

アスファルト

第40巻 第195号 平成10年4月発行

195

特集・環境と舗装

特集にあたって	原田邦彦	1
常温型舗装技術	寺田剛・木村慎・池田拓哉	3
常温再生舗装技術		
～わが国の現状と諸外国の事例について～	成田守男	12
環境保全を指向した加熱アスファルト舗装の中温化技術	吉中保・根本信行	17
都市部における熱環境と都市型洪水に及ぼす舗装の影響		
低騒音舗装の現状	村井貞規・野村健一郎・姫野賢治	23
長寿命化舗装による環境への対応	池田拓哉	32
	坂田耕一	39

＜アスファルト舗装技術研究グループ・第28回報告＞

舗装の強化と維持に関する新技術	峰岸順一	46
-----------------	------	----

第20回PIARC国際道路会議

Question 4：舗装の強化と維持に関する新技術

小関裕二・早川洋子・村田信之	47
----------------	----

＜用語の解説＞

廃棄物処分場の舗装	小島逸平	67
アスファルトの発癌性	青木秀樹	69

＜新刊書紹介＞

土なぜなぜおもしろ読本	72
-------------	----

総目次 第191号～第194号（平成9年度）	73
------------------------	----

＜統計資料＞石油アスファルト需給統計資料	75
----------------------	----

ASPHALT

社団法人 日本アスファルト協会
JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

特集にあたって

原田邦彦

建設省道路局道路環境課 課長

平成9年は、いわゆる道路環境にとって大きな転換の年であった。

まず、6月には、「環境影響評価法」が第140回国会で制定された。建設省所管事業における環境影響評価については、これまで昭和59年に閣議決定された「環境影響評価実施要項」に基づき数多くの経験を積んできたところであるが、今後、この新しい法律に基づき、スコーピング、スクリーニング等の新たな手続きを含む環境影響評価を実施し、事業を進めていくこととなる。

また、12月には京都において161カ国、9,850人の参加のもと「気候変動に関する国際連合枠組条約第3回締約国会議（COP3）」が開催された。地球温暖化問題は、97年6月のデンバーサミット、国連環境開発特別総会以来多くの場で議論されてきたところであるが、今回の京都会議においては会議に先立ち8回にわたる準備会合を経て、10日間にわたる激しい交渉の末に温室効果ガスの排出量に関する削減目標を含む京都議定書が全会一致で採択された。これにより議定書の着実な実施に向け、地球温暖化防止に係る具体的かつ実効ある対策を推進することが急務となった。

このように、いわゆる環境問題をめぐる情勢が国際的な広がりを持つとともに国民の強い関心を受ける中、6月30日には、道路審議会（会長 久米 豊 社団法人日本自動車工業会最高顧問）から建設大臣に「今後の道路環境政策のあり方について—環境時代への政策転換—」の中間答申がなされた。

この中間答申では、環境時代に対応すべく、基本的な方向を以下のように転換することが必須であるとされた。

環境に配慮した道路整備

→ 積極的に環境保全・向上を進める
施策への転換

道路事業単独の環境対策

→ 地域社会や関係機関と連携し、住民参加型で進める総合的な施策への転換

また、この基本的な方向の転換を受け、具体的には、主に以下のような政策を行うことが必要であるとされた。

① 環境保全・回復に力点を置いた道路施策へ転換を図ることが必要である。

例えば、

- ・自然環境の保全に関する基本的な考え方を「指針」としてとりまとめる。
- ・さらに、環境要素を道路計画の中に取り込んだ上で、整備効果と整備コストを比較し、当該道路整備を行わないことも選択肢に入れ、総合的な是非の判断を行う。

② 都市における大気汚染や騒音問題、地球温暖化など深刻な環境問題に対処するため、道路事業単独の環境対策から地域社会や関係機関と連携し、総合的な施策へ転換を図ることが必要である。

そこで、環状道路の整備、拠点の分散などの都市のつくり方や、一定エリア内の流入規制、公共交通機関の利用促進などの交通需要調整といった都市の使い方において、環境負荷の軽減を図る「都市マネジメント」という考え方を導入することが必要である。

③ これら環境施策を実施していくため、道路計画の早い段階から開通後の管理までの多様なステージで、住民と情報交換し、共感を形成するよう努めすることが必要である。

現在、平成10年度を初年度とする新たな道路整備五箇年計画を策定中であり、この中間答申に示された道路環境政策に関する基本的な考え方を踏まえ、道路事業において具体的な道路環境施策の推進を行うとともに、地域社会や関係機関と連携し総合的な施策を実施することにより、持続可能な発展を支える地球環境、豊かで多様な自然環境、人々のくらしのなかの生活環境、質の高い社会文化環境を次世代に伝える努力を続けて参りたいと考えている。

このような道路環境施策の大きな転換期において、特集として「環境と舗装」を取り上げ、各専門家からホットな意見が提供されることは非常に意義があると考えております。これを機会に、環境に関する各種の技術について多くの人々に関心を持っていただくとともに、今後の技術開発の一助となることを期待している。

常温型舗装技術

寺田 剛*
木村 憲**
池田 拓哉***

1. まえがき

地球環境問題は国際的にも関心が高まり、昨年12月には日本の京都で「機構変動枠組み条約第三回締結国際会議」(地球温暖化防止京都会議)が開催された。その中で、日本の温暖化ガスの排出削減目標が2006年~2010年平均で6%削減と決まった。このため今後さらに各産業分野において、CO₂による温暖化を防止するための省エネルギー、CO₂排出抑制技術の開発が求められ、この削減目標に向け官民一丸となった一層の省エネ努力、技術開発が必要となる。

建設省では、1994年1月に環境政策大綱を策定し、環境問題に配慮した建設事業の推進を図っており、これらの方策の一つとして、建設省総合技術開発プロジェクトにおいて「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」の研究を行った。このテーマでは、建設分野において資材生産から施工、維持管理、廃棄および運搬における、エネルギー消費量およびCO₂排出量の算定手法の確立や、省エネルギー資材の利用技術の開発として「常温型舗装」と「省エネルギーセメント」の利用技術の開発を行った。

本報告では、従来用いられている加熱アスファルト混合物に比べエネルギー消費量およびCO₂排出量の削減が可能な常温型舗装について建設省土木研究所と民間6社1団体が共同研究により研究を行ったので、その結果として、常温型混合物の室内試験や試験施工の結果を中心に常温型舗装技術の現状とエネルギー消費量の削減効果についても併せて記述するものである。

2. 常温型舗装技術の現状

現在行われている常温型舗装には以下のものがある¹⁾²⁾。

(1) プライムコート

路盤を仕上げた後、速やかに瀝青材料を散布する工法で、通常アスファルト乳剤PK-3を使用する。

(2) タックコート

舗設する混合物層とその下層の瀝青安定処理、中間層、基層との付着、および縫目部や構造物との付着をよくするために行う。

(3) 表層用常温混合物

重厚通道路の表層にも適用できる常温混合物である。乳剤舗装の初期強度の向上、耐流動性の改良等のためセメントやポリマー乳剤を添加したり、改質アスファルト乳剤を使用したりしている。建設省土木研究所が共同研究を行った。

