

アスファルト

第53巻 第226号 平成22年12月発行

226

特集・ISAP名古屋会議

ISAP2010名古屋会議の概要

中村俊行 1

技術論文の総括

笠原篤 3

分野別論文発表について

環境と安全

久保和幸 5

設計

姫野賢治 7

材料

阿部長門 8

施工

藤田仁 14

マネジメント

神谷恵三 17

低コスト道路建設

中村俊行 19

高度な利用

増山幸衛 21

特集・アスファルト事情

アスファルトの課題と今後の方向性

吉兼秀典 22

アスファルト材料について

新田弘之 23

最近のアスファルト事情

JX日鉱日石エネルギー株式会社 31

ポリマー改質アスファルトの現状

渡辺雅倫 35

アスファルト乳剤の現状

一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会 39

＜アスファルト舗装技術研究グループ・第58回報告＞

佐々木 蔵 43

アスファルト混合物から発生する物質に関する海外の研究

西山大三・大場拓也・小柴朋広

清水泰成・杉迫泰成・長尾敏之

平川一成・森石一志・船井俊孝 44

アスファルト舗装を取り巻く再生技術に関する海外の研究

鎌田孝行・清水泰成・塚越智浩

平川一成・森石一志・森嶋洋幸 63

＜統計資料＞石油アスファルト需給統計資料

78

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89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。

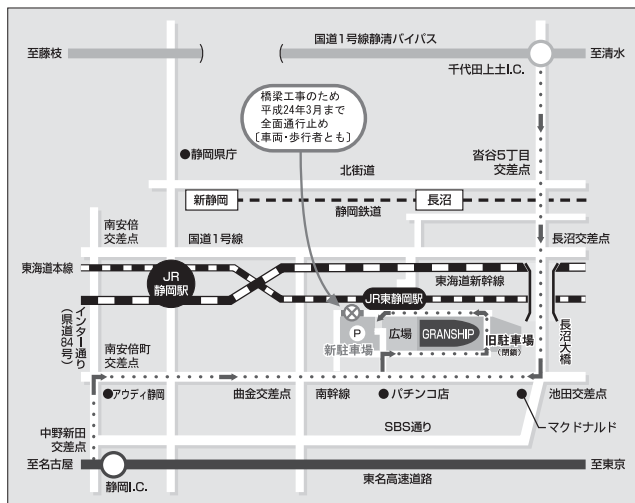
当協会主催の「アスファルトゼミナール」を下記要領にて開催致します。

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
3. 後 援 国土交通省、社団法人 日本道路建設業協会、社団法人 日本アスファルト合材協会
4. 開催月日 平成23年2月17日(木)～2月18日(金)
5. 開催場所 静岡県コンベンションアーツセンター グランシップ(会議ホール・風)
〒422-8005 静岡県静岡市駿河区池田79-4 ☎054-203-5710
6. 内 容 裏面「プログラム」をご覧ください。
7. 申込方法 平成23年2月10日(木)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 JX日鉱日石エネルギー株式会社
エネルギー・ソリューション1部 塚越・宇都まで ☎03-6275-5174
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 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 JSCE09-0604 7.3単位
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。



開催日時

平成23年2月17日(木)～2月18日(金)

開催場所

静岡県コンベンションアーツセンター グランシップ

〒422-8005 静岡県静岡市駿河区池田79-4

☎054-203-5710

■会場案内図

- ・東海道新幹線(ひかり)で東京から1時間、大阪から2時間。静岡駅下車。東海道本線上り方面に乗換、東静岡駅まで約3分。東静岡駅南口に隣接、メインエントランスまで徒歩約3分。
- ・静岡鉄道 新静岡駅から6分、新清水駅から14分。長沼駅下車。JR東静岡駅コンコース通過、南口出口まで徒歩約7分。メインエントランスまで徒歩約3分。

プログラム

ー厳しい予算制約下における舗装のマネジメントー

第1日目 平成23年2月17日(木) 13:00~17:35

(敬略称)

1. 挨拶 13:00 ~ 13:05

一般社団法人日本アスファルト協会
ゼミナール委員長

谷 田 部 靖

2. 挨拶 13:05 ~ 13:20

一般社団法人日本アスファルト協会
アスファルト舗装技術委員長

矢 野 善 章

3. 効果的なアセットマネジメントの活用 13:20 ~ 14:20

大阪大学大学院 工学研究科
フロンティア研究センター 特任講師

貝 戸 清 之

(休憩 14:20 ~ 14:25)

4. 海外の舗装マネジメントの動向 14:25 ~ 15:25

(株)NEXCO 総研 道路研究部 舗装研究担当部長 神 谷 恵 三

(休憩 15:25 ~ 15:30)

5. 舗装維持修繕のガイドブックの方向 15:30 ~ 16:30

国土交通省 国土地理院 参事官

吉 兼 秀 典

(休憩 16:30 ~ 16:35)

6. 静岡県における舗装のマネジメンツの事例紹介 16:35 ~ 17:35

静岡県 道路局 道路保全課 舗装班 班長代理 平 井 一 彰

第2日目 平成23年2月18日(金) 9:30~12:40

7. 平成23年度道路予算 9:30 ~ 10:30

国土交通省 道路局 道路経済調査室長

七 條 牧 生

(休憩 10:30 ~ 10:35)

8. 今後のアスファルト乳剤の発展のために 10:35 ~ 11:35

一般社団法人日本アスファルト乳剤協会

焼 山 明 生

(休憩 11:35 ~ 11:40)

9. 舗装マネジメントにおけるポリマー改質アスファルトの有効活用 11:40 ~ 12:40

一般社団法人日本改質アスファルト協会

渡 辺 雅 倫

(※講師は都合で変更になる場合があります)

ISAP2010名古屋会議の概要

(The Summary of the ISAP 2010 Nagoya Conference)

中 村 俊 行*

1962年に公表されたAASHO道路試験報告書の追跡調査・フォローアップを主な目的として、同年に「第1回国際アスファルト舗装構造設計会議」が米国ミシガン大学で開催されて以来、我が国の舗装技術に大きな影響を与えてきた「国際アスファルト舗装会議」が8月2日～6日に名古屋国際会議場で開催された。

本報では、本会議に先立って開催された「アジア特別セッション」、同時開催された「ISAP技術展示」、「道の未来フェア」等の関連行事についてもその概要を報告する。

1. はじめに

2006年8月の第10回ISAPケベック大会時に、次回2010年の名古屋での開催が決定されてから4年、日本道路協会内に実行委員会を発足させ諸準備を進め、今回の会議開催となった。ISAP2010名古屋会議では、本会議である「第11回国際アスファルト舗装会議」に先立って、アジア諸国から政府高官や研究者を招待して、アジア地域の道路と舗装についての講演を行う「アジア特別セッション」がプレカンファレンスとして開催された。

さらに、国際会議参加者を対象とした「ISAP技術展示」や、舗装や道路技術などを広く広報するとともに、国際交流・地域交流を通じた地域活性化に寄与するべく、一般市民の皆様を対象とした「道の未来フェア」が同時に開催された。

2. アジア特別セッション（プレカンファレンス）

欧米諸国以外で初開催となる第11回国際アスファルト舗装会議に、多くのアジア諸国からの参加を促すとともに、アジアにおける道路整備状況や今後の課題、舗装最新技術の展望などに関する講演及び意見交換を行うことを目的として、8月1日（日）午後にアジア特別セッションが開催された。

アジア各国の道路整備状況と今後の課題などについて講演する1st Sessionは、(社)国際建設技術協会の山川朝生理事長の進行のもと、インド、イラン、カザフスタン、キルギス、ベトナムの順に道路整備状況や今後の課題などが発表された。



写真－1 アジア特別セッション

また、舗装技術の最新動向について議論する2nd Sessionは、北海道工業大学笠原篤教授の進行のもと、舗装の技術開発が進んでいる中国、韓国、シンガポール、日本の研究者に加え、アジア・オセアニア地域の技術動向を総括する役割としてREAAA技術委員長（豪州）を招待して行われた。

国内外から約400名の方が参加し、両セッションとも多くの質問がだされ、白熱した議論も交えた大変有意義なものとなった。

3. 第11回国際アスファルト舗装会議

特定テーマの全体会議であるプレナリーセッションでは、「環境」、「安全」、「低コスト道路」の3テーマを選定し、それぞれ4編ずつの論文について発表、質疑応答が行われた。

並行開催のパラレルセッションは4日間にわたり、6つの会議室で論文発表が行われた。論文テーマとして①環境と安全、②設計、③材料、④施工、⑤マネジ

*なかむら としゆき 大成ロテック(株) 常務役員(日本道路協会舗装委員長, ISAP実行委員会副事務局長)



写真-2 パラレルセッション



写真-3 ポスターセッション

メント, ⑥低コスト道路建設, ⑦舗装技術の高度な応用の7つが取り上げられた。

ポスターセッションはISAPでは初めての開催となったが, このセッションでの発表論文も会議論文集に収録することとした結果, 53編(13カ国)の論文が採択され, 内39編が展示発表された。

参加登録者はアジア・オセアニア127名を含めて635名と, 前回ケベック会議の5割増しとなった。なお, 技術論文の詳細については, 笠原論文委員長の報告を参考としていただきたい。

4. ISAP技術展示

会議開催期間中, 論文発表会場フロアである名古屋国際会議場3階と昼食会場フロアである4階の会議室, ロビースペースなどで道路関連分野のISAP技術展示が行われた。展示には36の企業・団体が出展し, 海外からも豪州, 中国, デンマーク, 韓国, 米国からの出展があり, 展示内容の説明や情報の交換が活発に行われた。



写真-4 ISAP技術展示

5. 道の未来フェア

ISAP2010名古屋会議の目的の一つに, 前述したように「一般県民・市民の皆様に, 道路事業に対する理解を深めていただき, 更に国際交流を通じた地域活性化を促進する」ことがあげられた。そこで「道の未来フェア」として, 「2010建設テクノフェア・ISAP道のテクノロジー展」を中心として, キャラクターショー・

書道パフォーマンス等の「地域イベント」, 著名人による「特別講演」, 「エコカー体験試乗会」, 「道の駅, SA・PA物産展」などを同時開催した。

この結果, 連日の猛暑にもかかわらず約3万人の方々にご参加いただき, 大盛会のうちに「道の未来フェア」が行われた。



写真-5 道の未来フェア(展示)

6. おわりに

4年間におよぶ準備期間を経て開催されたISAP2010名古屋会議であったが, 地元愛知県, 名古屋市の全面的な協力のもと, 関係各位のご努力により, 大変な盛り上がりの中で無事終了することが出来た。

国際アスファルト舗装会議には, 日本以外44カ国からのご参加をいただき, 特にアジアからは15カ国112名にのぼった。会議での論文発表や討議を通して, 技術の交流は勿論のこと, 会議開催の目的の一つである「海外からの参加者に, 我が国の優れた舗装技術を幅広く情報発信し, 国際的に強くアピールする」ことは達成できたと考えている。

また, 舗装や道路が社会で果たしている役割や意義を, 広く一般市民の皆様に理解していただくという趣旨についても, 多くの方に参加していただくことによって成果が得られたと確信している。

技術論文の総括

(Overview of Presented Papers)

笠原 篤*

会議のメインテーマを「環境と安全」とし、全体会議は①環境、②道路の安全、③低コスト道路の3テーマ、分科会は、①環境と安全、②設計、③材料、④施工、⑤マネジメント、⑥低コスト道路建設、⑦舗装技術の高度な応用の7テーマとした。特に、「低コスト道路」なるテーマは、アジア諸国を意識したものであり、さらに新規のテーマとして「舗装技術の高度な応用」を取り入れた。掲載論文数は262編、総参加者は635名と、大成功を収めた第11回アスファルト舗装国際会議であった。

1. はじめに

国際アスファルト舗装学会 (ISAP) と(社)日本道路協会の共催による第11回アスファルト舗装国際会議がアジアで初めて、名古屋にて開催された。米国ミシガン州アナーバーにあるミシガン大学にて、1962年に開催された「アスファルト舗装の構造設計」がこの会議の幕開けであり、48年の歴史を持つこの分野では最も権威のある会議である。第1回の会議における論文を見ると、A.C. Benkelman, F.N. Hveem, W. Heukelom, L.W. Nijboer, F.N. Finn, P.S. Pell, C.L. Monismithなど、世界のアスファルト舗装史に名を連ねた著名な研究者が執筆している。

表-1にあるように、第9回までは5年毎に開催され、掲載論文数も60～120篇程度で、論文の採択率も30%程度とその審査も厳しいものであった。前会議まで、わが国からの論文は0～8篇であり、高レベルの国際会議であったことが分かる。なお10回からは4年毎に開催されることになっており、論文集への掲載論文数も200編程度と増加し、今回ではポスターセッションでの論文(49篇)も入れ262編となった。

2. 論文募集

アジアで初めての開催であることを踏まえ、世界各国、特にアジアから多数の方々に参加してもらかの施策を、論文募集において、論文委員会で討議した。

本会議のメインテーマを“環境と安全”とし、全体会議は①環境、②道路の安全、③低コスト道路の3

表-1 会議履歴と掲載論文数

回	年	開催地	掲載論文数	日本からの論文数
1	1962	アナーバー (米国)	68	0
2	1967	アナーバー (米国)	70	3
3	1972	ロンドン (英国)	101	4
4	1977	アナーバー (米国)	59	2
5	1982	デレフト (オランダ)	62	0
6	1987	アナーバー (米国)	84	2
7	1992	ノッTINGHAM (英国)	101	5
8	1997	シアトル (米国)	124	6
9	2002	コペンハーゲン (デンマーク)	121	4
10	2006	ケベック (カナダ)	191	8
11	2010	名古屋 (日本)	213 + 49	102

テーマとし、分科会は、①環境と安全、②設計、③材料、④施工、⑤マネジメント、⑥低コスト道路建設、⑦舗装技術の高度な応用の7テーマとした。2009年1月20日～6月25日の間、アブストラクトを募集し、544件の応募があった。アブストラクトの査読は、国内2名、海外1名で担当し、合格者に対しては本論文の執筆を

*かさはら あつし 北海道工業大学 社会基盤工学科 教授 (ISAP 理事・ISAP2010 名古屋会議論文委員長)

依頼した。本論文に対しても同様の査読を行い、査読結果によって、口頭発表とポスター発表に区分したが、平均採択率は53%であった。なお、なるべく多くの参加者を期待し、ポスター発表の論文も論文集に掲載することを、事前にISAP理事会の承認を得ていた。

3. 論文

会議は、キイノートスピーチ、全体会議、分科会とに別れて4日間にわたり実施された。

キイノートスピーチでは、米国アスファルト協会のDr. Earl Arpが「アスファルト加熱時に発生するガスと健康」について講演し、世界各国での研究結果から健康への影響は無いと結論された。

全体会議では、①環境、②道路の安全、③低コスト道路について、各々4篇の論文を採択論文から、論文委員会にて選択した。環境については、リサイクル・低騒音・ライフサイクルアセスメント・常温混合物などアスファルト舗装の環境問題を多方面から取り扱う必要性がアピールされた。道路の安全については、舗装技術にとって永遠のテーマであり、すべり対策としての表層材料（ポーラス、SMA）・舗装による速度制御などについて議論された。低コスト道路については、発展途上国にとっては重要課題であり、コストを抑えながら舗装率を上げるための材料評価などの基礎技術から新技術や新工法など幅広い検討が必要であるとされた。

分科会における分野別論文数は表-2に示されているが、舗装材料分野の論文数が突出している。分科会別の論文内容については、別稿に譲るとして、日本からの論文に関しては、環境と安全、建設建設技術、低コスト道路建設、舗装技術の高度な応用の分野への投稿が多いことが分かる。一方、舗装の構造と路面設計への投稿が最も少ないことから、わが国の舗装研究の方向性が見えてくる。

なお、アブストラクトの応募総数は544編、受諾論文数は283編（口頭発表236編、ポスター発表53編）、

表-2 分野別採択論文数（）内、日本からの論文数

全体会議および分科会テーマ	論文数	ポスターセッション論文数
全体会議	12 (49)	
1. 環境と安全	36 (22)	17 (12)
2. 舗装の構造と路面設計	40 (3)	8 (4)
3. 舗装材料	104 (17)	15 (5)
4. 建設技術	20 (14)	4 (3)
5. 舗装マネジメント	16 (6)	6 (3)
6. 低コスト道路建設	4 (3)	2 (1)
7. 舗装技術の高度な応用	4 (4)	1 (1)

期間中の発表論文数は244編（口頭発表205編、ポスター発表39編）であった。

また、採択論文であっても会議登録がなされない場合には論文集に掲載しない方針を取ったことから、掲載論文数は262編（口頭発表213編、ポスター発表49編）となった。表-3には本国際会議を構成した地域についての統計を示している。

表-3 受諾論文および参加者

地域	アブストラクト数	受諾論文数(率)	参加者
北米	80	52 (65%)	41
南米	6	3 (50%)	2
欧州	121	74 (61%)	89
豪州	11	5 (45%)	15
アジア	119	48 (40%)	112
アフリカ	15	5 (33%)	9
日本	192	102 (53%)	367
合計	544	283 (53%)	635

4. おわりに

アジアで初めて開催されたアスファルト舗装国際会議の総括として、従来、日本から世界に向けての情報発信が極端に少なかった反省、アジア地域へのわが国の舗装技術の普及、さらにわが国の舗装研究の進展の必要性が上げられる。

分野別発表論文について

(Technical Presentations by Category)

環境と安全

1. 論文の国別提出状況

口頭発表およびポスターセッションへの論文の提出状況は以下のとおりである。なお、これらの数字は論文投稿時に執筆者の自己申告による分類に基づいており、例えばプレナリーセッション1で取り上げたオランダの低騒音舗装技術は、執筆者からはテーマ5：施工で登録されており、集計上の分類はテーマ5となっている。

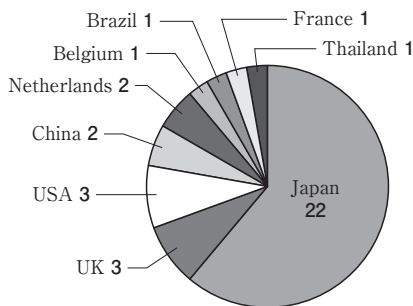


図-1 口頭発表への論文提出状況

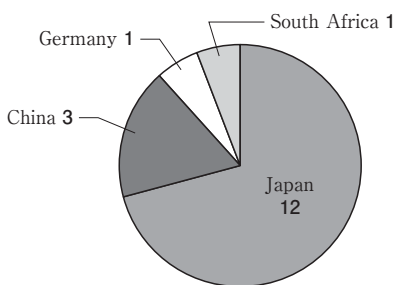


図-2 ポスターセッションへの論文提出状況

「テーマ1：環境と安全」分野においては、口頭発表全36編のうち22編が、ポスターセッション全17編のうち12編が日本からの論文であり、日本開催であることを差し引いても、この分野におけるわが国の先進性が垣間見えているのではないかと考えられる。

2. セッションの概要

2.1 プレナリーセッション

8月3日には環境をテーマにしたプレナリーセッション1が行われ、執筆者が座長を務めた。

日本からは、世界でも有数のリサイクル先進国であるわが国の舗装材料のリサイクル技術の現状と課題、オランダからはゴムチップを用いた薄層シート材料をロール上にして敷き広げる低騒音舗装技術、米国からはアスファルト舗装のライフサイクルアセスメント、フランスからは原位置における常温混合アスファルト技術が報告された。

続く8月4日には交通安全をテーマにしたプレナリーセッション2が行われた。

日本からはわが国の高速道路における長い高機能舗装の実績に基づく現状と課題、ならびに路面の縦断凹凸に手を加えることにより車両の走行速度を抑制する技術、イギリスからはアスファルト表面処理に関する性能向上、ポルトガルからは周辺環境などが異なる場合のすべり抵抗と交通安全の関係が報告された。

2.2 パラレルセッション

環境と安全をテーマとしたパラレルセッションは以下の9セッションである。

セッション1A：アスファルト舗装材料の持続可能な循環利用

セッション1B：リサイクリング

セッション2A：アスファルト舗装材料の持続可能な循環利用

セッション2B：ポーラスアスファルトコンクリート

セッション3B：環境に優しい舗装技術

セッション5B：交通安全

セッション6B：道路環境

セッション7B：中温化舗装技術

セッション9B：気候変動

このうち、セッション1Aと2AはISAPが2008年のチューリッヒにおけるシンポジウムの際に立ち上げたア

スファルト舗装と環境に関する技術委員会 (Technical Committee on Asphalt Pavement and Environment, TC-APE) の活動の一環として執り行われており、前 ISAP 会長である Manfred Partl 氏が論文の選定からセッションの座長までを行っている。計 8 編の論文のうち、凍結抑制舗装と保水性舗装に関する日本の論文が 2 編取り上げられており、これらの技術については日本が世界をリードしていることが伺われた。

セッション 1B は執筆者が座長を務めたが、4 編中 3 編が日本人の発表で、積雪寒冷地における再生アスファルトを用いた舗装の供用性に関する報告と高速道路におけるポーラスアスファルト混合物の再生利用に関する論文の他、論文数調整のため、保水性・遮熱性舗装に関する論文も発表された。また、米国からは 100% 再生利用に関する論文が発表された。

セッション 2B は執筆者の論文を含め 4 編全てが日本からの論文であった。排水性舗装特有の破損に関する報告の他、積雪寒冷地での適用、ポーラスアスファルト混合物の再生利用に関する論文が発表された。日本における排水性舗装の長期に渡る実績に基づく発表が中心であり、わが国が世界でも類を見ない実績を有しており、この技術について世界を主導する立場にあることが分かる。

セッション 3B は 4 編中 3 編が日本からの論文であり、環境に優しいリサイクル技術として温水を用いた再生骨材の抽出方法の他、舗装工事における環境に優しいエネルギー利用に関する論文が発表された。また、ブラジルからは木製パネルの焼却灰利用に関する論文が発表された。

セッション 5B は執筆者が座長を務めたが、4 編中 3 編が日本の論文で、実際の交差点における交通安全対策事例の紹介の他、視認性に優れた区画線用塗料、排水性舗装の排水性能のシミュレーションに関する論文が発表された。また、イギリスからは路面のラベリング評価に関する論文が発表された。海外では safety という Work Zone Safety (工事現場の安全性) を思い浮かべることが多いらしく、Traffic Safety に特化した論文は海外からはあまり投稿されなかった。ちなみに ISAP 名古屋会議の会議テーマについても、日本語では「環境と安全」としているが、英語では海外の技術者が理解しやすいように "Safe Global Environment" としている。

セッション 6B では日本からの 2 への論文の他、ポーラスアスファルト舗装に関する米国からの論文と路面

下の排水システムの評価に関するイギリス論文が発表された。セッションのテーマは道路環境で、日本では道路交通騒音が主題となるところであるが、騒音問題に関する海外の論文は思いの外少なかった。ただし、プレナリーセッション 1 で発表のあった Rollpave のようにヨーロッパ等でも騒音低減に関する関心は年々高まってきており、今後、こうしたジャンルの論文数は増えることが予想される。

セッション 7B は日本からの 2 編の他、オランダと中国からそれぞれ 1 編の論文発表があった。セッション割りに際しては、論文執筆者が投稿時に提示してきたジャンル分けをベースにしているため、「3. 材料」にもかなり中温化技術に関する論文が配されることとなった。中温化技術は世界の主流となりつつあり、CO₂ 排出抑制のみならず、路上工事時間の短縮やアスファルト舗装工事に携わる作業員の作業環境の改善など、さまざまな目的のために使用されることとなりそうである。

セッション 9B は執筆者の論文も含め 3 編が日本からの論文であり、その他にタイからアジア諸国での対応の現状報告に関する論文が投稿された。「気候変動への対応」PIARC (世界道路協会) などでも Climate Change は話題となっているが、海外では温暖化などにより引き起こされる異常気象に対して舗装技術をどう改善していくのかが議論されることが多く、日本のように気候変動を抑制するために路面温度を下げる、といった技術開発はあまり行われていないようである。

2.3 ポスターセッション

前述のとおり、ポスターセッションには全 17 編中 12 編が日本からの投稿論文であり、この背景としては、商品の紹介的な論文が多かったことのほか、ポスターセッションであれば質疑応答などが口頭発表よりも余裕を持って出来るという語学面での理由もあったようである。

また、今回の ISAP 名古屋会議では、ポスターセッションに回された論文であっても会議登録を行えば正式に会議論文集に掲載することとしたため、これまでの ISAP 国際会議と比較するとポスターセッションへの投稿論文数が飛躍的に増えている。

論文の内容は多岐に渡っており、最も多い中温化技術でも 3 編であった。全体的な傾向としては、ドイツからの論文が気候変動に対応した舗装の構造に関する検討である以外は、新材料の開発や現場での適用事例報告が大半を占めていた。

3. 全体の感想

セッション全体を通じては、論文数の違いに現れているように、環境関連の技術開発については日本が世界的に見てもかなり進んでいるという印象である。ただ、リサイクルなど実績としてはかなり進んでいるものの、理論的な解析などの裏付けが十分ではないという印象もあり、今後、日本がこの分野で世界をリード

していくためにはこうした先進的な取り組みを裏付け、海外に技術展開していくための理論の裏付けということになる。

独立行政法人土木研究所

久保和幸

設 計

1. 論文の一覧

今回のISAPに投稿され、査読の結果、口頭で発表されることになった論文は、全部で33編であり、国別では、アメリカの8編が最も多く、そのほか、カナダ、ドイツ、日本が各3編、中国、デンマーク、フランス、スウェーデンが各2編、それ以外は、オーストラリア、クロアチア、ギリシャ、アイルランド、韓国、ポーランド、ルーマニア、南アフリカが各1編であった。ブリーナリ、パラレルおよびポスターの各セッションを合計すると、わが国からは合計で100編程度の論文が発表されたが、設計に関しては僅かに3編であったということは、わが国の舗装に関する実情を反映しているように思われる。また、日中韓以外のアジアからの論文発表はなく、南アフリカとオーストラリアを除けば、残りの論文はすべて欧米からのものであった。

2. セッションの構成

2.1 パラレルセッション

表-1に、設計分野のパラレルセッションで発表された論文に関するセッション構成を示す。

これらのセッションは、内容の比較的近い論文を

とりまとめて共通の名称をつけるという方法で構成されているため、これらのセッション名は必ずしも各論文の本题を表しているとは限らないが、大きな特徴は、促進載荷装置を利用した論文が非常に多く、3つのセッションを形成していることである。これらの装置は、実物大か模型か、環境制御が可能か、評価対象としている破損が何かなどによっていろいろに分類されるが、各論文にはほぼ共通している手法として、Mechanistic-Empirical Pavement Design (理論的経験的舗装設計) という考え方を取り入れて、これらの装置による実験結果を検証しようとしていることである。

写真-1は、韓国のHanyang (漢陽) 大学に、わだち掘れを対象として建設された促進載荷装置で、周辺温度を50℃にまで高めて実験をすることができるといものであるが、これは、経験的設計法から理論的経験的設計法にシフトすることを目指したものである。



写真-1 韓国Hanyang大学の促進載荷装置

写真-2は、スペインにあるCEDEXと呼ばれる載荷促進装置で、これは、15mの長さの6つの舗装区間を持ち、その上を64kNの実物大の車輪が横方向走行位置を変えながら、時速35kmで24時間走り続けることができる実験場である。これにより、CalME (the California asphalt pavement mechanistic-empirical

表-1 設計分野のパラレルセッションの構成

Session No.	Session Title	セッション名
1C	Accelerated Testing (1)	促進載荷試験 (1)
2C	Accelerated Testing (2)	促進載荷試験 (2)
3C	Accelerated Testing (3)	促進載荷試験 (3)
4C	Analysis	解析
5C	Evaluation	評価
6C	Design Factor (1)	設計因子 (1)
7C	Design Factor (2)	設計因子 (2)
8B	Investigation	調査
8C	Design Factor (3)	設計因子 (3)
9C	Distress	破損

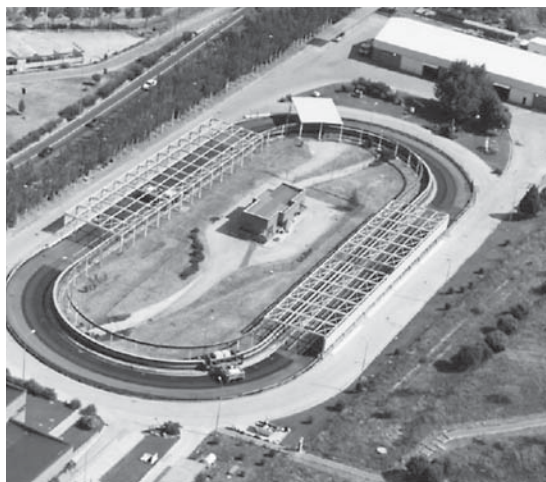


写真-2 スペイン CEDEX の促進載荷装置

design and analysis system) と称する理論的経験的設計法を、わだち掘れとひび割れの両面から検証しようとしている。

このような大型の促進載荷装置を用いるか否かは別にして、舗装の設計法は、俗に半理論半経験法ともいわれる Mechanistic-Empirical 法に世界全体がシフトしつつあることは間違いなさそうである。

これら以外の他の論文は、それぞれ大きなトレンドにしたがったものではなく、各執筆者の興味や境遇から選ばれたと思われるテーマとなっているようである。ただし、3編の論文が、タイヤの空気圧、タイヤの動的載荷、タイヤの転がり抵抗などと舗装の挙動や路面性状との関連を検討していることは注目される。

2.2 ポスターセッション

ポスターセッションは、パラレルセッションとは異なり、日本から4編、イタリアから2編、インドネシアとカナダから各1編と、日本からの論文が半数を占め、他の論文もパラレルセッションには見られない国からのものであった。

目を引くのは、パラレルセッションでは、一時期多くの論文に見られた、FWDを用いて測定された舗装のたわみから、逆解析手法などを通じて舗装各層のス

ティフネスの推定を行って舗装の構造評価を行う論文があまり見られなかったが、ポスターセッションでは3編を占めていることと、紫外線や3次元レーザー光線を用いて、舗装の機能低下やテクスチャを測定するなどの変わった手法を用いた論文が散見されたことであろう。

3. 全体の感想

筆者自身、会議に参加できなかったため、会場の雰囲気を含めた感想に触れることはできないが、1962年に第1回のアスファルト舗装に関する構造設計会議が開催されて以来、そのプロシーディングスは明らかに世界をリードするもので、構造設計に特化していたせいもあって、1編1編の論文にもものすごい重みがあり、自分は一生に1〜2編もかけないだろうと思っていたことがある。今年、名古屋で11回目の会議が開かれ、テーマも舗装に関することであれば何でも良いということもあって、分野もレベルも多様化したように思われる。他にも、ジャーナルを含めて国際会議がとて多くなったせいもあり、論文へ投稿すること自体が大分身近になってきたと思われる。

論文の内容をふりかえっても、第1回会議からしばらくの間はAASHO道路試験のデータ解析といった雰囲気があったが、その後しばらくは、どちらかと言えば、実用性を無視してでも理詰めで主張するような論文が多く、実務と研究の間におおきなギャップがあったように思えるが、今回の名古屋に投稿された論文の多くは、理論的な研究であっても、実務に片足を置きながら、実データに基づいた研究が多いように思える。半理論的半経験的な設計法という概念もこのような流れでたどり着いた1つの解なのかも知れない。そういえば、かつてのISAPのテーマにPaving the Gapというのがあったが、10数年たって徐々に根付いてきたということかも知れない。

中央大学 理工学部都市環境学科 教授 工学博士
姫野 賢治

材 料

1. 論文の一覧

「材料」と題してアスファルト舗装の材料の設計から疲労特性までの広範囲な論文を募集した結果、口頭発表104編、ポスター14編の合計118編の発表があっ

た。

材料のセッションは、さらに細かく9つの分野に分類された。各分野の論文数を表-1に示す。供用性に関する破損やわだち掘れに関するセッション(3-6)は

表－１ 材料に関する口頭発表論文数

	セッション名	論文数
3-1	Porous Asphalt	9
3-2	Warm mix asphalt	5
3-3	Recycle	10
3-4	Mix design	16
3-5	Modifiers	11
3-6	Fracture & Rutting	26
3-7	Laboratory testing	12
3-8	Surface treatment & Repair material	11
3-9	Unbound base	4
口頭発表論文数		104

26編と最も多く、次に、配合設計（3-5）、室内試験方法（3-6）に関する論文も多かった。また、京都議定書（COP）以降の話題に関連した排水性混合物（3-1）や中温化混合物（3-2）などの地球環境対策に関する論文の投稿および発表が多かった。

2. 論文概要

材料セッションで選択された口頭発表論文104編の中から、上記の細分野の中で日本の舗装技術の動向を踏まえ関連性や興味が深いと思われるいくつかの論文を抽出し、以下の様に概要をまとめた。

3-1 排水性舗装

Aging Characteristics of Polymer Modified Binders in Porous Asphalt Pavements

著者名：Xiaohu Lu

スイスからの発表論文で、現場コアに対して、エックス線X線断層写真撮影を使って、構造的な分析を行い、バインダを抽出しエージングされたコアの上部と下部の差を調べ、クロマトグラフィー、フーリエ変換赤外分光法などで特徴を調べている。現場での劣化傾向は空隙率とバインダの種類と層の位置によって変化する。現場で劣化したバインダと研究所でRTFOTとPAVによってエージングされたバインダの比較から、劣化に強い高粘度バインダを開発し、室内のPAVによる劣化予測の結果から現場での劣化予測方法を示している。

Influence of UV on Laboratory Ageing of Porous Asphalt Concrete Compared to Field Ageing

著者名：Martin F. C. van de Ven

オランダの排水性舗装の劣化メカニズムを調べるために、温度、UV劣化および降雨による劣化装置を開発した。この装置は、アスファルトの組成だけでなく、レオロジーの結果にも表れることが明らかだとしている。

Effects of Diatomite Filler on the Performance of Porous Asphalt Mixtures

著者名：Shaolong Huang

中国の研究成果で、珪藻土をフィラーの一部に用いることで、骨材飛散抵抗性、わだち抵抗性、低温クラック抵抗性が向上するとしている。最適な珪藻土フィラーの置換量は10%である。

Development of Test Method of Estimating Residual Durability of Existing Binder layer for Porous Asphalt

著者名：Siro Motomatsu

日本のNEXCOの研究成果で、破損の進行が基層の剥離によるものが多く、基層の剥離抵抗性の規格として、60℃の水温における加圧透水試験での評価方法を示している。

3-2 中温化混合物

Stiffness and Low-Temperature Behaviour of Selected Warm Asphalt Mixes

著者名：Jan Valentin

チェコで6年前から中温化材として、アミドワックスまたはFTパラフィン、ポリリン酸添加剤（PPA）等の材料を検討している。ワックス系は、間接引張り強度や変形係数が60%程度に低下する。アミドワックスまたはポリリン酸添加剤（PPA）は間接引張り強度や変形係数の低下が少なく、低温の脆化点が下がるとしている。

Performance Measure of Warm Mix Asphalt with Three Organic Additives

著者名：Hosin Lee

アメリカの研究で、中温化材として3種類の有機添加物（Cecabase RT, Sasobit, およびKW-1）に関して、間接引張り強度、動的弾性係数、および安定度やフロー値に関して調査し、この結果3種類の添加剤は加熱アスファルト混合物に類似した特性を引き出すことの出来る中温化剤であるとしている。

Study on the Storage Stability of WMA Modified Asphalt

著者名：Jianzhong Pei

中国の研究で、中温化用ポリマー改質アスファルトの貯蔵安定性に関する内容である。Sasobitを3%添加するとポリマー改質アスファルトで中温化の効果が得られ、3%添加では3日間はほとんど分離することなく貯蔵安定性に問題がないとしている。

3-3 再生, リサイクル

A Study to Enhance the Understanding of Material Variability of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

著者名：Yusuf Mehta

米国において加熱アスファルト混合物中の再生骨材の混入率を増やすための検討をしている。この中で、再生骨材を被膜しているアスファルト量が再生混合物の性能を左右するので、再生骨材のアスファルトの量を把握することが重要である。溶媒による抽出法とオープンによる燃焼法を比較した結果、短時間で簡便に評価できるオープンによる燃焼法によって品質管理を行うことが良いとしている。

On-site Application of Pedestrian-friendly Pavements Using Pressurized Fluidized Bed Combustion Ash and Bamboo Chips

著者名：Takuro Fujikawa

日本で、流動床燃焼灰を加圧し骨材とし、竹チップを使って歩道用の土系舗装に適用した舗装を開発しており、材料の再生と歩きやすさを両立している。

Using Hot In-place recycling for Rehabilitation of Asphalt Pavements Made with Coral Aggregates

著者名：Shahram Sheikh Sandiani

イランの論文で、2005年にKish島で100,000平方メートルの市街地の道路を補修するために、珊瑚の碎石を用いた加熱式路上表層再生を用いた。この時の事前試験と供用4年の調査結果を報告している。

Monitoring the Performance of Cold In-depth Recycled Pavements

著者名：Vasilis Papavasiliou

ギリシャからの論文で、フォームドによる路上再生

路盤の性能の調査についてまとめられており、GPRによる層厚管理とFWDによるたわみと逆解析弾性係数による変化に関して報告している。

An investigation using idealized rubber-bitumen composite mixtures to assess the influence of short-term rubber-bitumen interaction on dry process CRM asphalt mixtures

著者名：Mujib Rahman

英国の論文で、タイヤ破碎のゴムチップを用いた混合物に関する検討で、4種類の異なるタイプの瀝青（原油産地とアスファルトのグレードが柔らかいものから硬いものまで）とゴム（2.8mmのトラックタイヤのゴム塊）を組み合わせ、それらの動的特性（複素弾性係数と位相角）で評価した。結果は、混合物の複素弾性率は試験温度によって影響され、バインダーの柔らかいほど複素弾性係数が小さく、ゴムの影響は少ない。一方、位相角は、ゴム塊の量や固さによるレオロジーが影響するとしている。

3-4 配合設計

Evaluation of Rutting Potential of Asphalt Mixtures Using Linear Genetic Programming

著者名：Mohammadreza Mirzahosseini

イランの論文で、線形遺伝プログラミングを用いてアスファルト混合物の流動抵抗性の評価を試みている。マーシャル供試体の粗骨材と細骨材の比率、空隙率と骨材間隙率、マーシャル安定性およびフロー値より、線形遺伝プログラミングの考え方による流動抵抗性予測式を提案している。

Validation of New Dutch Volumetric Mix Design Method for SMA with Mechanical Tests and Field Trials

著者名：Martin F. C. van de Ven

オランダの研究報告で、SMA（碎石マスチックアスファルト）は耐久性にすぐれ世界中で設計及び施工が行われているが、オランダでは早期にわだち掘れが生じることが報告されている。この原因としては既存の配合設計方法に問題があるとしており、新しい容積配合設計法を提案している。新しい容積法では、碎石は密な骨格構造を形成し、モルタルの碎石空隙への充填性が高くなる。コンピュータシミュレーションにより混合物の充填率の予測も可能にしている。

3-5 改質アスファルト

Low Temperature Flexibility of Mastic Asphalt and Asphalt Concrete with Polymer-modified Bitumen

著者名：Carsten Karcher

これはドイツの研究論文で、アスファルト特徴を評価するために、ヨーロッパではアスファルト材料の仕様は様々な試験方法にて規定されており、低温クラック抵抗性能を評価する試験は、2008年から prEN12697-46 に示されている。この試験方法は、低温でアスファルト評価を可能にするドイツの試験手順に基づいている。試験方法は、一軸引張り応力テスト (UTST) からなり、熱応力は異なる温度で供試体試験 (TSRST) から得る。アスファルト混合物の低温の柔軟性を評価するために、TSRSTは破断応力-破断時の温度、および極低温に適した引張り応力と温度の関係を求めるものである。この論文は、様々なメーカーからの同じ分類に入るポリマー改質アスファルトによる事例で試験手順の原則を示し、砕石マスタックアスファルト混合物と密粒度アスファルトコンクリートの低温時のたわみ性を示した。また、低温性状に与える影響としては、製造工程と貯蔵過程の温度の影響によりアスファルト混合物の低温性状が変化することも明らかにしている。

SBS Modified Bitumen: Does Their Morphology and Storage Stability Influence Asphalt Mix Performance?

