

アスファルト

第59巻 第232号 平成28年12月発行

232

特集・アスファルトの評価・試験方法

石油アスファルト需給動向と将来展望について	JXエネルギー株式会社	1
既設基層の耐久性改善を含めた高機能舗装の再生技術の開発	田中敏弘	6
積雪寒冷地の高規格幹線道路における表層混合物の検討 —北海道型 SMA の開発—	田中俊輔・安倍隆二・丸山記美雄・木村孝司	11
CO ₂ 排出削減を目指したアスファルト混合物の評価	川島陽子・新田弘之・川上篤史	18
アスファルト舗装のタイヤ／路面転がり抵抗低減技術	川上篤史・寺田剛・藪雅行	24
舗装点検要領の策定について	武藤聡・久保和幸・藪雅行	31
8th RILEM 国際会議報告	黄木秀実	36
第6回 Eurasphalt & Eurobitume Congress へ出席して	村上浩	42

<アスファルト舗装技術研究グループ・第64回報告>	佐々木巖	46
舗装の補修および長寿命化に関する新しいアプローチについて ～第25回 PIARC 世界道路会議から～		47
若手技術者によるアスファルト舗装に関する質問コーナー		59
<連載>アスファルト・舗装研究 vol. 5 花王株式会社 テクノケミカル研究所		71
<統計資料>石油アスファルト需給統計資料		74

ASPHALT

一般社団法人 日本アスファルト協会
THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

平素は当協会並びに機関紙「アスファルト」をご愛顧賜りまして誠にありがとうございます。
当協会は「アスファルト利用技術の向上に関する事業を行い、アスファルトに関連する産業の健全な発展に寄与する事」を目的とし、その観点から「**投稿原稿**」を募集しております。研究者の皆様、技術者の皆様に限らず幅広い方からの投稿を賜り、アスファルト利用技術の深化を側面から支援して参りたいと存じますので、よろしくお願い申し上げます。

なお、ご投稿頂ける場合は巻末に記載の問い合わせ先までご一報頂ければ幸甚でございます。

一般社団法人日本アスファルト協会

プログラム

ーこれからの舗装マネジメントー

第1日目 2017年3月2日(木) 13:00~17:20

(敬称略)

1. 挨拶 13:00 ~ 13:05
一般社団法人日本アスファルト協会
ゼミナール委員長 仁科昭彦
2. 挨拶 13:05 ~ 13:20
一般社団法人日本アスファルト協会 舗装技術委員
(前 公益社団法人 日本道路協会舗装委員長) 吉兼秀典
3. アスファルト供給体制について 13:20 ~ 14:00
一般社団法人日本アスファルト協会 松村優
4. 舗装点検要領について 14:00 ~ 15:15
日本大学 教授(工学博士) 秋葉正一
国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ
上席研究員(舗装) 藪雅行
(休憩 15:15 ~ 15:30)
5. 静岡県の舗装マネジメントに関する取組 15:30 ~ 16:00
静岡県 交通基盤部 道路局 道路保全課
維持舗装班 班長 塩澤孝洋
6. 我が国初の有料道路コンセッションの仕組みとその運営管理について 16:00 ~ 16:40
愛知県 建設部 道路監 山田哲也
7. 舗装診断士の資格制度について 16:40 ~ 17:20
一般社団法人日本道路建設業協会 広報・技術部長 松田敏昭

第2日目 2017年3月3日(金) 9:00~11:40

8. 平成29年度道路予算について 9:00 ~ 10:00
国土交通省 道路局 企画課 道路経済調査室長 橋本雅道
9. アスファルト乳剤を用いた表面処理工法のすすめ 10:00 ~ 10:50
一般社団法人日本アスファルト乳剤協会 技術委員 足立明良
10. 舗装の長寿命化に貢献するポリマー改質アスファルト 10:50 ~ 11:40
一般社団法人日本改質アスファルト協会 丸山陽

※講師は都合により変更になる場合があります

「舗装診断士」資格試験の概要について

一般社団法人 日本道路建設業協会 舗装施工管理技術者資格試験委員会
検定企画課長 大倉敏晃

日本道路建設業協会では、既設舗装の調査・評価および維持・修繕工法の選定・設計、補修計画の策定支援等が行える技術者を認定する民間資格「舗装診断士」の資格試験を開始します。

現在検討中のスケジュールとしては、平成29年2月中旬から下旬にかけて受験申込の受付を行い、第1回の舗装診断士資格の試験日は、平成29年6月の第4日曜日を予定しています。本試験に関する主な検討事項である、資格の位置づけ、舗装診断士の活用が想定できる業務、役割、受検資格、試験の内容、受験申込み、資格の登録や更新等に関する方向性について、以下概説します。

1. 舗装診断士資格の位置づけ

舗装診断士資格とは、「舗装の診断に関する一連の作業ができる高い専門知識を保有する技術者を認定する資格」と位置付けます。

なお、舗装の診断とは、既設舗装の調査・評価および維持・修繕工法の選定・設計、補修計画策定の支援であり、また、補修計画策定に関し、必要に応じてネットワークレベルでの計画策定支援も含めて行えることと定義します。

2. 舗装診断士の活用が想定できる業務

舗装に関する幅広い知識・経験および当該路線等の地形・地質、交通の状況や沿道環境等に関する知識を有することが舗装診断士に求められる素養としており、舗装診断士の活用が想定できる業務項目は、以下の項目と考えています。

- ① 現地調査（目視、路面性状調査、構造調査等）による破損実態の把握
- ② 破損の程度の評価
- ③ 破損の原因の特定
- ④ 破損の程度等に応じた維持・修繕工法の選定
- ⑤ 維持・修繕に関わる設計に必要な性能や条件の整理
- ⑥ 維持・修繕に関わる路面設計、構造設計
- ⑦ 補修計画策定の支援（ネットワークレベルでの計画策定支援も含む）

3. 受験資格について

以下に示す、いずれかの資格保有者で7年以上の舗装関連業務（計画、調査、設計、監理・監督、工事、試験、評価、技術開発等）の業務経歴があり、さらにその中で、舗装の計画、調査、評価に関する1年（または3件）以上の実務経歴があることを受検資格とします。

【必要保有資格】

- ① 1級舗装施工管理技術者
 - ② 技術士（部門：建設部門）
 - ③ 特別上級・上級等土木学会認定資格
 - ④ RCCM
- のいずれかの資格を保有していること。
なお、②～④については、2級舗装施工管理技術者資格を有している者。

※ 1級・2級舗装施工管理技術者は、資格登録者であって、失効者、未登録者は、受験資格の必要保有資格には該当しません。

4. 試験の内容と試験時間について

択一試験（マークシート方式）および記述試験（経験記述、専門記述）とする予定です。

なお、試験時間は、択一試験3時間、記述試験3時間の計6時間とする予定です。

a. 択一試験

舗装に関する基礎知識、舗装の管理、点検・評価、補修の計画・設計、補修工事に関する知識および技術者倫理等の項目からの出題を予定。

b. 経験記述

これまでの業務経歴から1業務を選定し、業務の概要、その中で果たした役割、技術的問題点や課題と解決策、その評価等を簡潔に記述する形式での出題を予定。

c. 専門記述

提示された舗装の破損の写真、当該箇所の交通量、地域・気象条件、地形等の条件等から、推定される破損原因と根拠、実施すべき調査・試験、補修方法等を記述する形式での出題を予定。

5. 試験日・試験地および合格発表日等について

試験日：平成29年6月25日（日）「毎年6月の第4日曜日」

試験地：札幌、仙台、東京、新潟、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、那覇

申込受付期間：平成29年2月の中旬～下旬を予定します。

合格発表日：平成29年10月25日（水）「毎年試験日の4ヵ月後」

6. 受験申込書について

当協会ホームページ上に、受験申込書類の作成・印刷および受験の手引きがダウンロードできるシステム「（仮称）舗装診断士 受験申込書作成システム」を設置する予定です。

受験を希望される方は、本システムを用い、受験申込書類を作成・印刷し、受験申込書類と証明写真、住民票等の必要書類を試験事務局に簡易書留で郵送することによって受験申込の受付が完了することとなります。なお、本資格試験では、紙による「受験申込書類」の販売は行いません。従って、受験を希望される方は全員、本システムを利用し、受験申込書を作成して頂きます。

7. 資格の登録および有効期間について

舗装診断士の称号を用いるには、舗装診断士資格試験に合格し、登録の申請を行って、一般社団法人日本道路建設業協会会長から「舗装診断士資格者証」の交付を受ける必要があります。従って、資格試験に合格しただけでは、舗装診断士にはなれません。

なお、資格試験に合格した年度内に登録の申請を行った場合、登録日は合格の翌年度の4月1日となり、登録（資格者証）の有効期間は登録日から5年間となる予定です。

8. 登録の更新について

登録を継続するには、登録期間の最終年度において、登録（資格者証）の有効期限までに登録更新の申請を行う必要があり、登録更新を行うと、登録は5年間延長される予定です。

ただし、登録更新の申請を行うには、技術講習の受講が必須条件となり、技術講習の実施時期や講習内容については現在、検討を進めている状況です。

おわりに

舗装診断士資格が真に道路管理者の要望に応えうる資格として活用されるには、全国で1万人規模の資格者が生まれることが必要不可欠と考えられるため、より多くの方に受験頂ける事を期待しています。

石油アスファルト需給動向と将来展望について

(The Latest Trend and Future View)

JXエネルギー株式会社 産業燃料部 コークス・アスファルトグループ

高度化法等により、変革を迫られるわが国の石油業界において、最新のアスファルトの需給動向と今後の課題について説明する。

1. 石油産業を取り巻く環境の変化

1.1 原油価格の動向

2014年9月以降、急落し始めた原油価格は、油価下落に伴い米国における原油生産の増産ペースが落ちたほか、中国や米国において石油需要が堅調に推移していたことなどもあり、2015年1月に一旦下げ止まったかに思われた。しかし、ギリシャ政府の債務不履行問題や中国の景気減速懸念の浮上、また米国におけるシェールオイル開発の効率改善に伴い掘削リグ稼働数が増加に転じたことなどがきっかけとなり、原油価格は再び下落を始めた。具体的な価格の推移として、国際市場での指標原油のひとつであるドバイ原油で見ると、2014年7-9月平均が1バレル101ドルであったものが、10-12月平均で74ドル、2015年1-3月平均では52ドルまで下落した。2015年4-6月平均は61ドルと一旦上昇したものの、世界経済の先行き不安による原油の需要減速が懸念される中、イランの制裁解除に伴う原油増産等、供給過剰感の意識が強まったことで、2016年1月まで下値を伺う展開となった。2月以降、主要産油国の協調減産観測などに反応して原油価格は20ドル台を底に再び上昇、最終的に主要産油国間の増産凍結合意は未達に終わったものの、米国、ナイジェリアの原油生産減を材料に40ドル前後まで値を戻す形となり、その後は英国のEU離脱が世界経済に与える影響が懸念されるなど、一進一退の値動きが続いている。

そのような中、原油価格の動向に大きな影響を与えたのは、2016年9月末に実施された第170回OPEC臨時総会において、生産目標設定に関して合意がなされたことである。サウジアラビアとイランのスタンスの相違などが障害となって、実質的な内容を伴う合意形成は期待できないという事前予想が大勢を占めていたため、この発表は市場にとってサプライズであり、原

油価格の急上昇もこれを示している。合意形成に至った背景としては、長期にわたる原油価格低迷により、石油輸出入への依存度が高い産油国経済が大きな打撃を受けている中、これ以上の原油価格下落を回避したい思惑が主要産油国間で強く働いたものと考えられる。しかし、今回の合意内容が原油価格に対する継続的な上昇圧力となるためには、今後主要産油国間で有効な生産調整が行われる必要があり、その実現性については懐疑的な見方が示されることも多い。具体的な議論としては、臨時総会において合意された生産目標を、国別の生産枠として落とし込むまでのプロセスで多大な困難を伴う可能性が高いという点や、生産目標が実現されたと仮定して、それが原油需給の改善においてどれだけの効果を発揮するのかということが明確でない点など挙げられている。事実、10月のOPEC生産量は、合意前と変わらず生産量目標の上限である3,300万BDを上回っている。11月末に開催予定の次回OPEC総会に向け、産油国間で生産調整に関する協議が再度行われる見通しだが、前回同様、減産の実行力が油価動向のポイントとなることは言うまでもない。

また、今後の原油価格の動向について考える上で、供給面以外の部分にも目を向けてみると、シリアやイラクを中心に勢力拡大を図るISIS(イスラム国)の脅威、サウジアラビアによるシーア派宗教指導者の死刑執行をきっかけとしたサウジアラビアとイランの関係悪化、英国によるEU離脱プロセスの長期化、他加盟国のEU離脱の可能性、新興国の経済情勢、米国の金融政策など、多岐にわたる事象が原油価格を左右する要因となり得る。

つまり、石油需給バランスだけでなく、中東を中心とする地政学的リスクから政治・経済・金融まで、幅広い観点から分析を行っていく必要がある。

1.2 エネルギー・燃料油需要の動向

経済産業省の最新の総合エネルギー統計によると、2014年度の一次エネルギー国内供給は消費税増税による経済活動の停滞などによって減少に転じており、前年比では4.5%減、過去10年間のピークである2007年度と比較すると約12%の減少となっている(図-1参照)。エネルギー源別に見ていくと、非化石エネルギーでは、原子力が稼働ゼロの状況が継続したため前年比100%減となっているものの、水力は関東以西を中心に豊水となったこともあり前年比2.9%増、自然エネルギーはバイオマスエネルギーや太陽光発電を中心に増加したことで前年比5.6%増となっている。一方、化石エネルギーは全体で前年比4.4%減少しており、個別に見ていくと石炭が前年比3%減、天然ガスが前年比0.4%減、そして石油は前年比7.5%減となっており、これはエネルギー転換部門である発電用途で使用される化石燃料の減少が要因の一つと考えられる。特に事業用発電において、2014年度は非化石燃料である水力や再生・未活用エネルギーが投入量・構成比ともに前年を上回ったことに伴い、化石燃料の投入量が前年を下回る中、天然ガス、都市ガスは構成比を増加させたものの、石油の構成比だけが減少している。

また、同統計の最終エネルギー消費(図-2参照)も一次エネルギー国内供給と同様に減少傾向となっており、2014年度は前年比3.2%減少している。エネルギー源別では、最終エネルギー消費全体の減少に伴い、都市ガスを除いた全てのエネルギーが前年に比べて減少し、構成比では天然ガス、再生可能・未活用エネルギーが前年比±0%、石炭と都市ガスが前年比で増加しているのに対して、蒸気・熱と石油は前年に比べて減少している。石油については、企業・事業所他部門で消費されるエネルギー源が石油から都市ガス等へ転換されていることに加え、運輸部門では荷動きの鈍化や、燃費

の改善が進んでいることなどから近年減少傾向にあり、2010年度以降は構成比が50%を下回る状態が続いている。

こうした中、2014年度の石油需要は燃料油合計で約1億8,295万KL、ジェット燃料油以外の油種は前年度実績を下回る結果となり、2009年度以降2億KLの大病を割った状態が続いている(図-3参照)。背景としては、少子高齢化、人口の減少という社会構造の変化に加え、前述のとおり物資の輸送量の低迷、輸送体制の合理化・効率化等により燃料消費の削減が図られたこと、また二酸化炭素の削減が世界的な課題となっている中、化石燃料である石油の消費削減が求められており、より二酸化炭素の排出量が少ないエネルギーへの転換が行われたことなどが挙げられる。そして今後も燃料油需要減少の構造的要因に根本的な変化は生

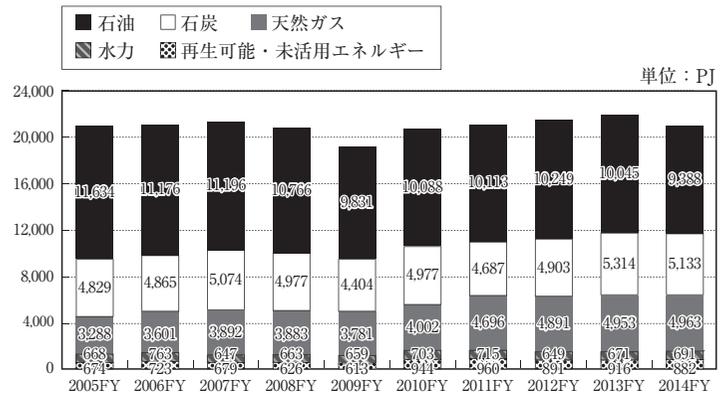


図-1 一次エネルギー国内供給

※経済産業省「総合エネルギー統計」を元に当社作成

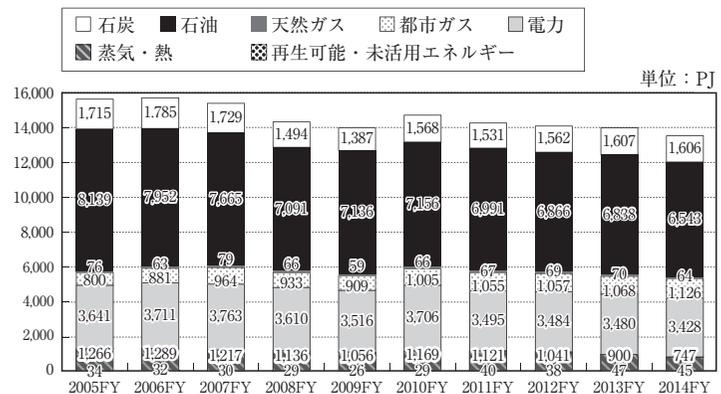


図-2 最終エネルギー消費

※経済産業省「総合エネルギー統計」を元に当社作成

じないものと想定されるが、一次エネルギー国内供給において石油は依然として最も高い割合を占め、それに次ぐ石炭や天然ガスも石油の6割程度となっており、エネルギーセキュリティの確保という点で、石油の安定需要・安定供給は引き続き重要と言えるだろう。

1.3 石油元売の動向

経済産業省は、2014年7月31日にエネルギー供給構造高度化法（以下、「高度化法」と記載）の新たな判断基準の公告を行った。この背景には、燃料転換石油業界を取り巻く事業環境が旧判断基準施行時点と比べて大きく変化している中、各社が採用する多様な戦略および設備特性に沿った制度設計が必要との問題意識がある。日本国内の原油処理設備能力は、2009年度には483万BDであったものが（図-4参照）、2016年9月末現在（表-1参照）では、381万6,700BD（製油所

数：22か所）まで減少しており、これは高度化法の下、各社が燃料油内需の減退に対応するべく、製油所の閉鎖や原油処理設備の一部休止等を行った結果であると言えるだろう。

しかし、国内石油精製業全体の残油処理装置の装備率を50%程度まで向上させるという高度化法の目標と比較した場合、経済産業省により実施されたフォローアップによると、2014年3月時点の装備率が45%程度であったのに対し、2015年3月に2社が製油所の公称能力を削減したことで装備率が1～2%前後向上したのみで、その後は2016年3月まで各社の装備率に変化はなく、引き続き改善が必要な状況となっている。

2015年11月には出光興産と昭和シェル石油が経営統合に関する基本合意書の締結について、2016年8月にはJXホールディングスと東燃ゼネラル石油が経営統合契約等の締結について発表を行ったが、今後はこうした業界再編の動きの中で、装備率の向上に向けた取り組みが進められていくと考えられる。

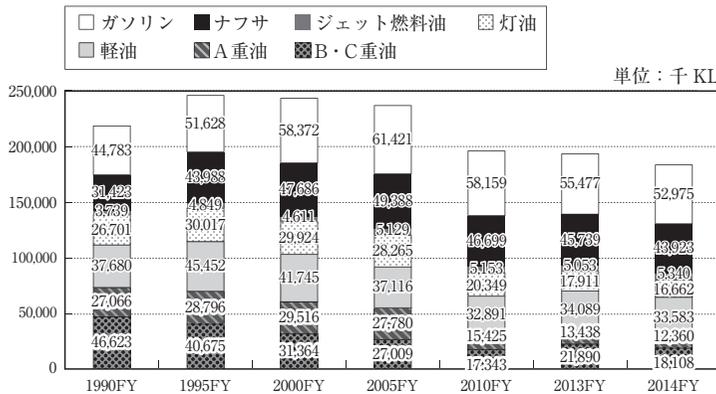


図-3 石油製品別需要の推移
※経済産業省「資源・エネルギー統計」を元に当社作成

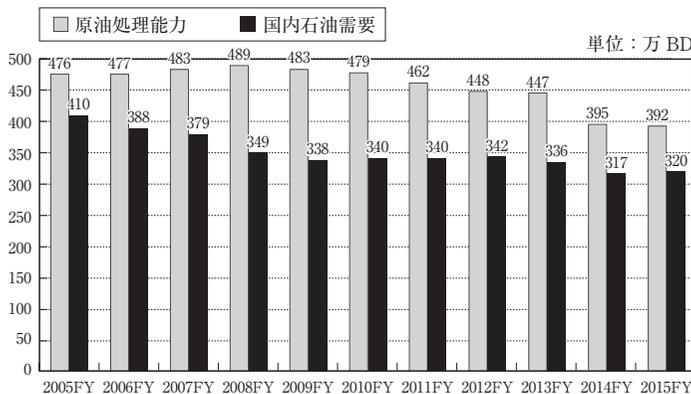


図-4 国内原油処理能力
※経済産業省「石油製品需要見通し」、各社公表情報を元に当社作成

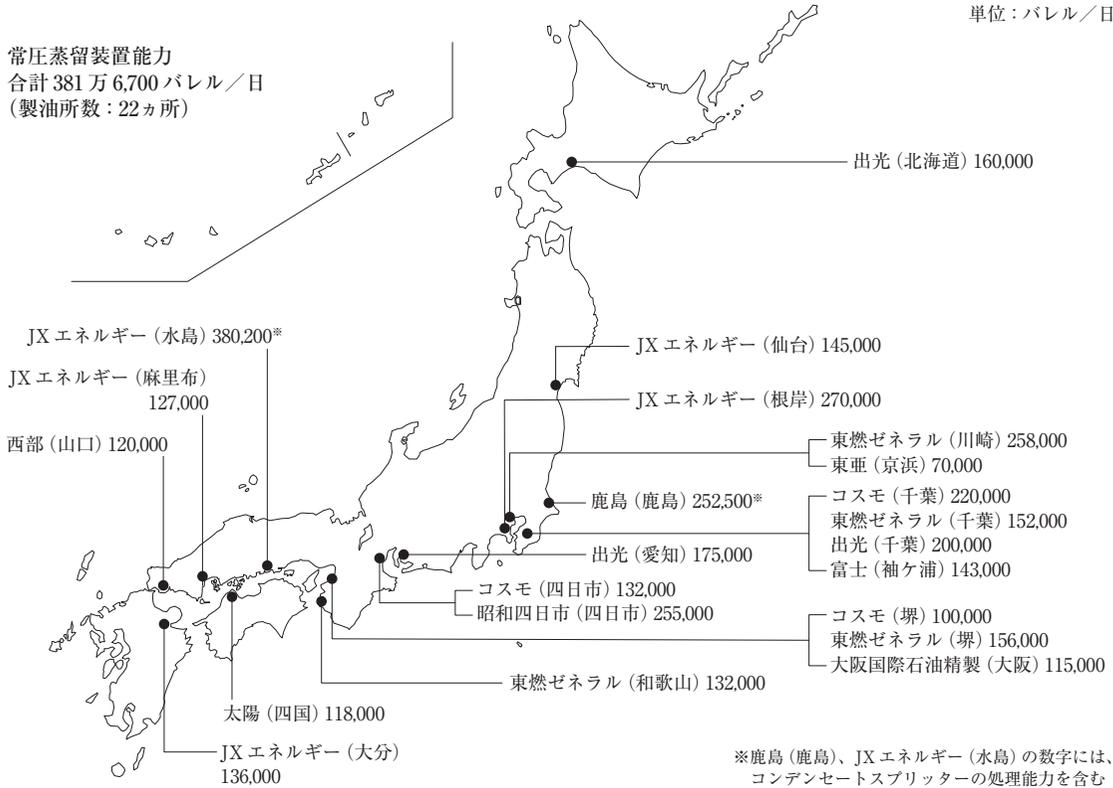
2. 道路舗装用アスファルトの需要

道路舗装用ストレートアスファルト（以下、「ストアス」と記載）は、主にアスファルト合材（以下、「合材」と記載）や改質アスファルトの原料として使用されている。

2000年度に7,096万トンあった合材製造量は、公共事業の見直しや、道路予算における橋やトンネルなどの道路設備の老朽化対策への重点配分により、道路舗装が徐々に減少し、2015年度には4,199万トン（2000年度比59%）となっている。また、ストアスの需要は、2000年度の383万トンに対して、2015年度は156万トン（2000年度比41%）と半分以下となっており、合材よりも減少幅が大きい。これは合材製造に占める再生合材の比率が増加していることが主因であり、2000年度の再生合材比率59%と比較すると、2015年度は76%と17%増加している（図-5参照）。

表-1 原油処理能力 (2016年9月末現在)

単位：バレル／日



※出所：石油連盟「製油所装置能力」

2016年度上期の合材製造量は前年比約97%と前年を下回り、ストアスの需要も合材と同様に前年割れとなっている。国土交通省は「平成28年度主要建設資材需要見通し」の中で、ストアス需要の見通しを前年比101%と発表しており、下期の需要回復を期待したい。

今後の見通しについては、道路舗装はその殆どが公共事業であり、公共事業は国の政策により左右されるため、当社は需要の将来見通しを論じられる立場にはないが、再生合材比率の更なる増加や、道路予算における橋梁・トンネル補修への重点配分の継続等により、特殊要因がない限りストアス需要は漸減していくものと予想される。また、短期的には、東日本大震災に係る舗装災害復旧工事における独占禁止法違反により、多数の道路会社が営業停止処分を受ける

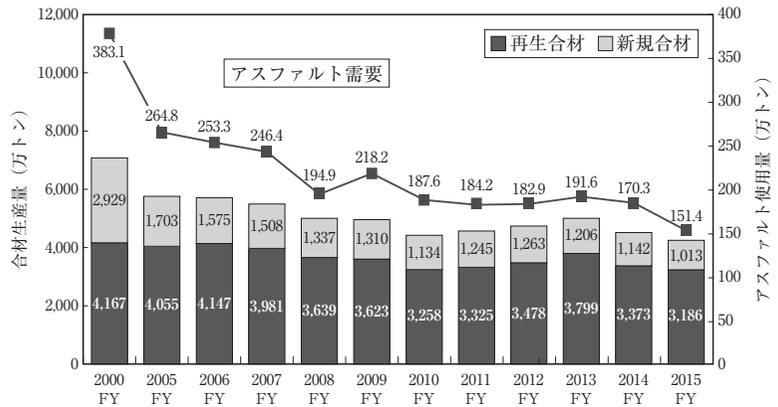


図-5 合材およびアスファルト需要推移

※石油連盟、日本アスファルト合材協会の統計資料を元に当社作成

など、ストアス需要に不透明感が増している。

そのような中、ストアス舗装事業の一端を担う石油元売の立場としては、製造 (石油元売)・流通・消費 (道路会社) が協力し、将来的なストアスの安定需要・安定供給の確保に向けて取り組んでいくべきである。

3. アスファルトの供給体制の動向

3.1 生産

高度化法新基準対応で原油処理設備能力の削減が進むことに対して、供給を不安視する向きがあるが、高度化法新基準対応後においても、年間200万トン程度の需要規模であれば、石油元売各社は十分に供給能力を有していることをお伝えしたい。これはストアスの需要減退スピードに対して、原油処理能力の削減スピードが緩やかなためである。つまり、新基準対応以後の石油元売各社の増産余力は多少低下するものの、2015年度並みのストアス需要であれば、石油元売各社はアスファルト生産に十分な能力を有している。

しかしながら、ストアス需要が将来に亘って減少し続けた場合、石油元売各社は、高度化法対応如何に関わらず、アスファルト留分の少ない軽質原油の処理増や更なる分解装置の新設によるボトムレス化（アスファルト生産減）といった方策を取る可能性があることをご認識頂きたい。

現状、石油元売各社は、ストアスを目的生産物と位置付け、需要に応じて生産するべく製油所を運転している。しかし、市況悪化や老朽化した油槽所・輸送船などの維持コスト増、需要減に伴う供給設備の固定費単価上昇等により、石油元売各社の負担は確実に増加している。ストアス需要減が続けば、近い将来、事業維持のために何らかの方策を取らなければならない局面が訪れるだろう。

そういった将来を見据え、石油元売各社は国内への供給責任を果たす一方で、流通・消費者への影響を極力軽減するために、ストアスの輸出拡大等に取り組み、供給インフラの維持を図っていることをご認識頂きたい。

3.2 輸入

ストアスの総需要に占める輸入品の割合は、2000年度では6%程度であったものが、日本市況が国際市況

と比較して良好だったこともあり、商社がタンク新設や輸入船新造を実施、輸入数量を増加させていった結果、2013年度には26%となった（表-2参照）。しかし、2014年度下期以降は、輸入品コストが日本市況に比べて割高になったため、輸入品の増加が頭打ちとなり、2015年度のスアス総需要に占める輸入品の割合は23%に低下している。今後も、国際市況と日本市況の格差、為替影響等で輸入品構成比は変動する見通しであり、動向を注視していく必要がある。

3.3 物流

前述の油槽所等の供給設備の老朽化に加え、ストアス需要減退に伴う輸送量の減少や、市況悪化に伴う運賃削減などによる収益悪化により、運送会社の廃業が散見されはじめている。一部の地域では、多数のアスファルトローリーを所有する2つの運送会社が立て続けに廃業を表明し、その対応に追われたことを思い出される関係者もいることだろう。

今後、ローリーの所有台数削減もしくは廃業を選択する運送会社が増えていく可能性は否定できず、需要期の配送に支障が出るなど、消費サイド（道路会社）、供給サイド（石油元売・販売業者）双方にとって大きな問題になりかねない。また、運転手不足、高齢化も大きな問題となっており、ローリーはあっても運転手がいらない、という状況になることも想定される。

したがって、ストアス業界全体の問題意識として共有化を図り、物流維持に向けて協力して取り組んでいく必要がある。

4. おわりに

今後も新設・補修などの道路舗装需要はなくなることはなく、我々石油元売は、国内安定供給を第一に、将来に亘ってストアス供給体制を維持していく意思があることを述べてきた。また、維持のためにはいく

つかの課題があることも述べた。繰り返しになるが、ストアス供給体制の維持のためには、生産・流通・消費の三位一体での更なる協力体制構築が必要であることを改めてご認識頂きたい。

最後に、私たち石油元売は、今後もストアス供給という社会的責任および役割を全うし、日本が道路先進国であり続けられるよう貢献していきたい。

表-2 供給方法別 道路用アスファルト需要推移

(千トン)	2000FY	2010FY	2011FY	2012FY	2013FY	2014FY	2015FY
元売販売	3,613	1,672	1,588	1,485	1,415	1,266	1,165
(構成比)	(94%)	(89%)	(86%)	(81%)	(74%)	(74%)	(77%)
商社輸入	218	204	254	344	501	438	348
(構成比)	(6%)	(11%)	(14%)	(19%)	(26%)	(26%)	(23%)
合計	3,831	1,876	1,842	1,829	1,916	1,703	1,514
(構成比)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)

※経済産業省、石油連盟、財務省のデータを元に当社作成

既設基層の耐久性改善を含めた高機能舗装の再生技術の開発

(Development of an Innovative Recycling Method for Porous Asphalt Enabling Improvement of Binder Layer's Durability)

田中 敏 弘*

高速道路における表層の70%以上が高機能舗装となっているが、高機能舗装の整備が進むに連れて、雨水による基層の剥離に起因した損傷が顕在化してきている。このため、高機能舗装下の基層の耐久性の改善が求められている。このような背景のもと、既設基層の耐久性改善を含めた高機能舗装の再生技術について検討を行い、供用路線において試験施工を実施した結果を報告するものである。

1. はじめに

NEXCOでは1990年代の初めから交通事故対策として高機能舗装I型（排水性舗装のNEXCO名称、以下「高機能舗装」という）が採用され、1998年には高速道路の表層は高機能舗装が標準工法となり、現在では高速道路の表層全体の約70%が高機能舗装となっている。しかしながら、表層の切削オーバーレイを主体とした高機能舗装化を進めた結果、雨水の浸透に伴う基層混合物のアスファルトの剥離に起因した路面の局部的な不具合（写真-1および写真-2）が散見され、基層混合物の改善が求められている。このような背景のもと、既設基層混合物の耐久性改善を含めた高機能舗装の再生技術の開発に向けた検討を実施した。

以下には、鹿島道路㈱とNEXCO総研による二社の数年にわたる共同研究の成果を述べる。

2. 開発の基本方針

現地で発生した切削材を現位置に戻すことを基本コンセプトとした「2層式路上表層再生工」の開発を目指すこととした。具体的には、現地で発生した切削材を再利用するためのプラント（サテライトプラント）を近隣の用地内に仮設し、基層についてはここで再生された補足材（粒径5～0mm）を加えて路上表層再生工法（リミックス方式）による再生を図る。一方、表層はサテライトプラントの別ルートで再生されたポーラスアスファルト混合物を用いることで基層を含



写真-1 基層の剥離に伴う不具合（ポンピング）



写真-2 基層の剥離に伴う不具合（砂利化）

*たなか としひろ 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室 主任研究員

めた高機能舗装を再生することを基本方針とした。再生システムのイメージを図-1に示す。

3. 再生アスファルト混合物の検討

再生アスファルト混合物は、新規アスファルト混合物と同程度の耐久性を有することを目標として、表-1

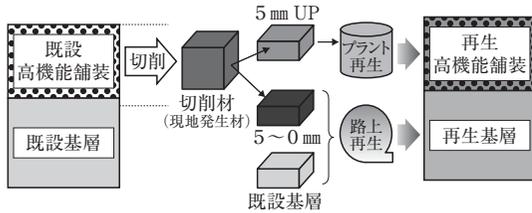


図-1 再生システムのイメージ

表-1 再生混合物の目標性能

混合物の種類	性能	評価法	性能指標	目標性能値
再生高機能舗装用混合物	透水性	定水透過試験	透水係数	$1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 以下
	耐流動性	ホイールトラッキング試験	動的安定度	3,000回/mm以上
	骨材飛散抵抗性	カンタプロ試験 (0°C)	損失率	新材と同等以上
	ひび割れ抵抗性	曲げ試験	破断ひずみ	新材と同等以上
再生基層用混合物	水密性	加圧透水試験	透水係数	新材と同等以上
	耐流動性	ホイールトラッキング試験	動的安定度	1,000回/mm以上
	剥離抵抗性	水浸ホイールトラッキング試験	剥離面積率	5%以下

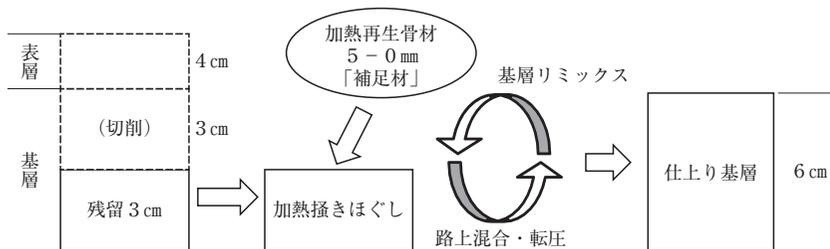


図-2 再生基層混合物の概念図

に示す性能を基に検討を行った。

3.1 再生高機能舗装混合物

再生高機能舗装混合物の検討には、供用路線より採取した再生骨材および本研究により開発した再生高機能舗装用の再生バインダを使用した。

これらの材料により、再生骨材配合率を変化させて各種室内試験を実施した結果、再生骨材配合率が70%以下であれば、表-1に示す目標性能を得られることがわかった。

3.2 再生基層混合物

再生基層混合物は、既設高機能舗装4cmと既設基層3cmを同時切削した切削材を分級した5mm以下の再生骨材をベースとした。これをサテライトプラントにおいて加熱製造したものを基層3cm分の「補足材」とみな

した。さらに、現位置に残った基層の3cm部分とこの補足材による路上再生をもって基層リミックスとして位置付けた。再生基層混合物の概念を図-2に示す。

再生用添加剤の添加は、増加に伴い不透水性が向上（図-3）し、動的安定度が低下（図-4）する傾向を示す。路上再生工法の場合、再生用添加剤の添加量は混合性の観点から必要最小限にとどめるのが望ましく、4%が適量と判断した。

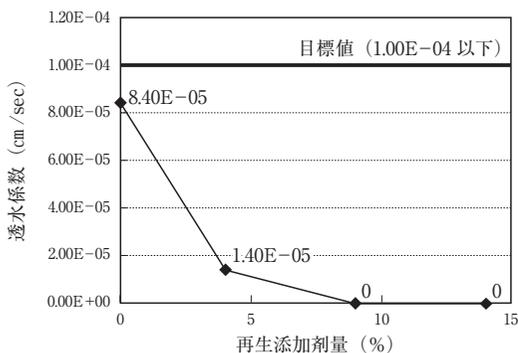


図-3 再生添加剤量と透水係数の関係

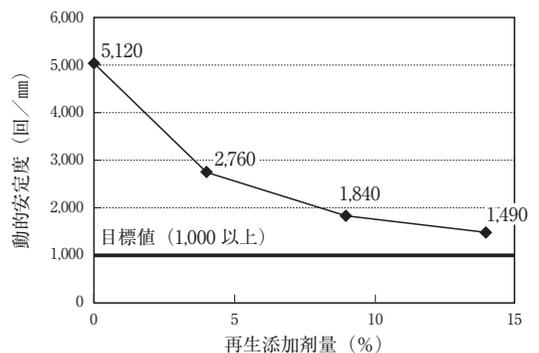


図-4 再生添加剤量と動的安定度の関係

4. 回転式舗装試験による評価

再生高機能舗装および再生基層の耐久性を確認するため、(株)高速道路総合技術研究所が保有する回転式舗装試験機(写真-3)による試験を実施した。供試体は図-5に示す舗装構成とし、高機能舗装体内は散水による飽和状態、路面温度50℃、輪荷重5tの条件とした。試験結果を図-6および図-7に示す。

