

アスファルト

第57巻 第230号 平成26年12月発行

230

特集・最近のアスファルト事情

[製造・流通]	石油アスファルト需給動向と将来展望について	
	JX日鉱日石エネルギー株式会社	1
	日本のアスファルト乳剤の製造、用途、そして需要動向	
	一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会	6
[維持・修繕]	舗装の機能保全のための破損同定法の提案	
	竹内 康・吉村 啓之・金井 利浩・笠原 篤	11
	損傷対策型小粒径ポーラスアスファルト舗装	
	蔵 治 賢太郎・田中 大 介・横島 健 太	18
	積雪寒冷地における舗装の損傷と対策	
	丸 山 記美雄・木村 孝 司	26
	海外のアスファルト舗装の破損の種類と分類法について	
	吉村 啓之	32
[技術関連]	IRI 共通試験 (TRUEプロジェクト) 実施報告	
	中村 博 康・富山 和 也・城本 政 一	
	増戸 洋 幸・渡邊 一 弘	36
	重荷重舗装に係わる舗装技術について	
	川名 太・八谷 好 高	40
	高針入度のアスファルトの活用に向けて ー現道での試験舗装編ー	
	峰岸 順 一・佐々木 巖・寺田 剛・荒尾 慶 文	47
	損傷メカニズムに対応した橋梁レベリング層用混合物の開発	
	加藤 亮	56
[その他]	国際アスファルト舗装会議 (ISAP2014) の報告	63
	神谷 恵 三	63

<アスファルト舗装技術研究グループ・第62回報告>	67
SMAにおけるマッシュモルタルや骨格構造に関する近年の研究動向について	68
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	82
<連載>アスファルト・舗装研究 vol. 3	92
ニチレキ株式会社 技術研究所	92
<統計資料>石油アスファルト需給統計資料	96

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

第93回 アスファルトゼミナール開催のご案内

一般社団法人 日本アスファルト協会

拝啓 時下ますますご清栄の段、お慶び申し上げます。

当協会主催の「アスファルトゼミナール」を下記要領にて開催致します。

皆様、お誘い合わせの上ご参加くださいますようお願い申し上げます。

敬 具

記

- | | |
|-------------|--|
| 1. 主 催 | 一般社団法人 日本アスファルト協会 |
| 2. 協 賛 | 一般社団法人 日本道路建設業協会、一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会
一般社団法人 日本アスファルト合材協会、一般社団法人 日本改質アスファルト協会 |
| 3. 後 援 | 国土交通省 |
| 4. 開 催 月 日 | 平成27年2月26日(木)～2月27日(金) |
| 5. 開 催 場 所 | 大阪社会福祉指導センター 大ホール(5階)
〒542-0065 大阪市中央区中寺1-1-54 ☎06-6762-9471 |
| 6. 内 容 | 裏面「プログラム」をご覧ください。 |
| 7. 申 込 方 法 | 平成27年2月20日(金)までに、下記ホームページの申し込みフォームよりお申し込み下さい。
(http://www.askyo.jp/zemi/index.html)
折返し(3日程度)E-mailにて参加受講券をお送りいたします。 |
| 8. 申込問合せ | キュービシステム株式会社 アスゼミ担当 村井まで
☎03-5256-0051 E-mail: asphalt@qbs.co.jp |
| 9. 内容問合せ | コスモ石油株式会社
販売部 販社室 竹田まで ☎03-3798-3121 |
| 10. 参 加 費 | 無料 |
| 11. 参 加 人 数 | 300名(締切日以前でも定員になり次第締め切らせていただきます。) |
| 12. CPD 認 定 | 公益社団法人土木学会の継続教育(CPD)プログラムとして認定されました。
認定番号 JSCE14-0773 6.2単位
※単位取得には2日間の参加が必須となりますのでご注意ください。 |
| 13. そ の 他 | 当日の参加受付はできませんので、必ず上記方法でお申し込み下さい。 |



開催日

平成27年2月26日(木)～2月27日(金)

開催場所

大阪社会福祉指導センター 大ホール（5階）
〒542-0065 大阪市中央区中寺1-1-54
☎06-6762-9471

■会場案内図

- 市営地下鉄谷町線「谷町六丁目」下車
④番出口より 徒歩5分
- 市営地下鉄谷町線「谷町九丁目」下車
②番出口より 徒歩7分

プログラム

ーこれからのアスファルト舗装管理ー

第1日目 平成27年2月26日(木) 13:00~17:00

(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 鈴木 裕 人
2. 挨拶 13:05 ~ 13:20
一般社団法人日本アスファルト協会
アスファルト舗装技術委員長 矢 野 善 章
3. 道路舗装技術の海外展開の取り組みについて 13:20 ~ 14:10
独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ
舗装チーム 上席研究員 久 保 和 幸
4. 奈良県における道路インフラ維持管理の取り組みについて(仮題) 14:15 ~ 15:05
奈良県 県土マネジメント部 道路管理課 課長 高 木 朗
(休憩 15:05 ~ 15:15)
5. これからの舗装の管理について(仮題) 15:15 ~ 16:05
国土交通省 道路局 国道防災課 課長 茅 野 牧 夫
6. 舗装の維持修繕ガイドブック2014活用への期待 16:10 ~ 17:00
八千代エンジニアリング株式会社 吉 兼 秀 典

第2日目 平成27年2月27日(金) 9:00~11:40

7. 平成27年度道路予算 9:00 ~ 10:00
国土交通省 道路局 企画課 道路経済調査室 室長 山 本 悟 司
8. アスファルト乳剤を用いた舗装の維持修繕工法について 10:05 ~ 10:50
一般社団法人日本アスファルト乳剤協会 技術委員 山 本 富 業
9. アスファルト舗装管理におけるポリマー改質アスファルトの役割 10:55 ~ 11:40
一般社団法人日本改質アスファルト協会 焼 山 明 生

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日鉱日石エネルギー(株) 産業エネルギー部門 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

国際市場での指標原油の1つであるDB(ドバイ)原油は、2008年7月の史上最高値(1バレル141ドル)を付けた後、世界的な金融危機による景気後退の影響を受けて僅か半年で40ドル台にまで下落する等、原油価格は激しい乱高下を起こしていた。

しかし、足元の原油価格動向はウクライナやイラク・シリアにおける地政学リスクが依然として根強く残っているものの、リビアからの原油供給回復を受けて、足元の原油相場は90ドルを中心とした価格水準(2014年10月上旬現在)となっている。しかしながら、地政学リスクは非常に予測困難なものであり、今後の原油価格の動向も非常に不透明である。

また、米国の早期利上げ観測や好調な経済指標を背景とした円安ドル高が日本到着ベースの原油価格に影響を与えている。我々は原油市場だけでなく、為替市場の動向にも引き続き注視していく必要があると言える。

1.2 エネルギー供給構造高度化法の概要

石油連盟の統計資料によると、日本国内の原油処理設備能力は、2000年度には527万BD(Barrels Day)であったが、2014年8月末現在、395万BDまで減少している(図-1参照)。

これは、燃料油内需の減退に対応するべく石油元売各社が製油所の閉鎖や原油処理設備の一部休止等、規模の適正化を行った結果である。

この原油処理設備能力の削減は、2009年8月に施行された「エネルギー供給構造高度化法(以下、「高度化法」と記載)」による影響が大きい。

高度化法は、エネルギーの効率的な利用を目的として施行され、経済産業省は石油精製業者に対して「重質油分解装置の装備率(以下、「装備率」と記載。装備率の計算方法は、「重質油分解装置の能力」÷「常圧蒸留装置の能力」)の向上を義務付ける公告を行っている。

日本の装備率は10%程度(法律施行時)と、海外勢の装備率(欧米:20%程度、シンガポール・台湾:22%程度、韓国:16%程度)を下回っており、経済産

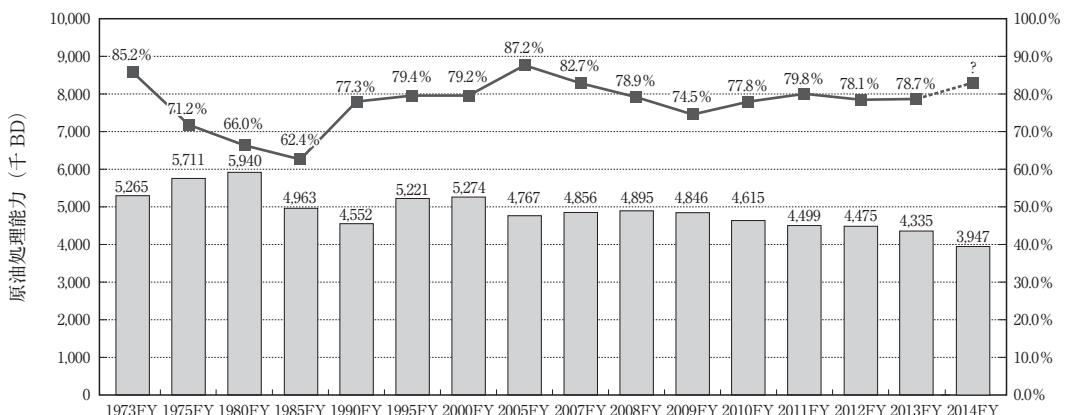


図-1 原油処理能力・稼働率

出所：石油連盟のデータを元に当社作成

業省はこれを2013年度末までに13%程度まで引き上げることを具体的な目標としていた。

これを受け、燃料油内需の減退および製品マージンの悪化等により経営環境が厳しい石油元売各社は、数百億円から数千億円規模の投資が必要な重質油分解装置の増強ではなく、常圧蒸留装置の能力削減を中心に、装備率の改善を行った(表-1参照)。

表-1 高度化法の公表済み各社対応

社名	対応内容
JX日鉱日石エネルギー㈱	室蘭製油所(180千BD)を中心に、原油処理能力を580千BD削減
出光興産㈱	徳山製油所(120千BD)の原油処理停止
昭和シェル石油㈱	グループ会社の東亜石油㈱京浜製油所扇町工場(120千BD)の閉鎖
コスモ石油㈱	坂出製油所(140千BD)の原油処理停止
東燃ゼネラル石油㈱	川崎・和歌山製油所の原油処理能力削減(105千BD)および、川崎製油所の重質油分解装置の能力増強

※各社報道発表資料より

また、経済産業省は2014年8月に高度化法の新たな判断基準の公告(以下、「新基準」と記載)を行ったが、そのポイントは次の3点である。

第1は、装備率定義の変更である。経済産業省は2009年8月に施行された高度化法(以下、「旧基準」と記載)において、重質原油(重油やアスファルトを多く生産できる原油)と軽質原油(ガソリンや灯油等を多く生産できる原油)の将来的な価格差拡大見込とC重油やアスファルト等に代表される黒油の需要減少という当時の需給環境の変化を背景に、C重油対比高付加価値のガソリン等を増産可能とする重質油分解装置を装備率計算式の分子として採用した。しかし、世界的なシェールオイル増産による軽質原油の調達可能性の拡大、更なるガソリン等の製品マージンの悪化、2011年3月の大震災以後、原子力発電所停止による電力用C重油需要の拡大、および成長戦略の多様化といったように石油元売各社を取り巻く環境は更に大きく変化してきている。経済産業省はこれら変化を踏まえて、石油元売各社が石化シフトや輸出強化、総合エネルギー企業化等の多様な戦略を選択する中、重質油分解装置の装備率に固執せず、各社の成長戦略や石油精製装置構成の特性に沿った制度設計が必要と考え、原油処理装置を装備率計算式の分子とする見直しを行った。原油処理装置とは常圧蒸留原油または減

圧蒸留残油を処理し、これら残油から白油を生産する装置を指す。具体的には、旧基準で対象となった「重質油熱分解装置(コーカー等)、原油流動接触分解装置(RFCC)、原油水素化分解装置(H-Oil)」に加え、「重油直接脱硫装置(直脱)、流動接触分解装置(FCC)、溶剤脱砒装置(SDA)」がこれに該当する。

第2は、目標への対応方法の見直しである。装備率の改善方法は旧基準と同様に、原油処理装置の新設・増設もしくは、常圧蒸留装置の削減が考えられる。しかし新基準では対応方法の見直しが行われており、これにより石油元売各社は目標達成に向けた柔軟な対応が可能となった。具体的には、燃料油から石油化学製品や潤滑油等の非燃料油への生産シフトを可能とする生産体制の構築をすることを認めている点と、旧基準では常圧蒸留装置の廃棄のみしか能力削減として認めていなかったが、新基準では常圧蒸留装置の公称能力削減も認める点である。これは、天災等により燃料油供給に支障が生じることのないよう、柔軟な供給体制を維持することを目的としている。また、新基準では連携および事業再編等による設備能力の融通措置が追加されている。具体的には、A社とB社が原料油の融通配管新設等の連携を行い、B社が常圧蒸留装置能力を削減した場合は、この削減量をA社とB社間で融通し合うことが可能となる。

第3は、装備率の改善目標・取組期間・事業再編方針の提出の見直しである。上述のとおり、新基準において装備率の定義は変更されたが、この新基準装備率は現状45%程度である。経済産業省は新基準装備率を50%程度まで向上させることを目標としている。同省は、石油元売各社全てが常圧蒸留装置の能力削減で対応した場合、日本全体の精製能力は現状の395万BDから約40万BDの能力が削減されるという試算結果を同省は公表している。なお、個別の目標設定として、現状の装備率が45%未満の場合は改善率を13%以上、45~55%の場合は同11%以上、50%以上の場合は同9%以上としている。また、最終目標達成期限は2016年度末とし、段階的な取組も含め、可及的速やかな目標達成を促している。また、経済産業省は2014年10月31日を提出期限とした新基準目標達成のための計画を提出するよう石油元売各社に通達している。本通達では、設備最適化の基盤となる事業再編の方針を併記することを促しており、かつ必要に応じた見直しを都度行い、その見直し状況を目標達成状況と共に定期的に経済産業大臣に報告するよう公告を行っている。

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、公共事業の見直し等により徐々に減少し、2013年度には5,005万トン（2000年度比70%）となっている。

一方、ストアスの使用量は、2000年度の383万トンに対して、2013年度は192万トンとほぼ半減しており、合材よりも減少幅が大きい。これは再生合材の製造比率が増加していることが主因である。合材全体に占める再生合材の割合は、2000年度は58.7%であったが、2013年度は75.9%まで上昇している（図－2参照）。

また、ストアスの需要は年度末の3月がピークとなっており、その規模は月間単純平均の1.6～1.7倍である（図－3参照）。

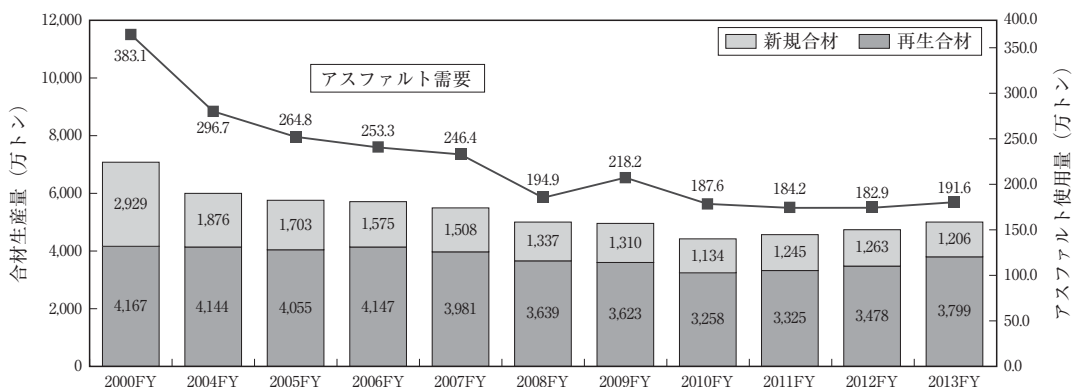
2014年度前半の特徴は、4月は2013年度に実施出

来なかった工事の繰り越しにより、ストアス・合材共に需要は前年を上回っていたが、5月以降は悪天候等の影響により、ストアス・合材共に需要は前年割れが続いている。

ただし、ストアスの生産を行う石油元売会社としては、上期に実施出来なかった工事の下期への繰越等により、下期は需要が回復することを期待したい。

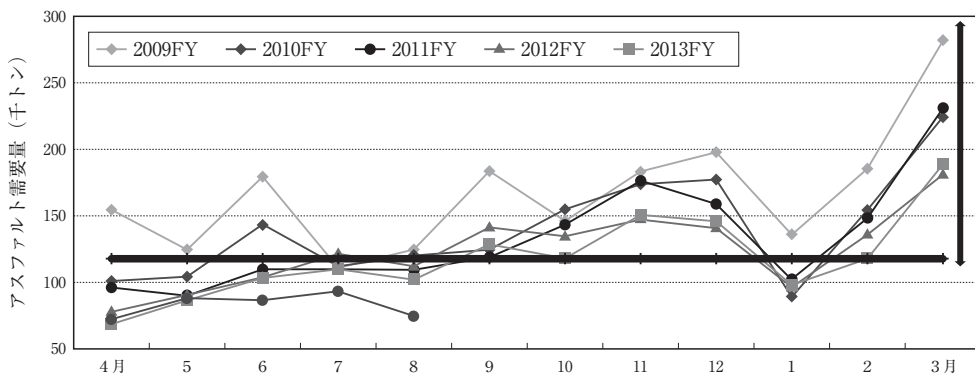
一方で、合材生産に必要な砂利やそれを運搬するダンプ車、道路工事の人員不足の慢性化、ダンプ車の燃料代や合材プラントで使用する電気料金の高騰、といった話も聞こえてきており、今後、道路予算の執行がなされても、工事体制およびストアス需要がつかない可能性も考えられる。

今後については、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、再生比率の更なる増加や道路舗装材料としてのセメン



図－2 合材およびアスファルト需要推移

出所：石油連盟&財務省、日本アスファルト合材協会のデータを元に当社作成



図－3 アスファルト月別需要量

出所：石油連盟のデータを元に当社作成

ト使用率増大等により、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思われる。

3. アスファルトの供給体制の動向

3.1 生産

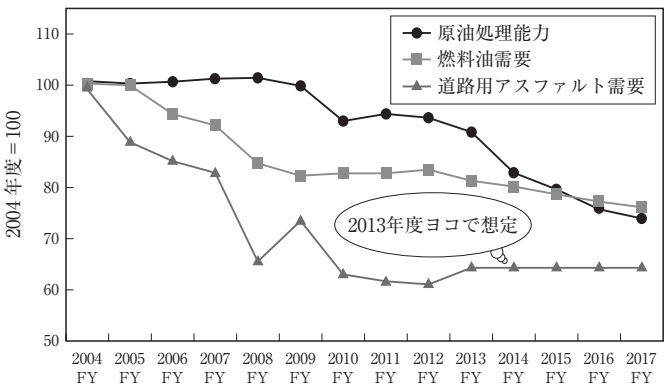
本項では、年間200万トン程度の需要規模であれば、高度化法新基準対応後においても、石油元売各社は十分に供給能力を有しているということをお伝えしたい。

石油製品は連産品（原油を精製するとガソリン、灯油、軽油、重油、アスファルト等の各製品が同時に生産される）であるので、原油処理能力の削減は、そのままアスファルトの減産につながる。この点がストアス供給を不安視する論拠とされているが、ストアス需要が増大した場合、石油元売各社は原油処理量の増加もしくは処理原油の重質化という2つの方法にて増産対応を取ることが可能である。

原油処理量の増加は、他の石油製品も同時に増産させてしまうため、石油製品全体の需給バランスを考慮した上で実行しなければならないが、現在、石油元売各社はストアスを目的生産物として位置付けており、増産の優先順位は高いということをご認識頂きたい。また、重油やアスファルトを多く生産できる重質原油を多く処理することによって、ストアス増産を実行することも可能である。重質原油は軽質原油対比で、約20%アスファルトを増産することが可能である。2013年度の日本全体のアスファルト輸入実績は60万トンであったが、参考までに石油元売各社は日本の総原油処理量（約2億KL）のわずか1.5%を重質原油に変更することでこの輸入数量を代替可能であるという試算がある。これは石油元売各社のストアス供給力が十分にあることを示していると言えよう。このように石油元売各社は十分な供給力を有しているが、増産対応には需要の見通しを前もって共有させて頂くことが必要不可欠であり、今後ともご理解、ご協力を賜るようお願い申し上げたい。

一方で、高度化法新基準対応で更に原油処理設備能力の削減が進むことに対して供給不安視する向きもある。これについては、経済産業省による新基準達成

を全て原油処理能力の削減で行った場合は、40万BDの削減が必要となるという試算結果前提を用いたとしても、石油元売各社の供給能力に問題ないことをお伝えしたい。まず、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は緩やかであるという点である。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、2013年度並のストアス需要であれば、今後も石油元売各社は十分に生産可能な能力を有していると言える（図－4参照）。また、前述のとおり、新基準においては常圧蒸留装置の公称能力削減も認められており、ストアス需要が拡大した場合は、旧基準と比べて柔軟に原油処理量を増大することが可能となっている。また、ガソリンがピーク需要となった2004年度と同じ得率（＝各石油製品が原油から取得される割合）であれば、高度化法新基準対応後の石油元売各社の生産可能数量は計202万トンに達する（表－2参照）。この数値は、2013年度需要量である192万トンを超えており、新基準対応後も、石油元売各社の供給能力は十分にあることを示している。



図－4 原油処理能力と道路用アスファルト需要の関係

出所：経済産業省、石油連盟、財務省のデータを元に当社作成

表－2 高度化法新基準対応後のアスファルト供給可能量

	2004FY		2017FY
常圧蒸留装置 （トッパー）能力	千 B/D 4,778	▲26%	千 B/D 3,547
国内石油元売による 道路用アス販売数量	千トン 2,725	▲26%	千トン 2,023

仮に能力削減見合いでアスファルト生産を行った場合

3.2 輸入

ここ数年、商社によるタンク新設および輸入船新造が実施され、総需要に対する輸入品の構成比が増大している（表－3参照）。ただし、輸入品と石油元売各社の生産品販売量を月別の需要で分解すると、需要変動の大部分は生産品が吸収していることが分かる（図－5参照）。

3.3 流通

本項では、製油所や油槽所から合材工場にストアスを配送するタンクローリーおよび国内を航行可能な輸送船の現状について述べたい。

まず、軽油価格の上昇や排ガス規制強化によるコストアップ等により、運送会社の経営はますます厳しくなっている。その結果、運送会社の廃業や廃車によりローリー台数が減少しており、需要ピーク時に合材工場への配送に支障を来す事態が散見されている。ローリー台数の減少傾向が今後も継続していくと、突発的な需要増に対応出来なくなる恐れがある。

また、国内を航行可能なストアス輸送船の隻数にも限りがあり、需要ピーク時には船舶需給が不足することがある。そのため石油元売各社はピーク時を

見越した油槽所在庫の積上げ等の効率的な運用を行っている。

更に、タンクローリー・輸送船はストアス輸送に特化しており、他油種の輸送手段との代替が困難であるということもご認識頂きたい。

従って、流通体制の安定化のためには、需要家サイドの皆様には可能な限りストアス発注の平準化をお願いしたい。

4. おわりに

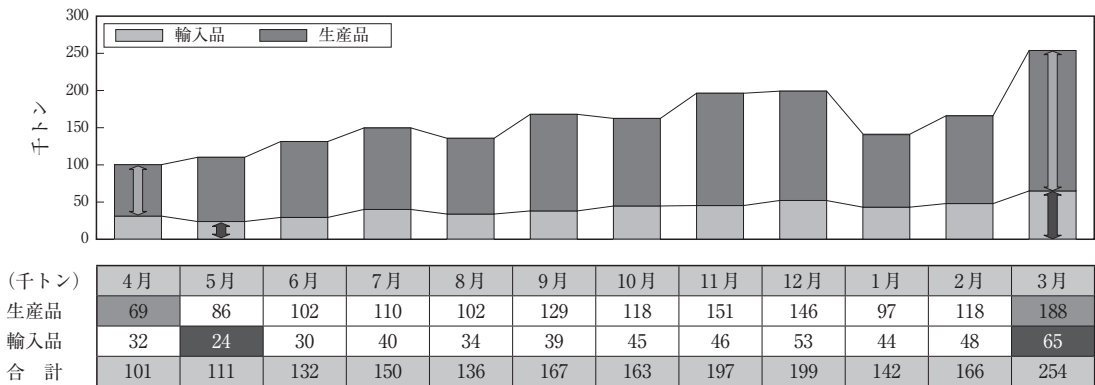
安定的かつ確実な供給体制を維持するために、我々石油元売各社は需要家サイドの皆様に対して、“需要見通しの前広なご連絡等連携体制の強化”，および“可能な限りの発注平準化”につき、ご理解、ご協力を賜るよう、お願いしてきた。

これまでも当社を含め石油元売各社は、ストアスの安定供給を通じて、国民の共通財産である道路の整備、およびそれを支える道路舗装事業の健全な発展を原料供給という側面から支えてきたものと考えている。

今後もストアス供給という社会的な責任および役割を担い続け、一層の取り組みを行っていきたい。

表－3 供給方法別 道路用アスファルト需要推移

(千トン)	1990FY	1995FY	2000FY	2005FY	2006FY	2007FY	2008FY	2009FY	2010FY	2011FY	2012FY	2013FY
元売販売	4,416	4,011	3,613	2,462	2,336	2,218	1,738	2,004	1,672	1,588	1,485	1,415
(構成比)	(100%)	(100%)	(94%)	(93%)	(92%)	(90%)	(89%)	(92%)	(89%)	(86%)	(81%)	(74%)
商社輸入	20	11	218	186	197	246	211	178	204	254	344	501
(構成比)	(0%)	(0%)	(6%)	(7%)	(8%)	(10%)	(11%)	(8%)	(11%)	(14%)	(19%)	(26%)
合計	4,436	4,022	3,831	2,648	2,533	2,464	1,949	2,182	1,876	1,842	1,829	1,916
(構成比)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)



図－5 2013FY 道路用アスファルトの月別需要

出所：石油連盟のデータを元に当社作成

日本のアスファルト乳剤の製造, 用途, そして需要動向

(Manufacture, Use, and Demand Trends of Asphalt Emulsion)

一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会

我が国のアスファルト乳剤の歴史は、大正末期の1926年ごろ、舗装の延伸を望んでいた東京市が欧米のアスファルト乳剤の製造技術を導入し、足立区小台ほか数か所にアスファルト乳剤工場を設置した頃から始まった。その当時から約90年が経過しようとしている現在までに、アスファルト乳剤メーカーは全国に製造設備を整備し、新たなアスファルト乳剤や用途の開発などに取り組んできた。

本稿では、アスファルト乳剤の製造設備、種類や用途、そして需要動向などについて紹介する。

1. はじめに

大正末期の東京市は、舗装率を向上させるために加熱アスファルト混合物を用いたアスファルト舗装を採用していたが、当時のアスファルト舗装は多大な費用を要した。そのため、東京市は加熱アスファルト混合物よりも安価であり、常温で扱うことができるアスファルト乳剤（以降、乳剤と称す）に着目し、1926年、乳剤の研究を開始した。1927年、乳剤の製造方法を確立させ、1928年には足立区小台ほか数か所に乳剤工場を設置し、我が国初の乳剤製造が始まった。

その当時から約90年が経過した今日では、多くの乳剤メーカーが工場の製造設備の整備を進め、さらに新たな乳剤の開発やその用途の開拓に取り組んできた。その結果、全国に多くの乳剤工場が設置され、多品種・高品質な乳剤が製造されるようになった。

本稿では、乳剤の製造設備を紹介するとともに、乳剤の種類や用途、そして今後の需要などについて概説する。

2. アスファルト乳剤について

原油精製の過程で製造されるアスファルトは、常温で粘稠性のある半固体あるいは固体状態であるため、舗装に用いる場合、加熱溶融して粘度を下げる必要がある。一方、加熱溶融せずに常温でアスファルトを用いる場合、乳剤にして粘度を下げる方法が一般的である。常温領域における乳剤は、アスファルト、界面活性剤、水とその他安定剤などから構成された液体（エマルション）状態であり、写真-1に示すように微細

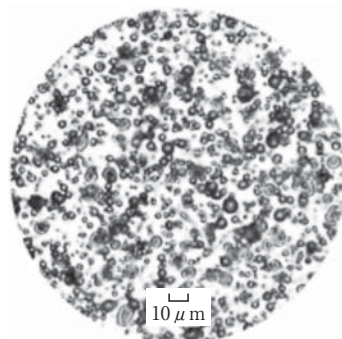


写真-1 乳剤の顕微鏡写真¹⁾

なアスファルトの粒子（1～3 μm ）が水中に分散した状態である。

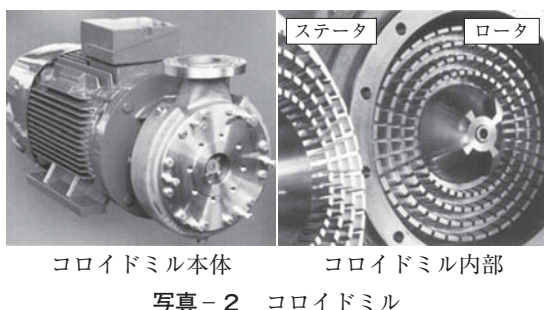
塩や砂糖を溶かした水などと異なり、乳剤は不安定なコロイド状態のエマルションであるため、安定化させることが「エマルション化技術」の基本となる。

3. アスファルト乳剤の製造

乳剤の製造設備にはアスファルトや乳剤を貯蔵するタンクのほかに、微細なアスファルト粒子を水中に分散させる乳化機がある。

代表的な乳化機には、ホモジナイザ（ハレル型ホモジナイザ）とコロイドミルの2種類がある。両乳化機ともロータを高速回転させ、強力なせん断力を加えることによってアスファルトを微細な粒子にするが、コロイドミルはホモジナイザよりもアスファルト粒子を均一に微粒化するため、乳化に対する効率が良く、安定した乳剤が製造できる。そのため、近年では、ホ

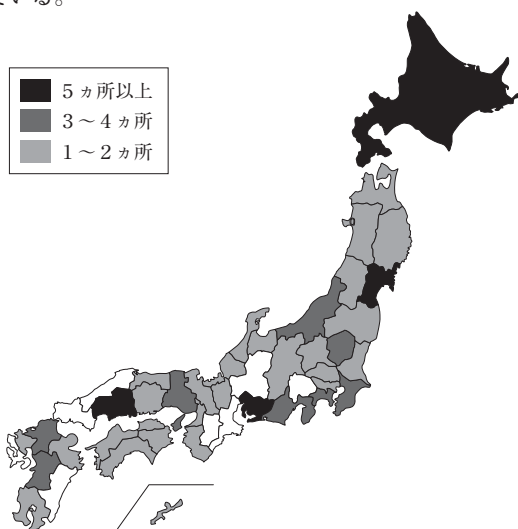
モジナイザよりコロイドミルを採用するケースが増えている。コロイドミルを写真－2に示す。



4. アスファルト乳剤工場の設置状況

2013年9月時点、全国に88か所の乳剤工場が設置されている。乳剤工場の都道府県別設置状況を図－1に示す。

近年の乳剤工場は拠点化・集約化が進められており、拠点工場で製造した乳剤は、全国各地に配置した貯蔵施設（depot）を通じて、各地へ供給できる体制を取っている。



図－1 乳剤工場の都道府県別設置状況

5. アスファルト乳剤の分類

我が国における乳剤の種類は、工法や用途に応じた乳剤の開発などで細分化されている。ここでは、日本工業規格（JIS K 2208）と日本アスファルト乳剤協会規格（JEAAS）で分類した乳剤の種類と用途について説明する。

5.1 JISで分類した乳剤の種類と用途

1956年（S31）のJIS K 2207（石油アスファルト）制

定に伴い設置した日本工業標準調査会化学部会の乳剤専門委員会は、東京都規格や米国連邦規格（FS）などを参照にしてJIS K 2208を1957年（S32）に制定した。JIS K 2208は、その後カチオン系乳剤やノニオン系乳剤の追加、そしてアニオン系乳剤の削除など5回の大小の改訂を経て現在に至っている。JISでは、それぞれの乳剤を電荷（カチオン系・ノニオン系）による分類と用途（浸透用・混合用）による分類を組み合わせた記号で表記している。例えば、PKは浸透用（Penetrating）のカチオン系（Kationic）乳剤であり、MNは混合用（Mixing）のノニオン系（Nonionic）乳剤である。JISで分類した乳剤の種類と用途を表－1に示す。

表－1 JISで分類したアスファルト乳剤の種類と用途

種類		記号	用途
カチオン系乳剤	浸透用	1号 PK-1	温暖期浸透用および表面処理用
		2号 PK-2	寒冷期浸透用および表面処理用
		3号 PK-3	プライムコート用 セメント安定処理層養生用
		4号 PK-4	タックコート用
	混合用	1号 MK-1	粗粒度骨材混合用
		2号 MK-2	密粒度骨材混合用
		3号 MK-3	土混じり骨材混合用
ノニオン系乳剤		1号 MN-1	セメント・アスファルト乳剤 安定処理混合用

5.2 JEAASで分類した乳剤の種類と用途

一般社団法人日本アスファルト乳剤協会では、JIS K 2208で規定されていない特殊な8種類の乳剤を「日本アスファルト乳剤協会規格（JEAAS）」で分類している。

JEAASが初めて制定されたのは1962年である。その当時はカチオン系乳剤を初めて規格化し、それぞれの時代の乳剤に対するニーズの変化とともに、カットバック乳剤（MK-C）、高濃度乳剤（PK-H）に続き、ゴム入り乳剤（PKR-T、PKR-S）、マイクロサーフェシング乳剤（MS-1）、そしてタイヤ付着抑制型乳剤（PKM-T）が追加された。一方で、JIS改正に伴い、JEAASで追加したノニオン系乳剤（MN-1）はJISへ移行し、JISから移行してきたアニオン系乳剤は削除された。JEAASで分類した特殊乳剤の種類と用途を表－2に示す。

JEAASも基本的にJISと同じ表記方法である。例えば、PK-Hは浸透用（Penetrating）のカチオン系（Kationic）の高濃度（High Content）乳剤であり、JIS

と同様に電荷と用途を組合せた表記だが、マイクロサーフェッシング (MicroSurfacing) 乳剤 MS-1 のように用途のみで表記した乳剤もある。

6. アスファルト乳剤を用いた工法

乳剤工法の一覧を表-3に示す。ここでは、乳剤工法を大きく3つに分けて紹介する。

表-2 JEAASで分類したアスファルト乳剤の種類と用途

種類	用途	プライムコート用	浸透用	維持修繕の常温混合物用	タックコート用			表面処理用		マイクロサーフェッシング用
	記号				一般舗装(新設)	一般舗装(補修)	ポーラス舗装	温暖期用	寒冷期用	
高浸透性アスファルト乳剤	PK-P	◎								
高濃度アスファルト乳剤	PK-H		◎					◎	◎	
カットバックアスファルト乳剤	MK-C			◎						
改質アスファルト乳剤	タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤	PKM-T			◎	◎	◎			
	ゴム入りアスファルト乳剤(タックコート用)	PKR-T			◎	○	◎			
	ゴム入りアスファルト乳剤(温暖期浸透・表面処理用)	PKR-S-1		○				◎		
	ゴム入りアスファルト乳剤(寒冷期浸透・表面処理用)	PKR-S-2		○					◎	
	マイクロサーフェッシング乳剤	MS-1								◎

注) ◎：適用性が高い，○：適用可能

表-3 舗装の主な破損と乳剤工法の適用例

乳剤工法名		主な破損の種類												新設の表層
		わだち掘れ			ひび割れ			ポーラスアスコンの破損		その他				
		沈下	流動	摩耗	路床路盤の支持力低下	表層の劣化・老化	ヘアクラック	骨材飛散	基層混合物の剥離	ポリッシング	ポットホール	段差	路面の荒れ	
散布式・浸透式工法	フォグシール工法						○						○	
	ポーラスアスファルト舗装表面の保護強化工法							○						
	チップシール工法					○	○			○			○	
	ポーラスアスファルト舗装直下の基層保護工法								○					
	SAMI工法				○									
	浸透式工法													○
被膜・混合式工法	路上再生セメントアスファルト乳剤安定処理路盤工法	○			○									
	マイクロサーフェッシング工法		○	○		○	○			○			○	
	スラリーシール工法					○	○			○			○	
	薄層表面処理散布工法						○			○			○	
	常温路上表層再生工法			○		○	○							
	スタビライザ工法	○												
常温プラント混合物	瀝青安定処理路盤	○												
	再生セメント・アスファルト乳剤安定処理路盤	○			○									
	常温混合物										○	○		○
	OGEM				○						○			○
その他	現場混合型スラリー状乳剤混合物										○	○		
	常温注入材料					○	○							

6.1 散布・浸透式工法

散布式・浸透式工法は、主として乳剤を散布して舗装表面を保護する工法や層間に遮水などの機能を付加する工法が該当する。代表的な工法にはフォグシールやチップシール・SAMI工法、ポーラスアスファルト舗装直下の基層保護工などがある。

チップシール（アーマーコート）の舗装断面を図-2に、乳剤・骨材同時散布機械を用いたチップシールの施工例を写真-3に示す。

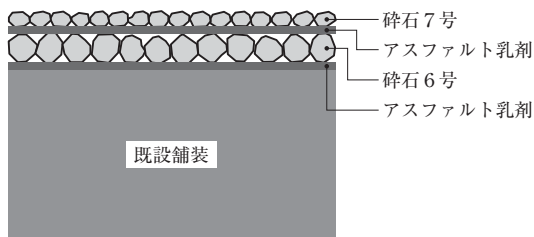


図-2 チップシール（アーマーコート）の舗装断面



写真-3 乳剤・骨材同時散布機械を用いたチップシールの施工例

6.2 被膜・混合式工法

被膜・混合式工法は現位置で混合物を製造する工法が多く、主に路上再生セメント・アスファルト乳剤安定処理路盤工法、マイクロサーフェシング工法・スラリーシール工法、薄層表面処理工法、常温路上表層再生工法などがある。

路上再生セメント・アスファルト乳剤安定処理路盤工法の破碎混合作業状況を写真-4に、マイクロサーフェシング工法の混合物の混合・敷きならし状況を写真-5に、薄層表面処理工法の一例を写真-6に示す。

6.3 そのほかの応用技術

乳剤の土木用途には、鉄道や空港のコンクリート版のグラウトに用いられるセメントアスファルト乳剤モルタル（CAモルタル）や間伐材などと混合した木質



写真-4 路上再生セメント・アスファルト乳剤安定処理路盤工法の破碎混合作業状況



写真-5 マイクロサーフェシング工法の混合物敷きならし状況

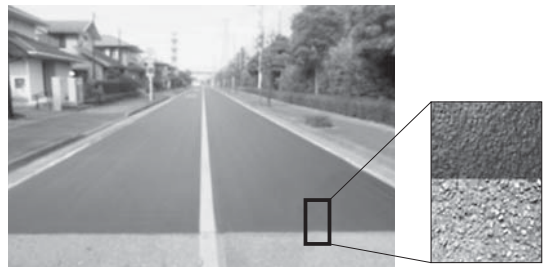


写真-6 薄層表面処理工法（例）¹⁾

系舗装のほか、種子や肥料を混合して斜面などに根付かせる植生用材料などがある。

木質系舗装の一例を写真-7に、新幹線スラブ軌道CAモルタル注入の一例を写真-8に示す。

7. アスファルト乳剤の需要動向

乳剤出荷量の推移を図-3に示す。乳剤の出荷量は1954年から1973年の高度経済成長期に急増し、1960年にカチオン系乳剤の国内製造が開始されたことなども追い風となり、1970年には過去最高の71万トン进行録した。



写真-7 木質系舗装 (例) ¹⁾



写真-8 新幹線スラブ軌道CAモルタル注入 (例)

の結果、近年の乳剤出荷量は約17万トン近傍で推移していたが、直近の2013年度の乳剤出荷量は、前年度比約15%アップの19万3千トンまで回復している。

8. おわりに

今後、舗装ストックとその老朽化に対して多大な維持修繕費用を必要とするが、国・地方の財政状況は厳しく、公共事業予算は低下し続けている現状から、コスト面を考慮した適切な維持修繕工法によるライフサイクルコストの低減が強く求められる。“予防的維持”はこのライフサイクルコストの低減に向けた有望な考え方の一つであり、最も効果的な“予防的維持”工法の一つが表面処理工法であると考ええる。

全国の道路の約85%は市町村道であり、約10%が都道府県道である²⁾。このことから推察すると、全国のおよそ半分の道路は軽交通量に区分されるであろう。

これらの道路に対して、乳剤を用いた表面処理工法は相応の耐久性を発揮するのに加え、環境問題の主要原因となる炭酸ガスの発生抑制、安全性、省資源・省エネルギー、コスト縮減などに対して大いに期待できる。近年、多岐にわたる表面処理材が使われているが、適材適所の観点から見た乳剤舗装の立ち位置は無限にあるであろう。

— 参考文献 —

- 1) (一社)日本アスファルト乳剤協会：アスファルト乳剤 (2012)
- 2) 中里：道路インフラは経済・社会の基盤、道路建設、No.745, 2014. 7, pp.17-20

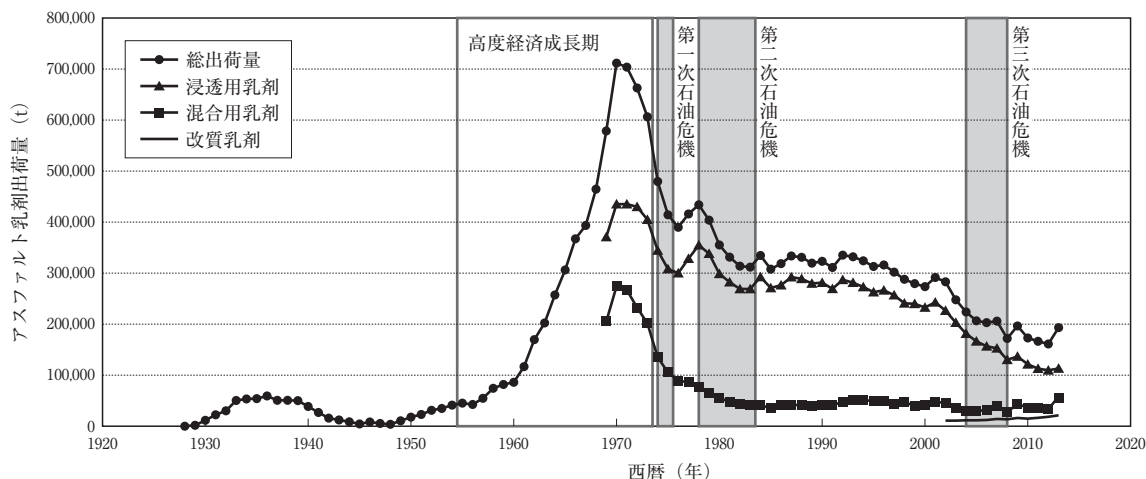


図-3 アスファルト乳剤の出荷量の推移

舗装の機能保全のための破損同定法の提案

(Proposition of Damage Identification Method for Functional Maintenance of Pavement)

竹 内 康*・吉 村 啓 之**・金 井 利 浩***・笠 原 篤****

舗装の修繕対策を検討するためには、路面に現れる破損状況を把握し、維持修繕の必要性を判断しなければならない。本報告では、海外の破損同定マニュアルに記載されている破損形態を調査し、国内の破損分類との整合性を検討するとともに、国内における破損形態を新たに分類・整理し直し、視覚情報から破損形態を直感的に把握することができる分類法を提案したので、その詳細について述べるものである。

1. はじめに

道路や橋梁、水利施設など、高度経済成長期に整備された多くの公共土木施設は、建設後の時間経過とともに老朽化が進行し、順次に更新時期を迎えつつある。これらの公共土木施設を更新あるいは維持修繕するためには、膨大な費用が必要となる。そのため、予防的な修繕（保全）対策を施すことで施設の長寿命化を図り、ライフサイクルコスト（LCC）を低減するための戦略として、アセット（ストック）マネジメント¹⁾が行われている。これは舗装においても同様で、道路や空港の舗装に関する技術課題は、より少ない費用で効率的に維持修繕できる技術の開発といったもののように、新規建設から維持修繕に関わるものへとシフトしてきている。

舗装の予防的な修繕対策を施すためには、路面に現れる破損状況を把握し、維持修繕の必要性を判断しなければならない。そのための判断基準として、道路舗装ではMCI（Maintenance Control Index）²⁾、空港舗装ではPRI（Pavement Rehabilitation Index）³⁾といった舗装管理者の視点で路面の良し悪しを数量化した管理指標が用

いられてきた。これらの指標あるいは地方自治体が提案するこれらに準じた指標⁴⁾は、舗装調査・試験法便覧⁵⁾等々に示されている特定の試験法に基づいて測定された路面のひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性から求められるもので、重要度の高い空港の滑走路や誘導路、国道等のLCC算定のために用いられている。

道路統計年報⁶⁾によると、道路法によって整備された我が国の道路の総延長は平成20年度で約120万kmにおよび、図-1に示すように総延長の75%にアスファルト舗装が敷設されている。これを舗装道路に占める割合に換算し直すと、道路舗装全体の94%がアスファルト舗装ということになる。そのため、道路舗装のアセットマネジメントはアスファルト舗装を対象とすれば概ねカバーされることがわかる。しかし、図-2に示すように道路舗装の総延長の84%（約100万km）