著者名：Xiaohu Lu

これはスウェーデンの論文で、ポリマー改質アスファルトの貯蔵安定性が、混合物の累積変形、疲労破壊特性へ与える影響について論じている。配合の異なる4種類のバインダーを用いて180℃でジャイレトリ締固め試験機により供試体を作成し、三軸圧縮試験 (50℃)、間接引張試験 (10℃) によって累積変形量、疲労破壊特性を計測している。その結果、混合物の疲労特性と累積変形量は、ポリマー改質アスファルトの貯蔵安定性の影響を受けることが明らかだとしている。

Aging Gradient in a 19 Year-Old Wearing Course in Switzerland

著者名：Thibaud Gallt

フランス人著者が、スイスで行われた試験舗装の19年間の追跡調査結果として、ポリマー改質アスファルトを用いたアスファルト摩耗層の供用性について報告している。供用16年目までは維持作業の作業も必要ないほど供用性は良かった。

供用から2, 8, 14, および19年後に行った追跡結果により、表面から深さ15mmと、それ以下では紫外線の劣化の程度が異なっていることから、他の破損原因がないならば、表層の上部15-20mmを切削して、補修する工法を推奨している。

3-6 破損とわだち掘れ

Rheological Properties and Fatigue Resistance of Crumb Rubber Modified Bitumen

著者名：Farag Khodary

ドイツの論文で、乗用車の廃タイヤを用いた改質アスファルト混合物で、改質によるレオロジー特性と疲労抵抗性の検討をまとめており、室内試験と3D有限要素プログラムABAQUSによるシミュレーションがまとめられている。

ゴム粒子の添加が高い7, 10%ではレオロジー特性が高く疲労特性が2倍になる。しかしゴム添加率が3, 5%程度で低い場合には疲労抵抗性は10%程度しか増加しないとしている。

Impact of Pavement Drainage Design Practices on Subsurface Moisture and Stiffness

著者名：Ruth Roberson

これはアメリカのミネソタ州で行われている Mn/Road に関する論文で、下層路盤に排水型切込砕石路盤を適用した場合の、地盤からの毛管現象の抑制効果と、FHWAも推奨する舗装下の路盤排水の重要性について論じている。交通量に対する路盤以下の強度低下が抑えられ、永久変形量は半分以下になっている。

Assessment of Permanent Deformation Behavior of Asphalt Concrete by Improved Triaxial Cyclic Compression Testing

著者名：Geoffrey W. Jameson

これはオーストリアの研究成果である。繰返し三軸圧縮試験では、一般に一定の拘束圧のもと、軸応力を載荷して行うが、実際の車両走行によるアスファルト混合物内部の応力波形は位相差が生じ、鉛直載荷に対して遅れて側圧がかかるので、拘束圧にも位相型の正

弦波を適用する試験方法について論じている。試験結果は、繰返し回数と永久変形の関係は、試験舗装と改良型繰返し三軸圧縮試験で類似しており、より現場を再現できる試験方法として提案している。

An Introduction of the Arcan Testing Configuration for Mixed-Mode Cracking in Asphalt Concrete

著者名：Andrew Braham

これは中国の留学生の論文で、舗装の疲労破壊抵抗性を調べる破壊靱性試験で知られる Arcan 試験方法について検証している。舗装は、底面や表面にクラックが入ると移動荷重の作用により、瞬間的に層間にせん断応力が発生するという過程で、単純せん断の外にすべり方向の影響も考慮した方が良くと提唱している。この方法で破壊靱性を評価し破壊限界曲線がまとめている。

About the Use of Induction Heating to Close Cracks in Asphalt Pavements

著者名：Alvaro Garcia Hernandez

これはオランダの研究論文で、鋼繊維や砂鉄の入った混合物において、供用中に生じたクラックを誘導加熱によって暖め、クラックを閉じさせる検討である。

この中で、バインダを劣化させない程度の暖めが重要としており、混合物の温度100℃前後でその電磁誘導による加熱時間が重要とまとめている。日本においても、現位置やプラントにおける混合物の誘導加熱が検討されており、CO₂削減技術として世界でも広まっていくと予感される論文である。

3-7 室内試験

Performance Characteristics of Liquid and Lime-Treated Asphalt Mixtures

著者名：Peter E. Sebaaly

これは米国の論文で、アスファルト混合物の水分感受性を緩和し剥離しにくくするための検討論文で、石灰を液状で添加した場合（石灰スラリー）と石灰を粉体で添加した場合の比較を行った。石灰を粉体添加したものと石灰をスラリー状で添加したものと石灰なしのアスファルト混合物を乾燥湿潤試験（15サイクル）後に比較すると、わだち抵抗性と疲労特性は石灰添加した混合物は低下しないものの、石灰スラリーを添加した混合物は性能低下が見られた。

Prediction of permanent strain from resilient modulus for low asphalt content mixes in a Mechanistic-Empirical Model

著者名：Imran Hafeez

これはパキスタンの論文で、AASHTOの設計法（MEPDG）で混合物の耐流動性と動的特性などを6種類の配合と3種類のバインダで検討している。耐流動性の検討のために、マーシャル試験による配合設計の最適アスファルト量より少ないアスファルト量の混合物で試験を行った。三軸圧縮試験の温度条件25, 40, 55度の3種類で応力レベル100, 300, 500kPaの3種類で、応力とひずみの関係をまとめ、永久変形が応力レベル、温度、動弾性係数、スティフネスの関数で予測出来ることを示した。

The Estimation of the Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures Using Artificial Neural Networks

著者名：Fernando O. Martinez

これはアルゼンチンの研究論文で、現在の力学的一経験的のアスファルト舗装設計法では、アスファルト混合物の動的弾性係数は重要な入力条件である。動的弾性係数は室内試験で求められるが、整備された試験機器と手慣れた試験員を必要であり、室内試験が行えないこともある。そこで、混合物の容積特性やバインダの特性値より、人工的ニューラルネットワーク（ANN）手法により、統計的予測モデルを構築し提案している。

Determination of Viscoelastic Parameters for Hot-mix Asphalt Mixtures Using a Heuristic Algorithm

著者名：Sungho Mun

これは韓国からの論文で、加熱アスファルト混合物（HMA）の時間領域の粘弾性を合わせ持つパラメータを決定するために、ヒューリスティックアルゴリズムが提案され、予測に関する検討がなされた。いくつかの加熱式アスファルト混合物の粘性弾性を合わせ持つパラメータを決定するために、緩和関数のためのウィーヘルトモデルと同様にグローバルな最適化テクニックを使用している手法よりもさらに予測精度と一意性が強化された。さらに、この研究はどのように時間領域のプロニー級数展開を決定するニューラルネットワーク手法を示した（これは、ヒューリスティックアルゴリズムに基づいて、周波数領域の複素弾性係数

から有限要素法などの数値解析のために効率的に使うことが可能)。提案された評価手法について、様々なアスファルトの室内試験結果からニューラルネットワークによる頻度予測からの結果は、加熱式アスファルト混合物の試験値とこれらのアルゴリズムから得られた予測値が明らかに一致していることを示している。

3-8 表面処理と補修材料

Comprehensive Performance Evaluation of Asphalt Surface Treatments

著者名：Jae Jun Lee

これは韓国の論文で、高速道路の供用性に関する調査研究として、舗装の耐用年数を延ばし費用対効果の高い維持修繕工法は表面処理工法であるとの解析結果を示している。

また、改質アスファルト乳剤や碎石粒径を変えて、Vialit法（ハンマーノッキングによる骨材飛散率の算定）や移動式荷重装置（MMLS3）や平均逸脱深さなどで、チップシールの摩耗、飛散特性を評価している。この結果、2層のチップシールに比べ3層のチップシールの耐久性が高く、骨材飛散量も最も小さく、寿命が長くなるとしている。

Accelerated Pavement Testing on Foamed Asphalt Base Materials

著者名：Chandra B. Manandhar

これは米国の論文で、フォームド安定処理路盤の効果を促進荷重試験機で評価している。2種類のフォームド安定処理路盤のうち、一方は良い供用性であったが他方は予想の半分以下の荷重回数で破損した。このため詳細な調査を室内試験で実施した結果、路盤中の水分保持率とアスファルト量が配合設計よりも多かったことが原因としている。

Application of Epoxy Asphalt Mixture to the Binder Course in Orthotropic Steel Deck Pavement

著者名：Tomoyuki Mizuta

これは日本の阪神高速からの論文で、リブのある鋼床版舗装上のアスファルト舗装に関する補修の論文で、基層のグース舗装に変わる混合物としてエポキシアスファルト混合物を提案している。

この時の室内試験結果と現場の鋼床版における試験施工の適用例をまとめた。基層用エポキシアスファル

トは流動わだちの発生がなく、現在まで広く使われているグースアスファルト舗装に対して5倍以上の効果があるとしている。

3-9 粒状路盤

Analysis of the Properties of Recycled Aggregates for Unbound Granular Asphalt Pavement Layers

著者名：Ana Cristina Freire

これはポルトガルからの論文で、粒状碎石層に用いる再生碎石に必要な性能について論じている。

ここでは、建設現場から発生したコンクリート再生骨材について、粒度分布、形状、ロサンゼルスすり減り減量、マイクロDeval破碎試験、とがり度、砂当量、メチレンブルー、および転圧試験での評価している。この結果に基づき、2006年に、ポルトガル土木研究所（LNEC）はコンクリート再生骨材に関する下層路盤での使用に関する設計ガイドLNEC E473を出版した。

Resilient Behavior Characterization of Geomaterials for Pavement Design

著者名：Joseph Anochie-Boateng

これは南アフリカの論文で、空港の舗装設計に用いるための路床土の復元弾性係数試験（ M_R ）とCBR試験の関係を14種類の材料に関して調べている。復元弾性係数試験は周期的な繰返し荷重試験下での変形特性を求めることができるが、整備された試験機器と熟練した人員が必要であり、より簡便なCBR試験が広く採用されている。そこで、この論文では、他国で提案されている有名な M_R -CBRの関係式に対して、南アフリカの14の路床材が適用できるか検討している。この結果、 M_R -CBRの関係は、材料に含まれる細粒材料の種類や粒度も影響することが考えられるため、地域で独自に関係を構築することがよいとしている。

3. 材料セッションの印象について

材料セッションは投稿論文数が多いため、日本の舗装技術の研究開発の動向を踏まえ、関連性の深いもの、興味深いものをいくつかピックアップし概要を示した。

投稿者を国別の観点から整理すると、材料関係の分野においては、先進国以外にアジア地域やアフリカ地域など世界各国からの論文発表がなされた。発表の場でも、活発な意見交換が行われたのと印象があり、素晴らしいセッションであったと思う。

セッション「Fracture & Rutting (3-6)」では論文26編ととっても多くの論文が投稿された。世界の地域によって材料や温度など環境条件が大きく異なる中で、様々な舗装の破損に対する対処方法は、舗装技術者が抱えている大きな悩みとして世界共通であるとの印象を受けた。

また、近隣の韓国ではプロジェクト的に、新たな解析手法や予測方法に関する研究が進められており、そ

の先進性や活動が盛んなことに驚きを感じている。

日本の研究者や技術者も、欧米、成長著しいアジア各国に後れをとらないように、さらに上に行く研究開発に取り組んでいく必要性を強く印象付けられた会議であった。

東亜道路工業(株) 技術部
阿 部 長 門

施 工

1. はじめに

ISAP名古屋会議では「施工」が独立したセッションとして取り上げられ、日本からの報告を中心として最近の施工技術が紹介された。過去の会議の歴史の中でもこのことは特徴的なものであった。本文は、この「施工」セッションについて名古屋会議での発表論文の概要とともに、本ISAP国際会議の中での「施工」セッションの位置づけの変遷ならびに我が国の舗装研究の課題について触れたい。

2. 「施工」セッション発表論文の概要

「施工」セッションで最終的に論文集に収録された論文は表-1に示す口頭発表17編とポスター発表4編の計21編である。当日のプログラムでは口頭発表20編の論文発表が行われる予定であったが3編がキャンセルされた。キャンセルされた論文はいずれも海外からのものであり、表-1に示すように最終的に日本からの論文が口頭発表で17編中14編、ポスター発表で4編中3編を占めている。

論文を分類すると大きく分けて施工技術や施工方法に関するものが大半を占め、品質管理や品質保証といった分野の論文が口頭発表で3編、ポスターで1編である。施工技術に関しては情報化施工などの施工技術を始め、ポーラスアスファルト舗装の施工技術として遮水型排水性舗装や二層式排水性舗装、さらには維持管理技術としてポーラスアスファルト舗装の機能回復技術などの日本でのポーラスアスファルト舗装への積極的な取り組みが紹介されるとともに、さらには、ハイブリッド混合物や路盤の安定処理などの発表を通じて、広範な施工技術が実用化されていることを本会議の発表を通じて日本から海外に発信できたものと考えられる。

これらの日本からの報告については日本道路会議や

土木学会等でその多くが紹介されていることからここでは、その詳細は割愛する。

一方、海外からの報告(口頭発表3編、ポスター発表1編)の概要は以下の通りである。

①発注者および施工者にとって有益なアスファルト舗装施工方法であるIT締固め方法(USA)

振動ローラに温度センサとGPSによるマッピングシステムを搭載し、締固めの程度についても振動を計測して測定する情報化施工(転圧)について、その効果を検証したものである。結果として、均一な締め固め度の舗装が得られ、良い供用性につながる。一方で施工者にとってもペナルティを避けることができ、精算で有利となるメリットがあることが確認できた。ローラは酒井重工業とBOMAGの2社のものについて検討が行われている。

②カンサスにおけるスーパーペーブ舗装の複合的支払い指標(USA)

カンサスのスーパーペーブ舗装について、性能仕様(PRS: Performance-related Specification)に基づき、精算を行うための指標について検討している。結果として、空隙率、密度、アスファルト量、骨材間隙率の4因子を複合させた支払い指標モデルを開発した。

③温度イメージ技術: 中温ならびに加熱アスファルト舗装混合物の施工における品質管理/品質保証(カナダ)

施工中の各プロセスにおいて、混合物の温度分布が、その品質に大きな影響を与える。特に縦断ジョイントにおいては、混合物の熱が奪われるため密度が低くなり供用性に影響する。本研究では、赤外線画像により温度分布を計測し、舗装の仕上がりに与える影響を検証している。結果として加熱混合物(HMA)にくらべ中温化混合物(WMA)はジョイント部において熱が奪われにくいことが分かり、2年経過後の施工ジョ

表－１ セッション４「施工」論文一覧

発表形態	中分類	小分類	論文タイトル	論文タイトル(訳)	発表国名
口頭発表	施工技術	ポーラスアスファルト混合物の施工および維持管理技術	Double-layer Asphalt Pavement in a Single Process and noise reductions properties of Double-layer porous asphalt	二層式ポーラスアスファルトの施工と騒音低減特性	日 本
			Development of the New Cleaning Vehicle for Porous Asphalt	ポーラスアスファルト舗装の機能回復	日 本
			Development of Porous Surface Mastic Asphalt Course (POSMAC)	遮水型排水性舗装の開発	日 本
			A Porous Surface Mastic Asphalt Course on the Honshu-Shikoku Bridge Expressway	本州四国連絡橋の遮水型排水性舗装	日 本
		特別な施工方法	Noiseless In-Place Removing Using Induction Heating System of Asphalt Layer bonded with Steel Bridge Deck	鋼床版舗装のIHシステムによる無騒音撤去工法	日 本
			Development of Liquid-applied Type Asphalt Waterproofing Material and Adhesives for Deck Waterproofing	液化タイプのアスファルト系床版防水材料の開発	日 本
			Development and Field Application of Slurried-cement Foamed-Asphalt (SCFA) Stabilization	スラリー化したセメントフォームド安定処理の開発と現場適用	日 本
			A new application of hybrid mix to the aged concrete pavement of Chuo Expressway	中央自動車道での老化したコンクリート舗装へのハイブリッド混合物の適用	日 本
			New vibratory rollers for longitudinal joint compaction	縦断ジョイントの締固めのための新しい振動ローラ	日 本
			In-site Base Course Recycling Methods for keeping Safety and Improving Durability under Heavy Traffic	重交通下における安全かつ耐久性向上を目指した路上再生路盤工法	日 本
		IT 施工	Intelligent Compaction - Improved Construction Technologies for Hot Mix Asphalt That Benefits Agencies and Contractors	発注者および施工者にとって有益なアスファルト舗装施工方法であるIT締固め方法	USA
			Innovative QC/QA Compaction Method for HMA Pavement using Intelligent Compaction (IC) Technology	IT締固め技術を用いた革新的な品質管理／本質保証	日 本
			Application of 3D-MC for road construction machine	3Dマシンコントロールを用いた舗装施工	日 本
			Current Status of and Problems with Information Technology Construction Technology for Road Construction Work in Japan	日本のIT施工技術の現状と課題	日 本
	品質管理／品質保証	品質管理／品質保証	Research and Study on Effective Quality Control Method of Pavement Construction by Acceleration of Vibratory Roller	振動ローラの加速度による効果的な品質管理手法の研究	日 本
			Composite Pay Index for Superpave Pavements in Kansas	カンサスにおけるスーパーペーブ舗装の複合的支払い指標	USA
			Thermal Imaging Technology: Quality Control and Quality Assurance for Construction of Warm and Hot Mix Asphalt Pavements	温度イメージ技術：中温ならびに加熱アスファルト舗装混合物の施工における品質管理／品質保証	カナダ
ポスター発表	施工技術		Paving Method Using a Multi Asphalt Paver	マルチアスファルトペーバを用いた施工	日 本
			Automated Paving with Electromagnetic Induction	電磁誘導による自動舗装施工	日 本
			On the Emergency Repair of Runway after Cargo Plane Accident	貨物機事故後の滑走路緊急補修	日 本
	品質管理／品質保証		Research on Application of Pavement Quality Indicator and Infrared Thermal Camera in Asphalt Pavement Process Control in China	舗装の品質指標ならびに赤外線温度カメラを用いた舗装施工管理に関する研究	中 国

イントのクラックもHMAの半分であった。

④舗装の品質指標ならびに赤外線温度カメラを用いた舗装施工管理に関する研究(中国)

品質管理手法としてPQIによる密度測定と赤外線温度カメラによる温度分布の管理を行って検討した結果、PQIは現場コアとの相関も良く、事前のキャリブレーションを十分に行えばリアルタイムの適切な管理に有効である。赤外線温度カメラによる検討の結果では、混合物の供給にMTV(Mixture Transfer Vehicle)を使用した場合としない場合の差を明らかにでき、材料分離の管理に有効であることが分かった。

3. ISAP国際会議における「施工」セッションの位置づけの変遷

本会議がアスファルト舗装の構造設計会議を前身としていることはこれまでも紹介されているところであるが、その中で設計から材料や供用性などといった課題に広がり、第3回(1972年)に「最近の設計法と施工法」というセッションが設けられた。第3回会議のメインテーマは「理論と実際のギャップに橋を架ける(Bridge The Gap)」であった。その後「施工」はセッションとして取り上げられることは無かったが第7回会議(1992英国ノッthingam)では「施工」が独立したセッションとして取り上げられた。これは、研究者がいくら良い設計を行っても、それが必ずしも良い供用性には結びつかない。これはその間に施工が介在するためであり、もっと施工に注目し、設計と供用性のギャップを埋めよう(Paving the Gap)との考えが反映されたものである。そして性能規定(PBS: Performance Based Specification)の必要性やエンドリザルト方式など供用性を確保するための手法が報告された^{1, 2)}。しかしその後の会議でも施工の報告は少なく、前回の第10回会議(2006ケベック)でも独立した施工のセッションはなくHighway Operationsのセッションの中で情報化施工と予防的維持工法が報告されたにすぎなかった。今回の会議では改めて施工を独立したセッションとし、日本からの報告が多くなされたことは今回の名古屋会議の特徴と言える。

4. 我が国の舗装研究の課題

前述したように、各国の舗装研究者の課題は、設計した舗装が確実な供用性を示すためにコントロールすべき因子は何かということで、たとえばマーシャル

安定度などの仕様規程では性能を保証することはできない、したがって性能規定が必要であるが、それをどのように規定するか、また、性能に応じた支払いをどのように考えるかといった問題であった。今回、日本からは施工会社が会議に多く参加し実用性という点で日本からの論文は海外からの興味を大きく引いたものと思っている。施工会社がこのように広範な研究・開発を行っているという状況は他の海外の各国に比べて日本の特長であり、施工者からの報告が多かったという点で過去の会議と大きく趣を異にしている。施工のセッションが行われた部屋は図らずも同時通訳が行われた部屋であり海外のみならず日本人の参加も多く盛況であった。ポーラスアスファルト舗装や情報化施工といった日本がその報告の主体となったものを始め、各種の工法も報告され日本の技術が大きく発信された点は特筆すべきと考えられる。このような実用性に優れた報告が今後の本会議でも継続されていくことを期待したい。

一方で、現在、我が国でも性能規定化が行われ、長期保証契約なども行われつつあるが、供用性を確保するための施工上のコントロールすべき因子等のベーシックな研究は不足している感がある。今後は、産学官の連携などを通じ、これらの課題に取り組むことが、ISAP舗装会議における我が国の舗装研究の課題とも考えられる。

5. おわりに

以上、かなり私見の部分があるがISAP名古屋会議の「施工」セッションについて報告させていただいた。今回のセッションがどのように評価され、今後の会議に反映されるか注目したいところである。

—— 参考文献 ——

- 1) 谷口、菅野、藤田、山下、川端、山之口、服部：座談会「第7回アスファルト舗装会議に出席して」、道路建設1993. 1, P18
- 2) 谷口、菅野、藤田、山下、川端、山之口：「第7回国際アスファルト舗装会議(ISAP)出席報告(1)」、道路建設1992. 11, p48

日本道路㈱ 生産技術本部技術部
技術グループリーダー
藤 田 仁

1. 論文の一覧

本論文の審査をパスしたマネジメント関係の論文の数は23編であった。このうち、口頭論文は18編、ポスター論文は5編であった。ISAP名古屋論文委員会では、この口頭発表論文の中からプレナリーとISAP技術委員会対応の論文2編を選出する必要があったので、これらを選出した後、残り16編がパラレルセッションにて発表されることとなった。この16編は共通テーマごとに振り分けられ、最終的には4つのセッションに配置された。

このようにして配置された特別セッションとパラレルセッション論文の一覧を、それぞれ表-1と表-2に示す。表中に示したセッション番号と論文番号は、発表当日のアブストラクト集と同一のものである。なお、各論文名には第一執筆者の出身国と共に、参考までに筆者が大意として抱いたキーワードを付している。

指定された発表の当日、発表がなされなかった論文もあるので、以下には、筆者が論文の配置段階において各セッションで得た所感をお示しすることとしたい。

2. セッションの所感

2.1 特別セッション

環境をテーマとしたプレナリーセッション1と持続可能なライフサイクルをテーマとしたISAP技術委員会セッション1Aに選定された両論文は、ライフサイクルアセスメント(LCA)とする環境に視点を置いたものであった。道路管理者費用やユーザー費用に加えて、環境という要因を組み込む場合には、様々な市場介入が考えられることから、CO₂低減等の環境影響評価に際しては長期的な展望で捉えるべきである。これらは、定性的に述べられていたが、今後のLCAに大きなボルテックスを与えるものである。このような考え方は、大きく展開されて行き、やがては定量的に評価されることが期待される。

2.2 パラレルセッション

表-2に示すように、ここでは「損傷評価」、「平たん性」、「理論モデル」、「環境」という4つのセッションについて述べる。

損傷評価セッションは、損傷評価に基づく供用性評価を行うためのモデルを扱った論文が3編、3次元のプロファイルで捉えたひび割れを自動判読まで行うという論文が1編であった。前者の3編は、確率生存モデルによるわだち掘れ、ハザードモデルによるポットホール、そして目視評価による損傷予測を行うものであり、これらから諸外国による様々な取り組みがうかがい知れる。一方、後者の技術は、ひび割れを立体的に捉えると共にその判読評価までを自動で行うことから、面評価に加えて深さという質の評価までを言及できる可能性を示唆している。

平たん性や縦断プロファイルを扱った論文は、ISAP内外でも多数あるが、今回の平たん性セッションでは、全て日本からの執筆であった。これらの4編は、ドライビングシミュレーターを活用することにより、平たん性が与える心拍数や体調への影響を定量化したものの、また重車両と平たん性が舗装に与える影響を論じたもの、或いはIRIの評価延長を変えることにより局所評価を試みたものであった。筆者はこのセッションの座長を務めたが、日本人以外の聴講者が多く、これらの技術に対する関心の高さがうかがい知れた。

理論モデルセッションでは、大局的な視点から舗装のライフサイクルを捉えようとする4つの論文で構成された。補修の優先順位を決定するのに際して、ファジー理論を適用するものから、ユーザー費用と管理者費用を活用するものが紹介された。また、性能保証契約に鑑みて、舗装設計法に関わる問題提議を試みる論文もここで紹介された。このセッションが最も直接的に舗装のマネジメントを言及していると思われるが、実務レベルではさらに検討を有する様々な課題がある

表-1 特別セッションの論文(マネジメント)

Plenary Session 1: Environment (環境)	
Environmental Life-Cycle Assessment for Asphalt Pavements: Issues and Recommended Future Directions (米国) 環境への影響とグリーン市場	
Session 1A: Sustainable Life Cycle of Asphalt Materials, Sponsored by ISAP Technical Committee TC APE on Asphalt Pavement and Environment	
1.1-15	Life Cycle Assessment of Asphalt Pavements (英国) CO ₂ 低減を組み込んだLCA

表-2 パラレルセッションの論文(マネジメント)

Session 3G: Distress Assessment (損傷評価)	
5.1-214	Survival Analysis of Rutting for Flexible Pavements Based on LTPP Sections (米国) 舗装が不均一に壊れて行くという生存モデル
5.1-215	Durability Analysis of Pothole Patching Mixture in Snowy Cold Region (日本) ハザードモデルによる Pothole 増加と Patch 合材の耐久性解析
5.1-216	Probabilistic Modeling of Long-term Performance and Service Life of Pavements and Road Infrastructures (オーストラリア) 目視の損傷評価に基づく長期供用性モデル
5.1-217	Implementation and Validation of a New 3D Automated Pavement Cracking Measurement Equipment (カナダ) 3次元プロファイルによるひび割れ抽出技術
Session 4G: Roughness (平たん性)	
5.1-218	Correlation Between Bumps on a Pavement Surface and IRI (日本) 評価長を10mとした場合の IRI による局所評価
5.1-219	Pavement Ride Quality Evaluation Based on Heart Rate Variability (日本) 心臓鼓動と乗り心地の関係
5.1-220	Implementation of Pavement Ride Quality Assurance Based on a Driving Simulator and Physiological Signal (日本) Driving Simulator と人の体調に基づく乗り心地評価
5.1-221	Analysis of Damage of Asphalt Pavement due to Dynamic Load of Heavy Vehicles Caused by Surface Roughness (日本) ラフネスと重車両が与える舗装への影響
Session 5G: Theoretical Model (理論モデル)	
5.1-222	Use of Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Pavement Maintenance Planning (シンガポール) ファジー理論による補修の優先順位
5.1-223	Definition, Analysis and Application of a Simplified Road User Costs Model for Portuguese Trunk Roads (ポルトガル) ユーザー費用モデルと入力の事例
5.1-224	A Multi-criteria Decision-making Analysis Method for the Appraisal of Alternative Pavement Maintenance and Rehabilitation Investments (ポルトガル) ユーザー遅延コストと管理者コストの基準に基づく補修評価
5.1-225	Validity of Functional Criteria Related to Structural Parameters Used for Contract and Extended Warranties (スウェーデン) 性能保障契約における力学及び経験的設計法の問題点
Session 9E: Environment (環境)	
5.1-226	Temperature Correction of Falling-Weight-Deflectometer Measurements (ドイツ) FWD の温度補正方法
5.1-227	SMA with Special Modified Asphalt Aimed to Extend Pavement Lifespan (日本) MCI を用いた LCC の試算例
5.1-228	The Importance of Environmental Issues and Costs in Life Cycle Cost Analysis (LCCA) for Highway Projects (オーストラリア) LCA における環境評価概念の整理
5.1-229	Future Prospects for Pavement Management (カナダ) PMS の将来展望

ことを示唆している。

環境セッションでは、特別セッションの環境とは違って PMS という視点で4つの論文を構成することとした。

MCI による LCC の試算例を紹介したものから、LCA における環境評価の概念を整理したもの、さらには PMS の将来展望を論じたものが紹介された。ドイツでは FWD たわみ量の温度補正方法を通して、国全体の舗装構造評価体制を述べていた。

3. 全体の感想

マネジメント分野全体を通して、著者の感想を以下に述べる。

日本人の論文は事象を定量的に捉えようとする傾向があるのに対して、LCA や PMS を扱う欧米の論文では文献調査を主なソースとして、今後の方向性を随筆調に論じていた。論文としてどちらが優れているということではなく、国民性としての違いが出ているよ

うに思われる。もしも、日本人がLCAやPMSを論じる機会を与えられた場合、試算例等の定量データを全く含まない随筆論文を書けるか否かはやや疑問である。

しかしながら、今後は環境を題材にした研究が主流になることは明らかであるので、このように定性的に得られた研究成果に対して、定量的な肉付けが成されて行くことになるであろう。このように考えると、生

真面目さを得意とする日本人の活躍する場が増えるのかも知れないが、欧米主導の大きな概念の下での研究成果として位置付けられるように思われる。何れにしても、今後は日本人独特の感性で世界に発信できる研究開発が成されて行くことを期待したい。

(株)高速道路総合技術研究所
神 谷 恵 三

低コスト道路建設

1. 論文の提出状況

「低コスト道路建設 (Low-Cost Road Construction)」が、今回の会議では7つの論文テーマの一つとして取り上げられた。これは、ISAPとしては欧米以外の地で開催されるのが初めてであり、アジア地域を主体として発展途上国からの多くの会議参加者を期待して設定されたものである。

しかしながら、このテーマへの投稿論文の多くは「低コスト道路建設」を建設コスト縮減として捉えた内容のものであり、当初期待していた、開発途上国での交通量の少ない道路の地元産材料などを活用したコストの安い舗装技術についての論文は少数であった。執筆者本人が「低コスト道路建設」として提出してきたコスト縮減関係の論文のいくつかは、アブストの段階で材料、施工等の他のテーマに振り分けた。

最終的には、以下で示すようにプレナリーセッション「低コスト道路建設」で4編、パラレルセッションの「コスト縮減 (Cost Reduction)」で4編、ポスターセッションで2編の計10編の論文が「低コスト道路建設」のテーマで発表された。

2. セッションの概要

2.1 プレナリーセッション

プレナリーセッション「低コスト道路建設」は、8月5日午前にISAPの評議員であるミネソタ大学のGene. L. Skok教授の座長で開催された。発表論文の概要は以下のとおりである。

A Realistic Method of Characterizing Granular Materials for Low-Cost Road Pavements : オランダ

路盤材として使われる粒状材料の特性の評価法として、繰り返し三軸試験が一般的に行われるが、途上国での低コスト道路においては実際に採用するには多くの困難がある。これに替わる方法として、繰り返し載荷

CBRテストを取り上げている。アフリカの路盤材料で従来の三軸試験との比較行い、その有効性が確認された。

Development of Environmentally Friendly Cold Patching Compound : フィンランド

フィンランドの軽交通道路のパッチング材と広く使われているオイルグラベルに代わる材料として、パーム油から製造されるバイオジーゼルの副産物と瀝青材料からなる混合物を開発した。現場施工の結果から、従来のパッチング材の代替として使える見込みが得られるとともに、今後は交通量の少ない道路の通常の表層材料として使える可能性もある。

A Construction Trail of Community Roads at Low Cost by Resident's Participation in Gher Area in Ulaanbaatar Site of Mongolia : モンゴル、日本

日本が技術協力を行いモンゴルで実施された、低コストでの住民参加型のコミュニティ道路建設の報告である。4ヶ所の試験施工箇所での小型FWD等による現地調査や室内試験により、瀝青表面処理、セメント安定処理路盤の舗装構造が寒冷で乾燥している地域での当該道路には技術的、経済的に最適であるとの結論が得られた。

Development of Cement Foamed-Asphalt Stabilization Technology in Japan : 日本

フォームドアスファルトを使用した安定処理工法は世界中で広く使われているが、本論文では、高温多湿な気象条件も考慮して、日本で施工実績の多いセメントとフォームドアスファルトを用いた路上再生路盤工法について紹介している。省エネルギー、CO₂排出等の環境面や建設コスト比較により、本工法の優位性が示されている。

2.2 パラレルセッション

パラレルセッション「コスト縮減」は、同じく8月5日午前に行われ、日本道路㈱の久下晴巳氏が座長を勤めた。個別の論文の概要は以下のとおりである。

Development of Preventive Maintenance Methods Appropriate for the Service Conditions in Japan : 日本

予防的維持は舗装のライフサイクル低減に寄与するが、その中で表面処理工法には、骨材の飛散や養生時間などの問題がある。これらを解決する新技術として、新たなマイクロサーフェシング工法、乳剤の代わりにフォームドアスファルトを用いたチップシール工法、中温化技術を用いた薄層オーバーレイ工法が採用され、そのパフォーマンスが実証されてきている。

Applicability of Cement Treated Granulate Soil for Subgrade Material : 日本

浚渫土からセメントと樹脂を混合して製造したセメント処理粒状土（CTGS）の、路床材料としての性能確認試験の報告である。締固め試験、CBR試験、三軸試験等により、CTGSが比較的間隙率、強度が大きく、締固めやすく排水性も良好であり、路床土として満足のいくものであることがわかった。

Evaluation of Small Top Size Superpave Mix for Ultra Thin Overlays : 米国

低コスト補修工法である最大粒径4.75mmのスーパーベープ混合物の超薄層オーバーレイへの適用に関する、カンサス州での現場、室内試験結果の検証である。その結果、砂の配合率、現場での混合物密度がわだち掘れに大きく影響していること、超薄層オーバーレイと下層の路上再生層の付着については問題ないこと等がわかった。

Report for the Study on the Stripping of Intermediate Course Mixture Used for Industrial Roads (Interim Report) : 日本

排水性舗装において、雨水の中間層への浸透による早期の破損が見受けられる。これは、中間層の混合物が剥離を起こし生じるものであり、この耐久性が求められている。本論分は、大型車が特に多い幹線道路での、中間層への水の浸透に着目した2年間の調査結果であり、水の遮断が舗装のライフサイクルコストの縮

減に有効であることが実証された。

2.3 ポスターセッション

スターセッションでは2論文が掲示され、8月4日にディスカッションが行われた。

New thin surfacing in Japan : 日本

従来の維持工法より低コストである、厚さ15mmの薄層オーバーレイ工法の開発を行った。これは、加熱混合物のフィニッシャーによる敷きならしと同時に乳剤の散布を行うものである。工法の紹介と施工事例が示されている。

Subbase/Basecourse with Lahar Materials Treated with Cement Based Solidifying Materials Utilization lahar erupted from Mt. Pinatubo in Subic-Clark-Tarlac Expressway : フィリピン

高速道路の建設にあたって、ピナツボ火山の噴火による火山噴出物（Lahar）の活用が検討された。砂に近い性状なので盛土材として活用するとともに、これにセメントを混合することにより下層／上層路盤材としても使用した。これにより、輸送費用を考慮すると粒状材料を使うよりもコストが少なくなった。

3. 全体の感想

開発途上国の持続的発展に不可欠な安全・円滑な道路交通の確保のためには、幹線道路は勿論であるが、同時に生活道路の整備が求められている。この点からは、前述のように、交通量の少ない道路を対象とした「低コスト舗装」に関する論文が少なかったのが残念であった。

しかし、今回の会議にはアジア地域を初めとして、発展途上の国々から多くの参加者があり、テーマ設定の当初の目的は達成されたと考えている。

論文については、研究開発から現場での施工まで広範囲にわたっており、さらに執筆者も欧米諸国、アジア諸国、日本と多彩であり、そのお国柄も覗いて大変に興味深い内容であった。

プレナリー、パラレル両セッションとも会議最終日の発表であり、当初は参加者が少ないのではと危惧したが、予想に反して多くの人が熱心に聴講し、活発な質疑応答が行われた。

大成ロテック㈱ 常務役員
中村 俊行

1. 論文の一覧

「高度な利用」と題してアスファルト舗装技術のより広範囲な適用の報告を募集したが、結果的に採用されたものは口頭発表論文4編、ポスター発表論文1編の計5編であった。内容はいずれも水利構造物への適用の報告で、ポスター発表の1篇が中国での事例を扱ったもの以外は日本国内の事例で、全て日本人が記述したものであり、報告も日本人が行った。今回は、ダムの遮水壁を対象として水利構造物が多かったことから、あまりアスファルト舗装関係の会議では発表することのない電力関係会社から2編発表されたのは印象的であった。

口頭発表論文を表－1示す。

2. 論文概要

口頭発表論文の概要などを以下に示す。

Repair Method of Aged Reservoir and Irrigation Canal with Asphalt Panel：アスファルトパネルを用いた貯水池、水路の壁面補修に関して、材料の開発から施工実施例までを、産官による共同道研究の成果として得られた結果を取りまとめて報告している。

Design and Construction of the Cold-Lay Foamed Asphalt Mixture at Kyogoku Project：ダムの表面遮水壁に使用する水工アスファルトの設計・施工として、フォームドアスファルトの利用、3D-MC（三次元マシンコントロール）による施工が報告されている。本論文は、電力会社の方だけで取りまとめている。