わだち掘れ量(図-6)は、新規混合物と比較すると再生混合物のほうが小さい。また、基層の剥離状況(図-7)についても新規混合物と比較して再生混合物は剥離が少ない。

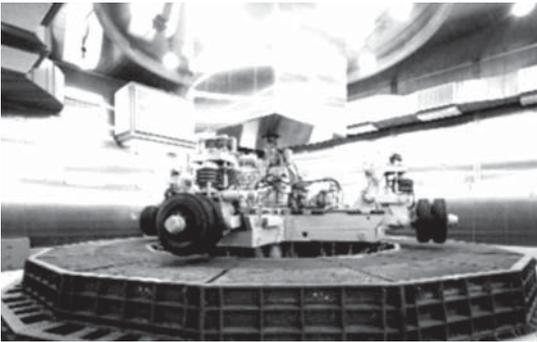


写真-3 回転式舗装試験機

A断面		B断面
新規高機能舗装	4 cm	再生高機能舗装
新規基層	6 cm	リミックス基層
新規上層路盤	8 cm	新規上層路盤

図-5 回転式舗装試験の供試体舗装構成

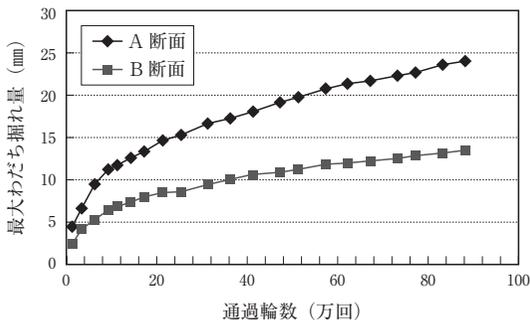


図-6 回転式舗装試験結果(わだち掘れ)

	A断面(新材)	B断面(再生)	
供試体断面写真			} 表層 } 基層
剥離状況判定画像			

図-7 回転式舗装試験結果(基層の剥離状況)

これらをまとめると、新規混合物と比較して再生混合物のほうが耐久性に優れる結果となった。前者についてはアスファルトが劣化して硬くなったため、塑性変形が小さくなることが考えられる。後者については骨材骨格の緩みが少なく、水の基層内への浸透が少なくなることや、再生骨材は長期間アスファルトが被膜されていたため、骨材とアスファルトの親和性が高まり、剥離しにくくなることがあげられる。これらのメカニズムについては今後明確にしていく必要がある。

5. 本線試験施工

5.1 試験施工概要

試験施工は、北関東自動車道(壬生IC~都賀IC)で実施し、施工規模は延長70mで、うち再生基層は62mで前後6mと2mのすり付け区間を設けた(図-8)。これは、再生基層上の表層に人力作業区間が掛からないための配慮である。

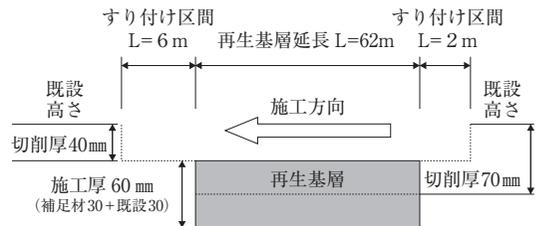


図-8 本線試験施工の縦断模式図

5.1.1 施工フロー

試験施工は、図-9に示す手順で行った。

本工法は、サテライトプラントにより再生高機能舗装混合物および再生基層混合物の補足材を製造することを前提としている。

しかし、試験施工時点ではサテライトプラントを製作してないため再生高機能舗装混合物の製造は、再生アスファルト混合物の製造が可能な近隣の常設のアスファルトプラントを使用した。

また、再生基層混合物用の補足材は、グースアス

ファルトの運搬に使用するアスファルトクッカ車により加熱・混合を行った。

5.1.2 施工体制

再生高機能舗装および再生基層の施工は、大きく分けて「切削ステージ」「基層再生ステージ」「再生高機能舗装材敷ならしステージ」の3つのステージに分けられる。施工体制のイメージを図-10に示す。

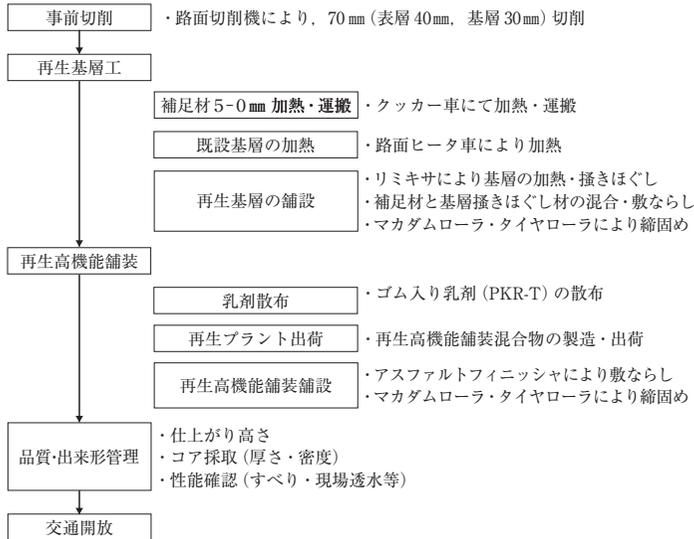


図-9 本線試験施工の流れ

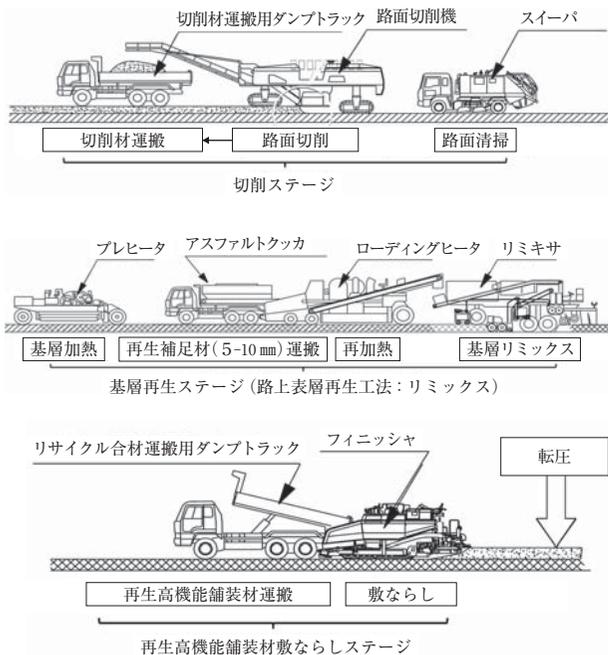


図-10 施工体制のイメージ

5.2 試験施工結果

5.2.1 再生基層

再生基層の施工状況を写真-4に示す。アスファルトクッカ車により、補足材をローディングヒータを経由しリミキサのホッパに投入し、既設基層を掻きほぐしながら補足材と混合し敷ならした。その後、マカダムローラおよびタイヤローラにて締固めた。比較用の新規基層については、予め既設基層を切削し、リミキサをアスファルトフィニッシャの代替えとして敷ならした。

再生基層の締固め度は、新規基層と同様に99%以上を確認し、新規基層と同等程度の締固めが可能であることが確認できた。

5.2.2 再生高機能舗装

再生高機能舗装の施工は、再生プラントから出荷した再生高機能舗装混合物を通常のアスファルトフィニッシャで敷ならし、マカダムローラおよびタイヤローラで締固めることとした。これは、通常の新規高機能舗装と同一である。

再生高機能舗装の施工性には問題が無いことが確認できた。

6. 供用性の確認

試験施工箇所において、供用2年後の性状を調査した。

調査は、施工直後・供用半年後・供用1年後・供用2年後の4回実施し、経年変化を確認した。調査結果を図-11および図-12に示す。

すべり抵抗値については、施工直後から半年後にかけて大きくなり、その後、高水準を維持している。これは、施工直後はアスファルトの被膜が骨材全体をしっかりと覆っているが、供用後は通行車両により表面のアスファルト被膜が乱されるためすべり抵抗値が上昇したものと思われる。また、近接する新規高機能舗装のすべり抵抗値ともほぼ同一の値を示している。

浸透水量について、施工直後から供用2年後にかけて、流速がやや遅くはなっているが、流下時間が5秒程度であり、排水機能としては良好である。

わだち掘れ進行量について図-13に示す。再生高機能舗装のわだち掘れ量は経年毎に進



写真-4 再生基層の敷ならし状況

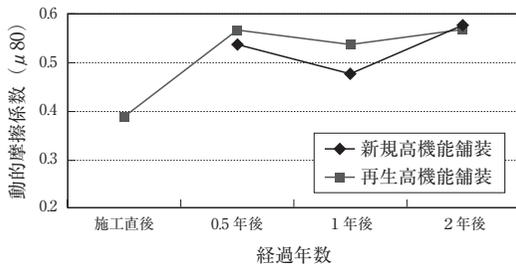


図-11 すべり抵抗値の経年変化

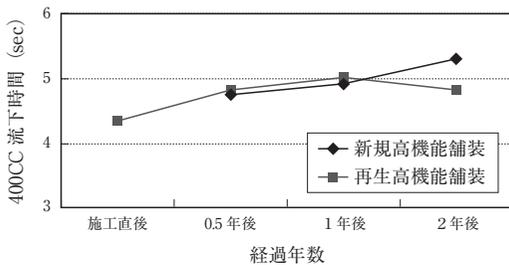


図-12 浸透水量の経年変化

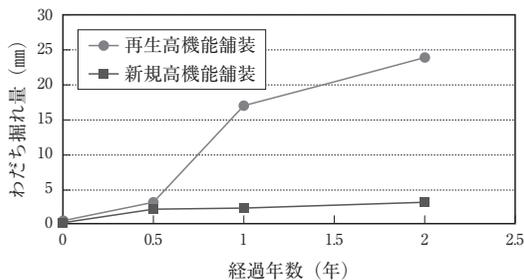


図-13 供用後のわだち掘れ進行量

行しているが、近接する新規高機能舗装はほとんど変化がない。これは、試験施工区間の軌道部の下層路盤が圧密により沈下した可能性があり、再生したことによる不具合ではないと思われる。

7. まとめ

本研究により以下の成果が得られた。

- (1) 再生基層は、リミックス方式による路上再生工法を採用し、既設高機能舗装および基層の切削材を5-0mmに分級して加熱した補足材を混合することにより、新規基層と同等の水密性および耐塑性変形性能を確保できることが確認できた。
- (2) 再生高機能舗装は、既設高機能舗装と基層の切削材を13-5mmに分級した再生骨材を使用することにより、再生骨材配合率70%までであれば、有効な空隙率を確保し、新規高機能舗装と変わらない透水係数と耐久性を保ちつつ、良好な状態で施工できることが確認できた。
- (3) 上記工法を採用することにより、2年間は新規高機能舗装と同等の性能を確保できることが確認できた。

8. おわりに

本研究により、既設の高機能舗装および基層を用い、基層をリミックス方式による路上再生工法、表層をプラント再生方式を採用することにより目標としていた発生材を80%以上再利用できることが確認できた。

これは、再生骨材を13-5mmと5-0mmの2種類に分級し、13-5mmは開粒度の高機能舗装に、5-0mmは水密性を目指した基層にと、それぞれ必要となる部位に振り分けることが、効率のかつ効果的に再生利用できることにつながったと考える。加えて、これまで高機能舗装のみの再生工法で課題となっていた分級した切削材の5-0mmの再利用が可能となった。また、既設の基層を現位置で再生するリミックス工法の採用により、発生材を場外へ搬出する量の縮減となるため、再生プラントにおけるストックヤードの縮小も可能である。

今回の試験施工は、サテライトプラントが現時点で開発されておらず、やむを得ず近隣の常設アスファルトプラントを代用したため、通常使用している材料とは別に専用のストックヤードを準備しなかった。このため、少量の切削材しか使えずに大規模な施工が出来なかったが、今後、当該工法専用のサテライトプラントを開発し運用することにより、工事の拡大が望めるため、更なる再生資源の有効活用につながると考える。

最後に、本研究にご協力いただいたNEXCO東日本関東支社の市原管理事務所(切削材の提供)、加須管理事務所(本線外試験施工)、宇都宮管理事務所(本線試験施工および追跡調査)に深く感謝いたします。

積雪寒冷地の高規格幹線道路における表層混合物の検討 —北海道型SMAの開発—

(Study on Asphalt Paving Mixture of Arterial High-Standard Highway of Cold, Snowy Regions -Development of Hokkaido -Type SMA-)

田中俊輔*・安倍隆二**・丸山記美雄***・木村孝司****

国土交通省北海道開発局では、走行安全性の向上等を期待し、高規格幹線道路を中心に排水性舗装を採用してきた。しかし、耐久性の観点から、問題が散見されている。我が国の積雪寒冷地は、舗装にとって非常に過酷な環境であり、ポットホールなどの破損が生じるため、耐久性向上が課題となっている。このような背景から、「積雪寒冷地における舗装技術検討委員会」において、北海道型SMAと名付けられた混合物の適用が提案された。本報告では、北海道型SMAが有する機能や施工、品質管理などについて紹介する。

1. はじめに

国土交通省北海道開発局では、高規格幹線道路を中心に、排水性舗装を採用してきた。排水性舗装は、雨天時の走行安全性の向上やタイヤ/路面音の発生抑制などの機能を有する。また、冬期路面管理においても、氷膜（ブラックアイス）路面時のすべり抵抗を確保する効果も確認されている¹⁾。しかし、耐久性の観点から、問題が散見されるようになった。北海道など我が国の積雪寒冷地は、除雪車の鋼製ブレードやタイヤチェーンによる摩耗、低温、融雪水の凍結融解作用などの影響を受けるため²⁾、舗装にとって非常に過酷な環境となる。そのため、走行部や橋梁ジョイント部などにポットホールや骨材飛散といった破損が生じ、補修作業などの路面管理費用に負担が生じている（写真-1）。さらに、排水性舗装の排水機能確保の観点から、すべり止め材散布は望ましくないため³⁾、冬期路面管理においても、凍結防止剤の散布量が増加するなど負担が生じている。

このような背景から、平成22年に産官学からなる「積雪寒冷地における舗装技術検討委員会」（北海道開

発局主催）が設立され、積雪寒冷地に必要な走行安全性や耐久性などの性能を満足する表層用アスファルト混合物の検討が行われた。寒地土木研究所も参画し、試験、調査、研究を行っている。その成果のひとつとして、北海道型SMAと名付けられた混合物の適用が提案され、北海道開発局が管理する高規格幹線道路を中心に、一般国道においても施工実績が増加し、その工事数は100を超えている（平成28年9月現在）。また、「北海道型SMAの施工の手引き（案）」⁴⁾も公表され、2000件近いダウンロード件数となっている（平成28年9月現在）。

本報告では、北海道型SMAが有する機能や施工、品質管理などについて整理し、紹介する。



写真-1 排水性舗装の破損状況

*たなか しゅんすけ 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 研究員

**あべ りゅうじ 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 主任研究員

***まるやま きみお 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 総括主任研究員

****きむら たかし 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 上席研究員

2. 北海道型 SMA の概要

北海道型 SMA は、粗い路面テクスチャ（マクロテクスチャ）による走行安全性の機能をもちつつ、優れた耐久性も併せ持つことをコンセプトに開発された表層用アスファルト混合物である。写真-2や図-1に示すように、北海道型 SMA は粗い路面テクスチャを有しつつも、内部を SMA のような密実な構造にすることにより、十分な耐久性も併せ持つように開発された。

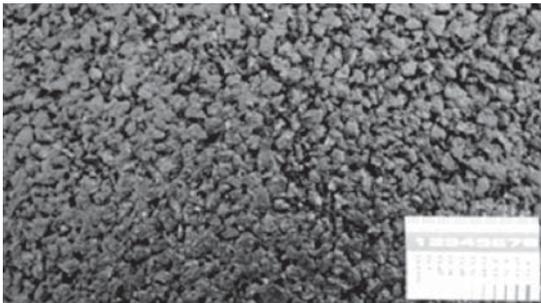


写真-2 北海道型 SMA の表面

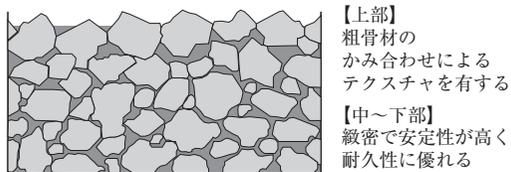


図-1 北海道型 SMA の構造

北海道型 SMA において、機能の面では、十分な路面テクスチャを確保することが必要であるが、一方で、耐久性を確保するために、十分な締固めを行う必要がある。

そのため、北海道開発局では、北海道型 SMA の出来形管理に路面テクスチャの規格値を設けている。また、締固め度の目標値を100%と設定している（規格値は、他の表層用アスファルト混合物と同様に設定）。

しかし、路面テクスチャと締固め度は逆相関の関係にあるなど⁵⁾、北海道型 SMA は材料の選定、配合設計、施工の各段階において様々な留意点がある。

3. 北海道型 SMA の施工

北海道型 SMA の施工には、材料の選定、配合設計、施工の段階において様々な留意点がある。特に、混合物製造から舗設までの温度・施工管理が重要であり、所定の路面テクスチャを満足し、かつ適切な締固めを行うことで高い耐久性が得られるよう、留意する必要がある。

ここでは、材料（植物性繊維の効果）、施工、品質管理・出来形管理について、これまで得られた知見を報告する。

3.1 材料（植物性繊維の混合）

北海道型 SMA の施工の手引き（案）では、植物性繊維を使用することを標準としており、植物性繊維の添加量は重量比で、全体重量に対して0.3%（外割）を標準としている。これは、室内試験や試験施工の結果から、植物性繊維を混入することで、耐久性向上、施工性向上などの効果が期待できることが確認されたためであり、以下に、植物性繊維を混合することによる効果の詳細を述べる。

3.1.1 最適アスファルト量

北海道型 SMA の材料や配合設計は、アウトバーンなどで SMA の施工実績を多く有するドイツの推奨配合率を参考としており、ドイツにおいても植物性繊維を混合することが一般的となっている⁶⁾。

図-2に、平成24年度に行われた試験施工箇所（名寄美深道、深川留萌道、函館新道）の最適アスファルト量を示す。なお、この試験施工では、耐久性や路面テクスチャを確保しやすいポリマー改質アスファルトⅡ型（以下、Ⅱ型）に植物性繊維を混合したもの（以下、繊維有り）と、混合していないもの（以下、繊維無し）、ポリマー改質アスファルトH型（以下、H型）で植物性繊維を混合したものについて検討した。

Ⅱ型繊維有りとⅡ型繊維無しを比較すると、植物性繊維を混合した影響により、アスファルト量はⅡ型繊維有りが0.1～0.4%高い値となる。したがって、植物性繊維を混合することにより、耐久性の向上に必要なアスファルト量を確保することが可能になると考えられる。

また、H型繊維有りとⅡ型繊維有りを比較すると、H型繊維有りが0.1～0.3%高い値となった。これは、H

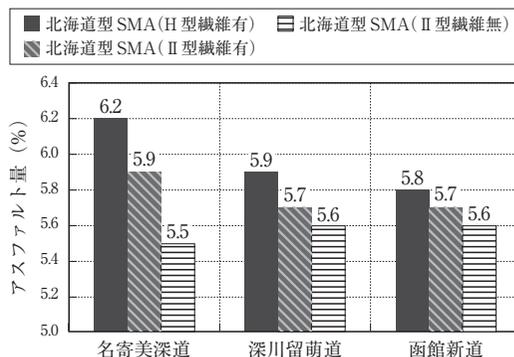


図-2 北海道型 SMA の最適アスファルト量

型がⅡ型より粘度が高い影響と考えられ、耐久性の向上に寄与すると考えられる。

3.1.2 低温カンタプロ試験

本試験は、ポーラスアスファルト混合物の骨材飛散抵抗性を評価するために行われるもので、低温カンタプロ損失率が低いほど耐久性が高いと考えられる。なお、試験方法は、「舗装調査・試験法便覧B010 カンタプロ試験方法」⁷⁾による。試験条件は、試験温度、供試体温度ともに-20℃とした。平成24年度に行った試験施工による、低温カンタプロ試験の結果を図-3に示す。

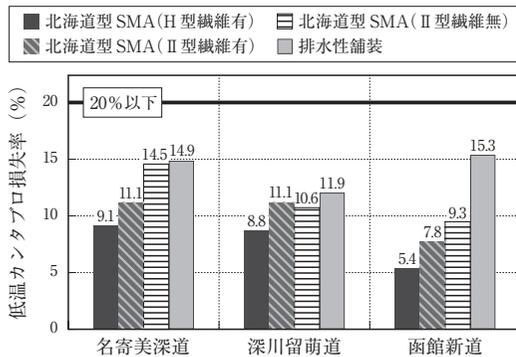


図-3 北海道型SMAの低温カンタプロ損失率

北海道型SMAのⅡ型およびH型繊維有りは、繊維無しと比較して、低温カンタプロ損失率が低い傾向がある。したがって、植物性繊維を混合することにより、耐久性の向上が期待される。また、H型繊維有りは、Ⅱ型繊維有りとⅡ型繊維無しよりも低温カンタプロ損失率が低い。これはH型繊維有りの最適アスファルト量がⅡ型よりも多いことや、高粘度であることによりアスファルトの把握力が高く、骨材飛散抵抗性が向上したと考えられる。

排水性舗装では、低温カンタプロ損失率の規格値として20%以下と定められている。試験結果より、北海道型SMAは、排水性舗装と比較して骨材飛散抵抗に優れており、さらに、植物性繊維を添加することで、骨材飛散抵抗性が向上すると考えられる。

3.1.3 ダレ試験

ダレとは、本来は粗骨材の周りに厚く被膜しているべきアスファルトモルタルが、温度が高く粘性が低くなることや運搬時の振動により、骨材の周りに被膜することができずに分離し、下部に溜まる現象である。ダレが発生すると、その混合物は不均一な状態になり、十分な性能や耐久性を発揮することができない。

北海道型SMAは粗骨材主体の粒度構成であるため、密粒度アスファルト混合物に比べて、アスファルトモルタル分のダレが発生しやすい傾向がある。また、高い混合物温度での施工が要求されるが、そのために混合温度を高くしすぎると、写真-3のようにダレが発生し、写真-4に示すように混合物が不均一になった例もある。そのため、ダレ試験を行い、室内配合で作製した各アスファルト混合物のダレ量を確認した。



写真-3 ダレが発生し、荷台にアスファルトモルタルや混合物が付着した状況

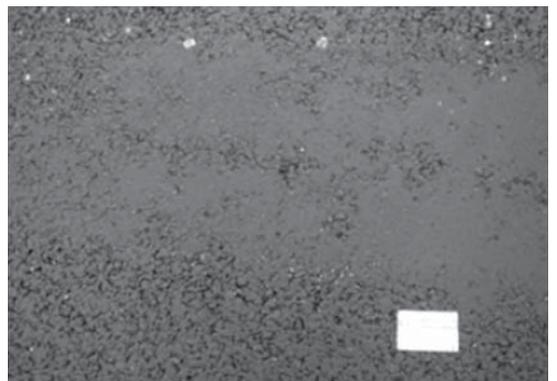


写真-4 ダレによってアスファルトモルタル分が浮き出し、舗装表面がフラッシュした状況

表-1に試験条件を示す。なお、試験方法は「舗装調査・試験法便覧B009 ダレ試験方法」⁷⁾による。図-4に試験施工で用いた混合物のダレ試験の結果を示す。なお、この結果は、北海道開発局の河川・道路工事仕様

表-1 ダレ試験の条件

	試験方法	備考
ダレ量	ダレ試験方法 舗装調査・試験法便覧B009	・設定したAs量で実施 ・試験温度は最適混合温度と185℃の2条件

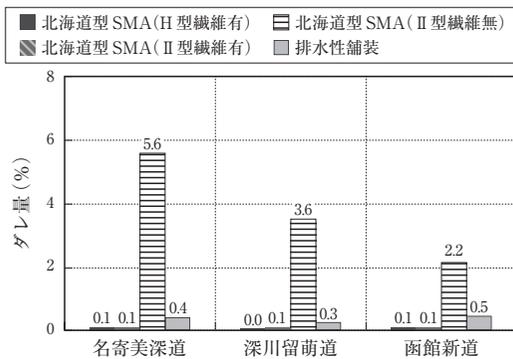


図-4 試験温度185℃時のダレ試験結果

書におけるアスファルト混合物の混合温度上限値である185℃を試験温度に設定して行ったものである。

II型纖維無しのダレ量が多くなり、一方で植物性纖維を混合した混合物は、ほぼダレが見られなかった。このことから、植物性纖維を混合することで、北海道型SMAはダレが発生しにくくなり、耐久性等の品質が安定し、施工性も向上すると考えられる。しかし、寒冷期施工など、混合温度を高めて出荷する場合は、極力温度低下を生じないように保温対策を講じて運搬するなど、ダレの発生に対して、十分に留意する必要がある。

3.2 施工

3.2.1 施工(転圧)の例

北海道型SMAは、準備作業、施工時の温度管理、転圧方法などにより品質に大きな影響を受ける混合物であることから、施工にあたっては、乳剤散布、敷ならし、転圧などにおいて、十分な検討が必要である。

これまでに行った試験施工における転圧機械の転圧回数と目標温度の例を表-2に示す。使用した施工機械について、初転圧には十分な密度を得るために線圧の大きいマカダムローラを用い、高い温度で

締固めた。2次転圧には線圧が低いタンデムローラを使用することで路面テクスチャを確保し、締固め度と平坦性を高めた。仕上げ転圧にはタイヤローラを使用している。

3.2.2 転圧が品質に与える影響

当研究所が所有する苫小牧寒地試験道路において、北海道型SMAの試験舗設を行った(写真-5)。複数の転圧条件を設けて舗設し、締固め度と路面テクスチャの関係から、転圧が品質に与える影響について検討した。

舗装厚さは4cmで既設のアスファルト舗装上に施工し、既設路面の条件は同一とした。転圧条件を表-3に示す。転圧条件として、転圧なし(アスファルトフィニッシャーによる敷ならしのみ)、マカダムローラによる転圧のみ(3回, 11回)、最も施工例が多いマカダムローラによる初期転圧とタンデムローラによる2次転圧およびタイヤローラによる仕上げ転圧、水平振動ローラ(起振力105kN, 振動数51.6Hz)を使用した転圧の5条件を設定した。



写真-5 試験舗設の状況

表-3 試験舗設の転圧条件

表-2 転圧機械、転圧回数および転圧温度の例

A	転圧機械	マカダム10t	タンデム6t級	タイヤ8-12t
		6回	6回	6回
	目標温度	155 ± 5℃	130 ± 10℃	70 ± 10℃
B	転圧機械	マカダム10t	タンデム6t級	タイヤ8-12t
		6回	6回	2回
	目標温度	155 ± 10℃	130 ± 10℃	80 ± 10℃
C	転圧機械	マカダム10t	タンデム6t級	タイヤ8-12t
		6回	6回	4回
	目標温度	155 ± 5℃	130 ± 10℃	70 ± 10℃

条件	初期転圧 (目標温度 160 ± 10℃)	2次転圧 (目標温度 130 ± 10℃)	仕上げ転圧 (目標温度 70 ± 10℃)
A	転圧無し (敷ならしのみ)	-	-
B	マカダムローラ (10t) 3回	-	-
C	マカダムローラ (10t) 11回	-	-
D	マカダムローラ (10t) 7回	タンデムローラ (6t) 7回	タイヤローラ (10t) 3回
E	水平振動ローラ (6t) 無振動1回	水平振動ローラ (6t) 有振動6回	タイヤローラ (10t) 3回

測定項目は、CTメータを用いて測定したMPD (Mean Profile Depth)⁷⁾、舗設後にコア抜きして測定した締固め度⁷⁾であり、すべて同じ位置で測定した。

図-5にMPDと締固め度の関係を示す。各転圧方法により、MPDは約0.6～2.0mm、締固め度は約89～101%の間で分布した。また、MPDと締固め度には、高い相関がある。両者の関係は負の傾きであり、逆相関の関係にあることが確認できる。そのため、表面機能を高めるために路面テクスチャが大きくなる施工を行うと密度・締固め度が低下し、耐久性に影響する可能性がある。

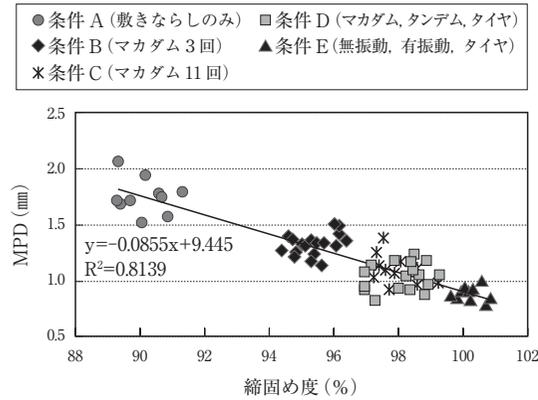


図-5 MPDと締固め度の関係

北海道型SMAは汎用性のある一般的な施工機械で転圧を行うことができる。しかし、転圧は北海道型SMAの品質に影響を与え、かつ品質・出来形管理項目のひとつである路面テクスチャと締固め度が逆相関の関係であることから、転圧温度や機械および回数など、適切な転圧方法について十分検討する必要がある。

3.3 品質管理・出来形管理

北海道型SMAの施工の手引き(案)では、品質管理について、締固め度の規格値は96%以上(10箇所での平均値、個々の測定値は94%以上)としている。しかし、

前述のように、締固め度が低下すると路面テクスチャは大きくなるが、耐久性は低下する可能性があるため、目標値は100%としている。

出来形管理の項目のうち、路面テクスチャの規格値、測定方法、測定頻度は、表-4に示すとおりである。

測定方法は、CTメータやMRP(マルチロード・プロファイラ)のいずれかで測定することとしている。従来、路面テクスチャの測定方法として、サンドパッチング方法⁷⁾が多用されてきた。しかし、サンドパッチング方法による測定は、人的誤差に影響される性質がある⁸⁾。一方で、CTメータやMRPはサンドパッチング方法と比べて人的誤差の影響が少ないため、これらを用いることで客観性が保たれると考えられる⁸⁾。

また、表-4に示した北海道型SMAの出来形の規格値は、これまでの施工箇所での測定した実測データに基づいて設定したものであるが、今後さらにデータが蓄積された段階で適宜検討を行うことが必要と考えられる。

4. 北海道型SMAの走行安全性

北海道型SMAは、路面に粗いきめ深さを有し、雨天などの湿潤路面時や冬期の凍結路面時に、車両の走行安全性を確保する効果が期待される。ここでは、高規格幹線道路や苫小牧寒地試験道路の試験施工区間において、北海道型SMAが有する走行安全性の機能を検証した。

4.1 湿潤路面(雨天)時の視認性

まず、高規格幹線道路の試験施工区間(函館新道)において、日中の湿潤路面時の視認性を確認した。写真-6に、函館新道における雨天時の路面状態を示す。北海道型SMAは、密粒度アスファルト混合物13Fと比較して、ウォータースプレー(水けむり)が少ないことがわかる。なお、調査時の降雨量は5mm/h程度であったが、より降雨量が多い場合は、北海道型SMAは透水機能を有していないことから、排水性舗装と比

表-4 出来形管理の項目と規格値

測定項目	規格値	測定(試験)方法
路面テクスチャ (きめ深さ)	測定箇所における測定値の平均が0.9mm以上 ※CTメータの場合は20箇所以上の平均値、MRPの場合は10mごとのデータを平均する。	(CTメータ) 回転式きめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法、「舗装調査・試験法便覧」S022-2T (MRP) レーザ式連続きめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法

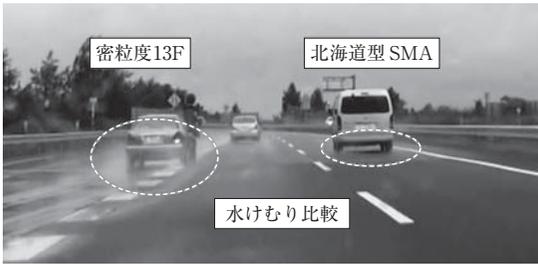


写真-6 試験施工区間における湿潤路面時の視認性

較して、性能が低下する場合も考えられる。

次に、夜間の湿潤路面時の視認性を確認するために、苫小牧寒地試験道路に施工された北海道型SMAにおいて試験を行った。試験当時は1mm/h程度の降雨があった。

写真-7に、対向車のライト点灯時と消灯時の路面状況を示す。対向車のライト点灯時におけるグレアと自転車ライトによる視認性を確認した。北海道型SMA

と排水性舗装は、密粒度アスファルト混合物13Fに比べて、対向車ライトによるグレア(まぶしさ)が少なく、自転車ライトによる路面の明るさは上回っているように見える。輝度計を用いて、輝度を測定すると、図-6および図-7に示すように、そのような傾向が明確に確認された。したがって、北海道型SMAは密粒度アスファルト混合物13Fと比べて、湿潤路面時の視認性に優れることを確認した。

4.2 凍結路面時のすべり抵抗性

苫小牧寒地試験道路において、人為的に散水し、湿潤、ブラックアイス(氷膜)路面、氷板路面を作製し、バス型すべり試験車によってすべり摩擦係数を測定した。

図-8に測定結果を示す。初冬期に多く見られる、ブラックアイス状態の路面においては、北海道型SMAは排水性舗装とほぼ同等のすべり抵抗値を確保することを確認した。また、湿潤、氷板の路面状態において、北海道型SMAは、排水性舗装、密粒度

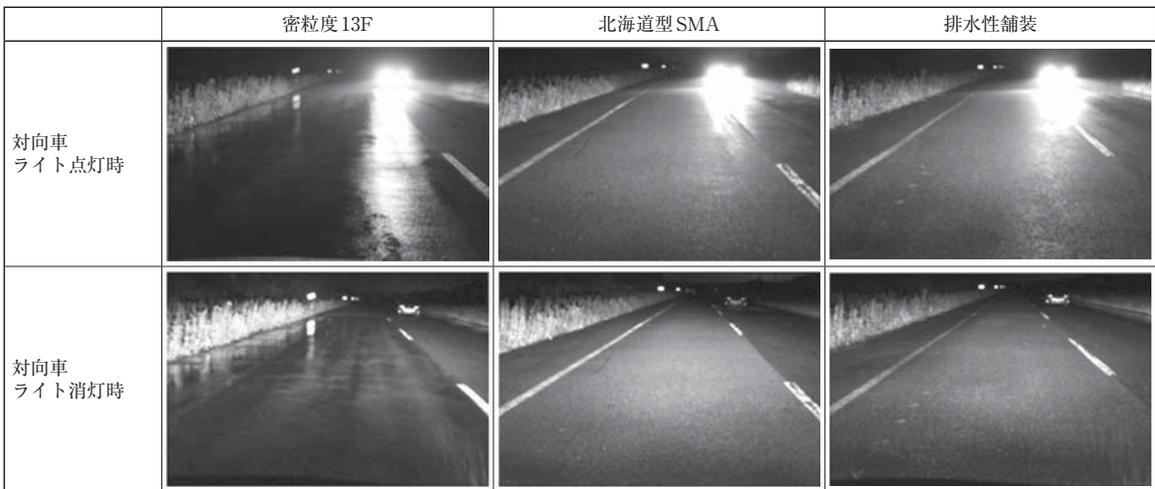


写真-7 夜間湿潤路面時の視認性

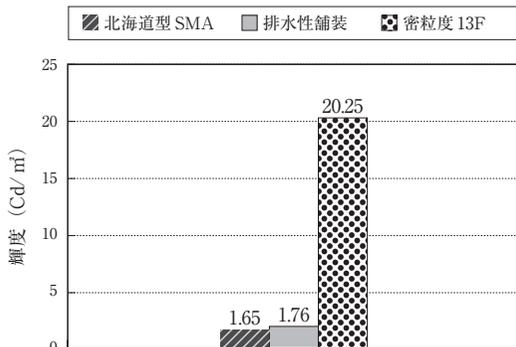


図-6 対向車ライトの反射測定結果

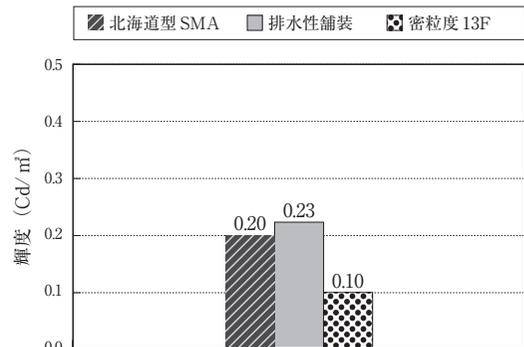


図-7 自転車ライトの反射測定結果

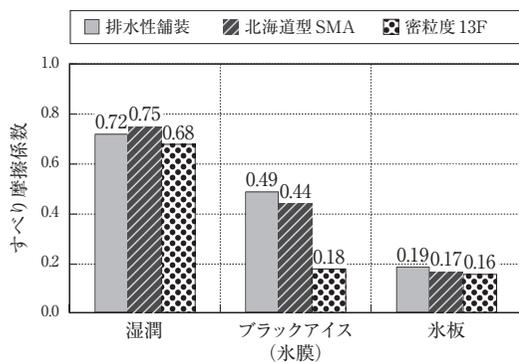


図-8 各路面状況におけるすべり抵抗値

アスファルト混合物13Fとほぼ同様な結果であった。したがって、北海道型SMAは、排水性舗装と同様に、凍結路面対策としての効果も有していることが確認できた。

5. おわりに

本研究において、排水性舗装に代わる積雪寒冷地の高規格幹線道路用の表層用混合物として、北海道型SMAを提案した。北海道型SMAは、改質アスファルトを使用することで、路面テクスチャによる走行安全性の機能と、排水性舗装に比べて高い耐久性を有することを確認した。また、植物性繊維を添加することで、品質の確保や施工性の向上が可能になることを確認した。

今後、長期耐久性の検証やライフサイクルコスト分析、機能や品質の向上などに関する研究を進める必要がある。また、現状では、高規格幹線道路にとどまらず、一般道においても適用されているが、これらの箇所でも所定の耐久性が十分に確保されるよう、多くの箇所でも追跡検証していき、その結果をフィードバックして技術を高める必要がある。

参考文献

- 1) 田中俊輔, 武市靖, 増山幸衛, 高橋尚人: 凍結路面のすべり抵抗特性および凍結抑制効果の定量的評価方法に関する研究, 土木学会論文集E1(舗装工学), Vol. 67, No.1, pp.53-64, 2011.
- 2) 丸山記美雄, 安倍隆二, 熊谷政行: 融雪期に発生する舗装の損傷実態と損傷のメカニズム, 第57回北海道開発技術研究発表会, 2014.
- 3) 田中俊輔, 安倍隆二, 高橋尚人, 武市靖, 木村孝司: すべり止め材散布が粗面系舗装の性能に与える影響と散布効果に関する研究, 土木学会論文集E1(舗装工学), Vol. 71, No.3(舗装工学論文集第20巻), pp.I_39-I_46, 2015.
- 4) 積雪寒冷地における舗装技術検討委員会: 北海道型SMAの施工の手引き(案), 2014.
- 5) 田中俊輔, 安倍隆二, 亀山修一, 丸山記美雄: 北海道型SMAの転圧方法および品質に関する研究, 土木学会論文集E1(舗装工学), Vol.71, No.3(舗装工学論文集第20巻), pp.I_119-I_126, 2015.
- 6) Krzysztof Blazejowski: Stone Matrix Asphalt ~ Theory and Practice~, CRC Press, 2011.
- 7) (公社)日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧 第1分冊, 第3分冊, pp.104-116, 2007.
- 8) 田中俊輔, 磯田卓也, 木村孝司: 北海道型SMAの施工技術について, 第58回北海道開発技術研究発表会, 2015.

