ISSN 0912－0793

アスファルト

第56巻　第229号　平成25年12月発行

229

特集・最近のアスファルト事情

［製造・流通］　石油アスファルト需給動向と将来展望について
JX日鉱日石エネルギー株式会社　1
アスファルト乳剤の製造と用途と需要動向
一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会　6
舗装技術におけるポリマー改質アスファルトの役割
一般社団法人 日本改質アスファルト協会　12
［維持・修繕］　表面処理工法による空港アスファルト舗装の自然劣化抑制効果の検討
河村直哉・川島　明・横江　哲・前川亮太　17
アスファルト表面遮水壁の維持修繕について　土居賢彦　22
IRIと道路管理画像を用いた路面管理システム
橘高　武・奥谷敏雄・大丸浩志　29
［技術関連］　アスファルトの粘弾性的性質を考慮した舗装の設計
桃谷尚嗣・関根悦夫　34
舗装材料の再生利用拡大の現状と高針入度アスファルトの活用にむけて
佐々木厳・峰岸順一・荒尾慶文　43
［その他］　MSDSからSDSへ
～アスファルトの安全データシート改定と安全性に関する表示内容について～
瀬尾　彰　49

＜アスファルト舗装技術研究グループ・第61回報告＞　57
付着特性・接着特性に関するアスファルトの耐久性評価試験方法について
～第5回E&E国際会議から～　58
若手技術者によるアスファルト舗装に関する質問コーナー　68
＜連載＞アスファルト・舗装研究 vol. 2
昭和シェル石油株式会社中央研究所 研究第一グループ（アスファルト）　80
＜統計資料＞石油アスファルト需給統計資料　84

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

土木学会認定CPDプログラム

第92回　アスファルトゼミナール開催のご案内

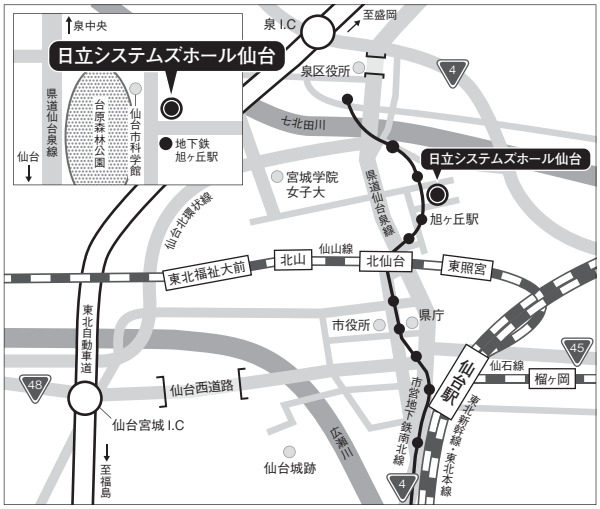
一般社団法人　日本アスファルト協会

拝啓　時下ますますご清栄の段、お慶び申し上げます。
当協会主催の「アスファルトゼミナール」を下記要領にて開催致します。
皆様、お誘い合わせの上ご参加くださいます様お願い申し上げます。

敬　具

記

1．主　　催	一般社団法人 日本アスファルト協会
2．協　　賛	一般社団法人 日本道路建設業協会、一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会 一般社団法人 日本アスファルト合材協会、一般社団法人 日本改質アスファルト協会
3．後　　援	国土交通省
4．開催月日	平成26年2月13日（木）～2月14日（金）
5．開催場所	日立システムズホール仙台（旧仙台市青年文化センター） 〒981－0904　仙台市青葉区旭ヶ丘3－27－5　☎022－276－2110
6．内　　容	裏面「プログラム」をご覧下さい。
7．申込方法	平成26年2月7日（金）までに、下記ホームページの申し込みフォームよりお申し込み下さい。（http://www.askyo.jp/zemi/index.html） 折返し（3日程度）E-mailにて参加受講券をお送りいたします。
8．申込問合せ	キュービシステム株式会社　アスゼミ担当　村井まで ☎03－5256－0051　　E-mail: asphalt@qbs.co.jp
9．内容問合せ	昭和シェル石油株式会社 技術商品部アスファルト課　平賀・関根まで　☎03－5531－5765
10．参加費	無料
11．参加人数	300名（締切日以前でも定員になり次第締め切らせていただきます。）
12．CPD認定	公益社団法人土木学会の継続教育（CPD）プログラムとして認定されました。 認定番号　JSCE13-0738　7.0単位 ※単位取得には2日間の参加が必須となりますのでご注意ください。
13．その他	当日の参加受付はできませんので、必ず上記方法でお申し込み下さい。



開催日
平成26年2月13日（木）～2月14日（金）
開催場所
日立システムズホール仙台（旧仙台市青年文化センター）
〒981－0904　仙台市青葉区旭ヶ丘3－27－5
☎022－276－2110

■会場案内図

- 地下鉄利用
  仙台市営地下鉄南北線「旭ヶ丘駅」下車徒歩約5分
  （地下鉄仙台駅より6駅です。）
- 東北自動車道利用
  東北自動車道「仙台宮城I.C」を降り、仙台北環状線経由約20分
  または東北自動車道「泉I.C」を降り、国道4号線・県道仙台泉線
  経由約20分

プログラム

－復興がすすむ東北地方の舗装－

第１日目 平成26年２月13日（木） 13：00～17：40　　（敬称略）

１．挨拶 13：00 ～ 13：05
一般社団法人日本アスファルト協会
ゼミナール委員長　森久保　道　生

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．基調講演 13：20 ～ 14：00
岩手県立大学　総合政策学部　教授　元　田　良　孝

４．性能規定発注の現状と課題 14：05 ～ 14：55
国土交通省　東北地方整備局　東北技術事務所　所長　赤　川　正　一

５．寒冷地における舗装損傷と対策技術 15：00 ～ 15：50
独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所　寒地保全技術研究グループ長　岳　本　秀　人

６．岩手県の舗装マネージメントについて 15：55 ～ 16：45
講演依頼中

７．瓦礫処理の現状と今後について 16：50 ～ 17：40
東北大学大学院　工学研究科　土木工学専攻　教授　久　田　　真

第２日目 平成26年２月14日（金） 9：30～12：40

８．平成26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　室長　吉　岡　幹　夫

９．大震災を経験して見えてきたアスファルト合材工場における震災への備え 10：30 ～ 11：10
一般社団法人日本アスファルト合材協会　三　塚　利　彦

10．アスファルト乳剤工法の施工事例 11：20 ～ 12：00
一般社団法人日本アスファルト乳剤協会　技術委員長　黒　川　卓　郎

11．復興事業におけるポリマー改質アスファルトの果たす役割 12：00 ～ 12：40
一般社団法人日本改質アスファルト協会　技術委員　苦　木　健　吾

※講師は都合により変更になる場合があります

石油アスファルト需給動向と将来展望について

(The Latest Trend and Future View)

JX日鉱日石エネルギー㈱　エネルギー・ソリューション本部　ES総括部　総括グループ

燃料油需要の減少によって変革を迫られるわが国の石油業界において，アスファルトがどのような位置付けにあるのか，最近の需給動向を，今後の課題と共に説明する。

1．石油産業を取り巻く環境の変化

1.1　燃料油需要の減退

経済産業省資源・エネルギー統計によると，2012年度の国内燃料油需要は，１億9,752万KL（前年比101％）と若干ではあるが前年を上回った。これは，東日本大震災以降停止した原子力発電所を補うためのC重油の出荷が伸びたためであり，ガソリンを中心とした燃料油の需要は前年比減少している。

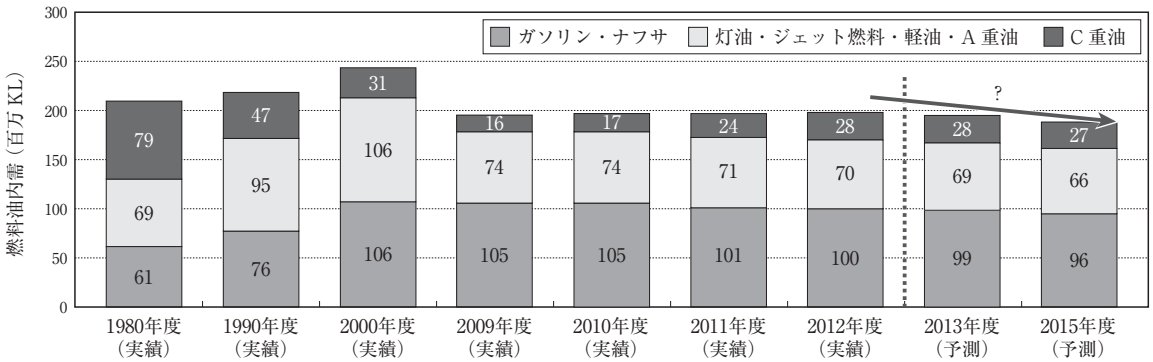
油種別の需要動向は以下のとおりである。ガソリン需要は，原油価格高騰に伴う価格上昇による買い控え，自動車離れや燃費の良いハイブリット車や小型車の普及などの需要構造変化などにより，前年比マイナスとなった。今後も毎年２％弱程度減少していくものと考えられる。また，軽油需要も物流合理化の進展などから，1996年度をピークに減少傾向が続いている。灯油需要は，電気・ガス機器の普及や，省エネ住宅の普及などにより，減少傾向が顕著である。重油需要は，原子力発電所の停止を受け，電力用C重油の需要が一時的に盛り上がりを見せているが，天然ガスなどへの燃料転換は顕著であり，需要の減少傾向は継続するものと考えられる。なお燃料油の総需要は，2000年度をピークに減少傾向に転じている（**図－１**参照）。

1.2　原油価格の動向

国際市場での指標原油の１つであるDB（ドバイ）原油は，2008年７月の史上最高値（１バレル141ドル）の後，世界的な金融危機による景気後退の影響を受けて僅か半年で40ドル台にまで下落するなど，原油価格の乱高下は激しさを増している。

南欧州の金融不安，シリア・エジプトに代表される政情不安定な中東・アフリカ諸国の地政学的リスク，原油先物市場へ流出入を繰り返す投機資金の動向など数多くの要因により，原油価格はその後再び上昇しており，足下では110ドルを中心とした価格水準（2013年９月現在）となっている。今後の原油価格の動向も，上記要因の先行きは今後も非常に予測困難なものであり，非常に不透明である。

また2012年末からの急激な円安により，日本到着ベースでも原油価格は上昇している。



図－１　燃料油内需の推移と予測

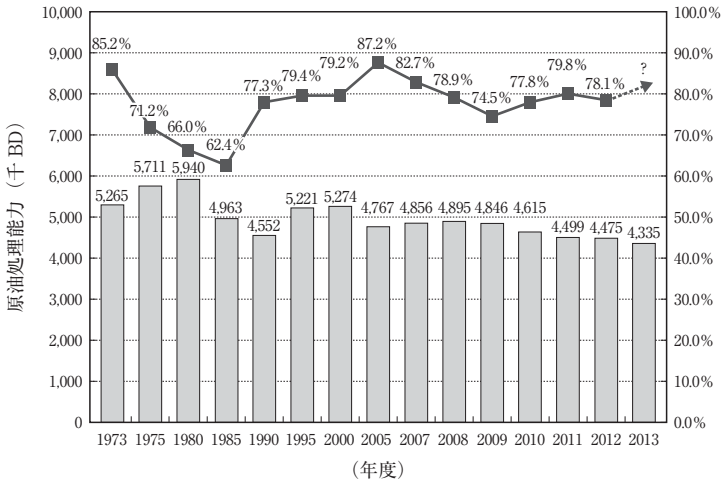
出所：経済産業省のデータを元に当社作成

1. 3　能力削減を迫られる石油業界

石油連盟の統計資料によると，日本国内の原油処理設備能力は，2000年度には527万BD（Barrels per Day）であったが，2013年８月末現在，434万BDまで減少している（**図－２**参照）。

これは，前述のとおり，国内の燃料油需要が減退していることに伴い，石油元売各社が製油所の閉鎖や原油処理設備の一部休止など，規模の適正化に取り組んでいるためである。

また，原油処理設備能力削減の背景には，2009年８月に施行された「エネルギー供給構造高度化法（以下，高度化法と記載）」による影響が大きい。



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

高度化法は，エネルギーの効率的な利用を目的として施行されたもので，経済産業省は石油精製業者に対して「重質油分解装置の装備率（＝「重質油分解装置の能力（BD）」÷「常圧蒸留装置の能力（BD）」）（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。

海外での装備率が欧米で20％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％程度であるのに対して，日本の装備率は10％程度（法律施行時）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％程度まで引き上げることを目標に掲げている。

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，製油所閉鎖・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。

構造的に燃料油需要が減退している中，石油元売各社は装備率を高めるために数百億円から数千億円規模の投資を伴う重質油分解設備の増強（分子を増やす）を選択するとは考えにくく，常圧蒸留装置（トッパー）の処理能力削減（分母を減らす）で対応していくことが想定される。

なお，JXグループは2014年度末までに室蘭製油所（180千BD）のトッパー廃止を中心に580千BDの削減，出光興産㈱は2014年度末までに徳山製油所（120千BD）のトッパー廃止，昭和シェル石油㈱はグループ会社の東亜石油が保有する京浜製油所扇町工場（120千BD）の閉鎖，コスモ石油㈱は2013年７月に坂出製油所（140千BD）のトッパー廃止，また東燃ゼネラル石油㈱は川崎製油所および和歌山製油所で合わせて105千BDの削減と重質油分解装置の増強計画を高度化法への対応として発表している。

２．道路舗装用アスファルトの需要

道路舗装用ストレートアスファルト（以下，単にストアスと記載）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。

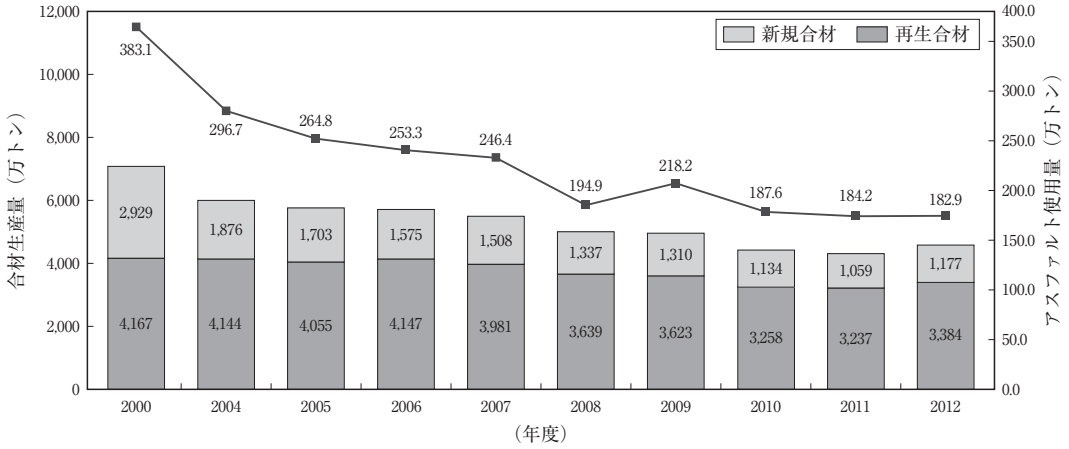
2000年度に7,096万トンあった合材製造量は，道路整備や公共事業の見直しなどにより徐々に減少し，2012年度には4,561万トン（2000年度比64％）までになっている。

一方，アスファルトの使用量は，2000年度の383万トンに対して，2012年度は183万トンとほぼ半減しており，合材よりも減少幅が大きい。これは合材の製造において，再生合材の製造比率が増加していることが主要因である。合材全体に占める再生合材の割合は，2000年度は58.7％であったが，2012年度は74.2％まで上昇している（**図－３**参照）。

また，毎年の傾向として，アスファルトの需要は年度末の３月がピークとなっており，その規模は月間単純平均の1.6～1.7倍である（**図－４**参照）。

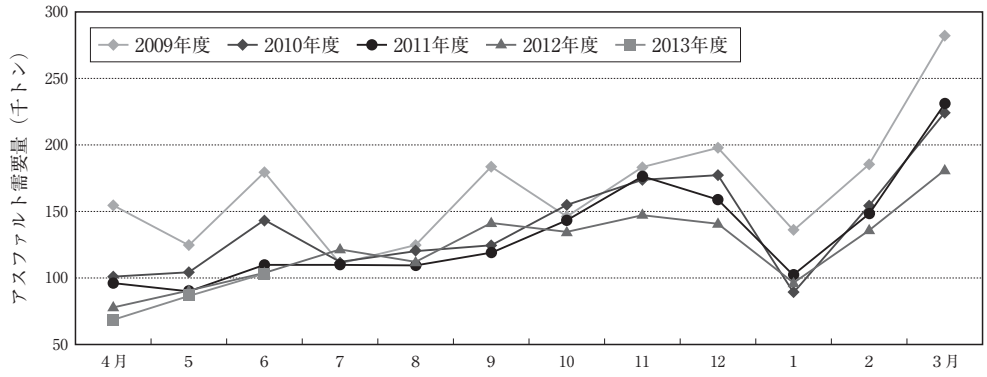
2013年度足元までの特徴は，震災エリアの復興需要については一巡したが，2012年度に需要が落ち込んでいた震災エリア以外の需要が2012年度対比で増大している。

ただし，足元９月現在で聞こえてくる話では道路予



図－３　合材およびアスファルト需要推移

出所：石油連盟＆財務省，日本アスファルト合材協会のデータを元に当社作成



図－４　アスファルト月別需要量

出所：石油連盟のデータを元に当社作成

算の執行が遅れており，本格的な需要は下期以降に出てくるのではないかと考えている。

一方で，アスファルト合材に必要な砂利やそれを運搬するダンプ車，道路工事の人員が慢性的に不足しているという話も聞こえてきており，今後，道路予算の執行がなされても，需要がついてこないのではないかという可能性も考えられる。

中長期的には，道路舗装はその殆どが公共事業であり，公共事業は国の政策により左右されるため，具体的な期間・規模などを論じられる立場にはないが，報道されている道路計画は長期間の工事を前提としているものが多いように見受けられることから，これに伴うアスファルト需要も突発的にではなく長期間にわたって緩やかに発生するものと想定している。また，2020年に開催が決定した東京五輪に伴う道路舗装需要が今後発生していくものと思われる。

３．アスファルトの供給体制の動向

3.1　生産

本項ではアスファルトの国内向け供給は今後も全く問題ないことを需要サイドの皆様にお伝え申し上げたい。

まず，現状並みの需要規模であれば，石油元売各社は需要見合いでの生産が可能であるということをお伝えいたしたい。

石油製品は連産品（原油を精製するとガソリン，灯油，軽油，重油，アスファルトなどの各製品が同時に生産される仕組みのこと。各製品の沸点の違いを利用して原油を蒸留する。）であるので，燃料油の需要減退に伴い原油処理量を減らせば，アスファルト生産も自ずと減少することになる。この点がアスファルトの供給を不安視する論拠の１つとなっているが，アスファ

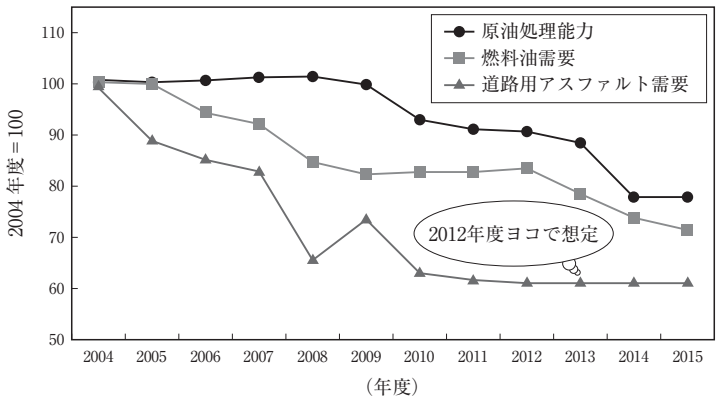
ルトの需要が増大した場合，石油元売各社は原油処理量の増加もしくは処理原油の重質化という２つの方法にて増産対応を取ることが可能である。

ただし，１つ目の原油処理量の増加を実行すると，他の石油製品も同時に増産されてしまうため，他の石油製品の需給バランスを勘案した上で実行しなければならない。しかし，石油元売各社はアスファルトを目的生産物として位置付けており，増産の優先順位は高いということをご認識頂きたい。また，原油は大別して，ガソリンや灯油などを多く生産できる軽質原油と重油やアスファルトなどを多く生産できる重質原油がある。この重質原油を多く処理することによって，アスファルトの増産を実行するというのが２つ目の方法である。例えば，日本の原油処理量の１％を重質原油に変更することで，アスファルトは年間約40万トンの増産が可能になるという試算がある。この数値は2012年度の輸入数量である34万トンを上回るものであり，石油元売各社が十分な供給弾力性を有していることを示している。ただし，購入した原油は産油国から日本へ輸送され，精製処理を経て製品として国内に流通するまでには，およそ３ヶ月かかる。従って，需要サイドの皆様から需要の見通しを前もってご連絡頂くことが増産対応には必要不可欠であり，今後ともご理解，ご協力を賜るようお願い申し上げたい。

また今後，高度化法対応で原油処理設備能力の削減が進んでいくことに対して，供給を不安視する声もある。しかし，高度化法対応以後も次の２点から，供給に問題ないことを需要サイドの皆様にご認識頂きたい。１つ目は，アスファルトの需要減退スピードに対して，原油処理能力の削減スピードは緩やかであるという点である。つまり，高度化法対応以後の石油元売各社の増産余力は多少低下するものの，2012年度並の需要であれば，今後も石油元売各社は十分に生産可能な能力を有していることが，この点からも分かる（**図－５**参照）。２つ目は，前述と同じ方法ではあるが，処理原油の重質化による対応が挙げられる。ガソリンがピーク需要となった2004年度と同じ得率（＝各製品が原油から取得される割合）であれば，高度化法対応後の石油元売各社の生産可能数量は計212万トンに達する（**図－６**参照）。この数値は，直近過去３年のアスファルト需要量である180万トンを超えており，高度化法対応以後も，石油元売各社の供給能力は十分にあることを示している。

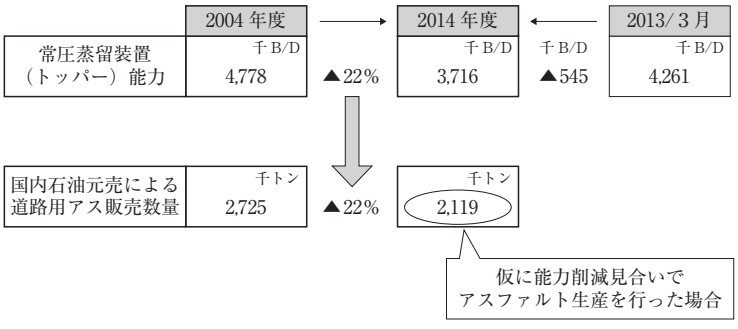
3.2　輸入

足元商社によるタンク新設および輸入船の新規建造が実施され，総需要に対する輸入品の構成比が増大している（**表－１**参照）。ただし，輸入品と石油元売各社の生産量を月別の需要で分解すると，需要変動の大部分は生産品が吸収していることが分かる（**図－７**参照）。つまり，国内需要の増減に対応する役割を果たしているのは生産品であることが分かる。今後の政府の政策動向を見るに，アスファルト需要が盛り上がることが期待されているが，その中で生産品が果たしていく役割は非常に大きいと考える。



図－５　原油処理能力と道路用アスファルト需要の関係

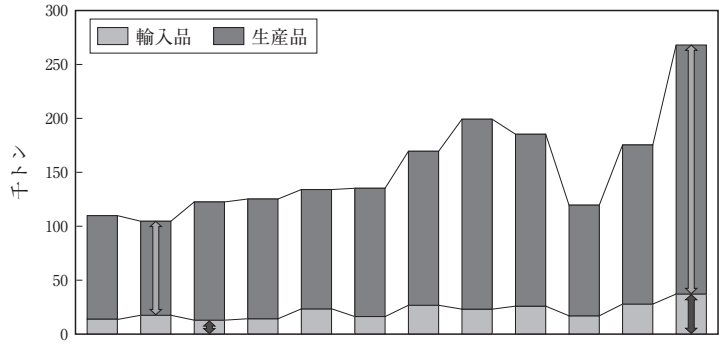
出所：石油連盟＆財務省のデータを元に当社作成



図－６　高度化法施行後のアスファルト供給可能量

表－１　供給方法別道路用アスファルト需要推移

（千トン）	1990年度	1995年度	2000年度	2004年度	2005年度	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
元売販売	4,416	4,011	3,613	2,725	2,462	2,336	2,218	1,738	2,004	1,672	1,588	1,485
（構成比）	（100%）	（100%）	（94%）	（92%）	（93%）	（92%）	（90%）	（89%）	（92%）	（89%）	（86%）	（81%）
商社輸入	20	11	218	242	186	197	246	211	178	204	254	344
（構成比）	（０%）	（０%）	（６%）	（８%）	（７%）	（８%）	（10%）	（11%）	（８%）	（11%）	（14%）	（19%）
合　計 （構成比）	4,436 （100%）	4,022 （100%）	3,831 （100%）	2,967 （100%）	2,648 （100%）	2,533 （100%）	2,464 （100%）	1,949 （100%）	2,182 （100%）	1,876 （100%）	1,842 （100%）	1,829 （100%）



（千トン）	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
生産品	96	87	109	111	110	118	142	176	159	102	147	231
輸入品	14	18	13	14	23	16	27	23	26	17	28	37
合　計	110	104	122	125	133	134	169	198	184	119	175	268

図－７　2011年度道路用アスファルトの月別需要

出所：石油連盟のデータを元に当社作成

3.3　流通

アスファルト需要が増大した場合の流通面での懸念材料として，製油所や油槽所から合材工場にアスファルトを配送するタンクローリーの台数減少による輸送制約について述べておきたい。

原油価格高騰に伴う軽油価格の上昇や排ガス規制強化による車両維持コストアップなどにより，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台数が減少，需要ピーク時には各合材工場への配送に支障を来たす事態も散見されている。

ローリー台数が今後も減少していくと，突発的な需要増に対応出来なくなるケースが発生する恐れがある。そのためには，輸送会社との間で長期的なローリー契約を締結するなどいった対策を講じていく必要があると考える。

また，国内を航行可能なアスファルト輸送船についても述べておきたい。国内を航行可能なアスファルト輸送船の隻数には限りがあるため，需要ピーク時に船舶需給は逼迫することが懸念される。しかし，需要ピーク前に油槽所などのタンク在庫を可能な限り上積みしておくことや効率的な配船を行うなどの手段を講じることにより，船舶需給の緩和を目指していきたいと考えている。そのためにも需要サイドの皆様には可能な限りアスファルト発注の平準化をお願いしたいと考えている。

４．今後の課題

最後に，確実かつ安定的な供給体制を構築するため，我々サプライヤーはこれまで需要サイドの皆様に対して，①需要見通しの前広なご連絡など連携体制の強化，②可能な限りの需要平準化につき，ご理解，ご協力を賜るよう，お願いしてきた。

この２点がクリアできれば，高度化法後の原油処理設備能力であっても，現状の年間200万トン程度のアスファルト需要は十分に安定供給可能であると前述のとおり考えている。

震災以後に構築した石油元売会社と需要サイドの皆様との連携体制を通じて，情報の共有化を進め，今後もこうした取り組みを継続・発展させることにより，需要サイドの皆様のニーズに応えていきたいと考えている。

これまでも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原料供給という側面から支えてきたものと考えている。

今後もその一端を担い続け，アスファルト供給という側面から最大限の支援を行うべく，一層の取り組みを行っていきたい。

アスファルト乳剤の製造と用途と需要動向

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

一般社団法人　日本アスファルト乳剤協会

我が国のアスファルト乳剤の製造は，大正末期の1926年頃に東京市が舗装面積の拡大を図るため，欧米のアスファルト乳剤を参考にその製造技術を研究し，足立区小台ほか数か所に乳剤工場を設置したことから始まっている。これまでの約90年で，アスファルト乳剤は，種類や用途の開発や，製造設備の整備などに取り組んできた。

本稿では，アスファルト乳剤の製造や種類と用途・需要動向について紹介する。

1．はじめに

アスファルト乳剤は，アスファルト・乳化液（界面活性剤が入った水）などから構成され，**写真－1**に示すようにアスファルトの微細な粒子（1～3μm）が水中で分散している液体である。

アスファルト乳剤は，我が国では約90年の歴史を持つ材料であり，簡易舗装材料として第二次世界大戦後から高度経済成長期にかけて急速に需要を伸ばしてきた。しかしアスファルト乳剤の出荷量ピークである1970年以降は，加熱アスファルト混合物が比較的容易に入手できるようになったことや，景気動向などにより需要の低下が続いている。

しかし技術関係者の絶えざる努力と研究により，アスファルト乳剤および乳剤工法の高機能化や用途開発が進められてきた。

本文では，アスファルト乳剤の製造や設備について紹介するとともに，乳剤の種類や用途について記載している。またアスファルト乳剤の需要について国内外の動向を紹介するものである。

2．アスファルト乳剤の製造

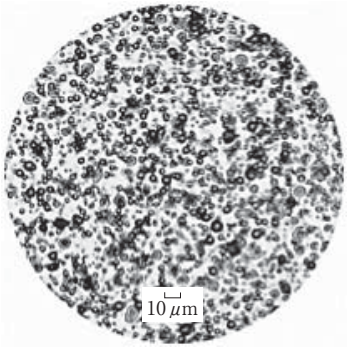
我が国におけるアスファルト乳剤製造の歴史は，1926年に東京市で，舗装面積の拡大を進めるうえで，加熱舗装では費用がかかり過ぎることから，乳剤の研究が開始されたことに始まる。1927年には乳剤の製造法が完成し，1928年にはアスファルト乳剤工場を足立区小台ほか数か所に設置して，我が国初のアスファルト乳剤の製造が開始された。約90年が経過した今日では，全国に乳剤工場が設置されている。

2.1　アスファルト乳剤の製造設備

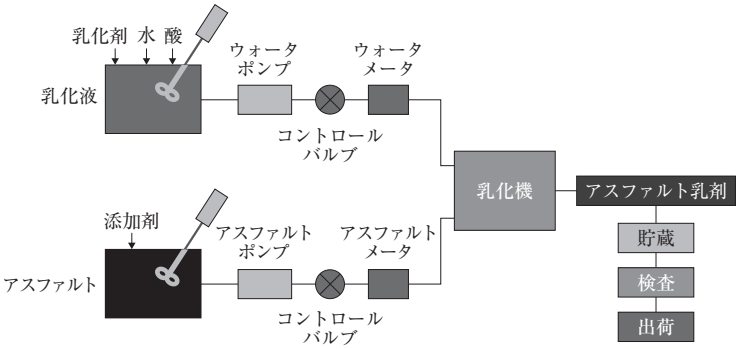
アスファルト乳剤の主な製造設備にはアスファルト貯蔵タンク，乳化設備，乳剤貯蔵タンク等がある。

大まかな製造工程を**図－1**に示す。

図中の乳化機が，水（乳化液）の中にアスファルトを微粒子にして分散させる装置である。ここでは乳化機について紹介する。



写真－1　乳剤の顕微鏡写真[1)]



図－1　アスファルト乳剤の製造工程[1)]

(1)　ホモジナイザ（ハレル型ホモジナイザ）

アスファルトおよび乳化液は高速回転する円盤状のロータの中央に流し込まれ，遠心力でロータとステータとの間にたたきつけられる。さらにロータとステータの微小な間隙を通過する際，大きなせん断力が加わることで，アスファルトを微細な粒子にして乳化する。ホモジナイザは扱い易く多くの乳剤工場で採用された乳化機である。

図－２にホモジナイザの機構を，**写真－２**に外観をそれぞれ示す。

(2)　コロイドミル

コロイドミルは，乳化機全体の機構としてはホモジナイザと同じであるが，ロータおよびステータに細かい溝がついている。アスファルトおよび乳化液は高速回転するロータの溝を通過し，ロータとステータ間で強力なせん断力を与えられることによりアスファルトが微粒子となり乳化する。

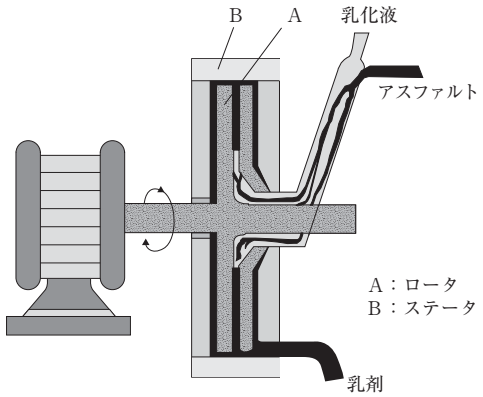
コロイドミルはホモジナイザより，アスファルト粒子が均一で微粒子化されるため，乳化効率が良く安定した乳剤の製造が可能となる。我が国でも近年採用されるケースが増えている。

図－３にコロイドミルの機構を，**写真－３**に外観をそれぞれ示す。

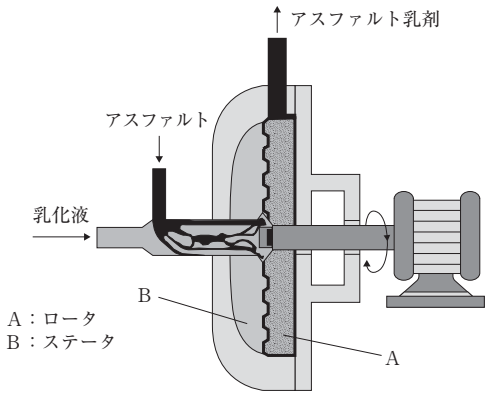
2.2　アスファルト乳剤工場

アスファルト乳剤工場は平成25年９月時点で全国に88か所が設置されている。乳剤工場の都道府県別配置状況を**表－１**および**図－４**に示す。

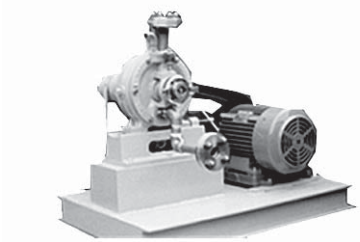
アスファルト乳剤の製造では，工場の拠点化・集約



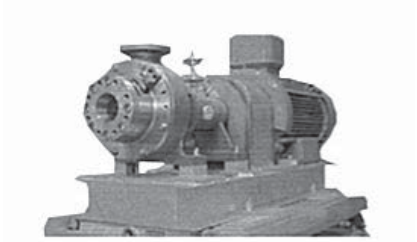
図－２　ハレル型ホモジナイザ[1)]



図－３　コロイドミルの機構[1)]



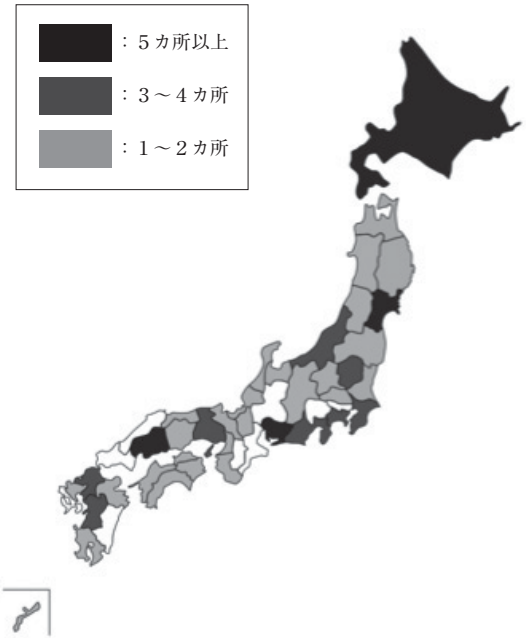
写真－２　ホモジナイザの外観[1)]



写真－３　コロイドミルの外観[1)]

表－１　アスファルト乳剤工場の都道府県別数

都道府県名	乳剤工場	都道府県名	乳剤工場	都道府県名	乳剤工場	都道府県名	乳剤工場	都道府県名	乳剤工場	都道府県名	乳剤工場	都道府県名	乳剤工場	都道府県名	乳剤工場
北海道	7	福島	2	東京	0	福井	1	滋賀	1	鳥取	1	香川	1	熊本	3
青森	2	茨城	2	神奈川	4	長野	2	京都	1	島根	0	愛媛	2	大分	2
岩手	2	栃木	3	山梨	0	岐阜	0	大阪	2	岡山	2	高知	1	宮崎	0
宮城	5	群馬	2	新潟	4	静岡	4	兵庫	3	広島	5	福岡	3	鹿児島	2
秋田	1	埼玉	2	富山	1	愛知	5	奈良	0	山口	0	佐賀	1	沖縄	1
山形	1	千葉	4	石川	1	三重	0	和歌山	1	徳島	1	長崎	0	合計	88



図－４　アスファルト乳剤工場の配置状況

化が進められており，拠点工場で製造した乳剤は，全国各地に設置した貯蔵施設（depot）を通じて，全国どこでも供給できる体制を取っている。

３．アスファルト乳剤の種類と用途

アスファルト乳剤の種類は，工法や用途に応じた乳剤の開発などで多種多様化している。ここでは，主な種類と用途について日本工業規格（JIS）および日本アスファルト乳剤協会規格（JEAAS）の分類を示す。

3.1　日本工業規格（JIS）の分類

日本工業規格では，電荷と用途（浸透用・混合用）でアスファルト乳剤を分類している。**表－２**に日本工業規格が定めるアスファルト乳剤の種類と用途を示す。

3.2　日本アスファルト乳剤協会規格による分類

日本アスファルト乳剤協会では，JISで規定されない特殊な乳剤（８種類）について独自に「日本アスファルト乳剤協会規格」として分類している。

表－３に一覧を示す。

3.3　アスファルト乳剤を用いた工法

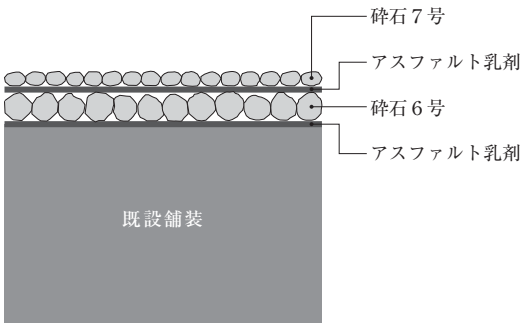
アスファルト乳剤を用いた工法はこれまでに数多く実施されてきた。ここでは乳剤工法を３種に大別し，舗装の主な破損と適用される乳剤工法について紹介する。

表－４に一覧を示す。

⑴　散布・浸透式工法

乳剤を散布して舗装表面を保護する工法が該当する。主な工法にはフォグシールやチップシール・SAMI工法，ポーラスアスファルト直下の基層保護工などがある。

図－５にチップシールの一例を示す。



図－５　チップシール（アーマコート）の一例[1)]

表－２　アスファルト乳剤の種類と用途（JIS K2208）

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

表－３　アスファルト乳剤の種類と用途（JEAAS）

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

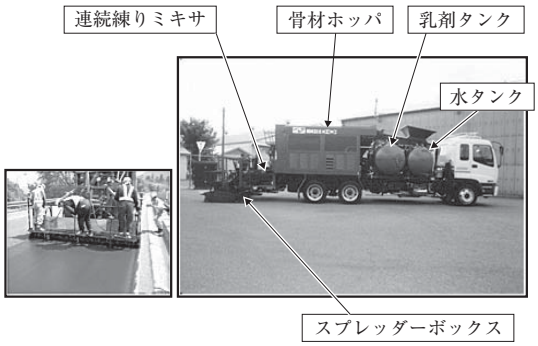
注）◎：適用性が高い，○：適用可能

(2)　混合式工法

アスファルト乳剤を用いた混合物を原位置で製造・施工する工法であり，主な工法には路上路盤再生セメント・アスファルト乳剤安定処理路盤工法，マイクロサーフェシング工法・スラリーシール工法・薄層表面処理工法・常温路上表層再生工法がある。

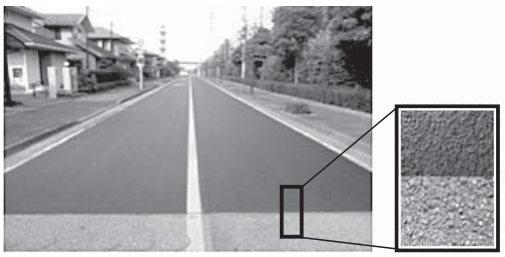
(3)　その他応用技術

アスファルト乳剤工法の土木用の用途には，鉄道や空港のコンクリート版のグラウトに用いられるセメントアスファルト乳剤モルタル（CAモルタル）や間伐材などと混合した木質舗装のほか，種子や肥料を混合して斜面等に根付かせる植生用材料などへも使用されている。



写真－４　マイクロサーフェシング工法（例）[1)]

写真－６　新幹線スラブ軌道CAモルタルの注入（例）[1)]



写真－５　薄層表面処理工法（例）[1)]

写真－７　木質舗装（例）[1)]

表－４　舗装の主な破損と乳剤工法の適用（例）

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

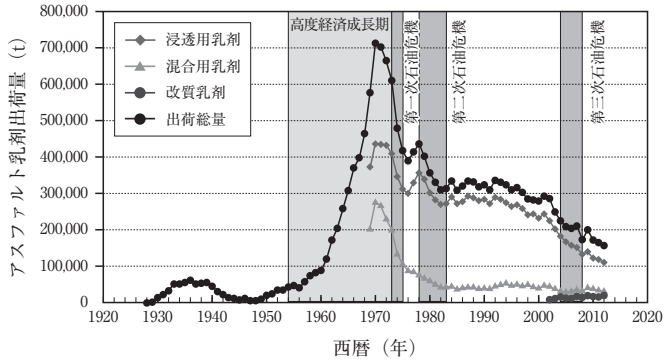
４．アスファルト乳剤の需要動向

4.1　我が国のアスファルト乳剤生産量

我が国のアスファルト乳剤生産量を**図－６**に示す。

高度経済成長期（1954年～1973年）にアスファルト乳剤の生産量が急増した。また1960年にカチオン系乳剤の国内製造が開始されたことなども追い風になり，1970年には過去最高の71万トンに達した。