Effectiveness of High-ductility Modified Asphalt for Earthquake Resistant Reinforcement of Asphalt Sealing Dam：ダムの表面遮水壁に使用するアスファルト混合物に関する報告である。日本国内での使用を念頭に置き、地震時に発生する変位に追従できるよう

なたわみ性を持たせたアスファルト混合物開発し、主に室内での試験により、性状を確認している。

Design and Construction of Pumped-storage Power Plant Upper Reservoir Fully Surfaced with Asphalt Concrete：ダムの表面遮水壁に使用するアスファルト混合物の検討から、施工までを取りまとめた報告である。混合物については、通常の使用状態を想定した水圧への耐久性と、緊急時として地震発生時への耐久性を考慮した研究開発を行った。また施工についてはICT技術を用いた管理手法を取り入れている。

3. 会議の印象について

本セッションにて報告された水工アスファルト関係の技術に関しては、我が国が先進的であることをアピールできたと考えられるが、これまでの会議では全く取り上げていない分野であることから、今後どのように評価されていくか興味あるところである。ただし、会場では座長も日本人、発表者もすべて日本人という状況であったにもかかわらず、会議には日本人だけではなく、外国の方々も多く参加しており、日本だけで求められている技術ではないことを再認識した次第である。

また本会議では同時通訳が行われていたことから、発表そのものは英語であったものの、質問に日本語で答える一幕もあった。このような国際会議での同時通訳は、REAAAの2000年東京大会や2009年仁川（インチョン、韓国）大会でも行われていて、われわれ日本人のように、英語が得意でない方々に多く参加してもらうという意味では、有効であったと考える。

世紀東急工業(株) 技術本部技術部
増 山 幸 衛

表－1 高度な利用の口頭発表論文

Session 8A Advanced Application (高度な利用)	
7.1-234	Repair Method of Aged Reservoir and Irrigation Canal with Asphalt Panel (日本)
7.1-235	Design and Construction of the Cold-Lay Foamed Asphalt Mixture at Kyogoku Project (日本)
7.1-236	Effectiveness of High-ductility Modified Asphalt for Earthquake Resistant Reinforcement of Asphalt Sealing Dam (日本)
7.1-237	Design and Construction of Pumped-storage Power Plant Upper Reservoir Fully Surfaced with Asphalt Concrete (日本)

アスファルトの課題と今後の方向性

(Present Issues and Future Trend of Asphalt in Japan)

国土交通省国土地理院参事官 吉 兼 秀 典

終戦当時は殆んど無いに等しかった我が国の道路は、戦後の高度経済成長と相まって飛躍的にその整備が図られ、我が国の経済発展と生活水準の向上を支えるインフラとして重要な役割を果たしてきた。そのインフラ整備を舗装と路面という面から支えてきた材料がアスファルトである。我が国の経済発展の牽引役であった石油化学工業、石油需要の拡大が、その関連製造物であるアスファルトを比較的安価で安定した供給を果たせたことも道路整備の推進に大きな役割を果たしてきたと言えよう。このような道路インフラも、昭和から平成の時代に入り高度成長から低成長時代に変化するに伴い、従来のような量的な拡大から維持管理へとその重点が移ってきた。このような道路インフラを取り巻く時代の変化を受け、舗装の主要材料であるアスファルトやアスファルト合材の需要量は1990年代をピークに減り続け今や半減している。一方アスファルトの供給主体である石油精製メーカーはその主要製品であるガソリン等の軽質油の需要が近年大きく低下してきており、これに対応すべくメーカー側も精油所の再編、合理化等様々な経営努力を行っている中で、アスファルトの安定供給、適正価格の維持が難しい状況になってきている。近年のアスファルト価格の上昇や一部の地区での入手困難等の現象はこのようなメーカー側の構造的な変化に起因していると言えよう。

道路整備の重点が新設から維持管理に変わってきたといってもアスファルトを含む舗装の必要性、重要性が低下するものではないと考えている。近年の我が国の財政制約や公共事業への過度な批判を受け道路を含むインフラ整備は、従来以上に徹底した効率的な整備を要請されていることは確かであるが、だからといって特に舗装を含む道路の整備が今後無くなるものではなく、過去のような年々拡大する需要は見込めないとしても、今後長年に渡って一定の適正規模の需要は必要とされるであろう。従って維持管理が主体であっても道路舗装整備に係わる主要材料であるアスファルトについても今後も引き続き適正な価格、安定した供給

体制の維持が望まれる。

道路協会では現在、このような時代の変化を踏まえ、現場の技術者が使い易い舗装の維持管理のガイドブック（仮称）の作成に取り組んでいる。このガイドブックでは、従来新設中心の時代の中で、計画性を持たず場当たり的に行われてきた舗装の維持修繕をコスト縮減、効率的な事業実施という立場にしっかり立て、アセットマネジメントの考え方も積極的に取り入れ、より計画的かつ合理的な舗装の維持管理を全国の関係者に実施してもらうための参考資料にしていきたいと考えている。特に道路というインフラは、今後50年、100年といった長期に渡って維持管理していくべきものであり、その間行われる維持管理が適切に行われるよう計画的な対応が求められる。最近初期のコストの縮減という点のみに関心が集中するあまり結果として長期に渡るトータルコストを増大させているのではないかという危惧をいっているのは私だけではないであろう。いずれにしても、舗装においても長期的な視点に立った計画をそれぞれの道路管理者が合理的にたて、その計画に基づいて適正にマネジメントを行っていくことが重要であろう。アスファルトについてもその品質が舗装の供用性に大きく影響するのは自明なのだから、このような長期的な視点に立って少しでも質の高い材料が適正な価格で提供されるようになることを望んでいる。

いずれにしても、石油製品需要の低迷の中で努力しているメーカー側にとっては今後もアスファルトの製造、供給が経営的に成り立つためには、ユーザーである道路管理者がそれぞれ長期的な視点に立って舗装の維持管理計画を立て、将来のアスファルト需要の動向を示すことこそが今後は重要であり、アスファルトの安定供給に繋がるのではないだろうか。

最後に、将来に渡って舗装やアスファルトの担う役割は決して小さいものではない。このような認識に立ってメーカーである石油業界とユーザーである道路管理者がそれぞれの役割について考え、お互い連携していくことを強く願っている。

アスファルト材料について

(Bituminous Materials)

新 田 弘 之*

舗装に多く使用され、一般にもよく知られているアスファルトであるが、アスファルト単体の製法や化学成分などの基礎的なことは意外と知られていない。本報では、アスファルトの種類、原料、製造法をはじめ、化学的な性状や品質項目など、近年の状況を踏まえ概要を紹介する。

1. はじめに

アスファルトは、道路舗装に幅広く使用されることから、常日頃接する機会があり、一般に知られた材料の一つである。しかし、誰もが知っているのはアスファルト混合物の施工された後のものであり、アスファルト単体については、どのような原料からどのように製造され、どのような化学成分を持つのかなど、一般の方ばかりでなく、普段使用している技術者でも意外と知らないことが多い。

アスファルトを辞典で調べれば、「天然にまたは石油の蒸留残渣として得られる黒色の固体または半固体。主成分は炭化水素」¹⁾などと表現される。瀝青とも呼ばれるが、瀝青とはアスファルトやタール、ピッチなどの炭化水素からなる半固体、個体の化合物の総称である。ちなみに、日本で意味する「アスファルト」は、米国では「アスファルトセメント」、欧州では「ビチューメン」となる。欧州で「アスファルト」といえば、日本でいうアスファルト混合物のことを指す。

種類、製造方法、化学成分など、これまでも紹介されたこともあったが、ここでは、近年の動向も踏まえ、これら基礎的な内容について説明するとともに、各国でのアスファルトの規格について紹介する。

2. アスファルト製品

アスファルトの種類には、大きく分けて天然アスファルト、石油アスファルトがある。また、石油アスファルトを原料として製造される製品としては、アスファルト乳剤、ポリマー改質アスファルトがある。各アスファルトの概要は表-1の通りである。

石油アスファルトが広く一般に用いられ、目的に応じてアスファルト製品が用いられている。天然アスファルトも一部で使用されているが、用途範囲は比較的狭く、特殊なものといえる。

3. アスファルトの原油

原油の種類には大きく分けて、ナフテン基原油、パラフィン基原油、混合基原油がある。ナフテン基、パラフィン基とは、ナフテン系炭化水素、パラフィン系炭化水素を多く含む原油のことである。ナフテン系炭化水素とは、1分子中に少なくとも1個の飽和環（ナフテン環）を含む炭化水素で、炭素数5個のシクロペンタンと炭素数6個のシクロヘキサンが最も基本となる環状化合物である。 C_nH_{2n} の一般式で示される。パラフィン系炭化水素とは、分子式 C_nH_{2n+2} の飽和鎖状化合物で、分枝のないノルマルパラフィンと枝分かれしたイソパラフィンがある。

ナフテン基原油にはテキサス原油、メキシコ原油やベネズエラ原油など、パラフィン基原油にはスマトラ原油やベンシルバニア原油、大慶原油など、混合基原油にはサウジアラビア、イラン、イラク、クウェートなどの中東原油がある。

アスファルトの原油としては、ナフテン基原油、混合基原油が適しており、日本では中東から輸入される混合基原油が用いられる。また、原油の密度の違いから軽質原油や重質原油など5つに分類されているが、舗装用アスファルトには重質原油（API度29.99～26.00°）が適している。

*にった ひろゆき 独立行政法人土木研究所 材料地盤研究グループ 新材料チーム 主任研究員

表－１ アスファルト製品の種類と概要

種 類	概 要
天然アスファルト	天然に産出するアスファルト。レイクアスファルトが代表的。
レイクアスファルト	カリブ海のトリニダード・トバゴで産出するトリニダットレイクアスファルトが代表的。精製したもので微粒鉱物を36-37%程度含み、針入度1-4程度で非常に硬い。グースアスファルトの原料となる。
ロックアスファルト	アスファルトが石灰岩や砂岩などの多孔質な岩石にしみ込んでできたもの。
オイルサンド	アスファルトが砂岩にしみ込んでできたもの。カナダやベネズエラに多く埋蔵し、日本では新潟、秋田にもある。
アスファルトタイト	石油が岩の割れ目などにしみ込み長年月をかけ変成しアスファルトになったもの。ギルソナイト、グラハマイト等がある。ギルソナイトは米国ユタ州で採掘され、日本では黒インクや暗黒色塗料の原料として広く使用されている。
石油アスファルト	石油から製造されるアスファルト。
ストレートアスファルト	原油を常圧、減圧蒸留装置にかけて得られる残油。場合によっては、空気を少量吹き込んだり、粘度の異なるアスファルトを混合するなどして製造される。
ブローンアスファルト	ストレートアスファルトに十分に空気を吹き込んで酸化重合させたもの。目地材、防水材などに使用される。
セミブローンアスファルト	ストレートアスファルトに軽度空気を吹き込んで酸化重合させたもの。ブローンアスファルトにストレートアスファルトを混合させる場合もある。舗装の耐流動対策に用いられる。
プロパン脱瀝アスファルト	アスファルトを溶剤に溶かし、潤滑油などを取り出す方法を溶剤脱瀝法といい、特に溶剤に液化プロパンを用いる方法をプロパン脱瀝法という。これによって残ったアスファルト分をプロパン脱瀝アスファルト(PDA)という。PDAは、通常のアスファルトより硬く、ストレートアスファルトに混合するなどして利用される。
アスファルト乳剤	アスファルトを乳化剤により水中に分散させたもの。常温で液状であるため、加熱をせずに使用できる。
アスファルト乳剤	石油アスファルトを乳化させたもの。乳化剤の種類によって、カチオン系、アニオン系、ノニオン系などがある。舗装用には、カチオン系が多く使用され、アニオン系は使用されない。
改質アスファルト乳剤	改質アスファルトを乳化させたもの、あるいはアスファルト乳剤に改質材を乳化させたものを添加したものなどがある。
改質アスファルト	舗装の耐久性向上や機能性向上のために、石油アスファルトの性質を改善したもの。
セミブローンアスファルト	上記の通り。
ポリマー改質アスファルト	石油アスファルトをベースにして、SBS(スチレン・ブタジエン・スチレンブロック共重合体)に代表される熱可塑性エラストマー等の改質材を添加したもの。

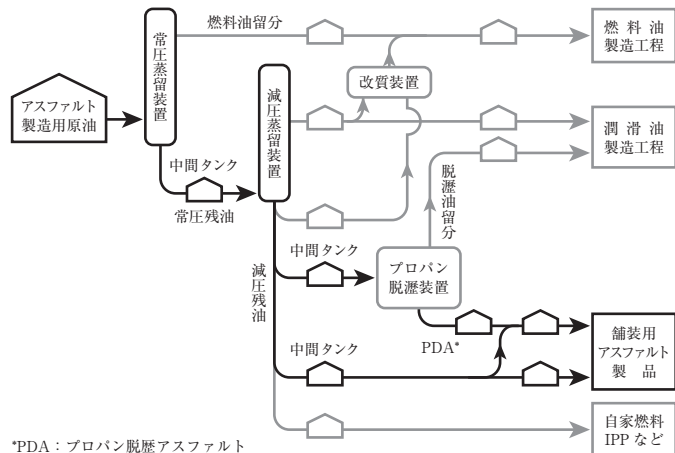
4. 石油アスファルトの製造

日本でアスファルトといえば、石油精製から生まれる石油アスファルトが最も一般的である。日本では、アスファルトは、石油製品の中のおよそ2%を占めているが、一部は燃焼等に用いられるため、販売量は2%を下回る。ちなみにガソリンは販売量のおよそ30%を占める²⁾。アスファルトの用途としては舗装用が約7割を占め、その他には燃焼用が2割、残りがルーフィング、工業用となっている³⁾。

原油の精製は、図－1に示すように蒸留により行われ、一連の操作で、燃料油、潤滑油、アスファルトなど、複数の製品を並行して製造する。石油アスファルトは、常圧蒸留の残油をさらに減圧蒸留しオイル分などを抽出した後に得られる。製油所の中には、プロパン脱瀝装置を用いて、減圧残油から液化プロパンを用いて直鎖炭化水素を抽出し、プロパン脱瀝アスファルト(PDA)を製造している場合もある。この場合、PDAは減圧残油に混合してアスファルトを製造する。

燃料油、潤滑油、アスファルトなどの石油製品は、原油の種類により特性が異なるので、

燃料油を中心に生産する場合と、アスファルトを中心に生産する場合では、使用する原油は異なる。石油精製では複数の製品が並行して生産されるので、当然ながら燃料油を生産する場合にもアスファルトは生産されているが、多くの場合、このアスファルトは燃料向けに使用される。舗装用アスファルトを製造する場合、材料としての品質の確保や品質の安定性などの面を考慮して、重質原油を中心とした原料が用いられる。

図－1 アスファルトの製造⁴⁾

5. アスファルトの組成

5.1 アスファルトの構成元素

アスファルトは、主に炭化水素からなるが、非常に多くの化学物質の混合体であるため、構成元素も様々である。アスファルトを構成する元素としては、炭素 79～88%，水素 7～13%，硫黄 残～8%，酸素 2～8%，窒素 残～3%である。微量であるが、金属も含み、バナジウム、ニッケル、鉄、マグネシウム、カルシウムなどが無機塩の状態で存在している⁵⁾。

5.2 アスファルトの成分

アスファルトは、非常に多くの種類の化学物質の集合体であり、構成する化学物質の一つ一つを特定していくことは極めて難しい。このため、類似する性質からいくつかのグループに分けて分析する手法が古くからとられてきた。アスファルトをグループに分ける方法はいくつかあるが、図-2のような手順で4つのグループに分ける方法が広く行われている。アスファルトは、大きく分けてアスファルテンとマルテンに分けられる。アスファルテンとは、n-ヘプタン等の飽和炭化水素（アルカン）に不溶の物質であり、可溶の物質をマルテンと呼ぶ。マルテンはさらにクロマトグラフィーを用いるなどして、レジン分、芳香族分、飽和分に分けられる。用いる溶剤は若干異なることがあり、溶剤が異なればそれぞれの成分も若干異なる。

日本では、4成分に分ける方法として石油学会法（JPI-5S-22-83）が広く一般に行われている。なお、石油学会法には薄層クロマトグラフィーによる方法（JPI-5S-70-10）が新たに加えられ、操作が簡便なため、今後測定事例が増えていくものと考えられる。

(1) アスファルテン

アスファルテンは、黒色～褐色をしている。アスファルトが黒く見えるのはアスファルテンの色の影響である。アスファルテンは、様々な極性基を持ち、ま

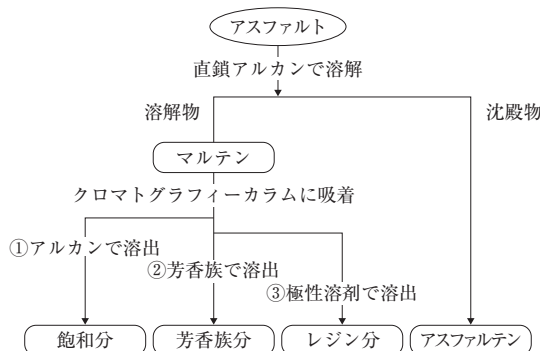


図-2 アスファルトの4成分分析の概略図

た分子量も様々な芳香環を有する化合物の集まりである。共通しているのは、直鎖アルカンに溶けないというところである。分子の平均構造の解析例を図-3に示す。いずれも平均的な構造であるが、原油により様々な構造をしていることが分かる。

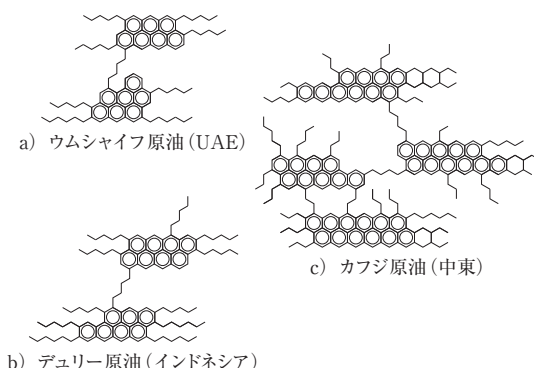


図-3 アスファルテンの平均構造の例⁶⁾

アスファルテンは、個々の分子が層状に重なっていることが分かってきている。芳香族部分が積層しており、それぞれはπ-π相互作用で会合している。イメージを図-4に示す。積層間隔3.6Å程度で会合しており、全体では数十Å程度の大きさの凝集体を形成している。凝集体の大きさは、温度が上昇するとともに変化し、図-5のように、徐々に小さくなっていくことも分かっている。

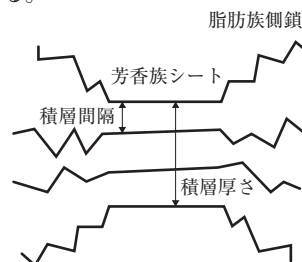


図-4 アスファルテン積層構造のイメージ⁷⁾

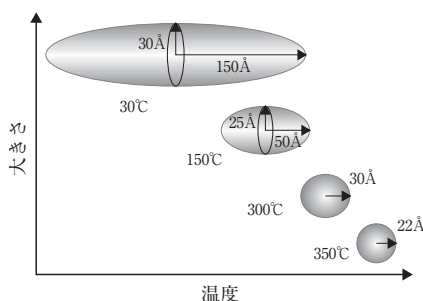


図-5 凝集体形状の温度変化イメージ⁷⁾

(2) レジン

レジンは、ダークブラウンをしており、固体、半固体である。自然に極性を帯びており、強力に結合している。分子の平均構造の解析例を図-6に示す。レジンは媒体として分散しており、アスファルテンを解膠させている。アスファルテンとレジンの連合の程度により、アスファルトはゾルまたはゲルの性質を示すようになる。レジンは、500～50000の分子量であり、粒子の大きさは1～5 nmである。

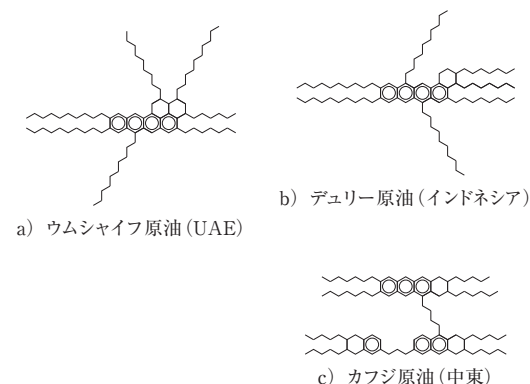


図-6 レジンの平均構造例⁶⁾

(3) 芳香族分

芳香族分は、ナフテン系芳香族分子の小さい分子量のものであり、アスファルテンを解膠させる媒体として大きな役割を果たしている。分子の構造例を図-7に示す。この成分はダークブラウンの粘性液体である。アスファルトに40～65%含まれ、平均的な分子量は300～2000である。

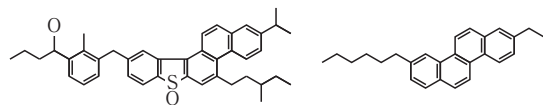


図-7 芳香族分の構造例⁸⁾

(4) 飽和分

飽和分は、直鎖アルカンに溶解するもので、二重結合を持たない炭化水素である。パラフィン系飽和分とナフテン系飽和分がある。分子の構造例を図-8に示す。薄い黄色あるいは無色の非極性の粘性オイルである。この成分は、アスファルトに5～20%含まれ、平均分子量は芳香族分と近い。

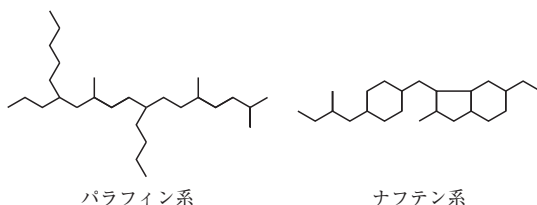
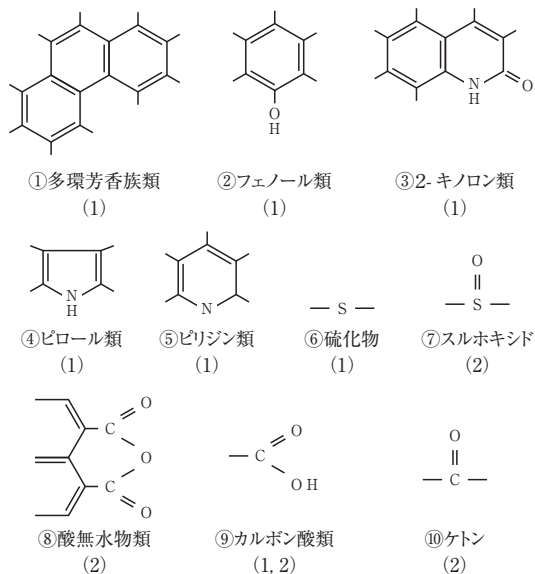


図-8 飽和分の構造例⁸⁾

5.3 アスファルトの酸化と極性

アスファルトは、アスファルト混合物製造時には熱に曝され、また供用中には紫外線や空気に曝され、酸化する。酸化によりアスファルトは硬化するのが通常である。アスファルトの中には、図-9に示すような結合基が見られ、特に酸化することで、図中(2)のような結合基が増加する。酸素が結合すると極性の強い結合基が増加する。極性の強い結合基は、他の分子と水素結合をするため、酸化が進むと、見かけ上巨大な分子となり、これが、アスファルトの硬化という形になる。

飽和分、芳香族分、レジン分、アスファルテン分と極性の強い結合基が増えていくため、この順番で粘性が強くなる。表-2に分子量が同じ飽和分、芳香族分、レジン分、アスファルテン分の粘度の測定例を示す。このように分子量が同じであっても、極性の違いにより粘度に大きな違いが見られることがわかる。



* (1) 自然発生物, (2) 酸化劣化生成物

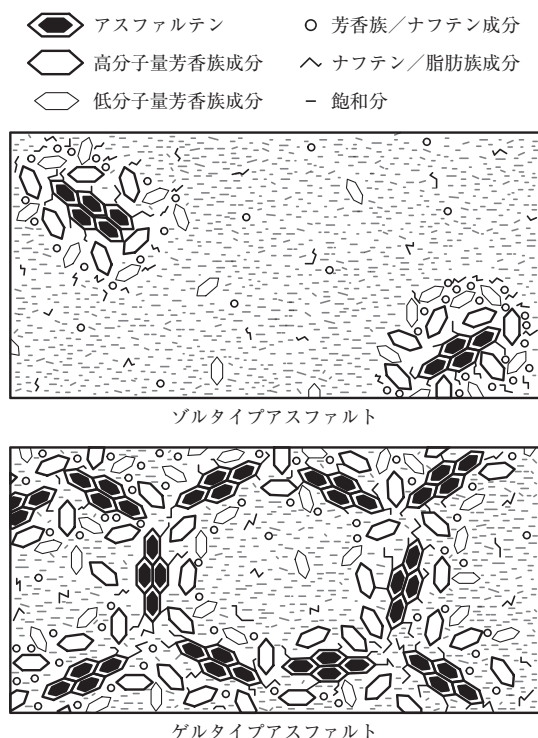
図-9 アスファルト分子内に通常あるいは酸化劣化後によく見られる結合基⁹⁾

表-2 粘度における極性分子の影響¹⁰⁾

分 画	分子量	粘度, Pa·s, 25℃
飽和分	500	10
芳香族分	500	1,000
レジン分	500	1,000,000

5.4 アスファルトの構造

アスファルトは、古くからコロイド構造であると考えられており、図-10のようなモデルで説明されることが多い。ゾルタイプでは、オイル成分（飽和分、ナフテン／脂肪族分、芳香族／ナフテン成分）の連続層の中にアスファルテンを核にレジン（高分子量芳香族成分、低分子量芳香族成分）が集まった集合体（ミセル）が分散したもので、このときアスファルトは流動性に富む性状を示す。また、ゲルタイプでは、アスファルテンやレジンが連続的に結合してネットワークを作った状態であり、このときアスファルトに流動性はなく、非常に硬くなる。酸化が進み、極性結合基が増大したブローンアスファルトで、このような状態となる。実際は、このような2つに明確に分かれるのではなく、多くの場合これらの中間的な状態だと考えられている。

図-10 アスファルト構造のイメージ⁸⁾

6. アスファルトの安全性

アスファルトは、コールタール（石炭乾留副生成物）と見た目や性状などが似ており、混同されることがあるが、コールタールは石炭を原料にしているのに対し、アスファルトは石油を原料としており、全く別のものである。コールタールに発がん性があるため、見た目が似ているアスファルトも安全性について懸念をもたれることがある。これについては、様々な調査事例があるが、明確な結論が得られていないのが現状である。

WHO（世界保健機関）では、アスファルトの安全性についてこれまで調査された報告事例をレビューしている⁵⁾。これによれば、アスファルトは植物や水環境への影響について確認できず、哺乳類系への影響を指摘するものもあるが、完全に影響があるとの結論つけるまでに至っていない。一方、アスファルトフューム（アスファルトを高温にしたときに揮発した気体が凝結して生成される雲状の微粒子）については、マウスの皮膚に悪性腫瘍を発生させるとの報告や、アスファルトヒューム・蒸気に暴露された作業員に眼、鼻、咽喉の刺激や下気道の変化が見られるなどの報告が見られた。情報の不足のため不確実性はあるとした上で、アスファルトフュームおよび塗料には発がん性物質が含まれている可能性がある、としている。

7. アスファルトの品質規格

アスファルトの品質規格については、各国様々であるが、大きく分けて、アスファルトの性状からの品質規格、使用箇所の気候からの品質規格に分かれる。

各国の品質規格の抜粋を表-3～9に示す。アスファルト性状からの品質規格としては、日本、ヨーロッパ、韓国などで針入度グレード、オーストラリアでは60℃粘度グレードが採用されている。なお、ヨーロッパでは、CEN（Comité Européen de Normalisation：欧州標準化委員会）において、供用性を考慮した試験が多数検討されており、今後が注目されている。

米国では、SHRP（Strategic Highway Research Program：新道路研究計画）の成果として、Superpave バインダ仕様を作成しており、気候によるグレード分け（PG）、ダイナミックシア試験などの粘弾性試験や加圧劣化試験を導入するなど他国とは大きく異なっている。このPGは韓国でも導入されており、針入度グレードと合わせて2つのアスファルト規格がある。

中国では針入度グレードがベースとなっているが、気候も加味した独特のものとなっている。

8. おわりに

ここでは、アスファルトの種類や性状、品質規格などの現状を紹介した。しかし、世界情勢の変化、エネルギー需要の変動、アスファルト消費量の減少など、日本のアスファルトを取り巻く環境は激変してきている。生産体制の見直しも進められ、近い将来、アスファ

ルトの質、量ともにこれまでとは異なってくることが予想される。一方、アスファルトの使用法もリサイクルが進み、ポリマー改質が増えるなど、変化している。このため、これらの変化を踏まえた上で、今後のアスファルトを考えていくことも必要である。

表－3 日本のアスファルトの規格 (JIS K 2207：1996 より抜粋)

種 類		40～60	60～80	80～100	100～120
項 目					
針入度 (25℃)	1/10mm	40を超え60以下	60を超え80以下	80を超え100以下	100を超え120以下
軟化点	℃	47.0～55.0	44.0～52.0	42.0～50.0	40.0～50.0
伸度 (15℃)	cm	10以上	100以上	100以上	100以上
トルエン可溶分	%	99.0以上	99.0以上	99.0以上	99.0以上
引火点	℃	260以上	260以上	260以上	260以上
薄膜加熱質量変化率	%	0.6以下	0.6以下	0.6以下	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率	%	58以上	55以上	50以上	50以上
蒸発後の針入度比	%	110以下	110以下	110以下	110以下
密度 (15℃)	g/cm ³	1.000以上	1.000以上	1.000以上	1.000以上

表－4 ヨーロッパのアスファルト規格 (EN 12591-2009 より抜粋)

性 状	試験方法	単位	グレード					
			35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
針入度 (25℃)	EN 1426	0.1 mm	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220
軟化点	EN 1427	℃	50-58	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43
163℃における硬化抵抗性	EN 12607-1							
針入度残留率		%	≥ 53	≥ 50	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
軟化点上昇－苛酷度 1 もしくは軟化点上昇－苛酷度 2 ^a		℃	≤ 8 もしくは ≤ 11	≤ 9 もしくは ≤ 11	≤ 9 もしくは ≤ 11	≤ 9 もしくは ≤ 11	≤ 10 もしくは ≤ 12	≤ 11 もしくは ≤ 12
質量変化 ^b (絶対値)		%	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 1.0
引火点		℃	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
溶解性	EN 12592	%	≥ 99.0	≥ 99.0	≥ 99.0	≥ 99.0	≥ 99.0	≥ 99.0

a 苛酷度 2 のときは、未劣化のバインダーのフラス脆化点もしくは針入度指数もしくは両方の要件に関連している。
b 質量変化は、正か負の値をとる。

表－5 韓国のアスファルト規格 (KS M2201 より抜粋)

種類	針入度 (25℃)	軟化点 (℃)	伸度 (cm) 15℃	トルエン可溶分 (%)	引火点 (℃)	薄膜加熱		蒸発後の針入度比 (%)	密度 (15℃) kg/m ³
						質量変化率 (重量%)	針入度残留率 (%)		
40-60	40を超え60以下	47.0～55.0	10以上	99.0以上	260以上	0.6以内	58以上	110以下	1000以上
60-80	60を超え80以下	44.0～52.0	100以上				55以上		
80-100	80を超え100以下	42.0～50.0					50以上		
100-120	100を超え120以下	40.0～50.0							

表－6 オーストラリアのアスファルト規格 (AS2008 より抜粋)

性状	試験方法	Class 170		Class 320		Class 600	
		最小	最大	最小	最大	最小	最大
粘度 @60℃, Pa·s	AS 2341.2, .3, .4	140	200	260	380	500	700
粘度 @135℃, Pa·s	AS 2341.2, .3, .4	0.25	0.45	0.40	0.65	0.60	0.85
引火点, ℃	AS 2341.14	250	－	250	－	250	－
針入度 @25℃, 5s (0.1mm or pu)	AS 2341.12	62min	－	40min	－	20min	－
RTFO 粘度比, %	AS 2341.10	－	300	－	300	－	300
トルエン不溶分, %	AS 2341.8	－	1.0	－	1.0	－	1.0
密度 (15℃), t/m ³	AS 2341.7	報告	－	報告	－	報告	－

表-7 米国のアスファルト規格 (パフォーマンスグレード (PG), ASTM D 6373 より抜粋)

パフォーマンスグレード(PG)	PG52							PG58					PG64					
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40
7日間の平均 最高舗装設計温度, ℃	<52							<58					<64					
最低舗装設計温度, ℃	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
原アスファルト																		
引火点, D92: 最低温度, ℃	230																	
粘度, D4402: 最大 3Pa·s, 試験温度, ℃	135																	
ダイナミックシア, P246: G*/sin δ, 最小1.00kPa 25 mmプレート, 1 mmギャップ 10rad/s, 試験温度, ℃	52							58					64					
RTFOT (D2872)																		
質量損失, 最大, %																		
ダイナミックシア, P246: G*/sin δ, 最小2.20kPa 25 mmプレート, 1 mmギャップ 10rad/s, 試験温度, ℃	52							58					64					
加圧劣化容器試験後(AASHTO PP1)																		
PAV 試験温度, ℃	90							100					100					
ダイナミックシア, P246: G* sin δ, 最大 5000kPa 8 mmプレート, 2 mmギャップ 10rad/s, 試験温度, ℃	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
クリープスティフネス, P245: S, 最大 300MPa m 値, 最小 0.300 60 秒, 試験温度, ℃	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
ダイレクトテンション, P252: 破断ひずみ, 最小 1.0% 1.0 mm/min, 試験温度, ℃	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

表-8 韓国のパフォーマンスグレード (KS F2389 より抜粋)

パフォーマンスグレード(PG)	PG52							PG58					PG64					
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40
7日間の平均 最高舗装設計温度, ℃	<52							<58					<64					
最低舗装設計温度, ℃	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
原アスファルト																		
引火点, KS M2010: 最低温度, ℃	230																	
粘度, KS F2392: 最大3 Pa·s, 試験温度, ℃	135																	
ダイナミックシア, KS F2393: G'/sin δ , 1.0kPa以上 10rad/s, 試験温度, ℃	52							58					64					
RTFOT(KS M2259) または TFOT (KS M2258)																		
質量損失, 最大, %																		
ダイナミックシア, KS F2393: G'/sin δ , 2.2kPa以上 10rad/s, 試験温度, ℃	52							58					64					
加圧劣化容器試験後の残渣 (KS F2391)																		
PAV 試験温度 ℃	90							100					100					
ダイナミックシア, KS F2393: G'sin δ , 5000kPa 以下 10rad/s, 試験温度, ℃	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
物理的硬化																		
クリープスティフネス, KS F2390: S, 300MPa 以下 m 値, 0.3 以上 60 秒, 試験温度, ℃	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

表－9 中国のアスファルト規格 (JTG F40-2004 より抜粋)

指標	単位	等級	アスファルト標記														試験方法 ^{〔1〕}		
			110号			90号					70号 ^{〔3〕}					50号			
針入度（25℃、5s、100g）	0.1mm		110～120			80～100					60～80					40～60	T 0604		
気候区分			2-1	2-2	2-3	1-1	1-2	1-3	2-2	2-3	1-3	1-4	2-2	2-3	2-4	1-4	付録A		
PI	最小		A	-1.5～+1.0														T 0604	
		B	-1.8～+1.0																
軟化点	最小	℃	A	43		45			44		46		45		49		T 0606		
			B	42		43			42		44		43		46				
			C	41		42					43				200				
60℃粘度 ^{〔2〕}	最小	Pa・s	A	120		160			140		180		160		200		T 0620		
10℃伸度	最小	cm	A	40		45	30	20	30	20	20	15	25	20	15	15	T 0605		
			B	30		30	20	15	20	15	15	10	20	15	10	10			
15℃伸度	最小	cm	A、B	100															
			C	60		50					40				40				
ワックス度	最大	%	A	2.2														T 0615	
			B	3.0															
			C	4.5															
引火点	最小	℃		230		260												T 0611	
トリクロロエチレン可溶分	最小	%		99.5														T 0607	
密度（15℃）	g/cm ³			測定を記録														T 0603	
TFOT（またはRTFOT）後																	T 0610あるいは T 0609		
質量変化率	最大	%		± 0.8															
針入度比	最小	%	A	55		57					61					63		T 0604	
			B	52		54					58					60			
			C	48		50					54					58			
伸度（10℃）	最小	cm	A	10		8					6					4		T 0605	
			B	8		6					4					2			
伸度（15℃）	最小	cm	C	30		20					15					10		T 0605	

[1] 現行の「道路工事のアスファルトおよびアスファルト混合物試験方法 (JTJ052)」に基づいて行う。PI (針入度指数) の試験において、試験温度を5点で行った針入度試験の相関係数は0.999以下でなければならない。トリクロロエチレンの使用が規制を受ける場合には、溶解性試験の溶媒はトルエンを使用してもよい。

[2] 60℃粘度は、担当部門への同意があれば、品質指標としなくてよい。

[3] 70号のアスファルトは要求に応じて供給するアスファルトの針入度は60～70または70～80としてよい。50のアスファルトも同様に要求に応じて40～50または50～60としてよい。

— 参考文献 —

- 1) 広辞苑, 岩波書店, 第6版, 2008
- 2) 経済産業省: 平成21年資源・エネルギー統計年報, 2010.7
- 3) アスファルト舗装技術委員会材料開発研究分科会: 舗装用ストレートアスファルトの品質規格に関する調査, アスファルト, p.22, 2002
- 4) (社)日本道路協会舗装委員会舗装設計施工小委員会材料WG: 舗装用アスファルトの品質規格に関する調査報告書, 日本道路協会, 2008
- 5) 世界保健機関国際化学物質安全性計画: IPCS UNEP//ILO//WHO国際化学物質簡潔評価文書, No.59アスファルト (ビチューメン) (2004), 国立医薬品食品衛生研究所, 2007
- 6) 石油連盟: ムース化のメカニズム, 石油連盟の油濁対策HP, <http://www.pcs.gr.jp/doc/jmouse/>
- 7) Ryuuzo Tanaka: Structural analysis of asphaltene aggregates, Journal of the Japan Institute of Energy, 88, pp.114-118, 2009
- 8) Shell bitumen: The Shell Bitumen Handbook fifth edition, 2003
- 9) J. C. Petersen: Quantitative functional group analysis of asphalts using differential infrared spectrometry and selective chemical reaction - theory and application, Transportation Research Record 1096, pp.1-11, 1986
- 10) Griffen, R. L., W. C. Simpson, and T. K. Miles: Influence of composition paving asphalts on viscosity-temperature susceptibility, and durability, J of Chemistry and Engineering data, vol.4, pp.349-354, 1959

最近のアスファルト事情

(The Present Status of Petroleum Industry and Asphalt)