CO₂排出削減を目指したアスファルト混合物の評価

(Evaluation of the Developed Asphalt Mixtures for Reducing CO₂ Emissions)

川 島 陽 子*・新 田 弘 之**・川 上 篤 史***

低炭素社会の早期実現に向け、各方面でCO₂削減技術・工法の開発が進められている。舗装分野においても、低炭素化に有効と考えられる技術が多数あり、この中の1つとしてアスファルト混合物の中温化技術が知られている。土木研究所では民間会社との共同研究により、これまで以上にCO₂排出削減が可能な中温化技術等を開発した。ここでは、従来の技術および開発した技術に対してCO₂排出量原単位を作成し、これらの技術のCO₂排出量を評価した。その結果、新しい中温化剤等の開発により、アスファルト混合物の輸送から製造までに係るCO₂排出量が従来品よりも低減され、また、再生アスファルト混合物に対して本開発品を適用することで、通常の再生アスファルト混合物よりもさらにCO₂排出量削減効果が得られることが明らかとなった。

1. はじめに

低炭素社会の早期実現に向け、各分野においてCO₂排出量の削減技術・工法の開発が進められている。舗装分野でも、低炭素化に有効と考えられる技術が材料や施工の面から多く実用化されている。しかし、これらの舗装技術は、元々は施工効率やリサイクル性能の向上などを主な目的として開発されてきたため、CO₂排出量削減の観点からの取り組みは十分とは言えない。そのため、土木研究所ではCO₂排出抑制効果を高めるための舗装技術の開発および評価手法に関する研究を実施してきた。民間会社との共同研究により、いくつかの技術はこれまで以上にCO₂排出量を削減することが可能となった。

本報告では、舗装技術に関するCO₂排出量原単位の新たな作成方法の概要について説明し、従来の舗装技術のCO₂排出量原単位について示すとともに、この作成方法に基づき算出した現在流通している中温化資材の原単位を示す。その上で、開発した中温化技術等の低炭素舗装技術のCO₂排出量削減効果について報告する。

2. 既存材料のCO₂排出量原単位

2.1 基本原単位の概要

CO₂排出量の削減効果を評価するためには、舗装に使用される各種資材のCO₂排出原単位が必要になる。これまで、舗装に関するCO₂排出量原単位は、いくつか検討されており、日本道路協会より「舗装性能評価法別冊」¹⁾において、積み上げ法による統一的な原単位が示されてきた。その後、国土交通省国土技術政策総合研究所(以下、国総研)から、平成24年2月に「社会資本のライフサイクルを通じた環境評価技術の開発に関する報告 -社会資本LCAの実践方策-」²⁾が公表された。この原単位は、積み上げ法と産業連関法を組み合わせたものであり、報告書では「産業連関表補完型積み上げ法」と呼んでいる。日本道路協会では国総研の方法に従って原単位を見直し、最新の原単位を「舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック」³⁾(以下、ガイドブック)にて公表した。

国総研の原単位は、生産計、出荷計、循環資源投入による控除、吸着、使用燃料から構成されている。図-1にCO₂排出量原単位の内訳を示す。生産計や出荷計を構成する直接環境負荷および間接環境負荷は、「積

*かわしま ようこ 国立研究開発法人 土木研究所 材料先端材料資源研究センター 研究員
**にった ひろゆき 国立研究開発法人 土木研究所 材料先端材料資源研究センター 上席研究員
***かわかみ あつし 国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ舗装チーム 主任研究員

積み上げ計上項目」と「未集計分等見込み値」に分かれており、積み上げただけでは漏れてしまうCO₂排出量を未集計分見込み値として計上するようになっている。

2.2 素材およびアスファルト混合物のCO₂排出原単位

舗装資材に対して、国総研の方法を基に作成した新しいCO₂排出原単位³⁾と、積み上げ法により作成した以前のCO₂原単位¹⁾を表-1に示す。間接環境負荷の中でも積み上げ計上に含まれる原料や電力は、従来のCO₂排出原単位にも計上されていたため、従来のものと比べて大きく異なるものは少なかった。なお、ここで原単位が異なっている、以前と比べて生産体制が大幅に変化したということはない。

開発技術の原単位を試算するにあたり、ベースとなる素材については表-1の新しい原単位を使用することとした。また、基本とした密粒度アスファルト混合物(13)のCO₂排出原単位の計算例を表-2に示す。

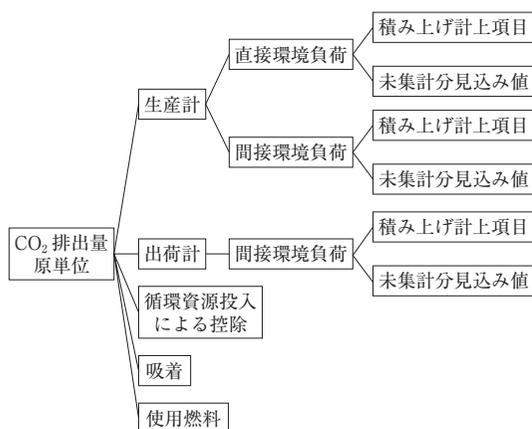


図-1 CO₂排出原単位の内訳

なお、表-2のアスファルト混合物の製造条件を基本としながら、開発技術毎に異なる部分については、適宜、適切な数量を検討しながら原単位を試算した。

3. 既存の中温化技術に関するCO₂排出原単位

3.1 概要

製造温度の低減効果がある中温化剤を使用することで、燃料消費量が抑制され、アスファルト合材プラントからのCO₂排出量が削減される。しかし、中温化剤などの製造に係わるCO₂排出量が大きいと、CO₂排出抑制効果が期待より小さくなってしまふ可能性がある。

ここでは、中温化技術のCO₂排出抑制効果をより正確に評価するために、既に流通している中温化剤や中温化アスファルトについて、最新の情報を収集してCO₂排出原単位を算出した。算出にあたり、中温化剤や中温化アスファルトの製造や販売している民間会社に市場調査を実施した。一定のフォーマットで原単位に係わる資材等の数量を調査することにより、タイプ毎の平均的な原単位を求めた。

3.2 公表資料の調査

対象とした中温化剤あるいは中温化アスファルト混合物は、すでに市販されており、雑誌、パンフレット、HP、NETIS等から情報を入手できるものとした。調査した公開情報を表-3に示す。これらの情報源から、市場に出回っている中温化剤等の材料の種類、原単位の情報などを収集した。

表-3の雑誌・論文集の中で、2009～2013年に公表された中温化技術に関する文献を検索したところ、55編の文献が該当した。これに2001～2008年の文献から3編追加し、58編の文献の情報を収集した。その

表-1 舗装資材のCO₂排出原単位

素材名	規格	投入単位(※)	以前のCO ₂ 排出原単位 ¹⁾ (kg-CO ₂ /※)	新しいCO ₂ 排出原単位 ³⁾ (kg-CO ₂ /※)
ストレートアスファルト		t	248	108
ポリマー改質アスファルト	II型	t	474	489
	H型	t	612	670
アスファルト乳剤	PK-3, PK-4	L	0.164	0.127
単粒度碎石	4～7号	t	5.39	7.98
スクリーニングス		t	5.39	7.98
砂	粗砂, 細砂	t	0.55	11.54
フィラー	石灰石粉	t	1.21	5.41
再生骨材	アスファルト混合物用	t	2.08	2.24
セメント	ポルトランドセメント	t	798.1	888.3
	高炉B種	t	480.1	518.0

表-2 密粒度アスファルト混合物(13)の計算例

名称	単位	数量		原単位 (kg-CO ₂ /単位)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)		
		密粒 (13)	再生密粒 (13)		密粒 (13)	再生密粒 (13)	
素材	6号碎石	t	287.28	172.38	7.98	2292.494	1375.592
	7号碎石	t	120.96	72.57	7.98	965.2608	579.1086
	スクリーニングス	t	120.96	72.57	7.98	965.2608	579.1086
	粗砂	t	120.96	72.57	11.54	1395.878	837.4578
	細砂	t	60.48	36.29	11.54	697.9392	418.7866
	石粉	t	45.36	27.22	5.41	245.3976	147.2602
	再生骨材(アスコン用)	t	0	320	2.24	0	716.8
	ストレートアスファルト	t	44	26.4	107.56	4732.64	2839.584
輸送	軽油 碎石輸送20km	L	608.58	365.15	4.19	2549.95	1529.979
	軽油 砂輸送20km	L	208.66	125.19	4.19	874.2854	524.5461
	軽油 石粉輸送20km	L	52.16	31.3	4.19	218.5504	131.147
	軽油 アスファルト輸送240km	L	359.04	215.42	4.19	1504.378	902.6098
製造	電力	kWh	8000	8000	0.46	3680	3680
	A重油	L	6165	7760	2.91	17940.15	22581.6
	軽油	L	256	256	2.95	755.2	755.2
その他	未集計分見込み値(アスコン)	t	800	800	7.72	6176	6176
計(800tあたり)			800	800		44993.38	43774.78
1tあたり						56.24	54.72

結果、原単位に関する記述がある文献は3編、素材に関する記述があるのは2編のみであった。また、文献から得られる情報には、新しいものが少なく、一般化した原単位を算出するには不十分であった。

市販の中温化剤を取り扱っている企業を調査したところ、舗装会社21社および製造メーカー4社で、中温化添加剤あるいは中温化アスファルトが製品化されていることが分かった。これらのうちNETISに登録していたのは5社のみであり、いずれも原単位に関する記述はなかった。

したがって、公開されている資料からだけでは、原単位の情報や、原単位の作成に参考となるデータを得ることは困難であった。このため、中温化剤等を取り

表-3 調査した公開情報

雑誌・論文集	日本道路会議論文集、土木学会年次学術講演会論文集、雑誌「舗装」、雑誌「アスファルト」、雑誌「改質アスファルト」、雑誌「道路建設」、雑誌「土木施工」、雑誌「建設の施工企画」、雑誌「アスファルト合材」、雑誌「建設機械」、東京都土木技術支援・人材育成センター年報、寒地土木研究所月報、雑誌「道路」、土木学会論文集、北陸道路舗装会議論文集
インターネット	企業HP、NETIS
その他	製品パンフレット

扱っている25社に対し、直接聞き取り調査を行い、原単位の作成を試みた。

3.3 聞き取り調査

中温化剤および中温化アスファルトのCO₂排出原単位について最新情報が公開されていないことから、取り扱っている民間会社に直接聞き取り調査を行った。調査にあたり、「舗装性能評価法別冊」にある調査用シートを参考にした。聞き取り調査を行ったところ、25社中19社より回答が得られた。原単位の調査結果を表-4および表-5に示す。聞き取り調査では、素

表-4 中温化アスファルトCO₂排出原単位平均値

中温化アスファルト	原単位平均値 (kg-CO ₂ /t)
ポリマー改質アスファルトII型	503
ポリマー改質アスファルトH型	744

表-5 中温化剤のCO₂排出量の平均値

種類	アスファルトに対する添加量×原単位 平均値 (kg-CO ₂ /t)	
	未集計分見込み値無	未集計分見込み値有*
粘度調整系	21.6	29.9
滑剤系	11.9	15.1
発泡系	6.6	14.7

*未集計分見込み値は質量ベース値を用いた

材の輸送、製造等の項目別に調査を実施したが、詳細の情報開示は行わず全体の合計値での回答も多かったため、ここでは合計値の平均値とした。表-1に示したポリマー改質アスファルトの原単位と比較すると、中温化アスファルトの方が増加傾向にあった。中温化剤については、種類によって添加量が異なるため、原単位ではなくアスファルトに対する添加量に原単位を掛けた値を算出し、その平均値をとった。CO₂排出量は、粘度調整系、滑剤系、発泡系の順で少なくなる傾向が見られた。発泡系は未集計見込み値を考慮した場合には計上の影響が大きく、滑剤系との差はほとんど無くなった。これらの結果より、アスファルト量5.5%のアスファルト混合物では、製造温度低減によりCO₂排出量は削減されるが、中温化剤の使用によるCO₂排出量は0.8~1.6kg-CO₂/t程度に見込まれることが分かった。

4. 開発した低炭素舗装技術のCO₂排出量削減効果

4.1 概要

既存の中温化技術は、アスファルト混合物の製造温度を30℃程度下げることによって燃料消費を抑制し、二酸化炭素排出量を削減していた。土木研究所では、CO₂排出量のさらなる削減を目指して、製造温度を50℃程度低減できるものや、再生アスファルト混合物に適用して製造温度を30℃程度低減できる中温化剤を、民間会社と共同開発し、いくつかの成果については公表して

きた^{4,5)}。本章では、開発してきた様々な低炭素舗装技術のCO₂排出量原単位を作成し、CO₂排出量削減効果を試算した。

4.2 評価対象の開発品

今回、評価対象とした開発品の概要を表-6に示す。それぞれの開発品は、中温化技術や弱加熱技術のように製造温度を下げることでCO₂排出量削減効果を向上させたものが多い。なお、開発品A~Cで使用されている中温化剤は新たに開発したものであるため、ガイドブックに記載されている中温化剤の原単位とは異なる。

4.3 ストレートアスファルトベースの開発品に対するCO₂排出量削減効果の試算

①再生アスファルト混合物

図-2に開発品AおよびBのCO₂排出量原単位を示す。表-2でも示したように、再生アスファルト混合物の製造は、低炭素社会の実現に寄与するリサイクル技術のひとつであり、通常の再生アスファルト混合物でもある程度のCO₂削減が見込める。削減率を算出したところ、再生骨材の配合率が高いほど、削減効果が顕著であり、再生骨材率が40%の場合で低減率は2.7%、骨材率が60%とした場合では9.2%であった。これらの再生アスファルト混合物に対して開発品の中温化剤をアスファルト量に対して1.5%添加すると、それぞれ再生アスファルト混合物において7.9%、14.4%のCO₂排出量の低減効果があることが明らかとなった。

表-6 評価対象とした開発品の概要

開発品	分類	概要	ベースアスファルト	温度低減効果	その他
A	中温化技術	再生アスファルト混合物に中温化剤を添加し、製造温度を下げる	ストレートアスファルト	製造温度30℃減	再生骨材配合率40%+中温化剤
B	再生アスファルト混合物		ストレートアスファルト	製造温度30℃減	再生骨材配合率60%+中温化剤
C	中温化技術	製造温度を50℃下げる	ポリマー改質アスファルト	製造温度50℃減	発泡系中温化剤
D	常温製造技術	再生骨材を利用し、アスファルト乳剤をバインダとして常温で製造する技術 軽交通道路に適用	ストレートアスファルト	常温での製造が可能	再生骨材配合率60% アスファルト乳剤使用
E	弱加熱技術	水分を潤滑剤として活用して製造温度を低下させる技術である 軽交通道路に適用		製造温度60℃減	砂乾燥なし 特殊アスファルト+水使用
F	常温施工型混合物	水と化学反応を起こして硬化する特殊添加剤を使用。製造時および施工時の潤滑油として機能し、水を添加した後は硬化してアスファルトの改質剤として作用する		ポリマー改質アスファルト	製造温度30~50℃減 常温での施工が可能
G					

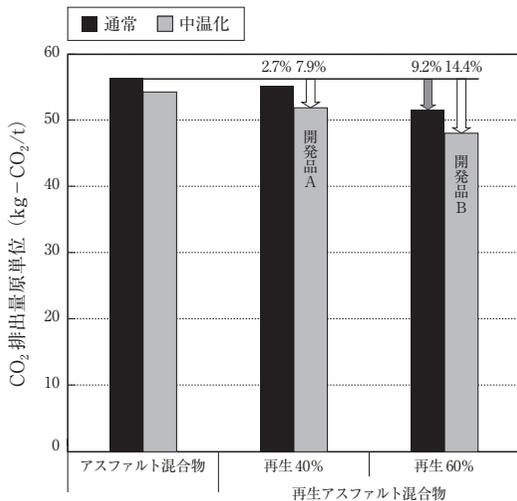


図-2 開発した中温化再生アスファルト混合物のCO₂削減効果の比較

再生アスファルト混合物(再生骨材60%)を対象に、CO₂排出量削減効果をもたらす要因を検討するために、素材、輸送および製造時でのCO₂排出量を図-3に示す。素材や輸送において、再生アスファルト混合物が通常の混合物と比べて原単位が小さくなることわかった。一方、製造工程では、再生アスファルト混合物は、再生骨材の加熱に係るエネルギーが多いため、通常のアスファルト混合物よりもCO₂排出量が多くなる。中温化技術の適用により、この工程での燃料消費が抑えられている。そのため、再生アスファルト混合物に中温化剤を添加することで高いCO₂排出量削減効果が得られたことがわかった。

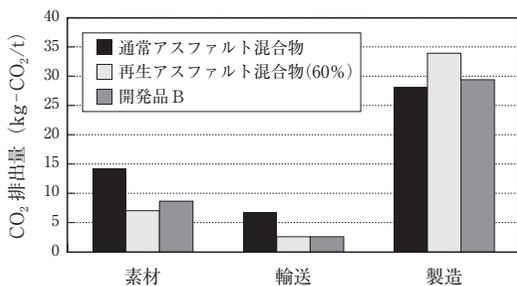


図-3 工程毎のCO₂排出量の比較

②常温製造技術および弱加熱技術

開発品Dは特殊なアスファルト乳剤をアスファルトバインダとすることで、アスファルト混合物を常温で製造可能としたものであり、再生骨材を用いるこ

とでさらなるCO₂排出量削減を目指したものである。一方、開発品Eは弱加熱技術であり、水を潤滑油として活用し、製造温度を下げるものである。開発品Eは製造技術を検討し、通常のアスファルトプラントでも製造できる仕様となっている。どちらの開発品も通常のアスファルト混合物と性状は同様ではなく、比較的交通量の少ない道路への適用を対象としている。

開発品DおよびEのCO₂排出量原単位を図-4に示す。開発品Dの場合、素材や輸送にかかる原単位が若干高くなるが、製造に係る原単位が圧倒的に低いため、原単位を大幅に抑えることが出来た。図-2より、再生アスファルト混合物(60%)の低減率が9.2%であったのと比較しても、常温製造技術によるCO₂排出量削減効果は十分に高いと言える。また、開発品Eは、開発品Dほどではないが、製造時のエネルギー消費が抑えられており、加熱アスファルト混合物と比べて14%の低減効果が得られた。

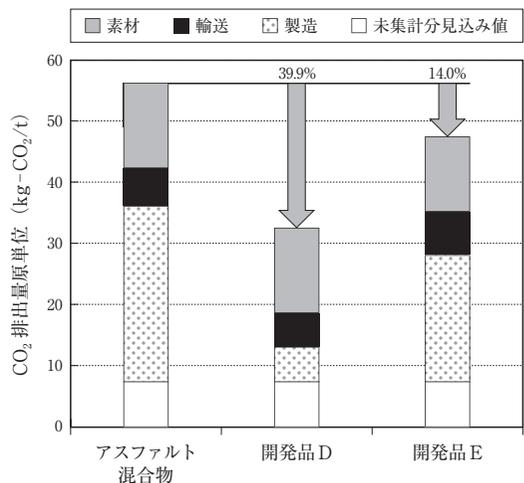


図-4 常温製造技術による再生アスファルト混合物のCO₂排出量原単位の削減効果

③常温施工型アスファルト混合物

常温施工型アスファルト混合物として分類される開発品FとGは、製造時の温度を30℃~50℃低減する。ストレートアスファルトをベースとした開発品FのCO₂排出量原単位を図-5に示す。通常の加熱アスファルト混合物や中温化アスファルト混合物よりもわずかにCO₂排出量原単位が小さくなった。

4.4 改質アスファルトベースの開発品に対するCO₂排出量削減効果の試算

ポリマー改質アスファルトはストレートアスファルト

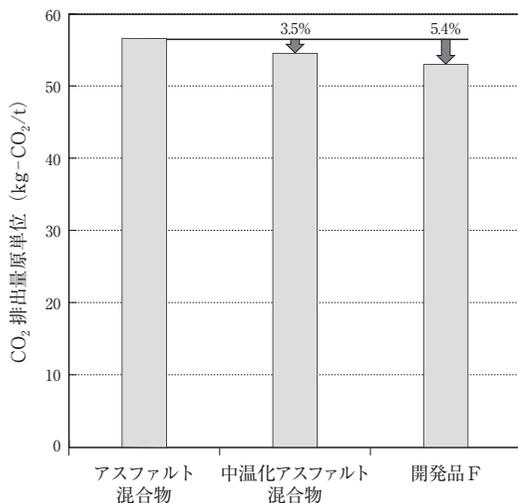


図-5 ストレートアスファルトベースの低炭素舗装技術のCO₂排出量原単位の比較

トよりも製造温度が高いため、製造温度の低減によるCO₂排出量削減効果がより高いと期待される。図-6にポリマー改質アスファルトベースのアスファルト混合物のCO₂排出量原単位を示す。従来品の中温化アスファルト混合物は、製造温度を30℃低減可能なものであり、表-5に示した滑剤系の原単位に基づき試算したところ、CO₂排出量の低減率は3.1%であった。一方、開発品Cは従来よりも製造温度を50℃低減させることに成功しており、CO₂排出量の低減率は5.3%となっ

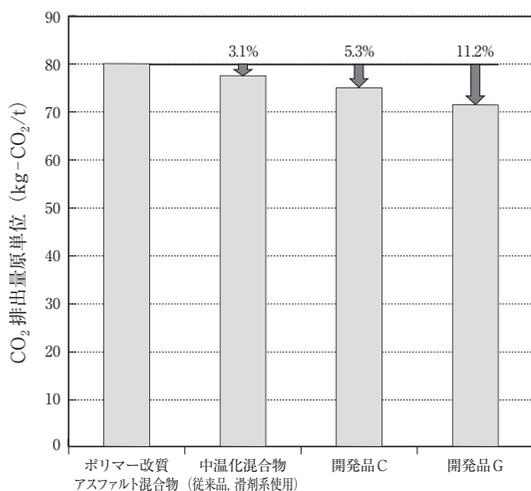


図-6 ポリマー改質アスファルトベースの低炭素舗装技術のCO₂排出量原単位の比較

た。中温化剤を加えることで、中温化剤に係るCO₂排出量が増加するが、一方で、中温化混合物の製造温度の低減により、製造に係る重油の量が減ったことで、結果的にCO₂排出量削減効果が得られたと考えられる。また、常温施工型アスファルト混合物(開発品G)では、さらにCO₂排出量原単位が小さくなっており、原単位の低減率は11.2%であった。同様の技術である開発品Fと比べると、CO₂排出量削減効果が高いことがわかり、ストレートアスファルトと比べて、ポリマー改質アスファルトの方が製造温度低減によるCO₂排出量抑制効果が顕著であることが明らかとなった。

5. おわりに

本報告では、土木研究所がこれまで民間会社と共同で開発してきたCO₂排出量削減技術を、出来るだけ同条件で比較できるように、ガイドブックにしたがって原単位の作成から検討し、開発技術のCO₂排出量削減効果を明確化した。ここでは、土木研究所関わった一部の開発技術の評価について紹介したが、今後さらに開発される低炭素舗装技術についても、同様の計算を行えばCO₂排出量の削減率を評価することが可能である。舗装分野でのCO₂排出量評価が定着し、低炭素化社会の実現が促進されることを期待する。

本研究の遂行にあたり低炭素技術の開発に携わった多くの方々に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 舗装委員会 舗装性能評価小委員会：舗装性能評価法別冊，社団法人日本道路協会，pp.159-190，2008.3
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所，(公社)土木学会：社会資本のライフサイクルを通じた環境評価技術の開発に関する報告書 - 社会資本LCAの実践方策 -，2012.2
- 3) 舗装委員会 舗装性能評価小委員会：舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック，日本道路協会，2014.1
- 4) 独立行政法人土木研究所，世紀東急工業株式会社：低炭素舗装技術の高度化に関する研究-中温化技術の高性能化-，共同研究報告書，第470号，2015.4
- 5) 独立行政法人土木研究所，東亜道路工業株式会社：低炭素舗装技術の高度化に関する研究-アスファルト乳剤を用いたりサイクル技術の開発-，共同研究報告書，第469号，2015.4

アスファルト舗装のタイヤ／路面転がり抵抗低減技術

(Asphalt Pavement Technique for Low Tire/Road Rolling Resistance)

川上 篤史*・寺田 剛**・藪 雅行***

現在、温室効果ガスの排出量を削減するために、地球温暖化対策の推進が求められている。そこで、筆者らは、自動車からのCO₂排出量削減に向け、自動車走行燃費の向上に寄与するタイヤ／路面転がり抵抗の小さなアスファルト舗装技術について研究を行ってきた。本研究では、タイヤ／路面転がり抵抗を低減するアスファルト舗装材料と施工方法について検討を行い、また、試験施工にてその性能の評価および測定方法の検討を行った。本稿では、これら一連の検討で得られた知見について述べる。

1. はじめに

温室効果ガスの一つであるCO₂の排出量削減は、世界規模で取り組まなければならない環境対策の一つとなっている。このため、わが国では、CO₂の排出量を2030年に2013年比で26%削減することを目標に掲げている¹⁾。

わが国の現状をみると、2014年度のCO₂の総排出量は12億6,500万トンである²⁾。このうち運輸部門のCO₂排出量は、2億1,700万トンとなっており、全体の17.2%を占めている。また、自動車全体のCO₂排出量の占める割合は、運輸部門においては86.0%であり、わが国全体では14.7%となっている。

こうしたなか、この自動車からのCO₂排出量を削減するための対策として、自動車の走行抵抗の低減を図り、走行燃費を向上させる方法が挙げられる。ここで、走行抵抗とは、進行方向と反対向きに受ける力であり、転がり抵抗、空気抵抗、勾配抵抗、および加速抵抗により構成される。このうち転がり抵抗は、タイヤが路面を転動するときに、タイヤが路面から受ける抗力であり、その大きさは路面の種類と密接に関連する。

そこで筆者らは、自動車からのCO₂排出量削減に向けた舗装路面からの技術的アプローチとして、タイヤと路面間に生じる転がり抵抗の低減を目的としたアスファルト舗装技術とその性能評価方法について研究を

実施してきた^{3~7)}。本稿では、筆者らがこれまで検討してきたアスファルト舗装のタイヤ／路面転がり抵抗低減技術について述べる。

2. 路面プロファイルと転がり抵抗の関係

タイヤ工学⁸⁾によると、タイヤの転がり抵抗は、①タイヤトレッドゴムの接地摩擦抵抗、②走行時のタイヤの変形、および③タイヤの回転に伴う空気抵抗により発生すると考えられている。このなかで、接地摩擦抵抗の発生要因は、タイヤトレッドゴムのヒステリシロス、走行時のタイヤの変形は、路面の凹凸やうねりが発生要因であるとされている。

ここで、図-1に、世界道路協会 (PIARC) が示した路面プロファイル区分と舗装性能の関係を示す。図中の棒グラフは、道路の供用性能に対する路面波長の影響範囲を示している。これより、路面プロファイルは各種の舗装性能の向上や低下の要因と考えられていることがわかる。

路面プロファイルは路面波長 λ により①マイクロテクスチャ (microtexture) : $\lambda \leq 0.5$ mm, ②マクロテクスチャ (macrotexture) : 0.5 mm $\leq \lambda \leq 50$ mm, ③メガテクスチャ (megatexture) : 50 mm $\leq \lambda \leq 500$ mm, ④ラフネス (roughness) : 500 mm $\leq \lambda$ の4つの領域に区分される。

*かわかみ あつし 国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ 主任研究員

**てらだ まさる 国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ 総括主任研究員

***やぶ まさゆき 国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ 上席研究員

図-1より、路面波長と転がり抵抗の関係を見ると、路面波長領域10mm～50mの振幅が大きいほど転がり抵抗に悪い影響があることを示している。つまり、路面プロファイル区分で見ると、転がり抵抗を低減するためにはマクロテクスチャからラフネス領域の振幅を小さくすることが有効であるといえる。

3. アスファルト舗装における転がり抵抗低減技術

路面プロファイル区分とアスファルト舗装材料および施工の関係について筆者らが検討したものを図-2に示す。図中の棒グラフは、舗装材料と施工が路面波長領域における振幅に影響をもたらす範囲を示しており、路面プロファイルの形成は、使用骨材の肌理(きめ)、その形状/寸法、アスファルト混合物の配合およびアスファルト舗装の施工の影響を受けることを示している。図-1および図-2より、アスファルト舗装における転がり抵抗を低減させるためには、①骨材の形状/寸法、②アスファルト混合物の配合選定、お

び③舗装の施工の路面波長領域の振幅を小さくすることが有効であると考えた。

ここで、図-3に、わが国で一般的に使用されている密粒度アスファルト舗装、排水性舗装、および筆者らが検討してきた、低燃費型排水性舗装、低燃費舗装の路面テクスチャ断面図とその配合を示す。図-3より、アスファルト混合物種の違いや骨材の最大粒径あるいは経年変化によって、路面テクスチャが大きく変化することがわかる。なお、図中の破線は舗装表面のピークレベル基準線を示している。

密粒度アスファルト舗装は、骨材粒度を連続粒度とすることで、平滑で緻密な路面を形成することがその特徴である。図-3(a)に示す新しい密粒度アスファルトは、ピークレベル基準線とほぼ同じ平滑な路面(ネガティブテクスチャ: negative texture)が形成されているのに対して、経年変化後の密粒度アスファルトは、図-3(b)に示すように交通に伴い表面のアスファルトモルタル分がなくなることで、粗骨材が路

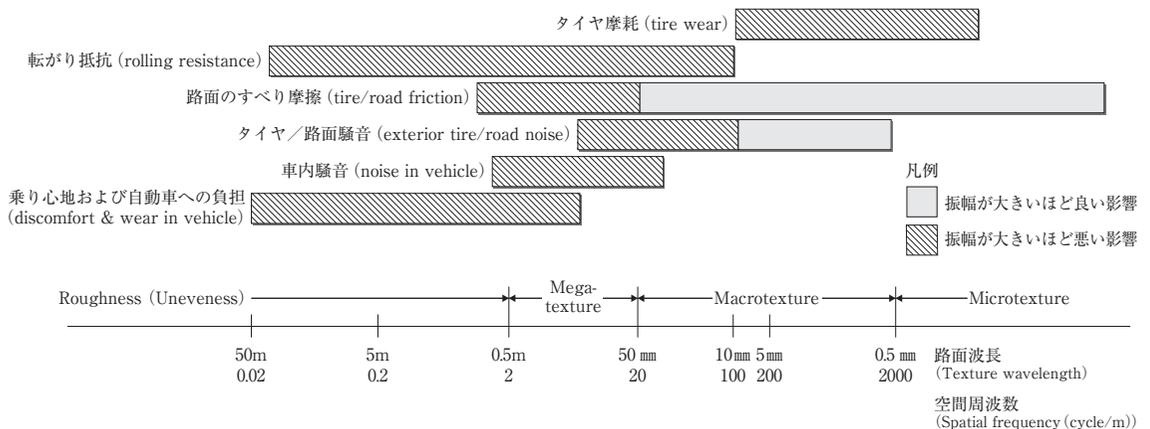


図-1 路面プロファイル区分と舗装性能の関係 (PIARC (1991)) をもとに筆者らが加筆)

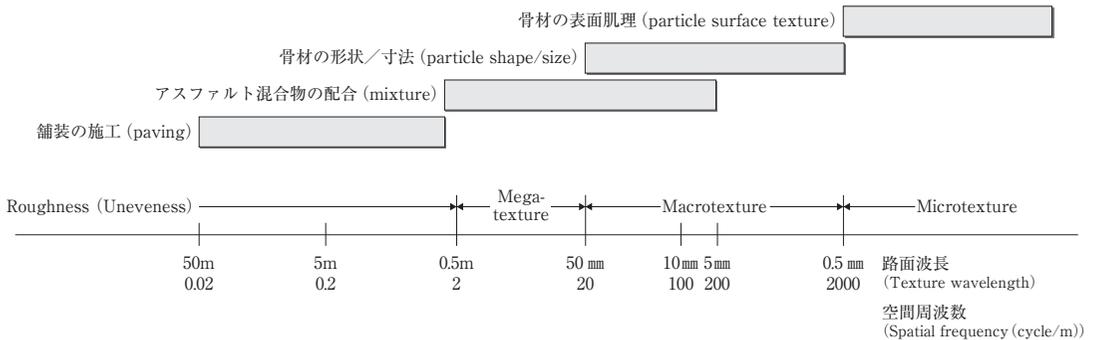


図-2 路面プロファイル区分とアスファルト舗装材料および施工の関係

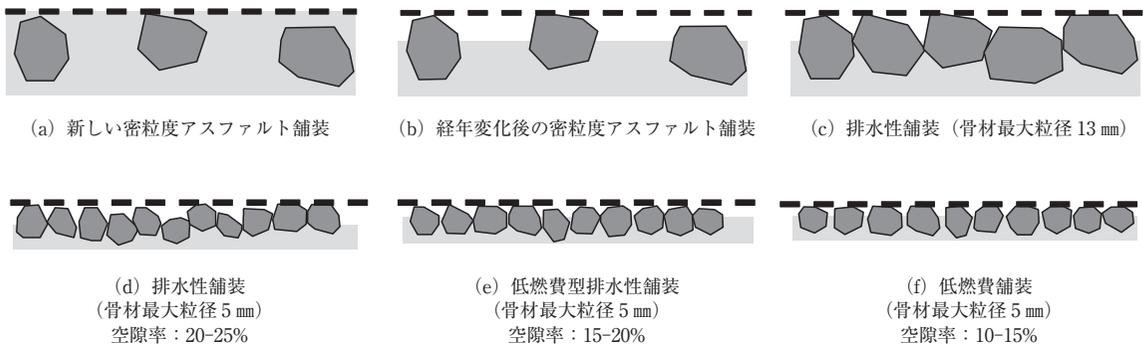
面に突起状に露出した路面（ポジティブテクスチャ：positive texture）に変化する。つまり密粒度アスファルト舗装はマクロ／メガテクスチャ領域の振幅が経年変化とともに大きくなることから、転がり抵抗が増加しやすい路面であると考えられる。