1974年の第一次石油危機・1978年の第二次石油危機の時期にアスファルト乳剤の生産量がピーク時の約50％となる30万トンまで低下した。これは，石油危機の影響の他に，加熱アスファルト混合物が容易に入手可能となり，簡易舗装から高級舗装（加熱舗装）への流れが加速されたことが一因と思われる。



図－６　アスファルト乳剤の使用量の推移

1980年～2000年にかけて30万トンで推移した乳剤生産量も，第三次石油危機（石油価格の高騰：2004年～2008年）により更なる生産量の低下を招いた。その結果，現在のアスファルト乳剤生産量は約18万トン近傍で推移している。

4.2　最近の欧州における乳剤使用量の動向[2)]

フランスの乳剤使用量について，1997年の乳剤使用量を基準とした使用量の推移を**図－7**に示す。

フランスでは2000年以降，乳剤使用量が低下傾向を示し，2008年（石油危機）には1997年時の約85%まで落ち込んだが，2009年から乳剤使用量が増加に転じている。

イギリスにおける2006年以降の乳剤使用量の推移について，加熱アスファルト混合物の使用量とあわせて**図－8**に示す。イギリスにおいても，近年加熱アスファルトの使用量が減少傾向にある一方で，アスファルト乳剤の使用量が増加に転じている。

乳剤使用量の増加は，「維持工事におけるアスファルト乳剤工法の適用が増えている」とのことである。

アスファルト乳剤工法が増加した背景として，①道路の重要性と維持管理に対する認識の高まり，②限られた予算で膨大な道路ストックを効率的に維持管理する必要に迫られたこと，などがあげられる。

これらの要望に，アスファルト乳剤工法による予防的維持工法が応えることができた結果である。

5．おわりに

これまで舗装業界は2つの困難に直面してきた。

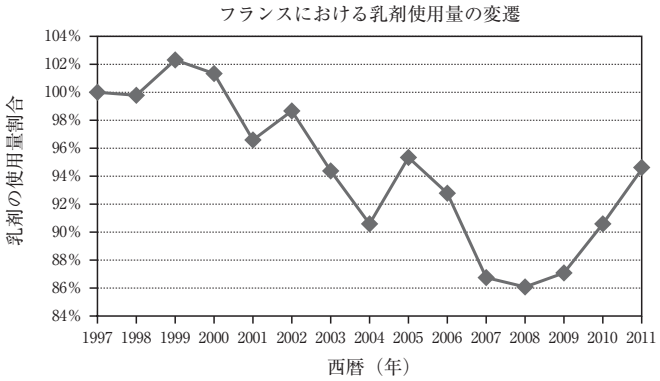
1つは建設コストの増加であり，もう一つは公共事業予算の抑制である。その一方で舗装の維持管理が必要であるという意識は高まってくると思われる。

舗装を維持管理して延命させるため，アスファルト乳剤技術の活用はこれらの課題の解決策の1つになるものと考える。

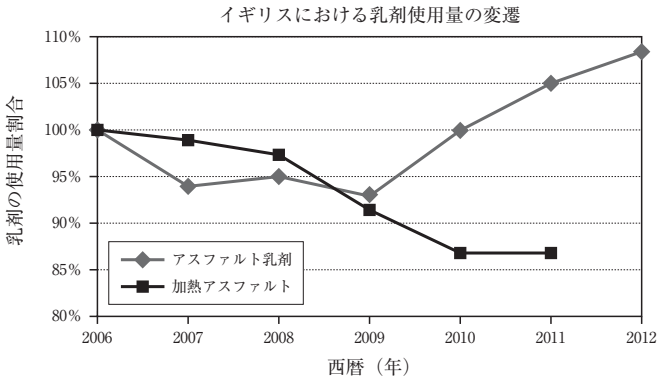
参考文献

1）（一社）日本アスファルト乳剤協会　アスファルト乳剤（2012）

2）InternationalBitumenEmulsionFederation JEAA打合せ資料（2013）



図－7　フランスの乳剤使用量の推移[2)]



図－8　イギリスの乳剤使用量の推移[2)]

舗装技術におけるポリマー改質アスファルトの役割

(Polymer Modified Bitumen Performs an Important Role in Modern Road Construction and Improvement)

一般社団法人　日本改質アスファルト協会　技術委員会

道路インフラの維持管理・更新の重要性は，今後さらに増すと考えられる。本法では，道路舗装の長寿命化ならびに高耐久性能の向上に，必須の材料として使用されている「ポリマー改質アスファルト」について，その技術的特長，および進化の歴史を整理した。さらに今後の利用が期待される，作業環境や周辺環境の改善を実現する中温化ポリマー改質アスファルトについても紹介した。

1．はじめに

道路はもっとも基本的な社会インフラであり，国民の生活を支え，社会経済を発展させるための「道」となり，ときに人命を守る「絆」となる。このため必要な道路インフラの確保とともに，現有の道路については，適切に維持管理・更新していくことが重要である。

アスファルト舗装の寿命は概ね10年とされているが，今後もよりよい道路を提供していくにためには，これまで以上に効率的かつ効果的な道路管理が求められ，それに伴い「20年設計」などの長寿命化設計がなされるケースも増えてきている。道路舗装の長寿命化には耐久性の高い混合物の適用が考えられるが，その実現のためにポリマー改質アスファルトが最も一般的に用いられ，また必須の材料となっている。

日本改質アスファルト協会は，ポリマー改質アスファルトの技術を通して，アスファルト舗装の性能および耐久性の向上をめざし，道路インフラの健全性を確保・向上することを目的とした活動を行っている。

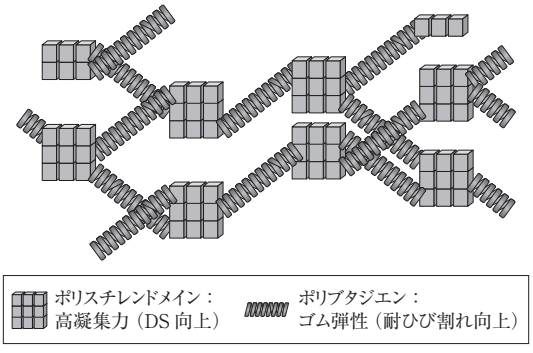
ここでは「舗装技術におけるポリマー改質アスファルトの役割」と題し，改質アスファルトの歴史，および現在のポリマー改質アスファルトの基本技術，性能について，今後の可能性も含めて紹介する。

なお本報は日本改質アスファルト協会技術委員会の「アスファルトゼミナール」における講演報文[1,2]を集成，加筆したものである。

2．ポリマー改質アスファルトについて

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ポリマーや性能改善を目的とした添加剤を改質材として添加し，アスファルトの感温性や粘接着性といった物理性状を改質したもので，道路舗装に使用した際に混合物の性能を向上させるものである。

ポリマーとしては，スチレン・ブタジエン・スチレン・ブロック共重合体（SBS）が主に使用されている。SBSは高温領域（改質アスファルトと骨材を混合して道路舗装用の混合物を製造する温度150～180℃程度）では流動性を示し，常温領域ではポリスチレン部分が架橋点となり，アスファルト中で三次元ネットワークを形成し，アスファルトのもつ流動特性を改善している（**図－1**）。また低温領域では，ポリブタジエン部がアスファルトの低温性状の改善に寄与すると考えられている。



図－1　SBSによるネットワーク形成の模式図

このようにSBSは，高温から低温まで幅広い温度領域にてアスファルトの性能を向上させることができる添加剤であり，現在のポリマー改質アスファルトの性能発現において主要な役割を果たしている。

また添加剤としては，付着性改善剤（剥離防止剤），軟化剤および中温化剤などを挙げることができる。

3．ポリマー改質アスファルトの変遷

表－1にポリマー改質アスファルトに関わる社会的ならびに技術的な変遷を示す。

⑴　第Ⅰ期では，舗装路面の荒れやひび割れ対策として，アスファルトには接着力や把握力の向上が求められていた。改質材としては粉末ゴムや天然ゴム（NR）粉末などが試行されていた。

⑵　第Ⅱ期では，混合物の骨材飛散の防止，および積雪寒冷地でのタイヤ・チェーンによる摩耗わだち掘れ対策として，粉末ゴムではなくSBRラテックスやNRラテックスなどをアスファルトに混合する検討が行われた。特にアスファルトとSBRラテックスの混合性（相溶性）に着目した検討を行い，舗装用アスファルトの改質材として使用を開始している。

第Ⅰ～Ⅱ期では，おもにアスファルト混合物の低温性状の改善に着目した，改質アスファルトの研究開発が行われていた。

⑶　第Ⅲ期に入ると，本格的なモータリゼーションの到来による交通量や交通荷重の増加により発生した，流動わだち掘れが主たる舗装の破損形態となった。このため，流動対策としてブローンアスファルトなどの「硬い」（ポリマー添加に依らない）アスファルトを用いた混合物が検討された。成果としてセミブローンアスファルト（AC-100）が一般的な材料として使用され，流動わだち掘れ対策に効果が認められた一方，クラックが発生しやすいという課題もあった。この頃から，ゴムやラテックス系以外のアスファルト改質材が検討されはじめ，可とう性（柔軟性）の改善を目的としてEVA（エチレン・酢酸ビニル共重合体）等の熱可塑性樹脂入りアスファルトが開発された。

⑷　第Ⅳ期では，流動わだち掘れのほかに，スパイクタイヤによる摩耗わだちやひび割れ等の発生への対策として改質アスファルトの適用が検討され，本格的な舗装が実施された。また「アスファルト舗装要綱」に「ゴム入りアスファルトの標準的な性状」が記載され，一般材料とされたことにより，普及が加速した時期でもある。

⑸　第Ⅴ期では，舗装の目的・用途の多様化に対応するため，種々の改質アスファルトが開発され，実用化された。また品質基準が導入され，改質アスファ

表－1　改質アスファルトの変遷

年代	西暦	概　要	改質アスファルト	要求性能
第Ⅰ期	1950～	改質アスファルトの小規模試験舗装 北海道大学でゴム入りアスファルトの研究開始	粉末ゴム，ラテックスによる試行	主に舗装路面の荒れ，ひび割れへの対応
第Ⅱ期	1960～	研究成果（SBR/NR）を使用した積雪寒冷地での試験施工	ゴム入りアスファルト	飛散抵抗性，摩耗わだち掘れ対策
第Ⅲ期	1967～	各種研究成果をもとに建設省（現国土交通省），北海道開発局による改質アスファルトの本格的試験舗装の実施	セミブローンアスファルト 樹脂入りアスファルト 本四改質Ⅰ型	交通量増加に伴う流動わだち掘れ対策
	1978年	当協会の前身である「ゴムアスファルト懇話会」を設立		
第Ⅳ期	1978～	ゴム入りアスファルトの技術向上のための研究開始 （土木研究所，土研センター，日本ゴムアスファルト懇話会） ※ゴム入りアスファルトの標準的性状がアスファルト舗装要綱に記載	筑波1号 ゴム樹脂入りアスファルト 改質Ⅰ型，Ⅱ型	重交通路線の流動わだち掘れ対策，スパイクタイヤによる摩耗わだち掘れ，ひび割れ対策
	1980年	名称を「日本ゴムアスファルト協会」に変更		
第Ⅴ期	1988～	改質アスファルトの普及 ・舗装要綱に品質基準が示され一般材料化 ・改質材の変換：熱可塑性エラストマー（SBS）	多様な改質アスファルト （付着性改善，超重交通用，高粘度改質アスファルト）	要求性能の多様化 超重交通道路，橋梁部，積雪寒冷地域道路対策
	1992年	名称を「日本改質アスファルト協会」に変更		
	1995年	「ゴム・熱可塑性エラストマー入り改質アスファルトポケットガイド」を発行		
第Ⅵ期	1999～	排水性／低騒音舗装（ポーラスアスファルト舗装）の普及 日本道路公団（現NEXCO）の設計要領第一集「舗装編」で高機能舗装が新規に加わり，高粘度改質アスファルトの使用が原則とされる（1999） 改質アスファルトの標準的性状に，高粘度改質アスファルト，付着性改善改質アスファルト，超重交通用改質アスファルトが加わる（2001）	多様な排水性舗装用高粘度改質アスファルト	排水性舗装の適用場所の拡大に伴う，高粘度改質アスファルトの多様化
第Ⅶ期	2006～	環境対応等の新技術開発への取り組み 改質アスファルトの名称を記号表記に変更（2006）	Ⅰ型，Ⅱ型，Ⅲ型，Ⅲ型－W，Ⅲ型－WF，H型，H型－F 中温化ポリマー改質アスファルト	省エネルギー 温室効果ガスの発生抑制
	2009年	一般社団法人「日本改質アスファルト協会」設立		

ルトを使用した舗装のさらなる耐久性の向上，ならびに確認のための試験法の確立などが求められた。この時期から，改質剤として熱可塑性エラストマー（主としてSBS）が利用されるようになった。

(6) 第Ⅵ期では，排水性／低騒音舗装の普及に伴い，これら空隙の大きい舗装の耐久性向上に不可欠な高粘度改質アスファルトの研究が盛んに行われ，その性能・品質の向上がなされた。また日本道路公団（現NEXCO）の設計要領第一集に高機能舗装が新たに加わり，高粘度改質アスファルトの使用が一般的になったことも性能・品質の向上に大きく寄与した。

(7) 第Ⅶ期では，舗装設計施工指針（平成18年版）の改訂に伴い，従前の「改質アスファルト」という呼称が「ポリマー改質アスファルト」と改められた。また種類についても従前の性状や用途を意味した名称から，Ⅰ型，Ⅲ型－W，H型－F等の記号で表記するようになった。

さらに2008年以降には，温暖化対策を目的とし，一般的なポリマー改質アスファルトよりも30℃程度低い温度で製造・施工温度が可能な「中温化」ポリマー改質アスファルトが開発された。

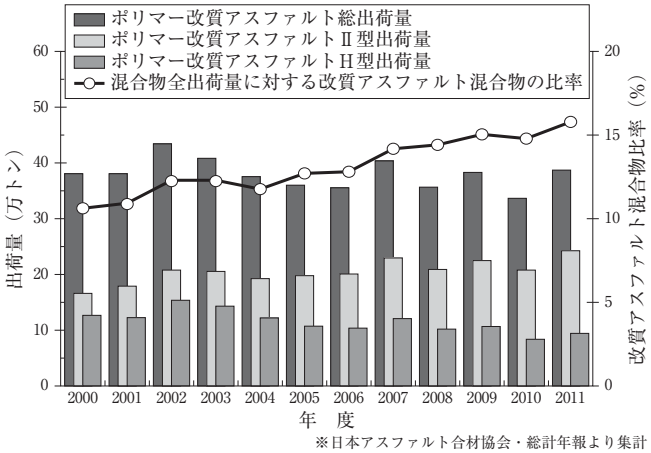
このように改質アスファルトは時代の要請と共に様々な製品が研究・開発され，その時々のインフラの健全性確保に貢献してきた。今日では改質アスファルト混合物が，アスファルト混合物の全出荷量の15%程度を占めるほどに活用されている（**図－2**）。またポリマー改質アスファルトを舗装事業に適用した際のLCC（ライフサイクルコスト）については，ストレートアスファルトを用いた場合との比較検証を行い，道路管理費用の低減が見込めるとの報告がなされている[3)]。

4．今日の舗装におけるポリマー改質アスファルトの役割

4.1 ポリマー改質アスファルトの種類

表－2に，現在，広く普及し，改質アスファルト協会にて品質規格を設けているポリマー改質アスファルトを示す。ここではそれぞれのポリマー改質アスファルトが実現する混合物の機能，および適用箇所の目安を示す。

ポリマー改質アスファルトは，適用箇所の要求性能



※日本アスファルト合材協会・総計年報より集計

図－2　ポリマー改質アスファルトの出荷量の推移

表－2　ポリマー改質アスファルトの種類と用途[4)]

	種　類	付加記号	Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型			H型	
						－W	－WF		－F
混合物の機能	適用混合物／主な適用箇所		密粒度，細粒度，粗粒度などの混合物に用いる。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（鋼床版）	たわみ小		○	○		◎		
		たわみ大					◎		
排水性（透水性）								◎	◎

◎：適用性が高い　○：適用可能　空欄：要検討

に応じて開発，上市されているため，計画する交通条件に応じて，最適なポリマー改質アスファルトを選択する事が望ましい。

Ⅰ型，Ⅱ型，およびⅢ型は，主に流動わだち掘れ対策として密粒度や粗粒度など空隙率の小さい混合物に用いられ，大型車交通量に応じてⅠ型，Ⅱ型，Ⅲ型の順に適用される（Ⅲ型は特に多い箇所向け）。

また橋面舗装には，特に耐水性（剥離抵抗性）や可とう性（たわみ追従性）を向上させ，さらに疲労抵抗性に優れるⅢ型－WやⅢ型－WFがあり，コンクリート床版および鋼床版上の舗装に適用される。

なお付加記号“－W”は耐水性“Water Resistance”を，”－F”は可とう性“Flexibility”を向上させたバインダであることを示している。

ポーラスアスファルト舗装用のバインダとしては，H型とH型－Fがあり，前者は一般地域用として，後者は積雪寒冷地域用として使用される。

4.2　個別のニーズに対応したポリマー改質アスファルト

近年では，個別の交通条件や適用箇所のニーズに対応した様々なポリマー改質アスファルト製品が開発され，各メーカーにより製品化されている。

主たる種類を以下に示す。

(1)　中温化ポリマー改質アスファルト

中温化ポリマー改質アスファルトは，混合物製造時の締固め特性を改良し，混合温度や施工温度を従来よりも低く設定することが可能なバインダである。

一般に，中温化剤と呼ばれる添加剤を，予め配合したプレミックスタイプのポリマー改質アスファルト，もしくは添加剤を混合工場で投入するプラントミックスタイプを指し，従来のポリマー改質アスファルトと類似したバインダ性状を有する。このため，アスファルト混合物製造工場では従来と同様の設備，手順により中温化アスファルト混合物を製造・出荷することが可能となる。

中温化ポリマー改質アスファルトを用いて，アスファルト混合物製造時の混合温度を30℃程度低下することにより，発生する地球温暖化ガスの発生量を15%程度削減することが可能との試算がある[5)]。

また低炭素・省エネルギーを目的とする適用以外に，寒冷期等での施工性改善あるいは早期交通開放を目的として利用することも可能であり，中温化ポリマー改質アスファルトの用途は多岐にわたる。今後の適用拡大が期待されるバインダといえる。

(2)　高耐久型ポーラスアスファルト混合物用ポリマー改質アスファルト

H型の骨材把握力をさらに高めることで，ポーラスアスファルト混合物の耐久性向上を目的とした改質アスファルトである。混合物の高空隙率化および小粒径化が可能となり，排水能力および低騒音性の向上が期待できる。

(3)　寒冷地域用高耐久型ポーラスアスファルト用ポリマー改質アスファルト

H型－Fよりも，低温時の骨材飛散抵抗性がさらに優れたバインダであり，積雪寒冷地域の耐久性向上を目的に使用される。

(4)　ねじれ抵抗性改善型ポーラスアスファルト用

混合物の高温時における強度を高め，タイヤの「ねじり」に対する骨材飛散抵抗性の改善を目的に開発されたバインダである。重交通路線の交差点部や大型車の出入り口などに使用される。

(5)　鋼床版上のポーラスアスファルト用

可とう性（たわみ追従性）を向上させたバインダで，ポーラスアスファルト混合物のたわみに対する追従性および疲労抵抗性を向上させている。鋼床版上のポーラスアスファルト混合物に使用される。

なおポーラスアスファルト混合物は，耐久性の確保をバインダの性能に頼るところが大きく，適用箇所に対応して種々のバインダが開発されている。

(6)　重荷重用ポリマー改質アスファルト

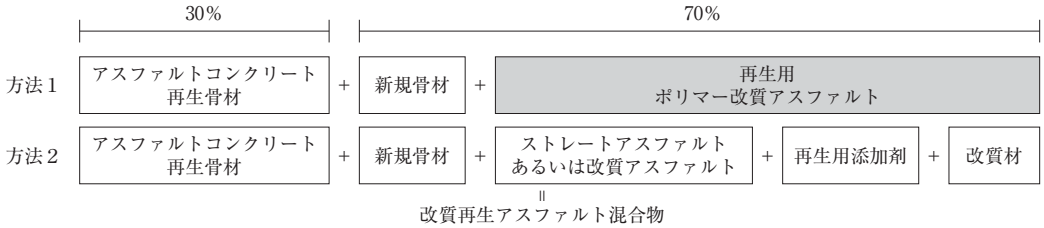
物流コンテナヤードでは，コンテナを運搬する車両の大きな輪荷重によって，一般の道路舗装よりも大きなわだち掘れが発生しやすい傾向にあり，さらに補修機会も少ない。重荷重用改質アスファルトは，Ⅲ型よりも流動わだち掘れ抵抗性を高めることで，このような条件下における供用期間の延長を目的に開発された。

(7)　再生用ポリマー改質アスファルト

アスファルト混合物を再生利用する場合，軟質アスファルトあるいは再生用添加材により，回収アスファルトの針入度を調整，もしくは圧裂試験による性状調整を行う必要がある。再生用ポリマー改質アスファルトは，再生用添加材と改質材が予め配合されており，新規アスファルト混合物を製造する工程と同様に再生改質アスファルト混合物を製造することが可能となる（**図－3**参照）。

(8)　薄層舗装用ポリマー改質アスファルト

破損している既設舗装を切削せずに，薄層のアスファルト舗装をオーバーレイすることで，既設舗装



図－3　再生混合物の製造方法（再生骨材比率30%の例）

の延命を図る薄層舗装工法に用いる改質アスファルトである。本工法に最適化させた改質アスファルトを用いた調査結果[6, 7]からは，交通区分や路面の状況に関わらず，わだち掘れとひび割れ率において良好な結果を得ている。

⑼　プラントミックス用改質材

プラントミックス用改質材とは，アスファルト混合物製造工場にて，ミキサに直接改質材を投入するものである。各グレードに対応した製品が市販されている。

近年では改質材を専用の機械で投入する方法もあり，大規模な施工にも適用可能となっている。

上記以外にも，道路舗装に用いられる改質アスファルトもしくは改質アスファルトを原料として製造した製品には以下のようなものがある。これらの材料を適材適所に用いることで，道路舗装の長寿命化あるいは既設舗装の耐久性向上に寄与するものと考えられる。

⑽　改質アスファルト乳剤

⑾　常温アスファルト混合物

⑿　クラック注入材

⒀　リフレクションクラック抑制シート

⒁　成型目地材

表－3　プラントミックス用改質材の概要

	ラテックス	粉　体	ペレット
改質材の形状			
用　途	改質Ⅰ型，Ⅱ型 H型，再生改質	改質Ⅱ型，Ⅲ型	改質H型
包　装	ドラム 1トンコンテナ	ポリ袋	ポリ袋
投入方法	専用ポンプ	手投げ	手投げ
適　用	小規模～大規模	小規模	小規模

5．おわりに

道路に求められる機能の変遷に着目し，その機能の実現のために進化してきた改質アスファルトの技術の変遷を紹介した。本報が，ポリマー改質アスファルトを活用いただくことにより，今日の快適で耐久性の高い道路が実現されていることを理解いただく助けとなれば幸いです。

今後も当協会では，関係各位からのご指導を賜りながら，ポリマー改質アスファルトの技術の進化を通して，社会貢献を図るべく活動します。さらに中温化ポリマー改質アスファルトをはじめ，利用の拡大が進みつつある技術については，規格の制定ならびに品質の標準化を進め，利用される方々が活用しやすい環境および情報の整備にも努めます。

参考文献

1）鈴木,「舗装の性能向上に貢献するポリマー改質アスファルト」, 改質アスファルトNo.39, 日本改質アスファルト協会（2012）

2）平戸, 更新時代の舗装技術におけるポリマー改質アスファルトの役割」, 改質アスファルトNo.41, 日本改質アスファルト協会（2013）

3）深代,「ポリマー改質アスファルトの将来展望」, 改質アスファルトNo.39, 日本改質アスファルト協会（2012）

4）日本改質アスファルト協会,「ポリマー改質アスファルトポケットブック」（2010）

5）(社)日本道路建設業協会,「環境保全を目指した中温化（低炭素）アスファルト舗装－中温化技術による加熱アスファルト混合物製造でのCO_2削減－」（2010）

6）平井ら,「舗装アセットマネジメントにおける表面処理工法の効果検証」, 第28回日本道路会議論文No.32058, 日本道路協会（2009）

7）戸塚ら,「加熱薄層舗装のアセットマネジメントによる適応性について」, 第29回日本道路会議論文No.3012, 日本道路協会（2011）

表面処理工法による空港アスファルト舗装の自然劣化抑制効果の検討

(The Effect of Surface Treatment on Anti-aging of Airport Asphalt Pavement)

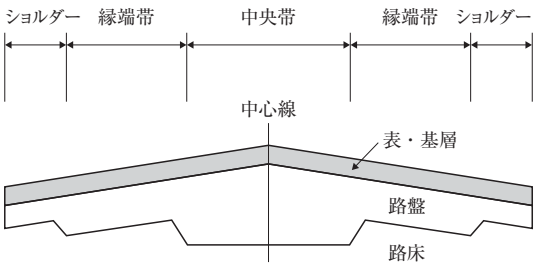
河　村　直　哉*・川　島　　明**・横　江　　哲***・前　川　亮　太****

空港アスファルト舗装のうち，日常的に交通荷重が作用しない舗装では，日射や風雨などの自然環境の作用に起因する劣化（以下，自然劣化という）を原因として舗装に面荒れや表面ひび割れが生じる場合がある。この状態を放置すると表面の骨材が飛散し，航空機の安全な走行に支障をきたす恐れがある。本稿では，アスファルト舗装の面荒れや表面ひび割れの発生および進行を抑制することで，交通荷重が作用しないアスファルト舗装箇所の長寿命化を図ることを目的として，表面処理工法を用いたアスファルト舗装の自然劣化抑制効果に関する調査結果を紹介する。

1．はじめに

空港アスファルト舗装のうち，日常的に交通荷重が作用しない滑走路の縁端帯やショルダー（**図－1**）などの舗装では，日射や風雨等による自然環境の作用に起因する劣化が卓越し，表面ひび割れや面荒れが発生する場合がある。この状態を放置すると骨材が飛散し，エンジンへの吸い込み等により航空機の安全な走行に支障を来たす恐れがあるため，表面ひび割れ等が発生していない状態が望ましい。また，以上のような舗装箇所の面積は交通荷重が作用する舗装と比較し大きいことから，効率的な長寿命化対策を実施し，ライフサイクルコストを低減することが重要であると考えられる。

本研究では，自然劣化に起因する表面ひび割れなどの発生および進行を抑制することにより，交通荷重が作用しないアスファルト舗装箇所の長寿命化を図ることを目的とし，表面処理工法を用いた空港アスファルト舗装の自然劣化抑制策について検討している。本稿では，この工法を用いたアスファルト舗装の自然劣化抑制効果について，室内で作製した試験体の劣化性状を評価するとともに，実際の空港のショルダーにおいて試験施工を行い，自然劣化抑制効果について調査した結果を紹介する。



図－1　滑走路横断方向舗装断面のイメージ図

2．検討対象工法

表面処理工法は，アスファルト舗装表面に薄い封緘層（2.5㎝以下）を設ける工法であり[1)]，本検討では薄層で施工可能なアスファルト乳剤を主体とした工法に着目した。検討対象とした工法は，骨材露出が少なく骨材飛散の可能性が低いと考えられる，フォグシール工法，薄層表面処理散布工法およびスラリーシール工法とした。以下に検討対象とした各工法の概要について簡単に示す。

①フォグシール工法：混合用アスファルト乳剤を水で希釈し，霧状に散布するものである。

②薄層表面処理散布工法：改質アスファルト乳剤と

*かわむら　なおや　(独)港湾空港技術研究所　構造研究領域　空港舗装研究チーム
**かわしま　あきら　ニチレキ株式会社関東支店　技術課
***よこえ　さとる　中部国際空港施設サービス株式会社　施設部土木グループ
****まえかわ　りょうた　中央大学　理工学部　環境都市工学科

フィラーを混合したスラリー状の混合物を薄層で敷きならすものである。

③スラリーシール工法：改質アスファルト乳剤と細骨材などを混合したスラリー状の混合物を敷きならすものである。この工法に用いる混合物は，薄層表面処理散布工法で用いる混合物よりも流動性が低いため，厚膜に敷きならすことができる。

本検討では，これらの工法を用いた場合の下地アスファルト混合物の劣化抑制効果（以下，下地劣化抑制効果という）と，下地劣化抑制効果の持続性という観点から表面処理材料の耐候性について調査した。

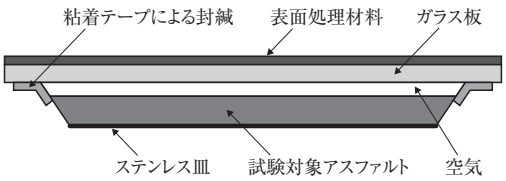
3．室内作製試験体を用いた劣化性状の評価

3.1　下地劣化抑制効果

(1)　評価方法

表面処理材料が自然劣化し飛散すると，紫外線を遮蔽する効果が低下すると考えられる。それにより，下地アスファルト混合物中のアスファルトが劣化し，アスファルトの性状が変化すると考えられる。そこで，下地劣化抑制効果の評価は，以下の方法で実施した。

①ステンレス製の容器にストレートアスファルト60/80を3.2㎜の厚さで成形し，その上に各表面処理工法を施したガラス板を置いた試験体を作製した（**図－２**）。



図－２　下地劣化抑制効果の評価に用いた試験体

②試験体を24ヶ月間屋外で暴露し，定期的に容器内のアスファルトを取り出し，針入度と軟化点の経時変化を調査した。評価に用いた各工法の施工厚は，一般的な道路での使用例を参考として，以下のとおりとした。

ⅰ）フォグシール工法：施工厚0.2㎜

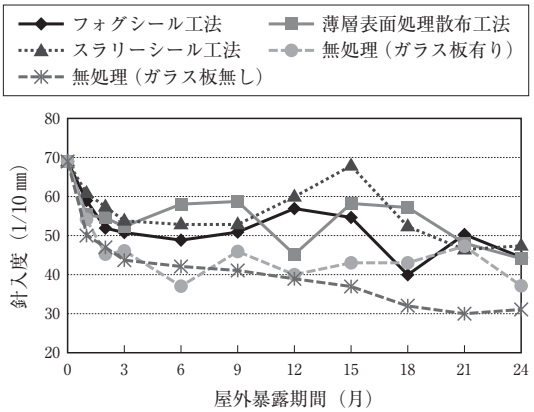
ⅱ）薄層表面処理散布工法：施工厚0.5㎜

ⅲ）スラリーシール工法：施工厚８㎜

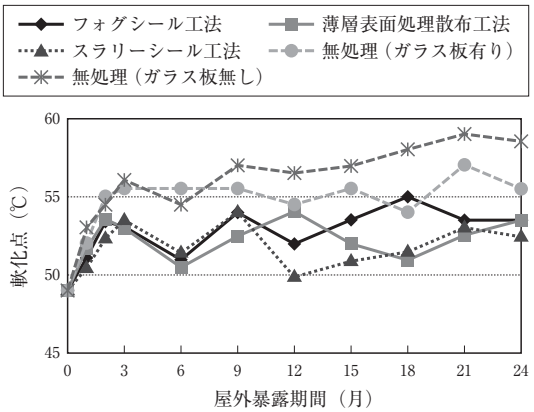
また，比較対象として表面処理工法を施さない試験体（以下，無処理の試験体という）も作製した。無処理の試験体については，ガラス板の影響を確認するために，ガラス板の有無による２種類の試験体を作製した。

(2)　評価結果

図－３に針入度，**図－４**に軟化点の経時変化を示す。全ての試験体において，暴露期間の増加に伴い針入度は減少し，軟化点は増加する傾向を示し，下地アスファルト混合物中のアスファルトの劣化が確認された。表面処理工法と無処理の試験体の結果を比較すると，針入度および軟化点ともに，表面処理工法の試験体の方が変化量は小さかった。このことから，いずれの表面処理工法においても下地劣化抑制効果を有していると考えられた。ただし，表面処理工法の種類による劣化程度の違いには明確な差は認められなかった。



図－３　針入度の経時変化



図－４　軟化点の経時変化

3.2　表面処理材料の耐候性

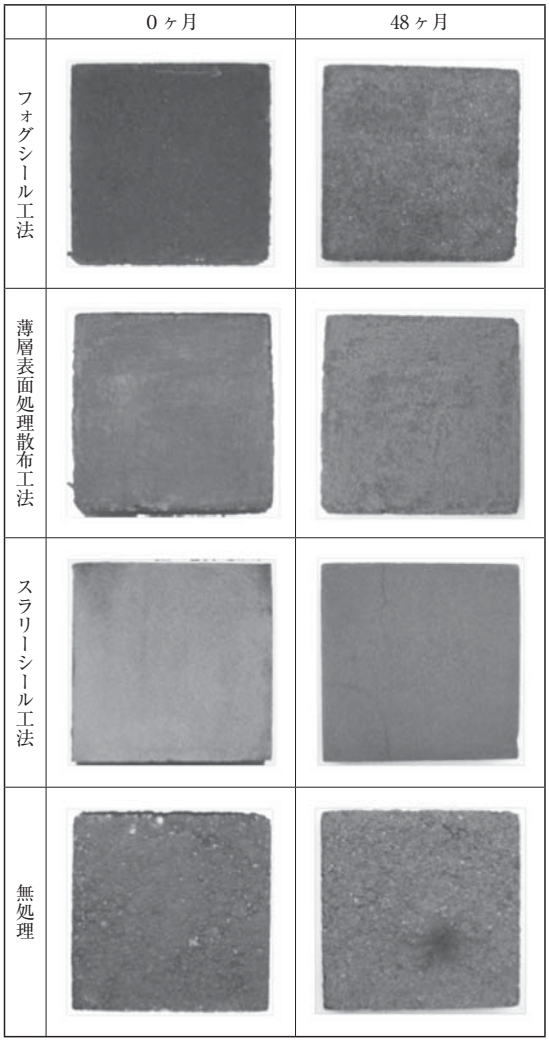
(1)　評価方法

表面処理材料の耐候性の評価は，室内で作製した試験体を屋外に暴露し，外観変化を目視で確認することにより実施した。試験体は，30×30×５㎝に成形したアスファルト混合物上に，下地劣化抑制効果の評価に

用いた試験体と同量の表面処理工法を施工したものとした。また無処理の試験体も屋外に暴露した。

⑵　評価結果

写真－１に初期および48ヶ月後の試験体の表面状態を示す。無処理の試験体は，48ヶ月経過後ではアスファルトで被覆されていた骨材表面が確認される状態となった。フォグシール工法を施した試験体は，48ヶ月後において無処理と同様の傾向を示した。薄層表面処理散布工法およびスラリーシール工法は，やや白化したものの，時間経過に伴う大きな変化は認められず，他の表面処理工より表面状態の変化が小さかった。以上の結果より，薄層表面処理散布工法およびスラリーシール工法は，フォグシール工法に比べ，定性的ではあるが耐候性に優れていた。



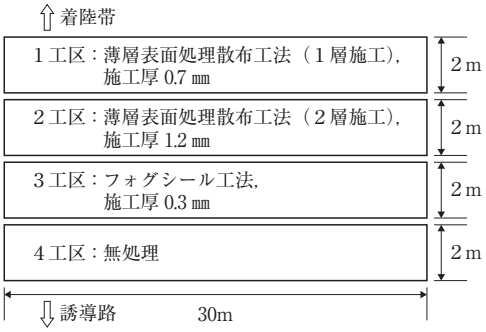
写真－１　耐候性試験の結果

４．試験施工による劣化抑制効果の調査

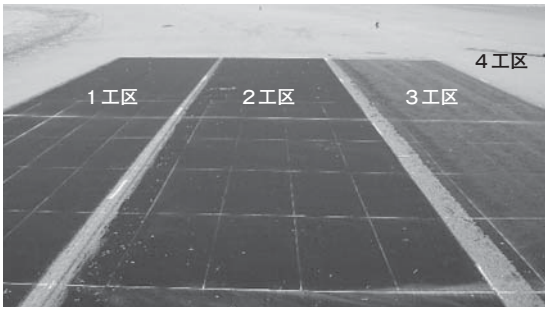
表面処理工法の下地劣化抑制効果および表面処理材料の耐候性を評価するためには，空港舗装が晒される日射や風雨等による影響を考慮する必要がある。そこで，中部国際空港の誘導路のショルダーにて試験施工を実施し，表面処理工法によるアスファルト舗装の自然劣化抑制効果を調査することとした。

4.1　施工概要

表面処理工法は，供用中のアスファルト舗装に施工した。試験施工では，薄層表面処理散布工法の工区と，比較対象としてフォグシール工法の工区と表面処理工法を施工しない工区（以下，無処理の工区という）を設けた。なお，スラリーシール工法については，前章の試験で薄層表面処理散布工法と同様の結果であったが，経済性の観点から評価対象から除いた。薄層表面処理散布工法については，散布量を２通りとし１層施工および２層施工の工区を設けた。**図－５**に試験施工の平面図を示す。各工区の規模は，長さ30m，幅２ｍであり，散布量と施工面積に基づき算出した表面処理工法の施工厚も併せて図中に示した。**写真－２**には，施工直後の状況を示した。なお，写真中に引かれている白線のマス目は，ひび割れ率を測定するためにチョークで描いたものである。



図－５　試験施工の平面図



写真－２　施工直後の状況

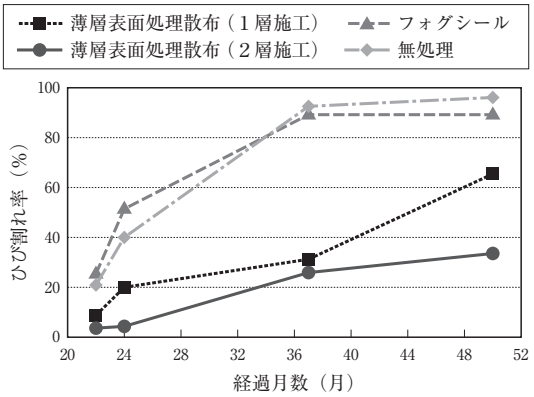
4.2　調査方法

アスファルト舗装の自然劣化抑制効果の評価は，路面性状に関する調査と舗装から採取したアスファルト混合物から抽出したアスファルトに対する試験により実施した。路面性状に関する調査項目は，ひび割れ率，きめ深さおよびすべり抵抗値とした。きめ深さおよびすべり抵抗値については，自然劣化により舗装表面の細粒分が減り表面が粗くなることを定量化することで，表面処理工法の効果を評価することを意図した。また，抽出アスファルトに対しての試験は，針入度および軟化点試験とした。いずれの試験についても，舗装調査・試験法便覧に記載される方法に準拠して実施した。

4.3　路面性状に関する調査結果

(1)　ひび割れ率

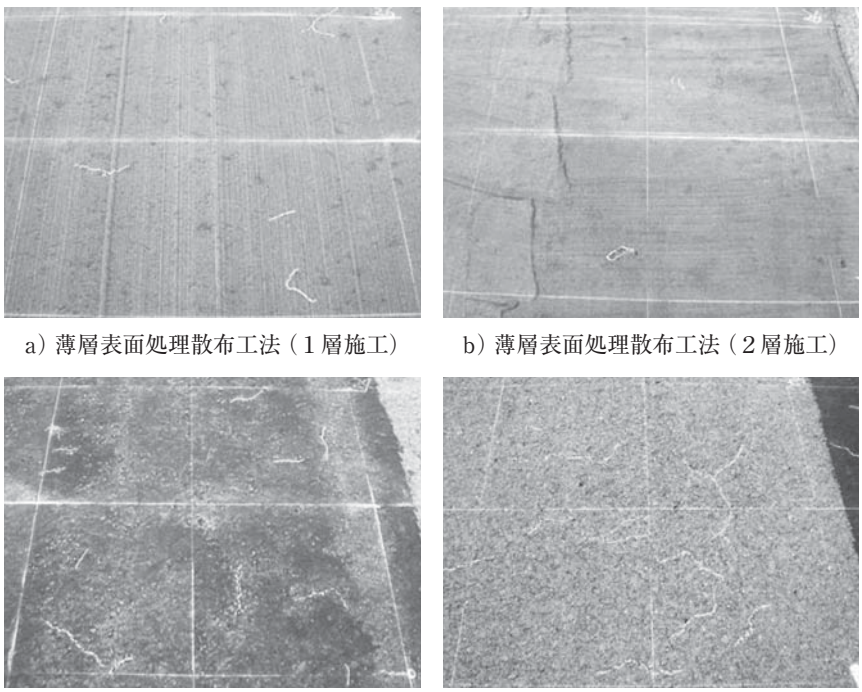
図－6にひび割れ率の経年変化を示す。ひび割れは、施工直後から1年経過しても認められなかったため，ここでは，薄層表面処理散布工法を施工した舗装表面にひび割れが確認された施工後22ヶ月からの経年変化を示す。薄層表面処理散布工法の工区のひび割れ率は，無処理の工区と比較し小さく，ひび割れの発生が抑制されていることが確認された。特に，膜厚を厚くすることでひび割れ抑制効果が大きかった。一方，フォグシール工法の工区のひび割れ率は，無処理の工区と同程度であり，ひび割れの発生を抑制できているとは言えない。また，**写真－3**に施工50ヶ月後の舗装表面の状態を示す。マス目内の白線がひび割れを表している。フォグシール工法および無処理の工区では，ひび割れが確認される一方で，薄層表面処理散布工法の工区では，ひび割れがほとんどないことが確認される。以上の結果より，薄層表面処理散布工法はひび割れ発生を抑制することができると考えられた。



