃線敷きで、表 - 7 と図 - 7 に示す工区割りとした。

今回の試験施工では、区間ごとに機構が異なるリミキサを使用した。A区間のリミキサは、かきほぐした発生材を路上に置いて再生用添加剤等と混合、敷きながらすのに対し、B区間のリミキサは、かきほぐした発生材を一旦機械内に取り込み、発生材、新材、再生用添加剤等を計量・混合した後に路面に排出し、敷きながらすものである。また、空隙率の回復を目的として、事前に切削を行うこととし、新規混合物を50%、25%それぞれ混入する工区を設けた。

表 - 7 試験施工概要

項目	内容	
施工箇所	中央自動車道上野原IC～上野原IC間旧上り廃線敷き	
発生材履歴	高機能舗装：高粘度改質アスファルト使用 平成5年5月施工(供用後8年5ヶ月経過)	
工区	A区間	B区間
混合方式	路面上で混合	リミキサ中で混合
施工延長	L = 220m, B = 3.2m 1工区当たりL = 60m	L = 220m, B = 3.2m 1工区当たりL = 60m
区間及び配合割合	Ⅰ工区：配合① 発生材：新材 = 50 : 50 (2cm事前切削)	
	Ⅱ工区：配合② 発生材：新材 = 75 : 25 (1cm事前切削)	
	Ⅲ工区：配合③ 発生材：新材 = 100 : 0 (事前切削なし)	
試験施工工程	事前切削工：平成13年10月15日 路上表層再生工：平成13年10月16日	

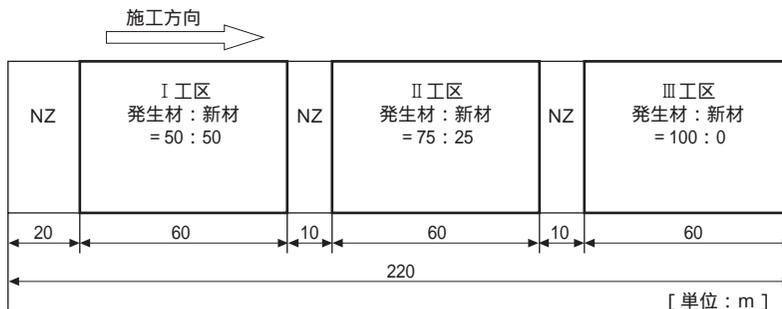


図 - 7 試験施工の工区割り (A区間, B区間共通)

2) 配合設計

事前に当該路面から採取した発生材の性状を表 - 8 に示す。この発生材をそのまま旧高機能舗装混合物として用いた。抽出した旧高粘度バインダの針入度は10 (1/10mm) まで低下していた。また、砂状の空隙詰まり物が多く、空隙率20%の一般的な高機能舗装混合物より細かい粒度となっていた。

表 - 8 発生材の性状

項目	試験値	
切り取りコア密度 (g/cm ³)	2.078	
最大比重	2.525	
空隙率 (%)	17.7	
低温カンタブロ損失率 - 20 (%)	94.7	
ふるい通過質量百分率 (%)	19.0mm	100
	13.2mm	99.4
	9.5mm	81.2
	4.75mm	33.8
	2.36mm	27.8
	0.60mm	20.5
	0.30mm	17.6
	0.15mm	14.6
0.075mm	12.4	
バインダ量 (%)	4.2	
回収バインダ針入度 (1/10mm)	10	

旧高機能舗装混合物に含まれる旧高粘度バインダに対し針入度を50 (1/10mm) に回復するA剤添加量を求めたところ、A剤添加量は21.5%に決定された。

次に旧高粘度バインダにA剤を添加したバインダに対し、軟化点を80以上に回復するのに必要なB剤添加量を求めたところ、B剤添加量は7.3%となった。また、弾性回復率を確認したところ、暫定目標値80%以上に回復するのに必要なB剤添加量は6.3%と軟化点の場合より少ない量となった。よって、B剤添加量は7.3%に決定した。

決定した量のA剤およびB剤を旧高機能舗装混合物に添加混合したものを100%再生混合物(以下、「R100」

という)とした。次に、新高機能混合物を25%および50%混合し、75%再生混合物および50%再生混合物(以下それぞれ「R75, R50」という)とした。混合および締固め温度は室内試験と同様にそれぞれ140, 130 で実施した。

表 - 9 にR100, R75, R50の混合物性状試験結果を示す。すべての配合で、低温カンタプロ損失率と動的安定度(DS)は目標を満足した。旧高機能舗装混合物の混入率の減少に伴い、低温カンタプロ損失率は若干増大するという結果となった。また、空隙率は旧高機能舗装混合物の配合量の減少に伴い高くなる(回復

表 - 9 混合物性状試験結果

再生混合物性状	種 類	R50	R75	R100
	基準密度 (g/cm ³)		2.041	2.088
空隙率 (%)		17.8	16.1	15.2
低温カンタプロ損失率 - 20 (%)		19.2	17.9	13.2
動的安定度DS (回/mm)		6300	6300	7000
ふるい通過質量百分率 (%)	19.0mm	100	100	100
	13.2mm	90.2	95.0	99.4
	9.5mm	68.8	75.2	81.2
	4.75mm	24.8	29.5	33.8
	2.36mm	18.6	23.4	27.8
	0.60mm	14.0	17.4	20.5
	0.30mm	13.4	15.5	17.6
	0.15mm	10.0	12.3	14.6
	0.075mm	8.4	10.4	12.4
バイнда量 (%)		5.3	5.4	5.5

する)傾向を示した。これは当該箇所の旧高機能舗装混合物粒度よりも新規高機能舗装混合物粒度のほうが粗いため、旧高機能舗装混合物の配合率が減少するに伴い空隙率が20%に近づくように回復し、損失率も増大したものと考えられる。加えて、バイнда量の違いも影響していると考えられる。

(2) 結果と考察

1) 施工状況

施工については、各区間とも路面ヒータ2台、リミキサ1台と従来の路上表層再生工法と同様の施工体制で実施した。表 - 10に試験施工時に実測した施工速度と混合物温度の測定結果を示す。施工速度については、A・B両区間とも切削深さが深くなるほど遅くなっており、4cm切削のⅢ工区では従来速度(1.5~2m/min程度)の1/2~2/3程度、2cm切削のⅠ工区でも従来速度には及ばなかった。これは、試験舗装で施工延長が短かったことに加え、切削深さが深いほど深部まで暖めるための熱エネルギーを多く必要とし速度を遅くせざるを得なかったこと、また、旧アスファルトが高粘度バインダーであるため路面加熱の目標温度を従来よりも30 高く設定したこと等が要因として挙げられる。なお、混合物温度は、新規高機能舗装混合物の混入量が多いⅠ工区以外は目標温度である130 を下回った。

2) 試験施工結果

施工後に実施した各種調査結果を表 - 11に示す。

表 - 10 施工状況

	A区間			B区間			
	Ⅰ工区	Ⅱ工区	Ⅲ工区	Ⅰ工区	Ⅱ工区	Ⅲ工区	
切削深さ (cm)	2	3	4	2	3	4	
施工速度 (m/min)	1.36	1.22	0.95	1.35	1.25	1.15	
温度測定結果 ()	加熱直後	211	240	284	191	201	216
	かきほぐし前	177	169	183	-	-	-
	排出時	-	-	-	131	122	119
	敷き均し直後	130	122	126	127	115	107

表 - 11 施工直後の状況

	JH規格値	A区間			B区間		
		Ⅰ工区	Ⅱ工区	Ⅲ工区	Ⅰ工区	Ⅱ工区	Ⅲ工区
平坦性 (: mm)	1.3以下	1.93	1.92	2.38	0.94	1.11	1.04
すべり抵抗値 (BPN)	60以上	55	64	57	54	48	61
現場透水能力 (秒)	6以下	6.3	5.8	5.4	6.4	6.1	7.3
		5.7	6.6	4.9	5.5	4.9	6.4

現場透水能力の測定箇所 上段：中央部 下段：端部

平坦性についてはA区間とB区間で差異が認められるが、施工延長が短いため今回の結果だけから評価するのは難しい。すべり抵抗性については、施工直後においてJHの暫定規格を満足していない工区が見られるが、これは施工終了後直ちに測定したため、路面に油分が残留していた影響と考えられる。

また、透水能力については、わずかではあるが規格を外れる工区が見られ、中央部においてその傾向が強い。施工終了後に採取した切取りコアによる抽出試験の結果から、全体的に配合粒度よりも細かくなっており、新規高機能舗装混合物の混入率が高いI工区においても標準粒度範囲外となった。加えて、中央部は加熱方法や転圧方法の影響で過転圧されやすいため、空隙率が端部より小さくなっており、これらのことが複合して中央部の現場透水能力の低下に繋がったと考えられる。今後は旧高機能舗装混合物の粒度に応じて、新規高機能舗装混合物の粒度を粗めに設定するなどにより、再生高機能混合物の粒度調整方法を検討すると共に、中央部を重複転圧しないような施工方法（転圧機種、転圧回数など）の確立が必要と考えられる。

4. 今後の展望

国内で排水性舗装のストックが増えて行く中で、これに対する再生利用技術の確立は急務な課題である。今回はJHでの取り組み事例として、共同研究者と共に実施したプラント再生工法と路上再生工法をそれぞれ紹介した。上述のように、共同研究の成果として基礎技術に関する考察は得られているが、これらを標準化とするまでには運用上の問題解決を図る必要がある。

プラント再生工法は新規混合物と同等の供用性が得られているが、これは旧材を厳選なる品質管理の下に置いたことが成功の一因に上げられる。つまり、旧材を全て高速道路上からの発生材に固定したということ、さらに分級による粒度調整を行ったということである。このために、当該旧材を管理するためのヤードが再生プラントにおいて必要であった。一方、路上再生工法では、目標空隙率を得るために新材の混入率を確保する必要があった。このために、施工の前日に事前切削として、表層厚4cmのうち1cm及び2cmを切削することとした。回転式舗装試験でも確認されたが、旧材