JX 日鉱日石エネルギー(株) エネルギー・ソリューション本部 ES 1 部 ES 3 グループ

わが国の石油産業は、石油需要構造の変化による燃料油需要の大幅な減少、あるいは石油価格マーケットを取り巻く環境の急激な変化により、非常に厳しい状況になっている。今回、変革を迫られる石油業界の中で、アスファルトがどのような位置付けにあるのか、最近の需給動向と共に今後の課題について説明を行った。

1. 石油産業を取り巻く環境の変化

1.1 石油需要の減少

石油産業を取り巻く環境は、ここ数年で大きく変化している。経済産業省 資源・エネルギー統計によると、2009年度の国内燃料油需要は、1億9490万KL（前年比97%）と2億KLを下回ることとなり、減少傾向に歯止めがかからない状況になっている。

ガソリンの需要は1985年度から2004年度まで19年間プラス成長であったが、2005年度以降、5年連続前年比マイナスとなった。これは、原油高騰に伴う価格上昇による買い控えの広がり、自動車離れあるいは燃費の良いハイブリット車や小型車の普及などの需要構造変化が背景である。また、軽油需要も物流合理化の進展などから、1996年以降は減少傾向で推移している。

灯油の需要についても電気・ガス機器の普及や、省エネ住宅普及等により、給湯・暖房用需要の減少傾向が顕著である。

工場・発電所においても省エネ・CO₂対策としてエネルギー転換が進み、産業用エネルギーに占める石油（主に重油）のウェイトは依然として低下傾向にある。

燃料油需要計では、1999年度をピークに減少傾向に転じており前述のような需要構造の変化により、その減少スピードが今後ますます加速すると見込まれている。

資源エネルギー庁総合エネルギー調査会の資料によれば、燃料油全体の需要は、2008年からの5年間で2割程度減少すると予測されている。

(図-1 参照)

1.2 原油価格の動向

海外のエネルギー事情も大きく変化している。国際市場での指標原油であるWTI（ウェスト・テキサス・インターミディエート）原油は、2008年7月に1バレル（≒159リットル）147ドルの史上最高値を付けた後、世界的な金融危機による景気後退の影響を受け暴落し、僅か半年で30ドル台にまで下落するなど、原油価格の乱高下は激しさを増している。なお、原油価格はその後再上昇し、足下では80ドルを中心とした価格水準（2010年10月末現在）となっている。

石油資源の枯渇懸念、政情不安定な中東・アフリカ諸国の地政学的リスク、原油先物市場へ流入を繰り返す投機資金の動向や、BRIC's 諸国の需要増加傾向などの要因が数多く存在し、先行きの見通しは不透明である。

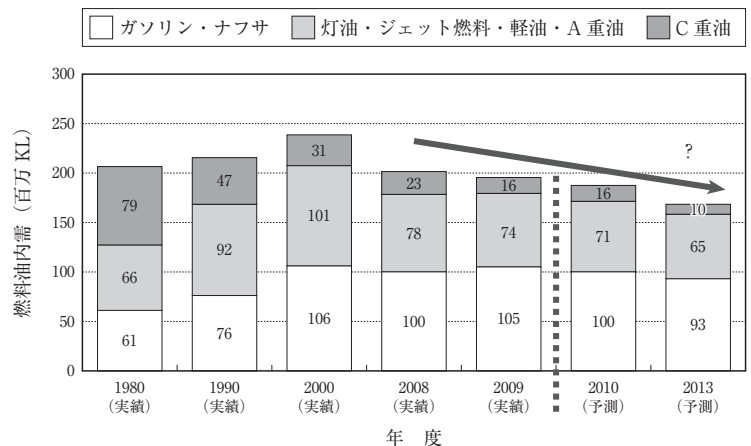


図-1 燃料油内需の推移と予測

出所：石油連盟、資源エネルギー庁総合エネルギー調査会のデータを元に当社作成

1.3 能力削減を迫られる石油業界

石油連盟の報告によると、日本の石油業界の原油処理設備能力は、2010年3月末現在、479万BDであるが、今後、燃料油の需要が減少すると予測されるなか、原油処理能力が2割程度（約100万BD）余剰になるとの見方もある。（図－2参照）

日本の原油処理能力は、戦後復興を果たした1950年から1960年代の高度経済成長期においては、一貫して増強を重ねてきた。

その後、1978年の第2次石油ショックを契機とした需要減少により、原油処理能力は1990年頃まで減少してい

たが、その後の原油処理枠指導の撤廃等もあり、需要のピークを迎える1999年頃まで再び増加している。

2000年以降は需要減少に対応すべく、製油所の閉鎖や原油処理設備の一部休止など、規模の適正化に取り組んできているが、現在は数年前の予想をはるかに上回る需要減に直面し、更なる対応を迫られている。

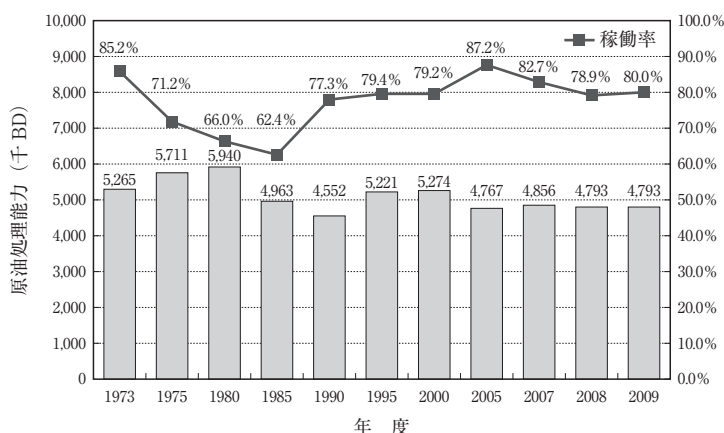
このような状況下、2009年8月に「エネルギー供給構造高度化法」が施行された。この法律に基づき、2010年7月、経済産業省は石油精製業者へ「重質油分解装置の装備率（以下、装備率と記載）」の向上を義務付ける公告を行っている。

海外での装備率（＝「重質油分解装置の能力（B/D）」÷「常圧蒸留装置の能力（B/D）」）は、欧米で19%程度、アジア諸国ではシンガポール・台湾で22%程度、韓国で16%程度である。一方、日本における現状の装備率は10%程度と大きく立ち遅れており、経済産業省では、これを2013年度までに13%程度までに引き上げること目標に掲げている。

この装備率の算定式からもわかるように、装備率を高めるためには、分子の「重質油分解装置の処理能力」を増やすか、製油所廃棄・能力削減で分母の「常圧蒸留装置（トッパー）の処理能力」を減らすかの選択肢しかない。

記述の通り構造的な燃料油需要減が見込まれるなか、石油元売各社は装備率を高めるために数百億から数千億規模の投資を伴う重質油分解設備の増強（分子を増やす）という選択肢はとりにくい状況にある。

一方、製油所廃棄・能力削減（分母を減らす選択肢）の場合、仮に全ての石油元売会社が装備率の改善を能



図－2 原油処理能力・稼働率

出所：石油連盟のデータを元に当社作成

力削減により対応すると、その規模は現在余剰能力といわれているのと同程度の約100万BD規模になると想定されている。

JX日鉱日石エネルギーでは、2013年度末までに60万BDの削減を既に決めている。また、出光興産でも2013年度中に10万BDの削減、昭和シェル石油では2011年9月までに12万BDの削減を表明しており、これら合計で80万BD強に達するが、その他の石油元売会社も能力削減により対応すれば、約100万BDも現実的なものになってくる可能性もある。

今後、原油処理能力削減が進んだ場合、石油製品全般の供給体制の再構築が必要になると思われる。アスファルトも例外ではないが、一方で、アスファルトの需要は減少傾向にあること、需要のピークが年度末に集中するという特徴があり、需要の平準化等を併せて議論する必要があると思われる。

以下、アスファルトの需要を記載した上で、詳しく説明したい。

2. 道路舗装用アスファルトの需要

道路舗装用アスファルト（以下、単にアスファルトと記載）は、主にアスファルト合材（以下、単に合材と記載）の原料として使用されている。合材製造量は1999年度で7,140万トンであったが、道路整備や公共事業全体が見直されるなか、徐々に減少し、2009年度の製造量は4,969万トン（1999年度比70%）までになっている。

一方、アスファルトの使用量は、1999年度の330万トンであるのに対し、2009年度には195万トン（1999

年度比60%)と合材よりも大幅に減少している。これは合材の製造において、再生合材の製造量比率が増加していることが主要因である。(図-3参照)

次にアスファルトの月別需要量を図-4に示す。アスファルトの需要は、年度末をピークに月間単純平均の1.6倍の需要があり、この傾向に変化はない。

道路舗装はその殆どが公共事業によって行われている。公共事業は国の政策により左右されるため、先行きの見通しを論じられる立場にはないが、道路整備の見直しが進められるなか、道路舗装工事は、新設工事から維持補修工事へと転換してきており、かつてのような規模の合材需要は見込めない。また、資源の再利用を目的として、再生合材の使用量は引き続き増えていくものと考えられることから、当面、アスファルト需要は横ばい、もしくは減少傾向で推移するものと想定している。

3. アスファルトの供給体制の動向

3.1 生産

(1) 原油処理設備削減の影響

今後、石油業界における設備規模の適正化が進めば、石油製品が連産品(原油を精製するとガソリン、灯油、軽油、重油、アスファルト等の各製品が同時に生産される仕組みのこと)である以上、他油種の生産減に合わせてアスファルトの生産も自ずと減少することになるが、影響はそれに止まらない。

これまでは旺盛な需要を背景とした十分な精製設備能力を活用し、ガソリンからC重油・アスファルトまでの各製品を、その時々需要に合わせて、柔軟な生産を行ってきた。しかしながら、「設備規模の適正化」は「生産のフレキシビリティ低下」と表裏一体である。加えて、設備規模の適正化は精製設備に止まらず、製油所の製品タンクや油槽所といった供給インフラにも

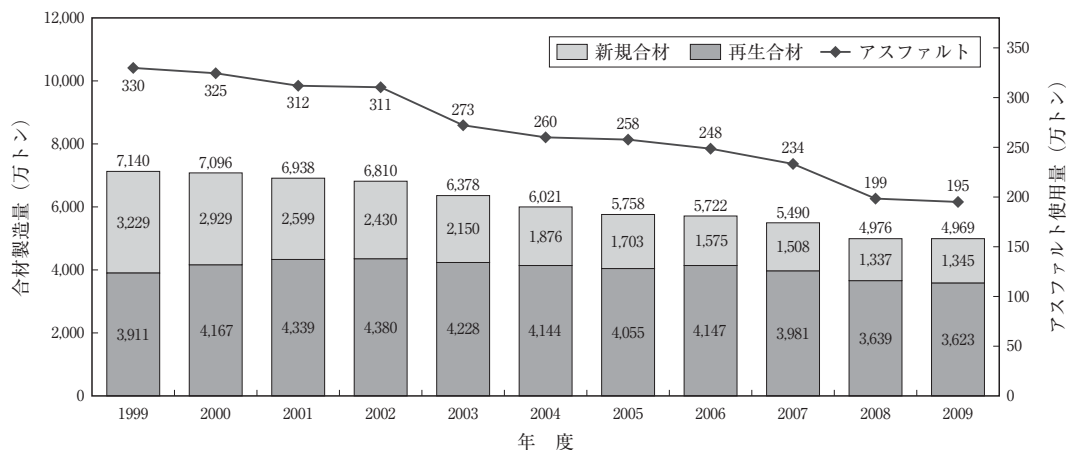


図-3 アスファルトおよび合材需要推移

出所：(株)日本アスファルト合材協会のデータを元に当社作成

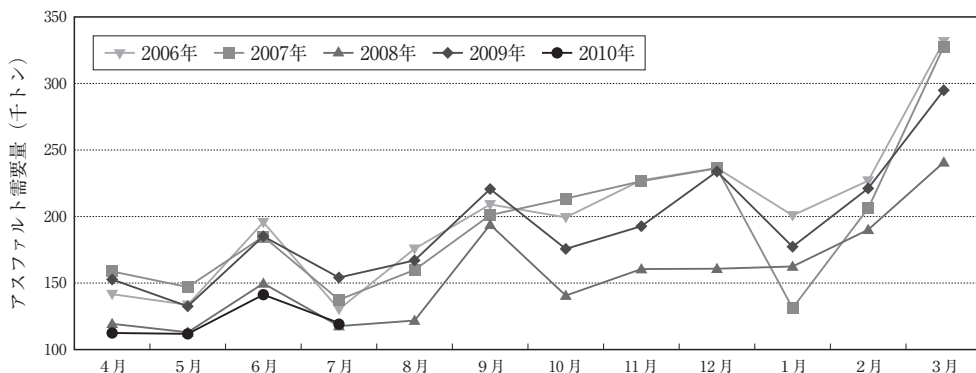


図-4 アスファルト月別需要量

出所：国土交通省 総合政策局のデータを元に当社作成

波及するため、従来のような需要変動対応能力を発揮することは困難となることが予想される。

この問題は石油製品全般に共通するものだが、マスマーケット商品ではないアスファルトは、供給インフラや流通構造が重層的でないため、その影響が顕著に出る可能性がある。

(2) 処理原油選択の制約

石油製品は連産品であり、原油・精製設備の構成によって、各製品が原油から取得される割合（＝得率）は異なってくる。

これまでは様々な原油の種類の中から足下の製品需給動向に合わせて原油を選択し、需要に見合った製品の生産を実施してきたが、今後、設備の適正化により、足下の製品需給に合わせた処理原油を選択することが難しくなる虞がある。

即ち、アスファルトは通常、燃料油生産を中心とした原油処理とは別に、主に中東系の中重質原油を処理することによりJIS規格に合う製品の性状を確保してきた。しかしながら、今後、設備規模の適正化が進み「生産余力」が失われると、足下のアスファルト需給に合わせ、中東系の中重質原油をタイムリーに調達・処理し、アスファルトを生産することが困難となる局面も予想される。

3.2 流通

アスファルトは製油所で生産された後、製油所からローリーで合材工場へ配送される場合と、製油所から油槽所へタンカーで輸送された後、油槽所からローリーで合材工場へ配送される場合がある。

アスファルトの日々の出荷は、合材工場での合材製造に合わせて行われるため、天候等による道路舗装工事の進捗状況によってオーダーが変更されることも度々発生する。それは、合材工場のタンク容量が小さく、在庫の調整が難しい事情も関係している。

また、アスファルトは石油製品の中でも、灯油など暖房用として使用されるものと並んで、時期による需要変動の大きい製品である。一年の中でも3月の需要が突出しており、これは、道路舗装工事が年度末に集中することに起因している。

アスファルトの流通で、最近顕在化している問題に、タンクローリー台数の減少による輸送制約がある。

原油価格高騰にともなう燃料油価格の上昇、排ガス規制の強化による車両維持コストのアップに加え、アスファルト需要減によるローリー稼働率低下のため、各輸送会社の経営はますます厳しくなっている。

その結果、輸送会社の廃業または廃車によりローリーの台数が減少、需要のピーク時には各合材工場への配送に支障を来す事態も散見されている。

4. 今後の課題

既述の通り、当面、アスファルトの需要は横ばいもしくは減少傾向で推移するものと思われるが、アスファルトを使用した道路舗装は、依然として国内の道路舗装の太宗を占めており、アスファルトが道路舗装を行ううえでの重要な「舗装用資材」であるとの位置づけは今後も変わらないと考えている。

一方、アスファルトの供給、特に生産と流通については、設備規模の適正化やローリー台数の確保など、多くの問題を抱えている。

しかしながら、かつてのような年間300万トンを超えるような需要レベルではなく、今後も現状の年間200万トン程度で推移するのであれば、年間の生産能力としては十分に確保されているものと考えている。

ただし、設備規模の適正化により、生産・出荷のフレキシビリティは確実に低下しており、急激な需要変動については、これに対応することは困難が予想される。即ち需要そのものの量（ボリューム）の問題ではなく、偏在（時期、エリア）と変動が安定供給の阻害要因である。

これを解決するため、以下の2点がクリアできれば、需要をカバーすることは十分可能であると考えている。

①サプライヤー（石油元売）の早期需要把握

②年間を通じ、できる限り平準化された需要

現在、アスファルトの需要は年度末に集中しているが、この需要ができる限り平準化され、仮に需要変動があったとしても前広に時期（できれば3ヶ月前までに）、エリアを把握できれば、原油を手当てし計画的に生産・在庫することが可能である。

これまで、当社および石油業界は、アスファルトの安定供給を通じて、国民の共通財産である道路の整備、およびそれを支える道路舗装事業の健全な発展を側面から支えてきたものと考えており、今後もその一端を担っていくという考え方は、何ら変わるものではない。

しかしながら、「石油離れ」ともいうべき急激な需要減に直面するなか、石油元売が石油製品全般の供給体制の「効率化」と「柔軟性の維持」を両立させ、将来に亘るアスファルトの安定供給体制を維持するためには、今後、需給双方での議論や取り組みが必要な時期に来ていると考えている。

ポリマー改質アスファルトの現状

(A Development of Polymer Modified Asphalt in Japan)

渡 辺 雅 倫*

一般社団法人日本改質アスファルト協会では、その時代ごとに世の中のニーズに適したポリマー改質アスファルトの技術開発を行ってきた。これによって、様々な特性をもつポリマー改質アスファルトを提供するに至っている。

今回、ポリマー改質アスファルトの技術とその普及に関する経緯を中心として、現状についてまとめ、報告する。

1. ポリマー改質アスファルトについて

一般に、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に改質材としてポリマーおよび添加剤を加えたものである。これにより、アスファルトに強度や感温性の向上、及び剥離防止性等、適用箇所に応じた様々な性能を付与することが出来る。

アスファルトの改質剤として用いられるポリマーは、ゴム系材料、熱可塑性樹脂、熱可塑性エラストマー等多種存在する。

中でも、スチレン-ブタジエン-スチレンブロック共重合体(SBS)は低温から高温に至るまで広い温度範囲で優れた性能を有する為、多くのポリマー改質アスファルト製品の改質剤として用いられている。

SBSは、ストレートアスファルトに溶解すると、図-1のような分散形態を経て、SBSが微分散した時点で性状が安定する。

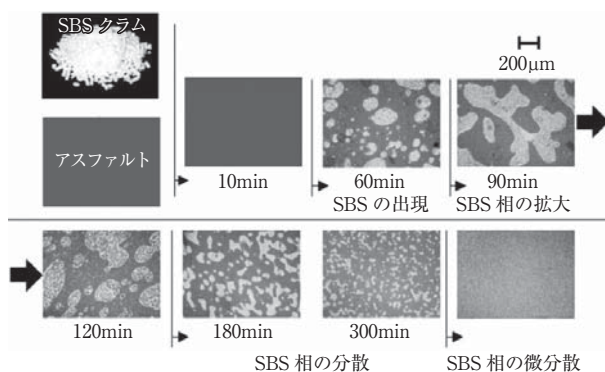


図-1 SBSの分散状態の時間変化

図-2に示すように、アスファルト中に分散したSBSは、温度が低下してくると、スチレンブロック同士が凝集することによりポリスチレンドメインを形成する。これが物理的架橋点となることで、ポリブタジエンブロックによって繋がった3次元のネットワークがアスファルト中に形成され、ゴム弾性を発現する。

これにより、舗装体の強度が向上し、耐流動性が高くなる。また、可とう性が向上することで、低温域での破断等に強くなり、耐ひび割れ性も向上する。

さらにこのSBSの状態の変化は、温度によって可逆(熱可塑性)であり、熱を再び加え、高い温度領域になるとスチレンブロックが分散し、SBSの分子鎖同士の拘束が無くなる。この為、SBSはアスファルト中で自由に動くことができ、流動性が得られる。

しかしながら、ポリマー改質アスファルトの溶融粘度はストレートアスファルトと比べ高い。従って、一

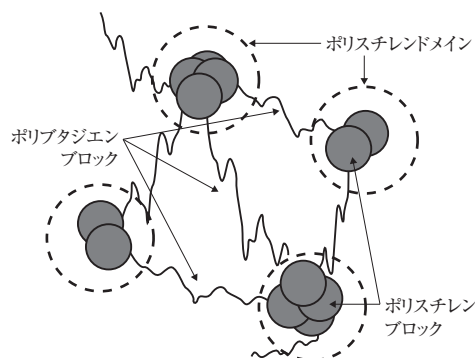


図-2 SBSの三次元ネットワークの模式図

*わたなべ まさみち 一般社団法人 日本改質アスファルト協会

般にポリマー改質アスファルト混合物はストレートアスファルト混合物よりも5～30℃高い温度で製造・舗設される。

図-3にSBS添加量と軟化点の関係を示す。SBS添加量を増加させると、軟化点は直線的に増加するわけではなく、添加量が7%前後で急激に軟化点が上昇するS字カーブを描く。

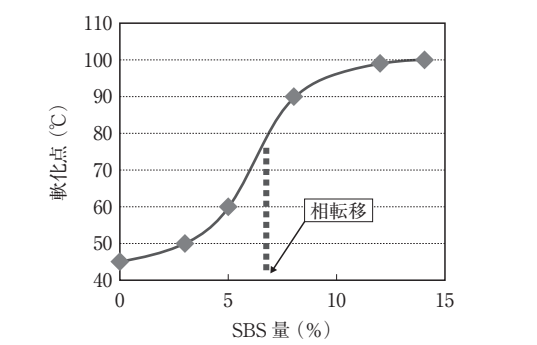


図-3 SBS添加量と軟化点の関係

これはSBSがアスファルト中の軽質分（マルテン分）を吸収して容積比で5～7倍に膨潤すること起因し、添加量が概ね7%を超えるとアスファルトの連続相からポリマー連続相へ相転換が生じるためである。

SBS添加量と相溶形態の変化を図-4に示す。ここで、アスファルト連続相では、アスファルトの物性が強く、SBS連続相ではSBSの特性であるゴム弾性が優勢となる。

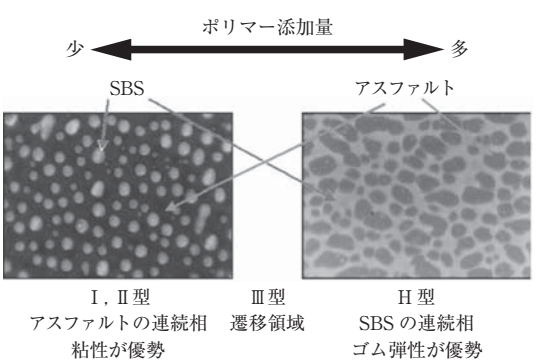


図-4 SBS添加量と相溶形態の変化

一般に、I型及びII型はアスファルト連続相、III型は両者の中間の遷移領域、H型はSBS連続相である。

ポリマー改質アスファルトでは、SBSの特性の強さごとにI～III型、及びH型と規格を設けている。なお、これら規格とその用途に関しては次節にて説明する。

2. ポリマー改質アスファルトの種類及び適用箇所

ポリマー改質アスファルトは、適用箇所、及び、要求される混合物の機能に応じて選定する必要がある。当協会では、ポリマー改質アスファルトにおける適用の考え方を改質アスファルトポケットブックに紹介している¹⁾。

表-1にポリマー改質アスファルトの種類と使用目的の目安を示す。使用の際には表-1を参考に、ポリマー改質アスファルトを選定して頂きたい。

表-1 ポリマー改質アスファルトの種類と使用目的

	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					ポーラスアスファルト 混合物に用いられる， ポリマーの添加量が多 い改質アスファルト	
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 多い箇所及び交差点				◎	○	○	○	
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（銅床版）	たわみ少		○	○		◎		
		たわみ大					◎		
排水性（透水性）								◎	◎

付加記号の略字 W：耐水性（Water-resistance）、F：可撓性（Flexibility） ◎：適用性が高い、○適用可能

ポリマー改質アスファルトは表－１のとおり、Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型及びⅣ型に分類できる。

ポリマー改質アスファルトⅠ型、Ⅱ型及びⅢ型は、密粒度等の混合物に用いられ、主に求められる耐流動性によって使い分けられている。また、Ⅲ型は、用途によってⅢ型、Ⅲ型－W、Ⅲ型－WFの３種類に分類される。

ここで、Ⅲ型－Wは、Ⅲ型の性能に耐水性能を付与したものであり、主にコンクリート床版橋面舗装に適用される。また、Ⅲ型－WFは、Ⅲ型－Wの性能に、さらにたわみ追従性を付与したものであり、鋼床版橋面舗装に適用される。

一方、Ⅳ型はポーラスアスファルト舗装に用いられるポリマー改質アスファルトであり、協会規格として定めている一般地域用（Ⅳ型）と、寒冷地域用（Ⅳ型－F）の２種類が存在する。

ポーラスアスファルト舗装は、密粒度等の混合物と異なり、骨材間に空隙を設けている為、降雨時における路面上の雨水をすばやく排水することができる。その為、雨天時等におけるハイドロプレーニング現象を防止することができる。また、走行時の水はねや水しぶきが少なく、視認性が向上する。

さらに、骨材間の空隙はタイヤと路面間に発生するエアポンピング音や路面反射音を抑制する機能を持つ。

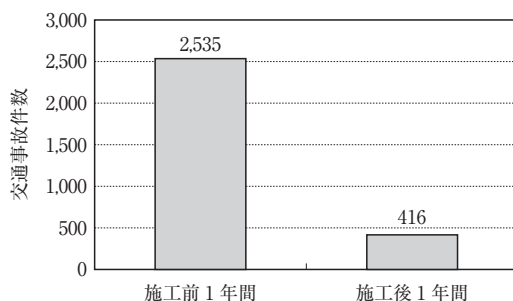
実際、ポーラスアスファルト舗装が普及されるようになってから交通事故が減少しており、図－５のとおり、ポーラスアスファルト舗装対策前１年間と対策後１年間では事故件数が84％減少した事例が報告されている²⁾。

３．ポリマー改質アスファルトの出荷量の推移と現状

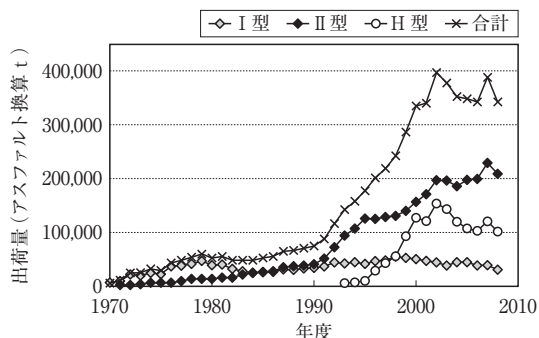
ポリマー改質アスファルトの出荷量の変遷を図－６に示す。

1960～1970年代の高度経済成長期の自動車交通量の急増に伴い、舗装の流動わだちが全国的に問題となった。Ⅰ型及びⅡ型は、この問題に対応する舗装として検討され始めた。1970～1980年代にかけて、Ⅰ型及びⅡ型について多くの試験施工が行われた結果、流動わだちのみならず、摩耗やひび割れといった舗装体の供用性の低下要因に対して効果的な技術が発展し、多くの実績を得た。これにより、1988年アスファルト舗装要項にて、Ⅰ型及びⅡ型は「改質アスファルト一般材料」として認定され、これを期に急速に普及した。

また、1989年にはポリマー改質アスファルトⅣ型



図－５ 排水性舗装施工前後における交通事故件数の比較



図－６ ポリマー改質アスファルトの出荷量の変遷

（当時名称：高粘度改質アスファルト）が排水性舗装用として試験的に用いられ始め、1996年に「排水性舗装技術施工指針（案）」が発刊されたのを期に、需要が一気に伸びた。

各種ポリマー改質アスファルトは1990年代に大きく出荷量を伸ばしたが、2000年代になるとアスファルト舗装自体の需要が減少した影響によって伸びが止まり、ほぼ一定値となっている。

実際に、ストレートアスファルトを含めたアスファルト合材全体の出荷量は、1992年には8,084万トンあったが、2002年には6,810万トンまで減少している³⁾。

従って、ポリマー改質アスファルトの出荷量をストレートアスファルト出荷量との比で見ると、4%（1992）から14%（2002）と増加していることが分かる⁴⁾。

つまり、アスファルト合材全体におけるポリマー改質アスファルトの割合は年々増加する傾向にあるといえる。

４．特殊なポリマー改質アスファルトについて

近年ではポリマー改質アスファルトについて更なる技術開発が進み、以下に示すような特殊な用途に対応したものが各メーカーより製品化されている。

4.1 明色バインダ

明色バインダは景観性を重視するカラー舗装や自然色舗装に使用されるバインダである。明色バインダは、ストレートアスファルトやポリマー改質アスファルトと同等の性能を有しつつ、高い透明度を持っている特徴がある。

この為、通常のアスファルトでは得られない、骨材の色調を生かす舗装や、着色顔料を添加することによって鮮明な色彩をもつ舗装を舗設することができる。



写真－１ 明色舗装使用例（奈良県平城宮跡）

4.2 排水性舗装用特殊ポリマー改質アスファルト

ポリマー改質アスファルトH型について、多様化したニーズに応えるべく、以下３点の特殊なバインダがラインナップされている。

１）高耐久型

バインダの強度を高めることで骨材の保持力を向上させ、重交通道路や交差点部などの過酷な使用条件に対応することができる。

また、これにより骨材間空隙を高くすることで可能となり、排水機能をより向上させることができる。また、一般的に使用されている13mm程度の粒径の粗骨材を7mm程度まで小さくすることも可能である。これにより、骨材間に細かい空隙を持ち、騒音抑制機能を向上させることができる。

２）鋼床版型

バインダのたわみ追従性を高めることで、鋼床版上でのたわみに対応することができる。

３）ねじれ抵抗改善型

水平方向へのせん断作用（ねじれ作用）に対する抵抗性を高めることで、交差点部や駐車場、及び、それらへの進入路における車両の右左折、停止、発進によ

る石飛び等の舗装体の破損を抑制することができる。

4.3 中温化ポリマー改質アスファルト

一般にポリマー改質アスファルトは、ストレートアスファルトよりも5～30℃高い温度で製造・舗設されるものである。

中温化ポリマー改質アスファルトは、締固め性を向上することで、取扱い温度を下げ、通常のストレートアスファルト同程度の温度領域でも製造・舗設を実現できる。

これにより、骨材やバインダの加熱に必要とした燃料消費量を削減することができるとともに、二酸化炭素を始めとした温室効果ガスの発生を抑制できる。

5. 課題と今後の展望

日本改質アスファルト協会では、その時代ごとに世の中のニーズに適合した道路舗装材料としてのポリマー改質アスファルトの開発を行ってきた。これによって、様々な特性をもつポリマー改質アスファルトを提供するに至っている。

しかしながら、特殊な用途のポリマー改質アスファルトを中心として、バインダ評価項目と実際の舗装体としての供用性との関連性が乏しい状況にある。

特に、現在の舗装業界では性能規定発注が普及しており、バインダ性能が、その舗装体としての性能や供用性と関連付けできることが望ましい。

そこで、当協会では、独立行政法人土木研究所とともに、舗装及び舗装用バインダの性能評価方法に関する共同研究を行っている。

これからも新たな機能に対する製品開発に加えて、安定した品質の製品を引き続き提供し、ポリマー改質アスファルトがさらに身近な製品となるように努めていきたい。

—— 参考文献 ——

- １）日本改質アスファルト協会，改質アスファルトポケットガイド，2007.1
- ２）渡辺真人；高速道路における交通安全対策の取り組み，Highway Technology No.22，2002.4
- ３）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，2009
- ４）（独）土木研究所，（社）日本アスファルト合材協会：アスファルト舗装の再生利用に関する共同研究中間報告書，平成20年12月

アスファルト乳剤の現状

(Current State of Asphalt Emulsion)

一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会

我が国におけるアスファルト乳剤の歴史は古く、実到大正末期からの実績がある。アスファルト乳剤を用いた常温舗装は、常温で簡単に施工できるため、経済発展を支える道路整備に広く使われてきた。その後、交通量や大型車の増加に伴い、各地に加熱アスファルトプラントが設置されるようになると、耐久性に富んだ加熱アスファルト混合物が容易に入手できるようになり、乳剤舗装の需要は急激に減少した。近年、地球温暖化をはじめとする環境問題が叫ばれ、低炭素舗装技術の一つとして、乳剤を用いた常温舗装が見直されるようになってきた。

ここでは、アスファルト乳剤に関する品質規格の変遷と国内外の需給動向について報告するとともに、新たに開発された乳剤技術について紹介する。

1. はじめに

アスファルトは原油精製における残渣であり、常温で粘稠性の大きな半固体あるいは固体の材料である。これを舗装に用いる場合、一般には加熱溶融して使用するが、常温で液状にできれば、加熱に要するエネルギーを削減することが可能となる。アスファルトを常温で液状にするためには、溶剤を混合（カットバック）して粘性を下げる、あるいは乳化して粘性を下げる方法が一般にとられる。ここで、溶剤でカットバックする方法は、従来から袋詰めの補修用常温混合物等に多用されてきたが、近頃は環境への配慮が一段とクローズアップされてきており、揮発性有機化合物（VOC）の影響も懸念されつつあるようである。一方、乳化する方法は、水中にアスファルトを分散させると粘度が大幅に低下することを利用したものであり、常温で散布・混合といった取扱いが可能となる。

アスファルト乳剤は、加熱溶融したアスファルトに機械的なせん断を与えて、界面活性剤、酸、添加剤等を溶解した水中に微細な粒子（1～3 μm）として分散させたものである。乳剤は、常温で茶褐色の液体（エマルジョン）であり、プライムコートやタックコートといった接着材として、また、チップシールやマイクロサーフェシングといった維持工法（プリベンティブメンテナンス）材料として、さらには、路上路盤再生工法に用いられる混合用乳剤など、多岐に使用されている¹⁾。

本稿では、日本工業規格（JIS）やアスファルト乳剤協会規格（JEAAS）の変遷、国内および主要諸外国における乳剤の需給動向、さらには、近年開発された乳剤技術について述べるものである。

2. 乳剤規格の変遷

我が国における乳剤の品質規格は、日本工業規格（JIS K2208）に規定されるものと、一般社団法人日本アスファルト乳剤協会規格（JEAAS）に規定されるものがあり、両者の変遷は以下のとおりである。

2.1 JIS

1956年（S31）にJIS K2207（石油アスファルト）が制定されたのに伴い、日本工業標準調査会化学部会に乳剤専門委員会が設置され、東京都規格や米国連邦規格（FS）等を参照して、1957年（S32）にJIS K2208として制定された。その後、1961年（S36）に改正が行われ、1967年（S42）には現在主流となっているカチオン系乳剤が追加された。さらに、1980年（S55）の改正を経て、1993年（H5）には路上路盤再生用のノニオン系乳剤が追加、最新版である2000年（H12）の改正では、道路用としての実績がなくなったアニオン系乳剤の削除（JEAASへの移行）を行い、現在に至っている。

なお、JISでは、乳剤を浸透用、混合用といった用途による分類とカチオン、アニオン、ノニオンといった極性による分類を組み合わせで表記している。例えば、PKは浸透用（Penetrating）のカチオン（Kationic）

乳剤であり、MNは混合用(Mixing)のノニオン(Nonionic)乳剤であることを示している²⁾。

2.2 JEAAS

一般社団法人日本アスファルト乳剤協会では、JISとは別に協会員各社で製造されている特殊な乳剤について協会規格(JEAAS)を制定している。JEAASが初めて制定されたのは、1962年(S37)であり、このときカチオン系乳剤が我が国で初めて規格化された。その後、1969年(S44)にはカットバック乳剤(MK-C)および高濃度乳剤(PK-H)が、1971年(S46)にはゴム入り乳剤(PKR-T, PKR-S)が追加された。カチオン系乳剤のJIS化を経て、1984年(S59)には路上路盤再生工法に用いられるセメント混合用乳剤が追加されたが、1993年(H5)のJIS改正時にノニオン乳剤(MN-1)としてJIS化されるに至った。同時にJEAASには、高浸透性乳剤(PK-P)が追加された。2000年(H12)の改正では、JISから削除されたアニオン系乳剤を移行するとともに、マイクロサーフェシング用乳剤(MS-1)を追加した²⁾。

現時点での最新版は2006年(H18)改訂であり、アニオン系乳剤の削除やタックコート用ゴム入り乳剤の一本化などを行っている。その後、改質乳剤を始めとする新たな乳剤技術が開発され、これらの技術を活用した高性能の乳剤も市場に出回ってきている。このような状況に鑑み、乳剤協会においてもJEAASの見直しを進めており、タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤(PKM-T)を加えた改訂を今年度内に行うべく、鋭意作業中である。

3. 乳剤の需給動向

3.1 日本の状況

我が国における乳剤出荷量の推移を図-1に示す。これより、国産技術によるカチオン乳剤が開発された

1960年(S35)頃から急速に出荷量が増加している。乳剤舗装は簡便であることから、地方道の舗装整備事業に大きく貢献することとなり、1964年(S39)から始まった特殊改良第四種事業(いわゆる特四)が、国の補助事業として進められると簡易舗装要綱の発刊と相まって、乳剤舗装への期待は大いに高まった。

浸透式工法、路上混合式工法、地方自治体の直営事業などを追い風に着実に数量を伸ばしてきたが、舗装されると交通量が予想以上に増加するため、一層の耐久性が求められるようになり、次第に乳剤工法は敬遠されるようになった。時を同じくして、加熱アスファルトプラントが各地で建設され、耐久性に富む加熱混合物が容易に入手できるようになると、ますます乳剤舗装の採用は減少していった²⁾。

近年の需給動向では、1970年(S45)の71万トン进行ピークに減少傾向となり、当面の壁と思われた30万トンをも下回るに至り、昨年度(H21年度)はやや回復したとはいえるものの、依然として20万トンに達しない厳しい状況にある。

昨年度の乳剤用途別の割合を示したものが図-2である。多少の変動はあるものの、依然としてプライム・タックのような接着材としての用途が70~80%を占めている。2010.10にフランスのリヨンで開催された乳剤製造者会議において、REA(Road Emulsion Association Limited)よりアスファルト乳剤の製造に関する国際統計が紹介されている³⁾。これによると、英国においても散布用(浸透用)乳剤の割合が75%、混合用乳剤の割合が25%であり、我が国と同等の割合といえる。しかし、散布用乳剤の内訳をみると、60%が表面処理用であり、プライム・タックは15%である。また、混合用乳剤の内訳は、マイクロサーフェシング・スラリーシールが20%、常温混合物とリサイクリング

