ISSN 0912－0793

アスファルト

第55巻　第228号　平成24年12月発行

228

特集・最近のアスファルト事情

［世界のアスファルト事情］

アスファルト乳剤の現況　一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会　1

中国のアスファルト事情　林　忠・村中芳弘・中野忠将　8

ベトナム、カンボジアのアスファルト事情　阿部長門　14

インドネシア・マレーシアのアスファルト舗装事情　神谷恵三　20

［技術関連］

新石垣空港整備事業について　砂辺秀樹・儀間　雅　26

共同実験における遮熱性舗装の供用性について

東京都 建設局 道路管理部 保全課

東京都 土木技術支援・人材育成センター，調査研究会　33

［その他］

なぜ、今、新しい契約方式か？

～道路構造物等の品質確保に向けた取り組み～　松田和香　40

空港工事施工管理技術者資格認定制度について　八谷好高　45

＜アスファルト舗装技術研究グループ・第60回報告＞

佐々木厳　49

海外のすべり抵抗の評価方法に関する取組について　50

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　71

＜連載＞アスファルト・舗装研究 vol.1

独立行政法人土木研究所つくば中央研究所　80

＜統計資料＞石油アスファルト需給統計資料　85

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91回　アスファルトゼミナール開催のご案内

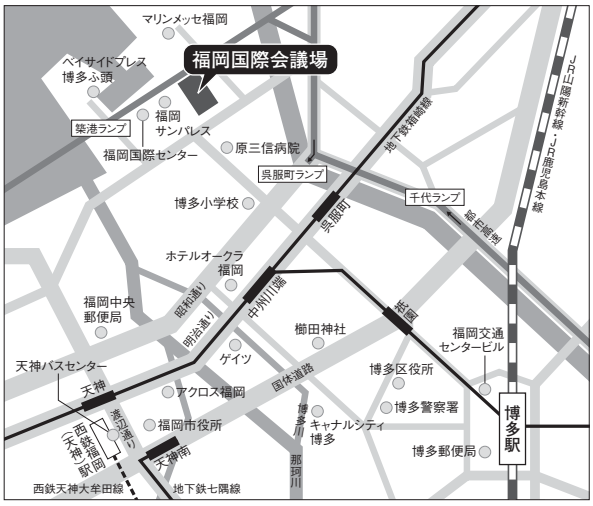
一般社団法人　日本アスファルト協会

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

敬　具

記

1．主　　催	一般社団法人 日本アスファルト協会
2．協　　賛	一般社団法人 日本アスファルト乳剤協会、一般社団法人 日本改質アスファルト協会
3．後　　援	国土交通省（申請中）、一般社団法人 日本道路建設業協会、 一般社団法人 日本アスファルト合材協会（申請中）
4．開催月日	平成25年２月21日（木）～２月22日（金）
5．開催場所	福岡国際会議場　5F国際会議室 〒812－0032　福岡県福岡市博多区石城町２－１　☎092－262－4111
6．内　　容	裏面「プログラム」をご覧下さい。
7．申込方法	平成25年２月15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　JSCE12-0958　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25年２月21日（木）～２月22日（金）

開催場所
福岡国際会議場　5F国際会議室
〒812－0032　福岡県福岡市博多区石城町２－１
☎092－262－4111

■会場案内図

- 博多駅（バス停88番／博多ふ頭行）より国際センターサンパレス前下車すぐ
- 博多駅（バス停99番／中央ふ頭行）より国際会議場サンパレス前下車すぐ
- 天神駅（バス停80番／中央ふ頭行）より国際会議場サンパレス前下車すぐ

プログラム

ー更新時代の舗装技術ー

第１日目 平成25年２月21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．長崎県の道路舗装維持管理計画について 13：20 ～ 14：00
長崎県土木部 道路維持課 課長 中 忠 資

４．これからの道路維持管理について 14：05 ～ 14：45
福岡大学 工学部
社会デザイン工学科 道路・土質研究室 教授 佐 藤 研 一

５．舗装技術・維持修繕工法の最新動向 14：50 ～ 15：30
一般社団法人日本道路建設業協会
技術委員会 技術及び施工管理部会 部会長 松 田 敏 昭

６．社会資本の維持管理・更新（仮題） 15：35 ～ 16：35
国土交通省
総合政策局 公共事業企画調整課 課長 安 藤 淳

７．舗装の維持修繕計画（仮題） 16：40 ～ 17：40
国土交通省
道路局 国道・防災課道路保全企画室 企画専門官 小田原 雄 一

第２日目 平成25年２月22日（金） 9：30～12：40

８．平成25年度道路予算 9：30 ～ 10：30
国土交通省 道路局 企画課道路経済調査室 室長 吉 岡 幹 夫

９．アスファルト乳剤工法について 10：35 ～ 11：35
一般社団法人日本アスファルト乳剤協会 技術委員 松 井 伸 頼

10．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 11：40 ～ 12：40
一般社団法人日本改質アスファルト協会 技術委員 平 戸 利 明

※講師は都合により変更になる場合があります

アスファルト乳剤の現況

(Current State of Emulsified Asphalt)

一般社団法人　日本アスファルト乳剤協会

世界的な視野で見ると，アスファルト乳剤の需要はほぼ横ばいで推移しているが，その内訳は欧米での減少分をアジア圏，特に中国・ロシア・インドの伸びが埋めるという構図になっている。これらの国々は経済成長が著しく，今や中国はGDP（国内総生産）がアメリカに次ぐ世界第２位の経済大国にまで成長した。

一方，国内に目を向けると，我が国の舗装は依然として加熱アスファルト混合物が主体であり，地球温暖化防止等の社会的要請から低炭素舗装技術としての「乳剤常温舗装」が見直される気運にはあるものの，本格的な採用には至っていない。

ここでは，アスファルト乳剤に関する国内外の現況として，諸外国での動向も織り交ぜながら，乳剤の規格，需給状況等について紹介する。

１．はじめに

アスファルトの起源は紀元前12000年頃に遡る。アスファルトが持つ接着性，可撓性，耐水性等を生かし，矢尻の固定や土器・土偶の修理に，また，メソポタミア文明やインダス文明などの遺跡では，建材・防水材として使用された。また，古代エジプトでは，ミイラの防腐材に用いられたとの記述もあり，非常に歴史のある材料である。当時のアスファルトは，ロックアスファルトやTLA（トリニダッドレイクアスファルト）のような天然アスファルトであるが，今日使用されるアスファルトのほとんどは，原油を精製して得られる石油アスファルトとなっている[1)]。

アスファルト乳剤は，石油アスファルトを水中に微細な粒子（１～３㎛）として分散させたものであり，常温で茶褐色の液体（エマルション）である。カットバックアスファルトのような揮発性有機化合物（VOC）を含まないため，環境に優しい材料として期待されている。我が国では，プライムコートやタックコートといった接着材としての利用が多いが，その他にも路上路盤再生工法の混合用乳剤やチップシール，マイクロサーフェシングといった維持工法（プリベンティブメインテナンス）材料として使用されるなど，その用途は多岐にわたっている[2)]。

ここでは，アスファルト乳剤の現況として，国内外の乳剤規格，需給状況等について述べる。

２．主要各国の乳剤規格

日本および欧米，アジアの主要国として，アメリカ，フランス，中国の乳剤規格を示す。

2.1　日本

我が国の主な乳剤規格には，日本工業規格（JIS K2208）と（一社）日本アスファルト乳剤協会規格（JEAAS）の二つがある。

⑴　日本工業規格

JIS K2208の最新版（2000年改正）を**表－１**に示す。JISは1957年に制定された我が国初の乳剤規格であり，今年で55年の歴史を有する。舗装用石油アスファルト乳剤の主流であるPK－３，４や路上路盤再生工法用の混合用乳剤MN－１など，計８種類が規定されている。JISにおける乳剤の分類は，用途別（浸透用，混合用）と極性別（カチオン，ノニオン）の組み合わせで行っている。

⑵　乳剤協会規格

JEAASは日本アスファルト乳剤協会の会員各社が独自に製造販売している特殊な乳剤のうち，JISに規定するほどではないが，市場への浸透，施工実績が拡大している乳剤を選定し，協会技術委員会が規定するものである。制定は1962年であり，その後幾度かの改訂を経て，2011年版が最新規格となっている。最新の改訂では，近年，市場ニーズの高まりから施工実績が急速に伸びている「タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤（PKM－T）」を正式に追加した。これにより，改質

表－1　日本工業規格（JIS K2208 2000）

項目		カチオン（浸透用）				カチオン（混合用）			ノニオン
		PK－1	PK－2	PK－3	PK－4	MK－1	MK－2	MK－3	MN－1
エングラー度　25℃		3～5		1～6		3～40			2～30
ふるい残留分　1.18㎜　質量%		0.3以下							0.3以下
付着度		2/3以上				－			－
粗粒度骨材混合性		－				均等であること	－		－
密粒度骨材混合性		－					均等であること	－	－
土混り骨材混合性　質量%		－						5以下	－
セメント混合性　質量%		－							1.0以下
粒子の電荷		陽（＋）							－
蒸発残留分　質量%		60以上		50以上		57以上			57以上
蒸発残留物	針入度　25℃　1/10㎜	100を超え200以下	150を超え300以下	100を超え300以下	60を超え150以下	60を超え200以下	60を超え200以下	60を超え300以下	60を超え300以下
	トルエン可溶分　質量%	98以上				97以上			97以上
貯蔵安定度　24hr　質量%		1以下							1以下
凍結安定度　－5℃		－	粗粒子，塊がないこと	－					－

乳剤5種類を含む8種類が規定されることとなった。JEAASの最新版を**表－2，3**に示す。

2.2　アメリカ（ASTM－2008）

ASTMは，国際的な標準化団体であるASTMインターナショナルが策定・発行する規格である。前身は米国材料試験協会（American Society for Testing and Materials）であり，ASTM規格の国際化に伴い2001年に改名した。2008年現在で12,000以上の規格が制定されている。

アメリカでは，道路舗装用アスファルト乳剤としてアニオン系のD977－05とカチオン系のD2397－05が定められている。それぞれの規格を**表－4，5**に示す。

我が国とは異なり，ASTMにおける乳剤の分類は分解速度を基本にしており，速分解（Rapid－Setting），中分解（Medium－Setting），遅分解（Slow－Setting），急分解（Quick－Setting）の4つに分けられている。また，気候・気象条件の違いもあるが，アメリカではカチオン系乳剤だけでなく，アニオン系乳剤も道路舗装に使用されており，その特徴的な事例として，アニオン系ハイフロート乳剤の存在があげられる[3)]。

2.3　フランス（EN 13808－2005）

EN規格は，CEN（欧州標準化委員会）等が中心となって制定している欧州統一規格である。EN規格は単独で発行されることはなく，イギリスのBSやドイツのDIN，フランスのNFなど，加盟各国の国家規格として発行されたものを適用する。

ここでは，フランスにおける乳剤規格をSFERB（道路用アスファルト乳剤製造者団体）の資料“bitumen emulsions”から引用して**表－6**に示す。

ここで，EN規格ではカチオン系乳剤のマスター規格EN 13808を定めており，この中で針入度や粘度など様々な性状試験項目ごとに，性状値によるクラスを示している。フランスの規格においてもクラス番号が併記されているが，煩雑で見づらくなることから本表では省略した。

乳剤の分類は，乳剤の濃度と分解指数の組み合わせで行われている。たとえば，C60B2は乳剤濃度が58～62%（Class 5）で分解指数が80以下（Class 2）であることを，C69B5は乳剤濃度が67～71%（Class 8）で分解指数が120～180（Class 5）であることを示している。アメリカに次ぐ乳剤生産量を誇るフランスにおいても，乳剤の分類に分解性が使われていることは特筆に値する[4)]。

2.4　中国（JTG F40－2004）

中国は急速な経済発展に伴い，乳剤の生産量・使用量が急速に伸びている国の一つである。中国の乳剤規格を**表－7**に示す。JTG F40は公路瀝青路面施工技術規範（アスファルト舗装道路の施工に関する技術基

表－2　アスファルト乳剤協会規格（JEAAS 2011）

項目				アスファルト乳剤の種類及び記号		
				PK－P	PK－H	MK－C
エングラー度		25℃		1～6	－	－
セイボルトフロール秒		50℃	秒	－	20～500	－
		25℃	秒	－	－	30～500
ふるい残留分		1.18㎜	質量％	0.3以下		
付着度				2/3以上	2/3以上	－
浸透性			秒	300以下	－	－
粒子の電荷				陽（＋）		
密粒度骨材混合性				－	－	均等であること
留出油分（360℃までの）				15以下	5以下	3～20
蒸留残留分（360℃における）			質量％	40以上	65以上	50以上
蒸留残留物	針入度※	15℃	1/10㎜	100を超え300以下	80を超え300以下	－
	フロート時間	60℃	秒	－	－	20～170
貯蔵安定度		24hr	質量％	2以下	－	1以下

※PK－Hについては，夏期に使用するものの蒸留残留物の針入度は，25℃における値とする。

表－3　アスファルト乳剤協会規格（JEAAS 2011）

項目				改質アスファルト乳剤の種類及び記号				
				PKM－T	PKR－T	PKR－S－1	PKR－S－2	MS－1
エングラー度		25℃		1～15	1～10	3～30		3～60
ふるい残留分		1.18㎜	質量％	0.3以下				
付着度				2/3以上				－
粒子の電荷				陽（＋）				
蒸発残留分			質量％	50以上	50以上	57以上		60以上
蒸発残留物	針入度	25℃	1/10㎜	5を超え30以下	60を超え150以下	100を超え200以下	200を超え300以下	40以上
	軟化点		℃	55.0以上	42.0以上	42.0以上	36.0以上	50.0以上
	タフネス	15℃	N・m	－	－	4.0以上	3.0以上	－
		25℃	N・m	－	3.0以上	－	－	3.0以上
	テナシティ	15℃	N・m	－	－	2.0以上	1.5以上	－
		25℃	N・m	－	1.5以上	－	－	2.5以上
貯蔵安定度		24hr	質量％	1以下				
タイヤ付着率		60℃	質量％	10以下	－	－	－	－
凍結安定度		－5℃		－	－	－	粗粒子，塊がないこと	－

準）であり，アスファルト乳剤以外にも，道路用ストレートアスファルト，ポリマー改質アスファルト，アスファルト混合物（骨材粒度，マーシャル基準値，ホイールトラッキング，透水性，低温曲げ…）など，舗装に関する様々な基準が示されており，我が国の舗装設計施工指針に匹敵するものといえる。

乳剤の分類は，カチオン・アニオン等の極性別，散布・混合用の用途別，および分解速度別となっている。基本的には，我が国の乳剤規格を基に，中国の実情に合わせて修正を加えたような内容となっている。

3．主要各国の乳剤需給

3.1　日本

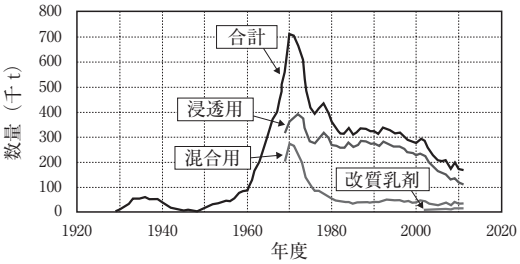
我が国の乳剤出荷量の推移を**図－1**に示す。総出荷量のピークは1970年の71万トンであり，その後は若干の増減はあるものの，全体的に見ると減少傾向にある。2000年頃を境に当面の壁と思われた30万トンを切ってしまい，特にここ数年は20万トンをも下回るという非常に厳しい状況にある。

図からもわかるように2000年以降，混合用乳剤および改質乳剤はほぼ横ばいで推移しているが，浸透用乳

表－4　アメリカ　ASTM D977－05（舗装用アニオン乳剤）

項目				速分解			中分解						
				RS－1	RS－2	HFRS－2	MS－1	MS－2	MS－2h	HFMS－1	HFMS－2	HFMS－2h	HFMS－2s
セイボルトフロール秒		25℃	秒	20～100	－	－	20～100	100以上		20～100	100以上		50以上
		50℃	秒	－	75～400		－	－	－	－	－	－	－
貯蔵安定度		24hr	質量％	1以下									
乳化安定性（0.02N $CaCl_2$，35㎖）			質量％	60以上			－	－	－	－	－	－	－
付着度	乾燥骨材			－	－	－	良好						
	水洗後			－	－	－	可						
	湿潤骨材			－	－	－	可						
	水洗後			－	－	－	可						
セメント混合性			質量％	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ふるい残留分			質量％	0.10以下									
蒸発残留分			質量％	55以上	63以上		55以上	65以上		55以上	65以上		
蒸留油分			容積％	－	－	－	－	－	－	－	－	－	1～7
蒸留残留物	針入度	25℃	1/10㎜	100～200			100～200		40～90	100～200		40～90	200以上
	伸度	25℃	cm	40以上									
	トリクロロエチレン可溶分		質量％	97.5以上									
	フロート試験		秒	－	－	1200以上	－	－	－	1200以上			

項目				遅分解		急分解
				SS－1	SS－1h	QS－1H
セイボルトフロール秒		25℃	秒	20～100		20～100
		50℃	秒	－	－	－
貯蔵安定度		24hr	質量％	1以下		－
乳化安定性（0.02N $CaCl_2$，35㎖）			質量％	－	－	－
付着度	乾燥骨材			－	－	－
	水洗後			－	－	－
	湿潤骨材			－	－	－
	水洗後			－	－	－
セメント混合性			質量％	2.0以下		N/A
ふるい残留分			質量％	0.10以下		
蒸発残留分			質量％	57以上		57以上
蒸留油分			容積％	－	－	－
蒸留残留物	針入度	25℃	1/10㎜	100～200	40～90	40～90
	伸度	25℃	cm	40以上		
	トリクロロエチレン可溶分		質量％	97.5以上		
	フロート試験		秒	－	－	－



図－1　我が国における乳剤出荷量の推移

剤は急激な減少を示しており，このことが総出荷量減少の原因である。浸透用乳剤は，その大半がプライムコート，タックコートとしての用途であるため，舗装工事量の減少も背景にあるといえる。

図－2は乳剤の用途別割合を示したものである。浸透用（プライム，タック）がおよそ70%を占めており，残りの30%は混合用20%，改質乳剤10%という構成になっている。改質乳剤は増加傾向にあるが，その大半

表－5　アメリカ　ASTN D2397－05（舗装用カチオン乳剤）

項目				速分解		中分解		遅分解		急分解
				CRS－1	CRS－2	CMS－2	CMS－2 h	CSS－1	CSS－1 h	CQS－1 H
セイボルトフロール秒		25℃	秒	－	－	－	－	20～100		20～100
		50℃	秒	20～100	100～400	50～450		－	－	－
貯蔵安定度		24hr	質量％	1以下						－
乳化安定性（注1，35㎖）			質量％	40以上		－	－	－	－	－
付着度	乾燥骨材			－	－	良好		－	－	－
	水洗後			－	－	可		－	－	－
	湿潤骨材			－	－	可		－	－	－
	水洗後			－	－	可		－	－	－
粒子の電荷				陽（＋）						
ふるい残留分			質量％	0.10以下						
セメント混合性			質量％	－	－	－	－	2.0以下		N/A
蒸留油分			容積％	3以下		12以下		－	－	－
蒸留残留分			質量％	60以上	65以上	65以上		57以上		57以上
蒸留残留物	針入度	25℃	1/10㎜	100～250		100～250	40～90	100～250	40～90	40～90
	伸度	25℃	㎝	40以上						
	トリクロロエチレン可溶分		質量％	97.5以上						

注1）0.8% dioctyl sodium sulfosuccinate

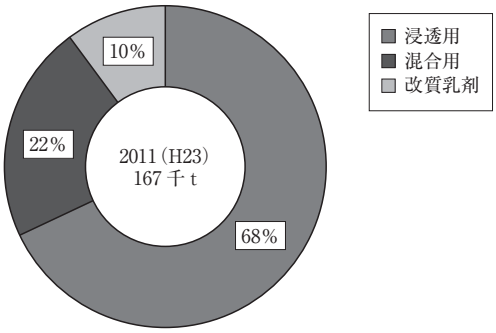
表－6　フランス　EN 13808－2005（French specifications）

項目			C60B 2 C60B 3 C60B 4	C65B 2 C65B 3 C65B 4	C69B 2 C69B 3 C69B 4	C60B 5	C65B 5	C69B 5	C55B6	C60B 6	C65B 6	C55B 7	C60B 7
バインダ濃度		質量％	58～62	63～67	67～71	58～62	63～67	67～71	53～57	58～62	63～67	53～57	58～62
STV	40℃，2㎜	秒	15～45 35～80	35～80	70～ 130 NPD	15～45 35～80 70～130	35～80	70～ 130 NPD	20以下 15～45 35～80	15～45 35～80	35～80	20以下 15～45 35～80	15～45 35～80 70～130
STV	40℃，4㎜	秒	－	－	10～45 30～70 50～100	－	－	10～45 30～70 50～100	－	－	－	－	－
ふるい残留分	0.5㎜	質量％	0.1以下										
ふるい残留分	0.5～ 0.16㎜	質量％	0.25以下										
ふるい残留分（7日後）	0.5㎜	質量％	0.2以下										
乳剤粘着力1 ST part			90以上						NPD				
乳剤粘着力2 ND part			75以上						NPD				
粘着力			NPD			75以上							NPD
分解指数（IREC）			80以下 50～100 70～130			120～180			170～230				220以上

NPD：No Performance Determined

は，タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤（PKM－T）が占めるものと思われ，タックコート（PK－4）の市場をPKM－Tで置き換えることにより増加しているといえる。

改質乳剤の増加は喜ばしいことではあるが，本来であれば，欧米諸国のように改質乳剤を表面処理工法や常温混合物の耐久性向上のために活用するなど，単なる接着材としての利用から脱却し，より高性能・高品位化につなげるための活用が望まれる。



図－2　乳剤の用途別割合

表－7　中国　JTG F40－2004

項目			カチオン				アニオン				ノニオン		改質乳剤	
			散布用			混合用	散布用			混合用	散布用	混合用	散布用	混合用
			PC－1	PC－2	PC－3	BC－1	PA－1	PA－2	PA－3	BA－1	PN－2	BN－2	PCR	BCR
分解速度			速分解	遅分解	速分解～中分解	遅分解～中分解	速分解	遅分解	速分解～中分解	遅分解～中分解	遅分解	遅分解	速分解～中分解	遅分解
粒子の電荷			陽（＋）				陰（－）				－		陽（＋）	
ふるい残留分		1.18 ㎜ 質量 %	0.1 以下											
粘度	エングラー度	25℃	2～10	1～6		2～30	2～10	1～6		2～30	1～6	2～30	1～10	3～30
粘度	道路標準粘度計	25℃ 秒	10～25	8～20		10～60	10～25	8～20		10～60	8～20	10～60	8～25	12～60
蒸発残留分		質量 %	50 以上			55 以上	50 以上			55 以上	50 以上	55 以上	50 以上	60 以上
蒸発残留分	トルエン可溶分	質量 %	97.5 以上											
蒸発残留分	針入度	25℃ 1/10 ㎜	50～200	50～300	45～150		50～200	50～300	45～150		50～300	60～300	40～120	40～100
蒸発残留分	軟化点	℃	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	50 以上	53 以上
蒸発残留分	伸度	15℃ ㎝	40 以上										20 以上	
付着度			2/3 以上			－	2/3 以上			－	2/3 以上	－	2/3 以上	－
粗粒度骨材混合性			－			均等であること	－			均等であること	－		－	
密粒度骨材混合性														
セメント混合性		質量 %	－	－	－	－	－	－	－	－	－	3 以下	－	－
常温貯蔵安定性	1 日	質量 %	1 以下											
常温貯蔵安定性	5 日	質量 %	5 以下											

3. 2　主要各国の状況

直近のアスファルト乳剤に関する国際会議としては，2010年10月に仏・リヨンで開催された第5回エマルジョン世界会議があげられる。これに先立ち，IBEF（国際アスファルト乳剤連盟）と前掲のSFERBが共催する乳剤製造者会議が開催され，この中で乳剤に関する2009年までの国際統計データが公表されている。その後，乳剤に関する大きな国際会議がなく，2012年10月にISAET（International Symposium on Asphalt Emulsion Technology：アスファルト乳剤技術に関する国際討論会）2012が米国・アーリントンで開催されるが，現時点では参考となるような統計資料も見当たらない状況にある。

表－8はIBEFから9月末に入手した資料である。2009年は各国ともデータが記載されているが，それ以降はほとんどが空欄となっている。そのため，十分な考察には至らないが，数少ないデータからいえることを以下に列記する。

①乳剤生産量が世界第2位の乳剤先進国フランスでは，年間90万トン台の乳剤をコンスタントに生産している。

②道路用アスファルトに対する乳剤の割合は，我が国の10%程度に対して，フランスは30%を超えている。

③乳剤1工場当たりの生産量（2009年で算出）は，我が国の約2,000トンに対して，スペイン・インドが7,000トン前後，フランスでは8,700トン，さらにイギリスにおいては桁違いの17,000トンとなっている。

これらを見ると，諸外国におけるアスファルト乳剤への期待，意気込み，スケールの大きさを感じるとともに，我が国の工場当たりの生産量の少なさと経営への影響を感じずにはいられない。

4．おわりに

我が国の乳剤が低迷しはじめてから40年余り，乳剤はそのほとんどが接着材として使われているに過ぎない。

その昔，加熱アスファルトプラントが十分に整備されていなかった頃，舗装の主役はアスファルト乳剤を用いた浸透式工法や現場混合あるいは中央プラント混合による常温混合物であった。特殊改良第四種事業として国の施策に合致したこともあり，ニコヨンと呼ばれた失業対策事業に広く活用され，我が国経済の発

表－8　国別道路用アスファルト・乳剤の年間生産量の推移

トン

国名	2009年		2010年		2011年		乳剤工場数	生産能力（t/年）
	道路用アスファルト	アスファルト乳剤	道路用アスファルト	アスファルト乳剤	道路用アスファルト	アスファルト乳剤		
オーストラリア	849,000	80,000						
ブルガリア	140,000	5,000						
カナダ	1,600,000	440,000						
フランス	3,040,000	950,000	2,870,000	910,000	2,833,000	960,000	109	2,000,000
ドイツ	3,800,000	170,000						
インド	4,959,000	224,000	4,405,200	154,182			31	
イタリア	2,016,000	115,000						
日本	1,768,000	192,000	1,672,000	172,106			95	1,000,000
韓国	1,941,400	77,600						
メキシコ	1,851,000	650,000						
モロッコ	363,000	78,000						
ノルウェー	360,000	8,000						
ロシア	3,341,000	300,000						
南アフリカ	415,000	75,000						
スペイン	1,950,000	265,000		251,129			39	
タイ	585,000	119,000						
オランダ	300,000	30,000						
トルコ	2,000,000	56,020						
イギリス	1,370,000	135,000		145,878			8	
アメリカ	20,352,000	2,250,000						
合計	53,000,400	6,219,620	8,947,200	1,633,295	2,833,000	960,000	282	3,000,000

（IBEFから入手したデータ）

展に多大な貢献をしてきた。

今日，安価で耐久性に優れた加熱アスファルト混合物が容易に入手できることから，舗装の主役は加熱混合物に代わられた。混合物が熱いうちに敷きならし，転圧を行って所定の密度を確保さえすれば，温度の低下とともに強度が発現する。乳剤混合物のように，使用骨材の違いやその日の気温・湿度など，様々な影響因子によって出来映えが変わることもなく，安心して使うことができる。加熱混合物は，誰がやっても及第点の取れるオールマイティな材料といえる。

しかし，環境問題への真摯な取り組みが求められるにつれ，加熱混合物（HMA）のエネルギー消費に疑問が持たれるようになった。これへの対応として，中温化混合物（WMA）や弱加熱混合物（HWMA）への移行という，混合物の製造温度の低減技術が注目され，一部で実施されている。これらの技術は，製造温度を30℃程度低減する，あるいは100℃程度で製造するというものであり，さらなる究極の温度低減技術は常温化（CMA）にあるといえる。

乳剤を用いた常温舗装は，二酸化炭素の抑制だけでなく，火傷の危険性やアスファルトヒュームの発生もないため安全であり，路上路盤再生工法にあるように省資源・省エネルギーでコスト縮減に寄与するなど，様々な利点を有している。

主要幹線道路など，交通量の多い路線への適用は，耐久性の面で困難と思われるが，大型車交通のない，あるいは少ない路線，たとえば生活道路と呼ばれるようなところには，乳剤舗装が活躍できる場が，まだ十分残されていると思う。適材適所の観点から，新たな乳剤舗装の時代が訪れることを夢見ている。

―― 参考文献 ――

1）一般社団法人　日本アスファルト協会HP：URL http://www.askyo.jp/knowledge/01-2.html

2）㈳日本アスファルト乳剤協会，アスファルト乳剤，(2012)

3）ASTM INTERNATIONAL，2008 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, SECTION 4，VOLUME 04.03，(2008)

4）SFERB, bitumen emulsions，(2008.9)

中国のアスファルト事情

(The Current Situation of Asphalt Industry in China)

林　　忠*・村　中　芳　弘**・中　野　忠　将***

近年，中国経済は年率８～９％程度の高い経済成長率を保持し，目覚しい発展を遂げている。

この急激な経済成長とともに，道路網，鉄道網，空港，港湾などの交通運輸に関する基盤整備も進められ，経済発展に大きな貢献を果たしている。

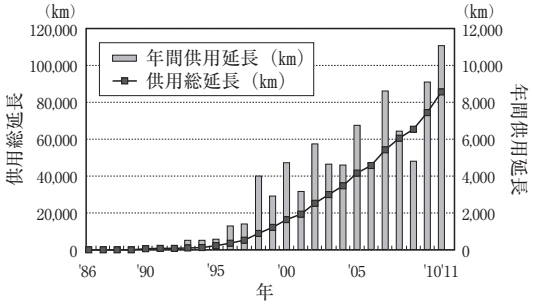
特に，急拡大するモータリゼーションの進展にともない，道路網の整備は急ピッチで進められ，2001年には供用総延長約20,000㎞であった高速道路も，2011年には供用総延長約85,000㎞と驚異的な整備が行われている。

本報告は，中国の道路網整備の一翼を担う，中国のアスファルトに関して，分類・品質規格およびアスファルトの製造業界の状況等について紹介する。

１．中国の道路建設状況

中国の高速道路供用延長の推移を**図－１**に示す。近年の中国の道路建設投資は，非常に高い水準で進められ，今後も，長期間にわたりこの水準を維持するものと予想される。

地区的な視点から見ると，過去２年，中西部地区への道路建設投資が東部地域よりも増えている。これは，「交通運輸12次５ヵ年発展計画」により，2015年までに西部地域の高速道路総延長を3.6万㎞まで延ばすという計画によるものである。このような状況から，中国の旺盛なアスファルト需要は，今後も継続すると予想される。



図－１　高速道路供用延長の推移[1)]

写真－１　中国の高速道路

写真－２　舗装施工状況

* りん　ちゅう　大成ロテック㈱　国際部　北京駐在員事務所長
** むらなか　よしひろ　大成ロテック㈱　国際部　部長代理（中国担当）
*** なかの　ただのぶ　大成ロテック㈱　国際部　課長代理（中国担当）

ここでは，道路網整備の一翼を担う中国のアスファルト事情に関して，アスファルトの分類・品質規格およびアスファルトの製造業界の状況等について紹介する。

２．中国のアスファルト分類と品質基準

2.1　アスファルトの分類

中国のアスファルトは，資源種別により，天然アスファルト（天然瀝青），石油アスファルト（石油瀝青），コールタール（煤焦瀝青）に大別される。

さらに石油アスファルト（石油瀝青）は，生産方法，外観形状，製品用途により**図－２**に示すように分類される。

⑴　生産方法による分類

生産方法による分類では，ストレートアスファルト（直留瀝青），溶剤脱瀝アスファルト（溶剤脱油瀝青），ブローンアスファルト（酸化瀝青），調整アスファルト（調合瀝青），乳剤（乳化瀝青），改質アスファルト（改性瀝青）である。また，その中で，改質アスファルトは，熱可塑性ゴム類（SBS，SIS），ゴム類（SBR，BP），樹脂類（PE，EVA）の３種類に分けられる。このうちSBSは，改質アスファルト全体の40％を占めている。

⑵　外観形状による分類

外観形状による分類では，液化アスファルト（液体瀝青），固化アスファルト（固体瀝青），溶材（希釈液），乳化材（乳化液），改質材（改性体）である。

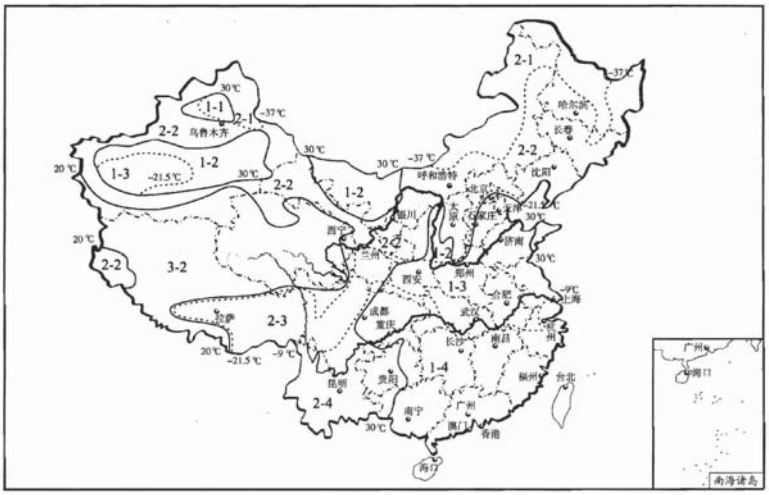
⑶　製品用途による分類

製品用途による分類では，道路用アスファルト（道路瀝青），建築用アスファルト（建築瀝青），用途もしくは機能によって分けられる各専用アスファルトに分類される。その中で道路用アスファルトは，全体の70％以上を占めている。

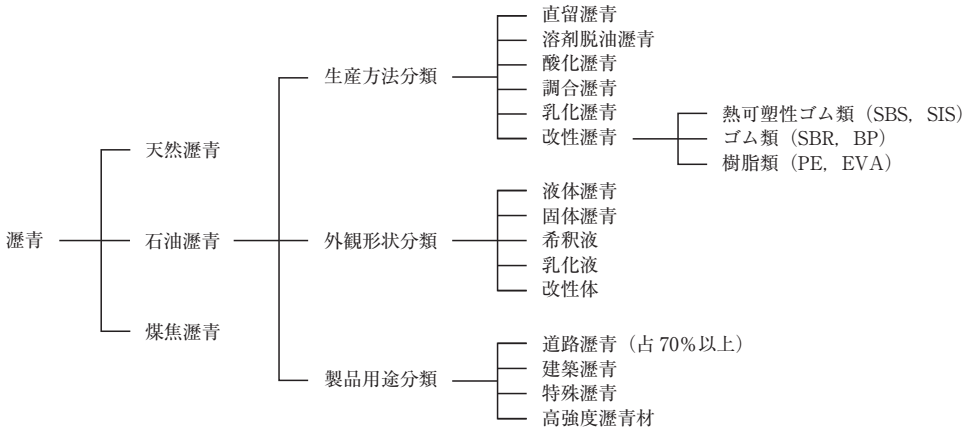
2.2　道路用アスファルトの品質基準

⑴　ストレートアスファルト

中国は国土が広大で気象条件も大きく異なることから，**図－３**に示すようにアスファルト舗装気候区



図－３　アスファルト舗装気候区分図[3)]



資料：前瞻資訊瀝青業界研究グループ

図－２　石油アスファルトの分類[2)]

分（年間最高気温・最低気温）図を設定している。このため，道路用アスファルトの区分は，針入度で20－40，40－60，60－80，80－100，100－120，120－140，140－200の7つに区分され日本より多い。

道路用アスファルトの品質基準は**表－1**に示すように，日本の品質基準と比較すると項目が多く，PI（針入度指数），60℃粘度，10℃伸度，ワックス含有量が基準に含まれている点が特徴である。アスファルト中のワックス含有量は，その融点が針入度の測定温度である25℃と軟化点温度の間に存在するため，ワックス分の多いアスファルトでは，その性状値に影響を与えることもある。

中国産原油から精製したアスファルトは，原油の性質上，ワックスが高い割合で含まれている。

これは耐久性に劣り，路面損傷，品質の不安定等の発生要因となることが懸念されるため，高規格幹線道路用のアスファルトには，ワックス量が少ない中東からの輸入原油を精製して生産している。

表－1　道路用アスファルトの品質基準[4)]

項目	単位	グレード	針入度グレード																
			160	130	110			90					70					50	30
針入度（25℃，5 s, 100g）	0.1㎜		140－200	120－140	100－120			80－100					60－80					40－60	20－40
適切な気候地域					2-1	2-2	3-2	1-1	1-2	1-3	2-2	2-3	1-3	1-4	2-2	2-3	2-4	1-4	
針入度指数PI		A	－1.5～+1.0																
		B	－1.8～+1.0																
軟化点（以上）	℃	A	38	40	43			45			44		46		45			49	55
		B	36	39	42			43			42		44		43			46	53
		C	35	37	41			42					43					45	50
60℃粘度（以上）	Pa・s	A	－	60	120			160			140		180		160			200	260
10℃伸度（以上）	㎝	A	50	50	40			45	30	20	30	20	20	15	25	20	15	15	10
		B	30	30	30			30	20	15	20	15	15	10	20	15	10	10	8
15℃伸度（以上）	㎝	A, B	100															80	50
		C	80	80	60			50					40					30	20
ワックス含有量（以下）	%	A	2.2																
		B	3.0																
		C	4.5																
引火点（以上）	℃		230					245					260						
可溶分（以上）	%		99.5																
密度（15℃）	g/㎤		試験値を記録																
薄膜加熱試験後																			
質量変化率（以下）	%		±0.8																
蒸発後の針入度比（25℃）（以上）	%	A	48	54	55			57					61					63	65
		B	45	50	52			54					58					60	62
		C	40	45	48			50					54					58	60
残留伸度（10℃）（以上）	㎝	A	12	12	10			8					6					4	－
		B	10	10	8			6					4					2	－
残留伸度（15℃）（以上）	㎝	C	40	35	30			20					15					10	－

(2) 改質アスファルト

中国では，2000年以降，高速道路と高規格幹線道路の建設に力を入れたため，建設規模拡大に伴い，重交通道路用アスファルトや改質アスファルト等の需要が増加し，供給不足状態が続いている。改質アスファルトの分野では，**表－2**に示すように，2007年の場合，193万トンの需要に対して，国内メーカーによる製造量は90万トンにとどまっている。

改質アスファルトの品質基準を**表－3**に示す。

表－2　アスファルト需給バランス比較[2)]

2007年実績

項目	石油アスファルト	改質アスファルト
中国国内生産量（万t）	1300	90
中国国内需要量（万t）	1400	193
不足量（万t）	100	103
不足量（%）	7.14	53.37