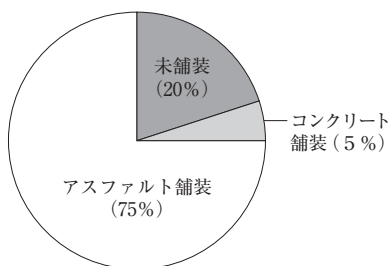


図-1 舗装種類別延長比率

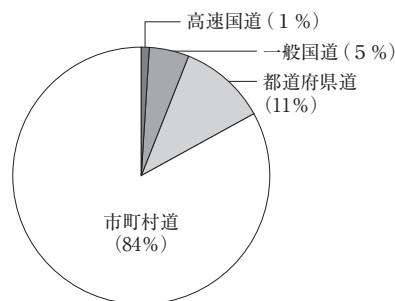


図-2 道路種類別延長比率

*たけうち やすし 東京農業大学 地域環境科学部 生産環境工学科 教授

**よしむら ひろゆき 前田道路株式会社 技術研究所 副所長

***かない としひろ 鹿島道路株式会社 工事部 部長 総合評価担当

****かさらは あつし 北海道科学大学 名誉教授

が市町村道であり、路面のひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性を測定してマネジメントを行うことは、経済的な制約があることから事実上不可能である。そのため、日常パトロールレベルで舗装の破損状況を把握し、アセットマネジメントを行って行く必要がある。

日常パトロールレベルで舗装路面の状態を診断するためには、パトロール実施者が舗装の設計施工、維持修繕について精通している必要がある。しかし、市町村では道路専門の管理者を配置できないことも多く、工業高専や大学での舗装関連講座の減少とも相まって、舗装工学に関する知識の普及が十分に図られていないのが実情である。

このような現状を踏まえ、舗装診断研究会（PDRG: Pavement Diagnosis Researchers Group）では、舗装の診断・破損の原因追究・維持修繕工法の選定までを適切に判断できる技術者育成に向けた諸検討を行うために、舗装診断技術普及委員会を設立し、舗装の破損状況からその原因を同定するための検討を行ってきた。本報告では、海外の破損同定マニュアルに記載されている破損形態を調査し、国内の破損分類との整合性を検討するとともに、国内における破損形態を新たに分類・整理し直したので報告するものである。

2. 日本における舗装の破損分類

日本では、舗装の破損、維持修繕に関する基準を示した道路維持修繕要綱⁷⁾が1978年に日本道路協会より刊行された。その後、交通条件や環境条件、維持修

繕技術は大きく変化しているものの、道路維持修繕要綱は改訂されていない。一方、道路維持修繕要綱を補完するような一般図書として舗装の維持修繕⁸⁾が刊行されており、舗装の破損と新しい維持修繕工法の関連性について紹介している。また、2007年に刊行された舗装調査・試験法便覧⁵⁾には、舗装の調査・試験法だけでなく破損種類との関連性が記載されており、舗装の破損種類はそれまでの図書に示されたものを網羅している。したがって、舗装調査・試験法便覧は道路維持修繕要綱と同じ位置づけではないが、舗装の破損状況を同定し得る破損同定マニュアルの一種であると見なすことができる。

表－1に舗装調査・試験法便覧に示されているアスファルト舗装の破損分類と発生原因を示す。同表に示すように、破損分類はMCIやPRI等の管理指標と連動することを前提とし、ひび割れ、わだち掘れ、平坦性の項目毎に分けられている。しかし、わだち掘れを例にとれば、摩耗によるわだち掘れは交通荷重が走行することによって骨材が混合物から剥離する“Ravelling”と骨材自身が摩耗する“Wearing”に分けることができ、諸外国ではこれを“Rutting（わだち掘れ）”とは区別していることは良く知られている。更に、写真－1に示すポットホールや重度の亀甲状ひび割れ（写真－2）の補修のために行われるパッチングが破損した場合（写真－3、4）の分類が不明である。また、舗装の破損を同定するためのテクニカルタームが厳密に規定されておらず、破損状態とテクニカルタームが

表－1 アスファルト舗装の破損種類と発生原因

破損分類		想定される主な原因
ひび割れ	亀甲状ひび割れ	許容載荷輪数超過、舗装厚不足、路床・路盤の支持力低下 etc.
	線状ひび割れ	混合物の劣化、温度応力、接着・転圧不良
	ヘアクラック	混合物の品質不良、施工不良
	橋面舗装のひび割れ	混合物の劣化、鋼床版上の局部的ひずみ
	その他のひび割れ	表・基層間の接着不良
わだち掘れ（塑性変形）		混合物の品質不良、気候条件、交通荷重
わだち掘れ（沈下）		路床・路盤の支持力不足、舗装厚不足
わだち掘れ（摩耗）		混合物の品質不良、骨材の品質不良
平坦性低下	コルゲーション	混合物の品質不良、層間の接着不良
	寄り	
	くぼみ	
その他※	ひび割れ部噴泥	ボンピング作用による路盤の侵食
	ポットホール	混合物の品質不良・劣化、施工不良、層間の接着不良
	ポリッシング	混合物の品質不良

※：全部で6種類あるが、詳細は表－3に譲る



写真－１ ポットホール



写真－２ 亀甲状ひび割れ



写真－３ パッチング



写真－４ 破損したパッチング（噴泥有り）

一致していない文献や技術資料が国内で散見されているのが現状である。

これらのことから、FHWA⁹⁾ (Federal Highway Administration；米国連邦道路庁) や ASTM¹⁰⁾ (American Society for Testing and Materials；米国材料試験協会) 等に代表される各国の公的機関において提案されている入手可能な破損同定マニュアルを調査し、日本における現行の破損分類法について検討することとした。

3. 諸外国における舗装の破損分類と日本の破損分類との比較

舗装の破損形態は気象条件や交通条件によって大きく異なる。そのため、日本における破損同定マニュアルを作成するにあたり、アジア圏内での情報収集を重視した。しかし、アジア圏内で入手できたものは、香港道路局¹¹⁾、IKRAM¹²⁾ (Institut Kerja Raya Malaysia；マレーシア土木研究所) の二つであり、両マニュアルにおいて顕著な差を見いだせなかったこ

とから、インターネット等を通じて他国の情報を入手することとした。その結果、上述したものに加え、Austroads¹³⁾ (The association of Australian and New Zealand road transport and traffic authorities；豪州・新西蘭交通運輸協会)、AI¹⁴⁾ (Asphalt Institute；米国アスファルト協会) の合計6つのマニュアルを入手した。

これらの破損同定マニュアルを比較したところ、写真－２に示した亀甲状ひび割れを例にとると、同じ破損状態であっても表－２に示すように幾つかの呼称があるものの、Cracking (ひび割れ)、Patching and Potholes (パッチングとポットホール)、Surface Deformation (表面変形)、Surface Defects (表面欠陥)、Miscellaneous Distresses (その他の破損) の5つに分類できることがわかった。なお、FHWAの呼称である“Fatigue Cracking (疲労ひび割れ)”については、形状による分類ではなく、原因によるものであり、その他のひび割れであってもアスファルト混合物の疲労が原因であるとする研究事例が幾つもある^{15, 16)}。このため、

表－２ 亀甲状ひび割れに対応した各機関の呼称

ひび割れ	機関	呼称
	FHWA	Fatigue Cracking
	ASTM	Alligator Cracking
	AI	Alligator Cracking
	Austrroads	Crocodile Cracking
	香港道路局	Crocodile Cracking
	IKRAM	Crocodile Cracking

英語による破損状態の呼称と日本語とを対応させるにあたっては、各マニュアルの破損状態の記載内容を照らし合わせ、舗装調査・試験法便覧の記載内容と合致するものにはその日本語表記を宛がい、それ以外の用語および舗装調査・試験法便覧に括弧書きで分類されている用語（線状ひび割れ、わだち掘れ）について

は、国内論文に用いられている表現を参考に新たな日本語表記を追加した。これを表－３に示す。なお、英語表記はASTMの表記を基準とし、ASTMに記載されていないものについては各マニュアルの呼称を採用した。

表－３に示すように、各国の破損分類と舗装調査・試験法便覧の破損分類を比較したところ、10程度の破損形態が未分類であることがわかった。また、骨材の剥離現象は、アスファルトによる結合が不足している混合物上に交通荷重が作用することで生じる「ラベリング」と劣化したアスファルト路面上を交通車両が通過することで生じる「ウェザリング」の２種類があるが、日本では冬期においてチェーンを装着した車両によって生じるラベリングのみが記載されているだけであった。これに

表－３ 破損状態の分類と英語表記と日本語表記の対応

破損大分類	破損小分類		
	英語表記	日本語表記（便覧）	日本語表記（追加）
ひび割れ	Alligator cracking	亀甲状ひび割れ	
	Block cracking		ブロック状ひび割れ
	Edge cracking		端部ひび割れ
	Hairline cracking	ヘアクラック	
	Longitudinal cracking	線状ひび割れ（走行軌跡部）	縦ひび割れ
	Longitudinal joint cracking	線状ひび割れ（ジョイント部）	縦ジョイントひび割れ
	Multiple cracking		枝状ひび割れ
	Reflection cracking	線状ひび割れ（横断方向）	リフレクションクラック
	Slippage cracking		円弧状ひび割れ
	Thermal cracking	線状ひび割れ（横断方向）	低温ひび割れ
	Transverse joint cracking	線状ひび割れ（ジョイント部）	横ジョイントひび割れ
わだち掘れ	Rutting	わだち掘れ（塑性変形）	わだち掘れ
	Wearing	わだち掘れ（摩耗）	摩耗わだち掘れ
平坦性低下	Corrugation	コルゲーション	
	Dip (Sag)	くぼみ	
	Depression		沈下
	Faulting		段差
	Shoving	寄り	
その他	Bleeding	ブリージング	
	Blistering	ブリスタリング	
	Delamination		表層剥離
	Lane/Shoulder drop off		路肩段差
	Patching & Util Cut Patching		パッチング破損
	Polished aggregate	ポリッシング	
	Potholes	ポットホール	
	Swell		隆起
	Weathering/Ravelling	ラベリング	ウェザリング／ラベリング

対して、日本独自の破損分類としては、①わだち掘れを表基層の側方への塑性流動によるものと路盤以下の鉛直方向の塑性変形によるものに分離して捉える点、②橋面舗装のひび割れを採り入れている点、③排水性舗装（東京都、NEXCOでは高機能舗装と呼ぶ）に特化したタイヤのねじり（据え切り）による骨材飛散を採り入れている点、④ひび割れ部の噴泥を採り入れている点が挙げられる。このうち、②のひび割れは橋梁の縦リブに沿って橋軸方向に発生するものが問題視されている^{17, 18)}ことから、縦ひび割れ（Longitudinal cracking）に分類可能であり、③についてはASTMのラベリングの定義に“Raveling is the dislodging of coarse aggregate particles.”とあるように、ラベリングを“チェーンを装着した車両だけでなく、全ての交通車両によって生じる粗骨材の剥離現象”と認識するならば、排水性舗装の骨材飛散はラベリングの範疇として捉えることができる。また④については、ひび割れの損傷レベルの一段階として捉えることができるため、表－3の破損分類によって②～④を網羅することは可能である。しかし、①に関しては、「塑性変形」と「沈下」で維持修繕工法が異なることが予想されるため、「わだち掘れ」を①と同様に二つに分類する必要があるかも知れない。これについては、「塑性変形」と「沈下」に対して適用する維持修繕工法について舗装専門技術者へのアンケートを実施し、詳細な検討を行う必要があるものと考えられる。

4. 国内における破損形態の新たな分類法の検討

現在、舗装調査・試験法便覧では、表－3に示したように破損状況を①ひび割れ、②わだち掘れ、③平坦性低下、④その他の4つに、諸外国では①Cracking（ひび割れ）、②Patching and Potholes（パッチングとポットホール）、③Surface Deformation（表面変形）、④Surface Defects（表面欠陥）、⑤Miscellaneous Distresses（その他の破損）の5つに大分類している。

前述したように本報告で提案する破損分類法は、必ずしも道路専門ではない管理者が行う日常パトロールレベルで舗装路面の状態を診断することを前提としており、図－3に例示するような簡易マニュアルを用いて破損箇所と破損程度を把握することを想定している。そのため、日常パトロールでは多くの破損箇所を的確に把握するスピードが要求されることから、「その他」という曖昧なカテゴリーは舗装路面を診断する上で障壁になるものと考えられる。例えば、水分によって舗装路面に生じる局所的な凸部であるブリスタリング（Blistering）は「その他」の破損に分類されるが、見かけ上は舗装路面の変形であるため「平坦性の低下」あるいは「表面変形」と認識した場合、破損形態を同定するのに必要以上に時間が掛かる可能性がある。そのため、舗装調査・試験法便覧や諸外国のマニュアルに示されている破損大分類を採用せず、破損形態を直感的に把握することができる分類法を考案することとした。

舗装の破損評価マニュアル（仮称） 平成〇〇年〇月 舗装診断研究会 舗装診断技術普及委員会	分類：網目状 亀甲状クラック Alligator cracking 定義：アリゲータ・クラックは繰り返しの交通荷重のもとでアスファルト混合層の疲労破損によって発生する相互に連結したクラックである。疲労クラックともいう(ASTM)。 発生原因：アリゲータ・クラックは舗装表面の過剰な変位によって発生する。これには、水によって弱くなった路床・下層路盤、舗装厚不足、舗装への過剰な荷重などがある。 損傷レベル： 軽度：縦い縦方向のへアクラックが平行に発生し、連結が始まった状態 中度：ネットワークを呈するクラックがアリゲータ状に発達し、わずかに破砕した状態 重度：ネットワークを呈したクラックが明確化し、破片の端が破砕した状態 測定方法： ひび割れ幅は、鋼尺等のスケールにより測定する。また、ひび割れ率は、舗装調査・試験法便覧 8029「舗装路面のひび割れ測定方法」に従って測定する。 対策方法： 軽度： 中度： 重度：	亀甲状クラック Alligator cracking 軽度 中度 重度
		
		
		

図－3 破損状態を固定するためのマニュアルのイメージ

舗装の破損は、ひび割れのように1次元（線）～2次元（面）の情報で把握できるもの、わだち掘れや沈下、隆起のように3次元（立体）の情報が必要なものがある。日常パトロールにおいて、短時間に破損状態を把握するためには、対象となる破損形状が1次元～3次元のどれに近いかを視覚的に判別し、その後に破損部がどのような状態（凹部or凸部など）になっているかを調べるようにすれば、破損分類の誤認識を減らすことができ、破損分類の効率化を図ることができるものと考えられる。そこで、次ページ表－4に示すように表－3の破損分類表を1次元（線状破損）、2次元（面状破損）、3次元（立体状破損）の3つの破損形状に分類し直した。更に、破損形態・状態と破損発生個所を加えることで、破損形状→破損状態→破損発生個所と

いうように破損同定を効率よく行うことができるものと考えられる。なお、破損の呼称（表－3では破損小分類に相当）は、各破損形状において分類表の下に行くほど破損の程度が大きくなるよう配置した。

5. おわりに

本報告では、国内外の破損同定マニュアルを参考にし、視覚情報から破損形態を直感的に把握することができる分類法を提案した。しかし、この分類法をより有益なものにするためには、損傷程度の異なる破損写真をより多く収集するとともに、破損状況に対応した維持修繕工法についても整理する必要がある。これに関しては今後の課題としたい。

— 参考文献 —

- 1) Haas, R., Hudson, W. R. and Zaniewski, J. (2000) : 最新舗装マネジメント, 北海道土木技術会舗装研究委員会
- 2) 北海道土木技術会舗装研究委員会 (1992) : 舗装マネジメントシステム入門, 北海道土木技術会舗装研究委員会, pp.17～18
- 3) 八谷好高, 早野公敏, 竹内康, 今西健治, 坪川将丈 (2006) : 空港アスファルト舗装の表面性状の実態, 土木学会舗装工学論文集, 第11巻, pp.147～154
- 4) 上杉直樹, 関太一, 末廣良和, 永瀬一典, 遠藤桂 (2006) : 横浜市の舗装のアセットマネジメントシステム導入に向けた諸検討, 土木学会舗装工学論文集, 第11巻, pp.139～146
- 5) 日本道路協会 (2007) : 舗装調査・試験法便覧, 第1分冊, 丸善株式会社
- 6) 全国道路利用者会議 (2009) : 道路統計年報, 全国道路利用者会議, pp.32～33
- 7) 日本道路協会 (1978) : 道路維持修繕要綱, 丸善株式会社
- 8) 佐藤信彦監修 (1992) : 舗装の維持修繕, 建設図書
- 9) FHWA (2003) : DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL for the Long-Term Pavement Performance Program, PUBLICATION NO. FHWA-RD-03-031, Federal Highway Administration.
- 10) ASTM (2010) : Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys, Designation: D6433 - 09, American Society for Testing and Materials.
- 11) Highways Department of Hong Kong (1992) : Catalogue of Road Defects, Highways Department of Hong Kong.
- 12) IKRAM (1992) : A Guide to Visual Assessment of Flexible Pavement Surface Conditions, JKR20709-2060-92, Institut Kerja Raya Malaysia.
- 13) Austroads(2008) : Guide to Pavement Technology, Part5 Pavement Evaluation and Treatment Design, The association of Australian and New Zealand road transport and traffic authorities.
- 14) AI (1997) : Asphalt in Pavement Maintenance, AI MS-16 (Third Edition), Asphalt Institute .
- 15) 姫野賢治, 渡辺隆, 丸山暉彦 (1987) : アスファルト舗装の疲労寿命予測システムに関する研究, 土木学会論文集, No.378, pp.269～278
- 16) 竹内康, 江向俊文, 姫野賢治, 牧恒雄, 斎藤正弘 (2005) : 農道用アスファルト舗装における Top-Down ひび割れに関する研究, 農業土木学会論文集, No.239, pp.19～27
- 17) 内田喜太郎, 松野三朗, 西澤辰男 (1999) : 首都圏における鋼床版舗装の破損状況, 第23回日本道路会議一般論文集 (C), pp.410～411
- 18) 小林隆志, 西澤辰男, 梶川康男 (2005) : 鋼床版舗装の縦表面ひび割れ発生に及ぼすタイヤ荷重の影響, 土木学会舗装工学論文集, 第10巻, pp.23～30

表－４ 破損形状に基づいた新しい破損分類表

形状	形態・状態	場所・規模	呼称		概要
線状破損	毛髪状	不特定	ヘアクラック	Hairline cracking	混合物の温度管理不良等により生じる微細ひび割れ
	縦断線状	走行部 (車輪通過部)	縦ひび割れ	Longitudinal cracking	交通荷重による疲労やアスファルトの劣化・老化学等によって車輪走行部に縦方向に発生するひび割れ
		走行部 (非通過部)	縦ジョイント ひび割れ	Logitudinal joint cracking	縦ジョイント部の施工不良より発生するひび割れ。アスファルトフィニッシャーの引きずりにより発生するひび割れもこれに含む。
		端部	端部ひび割れ	Edge cracking	交通荷重または凍結融解作用、路肩の側方移動により舗装端部から0.3～0.5mの範囲で発生するひび割れ
	横断線状	全幅	リフレクション クラック	Reflection cracking	温度変化等によりアスファルト層下のコンクリート版の目地部から発生するひび割れ
		全幅～部分的	低温ひび割れ	Thermal cracking	急激な温度変化による混合物の収縮によって生じるひび割れ。主として横断方向に発生。
		全幅～部分的	横ジョイントひび 割れ	Transverse joint cracking	横ジョイント部の施工不良により生じる横断方向のひび割れ
面状破損	円弧状	走行部	円弧状ひび割れ	Slippage cracking	交通荷重の制動（ブレーキ操作、ハンドル操作）により生じる半月～三日月状のひび割れで、表層と下層の接着が不良な舗装に生じやすい。
	枝状	不特定	枝状ひび割れ	Multiple cracking	縦横断クラックが互いに結びついたもの。原因は多様。
	矩形状	不特定	ブロック状ひび割 れ	Block cracking	温度応力の繰り返しによって生じる面積は0.1㎡～10㎡程度の面状ひび割れ
	網目状	走行部	亀甲状ひび割れ	Alligator cracking	交通荷重による疲労現象によって車輪走行部に発生するひび割れ
	不特定	修繕部	パッチング破損	Patching & Util Cut Patching	供用後のパッチング部の破損。占有工事時の転圧不足による沈下やパッチング部のひび割れ破損もこれに分類される。
	アスファルト 滲出	走行部	ブリージング	Bleeding	舗装表面に余剰アスファルトが滲み出る現象。アスファルト量が過剰であったり、粒度不良等によって生じる。
	アスファルト 離脱	走行部	ポリッシング	Polished aggregate	交通車両によって路面の骨材が磨かれて滑りやすくなった状態。粗骨材の品質不良が原因で発生することが多い。
立体状破損	混合物剥離	走行部	ポットホール	Potholes	骨材飛散等によって路面に局所的（直径30cm程度まで）に発生する穴で、凹部の縁部はほぼ垂直に切り立っている。重度の亀甲状ひび割れによって生じる局所的な凹部もポットホールに分類される。
		走行部	表層剥離	Delamination	接着不足等起因し、第1層の剥離・飛散により、比較的広範囲に発生する穴で、重度の円弧状ひび割れによって生じる局所的な凹部はこれに分類される。
		走行部	ウェザリング／ ラベリング	Weathering/ Ravelling	ウェザリングは劣化したアスファルト路面上を交通車両が通過することで生じる骨材剥奪現象、ラベリングは冬期においてチェーンを装着した交通車両が通過することで生じる骨材剥奪現象で、これらが複合的に生じる場合もある。
	路面凹凸	走行部	摩耗わだち掘れ	Wearing	タイヤチェーン等によるアスファルト混合物の摩耗によって車輪走行部に生じる路面の凹部。路床・路盤の塑性変形によるわだち掘れと同様にその周辺部に盛り上がりを伴わない。
		走行部	わだち掘れ	Rutting	舗装材料の塑性変形によって車輪走行部に生じる路面の永久変形。塑性変形には、路床・路盤材料の下方への塑性変形とアスファルト混合物の塑性流動があり、後者はわだち掘れ周辺部に盛り上がりを伴う。
		走行部	コルゲーション	Corrugation	交通の流れに垂直方向に洗濯板のような一定間隔で生じる波状の凹凸。交差点部など、交通車両がブレーキを頻繁にかける場所や曲線部において発生しやすく、アスファルト混合物の品質不良や層間の接着不足が原因であることが多い。
		走行部	寄り	Shoving	交通荷重によってアスファルト混合物が移動して生じる路面の局所的な凹凸。アスファルト混合物とコンクリートの境界で生じやすく、表層と下層間の接着不良が原因の場合もある。
	路面凹部	不特定	くぼみ	Dip (Sag)	舗装表面に生じる局所的な沈下で、路盤の不均一、アスファルト混合物の締固め不足、プライム／タックコートの施工不良により生じる。
		ジョイント部	段差	Faulting	ジョイント部の施工不良や埋設物により発生する段差。ひび割れを伴う場合があるが、破損分類は段差とする。
		端部	路肩段差	Lane/Shoulder drop off	舗装端と路肩の段差で、路肩のエロージョン・沈下、施工不良により生じる。
		走行部	沈下	Depression	比較的広い範囲の路面の沈下で、路床の沈下や施工不良により生じる。
	路面凸部	不特定	プリスタリング	Blistering	表層混合物内あるいは表基層間に閉じこめられた水分の蒸気圧によって舗装表面に発生する局所的な隆起現象。
		不特定	隆起	Swell	路床の凍結作用や膨張性地盤等によって路面が広範囲にわたって発生する隆起現象。

損傷対策型小粒径ポーラスアスファルト舗装

(Durable Porous Asphalt Pavement with a Small-Size Course Aggregate Grading)

蔵 治 賢太郎*・田 中 大 介**・横 島 健 太***

ポーラスアスファルト混合物の適用範囲拡大と共に、骨材飛散によるポットホール損傷が増加してきた。そこで、首都高速道路ではポーラスアスファルト混合物の優れた性能は保持したままポットホール損傷に対する耐久性を改善した混合物の開発を進めてきた。その結果、新しく開発したバインダを用い、空隙率を小さくした5mmトップの小粒径ポーラスアスファルト混合物がポットホール損傷に対する抵抗性に優れる事が確認されたことから、標準表層材料として採用することにした。

はじめに

首都高速道路の現在の供用延長は約300kmで、約8割が高架橋、1割がトンネル、残りの約1割が半地下と土工部で構成されている(図-1)。

首都高速道路(株)ではトンネル以外の約240kmに車両走行時に路面から発生する騒音の低減、雨天時におけるドライバーの視認性向上およびハイドロプレーニング現象対策として、表層に粗骨材の最大粒径が13mmのポーラスアスファルト混合物(以下「従来型ポーラス」)の採用を進めてきた。その面積は年々増加し、現在約7割に達している。しかしながら、採用面積拡大と同時に、粗骨材の飛散によるポットホール損傷の緊急補修回数は増加している。穴の無い平坦な路面を持続的に提供するのは道路管理者の基本的責務であることから、そ

のために表層を密粒度アスファルト混合物などポーラスアスファルト混合物以外の舗装材料に変更するという選択肢もあり得る。しかし、都市内道路は建物と道路が近接する場所が多いことから従来型ポーラスが有する路面騒音低減機能は捨てがたい。また、都市内高速道路は曲線が連続する線形が多いことから、従来型ポーラスが有する雨天時の視認性とすべり抵抗性といった機能も捨てがたい。そこで、首都高速道路(株)ではこのようなポーラスアスファルト混合物が有する優れた性能を生かしたままポットホール損傷抵抗性を改善させた小粒径ポーラスアスファルト混合物(以下「小粒径ポーラス」)の開発を進めてきた。その結果、従来型ポーラスの骨材配合、バインダ、層厚などを変更することにより、従来の施工機械で容易に舗設できるポットホール損傷対策型のポーラスアスファルト混合物ができたことから、その優れた性能を本誌で報告させていただくことにした。また、平成26年度内の改訂が予定されている首都高速道路の舗装設計施工要領で示される新バインダと混合物の品質規格についても紹介する。

なお、小粒径ポーラスについては土木学会第68回年次学術講演会(平成25年9月)¹⁾、雑誌「舗装」(平成26年6月号)²⁾、雑誌「改質アスファルト」(平成27年1月号)³⁾で開発途中時の試験結果の一部を紹介していることから、本報文ではその後に実施した試験内容を主として報告する。

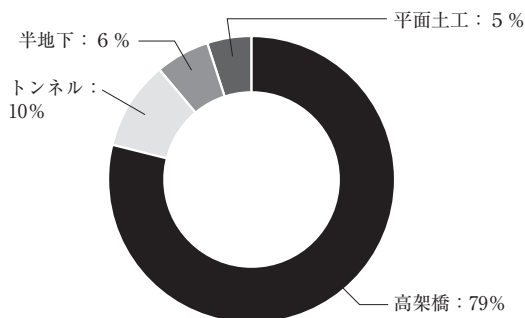


図-1 首都高速道路の構成

*くらじ けんたろう 首都高速道路株式会社 技術部 技術推進課 課長代理

*たなか だいすけ 首都高速道路株式会社 東東京管理局 保全設計第一課 係長

*よこじま けんた ニチレキ株式会社 技術研究所 研究3課

1. 開発コンセプト

損傷対策型のポーラスアスファルト混合物を開発する上でのコンセプトを以下に示す。

- ①路面騒音低減機能と排水機能を有するポーラスアスファルト混合物とする。
- ②従来型ポーラスの典型的なポットホール損傷パターンに対して抵抗性に優れる混合物とする。
- ③汎用性の高い施工機械で容易に舗設できる混合物とする。
- ④混合物で使用する骨材は一般に流通しているサイズで入手が容易な物を使用する。ただし、バインダは損傷対策型ポリマー改質アスファルトH型（以下「新バインダ」）を新たに開発する。

2. 従来型ポーラスの損傷パターン

従来型ポーラスの典型的なポットホール損傷パターンは凝集破壊型と層間剥離型の2種類に大別される。凝集破壊型損傷は混合物の粗骨材を束ねるバインダの結合力が失われて骨材飛散が生じる現象で、層間剥離型損傷とは表層と基層の接着力が失われて表・基層間の界面から剥がれて飛散する現象である。それぞれの損傷が生じる主な原因を表-1および表-2に示す。

表-1 凝集破壊型損傷の主な原因

●バインダの結合力不足
●曲げひずみ追従性不足（鋼床版）
●粗骨材どうしの接着面積不足
●施工時の温度低下による締固め不足

表-2 層間剥離型損傷の主な原因

●粗骨材と基層の接着面積不足
●乳剤の接着力不足
●基層上面の滞水

3. ポットホール損傷の対策

凝集破壊型損傷の対策案を表-3、層間剥離型損傷の対策案を表-4、小粒径ポーラスの構成案を表-5に示す。

表-3 凝集破壊型損傷の対策案

損傷原因	採用した対策方法
バインダの結合力不足	新バインダの採用
曲げひずみ追従性不足（鋼床版）	
粗骨材どうしの接着面積不足	空隙率の変更（20%→17%）
施工時の温度低下による締固め不足	

表-4 層間剥離型損傷の対策案

損傷原因	対策案
粗骨材と基層の接着面積不足	空隙率の変更（20→17%） 骨材の小粒径化（13→5mmトップ）
乳剤の接着力不足	改質乳剤の採用（PK-4→PKM-T）
基層上面の滞水	基層のレベリング性強化 （基層厚を40→50mmに拡大） バインダを水に強いタイプに変更 （コンクリート床版：改質Ⅱ型→Ⅲ型-W）

表-5 小粒径ポーラスの舗装構成案

表層・バインダ	小粒径ポーラスアスファルト混合物（5） ・新バインダ
表層厚・空隙率	t = 30mm・17%
基層 （コンクリート床版） ・バインダ	密粒度アスファルト混合物（13） ・ポリマー改質アスファルトⅢ型-W
基層（鋼床版） ・バインダ	グースアスファルト混合物（20） ・ストアス20-40 + TLA
基層厚	50mm

4. 舗装構成案の採用理由

4.1 凝集破壊型損傷の対策

4.1.1 バインダの結合力不足対策

ポーラスアスファルト混合物はその空隙を維持するために粗骨材どうしが小さな接着面積で接合していることから、通常従来型ポーラスには接着力に優れるポリマー改質アスファルトH型が使われる。一般にバインダや空隙率はそのままとして骨材の最大粒径を小さくすると凝集破壊抵抗性は低下する。そのため、東京都が環状線で採用している小粒径と通常の粒径のポーラスアスファルト混合物を同時に舗設する舗装（以下「二層式ポーラス」）の上層に舗設される、5mmトップのポーラスアスファルト混合物には、ポリマー改質アスファルトH型よりも接着力に優れる専用バインダが使用される。小粒径ポーラスにはこの二層式ポーラスで使用されているバインダの接着力をさらに強化した新バインダを採用し、凝集破壊抵抗性を高めることにした。

4.1.2 曲げひずみ追従性不足対策（鋼床版）

輪荷重によって床版が局部変形する鋼床版部ではタイヤ走行位置でアスファルト舗装にひび割れが生じやすい。このひび割れを起点として骨材飛散が拡大するとポットホールに成長する。そのため、鋼床版上に舗設されるポーラスアスファルト混合物には通常鋼床版の局部変形に対する追従性に優れるバインダが使用さ

れる。この性能は通常厚さ50mmの試験体を使った曲げ試験で評価される。従来型ポーラスは厚さ50mmで試験体を作製すれば規定値を満足するが、実際に使用されている厚さ40mmで試験をすると基準値を満足しない場合がある¹⁾。そこで、小粒径ポーラスには接着力に加え、床版の曲げひずみ追従性に優れる新バインダを採用し、使用厚の30mmで作製した試験体でも曲げ破断ひずみの規格値を満足するようにした。

4.1.3 粗骨材どうしの接着面積不足対策

先にも述べたとおり、ポーラスアスファルト混合物はその空隙を維持するために粗骨材どうしが小さな接着面積で接合していることから、密粒度アスファルト混合物などと比較すると凝集破壊抵抗性に劣り骨材が飛散しやすい。フィラーとアスファルト量を増やせば接着面積が増加するが、空隙は小さくなって排水性能は低下する。そこで、小粒径ポーラスは凝集破壊抵抗性を排水性能に対して優先することにし、これまで従来型ポーラスで採用されている20%、二層式ポーラスで採用されている23%程度の空隙率を、チェーン走行による破損対策として積雪寒冷地域で採用されている17%まで縮小することによって骨材どうしの接着面積を増加させて凝集破壊抵抗性を改善することにした。

4.1.4 施工時の温度低下対策

ポーラスアスファルト混合物は連続空隙を有することから密粒度アスファルト混合物などと比較して舗設時に温度低下の進行が早い。混合物の温度が低くなりすぎると適切な締固め度が得られなくなり、粗骨材が飛散しやすい状態で仕上がる。そのため、温度低下速度が緩やかな密粒度アスファルト混合物は温度低下速度が早い従来型ポーラスよりも現場で容易に品質確保ができる。そこで、従来型ポーラスで採用されている20%以上の空隙率を17%とすることにより、温度低下速度を抑制して施工性を改善することにした。

4.2 層間剥離型損傷の対策

4.2.1 粗骨材と基層の接着面積不足対策

従来型ポーラスは層間接着面積が小さいことから、空隙率を20%から17%とし、さらに骨材の最大粒径を13mmから5mmとして層間接着面積を増加させることにした。

4.2.2 乳剤の接着力不足対策

従来型ポーラスと基層間を連続施工する場合は基層上面に乳剤を散布しない場合があったが、表・基層間の接着強度を確実に得るために表・基層間が連続施工であっても小粒径ポーラス舗設前に基層上面に乳剤を

散布することにした。

また、散布した乳剤が舗装工事車両のタイヤに付着して持ち出されないようにすると同時に、層間接着強度を高めるため、改質乳剤(PKM-T)を採用した。

4.2.3 滞水の対策

ポーラスアスファルト舗装は、雨天時にはその下の基層上面が水が流れる構造となっている。雨天後、基層上面の水が速やかに排水されず滞水した状態が続くと交通荷重によって基層上面の混合物が剥離してポットホールになる。これを防ぐためには不透水層となる基層表面を汎用性の高い施工機械で容易に平坦に仕上げることができ、それを長期間維持することができる耐久性の高い材料が必要である。

(1) 基層のレベリング性の改善

従来型ポーラスで採用していた表層厚は40mmだが、小粒径ポーラスを採用して30mmにすることにより、従来は厚さ40mmであった基層厚を50mmに増やすことができる。これによって床版上面に不陸があっても確実にレベリングすることができ、水の流れる基層上面を平坦に仕上げやすくなる。基層厚を50mmに増やせば、グースアスファルト混合物の骨材の最大粒径を13mmから20mmにして耐流動性を改善することができる。しかし、コンクリート床版は不陸が大きい場所では基層厚50mmを確保できない場合があること、ポリマー改質アスファルトⅢ型-Wを採用した密粒度アスファルト混合物の耐流動性はバインダ性能に大きく依存すること、骨材の最大粒径を20mmにすると不透水性確保のためにアスファルト量を増やさなければならず、そうすると耐流動性も低下することから、骨材の最大粒径は密粒度アスファルト混合物は13mm、グースアスファルト混合物は20mmを採用することにした。

(2) 基層の動的安定度と凝集破壊抵抗性改善

従来型ポーラスの基層はその表面が水の流れる層となることから、基層にわだち掘れによる凹みができてしまうと雨天後に滞水してポットホールができやすくなる。そのため、基層に耐流動性と滞水状態での剥離抵抗性に優れたバインダが必要である。そのため、基層の密粒度アスファルト混合物(13)のバインダにポリマー改質アスファルトⅢ型-Wを採用した。

なお、首都高速道路(株)ではこのように水の流れる基層上面の平坦性をきわめて重要視していることから、ポーラス層と不透水層が1層の中に形成される機能性碎石マスチック(高機能Ⅱ型)や底部遮水型ポーラスコンクリートは採用しない方針としている。

5. 小粒径ポーラスの性能確認試験

小粒径ポーラスが思惑どおり従来型ポーラスよりも優れた損傷抵抗性を発揮し、ポットホール損傷が減少するのかどうかを室内試験によって検証した。最初は二層式ポーラスの上層で採用されている既存バインダを使用して検証試験をしていたが、凝集破壊型損傷の抵抗性を改善するために新バインダを使用する方針に変更した。そのため、「5.2 凝集破壊型損傷の抵抗性」の試験結果は新しいバインダを使用して得た値だが、バインダの性能に結果が左右されないそれ以外の試験については二層式ポーラスで使われる既存バインダを使用して得た値も含まれる。

5.1 基本性能確認試験

5.1.1 舗設温度低下速度試験

厚さ40mmの従来型ポーラスおよび厚さ30mmの小粒径ポーラスの温度低下速度を比較した。層厚が薄くなったことの影響を確認するため厚さ40mmの小粒径ポーラスについても計測した。また、比較対象として密粒度アスファルト混合物についても計測した。試験方法は、底に路盤紙を敷き側部に木枠をはめたホイールトラッキング試験用型枠に、混合温度で練り混ぜた混合物を入れ、フィニッシャによる敷ならしをイメージしてコンパクターで10往復転圧し、その後オープンで混合温度まで加温し、型枠を外して木枠と路盤紙がついたままの試験体を5℃の環境室で養生された密粒度アスファルト混合物上に置いて、中心部の温度変化を測定するというものである。

試験結果を図-2に示す。従来型ポーラスの温度は急速に低下したが、厚さ30mmの小粒径ポーラスの温度低下速度は緩やかで密粒度アスファルト混合物の温度低下速度に近いことから、従来型ポーラスよりも長時間にわたり施工性が確保出来ることがわかった。さら

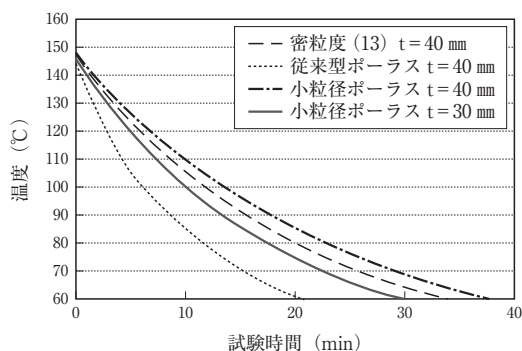


図-2 舗設温度低下速度試験

に、厚さ40mmの小粒径ポーラスの温度低下速度は空隙が17%あるのにもかかわらず、密粒度アスファルト混合物よりも緩やかであった。これはバインダに含まれる改質材量がその保温性に影響している可能性がある。これについては今後検証し、別の機会に報告する。

5.1.2 舗設温度と締固め度の関係

締固め温度と締固め度の関係を図-3に示す。試験体の厚さは実際に使用する厚さに合わせ、小粒径ポーラスは30mm、従来型ポーラスは40mmで作製した。試験体の締固め温度は175℃から20℃ずつ下げてそれぞれコンパクターで締固めた。図-3を見ると締固め温度が低下すると従来型ポーラスの締固め度は緩やかに低下しているのに対し、小粒径ポーラスは大きく低下しているのがわかる。これは小粒径ポーラスの骨材どうしの接点が従来型ポーラスよりも多いことから温度低下の影響をより受けやすいことが原因と考えられる。

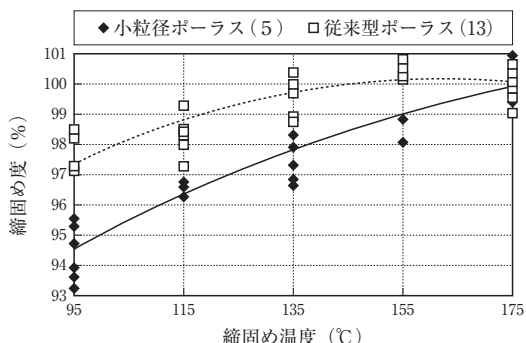


図-3 締固め温度と締固め度の関係

5.1.3 実厚低速動的安定度

首都高速道路の新たな耐流動性の指標として実厚低速ホイールトラッキング試験を採用する。この試験は日常的に渋滞する首都高速道路の環境を再現したもので、実際に舗設する厚さで作製された試験体を使用し、ホイールトラッキング試験機を通常の半分の手速で走行させる。小粒径ポーラスは厚さ30mm、従来型ポーラスは厚さ40mmの試験体で測定した結果を図-4に示す。どちらの混合物も温度低下による締固め度の低下が耐流動性に与える影響はごくわずかであったが、実際に使用する厚さで作製した試験体と比較すると小粒径ポーラスは全ての温度領域で従来型ポーラスの性能を上回る高い耐流動性を発揮した。

5.2 凝集破壊抵抗性改善の確認試験

空隙率17%で新バインダを使った小粒径ポーラス

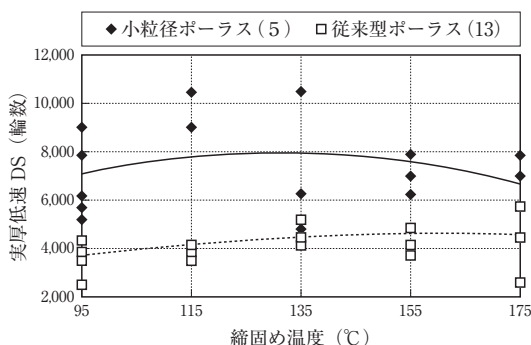


図-4 締固め温度と実厚低速動的安定度の関係

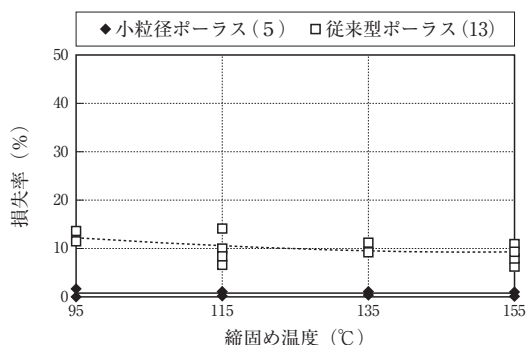


図-5 締固め温度とカンタブロ損失率 (20℃)

と空隙率20%の従来型ポーラスの衝撃による凝集破壊抵抗性をカンタブロ試験およびチェーンラベリング試験で、ニーディングによる凝集破壊抵抗性を首都高独自のタイヤすえ切り試験で比較した。温度低下によって締固め度が低下した混合物の凝集破壊抵抗性も併せて計測した。

5.2.1 カンタブロ試験 (20℃・5℃)

常温 (20℃) における締固め温度とカンタブロ損失率の関係を図-5に示す。舗設温度 (155℃) で締固められた従来型ポーラスの損失率は10%程度だが、舗設温度が低下し、締固め度が低下すると損失率は上昇する。しかし、小粒径ポーラスの損失率は舗設温度から60℃低下してもほとんど変わらず1～2%に留まった。

低温 (5℃) におけるカンタブロ損失率の関係を図-6に示す。従来型ポーラスは舗設温度で作製された供試体でも損失率が20%を超えたのに対し、小粒径ポーラスは舗設温度から60℃低下した95℃でも損失率が20%以下となった。これにより小粒径ポーラスは舗設温度が下がって締固め度が低くなったとしても十分に締固められた従来型ポーラスよりも優れた凝集破壊抵抗性を有することがわかった。

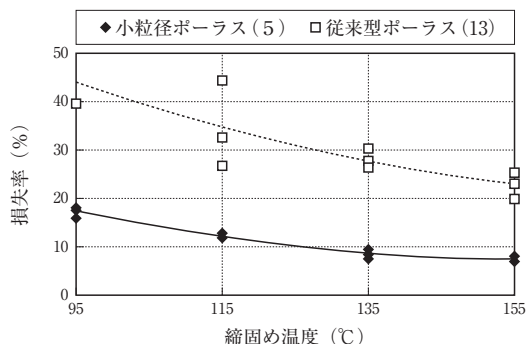


図-6 締固め温度とカンタブロ損失率 (5℃)

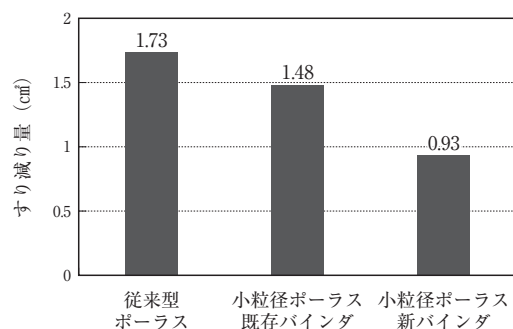


図-7 チェーンラベリングすり減り量

5.2.2 チェーンラベリング試験

従来型ポーラス、小粒径ポーラス (新バインダ、空隙率17%)、および二層式ポーラス表層で使われる既存バインダを用いた小粒径ポーラス (空隙率17%) の-10℃におけるチェーンラベリングすり減り量をレーザー法で測定した結果を図-7に示す。従来型ポーラスと既存バインダを用いた小粒径ポーラスのすり減り量は大差なかったが、新バインダを用いた小粒径ポーラスのすり減り量は従来型ポーラスの半分程度であった。

5.2.3 タイヤすえ切り試験

タイヤすえ切り試験とは輪重2～2.25tの大型車前

輪を60℃に加温したホイールトラッキング用試験体上に停止させた状態で、ハンドルを45°切ることにより、表面の骨材にニーディング作用による損傷を与え、飛散した骨材質量を計測する首都高速道路(株)独自の凝集破壊抵抗性試験である。実際の損傷を再現できる室内試験機がまだ存在しないことから、現在は大型車を使って測定している (室内試験機は平成27年にニチレキ(株)技術研究所で稼働予定)。試験の結

果を図-8に示す。舗設温度が低下して締固め度が低下すると表面骨材が飛散しやすくなるが、全温度領域で小粒径ポーラスは従来型ポーラスよりも骨材飛散が少なかった。

5.2.4 実厚曲げ試験（鋼床版）

実厚曲げ試験とは実際に舗設する厚さで作製された試験体で曲げ試験をする首都高速道路(株)独自の試験方法である。ただし、供試体の厚さが50mmに固定されていない点以外は試験体の破断荷重時の変形量を求める際、立ち上がり部分の接線補正をしない点や、その規定値(8×10^3 以上)は本州四国連絡橋橋面舗装基準(案)に準じている。新バインダを用いた小粒径ポーラスの曲げ破断ひずみは 12.3×10^{-3} となり、鋼床版の局部変形に対して優れた追従性を有することがわかった。