図－6　ひび割れ率の経年変化

(2)　きめ深さおよびすべり抵抗値

図－7に回転式きめ深さ測定装置（CTメータ）による路面のきめ深さ測定結果を，**図－8**に回転式すべり抵抗測定器（DFテスタ）によるすべり抵抗値の測定結果を示す。きめ深さの結果では，経年的な変化はあるものの，表面処理工法の違いによる明確な違いは認められなかった。また，すべり抵抗値では，いずれの表面処理工区においても，経年的に大きくなる傾向は認められたが，きめ深さと同様に，表面処理工法の違いによる明確な違いはなかった。以上のことから，舗装表面のきめ粗さおよびすべり抵抗値からは表面処理工法による劣化抑制効果を確認することはできなかった。



a）薄層表面処理散布工法（1層施工）　b）薄層表面処理散布工法（2層施工）

c）フォグシール工法　d）無処理

写真－3　施工50ヶ月後の舗装表面の状態

4.4　抽出したアスファルトの試験結果

既往の文献[2)]を参考として，採取したコアの表面から深さ1㎝までのアスファルトを抽出し，針入度および軟化点試験を実施した。**図－9**および**図－10**に試験結果を示す。針入度では施工直後より全工区において同様の減少傾向を示し，軟化点では全工区において増加傾向を示した。どちらの結果においても，前述の室内作製試験体の結果とは異なり，下地劣化抑制効果が認められなかった。この原因は，試験では表面処理材料も含めて抽出した供試体を用いたため，表面処理材料の劣化と併せて測定した結果であると推察された。

5．まとめ

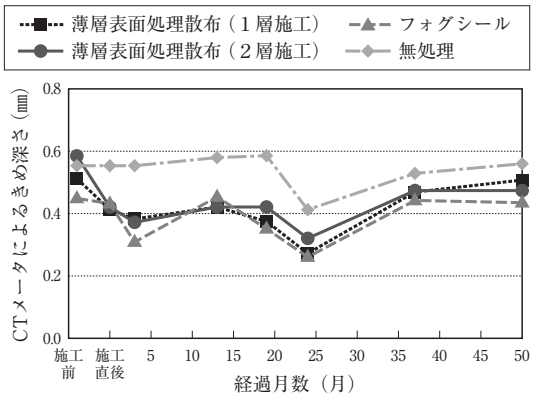
調査結果をまとめると以下のとおりである。室内で作製した試験体に対して暴露試験を実施した結果では，表面処理工法を施工することで，下地のアスファルトバインダーの劣化を抑制する効果が確認された。薄層表面処理散布工法およびスラリーシール工法については，優れた耐候性が確認され，下地の劣化抑制効果の持続性もあると考えられた。空港のショルダーにおける調査では，上記の薄層表面処理散布工法による下地のアスファルトの劣化の抑制効果を確認することはできなかったものの，薄層表面処理散布工法により舗装表面のひび割れの発生を抑制できることが確認された。

以上のことから，薄層表面処理散布工法を用いることで，ショルダー等のアスファルト舗装表面のひび割れを抑制することによる舗装の長寿命化が可能であると考えられた。今後については，追跡調査を行い得られた知見に基づき，費用対効果を算出することとしたい。

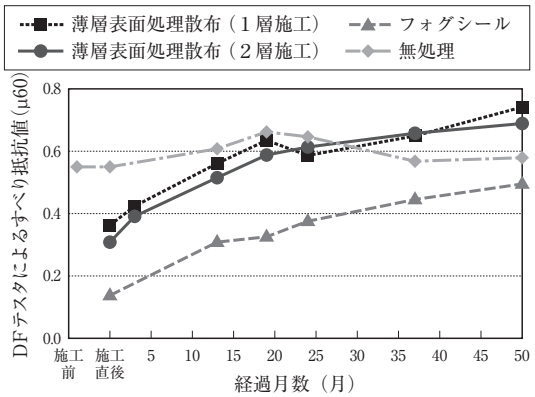
参考文献

1）アスファルト乳剤　改訂第3版，一般社団法人日本アスファルト乳剤協会，平成24年2月

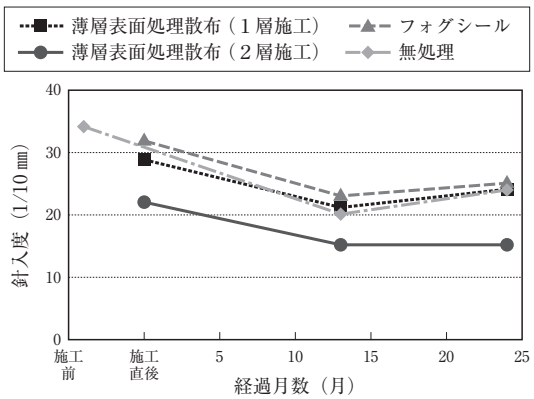
2）金田一夫，桜井治男，高柳芳夫，三笘国洋，路肩のシールコート－東名高速道路－，舗装，24-5，pp7-12



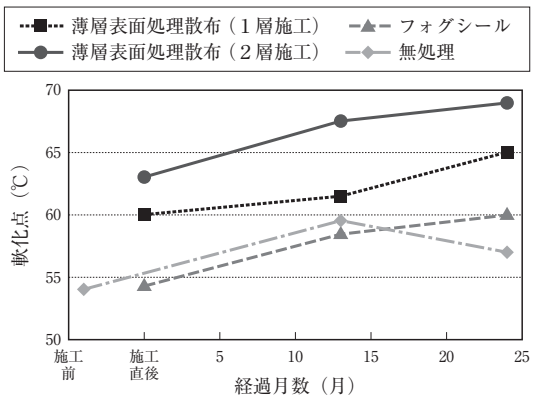
図－7　きめ深さの経年変化



図－8　すべり抵抗値の経年変化



図－9　抽出アスファルトの針入度の経年変化



図－10　抽出アスファルトの軟化点の経年変化

アスファルト表面遮水壁の維持修繕について

(Maintenance and Repairs of Asphalt Facing)

土　居　賢　彦*

ダムや調整池（溜め池等を含む）に使用されているアスファルト表面遮水壁は，水工アスファルト遮水壁工（以下，遮水壁）と称されている。遮水壁の立地は寒冷地域から温暖地域にわたり，その供用環境下で生じる様々な劣化や損傷に対して適切な維持補修が施されている。そこで，遮水壁の維持修繕に関する劣化損傷の実態，発生メカニズム，管理の方法，補修について紹介する。

※本論は土木学会刊行の「舗装工学ライブラリー8　アスファルト遮水壁工」の第Ⅳ章維持管理編の写真等を基本として，新規事項の追記等を行い再編集をしたものである。

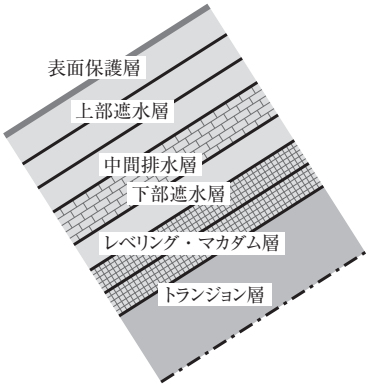
1．はじめに[1)]

遮水壁は，採用された地点のダム・調整池の規模等に応じて構造が異なっている。代表的な遮水壁の構成断面を示す（**図－1**）。一般的に堤高15m以上のダム・調整池では，漏水管理の観点から遮水壁中間に排水層を設けた多層構造を，それ以下の中小規模のダム・調整池・貯水池等では，中間に排水層を設けない単層構造が採用される傾向がある。

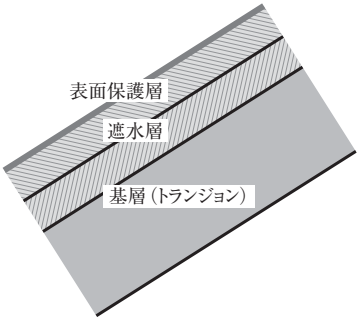
これらの遮水壁を採用したダム・調整池および越流堤等の水利構造物は，各々の立地地点ごとに気象，供用条件，使用したアスファルト混合物の配合・設計基準等が異なっているが，表面保護層や遮水層に発生している劣化・損傷の種類は概ね共通しており，その種類に着目して整理・分類できる。

また，分類した劣化・損傷の発生メカニズムについては，その要因は単独でないこともあり，多様な事象が重複した結果として発生に至るものが多い。つまり，劣化・損傷の発生要因の推定には，対象となる水利構造物の供用環境などを適宜把握しておくこと，および多種多様な劣化・損傷の発生要因となる事象を重ね合わせて，総合的に判断することが重要である。

遮水壁も，通常のコンクリート構造物と同様に健全性を評価して，適正な処置を施すことにより遮水機能を長期間，安定的に維持する必要がある。これにより種々の劣化・損傷の発生や進展が抑えられ，適切な設備管理へと繋がることになる。



多層構造

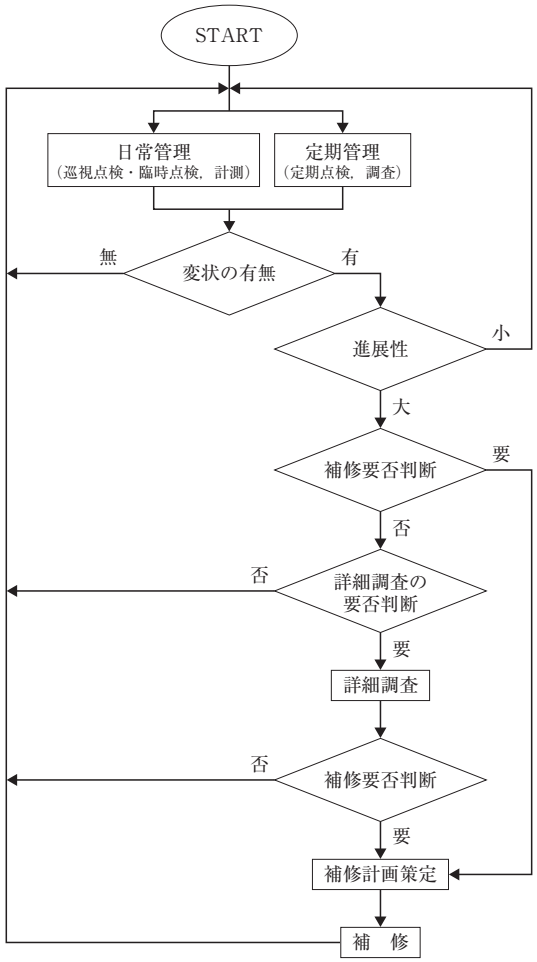


単層構造

図－1　遮水壁の構成断面

維持管理の手順には定まったものがないが，基本的なフローは**図－2**に示すとおりである。

*どい　まさひこ　東京電力株式会社　技術統括部技術開発センター　設備基盤技術グループ



図－２　遮水壁の維持管理手順例

２．劣化・損傷[1)]

2.1　劣化・損傷の分類とメカニズム

⑴　ひび割れ

遮水壁の表面に生じる損傷で，主に遮水層に発生する。その形態により「線状ひび割れ」と「亀甲状ひび割れ」の２種類に大別できる。

ひび割れは，通常は遮水壁表面から発生し，深さ方向に進展する。これを放置しておくと時間の経過とともにひび割れの幅や深さは増大し，場合によっては，その本数も増加することがある。例を**写真－１**に示す。

ひび割れの発生は，主に次の要因による。

○温度変化：外気温の変化に伴う温度の下降・上昇による収縮・膨張の繰り返しにより，アスファルト材料に内部または外部拘束に伴う応力（温度応力）の発生や疲労が蓄積されることにより生じる。

○変形：堤体等，基盤構造の変形により生じる。なお，基盤構造の変形は経時的なクリープや，水圧・地震力等の外力の作用により生じる。

特に温度応力によるひび割れが代表的であり，この繰り返し温度変化（温度応力）によるひび割れを温度ひび割れ（サーマルクラック）と呼んでいる。中でも寒冷地のような厳しい気象条件下に曝される状態，つまり寒暖の温度変化が大きい地域では影響が大きく，遮水壁材料の配合や施工，維持補修方法が不適切な場合には大きな損傷に至ることがある。

温度ひび割れは，ダム・調整池等の水利構造物の供用条件を考慮すると，日照の影響を強く受ける遮水壁面の水位より上の部分に，多く発生する傾向がある。

また，ダム・調整池等の基盤となる構造物自身の変形や地震等の外力により生じるひび割れもあることから，温度ひび割れとの違いを理解しておくことが重要である。

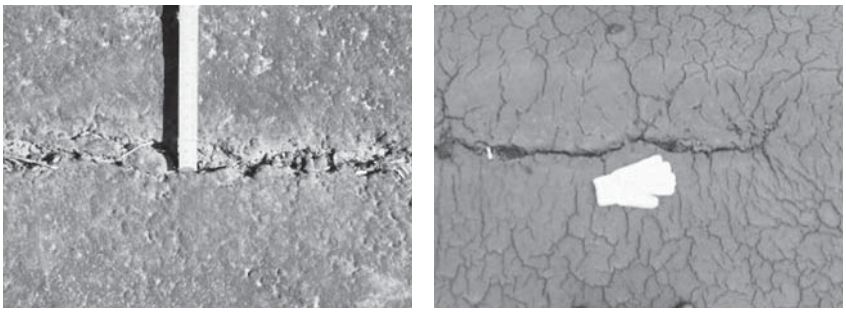
⑵　ブリスタリング

遮水層あるいは表面保護層が膨れ上がる現象である。

遮水層に発生するブリスタリングは，遮水層の層間（層と層の境界面）あるいは層内に閉じこめられた空気や水蒸気が，太陽光（日射）等の熱によって膨張し，上部の遮水層を持ち上げることにより生じる。

表面保護層に発生するブリスタリングは，スキーザや吹付け施工の際に表面保護層と遮水層の間に残留した空気や湿気が，気温の上昇等により膨張することにより生じる。

ブリスタリングの発生時期には，“舗設中あるいは舗設直後（建設中・施工中）”と“供用開始後，数ヶ月



線状ひび割れ　　亀甲状ひび割れ

写真－１　ひび割れの損傷例

から数年を経過した後（建設後・施工完了後）”の２つの傾向があり，他の劣化・損傷とは異なる一面を有している。

前者については，アスファルト混合物の温度が高いうちに，主として転圧用ローラの水が舗設面付近に閉じこめられ，アスファルト混合物自体が有する温度で気化し膨れ上がり生じる。この場合は，施工中のため処置対応が早急に可能であり，処置自体も比較的容易である。

問題となるブリスタリングは後者である。供用開始後，何らかの理由で遮水層内・境界に浸入・発生した水分やガスが遮水層内部に閉じこめられ発生する。ブリスタリングの発生原因と考えられる水分等が主に施工時に封入されたものと想定すると，微細な空隙から外部へ放出されるなど，供用年数とともに徐々に減少するはずである。

しかしながら，既往の発生事例からは，ブリスタリングを放置すると，時間の経過ともに膨れ上がりが成長し，発生数が増加する傾向が見受けられる。また，場合によってはブリスタリングの頂部が裂け，遮水機能の低下につながることがある。例を**写真－２**に示す。

⑶　摩耗

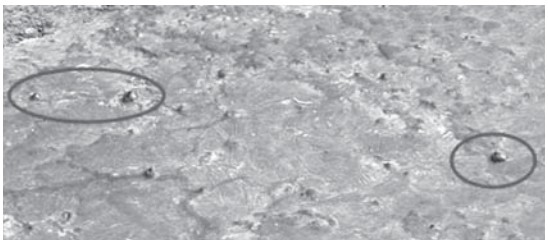
表面保護層や遮水層の表面が，部分的あるいは面的に擦り減る現象であり，その主な発生原因は，遮水壁面の雪氷の滑落等である。例を**写真－３**に示す。

⑷　スロープフロー

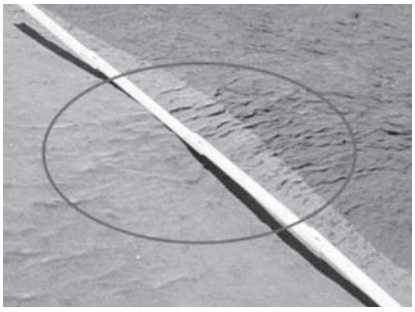
表面保護層や遮水層が，施工直後や夏季等の高温時に，面状あるいは局部的に斜面下方に向かって流動する現象である。

特に表面保護層で多く見られるのは，通常２㎜程度の表面保護層の厚さが厚過ぎる場合に，外気温の上昇により局部的に軟質となる箇所に発生する。

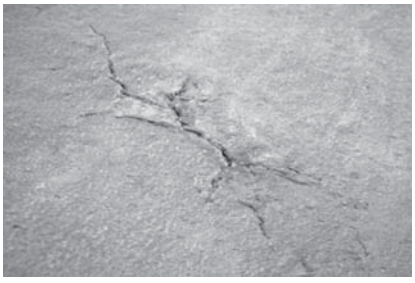
表面保護層でフローの発生規模が大きく遮水層にまで影響がおよぶ場合に放置すると，流下開始点の遮水層にひび割れが生じる。例を**写真－４**に示す。



表面保護層への発生

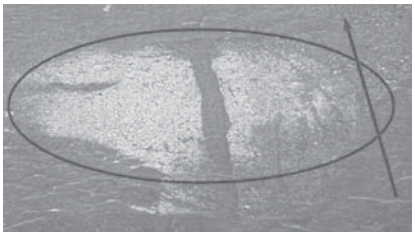


遮水層間への発生（折尺の影に注意）

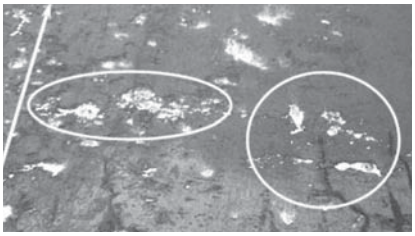


遮水層間に発生したブリスタリング頂部の破裂

写真－２　ブリスタリングの発生例



表面保護層の面的な摩耗



表面保護層の部分的な摩耗

写真－３　摩耗の例

表面保護層への発生例

遮水層への発生例

写真－４　スロープフローの例

⑸　マッドカーリング

表面保護層や遮水層に泥，粘土，砂等が堆積して堆積箇所に損傷を与える現象である。

原因は，水中に浮遊している泥，粘土等が遮水壁面に沈降・付着・堆積した後，堆積箇所が露出した際に，付着物が急激に乾燥収縮して表面保護層を一緒に捲り上げてしまうことによる。

損傷は表面保護層だけに留まらず，場合によっては遮水層表面までも捲るように引張り，ウロコ状の損傷となることがある。特に運用水位付近の遮水壁面では，泥，粘土等の付着→堆積→乾燥が繰り返されることにより，損傷の発生，および損傷の拡大が助長され易い。例を**写真－５**に示す。

⑹　亀甲模様

表面保護層あるいは遮水層が体積収縮により，亀甲模様に似た損傷を生じる現象である。

この損傷は⑷スロープフローと同様に，表面保護層の厚さが厚い箇所での発生が多く，体積収縮の根本的な原因は，紫外線劣化によって変形性能が低下し，温度低下に伴う材料の収縮による体積変化に対して追従できないことによる。例を**写真－６**に示す。

⑺　その他

⑴～⑹の劣化・損傷以外に，これらの分類に含めていないひび割れやブリスタリング等の補修を実施した箇所に生じる損傷もある。

この補修実施箇所に生じる損傷は，劣化・損傷の発生要因やメカニズムを適切に把握せずに補修を実施したことに起因しており，的確に劣化・損傷の発生要因等を把握することが重要となる。

2.2　劣化・損傷に係るまとめ

⑴～⑺の分類と要因を含め，遮水壁には多種多様な劣化・損傷が発生し，それを引き起こす要因となる事象は，次のとおり存在する。

○施工（建設時）：水（水分），空気，石粉玉（混合不足で塊が残る状態），施工継目（目地）等

○気象（供用時）：気温，日照，降雪 等

○外力（供用時）：堤体・基盤の沈下・変形，流木類の衝突，堆積物の乾燥，積雪等の滑落 等

○補修（補修後）：材料不適，工法不適，施工不良 等

これまでに分類した劣化・損傷を，遮水壁での発生が予想される部位別に整理したものを**表－１**に示す。

表－１　各種損傷の発生が予想される遮水壁の部位

損傷の種類		発生部位	
		表面保護層	遮水層
⑴　ひび割れ	線　状		●
	亀甲状		●
⑵　ブリスタリング		●	●
⑶　摩耗		●	
⑷　スロープフロー		●	●
⑸　マッドカーリング		●	
⑹　亀甲模様		●	

※注
⑴亀甲状ひび割れ：遮水層に生じる損傷であり、遮水層への損傷発生と同時に保護層にも損傷が生じる。
⑵亀甲模様：表面保護層に生じる損傷であり、損傷が進展すると遮水層にも影響を及ぼす損傷である。

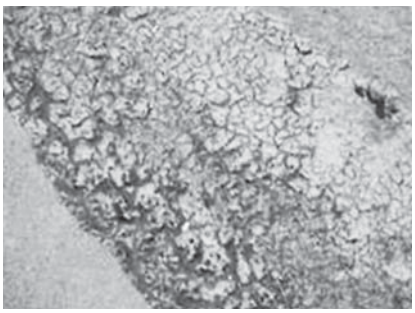
3．日常管理と定期管理

3.1　管理の種別

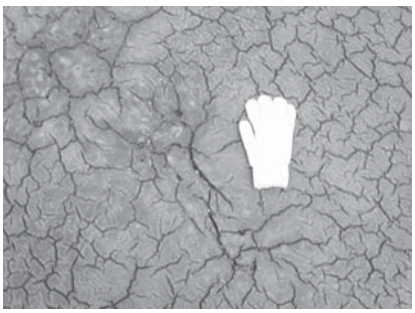
遮水壁の管理は，点検で遮水壁の状態を確認し，劣化・損傷が確認された箇所を中心として調査を実施することである。その調査結果に基づき，遮水壁の健全度を評価および補修要否を判断し，補修要の判断が為された際には補修を実施することになる。これが適切な遮水壁の維持管理に繋がることになる。

一般的に，ダム堤体に係わる管理方法は，ダム完成時にダム管理規程として定められ，これはダムの状態が経年的に安定するに従い，適宜，変更されることになるが，問題は遮水壁の扱いである。

遮水壁もダム堤体の一部として状況を監視することが必要であるが，具体的な方法等の定めは無い。併せて，これまで述べてきたように遮水壁の経年，供用による状態変化は，ダム堤体の管理とは別に，その管理



写真－５　マッドカーリングの損傷例



写真－６　亀甲模様の損傷例

方法を定めることが重要である。

遮水壁の管理は，**図－2**より日常管理と定期管理に大別されるが，各々の頻度や内容はダム・調整池の規模や重要度を考慮して定めるべきであるが，一般的には次のとおりである。

＜日常管理＞

○巡視点検：パトロールや巡視の際等，簡易な目視による状態確認を実施

○臨時点検：立地地域で自然災害が発生した際に目視を中心に実施（備え付け計測機器でも状態を確認）

＜定期管理＞

○定期点検：目視による状態確認に加え，抜水して遮水壁（遮水層）表面および内部の状態確認の詳細な調査を実施する。

各々の点検で確認された劣化・損傷は，遮水機能・性能等の評価に資するデータを得るために，後述の調査にて詳細を確認する。

3.2　管理の概要

点検の方法は各地点の供用環境等の条件の違いにより異なる。日常管理は，目視を中心とした簡易な点検であり，加えて設備に備え付けの各種計測機器の測定による継続的な状態確認を目的に実施するものである。この際に発見された劣化・損傷は，大まかに種類等を把握するに留まるが，遮水機能損失に繋がるような，対応に緊急性を要すると判断される損傷が確認できた際には，定期管理を待たず，速やかに調査を実施し対処することになる。

定期管理は，日常管理（巡視あるいは臨時点検）で確認された劣化・損傷等の変状を対象とするとともに，貯水の抜水を考慮しない日常管理では確認が困難な箇所も含めた遮水壁全体を確認の対象とした点検である。その際に，劣化・損傷の種類・位置・規模等，各々の状態の詳細把握を目的に調査を実施することになる。

通常，定期管理の実施時期は，夏期高温時におけるスロープフロー等の変状，冬期低温時に発生するひび割れ，雪氷の滑落による摩耗等の劣化・損傷の発生，進展要因を考慮して，春や秋に実施することが多い。

また，設備により，当該地点の気象，水文，地震等の計測設備，遮水材料や遮水壁を模した暴露試験設備，あるいは遮水壁の変形を測定する設備を有しているため，継続的に維持補修に係るデータを入手している。これらのデータを分析し評価することで，遮水壁の経年的な変化や異常事態を早期に確認できるとともに，長期的な視点にたった維持管理が実現できる。

3.3　管理の方法

一般的な管理の方法は，次のとおりである。

3.3.1　点検[1)]

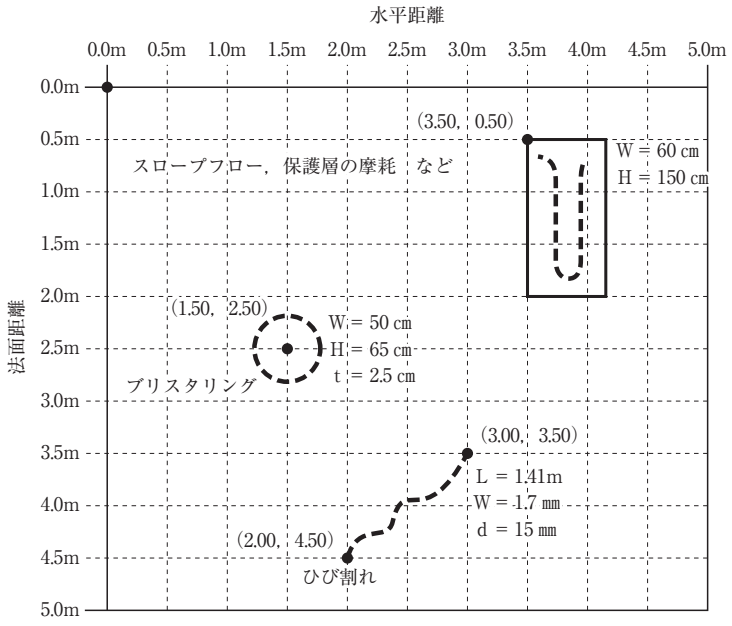
点検の目的は，遮水壁の表面状態，劣化・損傷の有無やその種類等を，目視を中心とした確認をすることである。確認結果は，所定の様式等で整理，保存され，調査の基本情報となる。

また，定期点検では，諸事情から貯水の抜水が不可能な場合や，その必要が無いと判断された場合に，貯水状態で，遮水壁水中部の確認に潜水士や水中点検ロボットを適用した例もある。

目視による点検結果の劣化・損傷の記録例を**図－3**に示す。

3.3.2　調査[1)]

点検で発見された劣化・損傷に加え，調査に際しても目視で点検を実施し，両者の劣化・損傷の種類，発生位置，規模等を正確に把握するとともに，点検結果に係る詳細な確認を実施する。

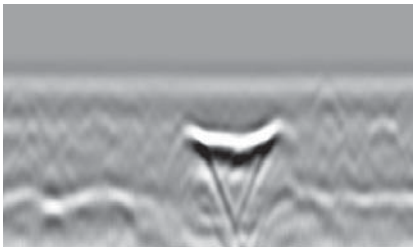


図－3　目視による確認結果の記録例

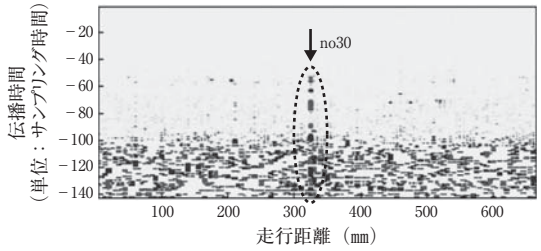
詳細な確認では，非破壊調査として電磁波レーダによる内部状況測定や，破壊調査としてコア等の試料採取を実施することになる。

(1) 電磁波レーダ

遮水壁内部に生じた空隙（空洞），滞水（層間の間隙水）の位置・面積あるいは亀裂深さ[2)]が探査対象となる。測定例を**図－4**に示す。



空隙・滞水の測定例



亀裂深さの測定例[2)]

図－4　電磁波レーダの測定例

(2) 試料採取

経年劣化等による遮水材料の状態を把握するために，直接，供用中の遮水壁や試料採取等を目的として設けられた暴露試験設備から試料を採取する。採取したアスファルト混合物の力学的な試験，および混合物より抽出したアスファルトバインダの分析試験（化学的，力学的）を実施する。

遮水壁に使用したアスファルトバインダおよび混合物の試験に係る明確な実施基準，および遮水壁としての結果の評価基準は明確に定められていないが，的確に遮水材料の性能低下の有無を把握することは，その結果から健全性並びに補修要否の判断が可能となる。

4．補修

遮水壁の遮水機能を長期にわたり維持するためには，遮水壁の状態を的確に把握し，その健全性を評価した後に，機能喪失に至る以前の適切な時期に補修を実施することが重要である。

ただし，健全性の評価方法・基準や補修の要否判断をする基準には定められたものが無い。そのため，個々の設備管理者の判断に委ねられ，管理の状態は様々であることが実情である。

補修は，日常点検や短期間の抜水点検時等に合わせて，部分的な遮水機能の維持・回復や劣化防止を目的とした「簡易補修」と，遮水壁自体の遮水機能の更新や遮水性能の向上を目的とした「大規模補修」とに大別できる。次に各補修の概要を述べる。

4.1　簡易補修[1)]

4.1.1　表面保護層の部分補修

貯水運用の水位変動や抜水により，水位が変動する範囲の表面保護層やそれ以深の常時水浸の表面保護層に対し，マッドカーリングによる表面保護層の捲れ上がり（剥離），雪氷の滑落等による摩耗，ひび割れおよびブリスタリング等，部分的に生じた損傷に保護層材料を再塗布して（**写真－7**），遮水層の保護機能を維持する。

4.1.2　遮水層の部分補修

(1) ひび割れ，コンクリート構造物との接合部の補修

ひび割れやコンクリート構造物と遮水層との接合部に生じた開口部に対し，水の浸入による遮水材料の劣化，ひび割れ等の進行抑制，並びに植物種子の定着による植物の繁茂を防止するために，損傷範囲に限定した瀝青系あるいは樹脂系の充填材を充填し閉塞する（**写真－8**）。

写真－7　表面保護層材料の塗布

写真－8　ひび割れへの充填材の充填

⑵　ブリスタリングの補修

ブリスタリングの発生部分だけを開削し，内部のゴミや泥を清掃，除去するとともに，水分を乾燥除去した後，アスファルト混合物で埋め戻して原形復旧する。

⑶　部分打換えによる補修

ひび割れ，骨材飛散，スロープフロー等により，遮水層の遮水機能が部分的に低下・喪失した個々の損傷に対する措置である。補修範囲は損傷発生箇所のみとした限定的範囲であり，その方法は２種類である。

○打換え：損傷箇所の遮水層を，切削等で除去した後，新たなアスファルト混合物で遮水層を再構築

○オーバーレイ：遮水壁の損傷箇所上に，１層から複数層の新たな遮水層を構築

4.2　大規模補修[1)]

⑴　表面保護層の補修

表面保護層の劣化や損傷に対し，全面的に表面保護層材料を再塗布して機能回復を図る。

部分補修と異なるのは，①既設の表面保護層を除去した後に表面保護層材料を塗布する場合と，②既設の表面保護層上に塗布する場合がある。

①の場合，旧表面保護層をウォータージェット（**写真－９**）や加熱等で除去する。その後，施工面のゴミや泥等を清掃・除去し乾燥状態にする。保護層材料の塗布は，加熱型はスキーザやスプレーヤによる。また，常温型はスプレーガンやスプレーヤ等による。

⑵　遮水層の補修

遮水壁全面のように広範囲にわたって生じた損傷に対して，既設の遮水層を撤去して遮水層を構築し直す打換え，あるいは既設の遮水層上に１層から複数層の遮水層を新たに設けるオーバーレイがある。

打換えの場合は，切削機等で既設の遮水層を撤去する（**写真－10**）。

4.3　補修の時期と判断

補修の必要性や実施時期の判断は難しく，指針等も存在しないことから，設備管理者の判断に任されているのが現状である。併せて，補修の実施段階でも材料・工法等の方法論も整理されておらず同様である。

具体的には，表面保護層の補修であれば，摩耗等による表面保護層の消失，減厚等による機能損失が，遮水層に劣化・損傷を引き起こす前の適切な時期に実施することが望ましく，遮水層に関しても，損傷であれば漏水等の機能喪失に至る以前に進展状態を把握して，あるいはアスファルト混合物の中長期的な経時変化を把握して，適切な維持補修を実施することが望ましい。

写真－９　既設保護層の除去（ウォータージェット）

写真－10　既設の遮水層を切削

５．おわりに

遮水壁の維持修繕に関する劣化損傷の実態，発生メカニズム，管理の方法，補修の概略を紹介したが，遮水壁の劣化・損傷要因（紫外線，温度，積雪の滑落等）を踏まえ，効果的・効率的に遮水壁の機能・性能を維持するために，調査～診断～補修（計画・施工）に渡る総括的なシステムを確立していくことが課題である。

ただし，設備管理者も，このような総括的な維持補修のシステムを確立を独自に実施し，設備維持に適用した例があるので興味をお持ちの方は参照されたい[3)]。

―― 参考文献 ――

１）舗装工学ライブラリー８　アスファルト遮水壁工，土木学会，2012.10

２）土居賢彦，田中正吾，城本政一：電磁波レーダによるアスファルト表面遮水壁の亀裂深度調査手法に関する研究，土木学会第67回年次学術講演会，Ⅵ-227，2012.9

３）土居賢彦，日馬謙一，浦田道彦：アスファルト遮水壁補修技術の開発と高野山ダム遮水壁補修工事への適用，電力土木，No.302，p84-p89，1993

IRIと道路管理画像を用いた路面管理システム

(Pavement Management System using the IRI and Road Management Images)

橘　高　　武*・奥　谷　敏　雄**・大　丸　浩　志***

路面の維持管理ではこれまで路面性状調査や日常点検から得られた多くのデータから補修工事が進められている。しかし，定期的に計画されている路面性状調査は，３～５年と調査頻度が低いため日々変化する路面状況に即していないのが現状である。そこで，日常点検等に活用されている路面管理画像を活用し，同時にIRIによる路面評価を加えた「見える動く道路台帳」をデータベースとした路面の維持管理について，その活用方法および課題について報告する。

１．はじめに

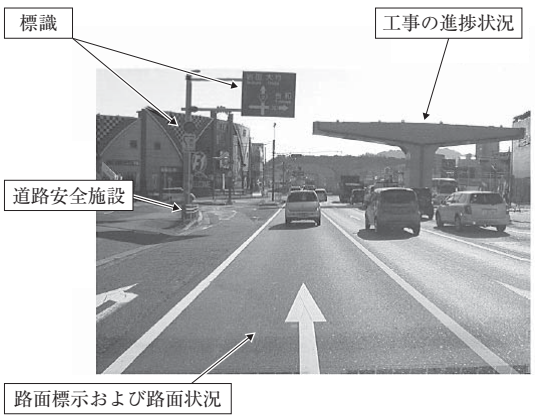
連続静止画やビデオを用いた道路管理画像は，日常点検，道路資産管理，補修区間の状況把握，安全施設等の設置状況および緊急時の線形確認など多くの場面で活用されている。本取り組みは，連続静止画を用いた道路管理画像に“乗り心地”指標であるIRI（International Roughness Index：国際ラフネス指数）を同時に表示させることで道路の利用者の目線に立った路面の損傷をより的確に把握し，適切な路面管理を実現させる手法を提案するものである。

路面の平たん性は，通行車両や気象および地形条件等によって変化する。その変化は，“乗り心地”として現れ，確実に悪化しながら供用性を低下させる。したがって，本システムは，IRIの変化を捉えることで路面の損傷程度を判定し，道路管理画像によって損傷要因を特定し補修個所の選定や補修費の集計をする新しい点検モデルとして確立を目指すものである。

２．道路管理画像の特徴

ここで用いた道路管理画像は，等間隔に撮影した連続静止画で構成されており，日常点検時などの確認用画像として導入したものである。そして，点検員の感覚に頼っていた路面評価を定量的に評価する方法としてIRIを導入し，道路管理画像と連動した路面評価方法として活用するものである。

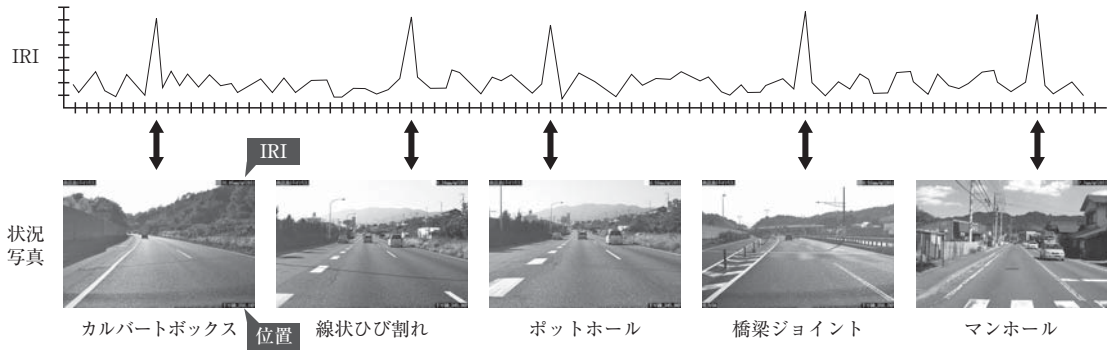
道路管理画像は，「見える動く道路台帳」として，**図－１**に示すとおり道路資産管理や維持管理に活用されている。



図－１　道路管理画像

また，IRIと道路管理画像を組み合わせることで**図－２**に示すとおり，舗装の損傷を容易に把握でき，現地に再度確認に出向くことなく画像より効率よく路面状況を判断することができる。このように10ｍピッチの画像と乗り心地を評価するIRIの路面損傷データを連携させたデータベースを作成することで，適正な路面管理に繋がる舗装マネジメントシステム（PMS）の構築が可能になると考えている。

*きったか　たけし　西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社
**おくたに　としお　西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社
***だいまる　ひろし　西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社



図－２　IRIと損傷状況

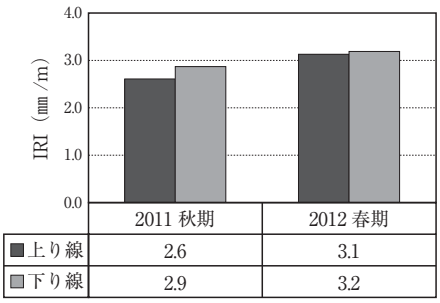
３．IRIと道路管理画像による路面管理

路面管理には，定期的に実施されている路面性状調査をベースに年間の補修計画といった中長期的なマネジメント管理が求められる場合と，日々点検を行いながら緊急的な対応が求められる場合とがある。ここでは，IRIと静止画像を組み合わせたデータの活用方法について紹介する。

⑴　路線評価としてのIRI

路面管理の基本的な位置付けとして，各路線や区間単位での評価が必要となる。その補修の優先順位を付けるうえでIRIは分かりやすい指標と考えている。

図－３は，積雪地域（約20㎞区間）における冬期間のIRIの経年変化を示したものである。



	2011 秋期	2012 春期
■上り線	2.6	3.1
■下り線	2.9	3.2

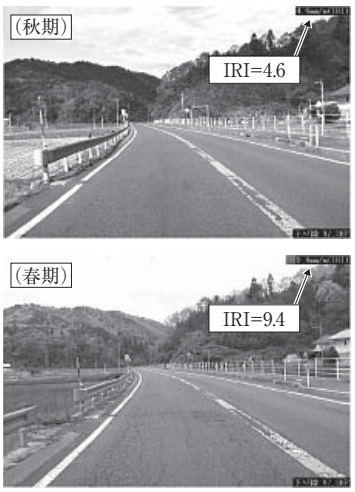
図－３　冬期間におけるIRIの経年変化

冬期前の秋に測定したIRIの平均値は，上り線2.6，下り線2.9であったものが，春の測定では上り線3.1，下り線3.2と大きな値を示していた。これは，冬期間に路面の損傷が進行し乗り心地に現れたことを示している。

このことから，路面は経年とともに確実に劣化が進行し，IRIに変化が現れていることが伺える。

このような値を路線別や区間別に捉えることで，評価区間の路面がどの程度で維持されているか，また，他路線に比較してどの程度の水準にあるか等の評価ができるとともに，補修区間の優先順位設定が可能と考えられる。

図－４は冬期間に変化した箇所の状況を捉えた道路管理画像である。画像からは，経年的に路面の損傷が進行している様子を読み取ることができる。また，写真の右上に示されるIRIの値も4.6から9.4と大きく変化しており，これに対応した損傷の進行状況や損傷範囲を画像から容易に把握することができる。

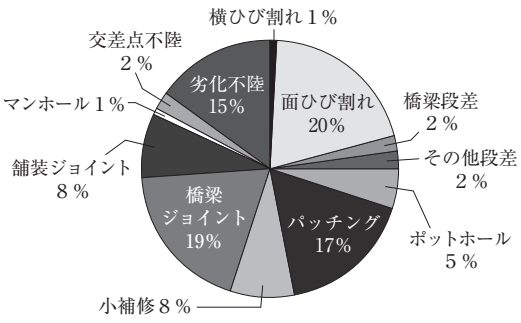


図－４　路面の経年変化

⑵　局部損傷の抽出

画像データのもう一つの特徴は，局部的な損傷の抽出ができる点にある。

図－５は，概ね半数以上の人が不快と感じる損傷レベル箇所を10ｍピッチに損傷別に判読し集計したものである。これらの評価データは，**図－４**に示した画像から読み取ったものである。