資料：前瞻資訊研究センター

3．中国のアスファルト製造の現況

3.1　製造業者の現況

中国のアスファルト市場の始まりは，改革開放政策後であった。当初は，主に輸入に頼り，国産はごくわずかであり，品質も低かった。しかし，改革開放政策後の発展を経て，現在では，多数のアスファルトメーカーが共存する市場構造を形成している。

国内のアスファルトメーカーは，3タイプに大別できる。

1つ目は，国内大型石油会社。中国石化，中国石油，中国海洋石油及び傘下企業である。アスファルト製品は，これらの企業の主要な製品ではないが，近年，国内のアスファルト市場シェアを急速に伸ばしている。

2つ目は，宝利瀝青，路翔股份，国創高新等の国内特殊アスファルトメーカーである。国内大型石油会社に比べ規模は小さいが，専業化という技術的優位，取引先の需要に合わせた生産体制などにより，シェアを

表－3　改質アスファルトの品質基準[4)]

項目	単位	SBS類（Ⅰ類）				SBR類（Ⅱ類）			EVA，PE類（Ⅲ類）			
		Ⅰ－A	Ⅰ－B	Ⅰ－C	Ⅰ－D	Ⅱ－A	Ⅱ－B	Ⅱ－C	Ⅲ－A	Ⅲ－B	Ⅲ－C	Ⅲ－D
針入度（25℃，5 s，100g）	0.1㎜	>100	80～100	60～80	40～60	>100	80～100	60～80	>80	60～80	40～60	30～40
針入度指数PI（以上）		－1.2	－0.8	－0.4	0	－1.0	－0.8	－0.6	－1.0	－0.8	－0.6	－0.4
伸度5℃，5㎝/min（以上）	㎝	50	40	30	20	60	50	40	－			
軟化点$T_{R\&B}$（以上）	℃	45	50	55	60	45	48	50	48	52	56	60
135℃動粘度（以下）	Pa･s	3										
引火点（以上）	℃	230				230			230			
可溶分（以上）	%	99				99			－			
弾性回復25℃（以上）	%	55	60	65	75	－			－			
タフネス（以上）	N・m	－				5			－			
テナシティ（以上）	N・m	－				2.5			－			
貯蔵安定度　分離48h軟化点差（以下）	℃	2.5				－			改質剤の明らかな析出，凝集が無い事			
薄膜加熱試験後												
質量変化率（以下）	%	±1.0										
針入度比25℃（以上）	%	50	55	60	65	50	55	60	50	55	58	60
伸度5℃（以上）	㎝	30	25	20	15	30	20	10	－			

確保している。

３つ目は，大手外資系石油会社であり，売牌（シェル）石油公司，韓国SK集団，タイ泰普克公司等である。アスファルトメーカー分布図を**図－４**に示す。

3.2　製造量

中国のアスファルト需要が2000万トンに達した2010年のアスファルト製造量の内訳では，中国石化グループの総製造数量は，349万トンで21%，中国石油グループは276万トンで17%，中国海洋石油グループが，159万トンで10%と，大型石油会社グループ３社で国内生産の50%近くを占めている。企業別のアスファルト製造量を**表－４**に示す。この他に，ここ数年，輸入アスファルト量が300～400万トン程度で推移している。

3.3　製造地域

アスファルト製造量の地理的分布をみると，遼寧，広東，新疆，山東，浙江，江蘇などの省が主である。2009年，上記の地区のアスファルト製造量は，全国アスファルト総製造量の80%以上であり，中でも山東省のアスファルト製造量は20%程度を占めている。

図－４　アスファルトメーカーの分布図[5)]

表－４　アスファルト製造量（企業別）[2)]

2010年順位	2009年順位	省区分	企業グループ	企業名称	生産数量（万トン）					
					2010年	構成比%	2009年	構成比%	増加差	増加率%
1	3	浙江	中石化	鎮海煉化	117.30	7.2	85.60	6.3	31.70	37
2	1	遼寧	中石油	遼河石化	114.19	7.0	118.02	8.7	－3.83	－3
3	6	広東	中石化	茂名石化	88.70	5.5	65.00	4.8	23.70	36
4	5	山東	中海油	中海瀝青	87.86	5.4	66.92	4.9	20.94	31
5	10	山東	地方	灘坊弘潤	86.65	5.3	45.10	3.3	41.55	92
6	4	新疆	中石油	克石化	80.95	5.0	72.41	5.3	8.54	12
7	7	江蘇	中石化	金陵石化	80.92	5.0	61.70	4.5	19.22	31
8	2	広東	中石油	中油高富	80.53	5.0	106.00	7.8	－25.47	－24
9	8	江蘇	中海油	中海泰州	70.79	4.4	60.68	4.5	10.11	17
10	9	陝西	中石化	西安石化	62.10	3.8	52.60	3.9	9.50	18
10大アスファルト精製工場総製造量					869.99	53.5	734.03	53.9	135.96	19
全国アスファルト精製工場総製造量					1625.98	100.0	1361.45	100.0	264.53	19

資料：前瞻資訊研究センター

4．中国のアスファルト製造の動向

⑴　企業間競争の現況

大手外資系石油会社が，独資，合弁，買収合弁等により中国のアスファルト業界に参入している。一方，国内大手のアスファルトメーカーは，全国に事業を拡大しており，特に，大型石油会社グループは，アスファルト業務を統合し，技術力を高め，高付加価値アスファルト市場へ攻勢にでており，市場競争は日々激化している。また，アスファルトメーカーによっては，大幅な値下げを行い販売競争が激化している。市場シェアは，技術，資本，コストパフォーマンスに優れた企業に集中する傾向にあり，小規模の企業は，次第に市場内で淘汰される可能性も否めない状況である。

一方，高規格幹線道路の建設拡大は，改質アスファルト等の高付加価値アスファルトの需要拡大が見込まれる。中国が高速道路建設を始めた当初は，輸入製品が高付加価値である改質アスファルトの大部分を独占し，その後も，大手外資系石油会社が高付加価値アスファルト市場のシェアの大半を占めていた。近年では，特殊アスファルトのような高付加価値製品が，広い範囲で使用されるようになってきたため，この分野での市場競争も高まりつつある。

⑵　産業政策の振興

国家発展改革委員会により，2007年12月に公布された「産業構造調整指導目録」では，高規格道路用改質アスファルトと特殊アスファルトの生産を化学工業会の奨励リストに選定し，中国政府としても，アスファルト業界の発展を奨励する方針を明確に示した。

⑶　将来の改質アスファルトの展望

現在でも，確実に改質アスファルトの需要は増え続けているが，今後，高規格道路建設規模の拡大継続，高速道路・都市内道路・空港舗装・橋梁舗装等の舗装要求性能の高度化および多様化などから，改質アスファルトなどの高付加価値製品の需要は，益々，増加することが予想される。

また，高粘度改質アスファルト，カラー舗装用アスファルト，耐油舗装用アスファルト等の特殊アスファルトの需要も高まりつつあり，市場の技術革新および市場競争も，現在以上のペースで進むと考えられる。

5．あとがき

近年の中国では，高速道路建設，空港建設，および道路補修の需要が増え続けており，特に，2010年から国内の高速道路は，大規模な補修期に入り，道路補修用のアスファルトの需要も急速に増えている。これに対応して，中国のアスファルト業界も，大規模化，集中化へ高度発展段階に入っている。また，国産品の見直しや特殊アスファルトの優位性により，国内のアスファルトメーカーの市場シェアも急速に拡がっている。

今後も，道路建設規模の拡大と道路に対する要求性能の高度化が進むにつれ，重交通道路用アスファルトおよび改質アスファルト等の需要は増え続けて行くと考える。

【本報告に関する問い合わせ先】
大成ロテック㈱　事業本部
国際部長（中国担当）　中村 嘉則

―― 参考文献 ――

1）邢健，中国高速道路整備の現状と課題，高速道路と自動車，第55巻 第3号，2012年3月
2）FORWARD Report of Marketing Research and Investment Forecast Analysis on China Asphalt Industry，2011年版
3）中華人民共和国交通部，公路瀝青路面施工技術規範，2004年9月4日発布，P73～78
4）中華人民共和国交通部，公路瀝青路面施工技術規範，2004年9月4日発布，P8～15
5）君叡創智HP

ベトナム、カンボジアのアスファルト事情

(The asphalt situation in Vietnam and Cambodia)

阿　部　長　門*

2010年に名古屋で開催された国際アスファルト舗装会議（ISAP2010名古屋会議）のアジアセッションにおいて，「アジア地域の発展にとって社会基盤となる道路整備が不可欠であり，そのためには，舗装技術の普及と開発途上国への国際的な技術協力が期待されている。」ことが認識された。また，国内においては，我が国建設業の海外進出が今後ますます展開していく中で，現地の事情を踏まえて日本の舗装技術を活用することが求められている。以上の状況から㈳日本道路協会では，「ISAPアジアセッションフォローアップ調査委員会」を設置し，（一社）日本道路建設業協会の協力を受けて，ベトナムとカンボジアの現況調査を実施した。調査結果を通じての両国のアスファルトや乳剤に関する事情やアスファルト混合物の製造や道路の現況を報告する。

1．はじめに

ベトナムは産油国であるが，施設の老朽化などの関係で減産対策を取らなければならず，問題が山積している。このため，油田開発にVietnam National Oil and Gas Group（PetroVietnam）が傾注しており，製油所の拡大に関しては，株式売却による資産拡大によって製油所の整備を進める方向でいる。この中で，アスファルト製造設備は整備されず，現状通りタイ，シンガポール，マレーシアからの輸入が主体となっている。

同様に，カンボジアでは製油所もなく，石油製品は上記と同様にタイや他の東南アジア諸国からのアスファルトの輸入が主体となっている。

2．ベトナムのアスファルト事情

2.1　アスファルトの供給

ベトナムの使用アスファルトは，全国共通でストレートアスファルト60/70である。ベトナム中部に製油所が6年前に建設され，国内消費量30%近くのガソリン・軽油を生産しておりますが，アスファルトの生産設備がないため，ほぼ100%近くをシンガポールやタイより輸入している。

シェルベトナムでは，シンガポールで生産されたプレミックスタイプの改質アスファルトが輸入され，品質も世界基準の材料が出荷されている。適用場所として，改質アスファルトの値段が高いことから，空港施設である滑走路など限定したものになっている。しかし，道路においてもストレートアスファルトで施工された箇所でわだち掘れがひどい箇所では，検討委員会による審議を経て改質アスファルトの適用が承認されている。特殊アスファルト乳剤はベトナム国内では生産する技術がないため生産されていないが，一般的な防塵用や接着用乳剤やクラックシール材はシェルの子会社から販売されている。

従来は，ベトナム石油公団がアスファルトの輸入や配給などを調整していましたが，前商工省大臣が社長となって2012年1月から民営化（Petro Vietnam）された。しかし政府保有株の多い状態で，一気にガソリン・オイル販売市場がオープン化される計画がないため，アスファルトも独占状態が続くであろう。ズンクワット（Dung Quat）石油精製所は，ベトナムでのガソリンや軽油の使用量の1/3を精製し，残りを輸入している。現在の装置構成は，常圧蒸留装置，CCR（連続再生式接触改質装置），RFCC（残油流動接触分解装置），BTX Plant（アロマ製造装置）。子会社のPetrolimexがアスファルトの輸入や国内への供給を担っている。

*あべ　ながと　東亜道路工業株式会社　技術本部　技術部長

写真－１　Petrolimexによるアスファルトの運搬

図－１　ベトナム周辺の油田・ガス田および製油所の位置図

国内の第２製油所とも言うべきナイソン（Nghi Son）製油所が稼動を開始するのは2014年が予定[1)]されており，両製油所で国内消費量の約80％に対応出来るとしているが，精製能力不足は当面解消されそうにないため，まだまだ輸入が多いと思われる。このため，シェルベトナムが石油製品の輸入などを行うための現地法人を立ち上げたことは理解できる。

2.2　現状の舗装材料とリサイクル

⑴　路上再生路盤工法

ベトナム国内で以下の３社による試験施工が実施された。

①アメリカ，ホンブラザー（Hon Brother）
　アスファルト乳剤＋セメント
②ドイツ，ビルトゲン　フォームドアスファルト
③日本，酒井重工業　アスファルト乳剤＋セメント

試験施工の結果は，②のビルトゲン（フォームドアスファルト）が一番良く，次に①アメリカ　ホンブラザー（アスファルト乳剤＋セメント），③酒井重工業（アスファルト乳剤＋セメント）の順番で，混合以外に転圧方法の差が表れた結果である。

⑵　プラント再生工法

ベトナムではアスファルトプラントにおける再生骨材を取り入れたいが，資金不足のため技術導入が進んでいない。外資の民間企業主導により，リサイクル技術を取り入れようとしているBMT社（所在地：ロマン）があり，300t/h級のリサイクル施設（再生骨材の製造）の建設を計画している。

ベトナム国内の一部（北部・中部～南部）ではく離しやすい骨材もあるが，その他は骨材の材質は良い。クラッシング技術が低いため扁平が多い傾向にある。また河川沿いの細骨材および砂利の採掘場所は減っており，全体的に質が低下してきている。堤防道路では，**写真－２**に示すように大型車の通行が多く，上下線の車輪通過位置が重なるため，沈下を伴うクラックが進行している。舗装構造の強化のほかに，幅員の確保が望まれる。

写真－２　堤防道路の亀甲状破損
（上下の車輪通過位置）

2.3　アスファルトプラント

現地企業（COINCO703）のバッチャ式アスファルトプラントの視察を実施した。出荷能力は120t/h（２t/バッチ）で韓国製のアスファルトプラントである。紅河の河川敷にあり，丁寧に使用されているとは言いがたい。骨材種類は粗骨材３種類（20－10㎜，10－５㎜，

５－０㎜（SC））および細骨材１種類であった。

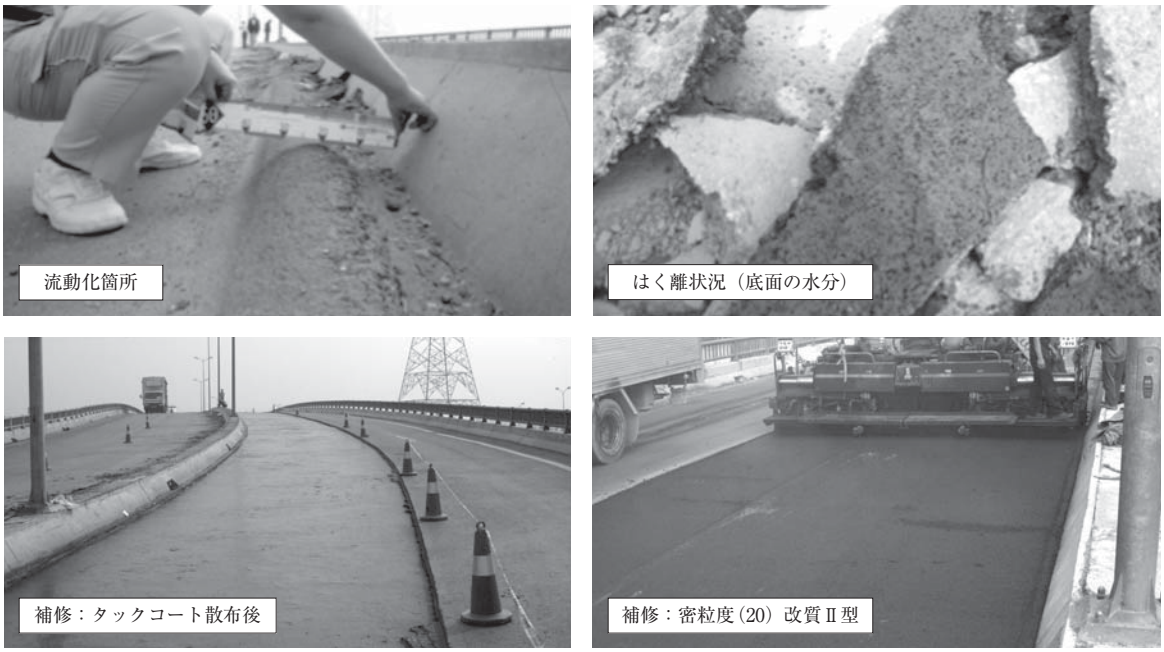
ストックヤードはなく，骨材は野積みされているため，**写真－３**のコールドビンのように粗骨材に細骨材が混じって供給されることがある。これが，アスファルト混合物の粒度のバラツキにつながっていると推測される。

2.4　PCコンクリート床版上の舗装打換え

環状３号線と国道１号線を結ぶインターチェンジ橋の舗装工事現場では，日本のODAにより建設され，舗装に流動化（わだち掘れ）やコンクリート床版の一部が露出している箇所も見られ，供用１年程度（2010年10月完成）で表基層の打換えとなった。既設舗装撤去後のコンクリート床版上にも残留水分が見られ，基層にはく離が見られ一部のアスファルト混合物は砂利化しており安定性が無い状態であった。建設当時のアスファルト混合物の粒度およびAs量も規格内にあったと報告されていることから，水の影響によりはく離が促進し，流動化が発生したと考えられる。その他，既設舗装の側面からも転圧が不十分であると思われる状態であった。

補修は，酒井重工業の切削機とバックホーによる撤去後に，床版上の清掃が行われ，塗膜防水を実施し，75㎜のポリマー改質アスファルトを添加した密粒度混合物（20）をキャタピラー三菱の６ｍ級のアスファルトフィニッシャを使って2011年12月22，23日で施工した。この様に舗設機械は，日本である程度使われたものが中古で輸出され，現地で使われていることが多い。

写真－３　アスファルト合材プラントの外観とコールドビンの状況



写真－４　PCコンクリート床版上の舗装の流動や剥離状況と３日後の改質アスファルトによる補修

3．カンボジアのアスファルト事情

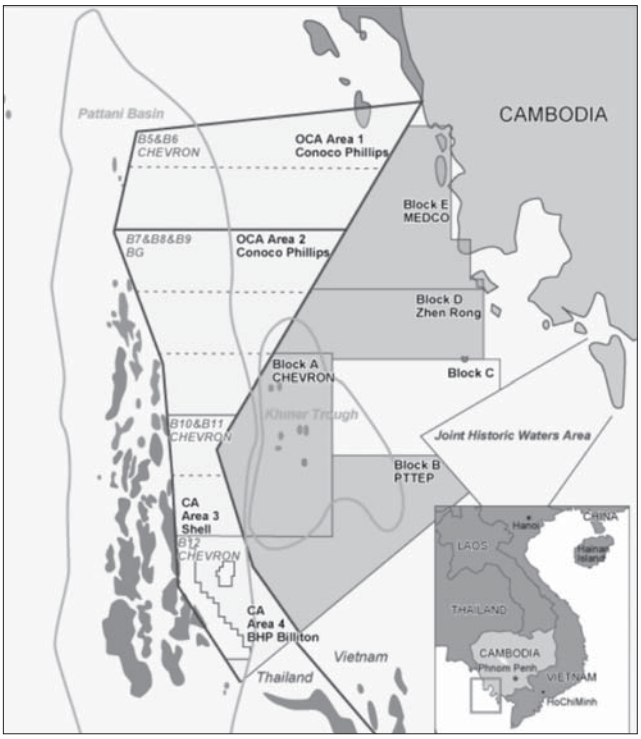
カンボジアは，内陸のトンレサップ湖の北側にガス田と油田が2002年に探査された。また，港湾地区のOCAサイト（**図－２**参照，青灰色ブロックがカンボジア主張領域）ではタイとベトナムとの領海未確定地区でガス田と油田が探査され，Chevron，三井等の外国企業との連携によって，2012年までに試掘井掘削から実質の運用開発が進む予定となっている[2)]。これによって，カンボジアが初めて産油国入りをする。

3.1　アスファルトの供給と道路整備

カンボジアの道路整備延長はコンクリート舗装50㎞，アスファルト舗装110㎞，TBST（３層タイプ）200㎞，DBST（２層タイプ）数千㎞で，DBSTによる表層がカンボジアの舗装の主流になっている。1994～1995年にオーストラリアよりDBSTが初めて導入され，建設コストおよび品質面からもカンボジアには最適とされている。これは，コンクリート舗装およびアスファルト舗装（加熱式アスファルト混合物）の初期建設コストが高いという問題のためである。その他，SBST（１層タイプ），マカダム舗装，ラテライト舗装（赤土）なども存在する。カンボジア国内の地盤は大部分がラテライトであり，一部の舗装ではラテライト（赤土）をセメント安定処理して路盤材として使用している。

今後は，国道５号アジアンハイウェイ（AH）を2015年までにアスファルト舗装化（AC混合物の使用）すること，および2020年までに４車線化することに取り組んでいる最中である（長大が設計中）。

カンボジアでは油田開発が進行中であるが，製油所の建設も各国からの支援で作る予定である。現在は**写真－５**のような備蓄タンク[3)]と輸送所の施設があるのみで，アスファルトも自国生産が出来ない状況のため，シンガポールやタイより100%輸入している。基本的にはアスファルト乳剤とDBST用バインダーとしてストアス80/100を使用している。加熱式アスファルト混合物のバインダーの針入度は60/70である。カンボジアは，DBSTが主流なのでプライムコートはCSS－１を使用し，タックコートはCRS－２が良く使われている。



図－２　カンボジア臨海部の油田・ガス田の位置図

写真－５　カンボジアのプノンペン港上流の石油備蓄基地

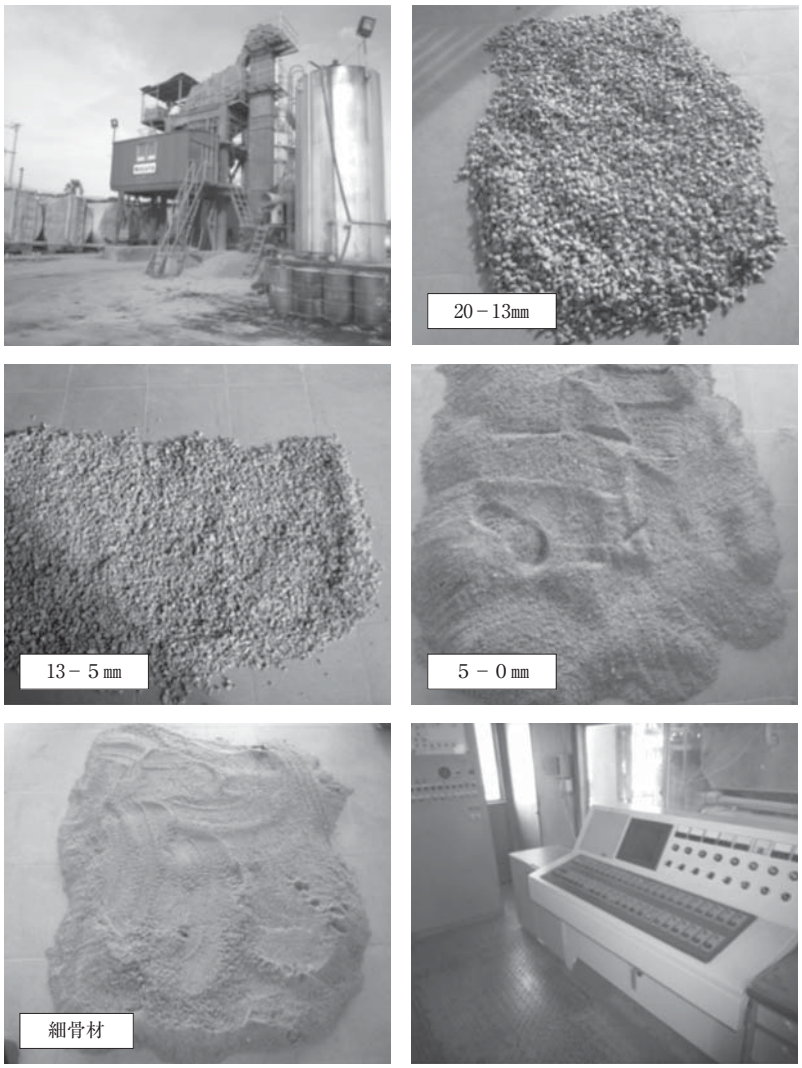
カンボジアは熱帯気候であり雨季と乾季があり，道路整備期間は乾季に行う必要があるが，最近の気候変動により雨季が長くなる傾向にあり，道路整備計画に大きな影響を与えている。カンボジアは多雨であり，**写真－６**のようにDBSTが剥離したり，舗装体内に水が侵入し路床，路盤から舗装が壊れる傾向にある（2011年秋の大洪水）。メンテナンスコストはアスファルト混合物（AC）よりも高くなる場合が多い。

3.2　アスファルトプラント

現地企業（TCM社，台湾とカンボジアとマレーシアの合弁企業）のバッチャ式アスファルトプラントの視察を実施した。出荷能力は60t/h（1 t/バッチ）で日本の新潟鐵工社製アスファルトプラントである。カンボジア国内にアスファルトプラントは8基しかなく，TCM社はそのうち2基保有している（**写真－7**）。

視察先プラントでの使用アスファルト種類はストアス60/70である。使用骨材はAPより45㎞離れたプノンペン市内からトラックを使用し運搬している。骨材種類は粗骨材3種類（20－13㎜，13－5㎜，5－0㎜（SC））および細骨材1種類（川砂）であった。目視観察から，**写真－7**のように粗骨材の形状や石質に問題は見られないが，細骨材には石英質やガラス質の含まれている砂が見られたが粗砂としては粒径が良さそうである。また，ベトナムと違って骨材のストックヤードもきれいで分級も確実に行われ，カンボジアのプラント構内は整理整頓がなされ，国民性の違いを見ているようである。

写真－6　カンボジアの国道61号線　DBST舗装の剥離と層厚

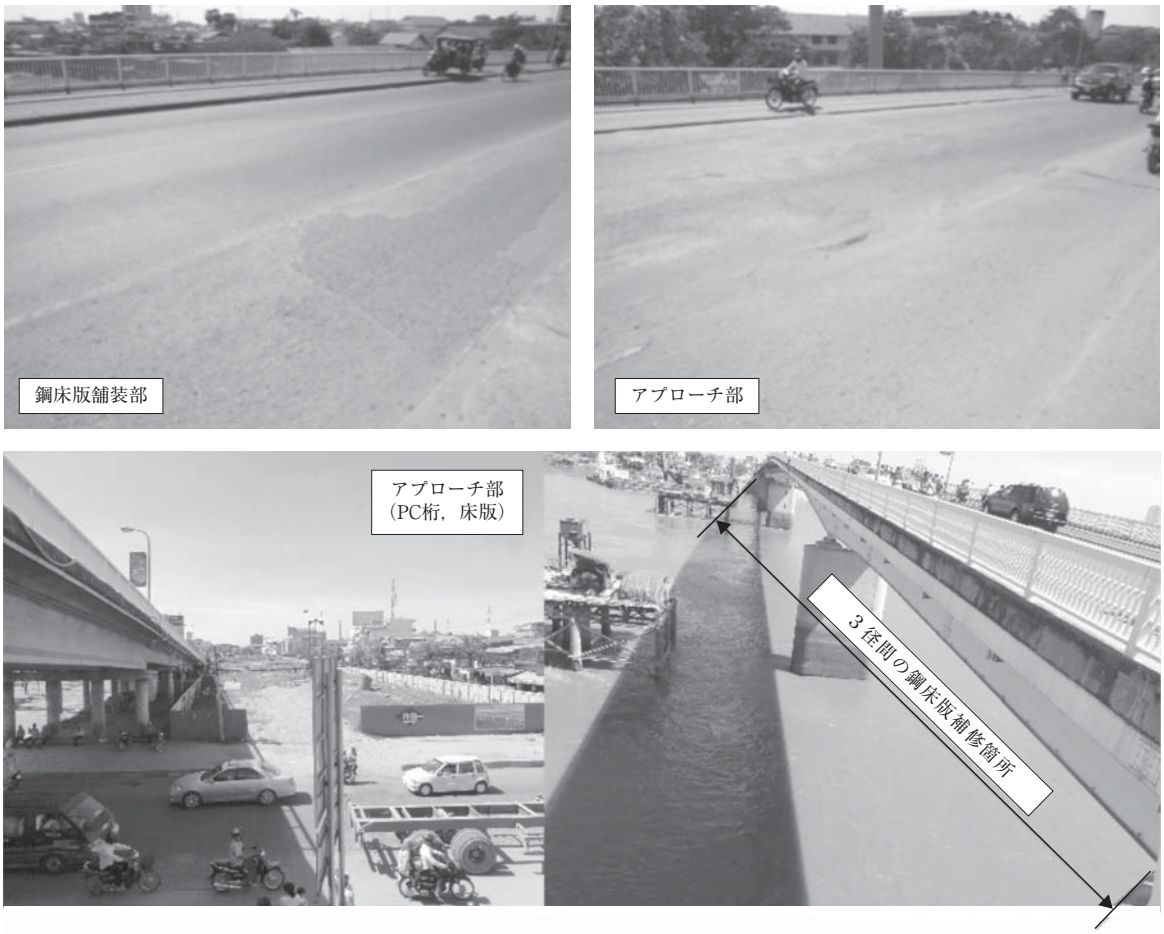


写真－7　カンボジアのアスファルト合材工場の外観と骨材の分級状況

3.3　チュロイチョンワー橋（Chruoy Chongvar Bridge）（カンボジア日本友好橋）

トンレサップ川にかかる全長約700mの橋で，通称「日本橋」。シアヌーク時代に日本企業（㈱トーメンと冨士車輌JVが1959年に落札し，1966年完成）が建設したものだが，1973年にクメール・ルージュ（クメール共和国時代の内戦）が爆破した。1994年，日本の援助によって中央3径間（鋼床版）が修復された。

1994年建設当時，日本国内で鋼床版上に橋面舗装された状態で現地へ搬送しクレーン架設により修復された（大林組・新日鐵JV）。1994年以降，表層は1回



写真－8　カンボジアの日本友好橋の外観と橋面舗装

打ち換えを実施しているようであるが，切削OLかOLの工種は不明である。アプローチのPC部はタイの建設会社により1964年に建設され，現在に至っている。アプローチ部の既設舗装の状態は悪く，流動化などやパッチングによる補修跡が多数見られた。隣では中国のLoanによって，新たに橋梁が建設され，本橋梁は4車線化される。

4．まとめ

東南アジアに属するベトナムとカンボジアのアスファルト及び道路事情は，日本の45年くらい前の状況である。そのような状況の中で，アジアンハイウェイのように幹線道路の建設が要望されており，「過積載」と「鋼床版上やコンクリート床版上の橋面舗装の早期破損」が課題としてあげられる。過積載対策として，軸重計の設置が検討されているが，未だ最終的な方向性が出されていない。

日本で古くから使われた技術は，高温多湿地域でも耐久性や健全度を確保するための実績のある製品や工法など数多く，技術支援や施工支援などの必要な地域であろう。

本報告は，ISAP2010国際会議のフォローアップ調査を実施したときの渡航時の内容で有り，中村俊行団長をはじめお世話になった方々に謝意を表します。

―― 参考文献 ――

1）一般財団法人　石油エネルギー技術センター：JPECレポート，2012.2
2）独立行政法人　石油天然ガス・金属鉱物資源機構：JOGMECレポート（調査部　坂本茂樹），2007.11
3）森木亮：カンボジアのクロスボーダー貨物輸送，一般財団法人　国際臨海開発研究センター，情報誌，No.75，pp.7-11，2007年

インドネシア・マレーシアのアスファルト舗装事情

(Status related to Asphalt Pavements in Indonesia and Malaysia)

神　谷　恵　三*

先述の「ベトナム・カンボジアのアスファルト事情」の紹介記事にもあるように，「ISAPアジアセッションフォローアップ調査委員会」において，インドネシアとマレーシアについても，現地調査の対象となった。

以下には，訪問した両国の道路整備の状況と共にアスファルト材料に関する事情をご報告することとしたい。本調査は，㈳日本道路建設業協会のご協力を受けて，平成23年12月18日から６日間にわたり両国の公共事業省と日系企業からヒアリングしたものである。

１．はじめに

インドネシアとマレーシアは，これまでに日本のODAをはじめとする諸外国ドナーからのインフラ融資が進められてきた経緯があるので，ベトナム・カンボジアとは道路の整備体制と舗装技術の様相が異なると思われる。例えば，既に建設された道路が維持管理の時代を迎えているので，費用対効果に優れる技術が切望されている。これは，２ヵ国への訪問に先立って実施した事前のアンケート調査から十分に知り得ることができた。アジアの中では道路の整備が比較的進んでいるとはいえ，未整備区間が依然として散在することから，新設区間での建設に加えて，とりわけ費用対効果に資する日本の舗装技術に関心が持たれている。

しかしながら，今回のISAPフォローアップ調査として，日本の舗装技術がどのようにして役立てられるかということを考えた時，両国における道路事業の契約方法を整理する必要があった。これは，諸外国との道路事業という契約はあっても，諸外国との舗装事業のみの契約は一般的ではないからである。

２．インドネシア

図－１は，インドネシア政府が定めている国家開発計画の６つの経済回廊であり，これの整備と発展を基本原則としている。中でも国内の主要都市であるジャカルタとスラバヤを有するジャワ島を優先して，有料道路の整備を進めており，引き続きスマトラ島への整備に着手する予定である。しかしながら，有料道路は各都市内に散在しているのが現況であり，道路整備に

図－１　国家開発計画の６経済回廊

*かみや　けいぞう　㈱高速道路総合技術研究所

必要な財源の確保が困難なために，ジャワ島内の都市間の整備でさえ依然として停滞している。

2010年12月現在，供用中の有料道路の延長は736㎞であり，その82％が国営企業であるJasa Margaにより管理されている。

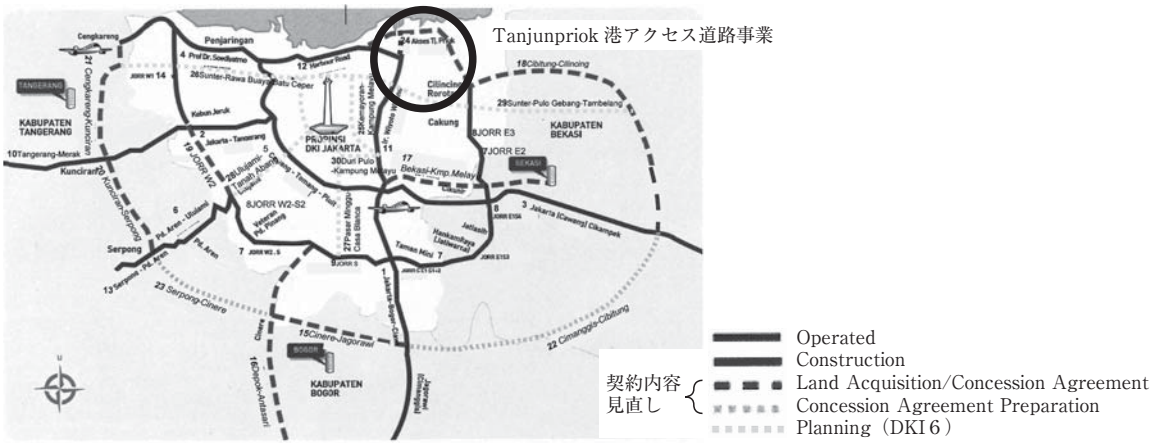
財源の確保を民間に委ねる方式は，20年以上も前からBOTとして採用されており，現在ではPPP（Public Private Partnership）方式に移行している。有料道路の管理は，国営企業の管轄区間とBOT民活区間により区分されているが，料金設定の方法が異なることや，維持管理水準が異なるといった大きな問題を呈している。これらは，今後のPPP整備を進めて行く上で政府の重要な課題となるであろう。

2.1　最近のODA道路案件

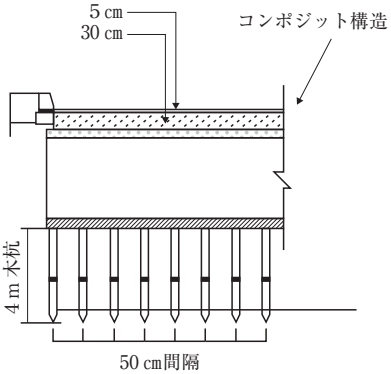
PPP方式が採用されている背景には，優良事業案件の減少に伴い，諸外国ドナーからの融資事業が大幅に減少してきたことが上げられる。しかし，最近になってインドネシア政府と日系企業がタイド契約できるというODAのSTEPローン道路事業が実施されている。それは，**図－２**に示すジャカルタ都市圏の北部に位置するTanjunpriok港アクセス道路事業である。

この港湾地域は，軟弱地盤処理が懸念されているが，公共事業省の発注図面（**図－３**）にはコンポジット舗装構造の下に４ｍの木杭を持ってその対策と考えている。日本ドナーのODA案件であるが，この設計の不十分さに誰も気づかないまま発注されてしまっている。**図－４**は，ジャカルタと空港を結ぶ軟弱地盤地域にて冠水が発生した際の写真である。この時はパイルの不十分な根入れ深さも指摘されており，軟弱盛土全体が徐々に沈下していたことが明白であった。結局，15m以上のパイルとRCスラブを打設した後，アスファルト舗装を構築するという大掛かりな補修を余儀なくされた。

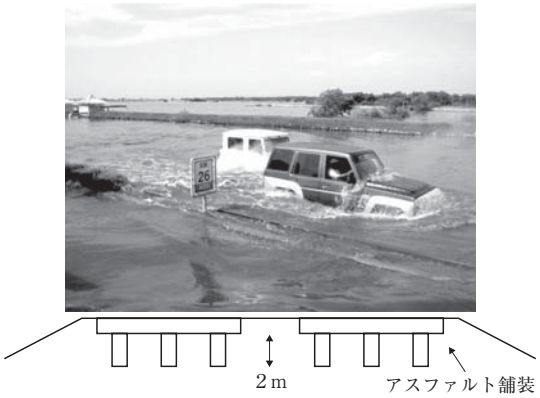
筆者は，JICA専門家として当時この案件に関わったが，過去の苦い経験が生かされていないことは残念である。ODA事業においては，舗装以前の道路設計にも十分な注意を払う必要のあることを痛感した。



図－２　ジャカルタ都市圏の有料道路整備状況



図－３　Tanjunpriok　アクセス道路舗装の設計



図－４　Chenkareng　空港道路の冠水（1999年12月）

2.2　路盤安定処理工法

公共事業省によると，路盤安定処理工法に大きな期待を寄せている。ドイツのWirtgen社が実施した路盤安定処理工法のセミナーが大好評であったとのことである。本工法は安価で効率よく施工ができるという利点から，今後の舗装改良事業での大規模な採用を想定している。

図－５～図－６，写真－１～写真－２はジャワ島北部の主要路線にて実施されている路盤安定処理工法である。以下に，施工の手順を示す。

①既設路面より既設アスファルト混合物層を含み30㎝の深さで切削・破砕し，発生材を現場に仮置きする。

②その後，所定量のセメントを散布した後，破砕混合し，セメント安定処理層（CTRB層）30㎝を施工する。

③さらに，仮置きした再生材を用いセメント・フォームドアスファルト安定処理層（CMRFB層）25㎝を施工する。

④最後に，12㎝の新規のアスファルト混合物層を舗設する。

下層部の粒状材料を有効利用すると共に，セメント・フォームドアスファルト材料により支持力を高めることにより，コンポジット的な舗装へ改良するという設計は，非常に合理的である。路床の設計CBRは3.0程度としているが，年平均日交通量40,000台／日，大型車混入率50%という条件では，**図－６**は概ね妥当ではないかと思われる。