(4) OGEM

OGEM(オープングレードアスファルトミックスチャーチ)は常温混合式工法の1種で開粒度配合の骨材を使用し、欧米では常温混合式工法の主力がOGEM工法である。

(5) じょく層工法

じょく層工法は、既設舗装の上に2~3層のアーマーコートによる表面処理を行い、応力緩和層を構築した後に通常のアスファルト混合物を舗設することにより、新しいオーバーレイ層にリフレクションクラックの発生を抑制または遅延させる工法である。

(6) 路上再生路盤工法

セメント・アスファルト乳剤を使用した路上再生路盤工法は古いアスファルト混合物層とその下の路盤の一部を使って、新しい路盤が構築するもので、専用機械を使って細かく砕き、これにセメントとアスファルト乳剤を散布し、それを路上でかくはん、混合しながら再生するものである。

(7) 常温路上再生工法

切削機にアスファルト乳剤散布装置を組み合わせ、

*てらだ まさる 建設省土木研究所材料施工部化学研究室研究員

**きむら まこと 建設省土木研究所道路部舗装研究室研究員

***いけだ たくや 建設省土木研究所道路部舗装研究室室長

路上で切削材と乳剤を混合し、混合物をそのまま表層として使用しようというものである。日本ではまだあまり行われていないが、ヨーロッパではそのための機械が販売されている。

(8) スラリーシールとマイクロサーフェシング

スラリーシールおよびマイクロサーフェシングとも基本的には骨材とアスファルト乳剤および水からなるスラリー状混合物を路面上に薄く敷きならす工法である。両者の違いは、前者が細骨材と通常のアスファルト乳剤を用い5mm以下の中さで施工するのに対して、後者はポリマー改質高濃度乳剤を使用し、より厚く(5~15mm)施工される。

本工法は路面の保護層や凹凸化した路面の不陸整正、荒れた路面の若返り、路面のすべり止めなどの目的で使用される。

(9) シールコートおよびアーマコート

本工法は舗装の寿命を延ばすための維持工法であり、シールコートは瀝青材料と骨材を1層ずつ、アーマコートは2層以上行う場合をいうが、その目的は耐水性の向上、既設舗装の老化防止、路面を若返らせる路面のすべり止めなどスラリーシールと類似している。

(10) ウッドチップ舗装³⁾

木材チップと特殊ゴム入りアスファルト乳剤との混合物で、公園などの遊歩道の舗装に開発されている。また、現在、秘術評価制度で木材を樹脂などで固めた舗装について検討が行われている。

(11) 常温型弾性舗装⁴⁾⁵⁾

廃タイヤなどを粉碎したゴムチップを用い、樹脂や反応型改質アスファルト乳剤で固めたもので、弾力性や透水性および騒音低減などの機能を重視した舗装で

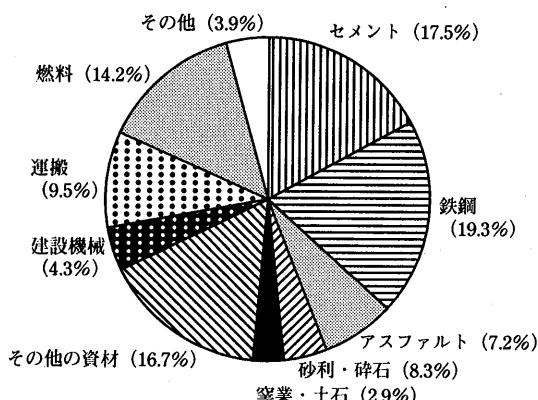


図-1 エネルギー消費量の資材・燃料別内訳

(総量 3.10×10^{14} kcal)

ある。車道や歩行者系舗装として開発されている。

3. 資材、燃料別のエネルギー消費量およびCO₂発生量

建設事業は、多くの資源・エネルギーを消費する多消費型産業の1つとなっており、地球規模的環境問題の抑制に寄与するためには、CO₂発生量を低減させるような資材、工法等の検討が求められている。

そこで、土木事業において、どの資材や燃料が多くエネルギー及びCO₂を出しているか調査した。その結果を図-1および図-2に示す。アスファルト系材料はエネルギー消費量及びCO₂排出量とも7%前後と量的には少ないが、セメント、鉄鋼に次いで3番目に多い結果であった。

4. 常温型舗装の利用技術の開発

4.1 研究概要

前述のとおり、土木事業においてアスファルト材料のエネルギー消費およびCO₂排出量の占める割合が多い結果となっている。常温型舗装は、これまでにも高性能化を図るためにゴムや熱可塑性樹脂を添加した改質アスファルト系乳剤が開発されているが、設計交通量の区分CおよびDの表層に本格的に適用できるものはほとんどないのが現状といえる。

そこで、常温で施工が可能で、加熱アスファルト混合物と同等の性能を持つ高性能アスファルト乳剤や高性能ポリマーなどを用いた常温型舗装の利用技術の開発を目的として研究を行った。本研究は、建設省土木研究所と財團法人土木研究センター、そして民間企業6社との共同研究である。

「常温型舗装の利用技術の開発」に関する共同研究の概要は、以下のとおりである。

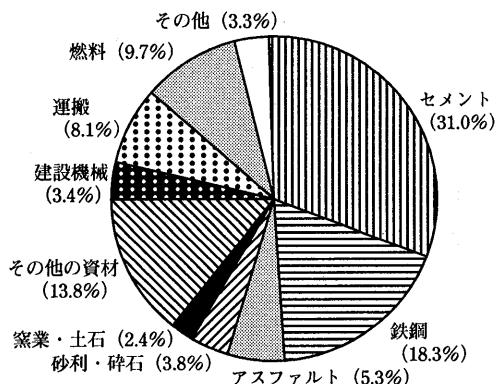


図-2 CO₂排出量の資材・燃料別内訳

(総量 3.03×10^7 kcal炭素換算)

① 開発目標レベル

- ・車道のCおよびD交通に対応可能であること
- ・動的安定度(DS)が3,000回/mm以上であること
- ・エネルギー消費量が加熱アスファルト混合物と比べて10%以上の低減ができること

② 研究期間

- ・1994~1995年度

③ 研究項目

- ・材料開発および各試験
- ・試験施工(施工正・供用性調査)
- ・利用技術マニュアルの作成

開発した5種類の常温型舗装の概要は表-1のとおりである。

(1) 常温型舗装A

高粘度改質アスファルトを基材としたカチオン系高濃度乳剤をバインダーとし、一定の粒度範囲および品質の骨材からなる常温型混合物を用いた舗装である。専用機械を用いて大規模かつ迅速に施工でき、早期の交通開放が可能である。また、切削工を伴わずにオーバーレイ工ができる。

(2) 常温型舗装B

常温型舗装Bは、高濃度改質アスファルト乳剤と無機質硬化材からなる常温型混合物を用いた排水性舗装である。

雨天時の車両の走行安定性の向上と騒音の低減効果を持ち、耐流動性と耐摩耗性に優れている。また混合物の製造が容易にできるので、排水性舗装の小規模補修用としても適している。