100%での再生を採用することは現実的ではない。

このように、現状の技術で再生工法の品質と耐久性を確保するためには、再生プラントでのヤード確保の問題や付帯工としてのコスト増という問題に直面する。

一般の再生プラントでは、様々な場所から様々な劣化履歴を持つアスコン塊が収集されているので、材料の変動を把握することは困難である。また、高粘度バインダーレベルの劣化状態を評価する方法が未定であるが、再生プラントでの材料受入れ体制を考えると、混合物レベルでの劣化評価方法を開発する方が現実的かと思われる。

高速道路においては、地下埋設物等がないことから、路上再生工法を採用できる望ましい条件にあると言える。しかし、効率的ではあるものの、熱劣化を避けながら旧材を掻きほぐすという技術や、路上にて粒度改善を図る技術など、プラント再生より多くの課題を有している。当面は、プラント再生工法を進めながら、路上再生工法に向けた研究へ移行できるように研究を進めて参りたい。

5. 謝辞

本研究は、大林道路(株)、鹿島道路(株)、大成ロテック(株)、東亜道路工業(株)、日本道路(株)、日本舗道(株)とともに共同研究を行ったものである。ここに、共同研究に参画いただいた各社に感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局：建設リサイクルの推進について、平成15年7月
- 2) 武本、峰岸、鈴木：再生した特殊開粒度アスファルト混合物の試験施工、平15.都土木技研年報、P289-292
- 3) 菅野、大野、本松：高機能舗装の再生工法に関する研究、日本道路公団試験研究所報告、Vol.38(2001-11)、P28-36
- 4) 本松：高機能舗装のプラント再生に関する研究、アスファルト合材、No.69(2004-1)、P4-11
- 5) 本松、東、浜田、村山：高機能舗装の路上再生に関する検討、舗装、Vol.38、No.11(2003-11)、P21-28

INNOVATE PAVEMENT - 革新的な舗装 -

今回は、PIARCでまとめられた新しい舗装技術の取り組みについて報告します。各国が革新的な舗装の取り組みとして挙げている16の事例を紹介し、その中でフランスのEME（弾性係数の高いアスファルト混合物）に注目し、イギリスおよびオランダでの同様な

研究成果も加えて検討した報告となります。我が国では、環境に配慮した舗装が革新的な技術として注目されていますが、ヨーロッパではコスト縮減や舗装の長寿命化が注目されているようです。

（研究グループ代表幹事：峰岸順一）

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

峰岸順一 東京都土木技術研究所技術部舗装研究室

阿部長門 東亜道路工業(株)技術研究所

井 真宏 西日本地研(株)

市岡孝夫 前田道路(株)技術研究所

岩岡宏美 世紀東急工業(株)技術研究所

岩塚浩二 (株)バスコ道路センター

打田幸平 日進化成(株)事業本部

江向俊文 前田道路(株)技術研究所

鎌田 修 独立行政法人土木研究所基礎道路技術研究
舗装チーム

鎌田義秋 ニチレキ(株)道路エンジニアリング部

鎌田孝行 常盤工業(株)技術研究所

金井利浩 鹿島道路(株)企画部

加納孝志 大成ロテック(株)技術研究所

岸田正憲 (株)バスコ道路センター

高馬克治 ニチレキ(株)技術研究所

小柴邦広 世紀東急工業(株)技術研究所

小関裕二 大林道路(株)技術研究所

佐々木巖 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グ
ループ新材料チーム

佐藤雅規 ジオ・サーチ(株)

佐藤康彦 昭和シェル石油(株)

鈴木 徹 大林道路(株)技術研究所

高橋茂樹 日本道路公団試験研究所舗装研究室

高橋光彦 大成ロテック(株)技術研究所

武本敏男 東京都土木技術研究所技術部

中村 健 長岡技術科学大学環境・建設系

長谷川淳也 日本道路(株)

林 信也 鹿島道路(株)技術研究所

平戸利明 東亜道路工業(株)技術研究所

舟根 毅 常盤工業(株)技術研究所

増山幸衛 世紀東急工業(株)技術研究所

焼山明生 日進化成(株)製品技術部

山脇宏成 (株)ガイアートクマガイ技術研究所

矢野辰明 鹿島道路(株)技術研究所

保本敏伸 ニチレキ(株)技術研究所

森嶋洋幸 前田道路(株)技術本部技術研究所

計35名

INNOVATE PAVEMENT - 革新的な舗装 -

井 真 宏* 市 岡 孝 夫** 岩 岡 宏 美***
 高 馬 克 治**** 佐 藤 雅 規***** 鈴 木 徹*****
 武 本 敏 男***** 東 本 崇***** 増 山 幸 衛*****

はじめに

本報告は、PIARC（常設国際道路会議協会）C7/8（舗装委員会）の前期（2000～2003年）のテーマの一つである「Design of Innovative Pavement（革新的な舗装の設計）」の中で、「革新的な舗装」として取り上げられている16シートの材料および工法の概要を紹介するとともに、この中で特に筆者らが日本の現状を踏まえて、革新的と思われる工法である硬いアスファルト（低針入度アスファルト）を用いた弾性係数の高いアスファルト混合物について、フランスおよびイギリスの追加資料および関連技術（C-Fix）等をもとに取りまとめた結果について報告する。

1. PIARCの活動と報告書について

本報告で対象とした文献は、PIARC国内委員会から提供して頂いたものであり、PIARC C7/8が前期に検討した5つのテーマについてまとめた報告書である。

(1) PIARCの活動

前期PIARCでは、道路・交通に関する新しい課題等を5つのST（Strategic Themes）に大別し、そのテーマのもとに20の技術委員会が存在している。道路技術をテーマとしたST1に属する道路舗装技術委員会C7/8は、2000年から2003年にかけて、テーマごとに5つの分科会SC（Sub-Committee）に分かれて検討をおこなった。以下に、各分科会のテーマと成果を示す。
 SC1「舗装のタイプ選定基準」：各国への調査結果をもとに、「舗装タイプ選定のための諸要因に関するガイドライン」を作成した。

SC2「革新的な舗装設計」：各国への調査結果をもとに、各国の革新的な舗装への関心度、研究開発促進の主体、関連機関の協調状況、進展の程度等を「革新的な舗装の設計」としてまとめた。

SC3「供用性に基づく舗装の機能仕様」：各国への調査結果をもとに、「性能規定実態調査結果 - 2002年」を作成した。

SC4「舗装のリハビリテーションとオーバーレイ」：既存の文献・資料をもとに、個々の破損形態に対応する原因項目から、対策に結びつくシートの作成を目指す。

SC5「舗装のリサイクリング」：各国への調査結果をもとに、セメント、乳剤・フォームドアスファルトを用いた路上再生路盤、アスファルト混合物のプラント再生に関する3つのガイドラインを作成した。

SC2の報告書本文の内容については、既にPIARC国内委員会より報告されている^{1), 2), 3)}ため、そちらを参考にされたい。

今回は、図-1に示すように、詳細に報告されていない、付録3の事例カードを中心に取りまとめた。

(2) SC2の活動

SC2では、国際的な調査を行い、その集計・分析結果が最終報告書および付録1～4として報告されている。最終報告書によると、この調査は今日的な視点から社会的、行政的及び技術的に革新的なものを探ることを目的としている。

調査は、必ずしも国道に限定したものではないが、

*い まさひろ 西日本地研(株)技術部技術開発室
 **いちおか たかお 前田道路(株)技術研究所
 ***いわおか ひろみ 世紀東急工業(株)技術研究所
 ****こうま かつじ ニチレキ(株)技術開発センター
 *****さとう まさみ ジオ・サーチ(株)

*****すずき とおる 大林道路(株)技術研究所
 *****たけもと としお 東京都土木技術研究所
 *****とうもと たかし 北海道大学（元 大林道路(株)）
 *****ますやま ゆきえい PIARC C7/8 国内分科会幹事

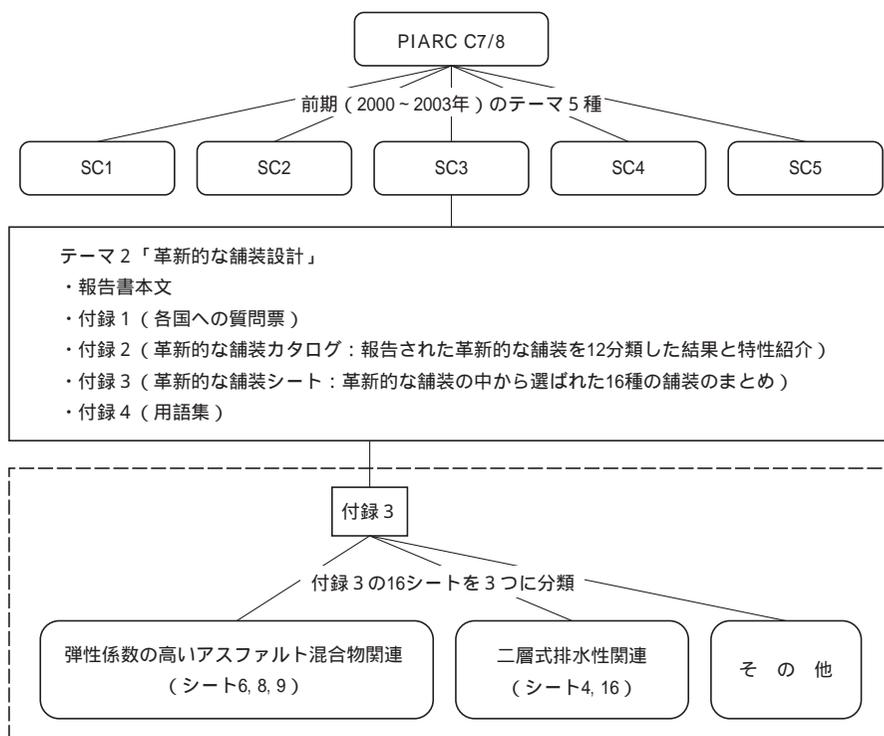


図 - 1 PIARCの活動と本報告で対象としたテーマ

国道レベルについては18カ国から回答が得られており、内訳は先進国60%、開発途上国・体制移行国40%となっている。

付録1は、以下の4項目についての質問票である。

- ①舗装についてどのような革新的なものがあり、誰が必要としているか？
- ②舗装の革新を考え、推進するためにはどのような方法・行動が必要か？
- ③舗装の革新はどのような発展段階にあるのか？
- ④将来に向けてどのような舗装の革新が最も有効か？