2007年以降，この舗装断面を標準として，路上路盤再生工法による舗装改良工事が進められている。改良済み区間の路面状況は現在のところ，良好に保たれており，従来の補修工法に比べ，問題は少ないようである。一部区間では，４年程度経過した段階で次のオーバーレイ等の改良工事が必要な程度まで劣化の進行が見られているようである。

図－５　路上路盤再生（ジャワ島北部回廊）

Surface Course	5㎝
Binder Course	7㎝
Cement Foam Bitumen treated	25㎝
Cement treated Recycling	30㎝

図－６　北部回廊の位置：図の黒色の路線

写真－１　セメント・フォームドアスファルト安定処理層

写真－２　セメント・フォームドアスファルトの混合

日本の路上路盤再生工法は，施工条件が限られることが一般的であるので，既設材料の仮置きや２層にわたる再生まで実施できる機会は少ないように思われる。このような再生工法は日本の得意とする処であるので，例えばJICAスキームにより，古くなった日本の機材供与と技術指導を絡めることで実りのある貢献ができるのではないかと思われる。

2.3　アスファルト材料

自国の原油からアスファルトを精製することが，最近可能になったようである。しかしながら，そのシェアは未だ小さく，大半はシンガポールからの輸入に依存しているのが実態である。

改質アスファルトの使用実績も，若干はあるらしい。かつては日本がそうであったように，プレミックスよりもプラントミックスの需要の方が高いように思われる。ここにおいても，日本の技術力と経験は役立てられそうに思われる。先述した現場のような重交通区間の表層には，日本の材料が適してしているのではないだろうか。

3．マレーシア

図－7はマレーシアの高速道路ネットワーク（黒太線）を示している。インドネシアよりも遥かにネットワーク整備が進んでいるのは，整備がマレー半島のみである処が大きい。

マレーシア道路公社（MHA）は有料道路の建設・管理を担う組織として1980年に設立されたが，不況と財政難のため，1988年に南北高速道路がいち早く民営化された。これ以降の有料道路建設は民営化事業として推進されたため，MHAはコンセッション事業の知見がかなり豊富であるといえる。

現在MHAの業務は，計画協議，用地買収，基準仕様の作成のほかにコンセッション会社の事業内容の審査，設計図書の審査，工事の中間，完了検査等の監督官庁の役目を果たしている。MHAとコンセッション会社の契約期間は35年である。

図－7　高速道路ネットワーク（黒太線）

表－1は，主な高速道路とそのコンセッション会社名を示している。コンセッションは全てマレーシア国内企業であるので，外国企業の参入例は未だ皆無である。

新たな高速道路整備計画としては，クアラルンプールから北側の西海岸に沿った高速道路（南北高速道路の西側），クアラルンプールの外環道路等の建設計画がある。しかしながら，インフラ事業に関する日本のODAへの依存度が低いことを考えると，日本からマレーシアへの直接的な事業参入は困難であろう。

3.1　アスファルト材料

アスファルトの調達はシンガポールにあるシェルからが多いようである。政府の指導により，半ば強制的に国営石油会社（Petronas）のアスファルトを購入しているが，品質は良くないとのことである。

改質アスファルトは，外国から調達するプレミックスタイプとプラントで添加材を混入するプラントミックスタイプがある。

改質アスファルトの使用が増えてきているとのことであるが，コスト高となることから，まだ限定的な使用のようである。改質アスファルトの生産は，今回訪問したBlackTop社を含め，数社のみが行っているとのことであった。

写真－3～**写真－5**に，BlackTop社のアスファルトプラントを示す。**写真－4**は，オペレーターが1バッチごとに目視による管理を徹底している状況である。操作ボードの窓越しにトラック荷台が見えるので，着実なバッチ管理が行えるようである。

写真－5は，改質アスファルト混合物（Polymer Modified Asphalt）のコアである。抽出・回収試験装置も保有しているため，アスファルト量や粒度等，出荷に伴う基礎的な試験は自社で十分に行えるようである。また，排水性アスファルト混合物の出荷実績もあることから，公共事業省から優良アスファルトプ

表－1　主な高速道路とそのコンセッション会社

	名称	延長（km）	Concessionaries	状態
E1	南北高速道路（北ルート）	456+35	PLUS Expressway Berhad	供用中
E2	南北高速道路（南ルート）	315	PLUS Expressway Berhad	供用中
E3	シンガポール第2リンク	44	PLUS Expressway Berhad	供用中
E6	南北高速道路のリンク	60	PLUS Expressway Berhad	供用中
E8	東海岸への高速道路	60+338	MTD Prime Sdn Bhd	供用中
E36	ペナン橋高速道路	13.5	Penang Bridge Sdn Bhd	供用中

写真－３　優良アスファルトプラント会社（BlackTop）

写真－４　バッチの管理体制

写真－５　生産された改質アスファルトの分析

ラントとして高く評価されていることがうかがい知れる。

3.2　日系企業の活躍

実は，BlackTop社の高い技術力の背景には，20年以上前から現地法人化した日系企業SDN. BHD.（日本道路）の技術支援が大きく影響したそうである。

写真－６は，公共事業省にて基準化されている路上路盤再生工法であるが，これの技術開発にも当該日系企業がご支援されたそうである。

写真－７は，これまでに関連した舗装事業の一覧である。

このように，日本でも特殊とされている舗装技術が，既にマレーシアでは実施されていることが分かった。

本章の冒頭において日系企業の事業参入は困難であると述べたが，容易ではないものの現地法人化という手段もあることが判明した。

写真－６　路上路盤再生工法

連続鉄筋コンクリート舗装施工例（南北高速）

改質アスファルト施工例

グースアスファルト舗装施工例

路上表層再生工法施工例

ポーラスアスファルト舗装施工例（南北高速）

SMA 舗装施工例（南北高速）

写真－7　日本の現地法人が関連したプロジェクト

4．おわりに

今回のISAPフォローアップ調査にあたり，ご協力くださいました関係諸氏に厚くお礼申し上げます。特に，インドネシア公共事業省の池田専門家とマレーシア大使館の入谷書記官には，公共事業省その他の調整にご尽力くださいまして，有難うございました。

また，本調査にご同行くださいました国際建設業協会の岡村調査役，日本道路㈱の遠藤氏にも感謝の意を表します。

新石垣空港整備事業について

(New Ishigaki Airport Development Project)

砂　辺　秀　樹*・儀　間　　雅**

現石垣空港は，滑走路長が1,500mのため，暫定的に小型ジェット機での運用を行っている。

以前から拡張や新空港の計画があったが，ようやく新空港が完成目前というところまで来ている。今回は，新石垣空港のこれまでの経緯や事業概要及び滑走路，誘導路舗装の施工などについて紹介する。

1．はじめに

石垣島は，沖縄本島の南西約470㎞の東シナ海に位置し，面積は約220㎢で県内では沖縄本島，西表島に次ぐ３番目に大きな島であり，八重山圏域（石垣市，竹富町，与那国町）の政治，経済，教育，交通の中心地となっている。

現在の石垣空港は，那覇，宮古，与那国間の県内路線の他，東京，大阪，名古屋，福岡の本土路線や台湾から不定期チャーターの国際路線運航があるなど，八重山圏域の基幹空港である。

平成22年度の利用実績では，乗降客数165万人で，全国の地方管理空港の中で神戸空港についで２位，取扱貨物量（17,859t）と着陸回数（11,529回）では１位と非常に利用度の高い空港である。しかしながら，現在の石垣空港は，滑走路が1,500mのままジェット化されているため，一部の路線では重量制限等を行って運航しており，非効率的な航空輸送だけでなく，利便性においても不便を来たし，農林水産業及び観光産業の発展に障害となっている。

また，現空港の周辺は市街化が進み，航空機騒音問題が及ぼす住環境や教育環境への悪影響が重大な問題となっている。これらの課題を解消するとともに，今後とも増大が見込まれる航空需要に対し，八重山圏域の振

図－１　石垣島と新石垣空港の位置

表－１　現空港と新空港との比較

項　目	現石垣空港	新石垣空港
空港面積	約46ha	約142ha
滑走路長	1,500m	2,000m
平行誘導路	なし	設置
就航可能な航空機	小型ジェット機	中型ジェット機
着陸方式	非精密進入（ILS無し）	精密進入（ILS有り）
貨物輸送	コンテナ不可	コンテナ可
本土への運航（直行便）	一部重量制限により宮古，那覇で給油	直行可能
航空機騒音の影響	大（市街地に隣接）	小（住宅が少ない）
駐車台数	387台	約500台
中心市街地からの距離	約３㎞	約14㎞

※ILS（Instrument Landing System）：計器着陸装置

*すなべ　ひでき　沖縄県　土木建築部　新石垣空港建設事務所　建設班　主任技師
**ぎま　ひとし　沖縄県　土木建築部　新石垣空港建設事務所　建設班　主任技師

興発展を図るため，中型ジェット機が就航可能な2,000m滑走路を有する新空港の早期開港が望まれている。

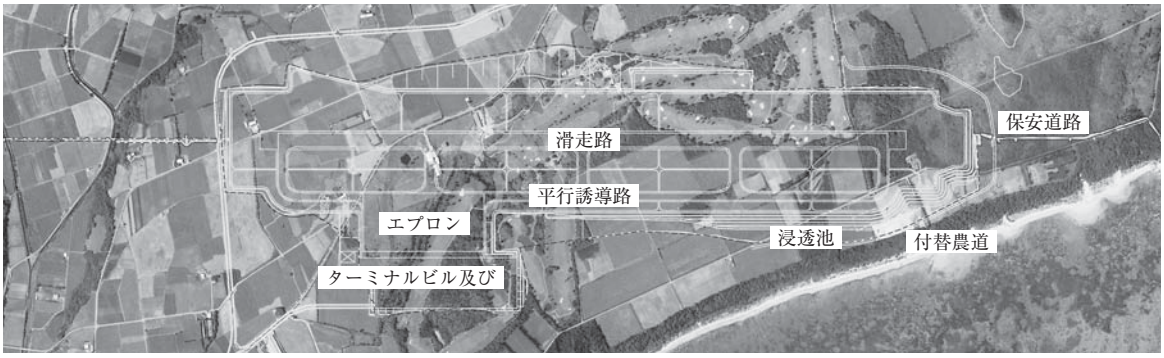
建設位置選定にあたっては，紆余曲折もあったが，平成17年12月に現建設位置に飛行場設置及び航空灯火の設置許可を受け平成18年10月に試験盛土工事等を実施，平成19年度より本格的な用地造成工事に着手した。

2．新石垣空港の事業内容

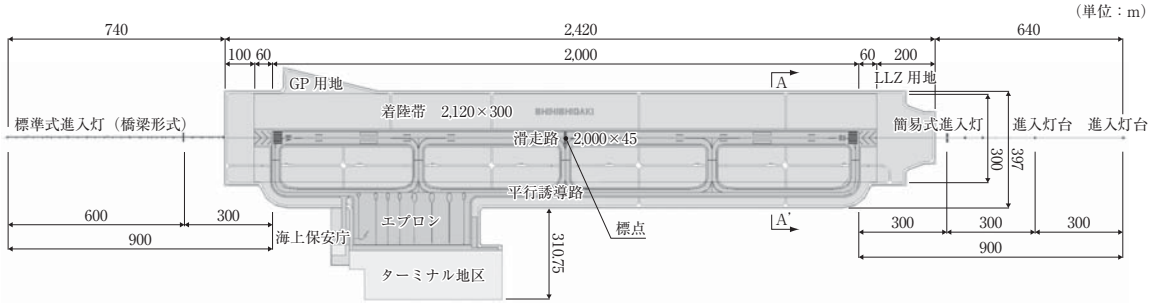
整備計画の概要を**表－2**に，工事着手前の事業地周辺の状況を**写真－1**に，整備計画平面図を**図－2**に，用地造成の標準断面図を**図－3**に示す。用地造成は全体で約650万㎥の切盛を行う計画となっており，事業地の中で土工量のバランスをとる計画となっている。

表－2　整備計画の概要

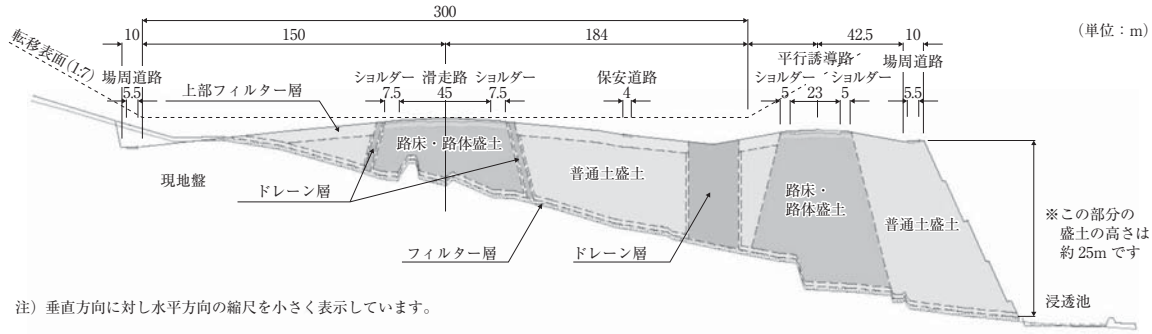
空港名	新石垣空港	施設内容	着陸帯：L = 2,120m，W = 300m 滑走路：L = 2,000m，W = 45m 誘導路：L = 2,318m，W = 23～30m エプロン：S = 75,145㎡ 航空保安無線施設：ILS，VOR/DME　他	駐機バース数：中型ジェット機用（B767等）3バース 小型ジェット機用（B737等）4バース プロペラ機用（DHC-8等）1バース 航空灯火施設：標準式進入灯，簡易式進入灯　他
空港種別	地方管理空港			
設置管理者	沖縄県			
標点の標高	31.0m			
総事業費	約451億円			



写真－1　事業地周辺状況（工事着手前）と整備計画ライン



図－2　整備計画平面図



図－3　用地造成標準断面図（盛土部）

平成24年９月末時点で，造成工事，滑走路・誘導路・エプロン舗装工事，進入灯橋梁工事，航空灯火工事等が完成している。また，環境保全対策として，赤土等流出防止対策をはじめ，小型コウモリ類，貴重動植物等の保全対策を行っている。

３．滑走路・誘導路のアスファルト舗装について

滑走路・誘導路の舗装構成については，切土と盛土，断面中央と端部の違いで各層の厚さを変えているが，代表的な舗装構成を**図－４**に示す。

3.1　施工に向けた課題

滑走路・誘導路などの基本施設のアスファルト舗装の施工に際しては以下の課題があった。

⑴　滑走路・誘導路におけるアスファルト舗装面積約21万㎡に対する石垣島内のアスファルトプラント（全４工場）は出荷に対応できるのか？

⑵　島内のプラント施設の都合上，改質アスファルトが使用できないため，配合設計も含め，どのように品質を確保をするのか？

⑶　舗装後の関連工事（灯火・グルービング・標識等）の施工を踏まえ，工程に制約がある中，施工業者は対応できるのか？特に滑走路については，グルービング前に舗装の養生期間を２ヶ月以上確保する必要があるため，更に制約があった。

⑷　主要骨材の確保は島内の鉱山生産分だけで対応できるのか？

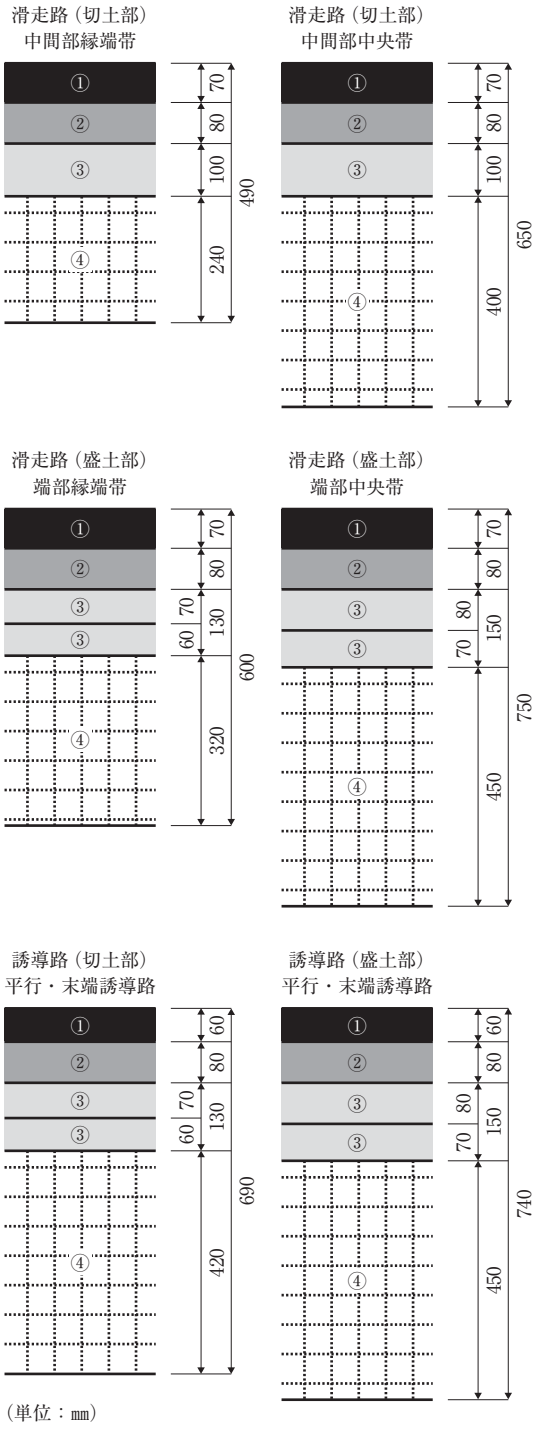
⑸　施工機械は通常の道路工事で使用するもので対応できるのか？また，台数の確保は？

など，様々な課題があったが，石垣地区アスファルト事業協同組合との事前協議や工事発注後に舗装関係工事の全業者と監督員による工程会議を毎週実施し，課題を解決していった。

3.2　施工に際しての工夫とその効果

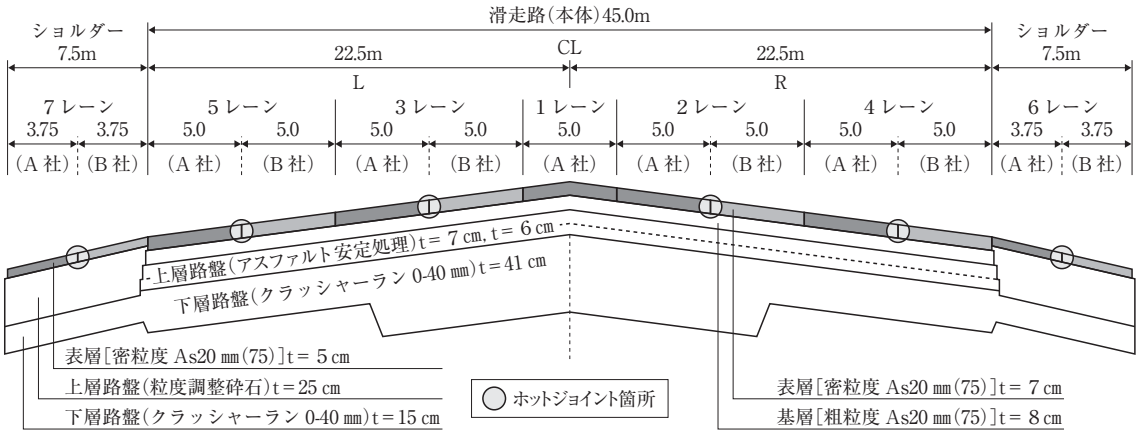
⑴　舗設のレーン割りについて

舗設のレーン割りについては，航空機の走行性を考慮して，１日当たりの施工延長を滑走路縦断方向にできるだけ長くするように施工を行い，横方向の継目ができるだけ少なくなるようにした。また，**図－５**に示すように滑走路中心部は，１レーン（幅5.0m）で施工を行い，以降のレーンについては２つ分のレーンをホットジョイントで施工することで１つのレーンとし，縦方向の継目を少なくするようにした。



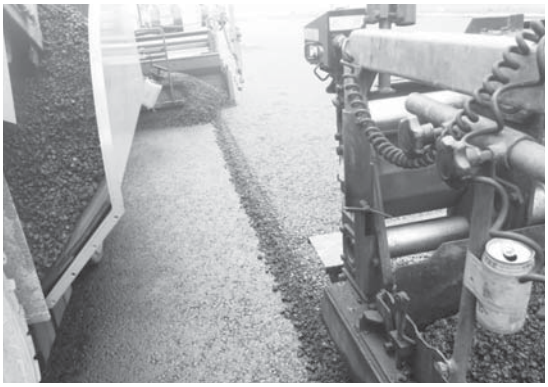
①表層　　：密粒度アスコン　20㎜（75）
②基層　　：粗粒度アスコン　20㎜（75）
③上層路盤：アスファルト安定処理　25㎜（75）
④下層路盤：クラッシャーラン　0-40㎜

図－４　代表的な舗装構成



図－5　滑走路における表層の舗設レーン割図（盛土部）

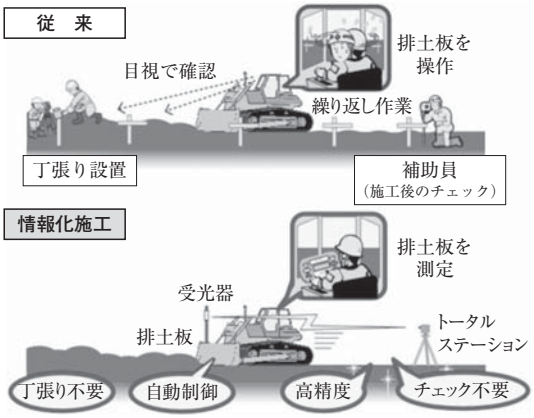
写真－2　ホットジョイントによる舗設状況（その1）



写真－3　ホットジョイントによる舗設状況（その2）

(2)　情報化施工の導入

滑走路・誘導路舗装の施工に情報通信技術（ICT）を活用した情報化施工を導入した。具体的にはトータルステーション（TS）を用いたマシンコントロールによって，路盤材の敷均し（使用重機：モーターグレーダ）とアスファルト合材の舗設（使用重機：アスファルトフィニッシャ）の施工を行った。また，トータルステーションを用いて，ワンマン測量を実施し，丁張作業の効率化や各舗装面の基準高管理を行った。



図－6　従来施工と情報化施工の比較(国交省HPより)

写真－4　モーターグレーダのマシンコントロールによる路盤の施工状況

写真－５　アスファルトフィニッシャのマシンコントロールによる舗設状況

⑶　情報化施工の効果

今回導入したトータルステーションを用いたマシンコントロール等による効果について，**表－３**に滑走路・誘導路舗装（ショルダー・オーバーランを除く）の出来形管理の結果（関連項目のみ）を示す。

「厚さ」については，平均値を見る限り，出来高を満たすため，プラス側（若干厚め）での施工が行われており，その結果が確認出来る。

「平たん性」については，ほぼ基準値の半分以下の結果であり，情報化施工を導入した効果が確認出来た。

また，各施工業者が導入の効果として強調していたのは，「施工の効率化」が挙げられる。丁張り作業が省略される分，準備工の時間が短縮されるほか，施工の中止・再開が容易になるなどの効果があった。

４．舗装の品質管理について

今回の新空港整備に伴う舗装の品質管理については，他空港ではあまり事例の少ない，新設舗装に対するFWD調査を実施した。

通常，FWD調査は，供用後の施設について，その健全度を確認する目的として実施しているが，本事業では測定した「たわみ値」を初期値として，供用後の維持管理（補修にあたっての評価）に反映させる目的で実施することとした。

図－７に調査位置図を示す。なお，データユニットサイズは，アスファルト舗装で幅14m×長さ45m，コンクリート舗装部で幅14m×長さ30mに設定し，調査を行った。

また，**図－８～11**に滑走路・誘導路のアスファルト舗装の調査結果（たわみ比）を示す。

まず，調査については，解析に際し，舗装体の温度の影響が懸念されることから，舗装表面と内部の温度

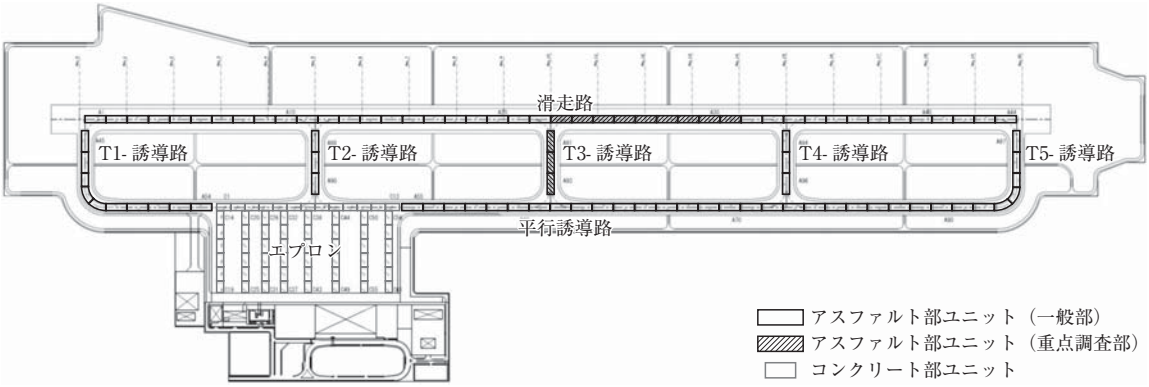
表－３　滑走路・誘導路の出来形管理結果

種　別		管理項目	単位	許容範囲	データ			
					個数	最大	最小	平均
滑走路（本体）	上層路盤（As安定処理）	厚さ	cm	−0.4以上	51	2.0	−0.1	1.5
	基層（粗粒As20㎜）	厚さ	cm	−0.4以上	42	0.7	0.0	0.3
	表層（密粒As20㎜）	厚さ	cm	−0.3以上	27	1.2	0.0	0.4
		平坦性	cm	0.24以下	92	0.19	0.07	0.11
平行誘導路（本体）	上層路盤（As安定処理）	厚さ	cm	−0.4以上	191	13.0	−0.2	0.7
	基層（粗粒As20㎜）	厚さ	cm	−0.4以上	125	1.4	−0.3	0.4
	表層（密粒As20㎜）	厚さ	cm	−0.3以上	80	1.7	−0.1	0.9
		平坦性	cm	0.24以下	20	0.13	0.08	0.10
取付誘導路（本体）	上層路盤（As安定処理）	厚さ	cm	−0.4以上	90	1.7	0.0	0.5
	基層（粗粒As20㎜）	厚さ	cm	−0.4以上	9	1.3	0.1	0.6
	表層（密粒As20㎜）	厚さ	cm	−0.3以上	45	2.3	−0.3	0.8
		平坦性	cm	0.24以下	31	0.18	0.10	0.14

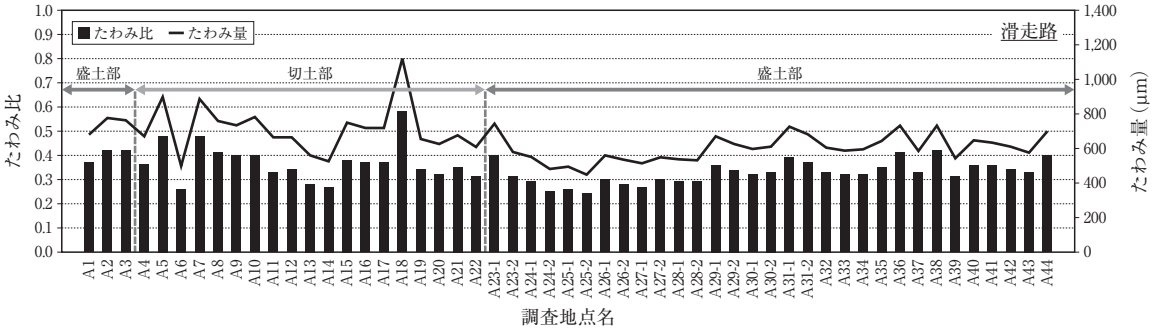
※ ショルダー・オーバーランは除く
※ 平たん性については３ｍプロフィルメータにより測定

写真－６　滑走路（表層）の施工完了

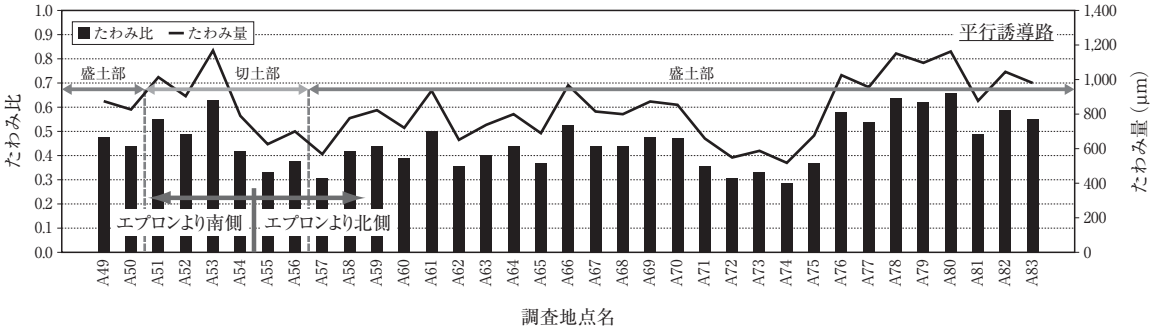
写真－７　FWD調査状況



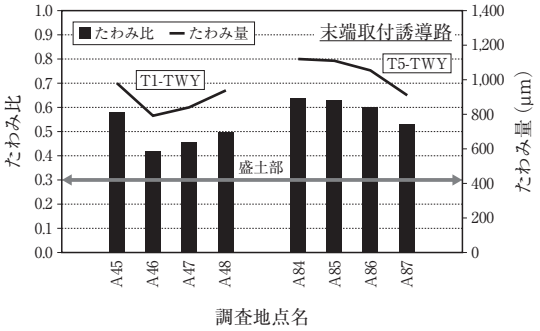
図－７　FWD調査におけるユニット配置と調査箇所



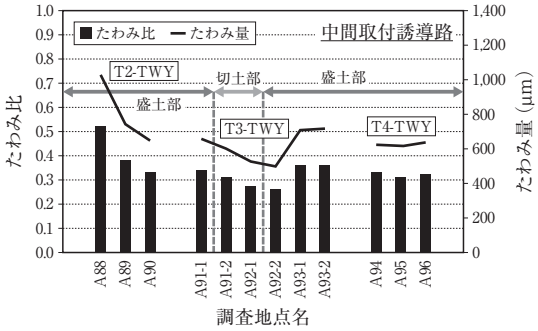
図－８　FWD調査結果（滑走路）



図－９　FWD調査結果（平行誘導路）



図－10　FWD調査結果（取付誘導路１・５）



図－11　FWD調査結果（取付誘導路２・３・４）

差が少なくなる夜間に行うこととした。

また，舗装構造評価は，たわみ比による評価により行った。

「空港舗装補修要領及び設計例」（国交省航空局・国土技術政策総合研究所監修）によれば，「たわみ比が1.0以上」となった場合は，舗装の構造に問題有りとしている。

図－8～11より，全ての調査地点（108点）において，たわみ比は1.0以下であり，舗装構造として健全であることが確認できた。

今回の調査結果を初期値として，供用後も継続的な調査を行い，舗装の劣化指標に反映させていきたい。

5．おわりに

今回は，施工の最終段階である「舗装」をメインとして事業紹介を行った。

その中でもアスファルト舗装については，情報化施工を導入し，出来形の精度向上へ反映させることができた。また，FWD調査を実施し，供用後も含めた品質管理に反映させることができた。

概要的な紹介であったが，この内容が舗装に携わる技術者各位の今後の参考になれば幸いである。

新石垣空港整備事業は，その位置選定で紆余曲折し，事業着手から完成までに30年近くの年月を費やしていることから，地域振興や発展を望む八重山郡民にとっては悲願の事業である。

平成24年8月末時点で滑走路，誘導路，エプロン，着陸帯，場周・保安道路，航空灯火等の本体施設の施工は完了し，現在はターミナルビル等の建築関係や道路・駐車場の施工を進めている。

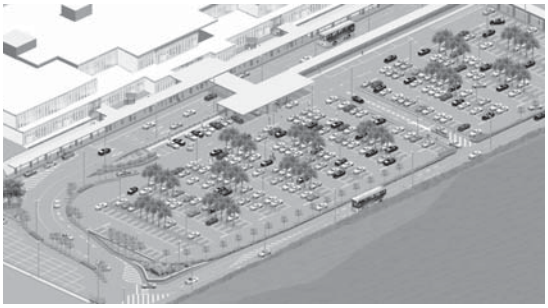
また，供用開始に向けた最終段階として，9月の土木工事完成検査（一部は11月末にも実施）を皮切りに10月に航空灯火完成検査，10～11月に飛行検査が予定されており，関係者一同，鋭意その対応を行っているところである。

最後に，新石垣空港は平成25年3月7日に開港を予定している。機会があれば是非，新空港を利用してもらい，八重山圏域の観光振興に貢献して頂きたい。その際には舗装の出来映えにも着目して頂ければ幸いである。

6．参考

ここで，この紙面を借りて新空港の愛称とマスコットキャラクターについて，ご紹介させて頂く。

図－12　ターミナルビルのイメージパース



図－13　道路駐車場のイメージパース

写真－8　事業地最新状況（撮影：H24.10.3）

◆空港愛称：

「南ぬ島（ぱいぬしま）
石垣空港」

◆マスコットキャラクター：

ぱいーぐる

南ぬ島の「ぱい」と国の天然記念物であるカンムリワシから，鷲の英訳である「イーグル」を掛け合わせたもの

共同実験における遮熱性舗装の供用性について

(The Performance of Solar Heat-blocking Pavement in the Joint Experimental Trials)

東京都 建設局 道路管理部 保全課，東京都 土木技術支援・人材育成センター，調査研究会

東京都では，平成19年に「低騒音舗装の機能を損なわない遮熱性舗装に係わる技術」を公募し，遮熱性舗装の共同実験が行われた。その結果，遮熱性舗装の路面温度上昇抑制効果は，密粒度舗装に対し供用４年で約6.8℃の路面温度上昇抑制効果があることが分かり，環境対策型舗装としての機能の持続性が確認された。共同実験により遮熱性舗装の供用性の確認を行い，東京都では平成20年度から本格施工を開始している。

本報では，平成19年から実施された初期型（平成19年の時点では各社最新の技術）の遮熱性舗装の共同実験から得られた調査結果について報告する。

１．はじめに

平成19年に東京都は，「低騒音舗装の機能を損なわない遮熱性舗装に係わる技術」を公募し，18社19技術が参加して共同実験が行われた。共同実験では，すべり抵抗性や浸透水量などの路面性状と遮熱性舗装で最も重要な性能である路面温度上昇抑制効果の持続性を確認するため，温度関係の調査を実施し，東京都では共同実験により得られた結果を受けて平成20年度から遮熱性舗装の本格施工を開始している。

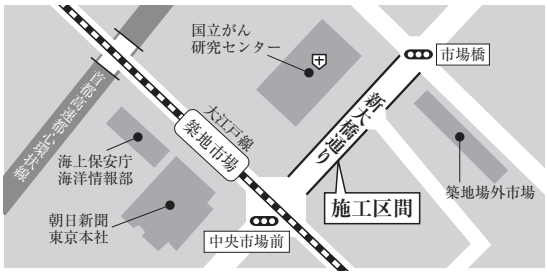
本報では，平成19年から平成23年までに共同実験で実施した追跡調査結果をとりまとめたものについて報告する。

２．共同実験の概要

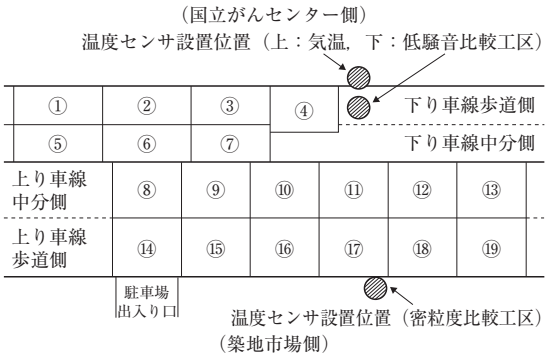
共同実験の概要を**表－１**に示す。共同実験では，**図－２**に示すとおり計19工区に分割し，既設の低騒音舗装の上に，主にMMA樹脂を用いた遮熱塗料を用いて各社の技術で施工を行った。その後，遮熱性舗装の路面温度上昇抑制効果の持続性を把握することを目的に，平成19年から平成23年まで毎年夏期の路面温度測定，および供用による路面性状の変化を把握するために供用５ヶ月後，15ヶ月後，28ヶ月後，52ヶ月後および57ヶ月後に各種追跡調査を実施した。

表－１　共同実験の概要

工事名	低騒音舗装の機能を損なわない 遮熱性舗装に係わる技術共同実験
工種	遮熱性舗装
路線名	（主）東京市川線（第50号）新大橋通り （**図－１**）
既設舗装の種類	低騒音舗装（平成17年度施工）
施工時期	平成19年５月８日～６月17日
調査期間	平成19年～平成23年
施工参加会社数	18社（19技術）



図－１　施工区間位置図



図－２　工区割図および比較舗装の温度センサ設置位置図

3．追跡調査項目および内容

追跡調査項目を**表－2**に示す。ここで，路面騒音測定は**写真－1**に示すように，騒音測定用マイクを乗用車の後輪のタイヤ付近に設置したもので測定を行った。

また，路面温度測定では，工区ごとに交通車両の走行頻度が少ない区画線位置に埋設した温度センサ（舗装表面下10㎜）により，15分ごとに連続測定を行った。なお，比較舗装の低騒音舗装の路面温度は4工区付近の遮熱性塗料未塗装の低騒音舗装部，密粒度舗装の路面温度は17工区脇の密粒度舗装部に埋設した温度センサで15分ごとに連続測定を行った。

写真－1　簡易騒音測定車

4．追跡調査結果

路面性状に関する各試験項目の結果で，調査時期ごとの全工区での測定結果の平均値を**表－3**に，温度センサによる路面温度測定で，調査時期ごとに各工区で密粒度舗装および低騒音舗装に対しての路面温度上昇抑制効果を計算し，全工区での平均値を計算した結果を**表－4**に示す。

以下に，調査項目ごとに考察を示す。

4.1　路面騒音測定試験結果

簡易騒音測定車で測定した路面騒音値と，調査対象の舗装の最大粒径，および経過月数を説明変数とし，重回帰式よりRAC車による特殊タイヤ音の推定値を求めた結果を**表－5**に示す[2)]。