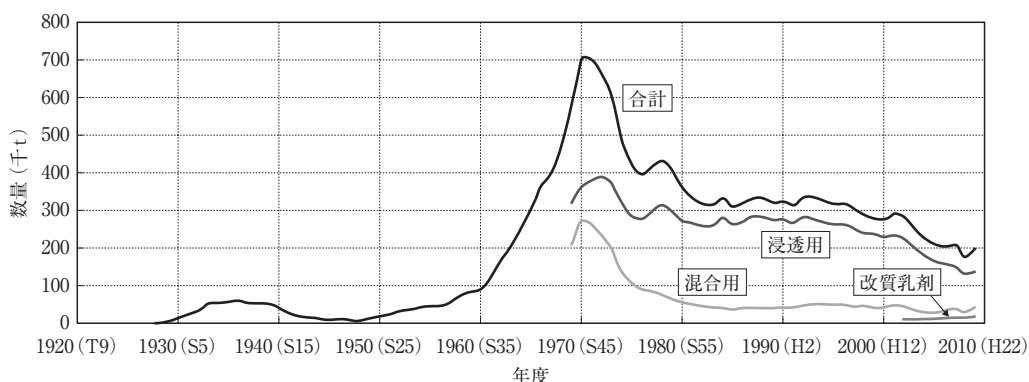
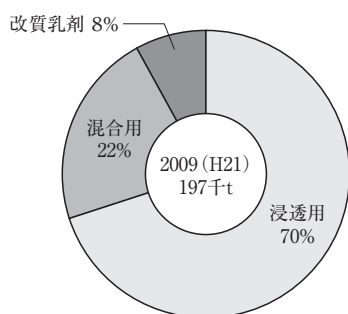


図-1 日本における乳剤出荷量の推移



図－２ 乳剤の用途別割合

を合わせたものが５％となっている。

これは英国での事例であるが、乳剤先進国である欧米全般にいえることは、チップシールやマイクロサーフェシングなどの表面処理にアスファルト乳剤が多用されていることである。我が国の状況は、まだほど遠いと言わざるを得ないが、唯一、改質乳剤の割合が増加傾向にあることは新たな展開を示唆するものと期待されるところである。

3.2 主要各国の状況

前述の国際統計データ³⁾から、主要各国の状況を概説する。

世界の道路用アスファルトおよび乳剤の出荷量推移を図－３に示す。2006～2009年の統計で、アスファルトが9000万トン前後、乳剤が800万トン程度で推移している。また、アスファルト出荷量に占める乳剤出荷量の比率は、おおむね９％程度となっている。

同時期の主要各国の乳剤出荷量の推移を表－１に示す。これより、我が国を含め欧米諸国の出荷量が減少傾向にあるのに対して、中国、ロシア、インドといった国々では130％以上の大幅な増加傾向にあることがわかる。これらの国々の経済発展はめざましいものが

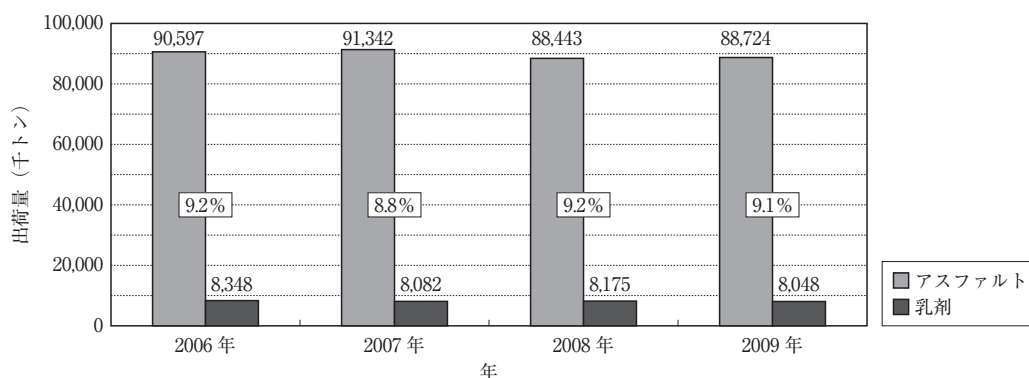
表－１ 各国の乳剤出荷量の推移

千トン

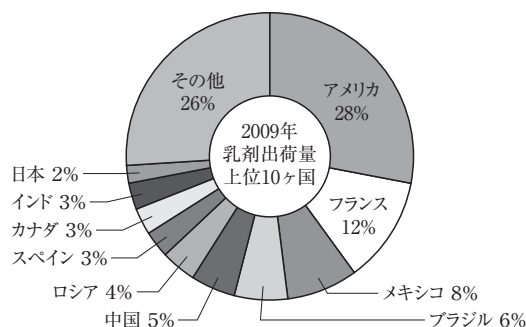
国名	2006年	2007年	2008年	2009年
アメリカ	2,464	2,200	2,200	2,250
フランス	990	1,007	960	950
メキシコ	780	700	750	650
ブラジル	530	470	600	440
中国	313	325	300	418
ロシア	230	250	270	300
スペイン	337	337	278	265
カナダ	250	250	250	250
インド	129	202	205	224
日本	203	207	172	197
ドイツ	160	150	150	170
イギリス	146	137	139	135
タイ	135	140	105	119
オーストラリア	80	80	80	80
モロッコ	52	57	52	78
サウジアラビア	85	80	70	75
南アフリカ	80	80	90	75
アルゼンチン	30	40	50	74
アルジェリア	25	31	31	35
チュニジア	15	15	15	15
ニュージーランド	15	14.5	13.5	14
ケニヤ	4	5	6	4
その他	1,295	1,305	1,389	1,230
合計	8,348	8,082	8,175	8,048

あり、今後もこの傾向は続くものと思われる。

図－４は、2009年の出荷量で上位10位までの国が占める割合をグラフ化したものである。幸うじて我が国は10位にランキングされているが、前述の中国（５位）、ロシア（６位）、インド（９位）は、我が国よりも出荷量が多くなっている。また、これら10ヶ国で全出荷量のおよそ3/4を占めている。



図－３ 世界の道路用アスファルトおよび乳剤出荷量の推移



図－４ 乳剤出荷量 上位10ヶ国の割合

4. 新たな乳剤技術

我が国の乳剤用途は、プライムコート・タックコートが大半を占めている。近年、ポリマー改質アスファルトの乳化技術が飛躍的に進歩し、改質乳剤を用いた様々な工法が提案されるようになってきた。なかでも、新たなタックコート用乳剤「タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤 (PKM-T)」が注目されている。

タックコートは、層間接着を確実にし、舗装の耐久性を高める目的で実施する。一般にはJISに規定されるPK-4を用いるが、特に層間接着力を高めたい場合にはJEAASに規定されるゴム入り乳剤PKR-Tが使用される。これらの乳剤は、路面温度が高くなる夏季を中心にアスファルト被膜が軟化し、施工機械やダンプのタイヤ等に付着して、剥がれてしまうことがあった。このため、タックコート自体の信頼性が損なわれるだけでなく、現場周辺を汚すという美観上の観点から対策が求められていた。タイヤ付着抑制型乳剤は、これらの課題を解決すべく開発された改質アスファルト乳剤である。

タイヤ付着抑制型乳剤の乳剤協会規格(案)を表－2に、施工状況を写真－1に示す。一般的な乳剤との大きな違いは、蒸発残留物の針入度であり、非常に硬いアスファルトを特殊な技術で乳化することにより、タイヤ付着率を低減させることを可能にしている⁴⁾。

5. おわりに

今日、乳剤は接着材としての役割を担っているに過ぎず、舗装の主役は加熱アスファルト混合物であることは疑う余地もない。これは、安価で耐久性に富んだ加熱混合物が容易に入手できることに起因するが、乳剤の側からも、社会が求める性能を確保するような改良改善や技術開発を怠ってきたことも一因といえる。

近年、地球温暖化をはじめとする環境問題が世界的

表－2 タイヤ付着抑制型乳剤の乳剤協会規格(案)

試験項目		規格
エングレー度 (25℃)		1～15
ふるい残留分 (1.18mm)	質量%	0.3以下
付着度		2/3以上
粒子の電荷		陽 (+)
蒸発残留分	質量%	50以上
蒸発残留物	針入度 (25℃)	1/10mm
	軟化点	℃ 55.0以上
貯蔵安定度 (24hr)	質量%	1以下
タイヤ付着率 (60℃)	質量%	10以下



写真－1 タイヤ付着抑制型乳剤の施工状況

に叫ばれるようになり、炭酸ガスの排出抑制を目的とした低炭素舗装技術の確立が喫緊の課題となっている。その手法の一つとして、乳剤を用いた常温舗装が見直される気運にある。乳剤舗装は、炭酸ガスの抑制だけでなく、安全性、省資源・省エネルギー、コスト縮減など多くの特徴を有しており、適材適所の観点からも、乳剤舗装が活躍できる場は十分あるものと推察される。乳剤舗装が、新たな環境保全の救世主となることを願ってやまない。

— 参考文献 —

- 1) (社)日本アスファルト乳剤協会, アスファルト乳剤の基礎と応用技術, (2006)
- 2) (社)日本アスファルト乳剤協会, アスファルト乳剤の品質と需給の推移, アスファルト, (2000)
- 3) John Keayes, Worldwide Bitumen Emulsion Production Statistics 2006-2009, IBEF, World of Emulsions, (2010)
- 4) (社)日本アスファルト乳剤協会 技術委員会, タイヤ付着抑制型乳剤の協会規格(案), あすふあるとにゅうざい, No.170, (2008)

アスファルト混合物から発生する物質に関する海外の研究 アスファルト舗装を取り巻く再生技術に関する海外の研究 ISAP シンポジウム2008

今回のアスファルト舗装技術研究グループ報告は、アスファルト舗装と環境に関わる海外の研究を紹介する報告2編です。舗装の環境機能は「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック（日本道路協会）」に整理されているように多岐にわたるが、前編は、大気や地下水への微量物質に関する報文、後編は再生利用技術の紹介になります。

アスファルト舗装から揮散あるいは溶出する微量物質は、作業環境や公害にかかる重要な要素で過去から様々な整理がなされてきています。欧州では伝統的にこれらに対する意識が高く、米国でも試験調査活動が活発に行われています。今回の報告は、ISAP シンポジウム2008およびそれに関連する研究報告から、海外の調査事例を紹介します。なお、この話題については、先のISAP2010名古屋会議でも基調講演をはじめとした

詳しい報告がなされています。これら最新の報告についても機会があれば続編として紹介してゆきたいと考えています。

環境負荷を低減するための方策として、再生利用が挙げられます。再生利用には、アスファルトコンクリートの再生利用、すなわち“舗装を再生”するための技術と、他産業再生資材を対象とした幅広い再生資源を“舗装で再生”する取り組みに大きく分けることができます。我が国の資源再生利用は活発で、「舗装再生便覧（日本道路協会）」が今般改訂されるなど技術資料も整備されてきています。本報告では、海外における再生利用技術の取り組みとして、ISAP シンポジウム2008の報文を中心に紹介します。

（研究グループ代表幹事：佐々木巖）

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

佐々木巖 独立行政法人土木研究所

市岡孝夫 前田道路(株)技術部技術課
伊藤大輔 大成ロテック(株)関東支社
岩岡宏美 世紀東急工業(株)技術研究所
岩塚浩二 (株)パスコ道路センター
大場拓也 東亜道路工業(株)技術研究所
奥山元晴 ニチレキ(株)道路エンジニアリング部
鬼倉一展 鹿島道路(株)技術研究所
加納孝志 大成ロテック(株)技術研究所
壁下俊介 ニチレキ(株)技術研究所
鎌田 修 鹿島道路(株)技術研究所
菅航太郎 鹿島道路(株)技術研究所
高馬克治 ニチレキ(株)千葉営業所

小柴朋広 世紀東急工業(株)技術研究所
清水泰成 前田道路(株)技術研究所
庄嶋芳卓 西日本地研(株)営業設計課
杉迫泰成 東亜道路工業(株)技術研究所
常松直志 日本道路(株)技術研究所
長尾敏之 日本道路(株)技術研究所
西山大三 (株)NIPPO 技術研究所
平川一成 大成ロテック(株)技術研究所
藤田浩成 世紀東急工業(株)技術研究所
船井俊孝 大林道路(株)技術研究所
森石一志 大林道路(株)技術研究所
森嶋洋幸 前田道路(株)技術部技術管理課

計25名

アスファルト混合物から発生する物質に関する海外の研究

西山大三*

大場拓也**

小柴朋広***

清水泰成****

杉迫泰成*****

長尾敏之*****

平川一成*****

森石一志*****

船井俊孝*****

1. はじめに

近年、企業等の環境対策として、人体有害物質や環境汚染物質の排出および使用の削減や、廃棄物のリサイクル、エネルギーの再利用等が積極的に行われており、自然界への排出による環境負荷をできるだけ低減しようとする意識が高まっている。

アスファルト混合物の製造・施工・維持管理・廃棄・リサイクルといったサイクルの中では、地球温暖化に起因すると言われているCO₂以外にも、アスファルトフュームを始めとした様々な物質が排出されており、海外では以前からそれらの人体有害性等について様々な調査や研究が行われてきた。

本報告では、アスファルト混合物から発生する物質（本報文では、揮散あるいは溶出する微量物質を示唆する）に着目し、ISAP2008および各論文のリファレンスから、各国における近年の研究成果を、アスファルト混合物の製造時・施工時・供用後に分類し、紹介する。

2. 発生する物質の定義

本報文では、アスファルト混合物の製造・施工・供用時に発生する物質について述べられた論文を紹介する。しかし、論文を抄訳するにあたり発生する物質の定義を統一する必要がある。そこで、発生する物質の定義をここで述べる。ただし、ここでの定義は、あくまで本報告での定義に限定する。

LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) では、アスファルト混合物から発生する有機化合物の放出量についての研究が行われており、アスファルト混合物から発生するフューム

を図-1のように分類している。このうち、本報告で頻繁に使用されている用語について説明する。なおここでは、フュームエミッションはフュームの放出を意味する。

- (1) フューム (fume): アスファルト混合物を加熱した時に発生する物質全般。粒子状物質ならびにガス状物質を含む。
- (2) TOC(e) (Total Organic Compounds emitted): アスファルト混合物のフュームにおいて、粒子状物質のうち有機エアゾールと、ガス状物質のうち揮発性・半揮発性有機化合物を合わせたものを指す。
- (3) PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons): 多環芳香族炭化水素。アスファルト混合物のフュームにおいては、有機エアゾールのベンゼン可溶性成分の一部と、揮発性・半揮発性有機化合物がこれに相当する。

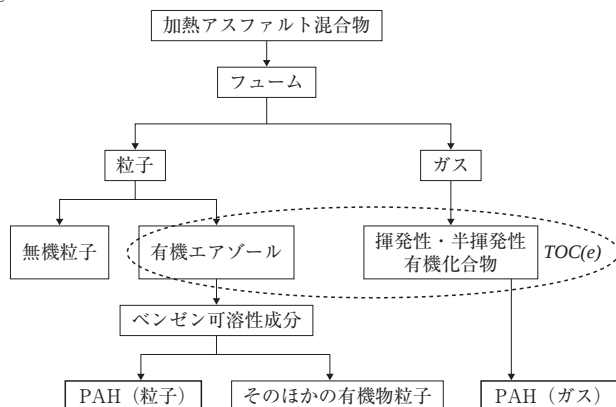


図-1 アスファルト混合物から発生する物質

*にしやま たいぞう (株)NIPPO 技術研究所

**おおば たくや 東亜道路工業(株) 技術研究所

***こしば ともひろ 世紀東急工業(株) 技術研究所

****しみず やすなり 前田道路(株) 技術研究所

*****すぎさこ やすなり 東亜道路工業(株) 技術研究所

****ながお さとし 日本道路(株) 技術研究所

*****ひらかわ かずなり 大成ロテック(株) 技術研究所

*****もりいし かずし 大林道路(株) 技術研究所

*****ふない としたか 大林道路(株) 技術研究所

3. 論文紹介

本報文では、ISAP2008に掲載された「アスファルト混合物から発生する物質」に関する論文を紹介する。さらに、これらの論文で引用され、内容が類似しているリファレンス論文を抽出した。それらについても紹介する。

ISAP2008の論文については、アスファルト混合物から物質が発生する時期を、製造・施工時と供用中の2カテゴリーに分類（カテゴリー①、②）し、各々の論文からの知見を集約・整理した（表－1）。リファレンス論文については、製造時、施工時、供用後の3カテゴリーに分類（カテゴリー③、④、⑤）し、各々の論文について抄訳を行った（表－2）。製造時の発生では、加熱アスファルト混合物から放出されるガスを室内実験で再現する等の内容が散見される。施工時の発生では、舗設中での作業員への曝露などに関する内容が多い。供用後の発生では、供用中のアスファルト混合物から流出される物質に関する内容等である。

表－1 ISAP2008 論文

カテゴリ	題 名
①製造・施工時に発生する物質	攪拌速度の違いや水蒸気の有無が及ぼすアスファルトフューム発生量の室内研究
	アスファルト混合物製造時に発生するフュームの室内実験
	ハーフウォームアスファルト混合物と加熱アスファルト混合物のTOC(e)の室内実験比較
	加熱混合過程の環境影響評価
②供用中の舗装から流出する物質	タールを含む再生骨材を使用した再生アスファルト混合物の製造・施工時に発生する物質
	様々なアスファルト舗装表層材料から流出する物質を評価する実験装置

表－2 リファレンス論文

カテゴリ	題 名
③製造時	ハーフウォームアスファルト混合物と一般的な加熱アスファルト混合物の総有機化合物のエミッションに関する実験的研究
	機械的性能に関連した混合中の加熱アスファルト混合物フュームの研究室内での特性化
④施工時	アスファルトフュームの曝露下の吸入に関する研究
	作業員への瀝青排出物曝露に関する室内装置実験
	瀝青への歴史的な被害（露出）の決定因子と舗装工における多環式芳香族炭化水素の統計的なモデル化
	アスファルトフュームの室内生成と評価
⑤供用後	加熱アスファルト混合物からの溶脱物質の評価

3.1 ISAP2008 論文

本章では、ISAP2008で発表された論文の中からアスファルト混合物の①製造・施工時に発生する物質、②供用中の舗装から流出する物質について述べられた論文について集約・整理した知見を紹介する。

カテゴリー① 製造・施工時に発生する物質

攪拌速度の違いや水蒸気の有無が及ぼすアスファルトフューム発生量の室内研究¹⁾

LCPCでは、アスファルト混合物の製造時に発生する有機化合物について、TOC(e)といった観点等を用い、様々な条件下での研究がなされている。

アスファルト単体を攪拌しながら加熱した室内試験で、発生したTOC(e)の量を測定した結果では、

○攪拌速度が速くなるとアスファルトと空気の接触が多くなるためTOC(e)の発生量は増加する（図－2）

○ある温度におけるTOC(e)の総発生量は決まっている

○水蒸気存在によりTOC(e)の発生量は増加する（図－3）

と報告されている。

アスファルト混合物製造時に発生するフュームの室内実験²⁾

高温時において揮発性の違うアスファルト2種類を用い、アスファルト量を変化させてアスファルト混合物を作製し、アスファルト混合物から発生するTOC(e)を測定した室内試験の結果では、

○より高い温度でより多くのTOC(e)が発生する

○アスファルト量が少ない（膜厚が薄い）混合物からより多くのTOC(e)が発生する

○アスファルトの揮発性が高いと、より多くのTOC(e)が発生すると報告されている。

ハーフウォームアスファルト混合物と加熱アスファルト混合物の全有機化合物発生量の室内実験比較³⁾

水蒸気を添加した中温化混合物においてTOC(e)の測定がおこなわれた。水蒸気存在はTOC(e)の発生量を増加させる要因であるが、

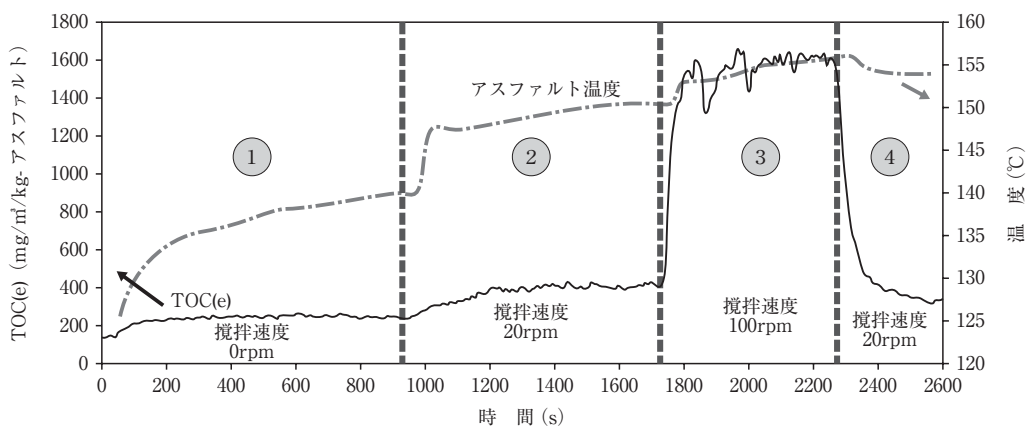


図-2 TOC(e)発生量、攪拌速度・温度-時間

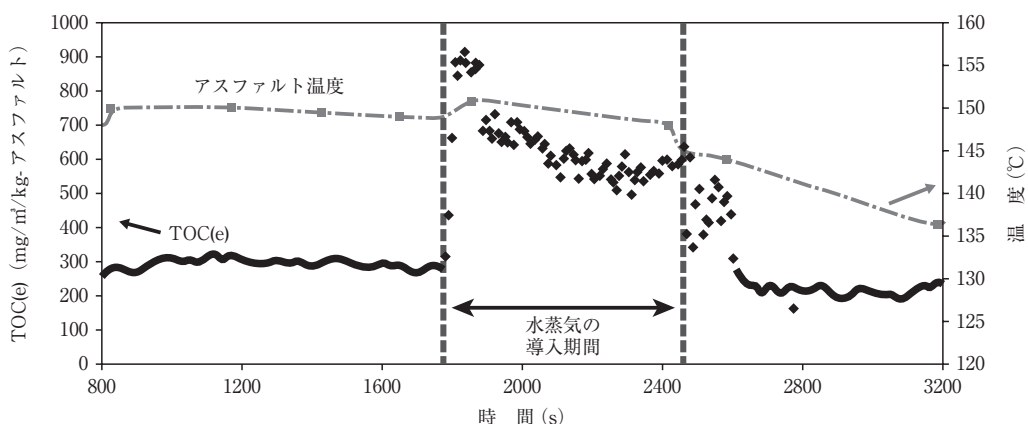


図-3 アスファルトに水蒸気を添加した時のTOC(e)発生量の変化

○混合温度を低くすることによりTOC(e)は減少するため、トータルでは発生量が減少すると報告されている。

加熱混合過程の環境影響評価⁴⁾

天然ガスを使用した連続式プラントにおける放出ガスについて時間当たりの生産量、およびアスファルトの加熱温度との関係について調査された結果では、

- CO₂、NO_x、SO₂、非メタン系有機化合物ガス(MNGOC)は時間当たりの生産量及び加熱温度に比例して増加する
 - CO、CH₄は燃料である天然ガスの不完全燃焼に起因して発生する
 - 放出ガス発生量は加熱時のバーナーの調整に関連がある
- と報告されている。

タールを含む再生骨材を使用した再生アスファルト混合物の製造・施工時に発生する物質⁵⁾

タールが含まれる再生骨材を使用した再生アスファルト混合物について、製造・施工時に発生する物質の調査を目的に、タールとストレートアスファルトを混合した材料を室内で加熱した時に放出される、米国環境保護庁(以下、EPA)により規定された16種類のPAHの発生量(EPA-PAH)の測定を行った報告では

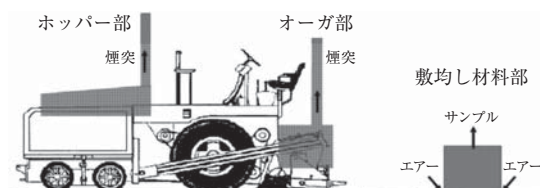
○EPA-PAHの発生量は温度に影響され、180℃以上になると急激に増加すると報告されている。

また、施工時に発生する物質の調査を目的に、表-3に示す条件の異なる3現場で、全粒子状物質(以下、TPM)やEPA-PAH等の測定をおこなっている。図-4の位置での放出物測定結果を表-4に、作業員のマスクから採取した物質の測定結果を表-5に示すが、

表－3 試験現場概要

	フィールド1	フィールド2	フィールド3
現場概要	国道A2	トンネル内の2車線道路	自転車道
舗装材料	最大粒径32mmアスファルト摩耗層(再生高骨材使用量30%)	アスファルト摩耗層(再生骨材使用量65%)	アスファルト舗装(再生骨材使用量50%)
敷均し温度	155 ± 5℃	146 ± 4℃	158 ± 5℃
アスファルト中のEPA-PAH量	180 ± 30mg/kg	5600 ± 300mg/kg	23000 ± 150mg/kg

※フィールド1の再生骨材にはタールは含まない



図－4 放出物の測定位置

- 放出物の割合が最も大きい箇所はオーガ部である
- 作業員のマスクから採取した物質量は、いずれの位置においてもスイス、ドイツおよびアメリカの環境基準値以下の測定値であると報告されている。

カテゴリー② 供用中の舗装から流出する物質

様々なアスファルト舗装表層材料から流出する物質を評価する実験装置⁶⁾

アスファルト舗装の表層からの流出水の水质について、図－5に示す流出水回収装置を用いて室内試験による調査をおこなった。調査対象は、車両や自然由来の物質の影響を排除するために新規に作製した供試体を使用した。調査対象物質、及び各供試体での測定結果は表－6に示す通りであり、

- 調査対象物質において、流出量は測定限界以下の値か環境基準以下の値である
- アスファルト混合物由来の有害物質濃度は、人体に影響を及ぼすレベルにないと報告されている。

参考文献

参考文献はすべてInternational ISAP Symposium on Asphalt Pavements and Environment 論文集のものである。

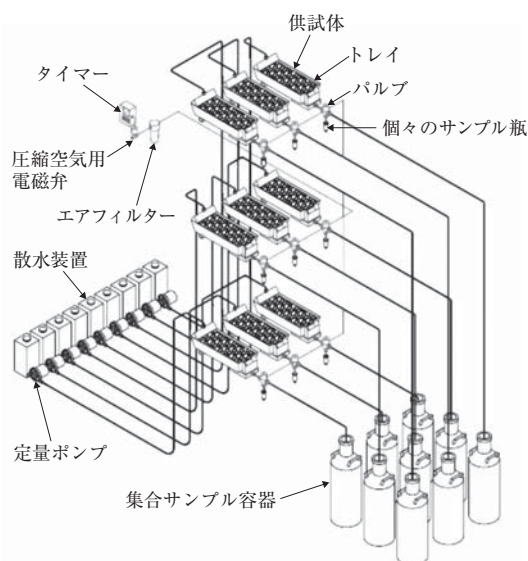
- 1) de la Roche, C., Gaudefroy, V., Viranaiken, V., and Paranhos, R. A new experimental trial protocol for laboratory investigations of bitumen fumes

表－4 各現場において測定された放出物の割合

測定現場	測定対象	放出物量 (%)		
		オーガ部	ホッパー部	敷均し材料部
フィールド2	TPM	84	10	6
	EPA-PAH	80	9	11
フィールド3	TPM	80	15	5
	EPA-PAH	55	25	20

表－5 マスクから採取した物質測定結果

	フィールド1	フィールド2	フィールド3
作業員のマスクから採取したTPM量 (mg/ m ³)			
アジャストマン	0.3-0.6	0.64-2.8	0.7-3.8
一般作業員	検出できず	0.3-1.65	0.1-2.8
フィニッシャ運転手	検出できず	0.7/2.0	1.3/2.8
作業員のマスクから採取したベンゾピレン量 (μg/ m ³)			
アジャストマン	0.01-0.05	0.1-0.7	0.00-0.04
一般作業員	検出できず	0.01-0.20	0.00-0.02
フィニッシャ運転手	検出できず	0.06/0.11	0.03/0.07



図－5 アスファルト混合物からの流出水回収装置

influence of stirring and steamed water emissions, p297

- 2) Gaudefroy, V., Deygout, F.; Viranaiken, V., Le Coutaller, P., Paranhos, R., de la Roche, and C. Laboratory identification of fumes during manufacturing of hydrocarbon mixtures, p278
- 3) Gaudefroy, V., Olard, F., Le Quer nec, F., and de la Roche, C. Laboratory investigations on the total organic compounds emissions of halfwarm mix asphalt technology versus traditional hot mix asphalt, p245
- 4) Jullien, A., Monéron, P., Ventura, A., Paranhos, R., Schemid, M., Lombardi, B., and de Sars, T. Environmental assessment of a hot mix asphalt process, p255
- 5) Hugener, M., Emmenegger, L., and Mattrel, P. Emissions during hot-recycling of recycled asphalt pavement containing tar, p267
- 6) Kayhanian, M., Signore, J., Harvey, J., Troxler, M., and Jones, D.J. An experimental apparatus to evaluate the water quality of leachate generated from various pavement surfacing materials, p287

表-6 アスファルト混合物からの流出水に含まれる物質

水質・測定対象物	単位	測定限界	測定値平均		
			供試体C	供試体D	供試体E
電気伝導率	μ S/cm	0.1	—	—	—
硬度	mg/L	0.1	—	—	—
pH	pH	± 0.1	6.98	7.13	6.89
骨材由来の構成要素					
科学的酸素要求量	mg/L	0.1	0.4	0.1	0.1
全溶出物	mg/L	0.1	9.62	3.98	1.8
全浮遊物質	mg/L	0.1	0.17	0.17	0.13
溶解物質					
ヒ素	μ g/L	0.04	—	—	—
カドミウム	μ g/L	0.01	—	—	—
クロム	μ g/L	0.1	—	—	—
銅	μ g/L	0.2	—	—	—
鉄	μ g/L	2	—	—	—
ニッケル	μ g/L	0.02	0.075	0.03	0.115
鉛	μ g/L	0.003	0.005	0.02	0.013
バナジウム	μ g/L	0.04	—	0.04	0.102
亜鉛	μ g/L	0.25	0.25	—	0.791
養分					
全リン量	mg/L	0.01	—	—	—
全窒素量	mg/L	0.2	—	—	—
ミネラル					
ナトリウム	mg/L	0.03	0.168	0.119	0.32
全硫黄量	mg/L	0.01	—	—	—
全塩化物量	mg/L	0.01	—	—	—
毒性					
ミジンコ	% survival		100	100	100
藻類	% growth		92	97	100

3.2 リファレンス論文

本章では、ISAP2008 論文の中で引用されており、かつ内容が類似しているリファレンス論文を抽出した。それらについて紹介する。

カテゴリー③ 製造時に発生する物質

論文 A ハーフウォームアスファルト混合物と一般的な加熱アスファルト混合物の TOC(e) のエミッションに関する実験的研究(2008 年 フランス)

A1. 概要

LCPC と EIFFAGE Travaux Publics は、共同でハーフウォームアスファルト混合物（以下、HWMA）の混合時における全放出有機化合物（以下 TOC(e)）に関する研究を行った。この研究の目的は、low energy asphalt（以下、LEA）と通常の加熱アスファルト混合

物（以下、HMA）を、比較することで、混合物の製造過程で生成される TOC(e) に対する、添加剤や製造温度等の影響を評価することである。結果、HWMA の TOC(e) は、一般的な HMA に比べて少ないことが明らかになった。

A2. 室内実験

A2.1 室内における製造方法

本研究では HMA は通常の製造方法を、HWMA は次の 3 つの LEA 製造方法が用いられた。ただし、室内で行う今回の LEA 製造方法はプラントで行う方法とは異なる。

LEA 1：全骨材の 75% を 160℃ で乾燥し、瀝青材料と混合する。残りの 25% の骨材を初期の含水状態のまま加え、全てを混合する。

LEA 2：全ての骨材を初期含水の一部が残るよう150℃で乾燥する。これに瀝青材料を加えて混合する。

LEA 3：全骨材の75%を160℃で乾燥させる。乾燥した骨材を瀝青材料と混合する前に初期の含水状態の骨材(残りの25%)と混合し、これに瀝青材料を加えて混合する。

＊初期含水骨材の含水率は1.5wt.%とした。

＊瀝青材料は160℃で使用した。

A2.2 材料

HMAとLEAは、同じ瀝青材料を用い、「French Grave Bitume0/14」配合により評価した。また植物由来の二種類の添加材(A1とA2)が使用された。

A2.3 混合機械

ミキサは標準的なものを使用し、温度はHMAが160℃、LEAが95℃とした。混合は、攪拌速度20RPMで1800秒間行い、混合中、ミキサ内に生じたガスはステンレス製のスタック(煙突)により測定・サンプリング装置へと導いた。

A2.4 TOC(e)測定・サンプリングシステム

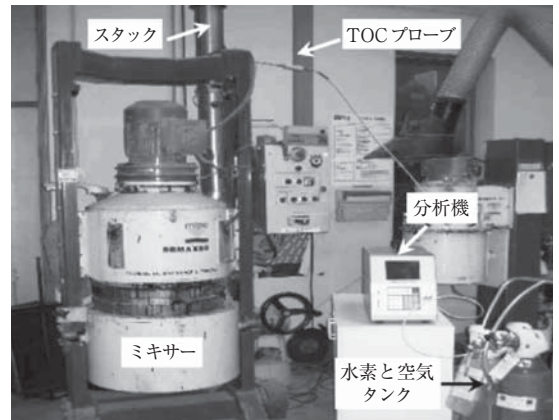
写真－A1にミキサとTOC(e)測定サンプリングシステムの外観を示す。TOC(e)の分析とサンプリングは、可搬式自動全炭化水素計(model 901 MET-NMET/TOC Mercury)により行われた。評価と分離は、ガスクロマトグラフ水素炎イオン化検出法より行われた。

図－A1にTOC(e)と測定時間の関係を示す。瞬間的なTOC(e)は $\text{mg}/\text{m}^3/\text{kg}$ で表わされる。また、エミッションポテンシャル(Emission Potential, 以下、EP)は1800秒間に蓄積されたTOC(e)の総量に該当し、 $\text{mg}\cdot\text{s}/\text{m}^3/\text{kg}$ で表される。

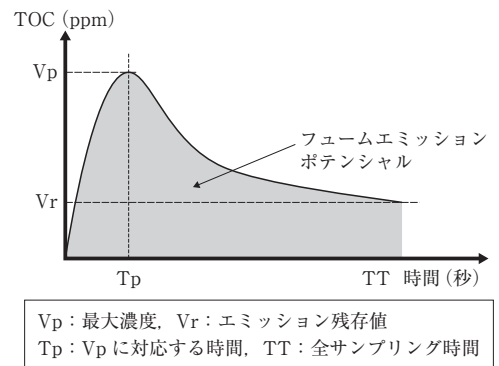
A3. 結果と考察

エミッションと製造方法等の影響

表－A1に試験結果一覧を、図－A2に各種条件におけるTOC(e)と測定時間の関係を、図－A3に各種条件



写真－A1 ミキサとTOC(e)測定・サンプリングシステムの外観



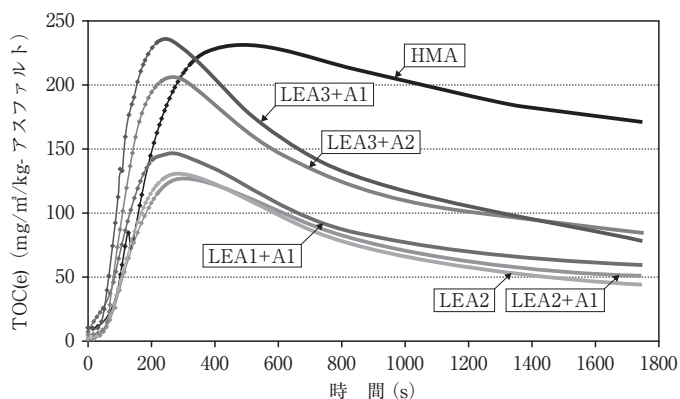
図－A1 TOC(e)と測定時間の関係

におけるEP値を示す。

表－A1はTOC(e)が製造温度及び製造方法に依存することを示している。E5を除けばHMAのTOC(e)が $233\text{mg}/\text{m}^3/\text{kg}$ と最も多く、製造温度が高いほどTOC(e)も多くなる傾向を示した。E5のTOC(e)最大値が大きかったのは、瀝青材料と水分を含んだ冷たい骨材が接触した際に水蒸気を発し、これが瀝青材料の成分の一部と混合することでTOC(e)に関わる成分の沸点が低下したためである。

表－A1 試験結果一覧

項目	製造方法	添加材	TOC(e)最大値 ($\text{mg}/\text{m}^3/\text{kg}$)	TOC(e)が最大となる時間 (秒)	EP ($\text{mg}\cdot\text{s}/\text{m}^3/\text{kg}$)	針入度 (1/10mm)	軟化点 (℃)
E1	HMA	－	233	492	$321 \cdot 10^3$	27	58.5
E2	LEA1	A1	148	266	$152 \cdot 10^3$	33	56.4
E3	LEA2	－	132	293	$130 \cdot 10^3$	n.m.	n.m.
E4	LEA2	A1	128	302	$134 \cdot 10^3$	35	56.0
E5	LEA3	A1	236	250	$230 \cdot 10^3$	31	57.2
E6	LEA3	A2	206	259	$213 \cdot 10^3$	31	56.4



図－A2 各種条件における TOC(e) 量と測定時間の関係

図－A2において、LEAで比較すると TOC(e)の値は LEA2 < LEA1 < LEA3の順であった。このような結果となったのは、先述の水による瀝青材料成分の沸点の低下と、熱力学現象の点から解釈できる。しかしながら、この順序は、プラントにおいて同様の混合物にて確認する必要がある。

図－A3は、HMAのEP値が添加材A1を使用したLEA (E2, 4, 5) より大きかったことを示し、TOC(e)の結果からも確認できる。これより、TOC(e)およびEP

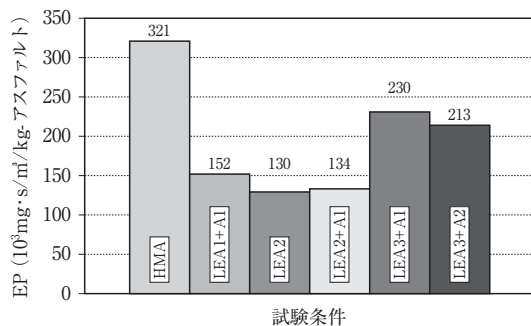
値は製造方法と混合温度と関連していると言える。これは、瀝青材料が異なる分子量によって構成されており、沸点と分子量の関係から、より高い製造温度ではより多くの TOC(e)が発生するためである。

植物由来添加物A1, A2はフェウムエミッションの結果に僅かに影響する程度であった。LEA2混合物にA1を添加したものは TOC(e)の最大値が128mg/m³/kgとなり、添加しなければ132mg/m³/kgであった。またE5とE6の結果から、添加材の種類 (A1かA2) は、TOC(e)の最大値とEP値に影響しないことが分かった。これらの

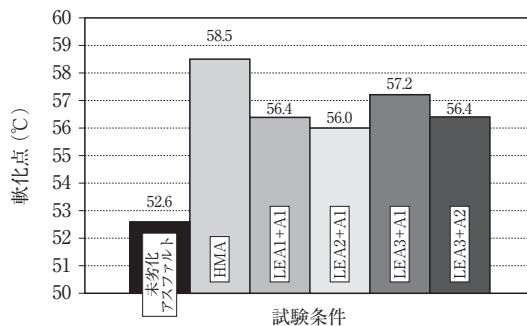
結果は、A1, A2に関して得られたものであり、他の添加材に関しては確認の必要がある。