付録2は、「革新的な舗装のカタログ」と題され、各国から報告された革新的な舗装の対象分野を機能面から12分類した結果と、それぞれに該当すると考えられる舗装の断面が各層の特性とともに示されている。

付録3は、「参加各国における将来最も有望な革新的な舗装」と題され、各国から報告された革新的な舗装の中から選定された16種類が、それぞれ1枚のシートにまとめられている。

付録4は、用語集である。

16種類の舗装には、日本では一般的となりつつある

舗装や、日本から報告した舗装(2種類)も含まれている。それらの中で、弾性係数の高いアスファルト混合物に関する舗装が、3種類含まれている。

そのため、複数国で革新的として扱われている弾性係数の高いアスファルト混合物としてのEME (Enrobe a Module Eleve) とHMB (High Modulus Base) について深く掘り下げ、類似技術である硬質アスファルト (C-Fix) についても調査をおこなった。

本文では、16種類の革新的な舗装と共に、これらについて紹介する。

2. 各国の革新的な舗装

付録3⁴⁾は、写真や図とともに開発された舗装の目的、原理、構造、開発・実用化の進展具合が記述されているもので、付録3において紹介されている16シートの概要を以下に示す。

(1) シート1 (フランス)

Porous pavement for modular surfacings
表層にブロックを用いた透水性舗装

本技術の革新的な部分は、現在のフランスの仕様書では、適用してはならないとされている交通条件下に

において、ブロックを表層とする舗装の設計と施工方法を取り扱った点にある。当該区間の1日当たりの交通量は、バスおよびトラックを400台含む20,000台である。

表層には各種舗装用ブロックを適用し、かつ路盤に透水性路盤（透水性アスファルト安定処理または透水性コンクリート）の概念を取り入れた舗装の施工を過去5年間で数カ所実施している。

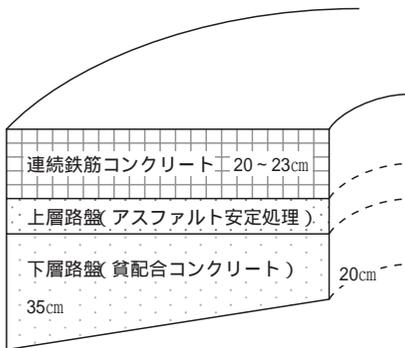
(2) シート2（ベルギー）

Continuously reinforced concrete roundabout

連続鉄筋コンクリートロータリー

一般的に、ロータリー部では、耐久性が高い設計が行われているが、わだち掘れ、クラックなどによる破損が著しい。そこで、それらの発生を抑制するとともに、大型車の動的荷重の増加にともなう激しい応力に抵抗する目的で、円形の連続鉄筋コンクリートを適用した。

舗装構造は、厚さ20～23cmの連続鉄筋コンクリート表層と上層路盤（アスファルト安定処理路盤）、下層路盤（貧配合コンクリート）である。なお、下層路盤は同軸輪の外側方向への荷重伝達が高いことを考慮して、円の中心側は20cm、外側は35cmと厚さを変化させている。



(3) シート3（アメリカ）

SUPERPAVE® bituminous pavement

スーパーペーブ（アスファルト舗装）

本検討は、SHRP（新道路研究計画）に基づくパフォーマンスグレードによるアスファルトの分類、新しい配合設計および手順のシステム化を目的としたものである。

アメリカにおいてアスファルト混合物の設計を行う場合には、すべてスーパーペーブに基づいた方法により行うように普及を図っている。

スーパーペーブは、主に表層および基層用材料の品質を扱ったものであるが、現在では、従来の設計と評

価システムに、改質アスファルトを取り入れるための研究を実施中である。

実務者へ向けた文献の広い普及を目的として、以下を取りまとめている。

スーパーペーブの混合物設計ガイド（2001）

スーパーペーブの利用ガイド（1998）

加熱アスファルト舗装における混合タイプ選択ガイド（2001）

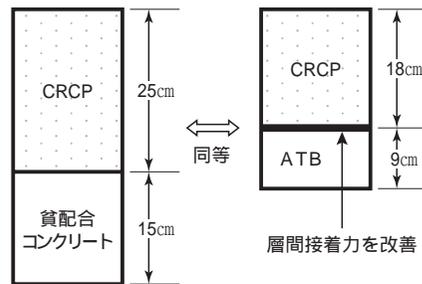
(4) シート4（フランス）

Composite pavement（Internally vibrated concrete and asphalt mix）

コンボジット舗装

本技術の革新的な点は、ATB（アスファルト安定処理路盤）上に、CRC（連続鉄筋コンクリート）舗装を施工した場合のCRC/ATB界面の接着力を高めることである。これにより、交通荷重による曲げ応力を、CRCとATBの二つの層で分散して支持することができるため、CRC版の厚さを軽減でき、初期コストの削減につながる。

9cmのATB上に18cmのCRCを接着した構造は、15cmの貧配合コンクリート路盤の上に接着が不十分な25cmのCRCを施工したものと同等と見なされる。この構造は、新設だけでなく重交通道路の打換え工事においても適用されている。



(5) シート5（ドイツ）

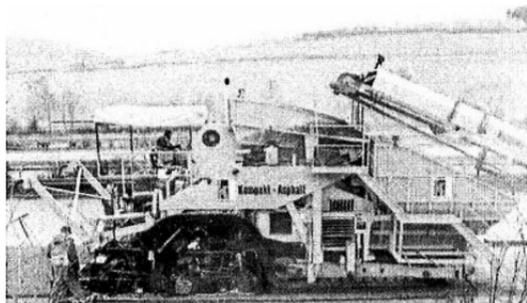
Two-layer asphalt compacted hot over hot

アスファルト舗装の2層同時施工

基層と表層を同時に施工することにより、両層の接着を確実にするとともに、表層厚さを薄くでき、作業性の向上と品質を改善することを目的としている。本方式は、2つの異なった材料を同時に敷きならし転圧を行うため、表層の転圧時に、急激に温度が下がらないという利点がある。また、表層の薄層化が図れることから、高価な材料を節約して、わだち掘れの発生を抑制することが可能となる。

一般的なドイツの重交通路線での舗装厚さは、基層8 cmと表層4 cmの12cmの構造である。2層同時施工式アスファルト舗装では基層9.5~10cm、表層を2.5~2 cmで施工することが可能である。

都市部では、舗設機械の大きさと材料供給のバランスにより本方式が利用できるかが決定される。また、少なくとも2つのアスファルトプラントが必要となる。



(6) シート6 (フランス)

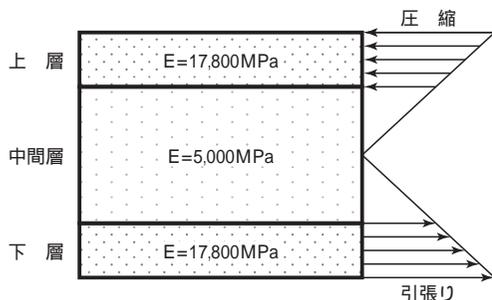
Three-Layer pavement with IPN (Improved economy and Preservation of Natural resources) type operation
3層式IPN (経済・資源保全型) 舗装

3層構造は上層、下層に高性能の材料を層厚6~7 cmで敷均し、中間層に経済的な材料を使用する。中間層の厚さは一般的に8~15cmとしている。中間層に対する上下層の弾性係数の比は2~10である。

疲労破壊は、①下層での破壊、②中間層での破壊、③表層の破壊の3形態で進行するが、弾性係数が低い中間層の存在によって、下層からのクラックの発生が抑制される。

重交通路線での一般的構造例は、以下のとおりである。

- ・下層：粒径0~10mmの弾性係数の高いアスファルト混合物6 cm (弾性係数17.8GPa)
- ・中間層：粒径0~14mmのフォームドアスファルト安定処理10cm (弾性係数5 GPa)



- ・上層：粒径0~10mmの弾性係数の高いアスファルト混合物6 cm (弾性係数17.8GPa)
- ・最上層にはアスファルト混合物の摩耗層を設ける

(7) シート7 (カナダ)

In-place retreatment of pavements by "mixed binder"

(Hydrocarbon and hydraulic stabilization)

フォームドスタビ工法

本工法は、環境性能と天然資源の保全(リサイクル)および新規材料の使用量と容積の低減、舗装の寿命を15~20年とすることを目的としている。混合バインダは、炭化水素系バインダ(改質剤入り発泡アスファルト)+水硬性バインダ(セメントあるいは消石灰を最大1.5%配合したものであり、舗装厚全体を瀝青処理して路面を安定させるため、材料の前処理では粒状材料を混合して舗設する。その後、通常の摩耗層を舗設することにより、施工が完成する。

路上安定処理による混合バインダの使用は、1996年以来、70km(2車線)以上で実施されている

混合バインダによる安定処理は、大型車1,000台/日/車線程度の交通量の道路に適している。



(8) シート8 (フランス)

