

アスファルト

234

第61巻 第234号 平成30年12月発行

特集・最近のアスファルト事情

石油アスファルト需給動向と将来展望について	JXTGエネルギー株式会社	1
改質アスファルトにおける最近の技術動向		6
	一般社団法人 日本改質アスファルト協会技術委員会	
最近のアスファルト乳剤の技術的動向	一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会	16
「舗装点検要領に基づく舗装マネジメント指針」の概要	桑原 正明	21
アスファルト混合物の寿命予測に関する基礎検討	加納 陽輔・並木 大宜・新田 弘之	25
半円形供試体曲げ試験によるアスコンのひび割れ抵抗性評価法に関する基礎的研究		29
	高橋 修・大坂 諒・尾谷 力	
耐流動性と疲労抵抗性・応力緩和性に優れた特殊改質アスファルト混合物の供用性		35
	紺野 路登・野中 圭・武藤 一伸	
わが国におけるハイモデュラスアスファルト混合物の適用性に関する検討		40
	白井 悠・吉中 保・菅野 勝一・高橋 茂樹	
アスファルトの発泡が混合物の品質におよぼす影響について	越 健太郎・黒田 康熙	47
成分の異なる再生用添加剤によって繰り返し再生したアスファルトの性状		53
	新田 弘之・田湯 文将・川島 陽子・川上 篤史	
TLC/FID法を用いた新試験法の検討経過報告		59
	公益社団法人 石油学会 製品部会 アスファルト分科会	
<アスファルト舗装技術研究グループ・第66回報告>		63
アスファルト舗装技術に関する新しいアプローチについて		64
～ EATA2017およびWCPAM2017から～		
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		78
～試験・材料編～		
<連載>アスファルト・舗装研究 vol.7	東亜道路工業株式会社 技術研究所	93
<統計資料>石油アスファルト需給統計資料		98

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96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様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 日本改質アスファルト協会、一般社団法人 日本アスファルト合材協会
3. 後 援 国土交通省
4. 開催月日 2019年2月21日(木)～2月22日(金)
5. 開催場所 銀座プロッサム(中央会館)
〒104-0061 東京都中央区銀座2丁目15番地6号 ☎03-3542-8585
6. 内 容 裏面「プログラム」をご覧ください。
7. 申込方法 2019年2月13日(水)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 昭和シェル石油株式会社
技術商品部アスファルト課 関根まで ☎03-5531-5765
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 JSCE18-1369 6.7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

2019年2月21日(木)～2月22日(金)

開催場所

銀座プロッサム(中央会館)

〒104-0061 東京都中央区銀座2丁目15番地6号

☎03-3542-8585

会場アクセス

- 電 車：東京メトロ有楽町線 新富町駅1番出口 徒歩1分
東京メトロ日比谷線 東銀座駅5番出口 徒歩6分
都営地下鉄浅草線 東銀座駅5番出口 徒歩6分
- バ ス：江戸バス(中央区コミュニティバス)
「中央区役所」停留所から徒歩1分
- タクシー：東京駅から5分程度

プログラム

一次世代に向けた舗装・関連技術一

第1日目 2019年2月21日(木) 13:00~17:45

(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 セミナール委員長 太田 亨
2. 挨拶 13:05 ~ 13:20
一般社団法人日本アスファルト協会 顧問 矢野 善章
3. 舗装用アスファルト供給体制について 13:20 ~ 13:50
一般社団法人日本アスファルト協会 小川 翔太郎
4. ITS・自動運転を巡る最近の動向について 13:50 ~ 14:30
国土交通省 道路局 道路交通管理課高度道路交通システム(ITS)推進室
企画専門官 馬渡 真吾
(休憩 14:30 ~ 14:45)
5. 舗装の長寿命化に向けた行政の動き 14:45 ~ 15:15
国土交通省 道路局 国道・技術課 課長補佐 吉沢 仁
6. 高速道路におけるアスファルト舗装の長寿命化 15:15 ~ 15:55
NEXCO 総研 舗装研究室長 高橋 茂樹
7. 首都高速道路のスマートインフラマネジメントシステム“i-DREAMs” 15:55 ~ 16:35
首都高速道路株式会社 保全・交通部 点検・補修推進室点検推進課 担当課長
長田 隆信
(休憩 16:35 ~ 16:45)
8. ポリマー改質アスファルトの役割と次世代に向けた展望 16:45 ~ 17:15
一般社団法人日本改質アスファルト協会 高島 伸知
9. 舗装修繕工事におけるアスファルト乳剤の活用 17:15 ~ 17:45
一般社団法人日本アスファルト乳剤協会 立花 徳啓

第2日目 2019年2月22日(金) 9:15~11:40

10. 道路行政をめぐる最近の話題について 9:15 ~ 10:05
国土交通省 道路局 企画課 道路経済調査室長 田村 央
11. 舗装点検要領に基づく舗装マネジメント指針 10:05 ~ 10:35
国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 道路基盤研究室
主任研究官 桑原 正明
12. 人工知能(AI)を用いた路面画像解析 10:35 ~ 11:40
愛媛大学 工学部環境建設工学科 准教授 全 邦 釘

※講師は都合により変更になる場合があります

石油アスファルト需給動向と将来展望について

(The Latest Trend and Future View)

JXTG エネルギー株式会社 販売本部 産業エネルギー部 産業エネルギー総括グループ

石油アスファルト安定供給の継続にむけて、留意すべき国内外の動向を石油元売の立場からまとめた。

1. 石油産業を取り巻く環境

1.1 原油価格の動向

原油価格は石油産業のコストに与える影響が大きく、常にその動向を注視する必要がある。道路舗装用ストレートアスファルト（以下、「ストアス」）も原油精製による生産品であり、原油価格変動の影響を受ける製品のひとつである。この度、首題の件を述べるにあたって、まず「原油価格とは」を簡単に説明し、後に「足元の原油価格動向」について説明したい。

原油価格は根本的には、原油の需要と供給のバランスが影響するものである。原油が供給過多になれば原油は売れ残りその価格は下落する、逆に需要が供給を上回ればその価値が上昇し原油価格を押し上げる。おそらく、需給だけが変動要因あれば、変動頻度および変動幅は限定的となり、原油価格動向に悩まされることも少なくなるであろう。しかしながら、原油価格は需給影響のほかに、産油国の政策、地政学的リスク、さらには投機資金、先物市場動向にも左右されるため、非常に予測が困難で、石油に携わる人々を悩ましている。

足元の原油価格動向について、2018年初頭はOPEC諸国のみならず、ロシアをはじめとする非OPEC諸国も引き続き協調減産の姿勢を示すなど産油国の政策の影響（≒原油供給量減少）を受けてドバイ原油において65\$/バレル前後の高い水準でスタート。3月に米国・中国間における貿易摩擦問題という地政学的リスクの影響（≒世界経済の低迷懸念）を受けて一時的に60\$/バレル程度に下落した。しかし、5月になると米トランプ大統領がイラン核合意からの離脱を表明し、11月5日からのイラン原油取引禁止を含めた、対イラン制裁の再発動を示唆したため、地政学的リスクの影響（≒原油供給量減少懸念）が原油市況に継続的な価格上昇圧力をあたえ、9月には2014年以来とな

る80\$/バレル越えを記録した。ただし10月になると一転して原油価格が急落し11月末現在では60\$/バレル前後と約2ヶ月間の間に20\$/バレル以上の価格変動が生じたこととなる。これは6月のOPEC総会で減産緩和を決定するなど産油国の政策変更の影響（≒原油供給量増加）や、米中貿易摩擦の影響（≒需要伸長の鈍化）、11月に対イラン制裁の適用除外8か国発表されるという地政学的リスクの影響（≒原油供給量増加）、さらには世界同時株安という投機資金、先物市場変動影響などが複合的に作用した結果である。

今後の原油価格動向について、先に述べたとおり、予測することは困難であるが、「需要」「供給」「産油国の政策」「地政学的リスク」「投機資金、先物市場動向」といった複数の要因を受けて、変動するものと想定しており、当該要因を特に注視する必要がある。

○上方圧力（強要因）

- ・非OECD諸国を中心とした世界需要の伸び【需要】
- ・OPEC減産強化の動き【産油国の政策】

○下方圧力（弱要因）

- ・OPEC減産緩和継続の動き【産油国の政策】
- ・米中貿易摩擦【需要、地政学的リスク】
- ・主要産油国の生産増【供給】

1.2 石油元売の動向

近年の石油元売の動向に欠かせない要素は、2009年7月に成立したエネルギー供給構造高度化法（以下、「高度化法」）である。これは毎年述べているが、石油元売などのエネルギー供給業者に対して、①非化石エネルギー源の利用拡大②化石エネルギー原料の有効利用を促進すること、を目的としている。特に②については、過去2回、経済産業省から設備改善等の基準が示されており、2017年3月までかけて、元売はこの目標を達成してきた（詳細は表-1、表-2を参照）。

この結果、日本国内の原油処理能力は、2008年度に

表-1 高度化法一次告示の結果

企業名	内容	当初装備率	装備率改善目標	具体的処置	改善結果
旧JXエネルギー	重質油分解装置の 装備率向上	10%	30%以上	・常圧蒸留装置（以下トッパー）削減 水島 A 第2, 根岸 第2, 大分 第1, 富山, 室蘭	31%
旧東燃ゼネラル石油		4%	45%以上	・トッパー削減：川崎 第1, 和歌山 第2 ・重質油分解装置新設：川崎 H-OIL	46%
出光興産		13%	15%以上	・トッパー削減：徳山	15%
昭和シェル石油		17%	15%以上	・トッパー削減：川崎 扇町地区	16%
コスモ石油		4%	45%以上	・トッパー削減：坂出 ・トッパー公称能力削減（暫定）	45%
富士石油		16%	15%以上	・トッパー削減：袖ヶ浦 第1	34%
極東石油		19%	15%以上	・トッパー公称能力削減（暫定）	15%
太陽石油		21%	15%以上	・トッパー公称能力削減 ・重質油分解装置増強	18%

※経済産業省の資料を基に当社作成

表-2 高度化法二次告示の結果

企業名	内容	当初装備率	改善率目標	具体的処置	改善結果
旧JXエネルギー	残油処理装置の 装備率向上	46%	11%以上	・トッパー公称能力削減：水島, 麻里布, 鹿島	11%以上
旧東燃ゼネラル石油		36%	13%以上	・トッパー公称能力削減：川崎, 千葉, 堺, 和歌山	13%以上
出光興産		52%	11%以上	・トッパー公称能力削減：千葉, 北海道, 愛知	11%以上
昭和シェル石油		59%	9%以上	・コスモ石油との連携：四日市	9%以上
コスモ石油		43%	13%以上	・トッパー削減：四日市（一部昭和シェルへ計上）	13%以上
富士石油		48%	11%以上	・残油処理装置増強	特例措置
太陽石油		25%	13%以上	・トッパー能力増強 ・残油処理装置増強	特例措置

※経済産業省の資料を基に当社作成

は489万バレル／日（以下、「BD」（barrel per day））であったものが、2018年現在では、351万8,800BD（製油所数：22か所）と28%減少した（図-1、図-2を参照）。国内石油需要が減少を続ける状況下、国内製油所の稼働率を上昇させることで、元売は経営基盤の強化を図り、持続可能な安定供給を目指している。

次に経済産業省より方向性が提示されている、高度化法三次告示について説明する。基本的な考え方と

しては、「国際競争力強化」の観点から、さらなる重質油の分解が求められるとの認識が示され、具体的には、重質油分解装置（流動接触分解装置（FCC）、残油流動接触分解装置（RFCC）、残油水素化分解装置（H-oil）、重質油熱分解装置（コーカー）、直接脱硫装置）の有効活用、重質油分解能力の向上を促すため、2021年度までに同装置への減圧残渣油（以下、「ストアス留分」）の通油量を増加させることを目標としている。各元売

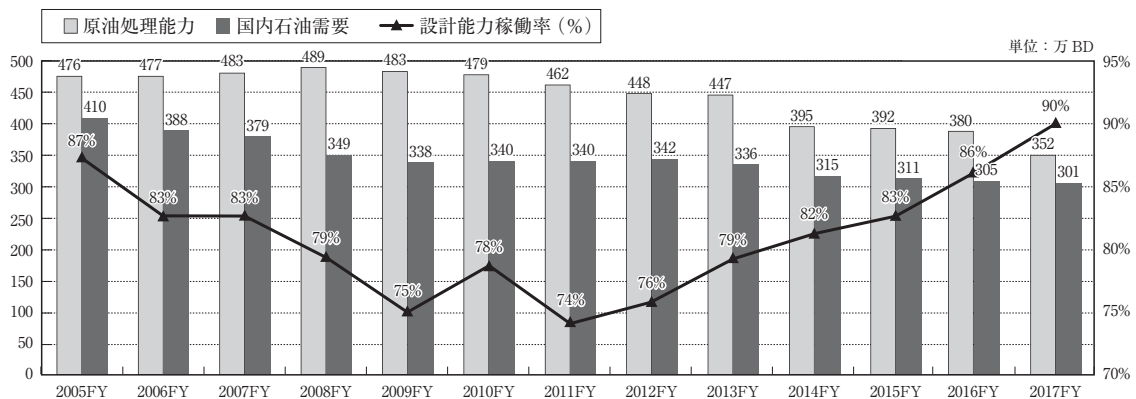


図-1 国内原油処理能力と設計能力稼働率の推移

※経済産業省「石油製品需要見通し」「資源・エネルギー統計」、各社公表情報を元に当社作成

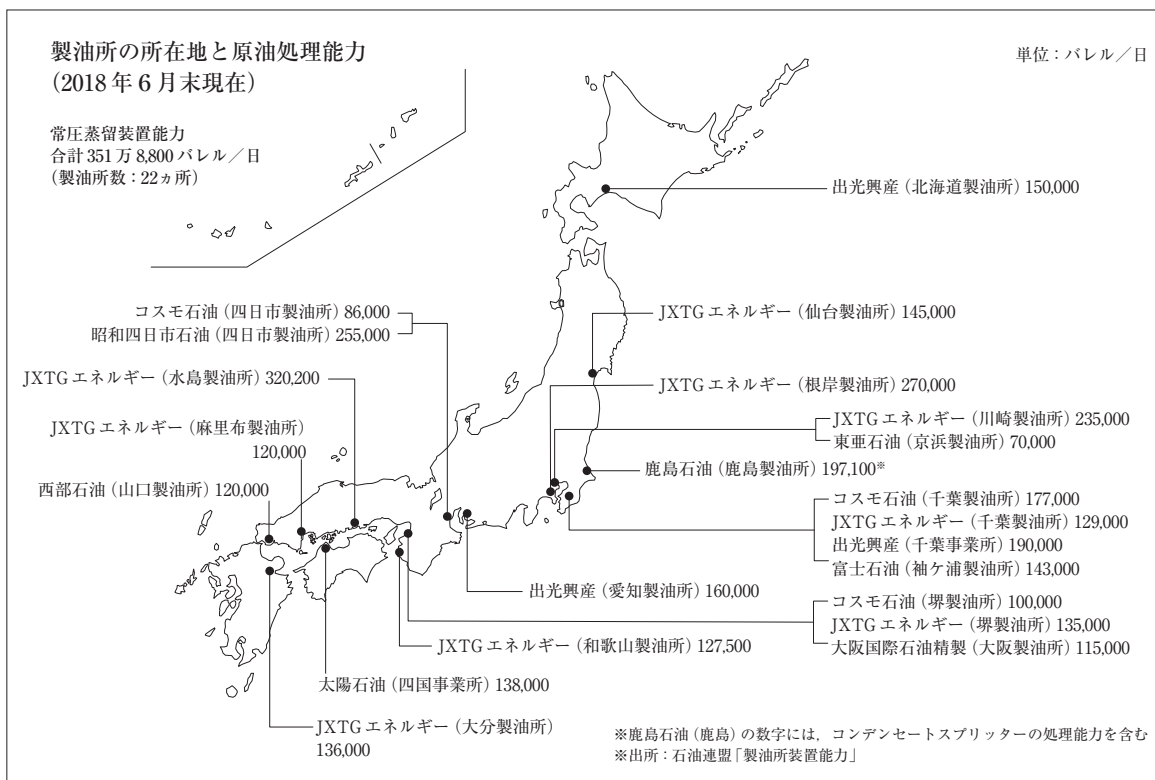


図-2 原油処理能力 (2018年6月末現在)

が2021年度に達成すべき目標値は2014～2016年度のストアス留分処理実績に応じて、通油増加量が絶対値で設定される。

本告示のポイントとして以下2点が挙げられる。第1は過去の告示と異なり、重質油や残油という大きな分類ではなく、ストアス留分を指定して通油量の増加を促しており、三次告示の対応において、ストアス留分の処理量が増加することは不可避である。第2は原油処理能力の削減による目標達成ができない点で、今までのように、高度化法に対応するための原油処理の削減は発生しないこととなる。

ここまで高度化法要素を中心に石油元売の動きを述べてきた、加えて今年はいよいよ一つの要素として、国際海事機関 (以下、「IMO」) が決定した、船舶用燃料油の硫黄分濃度規制強化 (以下、「IMO 規制」) について述べたい。

IMO 規制は、船舶用に利用されている燃料油の硫黄分濃度上限を現在の3.5%から0.5%に引き下げるもので、海洋汚染防止を目的としている。これに伴い現在船舶用に多く利用されている重油JIS3種1号 (以下、「HSC」)、および重油JIS1種2号 (以下、「HSA」)

などが規制対象となり、硫黄分0.5%以下のIMO 規制対応油 (以下、「適合油」) を利用することとなる (ただし、船舶への投資を実施することでHSC、HSAの継続利用は可能)。HSCの製造においては、多くのストアス留分が利用されており、IMO 規制影響によりストアス留分が余剰となる。ここまでの記載内容から、先に述べた高度化法三次告示の目標達成によりIMO 規制で余剰となるストアス留分を処理する構図が浮かび上がった読者もいるだろう。しかしながら、ストアス供給に関して影響がないとは言い切れない。なぜならば、国内の製油所22カ所の内、ストアスを製造・出荷できるのは9カ所であり、すべてのストアス留分がストアスとして製造・出荷できるわけではない。仮に現在ストアスを製造・出荷している9カ所において重質油分解装置が増設された場合、貴重なストアス製造拠点のストアス留分が減少し、ストアス製造能力が低下する虞がある。実際に、日本向けストアスの主な輸出国である韓国では、SKが2020年に向けて、4万BDの能力を持った減圧残渣油脱硫設備 (VRDS) を建設することを発表した。同装置は、ストアス留分を分解脱硫し、適合油や軽油、ナフサなどの高付加価値製品を製造す

る装置である。公表されている情報から月間20万kl程度の通油量を持っていることが判明しており、相当量のストアス留分が処理されるものと想定している。

IMO規制のポイントとして以下2点が挙げられる。第1は余剰となるストアス留分がストアス供給余力に直結しない点で、三次告示の対応内容によっては製造能力が低下する虞がある。第2は限られた設備・製油所にて元売は適合油、HSC、ストアス、3油種の安定供給を継続する必要がある点であり、安定供給維持に向けた設備投資や管理油種毎の数量減に伴う、単価コスト増が想定される。

今後元売は、継続する国内石油需要減少に対して、高度化法対応、IMO規制対応が必要となる。長期的に未来を見据えて、いかに経営基盤を強化し、持続可能な安定供給を実現するかが、今後の課題となる。

2. 道路舗装用アスファルトの需要

ストアスは、主にアスファルト合材（以下、「合材」）や改質アスファルトの原料として使用されている。

2000年度に7,096万トンあった合材製造量は、公共事業の見直しや、道路予算における橋やトンネルなどの道路設備の老朽化対策への重点配分により、道路舗装が徐々に減少し、2017年度には4,205万トン（2000年度比59%）となっている。また、ストアスの需要は、2000年度の383万トンに対して、2017年度は154万トン（2000年度比40%）と半分以下となっており、合材よりも減少幅が大きい。これは合材製造に占める再生合材の比率が増加していることが主因であり、2000年度の再生合材比率59%と比較すると、2017年度は75%と16%比率が増加している（図－3参照）。

2018年度に目を向けると、上期の合材製造量は前年比約95%となっており、前年を大きく下回っている。前年比減の一部は昨年上期の災害復興需要の反動によるものと想定しており、下期の前年比については上期対比良化するものと想定しているが、年度計では前年を下回る可能性が高いと見ている。今後の長期的な見通しについても、再生合材比率の更なる増加や、道路予算における橋梁・トンネル補修への重点配分の継続等により、特殊要因がない限りストアス需要は漸減していくものと予想している。

石油元売としては、長期的なストアスの需要縮小傾向は避けられないものと認識している。元売の重要な役割はそれに耐えられる製造・供給体制を構築するべく、前例にとらわれずコスト構造の改善等に取り組み、ストアスの安定供給を継続していくことだと考えている。

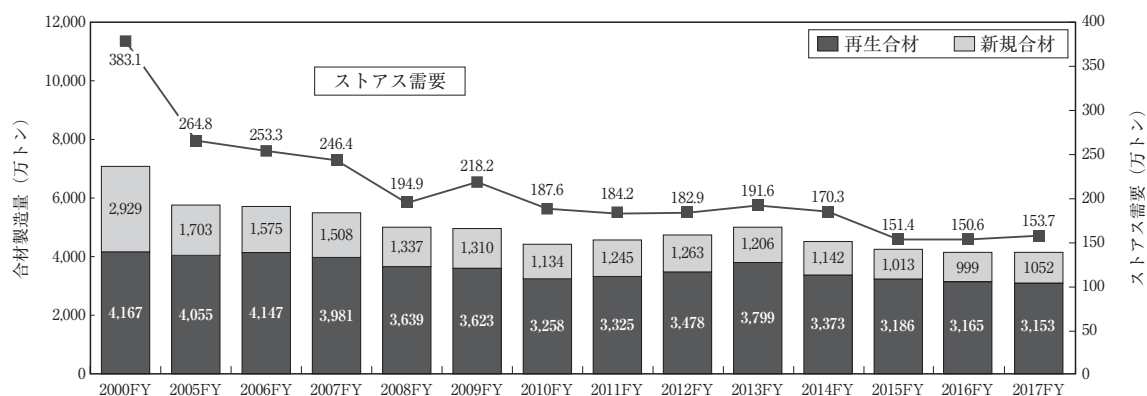
3. アスファルトの供給体制の動向

3.1 生産

先に述べた通り高度化法対応で原油処理能力が2008年度対比28%減少した。加えて、重質油分解装置の装備率も上昇しているため、装置の最適稼働を実施した場合、ストアス生産能力の減少率は原油処理能力のそれを上回る。

一方で、現在当社は、目的生産品としてストアスの生産を位置付けているため、一部重質油分解装置の稼働を調整してでもストアスの生産数量を確保している。

当社はこれからも安定供給、および国内需要への生産確保を第一に考えていくことに変わりはないが、老朽化した油槽所・輸送船などの維持経費・補修費増加、



図－3 合材およびストアス需要推移

※石油連盟、日本アスファルト合材協会の統計資料を元に当社作成

表－３ 供給方法別 道路用ストアス需要推移

(千トン)	2000FY	2010FY	2011FY	2012FY	2013FY	2014FY	2015FY	2016FY	2017FY
元売販売	3,613	1,672	1,588	1,485	1,415	1,266	1,165	1,137	1,070
(構成比)	(94%)	(89%)	(86%)	(81%)	(74%)	(74%)	(77%)	(76%)	(70%)
商社輸入	218	204	254	344	501	438	348	368	467
(構成比)	(6%)	(11%)	(14%)	(19%)	(26%)	(26%)	(23%)	(24%)	(30%)
合計	3,831	1,876	1,842	1,829	1,916	1,703	1,514	1,506	1,537
(構成比)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)

※経済産業省、石油連盟、財務省のデータを元に当社作成

需要減に伴う供給設備の稼働率低下などによる、単位あたりのコスト増が課題となっている。

3.2 輸入

ストアスの総需要に占める輸入品の割合は、2000年度では6%程度であったものが、商社がタンク新設や輸入船新造を実施するなど、輸入数量を増加させていった結果、2017年度には30%となった(表－3参照)。ただし、輸入品コストが日本市況に比べて割高になった2014年度には、輸入品の増加が頭打ちとなるなど、国際市況と日本市況の価格差によって輸入構成比は変動する可能性がある。

また、先に述べた通り、IMO規制影響により、韓国ではストアス留分を処理できる新装置への投資が実施されており、ストアス供給量への影響が懸念される。

3.3 物流

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

今後、ローリーの所有台数削減もしくは廃業を選択する運送会社が増えていく可能性は否定できず、需要

期の配送に支障が出るなど、消費サイド(道路会社)、供給サイド(石油元売・販売業者)双方にとって大きな問題になりかねない。また、運転手不足、高齢化も大きな問題となっており、ローリーはあっても運転手がいらない、という状況が現実的な問題となりつつある。

特に近年は政府主導の「働き方改革」が押し進められており、運転手不足解消には労働環境の改善が重要な要素である。これは、ストアス業界全体の問題として共有し、確定オーダーの推進、受入時間指定の緩和、夜間荷卸しの削減等に協力して取り組んでいく必要があると考えている。

4. おわりに

今後も新設・補修などの道路舗装需要はなくなることはなく、我々石油元売は、国内安定供給を第一に、将来に亘ってストアス供給体制を維持していく意思があることを述べてきた。また、維持のためにはいくつかの課題があることも述べた。繰り返しになるが、ストアス供給体制の維持のためには、生産・流通・消費の三位一体での更なる協力体制構築が必要であることを改めて主張したい。

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

改質アスファルトにおける最近の技術動向

(Recent Technology Trends in Polymer Modified Asphalt)

一般社団法人 日本改質アスファルト協会技術委員会

1978年(昭和53年)に当協会の前身である「ゴムアスファルト懇和会」が設立し、1992年(平成4年)に現在の日本改質アスファルト協会となり、その後2009年(平成21年)に一般社団法人となった。ゴムアスファルト懇和会から数えると今年で40年となる。

当協会では、ポリマー改質アスファルトの有効性や利用方法を説明するために、評価方法や取り扱い方法あるいは適用事例について機関誌を通して情報提供している。平成28年10月に国土交通省で舗装点検要領が策定され、舗装の損傷とその原因、そして原因に応じた対策やその効果についてこれまで以上に明確に説明することが求められることとなる。

1. はじめに

国民生活の中でもっとも一般的な社会インフラである道路舗装は、社会経済を発展させるためのまさに“道”であり、適切に維持更新していくことが重要である。

近年では、厳しい財政事情のもと公共事業のコスト縮減や維持管理の効率化が強く求められており、膨大な道路舗装を適切に維持管理していくため点検要領においても既存ストックの有効利用技術の促進や長寿命化、生産性の向上などが求められている。

ポリマー改質アスファルトを用いた混合物は、アスファルト舗装の耐久性を向上させる目的で、主に高速道路や主要幹線道路などで利用され、現代のライフラインの構築に必要な舗装材料となっている。

本報では、経済の発展の社会基盤として整備されてきた道路舗装とともに品種や品質規格が開発されてきた改質アスファルトの変遷を概観し、最近の技術動向について述べる。

2. 改質アスファルトの種類

改質アスファルトは、ポリマー改質アスファルトとそれ以外の舗装用改質アスファルトに分類される¹⁾。

2.1 ポリマー改質アスファルト

ポリマー改質アスファルトとは、ストレートアスファルト(以下、ストアス)に熱可塑性エラストマー、ゴム、または熱可塑性樹脂などの各種改質材を加え、性状を向上させたものである。改質材を加えることで、

アスファルトの軟化点、接着力、粘度などが上昇する。この結果、ストアスの耐流動性や耐水性などが向上し、アスファルト舗装の長寿命化につながる。

表-1に、ポリマー改質アスファルトの種類と適用箇所を示す。舗装用のポリマー改質アスファルトは、適用される混合物の機能に応じて種類を選定する必要がある。ポリマー改質アスファルトは、Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型およびH型に分類される。Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型は密粒度、細粒度、粗粒度などの混合物に用いられ、大型車の交通量に応じた塑性変形抵抗性を有するバインダが適用される。また、橋面舗装用のポリマー改質アスファルトには、耐水性に優れたⅢ型-Wや、可とう性に優れたⅢ型-WFがあり、コンクリート床板や鋼床版上の舗装にそれぞれ適用される。

ポーラスアスファルト舗装用のバインダとしては一般地域用のH型と、積雪寒冷地用のH型-Fが使用される。

2.2 その他の改質アスファルト

その他の改質アスファルトとして、天然アスファルトにより改質した硬質アスファルトやエポキシ樹脂など熱硬化性樹脂を添加したものがある。

近年では、グースアスファルト混合物に利用される天然アスファルトであるトリニダットレイクアスファルトを使用しないグースアスファルト用改質アスファルト²⁾あるいは植物由来の改質材を使用した耐流動性と耐油性に優れた改質アスファルト³⁾などが開発されている。

表－１ ポリマー改質アスファルトの主な適用箇所¹⁾

	種類		I 型	II 型	III 型		H 型		
		付加記号			-W	-WF		-F	
混合物機能	適用混合物 主な適用箇所		密粒度、細粒度、粗粒度等の混合物に用いる。I 型、II 型、III 型は、主にポリマーの添加量が異なる。				ポーラス混合物に用いる。 ポリマー添加量が多い		
塑性変形抵抗性	一般的な箇所		◎						
	大型車交通量が多い箇所			◎			◎	◎	
	大型車交通量が著しく多い箇所および交差点				◎	○	○	○	
摩耗抵抗性	積雪寒冷地域		◎	◎	○	○	○		
骨材飛散抵抗性							○	◎	
耐水性	橋面（コンクリート床版）			○	○	◎			
たわみ追従性	橋面（鋼床版）	たわみ小		○	○		◎		
		たわみ大					◎		
排水性（透水性）								◎	◎

W：耐水性，F：可とう性，◎：適用性高い，○：適用可能，空欄：要検討

3. 改質アスファルトの出荷量の推移

3.1 日本における出荷量の推移

図－１に改質アスファルトの出荷量の推移を示す。1968年から出荷量は集計されており、改質Ⅰ型とその他の改質アスファルト、改質Ⅱ型、改質Ⅲ型に分けている。2006年以降は改質Ⅲ型のデータが加えられた。

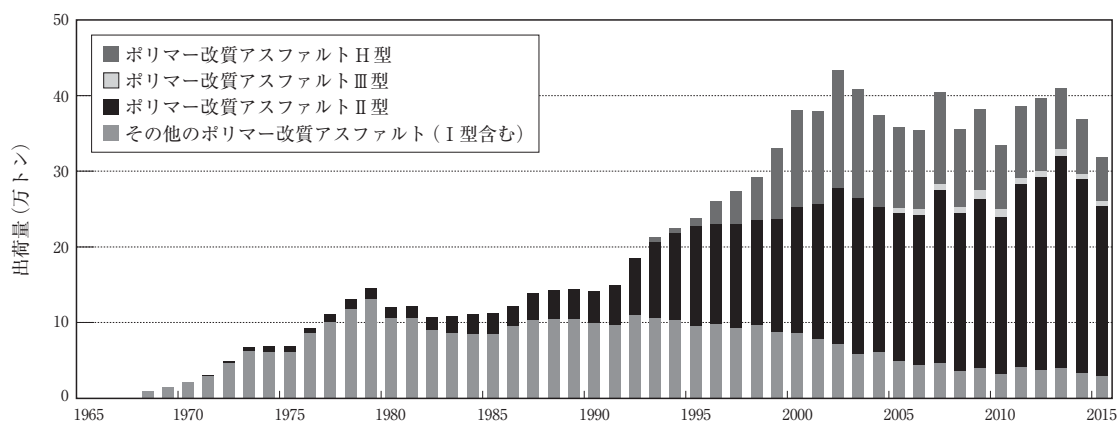
改質アスファルトの出荷量は、1960年代後半から徐々に増加し、2003年にピークを迎えている。1990年台からポーラスアスファルト舗装の普及により改質Ⅲ型の出荷量が増えているが、近年では改質Ⅱ型が全体の７割を占めており、2016年では概ね30万トンとなっている。

3.2 ヨーロッパにおける改質アスファルトの利用状況

表－２に、EUROPEAN ASPHALT PAVEMENT

ASSOCIATION (EAPA) から公表されている2014年から2016年までの３年間のヨーロッパにおける道路舗装に利用されるアスファルトの出荷量と改質アスファルトの割合を示す⁴⁾。

2016年度において、改質アスファルトの利用率が比較的に高い国は、チェコ（27.7%）、ベルギー（25%）、スロベニア（24.5%）、ハンガリー（22%）であり、アスファルト全出荷量に対する改質アスファルトの割合が20%を超えている。一部の国でデータが不明であるが、改質アスファルトの割合は概ね10%程度であり、日本における改質アスファルトの割合は15%前後であり、わずかに改質アスファルトの利用率が高い。これは、高速道路に広く普及しているポーラスアスファルト舗装によるものと考えられる。



図－１ 日本における改質アスファルトの出荷量の推移

表-2 ヨーロッパにおけるアスファルトの出荷量と改質アスファルトの割合⁴⁾

国名	アスファルト出荷量 百万トン			改質アスファルトの割合 %		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016
オーストリア	0.37	0.35	0.38	18.9	29	0.2
ベルギー	0.21	0.19	0.2	26.5	25.9	25
クロアチア	0.13	0.12	0.11	No data	4	15
チェコ	0.33	0.41	0.34	21.5	21.5	27.7
デンマーク	0.19	0.19	0.19	5	5	5
エストニア	0.08	0.08	0.08	3.3	2.9	2.9
フィンランド	0.27	0.27	0.27	0	0	0
フランス	2.47	2.4	2.5	6.9	7.5	8.2
ドイツ	1.6	1.6	1.7	No data	No data	No data
イギリス	1.28	1.33	1.295	8	8	8
ハンガリー	0.19	0.19	0.14	25	28	22
アイスランド	No data	No data	No data	0.01	0.001	No data
アイルランド	0.13	0.12	0.13	No data	No data	No data
イタリア	1.14	1.16	1.16	17	18	0.04
リトアニア	No data	0.08	0.09	No data	18	19
ルクセンブルグ	0.05	0.05	No data	15	25	No data
オランダ	0.3	0.3	0.29	No data	3	3.3
ノルウェー	0.35	0.36	0.38	No data	No data	No data
ルーマニア	0.2	No data	No data	75	No data	No data
セルビア	0.26	0.33	No data	4.4	No data	No data
スロベニア	0.08	0.14	0.1	29.1	42	24.5
スロバキア	0.07	0.08	0.08	10	14.7	16.7
スペイン	0.56	0.75	0.6	15	14.8	12.2
スウェーデン	0.45	0.42	No data	7	7	No data
スイス	0.28	No data	No data	12	No data	No data
トルコ	2.39	2.73	2.93	3.2	3.9	4.9

4. 改質アスファルトの品質規格の変遷

表-3から表-11に改質アスファルトの主な標準的性状の変遷を示す。なお、Ⅰ型やⅡ型の表記がいくつか出てくるが、その年代において検討されていたものであり改質材の種類や品質規格が異なるので注意されたい。

日本の改質アスファルトは、1950年代（昭和20年代）に路面の荒れ（骨材飛散）、ひび割れなどの破損に対する対策として試行されている¹⁾。1978年に改訂されたアスファルト舗装要綱（昭和53年度版）の第7章「特殊材料」にてゴム入りアスファルトとセミブローンアスファルトAC-140の標準的性状が示された⁵⁾。表-3に示すゴム入りアスファルトでは、ストアスと同様に針入度で区分されているが、タフネス・テナシティや伸度（7℃）などの試験項目が加えられている。セミブローンアスファルトは、ストアスの粘度を高め、感温性を改善したものである。セミブローンアスファルトは60℃粘度に着目され、

表-3 プレミックスタイプゴム入りアスファルトの標準的性状⁵⁾ (1978)

項目	60～80	80～100
針入度（25℃） 1/10mm	60を超え 80以下	80を超え 100以下
軟化点 ℃	48.0～56.0	46.0～54.0
伸度（7℃） cm	20以上	50以上
蒸発後の針入度比 %	110以下	
薄膜加熱重量変化 %	0.6以下	
薄膜加熱後の針入度 %	55以上	
三塩化エタン可溶分 %	95以上	
引火点 ℃	260以上	
比重（25℃）	1.000以上	
タフネス（25℃） kgf・cm	60以上	50以上
テナシティ（25℃） kgf・cm	30以上	25以上

耐流動性と疲労抵抗性を両立するように表－４に示すように60℃粘度が調整され⁶⁾、舗装施工便覧（平成18年版）では、AC-100の品質規格として定められている。

本州四国連絡橋の鋼床版舗装用として表－５に示す本州四国連絡橋面舗装の基準の中で、Ⅰ型とⅡ型として改質アスファルトの規格が定められた⁷⁾。橋面舗装では、特に鋼床版舗装に生じるひび割れ対策のため、伸び性状や脆性の評価が試験に追加されている。軟化点やタフネス・テナシティは、アスファルト舗装要綱（昭和53年）で定められた品質基準よりも高い規格値となったほか60℃粘度試験や分離安定性試験についても追加されている。

1981年から3年間で、それまでに開発されていた改質アスファルトをさらに高性能化を図る目的で建設省土木研究所、東京都土木技術研究所、当協会にて共同研究、「耐流動・耐摩耗舗装用ゴム入りアスファルト

表－４ セミブローンアスファルトの品質⁵⁾

試験項目		AC-140	AC-80	AC-100
60℃粘度	poise	14,000 ± 4,000	8,000 ± 2,000	10,000 ± 2,000
粘度比 (60℃) ※		6.0 以下	－	5.0 以下
動粘度 (180℃)	cSt	200 以下		
薄膜加熱質量変化率	%	0.6 以下		
針入度 (25℃)	1/10mm	40 以上		
三塩化エタン可溶分	%	99.0 以上		
引火点	%	260 以上		
比重 (25℃ /25℃)		1,000 以上		

※薄膜加熱後／加熱前

表－５ 改質アスファルトの規格⁷⁾ (1983)

項目		Ⅰ 型	Ⅱ 型
針入度 (25℃)	1/10mm	60 ～ 100	60 ～ 100
軟化点	℃	55.0 ～ 65.0	60.0 ～ 75.0
伸度 (10℃)	cm	50 以上	10 以上
フラース脆化点	℃	-12 以下	-12 以下
タフネス (25℃)	kgf・cm	120 以上	30 以上
テナシティ (25℃)	kgf・cm	100 以上	10 以上
粘度	60℃	Poise 4,000 以上	16,000 以上
	160℃	SFS 500 以下	1,000 以下
	200℃	SFC 200 以下	300 以下
引火点	℃	280 以上	
灰分	%	1.0 以下	
比重 (25℃ / 25℃)		1,000 以上	
薄膜加熱後 (180℃, 2.5h)	蒸発量	%	0.3 以下
	残留針入度	%	65 以上
	軟化点	%	80 ～ 110

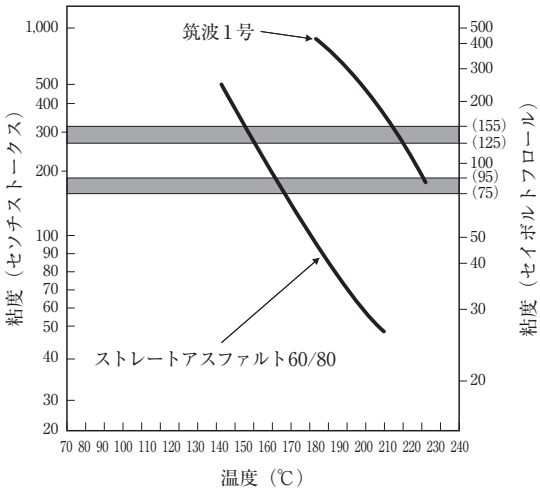
の開発」を行った。その成果として表－６に示す筑波1号の品質規格が定められた⁸⁾。筑波1号は、ストアスと比較し、高温粘度が高いため、一般的な温度－粘度曲線から算出する混合・締固め温度が著しく高くなるが、試験施工などを経て、混合温度は185 ± 5℃に規定された。温度－粘度曲線によらない改質アスファルトの混合・締固め温度の設定方法例となる（図－２）。

その後、1988年に発刊されたアスファルト舗装要綱（昭和63年版）において、表－７に示す改質アスファルトの標準的性状が設けられ、一般材料として扱われるようになった⁹⁾。ここでは改質材の種類により分類され、ゴム系はⅠ型、熱可塑性樹脂とゴムを併用したもの、あるいは熱可塑性樹脂を単独で使したものⅡ型となった。

1980年代後半には、走行安全性を目的として、ポラスアスファルト舗装が多く利用されるようになり、耐久性を高めるための高粘度改質アスファルト（現ポリ

表－６ 筑波1号の品質規格⁸⁾ (1985)

項目		規格値
針入度 (25℃)	1/10mm	50 ～ 100
軟化点	℃	55.0 以上
伸度 (7℃)	cm	50 以上
タフネス (25℃)	kgf・cm	100 以上
テナシティ (25℃)	kgf・cm	50 以上
粘度	60℃	Poise 8,000 以上
	200℃	cSt 300 以下
薄膜加熱質量変化率 (180℃, 2.5時間)	%	0.3 以内
粘度比 (60℃, 薄膜加熱後／加熱前)	%	2 以下
比重 (25℃ /25℃)		1,000 以上



図－２ 新規バインダーの温度－粘度図

マー改質アスファルトH型)が開発された¹⁰⁾。表－8に高粘度改質アスファルトの標準的性状を示す¹¹⁾。高粘度改質アスファルトには軟化点が80℃以上、60℃粘度が20,000Pa・s以上が求められその名のとおり高粘度な改質アスファルトとなった。

1992年に発刊されたアスファルト舗装要綱(平成4年)では、改質アスファルトに使用されている改質材の特性を考慮し使用目的で区分された。改質アスファルトⅠ型はすべり止め、耐摩耗性、改質アスファルトⅡ型は耐流動性、耐摩耗、すべり止め、セミブローンアスファルト(AC-100)は耐流動性を使用目的とされた。表－9にゴム・熱可塑性エラストマー入りアスファルトの標準的性状を示す¹²⁾。

舗装設計施工指針(平成13年版)では、日本改質アスファルト協会が定めていた特殊グレードである超重交通用改質アスファルトと付着性改善改質アスファルト、さらに排水性舗装技術指針(案)に示されていた

表－8 高粘度改質アスファルトの標準的性状¹¹⁾
(1996)

項目		標準的性状
針入度(25℃)	1/10mm	40以上
軟化点	℃	80.0以上
伸度(15℃)	cm	50以上
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
タフネス(25℃)	N・m	20以上
テナシティ(25℃)	N・m	15以上
60℃粘度	Pa・s	20,000以上

表－7 ゴム及び熱可塑性樹脂入りアスファルトの標準的性状⁹⁾ (1988)

項目		Ⅰ型		Ⅱ型
		50～70	70～90	
針入度(25℃)	1/10mm	50～70	70～90	40以上
軟化点	℃	50.0～60.0	48.0～58.0	56.0～70.0
伸度(7℃)	cm	20以上	50以上	－
伸度(15℃)	cm	－	－	30以上
引火点	℃	260以上		280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	%	55以上		65以上
タフネス(25℃)	kgf・cm	60以上	50以上	80以上
テナシティ(25℃)	kgf・cm	30以上	25以上	40以上

表－9 ゴム・熱可塑性エラストマー入りアスファルト¹²⁾
(1992)

項目		ゴム・熱可塑性エラストマー入りアスファルト	
		Ⅰ型	Ⅱ型
針入度(25℃)	1/10mm	50以上	40以上
軟化点	℃	50.0～60.0	56.0～70.0
伸度(7℃)	cm	30以上	－
伸度(15℃)	cm	－	30以上
引火点		260以上	
薄膜加熱針入度残留率	%	55以上	65以上
タフネス(25℃)	N・m	4.9以上	7.8以上
テナシティ(25℃)	N・m	2.5以上	3.9以上

表－10 改質アスファルトの標準的性状¹³⁾ (2001)

項目		I 型	II 型	鋼床版用	高粘度	付着性改善	超重交通用
針入度 (25℃)	1/10 mm	50 以上	40 以上				
軟化点	℃	50.0 ～ 60.0	56.0 ～ 70.0	70.0 以上	80.0 以上	68.0 以上	75.0 以上
伸度 (7℃)	cm	30 以上	-	-	-	-	-
伸度 (10℃)	cm	-	-	50 以上	-	-	-
伸度 (15℃)	cm	-	30 以上	-	50 以上	30 以上	50 以上
引火点	℃	260 以上		280 以上	260 以上		
フラス脆化点	℃	-	-	-12 以下	-	-12 以下	-
薄膜加熱質量変化率	%	-	-	0.6 以下			
薄膜加熱針入度残留率	%	55 以上	65 以上				
タフネス (25℃)	N・m	5 以上	8 以上	12 以上	20 以上	16 以上	20 以上
テナシティ (25℃)	N・m	2.5 以上	4 以上	10 以上	15 以上	8 以上	15 以上
60℃ 粘度	Pa・s	-	-	20,000 以上		1,500 以上	3,000 以上
粗骨材の剥離面積率	%	-	-	5 以下	-	5 以下	-

表－11 ポリマー改質アスファルトの標準的性状¹⁴⁾

(2006)

項目		種類	I 型	II 型	III 型		H 型	
		記号			-W	-WF		-F
軟化点		℃	50.0 以上	56.0 以上	70.0 以上		80.0 以上	
伸度	7℃	cm	30 以上	-	-		-	-
	15℃	cm	-	30 以上	50 以上		50 以上	-
タフネス (25℃)		N・m	5.0 以上	8.0 以上	16 以上		20 以上	-
テナシティ (25℃)		N・m	2.5 以上	4.0 以上	-		-	-
粗骨材の剥離面積率		%	-	-	-	5 以下	-	-
フラース脆化点		℃	-	-	-	-	-12 以下	-
曲げ試験 (-20℃)	仕事量	kPa	-	-	-	-	-	400 以上
	スティフネス	MPa	-	-	-	-	-	100 以下
針入度 (25℃)		1/10mm	40 以上					
薄膜加熱後 (163℃)	質量変化率	%	0.6 以下					
	針入度残留率	%	65 以上					
引火点		℃	260 以上					

付加記号の略字 W：耐水性 (Water Resistance), F：可とう性 (Flexibility)

高粘度改質アスファルトの3種類が追加された¹³⁾。

2006年に改訂された舗装設計施工指針 (平成18年版) では、表－11に示すとおり試験項目が整理されるとともにこれまでの針入度から軟化点の区分を優先される表記となった¹⁴⁾。新たなポリマー改質アスファルトとして、当協会で定めていた寒冷地域用の高粘度改質アスファルトがポリマー改質アスファルトH型-Fとして標準的性状が追加され、高粘度改質アスファルトがH型とH型-Fの2つに分類された¹⁵⁾。これらの改質アスファルトを区分するため、タフネス・テナシティに代わる試験としてバインダの曲げ試験が採用されている。バインダ曲げ試験は、ポーラスアスファルト混合物を評価するカンタブロ試験との相関が高いことから選定されており、バインダ性状から混合物性状を予測する試験方法として開発されたものである¹⁶⁾。