排水性舗装は、舗装内に連続空隙を有することで、排水性、低騒音性などの優れた性能をもつ舗装である。わが国では交通の安全性確保や沿道環境の改善を目的に、密粒度アスファルトと同様に積極的に適用されている舗装である。排水性舗装はその特性上、アスファルトモルタル分が少ない路面であり、この点においては、密粒度アスファルトよりも路面テクスチャの経年変化は比較的小さい舗装である。しかしながら、排水性舗装の路面テクスチャは新設時から骨材が路面に突起状に露出にするポジティブテクスチャを有している。

筆者らが検討している低燃費舗装は、性能面においては、マクロ／メガテクスチャ領域の振幅を小さくすることで転がり抵抗を低減することと合わせて、排水性、低騒音性などの排水性舗装が有する性能を両立した新たな舗装路面の構築をその開発コンセプトとしている。

図-3(c)～(f)より、排水性舗装の路面テクスチャは骨材最大粒径と空隙率の違いにより大きく変化することがわかる。図-3(d)～(f)の排水性舗装（骨材最大粒径5mm）（以下、排水性舗装（5））は、図-3(c)の排水性舗装（骨材最大粒径13mm）（以下、排水性舗装（13））よりも、マクロ／メガテクスチャ領域の振幅は小さくなる。したがって、使用する骨材の小粒径化により、転がり抵抗の低減を図ることができるものと考えられる。

図-3の断面図(d)～(f)は、排水性舗装（5）のアスファルトモルタル量の違いにより、空隙率を変化させたものを比較したものである。ここで、(e)の低燃費型排水性舗装、および(f)の低燃費舗装は開発した路面であり、排水性舗装（5）の発展形と考えている。図-3に示すように、アスファルトモルタル量を支配する2.36mmふるい通過量が多いほど、空隙率は小さくなることからわかる。図-3(d)は、アスファルトモルタル量が少ないことから、舗装の施工時における敷ならしと転圧の過程において、骨材間のインターロッキング（噛み合わせ）が卓越することで、マクロ／メガテクスチャ領域の路面の凹凸が生じやすい。一方、



項目	(a) (b)	(c)	(d)	(e)	(f)
配合名	密粒 (13)	排水性 (13)	排水性 (5)	低燃費型排水性 (5)	低燃費 (5)
骨材最大粒径 (mm)	13	13	5	5	5
舗装厚 (cm)	4-5	4-5	2-4	2-4	2-4
百分率 通過質量	13.2 (mm)	95-100	90-100	100	100
	4.75 (mm)	55-70	11-35	90-100	90-100
	2.36 (mm)	35-50	10-20	5-15	10-30
	0.075 (mm)	4-8	3-7	3-7	5-10
バインダー種別	改質Ⅱ型	改質H型	改質H型	改質H型	改質H型
アスファルト量 (%)	5-6	4-6	4-6	4-6	5-7
空隙率 (%)	3-6	15-25	20-25	15-20	10-15

図-3 各種アスファルト混合物の路面テクスチャの断面図と配合

図-3 (e) および (f) は, (d) に比べアスファルトモルタル量が多くなることから, 骨材間のインターロッキングが, 図-3 (d) よりも軽減される。これにより, 個々の骨材の平らな面が, 敷ならしと転圧の過程において, 路面に緻密に配置されて, ピークレベル基準線に沿った平滑な路面が形成されやすいと考えられる。

4. 低燃費舗装の試験施工

低燃費舗装のタイヤ／路面転がり抵抗性能の評価を目的に, 国土技術総合政策研究所試験走路(東直線部: アスファルト舗装部)において, 切削オーバーレイによる試験舗装を実施した。試験舗装に適用した舗装種は, 低燃費舗装(図-3 (f)), 低燃費型排水性舗装(図-3 (e)), 排水性舗装(13)(図-3 (c)), 密粒度アスファルト舗装(図-3 (a))の4路面であり, 延長各300mの試験舗装を実施した。写真-1に, 試験舗装の施工状況, 写真-2に, 試験舗装の完了状況を示す。

表-1に, 試験舗装の舗装構造と施工機械編成を示す。表-1に示すように, 低燃費舗装と低燃費型排水



写真-1 試験舗装の施工状況



写真-2 試験舗装の完了状況

表-1 試験舗装の舗装構造と施工機械編成

舗装種別	舗装構造	施工機械編成		
		敷ならし	初期転圧	2次転圧
低燃費舗装	上層: 低燃費(5)T=3cm	汎用AF	タンデム	タンデム
	下層: 密粒(13)T=3cm	汎用AF	マカダム	タイヤ
低燃費型排水性舗装	上層: 低燃費型排水性(5)T=3cm	汎用AF	タンデム	タンデム
	下層: 密粒(13)T=3cm	汎用AF	マカダム	タイヤ
排水性舗装	排水性(13)T=4cm	汎用AF	マカダム	タイヤ
密粒度As舗装	密粒(13)T=4cm	汎用AF	マカダム	タイヤ

※汎用AF: 一般的なアスファルトフィニッシャ, タンデム: タンデムローラ, タイヤ: タイヤローラ

性舗装は2層構造とした。これは, 2層構造とすることによりラフネス領域における平坦性を確保することと, 下層に剥離抵抗性の高いポリマー改質II型密粒度アスファルト舗装を用いることで, 現在排水性舗装における技術的課題となっている基層の剥離対策を行うことを目的としている。施工機械編成は, 排水性舗装(13)と密粒度アスファルト舗装では一般的であるのに対して, 低燃費舗装と低燃費型排水性舗装では, 転圧機械をタンデムローラの2台編成とした。これはアスファルトフィニッシャによる平滑な敷ならし面を崩さない転圧作業とすることで, マクロ/メガテクスチャ領域における振幅の低減を図ることを目的としているためである。

5. タイヤ／路面転がり抵抗の評価方法

タイヤ／路面転がり抵抗の測定は, 一般財団法人土木研究センターが所有するすべり抵抗測定車を用いた方法で検討した。写真-3にすべり抵抗測定車および測定タイヤを示す。測定タイヤは, 路面すべり測

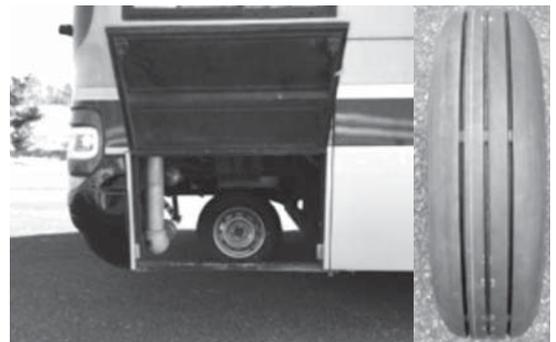


写真-3 すべり抵抗測定車および測定タイヤ

定用標準タイヤ（タイヤ寸法：165-SR13，タイヤ内圧176.5kPa，リブタイヤ）を用いた。タイヤに作用する力の測定は，すべり抵抗測定車に搭載された垂直昇降式縦横両用型すべり計（試験輪荷重 $3996 \pm 98\text{N}$ ）を用いた。

転がり抵抗は図-4に示すように，車両が直進するときのけん引力と等しい。このことから，転がり抵抗を測定する場合，車両が直進している状態のけん引力を測定する。しかし，実際は，道路の横断勾配等の影響により，車両を直進させようとすると微小な操舵は避けられない。図-5に，操舵時のタイヤに作用する分力を示す。図-5はタイヤがスリップ角 α （ α はスリップ角 1° 未満の微小角）で横すべり状態の時の分力として，転がり抵抗（ F_x ），コーナリングフォース（ F_c ），サイドフォース（ F_y ），けん引抵抗（ R_c ），鉛直荷重（ F_z ）が発生することを示している。図-5より，スリップ角 α で横すべりしながら転動するタイヤには， F_y と F_x が発生する。測定において運転者による微小な操舵を行うと， F_y が増減し， F_x は F_y が増加すると，大きくなることは明らかである。したがって，タイヤ／路面転がり抵抗の測定においては，運転者による微小な操舵等の影響による F_y の増減の影響を排除する必要がある。ここで，転がり抵抗は，式(1)で近似的に示すことができる⁸⁾。

$$F_x \cong R_0 \left[1 + \left[\frac{F_y}{F_z} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (1)$$

ここに， R_0 は直進時のけん引抵抗であり，すなわち F_y がゼロのときの転がり抵抗であるといえる。本検討に用いたすべり抵抗測定車では， F_c ， R_c ，および F_z を測定することができることから，図-5の幾何条件を用いて，式(1)を，すべり抵抗測定車で測定できる R_c ， F_c ， F_z で表し，これを R_0 について解くと，式(2)が得られる。

$$R_0 \cong \left[R_c - \frac{F_c^2}{K_y} \right] / \left[1 + \left[\frac{F_c}{F_z} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2)$$

ここに， K_y はコーナリングパワーであり，式(3)で示すことができる。

$$K_y = CC \times F_z \dots \dots \dots (3)$$

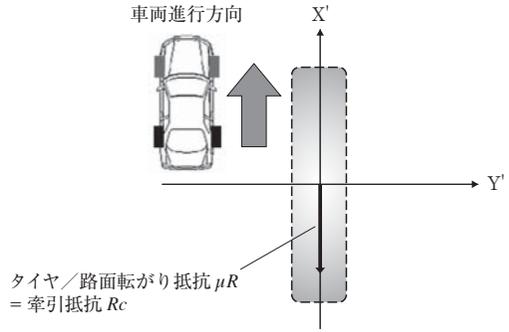


図-4 直進時の転がり抵抗とけん引抵抗

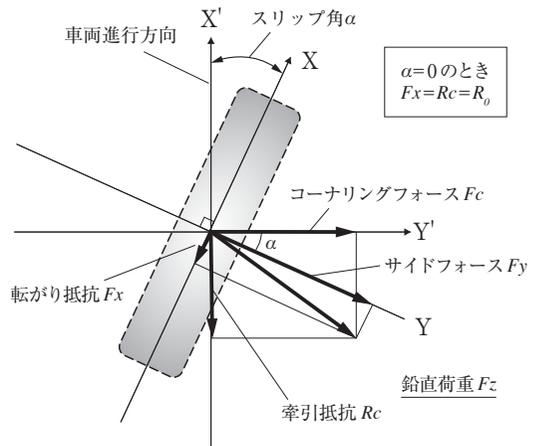


図-5 操舵時のタイヤが受ける分力⁶⁾

ここに， CC はコーナリングパワー係数（以下 CC ）である。 CC は路面種や速度に依存せず，タイヤの種類やその剛性などに依存する固有の値であり，スリップ角 α が 1° のときの横すべり摩擦抵抗係数である。本検討に用いた測定タイヤの CC は0.23であった。

図-6にタイヤ／路面転がり抵抗係数 μ_R の算出フローを示す。図-5より，すべり抵抗測定車の一定速度走行により得られたサンプリング間隔0.01秒ごとの R_c ， F_c ， F_z より，式(2)を用いて0.01秒毎の R_0 を算出する。次に0.01秒毎の転がり抵抗係数 μ_R （ $=R_0 / F_z$ ）を算出する。0.01秒毎の転がり抵抗係数 μ_R より，測定区間における μ_R のRMS（二乗平均平方根）を算出し，区間 μ_R とする。

さらに，タイヤ／路面転がり抵抗は，タイヤトレッド面温度の影響を大きく受けることから，区間 μ_R とタイヤトレッド面温度 T の関係を整理しておく必要がある。

本検討においては，冬期に収集した測定データによ

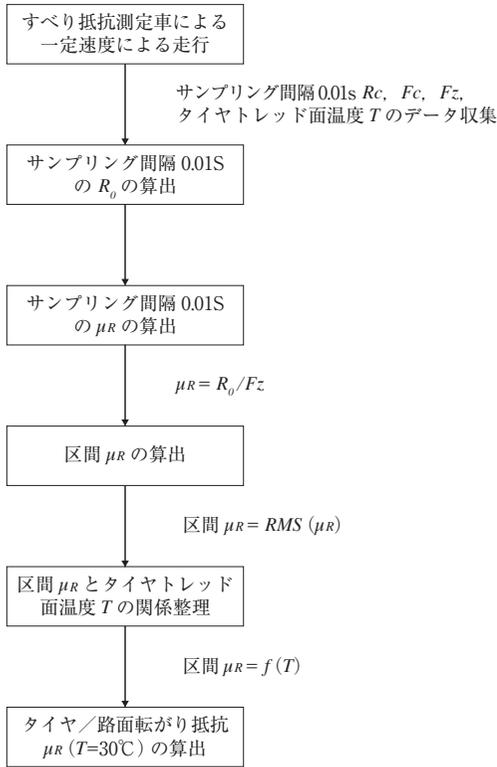


図-6 タイヤ/路面転がり抵抗係数 μ_R の算出フロー

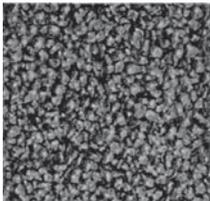
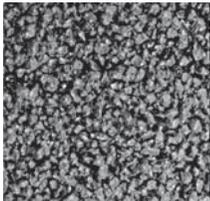
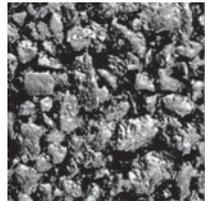
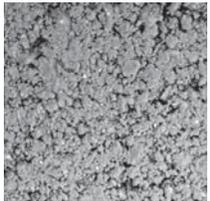
り得られた区間 μ_R とタイヤトレッド面温度 T の関係を用いて、基準温度 30°C に温度補正した。温度補正後のタイヤ/路面転がり抵抗係数を区間 $\mu_R(30^\circ\text{C})$ として、これをタイヤ/路面転がり抵抗の評価値とした。

表-2に、試験舗装における測定データを示す。表中に示した路面の概観より、アスファルト混合物種によって、形成される路面テクスチャが大きく変化することがわかる。また、排水性(13)、低燃費舗装(5)、低燃費型排水性(5)の路面テクスチャは、骨材最大粒径と空隙率の違いにより大きく変化することがわかる。

タイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_R(30^\circ\text{C})$ をみると、いずれの路面種においても、速度が大きくなるほど大きい値となっており、速度依存性があるといえる。このことはタイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_R(30^\circ\text{C})$ の本来の性質に加えて、タイヤの性質やタイヤの空気抵抗にも依存していると考えられる。

次に、舗装種別でみると、低燃費舗装(5)と低燃費型排水性舗装(5)は、排水性舗装(13)と比べ、タイヤ/路面転がり抵抗係数 $\mu_R(30^\circ\text{C})$ は $0.0019 \sim 0.0029$ (11~16%程度)低減している。このことは、タイヤ/転がり抵抗低減を目的としたアスファルト舗装材料とその施工方法の妥当性や、世界道路協会(PIARC)が示した路面プロファイル区分と転がり抵抗の関係をも

表-2 国土技術総合政策研究所試験走路 試験舗装 測定データ

項目	低燃費舗装(5)	低燃費型排水性舗装(5)	排水性舗装(13)	密粒度As舗装(13)	
タイヤ/ 路面転がり抵抗係数 $\mu_R(30^\circ\text{C})$	40 km/h	0.0121	0.0123	0.0144	0.0125
	60 km/h	0.0142	0.0146	0.0165	0.0144
	80 km/h	0.0164	0.0169	0.0193	0.0168
すべり摩擦抵抗係数 μ_{TF}	40 km/h	0.49	0.44	0.42	0.71
	60 km/h	0.38	0.36	0.31	0.58
	80 km/h	0.34	0.34	0.27	0.48
タイヤ/ 路面騒音(RAC車換算値)(dB)	87.5	87.7	88.9	-	
IRI(国際ラフネス指数) (m/km)	0.87	0.97	1.26	1.17	
σ (平たん性)(mm)	0.55	0.58	0.87	0.75	
MPD(きめ深さ)(mm)	0.65	0.74	1.63	0.37	
浸透水量(ml/15s)	1192	1316	1369	-	
路面の概観					

裏付ける結果となっている。

さらに、すべり抵抗測定車による湿潤時の縦すべり摩擦係数 μ_{TF} については、低燃費舗装(5)と低燃費型排水性舗装(5)はいずれの試験速度においても排水性舗装(13)より大きい値となっている。このことから、低燃費舗装(5)と低燃費型排水性舗装(5)は、タイヤ/路面転がり抵抗の低減とすべり摩擦抵抗の確保を両立していることがわかる。

また、低燃費舗装(5)と低燃費型排水性舗装(5)のタイヤ/路面騒音は、排水性舗装(13)よりも低い値となっている。このことは、舗装の空隙によるエアポンピング音の低減とあわせて、タイヤトレッド面と路面の接触音やタイヤ加振音の低減によるものと推察される。浸透水量においても、低燃費舗装(5)が低燃費型排水性舗装(5)と排水性舗装(13)よりも幾分低下しているが、浸透水量を期待する舗装としては適当な量が得られているものとする。

これらの測定結果より、タイヤ/転がり抵抗低減を目的としたアスファルト舗装材料とその施工方法はCO₂排出量削減に向けた舗装の技術的アプローチとして、十分期待できる性能を有すること、また排水性舗装が具備する排水性や低騒音性といった沿道環境対策としての性能もあわせもつ舗装であることを確認した。

6. まとめ

CO₂の排出量削減に向けた舗装の技術的アプローチとして、タイヤと路面間に生じる転がり抵抗の低減を目的としたアスファルト舗装材料とその施工方法、および評価方法を検討した。その結果、得られた技術的知見をまとめると、以下のとおりである。

- (1)アスファルト混合物の種類や骨材の最大粒径などの選定、アスファルト混合物の配合、および舗装の施工技術によって、マクロテクスチャからラフネス領域の振幅をコントロールすることができる。
- (2)タイヤ/路面転がり抵抗の測定において、すべり抵抗測定車を用いた測定方法を開発した。タイヤに作用する分力の関係から、運転者による微少な操舵等の影響を排除し、実際の路面で精度良く測定する方法を提案した。
- (3)試験舗装による実測データより、筆者らが検討した低燃費舗装(5)と低燃費型排水性舗装(5)のタイヤ/路面転がり抵抗係数は、排水性舗装(13)

と比較して、11~16%低減した。このことは、世界道路協会(PIARC)による路面プロファイル区分と転がり抵抗の関係において、マクロテクスチャからラフネス領域の振幅が小さいほど転がり抵抗が小さくなることを裏付ける結果となっている。

- (4)低燃費舗装(5)と低燃費型排水性舗装(5)は、タイヤ/路面転がり抵抗の低減とすべり摩擦抵抗の確保を両立している。また、排水性舗装が有する排水性、低騒音性といった沿道環境対策としての性能もあわせもっている。

7. おわりに

本検討は、試験施工場所、測定条件において限られた条件で行ったものであるため、今後は実道での試験施工を含め様々な条件下でのデータを積み重ねタイヤ/路面転がり抵抗の評価精度を上げていきたい。また、今回は、直接的な測定方法にてタイヤ/路面転がり抵抗の評価を行ってきたが、将来的には、路面性状値などから間接的に評価できる手法の確立を目指していきたいと考える。なお、本報告は共同研究「低炭素舗装技術の高度化に関する研究」の成果の一部である。

— 参考文献 —

- 1) 地球温暖化対策推進本部：日本の約束草案(平成27年7月17日)、2015。
- 2) 国土交通省ホームページ：運輸部門における二酸化炭素排出量
- 3) 川上ほか：低燃費舗装のCO₂削減効果の試算、第67回土木学会年次学術講演集、2012。
- 4) 石垣ほか：自動車走行燃費の向上に寄与するタイヤ/路面転がり抵抗の小さなアスファルト舗装技術の開発、第30回日本道路会議、2013。10。
- 5) 石垣ほか：タイヤ/路面転がり抵抗の小さな低燃費アスファルト舗装技術の開発、第18回舗装技術に関する懸賞論文集、2013。12。
- 6) 石垣ほか：低燃費舗装の性能指標とその評価に関する検討、第31回日本道路会議、2015。10。
- 7) 白井ほか：タイヤ/路面転がり抵抗の性能評価法に関する検討、第31回日本道路会議、2015。10。
- 8) 酒井秀男：改訂版タイヤ工学入門、グランプリ出版(2002)

舗装点検要領の策定について

(Outline of Inspection Guideline for Pavement Management in Japan)

武藤 聡*・久保和幸**・藪 雅行***

わが国の舗装ストックは道路延長ベースで約100万kmとなり、膨大なストック量となっている。高度経済成長期に集中的に整備されてきた道路施設の老朽化が進行する中、橋梁やトンネルと同様に、道路の表面を形成する舗装においても、メンテナンスサイクルを確立し、予防保全型の管理を行うことにより、より効率的に維持管理していくことが求められている。

こうした中、社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会において、舗装の点検要領に関する議論が行われ、これを踏まえ、国土交通省では平成28年10月19日に、「舗装点検要領」を策定しました。

本稿では、点検要領のベースとなった、舗装マネジメントの考え方について述べるとともに、これを踏まえて策定した「舗装点検要領」のポイントについて紹介する。

1. はじめに

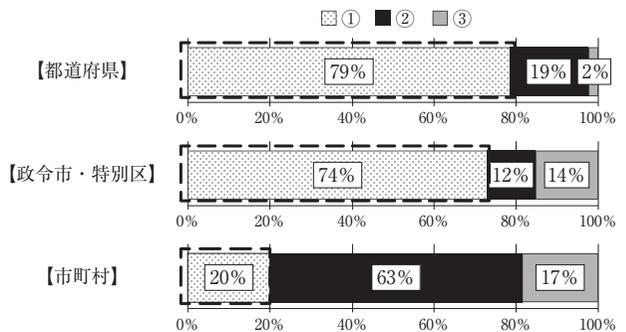
わが国の舗装ストックは道路延長ベースで約100万km¹⁾であり、膨大なストック量となっている。高度経済成長期に集中的に整備されてきた道路施設の老朽化が進行する中、橋梁やトンネルと同様に、道路の路面を形成する舗装においても、メンテナンスサイクルを確立し、予防保全型の管理を行うことにより、より効率的に維持管理していくことが求められている。

また、平成26年4月に社会資本整備審議会道路分科会建議「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」がとりまとめられ、その中で舗装については「経年的な劣化に基づき適切な更新年数を設定し、点検・更新することを検討すべき」²⁾とされている。

舗装については、国・高速道路会社その他、都道府県の約8割、市町村の約2割では点検は実施されてきた(図-1)ものの、統一的なデータの取得が十分に行われていない。また、舗装の維持修繕に関わる予

算は減少(図-2)しており、適切な予防保全・修繕等が十分に行われていない状況にある。

こうした状況の中、社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会(以下、「技術小委員会」という。)において、「舗装点検要領」に関する議論が行われ、この議論を踏まえて、国土交通省道路局、国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人土木研究所では、点検



①点検を実施している
②道路ストック総点検で初めて点検を実施したが、その後未実施
③点検を実施していない

図-1 舗装点検の実態

*むとう さとし 国土交通省 道路局 国道・防災課 課長補佐

**くぼ かずゆき 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 道路基盤研究室長

***やぶ まさゆき 国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム 上席研究員

要領に関する検討を重ね、平成28年10月19日に、国土交通省道路局において「舗装点検要領」を策定した。

本稿では、点検要領のベースとなった舗装マネジメントの考え方について述べるとともに、「舗装点検要領」のポイントについて紹介する。

2. 点検要領における舗装マネジメントの考え方

舗装の点検は、舗装の効率的な維持管理を行う上でメンテナンスサイクルの起点となる重要な構成要素である。ここでは、舗装マネジメントの考え方について述べる。

2.1 舗装の損傷要因

一般的に舗装へのダメージは走行車両の軸重の4乗で影響する³⁾。軸重制限上限の大型車が交通量の1割を占める道路において、それらの車両が舗装へ与える影響度合いを計算すると、図-3に示すとおり、大型車が舗装に与えるダメージの割合はほぼ100%となる。

図-4は、直轄国道における路面性状調査結果を基に、大型車交通量毎に舗装の経過年数とひび割れ率の関係を整理したものである。この図から1日・1方向あたりの大型車交通量が1,000台以上の区間は、それ未満の区間に比べ損傷が早く進行している。⁴⁾

このような状況から舗装の管理においては大型車の状況にも着目する必要がある。

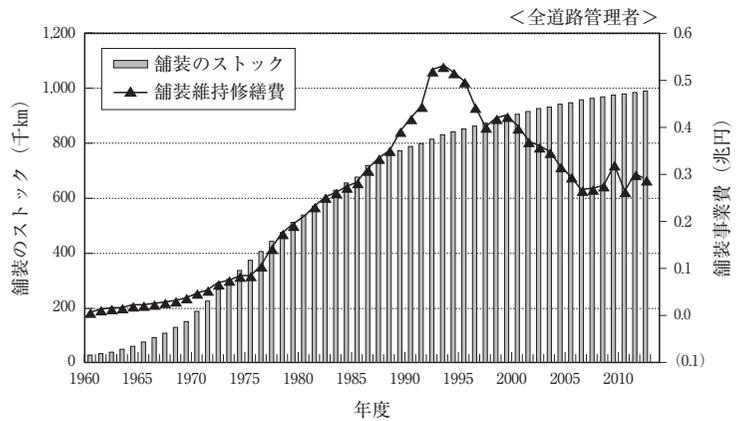


図-2 舗装ストックと維持修繕費の推移

2.2 路盤の健全性確保の必要性

舗装は路床の上に構築され、その構成は、図-5に示すとおり路面から順に表層、路盤となっている。アスファルト舗装のひび割れやコンクリート舗装における目地部の損傷を放置すると損傷箇所から路盤に雨水等が浸入することにより路盤の支持力が低下し、舗装構造全体の損傷につながる。このような状況になると

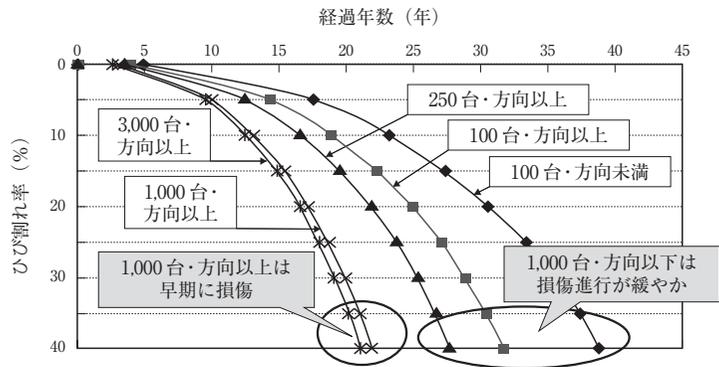


図-4 大型車交通量区分ごとのひび割れ率の経年推移

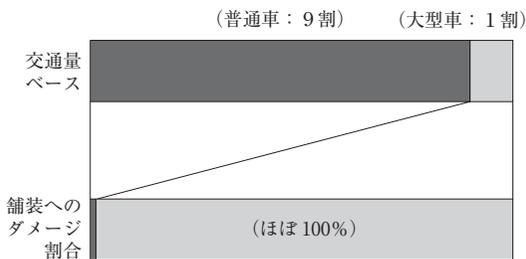


図-3 車種別交通量と舗装への影響の例

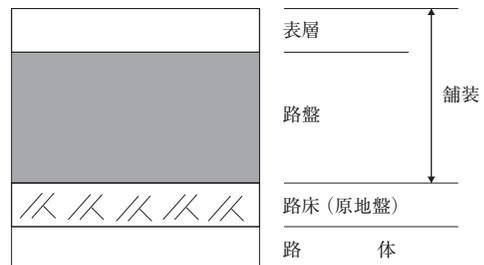


図-5 舗装の構成⁵⁾

表層等のみを修繕する切削オーバーレイ工法などを行っても早期に路面が損傷してしまうため、最終的には路盤も含めた修繕が必要となる。関東地方整備局管内における夜間での工事を想定して試算すると、路盤を修繕した場合、表層等のみを修繕した場合の比較では、費用は概ね3倍以上、工事期間は概ね4倍となる。

このため、維持管理においては、路盤を健全に保つことが重要であり、そのためにも表層等の適時修繕が必要となる。

2.3 これからの舗装マネジメント

舗装は2.1に示したとおり大型車交通量の多寡により劣化の進展に大きな差があるとともに、走行速度に応じて求められるサービスレベル等が異なることから、それらに応じた管理が必要となる。このため、表-1に示すとおり、道路を大型車交通量等で大きく2つに分類し、道路特性でさらに4つに分類し、それぞれについてマネジメントのあり方を整理した。特に交通量の多い道路は、損傷の進行が早い一方で、路線の重要性が高いため、舗装工事による道路交通への影響は大きい。路盤までの修繕を行う場合には、2.2に示したように工事費のみならず工事期間も増大することから、その社会的影響はさらに大きくなる。このため、路盤の保護を目的に表層等の適時修繕が行えるような点検体系を構築する必要がある。

3. 点検要領のポイント

舗装点検要領は、図-6に示す7章で構成されている。以下にその主なポイントを示す。

3.1 点検要領の位置付け

点検要領は、修繕の効率的な実施により、道路特性に応じた走行性、快適性の確保に資することを目的として規定している。なお、安全性に関連する突発的な損傷（ポットホール等）については、巡視等により発見次第対応すべき事象であり、本要領の対象外とした。

なお、技術小委員会において、「独自に先進的な取り組みを実施している地方公共団体の活動の妨げにならないようにすべき」との意見を踏まえ、要領においては「本要領に記載された基本的な事項を踏まえ、独自に実施している道路管理者の既存の取組を妨げるものではない。」とした。

3.2 道路の分類

2.3で述べた舗装マネジメントの考え方を踏まえ、損傷に大きな影響を与える大型車交通量や求められるサービス水準など道路の特性に応じた点検方法を規定し、舗装の点検の実施にあたっては、管内の道路を表-1に示す分類A～Dに区分することとした。

3.3 舗装種別毎に点検の考え方を規定

点検の基本的な考え方として、アスファルト舗装とコンクリート舗装に大別し規定した。アスファルト舗装については、「表層や基層の適時修繕による、路盤以下の層の保護等を通じた長寿命化を目的とした点検」

表-1 道路の分類とマネジメントのあり方

特性	分類	主な道路 ^{*1} (イメージ)	マネジメントのあり方
・高規格幹線道路等 (高速走行など求められるサービス水準が高い道路)	A	高速道路	・表層等の適時修繕による路盤以下の層の保護を目的に、点検を実施 ・走行性、快適性を重視した路面管理の実施
・損傷の進行が早い道路等 (例えば、大型車交通量が多い道路)	B	直轄国道 補助国道・県道	・表層等の適時修繕による路盤以下の層の保護を目的に、点検を実施 ・修繕サイクルを長くしていくため、早期劣化箇所の原因把握と適切な措置 ^{*2} や、使用目標年数を意識した管理の実施 ・走行性、快適性を考慮した路面管理の実施
・損傷の進行が緩やかな道路等 (例えば、大型車交通量が少ない道路)	C	政令市・一般市道	・基本的に長寿命であることから、各道路管理者が点検サイクルを定めて適切に管理
・生活道路等 (損傷の進行が極めて遅く占用工事等の影響が無ければ長寿命)	D	市町村道	・巡視の機会を通じた路面管理

※1：分類毎の道路選定は各道路管理者が決定 ※2：路盤の打ち換え、路盤の強化など

を実施することとした。コンクリート舗装については、図-7に示すとおり、目地部からの雨水等の浸入が原因となって、破損するケースを主な破損として想定しており、コンクリート舗装の高耐久性能をより長期間発現させるため、目地部や版のひび割れ等を重点的に点検することとした。

1. 適用の範囲
2. 点検の目的
3. 用語の定義
4. 道路の分類
5. 点検等の基本的な考え方
6. アスファルト舗装の点検
6-1 損傷の進行が早い道路等(分類A, B)
(1) 点検の方法
(2) 健全性の診断
(3) 措置
(4) 記録
6-2 損傷の進行が緩やかな道路等(分類C, D)
(1) 点検の方法
(2) 健全性の診断
(3) 措置
(4) 記録
7. コンクリート舗装の点検
(1) 点検の方法
(2) 健全性の診断
(3) 措置
(4) 記録

図-6 舗装点検要領の構成

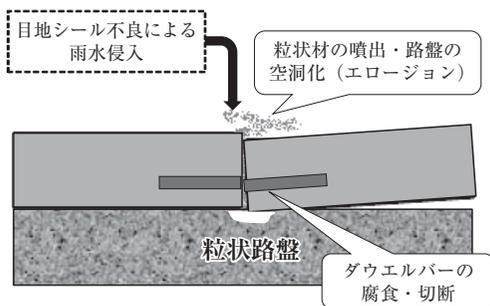


図-7 コンクリート舗装の損傷

3.4 使用目標年数を規定

損傷の進行が早い道路等におけるアスファルト舗装については、舗装の長寿命化を意識した管理に誘導するため、「使用目標年数」を規定した。「使用目標年数」とは、劣化の進行速度にばらつきの大いアスファルト舗装において、表層の早期劣化区間の排除や、表層の供用年数と損傷レベルに応じた適切な措置の実施といったきめ細やかな管理を通じた長寿命化に向け、表層を使い続ける目標期間として設定する年数である。

舗装管理の現場では、予算制約等から早期に破損している箇所においても十分な調査が行われないうまま、表層等のみを修繕する切削オーバーレイ工法が適されるケースがある。しかし、早期に破損する箇所においては、路盤あるいは路床等に何らかの原因があることも想定され、十分な調査が行われないうまま表層等を修繕すると、急速に破損が進行し、再び早期に修繕が必要な状態になることも多い。このようなケースでは、最初に十分な調査を行い、抜本的な対応をした場合より、長期的な視点ではかえって多くの予算が必要となる。

「使用目標年数」の導入は、舗装管理の効率化、舗装の長寿命化に非常に有効であると考えている。

3.5 点検頻度を規定

3.2に示した道路の区分に従い点検頻度を示した。損傷の進行が早い道路等においては5年に1回程度以上の頻度を目安として実施することとし、損傷の進行が緩やかな道路等については、点検計画を策定し、計画に基づき点検を実施することとした。

損傷の進行が早い道路等においては、すでに法定点検を実施している橋梁やトンネルにおける5年に1回という点検頻度を参考にしつつ、これらの構造物と比較して損傷の進行が早いことを考慮して定めたものである。

3.6 診断区分を規定

各管理者において統一した健全性の診断が行えるよう、3.2に示した道路の区分、3.3に示した舗装種別毎に診断区分を規定した。表-2にアスファルト舗装の損傷の進行が早い道路等における診断区分を示す。

ポイントとしては、ポットホールなどの即時の対応が必要な損傷は本要領の対象外としたため、橋梁やトンネルの点検要領に示されている「Ⅳ 要補修」という区分がないことと、路盤以下の健全性を考慮して「Ⅲ 修繕段階」をさらに2段階に区分したことが挙げられる。

表-2 損傷の進行が早い道路等における診断区分

区分		状態
I	健全	損傷レベル小：管理基準に照らし、劣化の程度が小さく、舗装表面が健全な状態である
II	表層機能保持段階	損傷レベル中：管理基準に照らし、劣化の程度が中程度である
III	修繕段階	損傷レベル大：管理基準に照らし、それを超過している又は早期の超過が 予見される状態
	(III-1：表層等修繕)	表層の供用年数が使用目標年数を超える場合 (路盤以下の層が健全であると想定される場合)
	(III-2：路盤打換等)	表層の供用年数が使用目標年数未満である場合 (路盤以下の層が損傷していると想定される場合)

3.6 記録を規定

点検、診断、措置の結果を記録し、当該舗装が供用されている期間は、これを保存することとし、これらの情報をその後の舗装管理にいかしていくこととした。

分類AやBの道路ではすでに実施されている事項であるが、これを分類CやDの道路にも広げることで全体的な舗装管理の合理化を目指すものである。

3.7 新技術等の活用

点検関係の技術開発が多方面で進められており、新技術の採用による点検の合理化や合理化に資する点検技術のさらなる進展を促すため、本要領に基づく点検が合理化できる手法と判断される場合は積極的に採用するとよい旨を示した。

特にこれまで点検を実施していない地方自治体においては、点検に掛かる費用が大きな負担になることが考えられ、その負担を軽減するためにも簡便で安価な新技術の開発・導入が期待される場所である。

4. おわりに

今回策定した点検要領は、舗装における効率的な維持管理を実現するメンテナンスサイクルの確立に向けたスタートである。舗装の効率的な管理を進めていくためには、耐久性の高いコンクリート舗装やコンポジット舗装、またはセメント安定処理等による路盤の強化、環境舗装など、適材適所での舗装構造の採用を推進していく視点も重要である。

また、点検要領の策定をきっかけとして、今後得られる情報・知見を活用して沿道状況による制約条件等

も加味しながら、更に新材料や新工法等の開発を推進していくことも必要である。さらに、入札契約制度面や点検の技術開発分野等においても、舗装の長寿命化に資する制度の導入・改正、路面の状態や路盤等の状態をより簡易に、より安価に計測・分析・記録できる技術開発、研究開発等を推進し、より効率的な管理を目指すことが必要である。こうした取り組みにより舗装管理の効率化が図られれば、舗装分野における生産性向上にも貢献するものと考えられる。

最後に、舗装の点検要領の策定にあたっては、技術小委員会委員には委員会等の議論を通じて貴重なご意見をいただき、特に日本大学生産工学部秋葉教授には、点検要領のとりまとめにあたって、多くのご助言、ご指導をいただいた。ここに謝意を表します。