図－５　損傷別集計図

ここで10ｍピッチに損傷を集計したのは，舗装調査・試験法便覧の中に「評価延長を短くすることにより鋭敏性の高い平たん性の評価が可能で，平たん性不良箇所の抽出に利用することが出来る。」[1)]とあり，乗り心地に与える要因を細かく分析する上で適した評価延長と考えたからである。

集計結果を見ても，乗り心地に与える要因は様々な要因が含まれていることが分かる。

損傷を大別すると①段差，②ひび割れ，③局部損傷，④人口工作物に分類できる。道路台帳の平面図と画像を組み合わせると，これらを以下のような詳細に分類することができる。

段　　差：切盛境・橋梁取付部・カルバートボックス等の地下埋設物による段差
ひ び 割 れ：縦ひび割れ・横ひび割れ・面状ひび割れ
局 部 損 傷：ポットホール・パッチング・小補修
人口工作物：橋梁ジョイント・舗装ジョイント・目地・薄層舗装，グルービング，溝切工，マンホール，交差点等

また，土工，橋梁，トンネル等の構造物区分や舗装種別等が判読でき，これらの情報を基に補修工法の選定に繋げることができると考えている。

補修工法を検討する場合，例えば，ひび割れの発生個所で，面状ひび割れと判断したとき，次のケースが考えられる。表面劣化からくる全面ひび割れと走行位置に広がった面状ひび割れでは，ひび割れ率から見れば同程度の値を示していても，損傷の要因は異なる場合が多い。これにIRIの指標を加味すると，損傷程度を評価することができる。

前者の場合，表面劣化は進行しているがIRIが小さいと舗装体の支持力は確保されていると判断できる。一方，交通量の多い区間で，IRIは比較的大きく進行している場合，舗装体の支持力が低下していると想定される。したがって，それぞれの補修方法も異なってくる。

また，排水性舗装のようなひび割れの判読が困難な舗装の損傷についても，IRIを経年的に測定することで損傷の変化を捉えることができる。

このように損傷を詳細に分類することによって適切な補修工法を選択できるとともに，細分化されたデータベースを構築することは，適切な路面管理に繋がるものと考えている。

⑶　舗装マネジメントシステム（PMS）の構築

舗装マネジメントシステムには，効率的な補修個所の選定・道路管理水準の維持計画・それらの予算管理等が求められる。ここでは，**図－６**に示す簡易的なマネジメントシステムについて紹介する。

これは，10ｍ単位の道路管理画像に10ｍ評価のIRI，画像より読み取った管理水準以上の損傷種別，舗装種別，構造物区分より構成されたデータベースを基に構築したものである。

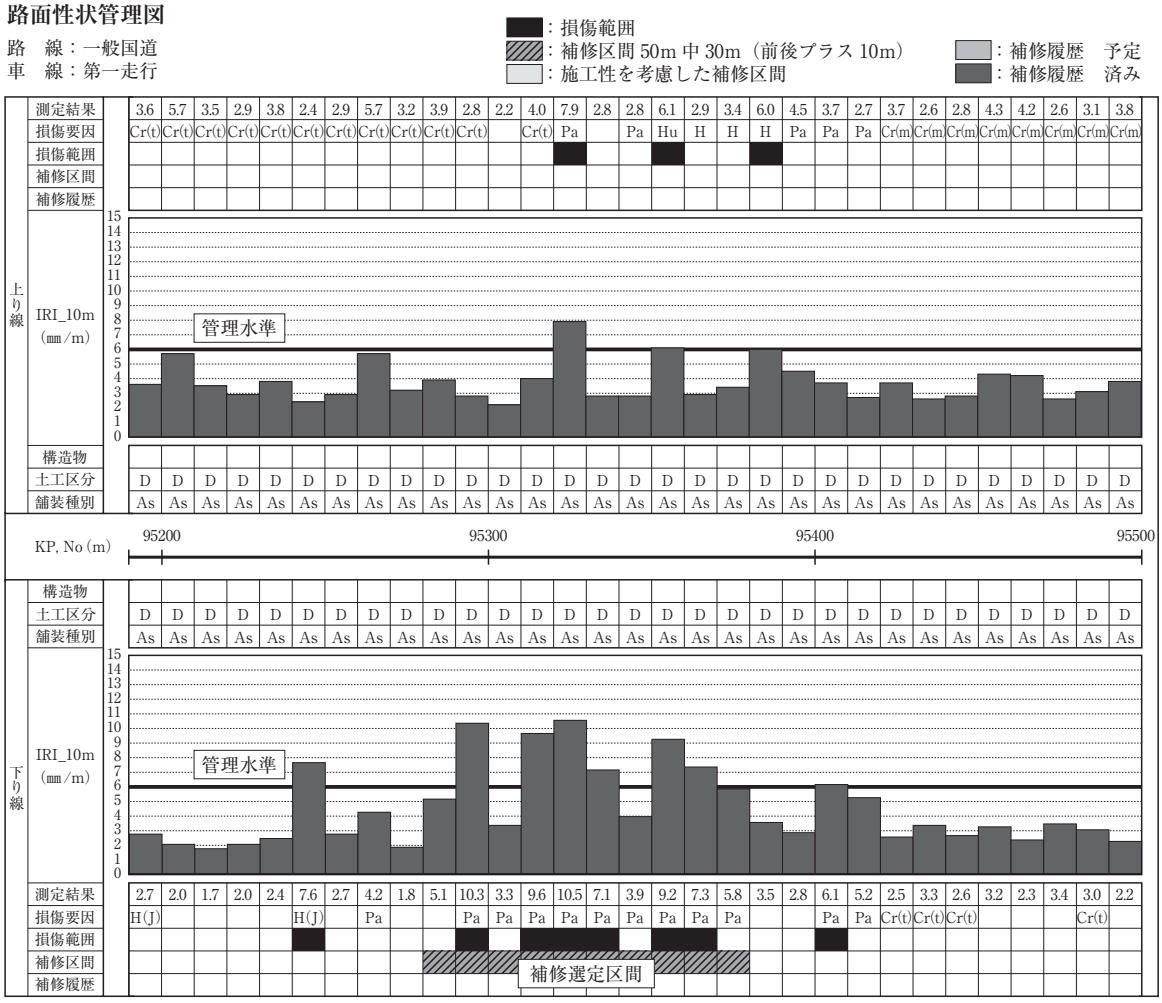
管理水準は，路線の特徴や重要度に応じて設定を変えることができる。したがって，統一された基準値はなく道路管理者による設定を基本としている。

補修選定区間は，管理水準以上の区間を抽出し補修延長を考慮しながら比較的自由に選定できる設定としている。選定した区間は自動的に集計し予算管理ができる仕組みとなっている。

PMSの活用としてはこれ以外に，舗装に関するデータを付加することで損傷の進行状況の把握や，地図上に劣化箇所の分布図を表示したり，劣化予測等に用いることができる。そのために想定されるデータの構成は，**図－７**に示すような画像毎に次のようなものが想定される。

○画像
　撮影日時，位置情報（緯度・経度）
○基本情報[2)]
　舗装計画交通量，設計CBR，舗装構成と使用材料，舗設年度，幅員，交通量調査結果（24時間交通量・大型車混入率）
○路面性状調査等
　ひび割れ率，わだち掘れ量，縦断凹凸（IRI），パッチング数，その他（沿道住民からの要望）
○補修履歴
　施工時期，補修工法，補修材料

以上のデータを画像一枚一枚に連携させ管理しながら継続的に解析・運用することで適正な舗装マネジメントができると考えている。



凡　例（●印が損傷範囲条件で選択された項目）

構造物区分	● Br：橋梁	● T：トンネル	● C-Bx：C-Bx	● k：交差点	● X：未改良区間
土工区分	● b：盛土	● c：切土	● D：土工		
舗装種別	● As：As	● Co：Co	● 排：排水性	● X：不明	
損傷要因	● W：わだち掘れ	● H(J)：舗装ジョイント	● Cr(t)：縦ひび割れ	● M：マンホール	● Po：ポットホール
	● Br(J)：橋梁ジョイント	● Hu：路面不陸	● Cr(m)：面ひび割れ	● H(h)：薄層舗装	● Mi：溝切工
	● Da：段差	● Co(J)：Co 舗装目地	● Cr(y)：横ひび割れ	● F：踏切	● Pa：パッチング

● O：その他　● G：グルービング
● H：小補修　● X：不明
● ：損傷なし

図－6　舗装マネジメント（路面性状管理図）

図－7　10 m を 1 単位とした画像のイメージ図

4．今後の課題

路面管理をするうえで重要な路面性状データや舗装に関する基礎データの精度は，路面評価において重要な要素を含んでいる。特に，今回提案しているIRIによる管理方法については，研究段階での報告はあるものの実際の管理において使用した実績は殆んどないのが実態である。そこで，IRIを用いた路面管理方法や路面性状データの取得方法における課題について述べる。

⑴ IRIの精度

路面性状調査のひび割れ・わだち掘れ・平たん性（δ）を測定する路面性状自動測定車の性能確認は，定期的な検定試験により精度が確保されている。一方，IRIの測定機器に関する性能確認試験は現在統一されたものはなく，機器ごとにキャリブレーションを行い測定しているのが現状である。

IRIの算出方法は，**表－1**に示す4クラスに分類されている。直接路面のプロファイルを求め算出するタイプや，車両の振動をIRIとの相関式により求めるタイプ，また，調査員が体感しIRIを推測するなどさまざまな方法でIRIは測定され数値化されている。

測定装置が多様化している現状から，IRIによる管理規準値を設定するには，統一された試験区間などで精度や測定方法を基準化させることが必要である[3]。

表－1　路面の凹凸等の測定方法とIRIの算出方法[1]

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

⑵ 管理規準値の設定

現在，IRIの管理規準値を設けているのは，高速道路であり，しきい値は200ｍ評価の3.5である[4]。

本システムでの基本的なデータは，10ｍピッチに構成し評価する方法を取っている。評価延長を短くすることは，局部的な損傷個所を捉え易くなるが，どの程度の値が供用性を低下させているのか検証する必要がある。

管理規準値は，実際の日常点検から補修が必要とされる箇所と，そのIRIの値との関係から決める方法が考えられる。そして，その規準値は路線・区間等を考慮して道路管理者により個々に設定されるものである。

⑶ 路面性状測定値との関係

従来から実施されている路面性状測定（わだち掘れ・ひび割れ・平たん性（σ））とIRIとの関係については，平たん性（σ）以外は明確な相関を見出すことはできていないが，ひび割れの発生が走行車両の影響により進行し支持力の低下した箇所については経年的にIRIが大きくなる傾向が見られる。

これまでの路面性状測定データや舗装体調査結果等は，道路管理にとって今後とも必要なものであるが，さらに，これらのデータに乗り心地評価であるIRIを組み合わせることで補修工法の選定や将来予測の精度を高めることができると考えている。そのような観点からも，IRIの変化とともに舗装体の性状を捉えた調査データの蓄積は今後の路面評価に必要である。

5．まとめ

道路管理画像とIRIの活用方法について述べてきた。道路管理画像では，「見える動く道路台帳」として十分機能を発揮し，日々の道路管理に活用できることを紹介した。また，10ｍ評価のIRIは，局部損傷の抽出に適しており，画像と合わせると損傷要因が判読できるなど活躍シーンの多いことを紹介した。

近年の道路管理は，CS(顧客満足度)など機能面での評価が求められている。乗り心地評価としてのIRIは，道路利用者や沿道住民に対しての説明時にも，理解されやすい指標といえる。

IRIの路面管理への適応性についての認知度はまだ低いと感じてはいるが，最近では多くの研究成果が報告され，手軽なスマートホン等で路面評価を行う方法などさらに新しい研究も進められている。

新しい技術が進歩するなか，測定方法も多様化するのは望ましいと思われるが，道路管理をする立場からは，統一された測定器のキャリブレーションや評価方法，適正に説明できる管理規準値の設定が求められている。今回提案した課題をクリアすることで，全国どこでも信頼されるIRIの活用を望むものである。

参考文献

1）国際ラフネス指数（IRI）の調査方法 ㈳日本道路協会：舗装調査・試験法便覧（平成19年6月）

2）小田桐潔：舗装の総点検の実施について，舗装48-9，2013，P8～12

3）川村彰：路面管理指標としてのIRIの可能性と展望，舗装48-9，2013，P13～16

4）設計要領第一集舗装編，東日本高速道路㈱，中日本高速道路㈱，西日本高速道路㈱

アスファルトの粘弾性的性質を考慮した舗装の設計

(Design Method for Pavement Under Heavy Weight Considering Visco-elastic Behavior of Asphalt)

桃　谷　尚　嗣*・関　根　悦　夫**

鉄道貨物駅のコンテナヤード舗装では，多層弾性解析による理論的設計方法を用いて，大型荷役機械の重荷重に対応した設計を行っている。一般的に重荷重下の条件で理論的設計方法を行った場合，基層下面の引張りひずみによる疲労破壊ではなく，路床上面の永久変形に対する許容載荷輪数で舗装断面が決定される。しかしながら，低速走行時の基層のひずみを実物大試験において評価した結果，多層弾性解析で得られるよりもはるかに大きなひずみが生じることが明らかとなった。ここでは，重荷重下において，走行速度やタイヤ接地圧分布が基層のひずみに与える影響を評価した上で，高い精度で重荷重下の低速走行時のひずみを推定するための方法を紹介する。さらに，LS-DYNA を用いた粘弾性解析により，低速走行時のひずみを評価した結果を紹介する。

1．はじめに

鉄道貨物駅では近年，大型コンテナの取扱量が増加しており，荷役作業を行うコンテナヤードでは輪荷重の大きな大型荷役機械の導入が進んでいる。

道路舗装の設計では標準荷重を49kNとしているが[1,2]，大型荷役機械の輪荷重は最大400～500kNに達することから，コンテナヤードのアスファルト舗装の設計では重荷重に対応するため，多層弾性解析を用いた理論的設計方法が用いられてきた[3,4]。理論的設計方法で用いられるAI（アメリカアスファルト協会）の破壊規準式では，許容載荷輪数が基層下面の引張りひずみの−3.291乗で低減するが，路床上面の圧縮ひずみに対しては−4.477乗で低減する。このため，重荷重下の条件では路床上面の圧縮ひずみの影響が支配的になり，舗装の断面は実質的に路床の永久変形に対する許容載荷輪数で決定されている。しかしながら，現実にはアスファルト混合物層のひび割れや流動に起因する破壊形態も見られることから，アスファルト混合物層の変形特性についても，十分な検討をしておく必要があった。

コンテナヤードの荷役機械は走行速度が比較的遅く，舗装に対する載荷時間が長くなるという特徴がある。一般的にアスファルト混合物は粘弾性的な性質を示す[5]ことから，載荷時間が長くなると見かけ上の弾性係数が低下して変形が大きくなるので，低速走行時の変形特性を適切に評価するためには，アスファルト混合物特性の速度依存性を考慮する必要がある。

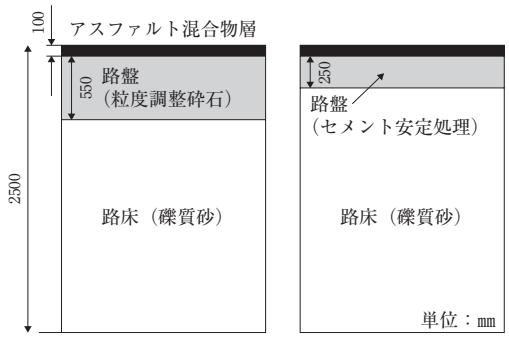
そこで，本稿では重荷重を受けるアスファルト舗装の設計において，走行速度の影響を考慮して基層のひずみを推定するための検討として，実物大試験および現地試験の結果について，多層弾性解析および粘弾性解析による評価を行った結果について紹介する。

2．試験舗装における載荷試験

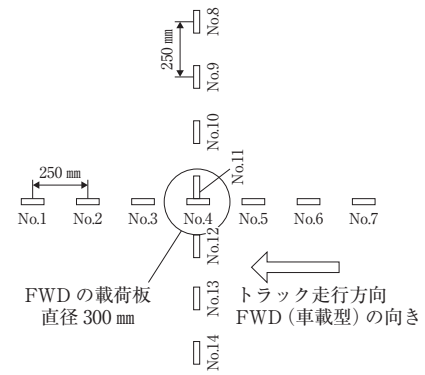
2.1　試験舗装の概要

図－1に示す2種類の試験舗装において，繰返し載荷試験および大型トラックの低速走行試験を行った。試験土槽は長さ7 m，幅3.5m，深さ2.5mであり，アスファルト混合物層の厚さを10㎝とした。表層（5㎝）は密粒度アスファルト混合物，基層（5㎝）は粗粒度アスファルト混合物とした。路盤は「試験舗装A」では厚さ55㎝の粒度調整砕石，「試験舗装B」では厚さ25㎝のセメント安定処理とし，路床はどちらも締固め度95%の礫質砂とした。

*ももや　よしつぐ　（公財）鉄道総合技術研究所　軌道技術研究部　軌道・路盤
**せきね　えつお　前（公財）鉄道総合技術研究所　軌道技術研究部　軌道・路盤（現　北武コンサルタント株式会社）



図－１　試験舗装の断面



図－２　ひずみゲージの配置（平面図）

基層下面（深さ8.6㎝）には**図－２**に示す配置で，アスファルト混合物用のひずみゲージ（東京測器研究所製：PMFLS，ゲージ長60㎜）を各試験舗装に14枚ずつ埋設した。

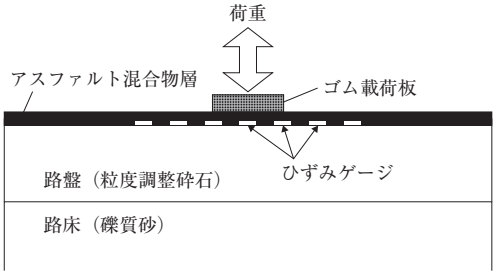
はじめに，舗装および路床の弾性係数を推定するために，FWD試験を行い，静的逆解析を行った。FWD試験の載荷荷重は49kN，78kN，98kNの３段階とした。舗装表面のたわみ形状から拡張ベイズ法による静的逆解析[6]により推定した弾性係数を**表－１**に示す。

なお，逆解析で推定された表基層と路床の弾性係数は試験舗装ＡとＢでやや差があったが，同時期に同様の方法で構築していることから，表基層については試験舗装ＡとＢの平均値を用いることとし，路床については路床構築時に小型FWD試験で得られた弾性係数が試験舗装Ａ，Ｂともに70MN/㎡程度であった[7]ことから，後述する繰返し載荷試験，大型トラック走行試験の評価における多層弾性解析の静的順解析に用いる弾性係数は**表－２**のとおりとした。

2.2　繰返し載荷試験におけるひずみの評価

2.2.1　繰返し載荷試験の方法

試験舗装Ａにおいて，**図－３**に示すゴム載荷板を用いた繰返し載荷試験を行った。ゴム載荷板の形状は大型荷役機械のタイヤ接地面を考慮して，50㎝×50㎝の正方形とし，厚さは10㎝とした。ゴム硬度はホイールトラッキング試験に用いるゴムタイヤと同程度（ゴム硬度約80）とした。荷重の全振幅は55kN，105kN，155kN，205kN，255kNの５段階とし，載荷方法は繰返



図－３　ゴム載荷板による繰返し載荷（試験舗装Ａ）

表－１　静的逆解析により推定した弾性係数

試験舗装	載荷荷重（kN）	弾性係数（MN/㎡）				路面温度（℃）	基層温度（℃）
		表基層 ν=0.35		路盤 ν=0.4（A） ν=0.25（B）	路床 ν=0.45		
		温度補正前	20℃補正				
A	49.71	5040	7420	290	72	28.1	29.1
	77.54	5220	7880	272	74	28.0	29.6
	96.99	5000	7920	284	70	29.3	31.0
B	49.75	5380	8240	3600	104	29.1	30.1
	78.59	5800	8820	3600	100	28.6	29.9
	98.15	5380	8320	3440	96	29.0	30.3

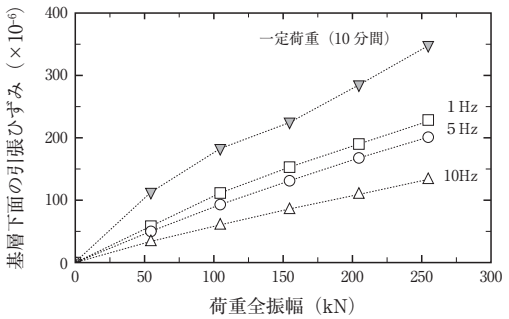
表－２　静的順解析に用いた弾性係数とポアソン比

試験舗装	層名	材料名	弾性係数（MN/㎡）	ポアソン比
A	表基層	アスファルト混合物	5300	0.35
	路盤	粒度調整砕石	280	0.4
	路床	礫質砂	70	0.45
B	表基層	アスファルト混合物	5300	0.35
	路盤	セメント安定処理	3500	0.25
	路床	礫質砂	70	0.45

し載荷（正弦波：1 Hz，5 Hz，10Hz）および一定荷重（10分間）とした。

2. 2. 2　繰返し載荷試験の結果

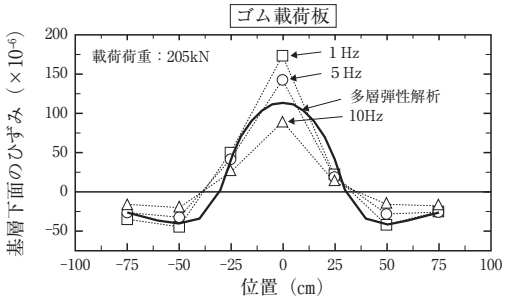
載荷荷重（荷重全振幅）とゴム載荷板中央部直下の基層下面の引張ひずみの関係を**図－4**に示す。大きな輪荷重と静的載荷による舗装の塑性変形が，後述するトラック走行試験の結果に影響を与えないよう，ここではゴム載荷板をひずみゲージNo.13の直上に設置した。基層下面のひずみは大型荷役機械の最大輪荷重に相当する250kN（タイヤ1輪あたり）程度の重荷重に対しても，荷重に対してほぼ線形の関係にあることが確認された。この結果は，設計において弾性解析を用いるのは妥当であることを示している。



図－4　載荷荷重・載荷速度と基層下面のひずみ

その一方，基層のひずみは載荷時間（載荷周波数）の影響を強く受け，載荷周波数が1 Hzの場合は10Hzの場合よりも約1.7倍，一定荷重（10分間）の場合は，10Hzの場合よりも約2.7倍大きくなる結果であった。

ゴム載荷板をひずみゲージNo.4の直上に設置し，荷重全振幅205kNを与えた場合を例として，実測値と多層弾性解析におけるひずみ分布の比較を**図－5**に示す。ゴム載荷板の設置位置が異なるため，条件のばらつきにより，ひずみの値は**図－4**に示した結果とは一致していない。なお，多層弾性解析に用いたアスファルト混合物層の弾性係数はFWD試験により得られた**表－2**をもとに，式(1)[8]から試験時の基層温度21.5℃で補正して7500MN/㎡とした。



図－5　基層下面のひずみ分布

$$E_{as(20)} = E_{as(T)} \times 10^{(-0.0184 \times (20-T))} \quad (1)$$

ここで

$E_{as(20)}$：20℃におけるアスファルト混合物層の弾性係数

$E_{as(T)}$：T（℃）におけるアスファルト混合物層の弾性係数

多層弾性解析により得られたひずみは，載荷周波数10Hzと5 Hzの中間程度の値となった。このように，載荷速度の速いFWD試験結果の逆解析により推定した弾性係数を用いて多層弾性解析を行った場合，載荷周波数が1 Hz程度となるような低速載荷時のひずみは解析値よりも大きくなることがわかった。

以上の結果から，重荷重舗装の設計において，多層弾性解析を適用することは妥当であると考えられるが，低速走行時のひずみを推定する際には，速度依存性を考慮して適切に弾性係数を設定する必要があると考えられる。

2. 2. 3　載荷時間を考慮したひずみの推定

載荷時間を考慮してアスファルト混合物層の弾性係数（スティフネス）を設定することで，多層弾性解析においても，低速走行時のひずみを推定することができると考えられる。そこで，レジリエントモジュラス試験とFWD試験の結果から，アスファルト混合物層の載荷時間依存性について検討した結果を用いて，式(2)により補正[9]した弾性係数を用いて，載荷時間を考慮して基層のひずみを推定することとした。

$$E_1 = E_0 \, (t_1/t_0)^a \quad (2)$$
$$a = 0.0095T + 0.0559$$

ここで

E_0：基準となる弾性係数（FWDの弾性係数）

E_1：補正した弾性係数（スティフネス）

t_0：基準となる載荷時間（FWDの載荷時間）

t_1：実際の載荷時間

a：温度の補正係数

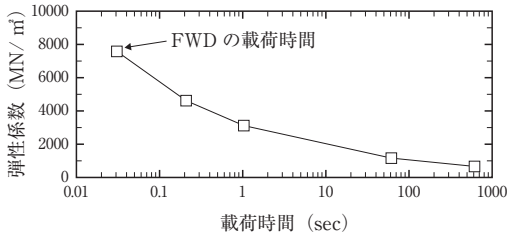
T：アスファルト混合物層の温度（℃）

載荷時間の影響を考慮して補正した弾性係数（スティフネス）を**図－６**に示す。載荷時間が長くなるに従い，弾性係数（スティフネス）が小さくなっていることが確認できる。

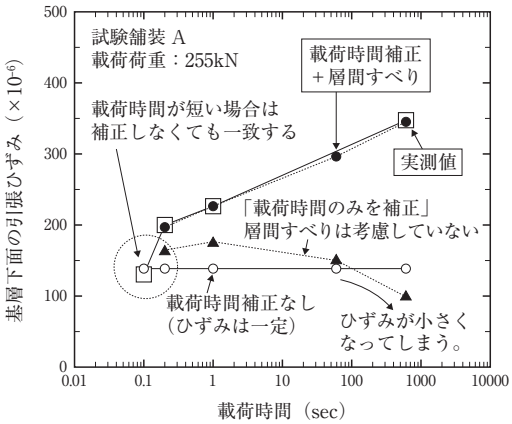
載荷時間により補正した弾性係数を用いた多層弾性解析の結果を，**図－７**中の「載荷時間のみを補正」として示す。

実測値では載荷時間が長くなるのに従って基層下面の引張ひずみが増加するが，単純に弾性係数を低下させて行った解析では，載荷時間が長い場合に，基層のひずみが小さくなる結果であり，実測値の傾向とは一致しなかった。

これは，アスファルト混合物層の弾性係数が低下して路盤の弾性係数に近づくと，多層弾性解析では各層の境界面を連続（固着）としているため，アスファルト混合物層の変形が路盤に拘束されることにより基層下面にひずみが生じにくくなるためであると考えられる。実際には路盤とアスファルト混合物層が完全に固着して一体の板構造として挙動するとは考えにくいことから，多層弾性解析（GAMES）において，基層と路盤の境界面に「層間すべり」を適用することとした[10)]。



図－６　載荷時間と弾性係数（スティフネス）の関係



図－７　載荷荷重・載荷速度と基層下面のひずみ

GAMESの層間すべりは第i層と$i+1$層の間ですべりが発生する場合を式(3)でモデル化する。

$$(1-\alpha_i)\left\{u_r^i(h_i)-u_r^{i+1}(0)\right\}=\alpha_i\,\beta_i\,\tau_{rz}^i(h_i) \tag{3}$$

ここに，α_iは「すべり率」で，0が完全付着，1に近づくほど摩擦が0に近づく。$\tau_{rz}^i(h_i)$はi番目と$i+1$番目間のせん断応力である。また，α_iが無次元となるように，β_iは式(4)のとおりとしている。なお，bは複数の荷重が作用している場合の最大載荷半径である。

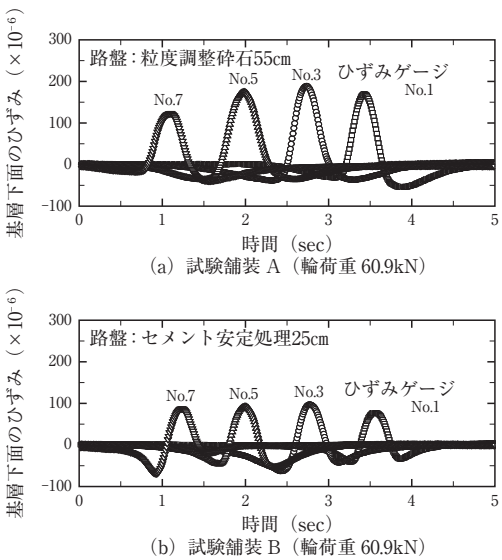
$$\beta_i=b^*\left(\frac{1+\nu_i}{E_i}+\frac{1+\nu_{i+1}}{E_{i+1}}\right) \tag{4}$$

ここでは基層と路盤の層間のすべり率0.4と仮定した。その結果，**図－７**中に示したように，載荷時間が長くなると基層の引張ひずみも大きくなるという実測値と同様の結果が解析でも得られた。すなわち，多層弾性解析において層間すべりを考慮すれば，アスファルト混合物層の載荷速度依存性を考慮して基層のひずみを推定できることがわかった。

３．走行試験におけるひずみの推定

3.1　試験舗装におけるトラック走行試験

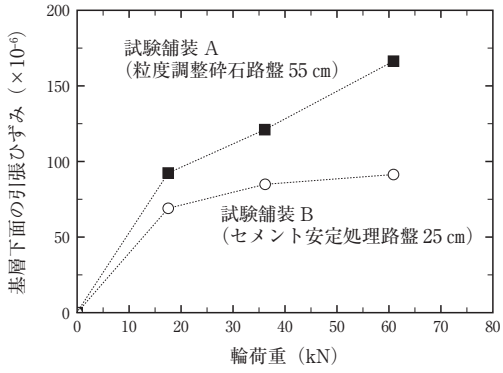
試験舗装Ａおよび試験舗装Ｂにおいて，大型トラックの走行試験を行った。大型トラック走行試験で得られた荷重波形の例（輪荷重（複輪）60.9kN）を**図－８**に示す。



図－８ トラック走行試験における基層のひずみ波形の例

走行速度は0.6m/s（2.2㎞/h）とした。基層下面のひずみはタイヤの走行に伴い，圧縮→引張→圧縮の順で生じ，ひずみが生じている時間は0.5～1秒程度であった。

輪荷重と基層下面の引張りひずみの関係を**図－9**に示す。輪荷重はトラックに鉄板を積載することにより変化させた。面積が一定のゴム載荷板の場合とは異なり，輪荷重に対して基層のひずみは線形には増加しないという結果であった。これについて，**図－10**に示すように，感圧紙によりタイヤ接地面積と接地圧を測定した結果，輪荷重が大きくなると接地面積が増加しているという結果が得られた。この接地面積の変化が基層のひずみに影響を与えるのではないかと考えられた。



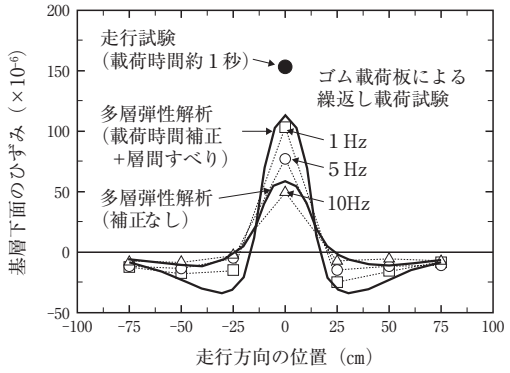
図－9　大型トラック走行試験における基層の引張ひずみ

輪荷重 17.7kN　　輪荷重 36.3kN　　輪荷重 60.9kN

（輪荷重は複輪。色が濃い部分の圧力が高い。）

図－10　感圧紙により測定したタイヤ接地面積と接地圧

そこで，載荷面積と，基層のひずみの関係を評価するため，輪荷重60.9kNの際のタイヤ接地面とほぼ同じ形状（幅240㎜×接地長220㎜）のゴム載荷板を用いて繰返し載荷試験を行い，トラック走行時の基層のひずみと比較した（**図－11**）。その結果，トラック走行試験のひずみは，繰返し載荷1 Hzのひずみよりも1.5倍



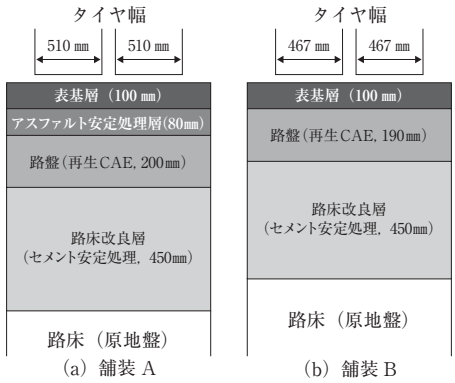
図－11　トラック走行とゴム載荷板による基層のひずみ

程度大きい値であった。また，多層弾性解析の結果は，載荷時間を式(2)により補正した弾性係数を用いて，さらにすべり率を考慮した「載荷時間補正＋層間すべり」とすることで，ゴム載荷板の1 Hzの場合の結果と高い整合性を示した。すなわち，接地圧が一定と仮定している多層弾性解析において，載荷時間，層間すべり，載荷面積を考慮するだけでは，トラックの走行による基層のひずみを正しく推定できないことがわかった。

3.2　貨物コンテナヤードにおける現地走行試験

貨物コンテナヤードにおいて，大型荷役機械による現地走行試験を行ってひずみを測定した[11, 12, 13]。現地の舗装断面を**図－12**に示す。「舗装A」については上層路盤のアスファルト安定処理層の下面，「舗装B」については基層の下面にひずみゲージを埋設した。使用した荷役機械の輪荷重（複輪）は「舗装A」が286kN，「舗装B」が262kNであり，走行速度は10㎞/hとした。「舗装A」および「舗装B」についてFWD試験の結果から静的逆解析を行い，舗装と路床の弾性係数を推定した結果を**表－3**に示す。

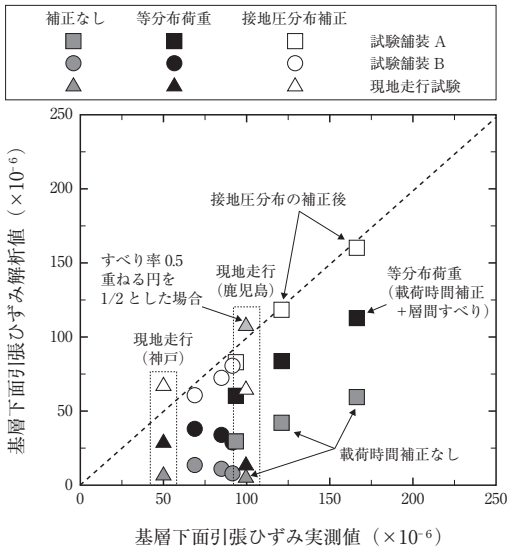
大型トラック走行試験および現地走行試験における基層（またはアスファルト安定処理層）のひずみの実測値と解析値の比較を**図－13**に示す。はじめに，FWD試験の静的逆解析の結果をそのまま用いた「載荷時間補正なし」，載荷時間と層間すべりの影響を考慮した「等分布荷重（載荷時間補正＋層間すべり）」で検討を行った。その結果，載荷時間の補正を行い，さらに層間すべりを考慮しても，走行試験で測定されたひずみは多層弾性解析で推定された値よりも大きく，特に路盤の剛性の高い試験舗装Bや現地走行試験の結果においては，実測値と解析値の乖離が大きくなる結



図－12　貨物コンテナヤード舗装の断面

表－3　FWD試験の静的逆解析による弾性係数（MN/㎡）

	アスファルト層（20℃補正値）	路盤（再生CAE）	路床
舗装A	表基層：6480 As安定処理：5510	4950	路床改良：1660 原地盤：185
舗装B	9520	5120	路床改良：2300 原地盤：225



図－13　走行試験における実測値と解析値の比較

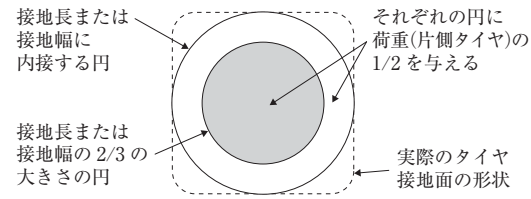
果となった。

このように，実測値と多層弾性解析の結果の乖離が大きい要因として，**図－10**に示したように，タイヤの接地圧が均一ではなく，中心部の接地圧が高いことが影響しているのではないかと考えられた。そこで，多層弾性解析においても，等分布荷重ではなく，接地圧の分布を考慮して荷重を設定することとした。

ここでは**図－10**に示したタイヤ接地圧をもとに接地圧分布を簡略化し，**図－14**に示すように，タイヤ接地面に内接する円とその2/3の大きさの円を重ね合わせ，それぞれの円に輪荷重の1/2ずつを与えることとした。

実測されたタイヤ接地面中心部の接地圧が1 MN/㎡程度であったのに対し，接地面積に対して等分布荷重と仮定すると接地圧は約0.6MN/㎡であったが，上記のように接地圧分布を考慮した場合は中心部の接地圧が約1.1MN/㎡であり，実測値と同程度の接地圧となった。

接地圧分布を**図－14**のように修正した結果，**図－13**中に示したように，多層弾性解析の結果は実測値と概ね一致した。このように，載荷時間および層間すべりに加え，接地圧分布の影響を考慮すれば，低速走行時における基層のひずみを高い精度で推定できるようになることが分かった。



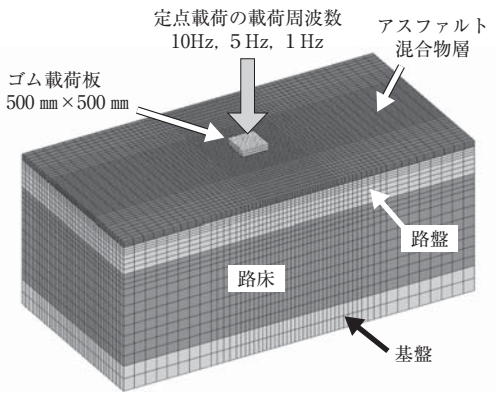
図－14　タイヤ接地圧分布を考慮した分布荷重のモデル化

4．粘弾性解析によるひずみの推定

4.1　粘弾性解析の方法

これまで示した方法は，載荷時間を考慮して補正したアスファルト混合物層の弾性係数を用いて，多層弾性解析により低速走行時の基層のひずみを推定するための方法であったが，より直接的には，三次元有限要素解析で粘弾性解析を行う方法が考えられる。そこで，LS-DYNAを用いることにより，繰返し載荷試験および大型トラック走行試験の結果を評価するための粘弾性解析を行うこととした。なお，ここでは，路盤を粒度調整砕石とした試験舗装Aでの実測値と比較した。

はじめに粘弾性解析の妥当性を検証するため，**図－15**に示すモデルによる解析を行い，ゴム載荷板による繰返し載荷試験結果の評価を行うこととした。粘弾性解析では，アスファルト混合物層を粘弾性体とし，路



図－15　LS-DYNAの解析モデル（定点載荷の場合）

盤および路床については材料特性の速度依存性が比較的小さいと考えられることから，弾性体とした。また，アスファルト混合物層の速度依存性の影響が明確となるよう，ここではゴム載荷板についても弾性体とした。

アスファルト混合物層に適用した粘弾性モデルを**図－16**に示す。また，解析に用いた物性値を**表－4**および**表－5**に示す。本解析で使用したモデルでは粘弾性による時間効果は緩和弾性率G（t）として式(5)のように示される。なお，τ は緩和時間であり式(6)で表される。

$$G(t) = G_e + G_i\, e^{(-t/\tau)} \tag{5}$$

$$\tau = \eta / G_i \tag{6}$$

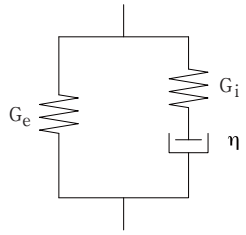
アスファルト混合物層と粒度調整砕石層の間は摩擦係数を与えて，μ＝0.5とし，その他の層間は連続とした。

さらに，トラックが走行する場合の変形特性を検討するため，**図－17**のようにタイヤのモデルを走行させた解析を行い，走行速度の影響を検討するとともに，実測値との比較を行った。なお，解析におけるタイヤの空気圧および剛性は実測に近い接地圧分布が得られるように設定した。

4.2　粘弾性解析の結果

繰返し載荷の解析により得られたアスファルト混合物層下面のひずみ波形の例を**図－18**に示す。**図－18**中に示すように，ひずみ振幅の波形が定常的な状態となったときの全振幅量について実測と解析の比較を行った。