5. 改質アスファルトに使用する材質材

表－12に主な改質材の種類とその効果を示す¹⁷⁾。

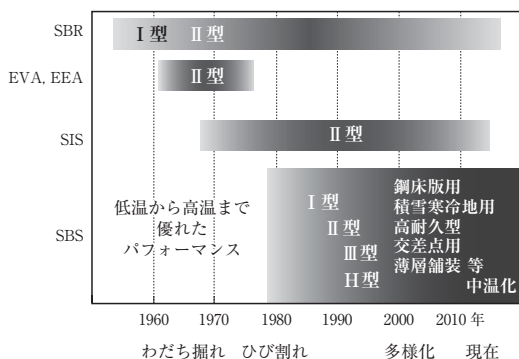
改質アスファルトの開発当初では、改質材としてゴム系のスチレン・ブタジエンゴム (SBR) あるいは天然ゴムなどが用いられた。その後、熱可塑性樹脂のエチレン・酢酸ビニル共重合体 (EVA)・エチレン・エチルアクリレート共重合体 (EEA)、熱可塑性エラストマーのスチレン・イソプレン・スチレンブロック共重合体 (SIS) などが用いられてきた。

近年では、熱可塑性エラストマーのスチレン・ブタジエン・スチレンブロック共重合体 (SBS) が低温から高温まで優れた性能を発揮できるため、主流な改質材として利用されている。図－3に舗装用アスファルトに使用されてきた改質材の変遷を示す。

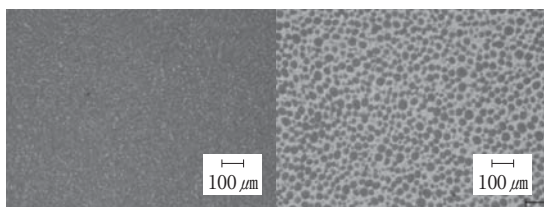
このほか、日本での研究論文は少ないが、国外では

表－12 一般的に使用される改質材とその効果

分類	略称	名称	改質効果		
			高温特性	低温特性	耐熱性
ゴム系	SBR	スチレンブタジエン共重合体	△	○	×
	CR	クロロプレンゴム	△	◎	○
	NR	天然ゴム	×	○	×
熱可塑性エラストマ	SBS	スチレンブタジエンブロック共重合体	○	○	○
	SIS	スチレンイソプレンブロック共重合体	○	○	×
熱可塑性樹脂	EVA	エチレン酢酸ビニル共重合体	○	△	×
	EEA	エチレンエチルアクリレート共重合体	○	△	◎
	PE	ポリエチレン	△	△	×
	PR	石油樹脂	○	×	◎



図－3 舗装用アスファルトに使用される改質材の変遷



(色の濃い部分がアスファルト、薄い茶色あるいは白い部分がSBS)
写真－1 ポリマー改質アスファルトのモルフォロジー

アスファルトの弾性を向上させるポリリン酸 (PPA) や低温性状の改善あるいは再生用添加材としての役割を目的とした Tall oil や Bio-Based oil などが改質材として利用されている¹⁸⁾。

また、改質材の効果を適切に発揮させるためには、改質材がアスファルト中で均一に分散している必要がある。アスファルト中のポリマーの分散状態は、スライドガラスを用いて光学顕微鏡などにより観察することができるが、薄膜では改質材粒子が重なって観察されてしまう欠点があった。そこで、改質材の分散状態を簡易にかつ安定的に測定できる凍結破砕蛍光落射法による観察方法が提案された¹⁹⁾。この方法により SBS を分散させたアスファルトを薄膜にすることなく、固形のまま観察することができる。写真－1 の左は SBS の添加量を 5 %、右は SBS 添加量を 10 % それぞれアスファルトに添加した時の分散状態を凍結破砕蛍光落射法で観察したものである。このように、ポリマー改質アスファルトの安定性を向上させるための分析方法も開発されてきた。

6. ポリマー改質アスファルトの評価方法

ポリマー改質アスファルトは、耐流動性、耐摩耗性、骨材飛散抵抗性、ひび割れ抵抗性、耐水性などの改善を目的として利用されるが、舗装の寿命をストアスと比較検証している例は少ない。これは、舗装の交通条件、環境条件あるいは設計条件が適用箇所ごとに大きく異なるため比較することが難しいこと、またその評価には 10 年、20 年と長期にわたり調査する必要があることが要因と考えられる。

高分子材料であるアスファルトは環境負荷や繰返し交通荷重を受けることにより、その性状は変化する。ポリマー改質アスファルトの性状の変化、いわゆる“劣化”の評価については、世界各国の共通の課題となっており、様々な促進劣化方法や評価方法が検討されている²⁰⁾。

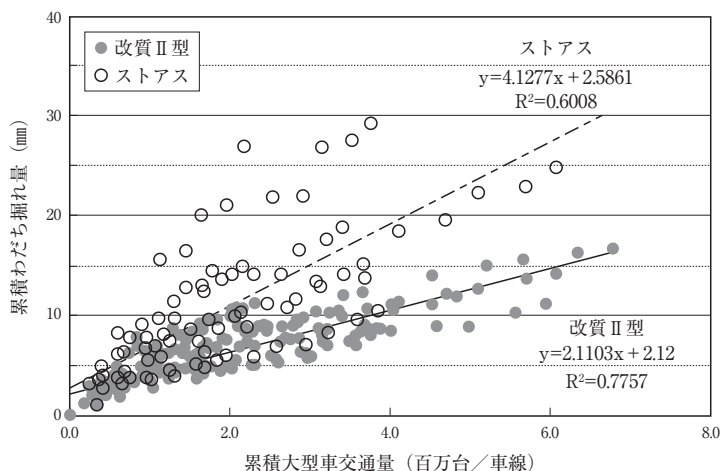
ここでは、実路における耐久性の検証結果、そして、室内試験によるポリマー改質アスファルトの劣化特性や作業性といった新たな評価方法について述べる。

6.1 実路における検証結果

丸山らは、ストアスと改質 II 型を使用した混合物のライフサイクルコスト (LCC) を比較した結果を報告している²¹⁾。

図－4 に、累積大型車交通量と累積わだち掘れ量の関係を示す。累積大型車交通量の増加に伴い、累積わだち掘れ量は直線的に増加しているが、改質 II 型混合物を用いることで、その値は半分程度となる。

舗装の供用性をひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性によって定量的に評価した維持管理指標 MCI (Maintenance Control Index) が 4 以下を修繕の必要



図－4 わだち掘れのパフォーマンスカーブ

な目安としている。図-5に、累積大型車交通量とMCIの関係を示す。改質Ⅱ型混合物を用いることでMCIが4以下となる累積大型車交通量は大幅に増加しており、ストアスを用いた場合と比べて、修繕期間を1.8倍に延ばすと試算されている。

6.2 室内試験による評価方法

6.2.1 劣化特性に関する検討

アスファルト舗装は熱、酸素、紫外線あるいは水などの外部環境の影響を受けて劣化することが知られている。これらの影響が原因で舗装が破損するケースがあるため、アスファルトの劣化抑制はアスファルト舗装の長寿命化に寄与するものと考えられる。アスファルトの劣化程度を評価する指標として針入度残留率があるが、未劣化の試料に対する相対的な比較となるため、アスファルト種類や改質・非改質のアスファルトの違いを統一的に評価することが難しい。そこでDynamic Shear Rheometer (DSR) 試験機を用いた劣化評価方法について検討されている²²⁾。

DSR試験はアスファルトを平行にねじることにより負荷を与え、ねじれに対する材料の抵抗値(複素せん断弾性率: $|G^*|$)と負荷をかけた際のひずみ、およびその時間のずれ(位相角: δ)を測定する試験である。これらの値を使って、アスファルトの粘弾性特

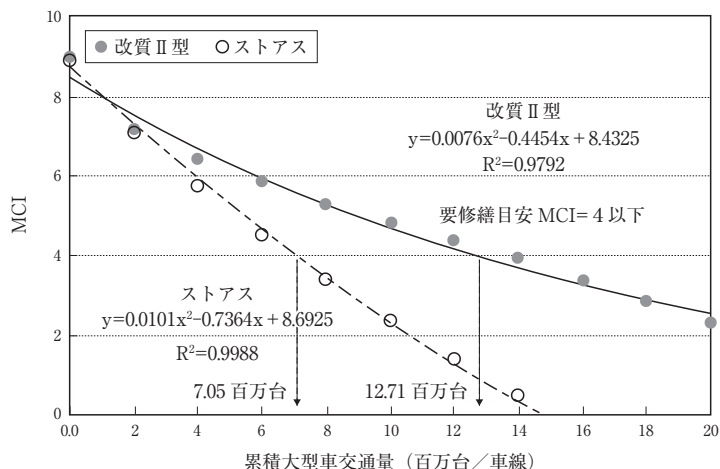


図-5 舗装の維持管理指数 (MCI) のパフォーマンスカーブ

性を把握することができる。

図-6はストアスを促進酸化劣化 (PAV試験) させたときの複素せん断弾性率と損失せん断弾性率の関係を示したものである。酸化劣化時間は図中の凡例の数値である。酸化劣化が進むに従い、複素せん断弾性率と損失せん断弾性率はともに高くなる。Strategic Highway Research Program (SHRP) では、試験条件は異なるが、促進劣化させたアスファルトの損失せん断弾性率を5 MPa以下となるように規定している²³⁾。

図-7は、ポリマー改質アスファルトとストアスをそれぞれ未劣化のものと酸化劣化を20時間かけたもので比較している。ポリマー改質アスファルトの複素

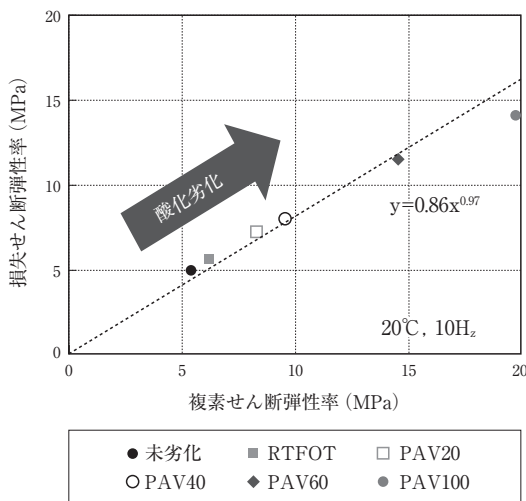


図-6 劣化時間と弾性率変化の関係

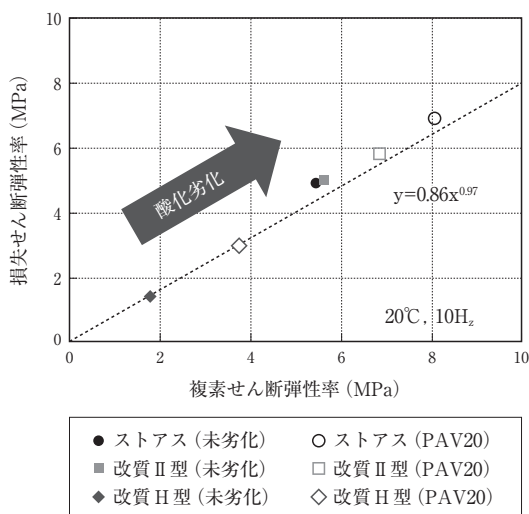


図-7 バインダと弾性率変化の関係

せん断弾性率と損失せん断弾性率は、ストアスと同一線上で変化しているが、その挙動はアスファルトの種類によって異なる。改質Ⅱ型ではストアスと比較し、複素せん断弾性率や損失せん断弾性率の昇が緩やかであり、酸化劣化による粘弾性状の変化が小さいことが分かる。一方、改質Ⅲ型は、ストアスや改質Ⅱ型と比較し、ポリマー量が多く粘度が高いため、複素せん断弾性率と損失せん断弾性率の絶対値が劣化、未劣化ともに低い。このため、ストアスや改質Ⅱ型と同程度の弾性率となるまでの時間は長く、同条件であればストアスや改質Ⅱ型よりも酸化劣化しにくいと考えられる。

本評価方法により、ストアスとポリマー改質アスファルトの酸化劣化に対する抵抗性を一律に評価できる可能性がある。

6.2.2 耐久性に関する検討

アスファルトは通常の舗装温度および交通荷重下で、粘性流体および弾性固体の両方の特性を示し、その粘弾性状が舗装のひび割れ率や動的安定度と高い相関を持つとの報告がある²⁴⁾。

首都高速道路において、骨材飛散抵抗性や騒音低減効果を高めた最大粒径5mmの小粒径ポーラスアスファルト舗装に適用するバインダをDSR試験により評価している。表－13に、小粒径ポーラスアスファルト混合物用改質Ⅲ型の規格を示す²⁵⁾。

表－13 小粒径用ポリマー改質アスファルトⅢ型の規格

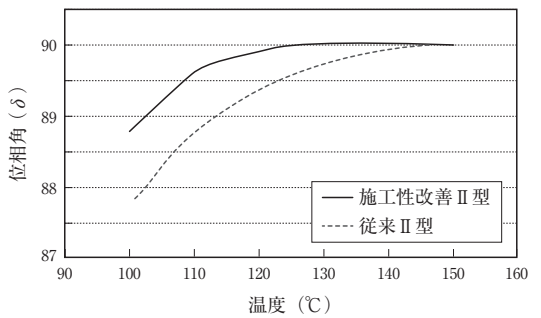
項目		品質規格
針入度(25℃)	1/10mm	35以上
軟化点	℃	80.0以上
フラス脆化点	℃	-20以下
引火点	℃	260以上
薄膜加熱質量変化率	%	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率	%	65以上
曲げ仕事量(-20℃)	kPa	1,000以上
曲げスティフネス(-20℃)	MPa	100以下
せん断応力(60℃)	Pa	900以上
G*・sinδ(25℃)	kPa	700以下

せん断応力と損失せん断弾性率($G'' \cdot \sin \delta$)がDSR試験により得られる評価値である。せん断応力はすえ切りによる骨材飛散抵抗性を評価する指標、 $G'' \cdot \sin \delta$ は繰り返し曲げによるひび割れ抵抗性を評価する指標とされている。

6.2.3 ポリマー改質アスファルトの施工性の評価方法

野口らは、温度変化に伴うSBSの分散状態の変化を顕微鏡で観察し、物理性状の変化との関連性について研究している²⁶⁾。

図－8に、施工性改善改質Ⅱ型と従来の改質Ⅱ型の温度と位相角の関係をDSRにより測定した結果を示す。ここで示す位相角とは、物体がどれだけ粘性体に近いかを示す値となる。位相角が90°の場合、粘性体(液体)であることを示し、90°未満では弾性的(固体)な性質を持つことを示す。



図－8 粘弾性測定結果

中温化ポリマー改質アスファルトは、針入度や軟化点などの従来の性状評価方法では、中温化ポリマー改質アスファルトとポリマー改質アスファルトを区別することができない。しかし、DSR試験から得られる位相角を把握することで、締固め時のアスファルトの粘性を評価できる可能性があり、今後、中温化ポリマー改質アスファルトの性能基準を定めるうえで有効な評価方法となりうる。

7. おわりに

改質アスファルトは、実道における試験施工の追跡調査により、その性能が検証され標準的性能が設定されてきた。

新たなポリマー改質アスファルトあるいは供用性能に対する性能評価方法の有効性を確認するためには、長期の調査が必要となる。ポリマー改質アスファルトの性能や耐久性は、初期性能だけではなく、供用されることによる性能の変化を含めて、損傷原因に応じた評価方法との関連性を、限られた時間の中で、明確に説明しなければならない。難しい課題であるが当協会に課された責務のひとつと考える。今後とも、関係機関の方々にご指導、ご鞭撻いただきながら取り組む次第である。

— 参考文献 —

- 1) 一般社団法人日本改質アスファルト協会：ポリマー改質アスファルトポケットガイド, 2015.1
- 2) 田中：コンクリート床版に対応したグースアスファルト混合物の開発, アスファルト, 233, pp.42-47, 2017.12
- 3) 永原 他：空港舗装に向けた高耐久性アスファルト混合物の適用性検証, 道路建設, pp.57-64, 2013
- 4) <https://eapa.org/eapa-asphalt-in-figures-2016-is-available/>
- 5) 社団法人日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和53年）, pp.142-143, 1978.6
- 6) 飯島他：セミプローンアスファルト AC-100 を用いた試験舗装の供用性, 土木技術資料 27-3, pp.123-128, 1985.
- 7) 本州四国連絡橋公団：本州四国連絡橋 橋面舗装基準（案）, pp.27-28, 1983.
- 8) 建設省土木研究所：筑波 1 号舗装工事の手引き, 土木研究所資料, 第2204号, 1985.
- 9) 社団法人日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和63年版）, pp.28-29, 1988.11
- 10) 村山雅人, 伊藤達也, 羽入昭吉, 菅野宏：高粘度改質アスファルトの開発経緯と研究開発の現状, 改質アスファルト, No.21, pp.8-21, 2003.
- 11) 社団法人日本道路協会：排水性舗装技術指針（案）, pp.14-15, 1996.
- 12) 社団法人日本道路協会：アスファルト舗装要綱（平成4年）, 丸善株式会社, pp.50-51, 1992.12
- 13) 社団法人日本道路協会：舗装設計施工指針（平成13年）, pp.263-264, 2001.12
- 14) 社団法人日本道路協会：舗装設計施工指針（平成18年版）, pp.222-223, 2006.
- 15) 日本改質アスファルト協会技術委員会：改質アスファルトの名称・標準的性状の変更について, 改質アスファルト, No.27, 2006.
- 16) 本松資朗他：高粘度改質アスファルトの試験方法および評価方法に関する共同研究, 改質アスファルト, No.19, 2002.9
- 17) 土木学会：舗装工学ライブラリー 13a アスファルトの特性と評価, pp.117-118, 2015.
- 18) http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/38269/1/14_115-120.pdf
- 19) 川口他：蛍光落射顕微鏡によるポリマー改質アスファルトのモルフォロジー評価, 改質アスファルト, pp.9 - 13, 2004.
- 20) http://bitval.fehrl.org/fileadmin/bitval/BitVal_final_report.pdf
- 21) 丸山他：ポリマー改質アスファルト II 型混合物舗装の LCC 評価と適用範囲, 改質アスファルト NO29, 2007.
- 22) 大島他：DSR によるアスファルトの劣化評価方法に関する一検討, 第32回日本道路会議, 2017.10.
- 23) Asphalt Institute：SUPERPAVE Asphalt Binder Specification, p.26, 1998.3.
- 24) 細木他：ポーラスアスファルト舗装を長寿命化するバインダの開発, 改質アスファルト, No.47, pp.4-10, 2014.
- 25) 首都高速道路株式会社：舗装設計要領, 2015
- 26) 野口他：温度変化に伴うポリマー改質アスファルト中の SBS 分散状態と物性についての一考察, 第71回土木学会年次講演会, 2016.9.

最近のアスファルト乳剤の技術的動向

(Recent Technical Trends of Asphalt Emulsion)

一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会

アスファルト乳剤（以下、乳剤）の用途は、アスファルト舗装各層の接着剤の役割を果たす浸透用（タックコート・プライムコート）をはじめ、セメント・瀝青安定処理工法に代表される混合用、フォグシールやチップシールなどに用いられる表面処理用、そして舗装分野以外にも工業用など多岐に渡る。

本稿では、これらの用途の中でも、特に用途拡大が著しい最近の乳剤の技術動向として、速分解型タックコート（仮称）と薄層表面処理工法について紹介する。

1. はじめに

乳剤は、輸送から施工までのすべての工程を常温で扱えることから、CO₂排出量が少なく、環境に優しい材料である。

近年では、温室効果ガスの発生に起因すると思われる世界的な異常気象が多発しており、これを抑制するうえでも期待されている舗装材料であるといえる。

その中で、最近開発された乳剤として、①タックコートの養生時間を大幅に短縮させた速分解型タックコートと、②改質乳剤や砂などの骨材から構成されるスラリーを薄層で敷きならす薄層表面処理工法が注目されている。

本稿では、この2つについて、最近の乳剤の技術動向として紹介する。

2. 速分解型タックコート

タックコートは、新たに舗設するアスファルト混合物層とその下層の瀝青安定処理層や中間層・基層との付着を高めるために散布される接着剤である。アスファルト舗装の新設および補修・修繕工事ではなくてはならないものであり、タックコートの接着性や耐たつき性などの性能も日々進化を続けてきた。

しかし、施工性に関しては、即日交通開放を必要とする条件で行われる舗装工事が多い中で、冬季には乳剤の分解が遅く養生に時間を要し、工程を圧迫することが多かった。

そこで近年、この問題を解決する方策と

して、冬季や夜間などの低温期でも分解が速い、速分解型のタックコートが開発された。本章ではこのタックコートの性能と、施工事例を紹介する。

2.1 速分解型タックコートの性状

速分解型タックコートの性状例を表-1に示す。（一社）日本アスファルト乳剤協会（以下、乳剤協会）が規定するタイヤ付着抑制型乳剤PKM-Tの規格に適合しつつ、分解性能に特化した仕様となっている。

現在、乳剤協会の技術委員会では、分解性能に関する規格制定に向けて共通試験を行っているところであり、本文ではその1つの例として5℃における分解時間を指触評価し、乳剤が付かなくなるまでの時間としたケースを記載した。

2.2 速分解型タックコートの性能

速分解型タックコートの施工性や各種物性について以下に紹介する。

表-1 速分解型タックコートの性状例

試験項目		JEAAS規格	社内規格	試験値
エングラード度(25℃)		1～15	-	3
ふるい残留分(1.18mm)	質量%	0.3以下	-	0.0
付着度		2/3以上	-	2/3以上
粒子の電荷		陽(+)	-	陽(+)
蒸発残留分		50以上	-	51
蒸発残留物	針入度(25℃) 1/10mm	5～30	-	11
	軟化点 ℃	55.0以上	-	64.5
貯蔵安定度(24hr)	質量%	1以下	-	0
タイヤ付着率(60℃)	質量%	10以下	-	3
分解時間(5℃) ^{*1}	分	-	5以下	3

^{*1}施工面にティッシュペーパー等の紙を押し当て、乳剤が付着しなくなるまでの時間

2.2.1 養生時間の短縮

散布されたタックコートは、乳剤が分解し、ダンプトラックやアスファルトフィニッシャーなどのタイヤに乳剤が付着しなくなるまで養生しなければならない。ここでいう分解とは、乳剤中の水分の蒸発、もしくは化学的作用によりアスファルトと水に分かれ、アスファルトの膜が形成される状態をいう。

タックコートの養生時間を評価する目的で、散布したタックコートの乳剤が指に付かなくなるまでの時間を分解時間と定義し、一般的に使用されているタックコートと速分解型タックコートについて、路面温度を変えたときの分解時間を計測した。路面温度と分解時間の関係を図-1に示す。

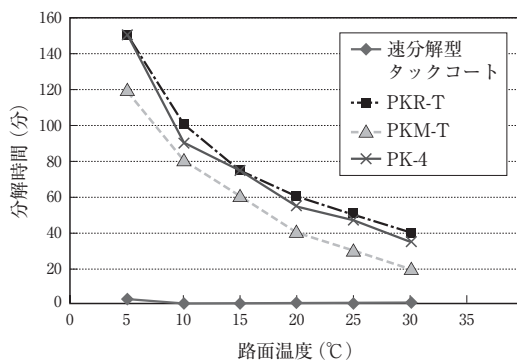


図-1 路面温度と分解時間の関係

一般的なタックコートであるPK-4やゴム入り乳剤PKR-Tは、20℃で60分程度、5℃では150分程度の分解時間であり、タイヤ付着抑制型乳剤PKM-Tの分解速度は多少速くなるものの、20℃で40分、5℃で120分程度であった。

一方、速分解型タックコートは、気温によらず散布後すぐに分解し、5℃でも3分程度の分解時間であった。実際の現場では、風速の違いや日照の有無などによりPK-4などの分解時間もこれより速くなると考えられるが、速分解型タックコートは気象条件によらず、大幅に養生時間が短縮できることが確認された。

これにより、低温期の夜間工事においても、タックコートの養生を待つことなく次工程に移ることができ、施工効率の向上に大きく貢献できる。

また、交通開放時間を厳守するために、止むを得ず乳剤の分解前に次工程に移行せざるを得ない状況を回避できるため、タックコートの品質確保にも寄与できるものと期待している。

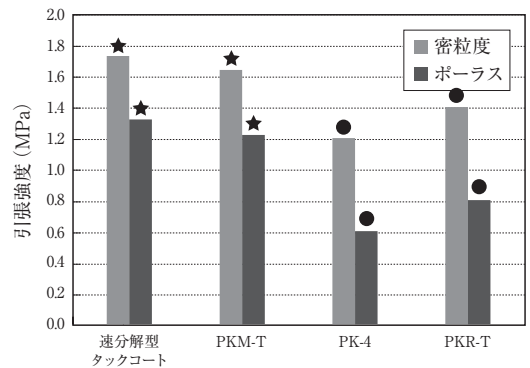
2.2.2 舗装との接着性能

速分解型タックコートの舗装との接着層としての性能は、乳剤協会試験方法「JEAAT-5 タックコート層を有した円筒状供試体の引張試験方法」に準拠して、試験温度20℃で評価した。

表層は、密粒度アスファルト混合物(13)(以下、密粒度混合物)とポーラスアスファルト混合物(13)(以下、ポーラス混合物)とした。供試体作製条件を表-2に、試験結果を図-2に示す。

表-2 引張試験供試体作製条件

	表層混合物種	
	密粒度(13)	ポーラス(13): 空隙20%
バインダー種	ポリマー改質 アスファルトⅡ型	ポリマー改質 アスファルトH型
下地混合物	密粒度(13): ポリマー改質アスファルトⅡ型	
タックコート種	PK-4, PKR-T, PKM-T, 速分解型	
塗布量	0.4L/m ²	
下地供試体の温度	20℃	
表層の締固め温度	160℃	150℃



(★: 混合物の凝集破壊, ●: タックコートの凝集破壊)

図-2 乳剤種別のタイヤ付着率

速分解型タックコートは、PKM-Tと同様に、表層が密粒度混合物、ポーラス混合物に関わらず、破壊形態は混合物の凝集破壊となり、その引張強度は密粒度混合物で1.73MPa、ポーラス混合物で1.31MPaと高い接着性能を有していることが確認された。

2.3 施工事例

速分解型タックコートは、開発から4年が経過しており、これまで数多くの現場で施工されている。ここでは、その中から冬期の国道における施工事例を紹介する。

この事例は、夜間の2層切削オーバーレイ工事であり、トンネルの前後を施工するため全面通行止めで行われた。工程が多く、タックコートの養生時間を大幅に短縮したいということで採用された。施工概要を表-3に示す。

表-3 工事概要

項目	概要
施工日時	平成26年2月18日
規制時間	22:00～6:00(全面通行止め)
工事概要	2層切削オーバーレイ (路面切削10cm→粗粒度混合物5cm→ ポーラス混合物5cm)
施工面積	320㎡(L=20m×W=8m×2車線)
路面温度	中間層施工時:2～4℃, 表層施工時:20～30℃

(1) 基層施工時の分解性

基層施工時の下地は切削面であり、その時の路面温度は2～4℃であった。切削に伴い湿潤状態となった切削面箇所では分解に20分ほど要したが、下地が乾燥している箇所では、タックコート散布後すぐに乳剤が指に付かなくなった。

基層の舗設はタックコート散布25分後から開始したが、ダンプトラックのタイヤへの乳剤の付着はまったく見られなかった。舗設直前のタックコートの分解状況を写真-1に示す。



写真-1 タックコートの分解状況

(2) 表層施工時の分解性

表層舗設時は、施工した基層の蓄熱もあり路面温度は20～30℃であった。タックコート散布後は直ちに分解し、舗設時にもアスファルトフィニッシャのタイヤへの付着も見られなかった。表層舗設時の重機のタイヤの状況を写真-2に示す。



写真-2 表層舗設時のダンプトラックのタイヤ

以上、表基層ともにタックコートの養生時間は工程で想定した範囲に収まり、全工程も予定とおりに進めることが出来た。

この事例からも、速分解型タックコートは、低温期の施工でも余裕を持って工事を進めることができ、タックコートとしての品質確保にも寄与できることが裏付けられたものと思われる。

3. 薄層表面処理工法

舗装の長寿命化やライフサイクルコストの削減を実現するためには、路面損傷に適用される補修措置の効率的な実施が重要である。平成28年に策定された「舗装点検要領」を契機に、今後、補修措置の重要性はより一層増していくと予想される。

損傷の進行が早い分類Bの補修措置では、シール材注入工法や薄層オーバーレイ工法などが一般的に行われている。一方、分類Cや分類Dは損傷の進行が緩やかなため、設定した管理基準値に到達した段階で実施される修繕措置に軸足が置かれ、補修措置はほとんど行われていないのが現状である。

このような背景から、(国研)土木研究所と乳剤協会は、補修措置に用いられる工法の中でも、常温施工が可能であり、施工方法が簡便、かつ施工費が比較的安価な薄層表面処理工法に着目し、薄層表面処理工法の適用性や耐久性の把握、そして適用条件や効果的な実施時期の提案を目的とした共同研究を平成30年度から開始した。共同研究の一環として、茨城県つくば市内の交通量の異なる6路線において、薄層表面処理工法の試験施工を実施した。

本章では、薄層表面処理工法の概要と実施した試験施工について述べる。

3.1 薄層表面処理工法の概要

薄層表面処理工法は、面荒れした既設舗装のきめ深さを改善し、舗装の延命を図ることを目的とした表面処理工法である。薄層表面処理工法は2000年前後、重交通路線を適用先としたマイクロサーフェシング工法（以下、MS）の普及後に開発され、現在、大型車が皆無である生活道路から重交通路線までの多くの路線で施工実績を有する。

MSは骨材種や施工条件などに大きく依存するカチオン系改質アスファルト乳剤MS-1と骨材の敏感な接触反応を利用したスラリー状混合物を、専用ペーパーを用いて1 cm程度の施工厚で薄く敷きならす高度な施工技術と熟練度を要求される。一方、薄層表面処理工法用の混合物はMSと同様のスラリー状であり、施工厚も同程度であるが、混合物の材料構成や施工方法はMSとまったく異なり、MSが抱えていた上述の問題を克服した表面処理工法である。

薄層表面処理の特長を以下に列挙し、MSと比較した薄層表面処理の概要を表－4に示す。

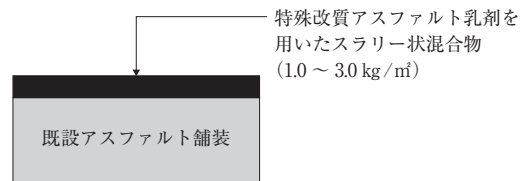
表－4 MSと比較した薄層表面処理工法の概要

項目	MS	薄層表面処理工法
適用路線	重交通路線	生活道路から重交通路線
使用材料	骨材、MS-1、セメント	骨材、特殊乳剤、セメント等
施工方法	専用ペーパー	レーキ等、汎用性の高い道具
可使時間	1～2分程度	30分程度までの任意
施工厚	既設舗装の肌理に依存するが、平均で1 cm程度以下	
施工の容易さ	難しい	簡便
平均的な日当たり施工量	数千 m ² 程度	数 m ² から500 m ² 程度まで
早期交通開放性	1～2時間程度	

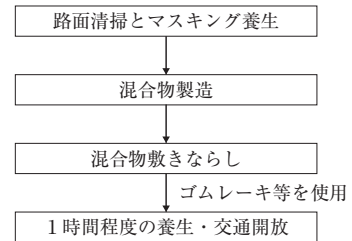
- ①スラリー状の柔軟性に富んだ常温混合物であり、レーキ等で容易に施工できる
- ②アスファルト舗装とのなじみが良く、接着性に優れる
- ③すべり抵抗性に優れた舗装が得られる
- ④高温時においてもべたつきがない
- ⑤数種類の骨材を含み、改質乳剤をバインダーとしているため、耐候性に優れる

3.2 つくば市内で実施した薄層表面処理工法の試験施工標準断面と施工方法

薄層表面処理の標準断面を図－3に、施工フローを図－4に示す。試験施工では、当協会加盟会社のうち、3社の薄層表面処理工法、タイプA、タイプB、そして



図－3 薄層表面処理工法の標準断面



図－4 薄層表面処理工法の施工フロー

タイプCを採用した。

3.3 施工

つくば市内で薄層表面処理工法を施工した路線は、大型車の侵入が少ない市道からN6相当の重交通路線までの6路線である。

タイプAからタイプCまでの薄層表面処理工法用混合物の敷きならし状況と施工後の路面状況を写真－3～8に示す。

施工は平成30年7月23日から8月2日の間に行われ、施工日の気温は35℃前後、路面温度は60℃に到達していた。いずれの薄層表面処理工法用混合物も小規模施工に対応しているため、骨材とバインダーが別々の容器にプレパック化されているパッケージ型であり、これらを施工現場付近で混合用の容器に移し、ハンドミキサーなどを用いて攪拌して混合物を製造する方法である。したがって、混合物製造時において、可使時間を調整するための添加剤量を増減することによって、いずれの混合物も良好な施工性を確保し、施工後の路面状態も極めて良好であった。

4. おわりに

本文では、速分解型タックコートと薄層表面処理工法の2つの新しい乳剤技術を紹介した。

速分解型タックコートは、アスファルト乳剤が本来必要とされる散布後の養生時間の短縮を実現させたタックコート材である。この新しいタックコート材は養生時間の確保が困難な高速道路や空港舗装などの修



写真-3 敷きならし状況 (タイプA)

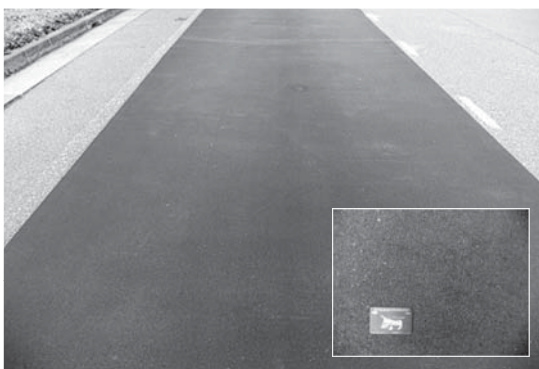


写真-4 施工後の路面状況 (タイプA)



写真-5 敷きならし状況 (タイプB)

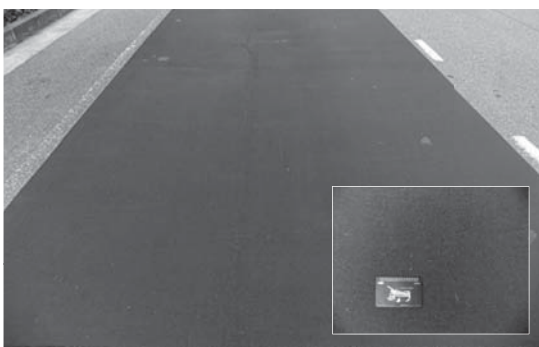


写真-6 施工後の路面状況 (タイプB)



写真-7 敷きならし状況 (タイプC)

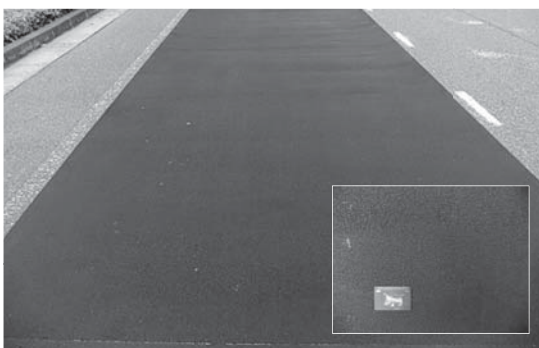


写真-8 施工後の路面状況 (タイプC)

繕を中心にニーズが高いため、現在、乳剤協会ではそのニーズに応えるべく、規格化に向けた作業を急ピッチで進めている。

一方、薄層表面処理工法は、MSの抱える問題点を克服した新しい乳剤系表面処理工法として、近年、軽交通量路線を中心に施工実績が急伸している。

この工法に対する乳剤協会での規格化などに向けた動きはない。しかし、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¹⁾。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路線であ

る分類CやDになるであろう。「舗装点検要領」の策定を契機に、これらの道路の軽微な損傷に対する補修措置の需要は高まることが予想され、必然的に薄層表面処理工法の需要も今後増加傾向が続くと推察される。乳剤協会としても、薄層表面処理工法の実績動向に注視していく所存である。

—— 参考文献 ——

- 1) 中里 道路インフラは経済・社会の基盤 pp.17-20, 2014, 7

「舗装点検要領に基づく舗装マネジメント指針」の概要

(Summary of the Pavement Management Guideline Based on Inspection Standards)

桑 原 正 明*

我が国において膨大なストック量に達している舗装についても、他の道路構造物と同様に予防保全型の管理を行うことにより効率的な維持管理が求められています。このような状況の下、平成28年10月に「舗装点検要領」が策定されたが、これに基づいて実施される点検・診断・措置および記録からなるメンテナンスサイクルについて、具体の構築・運用方法およびその留意点について実務的なガイドラインとしてとりまとめた「舗装点検要領に基づく舗装マネジメント指針」が（公社）日本道路協会より発刊されました。本稿において、その内容を紹介します。

はじめに

我が国の舗装ストックは道路延長ベースで100万kmを超え、膨大なストック量となっています。また、舗装が存する道路の役割・性格も、例えば幹線道路から生活道路まで様々なものがあります。このような特徴を有する舗装においても、橋梁やトンネル等と同様に、点検・診断・措置および記録からなるメンテナンスサイクルを構築し、予防保全型の管理を行うことによる、より効率的な維持管理が求められます。

橋梁・トンネル等については、具体的な点検頻度や方法等に関する事項が平成26年に法令で定められ、「必要な知識および技能を有する者」が「近接目視」により「5年に1回の頻度」で「健全性の診断」を行い、診断結果を健全、予防保全段階、早期措置段階、緊急措置段階の4区分に分類することとなりました。

舗装については、これらの規定の適用外ではありませんが、同年の「道路の老朽化対策に関する提言」（社会資本整備審議会道路分科会）において、「経年的な劣化に基づき適切な更新年数を設定し、点検・更新することを検討すべき」とされました。

こうした状況の下、社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会の審議を経て、平成28年10月に国土交通省にて「舗装点検要領」（以下、「点検要領」という。）が策定されました。点検要領は、舗装の維持管理分野における技術基準としては初めて策定されたものです。

一方で、平成25年以降に実施された「道路ストック総点検」で初めて舗装を点検した地方公共団体も多数あり、これからの点検要領に基づくメンテナンスサイクルの構築にあたり、実務の指針となるような技術図書類の整備が求められていました。そこで、（公社）日本道路協会は平成30年9月に「舗装点検要領に基づく舗装マネジメント指針」（以下、「本書」という。）を発刊しました。

本書の主な内容

以下に本書の概要を順に示します。

1. 総説（1章）

各道路管理者がメンテナンスサイクルの構築に取り組むにあたり、点検等に関する技術基準類の体系を理解しておくことが必要です。第1章では、図-1に示すように本書を含めた技術基準類の体系を示し、それぞれの規定事項について解説しています。この中で、本書は舗装の管理に携わる関係者の理解と判断を支援する実務的なガイドラインとして位置づけています。

また、本書全体の構成を図-2に示します。各章の概要は後述しますが、第3章までが主としてメンテナンスサイクルの構築に向けた計画段階、第4章以降が実際の現場での運用段階となります。

*くわばら まさあき 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部道路基盤研究室 主任研究官

2. 点検要領に基づくメンテナンスサイクルと舗装マネジメント(2章)

メンテナンスサイクルの構築にあたっては、点検要領が意図するところを理解しておく必要があります。第2章では、点検要領の主なポイントとして、それらを「路盤の健全性の確保を通じた長寿命化」、「道路の特性等に応じた効率的な管理」、および「目標設定を通じた長寿命化」として示し、それぞれの意図・内容を示しています。以下、簡単に概要を紹介します。

「路盤の健全性の確保を通じた長寿命化」についてですが、まずは、表層等有する、路盤以下の層を保護する機能に着目し、表層等の適時修繕を行います。ただし、路盤の構造的な健全性が失われていることが詳細調査などにより分かった場合は、路盤を含めて修繕することになります。

「道路の特性等に応じた効率的な管理」については、道路の役割や性格、修繕実施の効率性、ストック量、管理体制等の観点から道路を分類したうえで、各分類の特性に応じたメンテナンスサイクルを構築し、運用することになります。

「目標設定を通じた長寿命化」については、材料・構造が異なる舗装は劣化進行の特性が異なるため、舗装種別（アスファルト舗装／コンクリート舗装）に応じた点検等を実施することになります。また、アスファルト舗装においては管理基準を設定するとともに、アスファルト舗装の中でも損傷の進行が早い道路等においては、表層の供用年数の目標となる「使用目標年数」を設定し、これらを意識して管理することになります。

これらのポイントを踏まえ、本書では点検要領に基づくメンテナンスサイクル構築のフローを図-3の通りに示しています。

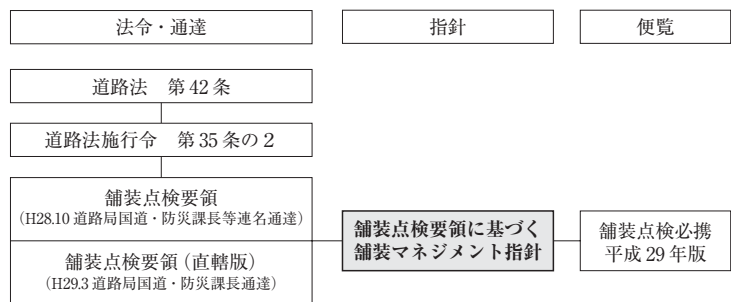


図-1 技術基準等の体系と本書の位置付け

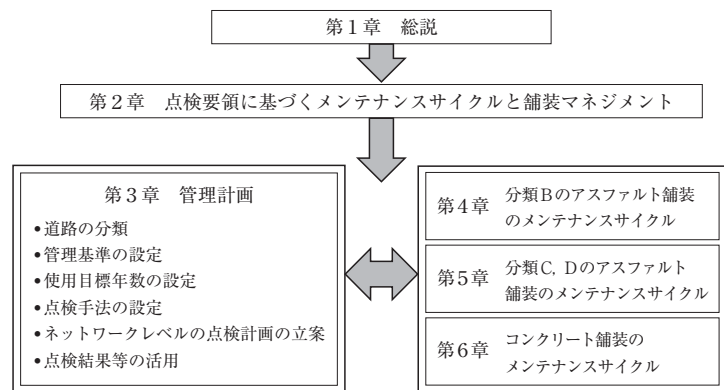


図-2 本書の構成

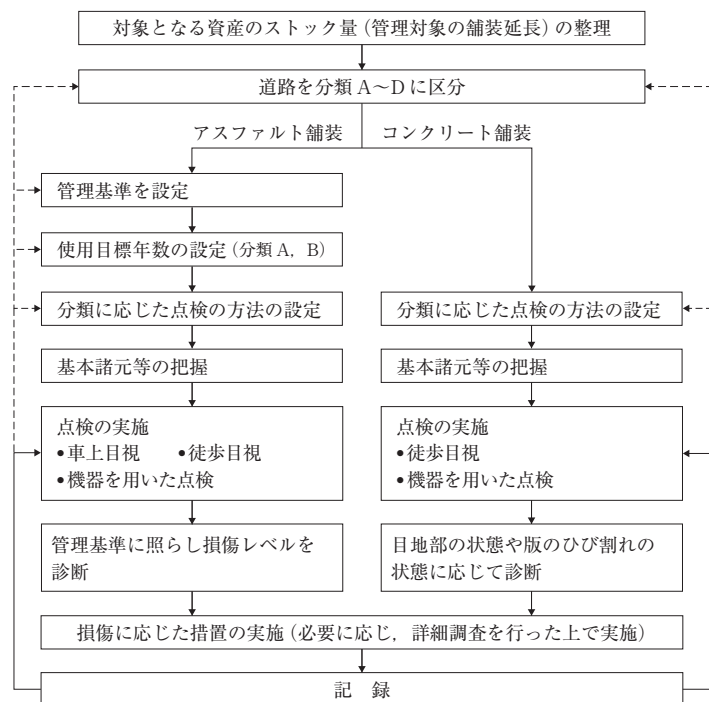


図-3 点検要領に基づくメンテナンスサイクルのフロー

また、舗装は連続した構造物であるため、道路管理者の立場として、道路を網（ネットワーク）としてとらえ要補修区間の抽出等を行うネットワークレベルの取り組みや、抽出後の区間で個別に工法等の検討を行うプロジェクトレベルの取り組みがあります。また、ISO55000 シリーズとして規格化されたように、アセットマネジメントに対する関心も高まっています。そこで、本書では舗装マネジメントの全体像を図-4のとおりにし、それぞれのレベルで取り組むべき事項を示しています。この舗装マネジメントの全体像を理解した上で、舗装点検要領に基づくメンテナンスサイクルの構築に取り組むことがより効果的と考えられます。

3. 管理計画（3章）

第2章の点検要領の主なポイントでも触れていますが、点検要領に基づくメンテナンスサイクルの構築にあたっては、点検の実施に先立ち設定しておくべき事項があります。

具体的には、管内の道路を分類すること、アスファルト舗装に対しては管理基準を設定すること、アスファルト舗装のうち損傷の進行が早い道路等の分類においては使用目標年数を設定することです。第3章では、これらの具体的な方法について、さらに巻末の付録においては、これらの具体的な事例を示しています。例えば、道路種別や地域における重要性、幅員等に着眼した市レベルでの分類例として、表-1、図-5のとおりに示してい

ます。あくまで、これは例示であり、表-1の適用条件にこだわる必要はありません。付録では、その他の観点に着目した例も示しており、道路管理者にとって分類

表-1 市区町村による道路分類例（表整理）

道路分類	延長(km)	適用条件
分類B	50 km	緊急輸送道路のうち、市街地にあり特に重要な路線
分類C	100 km	分類Bを除く幹線1級・2級市道のうち、車道幅員7 m以上の路線
分類D	2,350 km	その他道路（生活道路）
計	2,500 km	市管理延長