(3) 常温型舗装C

常温型舗装Cは、改質アスファルト乳剤および低収縮セメントを使用した常温型舗装である。混合物の製造は、専用のミキサまたは既設の加熱アスファルト混合物製造プラントで対応できる。また、加熱アスファルト舗装と同様な施工機械で施工でき、耐流動性に富んだ混合物である。

(4) 常温型舗装D

常温型舗装Dは、アスファルト乳剤と二液反応型エポキシ樹脂からなる複合バインダーを用いた常温型舗装である。

特にたわみ追従性や耐流動性に優れている。加熱アスファルト舗装と同様な施工機械で施工できる。

(5) 常温型舗装E

常温型舗装Eは、混合物のバインダーとしてポリマー(エポキシ樹脂)を利用した常温型舗装である。

樹脂材料特有な粘りが少ないバインダーを使用しているため、加熱アスファルト舗装と同様な施工機械で施工できる。また、耐摩耗性、耐流動性に優れているとともに、カラー化が容易にできるという特徴を持っている。

4.2 混合物試験結果

常温型混合物A、B、C、D、Eの5種類と比較混合物F(加熱アスファルト混合物、ストレートアスファルト60/80)の混合物試験結果を表-2に示す。

比較混合物Fと比較すると、マーシャル安定度試験の結果、Eはポリマー系であるため、70kN以上と大きな値となったが、それ以外の常温型混合物A~DはF

表-1 開発した常温型舗装の概要

	常温型舗装A	常温型舗装B	常温型舗装C	常温型舗装D	常温型舗装E
種類	マイクロサーフェシング系	常温型排水性(空隙率約20%)	セメント・改質アスファルト乳剤系	エポキシ改質アスファルト系	エポキシ樹脂系
施工厚さ	3~25mm	40~50mm(6号) 20~25mm(7号)	40~50mm	40~50mm	30~50mm
混合方法	現場混合	プラント現場混合	プラント現場混合	プラント/現場混合	プラント/現場混合
施工方法	専用機械使用	既存方法	既存方法	既存方法	既存方法
主な用途 (新設/補修)	両方とも可能 ・老朽路面のリフレッシュ ・荒れたコンクリート路面の補修 ・コンポジット舗装の表層材	両方とも可能 ・車道用排水性舗装	両方とも可能 ・表層および基層用	両方とも可能 ・表層および基層用	両方とも可能 ・表層および基層用 ・バスレーンなどのカラー化

表-2 混合物試験結果

試験項目		試料番号					
		A	B	C	D	E	F
マーシャル安定度試験 (60°C)	安定度 kN	11.40	10.89	7.25	8.78	70.00+	13.90
水浸マーシャル安定度試験 (60°C)	フロー値 1/100cm	—	19	26	58	—	25
ホイールトラッキング試験 (60°C) 回/nm		12,600	52,500	7,700	57,300	17,500	768
ラベリング試験 (-10°C)	cm²	0.57	0.49	0.32	1.60	0.20	2.44
圧裂強度試験 (60°C)	N/mm²	—	0.35	0.18	0.12	0.581	0.12
曲げ試験	-10°C	曲げ強度 N/mm²	—	5.89	5.31	4.14	14.30
		破断時のひずみ	—	0.0055	0.0057	0.0075	0.011
	20°C	曲げ強度 N/mm²	—	3.11	1.51	1.41	12.00
		破断時のひずみ	—	0.0050	0.0059	0.020	0.014
	50°C	曲げ強度 N/mm²	—	1.06	0.37	0.25	10.45
		破断時のひずみ	—	0.0047	0.0055	0.052	0.016
							0.033

の値の52%~82%程度であった。水浸マーシャル安定度も同様な値であった。残留強度率については、比較混合物が80%であったのに対して91~111%と大きな値であった。

ホイールトラッキング試験の結果は、常温型混合物5種類とも比較混合物Fに比べ、10倍~75倍と非常に高い値を示し、耐流動性には優れた結果となった。ラベリング試験の結果も、常温型混合物5種類とも比較混合物Fの1.5倍~12倍と非常に高く、耐摩耗性についても問題ない結果であった。

-10°Cと20°Cの曲げ強度においては、EはFに比べ2倍~4倍と高い値を示したが、B、C、Dは約半分と小さな値であった。また、破断時のひずみは、試験温度-10°Cではいずれの常温型混合物もFより大きい低い値であった。しかし20°C、50°Cでは、Dを除きFに比べて小さい値を示した。

4.3 各種常温型舗装の施工調査

4.3.1 施工調査の概要

施工性ならびに供用性の確認を行うため、建設省土木研究所構内の舗装走行実験場において試験施工を行った。

舗装走行実験場は半径100mの円形周回路で、自動走行の荷重車（後軸荷重10トン）が試験舗装上を走行することにより、一種の促進試験を行うことができるものである。今回はC、D交通に対応可能であることが開発目標の一つであることから、比較工区には改質II型アスファルトを用いた加熱アスファルト混合物（密粒度13）を使用した。

試験舗装の舗装構成を図-3に示す。加熱アスファルト混合物（密粒度20）による基層を5cm、表層に各種常温型混合物を5cmとした。ただし、マイクロサーキュレーティング系の混合物Aについては、比較工区Fと同じ改質II型アスファルト混合物を4cm施工し、その上に混合物Aを1cm施工した。

施工機械については、混合物Aが混合および敷きならしに専用機械を使用する他は、通常のアスファルト

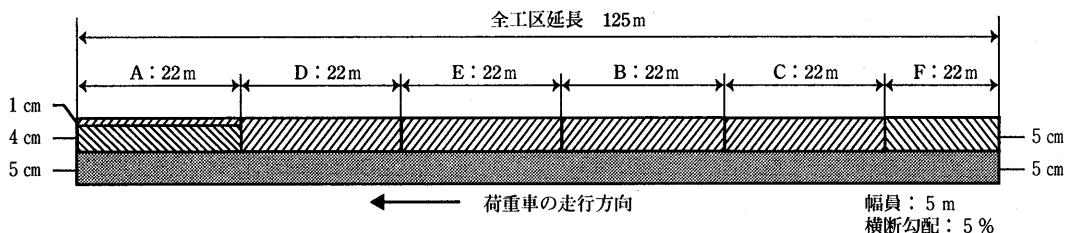


図-3 試験舗装の舗装構成

フィニッシャで施工を行うことができる。また、転圧についても通常のアスファルト舗装と同じ機械を使用した。

試験施工は平成7年9月に行った。写真-1～2にそのときの状況を示す。



写真-1 常温型舗装の施工状況



写真-2 常温型舗装の施工状況

この結果、作業工程については、マイクロサーフェシングを除き通常の加熱アスファルト混合物の舗設と同様であり、いずれの混合物についても作業性に特に問題はなかった。一部、骨材からのバインダーの剥離が見られるものがあったため、骨材の選定には注意が必要と思われる。

悪臭や粉塵など周辺環境への影響はなかった。また騒音についても、基本的に通常の加熱アスファルト舗装と同じ施工機械を使用していることから、特に問題はなかった。

4.3.2 施工性に関する室内試験

試験施工を行うのと同時に、実際に敷きならす混合物によりマーシャル安定度試験用供試体とホイールトラッキング試験用供試体を作製した。これを室温で養生し、3, 6, 24時間後と3, 7日後に、マーシャル安定度試験とホイールトラッキング試験を行った。施工後の硬化発現と交通開放に要する時間の確認を行うことを目的として室温で試験を行った（発現強度試験）。