A4. 瀝青材料の劣化とフェウムエミッション

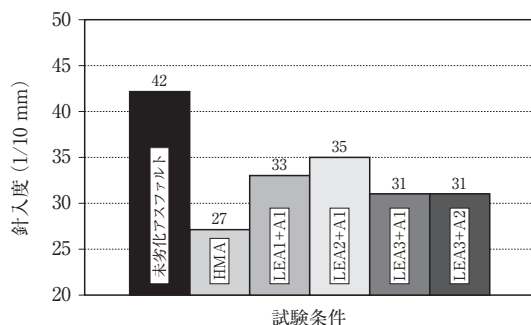
各種条件にて製造された混合物より瀝青材料を回収し、針入度と軟化点試験により評価した。図－A4に回収した瀝青材料の針入度を、図－A5に回収した瀝青材料の軟化点を、図－A6に針入度と軟化点とEPの関係を示す。



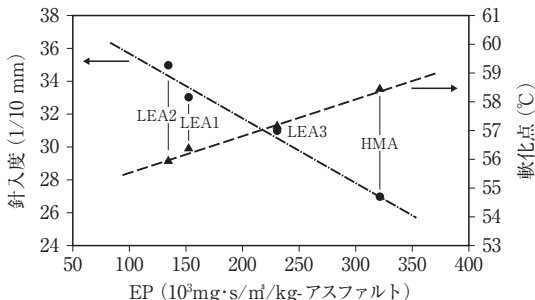
図－A3 各種条件における EP 値



図－A5 回収した瀝青材料の軟化点



図－A4 回収した瀝青材料の針入度



図－A6 回収した瀝青材料の軟化点と針入度とEPの関係 (ただし LEA は A1 を添加した条件)

図－A4, A5は軟化点と針入度が製造方法に影響を受けることを示している。より高温で製造されたHMA(1800秒間160℃)は、LEA(1800秒間90℃)に比べて強い影響を受けている。また、この劣化の程度はLEA2<LEA1<LEA3の順であり、EP値の結果と同様であった。このようにEP値は回収した瀝青材料の針入度、軟化点と関係がある。この関係は図－A6に示すように線形回帰となっており、EP値の増加と共に針入度は小さくなり、軟化点は大きくなる。これは、LEAとHMAとの製造温度の違いに起因する瀝青の劣化を明確に示している。以上のことから、アスファルト混合物の製造の間に発生するフュームエミッションと瀝青劣化の関係が示された。

A5. 結論

- 本研究により製造温度を低減することはグローバルエミッションを削減することに繋がることを示した。
- EIFFAGE Travaux Publicsの2種類の植物由来添加材の使用においては、HWMAに対し付加的な影響を示さない。
- 製造温度の違いから、HWMAによって生成されるTOC(e)は、HMAより少ない。
- LEAから回収した瀝青材料はHMAから回収した瀝青材料ほど劣化していない。
- EPと針入度、EPと軟化点の間に線形関係を確認した。
- この研究では、HWMAとHMAのTOC(e)とEPに対する混合方法とパラメータの影響を確認した。

論文B 機械的特性と関連した混合中の加熱アスファルト混合物フュームの研究室内での特性化

B1. 概要

加熱アスファルト混合物の製造に関連して発生するフュームを研究室内で評価するための研究を行った。混合物(アスファルト)温度やアスファルト量に関しても検討を行った。研究室内のミキサーは、ガスエミッションのサンプリング装置を備えており、加熱アスファルト混合物のフュームに関して、多環式芳香族炭化水素(PAH)のサンプリングおよび有機化合物(TOC(e))の解析を行った。この研究により、フュームを加熱アスファルト混合物の混合機械特性に関連づけることが可能となる。

B2. 研究の概要とサンプリング装置

容量80kg(アスファルト混合物)の外転サイクロイドのプロペラミキサーがエミッション発生源となる。PAHとTOC(e)のサンプリング装置はアスピレーションシステム(調整されたポンプ)を備えている。ステンレス製のスタック(煙突)によりアスファルト混合物フュームをサンプリング装置の方へ導く(写真－B1)。また、TOC(e)の変化は、前述された正規曲線によって表される(図－A1)。

TOCの評価と分類は、ガスクロマトグラフィーとFIDによって行われた。PAHの最終的な分析は高圧液体色層分析(HPLC)によって行われたが、検知限界を超えており、利用できるデータを得ることはできなかった。



写真－B1 ミキサーとスタック

B3. 試験概要

試験概要(アスファルト混合物の種類、試験温度、試験項目)は、以下に示すとおりである。

- アスファルト混合物(2種):

Grave Bitumen (GB): 加熱アスコンよりアスファルト量の少ない基層用混合物

French Beton Bitumineux Semi Grenu (BBSG): 摩耗層として使用される混合物

(GBの方が、BBSGに比べてアスファルト膜厚が薄い混合物である)

- 混合中の温度(3水準):

バインダ(35/50)使用時に混合所で通常使用される温度領域を模擬して、132℃～182℃の範囲で温度を

選択 (132℃, 152℃, 182℃)

○試験項目：

回収アスファルトの複素弾性係数試験, 針入度, 軟化点

B4. 試験結果

TOC(e) (アスファルト 1 kgあたり) の測定結果を図-B1に示す。この図より, 混合物の製造温度やアスファルト量がTOC(e)に影響を及ぼすことが分かる。

また, フュームエミッションの計算結果を表-B1に示すが, この表より混合温度が高いほど, またアスファルト量が少ないほど (アスファルト膜厚が薄いほど) フュームエミッションが多くなることが分かる。

図-B2は, 混合物温度とTOC(e)の関係を示している。針入度や軟化点試験より, 152℃を超えるとアスファルトの劣化が顕著になる結果が得られたが, TOC(e)に関しても同様の傾向が得られた。

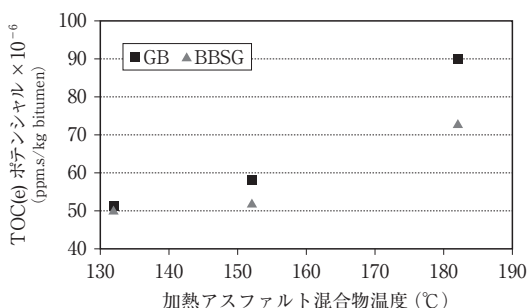


図-B1 TOC(e)ポテンシャルと温度の関係

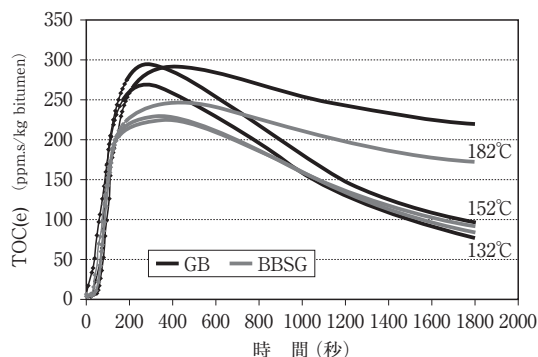


図-B2 TOC(e)測定結果

表-B1 フュームエミッションポテンシャル測定結果

	混合物種別と試験温度					
	GB			BBSG		
	132℃	152℃	182℃	132℃	152℃	182℃
エミッションポテンシャル $\times 10^6$ (ppm.s)/kg bitumen	51.7	58.2	90.1	50.4	51.8	72.8

図-B3は, TOC(e)と混合後の回収アスファルトから得られた針入度と軟化点の関係を示している。TOC(e)は針入度と軟化点に関して線形に変化する結果が得られた。TOC(e)が増加するにつれて, 針入度は低下し, 軟化点は上昇する。このことより, TOC(e)とアスファルトの劣化との関係が評価できることが分かる。

カテゴリー④ 施工時に発生する物質

論文C 瀝青フュームの曝露下の吸入に関する研究 その2(1999年 オランダ)

C1. 概要

道路舗装やルーフィング等, 瀝青材料を加熱している間, 多環芳香族化合物類 (PACs) を少量含んだフュームが放出される。これらフュームの作業員への曝露時間は少ないのだが, もしかしたら健康に問題を引き起こす可能性があるかもしれない。瀝青フュームの吸入実験の過程で, 筆者らは特殊な吸入システムを開発し, その性能等についても確認を行った。

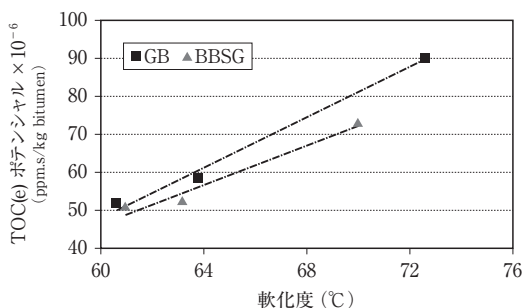
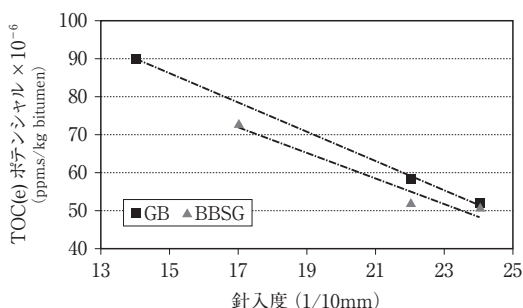


図-B3 TOC(e)ポテンシャルと針入度および軟化点の関係 (上: 針入度, 下: 軟化点)

C2. 実験条件

本研究では、ベネズエラ産の石油を原料としてアスファルト（40/60）とコールタールを採取し、アスファルトフュームについては200℃、コールタールフュームについては110℃で生成した。

実験では5 mg/ m³のアスファルトフュームとコールタールフュームの他、できる限りコールタールの影響を排除するため、50mg/ m³のアスファルトフュームについても行った。

なお、実験では以下のパラメータが制御された。

- フューム発生機の温度
- 部屋の湿度
- アスファルトまたはコールタールの流量
- 全粒子状物質（TPM）

C3. 実験結果

各条件下において、全粒子状物質等の化学物質の質量を測定した。測定は3種類の実験室で行われたが、その一例を表－C1に示す。

この結果、110℃のコールタールフュームはとても揮発性が高く、実験室が変わった場合に最も変動が大きい事が分かった。

表－C1 各質量データ（平均）の測定結果

フューム条件	TPM (mg/ m ³)	BSM (mg/ m ³)	SV (mg/ m ³)	B[a]P (ng/ m ³)
アスファルト 5 mg/ m ³	4.1	3.3	4.4	27
コールタール 5 mg/ m ³	0.4	0.17	88.5	75
アスファルト 50mg/ m ³	28	24	26	610

TPM：全粒子状物質 BSM：ベンゼン可溶性成分
SV：半揮発性物質 B[a]P：ベンゾピレン

C4. 結論

表－C2はBrandtら（1985）による実際の曝露空間におけるPACのプロファイルと、筆者らが化合物の調査において開発したフューム発生装置と曝露室のシステムの比較である。その結果、開発した装置は実際の曝露空間についての再現性が非常に良かった。

また、50mg/ m³のアスファルトフュームは現場を再現しているとは言えない結果であった。これらの量的な相違の理由はまだ不明確で、今後さらなる研究で明らかにしていく必要がある。しかしながら、動物による曝露実験においては、これら50mg/ m³のフュームは

質的な検出をする上で有益なツールとなる可能性がある。

表－C2 PACプロファイル比較

PACs (ng/ m ³)	実際の曝露環境	小型実験室
フェナントレン	318	316
アントラセン	16	10
フルオランテン	34	35
ピレン	72	65
ベンズアントラセン	36	40
クリセン	41	34
ベリレン	23	19
ベンゾ [k] フルオランテン	nd	5
ベンゾピレン	12	7
ベンゾベリレン	15	10
11PAH計	232	216
14PAH計	566	542
BSM	23	41

論文D 作業員への瀝青排出物曝露に関する室内装置実験(1999年 オランダ)

D1. 概要

本研究は、瀝青を加熱する際に発生するベンゼン可溶性成分（以下BSM）と多環式芳香族化合物（PAH）の曝露について述べている。屋外での曝露測定は様々な制御不能な因子があるため、瀝青排出物を安定供給できる室内実験装置を開発した。室内実験結果は、アスファルト舗設およびルーフィング中での曝露量と比較された。瀝青揮発量と温度変動量を変数化することで、室内フューム放出量を定量化し、式中の変数を放出指数（FI）とした。FIはアスファルト舗設およびルーフィング時の曝露量と相関があり、瀝青揮発量、舗設温度、アスファルトタイプが既知であれば、平均曝露量を推定できる。標準温度160℃で生成される室内排出物、250℃で生成される屋外排出物に相当する、アスファルト舗設時のフュームのPAH成分は、同じ瀝青・温度であれば、室内生成されるPAH成分と類似する。室内実験は屋外の舗設状況を再現できるため、フュームとPAH放出・曝露に関する瀝青の調査に最適である。

D2. 室内フューム発生方法

図－D1に室内フューム発生装置を示す。装置には700mLの円底ガラス容器があり、底部を加熱する。200gのアスファルトをガラス容器に入れ、適切な温度

で加熱する。加熱中に（6.67 rev/sec = 400 rev/min）攪拌棒で攪拌する。標準温度は160℃とする。これは舗設温度に等しい。ルーフィングは250℃とする。

D3. BSMの排出量

室内装置で温度を139度から300度まで変化的に加熱し、160℃、210℃、250℃でフュームを生成し、BSM排出量、450℃質量リカバリー（Rec450）およびフューム生成温度（T）について、実験結果より次式を導いた。

$$\log BSM_{\text{emission}} = 0.126(\text{Rec450}) - 5082(1/T) + 10.86 \quad ①$$

BSM_{emission} in mg/hour

式①はサンプル数87の回帰であり、変数は式②となる。

$$FI = 0.126(\text{Rec450}) - 5082(1/T) \quad ②$$

図-D2は、測定されたBSM排出量と対応するFIをプロットしたものである。FIはフュームが生成された瀝青のRec450と温度から計算された。

図中の点線は95%信頼領域である。

室内実験で適用された標準温度（舗設160℃とルーフィング250℃）は、実アプリケーションで観察された温度の一つに過ぎない。温度が大きく違う場合（例えば100℃）は、瀝青フューム縮合物内のPAH分布への影響は無視できない。しかしながら、道路舗設における一般的な温度帯（140℃～190℃）においては、160℃におけるPAHプロファイルを使用しても問題がないことを、室内実験より確認している。これはルーフィングにも同様であり、一般的なルーフィング温度帯においては、250℃での情報を利用してよい。

D4. BSMにおけるPAHプロファイルの屋内・屋外フューム比較

室内実験で発生されるフュームと現場作業員の曝露量の関係を知るために、舗設中に発生するフューム量調査結果を用いて、室内実験結果と比較された。

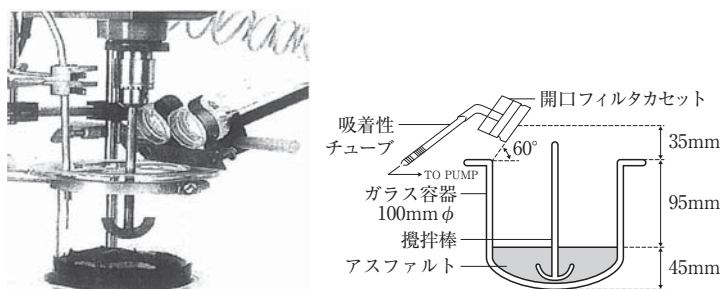


図-D1 排出物生成室内装置（左）とフィルター位置・寸法（右）

その結果、BSM排出量をPAHプロファイルで表現できることがわかった（図-D2, D3）。室内実験と現場発生フュームに大きな違いがあるのは、サンプリングがフィルターオンリー法だったためである。以下の三通りのシチュエーションが考えられる。

- (1) 瀝青蒸発量が多く、現場曝露量が低く（0.05mg/m³）、相対的に室内実験排出が多いときは、室内実験と現場での相対再蒸発量が異なるため、プロファイルが異なる。
- (2) 瀝青蒸発量が少なく、現場曝露量も低い（0.05mg/m³）ときは、相対的に室内実験排出量が少なくな

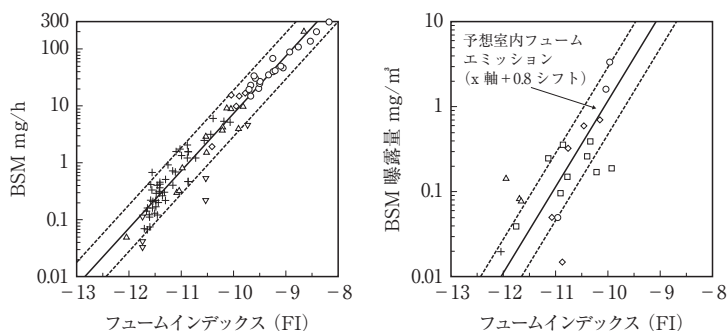


図-D2 FI（瀝青排出物と温度の関数）からの室内フューム排出予測（左）と舗設時の排出予測（右）

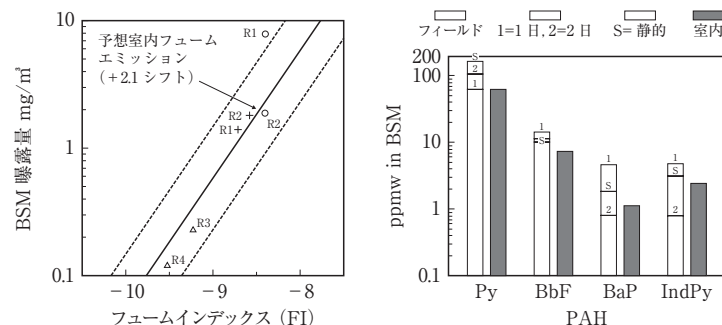


図-D3 FI（瀝青排出物と温度の関数）からのルーフィング時の排出予測（左）と室内実験と現場実測のBSM排出量の比較（舗設）（右）

り、現場と室内実験の蒸発（およびプロファイル）は類似する。現場曝露量と室内実験排出が相対的に高い（1.5-3 mg/m³）ときは、蒸発ロスは相対的に少なく、蒸発に影響されない類似したプロファイルとなる。

同様にルーフィング中の曝露量と室内実験結果を比較した（図-D4）。同様に両者は類似している。なぜなら、曝露量が全て1 mg/m³以上であり、フィルターからのBSM蒸発ロスを無視できるためである。

PAH解析の比較を様々な曝露環境（舗設、ルーフィング、2日放置室内マシチック、2日瀝青生成所）で行った。その結果、異なったオペレーション、同じオペレータ、異なった日などで、収集されるBSM排出量に含まれるPAHは、ばらつきが大きくなった。また、ルーフィングでの測定および予測人体曝露量における温度と瀝青蒸発量について表-D1にまとめる。

D5. 結論

BSMは瀝青から生成され、PAHを含んでいるため、多くの論文がBSMに注目している。そのため、瀝青排出物を一定条件下で発生する簡易な室内装置を開発した。室内フューム生成におけるBSM排出量に影響するものは、瀝青の蒸発量と温度である。室内でのBSM発生量を定量的に評価するために、瀝青蒸発量と温度を変数とするFI関数を紹介した。

FI関数は、舗設中やルーフィング中の作業員が曝露する瀝青排出物との相関を適切に表現し、これらの活動における作業員曝露量を瀝青揮発量と温度変動量から推定することができる。なお、舗設においては、アスファルトタイプも作業員曝露に影響する付加要素とな

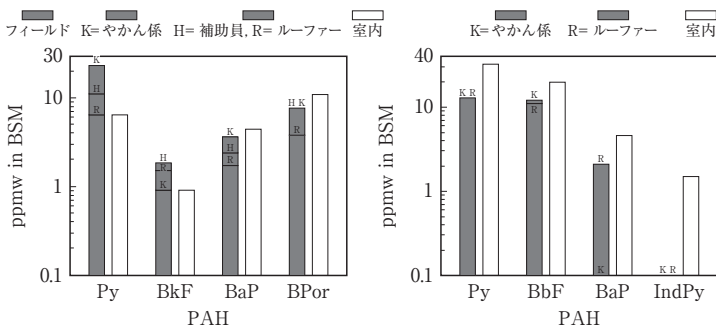


図-D4 室内実験と現場実測のBSM排出量の比較（ルーフィング）

り、FI関数では、瀝青蒸発量と温度およびアスファルトタイプが考慮される。FI関数は、曝露データがない箇所での作業員曝露量を推定するために、有効である。

標準温度である160℃で発生される室内排出物は、舗装中の曝露モデル、および250℃はルーフィング中の曝露モデルとして扱える。アスファルト舗設時のフュームのPAH成分は、同じ瀝青・温度であれば、室内生成されるPAH成分と類似する。室内実験は屋外の舗設状況を再現できるため、フュームとPAH放出・曝露に関する瀝青の調査に最適である。

論文E 瀝青への歴史的な被害（露出）の決定因子 舗装工における多環式芳香族炭化水素の統計的な モデル化(2000年 フランス)

E1. 概要

国際がん研究機関（IARC：International Agency for Research on Cancer）は現在、ヨーロッパ人の道路舗装工におけるリスクのコホートスタディ¹に従事している。研究における被害査定のためは、瀝青とコールタールへの道路舗装工の被害（曝される）を見積もることである。瀝青被害による潜在的癌のリスクの調査は、研究の最終目標である。

しかしながら、コールタール被害は、「人間の癌に原因として関連している」（IARC 1985）重要な交絡因子でありながら、過去に舗設の過程で使用されていた（Partanen 他, 1994）。多環式芳香族炭化水素（PAH）がコールタールの「主要な構成要素」であったので（IARC, 1985）、我々はPAH被害がコールタールへの被害の適切な計測であると先験的に考えた。そして、過去に発

表-D1 ルーフィングでの測定および予測人体曝露量における温度と瀝青蒸発量

	温度 ℃	瀝青蒸発量 %Rec450	測定された人体曝露量 mg/m ³ BSM	予想された人体曝露量 mg/m ³ BSM
材料加熱係	316	1.8	7.8	2.5
ルーフィング係	296	1.8	1.4	1.2
材料加熱係	250	10.5	1.9	2.5
ルーフィング係	240	10.5	1.8	1.6
-	249	1.7	0.12	0.19
-	254	3.4	0.23	0.38

表されたアスファルト産業のための吸入可能のダスト、
瀝青、およびPAH被害データが再検討された。

現代の道路舗装工では、10-200ng/m³のベンゾ (a) ピ
レン² 含んでいる0.1-2mg/m³の瀝青フュームに日常
的に曝されていることが明らかにされた。道路工事
における被害の決定要素の総合評価が欠けている時
から、産業で歴史的な被害レベルを評価するのにお
いてこれらの論文には価値があると更に結論づけた
(Burstyn およびその他, 2000a)。さらに、発表
されたレポートは、同程度の被害グループに道路
舗装工の以下の大まかなグループ分け (左から右
に瀝青とPAH類に被害レベルが低下) に用いら
れた：

マスク>再生>表面処理>加熱混合物>常温

被害のかなりの非特異な分類ミスをもつような
グループ分けで存在させていると予想でき、この分
類ミスの度合いを推定することが不可能であろう。
そのために、発表された報告が研究の正確な被害
評価のために不十分であるように思われたため、参
加国 (AWE データベース) のアスファルト産業の中
の個別の被害測定データベースが集められて整理
された (Burstyn およびその他, 2000b)。

データベースで集められる道路舗装工の被害
時間の分析は、この論文に示される。

この研究の目的は、(a) 疫学における使用
のために被害レベルの適切な対策を確かめるため
(b) 被害強さに影響を及ぼす要素を特定するた
め、そして、(c) 舗装工のグループのために過
去の長期被害の平均を推論するのに使用できる
統計モデルを構成することである。

E2. 研究結果

本論文に記載されている主な結果を以下に述
べる。

E2.1 被害基準の間の被害レベルと相互関係

図-E1に示すようにフュームと吸引可能なダ
ストの濃度との間に高い相関関係があったため、
以下の回帰モデルを構成した：

(瀝青フューム mg/m³) = 0.93 × (瀝青フューム
レベルで可変性の97%を占めた吸引可能ダ
スト mg/m³)

上記のモデルの切片は、ゼロと異ならなくて、
それゆえ、モデルの最終的な形態から除外され
た。

このように、道路舗装で発生する吸引可能
なダストが主に有機粒子状物質からなると結論
付けた。そして、それを『瀝青フューム』と称
した。全ての以降の分析で

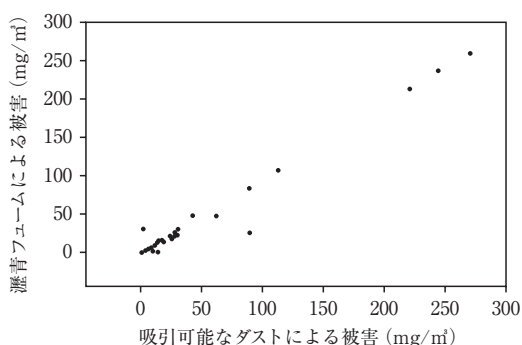


図-E1 道路舗装工 (瀝青フューム = 0.93 × 吸引可能
なダスト ; R²=0.97 ; N=266) における瀝青
フュームと吸引可能なダストの被害の相互
関係

は、吸入可能なダスト量がサンプルにより報告
されたが、そのダストに関する有機物含有量が
決定しなかった時、瀝青フュームが93%の吸
入可能なダストを構成し、統計的なモデル化に
その値を使用したと考えた。

E2.2 被害予測モデル

非マスク適用の瀝青フューム被害に対する適
用温度の影響は、被害の他の予測指数のために
調整されて、変数分析 (図-E2) と同じであ
った。しかしそれはモデル適合度を改善し損ね
て、そして瀝青フュームモデルの最終的な形
式からこのようにして除外された。

瀝青蒸気とベンゾ (a) ピレン被害が瀝青フ
ューム被害 (1年に6%) よりいっそう急速に1
970年代から1990年代 (1年に11から14%)
まで低下した。これらの時間傾向は図-E3に
示される。

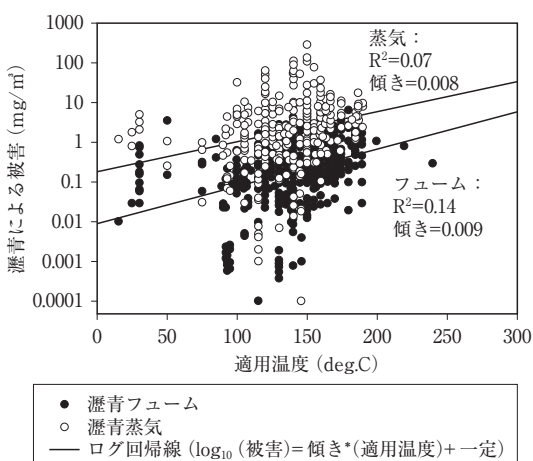
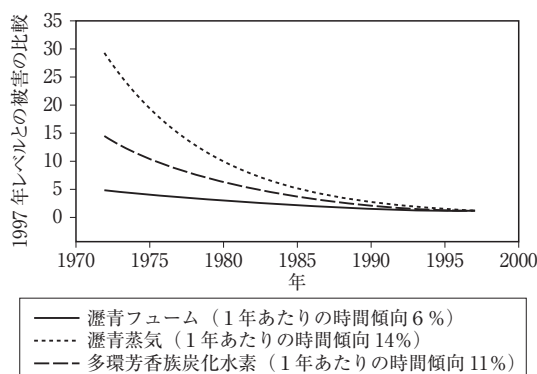


図-E2 非マスク適用における瀝青フューム
(N=855) と瀝青蒸気 (N=411) 被害に対する
適用温度の影響



図－E3 瀝青フューム、瀝青蒸気とPAH被害時間（生産特徴と標本抽出法のために調節される）における予測された時間傾向

コールタールの使用が時間依存変数であるから、時間傾向とタールの使用の間の相互作用がベンゾ（a）ピレンモデルで調査された。しかしそれは統計学的に重要ではないことが判明した（ $P = 0.29$ ）。

E3. まとめ

上述した結果も含め、本研究で得られた知見について以下に述べる。

- ① 瀝青フューム、瀝青蒸気、およびPAHの被害における変化は、それぞれ道路舗装において幾つか異なった要素に関連している。
- ② 道路の舗装作業員の中で被害強さを評価する際に、彼らが行った仕事の期間やタイプの調整をしなければならない。
- ③ 舗装作業員の中で被害における可変性に相当する部分について評価する際に、生産パラメータの時間傾向と小さいセットを使用できる。
- ④ このモデルは、再現可能なデータが発生源多数のコホートスタディの道路舗装工における被害評価に役立つだろう。
- ⑤ このモデルは同じく発表されたレポート等から、より複雑な被害の決定因子のパターンを明らかにした。

* 1 コホートスタディ（Cohort study）とは、対象とする疾患（例：肺癌）を発症していない人の集団を対象として、関連のありそうな要因（例：喫煙）について調査して群別（例：喫煙群と非喫煙群）をしており、一定期間後に各群から対象とした疾患を発症した率を比較する研究方法。これに対し、ケース・コントロール研究がある。症例対照（ケース・コントロール）研究とは、対象

とする疾患を発症した人（例：肺癌患者）をケースとして、個々のケースに対して性・年齢などをマッチさせてコントロールを選定して、発症に関連しそうな要因に関する調査をする。そしてケース群とコントロール群の両群間で要因の曝露率（例：喫煙率）を比較し、ケース群で喫煙率が高ければ、喫煙と肺癌に関連あるということになる。コホートスタディは前向き研究、ケース・コントロールスタディは後ろ向き研究とも言われる。

* 2 IARC Group2A（ヒトに対する発癌性がおそらく存在する化学物質、混合物、環境）に属する。

論文F アスファルトフュームの室内生成と評価（1999年 アメリカ）

F1. 概要

新しく開発した室内用アスファルトフューム生成装置は、舗装現場やアスファルト貯蔵タンク上で発生するものと同様なものが得られる性能であることが実証された。フュームはガスクロマトグラフィ質量分析試験（ガスマス）や紫外線蛍光試験そして変異原性試験などの多くの解析技術を使って特徴付けられた。比較する目的でNIOSH（米国国立労働衛生研究所）のアニマルスキンの研究と同じ方法がフューム濃縮物の調合に適用された。NIOSHの研究ではほんのわずかのフュームは発がん性がないことがわかり、化学的・生物学的なテストに基づいて、これらのSHRPアスファルトのフュームは、より低い発がん性しか持たないことが判明した。

F2. フュームの室内生成

大気中で暴露されるアスファルトフュームと似せた室内生成のそれは、当初の予想以上に複雑であることがわかった。開発された室内フューム生成装置は、舗装作業員の呼吸位置付近から集められた屋外で生成されたアスファルトフュームと比較調査され、妥当性を検証された。

この新しい装置はディーゼル排気ガス、喫煙、装置をすすぎ落とすのに使う軽油、添加物などの紛らわしい影響を排除することができ、制御された試験室環境でのアスファルトの研究を可能にする。また、異なった原油からいろいろなアスファルトを制御することが可能になったため、フュームの科学的な変異性と成分の分析に役立っている。

F3. 材料および方法

F3.1 舗装アスファルト

この研究には、SHRP ライブラリの8つの舗装用アスファルトが使用された。それらは1つの原油から精製され、真空中で蒸留された直留のものである。これらのアスファルトから発生したフュームは、NIOSHの屋根葺きアスファルトのアニマルスキンペインティングの研究サンプルと比較された。NIOSHのフュームは動物による発がん性実験で濃縮された唯一のフュームを示すため、そのような比較には不可欠であった。

また、インディアナDOTのPG64-22グレードのアスファルトもこの研究に加えられた。このアスファルトはフューム生成器の開発に用いられたものの1つであった。そしてその生成器が現場で発生するフュームの組成に良く似たフュームを作り出していたという事実を検証することも含められた。

負電荷のアスファルトは沈殿した硬いアスファルト溶剤（質量比80.2）と発がん性のないという要件を満たすように精製された溶媒（質量比19.8）を試験室で合成して生産されていた。このアスファルトは舗装用としては低度の物性を持ち、実用的な製品ではない。アニマルスキンペインティングの研究で発がん性の主要な仲介成分として知られる46の環を持つ多環式芳香族化合物（PACs）の中でも生物学的、科学的に低いフュームを産み出すことが予想されたためにそれは開発された。

正電荷のアスファルトは負電荷のそれに対応するように試験室で合成して作られた。このケースでは沈殿した硬いアスファルト溶剤（質量比81.5）が砕いたスラリーの溶媒（CCS）（質量比18.5）と混合された。CCSは製油所の触媒作用によって引き起こされた底部の残渣である。そして46の環を持つPACsの高いレベルのスキンペインティング研究の中では突然変異誘発性と発がん性を持つ。このアスファルトは負電荷同様、アメリカの舗装用アスファルトに必要な物性を満たさないであろう。

F3.2 NIOSH フュームの成分

NIOSHの研究で保有するサンプルは、残渣高速液体クロマトグラフィー（HPLC）を使って5つの残留分（フューム濃縮物）に分けられた。残留分A（最小の極）は、アニマルスキンペインティングの研究では発がん性はなかった。フューム全体の約18%を構成する残留分BおよびCは、発がん性があった。そして残留分DとE（最大の極）は発がん性がなかった。既往の研究で

はアルキル化PAHsとイオウヘテロ環（チオフェン）を含む46の環をもつPACsが、生物学的な活性をもたらす可能性が高いことがわかった。

F3.3 室内フューム生成装置

貯蔵容器に残っている乱されない（混ざっていない）状態のアスファルトは時間制御され、薄い膜のプレートを超えて流れるまでその状態を保つ。その薄い膜は加熱混合時に骨材がアスファルトで被膜される状態を想定している。アスファルトがプレートを超えて流れると、吹き込んでくる空気によって取り込まれたフュームを解放し吸着性の収集管に運ばれる。収集管とプレートは舗装のアスファルト温度を再現するために精密に制御されている。（～155℃）0.09 m²のプレートは舗装を想定するため、即座に冷却される出口よりもより暖かい入口付近がよい。プレートを越える流速は範囲当たりの舗装作業員が受けるアスファルトの代表的な量を想定して150g/minで制御される。研究初期には、フュームは平均284分間で50,000g発生した。アスファルトの流出量はフュームを発生している間、熱せられた容器に追加のアスファルトを補充しながら、フューム生成装置で連続的に維持されている。集められた平均的なフュームの量は、元のアスファルトの約0.00035%にあたる176mgであった。この割合は舗装現場で計算されたものに非常に近い。集められたフュームの量は極めて少なく、化学分析や変異原性試験にどうにか足りる程度である。

F3.4 室内でのフュームの収集

フュームは疎水性の吸着素材であるアンバーライトXAD-2樹脂（合成吸着剤）に収集される。物理的そして化学的な安定性に優れ、マクロレティキュラー（MR）レジン、スチレン-ジビニルベンゼン共重合体、非イオン性のビーズ、極小球の凝集体で構成されている。

F3.5 XADからのフュームの抽出

アスファルトフューム残渣はメチレン塩化物溶出によってXADカラムから抜き取られる。溶出の前にビーズは溶剤に完全に浸されてそれから30分（9 g管）あるいは10分（600mg管）間置かれる。全ての化学的な試験の後に、メチレン塩化物は窒素蒸発システム（低熱）を使って蒸発され、変異原性インデックス（MI）を得るための生物学的な試験に送られる。

F3.6 フィールドでのフュームの収集

舗装現場からのフュームは改良型NIOSH方式5506試験で、4人の作業員から収集された。作業員らはカセットを通して毎分1.5-2.0Lで呼吸を小さいポンプに

運ぶ。改良とはベンゼンのフィルターで予備抽出することが含まれた。カセットの排気口はXAD-2カラムに取り付けられた。フィルターおよびXAD-2管の両方が試験室以上に結合され、抽出された。改良型Ames試験用のフュームはXAD-2カラムを用いてアスファルトプラントの貯蔵タンクの上で収集された。

F3.7 ガスクロマトグラフィ質量分析法 (GC/MS)

全ての抽出物はイオントラップ型のガスマスで解析された。2 μ Lの塩化メチレン抽出物が分割方式の30mキャピラリーカラム（細管）に注入された。注入装置と転送ラインの温度は280℃であった。乾燥炉は3分間90℃で加熱され、毎分10℃で320℃に上昇するようプログラムし11.5分間ホールドした。

F3.8 ガスクロマトグラフ水素炎イオン化検出法

大量の測定と蒸留を想定したガスクロでも解析された。質量は灯油構成曲線の代わりに外部標準法を使って計算された。この方法はいくつかのアスファルトフュームのサンプルで質量データを比較することで実証された。

F3.9 蛍光分析

パーキンエルマー製の蛍光光度計はEU/g単位で385nmの励起と415nmの発光（排出）で蛍光発光の輝

度を測定するために使われた。両方のスリット幅は3 nmで、スキャン速度は1000nm/分であった。その方法はアスファルトフューム母体中の蛍光標識のレベルの情報を提供する選択的な試験手順を簡素化するために開発された。線形性を確認するために輝度は適切に希釈され600以下の放射単位に保たれた。

初期溶液の蛍光発光を得た後で、12mlのシアノプロピル固相抽出法（SPE）カートリッジと再測定された蛍光発光に通した。この蛍光を発するSPEのステップはいくつかの正反対の成分を取り除くが、生物学的な活動の際立った要素にはならない。蛍光発光とスキンペインティングのCN前の相関関係は適度に良好であった。

F3.10 改良型Ames試験

改良型Ames（エームス）試験はASTM標準方法E1687-95に記述された方法の通りに行った。

F4 結果

アスファルトフューム生成の結果は表－F1に示す。NIOSHのフュームのサンプルはSHRPアスファルトと同じ方法で評価され表－F2に示す。

図－F1を用いて紫外線蛍光試験データと変異原性

表－F1 生成結果

Description	Asphalt	EU/g after CN	Sim. Distillation % > 316℃	MI	% Fume of Total Asphalt
SHRP Asphalt	A	80	22.0	0.9	3.6×10^{-4}
SHRP Asphalt	B	36	5.0	0.8	8.6×10^{-4}
SHRP Asphalt	C	7	5.0	2.1	2.7×10^{-4}
SHRP Asphalt	D	116	20.0	1.5	2.9×10^{-4}
SHRP Asphalt	E	3	0	0	1.2×10^{-4}
SHRP Asphalt	F	70	19.0	1	3.9×10^{-4}
SHRP Asphalt	G	22	4.0	0	6.5×10^{-4}
SHRP Asphalt	H	119	35.0	1.5	4.6×10^{-4}
Negative Control	I	48	12.0	1.1	3.8×10^{-4}
Positive Control	J	194	33.0	6.9	1.7×10^{-3}
Lab Validation to Field	K	33	5.0	0.8	5.8×10^{-4}
Field PG 64-22	L	30	2.0	0.6	3.5×10^{-5}