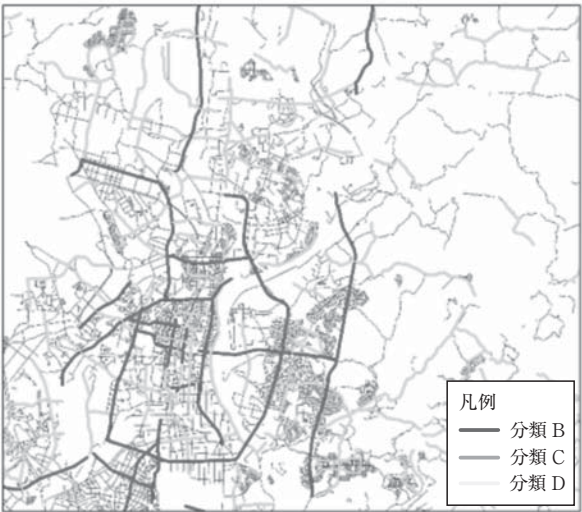


図-5 市区町村による道路分類例（地図プロット）

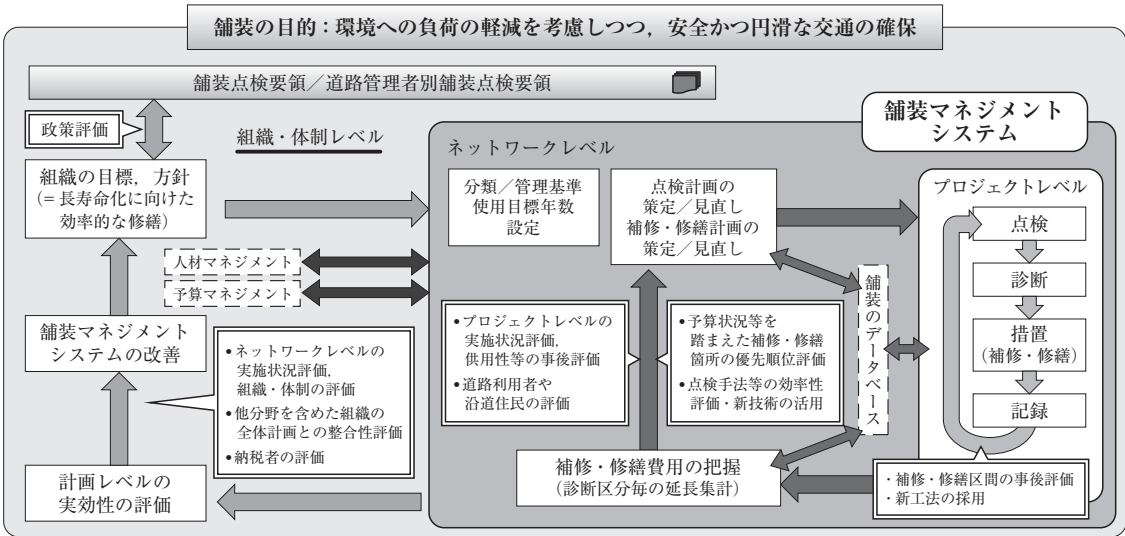


図-4 舗装マネジメントの全体像

する際に有益な情報になるものと考えられます。

また、これらの設定を踏まえた上での点検手法・点検頻度の設定を含め、管内の舗装全体を含めたネットワークレベルの点検計画の立案方法を示しています。さらに、計画立案段階のみならず、点検計画に基づきメンテナンスサイクルが運用されている段階での適用も想定し、図-4で示した舗装マネジメントとしてのPDCAサイクル上での継続的な改善事項についても示しています。

4. 道路分類・舗装種別に応じたメンテナンスサイクル（第4～6章）

第4章以降は、点検計画の立案後の実際のメンテナンスサイクルの運用段階を対象としており、点検・診断・措置および記録の方法について、道路の分類・舗装種別毎の章構成でとりまとめています。それぞれの章ごとに、実際に点検する際に把握しておくべき基本的な情報や、損傷原因の推定等詳細調査を行うべき判断基準やその手法、措置段階における工法選定手法等について示しています。

例えば、分類Bのアスファルト舗装では、使用目標年数を設定した上で点検等を実施し、必要な措置を講ずることになります。その際の、表層の供用年数と診断区分の関係から選定する措置の考え方について、図-6を用いて示しています。

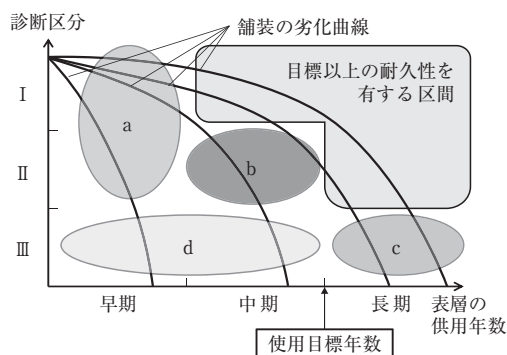


図-6 表層の供用年数と診断区分の関係から選定する措置の考え方

図で示す領域cは、表層の供用年数が使用目標年数を超過してから管理基準に到達するという、目標とした長寿命化が実現している領域であり、従来どおりの表層等の切削オーバーレイを中心とした修繕を実施することになります。一方で、領域dは、表層の供用年数が使用目標年数に到達する以前に劣化して管理基準に到達してしまう、早期劣化してしまった領域となります。領域a、bの段階で、領域dに移行することが想定される場合は、必要な補修措置（例えば、ひび割れ部へのシール材注入、わだち部へのオーバーレイ等）を実施して予防保全に取り組むことが求められます。それらの措置を実施してもなお領域dに移行してしまった場合は、詳細調査を実施して路盤以下の層を含めて健全性を確認した上で、適切な修繕設計に基づく措置（路盤打換え等）が求められます。また、目標以上の耐久性を有する区間については、今後管理基準に到達した段階で修繕を講ずることが基本となります。

5. 付録等

2.～4.では、メンテナンスサイクルの措置・運用の各段階で取組手法を記述していますが、3.で示した道路の分類例のように、各道路管理者がそれぞれの取り組みをイメージできるよう、可能な限り実施例や関連する技術的知見を付録としてとりまとめています。

おわりに

本書は、点検要領に基づくメンテナンスサイクルの構築・運用にあたり、実務的なガイドラインとしてとりまとめられています。また、特に現場における活用を想定し、舗装に発生する各損傷の特徴と発生原因、措置の考え方を中心にとりまとめられた「舗装点検必携」を同じく（公社）日本道路協会から平成29年4月に発刊しております。

これらの図書の意図が正しく理解され、活用されることで効率的な舗装マネジメントが実現されることを期待します。

アスファルト混合物の寿命予測に関する基礎検討

(Fundamental study on life prediction of asphalt mixture)

加 納 陽 輔*・並 木 大 宜**・新 田 弘 之***

近年、インフラ施設の点検業務や維持修繕の需要が高まるなか、点検・診断の省力化が重要な課題となっている。道路舗装も例外ではなく、舗装の長寿命化に向けた維持管理の実施が求められており、アスファルト混合物の劣化予測がそれに寄与すると考える。アスファルト舗装の劣化は表面のみならず、下面からの深刻な劣化が確認されているものの、詳細なメカニズムは解明されていない。著者らは、アスファルトの劣化因子と影響度の解明に取り組んでおり、温度と劣化速度の関係をアレニウスの法則により概ね整理できることを確認したので報告する。

1. はじめに

わが国の舗装延長（簡易舗装を含む）は約100万kmにおよび、舗装路面の95%を占めるアスファルト混合物は様々な気象条件下で交通荷重を受けながら劣化や損傷を蓄積する。近年、舗装費の約7割を修繕費が占める状況にあり、平成28年には「舗装点検要領」が定められ、舗装の長寿命化やライフサイクルコストの最適化を支える維持修繕の実施が求められている。今後、膨大な舗装ストックを効率的に維持管理するには、点検・診断を通じて劣化や損傷の度合いを把握し、適宜予防的措置を講じることが重要となる。

アスファルト舗装の劣化は、これまでの研究^{1, 2, 3)}から熱や紫外線の影響を受けやすい表面からの進行に加え、下面からの深刻な劣化も確認されている。これには、深さ方向の熱伝播や空隙等からの酸素供給による影響が考えられるが、詳細なメカニズムは解明されていない。いずれにしても、アスファルトの劣化は舗装の品質に起因した損傷原因ともなり得るため、劣化予測に基づく予防的修繕の検討が維持管理の効率化に寄与すると考える。

著者らは、図-1のとおりアスファルト混合物の寿命予測に向けたアスファルトの劣化因子と影響度の解明に取り組んでおり、現在、温度と空隙がアスファルトの劣化に及ぼす影響に関して室内試験と現場試験

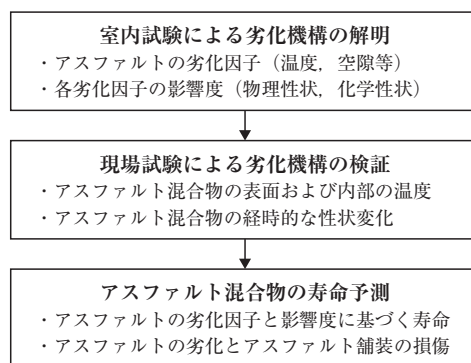


図-1 研究全体の構想

を併行している。本研究では、アスファルトの酸化度合いや組成変化に及ぼす温度の影響を確認したうえで、高分子材料の寿命予測に用いられるアレニウスの法則に着目し、アスファルト混合物への適用性を検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体作製

供試体作製から劣化予測までの手順を図-2に示す。混合物は、表-1のストレートアスファルト60/80を用いて、表-2のとおり配合した密粒度アスファルト混合物（13）を使用した。供試体は、混合物の表面積を揃えて均一に劣化させるため、アスファルトミキサー

*かのう ようすけ 日本大学 生産工学部 土木工学科 准教授

**なみき ひろき 日本大学大学院 生産工学研究科 土木工学専攻 博士前期課程

***になった ひろゆき 国立研究開発法人 土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員

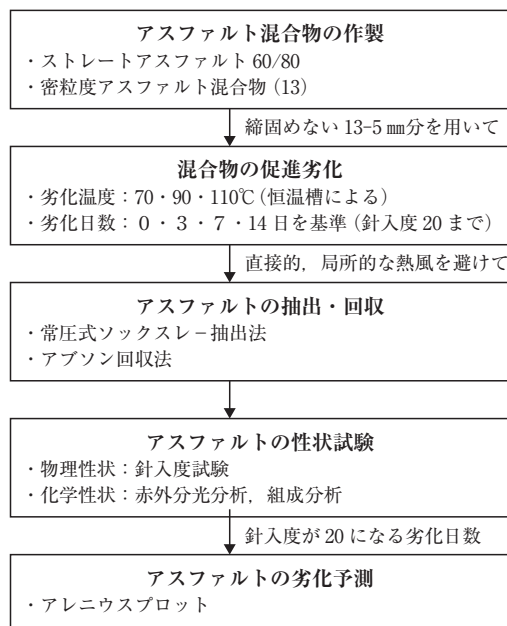


図-2 実験手順

により混合後、4.75mmふるいによる残留分（13-5mm分）を締固めずに促進劣化した。

促進劣化の条件を表-3に示す。促進劣化は、締固めないアスファルト混合物を70・90・110℃の劣化温度によって針入度が20に低下するまでのアスファルトの性状変化を0・3・7・14日の劣化日数を基準として確認した。なお、ここでは各温度における全ての劣化日数を同一バッチで促進劣化するため、分級した13-5mm分が重なり合わないよう敷きならし、さらに熱風が直接的、局所的に当たらぬよう上面をアルミ箔で

表-1 混合物の配合

骨材配合比 (%)					O.A.C (%)
6号砕石	7号砕石	砕砂	粗砂	石粉	
34.0	22.0	30.5	7.5	6.0	5.0

表-2 アスファルトの基本性状

密度 (g/cm³)	針入度 (1/10mm)	伸度 15℃ (cm)	軟化点 (℃)
1.035	68	100+	47.0

表-3 促進劣化の条件

養生温度	養生日数
70℃	0, 3, 7, 14, 28, 42, 70 日
90℃	0, 3, 7, 14 日
110℃	0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14 日

覆い恒温槽で加熱した。促進劣化後の供試体は、常圧式ソックスレー抽出法およびアブソン回収法（ASTM D 1856-95a）によってアスファルトを抽出・回収し、各種性状試験に供した。

2.2 性状試験

温度がアスファルトの劣化速度や組成に及ぼす影響に関して、物理性状と化学性状の両面から評価した。物理性状は、針入度試験（JIS K2207）から各温度による劣化日数ごとの針入度変化を把握し、化学性状に関しては、フーリエ変換赤外分光分析（以下、FTIR）による吸光度測定を実施して各温度下における劣化日数ごとの酸化度合いを確認した。ここで、FTIRではこれまでの研究⁴⁾を参考に全反射測定法（ATR法）によってアスファルトを直接測定し、得られたスペクトルから以下の式(1)よりカルボニルインデックス（CI）を求めた。

$$CI = \frac{\log(I_{ol}/I_l)}{\log(I_{o2}/I_2)} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 I_1 , I_2 ：それぞれ1700cm⁻¹付近と1600cm⁻¹付近におけるピークスペクトルの透過率、 I_{ol} , I_{o2} ：それぞれ上記波数に対応するバックグラウンドの透過率である。

カルボニルインデックスは、酸化劣化に伴い増加するカルボニル基（C=O）が1700cm⁻¹付近に吸収を持つことに着目し、酸化によって変化しない1600cm⁻¹の吸光度を内部基準として求める。

さらに、TLC/FID法（JPI-5S-70-10）による組成分析から構成成分比率を把握するとともに、以下の式(2)からコロイダルインデックス（ I_c ）を求めてアスファルテンの解膠性を確認した。

$$I_c = \frac{\text{飽和分} + \text{アスファルテン分}}{\text{芳香族分} + \text{レジン分}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 I_c は数値が大きいほど解膠性が低下し、アスファルテンが凝析しやすい傾向を示す。

2.3 劣化予測

ゴムや接着剤などの高分子材料は、熱や水の影響で劣化が進行し、経年的に大きく変質していくため、供用期間における劣化の進行度合いを想定することが重要となる。しかし、様々な条件下での劣化を実期間にわたり把握することは困難なため、加速試験として一

一般的にアレニウスの法則（アレニウス式）が適用される。

アレニウスの法則では、酸化や重合などの劣化に伴う化学反応が分子の持つエネルギーに応じて進行することに着目し、反応速度定数を以下の式(3)で表している。

$$k = A \exp \frac{-E_a}{RT} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 k ：反応速度定数、 A ：反応定数、 E_a ：活性化エネルギー、 R ：気体定数、 T ：絶対温度である。

すなわち、アレニウスの式は反応速度が温度に依存することを表し、速度定数とそのときの温度（K）の逆数を片対数でプロット（以下、アレニウスプロット）すれば、回帰分析からある温度下での劣化度合いを予測できる。本研究では、各温度下で針入度が20となる劣化日数と劣化温度の逆数によりアレニウスプロットを作成し、近似線の挙動からアスファルト混合物への適用性を確認した。

3. 結果と考察

3.1 針入度

劣化日数と針入度の関係を図-3に示す。針入度を対数で図示したところ、針入度が20程度まで低下していく70℃で14・28・42・70日、90℃で3・7・14日、110℃で2・3・4・5日に直線的な傾向が見られ、この近似線から各温度下で針入度が20となる劣化日数を求めた。その結果、70℃では53.5日、90℃では12.5日、110℃では2.5日が、針入度が20となる劣化日数として得られた。また、参考として90℃の結果（12.5日）を用いて温度と反応速度の経験則である10℃2倍則を適用した場合、70℃では50.0日、110℃では3.2日となり、本研究における促進劣化の条件では、針入度を指標とした劣化温度と劣化日数に10℃2倍則の関係が概ね成り立つといえる。

3.2 カルボニルインデックス

劣化日数とカルボニルインデックスの関係を図-4に示す。針入度の結果と同様に、温度上昇に伴って劣化が進行する傾向が見てとれる。また、各温度で針入度が20程度となった劣化日数のカルボニルインデックスは、いずれも0.6～0.8付近であり、針入度とカルボニルインデックスとの相関性が考えられる。

針入度とカルボニルインデックスの関係を図-5に示す。針入度を対数で図示したところ、各温度ともほぼ直線上に並んだ。このことから、今回の条件下では、

カルボニルインデックスから針入度をおおよそ推測することが可能と考える。

3.3 構成成分比率

各温度による劣化日数ごとの構成成分比率を図-6に示す。各温度とも劣化日数の経過に伴いレジン分が増加し、芳香族分が減少する傾向が見られた。また、針入度が20程度となった70℃で42・70日、90℃で14日、110℃で2・3日の構成成分比率にも大きな差異

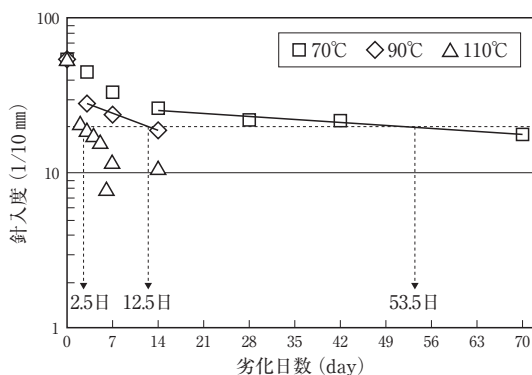


図-3 劣化日数と針入度の関係

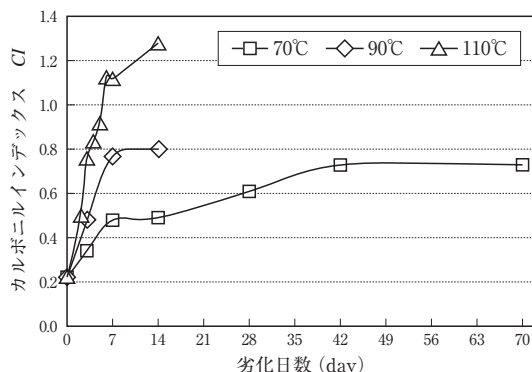


図-4 劣化日数とカルボニルインデックスの関係

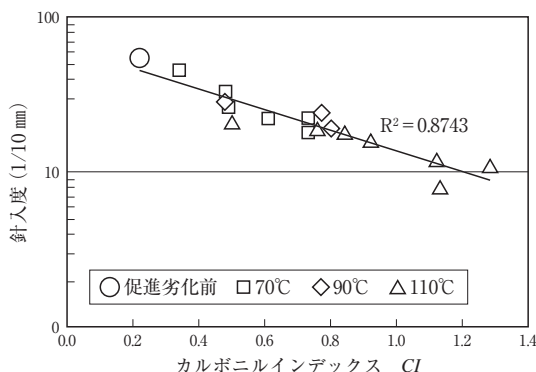


図-5 針入度とカルボニルインデックスの関係

は見られなかった。このことから、今回条件のうち最も高温である110℃においてもアスファルトの劣化機構は同様と考えられ、供用時の劣化を想定した促進条件として適切な温度範囲にあることを確認した。

各温度下で針入度が20程度となった劣化日数のコロイダルインデックスを図-7に示す。各温度ともコロイダルインデックスは、劣化日数とともに増加する傾向にあり、特に110℃では劣化速度が速いため、針入度が20を下回る劣化日数3日にかけて急速に解膠性が失われることが見てとれる。

3.4 アレニウスプロット

各温度下で針入度が20となる劣化日数と劣化温度の逆数より作成したアレニウスプロットを図-8に示す。現時点では1種類のアスファルトに対する3点であるが、直線上に並んだことから、舗装用アスファルトに対してもアレニウスの法則を適用できる可能性を確認した。この直線を用いることで、アスファルト混合物のある温度下における劣化の進行を予測でき、例えば25℃での劣化を想定した場合、針入度が20に低下するまで約103000h $\div$ 12年を要することが予測される。

4. 結論

本研究から得られた知見を以下に取りまとめる。

70～110℃では、劣化速度が異なるが、各温度下で針入度が20に低下したアスファルトのカルボニルインデックスと構成成分比率に差異は見られず、酸化度合いや組成変化は同程度であった。

70～110℃では、アレニウスプロットが直線を描いたことから、舗装用アスファルトに対してもアレニウスの法則を適用できる可能性がある。

今後も、多様なアスファルトや混合物を対象としたデータの蓄積・解析とともに、実路での温度履歴と劣化の関係を把握し、アスファルトの劣化機構の解明と劣化予測の確立に向けた検討を継続する必要がある。

参考文献

- 1) 川島陽子, 新田弘之, 西崎到: 供用中のアスファルト舗装表面と内部の劣化度の把握および劣化機構に関する一検討, 舗装工学論文集, 第21巻, pp.53-59, 2016.
- 2) 川島陽子, 新田弘之, 西崎到: FTIR/ATRによるアスファルト混合物の簡易劣化評価試験の検討, 舗装, No.51, pp.29-33, 2016.

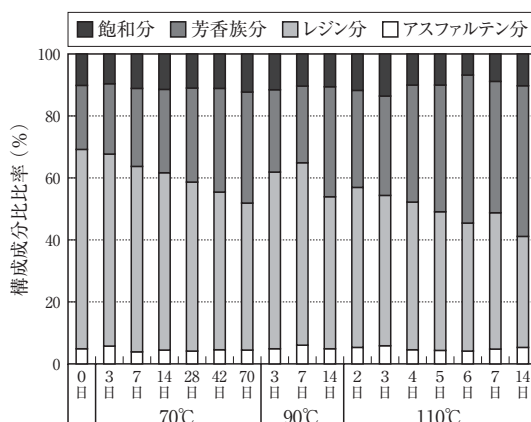


図-6 構成成分比率

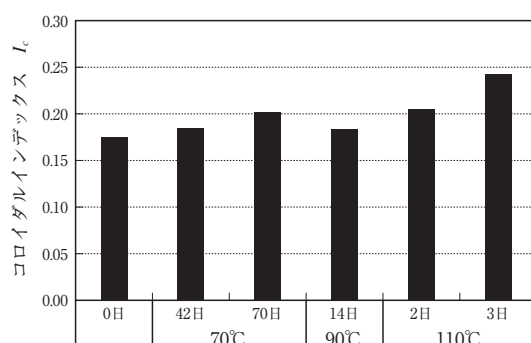


図-7 コロイダルインデックス

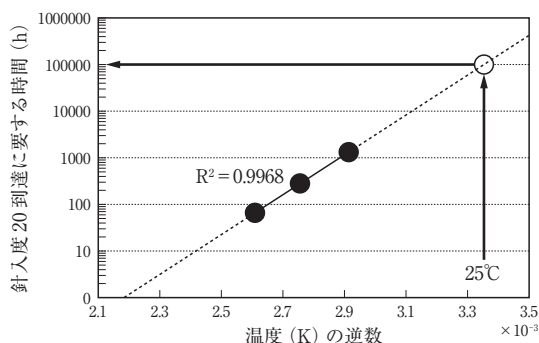


図-8 アレニウスプロット

- 3) 平戸利明, 村山雅人, 高橋茂樹, 姫野賢治: 長期供用された高速道路で用いたアスファルトの気象劣化現象に関する調査, 舗装工学論文集, 第19巻, pp.123-130, 2014.
- 4) 川島陽子, 新田弘之, 佐々木敏, 西崎到: 再生方法の異なる再生アスファルト混合物の深さ方向における化学性状の変化, 舗装工学論文集, 第22巻, pp.163-167, 2017.

半円形供試体曲げ試験によるアスコンのひび割れ抵抗性 評価法に関する基礎的研究

(Fundamental Study on Evaluation Method for Crack Resistance of HMA Mixtures
by Semi-Circular Bending Test)

高 橋 修*・大 坂 諒**・尾 谷 力***

本研究では、アスファルトコンクリート（アスコン）のひび割れ抵抗性を評価することを目的に、半円形供試体曲げ試験の実施要領について検討した。半円形供試体曲げ試験は欧州および米国によって基準化されているが、我が国でこれらの基準をそのまま流用するには難がある。そのため、我が国で一般的な試験機器を用いた容易な試験法を提案し、その妥当性と適用性について考察した。その結果、試験温度と載荷速度を適切に選定することにより、既往の方法と同様にアスコンのひび割れ抵抗性が評価できることを確認した。

1. はじめに

アスファルト舗装における主要な破壊形態は、ひび割れとわだち掘れである。アスコン層のひび割れは、舗装の構造体としての破壊であり、ひび割れが発生した舗装は関連する損傷も誘発して急速にサービス水準が低下してしまう。そのため、アスコンのひび割れ抵抗性を適正に評価して、ひび割れが発生・進展しにくいアスコン層を構築することが、アスファルト舗装の長寿命化には重要となる。

我が国で、アスコンのひび割れ抵抗性評価を目的として基準化されている試験法は、静的曲げ試験、曲げ疲労試験、および圧裂試験である¹⁾。静的曲げ試験、曲げ疲労試験とも大型のアスコンブロックから供試体を切り出す必要があり、載荷試験用の機器が高価である。圧裂試験は、比較的一連の作業が簡単で試験機器も高価ではないが、アスコン供試体の変形性能が評価できないという欠点がある。基準化されている評価法ではないが、著者らの研究組織では直接引張試験²⁾も実施している。直接引張試験は力学的に最もシンプルな評価試験であるが、やはり大型のアスコンブロックから供試体を切り出す必要があり、載荷用治具の接着等もあって、簡単な評価法ではない。

諸外国に目を向けてみると、上記の試験法以外に半円形供試体を用いた曲げ試験（Semi-Circular Bending test、以下 SCB 試験）によってアスコンのひび割れ抵抗性や、き裂進展に関する評価が行われている。この試験は、写真-1に示すように、円柱状アスコンを直径方向に2分割したものを供試体にした静的曲げ試験であり、供試体の準備、および試験実施がさほど煩雑ではない。そのため、この試験法が我が国においても有効と判断できれば、アスコンのひび割れ抵抗性がより容易に評価できるものと考えられる。

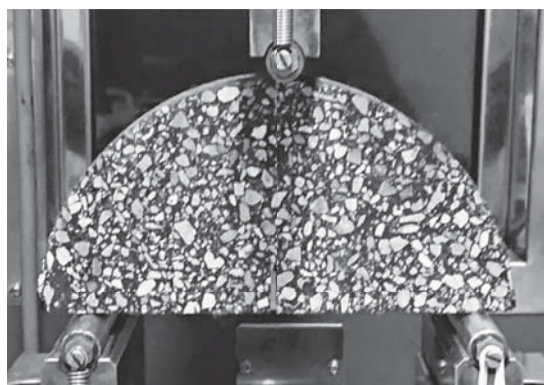


写真-1 半円形供試体曲げ試験の概要

*たかはし おさむ 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻

**おおさか りょう 元長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻

***おたに つとむ 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻

本研究では、欧州と米国におけるSCB試験の基準、実施要領について調査し、その実現性を考察するとともに、我が国で一般的な試験機器を用いた容易なSCB試験の実施要領について検討した。そして、アスコンのひび割れ抵抗性評価法として、ここでの実施要領の妥当性や適用性について基本的な知見を得た。本文は、先の報告³⁾に基本情報と試験データを加えて再構成したものである。

2. SCB試験の基準・要領

2.1 欧州と米国の基準

SCB試験の代表的な基準には、欧州CEN⁴⁾および米国AASHTO^{5, 6)}によるものがある。CENの基準は、試験温度が0℃を標準として破壊強度(fracture toughness)を評価パラメータとして求める。またAASHTOの2つの基準のうち、TP105は使用バインダのPGグレード低温域の破壊エネルギー(fracture energy)を求め、TP124は温度25℃における破壊エネルギーを求める。AASHTOのTP105と同様に、常温域のひび割れ抵抗性を評価する基準として米国ASTMのD8044⁷⁾もあるが、TP124とは温度条件や評価パラメータが異なっている。以上の試験法は、温度条件や評価パラメータの他にも、供試体寸法やひび割れを誘導するノッチの寸法も異なっている。これらの試験法を対比してまとめると表-1に示すとおりである。

これらの基準に従って我が国でSCB試験を実施しようとする場合、それぞれ難点が指摘される。CENの基準では幅が0.35mmと極めて狭いノッチをアスコン供試体に加工しなければならず、AASHTO TP105の基準ではノッチ部の開口変位を測定して載荷速度を制御しなければならない。どちらも特殊な機器が必要となる。

AASHTO TP124とASTM D8044の基準では、供試体の空隙率を通常7.0%に設定することになっているが、空隙率で設計アスファルト量を決定していない我が国では不適當である。また、我が国はPGグレードも導入していないので、AASHTOとASTMの基準では試験温度も悩むところである。

2.2 本研究でのSCB試験の要領

本研究で試行したSCB試験は、上記のCENおよびAASHTOの試験基準を参考に、我が国で一般的な機材を使用して実施できるように仕様を検討した。元来SCB試験は、低温時におけるアスコンの破壊抵抗性評価を目的に開発された試験法であり、本研究ではアスコパフォーマンスとして常温域のひび割れ抵抗性にも着目したいことから、試験温度は-10℃～20℃の範囲でいくつか変化させた。

ノッチ部の寸法は現実性を考慮してAASHTOの基準に従い、供試体の厚さはCENおよびAASHTO TP124の基準に従って50mmとした。また、載荷速度については、CEN基準は5.0mm/minであるが、常温条件のAASHTO基準は50.0mm/minでASTM基準は0.5mm/minであり、それぞれ大きな差異がある。ASTMの基準ではノッチ深さが大きく、変形断面が小さいことから、載荷速度が遅いものと推察される。本研究ではCEN基準の載荷速度を標準とし、一部の温度条件では、後述するように、CEN基準の10倍で、AASHTO基準および我が国の静的曲げ試験でも採用されている50.0mm/minについても実施した。

供試体の目標空隙率については、我が国のアスコン評価試験では基準密度の供試体が標準的に使用されているので、本試験でも基準密度条件での空隙率とした。以上の仕様をまとめると、表-1の右端に示すとおりである。

表-1 代表的SCB試験の基準・要領と本研究での実施要領

項 目	CEN	AASHTO TP105	AASHTO TP124	ASTM D8044	本研究
供試体直径・厚(mm)	150・50	150・25	150・50	150・57	150・50
ノッチ幅・深さ(mm)	0.35・10.0	1.5・15.0	1.5・15.0	<3.5・25, 32, 38	1.5・15.0
支間長(mm)	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0
載荷速度(mm/min)	5.0	*0.0005 mm/s	50.0	0.5	5.0, 50.0
試験温度(℃)	0	PG低温+10, -2	25	** PG温度	-10～20
供試体空隙率(%)	規定なし	規定なし	7.0	7.0	基準密度の空隙率
評価パラメータ	破壊強度, 破壊ひずみ	破壊エネルギー, 破壊強度	破壊エネルギー, 柔軟指数	臨界ひずみエネルギー解放率	最大荷重時変位, 破壊エネルギー

* ノッチ部開口の変位速度, ** PG高温とPG低温の平均値+4

3. SCB試験の実施要領および評価指標

3.1 供試体の配合および作製要領

本研究では上記の仕様でSCB試験を実施し、以下の要領で評価パラメータおよび具体的な試験温度と载荷速度について検討した。ひび割れ抵抗性が明らかに異なり、その性能の違いが既知の3種類のアスコン供試体を用いて試験を実施し、その評価結果が既往の知見と同様になるような評価パラメータと試験条件を模索した。3種類の試験用アスコンは最大骨材粒径が4.75mmの密粒度系骨材粒度とし、バインダにそれぞれストレートアスファルト60/80（ストアス）、ポリマー改質アスファルトⅡ型（Ⅱ型）、ポリマー改質アスファルトH型（H型）を使用した。各素材の配合割合はすべて同一とした。図-1にアスコン供試体の粒度曲線を示す。バインダの配合量は6.8%であった。

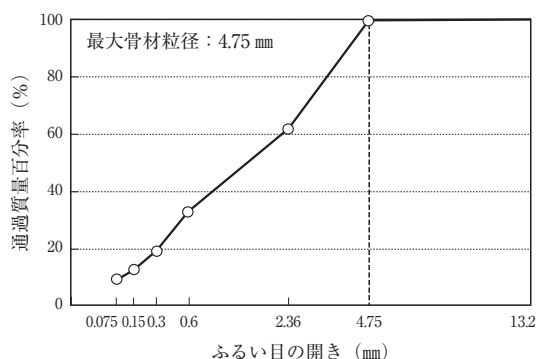


図-1 アスコン供試体の粒度曲線

試験用の供試体は、AASHTOの基準に準拠して作製した。まず各配合でアスファルト混合物を練り混ぜた後、Superpave Gyratory Compactor (SGC) で締固めを行って円柱状の母体アスコンを作製した。SGCの回転数は、母体アスコンのかさ密度が配合設計時の基準密度と同じになるように設定した。その後、中央部分を輪切り状にカットして厚さ50mmのディスク状サンプルを2つ切り出し、更にディスク状サンプルを直径方向に2分割して半円形に成形した。つまり、SGCの母体アスコンから合計4つの半円形供試体を切り出した。最後に、ダイヤモンドカッターを使って中央部にノッチを施した。各プロセスでのアスコン供試体の切り出し状況を写真-2に示す。

3.2 試験結果の評価パラメータ

本研究のSCB試験で用いる評価パラメータは、CEN基準とAASHTO基準、および舗装調査・試験法便覧

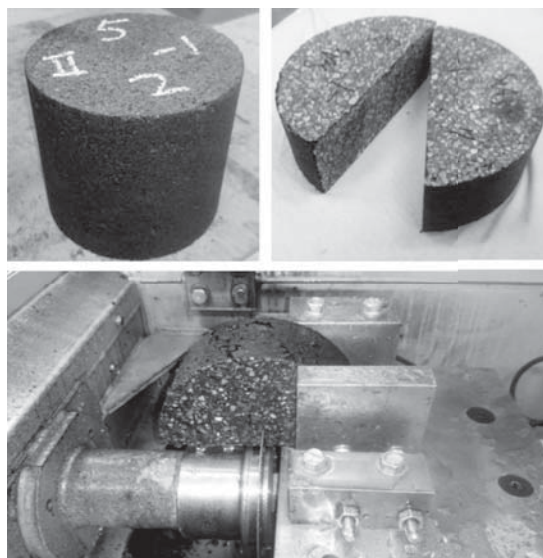


写真-2 供試体の切り出し要領

の静的曲げ試験での評価パラメータを参考にして選定した。CEN基準と静的曲げ試験では、荷重がピークに達した時点の変形量と荷重値に基づく特性値で評価している。本研究でも、変形作用を受けるアスコンにおいて、ひび割れ発生に耐えようとする性能である変形追従性として、最大荷重に達するまでの変位を評価パラメータのひとつとした。

また、初期ひび割れが発生して徐々に進展し、アスコン供試体が破断するまでに要する総仕事量として、AASHTO基準で定義されている破壊エネルギーの値についても評価パラメータに加えた。破壊エネルギーは、载荷過程で得られる荷重-変位曲線の積分値をアスコン破断部の断面積で除した値である。破壊エネルギーの定義を図-2に示す。

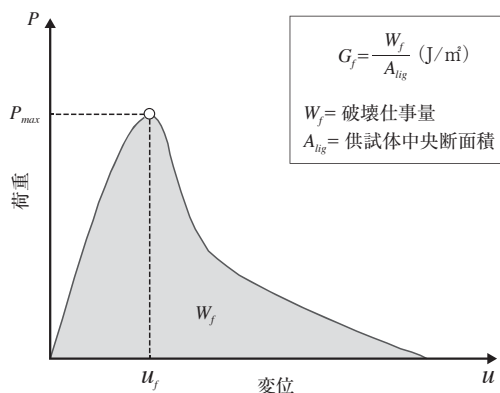


図-2 破壊エネルギーの定義

4. 試験結果および考察

4.1 評価パラメータによる比較

これまでの経験により、H型、II型、ストアスを使用したアスコンの順にひび割れ抵抗性が高いことが知られており、事前に実施した舗装調査・試験法便覧の静的曲げ試験によってもこのことを確認した。

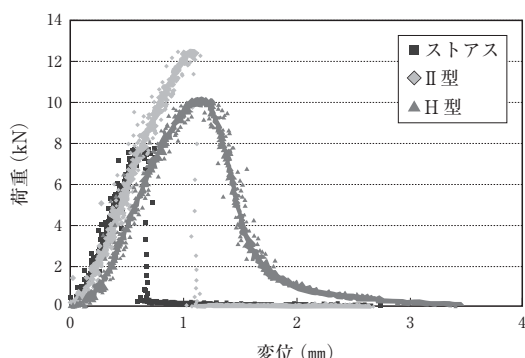
SCB試験での結果の例として、各アスコン供試体における荷重－変位の関係について、図－3に試験温度が0℃の場合を、図－4に試験温度が15℃の場合をそれぞれ示す。0℃の条件では、ストアスとII型の供試体は強制変位の増加に伴って荷重も増加し、ピーク荷重に達した後、急激に破壊している。H型の場合は、ピーク荷重に達した後は多少緩やかに荷重が減少している。また、15℃の条件では、ストアスの供試体は応力緩和が大きいいため、全体的に荷重－変位曲線の傾きが緩やかで横長に潰れた形状を呈している。

各アスコン供試体に対する最大荷重に達するまでの変位を、すべての温度条件について図－5に示す。改質アスファルトを使用したアスコンは、試験温度が高くなるに従って変位の値は大きくなっており、スト

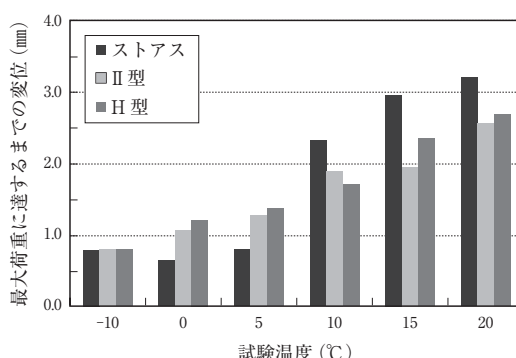
アスを使用したアスコンは脆化点を超えた温度域でこの傾向が顕著に表れている。5℃以下の温度条件では、H型、II型、ストアスの順に最大荷重に達するまでの変位が大きくなっており、既往の知見と一致する結果となっている。しかしながら、10℃を超える温度条件では、ストアス使用のアスコンが最もこの変位が大きい。

図－6に破壊エネルギーの結果を示す。上記の最大荷重に達するまでの変位の結果と同様に、5℃以下ではH型、II型、ストアスの順に破壊エネルギーが大きく、既往の知見と同じ評価結果となっているが、10℃以上では異なる結果となっている。最大荷重に達するまでの変位の結果との相違点は、破壊エネルギーのほうで5℃以下での性能差の傾向がより顕著であり、10℃以上ではバインダ種による違いが明確に表れていない。

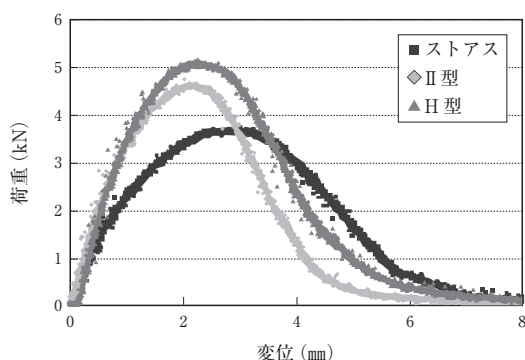
10℃を超える温度条件で上記のような結果が得られた要因として、荷重－変位曲線の形から以下のことが考察される。ストアスは温度が高くなると粘性が低下して応力緩和が大きくなり、変形が進行しても応力の



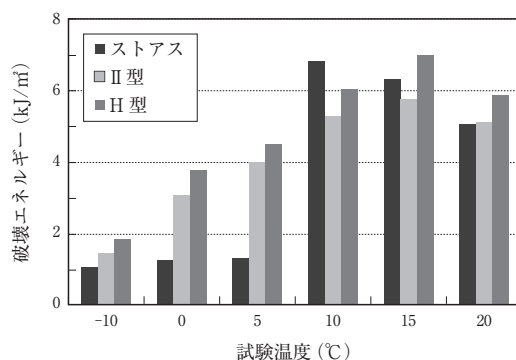
図－3 SCB試験の荷重－変位曲線（0℃）



図－5 最大変位に達するまでの変位の比較



図－4 SCB試験の荷重－変位曲線（15℃）



図－6 破壊エネルギーの比較

変化が少ないため、荷重－変位曲線が低く横に長い形状となって、その結果として最大荷重に達するまでの変位も破壊エネルギーも値が大きくなってしまった。

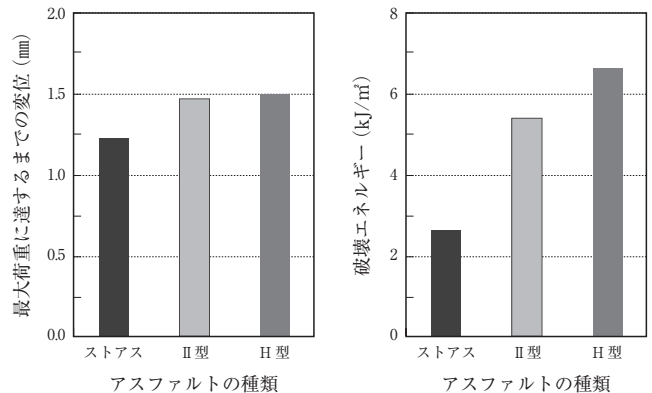
そこで、温度15℃の条件に対して、載荷速度を10倍の50.0mm/minとしてSCB試験を実施した。図－7に最大荷重に達するまでの変位と破壊エネルギーの結果を示す。最大荷重に達するまでの変位は、ストアスのアスコンと改質アスファルトのアスコンの違いは確認できるが、Ⅱ型アスコンとH型アスコンの差異は明確ではない。これに対して破壊エネルギーの結果は、既往の知見と同じ評価を読み取ることができる。最大荷重に達するまでの変位は、ひび割れが発生して実際に変形断面が減少するまでの抵抗性を表す指標であり、破壊エネルギーは、ひび割れが進展して変形断面がほぼ無くなるまでの抵抗性も加味した指標である。そのため、このような評価結果の差異が表れたものと考えられる。

4.2 荷重－変位とひび割れ進展の関係

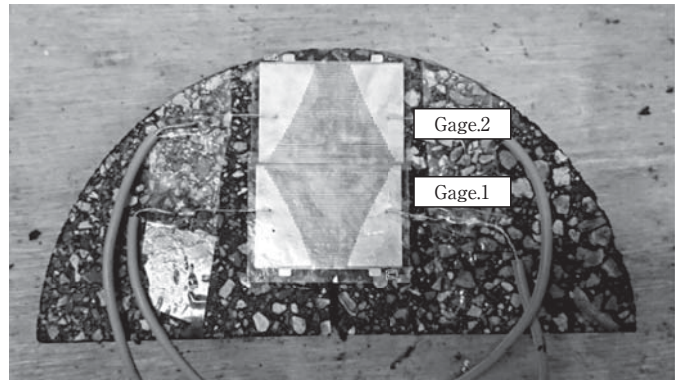
本研究ではSCB試験の評価パラメータとして、最大荷重に達するまでの変位と破壊エネルギーで3種類のアスコンを比較した。上記のように、スティフネスが高い条件であれば、これらの評価パラメータでひび割れ抵抗性の違いを表すことができた。そして、破壊エネルギーは、ひび割れの発生から進展、破断までの抵抗性を表現し得る物理量であると考察した。ここでは、SCB試験において、載荷過程でのひび割れ進展の状況を確認するため、供試体にクラックゲージを設置して荷重－変位曲線とひび割れの長さを測定した。写真－3にクラックゲージの貼り付け状況を示す。ノッチの先端にゲージの先端が位置し、変形断面の全体が

モニタできるように上下2段に貼り付けた。

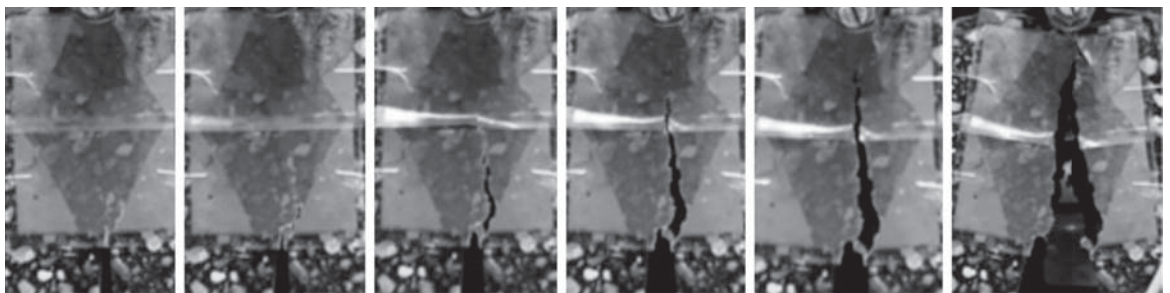
写真－4に試験中におけるひび割れの進展状況を示す。ノッチ先端からひび割れが発生し、クラックゲージの測定範囲内を徐々に進展している状況が確認される。このプロセスにおける荷重と変位、およびひび割れ進展の関係を図－8に示す。荷重がピークに達する少し前からひび割れが発生し、ひび割れの進展とともに荷重が低下している。このことより、荷重－変位曲線の荷重ピーク付近からそれ以降のデータを分析する



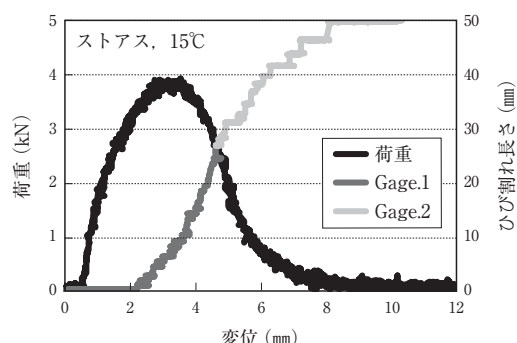
図－7 載荷速度が大きい場合の評価パラメータ



写真－3 クラックゲージの貼り付け状況



写真－4 SCB試験におけるひび割れの進展状況



図－8 荷重，変位，およびひび割れ長の関係

ことによって，ひび割れ進展の程度を評価できることが示唆される。適切な評価パラメータについては，現在検討中であり⁸⁾，今後の進捗に期待されたい。

5. まとめ

本研究では，我が国で一般的な試験機器を用いた比較的容易なSCB試験がアスコンのひび割れ抵抗性評価法として妥当かどうか，適用可能であるかどうかを検討した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 温度 5℃ 以下の条件であれば，本研究でのSCB試験の要領および結果の整理でアスコンのひび割れ抵抗性を評価できる。
- (2) 温度 10℃ 以上の条件では，载荷速度を高くすることにより，本研究のSCB試験，評価パラメータでひび割れ評価が可能である。
- (3) ひび割れ発生から進展，破断までを表す破壊エネルギーのほうが，最大荷重に達するまでの変位よりも評価パラメータとして適当である。
- (4) SCB試験で得られる荷重－変位曲線において，荷重ピーク付近からそれ以降のデータを分析することによって，ひび割れ進展の程度を評価できることが期待される。

- 1) 社日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 [第3分冊]，2007.6，p.[3]-69，p.[3]-75，p.[3]-166.
- 2) 高橋 修，平澤佑太：品質基準を下回る再生骨材を使用した再生アスコンの性能評価に関する一検討，土木学会論文集E1（舗装工学），Vol.74，No.3（舗装工学論文集第23巻），2018.12，p.I_71.
- 3) 高橋 修，大坂 諒：半円形供試体曲げ試験によるアスコンのひび割れ抵抗性評価法に関する基礎的研究，土木学会第73回年次学術講演会講演概要集，2018.8，p.1417.
- 4) CEN：EN12697-44 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt—Part 44：Crack propagation by semi-circular bending test，2010.
- 5) AASHTO：TP 105-13 Standard Method of Test for Determining the Fracture Energy of Asphalt Mixtures Using the Semicircular Bend Geometry (SCB)，2015.
- 6) AASHTO：TP 124-16 Standard Method of Test for Determining the Fracture Potential of Asphalt Mixtures Using Semicircular Bend Geometry (SCB) at Intermediate Temperature，2016.
- 7) ASTM：D8044-16 Standard Test Method for Evaluation of Asphalt Mixture Cracking Resistance Using the Semi-Circular Bend Test (SCB) at Intermediate Temperatures，2016.
- 8) 尾谷 力，高橋 修：半円形供試体曲げ試験によるアスコンのき裂進展速度評価法に関する検討，第36回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集，2018.11，p.312.