5.3 層間剥離抵抗性改善の確認

層間剥離抵抗性が従来型ポーラスから小粒径ポーラスになることによってどの程度改善されているのかについてせん断試験で層間剥離抵抗性を確認した。基層と乳剤は実際に使用する密粒度アスファルト混合物(13)とPKM-Tを使用した。試験結果を図-9に示す。

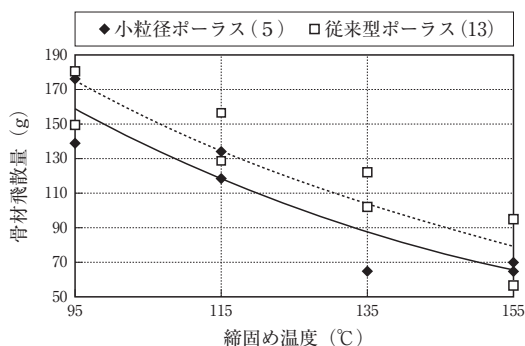


図-8 タイヤすえ切り骨材飛散量

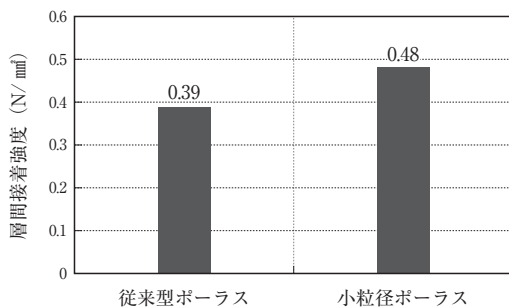


図-9 層間剥離抵抗性試験（せん断）

小粒径ポーラスは従来型ポーラスに比べ層間接着強度が2割程度改善されていることがわかった。

5.4 現場透水性試験

小粒径ポーラスは凝集破壊型損傷対策として空隙率を17%としたことから従来型ポーラスよりも現場透水性能が低下している可能性があった。そこで、現場透水量を測定したところ、従来型は1,415ml、小粒径ポーラスが1,060mlとどちらも従来型の規定値である1,000mlを上回った。この試験によって空隙率17%の小粒径ポーラスも十分な排水能力を有していることが確認された。

5.5 タイヤ／路面騒音値

ポーラスアスファルト混合物の粒径が小さくなると表面が滑らかとなりタイヤから発生する走行音が小さくなる。高速湾岸線で試験的に既存バインダを用いた小粒径ポーラスを舗設し、タイヤ路面騒音測定車を80km/hで走行させて路面騒音値を測定した結果を表-6に示す。舗設3ヶ月後の比較で小粒径ポーラスの路面騒音値は従来型ポーラスよりも5dB程度小さい値となった。小粒径ポーラスが舗設された区間を走行すると、車内の微振動と走行音が明らかに小さくなった。

表-6 タイヤ路面騒音値測定結果（単位：dB）

表層	経過	測定場所（高速湾岸線）	2/19	2/28
従来型ポーラス（13）	3ヶ月	葛西付近 東行 第1車線	98.8	99.1
	4ヶ月	新木場 西行 第1車線		95.9
	7ヶ月	新木場 西行 第1車線		97.4
小粒径ポーラス（5）	1週間	高谷付近 東行 第1車線	94.8	94.9
	2ヶ月	高谷付近 東行 第3車線	94.0	
	3ヶ月	高谷付近 西行 第1車線	93.6	93.7

6. 小粒径ポーラスの舗装構成と品質規格

平成26年度に改訂が予定されている首都高速道路の舗装設計施工要領に新たに記述される小粒径ポーラスを使用した舗装構成、専用バインダおよび混合物の品質規格を示す。

6.1 小粒径ポーラスの舗装構成

コンクリート床版部の標準舗装構成を図-10、鋼床版部の標準舗装構成を図-11に示す。

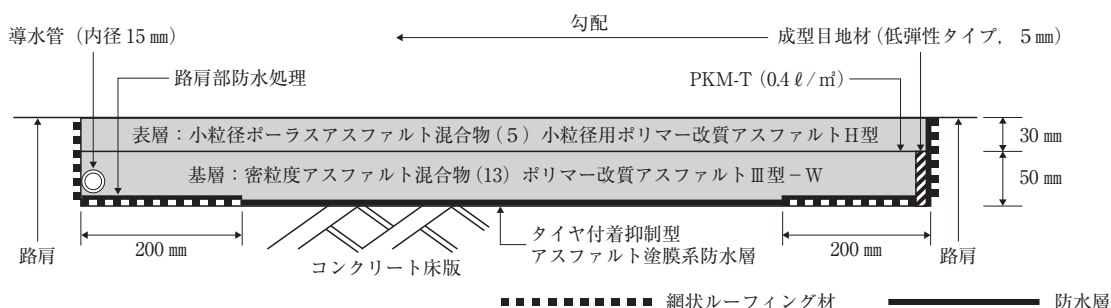


図-10 コンクリート床版部の標準舗装構成

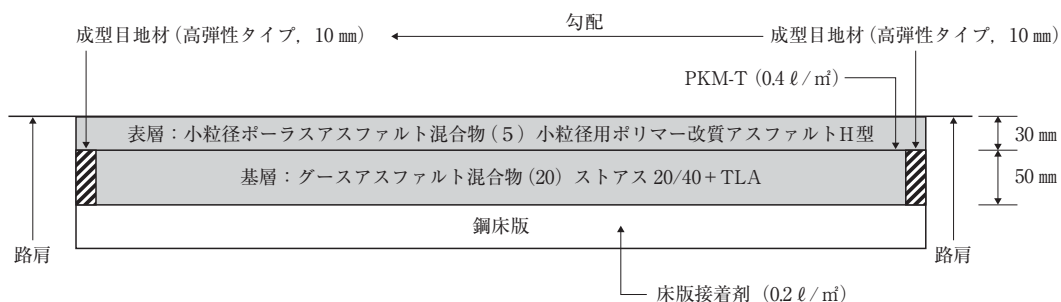


図-11 鋼床版部の標準舗装構成

6.2 小粒径ポーラス用バインダの品質規格

小粒径ポーラスに使用する新バインダの品質規格を表-7に示す。新バインダは凝集破壊型損傷を生じさせない強い接着力が必要なことから、せん断力による凝集破壊抵抗性を評価するせん断応力と、鋼床版特有の繰返し曲げ作用による疲労ひび割れ抵抗性を評価す

表-7 小粒径ポーラス用バインダの規格値

試験項目	規格値
針入度 (25℃) (1/10mm)	35 以上
軟化点 (℃)	80.0 以上
フラス脆化点 (℃)	-20 以下
引火点 (℃)	260 以上
薄膜加熱質量変化率 (%)	0.6 以下
薄膜加熱針入度残留率 (%)	65 以上
曲げ仕事量 (-20℃) (kPa)	1,000 以上
曲げスティフネス (-20℃) (MPa)	100 以下
せん断応力* (60℃) (Pa)	900 以上
$G' \cdot \sin \delta$ * (60℃) (Pa)	700 以下
粗骨材の剥離面積率 (%)	5 以下

※：DSRの試験条件は以下のとおり

1) 試験温度：60℃、2) 平行円盤直径：25mm、
3) 角速度：1.1rad/s、4) 試料厚：2mm、5) ひずみ量：5%

る $G' \cdot \sin \delta$ を新たに採用した。この2つは、アスファルトの動的粘弾性を測定するDSRにより得られる評価値である。

6.3 小粒径ポーラスの骨材配合

小粒径ポーラスの骨材配合を表-8、骨材の粒度分布を図-12に示す。

6.4 小粒径ポーラスの品質規格

小粒径ポーラスの品質規格を表-9に示す。

空隙率は従来20%以上と下限値のみ設定していた

表-8 小粒径ポーラスの配合

混合物種類		小粒径ポーラス
最大粒径 (mm)		5
通過質量百分率%	13.2	100
	4.75	90～100
	2.36	10～25
	0.60	—
	0.30	—
	0.15	—
	0.075	3～7
アスファルト量 (%)		5～6
目標空隙率 (%)		16～18

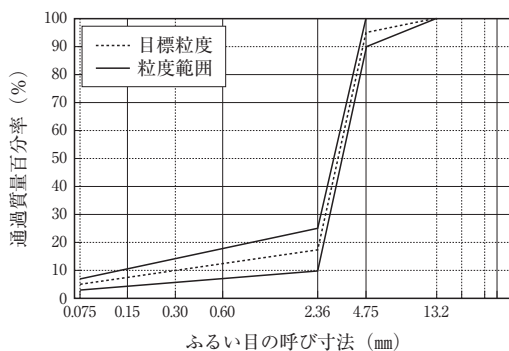


図-12 小粒径ポーラスの骨材粒度分布

表-9 小粒径ポーラスの品質規格値

項 目		規格値	試験名
安定度	kN	5.0 以上	マーシャル安定度試験
空隙率	%	16～18	開粒度アスファルト混合物の密度試験
実厚低速DS	回/mm	5,000 以上	実厚低速ホイールトラッキング試験※
現場透水量 (400ml)	秒	8.5 以下	現場透水量試験※
実厚曲げひずみ (-10℃)	mm/mm	8.0×10^{-3} 以上	実厚曲げ試験※
冠水剥離率 (60℃, 6 h)	%	3 以下	冠水式ホイールトラッキング試験※
カンタプロ損失率	%	3 以下	カンタプロ試験
タイヤすえ切り骨材飛散量	g	200	タイヤすえ切り試験※

※：首都高速道路株が独自に定めた試験方法

が、過剰な空隙は凝集破壊を引き起こす要因となることから17%を中心に上下限値を設けた。

小粒径ポーラスの現場透水量は寒冷地で採用されている空隙率17%、700ml/15sに準じた。現場透水量は現場では400mlの流下時間を計測して15秒に換算

することから、現場ですぐに合否判定ができるよう400mlの水が流れ切る秒数を品質規格値にした。

その他の品質規格値は新バインダを用いた小粒径ポーラスの性能を参考に定めた。

おわりに

小粒径ポーラスは、従来型ポーラスと同等の排水機能と、より優れた路面騒音低減機能を有し、従来型ポーラスの典型的なポットホール損傷パターンに対して抵抗性に優れる混合物であることが確認されたことから、これを適用することでポットホールの緊急補修回数の低減や打換えサイクルの長期化が期待できる。また、従来型と同じ施工機械で舗設することができ、施工厚が30mmであっても舗設時の温度低下が緩やかなことから、施工厚が40mmの従来型ポーラスよりも施工性が改善すると考えている。小粒径ポーラスは新バインダ以外の材料は一般に流通している物を使用する。また、表層厚を薄くすれば使用材料と発生材が減少する。したがって、このポットホール損傷対策に必要なコストは限定的であると考えている。

今後、従来型ポーラスの損傷対策を検討する際に本報文が参考になるようであれば幸いである。

参考文献

- 1) 田中 大介, 蔵治 賢太郎, 佐藤 久: ポットホール抵抗性に優れる橋面舗装の検討, 土木学会第69回年次学術講演会, V-431, PP861-862, 2013.9
- 2) 住吉 英勝, 蔵治 賢太郎: 首都高速道路 これからの舗装, 雑誌「舗装」, (株)建設図書, 2014.6, vol.49, P13
- 3) 田中 大介, 蔵治 賢太郎: ポットホール抵抗性に優れる舗装の検討, 機関誌「改質アスファルト」, 一般社団法人 日本改質アスファルト協会, 2015.1

積雪寒冷地における舗装の損傷と対策

(Pavement Distress in Cold Snowy Regions and Countermeasures)

丸 山 記美雄*・木 村 孝 司**

積雪寒冷地の舗装は、低温や凍結融解作用などによって影響を受け、損傷が発生する。近年、北海道内の舗装道路では融雪期にポットホールの発生が目立つようになり、道路機能の効率的な維持およびライフサイクルコストの縮減が課題となっている。このため、融雪水や凍結融解など積雪寒冷地特有の環境条件を踏まえたポットホールの発生要因やメカニズムの一端を明らかにし、これを踏まえた適切な補修対策や予防保全対策に関して検討した取り組みについて報告する。

1. はじめに

積雪寒冷地においては、融雪期の融雪水や凍結融解作用などが道路舗装の損傷に大きな影響を与えることは従前から認識されてきたことであり、積雪寒冷地の舗装を構築するに際しては、これらの積雪寒冷地特有の過酷な条件に耐えうるための技術を開発・適用するなどの配慮がなされて今日に至っている（例えば文献¹⁾など）。しかし、道路施設の老朽化などを背景として積雪寒冷地である北海道においてはポットホール等の舗装損傷が融雪期に多く発生しており（写真－1）、道路交通の安全性・快適性の確保およびライフサイクルコストの縮減が課題となっている。高度経済成長期に構築された膨大な道路ストックの老朽化が進む中、安全性を確保し、道路利用者に一定のサービスを提供するためには、耐久性の確保と適切な維持管理などの

対策が必要とされる。

そこで本報では、積雪寒冷地における舗装の損傷について概説した後、融雪期に発生するポットホールの発生実態と発生メカニズムを調査し、今後の補修対策や予防対策を検討した取り組みを述べる。

2. 積雪寒冷地特有の舗装損傷形態

積雪寒冷地では、冬期から春期にかけて、低温、降雪、積雪、融解などの環境に曝されるため、それらに起因する積雪寒冷地特有の舗装損傷が発生する。以下に代表的な損傷形態の概要を示す。

2.1 低温ひび割れ

道路の進行方向に対して横断方向に、ほぼ一定間隔に発生するひび割れであり（写真－2）、経年的に発生本数が増える経過をたどる。このひび割れは、温度低



写真－1 融雪期に発生したポットホール



写真－2 低温ひび割れ

*まるやま きみお 独立行政法人 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム

**きむら たかし 独立行政法人 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム

下に伴う舗装体内部の収縮や温度応力に起因して発生するものであり（図－１），極めて寒冷な地域ほど発生しやすい。

2.2 凍上ひび割れ

道路の進行方向に対して縦断方向に発生するひび割れである（写真－３）。このひび割れは，冬期間に路床土が凍結する際に，水分を吸い上げる形で氷晶が発達して，路面を隆起させるためにひび割れが発生するものである（図－２）。さらに氷晶が融解する際には，路床土の含水比が一時的に高くなることから路床の支持力が低下するため，亀甲状クラックや不陸を生じる場合もある（図－２）。

2.3 摩耗わだち

除雪により露出した舗装路面が走行車両のタイヤのスパイクやチェーンによって摩耗作用を受けることで発生するわだち掘れであり，摩耗が進行すると基層混合物まで露出することがある（写真－４）。スパイクタイヤの使用規制以降は摩耗わだちの発生が目立たなくなっているものの，依然としてタイヤチェーンや除雪などによる摩耗作用は無視できないものである。

2.4 凍結融解作用による損傷

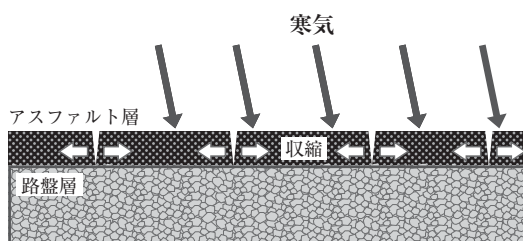
アスファルト混合物が融雪水などの水分が存在する条件下で凍結融解作用を受けると，空隙率が増加し強度低下が生じる^{2,3)}など，耐久性が損なわれ，骨材が飛散したり，ひび割れやポットホールが発生する事がある。

水分が存在する条件の下でアスファルト混合物が凍結融解を受けた場合に，混合物内部に起こる変化を図－３に模式図で示す。空隙に浸入した水が凍る際に体積膨張すると考えられ，凍結と融解を繰返すうちに空隙が拡大し，それに伴って安定度や摩耗抵抗性，骨材飛散抵抗性などが低下するものと推測される。

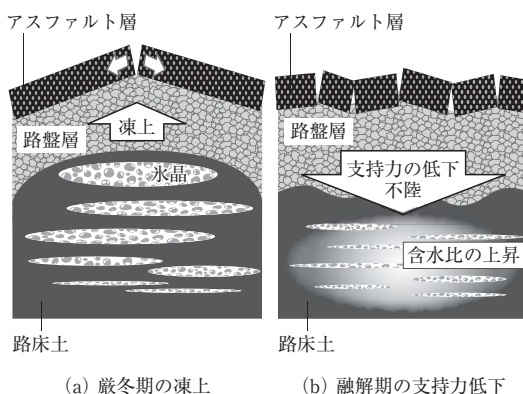
積雪寒冷地で用いられる表層混合物は，凍結融解作用によって悪い影響を受けにくい混合物粒度および配合が採用されており，十分に長年の供用に耐えていると判断される。しかし，どのような混合物であっても，供用後長い時間が経過するなかで凍結融解作用を受け続けると，混合物の強度がある程度もしくは局部的に低下するのは避けられない。

3. ポットホールの発生実態と発生メカニズム

積雪寒冷地の舗装損傷には前述したような様々な形態のものがあるが，近年，北海道内の道路舗装において写真－１に示すようなポットホールの発生が目立つ



図－１ 低温ひび割れ発生の様式図



図－２ 凍上に伴う舗装の損傷様式図



写真－３ 凍上ひび割れ



写真－４ 摩耗わだち

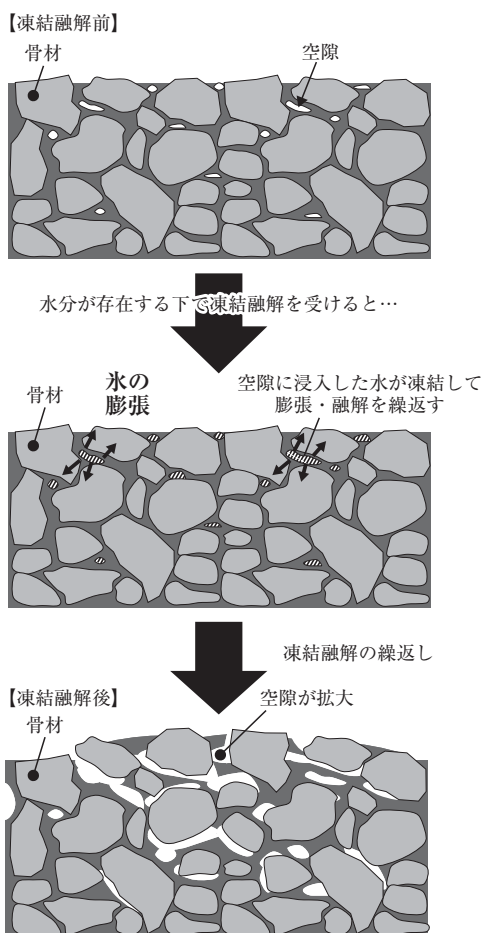


図-3 凍結融解を受けた混合物の変化模式図

ようになっている。ポットホールは様々ある損傷形態のうちで、道路利用者にとって最も視認しやすく、ひとたび発生すると道路利用者の走行性に直接的かつ即時的に影響し、道路管理上も速やかな対応が求められるなど、緊急度の高い損傷形態である。しかし、ポットホールの発生については、いつどのような場所でどれくらいの量のポットホールが発生するかをこれまでに蓄積された技術的知見のみで判断するのは困難であり、結果として対応も後手に回りがちである。

そこで、ポットホールの発生実態と発生メカニズムを解明するため、供用中の国道においてポットホール発生状況を調査した。さらに、ポットホールの発生実態を分析することで、どのような条件下において舗装が破損する可能性が高いのかを検証した。

3.1 ポットホールの発生時期

オホーツク地域におけるポットホールの月別発生件

数を図-4に示す。ポットホールは2月から徐々に増え始め、オホーツク地域の融雪期にあたる3月と4月に発生量が多いことが確認された。また、寒さが厳しい1月に発生していない点も注目される。道央地域における調査においても、融雪期の2月初旬ころから3月中旬にかけて多くのポットホールが発生することが確認されており、積雪寒冷地では、一年の中でも特に融雪時期や春先に舗装の損傷が激しくなることが分かった。参考として、本州など比較的温暖な地域では、ポットホールは6月の梅雨時期や9月10月の台風および秋雨の時期など、雨の多い時期に多く発生するといわれている。今回の調査においては、それらの時期にはあまりポットホールが発生しておらず、温暖な地域とは発生時期が異なる傾向を示している点が特筆される。

3.2 ポットホールの発生部位

オホーツク地域におけるポットホールの発生している部位を整理した結果を図-5に示す。ポットホール

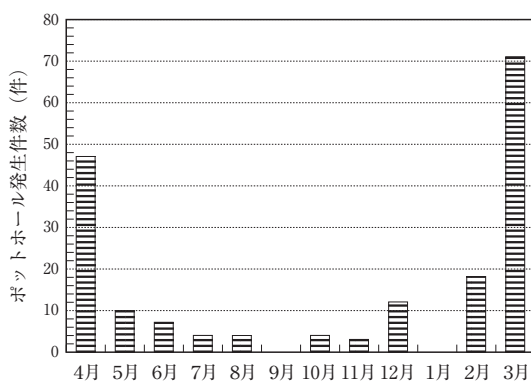


図-4 オホーツク地域におけるポットホールの月別発生件数

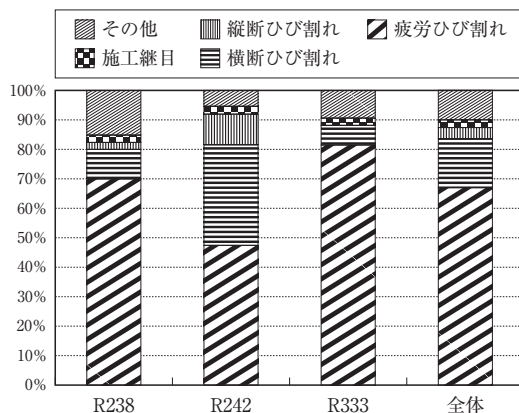


図-5 ポットホールの発生箇所別件数 (オホーツク地域)

の大半は、何らかのひび割れや施工時の継目等が存在した箇所に発生していることが確認できる。遠軽地域では、疲労ひび割れと横断ひび割れ部に発生したポットホール割合が約8割を占めている。

オホーツク地域の調査データに対して、ポットホールが発見された日の最高気温と最低気温をプロットした結果を図-6に示す。図中の赤枠で網掛けした範囲は、1日の間に気温がプラスからマイナスもしくは、マイナスからプラスに変化した（以下、このような気温の変化を「ゼロクロッシング」とよぶ）日であることを意味する。図-6において、大半のデータが赤枠で網掛けした範囲にプロットされていることから、ゼロクロッシングした日に大半のポットホールが発生していることが理解できる。なお、赤枠で網掛けした範囲にプロットされていないもの（調査当日にゼロクロッシングしていないもの）についても、前日もしくは前々日にゼロクロッシングしていることが確認できた。

3.3 ポットホールの発生条件

上述した調査によって、どのような気象条件でポットホールの発生頻度が高くなるのか、どのような部位で発生しやすいのか、大きな傾向を把握することができた。ポットホール発生リスクが高い条件を改めて整理すると、図-7に示すとおりである。

3.4 ポットホール発生に影響する要因の整理

ポットホールの発生に影響する要因としては、複数の要因がありそれらが複合的に関与していると考えられるが、敢えて単純化すれば主要な要素は①水の存在、②温度変化（凍結融解、ゼロクロッシング）、③荷重の作用、3つである。これらの要素がひび割れや打継目等の舗装の弱点に作用すると損傷はより早く進展するものと考えられる。つまり、雪が解けた水が、ひび割れや打継目などの舗装構造の一部から浸入もしくは浸透し、それが気温の変動や日射に伴い凍結や融解を繰り返すことで様々な形で舗装体に影響を及ぼすものと整理できる。

3.5 ポットホールの発生メカニズム

融雪水の浸入および浸入した水の凍結融解が、舗装体に及ぼす変化について要約すると以下の項目のとおりとなる。

- ①混合物層を脆弱化させる（ひび割れの進展、ひび割れ周辺の混合物の脆弱化、空隙やす

- きまの増加、アスファルトと骨材の付着の悪化）
 - ②表層と基層の間など、混合物層の間の接着力を弱め、層間ではがれやすくなる
 - ③路盤や路床を高含水比の状態にし、路盤材や路床材が部分的に泥濘化するなどして、支持力が低下する
 - ④浸入した水が凍結する際に、体積が増加して舗装体内部や層間に隙間を生じさせる
 - ⑤路床に水晶を生じ、凍上や不等沈下を生じさせる
- 舗装体に上述したような変化が進行したところに、車両の走行荷重や衝撃荷重が加わることで、ポットホールが発生・進展することとなる。

融雪期に発生するポットホールには、発生位置や発生原因などが様々なタイプのものがあるが、融雪期に発生する代表的なポットホールの発生タイプを表層混合物層中心のもの、混合物層全層のもの2タイプに

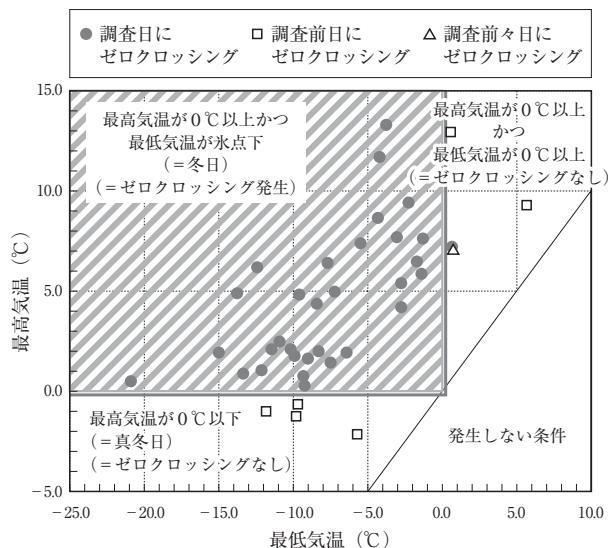


図-6 気温とポットホール発生の関係(オホーツク地域)

- (1) ポットホールが多く発生する時期
→ 融雪期に多い
- (2) ポットホール発生時の気象条件
→ ゼロクロッシング発生日およびその1～2日後
- (3) ポットホールが発生しやすい部位
→ ひび割れや打継ぎ日等の弱点がある部位
→ 融雪水が流入・滞留しやすい部位
→ ひび割れ率が高い区間や路線

図-7 ポットホール発生リスクが高い条件

大別し、各々の発生メカニズムを図－8、図－9のとおり整理した。

4. 補修対策および予防対策

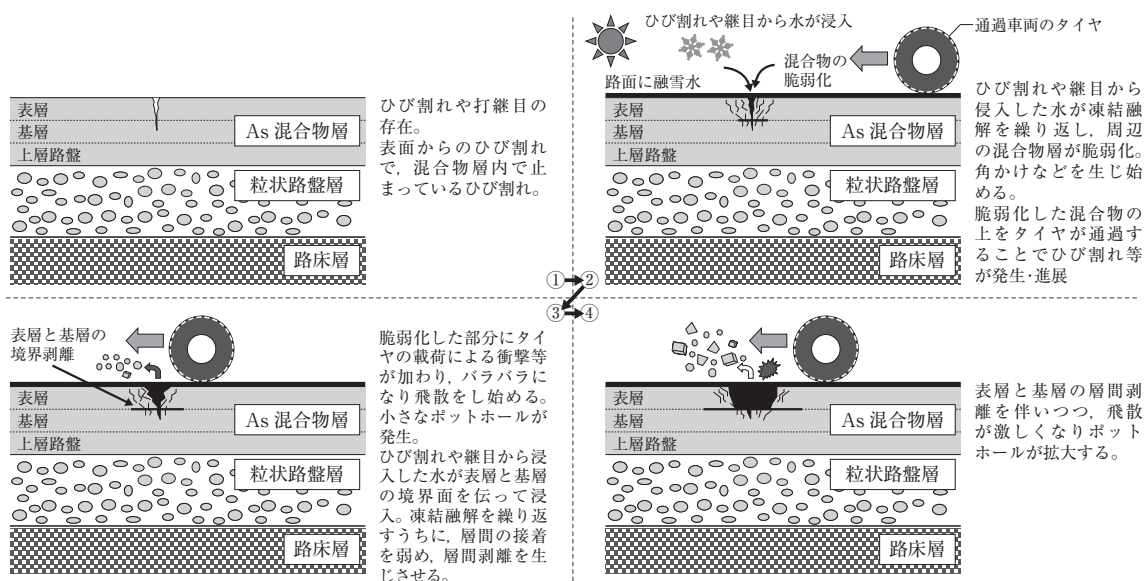
4.1 基本的な留意事項

積雪寒冷地の舗装損傷に対して、長期的に舗装の機能を維持し、ライフサイクルコストの縮減を図るためには、アスファルト舗装の新設および補修にあ

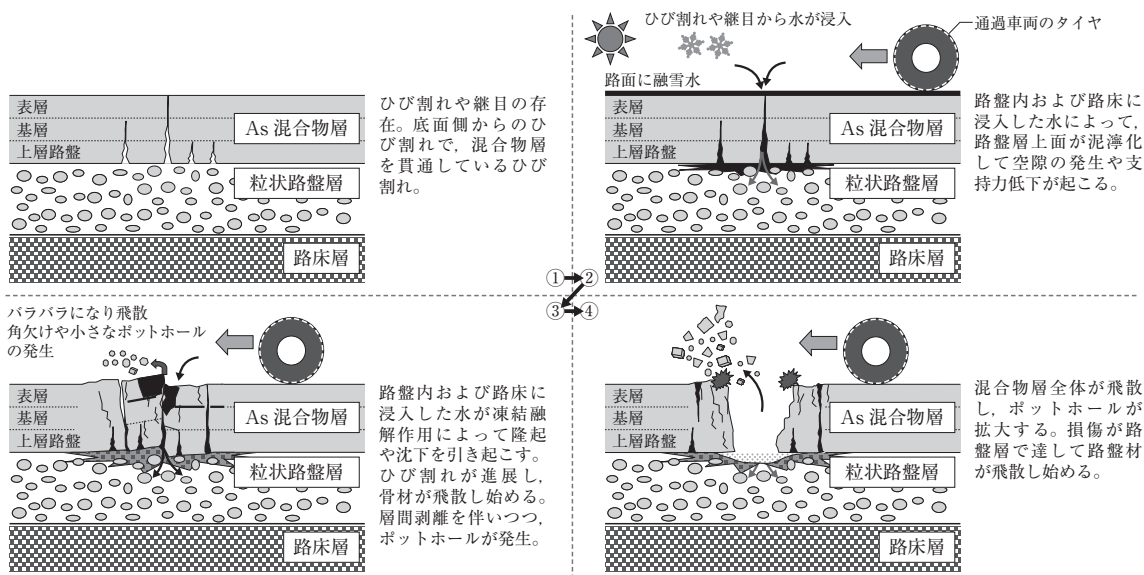
たって、舗装損傷の主要因である「水・温度変化・荷重」に留意しつつ、可能な限り適切な施工時期を選び、低温下での施工は極力避けることが重要で、以下の5項目に留意する必要がある。

(1) 舗設時の温度管理

舗設にあたっては、必要なアスファルト混合物温度を維持するとともに混合物の温度の均一化に努め、かつ十分な密度を確保すること。



図－8 ポットホールの発生メカニズム：表層中心のポットホールの場合（打継目や表面のひび割れ部）



図－9 ポットホールの発生メカニズム：混合物層全層のポットホールの場合

(2) 施工管理

端部や構造物まわり等の転圧しにくい場所は入念に締め固めを行ったり、既設舗装の温度が低い場所は路面ヒータ等で加熱してから舗設を行うなど現場条件に応じた施工を行うこと。

(3) 点検・予防保全

舗装の補修にあたっては、定期的に点検を実施し、水の浸入を防ぐため、ひび割れ対策等の予防保全に取り組むこと。

(4) 補修工法の選定

舗装の補修にあたっては、損傷要因や程度に応じた適切な工法を選定すること。

(5) 応急補修

融雪期におけるポットホールの応急補修では、水分や脆弱部の除去等が有効であるが、交通状況等の現地条件に合わせ、適切な材料や施工方法を選定すること。

4.2 ポットホールの応急補修

ポットホールの応急補修は、舗装の欠損等により通行に支障が生じる恐れがある場合に緊急的に行う補修である。常温アスファルト混合物による応急補修は、冬期等でプラントが不稼働のため、加熱アスファルト混合物が調達できない場合などに有効な工法である。常温アスファルト混合物は標準型と全天候型（特殊常温合材、高耐久性常温合材）に分けられるがその性能は多様であるため、路面の乾湿の状態、気温等に応じて材料を選定すると良い。可能であれば、加熱アスファルト混合物を使用することも有効である。

混合物投入前の水分や脆弱部の除去等が有効であるが、交通状況等の現地条件に合わせ、適切な材料や施工方法を選定することが求められる。

4.3 シール材注入によるポットホールの予防

ポットホール発生条件の一つが水分の存在および、ひび割れ部からの水分の浸入であることから、ひび割れ部や打ち継ぎ目部に充填剤を注入することで雨水等の浸入を防ぎ、損傷の進行を抑制するひび割れ注入工法（写真－5）は有効な予防的対策と考えられる。ただし、縦表面ひび割れやわだち割れ等、路面の表面側から進行するひび割れに伴うポットホールの予防保全として有効であるが、疲労ひび割れなどの構造的破損によるひび割れに注入した場合は、効果が低いので留



写真－5 ひび割れへのシール材注入状況

意が必要である。舗装の施工継目や埋設物の埋め戻しによる継目から水の浸入を防ぐためにも有効である。

5. おわりに

本報で述べた内容は、産・学・官の有識者をメンバーとする「北海道における道路舗装の耐久性向上と補修に関する検討委員会」にて検討されたものであり、筆者らも調査・研究成果を提供し、委員および事務局として参画した。委員会では、北海道における道路舗装の耐久性向上に向け、工事担当技術者（発注者および受注者）が留意すべき事項をとりまとめたハンドブックを作成し、ホームページ（www2.ceri.go.jp/jpn/iji/taikyuusei_handbook/form.html）で公開を行っているため、興味をお持ちの方は参照されたい。

最後に、委員の皆様および調査や試験施工に協力いただいた北海道開発局、北海道、札幌市、東日本高速道路株式会社北海道支社、（一社）北海道舗装事業協会、舗装事業者の皆様方に謝意を表します。

— 参考文献 —

- 1) 土木学会舗装工学委員会寒冷地舗装小委員会：積雪寒冷地の舗装，舗装工学ライブラリ6，2011.
- 2) 久保宏，岩崎信行：アスファルト混合物の凍結融解試験について，土木試験所月報No.287，1977
- 3) 丸山記美雄，高橋守人，早坂保則：表層用アスファルト混合物の凍結融解作用に対する抵抗性，平成12年度土木学会年次学術講演会，2000.

海外のアスファルト舗装の破損の種類と分類法について

(The Types and Classification for Distresses of Asphalt Pavement in the World)

吉 村 啓 之*

アスファルト舗装の破損を評価し、適切な補修工法を提案することが非常に大事になってきた。我が国においては（一社）日本道路協会から発刊されている出版物に記述されており、古くから補修工事がなされてきた。そのような中で、海外の技術を調査して我が国の技術をグレードアップさせようとした研究会での成果がある。本文ではその成果の一部を紹介し、我が国の技術を海外の技術と比較してその位置付けを明確にしようところみたものである。

1. 我が国のアスファルト舗装の破損の種類と分類法

アスファルト舗装の破損は主としてひびわれ、わだち掘れ、平坦性の低下に分類されることが多い。

我が国ではアスファルト舗装の補修のための参考図書として「道路維持修繕要綱」¹⁾が広く知られている。最近になって改訂版としての「舗装の維持修繕ガイドブック2013」²⁾が発刊されたことは記憶に新しい。ガイドブックが発刊される前には「舗装調査・試験法便覧[第1分冊]」³⁾に「アスファルト舗装の破損の種類と代表的な破損例」が記述されている。さらに建設図書の「舗装の維持修繕」⁴⁾と鹿島出版会の「アスファルト舗装保全技術ハンドブック」⁵⁾に詳しく記述されている。

表-1は「道路維持修繕要綱」,「舗装調査・試験法便覧」,「舗装の維持修繕ガイドブック」で取り上げた舗装の破損の種類を比較したものである。表-1から最新版の舗装の維持修繕ガイドブックは道路維持修繕要綱の破損のすべてを踏襲しているわけではなく、ヘアカラックのような軽度な破損は省略したことがわかる。

なお、舗装調査・試験法便覧ではひびわれが細分化されて記述され、ガイドブックでは線状ひびわれを7種類、亀甲状ひびわれを6種類に分類して紹介されている。

表-1 アスファルト舗装の破損の種類と分類（日本道路協会の出版物）

出 典	道路維持修繕要綱	舗装調査・試験法便覧	ガイドブック
破損の分類	破損の名称		
主として路面性状に関する破損	局所的なひび割れ	ヘアカラック	○
		線状ひび割れ	○
		縦方向ひび割れ	○
		横方向ひび割れ	○
		施工継目ひび割れ	○
	段差	構造物付近の凹凸	○
	変形	わだち掘れ	○
		縦断方向の凹凸	○
		コルゲーション	○
		くぼみ	○
		寄り	○
	摩耗	フラッシュ	○
		ラベリング	○
		ポリッシング	○
	崩壊	はがれ	
		ポットホール	○
		剥離	○
	その他	老化	
		タイヤ跡	
		キズ	
	主として構造に関する破損	表面ぶくれ	プリスタリング ○
		全面的なひび割れ	
		亀甲状ひび割れ	
主として構造に関する破損	その他	墳泥	
		凍上	○

*よしむら ひろゆき 前田道路株式会社 技術研究所 副所長

2. 海外のアスファルト舗装の破損の種類と分類

海外のアスファルト舗装の破損の分類法として OECD が発刊したレポート⁶⁾がある。表-2 に OECD のアスファルト舗装の破損のリストを示す。破損の種類日本語訳については野々田の論文⁷⁾に詳しい。表からわが国の道路維持修繕要綱でとりあげている破損の種類は OECD レポートで取り上げた破損の種類をほぼ網羅していることがわかる。

アメリカの古典的な分類法として Yoder⁸⁾が提案したものがある。表-3 に示すとおり、ひびわれ、変形、崩壊の3つに分類することができる。この分類法はす

表-2 アスファルト舗装の破損リスト (OECD)

1	settlement
2	subsidence
3	bump
4	wave
5	rippling, washboard corrugation
6	depression, bird bath
7	distortion
8	rutting
9	shoving
10	alligator cracking, chicken wire cracking
11	block cracking, map cracking
12	centerline crack, longitudinal crack
13	wheel track cracking
14	pavement edge crack
15	meandering crack
16	transverse crack, shrinkage crack
17	reflection crack
18	slippage, crescent parabolic, tearing cracks
19	hair-line cracks
20	imprint, scarring
21	loss of surface aggregates
22	stripping
23	ravelling, weathering
24	protrusion of aggregates
25	glaze
26	polished aggregates
27	bleeding of binder, flushing
28	pothole, chuckhole
29	bleeding of water, wet spot
30	migration of mid to the surface
31	inadequate drainage
32	peeling
33	blistering
34	streaking of surface treatment

でみてきたように道路維持修繕要綱の中に取り込まれていることに注目したい。

表-3 分類法 (Yoder)

分 類	破損名	
Rupture (破断)	ひび割れ	くだけ
Distortion (変形)	わだち掘れ	凹み
Disintegration (崩壊)	剥離	ラベリング

次ページ表-4 は世界各国、機関でのアスファルト舗装の破損の評価・診断マニュアルの中から主な破損の種類を抽出して一覧表にしたものである

同じ破損名はできるだけ横並びできるように配慮して並べた。表から、SHRP のマニュアル⁹⁾に準拠している例が多いことがわかる。また、取り上げたマニュアルの数がかぎられているが、取り上げた破損の種類がまったく同じであるマニュアル、技術資料はないことがわかった。

3. アスファルト舗装の分類法の提案

すでに述べてきたようにすべての破損形態を無理に数種類の中項目にわけると必要はないとおもわれるが、破損形態の理解の容易さ、破損原因の解明に対して有効であると考え。ここではアスファルト舗装の破損をひびわれ、変形、表面損傷、その他にわけたことを提案したい。表-5 に中分類に分類される破損の主な名称を示す。

表-5 新たな分類法

中分類	破損名	
ひび割れ	ヘアクラック	線状ひび割れ
	枝状ひび割れ	三日月状ひび割れ
	ブロック状ひび割れ	亀甲状ひび割れ
変形	わだち掘れ	シャビング
	コルゲーション	沈下
	段差	
表面損傷	ブリージング	ポリッシング
	剥離	ラベリング
	ウエザリング	
その他	ポットホール	パッチング破損

ひびわれ、変形、表面損傷にわけることによって視覚的に破損の形態が理解しやすくなるような資料を最後に紹介する。図-1~3 はマレーシアのマニュアルの模式図¹⁰⁾を示したものである。どこのマニユ

表-4 世界各国、機関での破損の分類法の比較

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program (4th Revised)	Standard Practice for Roads and Parking Lots Surveys	Pavement Management Information System Rater's Manual	Guide to Pavement Technology Part5: Pavement Evaluation and Treatment Design	Pavement Surface Condition Rating Manual	Pavement Condition Index Manual for Asphalt and Surface Treatment Pavements	Pavement Surface Condition Field Rating Manual for Asphalt Pavements	Catalogue of Road Defects	A Guide to the Visual Assessment of Flexible Pavement Surface Conditions	Asphalt in Pavement Maintenance
PHWA-RD-08401 2003年6月	ASTM D 6433 2007年	Texas Department of Transportation 2007年5月	Austroroads 2008年	British Columbia Ministry of Transportation 2002年3月	Metropolitan Transportation Commission 1986年2月	Northwest Pavement Management Association —	Highways Department Hong Kong 1992年12月	Institute Kerja Raya Malaysia 1992年12月	AI MS-16 (Third Edition) 1997年
Asphalt Concrete Surfaces	Asphalt Surfaced Roads and Parking Lots	Flexible pavement Section	Flexible Pavements	Flexible pavement Distress		Flexible pavement Distress	Bituminous Surface	Asphalt Pavement Distress	
A. Cracking			B. Cracking					Cracks	Cracking
1 Fatigue Cracking	1 Alligator Cracking	Alligator Cracking	Crocodile Cracking	Alligator Cracking (AC)	1. Alligator Cracking	Alligator Cracking	Crocodile Crack	Crocodile Crack	Alligator Cracking
2 Block Cracking	3 Block Cracking	Block Cracking	Block Cracking	Pavement Edge Cracking (PEC)	2. Block Cracking	Block Cracking	Block Crack	Block Cracking	Block Cracking
3 Edge Cracking	7 Edge Cracking			Longitudinal Wheel Path Cracking (LWP)	4. Longitudinal and Transverse Cracking	Longitudinal Cracking	Edge Crack	Edge Crack	Edge Cracking
4 Longitudinal Cracking	10 Long & Trans Cracking	Longitudinal Cracking	Longitudinal Cracking	Longitudinal Joint Cracking (LJC)			Longitudinal Crack	Longitudinal Crack	
5 Reflection Cracking at Joints	8 Jt. Reflection Cracking			Transverse Cracking (TC)	4. Longitudinal and Transverse Cracking	Transverse Cracking	Transverse Crack	Transverse Crack	Reflective Cracking
6 Transverse Cracking	10 Long & Trans Cracking	Transverse Cracking	Transverse Cracking	Meandering Longitudinal Cracking (MLC)			Slippage Crack	Slippage Crack	Slippage Cracking
	17 Slippage Cracking		Diagonal Cracking				Diagonal Crack		
			Crescent-shaped Cracking			Nonwheel Path Longitudinal Cracking		Crescent Shaped Crack	Linear Cracking
B. Patching and Potholes									
7 Patch Deterioration	11 Patching & Util Cut Patching	Patching	Failed Patches		5. Patching and Utility Cut Patching	Patching		Patch	
8 Potholes	13 Potholes		Potholing	Potholes (POT)			Potholes	Pothole	
C. Surface Deformation			A. Deformation					Surface Deformation	Distortion
9 Rutting	15 Rutting	Rutting - Shallow Rutting - Deep	Rutting	Rutting (RUT)	6. Rutting and Depressions	Rutting	Rutting	Rutting	Rutting
10 Shoving	16 Shoving 5 Corrugation		Shoving Corrugation	Shoving (SHV) Distortion (DST)		Corrugation and Waves	Shoving Corrugation	Shoving Corrugation	Corrugation and Shoving
		Failures	Depression and heave		3. Distortions		Depression	Depression	Settlement or Grade Depressions
								Utility Cut and/or Patch Failure	Utility Cut and/or Patch Failure
D. Surface Defects								Surface Defects	Skid Hazards
11 Bleeding	2 Bleeding			Bleeding (BLD)		Flushing / Bleeding	Bleeding	Bleeding	Bleeding or Flushing
12 Polished Aggregate	12 Polished Aggregate	Flushing (Optional)	Flushing or Bleeding			Flushing	Flushing	Polishing	Polished Aggregate
13 Ravelling	19 Weathering/Ravelling	Ravelling (Optional)	Polishing Ravelling or Fretting	Ravelling (RAV)	7. Weathering and Ravelling	Ravelling and Aging	Polishing Ravelling	Polishing Ravelling	
E. Miscellaneous Distresses									
14 Lane-to-Shoulder Dropoff	9 Lane/Shoulder Drop Off								
15 Water Bleeding and Pumping									
	4 Bumps and Sags 6 Depression 14 Railroad Crossing 18 Swell		Edge Defects Delamination (溝い隙に附ける) Stripping			Sags and Humps Pavement Edge Condition Crack Seal Condition	Depression Delamination	Delamination	Disintegration Ravelling/Weathering
							Edge Defect	Edge Break	Potholes
							Edge Drop Off	Edge Drop Off	Surface Treatments Loss of Cover Aggregate Longitudinal / Transverse Streaking