— 参考文献 —

- 1) 国土交通省道路局：道路統計年報, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/>
- 2) 国土交通省社会資本整備審議会道路分科会建議：道路の老朽化対策の本格実施に関する提言, 2014.4
- 3) 社日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説, 2001.7
- 4) 国土交通省社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会：これからの舗装マネジメント, 第6会技術小委員会, 資料3-2, 2016.9
- 5) 社日本道路協会：舗装設計施工指針(平成18年版), 2006.2

8th RILEM国際会議報告

(Report on 8th RILEM INTERNATIONAL CONFERENCE in Nantes in 2016)

黄木秀実*

2016年6月7日～9日の間、フランスの西部の都市ナントで第8回RILEM国際会議が開催された。今回の会議テーマは「Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements (舗装におけるひび割れと層間剥離のメカニズム)」であり、我が国における舗装技術に役立つような発表が多数あった。

本稿では、この会議の概要およびヨーロッパで採用されている評価方法などについて紹介する。

1. はじめに

RILEM【Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages】では、1947年に設立されて以降、様々な研究活動が行われている。その中で瀝青材料に関する研究会が設けられており、アスファルト舗装のひび割れと層間剥離をテーマとした4年間の活動成果、およびこのテーマに関する応募論文の発表の場として、第8回RILEM国際会議がフランスのナント市で開催された。

今回の会議テーマは「舗装におけるひび割れと層間剥離のメカニズム (Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements)」であり、基調講演を含め約90編が発表された。

本報告では、この会議の概要およびヨーロッパで採用されている評価方法などについて紹介する。

2. 第8回RILEM国際会議の概要

2.1 開催場所

会議はCity Nantes events Center (ナント市イベントセンター) で開催された(写真-1)。

2.2 論文の内訳

(1) 参加国

参加国と論文数を図-1に示す。全106論文のうち、70編(66%)がEU諸国のものであり、アメリカ18編を加えると全体の8割を超える。アジア諸国からの参

加論文は、韓国の3編(すべてコンクリート関連)、日本の1編(中央大学)の合計4編のみであった。



写真-1 City Nantes events Center

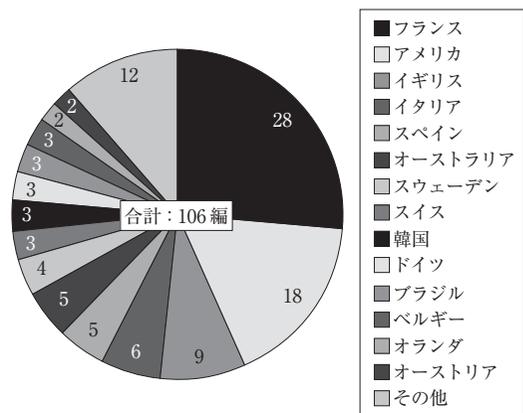


図-1 参加国と論文数

*おうき ひでみ ニチレキ株式会社 技術研究所 次長

(2) セッション

セッションと論文数を図-2に示す。「ひび割れ」「層間剥離」に大別すると、前者が79編(75%)、後者が27編(25%)という内訳であった。

2.3 会議プログラム

会議プログラムを表-1に示す。なお、開催前日の6/6に関連行事として、フランスの土木研究所であるIFSTTARの見学会が実施された。

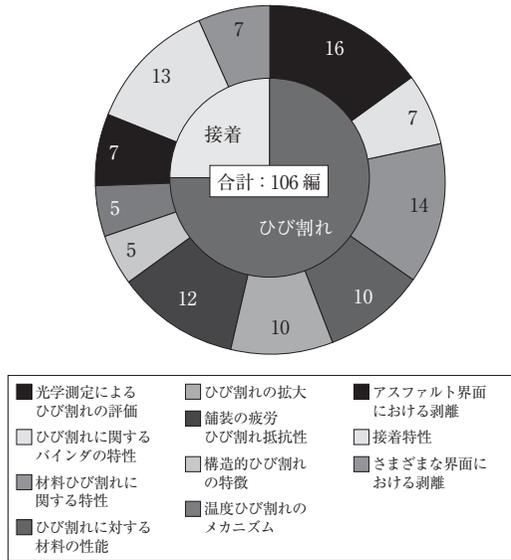


図-2 セッションと論文数

3. 会議のトピックス

3.1 Opening session

Opening session (写真-2)では、IFSTTARの長官などから歓迎の挨拶があった。RILEMには約40の委員会があり、241-MCD (Mechanisms of Cracking and Debonding) 委員会が本会議を主催していることなどが説明された。

3.2 基調講演 (Plenary Lecture, Keynote Lecture)

基調講演のうち、筆者が興味を引かれた3講演について以下に紹介する。

(1) ひび割れ：過去、現在と未来、終わらない物語

舗装のひび割れに関する研究で世界的に著名なデルフト工科大(オランダ)のA. Molenaar教授の講演である。「疲労試験」「自己修復」「層間接着」「トップダウンクラック」など多岐にわたる講演であった。



写真-2 Opening session

表-1 会議プログラム

日 目	内 容
1 日目 (6/7)	<ul style="list-style-type: none"> ● Opening session ● Plenary Lecture 講演①：ひび割れ：過去、現在と未来、終わらない物語 講演②：破壊と破損のモデル化に関する新分野 ● Parallel Podium session テーマ①：舗装の疲労性能 テーマ②：材料のひび割れ特性 テーマ③：温度ひび割れのメカニズム ● Poster session ● Parallel Podium session テーマ④：構造的なひび割れの特性 テーマ⑤：材料のひび割れ特性 テーマ⑥：材料ひび割れの拡大
2 日目 (6/8)	<ul style="list-style-type: none"> ● Keynote Lecture 講演③：アスファルト舗装とコンクリート床版における剥離現象の特性と発現 講演④：疑似破損に対するTLS損傷モデル ● Parallel Workshops WS①：種々の材料に対する層間剥離の理論計算モデル WS②：アスファルト舗装の設計方法で舗装の破損により現実的に対処するための新アプローチ ● Parallel Podium session テーマ⑦：剥離メカニズム(アスファルトの界面) テーマ⑧：接着特性 テーマ⑨：剥離メカニズム(種々の界面)
3 日目 (6/9)	<ul style="list-style-type: none"> ● Keynote Lecture 講演⑤：舗装構造上のフルスケール重車両シミュレーターの観察と分析および技術開発の評価 講演⑥：アスコンの劣化と回復における酸化ダメージの定量化 ● Parallel Podium session テーマ⑩：進歩した計測 テーマ⑪：視覚的な計測 テーマ⑫：現場測定と計算 ● Parallel Workshops WS③：未来の舗装：高耐久でマルチ機能を有するインフラへ WS④：デジタルイメージの収集方法に関する最近の進展：統合された表示へ ● Closing session

その中で、EN (欧州標準規格。European Norm の略) で採用されている 5 種類のアスファルト混合物のひび割れ評価試験について、図-3 に示す模式図により各試験の特徴が説明された。

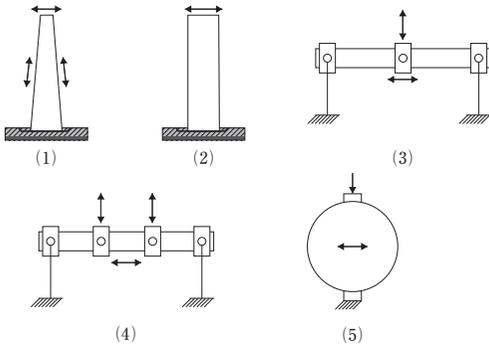


図-3 ENで採用されているひび割れ評価試験

このうち、我が国では(4)の4点曲げ疲労試験が舗装調査・試験法便覧 (日本道路協会) に記載されていることもあり、ひび割れ抵抗性の評価に用いられることが多い。一方のヨーロッパでは、(1)の2-point bending test (2点曲げ疲労試験) が主に適用されているとの報告が非常に興味深かった。この(1)の試験方法と特徴については詳細については、4.1の章で詳述する。

(2) アスファルト舗装とコンクリート床版における剥離現象の特性と発現

舗装の層間接着に関する研究に長年取り組んでいる EMPA (スイスの材料科学技術研究所) の M.Partl 所長の講演である。アスファルト舗装の層間剥離は、舗装の耐久性だけでなく、コンクリート床版にも悪影響を及ぼすという研究報告が興味深かった。

その一例として、表・基層に用いる骨材の噛み合わせが、層間接着に及ぼす影響について、サイズの異なる鉄球を用いた実験結果で紹介された (図-4)。せん断強度は、粗い粒の上に細かい粒を載せた組み合わせが高いとの実験結果から、このような視点は層間接着を語る上で大切だと感じた。

また、プリスタリング現象を日本と同様、サーモカメラの温度分布画像から確認する方法の紹介もあった。

(3) 舗装構造上にフルスケール重車両シミュレーターを用いた時の観察と分析および技術開発の評価

1970年代から南アフリカ共和国で研究されている

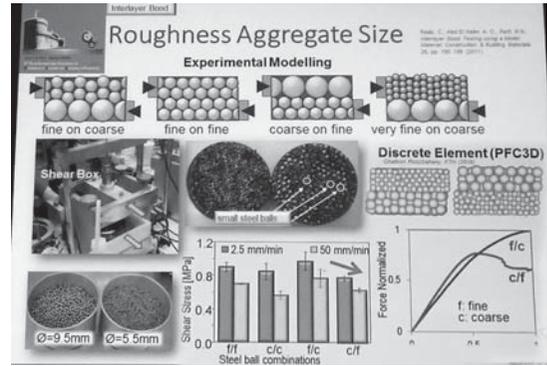


図-4 鉄球を用いた噛み合わせの実験結果

フルスケール重車両シミュレーター (HVS) に携わっているプレトリア大学 (南アフリカ共和国) の Morris De BEER 教授の講演である。

過去に製作された何種類かの HVS (図-5) が紹介され、加えて SIM (stress in motion) という装置を用いて、タイヤの荷重分散を測定した結果が図-6 のとおり紹介された。

この講演は、「測定すること」は「知ること」、「見る



図-5 促進載荷試験機の紹介

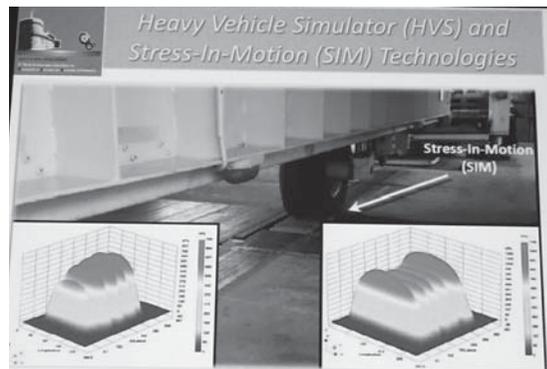


図-6 SIM装置とタイヤの荷重分散

こと」は「観察すること」, 「観察すること」は「理解すること」, そして「理解すること」が「知ること」というコメントで締められた。これはHSVなどを利用して舗装をよく知った上で取り組むことが, 技術者の心構えとして重要だというメッセージに聞こえた。

4. ヨーロッパで採用されている評価方法

講演や論文発表において, 我が国では採用されていない様々な評価方法が議論されていた。ここでは, 我が国でも有用と考えられる評価方法を紹介する。

4.1 ひび割れ評価試験

(1) 2-point bending test (2点曲げ疲労試験)

3. 2基調講演(1)で紹介したアスファルト混合物のひび割れ抵抗性の評価試験(図-7)であり, フランスでは以前から標準試験として採用されている。

この試験では, 必ず供試体中央部にひび割れが発生するため, 4点曲げ疲労試験(図-8)と比較して, 供試体を固定する治具の拘束に起因するひび割れが少なく, 試験結果のバラツキが小さいとしている。

<試験概要>

- ・台形状の供試体を切り出す(台形の上底25mm, 下底55mm, 高さ250mm, 厚さ25mm)。
- ・下底部分をエポキシ樹脂で試験機に固定する。
- ・上底部分を専用治具で固定し, 水平方向に繰返し載荷を行う。

(2) Disc-shaped Compact Tension test (DCT)

スリットを入れた円盤状の供試体を上下に引き裂く際のエネルギーを算出し, ひび割れ抵抗性を評価する試験である(図-9)。近年, アメリカで普及しており, 現場採取サンプルでも試験できる利点はあるが, 供試体の加工に手間が掛かることが難点である。

<試験概要>

- ・供試体に2箇所穴を空け, 棒状治具を接着する。
- ・供試体中央部にひび割れ誘発のスリットを作る。
- ・2本の棒状治具を上下に動かし, 供試体中央にひび割れが発生するまで繰返し載荷する。

(3) Fénix test

スペインで考案されたひび割れ抵抗性の評価試験であり, 前出したDCTの難点である供試体作製を少し簡便にした試験である(図-10)。

<試験概要>

- ・コアを半円上にカットした供試体を中央にスリットを入れた鉄板に接着する。
- ・鉄板を上下に引っ張ることで, 供試体中央にひび割れを発生させる。

(4) UGR-FACT Test

University of Granada - Fatigue Asphalt Cracking Test (UGR-FACT Test) は, 疲労とひび割れを把握して耐久性の高い舗装を設計することを目的として, スペインのグラナダ大学で最近開発された試験である(図-11)。

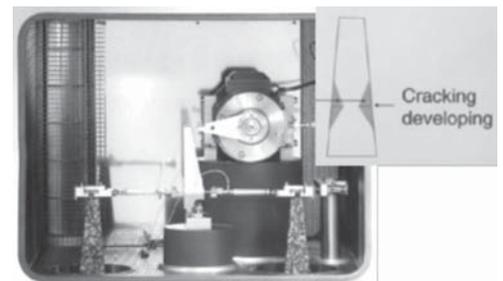


図-7 2-point bending test

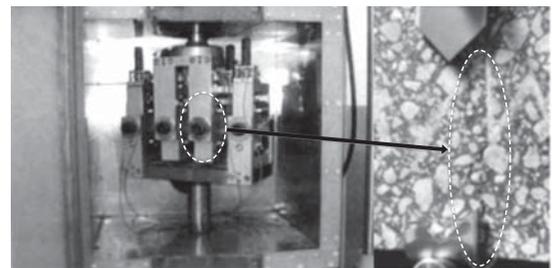


図-8 4点曲げ疲労試験

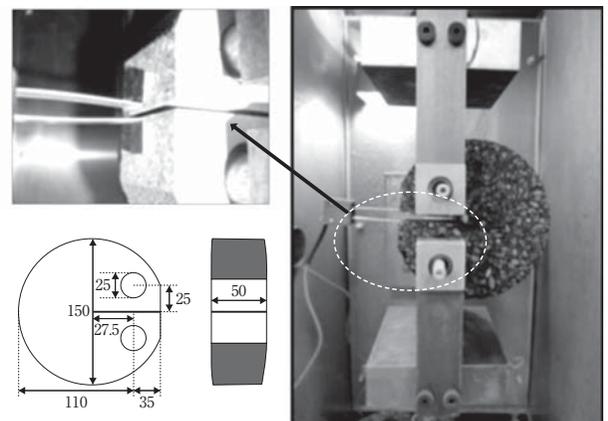


図-9 Disc-shaped Compact Tension test (DCT)

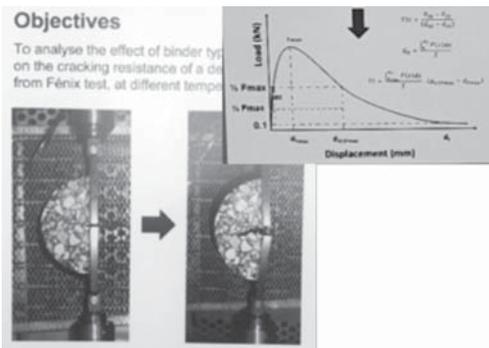


図-10 Fénix test

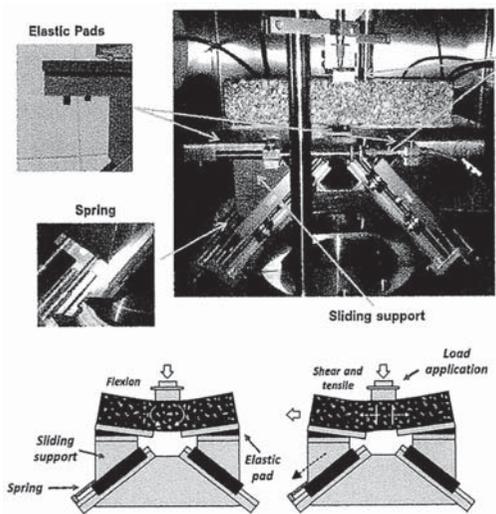


図-11 UGR-FACT Test

台座が柔軟に動くことで、繰り返し荷重による永久変形を差し引いて評価できるとともに、供試体の縦変位、横変位を荷重と同期して測定できる。混合物の疲労破壊過程における散逸エネルギーの推移を、ひび割れの初期-進行-障害の各段階におけるプロセスで定量的に測定できる(図-12)。

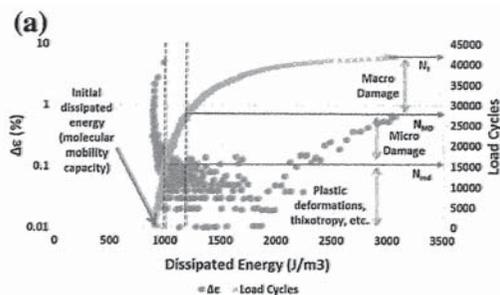


図-12 散逸エネルギーと載荷回数との関係

試験装置の形状は小さく操作も簡単で、どの研究所でも低コストで試験できるとしている。

4.2 接着

(1) 引き剥がし試験

引き剥がし試験は、タックコートの接着性を定量的に評価でき、かつ高い再現性が得られる試験方法として紹介された試験である(図-13)。

硬さが異なるアスファルトによるアスファルト乳剤の検討結果から、直接引張試験と相関が高く、アスファルト乳剤の凝集力を測定できる簡易的な試験として効果的であると発表された。

<試験概要>

- ・50℃に養生した金属板(120×600mm)に、固形分が400g/m³(~400μmの膜厚に相当)となるようにアスファルト乳剤を塗布する。
- ・50℃で24時間養生・乾燥し、同時に100×100mmの治具も養生する。
- ・養生後、分解した乳剤面に治具を載せて14kg×3min載荷する。…(a)
- ・除荷後に25℃まで放冷し、3.1mm/minの速度でモータ駆動式の試験機で引っ張る。…(b)

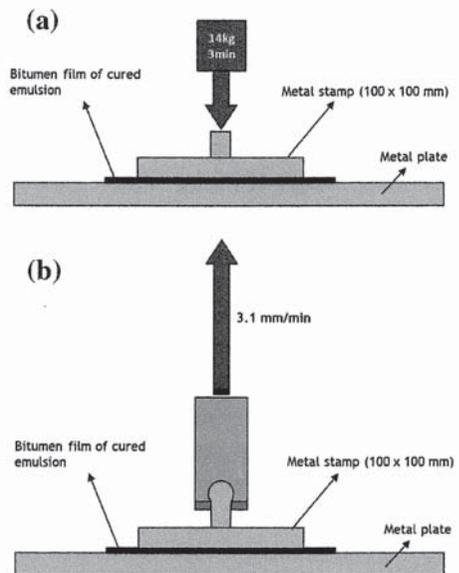


図-13 引き剥がし試験

(2) MMSL3

室内に設置できる Mobile load simulator (移動式載荷シミュレーター)の名称で、南アフリカ共和国で開発された試験機である(図-14)。

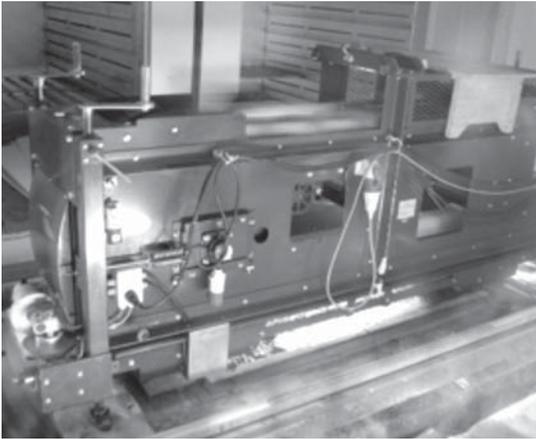


図-14 MMSL3

MMSL3は、幅2600mm×高さ900mm程度の大きさであるため、試験室および現場の何れでも使用でき、環境室に入れば温度制御も可能である。

大型のMLS10(図-15)のイメージ図から分かるように、数珠つなぎになっているタイヤが連続的に荷重を与える仕組みとなっている。ホイールトラッキング試験機のようなクランク式とは違い、一定速度で連続して一方向に荷重がかけ続けられるため、ひび割れやわだち掘れだけでなく、層間接着力(せん断強度)も評価できることが特徴に挙げられる。

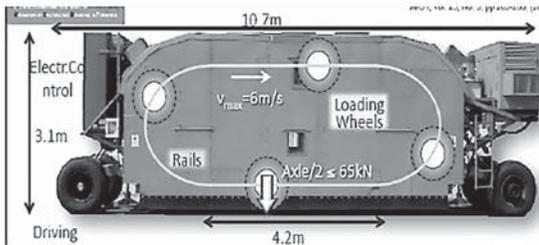


図-15 MLS10

4. 会議の総括

本会議に参加した筆者の総括を以下に示す。

- ①講演および論文の内容が、テーマである舗装のひび割れと層間接着に特化しており、専門知識を深められた。このようにテーマを明確に設定した会議の開催は、課題解決を早めるために非常に有効な手段である。
- ②ヨーロッパでは、ひび割れ抵抗性や層間接着性を評価するために様々な試験が採用されていることが認識できた。本誌で紹介した試験を始めとして、舗装の耐久性をより具体的に評価できるような試験については、我が国でも現行の枠(便覧の試験など)に捕らわれず大いに参考すべきである。
- ③Molenaar教授(オランダ, デルフト大学)とManfred PARTL所長(スイス, EMPA)の2人の基調講演の内容は、我が国では事例が少ない自己修復技術などへの取り組みも盛り込まれており、非常に興味深かった。唯一の心残りは、講演の資料配付がないため、すべてを把握できなかったことである(会議時に撮影したパワーポイントを訳して本誌で紹介)。

5. おわりに

本誌では、盛況のうちに閉幕した第8回RILEM国際会議の内容について紹介した。

アスファルト舗装の長寿命化に資する材料の研究開発などに携わっている筆者にとっては、参加意義を感じられる会議であった。

最後に、本会議で知ることのできた試験方法を参考として、新しく合理的な評価方法に関する研究が、我が国でも積極的に進められることを願うとともに、次回以降の会議では、日本の優れた舗装技術を世界に発信する場として活用されることを望むものである。

第6回Eurasphalt & Eurobitume Congressへ出席して

(Attendance Report of the 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress)

村上 浩*

2016年6月1日～3日まで、チェコ共和国のプラハにおいて、第6回Eurasphalt & Eurobitume Congress (以下：E&E会議)が開催された。E&E会議は、European Asphalt Pavement Association (EAPA：ヨーロッパアスファルト舗装協会)とEuropean Bitumen Association (Eurobitume：ヨーロッパアスファルト協会)が共同で開催する国際会議である。第6回の今回は、“Investing in our greatest asset : Roads”をテーマに開催され、1,077名(主催者発表)が参加した。日本からは私を含めて18名が参加していた。ここでは、本会議において報告のあった論文からアスファルトに関するものについてまとめてみた。

1. E&E会議について

E&E会議は、1996年から4年ごとに開催されている国際会議で、EURO圏内を持ち回り(1996：フランス：パリ、2000：スペイン：バルセロナ、2004：オーストリア：ウィーン、2008：デンマーク；コペンハーゲン、2012：トルコ：イスタンブール)で行われている。今回は、247編の論文が報告された。

会議プログラムは表-1に示すとおりである。

最後に、“今回報告・説明された道路舗装技術を有効に適用するためには、より良い契約システムが必要である”といったことが総括して報告された。

なお、次回第7回E&E会議が2020年5月13～15日にスペインのマドリッドで、その間に、第1回E&Eアスファルトディとして小規模な会議を2018年5月14～15日にドイツのベルリンで、開催されることが紹介されて閉幕した。

2. 会議概要

個々のSessionについては他誌でも紹介されているため、ここでは、特に注目すべき点として、アスファルトについてまとめた。それぞれの概要は次ページのとおりである。

表-1 会議プログラム

1日目 (2016.06.01)	開会式 Session 1 (パネルディスカッション：4名) Road owners and road users Session 2 (3編) External factors Session 3 (4編) What the industry can provide	エキシビション& ポスターSession
2日目 (2016.06.02)	Session 4A (6編) Recycling Session 4B (グループ討議：4名+聴講者) Become an 'Asphalt Advocate' Session 5A (6編) Mixture Performance and Testing Session 5B (7編) Health, Safety & Environment Session 6A (6編) Binder Performance & Testing Part 1 Session 6B (セミナー：4名) Smart management of road infrastructure	
3日目 (2016.06.03)	Session 7A (6編) Warm asphalt mixtures Session 7B (7編) Binder Performance & Testing Part 2 Session 8A (6編) Maintenance & Rehabilitation Session 8B (6編) Sustainable development 閉会式 ・次回開催地の発表	

*むらかみ ひろし 株式会社NIPPO 技術本部 技術企画室

(1) 排水性混合物

数社が共同開発した、第3世代のポーラスアスファルトをオランダのロッテルダムにある国道(A15)に適用した報告があった¹⁾。第3世代のポーラスアスファルトとは、以下のようなものであると説明されている。

- 小粒径
- 高空隙率(25%)
- ポリマー改質アスファルトの使用
- 適切な転圧手順(過転圧をしない)
- 研磨方法(初期すべり抵抗性の改良)

この第3世代のポーラスアスファルト(写真-1参照)は、通常のポーラスアスファルトの持つ水しぶき抑制、ハイドロプレーニング抑制による事故の減少、低騒音性の他に次の特長を有する。

- 通常のポーラスアスファルトより寿命が50%伸びる
- 通常のポーラスアスファルトより環境コストとCO₂排出量が少なくとも30%減少



写真-1 第3世代PAの施工後舗装面

(2) 再生アスファルト

再生用添加剤については、石油由来のものではなく、植物などを原料とするものについて検討がなされていることが特徴的であった。例えば、菜種油のメチルエステルをエポキシ重合反応させたもの²⁾がポーランドから、脂肪酸誘導体を用いたもの³⁾がトルコから、ラトビアからは6種類の再生用添加剤を検討した結果、有機系再生用添加剤が最も効果があったとの報告⁴⁾もあった。また、Low Emission2 Asphalt PavementとしてEUにおいて現在進行中のリサイクルプロジェクトの進捗報告もなされていた⁵⁾。粗骨材とモルタル分に分解した再生骨材のモルタル分をフォームド化し、100℃程度の粗骨材と混合して再生ポーラスアスファルト混合物を製造するという試みである(写真-2参



写真-2 製造状況(右上の装置で混合)

照)。舗設後の状態も良好で新規混合物と比較しても遜色はないとされている。

(3) バインダーの耐久性

SBSを添加したアスファルトに関する試験とその結果についてのセッション(6A)がもたれていた。

オーストリアから、SBS添加量を3.5%と6.0%の2種類のポリマー改質アスファルト(以下:PMB)の高温保存性能に関する検討⁶⁾においては、保管前後でわだちへの抵抗性は変わらないが、疲労抵抗性は向上していることがわかったと報告されている。

次に、オランダにおいては、排水性用のバインダー劣化に関して、試験施工現場からの採取材料について検討している。室内において、現場の温度劣化を再現するには、135℃で240分劣化させ、その後、85℃で9日間劣化させるとよいとの報告であった⁷⁾。

フランスからは、低温におけるアスファルトの性能を評価できる「普遍的な」試験方法に関する研究成果として、TSRST(Tensile Strength Restrained Specimen Test)(写真-3参照)の結果とベンディング・ビーム・レオメータ試験(BBR)がTSRST試験の



写真-3 TSRST試験状況

結果と相関がみられたとの報告になっている^{8,9)}。

数は少ないが、EU以外のアメリカのデータとして、経験的なバインダ試験（軟化点、60℃粘度）とレオロジー試験（DSR, BBR）が比較され、各々の試験の長所と短所について言及されている。アメリカにおける数百のサンプルを用いて経験的な試験とレオロジー試験の相関を考察し、欧州においてもレオロジー試験による舗装性能の基準を作ることを提唱している。図-1では、気象条件に見合ったコンシステンシーを有するアスファルトを使用すべきであるといった提言である¹⁰⁾。

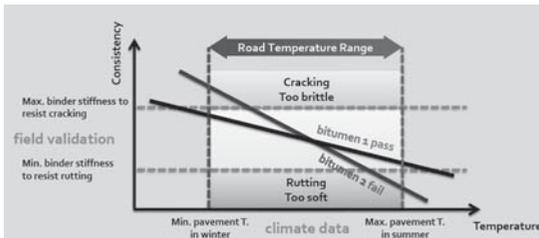


図-1 気象条件とアスファルトのコンシステンシーとの関係

(4) 中温化混合物

これも1つのセッション(7A)が設けられていた。始めに、基調講演がなされ、その後5編が口頭発表されている。中温化は、作業環境、省エネ・低炭素など多くの利点があり、品質も加熱アスファルト混合物と同等であるが、ヨーロッパでは概して普及に苦戦している。普及するには、変化の必要性が広く理解され、ノルウェーやアメリカのようにインセンティブを与えることや、経済的インセンティブなどが必要であるとの報告であった¹¹⁾。

トルコからは、有機系と化学系の中温化添加剤について、再生骨材配合率を変化させて検討した結果について報告があった。有機系中温化添加剤では、再生骨材配合率30%で最少わだちであった¹²⁾。

イギリスでは、添加剤を用いず発泡させる「インジェクションフォーミング」により、再生骨材も入れた形で2014年に試験施工している(表-2参照)。この結果、ほぼ一般混合物と同様の結果が得られたと報告されている¹³⁾。

スイスからは、発泡系で中温化処理(化学系添加剤、化学系ゼオライト、水、水+再生材)した混合物の性状試験結果がほぼ一般混合物と同程度であったことが報告された¹⁴⁾。

また、オランダから中温化用再生添加剤を用いた室内試験結果について紹介された。この添加剤を使うと、60℃以上でジャイレトリコンパクタを利用して供試体を作製すると60旋回程度で目標の空隙率が得られる結果となっている(写真-4参照)。

このことから、再生骨材配合率100%による中温化混合物の出荷が可能となると結論づけている¹⁵⁾。

5. 最後に

今回、私としては2回目となる国際会議へ参加させていただき、EUROの技術情報に触れることができたことは非常に大きな成果であった。また、EU他国の道

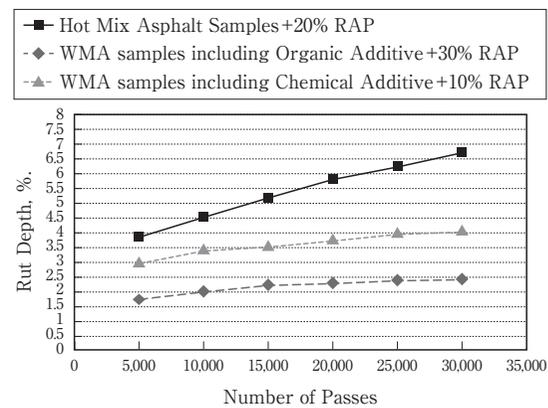


図-2 再生用添加剤別の走行輪数とわだち掘れとの関係¹²⁾

表-2 中温化混合物の適用例¹³⁾

Mixture No.	Type	Course	Mean mixing temp. (°C)	Reclaimed asphalt (%)
1	LTAAC20	Binder	92	25.9
2	LTAAC14 PMB	Surface	107	15.6
3	HMAAC20	Binder	171	5.9†
4	HMAAC14 PMB	Surface	169	15.6

† Higher recycled content was targeted, though not achieved due to moisture in RAP / fines content of binder course HMA

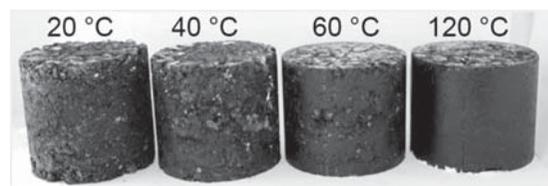


写真-4 ジャイレトリコンパクタによる作製供試体(温度別:300旋回)

路整備ならびに管理状況を見ることもでき、帰国すると日本の道路整備との違いが明確であることが改めて思われた。特に、建物を中心とした景観を大事にすることは、日本も今からでも取り入れるべきところがあると思われた。

今後も、機会があれば、このような国際会議へも参加し、知見を広められればと思う。

— 参考文献 —

以下の参考文献は、第6回 Eurasphalt & Eurobitume Congress の論文集に掲載されている論文である。

- 1) Development of a durable 3rd generation Porous Asphalt with a high noise reduction Arian de Bondt, Ooms Civiel, the Netherlands
- 2) New concept of sustainable road structure with RAP binder course using bio-agent Jan Król, Faculty of Civil Engineering, Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland
- 3) Investigation of performance properties of laboratory and plant produced bituminous mixture containing high rates of reclaimed asphalt Zeliha Temren, Turkish Asphalt Contractors Association (ASMÜD), Ankara, Turkey
- 4) Towards production of 100% recycled asphalt Martins Zaumanis, Latvian State Roads, Riga, Latvia
- 5) Low Emission2 Asphalt Pavement, LE2AP Marinus Huurman, Bam Infra Asphalt, Utrecht, Netherlands
- 6) Effects of hot storage on polymer modified binder properties and field performance Robert Urquhart, ARRB Group Ltd, Vermont South VIC, Australia
- 7) Comparing field aging to artificial laboratorial aging of bituminous binders for porous asphalt concrete using black space graph analysis Diederik Quirinus van Lent, TNO, Delft, Netherlands
- 8) Low temperature and aging properties of polymermodified binders Yvong Hung, Research Center, Total Marketing and Services, Solaize, France
- 9) Impact of the bitumen quality on the asphalt mixes performances Frédéric Delfosse, Eurovia, Mérignac, France
- 10) Assessment of performance specification tests for rheologically simple bitumens Pavel Kriz, Research Department, Imperial Oil Limited, Sarnia, ON, Canada
- 11) Keynote address Eivind Olav Andersen, Veidekke Industri AS, T rondheim, Norway
- 12) Permanent deformation characteristics of warm mix asphalt Peyman Aghazadeh Dokandari, Dokuz Eylul University, Engineering Faculty, IZMIR, Turkey
- 13) Successful demonstration of lower temperature asphalt on the UK strategic road network Matthew Wayman, TRL Limited, Wokingham, United Kingdom
- 14) Mechanical properties and quality-control of warm asphalt Christian Angst, IMP Bautest AG, Oberbuchsiten, Switzerland
- 15) Laboratory evaluation of half warm recycling with bio-based additive Laurent Porot, Roads and Construction, Arizona Chemical BV, Almere, Netherlands

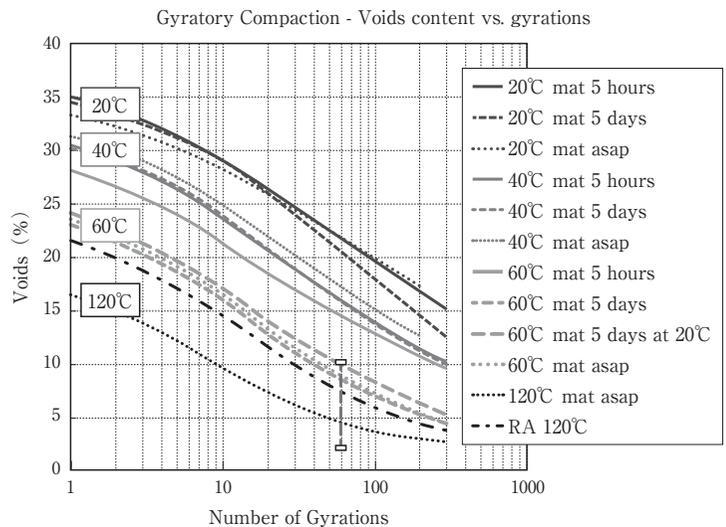


図-3 再生用添加剤を入れた再生骨材100%の空隙率の変化¹⁵⁾

**「舗装の補修および長寿命化に関する
 新しいアプローチについて」
 ～第25回PIARC世界道路会議から～
 および
 「若手技術者によるアスファルト舗装に関する質問コーナー」
 ～中温化アスファルト舗装技術～**

アスファルト舗装技術研究グループは、所属機関の理解と支援を受けて志の高い若手技術者が集い、海外文献の輪読や最近の話題を中心にアスファルト舗装に関する勉強会を重ねてきております。

今年度は第25回世界道路会議で発表された数多くの論文を読み込みました。そのなかで舗装の補修や長寿命化に関する論文を抽出選定し、国内の事例とも比較検討しつつ研究グループ内で議論し紹介報文としてまとめました。

若手技術者が抱く素朴な疑問について連載してきている質問コーナーでは、今回は中温化およびフォームドアスファルト技術の歴史、海外動向、最近の話題等について報告します。これは、舗装分野において普及しつつある、加熱アスファルト舗装の製造・施工温度を低下できる技術について資料調査し、若手や専門外の技術者が俯瞰できるよう横断的に整理解説したものです。