なお、比較のため比較工区に使用した改質II型の加熱アスファルト混合物についても同様に、供試体の温度管理は行わず室温で養生し、試験も室温で行った。（なお、加熱混合物の3時間経過時点での供試体温度は32°Cであった）

室内試験結果を図-4、図-5に示す。

混合物Aについては、マーシャル安定度試験用供試体の作製が困難であることから、マーシャル安定度試験は行わなかった。またホイールトラッキング試験については、実際の試験施工の工区と同じく、改質II型4cmの上に混合物Aを1cm敷き詰めた供試体で試験を行った。

動的安定度については30,000回/mmを超える値をすべて“30,000以上”として表示している。

これらの結果によると、ほとんどの混合物では24時間経過した時点で最終的な強度に近い値が出ており、反応はほぼ完了していることが分かる。ただし、混合

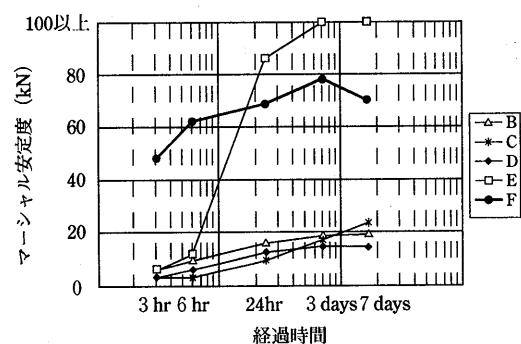


図-4 マーシャル安定度の経時変化

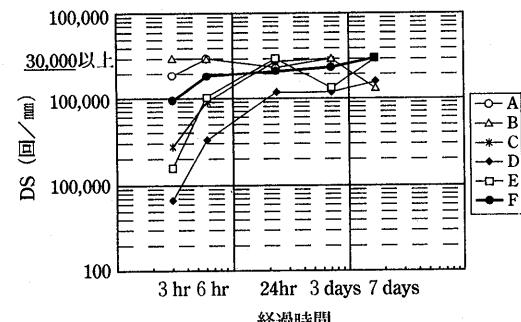


図-5 動的安定度の経時変化

物Cのマーシャル安定度の値は7日を経過しても増加し続けている。これは混入しているセメントの強度発現が続いているためと考えられる。混合物Eのマーシャル安定度を見ると、6時間後から24時間後にかけて急激に増加している。

また、6時間後ではすべての混合物の動的安定度が3,000回/mm以上となっており、6時間後の交通開放は可能と思われる。

4.3.3 耐久性の確認

施工終了後、荷重車の自動走行により試験舗装の耐久性の確認を行った。荷重車は後軸荷重10トン、走行速度30km/hで8万周を走行した。

図-6に縦断凹凸量の測定結果を示す。横断凹凸量は最大で5mm程度と少なく、わだち掘れのほとんど無い良好な状態であった。常温型舗装Aが他の常温型舗装と比較するとわだち掘れが大きいが、これは初期交通荷重により締め固める特徴によるものであり、20,000周以降はほとんど進行していない。

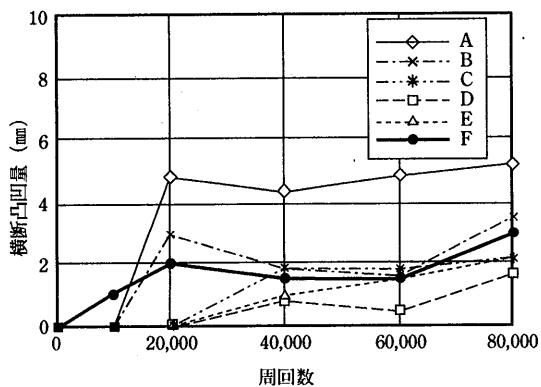


図-6 横断凹凸量測定結果（周回路外側）

図-7のひびわれ率についてみてみると40,000周目の測定で常温型舗装Cにひびわれが発生し始めている

が、このひびわれはセメントによる収縮ひびわれと思われ、低収縮セメントを用いることにより対応することとした。その他のA, B, D, Eについては一部細かなひびわれが認められるものの、構造的な破壊によるものではなかった。

また排水機能を持つ常温型舗装Bについては、空隙詰まりすることなく十分な排水機能を維持していた。

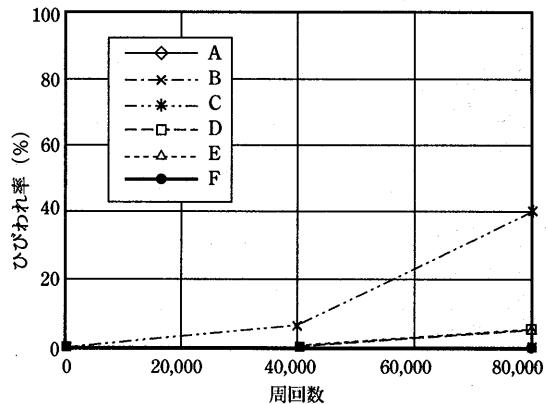


図-7 ひびわれ率の測定結果

5. 常温型舗装の試験施工

5.1 試験施工の概要

実地における供用性の確認として、表-3に示す全国8箇所において試験施工を行った。

施工性の評価を行うため、施工現場に運搬してきた混合物を用いて発現強度試験、動的安定度試験を行った。また敷きならし性・締固め性の評価、施工後の路面評価などを行った。

ここで発現強度とは、常温で供試体作製および養生を行った後、20°Cでホイールトラッキング試験を行うものである。初期安定度に関する基準として、供試体作製から6時間後において3,000回/mm以上であることとしている。また、動的安定度についても養生は常温

表-3 試験施工箇所の一覧

常温型舗装種類		新設・既設	厚さ	延長	線形	施工場所
マイクロサーフェシング系	A 1	既設	10mm	350m	直線	岐阜県益田郡萩原町, 国道41号
	A 2	既設	10mm	200m	直線	岐阜県吉城郡神岡町
	A 3	既設	20mm	400m	直線	福岡県久留米市, 国道 209号
排水性(空隙率約20%)		B 1	既設	50mm	25m	直線
セメント・改質アスファルト乳剤系		C 1	既設	50mm	200m	直線
		C 2	既設	50mm	200m	直線
エポキシ改質アスファルト系		D 1	既設	50mm	150m	直線
		D 2	新設	40mm	100m	直線
						香川県大川郡志度町, 高松東道路側道

で行い、試験は60°Cで行っている。

5.2 施工結果

1) 常温型舗装A

試験施工は中部地方建設局管内で2ヵ所（約3,800m²）と九州地方建設局管内で1ヵ所（589m²）の計3ヵ所試験施工を行った。表-3の中のA1について紹介する。マーシャル安定度が1,650kgf、動的安定度が4,110回/mmであった。

専用のマシンを使用して混合物の製造と敷きならしを同時に、しかも迅速に行えるので施工性は良好であった。施工後、約1時間養生した後、交通開放した。

2) 常温型舗装B

試験施工は関東地方建設局宇都宮国道工事事務所管内で行った。基層からの打換え工事で、表層は加熱排水性である。この加熱排水性の施工区間の一部に、常温排水性舗装である常温型舗装Bを施工延長25mの上・下車線に厚さ5cmで施工した。