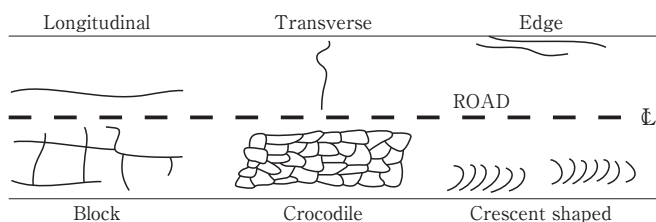


図-1 ひびわれの種類

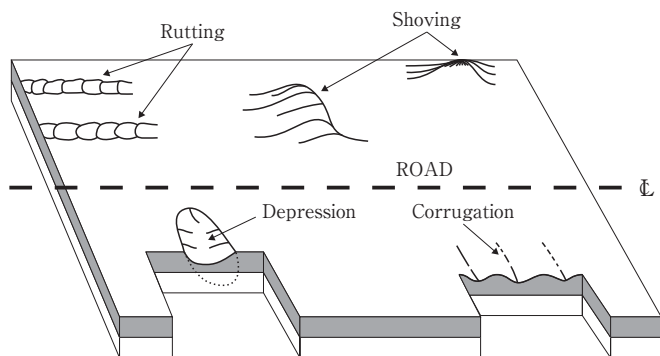


図-2 変形の破損の種類

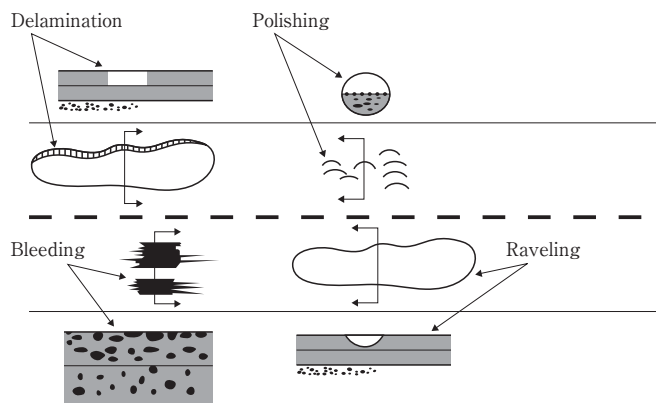


図-3 表面損傷の破損の種類

ルでも破損の写真の提示にとどまっており、破損の模式図まで掲載しているのはこのマレーシアとSHRPのマニュアルしかないようである。

4. まとめ

わが国ではアスファルト舗装の破損の分類法に関しては1978年に発行された道路維持修繕要綱が利用されてきたことから、世界の技術からとりのこされてしまったのではないかという危惧があったが、調べてみると1978年当時にはすでに世界的レベルに達していたことを知り、我が国の技術の高さを改めて確認した次第である。わが国において世界中の舗装の破損の評価に関するマニュアルを凌駕するマニュアルの開発が望まれる。

5. おわりに

本文で紹介した資料の一部は（特定非営利活動法人）舗装診断研究会の舗装診断技術普及小委員会（委員長：笠原篤北海道科学大学名誉教授）の研究成果の一部を使わせていただいた。誌面をお借りして関係各位に感謝の意を表します。

紙面の都合で紹介できなかったが、本委員会ではアスファルト舗装の破損の種類をパソコンで検索できるプログラムの作成までこころみている。

これからはiPadのようなタブレットで稼働するアプリケーションを開発して技術の普及につとめる必要があると考える。

参考文献

- 1) (一社) 日本道路協会；道路維持修繕要綱, 1978.7
- 2) (一社) 日本道路協会；舗装の維持修繕ガイドブック 2013, 2013.11
- 3) (一社) 日本道路協会；舗装調査・試験法便覧, 2007.6
- 4) 佐藤信彦監修；舗装の維持修繕, 建設図書, 1992.5
- 5) (財) 道路保全技術センター；アスファルト舗装保全技術ハンドブック, 鹿島出版会, 2010.2
- 6) OECD；Catalogue of Road Surface deficiencies, 1978.10
- 7) 野々田充；路面のメンテナンス技術～OECDレポートより～, アスファルト, 第145号, p61-72, 1985
- 8) Yoder; Principles of Pavement Design, John Wiley & Sons, New York, 1959
- 9) FHWA；Distress Identification manual, for the Long-Term Pavement Performance Program, FHWA-RD-03-031, 2003
- 10) IKRAM；A Guide to Visual Assessment of Flexible Pavement Surface Conditions, JKR20709-2060-92, Insitut Kerja Raya Malaysia, 1992

IRI共通試験 (TRUEプロジェクト) 実施報告

(Experiment to Compare and Harmonize Testing Methods of
International Roughness Index Under Actual Road Environment)

中村 博康*・富山 和也**・城本 政一***・増戸 洋幸****・渡邊 一弘****

NPO法人舗装診断研究会の路面性状小委員会では、9月18日から21日の4日間において、北海道で国際ラフネス指数 (IRI: International Roughness Index) の測定に関する共通試験 (以下、IRI共通試験) を実施した。IRI共通試験には官民学の25機関から44名が参加し、35台の路面測定装置にてプロファイルおよびIRI、もしくはその何れかの測定を実施した。本報告では、IRIの開発経緯と算出方法について概説するとともに、今回開催したIRI共通試験の概要について紹介するものである。

1. はじめに

NPO法人舗装診断研究会の路面性状小委員会では、9月18日から21日の4日間において、北海道においてIRI共通試験を実施した。本試験は、「日本全国で主に使用されているIRI測定装置を用いて、実道にて測定を実施し、各測定装置の結果と真のプロファイルから得られるIRI値とを比較すること」を目的として実施したものである。上記のように、本試験は、各測定装置と、それらから得られた結果の相互比較と調和を目指しており、各装置に対する性能評価や可否判定を目的とした試験ではない。筆者らは路面性状小委員会の一員として、本試験にかかわったので、IRIについての説明および共通試験の概要について簡単に報告する。

2. IRIについて

2.1 IRI開発の背景

道路路面のラフネスは、「平たん性」、「縦断プロファイル」、「縦断凹凸」など、さまざまな言葉で表現されており、舗装の供用性能を評価する重要な指標である。道路路面のラフネスの測定方法は、各国多種多様であることから、各々の指標を比較することが困難であっ

た。これらの問題を解決するため、IRIは、当時主流となっていた多くのラフネス測定装置と関係づけられるような標準的なラフネス指標として、1986年に世界銀行から提案された。

2.2 IRIの測定および算出方法

IRIの算出方法は、表-1¹⁾に示すように、路面凹凸等の測定方法により、クラス1からクラス4の4クラ

表-1 路面の凹凸測定方法とIRIの算出方法

クラス	路面の凹凸等の測定方法	IRIの算出方法
1	水準測量	間隔250mm以下の水準測量で縦断プロファイルを測定し、QCシミュレーションによりIRIを算出する。
2	任意の縦断プロファイル測定装置	任意の縦断プロファイル測定装置で縦断プロファイルを測定し、QCシミュレーションによりIRIを算出する。
3	RTRRMS (レスポンス型道路ラフネス測定システム)	RTRRMS (レスポンス型道路ラフネス測定システム) で任意尺度のラフネス指数を測定し、相関式によりIRIに変換する。
4	パトロールカーに乗車した調査員の体感や目視	パトロールカーに乗車した調査員の体感や目視によりIRIを推測する。

* なかむら ひろやす 株式会社NIPPO 総合技術部 技術研究所

** とみやま かずや 北見工業大学 工学部 社会環境工学科

*** じょうもと まさかず 大成ロテック株式会社 事業本部 技術研究所

**** ましと ひろゆき 東亜道路工業株式会社 技術研究所

***** わたなべ かずひろ 独立行政法人 土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム

スに区分される。クラス1は、測定精度が高いが、利便性が低い（測定費用が高く、測定時間がかかる）。一方、クラス4は、利便性が高い（測定費用が一番低価で、測定時間が短い）反面、測定は定性的なものである。このことから、一般的に定量的なIRI測定には、クラス2またはクラス3の測定装置が多く使用されている。

このうち、クラス1とクラス2については、測定された縦断プロファイルを用いてIRIを算出する。算出においては図-1に示す2軸4輪の乗用車の1輪だけを取り出し抽象化した仮想車両モデルであるクォーターカー（以下、QC）モデルを用いる。

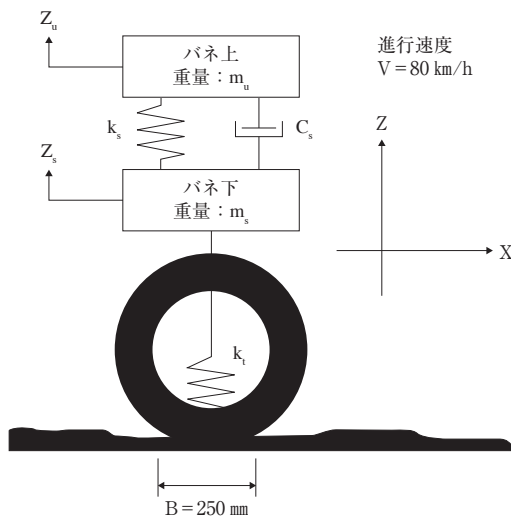


図-1 QCモデル

マイケルWセヤーズ^{2,3)}によると、IRI値は、以下の手順に従って算出を行う。また、算出式を式(1)に示す。

- ①調査箇所の縦断方向に1本の測線を設定し、縦断プロファイルを測定する。測定間隔は250mm以下する。
- ②測点間の勾配は一定とみなし、プロファイルを平滑化する。
- ③平滑化したプロファイルにQCシミュレーションを適用する。
- ④シミュレーションによる車体懸架装置の上下運動を加算し、プロファイルの延長で除してIRIを算出する。

$$IRI = \frac{\int_0^{LV} |\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2| dt}{L} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 Z_1 :ばね上の高さ(mm)

Z_2 :ばね下の高さ(mm)

L :走行距離(m)

V :走行速度(22.2m/s = 80 km/h)

t :時間(s)

2.3 IRIの評価

IRIのラフネス尺度を図-2に示す。IRIは、未舗装の道路から、平坦性のよい滑走路、高速道路まで同一尺度で表現することができる尺度である。

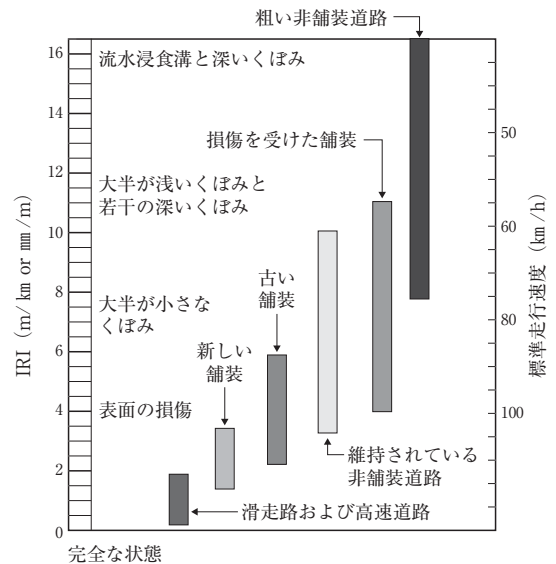


図-2 IRIによるラフネス尺度

3. 共通試験の概要

3.1 試験箇所

IRI共通試験箇所については、道路路面のラフネスが良好の箇所から、悪い箇所まで均等に取得でき、全ての測定装置が安全に測定できるように、下記に示す条件を満足する箇所を選定した。

- ・効率的に測定が実施できるように、道路路面のラフネスの良好な区間と悪い区間が近接している箇所。
- ・測定区間は一区間を200mとするが、車両タイプの測定機器は、加速区間が必要なため直線部分が300m以上確保できる箇所。
- ・わだち量が多い箇所での測定を実施し測定位置が横断方向にずれた場合、IRIの値に大きな差が生じる恐れがあることから、わだち量が6mm以下である箇所。

- ・安全に測定できるように、交通量の少ない箇所または、交通量が多い場所は片側2車線以上の箇所。
- ・交通規制内で、測定機器同士がすれ違うことができるよう路肩の広い箇所。

選定条件の直線道路であり交通量が少なく、路肩が広い路線ということで、選定当初より北海道内の道道を中心に選定を行い、最終的に表-2に示す2区間4測線を選出した。ただし、1工区が幹線道路を、2工区が生活道路をイメージして選出した。

測定区間の写真を、写真-1および写真-2に示す。

3.2 測定装置

本試験には、表-3に示すように、クラス2の測定

表-2 測定区間

測定	道路種別
No.1-1	幹線道路
No.1-2	
No.2-1	生活道路
No.2-2	



写真-1 測定区間 No.1



写真-2 測定区間 No.2

装置が25台、クラス3の測定装置7台を含む合計35台が参加した。また、参加機関は、表-4に示す25機関であった。

ここで、各測定装置は、固有の路面波長検出特性を有する。そのため、各装置の相互比較においては、絶対基準となる真のプロファイルの測定が必要不可欠である。本IRI共通試験では、事前試験として、(独)土木研究所の構内舗装道路において、真のプロファイルの測定方法について検討を行い、その結果、牽引型プロファ

表-3 測定装置一覧

クラス	測定装置	参加装置台数(台)
1	ディップスティック	1
	水準測量(補正用)	1
2	牽引型測定装置	13
	路面性状測定車(プロファイル型)	12
3	路面性状測定車・車載式(レスポンス型)	7
その他	牽引型測定装置	1

表-4 参加機関一覧(五十音順)

大林道路株式会社
鹿島道路株式会社
株式会社片平エンジニアリング
北見工業大学
株式会社クマタカエンジニアリング
グリーン・コンサルタント株式会社
株式会社高速道路総合研究所
世紀東急工業株式会社
大成ロテック株式会社
大日コンサルタント株式会社
中央大学
東亜道路工業株式会社
東京農業大学
道路工業株式会社
常盤工業株式会社
株式会社トノックス
独立行政法人 土木研究所
中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京株式会社
西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社
ニチレキ株式会社
株式会社NIPPO
株式会社ネクスコ・エンジニアリング北海道
ハンプレコーダー株式会社
株式会社フジエンジニアリング
北海道科学大学

イラ、ディップスティックおよび水準測量により真のプロファイルを構成した。各測定装置のサンプリング間隔は、それぞれ0.01m、0.25mおよび10mである。なお、真のプロファイルの測定は、IRI 共通試験直前の、9月16日および17日の2日間に、交通規制下で実施した。

3.3 測定状況

測定状況の一部を写真-3～5に示す。測定は、交通規制が必要な測定装置については、交通規制をかけ



写真-3 ディップスティックによる真のプロファイル測定状況



写真-4 交通規制内での測定状況



写真-5 車載型測定装置の測定状況

た区間において、交通規制が必要でない車載の測定装置については、交通規制をしていない区間において、2区間同時に実施した。試験は、指定された区間において、予めマーキングを施したライン上の縦断プロファイルを測定した。なお、車載式の測定装置については、走行速度に対する依存性を把握するために、走行速度を3種類指定し、1測線あたり各走行速度で3回の測定を実施するものとした。

4. 今後の予定

本報告の執筆時においては、各装置による測定データの整理を行っている最中であるため、測定データの詳細および活用の際に詳しい報告はできないが、今後は、クラス2およびクラス3の精度および誤差の要因、IT技術を用いた新たな測定器に対するクラス分け、道路種別（幹線、生活）によるIRIの適用範囲の是非などについても検討していく予定である。

また、これらの試験および検討結果については、NPO法人舗装診断研究会の路面性状小委員会にて報告した後、国内外に積極的に発表していく予定である。

5. おわりに

IRIは、平成25年2月に国土交通省道路局より示された「総点検実施要領（案）」において、縦断凹凸の指標とされたことにより、近年注目が高まっている。今回の共通試験は、我が国独自で行われる初めての試験であることから、NPO法人舗装診断研究会の小委員会としては、異例の参加数となり、共通試験の企画者として喜ばしい限りである。

今回の試験から得られた成果を、今後の我が国の道路整備、維持管理に活用できるように、当小委員会で開催していく予定である。

最後に、今回のIRI 共通試験の実施に関して、測定場所をご提供頂いた北海道建設部土木局道路課をはじめ関係者各位に紙面を借りて深く感謝の意を表する。

— 参考文献 —

- 1) 舗装調査・試験法便覧, 日本道路協会, 2007.
- 2) マイケル W. セヤーズ, (訳) 笠原篤, 関口幹夫, 加藤昌太郎: 道路縦断プロファイルからのIRIの算出(上), 舗装, 第31巻7号, pp.21-27, 1996.
- 3) マイケル W. セヤーズ, (訳) 笠原篤, 関口幹夫, 加藤昌太郎: 道路縦断プロファイルからのIRIの算出(下), 舗装, 第31巻8号, pp.12-17, 1996.

重荷重舗装に係わる舗装技術について

(Heavy-Duty Pavements for Airport, Port and Railway)

川 名 太*・八 谷 好 高**

空港、港湾および鉄道などの舗装は、車道等に比べて車両の交通頻度は少ないが大きな荷重が作用することが特徴として挙げられる。これらの重荷重を対象とした舗装に関する技術的な事項がまとめられた資料は非常に少なく、土木学会舗装工学委員会では、空港、港湾および鉄道に係わる設計や施工等に関する舗装技術を体系的にとりまとめ、「舗装工学ライブラリー9 空港・港湾・鉄道の舗装技術－設計、材料・施工、維持・管理－」を発刊した。本報告は、その記載事項に基づいて、重荷重舗装に係わる設計、維持管理および材料の視点でその内容を概説するものである。

1. はじめに

舗装を用途や適用場所によって分類すると、日常において接することが多い車道や歩道の舗装のほか、空港、港湾および鉄道などといった旅客や貨物の運搬、荷役に資する舗装がある。空港、港湾や鉄道などは、公共性の高い施設であるので、その舗装の設計・施工・維持においても、不特定多数のユーザーの安全性の確保および社会経済活動に与える影響に十分に配慮する必要がある。特に、施設の供用開始後の補修については、工事を行う上での制約が非常に厳しくなるため、急速施工法やそれに寄与する新材料など、より一層の技術開発が期待される。

空港、港湾および鉄道などの舗装の特徴としては、

- ①車道等に比べて車両の交通頻度は少ないが大きな荷重が作用する。
- ②荷役等に資する舗装の場合、荷役機械が面的に極めて複雑な挙動をするため、交通量の設定が難しい。
- ③使用する機材や荷役の形態などによって、接地圧および載荷速度などの荷重条件が様々に変化する。
- ④コンテナによる静止荷重やアウトリガー反力などが主たる荷重になる場合がある。
- ⑤臨海部や山岳部など立地条件の悪い場所に建設される場合が多く、特に、沈下等の影響を受けやすい。
- ⑥工事を行う上での制約が非常に厳しい。

などが挙げられる。このように、空港、港湾および鉄道などの舗装は、荷重条件が一般の道路と異なることが大きな特徴であるが、重荷重を対象とした舗装（以下、重荷重舗装と称す）に関する技術的な事項がまとめられた資料はあまり多くない。そこで、土木学会舗装工学委員会では、空港、港湾および鉄道に係わる設計や施工等に関する舗装技術を体系的に網羅した資料を編纂する目的で、平成18年度に「重荷重舗装小委員会」を設置し、4ヶ年にわたって、産官学の舗装技術者が協力して、種々の技術資料の整理が行われた。平成22年度からは、「重荷重舗装補修小委員会」が設立され、維持補修に関する内容の収集・整理を行って、前委員会の成果を含めた形で「舗装工学ライブラリー9 空港・港湾・鉄道の舗装技術－設計、材料・施工、維持・管理－」¹⁾を発刊するに至った。同書は、空港舗装、港湾舗装、鉄道貨物ヤード舗装、鉄道における路盤と路床および材料・施工の5章で構成されているが、本報告は、その記載事項に基づいて、重荷重舗装の設計、維持管理および材料の視点でその内容を概説するものである。

2. 空港、港湾および鉄道の舗装

空港における舗装は、滑走路、誘導路、エプロン、GSE (Ground Service Equipment) 通行帯等に大別される。設計荷重は、施設の種別や利用状況に応じて設

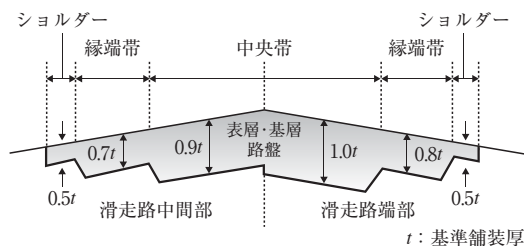
*かわな ふとし 東京農業大学 地域環境科学部 生産環境工学科 助教

**はちや よしたか フジタ道路株式会社 常務取締役

定されることになる。写真－１に示すように、滑走路や誘導路、エプロン等の設計荷重は航空機荷重、GSE通行帯等の設計荷重はGSE荷重となる²⁾。空港では、アスファルト舗装およびコンクリート舗装のいずれの舗装にあっても、図－１に示すように航空機の走行頻度や適用される施設種別に応じて、基準舗装厚 t （路盤材料として、粒状材を用いた場合の路床上面から表層表面までの厚さ）を減厚できるようになっており、経済性を考慮した舗装断面の設定が可能となっている。しかしながら、このような減厚ができる箇所の舗装の設計法についてはあまり知見がなく、より合理的な断面設定の可能性が残されている。



（上）航空機荷重，（下）GSE荷重
写真－１ 空港舗装で考慮する荷重



図－１ 基準舗装厚の減厚

港湾における舗装は、係留施設、臨港交通施設、荷さき施設、保管施設および船舶役務用施設等の構成要素の一つとして位置付けられる。港湾の施設は、臨海部の軟弱地盤上に建設されるので、圧密や吸出しにともなう沈下や不等沈下、液状化等による影響に十分な配慮が必要となる。我が国においては、荷役作業が行われるエプロン等の舗装には、コンクリート舗装およびアスファルト舗装が用いられることが多いが、諸外国においては、ブロック舗装等も活用されている。どのような舗装の形式が適切であるかは、施工場所や施設の利用状況、荷役機械の稼働状況によって異なるが、路体（路床以深の地盤）の変状が舗装に与える影響を考慮した形式を採用することが望ましい。

港湾の施設の技術上の基準・同解説³⁾に示される舗装は、交通機能を確保するための舗装と荷役機能を確保するための舗装に分類できる。このうち、交通機能を確保するための舗装については、基本的には、道路構造令等に準じ、一般の道路と同様の考え方で設計することができる。ただし、港湾の特性上、道路構造令における道路の区分によらず、任意の道路について、セミトレーラー連結車などの特殊な車両を設計対象車両とすることが許容されている。荷役機能の確保のための舗装は、係留施設のエプロンやコンテナヤードの舗装等に代表される。これらの舗装の設計においては、写真－２に示すような荷役機械荷重が対象となる。

鉄道貨物ヤードの舗装は、コンテナを荷役する荷捌き場（以下、コンテナ用荷役ホームと称す）に代表される。日本貨物鉄道株式会社（JR）の鉄道貨物設備の舗装面積は約300万㎡で、アスファルト舗装とコンクリート舗装の比率はおおよそ8：2となっている。近年の物流の傾向として、セメントや碎石などのバラ荷やタンク車などの車扱いが減少し、コンテナに積載された製品輸送が微増しており、鉄道貨物輸送に占めるコンテナ貨物取扱量も増加している状況にある。コンテナ用荷役ホームにおいては、トラックで持ち込まれたコンテナがフォークリフトを用いて貨車に積み込まれる。よって、コンテナ荷役ホームを主に使用するものは、線的交通（基本的には一方向の交通を意味する）である大型トラックと面的交通（旋回など平面上の交通を意味する）であるフォークリフトとなる。

JR貨物では、荷役の効率化と多様化に対応するために、最大輪荷重100～494kNの荷役機械を使用しており、鉄道貨物ヤードの舗装は、通常の道路舗装に比べ格段に大きな荷重を受けることになる。設計においては、最



(上) ガントリークレーン, (下) トランスファークレーン

写真-2 港湾舗装で考慮する荷重

も多く使用されている写真-3に示す12ftコンテナ用フォークリフト(最大輪荷重100kN)を標準荷役機械とし、それぞれの荷役機械の交通量から12ftコンテナ用フォークリフトの交通量に換算した輪数の総和を求め、設計供用期間における設計交通量が設定されている⁴⁾。

鉄道における路盤は、図-2に示すように、軌道の

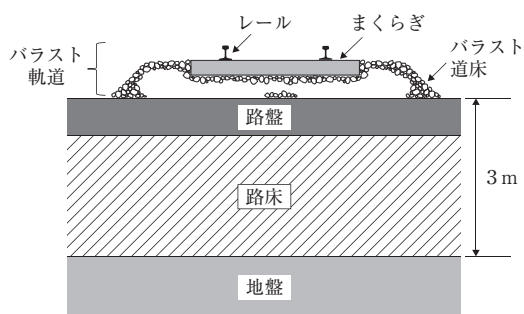


図-2 鉄道における路盤および路床の構造



写真-3 12ft フォークリフト



写真-4 列車荷重

3. 重荷重舗装の設計

空港、港湾および鉄道における舗装の設計法の概略は、表－１に示すとおりである。平成13年に閣議決定された「規制改革推進3か年計画」⁶⁾においては、今後の技術革新に柔軟に対応していくために、仕様規定となっている技術基準等については、原則これを性能規定化するという方針が打ち立てられた。これに伴い、各種構造物の設計基準の見直しが急速に進み、多くの構造物が仕様規定型から性能規定型の設計体型へ移行した。ここでは、現在の各種設計基準において示されているアスファルト舗装の性能照査法を示す。

空港および鉄道貨物ヤードにおけるアスファルト舗装、鉄道におけるアスファルト路盤では、アスファルト層下面の水平引張りひずみおよび路床上面の鉛直圧縮ひずみを算定し、それに基づき許容載荷回数を設定して施設の損傷度を評価する疲労を考慮した性能照査法が用いられている。以下に、各設計基準において用いられている破壊基準式を示す。

(a) 空港舗装

①路床の疲労破壊基準式

$$N = \frac{10^{-29.298}}{\varepsilon^{11.213}} \quad (1)$$

ここに、

N ：路床の許容繰返し回数（回）

ε ：路床上面の鉛直ひずみ

②アスファルト層の疲労破壊基準式

$$N = 7.681 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^{6.333} \times \left(\frac{1}{E} \right)^{3.374} \quad (2)$$

ここに、

N ：アスファルト混合物の許容繰返し回数（回）

ε ：アスファルト混合物下面の引張りひずみ

E ：アスファルト混合物の弾性係数（MPa）

(b) 鉄道貨物ヤード

①路床の疲労破壊基準式

$$N_C = 1.365 \times 10^{-9} \times \varepsilon_C^{-4.477} \quad (3)$$

ここに、

N_C ：圧縮ひずみに基づく許容載荷輪数（回）

ε_C ：路床上面に発生する鉛直圧縮ひずみ

E ：アスファルト混合物の弾性係数（MPa）

②アスファルト層の疲労破壊基準式

$$N_t = 1.134 \times C \times 10^{-3} \times \varepsilon_t^{-3.29} \times E^{-0.854} \quad (4)$$

ここに、

N_t ：引張りひずみに基づく許容載荷輪数（回）

ε_t ：アスファルト混合物下面の水平引張りひずみ

E ：アスファルト混合物の弾性係数（MPa）

C ：アスファルト混合物の容積率と空隙率から得られる定数（表層・基層では $C = 1$ 、上層路盤安定処理を含む場合は $C = 0.5$ ）

<鉄道のアスファルト路盤>

①路床の疲労破壊基準式

$$N_S = 1.365 \times 10^{-9} \times \varepsilon_Z^{-4.477} \quad (5)$$

表－１ 重荷重舗装の設計法

施設	空港	港湾	鉄道貨物ヤード	鉄道の路盤路床
舗装に求められる性能・機能	・荷重支持性能 ・走行安全性能 ・表層の耐久性能	・荷役機能の確保 ・交通機能の確保	・荷役作業の安全性の確保	・安定した列車走行の確保 ・保守性の確保
アスファルト舗装（路盤）	①理論的設計法 …疲労設計 ②場合によって、経験的設計法 …設計図表	任意 ①経験に基づいた舗装構成 …設計図表 ② T_A 法	理論設計法 …疲労設計	アスファルト路盤 …疲労設計
コンクリート舗装（路盤）	①理論的設計法 …疲労設計 ②場合によって、経験的設計法 …設計図表	任意 ①経験に基づいた舗装構成 …設計図表 ②疲労設計法	コンクリート舗装要綱に準拠	コンクリート路盤 …限界状態設計法

ここに、

N_S : 路床の永久変形に対する許容載荷回数

ε_Z : 路床表面の鉛直ひずみ

②アスファルト層の疲労破壊基準式

$$N_A = 18.4 \times C \times 6.167 \times 10^{-5} \times \varepsilon_t^{-3.291} \times E_A^{-0.854} \quad (6)$$

ここに、

N_A : アスファルト混合物層の疲労破壊に対する
許容載荷回数

ε_t : アスファルト混合物層下面に発生するひずみ

E_A : アスファルト混合物層の弾性係数 (MN/mi)

C : $C = 10^M$, $M = 4.84 \{V_b / (V_b + V_V) - 0.69\}$

V_b : アスファルト量

V_V : 空隙率

なお、空港舗装においては、航行機材別、施設横断方向位置別および月別温度ごとに、また、鉄道のアスファルト路盤においては、季節ごと（春、夏、秋および冬）に損傷度を算出して、全体の損傷度が1.0以下になることを確認している。上記の式からわかるように、これらは、基本的には同じ式の形で表されており、舗装標準示方書⁷⁾に示されている式と整合している。

港湾のアスファルト舗装の設計では、その設計思想から任意の性能照査法を適用することができる。港湾の施設の技術上の基準・同解説では、性能照査法の例として、経験に基づく方法および舗装設計便覧⁸⁾の考え方を準用した T_A 法が示されている。舗装設計便覧では、 T_A 法を経験に基づく設計法と位置づけており混乱があるが、港湾の施設の技術上の基準・同解説に示されている経験に基づく方法とは、 T_A 法により設定されたカタログ断面を用いることを示している。港湾の施設の技術上の基準・同解説には、以下に示すとおり、信頼度90%に相当する T_A 式を部分係数法の式に形式的に直したものが示されている。

$$T_{Ad} = \frac{3.84 \cdot N_d^{0.16}}{CBR^{0.3}} \quad (7)$$

ここに、

T_{Ad} : 必要アスファルトコンクリート等値換算舗
装厚の設計用値 (cm)

N_d : 設計供用期間における設計荷重の繰返し回

数 n_i を49kN輪荷重の繰返し回数に換算したものであり、以下の式(8)で与える。

$$N_d = \sum_{i=1}^m \left[\left(\frac{\gamma_{Pi} P_i}{49} \right)^4 \cdot n_i \right] \quad (8)$$

ここに、

P_i : 輪荷重 (kN)

γ_{Pi} : 輪荷重に対する部分係数 (= 1.0)

n_i : 輪荷重 P_i の繰返し回数

m : 載荷状態の設定数

なお、設定した断面の等値換算厚は、舗装設計便覧に示されている等値換算係数と同様のものを用いて算定することができる。

以上のように、現状における重荷重舗装に対する設計法は、基本的には、一般の道路と同様である。

4. 重荷重舗装の維持管理

重荷重舗装の健全性は、主に路面性状および支持力により評価されている。路面の評価は、各施設で独自に設定された評価指標に基づいて行われており、荷重の支持性能の評価については、FWD試験が活用されていることが多い。ここでは、各施設の路面および荷重の支持性能の評価方法を示す。

空港舗装におけるアスファルト舗装の路面の評価は、以下に示す舗装補修指数 (Pavement Rehabilitation Index, PRI) に基づいて行われる⁹⁾。

$$PRI = 10 - 0.450CR - 0.0511RD - 0.655SV \quad (9)$$

ここに、

CR : ひび割れ率 (%)

RD : わだち掘れ量 (mm)

SV : 平たん性 (縦断方向の凹凸の標準偏差) (mm)

空港舗装の構造の健全性の評価は、FWD試験により実施されており、アスファルト舗装の場合には、載荷板直下のたわみ (D_0 たわみ) を評価指標としている。また、表層剥離を迅速かつ定量的に評価する方法として、熱赤外線調査なども実施されている。

港湾の施設の維持管理については、当該施設の設置者が定める維持管理計画等に基づき、施設が供用期間にわたって要求性能を満足するように実施するものとし

ている。維持管理計画は、当該施設の設置目的、供用期間、要求性能、設計の考え方、施設の代替性等を考慮して策定するものとしており、施設の管理者は、施設を構成する部材ごとに適切な維持管理レベルを設定する必要がある。舗装については、使用性が損なわれた時点で打換えを実施することが多いので、事後保全型の維持管理レベルが設定される。港湾の施設の維持管理の参考として広く活用されている港湾の施設の維持管理技術マニュアル¹⁰⁾においては、点検項目として、段差、凹凸、ひび割れおよびわだち掘れ量等が挙げられており、それぞれの損傷に対して個別に判定基準案が示されている。なお、同書においては、荷重支持性能の評価については、触れられていない。

鉄道貨物ヤードにおけるアスファルト舗装の路面の評価は、以下に示す鉄道貨物舗装供用性指数(Kamotu Maintenance Index, *KMI*)に基づいて行われる。鉄道貨物舗装供用性指数*KMI*は、重回帰分析を用いて管理者から見た主観的評価と舗装の破損状態の客観的な評価を結びつけた指標として開発されたものである。

$$KMI = 2.939 - 0.051C - 0.071\sigma \tag{10}$$

ここに、
C：ひび割れ率(%)
 σ ：平たん性(mm)

舗装構造の評価は、路床の強さ、舗装を構成する各層の厚さ、材料の性状などを把握するために実施される。ひび割れ等で路床・路盤の支持力に問題があると判断される場合には、補修断面を決定するためにFWDによるたわみ量の調査、舗装厚の確認が行われる。

5. 重荷重舗装の材料・施工

重荷重舗装の材料・施工において、空港、港湾および鉄道の舗装のみに適用されている技術は少なく、大型交通量の多い重交通道路の舗装に適用されている技術と重複するものが多い。各施設別の使用材料の相違点については、表－2に示す程度である。

舗装工学ライブラリー9では、重荷重舗装を対象とした技術について、国内の企業等から情報収集を行った結果が示されている。技術情報は、舗装関連会社13社、セメントコンクリート関連会社5社および3つの研究会より提供を受け、コンクリート系材料・施工法に関する情報が50件、アスファルト系材料・施工に関する情報が63件、路床・路盤の材料・施工に関する情報が8件、補強材料に関する情報が3件あり、計124件の重荷重舗装に係わる情報を提供頂いた。これらの情報は、資料編として掲載されており、今後の重荷重舗装の工法または材料選択の一資料として活用されることが期待される。

6. おわりに

本報告は、「舗装工学ライブラリー9 空港・港湾・鉄道の舗装技術－設計、材料・施工、維持・管理－」の記載事項を、重荷重舗装の設計、維持管理および材料の視点で内容を整理し直したものである。同書は、各種仕様書類に記述されている熟度の高い事項を体系的に取りまとめたものである。よって、空港、港湾、鉄道といった舗装施設のさらなる高度化を図るために、新たに要求されているような事項にはあまり言及されていない。しかしながら、同書により重荷重舗装に関して必要となる技術的課題が明らかになり、重荷重舗装に適用可能な新技術の開発につながることを期待している。また、土木学会舗装工学委員会では、平成26年度より新たに「重荷重舗装小委員会」を立ち上げて、

表－2 各施設別の使用材料の相違点

施設	混合物の種類	マーシャル安定度基準値(kN)		骨材品質：すり減り減量(%)	配合時の留意点	補修時の注意点
		50回	75回			
空港舗装	5	4.9以上	8.8以上	35以下	・グルーピングを施工する場合、粒度範囲の上限を使用する	・アスファルト乳剤PKM-Tの使用 ・グルーピングの施工
港湾舗装	9	4.9以上	8.8以上	－	－	
鉄道貨物ヤード舗装	－	－	－	－	－	・コンテナ脚部の補修
鉄道における路盤と路床	2	5以上		30以下	－	－

重荷重舗装に求められる要求事項ならびにその対応方法に関する最新技術に関する調査・研究を行うこととしており、荷重の作用頻度の低い舗装や静止荷重が主たる荷重となる舗装の設計、工事の短時間（期間）化対応技術、重荷重舗装の破損形態などに関する調査・研究を実施していく予定である。

筆末となりましたが、同書を発刊するに当たり、重荷重舗装小委員会および重荷重舗装補修小委員会の委員並びに技術情報を提供頂いた関係・各位に多大なるご協力を頂きました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

—— 参考文献 ——

- 1) 土木学会舗装工学委員会重荷重舗装補修小委員会：空港・港湾・鉄道の舗装技術－設計，材料・施工，維持・管理－，舗装工学ライブラリー 9，2013.
- 2) 国土交通省航空局・国土技術政策総合研究所監修：空港舗装設計要領および設計例（平成 22 年 4 月一部改訂），財団法人港湾空港建設技術サービスセンター，2010.
- 3) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，社団法人日本港湾協会，2007.
- 4) 日本貨物鉄道株式会社：貨物設備アスファルト舗装設計・補修の手引き，2001.
- 5) 公益財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造，2012.
- 6) 内閣府：規制改革推進 3 か年計画，<http://www8.cao.go.jp/kisei/siryō/010330/>，2014 年 9 月 25 日閲覧。
- 7) 社団法人土木学会：舗装標準示方書，2007.
- 8) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧，丸善，2006.
- 9) 国土交通省航空局・国土技術政策総合研究所監修：空港舗装補修要領および設計例（平成 24 年 4 月一部改訂），財団法人港湾空港建設技術サービスセンター，2012.
- 10) 財団法人沿岸技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル，2007.

高針入度のアスファルトの活用に向けて — 現道での試験舗装編 —

(Toward the Utilization of High-penetration Asphalt
- Pilot Work on the Road in Service -)

峰 岸 順 一*・佐 々 木 巖**・寺 田 剛***・荒 尾 慶 文****

アスファルトの安定した循環システムを実現するために、高針入度のアスファルトの適用を検証するための共同研究を（独）土木研究所、東京都土木技術支援・人材育成センターおよび（一社）日本アスファルト合材協会の三者で平成25年8月から開始した。本稿では、共同研究において高針入度のアスファルトの適用性の検証に向けた取り組みのひとつとして実施した現道での試験舗装について報告する。

1. はじめに

舗装の再生利用の拡大により、日本国内のアスファルト混合所から出荷されるアスファルト混合物（以下、合材）の全国平均で約3/4は再生アスファルト混合物（以下、再生合材）となっている。再生骨材の混入率も上昇を続けており、国内の出荷合材に含まれるアスファルトの全国平均で約1/3は、旧アスファルトになっている。

再生合材製造に用いる添加材料としては、潤滑油などの軽質なオイルを用いた再生用添加剤が利用されてきた。平成22年度改訂の舗装再生便覧には再生合材製造時に不足するアスファルトを補うためや旧アスファルトの性状を回復させるための新アスファルトとして高針入度のアスファルトが追加された。高針入度のアスファルトは、再生用添加剤に比べてアスファルト組成を適正に保ちやすく再生への利用が期待されるが、現道での耐久性は確認されていないのが現状である¹⁾。

そこで、アスファルトの安定した循環システムを実現するために、高針入度のアスファルトの適用を検証するための共同研究を（独）土木研究所、東京都土木技術支援・人材育成センターおよび（一社）日本アスファルト合材協会の三者で平成25年8月から開始した。

本稿では、共同研究の一環として高針入度のアスファルト（以下、高針入度アスファルト）の適用性の検証に向けた取り組みとして実施した現道での試験舗装について報告する。

2. 再生合材の製造

再生合材の製造では、再生合材に含まれるアスファルトを再生アスファルトと呼んでいる。再生アスファルトの中には、通常、旧アスファルト、新たに加えたストレートアスファルトおよび再生用添加剤と呼ばれるアスファルトに比べて非常に軟らかいオイル類がアスファルト代替品として混入している。今まで、アスファルトの再生利用においては、新アスファルトの添加割合をなるべく少なくし、再生骨材混入率を引き上げ、アスファルトに比べて軽質なオイルなどの添加剤で針入度のみを確保して再生合材を製造してきた。しかし、このような軽質なオイルなどの添加剤に頼って針入度を回復させる再生を繰り返すと材料に変状をきたす可能性が指摘されている²⁾。この報告では、軽質なオイルなどの添加剤が再生合材への劣化物質の蓄積と、新アスファルトの添加の重要性が示された。また、新アスファルトとして本来の舗装用アスファルトにより近い高針入度アスファルトの有効性を示している。室

*みねぎし じゅんいち 東京都 土木技術支援・人材育成センター

**ささき いわお 独立行政法人 土木研究所 材料資源研究グループ

***てらだ まさる 独立行政法人 土木研究所 道路技術研究グループ

****あらお よしふみ 一般社団法人 日本アスファルト合材協会 技術部会長

内試験では、アスファルトバインダおよびアスファルト混合物の一定の検証はできているが、現道での長期耐久性は未検証である。このため、高針入度アスファルトを用いて製造した再生合材のアスファルトの劣化性状、ならびにその進行によって生じるひび割れの発生時期やその進行状態などを試験舗装で定量的に確認していくこととした。

3. 試験舗装について

試験舗装の内容と事前に行った交通量および舗装構造調査結果は、以下に示すとおりである。

(1) 試験舗装箇所と内容

試験舗装は、主要地方道青梅入間線（第63号）、青梅市今寺二丁目から藤橋二丁目の2.92～3.58Kpの640mの区間で行った。車線は2車線、幅員は5.40～7.05mであった。設計交通量区分はN₅（舗装計画交通量250以上1,000未満（台／日・方向））であった。工事内容は、図－1に示すように厚さ15cmの部分断面打換工（急速施工）で、基層は再生粗粒度アスファルト混合物厚さ10cm、表層は表－1に示す4種類のアスファルト混合物を厚さ5cmとした。舗装の高さが不足する箇所は、必要に応じてRM-40を補足材として用いた。各工区の配置は図－2に示すとおりである。再生密粒度アスファルト混合物（13）は、再生用添加剤のみで配合設計したもの1工区（配合①）、高針入度アスファルト150～200 2工区（配合②）、200～300 3工区（配合③）で配合設計した計3種類とした。また、比較工区として新規材料による密粒度アスファルト混合物（13）、ストレートアスファルト40～60を用いた4工区（配合④）を選定した。

(2) 交通量調査結果

藤崎二丁目37-1番地先で24時間交通量調査を行った。結果は、表－2に示すとおりである。大型車交通量上り89台／日、下り112台／日と設計交通量区分より少なかった。

(3) 舗装構造調査結果

舗装構造調査は、各工区上下線各1点行った。結果は、表－3に示すとおり、各工区とも舗装構造およびCBRは、ほぼ同程度であった。

4. 再生合材の配合設計

(1) 再生合材の配合設計

舗装再生便覧（平成22年版、（社）日本道路協会）の再生合材の配合設計は、設計針入度への調整を行う方

	在来断面	試験舗装断面
	表層 5 cm	再生密粒度・密粒度
基層 10 cm	粗粒度	再生粗粒度
	補足材 RM-40（必要な場合のみ）	
路盤 40 cm		路盤 40 cm （既設路盤）

図－1 試験舗装の内容

表－1 表層の使用材料

工区	混合物の種類	再生添加剤・新アスファルトの種類別	配合設計方法
1 工区 （配合①）	再生密粒度混合物（13）	再生用添加剤	事前審査認定品 設計針入度への調整を行う方法
2 工区 （配合②）	再生密粒度混合物（13）	高針入度アスファルト 150～200	設計圧裂係数への調整を行う方法
3 工区 （配合③）	再生密粒度混合物（13）	高針入度アスファルト 200～300	設計圧裂係数への調整を行う方法
4 工区 （配合④）	密粒度混合物（13）	ストレートアスファルト 40～60	事前審査認定品

	2.92kp			3.58kp
下り線	4 工区	3 工区	2 工区	1 工区
上り線	4 工区	3 工区	2 工区	1 工区
	← 青梅方面		→ 入間方面	

図－2 工区の配置

表－2 交通量

		上り	下り	上下線合計
(1)ピーク時間交通量 （大型車、小型車の合計）	時間	17：00	16：00	17：00
	台数	169	137	290
(2)ピーク率（％）		8.9	8.4	8.2
(3)大型車、小型車の別 （24時間合計）	小型車	2236	1921	4157
	大型車	89	112	201
(4)大型車混入率		3.8	5.5	4.6
(5)昼夜率		1.23	1.25	1.24