アスファルト混合物層下面のひずみについて，実測



図－16　アスファルト混合物の粘弾性モデル

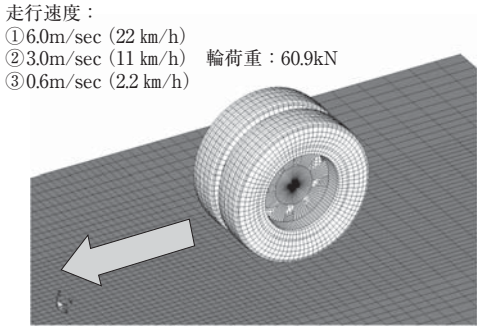
表－4　解析に用いたアスファルト混合物の物性値

Gi（MN/㎡）	Ge（MN/㎡）	β*1	ポアソン比
7770	2230	60.0	0.35

*1　解析ではβ＝1/τ を入力。

表－5　解析に用いた物性値

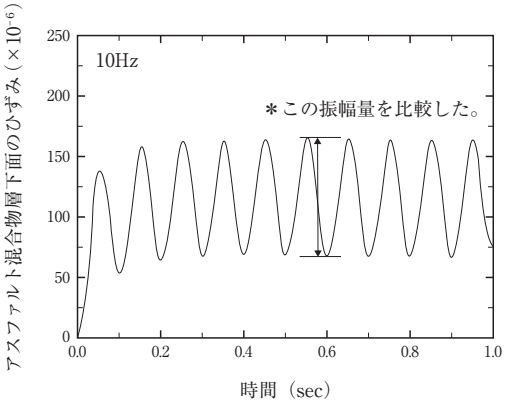
要素	弾性係数（MN/㎡）	ポアソン比	密度（t/㎥）	厚さ（㎜）
ゴム載荷板	10	0.49	1.14	100
アスファルト混合物	粘弾性	0.35	2.3	125
路盤（粒度調整砕石）	280	0.4	2.3	539
路床（礫質砂）	70	0.45	1.8	1836
基盤（コンクリート）	25,000	0.2	2.3	500



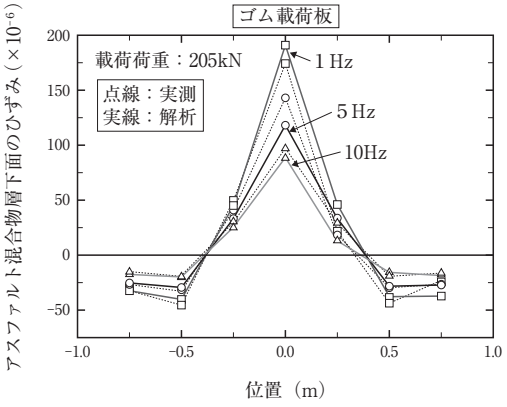
図－17　タイヤ走行の解析モデル

と解析との比較を**図－19**に示す。粘弾性解析においても，載荷周波数が小さくなるとアスファルト層下面のひずみが大きくなる結果が得られ，実測と解析の結果は概ね一致することが確認された。

このときのアスファルト舗装の鉛直変位分布を**図－20**に示す。アスファルト舗装表面の変位につ



図－18　アスファルト混合物層下面のひずみ波形

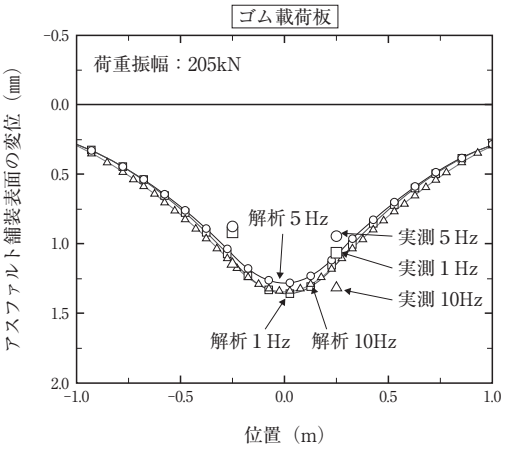


図－19　アスファルト混合物層下面のひずみ分布

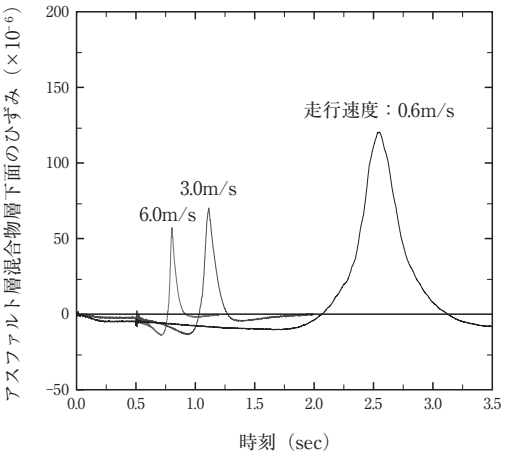
いては実測，解析ともに，載荷周波数の影響が小さかった。これは，アスファルト舗装表面の変位が，アスファルト混合物層と比較して粘弾性的性質が弱い路床および路盤の変形特性に主に依存するためであると考えられる。

繰返し載荷の解析結果を踏まえ，タイヤ走行の解析を行った結果得られたアスファルト混合物下面のひずみ波形を**図－21**に示す。走行速度が遅くなるとひずみは大きくなり，走行速度が6 m/sから0.6m/sに低下すると，ひずみが2倍程度に増加するという結果が得られた。走行速度0.6m/sの場合のひずみ波形の実測値は**図－8**（a）中に示したものであるが，実測結果の平均値と粘弾性解析の結果は概ね一致していることが確認できた。

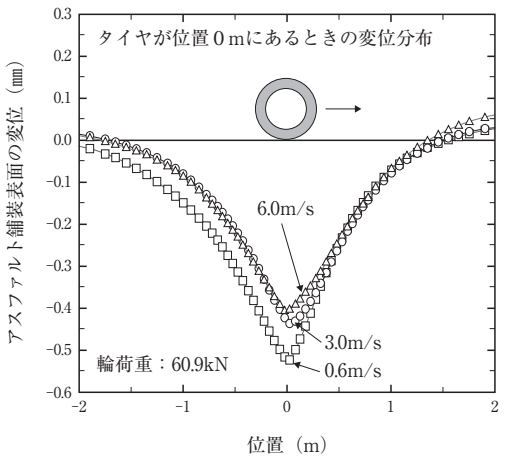
なお，**図－22**に示すアスファルト舗装表面の変位については，タイヤ走行解析においても，繰返し載荷と同様，走行速度の影響は小さかった。



図－20　アスファルト舗装表面の変位分布



図－21　タイヤ走行解析によるひずみ波形



図－22　タイヤ走行解析における変位分布

5．おわりに

本稿では，低速走行時におけるアスファルト混合物層のひずみを定量的に推定するための方法を紹介した。

検討の結果から，低速走行時には，一般的に行われている手法による多層弾性解析で得られる値よりも，アスファルト混合物層には，はるかに大きなひずみが生じることが明らかとなった。これについては，アスファルト混合物層の速度依存性を補正した弾性係数を用いて，層間すべりを考慮し，さらにタイヤの接地圧分布を考慮した多層弾性解析を行うことで，高い精度でアスファルト混合物層のひずみを推定できることがわかった。また，粘弾性解析を行うことで，より直接的にアスファルト混合物層のひずみを高い精度で推定できることがわかった。

これまで，重荷重舗装の設計では主に路床の永久変形に対する許容載荷輪数で断面が決定されており，アスファルト混合物層のひずみについては，直接には舗装断面の決定に寄与していなかった。しかしながら，本報告で示したような解析方法でアスファルト混合物層のひずみを求めて設計を行うことで，基層下面の引張りひずみによる許容載荷輪数を正しく評価できるようになれば，アスファルト混合物層の破壊についても設計において高い精度で考慮できるようになると考えられる。

―― 参考文献 ――

1）㈳日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説，2001.7

2）㈳日本道路協会：舗装設計施工指針（平成18年版），2006.2

3）上浦正樹，丸山暉彦，姫野賢治，阿部長門：鉄道貨物ヤードにおけるアスファルト舗装設計に関する研究，土木学会論文集，No.520/V-28，pp.47-54，1995.8

4）日本貨物鉄道株式会社：貨物設備アスファルト舗装設計補修の手引き，2000.12

5）笠原篤，菅原照雄：アスファルト混合物の動的応答に関する研究，土木学会論文報告集，第215号，pp.75-83，1973.7

6）屠偉新，丸山暉彦，高橋修：拡張ベイズ法による舗装弾性係数の逆解析に関する基礎的研究，土木学会舗装工学論文集，第1巻，1996.12

7）穴沢秀昭，関根悦夫，桃谷尚嗣，阿部長門：小型FWDを用いた多層地盤の剛性評価の検討，土木学会第58回年次学術講演会第5部，pp.1375-1376，2003.9

8）雑賀義夫，阿部長門，姫野賢治，丸山暉彦：FWDから得られる特性値の温度補正に関する検討，舗装，1995.9

9）阿部長門，関根悦夫，桃谷尚嗣：室内試験とFWD試験によるアスファルト混合物の弾性係数の比較，土木学会第58回年次学術講演会，V-685，pp.1367-1368，2003.9

10）松井邦人，董勤喜，小澤良明，山峯明哲：層間すべりを考慮した軸対称弾性多層構造の解析，土木学会舗装工学論文集，第5巻，pp.122-129，2002.12

11）藤田健一，三浦康夫，中園裕，阿部長門，井上彰，関根悦夫，桃谷尚嗣：貨物ヤードのアスファルト舗装における走行試験　～その1～，土木学会第59回年次学術講演会第5部，5-632，2004.9

12）真鍋和則，阿部長門，穴沢秀昭，中園裕，関根悦夫，桃谷尚嗣：貨物ヤードのアスファルト舗装における走行試験　～その2～，土木学会第59回年次学術講演会第5部，5-633，2004.9

13）井上彰，阿部長門，三浦康夫，藤田健一，関根悦夫，桃谷尚嗣：貨物ヤードのアスファルト舗装における走行試験　～その3～，土木学会第59回年次学術講演会第5部，5-634，2004.9

舗装材料の再生利用拡大の現状と高針入度アスファルトの活用にむけて

(Expanding Recycle Use of Pavement Materials and Toward the Utilization of High-penetration Asphalt)

佐々木 厳*・峰岸順一**・荒尾慶文***

日本国内で出荷される舗装材料に含まれるアスファルトは，全部を平均するとその1/3がアスファルト・コンクリート塊由来の劣化アスファルトである。将来にわたり持続可能なアスファルトの循環システムを実現するためには，劣化機構にもとづく材料設計により長期耐久性のある再生利用を行う必要がある。本稿では，舗装材料再生利用の普及進展とその技術的課題，石油アスファルトの供給体制や種類を整理するとともに，高針入度アスファルトの適用性検証に向けた取り組みについて紹介する。

1．はじめに

日本国内の道路は，重交通路線を除いてそのほとんどがストレート系のアスファルト材料で舗装されている。そして，再生利用の普及拡大により，日本国内のアスファルト混合所から出荷されるアスファルト混合物（以下，合材）の3/4は再生アスファルト混合物（以下，再生合材）になっている。再生骨材の混入率も上昇を続けており，国内の出荷合材に含まれるアスファルトの1/3は旧アスファルト（アスファルト・コンクリート再生骨材中に含まれているアスファルト，以下，旧アス）になっている。

再生利用が進展するとともに，道路整備事業費の削減が続いてきたこともあり，アスファルトの国内需要量は低下している。また，国内のエネルギー構造の変化や省エネの進歩により石油製品事情も急激に変化しつつあり，アスファルトの安定供給に懸念を呈する声も聞かれる。その一方で，アスファルト製造拠点の集約等を背景として，再生合材製造に用いる添加材料の選択肢も多様化してきている。

持続可能な循環型舗装システムを支える技術基盤として，再生合材には何回繰返し再生しても所定の性能と供用寿命を確保できる材料設計が求められる。そのためには，材料の劣化機構ならびに再生アスファルトと添加材料の品質がよく把握できていなければならない。高針入度アスファルトは，潤滑油等の軟質オイルに比べてアスファルト組成を適正に保ちやすく再生利用への適用が期待されるが，現道での耐久性を確認しておく必要がある。

本報では，将来にわたり安定したアスファルトの循環システムを実現するために，舗装材料再生利用の進展と特徴，アスファルトの供給体制や種類を整理するとともに，高針入度アスファルトの適用性検証に向けた取り組みについて紹介する。

2．中／軽交通道路の舗装材料

日本国内の道路のほとんどはアスファルト舗装である。高速道路の表層が排水性舗装であったり，交通量の多い国道には改質アスファルトを使用した合材が用いられたりするが，多くはストレート系のアスファルトである。

道路統計年報2012によると，日本全国の道路の車道面積5,243㎢のうち，高速道，国道，主要地方道を除く一般県道および市町村道の占める面積は4,307㎢と82%以上に上る。一般の地方道でも改質アスファルトは使用されるものの，ストレートアスファルトが使用される国道等の主要道も多いことを考えると，８割を超える国内の道路がストレート系のアスファルト材料で舗装されていることになる。

*ささき　いわお　独立行政法人　土木研究所　材料資源研究グループ
**みねぎし　じゅんいち　東京都　土木技術支援・人材育成センター
***あらお　よしふみ　一般社団法人　日本アスファルト合材協会　技術部会長

日本アスファルト合材協会の統計[1)]でも，改質アスファルトを使用した合材の出荷量は全体の15%程度であり，中／軽交通道路のほとんどはストレート系のアスファルト材料で舗装されていることがわかる。

さらに，1980年代から本格的に行われるようになった再生利用が，**図－1**に示すように平成初期に急速に普及し，現在も拡大を続けている。1998年（平成10年）には再生合材が新規合材を上回り，近年では全出荷量の75%が再生合材となっている。そして，再生合材に使用される再生骨材（すなわち旧アス）の混入率も2000年以降は増加の一途で，全国平均で47.2%（H24）[1)]に達している。

舗装発生材のリサイクルの推進と，それを支えるグリーン購入法等の制度により，一般道の舗装は再生合材を使用することとしている道路管理者は多い。したがって，更新周期にもよるが，中／軽交通道路の舗装材料の多くは既に再生合材となっており，今後も繰返し再生操作が重ねられることとなる。再生利用における材料の性能とその耐久性の確保は，道路資産の管理において重要なポイントである。

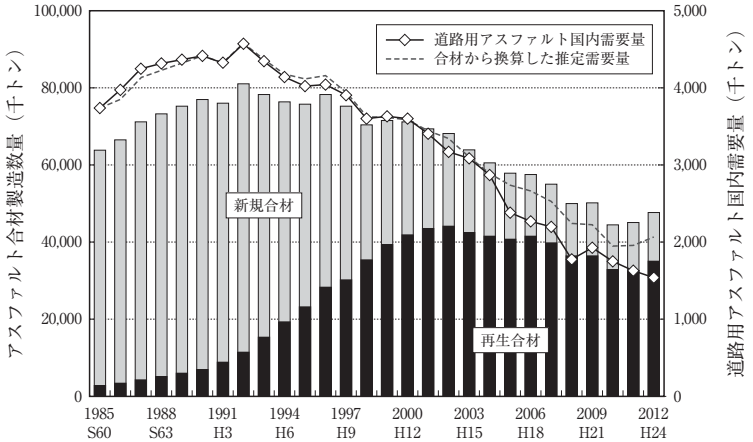
3．再生利用の普及と再生骨材混入率の増加

アスファルト舗装材料の再生利用の普及，とくに地方道等の中／軽交通道路での利用拡大について，その現況を前章で述べた。ここでは，再生合材の配合条件について統計値からうかがえる変化について考察する。

まず，**図－1**に点線で示した合材換算のアスファルト需要量を見ると，ある一定のアスファルト量で割り戻すことにより，実際の国内需要（石油アスファルト出荷量）を過去には説明できていたが，2005年頃以降からその乖離がみられる。その理由としては，地域により大きく異なる出荷量や再生骨材混入率を項目ごとに平均してしまうこと等から生じる統計上のずれも考えられるが，より少ない新アスファルト添加量で再生するための合材製造上の工夫による影響があるものと推察される。

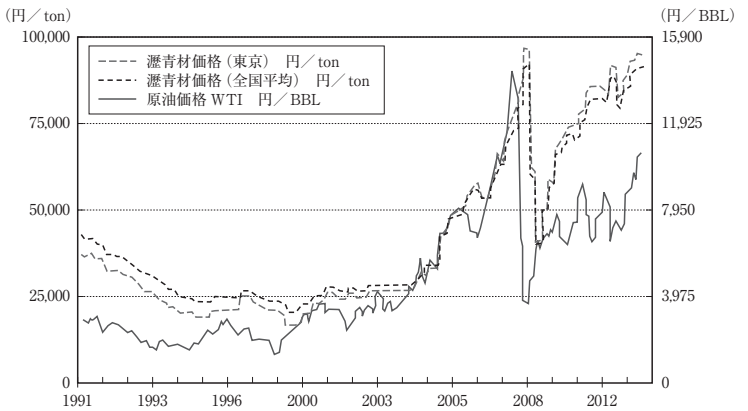
合材生産量に対して実際のアスファルト使用量が低減傾向にあるということは，再生骨材混入率を引き上げるとともに，再生用添加剤等を活用して針入度を回復していることが考えられる。これらにより新アスファルトの添加を抑えて再生合材を製造する試みがなされてきており，リサイクルの推進とコスト削減に一定の成果を挙げつつある。

図－2は，原油およびアスファルトの90年代以降の価格推移である。2005年は，アスファルトの材料単価が急騰した時期と符合し，因果関係は定かではないものの再生合材のコスト増加抑制に対する動機づけの一つになったものと思われる。



（日本アスファルト合材協会ならびに石油連盟の統計資料から作成。合材換算アスファルト需要は，合材出荷量と再生骨材混入率の統計値から，アスファルト量5.9%，再生骨材中の有効旧アス量4.5%として計算した。）

図－1　アスファルト合材の製造量と道路用アスファルト国内需要量の推移



（1BBL=159Lのため，タテ軸が円建ての容積単価で整合する目盛とした）

図－2　原油価格とアスファルト材料単価の推移

4．舗装用アスファルトの種類と供給体制

4.1　石油製品事情とアスファルトの供給体制

アスファルトは石油精製から生産され，その価格は当然ながら原油価格と関連を保ち動いている。類似製品である高硫黄C重油の価格相場と連動するものと言われており，その相場は原油価格に生産コスト等が付加された単価となるのが通常である（2000年からの約10年間が異例である）。前述のとおり，アスファルト単価は世界経済の情勢変化を受けた2005年以降急激に高騰し，過去に比べて高い水準で推移している。

関連報文他でも解説されているように，石油業界では，製品需要見通しにもとづく製造能力の縮小ならびに白油化の流れ，またこれを受けた経済産業政策による石油製品高度化法等の大きな構造変革の波にさらされている。製造拠点は大幅に減少し，アスファルトを生産している製油所は，現在のところたとえば首都圏で2箇所，東日本で4箇所（うち室蘭は2014年3月停止予定）のみである。

製油所での原油処理には，オペレーションと呼ばれるいくつかの運転モードがあり，舗装用アスファルト材料の生産は，アスファルトオペレーションと呼ばれる操業を組んで行われる。これは，アラビアンヘビー等の銘柄で代表される重質原油を用いて，カットポイントと呼ばれる減圧蒸留温度をみながら，JIS規格に適合した品質のアスファルトを安定した得率で生産できるように考慮されている。

アスファルトメーカは，道路整備の見通しや市場の動向を踏まえてこれらの生産計画を調整しているが，国内の製造拠点の減少は，舗装資材としてのアスファルトの安定的な調達に支障をきたすリスクが高まっていることにほかならない。

4.2　アスファルトの種類と舗装用材料

アスファルトの製造拠点が減少し，大規模な製油所に集約されてきていることは，アスファルトの種類（製造素材）にも影響を及ぼしている。メーカー各社は，潤滑油等の総合事業所となっている拠点製油所において，必要に応じていくつかの基材（素材となる基油）を用いて製造する体制が多くなっている。

Straight-run asphaltというように，ストレートアスファルトは本来直留したもののみを指し，JIS K 2207では「原油を常圧蒸留装置，減圧蒸留装置などにかけて得られる残留瀝青物質」，舗装設計施工指針では「原油のアスファルト分を，なるべく熱による変化を起こさないで蒸留により取り出したもの」と定義されている。しかしながら，近年では溶剤脱瀝や抽出による基材をブレンドして製造されるものが多くなっており，ストレートアスファルトという名称が現実とそぐわなくなってきている。これを受けて，ストレートラン以外の製法により生産された舗装用アスファルトを「別製法アスファルト」と呼ぶ場合も見受けられる。

そのほか，卸電力事業（IPP）として電気にかえて販売するための燃料としての重質留分の需要が高まっているなど，アスファルトを取り巻く原材料の種類および概念が多様化している。

一方，再生合材の製造においては，再生骨材に含まれる劣化したアスファルトを旧アスファルトと呼び，新たに加える（ストレート）アスファルトを新アスファルトと呼んでいる。また，再生アスファルトといった，使用材料とはまったく異なる概念の呼称も用いられている。このほか，再生用添加剤と呼ばれる，アスファルトに比べて非常に軟らかいオイル類がアスファルト代替材として用いられ，結果として再生アスファルトの一部として振る舞う。

表－1に，これらの様々なアスファルト材料の呼称を整理しておく。今後，これらの呼称の集約と統一をはかり，必要に応じて定義を再確認して用いてゆくことが望ましい。

5．添加材料と再生アスファルトの品質

舗装用アスファルトとその再生利用の現状を述べるとともに，統計値などからわかる再生合材の変化について整理した。また，道路整備や石油製品の情勢変化に起因するアスファルト使用量の減少を示してきた。

アスファルトの再生利用においては，新アスファルトの添加割合をなるべく少なく，すなわち再生骨材混入率を引き上げるとともに，アスファルトと比べると桁違いに軽質なオイル等の添加剤で針入度のみを確保して再生合材を製造するための努力が続けられてきているものといえる。これは，アスファルト資源を循環利用し環境負荷とコストの低減をはかることに大きく寄与している。

しかしながら，このような再生を繰り返すと将来的にどのようなことがおきる可能性があるのか，再生合材製造時の添加材料と再生アスファルトの品質に関する過去の研究例から検証してみる。

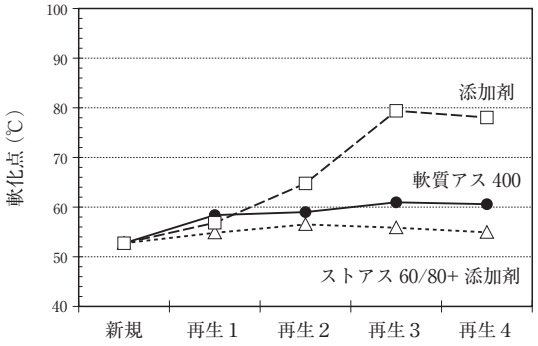
表－１　アスファルト（改質を除く）材料の対象素材と規格ならびに呼称使用上の課題について

呼称	対象となる素材	規格適合（規格や品質指標等）		呼称使用上の留意点	普及にともなう効果や弊害
		JIS	日本道路協会		
石油アスファルト	・石油（原油）から製造されたアスファルトの総称 ・JISで規定されたアスファルト	JIS K 2207		・天然アス等との区分けとしては有意 ・道路用アスや舗装用アス，工業用アス等の用途別名称と混同されやすい	
ストレートアスファルト	・いわゆる舗装用アスファルト ・重質原油を処理し減圧蒸留塔で得られたボトム油（アスオペVR）	◎：10等級「アスファルトの種類は，ストレートアスファルト，ブローンアスファルトおよび防水工事用アスファルトの３種類とする。」	◎：４種類［40-120］指針：舗装用石油アスファルトの品質規格	・ストレート（厳密には直留のみ）と，ブレンド（実態として大勢を占める）の使い分けができていない ・実用上の名称として，指針の４種のみをいうのか定まっていない	・低針入度級アスは，道路舗装において将来にわたり基幹となる資材 ・アスオペ品が衰退してしまうと，舗装ストックの中長期的ライフサイクルに与える影響が大きい
高針入度アスファルト 軟質アスファルト	・針入度の大きなアスファルト ・直留系とブレンド（改質）系等が考えられる	○ （規格適合品のみ想定）	○：３種類［120-300］ （規格適合品のみ想定）	・針入度級による分類にすぎず，JIS製品であることには変わりはない ・針入度いくつ以上を指すのか等の定義が必要	・合材工場でのアスタンクの区分 ・高針入度アスへの依存度が高まると，従来型アスファルトの製造供給が更に困難になることもあり得る
（別製法アスファルト）	・燃料オペから製造されたストレートアスファルト（アスオペ以外のVR） ・“従来のプロセス”以外の基材や配合により生産されたアスファルト（PDA高配合等）	○ （規格適合品のみ想定）	○：４or７種類 （規格適合品のみ想定）	・アスオペ直留以外の基材構成によるアスファルトという製造上の仕分けであり，JIS製品であることには変わりはない ・添加材等による機能商品も，その呼称のなかに含まれる	・繁忙期等のアスファルト生産余力の確保（ブレンド基材として） ・耐久性等の性能が向上するとみられるPDA等の利活用の推進 ・現行規格体系では付加価値をもつ材料の差別化ができない
燃料用アスファルト	・IPPや要熱源工業等で使用される重質油系燃料 ・製油所内の様々な残油や分解操作等の残渣が混合されているものと推定される	△	×	・材料としての品質管理が為されていないものを舗装用材料にそのまま用いると誤解されるおそれがある ・未利用資材（広義の別製法アス）の用途開発につながる材料イメージとして，一般向けなどに説明しやすい	（もっぱら熱源用途であり，材料としての利用普及は想定していない） ・別製法アス素材等としての市場への展望が見込まれるようになれば，元売りの長期的な生産計画に影響を与えることもあり得る
（再生用）新アスファルト	・再生アスコン製造時に使用する新アスファルト	○：７等級［40-300］	◎：７種類［40-300］ 再生便覧：新アスファルトの品質規格	・“再生”，“新”，“旧”などの単語が交錯し，名称がやや混乱する場合がある	・再生へのシフトにおける針入度級別の需要割合と生産体制
再生用添加剤	・再生アスコン製造時に使用するオイル類（素材としてはアスファルトの範疇ではない）	－	○：アスファルト系と潤滑油系のみ 再生便覧：新アスファルトの品質規格	・素材がどのようなものであるべきなのか，定まっていない	・動植物油や乳剤系は指標すらない
“再生アスファルト”	・合材工場で製造された再生アスコンに含まれているアスファルト分（単独資材ではない）	－	◎：３種類［40-100］ 舗装用石油アスファルトの品質規格に同じ	・材料としては概念的な名称である ・配合試験等において定期的にその品質を確認することになっている	

［規格適合の凡例］◎：明示的に規定されているもの　○：関連規定や標準値を準用するもの　△：規定値等を満足しないとみられるもの　×：当該素材の適用自体がそぐわないもの　－or空欄：規定等無し

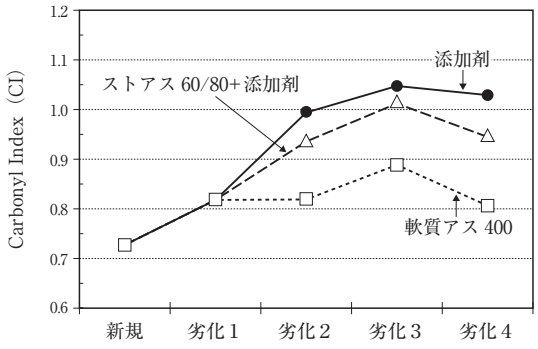
図－3および**図－4**は，促進劣化と次の3とおりの再生方法をそれぞれ4回繰返した場合の，再生アスファルトの軟化点と赤外吸光分析による劣化アスファルトの酸化度の試験結果[2)]である。

・ストレートアスファルト60/80+オイル系再生用添加剤［劣化材混入率60%］
・オイル系再生用添加剤のみ［劣化材混入率100%］
・軟質アスファルト300/400［劣化材混入率60%］



＊）新規とは加熱合材製造劣化後

図－3　繰返し再生における再生アスファルト軟化点の変化[2)]



＊）新規とはTFOT後のアスファルト

図－4　繰返し再生における劣化アスファルト酸化度の変化[2)]

軟化点は，再生回数が多くなるに伴い高くなる傾向がみられた。軟質アス300/400および60/80+添加剤を用いた場合は，再生を繰返した場合でも軟化点の上昇は比較的小さく60℃程度までであったが，添加剤のみで再生した場合は，再生3回目以降の軟化点は80℃程度となっており，針入度は同じであっても繰返し再生によりアスファルトの物性は硬くなってゆく。同様に，アスファルトの酸化度も大きくなる傾向がみられ，繰返し再生によって酸化物は蓄積してゆく。一方，高針入度（軟質）アスファルトで再生したものは劣化の進行が緩やかである。これは，アスファルトの化学組成を適正に保ちやすいためであると考えられる。

ポリマーを混入しないストレート系のアスファルトの軟化点が異常に高いことは，酸化が進んでいることと併せて，変形抵抗性を失い脆化しているものと考えられる。アスファルトに比べて桁違いに軽質なオイル等の添加剤に頼り，針入度（だけ）を回復させることが目的化すると，繰返し再生において材料に変状をきたす危険性をはらんでいるといえる。

本実験は劣化材混入率が60%と100%の事例であるが，国内の再生骨材混入率が高くなるほど，添加剤のみで再生した100%の試験結果に近づくこととなる。再生骨材混入率をやみくもに引き上げるのではなく，その影響を検証しておくことが大変重要である。

アスファルト舗装の更新周期を10年と仮定し，全国の舗装ストックとマテリアルフローから算定すると，国内のアスファルト舗装発生材の半分以上は，過去に一度以上再生された履歴をもつものとなっていると推定される。さらに，再生合材への再生骨材混入率は前述のとおり上昇を続けており，既に全国平均で47.2%（H24）に達している。地域によっては，かなり高水準での利用が続いているとみられること，舗装材は限られた地域内での循環利用が繰り返されることなどを考慮すると，再生アスファルトの品質に注目した慎重な対応が必要である。今後は，複数回繰返して再生利用されたアスファルト舗装発生材が増加してゆくこととなり，再生合材の性能と耐久性を確認しておかないと，舗装材料の将来の循環システムの持続性に大きな問題をひきおこすことにもなりかねない。

6．高針入度アスファルトの適用性検証

添加材料と再生アスファルトの品質に関する繰返し再生の研究例から，再生合材への劣化物質の蓄積と，新アスファルトの添加の重要性が示唆された。また，本来の舗装用アスファルトにより近い高針入度（軟質）アスファルトの有効性が認められた。極端に軽質な添加剤等に頼らず，劣化したアスファルトの成分を補完して再生利用する際の材料設計として，分子量分布等の理論上からも，高針入度アスファルトは合理的な選択肢であると考えられる。

高針入度アスファルトは，前述のアスファルト製造における生産計画の調整も支障が比較的少ないと思われ，将来の調達面でも期待がかかる材料分野である。

燃料生産用の軽／中質原油はアスファルト相当の留分がもともと少ないが，目標とするアスファルトの針入度が高ければ，燃料油生産のオペレーションから材料用途としてのアスファルトを製造できる可能性がある。ここで，製造上の品質管理，生産と流通にける製品タンクや出荷設備等の制約は実務上かなり大きいものの，中長期的に高針入度アスファルトの需要が拡大し市場が形成されれば，アスファルト事業を現在休止中の製油所部門が再稼働することもあり得るなど，資材調達の安定に資することとなるものと期待される。

アスファルトバインダおよびアスファルト混合物としての室内試験では一定の検証ができているものの，現道での長期耐久性は未検証である。アスファルトの劣化性状，ならびにその進行により生じるひび割れの発生時期やその進行状態など試験舗装等により定量的に確認してゆくことが必要である。

7．まとめと今後の課題

我が国のアスファルト舗装において大きな話題である，再生利用の進展とその技術的課題について述べてきた。

舗装材料再生利用の進展と特徴について，アスファルト舗装の再生利用の拡大と再生骨材混入率の上昇，それに伴うアスファルト国内需要量の減少を概観し，再生合材製造技術について考察した。

さらに，需要低迷等の影響を受けたアスファルトの供給体制について触れるとともに，合材製造に用いられるアスファルト材料の種類を整理し，呼称等の課題や改善点について述べた。

再生アスファルトの材料性状と持続可能性について，繰返し再生に関する研究例から高針入度アスファルトの有用性を紹介するとともに，その適用性検証の必要性を議論した。

将来にわたり安定したアスファルトの循環システムを実現するためには，アスファルト材料の劣化機構にもとづく材料設計により，安定かつ長期耐久性を有する品質が再生合材に確保されている必要がある。最後に，これに向けた取り組みについて紹介する。

日本道路協会舗装委員会舗装設計施工小委員会材料WGでは，日本アスファルト協会旧分科会を継承してアスファルト舗装の材料に関する調査研究や基準化を進めてきている。これまでの調査研究において，別製法アスファルト等に関するさまざまな知見を得ている。これらの活動を受けて，（独）土木研究所，東京都土木技術支援・人材育成センター，（一社）日本アスファルト合材協会の三者で高針入度アスファルトの適用性検証のための共同研究を今年度開始し，現道での試験舗装を計画している。その成果が得られたら，本誌ほかで詳しく報告したい。

―― 参考文献 ――

1）日本アスファルト合材協会資料・広報委員会：平成24年度アスファルト合材の現況，アスファルト合材，pp.6-21，2013.10.

2）加納孝志，新田弘之，佐々木厳，西崎到，久保和幸：繰返し再生を考慮したアスファルト混合物の再生方法に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第14巻，pp.117-122，2009.12.

MSDSからSDSへ ～アスファルトの安全データシート改定と安全性に関する表示内容について～

(Revision of the Safety Data Sheet of Asphalt)

瀬　尾　　彰*

アスファルトの安全性に関する情報は，従来「製品安全データシート（MSDS：Material Safety Data Sheet）」として提供されてきました。2012年にMSDSに関わるJIS規格が改定されたことにより，2014年以降は「安全データシート（SDS：Safety Data Sheet）」という名称に変更され，提供されます。

また2011年10月に「国際がん研究機関」は，「アスファルトに関わる発がん性」について，1985年に行った分類「グループ3（人に対する発がん性を分類できない）」を，「道路舗装におけるアスファルトおよびアスファルト蒸気の職業暴露」について「グループ2B（人に対して発がん性があるかもしれない）」に，さらに「防水工事におけるブローンアスファルトによる，アスファルトおよびアスファルト蒸気の職業暴露」については「グループ2A（人に対しておそらく発がん性がある）」に変更しました。

本報では今後SDSに記載される安全性に関する情報の内容，および「国際がん研究機関」の発がん性分類について，その分類変更の過程を，各国の対応も含め説明します。

1．はじめに

アスファルトは古来より人々のそばで，その生活を支え，豊かにしてきました。

例えば「創世記」には「ノアの方舟の防水」に使用したとあり，史実としてメソポタミア文明やインダス文明において防水材として，さらにエジプト文明ではミイラの保存にアスファルトが使用されていました。

道路舗装への利用も紀元前600年頃から始まりました。

我が国においては，「日本書紀」に「燃える土」として，秋田県産のアスファルトが天智天皇の即位の際に献上されたとあります（668年）。

今日においても，足もとの道路舗装，住宅の屋根防水や壁の防湿シート，さらに制振材料等，私たちは日々アスファルトに囲まれて生活しているといえます。

アスファルト舗装や防水等の利用者である私たちは，舗装を素手で触ったりしない限り，アスファルトそのものに直接触れる機会はほとんどありません。アスファルトは通常，製造事業者（石油会社等）から，加工もしくは工事を行う事業者に，130～190℃程度に加熱して液体の状態で輸送され，そこで道路舗装材料や防水材料に加工され，施工箇所に運ばれ，舗装や防水となり，常温で機能を発揮します。

アスファルトは沸点が500℃を超える炭化水素化合物であり，常温では極めて安定な固体状物質なので，常温のアスファルトの安全性については問題とされることはありません。その代わりに，加熱して液体状となったアスファルトから発生する「気体となったアスファルト（以降，アスファルト蒸気）」については，それを吸引，もしくは皮膚に付着することに依る人への影響について，いくつかの検証が行われてきました。

ここでは私たちの暮らしを支えるアスファルトの「安全性に関する情報」について，その表示方法および内容について解説します。

2．「安全性に関する情報」の提供方法

2.1　MSDSからSDSへ

工業製品や化学品の安全性に関する情報（もしくは

*せお　あきら　昭和シェル石油株式会社　中央研究所

危険有害性情報）は，「製品安全データシート（MSDS：Material Safety Data Sheet）」としてまとめられ，製造事業者より提供されてきました。MSDSの記載内容は日本工業規格（JIS）によって定められています。

従来，MSDSはJIS Z 7250，7251および7252の3種類の規格に則り作成されていましたが，2012年のJIS規格改定により，2014年以降はJIS Z 7250と7251を統合した，JIS Z 7253および7252に則り作成され，提供されます。

名称も「安全データシート（SDS：Safety Data Sheet）」に変更され，明瞭で簡潔な日本語で記載された情報が提供されることになります。

2. 2　SDSに記載される内容

現在のMSDSならびに，今後のSDSには，安全性に関する以下の16項目が記載されています。

①化学品名（製品名）および会社情報
②危険有害性情報の要約
③組成および成分
④応急措置
⑤火災時の措置
⑥漏出時の措置
⑦取扱いおよび保管上の注意
⑧ばく露防止および保護措置
⑨物理的および化学的性状
⑩安全性および反応性
⑪有害性情報
⑫環境影響情報
⑬廃棄上の注意
⑭輸送上の注意
⑮適用法令
⑯その他の情報

各項目にはSDS作成時に入手できる最新の安全性に関する情報が，機密となる情報を除き，記載されます。

なおこれらの項目は，国際連合が主導し，世界中で共通の情報提供内容となっています。この仕組みは「化学品の分類および表示に関する世界調和システム（GHS：The Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals）」と呼ばれます。GHSの詳細は関連サイト[1)]を参照してください。

2. 3　「アスファルト」のSDSの要点

アスファルトのSDSには，安全性に関する情報として主に①「高温に加熱された液体」の取扱い上の注意，②火災が発生した際の対応，③「アスファルト蒸気」の影響の有無，および④適用法令が記載されます。次に要点を示します。

①「高温に加熱された液体」を取扱う際には，火傷を防ぐため「保護具」を着用する。また水との接触を避ける（水が沸騰し，アスファルトともに飛び散るため）。
②「火災」の際には，炭酸ガス，泡，粉末消化剤を使用する。水による消火は行わない。
③「アスファルト蒸気」は，硫化水素および一酸化炭素を含む可能性があるので，吸引しないようにする。
④「消防法」の「危険物」に該当せず，また「毒物および劇物取締法」の対象物質でない。さらに「特定化学物質の環境への排出量の把握等および管理の改善の促進に関する法律（PRTR法）」の対象物質ではない。

2. 4　「アスファルト蒸気」に関する記載内容

前述のとおり，「アスファルト蒸気」に関しては，その吸引，もしくは皮膚への付着による人への影響について，いくつかの検証が行われてきました。

従来，「アスファルト蒸気」が人に与える影響は，「特段認められない」，「影響の有無がよくわからない」もしくは「アスファルト蒸気を吸う機会の有る作業者の健康状態は，吸う機会の無い作業者と変わらない」という検証結果が報告されていました。このため，従来のMSDSもしくはSDSには2. 3に示す内容が記載されていました。

しかし2011年10月に，国際連合の専門機関である世界保健機関（WHO：World Health Organization）の一組織である「国際がん研究機関（IARC：International Agency for Research on Cancer）」は，「道路舗装におけるアスファルトおよびアスファルト蒸気の職業暴露」について「グループ2B（人に対して発がん性があるかもしれない）」に分類し，また「防水工事におけるブローンアスファルトによる，アスファルトおよびアスファルト蒸気の職業暴露」については「グループ2A（人に対しておそらく発がん性がある）」に分類しました[2)]。

このため今後提供されるSDSには，特に発がん性について，IARCの分類を反映させた内容が記載されます。

なおIARCは今回の分類において，「道路舗装」を「アスファルト混合物製造，運搬，舗設に関わる作業」，「防水工事」を「防水工事現場の作業」と説明しています。また「職業暴露（occupational exposure）」は「作業者が1日に4～9時間程度を長期間にわたりさらされること」とし，さらに「アスファルト蒸気（bitumen emission）」

とは，「加熱され気化した物質および気体，および気体となったアスファルトが空気中で凝集し，小さな粒となり雲状になったヒューム」と規定しています。

3．「アスファルト」の「安全性」に関する報告等

従来から，労働者の安全性を向上させる観点から，他の化学物質と同様に，各機関による「アスファルト」の「安全性」に関する検証・確認が行われてきました。代表的な報告等を**表－1**に示します。

これらの報告等は，2011年のIARCによる分類を除き，「アスファルトを使用する作業に従事する人の健康状態は，他産業に従事する人と比較して変わらない」，また「他の要因（特に喫煙）による健康影響を切り分けることができず特定が難しい」ものの，「アスファルト蒸気にさらされる（暴露される）場合は，その濃度，時間を管理し，最小限とすることが望ましい」というものでした。

以降，IARCの報告について，その分類変更の過程を含め説明します。

4．IARCによる「発がん性」の分類

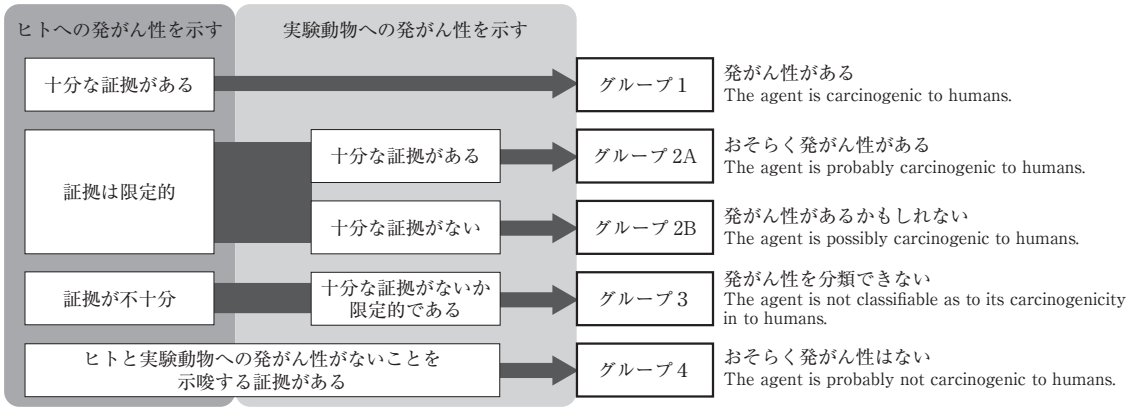
IARCは1971年から，化学物質や工業製品の発がん性の評価を実施しており，結果を「モノグラフ」と呼ばれる評価書として公表しています[3)]。ここでは化学物質や工業製品等の発がん性に関す調査を行い，「発がん性があるという証拠の確かさ・強さ」を高い順に「グループ１」「同2A」「同2B」「同３」「同４」の５段階に分類しています。