本路線はD交通であるため、大型車の通行量が多く、施工は夜間に行った。

6時間現場養生した混合物の常温マーシャル安定度が1,053kgfで、同じ養生条件での常温動的安定度が31,500回/mmであった。

製造後、現場に搬入された荷台への混合物のバインダのだれはほとんど見られなかった。

舗設は通常の加熱アスファルト施工機械を用いて行った。夜間施工で気温が低いことと片側ずつの施工で交通開放時間の制約があったために、ジェットヒーターを用いて加温促進養生を約2時間行い、硬化状態を確認した後、交通開放した。

施工直後の追跡調査結果は加熱排水性とほぼ同様な結果であった。騒音測定結果、常温および加熱排水性区間は密粒舗装に比べ、5dBの吸音効果が確認できた。

3) 常温型舗装C

試験施工は九州地方建設局福岡国道工事事務所管内で1ヵ所と東北地方建設局仙台工事事務所管内1ヵ所の計2ヵ所で試験施工を行った。表-3中のC2について紹介する。追越し車線側を5cm切削して常温舗装Cを施工した。本路線はC交通であるため、施工は夜間に行った。

混合物の性状は可使時間が約2時間、6時間常温で養生した混合物のマーシャル安定度は738kgfで、同様な養生条件での常温動的安定度が12,600回/mmであった。

舗設は通常の加熱アスファルトフィニッシャを用いて常温で敷きならした。転圧後、舗装表面に希釈アスファルト乳剤によるフォグシールを施したのち、約1時間養生後交通開放した。

施工直後の追跡調査結果は骨材飛散もあまりなく、ひび割れもなく、わだち掘れもない良好な路面状況であった。

4) 常温型舗装D

試験施工は東北地方建設局岩手工事事務所管内で1ヵ所と四国地方建設局香川工事事務所管内1ヵ所の計2ヵ所で施工した。

D1においては、追越し車線側を5cm切削して施工した。施工は昼間に行った。通常の加熱アスファルトプラントの設備を用いて常温で製造した。バインダーは最初アスファルト乳剤を添加して混合した後、エポキシ樹脂を添加して混合する方法をとった。6時間常温養生常温動的安定度が4,400回/mmであった。

舗設は通常のアスファルトフィニッシャを用いて、常温で敷きならした（写真-3参照）。転圧終了後、強度が発現するまで養生し、交通開放した。転圧時のおさまりや路面のキメなど概ね良好であった。施工直後の調査ではひびわれ、わだち掘れもなく、良好な路面状態であった。



写真-3 常温型舗装D1の施工状況

(1) 混合物試験結果

D1とD2の発現強度試験（試験温度20°C）の結果を図-8に示す（6時間、24時間、3日、7日後）。供試体作製から6時間後において基準としている3,000回/mmは満足しており、また3日後にはいずれも10,000回/mmを越えるなど初期安定度については問題ない。

動的安定度試験（試験温度60°C）の結果は、D1が11,200回/mm、D2が42,000回/mmと非常に高い値を

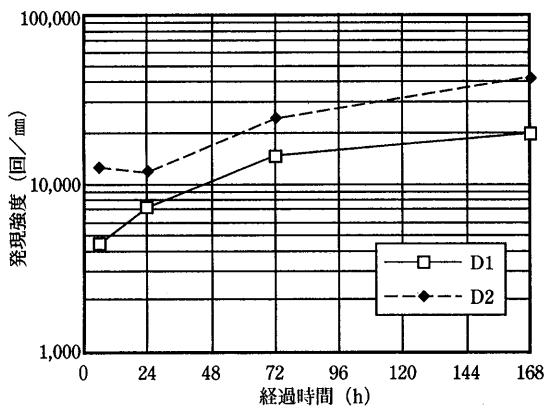


図-8 発現強度試験結果

示している。なお、ホイールトラッキング試験については測定値が大きくなるほど測定誤差は大きくなり、D1とD2の測定値の差についても誤差を含んでいると考えられる。

(2) 路面性状測定

施工直後の路面性状測定として、たわみ量、ひびわれ率、縦断・横断凹凸量、すべり抵抗性の測定を行った。その測定結果を表-4に示す。現在のところ、路面状態は非常に良好な状態にある。

表-4 施工直後の路面性状

調査項目	測定方法	D1	D2
たわみ量	ベンケルマンビーム、5トン	1.07mm	1.05mm
ひびわれ率	—	0%	0%
縦断凹凸量	3mプロフィールメータ わだち部	1.35mm	0.94mm
		—	1.34mm
横断凹凸量	横断プロフィールメータ 最大	0mm	4.0mm
		0mm	0mm
		0mm	1.9mm
すべり抵抗性	ポータブルスキッドテスター(BPN)	76	77
	DFテスター 20km/h	—	0.66
		—	0.63
		—	0.61

6. 常温型舗装のエネルギー消費量の削減効果

今回開発した各種常温型舗装の、製造、運搬、施工におけるエネルギー消費量およびCO₂排出量を計算し、従来型の加熱アスファルト混合物との比較を行った。

6.1 計算方法

まずモデル工事を設定し、工程分析を行って使用する資材、建設機械および燃料のリストアップを行う。

さらに、常温型舗装および従来型加熱舗装を用いた場合に、モデル工事に対して投入する資材などがどのように変更になるか検討する。

常温型舗装および従来型舗装を1トン投入する際のエネルギー原単位とCO₂原単位を計算する。

最後に、得られた資材等の数量にエネルギー原単位とCO₂原単位を乗じることにより、工事におけるエネルギー消費量とCO₂排出量を計算した。

6.2 モデル工事の概要

計算する際想定したモデル工事は、工区延長530m、幅員11m(4車線)の道路舗装の新築工事を施工することを想定した。舗装構成は一般地域扱いで、交通区分C、設計CBR=6、設計T_{A'}>28、H'_{A'}>47である。下層路盤としてクラッシャラン20cm、上層路盤として瀝青安定処理路盤10cmと粒度調整碎石路盤15cmの2層施工する。基層には粗粒度アスファルト混合物5cm、表層に各常温型舗装またはその比較材を5cmとした。

常温型舗装の種類によって骨材粒度などが異なるので、比較する加熱アスファルト混合物は表-5のとおりとした。

表-5 比較材一覧

常温型舗装	加熱アスファルト舗装	
	骨材粒度	バインダー
常温型舗装A	細粒度(13)	改質アスファルトII型
常温型舗装B	開粒度(13)	高粘度改質アスファルト
常温型舗装C~E	密粒度(13)	改質アスファルトII型

6.3 計算結果

結果を図-9、図-10に示す。いずれの常温型舗装についても、従来型の加熱アスファルト舗装と比較してほぼ20~50%削減できるとの結果であった。開発目標の一つである10%以上のエネルギー消費量削減を達成している。