法と圧裂係数の目標値（以下、設計圧裂係数）を設定して調整を行う方法があり、どちらの方法を用いても良いことになっている。

表－3 舗装構造調査結果

調査No.		地点標	試験施工 距離標示	上下線	アスファルト 舗装厚 (cm)	路盤厚 (cm)	舗装厚 (cm)	換算厚 (T _A)	水浸CBR（第一）			水浸CBR（第二）		
									土質 分類	CBR1 (%)	含水比 (%)	土質 分類	CBR2 (%)	含水比 (%)
1	1D	3.5048	28+07 L0.7	下	18	32	50	26.00	V	7.9	161.3	V	8.6	156.2
2	1U	3.5079	28+09.6 R0.6	上	18	32	50	26.00	SF	3.7	13.5	SF	5.6	13.0
3	2D	3.3264	19+11.5 L0.6	下	17	33	50	25.25	V	7.5	144.3	V	6.3	151.7
4	2U	3.3062	18+11.3 R1.1	上	16	29	45	23.25	OV	8.5	139.1	V	7.4	139.3
5	3D	3.2015	13+0.4 L2.3	下	16	29	45	23.25	V	9.0	110.0	V	5.6	133.5
6	3U	3.2063	13+5.5 R0.5	上	16	27	43	22.75	OV	7.9	76.2	V	8.8	136.1
7	4D	3.0113	3+16.2 L2.3	下	16	34	50	24.50	V	5.9	150.2	V	6.7	171.3
8	4U	3.0065	3+11.7 R0.5	上	15	35	50	23.75	OV	6.3	162.9	V	5.1	183.3
最小値					15	27	43	22.75		3.7	13.5		5.1	13.0
最大値					18	35	50	26.00		9.0	162.9		8.8	183.3
平均値					16.3	30.9	47.3	24.2		6.7	107.9		6.6	121.9

網掛け：変状土 無着色：現状土

礫：G, 礫質土：GF, 砂：S, 砂質土：SF, シルト：M, 粘性土：C, 有機質土：O, 火山灰質粘性土：V, 廃棄物：Wa, 黒ボク：OV

①設計針入度への調整を行う方法

設計針入度への調整を行う方法では、再生アスファルトの針入度が設計針入度に適合するように新アスファルトおよび再生用添加剤で調整し、マーシャル安定度試験で所定の品質を満足するように行う。今回使用した1工区（配合①）の再生密粒度アスファルト混合物（13）は、設計針入度への調整を再生用添加剤で行った。設計針入度は、50とした。この場合の配合設計は、骨材配合率を決定し、再生アスファルトの品質が設定したアスファルトの品質に適合するように再生用添加材量を求めたのち、マーシャル安定度試験により基準値を満たす設計再生アスファルト量を決定した。

②設計圧裂係数への調整を行う方法

設計圧裂係数への調整を行う方法では、再生合材の圧裂係数が設計圧裂係数0.60～0.90MPa/mm（一般地域の場合）に適合するように新アスファルトおよび再生用添加剤で調整し、マーシャル試験で所定の品質を満足するように行う。今回使用した2工区および3工区の再生密粒度アスファルト混合物（13）は、設計圧裂係数への調整を新アスファルト（それぞれ高針入度アスファルト150～200（配合②）、200～300（配合③））で行った。この場合の配合設計は、再生合材の圧裂係数が設計圧裂係数に適合するように再生合材配合率を定めたのち、マーシャル試験により基準値を満たす設計再生

アスファルト量を決定した。

(2) 使用材料の品質試験結果

①再生骨材の品質

再生骨材の品質は、表－4に示すとおりである。旧アスファルトの針入度は20, 圧裂係数は1.52MPa/mmであり東京都建設局土木材料仕様書の品質を満たしていた。

②新骨材の品質

新骨材の品質試験結果は、表－5に示すとおりであり、土木材料仕様書の品質を満たしていた。

表－4 再生骨材の品質結果

骨材の種類		再生骨材 R13-0	土木材料 仕様書の品質
項 目			
通過質量百分率 (%)	19.0 mm	100.0	－
	13.2 mm	100.0	－
	4.75 mm	67.6	－
	2.36 mm	46.7	－
	600 μm	30.5	－
	300 μm	22.5	－
	150 μm	13.5	－
	75 μm	8.8	－
旧アスファルトの含有量	%	4.67	3.8以上
最大密度	g/ cm ³	2.497	－
圧裂係数	MPa/ mm	1.52	1.70以下
旧 As 針入度	1/10 mm	20	20以上
軟化点	℃	64.5	－
微粒分量	%	1.3	5以下

③再生用添加剤の品質

再生用添加剤の品質は、表－6に示すとおりであり、土木材料仕様書の品質を満たしていた。

④新アスファルト（高針入度アスファルト）の品質

高針入度アスファルトの品質は、表－7に示すとおりであり、土木材料仕様書の品質を満たしていた。

(3) 再生骨材配合率の決定

再生合材の再生骨材配合率は、設計針入度への調整を新アスファルトで行う方法と設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う方法で検討した。

①設計針入度への調整を新アスファルトで行う方法

設計針入度への調整を新アスファルトで行う方法による再生骨材配合率の決定は、旧アスファルトの針入度と新アスファルトの針入度を結んだ線から設

計針入度50となる新旧アスファルトの配合比率を求める方法（以下、A法）と旧アスファルトと新アスファルトを混合した再生アスファルトの針入度を実測する方法（以下、B法）の2種類で検討し、両方法の差を確認した。

新アスファルト150～200を使用した場合のA法とB法を比較したものが図－3、図－4である。

再生合材の再生アスファルトの針入度40～60を満たす再生骨材配合率の範囲は、表－8に示すようにA法で59～80%、B法で50～69であった。なお、再生骨材配合率は、(旧アスファルト量(%)／旧アスファルト含有量(%))×100から求めた。また、設計針入度が50となる再生骨材配合率は、A法で59.0%、B法で50.4%であった。

新アスファルト200～300を使用した場合のA法とB法を比較したものが図－5、図－6である。

再生合材の再生アスファルトの針入度40～60を満たす再生骨材配合率の範囲は、表－8に示すよう

表－5 使用材料の性状試験結果

骨材の種類 項 目		新骨材				
		6号 碎石	7号 碎石	砕砂	細砂	石粉
通過 質量 百分率 (%)	19.0mm	100.0				
	13.2mm	96.5	100.0			
	4.75mm	5.3	95.5	100.0	100.0	
	2.36mm	0.4	6.2	93.0	98.0	
	600 μ m		1.5	33.5	92.8	100.0
	300 μ m			18.6	46.0	98.5
	150 μ m			7.5	10.0	92.9
	75 μ m			2.5	2.0	81.6
密度 (g/cm^3)	見掛け	2.707	2.702	2.700	2.693	2.732
	表乾	2.669	2.652	2.621	2.596	
	かさ	2.647	2.638	2.583	2.533	
吸水率	%	0.65	0.76	1.53	2.35	
すり減り減量	%	9.5				
損失率	%	3.6	2.3	1.2	2.0	
粘土・粘度塊	%	0.13				
軟石量	%	4.0				
細長・扁平石片	g/cm^3	0.5				
水分	%					0.04

表－6 再生用添加剤の品質

項 目	試験値	土木材料 仕様書の品質
密度(15℃) g/cm^3	1.017	報告
引火点 $^{\circ}C$	270	250以上
動粘度(60℃) mm^2/s	195	80～1,000
薄膜加熱後の粘度比(60℃)	1.3	2以下
薄膜加熱質量変化率 %	-0.37	± 3以内

表－7 高針入度アスファルトの品質

試験項目		ストレート アスファルト 150～200		ストレート アスファルト 200～300	
		試験値	土木材料 仕様書の 品質	試験値	土木材料 仕様書の 品質
伸度(15℃)	cm	100+	100 以上	100+	100 以上
引火点	$^{\circ}C$	374	210 以上	342	210 以上
軟化点	$^{\circ}C$	38.0	30.0～ 45.0	35.5	30.0～ 45.0
針入度(25℃)	1/10mm	187	150を 超え 200以下	266	200を 超え 300以下
トルエン可溶分質量	%	99.5	99.0 以上	99.9	99.0 以上
密度(15℃)	g/cm^3	1.028	1.000 以上	1.027	1.000 以上

表－8 再生骨材配合率の範囲（針入度40～60）

配合設計法		再生骨材配合率の範囲(%)	
		高針入度 アスファルト 150～200	高針入度 アスファルト 200～300
設計針入度への調整を 新アスファルトで行う方法	A法	59～80	66～84
	B法	50～69	61～80
設計圧裂係数への調整を 新アスファルトで行う方法		35～65	37～67

に A 法で 66～84%，B 法で 61～80 であった。また、設計針入度が 50 となる再生骨材配合率は、A 法で 64.5%，B 法で 60.0% であった。

このように、A 法と B 法で再生骨材配合率が異なることが把握できた。A 法による場合が、再生骨材

配合率がやや大きい傾向であった。

②設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う方法

再生骨材配合率を 40, 60, 80% として再生骨材を作成して圧裂試験により圧裂係数を求めた。試験結果は、図-7、図-8 に示すとおりである。

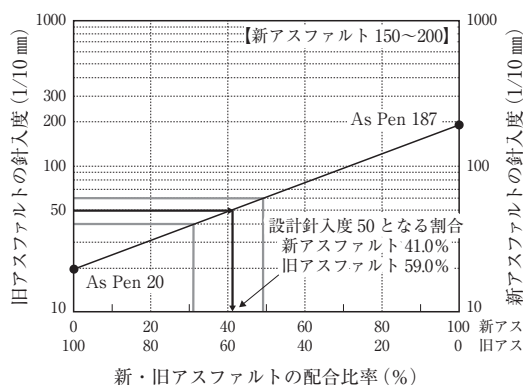


図-3 A 法 (150～200)

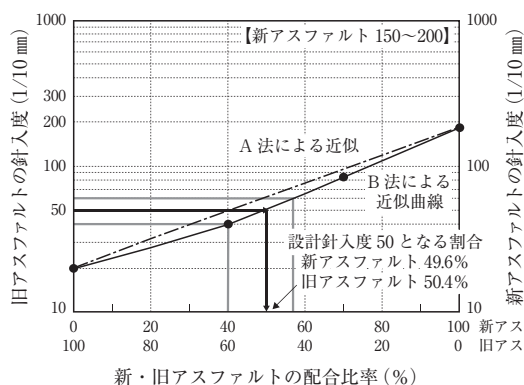


図-4 B 法 (150～200)

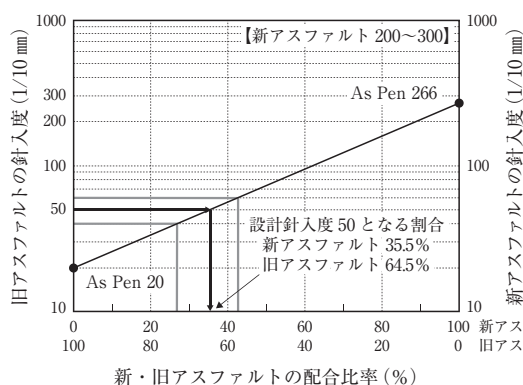


図-5 A 法 (200～300)

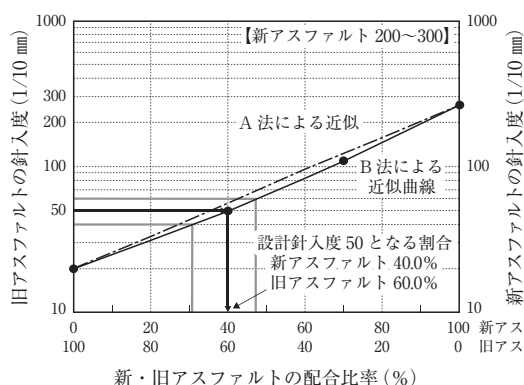


図-6 B 法 (200～300)

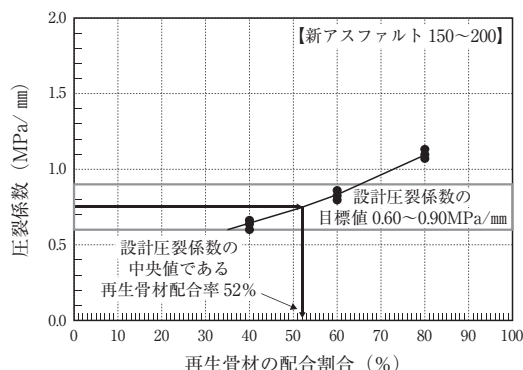


図-7 再生骨材の配合割合と圧裂係数との関係 (新アスファルト 150～200)

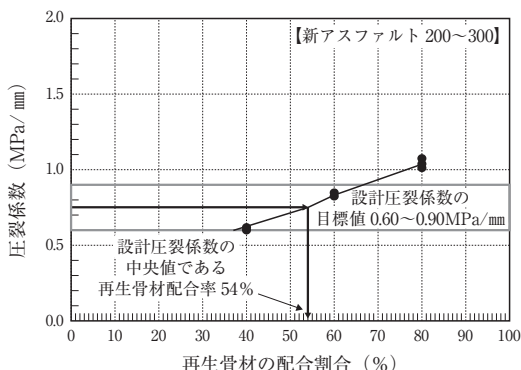


図-8 再生骨材の配合割合と圧裂係数との関係 (新アスファルト 200～300)

設計圧裂係数が0.6～0.9MPa/mmを満足する再生骨材配合率は、表－8に示すように新アスファルト150～200の場合35～65%，新アスファルト200～300の場合37～67%となった。また、設計圧裂係数の中央値である0.75MPa/mmとなる再生骨材配合率は、新アスファルト150～200の場合52%，新アスファルト200～300の場合54%となった。

設計針入度への調整を新アスファルトで行う方法と設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う方法では、設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う方法が再生骨材配合率が少なくなる結果であった。

③再生骨材配合率の決定

再生骨材配合率は、設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う方法の配合率の範囲から、新アスファルト150～200、200～300ともに東京都の標準的な配合率である60%と決定した。各工区の再生骨

材配合率も統一して60%とした。

(4) 設計再生アスファルト量の設定

①骨材配合割合と合成粒度

再生合材の骨材配合割合および合成粒度は、表－9のとおり設定した。

②マーシャル安定度試験結果

マーシャル安定度試験結果は、表－10に示すとおりである。設計再生アスファルト量は、新アスファルト150～200の場合5.3%，新アスファルト200～300の場合5.4%となった。

③ホイールトラッキング試験結果

ホイールトラッキング試験結果は、新アスファルト150～200の場合動的安定度が1970回/mm，新アスファルト200～300の場合1210回/mmとなった。

(5) その他混合物の配合

その他配合①、④の混合物の事前審査認定アスファルト混合物の試験結果を表－10に示す。

表－9 配合割合および合成粒度

骨材	① 6号 碎石	② 7号 碎石	③ 砕砂	④ 細砂	⑤ 石粉	⑥ 再生 骨材 13-5	⑦ 再生 骨材 5-0	各骨材のふるい目の大きさ別配合割合 (A) × (B)							合成 粒度	合材工場 粒度
								①	②	③	④	⑤	⑥	⑦		
配合率 (A) %	13.5	9.5	13.0	3.5	0.5	45.0	15.0									
通過質量百分率 (B) %	19mm	100.0						13.5	9.5	13.0	3.5	0.5	45.0	15.0	100.0	100.0
	13.2mm	96.5	100.0			100.0	100.0	13.0	9.5	13.0	3.5	0.5	45.0	15.0	99.5	99.3
	4.75mm	5.3	95.5	100.0	100.0		54.8	0.7	9.1	13.0	3.5	0.5	24.7	15.0	66.5	66.7
	2.36mm	0.4	6.2	93.0	98.0		33.2	0.1	0.6	12.1	3.4	0.5	14.9	13.2	44.8	44.8
	600μm		1.5	33.5	92.8	100.0	22.0	0.0	0.1	4.4	3.2	0.5	9.9	8.3	26.4	26.5
	300μm			18.6	46.0	98.5	16.7	0.0	0.0	2.4	1.6	0.5	7.5	5.8	17.8	17.8
	150μm			7.5	10.0	92.9	10.3	0.0	0.0	1.0	0.4	0.5	4.6	3.4	9.9	9.6
	75μm			2.5	2.0	81.6	6.8	0.0	0.0	0.3	0.1	0.4	3.1	2.2	6.1	5.7
⑥⑦は、旧アスファルトを含まない骨材のみの配合割合																

表－10 マーシャル安定度試験結果

配 合	150～200 (配合②)	200～300 (配合③)	40～60 (配合①)	新規密粒度 (配合④)	基準値
再生骨材配合割合 (%)	60	60	60	－	－
設計再生アスファルト量 (%)	5.3	5.4	5.4	5.5	5.0～6.2
密度 (g/cm ³)	2.384	2.379	2.378	2.380	2.33以上
空げき率 (%)	3.9	3.9	3.9	3.8	3～6
飽和度 (%)	75.9	76.2	75.9	76.8	70～85
安定度 (kN)	15.7	12.6	11.15	11.23	8.0以上
フロー値 (1/100cm)	35	31	29	29	20～40
理論密度 (g/cm ³)	2.480	2.476	2.474	2.475	－

5. 試験舗装時の品質管理試験等の結果

プラント練落とし合材の試験結果、施工時の品質管理試験および出来形の試験結果は、以下のとおりである。

(1) 基準密度

基準密度の結果は、表－11に示すとおりである。基準値2.33g/cm³以上であった。

(2) 締固め度

締固め度の試験結果は、表－11に示すとおりである。基準値96.5%以上の値であった。

(3) 抽出・ふるい分け試験

抽出・ふるい分け試験結果は、表－12に示すとおりである。所定の基準値の範囲内であった。

(4) 混合物性状試験

混合物性状試験の結果は表－13に示すとおりである。すべての配合でマーシャル安定度は基準値8.0kN以上であった。残留安定度は舗装再生便覧に示される値(75%)を満足した。高針入度アスファルトを用いた混合物の動的安定度は再生用添加剤を用いた場合の動的安定度より低い値を示した。

(5) 舗装厚

各工区の舗装厚(コアの厚さ)の測定結果は、表－11

に示すように53～60mmであり、ほぼ同程度であった。

(6) 施工時の温度管理

施工時の温度管理の結果は、表－14に示すとおりである。2,3工区は、ほぼ基準温度付近に分布していた。

(7) 平たん性

平たん性は、完了検査時のデータで、上り車線1.87mm、下り車線1.74mmと規格値2.4mm以内を満たすものであった。

(8) 施工性の調査結果

施工性の調査は、チェックシートを作成し、施工時に行った。なお、スコップ作業およびレーキ作業については、作業従事者に対して聞き取り調査を実施した。その結果を表－15に示す。

スコップ作業およびレーキ作業については、作業性は各工区ともほぼ同等であり、スコップへの合材の付着は3工区と4工区でやや多く、レーキへの合材の付着は3工区でやや多いという結果であった。

フィニッシャによる敷ならし面の状態については、各工区とも引きずり、ヘアクラック、気泡、材料分離の発生などが無く良好であった。

転圧時の状態については、各工区ともヘアクラック、アスファルトのにじみ見出し、アスファルトモルタル

表－11 基準密度および締固め度の結果

工区	コアの厚さ(mm)	基準密度(g/cm ³)	密度(g/cm ³)	締固め度(%)
1工区	55(-7mm以内)	2.378(2.33以上)	2.397(2.295以上)	100.8(96.5%以上)
2工区	53(-7mm以内)	2.387(2.33以上)	2.383(2.303以上)	99.8(96.5%以上)
3工区	60(-7mm以内)	2.390(2.33以上)	2.366(2.306以上)	99.0(96.5%以上)
4工区	54(-7mm以内)	2.380(2.33以上)	2.393(2.297以上)	100.5(96.5%以上)

()内は規格値

表－12 抽出・ふるい分け試験結果

	1工区	2工区		3工区	4工区
		4月5日	4月7日		
アスファルト抽出試験アスファルト量(%)	5.39(4.9～5.9%)	5.18(4.8～5.8%)	5.27(4.8～5.8%)	5.34(4.9～5.9%)	5.34(5.0～6.0%)
ふるい分け試験粒度2.36mm(%)	49.1(40.2～58.2)	46.5(39.2～57.2)	47.4(39.2～57.2)	47.9(39.2～57.2)	48.8(39.3～57.3)
ふるい分け試験粒度75μm(%)	6.1(3.1～10.1)	7.0(3.3～10.3)	6.3(3.3～10.3)	6.7(3.3～10.3)	6.2(2.7～9.7)

()の数値は規格値の範囲

表－13 混合物性状試験結果

工区名(配合)	1工区	2工区	3工区	4工区
	40～60(配合①)	150～200(配合②)	200～300(配合③)	新規密粒度(配合④)
マーシャル安定度(kN)	16.2	13.7	14.4	12.8
水浸マーシャル安定度(kN)	15.6	13.1	13.9	12.1
残留安定度(%)	96.3	95.6	96.5	94.5
動的安定度(回/mm)	2720	2040	1750	1120

表－14 施工時の温度管理結果

工区名	温度(℃)()内は、基準値					
	混合所発	現場着	敷均	初期転圧	転圧完了	交通解放
1 工区 (4/5 施工)	165～167 (155～175)	158～162 (150～170)	153～154 (145～165)	147～151 (140～160)	70～79 (70～90)	－ (50 以下)
2 工区 (4/5 施工)	165～167 (155～170)	161～163 (150～165)	156～159 (145～160)	147～154 (140～155)	77～81 (70～90)	33～37 (50 以下)
2 工区 (4/7 施工)	165～167 (155～170)	161～163 (150～165)	151 (145～160)	145 (140～155)	80 (70～90)	－ (50 以下)
3 工区 (4/7 施工)	165～167 (155～170)	160～164 (150～165)	150～158 (145～160)	143～154 (140～155)	77～85 (70～90)	39～44 (50 以下)
4 工区 (4/8 施工)	162～164 (155～175)	158～162 (150～170)	153～156 (145～165)	147～150 (140～160)	79～84 (70～90)	37～39 (50 以下)

表－15 施工性調査結果

チェック項目			1 工区	2 工区	3 工区	4 工区
敷きならし時	スコップ作業	作業性	普通	やや軽い・普通	普通	普通
		合材の付着	普通	普通	やや多い	やや多い
	レーキ作業	作業性	普通	普通	普通	普通
		合材の付着	普通	普通	やや多い	普通
	フィニッシャによる敷ならし面の状態	引きずり	無し	無し	無し	無し
		ヘアクラック	無し	無し	無し	無し
		気泡	無し	無し	無し	無し
		材料の分離	無し	無し	無し	無し
転圧時	ヘアクラックの発生		無し	無し	無し	無し
	アスファルトのにじみ出し		無し	無し	無し	無し
	アスファルトモルタルの塊の発生		無し	無し	無し	無し
	骨材の割れの発生		無し	無し	無し	無し
	表面のキメ		やや細かい	やや細かい	やや細かい	普通

の塊、骨材の割れの発生などが無く良好であった。

表面のキメについては、1 工区～3 工区はやや細かく、4 工区は普通であった。

以上のことから、高針入度アスファルト150～200および200～300を使用した再生密粒度混合物(13)の施工性は、一般的な再生密粒度混合物(13)(新アスファルト40～60)や新規の密粒度混合物(13)(ストレートアスファルト40～60)と同等であることが確認できた。

6. 施工後の路面性状調査結果

施工完了後から約二ヶ月半経過した6月23日に路面性状調査(平たん性、わだち掘れ、ひび割れ)、FWDによるたわみ量調査、すべり抵抗値、CTメータによるきめ深さを調査した。調査結果は、表－16に示すとおりである。各工区とも路面性状、FWDによるたわみ量調査、すべり抵抗値、CTメータによるきめ深さともほぼ同程度であった。

7. まとめ

得られた結果は、以下のとおりである。

(1) 試験舗装箇所の交通量、舗装構造

大型車交通量上り89台/日、下り112台/日と同程度であった。

各工区とも舗装構造およびCBRは、ほぼ同程度であった。

(2) 再生合材の配合設計

①高針入度アスファルトを用いて製造した再生合材の品質は、再生用添加剤を用いた再生合材と同等であった。

②設計針入度への調整を新アスファルトで行う方法による再生骨材配合率の決定は、旧アスファルトの針入度と新アスファルトの針入度を結んだ線から設計針入度50となる新旧アスファルトの配合比率を求めるA法と旧アスファルトと新アスファルトを混合した再生アスファルトの針入度を実測

表－16 施工後（6月調査）の路面性状調査結果

路面性状等	1 工区		2 工区		3 工区		4 工区		各工区の n
	上り	下り	上り	下り	上り	下り	上り	下り	
最大わだち掘れ量 (mm)	2.0	1.9	1.7	1.8	1.7	2.1	1.7	1.8	1
ひび割れ率 (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	1
平坦性 (mm)	2.50	2.51	1.85	2.15	2.48	2.14	1.98	2.15	1
FWD による 最大たわみ量 (μm)	430	660	387	552	423	587	452	591	6
DFT による 動的摩擦係数 (60km/h)	0.47	0.46	0.47	0.48	0.46	0.45	0.43	0.43	1
すべり抵抗値 BPN	67	64	70	69	65	67	69	70	1
CTメータによる きめ深さ MPD (mm)	0.34	0.36	0.39	0.41	0.44	0.42	0.37	0.29	1

する方法であるB法の2種類で検討した。A法とB法で再生骨材配合率が異なることが把握できた。A法による場合が、再生骨材配合率がやや大きい傾向であった。針入度を実測するB法のほうがより正確な方法であると考えられる。

- ③設計針入度への調整を新アスファルトで行う方法と設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う方法では、設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う方法の場合に再生骨材配合率が少なくなる結果であったが、この原因については、今後の課題と考えている。

(3) 試験舗装時の品質管理試験等

試験舗装時の各工区の基準密度、締固め度、抽出・ふるい分け試験、舗装厚、温度管理、平坦性は、基準値を満たしていた。また、高針入度アスファルト150～200および200～300を使用した再生密粒度混合物(13)の施工性は、一般的な再生密粒度混合物(13)(新アスファルト40～60)や新規の密粒度混合物(13)(ストレートアスファルト40～60)と同等であることが確認できた。

(4) 施工直後の路面性状調査

各工区とも路面性状、FWDによるたわみ量調査、すべり抵抗値、CTメータによるきめ深さともほぼ同程度であった。

以上から再生合材への高針入度アスファルトの適用は、可能性があると考えられる。

8. あとがき

本報告では、高針入度のアスファルトの適用性の検証に向けた取り組みとして実施した現道での試験舗装における施工時の品質・出来形管理、施工直後のバインダー性状、混合物性状および路面性状の調査結果について報告した。今後の供用後の追跡調査、室内試験による促進劣化試験等の検討結果を含めて総合的に高針入度アスファルトの適用性を検証して行く予定である。試験舗装にあたっては、東京都西多摩建設事務所補修課、青梅工区、道路管理部保全課他多くの方々のご協力を頂いたことに感謝いたします。

—— 参考文献 ——

- 1) 佐々木 巖, 峰岸 順一, 荒尾 慶文: 舗装材料の再生利用拡大の現状と高針入度アスファルトの活用に向けて, 平25.アスファルト Vol.56, No.229, pp.43～48, 2013.12
- 2) 加納 孝志, 新田 弘之, 佐々木 巖, 西崎 到, 久保 和幸: 繰返し再生を考慮したアスファルト混合物の再生方法に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第14巻, pp.117～122, 2009.12

損傷メカニズムに対応した橋梁レベリング層用混合物の開発

(Development of AC Mixes for Leveling Layers on Concrete Bridge Based on Distress Mechanism)

加藤 亮*

高速道路で顕在化している高性能床版防水工上の舗装早期損傷について、筆者らはレベリング層用混合物と防水工の層間に形成される微細な空洞“Cavity”により発生することを報告している。このCavityは、SMAのようなギャップ粒度の混合物で形成されやすく、反対に連続粒度の混合物では形成されにくいことを証明した。この傾向を軸に室内試験およびフルスケールの促進試験を実施し、新たなレベリング層用混合物の開発を行った。

1. はじめに

東日本高速道路㈱、中日本高速道路㈱および西日本高速道路㈱（以下、「NEXCO」）では、2010年より橋梁部の防水性能、遮塩性能、耐引張・せん断性能、ひび割れ追従性能等についての要求水準を大幅に高めた「高性能床版防水」（以下、「防水工」）を導入している。しかし、供用直後の一部の箇所において、早期損傷が発生している。損傷は写真-1に示すような舗装のポットホールとして顕在化することが多く、この形態の損傷が防水工上で発生している橋面舗装早期損傷の約95%を占めている。筆者は、この損傷は橋梁レベリング層に用いるSMAと防水工との層間に形成される「Cavity」と命名した微細な空洞群が原因であることを証明している^{1, 2)}（図-1）。Cavityの抑制策として、新たな橋梁レベリング層用混合物を開発したので以下に報告する。



写真-1 高性能防水上の舗装損傷¹⁾

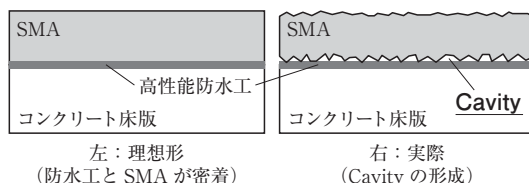


図-1 Cavityの概念図¹⁾

2. 早期損傷のメカニズム

これまでの調査・研究により、舗装の施工継目あるいは伸縮装置や壁高欄地覆と舗装との境界等の鉛直方向の入口から浸入した水がCavityという水平方向の空間に浸入し、夏季の高温と交通荷重が組み合わさると、SMA底面が砂利化し上述のような損傷に至ることが分かった。

また、このCavityは、施工時の雰囲気温度が低温であることや、低温のSMAが舗設された場合に形成されやすい。写真-2左は離型紙を敷いた約15℃の舗

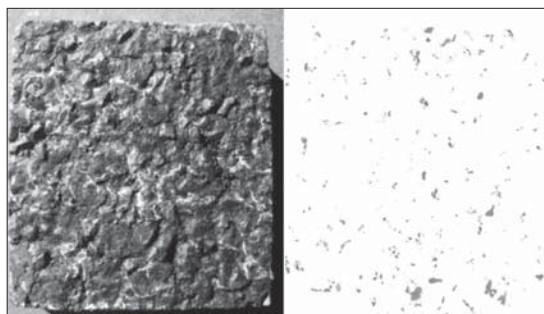


写真-2 左：110℃敷ならしのSMA裏面
右：左写真のSMA底面のスタンプマーク²⁾

*かとう りょう 東日本高速道路株式会社 関東支社 水戸工事事務所

設基面上に実際の舗装用施工機械を用いて110℃の状態に敷ならしたSMAの底面であり、右部はこのSMA底面に赤インクを塗り、紙面に押し当てたスタンプマークである。紙面とSMAが点でしか触れておらず、Cavityが形成されている状態にあることが分かる。さらには、敷ならし時のSMAの内部温度が所定の温度を満足していても、防水工と直接触れるSMAの底面は、舗設基面である舗設直前の防水工面の温度の影響を受け、特に冬季などは著しい温度低下をきたして低密度となりやすく、すなわちCavityが形成されやすい状況にあるという事実も確認している¹⁾。

このメカニズムを踏まえて、橋梁レベリング層用混合物の改良によるCavity抑制を検討することとした。

3. 水密性向上の配合検討

NEXCOがこれまで橋梁レベリング層に用いてきたSMAは、粗骨材が構築する骨格構造により高い耐流動性を得るとともに、間隙部分が微小粒径の骨材と石粉およびアスファルトが一体となった「マスチックアスファルト」により充填されることで密実かつ水密性に優れた性能を発揮するという構造の混合物である。すなわち、マスチックアスファルトの充填状態がSMAの品質に大きく影響する。しかし、このマスチックアスファルトは熱可塑性の混合体であるため、施工温度や転圧方法によって充填具合が大きく左右されてしまう。橋梁レベリング層にこのSMAを用いる場合には、SMAそのものの温度のみならず、舗設基面温度の影響をも受ける。舗設基面に触れるSMAの底面は密実な仕上りとなりにくい条件にあり、特に冬季に橋梁レベリング層のSMA舗設を行う場合などはCavity形成のリスクが高い。従って、Cavityが形成されにくい混合物には温度に依存せず密実な仕上りとなりやすいことが求められる。この性状を得るためには、「骨材の合成粒度が最密充填となる粒度分布であること」が有効であろうと考えた。Fullerによると、多種の粒径の粒状材料で、最大乾燥密度が得られる粒度は式(1)により与えられるとしている³⁾。

$$P = 100 (d/D)^{0.5}$$
 式(1)

ここに P : ふるい目における通過質量百分率 (%),
 d : 任意のふるい目 (mm), D : 最大粒径 (mm)
NEXCOでは混合物の最大粒径は、その混合物を用いる層の厚さの1/2.5以下であることを原則としてい

る⁴⁾。NEXCOにおける橋梁レベリング層の設計厚さは35mm又は40mmである⁴⁾ことから、骨材のトップサイズは13mmが妥当である。式(1)の D に13mmを代入し、各ふるい目における通過質量百分率を算出すると、舗装設計施工指針に示される連続粒度混合物の「密粒度アスファルト混合物(13)」の中央粒度とほぼ一致する粒度となる。また、混合物の仕上り面(表面・裏面)の凹凸(以下、「テクスチャ」)形状への粗骨材量および細骨材・石粉・アスファルトを構成要素と考えた「アスファルトモルタル」の質量割合の影響に着目し、筆者は過年度に「粗粒度」および「アスモル率」という指標を式(2)および式(3)のとおり定義した¹⁾。

粗粒度 =
$$\frac{\Sigma (13.2, 4.75, 2.36 \text{ mm各ふるい累積残留質量百分率})}{100}$$
 式(2)

アスモル率 (%) =
$$\frac{\Sigma (\text{細骨材, 石粉, アスファルトの各質量})}{\text{混合物全質量}} \times 100$$
 式(3)

SMAは表-1に示すとおり粗骨材量が多く粗粒度が大きい。一方、細骨材量は少なくアスモル率が低い。ふるい目0.15mmや0.075mmといった微小粒径材料の通過割合は大きい。この粒度特性が前述の「粗骨材

表-1 試験に供した暫定配合

項目	単位	合成粒度					
		SMA	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
通過質量百分率	19.0	100	100	100	100	100	
	13.2	96.2	97.2	98.1	97.2	97.7	
	4.75	49.6	62.6	74.9	62.6	69.0	
	2.36	33.9	42.4	57.9	43.3	50.3	
	0.6	23.3	26.2	36.0	30.3	31.3	
	0.3	18.6	17.8	24.3	22.5	21.2	
	0.15	11.9	8.8	11.6	12.5	10.5	
	0.075	9.5	5.9	7.6	9.3	7.1	
アスファルト種別	-	改質Ⅱ型					
アスファルト量	%	4.8	5.5	6.7	4.3	5.4	5.8
空隙率		2.4	3.0	3.1	3.6	4.1	3.1
骨材空隙率		13.7	15.8	18.4	13.7	16.5	
飽和度		82.5	81.0	83.2	73.7	75.2	81.2
粗粒度	-	1.20	0.98	0.69	0.97	0.83	
アスモル率	%	36.9	47.7	64.7	47.1	56.2	56.3

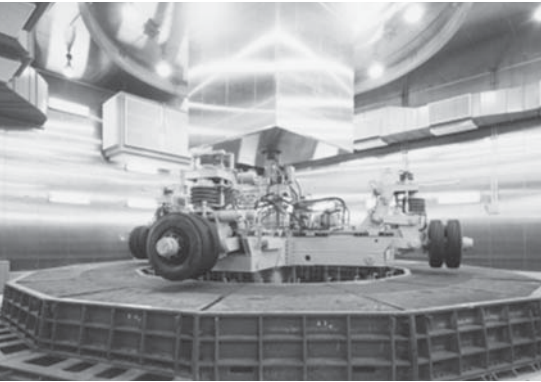
による骨格構造」「間隙部分へのマスティックアスファルトの充填」といった機構を構築している。前述のとおりこの機構は、混合物の仕上り品質の温度や転圧方法への依存度が高い。このことを踏まえ「連続粒度」「低粗粒度」「高アスモル率」に着目し、数種の暫定配合を設定し、室内試験および回転式舗装試験を行い最適配合の抽出を試みた。

4. 試験方法

4.1 試験に供した暫定配合

試験に供した暫定配合を表－1に示す。どの配合もSMAに比べ低粗粒度・高アスモル率で粒度分布が連続的な配合とすることを基本とした。「No.1」は前述の密粒度アスファルト混合物（13）の粒度で、アスファルト量を空隙率3.0%となるように配合したものである。「No.2」は、2.36mmふるい通過量をNo.1よりも約15%増加させ、細粒化させた混合物である。「No.3」は、No.1をベースに、0.6mmふるい通過量を増加させた混合物である。「No.4」および「No.5」はNo.1とNo.2の中間粒度で、空隙率が4.0%となる時のアスファルト量を設計アスファルト量としたものをNo.4、3.0%となるアスファルト量としたものをNo.5とした。

試験は各種の室内試験と、NEXCO 総研が所有する回転式舗装試験機（写真－3）を用いた実物大の舗装供試体上に大型車の車輪を実供用下の荷重で走行させて舗装の耐久性を確認する走行試験（以下、「回転式舗装試験」）を実施した。



写真－3 回転式舗装試験機（NEXCO 総研所有）

4.2 室内試験

室内試験では表－1の各配合について、最適締固め温度168℃で作製した供試体を用いて各種の基本性状試験を実施した。なお、各試験は舗装調査・試験法便

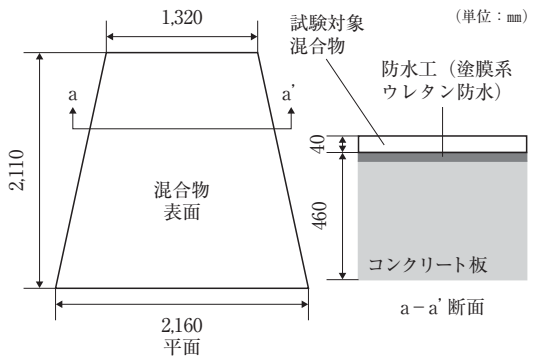
覧に従った⁵⁾。その後、これらの試験の結果が良好であった配合を数種類選出し、「選抜配合」と称して温度依存性確認試験を実施した。この試験は、実際の現場でしばしば直面する低温環境での施工や混合物の温度が低下してしまった状態を再現するべく、120℃および100℃で転圧した供試体を用いて実施した。

4.3 回転式舗装試験

回転式舗装試験においても、配合による耐久性の差を明確に現すために、表－2のとおり、実際の現場で発生しやすい適正な施工温度を下回った状態で供試体を作製した。適温敷ならし・低温転圧の供試体を「供試体A」、敷ならし・転圧共に低温のものを「供試体B」と呼称した。供試体の平面・断面概要を図－2に示す。走行試験は輪荷重2.5t、走行速度80km/hr、散水あり、86万輪までは常温（路面約30℃）、これ以降は高温（路面約60℃）の条件で実施した。

表－2 供試体作製温度

供試体タイプ		各作業温度（℃）	
		敷ならし	転圧
A	適温敷均・低温転圧	170	110
B	低温敷均・転圧	130	100
【参考】通常温度		170	160
舗設基面の温度		10	



図－2 回転式舗装試験用供試体

5. 試験結果

5.1 室内試験結果

(1) 基本性状試験結果

①水密性の確認

水密性の確認は加圧透水試験（0.5MPaで24時間加圧後の10分間透水量）にて行った。NEXCOでは、0.15MPaで24時間加圧後の10分間透水量が 1.0×10^{-7} cm/sec 以下であること基準としている⁶⁾。し

かし、今回の試験では、圧力を0.5MPaとしたこともあり若干の透水が見られた配合もあったが、透水係数は 1.0×10^{-7} cm/sec未満の極微小で、ほぼ不透水とみなせる結果が得られた。以上よりNo.1～5の各配合は、SMAと同等の水密性を有することが確認された。

②耐流動性の確認

NEXCOが橋梁レベリング層用混合物に求める動的安定度の基準値は1000回/mm以上である⁶⁾。ホイールトラッキング試験（以下、「WT試験」）の結果、どの配合もこの基準を満足した（図-3）。なお、No.3は、混合性の困難さから、本試験を含め、以降の対象から除外した。また、No.2はアスファルト量が6.7%と多く、かつ骨材の噛み合わせ効果による耐流動性に寄与する粗骨材の割合が少ない配合であることから、基準値近傍の値として現れたものと考えられる。これにより、以降の試験対象から除外することとした。

③施工性の確認

施工性を締固めやすさと捕らえ、ジャイレトリー試験機により、各配合の混合物が50mmの厚さに締め固まるまでに要したジャイレトリー回転数が少ないほど施工性が良い配合と評価することとした。転圧温度は最適締固め温度の168℃とした。試験結果を図-4に示す。No.5は回転数が最も少ないという結果であったので、締固めやすい施工性の良い配合であるといえる。

④混合物裏面のテクスチャ確認

今回の研究において混合物裏面のテクスチャは、Cavity形成に直接的に関係するものとして特に重要なものである。WT試験用供試体を20℃とした型枠を用いて、混合物内部温度168℃（最適締固め温度）にて4枚作製した。そして、これを裏返した状態で正方配置にしてCTメータにて混合物裏面のテクスチャを測定し、MPDで図-5のとおり整理した。No.1, No.4, No.5は0.2mm前後で僅差であった。SMAは値が突出しており他の配合に比べて粗面に仕上がることが定量的に確認された。

この結果は、No.1, No.4, No.5のような連続粒度ゆえの密実構造の構築という形態の混合物が優位であったことを示したものといえる。以上の基本性状試験の結果から、No.1, 4, 5を選抜配合とし、比較用にSMAを加えて温度依存性確認試験に供することとした。

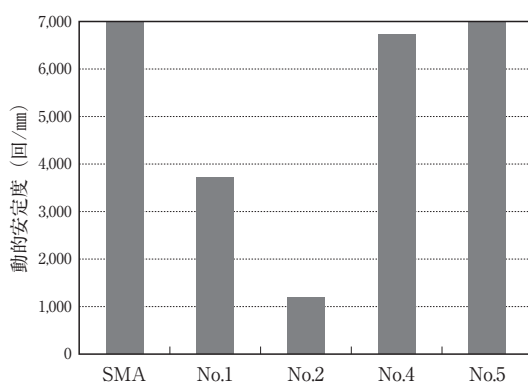


図-3 WT試験結果

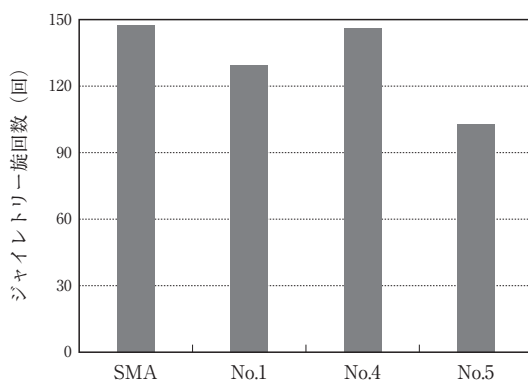


図-4 施工性確認試験結果

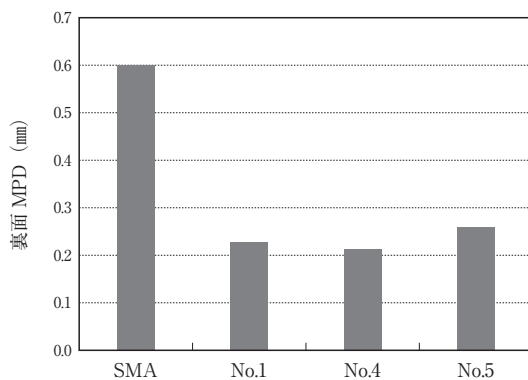


図-5 混合物裏面のMPD

(2) 温度依存性確認試験結果

①混合物表面テクスチャ形状の温度依存性確認

図-6に供試体作製時の転圧温度と混合物裏面のMPDの関係を示す。どの配合も転圧温度の低下に伴い、MPDが概ね大きくなる傾向を示した。No.5のMPDは、転圧温度による変化が小さく、かつ100℃という極めて低温な転圧条件であっても、最小水準

の値を示した。

前述のとおり、選抜配合は骨材自体で密実な充填が得られる合成粒度を有しており、マスチックアスファルトの流動性への依存度が低い。これらの特性が転圧温度の混合物裏面テクスチャ形状への影響として現れたものと思われる。

②施工性の温度依存性確認

図-7に供試体作製時の転圧温度と施工性（ジャイレトリー旋回数）の関係を示す。選抜配合は、SMAに比べて旋回数が少なく、また転圧温度の低下による回数の変化も小さい。今回の試験対象配合の中では、100℃および120℃転圧においては僅差であったが、どの転圧温度においてもNo.5が最も締固めやすい性状を示した。

図-6の考察と同様に、選抜配合は骨材自体で密実な充填が得られる合成粒度を有しているため、マスチックアスファルトの流動性に依存せず、すなわち転圧温度の条件に左右されない施工性を発揮したものと考えられる。

③疲労抵抗性の温度依存性確認

供試体作製時の転圧温度と曲げ疲労試験で供試体が破壊に至った繰返し曲げ回数（以下、「破壊回数」）の関係を図-8に示す。SMA以外の配合の混合物は転圧温度の変化による破壊回数の変化がほとんど無いという結果を示した。中でもNo.5については、どの転圧温度においても破壊回数が最も大きく、かつ転圧温度低下の影響も受けないという結果であった。

選抜配合の優位性は、供試体作製温度への依存度が小さく、骨材が隙間なく詰まった密実な構造を有していることが起因となり、繰返し荷重が作用しても混合物中の骨材の動きが小さく、高耐久な結果を示したものと推察する。

(3) 室内試験のまとめ

選抜配合は水密性や耐流動性はSMAと同等であるが、混合物裏面のテクスチャが小さくCavityの形成抑制に効果的であることが確認された。また、選抜配合は温度依存性が低く、しばしば実際の現場で直面するような低温条件であっても各種性状の低下度合いが小さいことが確認された。中でも「No.5」は、各試験において良好な結果を示した。