Imposed thickness pavement in for urban roadways
厚さに制限を受ける都市部の舗装

都市部においては公共ネットワークの向上が必要とされている。公共ネットワークと道路周辺の建物出入り口の高さにより舗装厚は制限されるため、バスや大型車両に対応した重交通舗装の場合、利用できる舗装厚さには限界がある。そこで、従来の設計より厚さを薄くしても高い支持力を有することができる構造および材料の技術的な開発が必要とされている。改質アスファルトの使用やコンポジット舗装が適切な舗装と考えられる。

パリの主要な幹線道路では、既設のブロック舗装を

修繕する場合、同じ厚さの10cmの弾性係数の高いアスファルト混合物(EME)と4cmの改質アスファルト混合物(BBm)を施工している。また10cmの弾性係数の高いアスファルト混合物上に14cmのコンクリートでオーバーレイしたコンポジット舗装の試験施工も行っている。

(9) シート9(フランス)

Pavement base in high-modulus asphalt(EME) for minimum thickness structures

EMEを用いた舗装構造の薄層化

EME(弾性係数の高い路盤)を舗装構造に取り入れることにより、通常の舗装構成と比較して、同一の設計供用年数における舗装厚を減少させることが可能となる。アスファルトの選定と配合設計の工夫により、繰返し荷重に対するEMEの高い剛性とたわみに対する性能を発揮させることが可能となる。

針入度が低いアスファルト(10~25 1/10mm)を通常よりも高い配合割合で混合することにより、高い弾性係数、優れたたわみ掘れ抵抗性、高い疲労強度を持つ材料となる。またEMEは通常、アスファルト安定処理層および基層として適用し、表層には摩耗層を舗装する。

EMEは、全ての交通条件に適しており、修繕工事においては少ない新材の投入量で供用年数の延長が図れ、また、補修においても、切削深さを制限することができる。

この技術は、NF P 98 - 140に標準化されており、EMEはフランス国内において、年間120万t適用されている。

(10) シート10(アメリカ)

Bonded thin cement concrete pavement

(UTW: Ultra-thin whitetopping)

接着型薄層コンクリート舗装

- 超薄層ホワイトトッピング -

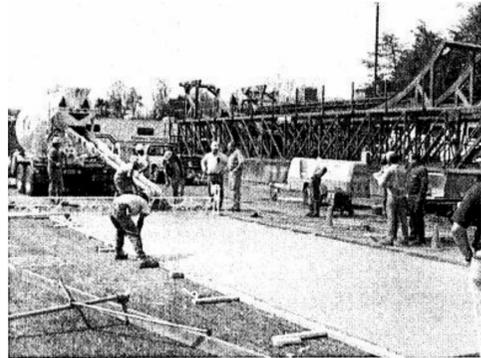
薄層コンクリート舗装は、一般道、都市道および滑走路の流動対策舗装として開発された技術である。現在、厚さ5~10cmの薄層コンクリート舗装は、切削したアスファルト舗装面上に適用されている。

新たに舗装したコンクリートと既設のアスファルトを強固に接着することにより、コンクリート中の引張り応力を大幅に軽減するとともに、中立軸のずれにより応力を緩和することも期待できる。

一般的な薄層コンクリートの施工厚さは、適用場所に応じて7~12cmであり、下面のアスファルト舗装の

厚さは同程度である。この薄層コンポジット舗装の施工形態と構造設計は、標準化され疲労試験ヤードでの検証も実施している。

アメリカ国内の約10州で既に200箇所以上の施工を行っている。今後、試験施工の結果を受け、設計、施工および維持管理方法が確立できれば広範囲な伸展が期待されている。



(11) シート11(日本)

Porous pavement with retained water(misty pavement)

保水性舗装

本舗装は、都市部の熱環境対策を目的として開発されたものである。母体となる開粒度アスコンの空隙に、保水材を含んだセメントグラウトを注入した構造で、保水材に含まれた水分が蒸発するときの気化熱によって舗装体温度を低下させる働きがある。

適用箇所は、車道、歩道、駐車帯及び駐車場である。車道では、2001年に、東京都において最初の施工が行われた。

(12) シート12(日本)

Scintillating pavement

光る舗装

本舗装は、昼および夜間の安全確保のために開発されたものである。舗装表面に、リサイクルしたガラスや特殊な反射材をエポキシやアクリル系の接着剤で貼り付け、昼は太陽光、夜は車のライトや街灯の光を反射して光り輝く舗装である。

また、良好な滑り抵抗性を有するため、視認性の向上と合わせてより高い安全性が期待できる。

(13) シート13(オーストラリア)

Pavement in high-performance gravelly materials

高性能砂利道舗装

本報告は、舗装構造および施工方法の改善をおこなうことにより、安定処理をおこなっていない粒状材料

であっても、早期破損の減少を図ることができるため、現状よりも交通量の多い路線での適用が可能であるとされている。

紹介されている舗装構造および施工方法の改善内容は、①材料の産地と表面の仕上げの徹底した管理、②粘性土の性状に関する知識の向上、③高い締固め、④層が厚くなるに従い増加する透水性能、⑤表面浸透、汚染防止層、高排水層の設置、⑥排水管の設置、⑦材料の製造と施工機械を含む施工全体の厳しい管理である。

(14) シート14 (フランス)

Pavement making gainful use of urban by-products 都市の建設副産物を有効に利用した舗装

家庭ゴミを焼却し、「家庭ゴミ焼却クリンカー」としてリサイクルする技術。これを道路構造物へ適用するためには、少なくとも3ヶ月のエージング期間を設けた後、ふるい分け、破碎、鉄および非鉄金属の除去、少量の焼却残留物の分離を行う必要がある。これらの作業により、環境要求に適合した市場性のある材料となる。

大部分は、セメントまたはフォームドアスファルトで混合処理され、下層路盤および路床材料として使用する。このとき、絶えず流水に接触している箇所には適用しないようにする必要がある。

クリンカー骨材の利用に関するガイドラインは、パリで1998年11月(改訂)に出されている。



(15) シート15 (フランス)

Low-noise pavement

小粒径低騒音舗装

低騒音舗装は、タイヤと路面との間で発生する騒音低減を目的に設計する。本技術の革新的な点は、高空隙アスファルト混合物の配合設計の手法の開発と、表層材の小粒径化にある。最大粒径が6mmもしくは8mmの薄層アスファルト混合物層(2~3cm)を用いることにより、タイヤ/路面間騒音の低減と安全性確保に効果があることが明らかとなった。この混合物には、植物繊維あるいは粉末ゴムなどを添加しており、パイ

ンドは、ほとんど改質アスファルトを使用している。

1992年以来、最大粒径が6mmの低騒音舗装が開発され、幹線道路や環状道路において実用化されている。

(16) シート16 (フランス)

Porous built-up system for low-noise pavement 二層式低騒音舗装

本舗装構造は、タイヤ/路面間発生音の低減と、雨水を排水することによる環境上の機能性および安全性を改善する舗装での排水システムを最適化するため、異なる粒径の骨材粒度からなる2種類の排水性舗装を2層に舗装するものである。

本構造は、下層に騒音吸収を目的とした高空隙層(最大粒径10~14mm)を4~8cmで施工し、上層には、空隙詰まり対策および騒音の発生抑制層として小粒径タイプ(最大粒径6mm、厚さ2~4cm)の排水性舗装をタックコート無しで設けた二層構造である。

フランス国内の国道および高速道路における騒音測定データから、最も低騒音に有効であることが明らかとなった。この二層式低騒音舗装は、重交通路線である都市周辺、都市道および平均時速が60km以上の道路にも適用されている。



3. 弾性係数の高いアスファルト混合物

ここでは、上述の「革新的な舗装」として取り上げられている16種類の技術の中で、フランスからの3つの報告(シート番号6, 8, 9)で紹介されている硬いアスファルトを用いた弾性係数の高いアスファルト混合物(EME)について、TRL(イギリス)およびTRB(アメリカ)の資料^{5), 6), 7)}をもとに、詳細に検討した結果を紹介する。

3-1 EMEの概要

(1) EMEとは

弾性係数の高いアスファルト混合物(EME: *Enrobe a Module Eleve*)は、フランスで開発されたアスファルト混合物である。

その特徴は、通常のアスファルト混合物と比較して高い弾性係数を有していることである。これにより、耐流動性に優れた、かつ高い疲労抵抗性をも兼ね備えたアスファルト混合物となる。

その原理は、低針入度のアスファルト（10/25）を、通常よりも多く配合するもので、アスファルト量を多くすることで、疲労抵抗性を高め、混合物の締固め度を増加させることが可能となる。

EMEを舗装構造の一部に取り入れることにより、舗装寿命の長期化や従来の舗装構成と比較して、著しく舗装厚を減少させることが可能となる。

EMEは、主に基層および上層路盤として適用し、一般的に表面には摩耗層を設けている。

(2) EMEの特徴

EMEは、弾性係数が高いため荷重分散効果が大きく、耐流動性にも優れている。疲労抵抗性の高いアスファルト量の多い混合物と平均的なアスファルト量の二つの混合物が仕様の中で規定されている。

当該混合物に使用する骨材については、硬さ、稜角およびごみなどの有害量に関する基準値があり、バインダについては、針入度が5～35で軟化点が65以上という基準がある。

また最近では、ポリマー改質アスファルトを使用する場合もある。EMEは、LCPC（フランス中央土木研究所）が開発した室内作製供試体の供用性状評価試験に基づいて配合設計を行い、上層路盤および基層として8cm～16cm厚さで舗設する。