(研究グループ代表幹事：佐々木 巖)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

佐々木 巖 (国研)土木研究所材料資源研究グループ

上地俊孝 大林道路(株)技術研究所
 川上 聖 日本道路(株)技術研究所
 川島陽子 (国研)土木研究所材料資源研究グループ
 小柴朋広 世紀東急工業(株)技術研究所
 小林真依 東亜道路工業(株)技術研究所
 櫻井博章 日進化成(株)技術研究所
 高橋秀典 日本道路(株)技術研究所
 田口翔大 鹿島道路(株)技術研究所
 塚本堯芳 昭和シェル石油(株)石油事業本部
 塚本康雄 (一社)日本道路建設業協会道路試験所
 仲野尚弘 日進化成(株)技術研究所
 中野延弘 日本道路(株)技術研究所

根元 孝 (一社)日本道路建設業協会道路試験所
 野口健太郎 昭和シェル石油(株)中央研究所
 朴 希真 日本道路(株)技術研究所
 平川一成 大成ロテック(株)技術研究所
 福山菜美 前田道路(株)技術研究所
 藤井洋志 日本道路(株)技術研究所
 藤田浩成 世紀東急工業(株)技術研究所
 宮城裕一 ニチレキ(株)技術研究所
 村井宏美 世紀東急工業(株)技術研究所
 渡邊真一 (株)NIPPO技術研究所

(2016年9月現在)

舗装の補修および長寿命化に関する 新しいアプローチについて ～第 25 回 PIARC 世界道路会議から～

小林 真 依 渡 邊 真 一 野 口 健 太 郎
田 口 翔 大 宮 城 裕 一

はじめに

2015 年 11 月に韓国・ソウルで行われた PIARC 世界道路会議 (XXVth World Road Congress) は、世界道路協会が主催の会議である。1908 年にフランス・パリで第 1 回が開催されてから 4 年に 1 度行われている歴史の長い国際会議である。

第 25 回となるソウル大会では 2700 人が参加し、「道路交通による新たな価値の創出」のテーマのもと、環境への取り組み、インフラプロジェクトについて、地元素材の使用やメンテナンス技術といった 36 のセッションに分かれて 121 の論文が発表された。

本報告では、「維持補修および舗装の長寿命化」に焦点をあて、抽出した 5 報の論文について紹介する。

1. 紹介する研究報告

近年の国際会議で発表される論文の中で、「持続可能な舗装」という言葉とともに高性能、高耐久な舗装についての論文をよく見かける。また、わだち掘れのメカニズムの研究やメンテナンスについての論文が多くなってきていることから、諸外国でも舗装の補修や

長寿命化への関心が高いと考えられる。

表-1 に紹介する論文を示す。本報告では、舗装の補修や長寿命化に関して、新しい着眼点からアプローチしたものや既存の試験方法を新たに改良したものを紹介する。

1.1 再生フォームドビチューメン安定処理混合物の品質特性

ステイフネスモジュラス試験を行い、フォームドアスファルトで安定処理を施した再生混合物の品質評価を行っている。また、高速道路の補修工事での適用事例を報告している。

1.2 接着層のせん断剛性の実験と計算を用いた評価

舗装間の層間接着の繰り返し試験 (CTIB) について新たな装置を考案し、層間接着の耐久性を評価している。さらに、計算によるシミュレーションを行い、実測値との比較を行っている。

1.3 韓国におけるクラック注入材の接着特性の評価

湿潤状態で大きな影響を受けるクラック注入材の接着強度を評価している。この方法によって、韓国でのクラック注入材特性のガイドラインの発展に貢献したと報告している。

表-1 紹介する論文

論文 No.	タイトル (上段: 原題, 下段: 和題)	筆者および発表国
132	Qualitative Characterization of Recycled Bituminous Mixes with Foamed Bitumen 再生フォームドビチューメン安定処理混合物の品質特性	A. LJUBIC スロベニア
600	Experimental And Numerically Supported Determination Of The Interlayer Bond Shear Stiffness 接着層のせん断剛性の実験と計算を用いた評価	B. HRISTOV ほか ドイツ
134	Evaluation of Adhesion properties of crack sealing materials in Korea 韓国におけるクラック注入材の接着特性の評価	J. LEES ほか 韓国
275	Method for predicting the development of rutting of asphalt roads on the basis of asphalt analysis with the dynamic triaxial test 動的三軸試験を用いたアスファルト舗装のわだち掘れ予測方法	S. LIPKE ほか ドイツ
433	Tyre-Pavement Interaction On Flexible Pavement Rutting 舗装の流動わだち部におけるタイヤと舗装の相互作用	S. F. SAID スウェーデン

1.4 動的三軸試験を用いたアスファルト舗装のわだち掘れ予測方法

動的三軸試験を行い、解析することでアスファルトのわだち掘れの進行予測を行っている。解析条件を変更することで、さまざまな舗装構成や外的条件でのわだち掘れ量の予測が可能になるという。

1.5 舗装の流動わだち部におけるタイヤと舗装の相互作用

PEDROと呼ばれる線形粘弾性解析を用いて、タイヤの種類や荷重、空気圧の違いによるわだち掘れの影響を報告している。タイヤの荷重や空気圧だけでなく、タイヤの形状や配置もわだち掘れに影響があると示している。

2. 我が国における舗装の補修および長寿命化について

2.1 補修材の規格について

日本では、高度経済成長期に建設されたほとんどの交通インフラはすでに50年以上供用され、更新時期を迎えている。それと同時に、限られた予算で適切にかつ効果的に補修を行うことが求められている。そのため、路面調査や構造調査を行い、舗装に発生した破損の程度を管理し、補修材料や補修時期を適切に判断している¹⁾。

また、補修材については多様な破損状態に対応すべく、さまざまな補修材があり、さまざまな試験によりその性状が評価される。例えば、1.3に示した論文で紹介されるクラック注入材について、日本では表-2に示したような規格（舗装調査・試験法便覧A102、付052）が定められている²⁾。さらに、路面との接着性には「補修用常温混合物の引張接着試験方法（舗装調査・試験法便覧D002T）」²⁾、2層間の接着性の評価には「タックコート層を有した円筒状供試体の引張試験方法（日本アスファルト乳剤協会JEAAT-5）」³⁾といった試験法が定められている。図-1および図-2に各試験状況を示す。

表-2 常温施工型目地注入剤の品質規格²⁾

項目	常温施工式		試験法	
	マスチック型	乳剤型		
流動 (60℃) (-)	15以下	15以下	流動試験	舗装調査・試験法便覧A102
針入度 (円すい針) (1/10mm)	250以下	150以下	針入度試験	舗装調査・試験法便覧A102
引張度 (-10℃) (mm)	2以上	2以上	引張試験	舗装調査・試験法便覧A102
揮発分 (%)	20以下	35以下	塗料成分試験	JIS K 5601-1-2

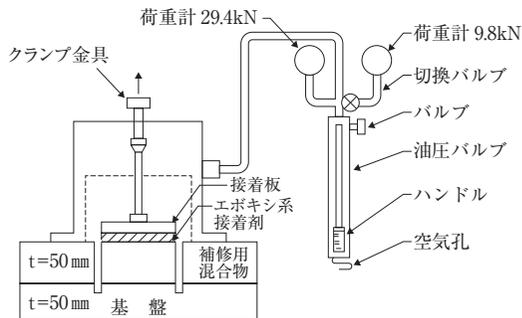


図-1 補修用常温混合物の引張接着試験²⁾

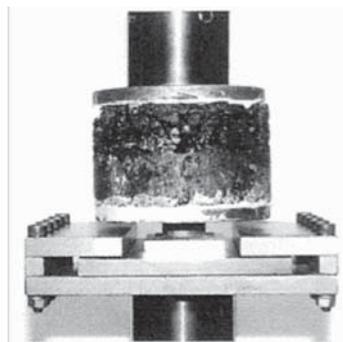


図-2 タックコート層を有した円筒状供試体の引張試験³⁾

これら日本で確立されている試験方法と比較しながら、次ページから紹介する論文を読んでいただきたい。

2.2 舗装の長寿命化について

舗装は、供用中に交通荷重による疲労や水、空気といった外的要因によって、劣化が進行しているとされるため、性能が低下することを前提に建設される。

近年、日本では改質アスファルトや混合物は多種多様化しており、初期強度が高い混合物よりも、長期供用していても性能が高い状態を長く保てる混合物が求められている。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会, 舗装の維持修繕ガイドブック2013, 2013.11
- 2) 公益社団法人日本道路協会, 舗装調査・試験法便覧, 2007
- 3) 一般社団法人日本アスファルト乳剤協会, アスファルト乳剤, 1996.9

3. 再生フォームドビチュメン安定処理混合物の品質特性

原題：QUALITATIVE CHARACTERIZATION OF RECYCLED BITUMINOUS MIXES WITH FOAMED BITUMEN

著者：A. Ljubicほか（スロベニア） 所属：IGMAT d.d.

3.1 概要

本研究の目的は、フォームドビチュメンにて安定処理を行った再生混合物（フォームドBSM）に関して、その品質特性を把握し、利用を促進することである。そこで、間接引張試験およびスティフネスモジュラス試験を実施し、品質特性についての評価を行った。また高速道路における補修工事での適用事例を紹介する。

3.2 はじめに

切削機の普及にともなう再生アスファルト舗装の利用は一般化している。フォームドビチュメンを用いた路上再生工法についても同様のことが起きている。フォームドビチュメン安定処理工法は、加熱したビチュメンと水の混合物にて粒状材料を結合させ、基層または路盤層に用いるものである。

3.3 フォームドBSMを用いた補修設計

3.3.1 H3モーターウェイにおける補修設計

著者らは、スロベニアの首都リュブリャナのH3モーターウェイにおけるフォームドBSMを用いた舗装補修計画にて、設計と品質管理に携わった。この道路は1980年代初期に建設されたが、供用開始から30年が経過し、写真-1のような著しい損傷が生じていた。

第1工区の補修方法として以下の2つの方法が提案された。1つ目の方法は、原位置のセメント安定処理を撤去し、アスファルト混合物と路盤を再利用する方法である（図-3）。この時の配合は、アスファルト混合物30%と路盤70%の再生材に対し、外割でフォームドビチュメン2.5%、セメント1.5%を添加するものである。

2つ目の方法は、アスファルト混合物を撤去し、セメント安定処理と路盤を再利用する方法である。この時の配合は、セメント安定処理50%と路盤50%の再生材に対し、外割でフォームドビチュメン3.0%、セメント1.5%を添加するものである。

本工区では、1つ目の方法が採用され、2012年に施工された（写真-2）。また第2工区では、アスファルト混合物45%と路盤

45%の再生材に新たに砂10%を加えたものに対して、外割でフォームドビチュメン2.2%、セメント1.0%を添加したものを使用する予定である。



写真-1 H3モーターウェイ（補修前）



写真-2 施工状況

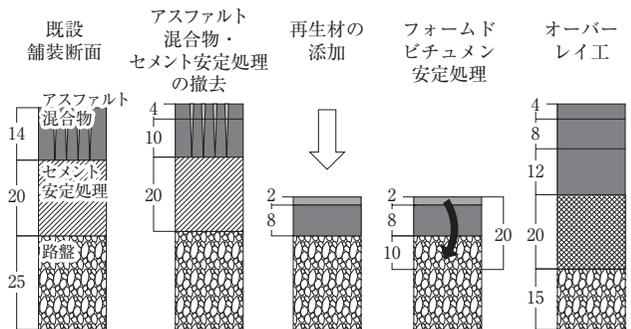


図-3 第1工区における補修方法

3.3.2 フォームドBSMの室内試験

表-3に示している設計時に検討した3種類の配合(①1工区1つ目の配合, ②1工区2つ目の配合, ③第2工区配合)のフォームドBSMについて, 間接引張強度(ITS)試験を実施した。使用した供試体は, 気中養生した乾燥供試体と, 水浸養生した湿潤供試体とした。試験では, それぞれの間接引張強度 ITS_{Dry} および ITS_{Wet} を測定し, さらに ITS_{Wet} と ITS_{Dry} の比で表される残留引張強度を用いて品質評価を行った。

また, 将来的に理論的設計法を用いるためのデータ蓄積を目的に, 欧州規格に準拠したスティフネスモジュラス $S'm$ の測定も実施した(写真-3)。

室内試験の結果を, 表-4および図-4のNo.1(配合①), No.2(配合②), No.5(配合③)に示す。いずれの配合についても, ITS_{Dry} および ITS_{Wet} は規格値を満



写真-3 スティフネスモジュラス試験

表-3 フォームドBSMの配合

配合	添加ビッチメン	アスファルト混合物 %	セメント安定処理 %	路盤材 %	砂 %	ビッチメン量 % (外割)	セメント量 % (外割)	フォームド水分量 % (外割)
①	B 70/100	30	0	70	0	2.5	1.5	2.5
②	B 70/100	0	50	50	0	3.0	1.5	2.5
③	B 70/100	45	0	45	10	2.2	1.0	2.0

表-4 試験結果

No.	作製場所	混合物配合	最大乾燥密度 kg/m ³	間接引張強度			スティフネスモジュラス		
				乾燥 ITS_{Dry} kPa	湿潤 ITS_{Wet} kPa	残留引張強度 %	乾燥 $S'm_{Dry}$ MPa	湿潤 $S'm_{Wet}$ MPa	$S'm_{Dry}/S'm_{Wet}$ %
1	室内	①	2336	418	342	81.8	4526	4370	96.6
2	室内	②	2247	400	322	80.5	3625	1011	27.9
5	室内	③	2252	429	339	79.0	5140	5012	97.5
3	現場	①	2235	414	355	85.7	4070	3178	78.1
4	現場	①	2240	404	315	78.0	4509	4147	92.0
平均値			2262	413	335	81.0	4374	3544	78.4
規格値			-	225	100	-	4000	1000	-

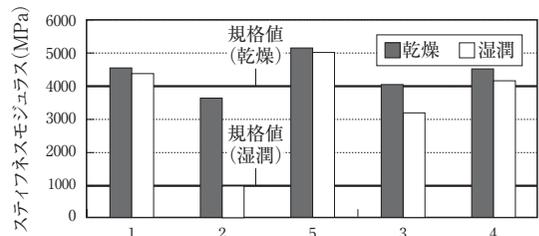


図-4 スティフネスモジュラス試験結果

足する結果となっている。またスティフネスモジュラスの値についても, 概ね規格を満足していることが分かる。しかしNo.2のスティフネスモジュラスは, 他に比べて値が小さくなっている。これはNo.2のフォームドBSMだけが, アスファルト混合物の再生材を使用していないため, 値が小さくなったと考えられる。

3.3.3 室内作製と現場作製の比較

著者らは現場における品質管理のため, 室内で作製されたフォームドBSMの試験結果と, 現場で作製されたフォームドBSMの試験結果との比較を行った。

現場で作製されたフォームドBSMの試験結果を表-4および図-4のNo.3とNo.4に示す(いずれも配合①)。それぞれの ITS_{Dry} および ITS_{Wet} の値は, 室内試験で得られた結果と同等の値となっており, 規格値も満足する結果となった。

本結果から, 現場で作製されたフォームドBSMの品質特性値は, 設計に対するばらつきが少ないといえる。

3.4 結論

フォームドBSMは, スティフネスモジュラスの観点からみると, 粒状材料よりもアスファルト混合物に近い材料であるといえる。

また, アスファルト混合物の再生材を利用することでフォームドBSMのスティフネスモジュラスは向上する。このことから, 補修時には原位置のアスファルト混合物をできるだけ多く再利用するような設計が望ましいといえる。

3.5 翻訳者コメント

本論文では従来のフォームドBSMの設計で用いるITSの他, 理論的設計に用いるスティフネスモジュラス $S'm$ も測定している。このようにさまざまな材料についてスティフネスモジュラス $S'm$ のデータを蓄積していくことで, 将来的には性能に基づいた材料の選択が普及していくことが期待できる。

4. 接着層のせん断剛性の実験と計算を用いた評価

原題：EXPERIMENTAL AND NUMERICALLY SUPPORTED DETERMINATION OF THE INTERLAYER BOND SHEAR STIFFNESS

著者：B. Hristovほか（ドイツ） 所属：Institute of Urban and Pavement Engineering

4.1 概要

アスファルト舗装の長寿命化を実現するためには、表基層間の接着層（アスファルト乳剤による接着箇所）の強度向上が欠かせない。従って、接着層の強度を正確に評価することが、舗装を設計する上で重要となる。

これまで、ドイツでは静的試験による接着層の強度評価については報告されてきた。しかしながら、静的な条件下では、繰り返し荷重のかかる実道下における状況を再現することが難しく、適切な評価はできないと考える。

そこで近年では、「接着層強度の繰り返し試験：Cyclic testing of the Interlayer Bond（以降、CTIB）」について検討が行われ、温度、垂直応力、振動などの条件が重要な要素であることが見出された。

本論文は、近年のCTIBの検討を踏まえた新たな装置を考案し、接着層の強度評価を行った。その結果、より実道下に近い状況で評価することが可能となった。また、評価結果について回帰分析を行った結果、試験評価結果と高い相関のある関数を得ることができた。

4.2 研究内容

4.2.1 試験体準備

室内にて、層間にアスファルト乳剤を塗布した2層の試験体を作製した（写真－4参照）。なお、本検討では、カチオン系のアスファルト乳剤を用い、その塗布量を、 0.2kg/m^2 、 0.3kg/m^2 、 0.4kg/m^2 の3段階に変化させ、その影響を確認した。試験体の作製手順を以下に示す。

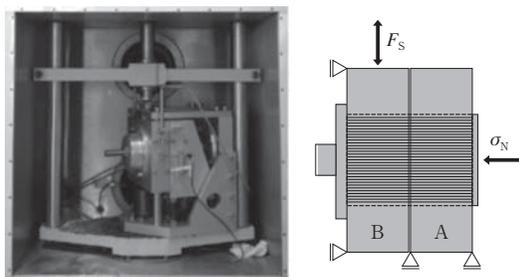
- ①下層部分を作製・養生後、アスファルト乳剤を接着面に塗布する。
- ②上層部分となるアスファルト混合物を①の上から転圧し、2層のアスファルト混合物を作製する。
- ③作製した2層のアスファルト混合物から直径100mmの試験体をくり抜く。
- ④くり抜いた試験体を、治具内に固定する。

4.2.2 試験装置

本検討に用いた試験装置の外観および概略図を図－5に示す。試験体は、装置中央部に横向きで設置した。本装置は、交通荷重（垂直方向の応力： σ_N ）、走行車



写真－4 試験体の様子



図－5 試験装置の外観および概略図

両の加速や減速による負荷（水平方向の振動： F_s ）だけでなく、気温の変化（温度： T ）も考慮し、測定条件を設定することが可能である。

これらの測定条件によって、供用時のアスファルト舗装に近い状況を再現することが可能となり、より正確な接着層の強度を評価することができると思う。

なお、本検討では、試験体の「せん断剛性」を測定し、接着層の強度を評価した。

4.2.3 測定手順

測定手順の概要を、図－6に示す。本試験では、温度（ T ）およびせん断変位（ S_w, max ）を4段階、垂直応力（ σ_N ）を5段階、振動数（ f ）を6段階で変化させ、測定を行った。

4.3 結果と考察

4.3.1 測定結果

せん断剛性の測定結果を図－7に示す。まず、全体の傾向を確認する。

接着層のせん断剛性は、実際の舗装と同様に、温度の増加とともに、急激に低下していくことを確認した。

また、垂直応力と振動数の変化も、せん断剛性に影響することを確認した。特に、温度が低い場合には、

振動数の変化が、せん断剛性に与える影響が大きいことが分かった。

次に、塗布した乳剤量の違いによる影響を確認する。すべての測定温度において、最もせん断剛性が高くなったのは、塗布量0.3kg/m²の場合であり、最も低くなったのは、0.2kg/m²の場合であった。これは、塗布量0.2kg/m²では、試験体表面の隙間を埋めることができず、強固に接着することができなくなったためと考える。

本検討においては、0.3kg/m²が最適な塗布量であり、塗布量0.4kg/m²の場合のせん断剛性は、他の2つの塗布量の間程度の値となった。塗布量0.4kg/m²では、アスファルト乳剤が潤滑油として機能してしまうため、0.3kg/m²の場合よりもせん断剛性が低下したと推測する。

4.3.2 回帰分析による測定結果の解析

測定によって得られたせん断剛性を解析するために、温度、垂直応力、振動数の影響を考慮した合成関数を用いた。本検討では、シグモイド関数を用いて回帰分析を行った。この関数は、せん断剛性の最大値と最小値に漸近的に近づく。せん断剛性 (G_s) の合成関数の式を以下に示す。

$$G_s = G_{s, \min} + \frac{(G_{s, \max} - G_{s, \min})}{1 + e^{(m \cdot a + b)}} \dots \dots \dots (1)$$

$G_{s, \min}$: 最小せん断剛性 (MPa/mm)

$G_{s, \max}$: 最大せん断剛性 (MPa/mm)

4.3.1にて示した「せん断剛性の実測値」と(1)式にて求めた「せん断剛性の計算値」との関係を図-8に示す。これより、(1)式にて求めた計算値と実測値には、高い相関があることを確認した。

4.4 結論

- ・CTIBのために新たに考案した試験装置を用いて、アスファルト接着層のせん断剛性について評価を行った。本試験装置は、垂直応力、振動数、温度の条件を設定することが可能であり、実道に近い評価結果が得ることができると考える。
- ・シグモイド関数を用いて回帰分析し、せん断剛性を算出した。この合成関数は、垂直応力、振動数、温度の影響を考慮した。その結果、試験によって得られた実測値と高い相関があることを確認した。今後は、本計算手法について検討を進め、アスファルト舗装間の強度についても調査を進める。

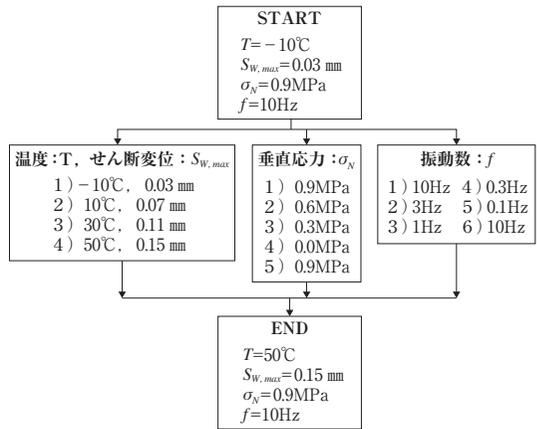


図-6 測定手順の概要

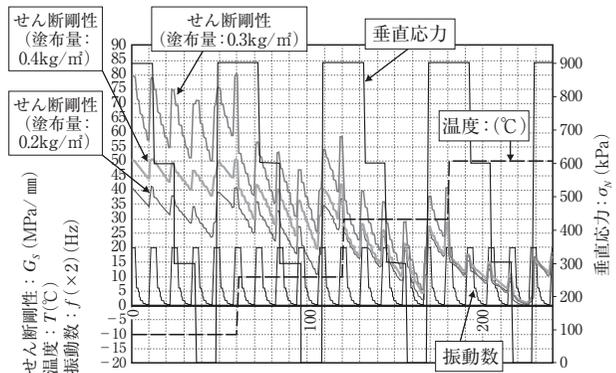


図-7 測定結果

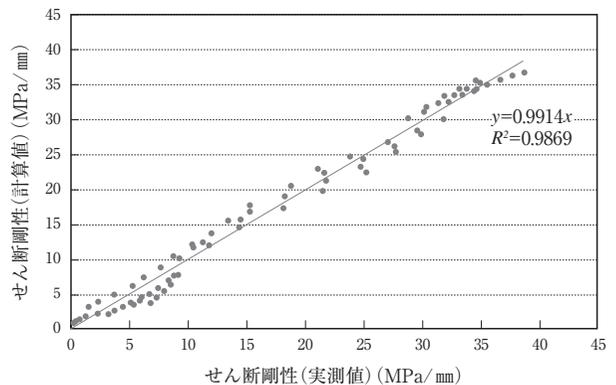


図-8 せん断剛性の実測値と計算値の関係

4.5 翻訳者コメント

舗装体の状況を効率的かつ正確に把握する手法を確立することは、的確な維持修繕につながる。評価手法の発展が重要であることを、改めて感じた。

5. 韓国におけるクラック注入材の接着特性の評価

原題：EVALUATION OF ADHESION PROPERTIES OF CRACK SEALING MATERIALS IN KOREA

著者：J. Leeほか（韓国） 所属：Chonbuk National Universityほか

5.1 概要

アスファルト舗装のひび割れを補修する材料としてクラック注入材がある。接着は注入材／骨材界面の基本性状であり、注入材と基板の原子間力や分子間力が直接影響する現象である。

接着強度は湿潤状態の影響を受ける。湿潤状態は液体と固体といった2表面間の引力を制御し、基板が液体とどのように相互作用するかを示す。

本研究では、PATTIを採用して、湿潤条件を変化させてクラック注入材の基板への接着強度を測定し、クラック注入材の接着性を評価した。この方法が韓国でのクラック注入材特性のガイドラインの発展に貢献した。

5.2 試験

5.2.1 材料

クラック注入材と改質アスファルトの2つの材料で比較を行った。表-5にクラック注入材の構成を示す。表中に示すForal®はウッドロジンから精製されたグリセロールエステルであり、熱や劣化による酸化や変色に対する抵抗性が高い熱可塑性樹脂である。

表-5 クラック注入材の構成

内容	割合 (%)	内容	割合 (%)
アスファルト	50	可塑剤	5
熱可塑性 エラストマー	8	粉砕ゴム	5
Foral®	1	添加剤	10
粘着剤	1	接着促進剤	20
合計			100

5.2.2 空気圧接着引張試験装置 (PATTI)

Pneumatic Adhesion Tensile Testing Instrument (以下、PATTI) は、アスファルトと固体基板の間の結合の引張力を測定するものである。基板と治具をアスファルトによって垂直に固定し、アスファルト硬化後、試験装置に取り付けられた治具に応力がかかり、治具が基板から剥がれるか、既定応力値まで達するまで行われる。本研究は、ASTM D 4541 Type IVで行われた。写真-5にPATTIの器具および試料の一例を、図-9に試験の模式図を示す。



写真-5 PATTIおよび試料一例

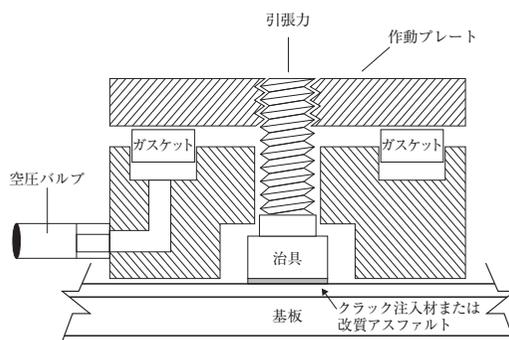


図-9 試験の模式図

5.2.3 試料作製方法

以下に試料作製方法を示す。

- i. 骨材基板をカットし、一様な表面粗さにする
- ii. 基板の余分な粒子を取り除く
- iii. クラック注入材は1時間以上使用温度で養生する
- iv. 基板の表面の余分な水分を除去する
- v. 基板および治具を使用温度で養生する
- vi. 治具表面にクラック注入材を塗布し、基板と接着する

5.3 研究結果

5.3.1 接着強度試験結果

硬化温度や硬化時間に応じた接着強度を測定した。図-10に時間と温度を変化させた時のPATTI試験結果を示す。硬化温度が上昇すると、硬化時間が異なるにも関わらず、接着強度は減少した。特に、改質アスファルトは粘弾特性のため、高温では軟化し、接着強度が減少した。

5.3.2 感湿性試験結果

著者らはPATTIを用いて、感湿性を測定し、試験の利用可能性を評価した。感湿性の測定にはAASHTO T 283の凍結融解手順を除いた方法に従い、試料を

60℃の水中で24時間養生することを1サイクルとして試験を行った。図-11に湿潤条件を変化させた時の接着強度を示す。2つの材料はサイクル数の増加とともに接着強度が減少し、PATTIは感湿性能を評価するこ

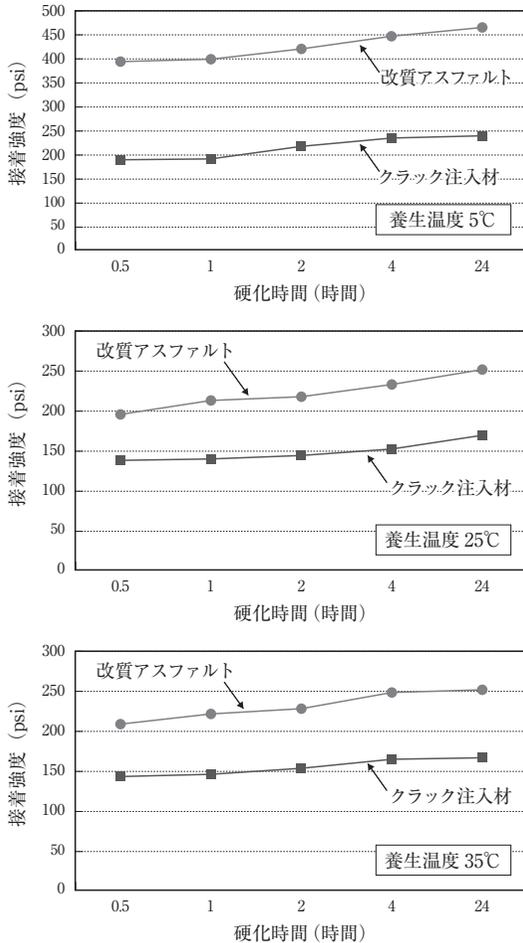


図-10 時間と温度を変化させた時のPATTI試験結果

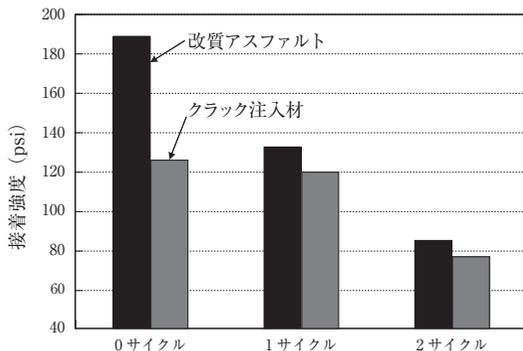


図-11 湿潤条件を変化させた時の接着強度測定結果

とができることを示した。また、改質アスファルトはクラック注入材よりも接着強度が大きく減少し、クラック注入材の感湿性が変化していないことを示している。

次に、水中に試料を入れて凍結融解過程を行い、PATTI試験を行った。写真-6に水中での凍結融解過程を行った様子を示す。試料を水に浸し、-18℃に1時間、4℃に1時間、-18℃に1時間、4℃に1時間養生し、1サイクルとした。図-12に水中での凍結融解条件でPATTI試験を行った結果を示す。改質アスファルトの接着強度は凍結融解条件で大きく減少していたが、クラック注入材の接着強度に変化はなかった。



左：凍結させた試料 右：融解させた試料
写真-6 水中での凍結融解過程を行った様子

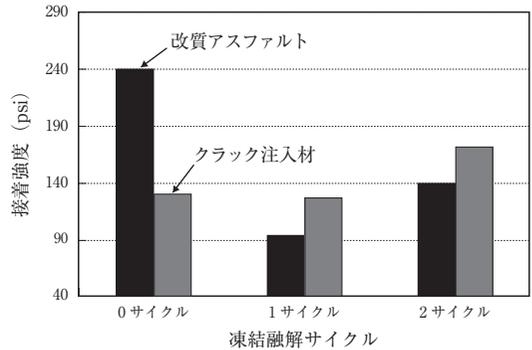


図-12 水中の凍結融解条件での測定結果

5.4 考察

本研究で得られた試験結果をもとに、以下の考察をまとめた。

- ・改質アスファルトとクラック注入材は硬化時間や硬化温度の変化とともにさまざまな接着強度を示す。硬化時間の増加に従って、接着強度はわずかに増加したが、硬化温度の増大とともに減少した。
- ・改質アスファルトの接着強度は湿潤条件後には明確に減少したが、クラック注入材の接着強度は、凍結融解条件および湿潤条件後でも変化がなかった。
- ・PATTIはアスファルトやクラック注入材の感湿性能の測定に有効である。

6. 動的三軸試験を用いたアスファルト舗装のわだち掘れ予測方法

原題：METHOD FOR PREDICTING THE DEVELOPMENT OF RUTTING OF ASPHALT ROADS ON THE BASIS OF ASPHALT ANALYSIS WITH THE DYNAMIC TRIAXIAL TEST

著者：Lipke, Sほか（ドイツ） 所属：Section Asphalt Pavement, Federal highway Research Institute

6.1 概要

本論文は、アスファルト舗装のわだち掘れの進行を予測するための動的三軸試験の実施方法およびその試験結果の解析方法について示すものである。

6.2 動的三軸試験について

わだち掘れの危険性を予測するためのいくつかの試験があるが、室内において最適でありかつ精巧な試験方法が動的三軸試験である。この試験は、温度条件を設定でき、アスファルト供試体（φ150mm×300mm）に3軸の応力を与えることができるものである。また、応力は軸方向および水平方向ともに静的および動的に載荷可能であり、供試体の軸方向および水平方向の変形量が測定可能である。

本論文は、動的三軸試験の実施方法および動的三軸試験結果により得られたわだち掘れの予測結果を述べるものである。

6.3 研究内容

物体に作用する偏差応力によってその物体には塑性変形が発生する。偏差応力とは、その物体のある方向に異なった大きさで発生する応力であり、軸応力と水平応力の差で表される。わだち掘れが発生するのは軸応力が水平応力よりも大きい場合であり、つまりはプラスの偏差応力が発生することに起因している。

表-6に既往の研究結果に基づく表層（以下、SMA11S）および基層用混合物（以下、ACB16S）に発生する応力の一例を示す。各供試体の上部、中部および下部に発生する軸応力と水平応力の最大値から、各部に発生する偏差応力を算出している。

これらの値を用いて動的三軸試験における設定応力を表-7に示すように設定した。

表-6 アスファルト混合物に発生する応力の一例

設定応力 (N/mm ²)	SMA11S (高さ4cm)			ACB16S (高さ8cm)		
	上部	中部	下部	上部	中部	下部
①水平応力	0.77	0.69	0.64	0.56	0.41	0.31
②軸応力	0.92	0.92	0.92	0.91	0.85	0.76
③偏差応力 (=②-①)	0.15	0.23	0.28	0.35	0.44	0.45

表-7 動的三軸試験の設定応力

設定応力 (N/mm ²)	SMA11S (高さ4cm)			ACB16S (高さ8cm)		
	1	2	3	1	2	3
No.						
①水平応力	0.80	0.60	0.40	0.60	0.50	0.40
②軸応力	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
③偏差応力 (=②-①)	0.10	0.30	0.50	0.30	0.40	0.50

6.4 わだち掘れの進行予測

6.4.1 概説

従来、わだち掘れ (W_p) は式(1)によって示されるとされていた。

$$W_p = a \times N^k \dots \dots \dots (1)$$

ここで、式(1)中の a と k は材料定数、 N は載荷回数であり、式(2)に修正される。

$$\varepsilon_{pl}(N) = a_1 \times N^k \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 a_1 と k は偏差応力に依存する材料定数である。しかしながら、それらはアスファルト混合物の種類や温度、応力状態によって変化する。これまでに実施された動的三軸試験における様々な試験データが蓄積されたことによって、動的三軸試験によるわだち掘れの進行の予測が可能となる。

6.4.2 わだち掘れの進行の予測のための解析方法の決定

偏差応力下の動的三軸試験を実施し、最少の塑性変形が決定され、これに基づき a_1 および k の初期値が決定される。載荷荷重が除荷された場合、その載荷荷重ごとに残留ひずみが生じる。そのため、異なる偏差応力およびアスファルト混合物における a_1 および k を測定し、その値を式(2)に代入することでわだち掘れを計算することが可能となる。図-13に a_1 および k の回帰解析結果を示す。

6.4.3 わだち掘れ量の予測

基層用混合物 ACB16S のわだち掘れ量の解析結果を表-8に示す。表中の偏差応力とそれが作用する負荷深さは、事前の測定結果に基づき決定され、 a_1 および

k の値は図-13中の式によりそれぞれ決定される。軸ひずみの値は載荷回数ごとに選出し、それぞれのわだち掘れ量が計算される。同様に、SMA11Sについてもわだち掘れ量の解析が可能である。