図－１にグループへの分類基準，**表－２**にグループ（分類）の呼び方と，それぞれの例を示します。

なお各グループは，「ヒトへの発がん性を示す証拠」と「実験動物への発がん性を示す証拠」の有無や確かさを基準に，「危険性・有害性（ハザード）の確かさ・強さ」として区分されており，「がんになる可能性や確

表－１　「アスファルト」の「安全性」に関する代表的な報告等および概要

	検証機関	公表年	概要
1	欧州経済共同体（EC）理事会による「危険な物質の分類，包装および表示に関する法律，規則および行政規定の摺り合わせに係る1967年６月27日付け理事会指令67/548/EEC」付属書Ⅰ	1967	「危険な物質に該当しない」としている。
2	IARCによる発がん性評価の分類 （IARC Monographs Volume 35）	1985	「アスファルト」について「グループ３（人に対する発がん性を分類できない）」に分類した。
3	㈳日本アスファルト協会による「アスファルトの環境に関する文献調査」	1992 2000	1960年代から1990年代の，検証結果を抄録。
4	欧州石油環境保全連盟（CONCAWE：CONservation of Clean Air and Water in Europe）による文献調査報告（“bitumen and bitumen deliverables”）	1996	1950年代から1990年代の，特に動物実験による検証結果を抄録。アスファルトを直接皮膚に１年以上付着させた場合に，５％以下のマウスに皮膚がんが発生した等を報告している。
5	「特定化学物質の環境への排出量の把握等および管理の改善の促進に関する法律（PRTR法）」 ・2008年に指定化学物質を見直し，「第一種指定化学物質」462物質（うち特に発ガン性の高い「特定第一種指定化学物質」15物質）と，「第二種指定化学物質」100物質とした。	1999 2008	「人の健康や生態系に有害性のある指定化学物質」に該当しない。 ・「有害性」は「化学物質のもつ性質の一つ」で，「化学物質に暴露してから数日以内に発症または死に至る急性毒性」，「化学物質に長期間暴露したとき数カ月以上してから発症または死に至る慢性毒性」とし，発がん性は慢性毒性の一つとしている。
6	米国国立職業安全健康研究所（NOISH：National Institute for Occupational Safety and Health）による「アスファルトによる職業暴露の健康への影響（“Health Effects of Occupational Exposure to Asphalt”，2000）	2000	1977年と1988年のNIOSHの報告，およびその後の検証を踏まえ，アスファルト蒸気にさらされることは最小限にすることが望ましいとしている。特に「15分間に５mg/㎥以下」が望ましいとしている。
7	国連環境計画（UNEP：United Nations Environment Programme）による国際化学物質簡潔評価文書（“Concise International Chemical Assessment Document 59”，2004）	2004	「アスファルト蒸気を含む化学物質に混合物に起因する健康影響の調査は複雑である～ヒトの暴露の管理対策を否定すべきではない～発がん物質が含まれている可能性がある」としている。
8	米国産業衛生専門家会議（ACGIH：American Conference of Industrial Hygienists）	2004	「区分A4：人における発がん性が分類できていない物質」としている。
9	IARCによる発がん性評価の分類 （IARC Monographs Volume 103，2013年５月に公表）	2011	「道路舗装におけるストレートアスファルトによる，アスファルトおよびアスファルト蒸気の職業暴露」について「グループ2B（人に対して発がん性があるかもしれない）」，「防水工事におけるブローンアスファルトによる，アスファルトおよびアスファルト蒸気の職業暴露」については「グループ2A（人に対しておそらく発がん性がある）」とした。



図－1　IARCによる発がん性分類

表－2　IARCによる発がん性評価の例（2013年10月現在）

グループ	分類の基準*	例
1	**発がん性がある（113種）** ・ヒトへの発がん性を示す十分な証拠がある場合等	大気汚染，アスベスト，ベンゼン，ホルムアルデヒド，ポリ塩化ビフェニル（PCB），ベンゾ（a）ピレン（多環芳香族の一種），コールタールピッチ，X線，γ線，α線，β線，中性子線，プルトニウム，ヨウ素131，カドミウム，太陽光，紫外線，アルコール飲料，タバコ（能動喫煙，受動喫煙），ディーゼルエンジン排ガス，塩をふった魚，結晶性シリカ微粉，など
2A	**おそらく発がん性がある（66種）** ・ヒトへの発がん性を示す証拠は限定的であるが，実験動物への発がん性を示す十分な証拠がある場合等	**防水工事におけるブローンアスファルトによるアスファルトおよびアスファルト蒸気の職業暴露，**高温の揚げ物（フライ）の蒸気，アクリルアミド，鉛化合物（無機），など
2B	**発がん性があるかもしれない（285種）** ・ヒトへの発がん性を示す証拠が限定的であり，実験動物への発がん性に対して十分な証拠がない場合等	**道路舗装におけるストレートアスファルトによるアスファルトおよびアスファルト蒸気の職業暴露，**コーヒー，ピクルス（食品），アセトアルデヒド，ベンズ（a）アントラセン（多環芳香族の一種），クロロホルム，ナフタレン，ニッケル，ガソリン，ガソリンエンジン排ガス，カーボンブラック，鉛，二酸化チタン，高周波電磁波，低周波磁場，など
3	**発がん性を分類できない（505種）** ・ヒトへの発がん性を示す証拠が不十分であり，実験動物への発がん性に対しても十分な証拠がないか限定的である場合等	トルエン，キシレン，原油，軽油，ジェット燃料，フルフラール，ピリジン，アントラセン，ベンゾ（e）ピレン（多環芳香族の一種），水銀，セレン，アラルダイト（エポキシ），ポリ塩化ビニル，紅茶，カフェイン，コレステロール，静止磁場，低周波電場，など
4	**おそらく発がん性はない（1種）** ・ヒトと実験動物への発がん性がないことを示唆する証拠がある場合等	カプロラクタム

*分類およびその基準は，原文は英語で表記されており，ここでは総務省により訳出された用語を使用しています。

率（リスク）」という定量的な尺度を示すものではありません。対象となる物質に人が触れる「濃度と頻度」，ならびに「防護策」が分かることにより，「がんになる可能性や確率」を考えることができます。（「リスク」と「ハザード」の考え方については参考４），５）等を参照ください。）

4.1 「アスファルト」の「発がん性」の評価方法

IARCは1985年にアスファルトの発がん性の評価を行っています。ここでは「道路舗装や防水に携わる作業者を追跡調査することによって得た結果（疫学的調査結果）からは，アスファルトに発がん性があるという証拠はない」という結論を得て，「アスファルト」を「グループ３（人に対する発がん性を分類できない）」と分類しました。

これに対し，2011年10月の再評価（詳細内容は2013年５月公表のIARC Monographs Volume 103[6]）においては，アスファルトの各利用分野における「溶剤の影響」，「使用温度の影響」，「改質アスファルトの利用」さらに「空気，水，食料を通した摂取経路」等を加味し，最新の疫学的な調査結果を基に検討を行い，さらに「アスファルト蒸気」中の微量な化学成分の分析を行い，検討を行いました。

特に作業者が作業中に「アスファルト蒸気」にさらされる「時間」と「濃度」について，検討を行っていま

す。以降，Monographs Volume 103の検証内容と，グループ判定に至る過程を述べます。

4.2 「アスファルト蒸気」の濃度について

作業者がさらされる「アスファルト蒸気」の濃度は，米国および欧州での調査結果から，アスファルトを使用する作業の内容により，その濃度が異なることを示しました。具体的には「加熱したアスファルトを用いた防水工事」の現場で発生する「アスファルト蒸気」の濃度は約1.5～2.5mg/㎥程度，また「道路舗装用アスファルト混合物製造」や「道路舗装工事」の現場で発生する「アスファルト蒸気」の濃度は約1.5mg/㎥以下であることが示されています。これより，「加熱したアスファルトを用いた防水工事」に従事する作業者は，「道路舗装工事」に従事する作業者よりも高い濃度の「アスファルト蒸気」にさらされることが分かりました。

これは主にアスファルトを加熱する温度が，防水工事の際の180～230℃程度に対し，道路舗装工事の場合は110～170℃程度と低いことが原因としています（温度は原文のまま。筆者注）。

なおこれらの結果は，約4～9時間程度の作業時間において，作業現場で採取された結果としています。

また作業者がさらされる「アスファルト蒸気」の濃度に上限を設けている国（米国，豪州，ベルギー，カナダ，デンマークなど）がありますが，その上限値は，8時間の作業の平均で0.5～5 mg/㎥，短時間（10～15分間）の場合は5～10mg/㎥と報告しています。

4.3 「アスファルト蒸気」中の「多環芳香族」の濃度について

IARCは，「多環芳香族PAHs：Polycyclic Aromatic Hydrocarbons）」と呼ばれる多種の有機化合物について「ベンゾ（a）ピレンなどの，特定のPAHsは発がん性がある」との報告を2010年に行いました[7)]。

このため今回の検証では「アスファルト蒸気」中のPAHsの濃度を測定した結果についても検証しています。それによると「加熱したアスファルトを用いた防水工事」，「道路舗装用アスファルト混合物製造」および「道路舗装工事」の現場において，いずれの場合にも，ごく微量（約1 μg/㎥以下）のPAHsが検出される場合があることを報告しています。

このことから，「アスファルト蒸気」中には微量ながら，「発がん性がある物質：ベンゾ（a）ピレン」が含まれる場合がある，と報告しています。

4.4 「アスファルト」関連作業に従事する作業者の発がんリスクの評価

作業者の「発がん性」に関する検証結果から，以下のようにまとめています。

①「道路舗装事業」に携わる作業者の「発がんリスク（がんの発生率）」は，他の作業に従事する作業者と比べて，ほぼ同等か少し高いとする結果もあるが，証拠が不十分であり，高いと断定はできなかった。

②「防水工事」に携わる作業者の「発がんリスク」の検証において，「発がんリスク」が高くなったという限定的なデータ（限られた数の証拠）があったが，防水工事の際に触れる可能性のある旧い防水材料に含まれる「コール・タール」や「アスベスト」，および「作業者の喫煙」といった「発がん性がある物質」の影響を排除できなかった。

③作業者がさらされる「アスファルト蒸気」の濃度は，アスファルトの加熱温度が高い場合ほど，高い（濃い）。

なお「アスファルト蒸気」の濃度を下げる方策として，近年，米国や欧州で導入されている，混合や施工の際の温度を110～140℃に低下させた「中温化アスファルト舗装技術」を紹介しています。

4.5 「アスファルト」の動物実験による発がんリスクの評価

ストレートアスファルトおよびブローンアスファルトを用いた動物実験の結果を，以下のようにまとめています。

①「アスファルト蒸気」を「一定濃度で吸入」させた動物実験では，ストレートアスファルト用いた場合，およびブローンアスファルトを用いた場合ともに，「発がんリスク」が高まるという結果は得られなかった（がん発生が減少したとのデータが掲載されています。筆者注）。

②「アスファルト蒸気」を採取し，溶剤で溶解し，マウスの皮膚に塗った場合には，ストレートアスファルトを用いた実験では，「発がんリスク」が高まるという結果は得られなかったが，ブローンアスファルトを用いた実験では皮膚がんの発生が認められる幾つかの結果があった。

なおこれらの検討では，溶剤としてベンゼン，トルエン，アセトン等を用い，皮膚への塗布は1～3回／週の割合で，1～2年間にわたり行ったと報告している。

（IARCの評価は前述のとおり，「対象物質が発がんの危険性を有するか否か」を判定することを

目的としています。このためIARCではブローンアスファルト蒸気のマウス皮膚への直接的な塗布量を，実際の作業現場では発生しない過剰な濃度とした検討結果もとに，潜在的な発がんの危険性を明らかにしようとしています。なお環境省のPRTR法に関する解説[8]では「発がん性などの有害性は，動物実験で得られた結果を人に当てはめるため，不確実性を伴う」としています。筆者注。）

4. 6 「アスファルト」の発がん性の評価

4. 4および4. 5の結果から，「アスファルト」を使用する作業に関わる作業者の発がん性について，IARCは以下のように分類しました。

「道路舗装におけるアスファルトおよびアスファルト蒸気の職業暴露」等については，「ヒトへの発がん性を示す証拠は不十分」なものであり，「実験動物への発がん性を示す十分な証拠がない」ため，**図－1**より「グループ2B（人に対して発がん性があるかもしれない）」に分類しました。

また「防水工事におけるブローンアスファルトによる，アスファルトおよびアスファルト蒸気の職業暴露」については，「ヒトへの発がん性を示す証拠は不十分」でしたが，「実験動物への発がん性を示す十分な証拠がある」とし，**図－1**より「グループ2A（人に対しておそらく発がん性がある）」に分類しました。

5.「アスファルト蒸気」に関する欧米の対応

4. 2で述べたとおり，「アスファルト蒸気」の濃度に規制値を設けている国があります。ただしIARCの報告では，実際の作業環境においては，規制値を下回る濃度の「アスファルト蒸気」が観測されています。

5. 1 欧州の対応

IARCの拠点であるフランスをはじめ，ドイツ，イタリアを含む欧州では，欧州連合（EU）としての「アスファルト蒸気」濃度の規制値を設けていません。

2011年10月のIARCによる分類変更の公表直後に，アスファルト関連工業団体であるEurobitumeは「1985年の『グループ3』からの変更は唐突である。しかし，作業者がさらされる『アスファルト蒸気』の濃度を下げることは，中温化技術の導入等で推進しており，歓迎する」という声明を2012年1月に公表しています[9]。

また2013年5月には，「ハザード（危険性・有害性の大きさ）」と「リスク（ハザードと頻度の掛け算）」の違いを図示しながらと説明し[10]，アスファルトの安全性をより高めるための考え方を示しています。

ここでは参考4）と同様に，「檻の中に飼われているライオン（＝ハザード）」を例に，人が檻の外からライオンを見ていれば「リスク」は無いが，人が檻の中に入ればライオンは「リスク」に変わることを説明しています。

アスファルトをライオンに例えることの是非はとにかく，このような例を用いて，アスファルトを正しく使用し，管理することを推奨し，周知しています。

なおEU内で提供されるSDSには，2013年10月の時点で既に今回のIARCの分類変更の内容が反映されています。

5. 2 アメリカ合衆国（米国）の反応

米国では，「アスファルト蒸気」ではなく「アスファルト・ヒューム」について，今回のIARCの分類変更以前から，労働省労働安全衛生局（OSHA：Occupational Safety & Health Administration）等が作業者の暴露について情報発信を行っています。

例えばOSHAは「連邦政府としての『アスファルト・ヒューム』の具体的な暴露基準は存在しないが，アスファルトから発生する化学物質の暴露予防策は，従来からある建設業一般の安全対策として示されている」[11]としています。また今後，「連邦政府として『アスファルト・ヒューム』の暴露低減のために，技術的改良，行政的な規制値の導入，および保護具の着用奨励を計画している」との情報も掲載しています。

さらにOSHAは具体的な職業暴露の低減策として，技術的改良としては「防水釜の温度管理と適切な排気を行うこと」，保護具として「適切なマスクと衣類を着用すること」，計画される規制項目として「低臭アスファルトへの代替」と「作業時間の制限」を例示しています。

またOSHAでは「アスファルト・ヒューム」そのものの健康影響にとどまらず，広く建設業における作業者の労働安全を考慮しており，例えば「軽油を使用した合材トラック荷台の清掃」における職業暴露についても，その低減策を検討しています。

これらの項目について，今後具体的な規制が行われる可能性は高く，すでに25の州，米国領プエルト・リコおよび米国領ヴァージン諸島では，作業全般の環境および各種化学物質の暴露から作業者を保護することを目的として，独自の政策を施行しているとあります。

また保健福祉省の国立職業安全衛生研究所（NIOSH：National Institute for Occupational Safety and Health）においても「アスファルト・ヒューム」の職業暴露について同様の検討を行っており，防水

用アスファルトの取り扱い方法，および舗装施工装置の改良策等の提言も行い，作業者がさらされる「アスファルト・ヒューム」の濃度低下をはかっています[12]。

特に防水工事の際の，アスファルトの溶融温度と低臭アスファルトについて例示[13]しています。溶融温度を50°F（28°C）下げることで，アスファルト・ヒュームを62%削減できたこと，また低臭アスファルト（ポリプロピレン等のポリマーを１％以下添加している）を用いることで，アスファルト・ヒュームを80～90%削減できたことを紹介しています。

６．まとめ

アスファルトの「安全性に関する情報」について，今後改訂されるSDSに記載される項目，および内容について説明しました。

特に2013年５月に，IARCから詳細報告が公表されたアスファルトに関する「発がん性分類」について，その分類を変更した過程を紹介しました。また分類は「対象物質が潜在的に有する発がんの危険性（ハザード）」の大きさを示す指標であり，「がんになる可能性や確率（リスク）」の大小を定量的に示すものでないことを記しました。

今後は，今まで以上にアスファルトの使用方法，作業環境，および装置等を適切に管理することにより，作業者および周辺環境への「アスファルト蒸気」の影響を少なくすることが求められます。

本報が，私たちの暮らしをこれまで支えてきた「アスファルト」を，これからも正しく使用し，その特長をさらに活用するきっかけとなれば幸いです。

参考文献

1）GHS関連サイト
・http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/int/ghs_text.html
・http://www.safe.nite.go.jp/ghs/ghs_manuals.html
2）http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/IARC_Bitumen_Eng.pdf
3）http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/PDFs/index.php
4）厚生労働省「自動車整備業におけるリスクアセスメント～災害ゼロをめざして！！～」p.7（2009）http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/091001.pdf
5）（独）製品評価技術基盤機構「化学物質のリスク評価について」（2004）
6）IARC Monographs Volume 103（2013）
7）IARC Monographs Volume 92（2010）
8）http://www.env.go.jp/chemi/prtr/about/yougo2.html
9）http://www.eurobitume.eu/press/news/iarc-monograph-volume-103-article-published-lancet（2013年５月に更新されています。）
10）http://www.eurobitume.eu/press/news/bitumen-and-occupational-hazard
11）https://www.osha.gov/SLTC/asphaltfumes/
12）http://www.cdc.gov/niosh/topics/asphalt/
13）http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-112/pdfs/2003-112.pdf

付着特性・接着特性に関する アスファルトの耐久性評価試験方法について ～第5回E&E国際会議から～ および 「若手技術者によるアスファルト舗装に関する質問コーナー」

アスファルト舗装技術研究グループでは，所属機関の支援を受けて志の高い若手技術者が集い，海外資料輪読を中心にアスファルトに関する勉強会を重ねております。その中から２つの研究成果を報告します。

まず，2012年の第５回E&E国際会議から，アスファルトの付着および接着特性とその試験方法に関する成果を紹介します。E&E会議は，米国TRB会議や日本道路会議のように，欧州で定期的に開催される大きなアスファルト舗装会議です。今回は，数多くの論文の中から，凝集力や剥離性状などの接着剤としてのアスファルトの性能と耐久性について，評価試験法の視点から特に興味深いものを選定しました。

質問コーナーは，前回報告からはじめた成果紹介で，定例企画として継続すべく鋭意調査を続けています。若手技術者が抱く素朴な疑問について，資料調査結果をもとに研究グループ内で議論し，それらの疑問を解決するとともに，関連する技術情報や品質規定の経緯などを項目ごとに整理しています。経験のある技術者にとっては常識的なことで詳しく解説されないことにも，基本原則や歴史背景が隠れています。また，今では不合理となっているのに常識化した故に見過ごされていることを見直す契機にもなると思われます。今回は，アスファルト材料の温度管理をはじめとした５件のQ&Aを解説します。

（研究グループ代表幹事：佐々木巌）

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

佐々木巌　（独）土木研究所材料資源研究グループ

神下竜三*	鹿島道路㈱技術研究所
平川一成*	（独）土木研究所道路技術研究グループ
岩塚浩二	㈱パスコ インフラマネジメント事業部
上地俊孝	大林道路㈱技術研究所
大場拓也	東亜道路工業㈱技術研究所
壁下俊介	ニチレキ㈱技術研究所
川上　聖	日本道路㈱技術研究所
菅航太郎	鹿島道路㈱技術研究所
小柴朋広	世紀東急工業㈱技術研究所
庄嶋芳卓	西日本地研㈱営業設計課
永塚竜也	ニチレキ㈱道路エンジニアリング部
西山大三	㈱NIPPO技術研究所
朴　希眞	日本道路㈱技術研究所
宮澤　哲	前田道路㈱技術研究所
村井宏美	世紀東急工業㈱技術研究所
森石一志	大林道路㈱技術研究所
市岡孝夫**	前田道路㈱工務部
加納孝志**	大成ロテック㈱技術研究所
鎌田　修**	鹿島道路㈱技術研究所

*）班長，**）アドバイザ　（2013年10月現在）

付着特性・接着特性に関する アスファルトの耐久性評価試験方法について ～第5回E&E国際会議から～

平川一成　小柴朋広　村井宏美　西山大三
岩塚浩二　森石一志　上地俊孝　大場拓也
宮澤哲　壁下俊介　朴希眞　武藤一伸
加納孝志

はじめに

2012年6月にイスタンブール（トルコ）で行われたE&E国際会議（5th Eurasphalt & Eurobitume Congress）は，欧州アスファルト舗装協会，欧州アスファルト協会の共催で4年に1度開催される国際会議である。

第5回となる今回は「持続可能な道路」をテーマに省エネと低炭素，耐久性とパフォーマンス，リサイクル，安全といった8つのセッションに分かれて約260編の論文が発表された。

本報告では，最も投稿数の多かった「セッション8：混合物の耐久性と性能」で発表された78編の中から，耐久性評価方法としてのアスファルトの付着特性や接着特性に関する試験方法に着目して抽出した論文4編について紹介する。

1．紹介する研究報告

欧州試験規格のEN12697シリーズではアスファルトの付着特性や接着特性を測定する方法としてEN12697-11，EN12697-12が規定されている。本報告では，これらに規定されている試験方法を中心に，新たに考案された試験方法と併せて紹介する。研究報告および試験方法を**表－1**に示す。

1.1　室内評価手法としてのアスファルトの付着性試験について【P5EE-197】

アスファルトレベルでの付着性評価としてEN12697-11規格試験，混合物レベルでEN12697-12規格試験を実施し，新たな性能指標としてアスファルトの接触角を測定し，適用性を検討している。接触角とその測定方法については後述する。

1.2　付着特性と耐久性を評価するための試験方法に関する調査【A5EE-132】

アスファルトの付着性を評価する適切な試験を検討するため，複数のアスファルトと骨材を用いて様々な付着性試験を実施している。

1.3　アスファルト混合物の耐油性について【A5EE-418】

EN12697-43で規定されている耐油性試験に関する報

表－1　紹介する報告と試験方法

論文No	タイトル（上段：原題，下段：和題）	筆者 発表国	実施した試験規格	新たに検討した試験方法
P5EE-197	ADHESION OF BITUMEN：SCREENING AND EVALUATING LABORATORY TESTING TECHNIQUES 室内評価手法としてのアスファルトの付着性試験について	Michael P.Wistuba ドイツ	EN12697-11A　回転ボトル試験 EN12697-11B　水浸養生試験 EN12697-12　水浸間接引張試験 EN12697-12B　直接引張試験	接触角測定方法 （後述）
A5EE-132	THE SEARCH FOR SIMPLE TESTS TO ASSESS THE COMPLEX PROPERTIES OF ADHESION AND DURABILITY OF ADHESION 付着特性と耐久性を評価するための試験方法に関する調査	Jeroen Besamusca オランダ	EN12274-7　振とう式はく離試験 EN12697-12　水浸間接引張試験 ASTM D 1047　水浸デュリエ試験 ASTM D 7428　水浸ドバル試験 EN12697-17　カンタブロ試験 XP T 66-043　水浸剥離試験 ASTM D 4541　空圧式引張試験　他	
A5EE-418	THE EFFECT OF FUEL ON FLEXIBLE PAVEMENT アスファルト混合物の耐油性について	Mehmet Tahir Deniz トルコ	EN12697-43　耐油性試験	
O5EE-191	LABORATORY TESTS FOR INTERNAL COHESION AND RAVELING OF THIN AND ULTRA-THIN WEARING COURSES 薄層および超薄層摩耗層の骨材飛散抵抗性と内部接着力に関する室内試験	Joelle De Visscher ベルギー	EN12697-12　水浸間接引張試験	斜走行トラッキング試験 T2R 摩耗試験 ARTe 試験

告である。国内で耐油性を要求される場合にはコンクリート舗装が適用されることが多いが，改質アスファルトを用いた場合の耐油性について検討されている。

1.4　薄層および超薄層摩耗層の骨材飛散抵抗性と内部接着力に関する室内試験【O5EE-191】

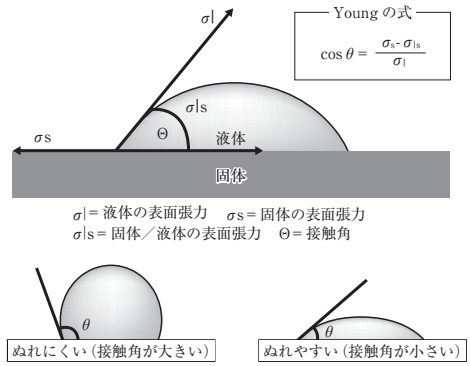
ベルギー国内で薄層舗装が供用早期に破損する実情を受け，薄層舗装の骨材飛散抵抗性について，実際の損傷状況を再現できる試験方法が検討されている。

2．接触角について

2.1　接触角とは

液滴を水平な固体表面の上に置くと，一定のレンズ形を保った滴になる場合がある。液体の表面は曲面となるが，その端では，**図－1**に示すように，固体表面と液体の表面とは一定の角度をなす。この角度を図のように液体の内側で測ったものを接触角という。接触角 θ は一般に，液体と固体の種類によって決まり，θ が大きいほど，ぬれにくい状態を示す。このときの力のつり合いの条件から，Youngの式が得られる。

理化学辞典（岩波書店　第4版）によれば，接触角は「静止液体の自由表面が，固体壁に接する場所で，液面と固体面とのなす角（液の内部にある角をとる）」と定義されており，ぬれやすさの程度を定量化したものといえる。



図－1　接触角とYoungの式

2.2　接触角の測定方法

接触角は固体と液体のサンプルを使用し，液滴を作成して測定される。固体表面上に作られた液滴はある角度を形成して安定する。液滴に光を当て，その反対側からカメラで液滴の画像を捉え，画像解析で接触角を計算する方法が一般的といわれている。

接触角の計算方法は幅高さ法もしくは接線法が用いられている。

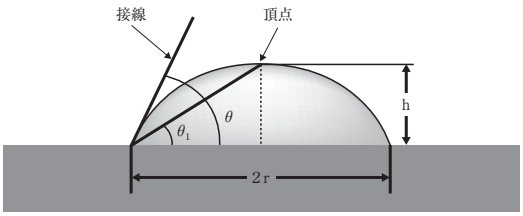
(1)　幅高さ法

液滴の半径rと高さhを求め下式に代入して接触角を求める。また，液滴の左右端点と頂点を結ぶ直線の，固体表面に対する角度を求め，これを2倍することで接触角を求めることも可能である。

$$\tan\theta_1 = \frac{h}{r} \rightarrow \theta = 2\arctan\frac{h}{r}$$

この方法では液滴が球の一部であることが前提であり重力の影響を無視できる液滴量で測定される。

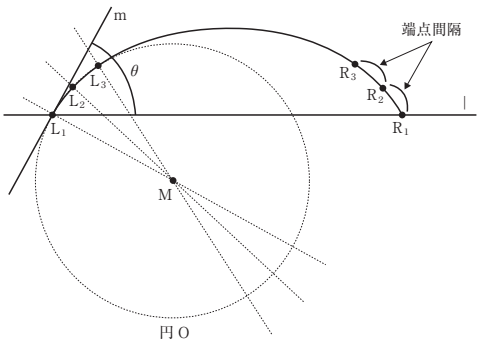
近年では，パソコンによる画像解析技術の進歩に伴い短時間での処理が可能となっている。



図－2　幅高さ法による接触角の算出

(2)　接線法

液滴端点近辺を球の一部とみなし，円弧上の点L1，L2，L3から円Oの中心Mを求め，点L1における円の接線を求め，これと直線をなす角度が液滴左側の接触角である。同様に円弧上の点R1，R2，R3から液滴右側の接触角を求めることが可能である。



図－3　接線法による接触角の算出

2.3　アスファルトの接触角

アスファルトの接触角を評価することで混合物のはく離損傷の予測を行った事例が報告されている。この検討には熱力学や物理化学に対する深い見識が必要であり，更なるデータの蓄積が望まれている。

3．室内評価手法としてのアスファルトの付着性試験について【P5EE-197】

原題：***ADHESION OF BITUMEN:SCREENING AND EVALUATING LABORATORY TESTING TECHNIQUES***

著者：*Michael P.Wistuba* ほか（ドイツ）　　所属：ブラウンシュバイク舗装技術センター

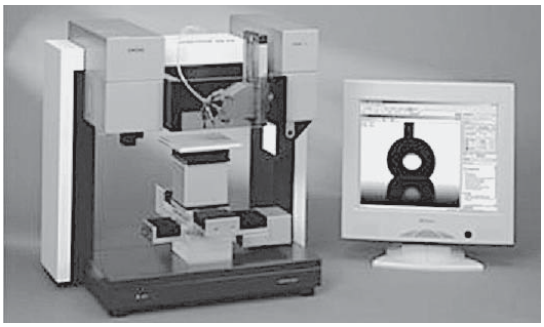
3.1　概要

アスファルトと骨材との付着特性を評価する目的で，①バインダレベル（EN12697-11）及び②混合物レベル（EN12697-12）で性状試験を実施した。また，新たな性能指標としてアスファルトの接触角を測定し，適用性を検討した。

3.2　研究内容

⑴　接触角測定方法

アスファルトの接触角を次の３種の方法により測定した。



写真－１　試験装置（DSA100）

①液滴法による測定

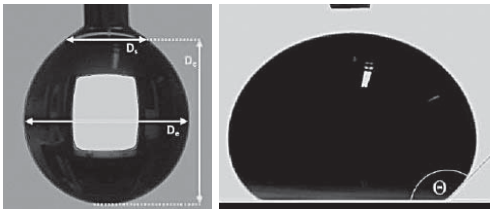
スライドガラスに溶融したアスファルトを滴下し，30分70℃で養生した後に室温に冷ましDSA100により接触角を測定した。その後，30分50℃で水浸し，再度接触角を測定した。この方法はスライドガラスが固体，アスファルトを液体に見立てた場合の接触角を測定している。

②滴下法による測定（**写真－２**左）

DSA100中の細管をアスファルトで満たし，所定の温度に加熱し，針先端から垂れる直前のアスファルトの画像を分析した。この方法は液体であるアスファルトの表面エネルギーを測定している。

③水滴落下法による測定（**写真－２**右）

スライドガラス上に100℃まで加熱したアスファルトの膜を作り，24時間50℃で養生後，室温に冷まして水滴を滴下し接触角を測定した。この方法ではアスファルトを固体，水滴を液体と見なし，水滴の接触角，すなわち，アスファルトの撥水性の測定を試みている。



写真－２　滴下法および水滴落下法の供試体

⑵　回転式ボトル試験（EN12697-11A）

150gのアスファルトで被膜した骨材を500mlのボトルに入れ，５℃の水を入れて撹拌する試験である。ボトルを１分間に40回の速度で回転させ，48時間後および72時間後のはく離程度を評価した。

写真－３　回転式ボトル試験装置および試験後試料

⑶　水浸養生試験（EN12697-11B）

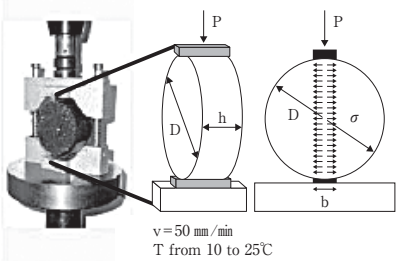
150粒の粗骨材をアスファルトで被覆させ，お互いが接触しないように配置し，40℃の水に72時間水浸させ，はく離した骨材を評価する試験である。

⑷　水浸間接引張試験（EN12697-12）

載荷速度50㎜／minで供試体を圧縮し，破砕時の最大荷重から強度を得る試験である。水浸・非水浸で間接引張試験を実施し，強度比を評価した（**写真－４**）。

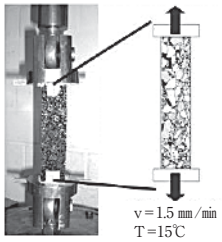
⑸　直接引張試験（EN12697-12B）

アスファルト混合物の評価は，載荷速度1.5㎜／minで

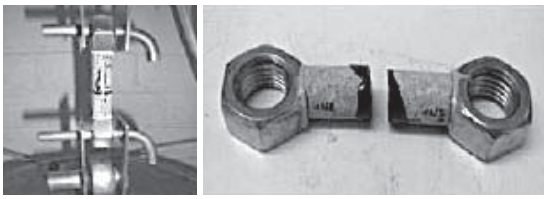


写真－４　水浸間接引張試験

供試体を引張り，最大応力を得る試験である。水浸・非水浸で直接引張試験を実施し，直接引張強度比で評価を行った（**写真－５**）。一方，アスファルトの評価では，専用の治具をアスファルトで接着したものを供試体とし，混合物同様に水浸，非水浸条件下での直接引張強度比で評価を行った（**写真－６**）。



写真－５　混合物を用いた直接引張試験



写真－６　アスファルトバインダを用いた直接引張試験

3.3　研究結果

(1)　接触角測定

①液滴法による接触角測定

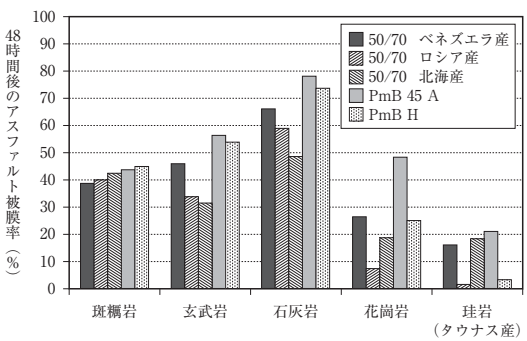
アスファルト毎に異なる性状を確認することができた。アスファルトに付着促進剤を添加することで接触角度が変化することが確認できた。②滴下法による測定，③水滴落下法による接触角測定では標準偏差が大きく再現性に欠ける，アスファルト種別の差がみられないといった問題点を確認した。

(2)　回転式ボトル試験

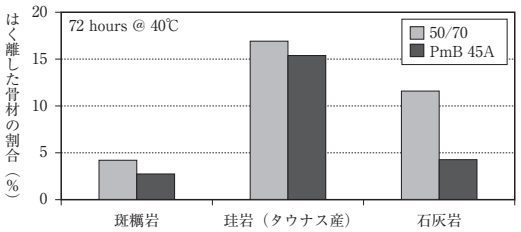
花崗岩と珪岩の被膜割合が最も低く，これらは付着力が劣る評価を得た。本試験は，適切な手順および被覆度合いの集計，処理条件を満足することで，性能評価が可能なことが確認された。

(3)　水浸養生試験

骨材の岩種によりはく離率が異なることが確認されタウヌス珪岩で最もはく離率が高く，斑糲（はんれい）岩がはく離率が低くなった。また石灰岩では，改質アスファルトを用いることではく離率が改善された。



図－４　回転式ボトル試験の結果



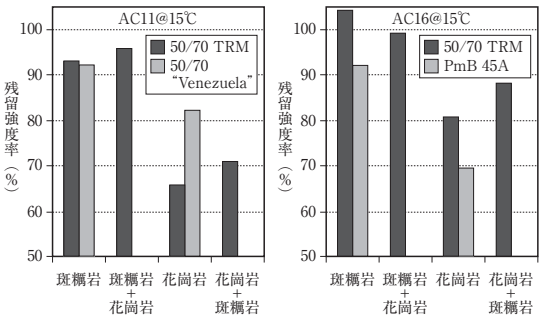
図－５　水浸養生試験の結果（はく離割合）

(4)　間接引張試験

各アスファルト混合物の耐水性能を評価でき，空隙率が試験結果に影響を与えることが分かった。また，空隙率の低い混合物ほど強度比が大きくなった。

(5)　アスファルト混合物の直接引張試験

水の影響による引張強度の低下が確認できた。最も強度が低いものは花崗岩を用いた混合物であった。



図－６　アスファルト混合物の直接引張試験結果

3.4　結論

アスファルトの付着性を評価する試験として回転式ボトル試験が良好であることが確認された。また滴下法による接触角測定が比較的良好な傾向を示したが，更なるデータの蓄積が必要である。

3.5　翻訳者コメント

間接引張試験などは日本でも用いられているが，多くはなじみの薄い試験であった。今後，我が国においても導入する価値はあると考えられる。

4．付着特性と耐久性を評価するための試験方法に関する調査【A5EE-132】

原題：***THE SEARCH FOR SIMPLE TESTS TO ASSESS THE COMPLEX PROPERTIES OF ADHESION AND DURABILITY OF ADHESION***

著者：*Jeroen Besamusca* ほか（オランダ）　　所属：KP R&T

4.1　概要

「付着力」および「付着力の耐久性」は，アスファルト混合物の重要なパフォーマンス特性である。

ところが，瀝青材料の付着特性は使用する骨材の特性に依存するため，一義的に定義することは難しいと言われている。

これを受け，欧州標準化委員会（CEN）は瀝青材料の付着特性を評価する試験方法を統一し，定量化することを目的に，付着力の耐久性調査グループとアスファルトの付着性試験調査グループという２つの特別タスクグループを立ち上げた。

本報告では，アスファルトの付着性試験調査グループの活動内容を紹介する。

4.2　研究内容

⑴　試験方法

試験調査グループでは，より簡易かつ迅速に再現性の高い付着性試験方法を検討するため，各国の様々なアスファルトの付着性試験の中から９試験を選定し，各国の試験機関で共通試験を実施した（**表－２**）。

表－２　実施した試験方法

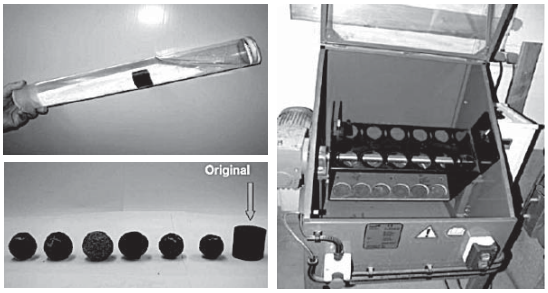
試験名	試験規格
Vandskak 試験	
振とう式はく離試験	EN-12274-7
水浸間接引張試験	EN-12697-12
水浸デュリエ試験	ASTM D 1047
水浸ドバル試験	ASTM D 7428
カンタブロ試験	EN12697-17
水浸はく離試験	XP T 66-043
空圧式引張試験	ASTM D 4541
MoD はく離試験	

①Vandskak 試験

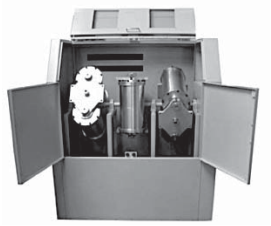
２㎜以下の細骨材とアスファルトで作製した直径30㎜，高さ27㎜の円柱供試体を３時間吸水させた後，40℃で48時間20rpm で振とうする。試験前後の供試体の質量変化を評価する試験である。

②振とう式はく離試験

２㎜以下の細骨材とアスファルトで作製した直径30㎜，高さ25㎜の供試体を直径60㎜高さ400㎜の円柱容器内で水浸養生し，振とうする。試験前後の質量変化を評価する試験である。



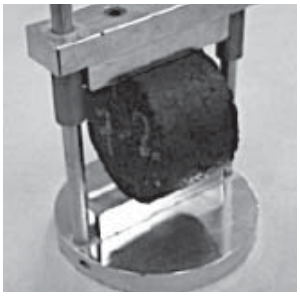
写真－７　Vandskak 試験（右：振とう機）
（左上：吸水状況，左下：試験後供試体例）



写真－８　振とう式はく離試験

③水浸間接引張試験

載荷速度50㎜／minで供試体を割裂し，水浸，非水浸条件での破砕時の最大荷重から間接引張強度を得る試験である。



写真－９　水浸間接引張試験

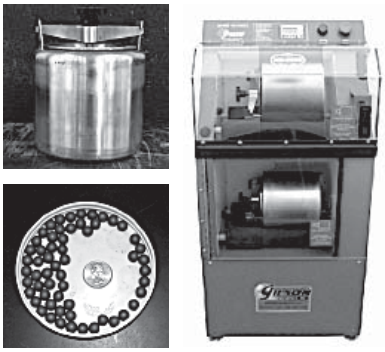
④水浸デュリエ試験

直径120㎜及び80㎜の円柱供試体による一軸圧縮試験である。

写真－10　水浸デュリエ試験装置及び供試体

⑤水浸ドバル試験

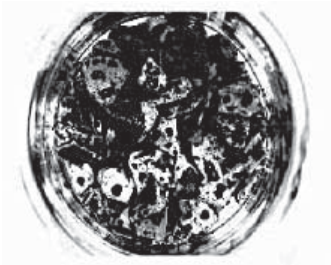
金属製円筒容器に供試体と小さな鉄球を入れ，横回転させる。試験前後の質量を評価する試験である。