EMEは、優れた性状を有しているため、フランスの標準的な材料と比較して、設計厚さを25～40%薄くすることが出来る。

図-2に、EME（粒径0～14mm）の代表的な粒度曲線を示す。

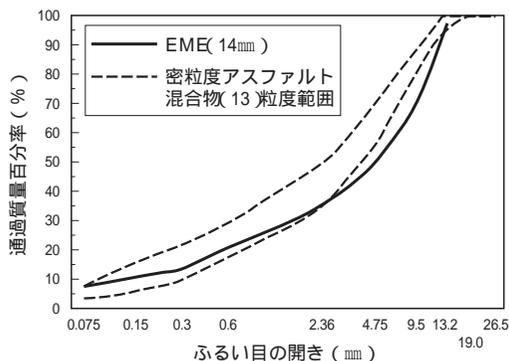


図-2 EMEの代表粒度

3-2 フランスにおけるアスファルトの変遷

ここでは、フランスにおいてEMEが開発されてきた経緯について述べる。

(1) 1960年代：初期段階および初めての変革

1960年代の初め、フランスにおいて舗装用として使用されるアスファルトの針入度は、ほとんどが80/100および180/220であった。これらの材料は、アメリカ中部から輸入された重油から製造されていたが、この頃から車体重量が大きい車両の交通量が劇的に増加しはじめたため、剛性が高くわだち掘れに対する抵抗性が大きい高強度のアスファルト混合物の必要性が高まってきた。

(2) 1970年代：石油危機の影響

1973年および1979年の石油危機は、フランスの石油市場に甚大なダメージを与えた。これらの危機は産業界を巻き込み、精製所の閉鎖などを余儀なくされただけでなく、新たに強力なガソリンの蒸留抽出機械の製造が行われた。

また、中東からの輸入原油の割り当てが変化したため、中東よりも軽量なアメリカ中部の原油から、ブローイング技術（アスファルトに加熱した空気を吹き込む技術）を利用して40/50や60/70といったアスファルトを製造することが必要となった。

この石油危機によって、舗装の性能評価基準を保ち、アスファルト量を減少させる方法を追求することとなった。

(3) 1980年代：弾性係数の高いアスファルト混合物の時代へ

ブローンアスファルトは、耐流動性が優れるものの、早期にクラックが発生してしまうため、この材料の適用が断念されることとなった。

そこで1980年代になって、ブローイング作業を伴わない新しい工程によるEME用アスファルトの製造が始められた。

現在、この硬いアスファルトを用いたアスファルト混合物は、上層路盤用材料としてEME (*enrobe a module eleve*)、表層と基層用材料としてBBEM (*beton bitumineux a module eleve*) という名称で標準化されている。

また同時期に、硬いストレートアスファルトの代替品として、針入度35/50のアスファルトにポリエチレンまたはアスファルタイトを加えたものが開発された。

フランスにおける硬いアスファルトの製造量は、1990年に39,000 t、1995年に77,000 t、2000年には100,000 tに達しており、フランス国内の舗装の約10～20%で採用されている。

この種のアスファルトを用いた舗装は、1998年のPIARCの調査によるとフランスが指導的立場にあるとされている。

3-3 フランスの配合設計方法

ここでは、EMEの配合設計方法を述べるが、フランスにおいては他のアスファルト混合物の配合設計もここで紹介する方法でおこなっている。

この方法は、作業がかなり複雑であり、耐久性の高い上層路盤の設計をおこなうためのものなので、交通荷重によるわだち掘れを防止するため441kN級程度の重タイヤローラでこれ以上もう締め固まらないところまで締め固めることが標準となっている。

EMEで通常用いている骨材粒度は、0～14mmと0～20mmである。この材料を一般的には、多いアスファルト量（6.0%程度）で混合する。しかし、1988年以来、少ないアスファルト量（4.8%程度）も使用されているが、アスファルト量の少ない混合物の供用性は、まだ十分に把握されていない。

アスファルト量の少ない混合物は、EMEクラス1、アスファルト量の多い混合物は、EMEクラス2と呼ばれている。EMEの配合設計手順を図-3に示す。

PCG試験（ジャイレトリコンパクタによる締め固め試験）

Duriez試験（水分感受性評価試験）

ローラコンパクタによる供試体作製

複素弾性係数（Complex modulus）試験

わだち掘れ試験（ホイールトラッキング試験）

繰返し曲げ疲労試験

配合の決定

図-3 配合設計手順（フランス）

(1) 配合設計手順

EMEの配合設計手順を図-3に示す。また、日本ではなじみのないPCG試験とDuriez試験について以下に示す。

① PCG試験

数種類の異なる骨材粒度でジャイレトリせん断コンパクタ試験（PCG試験）により、作業性の評価をおこなう。この試験は、重いタイヤローラでの締め固め作業

を想定したものである。

PCG試験は、最適な配合を見出すものではなく最低の配合を見出すものである。アスファルト量が多いおよびアスファルト量が少ないEMEは、100回転後の空隙率がそれぞれ6%および10%でなければならない。容易に空隙率が低くなる材料は、内部安定性が欠如している可能性がある。

PCG設計基準を満足する粒度が決まったら、アスファルト量、骨材の比表面積および密度を下式に代入し、アスファルトリッチネス係数Kを計算する。

$$K = \frac{TL}{5} \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

ここで、TL=アスファルト量（骨材に対する%）

= 2.65/Gse（Gse：骨材の有効密度）

$$100 = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f$$

G：6.3mm以上の配合割合（%）

S：0.315以上6.3mm以下（%）

s：0.08以上0.315mm以下（%）

f：0.08mm以下（%）

表-1は、従来のアスファルト混合物と2種類（クラス1、クラス2）のEMEについて、フランスAFNOR規格NF P98-140クラス2によって定められている性能条件を示したものである。

表-1 NF P98-140によって定められた2種類のEMEと従来のアスファルト混合物の性能条件比較

試験項目	EME1	EME2	GB2
粒径と平均厚さ	0/10 6～10cm 0/14 7～12cm 0/20 10～15cm	0/10 6～10cm 0/14 7～12cm 0/20 10～15cm	0/14 8～12cm 0/20 10～15cm
最小アスファルト量係数 K	2.5	3.4	2.5
0/14のバインダ規格	4.2pph	5.7pph	4.2pph
Duriez試験（r/R）	0.70	0.75	0.65
ホイールトラッキング試験（60，30,000回）	7.5%	7.5%	7.5%
複素弾性係数試験（MPa）（15，10Hz）	14,000	14,000	9,000
疲労試験（×10 ⁻⁶ ）（15，25Hz，10 ⁶ 載荷）	100	130	80
最大空隙率（%）	10	6	11

② Duriez試験³⁾

水によるはく離抵抗性を評価するために、水浸および非水浸の円柱供試体で一軸圧縮試験（Duriez試験）を実施する。このときの強度比が基準値を満足することを確認する。規格値を満足しなかったら、配合を見直してもう一度試験をおこなう。

フランスにおいては、全てのアスファルト混合物を室内作製供試体での図 - 3 に示す供用性試験に基づいて設計するように指導している。

結果として、フランスのすべての大手道路施工会社は、主な試験所にLCPCの配合設計試験機を備えている。加えて、6つの地域の試験室は、少なくともPCG試験、Duriez試験および室内混合機を有している。

(2) 締固め特性

図 - 4 は、EMEと通常のアスファルト混合物の締固め特性を、ジャイレトリコンパクタを用いて比較した結果である。EMEはアスファルト量が多いため、同一の回数における空隙率が低く、締め固まり易いことが分かる。

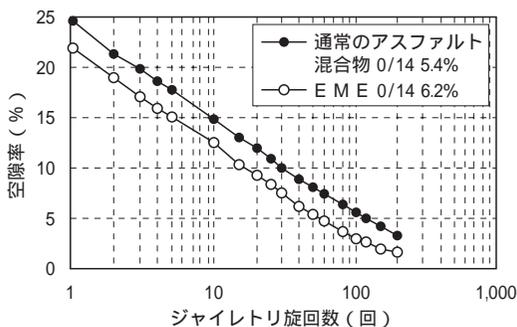


図 - 4 ジャイレトリ締固め特性
(通常の基層用アスファルト混合物とEMEの比較)

(3) EMEの施工方法および供用性状

EMEの舗設には、高締固めフィニッシャが一般的に使用されるが、通常のフィニッシャでも問題はない。EMEの高い荷重分散効果を発揮するためには、すべての層が一体となっている必要がある。そのため、表層を薄層で施工する場合には、特に層間接着力が非常に重要となるため、アスファルト分で 300 g/m^2 以上のタックコート散布する。

フランスの通常のアスファルトフィニッシャは、車体にタックコートを散布するための装置を搭載しているため、舗装表面を汚すことなく材料を舗設する直前に、散布することが出来る。タックコートを、EME

の層間に適用する場合には、通常よりも薄く散布する。

荷重分散効果に関しては、改質アスファルトを使用しても大きく向上しないが、ポリマーは、荷重分散効果を改善するよりもむしろ低温時における疲労およびクラック抵抗性を向上させる目的で使用される。

1980年代以降に施工されたEME舗装の性能評価について、1997年に47箇所の現場で供用後2～14年の舗装において1,000万t以上のアスファルト混合物を対象に調査した結果をまとめた以下の報告がなされた。

- ①供用後2～6年の舗装については、ほとんど性能低下はなかった。
- ②供用後6～10年の舗装については、クラックの量は増加していたが、重度のクラックは非常に少なかった。
- ③更に古い舗装についても、クラックは一樣に小さく、補修をする必要はなかった。

4. イギリスにおける導入の検証

イギリスにおいて標準化しているアスファルト安定処理路盤には、一般的に使用されているDBM (Dense Bitumen Macadam) と重交通路線用のHDM (Heavy Duty Macadam) の2種類があり、これらは十分な性能を有しているが、薄層化および供用年数の延長化を図ることによるより経済的な設計という観点からみると改善の余地がある。

そこでTRL (イギリス交通運輸研究所) では、EMEの技術 (硬質アスファルトを用いてアスファルト混合物を高弾性係数化する技術) を導入することで上記の課題を解決可能であるかを検討するため、従来の路盤材に使用しているアスファルトの針入度を低くした路盤 (HMB: High Modulus Base) とDBMおよびHDMを室内および実路において比較した。