7.まとめ

環境保護という問題は、全世界的に今後もさらに高まることが予測される、常温型舗装は加熱アスファルト混合物に比較して省資源・省エネルギーであるという利点があるので、加熱アスファルト混合物のみの供用性が得られるものが開発されれば、大いに利用される可能性を秘めている。今回行った試験結果では、混合物性状および施工性は問題のない結果であった。また供用性についても問題のない結果となっている。こ

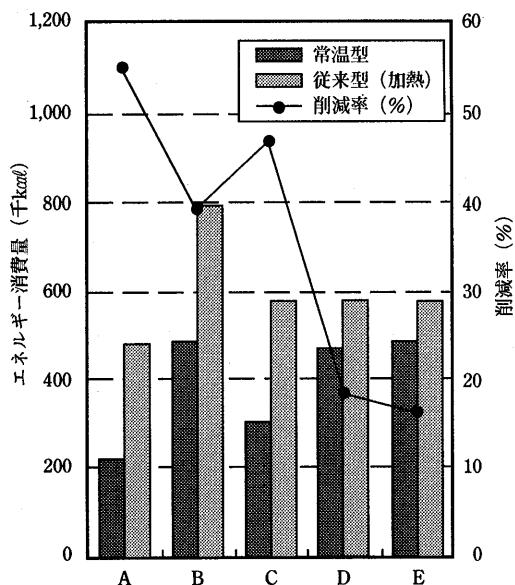


図-9 エネルギー消費量の計算結果

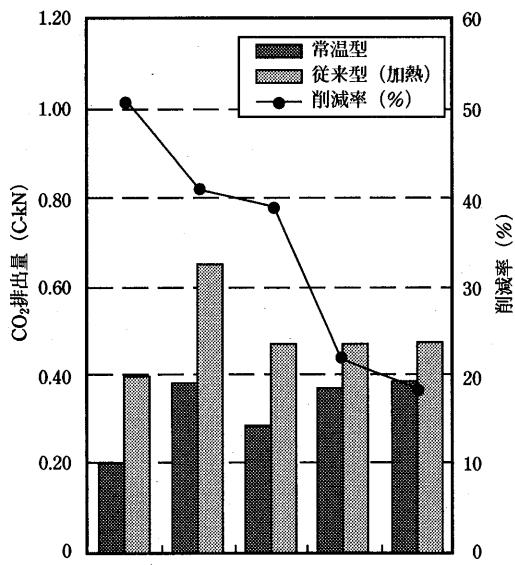


図-10 CO₂排出量の計算結果

これらのことから、表層用の常温混合物として加熱アスファルト混合物と同等の性能を持つ常温型混合物を開発することができたと思われる。

さらにマイクロサーフェシング系の混合物Aは施工速度が速く、切削を行わずに施工ができるところから、表層の補修用としても適している。常温型舗装Bは排水機能とともに騒音低減効果に注目が集まっている排水性舗装の補修材料として期待されるものである。常温型舗装C, D, Eについては、加熱アスファルト混

合物と同じ機械編成で施工でき、またEについてはカラー化が容易にできるためバスレーンなどへの適用も考えられる。

平成9年度には全国8箇所の国道で試験舗装を施工した。施工性や施工直後の路面状況については特に問題は生じていない。今後も追跡調査を行い、現道における長期供用性について検討していく予定である。

参考文献

- 植村 正：常温舗装材料の現状と展望、舗装、31卷4号、1996.4、p.4
- 安崎 裕：アスファルト乳剤を使った舗装の新しい試み、あすふあるとにゅうざい、No.129、1997
- 小田謙成：木材チップを活用した舗装—アスウッド舗装—、舗装、31卷4号、1996.4、p.20
- 長溝 忍、藤井政昭、西本敏幸、武田 雄：常温型透水性弹性舗装の開発、舗装、31卷4号、1996.4、p.24
- 明嵐政司、藤原俊彰、長谷部正基：多孔室弹性舗装の騒音低減特性について
- 資源・エネルギー消費、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書(その1)、土木研究所資料第3167号(1993.2)
- 資源・エネルギー消費、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書(その2)、土木研究所資料第3256号(1994.3)
- 寺田：エネルギー消費量およびCO₂排出量から算定した省資源・省エネ舗装、舗装、Vol.30、No.2、(1995.2)
- 寺田：建設事業における資源・エネルギー消費量及び環境負荷量の算定調査、土木技術資料、Vol.37、No.9、(1995.9)
- 省エネ型資材に関する調査、土木研究所資料第3349号(1996.2)
- 建設省土木研究所他：常温型舗装の利用技術の開発に関する共同研究報告書、共同研究報告書第167号(1996.3)
- 寺田、木村、坂本：常温型舗装の利用技術の開発、第22回日本道路会議論文集(1997.12)

常温再生舗装技術 ～わが国の現状と諸外国の事例について～

成田 守男*

1. はじめに

昨年12月、温暖化防止京都会議（気候変動枠組み条約第三回締約国会議）が実施され、わが国も2010年を目指しに1990年比でCO₂削減量6%で合意した。

わが国のCO₂排出量は世界4位であり、全排出量の約5%を占めている。この責任は当然ながら大きいものであるが、合意した削減量6%をそのまま額面どうりに受け取れない。新聞報道によると、温室効果ガスの大半を占めるCO₂は、現在すでに1990年より10%近く増えており、6%減らすためには実質10数%の削減が必要になるということが深刻かつ重要である。

ところで、わが国のエネルギー消費量の内訳は、産業分野が全体の半分近くを占め、運輸と民生分野でのCO₂排出量が著しく伸びているという状況にある。

全産業が排出するCO₂のうち、土木事業は約10%で、道路部門はその中で約25%を占め、同様にエネルギー消費量についても土木事業は約8%，道路部門はその中で約26%を占めている¹⁾。

道路部門のエネルギー消費、CO₂排出量の中で舗装の占める割合は多く、この中でも舗装材料が最も大きな割合を占めている。すなわち、わが国はほとんどが加熱アスファルト舗装であることから、加熱アスファルト混合物に起因することが大きいと言うことになる。

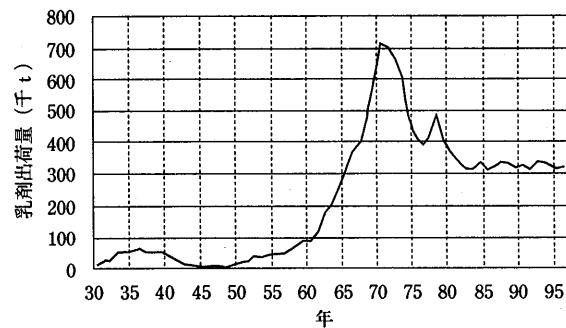


図-1 アスファルト乳剤出荷量の推移

わが国のアスファルト舗装のリサイクル量は、年々増加してきているものの、更に新たな省エネルギー、CO₂抑制型の舗装材料・工法の開発が急務である。

この意味でも常温再生舗装技術は、舗装発生材を含め全ての材料を常温で使用するもので、省エネルギー、省資源、CO₂の抑制の観点から、まさに時代のニーズに合ったものと言えよう。