表－2　調査項目

調査項目		試験方法	調査時期	測定位置
路面性状	路面騒音値	簡易騒音測定車	施工前後，5ヶ月，15ヶ月	各車線
	すべり抵抗性	舗装調査・試験法便覧S021－2 （振り子式スキッドレジスタンステスタ）	施工前後，5ヶ月，15ヶ月，28ヶ月，52ヶ月	外側わだち部
	わだち掘れ量	舗装調査・試験法便覧S030 （横断プロフィルメータ）	施工前後，5ヶ月，15ヶ月，28ヶ月，52ヶ月	各工区，横断方向に3測線
	浸透水量	舗装調査・試験法便覧S025	施工前後，5ヶ月，15ヶ月，28ヶ月，52ヶ月	外側わだち部
	明度	色彩色差計	施工前後，5ヶ月，15ヶ月，28ヶ月，52ヶ月	非わだち部
	摩耗・はがれ率	スケッチ法	施工前後，5ヶ月，15ヶ月，28ヶ月，52ヶ月	わだち部，非わだち部
	はがれ面積率	はがれ面積率測定[1)]	57ヶ月	非わだち部からコアを採取
	路面温度上昇抑制効果	室内照射試験	施工後，15ヶ月，57ヶ月	非わだち部からコアを採取
路面温度測定		舗装に埋設した温度センサにより 路面温度の測定	平成19年～23年の毎年夏期	各工区

表－3　路面性状調査結果一覧

調査項目		施工前	施工直後	5ヶ月後	15ヶ月後	28ヶ月後	52ヶ月後	57ヶ月後
路面騒音測定試験（dB）		89.5(0.9)	89.1(0.8)	－	90.4(0.7)	－	－	－
すべり抵抗測定試験（BPN）		62(6.8)	71(9.6)	62(8.0)	59(6.7)	54(5.3)	54(5.4)	－
わだち掘れ量測定試験（㎜）		3.9(1.6)	3.7(1.7)	3.9(1.4)	3.9(1.7)	3.9(1.8)	4.1(1.4)	－
現場透水量測定試験（ml/15s）		793(308)	762(343)	662(340)	583(368)	465(372)	353(319)	－
明度測定試験（L*）		－	39.5(1.1)	37.9(1.7)	38.4(1.8)	37.2(2.0)	38.5(2.5)	－
摩耗・はがれ率測定試験（%）	わだち部	－	－	0.6(1.5)	3.1(4.1)	7.4(8.8)	13.9(16.2)	－
	非わだち部	－	－	0.8(2.8)	1.6(2.4)	5.1(6.6)	11.2(14.1)	－
室内照射試験*（℃）		－	11.4(1.8)	－	8.2(1.1)	－	－	3.9(1.5)
はがれ面積率測定試験（%）		－	－	－	－	－	－	23.2(17.9)

*低騒音舗装に対する路面温度上昇抑制効果，( ) 内は標準偏差

表－４　温度センサによる路面温度抑制結果

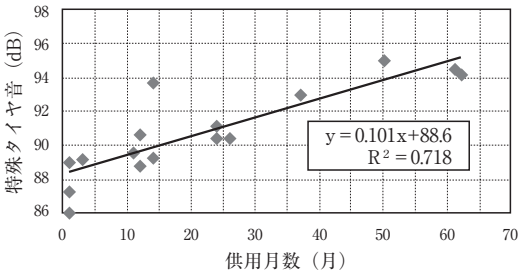
調査項目		平成19年	平成20年	平成21年	平成22年	平成23年
温度センサによる温度測定**（℃）	対密粒度	8.3（1.4）	5.9（1.1）	5.1（1.1）	6.3（1.5）	6.8（1.4）
	対低騒音	5.8（1.4）	3.7（1.0）	2.2（1.2）	3.7（1.5）	3.0（1.4）

**密粒度舗装および，低騒音舗装に対する路面温度上昇抑制効果
（ ）内は標準偏差

表－５　特殊タイヤ音の推定結果

項目	単位	施工前	施工直後	15ヶ月後
路面騒音測定値	dB	89.5	89.1	90.4
特殊タイヤ音推定値		89.7	89.5	90.2

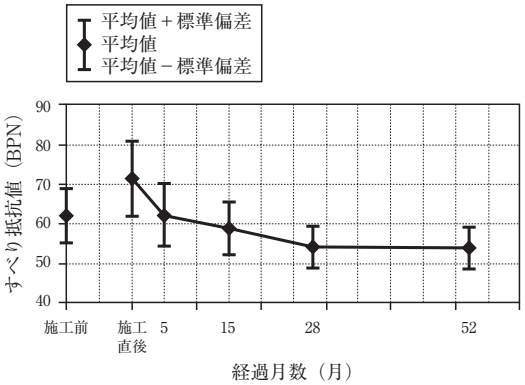
RAC車による騒音測定では，特殊タイヤ音と低騒音舗装の供用月数には**図－３**に示す関係[3]があり，15ヶ月供用した場合，路面騒音は1.5dB高くなる傾向を示している。一方，試験施工区間の供用15ヶ月後の特殊タイヤ音の推定値は，施工前に比べ0.5dB，施工直後に比べ0.7dB高くなっており，**図－３**に示す関係式で求めた平均的な換算値よりは，若干ではあるが騒音の増加は低く抑えられていることが確認された。



図－３　低騒音舗装の特殊タイヤ音の経時変化

4.2　すべり抵抗性測定試験結果

調査時期ごとに，全工区の測定したすべり抵抗値の平均値を算出し，経時変化を求めた結果を**図－４**に示す。すべり抵抗値（BPN）は，施工直後ではほとんどの工区で施工時の目標値である60を満足し，60以下となった工区は19工区中２個の工区のみであった。しかし，52ヶ月後では17個の工区が60以下となっており，平均値でも施工直後の71から供用52ヶ月後で54に低下していた。また，工区別ですべり抵抗値を比較すると多少バラツキが見られ，供用52ヶ月後で目標値を満足する工区は２個の工区だけであった。施工直後においてBPNが60を満足しなかった要因としては，



図－４　すべり抵抗値（BPN）の経時変化

以下の２点が考えられる。

①耐久性を考慮して遮熱材料の塗布量を多くしたため，すべり止め骨材が埋没した。

②１層目の遮熱材料の塗布ムラを補正するために２層目の塗布量が増加し，すべり止め骨材が埋もれた。

一方，供用中のすべり抵抗値の低下要因としては，以下の２点が考えられる。

①車両の走行などにより，すべり止め骨材が遮熱材料の塗膜から飛散，剥奪した。

②すべり止め骨材が摩耗した。

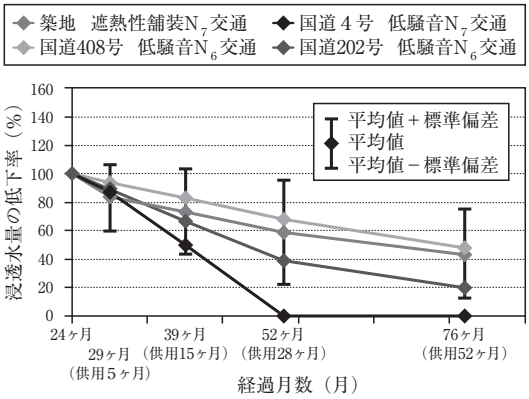
また，供用52ヶ月後のBPNはほとんどの工区で60以下となったが，早急に補修を実施するレベルではないと考えられる。**図－４**に示すように，供用５ヶ月後からのBPNの低下率が小さくなってきているため，今後のすべり抵抗値の低下は少ないものと考えられる。

4.3　現場透水量測定試験結果

調査対象の遮熱性舗装の浸透水量（調査時期ごとの全工区平均値）の経時変化を**図－５**に示す。ここでは，施工前の低騒音舗装（供用24ヶ月経過）の浸透水量を100%として，浸透水量の低下率として表している。なお，**図－５**には比較として，一般的な低騒音舗装の浸透水量の経時変化も合わせて示した[4,5,6]。

浸透水量は工区別で見ると非常にバラツキが大きくなっている。これは，施工前の路面状況が大きく影響しているものと考えられる。また，供用52ヶ月後で低下率が80%を上回っている工区が３個あったが，平均値で見ると供用52ヶ月後が44%となり，低下傾向にあった。

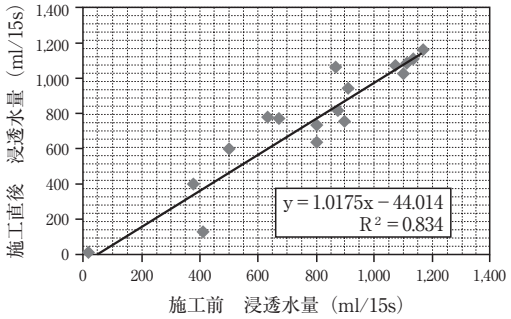
しかしながら，**図－５**に示すとおり低騒音舗装の浸透水量の低下率は，交通量，混合物の種類，施工場所



図－５　遮熱性舗装と低騒音舗装の浸透水量の低下率

によりバラツキはあるが，遮熱性舗装の浸透水量の経年変化は通常の低騒音舗装と同レベルで推移しているため，遮熱性舗装が供用後の浸透水量の低下率には影響を与えていないといえる。

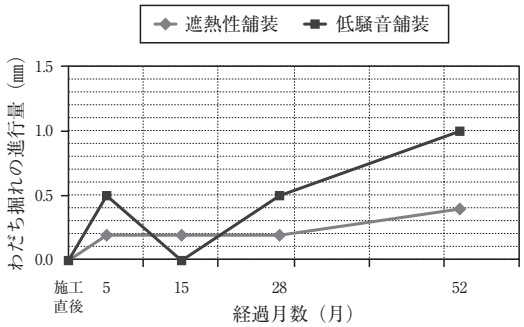
また，遮熱性舗装の施工前後の浸透水量の関係を**図－６**に示す。この結果から，遮熱性舗装の施工後において，浸透水量の低下はほとんど見られず，透水機能への影響は少ないと考えられる。



図－６　施工前後における浸透水量の関係

4.4　わだち掘れ量測定試験結果

調査時期ごとに測定したわだち掘れ量の全工区の平均値を算出し，施工直後からのわだち掘れの進行量と比較工区の低騒音舗装のわだち掘れの進行量の経時変化をそれぞれ求めた結果を**図－７**に示す。東京都で使用している低騒音舗装のわだち掘れの予測式[7)]によると，一般的な東京都の路線での低騒音舗装は供用４年でわだち掘れが約4.0㎜進行する結果となるが，今回の調査結果では，夏期を５回経過（供用52ヶ月後）したにもかかわらず，わだち掘れ量の進行量は，約0.5㎜とほとんど進行しておらず良好な供用状態であった。



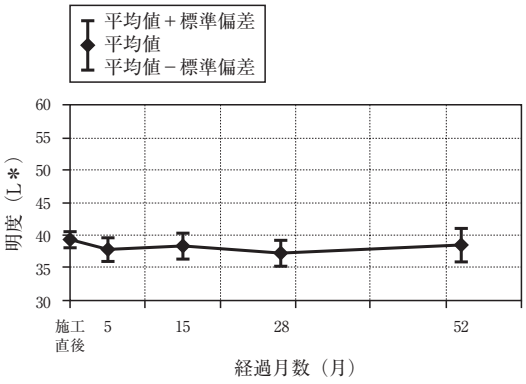
図－７　わだち掘れの進行量の経時変化

一方，比較として測定した遮熱性舗装の未施工箇所（既設低騒音舗装）のわだち掘れは約1.0㎜であり，わだち掘れ量をわずかながら軽減できていた。

4.5　明度測定試験結果

調査時期ごとに測定した明度の全工区での平均値を算出し供用後の経時変化を求めたものを**図－８**に示す。平均値で見ると供用５ヶ月後の遮熱性舗装の明度は施工直後より低下（暗くなる）し，15ヶ月後は５ヶ月後より高く（明るく）なる傾向を示したが，28ヶ月では再び低下し，52ヶ月の調査では再度高くなった。

15ヶ月後に若干高くなる傾向を示した要因としては，白色のすべり止め骨材の露出や遮熱材料の退色，変色，チョーキング（白化）等が考えられる。一方，供用52ヶ月後は施工直後と比較すると，平均で1.0低下している。この要因としては，交通車両や土砂，埃による塗膜の汚れや摩耗・はがれによる母体の低騒音舗装の骨材露出が考えられる。しかし，供用５ヶ月後から52ヶ月後の変動に有意差は無いと考えられる。なお，測定結果は工区の違いによる差は見られるものの，どの工区においても経時変化はほとんど見られなかった。

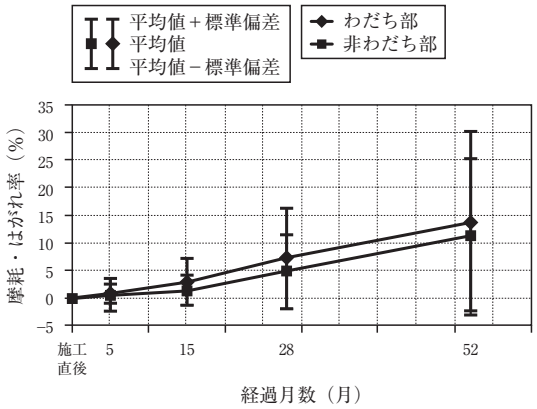


図－８　明度の経時変化

4.6　摩耗・はがれ率測定試験結果

わだち部，非わだち部で調査時期ごとに測定した摩耗・はがれ率の全工区での平均値をそれぞれ算出し，供用後の経時変化を求めたものを**図－9**に示す。供用52ヶ月後の調査で，わだち部の平均摩耗・はがれ率は13.9%，非わだち部で11.2%となり，両者ともほぼ直線的に増加する傾向が見られた。工区別で見ると，わだち部で摩耗・はがれ率が20%以上となった工区は全部で4個の工区，10%以下となった工区が11個の工区となり，各工区で測定結果にバラツキが見られた。

なお，工区別の摩耗・はがれ率の差の要因としては，遮熱材料の種類，工区の位置などの影響が大きいと考えられる。



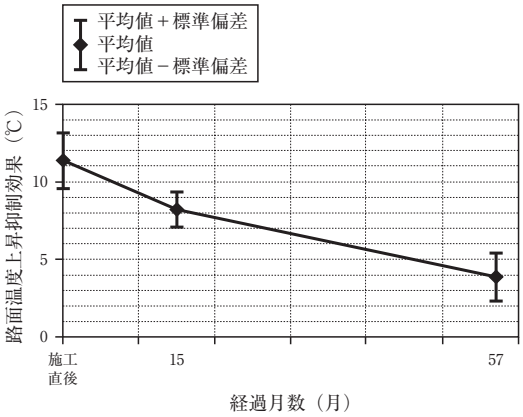
図－9　摩耗・はがれ率の経時変化

4.7　室内照射試験結果およびはがれ面積率測定結果

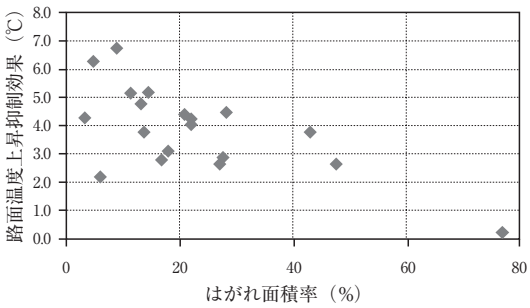
調査時期ごとに測定した室内照射試験による路面温度上昇抑制効果の全工区での平均値を算出し，供用後の経時変化を求めたものを**図－10**に示す。室内照射試験から求めた路面温度上昇抑制効果は，施工直後では平均で11.4℃であり，15ヶ月後では平均で8.2℃，57ヶ月後では平均で3.9℃と低下傾向が確認された。

この要因としては，土砂や排気ガス，車両走行等による汚染，遮熱材の劣化（紫外線，経年），遮熱材の摩耗・はがれ等が考えられる。また，工区別で路面温度上昇抑制効果を見ると，非常にバラツキが大きい結果となった。

一方，はがれ面積率の測定結果では，最大で76.7%，全工区の平均で23.2%となった。また，供用57ヶ月後のはがれ面積率と室内照射試験による路面温度上昇抑制効果との関係を**図－11**に示す。これより，はがれ面積率が大きいほど路面温度上昇抑制効果が小さくなる傾向である。



図－10　室内照射試験による路面温度上昇抑制効果の経時変化（対低騒音舗装）



図－11　はがれ面積率と路面温度上昇抑制効果の関係

4.8　温度測定結果

4.8.1　気象状況調査結果

気象状況は，遮熱性舗装の路面温度上昇抑制効果に大きな影響を与えることが想定されるため，温度測定期間中の気象状況の調査を行った。平成19年から平成23年までの東京気象台の気象データから求めた平均雨天率，平均日射時間，日最高気温の平均値を**表－6**に示す。なお，調査期間は全工区の路面温度のデータが揃った期間としたため，年ごとに異なっている。

表－6　気象情報調査結果

年	測定期間	雨天率※1（%）	平均日照時間※2（h／日）	日最高気温の平均値（℃）
19	8月4日～8月24日	4.8	9.4	34.4
20	8月4日～9月9日	27.0	4.5	31.1
21	7月8日～8月3日	48.1	3.7	30.0
22	7月25日～9月10日	16.7	7.1	33.1
23	7月29日～9月10日	40.9	5.0	30.5

※1　雨天率：（測定期間中の雨天日÷測定日数）×100
※2　平均日照時間：測定期間中の全日照時間÷測定日数

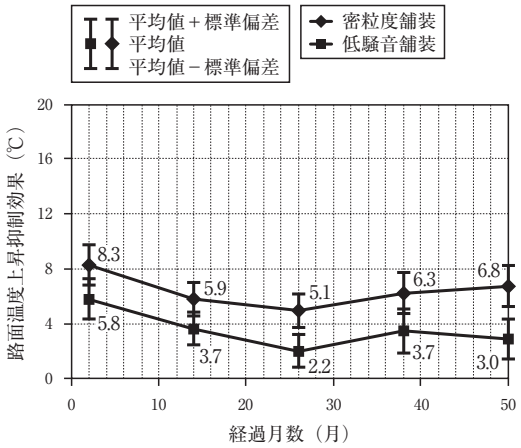
平成23年の夏期は，過去５年間では２番目に雨天日が多い年であり，１日当たりの平均日照時間は5.0時間，日最高気温の平均値は30.5℃であった。

4. 8. 2　路面温度上昇抑制効果

過去５回の路面温度測定の実測値より，調査時期ごとに全工区での路面温度上昇抑制効果の平均値を算出し，経時変化を求めたものを**図－12**に示す。なお，路面温度上昇抑制効果とは，１日の中で比較舗装と遮熱性舗装の路面温度のピークの差をとったものである。

図－12から遮熱性舗装施工から約２ヶ月経過した平成19年夏期の路面温度上昇抑制効果が一番大きく，その後平成20年（施工から約14ヶ月後），平成21年（同26ヶ月後）と徐々に低下していたが，平成22年（同38ヶ月後）夏期は遮熱性舗装の路面温度上昇抑制効果が回復しており，平成23年（同50ヶ月後）夏期においては，前年度とほぼ同程度の路面温度上昇抑制効果が見られた。また，路面温度上昇抑制効果は工区別で見ると非常にバラツキが大きい結果となった。

なお，遮熱性舗装の路面温度上昇抑制効果は，塗膜の汚れや摩耗・はがれ等で徐々に低下することが想定されるが，路面温度上昇抑制効果が回復した要因としては，雨天率や平均日照時間の差などの影響が考えられる。

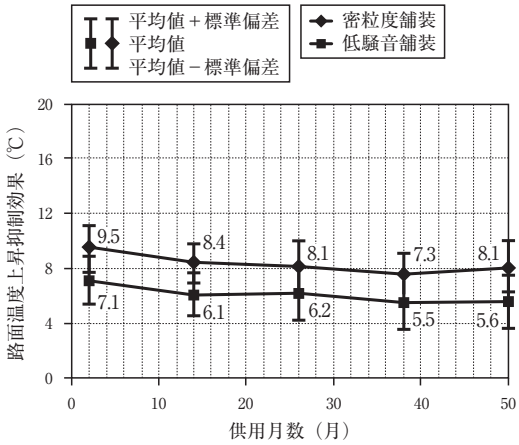


図－12　路面温度上昇抑制効果の経時変化（実測値）

4. 8. 3　路面温度上昇抑制効果の持続性

遮熱性舗装の路面温度上昇抑制効果の持続性を確認するため，**表－６**に示す年度ごとの測定期間において，比較舗装が60℃の場合の遮熱性舗装の路面温度を工区ごとの一次回帰式により換算し，検討を行った。全工区での60℃換算値の平均値から路面温度上昇抑制効果の経時変化を求めたものを**図－13**に示す。

遮熱性舗装の路面温度上昇抑制効果について，施工直後（平19）と供用４年後（平23）の差は，各工区でバラツキは見られるが，比較舗装が密粒度舗装の場合，平均で1.4℃，低騒音舗装の場合1.5℃であり，路面温度抑制効果を維持している。



図－13　路面温度上昇抑制効果の経時変化（60℃換算値）

５．まとめ

以下に調査項目ごとに結果をまとめる。

⑴　路面騒音測定試験結果

低騒音舗装と比較すると，遮熱性舗装は若干ではあるが騒音の増加が低く抑えられることが確認された。

⑵　すべり抵抗測定試験結果

すべり抵抗値（BPN）は，施工直後で19工区の平均で71を確保していたが，供用52ヶ月後では54まで低下しており，通常の低騒音舗装に比べすべり抵抗値は低くなっていた。

この要因としては，すべり止め骨材の塗膜からの離脱や摩耗が考えられるが，現場を詳しく観察した結果骨材の離脱よりは骨材の摩耗が大きく影響していることが伺えた。すべり抵抗性を確保するために本来あるべき細かなすべり止め骨材の突起が摩耗で無くなり，遮熱材料の表面（塗膜表面）と同じ高さまですり減り，平滑な路面となった工区が多く見られた。

⑶　現場透水量測定試験結果

現場透水量測定試験結果から，遮熱性舗装の施工前後において，浸透水量への影響はほとんどないことが確認された。供用後は，通常の低騒音舗装における浸

透水量の経年変化と同程度で推移しており，はがれた遮熱材料やすべり止め骨材による浸透水量低下への影響は無いものと考えられる。

⑷　わだち掘れ量測定試験結果

わだち掘れ量については，夏期を５回経過した時点で，遮熱性舗装が全工区の平均で約0.5㎜，低騒音舗装が約1.0㎜となり，わだち掘れ量は両者とも小さかった。

⑸　明度測定試験結果

遮熱性舗装の供用性能のうち，明度は通行車両や土砂，埃，母体の骨材露出等の影響で若干低下（暗くなる）しているが，大きな変化は見られなかった。

⑹　摩耗・はがれ率測定試験結果

遮熱材料の摩耗・はがれ率は供用に従い直線的に増加傾向にあり，供用52ヶ月で20%以上となった工区が４個の工区，10%以下であった工区が11個の工区となり，各工区でバラツキは大きくなった。遮熱材料や工区の位置の相違などが摩耗・はがれ率に影響していると考えられる。

⑺　室内照射試験結果およびはがれ面積率測定結果

室内照射試験による路面温度上昇抑制効果の経時変化で，供用にともない低下傾向が確認された。また，はがれ面積率が大きくなるほど，路面温度上昇抑制効果は低下する傾向であった。

⑻　温度測定試験結果

夏期の路面温度上昇抑制効果は供用にともない低下傾向が確認されたが，60℃換算値で見ると施工直後（平19）と供用４年後（平23）の差は，比較舗装を密粒度舗装とした場合，路面温度上昇抑制効果が1.4℃，低騒音舗装で1.5℃となり，路面温度上昇抑制効果は維持していた。

６．おわりに

共同実験の調査結果から，初期型の遮熱性舗装の路面温度上昇抑制効果については，現地で測定した結果から密粒度舗装に対し供用４年で約6.8℃（**表－４**参照）あることが確認され，環境対策型舗装として機能の持続性を確認した。

また，これらの結果を受けて，平成22年９月には，すべり抵抗の改善のために促進摩耗試験後のすべり抵抗値の設定と，すべり止め用骨材の硬度を高め二層散布への変更，遮熱材のはがれの改善のために遮熱材のはがれ抵抗性試験によるはがれ面積率の設定，臭気対策のために臭気センサ値を設定し，「遮熱性舗装（車道）設計施工要領（案）」の見直しを行った。

本共同実験の成果が今後の遮熱性舗装の性能向上に寄与することを期待する。

―― 参考文献 ――

１）峰岸 順一，上野 慎一郎，遮熱性舗装表面の耐久性に関する性能の設定，東京都土木技術支援・人材育成センター年報，2010年，P41～P51

２）独立行政法人土木研究所，タイヤ／路面騒音測定方法の開発 共同研究報告書，３月，2005年

３）低騒音舗装研究会，低騒音舗装の概説

４）酒井 雅利，池田 一壽，戸倉 健司，低騒音舗装の維持清掃方法に関する検討，舗装，10月，2002年，P3～P7

５）太田 昭一，田中 正義，８年にわたる国道408号の排水性舗装追跡調査，舗装，10月，2002年，P8～P14

６）田中 俊彦，内田 久男，服部 兼二，排水性舗装に関する追跡調査，舗装，２月，2000年，P19～P25

７）東京都建設局道路管理部，舗装管理マニュアル（案），４月，1995年

なぜ、今、新しい契約方式か？ ～道路構造物等の品質確保に向けた取り組み～

(New Contract Methods for Road Infrastructure Construction and Maintenance Projects to Assure Long-term Performance)

松　田　和　香*

社会資本整備のストックの老朽化等に伴い維持管理費が増大する中，より一層の効率化や長寿命化を図る戦略的な整備・維持管理が求められている。この背景のもと，直轄国道では新しい契約方式を採用し，順次試行を進めているところであるが，本稿では特に，新設アスファルト舗装工事への長期保証型の契約方式と新設アスファルト舗装工事とその後の「性能管理型」維持工事の一体的な契約方式に焦点を当て，先行的に試行した東北地方整備局における事例から，その考え方や仕組みを概説する。

1．はじめに

国土交通省道路局においては，現在，直轄国道の整備や維持管理にあたり，新たな契約方式の導入を進めているところである。この新たな契約方式としては，整備後一定期間の長期保証を付すものや，複数の業務を一体的に契約するもの，民間企業の経験や技術力の活用を目的とするもの等があげられる。

本稿においては，特に道路構造物への長期保証型の契約方式，及び新設アスファルト舗装工事とその後の「性能管理型」維持工事の一体的な契約方式について焦点を当て，まずはこれらを導入した背景や目的について述べた後，実際の試行事例から制度の概要やその具体的な考え方について紹介する。

2．新たな契約方式採用の背景

我が国おいては，戦後，急速に整備され増加し続けている社会資本整備のストックの老朽化が進んでおり，逼迫する財政状況の中，今後の維持管理費の大幅な増加が見込まれているところである。このような状況下，「社会資本整備審議会道路分科会建議中間取りまとめ」（平成24年6月）[1)]においても指摘されているように，確実な品質確保のための仕組みづくりや，予防保全等戦略的な道路整備や管理による道路構造物等の長寿命化，点検等による実績データの分析結果を活用した効率的な維持管理の実施，ライフサイクルコストの縮減といった観点がますます重視されてきている。

一方で，品質を確保するための取り組みである工事発注時の評価については，総合評価方式の採用等様々な工夫・改善がなされてきたものの，複雑化の結果としての発注者・応札者双方への負荷の増大や，技術提案の評価結果の収束化等の課題が指摘されている。つまり，確実に成果品の品質を確保するためには，発注時の評価方法の工夫のみ（＝入学試験重視型）では限界がある可能性があると考えられる。また，工事完成後に発注者に引き渡された成果品については，その品質にバラツキが発生していることが供用後の点検データ等から確認されているところであるが，瑕疵では無くとも，長期的な品質確保という観点では問題のあるケースへの対処策が現状では存在しないことも課題となっている。

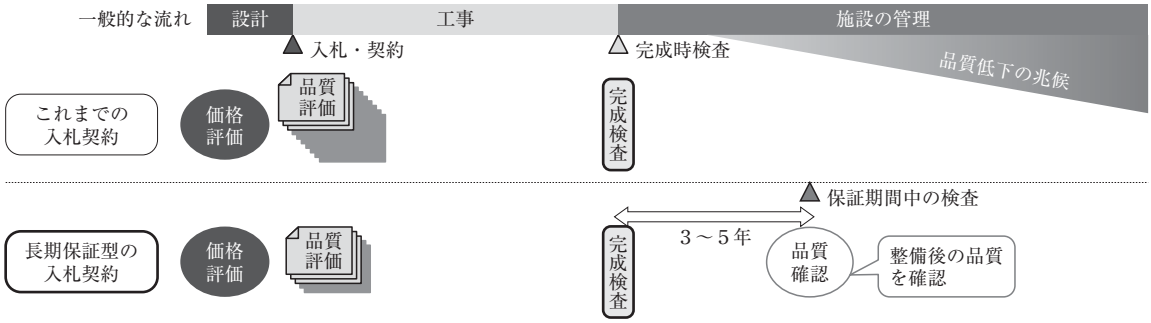
このような背景及び現状の問題意識から，**図－1**に示すように，従来の入学試験重視型から発想を転換し，完成後一定期間後の品質や性能を重視して保証を求める考え方（＝卒業後の能力重視型）を採用したものが，これらの新たな契約方式である。

3．新設アスファルト舗装における長期保証型の契約方式の導入

3.1　長期保証型の契約方式とは

「長期保証型の契約方式」とは，「施設完成後に一定

*まつだ　わか　国土交通省道路局　国道・防災課　課長補佐



図－1　整備後の品質を確保する契約方式の導入（試行）

期間を経た後の品質を確認する契約方式」であり，その目的は，長期保証を付すことにより，従来と同じ材料で一層丁寧な施工を受注者に心がけてもらうことで，舗装の長寿命化を図るところにある。

道路構造物等の中でも新設アスファルト舗装については本契約方式を先行して導入を開始しており，直轄国道においては平成24年度より原則採用とし，現在，全国的に展開しているところである。

3.2　実施事例の概要

本契約方式については，全国で最初に東北地方整備局（以下東北地整）が検討を開始し，平成21年度には試行工事を実施している[2)]。したがって，本稿においては東北地整の取り組みを事例として紹介する。

東北地整では，青森河川国道事務所管内の一般国道４号土屋バイパス区間内の「中野道路改良舗装工事」（2.38㎞）において最初の試行を実施した。

この工事における保証対象は「新設アスファルト舗装（密粒系）」であり，保証期間は供用後５年間，保証期間については，東北地整管内で平成元年度以降に供用した直轄国道のバイパス等を対象に，新設舗装の完成後，オーバーレイ等の舗装補修を実施するまでの年数を調査した結果から設定しており，最短で５年，最長で16年であることから（**図－２**），最短の５年間を採用している。

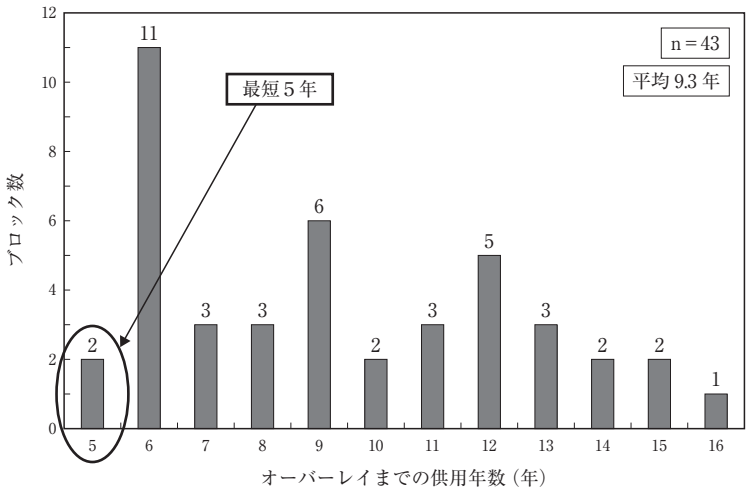
3.2.1　性能指標値設定の考え方

性能指標値を設定するにあたり，まず，舗装の耐用年数の目標値を設定している。考え方としては，一定以上の長寿命化を図るため，3.2に述べた調査結果の平均値である9.3年間を切り上げて10年間とし，舗装補修を実施するまでに10年間以上要した箇所の平均値である12.6年間を用い，舗装の耐用年数の目標値を13年間と設定している。

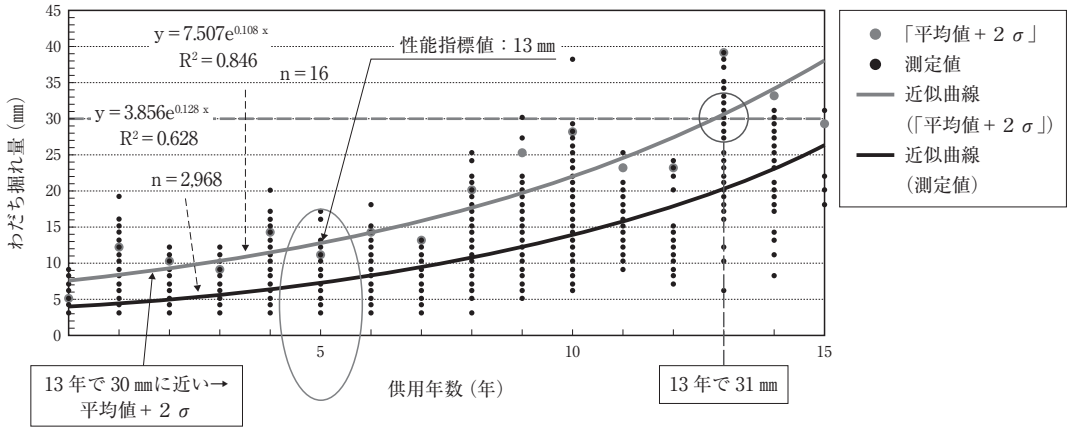
また，「わだち掘れ量」及び「ひび割れ率」の目標値としては，それぞれの維持修繕の目安である30㎜，及び20％と設定している。

性能指標値の設定にあたっては，「わだち掘れ量」と「供用年数」の関係性について近似曲線を用いて検討している。この結果，**図－３**に示すように，「舗装の耐用年数の目標値13年」で「わだち掘れ量30㎜」にほぼ合致する近似曲線は「平均値＋２σ」となったことから，この近似曲線を用い，保証期間である供用後５年後の性能を示す性能指標値を「わだち掘れ13㎜」と設定した。なお，この性能指標値については通常施工でも十分に達成できる値（達成率94％）となっている。

また，「ひび割れ率」については，実測データより，供用後５年後の平均が４％，最大値は11％であり，こちらも過大な制約条件とはならない値となっている。



図－２　舗装補修（オーバーレイ）に至るまでの供用年数



図－３　測定値と「平均値＋２σ」の数値による近似曲線

3.2.2　保証と瑕疵の違い

本契約方式では，通常の瑕疵とは別に，性能について長期保証を求めるものである。瑕疵とは，「通常の使用に耐えられない場合」で「材料，施工に過失がある場合」であり，指名停止や工事成績が減点になる。

しかし，今回の「保証」は，通常使用が可能かつ，材料・施工に過失が無い場合で指標値を超えた場合は，「違約金又は回復措置」を求めるのみで，指名停止や工事成績の減点等の措置は無いものとしている（**表－１**）。

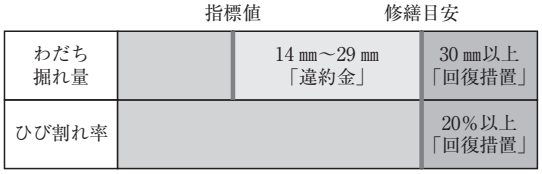
3.2.3　違約金と回復措置のイメージ

性能指標値を満足出来なかった時は，**図－４**の通り，「わだち掘れ量が14～29㎜」の時は「違約金」を求め，「わだち掘れ量が30㎜以上」もしくは「ひび割れ率が20％以上」のときは回復措置を求めることとしている。なお，違約金の計算は**表－２**のとおりである。

ただし，天災や交通事故等により路面に影響がある場合や路面標示部，交差点前後，盛土の沈下による影響がある場合，その他マンホール部等については免責事項としている。

表－１　保証と瑕疵の違い

	期　間	通常使用	過失有無	措　置
保証	→ ５年	可能	材料・施工に過失無し	違約金又は回復措置
瑕疵	一般的な請求期間 → ２年 故意又は重大な過失による場合 → 10年	耐えられない	材料・施工に過失有り	損害補償 指名停止 成績減点



図－４　違約金と回復措置のイメージ

４.「性能管理型」維持工事と一体となった新設アスファルト舗装工事の導入

4.1　新設工事と維持管理の一体的な契約方式について

複数業務の一体的な契約方式の一形態である「新設工事と維持管理の一体的な契約方式」については，施工段階から維持管理を意識してもらうことで品質向上

表－２　違約金の計算式

長期保証に関する違約金

$$= \Sigma\,(T5_i - T_S) \div (30\,㎜ - T_S) \times 切削オーバーレイの単価 \times 該当面積\ A_i$$

・$T5_i$（㎜）：測点iにおける５年後のわだち掘れ量
・T_S（㎜）：５年後のわだち掘れ量の指標値13㎜
・30㎜：舗装維持修繕の目安
・切削オーバーレイの単価：間接費を含む
・該当面積 A_i：５年後のわだち掘れ量が14㎜～29㎜の測点iを含む区間の面積
（該当面積は指標値を超過する部分とし，区間は20m単位とする）

と維持管理の効率化を図ることを目的とした契約方式である。

本契約方式については，平成23年度に東北地整において実施した新設アスファルト舗装工事への試行を皮切りに，今年度は中部地整，中国地整を加えた３地整において実施予定としている。

なお，本稿で紹介する「性能管理型」維持工事と一体となった新設アスファルト舗装工事とは，排水性舗装を対象としており，路面の維持管理にあたり，浸透水量等の性能値を規定する「性能管理型」とした点，また，排水機能に関しては，浸透水量の性能回復による長寿命化を目指し，性能回復に係る行為が実施された場合には性能に応じて性能維持費を支払うこととしている点が特徴である。**図－５**に，浸透水量の性能回復による長寿命化のイメージを示す。

4.2　実施事例の概要

本契約方式についても平成23年度に東北地整が最初に試行工事を実施している[3)]ことから，ここでは東北地整における取り組み事例を紹介する。

東北地整では，酒田河川国道事務所管内の「日本海沿岸東北自動車道　鶴岡地区舗装・維持補修工事」において本契約方式の最初の試行を実施した。試行延長は24.8㎞（うち新設舗装の延長1.4㎞）である。