なお、針入度15のアスファルトを用いたHMBをHMB15、針入度25および35を用いたものを同様にHMB25、HMB35と表記する。

4.1 試験内容

(1) 試験施工

イギリス国内で実施した5カ所の試験施工箇所のうち、現場A、B、C、Eは打換え工事、現場Dは新設工事である。表 - 2に各試験施工における舗装構成を示す。また、試験施工の主な目的を以下に示す。

- ①硬いアスファルトを用いた路盤と通常の路盤との舗装構成の比較

表 - 2 各試験施工の路盤種別と施工厚さ

現場	比較路盤	表層 (mm)	基層 (mm)	1層目 (mm)	2層目 (mm)	3層目 (mm)
A	DBM	50		100	160	125
B	HDM	50	60	120		125
C	DBM	50		100	150	150
D	HDM	25	95	130		130
E	HDM	20		80	120	120

- ② 試験材料の混合性、敷きならしおよび締固め特性の評価
 - ③ 試験舗装より採取した供試体での、構造特性の測定および舗装の構造設計を目的とした代表性状の設定
- (2) 製造、敷きならしおよび転圧

混合物の製造は、通常のバッチ式プラントで行ったが、現場Aのみは連続式プラントを使用した。

硬いアスファルトは粘性が高いため、混合時の温度を高くすることが必要となる。

例えば、針入度10~20のアスファルトを用いる場合、混合温度は170~180 である。試験施工時のHMB15の製造温度は、190 以下で行った。混合物の舗装は、150~170 で行わなければならない、転圧も140 以上で行う必要がある。したがって、外気温が低い場合、薄層で施工することは避けるべきである。表 - 3 に各試験施工における施工および気象条件を示す。

表 - 3 施工および気象条件

現場	材料	外気温 ()	初期転圧温度 ()	ローラ転圧回数 (回)
A	DBM	30	140~149	20
	HMB15	30	163~178	20
B	HDM	19	148~154	20
	HMB15	19	173~192	20
C	DBM	2	113~137	30
	HMB15	2	157~195	30
D	HDM	19	152~171	30
	HMB15	18	170~185	30
E	HDM	12	153~181	30
	HMB15	9	166~187	30

アスファルトフィニシャへの材料の投入温度は、140 以上でなければならない。転圧機械は、タイヤローラと仕上げ転圧用のタンデムローラもしくは振動ローラが必要である。タイヤローラは、輪荷重が3 t 以上のもので空気圧は、0.4~0.7MPaの範囲でなければならない。

- (3) スティフネス (弾性係数)

上層路盤と基層は、道路の主要な荷重分散層であるため、これらの層の弾性係数は、交通荷重によって路

床および下層路盤内に発生する応力およびひずみを減少させる効果がある。上層路盤の下面の引張り応力にも影響を与え、これが疲労破壊の危険性の指標となる。

各層から直径150mmのコアの各層から供試体を切り出し、BS DD 213に記載されている方法に従って20 で間接引張りスティフネス係数 (ITSM) を測定し、HMBと通常の材料との弾性係数を比較検討した。

加えて、現場Cから採取したコアを梁状に整形し、TRLの3点曲げ試験方法にしたがって、10~30 の温度帯で0.1~35Hzの範囲の載荷周波数で複素弾性係数 (complex modulus) を測定した。現場Cで施工した4つの材料の20 における弾性係数と周波数の関係を図 - 5 に示す。なお、図中に示している変換係数は、他の異なる温度に弾性係数を変換するためのものである。

この図から、HMB15は両方ともDBMよりも明らかに硬く、周波数が変化してもスティフネスの変化が小さいことが分かる。

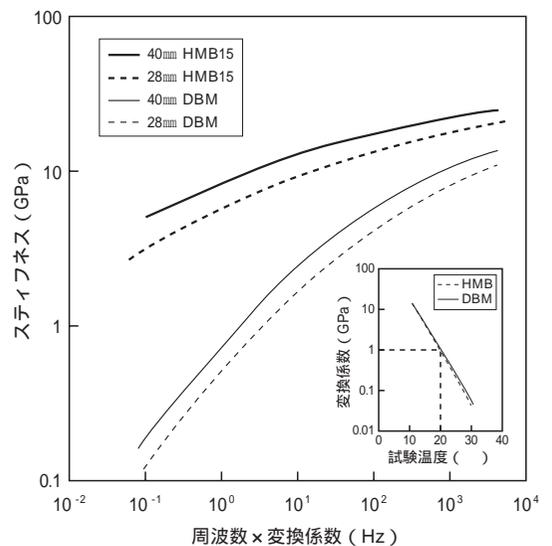


図 - 5 弾性係数 (現場 C)

図 - 6 は、各試験施工現場で使用した材料の平均 ITSMを示したものである。混合物の性状とITSMの間の関係を多変量解析によって分析した。

この解析には、混合物の弾性係数に大きく影響を与える要因として回収アスファルトの針入度とアスファルト量を選定した。回帰分析の結果を図 - 7、回帰式を式(2)に示す。これにより、平均スティフネスの変動の93%は、回収アスファルトの針入度とアスファルト量に起因したものであるといえる。

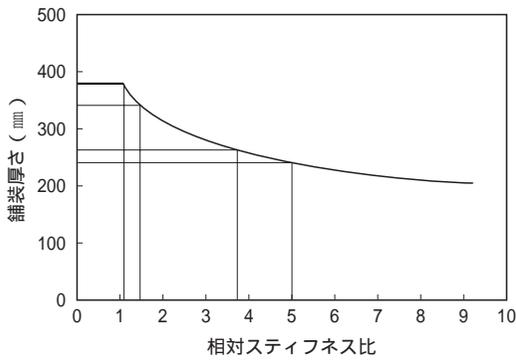


図 - 6 相対スティフネス比と舗装厚さ

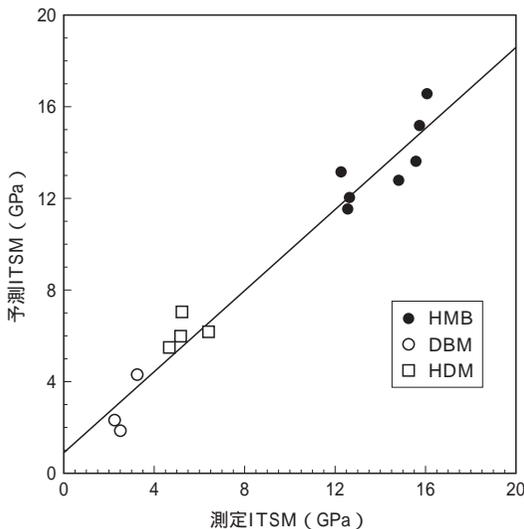


図 - 7 スティフネス係数 (ITSM) の回帰分析 (舗装種別)

今回の試験施工においては、弾性係数に影響を与えないと考えられたため、石粉の量については考慮していない。

$$\text{Log}_{10}(S_m) = 1.86 - 0.0138P - 0.144B \dots \dots \text{式}(2)$$

$$(R^2 = 0.93)$$

ここで、 S_m : ITSM

P : 回収アスファルトの針入度

B : アスファルト量 (%)

(4) 変形抵抗性

アスファルト混合物層の内部変形は、舗装表面で計測される変形に密接に関連している。そのため、各試験施工現場で摩耗層を施工する前の上部路盤あるいは基層面で動的載荷試験 (dynamic load uniaxial creep test) を実施した。試験は、BS DD226 (1996) に記

載されている方法 (30 , 1,800回載荷) に従って実施した。

動的載荷試験は同一材料であってもバラツキの大きな試験であるため、DBMの変形抵抗性を評価するために適用することは難しい。しかし、HMBの小規模試験施工 (1994) で実施した結果によると、HMBの変形抵抗性は、通常材料与大きく異なり、材料間を区別するための試験として問題ないことが分かった。

各材料の6個の平均クリープスティフネスと相対クリープスティフネスを表 - 4に示す。EMEとDBM15に対しても同様の結果が得られている。当該混合物は、比較材料と比べてクリープスティフネスが大きいことから、永久変形に対する抵抗性が優れているといえる。

表 - 4 各材料のクリープスティフネス

現場	材料	クリープスティフネス (MPa)	相対クリープスティフネス
A	DBM	14.8	1.0
	HMB	23.4	1.6
B	HDM	9.1	1.0
	HMB	35.0	3.8
C	DBM	6.9	1.0
	HMB	16.9	2.4
D	HDM	9.5	1.0
	HMB	58.5	6.1
E	HDM	6.3	1.0
	HMB	33.9	5.4

(5) 疲労抵抗性

上層路盤として使用されるアスファルト混合物は、交通荷重の影響によるひび割れを受けやすいものであってはならない。室内の疲労試験は供用中の状態を過小評価しているが、材料が変化した場合の疲労ひび割れを起こしやすくなったか起こしにくくなったかについては評価できる。HMB15は、通常の上層路盤材よりも非常に硬いアスファルトを使用しているため疲労ひび割れをより受けやすい可能性がある。

今回の試験施工で舗設したHMB15が通常の路盤材と同程度の疲労特性を有しているかを確認するために、一軸疲労試験 (uniaxial fatigue test) を一定の応力振幅、一定の温度で実施した。現場 B から採取した HMB15とHDMの大型コア (350mm) を正方形供試体に成形し、試験を実施した。疲労試験の結果を図 - 8に示す。図から、HMB15とHDMの疲労破壊曲線は類似したものであることから、両者の疲労破壊特性はほぼ同等であることが分かる。