耐流動性と疲労抵抗性・応力緩和性に優れた 特殊改質アスファルト混合物の供用性

(Report of the Performance of Special Polymer Modified Asphalt Mixture
Excellent in Flow Resistance, Stress Relaxation and Fatigue Resistance)

紺 野 路 登*・野 中 圭**・武 藤 一 伸***

舗装の長寿命化をはかるためには、わだち掘れ等の発生を抑制して路面の平滑性を維持し走行安全性を確保することとともに、路盤の支持力を確保するため、施工継目の開きやひび割れなど発生を抑制して雨水等の路面下への浸透を防ぐことが重要である。しかし、一般にアスファルトの有する耐流動性とひび割れ抵抗性はトレードオフの関係にあり、その両立は困難なのが現状であった。

筆者らは、耐流動性を確保しつつ、応力緩和性と疲労抵抗性に優れるポリマー改質アスファルトを開発し、様々な箇所へ適用してきた。本文では、開発した特殊改質アスファルトと特殊改質アスファルトを使用したアスファルト混合物の概要を示すとともに、適用した現場の供用状況を報告する。

1. はじめに

舗装の長寿命化をはかるためには、わだち掘れ等の発生を抑制して路面の平滑性を維持し走行安全性を確保することとともに、路盤の支持力を確保するため、施工継目の開きやひび割れなど発生を抑制して雨水等の路面下への浸透を防ぐことが重要である。

平成28年10月に策定された「舗装点検要領」¹⁾における分類Bのアスファルト舗装では、「ひび割れ率」、「わだち掘れ量」、「IRI」の3指標を基本として舗装の点検を行い、使用目標年数を定めて路盤以下の層を保護し舗装の長寿命化を図ることが明記された。また、高橋ら²⁾は、高速道路の供用路線における大規模な開削調査を行い、アスファルト舗装の損傷の実態に基づき、長寿命化対策として、①雨水の路面からの浸透対策、②アスコンの層間接着力の確保、③アスベース(上層路盤)の疲労対策と層厚の確保、④雨水の路盤内での滞水対策が重要であると述べている。丸山ら³⁾は、北海道ではひび割れやアスファルト舗装の施工継目が存在した箇所から侵入した融雪水が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する融雪期に凍結融解を繰り返すことでポットホールが多く発生すると報告している。

これらのことを踏まえ筆者らは、重交通路へ適用可能な耐流動性を確保しつつ、既設舗装との施工継目の開きやアスファルト混合物層のひび割れなどの発生を可能な限り抑制し、表層以下もしくは路盤以下の舗装体内への水の浸入を防止することで、アスファルト舗装の長寿命化がはかれると考えた。具体的には、一般的にはトレードオフの関係にある耐流動性とひび割れ抵抗性(疲労抵抗性、応力緩和性)を両立したポリマー改質アスファルトでアスファルト舗装の長寿命化が図れると考えた。

本報では、耐流動性と応力緩和性・疲労抵抗性に優れた特殊改質アスファルト(以下、特殊改質アス)および特殊改質アスを用いたアスファルト混合物の概要⁴⁾を示すとともに、特殊改質アスを用いたアスファルト舗装の供用性を紹介する。

*このの みちと 大成ロテック株式会社 北関東支社 技術室 室長

**のなか けい 大成ロテック株式会社 東北支社 いわき合材工場 工場長

***むとう かずのぶ 大成ロテック株式会社 東北支社 技術室 課長代理

2. 特殊改質アスの概要⁴⁾

2.1 特殊改質アスの性状

(1) 疲労ひび割れ抵抗性やわだち掘れ抵抗性

DSR試験で求まる $G^*\sin\delta$ は小さいほど疲労ひび割れの抵抗性が高いとされ、 $G^*/\sin\delta$ は大きいほど耐流動性が高いと報告されている⁵⁾。

DSR試験の結果を表－1に示す。なお、 $G^*\sin\delta$ は温度25℃、角速度10rad/sec、 $G^*/\sin\delta$ は温度60℃、角速度10rad/secの条件で評価した。

表から、特殊改質アスは改質Ⅱ型アスに比べ、 $G^*\sin\delta$ は1/16と小さく、 $G^*/\sin\delta$ は約1.17倍と大きくなった。このことから特殊改質アスは、高い疲労ひび割れ抵抗性を有し、改質Ⅱ型アス程度以上の耐流動性を有していると考えられる。

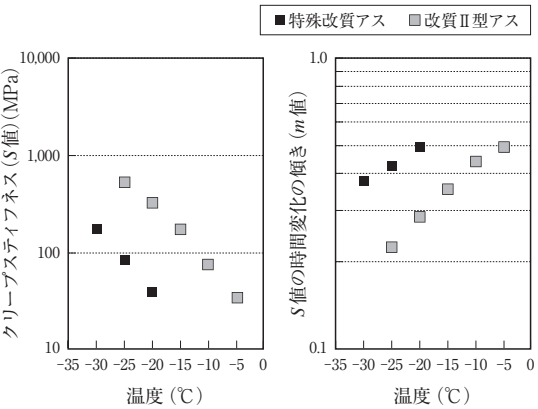
表－1 $G^*\sin\delta$ と $G^*/\sin\delta$ の結果

	特殊改質アス	改質Ⅱ型アス
$G^*\sin\delta$ (25℃)	39.2	642
$G^*/\sin\delta$ (60℃)	6.56	5.57

(2) 低温時の性質

低温時の温度収縮によるひび割れは、BBR試験で求まる S 値と m 値で評価することができ、 S 値が小さく(収縮時の発生応力が小)、 m 値が大きい(低温時に粘性的で応力緩和能力が高い)場合に、低温クラックの発生抑制効果が高いとされている⁵⁾。

BBR試験結果を図－1に示す。図から、特殊改質アスはポリマー改質アスファルトⅡ型(以下、改質Ⅱ型アス)に比べ、 S 値は約1/4、 m 値は約2倍の値となっており、施工継目の開きや低温クラックの発生抑制効果が期待できると考えられる。



図－1 BBR試験結果

2.2 特殊改質アスを使用した混合物の性状

特殊改質アスは、ポーラスアスファルト混合物を除く、連続粒度もしくはギャップ粒度のアスファルト混合物(以下、混合物)への適用が可能であり、改質Ⅱ型アスを用いた混合物と同様に製造と施工ができる。

ここでは、最も一般的である密粒度混合物(13)に適用した混合物性状の例を示す。なお、特殊改質アスを用いた密粒度混合物を特殊改質混合物とし、改質Ⅱ型アスを用いた混合物を改質Ⅱ型混合物として示した。使用した混合物の粒度とアスファルト量を表－2に示す。

表－2 混合物の粒度とアスファルト量

混合物名	アス量 (%)	ふるい目の開き (mm) と通過質量百分率 (%)						
		19.0	13.2	4.75	2.36	0.600	0.300	0.075
特殊改質混合物	5.0	100	96.5	64.4	42.3	26.5	15.5	6.2
改質Ⅱ型混合物	5.0							

(1) 動的安定度の評価

ホイールトラッキング試験による動的安定度の結果を表－3に示す。

特殊改質混合物の動的安定度は6,000(回/mm)以上であり、重交通路線にも適用可能な耐流動性を有することが確認された。なお、この結果は、前述のDSR試験の結果を裏付けるものである。

表－3 動的安定度

混合物の種類	特殊改質混合物	改質Ⅱ型混合物
動的安定度 (回/mm)	> 6,000	> 6,000

(2) 曲げ試験による脆化点と曲げひずみの評価

曲げ試験(2点支持中央1点载荷方式、ひずみ速度 6.25×10^{-3} (1/S))を実施した。試験温度と曲げ強度の関係を図－2に、試験温度と破断ひずみの関係を図－3に示す。

図－2から、特殊改質混合物の脆化点温度は改質Ⅱ型混合物と比較して、低温側に15℃程度シフトしており、低温側の広い温度領域で粘性的性質を有していることがわかる。また、図－3から、特殊改質混合物の曲げひずみは改質Ⅱ型混合物に比べ3倍程度大きくなった。

このことから、特殊改質混合物は、低温域において

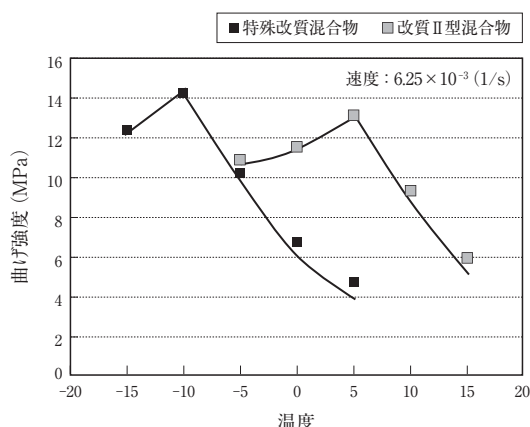


図-2 試験温度と曲げ強度の関係

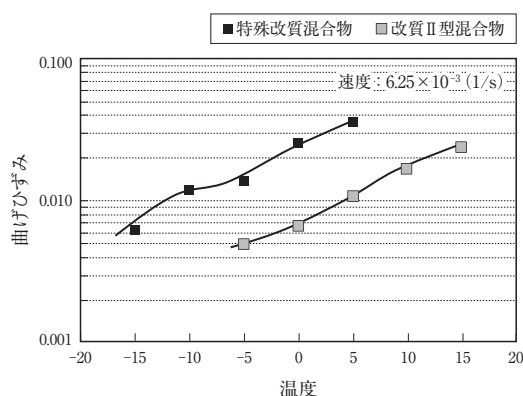


図-3 試験温度と曲げひずみの関係

も粘性的でたわみ性に優れており、耐ひび割れ抵抗性が高いと考える。

(3) 疲労抵抗性の評価

疲労抵抗性を評価することを目的に曲げ疲労試験を実施した。試験条件を表-4に、曲げ疲労試験結果を図-4に示す。なお、破壊回数は応力が急激に低下した変曲点とした。

図から、特殊改質混合物の破壊回数は100万回以上であった（試験は100万回で終了）。改質Ⅱ型混合物の60倍程度大きく、曲げ疲労によるひび割れ抵抗性が高いことが確認された。この結果より、特殊改質混合物は、疲労ひび割れやわだち割れ、リフレクションクラックが発生しにくいと考える。

(4) 温度応力クラックの抵抗性の評価

特殊改質混合物の温度応力クラックに対する抵抗性を確認することを目的に温度応力試験を実施した。

表-4 曲げ疲労試験の試験条件

荷重方法	両端固定2点荷重
供試体寸法	40×40×400mm（スパン長300mm）
試験温度	5℃
荷重条件	ひずみ制御 周波数5Hz
ひずみ	400μ

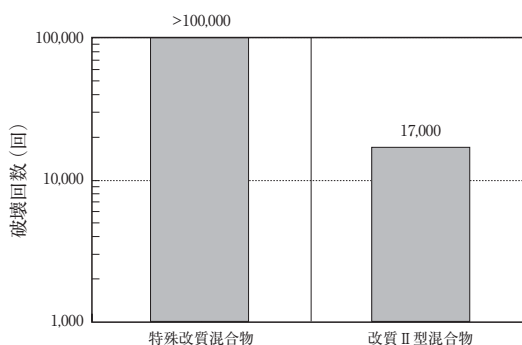


図-4 曲げ疲労試験結果

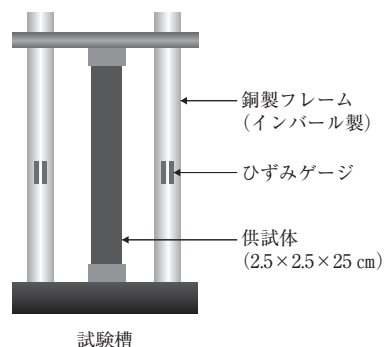


図-5 温度応力試験の概念

温度応力試験は、図-5に示すような両端を固定した棒状供試体の温度を一定温度勾配で低下させ、温度低下に伴い増加する内部応力により供試体を破断させるもので、温度応力クラックの発生メカニズムを模した試験方法と言える。

温度勾配を-3℃/hourとしたときの試験結果を図-6に示すが、混合物が内部に発生する応力を緩和できる限界温度を表わす応力緩和限界点の温度は、改質Ⅱ型混合物が-12℃、特殊改質混合物は-24℃となった。このことより特殊改質混合物は、より低温で応力緩和性に優れており、温度応力ひび割れや施工継目のひらきなどの発生抑制が期待できることがわかった。

3. 実路への適用

東北地方において、重交通箇所等特殊改質アスを用いた混合物を適用した。以下に適用した事例とその供用状況を示す。

3.1 合材工場への適用事例

当該箇所は、山形県内のアスファルト合材工場内のミキサ付近の舗装で、ダンプトラックの往来が多く、亀甲状のひび割れが全面的に発生していた（写真－1参照）。

当該箇所では、特殊改質アスを用いた密粒度混合物（13F）を3 cmの厚さでオーバーレイした。施工後3年が経過した路面の状況を写真－2に示すが、ダンプトラックによるすえ切りによって表面の荒れが若干見られるものの、リフレクションクラックの発生はほとんど見られず、良好な状態を維持している。

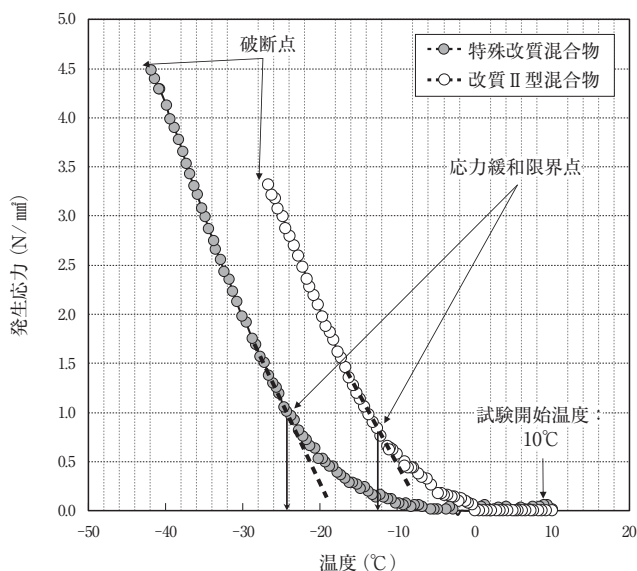
3.2 碎石工場内の構内道路への適用事例⁶⁾

当該箇所は、福島県内の碎石工場の構内道路で、大型のダンプトラックが400～500台／日・方向走行していた。既設の舗装には、線状・亀甲状のひび割れや直径30～70cm程度のポットホールが発生している状況で、これまでに一般的なポリマー改質アスファルトなどを用いて補修が行われていたが、比較的早期に破損が発生していた。施工前の既設舗装の路面の状況を写真－3に示す。

当該箇所の補修は、既設舗装を基層まで撤去し、改質Ⅱ型アスを用いた粗粒度混合物を基層に5 cm、特殊改質アスを用いた密粒度混合物（13）を表層に5 cmで施工した。施工後2年が経過した路面の状況を



写真－1 工場内の施工前の路面の状況



図－6 温度応力試験結果

写真－4に示すが、ひび割れやポットホールの発生はなく、良好な状態を維持している。

4. まとめ

本研究の成果を以下に整理して示す。

- ① 特殊改質アスは、改質Ⅱ型アスと同等の耐流動性と様々な原因で発生するひび割れに対する抵抗性を同時に併せ持っている改質アスファルトである。
- ② 特殊改質アスファルトを用いた混合物は、重交通箇所の舗装に適用した場合でも、わだち掘れやひび割れ等の発生が少なく、アスファルト舗装の長寿命化へ寄与できると考えられる。



写真－2 施工後3年が経過した路面の状況



写真-3 工場内の構内道路の施工前の状況



写真-4 施工後2年が経過した路面の状況

5. おわりに

わが国の道路ストックは膨大であることから、効率的な維持管理を行うために、舗装を長寿命化するための具体的な取り組みが本格的に始まっている。

特殊改質アスは、供用温度領域での応力緩和能力にも優れており経年による施工継目の開きが少ないことを確認している。このことから、施工継目やひび割れなどから雨水が浸透することで寒冷地で融雪期に発生すポットホール等の抑制効果も期待できると考えている。

今後も様々な箇所・条件下で施工を実施して耐久性を確認しつつ研究を継続し、アスファルト舗装の長寿命化に寄与する技術としてさらなる性能向上を目指していく所存である。

—— 参考文献 ——

- 1) 国土交通省道路局：舗装点検要領，平成28年10月
- 2) 高橋ほか：アスファルト舗装の「解体新書」プロジェクト，舗装，pp13～19，2016.2
- 3) 丸山ほか：融雪期に発生する舗装のポットホールの実態と発生メカニズムの検討，寒地土木研究所月報，No.730，pp.2～14，2014.3
- 4) 紺野ほか：アスファルト舗装の長寿命化対策に関する研究－「塑性変形抵抗性」と「ひび割れ抵抗性」を両立したアスファルトの開発－，第20回舗装技術に関する懸賞論文集，（一社）日本道路建設業協会，pp.15～21，2018.5
- 5) （公社）日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2007.6
- 6) 野中ほか：長寿命化を目指した構内アスファルト舗装の適用事例，第32回日本道路会議，論文番号3046，2017.10

わが国におけるハイモデュラスアスファルト混合物の 適用性に関する検討

(Applicability Study of High Modulus Asphalt in Japan)

白井 悠*・吉中 保**・菅野 勝一***・高橋 茂樹****

近年、高速道路において、路盤の損傷が顕在化してきており、その実態は「解体新書プロジェクト」での調査で明らかとなっている。路盤の修繕は厚層打ち換えが有効であるが、頻繁に実施することは交通規制等の観点において難しい。このため、今後の修繕においては、従来の路盤よりも長期にわたり性能を維持できるように、路盤の高耐久化を図ることが望ましい。そこで、筆者らは、海外において実績のあるハイモデュラスアスファルト混合物（High Modulus Asphalt）（以下、HiMA）のわが国における適用性について検討した。結果、HiMAは、路盤の高耐久化を図るうえで、アスファルト安定処理路盤材に替わる有用な混合物として期待できることを確認した。

1. はじめに

アスファルト舗装の構造は、大きく分けると表基層、路盤、路床の3層構造となっており、このうち路盤は、舗装構造の中間に位置し、表基層の均一な支持基盤となるとともに、上層から伝えられた交通荷重を分散して、路床に伝達する重要な役割を担っている。

近年、高速道路においては、長期供用に伴い、路盤の損傷が顕在化してきており、その損傷実態は、“アスファルト舗装の「解体新書」プロジェクト”により、明らかとなっている¹⁾。その調査結果によれば、下層路盤では、交通荷重による永久変形や、細粒分が路面に噴出しているポンピングの発生箇所において雨水の浸透や滞水による脆弱化がみられている。また、上層路盤のアスファルト安定処理路盤では、アスファルト混合物層の厚さが20cm程度と比較的薄い箇所や前述したような下層路盤の損傷箇所において、これまで高速道路では想定されていなかった底面から上方へ向かって進展する疲労ひび割れの発生が初めて確認されている。

こうした路盤の損傷に対しては、路盤の打換えが有効であるが、路盤からの厚層打換工は、修繕に伴う費用や交通規制時間の確保などの観点から、その実施は

困難なことが多い。このため、今後も路盤の損傷がますます増えていくことを想定すると、路盤の性能が長期にわたり維持されるように、修繕する際に路盤の高耐久化を同時に図っていくことが喫緊の課題であるといえる。

そこで、筆者らは、路盤の高耐久化を図るためには、上層路盤に、アスファルト安定処理路盤の代わりとして、疲労抵抗性に優れ、かつ脆弱化した下層路盤に対しても作用荷重が軽減できるような剛性の高い荷重分散性の大きなアスファルト混合物（以下、混合物）を使用することが有効であると考えた。

ここで、海外に目を向けると、これに該当する混合物として、ハイモデュラスアスファルト混合物（High Modulus Asphalt）（以下、HiMA）が挙げられる。HiMAは、1990年代にフランスで開発され²⁾、その後はイギリスをはじめ欧州各地に広まり、現在では、世界の多くの国で広く使われている^{3,4)}。このHiMAは、低針入度（10～40程度）のアスファルトを使用することでスティフネスを高め、さらにはアスファルト量を多く、かつ空隙率を小さくすることで、疲労抵抗性、剥離抵抗性や水密性などの耐水性を高めた混合物である。

*しらい ゆう 株式会社NIPPO 総合技術部 研究第一グループ 副主任研究員

**よしなか たもつ 株式会社NIPPO 総合技術部 研究第一グループ 課長

***かんの しょういち 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室 主任研究員

****たかはし しげき 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室 室長

そこで、本研究では、このHiMAに着目し、海外での配合や規格を参考にしながら、わが国の実情に合ったHiMAの上層路盤への適用を検討した。本研究では、①最初に、スティフネス、疲労抵抗性、剥離抵抗性、水密性の4つの混合物性状について、わが国で使用されている一般的な混合物と比較検討を行った。②次に、その試験結果をもとに、多層弾性理論による構造解析を行い、舗装体における荷重分散性能や疲労抵抗性能について検討した。③最後に、構内試験施工を行い、品質や施工性を確認するとともに、FWD試験やひずみ測定により構造的な評価を行った。

2. HiMAの混合物性状の検討

2.1 HiMAの配合

前述にあるように、海外では、バインダとして、低針入度アスファルトを使用している。しかし、低針入度アスファルトは、わが国では汎用性に欠けるという課題がある。そこで、本検討では、HiMAのバインダは、経済性を考慮してストレートアスファルト60/80（以下、ストアス60/80）に安価な硬質特殊添加剤を加えたものを用いることにした。

HiMAの配合は海外の事例⁴⁾から定めた。具体的には、市場流通性を意識し最大粒径は20mmとしており、粒度はわが国の粗粒度アスファルト混合物（20）（以下、粗粒（20））の中央粒度に近く、0.075mm通過質量百分率は粗粒（20）よりも2～3%多いものとなっている。設計アスファルト量は、空隙率3.0%を目標に設定した。また、HiMA（以下、HiMA（20））の比較対象として、わが国で表基層や路盤に一般的に用いられている4種類の混合物（ストアス60/80使用）についても検討を行った。表-1に、検討したHiMA（20）と4種類の混合物の粒度と配合を示す。

2.2 試験項目と評価基準値

HiMA（20）の混合物性状の検討は、スティフネス、疲労抵抗性、剥離抵抗性や水密性などの耐水性について行った。本検討に用いた試験項目と評価基準値の一覧を表-2に示す。

HiMAは、冒頭で述べたように多くの国で実績があり、また基準化されている。そこで、本検討では、スティフネスと疲労抵抗性については、海外の基準値をもとに、これらの性能を評価した。その適用にあたっては、わが国で実施可能な試験法を用いている国の基準値を採用し、スティフネスはイギリス⁵⁾、疲労破壊回数はポーランド⁶⁾の基準値を準用した。また、剥離

表-1 検討に用いた混合物の種類と粒度および配合

混合物の種類		HiMA (20)	密粒 (13)	粗粒 (20)	As 処理 (30)	大粒径 (30)
バインダーの 種類		添加剤入 ストアス 60/80	ストアス 60/80			
通過質量百分率 (%)	31.5 mm	－	－	－	100.0	100.0
	26.5 mm	100.0	100.0	100.0	96.0	98.7
	19.0 mm	98.2	100.0	98.7	75.6	83.5
	13.2 mm	75.4	99.2	82.4	58.2	64.4
	4.75 mm	48.0	62.9	44.9	41.6	40.0
	2.36 mm	32.1	43.1	27.2	28.1	28.0
	0.6 mm	19.4	23.8	15.9	14.9	15.6
	0.3 mm	13.2	15.5	10.3	10.4	10.2
	0.15 mm	8.6	9.7	6.3	7.2	6.3
	0.075 mm	6.3	6.7	4.5	5.2	4.4
アスファルト量 (%)		5.3	5.7	5.3	3.8	4.5
基準密度 (g/nf)		2456	2395	2406	2443	2429
空隙率 (%)		2.7	3.4	4.1	5.2	4.1
骨材間隙率 (%)		15.3	16.6	16.4	14.1	14.6
飽和度 (%)		82.4	79.5	75.1	63.2	72.3
マーシャル 安定度 (kN)		13.1	11.8	8.5	10.2	9.5

表-2 試験項目と評価基準値

項目	試験方法	要求	適用国 または機関
スティフネス (20℃, 124ms)	NATによる ITSM試験	5,500MPa 以上	イギリス
疲労破壊回数 [*] (10℃, 10Hz, 130μ)	4点式繰り返し 曲げ試験機に よる疲労試験	1×10 ⁶ 回 以上	ポーランド
剥離率 (60℃, 6時間)	水浸ホイール トラッキング試験	5.0%以下	NEXCO
透水係数 (150kPa, 10分)	加圧透水試験	1×10 ⁻⁷ cm/s 以下	NEXCO

※本検討では、載荷周波数は5Hzとした。

抵抗性と水密性などの耐水性に関しては、設計要領第一集舗装保全編（東日本高速道路㈱・中日本高速道路㈱・西日本高速道路㈱）（以下、NEXCO）⁷⁾に示されている水浸ホイールトラッキング試験と加圧透水試験により測定される、剥離率と透水係数の基準値を用いて評価した。なお、ポーランドでは疲労試験での載荷周波数は10Hzとしている。しかし、本検討では試験装置の制約から後述するように載荷周波数は5Hzとしているため、疲労破壊回数の評価基準値は表-2に示す値をそのまま準用している。

2.3 スティフネスの検討

混合物のスティフネスの測定には、写真-1に示す

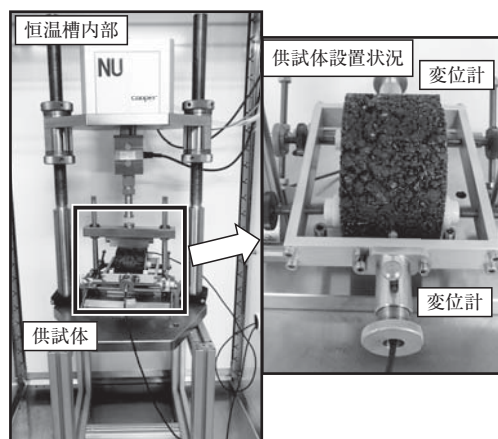


写真-1 NAT試験機

Nottingham Asphalt Tester (以下, NAT) を用いた, Indirect Tensile Stiffness Modulus (以下, ITSM) 試験方法により測定した。

この試験法はBS EN12697⁸⁾に準拠したもので, 円柱供試体を用いて繰返し間接引張試験によりスティフネスを測定するものである。試験条件は, ①試験温度: 20℃, ②荷重載荷モード: ハーバーサイン波, ③荷重載荷時間: 124ms (8Hz), ④最大横方向変位: 5 μ m, ⑤供試体: マーシャル供試体とした。なお, スティフネス算出に用いるポアソン比は0.35と仮定した。

測定結果を図-1に示す。図-1より, HiMA (20) のスティフネスは8,200MPaとなっており, 他のいずれの混合物よりも高い値を示し, As処理 (30) と比較すると1.9倍大きい結果となっている。また, HiMA (20) は, 他の混合物と異なり, 表-2に示した海外の基準値 ($\geq 5,500$ MPa) を満足していることがわかる。これは, バイндаに用いた硬質特殊添加剤の効果によるものであるといえる。

2.4 疲労破壊回数の検討

本検討は, 4点式繰返し曲げ試験機 (写真-2) によるひずみ制御方式の疲労試験を実施して行った。

試験方法は, 舗装調査・試験法便覧 ((公社) 日本道路協会)⁹⁾ B018Tに準拠し, 混合物の疲労破壊回数 (以下, 破壊回数) を測定した。試験条件は, ①試験温度: 10℃, ②載荷周波数: 5Hz, ③載荷波形: 正弦波, ④ひずみ: 比較対象の混合物は200 μ ,

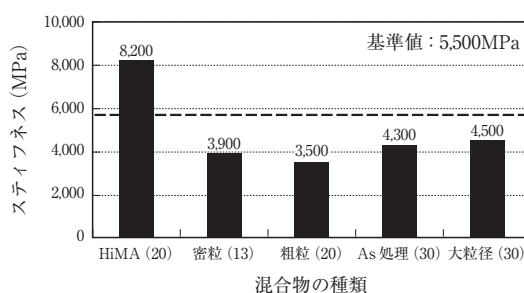


図-1 各混合物のスティフネス

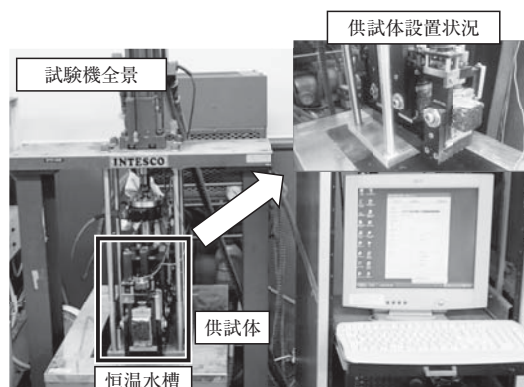


写真-2 4点式繰返し曲げ疲労試験機

300 μ , 400 μ の3水準, HiMA (20) は130 μ を加えた4水準とした。

結果は表-3, 図-2に示すとおりである。表-3

表-3 繰返し曲げ疲労試験結果

混合物の種類		HiMA (20)	密粒 (13)	粗粒 (20)	As 処理 (30)	大粒径 (30)
バインダーの 種類		添加剤入 ストアス60/80	ストアス 60/80	ストアス 60/80	ストアス 60/80	ストアス 60/80
疲労破壊回数(回)	ひずみ 400 μ	13,400	10,900	7,100	700	6,700
		9,300	11,000	8,100	800	4,400
		11,200	10,300	5,600	900	6,100
		平均	11,300	10,700	6,900	800
	ひずみ 300 μ	28,200	27,200	28,400	4,700	19,200
		36,300	22,300	－	2,700	－
		21,100	18,500	－	7,800	－
		平均	28,500	22,700	28,400	5,100
	ひずみ 200 μ	170,600	105,600	125,400	68,000	82,700
		143,400	142,200	141,200	63,000	150,700
		245,600	141,900	91,100	44,800	76,700
		平均	186,500	129,900	119,200	58,600
	ひずみ 130 μ	3,027,400				
		2,699,100				
		2,525,300				
		平均				

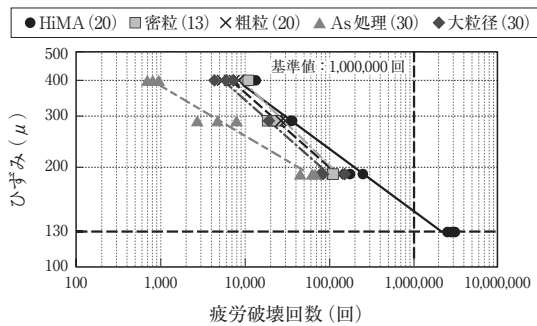


図-2 各混合物の疲労破壊回数

より、HiMA (20) と他の混合物を比較すると、HiMA (20) の方が疲労抵抗性に優れ、ひずみ 200μ では破壊回数は平均で As 処理 (30) より約 3 倍、密粒 (13) より約 1.4 倍、粗粒 (20) より約 1.6 倍、大粒径 (30) より約 1.8 倍大きい結果となっている。また、図-2 より、ひずみ 130μ の場合の破壊回数をみると、HiMA (20) は 1,000,000 回を超え、表-2 に示した海外の基準値を満足する結果となっている。

2.5 耐水性の検討

混合物の耐水性は、水浸ホイールトラッキング試験 (以下、水浸 WT 試験) による剥離率、および加圧透水試験機による透水係数を測定することで検討した。

水浸 WT 試験の条件は、NEXCO 試験方法 244-200510) に準拠し、①温度：60℃、②試験時間：6 時間、③養

生方法：60℃ 気乾状態で 12 時間、その後水浸 1 時間、④試験水位：模擬路盤上端より +5 mm とした。

また、加圧透水試験の条件は、舗装調査・試験法便覧 B017T に準拠し、①加圧時間：24 時間、②水圧：150kPa、③測定時間：10 分、④供試体：マーシャル供試体、として行った。

結果を表-4 に示す。表-4 より、剥離率は HiMA (20) では表-2 に示した基準値 ($\leq 5\%$) を満足し、その他の混合物は基準値を超える $13.7 \sim 38.9\%$ となった。また、透水係数は、HiMA (20) と密粒 (13) では表-2 に示した基準値 ($\leq 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$) を満足したが、他の 3 つの混合物では水密性が不十分で、本試験では計測不能であった。

以上のことから、HiMA (20) は、他の混合物よりも十分な耐水性を有していることが確認できた。

3. 構造解析による HiMA の適用効果の検討

3.1 解析の概要

本検討では、HiMA (20) を上層路盤へ用いた場合の荷重分散性や疲労抵抗性に対する適用効果を確認するために、多層弾性解析ソフト「GAMES」を用いて構造解析を行った。本解析では、図-3 に示す舗装断面 (交通量区分 N6、設計 CBR20%、設計期間 10 年、信頼度 90%) を対象に、輪荷重 (49kN) が載荷した時の上層路盤下面の最大引張りひずみ (以下、 ε_r) と下層路盤上面の最大圧縮ひずみ (以下、 ε_z) を算出した。これらひずみの計算は、上層路盤に HiMA (20) と As 処理 (30) を用いた場合の合計 2 ケースについて行った。

その他の計算条件についても図-3 に示すとおりで、混合物のスティフネスは表基層の密粒 (13) と粗粒 (20) および上層路盤の HiMA (20) と As 処理 (30) では室内試験での実測値、下層路盤の弾性係数は舗装設計便覧 ((公社) 日本道路協会) ¹¹⁾ より一般的な値 (200MPa)、路床の弾性係数は CBR20% に相当する値 (200MPa) を用いた。

なお、荷重分散性能の検討にあたっては、脆弱化した下層路盤に HiMA を適用した場合の荷重作用による負荷軽減の程度を確認するために、下層路盤の弾性係数の値を 100 から 250MPa まで変化させた時の ε_z も算出した。

3.2 荷重分散性能の検討

下層路盤の弾性係数が 200MPa の場合の解析結果を表-5 に示す。

表-5 より、HiMA (20) は As 処理 (30) よりも

表-4 耐水性試験結果

混合物の種類	HiMA (20)	密粒 (13)	粗粒 (20)	As 処理 (30)	大粒径 (30)
剥離率 (%)	4.8	13.7	26.0	38.9	30.9
基準値	5.0 以下				
透水係数 (cm / s)	0	0	予備加圧段階で多量の漏水が 発生し、測定打ち切り。		
基準値	1 × 10 ⁻⁷ 以下				

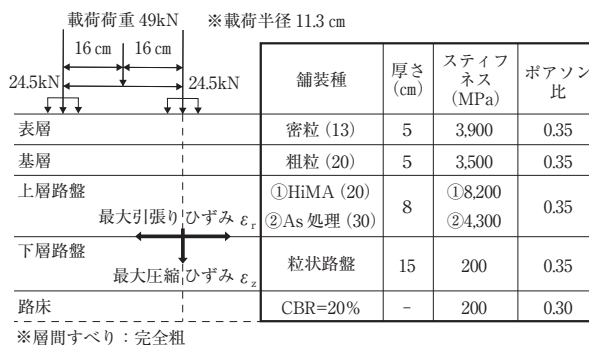


図-3 計算条件

スティフネスが大きいことから、両ひずみがともに小さくなる結果となっている。

次に、下層路盤の弾性係数を変化させた時の、弾性係数と ε_z との関係を図-4に示す。

図-4より、上層路盤がAs処理(30)の場合、下層路盤の弾性係数が200MPaで下層路盤が健全とみなせる場合をみると、 ε_z は414 μ となっている。これに対し、下層路盤が脆弱化し弾性係数が150MPaまで低下したと想定すると、 ε_z は492 μ まで増大する結果となっている。一方、この場合、上層路盤にHiMA(20)を用いていれば、 ε_z は411 μ にまで軽減されることがわかる。

以上のことから、限られた条件下での試算ではあるが、HiMA(20)はAs処理(30)よりも荷重分散性が大きく、下層路盤が脆弱化していても下層路盤への荷重作用による負荷を軽減できる可能性を有していることを確認した。

3.3 疲労抵抗性能の検討

図-5は、前述の疲労試験により得られた疲労曲線の近似式に、表-5に示した解析ひずみの ε_r を代入して、HiMA(20)とAs処理(30)の破壊回数を求めた結果を示したものである。図-5より、HiMA(20)の破壊回数は、As処処理(30)と比べると約13倍大きくなっている。これは、前述したように、HiMA(20)はAs処理(30)よりも疲労抵抗性に優れ、なおかつスティフネスが大きいため発生ひずみも小さくなり、これにより破壊回数に大きな差が現れてくるものと考えられる。

以上のことから、本検討においても、限られた条件下での試算ではあるが、HiMA(20)を上層路盤に適用することで、疲労抵抗性が増大し、As処理(30)よりも疲労ひび割れの発生を抑制することが期待できるものといえる。

4. 構内試験施工

4.1 試験施工の概要

本試験施工は、HiMA(20)の品質や施工性とHiMA(20)を上層路盤へ適用した場合の構造評価を行うことを目的として実施した。試験施工の概略を図-6に示す。図-6に示すように、舗装断面厚さはNEXCOの最小舗装厚とし、工区は、上層路盤にHiMA(20)とAs処理(30)を用いたものとの、合計2工区を施工した。上層路盤の施工時には、両工区とも、上層路盤下面の水平引張

表-5 下層路盤の弾性係数が200MPaの場合の解析結果

混合物の種類	① HiMA (20)	② As 処理 (30)
バインダーの種類	添加剤入 ストアス 60/80	ストアス 60/80
上層路盤下面の ε_r (μ)	102	139
下層路盤上面の ε_z (μ)	346	414

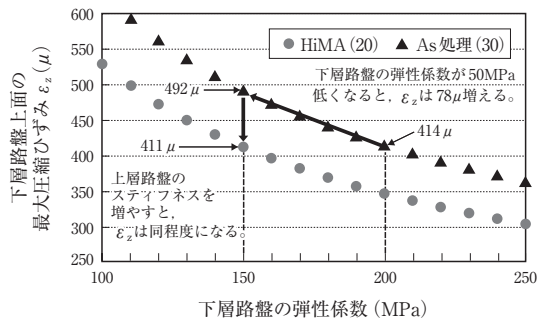


図-4 下層路盤の弾性係数と上面の最大圧縮ひずみの関係

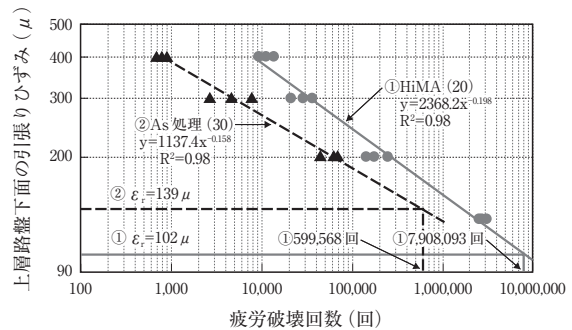


図-5 構造解析で算出された疲労破壊回数

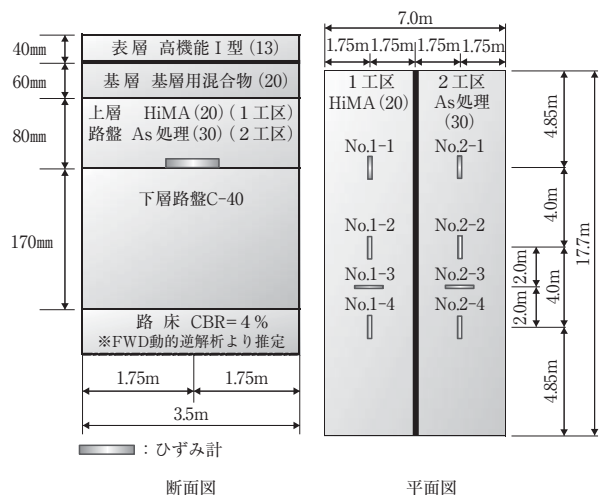


図-6 試験施工の概略

りひずみ（以下、下面ひずみ）を計測するために、ひずみ計（㈱東京測器研究所製：KM-100HB）を設置した。

HiMA (20) の品質はプラントで製造されたマーシャル密度により評価を行い、施工性は作業性と締固め度により評価した。構造評価は、上層路盤施工後に測定したFWD測定たわみ（載荷荷重49kN）から、動的逆解析により求めたスティフネスの推定値と下面ひずみの実測値をもとに行った。

4.2 試験施工の状況

HiMA (20) の施工状況を写真－3、仕上がり面を写真－4に示す。

HiMA (20) の施工は、通常の舗装と同様に、敷きならしはアスファルトフィニッシャ、初期転圧はタンDEMローラ、二次転圧はタイヤローラを用いて行った。施工日は平成28年11月7～10日で、上層路盤舗設時の最高気温は10.3℃であった。比較的寒い時期の施工であったが、HiMA (20) の施工性は比較工区のAs処理(30)と同程度であり良好な結果であった。

4.3 試験施工の結果

試験施工で得られた結果を表－6に示す。以下に、それぞれの結果について述べる。

(1) 混合物の品質

プラントで製造したHiMA (20) のマーシャル密度は、表－6に示すとおり室内配合と同程度となっている。このため、混合物の品質は問題ない結果であった。

(2) 施工性

施工後に現場切取りコアを採取し、切取りコアの締固め度を測定した。締固め度は表－6に示すとおり97.6～100.6%であり、作業性も良好であったことから、施工性は問題ない結果であった。

(3) FWDでの動的逆解析による推定スティフネス

表－6に示したスティフネスは、上層路盤面でのFWDによる測定たわみ量をもとに、動的逆解析ソフト「Wave BALM」により3層モデル（路床、下層路盤、上層路盤）で解析して推定した結果を示している。これより、HiMA (20) のスティフネスは、As処理(30)より約1.4倍程度大きな値が得られている。したがって、試験施工からも、HiMA (20) はスティ

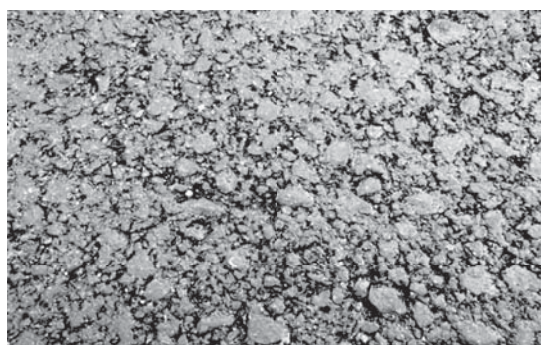
フネスの大きな剛性の高い混合物であることを確認できた。

(4) 上層路盤下面の引張りひずみ

HiMA (20) の下面ひずみは、表－6に示したように、As処理(30)よりも平均で25μ小さい結果で



写真－3 施工状況



写真－4 HiMAの仕上がり面

表－6 試験施工の結果

項 目		1 工区 HiMA (20)				2 工区 As 処理 (30)			
マーシャル密度 (g/m³)	室内検討時	2.456				2.443			
	試験施工時	2.439				2.417			
試験施工	測点	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4
	切取コア密度 (g/m³)	2.380	2.406	2.419	2.454	2.373	2.383	2.423	2.408
	締固め度 (%)	97.6	98.7	99.2	100.6	98.2	98.6	100.2	99.6
	スティフネス (MPa) ※	6,130	7,800	7,850	5,980	5,660	4,610	4,110	6,050
	平均	6,940				5,110			
	実測ひずみ (1×10 ⁻⁶) ※	-	169	169	166	-	167	228	183
	平均	168				193			
	実測ひずみより求めた疲労破壊回数 (回)	636,200				75,100			
	試験路面温度 (℃)	16.7	19.1	20.3	22.2	15.1	18.2	20.0	22.2

※上層路盤面でFWD試験を行い、動的逆解析により求めた値。

※表層面でFWDによる荷重(49kN)を載荷した時のひずみ計の実測値。

1-1, 2-1はひずみ計故障のためデータ未収集

あった。また、海外でもHiMAの下面ひずみを計測した事例があり、その結果によれば、HiMAの方が従来の混合物より6～13 μ 程度低減したと報告されている¹²⁾。混合物の配合や舗装構成ならびに測定時の温度など条件が異なるため厳密な比較は行えないが、その報告を参考にすると、本試験施工で得られたHiMA(20)による下面ひずみの低減量は概ね妥当な値であるといえる。したがって、HiMA(20)を用いることで、実際の舗装体においても、下面ひずみを低減できることが確認できた。

また、実測ひずみの結果を図-5に示す疲労曲線に適用すると、HiMA(20)はAs処理(30)より破壊回数は約8倍程度大きくなる結果であった。

以上のことから、下面ひずみの測定結果からも、HiMA(20)は剛性が高い混合物であり、疲労ひび割れの発生を抑制することが期待できることを確認できた。

5. まとめ

本検討では、路盤の高耐久化を目的に、海外で実績のあるHiMA(20)の上層路盤への適用について検討を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

- ①HiMA(20)は、スティフネス、疲労抵抗性、耐久性において、比較対象とした国内の一般アスファルト混合物より優れており、スティフネスおよび疲労抵抗性は海外の基準値を満足する結果であった。
- ②構造解析により、限定した試算ではあるが、HiMA(20)はAs処理(30)より荷重分散性能が高く、脆弱化した下層路盤に対しても荷重作用の負荷を軽減できることや、発生ひずみが小さくなることにより疲労ひび割れの発生を抑制することが期待できることがわかった。
- ③構内試験施工により、HiMA(20)の実機製造による品質および施工性は問題なく、またFWDの動的逆解析によるスティフネスの推定と下面ひずみの測定結果から、HiMA(20)はAs処理(30)よりも剛性の高い混合物であることを確認した。

以上のことから、HiMA(20)は、路盤の高耐久化を図るうえで、アスファルト安定処理路盤材に替わる有用な混合物として期待できることが確認できた。

今後は、わが国での適用にあたって、HiMA(20)のスティフネスや疲労抵抗性などに対する要求性能を改めて検討していくとともに、回転式舗装試験機や実道での試験施工を行い、耐久性の確認を行っていく予定である。

- 1) 高橋茂樹, 小野義道, 佐藤正和: 高速道路におけるアスファルト舗装の「解体新書」プロジェクト, 舗装工学論文集第20巻, 2015, p.I_93.
- 2) Jean- Francois Corte: Development and Uses of Hard - Grade Asphalt and of High - Modulus Asphalt Mixes in France, TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR No.503, 2001,12, p12.
- 3) W. Bankowski (IBDiM), Marjan Tusar (ZAG), L. G. Wiman (VTI), D.Sybilski, M.Gajewski, R. Horodecka, M.Maliszewski: Laboratory and field implementation of high modulus asphalt concrete. Requirements for HMAC mix design and pavement design, SPENS, 2009.
- 4) M.NKGAPPEL, E DENNEMAN, JK ANOCHIE-BOATENG: Construction of a high modulus asphalt (HiMA) trial section ethekwin: South Africa's First Practical Experience With Design, Manufacturing and paving of HiMA, Abstracts of the 31st Southern African Transport Conference, 2012.
- 5) M. McHale, I. Carswell: Evaluation of EME2 type mixtures incorporating softer grade binders - Phase I progress report, Transport Research Laboratory, 2012,12.
- 6) Laszio Petho, Andrew Beecroft, Jonathon Griffin, Erik Denneman: High Modulus High Fatigue Resistance Asphalt (EME2) Technology Transfer, Austroads Ltd, 2014, 11.
- 7) 東日本高速道路㈱・中日本高速道路㈱・西日本高速道路㈱: 設計要領第一集 舗装保全編, 2016, P3-27.
- 8) British Standards Institution: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part26, 2004.
- 9) (公社)日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧〔第3分冊〕, 2007.
- 10) 東日本高速道路㈱・中日本高速道路㈱・西日本高速道路㈱: NEXCO試験方法 第2編 アスファルト舗装関係試験方法, 2016, p31.
- 11) (公社)日本道路協会: 舗装設計便覧, 2006.
- 12) Hyun Jong Lee, Jung Hun Lee, Hee Mun Park: Performance evaluation of high modulus asphalt mixtures for long life asphalt pavements, Construction and Building Materials 21, 2007.