契約にあたっては，新設の排水性アスファルト舗装工事と４年国債による維持管理工事を一体的に行い（新設含む維持管理４年），保証期間は舗装工事完了後３年間としている。

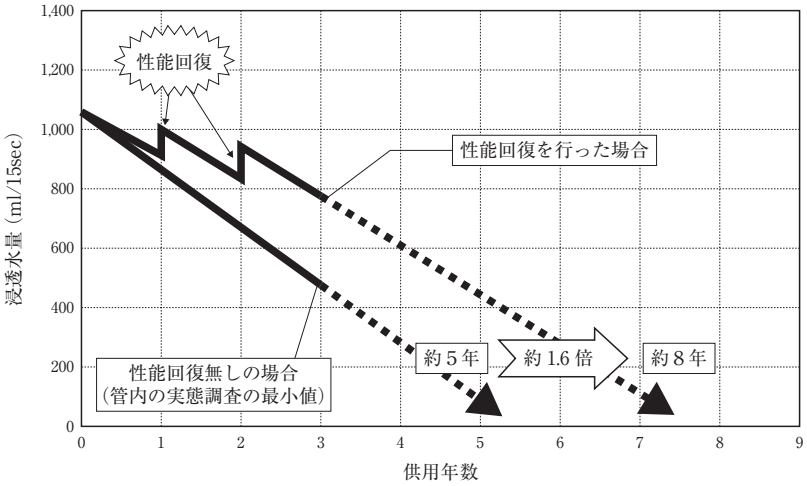
4.2.1　性能規定値の設定

性能規定値としては，工事完了から３年後において「わだち掘れ量８㎜以下」「ひび割れ率20％未満」「排水性舗装の浸透水量700ml/15秒以上」を設定している。なお，「わだち掘れ量」及び「ひび割れ率」については前述した考え方に基づき設定しているが，「排水性舗装の浸透水量」の設定の考え方については4.2.2で説明する。

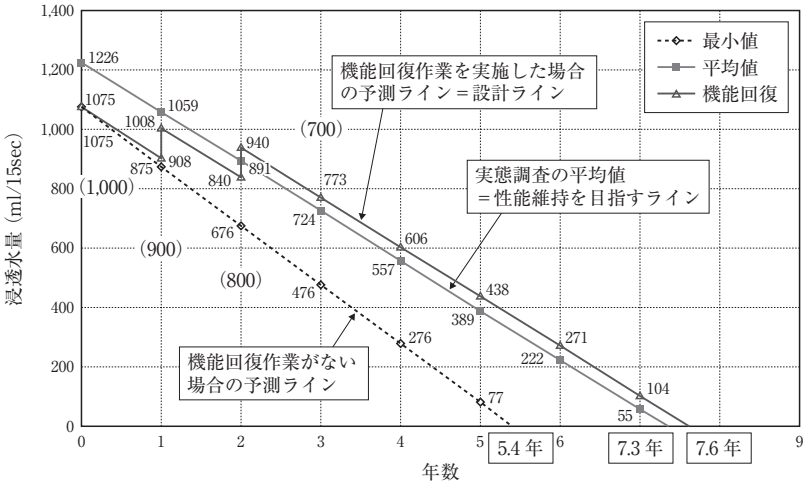
4.2.2　浸透水量の性能規定値設定の考え方

初期の浸透水量については，東北地整管内の高規格幹線道路を対象とした実績調査結果を用い，データの最小値（1075ml/15sec）から，1000ml/15secと設定している。

また，この最小値に対して性能回復作業（回復想定100ml/15sec）を２回とした場合は，**図－６**に示すように，浸透水量の平均値と同程度となることから，性能維持は平均値程度を目指すこととし，各年の平均値をそれぞれ目標値としている。なお，回復想定100mlは実態調査の平均値である。



図－５　浸透水量の性能回復による長寿命化のイメージ



図－６　浸透水量と供用年数の関係

4.2.3　性能維持費の支払いについての考え方

排水機能に係る性能維持費については，維持工事完了後１年後及び２年後において性能規定値を満足し，性能回復に係る行為が実施された場合には，性能に応じて性能維持に要した費用を支払うこととし，支払いの上限値は，「規定値＋100ml」としている。なお，性能回復行為については，受注者のノウハウや創意工夫を活かすため，内容，時期等は限定しないこととしている。

一方，３年後に性能規定値を満足しない場合の措置としては，性能値に応じて回復措置又は違約金を求めることとしている（**表－３**）。なお，違約金の計算式は，**表－４**に示す通りである。

表－３　各年の性能規定値と達成できない場合の取り扱い

	新設時	１年後	２年後	３年後 （契約完了時）
保証を求める浸透水量の性能規定値	1,000ml/15sec 以上	900ml/15sec 以上	800ml/15sec 以上	700ml/15sec 以上
性能規定値を達成できない場合の取り扱い	未完成としての扱い	回復措置（洗浄）を実施	回復措置（洗浄）を実施	回復措置（洗浄）を実施 または違約金を支払い

表－４　違約金（浸透水量）の計算式

長期保証に関する違約金

$$= \Sigma\,(V_S - V3_i) \div (V_S - V_{min}) \times \text{切削オーバーレイ単価} \times \text{該当面積}\ A_i$$

・$V3_i$（ml/15sec）：ブロックｉの３年後の浸透水量測定値
・V_S（ml/15sec）：３年後の浸透水量の性能規定値＝700ml/15sec
・V_{min}（ml/15sec）：浸透水量の最低基準値＝０ml/15sec
・切削オーバーレイの単価：間接費含む
・該当面積 A_i：３年後の浸透水量測定値が700ml/15secのブロックｉの面積
（該当面積は性能規定値に満たないブロックとし，区間は20m単位）

５．終わりに

本稿では，道路整備や維持管理工事で導入を開始している新たな発注方式のうち，新設アスファルト舗装における長期保証型の契約方式と，新設工事及びその後の性能管理型維持工事の一体的な契約方式について紹介した。これらの取り組みについては先に述べたとおり現在も各地で実施中であり，それぞれの成果・効果については，試行完了後のまたの機会にご報告させていただきたい。

なお，長期保証型の契約方式については，舗装のみならず，道路構造物の他部位への適用可能性等の検討も並行して行っているところであるが，PC橋における長期保証型の契約方式については平成25年度より試行を開始する予定で進めているところである。

今後は引き続き，これらの新しい契約方式の試行結果を分析し，必要な改良を加えた上で制度のさらなる改善・充実を図り，より一層の道路構造物等の品質確保・向上や，業務の効率化を図っていきたいと考えている。

―― 参考文献 ――

１）社会資本整備審議会道路分科会「社会資本整備審議会道路分科会建議　中間とりまとめ　道が変わる、道を変える～ひとを絆ぎ、賢く使い、そして新たな価値を紡ぎ出す～」，平成24年６月
２）日下貴博，「舗装工事の長期保証制度について」，平成22年度国土交通省国土技術研究会，平成22年10月，p246-249
３）菅原達也，「性能管理型舗装工事の試行について」，平成23年度国土交通省国土技術研究会，平成23年10月，p246-191

空港工事施工管理技術者資格認定制度について

(Certification System for Registered Engineer for Airport Works)

八　谷　好　高*

空港工事の品質と安全の確保，空港工事に特有な技術と専門知識を有する施工に優れた技術者の確保・育成，空港工事に関する技術・知識の伝承を図るべく，空港工事施工管理技術者資格認定制度が平成23年度に創設された。本稿では，本制度の概要，資格認定試験，継続学習システムについて記述するとともに，平成23，24年度の試験実施状況，本制度の活用状況について紹介する。

1．はじめに

空港の施設は，その多くが空港独特の施設であり，その工事が空港内またはその隣接地において行われる場合には，航空機運航の安全確保が最優先とされるため，制限区域，制限表面など空港特有の制約を受ける。そのため，これを担当する技術者には，一般的な工事に関する技術と専門知識に加え，空港工事に特有なものが求められることになる。

一方，わが国の空港整備は，配置的側面からみれば概成し，今後，その重点は「整備」から「運営」に移るとされ，公共事業費抑制の流れの中で，空港工事の品質および安全の確保には，優れた技術者の確保と育成が重要な課題となっている。

このような背景の下，優れた空港工事の施工技術を有する技術者を認定する空港工事施工管理技術者資格認定制度が創設された。以下では，本制度の概要，資格認定試験，継続学習システムについて記述する。

2．空港工事施工管理技術者資格認定制度

空港工事施工管理技術者資格認定制度は，空港工事および航空機運行の特性を理解し，工事の施工に当たって総合的な技術検討，対外調整および技術判断ができる高度な技術力と経験を有する責任技術者として，空港土木工事の施工に関して指導的な役割を果たすことができる技術者を「空港工事施工管理技術者」として認定するものであり，平成23年度に財団法人港湾空港建設技術サービスセンターより創設された。本制度の目的は，空港土木工事の品質確保および安全かつ円滑な施工技術の向上に貢献するとともに，空港土木工事の施工に優れた技術者の確保と育成および技術と知識の伝承に寄与することである。

空港工事施工管理技術者資格認定制度の概要は次のとおりである。

(1) 資格認定機関：㈶港湾空港建設技術サービスセンター
(2) 審査方法：空港工事施工管理技術者資格認定試験により審査
(3) 試験頻度：年１回実施（平成24年度は８月19日）
(4) 試験地：認定機関が設定（平成23，24年度は札幌，東京，大阪，福岡）
(5) 資格有効期間：資格認定試験合格の翌年度から５年間
(6) 資格更新：所定の継続学習を実施することにより資格更新が可能
(7) 制度運営・試験実施：空港工事施工管理技術者資格認定制度運営委員会ならびに空港工事施工管理技術者資格認定試験委員会を設置して，公正かつ適切に運営

3．資格認定試験

3.1　受験資格

資格認定試験は，次の２つの要件をともに満たす者が受験可能である。

○一級土木施工管理技士または技術士（建設部門に限る）の資格を有していること。

*はちや　よしたか　財団法人　港湾空港建設技術サービスセンター

○空港土木工事において３箇月以上の実務経験を有していること。

この場合の空港土木工事は，以下に示す飛行場（未供用も含む）における基本施設等および付帯施設に係る土木工事ならびに空港用地造成工事のことである。**表－１**には空港法の空港および共用空港を記してある。また，基本施設等，付帯施設および空港用地は**表－２**に示すものである。

⑴　空港法の空港

○空港法第４条に掲げる拠点空港および国際航空輸送網または国内航空輸送網の拠点となる空港，空港整備法および航空法の一部を改正する法律附則第３条に規定する特定地方管理空港

○空港法第５条に規定する国際航空輸送網または国内航空輸送網を形成する上で重要な役割を果たす地方管理空港

○空港法第２条に規定する空港のうち，拠点空港，地方管理空港および公共用ヘリポートを除く空港

⑵　共用空港

空港法附則第２条に規定する空港

⑶　自衛隊および米軍用飛行場

⑷　海外の飛行場

空港土木工事における実務経験は，空港土木工事の施工に直接従事した経験であり，発注者の立場で監督業務に従事した経験も含まれる。ただし，施工のための設計業務や施工計画作成業務のみに携わった経験は含まれない。

3.2　試験の方法

3.2.1　構成

空港工事施工管理技術者資格認定試験は，**表－３**に示すように，択一式試験と記述式試験から成る。

3.2.2　択一式試験

択一式試験では空港関連，工事関連の問題が，それぞれ，15問，10問程度出題される。具体的な内容は次の通りである。

⑴　空港関連

空港一般，空港の管理，航空機およびその運航特性，諸機材，制限区域，制限表面，空港の施設，関係法規，空港工事の諸手続，制限区域内の工事等

⑵　工事関連

空港工事の設計図書・契約，施工管理，安全管理，基本施設等の舗装，空港一般土木施設の施工，空港施設の維持管理等

なお，平成23年度の択一式試験の出題内容と問題数は次ページ**表－４**の通りである。

3.2.3　記述式試験

記述式試験における経験論文と専門論文の内容は，次ページの通りである。

表－１　対象となる空港・飛行場

種類	空港・飛行場	
空港法の空港	拠点空港	会社管理空港：成田国際，中部国際，関西国際，大阪国際
		国管理空港：東京国際，新千歳，稚内，釧路，函館，仙台，新潟，広島，高松，松山，高知，福岡，北九州，長崎，熊本，大分，宮崎，鹿児島，那覇
		特定地方管理空港：旭川，帯広，秋田，山形，山口宇部
	地方管理空港	利尻，礼文，奥尻，中標津，紋別，女満別，青森，花巻，大館能代，庄内，福島，大島，新島，神津島，三宅島，八丈島，佐渡，富山，能登，福井，松本，静岡，神戸，南紀白浜，鳥取，隠岐，出雲，石見，岡山，佐賀，対馬，小値賀，福江，上五島，壱岐，種子島，屋久島，奄美，喜界，徳之島，沖永良部，与論，粟国，久米島，慶良間，南大東，北大東，伊江島，宮古，下地島，多良間，石垣，（新石垣），波照間，与那国
	その他の空港	調布，名古屋，但馬，岡南，広島西，天草，大分県央，枕崎，八尾
共用空港		札幌，千歳，三沢，百里，小松，美保，岩国，徳島

注）空港・飛行場名称から「空港」を省略。
　ただし，空港法の空港におけるその他の空港における八尾以外および共用空港では「飛行場」を省略。

表－２　対象となる飛行場の施設

対象施設	具体的施設名
基本施設等	基本施設（滑走路，着陸帯，誘導路およびエプロン），過走帯，滑走路端安全区域，誘導路帯，GSE通行帯，飛行場標識施設
付帯施設	道路・駐車場，排水施設，共同溝，消防水利施設，場周柵，ブラストフェンス等
空港用地	基本施設等用地，航空保安施設用地，その他の空港施設（道路・駐車場，排水施設，場周柵等）の用地

表－３　試験の方法

試験方法	問題区分	出題数	試験時間
択一式	空港土木工事の施工に関する専門知識	25問	90分
記述式	経験論文	１問（1,500字以内）	90分
	専門論文	１問（1,200字以内）	90分

表－4　平成23年度の択一式試験の内容

項目	小項目	出題数
空港関連	空港一般	2
	空港の管理	2
	航空機の運航特性	1
	諸機材	1
	制限区域	2
	制限表面	2
	空港の施設	2
	関係法規・規定	1
	空港工事の諸手続き	1
	制限区域内工事	1
工事関連	設計図書・契約	1
	施工管理	2
	安全管理	2
	基本施設の舗装	2
	一般土木施設の施工	2
	維持管理	1

⑴　経験論文

経験した空港土木工事に関する小論文

⑵　専門論文

供用中の空港における基本施設等舗装または空港土木施設の施工，維持管理および空港土木工事等専門技術に関する小論文

なお，平成23年度の記述式試験の出題内容は次のようなものである。

⑴　経験論文

あなたが「実務経歴証明書」に記載した空港土木工事に関する「安全管理」,「工程管理」,「品質確保」のいずれかの事項について問う。

⑵　専門論文

受験案内に記載する専門分野から，空港内で工事する上での課題，留意事項，制約条件等について問う。

3.2.4　合格基準

空港工事施工管理技術者資格認定試験の合格基準は，認定機関が定めた「空港工事施工管理技術者資格認定制度に関する規程」にある次の規定に基づいている。

第８条　択一式試験及び記述式試験の両方の合格をもって，資格認定試験の合格とする。

２　択一式試験及び記述式試験の合格基準については，以下のとおりとする。

１）　択一式試験は100点満点換算で70点を標準とし，認定機関が定める。

２）　記述式試験は100点満点換算で掲載論文を含む60点を標準とし，認定機関が定める。

３　前項の合格基準を定めるに当たっては，認定機関は空港工事施工管理技術者資格認定制度運営委員会の意見を聞かなければならない。

3.3　試験のスケジュール

受験申込みから資格認定までの流れは**表－５**に示すようなものである（平成24年度の場合）。

表－５　平成24年度の試験スケジュール

時期	内容
平成24年６月１～29日	受験の申込み
平成24年６月～	書類審査
平成24年８月19日	試験
平成24年12月14日(予定)	合格者発表
平成24年12月14日(予定)～	資格登録申請
平成25年２月下旬～	資格登録者名簿公表・登録証発行

3.4　認定試験の実施状況

平成23年度における資格認定試験の実施状況として，受験地別の受験者数と合格者数を**表－６**に示す。

表－６　平成23年度の受験者数と合格者数

受験地	札幌	東京	大阪	福岡	合計
受験者数（名）	65	273	162	126	626
合格者数（名）	19	111	52	40	222
合格率（%）	29.2	40.7	32.1	31.7	35.5

４．継続学習システム

空港工事施工管理技術者資格認定試験に合格して空港工事施工管理技術者として認定された技術者は継続的に学習することが求められる。この継続学習の目的は，時代の変化や技術の変革に迅速に対応できる能力を，資格取得後においても維持し，さらに向上させることである。

継続学習の受講状況はポイントとして管理され，５年間の資格有効期間満了時に資格の更新をする場合には，200ポイント以上を取得している必要がある。この場合，次の６形態が継続学習の対象となる。

⑴　空港工事に関する実務経験

空港工事に従事した経験が継続学習として認定される。これは，現場で実際に施工を行っていれば，新しい情報の収集や施工の対応で技術の学習を実施していることになるからである。実施期間により取得できるポイントが異なっている。

⑵　空港工事に関する施工技術報告

従事した空港工事に関する課題と解決策をまとめた「空港工事施工技術報告書」を提出することが継続学習として認定される。このほか，工事に直接従事していない場合でも，空港工事の施工に関連する技術開発，現場支援技術業務などに関して「空港工事施工関連技術報告書」を提出することもその対象となる。提出されたこれらの報告書から認定機関により選定されたものが「空港工事施工技術報告集」としてまとめられ，そのうち広く周知が必要とされた報告書について「施工技術報告会」の場で発表・討議が行われる。

報告書提出，報告集掲載，報告会での発表によりそれぞれ継続学習としてのポイントが取得できる。

⑶　空港工事に関する技術論文

空港工事に関する技術論文について，工事関係誌や土木関連団体発行の情報誌・論文誌等に掲載されたり，発表したりすることが継続学習として認定される。

⑷　空港工事関連団体主催の講習会・研修会等

空港工事関連団体等が主催する，講習会，研修会，技術報告会，講演会，現場見学会，シンポジウム等に参加することが継続学習として認定される。

⑸　土木関連団体の継続教育

土木関連団体が実施する資格等のうち，更新時に所定の継続教育等の単位取得を義務づけているものについて，資格等の更新を認められることが継続学習として認定される。

⑹　技術講習会

認定機関が実施する「技術講習会」を受講すること，その修了報告書を提出することが，それぞれ，継続学習として認定される。

表－７に継続学習の認定事項とポイントを示す。

５．おわりに

空港工事施工管理技術者資格認定制度は本年度で２年目を迎え，予定通り８月に試験が実施されている。本制度により認定された空港工事施工管理技術者に対しては，メール等を通じて，新工法・技術の紹介，講演会・講習会等の案内といった情報発信により継続学習の積極的な実施を呼びかけている。また，本制度の必要性を認識してもらうための努力も継続しており，本年度さっそく一部の公共工事での活用が図られている。㈶港湾空港建設技術サービスセンターは，今後も，報告書のデータベース化等により空港工事施工管理技術者に対するさらなる支援を行うことにより，空港土木工事の品質確保，施工技術の向上，優秀な施工技術者の確保・育成，技術・知識の伝承に寄与していきたいと考えている。

表－７　継続学習の認定事項とポイント

種　別	認　定　項　目					ポイント数	備　　考
A	施工経験	業務従事実績	空港工事の実務経験	12箇月超過（１件につき）	最初の12箇月	60ポイント	元請け工事は，コリンズまたはテクリス登録データを添付 下請け工事は，所属長の証明書を添付
					以後12箇月ごと	30ポイント	
					以後12箇月未満	15ポイント	
				12箇月未満（１件につき）	３箇月以上	60ポイント	
					３箇月未満	30ポイント	
B	継続学習	施工技術の報告実績	施工した工事または施工技術に関する報告書の提出		提出	20ポイント（１件につき）	ＡとＦの経験に限る
C			「施工技術報告集」への掲載		掲載	20ポイント（１件につき）	ＢまたはＦの提出報告書に限る
D			「施工技術報告会」での発表		発表	30ポイント（１件につき）	Ｃの掲載報告書に限る
E			「施工技術報告会」の聴講		聴講	10ポイント（１件につき）	報告会参加証明書を添付
F			工事管理，設計，積算，施工計画作成等，施工技術に関する報告書の提出		提出	20ポイント（１件につき）	工事施工関連部署での業務実績証明書を添付（年１回に限る）
G		継続学習実績	下記機関等が開催する講習，研修会 国土交通省航空局／国土交通省地方航空局／国土交通省地方整備局／国土交通省国土技術政策総合研究所／地方公共団体／（独）港湾空港技術研究所／㈶沿岸技術研究センター／㈳寒地港湾技術研究センター／㈳日本建設業連合会／空港会社(成田，中部，関空)（以上空港工事に関するもの） ㈶港湾空港建設技術サービスセンター		参加	10ポイント（１件につき）	出席および講習・研修の内容が確認できる書類を添付
H			下記団体の継続教育 ㈳全国土木施工管理技士会連合会／（公社）地盤工学会／（公社）土木学会／（公社）日本技術士会／（公社）日本コンクリート工学会		資格更新	10ポイント（１団体についてのみ）	期間内の資格更新記録（証明書）を添付
I			上記Ｇ，Ｈ団体での技術論文の掲載 土木工事関係誌に技術論文の掲載		掲載	30ポイント（１件につき）	掲載された論文等をPDFに変換して添付
J	技術講習		技術講習会		受講	60ポイント	認定期間の５年間を区分とし，認定資格更新後に新規に開始する
			修了報告書		提出	40ポイント	

「海外のすべり抵抗の評価方法に関する取組について」
「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，志の高い若手技術者が所属機関の支援を受けて集い，それぞれの視点と問題意識のもと，海外資料の輪読を中心にアスファルト舗装技術に関する討議を重ねております。今回は，その中から２つの研究成果を報告します。

2011年に開催された２つの国際会議から，「すべり抵抗」をキーワードに，測定方法や性能変化，ならびにすべりと密接に関連する表面処理工法に関する論文を９編抽出し紹介します。舗装をより効率的に維持管理するため，我が国と同様に，各国でも構造や路面性状の評価方法などに関する研究が多くなされています。すべり抵抗は，路面の管理において世界共通の重要な要素の一つです，これらの研究がさらに進められることによって，より安全で快適な舗装が提供されることが期待されます。

質問コーナーは，今回から新たにはじめる企画です。研究グループ内の議論では，若手技術者が「なぜ？」と思ってしまうような“素朴な疑問”がしばしば持ち出されます。これらは，規定等の重要な根拠となっているがあまり明示されていないものも多く，知っていた方がよいことが隠れています。経験豊富な技術者には当たり前と思われている事項ではありますが，その一方で，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つけるきっかけになり得る技術要点の整理とも考えています。これらの疑問の調査結果を，トリビア的な豆知識を織り交ぜて詳しく解説してゆくものです。

これらの調査は，読者の皆様からの「ちょっとした疑問」も取り込んで，今後も議論と報告を続けてゆく予定にしております。

（研究グループ代表幹事：佐々木厳）

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

佐々木厳　独立行政法人土木研究所

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
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
鎌田　修	鹿島道路㈱技術研究所
神下竜三	鹿島道路㈱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
杉迫泰成	東亜道路工業㈱技術研究所
長尾敏之	日本道路㈱技術研究所
西山大三	㈱NIPPO技術研究所
芳賀潤一	鹿島道路㈱技術研究所
朴　希眞	日本道路㈱技術研究所
平川一成	ティアール・コンサルタント㈱技術部
藤田浩成	世紀東急工業㈱技術研究所
宮澤　哲	前田道路㈱技術研究所
武藤一伸	大成ロテック㈱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
横山拓史	ニチレキ㈱道路エンジニアリング部

計25名

海外のすべり抵抗の評価方法に関する取組について

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

はじめに

我が国では今後高齢化する道路ストックが増大していくことから，より一層計画的，効率的な維持管理が求められている。今回は道路のもつ諸性能の中で，すべり抵抗に焦点をあて，各国のすべり抵抗に関する取組について，第３回国際路面すべり会議ならびに第10回南部アフリカアスファルト舗装会議で報告された論文を中心に紹介する。

1. 取り扱った国際会議

1. 1　第３回国際路面すべり会議（The 3rd International Surface Friction Conference）

第３回国際路面すべり会議は2011年５月15日～18日の４日間にわたり，ゴールドコースト（オーストラリア）で開催された。この会議では，すべり抵抗の戦略的維持管理，性能予測，アセットマネジメントといった10個の幅広いテーマについて44編の論文が発表され，特にすべり抵抗の長期的予測に関しては各国から様々な取組や研究が報告されている。

1. 2　第10回南部アフリカアスファルト舗装会議（The 10th Conference on Asphalt Pavements For South Africa）

第10回南部アフリカアスファルト舗装会議は2011年９月11日～14日の４日間にわたりクワズールナタール（南アフリカ共和国）で開催された。この会議では舗装建設における省エネルギー技術，更なる性能向上に向けた設計手法，舗装の長寿命化といった６個のテーマについて80編の論文が発表され，このうちすべり抵抗に関する論文は８編であった。

２．紹介する研究報告

2. 1　すべり抵抗の評価方法に関する研究報告

本文で紹介するすべり抵抗の評価方法に関する研究報告を**表－１**に示す。

第３回国際路面すべり会議では，供用中路線での【SCRIM】と呼ばれる自走式のすべり抵抗測定車を用いた調査・研究例が散見された。表中のNo.3. 1，3. 2は【SCRIM】を使用した報告である。またNo.3. 3，3. 4では評価分析方法について報告されている。

No.3. 5では南アフリカ共和国内の空港で適用されているUTFCと呼ばれる超薄層（厚さ15～20㎜）の摩耗層の供用性調査について報告されている。

2. 2　すべり抵抗を重視した表面処理工法に関する研究報告

本文で紹介するすべり抵抗性を重視した表面処理工法に関する研究報告を**表－２**に示す。

表－１　すべり抵抗の評価方法に関する研究報告

No		すべり抵抗の評価方法に関する研究報告	発表者国籍
3. 1	原題	Analysis of Temperature Influence on Skid Resistance Results	アルゼンチン
	和題	すべり抵抗に与える温度影響に関する分析	
3. 2	原題	Long-term Study of Skid Resistance on Inservice Roads in England	イギリス
	和題	イングランドにおける供用路線のすべり抵抗に関する長期的研究	
3. 3	原題	Breaking the Silence About Road Surfaces and Accident Rates	オーストラリア
	和題	すべり対策と事故率に関する分析結果について	
3. 4	原題	Developing an Objective Measure for Flushing on Chip Seals	イギリス
	和題	チップシールのフラッシングに関する客観的計測手法の開発	
3. 5	原題	Critical Review of Performance of UTFC in South Africa	南アフリカ共和国
	和題	南アフリカにおける超薄層摩耗層の性能に関する報告	

表－２　すべり抵抗性を重視した表面処理工法に関する研究報告

No		表面処理工法に関する研究報告	発表者国籍
4. 1	原題	Establishment of Appropriate Slurry Seal Design Methods for South Africa	南アフリカ共和国
	和題	南アフリカにおける適切なスラリーシール設計法の確立	
4. 2	原題	Innovative Surfacing Treatments Delivering Safer Roads	ニュージーランド
	和題	ライフサイクルコストの改善を目的とした高摩擦抵抗性表面処理工法について	
4. 3	原題	Research on Laboratory Simulation Test Method for Skid Resistance Performance of Chip Seals	中国
	和題	チップシールのすべり抵抗性評価を目的とした室内シミュレーションについて	
4. 4	原題	Comparison of the Wehner-Schulze and PSV Test for Estimating the Polishing Resistance of New Zealand Chip Seal Aggregates	ニュージーランド
	和題	WSとPSV試験によるニュージーランドのチップシール用骨材のすり減り抵抗性能評価の比較	

表面処理工法のテーマは，すでに欧州で実績のある表面処理工法をオセアニアの気候条件に合わせ改良した研究や，新たな付加機能を持つ表面処理工法・材料に関する研究など，多岐にわたっている。今回はこの中から，すべり抵抗を重視した表面処理工法に関する論文を中心に紹介する。

No.4. 1では，南アフリカ国内の新たなスラリーシールの設計法について報告されている。No.4. 2ではライフサイクルコストを考慮したすべり抵抗性を有する新たな表面処理工法について紹介されている。No.4. 3, No.4. 4では，すべり抵抗性評価を目的とした室内評価方法や材料評価方法について触れている。

今回紹介する研究はいずれも，国内ではあまり耳にすることのない内容となっており，今後のすべり抵抗性評価の参考になると思われる。

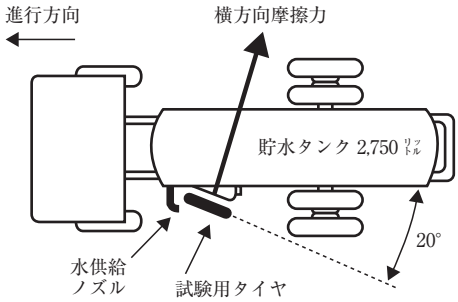
2. 3　自走式すべり抵抗測定車（Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine：SCRIM）の紹介

以下には，SCRIMを用いたすべり抵抗の測定状況および測定概要図を示す。SCRIMは走行しながら，測定路面に水を噴出し，試験用タイヤの横方向摩擦力を計測することで湿潤路面のすべり抵抗を測定する装置である。

また，長距離測定に搭載されている貯水タンクが不足する場合には，**写真－２**に示すような貯水タンク（18,000リットル）を連結することで連続的な測定にも対応が可能である。

EUROconsult社のWebサイトでは実際の測定状況の動画などが公開されており，本測定方法を理解する上で大変参考になった。

写真－１　SCRIM測定状況 ※1



図－１　SCRIM測定概要※1

写真－２　連続測定時に連結する水タンク※2

※１：Betterpavements社Webサイトより引用
※２：EUROconsult社Webサイトより引用

3. 1　すべり抵抗に与える温度影響に関する分析

原題：***Analysis of Temperature Influence on Skid Resistance Results***

著者：*Marta Pagola*（アルゼンチン）　　所属：ロサリオ国立大学

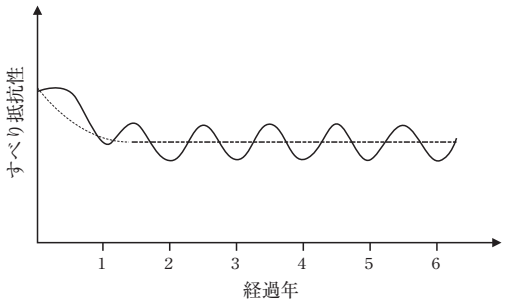
3. 1. 1　論文概要

異なるタイプの試験器ですべり抵抗性を測定した場合，多くの影響因子（すべりの速度，水膜の厚さ，温度，タイヤのタイプ，その他）により誤差が生じる。加えて，同じタイプの試験器で測定しても，個々の特性のために，異なる結果が出ることもある。また，一年を通じて同一の試験器で測定した場合であっても季節変動の影響により異なる値が観測されることもある。

本論文では，測定結果に大きく関係していると考えられるパラメータとして温度の影響を分析し，異なる試験器で得られた結果における誤差の分析を行った。

3. 1. 2　研究内容

路面のすべり抵抗性は，時間経過に対して一定ではないことはよく知られているが，**図－２**に示すすべり抵抗性と経過年のイメージのように短い時間の中でも路面の状態（温度，測定速度，表面の汚れ）によりすべり抵抗性は上下する。



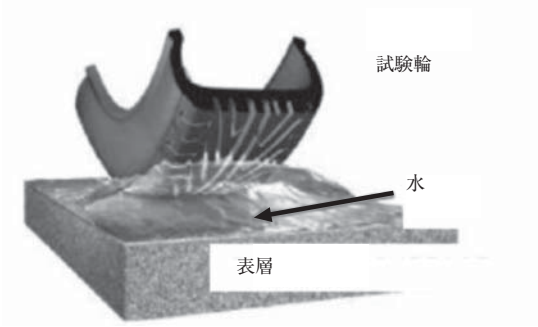
図－２　時間経過とすべり抵抗性の推移イメージ

アルゼンチンの道路管理局では**写真－３**および**写真－４**に示すMu meterとScrim Texがすべり抵抗性の測定に使用されている。これらは季節の影響や路面温度を考慮する必要がなく，路面が乾燥していることが唯一の測定条件となっている。すべり抵抗性の測定中は，**図－３**に示すような，各種影響因子が存在し，それぞれさらに季節や試験条件によって変動する要素と不変の要素に分けられる。

本論文では，これら各要素の確認と，温度の影響分析を行った。

写真－３　Mu meter

写真－４　Scrim Tex



図－３　測定中の要素

3. 1. 3　研究結果

(1)　温度影響分析

①振り子式スキッドレジスタンステスタによる試験

ASTMの標準試験として使用されているが，温度の依存度が強く，最終的に20℃に補正される。この試験は簡易かつ迅速な測定が可能だが，測定時の温

度に依存する要素が多く季節的な対応ができない。

②アルゼンチンにおける実績

前述したように，アルゼンチンの道路管理局ではMu meterとScrim Texを使用し，一方民間会社ではTRRLの振り子式やグリップテスターを使用している。

本検討の目的はMu meterとScrim Texにより得られた結果について，温度の影響を調べ，補正の必要性について分析することである。

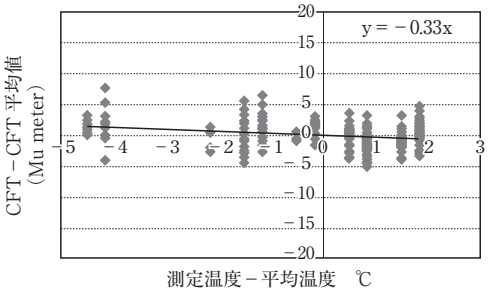
○Mu meter

Mu meter装置は温度センサを搭載していないため，測定後に気温，乾燥路面温度，路面に残った水の温度の３種の温度を測定した。

測定はおよそ４㎞の距離を４区間で行った。なお，各区間は異なった路面テクスチャ特性であり，気温は８℃から32℃であった。

すべり測定結果とそれぞれの温度との傾向を分析したところ，路面に残る水の温度が最も相関が高い結果であった。**図－４**の縦軸はそれぞれのすべり測定結果（CFT）と各区間の平均との差，横軸はそれぞれの測定温度と各区間全体の平均温度との差を表している。

この結果ではMu meterによる１ポイントは３℃，あるいは0.33ポイントなら１℃の影響がある傾向を示しており，振り子式スキッドレジスタンステスタによる試験結果と同等である。また，このグラフでは，温度が上昇するとすべり抵抗率は低下することを示している。



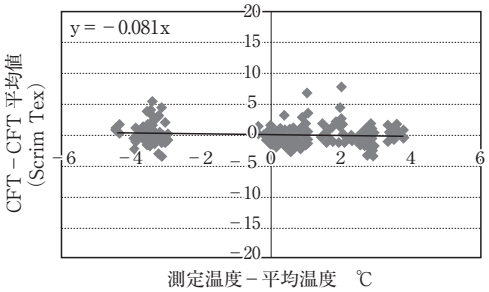
図－４　Mu meterと残留水の表面温度の関係

○Scrim Tex

測定はおよそ２㎞の距離で２区間について行った。なお，各区間は異なった路面テクスチャ特性であり，気温は８℃から18℃であった。

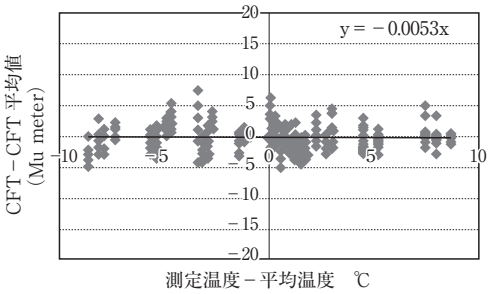
この装置は２つのセンサが内蔵されており，ひとつは気温，もうひとつは乾燥路面の温度を測定できる。

得られた結果から温度が上昇するとすべり抵抗性結果（CFT）が減少する傾向を示したが，影響は非常に小さく，Scrimの１ポイントに対し12℃であった。**図－５**に全区間の結果を示す。



図－５　Scrim Tex測定値と平均気温の関係

Mu meterについても平均気温を用いた同様の関係を比較したところ，同様の傾向があり，**図－６**に示すように，Mu meterの１ポイントは19℃であった。



図－６　Mu meter測定値と平均気温の関係

3.1.4　結論

本論文では主にアルゼンチンにおけるMu meterとScrim Texによる測定結果の温度影響分析を行った。

Scrim TexでMu meterと同等の測定を行い，影響の分析を行う際は，路面に残る水の温度を測定し結果を補正することが推奨される。

また，Mu meterの測定値は振り子式スキッドレジスタンステスタによる試験結果のように20℃の温度で補正することが推奨される。

なお，ここでの補正は季節的な影響等の補正ではなく，参照温度での測定結果を正しくし，測定時の温度によるばらつきを減少させるものである。

3.1.5　翻訳者コメント

アルゼンチンの道路管理者が使用している２種類の車輌型のすべり抵抗測定装置の温度影響に関する論文であるが，温度以外にも様々な影響因子などについても言及しており，比較的シビアにすべり抵抗値を管理しようという意気込みがうかがえる。

3.2　イングランドにおける供用路線のすべり抵抗に関する長期的研究

原題：*Long-term study of skid resistance on inservice roads in England*

著者：*Chris Kennedy*（イギリス）　　所属：*WDM Limited*

3.2.1　研究概要

英国高速道路局は，イギリス国内で43のすべり抵抗測定用の観測区間のネットワークを選定した。この内，39箇所は2002年に建設されたアスファルト舗装路面，４箇所が2008年，2009年に追加されたコンクリート舗装路面である。

本論文では39箇所のアスファルト舗装路面の観測区間と４箇所のコンクリート舗装路面の観測区間の長期的研究結果について報告する。

3.2.2　研究内容

観測区間は50㎞/hの試験速度で安全性を確保できること，交通渋滞や駐停車車両がないこと，直線でかつ平坦であること，幹線道路規格に準じるアスファルト舗装路面であること，表層路面が良好な状態であることを条件に国内の39箇所が選定された（**図－７**）。

図－７　観測区間位置図

各観測区間のSCRIM（自走式すべり抵抗測定車）を用いた走行調査が2005年までの毎年，走行調査①が５月１日～６月20日の間，走行調査②が６月21日～８月10日の間，走行調査③が８月11日～９月30日に実施された。

一般にすべり抵抗は初夏の頃は高く，それから盛夏に掛けて低下し，その後秋に向けて回復していく傾向がある。

しかしながら2005年の結果では，過去３年間と異なり後期にすべり抵抗の回復が見られず，走行調査③でのすべり抵抗は走行調査②でのすべり抵抗と同等かそれ以下であった。

これを受け2006年には，各観測区間において10月末に，走行調査④として追加調査が実施された。その結果，すべり抵抗が回復することが確認され，この走行調査④は2009年まで継続して実施された。