5.2 回転式舗装試験結果

図-9は、走行試験に先立ち混合物表面に試験治具を貼付けて実施した建研式引張接着試験⁷⁾の内、供

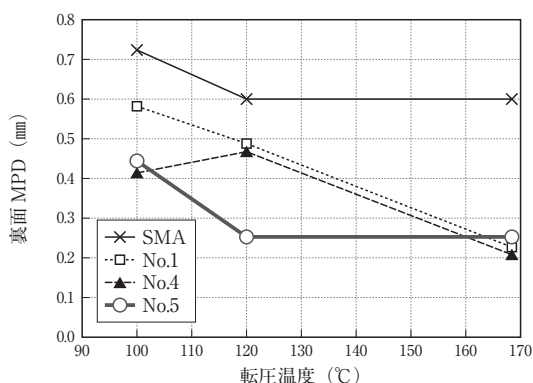


図-6 混合物裏面MPDの温度依存性

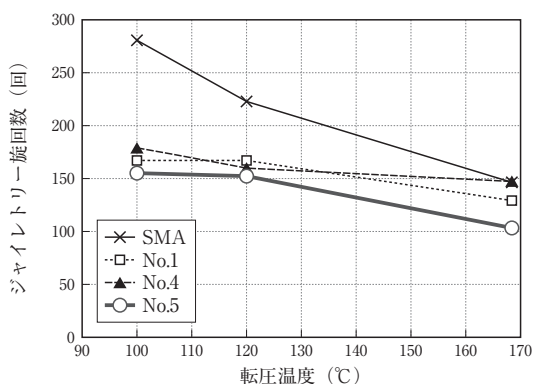


図-7 施工性の温度依存性

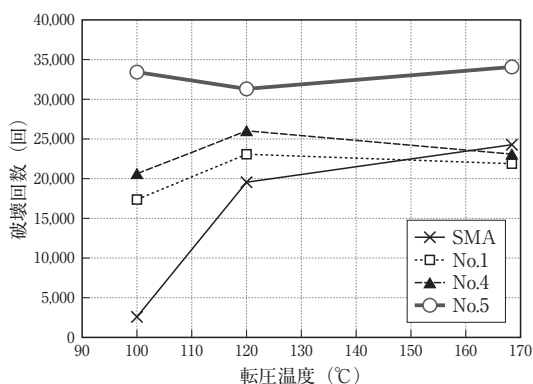


図-8 疲労耐久性の温度依存性

試体B（低温敷ならしかつ低温転圧で作製した供試体）についての結果である。NEXCO構造物施工管理要領では、23℃での強度に換算したものが0.6MPa以上であることを求めている⁸⁾。SMAは他の配合に比べて著しく平均引張接着強度が低く、かつ変動係数も大きい。また、破断箇所は全てが防水工とSMAの界面であった。低温条件で作製されたSMAは他の配合

に比べて防水工との接着が脆弱であることが確認された。なお、各配合の供試体 A（適温敷ならしかつ低温転圧で作製した供試体）について実施した同じ試験の結果は、どの配合も基準強度 0.6MPa を満足すると共に、配合毎の強度や変動係数の差も微小であったことから、SMA は低温条件で作製された場合、他の配合に比べて防水工との接着状態が低下しやすく、かつ接着状態のバラツキも大きくなることが確認された。

図-10 は、各供試体への走行通過輪数と路面のわだち掘れ量の関係を示している。適温で施工した供試体 A については、配合の違いに伴うわだち掘れ量の差は殆ど確認されなかった。しかし、供試体作製温度を低くした供試体 B のグループを見ると、SMA のみが顕著に大きなわだち掘れを示した。

SMA は 141.3 万輪通過時点で、骨材とアスファルトが剥離し砂利状になって大きく飛散し、以降の試験続行が不可能となった（写真-4）。実際の損傷現場でもこれと同様の SMA の砂利化が確認されており、本試験では現場で発生している破壊状態を再現できたといえる。SMA は供試体作製時の温度が低温であった場合、粗骨材が作る骨格構造とその間隙をマシチックアスファルトが充填する形態が実現されにくく、混合物自身の性能が低下するとともに、防水工との接着状態も著しく不良となることが本試験からも確認された。一方、SMA 以外の配合については、供試体 B に

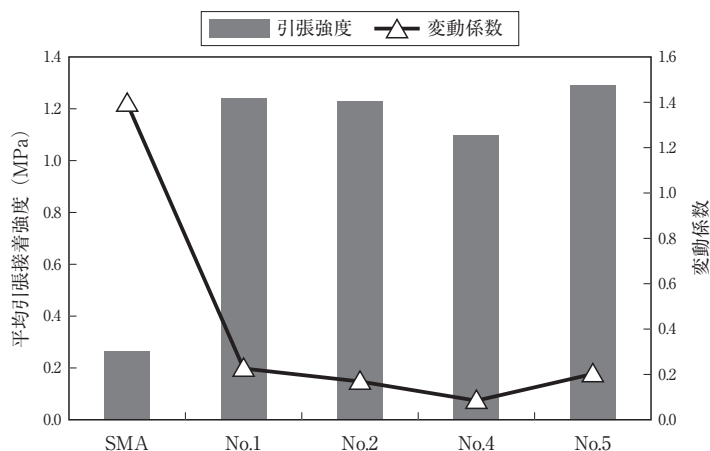


図-9 供試体 B の引張接着試験結果 (23℃ 換算)

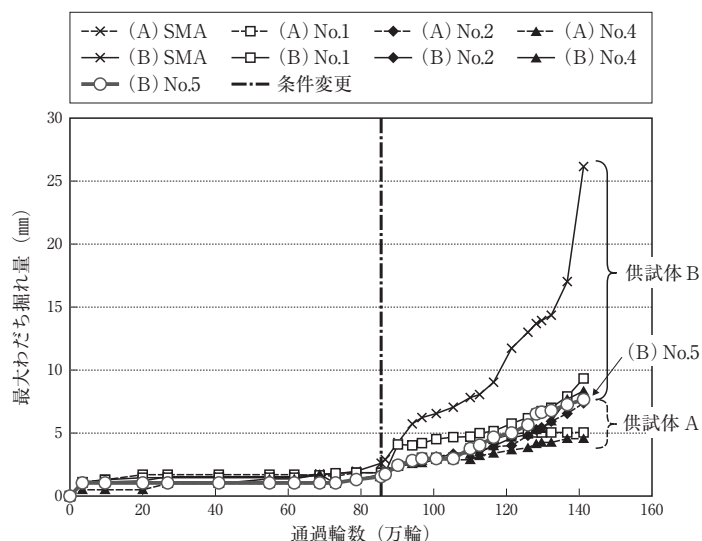


図-10 回転式舗装試験結果

についても著しい品質低下は見られなかった。僅差ではあるが No.5（写真-5）はわだち掘れ量が最も小さく優秀な結果を示した。



写真-4 141.3万輪走行後のSMA 供試体

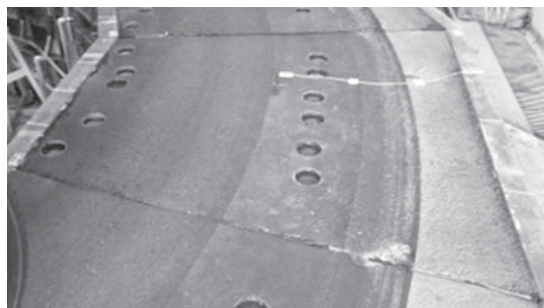


写真-5 141.3万輪走行後の配合No.5 供試体

6. まとめ

筆者らは「橋梁レベリング層用混合物と防水工との接着」に着目して数多くの現場を調査し、また各種室内試験を実施して高性能床版防水上の舗装早期損傷の多くがCavityに起因することを証明し過年度に報告をした¹⁾。この過程において、損傷抑制対策は防水工の対応・改良のみならず、混合物の改良も併せて行うことにより真に効果的なものとなると考えるに至った。そして、防水工に携わる方々と協同し新たな混合物の研究を進めてきた。この際、問題の解決に直接的に寄与することは当然のこと、「実際の現場における施工条件の変化に柔軟に対応できるもの」「仕上がり物の品質が、現場条件に左右され難いこと」を意識し新たな混合物の開発を行ってきた。

室内試験からは、粗骨材が作る骨格構造の間隙にマスチックアスファルトが充填されることにより密実な構造が構築されるSMAに対して、低粗粒度・高アスモル率で連続粒度の選抜配合は、骨材自体で密実な構

造を構築することからマスチックアスファルトの流動性に依存せず、温度による影響を受けにくい特性を示すことが分かった。

回転式舗装試験からも、SMAは供試体作製時の温度の影響を受けやすく、逆にSMAに比べ低粗粒度・高アスモル率で連続粒度の試験対象配合は、防水工との接着状態や実供用に近い条件下での耐久性が供試体作製時の温度に左右されにくいということが確認された。

以上の結果、「No.5」が最も優秀であるという結論に至った。この配合の混合物は、Cavity形成の抑制に寄与し高性能床版防水に適合するとともに、実際の現場でしばしば直面する低温環境での舗設や、混合物の温度低下といった施工条件の変化に対しても過敏に反応することなく、安定した性状を保つものであることが確認された。今後、このNo.5をNEXCOの新たな橋梁レベリング層用混合物として標準化すべく、必要な準備を進めて行きたい。

— 参考文献 —

- 1) 加藤亮, 佐藤正和, 神谷恵三: 高性能床版防水工に適合した橋梁レベリング層用混合物に関する研究, 土木学会論文集E1 (舗装工学), Vol.69, No.3 (舗装工学論文集第18巻), pp.I-87-I-94, 2013
- 2) 加藤亮, 佐藤正和, 神谷恵三: 床版防水工との接着状態に着目した橋梁レベリング層用混合物に関する研究, 舗装, Vol.49.3, pp4-10, 2014
- 3) アスファルト舗装講座Ⅱ, 日瀝化学工業, pp.226-230, 1978
- 4) 設計要領第一集舗装編, 東・中・西日本高速道路(株), 2013
- 5) 舗装調査・試験法便覧, 日本道路協会, 2007.7
- 6) 舗装施工管理要領, 東・中・西日本高速道路(株), 2013
- 7) 日本道路協会 道路橋床版防水便覧, pp.128-131, 2007
- 8) 構造物施工管理要領, 東・中・西日本高速道路(株), pp.2-298-2-321, 2013

国際アスファルト舗装会議 (ISAP2014) の報告

(Report on International Society for Asphalt Pavements in Raleigh in 2014)

神谷 恵三*

2014年6月2日(月)から4日間にわたって開催されたISAP2014の報告を行うものである。会議のテーマは、ISAP 2010名古屋大会よりも細分化しているが、昨今の動向を表していると思われる。供用性に関するテーマが重視されていく傾向にあるので、今後の研究は産官学の連携が重要性を増していくと思われる。

1. はじめに

ISAPで称される国際アスファルト舗装会議は1962年のミシガン大学において、第1回会議が開催されている。以降4年ごとに、最新のアスファルト舗装技術が紹介されている。組織の運営事務局委員は、アスファルト舗装に係る諸外国の教授や専門家で構成されており、伝統的に学術性の高い論文が発表されている。

今回の開催地となった米国ノースキャロライナ州のローリー大会においては、35カ国から181編の発表論文、並びに29編の一般ポスター論文と19編の学生ポスター論文が公開された。筆者は論文発表の機会を得たので、今回の会議に出席することができた。以下には、本会議で得た私見をご報告する。

2. 会議のテーマ

4年前にアジア初の開催地に選定されたISAP Nagoyaでは、従来の材料や構造設計に加えて環境や

施工技術という分野まで包括している。ISAP Nagoyaに比べると、今回の総論文数はやや少ないが、論文テーマ区分の増加が見られる(表-1)。しかし、これはテーマを細分化しているという見方もできる。ここでは、持続性、リサイクル、そして長期耐久性というテーマから、昨今の動向を表しているといえる。

表-1 論文テーマの比較

ISAP Nagoya 2010	ISAP Raleigh 2014
環境と安全、構造と路面設計 材料、施工技術、マネジメント ローコスト施工、革新技術	解析、試験、環境、持続性 社会経済、リサイクル、施工 モデル、長期供用性
(7区分)	(9区分)

3. セッションの報告

今回の会議セッションの一覧を、表-2に示す。毎朝の基調講演の後、5～6テーマのセッションが同時進行されるようになっている。

表-2 会議セッション

開催日	基調講演	セッション
6月2日 (月)	基調講演Ⅰ【設計】 “力学-経験則による舗装設計手法：課題と挑戦”	環境保護 改質材Ⅰ 維持修繕Ⅰ AS材料Ⅰ LCC/モデル
		永久舗装 PMS 改質材Ⅱ AS技術Ⅰ AS材料Ⅱ モデルと施工
		非破壊試験 現場評価 マイクロAS材料Ⅰ 長期供用性Ⅰ AS材料Ⅲ モデルと施工
6月3日 (火)	基調講演Ⅱ【材料】 “バインダー化学性状とマイクロ構造の関係”	配合設計 中温化Ⅰ 革新的設計Ⅰ 動的計測Ⅰ AS材料Ⅳ
		改質材Ⅲ マイクロAS材料Ⅱ AS材料Ⅴ リサイクルⅠ
6月4日 (水)	基調講演Ⅲ【施工】 “試験変動の許容誤差 - 施工方法に及ぼす影響”	舗装モデル 動的計測Ⅱ リサイクルⅡ 中温化Ⅱ AS材料Ⅵ
		改質材Ⅳ マイクロ性状 持続性Ⅱ 長期供用性Ⅱ AS材料Ⅶ
		改質材Ⅴ 革新的設計Ⅱ 維持修繕Ⅱ リサイクルⅢ AS材料Ⅷ
6月5日 (木)	基調講演Ⅳ【保全】 “添加剤の利便性と挑戦”	改質材Ⅵ マイクロAS材料Ⅲ 舗装と環境 パフォーマンス仕様 AS材料Ⅸ

*かみや けいぞう 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究担当部長

基調講演のテーマは、AASHTO 舗装設計手法の経緯、アスファルトバインダーの化学性状、試験変動の施工への影響、添加剤という聴講者への関心を固定しないものであった。

各90分の一般セッションは同時進行されるので、聴講者は発表時間に合わせて会場を出入りせねばならない。神谷が出席したセッションの中から、いくつかの論文をご紹介したい。

3.1 LCC モデル

アスファルト混合物の力学性状と性能は、適切な配合設計により大幅に改善できることが判明した。新しく開発したDAアスファルトは、23年のコンセッション事業に採用することになったが、解析により従来のAS層厚さ28cmを18cmに低減できる結果が得られた。(論文番号 #1003, Germany)

以上はドイツからの報告であるが、10cmのAS層厚の低減を実路において果たして実施できるか否かは定かではない。これは理論法と経験則の乖離の1つである。

3.2 永久舗装

2001年～2007年の研究から、表面処理材料の開発により供用寿命を30年以上に延ばせること、室内試験と促進載荷試験によりエポアスと高耐久セメント材の有効性を見出すことができた。本文はエポアス舗装の計画から施工、モニタリングを示すと共に施工方法や配合設計の知見を得ることが出来た。(＃816, UK)

NZ交通省では、30年以上の長寿命材料の開発を目指して、エポアスを使用した薄層のポーラス舗装(OGPA)に取り組んでいる。混合物の凝着性状、酸化抵抗性等の室内試験、フルスケール促進試験を経て、実路での試験施工を実施している。6年の供用性観測から、当該材料の有用性を確認している。(＃1103, NZ)

両発表ともに30年以上の長寿命を目指しているようであるが、表面処理または薄層のポーラス材料を視野にいれている。日本ではとても実現できそうに思えないが、これは1車線あたりの軸重が日本よりも遥かに軽いからであるに違いないと、筆者はいつも考察している。

3.3 配合設計

フルデプスの補修設計に際して、安定処理路盤の採用は有効である。この路盤材料の既往の配合設計では一軸圧縮強度を活用しているが、Gyratory Compactorの活用とその作製供試体の圧劣強度を配合設計に採用している。18種類のセメント安定処理材料から、両者には強い相関を確認した。(＃917, Pen State Univ.

USA)

Gyratoryをセメント安定処理の強度管理に使用する試みは興味深いが、汎用的であるかは疑問である。

3.4 リサイクル

施工性の定量化につき、AS供試体のミキサーパドルに作用するトルクの測定方法を提案した。本文では再生、中温化、通常混合物を対象として、室内トルク値と現場での施工性を比較した。(＃1098, USA)

この論文発表者は、トルクの増加と共に、施工トルク量も増大することを報告していた(写真-1)。これは、一般に言われていることであるが、施工性を数値化する試みは貴重である。しかしながら、再生材に対して添加剤を投入したか否かは定かではない。

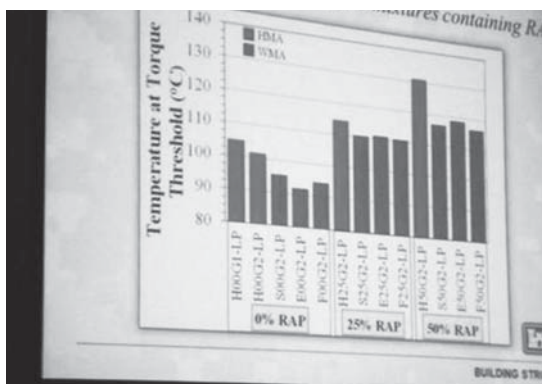


写真-1 再生骨材量と等トルク温度の関係

3.5 材料

ジオテキ材料の不透水効果を評価するために、排水性舗装と密粒度舗装の表層直下にこれを採用する室内試験を試みた。乾燥状態と湿潤状態におけるジオテキを含めた中間材料のせん断強度を比較した結果、長期的な不透水性能を確認した。(＃1088, Italy)

ジオテキの効果はあると思えるが、この高価な材料を車線全面で使用されるのか否かは疑問である。局部使用の場合には、周囲から水の浸入が予想されるが、これを試験条件に取り入れたとは思えない。

3.6 現場評価

補修前後のIRI比較から、施工後のIRIが必ずしも小さくなるとは限らないことを確認した。また、路面の平坦性確保は、施工前の事前測量に寄らず、AS合材敷きならしオペレーターの経験によるところが大きいことを証明した。(＃1159, 神谷発表)

これは筆者の発表であるが、当該セッションの中では最も多くの質問を受けた。同一工事の中で、使用材料



写真-2 会議会場 (Raleigh Convention Center)



写真-3 広い歩道とバス停留所



写真-4 ホテル近郊の住宅街



写真-5 朝の渋滞 (Interstate 40)

と機材が同一であるにも拘わらず、熟練者と若手オペの間で平坦性仕上げに明確な差が生じたからである。前者はIRIを大幅に改善させた一方、後者のIRIは補修前後ではほぼ変わらない結果であった。平坦性は補修工事により改善されるという一般認識から、このような調査をされた事例は殆ど無かったものと思われる。

4. おわりに

国際会議に出席した際、しばしば感じることであるが、理論に偏り過ぎの論文や、施工および供用時の現場の実情を軽視する発表に遭遇してしまう。また、現場の再現性を考慮した研究であっても、再現が比較的容易な耐流動性の評価に固執している報告も見受けられる。あるいは、ひび割れや劣化に言及した発表においても、既往の評価試験方法をそのまま当てはめている場合もある。

今回筆者が発表したテーマは、補修工事により平坦性は必ずしも改善されるとは限らないという既往の認識を覆すものであった。これは、乗り心地改善を

強く求められる日本の高速道路ならではのニーズから確認された知見である。このように、エンドユーザーの視点で道路管理者から研究ニーズを立ち上げて行く場合には、まだ多くのテーマが残されているように思われる。

冒頭で申し上げたように、今後は環境をはじめとした供用性に関するテーマが重要性を増していく傾向にある。この意味では、理論・現場の再現性・エンドユーザーの視点という三位一体のアプローチが必要となる。これは、すなわち産官学の連携そのものを意味すると共に、研究においては常に三者の役割分担を適切に行うことの重要性を示唆している。

さいごに、開催地周辺の写真をご紹介します。日本とは異なり、歩道や生活空間の広さを満喫できることは、海外出張の大きな恩恵である。このような土地に生活の拠点を置く米国の方々が指摘する交通渋滞のレベルは、日本よりも遥かに厳しいのかも知れない。しかし、道路舗装の補修工事をする際には、日本よりも遥かに制約が少ないように思われる。

SMAにおけるマスチックモルタルや 骨格構造に関する近年の研究動向について — 海外の研究報文から — 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」 — SMAについて —

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、海外資料輪読を中心にアスファルトに関する勉強会を重ねてきております。今回は、碎石マスチックアスファルト(SMA)と呼ばれる舗装材料について、Q&Aならびに海外報文の調査結果を報告します。

SMAの基本事項を整理するなかで、粗骨材の骨格構造とマスチックモルタルの機能が重要であることわかりました。そこで、近年アジアで開催された国際会議

で発表された数多くの論文の中から、特に骨材骨格とモルタル分を形成するフィラーに関する研究報告を抽出選定して紹介します。

質問コーナーは、若手技術者が抱く素朴な疑問について、資料調査結果をもとに研究グループ内で議論した結果を整理したものです。SMAについて勉強してきた成果を、歴史背景、材料の特徴、配合設計をはじめとした5件のQ&Aにとりまとめて報告します。

(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 (独) 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
平川一成* (独) 土木研究所道路技術研究グループ
岩塚浩二 (株) パスコ インフラマネジメント事業部
神下竜三 鹿島道路(株)技術研究所
川上 聖 日本道路(株)技術研究所
菅航太郎 鹿島道路(株)技術研究所
木田和信 日本道路(株)技術研究所
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
庄嶋芳草 西日本地研(株)営業設計課
辻本陽子 (独) 土木研究所材料資源研究グループ

永塚竜也 ニチレキ(株)道路エンジニアリング部
朴 希真 日本道路(株)技術研究所
細木 渉 ニチレキ(株)技術研究所
宮澤 哲 前田道路(株)技術研究所
村井宏美 世紀東急工業(株)技術研究所
森石一志 大林道路(株)技術研究所
渡邊真一 (株) NIPPO 技術研究所
市岡孝夫** 前田道路(株)工務部
加納孝志** 大成ロテック(株)技術研究所
鎌田 修** 鹿島道路(株)技術研究所

*) 班長, **) アドバイザ (2014年10月現在)

SMAにおけるマスチックモルタルや骨格構造に関する 近年の研究動向について

平 川 一 成
朴 希 眞

小 林 真 依
細 木 渉

庄 嶋 芳 卓
渡 邊 真 一

1. 紹介する研究報告

SMA と呼ばれる混合物は、「舗装施工便覧」（日本道路協会）では“砕石マスチック混合物”と表記され、日本道路建設業協会のウェブサイトでは“砕石マスチックアスファルト舗装”と表記される。ここでは名称に関する議論はせず、SMA と総称することとする。この混合物は、1960年代ドイツで開発されて以降、耐久性に優れる、路面性状に優れるといった観点から徐々に広まり、我が国においても、高速道路や国道などで適用事例が広まっている。従前は若手舗装技術者にとってSMAは“比較的特殊な混合物”であったが、近年ではその普及に伴って国際会議でのSMAに関する論文が散見されるようになってきている。

研究グループでは、SMAの特徴的な要素、すなわち骨材骨格並びにマスチックモルタルに着目し、これらが混合物性状に与える影響について調査を行った。本稿では、近年アジアで開催された国際会議で発表された論文の中から特に骨材骨格やモルタル分を形成するフィラーに関する研究について紹介する。

1.1 SMAに用いるフィラーに関する研究事例

SMAに用いるフィラーについて表-1に示す3編の論文を紹介する。それぞれの論文を以下に概説する。

- (1) フィラーがアスファルトマスチックの特性に与える影響について
粒度や基本性状が異なる複数のフィラーを用いてア

スファルトマスチックの性状試験を実施している。特に走査電子顕微鏡を用いて、各フィラーの粒子表面を観察し、その違いがアスファルトマスチックの性状に影響を与えていると結論付けている。

(2) 消石灰を用いたSMAの耐久性に関する検討

消石灰および脂肪酸アミンを添加したSMA舗装について供用12年間に毎年継続して実施した追跡調査結果を報告している。骨材にドロマイトや石英質骨材を使うことで良好な経過が得られている。

- (3) 鉱物繊維（AMBS）を用いたSMA混合物特性について
建設副産物をリサイクルした、粉末状のシリカミネラルの界面活性剤をSMAのフィラーとして使用した場合の混合物性状について報告されている。

1.2 SMAの骨材骨格に関する研究事例

SMAの骨格構造について表-2に示す3編の論文を紹介する。それぞれの論文を以下に概説する。

- (1) SMAとポーラスアスファルト混合物の力学的挙動に関する研究
タイの国内規格を参照した室内混合物性状やタイの気候環境下でのSMA混合物やポーラスアスファルト混合物の耐久性や供用性について報告している。
- (2) 破碎によるSMAの骨格構造の変化に関する研究
骨材の破碎試験で得られたSMAの細粒化特性と供用中のSMA路面の粒度調査から、SMAの耐久性には粒径4.75mmの骨材が寄与していると報告されている。

表-1 SMAに用いるフィラー分に関する研究事例

会議名	タイトル（上段：原題、下段：和題）	筆者発表国
ICPT2011	Effects of filler characteristics on properties of asphalt-filler mastic	ZULKATI, Anggraini
	フィラーがアスファルトマスチックの特性に与える影響について	シンガポール
5th E&E	Durability of SMA Pavement with Hydrated Lime Additive	Grezegorz, Mazurek
	消石灰を用いたSMAの耐久性に関する検討	ポーランド
ISAP シンポジウム 2012	Performance research of Activated Mineral Binder Stabilizer in SMA mixture	Aifang Li
	鉱物繊維（AMBS）を用いたSMA混合物特性について	中国

表－2 SMAの骨材骨格に関する研究事例

会議名	タイトル（上段：原題，下段：和題）	筆者発表国
ICPT2011	Mechanical performance of the asphaltic concrete mixtures: the stone mastic asphalt and porous asphalt case studies	Brahmajaree, Nawapol
	SMAとポーラス混合物の力学的挙動に関する研究	タイ
ISAPシンポジウム2013	Degradation Behaviour Characterization of SMA Skeleton for Recycling Purpose	Tao Ma
	破砕によるSMAの骨格構造の変化に関する研究	中国
ISAPシンポジウム2014	Gradation Design of the Aggregate Skeleton of Asphalt Mixtures	Yongli Zhao
	骨材骨格に着目したアスファルト混合物の粒度設計に関する検討	中国

(3) 骨材骨格に着目したアスファルト混合物の粒度設計に関する検討

骨材を実際とは異なる球体モデルと仮定し、接点数が多くなるような粒度について理論解析を行った結果、得られた粒度は、対流動性に優れるSMAの粒度に類似したと報告されている。

2. 我が国におけるフィラーや骨材粒度

2.1 我が国におけるフィラー

日本国内でフィラーというと石灰岩やその他の岩石を粉砕した石粉が一般的である。また、表－3に示すように石灰岩を粉砕した石粉には粒度規格があり、舗装施工便覧（（社）日本道路協会）には、水分量1.0%以下のものを使用することが記載されているほか、表－4の示すように、石灰岩以外の岩石を粉砕した石粉やフライアッシュをフィラーとして使用する場合の目標値が記載されている。

今回取り上げた3編では、SMAの混合物性状、あるいは供用性能は良好な結果が得られており、今後のSMA

におけるフィラー分を検討する上で有益であると考える。

2.2 我が国におけるSMAの粒度範囲

現在、我が国のSMA混合物の粒度範囲は舗装施工便覧では表層用もしくは基層用として、その一例が記載されている。一方重交通路線である高速道路では、コンクリートもしくはコンポジット舗装の中間層用混合物に施工性が良く、緻密な仕上がり面と十分な水密性を確保しやすい混合物として、SMAⅡ型という名称で粒度範囲が規定されている。また北海道では“排水性舗装のような表面機能と耐久性を持った北海道型SMAとして粒度範囲が規定されている。

このようにSMA混合物は粒度を検討することで、様々な要求性能に対応できる混合物であることから、用途や目的、適用箇所に応じて粒度が定められている。

今回取り上げた論文を集約すると、耐久性向上には接点数が多くなるような粒度が望ましく、また粒径4.75mmの骨材が影響すると読み解くことができる。

表－5には上述の粒度範囲を示す。表の右側にいくにつれ耐流動性より水密性を重視する配合になっている。また13.2mm通過率および0.3mm以下の通過率はほとんど変化がなく、4.75mm通過率の値が大きく変化しているのがわかる。

表－3 石灰岩を粉砕した石粉の粒度規格（JIS A 5008-1995）

ふるい目開き	通過質量百分率（%）
600 μ m	100
150 μ m	90～100
75 μ m	70～100

表－4 石灰岩以外の岩石を粉砕した石粉をフィラーとして使用する場合の目標値（舗装施工便覧より）

項目	目標値
PI	4以下
フロー試験（%）	50以下
吸水膨張率（%）	3以下
剥離試験	1/4以下

表－5 SMAの粒度範囲

ふるい目	通過率（%）			
	舗装施工便覧	北海道	舗装施工便覧	NEXCO
	耐流動性の例	北海道型SMA	水密性の例	SMAⅡ型
19mm	100	100	100	100
13.2mm	95-100	95-100	95-100	95-100
4.75mm	20-40	25-45	30-50	38-55
2.36mm	20-35	20-30	20-35	27-36
0.3mm	10-20	—	13-20	14-21
0.075mm	8-13	8-13	8-13	8-11

3. フィラーがアスファルトマスチックの特性に与える影響について

原題：EFFECTS OF FILLER CHARACTERICS ON PROPERTIES OF ASPHALT-FILLER MASTIC

著者：ZULKATI Anggraini ほか（シンガポール）

所属：School of Civil and Environmental Engineering

3.1 研究概要

本論文では、シンガポールでアスファルト混合物のフィラーとして用いられている消石灰やグラナイト、粘土分として処理されるカオリンといったフィラーをアスファルトマスチックに用いた場合の影響について検討されている。その結果、フィラー分の空隙率、粒子表面形状がアスファルトマスチックへの増粘効果や硬化に大きく寄与していることが報告されている。

3.2 研究方法

(1) 材料

本研究で用いたフィラーはグラナイト・消石灰・カオリンのフィラーの3種類である。これらのフィラーについて、密度などの基本性状、粒度、粒子表面観察を行った。ストレートアスファルトは針入度60/70のシンガポールのSHELL BITUMENのものを使用した。

(2) フィラーアスファルト比

アスファルトマスチックに含まれるフィラー量を示すフィラーアスファルト比は、式(1)に示すようにそれぞれの体積により計算される。本研究では、フィラーアスファルト率が0.06, 0.12, 0.18, 0.24, 0.48のアスファルトマスチックについて検討を行った。

$$\text{フィラーアスファルト比} = \frac{\text{フィラーの体積}}{\text{アスファルトの体積}} \quad \text{式(1)}$$

(3) アスファルトマスチック製造方法

フィラーを24時間100℃で乾燥させた後、150±5℃のアスファルトに所定量のフィラーを加え15分間攪拌混合した。この条件でアスファルトマスチックを製造した場合、アスファルトの熱劣化を抑えることが可能である。

(4) アスファルトマスチック性状試験

アスファルトマスチックの性状試験として軟化点試験 (ASTM D36 06), および粘度試験 (ASTM D4402-06) を行った。

3.3 研究結果

(1) フィラーの性状

①基本性状

表-6に3種類のフィラーの基本性状を示す。

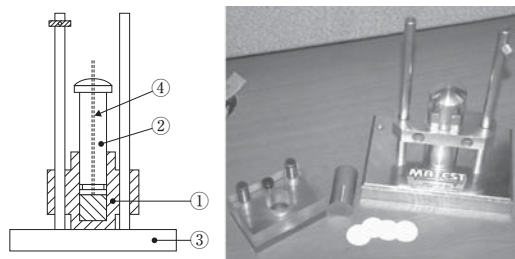
表-6 フィラーの基本性状

フィラー種別	密度 (g/cm ³)	比表面積 (m ² /g)	空隙率* ¹ (%)
グラナイト	2.56	0.758	34
消石灰	2.20	1.210	55
カオリン	2.48	1.110	40

*¹BS 812による

消石灰は密度が小さく、比表面積が大きいことから多孔質な構造をもっているものと想定される。その逆にグラナイトは密実な構造と考えられる。

また、空隙率はBS812に従い、Rigden空隙測定器を用いて乾燥したフィラーを締固めて求めた(図-1)。



①Dropping block ②Plunger ③Base plate ④Tare boring

図-1 Rigden空隙測定器

②粒子径分布

レーザー回折法を用いてフィラーの粒子径分布を測定した結果を図-2に示す。最も微細なサイズを

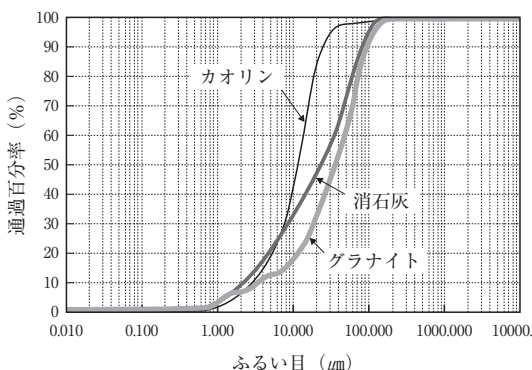


図-2 レーザー回折法によるフィラーの粒子径分布

持つのはカオリンであり、20 μm 以下の粒子径が多い。最も粗いサイズを持つのはグラナイトであり、粒子径75 $\sim$ 5 μm の分布を持つ。消石灰はその中間というより、ややグラナイトに近い分布を持っている。

③粒子表面

図-3に走査電子顕微鏡によって観察されたフィラーの粒子表面を示す。粒子形状はフィラーの骨格構造に大きく影響し、粒子表面の空隙状況や表面の粗さは充填密度やアスファルト吸着に影響する。グラナイトの粒子表面は鋭く角張った形状であり、カオリンは薄片状の板状構造を持つ。そして、消石灰は多孔質な表面を持っている。

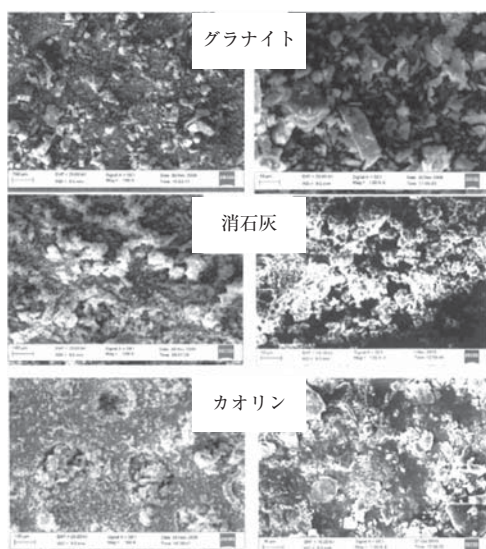


図-3 フィラー粒子表面のSEM像
(左: 遠写, 右: 近写)

(2) マスチック性状試験

①軟化点

図-4にフィラーアスファルト比と軟化点の関係を示す。3種類のマスチックともフィラーアスファルト率の増加に伴って軟化点が増加している。これはフィラーによりアスファルトマスチックが硬化したことを示している。フィラーアスファルト比が高水準(0.18, 0.48)になるとフィラーの種類による影響差が確認され、カオリンを用いた場合に最も硬化した。

②粘度

図-5に135 $^{\circ}\text{C}$ でのマスチックのフィラー比と粘度変化を示す。粘度はフィラーアスファルト率の増

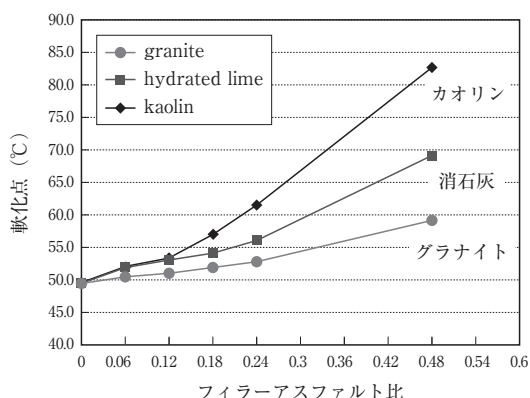


図-4 フィラーアスファルト比と軟化点

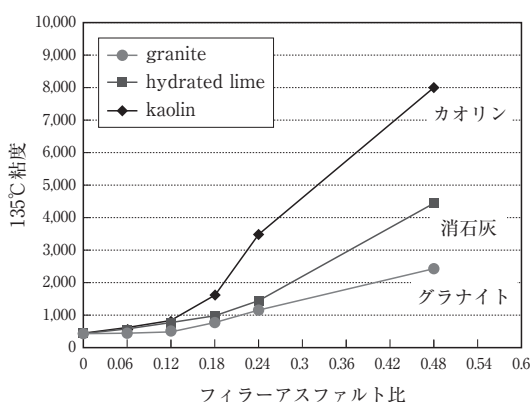


図-5 フィラーアスファルト比と135 $^{\circ}\text{C}$ 粘度

加とともに増大する。軟化点と同じように高水準ではカオリンや消石灰のマスチックはグラナイトのマスチックよりも粘度が大きくなった。

3.4 結論

アスファルトマスチックの特性に影響を及ぼすフィラーの特性としては、空隙率と粒度の表面形状である。

薄板状であるカオリンのマスチックはすべてのフィラーアスファルト比において、軟化点および粘度で3つのマスチックの中で最も高い値を示した。また、鋭く角張った形状を持つグラナイトはカオリンに比べて効果は小さかった。

3.5 翻訳者コメント

本研究はフィラーの粒子形状や空隙率がアスファルトマスチックの補強効果に大きく影響を及ぼしているという知見を得られた報告である。マスチック性状と混合物性状との関係性についても興味があるので、今後の発展的な研究に期待したい。

4. 消石灰を用いたSMAの耐久性に関する検討

原題：DURABILITY OF SMA PAVEMENT WITH HYDRATED LIME ADDITIVE

著者：Grzegorz, Mazurek (ポーランド) 所属：キェルツェ工科大学交通工学科

4.1 研究概要

消石灰および脂肪酸アミン（液体の陰イオン界面活性剤）を添加したSMA舗装の耐久性評価を目的に、室内で配合検討を行い、1999年にポーランドのキェルツェ大通りで試験施工を実施した。

供用12年間に毎年継続して実施した追跡調査から、消石灰を添加したSMA舗装の路面性状やわだち深さは、より良好な結果が得られた。さらに消石灰を添加することでアスファルトバインダーの経年劣化が低減する傾向が確認できた。

4.2 研究内容

(1) 室内配合検討

骨材として用いた石灰石（カルシウムの炭酸塩からなる鉱物）やドロマイト（カルシウム・マグネシウムの炭酸塩からなる石灰石に近い鉱物）を用いることで、アスファルトの結合力を増進させるだけでなく、混合物のすべり抵抗やすりへり抵抗を高め、表層のきめを粗くし、摩擦係数を高める効果が期待できる。SMAの骨材配合率、アスファルト量は、表-7のとおりである。なお、消石灰を添加した配合試験はフィラーを10、20、30、40、50%の割合で置き換えて実施した。

表-7 SMAの配合割合

材料の種類	配合割合 (%)
石灰石のフィラー (充填材)	10
石灰石の細骨材 (0.4mm)	12
ドロマイト (2-6mm)	15
石英質骨材	
粗骨材 (2-6.3mm)	10
粗骨材 (6.3-12.8mm)	53
合計	100
アスファルト量	6.1

室内配合検討では消石灰および脂肪酸アミンのSMAに対する最適添加量を求めた後、わだち深さや凍結融解といった混合物性状について把握した。

(2) 試験施工・追跡調査

室内配合検討で得られた消石灰、脂肪酸アミンを用いたSMA混合物の試験施工を行った。試験施工実施路線の交通量は、100kNの車両が1日1車線当たり

336から1,000台で、舗装構成は路上再生路盤層が20cm、基層が8cm、表層がSMA層4cm、設計期間は20年である。

供用後は追跡調査として、路面目視調査（ひび割れ、路面の荒れ）、路面性状調査（平たん性、わだち掘れ、キメ深さ、滑り抵抗）を毎年実施した。供用12年経過した路面のコアからアスファルト分を回収し、経年劣化の影響を比較した。

4.3 研究結果

(1) 室内配合検討

SMA混合物の脂肪酸アミンの添加量および消石灰を添加する場合の置換率は、配合検討の結果、それぞれ0.2%および30%となった。

SMA混合物の空隙率、吸水率、静的クリープ係数、わだち深さ、耐水性および低温亀裂抵抗は、消石灰の添加量やポリマー改質アスファルトにおけるSBS（スチレンブタジエン系熱可塑性エラストマー）添加量との間で非常に良好な関係であることが確認できた。消石灰およびSBSバインダーの添加量と空隙率の関係を図-6に示す。

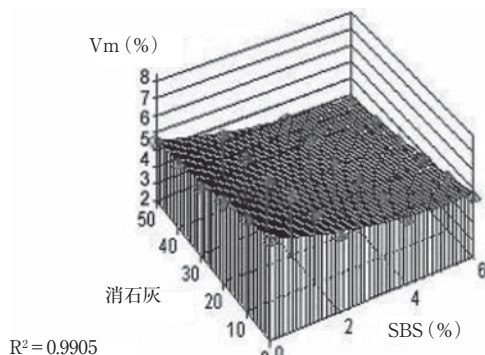


図-6 消石灰およびSBSと空隙率の関係

また、表-8に消石灰または脂肪酸アミンを添加した場合のSMA混合物の特性値を示す。この結果、消石灰は脂肪酸アミンに比べSMA混合物に対する影響力が高いことが確認できた。

(2) 試験施工・追跡調査

消石灰および脂肪酸アミンを添加したSMA舗装は

表－８ SMA の特性値

特性値	消石灰	脂肪酸アミン
添加量 (%)	30	0.2
空隙率 (%)	3.5	3.7
飽和度 (%)	79.2	78.5
水分量 (%)	0.28	0.35
静的クリープ係数 (MPa)	24.8	22.5
間接引張強度 (MPa)	1.46	1.52
最大わだち深さ (mm)	5.1	5.6
PANK 4302 による 低温クラック (MPa)	2.2	3.1
AASHTO T283 による 耐水性 (%)	89.2	86.1
AASHTO T283 による 耐凍結融解性 (%)	79.4	77.8
アスファルト量 (%)	6.1	6.1
SBS ポリマー量 (%)	4.0	4.0

目視により比較した結果、色に違いはあるが表面の粗さなどはほとんど差異はなかった(図－7)。

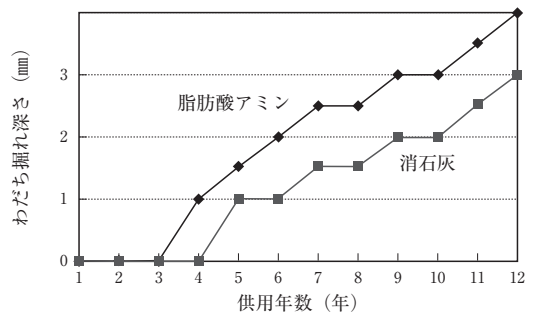
消石灰および脂肪酸アミンを添加したSMA舗装の路面性状は全体的には両者ともに良好であった。1例としてわだち深さの結果を図－8に示す。

施工12年後の消石灰または脂肪酸アミンを添加したSMA混合物から抽出したアスファルトと標準的なアスファルトで針入度、軟化点、脆化点および弾性復元率について比較試験を行った。その結果、若干ながら消石灰を用いたSMA混合物から抽出したアスファルトは経年劣化が少ない傾向を確認した。

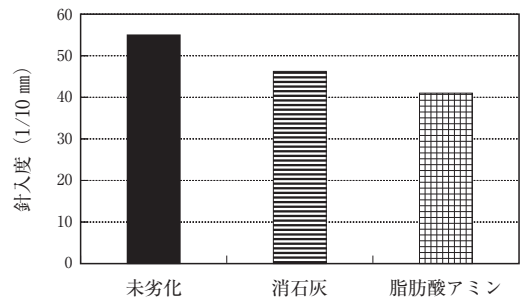
回収アスファルトの針入度および軟化点を図－9および図－10に示す。



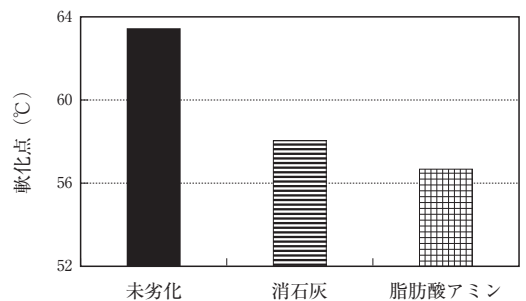
図－7 施工12年後の添加材別のSMA舗装路面
(左) 消石灰 (右) 脂肪酸アミン



図－8 SMA舗装におけるわだち掘れ深さ



図－9 12年供用後の針入度試験結果



図－10 12年供用後の軟化点試験結果

4.4 結論

消石灰は、SMA混合物の添加材として脂肪酸アミンに比べ、力学および工学特性値を高める効果があることが確認できた。また、消石灰を添加したSMA舗装の耐久性は、施工12年後についても保たれていることも確認できた。

4.5 翻訳者のコメント

SMAの添加剤として消石灰を利用した12年間の試験施工の結果が報告されており、その有効性が他の添加剤に比べ高いことがわかり、消石灰のSMAに与える効果が確認できた論文である。

5. 鉱物性の安定化剤（AMBS）を用いたSMA 混合物特性について

原題：PERFORMANCE RESEARCH OF ACTIVATED MINERAL BINDER STABILIZER IN SMA MIXTURE

著者：Aifang Liほか（中国） 所属：Jiangsu Highway and Transportation Engineering Laboratory

5.1 研究概要

本研究では、SMA混合物（以下、SMA）の供用性能向上を目的に鉱物性の安定化剤（以下AMBS）を用いて、その適用性を室内混合物試験を通じて検討した。その結果、AMBSを用いたSMAは、既存の植物繊維を用いたSMAよりも優れた混合物性状を示した。ここでは、得られた知見について報告する。