販売単価に大きく影響していた。そのため、中温化混合物の普及は進まず、2009年時点での普及率は0.1%に留まっている³⁾。

一方、中温化技術の発泡系に分類されるものに、機械式フォームドアスファルトがある。他の中温化技術と大きく異なる点はアスファルト合材工場に専用の発泡装置の導入が必要となるためイニシャルコストが掛かることである。しかし、添加材料は基本的には水であるためランニングコストは抑えられる。したがって、ある程度の製造量が見込められれば他の中温化技術と比較してコスト的に有利となる。

3. フォームドアスファルト技術

フォームドアスファルトは写真－1に示すとおり、高温時のアスファルトに少量の水を噴霧混合することにより、水を急激に気化させてアスファルトを発泡させたものである。発泡したアスファルトは見かけ上の粘度が低下し、混合物製造時にアスファルトと骨材との混合性が向上するものである。混合物を製造した後はアスファルトの泡は消えたように見えるが、実際はアスファルト中に微細な泡が残存して、この泡が施工時にベアリング的な働きをすることにより、混合物が締固め易くなる。アスファルト中の微細な泡は施工完了後、温度の低下とともに体積が減少し、無くなるため、混合物の品質に影響を及ぼすことはない。

4. フォームドアスファルトの改良

4.1 微細泡フォームドアスファルト

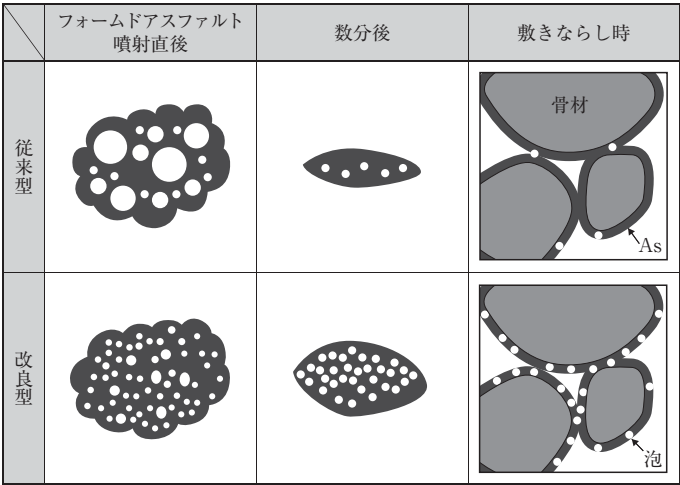
日本では近年、再生アスファルト混合物の再生率が高くなっている。再生率が高いと添加する新規のアスファルト量が少なくなため、アスファルトの発泡効果が小さくなる。そのため、少ない添加量でも発泡効果をより大きくするために、フォームドアスファルトを改良した。改良したフォームドアスファルトの概念図を図－2に示す。

従来のフォームドアスファルトは、発泡・膨張した後、比較的粒径の大きな泡同士が結合・肥大化することにより消滅し、施工時における泡の残存量が減少する傾向にある。この泡の残存量を増やし、ベアリング効果を高めるためには、微細泡化

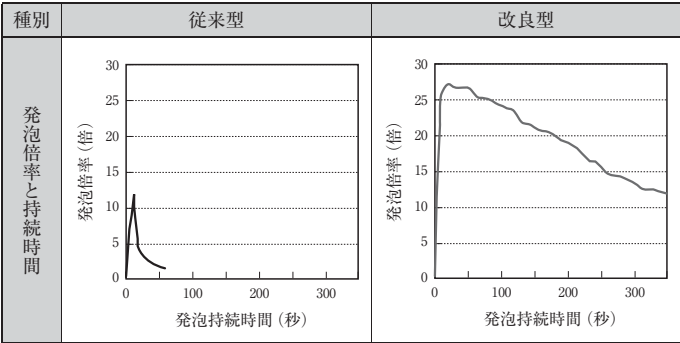
することが望ましいと考えた。フォームドアスファルトを微細泡化するため、アスファルトの発泡状態を改善させるための添加剤（以下、発泡補助剤）を使用することとした。各種材料を実験した結果、発泡補助剤の使用によって発泡状態が大幅に改善され、これまで課題であった大きな泡を抑制し、大量の微細泡が存在するフォームドアスファルトに改良することができた。フォームドアスファルトの性状の発泡倍率と持続時間を測定した結果を図－3に示す。改良したフォームド



写真－1 フォームドアスファルトの状態



図－2 改良型フォームドアスファルトの概念図



図－3 フォームドアスファルトの発泡倍率と持続時間

アスファルトは発泡倍率、持続時間ともに大きく改善されていることが確認できる。なお、発泡補助材はアスファルトに対して微量の添加量であり、アスファルトの性状に影響を与えることはない。

4.2 改良したフォームドアスファルトの効果

改良したフォームドアスファルトを使用した、再生アスファルト混合物への効果を検討した。図-4は再生骨材配合率を変化させた時の製造温度の低減効果を示している。改良型のフォームドアスファルトを使用した混合物は従来型のフォームドアスファルトを使用した混合物よりも、製造温度の低減効果は高い。従来型のフォームド混合物は再生骨材配合率が60%の時の製造温度の低減効果が5℃程度しかないのに対して、改良型のフォームド混合物は25℃程度の低減効果がある。したがって、改良型のフォームドアスファルトは再生アスファルト混合物でも十分な効果が確認された⁴⁾。

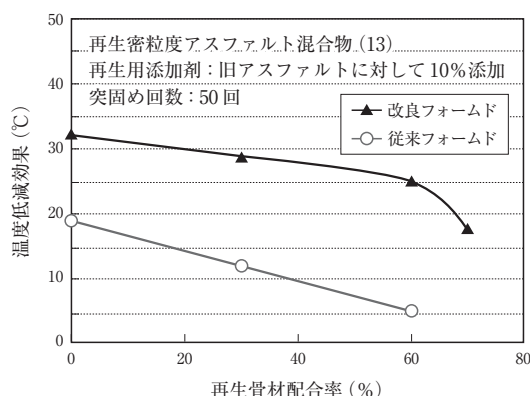


図-4 改良フォームドアスファルトの効果

5. フォームドアスファルトが混合物へ及ぼす影響

アスファルトを発泡する際に微量ではあるが水と発泡補助剤を添加する。この水や発泡補助剤がアスファルトの性状およびアスファルト混合物に与える影響について検討した。

5.1 検討項目

フォームドアスファルトの性状は下記の試験を実施して確認した。

- ①フォームドアスファルトの針入度試験
- ②フォームドアスファルト混合物の回収アスファルトの針入度試験
- ③フォームドアスファルト混合物の残留水分量測定
- ④フォームドアスファルト混合物の性状試験

5.2 検討結果

5.2.1 フォームドアスファルトの針入度試験

フォームドアスファルトはアスファルト中に微細泡が混入しており、この微細泡が測定値に影響するため、そのままではアスファルトの性状試験を行うことができない。そのため、泡抜きを行った後に試験を実施した。泡抜きは下記の2つの方法を試みた。

(1) 乾燥機養生による泡抜き

フォームドアスファルト製造後、ペール缶にフォームドアスファルトを採取して、乾燥機155℃で9時間養生。その後、針入度試験を実施。なお、比較用の発泡無のアスファルトはフォームド装置から水と発泡補助剤の添加をせずに採取した。したがって、水と発泡補助剤の添加以外は同条件のものである。

(2) 薄膜加熱試験による泡抜き

フォームドアスファルト製造後、採取したフォームドアスファルトで薄膜加熱試験を実施。薄膜加熱後の目視では泡は観測されなかった。その後、針入度試験を実施。なお、比較用の発泡無のアスファルトは(1)と同条件で採取を行った。

表-1にフォームドアスファルトの針入度試験結果を示す。この結果より泡抜きをすることによりアスファルトの劣化が進み針入度の値が小さくなっている。特に薄膜加熱試験は熱条件が厳しいため、より値が小さくなっている。しかし、フォームドしたものとし、ないものの差はほとんどない。フォームドアスファルトの性状確認は製造直後の泡を含んだままでは測定ができないため、真の値は定かではないが、泡抜きによる劣化の影響はあるもののフォームドの有無による針入度の値に差はないため、水や発泡補助剤がアスファルトへおよぼす影響はほとんどないものと推察できる。

表-1 フォームドアスファルトの針入度試験結果

試験条件	アスファルトの種類	針入度平均 (1/10mm)
乾燥機加熱溶解*	ストレートアスファルト 60/80	61
乾燥機加熱による泡抜き	フォームドアスファルト	53
	フォームド無アスファルト (フォームド装置で水添加無)	54
薄膜加熱試験による泡抜き	フォームドアスファルト	43
	フォームド無アスファルト (フォームド装置で水添加無)	43

*アスファルト温度：160℃

5.2.2 フォームドアスファルト混合物の回収アスファルトの針入度試験

フォームドアスファルトを用いたアスファルト混合物の作製を行い、この混合物からアスファルトを回収して、針入度試験を行った。比較として無発泡の通常のアスファルトで作製したアスファルト混合物から回収したアスファルトの針入度と、使用したストレートアスファルトの針入度の測定結果を表-2に示す。

表-2より、フォームドアスファルト混合物から回収したアスファルトと通常のアスファルト混合物から回収したアスファルトの針入度は同等であることがわかる。したがって、アスファルトをフォームド化してもアスファルトの針入度には影響しないといえる。

表-2 フォームドアスファルト混合物の回収アスファルト性状

アスファルトの種類	針入度平均 (1/10mm)
ストレートアスファルト 60/80	62
フォームドアスファルト混合物回収	57
通常アスファルト混合物回収	57

5.2.3 フォームドアスファルト混合物の残留水分量の測定

フォームドアスファルトは製造時に微量の水を添加する。そのためこの添加した水分が残留して混合物へ影響を及ぼすことが懸念されることから、フォームドアスファルト混合物中の残留水分について確認を行った。

試料は160℃のストレートアスファルト 60/80に2.5%の水を添加し発泡させて混合物を製造して、通常混合物と残留水分を比較した。なお、中温化製造を想定して130℃製造の試験も実施した。

試験は「水分定量試験法」(道路舗装に関する試験法)に従い実施した。試験結果を表-3に示す。

表-3より、フォームドアスファルト混合物からは通常混合物と同様、混合物中の水分量は検出されなかった。また中温化を想定した混合温度130℃の混合物においても水分量は検出されなかった。したがって、フォームドアスファルトを使用しても混合物中に水分

表-3 水分量測定結果

アスファルトの状態	混合温度	混合物の水分量 (g)
通常	160℃	0.0
フォームド	160℃	0.0
フォームド	130℃	0.0

は残留せず、アスファルトに添加した水分が混合物におよぼす影響はないものと考えられる。

5.2.4 フォームドアスファルト混合物の性状試験

フォームドアスファルトによる水分と発泡補助剤の影響を検証するため実際の合材工場でフォームドアスファルト混合物を製造し、その強度および耐水性を評価した。結果を表-4に示す。

表-4より、フォームドアスファルトを使用したアスファルト混合物の性状は通常のアスファルト混合物と同等の性状を示しており、フォームドアスファルトに添加する水と発泡補助剤は混合物性状に影響しないことが確認された。再生アスファルト混合物においても同様の結果が得られた。

表-4 フォームドアスファルト混合物の性状

項目	新規混合物		再生混合物 (再生率60%)	
	フォームド	通常	フォームド	通常
締固め度 (%)	100.1	100.1	100.3	100.1
マーシャル安定度 (kN)	11.8	12.1	13.0	12.7
残留安定度 (%)	90	91	92	90
WT 動的安定度 (回/mm)	830	730	1340	1210
水浸 WT 剥離率 (%)	0.92	1.46	0.00	0.00

*混合物は密粒度アスファルト混合物 (13)

5.3 まとめ

アスファルトを発泡させることにより、アスファルトの針入度に大きな変化はなく、混合物中の残留水分も確認されなかった。また、混合物の基本性状にも影響はなかった。この結果より、アスファルトに微量の水分や発泡補助剤を添加してアスファルトを発泡させてもアスファルトやアスファルト混合物におよぼす影響はないものとする。

6. フォームドアスファルト混合物の活用

フォームドアスファルト混合物は中温化技術であり、製造温度を下げてアスファルト混合物を出荷し、従来より低い温度で施工することができる技術である。また、従来と同じ温度でアスファルト混合物を出荷すれば、これまでより低い温度域での施工が可能となるため、冬期の施工現場や手引き施工時のようなアスファルト混合物の温度が冷めやすい場面で使用することができる。このようにフォームドアスファルト混合物は環境と品質に配慮した技術である。

さらに踏み込んで考えると、フォームド技術の効果として、アスファルト混合物を中温化製造せず、通常の製造温度でフォームドアスファルトを使用するだけで、得られる効果がある。

6.1 路面密度の均一性確保

一般的にアスファルト混合物を製造・出荷した後、ダンプトラックで施工現場まで運搬する。この時、シート等で保温対策を行うが、荷台に接する部分や上面シート部などの周辺部からアスファルト混合物の温度が低下する。特に冬期は温度低下が顕著になるが、これには、影響のない範囲で製造温度を上げて対応しているのが現状である。

しかし、アスファルト混合物は図-5に示すように、ダンプトラックが現場に到着し、アスファルトフィニッシャーに荷卸しするまでに、外周部温度は低下し、混合物内部と外周部とは温度差（不均一）が出てくる。

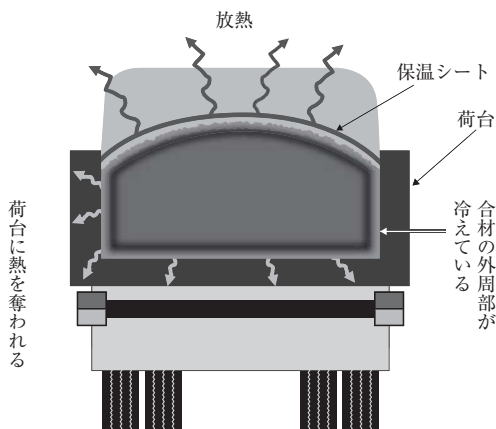


図-5 合材温度低下のイメージ

その後、アスファルトフィニッシャーのフィーダやスクリーンで混ぜられるため、全体的には均一になり、温度管理上は特に問題はない。しかし敷きならし後、均一に見えるアスファルト混合物中ではある程度の温度の不均一は残るため、この不均一が転圧後の締固め具合に差が生じる懸念がある。特に冬期施工や手引き施工時などでは温度差が大きくなるものと考えられる。

道路舗装は工場での製造品ではなく、現場打ちの製品であるため多少の変動はあるが、許容範囲内であれば特に問題はない。しかし、より品質を重視し将来を見据えた場合、部分的に温度が低く、結果的に密度が多少低い箇所に、将来ポットホールやクラックが発生

する可能性は残る。

そこで、温度のバラツキによる締固めの変動をより少なくするために、フォームドアスファルト技術の適用が有効であると考えている。

フォームドアスファルトを使用した場合でも、通常のアスファルト混合物と同じように敷きならし後には温度のムラは多少あるかもしれない。しかし、フォームドアスファルトは温度が多少低くてもアスファルトの見かけの粘度が低いため、通常のアスファルト混合物より良く締め固まる性質がある。このため、温度のバラツキに対して締固めの変動は極力小さくなると推察できる。

したがって、フォームド技術を通常のアスファルト混合物に適用させることにより、品質の精度が高まり、舗装の耐久性（寿命）を延ばすことができると考えられる。

6.2 アスファルトの劣化抑制

近年、再生アスファルト混合物の全製造量に占める割合は約75%に達している。また、再生アスファルト混合物に使用されている再生骨材の使用割合（再生率）は平均で約50%まで上昇し、都市部などの地域によっては75%の高い再生率で使用されていることもある。このように現在では、アスファルト混合物は再生アスファルト混合物が主流となっている。

そして、再生骨材に含まれている旧アスファルトは劣化により硬くなっている。また、製造時に旧アスファルトを劣化させないように、直火ではなく熱風等で加温させるため、芯まで温まり難い傾向がある。したがって、舗装現場では再生アスファルト混合物は「重い（作業性が悪い）」「冷めやすい」といった評価になることがある。

そのために、図-6に示すように、アスファルト混

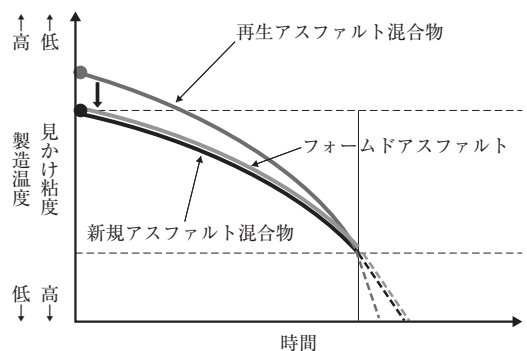


図-6 再生アスファルト混合物のイメージ

合物の製造時に製造温度を許容範囲内で高くして、舗装現場で使いやすいように対応している。

しかし許容範囲内とはいえ、アスファルトの劣化は製造時の熱劣化が大きな要因を占めていることから、製造温度を高くすることは、望ましいことではない。

そこで、フォームドアスファルトは見かけの粘度が下がるという特徴を利用して、再生アスファルト混合物に適用させることにより、製造温度を上げることなく、新規アスファルト混合物と同じ温度で製造しても、舗装現場で使いやすい混合物になると考えられる。

したがって、アスファルトの劣化を抑制し、使いやすい再生フォームドアスファルト混合物を使用することにより、舗装の品質は保たれ、耐久性が確保されることが期待できる。

このような対策をすることにより、再生アスファルト混合物の繰り返し再生時の品質低下を極力抑えることができると考えられる。これにより、図-7に示すような、持続的かつ安定的なアスファルト混合物のリサイクルを推進することができる。

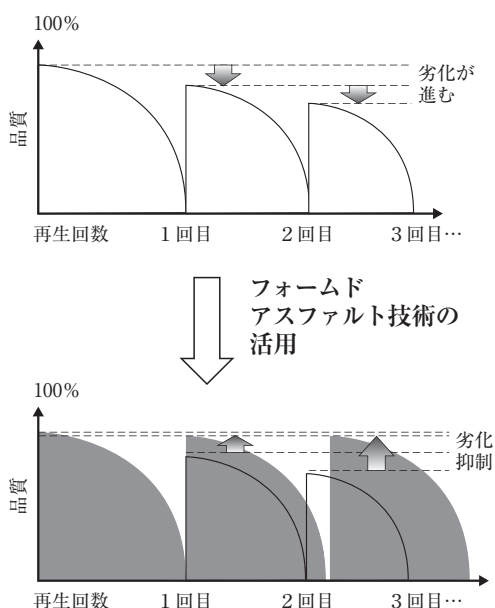


図-7 持続的リサイクルのイメージ

参考文献

- 1) (一社) 日本アスファルト合材協会：アスファルト合材統計年報，2017
- 2) 近藤紀：アスファルトの加熱混合温度に関する一考察，土木技術資料10-12，pp.40-45，1968.
- 3) (一社) 日本道路建設業協会：中温化（低炭素）アスファルト舗装の手引き，2012.4.
- 4) 越，今井：高再生率アスファルト混合物の品質確保と安定供給，舗装工学論文集第22巻，pp.I_147-I_154，2017.12.

7. おわりに

フォームドアスファルト技術は、中温化混合物の製造技術として海外でも広く普及した技術である。この技術は本来の「中温化」という効果はもとより、使い方を工夫することにより多くのメリットを得ることができる。「舗装」という貴重な財産を将来にわたり引き継いでいくために、フォームドアスファルト技術はその一手法になるものと考えている。

成分の異なる再生用添加剤によって 繰り返し再生したアスファルトの性状

(Properties of Asphalt Repeatedly Recycled by Rejuvenators Containing Different Components)

新 田 弘 之*・田 湯 文 将**・川 島 陽 子***・川 上 篤 史****

アスファルト混合物の再生利用が進む中、すでに複数回再生されているものもあると見られ、持続的なりサイクルのためには繰り返し再生を前提とした再生利用方法の確立が必要である。また、わが国では再生骨材配合率も高いこともあり、再生時に再生用添加剤を用いることが一般的とみられる。そこで、我々は繰り返し再生に適した再生用添加剤の品質について検討を行っている。本報では、成分の異なる3種類の再生用添加剤等を用いて、アスファルトを繰り返し劣化・再生した場合の再生アスファルトおよびそれを用いたアスファルト混合物の性状の違いについて検討した結果を報告する。

1. はじめに

近年のアスファルト混合物の出荷量に占める再生アスファルト混合物（以下、再生混合物）の出荷割合は75%前後で推移しており、再生骨材配合率も全国平均で50%となっている¹⁾。今後、繰り返し再生された骨材を含む混合物の利用が増えていくことが予想される。再生混合物の品質確保のためには繰り返し再生を前提とした再生利用方法が必要である。再生混合物製造の際には再生用添加剤を使用するのが一般的であるが、その成分により再生後の性状が異なることが古くから指摘されている²⁾。持続的なアスファルト混合物の再生利用を実現させるには、繰り返し再生した場合の再生用添加剤の成分の影響を把握し、繰り返し再生に適した再生用添加剤の品質を明確にする必要がある。

筆者らは、これまでに室内試験によりアスファルトの劣化と再生用添加剤を用いたアスファルトの再生を繰り返し行うことで、繰り返し劣化・再生に伴うアスファルトおよびその混合物の性状変化を検討^{3, 4)}してきており、繰り返し再生による劣化の進行度合いや旧アスファルトに対する再生用添加剤の再生効果に差異があることを明らかにした。しかし、国内で使用され

ている再生用添加剤の種類は多く、再生効果の差異についてさらなる検討が必要である。

そこで本報では、成分の異なった3種類の再生用添加剤等を用いてアスファルトを繰り返し劣化・再生し、再生アスファルトおよびそれを使用した再生混合物における、再生用添加剤の成分差異の影響について検討を行ったので報告する。

2. 試験概要

(1) 再生用添加剤および新規アスファルトの性状

表-1に使用した再生用添加剤（以下、添加剤）等の性状を示す。添加剤AおよびBは一般に再生用添加

表-1 再生用添加剤の性状

		添加剤 A	添加剤 B	添加剤 C
密度 (g/cm ³)		0.975	0.909	0.863
組成 (%)	アスファルテン分	0.1	0.0	0.0
	レジン分	6.1	2.5	0.0
	芳香族分	88.1	47.7	0.1
	飽和分	5.7	49.9	99.9
PCA 対応 ⁵⁾		準拠	準拠	-

*にった ひろゆき 国立研究開発法人 土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員

**たゆ ふみまさ 国立研究開発法人 土木研究所 先端材料資源研究センター 交流研究員

***かわしま ようこ 国立研究開発法人 土木研究所 先端材料資源研究センター 研究員

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

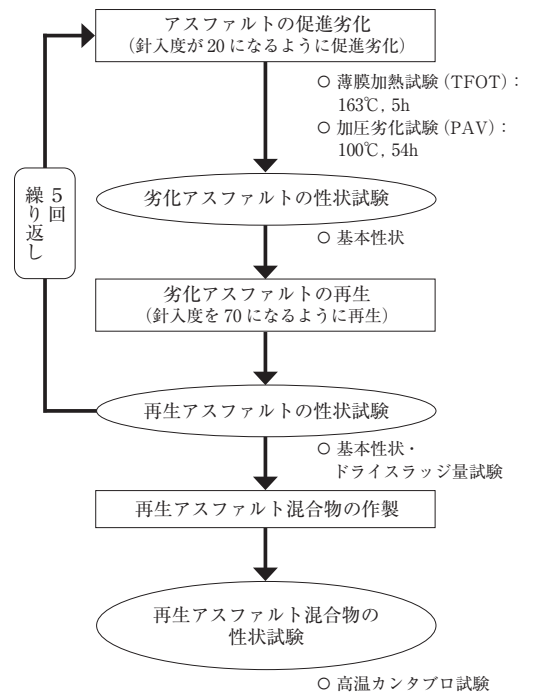
剤として用いられているものであり、添加剤 A は四成分組成において芳香族分の割合が約 90% のもの、添加剤 B は四成分組成において飽和分と芳香族分の割合が約 50% を占めるものとなっている。添加剤 C は再生用添加剤として使用されているものではないが、再生用添加剤と同じ原料から製造されたオイルで、ほぼ飽和分のみのものであり、比較用として今回使用した。新規アスファルトは、表－2 に示すストレートアスファルト 60/80 (以下、ORG) を用いた。

表－2 ストレートアスファルト 60/80 (ORG) の性状

密度 (g/cm ³)	1.039
針入度 (1/10mm)	70
軟化点 (℃)	46.5
伸度 15℃ (cm)	100+

(2) 劣化・再生方法

図－1 にアスファルトの劣化・再生試験手順を示す。本試験では、室内試験により ORG を繰り返し劣化・再生 (以下、n 回繰り返し劣化・再生したものを劣化 n、再生 n と示す) させた。なお、本試験では、添加剤の影響を強調するために、実際の再生混合物とは異なり再生時には新規アスファルトは使用せずに添加剤のみ



図－1 アスファルト劣化・再生試験手順

で再生して検討を行った。アスファルトの劣化は、薄膜加熱試験 (以下、TFOT) および加圧劣化試験 (以下、PAV) によって劣化後に ORG の針入度が 20 となるように、PAV の劣化時間を 54 時間にして実施した。劣化アスファルトは、アスファルトの針入度が 70 となるように添加剤量の調整を行い再生した。

混合物作製は、予め再生したアスファルトを用いて新規アスファルト混合物を作製するときと同じ要領で行った。混合物種類は、密粒度アスファルト混合物 (13) とした。

(3) 各種性状試験方法

繰り返し劣化・再生を行ったアスファルトおよび混合物の性状は、表－3 に示す各種性状試験により評価した。試験方法は、舗装調査・試験法便覧⁷⁾等に記載があるものは、基本的にそれらに従って実施した。一般的な試験方法がないドライスラッジ量試験および高温カンタブロ試験は以下のように行った。

表－3 各種性状試験

アスファルト 性状試験	針入度試験	舗装調査・試験法便覧 A041 ⁶⁾
	軟化点試験	舗装調査・試験法便覧 A042 ⁶⁾
	伸度試験	舗装調査・試験法便覧 A043 ⁶⁾
	組成分析試験	JPI-5S-70-10 ⁷⁾
	ドライスラッジ量試験	文献 ^{8, 9)} を参考にした方法
混合物 性状試験	高温カンタブロ試験	舗装調査・試験法便覧 B010 ⁶⁾ を参考にした方法

①ドライスラッジ量試験

アスファルトの再生時に再生用添加剤によっては、アスファルト内に粒子状物質が観察されることがあった。既往研究⁸⁾でも同様のことが報告されている。そこで、この粒子状物質の量に関係すると考えられるドライスラッジ量を測定した。試験方法は重油中のドライスラッジ量を定量する試験である ISO-10307-1⁹⁾ および既往研究⁸⁾を参考に表－4 に示す条

表－4 ドライスラッジ量試験条件

再生 As : 添加剤 (質量比)	1 : 9
希釈剤	添加剤 C (飽和分 99.9%)
加熱温度 (℃)	160
吸引温度 (℃)	160
ろ過フィルター細孔径 (μm)	1.6 (Whatman GF/A)
吸引圧 (MPa)	絶対圧力で 0.04
混合方法	ガラス棒により攪拌

件で測定を行った。なお、アスファルトをろ過するためには流動性を持たせるために希釈する必要があるが、予備試験により再生アスファルトのスラッジ量に影響を与えなかった添加剤Cを希釈剤として用いた。

②高温カンタブロ試験

繰り返し再生により再生アスファルトの接着力が低下することが予想されたため、混合物性状はカンタブロ試験により評価することにした。カンタブロ試験ではこれまでの研究⁴⁾により供試体温度を上げていくと特に新規混合物と再生混合物の差が大きくなる傾向が見られたので、今回の実験でも供試体温度を60℃にして行うカンタブロ試験（以下、高温カンタブロ試験と呼ぶ）を実施した。表-5に高温カンタブロ試験条件を示す。

表-5 高温カンタブロ試験条件

供試体温度 (℃)	60
ロサンゼルス試験機内温度 (℃)	30
ドラム回転数	毎分30回転で300回転

3. 結果と考察

(1) 再生アスファルト中のアスファルト残存率

今回、劣化したアスファルトは添加剤のみで再生した。したがって、再生回数が進むほど、元々のアスファルトが占める割合が減っていく。図-2に繰り返し劣化・再生に伴う再生アスファルト中のアスファルト残存率を示す。添加剤Aは、BおよびCに比べて初期に添加量が多く、アスファルト残存率が少ない傾向にあるが、再生回数が進むと、添加剤B、Cの添加量が増えていくために、最終的にはどの添加剤でもアスファルト残存率は大きく変わらなくなった。

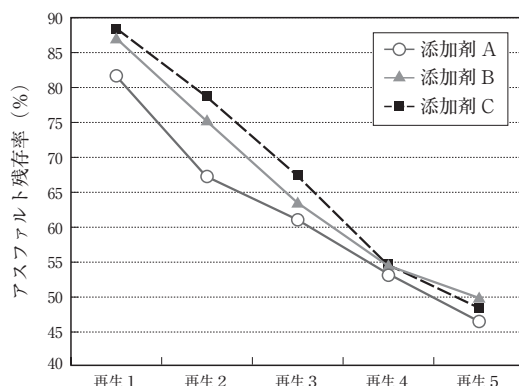


図-2 再生アスファルトのアスファルト残存率

(2) 劣化・再生アスファルトの針入度

図-3に劣化・再生アスファルトの針入度を示す。再生アスファルトの目標針入度は70としているので、再生後の針入度は添加剤Cの再生5を除き70となった。添加剤Cに関しては、劣化5の時点で針入度が50程度となり、促進劣化させても針入度が下がらなくなった。また、添加剤Cの再生5では、加熱しても流動性が得にくく、添加剤を加えても均一に混ぜることが困難であったため、針入度調整を正確に実施することができなかった。

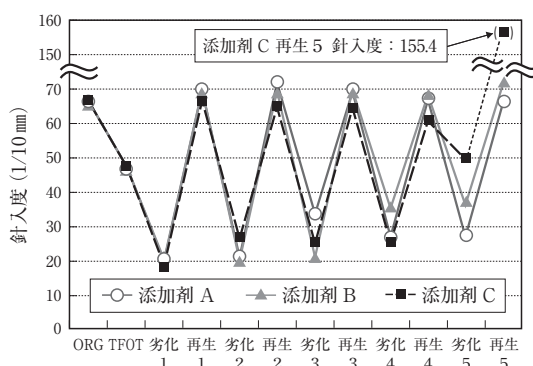


図-3 劣化・再生アスファルトの針入度

(3) 劣化・再生アスファルトの軟化点

図-4に劣化・再生アスファルトの軟化点を示す。各添加剤において、アスファルトの劣化・再生回数が増えると軟化点が増加する傾向が見られた。特に、飽和分が多い添加剤B、Cで再生したものはAと比較して、劣化3以降に顕著に軟化点が増大した。これより、飽和分が多い添加剤は、軟化点が上昇しやすいことが分かった。芳香族分の多い添加剤Aでは再生5であっても、軟化点が55～65℃程度とORGに比較的近い値となっていることから、芳香族分の多い添加剤はアス

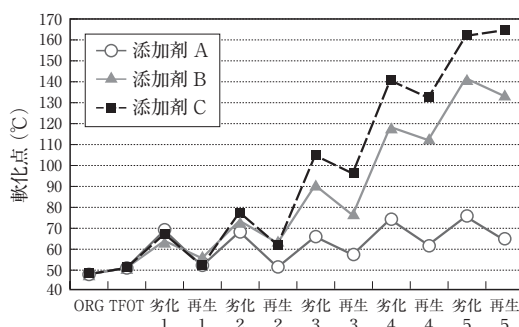


図-4 劣化・再生アスファルトの軟化点

ファルトの繰り返し再生利用に対して、軟化点の回復効果が高いことが示された。

(4) 劣化・再生アスファルトの伸度

図-5に劣化・再生アスファルトの伸度を示す。添加剤 A では、再生 1 回目、2 回目で 30cm ほどまで回復していたが、他の添加剤では再生 2 回目以降ほとんど回復しなかった。したがって、芳香族分の多い再生用添加剤の方が繰り返し再生時にも伸度の回復が多少有利であることが分かった。しかし、いずれの添加剤も舗装再生便覧¹⁰⁾に示されている伸度 100cm までは回復していなかった。これは再生用添加剤の影響を最大限に示すために今回再生時に新規アスファルトを全く添加しておらず、非常に厳しい条件であったことによると考えられた。

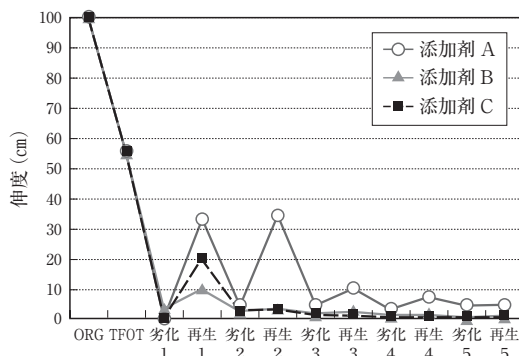


図-5 劣化・再生アスファルトの伸度

(5) 再生アスファルトの4成分組成

図-6に劣化・再生アスファルトの4成分組成を示す。添加剤 A では飽和分とアスファルテン分の変化が少なく再生 3 以降成分比の変化があまりなくなり、芳香族分が 40% 付近で安定した。添加剤 B, C では、再生時に足される芳香族分の量が少ないため、繰り返しの劣化・再生により芳香族分が減少し、飽和分が増加した。特に添加剤 C は、再生時に飽和分しか足されることがないため、繰り返し劣化・再生に伴う芳香族分の減少と飽和分の増加が著しく、再生 5 では、芳香族分がほとんどない状態となった。

アスファルトの 4 成分組成の分析結果、芳香族分の多い再生用添加剤では、再生アスファルトの成分変化が比較的小さいのに対し、飽和分が多い再生用添加剤では再生を重ねるごとに飽和分が増加し、新規アスファルトと成分組成は大きく異なっていくことが分かった。

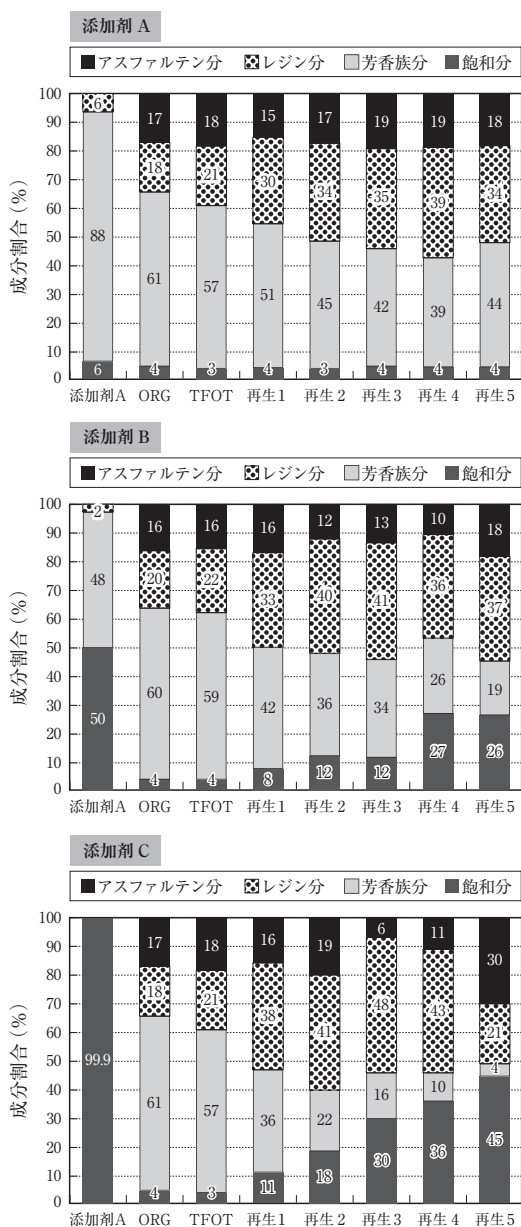


図-6 再生アスファルトの四成分組成

(6) ドライスラッジ量試験

図-7に各再生アスファルトにおけるスラッジ量を示す。添加剤 B, C では繰り返し再生により単調に増加していき、再生 5 ではスラッジ量は 25% 程度にまでなった。これに対し添加剤 A は再生 4 と再生 5 であまり変わらず 17% 付近で止まるような挙動を示した。芳香族分は、凝集して大きくなったアスファルテンを解膠させる性能を有していると考えられ¹¹⁾、その含有率が高い添加剤 A は劣化時に発生したスラッジを多少

解膠させたためではないかと考えられた。

これより、芳香族系は、再生回数が進んでもスラッジ量の増加を抑える効果がある可能性が示唆された。

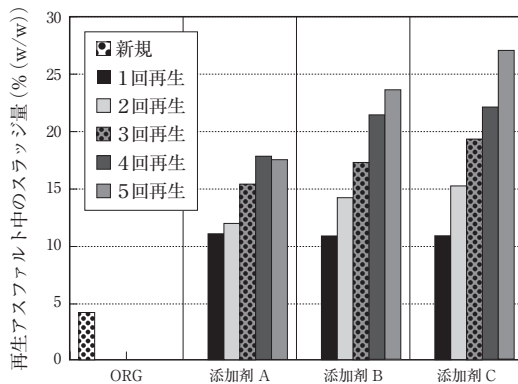


図-7 各再生アスファルトにおけるスラッジ量

(7) 高温カンタブロ試験結果

図-8に各再生混合物における高温カンタブロ試験損失率（以下、損失率）を示す。試験は、基本的に新規、再生1、再生2、再生3、再生5について行ったが、添加剤Cだけは再生5の混合物が作製できなかったため、再生4の試験結果を示している。ORGの損失率は、ほぼ0%であった。芳香族系の添加剤Aの損失率は、再生とともに増加したものの、再生5でも損失率は6%程度であった。それに対して、飽和分の多い添加剤Cにおいては再生4で、添加剤Bにおいては再生5で損失率は約99%となっており、供試体が、ほぼ完全に破壊する結果となった。また、これらの添加剤では、再生3と早期の段階で損失率が40%～70%程度となった。

高温カンタブロの結果より、飽和分の多い添加剤

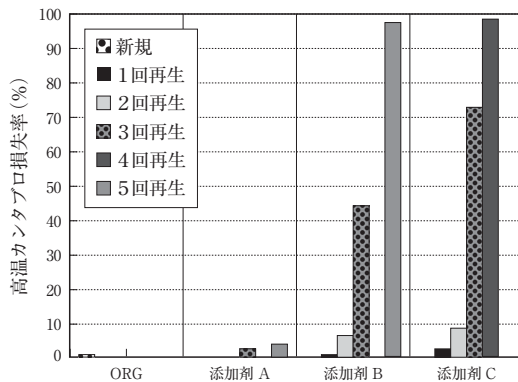


図-8 各再生混合物における高温カンタブロ損失率

を用いた場合、再生回数が進み過ぎると高温でのアスファルトの接着力が弱くなることが分かった。高温カンタブロ試験の結果と供用性の関係は今後調査する必要があるが、例えば、真夏における低スティフネス状態でのタイヤ端部付近の引張りひずみが表面縦ひび割れの原因のひとつ¹²⁾とも考えられていることから、高温カンタブロ損失量が多い混合物は表面縦ひび割れが起きやすい可能性がある。少なくとも新規アスファルトでは、高温カンタブロ損失量はほとんど0%なので、飽和分が多いと混合物性状に明らかな差が生まれることが分かった。

4. 結論

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 芳香族分の多い再生用添加剤により繰り返し再生した場合、再生アスファルトの性状は、新規アスファルトに比較的近く、旧アスファルトの性状回復効果が高いことが分かった。
- (2) 飽和分の多い再生用添加剤により繰り返し再生した場合、再生アスファルトの軟化点の上昇が著しく、その他の性状も新規アスファルトとかなり異なった。したがって、再生用添加剤の添加により針入度は回復するものの新規アスファルトとは異なる性状になることが分かった。
- (3) スラッジ量試験により、芳香族分の多い添加剤は、飽和分の多い添加剤と比べてスラッジ量の著しい増加は見られなかった。これは、芳香族分が凝集したアスファルテンを解膠させたためと考えられた。
- (4) 高温カンタブロ試験により、飽和分の多い再生用添加剤を繰り返し使用した再生アスファルトは、高温域において骨材との接着力が低下することが分かった。

5. おわりに

今回、成分の異なる再生用添加剤を用いて、アスファルトを繰り返し劣化・再生させて性状の違いを把握した。繰り返し再生が進んでいく現状においては、これを意識した再生用添加剤の選定が必要になっていくものと考えられた。

今後は、本研究で得られた性状の差異と実際の舗装の破損の関係について、さらに研究を進めるとともに、繰り返し再生を前提とした再生用添加剤の品質規定について研究を行う予定である。

— 参考文献 —

- 1) 一般社団法人 日本アスファルト合材協会：アスファルト合材統計年報, p.3, p.19, 2015.
- 2) 例えば, 坂本浩行：再生用添加剤, アスファルト, vol.27, No.141, pp.39-46, 1984.
- 3) 川上篤史, 川島陽子, 新田弘之, 寺田剛, 藪雅行：繰り返し劣化・再生されたアスファルトおよびアスファルト混合物の性状変化に関する一検討, 舗装工学論文集, 第22巻, pp.I_155-I_161, 2017.
- 4) 田湯文将, 新田弘之, 川上篤史, 川島陽子：再生用添加剤の成分差異が再生アスファルトおよびその再生混合物の性状に与える影響, 土木学会 第73回年次学術講演会講演概要集, V-631, 2018.
- 5) イー・アール・エム日本株式会社：化学物質安全対策「諸外国における多環芳香族炭化水素規制に関する動向調査」報告書, 2015.
- 6) 公益社団法人 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧, 2007.
- 7) 石油学会：TLC/FID法によるアスファルト組成分析試験方法, 公益社団法人 石油学会, JPI-5S-70-10, 2010.
- 8) 佐野昌洋, 瀬尾彰：再生混合物の性能向上に関する一検討, 土木学会 第72回年次学術講演会講演概要集, V-103, 2017.
- 9) ISO 10307-1: Petroleum products - Total sediment in residual fuel oils - Part 1: Determination by hot filtration, 2009.
- 10) 公益社団法人 日本道路協会：舗装再生便覧(平成22年度版), pp.167-191, 2010.
- 11) 新田弘之：アスファルト材料について, アスファルト, Vol.53, No.226, pp.23-30, 2010.
- 12) 西澤辰男, 松野三郎：アスファルト舗装の車輪走行位置に生ずる縦表面ひび割れについて, 土木学会論文集, No.478, V-12, pp.71-80, 1993.