以上のような観点から、常温再生舗装技術についてわが国の現状と諸外国の事例について紹介したい。

なお、ここで言う常温舗装とは、反応性樹脂等を用いたものは除き、アスファルト乳剤（以下、乳剤と称す）を使用した常温舗装に限定したものである。

2. わが国アスファルト乳剤の生産状況

加熱アスファルト混合物全盛の今日ではあるが、かつては乳剤混合物も大きく脚光を浴びていた時期もある。図-1、2に乳剤出荷状況の推移と種類別乳剤の出荷状況を示す。

最盛期には70万トンを超えた乳剤生産量は、1972年頃を境に急激に減少し、現在の出荷量は32万トン程度で推移している。全盛時は、現在の主用途である浸透用乳剤（プライムコート、タックコート等）に加え、混合用乳剤の出荷量が大きく寄与したものであった。

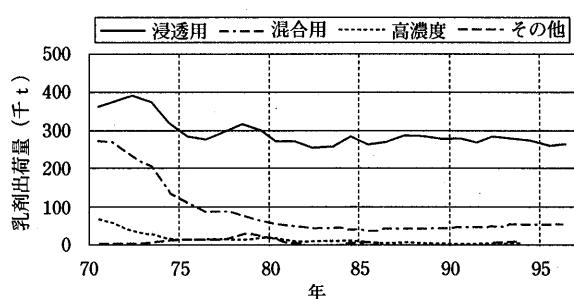


図-2 品種別乳剤出荷量の推移

*なりた もりお 東亜道路工業技術研究所課長

混合用乳剤の減少は乳剤舗装の減少であり、この主たる原因是台頭してきた加熱アスファルト混合物に対し、施工面、供用面で劣るためであった。

現在、混合用乳剤として生産されているのは、路上再生路盤工法に使用されるノニオン乳剤(MN-1)がほとんどである。

従来の乳剤混合物の欠点としては、①混合物の初期安定性が低く、交通開放までに時間がかかる、②施工において十分なワーカビリティが確保できず、施工性に難がある、③耐久性に乏しく、重交通路線への適用が不可能、④施工後の降雨等により、混合物が緩んだり、乳剤が流出しやすい、⑤混合物の製造管理、施工管理が不十分、などの問題点が指摘されており、アスファルト乳剤混合物は昭和40年代の後半から衰退していった。

3. わが国の常温再生舗装工法

3.1 実施されているアスファルト舗装再生工法

現在実施されているアスファルト舗装再生工法の概略を図-3に示す。②、④はプラントでの再生加熱ア

スファルト混合物であり、⑤は加熱操作により、路上において既設アスファルト混合物表層を再生するものである。③が唯一常温で行う工法であり、現場において既設アスファルト舗装を破碎、添加剤を混入して新たな路盤として再生する常温再生舗装工法である²⁾。

3.2 常温再生舗装工法

わが国における常温再生舗装工法として、路上再生路盤工法は既に実用化しているが、表層あるいは基層用材料等として実用化されている例は少ない^{3),4)}。

表・基層の常温再生舗装工法には、現位置で舗装を再生するものと固定式あるいは移動式プラントで混合物を製造した後、舗設する2タイプがある。

現位置表層再生舗装工法の一例を図-4、写真-1⁴⁾に示す。これは、切削機にリサイクル・ユニットを取り付けたもので、舗装切削、乳剤と舗装発生材の混合、スクリードによる敷均しまでを一台の機械で行うことができる。

上記のミリング・リサイクラは、Wirtgen 1000CR(最大切削深さ: 100mm、施工幅員900mm)であるが、最大

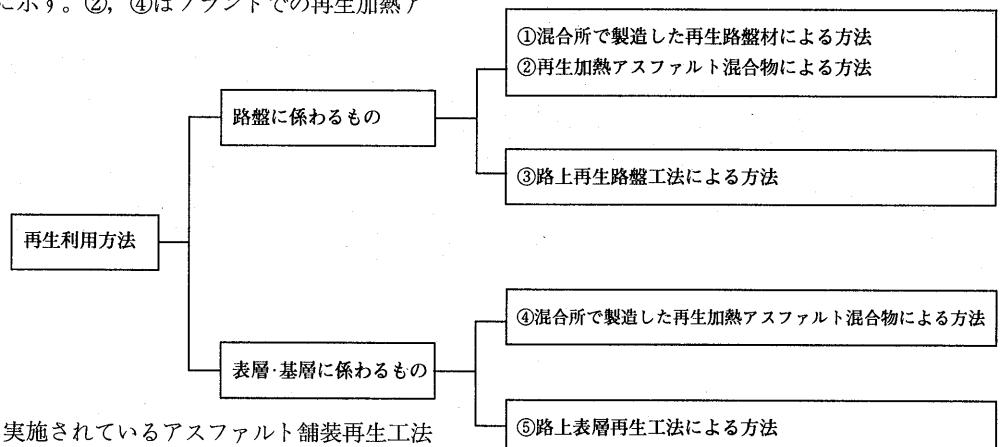


図-3 実施されているアスファルト舗装再生工法

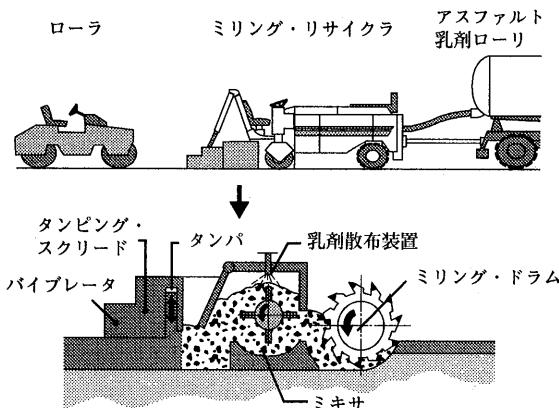


図-4 Wirtgen 1000CRの施工方式と構造



写真-1 Wirtgen 1000CRを用いた現位置常温表層再生舗装（宮城県河南町）

切削深さ300mm、施工幅員2600mmと大型なWirtgen 2100DCRもわが国に導入されている。

4. 海外の状況

4.1 新規なアスファルト乳剤と混合物製造方法の一例

海外では、欧米(アメリカ、フランス、スペイン等)を中心に乳剤混合物の研究が盛んに行われており、乳剤の改良と共に新たな乳剤混合物が開発され、従来の乳剤混合物の欠点を補った優れた物性を有する混合物が開発あるいは開発途上にある。

一例を示すと、乳剤では改質乳剤、分解時間を制御できる乳剤、軟質アスファルトと硬質アスファルトを同じ乳剤中に含むデュアル・エマルジョンなど、使用目的と用途に合わせた種々の乳剤開発が行われている^{5),6)}。

また、混合物の製造においても、混合方法に工夫を凝らしたダブル・コーティング方式、すなわち細骨材と乳剤を第一ミキサで混合した後、これと粗骨材および乳剤を第二ミキサで混合製造するなど、骨材と乳剤との混合性、耐はく離性などに配慮した製造方法なども行われている⁶⁾。

しかしながら、各国の乳剤に対する取り組みにはやはり温度差があり、道路延長および整備状況、国土面積、地形、地質、乳剤舗装への親しみ、経済状況、加熱アスファルトプラント基数などで大きく異なっているのも事実である。例えば、日本と同様に加熱アスファルトプラント基数が比較的多いイタリア(1020基)、ドイツ(800基)⁷⁾等では乳剤消費量もあまり多くないという社会的背景がある。