3.2.3　研究結果

⑴　観測区間から得られたデータ

表－３には2009年の各年の各走行調査におけるSCRIM値，走行調査①～④のSCRIM平均値，変動幅を用いて年間の変動範囲を示す。

SCRIMの値は速度補正を行っている。12以上となったのは３箇所でそのうち２箇所は表層を打換えている。

⑵　豪雨条件での測定結果

図－８は豪雨条件下で測定した観測区間No.４の結果である。走行調査②を通じてすべり抵抗が他の走行調査より高くなっていることから，すべり抵抗増加の主要因は走行調査②より前の降雨により細骨材や細粒分が除去され，ミクロテクスチャが粗くなったという季節的な要因か，水溜りの影響でSCRIM車のタイヤに余剰な抵抗が付加され，SCRIMの値が高くなったことのいずれかであると考えられる。

⑶　すべり抵抗の経年変化

すべり抵抗レベルがSCRIM値の変化に与える影響を確認するため，観測区間のSCRIM値を70以上，60以上70未満，60未満のグループに分け，平均値および，グループごとの回帰直線と回帰式を求めた（**図－９**）。

図－９から年ごとの変動は季節的な影響に起因しているものと考えられる。しかしSCRIM値の回帰直線は，年ごとの変動に因らず下降傾向を示している。回帰式から算出される一年間の減少量はSCRIM値のレベルに応じ0.77～0.81である。

従って，この回帰直線はすべり抵抗が下降傾向となることを示している。

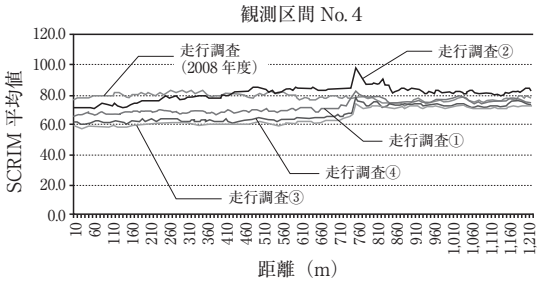
⑷　コンクリート路面のすべり抵抗

観測区間No.13の測定結果を**図－10**に示す。

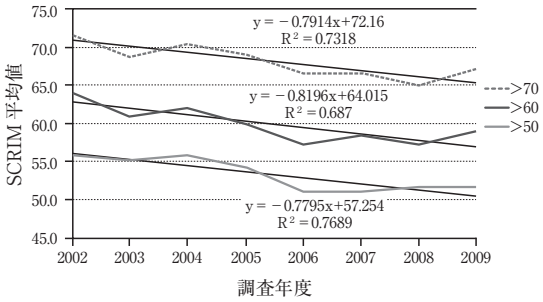
図中の縦線で区切られたアスファルト舗装路面のSCRIM値に着目すると，2009年度の各走行調査のSCRIM値は明らかに異なることがわかる。この差は季節的な影響であると推察される。

表－３　測定データ

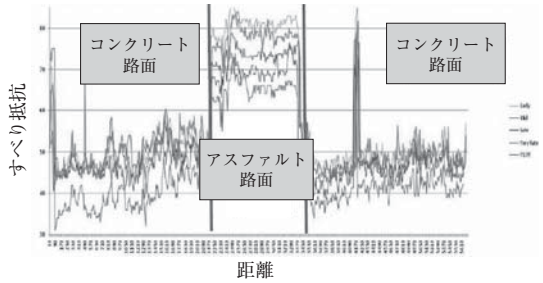
サイトNo	区域	SR平均値（温度補正後）					
		走行調査①2009年	走行調査②2009年	走行調査③2009年	走行調査④2009年	平均値2009年	変動幅
1	1	71.6	73.2	73.3	69.4	71.9	3.9
2*	1	68.5	75.8	70.2	64.6	69.8	11.2
3	2	63.8	68.7	70.2	60.1	65.7	10.1
4*	2	72.2	81	65.3	67.1	71.4	15.7
5	3	62.8	62.5	61.5	65.7	63.1	4.2
6	3	68.8	69.5	66.5	66.2	67.8	3.3
7	3	66.3	66.8	67.2	69.8	67.5	3.5
8	4	66.1	63.5	67.5	63.4	65.1	4.1
9	4	52.8	52.4	51.8	49.8	51.7	3.0
10	5	72.5	67.2	70.3	69.8	70.0	5.3
11	5	70.2	71.8	67.9	66.3	69.1	5.5
12	6	64.9	55	58.9	62.3	60.3	9.9
13	6	60.7	49.3	51.8	48.7	52.6	12.0
14	7	68.5	68.1	68.3	67.6	68.1	0.9
15	7	58	57.3	54.2	56.8	56.1	3.1
16	8	64.1	59	64.2	61	57.1	5.2
17	8	50	46.8	44.2	40.9	50.5	9.1
18	9	66.7	55.8	61.4	60.1	61.0	10.9
19	9	61.4	56.3	58.5	53	57.3	8.4
20	9	54.8	54	54.6	55.1	54.6	1.1
21*	10	60.7	49.4	52.7	63	56.5	13.6
22	11	72.2	63.5	66.1	64.2	66.5	8.7
23	11	67.8	57.7	62.5	58.6	61.7	10.1
24	11	64.4	No survey	61.2	56.6	60.7	7.8
25	9	70.5	69.2	68.8	64.9	68.4	5.6
26	7	61.5	53.8	54.2	52.8	55.6	8.7
27	12	64.7	65.9	60.3	61.3	63.1	5.6
28	10	55.8	50.8	49.9	45.2	50.4	10.6
29	12	58.4	54	54.5	53.5	55.1	4.9
30*	12	67.8	59.6	59.8	59.9	61.8	8.2
31	13	70	63.6	64.3	60.5	64.6	9.5
32	10	59.5	51.7	51.9	48	52.8	11.5
33	12	65.6	63.9	61.9	63.1	63.6	3.7
34	14	56	53.8	50	51	52.7	6.0
35	13	62.4	57.5	55	54.8	57.4	7.6
36	13	66.5	57.5	57.8	55.2	59.3	11.3
37*	13	68	64.9	62.9	61.3	64.3	6.7
38	14	62.9	63.7	58.6	59.2	61.1	5.1
39	14	50.6	51.5	46.1	48	49.1	5.4



図－８　豪雨条件による影響



図－９　すべり抵抗の経年変化傾向



図－10　観測区間No.13の測定結果

コンクリート舗装路面のSCRIM値はかなり低く，走行調査②で大きく異なった以外はほぼ同値であった。

3. 2. 4　結論

８年間に及ぶすべり抵抗調査が2002年から2009年に掛けてイギリスで行われた。以下に得られた結論を示す。

○水溜りのある条件で測定を行った結果から，水溜りによりテスト車輪に余分な負荷が掛かり，すべり抵抗が実情に反し高くなりえることが判明した。

○各年および各走行調査からすべり抵抗における変動傾向は雨量パターンと連動することが判明した。これにより，すべり抵抗の季節変動が降雨の影響を強く受けるという概念が立証された。

○各観測区間のすべり抵抗は季節変動の結果として年々増減するものの，８年の研究結果からすべり抵抗は安定化するのではなく，むしろ経年とともに減少する傾向があることが判明した。

○コンクリート路面のすべり抵抗はアスファルト路面と比べ期間的なSCRIM値の変動がかなり小さいことが判明した。

3. 2. 5　翻訳者コメント

すべり抵抗が季節によって変動し，下降，回復を繰返し，全体として減少していく挙動は同じ島国である我が国でも想定しえる挙動であり，長期的な経過観察を行う場合には大変参考になる論文である。

3.3　すべり対策と事故率に関する分析結果について

原題：***Breaking the silence about road surfaces and accident rates***

著者：*R.A. RaIlings*（オーストラリア）　　所属：タスマニア土木研究所

3.3.1　論文概要

2008年～2009年にタスマニア立法委員会は，タスマニアをはじめとするオーストラリア各州で発生した道路事故の原因などについて，道路管理者等へのヒアリングを行った。その結果，道路路面の影響は比較的小さいとの見解を得た。

この結果を受け，本研究では，改めて道路の構造や交通条件などの道路の種別（カテゴリー）と湿潤路面における事故率との関連性を分析し，カテゴリーに応じたすべり抵抗の管理目標（ILs）を設定することを試みた。

その結果，路面の湿潤時に発生する事故は，道路のすべり抵抗の影響が比較的高く，カテゴリーごとにすべり抵抗の管理目標を設けることで，効率的な路面管理が行える可能性があることが分かった。

3.3.2　研究内容

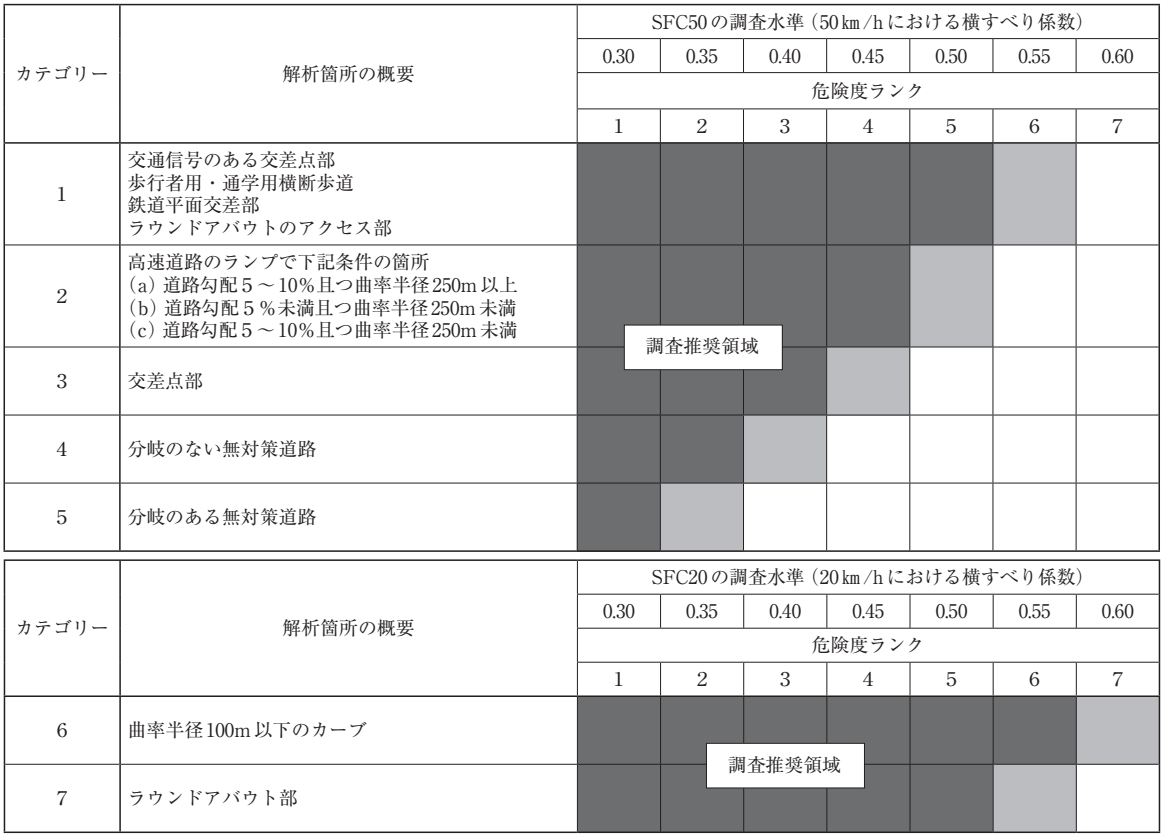
本研究では主に，SCRIM（Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine：自走式すべり抵抗測定車）を用いた横すべり摩擦係数（SFC：Sideway Frictional Coefficients）と湿潤路面での交通事故率に着目し分析を行った。ただし，きめ深さ，路面標示，乾燥路面での交通事故率や夜間視認性に関連した項目は対象外とした。また，カテゴリー７は分析対象外とした（**図－11**）。

3.3.3　研究結果

(1)　過去の調査結果を用いた分析結果

2003～2006年の４年間に湿潤路面で発生した交通事故を集計した結果，カテゴリー１～６で2,145件の交通事故が発生していた（**表－４**）。

このデータをもとに，算出された事故発生率とSFCの関係を**図－12**に示す。



図－11　調査水準と調査カテゴリー

図－12から，カテゴリー２，４，５，６では，SFCが大きくなるほど事故発生率（件／10^8台／km）が低下傾向にあることが分かった。また，**図－12**から求めた，事故発生率が20%を以下となるSFCを**表－５**に示す。

⑵　湿潤道路での事故の要因分析

表－４の事故件数と年間移動距離に着目すると，一車線の場合には両者間で多少の相関はあるが，２車線では明確な相関は見られない。このことから，長距離移動によるドライバーの疲労よりもSFCが低いことが事故発生の要因ではないかと考えられる。

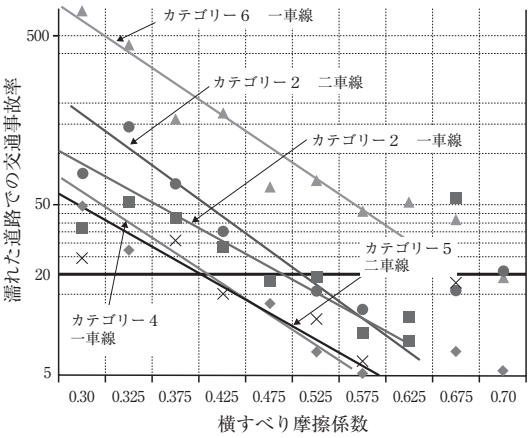
⑶　車線数と事故発生率の関係性

カテゴリー２，４，５における車線数を考慮した事故発生率とSFCの関係を**図－13**に示す。図から，SFCが低いほど事故発生率は高くなる傾向が見られ，特に，二車線の場合（カテゴリー５）の事故発生率は，一車線の場合（カテゴリー４）に比べ３～４倍も高いことが分かった。

このことから，交通量が多い複数車線の幹線道路などの場合は，SFCの調査水準は車線数によらず高く設定するべきであると言える。

表－４　事故件数および車線延長

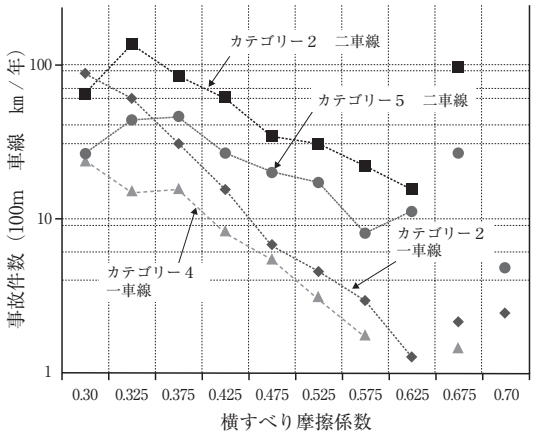
カテゴリー	湿潤路面での事故（件）			車線延長（km）		年間移動距離（km／年）	
	１車線	２車線	計	１車線	２車線	１車線	２車線
1	29	124	153	14.6	6.0	0.13	0.25
2a	240	154	394	936.9	51.9	2.78	1.76
2b	246	36	282	858.5	13.6	2.30	0.46
2c	114	18	132	357.2	4.5	0.56	2.43
3	86	20	106	75.6	3.6	0.40	0.11
4	569	1	570	3,723.3	2.1	14.23	0.05
5	0	256	256	18.3	186.4	0.35	5.75
6	217	35	252	342.4	2.5	0.56	0.07
計	1,501	644	2,145	6,326.8	270.6	21.31	10.88



図－12　事故率とSFCの関係
（カテゴリー２，４，５，６）

表－５　事故発生率のしきい値を満たすSFC

カテゴリー	しきい値を満たすSFCの値	
	図－12からの読み値	推奨値
1	－	0.55
2	0.50～0.55	0.50
3	－	－
4	0.40	0.40
5	0.40	0.40
6	0.70	0.60



図－13　事故件数とSFCの関係
（カテゴリー２，４，５）

3.3.4　結論

○湿潤路面での事故は，運転手の疲労または車両の欠陥ではなく，SFCの低さが要因である。

○車線数の多い幹線道路においては，高いSFCの調査水準を設定し，管理することも事故低減へ向けた対策であるといえる。

○重交通道路で事故率を低減させるためには，表層のSFCを増加させる必要性がある。

3.3.5　翻訳者コメント

道路利用者の立場から舗装の特性値である横滑り係数と湿潤路面（雨天時）の事故発生率について，さまざまな角度から分析を行っている。

今後このようなデータを蓄積し，地域や交通環境などの条件に応じた分析を行うことで，維持管理に役立つデータベースを構築していくことが重要である。

3.4　チップシールのフラッシングに関する客観的計測手法の開発

原題：***Developing an objective measure for flushing on chip seals***

著者：*David Whitehead*（ニュージーランド）　　所属：*WDM Limited*

3.4.1　論文概要

チップシールの寿命とは，それがテクスチャを失い，フラッシュ状態に達するまでの期間のことである。フラッシングは，道路のすべり抵抗性を劇的に低下させるため，道路網の安全性に直接影響する。そのため，フラッシングを客観的な手法で計測することが重要である。

本論文では，フラッシングを計測する方法論について記述する。具体的には，新規に導かれるテクスチャのしきい値およびテクスチャの測定値，すべり抵抗性の測定値を使用し，フラッシングの範囲の測定，その位置の特定，その定量化方法の確立を行う。

3.4.2　研究内容

本研究の目的は，チップシールのフラッシングを判定するテクスチャデータのしきい値を確立することである。したがって，本論文におけるフラッシングの定義を，ニュージーランドおよびオーストラリアにおける定義を参考にし，下記の①および②を満たすものとした。

①バインダがチップシールの骨材上面まで浮き上がったことによるテクスチャの喪失。

②有意性のある湿潤時のすべり抵抗性の低下。

この研究で必要なデータは，すべり抵抗性（SCRIM係数：以下SC）およびテクスチャデータである。これらのデータは，ニュージーランドの州道路ネットワークに関する年次調査の一部としてSCRIM+によりに集められた。SCRIM+では，SC，テクスチャデータ，路面のビデオデータを同時に収集可能である。測定データは10m毎の平均が使用され，測定したテクスチャデータは以下に示す５種類の方法で処理した。

○平均プロファイル深さ（MPD）

100㎜区間の平均は，隣接した２つの50㎜区間における平均深さと最大ピーク値の差で与えられる。

○修正平均プロファイル深さ（修正MPD）

100㎜区間の平均，隣接した４つの25㎜区間に分割することにより計算される。

○平均ピーク数（Average Peak Count）

100㎜区間の平均プロフィルラインより0.6㎜以上高い１㎝毎のピーク数。

○接触部分比（Material Ratio）

100㎜毎に計算した，最大ピークの１㎜下に引いたラインより上にある，プロフィルの割合（%）。

○センサきめ深さ（SMTD）

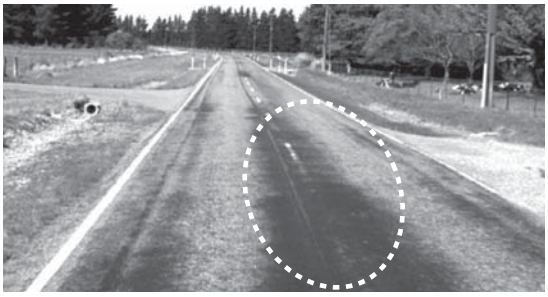
30㎝ごとに算出されたRoot Mean Square（RMS）により，10mごとの平均値として計算される。

3.4.3　研究結果

⑴　ビデオデータと測定データの比較

まず，SCとテクスチャデータの関係を確認した。その結果，SCと６種類のテクスチャ処理値に相関がありそうなのは，SCが低い時であった。特に４種類のテクスチャ処理値（MPD，修正MPD，SMTDおよび接触部分比）に強い相関が見られた。

また，SCが低い測定区間をビデオデータで確認したところ，フラッシュが確認された。フラッシュ箇所の例を**写真－５**に示す。



写真－５　フラッシュ箇所の例

⑵　分析用データの選択

本研究の目的は，テクスチャデータとフラッシングの相関を評価することから，少なくとも全体の10%が低いテクスチャを持っている測定区間を選択した。ここで，低いテクスチャとは，一般的にフラッシュ状態と考えられている，SMTD≦0.5㎜，MPDまたは修正MPD＜0.7㎜，接触部分比>40とした。

⑶　統計的評価

低いテクスチャにおける，テクスチャ処理値とSCの依存関係を評価するためピアソンのカイ二乗検定を行った。**表－６**に検定に用いたテクスチャ処理値のしきい値範囲を示す。カイ二乗検定ではSC≦0.35で**表－６**に示したしきい値範囲が独立しているかどうかを判定した。ただし，SC≦0.1のデータは測定時にSCRIM+の測定車輪が浮き上がっている可能性があるため，除外した。

表－6　テクスチャのしきい値範囲

測定項目	修正MPD	MPD	SMTD	接触部分比
しきい値	0－1.0㎜	0－1.0㎜	0－0.5㎜	40%－100%

自由度1.0，危険率0.1%で検定した結果，すべてのしきい値範囲においてテクスチャ処理値とSCの間に依存関係があることを示した。また，今後の検討では，検定においてSCとの依存関係の高かったMPD，SMTDを使用することとした。

⑷　テクスチャ処理値のしきい値の設定

最適なテクスチャ処理値のしきい値の設定は，任意のSCおよびMPDより小さい10m区間の割合により評価した。結果を**表－7，8**に示す。表内の数字が高いほどテクスチャ処理値とSCの関係がより強いことを示している。評価の結果，低いテクスチャの時は検出漏れ（フラッシュしているが識別されないエリア）が多数存在し，一方で高すぎるテクスチャの時には誤検出（フラッシュしていないのにフラッシュしていると識別されるエリア）が多数存在した。このため最適なしきい値の選択にはバランスが要求されることが分かった。

⑸　詳細な目視評価

最適なテクスチャ処理値のしきい値を設定するため，ビデオデータと合わせて評価した。その結果，SCとテクスチャの測定装置の位置が横断方向に少し異なる事から，測定路面上に路面標示等の部分的に異なる箇所がある場合に検出漏れや誤検出が発生していることが判明した。

⑹　フラッシュ量の定量化

テクスチャやSCに影響を及ぼす要因は数多いことから，テクスチャあるいはSCの一方が低いだけでは，フラッシュの有無を特定することは困難であった。そこで，フラッシュした場所の識別用にしきい値を設定するため，テクスチャとSCの両方を使用することとした。

いくつかのしきい値において，しきい値に対応した測定区間のビデオをレビューすることを繰り返した結果，以下のことが分かった。

①SMTD≦0.40かつSC≦0.35のしきい値に当てはまるデータ群では，ビデオデータのほぼすべてが明白にフラッシュ状態であること。

②SMTD≦0.50かつSC≦0.40がちょうどフラッシュを始めた場所を特定できること。MPDの場合は比較的高水準なMPD＞1.0㎜で設定する必要があること。ただし，MPDのしきいレベルでは，誤検出が多く出る危険性がある。

3.4.4　結論

フラッシュを識別するのに推奨するしきい値を**表－9**に示す。

○MPDではなくSMTDが，テクスチャ処理値として使用されるべきである。

○しきい値1はフラッシュがはじまっているエリアの識別が可能であり，また道路網のフラッシュ量の定量化が可能である。

○しきい値2は出来る限り早い対処を必要とするフラッシュした場所の識別が可能である。

○舗装新設時は少なくともSMTD≧0.6，MPD≧1.1とするべきである。

3.4.5　翻訳者コメント

本論文は，道路管理者に対して，管理道路内のフラッシュ場所の特定とその定量化方法を提案したものである。国内にもすべり抵抗性と路面テクスチャの関係を報告したものがあるが，本論文のように路面測定車により一括して得られたデータより検討されたものは少ない。今後，我が国でも路面測定車の普及が更に高まれば，このような論文が非常に有用なものとなると考える。

表－7　設定SCおよびMPDより小さい割合

MPD（㎜）	SCRIM係数（%）									
	0.30		0.325		0.350		0.375		0.40	
	LWP	RWP	LWP	RWP	LWP	RWP	LWP	RWP	LWP	RWP
0.5	39.2	49.2	43.6	53.7	51.8	57.0	54.7	61.6	59.1	62.4
0.7	32.6	40.7	42.0	47.8	52.2	53.9	58.6	58.8	65.2	63.4
0.8	26.4	29.9	35.5	37.9	46.1	46.2	52.9	51.7	59.6	57.3

表－8　設定SCおよびSMTDより小さい割合

SMTD（㎜）	SCRIM係数（%）									
	0.30		0.325		0.350		0.375		0.40	
	LWP	RWP	LWP	RWP	LWP	RWP	LWP	RWP	LWP	RWP
0.3	39.4	30.4	47.4	34.6	56.0	39.1	60.8	42.5	67.0	45.3
0.4	29.2	24.3	39.5	31.0	50.5	38.8	57.4	44.0	64.2	48.9
0.5	18.8	15.4	26.8	21.4	36.6	28.7	43.9	34.2	51.2	39.6

表－9　フラッシュを識別するのに推奨するしきい値

しきい値	テクスチャ		SCRIM係数	コメント
	SMTD	MPD		
1	0.50以下	1.0以下	0.4以下	発生初期のしきい値
2	0.40以下	0.7以下	0.35以下	進行時のしきい値

3.5　南アフリカにおける超薄層摩耗層の性能に関する報告

原題：***Critical Review of Performance of UTFC in South Africa***

著者：*Corne`Roux*（南アフリカ共和国）　所属：南アフリカ国際道路局

3.5.1　論文概要

南アフリカにおいて主要道路の維持修繕が必要となっている。そこで，南アフリカではヨーロッパの重交通道路で用いられていた超薄層すべり止め舗装（UTFC：Ultra Thin Friction Course）を，1998年に初めて導入した。本舗装は，専用のアスファルトフィニッシャでアスファルト乳剤を散布しながら同時に表層（15㎜程度）を舗設するものであり，適度なすべり抵抗性を有し，防水層としても適用可能な表面処理工法である。また，ライフスパンは，8～12年といわれている。

本文は，実道における超薄層すべり止め舗装の追跡調査を実施し，供用性について評価した結果を取りまとめたものである。

3.5.2　研究内容

1998年に超薄層すべり止め舗装が導入されてから，多くの主要道路に適用されている。いくつかの現場では，打換えや表面処理を行っているが，大多数は供用中である。

本検討では，超薄層すべり止め舗装を適用した現場のキメ深さ，耐摩耗性，耐わだち掘れ等についての追跡調査を実施し，供用性評価を行った。

3.5.3　研究結果

⑴　キメ深さ

適度なすべり抵抗性を保持させるためには，キメ深さが大きく影響することから，超薄層すべり止め舗装のキメ深さをサンドパッチ法で測定した。結果を**表－10**に，供用後の路面を**写真－6**に示す。本結果は，非常に良好な箇所の一つである。結果より，供用によるキメ深さに大きな変化はみられなかった。また，その他の箇所についても同様の傾向がみられた。

表－10　キメ深さの経時変化

測定時期	2007年	2009年	2010年
平均キメ深さ（㎜）【2005年施工】	1.10	1.23	1.33
全交通量（台／日）	7,191		
大型車交通量（台／日）	1,641		

写真－6　供用後の路面

次に，超薄層すべり止め舗装とシール工法およびアスファルト舗装を比較した結果を**表－11**に示す。結果より，本舗装は，シール工法よりキメ深さは小さいが，アスファルト舗装と比較すると大きい結果となった。

⑵　乗り心地

超薄層すべり止め舗装は，シール工法と比べると乗り心地が改良されているといわれている。しかしながら，本舗装の施工厚は18～20㎜であるため，既設舗装の凹凸によっては，乗り心地が改善されない場合も考えられる。本舗装のIRIを測定した結果を**表－12**に示す。結果より，施工前と施工後（供用6～7年）を比較すると，IRI値は0.45～1.1程度改善されていることが確認された。

⑶　耐摩耗性

超薄層すべり止め舗装は，供用8～12年の間に摩耗により舗装が破損するといわれている。また，供用10年程度で骨材飛散や表面の荒れが生じることもわかっている。しかし，供用5年で骨材飛散が早期に発生し損傷した箇所も存在する。この原因は，交通量の増大で過度の曲げ疲労が作用したものと考えられる。

⑷　わだち掘れ

超薄層すべり止め舗装のわだち掘れについての追跡調査を行った結果，わだちがみられる箇所は，下層の変形または既設舗装の影響，もしくはそれら両者の原因が考えられる。既設舗装にわだち掘れが生じている箇所にオーバーレイを実施した箇所を**写真－7**に示す。既設舗装のわだち掘れは，8㎜であった。本舗装を施工し，供用後のわだち掘れ量を測定した結果，2007年以前で2.2㎜であり，2010年には3.2㎜まで増加したが，目標値は満足することができた。したがって，レベリング等の事前処理を行わなくても本舗装を適用可能であることが確認された。しかしながら，10㎜以上のわだち掘れが発生している箇所は，事前処理を実施した方が望ましいと考えられる。

⑸　表面排水性能

超薄層すべり止め舗装は，シール工法と比較して降

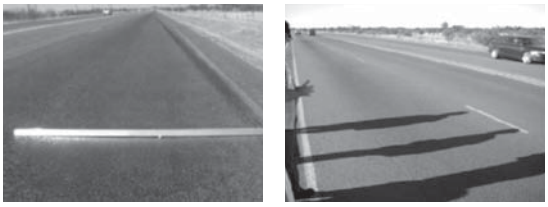
表－11　キメ深さ測定結果

舗装の種類	UTFC	シール舗装（一層）	シール舗装（二層）	ロールドアスファルト舗装	SMA
平均キメ深さ（㎜）	1.1－1.5	1.6－2.0	2.0－2.4	0.9－1.0	0.8－0.9

表－12　IRI測定結果

	平均IRI				
測定時期	2006年	2006年	2005年	2005年	2006年
2002年［施工直後］	2.15	1.4	2.03	2.43	2.13
2008年／2009年	1.25	0.95	0.91	1.44	1.31

施工前（2007年）　供用4年（2011年）



写真－7　施工前後のわだち掘れ

雨時における水跳ねが少ないことが特長である。これは表面形状の違いによるものと考えられる。また，施工箇所によって水跳ねの影響が異なることが確認された。しかし，表面排水性能には定められた規定がなく，大きい面積での測定も困難であるため，本舗装の表面排水性能は評価されにくい。今後，長期の追跡調査・評価を行い，基準を確立する必要がある。

(6)　路面の性能

重交通道路に適用された供用後10年の現場においてタイヤによる荷重と燃料油の影響で舗装表面の損傷が生じていた。路面の状況を**写真－8**に示す。

また，施工前後の路面の性能を調査した結果を**表－13**に示す。結果より，供用後7年が経過しているが，IRI，キメ深さ，わだち掘れ等の路面の性能に大きな変化はみられず，良好な状態を維持していることが確認された。

写真－8　損傷した路面

(7)　施工方法

超薄層すべり止め舗装は，専用のアスファルトフィニッシャでタックコートを散布しながら，混合物を敷設するものである。また，既設舗装との付着が耐久性に大きく影響してくることから，タックコートの散布は層間はく離を防止するためにも非常に重要なものとなってくる。本舗装におけるタックコートの散布量は，0.7～0.8㍑／㎡である。

3.5.4　結論

本研究で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

○超薄層すべり止め舗装は，供用による路面性状（キメ深さ，乗り心地，耐摩耗性，わだち掘れ）に大きな変化はみられず良好な状態を維持していた。

○超薄層すべり止め舗装は，健全な既設舗装に適用した場合，良好な供用性を示した。

表－13　路面性状測定結果

測定時期	2001年［施工前］	2002年［施工直後］	2009年［供用7年］
ラフネス指数［平均IRI］	2.16	1.66	1.64
キメ深さ（㎜）	1.38	1.5	1.4
平均わだち掘れ量（㎜）	7.6	3.6	5.4
全交通量（台／日）	96,176	99,206	108,060
大型車交通量（台／日）	4,552	5,378	6,658

3.5.5　翻訳者コメント

超薄層すべり止め舗装は，日本国内においても多くの検討がおこなわれている。しかし，長期の供用性のデータは十分であるとはいえないことからも，今後のデータの蓄積や分析から得られる知見は興味深いものである。

4.1　南アフリカにおける適切なスラリーシール設計法の確立

原題：***Establishment of Appropriate Slurry Seal Design Methods for South Africa***

著者：*Gerrie van Zyl* ら（南アフリカ共和国）　所属：*Mycube Asset management Systems.Ltd*

4.1.1　論文概要

スラリー混合物は細骨材（ダストや砂），アスファルト乳剤，フィラー（セメントや石灰），水，添加剤，ポリマーから構成される混合物である。

スラリー混合物は南アフリカで表面処理，テクスチャ処理，ケープシール（チップシールの上層にスラリー混合物やマイクロサーフェシング（MS）を適用する工法）の一部として広く使用されている。TRH３（南アフリカ道路局の表面処理の設計・施工に関する技術指針2007年）とSABITAマニュアル28（南アフリカ乳剤協会のスラリーシールとマイクロサーフェスの設計と施工）の発刊によって，業界ではスラリーの設計に改良マーシャル試験を適用することになった。

本論文ではマニュアル28に掲載されている推奨設計に至るまでの背景と調査結果を中心に述べる。

4.1.2　研究内容

初期建設時等は粗めのスラリーシールやMSが一般的で６㎜から15㎜の厚さである。予防的維持としてのメンテナンス等で用いる場合は，シールする前に単粒砕石でテクスチャ深さを揃えて補修する。また，わだち処理補修などにも用いられる。

本研究では南アフリカにおけるスラリーシールの適切な設計手順を選択するための背景や追加情報として混合物中の異なる微粒分量の影響を評価した。

4.1.3　研究結果

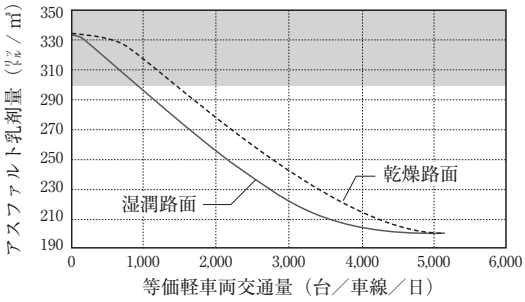
(1)　スラリーシールの設計に関する基礎的な研究

材料や目的に応じた適切なバインダ量を決定するための種々の方法が南アフリカで研究された。得られたコンセンサスは以下の通りである。

○ウェットトラック摩耗試験は最少バインダ量を得るために使用するべきである。

○コラスメソッドは室内厚さ20㎜のマーシャル供試体を作製し最適バインダ量を決定できる方法である。

○少ない交通量と標準的な粒度分布の骨材においては，Gauteng州道路局（GAUTRANS）の設計バインダ量決定図（**図－14**）が適している。



図－14　Gautrans州道路局の設計バインダ量決定図

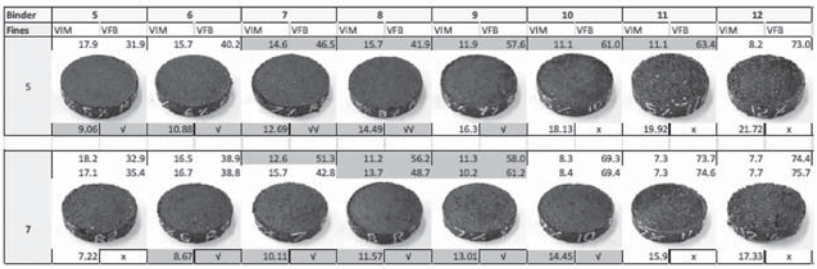
(2)　微粉量の影響

現場に運ばれる材料の品質は，設計に用いたサンプルとは大きく異なることがよくある。設計の妥当性についての不確実さは，その後の再設計と追加時間が必要になる。現場で調整することによる品質の変化の影響を評価するため，混合物において0.075㎜以下の微粒分の割合を５％から12％に，バインダ量も同様に５％から12％に修正するという実験が行われた（**図－15**）。

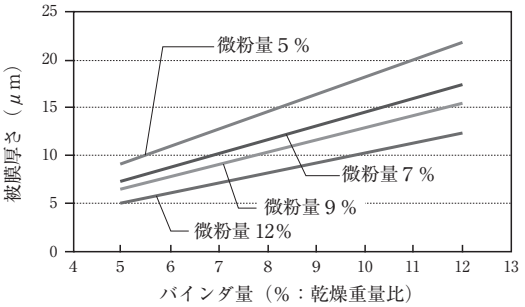
微粒分量の修正時に目標膜厚を得るためには，大幅な調整が必要であることがわかった。コラスメソッドを用いて異なった微粒分量とアスファルト量で作製した供試体の外観から，良好（不良）と予想される範囲を確認することができた（**図－16**）。

(3)　ケープシール

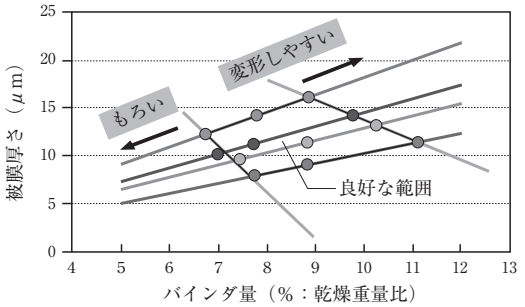
初期のケープシールは単粒19㎜骨材およびスラリーを２通りに適用する。粗骨材（19㎜）用のバインダは



写真－９　微粒分量の異なる供試体の外観



図－15　被膜厚さとバインダ量の関係



図－16　コラスメソッドによる良好な範囲

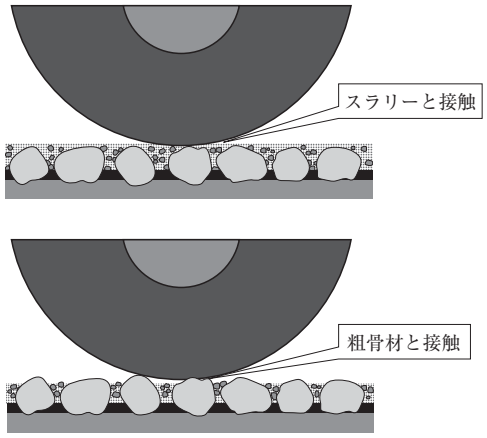
80/100アスファルトまたはアスファルト乳剤に使用するタックコートに分離し，希釈乳剤で散布する。従来から検討されてきたスラリーのバインダ量は，１層目が14%（乾燥骨材質量に対し）で２層目が20%である。

ケープシールには骨材粒径9.5㎜～37.5㎜，開粒～密粒，１層～３層，プレコートの有無や骨材被覆の有無，改質バインダの仕様，固化時間の違い等様々なバリエーションがある。

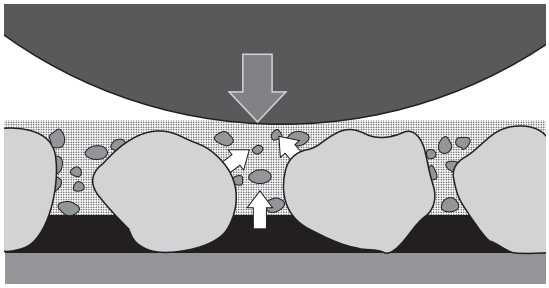
ケープシールにおいてよく起こる欠陥は，酸化と硬化によるひび割れ，バインダ量の高低や砂の角取れによるすり減りなどである。ボックススプレッダによって施工された場合，スラリーが骨材の凹凸を覆うため，バインダ量は少なくするべきである（**図－17**）。