TLC/FID法を用いた新試験法の検討経過報告

(Current State of Development of a New Testing Method by TLC/FID)

(公社)石油学会 製品部会 アスファルト分科会
TLC/FID法によるアスファルト組成分析試験方法代替溶剤検討専門委員会

1. はじめに

近年、アスファルトおよび再生用添加剤の組成分析が特に重要となっていることから、2010年にJPI-5S-70-2010「TLC/FID法によるアスファルト組成分析試験方法」(以降、TLC/FID法)として、石油学会規格を制定した。このTLC/FID法は、飽和分、芳香族分、レジン分、アスファルテン分の4成分に分離・定量化することができ、また、迅速な分析が可能で汎用性が高く、且つ操作法が簡便で広く利用されている。特に、再生利用では、劣化したアスファルトの組成を把握し、適切なアスファルトや再生用添加剤を加え、もとのアスファルトの性状へ回復させるため、組成分析データが重要となる。

TLC/FID法では、希釈および展開操作に使用する溶媒として、ジクロロメタンを使用している。この溶媒は、2014年11月1日より労働安全衛生法施行令(厚生労働省)にて特定化学物質に移行された。これにより、使用者の安全性ならびに健康影響のリスク低減を図ることを目的に、これまでどおりの利便性を有しつつ、従来と同様の値が得られる代替溶媒を使用した試験法が必要となり、(公社)石油学会 製品部会 アスファルト分科会において、専門委員会を立ち上げ検討した。

そこで本稿では、TLC/FID法の紹介と、ジクロロメタンの代替溶媒検討および再生用添加剤への適用について専門委員会で検討した内容を報告する。なお、本稿では、試験法改定により変更される部分を紹介する。試験内容については、2019年3月発刊予定の制定版を参照いただければ幸いである。

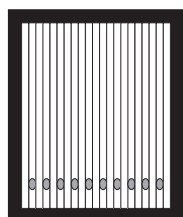
2. TLC/FID法とは

TLC/FID法は、主に重質油の分析で広く利用されてきた組成分析法である。分離手段にTLC(Thin-Layer Chromatography: 薄層クロマトグラフィー)、定量手段にFID(Flame Ionization Detector: 水素炎イオン化型検出器)を用いて評価・分析を行っている。

2.1 成分分離(TLC)

成分分離は、まず図-1①に示すように、細いガラス棒を使用してシリカゲルを焼結した薄層棒に、溶媒に希釈した試料をスポットする。TLCを用い極性の異なる溶媒で展開すると吸着剤への吸着度合いと、溶媒への親和性の差によって、成分毎の移動距離が異なる。その原理を利用して、図-1③展開後に示すとおり、飽和分、芳香族分、レジン分、アスファルテン分の4成分に分離する。なお、第三展開溶媒にもジクロロメタン/メタノールの混合溶媒を使用している。

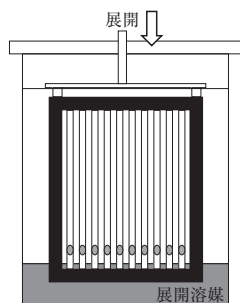
①ジクロロメタンで希釈した試料をスポット



②展開

【TLC 展開条件】		
操作	測定条件	時間
第一展開 (ヘキサン)	展開 乾燥(60℃)	30分(or10cm) 2分
第二展開 (トルエン)	展開 乾燥(60℃)	5cm 2分
第三展開 (混合溶媒)*	展開 乾燥(60℃)	2cm 2分

*ジクロロメタン/メタノール(容積比95/5)



③展開後

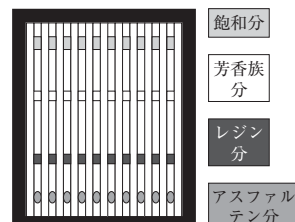
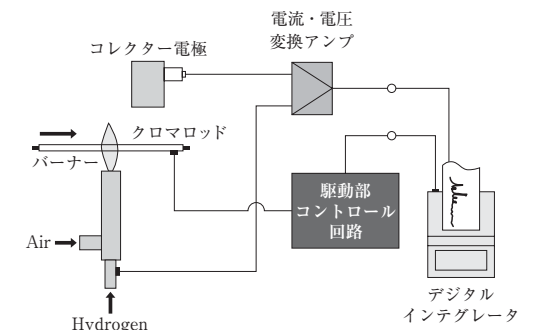


図-1 TLC(分離)操作方法

2.2 分離成分の検出 (FID)

展開後の薄層棒を定量装置にセットする。水素炎中で薄層棒を定速移動し、有機化合物を燃焼させたときに発生するイオン電流をFID（水素炎イオン化型検出器）で検出する。得られたクロマトグラムの各成分ピーク面積から各成分の割合（％）を求める。試験法には「1回の試験操作で得られる10本のカラムそれぞれから得られた、各成分の組成比の標準偏差で5％以下」と定め、試験操作および試験値の適否を判断する指標として用いている。図－2にFIDの原理を示す。



図－2 FIDの原理

3. 試験法改定の経緯

3.1 改定の方針

労働安全衛生法施行令の改定により、使用者の安全性ならびに健康影響のリスク低減を図る事を目的に、従来法に使用しているジクロロメタンを代替し、さらに同様の簡便性、且つ、課題の改善を目標に検討することとした。

3.2 検討事項

石油学会アスファルト分科会の専門委員会にて、以下の内容について検討することとした。

- ①従来法にて、希釈および展開操作で使用するジクロロメタンを、特定化学物質以外の溶媒に代替する。
- ②再生用添加剤への適用も可能な試験法とする。
- ③諸外国の試験法と比較可能で整合性を有する。

3.3 検討内容

専門委員会の参加機関において、以下の内容について照合試験を実施した。なお、照合試験にあたり、アスファルトおよび再生用添加剤を用いて、8機関による測定結果を比較し、検討を実施した。

- ①ジクロロメタンの代替溶媒
- ②成分分割位置の見直し

代替溶媒については、候補溶媒を選定し照合試験を行い、従来法と新法候補の測定結果を比較し、検討した。

成分分割位置については、海外の試験法を参考に成分分割位置を変更して、機関間の測定値の差異を確認した。検討の詳細を以下に示す。

4. 代替溶媒の検討

従来法において、ジクロロメタンは試料の希釈溶媒、また第3展開の溶媒として使用しており、代替溶媒候補は、特定化学物質の指定がなく、入手、取扱いが容易であることを考慮し検討した。

試料の希釈溶媒については、溶解性を考慮し、アスファルトの希釈溶媒はトルエンとし、再生用添加剤の希釈溶媒はn-ヘキサンを選定した。

第3展開の溶媒に関しては、溶媒極性をはじめとした物性データや装置メーカーのアプリケーションデータ等を基に予備試験を実施し、候補となる組合せを検討した。表－1に代替溶媒候補4種を示す。これらの混合溶媒は、特定化学物質に指定されず、取扱いや入手も容易である。

4.1 代替溶媒の評価結果

表－1に示す代替溶媒候補を用いた評価結果より、第3展開にて得られるレジンの値を比較し、その有効性を検証した。それぞれの代替溶媒候補を用いて得られた測定結果は以下のとおりであった。

①アスファルトの測定結果

- 新法候補①、②の溶媒では、従来法に比べ全測定機関でレジン分が約0.1～7.0質量％と低い値を確認した。したがって、新法候補①、②においては、

表－1 ジクロロメタン代替溶媒候補

試験法	試料	希釈溶媒	第3展開溶媒
従来法	アスファルト	ジクロロメタン	ジクロロメタン／メタノール混合溶媒（容量比：95/5）
新法候補①	アスファルト および 再生用添加剤	トルエン （アスファルトの分析）	ヘキサン／アセトン混合溶媒（容量比：50/50）
新法候補②			ヘキサン／エタノール混合溶媒（容量比：60/40）
新法候補③		n-ヘキサン （再生用添加剤の分析）	トルエン／アセトン混合溶媒（容量比：50/50）
新法候補④			トルエン／アセトン混合溶媒（容量比：60/40）

レジンの展開力が弱く、代替溶媒では使用できないと判断した。

○新法候補③、④の溶媒では、従来法と比較して、レジンの差異が約0.0～3.6（質量%）同等な測定結果を確認した。また、新法候補③、④では候補④が、より従来法に近い測定結果を示す機関数が多かった。図-3に照合試験参加機関の従来TLC/FID法と候補④のレジンの値について示す。

②再生用添加剤の測定結果

○再生用添加剤は、アスファルトの測定において、良好な結果であった候補④について確認した。その結果従来法のレジンの値との差異は約0.1～1.9質量%であり同等な測定結果であることを確認した。

これらの結果より、代替溶媒は、アスファルトの希釈溶媒をトルエン、再生用添加剤の希釈溶媒をn-ヘキサンに決定した。また、第3展開溶媒については、新法候補④のトルエン/アセトン混合溶媒（容量比60/40）を第3展開媒として決定した。

5. 成分分割位置の見直しについて

従来法の「JPI-5S-70-2010 TLC/FIDによるアスファルト4成分分析試験方法」は、「アルミナカラムクロマトグラフによるアスファルト組成分析（JPI-5S-22-83）」との整合性を鑑みて制定しており、各成分の分割位置は、各展開溶媒で展開された位置を基本とし飽和分と芳香族分の間に分割位置を定義している。図-4に従来法の成分分割位置を示す。これに対し、参考文献記載のIP法¹⁾）ならびに中国の公定法²⁾（SH/T0753-2005）など海外の試験法では異なる定義がされている。これらの試験法における成分分割位置を例として、図-5に示す。また、従来法と諸外国の試験法の分割位置の比較を表-2に示す。

図-6に再生用添加剤の成分分割（例）を示す。再生用添加剤ではA1部分に比較的大きなピークが出現するものが確認された。このため、再生用添加剤の測定においては、飽和分と芳香族分の境界をA1-A2からS-A1の間に変更したことにより、分割位置の判断が容

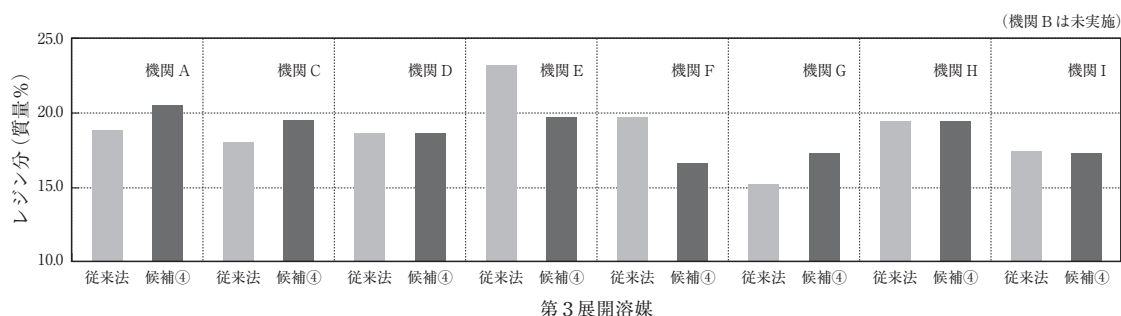


図-3 アスファルト測定における従来法と新法候補④のレジンの値（質量%）の比較

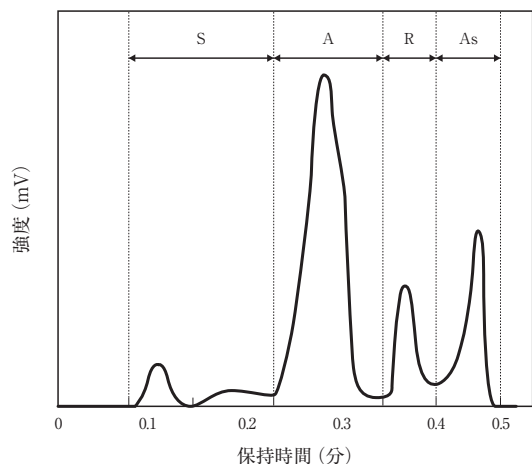


図-4 従来法の成分分割（例）

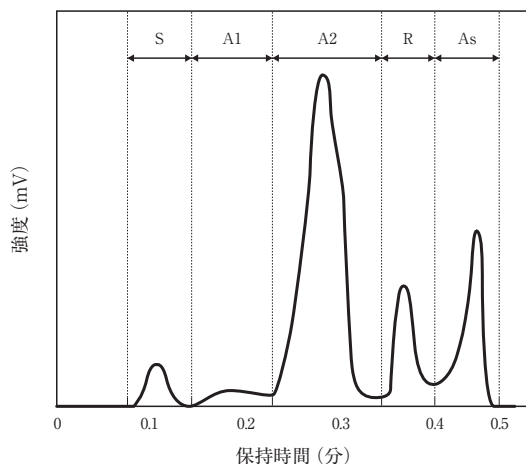


図-5 海外の試験法の成分分割（例）

易となり、照合試験の機関間における測定精度が向上した。

以上より、飽和分と芳香族分の分割位置を現行TLC/FID法のA1-A2の間から諸外国の試験方法と同様にS-A1の間に変更することで、再生用添加剤について測定精度確保と、測定結果の海外の試験法との整合による利用価値向上が図れると考える。なおA1部分の成分については、この成分を分取して定性分析を行い、芳香族分であることを確認している。

6. まとめ

ジクロロメタンの代替溶媒ならびに成分分割位置の検討における照合試験の結果、次のことが分かった。

- アスファルトについて、希釈溶媒にトルエンを選択し、第3展開溶媒に「トルエン／アセトン混合溶媒（容量比60/40）」を用いることで、従来法と同様の測定結果が得られる事を確認した。
- 再生用添加剤について、希釈溶媒にn-ヘキサンを選択し、第3展開溶媒に「トルエン／アセトン混合溶媒（容量比60/40）」を用いることで、従来法と比較して、同様の測定結果が得られることを確認した。なお照合試験により、新法を用いることで、再生用添加剤にも適用可能であることも確認した。
- 海外で用いられている試験法と同様の成分分割位置へ変更することで、アスファルトにおいては従来法と同等の測定精度が確立でき、さらに再生用添加剤においても従来法よりも高い精度で測定が可能であることを確認した。

以上より、ジクロロメタンの代替溶媒として、特定化学物質の指定を受けず、使用者の安全性および作業環境のリスク低減を図ることが可能な溶媒を用いて試験が可能となった。また、従来法と同様な測定結果が得られ、再生用添加剤にも適用可能な測定方法を確立した。

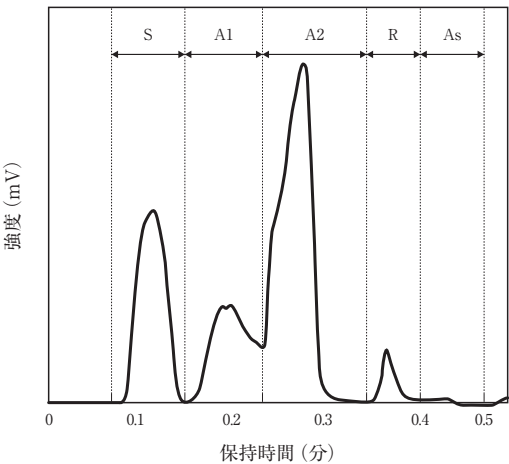
次に、成分分割位置の変更においても、諸外国の測定方法と同様の成分分割により、精度向上に加えて海外規格との整合性も確保できる。

7. 今後の予定

本稿で報告した検討に加え、照合試験の結果より操作方法や試験手順の統一についても確認しており、これらにより、測定精度の向上も合わせて確認できたと考える。

表－2 従来法と諸外国の試験法における分割位置

分割	従来法	諸外国の試験法
S（第1展開で最初に展開された成分）	飽和分	飽和分
A1（第1展開でSの次に展開された成分）		芳香族分
A2（第2展開で展開された成分）		
R（第3展開で展開された成分）	レジン分	レジン分
As（第1～3展開で展開されなかった成分）	アスファルテン分	アスファルテン分



図－6 再生用添加剤の成分分割（例）

今後は、装置整備に必要な日常点検項目の明確化を進め、更なる精度向上を目指す。

TLC/FID法が安全で、汎用性が高く、かつ、精度の良好な試験法へ改正し、より多くの機関で活用されるよう注力していく所存である。

— 参考文献 —

- 1) IP469/01: Determination of saturated,aromatic and polar compounds in petroleum products by thin layer chromatography and flame ionization detection
- 2) SH/T 0753-2005: 潤滑油基油化学族組成測定法 Standard test method for determination of chemical group composition in lube base oil by thin-layer chromatography
- 3) 石油学会規格 JPI-5S-70-2010 TLC/FID法によるアスファルト組成分析試験方法
- 4) 石油学会規格 JPI-5S-2283 アルミナカラムクロマトグラフによるアスファルト組成分析

「アスファルト舗装技術に関する新しいアプローチについて」 ～ EATA2017 および WCPAM2017 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」 ～試験・材料編～

アスファルト舗装技術研究グループは、海外文献の輪読や舗装技術の基礎を中心に勉強会を重ねてきています。若手技術者は、工事応援や現場試験等によるまとまった期間の出張もあるほか、予定を自身で設定しにくい場合もありますが、夏季を中心に少なくとも2箇月に一回程度の会議を開き議論をしています。

今年度は、EATA、WCPAM、ISAP、PIARCなどの国際会議の論文集から、のべ百編超の論文を対象に勉強を進めました。概要把握を経て3つのトピックを選定し、分担して精読し抄訳報文にまとめました。

若手技術者が抱く素朴な疑問に関する質問コーナーでは、技術解説書や既存の質疑集ではあまり取りあげられないような基本的な事柄について、舗装分野以外の技術情報等も含めて丹念に情報を収集し、それぞれの知見と理解を深めるとともに、知識集として毎号まとめてきています。

今回は、試験方法や規格、材料に関する調査結果を報告します。若手研究者視点からの基礎的な疑問を解説したものとなっています。

(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 (国研)土木研究所材料資源研究グループ

上地俊孝 大林道路(株)技術研究所
及川真依 東亜道路工業(株)製品事業本部
掛札さくら 大林道路(株)技術研究所
川島陽子 (国研)土木研究所材料資源研究グループ
木谷 寛 世紀東急工業(株)技術研究所
小林亜湖 東亜道路工業(株)技術研究所
小林靖明 大林道路(株)技術研究所
斉藤夏美 ニチレキ(株)技術研究所
櫻井博章 日進化成(株)技術研究所
塚本康雄 (一社)日本道路建設業協会道路試験所
仲野尚弘 日進化成(株)技術研究所

根元 孝 (一社)日本道路建設業協会道路試験所
野口健太郎 昭和シェル石油(株)中央研究所
平川一成 大成ロテック(株)技術研究所
福山菜美 前田道路(株)技術研究所
藤井洋志 日本道路(株)技術研究所
村井宏美 世紀東急工業(株)技術研究所
桃田大晃 日本道路(株)技術研究所
山田翔平 日本道路(株)技術研究所
好見絵里 鹿島道路(株)技術研究所
渡邊真一 (国研)土木研究所道路技術研究グループ
(2018年11月現在)

アスファルト舗装技術に関する新しいアプローチについて ～ EATA2017 および WCPAM2017 から～

好 見 絵 里 上 地 俊 孝 掛 札 さくら 小 林 靖 明
野 口 健太郎 木 谷 寛 村 井 宏 美 小 林 亜 湖
川 島 陽 子 渡 邊 真 一 斉 藤 夏 実

1. はじめに

2017年3月から2018年3月にかけて行われた舗装に関わる国際会議のうち4つの国際会議から、発表論文106本の論文概要を読み、EATA (European Asphalt Technology Association) 2017 および WCPAM (World Conference on Pavement and A

sset Management) 2017に着目した。

EATAは2004年にイギリスのノッティンガム大学で発足され、ヨーロッパを中心としてアスファルト舗装技術に関する研究をとりまとめている。スイスで開催された2017年の会議では9つのセッションに分かれて134編の投稿論文の中から口頭発表32編、ポス

表－1 カテゴリー①アスファルト再生に関する新たな添加剤および評価手法

カテゴリー①アスファルト再生アスファルトに関する新たな添加剤および評価手法 (左欄上段：原題、左欄下段：和題、中欄：筆者、右欄：会議名)		
Analytical investigation of the impact of a novel bio-based recycling agent on the colloidal stability of aged bitumen／劣化したアスファルトのコロイド安定性に及ぼすバイオ系再生用添加剤の影響に関する分析的研究	H. A. Tabatabaee T. L. Kurth	EATA
Asphalt binder rejuvenation for recycle road materials 再生舗装材料のためのアスファルト再生用添加剤	L. Venturini 他	WCPAM
Asphalt and binder evaluation of asphalt mix with 70% reclaimed asphalt 再生骨材配合率70%の再生アスファルトの性状評価	L. Porot 他	EATA
Evaluation of the degradation of fine asphalt-aggregate mixtures containing high reclaimed asphalt pavement contents 再生骨材の配合率を高めた再生細粒度アスファルト混合物の劣化評価	D. B. Sanchez 他	EATA
Polyfunctional Polymeric Systems for improving asphalt pavement performance through recycling／再生混合物舗装の性能を向上させる多官能性ポリマーの評価	L. Venturinii	WCPAM
Linear Viscoelastic Properties of High Reclaimed Asphalt Content Mixes with Biobinder バイオバインダを用いた高配合率再生アスファルト混合物の線形粘弾性状	A. Carrion 他	EATA

表－2 カテゴリー②X線CTを用いた解析

カテゴリー②X線、CTを用いた解析 (左欄上段：原題、左欄下段：和題、中欄：筆者、右欄：会議名)		
Permeability Flow Measurement for Open-Graded Friction Courses 開粒度アスファルト混合物の透水性評価	V. Senior-Arrieta 他	WCPAM
Influence of Air Voids Characteristics on the Hydraulic Conductivity of Asphalt Mixture アスファルト混合物の透水係数に及ぼす空隙の影響	M. Aboufoul A. Garcia	EATA
A Simple Tracking System for Investigating Cold Mixed Asphalt Behaviour Under Simulated Compaction 模擬転圧下における簡易トラッキングシステムを用いたアスファルト混合物の挙動	E. G. Roozbahany M. Partl	WCPAM

表－3 カテゴリー③アスファルト舗装間に適用する補強シート

カテゴリー③アスファルト舗装間に適用する補強シート (左欄上段：原題、左欄下段：和題、中欄：筆者、右欄：会議名)		
Laboratory evaluation of the flexural properties of membrane-reinforced asphalt systems シート補強したアスファルト舗装の曲げ特性に関する実験の評価	M. Pasetto 他	WCPAM
Long-term pavement performance under the use of asphalt reinforcement interlayer アスファルト舗装間に補強シートを適用した際の長期供用性能	F. Schiffman 他	WCPAM

ター発表33編が発表された。

WCPAMはPIARCが主催する国際会議のひとつであり、道路や空港舗装などに関わる舗装技術や管理ツールについての発表がなされている。2017年の会議はイタリアで開催された。

上述の2つの国際会議で報告された論文を中温化技術や再生技術、試験方法毎にカテゴリ分けした。その中から、日本のアスファルト舗装研究においても注目されているものや、今後日本での応用が期待される試験法として、次に示す3つのカテゴリを選定した。

- ①アスファルト再生に関する新たな添加剤および評価手法
- ②X線CTを用いた解析
- ③アスファルト舗装間に適用する補強シート

表-1にカテゴリ①の紹介論文を示す。カテゴリ①では、植物油系添加剤や界面活性剤、多官能ポリマー等、国内ではあまり取り扱われていないタイプの再生用添加剤に関する論文を選定した。これらの再生用添加剤によるアスファルトの性状回復効果を検討した論文を紹介する。

表-2にカテゴリ②の紹介論文を示す。国内でもCT等によるアスファルト混合物の品質評価は行われてはいるものの、件数は多くはない。そのため、海外での研究動向は国内のX線CTによる研究の参考になるものと考えられる。紹介する論文の3報のうちの2報は、X線CTスキャンにより、アスファルト混合物の透水性能を調べるものである。1つは、リアルタイムに流体の状況を観察することで、アスファルト混合物内部の透水性能を評価している。また、もう1報はX線解析により空隙率を調べ、透水試験の結果と併せて空隙率と透水係数と相関性について検証している。この他に、骨材流動性の評価にX線CTを利用した文献も紹介する。

表-3にカテゴリ③の紹介論文を示す。カテゴリ③のアスファルト舗装間に適用する補強シートは、舗装層間をシートで補強することによりアスファルト舗装の性能向上を目指したものであり、曲げ強度や長期供用性を評価している。国内では珍しい評価観点や材料を用いた研究であったため、今後の舗装構造を考える上で非常に興味深いと考え、紹介する論文として選定した。

以上3つのカテゴリから計11報の論文について紹介する。紹介する論文は、いずれもわが国で需要のある内容だと考える。これらの報文が、今後のアスファルト舗装技術の発展に役立てば幸いである。

2. アスファルト再生に関する新たな添加剤および評価手法

劣化したアスファルトのコロイド安定性に及ぼすバイオ系再生用添加剤の影響に関する分析的研究

原題：ANALYTICAL INVESTIGATION OF THE IMPACT OF A NOVEL BIO-BASED RECYCLING AGENT ON THE COLLOIDAL STABILITY OF AGED BITUMEN

材料：植物油系再生用添加剤

目的：再生用添加剤で再生したアスファルトの性状評価

(1) はじめに

多くの種類の再生用添加剤が、劣化したアスファルトを改変し、再生混合物の長期耐久性を保証するために使用されてきたが、「再生」の定義やメカニズムは不明である。本研究では、化学分析、熱量測定および原子間力顕微鏡を利用し、アスファルトのコロイド安定性および相溶性に関して、植物油系の再生用添加剤の影響を評価した。

(2) 組成分析

アスファルトに再生用添加剤を添加して組成分析を実施した。その結果、再生用添加剤はアスファルト中のマルテン分を増加させ、アスファルテン分対マルテン分比を減少させることが分かった。

また、「Gaestel Index」は分散した極性流体モデルを用いて、構成分子の極性の分散性を示すための指標であり、コロイドモデルを用いてアスファルトを評価する時には「コロイド不安定指数」(以下CII)と呼ばれる。これは、芳香族分とレジンの合計に対するアスファルテン分と飽和分の合計の比として計算され、指数が小さいほど安定性が高く、分散性が良好であることを示す。

図-1は、再生骨材から回収したアスファルトに再生用添加剤を加えることにより、CIIが著しく減少したことを示している。また、これらのアスファルトを促進劣化させた試料とのCIIの差から、再生アスファルトの安定性はアスファルトと同等またはそれより優れていると言える。

(3) 原子間力顕微鏡およびコロイド安定性

コロイド安定性およびアスファルト成分の相対的

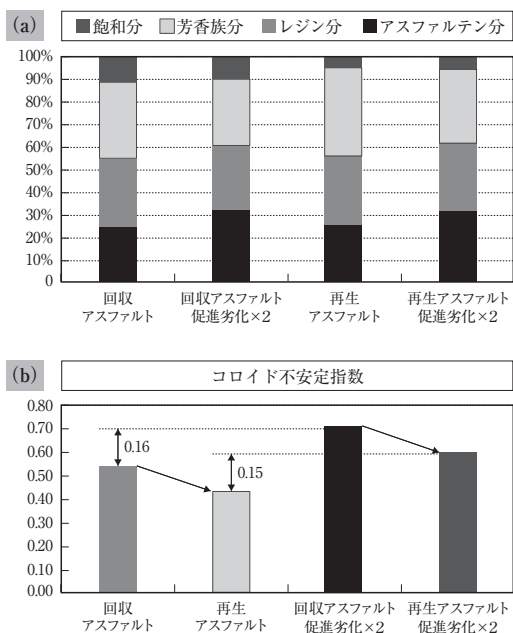


図-1 組成分析結果

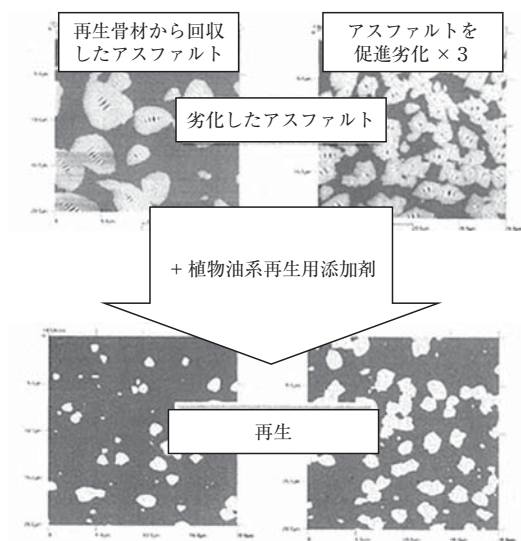


図-2 AFM画像

バランスは、原子間力顕微鏡（以下AFM）を用いて確認される蜂構造の増加に関連している。図-2に示すAFM結果から、再生用添加剤により蜂構造が減少したことが分かる。

(4) 熱反応への影響

アスファルトの物理的硬化およびガラス転移の速度は、アスファルトの形態および結晶化度と関連してお

り、劣化および再生に影響を受けることが示されている。Perkin Elmer 8000型示差走査熱量計を用いて、ガラス転移温度を測定した結果、再生用添加剤を添加したアスファルトは -24°C であり、アスファルトのみの場合と比較して低温に変化した。また -24°C で24時間の養生前後のクリープスティフネスの差は再生用添加剤を用いた方が小さく、物理的な硬化は生じなかった。

(5) おわりに

検討の結果、CIIは、アスファルトの再生に対して、劣化の影響を観察するのに有益な指標であることを示した。また、使用した再生用添加剤は、CIIの増加傾向から良好なコロイド安定性が確認でき、熱量分析によりガラス転移の改良、ガラス転移温度付近で硬化による影響を受けにくいことを確認した。

さらに、検討から得たメカニズムに基づいて、再生用添加剤を「可溶性軟化剤」「相溶化剤」「不溶性軟化剤」の3種類に分類することを提案した。

再生舗装材料のためのアスファルト再生用添加剤

原題：ASPHALT BINDER REJUVENATION FOR RECYCLE ROAD MATERIALS

材料：アミン系界面活性剤

界面活性剤を含む植物油

目的：酸化したアスファルトの再生に最適な添加剤の調査

(1) はじめに

この研究では、2種類の再生用添加剤が、酸化したアスファルトに与える影響を比較評価した。

(2) 試験条件

用いた再生用添加剤と試験項目を以下に示す。

○再生用添加剤1：アミン系界面活性剤

○再生用添加剤2：界面活性剤を含む植物油

○試験：針入度試験 (EN 1426)、軟化点試験 (EN 1427)、粘度試験 (EN 13302)、BBR試験 (AASHTO T313) およびSARA分析 (ASTM D4124-09)

※再生アスファルトの長期耐久性を確認するため、加圧劣化試験（以下PAV劣化）を1回または2回行った後にも、上記の各試験を行った。

各試験の結果から、再生剤指数（以下RI）値を求め、その値を比較することで、再生用添加剤の効果を評価した。RI値の計算式を、式(1)に表す。

$$RI = \pm (1 - P_{\text{sample analyzed}} / P_{\text{sample TQ}}) \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

(RI 値が大きいほど再生剤の効果が高い)

$P_{\text{sample analyzed}}$: 各試験結果の値

$P_{\text{sample TQ}}$: 酸化アスファルトの各試験結果の値

(3) 試験結果

針入度試験, 軟化点試験および, SARA 分析の結果から, 式(1)に従って RI 値を求め, 表-1 にまとめる。

表-1 の RI 値より, 各試験における添加剤 1 または 2 の再生効果を以下の様に評価した。

針入度: 添加剤 1 が最も高い RI 値を示した。

軟化点: 添加剤 1 が最も高い RI 値を示した。

SARA 分析: 添加剤 1 または 2 によって, アスファルテン含有量を減少させた。添加剤 2 は PAV 劣化を 2 回行っても, アスファルテン含有量を減少させた。

図-3 に, BBR 試験の結果から求めた低温時における亀裂が生じる臨界温度を示す。

図-3 より, 添加剤 1 が再生アスファルトの低温挙動を大幅に改善した。また, 長期にわたって良好な曲げクリープ特性を維持するためには, 4 % 以上の添加剤が必要ということが分かった。

粘度試験に関しては, 酸化アスファルトに添加剤 1 を加えると, アスファルトの粘度が低下した。また,

表-1 各試験の再生材指数 RI 値

酸化アスファルトへの添加量	針入度試験		
	再生アスファルト	PAV×1 回	PAV×2 回
添加剤 1 (2 %)	44.3	-11.4	-32.5
添加剤 1 (4 %)	47.1	12.2	-12.8
添加剤 2 (2 %)	23.9	-23.5	-35.7
添加剤 2 (4 %)	45.1	9.8	-31.8

酸化アスファルトへの添加量	軟化点試験		
	再生アスファルト	PAV×1 回	PAV×2 回
添加剤 1 (2 %)	4.6	-8.8	-19.3
添加剤 1 (4 %)	10.2	-8.1	-14.4
添加剤 2 (2 %)	0.4	-6.7	-23.5
添加剤 2 (4 %)	4.6	-10.9	-20.4

酸化アスファルトへの添加量	SARA 分析	
	再生アスファルト	PAV×2 回
添加剤 1 (2 %)	8.4	-25.5
添加剤 1 (4 %)	14.1	-17.9
添加剤 2 (2 %)	10.3	-3.9
添加剤 2 (4 %)	15	-0.6

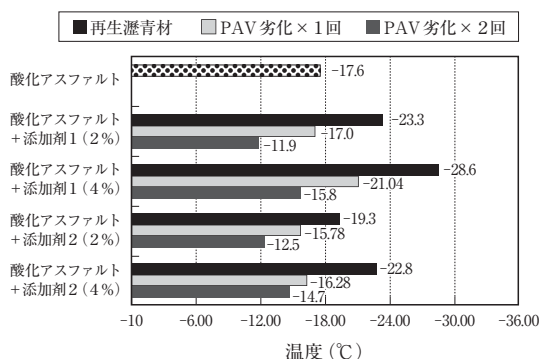


図-3 再生アスファルトの亀裂が生じる臨界温度

添加剤 1 は PAV 劣化による粘度の増加を抑えた。

(4) おわりに

酸化アスファルトに添加剤 1 または 2 を添加することにより, 各物性が以下の様になった。

○針入度の増加および軟化点温度が低下した。

○動的粘度とアスファルテン含有量は減少した。

○再生アスファルト合材の欠点である低温亀裂抵抗性は, 添加剤 1 または 2 によって改善される。

○長期的に再生効果を維持するには, 添加剤の含有量を高くする必要がある。

(5) 翻訳者コメント

再生用添加剤に関する各試験の結果から, RI 値を求めることで再生効果を比較することができるため, 評価方法として有用であると思う。

再生骨材配合率 70% の 再生アスファルトの性状評価

原題: ASPHALT AND BINDER EVALUATION OF ASPHALT MIX WITH 70% RECLAIMED ASPHALT

材料: 生物由来の再生用添加剤

目的: 再生用添加剤による

低温下の性状回復効果の検証

(1) はじめに

本研究では, 生物由来の再生用添加剤を用いた再生アスファルトの性状評価を行った。アスファルト混合物の性状評価として, スティフネスモジュラスおよび熱応力試験により低温でのひび割れ抵抗性について調べ, アスファルトについては, 動的粘弾性試験や BBR 試験を実施した。これらの試験を通じて, 低温下での性状回復に着目した。

(2) 再生用添加剤

本研究で使用した再生用添加剤は、両親媒性的な化学構造を有し、マルテン分の溶解性を高めて極性画分を分散させる。それゆえ、材料の柔軟性を回復させることで低温域であってもひび割れ抵抗性に効果的であることが期待された。

(3) アスファルト混合物試験

アスファルト混合物の性状試験として、スティフネスモジュラスおよび熱応力試験を実施した。スティフネスモジュラスの結果を図-4に示す。

再生混合物（添加剤無し）（以下、Mix2）のスティフネスモジュラスが最も高くなった。また、再生混合物（添加剤有り）（以下、Mix3）のスティフネスモジュラスは低温域で新規アスファルト混合物（以下、Mix1）よりも低く、ひび割れしにくい傾向が得られた。

それぞれの混合物の熱応力試験の結果を図-5に示す。Mix3は破壊時の応力が高く、破壊点と転移点が新規アスファルト混合物であるMix1程度に回復していることが明らかとなった。

(4) アスファルト試験

図-6の動的粘弾性試験の結果から、Mix3の複素

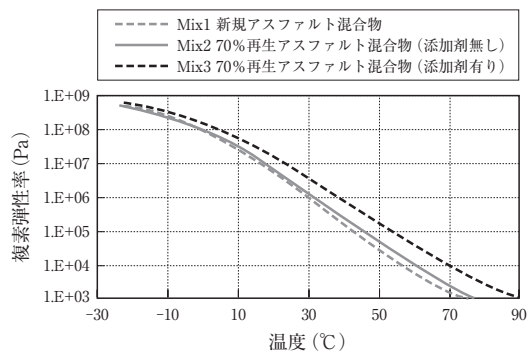


図-6 複素弾性率

弾性率の変化が低温側にシフトし、Mix1と同程度に回復したことを確認した。なお、高温域の複素弾性率の値はやや高く、低温域の値はやや低い傾向であった。したがって、アスファルトの試験からも、前述のアスファルト混合物の試験結果と同様の傾向が得られた。

(5) おわりに

アスファルト混合物およびアスファルトの試験結果から、生物由来の再生用添加剤を用いることで、低温性状が回復し得ることが明らかとなった。この効果は、再生用添加剤の特有の化学性状に起因するものであり、高い極性を示すアスファルテン分子の凝集を抑制しているためと考えられた。

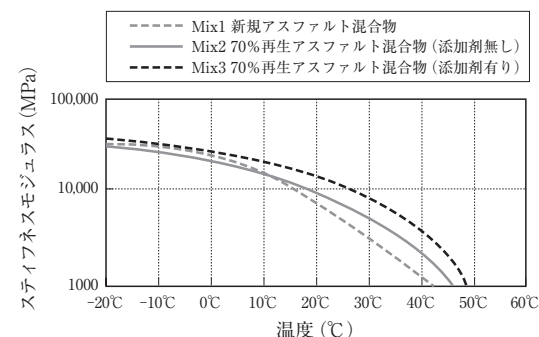


図-4 スティフネスモジュラス

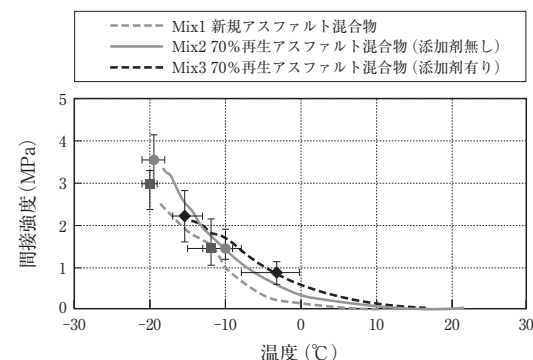


図-5 熱応力性状

再生骨材の配合率を高めた再生細粒度アスファルト混合物の劣化評価

原題：EVALUATION OF THE DEGRADATION OF FINE ASPHALT-AGGREGATE MIXTURES CONTAINING HIGH RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT CONTENTS

材料：再生骨材、再生材

目的：再生骨材の配合率および添加剤の硬さが粘弾性状に与える影響の把握

(1) はじめに

本研究では、再生骨材（以下、RAP）を混入したアスファルト混合物と、劣化／未劣化を想定した硬さの異なる加熱アスファルト混合物（以下、HMA）の違いを把握するため、それぞれについて下記に示す粘弾性状および疲労抵抗性を評価した。

- ①マスターカーブから得られる線形粘弾性
- ②破壊モデルに基づいた疲労劣化特性

③動的機械分析による混合物の疲労抵抗性

(2) マスターカーブから得られる線形粘弾性

RAP100%の供試体および硬さの異なる再生骨材を添加した混合物供試体 (RAP₁ および RAP₂, 硬さは RAP₁ > RAP₂) を作製し, せん断試験の周波数・温度掃引試験により複素弾性率 G^* を測定した。

図-7 に, 基準温度 25℃ における G^* のマスターカーブを示す。これにより, RAP の含有率が高いほど弾性率が増加することがわかった。

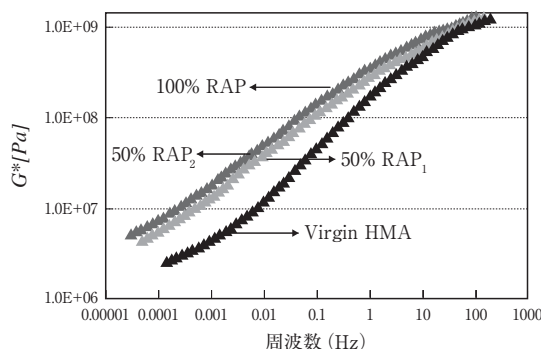


図-7 基準温度 25℃ のマスターカーブ

(3) 破壊モデルに基づいた疲労劣化特性

$\Delta R(N)$ は, 亀裂進展指標であり, この値が小さいほど累積疲労ダメージが少なく, 亀裂が進展しにくいと判断できる。

図-8 に, RAP およびバージン混合物の $\Delta R(N)$ の結果を示す。累積疲労ダメージは, RAP を 50% 加えると小さくなるが, 100% 加えるとバージン HMA よりも大きくなることがわかった。

(4) 動的機械分析による混合物の疲労抵抗性

N_{40} は, 载荷初期の弾性率 G^* が繰り返し载荷により

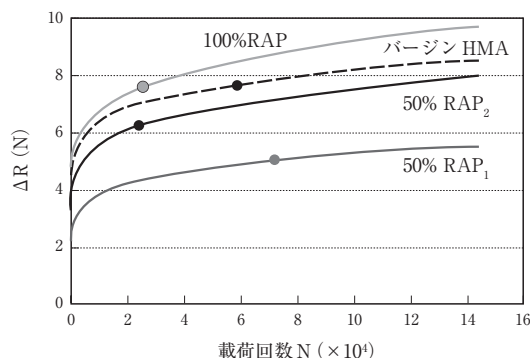


図-8 RAP 混合物の亀裂進展指標 $\Delta R(N)$ の結果

40% まで低下した際の载荷回数であり, 内部構造に生じる相対的な損傷の評価に有用である。つまり, N_{40} が大きいほど疲労抵抗性の高い混合物と判断できる。

図-9 に各混合物の N_{40} の比較結果を示す。

N_{40} は, 50%RAP₁ > バージン HMA > 50%RAP₂ = 100%RAP になった。

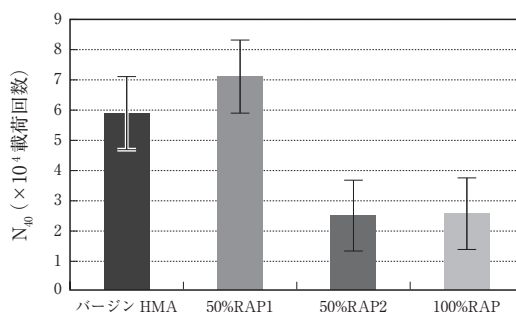


図-9 RAP 混合物における疲労抵抗性指標 N_{40} の比較

(5) おわりに

G^* のマスターカーブから, RAP の含有率が高い混合物ほど弾性率が増加することがわかった。また, $\Delta R(N)$ と N_{40} の結果より, 50%RAP₁ が最も疲労抵抗性に優れており, RAP₁ と RAP₂ の結果から軟質の RAP を使用することで疲労抵抗性が向上することが分かった。

(6) 翻訳者コメント

混合物のひび割れ抵抗性, 接着性を粘弾性状と表面自由エネルギーから評価している点が面白いと感じた。

再生混合物舗装の性能を向上させる多官能性ポリマーの評価

原題: POLYFUNCTIONAL POLYMERIC SYSTEMS FOR IMPROVING ASPHALT PAVEMENT PERFORMANCE THROUGH RECYCLING

材料: 多官能性ポリマー

目的: 多官能性ポリマーによる

再生アスファルト混合物の性能向上

(1) はじめに

この研究では, ポリマー, 合成繊維, セルロース等によって製造された多官能性ポリマー (以下, PPS) を使用して, 再生混合物の性能を向上させることを目的とした。再生骨材配合率 30%, 50% に PPS を 0.5%, 0.8%

添加した時の物理性状を評価した。混合物中の再生骨材配合率ならびにPPS添加量を表－2に、PPSの外見を写真－1に示す。

(1) 締固め特性

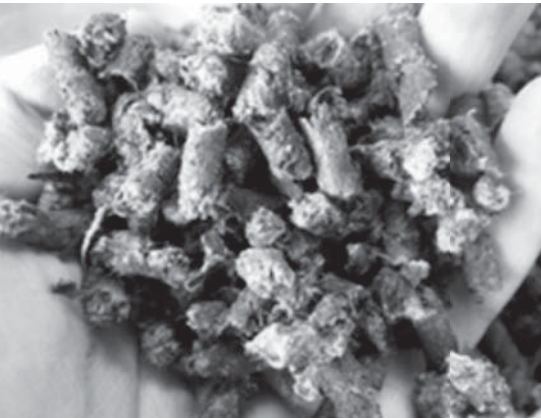
4種類全ての混合物に関して、転圧温度を40℃低減させた場合でも、目標の空隙率、締固め度が得られた。締固め試験から、本検討で用いた4種類の再生混合物は、新規混合物と比較して、施工時のローラーによる転圧回数を減らせる結果となった。

(2) 物理性状

再生混合物の物理性状を、間接引張強度試験 (ITS)、水分感受性試験 (ITSR)、スティフネス試験によって評価した。再生混合物中のPPS添加量を増加させると、0℃、25℃、40℃全ての温度で間接引張強度が低下した。水分感受性試験を行った結果、全再生混合物の試

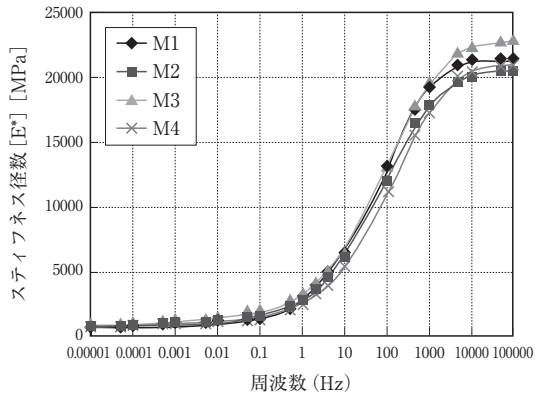
表－2 再生混合物の概要

No.	混合物概要	As (%) (対再生混合物)	PPS (%) (対骨材)	再生骨材 (%) (対再生混合物)	再生用添加剤 (%) (対再生骨材)
M1	再生骨材 30% PPS : 0.5%	4.5	0.5	30	0.15
M2	再生骨材 30% PPS : 0.8%	4.5	0.8	30	0.15
M3	再生骨材 50% PPS : 0.5%	4.5	0.5	50	0.15
M4	再生骨材 50% PPS : 0.8%	4.5	0.8	50	0.15



写真－1 PPS (多官能性ポリマー)

験値は85～107%であり、耐水性を有していた。また、再生混合物のスティフネスを0、25、40℃で試験した結果、再生骨材配合率30% (M1、M2) では、PPS添加量が異なっても同様の結果が得られた。図－10に周波数に対するスティフネス係数の結果を示す。高周波数側では再生骨材配合率よりもPPS添加量が、スティフネス係数に影響を及ぼし、再生骨材配合率一定ではPPS量によって減少した。



図－10 マスターカーブ (25℃)

再生混合物の耐久性を、間接引張試験と動的クリープ試験によって評価した。間接引張試験を行った結果、再生骨材配合率30% (M1、M2) では、PPS添加量を増やすことで耐久性は2倍に増加したが、再生骨材量50% (M3、M4) では、PPS添加量を増やすと耐久性は30%減少した。動的クリープ試験では、再生骨材量30%の場合は、PPS量を増やすことで、動的安定度が向上したが、再生骨材量50%では違いが見られなかった。

(3) おわりに

適切な量のPPSを添加することで、再生混合物であっても、転圧温度を40℃程度低減することが可能であった。また、再生混合物中にPPSを添加することで、疲労抵抗性および耐流動性の向上を図れるが、これは再生混合物の設計を適切に行った場合に限る。

(4) 翻訳者コメント

多官能性ポリマーの添加は、再生混合物の品質向上、高耐久化を実現するため、今後の参考になる文献と言える。

バイオバインダを用いた 高配合率再生アスファルト混合物の 線形粘弾性状

原題：LINEAR VISCOELASTIC PROPERTIES
OF HIGH RECLAIMED ASPHALT
CONTENT MIXES WITH BIOBINDER

試験：バイオバインダ

目的：バイオバインダの粘弾性状の把握

(1) はじめに

本研究では、生物由来のバイオバインダの粘弾性状を調べた。

(2) 材料

今回用いたバイオバインダは、樹脂系のバイオバインダ（以下、BB）および、植物系のバイオファルト（以下、BP）である。今回は、BB、BPおよび、比較用のポリマー改質バインダ（以下、Ref）、さらにこれらと回収アスファルト（以下、RA）を混合した混合バインダ（RA+BB）、（RA+BP）、（RA+Ref）についてDSR試験を行った。各バインダの性状は表－3に示すとおりである。

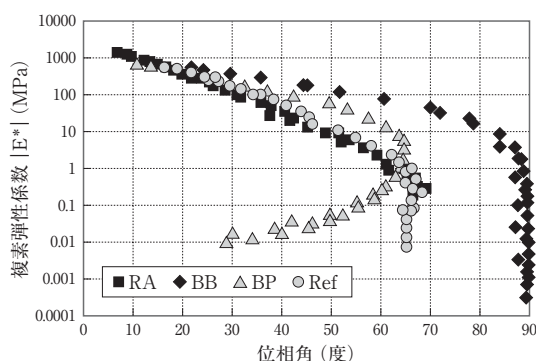
なお、試験温度は-10～60℃、載荷周波数は1～25Hzとした。

表－3 各バインダの性状

バインダ		針入度	軟化点
再生As	RA	9	75.8
バイオバインダ	BB	235	40.0
バイオファルト	BP	147	73.5
改質As	Ref	85	67.0
再生AS+バイオバインダ	RA+BB	69	45.0
再生AS+バイオファルト	RA+BP	63	62.0
再生AS+改質As	RA+Ref	37	70.0