表－F2 NIOSH フュームの結果

Description	% of Whole	EU/g	Sim. Distillation % > 316℃	MI	% Fume of Total Asphalt
Whole	100	266	45	4.4	2.5
Fraction A	65.5	137	15	2.7	1.6
Fraction B	8.1	798	60	29	.2
Fraction C	10.6	1100	45	25	.3
Fraction D	11.4	44	15	0	.3
Fraction E	4.5	0	20	0	.1

指数を比較する ($r^2 = 0.95$)。この結果は蛍光発光によって検出された46環のPACsが変異原性と発がん性に関して確実に同じ種類ということを示唆する。316°C以上で沸騰したフュームの割合と紫外線蛍光の相関性 ($r = 0.88$) は図-F2に示される。その高い相関性は比較的高い温度で沸騰している46環のPACsがフュームの蛍光発光と生物学的な活動の両方における主要な要因であるというさらなる証拠である。

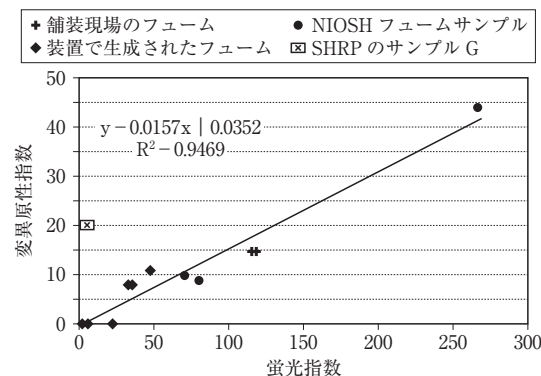


図-F1 紫外線蛍光試験と変異原性指数

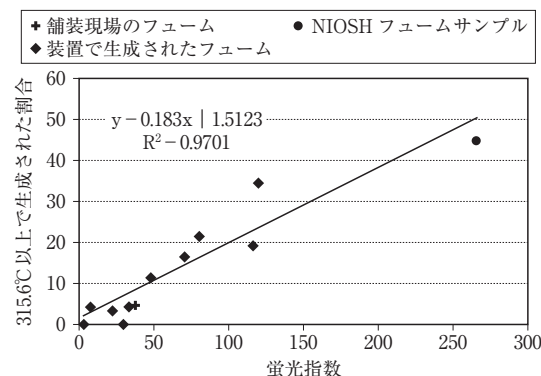


図-F2 フューム割合と紫外線蛍光

F5. 考察

NIOSH フュームの最近の研究では46環のPACsのサブセット(細胞集団)がこれらの研究の中でわかった生物学的な活動と十分に関連性があるということがわかった。フュームの全体とBとCだけが発がん性があった。別々にあるいは組み合わせてマウスに適用される時, A, D, Eは5つの異なった皮膚塗布研究において発がん性はなかった。表-F2からわかったこれらの結果は, Miと紫外線蛍光の記録両方とも互いに相関があることを示す(図-F3)。NIOSHのフュームと室内とフィールドで生成されたフュームの両方のEU/g

のグラフのプロットは, 図-F1の中に示される。Aの留分(最も発がん性の低い)の紫外線蛍光より多量の試験室のフュームだけが生物学的に重要な物質の測定可能な量がフュームに移動され, 適切に評価されたということを示唆する合成の陽性の基準である。

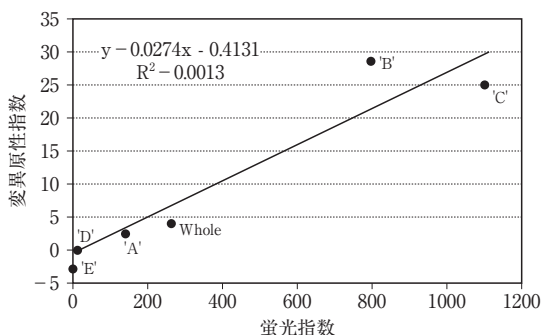


図-F3 Miと紫外線蛍光

F6. 結論

- (1) 室内フューム発生装置は蛍光発光 (EU/g) と同じアスファルトからのフュームの変異原性の活動比較, GC/FID (仮想の蒸留) で判定されるようにフィールドで発生したそれらに類似しているフュームを産出する(サンプルKと表-F1)。
- (2) 陽性(J)と陰性(I)として試験室で作られたアスファルトは, それらの組成と整合性のある結果を提示した。陽性のフュームはNIOSHの発がん性の留分に類似していて, 皮膚塗布においてはおそらく陽性になるであろう。陰性のフュームは, 留分A以下の終点を計っていた。そして生物検定で腫瘍を引き起こすことは, 予想されないであろう。
- (3) SHRPの8つの舗装用アスファルトからのフュームは, 化学組成において相違を示す。しかし, NIOSHの留分Aより低い化学的および生物学的反応を示した。したがって, 生物検定において発がん性になるとは, 予想されないであろう。

カテゴリ⑤ 供用後に発生する物質

論文G 加熱アスファルト混合物からの溶脱物質評価(1990年 アメリカ)

G1. 概要

標準的な加熱アスファルト混合物を実験室で作製し, この混合物を, 米国環境保護庁に規定されているSW846-1311とSW846-351の試験方法に準拠したTCLP

(Toxicity Characteristic Leaching Procedure：毒性物質溶出手順の一つ)で、溶出物を回収し分析をおこなった。重金属類、揮発性有機物質、半揮発性有機物質、PAHの項目について検出実験を行い、新しいアスファルト混合物から溶出される恐れがある物質を調べた。

G2. 材料

アスファルトは、有限会社インディアナポリス製造のAC-20アスファルトを使用した。骨材には、ASTM(米国材料試験協会) D448規格、#8(12.5mm)高炉スラグと、#8碎石(12.5mm)と、インディアナポリスのマーチンマリエッタ産の#24天然砂を使用した。混合物の混合比を表-G1に示す。作製した混合物はINDOT(インディアナ運輸省)の仕様(INDOT401.02Z)を満たすものであった。

表-G1 混合比

	質量%
#8 スラグ	23.4
#8 碎石	23.4
天然砂	46.7
AC-20	6.5

G3. 溶出物テスト

溶出物の回収・分析は、インディアナポリスの環境サービス民間試験所で実施した。分析方法／手段は、以下の通りである(表-G2)。

表-G2 溶出物分析方法／手段

試験	方法／手段
TCLP	SW846-1311
半揮発性化学物質 GC/MS	SW846-3510
PAH'S	SW846-8310
重金属類	SW846-3010
揮発性化学物質	SW846-3510

G3.1 重金属結果

表-G3は重金属溶出結果を示す。金属の項目であるが、米国環境保護庁により規定された一般的な重金属である。クロムだけが検出限界を超えて0.1ppmを示したが、この値はRCRA(資源保護回復条例)が定める危険レベルの50分の1の値である。その他の金属については、検出限界以下であった。通常、アスファルトは測定できるクロムを含んでいない。よって、検出されたわずかなクロムは、スラグ骨材から溶出したスラグ骨材由来のものと考えられる。

表-G3 TCLPによる重金属検出結果(1311)

項目	結果(mg/L)	検出限界(mg/L)
バリウム	検出されず	2.000
カドニウム	検出されず	0.020
クロム	0.100	0.010
鉛	検出されず	0.200
銀	検出されず	0.040
ヒ素	検出されず	0.005
セレン	検出されず	0.005
水銀	検出されず	0.005

G3.2 揮発性有機物結果

検出手順にはゼロヘッドスペースTCLPを用いた。揮発性有機化合物の検出結果を表-G4に示す。結果は、いずれの化合物も測定できる検出限界を超えておらず、検出されなかった。

表-G4 TCLPゼロヘッドスペース法による揮発性有機物検出結果(3510)

項目	結果(μg/L)	検出限界(μg/L)
ベンゼン	検出されず	5
4塩化炭素	検出されず	5
クロロベンゼン	検出されず	5
クロロフォルム	検出されず	5
1,2ジクロロエタン	検出されず	5
1,1ジクロロエチレン	検出されず	5
メチルエチルケトン	検出されず	5
テトラクロロエチレン	検出されず	5
トリクロロエチレン	検出されず	5
塩化ビニール	検出されず	5

G3.3 半揮発性有機物結果

表-G5は、TCLPの後の半揮発性有機物の分析結果を示す。半揮発性有機物においても、測定できる検出限界を超えておらず、検出されなかった。

G3.4 PAH(多環芳香族炭化水素)結果

表-G6は、溶出可能性のあるPAHの分析結果を示す。PAHは、EPAが毒性物質として定めている有機化合物の中で、高分子のグループである。アスファルトは高分子であり、また、PAHは検出限界が10億分の1以下と非常に低く検出が容易であるため、混合物からPAHが検出される可能性は高いと考えられる。

結果は、アスファルト混合物浸出物中から最も揮発性の高いPAHであるナフタリンが0.25μg/L検出された。この検出されたナフタリンの値であるが、いろいろと確立されているガイドラインの基準値と比べかな

表－G5 TCLPによる半揮発性有機物検出結果

項目	結果 (μg/L)	検出限界 (μg/L)
1,4ジクロロベンゼン	検出されず	12
1,2ジクロロエタン	検出されず	12
6塩化ブタジエン	検出されず	12
6塩化ブタジエン	検出されず	12
6塩化エタン	検出されず	12
ニトロベンゼン	検出されず	12
ビリディン	検出されず	60
クレゾール酸	検出されず	30
2メチルフェノール	検出されず	30
3メチルフェノール	検出されず	30
4メチルフェノール	検出されず	30
ペンタクロロフェノール	検出されず	60
2,4,5トリクロロフェノール	検出されず	30
2,4,6トリクロロフェノール	検出されず	30

表－G6 TCLPによるPAH(多環芳香族炭化水素)検出結果

項目	結果 (μg/L)	検出限界 (μg/L)
ナフタリン	0.25	0.096
アセナフチレン	検出されず	0.15
アセナフタリン	検出されず	0.194
フルオレン	検出されず	0.023
フェナントレン	検出されず	0.033
アントラセン	検出されず	0.015
フルオランテン	検出されず	0.037
ビレン	検出されず	0.04
ベンゾ(A)アントラセン	検出されず	0.048
ケルセン	検出されず	0.017
ベンゾ(B)フルオランテン	検出されず	0.02
ベンゾ(K)フルオランテン	検出されず	0.022
ベンゾ(A)ビレン	検出されず	0.023
ジベンゾ(A,H)アントラセン	検出されず	0.018
ベンゾ(G,H,I)ビレン	検出されず	0.036
インデノ(1,2,3-CD)ビレン	検出されず	0.021

り小さい。また、ナフタリンは、他のPAH(たとえばベンゾ(A)ビレン)のように発癌性のある物質でもない。

G4. 結論

加熱アスファルト混合物から毒性物質はほとんど検出されなかった。また、検出された値も、どのガイドラインよりも非常に小さく問題ないレベルであった。

4. おわりに

本報では、ISAP2008で報告されたアスファルト混合物から発生する物質に関する論文をベースに、そのリファレンス論文についても紹介した。

アスファルト混合物から発生する物質については、以前より海外では数多くの研究が様々な側面からなされていることがわかる。一方、我が国ではこの問題に対して、関心はあったがほとんど研究がなされていなかったのが実情である。

本年はISAP2010名古屋が我が国で開催され、ここでもアスファルト混合物から発生する物質についての最新の論文が多く発表された。環境問題への世界的な関心と、自然界への排出による環境負荷を可能な限り低減しようとする意識が高まっている昨今、我が国においても、研究が盛んに行われることが望まれる。

—— 参考文献 ——

- 1) Vincent, G. Laboratory investigations on the Total Organic Compounds emissions of half-warm mix asphalt technology versus traditional hot mix asphalt, *ISAP2008*.
- 2) Brandt, H., Lafontaine, M., Kriech, A.J., de Groot, P., Bonnet, P., Binet, S., and Wissel, H. Inhalation Study on Exposure to Bitumen Fumes Part 2: Analytical Results at Two Exposure Levels. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol 44, No 1, pp. 33-41, 2000.
- 3) Brandt, H. and de Groot, P. A Laboratory Rig for Studying Aspects of Worker Exposure to Bitumen Fumes. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, Vol. 60, pp 182-190, 1999.
- 4) Burnstyn, I., Kromhout, H., Kauppinen, T., Heikkilae, P., and Boffetta, P. Statistical Modelling of the Determinants of Historical Exposure to Bitumen and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Among Paving Workers. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 44, No 1, pp. 43-56.
- 5) Kurek, J.T. Laboratory generation and evaluation of paving asphalt fumes. *Transportation Research Record*, 1999, 1611: p. 35-40.
- 6) Kriech, A. J. Evaluation of hot mix asphalt for leachability. *Asphalt Institute*.
- 7) Kriech, A. J. Leachability of Asphalt and Concrete Pavements. *Asphalt Institute*.

アスファルト舗装を取り巻く再生技術に関する海外の研究 ISAP シンポジウム2008

鎌田 孝行*
平川 一成****

清水 泰成**
森石 一志*****

塚越 智浩***
森嶋 洋幸*****

1. はじめに

「アスファルト舗装と環境」と題したISAP (International society for asphalt pavement) のシンポジウムがスイス・チューリッヒにおいて、2008年8月17日から20日までの4日間に渡り開催された。そのなかで表-1に示す7つのテーマに分けられた論文発表が行われた。

本報告は、この中からアスファルト舗装に関する再生技術に着目して、他産業廃棄物のアスファルト舗装へのリサイクルおよびアスファルト混合物の再生技術の2テーマを設定し、その内容を紹介するものである。紹介する論文の一覧を表-2および表-3に示す。

2. 他産業廃棄物のリサイクル

近年、我が国では建設活動により生じた建設廃棄物が増大している一方、最終処分場となる用地の減少等から建設廃棄物のリサイクル化が盛んに行われており、他産業で発生した廃棄物においても同様である。他産業で生じたりサイクル材料の道路舗装への利用にあたっては、舗装材料としての力学特性や安全性等を把握するため、技術的な評価方法を確立する必要がある。

本章では、海外における他産業廃棄物の道路舗装への利用に関する研究事例をリサイクル材料別にいくつか紹介する。

論文1 アスファルトラバーにおけるベースアスファルトの影響(スイス)¹⁾

(1) 概要

アスファルトラバー (以下、AR) の最終的な流動特性は、ベースとなるアスファルトの成分構成に起因すると考えられる。本研究は、異なる構成成分をもった

表-1 ISAP2008で発表された論文とカテゴリ

テーマ	論文数
環境的に持続可能な新材料	8
再生、再々生と重要な資源	4
省エネルギーと生産	12
排出物と騒音低減	4
革新的な設計	8
排水および水の影響	20
耐久性と老化	16

表-2 他産業廃棄物のリサイクルに関する論文

論文No.	題名
1	アスファルトラバーにおけるベースアスファルトの影響
2	エチレン酢酸ビニル共重合体 (EVA) の舗装混合物への利用に関する技術的な可能性
3	ボトムアッシュ骨材のDSRを用いた永久変形抵抗性について
4	鉄鋼スラグ骨材の舗装混合物への利用
5	改質硫黄ベレットを用いた舗装混合物の特性
6	改質アスファルト舗装に用いるトナーの性状

表-3 アスファルト混合物の再生技術に関する論文

論文No.	題名
7	高再生率で高いスティフネスを持つ下層材料の開発
8	常温路上再生工法に関する報告
9	ヨーロッパ諸国における再生技術の現状に関する報告

アスファルトにゴム粉を混合したときの相互作用について検討したものである。

(2) アスファルトラバー (AR)

ARは1960年代から注目され道路産業における使

*かまだ たかゆき 常盤工業(株) 技術研究所

**しみず やすなり 前田道路(株) 技術研究所

***つかこし ともひろ 常盤工業(株) 技術研究所

****ひらかわ かずなり 大成ロテック(株) 技術研究所

*****もりいし かずし 大林道路(株) 技術研究所

*****もりしま ひろゆき 前田道路(株) 技術部

用が増加した。リサイクル材としてのゴム粉の使用は、セメント炉の燃料としてタイヤゴムを使用するのと同じ、環境面に優れ効率的である。

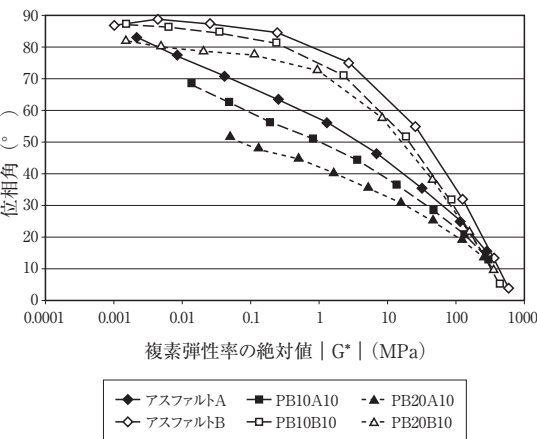
(3) 実験結果

本実験では表－4に示すようにゴム粉添加率、最大粒径およびアスファルトをそれぞれ2種類組み合わせた計8種類のバインダについて検討を行った。アスファルトは2種類ともに基準値を満足するストレートアスファルト70/100を用いるが芳香族の割合が異なる。

表－4 実験プログラム

ゴム粉添加率 (%)	粒度幅 (mm)	アスファルト 70/100
10	0～1	A：芳香族割合が少ない
20	0～0.5	B：芳香族割合が多い

アスファルトの主な成分は、飽和分、芳香族、レジン、アスファルテン (SARA) である。アスファルトをTLC-FID法により分離した結果、ゴム粒子の膨張は芳香族の減少とレジン、アスファルテンの増加を誘発する。これは、芳香族がゴム組織中に浸透することにより生じている。また、レオメータ (RHEOMETRICS ARES-RDA) を用いてアスファルトの粘弾性特性を評価した。芳香族の多いアスファルトBはアスファルトAより温度に敏感であり、ゴム添加率が高い場合、アスファルトの熱感受性が低い。その結果、芳香族の少ないアスファルトAの流動特性に大きな影響を及ぼし、芳香族の損失によりアスファルトの粘性を劇的に増加させる。バインダの粘弾性特性を図－1に示す。PBxxyyzzはそれぞれxx：ゴム粉添加率、y：アスファルト種類、zz：1/10mmスケールのゴムの最大粒径を示す。



図－1 10rad/sでのバインダの粘弾性特性

(4) まとめ

ベースとなるアスファルトはARの性状に影響を及ぼし、芳香族含有量が低いあるいはアスファルテン含有量が高いアスファルトは、芳香族による潤滑油の働きが失われ粘性の高いバインダとなる。ARの最適な粘弾性特性を得るためにアスファルトを選択する必要があり、力学特性に優れたバインダの製造をする上でアスファルト成分は重要な要素である。

論文2 エチレン酢酸ビニル共重合体 (EVA) の舗装混合物への利用に関する技術的な可能性 (ブラジル)²⁾

(1) 概要

2001年の世界の靴消費量は、1人あたり6足以上であり、靴の生産に用いられるエチレン酢酸ビニル共重合体 (以下、EVA) は約9%を占める。残念なことにそのうち15%は靴産業により廃棄されており、処分方法が不十分であるため深刻な環境問題を引き起こす可能性がある。そのため、利用法としてEVAをアスファルト混合物の骨材に置換した際の混合物 (以下、EVA混合物) の力学特性について検討したものである。

(2) エチレン酢酸ビニル共重合体 (EVA)

EVAはポリエチレン酢酸ビニル、膨張材、網状材および重合構成要素 (例えばゴム) からなる樹脂によって形成される微小孔構造合成物である。EVAは高い耐摩耗性および引裂抵抗性を備え、軽くて軟らかい材料で比較的安価なことから、広く利用されてきた。EVAはブラジルにおける固形廃棄物分類法による技術基準では非危険物に相当するが、生物分解性がなく靴産業では再利用していない。そのため、埋め立て処理するかCO₂、COや炭化水素のような有害ガスによる空気汚染リスクを負い焼却処分するしかないのが現状である。



写真－1 EVA骨材

(3) 力学特性

アスファルト混合物（以下、HMA）に添加することを考慮し、使用するEVAごとにベイリー法を用いて骨材粒度を決定した。骨材粒度を図-2に示す。

マーシャル供試体を用いて間接引張強度（以下、ITT）、レジリエント・モジュラス（以下MR）、静的および動的クリープ、疲労試験、カンタプロ試験による飛散抵抗性および劣化に対する力学特性について評価を行った。ITTおよびMRの比MR/ITTは疲労限界を表し、値が大きいほど疲労限界が短く、EVAを添加することでMR/ITTが小さくなることがわかった。また、Elsym5を用いて仮想舗装による力学特性を分析した結果、EVAを添加した舗装は従来のHMAより疲労限界が伸びることがわかった（図-3）。劣化に関する評価は静的および動的クリープ試験を行った。静的クリープ試験では促進劣化させたEVA混合物は従来のHMAと同等の重交通を支持できることがわかった。また、動的クリープ試験では劣化時間が同じであればEVA添加率が高いほどクリープ強度が低くなった。

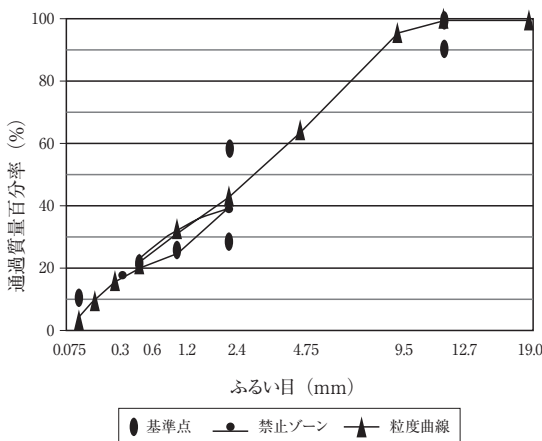


図-2 EVAの粒度曲線

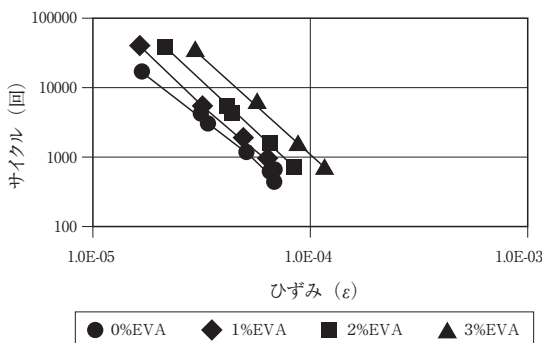


図-3 疲労特性（4時間エージング）

(4) まとめ

靴産業で廃棄されるEVAはアスファルト混合物の力学特性を改善し、疲労抵抗性および飛散抵抗性を向上することがわかった。しかしながら、アスファルトやEVAの粒度の違いによる永久変形については、アスファルトバインダへの影響や長期供用性等さらなる検討が必要である。

論文3 ボトムアッシュ骨材のDSRを用いた永久変形抵抗性について(イギリス)³⁾

(1) 概要

道路建設における次なる材料として、焼却炉ボトムアッシュ骨材（以下、IBAA）が主にアスファルト舗装に使用されヨーロッパで広く実践されている。使用量の拡大には従来混合物に対してIBAAを使用したアスファルト混合物（以下、IBAA混合物）の挙動特性を把握する必要がある。本報告はIBAA混合物の永久変形に対する抵抗性についてダイナミックシアレオメータ（以下、DSR）を用いて検討したものである。

(2) ボトムアッシュ骨材 (IBAA)

ボトムアッシュは固形廃棄物焼却施設から発生する副産物で固形廃棄物全体の20～30%を占める。現在イギリスでは22の焼却施設から年間約100万トンのボトムアッシュが生成され、西ヨーロッパ全土では1500万トンにもなる。ボトムアッシュは従来埋立てに利用されてきたが、埋立地の減少や天然骨材のコスト上昇から天然骨材の代替品としてボトムアッシュを加工したIBAAを道路建設に利用することが求められた。

IBAAは多硬質な骨材で吸水率が高い。また、単位重量、密度、含水比から軽量骨材であることがわかる。

(3) DSRによる実験

実験は、3種類のバインダに対し一定の温度で荷重をかけた際の永久変形について検討を行った。バインダはそれぞれアスファルト100/150 (B1)、B1に石粉を加えたバインダ (B2)、B2にIBAAを加えたバインダ (B3) である。DSRを用いた試験では、オシレーションモードおよびクリープモードを使用する。

オシレーションモードは各試験温度による応力ひずみ曲線の最大荷重とそのときのひずみ速度をプロットし永久変形曲線を示したものである。その結果、B2、B3は60、70℃で同様な傾向を示すが、50℃ではB2のひずみ速度が大きい。アスファルトの主成分であるアスファルテンはアスファルトを固くする性質があり、

50℃ではIBBAが永久変形に影響を及ぼしたと考えられる。

クリープ荷重は、ひずみ速度が一定となるときの実質的なせん断応力と一致する。クリープモードは、クリープ荷重を生じさせたときのせん断応力と経過時間についての関係から、定常状態のひずみ速度における永久変形曲線を表したものである。その結果、低温低荷重においてIBAAを加えたバインダB3は高い変形抵抗性を示すことがわかる。

(4) まとめ

実験結果から、バインダの永久変形の挙動は試験温度40℃以下ではクリープモード、50℃以上ではオシレーションモードにより測定できる。IBAAを使用することで永久変形挙動を改善することは確認できたが、特定の温度および荷重条件に限られた。永久変形に対するDSRの適合性については限界があり、今後は他のツールを含めた検討が必要である。

論文4 鉄鋼スラグ骨材の舗装混合物への利用(南アフリカ)⁴⁾

(1) 概要

国道3号線は南アフリカ共和国における重交通路線であり、急激な交通量の増加、変化しやすい湿度、高い路面温度条件の下、従来よりも耐久性の優れた表層混合物を舗装する必要があった。鉄鋼スラグ骨材は変形に対する抵抗性に優れ、混合物の性状を高品質にすることができる。本論文は鉄鋼スラグ骨材を国道3号線に使用した研究事例である。

(2) 鉄鋼スラグ骨材

鉄鋼スラグは鉄鋼製造過程で生成される副産物である。舗装への利用は骨材としての材料特性が劣るために敬遠されてきたが、現在では改善され天然骨材の代用品として期待できる。天然骨材に比べ密度が高く、玄武岩や珪岩に比べ吸水率が高い。また細長扁平率が低く、すり減り抵抗性が高いことから変形抵抗性が期待できる。pH値は8~11でバインダとの相性がよく大きな粘着力を生む。ただし、スラグ特有の水和反応による体積膨張により、最大18カ月のエージングが必要である。

(3) 混合物性状

混合物は最大粒径13mm、2.36mm通過率47%でSBSポリマー改質アスファルトを使用している。天然骨材と比較した各種試験結果は以下の通りである。

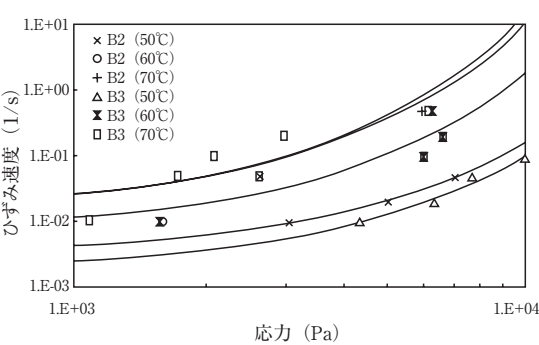


図-4 オシレーションモードの測定結果 (B2, B3)

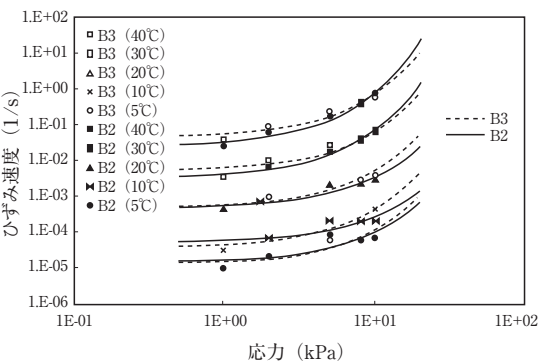


図-5 クリープモードの測定結果 (B2, B3)

- かさ密度が高い。これはコスト増大の直接的な要因につながるため、天然骨材と競争できる設定価格にすることが必要である。
- 動的安定度が高く、わだち掘れおよび変形抵抗性に優れる。
- 表-5のように、各アスファルト量に対しジャイレトリ供試体の空隙率から、交通荷重により容易に圧密されず、わだち掘れ抵抗性に優れると考えられる。

表-5 ジャイレトリ試験結果					
As 量	4.8%	5.0%	5.2%	5.4%	5.6%
MR 空隙率	4.7	4.2	3.8	3.3	2.8
SGC 空隙率	4.1	3.4	2.8	2.2	1.6

MR：マーシャル供試体 SGC：ジャイレトリ供試体

- ロードシュミレータ (MMLS) による模擬走行試験から、基層混合物およびSMAよりもわだち掘れ抵抗性に優れていることがわかった。

(4) 供用性状

混合物の評価にあたり、乗り心地、わだち掘れ、すべ

り抵抗性について2003年から5年経過後の1年間について調査を行った。

- 乗り心地は平均IRIが施工前の3.24m/kmから1.50m/km前後と改善した。
- わだち掘れ深さは施工前が10mmに対し、1.64～2.12mmと問題のない範囲にある。
- 表面摩擦はSCRIM（横方向の力係数）と湿潤路面と同等と認められた車輪に荷重を加えたときの力の比率SFCで測定され、SFCの平均的な値である40を維持している。

(5) まとめ

鉄鋼スラグ骨材は耐久性に関して天然骨材を上回り、さらに混合物性状を改善し重交通、過荷重、急勾配、変化しやすい湿度条件や高い路面温度に対し高い適合性を示し、表層用混合物骨材として十分利用できる。鉄鋼スラグの利用は道路管理者、道路利用者にとって有用であり、環境面において貴重な天然資源である骨材を保存でき、現実的な代替品として考えられる。

論文5 改質硫黄ペレットを用いた舗装混合物の特性(イギリス)⁵⁾

(1) 概要

硫黄酸化物の排出規制から、石油生産の脱硫過程において硫黄化合物が生じるようになった。1970年代に既に行われていた硫黄化合物の舗装混合物への使用は、飛散や硫黄ガスの吸引による健康被害の影響で減少していた。しかしながら、現在、硫黄ガスの発生を抑制したペレット状の改質剤（以下SEAM）が開発されたことにより、混合物の耐久性を向上した長寿命舗装を提供し、道路建設において天然骨材や炭化水素資源の節約になる。

(2) 改質硫黄ペレット (SEAM) の利用方法

SEAMはアスファルトに改質剤として添加する。以下の様に調節してSEAMを形成する。

- 硫化水素の発生を抑制するために事前処理を行い、混合物から排気するガスを内部に閉じ込める。
- 硫黄ガスによる健康被害を少なくするため、固形ペレット状にする温度を下げる。

(3) アスファルト混合物の強度発現

SEAMを添加した混合物（以下SEAM混合物）は、硫黄の結晶化により最終強度が発現するまで10日間要する。しかしながら、図-6に示すように、従来のHMAと比較した場合でも初期強度に問題ないことが



写真-2 改質硫黄ペレット

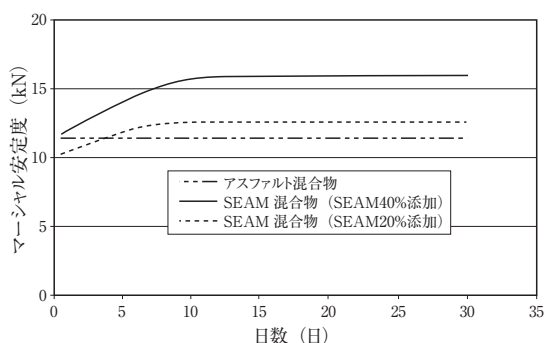


図-6 マーシャル安定度の強度発現への影響

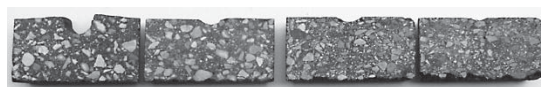
わかる。また、強度を満たすためにはアスファルトに対し重量比20%以上の添加が必要である。

(4) 舗装としての力学特性

SEAMを添加した混合物の力学特性として、マーシャル安定度、DSRによる複素弾性率、曲げ試験による疲労抵抗性を調査した結果、従来のHMAより優れた特性を示した。

力学特性に優れるSEAM混合物はわだち掘れ抵抗性が期待できる。写真-3に示すように、2種類の混合物について試験温度58℃でAsphalt Pavement Analyserを用いて試験を行った。その結果、低品質の骨材においてもSEAM混合物はわだち掘れ抵抗性に優れていることがわかる。

また、低温時のひび割れ抵抗性を評価するにあたり、TSRST試験（Thermal Stress Restrained Specimen Tensile test）を行った。250×50mmの供試体を毎時



低品質骨材		高品質骨材	
HMA	SEAM	HMA	SEAM

写真-3 異なる混合物のわだち掘れ抵抗性

10℃で冷却しながら荷重を加え、破壊するまでの温度と強度も関係を測定する。図-7に示すように、HMAに比べ強度が高く、破壊時の温度も低い。この結果からSEAM混合物は低温時のひび割れ抵抗性が高いことがわかる。

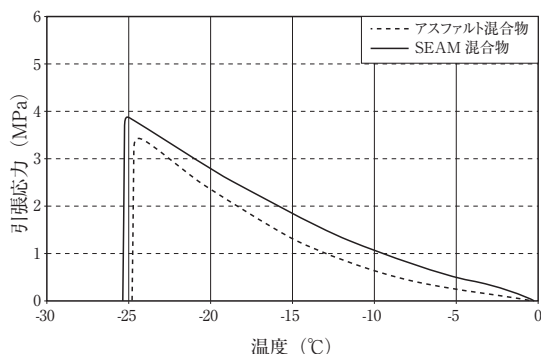


図-7 TSRST 試験

(5) まとめ

SEAMは、従来の硫黄アスファルト（SEA）を更新したものである。SEAMによりアスファルト混合物の耐久性が向上し、特に暑中時における重交通路線に効果的である。SEAMはアスファルトや骨材資源が不足する国々にとっての解決策となり、さらに厳しくなる石油産業の排気規制の中で製品の脱硫過程で生じる硫黄化合物の使用に貢献できる。

論文6 改質アスファルト舗装に用いるトナーの性状(アメリカ)⁶⁾

(1) 概要

製造会社によりプリンタやコピー機から毎年かなりのトナーが発生する。トナーは製造工程で発生する副産物であり、ここではトナー改質アスファルトへの利用について検討を行った。本論文は混合物性状とテキサス州高速道路での長期供用性について検討したものである。

(2) 廃棄トナーのリサイクル

廃棄トナーは仕様を満たさないトナーや、プリンタやコピー機の使用済みトナーの残渣からなる。材料自体が環境汚染につながるとは考えにくい粒子が細かく空気爆発を起こす危険がある。また、トナーは埋め立て処理されるため、トナーの使用は埋立地への負荷を軽減できる可能性がある。

(3) 試験施工

最初の試験施工は1997年8月に実施され、トナー混合率7～8%の最大粒径19mmの粗粒度アスファルト混合物により実施され良好な結果が得られている。

追加の試験施工は4工区で実施され、トナー混合率7%の混合物に対して、パフォーマンスグレード（以下、PG）を満足することを目標とし、また舗装の長期供用性について検討を行った。試験は回転式薄膜加熱試験（以下、RTFO）、加圧劣化試験（以下、PAV）、DSRを用いて行われ、その結果1つの工区について混合率7%の混合物に対しPGをすべて満足する結果が得られた。しかしながら、トナーの欠点は低温時における舗装のスティフネスが増加するため、低温クラックが発生しやすいことであるが、長期供用後、特に損傷は見られずクラックについても問題ない状況である。

また混合性状については、60～90分の混合時間が均一なアスファルトの製造に適していることがわかった。

(4) まとめ

本検討から、トナーは改質アスファルトの添加剤として使用できると判断できる。トナー改質アスファルトは永久変形に対し高温時特性を改善するが低温時には有利ではない。しかし、暖かい地域では現実的な添加材であり、環境利益が得られる魅力的な材料である。

3. アスファルト混合物の再生技術に関する論文

本章では、海外におけるアスファルト混合物の再生技術について取り上げ、その中でも材料、工法および現状について紹介する。

論文7 高再生率で高いスティフネスを持つ下層材料の開発(スイス他)⁷⁾

本節では、New Road Construction Concepts (NR2C)のアスファルト再生材混入率の向上の研究に関して述べる。

(1) 概要

NR2Cは6つの組織からなるヨーロッパの委員会によってサポートされたFEHRLプロジェクトである。本プロジェクトは再生アスファルトの高い混入率の混合物の配合を最適化することを目指し、アスファルト舗装廃材の混入率0%、25%、40%の3種類の混合物の配合設計を行い、下層に用いて室内実験および実規模のALT研究（ALT＝促進載荷試験）の両方によって実施された。プロジェクトはいくつかのパートナーに

よって実行され、BRRCは促進載荷試験の前に物性値の確認、配合設計と室内試験を行った。LAVOC（連邦工科大学の研究所の走行施設）は実験的な促進載荷試験施設の建設と試験を担当した。VTI（スウェーデンの国道と輸送の研究所）、DRI（デンマークの道路学会、道路理事会）とKTIは促進載荷試験施設から採取した材料の次の試験を実行した。この論文ではこれらの試験結果について述べている。

(2) 物性値と配合設計

高い弾性係数を持つ混合物はスイスの材料と同性能のベルギーの材料で準備された。硬質バインダ10/20が研究全体を通して使われた。その性状を表-6に示す。

配合設計にはBRRCで開発されたソフトウェアPradoWinが使用された。PradoWinの特徴は容積配合設計を行うのに便利なプログラムであるということである。再生アスファルトの特徴を表-7に示す。

また、アスファルト舗装廃材の混入率ごとの合成粒度を表-8に示し、室内試験パフォーマンスの結果を表-9に示す。

(3) 促進載荷試験

最初の段階で、促進載荷試験がLAVOCの実物大の施設で行なわれた。

① 促進載荷試験の機構

選ばれたアスファルトはLAVOCの実物大の促進載荷試験で試験され、13.1m × 5.4mの規模で実施された。図-8に舗装構造および車輪走行箇所を示す。また、表層のたわみは写真-4に示すようにLVDT センサを備えたビームを用いて、レーザーを使用して測定された。

② 結果と考察

a) 再生骨材混入率25%と0%の比較

測定は、position Cで実行した。図-9はC2およびD1の結果を示す。試験は通過輪数100,000～210,000回で行なわれ、最初の100,000回では試験温度を15℃とした。比較的低温である15℃においては、混合物の剛性が高く、再生骨材25%使用のD1断面と