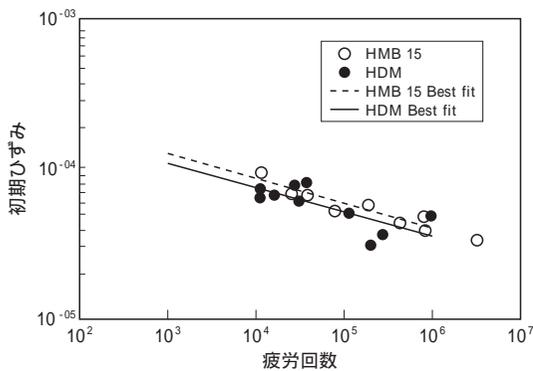


図 - 8 HMBおよびHDM路盤の疲労抵抗性

(6) 供用中の構造評価

現場 A, C, D における各層の弾性係数を, FWD によって直接比較した。単純な二層構造モデルで現場 A のアスファルト混合物層および路床のスティフネスを逆解析により求めた。アスファルト混合物層の弾性係数は, とともに20 で補正している。

しかし, HMB15の温度依存性は通常の材料と異なるため, 温度の補正係数は, 温度を変化させて実施した3点曲げ試験により求めたものである。FWDの結果から得られた弾性係数は, ITSM試験 (BS DD 213) とは載荷速度が異なるため得られた値も異なる。

図 - 9 から, 現場 A で測定した路床のスティフネスは, 試験施工区間全線で一定あり, 逆解析により得られたDBMの弾性係数は, 明らかにHMB15よりも小さい値であった。

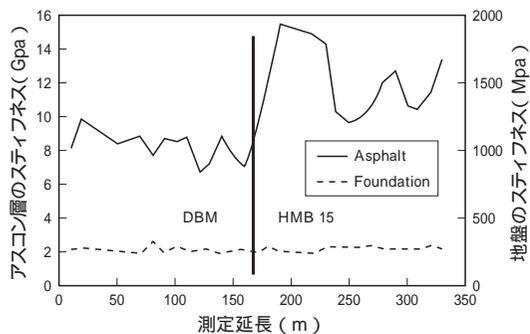


図 - 9 FWD試験結果 (現場 A)

各試験施工から得られたデータを基に決定した各路盤材料の弾性係数およびDBMを1.0とした場合の相対弾性係数を表 - 5 に示す。

4-2 コスト比較

上層路盤および基層として弾性係数の高いアスファ

表 - 5 上層路盤の弾性係数

材 料	設計弾性係数 (GPa)	相対弾性係数
DBM	3.1	1.0
DBM50	4.7	1.5
HDM	6.2	2.0
HMB35	8.0	2.6
HMB25	10.3	3.3
HMB15	12.4	4.0

ルト安定処理路盤を使用する利点は, 舗装厚さを軽減することが出来ることにある。表 - 6 は, 路床のCBR が5%で, 厚さ22.5cmのタイプ1の下層路盤の上に, 8千万輪の設計供用年数の舗装を設計した場合の例を示したものである。

表 - 6 HMBの厚さ

表層厚さ (mm)	材 料	路盤および基層の厚さ (mm)	厚さ低減率 (%)
40	DBM	350	-
40	HDM	280	20
40	HMB35	250	29
40	HMB25	240	31
40	HMB15	220	37

表から, 通常のDBMをHMB15で置き換えることにより, 路盤および基層の厚さを約37%低減可能であることが分かる。また, HMB35およびHMB25で置き換えた場合の低減率は, それぞれ29%および31%である。

コストに限定すると, 厚さ低減の利点は, これらの材料を使用することによる製造コストの増加分を相殺することが出来る。今回の5箇所の試験施工に基づいて算出した概算数量から得られたHMB15のDBMを100とした時の製造コストを, 表 - 7 に示す。

表 - 7 製造コスト比較

項 目	DBM	HDM	HMB15
アスファルト	50	50	56
燃 料	8	12	13
骨 材	25	25	25
プラント	17	17	19
割増石粉	0	2	0
出荷低減	0	6	7
その他	0	0	0
合 計	100	112	120

主なコストの増加は, 針入度15のアスファルトである。また, 混合温度が高いために燃料消費量が多くなり, さらに骨材加熱に時間がかかるために出荷量も低減する。

HMB15の製造コストの増加分と舗装厚さの低減を考慮に入れると、HMB15をDBMと置き換えた場合には全体として約25%、HDMと置き換えた場合には約15%の削減となる。ここで比較したコストは、プラント製造時のものである。

コスト削減率は、輸送費などの経費により低下する可能性があるが、当該混合物が薄層で施工できることによる掘削量および廃棄量の低減も加味することができる。

4.3 現状での評価

EMEをイギリスに導入しようとした場合の現状での評価を以下に示す。

①針入度15のアスファルトを用いた弾性係数の高いアスファルト安定処理路盤は、悪天候でさえ通常のプラントで製造・敷きならしおよび転圧が可能である。

しかし、硬いアスファルトを使用していることから作業性の低下が懸念されるため、EMEは重交通路線で大型施工にのみ適用することが望ましい。

また、EMEの転圧に重いタイヤローラの重要性を検討するためには、骨材の種類などが異なる試験施工を数多く実施する必要がある。

②針入度が15、25、35のアスファルトを用いて製造したHMBの荷重分散能力は、通常の路盤と比較して明らかに増加している。

HMBの変形抵抗性は、そのひび割れ抵抗性を低下されることなく改善することが可能である。材料の配合および施工方法が異なるためスティフネスの増加のバラツキは大きいですが、今回の試験施工の結果では、HMB15のスティフネス係数は、標準的なHMBの4倍以上であることが確認できた。

また、針入度が25および35のアスファルトを用いた場合のスティフネス係数は、それぞれ3.3倍および2.6倍になると推定できる。

③EMEの製造コストの増加分は、同一の設計供用年数で舗装を構築するために要求される厚さを軽減することが可能であることから相殺される。HMB15をDBMの代わりに採用することによって、約25%のコスト縮減になり、HDMの代わりに採用した場合には、約15%の縮減になる。

④EMEは、高い永久変形抵抗性を有していることから、わだち掘れの危険性の高い箇所での摩耗層の理想的な基盤となる。しかし、この舗装構造の

わだち掘れ低減効果を確認するためには、更なる研究が必要である。

5. C-Fix (Carbon Fixation) について^{9), 10), 11)}

オランダでは¹²⁾、1996年から、将来(2030年)における新しい道路の構築を目的としたRoads to the Futureと称するプロジェクトを進めており、その中の舗装の分野においてはRoad Surface of the Futureとしてプレハブ施工であると同時に高い騒音低減機能を有する舗装の開発が進められている。2003年のダーバンにおけるPIARC世界大会では、特別のセッションが設けられ、成果の一部について報告がなされている。その中の技術の1つとして、EMEと同様、針入度の低いバインダであるC-fixが開発されている。

(1) 概要

C-Fixは、京都議定書(1991.12)に応じて二酸化炭素削減の観点から開発されたカーボンを多く含んだ熱可塑性バインダであり、アスファルトとコンクリートの特徴(表-8参照)を併せ持つものである。また、従来の工法・機械を使用して施工可能な革新的な材料である。C-Fixは、原油を精製したときに生じる残渣を元に製造されたもので、以下のような特徴を有している。

- ・高強度・高接着性を有している。
- ・耐久性(耐摩耗性, 耐流動性, 耐クラック性)および耐水性, 耐薬品性に優れている。

表-8 C-Fixの基礎物性

項目	アスファルト	C-Fix	コンクリート
曲げ強度 [NEN 7000] (MPa)	-	4~11	4~9 (以上)
圧縮強度 [DIN 18501] (MPa)	9~11	15~25	30~60
弾性係数 ⁽¹⁾ [NEN 7000] (MPa)	30~42	300~560	370~725
動的クリープ ⁽²⁾ ax.rek in %	1.5	0.25	0.14
耐摩耗性 ⁽³⁾ [mod.CAT] Material loss in grams	18~26	33~45	44~50
吸水率 [prEN 1338] (%)	0.2以下	0.08~0.25	1.8~3.6
透水性 [CUR 63] (mm)	0.5以下	0.5以下	10~13

(1) Measured by flexural strength NEN 7000
(2) 250kPa/0.2s/1800cls at 60
(3) 修正カリフォルニア摩耗試験 20

- ・通常の舗装施工機械・技術で施工可能である。
- ・これまで焼却処分していた残滓を有効利用することにより二酸化炭素の発生量を削減できる。
- ・リサイクル，リユースが可能である。

(2) 用途

C-Fixバインダは，その優れた特性を活かしてアスファルトの代わりとして重交通路線道路に使用されるだけでなく，プレハブ式床版，屋根瓦，河川や運河の防護壁又は防波堤ブロック，防音壁，鉄道のバラスト材料等様々な製品に利用可能である。また，セメントと混合不可能な汚泥，シルト，浚渫土またはフィラーや焼却灰との混合が可能な幅広い範囲に適用可能な革新的材料である。

C-Fixは，物性に特徴を持った環境に優しい材料であり，地球の温暖化の一因である二酸化炭素の排出防止に貢献することが出来る。例えば，C-Fix混合物（バインダ＋骨材）を使用することによりセメント製造で放出される二酸化炭素量の2倍を削減可能である。オランダでは，C-Fixの利用により京都議定書に応じ

て課された温室効果ガス削減目標約5%未満を達成できるとしている。また，2004年には，英国および他のヨーロッパ諸国にも広がっていくと予想されている。

おわりに

今回のPIARCで紹介された各国の「革新的な技術」は，日本においては，既に実用化され多くの施工実績を上げている技術も多く見られ，今後は世界に向けた日本の舗装技術の発信により力を注ぐ必要があると考えている。

また，今回紹介したフランスの基層およびアスファルト安定処理路盤に使用するアスファルトの針入度を低くすることにより，弾性係数を高めようとする技術は，今後，我が国においても多層弾性理論に基づいた設計が盛んにおこなわれるようになった場合に，コスト縮減および舗装の長寿命化といった観点から非常に有用な技術であると考えられる。