(3) 試験結果

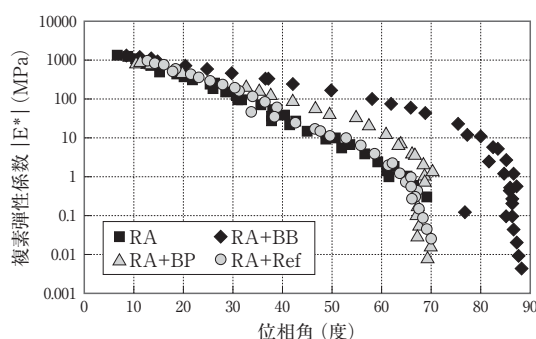
図－11に単体のバインダRA、BB、BP、RefのDSR試験結果を示す。BPの試験結果に着目すると、試験温度の上昇に伴い位相角は増加傾向からピーク後に減少傾向となる。これはBPに含まれるポリマーの影響により、高温域におけるBPの弾性挙動が卓越したものと考えられる。一方、BBはほとんどの試験温度範囲で高い位相角となった。これはBBに含まれる樹脂および油脂の影響と考えられ、BBが非弾性的材料であることが明らかとなった。



図－11 各バインダのDSR試験結果

図－12に混合バインダの試験結果を示す。RA+BBの試験結果はBB単体の試験結果に比べ、位相角が低減しており、BB単体よりも弾性的な挙動となっている。

また、RAはBBを加えたことで、より粘性的な材料に変化したと言える。



図－12 各混合バインダのDSR試験結果

次に、各バインダを混合した再生アスファルト混合物の2点曲げ試験結果を表－4に示す。

表－4より、BBを添加した再生アスファルト混合物は高い弾性係数を示した。

表－4 再生AS混合物の2点曲げ試験結果

混合物	弾性係数 (MPa)	位相角 (°)
BB混合物	16,587	21.9
BP混合物	12,416	25.8
Ref混合物	13,381	16.0

(4) おわりに

以上のことから、バイオバインダは再生添加剤としての効果があり、さらに混合物の剛性を増加させることが明らかとなった。

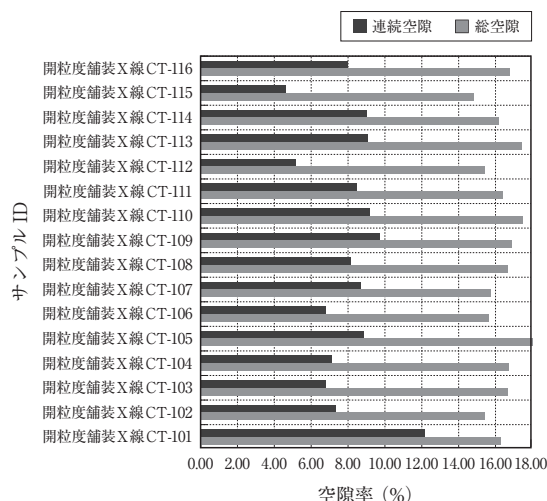
3. X線CTを用いた解析

開粒度アスファルト混合物の透水性評価

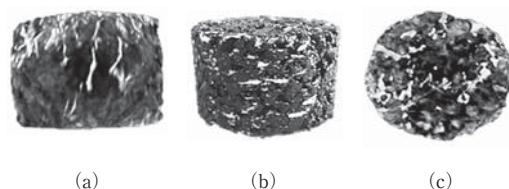
原題：PERMEABILITY FLOW MEASUREMENT FOR OPEN-GRADED FRICTION COURSES

試験：コンピュータトモグラフィ (CT)

目的：開粒度舗装の透水性能の評価



図－1 水が透過可能な連続空隙および総空隙



写真－2 開粒度舗装の画像解析

ではなく、総空隙率の算出にのみ使用される独立した空隙であることが分かる。写真－2 (b) は、RCTAで3D画像に再構成し、内部構造およびその空隙部分を造影剤で色別したものであり、独立空隙や移動する流体の経路も確認することができる。最後に、写真－2 (c) は、サンプルの上面を示したもので、空隙が満たされた状態を確認することができる。

RCTAは、リアルタイムに画像取得が行われるため、流路は写真－2に示す2D画像よりもスクリーン上でより容易に観察することが可能である。

(5) おわりに

本研究はRCTAにより、OGFCの内部構造を評価することができ、混合物中の総空隙と水が透過可能な連続空隙の差異を示した。また、造影剤が流れる経路をリアルタイムで表示することにより、空隙分布がOGFCの透水性能に与える影響の評価に利用することができる。

(6) 翻訳者コメント

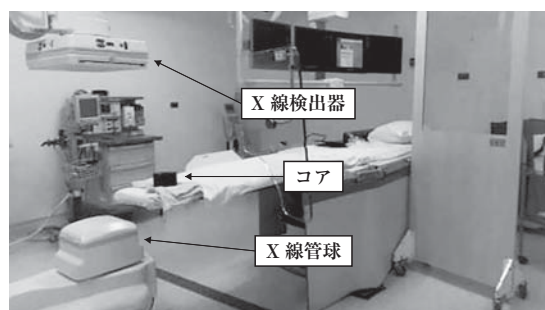
非常に見威力的な評価ではあるが、設備投資がかかるため、限られた場所でのしか検証を行うことができないのが残念である。

(1) はじめに

この研究は、開粒度舗装（以下、OGFC）のサンプルコア（以下、コア）を対象に、透水性能の評価を目的として、X線CTスキャン（回転式コンピュータ断層撮影、以下、RCTA）および画像解析を実施したものである。

(2) 検査機械

コアをスキャンするのに使用したRCTA（写真－1）は、リアルタイムにコア内部を通過する流体の状況をスクリーンで観察することができるものである。



写真－1 RCTA（回転式CT）による作業状況

(3) RCTAによる空隙の観察

図－1は、混合物中の空隙と水が透過可能な連続空隙の部分の割合を示している。

連続空隙部分は、全空隙の約50%に相当し、これは水の透過が可能な複数の空隙が連続している事実と一致する。その結果、総空隙からOGFCの透水性能を評価することは適切ではないが、連続空隙の割合または有効な空隙からOGFCの透水性能を評価することは有効な手段といえる。

なお、全てのサンプルは同じアスファルト量であったが、空隙率は異なっていた。

(4) 画像解析

写真－2 (a) に、転圧されたOGFCサンプルを示す。サンプル表面の空隙に注目すると、透水に有効な空隙

アスファルト混合物の透水係数に及ぼす空隙の影響

原題：INFLUENCE OF AIR VOIDS CHARACTERISTICS ON THE HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF ASPHALT MIXTURE

試験：コンピュータトモグラフィー (CT)

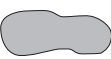
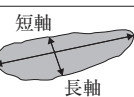
目的：空隙の形状特性が透水性能に与える影響の把握

(1) はじめに

アスファルト舗装の透水性能は、アスファルト混合物の空隙率を高めることによって付与される。

本論文では、X線解析により表-1に示すような混合物中の空隙に関するさまざまな指標を抽出し、透水係数との関係を調べた結果を報告する。

表-1 混合物の空隙形状に関する指標

	式	大	小
周の粗さ	$\frac{4\pi \times \text{面積}}{\text{周囲長}^2}$		
対称性	$\frac{4 \times \text{面積}}{\pi \times \text{長軸}^2}$		
アスペクト比	$\frac{\text{長軸}}{\text{短軸}}$		

(2) 透水試験

透水試験は、以下に示す方法で実施した。

- ①供試体を12時間水中養生した後、供試体側面をラテックスで覆いゴムシリンダ内に固定する。
- ②供試体とシリンダの隙間にシリコンを注入し、下方からのみ排水可能とする。
- ③500mlの水が供試体を通過するのにかかる時間tを測定する。

透水係数kは、以下に示す式により算出した。

$$K = \frac{aL}{At} \times \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

a：目盛管内側の断面積 (cm²)

L：供試体の厚さ (cm)

A：供試体の断面積 (cm²)

h₁・h₂：入口・出口の水頭

(3) 空隙率とオイラー数の関係

図-2にオイラー数と空隙率の関係を示す。空隙率13.7%の前後でオイラー数の正負が入れ替わっていることから、混合物の空隙率が13.7%を超えると空隙の連続性が大きく変化することが示唆された。

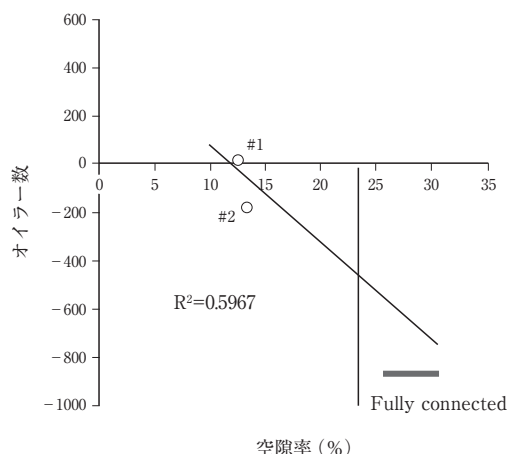


図-2 空隙率とオイラー数の関係

(4) 空隙の3D構造

図-3にサンプル#1および#2における空隙の3D構造を示す。サンプル#1と#2はそれぞれ空隙率の異なる供試体であり、空隙率はサンプル#1で10.6%、サンプル#2では13.7%であった。なお、図中の黒い部分は空隙を示している。

図-3の結果から、空隙率13.7%で空隙の連続性が増すことにより透水性能が向上することが示唆された。

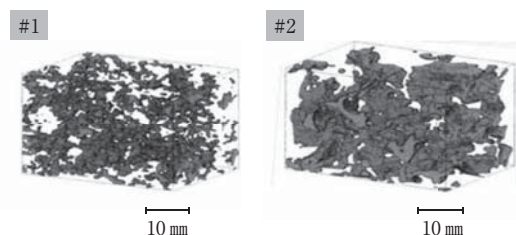


図-3 サンプル#1および#2の空隙の3D構造

(4) 空隙率と透水係数の関係

図-4に空隙率と透水係数の関係を示す。

アスファルト混合物の透水係数は、空隙率と高い相関性を有し、空隙に関するその他のファクターは、透水係数には直接的な影響を与えないことがわかった。

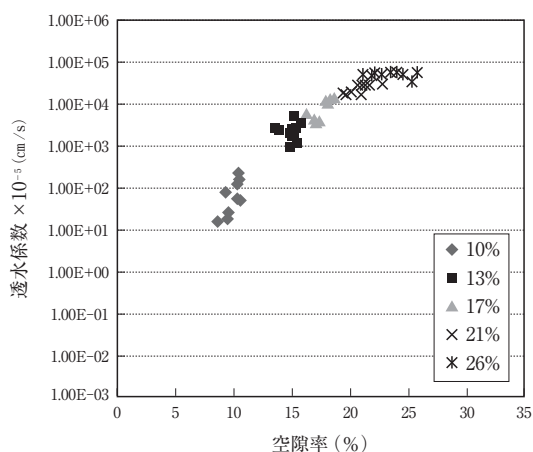


図-4 サンプル #1 および #2 の空隙の 3D 構造

(5) おわりに

X線解析および透水試験の結果、空隙率が一定以上になると空隙の連続性が急激に増加し、それにより透水係数が大きくなることが示唆された。

(6) 翻訳者コメント

舗装のプリスタリング抑制などにおいて重要とされる透水性能について、X線解析の結果から評価しようとしており、興味深いテーマであると感じた。

模擬転圧下における 簡易トラッキングシステムを用いた アスファルト混合物の挙動

原題：A SIMPLE TRACKING SYSTEM FOR
INVESTIGATING COLD MIXED ASPHALT
BEHAVIOUR UNDER SIMULATED
COMPACTION

試験：コンピュータトモグラフィ (CT)

目的：混合物の転圧状況を再現し、骨材の流動性を
評価する

(1) はじめに

通常、アスファルト混合物の敷きならし、および転圧はファルト混合物の温度に依存して行われる。しかし、温度に基づく転圧では骨材の破砕などの過剰転圧が懸念される。そのため、適切に転圧することは、道路の早期破壊の予防につながると考えられる。本研究では、常温アスファルト混合物を対象に、自動転圧機にて現場での転圧状況を再現し、作業性等の評価を

行った。X線コンピュータ断層撮影 (以下、CT) は、現場からコアを採取し解析するため、流動プロセスの評価は難しく、現場での使用は容易でない。そこで、現場における転圧中の混合物の挙動を評価するため、転圧フロー試験 (Compaction Flow Test) (以下、CFT) を行い、CT との比較評価を行った。

(2) 試験方法

試験に用いた混合物は 4 種とし、粗粒度混合物 0-16mm の 2 粒度 (new/old) と、細粒度混合物 0-5mm と 0-4mm の 2 粒度を用いた。なお、粗粒度混合物の 2 粒度は、新しい粒度 (new) と、最近では使用されていない廃れた粒度 (old) の 2 種類である。

図-5 に CTF のスキームを、写真-3 に試験状況を示す。CFT と同時に、X 線 CT 装置を用いて 2 次元 X 線画像を得た。各試験後、供試体内に設置した磁石の位置から、x-y 軸の水平移動距離を測定し、X 線画像のデータと比較を行った。

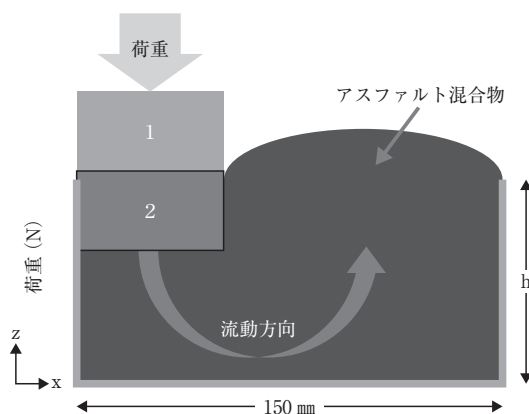


図-5 CFT のスキーム

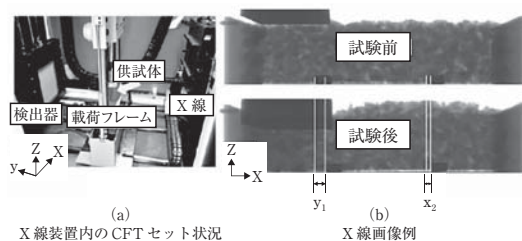


写真-3 CFT の試験状況

(3) CFT と X 線 CT 法の結果評価

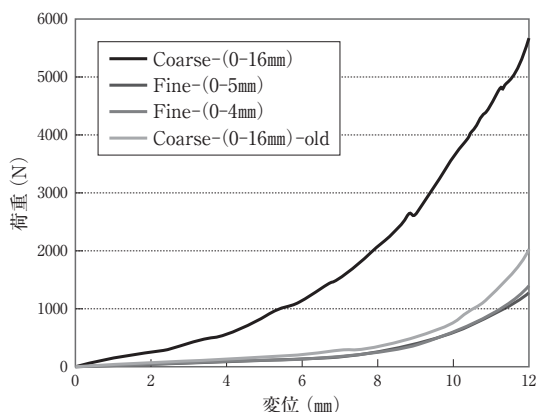
試験は 19 回行い、変位と荷重を測定した。表-2 に X 線 CT 法と CFT を用いた変位の平均を、図-6 に CFT による荷重と変位のグラフを示す。新しい粒

度の粗粒度混合物（new）は細粒度混合物と比較して、やや変位が多くなり、荷重も高くなった様子が観察された。

一方、古い粒度の粗粒度混合物（old）は、他の混合物と比較して荷重の載荷箇所に近い X_1 の動きが小さく、荷重が低くなった。このことから、粗粒度混合物（old）の骨材粒度には細粒分が多く含まれていると考えられ、転圧の際、骨材が動きにくくなり、作業性の低下が示唆された。

表－２ 各混合物の変位位置ム

測定回数	サンプル名	X線CT 変位 (mm)		CFT試験 変位 (mm)	
		X_1	X_2	X'_1	X'_2
4	Fine-(0-5mm)	8.5	1.4	9.4	2.3
5	Fine-(0-4mm)	8.6	1	8.4	2.5
6	Coarse-(0-16mm)	9	2.2	9.8	3.8
4	Coarse-(0-16mm)-old	7.4	0.2	6.5	0.5



図－６ CFTの荷重－変位曲線

さらに、CFTとX線CTとの変位差の結果を比較すると、最大で1.6mmであったが、この差は測定誤差の範囲と考えられる。以上のことから、混合物の作業性を比較するにあたり、磁石を用いたCFTは適切な方法であることが示された。

(4) おわりに

CFTは、粗粒度および細粒度の両方の粒度を持つ常温アスファルト混合物の流動挙動を調べるにあたり、効率的に用いられことが示唆された。また、X線CT法と差異がほとんど見られなかったことから、作業性の評価にも有用であることがわかった。

4. アスファルト舗装間に適用する補強シート

シート補強したアスファルト舗装の曲げ特性に関する実験的評価

原題：LABORATORY EVALUATION OF THE FLEXURAL PROPERTIES OF MEMBRANE-REINFORCED ASPHALT SYSTEMS

試験：Geogridまたは不織布を使用したアスファルト系の複合シート

目的：構造体としての疲労抵抗性向上

(1) はじめに

アスファルト系の複合シートは、舗装のひび割れ抵抗性を改善するのに有効である。特に、Geogridまたは不織布で強化したアスファルト系複合シートは、強化材の引張特性と、アスファルトの応力緩和特性および防水効果を組み合わせることができる。本研究では、それらの曲げ特性の評価を目的として、アスファルト系複合シートを用いて2層構造供試体を作製し、動的4点曲げ試験（EN 12697/24およびEN 12697/26）を実施した。

(2) 試験方法

3つのアスファルト系複合シート（表－1）を使用した。さらに、上層混合物にはストレートアスファルト（P）と改質アスファルト（M）使用した2種類の混合物を準備し、表－2に示す組み合わせで2層構造供試体を作製した。なお、複合シートを適用しない構成についてのみ上層と下層の層間にタックコートを使用した。

疲労抵抗性の評価は、20℃において歪み制御モードで動的4点曲げ試験を実施した。3つの歪振幅

表－１ 複合シートの種類

複合シートの表記	Asの改質材	補強材の種類	引張強度 L/T [kN/m]
S	SBS	－	8/4
F	SBS/APP	ガラス繊維連続布	20/20
G	SBS	ガラス繊維グリッド	20/20

表－２ 供試体の構成

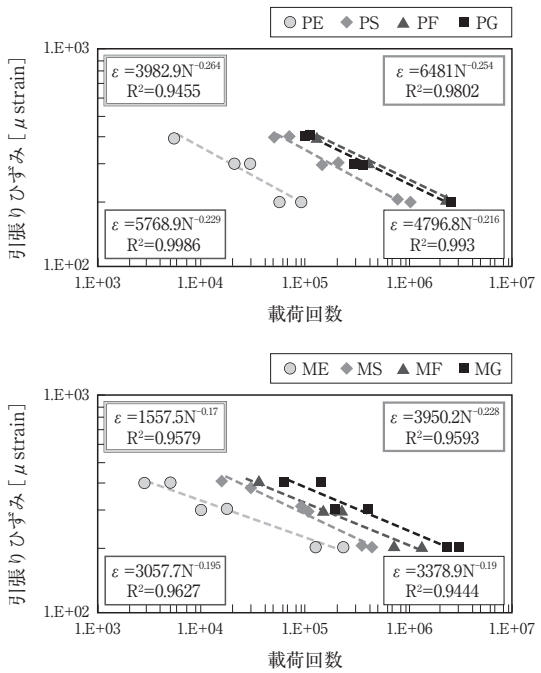
構成	上層混合物	複合補強シート	構成	上層混合物	複合補強シート
PE	P	－	ME	M	－
PS	P	S	MS	M	S
PF	P	F	MF	M	F
PG	P	G	MG	M	G

(ε 0=200,300,400 μ) において、周波数10Hzの正弦波変位を適用した。ヨーロッパ規格によれば、引張歪み ε 6、すなわち106サイクルの疲労寿命に関連する歪みレベルが高いほど、疲労抵抗性は高いとされている。

(3) 試験結果

試験結果を図－1および表－3に示す。複合シートを適用した構成は、適用しない構成と比べて初期剛性が低いにもかかわらず、疲労抵抗性は高くなった。これは、複合シートが舗装の初期強度を高めるのではなく、長期の疲労抵抗性を高める（耐用年数を延ばす）ことを示している。

また複合シートF、Gを適用した構造体は、複合シートSよりも著しく高い疲労抵抗性を示した。



図－1 疲労曲線（上段：P混合物，下段：M混合物）

表－3 特性歪み ε 6 による試験結果のまとめ

構成	ε 6 @ 20℃ [μ]	ε 6 の比率 [%]	
		対 E	対 P
PE	104	-	-
PS	194	+86.5	-
PF	244	+134.6	-
PG	243	+133.6	-
ME	149	-	+43.2
MS	169	+13.4	-12.9
MF	207	+38.9	-15.1
MG	245	+64.4	+0.8

さらに上層が改質アスファルト混合物 (M) の場合、複合シートを適用しない構成では疲労抵抗性が微増するが、複合シートを適用した構成では増加がみられなかった。これは複合シートを適用したときの疲労抵抗性の向上は、上層混合物（オーバーレイ混合物の種類）に関係なく、主に複合シートの効果によることを示している。

(4) おわりに

複合シートの効果は、舗装の初期強度を高めることではなく、長期の耐疲労性を高めることにあった。また、今回検討した中ではガラス繊維連続布またはガラス繊維グリッドで強化した複合シートを適用することで舗装の耐疲労性が著しく向上した。

(5) 翻訳者コメント

アスファルト舗装に適用した複合シートの効果として、疲労抵抗性に着目した報告は国内ではめずらしく、その効果も高いことから今後の舗装構造を考える上で非常に興味深い。

アスファルト舗装間に補強シートを適用した際の長期供用性能

原題：LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE UNDER THE USE OF ASPHALT REINFORCEMENT INTERLAYER

材料：Geogrid（アスファルト舗装間に適用する補強シート）

目的：補強シートの適用によるアスファルト舗装の長期供用性の向上

(1) はじめに

アスファルト舗装の性能を向上させるための手段として、補強シートの適用によるアスファルト舗装の長期供用性の向上がある。しかしながら、道路管理者は、これら製品の効果について、十分に検証できていない。本研究では、アスファルト舗装間に補強シートを適用することによって、舗装の長期供用性能に対してどのような効果があるのか、室内および屋外試験にて検証した。

(2) 試験方法

本研究では、アスファルト舗装間の接着性を強化する Geogrid の効果について検証を行った。検証に用いた3つの Geogrid (A, B, C) について、表－4に示す。評価用の供試体は、Geogridをアスファルト混合物の表基層間に接着させ、準備した。なお、比較のため、Geogridを用いないアスファルト混合物（以下、リファ

表－４ Geogridの種類

Geogrid		A	B	C
素材		ガラス	ガラス／カーボン	ポリエチレン
メッシュサイズ (mm)		10	16	40
張力 (kN/m)	横	100	120	50
	縦	100	250	50

レンス)についても評価した。

長期供用性については、Model Mobile Load Simulator (以下、MMLS3) および Mobile Load Simulator (以下、MLS10) を用い、繰り返し载荷による表層部のひび割れ進展を比較することにより検証を行った。

(3) 試験結果

MMLS3装置の外観および概要をそれぞれ図－２および図－３に示す。評価は、供用後の劣化を想定して、供試体の基層に深さ35mmのひびを人工的にいれて行った。MMLS3評価の結果、BやCはリファレンスやAと比較して、破壊に至るまでの回数が2倍程度多いことを確認した(図－４)。

MLS10の概要を図－５に示す。試験は、実施時期による差をなくすために、温度の高い季節(2014年10～12月)は避け、600,000サイクル実施した。本試験の評価は、視認によって行った。その結果、リファレンスは130,000サイクルで、舗装がひび割れ始めたのに対して、A、B、Cは300,000サイクルからひび割れ始めることを確認した。つまり、補強シートにより舗装間を強化することで、ひび割れまでのサイクル回数を2倍程度にできると考える。またMLS10試験後に現場から回収したコアを評価したところ、基層からのひび割れ状況を明らかにすることができた。基層からのひび割れは、基層下部の路盤から発生しており、表層とのひび割れとは、関係がなかった。加えて、テストエリア1は、2よりも輻掘れが深く、さらには、Aを採用した箇所の輻掘れが最も深かった。

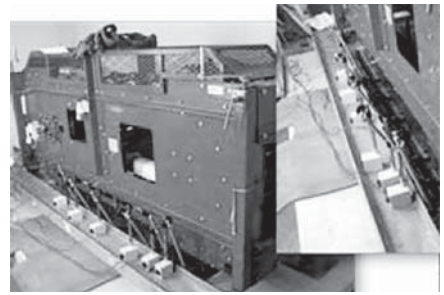
以上の結果より、アスファルト舗装の長期供用性能を向上させるには、Bが最適であることが分かった。

(4) おわりに

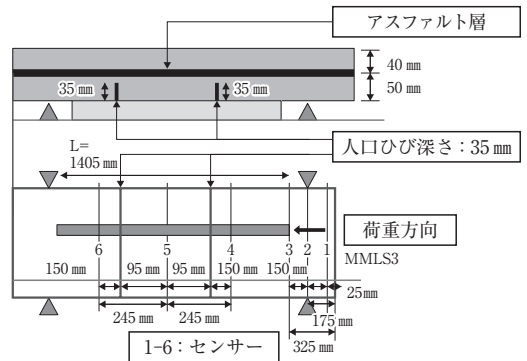
繰り返し载荷による表層部のひび割れ進展の評価を用いて、アスファルト舗装間に適用した補強シートの効果について検証を行った。その結果、Geogridを用いて舗装間の強化をすることは、アスファルト舗装の長期供用性能を向上させることが分かった。

(5) 翻訳者コメント

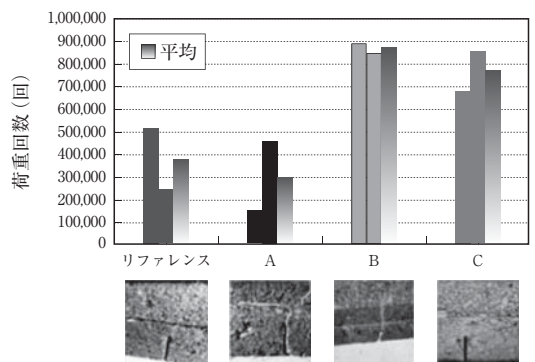
Geogridのような硬い材料を用いて、アスファルト



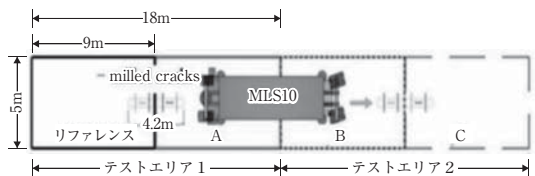
図－２ Model Mobile Load Simulator装置の概観



図－３ Model Mobile Load Simulator装置の概観



図－４ 破壊回数と供試体の様子



図－５ Mobile Load Simulator試験の概要

舗装間を強化するというのは、日本国内の事例が少なく、大変参考になった。当該材料導入のメリット・デメリット含め、今後調査していきたい。

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 ～試験・材料編～

仲 野 尚 弘
根 元 孝
桃 田 大 晃

櫻 井 博 章
福 山 菜 美
山 田 翔 平

塚 本 康 雄
藤 井 洋 志

はじめに

質問コーナーは、今回で第6回目を迎えます。ここでは若手技術者が普段の業務で感じた素朴な疑問について調査し、豆知識を織り交ぜながら解説していきます。アスファルト舗装技術研究グループのメンバーも平成生まれのメンバーが半数を占めていることから、アスファ

ルト舗装に携わる多くの若手技術者の疑問を反映していると考え、グループ内で疑問を集約しました。今回はその中から普段何気なく使用している試験方法・規格や材料についての疑問を表-1に示した8種類について調査したので報告します。

表-1 試験方法や・規格や材料についての疑問

Q1	BPNやDFテスト以外にすべり抵抗性を調べる試験方法がありますか？また、すべり抵抗値にはどのような基準類がありますか？	Q5	再生アスファルト混合物は複数回繰り返し再生された場合、どのような影響が生じるのでしょうか？
Q2	アスファルト混合物の密度には見かけ密度とかさ密度がありますが、どのように使い分けますか？また、密度の測定方法はどのようなものがありますか？	Q6	アスファルト舗装に使用されるフィラーにはどのようなものがありますか？
Q3	アスファルトの抽出試験で使われる溶剤にはどのような規制がありますか？	Q7	アスファルト混合物用骨材に求められる骨材形状はどのようなものなのでしょうか？
Q4	コンクリートやセメント類に関わる試験方法はほぼJIS化されているのに対して、アスファルト混合物関連の試験方法はなぜJIS化とならないのですか？	Q8	アスファルトの臭いはどのような成分由来のものですか？

Q1：BPNやDFテスト以外にすべり抵抗性を調べる試験方法がありますか？ また、すべり抵抗値にはどのような基準類がありますか？

A1：舗装路面のすべり抵抗性は、走行する車両や歩行者の安全確保において重要な役割を果たします。すべり抵抗性には、舗装路面を構築するアスファルト混合物の材料や配合、タイヤの材質や種類、路面温度や供用年数など様々な要因が影響すると考えられています。また、すべり抵抗性を測定する際の測定条件は様々なため、いくつかの測定方法や装置が開発されており、目的によって測定方法を選択する必要があります。代表的な方法^{1, 2)}を表-2に示し、測定車による方法と設置式試験機を用いた方法に分けて説明します。

(1) 測定車を用いた方法¹⁾

○ロックホイール方式：この方式では、走行中に試験輪を完全にロックし（スリップ率100%）、1秒

表-2 代表的な測定方法^{1, 2)}

測定方法	測定装置・機器	特徴
測定車	ロックホイール方式	スリップ率100%の断続的な摩擦力の測定
	スリップ率方式	スリップ率0～100%までの連続した摩擦力の測定
設置式装置	BPT	電源が不要で携行性に優れ、10km/h程度の低速での測定
	DFT	0～90km/hで回転する円盤・ゴムスライダが摩擦によって損失するエネルギーを連続測定
	歩道用DFT	0～15km/hで回転する小型の円盤・ゴムスライダが摩擦によって損失するエネルギーを連続測定
	東工大式すべり試験器	所定の傾斜角、引張荷重速度で測定した荷重からすべり抵抗係数(CSR)を算出する

間の摩擦力を測定します。測定装置の種類には、トレーラに測定装置を搭載したトラクタを連結させて牽引しながら測定する方法と、バスや乗用車に測定装置や試験輪、散水装置を搭載した実車タイプがあり、散水装置により0.5～1mmの水膜を生じさせ、湿潤条件で測定されます。

- スリップ率方式：ロックホイール方式とは異なり、試験輪が自由回転状態（スリップ率0%）から完全なロック状態（スリップ率100%）になるまでを連続で測定するため、摩擦はスリップ率の関数として測定されます。スリップ率方式には、スリップ率固定式（通常10～20%程度）とスリップ率変動方式（任意のスリップ率）の二つに大別されます。また、試験輪の負荷（摩耗など）がロック式より小さく、長い区間を連続して測定することができます。

(2) 設置式装置を用いた方法^{1, 2)}

日本ではBPT (British Pendulum Tester) やDFT (Dynamic Friction Tester) によるすべり抵抗試験が一般的です。これらの試験の特徴は、以下のとおりです。

- BPT (写真-1)：ゴムスライダを装着した振り子が湿潤路面に接しながら通過し、振り上がる際の高さをBPN (British Pendulum Number) として測定する試験機です。DFTより携帯性に優れ、電源を必要としないため、任意の箇所で測定を行います。また、振り子が路面に接触する際の速度は、10km/h程度と低速であることから、BPNは路面のミクロテクスチャに敏感であると言われています。

- DFT (写真-2)：摩擦子（直径35cmの円盤）を周速度90km/hに達するまで回転させて円盤を落下させることで、円盤に取り付けられた3つのゴムスライダにより摩擦が生じ、0～90km/hのエネルギー損失を連続測定することで動摩擦係数を算出するものです。また、持ち運びが容易なため、規制内の車道や歩道といった様々な場所で測定することができます。

その他に、公的試験法ではありませんが、歩道など歩行者が利用する場所におけるすべり抵抗試験には次のようなものがあります。

- 歩道用DFT：直径7cmの円盤を15km/hの速度で落下させ、路面との接触時の摩擦係数（動摩擦係数、静摩擦係数）を測定します。車道用DFTと

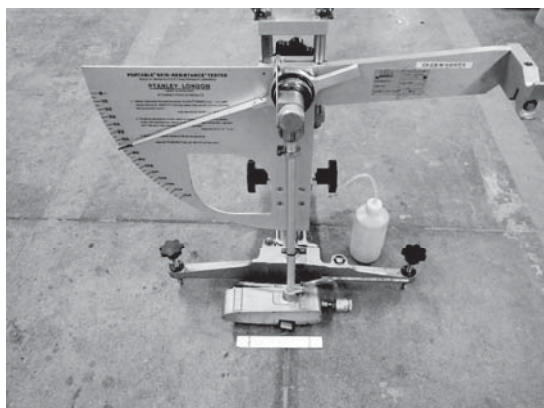


写真-1 BPT

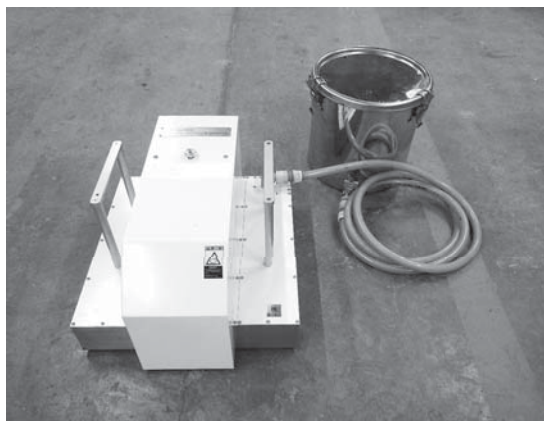


写真-2 DFT

同様の機構ですが、コンパクトで携帯性に優れます。

- 東工大式すべり試験機 (Ono-Yoshioka Pull Slip Meter)：O-Y・PSMは7×8cmの試験片に鉛直荷重(784N)を作用させた状態で、傾斜角度18°、引張荷重速度784N/sで引っ張った時の最大荷重を測定し、すべり抵抗係数(CSR)を算出する引張式のすべり抵抗試験機での評価検討も行われています。ただし、載荷荷重を得るために80kgfの荷重が必要であり、試験機自体も高さ約80cm、長さ約150cmと大きいため、携帯性を改善したOnoPPSMが開発されています。

(3) すべり抵抗値の基準類

基準類に関して、舗装に求められる性能指標のうち、すべり抵抗値は「必要に応じ定める性能指標」として取り扱われています^{2~4)}。これは、立地条件や供用状況などが、対象とする路線で様々あるため、一律に示すことが難しいためです。そのため、ここでは旧日本

表－3 旧日本道路公団の出来形基準⁵⁾

種別	出来形基準
建設工事関係	高機能舗装 μ 80 : 0.25 以上 高機能舗装以外 μ 80 : 0.35 以上
補修工事関係	BPN60 以上

道路公団で用いられていた準値⁵⁾を表－3に示します。

また、歩道など歩行者や自転車が利用する箇所では、安全かつ快適に通行することができるように目標値を設定する必要があります。「舗装設計施工指針」では、BPTによるすべり抵抗試験において「BPNの目標値を40以上とすることがある」としています²⁾。このような「舗装設計施工指針」の目標値などを参考に、利用者条件、勾配条件などを配慮して道路管理者が基準値を設定します。

—— 参考文献 ——

- 1) (公社) 土木学会舗装工学委員会路面性状小委員会：舗装工学ライブラリー10路面テクスチャとすべり，丸善出版，2013年，p.55-85.
- 2) (公社) 日本道路協会：舗装設計施工指針（平成18年度版），丸善出版，2013年，p.136.
- 3) (公社) 日本道路協会：舗装性能評価法 必須および主要な性能指標の評価法編，丸善出版，2006年，p.62-64.
- 4) (公社) 日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説，丸善出版，2001年，p.7.
- 5) 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：舗装施工管理要領 平成29年7月版，株式会社高速道路総合技術研究所，2017年，p. 29-47.

Q2：アスファルト混合物の密度には見かけ密度とかさ密度がありますが、どのように使い分けますか？また、密度の測定方法はどのようなものがありますか？

A2：物質の密度とは単位体積あたりの質量のことを言い、物質の内部に空隙がない場合はその物質の質量を体積で割ったものが密度となります。これを真密度といいます。

アスファルト混合物の場合、内部に空隙があるため、外部とつながっていない空隙も体積に含めて密度を算出します。これを見かけ密度といいます。

かさ密度は、表乾質量を測ることで内部の空隙に加え、外部とつながっている空隙も体積に含めて算出する密度を言います。水の密度は、常温で約 1 g/cm^3 であるため、表乾質量から空中質量を引いた吸水量は、外部につながった空隙の体積となります（吸水 1 g あたり 1 cm^3 の空隙）。

これらの密度の違いを図に表すと図-1 のようになります。空中質量または表乾質量を破線で囲んだ体積で割ることで求められます。

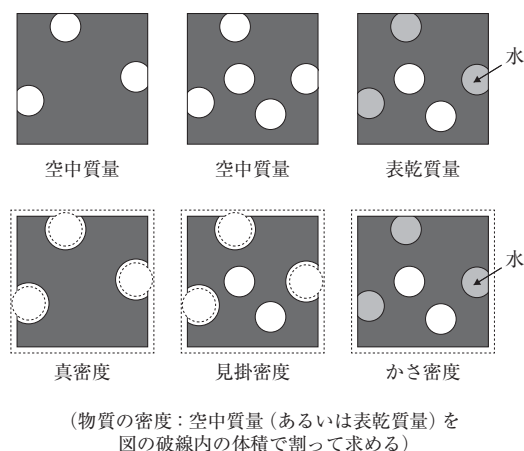


図-1 密度の定義¹⁾

密粒度アスファルト混合物等の場合、供試体の表面が緻密で吸水しない場合には見かけ密度、供試体の表面が粗く吸水する場合にはかさ密度を算出します。密粒度アスファルト混合物をはじめとする空隙率の小さい混合物、開粒度アスファルト混合物といった空隙率の大きな混合物があり、それぞれの混合物で異なる測定方法が用いられています。開粒度アスファルト混合物の場合は、ノギス法、真空バック法またはパラ

フィン法を用いてかさ密度を算出します²⁾。

見かけ密度とかさ密度を使い分ける理由は、表面が粗く吸水する供試体も全て見かけ密度で算出した場合、測定中に浸入する水により体積が小さく測定されるため、実際よりも大きな密度が算出されるためです¹⁾。

密度測定はアスファルト混合物の締固めの度合いを調べるために行います。密度を測定することで、基準密度・空隙率・飽和度・骨材間隙率を求めることができ、施工時の締固め度管理に利用されます。これらは混合物の耐流動性、フラッシュ、耐摩耗性、ひび割れ抵抗性を推測する際の手がかりとなるため、密度測定はきわめて重要な試験となります^{3, 4)}。

どの程度吸水する供試体がかさ密度で評価できるのか、検討事例を紹介します。

図-2 にパラフィン法により算出したかさ密度 d_p と、マーシャル供試体の密度を各種の方法で測定し比較した結果を示します。一般的にパラフィン法で測定した密度が標準的なものとされています。この図から d_p に最も近い値を示すのは十分に吸水させて算出した密度 d_b であり密度が 2.2 g/cm^3 以上であれば d_p と同じとみなしてよいとしています。

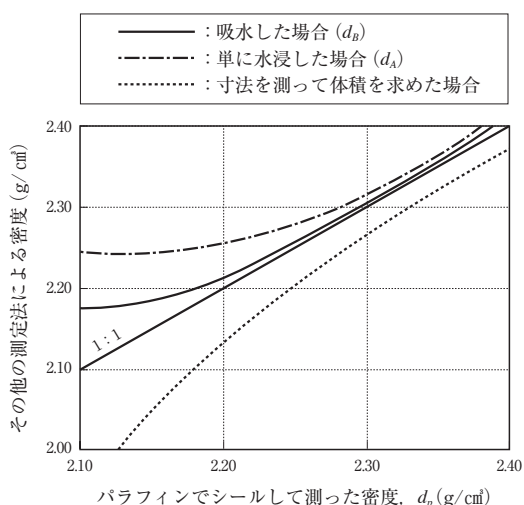


図-2 測定方法による供試体密度の相違

次に、図-3 は d_p と d_b の関係を 2.5 mm ふるい通過量について示したものです。この図から、 2.5 mm ふるい通

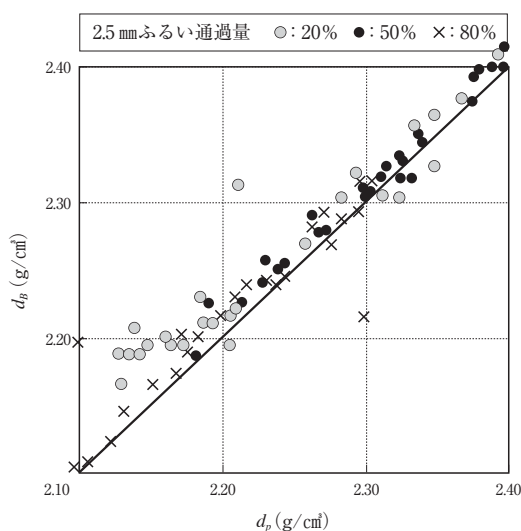


図-3 d_p と d_B の関係

過量が20%で密度が 2.2g/cm^3 以下の混合物は、吸水させるとパラフィン法に比べ密度が大きく算出される傾向が見られるため、パラフィン法で算出するほうが良いとしています³⁾。

次に、各種の密度測定方法について紹介します。

(1) ノギス法

ノギス法は、ノギスを用いて供試体の厚さ、直径を測定し、体積を算出しかき密度を求める方法です。

ノギスで厚さを測定するとき、供試体の表面に凹凸があると凸部の厚い箇所を測定してしまうことや、ノギスを当てる角度によって実際より厚く測定され、結果体積が大きく算出されることから一般に密度が小さく求まります。図-2を見ても、寸法を測って体積を求めた場合（ノギス法）の密度は、パラフィン法による密度と比べ小さくなっています。そのため、配合設計時にマーシャル供試体のかき密度をノギス法で求めた場合、求めた密度に1.02の係数を乗じた値を標準の密度とすることもあります。

(2) パラフィン法

パラフィン法は、供試体を温めたパラフィン中に浸して、供試体の全表面にパラフィンの被膜を作り供試体の空隙を封じ、水中質量を量ることで体積を求める方法です。パラフィン法は、表面の空隙を埋める処理が難しく、得られた密度は他の方法と比べ個人差が出てしまうといった欠点があります。

(3) 真空パック法・空隙充填法

東京都では開粒度アスファルト混合物の密度測定法としてノギス法に加え真空パック法または空隙充填法を規定しています⁵⁾。真空パック法は1997年に「東京都土木材料仕様書」に追加されたのを初めとして、舗装調査・試験法便覧にも追加されています。真空パック法は、従来のパラフィン被膜の代わりに高分子パックを使用するもので、供試体を入れた高分子パックを真空状態にして水中質量を測ることで体積を求めます。空隙充填法は粘土等で供試体の表面の空隙を充填し、供試体内に水が入らないようにした状態で水中質量を量ることで体積を求めます⁶⁾。

— 参考文献 —

- 1) 舗装技術の質疑応答：第10巻，pp.223~230（2010）
- 2) ㈱日本道路協会：アスファルト混合物の密度試験方法，舗装調査・試験法便覧，第3分冊，pp.91～105（2007）
- 3) 川島義昭・坂田耕一・川野敏行：道路舗装に関する試験方法，道路実務講座9，pp.143～147山海堂（1984）
- 4) 南雲貞夫：締固めたアスファルト混合物の空ゲキ率計算について，土木技術資料8-9，pp.459～466（1966.9）
- 5) 東京都：土木材料仕様書，pp.402（2017）
- 6) 鈴木ほか：開粒度アスファルト混合物の密度試験方法の提案，舗装，pp.3～10（1996.10）

Q3：アスファルトの抽出試験で使われる溶剤にはどのような規制がありますか？

A3：アスファルトの性状試験においては、1991年舗装試験法便覧（3版）に規定された下記の溶剤が使用されていました。

○アスファルト抽出試験：三塩化エタン（1.1.1-トリクロロエタン）二塩化メチレン（メチレンクロライド）

○アスファルト回収試験：三塩化エチレン（トリクロロエチレン）三塩化エタン（1.1.1-トリクロロエタン）

しかし、モントリオール議定書により、1.1.1-トリクロロエタンはオゾン層破壊物質の1つとして規制物質に指定されたことから、1995年をもって製造が禁止されました。したがって、日本では特別な事情の場合を除いて、1.1.1-トリクロロエタンは使用不可となりました¹⁾。これらの溶剤のSDSに記載されている、主な関連法規を表-4に示します。

1.1.1-トリクロロエタンに代わる溶剤としては、不

燃性である塩素系の溶剤が考えられたが、毒性が高いことや、特定化学物質に規定されていることから、使用は難しい状況でした。このような経緯から、地球環境への影響や作業者の安全性を考慮して、代替溶剤と抽出試験装置の開発が検討されました。代替溶剤としては、引火性を考慮したことから沸点の高い植物系および石油系のものが選定されました。それに伴い全自動化の装置も開発されました。改質アスファルトへの適用など若干の課題はありますが、1.1.1-トリクロロエタンと同様の抽出結果が得られています。このように、アスファルトの抽出試験に使用する溶剤は引火性のものから不燃性のものへ、さらにより毒性の低いものへ移行していきまし¹⁾。