5.2 研究内容

(1) 使用材料

本検討に用いたAMBSは、イスラエルの死海付近のリン酸塩産業から発生する建設副産物をリサイクルした鉱物性の安定化剤であり、粉末状のシリカミネラルが主成分である。

その外観および物性値を表-9に示す。

(2) 検討配合

検討に用いた骨材粒度および混合物配合を図-11および表-10に示す。

表-9 AMBSの外観および物性値

	性状	単位	試験値
	密度	g/cm ³	1.95
	かさ密度	g/cm ³	0.8以下
	限界酸素指数	%	10以下
	粒径	10%径	μm
		50%径	μm
		90%径	μm

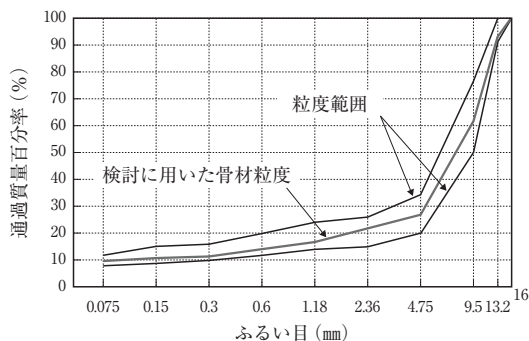


図-11 検討に用いた骨材粒度

表-10 検討に用いた混合物配合

配合	アスファルト量	AMBS	植物繊維
Type A	5.5%	0.30%	—
Type B	6.0%	0.30%	—
Type C	6.1%	—	0.30%

(3) 混合物性状試験

AMBSのSMAへの適用性を検討するために、一連の混合物性状試験を行い、植物繊維を用いたSMAとの比較を行った。

5.3 研究結果

(1) 骨材飛散抵抗性

カンタブロ試験結果を図-12に示す。AMBSを用いることでロス率が小さくなり、骨材飛散抵抗性が改善されている。

(2) 耐流動性

60℃下におけるわだち掘れ抵抗を耐流動性試験によって評価した。Type BではType Cより10%程度耐流動性が大きくなった（図-13）。

(3) 耐水性

耐水性評価として行った凍結融解圧裂試験結果を図-14に示す。試験結果によると、AMBSを用いたSMAの強度と引張強度比（TSR）は繊維を用いたSMAと同様であった。

(4) 耐低温ひび割れ性

耐低温ひび割れ評価として行った低温曲げ試験における破断時ひずみを図-15に示す。AMBSを用いたSMAでは植物繊維を用いたSMAより破断時のひずみ

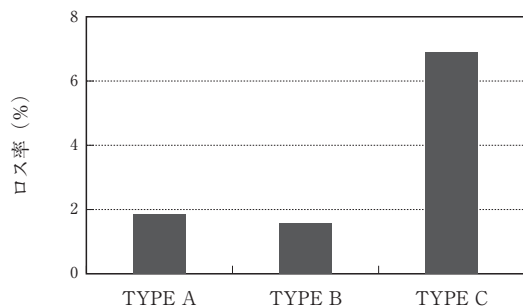


図-12 カンタブロ試験結果

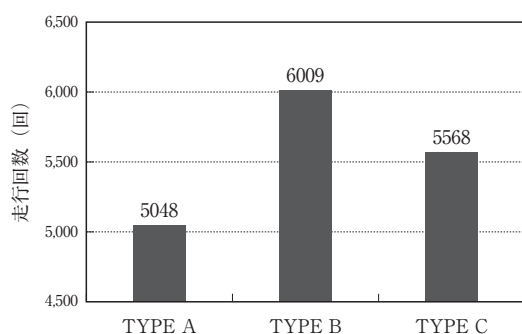


図-13 耐流動性試験結果

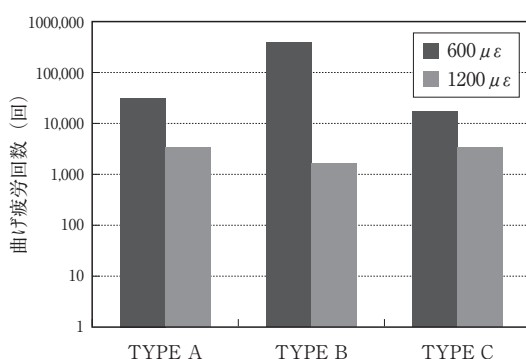


図-16 曲げ疲労試験結果

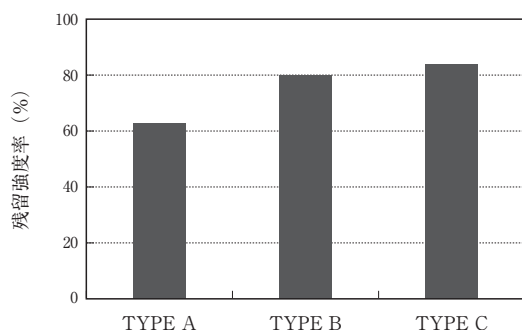


図-14 凍結融解圧裂試験結果

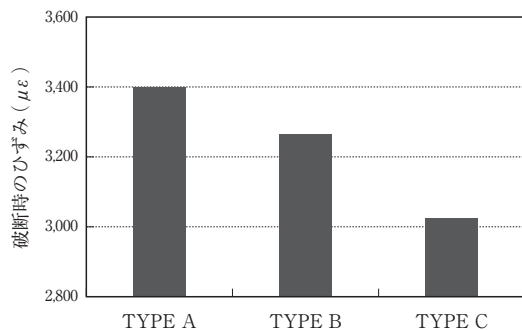


図-15 低温曲げ試験における破断ひずみ

は大きく、耐低温ひび割れが向上している。

(5) 曲げ疲労の検討

温度15℃、载荷周波数10Hz(サイン波)、疲労ひずみ振幅600 $\mu\epsilon$ および1200 $\mu\epsilon$ の条件で曲げ疲労試験を実施した。試験結果を図-16に示す。

ひずみ振幅600 $\mu\epsilon$ では、Type Bの疲労寿命は、他の二つの混合物の8～9倍であった。さらに興味深い知見として、Type A (AMBS添加, OAC=5.5%)とType C (植物繊維添加, OAC=6.1%)の疲労寿命が同等の結果となっている。Type AとType Cのアスファルト量の差である約0.6%のアスファルト分が植物繊維に吸収されているものの、疲労性能の向上に寄与していない可能性が考えられる。

5.4 結論

AMBSを用いたSMAは、マーシャル安定度試験、流動性試験、低温曲げ試験そして曲げ疲労試験の結果により優れた性能を示した。

600 $\mu\epsilon$ の振幅条件では、AMBSのSMA (OAC=6.0%)は他の混合物に比べ疲労寿命が9倍であった。また、AMBSのSMA (OAC=5.5%)は、植物繊維を添加したSMA (OAC=6.1%)と同等程度の疲労寿命となった。以上の結果から、AMBSはSMAの安定化剤として既存の植物繊維の代替品としてアスファルト混合物の供用性能を向上できる可能性が確認された。

5.5 翻訳者コメント

本論文で得られた試験結果に基づく、SMAにAMBSを添加することで供用性が向上すると考えられる。ただし、本研究で行われているSMA混合物の評価試験項目は我が国と類似しているものの、試験方法は我が国と異なる部分もある。この点から、我が国での試験方法を用いて評価を行い、AMBSの効果を検証することも必要であると考えられる。

6. SMA とポーラス混合物の力学的挙動に関する研究

原題：MECHANICAL PERFORMANCE OF THE ASPHALTIC CONCRETE MIXTURES: THE STONE MASTIC ASPHALT AND POROUS ASPHALT CASE STUDIES

著者：Nawapol Brahmajaree (タイ) 所属：Chlalongkon University

6.1 研究概要

欧米諸国では、SMA 混合物およびポーラスアスファルト混合物は耐流動性や透水性能に優れていると報告されていることから広く適用されている。一方でポリマー改質アスファルトを用いた密粒度混合物が適用されているタイの高速道路の表層部にこれらを適用する場合には、すでに実績のある諸外国と気候条件や交通条件が異なることから、耐久性に関して検討を行う必要がある。そこで、密粒度、ポーラスアスファルト混合物、SMA 混合物について、耐久性を確認するため、試験施工を行い、追跡調査を実施した。

本論文では、ポーラスアスファルト混合物、SMA 混合物の適用性について報告されている。

6.2 研究内容

(1) 室内試験

本研究で用いた密粒度混合物、ポーラスアスファルト混合物、およびSMA 混合物の粒度範囲および配合特性値を表-11、表-12に示す。

表-11 検討配合の粒度範囲

ふるい目 (mm)	密粒度	ポーラス	SMA
通過百分率 (%)	19	100	100
	12.5	75～85	89～99
	9.5	65～75	73～83
	4.75	42～52	16～26
	2.36	30～40	6～15
	1.18	20～28	6～12
	0.6	12～20	5～10
	0.3	7～15	4～9
	0.15	5～10	3～7
	0.075	4～6	3～5
			7～11

表-12 検討配合の特性値

特性値	密粒度	ポーラス	SMA
アスファルト量 (%)	4.9	4.5	5.0
密度 (g/cm ³)	2.693	2.330	2.768
空隙率 (%)	4.0	22.3	3.8
MS 安定度 (kN)	18.19	8.14	17.84
ダレ損失率 (%)	—	0.26	0.15

なお、フィラーにスラグ粉末を使用することで十分なマーシャル安定度が確保できたため、SMA には植物繊維を添加していない。バインダはポリマー改質アスファルトを使用した。

これらの混合物について、以下の3とおりで供試体を作製し、表-13に示す評価試験を行った。

- ①出荷時プラントにてマーシャルランマーで作製 (以下：プラント MS 供試体)
- ②室内にてジャイレトリコンパクタで作製 (以下、ジャイレトリ供試体)
- ③試験施工箇所からコア採取 (以下、コア供試体)

表-13 実施した試験項目

実施した試験	備考
マーシャル安定度試験	DH-T604/1974 (タイ)
レジリエントモデュラス試験	BS DD 213 : 1993 (イギリス)
動的クリープ試験	AS 2891.12.1-1995 (オーストラリア)

(2) 試験施工

2007年11月に高速道路36号線の km.24+210～km.26+825の上下線両方向の約2.6kmで表層に厚さ5cmで密粒度混合物、ポーラスアスファルト混合物、およびSMA 混合物によるオーバーレイを行った。

バインダにはポリマー改質アスファルトを使用した。

(3) 追跡調査

施工後18か月までの間、わだち掘れ量、透水性、キメ深さ、道路環境騒音を定期的に調査し、ポーラスアスファルト混合物、SMA 混合物の耐久性、供用性を検討した。

6.3 研究結果

(1) 室内試験結果

①マーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験結果を表-14に示す。タイではプラント MS に基準値があり、今回は基準を満足した。

②レジリエントモデュラス試験

レジリエントモデュラス試験結果を表-15に示す。

密粒度混合物とSMA のレジリエントモデュラスは同程度であり、ポーラス混合物では小さい結果と

なり、マーシャル安定度試験の結果と一致した。

③動的クリープ試験

コア供試体の動的クリープ試験結果を表-16に示す。

SMAと密粒度混合物は同程度であり、ポーラス混合物よりも小さい結果となった。

(2) 試験施工

施工後の舗装表面を写真-1～3に示す。

(3) 追跡調査

施工後の供用性に関する調査結果を表-17に示す。

施工後1年3か月後のSMA舗装と密粒度舗装のわだち掘れ量は同程度であり、ポーラス舗装が最も大きい結果となった。ポーラス舗装に関して、供用から18ヶ月にわたって透水機能を追跡したところ、供用後1ヶ月と比較して50%程度まで低下する一方、SMAおよび密粒度舗装より高い透水機能を維持していた。このことからハイドロプレーニングや水しぶきの抑制に効果があると考えられる。

施工直後のキメ深さを比較すると、ポーラス舗装は密粒およびSMA舗装より深いキメが得られた。施工後12ヶ月ではポーラス舗装とSMA舗装のキメは低下するが、密粒度舗装よりキメ深さを維持できた。

施工前後の騒音レベルを計測した結果、ポーラス舗装ではSMAおよび密粒度舗装よりも騒音低減効果が高い結果となった。

6.4 結論

(1) SMA

密粒度の室内試験結果および現場のわだち掘れ量を比較すると両者に有意差は認められなかった。キメ深さは密粒度よりも優れていた。

(2) ポーラス

密粒度と比較して、透水機能と騒音低減機能、キメ深さに優れている。一方、マーシャル安定度と弾性係数が小さいため強度に劣り、塑性変形抵抗性に劣る傾向にある。

この結果から、密粒度の摩耗層として適用することにより、走行環境の改善につながることが期待される。

6.5 翻訳者コメント

アスファルト混合物の種類と耐久性を室内および現場で比較している論文であり、特に現場においては供用後の調査を継続しており、続報が待たれる。

表-14 マーシャル安定度試験結果 (kN)

供試体区分	密粒度	ポーラス	SMA
プラントMS供試体	18.06	8.83	17.78
ジャイレトリー供試体	12.20	6.99	13.36
コア供試体	12.50	6.04	14.17
基準値(プラントMSのみ適用)	16.46以上	8.14以上	15.12以上

表-15 レジリエントモデュラス試験

供試体区分	混合物種	締固度 (%)	レジリエントモデュラス (MPa)				
			5℃	25℃	40℃	50℃	60℃
プラントMS供試体	密粒度	101.9	14704	3289	1229	744	508
	ポーラス	100.8	9711	1636	481	216	168
	SMA	101.5	13925	2196	653	400	295
ジャイレトリー供試体	密粒度	97.3	10485	1683	542	297	208
	ポーラス	99.7	6508	1151	389	165	150
	SMA	101.8	12142	1537	486	260	229
コア供試体	密粒度	98.5	12261	2221	698	407	240
	ポーラス	99.3	10727	2023	486	223	169
	SMA	101.7	17579	4156	1051	561	380

表-16 動的クリープ試験結果

試験温度	混合物	密度	蓄積ひずみ	蓄積ひずみ／サイクル
40℃	密粒度	2.704	18,081	1.81
	ポーラス	2.476	22,629	2.26
	SMA	2.834	18,979	1.90
60℃	密粒度	2.670	27,246	2.72
	ポーラス	2.464	50,000	7.25
	SMA	2.829	23,604	2.36

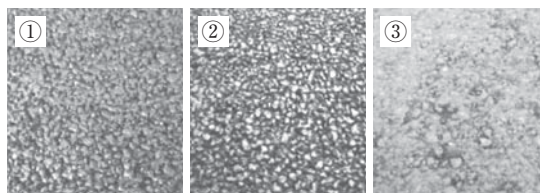


写真-1 写真表面

1 SMA舗装 2 ポーラス舗装 3 密粒度舗装

表-17 供用性調査結果

調査項目	密粒度	ポーラス	SMA
わだち掘れ量 (mm)	1.8	3.4	2
透水係数 (mm/s)	1か月後	0.277	12.520
	18か月後	—	6.55
キメ深さ (mm)	1か月後	0.56	1.79
	12か月後	0.66	1.42
騒音低減量 (dB)	4.8	9.2	4.9

7. 破碎によるSMAの骨格構造の変化に関する研究

原題: *DEGRADATION BEHAVIOUR CHARACTERIZATION OF SMA SKELETON FOR RECYCLING PURPOSE*

著者: Tao Ma ほか (中国) 所属: 西南交通大学

7.1 研究概要

単粒骨材, およびSMA (13mm Top), 密粒度 (13mm Top) の粒度に計量した骨材等を用いて, 独自に考案した室内試験により細粒化挙動を評価した。これらの結果は供用中のSMAによる測定と同様の傾向を示し, SMAの耐久性は粒径4.75mmの骨材量に影響することが報告されている。

7.2 研究内容

(1) 内部摩擦力の評価試験

骨材をCBRモールドで突固め, 10kNの荷重でプレロード後水浸し, CBR貫入試験を行った。貫入深さと荷重を計測し, 貫入抵抗力を骨材骨格の内部摩擦力として評価した。

(2) 細粒化特性の評価試験

破碎試験用容器で締固めた骨材に400kNの破碎荷重を載荷した後, 容器から取り出しふるい分け試験を行い, 粒度を測定した。

(3) Superpave式ジャイレトリコンパクタ (SGC) 試験

骨材を軟らかいビニル袋に入れ, SGCで200回旋回し締固め後, ふるい分けを行い, 粒度を測定した。

7.3 研究結果

(1) 単粒骨材の内部摩擦力

各単粒骨材の内部摩擦力測定結果を図-17に示す。内部摩擦力は骨材の最大粒径が大きいほど, また貫入

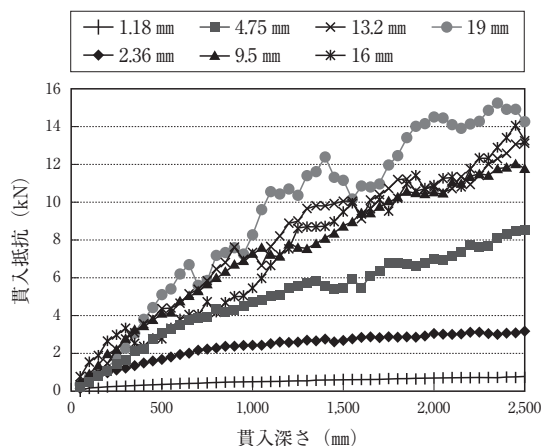


図-17 単粒骨材の内部摩擦力

量が深くなるほど, 大きくなることが確認された。

(2) 混合骨材の内部摩擦力

SMA (13mm Top) と密粒度 (13mm Top) の内部摩擦力を図-18に示す。図からSMA (13mm Top) の骨格構造が大きい内部摩擦力を持っていることがわかる。SMA (13mm Top) では外力に対し骨材が破碎し, 骨密粒度 (13mm Top) では測方への変形が生じた。

(3) 単粒骨材の細粒化特性

各単粒骨材の破碎試験後の粒度構成を図-19に示す。

すべての単粒骨材が外力により破碎し細粒化していることがわかる。9.5, 12.5, 16, 19mmの単粒骨材の破碎後の粒度構成は4.75mmが多くなっていることや, 4.75mm骨材の破碎後でも40%の残留率があることから, 4.75mmの骨材が骨格構造の発現に大きく寄与しているといえる。

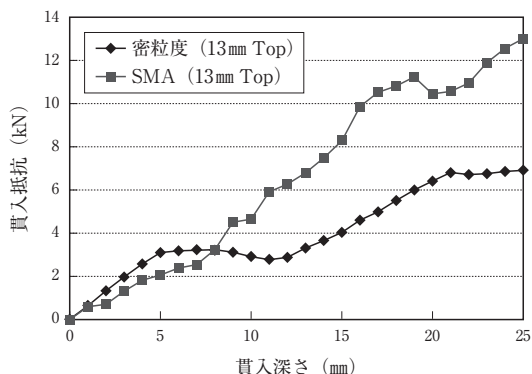


図-18 合成骨材の内部摩擦力

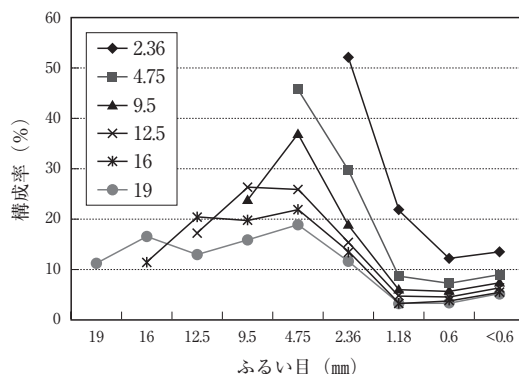


図-19 単粒骨材の細粒化特性

(4) SMA 配合のSGC 試験結果

最大粒径の異なるSMA 配合についてSGC 試験を実施した。一例としてSMA (16mm Top) およびSMA (13mm Top) の結果を図-20 および図-21 に示す。SGC により粗骨材の構成率が低下し細粒化しているのが伺える。その一方で細骨材の構成率はそれほど増加しておらず、4.75mm が増加していることがわかる。したがって粗骨材の細粒化はランダムに生じているのではなく、4.75mm 以上の骨材が4.75mm 相当の粒径に細粒化していると考えることができる。

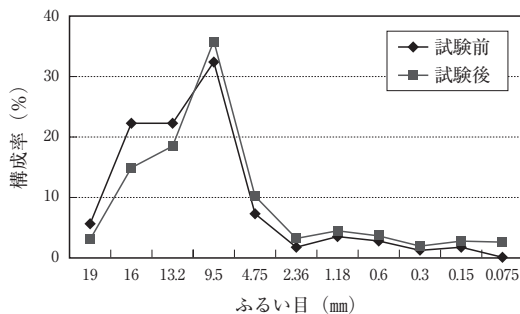


図-20 SMA (16mm Top) の細粒化特性

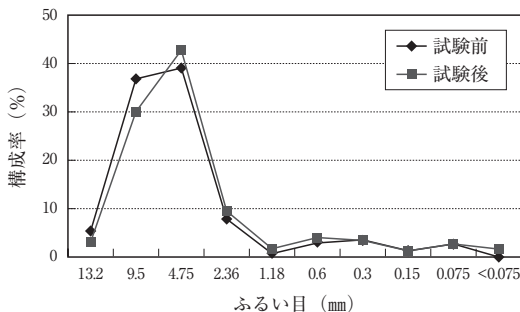


図-21 SMA (13mm Top) の細粒化特性

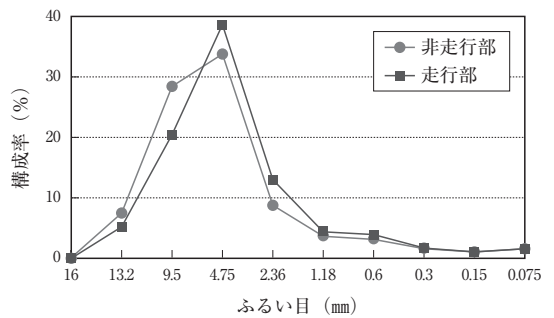


図-22 Ningsuxu 高速道のSMA (13mm Top)

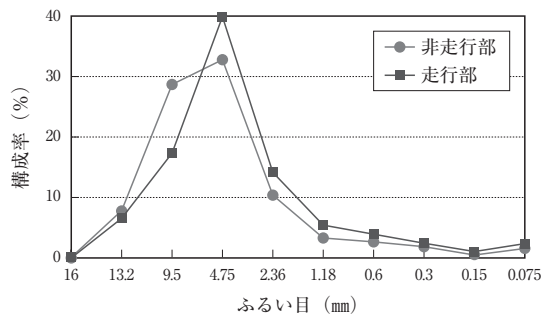


図-23 Yanzhouraocheng 高速道のSMA (13mm Top)

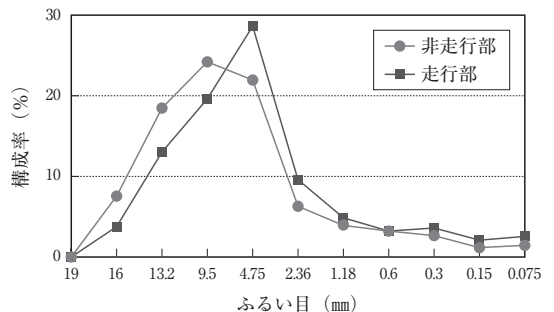


図-24 Jinghu 高速道のSMA (16mm Top)

(5) 現場から採取したSMA の細粒化特性

室内で得られたSMA の細粒化特性を検証するために、SMA を施工した高速道路3路線の走行部、非走行部から試料を採取し、粒度を測定した(図-22~24)。3路線とも走行部が走行荷重により細粒化していることがわかる。また細粒化特性はSGC 試験と同様に細骨材よりも粗骨材の細粒化が大きく、4.75mm が増加する傾向を示した。

7.4 結論

(1) 内部摩擦力

SMA 混合物の骨格構造形成の観点から細骨材と粗骨材との分ける粒径は4.75mm であることがわかった。

SMA 混合物は高い粗骨材率とすることで強固な骨格構造が形成されるといえる。

(2) 細粒化特性およびSGC 試験

SMA の骨格構造の細粒化は内部摩擦力の影響を強く受けることが分かった。骨格構造を形成する粗骨材は外力により細粒化し、粒径4.75mm の骨材量が最も顕著に増加する。

7.5 翻訳者コメント

混合物の合成粒度は粒度範囲の中央粒度が選定される場合が多い中で、SMA の骨格構造の発現に着目したこの研究事例は、国内でのSMA の合成粒度の考え方において検討の余地を与えるものと考ええる。

8. 骨材骨格に着目したアスファルト混合物の粒度設計に関する検討

原題：GRADATION DEIGN OF THE AGGREGATE SKELETON IN ASPHALT MIXTURE

著者：Yongli Zhao ほか（中国） 所属：東南大学

8.1 研究概要

既存のアスファルト混合物の配合設計は経験的手法および室内試験に基づいたものである。本研究では、混合物の力学特性に基づく配合設計手法を開発した。

8.2 研究内容

(1) 骨材骨格の力学特性

車両荷重を支持しているのは主に骨材骨格であると言われており、荷重が載荷されると、応力は骨材骨格中の接点を伝達していく。接点間応力を解析するため、2種類の骨材を混合した場合を考える。骨材粒子は球体とみなし、大粒子を小粒子が取り囲んでいるものとする。この時のモデルの断面を図-25に示す。

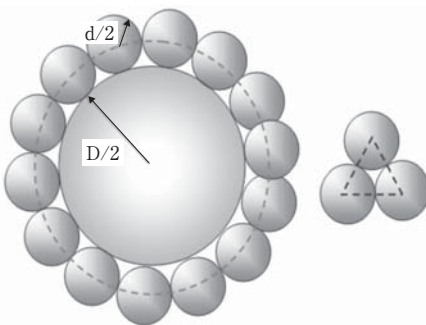


図-25 球体モデルの概略図

また粒子断面内の応力は均一で大きさを q とし、粒子の直径が全て等しく D_0 とした時の接点での応力は以下ようになる。

$$p = \frac{3\sqrt{3}}{32} D_0^2 q \quad (1)$$

上式に示されるように、接点応力は荷重の大きさと球体の直径の二乗に比例する。圧縮時に粒子が破碎する割合についても、同じ原理が適用されるものと思われる。これを確かめるため、骨材の破碎試験を実施した結果、荷重と粒径が大きくなるにつれて破碎した粒子の割合は増加した。また、マーシャル突き固め試験についても、同様の傾向が見られた。

解析および実験の結果から、接点数の増加が接点間

応力の緩和や骨材骨格の安定性向上の鍵となること が示された。よって粗骨材骨格の粒度設計においては、骨材の接点数が増加するように考慮するべきである。

(2) 粗骨材骨格の粒度設計モデル

以上の研究から、骨格構造の安定性を確保するためには、大きな骨材粒子が、出来るだけ小さく大量の粒子に囲まれているのが望ましいといえる。この原理を基に粒度設計モデルを図-26のように作成した。

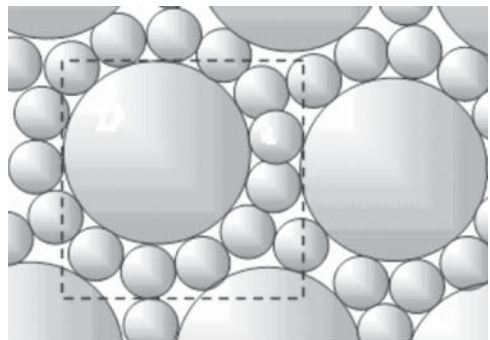


図-26 粒度設計モデル

各粒径の粒子の体積の割合を得るため、立方体要素を点線で示した。要素内には1つの大粒子があり、小粒子によって囲まれている。このとき大粒子の体積割合 V_l は以下ようになる。

$$V_l = \frac{V_0}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^3} \quad (2)$$

大粒子の体積充填率 V_0 は室内試験にて得られる。実際の粒度設計においては、1個目の骨材の体積割合は式(2)によって得られる。次の骨材の体積割合は、最初の骨材の体積を除いたものから、同じ式で計算できる。これを最後の骨材の体積割合を出すまで繰り返す。

8.3 研究結果

(1) 粗骨材と細骨材の区分粒径

アスファルト混合物において粗骨材は骨材骨格を形成し、その空隙を細骨材が充填する。粗骨材と細骨材の区分粒径を解析するため、19mmの骨材を用いて破

碎試験を行った。図-27に破碎した骨材の粒度を示す。

図-27に示されるように、すべての極大値が4.75mmで現れている。4.75mmにおける破碎骨材の割合が最大になるということは4.75mmの骨材が荷重を支持する主要な骨材であることを示している。よって本研究では4.75mmを粗骨材と細骨材を区分するための粒径とする。

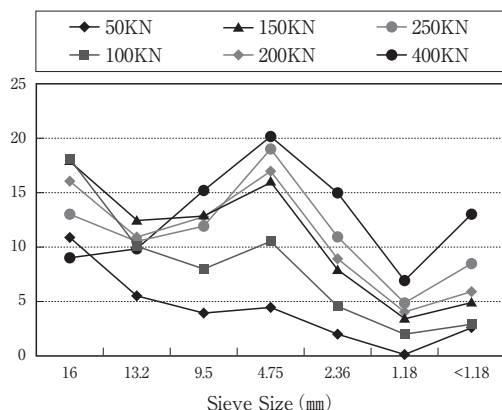


図-27 破碎した骨材の粒度

(2) 配合設計手法

アスファルト混合物の性能は体積定数に大きく依存する。よって適切な体積定数が、アスファルト混合物の骨格構造形成を担保するための主要素となる。本研究では配合設計においてこれらの定数の誘導を試みた。設計に用いる数式は以下のものである。

$$\left\{ \begin{array}{l} M_C + M_F = 100\% \\ \frac{M_F}{q_F} = \frac{M_C}{q_C} \left(\frac{VCA - VMA}{100} \right) \\ \frac{P_a}{q_a} = \left(\frac{VMA - VV}{100} \right) \frac{M_C}{q_C} \end{array} \right.$$

ここに、

Mc：骨材全体に占める4.75mm以上の粗骨材の割合

MF：骨材全体に占める4.75mm未満の細骨材の割合

qF：フィラー分を含む細骨材の比重

qC：粗骨材の比重

VCA：締固めた粗骨材の空隙率

VMA：骨材内部の空隙率

Pa：骨材に対するアスファルト量

qa：アスファルトの比重

VV：アスファルト混合物内の空隙率

本研究で提案した全設計手法を、多点支持骨格に基づく体積設計法（V-S法）と呼称する。

(3) V-S法の検証

V-S法に基づいてアスファルト混合物を設計した。

図-28に設計された骨材の粒度曲線とSMAの粒度曲線を示す。

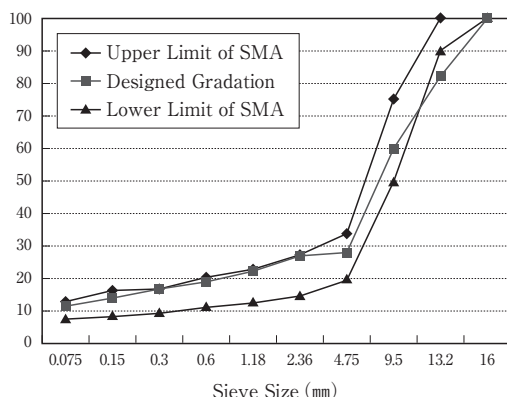


図-28 V-S法による粒度とSMAの粒度

V-S法によって設計された粒度はSMAの粒度と非常に近いものである。これはV-S法が非常に実用性の高い設計手法であることを示している。

また、ホイールトラッキング試験の結果、V-S法によって設計されたアスファルト混合物はSMA（13）よりも高い動的安定度が得られた。

8.4 結論

本研究より以下の結論が得られた。

- ① 2次元球体モデルを開発した。接点における応力は荷重と粒系に比例する。接点数を増やすことで骨格の安定性は向上する。
- ② 粗骨材骨格のための粒度設計モデルを開発し、粒度の計算式を提案した。また粗骨材と細骨材を4.75mmで区分した。
- ③ 骨材骨格の形成と混合物の性能を担保するための、体積定数およびアスファルト量を決定する配合設計手法を開発した。
- ④ V-S法を用いて設計した骨材粒度はSMAに酷似しており、耐流動性に優れていた。

8.5 翻訳者コメント

骨材を実際とは異なる球体と仮定し、接点数が多くなるような粒度を算出した結果、耐SMAの粒度に酷似することが示されている。SMAの耐流動性が理論的に説明されている点が興味深い。

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

森 石 一 志
辻 本 陽 子

上 地 俊 孝
朴 希 眞

川 上 聖

はじめに

本コーナーでは、若手技術者が普段感じている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。第3回目となる今回はSMAに関する次の5つの質問について解説します。

①SMAとはどのような混合物ですか？

②SMAにはどのような種類がありますか？

③SMAの配合設計方法はどのようなものですか？

④SMAに植物繊維を添加するとどのような効果がありますか？

⑤SMAの水密性を高めるにはどのような方法がありますか？

疑問 SMAとはどのような混合物ですか？

<調査結果>

SMAとは、舗装施工便覧によると「碎石マスチック混合物（舗装）」¹⁾、NEXCOや(社)日本道路建設業協会によると「碎石マスチックアスファルト混合物（舗装）」^{2,3)}と表記されています。各機関によって日本語表記に違いはありますが、いずれの機関においても、SMAは配合率の70%程度を占める粒径2.36mm以上の粗骨材が噛み合わせ効果により骨材骨格を形成し、その骨材間隙を細骨材やフィラー、アスファルト、植物繊維等の添加材からなるアスファルトモルタルで充填された不連続粒度のアスファルト混合物を指しています¹⁾。SMAは碎石の噛み合わせ効果とアスファルトモルタルの充填効果により、耐久性や耐摩耗性、たわみ性、耐水性および水密性を有しています。一方で課題としては、施工における締固め度の確保が挙げられています。

1. SMAは何の略か？

SMAを開発したドイツでは“Split Matrix Asphalt”，英国では“Stone Mastic Asphalt”，そして米国では“Stone Matrix Asphalt”と呼ばれています⁴⁾。また欧米では，“Mastic Asphalt”という、グースアスファルト混合物を指すことが多いようです⁵⁾。国内の報文ではSMAの略称について統一がなされていませんが、日本語で記載される際には“碎石マスチックアスファルト”と表記されている場合がほとんどです。

“マスチック (Mastic)”は、グースアスファルト混合

物のような液体状のものを流し込んで舗装することから、ゴム等をどろどろにするという意味の“Masticate”に由来すると考えられます。ちなみに、ギリシャにあるコショウボクから採れる、粘性のある天然ガム質の樹液がマスチックと呼ばれています。

2. SMA導入の略史^{4,6)}

1960年代中頃、ドイツでスパイクタイヤによる摩耗対策としてSMAが開発されました。その後、重交通道路での耐摩耗性等の有効性が実証され、広く普及するようになりました。SMAはアスファルト量やフィラー量が多いため、流動による変形が懸念されていましたが、繊維やポリマー系改質材を添加することで、耐流動性の優れたSMAに発展しました。現在では、発祥地のドイツの他にも、スウェーデンをはじめ、欧州の国々での施工実績は増加傾向にあります。

日本では、1987年にSMAの耐摩耗性が密粒度アスファルト混合物よりも優れていることが室内実験により明らかになった後、実道への試験施工が始まりました⁷⁾。また、植物繊維の添加により、耐流動性の向上が認められたため、SMAは積雪寒冷地の舗装として使用されるようになりました。現在では、骨材配合やアスファルトおよび添加材を検討し、SMAに新しい機能を付与することで、様々な要求に応じた機能を持つSMAが開発されるようになりました。日本と欧米におけるSMA導入の略史を表-1に示します。

表－１ 日本と欧米におけるSMA導入の略史^{4, 6, 8)}より作成

年代	欧米	日本
1960年代	独) スパイクタイヤによる摩耗対策としてSMAを開発	
1984	独) SMA工法が道路用アスファルト混合物の技術基準に重交通表層混合物として導入された	
1986		SMAの導入検討が始まる
1987		・井上らによるSMAの耐摩耗性および耐流動性の室内検討 ・各種繊維の有効性を検討 ・札幌市にて試験施工を実施→SMA適用の正式なスタート
1991	米) SHRP調査団がSMA技術をアメリカに持ち帰る	スパイクタイヤ規制法施行 →積雪寒冷地の舗装は耐摩耗重視から耐流動性重視へ
1992	全米15州で施工	
1994	米) 「SMAの材料、製造、舗装の指針」がNAPAから発刊	
1996		高速道路を含めて施工実績が10万㎡に達する
1998	欧州での施工実績が1.3億㎡に達する	
2002	カナダでSMAの導入が始まる	積雪寒冷地で機能性SMAの検証(市原ら)

3. SMAの適用⁹⁾

SMAの適用箇所と要求性能を表－2に示します。SMAは耐久性を活かして重交通路線へ適用されます。それ以外にも、積雪寒冷地をはじめ、適用用途が拡大しつつあります。橋面舗装に対しては、高い水密性を活かして、橋梁のレベリング層やコンポジット舗装の応力緩和層としてコンクリート版上に適用されています¹⁰⁾。高い遮水性能を有するSMAを用いることで、橋梁舗装や床版の長寿命化への貢献が期待されています¹¹⁾。また、耐久性に優れていることから、舗装の補修費用の抑制につながると考えられます。

鋼床版については、一般的には密着性や防錆に優れたグースアスファルト混合物が使用されています。しかし、グースアスファルト混合物は耐流動性に課題もあることから、代替工法としてSMAの適用が検証されました。その結果、SMAはグースアスファルト混合物と比べて接着強度がやや劣ることが明らかになり、接着強度の向上や締固め度を確保するための工夫が必要であると指摘されています。いずれにせよ、適用箇所によって求められる性能が異なるため、必要に応じてSMAの骨材粒度や目標空隙率等を変化させる必要があります。

表－2 SMAの適用箇所と要求性能⁹⁾

適用箇所	区分	要求性能	骨材粒度	空隙率
積雪寒冷地	表層	・耐摩耗性 ・凍結防止 ・残留効果	やや粗め	5%程度
一般地域	表層	・耐流動性	やや粗め～中間	3%程度
橋面舗装	基層	・防水性 ・たわみ性	やや細かめ	2～3%程度

4. SMA施工上の課題

SMA施工の課題として、締固め度の確保が挙げられます。SMAの場合、粗骨材の割合が同程度のポーラスアスファルト舗装と異なり、締固めによってアスファルトモルタルが十分に充填していなければ機能を発揮することができません。そのため、鋼床版舗装のように舗装面にボルト等の突起物が多いような場所であっても高い締固め度が求められます。また、橋梁上は冷えやすく、混合物の温度低下が早いいため、所定の締固め度を得ることが困難となる場合があります¹²⁾。したがって、混合物の配合検討や、施工機械の選択が重要となります。

参考文献

- 1) ㈲日本道路協会：舗装施工便覧(平成18年度版)、2006年2月。
- 2) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社：設計要領 第一集 舗装編、平成25年7月。
- 3) ㈲日本道路建設業協会、<http://www.dohkenkyo.net/pavement/meisyo/saisekim.html>、2014年11月4日。
- 4) 井上武美：SMAの我が国における展開、舗装、vol.35, No.8, 2000年, pp.4-10。
- 5) 建設用語辞典、http://www.fuzita.org/cod/coe_html、2014年11月4日。
- 6) 内田喜太郎、黒川勲：欧米諸国のSMAへの取り組み、舗装、vol.35, No.8, 2000年, pp.11-16。
- 7) 井上武美、内田精一：アスファルト混合物の流動特性と耐流動材料に関する一検討、道路建設、vol.62, No.9, 1987年, pp.54-59。
- 8) 市原利昭 他：積雪寒冷地の排水性舗装に代わる機能性SMAの検証、舗装、vol.37, No.8, 2000年, pp.21-25。
- 9) 岡本信人、田井文夫、適用箇所の異なるSMAの施工事例と課題、舗装、vol.40, No.8, 2005年, pp.20-24。
- 10) 神谷恵三：水密性の高いSMAの施工方法、アスファルト、vol.47, No.216, 2004年, pp.14-17。
- 11) 加藤亮、松本大二郎：施工性を改善した橋梁レベリング装用混合物について、舗装、vol.47, No.11, 2012年, pp.15-19。
- 12) 高橋茂樹：第8章 各種の舗装 8-6 SMA施工上の留意点、舗装技術の質疑応答 第10巻, pp.181。

疑問 SMAにはどのような種類がありますか？

<調査結果>

過去に報告があった主なSMAの種類を調査したところ、表-1に示す6種類がありました。さらに、これらを分類すると、粗骨材の最大粒径の違いによるグループ、アスファルトモルタル量の違いによるグループ、添加材の種類の違いによるグループに分けられました。

国土交通省で運用されているNETIS(新技術情報提供システム)¹⁾には、SMAに関連する工法が15件程度登録されていました(2014年9月現在)。SMAは、骨材配合や材料を工夫することで様々な機能を付与することが可能な混合物です。このため、SMAは、(独)土木研究所やNEXCO各社、また各民間会社により、要求性能に応じた様々なタイプが開発されています。

表-1 過去にみられたSMAの種類例²⁾より作成

分類方法	SMAの種類	主な用途
粗骨材の最大粒径	大粒径タイプ	耐久性の改善
	薄層タイプ	コスト低減
アスファルトモルタル量	粗面タイプ	各種表面機能の付与
	防水タイプ	水密性の改善
添加材の種類	凍結抑制タイプ	凍結抑制機能の付与
	中温化タイプ	締固め特製の改善

1. 粗骨材の最大粒径の違いによる分類

SMAは粗骨材の最大粒径を選択することで、図-1のように耐久性やコストの面で要求性能に応じた混合物を設計することが可能です。

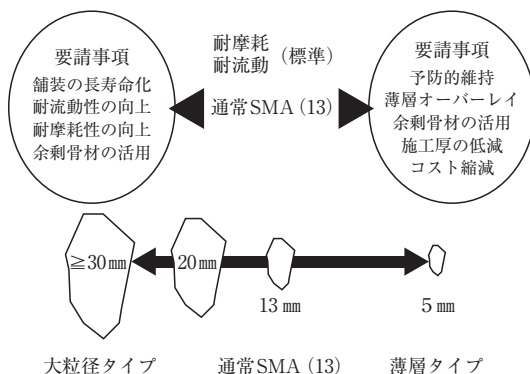


図-1 粗骨材の最大粒径の違いによる分類²⁾より作成

1.1 大粒径タイプ²⁾

大粒径タイプのSMAは、最大骨材粒径を 30mm とした骨材骨格に特長を持つSMAです。大粒径タイプのSMAは、ストレートアスファルトを使用しているにもかかわらず、ポリマー改質アスファルト混合物と同等の耐流動性と耐摩耗性（通常の密粒度アスファルト混合物の2～4倍程度）を兼備した特性を有しています。このため、メンテナンス費用を最小限に抑える目的で表層への適用を検討されてきましたが、キメの均一性の問題もあって、結果としては基層を中心に適用されています。

1.2 薄層タイプ

薄層タイプのSMAは、粗骨材の最大粒径は 5mm であり、 $20\sim 25\text{mm}$ 程度の厚さで表層に施工されます。骨材粒度や空隙率、使用するアスファルトなどを変化させることで、様々な機能を付加することができます³⁾。

近年の公共事業費の大幅な削減を受けて、コストが安く、かつ機能が高い舗装が求められているなか、その一つとして期待されるSMAです³⁾。

SMAの導入当初（平成元年ごろ）、高速道路の安全対策工として、 10mm 程度のわだち掘れ部の充填材に適用されましたが、現在では主に路面切削を必要としない厚さ 20mm 程度のオーバーレイや表面処理用（切削オーバーレイ厚 25mm 程度）として、地方道に多く適用されています。

2. アスファルトモルタル量の違いによる分類

SMAは粗骨材の間隙に入るアスファルトモルタル量を選択することで、図-2のように要求性能に応じた表面形状を持つ混合物を設計することが可能です。

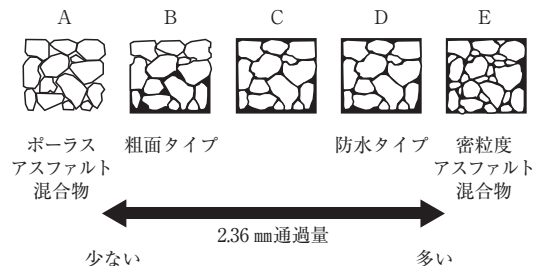


図-2 アスファルトモルタル量の違いによる分類²⁾より作成

2.1 防水タイプ

防水タイプのSMAは、多量のアスファルトモルタルを粗骨材の空隙に充填し、空隙率を小さくすることで、より水密性を高めたSMAです。主に橋面舗装の基層やレベリング層、コンポジット舗装の中間層として使用されています。混合物特性としては、動的安定度を3,000回/mm以上（下層の場合は1,500回/mm以上）、空隙率を3.0%以下（透水係数が 1×10^{-7} cm/s未満のレベル）として耐流動性を高め、防水性を確保しています。それと同時にSMAと床版面との接着性の確保が不十分な箇所（緑部）は防水塗布でカバーし、コスト縮減策として適用されています。

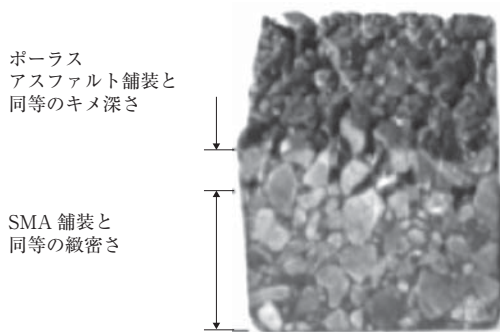
NEXCOにおいては、一般的に最大骨材粒径13mmのSMAⅡ型の配合が用いられ、SMAⅠ型よりも粒度範囲の管理幅を狭めることで、水密性の高い混合物を得られるような工夫がなされています³⁾。また防水型SMAは、水密性を高めるために、アスファルトモルタルを表面まで浮き上がらせる必要があり、施工方法にも留意する必要があります²⁾。