写真－11　ドバル試験機
（左：容器及び鉄球，右：試験装置）

⑥水浸はく離試験

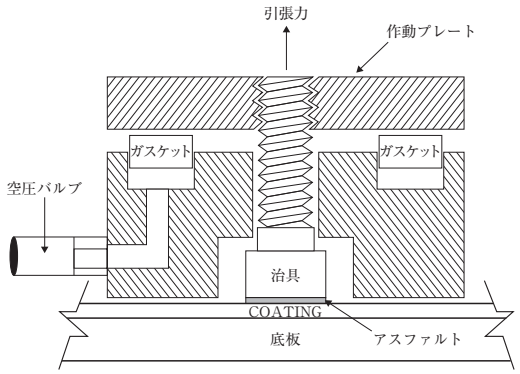
100gの骨材と５gのアスファルトを混合し，60℃の酸性溶液の中で16時間水浸し，はく離状況を目視により評価する試験である。



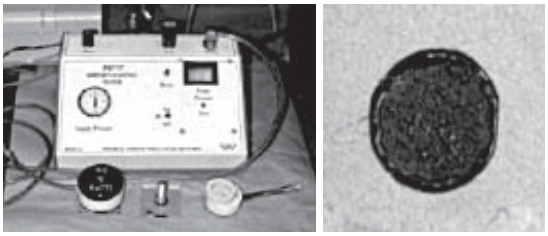
写真－12　試験後のはく離状況

⑦空圧式引張試験（PATTI試験）

アスファルトで試験基板と接着した冶具を作動板とネジ固定する。空気を送り込み，引張力で冶具が剥がれた時の圧力を評価する試験である。



図－7　試験機概要図



写真－13　試験装置および試験後の状況

⑵　使用材料

メーカーの異なる４種類の50/70ストレートアスファルトと２種類の改質アスファルトを用いて評価を行った。

試験は，供試体の水浸前後で行い，総計で約150回実施した。

4.3　研究結果

本研究の付着性試験では，試験温度や針入度などの骨材以外の要因が結果に影響し，本来の目的である，アスファルトと骨材の付着特性を評価する容易な試験方法は，見つけることができなかった。

4.4　結論

・測定した特性の「比率」にのみ依存する特性を評価する試験方法は，付着特性を過大に評価する恐れがある。比率だけでなく，測定した絶対値を考慮した評価方法を検討する必要がある。

・特定の温度で実施した試験は，バインダ自体の付着特性ではなく，バインダの変形特性の温度依存が試験結果に影響を与えているということを考慮する必要がある。

4.5　翻訳者コメント

アスファルトや骨材の使用目的や施工条件等に応じて，試験方法を修正，考案されてきた側面を考慮すると各試験の特性や利点を踏まえ，適用していくことが重要であると感じた。

5．アスファルト混合物の耐油性について【A5EE-418】

原題：***THE EFFECT OF FUEL ON FLEXIBLE PAVEMENT***

著者：*Mehmet Tahir Deniz* ほか（トルコ）　　所属：Isfart R&D

5. 1　概要

本論文は，軽油およびガソリンがアスファルト混合物に与える影響を定量的に測定する方法を紹介している。評価方法は，耐油性の試験法（TS EN 12697-43）という日本にない試験法であり，マーシャル供試体を燃料に一定時間浸漬させて，質量損失から耐油性を測定するものである。

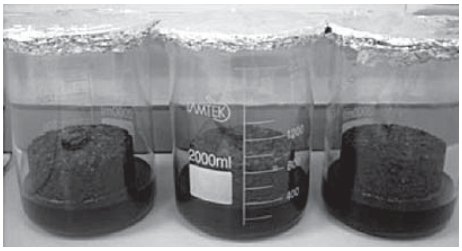
5. 2　試験方法

⑴　試験手順

耐油性を測定するには，供試体を燃料に24時間浸漬させた時の質量損失（%）および負荷（表面研磨）をかけた後の質量損失（%）から評価される。以下に，試験手順を示す。

①供試体の乾燥質量（m_1）を測定後，供試体を燃料に24時間浸す。改質アスファルトを使用した場合は72時間浸す（**写真－14**）。

*24（72）時間の養生時間中は表面が燃料に浸っている状態を保つ。



写真－14　燃料に浸水中の供試体

②供試体を取り出し，水で洗浄し，25℃の乾燥炉で24時間乾燥する。

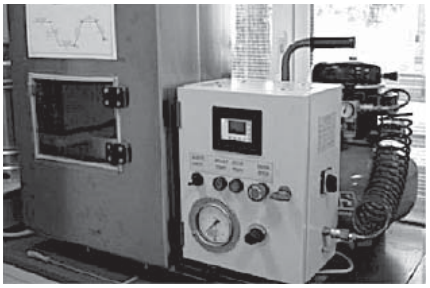
③供試体の乾燥質量（m_2）を測定する。表面状態を目視観測する。

④燃料に浸漬させた面（表面）を上向きにして，供試体をマーシャル型枠に入れる。

⑤供試体の底部を機械で押し上げて，供試体の表面をサイクロイド回転している鉄ブラシに30秒間当て，表面研磨する（**写真－15**）。

⑥供試体を型枠から取り出して，供試体の乾燥質量（m_3）を測定する。表面状態を目視観測する。

⑦供試体をマーシャル型枠に入れる。



写真－15　試験装置（表面研磨）

⑧再度，供試体の底部を機械で押し上げて，供試体の表面をサイクロイド回転している鉄ブラシに30秒間当て，表面研磨する。

⑨供試体を型枠から取り出して，供試体の乾燥質量（m_4）を測定する。表面状態を目視観測する。

⑩供試体をマーシャル型枠に入れる。

⑪再度，供試体の底部を機械で押し上げて，供試体の表面をサイクロイド回転している鉄ブラシに60秒間当て，表面研磨する。

⑫供試体を型枠から取り出して，供試体の乾燥質量（m_5）を測定する。表面状態を目視観測する。

*鉄ブラシに当て，質量測定を行う過程を３回繰り返す。従って，鉄ブラシを当てる表面研磨の総時間は，30 + 30 + 60=120秒になる。

⑬以下の式から，質量損失（A_i%とB_i%）を計算する。

$$A_i = \frac{m_{1,i} - m_{2,i}}{m_{1,i}} \times 100$$

$$B_i = \frac{m_{2,i} - m_{5,i}}{m_{2,i}} \times 100$$

ここに，

$m_{1,i}$：供試体iの燃料浸漬前の初期乾燥質量（g）

$m_{2,i}$：供試体iの燃料浸漬後の乾燥質量（g）

$m_{5,i}$：供試体iの120秒表面研磨後の乾燥質量（g）

A_i，B_i：平均値を小数点一桁まで計算（%）

供試体の状態は，以下で判断する。

$A \leq 5$ %および$B \leq 1$ %：耐油性は高い

$A \leq 5$ %および$1\% \leq B \leq 5\%$：耐油性は普通

$A > 5$ %もしくは$B > 5$ %：耐油性は低い

(2) 試験供試体

試験供試体にはマーシャル供試体を用いた。ストレートアスファルトを使用した加熱アスファルト混合物（以下，HMA），ポリマー改質アスファルトを使用した混合物（以下，PmA），砕石マスチック混合物（以下，SMA）の４種で検討した。PmAは，SBS添加量3.5%と５%の二種類を用意した。

アスファルト量は，HMAが4.8%，SMAが6.4%である。供試体作製数は，各混合物種において９個（基準用３個，軽油用３個，ガソリン用３個）で，合計36個用意した。

使用したアスファルトは，トルコのコジャエリ県にあるトルコ製油所製であり，グレードは50/70である。

5.3 試験結果

表－３に試験結果の例，**表－４**に全試験結果および**写真－16**に試験後の供試体状態を示す。**表－４**から，総じてガソリンに対する耐油性よりも軽油に対する耐油性が高いといえる。**写真－16**から，試験後の供試体は軟化し，表面の損傷具合は，基準供試体（燃料浸漬なし）と比較して，非常に大きいことがわかる。

表－５に試験後の質量損失（%）を示す。SMAはHMAやPmAよりも若干耐油性が高い。PmAにおいて，SBS添加量が3.5%と５%の両者に耐油性の差異はなかった。耐油性は，表面研磨後の結果（B%）が重要である。何故なら，燃料が付着した舗装表面を通行する車両が，骨材はく離を促進するものと想定されるからである。表中のガソリンの結果B%は空欄であるが，これは供試体の損傷が激しく，表面研磨を実施できなかったためである。

5.4 結論

耐油性の試験から，以下の知見を得た。

- SMAの耐油性は，HMAよりも若干高い。
- PmAにおけるSBS添加量の違いは，耐油性に影響しない。
- 表面研磨の影響（A%とB%の差）は，SMAが最大であった。
- PmAの耐油性が一番高かったが，他混合物との差異は小さく，空隙率が影響していると考えられる。（空隙率はHMA：約2.4%，PmA：約４%，SMA：3.1%）
- 供試体の種類に係わらず，ガソリンに対する耐油性は，軽油よりも低い。
- サンプルを増やして，さらなる追跡調査が必要である。

5.5 翻訳者コメント

本試験法は，走行車両から落ちてくる油分（軽油やガソリン）に対するアスファルト混合物の耐油性を定量的に評価する手法であり，そのデータは国内の研究者にとっても興味深い。

表－３　耐油性試験の結果

燃料種別		軽油		密度（g/cm³）		2.415	
Specimen No.	m_1(g)	m_2(g)	m_3(g)	m_4(g)	m_5(g)	A(%)	B(%)
1	1198	1172	1148	1146	1144	2.2	2.4
2	1196	1176	1158	1156	1154	1.6	1.9
3	1199	1180	1162	1162	1161	1.6	1.6
					Average value	1.8	2.0

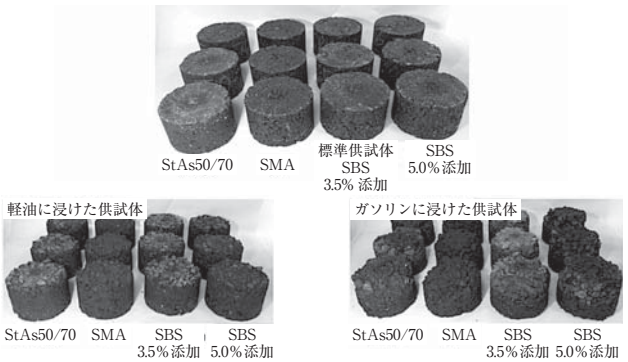
A≦% 5 and B＜% 1　：耐油性：高い
A≦% 5 and %1≦B≦% 5　：耐油性：普通
A＞% 5 or B＞% 5　：耐油性：低い

$$A=\frac{m_1-m_2}{m_1}\times 100 \qquad B=\frac{m_2-m_5}{m_2}\times 100$$

X

表－４　耐油性試験の結果

燃料種別	通常混合物	改質アスファルト（3.5% SBS添加）	改質アスファルト（5.0% SBS添加）	SMA
標準	耐油性：高い	耐油性：高い	耐油性：高い	耐油性：高い
軽油	耐油性：普通	耐油性：普通	耐油性：普通	耐油性：普通
ガソリン	耐油性：低い	耐油性：低い	耐油性：低い	耐油性：低い



写真－16　試験後の供試体状態

表－５　耐油性試験後の質量損失（%）

燃料種別	質量損失率	通常混合物	改質アスファルト（3.5% SBS添加）	改質アスファルト（5.0% SBS添加）	SMA
標準	A（%）	0.0	0.0	0.0	0.0
	B（%）	0.1	0.1	0.1	0.1
軽油	A（%）	2.0	1.8	1.7	1.4
	B（%）	2.2	2.0	1.9	2.6
ガソリン	A（%）	11.1	10.7	10.3	15.8
	B（%）	－	－	－	－

6．薄層および超薄層摩耗層の骨材飛散抵抗性と内部接着力に関する室内試験【O5EE-191】

原題：*LABORATORY TESTS FOR INTERNAL COHESION AND RAVELING OF THIN AND ULTRA-THIN WEARING COURSES*
著者：*Joelle De Visscher* ほか（ベルギー）　　所属：ベルギー道路研究センター

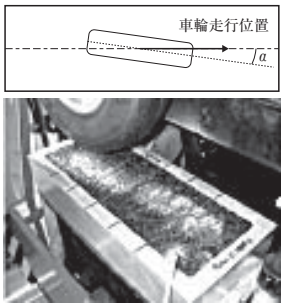
6. 1　概要

ベルギー国内で薄層舗装が供用後早期に破損する実情を受け，薄層舗装の骨材飛散抵抗性と内部接着力について，実際の損傷状況を再現できる試験方法を検討した。

6. 2　研究内容

⑴　車輪を斜めに固定したトラッキング試験

写真－17に試験状況を，**表－6**に試験条件を示す。本試験は，わだち掘れ抵抗性を評価するトラッキング試験の走行車輪に角度をつけることで，車輌がカーブを通過するときの影響を模擬する試験である。所定の走行回数ごとの損失量により混合物のわだち掘れ抵抗性を評価した。通常のわだち掘れ試験に比べタイヤ空気圧を小さくすることで表面に負荷されるグリップ力を増加させている。



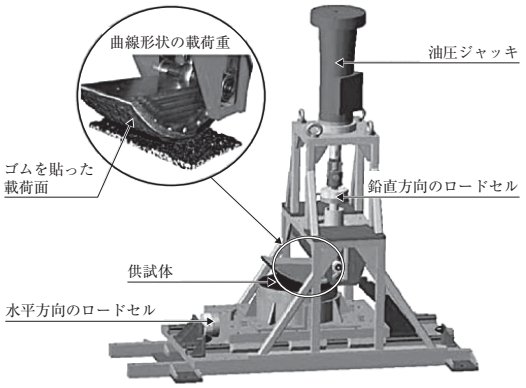
写真－17　車輪を斜めに固定したトラッキング試験状況

表－6　トラッキング試験の試験条件の比較

	本試験	わだち掘れ試験
試験温度	25 ± 2℃	50 ± 2℃
タイヤ空気圧	300kPa	600kPa
設置圧	2.5kN	5.0kN
角度	5°	0°

⑵　T2R 摩耗試験

図－8に試験機の概要を示す。T2R 摩耗試験は，ゴムで覆われた鋼鉄製のブロックが油圧ジャッキにより動的に載荷されたときの所定回数ごとの損失量を測定し，供試体に使用したアスファルトバインダの内部接着力を評価する試験である。



図－8　T2R 摩耗試験機

⑶　ARTe試験(Aachener Reibungsテスター)

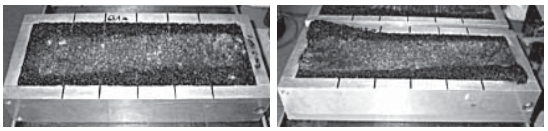
写真－18に試験状況を示す。ARTe試験は，RWTH Aachen大学で開発された試験機で，ポーラスアスファルト混合物に関する測定結果と現地の状況に一定の整合性が確認されている。本試験では，供試体が水平移動している上を2つのトラック用タイヤが水平方向に回転しながら載荷したときの載荷回数ごとの損失量を評価した。

写真－18　ARTe試験状況

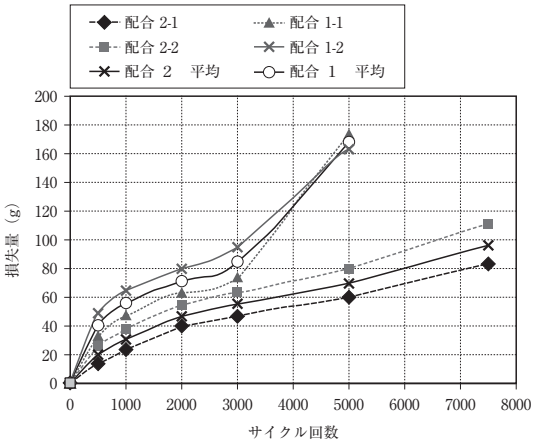
6. 3　研究結果

⑴　車輪を斜めに固定したトラッキング試験結果

試験は超薄層舗装の配合1，配合2に対して行った。配合1は配合2に比べて内部接着を高めるために高針入度のバインダを使用し，バインダ量も多い配合である。**写真－19**に試験後の供試体を，**図－9**に試験結果を示す。試験結果は内部接着が高い配合1が配合2よりも損失量が多くなった。この試験は走行荷重が狭域を同じ方向に集中して繰り返されるため，流動など他の損失が試験結果に影響することが確認された。このため内部接着力を評価する摩耗試験としては適していないと考えられる。



写真－19　試験後状況（左：配合１，右：配合２）



図－９　試験結果

(2)　T2R摩耗試験結果

表－７に試験結果を示す。試験結果は内部接着が高い配合１が配合２よりも損失量が多くなった。試験前の想定では，空隙率がより少なく，表面が滑らかな配合１の損失量が配合２より少なくなると考えていた。

このように想定と反対の結果になった理由は今回のデータからは見うけられなかった。このためT2R摩耗試験を内部接着力の評価に適用するには，更に多くの実験データによる確認と現場データとの比較が必要である。

表－７　4000サイクル後の試験結果

混合物の種類	配合番号	損失量 供試体１（g/㎡）	損失量 供試体２（g/㎡）	損失量 平均（g/㎡）	平均からの相対偏差（%）
超薄層舗装	1	4870	4162	4516	8
	2	2747	2981	2864	4

(3)　ARTe試験結果

表－８に試験に使用した混合物を，**表－９**に試験結果を示す。試験結果は混合物の種類別でみるとSMA10が最も良く，次いでSMA6.3であり，超薄層舗装は最も悪かった。また，配合別で比較するとバインダの添加量が高く，空隙率が小さく，バインダにPmBを使用しているものほど損失量は小さかった。SMA10の配合１のみ２回の試験結果間の相対偏差が大きくなったが，損失量がほとんどない混合物においては典型的な結果と考える。このため，ARTe試験は今回の混合物種では再現性も高く，理論通りの試験結果が得られたといえる。これは，他の摩耗試験に比べてARTe試験はランダムに分配された載荷が比較的広い面積に作用しており，非常に実道路の載荷条件を模擬した試験であったためと考えられる。

表－８　試験に使用した混合物

混合物の種類	配合番号	バインダ量（%）	骨材間隙率（%）	バインダの種類	空隙率（%）
SMA10 厚さ40㎜	1	7	18.8	PmB 50/85-50	5.8
	2	6	19.7	B 50/70	11.6
SMA6.3 厚さ30㎜	3	6	18.7	B 50/70	測定不可
超薄層舗装	1	5	22.73	B 70/100	17.4
	2	5	24.41	B 50/70	19.9
	3	5	22.73	PmB 50/80-50	16.3

＊Bはストレートアスファルト，
PMBはポリマー改質アスファルトを表す

表－９　試験結果

混合物の種類	配合番号	損失量 供試体１（g/㎡）	損失量 供試体２（g/㎡）	損失量 平均（g/㎡）	平均からの相対偏差（%）
SMA10 厚さ40㎜	1	87	29	58	50
	2	162	104	133	22
SMA6.3 厚さ30㎜	3	197	174	185	6
超薄層舗装	1	1325	1644	1484	11
	2	5203	6019	5611	7
	3	3090	2112	2601	19

6.4　結論

ARTe試験は再現性が高く，大部分の混合物が想定通りの試験結果となった。本試験は比較的単純な試験であるが実道での載荷条件を模擬していることから，試験結果に対する信頼性も高いと考えられる。

この研究から，現段階ではARTe試験が交通荷重によるせん断力の影響を模擬する最も適当な試験であるといえる。

6.5　翻訳者コメント

本論文は，交通荷重のせん断力による舗装の損傷を室内試験により評価する試験機を比較検討したものであった。国内の一般的な試験で同様な評価を狙ったものとしては，ねじり骨材飛散試験機があるが，本論文で最も適当な試験機とされたARTe試験機とは機構が異なる。また，薄層舗装にねじり骨材飛散試験機を適用するのは現在のところ一般的ではない。

今後，我が国においても薄層舗装がより一層普及してくれば本論文が国内における薄層舗装の評価方法の検討において非常に有用なものとなると考える。

若手技術者によるアスファルト舗装に関する質問コーナー

神下竜三　鎌田修　芳賀潤一　菅航太郎
市岡孝夫　川上聖　永塚竜也　庄嶋芳卓

はじめに

質問コーナーは前号より開始し，今回で第２回目を迎えます。ここでは若手技術者が普段の業務で感じた素朴な疑問について調査し，豆知識を織り交ぜながら解説していきます。また，質問内容については今後も幅広く取り扱う予定です。今回は，次の５つの質問について解説します。

①プライムコートが１～２ ℓ/㎡，タックコートが0.3～0.6 ℓ/㎡となったのは？
②アスファルト舗装の混合温度および締固め温度は，なぜ一定の温度ではなく動粘度で定められているのか？
③ポリマー改質アスファルトの混合温度と締固め温度は，どのように決めているのか？
④グースアスファルトはなぜ200℃以上で施工するのか？
⑤PSI(供用性指数)とMCI(維持管理指数)との違いは？

疑問　プライムコートが１～２ ℓ/㎡，タックコートが0.3～0.6 ℓ/㎡となったのは？

＜調査結果＞

プライムコートとタックコートの散布量の目安が異なっているのは，「乳剤分解後のアスファルトの被膜厚さが適切となるよう，散布する基盤の“浸透性”や“キメ”の違いを考慮して経験的に定められた」ためと考えられます。

プライムコートとタックコートは，どちらも施工基盤とその直上に設ける層との“なじみ”や“付着性”を向上させるために散布されますが，散布量が少なすぎても，多すぎてもその目的を果たせないことから散布量の目安が示されています。

プライムコートやタックコートの散布量に関する記述を調べてみたところ，以下のような記述がありました。

(1)　PK-3およびPK-Pの散布量は，１～２ ℓ/㎡を標準とするが，路盤面が緻密な場合は少なめに，粗めな場合は多めに用いられることがある[1)]。

(2)　瀝青材料が路盤に浸透せず，厚い膜をつくったり養生が不十分な場合には，上層の施工時にブリージングが起きたり，層の間でずれて上層にひび割れを生じることがあるので留意する[2)]。

(3)　舗装厚が薄い場合には，多量に散布するとフラッシュや波をうつ原因となるので，・・・[3)]。

これらのことから，プライムコートやタックコートの散布量は，施工基盤上に過剰に厚いアスファルト被膜をつくらないよう散布量に上限が設けられ，施工基盤の浸透性やキメなどから適切な膜厚となるよう経験的に定められたと考えられます。

１．調査結果の詳細

現在の散布量がアスファルト舗装要綱（以下，舗装要鋼）に記述され始めたのは，プライムコートが昭和53年版[4)]，タックコートが昭和63年版[5)]からです。それ以前の昭和36年版[6)]では，各々の散布量が記述されているのですが，疑問に示した散布量とは異なっています。さらにその前の昭和25年版[7)]では，プライムコート，タックコートの概要のみで，散布量の記述はありませんでした。

現在の散布量となった経緯を調査したところ，プライムコートについては，舗装要綱の昭和53年版[4)]に「プライマーの使用量は24時間の浸透量が基準となるので，試験散布によって種類や散布量をきめるのがよい」と，アスファルト乳剤の基礎と応用技術[8)]には，「路盤面が緻密な場合は少なめに，粗な場合は多めに用いられることがある」と記述されており，タックコートについては，アスファルト舗装講座[9)]に，「散布量は散布面のきめの状況，気象条件，舗装厚などに応じて決定される」と記述されていることから，長年の経験によって得られた経験則ということが言えそうです。

2．乳剤散布量・使用材料の変遷

乳剤の散布量が明確に示されたのは，昭和36年度版の舗装要綱です[6]。この当時のプライムコートおよびタックコートに使用されていた材料は，現在よく知られているPK-3やPK-4などの乳剤ではなく，高針入度のストレートアスファルトや舗装タールが使用されていたようです。さらに，散布量はタックコートの場合，0.5～1.5 ℓ/㎡と現在よりも多く撒かれていたようです。

その後，舗装要綱は昭和42年[10]，昭和50年[11]，昭和53年[4]，昭和63年[5]，そして平成４年[12]に改訂されました。そして，平成13年の道路構造令の改正に伴い，現在の舗装施工便覧[2]に至っています。プライムコートとタックコートの使用材料や散布量の変遷を**表－１**と**表－２**に示します。

表－１と**表－２**より，昭和36年版の舗装要綱ではプライムコートやタックコートとして使用されていた材料が時の流れとともに変化していることがわかります。考えられる原因として，舗装タールについては労働安全衛生第57条第３号に定める特定化学物質に指定されたことが挙げられます。また，カットバックアスファルトについては，アスファルト乳剤と比較して分解速度が遅く，養生時間を十分に確保する必要があるため，即日開放が求められる近年の道路工事には適用が困難となったためと考えられます。

表－１　プライムコートの変移

舗装要綱 発行年	主に使用された プライムコート用材料	標準散布量 （ℓ/㎡）	変遷
昭和36年	・高針入度ストレートアスファルト ・舗装タール ・カットバックアスファルト ・アスファルト乳剤（PK-3）	1.5～2.0	散布面の状態によって使用材料と散布量を決定する
昭和42年 昭和50年	・舗装タール ・カットバックアスファルト ・アスファルト乳剤（PK-3）	1.5～2.0	昭和42年版と昭和50年版は同一内容
昭和53年	・アスファルト乳剤（PK-3） ・カットバックアスファルト	1.0～2.0	瀝青材料の規格から舗装タールが削除
昭和63年	・アスファルト乳剤（PK-3）	1.0～2.0	カットバックアスファルトが特殊材料扱いとなる
平成４年	・アスファルト乳剤（PK-3）	1.0～2.0	
平成13年	・アスファルト乳剤（PK-3）	1.0～2.0	舗装施工便覧発行
平成18年	・アスファルト乳剤（PK-3） ・高浸透性乳剤（PK-P）	1.0～2.0	PK-Pが新たに追加

表－２　タックコートの変移

舗装要綱 発行年	主に使用された タックコート用材料	標準散布量 （ℓ/㎡）	変遷
昭和36年	・高針入度ストレートアスファルト ・舗装タール ・カットバックアスファルト ・アスファルト乳剤（PK-4）	0.5～1.5	路面が瀝青系かセメント系かで使用材料を定めている
昭和42年 昭和50年	・舗装タール ・カットバックアスファルト ・アスファルト乳剤（PK-4）	0.3～1.0	昭和42年版と昭和50年版は同一内容
昭和53年	・アスファルト乳剤（PK-4） ・カットバックアスファルト	0.4～0.8	瀝青材料の規格から舗装タールが削除
昭和63年	・アスファルト乳剤（PK-4）	0.3～0.6	カットバックアスファルトが特殊材料扱いとなる
平成４年	・アスファルト乳剤（PK-4） ・ゴム入りアスファルト乳剤（PKR-T）	0.3～0.6	PKR-Tが新たに追加
平成13年	・アスファルト乳剤（PK-4） ・ゴム入りアスファルト乳剤（PKR-T）	0.3～0.6	舗装施工便覧発行
平成18年	・アスファルト乳剤（PK-4） ・ゴム入りアスファルト乳剤（PKR-T）	0.3～0.6	

3．PK-3とPK-4の判別方法

最後に，プライムコートに使われるPK-3と，タックコートに使われるPK-4について，熟練を要するようですが，舗装技術の質疑応答[13]に判別方法が掲載されていたので紹介したいと思います。

PK-3とPK-4の２種類ある場合は，少量のアスファルト乳剤を路面に撒き，約10分後にその表面を手でさわってみて，よく粘り，比較的硬いものがPK-4で，軟らかいものがPK-3だそうです。

これは，蒸発残留物の粘度を利用した判別方法ですが，どちらか一つしか手元にない場合は，判別することが困難であると言えそうです。

参考文献

1）（一社）日本アスファルト乳剤協会：あすふぁるとにゅうざい，p20，2012.2.
2）㈱日本道路協会：舗装施工便覧（平成18年度版），2006.2.
3）日瀝化学工業㈱：アスファルト舗装講Ⅱ，p514，1977.8.
4）㈱日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和53年度版），1978.
5）㈱日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和63年度版），1988.
6）㈱日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和36年度版），1961.
7）㈱日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和25年度版），1950.
8）㈱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.
9）池田英一：アスファルト舗装講座第２巻，日瀝化学工業㈱，1977.
10）㈱日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和42年度版），1967.
11）㈱日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和50年度版），1975.
12）㈱日本道路協会：アスファルト舗装要綱（平成４年度版），1992.
13）建設図書：舗装技術の質疑応答，第４巻下，1983.

疑問　アスファルト舗装の混合温度および締固め温度は，なぜ一定の温度ではなく動粘度で定められているのか？

＜調査結果＞

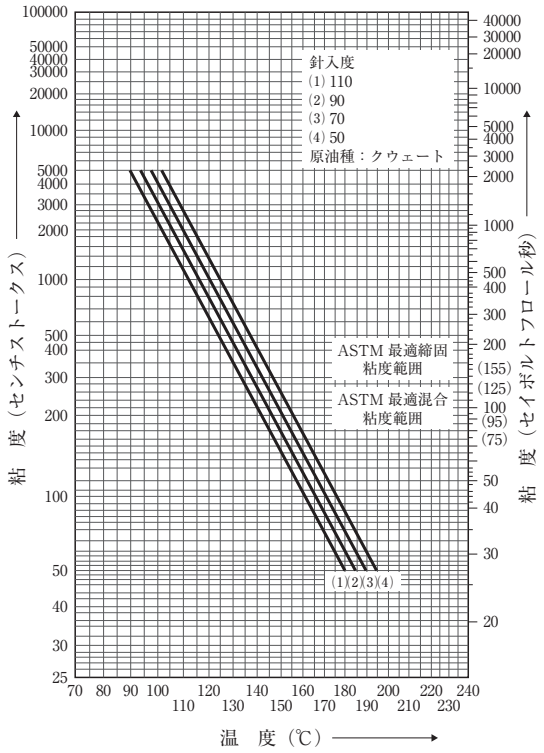
混合とは，できるだけ一定な膜厚のアスファルトで骨材粒子の表面を濡らすことです[1)]。ここで濡らすと表現されるように，アスファルトはある低い粘度の範囲に管理されている必要があります。また，締固めとは，塑性によって永久変形を生じさせ所定の空隙構造を得ることであり，やはり一定の粘弾性に調整されなければなりません。この最適混合粘度は決まった範囲となることが，1950年代の米国での研究で明らかにされています。アスファルトの針入度等級や製造ロット等によりこれらの温度域が異なるため，アスファルト舗装の施工温度は，作業に適した粘度となる温度（等粘度温度）で設定されます。

アスファルトの動粘度の数値は，1960年のASTMのマーシャル安定度試験に関する規格（D1559-60T）に示された，セイボルトフロール秒の値をそのまま取り入れたものです。

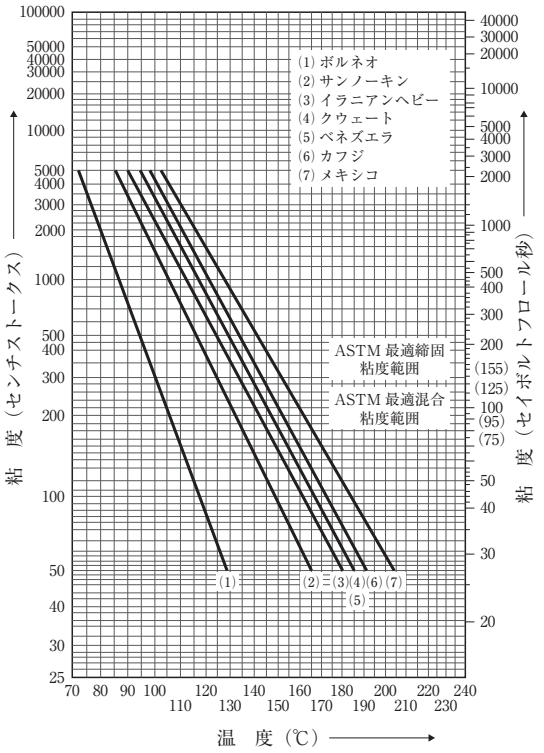
混合温度と締固め温度に関する規定は，1967年（昭和42年）のアスファルト舗装要綱改訂時に設けられて以来，加熱アスファルト混合物の供試体作製時における混合温度，および締固め温度を決定するために利用しています。この規定は，あくまでもストレートアスファルトをバインダとして用いた場合についてのものです。

1．混合温度および締固め温度の粘度範囲の根拠

「舗装技術の質疑応答」[2)]および「アスファルトポケットブック」[3)]によると，**図－1**や**図－2**に示すように，アスファルトの温度と粘度の関係は，アスファルトの種類や原油の産地，製造方法により異なってくるため，アスファルト混合物の混合や締固めを行ううえでは，単に温度を規定しただけでは不十分であり，使用するアスファルトに応じて適正な粘度範囲から各温度を設定することが大切であるとの考え方がベースになっています。

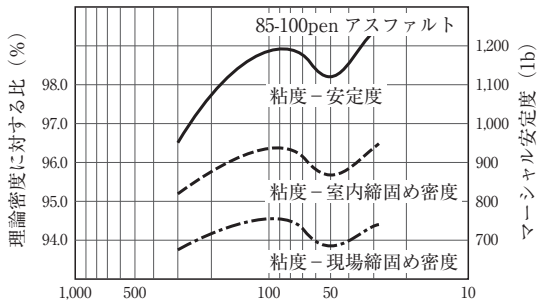


図－1　針入度の異なるアスファルトの温度と粘度の関係[3)]

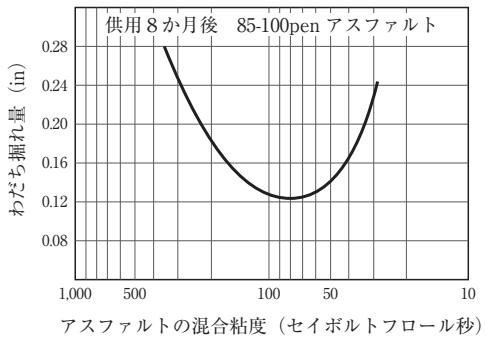


図－2　各種原油から得られるアスファルトの温度と粘度の関係[3)]

ASTMの規格の根拠になったとされるデータは，1959年に報告されたLehmannらがストレートアスファルトに関して行った混合粘度とアスファルト混合物の密度，マーシャル安定度の関係（**図－３**），混合粘度と供用後のわだち掘れ量の関係（**図－４**）です。これらの図から，セイボルトフロール秒85±10を示す温度付近で，密度やマーシャル安定度は最大，わだち掘れ量は最小となっており，これらの結果がASTMの規格の根拠になったとされています[2)]。



図－３　アスファルトの混合粘度と密度，安定度との関係[2)]



図－４　アスファルトの混合粘度とわだち掘れ量との関係[2)]

一方，締固め温度の粘度範囲に関する規定は，混合温度の場合のように混合物の特性などと関連づけたものではなく，あくまでも混合温度を基準にして，混合温度から通常の手順で締固めへと経過したときに示す混合物の温度から定められたようです[2)]。しかしながら，ニーディング作用における骨材の移動抵抗は，その間隙でせん断を受けるアスファルトの粘度に依存します。したがって，締固め温度も等粘度温度で設定することは，少なくとも品質管理上は合理的であると考えられます。

２．粘度について

2.1　粘度の単位

粘度には，単に「粘度（Pa･s）」と呼ばれる指標と，「動粘度（㎟/s）」と呼ばれる指標があります。このうち，加熱アスファルト混合物の混合温度と締固め温度の決定には，「動粘度」を用います。

流体が流動する時，これに抵抗しようとする流体の内部摩擦に相当する性質（粘性）が働きます。「粘度（動粘度と区別するために絶対粘度と呼ぶ場合がある）」とは，この時の粘性の程度を表します[4)]。一方「動粘度」とは，流体がどの程度固体表面から流れ落ちにくいかを表す指標で，絶対粘度をその温度における密度で割ることにより求められます。

食品の粘度データ図[5)]から，アスファルトの混合粘度（約180mPa・s）や，締固め粘度（約300mPa・s）は，20℃のトマトジュースの粘度に相当することがわかります。

2.2　セイボルトフロール秒試験

セイボルトフロール秒試験は，試料管の中に一定の温度に保たれた試料を試料管底部の3.15㎜の穴から流下させ，その試料が60ml流出した時間を計測する試験です。この試験は，アスファルトの高温粘度の測定において測定精度が悪いため，現在では毛管式粘度計を用いて動粘度を求める高温動粘度試験に移行しており，セイボルトフロール秒試験は，石油アスファルト乳剤等のエングラー度の算出以外にはあまり用いられなくなっている試験のようです[6)]。ちなみに，動粘度とセイボルトフロール秒には，式(1)に示す関係があります[7)]。

$$\text{動粘度（㎟/s（cSt））} \fallingdotseq 2.12\times(\text{セイボルトフロール秒}) \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

参考文献

1）㈳土木学会：アスファルト遮水壁工，2012.9，p.272.
2）建設図書：舗装技術の質疑応答，第８巻，2001.10，p.71～p.74.
3）㈳日本アスファルト協会：アスファルトポケットブック（2000年版），2000.1，p.74～p.75.
4）㈳日本道路協会：道路用語辞典，1997.4，p.605.
5）http://www.tokisangyo.co.jp/pdf/paper/syokuhin-data.pdf，東機産業（株）：食品粘度データ図.
6）㈳日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第２分冊〕，2007.6，p.312.
7）㈳土木学会：舗装工学，1995.2，p.168.

疑問　ポリマー改質アスファルトの混合温度と締固め温度は，どのように決めているのか？

＜調査結果＞

ポリマー改質アスファルトを使用した混合物の混合温度と締固め温度の決定方法は，ストレートアスファルト混合物と大きく異なります。アスファルト混合物の混合温度と締固め温度は，ストレートアスファルトの場合，高温動粘度試験によりアスファルトの動粘度を測定し，最適混合温度を求めます。一方，この方法によりポリマー改質アスファルトの混合温度を求めると，**表－1**に示すように実際の混合温度と齟齬が生じます。また，混合温度が高温になると，アスファルトの熱劣化により供用時にひび割れが生じる問題があります。

表－1　各種アスファルトの性状（一例）

試験項目	ストアス 60-80	改質 Ⅰ型	改質 Ⅱ型	改質 Ⅲ型	改質 H型
針入度（1/10㎜）	68	54	50	47	50
軟化点（℃）	48.0	52.0	59.0	82.0	96.0
180℃粘度（mPa･s）	70	120	210	350	460
高温動粘度試験による180㎟/sになる温度（℃）	155	170	190	195	210

上記のように，ポリマー改質アスファルトの場合は，高温動粘度試験を適用できないので，室内試験および施工実績をもとにメーカーが定めた最適温度範囲を使用します。

また，ポリマー改質アスファルトの最適混合温度範囲および締固め温度範囲を決定する方法としては，日本改質アスファルト協会規格（JMAAS-01）の「道路舗装用ポリマー改質アスファルトの品質および試験方法」[1)]を用いる方法もあります。

1．ポリマー改質アスファルトⅠ型・Ⅱ型・Ⅲ型

「道路舗装用ポリマー改質アスファルトの品質および試験方法」[1)]の方法の1つである「ポリマー改質アスファルトを用いたアスファルト混合物の最適混合温度および締固め温度の決定方法」によると，締固め温度については，締固め温度を変えて作製したポリマー改質アスファルト混合物のマーシャル供試体の密度を測定し，ストレートアスファルト混合物と同等の締固め状態が得られる温度とします。具体的な作製方法は，下記のとおりです。

①アスファルト混合物の種類は，密粒度アスファルト混合物（13）とします。

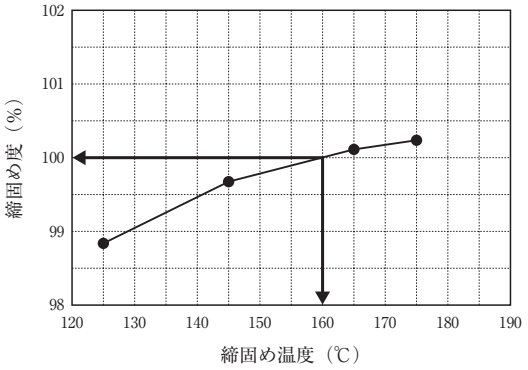
②アスファルト量は，ストレートアスファルトを用いて求めた最適アスファルト量とします。

③ストレートアスファルトを用いて，最適混合温度および最適締固め温度でマーシャル供試体を作製し，密度を測定します。この時の密度を基準密度とします。

④ポリマー改質アスファルト混合物の締固め温度を数点変えてマーシャル供試体を作製し，密度を測定します。この時の混合温度は160～185℃で混合可能な温度とします。

⑤ストレートアスファルト混合物の基準密度とポリマー改質アスファルト混合物の密度から式(1)を用いて締固め度を算出し，締固め温度と締固め度の関係を図に表します（**図－1**）。

$$\text{締固め度（\%）} = \frac{\text{ポリマー改質アスファルト混合物の密度}}{\text{基準密度（ストレートアスファルト混合物の密度）}} \times 100 \quad \cdots\cdots (1)$$



図－1　締固め温度と締固め度の関係（一例）

⑥**図－1**から，ポリマー改質アスファルト混合物の締固め度が100%になる時の締固め温度を下限値とし，下限値＋10℃を上限とする範囲をポリマー改質アスファルトの最適締固め温度範囲とします。（**図－1**の場合は，160～170℃）

⑦最適混合温度範囲は，最適締固め温度の上限値から185℃の範囲とします。(**図－１**の場合は，170～185℃)

なおプラントミックス用改質材については，本試験方法が適切でない場合もあるため，その場合には，改質材メーカーの提示する温度範囲を採用します。

２．ポリマー改質アスファルトＨ型

ポリマー改質アスファルトＨ型の混合温度は，「舗装施工便覧（平成18年度版）」[2]によると，『均一な混合ができ，かつ製造運搬時にダレが生じにくい温度条件を考慮して決定する。温度間管理は，メーカーが推奨する温度を参考に実施するとよい』とされています。なお，締固め温度は，一般に140～160℃ですが，使用するアスファルトの種類によって異なるため，試験施工，過去の施工例などを参考に設定するとよいとされています。

そこで，代表的なポリマー改質アスファルトＨ型のメーカー推奨の混合温度と締固め温度を**表－２**に示します。

表－２　締固め温度と締固め

	混合温度（℃）	締固め温度（℃）
Ａ社	165～180	150～160
Ｂ社	170～180	155～165
Ｃ社	160～180	145～165
Ｄ社	165～175	150～165
Ｅ社	165～175	150～160

表－２を総合すると，混合温度範囲は170～180℃，締固め温度範囲は150～160℃が望ましい温度と思われます。

３．プレミックス型中温化ポリマー改質アスファルト

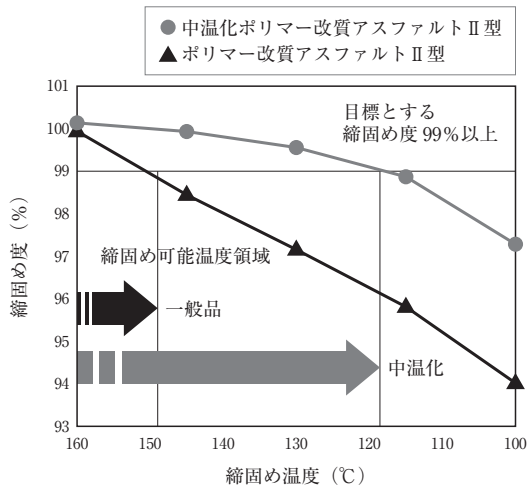
プレミックス型中温化ポリマー改質アスファルトとは，中温化剤がプレミックスされたポリマー改質アスファルトです．従来のポリマー改質アスファルトと性状が同じでありながら，混合物の締固め性を改善することにより，混合物の製造温度および施工温度を低くすることができるバインダーです。近年，多くのプレミックス型中温化ポリマー改質アスファルトが製品化されていますので，ここで混合温度と締固め温度についても紹介します。

3.1　混合温度

プレミックス型中温化ポリマー改質アスファルトの混合温度は，従来のポリマー改質アスファルトに比べ30℃程度低い140～150℃です。これは，中温化ポリマー改質アスファルトがストレートアスファルト混合物と同等あるいはそれ以下の温度で混合物を製造することが可能であることを示しています。

3.2　締固め温度

図－２は，プレミックス型中温化ポリマー改質アスファルト混合物の締固め温度と締固め度の関係を示したものです。締固め温度を変えたマーシャル供試体の密度によって混合物の締固め性を評価した結果，プレミックス型中温化ポリマー改質アスファルトは，ポリマー改質アスファルト（一般品）に比べ30℃低くした温度においても同等の密度を得ることが確認できます。



図－２　締固め温度と締固め度の関係[3]

参考文献

1）（一社）日本改質アスファルト協会：JMAAS-01（2007），道路舗装用ポリマー改質アスファルトの品質および試験方法，2007.11，pp.8-9.