これらの結果を用いて、わだち掘れ量の予測が可能

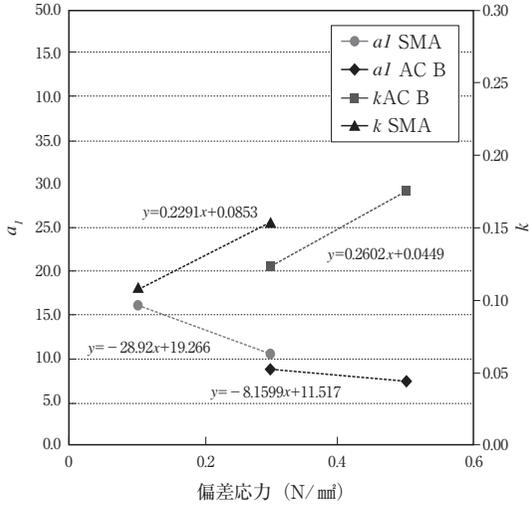


図-13 a_1 および k の回帰解析結果

表-8 基層用混合物 ACB16S のわだち掘れ量解析結果

測定位置 (mm)	偏差応力 (N/mm ²)	a_1 (-)	k (-)	載荷回数 (回)						
				1	1000	10000	50000	100000	500000	1000000
				各載荷回数における軸ひずみ (-)						
45	0.35	8.66	0.136	8.66	22.16	30.3	37.71	41.44	51.58	56.67
85	0.44	7.93	0.159	7.93	23.84	34.41	44.47	49.66	64.19	71.68
115	0.45	7.85	0.162	7.85	24.02	34.88	45.27	50.65	65.73	73.54
わだち掘れ量 (mm)				0.65	1.87	2.66	3.41	3.79	4.86	5.41

表-9 解析条件として想定した舗装構成

交通荷重		10t/回	
供用期間		30年	
	舗装構成	舗装厚さ (mm)	弾性係数 (N/mm ²)
構成①	表層 (SMA)	40	
	基層 (ACB)	80	
	As 安定処理層	220	
	凍結抑制層	510	120
	路床	-	45
構成②	表層 (SMA)	40	
	基層 (ACB)	80	
	As 安定処理層	180	
	下層路盤	200	150
	凍結抑制層	310	120
	路床	-	45

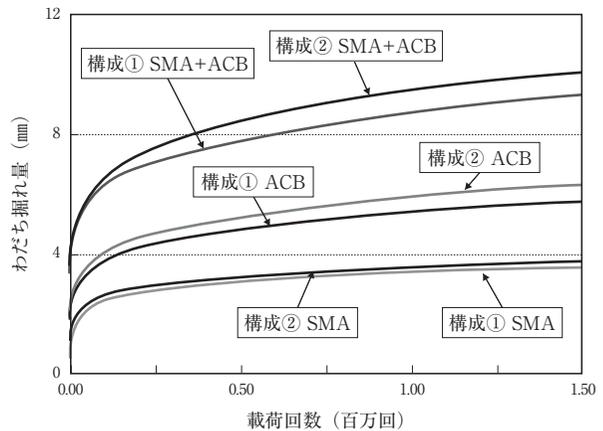


図-14 解析結果

となる。解析条件として想定した舗装構成を表-9に、解析結果を図-14に示す。図-14では表-9で示した舗装構成でのSMA11およびACBのわだち掘れ量の予測値を示している。また、図中のSMA+ACBは各混合物で予測されたわだち掘れ量の和である。

6.5 まとめ

本論文は、アスファルト舗装に生じるわだち掘れの進行およびわだち掘れ量を、動的三軸試験によって推測する方法について示した。この手法は、ひずみ計算に基づいてわだち掘れの進行を予測することで発展し、また異なるアスファルト混合物についても蓄積データによって解析可能である。

今後、様々な気温やアスファルト混合物で動的三軸試験を実施し、有効な室内試験として普及していく予定である。

6.6 翻訳者コメント

偏差応力によって混合物の物性を把握し、そこから供用後のわだち掘れの進行を予測するという興味深い内容であった。実際の解析結果と実道との整合性の確認など、今後の展開にも着目したい。

7. 舗装の流動わだち部におけるタイヤと舗装の相互作用

原題：TYRE-PAVEMENT INTERACTION ON FLEXIBLE PAVEMENT RUTTING

著者：S. F. SAID (スウェーデン) 所属：Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping

7.1 概要

アスファルト混合物層の永久変形や流動わだちは一般的な破壊形態であり、タイヤ走行部に過度な変形として現れる。わだち掘れ量は繰り返し交通荷重によって増加するため、構造設計における交通荷重および交通量は、考慮すべき重要な要素の一つである。本報告では、PEDRO (Permanent Deformation for Roads) と呼ばれる線形粘弾性解析を用いてタイヤの種類や荷重、接地圧の違いによるわだち掘れの影響を報告する。

7.2 わだち掘れの解析

PEDROによる解析では各層を粘弾性体モデルとして取り扱い、コンポジット舗装におけるわだち掘れの推定に使用した。わだち掘れの推定には、タイヤの荷重と接触面積および応力分布に関する接地圧を考慮し、式(1)、式(2)、式(3)を用いて行った。

$$\varepsilon_{pd} = \frac{\sigma_0 \cdot (1-2\nu)}{V \cdot \eta_A} \cdot R_e \left[\sqrt{(z+ix)^2 + a^2} - (z+ix) \right] \dots (1)$$

$$\varepsilon_{pd} = \frac{\sigma_0 \cdot z}{V \cdot \eta_A} \cdot R_e \left[1 - \frac{z+ix}{\sqrt{(z+ix)^2 + a^2}} \right] \dots (2)$$

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{pd} + \varepsilon_{ps} \dots (3)$$

ここに、

ε_p : 鉛直ひずみ ($\mu\text{m}/\text{m}$)

ε_{pd} : 鉛直圧縮ひずみ ($\mu\text{m}/\text{m}$)

ε_{ps} : 鉛直せん断ひずみ ($\mu\text{m}/\text{m}$) σ_0 : 接地圧 (Pa)

a : 接地半径 (m) ν : ポアソン比

z : 表面からの深さ(m) V : 走行速度 (m/sec)

η_A : 複素粘度 (Pa·s) χ : 荷重中心からの距離(m)

7.3 舗装構造

解析に使用した舗装断面および各層の材料を図-15に示す。

7.4 研究結果

7.4.1 タイヤの荷重と空気圧の影響

Blab, De Beerらは、タイヤの接地面積はタイヤの荷重や空気圧によって変わるということを報告している。また、Blabらは一般的なタイヤにおける平均鉛直接触応力 (q) は、タイヤ荷重 (P) と空気圧 (p_i) の線形関数として以下のように表せると報告している。

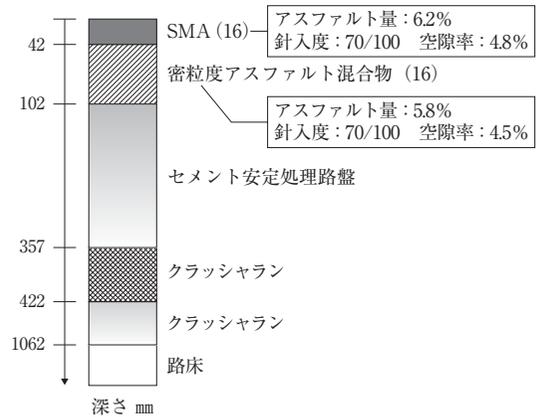


図-15 舗装構造

・ for Goodyear G425/65R22.5 J : 単輪荷重 (ワイドタイヤ)

$$q = 178.481 + 0.405 \cdot p_i + 4.012 \cdot P$$

・ for Goodyear G159A, 11R22.5 G : 複輪荷重

$$q = 210.350 + 0.306 \cdot p_i + 5.291 \cdot P$$

q : 鉛直接触応力 (kPa) P : タイヤの荷重 (kN)

p_i : タイヤの空気圧 (kPa)

そこで、本研究では上記の式によって求めた接触応力の値を用いて PEDRO による解析を行い、タイヤの荷重および空気圧がわだち掘れ量に与える影響を調べた。

タイヤの空気圧および荷重を変化させた時の接地圧とわだち掘れ量の関係を図-16、図-17に示す。なお、図-16は単輪荷重モデル、図-17は複輪荷重モデルの結果である。単輪、複輪に関わらず、タイヤの空気圧よりも荷重を変化させた時のわだち掘れ量が大きく変化しており、わだち掘れ量はタイヤの荷重が大きく関係しているといえる。

7.4.2 タイヤと舗装の応力分布の影響

従来解析法では舗装とタイヤの間の接触応力は一律であると考えられてきたが、近年の報告において接触応力は不均一に分布していることが報告された。De Beerらは、タイヤの荷重と圧力を変えて行った促進載

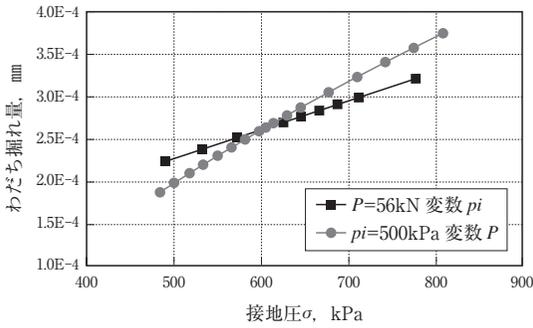


図-16 接地圧とわだち掘れ量の関係(単輪)

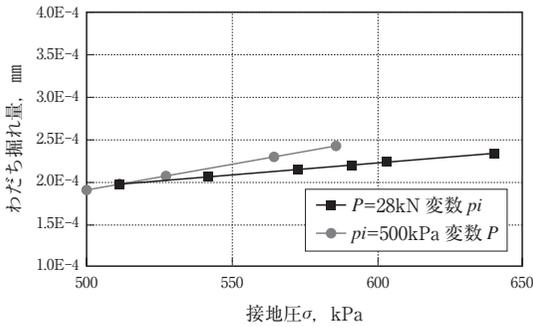


図-17 接地圧とわだち掘れ量の関係(複輪)

荷試験から、わだち掘れの形状には写真-7に示すようなn型(応力がタイヤの中央に集中する場合)およびm型(応力がタイヤの角に集中する場合)の二つの応力分布が存在することを報告した。

このことから本研究では、図-18に示すようにn型およびm型の2つのモデルを用いて、表-10の条件でPEDROによるわだち掘れ解析を行った。

わだち掘れ量の解析値を図-19に示す。わだち掘れ量およびその形状は、促進載荷試験と類似していた。

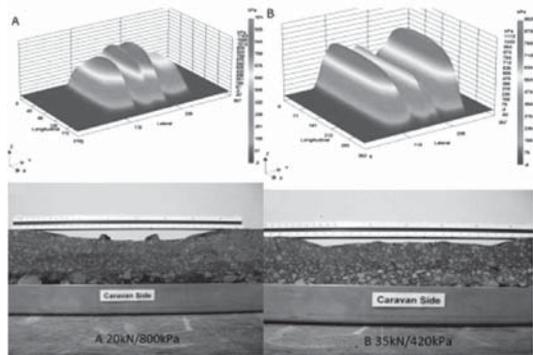


写真-7 促進載荷試験後の形状(左:n型, 右:m型)

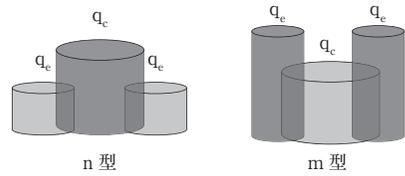


図-18 解析モデル

表-10 解析値

	荷重, kN	タイヤ圧力, kPa	中央部にかかる接触応力 (q_c), kPa	コーナーにかかる接触応力 (q_e), kPa
n型	20	800	558	367
m型	35	420	404	583

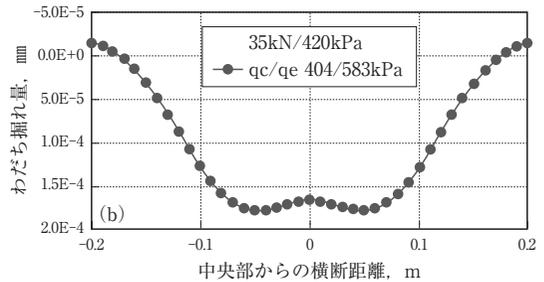
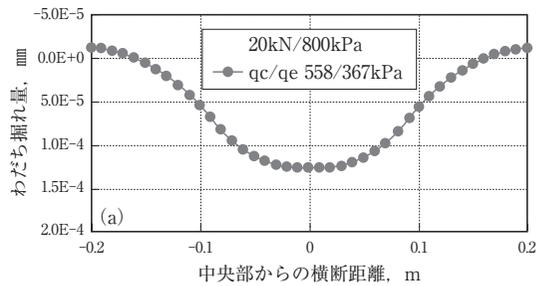


図-19 PEDROによるわだち掘れ解析結果
上図:n型わだち, 下図:m型わだち

7.5 結論

タイヤの荷重および空気圧は、舗装のわだち掘れの形成に大きな影響を与えており、その影響はタイヤの空気圧よりも荷重による変化の方が大きいことがわかった。加えて、タイヤの形状や配置もわだち掘れに大きな影響を与えていた。このようにタイヤと舗装の界面における接触応力分布は、単純にPEDROでシミュレートできることが確認された。

7.6 翻訳者コメント

本報告では、解析モデルと室内結果のわだち掘れの形状が一致しており、非常に興味深い結果であった。今後、舗装の破損予測を行う上で、考慮すべき重要な点であると考えられる。

若手技術者によるアスファルト舗装に関する質問コーナー ～中温化アスファルト舗装技術～

川 上 聖	上 地 俊 孝	川 島 陽 子	櫻 井 博 章
高 橋 秀 典	塚 本 堯 芳	仲 野 尚 弘	中 野 延 弘
朴 希 眞	福 山 菜 美	藤 井 洋 志	村 井 宏 美

はじめに

質問コーナーは、今回で第4回目を迎えます。ここでは若手技術者が普段の業務で感じた素朴な疑問について調査し、豆知識を織り交ぜながら解説していきます。舗装業界では、近年環境に配慮した舗装技術が注目されており、ガイドブック等の整備も進んでいます。中でも中温化技術は、地球温暖化に寄与する技術として期待され、様々な研究がおこなわれています。また施工においても、実績を伸ばしており、今後ますます

発展していく分野であります。そこで今回は、中温化技術に焦点を当て、その概要から国内の最新動向、また海外での取組等、中温化技術のいろはを網羅した次の4つの質問について解説します。

- ①中温化アスファルト舗装ってなんですか？
- ②アスファルトフェーム対策として中温化技術はどのように有効ですか？
- ③海外の中温化技術はどのようになっていますか？
- ④フォームドアスファルトはどのようなものですか？

疑問 中温化アスファルト舗装ってなんですか？

<調査結果>^{1,2)}

中温化アスファルト舗装は、加熱アスファルト混合物の製造温度を通常より30℃程度低減できる中温化技術を用いて、必要とする品質等を確保することができる舗装です。中温化技術には専用の添加剤もしくは中温化用のアスファルトが利用され、それらが加熱アスファルト混合物の混合・締固め性を向上させることで製造温度を低減することが可能となります。このように中温化アスファルト舗装は製造温度を低減し、燃料消費量が削減され、CO₂排出量を抑制することから低炭素アスファルト舗装とも呼ばれています。また製造温度を低減できるといった特徴から、層厚施工時において交通開放可能温度までの低下時間を早める目的で適用される事例もあります。

一方で、温度が低下しても施工・締固めができるということから、①寒冷期施工での品質確保、②運搬距離の遠距離化に中温化技術を用いることもあります。このような適用方法は、多くの文献では上述の中温化(低炭素)アスファルト舗装とは区別されております。

以下に、中温化技術の概要、現場への適用、近年の動向について報告します。

1. 中温化技術の概要

1.1 日本の中温化技術の略史

気候変動枠組条約が1992年に採択されて以降、世界的に地球温暖化対策への関心が高まりました。日本でも1990年代に各本面でCO₂排出量を抑制する技術が求められるようになりました。アスファルト舗装の分野においても同様で、1995年には吉中ら³⁾が微細泡を発生させる添加材を用いた中温化技術を国内で初めて報告しています。文献調査の結果、吉中らの報告以前から、同様に微細泡を発生させるフォームドアスファルトが混合物の締固め性を向上させる目的で適用されていたことより、中温化技術は、その原理を応用して“CO₂排出量を抑制する技術の開発”といった当時の社会的要求に応えたものと考えられます。

アスファルトの中温化技術について国内で最初に体系的に解説されたのは、1999年のアスファルト誌の用語の解説⁴⁾でした。そこでは、中温化の定義は以下のようになっています。

- 温度-粘度曲線から求められる混合温度より30℃程度低い温度で製造した混合物を中温化混合物といい、当該混合物を用いて施工する工法を

中温化施工という。

○中温化施工によって構築されたアスファルト舗装の品質は、加熱アスファルト混合物の場合と同程度とする。

このように、当時から中温化技術の低減温度は30℃程度であり、基本的な概念は現在と同じでした。

その後2009年に日本道路建設業協会より中温化技術に関するパンフレットの初版「環境保全を目指したアスファルト舗装」が作成され、2012年にはその内容を引き継ぐ形で「中温化（低炭素）アスファルト舗装の手引き」が作成されています。本書では、中温化技術を適用するにあたっての材料、設計、施工方法等が解説されており、国内における中温化技術の数少ない手引書となっています。

中温化技術に関連する背景と当時の文献の傾向を表-1に示します。研究が始まった当初は、中温化添加剤に焦点を当てた内容のものが多く、その後は中温化技術の適用方法に関するものが多くなり、最近では新たな中温化技術やその応用、適用混合物の拡大、安全面に関するものなど多岐にわたっています。

国立国会図書館の検索システムでキーワードを「中温化」として検索したときにヒットした文献数の推移を図-1に示します(2016年6月)。発表件数の多かった時期を見ると、京都議定書の採択があった1998年からその後4年程度に最初のピークがあり、グリーン購入法の特選調達品目に追加された2010年からその後3年程度に次のピークがみられます。

1.2 日本における添加剤の分類¹⁾

中温化アスファルトには、プラントで添加剤を投入するプラントミックスタイプと、事前に添加剤が入っ

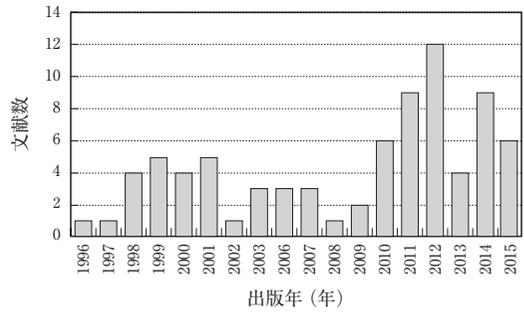


図-1 文献数の推移

ているプレミックスタイプに分類されます。また、中温化技術を適用するための添加剤には、メカニズムの違いにより、発泡系、滑剤系、粘弾性調整系の3種類があります。中温化アスファルトの種類は、図-2および以下(1)~(3)に示すとおりです。なお、水を用いたフォームドアスファルト技術も、中温化を目的とした場合、図内の発泡系の技術の一つとして考えられることが多いようです。

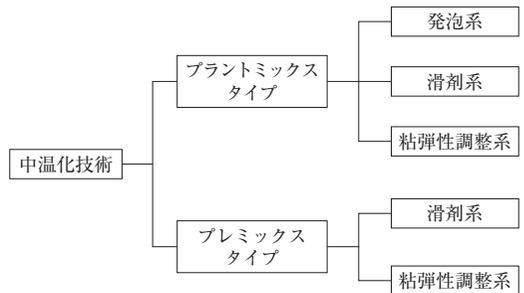


図-2 中温化技術の分類

表-1 中温化技術に関連する背景と当時の文献の傾向

中温化技術に関する背景	中温化技術に関する文献の傾向
1992年 1997年 1999年	1995～1999年
・気候変動枠組条約が採択 ・京都議定書の採択 ・アスファルト誌で中温化技術の用語の解説	・各種中温化剤の開発 (発泡系を中心に粘弾性調整系も) ・CO ₂ 排出量低減の検証
2008年	2000～2004年
・日本道路協会「舗装性能評価法」にてCO ₂ 排出量低減値の算定方法が示される。	・薄層、寒冷期の施工性改善目的での適用事例
2009年	2005年～2009年
・日本道路建設業協会より中温化に関するパンフレット初版「環境保全を目指した低炭素アスファルト舗装」	・早期交通解放を目的とした空港などの層厚施工への適用事例
2010年	2010～最新
・グリーン購入法に基づく特選調達品目に追加 ・日本道路建設業協会より中温化に関するパンフレット改定「環境保全を目指した中温化（低炭素）アスファルト舗装」	・プレミックスタイプの中温化改質アスファルト ・再生アスファルト混合物への適用検討 ・ポーラスアスファルト混合物への適用検討 ・より高度なフォームドアスファルト技術
2012年	
・日本道路建設業協会より中温化に関する手引初版「中温化（低炭素）アスファルト舗装の手引き」	

(1) 発泡系

発泡系の中温化技術は、図-3のように水分や発泡剤などによりアスファルトモルタルに微細泡を発生・分散させることで見かけ上のアスファルト容量を増加させます。この働きによって混合性を高めるとともに、微細泡のベアリング効果によって舗設時の締固め性を向上させることができます。舗設後に温度が低下すると、微細泡の影響はなくなるので、混合物性状が確保されます。ベアリング効果とは、微細泡などによってアスファルトと骨材の摩擦を減らし、施工性や締固め性を向上させることです。

発泡系は、微細泡がなくなるとその効果が失われるため、可使用時間に制限があります。しかし、近年、発泡径を更に細かくし、可使用時間を長くしたマイクロバブル型の開発もされています。

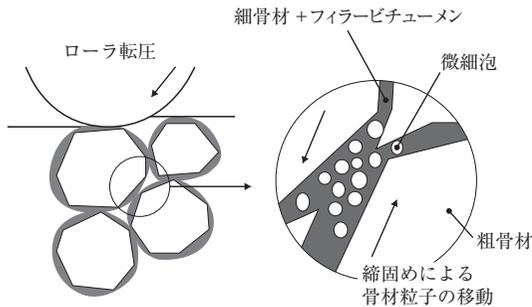


図-3 発泡系のメカニズム¹⁾

(2) 滑剤系 (界面活性剤)

滑剤系は、締固め時にアスファルトおよび骨材界面の潤滑性を高める添加剤を使用するもので、図-4のように滑剤効果によって骨材間の摩擦抵抗が軽減され

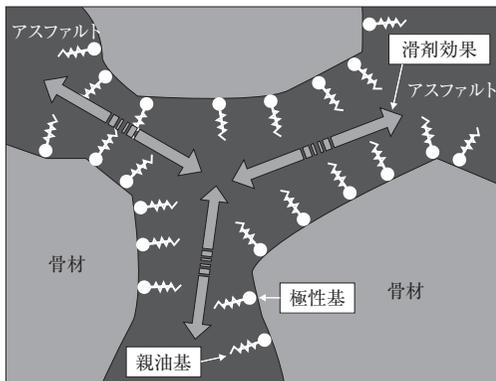


図-4 滑剤系のメカニズム¹⁾

るため、混合性、締固め性が向上します。アスファルトの粘弾性への影響が小さく、舗設後は、潤滑の働きはなくなるため、混合物性状が確保されます。

(3) 粘弾性調整系

粘弾性調整系には、添加剤の種類により2つの方式があります。粘弾性調整系のメカニズムは、図-5に示すとおりです。

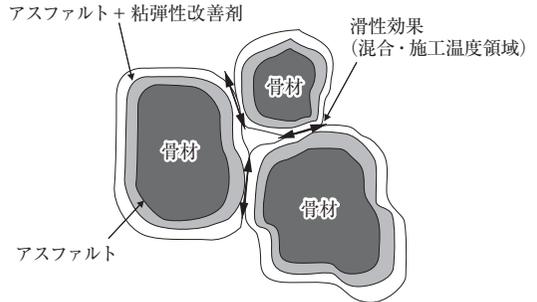


図-5 粘弾性調整系のメカニズム¹⁾

○粘弾性調整系 A

一定以上の温度で液体として作用し、常温域で固体性状に転換し、粘弾性を調整するものです。製造・施工温度領域では、アスファルト混合物の混合性、締固め性を確保します。供用温度領域での粘弾性は、一般品と同等になるため、混合物性状が確保されます。

○粘弾性調整系 B

アスファルトと同様の組成を持つもので、その特徴は粘弾性調整系 A と同様です。こちらも同様に供用温度領域では、一般品と同等になるため、混合物性状が確保されます。

これら(1)~(3)の技術について最初の報告が確認できた年代を表-2に示します。発泡系が最初に開発されて、その後、粘弾性調整系が開発され、滑剤系については比較的新しい技術になります。

表-2 分類ごとの開発された年代

1996年	発泡系	2001年	粘弾性調整系 A
1999年	粘弾性調整系 B	2009年	滑剤 (界面活性剤) 系

1.3 CO₂排出原単位について

添加剤の使用により製造温度が下げられ、燃料消費量が抑制されることにより、アスファルト合材プラントからのCO₂排出量が削減されることはこれまで明らかになっています。しかし、添加剤の製造などに係わ

るCO₂排出量が大きいと、CO₂排出抑制効果が期待より小さくなる可能性があります。そういった中で、中温化技術によるCO₂排出抑制効果をより正確に評価するために、様々な添加剤や中温化アスファルトについて、表-3に示すようにCO₂排出原単位を検討した報告⁵⁾がなされています(添加剤あるいは中温化アスファルトを扱っている25社に対し、直接ヒアリング調査)。製品によりCO₂排出量が大きく異なるため、この原単位のみで排出量が多いか少ないかを判断することはできませんが、CO₂排出原単位の傾向を知る上での参考になり得えます。

表-3 中温化技術ごとのCO₂排出原単位⁵⁾

中温化技術の種類		原単位平均値 (kg-CO ₂ /t)
中温化アスファルト	ストアス	131
	改質アスII型	445
	改質アスH型	648
中温化添加剤	粘弾性	854
	滑剤系	1466
	発泡系	280

2. 中温化技術の現場への適用と検証例

中温化技術は、締固めエネルギーを同一にした場合に温度条件を低減できる技術です。また温度条件を同一とした場合には締固め性の向上を図ることが出来ます。このことから、中温化技術は①製造温度の低減と②施工性の改善といった2つの適用方法があります。

(1) 製造温度の低減^{6,7)}

1つ目の適用方法は、製造温度を低減し、CO₂排出量の削減、早期交通開放といった目的のために用いるものです。中温化技術は1997年には確立し、常磐自動車道の切削オーバーレイ工事にて最初に施工されました。本工事では製造温度を低減しCO₂排出量の削減および早期交通開放を目的として施工されました。その結果、交通開放までの時間をおよそ1時間短縮し、CO₂排出量を14%削減しています。

また、補修工事などで早期交通開放を目的に中温化技術を適用した場合、工事時間の短縮により交通渋滞の緩和、工事に伴う排気ガスや騒音の低減といった沿道環境の改善にもつながります。

検証例① CO₂排出量削減⁸⁾

図-6は、合材製造時のCO₂排出量の削減効果を検証するため、通常温度で製造した標準混合物と、

その温度より30℃低減した温度で製造した中温化アスファルト混合物の製造数量とそれに使用した燃料消費量を流量計から読み取り、各々のトンあたりの燃費を算出してCO₂排出量(kg-CO₂/t)およびCO₂排出削減率を求めた事例です。検証の結果、中温化アスファルト混合物は標準混合物に比べ、5~11%程度のCO₂排出削減効果が期待できることが分かっています。

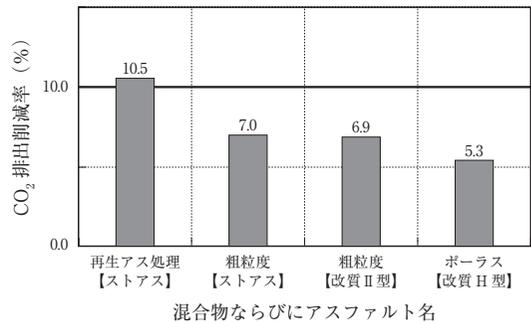


図-6 CO₂排出削減率

検証例② 早期交通開放⁹⁾

中温化技術で製造温度を50℃低減させた大粒徑アスファルト混合物(30)を用いて試験施工を実施し、通常の条件で舗設した混合物と比較した事例を紹介します。

施工状況およびサーモグラフィー画像を図-7に、施工後の路面温度を図-8に示しています。試験施工の結果、表面より1cm下の部分が50℃まで低下する時間は、中温化アスファルト混合物は通常混合物と比較して140分程度短縮できることを確認しています。これらの結果より、中温化アスファルト混合物を用いることで、早期交通開放や日施工量の増加が可能と考えられています。

(2) 施工性の改善

2つ目の適用方法は、主に混合物温度低下に対する施工性改善を目的とした方法です。具体例として、寒



図-7 施工状況および路面温度

冷期における鋼床版上の基層用混合物への適用事例が2000年に報告¹⁰⁾されています。これは2000年3月の寒冷期に鋼床版上の基層用に用いられた、碎石マチックアスファルト混合物に適用した事例です。この事例では碎石マチックアスファルト混合物を通常温度で製造および施工しており、良好な施工性が確認されています。また2003年には寒冷地の空港補修工事におけるシクリフト工法への適用事例が報告されています。これは北海道にて供用中の新千歳空港での補修工事において、限られた時間にて復旧工事を施工するため、中温化技術を適用したシクリフト工法が採用されたものです。

検証例③ 寒冷地での適用¹¹⁾

積雪寒冷地である北海道においては、中温化技術をCO₂削減のために使用する場合の適用可能な気象条件が明確ではありません。その適用条件を検討するため、寒冷期(外気温5℃以下)において試験施工が実施されています。

当該試験施工においてサーモグラフィーにより温度低下が確認された箇所の締固め度について、図-9に示しています。転圧温度が100℃程度を下回ると規格範囲外である締固め度94%以下のコアが散見します。また、図-10に寒冷期において中温化アスファルト混合物の混合温度を通常混合物と同じ温度で出荷した事例を示しています。試験施工時の気象条件は、外気温3℃、平均風速5 m/secでした。中温化アスファルト混合物は通常混合物と比較し、品質のばらつきも少なく締固め度が2%向上した結果となっています。寒冷期における中温化技術の適用方法は、温度低減するのではなく、品質を確保するため混合温度を下げない施工性改善の方法が望ましいと考えられています。

3. 近年の動向

近年、中温化技術の高度化として、更なる製造温度の低減と、交通規制時間の短縮化の取組が報告¹²⁾されています。この報告では発泡系と粘弾性調整系の添加剤を併用した複合

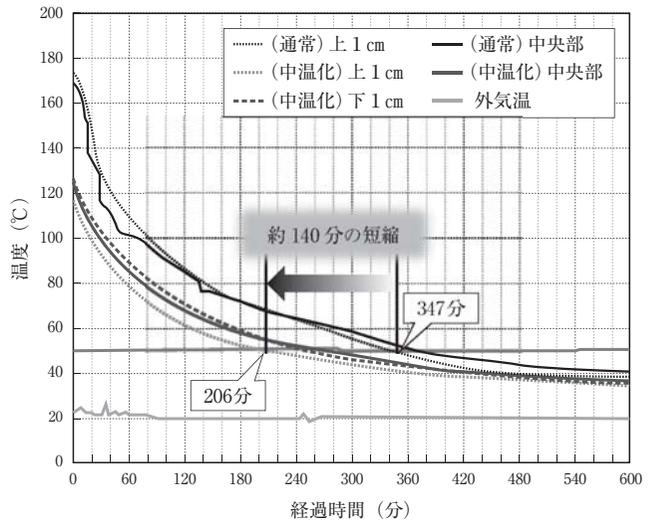


図-8 路面温度

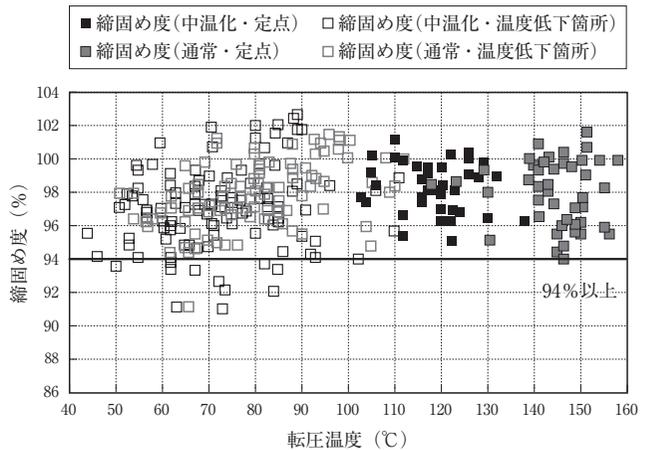


図-9 締固め度

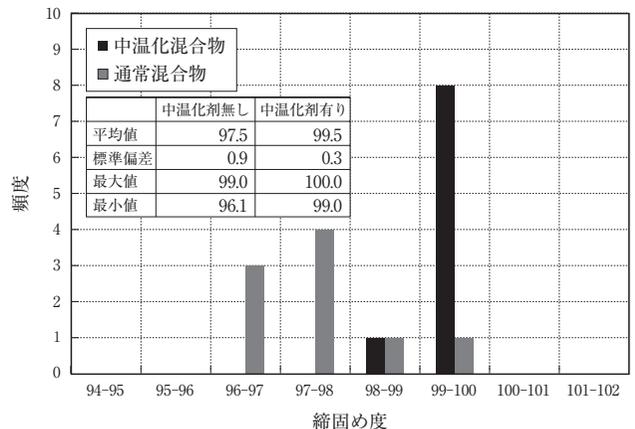


図-10 締固め度(施工性改善目的)

型中温化添加剤を使用した中温化アスファルト混合物を開発し、試験施工および回転式舗装試験機にて性能を検討しています。さらに試験施工にて製造温度を通常よりも60℃低減し、各混合物性状は基準値を満足し、良好な施工性が確認されています。

他には、添加剤を使用せずにSBSの凝集状態を制御する技術を用いた中温化アスファルト混合物の開発も報告¹³⁾されており、施工性の向上、貯蔵安定性等が確認されています。同様に石油精製時において生成される種々のアスファルト基材を選定・混合することにより(新たなタイプの)中温化ストレートアスファルトも報告¹⁴⁾されています。

更に専用フォームドアスファルト発生装置と発泡改善剤を併用ことにより、微細泡を大量に発生させ、泡

同士の結合・肥大化を抑制し微細泡の状態で安定化させる中温化再生アスファルト混合物の開発も報告¹⁵⁾されています。

また、欧米では日本に比べると中温化アスファルト混合物の出荷量が増えており、実際の舗設現場において作業者が暴露されるアスファルトフェーム対策としての中温化技術に関する研究が進んでいます。

日本でも中温化アスファルト混合物は、2010年にグリーン購入法に基づく特定調達品目に追加されており、今後の普及が期待されています。しかしながら、再生加熱アスファルト混合物およびポーラスアスファルト混合物については、その適用外とされており、今後は、これらの混合物についても試行工事や追跡調査等の成果を元に制限を解除していくことが望まれています。

— 参考文献 —

- 1) (一社)日本道路建設業協会：中温化(低炭素)アスファルト舗装の手引き, 2014.04
- 2) (社)日本道路協会：環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック, 2009.04
- 3) 吉中ほか：アスファルト舗装の中温化施工に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 1996.09
- 4) 青木：アスファルトの中温化技術, ASPHALT, VOL.52, P.P.55-57, 1999.
- 5) 国立研究開発法人 土木研究所：低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価手法に関する研究②, 平成25年度プロジェクト研究報告書, http://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-project/2013/project2013_07.html.
- 6) 小林ほか：中温化技術による交通開放温度の抑制, 1998, 7
- 7) 市岡ほか：粘弾性状を改善したアスファルト混合物の開発と中温化技術への応用, 2001, 道路建設, 2001, 8
- 8) 林ら：中温化アスファルト舗装の導入効果について, 2013年, 第30回日本道路会議
- 9) 芳賀ら：早期交通開放と舗装内部温度に着目した中温化技術の検証, 2015年, 第31回日本道路会議
- 10) 海老沢ほか：ケミカルフォームドアスファルトを用いた中温化技術について, 日本道路会議, 1999, 10
- 11) 安倍ら：寒冷地における中温化舗装技術の適用について, 2015年, 第31回日本道路会議
- 12) 岩間ほか：更なる製造温度低減を目指した中温化技術の高度化に関する取組み, 2014, 9
- 13) 野口ほか：新たな技術を用いて開発した施工性改善型ポリマー改質アスファルトの特徴と十施工における効果の検証, 舗装, 2014, 9
- 14) 中村：新たなタイプの中温化アスファルトの製造検討, 舗装, 2014, 9
- 15) 斎藤：微細泡化したフォームドアスファルトを用いた中温化再生アスファルト混合物の開発, 2013年, 第30回日本道路会議

疑問 アスファルトフェーム対策として中温化技術はどのように有効ですか？

<調査結果>

アスファルトフェームはアスファルト混合物を高温で加熱する際に発生する粒子状およびガス状物質を指します。中温化技術は、アスファルト混合物の製造や施工時の温度を下げることで、その結果アスファルトフェームの排出量を抑制する効果が期待されています。また、人体への影響も軽減されると考えられるため、作業環境の改善にも有効であると言えます。

1. アスファルトフェームとは

1.1 アスファルトから発生する物質

アスファルトは沸点が500℃を越える多様な炭化水素化合物の集合体であり、常温では安定な固体状物質です。しかし、アスファルトには少量の揮発性、半揮発性の有機化合物が残存しているため、加熱して液体状になったアスファルトからは、微量の有機化合物がアスファルトフェームとして発生します。フランスのLCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) では、アスファルト混合物から発生する有機化合物の排出量についての研究が行われており、アスファルト混合物から発生する物質を図-1のように分類しています¹⁾。