表-6 硬質バインダ10/20の特徴

針入度 (25℃) [1/10mm]	軟化点 [℃]	G* (at 1.5Hz) [MPa]			ゼロせん断等 粘度温度 (prEN 15324) [℃]	直接引張試験に おける破断ひずみ 1%での温度 [℃]
		50℃	15℃	0℃		
16	70.2	0.273	27.0	152	73.2	- 8.1

表-7 再生アスファルトの特徴

項 目	針入度 [1/10mm]	軟化点 [℃]	%
ベルギーの再生 As	17	67.3	5.5
スイスの再生 As	32	59.4	4.8

表-8 各混合物の合成粒度

	ベルギーの材料による 混合物			スイスの材料による 混合物		
% 再生 As	0	25	40	0	25	40
% 全 As 量	5.5	5.5	5.5	5.8	5.8	5.8
% 再生骨材	0	24.3	39.4	0	29.5	47.4
% 通過質量百分率						
20mm	100	100	100	100	100	100
14mm	97.3	95.8	96.4	97.7	97.0	96.7
10mm	75.4	75.5	74.9	76.4	76.2	79.2
6.3mm	52.1	53.9	54.1	57.5	55.3	59.5
4mm	37.9	40.3	41.1	43.8	41.5	45.1
2mm	30.5	32.0	32.3	33.0	30.3	32.1
1mm	21.9	24.6	25.8	25.6	22.7	23.2
0.5mm	16.0	18.9	20.5	21.2	17.9	17.5
0.25mm	11.1	13.1	14.2	17.5	14.1	13.0
0.063mm	5.9	6.0	6.1	6.3	6.3	6.4

表-9 各混合物の室内パフォーマンス

	ベルギーの材料による 混合物			スイスの材料による 混合物		
% 再生 As	0	25	40	0	25	40
% 全 As 量	5.5	5.5	5.5	5.8	5.8	5.8
% 空隙率 (ジャイレ ション100回)	3.3	3.8	2.7	3.3	3.2	1.8
30,000 輪, 50℃における わだち掘れ深さ [%]	2.7	-	-	3.0	2.5	2.8
空隙率 [%] (油圧)	3.3	2.8	2.4	3.7	5.0 *	6.0 **
間接引張強度試験 [MPa]	2.5	2.3	2.4	2.3	1.5 *	1.3 **
	98%	95%	101%	92%	104% *	94% **
弾性係数 [MPa] (15℃ - 10Hz)	12740	-	12830	13900	12460 *	12050
疲労 [15℃, 10Hz] Slope a	0.156	-	0.146	0.097	-	0.131
ε 6 (μstrain)	123.4	-	120.1	143.2	-	123.7
N for ε = 120μstrain	1.2 × 10 ⁶	-	1.0 × 10 ⁶	6.2 × 10 ⁶	-	1.3 × 10 ⁶

* 耐久性の危険性を調査するために、5.8%の代わりに5.7%のバインダ容量にされた

** 耐久性の危険性を調査するために、5.8%の代わりに5.6%のバインダ容量にされた

再生骨材0%のC2断面の挙動に大きな違いは見られない。

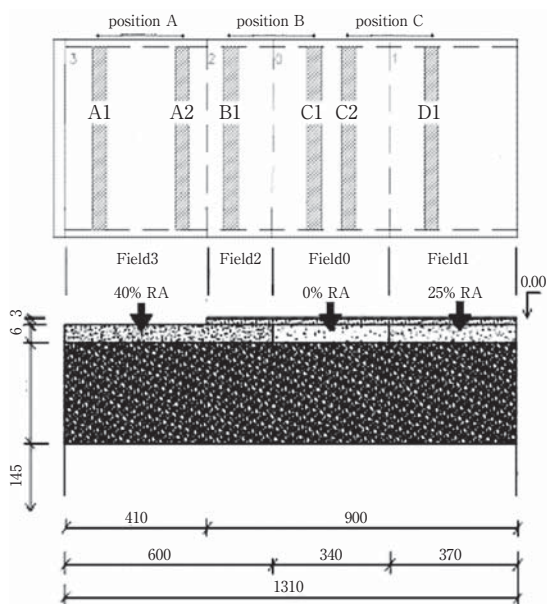


図-8 舗装構造および車輪走行箇所

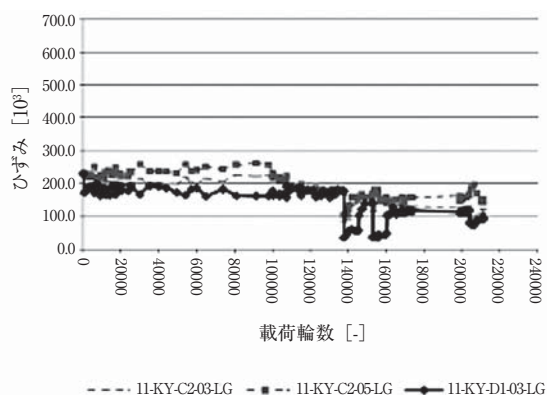


図-9 再生骨材 0 % の車軸 C2 と再生骨材 25 % の車軸 D1 の通過位置におけるひずみの比較

b) 再生骨材混入率 40 % と 0 % の比較

測定は position B で行われた。図-10 より、全体的に 100,000 回と 190,000 回通過の間で変形が減少していることが分かる。その値は比較配合（再生骨材 0 %）が再生骨材 40 % より少し小さい。しかし、その差は非常に小さく、それらの配合の違いによる影響とは判断できない。

c) 表層たわみによる比較

図-11 は、車輪通過位置から 9 cm の位置に置かれたセンサの各配合の記録された表層たわみの違いを示す。position A（再生骨材 40 %）は摩耗層のない薄層の舗装のより高いたわみを示すことが予想された。



写真-4 ALT 施設でたわみ測定に使用されるビーム

position B（再生骨材 0 %）と再生骨材を 25 % 使用している断面と少し低いたわみを持つ position C（再生骨材 25 %）の間ではどちらかと言うと類似する。しかしながら、再生骨材を使用していない混合物との比較において、大きな相違が表層たわみで観測されていないことから、再生骨材を使用した混合物が優れた性状を示している配合との比較により再生アスファルトを使用した混合物の良い挙動が強調される。

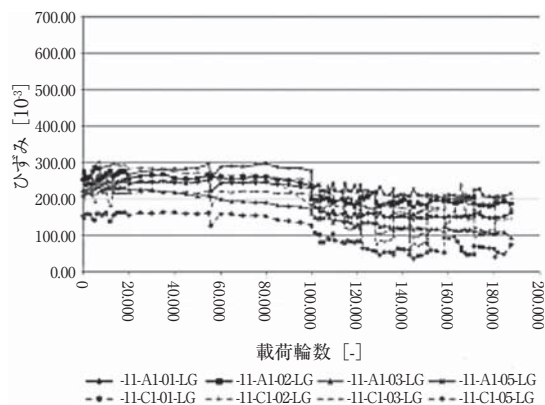


図-10 再生骨材 0 % の車軸 C1 と再生骨材 40 % の B1 の通過位置におけるひずみの比較

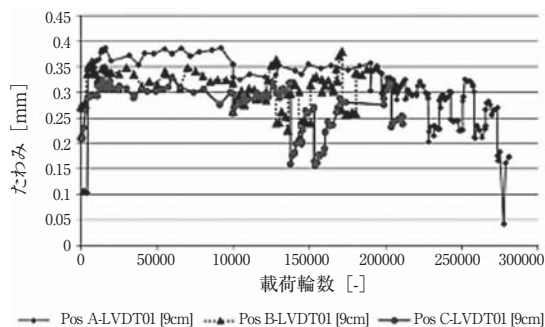


図-11 記録された表層たわみの比較

(4) 力学的挙動の評価

① 配合に関して実施されたその他の試験

ALTのほかに実施されたDARTは、トラバース走行しながら繰り返し载荷を行いシミュレートする装置である。またこの装置は、室温を25℃から60℃まで制御することができる。さらに我々の試験条件である舗装の最下層を20℃、表層を40℃とし、それらを一定に制御した温度条件下で試験を行うことができる。

② 実験結果

実物大の床版のDARTテストに関して、標準的な試験として50kN輪荷重で110,000輪载荷が行われた結果を図-12に示す。最初の20,000回载荷の間に得られた変形が、ある程度最初の締固めに依存するであろうことから、これらのデータから輪荷重の下で再生骨材40%の舗装のひずみが他の2種類の舗装より小さくなると結論することができない。また、温度上昇後の試験結果に関して、再生骨材40%の混合物を使用して施工した舗装体は再生骨材25%の混合物を使用して施工した舗装体よりわずかに速いひずみの進行を示したが、大きな違いは無かった。

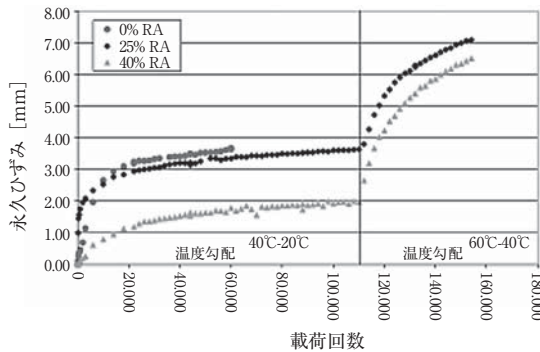


図-12 3種類の配合の舗装におけるひずみの挙動

(5) 結論

- ① スイスおよびベルギーにおける再生骨材の異なる混入率(0%, 25%と40%)の配合設計が行われ、最適化された。そして、スティフネス、疲労ひび割れ、水の敏感さと永久変形に関するパフォーマンスが決定され、比較された。
- ② 3種類の配合の混合物がLAVOCの促進载荷試験の施設でさらに試験され、再生骨材を使用している配合が再生骨材を使用しない配合と同等のパフォーマンスを示した。下層の再生アスファルトの使用割合を高くすることにより室内配合のパ

フォーマンスに負の影響を及ぼさないことが示された。これは、ALT、ホイールトラッキング試験、DARTによる試験、さらにバインダ混入率は混合物性状に悪影響を与える訳ではないという従来と同じ結論であった。

- ③ しかし、このような結論がすべての加熱アスファルト混合物で同様ではないということを念頭におくことは重要である。骨材粒度、再生材料とバインダ種別のような複数のパラメータが最終の特性における重要な役割を果たす。これらの因子を考えると、それ以上の問題を避けるために、再生アスファルトの特徴付け、配合設計、そして室内試験に特に重要視することを推奨する。

論文8 常温路上再生工法に関する報告(アメリカ)⁸⁾

本節では、WSDOT(ワシントン州運輸省)のワシントン州におけるCIR(常温路上再生工法)への取り組みについて述べる。

(1) 概要

本論文は、WSDOTが過去のCIRプロジェクトにおいて得られた知見、およびWSDOTの維持プログラムに適合させた方法、すなわち、プロジェクト選択方法、混合物配合設計、構造設計、施工方法、長期供用性およびLCCについて報告している。

現在、ワシントン州運輸省(WSDOT)は、加熱アスファルト混合物(HMA)の厚層オーバーレイもしくは打換工法を必要とする車道の補修方法の一つとして常温路上再生工法(CIR)を適用している。CIRとは、既設アスファルト舗装を破碎し、アスファルト乳剤と石灰スラリーを混合し転圧する路上再生安定処理工法である。CIR後はHMAまたは、チップシールで施工する。1981年以降に実施された16プロジェクトにおける供用性は極めて優れていた。また既設材料の再利用、輸送資源および廃材量を少なくすることができるという利点を持っている。一方で表層部(HMA,チップシール)には問題があった。これらを受けWSDOTではCIRを補修工法として検討を行っており、本論文はその取り組みについて報告するものである。

(2) 各取り組みの結果

① 混合物配合設計

CIRは空隙率が15%と高いので通常のアスファルト混合物の配合設計手法は適用できない。

乳剤はCMS-2Sを使用、乳剤添加率は既設アスファ

ルト量に依存するが1.3～1.8%である。石灰スラリーを既設アスファルト層に対して1.5%添加する。

乳剤添加率は0.1%違うと混合物性状が変化するので、施工中を通して調整する。すなわち外気温の上昇に伴い、添加率を0.3～0.5%程度下げる。施工現場での品質管理は単純に手で握りこむ感触から必要な乳剤添加量を判断する。

② 構造設計

CIRの理想的な施工深さは、75～100mmであり、この範囲であれば1工程で作業することができる。

構造設計は表－10に示す層係数を用いて、表－11のように計算される。

WSDOTが設計したあらゆるCIRのケースでは、AASHTO方式で計算したものより高い構造数が得られた。

WSDOTではCIRに45mmのHMAオーバーレイを行うことで十分な構造耐久性が得られることが判明した。

表－10 層係数

物性の項目	層係数
新設の加熱アスファルト舗装	0.44
既設の加熱アスファルト舗装	0.25 to 0.35
CIR舗装	0.30
新設の未処理の基層	0.14
既設の未処理の基層	0.08 to 0.14

表－11 構造設計例

	層係数	厚さ (mm)		構造指数
		既存の深さ	新設の深さ	
AASHTOではSN=2.64を必要とします				
新設の加熱アスファルト	0.44	n/a	45	0.79
CIR	0.30	n/a	85	1.01
既設の加熱アスファルト混合物	0.30	85	0	0.00
既設の基層	0.12	610	610	2.88
全体の既設の構造指数				4.68

表－12 CIR適用後、補修を行った路線のPSC

プロジェクト	当初の構成			修 繕		
	年	CIRの深さ (mm)	中温化HMAの深さ (mm)	年	表層の種類	修繕前のPSC
SR-395	1982	107	45	1993	HMA	67
SR-221	1982	60	60	2002	HMA	53-75
SR-97	1983	107	45	1994	HMA	78
SR-12	1992	76	45	2003	HMA	98 ²
SR-17	1993	76	45-60	1998 2006	チップシール チップシール	83 37 ³

③ 施工方法

CIRの施工機械体制は切削機、破碎機、分級機、混合機、舗装機で構成される。CIRの敷均し、転圧はHMA舗装と同等の機械で施工できるが、施工後、約10日後にリロールされる。このリロールでは乳剤が完全に分解し水分が抜け切った状態で締め固めることを目的としている。その後HMAもしくはチップシールを行い、施工完了となる。

④ 長期供用性

1982年以降にWSDOTで実施された16のCIRプロジェクトをPSCに評価する。PSCとは舗装構造状況（Pavement Structural Condition）を示す指数で縦横断方向のクラックやパッチング状況を勘案して計算され、数値が100に近いほど舗装が健全な状態であることを示す。表－12にはCIR適用後、表層部の補修を行った路線のPSCを示す。また表－13にはCIR適用後、補修を行っていない路線の2006年時点でのPSCを示す。1995年以降にCIRを適用した路線ではPSCが極めて高く、供用性に優れていることが判明した（SR-221路線は表層HMAの施工温度不良によりPSCが低い）。

表－13 CIR適用後、補修を行っていない路線のPSC

プロジェクト	当初のCIRの構成		2006年のPSC
	年	HMAの深さ (mm)	
SR-395	1995	60	79
SR-221	1998	45	43
SR-211	1999	60	98
SR-270	2000	45	83
SR-395	2001	60	95
SR-124	2002	45	94
SR-904	2002	チップシール	88
SR-221	2002	60	99
SR-127	2002	45	100
SR-28	2004	チップシール	98
SR-24	2004	45	100

⑤ LCC分析

表-14には現在のWSDOTにおける補修戦略を示す。FHWAが所有するソフトウェア：『REALCOST』を用いて、この5つの補修戦略のコスト試算を行った。

貸出金利4%で解析期間を30年とした場合の結果を表-15に示す。その結果、従来のHMAオーバーレイよりもCIRが費用効果がよい補修工法であることが示された。その一方でWSDOTはCIRの用途拡大は視野に入れていない。これは、車線-km当りに必要なCIRの低コスト性は既存の舗装性能に基づいており、試算結果とは必ずしも一致しないことが理由として挙げられている。ただし高速道路の補修工法に適用するならばCIRはコストパフォーマンスの高い工法である。

(3) 結論

本論文では以下のように結論づけている。

行政レベルでのCIR混合物設計方法はアメリカ合衆国では確立されていないものの、施工中にCIRの配合を調節することで供用性の良い舗装を提供することができた。ワシントン州でのCIR成功例は、経験豊かな契約者（特にCIRプロジェクトがまれであるところ）にかなり集中している。

チップシールおよびHMA表層はCIR処理ベースを保護する磨耗層としての機能を持つ。

CIRは施工後3～15年経過した16のプロジェクトで、失敗はなく優れたパフォーマンスを示している。

CIRは他の補修方法と比較して費用効果に優れる補修工法として位置づけられる。

論文9 ヨーロッパ諸国における再生技術の現状に関する報告⁹⁾

本節では、RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures：国際材料構造試験研究機関・専門家連合) 技術委員会のTG5グループが取りまとめたアスファルト舗装廃材の利用に関するヨーロッパの調査に関して述べる。

(1) 概要

原油不足や価格上昇の兆候、良品質骨材の不足や世間一般の環境問題からアスファルト舗装のリサイクルが増加し、注目されている。そこで、RILEM技術委員会のATB (Advanced Testing of Binders) のTG5グループ（瀝青材料のリサイクル）では、ヨーロッパにおけるアスファルト舗装廃材 (Reclaimed Asphalt Pavement：以下、RAPと呼ぶ) の使用に関し、現在の実施状況を取りまとめるため、アンケート調査を行った。調査は、全瀝青ヨーロッパチームの地方の営業部や技術セールスマンに送ったアンケートを集計し、さらに、EAPA, SCORE, SAMARIS, FHWA European Scan Tourなどからの情報も取り入れてまとめた。本論文は、この調査に関する第1回目の報告である。

(2) 調査国名

調査した国は、ベルギー、チェコ共和国、フランス、ドイツ、イタリア、オランダ、スウェーデン、フィンランド、ノルウェー、デンマーク、スペイン、スイス、

表-14 WSDOTの補修戦略

1	60mmの密粒度のHMA、そしてそれに続いて45mmの密粒度のHMAオーバーレイで終了している構造とインレイの60mmを取り除く。将来のオーバーレイが10年ごとに適用される。
2	60mmの密粒度のHMA、そしてそれに続いて45mmの密粒度のHMAオーバーレイで終了している構造とインレイと60mmを取り除く。将来のチップシールが10年の後に7年ごとに用いられる。
3	90mm、そしてそれに続いて45mmの密粒度のHMAの深さへのCIR。将来の密粒度のHMAオーバーレイが10年ごとに適用される。
4	90mm、そしてそれに続いて45mmの密粒度にHMAの深さへのCIR。将来のチップシールが初期のHMAパフォーマンスの10年後に7年の間隔で適用される。
5	90mm、そしてそれに続いて二重のチップシール適用の深さへのCIR。将来のチップシールが初期のチップシール適用の後に7年の間隔で適用される。

表-15 補修戦略のLCC試算結果

オプション	原価 (車線-km当たり)	将来修繕する 箇所数	修繕費 (車線-km当たり)	残余価格 (車線-km当たり)	正味現在価格 (車線-km当たり)
1	\$ 140,400	2	\$ 80,800		\$ 231,900
2	\$ 140,400	3	\$ 14,300	(\$ 2,000)	\$ 162,400
3	\$ 96,900	2	\$ 80,800		\$ 188,400
4	\$ 96,900	3	\$ 14,300	(\$ 2,000)	\$ 118,900
5	\$ 73,300	4	\$ 14,300	(\$ 10,200)	\$ 100,300

イギリスの13ヶ国である。

(3) 質問内容

アンケート調査の質問は、以下のとおりである。

- RAPの使用に対する規定はあるか？
- RAPの使用に対する仕様書はあるか？
- 混合物中のRAPの最大混入率はいくつか？
- 混合物の種類は何か？
- PmB（ポリマー改質バインダ）混合物とは何か？
- 使用したリサイクル技術の種類は何か？ 常温、加熱、フォームド？
- 添加した新アスファルトの種類は何か？
- 再生用添加剤を用いたか？

(4) 調査結果

アンケート調査の結果は、規定と仕様書、リサイクル技術、混合物の種類と傾向に関する項目でまとめた。

① 規定と仕様書

表-16は、RAPの使用に関する規定と仕様書の有無に関する調査結果をまとめたものである。

オランダ以外の国では、RAPを使用する義務はない。しかし、ほとんどの道路行政機関は、RAPの使用を奨励している。

仕様書に関しては、ベルギーでは特定地区（フラン

ダース、ワロン、ブリュッセルにおける3地区）のみに仕様書がある。オランダでは、ヨーロッパの仕様書EN13108-8と国内の仕様書RAW2005の両方を使用している。スペインでは、道路行政機関の規定があり、イギリスでは、ハイウェイエージェンシーの条項902（加熱リサイクル用）と条項948（常温リサイクル用）がある。

② リサイクル技術

表-17は、リサイクル技術に関する調査結果をまとめたものである。

再生骨材は、主に加熱混合物で使われている。再生骨材使用率が概ね5～10%の範囲を超えると、国によっては性能試験が求められる。

大部分の合材工場は、製造設備の制約のため、再生骨材使用率が30%を超えないようにしている。しかし、より近代的な合材工場では、現在、再生骨材使用率70%を取り扱うことができる。一方、現位置処理技術のアスファルト乳剤混合物やフォームド混合物では、再生骨材使用率が100%まで可能である。

再生アスファルト混合物は、バージンアスファルト混合物と同様な仕様を満たさなければならない。ドラムドライヤ（2つの筒のドラムミキサ）のような加熱混合装置もさることながら、添加する新アスファルト

表-16 RAPの使用に関する規定と仕様書の有無

国名	国コード	RAPの使用に対する義務	仕様書	コメント
ベルギー	BEL	No	特定地域	フランダース (F): Standaardbestek250-SB250-2.1 ワロン (W): RW99 G22213 TRA13 (RAPの特性)
チェコ	CZE	No	Yes	運輸省の仕様書 TP109
フランス	FRA	No	Yes	EN 13108-8
ドイツ	DEU	No	No	推奨/ガイドライン
イタリア	ITA	No	No	新高速道路の作業を指示する ANAS エージェンシー 国家の道路ネットワークを管理する責任がある公共団体 EN 13108-8
オランダ	NLD	Yes	Yes	RAPの使用に関して行政機関から強力な後押しがある 2005年基準-混合物の各種類 (RAPの量, RAPの均質性, 技術の種類・・・) EN 13108-8
スウェーデン フィンランド ノルウェー	SWE FIN NOR	No	No	
デンマーク	DNK	No	No	
スペイン	ESP	No	Yes	道路行政機関の規定 PG4の条項20 (常温リサイクル) PG4の条項21 (加熱リサイクル) 6.1 ICと6.3 IC (修繕の区分)
スイス	CHE	No	Yes	EN 13108-8, SN 640431-xx
イギリス	GBR	No	Yes	高速作業 (SHW) [8] におけるハイウェイエージェンシー 条項902 (加熱) と 948 (常温)

表-17 リサイクル技術

国 名	加熱技術	路盤や基層における 最大RAP混入率	摩耗層における 最大RAP混入率	常温技術
ベルギー (F + W)	大部分	均質なRAPならば50%のアス ファルト量 不均質なRAPならば20%のア スファルト量	均質なRAPならば50%のアス ファルト量 不均質なRAPならば20%のア スファルト量	
チェコ		新アスファルトの針入度が30 から70ならば25から40%ま で 上記以上の針入度ならば60%	No	フォームドアスファルト 乳剤やセメント
フランス	大部分	15%試験なし ドラムドライヤーで30% ダブルドラムで50%	最大10%まで試験なし	乳剤
ドイツ	大部分	基層で20% 路盤で100%まで	20%	乳剤あるいはフォームド RAPを汚したタールを奨励
イタリア	大部分	必ず50%以下、一般的に30% 以下	特別な摩耗層（20%以下）以外 はNo	大部分は乳剤。しかしフォームドも 増加 高い割合でRAPが認められている
オランダ	大部分	路盤で50% 基層で50%	摩耗層のいくつかで50%	No
スウェーデン フィンランド ノルウェー	現在までに情報がない			
デンマーク		5から10%まで試験なし	5から10%まで試験なし	
スペイン	大部分	5から10%まで試験なし 15cm未満の層であれば10から 50%	5から10%まで試験なし	徐々に増加 瀝青とPmB乳剤（エマルジョン） 基層において100%RAPが認めら れている（RAPが90%以上の瀝青 材料で構成されている場合のみ）
スイス	大部分	下層路盤で70% 上層路盤で60% 基層で30%	2級道路の表層で30%	徐々に増加 フォームド
イギリス	通常RAP30% が限界	10%まで試験なし 試験を行えば50%まで許可	10%まで試験なし	粘着力の媒介物としてセメントや石 灰を用いたフォームド 路盤で100%まで認められている

の柔らかさによって、再生骨材の使用率は変化する。

ドイツでは、以下に示す奨励がある。

- グースアスファルト混合物からの舗装廃材は、特有の骨材粒度のため、グースアスファルト混合物にリサイクルする。
- 摩耗層からの舗装廃材は、摩耗層か中間層にリサイクルする。
- 中間層からの舗装廃材は、中間層か上層路盤にリサイクルする。
- 上層路盤からの舗装廃材は、上層路盤か下層路盤にリサイクルする。

北欧諸国のRAPの使用は、将来増加するであろう。フィンランドの道路協会は、良品質骨材の不足などから、将来、再生アスファルト混合物が表層の90%を占めるかもしれないと考えている。この良品質骨材の不足は、一つにはスウェーデン、ノルウェー、フィンラン

ド、アイスランドの冬期における広範囲にわたるスパイクタイヤの使用に由来し、重交通道路の舗装は、横断プロファイルが悪化するため、約5年しかもたない。

デンマークでは、スパイクタイヤがないことから状況が異なり、表層の寿命は通常12～17年である。回収アスファルトの針入度は、通常15～25（1/10mm）の範囲であるため、RAPの混入率が幾分か少なくなり、混合物に対して5～10%の範囲にとどまる。

③ 混合物の種類と傾向

表-18は、混合物とバインダの種類の実験結果をまとめたものである。

RAPは、通常、密粒度アスコンに用いる。しかしオランダなどでは、開粒系の混合物にも使用する。通常、SMAは除外されるが、ドイツではSMAへの適用も検討している。

新アスファルトは、通常のグレードのものが多くい。

表－18 混合物とバインダの種類

国 名	混合物の種類	加えるバインダー	再生用添加剤	追 記
ベルギー (F + W)	摩耗層用は密粒であり、SMAでもなく、排水性でもない	通常のグレード	ほとんど使用しない	再生アスファルト（旧アス+新アス）は新アスのスペックにあわせる タールで汚れたRAPの加熱混合物への使用禁止
チェコ	情報なし	通常のグレード PmB（RCタイプ）	時々使用	追記なし
フランス	全ての種類 PmBのRAPは問題ない	通常のグレード+硬質 アスファルト	ほとんど使用しない	EMEにおけるポーラスアスファルトのリサイクル
ドイツ	グースアスファルトSMAを始めた	通常のグレード PmB（RCタイプ）	ほとんど使用しない	摩耗層や基層においてRAPの割合を増加させたPmB RC タールで汚れたRAPの使用制限
イタリア	PmBを分離する機関によってPmBのRAPが使用されている	通常のグレード	ほとんど使用しない	追記なし
オランダ	SMAを除いて、ポーラスアスファルトを含めたあらゆる種類	通常のグレード	ほとんど使用しないー そのかわり軟質アスファルト	よく考えられた回復要因 タールで汚れたRAPの使用禁止
スウェーデン フィンランド ノルウェー	現在までに情報がない			
デンマーク	情報なし	通常のグレード	情報なし	新アスの劣化特性の評価
スペイン	ごく普通の歴青材を用いた混合物だけ 開粒度混合物を始めた	通常のグレード	たいてい使用	追記なし
スイス	アスコン用だけ	通常のグレード PmB（RCタイプ）	ほとんど使用しない	タールで汚れたRAPの使用制限
イギリス	大部分は基層における密粒	通常のグレード PmBは使用しない	瀝青材販売会社の義務	所有者の製品が利用できる

ドイツ、スイス、チェコでは、特にひびわれ抵抗性についての性能を発揮させるため、新アスファルトとして通常のアスファルトの代わりに、PmBを使用する傾向にある。PmBを使用するその他の目的としては、混合物の品質をより高めることにより、RAPの混入率を増加させることである。

再生用添加剤の使用は、非常に稀である。それは、軟質なアスファルトの使用と比較して、経済性の面からの明確な有効性の証明が不足しているからである。

またタールを含む古い舗装からの発生材は、PAH（多環式芳香族炭化水素類）で汚染されているため大きな問題を引き起こす。タールで汚染されたRAPは、オランダやベルギー、スイス、デンマーク、ドイツでは法律によって禁止されている。特にスイス、デンマーク、ドイツにとっては重要な事項である。スイスでは、他の国とは異なり、PAHの制限値は加熱混合物に関してではなく、バインダに関して定義されている。スイスでは、PAHの混入率は、舗装の施工前に決めなければならない、RAPを使用した施工後に対して5,000ppmを上回ってはいけない。

劣化したアスファルトの品質に関してドイツの推奨では、軟化点が70℃以上のアスファルトを使用することに留意を要する。これは禁止ではないが、注意して使用することとなっている。

フランスなどの数カ国は、EME（高弾性アスファルト）混合物に劣化したポーラスアスファルトの硬いバインダを利用している。

劣化特性について新アスファルトの品質に関するデンマークの推奨では、潜在的な促進劣化の指標として、加圧促進劣化（PAV）により劣化したバインダの粘度指数に準拠する（例えば、EN12596で決められたバージンアスファルトとPAVにより劣化したアスファルトの60℃での粘度比）。

(5) 結論

本調査から、以下の結論を得た。

○規定に関して、RAPの使用は一般に強制ではないが、高速道路機関からそのような要求が増加している。

○規定は一般に国家の仕様ではなく、むしろ推奨やガイドラインあるいは地域仕様である。いくつか

の国では、アスファルト混合物にRAPを使用するという条件をつけるが、義務ではない。

- 主な技術は加熱によるリサイクルであるが、乳剤やアスファルトのどちらかによる常温のリサイクルは、各国に普及し発展している。
- 加熱リサイクルの場合、RAPの混入率は常に50%以下であり、ほとんどが30%以下である。常温リサイクルの場合、層によって決まるがRAPの混入率は100%まで可能である。RAPの混入率が10%以下であれば、混合物の試験結果は必要ない。
- 主な用途は、路盤や基層であるが、SMAの摩耗層や密粒度アスコンに新たに利用されている。
- 常温技術は、RAPの使用量増加に関して多くの可能性を有している。
- 再生用添加剤は、あまり利用されていない。
- HSE（健康、安全および環境）に関して、供用履歴の長い古い舗装を使う際のリスクを言及することを忘れてはいけない。この問題は、古い舗装にあるコールタールから特にPAHが生成するため、RAPの使用方法についてよく考えなければならない。

RAPを使うことの経済面は、特に本論文で述べられていないが、オランダからの研究では、RAPの価格が需要と供給により変動したとしても、概ねアスファルトの価格において10%の低減をもたらす。

4. おわりに

近年、環境問題への世界的関心から舗装においても数多くの環境に関する研究がなされており、その内容も多岐にわたる。本報告では、他産業廃棄物の利用、アスファルト舗装を取り巻く再生技術の2テーマについて紹介した。これらの課題については今後我が国においてもさらなる取り組みが必要な分野である。

— 参考文献 —

参考文献はすべて International ISAP Symposium on Asphalt Pavements and Environment 論文集のもの。

- 1) Ould Henia, M.; Dumont, A.-G. : Effect of base bitumen composition on asphalt rubber binder properties, p21
- 2) Fernandes jr., J. L.; Ildefonso, J. S.; Oda, S. : Analysis of technical feasibility of the use of the copolymer ethylene vinyl acetate (EVA) distracted by the Brazilian footwear industry in asphalt mixtures, p31
- 3) Hassan, M.M.; Khalid, H. : Effect of incinerator bottom ash aggregates on binders' permanent deformation using a dynamic shear rheometer, P43
- 4) Bouwmeester, M.; Judd, D.; Bredenhann, S.J.; Jones, N : The use of steel slag aggregate in hot-mix asphalt in South Africa, p52
- 5) Strickland, D.; Colange, J.; Martin, M.; Deme, I. : Performance properties of paving mixtures made with modified sulphur pellets, p64
- 6) Solaimanian, M.; Yildirim, Y. : Saving the landfill: long term performance of toner modified asphalt pavements, p76
- 7) Bueche, N.; Vanelstraete, A.; Thøgersen, F.; Gáspár, L.; Kálmán, B. : High stiffness underlayers with high percentage of reuse as developed in the NR2C-project, p107
- 8) Uhlmeier, J.; Pierce, L. M.; Kinne, C.T.; Anderson, K.W.; Muench, St.; Mahoney, J. P.; Valentine, C. : Cold in-place recycling in Washington State, p119
- 9) Planche, J.-P. : European survey on the use of RAP, p140

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
15 年 度	245	5,493	(104.8)	0	5,738	3,889	(87.0)	3,229	(96.6)	283	262	4,434
16 年 度	262	5,671	(103.3)	1	5,934	3,693	(64.9)	3,014	(92.3)	299	250	3,985
17 年 度	250	5,373	(94.7)	0	5,373	3,342	(90.5)	2,478	(82.2)	411	231	3,607
18 年 度	231	5,435	(101.2)	26	5,691	3,373	(100.9)	2,401	(96.9)	281	242	3,897
19 年 度	242	4,974	(91.5)	77	5,051	3,243	(96.1)	2,323	(96.8)	171	224	3,338
20 年 度	224	4,694	(94.4)	94	5,012	2,735	(84.3)	1,882	(81.0)	181	247	2,982
21. 4 月	247	324	(85.6)	4	574	192	(96.2)	152	(127.3)	25	264	456
5 月	264	313	(90.1)	7	584	170	(86.5)	132	(115.3)	32	263	432
6 月	263	312	(89.5)	7	581	227	(98.9)	185	(122.4)	26	197	424
4～6 月	247	948	(88.3)	18	1,213	589	(94.2)	469	(121.8)	82	197	786
7 月	197	387	(92.8)	15	599	194	(100.2)	154	(129.9)	10	207	402
8 月	207	399	(99.0)	5	611	210	(105.0)	167	(135.3)	4	225	435
9 月	225	416	(102.3)	7	648	262	(94.3)	220	(113.1)	4	195	457
7～9 月	197	1,202	(98.0)	28	1,426	666	(99.2)	541	(123.9)	19	195	861
10 月	195	349	(95.7)	11	555	237	(114.9)	175	(124.6)	0	200	437
11 月	200	334	(85.7)	4	537	243	(106.1)	193	(118.8)	0	194	437
12 月	194	426	(107.0)	0	620	271	(125.4)	233	(144.0)	0	177	448
10～12 月	195	1,109	(96.2)	14	1,318	751	(115.3)	601	(129.3)	0	177	928
22. 1 月	177	425	(104.3)	9	611	218	(92.4)	177	(108.1)	0	211	429
2 月	211	454	(112.4)	14	679	268	(107.1)	220	(115.3)	0	237	505
3 月	237	471	(109.5)	24	733	369	(122.9)	295	(121.7)	0	227	596
1～3 月	177	1,350	(108.7)	47	1,573	855	(108.7)	691	(115.9)	0	227	1,082
21 年 度	247	4,608	(98.2)	106	5,691	2,861	(104.6)	2,302	(122.3)	101	227	3,088
22. 4 月	227	331	(102.1)	11	568	171	(89.1)	112	(73.6)	14	273	445
5 月	273	337	(107.9)	5	616	176	(103.5)	112	(85.3)	15	263	438
6 月	263	316	(101.4)	0	579	196	(86.3)	144	(77.8)	11	233	429
4～6 月	227	984	(103.8)	16	1,227	543	(92.2)	368	(78.5)	40	233	776
7 月	233	349	(90.2)	0	582	194	(99.7)	122	(79.5)	0	213	407
8 月	213	379	(95.1)	4	595	207	(98.7)	132	(78.9)	0	218	425
9 月	218	380	(91.3)	10	609	204	(77.9)	136	(61.9)	0	257	461
7～9 月	233	1,108	(92.2)	14	1,354	605	(90.8)	390	(72.2)	0	257	862

出典：生産、輸入、販売(内需)、輸出、期末在庫について、石油連盟 発行(石油資料月報)より引用

内需(建設用)について、国土交通省総合政策局建設市場整備課 主要建設資材月別需要予測より引用

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22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 (4434) 5285
JX日鉱日石エネルギー株式会社	(100-8162) 千代田区大手町2-6-3	03 (6275) 5174
昭和シェル石油株式会社	(135-8074) 港区台場2-3-2	03 (5531) 5765

[ディーラー]

● 東北

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

● 関東

株式会社アスカ	(106-0032) 港区六本木7-3-3	03 (5772) 1505
伊藤忠エネクス株式会社	(153-8655) 目黒区目黒1-24-12	03 (5436) 8211
エムシー・エネルギー株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町1-3-3	03 (5251) 0961
コスモ石油販売株式会社	(140-0002) 品川区東品川2-2-20	03 (6710) 1640
コスモアスファルトカンパニー		
リーフエナジー株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-1-8	03 (5474) 8511
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
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巢鴨4-22-23	03 (3915) 7151
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

● 近畿・中国

三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (6394) 1551
昭和瀝青工業株式会社	(670-0935) 姫路市北条口4-26	0792 (26) 2611
千代田瀝青株式会社	(530-0044) 大阪市北区東天満2-10-17	06 (6358) 5531
富士商株式会社	(756-8501) 山陽小野田市稲荷町10-23	0836 (81) 1111
株式会社松宮物産	(522-0021) 彦根市幸町32	0749 (23) 1608
横田瀝青興業株式会社	(672-8057) 姫路市飾磨区細江995	0792 (33) 0555

一般社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

● 四国・九州

今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111
三協商事株式会社	(770-0941) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131
西岡商事株式会社	(764-0002) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1001
平和石油株式会社高松支店	(760-0065) 高松市朝日町4-17-1	087 (811) 6231

編集顧問	編集委員
多田宏行	委員長：中村俊行 安崎裕 鈴木秀夫 根本信行 姫野賢治 神谷恵三 住谷義治 野村健一郎 峰岸順一 下田哲也 田井文夫 半野久光 吉村啓之

アスファルト 第226号

平成22年12月発行

一般社団法人 日本アスファルト協会

☎ 105-8162 東京都千代田区大手町2-6-3

JX 日鉱日石エネルギー株式会社

エネルギー・ソリューション1部内

TEL 03-6275-5174

問い合わせ先

・コスモ石油株式会社 広域販売部

加藤 和美

TEL 03-4434-5285

・昭和シェル石油株式会社 技術商品部

瀬尾 彰

TEL 03-5531-5765

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.53 No.226 DECEMBER 2010

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/>