2）㈳日本道路協会：舗装施工便覧（平成18年度版），2006.2，p.119.

3）平戸利明：プレミックス型中温化ポリマー改質アスファルトに関する評価，改質アスファルト，No.36，2011.1.

疑問　グースアスファルトはなぜ200℃以上で施工するのか？

＜調査結果＞

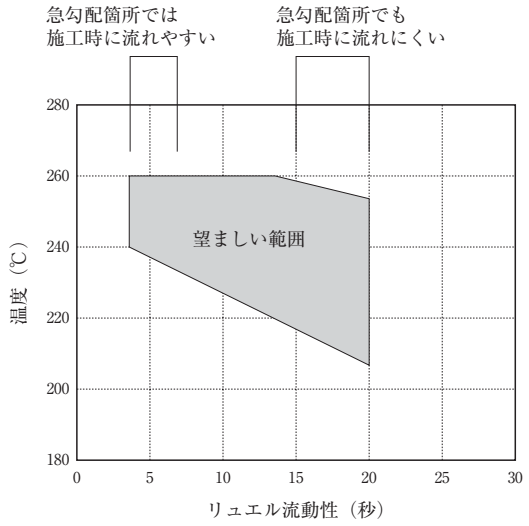
グースアスファルト混合物は，鋼床版舗装の基層で使用されることが多く，施工は200℃以上で流し込みによって行われます。これは以下の品質を確保するためと言えます。

①鋼床版上に存在するボルト間や吊りピースの残部などでも隙間なく密実に鋼床版と接着させる必要がある

②すき間なく密実に鋼床版に接着させ，水密性を発揮させる必要がある

③密実に施工することで鋼床版のたわみに対して追従することができる

グースアスファルト混合物は流し込みで施工するため，作業性（流し込み易さ）が非常に重要です。そのため，施工性の管理基準としてリュエル流動性が用いられます。グースアスファルト混合物の温度とリュエル流動性の関係は，**図－1**に示すとおりであり，混合物が高温であるほど，流動性に富む性状であることが言えます[1)]。



図－1　混合物温度と流動性の関係[1)]

また，「橋面舗装基準（案）」[2)]ではリュエル流動性の基準値として，240℃で20秒以下と規定しています。ただし，260℃を超える高温になると混合物の劣化や下の接着層に悪影響を与えるため，グースアスファルト混合物の温度範囲として，クッキング終了時で220℃～260℃が示されています。

以上より，グースアスファルト混合物の施工には混合物の流動性が非常に重要であり，良好な流動性を得るためには，200℃以上の高温下で施工する必要があることがわかりました。

1．グースアスファルト混合物の性状

「鋼床版舗装の設計と施工」[3)]によると，グースアスファルト混合物はストレートアスファルトに天然アスファルトである精製トリニダットレイクアスファルトを調合したバインダと粗骨材，細骨材およびフィラーから構成されます。また，流し込み可能な作業性（流動性）と安定性が得られるように専用のクッカ車内で高温攪拌して混練されます。

グースアスファルト混合物の骨材粒度を**表－1**に，硬質アスファルトの規格を**表－2**に示します。

表－1　骨材粒度[1)]

ふるい目の開き		粒度範囲
通過質量百分率（%）	19㎜	100
	13.2㎜	95～100
	4.75㎜	65～85
	2.36㎜	45～62
	600μm	35～50
	300μm	28～42
	150μm	25～34
	75μm	20～27
アスファルト量（%）		7～10

表－2　硬質アスファルトの規格[1)]

項　目		規格値
針入度（25℃）	（1/10㎜）	15～30
軟化点	（℃）	58～68
伸度（25℃）	（cm）	10以上
蒸発質量変化率	（%）	0.5以下
三塩化エタン可溶分	（%）	86～91
引火点（C.O.C）	（℃）	240以上
密度（15℃）	（g/㎤）	1.07～1.13

骨材粒度については**表－1**に示す粒度範囲の中央値を目標としますが，混合物の耐流動性を考慮する場合には，4.75㎜および2.36㎜通過量において，粒度範囲の

中央値と下限の間で選択すると望ましいようです。また，グースアスファルトのバインダに用いる硬質アスファルトは，針入度40以下のアスファルトと精製トリニダットレイクアスファルトを混合したものであり，**表－２**の規格を満足したものを使用します。なお，精製トリニダットレイクアスファルトはトリニダットレイク島のピッチレイクから採取される天然アスファルトで，これを使用するとグースアスファルトの作業性（流動性）や安定性（貫入量，動的安定度）が向上することが経験的にわかっています。これらの材料を使用して**表－３**に示す基準値を満足するようにグースアスファルト混合物の配合設計を行います。また，混合物の塑性変形抵抗性についてはホイールトラッキング試験により確認します。

表－３　グースアスファルトの基準値[1)]

項　目		目標値
貫入量（40℃）	（㎜）	表層　１～４
		基層　１～６
リュエル流動性（240℃）	（秒）	３～20

２．グースアスファルト混合物の施工

グースアスファルト混合物は一般の混合物と比較すると，石粉を多量に使用します。常温の石粉を多量に使用すると混合物温度は急激に低下しやすく，現場での施工管理が非常に困難となります。そのため，混合物の温度低下を防止するには，石粉専用のドライヤーを備えることが望ましいと言えます[3)]。

リュエル流動性は施工性の確認だけでなく，品質とも一定の相関があることがわかっていますので，配合設計時の混合物と極端に異なっていないか確認する事ができます。また，グースアスファルトは軟らかすぎると平坦箇所でも表面が流れ出したり，硬すぎると表面部分が荒れたり，遮水層が損なわれたりしますので，現場での温度管理は非常に重要です。

グースアスファルト混合物の運搬は加熱保持装置や攪拌機を備えた専用のクッカ車を使用します。クッカ車は運搬機能のみではなく，グースアスファルトを良好な流動性を持つ混合物とするため，空気の流入を遮断し，混練を行います。クッカ車による混練作業はクッキングと呼ばれ，通常は40分以上行うことが望ましいとされています[3)]。

３．グースアスファルト混合物の舗設時の注意点

グースアスファルト混合物は空隙がほとんどないため，水や油の介在によってブリスタリング（ふくれ）現象が発生します。施工時に発生するものは確実に処理することでその後の再発はなくなりますが，処理しきれずに残った場合などは，表面から水がしみ込むことにより舗装の破壊につながることもあります。

グースアスファルトの施工に当たってはブリスタリングが発生しないように注意するとともに，発生した場合でも適切に処理をしなければなりません[3)]。

４．トリニダットレイクアスファルトについて

トリニダットレイクアスファルトが産出されるトリニダッドの湖は1595年にウォルター・ローリー卿によって発見されたと伝えられています。トリニダッド島にはいくつかの小さなアスファルトの湖も発見されていますが，島の南部に存在する湖は世界で最も大きなアスファルトの湖のひとつとみなされていて，面積は約35ヘクタール，深度は最大で約90mあり，アスファルトの総質量は10,000,000トン以上であると言われています。

湖の表面はクローラトラクタやダンプトラックの重さを支えるのに十分なほど強いため，アスファルトの掘削には重機を使用して掘削されます。湖表面から採掘されたアスファルトは湖の周囲を走行する鉄道の貨車へと運ばれます。

採掘されたアスファルトは160℃まで加熱され，水を蒸発させるとともに精製されます。溶解したアスファルトは目の細かいスクリーンを通され，大きな異物や有機物が取り除かれます。その後に残ったものは通常「トリニダッド・エピュレ」すなわち「精製TLA」と呼ばれ，グースアスファルト混合物のバインダの一部として使用されます[4)]。

―― 参考文献 ――

１）㈳日本道路協会：舗装施工便覧（平成18年度版），2006.2.
２）橋面舗装基準（案），本州四国連絡橋公団，1983.4.
３）多田宏行：鋼床版舗装の設計と施工，鹿島出版社，1990.3.
４）Shell Bitumen：The Shell Bitumen Handbook，1990.

疑問　PSI（供用性指数）とMCI（維持管理指数）との違いは？

＜調査結果＞

供用性指数（PSI；Present Serviceability Index）および維持管理指数（MCI；Maintenance Control Index）は，どちらも舗装の供用性を客観的に評価する指標として日本で多く利用されています[1)]。これらの指標はどちらも舗装の路面特性として，『ひび割れ率』，『わだち掘れ量』および『平たん性』の３つの特性値を用いて算出される値で以下の式に示され，昭和50年代より採用されてきました。

PSI[2)]はAASHO道路試験（1962年）によって初めて定量化された舗装の供用性に関する指標です。日本では1978年に日本道路協会によってPSIが採用されました。しかし，AASHO道路試験で開発されたPSIは道路利用者を中心とした乗り心地を主に評価しており，日本における舗装の維持管理の実態に合わないと考えられるようになってきました。そこで1981年，建設省（現：国土交通省）によって新たに開発されたのがMCIです。

MCIがPSIと大きく異なる点として，PSIは道路利用者の乗り心地を中心に評価しているのに対して，MCIは道路管理者の視点で評価されている点です。また，PSIの算出には３特性（ひび割れ率，わだち掘れ量，平たん性）必要なのに対して，MCIでは２特性，または１特性のみで評価値を求めることができることもPSIと大きく異なります。

以下に調査結果の詳細について記述します。

１．PSIとMCIの利用について

PSIとMCIの各指標を算出する式を**図－１～３**に示します。**図－１**より，PSI（AASHO道路試験）を算

アスファルト舗装の場合

$$PSI = 5.03 - 1.91\log(1 + SV) - 0.01\sqrt{C} + P - 0.21RD^2$$

コンクリート舗装の場合

$$PSI = 5.41 - 1.80\log(1 + SV) - 0.05\sqrt{C} + 3.3P$$

SV：両車輪の通過位置の凸凹度の分散の平均値
C：舗装面のひび割れ度（アスファルト舗装：㎡/1,000㎡，コンクリート舗装：m/1,000m）
P：舗装面のパッチング度（㎡/1,000㎡）
RD：わだち掘れ深さの平均値（cm）

図－１　PSI算出式（AASHO）[2)]

$$PSI = 4.53 - 0.58\log\sigma - 0.371\sqrt{C} - 0.174D^2$$

σ：縦断方向の凸凹の標準偏差（mm）
C：ひび割れ率（%）
D：わだち掘れ深さの平均（cm）

図－２　PSI算出式（日本道路協会）[1)]

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2}$$

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.3D^{0.7}$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3}$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54D^{0.7}$$

C：ひび割れ率（%），実測法
D：わだち掘れ量（mm），３m横断プロフィルメータ
σ：縦断凸凹量（mm），３m縦断プロフィルメータ

コンクリート舗装の場合は，ひび割れ度（C_0）に係数をかけて，ひび割れ率に換算する

ひび割れ度≧５の場合，h = 1
ひび割れ度＜５の場合，$h = (C_0 + 25)/30$

図－３　MCI算出式（建設省：現国土交通省）[1)]

出するために必要な特性値は，日本で使用されている特性値とは異なります。このような背景もあり，日本版のPSI算出式（**図－２**）が誕生したと言えそうです。**図－３**に示すMCIは図中の４式すべてで算出した中の最も悪い値を代表値とするため，ひび割れ率やわだち掘れ量の測定結果のみで評価できることがわかります。**表－１～３**に各指標を利用する際の評価基準を示します。

表－１　PSI（AASHO）の評価基準

PSI	対応工法
～　2.6	－
2.5　～　1.6	オーバーレイ
1.5　～	打換え

表－２　PSI（日本道路協会）の評価基準

PSI	おおよその対応工法
3　～　2.1	表面処理
2　～　1.1	オーバーレイ
1　～　0	打換え

表－３　MCIの評価基準（国土交通省）

MCI	維持修繕基準
3以下	早急に修繕が必要
4以下	修繕が必要である
5以下	望ましい管理基準

２．路面特性値が指標へ与える影響度について

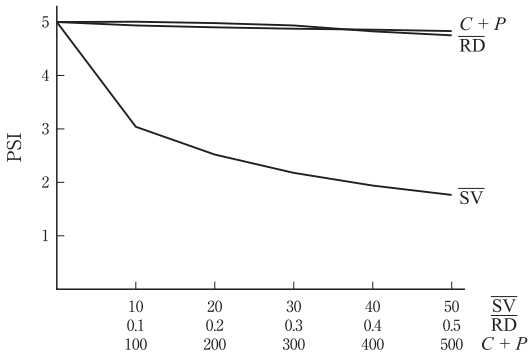
次に各路面特性値がPSIやMCI等の各指標へ与える影響度について確認しました。**図－４**から**図－６**に路面特性値と各指標の関係を示します[3)]。これを見ると，それぞれの指標には次のような特徴があるようです。

①AASHO版PSIは，ひび割れ率やわだち掘れ量の影響度は非常に少なく，反対に平たん性の影響度が日本のPSI・MCIと比較して大きい。

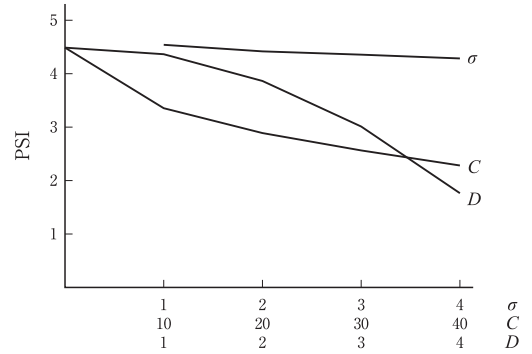
②PSI（日本道路協会）はひび割れ率が35%，わだち掘れ量は3.5㎝を超えるあたりから，わだち掘れの影響度が大きくなる。

③わだち掘れ量は，PSI（AASHO）では影響度が小さいが，日本版PSIとMCIはその影響度が大きい。

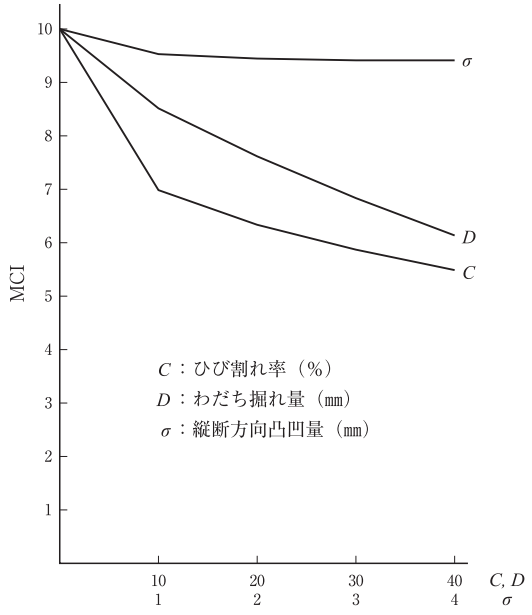
つまり，**表－４**に示すように，日本における舗装の供用性を示すPSIおよびMCIは，ひび割れ率やわだち掘れ量といった道路管理者の視点に重みを置いているのに対し，AASHO版PSIは日本の指標と比較して平たん性の影響度が大きいことから，乗り心地や荷傷み



図－４　路面特性値の増加によるPSI（AASHO）の変化[3)]



図－５　路面特性値の増加によるPSI（日本道路協会）の変化[3)]



図－６　路面特性値の増加によるMCI（国土交通省）の変化[3)]

といったような道路利用者側の観点も比較的取り入れた指標ではないかと推察されます。

表－４　各指標と特性値の影響度について

	ひび割れ率	わだち掘れ量	平たん性
PSI（AASHO）	△	△	○
PSI（日本）	○	△	△
MCI	○	○	△

３．それぞれの指標の歴史について

ここでは，個々の指標について成り立ちの経緯等の歴史を振り返ってみたいと思います[4)]。

3.1　AASHO版のPSIについて

世界で最初に車両走行の快適性を路面性状と関係づけて定量化を図ったのは，AASHO道路試験であり，1962年のことでした。一般に交通開放されている138区間の道路を選定し，道路建設技術者，道路管理技術者をはじめ自動車運送業者，車両製造業者などで構成された調査班により，実際に走行試験を行い舗装の成績を採点しました。その評価と，舗装の平たん性やひび割れなどの路面性状調査を行った結果について，重回帰分析を用いて作成された評価式がAASHO版PSIとなっております。

3.2　日本におけるPSIについて

我が国では，上記に示したAASHO道路試験の成果を取り入れ，1978年に日本道路協会より供用性指数PSIが採用されました。作成の手順はAASHO版PSIとほぼ同様の方法であり，全国の直轄国道58区間について路面視察評価を行い，その結果と路面性状値との重回帰分析により算出されています。

3.3　MCIについて

建設省（現：国土交通省）は，PSIによる路面性状評価が実態と合わない面が存在すること，また維持修繕の要否判断の必要性が求められたことから，新たな総合評価指数としてMCIを開発しました。1981年のことでした。

MCIは，全国の1808箇所の区間を選定し，10点方による総合視察評価を実施した結果と，路面性状値との重回帰分析により作成されています。この評価基準の特徴として，ひび割れ率，わだち掘れ量および平たん性の３特性による評価式のほかに，２特性および１特性により評価できることが特徴であり，すべての式で算出したうち最も小さい値を採用することになっています。

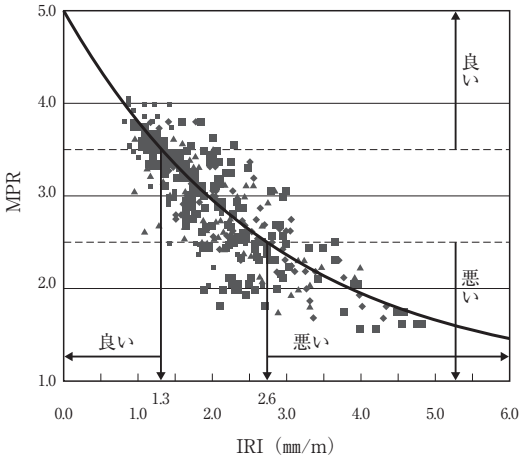
４．道路利用者や沿道住民の立場を考慮した評価へ向けた取組みについて

近年の研究においては，舗装の供用性を評価する際に，道路利用者からの観点を取り入れた評価方法は数多くの研究がなされています。以下に，その代表的な例をいくつか紹介したいと思います。

4.1　国際ラフネス指数（International Roughness Index：IRI）を用いた方法

近年，路面の縦断方向の形状特性を評価する値としてIRIが利用されています[5)]。IRIは1986年に世界銀行から提案された指標であり，現在ではマルチロードプロファイラ（Multi Road Profiler：MRP）や路面性状測定車を用いる方法などで日本でも広く測定されています。

図－７は，IRIと乗り心地の関係を示したグラフであり，縦軸のMPRは乗り心地の主観評価の平均値（Mean Panel Ratings，平均パネル評定値）を示しています。乗り心地の主観評価は**表－５**に示す条件で実施されており，**図－７**よりIRIが小さくなるほど，またMPR値が



図－７　IRIによる乗り心地評価区分例[5)]

表－５　乗り心地主観評価の条件

項　目	内　容	
評価回数	1回	
評価速度	80㎞/h	
評価区間	200m毎	
判定	５段階	評価１：非常に悪い 評価２：悪い 評価３：ふつう 評価４：良い 評価５：非常に良い
被験者	16名	20～50代の男女 １台毎に１名乗車

高くなるほど乗り心地が良いと評価されていることが分かります。

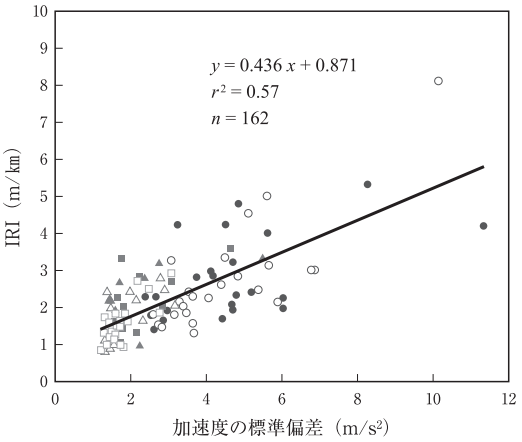
このように，IRIにより快適性（乗り心地）をある程度の精度で評価できることが明らかにされ，舗装のサービス性能の評価に利用できることが示されました。

4.2　走行車両の車軸に伝わる加速度を用いた方法

近年，路面の現状を簡便かつ迅速に把握する方法として，乗用車に様々な機器を装着した測定方法が提案されています[6)]。そのうち，車軸に伝わる加速度を測定することで，ある程度の精度でIRIが推定できることが分かってきました。

図－8に示すグラフは，測定された加速度の標準偏差とIRIの関係を示したグラフです。このように，車軸に伝わる加速度が大きくなるほどIRIも大きくなる，つまり乗り心地が悪いと評価できます。

このように，舗装の供用性を客観的に評価するには，道路管理者や道路利用者，さらには沿道住民の立場を考慮したさまざま検討がなされています。それぞれの立場を総合的に考慮して，地域特性，交通条件，沿道条件にあったきめの細かい舗装の総合評価をすることで，舗装のマネジメントシステムの確立が望まれているところです。



図－8　加速度の標準偏差と加速度の関係[6)]

参考文献

1）㈳日本道路協会：道路維持修繕要綱（昭和56年度版），1981.

2）野村敏明：路面の総合的評価の現状，アスファルト，Vol.35，No.173，1992.

3）土木学会：舗装工学，pp.305～307，1997.

4）㈳日本道路協会：舗装試験法便覧，付録1，pp.1007～1016，1990.

5）大野ほか：高速道路におけるIRIの適用性に関する検討，舗装，pp.15～18，2001.

6）冨澤ほか：車軸に生じる加速度による路面凹凸評価方法に関する研究，舗装工学論文集第16巻，pp.51～58，2011.

連載 Vol.2 アスファルト・舗装 研究

昭和シェル石油株式会社 中央研究所研究第一グループ（アスファルト）

昭和シェル石油のアスファルト事業は，ストレートアスファルト，ブローンアスファルトおよびポリマー改質アスファルトを製造・供給する総合アスファルトメーカーとして，製品の安定供給，高品質の確保はもちろんのこと，環境対応型製品等の開発導入を基本方針に掲げています。

アスファルト研究グループは，高度成長期以降，アスファルト製品の研究開発を通じて，日本国内の様々なインフラ整備に微力ながら貢献をしてまいりました。

1. はじめに

当研究所は1966年に前身のシェル石油の研究所として神奈川県愛甲郡愛川町の工業団地の一角38,000㎡の敷地に設立されました。今も，当研究所はロイヤルダッチ・シェルグループの国際研究ネットワークの一員に位置づけられており，グローバルネットワークの中で研究の分業や情報交換を活発に行っています。

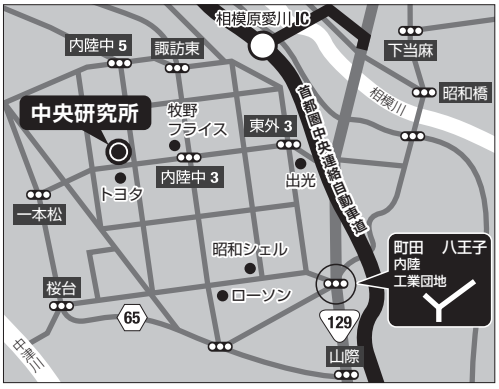
当研究所の役割は大きく分けて二つあります。ひとつは石油製品（ガソリン，軽油等の燃料，潤滑油，グリース，アスファルト）を主とする製品研究であり，最近では省エネルギー型潤滑油や，クリーン燃料に代表されるような環境負荷低減型石油製品の研究開発を行っています。もうひとつは石油製品以外の分野の開発研究であり，太陽電池や水素エネルギー等の研究を行っています。

2. アスファルトの研究開発の紹介

長年にわたり積み重ねてきたストレートアスファルト，ブローンアスファルト，ポリマー改質アスファルトなど，規格化された製品の基礎研究，改良研究をベースに，次世代を見据えた環境対応型製品の開発を行っています。

道路舗装用途の分野では，原油選択段階からのストレートアスファルト品質の確保をはじめ，カラー舗装用「ニューメロウファルト」，「中温化ポリマー改質アスファルト」ならびに「舗装再生用に組成を最適化した高針入度アスファルト」等について，アスファルト

昭和シェル石油㈱中央研究所



研究所所在地

混合物性状の確認まで含めて研究開発に取り組み，市場に導入しました。

また，道路舗装用途以外にも，屋根用防水材，自動車用制振材，および軟弱地盤における土木・建築構造物を支える基礎杭のネガティブフリクション低減材など，様々な分野においてアスファルト製品の可能性を研究し，市場に提案しています。

これらの製品のうち，直近で市場導入を果たした環境対応中温化製品と舗装再生用高針入度アスファルトについて，その特長を紹介いたします。

2.1　中温化ポリマー改質アスファルト【キャリメックスART】

現在実用化されている中温化技術は発泡系，粘弾性調整系，滑剤系に分類されますが，これらはいずれにおいても従来のポリマー改質アスファルトもしくはその加熱混合物に中温化剤を添加するという共通点があります。

それらに対し，キャリメックスARTはポリマー改質剤そのものに着目し，中温化ポリマー改質アスファルトとして最適なポリマー改質剤を選定する，というコンセプトを掲げ開発しました。特長として，専用アスファルトに専用ポリマーを配合することにより，100℃近辺で粘弾性特性の変曲点をもたせ，110℃まで良好な施工性を確保し，供用時の温度域（50～60℃）では従来のポリマー改質アスファルトと同等以上の強度を確保することを可能としました。

2.2　舗装再生用高針入度アスファルト【リプロファルト300】

（舗装再生便覧（平成22年版）新アス200～300規格対応製品）

アスファルト舗装のリサイクルは1980年代後半から急速に普及し，アスファルト合材の出荷量に占める再生合材の比率は，2009年に７割以上に達しています。今日では舗装された再生合材が，ふたたび再生利用されるケースも増えてきており，これら繰り返し再生されるアスファルト合材の供用性や施工性などの性能をどのように確保するかが喫緊の課題となっています。

弊社ではこの課題を解決する一つの手段として，供用によるアスファルト組成の変化に着目し，研究を行ってまいりました。その結果，針入度の回復だけでなく，化学組成の回復を図ることが，繰り返し再生における性能確保に有効であることを見いだし，舗装再生用高針入度アスファルトを開発しました。特長としては，冬場での施工性改善・旧アスファルトとの親和性向上等，再生アスファルト混合物の施工性・供用性両面の改善を実現しています。

3. 研究施設の紹介

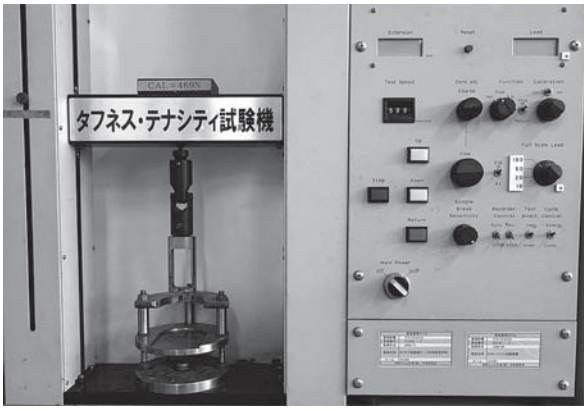
当研究グループでは，現在お使いいただいている製品の品質確保ならびに向上，さらに次世代製品の開発を行うため，様々なアスファルト試験機及びアスファルト混合物試験機を導入しています。

当研究所が保有する試験機をいくつか抜粋して紹介いたします。

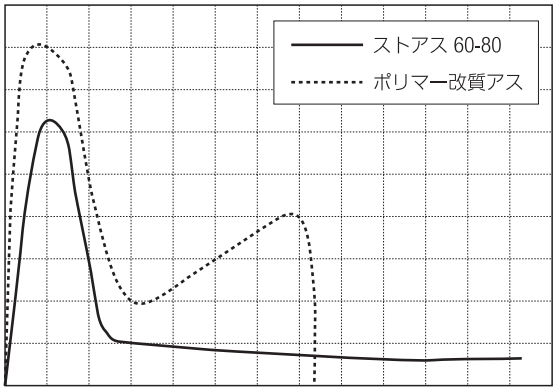
3.1　アスファルト試験機類

3.1.1　タフネス・テナシティ試験機

ゴム・熱可塑性エラストマーなどを添加して作られる，ポリマー改質アスファルトの性状試験の一種



タフネス・テナシティ試験



タフネス・テナシティ試験チャート

で，タフネス（骨材の把握力）とテナシティ（骨材との粘結力）を評価する試験機。金属半球面をアスファルト試料中に埋め，所定の速度で引張ったときに試料が破断するまでの変位量と荷重を測定します。全体部分の面積をタフネス，後半部分の面積をテナシティとします。

3.1.2　ダイナミックシェアレオメーター試験機（DSR：Dynamic Shear Rheometer））

アスファルトの粘弾性を測定する試験です。米国におけるSUPERPAVEでは舗装の供用中の動的作用によって受ける損傷評価に使用します。当研究所では新規アスファルト開発において，最適な粘弾性特性を設計する上で欠かせない試験機です。

DSR試験

3.1.3　加圧劣化試験機（PAV：Pressure Aging Vessel）

PAVは，SUPERPAVEの「バインダー仕様」の中で規定された促進劣化方法の一つであり，長期供用後（5～10年）のバインダー性状を室内で再現するための促進加圧劣化試験です。SUPERPAVEで規定されている加圧劣化条件は劣化温度90～100℃，劣化時間20時間，空気圧力2.1MPaです。当研究所では本試験機を用いて長期供用性を確認した後に新製品として市場導入を図っています。

PAV試験

3.2　アスファルト混合物試験機類

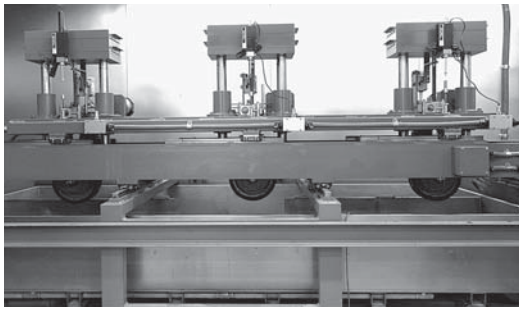
3.2.1　ホイールトラッキング（WT）試験機

高温時（60℃）のアスファルト混合物の耐流動性を評価する指標で，WT試験機を用いて測定します。当研究所が保有するWT試験機は３連式で，同時に３供試体の測定が可能です。

動的安定度

（DS値＝Dynamic Stability　単位　回／㎜）

42回／分で車輪が走行@60℃



WT試験

ポリマー改質アス
DS値：6300回／mm

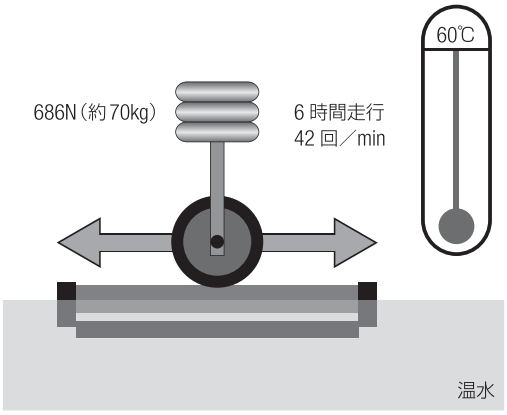
ストアス60～80
DS値：500回／mm

WT試験結果

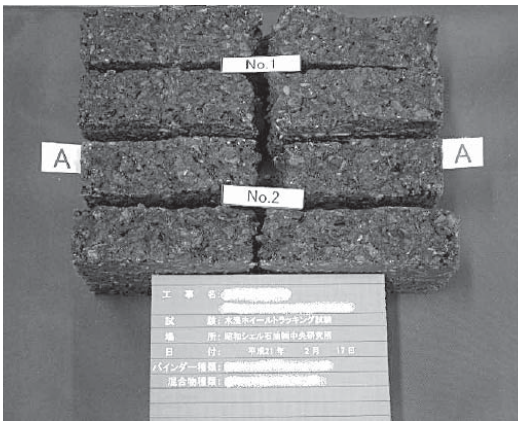
3.2.2　水浸WT試験機

水の作用下での剥離状況を観測する試験です。当研究所が保有する水浸WT試験機は３連式で同時に３供試体が測定可能です。

この他にも屋外暴露を再現することを目的とした促進暴露試験装置（キセノンアークランプ式）や，舗装再生便覧に追加された圧裂試験機など，次世代のニーズに必要な試験機も既に導入しています。



水浸WT試験



水浸WT試験結果

4. おわりに

アスファルトは舗装材料として社会基盤整備に供されるとともに，制振材，防水材など用途は多岐にわたる非常にユニークな石油製品です。

昭和シェル石油は，国内唯一のストレートアスファルト・ブローンアスファルト・ポリマー改質アスファルトの製造・供給メーカーとして，今後も確かな技術に裏付けされた製品の安定的かつ効率的な供給に努める一方で，より安心，より豊かな生活環境の実現に貢献してまいります。

次世代に向けた研究開発はその中でも非常に大きな意味があり，当研究所では，その役割を今後も担い続けてまいります。

＜統計資料＞

石油アスファルト需給実績

（単位：千ｔ）

項目 / 年度	供給					需要					
	期初在庫	生産	対前年度比(%)	輸入	合計	販売(内需)	対前年度比(%)	内需(建設用)	対前年度比(%)	輸出	期末在庫	合計
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　年　度	247	4,608	(98.2)	106	4,961	2,861	(104.6)	2,302	(122.3)	101	227	3,088
22　年　度	227	4,377	(95.0)	51	4,654	2,625	(91.4)	1,796	(78.0)	40	199	2,824
23　年　度	199	3,939	(90)	256	4,394	2,482	(94.5)	1,739	(96.9)	0	200	2,682
24.　4月	200	300	(111)	17	517	158	(107)	90	(89.4)	12	235	393
5月	235	264	(112)	14	513	158	(105)	104	(103.4)	4	225	384
6月	225	333	(125)	3	561	165	(96)	109	(90.1)	8	233	399
4～6月	200	896	(116.2)	34	1,131	481	(102.4)	303	(94.0)	24	233	715
7月	233	337	(104)	10	580	209	(113)	128	(105.8)	10	205	415
8月	205	385	(114)	6	597	205	(118)	121	(104.4)	14	203	408
9月	203	368	(110)	8	579	204	(103)	136	(103.3)	7	199	403
7～9月	233	1,090	(109.3)	24	1,347	619	(111.0)	385	(104.5)	32	199	817
10月	199	304	(105)	11	513	215	(89)	149	(83.3)	4	202	417
11月	202	273	(82)	7	482	224	(86)	155	(81.0)	0	194	418
12月	194	385	(94)	3	582	213	(91)	145	(86.8)	0	205	417
10～12月	199	962	(93.4)	21	1,181	652	(88.6)	449	(83.6)	4	205	857
25.　1月	205	319	(86)	4	527	162	(90)	99	(85.9)	0	208	370
2月	208	331	(90)	0	538	204	(87)	142	(91.4)	0	201	405
3月	201	363	(91)	16	580	247	(81)	187	(77.6)	0	217	464
1～3月	205	1,012	(88.8)	20	1,237	613	(85.3)	427	(83.7)	0	217	831
24　年　度	200	3,960	(100.5)	99	4,259	2,366	(95.3)	1,565	(90.0)	59	217	2,583
25.　4月	217	236	(79)	0	453	132	(84)	75	(82.9)	8	230	363
5月	230	236	(89)	3	469	156	(98)	94	(90.6)	3	212	368
6月	212	298	(90)	12	522	159	(96)	105	(96.2)	3	191	349
4～6月	217	770	(85.9)	15	1,002	447	(92.7)	274	(90.3)	15	191	638
7月	191	338	(100)	3	532	163	(78)	105	(81.8)	0	185	348
8月	185	349	(91)	7	541	172	(84)	112*	(92.0*)	0	205	377
9月	205	310	(85)	7	523	177	(87)	115*	(84.8*)	0	202	379
7～9月	191	998	(91.5)	18	1,206	512	(82.7)	332*	(86.1*)	0	202	714

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

一般社団法人 日本アスファルト協会会員

社　　名	住　　所	電　　話

（平成25年12月１日現在）

[メーカー]

コスモ石油株式会社	(105-8528) 港区芝浦1－1－1	03（3798）3121
JX日鉱日石エネルギー株式会社	(100-8162) 千代田区大手町2－6－3	03（6275）5174
昭和シェル石油株式会社	(135-8074) 港区台場2－3－2	03（5531）5765

[ディーラー]

● 東北

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

● 関東

株式会社アスカ	(106-0032) 港区六本木3－4－33	03（3587）1500
伊藤忠エネクス株式会社	(108-8525) 港区芝浦3－4－1	03（6327）8000
エムシー・エネルギー株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町1－2－2	03（5251）0961
コスモ石油販売株式会社 コスモアスファルトカンパニー	(104-0032) 中央区八丁堀4－7－1	03（6891）9920
株式会社ジェイエック	(103-0028) 中央区八重洲1－2－1	03（3272）3471
竹中産業株式会社	(101-0044) 千代田区鍛冶町1－5－5	03（3251）0185
東新エナジー株式会社	(104-0033) 中央区新川2－1－7	03（3537）3082
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巣鴨3－39－4	03（3915）7151
富士興産株式会社	(111-0052) 台東区柳橋2－19－6	03（3861）4612
丸紅エネルギー株式会社	(101-8322) 千代田区神田駿河台2－2	03（3293）4171
ユニ石油株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1－7－8	03（3796）6616
リーフエナジー株式会社	(108-0073) 港区三田3－4－10	03（6435）4497

一般社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
● 近畿・中国		
三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4－4－10	06 (6394) 1551
昭和瀝青工業株式会社	(670-0935) 姫路市北条口4－26	079 (226) 2611
千代田瀝青株式会社	(530-0044) 大阪市北区東天満2－10－17	06 (6358) 5531
富士商株式会社	(756-8501) 山陽小野田市稲荷町10－23	0836 (81) 1111
株式会社松宮物産	(522-0021) 彦根市幸町32	0749 (23) 1608
横田瀝青興業株式会社	(672-8057) 姫路市飾磨区細江995	0792 (33) 0555
● 四国・九州		
今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15－7	099 (256) 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

多田宏行

編集委員

委員長：中村俊行

伊藤達也　新田弘之　峰岸順一　加納孝志
根本信行　村山雅人　神谷恵三　浜田幸二
吉村啓之　向後憲一　半野久光　鈴木秀夫
姫野賢治

アスファルト　第229号
平成25年12月発行
一般社団法人　日本アスファルト協会
〒135-8074　東京都港区台場2－3－2
昭和シェル石油株式会社　技術商品部
TEL 03-5531-5765

問い合わせ先
・コスモ石油株式会社　販売部販社室　友添　敬公
TEL 03-3798-3121
・昭和シェル石油株式会社　技術商品部　平賀　真視
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.56　No.229　DECEMBER 2013
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/**