参考文献

- 1) 鳥居康政：国際会議報告PIARC C7/8舗装委員会中間活動報告と舗装のターミノロジー，道路2002年5月，p.68～73
- 2) 鳥居康政：国際会議報告PIARC C7/8「革新的な舗装設計」と「道路の革新」に関するセミナー報告，道路2003年6月，p.74～79
- 3) (社)日本道路協会GLOBAL ROAD COMMUNITY II，2003
- 4) PIARC C7/8: International survey on innovative pavement design (Appendix 3)
- 5) M E Nunn and T Smith: EVALUATION OF ENROBE A MODULE ELEVE (EME) : A FRENCH HIGH MODULUS ROADBASE MATERIAL, TRL PROJECT REPORT 66 (1994)
- 6) M E Nunn and T Smith: Road trials of high modulus base for heavily trafficked roads, TRL REPORT 231 (1997)
- 7) Corte, J.F: Development and Uses of Hard-Grade Asphalt and of High-Modulus Asphalt Mixes in France, TRB Transportation Research Circular 503, 2001.12
- 8) French standard NF P 98-251-4 "Duriez Test on Bitumen Emulsion-Aggregate Mixes" 8)
- 9) http://www.c-fix.com/english/asp/History_details.asp
- 10) Economy Ecology Technology (EET) Conference 2002, C-Fix(Carbon Fixation) ;visionary concept on the road to a sustainable reality, p.36～37, (2002.3)
- 11) http://www.shellglobalsolutions.com/news_room/press_cuttings/thermalconversion03.htm
- 12) 増山，阿部，谷口：Road Surface to the Future (オランダにおける試み)，舗装，p.20～23 (2003.3)

<統計資料>

1. 石油アスファルト需給実績（総括表）

（単位：千t）

項目 年度	供 給					需 要					
	期初在庫	生産	対前年度比	輸入	合計	内需	対前年度比	輸出	小計	期末在庫	合計
13年度	255	5,425	(98.5)	32	5,712	4,720	(96.6)	284	5,004	97	5,101
15. 2月	258	449	(94.9)	0	707	393	(99.4)	9	401	253	655
3月	253	659	(112.7)	0	913	607	(102.1)	19	626	226	852
1~3月	240	1,490	(103.0)	0	1,730	1,297	(98.8)	44	1,340	226	1,566
14年度	214	5,243	(96.6)	8	5,471	4,470	(94.7)	218	4,688	226	4,919
15. 4月	226	423	(105.6)	10	660	272	(88.8)	21	292	277	569
5月	277	311	(97.2)	0	588	245	(87.9)	18	264	286	550
6月	286	360	(102.5)	0	646	245	(81.1)	19	264	290	554
4~6月	226	1,095	(102.1)	10	1,331	762	(85.9)	58	820	290	1,110
7月	290	390	(102.5)	0	680	285	(83.9)	32	318	265	583
8月	265	413	(101.7)	0	678	284	(83.3)	30	314	263	577
9月	263	413	(92.4)	0	676	317	(86.6)	31	348	245	593
7~9月	290	1,217	(98.6)	10	1,506	887	(84.6)	93	980	245	1,225
10月	245	496	(110.9)	10	741	364	(91.6)	25	388	245	634
11月	245	482	(99.1)	0	728	351	(82.4)	18	369	250	618
12月	250	561	(109.7)	0	810	383	(92.3)	18	400	269	669
10~12月	245	1,539	(106.5)	0	1,784	1,097	(88.6)	60	1,157	269	1,426

2. 石油アスファルト内需実績（品種別明細）

（単位：千t）

項目 年度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト				ブローン アスファルト	合計	ストレート・アスファルト				ブローン アスファルト	合計
	道路用	工業用	燃焼用	計			道路用	工業用	燃焼用	計		
13年度	3,412	171	945	4,528	177	4,720	94.4	90.4	106.0	96.5	92.6	96.6
15. 2月	279	17	83	379	14	393	97.6	114.3	103.2	99.4	98.8	99.4
3月	475	21	97	593	14	607	97.5	118.3	128.3	102.1	102.3	102.1
1~3月	929	53	271	1,254	43	1,297	94.1	113.8	115.5	98.8	99.8	98.9
14年度	3,172	189	937	4,299	171	4,470	93.0	110.5	99.2	94.9	96.5	94.7
15. 4月	197	7	57	261	11	272	89.8	58.4	91.3	88.8	88.7	88.8
5月	180	6	49	234	11	245	94.6	54.7	74.1	88.0	85.2	87.9
6月	188	7	39	234	11	245	83.7	39.3	87.4	81.5	74.0	81.1
4~6月	565	20	145	729	33	762	89.1	49.1	83.8	86.1	82.6	85.9
7月	226	9	38	273	12	285	97.3	56.9	48.1	83.4	95.4	83.9
8月	222	9	42	272	11	284	98.1	62.2	47.9	83.1	87.4	83.3
9月	258	10	37	304	14	317	103.5	61.2	41.9	86.3	92.2	86.6
7~9月	705	27	117	849	38	887	99.7	60.0	45.9	84.3	91.7	84.6
10月	291	11	46	348	16	364	101.1	62.5	61.1	91.4	96.2	91.6
11月	273	10	54	337	14	351	86.4	60.6	70.1	82.3	84.9	82.4
12月	308	9	53	370	13	383	102.9	60.6	61.5	92.4	91.1	92.3
10~12月	871	31	153	1,055	42	1,097	96.5	61.3	64.2	88.6	90.7	88.6

〔注〕(1) 内需量合計は、石油連盟発行「石油資料月報」より引用。

(2) 道路用ストレート・アスファルト = 内需量合計 - (ブローンアスファルト + 燃焼用アスファルト + 工業用ストレート・アスファルト)

有限責任中間法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
[メーカー]		
出光興産株式会社	(100-8321) 千代田区丸の内3-1-1	03(3213)3134
コスモ石油株式会社	(105-8528) 港区芝浦1-1-1	03(3798)3874
三共油化工業株式会社	(105-0004) 港区新橋1-7-11	03(5568)6411
株式会社ジャパンエナジー	(105-8407) 港区虎ノ門2-10-1	03(5573)6000
昭和シェル石油株式会社	(135-8074) 港区台場2-3-2	03(5531)5765
新日本石油株式会社	(105-8412) 港区西新橋1-3-12	03(3502)9122
[ディーラー]		
東北		
株式会社男鹿興業社	(010-0511) 男鹿市船川港船川字海岸通り1-18-2	0185(23)3293
カメイ株式会社	(980-0803) 仙台市青葉区国分町3-1-18	022(264)6111
関東		
朝日産業株式会社	(103-0025) 中央区日本橋茅場町2-7-9	03(3669)7878
株式会社アスカ	(106-0032) 港区六本木7-3-3	03(5772)1505
伊藤忠エネクス株式会社	(153-8655) 目黒区目黒1-24-12	03(5436)8211
エムシー・エネルギー株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町1-3-3	03(5251)0961
コスモ石油販売株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀3-3-5	03(3551)8011
コスモアスファルトカンパニー		
国光商事株式会社	(164-0003) 中野区東中野1-7-1	03(3363)8231
昭石商事株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-1-8	03(5474)8511
住商石油アスファルト株式会社	(105-0011) 港区芝公園2-6-8	03(3578)9521
竹中産業株式会社	(101-0044) 千代田区鍛冶町1-5-5	03(3251)0185
東新エナジー株式会社	(103-0027) 中央区日本橋2-13-10	03(3273)3551
中西瀝青株式会社	(103-0028) 中央区八重洲1-2-1	03(3272)3471
株式会社南部商会	(108-0073) 港区三田3-13-16	03(5419)9861
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巢鴨4-22-23	03(3915)7151
パシフィック石油商事株式会社	(103-0014) 中央区日本橋蛸殻町1-17-2	03(3661)4951
丸紅エネルギー株式会社	(101-8322) 千代田区神田駿河台2-2	03(3293)4171
ユニ石油株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-7-8	03(3796)6616
中部		
鈴与商事株式会社清水支店	(424-8703) 清水市入船町11-1	0543(54)3322
松村物産株式会社	(920-0031) 金沢市広岡2-1-27	0762(21)6121

有限責任中間法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
近畿・中国		
出光アスファルト株式会社	(531-0071) 大阪市北区中津6-3-11	06(6442)0031
三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4-1-3	06(6394)1551
昭和瀝青工業株式会社	(670-0935) 姫路市北条口4-26	0792(26)2611
千代田瀝青株式会社	(530-0044) 大阪市北区東天満2-10-17	06(6358)5531
富士商株式会社	(756-8501) 小野田市稲荷町10-23	0836(81)1111
株式会社松宮物産	(522-0021) 彦根市幸町32	0749(23)1608
横田瀝青興業株式会社	(672-8057) 姫路市飾磨区細江995	0792(33)0555
四国・九州		
今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	0992(56)4111
三協商事株式会社	(770-0941) 徳島市万代町5-8	0886(53)5131
西岡商事株式会社	(764-0002) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877(33)1001
平和石油株式会社高松支店	(760-0017) 高松市番町5-6-26	0878(31)7255

編集顧問	編集委員			
多田宏行	委員 長	中村 俊行		
	安崎 裕	小林 孝行	野村 健一郎	溝 淵 優
	神谷 恵三	大坪 義治	服 部 潤	峰 岸 順一
	栗谷川 裕造	田 井 文 夫	姫 野 賢 治	吉 村 啓 之
	小島 逸平	塚 越 徹	溝 口 孝 夫	

アスファルト 第215号

平成16年5月発行

有限責任中間法人 日本アスファルト協会

☎ 154-0017 東京都世田谷区世田谷4-18-15

問い合わせ先

・昭和シェル石油株式会社 中央研究所

小林孝行

TEL 046-285-0829

・新日本石油株式会社

エネルギー・ソリューション1部

塚越 徹

TEL 03-3502-9134

印刷所 キュービシステム株式会社

☎ 104-0061 東京都中央区銀座1-21-7

GNビル4F TEL 03-3538-3171 (代)

Vol.47 No.215 MAY 2004

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**