舗装試験法便覧（2007年初版）に示されている溶剤を下記に示します。また、溶剤の関連法規を表-5に示します。

表-4 舗装試験法便覧（1991年3版）に記載されている主な溶剤の法規

溶剤の名称	1.1.1トリクロロエタン	トリクロロエチレン	ジクロロメタン
労働安全衛生法	・第2種有機溶剤 ・名称等を表示すべき危険物及び有害物 ・名称等を通知すべき危険物及び有害物 ・健康障害防止指針公表物質 ・作業環境測定基準 ・作業環境評価基準	・第1種有機溶剤 ・名称等を表示すべき危険物及び有害物 ・名称等を通知すべき危険物及び有害物 ・特定化学物質等 第2類物質 ・管理第2類物質 ・特別管理物質 ・特別有機溶剤 ・作業環境測定基準 ・作業環境評価基準	・第2種有機溶剤 ・名称等を表示すべき危険物及び有害物 ・名称等を通知すべき危険物及び有害物 ・特定化学物質等 第2類物質 ・管理第2類物質 ・特別管理物質 ・特別有機溶剤 ・健康障害防止指針公表物質 ・作業環境測定基準 ・作業環境評価基準 ・変異原性が認められた既存化学物質
労働基準法	疫病化学物質	疫病化学物質	疫病化学物質
毒物及び劇物取締法	非該当	非該当	非該当
水質汚濁防止法	①有害物質：排水基準 3 mg/L ②生活環境項目：「生物化学的酸素要求量及び化学的酸素要求量」排水基準 160mg/L以下（日間平均 120mg/L以下）	①有害物質：排水基準 0.1mg/L ②生活環境項目：「生物化学的酸素要求量及び化学的酸素要求量」排水基準 160mg/L以下（日間平均 120mg/L以下）	①有害物質：排水基準 0.2mg/L ②生活環境項目：「生物化学的酸素要求量及び化学的酸素要求量」排水基準 160mg/L以下
土壤汚染対策法	第1種特定有害物質 [溶出量基準値] 1 mg/L [含有量基準値]-	第1種特定有害物質 [溶出量基準値] 0.03mg/L [含有量基準値]-	第1種特定有害物質 [溶出量基準値] 0.02mg/L [含有量基準値]-
大気汚染防止法	・有害大気汚染物質 ・揮発性有機化合物	・有害大気汚染物質 ・指定物質	・有害大気汚染物質 ・優先取組物質
オゾン層保護法	モントリオール議定書 付属書BのグループⅢ	非該当	非該当
輸出貿易管理令	①輸出承認品目 ②キャッチオール規制 （第29類 有機化学品）	キャッチオール規制 （第29類 有機化学品）	キャッチオール規制 （第29類 有機化学品）

○アスファルト抽出試験：d-リモネン、テトラリン、
1-ブロモプロパン、ナフテン系炭化水素

その当時は、1-ブロモプロパンについては毒性に対する情報が少なかったため、ハロゲン系で不燃性¹⁾ということから採用されました。しかしながら、近年1-ブロモプロパンの規制が強化されはじめました。

(1) 1-ブロモプロパンの規制の強化

2013年7月31日付けで、米国連邦労働安全衛生庁は1-ブロモプロパンによる健康障害を予防するための緊急警告を発令しました。1-ブロモプロパンを用いた金属や電子部品の洗浄・脱脂、ドライクリーニング等の工程において、蒸気や霧状微粒子として吸入し、または皮膚に接触することにより、急性および慢性の各種健康影響を生ずる可能性について言及しています。米国産業衛生専門家会議（ACGIH）は、1-ブロモプロパンの8時間曝露限界値を10ppmと定めていたが、現在これを0.1ppmに下げました²⁾。

日本での動きとしては、2013年5月に、日本産業衛生学会が1-ブロモプロパンの許容濃度を0.5ppmとし

て勧告することを決定しました。

2013年10月に、厚生労働省が発表する労働災害補償対象となる疾病の範囲を定めた「職業病リスト」に1-ブロモプロパンが末しょう神経障害を引き起こす物質として選定され、2014年10月より施行されました。2014年7月に、厚生労働省は2015年に有害物曝露作業報告対象物質に1-ブロモプロパンを加えました。

そして2015年に労働安全衛生法施行令の一部を改正する政令案により、1-ブロモプロパンは労働安全衛生法施行令別表第9に新たに追加する物質として検討され、2017年3月1日に施行されました。これにより、名称等を通知すべき危険物および有害物となりました³⁾。

—— 参考文献 ——

- 1) 舗装調査・試験法便覧（第4冊）平成19年6月
- 2) 基安化発0910第1号 別添
- 3) 労働安全衛生法施行令の一部を改正する政令案及び労働安全衛生規則の一部を改正する省令案の概要（厚生労働省 安全衛生部 化学物質対策課）

表－5 舗装試験法便覧（平成19年初版）に記載されている主な溶剤の法規

溶剤の名称	d-リモネン	1-ブロモプロパン	ナフテン系炭化水素	テトラリン
労働安全衛生法	・第3種有機溶剤 ・危険物 ・引火性物質	・名称等を表示すべき危険物及び有害物 ・名称等を通知すべき危険物及び有害物（平成29年3月1日より） ・危険物 ・引火性物質		
労働基準法				
消防法	・危険物第4種引火性液体 ・第2石油類非水溶性液体 ・危険等級Ⅲ	・危険物第4種第1石油類 ・危険等級Ⅱ	・危険物第4類引火性液体 ・第3石油類非水溶性液体 ・危険等級Ⅲ	・危険物第4類引火性液体 ・第3石油類非水溶性液体
海洋汚染防止法	急性有害性・長期間有害性		油分排出規制	有害液体物質 Y 類物質
水質汚濁防止法			油分排出規制	
土壌汚染対策法				
大気汚染防止法		揮発性有機化合物		揮発性有機化合物
オゾン層保護法	非該当	非該当	非該当	非該当
下水道法			鉱油類排出規制	

Q4：コンクリートやセメント類に関わる試験方法はほぼJIS化されているのに対して、アスファルト混合物関連の試験方法はなぜJIS化とならないのですか？

A4：JIS¹⁾とは日本工業規格（JIS = Japanese Industrial Standardsの略）であり、日本の工業製品に関する規格や測定法などが定められた日本の国家規格のことです。自動車や電化製品などの工業製品生産に関するものから、文字コードやプログラムコードといった情報処理に関する規格などもあります。

標準には、強制的なものと任意のものがあり、一般的には任意のものを「標準（＝規格）」と呼んでいます。標準化の意義は、自由に放置すれば、多様化・複雑化・無秩序化してしまうモノやコトについて技術文書として国レベルの「規格」を制定し、これを全国的に「統一」または「単純化」することです。ではなぜアスファルト混合物関連の試験方法はJIS化を行わないのかについて以下に説明します。

道路に用いるアスファルト混合物は、舗装設計便覧・舗装施工便覧に示されてきた混合物の種類とそれに対応する標準配合を基に配合が決定される場合が多いです。

しかし、舗装設計便覧・舗装施工便覧に示されているものはあくまでも目安であり、最終的な配合は使用する個所の気象条件、交通条件を考慮して、設計担当者が経験と技術的な判断をもとに決定すべきものです。アスファルト混合物の原料であるアスファルトや骨材はJIS規格品となっているとはいえ、その性状は地域や時期によって変化するものであり、それは混合物の性状にも大きく影響します。そのため、実際に混合物を使用する場合には、現場ごとに使用する材料等をよく吟味したうえで最適な配合を行うことによって、はじめて混合物として適切な性状が得られるということを考えれば、JIS化ということが分かるといえます。1967年当時はアスファルト混合物のJIS化の動きは全くありませんでした²⁾。

アスファルト混合物の性状をJIS規格でしぼることはできませんが、アスファルト混合物の事前審査制度³⁾を設けることで、公共工事におけるアスファルト混合所の品質管理に関する合理化と、品質の安定化を図っています。制度の仕組みと流れを図-4に示します。

この制度は、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について、製造時点検査と現場搬入時検査の中間に位置するものです。この制度の目的は、次の3つです。

- アスファルト工場の自主管理による品質の確保・向上
- 第三者機関による品質確保・向上
- 品質承認手続きの合理化・省力化

アスファルト混合所から出荷するアスファルト混合物を、事前に第三者機関（官・学・民によるアスファルト混合物審査委員会）が認定することにより、従来の工事ごとに行っていた基準試験（配合設計などを含む）や試験練などを省略できます。

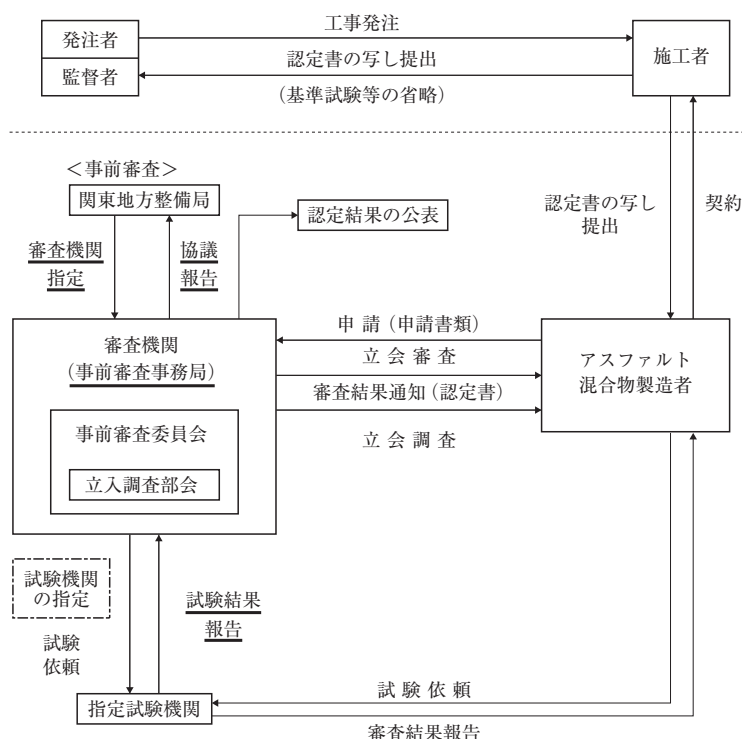


図-4 アスファルト混合物事前審査制度の仕組みと流れ

関東地方整備局を皮切りに、現在では東北・関東・北陸・中部・近畿・中国・九州の7地方整備局と内閣府沖縄総合事務局が導入済みで、33都府県およびその市町村が参画しています。また2018年11月現在、515カ所のアスファルト混合所が本制度に参加し、6,972種類の混合物が認定を受けており、本制度が広く浸透しているものであると考えられます。

本制度の基本は、混合所の自主管理によるアスファルト混合物の品質を確保することです。自主管理は、混合所が独自に定める「社内作業標準」に基づき行われることから、作業標準の内容が適正であるか、また、その作業標準書に基づき品質管理が実施され、管理記録が保管されているかを確認します。確認は、立入調査部会員が年2回混合所へ立ち入っての立会審査・立入審査時に行い、作業標準書の内容が不適切、管理記録が未整備、事前審査認定条件などの不備の混合所はアスファルト混合物の安定した品質確保と維持が懸念されるため、改善指導、助言を行い、指摘事項を混合所に通知し、是正を求めます。以上のように、本制度を運営するものとなっています。

また、アスファルト混合物関連の試験方法について1988年に日本道路協会はそれまでに発行された要綱や指針類に従って、舗装の設計、施工、維持管理を行う場合に必要となる各種の試験や調査に、材料の規格を

加えて集大成した「舗装試験法便覧」⁴⁾を発刊しました。さらに、1996年に当時実用化が図れていた新材料、新工法などに対応する新たな試験や調査の方法をとりまとめた「舗装試験法便覧別冊（暫定試験方法）」⁵⁾を発刊しました。

その後、舗装の現場は新設の時代から、本格的な維持・管理の時代に移行しました。そして発刊から約20年が経過した「舗装試験法便覧」を2007年に改訂し、維持・管理の時代に対応した現場の実務に必要なと思われる項目を追加して整理し直した「舗装調査・試験法便覧」⁶⁾を発刊させ、現在に至ります。

— 参考文献 —

- 1) JISとは、一般財団法人日本規格協会 HP
- 2) 佐藤昭男、建設省東北地方整備局：舗装技術の質疑応答 第5巻建設図書 p55-56, 1967年
- 3) アスファルト混合物事前審査制度、一般社団法人日本道路建設業協会 HP
- 4) 舗装試験法便覧、社団法人日本道路協会, 1988年11月
- 5) 舗装試験法便覧別冊（暫定試験方法）、社団法人日本道路協会, 1996年10月
- 6) 舗装調査・試験法便覧、社団法人日本道路協会, 2007年6月

Q5：再生混合物は複数回繰り返し再生された場合、どのような影響が生じるのでしょうか？

A5：わが国のアスファルト舗装発生材の再生利用技術は、1980年代以降広く普及し、現在では一般化しています。アスファルト・コンクリート塊のリサイクル率は、年々増加の一途をたどり最近では99%以上に達し、また、全合材製造量に占める再生合材の割合は年々増加し75%を超えています¹⁾。そして、現在供用中のアスファルト舗装の半数以上は過去に一度以上再生されたものであると考えられ、今後は複数回繰り返し再生されたアスファルト舗装発生材が増加していくものと考えられます。

再生混合物には、何回繰り返し再生しても所定の性能と供用寿命を確保できる材料設計が求められ、再生骨材の旧アスファルトを回復させる手法としては、現在、軽質なオイルを用いた再生用添加剤を添加する方法が主流となっています。しかし、アスファルトと比べて軽質なオイルを用いた再生用添加剤で旧アスファルトを回復させる再生を繰り返すと、再生アスファルトの変質や再生混合物の性能低下をきたす可能性があることが報告されています²⁾。

再生骨材については、プラント再生舗装技術指針では、アスファルト・コンクリート再生骨材を再生混合物に使用するにあたって、その品質規格を13～0mmの粒度区分のものに対して表-6のように定めていました²⁾。

表-6 再生骨材の品質

旧アスファルトの含有量		%	3.8以上
旧アスファルトの性状	針入度	1/10mm	20以上
	圧裂係数	MPa/mm	1.70以下
骨材の微粒分量		%	5以下

現状、再生骨材の旧アスファルトの針入度は、地域性もあると思われますが、年々低下する傾向にあるといえます³⁾。原因として、再生プラントに搬入されるアスファルト・コンクリート発生材のうち、以下のような舗装からの再生混合物の搬入量が増えているためと考えられています。

- ①長期間供用し劣化の進んだ舗装
 - ②わだち掘れ対策として、針入度の低いアスファルトや改質アスファルトを用いた舗装
 - ③再生混合物を用いた再生舗装
- このままでは、再生混合物に使用できる舗装発生材

が減少し、再利用率の低下や再利用のできない舗装発生材の処理方法等の問題が発生する恐れがあります。このような背景から、針入度とは別に新たな評価法として、圧裂係数の評価が追加されました。

今後、舗装発生材が繰り返し再生利用されるケースが増加することを考慮し、室内での促進劣化試験を繰り返し実施して、混合物および混合物中のアスファルトの物理的性状、ならびに化学的性状を評価する研究が多く報告されています。報告によると、再生混合物は再生回数が多くなるにしたがって圧裂係数が大きくなる傾向があり、疲労抵抗性が低下します。また、再生回数と再生骨材配合率が多いほど、動的安定度は大きくなる傾向にあります。さらに、繰り返し再生されたアスファルトは、軟化点が高くなり感温性が低下する傾向が見られ、再生骨材配合率が高いほどその傾向が顕著になると報告されています⁴⁾。

再生アスファルトの針入度が同程度であっても、使用する再生用添加剤の組成等が異なると、他の物性（特に軟化点）に違いが生じることも明らかとなっています。例えば、繰り返し再生において飽和分の多い再生用添加剤を用いた場合、再生骨材配合率が高いと添加される新アスファルト量が少ないため、再生されたアスファルトに酸化物等が蓄積されやすく、混合物の工学的性状およびアスファルトの物理的・化学的性質が変化する可能性があります⁴⁾。また、飽和成分の多い再生用添加剤は組成がアスファルトと大きく異なることから、繰り返し再生されることで、再生混合物の性状の変化が大きくなる可能性があるといえます。芳香族分の多い添加剤は旧アスファルトと均一に分散・混合するのに対して、飽和分の多い添加剤は均一に分散せず粒子状物質を生成するということも明らかとなっており、再生用添加剤の組成の違いにより再生アスファルトの均一性に差が生じることも報告されています⁶⁾。加えて、再生配合率が高くなるほど、再生混合物や再生アスファルトの性状変化の度合いは大きくなる傾向にあることから、再生骨材配合率はより低い方が望ましいとされています。

今後、再生アスファルト混合物の需要は増加するものと考えられます。長期的な活用のためには、繰り返し再生回数の多い再生混合物の性状について検討をすすめ、十分に理解することが重要になります。

— 参考文献 —

- 1) 加納孝志・秋葉正一・加納陽輔・湯川誠二郎・田湯文将：再生用添加剤の組成の違いが繰り返し再生された混合物とアスファルトの性状に与える影響，土木学会論文集E1（舗装工学），I _73-78
- 2) 加納孝志・新田弘之・佐々木巖・川上篤史：飽和成分の多い再生用添加剤で繰り返し再生した再生混合物と再生アスファルトの性状に関する一検討，土木学会論文集E1（舗装工学），I _65-71
- 3) 益子保則：圧裂係数によるアスファルト再生骨材の評価について（（一財）茨城県建設技術管理センター）
- 4) 社日本道路協会：舗装再生便覧，平成22年度版，p.11
- 5) 加納孝志・新田弘之・佐々木巖・川上篤史：飽和成分の多い再生用添加剤で繰り返し再生した再生混合物と再生アスファルトの性状に関する一検討，土木学会論文集E1（舗装工学），I _65-71
- 6) 瀬尾彰：舗装再生温故知新～今こそ読みたい舗装再生技術のクラシック，アスファルト合材，No.127，p.28-32

Q6：アスファルト舗装に使用されるフィラーにはどのようなものがありますか？

A6：アスファルト舗装とは、骨材とアスファルトを混合したものであり、骨材には粗骨材、細骨材、フィラーといった種類があります。フィラーの役割には、アスファルトの見かけの粘度を高めること、骨材として混合物の空隙を充填し舗装体を緻密にすることが挙げられます。これらの役割により、アスファルト舗装の耐流動性、曲げによるひび割れ抵抗性、衝撃抵抗性、耐摩耗性を向上することができます。例を挙げますと、積雪寒冷地のタイヤチェーンなどによる摩耗が生じやすい地域では、密粒度アスファルト混合物（13F）や細粒度アスファルト混合物（13F）といったフィラー量の多いF付きの混合物が使用されています。これは、フィラー量が多い加熱アスファルト混合物では、アスファルト量が多くなり、耐摩耗性が向上するためです。

このようにアスファルト舗装において重要なフィラーには、石灰岩を粉砕してできた石粉が一般的ですが、環境保全や資源の有効活用の観点から、フライアッシュ、回収ダスト、セメントなども使用されています。ここでは、アスファルト舗装において使用されるフィラーについて紹介します。

(1) 石粉

国土交通省の「土木工事共通仕様書」（平成30年3月）¹⁾では、石粉は石灰岩やその他の岩石を粉砕したもので、石灰岩由来のものは水分量が1.0%以下とされています。これは、石粉の水分量が1.0%を超えるとロータリーフィーダなどが流れなくなり、石粉の使用が困難となるためです。性状については、石灰岩由来の石粉、後述するフライアッシュ、回収ダストの場合、粒度範囲が表－7とされています。また、石灰岩以外の岩石を粉砕した石粉、フライアッシュの場合、品質は表－8とされています。

(2) フライアッシュ

フライアッシュとは、火力発電所で微粉砕した石炭を燃焼させ、電気を生成する際に得られる副産物です。

フライアッシュはコンクリートの流動性、ワーカビリティを向上させる混和材として使用実績があります。

フライアッシュの粒子表面は滑らかな球状であるため、骨材の空隙を充填するボールベアリング効果が得られます。そのため、フライアッシュをアスファルト混合物に使用すると、アスファルト混合物の種類によってはアスファルト量の低減が可能であり、経済性および作業性の向上が得られます。

フライアッシュの品質は、国土交通省の「土木工事共通仕様書」（平成30年3月）において、表－7、表－8とされています。

(3) 回収ダスト

アスファルト合材工場において、骨材を混合乾燥させる際にドライヤから出る細かい石の粉をバグフィルタで回収したものを回収ダストと言います。細かい粒度の必要があるときの添加材料として使用されています。アスファルト舗装要綱²⁾では、回収ダストをフィラーの一部として使用する場合には、他のフィラーと75 μ m通過分の混合割合に応じて混合したものの粒度範囲が表－7、塑性指数PIとフロー試験については表－8の性状を満たすことが望ましいとされています。また、回収ダストを多く使用すると加熱アスファルト混合物に悪影響を及ぼすことがあるので、回収ダストは全フィラー量の50%以下とされています。その場合でも、回収ダストの使用量が全フィラーの30%以上となる場合には、剥離試験に合格することが望ましいとされています。

(4) 消石灰とセメントの品質規格

国土交通省の「土木工事共通仕様書」（平成30年3月）では、剥離防止のためにフィラーとして消石灰を使用する場合には、消石灰はJIS R 9001（工業用石灰）に規定されている生石灰（特号及び1号）、消石灰（特号及び1号）の規格に適合するものとされています。

また、剥離防止のためにセメントを使用する場合に

表－7 石灰岩由来の石粉、フライアッシュ、回収ダストの粒度範囲

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

表－8 石灰岩以外の石粉、フライアッシュの物性規格

項目	規定
塑性指数PI	4以下
フロー試験	50%以下
吸水膨張	3%以下
剥離試験	1/4以下

は、JIS R 5210（ポルトランドセメント）、およびJIS R 5211（高炉セメント）の規格に適合するものとされています。

(5) その他

アスファルト舗装に使用されるその他のフィラーの一例として、資源の有効活用の観点から、北海道の水産系副産物であるホタテ貝殻粉末の利用や検討^{3, 4)}、下水汚泥焼却灰の使用が検討⁵⁾されています。

—— 参考文献 ——

1) 国土交通省：「土木工事共通仕様書」（平成30年3月）

- 2) 公益社団法人 日本道路協会：アスファルト舗装要綱（2版）
- 3) 吉井昭博，安倍隆二，内山智幸：ホタテ貝殻粉末のアスファルト舗装材としての適用性，北海道開発土木研究所月報 No.598, 2003年3月
- 4) 川島正人，坂上弘至，舩山諭：ホタテ貝殻粉末の基層用アスファルト混合物への適用検討について，年次学術講演会講演概要集 第5部，Vol：66巻，2011年，page 751-752, V-376頁
- 5) 加藤隆三，上野孝司：汚泥焼却灰のアスファルトフィラー資源化，東京都下水道局技術調査年報，Vol：2003, 2003年，page 427-436

Q7：アスファルト混合物用骨材に求められる骨材形状はどのようなものなのでしょうか？

A7：一般的にはアスファルト混合物用骨材には角張った形状（立方形）のものが、コンクリート用骨材には丸みを帯びた形状（球形）のものが好ましく、また、表面の粗度が重要とされています。なぜそのような形状が好ましいのか以下に説明します。

(1) アスファルト混合物用骨材^{1, 2)}

アスファルト混合物は熱可塑性材料のアスファルトを締結材とすることから、その舗装構造をなす骨材の幾何学的形状およびその配置、配向などの特性が混合物の変形現象に対して重要な因子であると考えられます。求められる骨材の性質として、適当な付着性状、耐久性、硬度、偏平の少なさ等などがあり、さらに形状については角張った立方形が好ましいとされています。これは、アスファルト混合物において骨材の噛み合わせが重要であり、角張っている骨材の方が噛み合わせが良いためです。碎石の外観形状が角張っている骨材と丸みを帯びている骨材をアスファルト混合物に使用した場合を比較すると、通常は丸みを帯びている骨材よりも角張った骨材を使用した方が安定度が大きいと考えられます。この傾向は粒径の小さいものほど安定度におよぼす影響が大きく、特に細骨材の場合では、川砂から砕砂に換えたとき強度が大きくなるといわれています。このため、一般的にはアスファルト混合物に使用する骨材は角張っているものが好ましいとされています。

しかしながら、丸みを帯びた骨材を使用した混合物は同一配合、同一締固めにおいて、角張った骨材を使用した場合よりも空隙率が小さくなって高密度に締まり、また骨材粒子の配列変化が少ないことによる縦横方向の強度変化が小さいことが示されています。

また、粒子の外観形状も重要な要素ですが、骨材の表面性状、つまり粒子の表面組織の粗度の方が安定度に対しては大きな意味をもつと考えられています。例えば、岩石学的に砂岩、玄武岩などは粗い表面組成であり、石英などは滑らかな表面組成です。しかし実際には、一見粒子表面が粗く不規則にみえるものでも、アスファルトと混合した場合、骨材間のすべり

抵抗はそれほど大きくないものがあります。逆に、丸く滑らかなような砂利でも大きなすべり抵抗を示すことがあります。このことはアスファルトの吸収性も影響していることもあり、混合物の流動抵抗（安定度）を反映するような粒子の表面性状を求めうる有効な試験方法が見出されなければならないことを示しています。

(2) コンクリート用骨材³⁾

コンクリートにおける骨材の割合は65-80%ほどであるため、骨材の性質がコンクリートの性質に大きな影響を及ぼします。そのため、コンクリートにおける骨材に求められる性質には、物理的、化学的に安定であること、セメントとの付着性能が良いこと、骨材形状が丸みを帯びていること（球形）などが挙げられます。

コンクリートにおける骨材が丸みを帯びているほど、コンクリート中に多くの骨材粒子を含ませることができ、セメントと水の量（単位水量）を減らすことができます。また、丸みを帯びている骨材を使用することで、コンクリートの流動性、型枠への充填性が良く、ワーカビリティが向上されます。

また、近年リサイクルの観点から、副産物・廃棄物を起源とする種々の骨材が用いられており、骨材の品質は多様化しています。その中で代表的な物のひとつであるスラグ骨材は、表面が平滑でありブリーディング量が大きくなる傾向にあります。したがって、骨材の形状や粗さ（粗度）はコンクリートの品質にとって重要であると考えられます。

—— 参考文献 ——

- 1) 土木学会論文集：粗骨材の形状特性がアスファルト混合物の変形現象に及ぼす影響 第408号/V-11 1989,8
- 2) 舗装：アスファルト混合物用碎石について vol.4 No.2 1969
- 3) 長崎大学学術研究成果リポジトリ：3・6 デジタル技術を用いた骨材の形状評価 2007,3

Q8：アスファルトの臭いはどのような成分由来のものですか？

A8：アスファルトとは原油に含まれる炭化水素類の中で最も重質なものです。したがって固体状態においても石油由来のタール臭が微かにあります。アスファルトを構成している元素のほとんどは炭素と水素ですが、その他に酸素・窒素・硫黄が微量に含まれています。酸素・窒素・硫黄はすべて炭化水素との化合物として存在していますが、加熱によりこれらの化合物の結合が切れて分解反応を生じ、比較的に低分子のものが気体となって発生します。

石油アスファルトをアスファルト溶融釜で溶融したときに発生するガス性物質および蒸気物質に関する米国アスファルト協会の分析結果を表－9に示します。この分析結果からもわかるようにアスファルトを加熱溶融する際には微量ではありますが、炭化水素系化合物や硫黄系化合物さらに窒素系化合物等がガス成分や蒸気成分として発生していることがわかります。そのため加熱溶融時においては、石油由来のタール臭に加え炭化水素系化合物や硫黄系化合物、さ

らに窒素系化合物等のガス成分や蒸気成分の臭いが混ざり合ったものがアスファルトの臭いとして感じられると考えられます。

— 参考文献 —

- 1) Emission From Asphalt Roofing Kettles, The Asphalt Institute Research Report No.79-2.1979.

おわりに

今回は、若手技術者が普段感じているアスファルト舗装の試験や材料についての疑問を調査し、取り上げました。

調査結果から、普段の業務で感じた素朴な疑問の解決と知識の再確認を行うことができました。これからアスファルト舗装に携わる若手技術者などにとって、本稿がその一助になり舗装業界の発展につながれば幸いです。

表－9 アスファルト溶融釜から発生するガス及び蒸気成分¹⁾ (単位：volume ppm)

アスファルト	Sample 1		Sample 2	
溶融温度	238～298	332	246	310
成分				
炭化水素 C1～C2	20	－	11	115
C3	2	7	2	2
C4	1	3	2	3
C5	<1	2	1	5
C6	<1	<1	1	6
C7	<1	<1	－	－
ベンゼン、トルエン	<1	<1	－	<1
硫黄化合物				
メルカプタン類	<2	－	<2	<2
硫化水素	<1	－	<1	<1
二酸化硫黄	<1	<1	<1	<1
脂肪族カルボニル	1.4	2.5	1.2	1.7
芳香族カルボニル	0.2	0.3	0.1	0.07
ホルムアルデヒド	<2	－	<2	<2
フェノール類	<3	<3	－	－
一酸化炭素	35	－	20	115
二酸化炭素	<0.5	<0.5	<0.5	0.5



アスファルト・舗装 研究

東亜道路工業株式会社 技術研究所

東亜道路工業は創業以来80有余年にわたり、道路舗装の施工や舗装に用いる材料を提供することで、安全で快適な道づくりに貢献してきました。当社は親会社を持たない独立系企業であり、その特徴を活かし自由な発想のもと、土木と化学を融合したユニークな技術を世に送り出してきました。

これら当社およびグループ企業の技術開発の礎となっているのが技術研究所です。ここでは研究開発の内容や、新たなシーズの創出を支える試験機等を紹介します。

1. はじめに

東亜道路工業株式会社は、昭和5年に前身である日本ビチュマルス株式会社として創立し、昭和26年に現在の商号へ改称しました。

当社の技術の源泉となるアスファルト乳剤の製造は発祥の地である横浜において昭和4年に始まり、それ以来、アスファルト乳剤の製造販売を行うとともに、アスファルト乳剤を用いた簡易舗装を皮切りとして、舗装工事業を拡大してまいりました。

このような経緯から当社は、ゼネコンなどの親会社を持たない独立系の舗装会社であり、アスファルト乳剤を始めとする舗装用材料の製造販売と舗装工事業の両方を営むユニークな会社として成長し、現在に至っています。

技術研究所は、横浜工場内の一室に昭和25年に設置され、乳剤、改質アスファルト、テニスコートなどに用いる材料の研究開発および、開発した新材料を用いた新工法の研究開発を行ってきました。平成13年2月に、会社創立70周年記念事業の一環として、茨城県つくば市に移転しました（写真-1）。

会社創立の経緯から、アスファルトを中心とした舗装用材料の研究開発に主軸を置いてはいますが、これまでも調査技術や工法・施工技術の開発、システム開発まで含め東亜道路工業グループの技術の礎として、その役目を担っています。

本稿では、最近の研究開発成果および技術研究所の実験施設について紹介します。



写真-1 技術研究所 正面

2. 技術研究所の組織

技術研究所は、本社技術本部に所属しており、4つの研究室を設置し、各研究室では主として次のことを実施しています。

第1研究室：乳剤を主軸とした常温材料の研究開発

第2研究室：改質アスファルトを主軸とした加熱材料の研究開発

第3研究室：スポーツ・景観用材料の研究開発

第4研究室：工法開発、舗装構造や路面性状などの調査法開発、舗装マネジメントシステム（PMS）などのシステム開発

3. 最近の研究成果

3.1 タックファインSQ

タックファインSQは、（一社）日本アスファルト乳剤協会が定める、タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤（PKM-T）の規格に準拠した改質アスファルト乳剤と分

解促進剤を、写真-2に示す専用のディストリビュータを用いて同時に散布し、PKM-T本来のタイヤ付着抑制機能を保持しつつ、改質アスファルト乳剤の分解時間を大幅に短縮することを可能にした高性能タックコートです。

気温や路面温度に影響されず乳剤の分解が促進することから、養生時間の短縮にも繋がり、施工量の増加による施工性の改善が期待できます。



写真-2 タックファインSQ用ディストリビュータ

3.2 路面補修材「ファスト・アス」

アスファルト乳剤を用いたスラリー状の路面補修材を開発しました。

写真-3に示すように、アスファルト乳剤と硬化剤を含む骨材の2材が、仕切られた1つの袋に梱包されており、骨材側を握ることで仕切りが破れ、2材は袋の中で混合されます。荒れた路面や小さな段差を簡易に補修することができます。硬化が早く、施工後1時間ほどで交通開放できます。

この独創的な商品パッケージの形態と使用方法が評価され、本材は『GOOD DESIGN AWARD 2016』を受賞しました。



写真-3 ファスト・アスの施工方法

3.2 アスファルト代替バインダ

石油由来の材料であるアスファルトは、枯渇が懸念されています。そこで、持続可能な植物由来の原料で舗装用結合材（バインダ）ができないか検討しています。

写真-4は、開発を進めているアスファルト代替バインダで、植物由来原料の割合は80%以上となっています。コストに課題はありますが、将来、アスファルトに替わるバインダとして提供できることを目指して開発を進めています。



写真-4 開発中のアスファルト代替バインダ

3.3 EGカラー

全天候型テニスコート用材料や競輪場のシーリング材料等で培ってきた知見を活かし、アスファルト舗装やコンクリート舗装を簡単にカラー化できる水性塗料EGカラーを開発しました。

ローラバケ等で簡単に施工可能なため、専門の技術者を必要としないことから、民間施設の駐車場や建築物の外構など、小規模に色分けを行う箇所で活用されています。

EGカラーの荷姿と使用例を写真-5に示します。



写真－５ EGカラーの荷姿と使用例

3.4 スマートフォンによる舗装の評価

長年、舗装維持管理システム（PMS）の開発に取り組んでいます。近年、スマートフォン（スマホ）内蔵の加速度センサやジャイロセンサの情報を活用して走行時の路面応答（凹凸など）を簡易に計測することが可能になりました。これらのデータをPMSに取り込み、道路ネットワーク全体の状況把握を可能にするシステム開発を行っています。スマホで誰でも簡単に測定できるので、ビッグデータを収集することにより有効性の向上が期待できます。

3.5 走行中給電舗装

EV（電気自動車）に走行しながら給電する技術が検討されています。そこで、給電設備を舗装に埋設するために適切な舗装構造の研究開発を関係機関と協力のもと進めています。

写真－6は、技術研究所構内に試験舗装を構築し、実際に受給電が可能かテストしている状況です。



写真－６ 走行中給電舗装の受給電実験

今までの舗装では、あまり関係なかった素材の電気特性を考慮する必要もあるため、難しい課題ですが将来に向け、夢のある研究テーマです。

4. 技術研究所の実験施設

研究施設は、敷地面積7,500㎡、建築面積は、事務棟800㎡、実験棟1,100㎡で、実験棟内に各種試験機器を設置し、アスファルト関係の試験機や舗装関係の試験施設が充実しています。

残り5,600㎡の大部分は試験施工ヤードであり、開発した製品や工法の試験施工を随時実施しています。

また別棟で研修棟があり、社内外の技術講習等で利用しています。

以下、技術研究所の主な設備の概要を紹介します。

4.1 アスファルト乳剤試験設備

アスファルト乳剤を製造する設備として、小型のホモジナイザとコロイドミルを設置しています。

これらの装置を用いて試作したアスファルト乳剤の物性を測定する各種試験装置を備えております。

4.2 アスファルト試験設備

改質アスファルトの試作を行う製造設備と、試作した改質アスファルトの物性を測定する各種試験機器を備えています。

石油アスファルトのJIS規格（K-2207）に記載されている試験はもとより、改質アスファルト協会で定めている規格試験のすべてが実施可能です。

写真－7は、DSR（ダイナミック・シア・レオメータ）です。アスファルトの粘弾性を評価します。

写真－8は、アスファルト用の促進耐候性試験機です。供試体の直上から紫外線強度の高い光線を照射し、

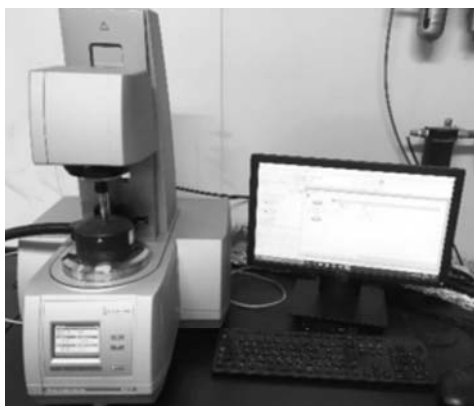


写真-7 DSR

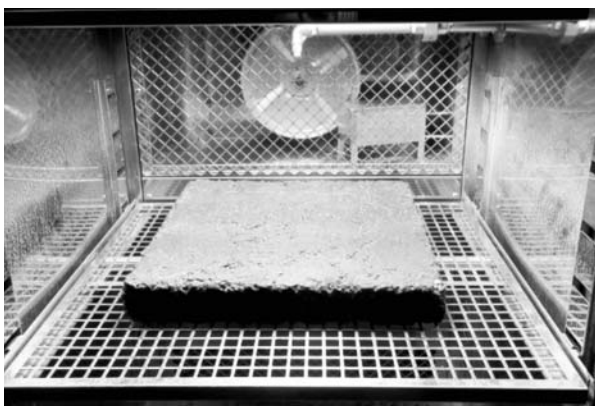


写真-8 促進耐候性試験機

アスファルトを促進劣化させることができます。

アスファルト舗装材料のほか、カラー材料の耐候性評価に用います。

4.3 アスファルト混合物試験設備

アスファルト混合物の室内製造から試験までを行います。アスファルトミキサ、ローラコンパクタなどの作製設備、ダイヤモンドカッターなどの成形設備、ホイールトラッキング試験機や万能圧縮引張試験機などの測定装置があります。

写真-9に示す三連式ホイールトラッキング試験の使用頻度は多く、年間1500個以上の供試体の試験を行っています。



写真-9 三連式ホイールトラッキング試験機

4.4 鉄道試験室設備

新幹線のスラブ軌道に用いるセメント・アスファルト乳剤モルタル（CAモルタル）に代表される鉄道軌道材料の研究開発を行います。

写真-10は、0～40℃に設定できる大型環境作業室です。この作業室での検討が、熱帯環境下で施工可能なCAモルタルを実現し、台湾新幹線のスラブ軌道の施工に活かされました。



写真-10 大型環境作業

4.5 スポーツ・景観試験設備

テニスコートや競輪場、運動場、歩行者用道路に用いる材料の研究開発を行うために、種々の合成樹脂系結合材や顔料などの素材、種々の評価試験機器を備えています。

4.6 分析設備

当社技術研究所は、材料の研究開発に主軸を置いていることから、化学系の分析機器を数多く保有しています。例えば、赤外分光光度計、薄層クロマトグラ

フィ（イヤトロスキャン）、蛍光顕微鏡、SEM（走査型電子顕微鏡）、EDX（元素分析装置）、粒度分布測定機、などがあります。

写真-11は、EDXを備えた卓上型SEMによる粗骨材の観察状況です。

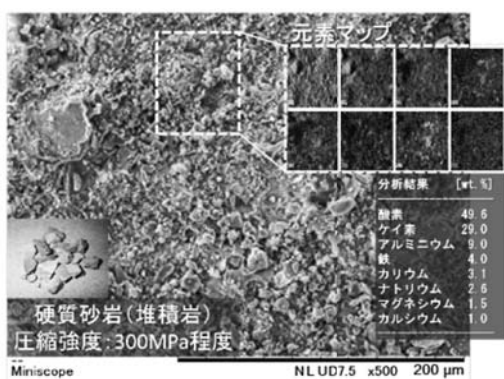


写真-11 SEMによる骨材表面の観察状況



写真-12 路面性状測定車

4.7 調査車両

現場において舗装構造を調査する機械としてFWD（フォールング・ウエイト・デフレクトメータ）や走行しながら路面性状が測定できる路面性状測定車があります。現在、当社は10台のFWDを所有し全国に配備しており、そのうち1台を技術研究所に配備しています。

写真-12は、高速レーザスキャナで路面のひび割れ率を測定する路面性状測定車です。解析時間を従来の10分の1に短縮しました。

平成26年には、走行しながら舗装内部の構造、空洞、更に配管など埋設物調査ができる3次元電磁波レーダ車を導入しました。

4.8 試験施工ヤード

試験施工ヤードでは、開発した製品や工法を実道に適用する前の最終確認として、試験施工を行っています。ヤードはパッチワークのように継ぎ接ぎだらけとなっていますが、これは様々な製品・工法を敷設してきた成果の表れでもあります。

写真-13は、歩行者系舗装の試験施工箇所です。16種類の様々な歩行者系舗装を、幅1m×延長10mで施工し、硬さやすべりなどの物理的な特性に加え、歩行時の筋肉の活動を筋電位計で評価することを試みています。

5. おわりに

技術研究所の成果は、製品や工法として当社の製品販売部門や工事部門ならびにグループ企業を通して、お客様に提供されます。加えて、社外への情報発信にも注力しており、学会会議や関連雑誌に論文や報文を投稿する活動を精力的に行っています。

東亜道路工業はこれまで、お客様が直面している課題に対して真摯に向き合い、さまざまな解決策を提案してまいりました。その知恵の源泉が技術研究所であり、今後も、時代の一步先、ニーズの一步先を見据え、新たな価値を提供できる技術の研究開発に取り組んでまいります。



写真-13 試験施工ヤードの歩行者系舗装

<統計資料>

石油アスファルト需給実績

(単位：千 t)

項目 年度	供 給					需 要						
	期初 在庫	生産	対前年 度比(%)	輸入	合計	販売 (内需)	対前年 度比(%)	内需 (建設用)	対前年 度比(%)	輸出	期末 在庫	合計
22 年 度	227	4,377	(95.0)	51	4,654	2,625	(91.4)	1,796	(78.0)	40	199	2,824
23 年 度	199	3,939	(90.0)	256	4,394	2,482	(94.5)	1,739	(96.9)	0	200	2,682
24 年 度	200	3,960	(100.5)	99	4,259	2,366	(95.3)	1,565	(90.0)	59	217	2,583
25 年 度	217	3,659	(92.4)	92	3,968	2,151	(90.9)	1,455	(93.0)	15	215	2,366
26 年 度	215	3,200	(88.8)	77	3,491	2,032	(97.0)	1,329	(91.4)	45	168	2,199
27 年 度	168	3,188	(100.2)	76	3,432	1,897	(94.5)	1,288	(96.8)	29	217	2,114
28 年 度	217	3,185	(99.6)	88	3,490	1,874	(99.0)	1,253	(97.3)	114	111	1,985
29. 4 月	185	231	(100)	4	420	128	(93)	77	(72.1)	12	93	220
5 月	201	217	(83)	0	418	116	(122)	83	(177.1)	9	122	238
6 月	202	222	(84)	0	424	113	(70)	88	(74.4)	15	70	182
4～6 月	185	670	(88.7)	4	859	357	(90.2)	248	(91.2)	36	70	426
7 月	183	243	(87)	6	431	145	(106)	99	(110.6)	3	106	251
8 月	171	281	(96)	8	460	153	(112)	100	(115.7)	9	112	265
9 月	188	278	(109)	6	472	153	(103)	108	(130.3)	6	103	257
7～9 月	183	802	(96.7)	20	1,005	452	(107.0)	307	(118.6)	18	103	555
10 月	193	205	(111)	11	409	151	(96)	125	(109.7)	0	96	247
11 月	187	236	(106)	15	438	161	(93)	135	(111.6)	0	93	254
12 月	190	316	(101)	13	519	180	(89)	120	(89.1)	4	89	269
10～12 月	193	757	(105.4)	39	989	492	(92.2)	380	(102.8)	4	89	581
30. 1 月	212	269	(90)	14	495	120	(92)	62	(81.6)	0	92	211
2 月	231	236	(85)	13	480	168	(105)	112	(99.7)	0	105	273
3 月	207	256	(84)	9	472	187	(85)	154	(93.6)	12	85	273
1～3 月	212	761	(86.3)	36	1,009	475	(93.0)	328	(92.9)	12	85	561
29 年 度	185	2,990	(93.9)	99	3,274	1,776	(95.3)	1,262	(100.8)	70	85	1,861
30. 4 月	216	193	(83)	1	410	143	(112)	78	(100.4)	3	112	254
5 月	226	227	(105)	5	458	163	(140)	111	(134.0)	6	140	303
6 月	219	188	(85)	1	408	129	(115)	111	(126.4)	9	115	244
4～6 月	216	608	(90.8)	7	831	435	(121.9)	299	(120.8)	18	115	550
7 月	211	236	(97)	1	448	166	(115)	112	(112.9)	6	115	281
8 月	215	220	(78)	2	437	161	(105)	100*	(100.0*)	9	105	266
9 月	195	217	(78)	1	413	168	(109)	100	(92.8)	18	109	277
7～9 月	211	673	(83.9)	4	888	495	(109.6)	312*	(101.7*)	33	109	604

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

一般社団法人 日本アスファルト協会会員

社	名	住	所	電	話
---	---	---	---	---	---

(平成30年12月1日現在)

[メーカー]

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

[ディーラー]

● 東北

カメイ株式会社	(980-0803)	仙台市青葉区国分町3-1-18	022 (264)	6111
---------	------------	-----------------	-----------	------

● 関東

株式会社アスカ	(106-0032)	港区六本木3-4-33	03 (3587)	1500
伊藤忠エネクス株式会社	(105-8430)	港区虎ノ門2-10-1	03 (6327)	8027
三菱商事エネルギー株式会社	(100-0004)	千代田区大手町1-1-3	03 (4362)	4200
コスモ石油販売株式会社	(104-0032)	中央区八丁堀4-7-1	03 (6891)	9922
環境・エネルギーカンパニー				
株式会社ジェイエック	(103-0028)	中央区八重洲1-2-1	03 (3272)	3471
竹中産業株式会社	(101-0044)	千代田区鍛冶町1-5-5	03 (3251)	0185
東新エナジー株式会社	(104-0033)	中央区新川2-1-7	03 (3537)	3082
日東商事株式会社	(170-0002)	豊島区巢鴨3-39-4	03 (3915)	7151
富士興産株式会社	(101-0042)	千代田区神田東松下町13	03 (6859)	2050
丸紅エネルギー株式会社	(101-8322)	千代田区神田駿河台2-2	03 (3293)	4171
ユニ石油株式会社	(107-0051)	港区元赤坂1-7-8	03 (3796)	6616
リーフエナジー株式会社	(108-0073)	港区三田3-4-10	03 (6435)	4497

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

● 近畿・中国

三 徳 商 事 株 式 会 社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4-4-10	06 (6394) 1551
昭 和 瀝 青 工 業 株 式 会 社	(670-0935) 姫路市北条口4-26	079 (226) 2611
千 代 田 瀝 青 株 式 会 社	(530-0044) 大阪市北区東天満2-10-17	06 (6358) 5531
富 士 商 株 式 会 社	(756-8501) 山陽小野田市稲荷町10-23	0836 (81) 1111
横 田 瀝 青 興 業 株 式 会 社	(672-8064) 姫路市飾磨区細江995	079 (233) 0555

● 四国・九州

今 別 府 産 業 株 式 会 社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	099 (256) 4111
三 協 商 事 株 式 会 社	(770-8518) 徳島市万代町5-8-3	088 (653) 5131
西 岡 商 事 株 式 会 社	(764-0018) 仲多度郡多度津町東港町11-1	0877 (33) 1001
平和石油株式会社高松支店	(760-0065) 高松市朝日町4-17-1	087 (811) 6231

編集顧問	編集委員
中 村 俊 行	委 員 長 : 里 薊 拓 加 納 孝 志 神 谷 恵 三 竹 井 利 公 徳 光 克 也 永 田 佳 文 新 田 弘 之 濱 田 幸 二 姫 野 賢 治 峰 岸 順 一 向 後 憲 一 吉 武 美 智 男 森 端 洋 行 吉 村 啓 之

アスファルト 第234号

平成30年12月発行

一般社団法人 日本アスファルト協会

☎ 135-8074 東京都港区台場2-3-2

昭和シェル石油株式会社 技術商品部

TEL 03-5531-5765

機関誌「アスファルト」に関するお問い合わせ

JXTGエネルギー株式会社 販売本部 産業エネルギー部

井手 圭二郎

TEL 03-6257-5663

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.61 No.234 DECEMBER 2018

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/>