2.2 粗面タイプ

粗面タイプのSMAは、写真－1に示すように、混合物の上層部分がポーラスアスファルト舗装と同様のキメ深さを有し、中・下層部分は防水タイプのSMAと同様に緻密な層を形成することで、すべり抵抗性を確保しつつ、耐摩耗性、耐流動性などの機能を有したSMAです³⁾。機能性SMAとも呼ばれています²⁾。

積雪寒冷地におけるポーラスアスファルト舗装の課題（タイヤチェーンによる骨材飛散や早期の空隙づまり）に対して、排水性や騒音低減機能などは多少劣るものの、耐久性が高いことから近年普及しています。

NEXCOにおいても、ローコスト化の流れの中でハ



写真－1 粗面タイプSMAの構造⁴⁾より作成

イブリッド舗装として開発が進められ、現在では高機能舗装Ⅱ型として、表層の種類の一つに規定されています²⁾。

一般的なSMAと比較して、2.36mm以下の粒度が下限方向に設定されているのが特徴として挙げられます。

3. 添加剤の種類による分類

SMAは目的に合った添加材を選択することで要求性能に応じた混合物を設計することが可能です。

3.1 凍結抑制タイプ⁵⁾

凍結抑制タイプのSMAは、最大骨材粒径20mmまたは13mmのSMAに、廃タイヤを破碎したゴム粒子を数%添加することで、凍結抑制機能を付与したSMAです。ルビット舗装とも呼ばれています。混入したゴム粒子の内、舗装表面に突出したゴム粒子が交通荷重によりたわみ、雪水が破碎・除去され路面露出を促進します。また、ゴム粒子は舗装体内にも混入されているので、除雪等により舗装表面が削られてもゴム粒子が現れるため、凍結抑制効果が持続します。

3.2 中温化タイプ²⁾

中温化タイプのSMAは、各種SMAでの締固め度改善のために通常の製造温度で中温化添加材を添加して、アスファルト混合物の粘度を低下させたSMAで、高締固め度が要求される場合や寒冷期の舗設時に適用されています。また、防水目的で薄層タイプのSMAを施工する際、RC床版上で混合物温度が低下する状況にあっても、中温化添加材を使用することで低温時（100℃）でも不透水層を確保できる締固め効果が得られるとされています。

— 参考文献 —

- 1) NETIS, <http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Explanation/MainExplanation.asp>, 2014年9月20日
- 2) 井上武美：SMAの我が国における展開，舗装，vol.35, No.8, 2000年，pp.4-10.
- 3) 久保和幸監修，徳光克也・吉武美智男編：舗装技術の質疑応答，第11巻，2014年，pp.56-62.
- 4) 本松資朗 他：ハイブリッド舗装混合物の配合設計に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第8巻，2003年，pp.125-136.
- 5) RAS振興会，<http://www.rasshinkokai.net/index.html>, 2014年9月20日

疑問 SMAの配合設計はどのようなものですか？

<調査結果>

SMAの配合設計は、我が国では一般的にマーシャル試験法を採用しています。

「舗装施工便覧」¹⁾によると配合設計の流れは具体的に示されていませんが、配合によりSMAの特性が大きく左右されるため、各種耐久性試験によって十分確認することが大切だと指摘してあります。一方、NEXCOでは図-1の流れで配合設計を行います。

1. 配合設計の概要

1.1 材料

「舗装施工便覧」¹⁾によると、SMA混合物には、耐久性を向上させるために繊維質補強材や改質アスファルトを使用することが多いと表記しています。また、NEXCOでは、使用するアスファルトは改質アスファルトを標準としており、また必要な耐久性や水密性の確保に懸念が生じる場合には、必要に応じて繊維の添加等を行うことができるとされています²⁾。

1.2 配合

舗装施工便覧に掲載されているSMA混合物の粒度範囲の例を表-1に示します。施工後の水密性は、混合物の締め固め度に大きく依存するため、必要に応じて配合時に空隙率と水密性の関係を調べるとされています¹⁾。

表-1の()の値はNEXCOによるSMA I型、II型、III型の配合設計粒度範囲を示し、NEXCOでは、最大粒径を13mmとする場合には、SMA II型を使用することを標準とします²⁾。施工時期が夏季の場合はSMA I型、夏季以外の場合はSMA II型を使用しています。なお、施工時期が夏季以外でも、夏季までに上層舗設しない場合または長期間上層舗設しない場合はSMA I型を使用します。

NEXCOの粒度範囲は最大粒径が13mmの場合、舗装設計便覧の粒度範囲より4.75mm以下の細骨材量が多く含んでいると言えます。また、NEXCOのSMAのアスファルト量はマーシャル試験による基準値を満足するアスファルト量をもって最適アスファルト量とします²⁾。

1.3 規準値

「舗装施工便覧」¹⁾では、SMA混合物に対する基準値が特に示されていません。一方、NEXCOの「設計要領 第一集 舗装編」²⁾には、最大骨材粒径別の粒度範囲

が示されているとともに、中間層として採用した際のマーシャル試験法による基準値(表-2)が示されてい

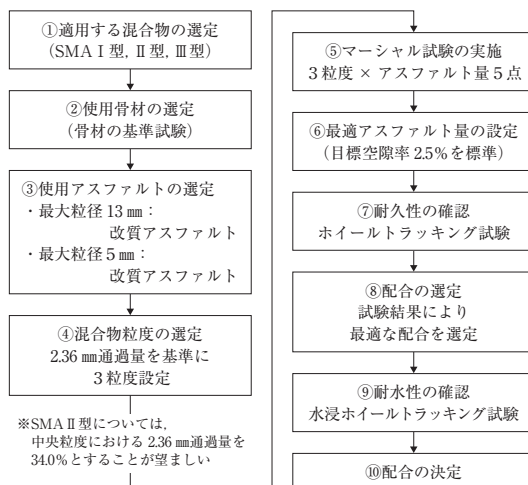


図-1 SMAの配合設計の流れ²⁾

表-1 SMAの粒度範囲の例^{1, 2)}より作成

	粒度1 (SMA I型)	粒度2 (SMA II型)	粒度3 (SMA III型)
最大粒径 mm	13	13	5
ふるい目の開き	粒度範囲		
通過質量百分率 %	19.0 mm	100 (100)	100 (100)
	13.2 mm	95~100 (95~100)	100 (100)
	9.5 mm	—	—
	4.75 mm	20~40 (30~50)	90~100 (90~100)
	2.36 mm	20~35 (20~35)	35~50 (35~50)
	600 μm	—	—
	300 μm	10~20 (13~20)	15~25 (15~25)
	150 μm	—	—
	75 μm	8~13	8~13
アスファルト量 %	5.5~7.5	5.5~7.5	6.5~9.0

注1：繊維質補強材の添加量は0.3%~0.5%（外割）とする場合が多い。

注2：粒度1は耐流動性を重視して表層に用いた例、最大粒径20mmとする場合もある。粒度2は水密性を重視して基層に用いた例、粒度3は水密性を重視して橋面の基層（施工厚さ3cm）に用いた例。

注3：()の値はNEXCOの粒度範囲値²⁾

注4：NEXCOによるSMA I型、II型、III型は、特に表層または基層に分けて使用していない。

表-2 マーシャル試験基準値

項 目	基 準
突固め回数	地域区分、交通量区分を問わず両面各50回
マーシャル安定度 (kN)	6以上
空隙率 (%)	2~3
水浸マーシャル残留安定度 (%) 60℃ 48時間	75以上
骨材間隙率 (%)	最大粒径13mm：17以上（望ましい値） 最大粒径5mm：14以上（望ましい値）

ます。突固め回数については50回にするケースが多いですが、75回や100回を用いているケースもあります。

2. 各国のSMA粒度分布および規定値の紹介

2.1 SMAの粒度分布³⁾

SMAの粒度範囲は、最大骨材粒径が同程度であっても、国によって異なります。最大骨材粒径が11~13mmの粒度範囲について、ドイツ、アメリカ、スウェーデンおよび日本の粒度分布を図-2に示します。これらの国では、4.75mmと2.36mm付近の通過量に、かなり違いがあることが読み取れます。アメリカの粒度範囲は、下方気味に設定されており、20μmまで規定されていることが注目されています。

スウェーデンの技術者は2mm通過量を重要視しており、2mm通過量が23%以上になると、粗骨材同士の噛み合いが損なわれることから、耐流動性能が低下することを指摘しています。75μm通過量は10%程度の値を示しています⁴⁾。

2.2 SMAの各国のマーシャル規定値

植物繊維添加時の各国で提唱されているSMAのマーシャル基準値(空隙率、骨材間隙率)およびアスファルト量を表-3に示します。なお、アメリカではGTM (Gyratory Testing Machine) を用いた配合設計が検討されており、これによって配合設計を行う場合には旋回数を100回としています。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：舗装施工便覧(平成18年度版)、2006年2月、pp.213-214
- 2) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社：設計要領 第一集 舗装編、平成25年7月、pp.53-57.

- 3) 内田喜太郎、黒川勤：欧米諸国のSMAへの取り組み、舗装 Vol.35, No.8, 2000年, pp.11-16.
- 4) 内田喜太郎：碎石マスタックアスファルト、アスファルト合材 No.54, 2000年4月, p.51.

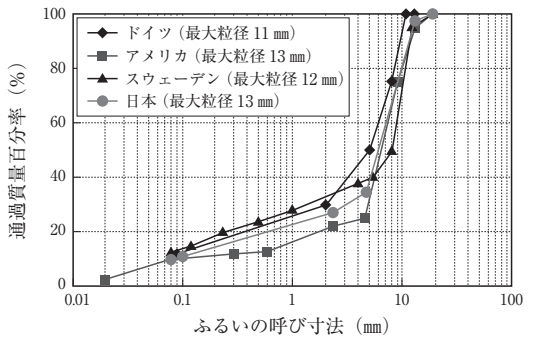


図-2 SMAの粒度分布比較

表-3 各国で提唱されている規定⁴⁾

国名	締固め方法	突固め回数(回)	最大粒径(mm)	空隙率(%)	VMA(%)	2.0mmの粒度範囲の中央値(%)	アスファルトの種類	アスファルト量(%)
ドイツ	マーシャル	50	11	2~4		25	B65	6.5~7.5
			8			25	B65, B80	
			5			35	B80 (B200)	7.0~8.0
スウェーデン	マーシャル	50	12	3		24.5	B65 or 改質アスファルト	6.6 ^{注1)}
			16			22.5		6.3 ^{注1)}
アメリカNAPA	マーシャル	50	13	3~4	17以上	19.5	AASHTO M226	6.0以上
ベルギー	マーシャル	50	14	2~6			Pene80~100	6.5~7.5 (標準7.0)
U.K.	BS598 Part107		10	3~5		26	Pene50~100 or 改質アスファルト	6.5~7.5
			14			23.5		6.0~7.0
オーストラリア	マーシャル	50	10	5~8	14以上	20	Class320 or 改質アスファルト	5.9~6.9
			14		13以上			
フィンランド	TIE433		8	2~5	16~20	26	B-45~B-120 or 改質アスファルト	7.0~8.0
			12	2~6		25		6.5~7.5
			20	注2)		20.5		5.8~6.8
南アフリカ	マーシャル	50	9.5~13.2	3~4				6.0~7.0
デンマーク	マーシャル	50	8	1.5~4.0	16以上		B60 or PmB	
			11					
			20					
チコスロバキア共和国	マーシャル	50 or 100	8	(2x50回) 3.0~4.5		26	AP-65 PmB45, PmB65	6.8~7.2
			11	(2x100回) 2.5		23		6.5~7.0
ハンガリー	修正されたマーシャル試験法による		8	2.5~4.5		25	B-50, B-65, PmB-80A, PmB-80B	6.1~7.0
			12	3.0~4.5				5.66~7.0
オランダ	マーシャル		6	4		32.5	B80	7.41
			8			27.5		6.89
			11			25		6.54
			11(重交通)	5		22.5		6.54
ノルウェー	マーシャル	75	11	1~5, 2~5		26	B80~180, PmB ^{注2)}	6.3 ^{注1)}
			16	注2)		22.5		6.0 ^{注1)}
ポルトガル	マーシャル		9.5	3~6		27	改質アスファルト	5%以上 ^{注3)}
			12.5	3~5		26		
スイス	マーシャル		6	2~4		35	B80/100, B55/70 改質アスファルト ^{注4)}	7.0~8.0
			11	3~4		25		6.5~7.5
			16	注2)		24		6.0~7.2

注1) アスファルト量の推奨値
注2) 設計条件(交通量)により変わる
注3) 骨材質量に対するアスファルト量
注4) 交通条件、気象条件を考慮して選定される

疑問 SMAに植物繊維を添加するとどのような効果がありますか？

<調査結果>

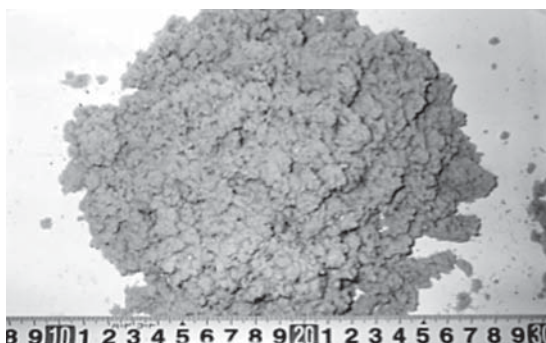
SMAに植物繊維を添加すると、次のようなメリットがあげられます。

- ①微細な繊維がアスファルトを吸収するため、混合物の最適アスファルト量が増加し、粗骨材間にアスファルトモルタルが形成されるため、ダレを防止する。
- ②形成されたアスファルトモルタルは、微細な繊維がアスファルト中で絡みあっており、アスファルトを物理的に改質し、流動特性や耐摩耗性等の混合物性状を改善する。

繊維を添加することで、ダレ防止効果によりアスファルトモルタルが増加し、混合物の耐久性を向上させる効果があります。逆に繊維を添加しない場合は、ダレが発生しやすくなるため、十分な量のアスファルトモルタルを確保できず、期待された性能を発揮できなくなる場合があります。

また、日本では一般的に植物から生成される植物繊維（メチルセルロース）が使用されているようです（写真－1）。

実際に植物繊維を添加した場合の混合物の耐流動性、耐摩耗性といった混合物特性への効果について、次に繊維の種類が混合物特性に与える影響について、最後に各国で使用されている繊維の種類について紹介します。



写真－1 植物繊維

1. 添加による混合物特性の変化

表－1は、各種混合物の動的安定度および摩耗試験結果を示したものです。ここでは、各種混合物に植物

繊維を添加し、試験を実施しています。

まず、最適アスファルト量を見てみると、繊維添加無しの場合と比べて、繊維添加有りでは、アスファルト量が増加していることが分かります。

次に、動的安定度については、繊維を添加することによりいずれの混合物においても耐流動性が向上する結果となっています。

一方で、すり減り量については、SMAでは耐摩耗性が向上する結果となりました。しかし、密粒度アスファルト混合物ではほとんど変わらず、透水性アスファルト混合物では逆に劣る結果となっています。これは、各種混合物のアスファルト添加量に対する植物繊維添加量の質量比の違いによるものと考えられます（それぞれの質量比は、SMAが7.4%、密粒度アスファルト混合物が7.7%、透水性アスファルト混合物が9.7%となっています）。アスファルトに対してある一定以上の比率で植物繊維を添加すると、締固め等に影響が出ると考えられ、今回の結果では、密粒度アスファルト混合物の7.7%前後が限界の値であると思われます。

このように、アスファルト混合物に繊維を添加することによって、混合物特性が変化する効果があります。

表－1 各混合物の動的安定度および摩耗試験結果¹⁾

混合物種類 繊維添加 ¹⁾	SMA		密粒度アスコン		透水性アスコン	
	無	有	無	有	無	有
As量(%)	6.35	6.80	5.80	6.50	4.55	5.15
動的安定度 (回/mm)	389	3,316	716	2,625	292 ²⁾	1,575
ラベリング試験 すりへり量(cm ²)	1.83	0.87	2.39	2.07	5.58	6.55

1) 繊維の添加割合は、混合物質量に対して一律0.5%

2) 変形量が15分と30分の時の値

2. 繊維の種類による影響

次に、繊維の種類によって混合物特性値に差があるのかを見てみます。表－2は、各種繊維によるマーシャル安定度およびすり減り量の結果を示したものです。ここでは、植物繊維を含む5種類の繊維について検討を行っています。

マーシャル安定度では、植物繊維および天然岩石繊維を添加した混合物の値が、繊維添加無しの場合より多少減少する傾向がありますが、その他の繊維につい

ては概ね同程度以上であることが分かりました。

すり減り量では、すべての繊維に関して値が減少しており、耐摩耗性の向上に寄与する結果となりましたが、スラグ繊維に関しては他の繊維と比較すると、その効果は低いようです。

以上のように、繊維の種類による影響を見てみると、耐久性向上に寄与するものと、耐摩耗性に寄与するもの、あるいは両者に寄与するものなど様々なタイプがあることが分かります。

3. 各国の使用繊維

SMAに使用されている繊維の種類は、植物繊維、セルロースファイバー（木質繊維を使用して製造された物）、鉱物ファイバー、グラスファイバー（ガラス繊維：ガラスを融解、牽引して繊維状にしたもの）、プラスチックファイバーなどがあります。各国で使用されているファイバーの内訳は、表-3のようです。

鉱物ファイバーとしては、当初はアスベストが使われたこともあったそうですが、規制後は玄武岩などのロックウールが使われているようです。また、ドイツでは、低コスト、混合温度の幅が広いこと、舗設時間に余裕があるなどの理由からセルロースファイバーが好んで使われています。また、添加量は0.1%と少量でも可能ですが、混合時の分散性を考慮するならば0.3%が有効であるとしています。

表-2 各種繊維の添加による混合物特性²⁾

繊維種類	繊維無し	植物繊維	天然 岩石繊維	スラグ繊維	炭素繊維	化学繊維
比重	—	1.58	2.65	2.92	1.65	1.27
繊維長 (mm)	—	0.22	0.54	0.09	3.43	2.04
繊維径 (μm)	—	4.8	3.4	4.4	5.3	4.5
混入量 (%)	—	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5
アスファルト量 (%)※1	5.80	7.00	6.10	6.00	6.25	6.75
マーシャル 安定度 (kN) ※1	9.2	7.8	7.4	10.7	9.2	10.2
すりへり量 (cm) ※2	1.83	0.87	0.82	1.42	0.74	0.88

※1：密粒度アスファルト混合物 (13) ※2：碎石マスチック混合物

表-3 各国で使用されている繊維と添加量³⁾

国名	繊維の種類※6	繊維の添加量
ドイツ	植物繊維 セルロースファイバー	0.3～1.5 0.3が標準
スウェーデン※1	セルロースファイバー	0.3
	鉱物繊維	0.5
	グラスファイバー	—
	プラスチックファイバー	—
スイス	有機ファイバー	—
	鉱物ファイバー	—
デンマーク	セルロースファイバー	0.25
ハンガリー	セルロースファイバー	—
オランダ	セルロースファイバー	0.3
ベルギー	植物繊維	0.3
アメリカNAPA	植物繊維 セルロースファイバー	0.3
	鉱物ファイバー	0.4
チェコスロバキア共和国	セルロースファイバー or Granules	0.3
フィンランド※2	セルロースファイバー	0.2～0.5
	天然ファイバー	0.7～0.9
	グラスファイバー	0.4～0.6
ポルトガル※3	—	—
U.K.※4	植物繊維	0.3～1.5 0.3が標準
オーストラリア※5	—	—

※1：セルロースファイバーや鉱物ファイバーが広く使われている

※2：セルロースファイバーの添加量は繊維の種類、形状（長さ）により異なる。

※3：繊維は使用していない。（改質アスファルトの使用）

※4：セルロースファイバーを少なくとも70%含む植物繊維。

※5：繊維はマーシャル基準値に適合するように必要に応じて添加される。

※6：鉱物ファイバーは主に玄武岩ファイバーである。

— 参考文献 —

- 1) 井上武美, 内田精一：アスファルト混合物の流動特性と耐流動材料に関する一検討, 道路建設, vol.62, No.9, 1987年, pp.54-59.
- 2) 秋葉正一, 補強繊維を添加したアスファルト混合

- 物の性状, 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.
- 3) 内田喜太郎, 黒川勤：欧米諸国のSMAへの取り組み, 舗装, vol.35, No.8, 2000年, pp.11-16.

疑問 SMAの水密性を高めるにはどのような方法がありますか？

<調査結果>

SMAの水密性を高める方法としては、以下の2つが考えられます。

- ①アスファルトモルタル（砂，フィラー，繊維，アスファルト）の量を増やし，骨材間隙への充填量を増やす骨材配合にする。
- ②舗設時の締固め効果の高い施工機械を用いて，舗装の水密性を高める。また，事前の試験施工によって適切な施工機械編成，各施工工程の管理温度の設定を行い施工する。

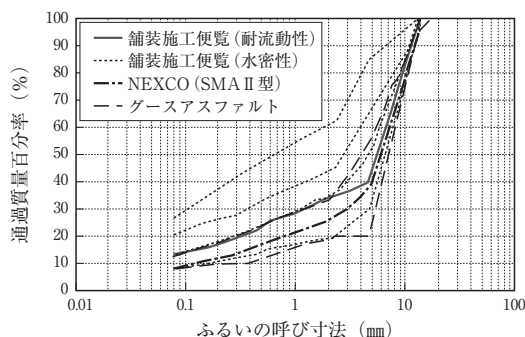
また，水密性に優れたSMAの適用箇所としては，鋼床版舗装への適用があります。鋼床版は，床版すべてが鋼材からなるため，水によって腐食が懸念されるからです。

では，実際に骨材配合の違いや施工機械の選定によってどの程度水密性が増すのか，具体的なデータ交えて紹介します。

1. 配合の違い

図－1は各種類のSMAおよびグースアスファルトの粒度範囲の例です。この図から，耐流動性に寄与したSMAと比べると，水密性に特化したSMA（舗装施工便覧およびNEXCO）は粒度が上方に位置しており，アスファルトモルタルが増加する配合となっています。

また，多量のアスファルトモルタルを含むグースアスファルト混合物と比べると，SMAはグラフの傾きが急激になっていることから，ギャップ粒度であることがわかります。ギャップ粒度であるために，骨材間隙にアスファルトモルタルが充填され，耐流動性が向上されます。

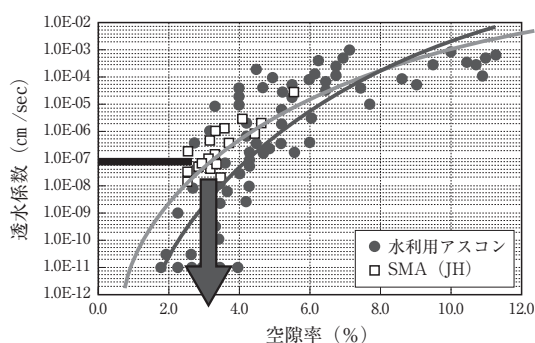


図－1 各アスファルト混合物の粒度範囲^{1, 2)}

2. 水密性を確保するための透水係数

ここで，水密性を確保したSMAは，どの程度の透水係数なのでしょう。土の透水性についての地盤工学会の表現では，透水係数が 10^{-7} cm/s未満であれば実質上の不透水レベルであるとしています³⁾。

また，図－2はSMAの透水係数と空隙率の関係⁴⁾を示したものです。グラフからSMAの透水係数が 10^{-7} cm/s未満となるときの空隙率は3%程度となっています。このことから，SMAは空隙率を3%以下に管理することで，水密性を確保できると言えます。



図－2 SMAの透水係数と空隙率の関係⁴⁾

3. 骨材配合による水密性の確保

SMAは骨材配合によって様々な機能を付加することができます。ここではSMAの骨材配合を変えて混合物特性を検討した結果について述べます。

表－1は各SMAの粒度範囲と混合物特性，図－3は各SMAの空隙率と透水係数の関係を示したものです⁵⁾。この検討では，鋼床版舗装用として適用するた

表－1 各混合物の粒度範囲と混合物特性⁵⁾

No.	ふるい通貨量		改質アスⅡ	
	2.36 mm	75 μm	アス量 %	空隙率 %
1	34.5	13.0	6.6	2.8
2	31.0	12.0	6.6	2.8 (3.5) *1
3	27.5	10.5	6.6	2.8 (3.4) *1
4	24.0	9.0	6.5	4.0
4-1	24.0	13.0	6.5	3.0 (3.6) *1

*1 : () 内の数値は，OAC-0.3%の空隙率

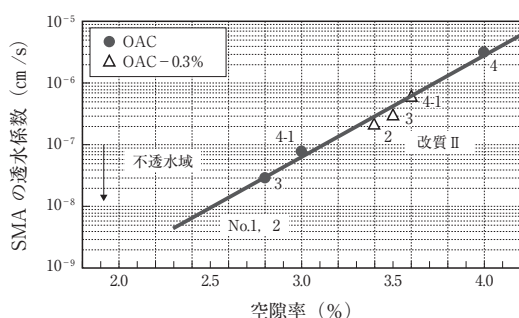


図-3 空隙率と透水係数の関係⁵⁾

めのSMAの配合条件を設定するため、SMAの標準粒度範囲内で、2.36mmおよび75 μ mふるい通過量を変化させた5水準(No.1~No.4.1)について混合物特性値を検討しています。なお、No.3の配合はSMAの標準粒度範囲の中央粒度に設定したものです。検討結果としては、水密性を確保できる空隙率3%以下を満足できる骨材配合は、2.36mm通過量が27%以上となっています。

つまり、水密性を高めるためには、SMAの標準粒度範囲の中央粒度より上方の粒度範囲(2.36mmおよび75 μ m)とすることが重要になります。

4. 施工方法による水密性の確保

舗装機械の組み合わせによる舗装の効果的な転圧によって、水密性を高める方法もあります。ここでは、アスファルトフィニッシャ(以下、AF)の締固め機構の違いによる水密性の違いについて述べます。

図-4は、シングルタンパ式およびダブルタンパ式それぞれのAFで施工したSMA(13mm)の空隙率を示したものです²⁾。タンパは、AFの締固め機構の一部で、タンパの上下振動によってアスファルト混合物を締固めて舗設します。このタンパの配置が1列のものがシングルタンパ式、2列のものがダブルタンパ式となります。図から、ダブルタンパ方式の方がシングルタン

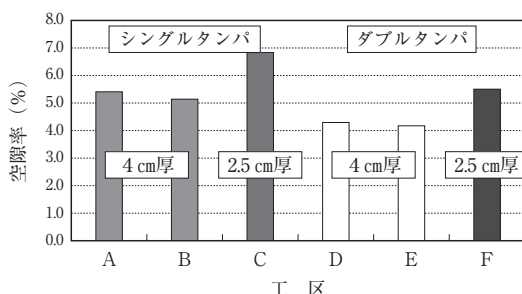


図-4 SMA(13mm)の施工方法と空隙率の関係⁴⁾

パ方式よりも空隙率が低い結果となり、水密性の高い舗装となることが分かります。

また、舗装施工便覧では、水密性が要求される場合は、混合物の仕上がり密度に依存するため、必要な締固め度が確保できる施工方法を事前に検討しておくことを勧めています。ここで、各舗設工程の管理温度を確認・設定しておくことも重要です。

5. 中温化材の添加による水密性の確保⁶⁾

アスファルト混合物に中温化材を添加することによって、締固め特性が改善されます。本来は、通常よりも低い温度で製造および施工するときに中温化材を用いますが、これを通常の温度で施工することにより、高い締固め度が得られ、水密性の良好な舗装体となることが期待できます。

—— 参考文献 ——

- 1) (社)日本道路協会：舗装施工便覧(平成18年度版)，2006年2月pp.206-214.
- 2) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：設計要領 第一集 舗装編，平成25年7月.
- 3) 土質試験方法と解説，土質工学会編，1990年，p.271.
- 4) 神谷恵三：水密性の高いSMAの施工方法，アスファルト，vol.47，No.216，2004年，pp.14-17.
- 5) 荒井孝雄他：碎石マスチックアスファルト混合物の利用技術の進展，第7回北陸道路舗装会議技術報告集，1997年，pp.45-50.
- 6) 吉中保他：橋面防水用碎石マスチック舗装の水密性向上のための高締固め化に関する研究，第27回日本道路会議，2007年.

おわりに

今回は若手技術者が普段感じている素朴な疑問としてSMAをテーマに5項目についてについて調査し、その結果に豆知識を織り交ぜながら解説しました。

現在の舗装業界の環境は、諸先輩方の時代とは全く異なっており、ユーザからのニーズが多様化する一方で公共工事(舗装工事)が減少し、若手技術者が様々な現場を経験することが非常に難しい状況であります。その結果、現場における「舗装技術の伝承」が困難になっています。そのようなことから、このコーナーを継続していくことで我々のような若手技術者の一助になれば幸いです。



アスファルト・舗装 研究

ニチレキ株式会社 技術研究所

ニチレキグループは、「道」創りになくてはならない企業グループとして、地球環境の保全に配慮した取り組みを継続的に推進することで、持続可能な社会の実現に貢献してきました。

当社の歴史は材料・工法の研究開発の歴史であり、その中枢を担っているのが技術研究所です。主に、道路舗装の長寿命化や維持管理ニーズに応える材料・工法開発、施工現場の問題解決に取り組んでいます。ここでは研究開発の内容や、新技術の開発を支える評価試験機などを紹介します。

1. はじめに

当技術研究所は、昭和25年に東京都荒川区に作られた中央研究所を前身とし、昭和52年に現在の栃木県下野市に誕生しました。

現在は、舗装材料を通してあらゆる道づくりに貢献するため、道路舗装の新設やリサイクルなどに用いるアスファルト乳剤、舗装の長寿命化・高性能化・多機能化に寄与するポリマー改質アスファルト、橋梁長寿命化に資する床版防水材などのアスファルト応用加工製品を研究開発しております。

また、現場のニーズに適した舗装工法、施工機械等も開発しております。



ニチレキ(株)技術研究所

2. 研究開発の紹介

ニチレキは、昭和34年に我が国最初のカチオン系アスファルト乳剤「カチオゾール」の開発および製品化に成功して以来、舗装材料を中心に様々な製品を提供してきました。

現在も、道づくりを通して社会に貢献すべく、市場環境の変化やニーズを的確に捉えた新製品・新工法の開発に積極的に取り組んでいます。

ここでは、ニチレキが提案している技術をいくつか紹介いたします。

2.1 分解促進型タックコート

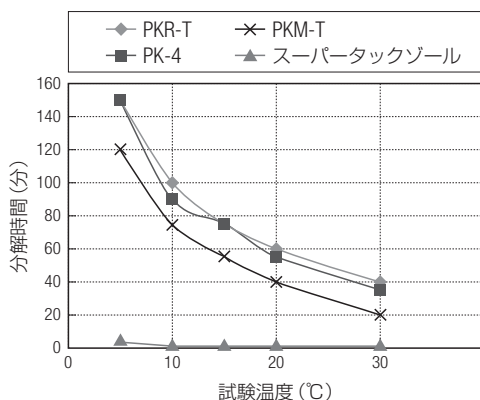
【スーパータックゾール】

タックコートは、舗設するアスファルト混合物層と、その下層にあたる基層や既設舗装との接着を高めるために用いられます。その材料には通常、浸透用アスファルト乳剤（PK-4）やゴム入りアスファルト乳剤（PKR-T）が使用されており、近年ではタイヤ付着抑制型（PKM-T）が開発され、多くの現場で使用されています。

しかし、低温期の施工では養生に長時間を要し、工程を圧迫するケースが多く、現場からより分解の速い乳剤の開発が望まれていました。

スーパータックゾールはこの要望に応えるべく、タイヤ付着抑制型乳剤の性能を確保しつつ、養生時間を飛躍的に短縮したアスファルト乳剤です。

スーパータックゾールは冬期の施工でも乳剤の分



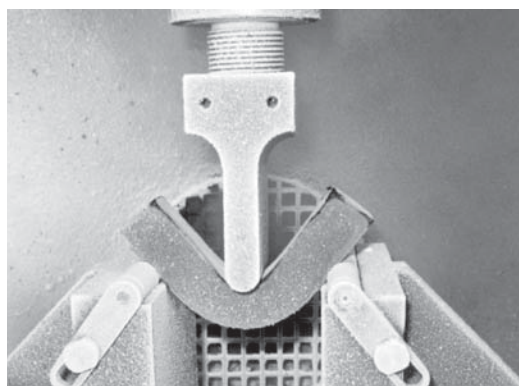
アスファルト乳剤の分解時間

解時間が短く、施工時間の短縮が図れるため、早期の交通開放や日当り施工量の増加を実現しました。

2.2 高骨材飛散抵抗性ポリマー改質アスファルト【ケミファルトSV】

積雪寒冷地のポーラスアスファルト舗装では、除雪車などが装着するタイヤチェーンの衝撃によって、比較的早期に骨材飛散などの損傷が生じます。

ケミファルトSVは、-30℃の超低温条件下においても柔軟性に富むため、骨材が飛散しづらく、ポーラスアスファルト舗装の長寿命化に貢献します。



ケミファルトSVの曲げ試験状況 (-30℃)

2.3 高性能床版防水【HQハイブレンAU工法】

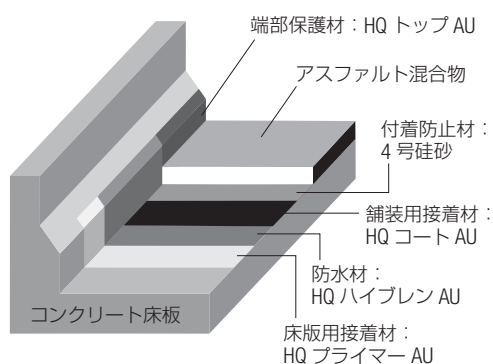
国内のインフラは高度成長期に集中的に建設され、今後数年間で急速に老朽化が進むと言われております。なかでも重要なインフラである「橋」については、より長く供用できる技術に多くの関心が寄せられています。

そこで橋梁の長寿命化に資する技術として、コンク

リート床版の保護を目的とした高性能床版防水材「HQハイブレンAU工法」を開発しました。

本工法は、ひび割れ追従性の高いポリウレタと、防水性や舗装との接着性の高いアスファルトを融合した新たな床版防水工法であり、30年を想定した負荷にも耐えられる高耐久性を有しています。以下にその特徴を示します。

- 改質アスファルト技術により防水材とアスファルト舗装が強固に接着します。
- シンプルな工程で施工時間を大幅に短縮できます。
- 継ぎ目の無いシームレスな防水層の構築が可能です。



HQハイブレンAU工法の構成断面

2.4 常温型機能性舗装工法【エマルテック工法】

本工法は、高濃度改質アスファルト乳剤（タクミゾール）と付着性を高めたプレコート骨材（ロメンチップ）を均一に同時散布するロメンマックⅡ（骨材散布装置付エマルジョンフィニッシャ）という二チレ



ロメンマックⅡ

キグループ独自の特殊な施工機械を組み合わせた工法です。舗装の面荒れ補修や褥層として超薄層で施工し、舗装の延命を図ります。

3. 研究施設の紹介

当研究所では、アスファルトの基礎研究や新製品の開発を行なうため、様々な試験機を導入しています。ここでは、当研究所が保有する試験機をいくつか紹介いたします。

3.1 アスファルト試験機類

米国 SHRP 計画における SUPERPAVE バインダ仕様の試験機をはじめ、舗装用石油アスファルト、ポリマー改質アスファルトの品質検査、性状評価を実施する試験機を取り揃えております。

3.2 アスファルト混合物試験機類

3.2.1 回転ホイールトラッキング試験機

一定荷重を載荷したタイヤを供試体に設置し、供試体を一定方向に回転させます。回転数の増加に伴う供試体のねじり骨材飛散量を測定します。

主にポーラスアスファルト混合物を表層に用いた舗装の交差点において、タイヤのねじりによって路面の骨材が飛散する程度を評価します。

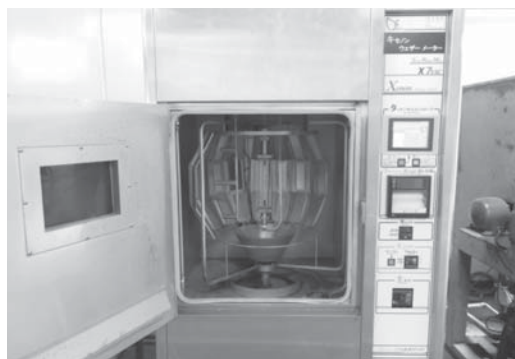


回転ホイールトラッキング試験機

3.3 促進劣化試験機類

3.3.1 キセノンウェザーメーター

太陽光・温度・湿度・降雨などの屋外の条件を人工的に再現し、劣化を促進させ、いち早く製品・材料の耐候性を評価します。



キセノンウェザーメーター（縦置き式）



キセノンウェザーメーター（横置き式）

当研究所では、供試体の設置が縦置き式と横置き式の2タイプを保有しています。横置き方は、ホイール供試体でも試験が可能です。

3.4 化学分析機器類

3.4.1 イアトロスキャン

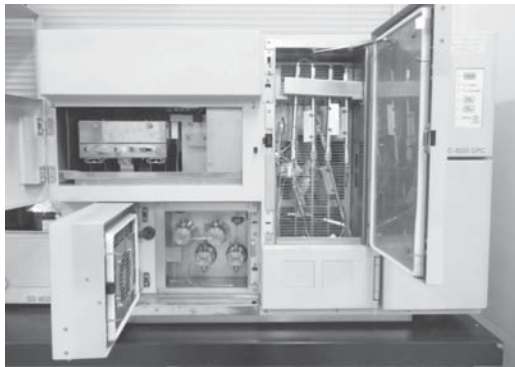
クロマトグラフの一種で、薄層クロマトグラフの検出装置を応用してアスファルトの四成分分析（飽和分、芳香族分、レジン、アスファルテン）や、脂質、油脂、重質油などの分析に使用します。



イアトロスキャン

3.4.2 ゲルクロマトグラフ (GPC)

サイズ排除クロマトグラフの一種で、アスファルト等の高分子材料の分子量および分子量分布の測定に使用します。



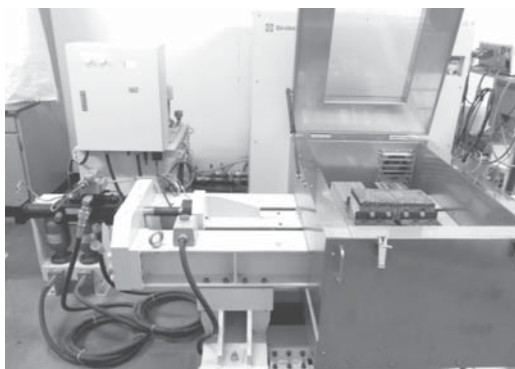
ゲルクロマトグラフ

3.5 耐久性評価試験機類

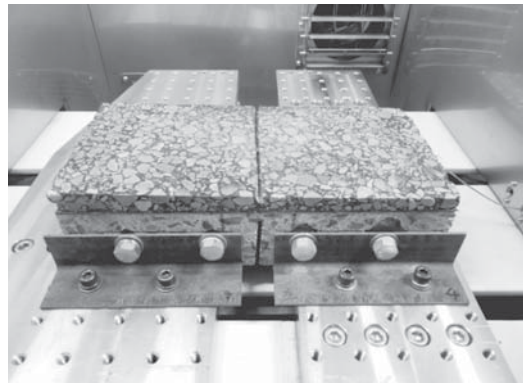
3.5.1 ひび割れ開閉試験機

RC床版にひび割れがあった場合には、その直上にある防水層がひびわれ開閉繰り返しによる負荷を受けます。本試験機は、これらの現象をシミュレートすることを目的としています。

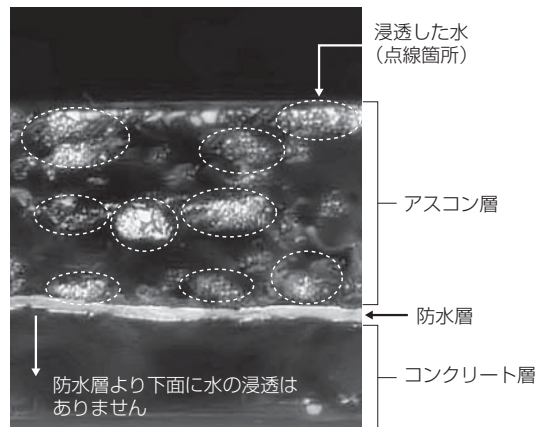
試験には、コンクリート版上に床版防水層およびアスファルト混合物を施工した供試体を使用します。ひび割れ開閉負荷試験を実施後、防水性試験Ⅱを実施することで、耐久性の負荷を与えた後の防水性を評価します。



ひび割れ開閉負荷試験機



ひび割れ開閉負荷試験状況



防水性試験Ⅱの漏水判定状況
(HQハイブレンAU工法)

4. おわりに

人々の憩いの場でもある生活道路、都市間を繋ぐ幹線道路、日本経済の動脈となる高速道路、これらの道路の機能を十分に発揮させているのが舗装です。

水たまりのない舗装、乗り心地の良い舗装、快適で安全性の高い舗装、低騒音など環境に配慮した舗装など、舗装にはいろいろな機能が付与され、道路としての役割を果たしています。

ニチレキは、多様化、高度化するニーズをたえず先取りし、社会に貢献すべく最新の舗装技術を提供してまいります。

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
18 年 度	231	5,435	(101.2)	26	5,691	3,373	(100.9)	2,401	(96.9)	281	242	3,897
19 年 度	242	4,974	(91.5)	77	5,051	3,243	(96.1)	2,323	(96.8)	171	224	3,338
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)	256	4,394	2,482	(94.5)	1,739	(96.9)	0	200	2,682
24 年 度	200	3,960	(101)	99	4,259	2,366	(95.3)	1,565	(90.0)	59	217	2,583
25. 4 月	217	236	(79)	0	453	132	(84)	75	(82.9)	8	230	363
5 月	230	236	(89)	3	469	156	(98)	94	(90.6)	3	212	368
6 月	212	298	(90)	12	522	159	(96)	105	(96.2)	3	191	349
4～6 月	217	770	(85.9)	15	1,002	447	(92.7)	274	(90.3)	15	191	638
7 月	191	338	(100)	3	532	163	(78)	105	(81.8)	0	185	348
8 月	185	349	(91)	7	541	172	(84)	112	(92.0)	0	205	377
9 月	205	310	(85)	7	523	177	(87)	116	(85.6)	0	202	379
7～9 月	191	998	(91.5)	18	1,206	512	(82.7)	333	(86.4)	0	202	714
10 月	202	213	(70)	13	428	175	(81)	125	(83.9)	0	192	367
11 月	192	293	(108)	7	492	201	(90)	151	(97.5)	0	202	403
12 月	202	351	(91)	14	566	211	(99)	146	(100.3)	0	195	406
10～12 月	202	857	(89.1)	34	1,093	587	(90.0)	422	(93.9)	0	195	782
26. 1 月	195	371	(117)	0	566	171	(106)	103	(103.8)	0	225	397
2 月	225	320	(97)	8	6	181	(89)	124	(87.6)	0	204	385
3 月	204	343	(95)	18	565	252	(102)	199	(106.9)	0	215	467
1～3 月	195	1,034	(102.1)	26	1,255	605	(98.6)	426	(99.8)	0	215	820
25 年 度	217	3,659	(92.4)	92	3,968	2,151	(90.9)	1,455	(93.0)	15	215	2,366
26. 4 月	215	243	(103)	0	458	147	(111)	85	(113.7)	0	251	398
5 月	251	219	(93)	8	477	153	(98)	94	(99.5)	7	226	379
6 月	226	258	(87)	6	491	143	(90)	92	(87.1)	11	222	364
4～6 月	215	719	(93.4)	14	948	443	(99.1)	270	(98.6)	18	222	664
7 月	215	287	(87)	6	508	158	(101)	100	(95.1)	8	199	358
8 月	199	273	80	3	476	146	88	83*	(74.3*)	8	194	340
9 月	194	315	102	6	516	166	97	101*	(87.4*)	0	219	385
7～9 月	215	876	(89.0)	15	1,106	470	(95.0)	284*	(85.4*)	16	219	689

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 主要建設資材月別需要予測より引用
 *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26年10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)	3121
JX日鉱日石エネルギー株式会社	(100-8162)	千代田区大手町2-6-3	03 (6275)	5174
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
エムシー・エネルギー株式会社	(100-0011)	千代田区内幸町1-2-2	03 (5251)	2060
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	(111-0052)	台東区柳橋2-19-6	03 (3861)	4612
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

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
株 式 会 社 松 宮 物 産	(522-0021) 彦根市幸町32	0749 (23) 1608
横 田 瀝 青 興 業 株 式 会 社	(672-8064) 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
多 田 宏 行	委 員 長 : 中 村 俊 行 伊 藤 達 也 新 田 弘 之 峰 岸 順 一 加 納 孝 志 根 本 信 行 村 山 雅 人 神 谷 恵 三 浜 田 幸 二 吉 村 啓 之 向 後 憲 一 半 野 久 光 竹 井 利 公 姫 野 賢 治 前 川 亮 太

アスファルト 第230号

平成26年12月発行

一般社団法人 日本アスファルト協会

☎ 105-8528 東京都港区芝1-1-1 浜松町ビル
コスモ石油株式会社 販売部 販社室
TEL 03-3798-3121

機関誌「アスファルト」に関するお問い合わせ

JX 日鉱日石エネルギー株式会社 産業燃料部 野地 実
TEL 03-6275-5174

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.57 No.230 DECEMBER 2014

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/>