- ①アスファルトフェーム (Asphalt fume) : アスファルト混合物をおよそ200℃以上に加熱した際に発生する物質全般を指し、粒子状物質ならびにガス状物質を含みます。
- ②TOC (e) (Total Organic Compounds emitted) : アスファルトフェームにおいて、粒子状物質のうち有機エアゾールと、ガス状物質のうち揮発性・半揮発性有機化合物を合わせたものを指します。
- ③PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) : 多環芳香族炭化水素のことであり、有機エアゾールのベンゼン可溶性成分の一部と揮発性・半揮発性有機化合物が相当します。

1.2 安全性に関する情報や報告

アスファルトフェームの吸入や皮膚への付着による人体への影響を考慮し、安全性に関する情報は、「安全データシート (Safety Data Sheet, SDS)」にまとめられています。アスファルトのSDSには加

熱時に発生するアスファルトフェームに対する注意喚起だけでなく、安全対策や応急措置も明記されています。また、作業員の安全性を向上させるため、各機関によるアスファルトフェームの安全性に関する検証や確認がなされてきました。しかし、アスファルトフェームを吸う作業員と吸わない作業員の健康状態の差異がほとんど見受けられず、明確な影響が見られなかったため、国際がん研究機関 (IARC) では、1985年にアスファルトに関わる発がん性に関する分類を「グループ3 (人に対する発がん性を分類できない)」にしました。その一方で、安全性の観点においては、アスファルトフェームにさらされる時間や濃度を管理し、最小限とすることが良く、例えばアメリカの国立労働安全衛生研究所 (NIOSH) では暴露限度を「15分間に5 mg/m³以下」と報告されています。その後、2011年にIARCはアスファルトの発がん性について再評価を行い、「道路舗装におけるアスファルトおよびアスファルトフェームの職業暴露」等については「グループ2B (人に対して発がん性があるかもしれない)」に分類しました。表-1に示すように、同じグループに属しているものとして、コーヒーやガソリン等が挙げられます。アス

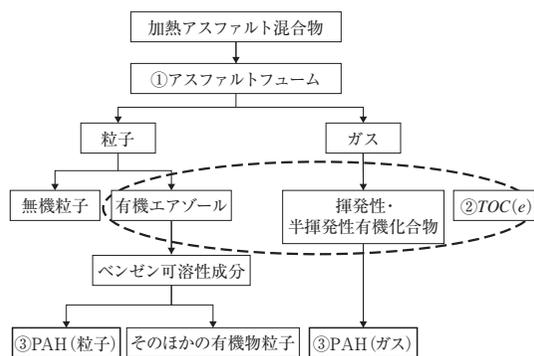


図-1 アスファルト混合物から発生する物質¹⁾

表-1 IARCの発がん物質に関する基準

グループ	例
1 人に対して発ガン性がある	コールタール、アスベスト、タバコ等
2A 人に対しておそらく発ガン性がある	ディーゼルエンジンの排ガス、紫外線等
2B 人に対して発ガン性があるかもしれない	コーヒー、ガソリン、ワラビ、漬け物等
3 人に対する発ガン性があるとは分類できない	カフェイン、お茶等
4 人に対しておそらく発ガン性がない	ナイロンの原料 (カプロラクタム) 等

ファルトフュームを吸う作業者はあまり吸わない作業者に比べ、喉の炎症発生率が高いという報告もあります¹⁾。健康被害を軽減し、作業環境を改善するためには、暴露量に気をつけるだけでなく、アスファルトフュームの排出量を抑えることが求められます。

2. 中温化技術によるアスファルトフュームの排出抑制効果

中温化技術とアスファルトフュームに関連する研究を紹介します。図-2は、加熱アスファルト混合物の温度とTOC(e)の関係を表したものです²⁾。ここで、GB(Grave Bitumen)はアスファルト量の少ない基層用混合物で、BBSG(French Beton Bitumineux Semi Grenu)は摩耗層(表層)として使用される混合物です。混合物の温度が高いほど、アスファルトフュームの排出量が多くなることから、アスファルトフュームの排出量を少なくするには、アスファルトの使用温度を下げるのが有効です。

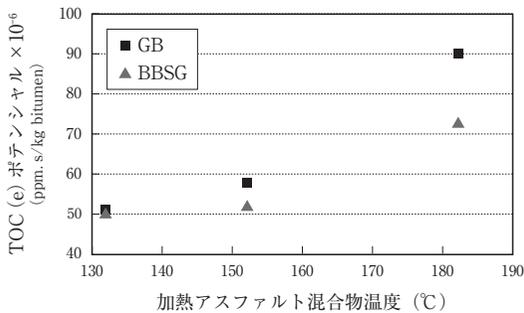


図-2 TOC(e)と混合物温度の関係²⁾

また、NCHRP 9-47A³⁾で、加熱アスファルト混合物(HMA)と中温化アスファルト混合物(WMA)施工時のアスファルトフュームの暴露調査が行われました。この調査では、写真-1のように吸着剤入りチューブ



写真-1 調査に用いた吸着剤入りチューブ³⁾

を作業者の身体に取り付け、作業者の呼吸空間に発生したTOC(e)を採取しています。なお、この調査はニューヨークで対象作業員毎(運転手、レーキ作業員、敷きならし作業員など)に行われました。

図-3にアスファルト混合物の舗設温度とTOC(e)の関係を示します。WMAの場合、舗設温度が40°C以上低減され、TOC(e)が30%ほど抑制できることが示されました。また図-4より、作業内容により差はありますが、WMA舗設により30~45%程度のTOC(e)削減効果があったことがわかります。このように、中温化技術を適用することで発生するTOC(e)を削減できるため、中温化技術は作業環境の改善に貢献しています。

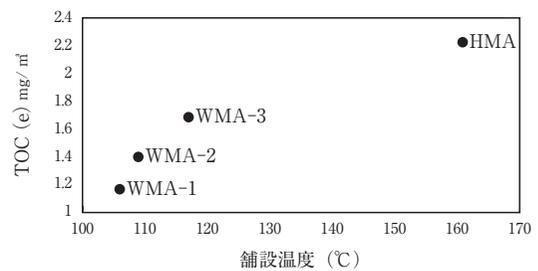


図-3 舗設温度とTOC(e)の関係³⁾より作成

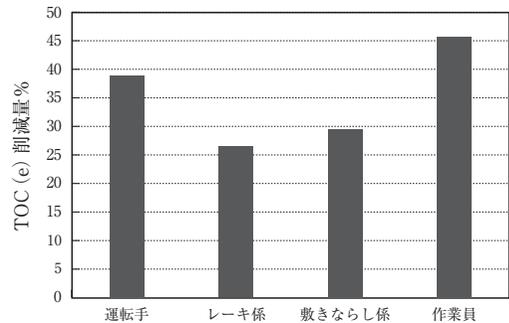


図-4 WMA舗設時の作業員毎のTOC(e)削減量³⁾より作成

参考文献

- 1) Tepper A. L. et al: Acute Symptoms Associated with Asphalt Fume Exposure Among Road Pavers. Am. J. Ind. Med., 49, 2006.
- 2) 西山大三ら: アスファルト混合物から発生する物質に関する海外の研究, ASPHALT, VOL.52, PP.44-62, 2010.
- 3) NCHRP: Field Performance of Warm Mix asphalt Technologies, 9-47A Final Report, 2014.

疑問 海外の中温化技術はどのようになっていますか？

<調査結果>

アメリカの中温化技術は、水を用いたフォームドアスファルトの利用が主流です。中温化アスファルト混合物の出荷量は増加傾向であり、アスファルト混合物出荷量の約1/3に達しています。

ヨーロッパの中温化技術は、添加剤（化学添加剤や有機添加剤）を用いたものや、発泡剤を添加して発泡させるもの（ケミカルフォームド）が多く、中温化技術の試験施工や適応範囲拡大に関する先進的な研究が盛んに行われています。

1. アメリカにおける中温化技術

アメリカでは、中温化技術はアスファルト混合物製造において非常に有望な技術として位置付けられています。中温化技術の利点には、①製造温度の低減、②燃料消費量の節減、③寒冷期における舗設時期の拡大、④運搬距離の延長、⑤貯蔵時間の延長、⑥締固め性の向上、⑦再生アスファルト混合物の再生材混入量の増加があります。また、中温化技術は再生骨材の混合温度を低減させることで、混合時のアスファルト劣化を抑えることができます。環境面では、製造温度の低減と、燃料消費量の節減が可能になることから、プラントや舗設現場における排出ガスやアスファルトフュームを削減することができ、作業環境の改善につながります。

中温化技術に関する重要な研究と評価は、WMA Technical Working Groupのような産業界と学界の協力によって完了しており、研究結果の多くが中温化技術として用いられています¹⁾。

図-1にアメリカのアスファルト混合物出荷量を示します。中温化アスファルト混合物の使用量は次第に

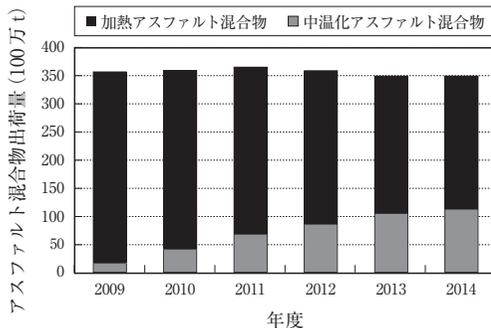


図-1 アスファルト混合物出荷量の推移(アメリカ)^{2,3)}

増加しており、2014年の出荷量は約1億1400万tでした。これは2013年の1億600万トンの7%増、2009年の577%増です。2014年のアスファルト混合物出荷量のうち、中温化アスファルト混合物の割合は約1/3でした。

図-2にアメリカで用いられている中温化技術の内訳を示します。2014年にアメリカで用いられている中温化技術は、水を用いたフォームドアスファルトが84%、添加剤を用いたものが16%となっており、水を用いたフォームドアスファルトが最も一般的です。

添加剤やケミカルフォームドによるアスファルト混合物の温度低減効果は、製品と添加量によって大きく異なりますが、一般的に、水を用いたフォームドアスファルトの場合、添加剤を用いた場合に比べて温度低減効果が小さくなります。しかし、アスファルトを発泡させるのに必要な水は、混合物1t当たり約0.95Lであり、平均的な家庭が1年間に使用する水とほぼ同じ量で500,000tの中温化アスファルト混合物を製造することができます。

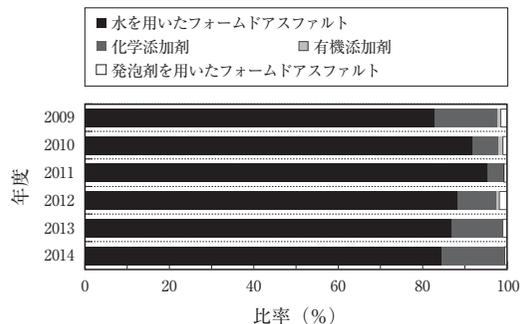


図-2 中温化技術の内訳(アメリカ)^{2,3)}

2. ヨーロッパにおける中温化技術

表-1にヨーロッパの中温化混合物生産量を示します。ヨーロッパでは、中温化技術の実道における試験施工や中温化技術の適応範囲拡大に関する先進的な研究が盛んに行われています。なかでも、ドイツやフランス、ノルウェー、スウェーデンなどでは中温化技術の現場への適用事例が多く、従来の加熱アスファルト混合物の代替アスファルト混合物として、施工性及び供用性、物理的性状などの検討が注目されています。

一般的に、中温化アスファルト混合物の製造には添加剤（化学添加剤や有機添加剤）、発泡剤を用いた

フォームドアスファルトなどが用いられています。加熱アスファルト混合物と比較して20～40℃低い温度で混合物を製造するため、燃料消費量の節減による排ガス減少に伴う環境負荷低減効果が期待されます。また、混合物製造温度を下げることでアスファルトフェームが減少し、作業環境の改善に寄与します。

中温化アスファルト混合物の特徴と諸性状に関する研究報告は数多く、特に寒冷期における施工性の改善および温度、荷重による疲労クラックの低減、アスファルトの劣化抑制に寄与すると考えられています。

そのため、中温化技術は、適用が増加しているポリアマー改質アスファルト混合物やマッシュアスファルト混合物など、製造時に高い温度が必要な特殊混合物への適応が検討されています。高温での製造が必要とされる混合物へ適用範囲が拡大すれば、より高強度な舗装が可能となり、アスファルト舗装への付加価値の寄与が期待されます。⁴⁾

(1) フランス

フランスでは、中温化アスファルト混合物の使用量が日々増加しており、フランスの道路建設業協会は、2012年に中温化アスファルト混合物の使用を促進するための勧告書を作成しました。これによってフランス国内での中温化アスファルト混合物の製造量は、全アスファルト混合物製造量の7.5%に達しています。

(2) ノルウェー

ノルウェーでは、2012年にノルウェー労働省が中温化アスファルト混合物の速やかな普及を掲げ、従来のアスファルト混合物と同等の品質を確保し、製造温度が25℃以上低減した中温化アスファルト混合物を製造した業者に対して、1トンあたり4ユーロのボーナスを与えることとしました。これにより、2012年から2013年にかけて、ノルウェー国内での中温化アスファルト混合物の製造量は増加の傾向を示しています。

また、ノルウェーではアスファルト業界全体が、労働環境を改善するために、ノルウェー道路局と協力して中温化アスファルト混合物の使用を薦めています。

(3) スウェーデン

スウェーデンでは、KGO技術という、今までとは異なる種類の中温化技術が用いられています。これは

表-1 ヨーロッパ各国の中温化アスファルト混合物生産量^{5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)}

国名	中温化混合物生産量(千トン)						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
オーストリア	10	0	0	0	0	0	0
チェコ	10	50	0	0	0	30	1
デンマーク	-	-	-	-	20	120	200
フィンランド	760	750	800	690	490	0	120
フランス	> 500	> 520	1,000	1,259	2,633	3,550	4,023
イギリス	-	< 500	< 500	< 750	< 1000	< 1000	< 1000
ハンガリー	0	0	0	2	2	20	38
オランダ	0	200	200	300	70	60	133
ノルウェー	0	0	1	-	20	380	540
スウェーデン	50	100	600	600	500	500	700
スイス	630	650	780	850	780	870	388

最初に粗骨材をアスファルトで被膜し、細骨材、フィラー、および砂を添加し混合するという技術です。骨材に残った水分がフォームドアスファルトに似た効果を生み、施工性の改善に寄与します。この技術は製造温度の低減を目的としたものではありません。2013年のスウェーデンにおける中温化アスファルト混合物の製造にはKGO技術が用いられ、フォームドアスファルトもしくは中温化添加剤を用いたものではありませんでした。

(4) その他

チェコでは、ブラハの主要なトンネルのアスファルト舗装には中温化アスファルト混合物が用いられています。また、スイスやトルコでは実績が少なく研究段階ですが、積極的な中温化アスファルト混合物の採用に向けた動きが進んでいます。

— 参考文献 —

- 1) NAPA : Warm-Mix Asphalt:Best Practices, Quality Improvement Publication 125, 3rd Edition, 2012
- 2) NAPA : Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2014, 2015,113
- 3) NAPA : Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2009-2013, 2014,10
- 4) EAPA : The use of Warm Mix Asphalt EAPA - Position Paper, 2014,10
- 5) EAPA : ASPHALT IN FIGURES 2014, 2016,2
- 6) EAPA : ASPHALT IN FIGURES 2013, 2014,11
- 7) EAPA : ASPHALT IN FIGURES 2012, 2013,11
- 8) EAPA : ASPHALT IN FIGURES 2011, 2012,11
- 9) EAPA : ASPHALT IN FIGURES 2010, 2011,12
- 10) EAPA : ASPHALT IN FIGURES 2009, 2010
- 11) EAPA : ASPHALT IN FIGURES 2008, 2009

疑問 フォームドアスファルトとはどのようなものですか？

<調査結果>

フォームドアスファルトは、液状アスファルトを泡状化したアスファルトで、常温で骨材との混合が可能です。フォームドアスファルトといえは、中温化アスファルト混合物のイメージが強いですが、過去の文献を調査していると、中温化技術の概念が定着するよりも前からフォームドアスファルトが日本で導入されていることがわかりました。ここでは、フォームドアスファルトの特徴、使用目的、今後の展望を紹介します。

1. フォームドアスファルトについて

1.1 フォームドアスファルトの起源

アメリカでは、永久ひずみの防止を目的として、ポリマー改質アスファルトのようなアスファルト技術が進歩しましたが、加熱アスファルト混合物の製造温度が上昇し、プラントでのエネルギーの消費や、排ガス・アスファルトフェームの排出量が増加しました。そのために、加熱アスファルト混合物の品質を落とさず、混合温度および施工温度を下げる中温化技術の適用がはじまりました¹⁾。

1957年、サニー教授がフォームドアスファルトを用いることで、常温の湿潤状態の骨材と加熱アスファルトを混合できることを示し、アスファルトの発泡技術や乳化、湿潤状態の骨材が取り入れられました。これがフォームドアスファルトの起源となります。当時は加熱アスファルトに水蒸気を添加することで微細な泡を生じさせ、アスファルトの体積を10～15倍程度に膨張させることによりアスファルトの粘性を減少させ、作業性を向上させました。その後、モービルオイル・オーストラリアが、現在世界各国で使用されているフォームドアスファルト発生装置の原型となる、常温の水でフォームドアスファルトを製造する方法を発案しました。このことから前者の製造方式が「サニータイプ」、後者が「モービルタイプ」と呼ばれています²⁾。

1.2 日本での使用の目的の略史

フォームドアスファルトが日本に導入されたのは1961年のことであり、導入された当初は積雪寒冷地の摩耗対策

や、真砂土やクレイを使用した自然色、環境系舗装などの耐久性向上に多く適用されていました。また、リフレクションクラック抑制層や、貯水池などの水密性舗装などにも適用されていました。1997年の気候変動枠組条約第3回締結国会議において温室効果ガスを2008～2012年の平均が、1990年比で最低6%削減する議定書が採択されました³⁾。これを機にフォームドアスファルトの使用目的が大きく変わり、フォームドアスファルトの低い混合温度を利用したCO₂の排出抑制や高い混合性能を利用したアスファルト廃材のリサイクルによる省資源化が盛んとなり、中温化技術のひとつとして、実績を上げています。

1.3 フォームドアスファルトの製造過程

図-1にフォームドアスファルト混合物の模式図を示します。水とエアで体積膨張をおこし、表面張力が減少したフォームドアスファルトと骨材を混合することで、細粒分により多くのアスファルトが被膜されます。その後、転圧されるとアスファルトが潰され、粗骨材同士を接着させます。

1.4 フォームドアスファルト混合物の特徴

フォームドアスファルト混合物の特徴として、以下の点が挙げられます。

- ①アスファルトの粘性低下による混合性能向上
- ②混合温度の低下による省エネルギー化
- ③低針入度アスファルト再生骨材への利用
- ④早期強度発現による交通開放の時間短縮
- ⑤高たわみ性に伴う高耐久性とびびり割れ抵抗性の向上

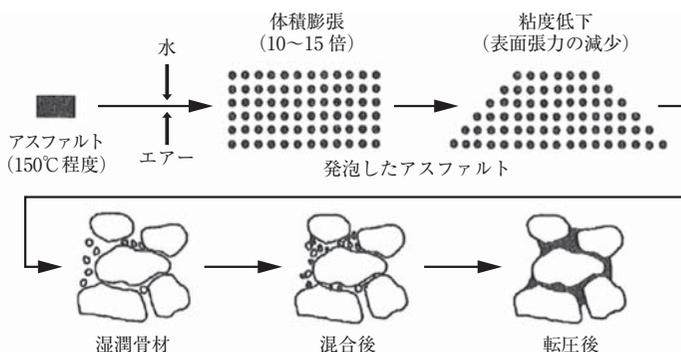


図-1 フォームドアスファルト混合物の模式図²⁾より抜粋

2. フォームドアスファルトを用いた施工方法 (路上路盤再生工法への適用)

セメント・フォームドアスファルト（CFA）工法は、路上路盤再生工法の一つで、安定材としてセメントとフォームドアスファルトを用いて、路盤の耐久性とたわみ性を向上させるものであり、フォームド発生装置を搭載したスタビライザで施工を行います。この工法は、路上路盤再生工法の利点に加え、フォームドアスファルトの良好な施工性を付加しており、オーストラリアから導入されて以来、現在までに多くの実績を重ねております。

3. 今後の展望

フォームドアスファルトは施工実績の増加に伴い、改良が行われてきました。2000年代には、化学反応させるケミカルフォームドアスファルト⁴⁾や骨材飛散抵抗性を有した表面処理工法としてフォームドドレッシング工法の開発⁵⁾などが行われてきました。

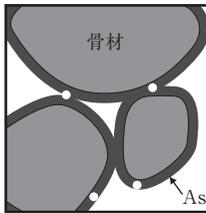
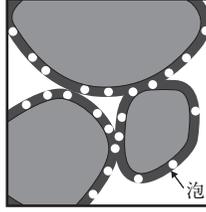
近年では再生アスファルト混合物の製造量が増えているためCO₂排出量削減、製造時の施工性改善による品質向上などの対策に取り組む必要があります。この対策として中温化技術の適用があり、中でもコストや汎用性を考慮するとフォームドアスファルトが適して

います。しかし再生骨材使用率が高くなると発泡し得る新アスファルトが少なくなり、中温化効果は減少してしまう課題があるため、締固め性や作業性を向上させるために、フォームドアスファルトの微細泡化⁶⁾への改良が行われています。表-1に微細泡化アスファルトの概念を示します。泡を微細にすることでアスファルト中の泡の残存量を増やし、ベアリング効果の向上を図ります。

— 参考文献 —

- 1) NCHRP REPORT 807: Properties of Foamed Asphalt for Warm Mix Asphalt Applications
- 2) 鈴木ほか：カナダ・モントリオール市周辺におけるフォームドアスファルトを使用した建設発生材再生工法の現況，道路建設，p58-63, 1997
- 3) 海老沢ほか：フォームドアスファルトを使用した安定処理（セメント瀝青安定処理）工法について，アスファルト，42, 203, p9, 2000
- 4) 海老沢ほか：ケミカルフォームドアスファルトを用いた中温化技術，舗装，35, 10, p19, 2000
- 5) 高木ほか：フォームドドレッシング工法の開発，舗装，41, 2, p19, 2006
- 6) 江向ほか：微細泡に改良したフォームドアスファルトによる再生アスファルト混合物の検討，道路建設，p50-56, 2013

表-1 微細泡化の概念⁶⁾より抜粋

	フォームドアス噴射直後	数分後	敷きならし時
従来型			
理想型			

おわりに

今回は、若手技術者が普段感じている疑問として中温化技術について調査し、幅広く取り上げました。

調査結果から、中温化技術に関して我が国では50年以上の歴史が有りながら、今なお最新の研究が行われておること、また海外においても同様であることがわかり、今後ますます発展していく分野であることがうかがえました。これから中温化技術に携わる若手技術者にとって、本稿がその一助になれば幸いです。



アスファルト・舗装 研究

花王株式会社 テクノケミカル研究所

花王の企業理念である「花王ウェイ」では、花王の使命を「消費者・顧客の立場にたつて、心をこめた“よきモノづくり”を行い、世界の人々の喜びと満足のある、豊かな生活文化を実現するとともに、社会のサステナビリティ（持続可能性）に貢献すること」と定めています。ここでは絶えず革新的で価値の高い商品を生み出す原動力となる花王の研究開発活動とアスファルトの研究について紹介させていただきます。

1. はじめに

花王の研究開発の特徴は、多分野の科学（サイエンス）と技術（テクノロジー）の融合を目指していることです。

研究開発部門では、消費者ニーズを背景に商品や設計し技術を実用化する「商品開発研究」と、物質や現象の仕組みを解き明かす「基盤技術研究」を融合させる事で、世界に通用する革新的な商品の創造に取り組んでいます。

花王の事業の原点である油脂科学・界面科学をはじめとした広範な科学研究に生産技術を統合し、そこに品質や安全性・環境適合性評価研究を組み合わせることにより、“よきモノづくり”を追及しています。



2. 研究開発の紹介

花王では、消費者向けの商品開発のほかに、産業界の発展を支える革新的な工業用製品の創製に努めています。

工業用製品分野では、特徴ある油脂誘導体、機能性界面活性剤や高分子素材を開発し、製品開発につなげるとともに、各産業界の顧客に「驚きと安心」「トータルソリューション」を提供しています。

花王の工業用製品としての展開は、花王の創業と時を同じくしてスタートしました。

今ではアジア領域6カ国、欧米地域4カ国に研究・生産拠点を置くまでに成長し、花王の中で最もグローバル化が進んだ事業となり、幅広い産業分野、多彩な製品群で世界の顧客に貢献を続けています。



工業用製品開発の基盤となる技術は界面科学ですが、なかでも「界面物性制御技術」「ナノ表面改質技術」「機能性分子設計技術」、そしてそれらの複合化技術をコア技術と位置づけています。

代表的なケミカルプロダクトである、土木・建築技術を支えているセメント分散剤「マイテイ」は、国内のみならず世界各国の顧客へ提供している工業用製品のひとつです。

花王では「セメント粒子の分散」を界面科学的に解析し、理想的なセメントへの分散剤の吸着量や吸着形態を追及してきました。

「マイティ」はセメント粒子をより細かく分散し、低粘度で作業性に優れたコンクリートの製造を可能にしました。これにより、高強度・高耐久コンクリートという建築業界のニーズにお応えしています。

またレオロジー改質剤「ビスコトップ」は、界面活性剤がつくる紐状ミセルが有する特異な弾性特性を世界で初めてスラリー系に応用したもので、これにより水中でもコンクリート材料が分離せずに工事することが可能になりました(写真-1)。

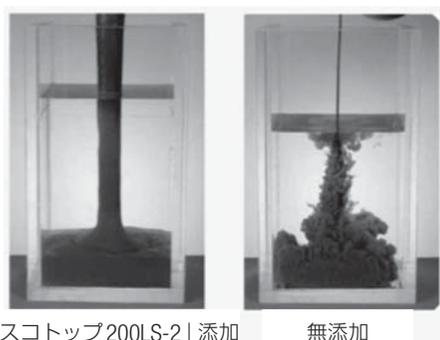


写真-1

花王はナノレベルの界面科学に基づいた分散技術・レオロジー制御技術で、道路・アスファルト乳剤用の乳化剤も提供して参りました。

アスファルト乳剤を製造する乳化剤にはカチオン性、アニオン性、ノニオン性、両イオン性の界面活性剤が利用でき、乳化剤の電荷特性によって種々の用途に適應されています。

アスファルト乳剤に使用される代表的な界面活性剤を図-1に示します。

120℃~150℃で加熱して液状としたアスファルトと乳化剤を溶解した乳化液を40℃~60℃に加熱してコロイドミル等を用いて強力に乳化することでアスファルト乳剤は得られます。特に使用される乳化剤はカチオン系乳化剤とノニオン系乳化剤です。

カチオン系乳化剤は水溶液中でアスファルト滴表面に正の電荷を付与して乳化を安定化させる剤です。舗装道路用の骨材表面は一般的に負に帯電しているために、カチオン系乳化剤を使用したアスファルト乳

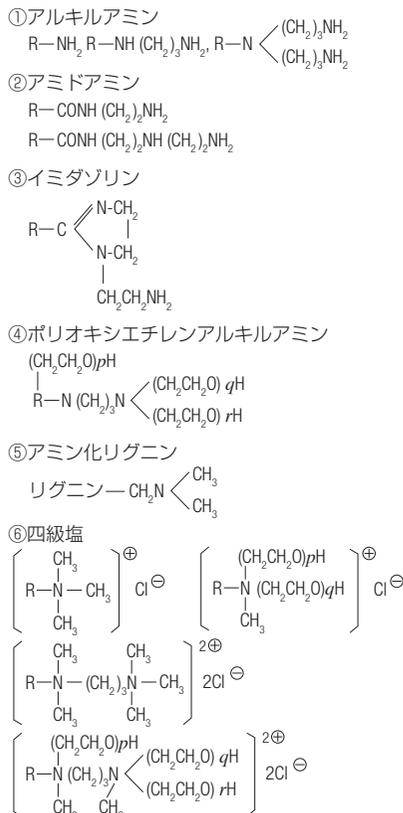


図-1 アスファルト乳剤用界面活性剤

剤は図-2に示すように、骨材表面に速やかに吸着するとともに、骨材表面のマイナス電荷と乳剤表面のプラス電荷中和によりアスファルト乳剤の分解速度が速い特徴を有します。この結果、アスファルト混合物の硬化速度も速く、更に、骨材への接着強度も高くなる傾向にあります。

ノニオン系乳化剤はアスファルト乳剤の骨材に対する吸着性が弱く、また分解速度が遅いという欠点が

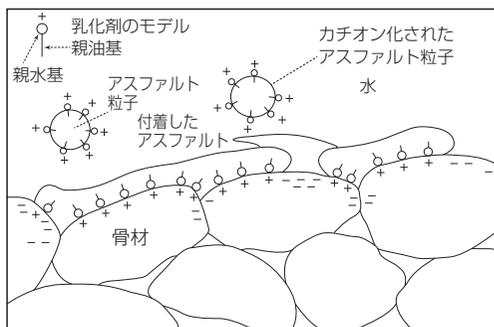


図-2 乳剤によるアスファルトの骨材への吸着

あります。しかし、酸やアルカリによるpH調整の必要がなく、アスファルトの性質に適合したHLBを選択することが容易であり、更にセメント混合系やアルカリ性骨材との混合用として使用できる等の特徴があります。

主な用途としては、新幹線スラブ軌道のセメントアスファルトモルタル用乳化剤や路上再生路盤工法があります。

3. 花王のアスファルト研究施設の紹介

花王では長年アスファルト用乳化剤や加熱アスファルトの剥離防止剤の研究を行ってきました。近年はその研究拠点をメキシコに移し、世界の顧客により良い剤を提供すべく、研究活動を行っています。



キミ花王（メキシコ）

4. おわりに

花王は基礎技術である「界面物性制御技術」「ナノ表面改質技術」「機能性分子設計技術」を応用、複合化することにより、快適な環境、インフラを提供し、社会貢献を目指して研究活動を続けて参ります。

— 参考文献 —

- 1) 花王の研究開発活動, 2015
- 2) 玉置良市ほか, 特殊機能界面活性剤, p246, 1986



アスファルト乳化機



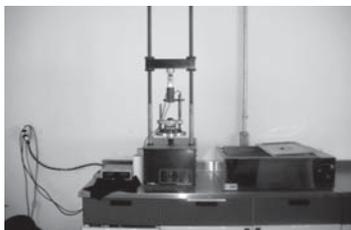
ハンブルグホイールトラッキング試験機



カンタプロ試験機



アスファルト伸度試験機



マーシャル試験機



マーシャルコンパクター



RTFO 試験機



乳化粒度分布測定装置



DSR 試験機

<統計資料>

石油アスファルト需給実績

(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	販売 (内需)	対前年 度比(%)	内需 (建設用)	対前年 度比(%)	輸出	期末 在庫	合計
20 年 度	224	4,694	(94.4)	94	5,012	2,735	(84.3)	1,882	(81.0)	181	247	2,982
21 年 度	247	4,608	(98.2)	106	4,961	2,861	(104.6)	2,302	(122.3)	101	227	3,088
22 年 度	227	4,377	(95.0)	51	4,654	2,625	(91.4)	1,796	(78.0)	40	199	2,824
23 年 度	199	3,939	(90.0)	256	4,394	2,482	(94.5)	1,739	(96.9)	0	200	2,682
24 年 度	200	3,960	(100.5)	99	4,259	2,366	(95.3)	1,565	(90.0)	59	217	2,583
25 年 度	217	3,659	(92.4)	92	3,968	2,151	(90.9)	1,455	(93.0)	15	215	2,366
26 年 度	215	3,200	(88.8)	77	3,491	2,032	(97.0)	1,329	(91.4)	45	168	2,199
27. 4 月	168	206	(87.5)	0	374	140	(99.5)	81	(94.7)	4	178	318
5 月	178	276	(129.3)	0	454	154	(104.4)	98	(105.0)	0	176	330
6 月	176	237	(94.5)	7	421	132	(97.1)	87	(95.3)	4	165	298
4～6 月	168	719	(102.7)	7	894	426	(100.4)	266	(98.5)	8	165	591
7 月	165	292	(101.8)	5	462	157	(99.3)	101	(101.5)	4	169	326
8 月	169	269	(98.3)	6	443	140	(96.4)	77	(93.2)	1	183	323
9 月	183	274	(86.8)	4	461	154	(92.6)	105	(103.6)	9	175	329
7～9 月	165	834	(95.3)	15	1,014	452	(96.0)	284	(99.9)	14	175	627
10 月	175	257	(120.5)	5	438	168	(92.9)	137	(112.4)	3	184	352
11 月	184	258	(99.5)	10	451	183	(105.2)	135	(105.2)	3	209	391
12 月	209	284	(97.9)	8	500	172	(95.7)	114	(98.3)	1	221	393
10～12 月	175	799	(104.8)	23	997	522	(97.8)	386	(105.4)	7	221	744
28. 1 月	221	290	(101.7)	7	518	123	(74.9)	68	(66.5)	0	225	348
2 月	225	279	(93.7)	10	514	176	(92.2)	123	(95.3)	0	216	391
3 月	216	266	(102.8)	15	496	198	(88.4)	161	(90.4)	0	217	415
1～3 月	221	835	(99.2)	32	1,088	497	(85.8)	352	(86.0)	0	217	714
27 年 度	168	3,188	(100.2)	76	3,432	1,897	(94.5)	1,288	(96.8)	29	217	2,114
28. 4 月	217	232	(112.2)	2	451	138	(108.7)	107	(133.0)	15	213	351
5 月	213	260	(94.4)	2	475	95	(63.3)	47	(47.5)	28	214	309
6 月	214	263	(111.0)	5	482	162	(123.0)	118	(134.9)	12	215	376
4～6 月	217	755	(105.0)	9	981	395	(96.6)	272	(102.1)	55	215	610
7 月	215	279	(95.6)	7	501	137	(87.7)	90	(88.7)	19	205	342
8 月	205	295	(106.0)	8	508	149	(91.4)	86	(111.6)	12	210	358
9 月	210	256	(93.4)	12	478	149	(96.9)	110*	(104.7*)	0	211	359
7～9 月	215	829	(98.3)	27	1,071	434	(92.0)	286*	(100.9*)	31	211	644

出典：生産、輸入、販売(内需)、輸出、期末在庫について、石油連盟(石油アスファルト統計月報)より引用
 内需(建設用)について、国土交通省総合政策局建設市場整備課 主要建設資材月報需要予測より引用
 *最新月は速報値もしくは予測値データ

一般社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

(平成28年12月1日現在)

[メーカー]

コスモ石油株式会社	(105-8528) 港区芝浦1-1-1	03 (3798) 3159
JXエネルギー株式会社	(100-8162) 千代田区大手町1-1-2	03 (6257) 7231
昭和シェル石油株式会社	(135-8074) 港区台場2-3-2	03 (5531) 5765

[ディーラー]

● 東北

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

株式会社アスカ	(106-0032) 港区六本木3-4-33	03 (3587) 1500
伊藤忠エネクス株式会社	(105-8430) 港区虎ノ門2-10-1	03 (6327) 8027
三菱商事エネルギー株式会社	(100-0004) 千代田区大手町1-1-3	03 (4362) 4200
コスモ石油販売株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀4-7-1	03 (6891) 9920
コスモアスファルトカンパニー株式会社	(103-0028) 中央区八重洲1-2-1	03 (3272) 3471
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	(104-0033) 中央区新川2-1-7	03 (3537) 3082
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巢鴨3-39-4	03 (3915) 7151
富士興産株式会社	(101-0042) 千代田区神田東松下町13	03 (6859) 2050
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
リーフエナジー株式会社	(108-0073) 港区三田3-4-10	03 (6435) 4497

一般社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

● 近畿・中国

三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4-4-10	06 (6394) 1551
昭和瀝青工業株式会社	(670-0935) 姫路市北条口4-26	079 (226) 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) 山陽小野田市稲荷町10-23	0836 (81) 1111
横田瀝青興業株式会社	(672-8064) 姫路市飾磨区細江995	079 (233) 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	099 (256) 4111
三協商事株式会社	(770-8518) 徳島市万代町5-8-3	088 (653) 5131
西岡商事株式会社	(764-0018) 仲多度郡多度津町東港町11-1	0877 (33) 1001
平和石油株式会社高松支店	(760-0065) 高松市朝日町4-17-1	087 (811) 6231

編集顧問	編集委員
中村俊行	委員長：里 蘭 拓 森端洋行 新田弘之 峰岸順一 加納孝志 徳光克也 村山雅人 神谷恵三 濱田幸二 吉村啓之 向後憲一 永田佳文 竹井利公 姫野賢治

アスファルト 第232号

平成28年12月発行

一般社団法人 日本アスファルト協会

☎ 100-8162 東京都千代田区大手町1-1-2

JX エネルギー株式会社 産業燃料部

TEL 03-6257-5663

機関誌「アスファルト」に関するお問い合わせ

コスモ石油株式会社 製品部 伊藤 亮介

TEL 03-3798-3159

印刷所 キュービシステム株式会社

☎ 101-0041 東京都千代田区神田須田町1-12-6

マルコビル4F TEL 03-5256-0051

Vol.59 No.232 DECEMBER 2016

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**

一般社団法人 日本アスファルト協会 ホームページ <http://www.askyo.jp/>