図－18に示すように，単粒砕石が広げられ骨材被覆を適用した状況下では，スラリーはタイヤに直接触れる。表面に残ったバインダは結局スラリー混合物の中に練り混ぜることになる。

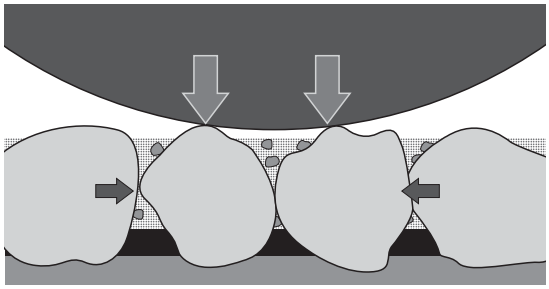
一方，**図－19**に示すように加熱バインダが骨材被覆することなく密に広がったプレコート砕石が用いられ，スラリーはタイヤに直接触れない。砕石粒子間の内部摩擦も動きを最小限に抑えることに寄与し，スラリーの練り混ぜを減らすことが重要である。



図－17　ボックススプレッダと人力施工の効果の違い



図－18　スラリーの相互作用が強い場合



図－19　スラリーの相互作用が弱い場合

4.1.4　結論

本論文では，南アフリカにおけるスラリーサーフェイシングの適切な設計手順を選択するための背景や追加情報として混合物中の異なる微粒分量の影響，南部アフリカのケープシールの総説を示した。

4.1.5　翻訳者コメント

本論文で紹介されているTRH３やSABITAマニュアル28では，南アフリカのスラリーシールやケープシールについて，より詳細な解説が掲載されている。

我が国においてもスラリーシール等の乳剤系表面処理が普及することが望まれる。

4.2　ライフサイクルコスト改善を目的とした高摩擦抵抗性表面処理工法について

原題：***Innovative surfacing treatments delivering safer roads***

著者：*Bryan Pidwerbesky*　　所属：*Fulton Hogan.Ltd*（ニュージーランド）

4.2.1　論文概要

車両の滑りによる交通事故への対応策として，イギリスでは舗装表面の滑り抵抗性を改善する工法を開発し，この中でエポキシアスファルトとゴムチップを使用した高摩擦表面処理工法（HFS）を用いることで事故の発生率を大幅に低減できることが報告されている。

同様に，ニュージーランドにおいてもHFSが検討・適用されてきた。しかし，ニュージーランドにおける施工事例では早期破壊が多くみられ，耐久性とコストの観点から問題視されている。

そこで，ニュージーランドの様々な箇所で過去５年の間に適用されたHFSについて，破壊原因の調査を行った。本論文はその調査結果から，破壊の原因となる要因を分析した結果に基づき，有効と考えられる対策について報告するものである。

4.2.2　調査内容

ニュージーランドのHFSは材料である細骨材（Calcined Bauxite（CB））を被覆するのに合成結合剤（通常エポキシまたはポリウレタン）を使用している。しかし，HFSが適用された多くの場所で，高摩擦抵抗性能が十分に残っているにもかかわらずHFSが早期に破壊してしまうケースがあった。これについて様々な観点から，調査考察を行った結果を示す。

⑴　ライフサイクルコスト

HFSは寿命が７年を超えることが前提であり，建設費用が事故率を低減させる効果に見合う費用になることで，はじめて認められる。このため，ライフサイクルコストは経済性，機能性に加え，事故率の低減効果を考慮されるべきものである。

⑵　既設路面との剥離による破壊

HFSの破壊は既設路面（特に粗骨材）との結合力が弱いことに起因することが多い。この剥離の要因は，HFSのバインダと既設路面との接着不良（**写真－10**），CBとバインダの結合が弱いことによる飛散，アスファルトの化学的結合不足に原因がある。これら破壊原因は，施工業者の塗布方法に起因する場合もある。近年においては，施工業者の塗布方法を改良することで，層間剥離とCBの損失を減らし，HFSの接着性能が向上された報告もある。

写真－10　HFSの層間剥離の例

⑶　CBとバインダの剥離

大きなせん断力と荷重に対応するためには，バインダとCBの結合力が十分でなければならない。しかし，調査の結果から，CBはバインダとの結合の相性が悪く，各種バインダ間で明確な有意差は確認されていない。

また，CBとバインダの結合力は施工方法の影響を強く受けることが分かっている。結合の低下の原因になるのはCBの汚れ，表面水，化学的な相溶性などがあげられる。また，施工時にバインダの固化が早すぎることや，逆に固化する前に早期交通開放すること（**写真－11**）なども要因としてあげられる。また，バインダを規定量使用しなかったために，結合力不足でCBが飛散してしまった事例もある（**写真－12**）。

⑷　既設路面境界におけるせん断応力

施工方法に問題がない場合，表面の荷重はバインダと既設路面の境界に伝達される。また界面にかかる荷重はHFS工法の厚さに依存することがわかる。HFSが薄い場合，高い摩擦力ゆえに，界面の受ける荷重も大きくなり，既設路面との層間摩擦抵抗力を上回る場合，層間剥離破壊の原因となる。

⑸　層間剥離破壊

HFSと既設路面の層間剥離の原因は多くの場合既設表面の汚れと湿気によるものである。また既設路面がバインダのフラッシュやブリーディングを起こしている場合，層間剥離の原因となることがある。既設表面状態の改良策として既設表面の研磨や表面のブラストによる改善が行われているが表面湿気を残す

写真－11　早期の交通開放による破壊事例

写真－12　結合力不足によるCB飛散の例

という問題がある。これらの方法を行う場合，バインダ塗布前に既設表面を強制的に乾燥することが必要である。表面の乾燥は，バインダの反応性を高めることにもつながり，接着力を向上する。

4.2.3　問題に対する対応事例

前述のような破壊に対して対策として行われた事例として以下を挙げる。

⑴　より強いアスファルトの適用

改質アスファルトのように硬く，強いバインダの適用

⑵　施工基面の粗面化

改質アスファルトを使用したSMA混合物を基層として適用

⑶　たわみの抑制と追従性向上

既設路面の剛性を向上させ，HFSバインダは剛性を抑えることでたわみに対するHFSバインダの追従性を向上。

⑷　剥離の抑制

添加剤の使用によりHFSバインダと既設路面との接着性の確保

⑸　追従性に富むHFSバインダの開発

アスファルトのように既設路面の伸縮性やバインダ自身の伸縮に追従できるたわみ追従性と荷重に耐えられる強度を保持したバインダを開発。

4.2.4　結論

ニュージーランドにおけるHFSの破壊原因としては，適用する路面の劣化が激しいことや，製品の製造・施工過程の取扱いの問題が挙げられる。適用する箇所の既設舗装は，最大粒径20㎜で厚さ60㎜のポリマー改質アスファルト混合物が望ましい。

HFSに使用するバインダは，夏季であれば2ヶ月以上保管することで硬化してしまい，施工不良の原因となる。また，HFS施工時には既設路面の汚れを除去したのちに，路面ヒータや送風機で表面を十分に乾燥させる必要がある。もしも水分が残留している場合は層間剥離の原因となる。施工後は十分な硬化時間を確保し早期の交通開放は避けるべきであり，塗布したバインダが硬化してしまってからCBを散布しても結合力が十分に得られず，早期破壊の原因となる。

早期破壊が多く，事故率低減効果に見合ったライフサイクルコストを満足しない例が多いため，発注者側のHFSに対する信用を失ってしまうことがしばしば見受けられる。また，材料単価を抑えるために使用材料を最低限に抑えてしまうのが早期破壊原因となることもある。

4.2.5　翻訳者コメント

我が国において滑り止め対策として普及しているニート工法では，骨材飛散を抑制するために反応型アクリル樹脂（MMA）を使用したり，施工方法には最善の注意をはらっている。寿命は6から7年程度であり，寒冷地では4から5年ほどである。供用後，局部的な破壊はたびたび見られるようである。

4.3　チップシールのすべり抵抗性評価を目的とした室内シミュレーションについて

原題：*Research on Laboratory Simulation Test Method for Skid Resistance Performance of Chip Seals*

著者：*Y.Li* ほか（中国）　　所属：大連理工大学

4.3.1　論文概要

簡易・安価なチップシールは，アスファルト舗装の維持・修繕に適した手法であり，その有効性は高い。

既設舗装上に施されたチップシールは，既設舗装の損傷を修復するものである。そのため，室内評価する場合は，既設舗装の損傷状態も考慮するべきである。本論文ではモールド法という既設舗装の損傷を考慮したチップシールの室内評価方法について報告する。

4.3.2　研究内容

⑴　供試体作製方法

既設舗装を表現するための下層を作製するために，300×300×40㎜の型枠で，AC－16アスファルト混合物を作製した。供試体作製温度は21℃とした。温度が低すぎるとバインダの粘性が高くなりすぎ，温度が高すぎると粘性が低くなりすぎる。そのため，適切な温度での作製が求められる。

既設舗装のひび割れは，手動カッターバーで適切な幅・形のひび割れを擬似的に作製した。ひび割れ深さは約５㎜で，ひび割れ縁を粗く削り，チップ材と埃を取り除いた。また，細骨材とアスファルトを取り除くことで，舗装の凹凸を再現した。

バインダのアスファルト乳剤とチップシールは，手動で塗布・散布した。骨材には，最大粒径３～５㎜の玄武岩と５～10㎜の石灰岩を用いた。

転圧には，以下に示す二種類の方法がある。転圧回数は，初期転圧を最低３回とし，初期転圧後にチップ食い込み深さを確認した。食い込み深さは，骨材の直径の50%が望ましい。経験的に初期転圧回数は３～５回が適切である。

写真－13　供試体作製状況

○ホイールトラッキング試験機によるラバータイヤでの転圧。

○ローラ転圧機で転圧。供試体表面を厚さ15㎜のラバーブランケットで保護する。

転圧が終了したら，供試体を４時間養生する。なぜなら，一般にチップシールの交通開放は２～４時間のためである。養生温度は60℃とした。

交通による経時変化を考慮するために，供試体を再転圧する。適切な再転圧は，チップを安定化させることが確認された。再転圧回数の目安は，以下のとおりである。

○ラバータイヤでの転圧：1260回転圧。

○ローラ転圧機での転圧：60回転圧。

⑵　室内供試体の評価手法

①技術的指標を用いた評価

○テクスチャ深さ

チップシールのパフォーマンスを評価するには，ペンシルバニアで提案された，平均テクスチャ深さを用いる。テクスチャ深さが大きいとすべり抵抗性が高くなる。骨材摩耗が進行するとテクスチャ深さが小さくなる。

○ウェットトラック摩耗試験

チップシールの剥離抵抗性を評価するために，ウェットトラック摩耗試験が用いられる。この試験法は，回転するゴムラバーが供試体表面を繰り返し摩耗することで，チップの剥離量を測定するものである。アスファルト乳剤とチップの接着力が強いと，剥離量が少なくなる。

②品質性能指標を用いた評価

○ブリーディング

ブリーディングは，アスファルト乳剤の散布量が多すぎる時や骨材が不十分な箇所で，表面が黒いパッチ状となり，スムーズでツルツルになる現象である。ブリーディングは，高バインダ量と不均一な骨材粒度に起因することが多い。

○ラベリング

最も主流な損傷である。断片的に剥離が見られるため，不均一な表面となる。

③すべり抵抗性試験による評価

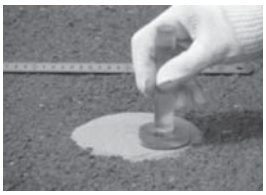
すべり抵抗性もしくは摩擦は，タイヤと舗装の抵抗によって安全を確保するものであり，二つの要素，マクロテクスチャとミクロテクスチャで構成される。マクロテクスチャは，骨材の寸法・形状・散布間隔で決定される。一方，ミクロテクスチャは，骨材の摩擦特性で決定される。一般に，舗装のすべり抵抗性は，舗装のテクスチャ深さと摩擦係数で評価される。

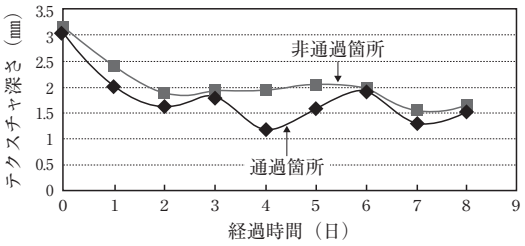
○現地テクスチャ深さ試験

現地調査では，テクスチャ深さと交通状況について調査した。これらを基準値として室内評価と比較した。

4.3.3　研究結果

サンドパッチ法で表面のテクスチャ深さを，車輪の通過箇所と非通過箇所で測定した。測定結果を**図－20**に示す。図から分かるように，車輪通過箇所では，テクスチャ深さが小さくなっている。このことから，交通開放後は，車輪の通過箇所をコントロールすることが望まれる。そのため，横断方向における車輪の通過箇所の分布を考慮することが必要である。



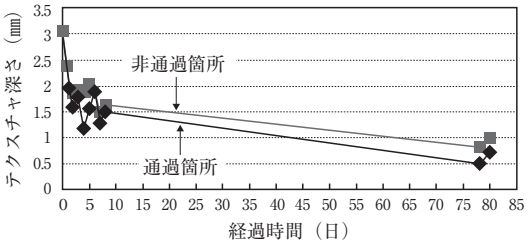


図－20　テクスチャ深さの現地調査結果

図－21は，テクスチャ深さの経時変化を示している。交通開放直後は，ばらつきが見られるが，7日後から安定して減少している。交通開放直後は，テクスチャ深さが大きく（1.8㎜以上）で，騒音が大きく，乗り心地も悪い。

○室内すべり抵抗性試験

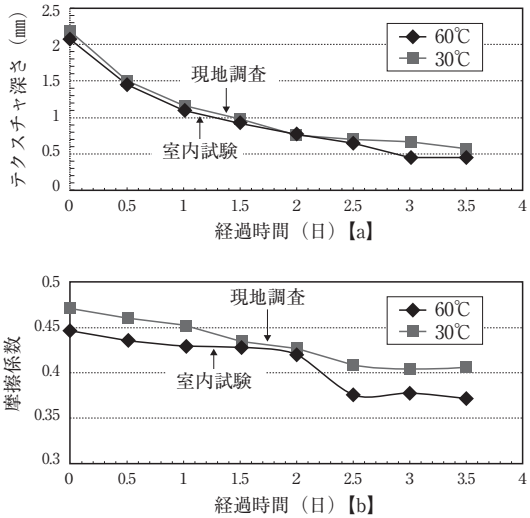
室内試験評価では，作製した供試体を用いて，テクスチャ深さと摩擦係数の経時変化を測定した。図は，室内試験結果と現地調査結果を比較している。



図－21　テクスチャ深さの経時変化

図－22aは，テクスチャ深さの経時変化であり，室内結果と現地結果は一致している。また，高温なほどテクスチャ深さが小さくなっている。

図－22bは，摩擦係数を示している。室内試験は高温（60℃）で行っており，摩擦係数の低下が顕著である。



図－22 a, b　室内結果と現地結果の比較

4.3.4　結論

モールド法は，既存舗装の損傷を考慮した室内試験法であり，現地調査との相関も確認できた。室内すべり抵抗性では，チップシールのパフォーマンスを知ることができた。

4.3.5　翻訳者コメント

本論で著者が提案しているモールド法ではテクスチャ深さの室内結果と現地結果の相関が非常に高いものの，国内で適用する場合には更なる検討が必要であると考える。

4.4　WS試験とPSV試験によるニュージーランドのチップシール用骨材のすり減り抵抗性能評価の比較

原題：*Comparison of the Wehner-Schulze and PSV test for estimating the polishing resistance of New Zealand chip seal aggregates*

著者：*John Patrick*ほか（ニュージーランド）　所属：*Opus International Consultant*

4.4.1　論文概要

ニュージーランドで行われた研究では，チップシールにおいて，英国の骨材摩耗テスト（PSV）を用いた路面摩擦パフォーマンスの予測結果は極めて多様であり，骨材の素材の方がより信頼できる予想を導き出すことが明らかとなった。

そこで，ウェーナー・シュルツ（WS）試験がPSV試験に代わるものと成り得るか調査された。ドレスデン工業大学は，PSVが46～61の範囲の６つの材料に対するWSテストを行なった。

PSVとWS試験の結果は，互いに高い相関性を示したが，結論としてWS試験は骨材サンプルの摩擦パフォーマンス係数予測に関しては，PSVテストより適した手法ではないことがわかった。

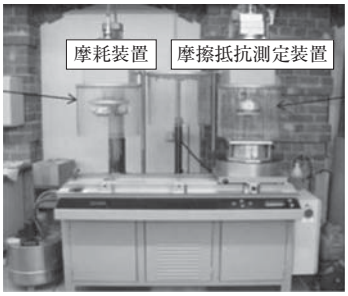
4.4.2　研究内容

⑴　ウェーナー・シュルツ・テスト（WS試験）

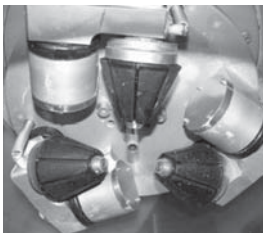
この試験はベルリンの大学で1960年代に開発され，主に研究レベルで使用されていたが，1990年代には，試験装置は改良され，市販されるようになった。今では，ヨーロッパにおける舗装路面の摩耗抵抗性を評価するための標準試験と見なされている（**写真－14**）。

装置は２つの主要部分で構成されている。ひとつは摩耗促進装置で，３つの円錐形のゴム・ローラーから成る（**写真－15**）。もう一つは摩擦抵抗測定装置で，３つのゴム片が取り付けられている（**写真－16**）。

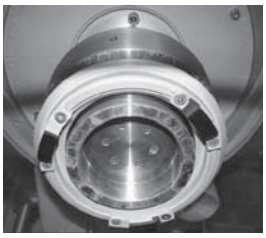
試験供試体の直径は225㎜である。標準的な磨耗作業は，ローラーをほぼ400kPaの接触圧力で供試体に



写真－14　Wehner-Schulze（WS）試験装置



写真－15　摩耗促進装置



写真－16　摩擦抵抗測定装置

押し付けた状態で，供試体の表面に回転数500rpmで一時間，ゴムローラーを90,000回通過させる。また，水95%，石英粉末５％の中で磨耗する。

磨耗完了後（**写真－17**）は，標本は洗われ，摩擦抵抗測定装置に置かれる。装置はゴム片を様々な速度で標本を中心に回転することができる。

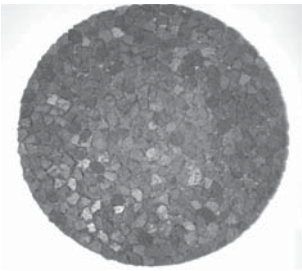
標準的な試験では，ゴム片を3000rpmまで回転させる（およそ100㎞/hに相当）。水膜0.5㎜に相当する水を供試体表面に注ぎ，測定装置が供試体表面に下ろされる。

ゴム片が付いたドラムには，センサーが取り付けられており，回転速度とドラムからのトルクを測定し，付属のコンピューターで摩擦力を連続的に計測できる。一般的な摩擦係数は，速度60㎞/hrのときの値を使用するが，他の速度の摩擦係数を利用するときもある。

⑵　PSV試験

PSVテストは英国で開発され，ニュージーランドとオーストラリアで一般に使用されている。

このテストでの供試体は，曲面版プレート上（90㎜×45㎜）に10－７㎜の骨材をエポキシ樹脂を用いて，手作業で貼り付けたプレートである。供試体は回転するドラムに設置され，プレートに押し付けられた硬いゴム・タイヤの回転を通じて供試体は磨かれる。



写真－17　WS試験供試体

本試験での摩耗段

階は２段階である。第１段階では粗いエメリー（研磨材）を用いて３時間の粗削り「調整」を行なう。第２段階では，細かなエメリーを用いてさらに３時間の「研磨」を行なう。

研磨された供試体は，特別のゴムスライダーを備えた英国振り子式テスタを使用して，BPNの値で評価する。

4.4.3　研究結果

ニュージーランド交通庁およびNZIHT第９回年次大会（2008年）で，CenekとDaviesによって，ノースランドとホーク湾の地方における予備結果が発表されている。本研究では，一連の材料特性係数の点から，骨材の路面摩擦（SCRIM）を予測した。

分析はニュージーランドの高速道路すべてを対象としており，**図－23**に材料特性係数とPSVの関係を示す。

もしPSVによってSCRIM値を予想できるならば，強い相関性が材料特性係数とPSVの間にあることが期待される。しかし**図－23**より傾向は見られるが多くの分散もある。

このデータを使って，PSVとWSを比較するために図中に示される５つの素材を選んだ。選択基準は「高い」，「低い」，「ライン上」である。また，パフォーマンスがよいと思われる６つ目の素材として，製鋼業の製品の副産物である溶解スラグを追加した。

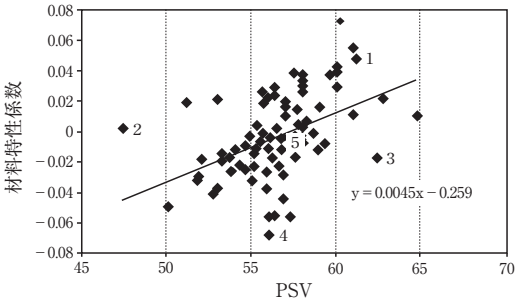
WSテストは，２つの供試体を用いてドレスデン工業大学で実施した。PSVテストはBS EN 1097－8に則って，オーパス中央研究所で実施した。

表－14に，選択した素材詳細とPSV試験結果，WS試験結果を示す。予期PSVはそれぞれの材料メーカ発表値を記載した。また，**図－24**にPSVとWSの比較を示す。

4.4.4　結論

WSテストが実路の摩耗特性を予測できるならば，骨材の素材予測とWS値の間に強い相関関係が認められるはずである。**図－23**における結果の分散はPSVとWS値の関係を示した**図－24**における分散状況に似ている。両図からいずれの試験も道路のパフォーマンスを的確に予測することはできないことがわかる。

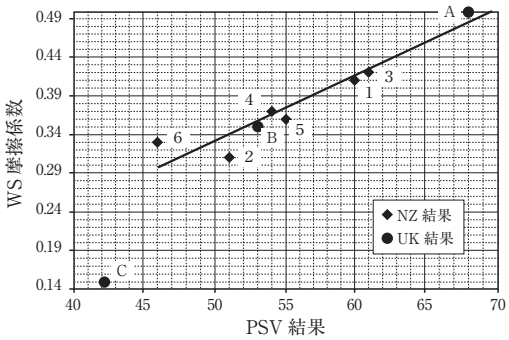
WS供試体は，平らな表面を作るために非常に密にチップが配置される。しかし，現実にはチップシール表面において，チップはこのように密な配置とはならない。PSV供試体も滑らかな表面を作るために，チップが手で配置されるという点において非常に似通っている。タイヤ路面摩耗はチップによるタイヤのヒステリシスな振動に影響される。チップを平らに配置することによって，チップが突出している場合よりもヒステリシスの振動が低減されることが予想される。



図－23　材料特性係数とPSVの関係

表－14　素材詳細と試験結果一覧

素材 No.	サンプル No.	骨材種類	産地	予期 PSV	試験結果	
					PSV	WS
1	6/10/19	Waiotahi	Gisborne	60	60	0.41
2	6/10/61	Waotu Quarry	Hamilton	47	51	0.31
3	6/10/21	Balclutha	Dunedin	62	61	0.42
4	6/10/22	Gore Gravel	Invercargill	56	54	0.37
5	6/10/28	Whitestone	Christchurch	57	55	0.36
6	6/10/18	Slag material	Napier		46	0.33



図－24　WS試験供試体

チップシール表面の中心部分がWSテストによってテストできないならば現在の同テストをニュージーランドで適用することは適当ではない。

4.4.5　翻訳者コメント

我が国において，今後は維持の時代に突入し，予防的維持工法の一つであるチップシールに注目が集まることが予想される。本論文では，チップシール用骨材の摩耗特性を２つの試験を用いて予想しようと試みているが，良い結果が得られていない。しかし，舗装表層の滑り抵抗性は表層機能として欠くことのできない性能であり，我が国で本分野の研究発展が望まれる。

5．おわりに

⑴　国内のすべり抵抗評価について

我が国においては，すべり抵抗は必要に応じ定める性能指標として位置づけられており，「舗装性能評価法」（平成18年　㈳日本道路協会）では測定方法として，国土技術政策総合研究所が所有するすべり抵抗測定車により測定する方法と，DFテスターあるいは振り子式スキッド・レジスタンステスタによる測定方法が記載されている。その一方ですべり抵抗の明確な基準値が示される例はわずかである。

我が国ですべり抵抗値というと，振り子式スキッド・レジスタンステスタあるいはDFテスターによる定点での測定が一般的であるという印象を受ける。ところが，紹介してきたように海外においては自走式のすべり抵抗測定車を用いて，大量のデータを短時間に収集し，すべり抵抗を面的に測定していくことで，舗装の日常点検や管理のひとつの項目として有効に活用されているようである。

我が国においてもすべり抵抗測定車の適用性について更なる研究を行い，管理や日常点検に適用範囲を拡大していくことで，来るべき維持補修時代の備えの一助としていくことが望まれる。

⑵　国内の表面処理工技術について

我が国では，今後本格的な維持修繕の時代に突入し，耐久性向上や既設舗装の延命化などによるライフサイクルコストの低減がますます重要になっていくものと考えられる。予防的維持を目的とした表面処理技術の代表的技術としてはマイクロサーフェシングが確立されている。その一方で，限られた予算の中で効率的，計画的に維持管理を進めるためには，フォグシールやチップシールといったより簡易な表面処理工法を幅広く適用し，局面に応じて使い分けていくことも重要である。

今回紹介したようにチップシールについて各国では多方面から検討がなされているが，すべり抵抗を確保する上での課題も散見された。国内においても今後の研究が待たれるところである。

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

芳賀潤一　鎌田修　神下竜三
菅航太郎　市岡孝夫　川上聖
庄嶋芳卓　藤田浩成　横山拓史

1．はじめに

ここでは，「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」と題して，舗装に携わる若手技術者が，アスファルト舗装に関して日頃から感じているであろう“素朴な疑問”を抽出し，その内容に対して文献等で調査した結果を取りまとめ，掲載していきます。

現在調査中の疑問は**表－1**に示すとおりです。これらは，当舗装技術研究グループ内で集約したものであるため，アスファルト舗装に携わる多くの若手技術者の疑問を反映しているものと考えております。項目と内容については，今後読者の要望にお応えするかたちで随時追加していきたいと思います。

疑問は項目ごとに分類しており，毎回３～４編の調査結果を掲載していきたいと考えております。

このような場を通して，日本全国の若手舗装従事者の知識レベル向上の一助となれば幸いであります。

2．今回の調査結果

初回は，以下の４つの質問に対する調査結果を掲載します。

①「骨材のふるい分け試験」のふるい目の大きさは，どのようにして決まったのか？

②「アスファルトの針入度試験」は，なぜ25℃で行うのか？

③マーシャル供試体の突固め回数が50回と75回になった理由は？

④トンネル内がアスファルト舗装であったら？

アスファルト舗装に携わる技術者が一度は実施あるいは見聞きしたことがあるであろう，基本的な試験内容を中心に掲載しました。

それでは次ページより調査内容を掲載いたします。

表－1　現在調査中の疑問の一覧

項　目	内　容
構造設計	アスファルト舗装の設計期間
	路床のCBRを計算する際の上限値
	等値換算係数aの上限値
材料	骨材のふるい分け試験のふるい目
	アスファルトの針入度試験の試験温度
工法と配合	アスファルト混合物の最適混合温度および締固め
	マーシャル供試体の突固め回数
施工	乳剤の散布量
	ローラの進行方向
	路面の交通開放温度
特殊な機能や構造を持つ舗装	トンネル内の舗装
	半たわみ性舗装の使用箇所
	グースアスファルト混合物の施工温度
補修	MCI（維持管理指数）とPSI（供用性指数）
	舗装補修方法の選定

※ 網掛けは，今回掲載分

質問① 「骨材のふるい分け試験」のふるい目の大きさは，どうやって決まったのでしょうか？

＜調査結果＞

舗装調査・試験法便覧に記載されている「骨材のふるい分け試験」をみると，ふるい目の大きさは75，150，300，600㎛及び，1.18，2.36，4.75，9.5，13.2，19，26.5，31.5，53㎜と切りのいい数字にはなっていません。これは，アメリカのASTM（米国材料試験協会：American Society for Testing and Materials）に基づいて作成されました。隣り合った網ふるいのふるい目の開きの間隔を$2^{1/4}$（約1.19倍）の等比級数（隣合う数値の比が一定）としたため，先に記したような端数のついた数となっているそうです[1)]。

ここで，粉体のフルイ分け[2)]という本に，ふるい比および呼び寸法の歴史について書かれていたので，海外と日本における変遷を示します。

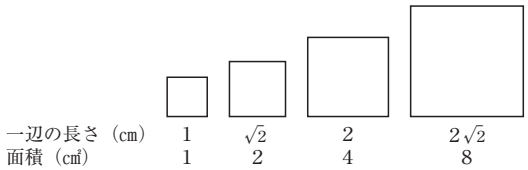
1．ふるい呼び寸法の歴史

1.1　海外

○1858年：

Julius von Sparre（ドイツ）は，比重分離を行うための整粒に用いるふるい目開きは$\sqrt{2}$の比率にとるべきとしました。また，$2^{1/3}$の比率もかかげています。

ここで，$\sqrt{2}$の比率が広く採用されるようになった理由は，一般に広い分布範囲を対象にするときには幾何級数的に選ぶのが便利とされているそうですが，一辺が$\sqrt{2}$の比率の正方形の網目は，面積比では丁度２倍になります（**図－１**参照）。このことが分級において非常に便利であったからだそうです。



図－１　一辺の長さと面積の関係

○1903年：

Richards（アメリカ）は，$\sqrt{2}$シリーズでは細目ふるいが少なすぎる欠点を改善するため，目開き$2^{1/4}$を提案しました。なお，基準長は１㎜としました。

○1916年～1919年（旧U.S.シリーズ）：

United States Bureau of Standardsは，1916年に１㎜を基準長とし１～８㎜の間には$\sqrt{2}$を，また，0.044～１㎜の間には$2^{1/4}$をふるい比として採用すべく勧告しました。さらに1919年には，0.044～８㎜の全範囲について$2^{1/4}$をとることになりました。

○1924年（改正U.S.シリーズ・ASTMシリーズ）：

線径を変更し，またその許容差を緩和しました。なお，同じ規格が1926年にASTMによって採用されました。（ASTM Designation：E11－26）

○1961年：

ISO（国際標準化機構：International Standard Organization）において，1952年にドイツの提案した$10^{1/10}$シリーズに賛成し，単一の国際基準をつくる努力を続けた結果，アメリカやイギリスでは大幅な改正が行われました。（ASTM Designation：E11－61）

1.2　日本

○1953年：

1949年６月の工業標準化法の公布に基づき，ふるい分けに用いる標準的なふるいを規定するため，標準ふるいの題名で制定されました。（JIS Z 8801（1953））

○1982年：

ふるいの目開きの値をISO 565による標準数R40/3に基づく数列に切り替えられました。ここで，標準数とは等比数列を丸めたもので，機器の寸法や値などを決める場合に用いる数字のことです。

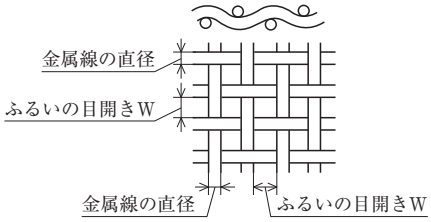
その後，名称を「標準ふるい」から「試験用ふるい」へと変更するなど，数回改正が加えられ，現在に至っています（JIS Z 8801－1（2006））[3)]。

2．ふるいの種類・線径

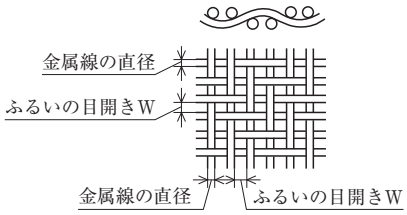
次に，ふるいの種類や線径などについてJIS[3)]に詳しく掲載されていたので紹介したいと思います。

2.1　ふるいの種類

金属製の織網のふるいには，大きく分けて平織とあや織の２種類があります。ここで，平織とは，タテ糸とヨコ糸を交互に上下に交差させる織り方で，あや織とは，タテ糸とヨコ糸が交差する点が斜めになる織り方のことをいいます。（**図－２，３**参照）JIS[3)]では，平織は全ての目開きに適用できるが，あや織は目開きが45㎛より小さい目開きに適用できるとなっています。



図－２　平織のふるい網[3)]



図－３　あや織のふるい網[3)]

2.2　ふるいの目開き許容差

このふるいですが，ただ目開きの大きさだけが揃っていれば良いというものではありません。JIS[3)] では，各公称目開きに対して，目開きの許容差（最大目開き・平均目開き・最大標準偏差）と，線径（推奨線径・最大線径・最小線径）が決められています。

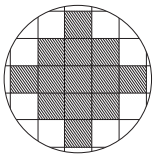
例えば，公称目開き2.36㎜では，目開きは2.36+0.25＝2.61㎜を超えてはならず，推奨線径は，1.0㎜と決められています。

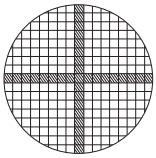
2.3　ふるいの検査方法

ふるいの検査方法は，**図－４**のようにふるい目の個数が20個以下の場合はすべてのふるい目を測定しなければならず，**図－５**のようにふるい目が20個を超える場合には，以下に示す３つの検査があります。

①目視検査：ふるいの背面から光を照らして，ゆがみや傷による透過光のむらがないかを検査します。

②最大目開き検査：先に示した最大目開きの許容差を超えるふるい目が無いか，注意深く観察します。なお，ふるい目の細かいものについては光学的に５～500倍に拡大して検査を行うことができます。





（斜線部が検査範囲）

図－４　ふるい目20個以下　**図－５**　ふるい目20個以上[3)]

③平均目開き・最大標準偏差・線径の測定：縦線及び横線にそれぞれ平行にふるい網の中心線に沿って，２方向に別々に測定することになっています。

３．ふるいの豆知識

最後に参考文献[1, 2)] の中にふるいに関する豆知識が掲載されていたので紹介したいと思います。

3.1　ふるいの呼び名

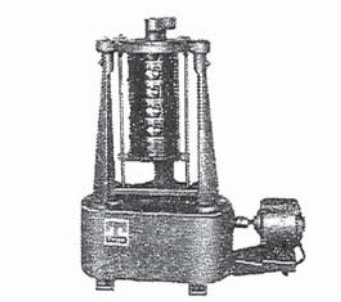
骨材の大きさはふるいの寸法で呼んだほうがいいのですが，そのままだと端数のついた寸法で呼ぶことになってしまうので，土木学会と日本建築学会は，JISの標準網ふるいのうち骨材のふるい分け試験に使用するふるいについては，端数を適当に丸め，すべて単位を㎜とすることにしたそうです。

3.2　タップ数・回転数・ハンマーの材質

ふるい分け試験に用いる機械は，**図－６**のようなロータップ式のふるいを使用しますが，この回転数やタップ数も決められており，回転数は290回／分，タップ数は156回／分，振動の幅は28㎜です。また，タッピング用ハンマーの打点部は，ゴムだと弾性で振動が不安定になるためコルクが最適だそうです。

3.3　メッシュ

ふるいの規格を表す言葉として「メッシュ」があります。メッシュとは，１インチ（25.4㎜）の間にある編み目の数を示すものです。しかし，同じメッシュでも線径により開き目が違うため，メッシュ数だけでは目開きが特定することができません。線径が太いと目開きは小さく，線径が細ければ目開きは大きくなります。



図－６　ロータップ式ふるいの例[2)]

―― 参考文献 ――

１）池田英一：アスファルト舗装講座第１巻，日瀝化学工業株式会社，1972

２）三輪茂雄：粉体のフルイ分け，日刊工業新聞社，1965

３）島弘志：JIS Z 8801－1 試験用ふるい－第１部：金属製網ふるい，財団法人日本規格協会，2006

質問② 「アスファルトの針入度試験」はなぜ25℃で行うのか？

＜調査結果＞

「土木用語大辞典」[1]によれば，針入度試験は以下のように記載されています。

『針入度試験とは，常温でのアスファルトのコンシステンシーを測定する試験。温度25℃で規定の形状と寸法の針を0.98N（100gf）の荷重で５秒間アスファルト中に貫入させたときの貫入深さを1/10㎜単位で表したもの。アスファルトのコンシステンシーを表す指数。この値が小さいほど硬いアスファルトであることを意味する。』

つまり針入度試験は，常温とみなした25℃におけるアスファルトの変形抵抗性を表したもの，とされています。しかしながら，25℃を試験温度とした経緯については，調査した範囲では定かではありませんでした。

１．各国の試験条件

日本国内で針入度試験を実施するときに準拠する規格は日本工業規格（JIS K 2207）ですが，ここには温度25℃，載荷荷重100g，載荷時間５秒の１条件しかありません。では，他国の試験条件はどうなっているのでしょうか。アメリカ材料規格協会（ASTM D5）およびヨーロッパ規格（EN 1426）における試験条件を**表－１**に示します。

ASTM，ENともに特殊な条件下を想定して，いくつか試験条件を提示しています。しかしながら，特に付記が無い限りJISと同様に25℃での試験を行うようです。

表－１　他国の試験温度条件

ASTM D５			EN 1426		
試験温度（℃）	載荷荷重（g）	載荷時間（秒）	試験温度（℃）	載荷荷重（g）	載荷時間（秒）
25	100	5	25	100	5
0	200	60	5	200	60
4.0	200	60	15	100	5
45.0	50	5			
46.1	50	5			

表－２　試験条件を変化させたときの針入度[2]

試験条件			アスファルト	
温度（℃）	荷重（g）	時間（s）	セミブローン	ストレート
25	100	5	96	86
15	100	5	36	26
35	100	5	230	250+
25	50	5	60	61
25	200	5	143	128
25	100	10	125	120
25	100	20	156	168

表－３　同一等級のアスファルトにおける粘性の違い[2]

アスファルト	SY80/100	NY80/100	NY60/80
針入度	91	91	67
25℃粘性 τ = 16.7g/㎠ Poises	15×10^5	8×10^5	14×10^5
軟化点℃	47	45	48
100セイボルトフロール秒の温度℃	155	150	155

２．針入度試験の意義

アスファルトの硬さは針入度の結果で区分されています。では，ある条件で相対的に硬いアスファルトは他の条件でも同様に硬い性状結果を示すのでしょうか。昆布谷[2]は**表－２**に示す様々な条件で針入度試験を実施したところ，規定の条件の針入度の結果だけでは硬軟の評価はできないことを示しています。

また，**表－３**においては同じ針入度等級のアスファルトであっても粘度は異なる場合があることを示しています。

以上より，針入度による硬さの区分は便宜的なものであり，必ずしもアスファルトの絶対的な硬さを示したものではないとされています。

３．常温とは

常温はいつでも25℃のことを指すのでしょうか。常温とは一般的に，常に一定した温度，特に冷やしたり熱したりしない温度，平常の温度，また一年中の平常の温度のことなどを言いますが，地域や環境によって平常の温度は変わるものです。そのため日本工業規格（JIS Z 8703 試験場所の状態）[3]によれば，５～35℃の範囲を常温としており，日本における多くの工業，生活用品，食料などの製品や商品の規格や規則などはこの温度範囲を常温としています。

またJISでは様々な試験を実施する雰囲気温度の基準として，標準状態の温度を規定しています。標準状態の温度は試験の目的に応じて20℃，23℃または25℃

のいずれかとされています。舗装に関する試験に関していえば，**表－4**に示すように路面の定量調査は20℃，道路床版防水層の性状調査では23℃，またアスファルトの性状調査は25℃で実施することが多いようです。ただし，アスファルトやアスファルト混合物に関する試験の中でも，15℃で実施するものもあることから，必ずしも統一した条件があるわけではありません[4，5]。

表－4　試験温度条件の一例

温度条件（℃）	調査項目	試験名
15	アスファルトの性状調査	密度試験
		伸度試験
20	路面の定量調査	スキッドレジスタンステスタによるすべり抵抗測定
		普通タイヤによるタイヤ路面騒音測定
23	道路橋床版防水層の性状調査	引張接着試験
		せん断試験
25	アスファルトの性状調査	針入度試験
		タフネス・テナシティー試験

4．針入度の時間－温度換算則

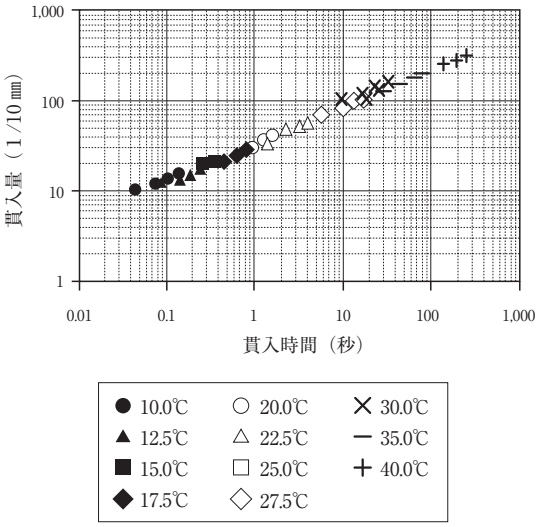
近年の研究成果において，針入度試験の温度・載荷時間の条件を変化させたときの結果に関する結果がありましたので紹介します。

アスファルトは高温側では粘性体（ある物体に力を加えたときにその物体は変形するが，力を除いた後も変形が元に戻らないもの－水などの流体）としての性質を示しますが，低温側になるほど弾性体（力を加えたときには変形するが，力を除いた後は元に戻るもの－金属・ゴム・コンクリートが近い）としての性質を示します。また載荷時間が長いほど粘性体として，短いほど弾性体としての傾向を示します。このため，温度や載荷時間の条件が異なれば針入度試験の結果はおのずと変動します。

舗装用混合物のアスファルトに対して影響を与える温度や載荷時間は，日本国内で考えれば温度条件は－20～60℃程度，載荷時間は高速道路における自動車高速走行時の1/100秒程度からアスファルトフェーシングの4ヶ月（湛水時）程度まで考えられると思います。現場の条件を模擬するためには，試験条件も同様にする必要があります。しかしながらこれだけの範囲の温度や載荷時間の条件を行うのは現実的には不可能です[6]。

そこで山口ら[7]はアスファルトのレオロジー特性（載荷時間を温度で換算できる特性）が針入度試験でも成り立つ可能性を検討しました。これによると，現実的に不可能な温度範囲や載荷時間での針入度を算出できる方法を検討し，その結果，**図－1**に示すようなマスターカーブを作成しました。

このようにして，事実上不可能な貫入時間での針入度を推定できる可能性があることが分かりました。



図－1　貫入量のマスターカーブ（基準温度T_0＝25℃）[7]

―― 参考文献 ――

1）㈳土木学会：土木用語大辞典，技報堂出版，1999.2
2）昆布谷竹郎：舗装用アスファルトの規格試験とその意義，アスファルト 第7巻 第40号，1964.10
3）㈶日本規格協会：JISZ8703 試験場所の標準状態
4）㈳日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2009.6
5）㈳日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007.3
6）菅原照雄，工藤忠雄，有福武治：土木材料Ⅲ〈アスファルト〉，共立出版，1974.5
7）山口将，佐藤聡明，金井利浩：針入度試験によるアスファルトのレオロジー特性などの検証，土木学会関東支部第36回技術研究発表会，2009.3

質問③　マーシャル供試体の突固め回数が50回と75回になったのは？

＜調査結果＞

マーシャル試験は，試験操作の容易性とデータの豊富さで広く利用されています。マーシャル供試体の突固め回数は，マーシャル試験が誕生した当初から，交通量に応じた交通荷重と供試体の突固め回数の関連が妥当とされ，50あるいは75回として決定していました。

そこで，マーシャル試験の考案に至る歴史とマーシャル供試体の突固め回数の変遷について示します。

1．マーシャル試験の歴史

1.1　マーシャル試験の誕生[1)]

マーシャル試験は，米国のマーシャル氏が軍の飛行場建設担当の時の1943年から1945年にかけて考案したものです。マーシャル氏は，飛行機が滑走路に着陸（タッチダウン）するときアスファルト舗装がめくれてしまうので，それをどうするか悩んだ結論が，フィラービチュウメン量（アスファルトと細粒分量）を多量にする方法として供試体の横方向（側面）から力を加えるマーシャル試験機の考案でした。

このようにマーシャル試験は飛行場の滑走路舗装から生まれ，フィラービチュウメンを多量にする方法でした。アスコン配合を考えるときフィラービチュウメンは確かに重要ですが多量にしすぎると流動現象（わだち掘れ）を生じ易くなる恐れもありました。

マーシャル氏は，退役後カリフォルニア州の道路局に奉職し，この試験法を道路舗装に採用すると全米に広がっていきました。

1.2　マーシャル供試体の突固め回数の変遷

マーシャル安定度試験の突固め回数は，1949年において50回でしたが，1951年に改訂され，舗装用混合材が7 kg/㎠のタイヤ用に設計されている時には片側について50回，舗装用混合材が14kg/㎠タイヤ用に設計されている時には片側について75回となりました（**表－1**参照）[2)]。

また，我が国での突固め回数は，1965年にASTMの標準試験方法に規定された基準値を取り入れた後，昭和36年版の「アスファルト舗装要綱」[3)]（以下，「要綱」）の改訂により単位区間自動車交通量7,500台／日以上の場合に75回を，7,500台／日以下の場合に50回を採用していましたが，昭和42年版の「要綱」[4)]では50回に統一されています。

その後，わだち掘れの有効な対策が必要となり，その対策がアスファルト量を少なくすることであることから，昭和53年版の「要綱」[5)]以降では，アスファルト量を減らすことを目的に，突固め回数を**表－2**に示すように交通量の違いにより50回から75回に変更しています。なお，マーシャル試験における突固め回数が増すことで，密度が増加し，空隙率およびアスファルト量は減少します。

表－1　初期のマーシャル安定度試験の突固め回数

分類	米軍技術部隊（1949）	米軍技術部隊（1951）		米国アスファルト協会（1957）		
試験項目	－	タイヤ圧7 kg／㎠の場合	タイヤ圧14 kg／㎠の場合	重交通／超重交通	中交通	軽交通
突固め回数	50	50	75	75	50	35

表－2　マーシャル安定度試験の突固め回数[6)]

混合物の種類		① 粗粒度 アスファルト混合物	② 密粒度 アスファルト混合物		③ 細粒度 アスファルト混合物	④ 密粒度 ギャップアスファルト混合物
		（20）	（20）	（13）	（13）	（13）
突固め回数（回）	1,000≦T	75				
	T<1,000	50				

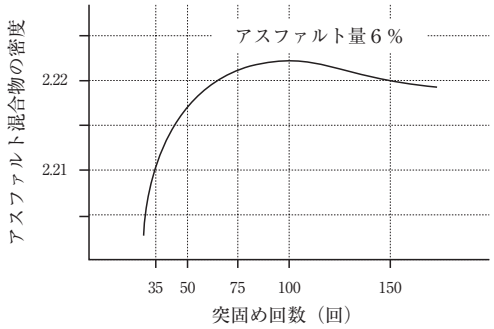
混合物の種類		⑤ 密粒度 アスファルト混合物		⑥ 細粒度 ギャップ アスファルト混合物	⑦ 細粒度 アスファルト混合物	⑧ 密粒度 ギャップ アスファルト混合物	⑨ 開粒度 アスファルト混合物
		（20F）	（13F）	（13F）	（13F）	（13F）	（13）
突固め回数（回）	1,000≦T	50					75
	T<1,000						50

2．マーシャル試験の締固め特性

図－1に突固め回数とアスファルト混合物の密度の関係を示します。

このように，突固め回数が多くなると骨材密度は大きくなりますが，ある限界より突固め回数を多くしても骨材密度の上昇は少なくなり，さらに突固め回数を多くすると，オーバーコンパクションの状態となります[6)]。

これらのことから，マーシャル試験による締固め特性が，突固め回数の決定要因の１つとして考えられます。



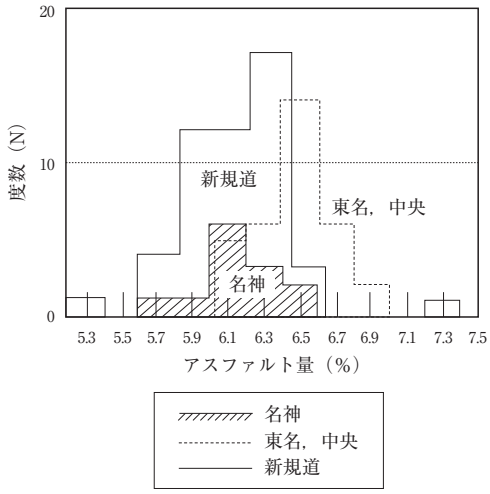
図－1　突固め回数と骨材密度との関係[6)]

3．マーシャル試験の突固め回数とアスファルト量

ここでは，日本の高速道路での推移を例に，マーシャル試験における突固め回数とアスファルト量の関係について示します。

名神高速道路で問題になったのは，ほとんどがクラックに関するものだったため，東名高速道路では，クラック防止を目的に，アスファルト量をやや多めにしました。ところが，東名高速道路の一部にブリージングやわだち掘れの現象が発生したため，アスファルト量の決定方法が再検討され，マーシャル試験供試体の50回突固めを75回に変更して，その後の高速道路に適用することになりました。この推移は，表層用混合物の最適アスファルト量のヒストグラムを例にとると，**図－2**のようになります。

その後，高速道路の建設が全国に展開されるにつれて，最適アスファルト量の決定に交通条件と地域条件とを配慮するようになり**表－3**に示す突固め回数を使い分けるようになっています。



図－2　表層のアスファルト量の推移[7)]

表－3　マーシャル試験の突固め回数の使い分け

交通区分	項目	地域区分		
		温暖地域	一般地域	寒冷地域
重交通	突固め回数	75	75	50
中・軽交通	突固め回数	50		

注１）地域区分は次のとおりである。
温暖地域：年平均温度が14℃以上の地域
一般地域：年平均温度が14℃未満でかつ雪氷マニュアルに示す寒冷地域Ｂ以外の区域
寒冷地域：雪氷マニュアルに示す寒冷地域Ｂの地域
注２）交通区分は次のとおりである。
重交通：初年度大型車交通量1,500台以上／日／１方向
中・軽交通：初年度大型車交通量1,500台未満／日／１方向

参考文献

1）郡司保雄：アスファルト舗装講座（アスファルト混合物の配合設計法），http://members3.jcom.home.ne.jp/ygunji1
2）松野三郎・三浦裕二：アスファルト混合物の歴史⑸，舗装，Vol.13，No.５，1978
3）日本道路協会：アスファルト舗装要綱，昭和36年
4）日本道路協会：アスファルト舗装要綱，昭和42年
5）日本道路協会：アスファルト舗装要綱，昭和53年
6）北村幸治：マーシャル試験法の考察ならびにその運用に関する試案，道路建設，1978.3
7）近藤正：質疑応答，舗装，Vol.11，No.12，1976

質問④　トンネル内がアスファルト舗装だったら？

＜調査結果＞

トンネル内がアスファルト舗装だった場合，以下のことが考えられます。

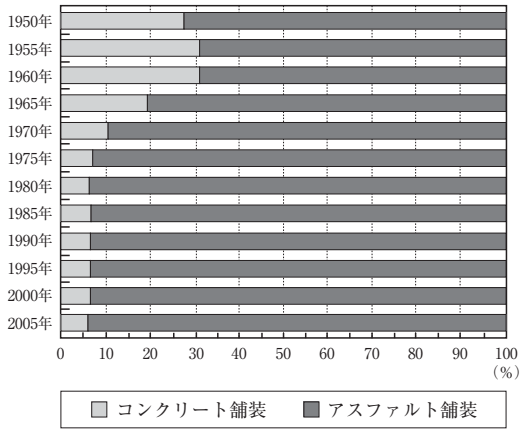
①トンネルの中が暗くなるため，ドライバーの運転に影響する。

②頻繁に補修を行わなければならず，渋滞になる。

トンネル舗装に求められる重要な項目として「明色性」，「耐久性」の２点があります。この項目に着目したとき，仮にトンネルの中がアスファルト舗装だったらどうなるのでしょうか。

１．国内における現状

国土交通省管轄の今年度に供用が開始される道路のうち，コンクリート舗装が採用されたのは約80㎞で，このうちのほとんどがトンネル内となっています[1)]。また**図－１**はコンクリート舗装とアスファルト舗装の推移ですが，近年ではアスファルト舗装がほとんどのシェアを占めています。



図－１　道路舗装種別割合の推移[2)]

２．トンネルの中が暗くなる

トンネルの中は，外の光が入らず暗いため照明設備は欠かせません。また一般的に側方の余裕が少なく，照明や換気の付属設備が付加されているため，視野が一般部より狭くなります[3)]。つまりドライバーにとって視界が悪い環境なのです。

このような環境の中では，明るさが重要になってきます。そのため，トンネル内の舗装には明色性の高い(明るい）舗装を採用して，できるだけ光を反射して明るい路面とすることが必要となります。もしアスファルト舗装だった場合，あまり光を反射しないため，十分な明るさを確保することができません。そのため，コンクリート舗装よりも多くの道路照明が必要となり，コストが高くなってしまいます。

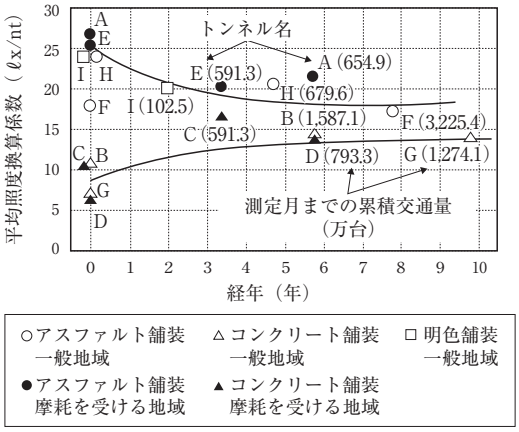
道路照明においては，運転者の見え方に直接関係する平均路面輝度が基準として採用されています。路面輝度とは，路面に入射した光束が反射し運転者に向かうものの程度を示しており，運転者から見た路面そのものの明るさを表しています。

また，明るさの指標として式(1)に示す平均照度換算係数というものもあります。トンネル内舗装の明るさの性能指標として使用された例もあり，舗装の明るさを評価する指標として最も広く用いられているようです。

$$\text{平均照度換算係数}(lx/nt)=\frac{\text{路面輝度}\ (nt)}{\text{路面照度}\ (lx)}\cdots\cdots(1)$$

図－２に参考資料として旧日本道路公団が実施したトンネル内の明るさに関する舗装種別ごとの平均照度換算係数の経年変化の調査結果を示します。調査結果から，平均照度換算係数はコンクリート舗装が最も値が低く，次に明色舗装とアスファルト舗装の順になっており，経年的にみても路面の明るさの順位は変化していないのが分かります。

このことから，明るさに関してはコンクリート舗装が最も適している舗装と言えます。



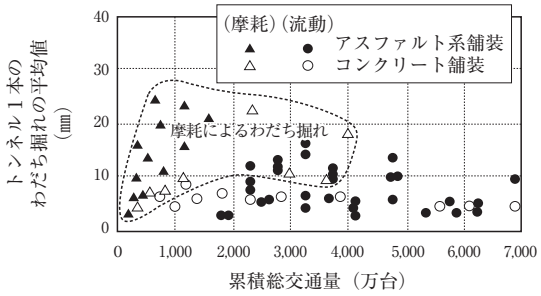
図－２　平均照度換算係数の経年変化[4)]

3．補修までの期間が短くなってしまう

次に，トンネル内がアスファルト舗装だった場合，耐久性に問題はないのでしょうか。通常アスファルト舗装は10年の設計期間を設けて設計されています。しかし，わだち掘れやひび割れ等により，路面の性能が低下し，乗り心地に影響を与えるため，切削オーバーレイや表面処理等の補修工事によってメンテナンスをしなければなりません。しかし，トンネルを有する路線は一般的に代替道路が少ないため，補修工事が制限されることが多く，さらに補修工事での交通規制をできるだけ少なくすることが求められているので，舗装の設計期間を長くすることが望まれます。また，積雪寒冷地域におけるトンネル内の舗装では，過去のスパイクタイヤの装着や，タイヤチェーンの使用，車両が同じ走行軌跡を繰り返し通過することで，過酷な供用条件となるため，耐久性の高い舗装が望ましいのです。

図－3は，流動および摩耗によるわだち掘れの進行と交通量との関係を示したものであります。この図からも，コンクリート舗装と比較してアスファルト系の舗装はかなり摩耗しやすい傾向があることが分かります。このことからも，コンクリート舗装がトンネル内に多く適用されている理由と言えます。

以上のことより，国内ではコンクリート舗装が多くトンネル内に適用されていると思われます。



図－3　トンネル内舗装のわだち掘れと摩耗の進行[5)]

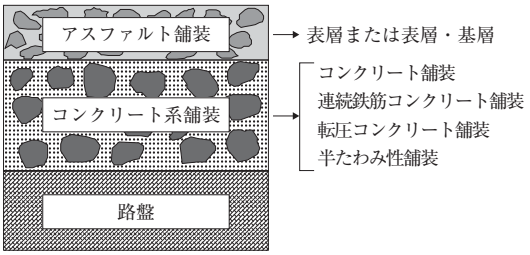
4．トンネル内コンクリート舗装の補修

コンクリート舗装は高い明色性・耐久性を有していますが，長期の供用により明色性の低下や摩耗によるわだち掘れが発生してきます。そのような場合の主な補修として，明色舗装があげられます。

明色舗装は，粗骨材の全部または一部を明色骨材で置き換えた混合方式と，通常の表層用混合物を敷きならした後に石油樹脂等でプレコートした明色骨材を舗装表面に散布し圧入する路面散布方式があります[6)]。

5．近年のトンネル内の舗装の現状

新東名高速道路ではトンネル内の舗装に，基層にコンクリート舗装，表層にアスファルト舗装を用いたいわゆるコンポジット舗装（**図－4**）の適用事例が増えてきています。この理由として考えられることは以下のとおりです。



図－4　コンポジット舗装

○ライフサイクルコストの低減

コンクリートの持つ構造的な耐久性を併せ持つため，補修では表層のアスファルト舗装だけの打替え工事だけで済む。

○照明能力の向上

視認性については道路照明の能力が近年向上してきたことにより，アスファルト舗装においても問題がなくなってきている。例えば，広スパン型の照明器具の使用により従来型のものと比べておよそ3割（年間運転費）のコストダウンになり[7)]，コンクリート舗装と同等の明るさを確保できるようになった。

○走行性

トンネル内でも走行性が重視されてきていることから，アスファルト舗装の需要が増えてきている。

―― 参考文献 ――

1）http://beton.co.jp/news/?p=3819,（2012年9月現在）

2）㈳日本道路協会：コンクリート舗装に関する技術資料，2009年8月，p.2

3）㈳日本道路協会：舗装設計便覧〕，平成18年2月，p.227

4）㈱建設図書：雑誌「舗装」，1984年11月号，p.9-p.10

5）㈱建設図書：雑誌「舗装」，1984年11月号，p.5

6）http://www.dohkenkyo.net/pavement/meisyo/meisyoku.html,（2012年9月現在）

7）http://www.cbr.mlit.go.jp/shinmaru/202_datademiru/ro02.pdf,（2012年9月現在）

連載 Vol.1 アスファルト・舗装 研究

独立行政法人土木研究所つくば中央研究所 材料資源研究グループ新材料チーム

古くからアスファルト研究を行ってきた土木研究所の新材料チームを紹介させていただきます。当研究チームは，前身の試験機関を含め90年もの間，アスファルトを扱ってきており，時代の要請に対応して様々な研究を行ってきました。現在では，アスファルトのみならず，塗料，樹脂，セメント，ステンレス，アルミニウムなど，道路，河川，下水道などに使用する幅広い土木用材料を対象に研究活動を行っています。ここでは当チームのアスファルト関連を中心に研究内容や研究施設などを紹介させていただきます。

1. はじめに

当チームは，茨城県つくば市にあり，アスファルトはもちろんのこと，様々な土木材料の物性，耐久性，耐候性，腐食防食，環境評価等の研究開発を行っています。以前は建設省土木研究所化学研究室として長年活動しておりましたが，平成13年に国の研究機関が独立行政法人へ移行する際に，研究室制からチーム制に移行することになり，これに伴い新材料チームとして再出発しています。

当チームの歴史は古く，土木研究所の前身となる内務省土木試験所の発足（大正11年）時に，道路材料の試験調査，適用研究（当時はアスファルト，タール，セメントを対象）を行うために設置された試験科を起源としています。戦後，昭和23年に建設省土木研究所として再発足した際に化学研究室となり，昭和54年に東京・駒込から筑波へ移転して以来，現在の場所にあります。

現在，研究の範囲は幅広く，材料の種類としては，有機系材料ではアスファルト系材料，塗料，樹脂材料，FRP等，無機系材料ではコンクリート補修・補強材，スラグ，コンクリートの化学的問題（アルカリ骨材反応，塩害等）等，金属系材料ではステンレス，耐候性鋼，アルミニウム，チタン等を扱っています。道路構造物，河川構造物，下水道施設など対象も様々です。さらには，これらの材料の環境評価として，有害物の含有，溶出，CO_2等の排出評価なども行っています。

現在，チームメンバーは，上席研究員を筆頭に全7名で，この中でアスファルト研究に携わる者は2名となっています（**写真－1**）。人員は十分とはいえませんが，何とか工夫をしながら研究に取り組んでいます。

アスファルト誌ですから，当チームにおける最近の代表的なアスファルト研究について紹介して，その後，研究施設の紹介を致したいと思います。

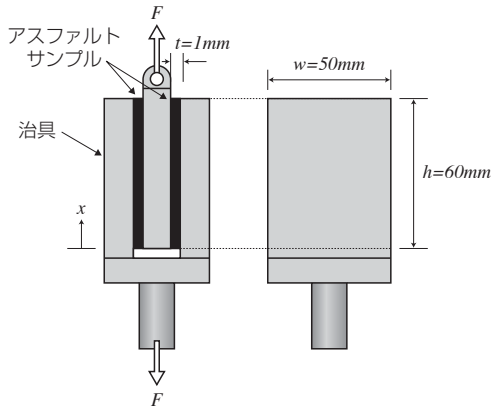
写真－1　実験室の様子

2. 最近の主なアスファルト研究の紹介

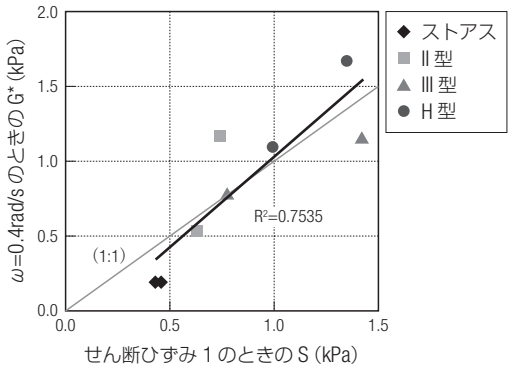
2.1　ポリマー改質アスファルトの評価方法の研究

ポリマー改質アスファルトは，耐流動アスファルト混合物やポーラスアスファルト混合物用のバインダとしての機能だけではなく，様々な機能が付加されるようになり，これに応じて評価方法も様々必要となっています。そこで，ポリマー改質アスファルトの新たな評価方法の開発研究を行っています。

一例として，60℃粘度に代わる新しい耐流動性評価方法の開発を紹介します。耐流動性評価として長年取り入られてきた粘度管による60℃粘度は，ポリマー改質アスファルトの評価には不向きということで，平成18年からポリマー改質アスファルトの規格から外れています。そこで，その代替試験法として，一般的な万能試験機で行えるアスファルトのせん断試験（**図－1**）の開発を行いました。**図－2**のように，アスファルト舗装の流動わだちとの関係が深い複素弾性率G*（ダイナミックシア試験機で測定）に相関の高い値（スティフネスS）などが得られようになりました。これにより，既存の試験機を利用して，アスファルトの耐流動性を評価することが可能になりました。

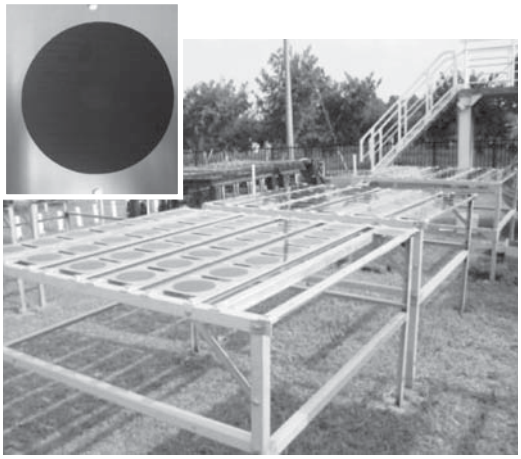


図－1　せん断試験概要



図－2　せん断試験とダイナミックシア試験特性値の比較

そのほか，低温性状の評価方法や劣化試験方法（薄膜供試体による暴露試験方法：**写真－2**），はく離抵抗性の試験など，新しい評価試験の開発に取り組んでいます。

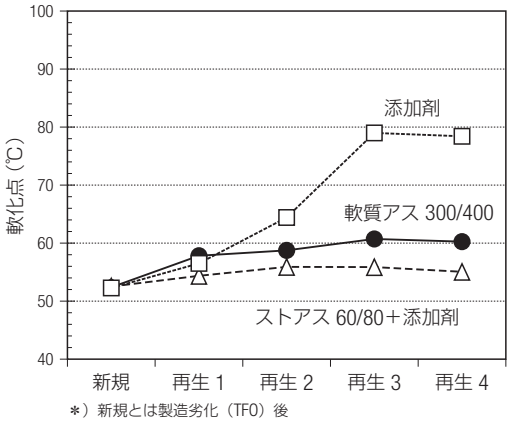


写真－2　薄膜供試体による暴露試験

2.2　アスファルトの劣化と再生に関する研究

アスファルトは供用と共に劣化していきますが，供用後は再生プラントで再生され，再生アスファルト混合物になります。アスファルト混合物の再生利用は1970年代から始まり，現在では販売されるアスファルト混合物の70%以上が再生アスファルト混合物となっています。このため，中には2度3度と再生されるものもでてきて，繰り返しの再生を考慮した再生方法が必要となってきています。

そこで，適切な繰り返し再生について研究を行いました。一例として，**図－3**に示すように，再生用添加剤だけを使い続けるより，軟質のアスファルト（図では針入度300-400のアスファルトを使用）を使う方法などが繰り返し再生による性状変化を起こしにくいことを明らかにしています。

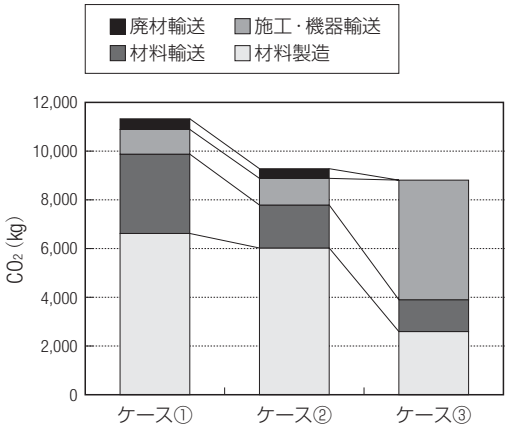


図－3　繰り返し再生による軟化点の変化[1)]

2.3　環境負荷低減アスファルト混合物の研究

環境負荷低減効果のあるアスファルト混合物は騒音低減する排水性舗装をはじめ様々ありますが，現在は主にアスファルト混合物製造時の加熱温度を低減させて，燃料消費を減らすことによって，CO_2排出量を削減する中温化技術の高度化を目指した研究を行うと共に，リサイクルによるCO_2削減効果の評価なども行っています。

一例として，アスファルト舗装の表層打換えを行う場合にどの工法のCO_2排出量が少ないかを評価した結果を**図－4**に示します。ケース①が表層切削＋新規混合物によるオーバーレイ，ケース②が表層切削＋再生混合物によるオーバーレイ，ケース③が路上表層再生工法による場合です。ケース②，③の再生工法の方がCO_2排出削減になることを表しています。



図－4　工法違いによるCO_2排出量の比較[2)]

3. 研究施設の紹介

3.1　実験棟

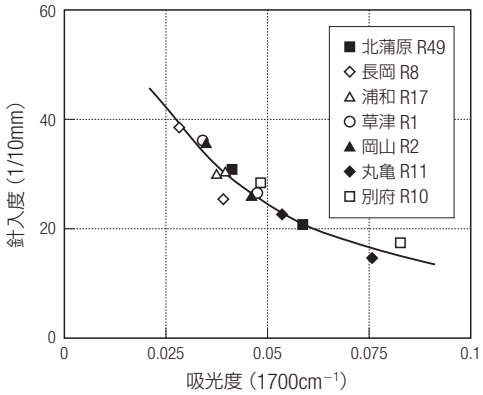
3.1.1　レオロジー試験機類

アスファルトの研究には，レオロジー試験機は不可欠です。当チームではアスファルトの評価にレオロジー試験機の導入を古くから行い，特に1990年代には米国SHRP計画においてレオロジー試験機を利用した新しいバインダ試験が検討されたことから，その後，多くのレオロジー試験機を導入しています。現在では導入している研究機関も多くなった動的粘弾性を計測するダイナミックシア試験機（**写真－3**），また低温時の静的粘弾性を計測するベンディングビーム試験機などはその代表です。低温時の破断ひずみを評価するダイレクトテンション試験機や高温粘度を測定する回転粘度計などがあります。また，近年AASHTOで規格化された伸度試験機をベースにしたフォースダクティリティー試験にも対応しています。

写真－3　ダイナミックシア試験機

3.1.2　化学分析機器類

アスファルトの劣化や再生などの評価には，化学分析を行っています。薄層クロマトグラフを応用してアスファルトの4成分を迅速に測定するイアトロスキャン（TLC-FID）は，現在では石油学会で規格化されています。アスファルトの劣化や改質剤の分析には赤外分光光度計（FT-IR）も多く用いています。**図－5**には，劣化したアスファルトのFT-IRでの吸光度と針入度の関係を表したものです。さらに顕微鏡の映像に合わせて赤外線の吸収を分析できる赤外顕微鏡（**写真－4**）も導入し，劣化アスファルトの分布の可視化などにも取り組んでいます。その他，アスファルトの分子量分布を計測するゲルクロマトグラフ（GPC）や熱特



図－5　回収アスファルトの針入度と赤外吸光度の相関[3)]

性を測定する示差熱分析機（DSC），示差走査熱量分析機（DTA）など，多くの分析機器をそろえています。

写真－4　赤外顕微鏡

3.1.3　環境評価分析機器類

舗装には再生資材が多く使用されますが，再生資材の中には重金属などが含まれることがあり，そのような場合は環境への拡散が懸念されるために，重金属，化学物質の溶出の評価の機会が増えています。当チームでは，六価クロムをはじめとした重金属類の測定，有機物の測定などのために，紫外分光光度計（UV）や原子吸光光度計などを導入しています。また，大気汚染などの調査のために，窒素酸化物測定器（NOx計），揮発性有機炭素測定器（VOC計）なども導入しています。

3.1.4　促進劣化機器類

材料の供用条件での寿命などを評価するために各種の促進劣化試験機を導入しています。アスファルトには，加圧加熱を行うPAV（プレッシャーエージングベッセル）や紫外線を照射するUV照射装置を使用しています。また主にアスファルト以外の材料に用いていますが，材料の使用条件に合わせて，ウエザメータ，塩水噴霧試験装置，いくつかの劣化条件を合わせて促進劣化させる複合環境腐食試験機（**写真－5**）などをそろえています。

3.2　実大舗装材料耐久性試験施設

リサイクル材をはじめとした開発途上の舗装材料を実大規模で耐久性評価ができるように，当チームにはリサイクル舗装材料耐久性施設（**写真－6**）があります。本施設は，試験舗装区間が60mで，その上を試験台車（載荷軸2軸，1軸あたり98kN）が自動走行するようになっています。

3.3　暴露試験施設

様々な土木材料の環境中での変化を調査するために，国内の様々な土地で暴露試験を行っています。アスファルトでは，主に紫外線や気温が劣化に影響を及ぼしますが，コンクリートや鉄，塗料などでは塩分濃度，湿度などがさらに影響因子として加わります。暴露試験を行う場合，材料が使用される地域の状況を考慮して，できるだけ早く答えが得られるような箇所を選んで行う必要があります。このため，全国に暴露試験施設を所有しています。

①つくば（標準的な気候，海からの塩分の影響も少ない地域の性状把握）
②朝霧高原（海からの塩分の影響が少ない，紫外線量が多い地域の性状把握）
③駿河湾（海上，海中における性状把握）
④沖縄（**写真－7**　亜熱帯，沿岸地域，紫外線量が多い地域の性状把握）
⑤その他各地（沿岸，飛来塩分が非常に多い地域，汽水域，淡水湖沼，極寒地など）

写真－5　複合環境腐食試験機

写真－6　リサイクル舗装材料耐久性試験施設

写真－7　沖縄建設材料耐久性試験施設

4. おわりに

連載の初回を当チームの紹介からさせていただきました。当チームは，前身の組織を含めて90年もの間，アスファルトの研究をしてきました。その間，国内のアスファルトの規格の作成，アスファルトの標準試験の作成，改質アスファルトの開発など，様々なことに関わってきました。これからもアスファルトの性能向上，多機能化，評価試験の標準化などに貢献できるよう研究を行っていきたいと思いますので，皆様のご支援のほどをよろしくお願いします。

共同研究や交流研究員などにより，他の機関と共同での研究実施を推進し，また専門研究員などにより人員の補強を図るなどしていきたいと思いますので，機会がありましたら，是非応募していただくようお願いします。

新材料チームのアスファルト関連の話題を中心に紹介させていただきました。なお，アスファルト以外の研究内容については，新材料チームのHP

http://www.pwri.go.jp/team/a_materials/index.htm

までお願いします。

―― 参考文献 ――

1）　加納　他：繰り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，舗装工学論文集，vol.14，2009

2）　川上　他：舗装再生工法の環境負荷評価について，舗装工学論文集，vol.13，2008

3）　佐々木　他：赤外線吸光分析による舗装用アスファルトの劣化度評価，土木学会年次講演会，第58回，2003

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
16　年　度	262	5,671	(103.3)	1	5,934	3,693	(64.9)	3,014	(92.3)	299	250	3,985
17　年　度	250	5,373	(94.7)	0	5,373	3,342	(90.5)	2,478	(82.2)	411	231	3,607
18　年　度	231	5,435	(101.2)	26	5,691	3,373	(100.9)	2,401	(96.9)	281	242	3,897
19　年　度	242	4,974	(91.5)	77	5,051	3,243	(96.1)	2,323	(96.8)	171	224	3,338
20　年　度	224	4,694	(94.4)	94	5,012	2,735	(84.3)	1,882	(81.0)	181	247	2,982
21　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.　4月	188	271	(81.9)	6	465	136	(79.1)	101	(90.3)	0	226	362
5月	226	235	(69.5)	11	471	150	(85.6)	100	(89.4)	0	222	372
6月	222	266	(84.3)	15	504	173	(88.1)	121	(84.4)	0	216	388
4～6月	188	772	(78.4)	32	992	459	(84.4)	323	(87.7)	0	216	675
7月	216	326	(93.5)	18	559	186	(95.4)	121	(99.1)	0	200	386
8月	200	337	(89.0)	25	562	174	(83.9)	116	(88.4)	0	209	383
9月	209	334	(88.0)	21	564	198	(97.0)	131	(96.3)	0	198	396
7～9月	216	997	(90.0)	64	1,276	557	(92.0)	369	(94.5)	0	198	755
10月	198	289	(98.3)	34	521	241	(105.3)	179	(109.2)	0	184	425
11月	184	333	(88.2)	24	541	262	(101.3)	191	(104.0)	0	183	446
12月	183	409	(98.1)	21	613	233	(　90)	167	(91.5)	0	195	427
10～12月	198	1,030	(94.7)	79	1,307	736	(98.6)	537	(101.3)	0	195	930
24.　1月	195	371	(89.5)	21	586	180	(　99)	116	(112.4)	0	214	393
2月	214	369	(89.2)	31	613	235	(89.7)	155	(88.0)	0	214	449
3月	214	401	(108.3)	29	644	305	(106.3)	240	(105.0)	0	200	505
1～3月	195	1,140	(95.2)	81	1,416	719	(98.5)	511	(100.6)	0	200	919
23　年　度	199	3,939	(90.0)	256	4,394	2,482	(94.5)	1,739	(96.9)	0	200	2,682
24.　4月	200	300	(110.8)	17	517	158	(107.1)	90	(89.4)	12	235	393
5月	235	264	(112.4)	14	513	158	(105.4)	104	(103.4)	4	225	384
6月	225	333	(124.9)	3	561	165	(95.7)	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	(103.5)	10	580	209	(112.7)	128	(105.8)	10	205	415
8月	205	385	(114.3)	6	597	205	(118.0)	121	(104.4)	14	203	408
9月	203	368	(110.0)	8	579	204	(103.3)	170*	(129.5*)	7	199	403
7～9月	233	1,090	(109.3)	32	1,355	619	(111.0)	420*	(113.8*)	32	199	817

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24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）2060
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
安崎裕　伊藤達也　加納孝志　神谷恵三
向後憲一　鈴木秀夫　田井文夫　新田弘之
根本信行　半野久光　姫野賢治　峰岸順一
吉村啓之

アスファルト　第228号
平成24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　加藤　和美
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.55　No.228　DECEMBER 2012
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/**