4.2 各国のアスファルト乳剤生産量

各国の乳剤生産量を表-1に示す。

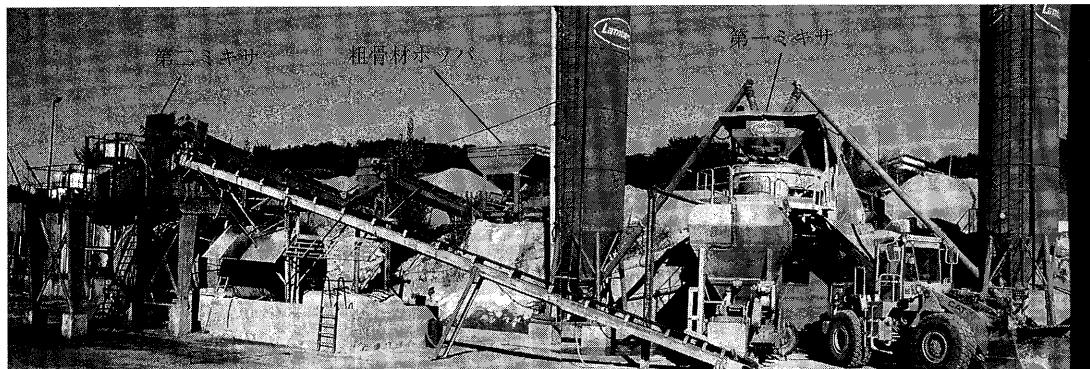


写真-2 ダブル・コーティング方式による混合設備 (COLAS社 (仏))

表-1 各国のアスファルト乳剤生産量 (1996年実績)⁸⁾

	國土面積 (km ²)	人口 (千人)	アスファルト消費量 (t)	乳剤生産量 (t)	乳剤/アスファルト (%)
オーストラリア	7,700,000	18,500	270,000	67,000	24.8
日本	377,700	120,000	4,026,000	316,160	7.9
ニュージーランド	270,534	3,250	160,000	20,000	12.5
オーストリア	83,859	7,800	430,000	23,000	5.3
ベルギー	30,528	10,100	190,000	20,000	10.5
ブルガリア	111,000	8,000	100,000	1,900	1.9
フィンランド	338,145	5,080	301,260	7,630	2.5
ドイツ	356,959	81,000	2,800,000	130,000	4.6
オランダ	41,526	15,567	450,000	29,500	6.6
イギリス	244,177	58,784	2,200,000	160,000	7.3
アメリカ	5,658,147	265,455	30,607,894	2,264,608	7.4
フランス	551,602	58,027	2,650,000	1,010,000	38.1
ギリシャ	131,957	10,300	350,000	6,000	1.7
イスラエル	28,000	5,500	240,000	20,000	8.3
イタリア	301,302	60,000	2,250,000	100,000	4.4
ポルトガル	91,905	9,920	363,000	86,000	23.7
スペイン	504,782	38,872	1,300,000	350,000	26.9
トルコ	779,452	65,000	800,000	40,000	5.0
アルゼンチン	3,757,407	35,671	340,000	15,000	4.4
ブラジル	8,511,996	159,200	1,400,000	405,000	28.9
メキシコ	1,976,183	91,100	900,000	515,000	57.2
モロッコ	710,850	26,000	120,000	35,500	29.6

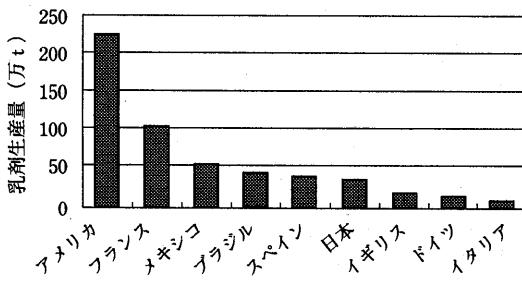


図-5 国別乳剤生産量

図-6はアスファルト全生産量に対する乳剤生産量の比率である。これによるとアメリカは、乳剤生産量で世界一であるが、乳剤のアスファルトに対する割合はそれほど大きくない。南米ではメキシコとブラジルが多く、ヨーロッパではフランスとスペインの乳剤生産量が多い。

各国の乳剤消費の内訳は、多くの国で表面処理（チップシール）の割合が高いが、マイクロサーフェンシグも、アメリカ、フランス、ドイツ、スペインで施工実績が増しており、ISSAの集計ではスラリーシールと合わせ、世界で2億7000万m³（1996年）の施工実績がある^{9),10)}。

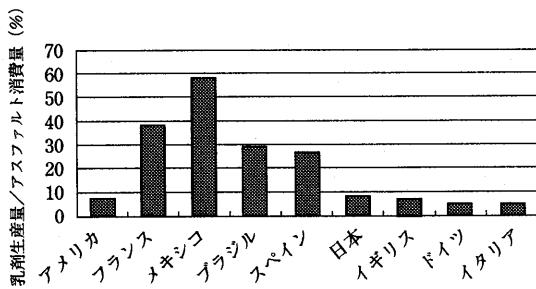


図-6 アスファルト生産量と乳剤生産比率

4.3 常温再生舗装

常温再生舗装はアメリカでは50年以上の歴史を有しております¹¹⁾、ヨーロッパではフランス、スペインが中心になって行われている。ここではアメリカの事例について紹介したい。

常温再生舗装は前述のように、現位置再生工法とブ

ラント再生工法があるが、ここでは現位置再生工法について述べる。

本工法は更に、既設表層を再生する表層再生工法と舗装構造の強化を目的に既設舗装の表層、基層あるいは路盤までも含め、これらを再生するフルデプス再生工法がある。これらは、また施工形態により、マルチブルパス方式とシングルパス方式に分類される。

マルチブルパス方式は、ロータリーシャフト・ミキサー・スタビライザなどで既設舗装の破碎混合を数回行い、適切な破碎粒度にするものである。この間、乳剤の添加を行い、乳剤と骨材が完全に混合された後、混合物をモーターグレーダで整形し、締め固める方式である。

しかし、本方式は現在では旧タイプに位置づけられており、シングルパス方式が主流になっている^{11),12)}。

シングルパス方式は、リサイクル・トレインと呼ばれる各種機械の組み合わせにより、現位置で舗装の再生を行うものである。機械の組み合わせによりいくつかの方式があるが、基本的な組み合わせは、既設舗装の切削破碎→舗装発生材の収集→舗装発生材と添加剤の混合→敷きならし→転圧である。

最近では、コンピュータ制御により舗装発生材や投入乳剤量の計量精度を高め、ツイン・シャフトミキサを装備したミッドランド・ミックスペーバなども開発されている¹³⁾。

アメリカにおける現位置路上再生舗装工法の位置づけは、次のようにになっている¹⁴⁾。

- ①処理層のほとんどが加熱混合物の基層として使用されており、この層にはリフレクションクラック発生防止効果も認められている。
- ②処理層は、表面処理（多くはシールコート）を施した後、低～中交通路線の表層として使用されている。
- ③処理層は、州際道路の重交通路線の基層にも採用されている。
- ④処理層は、リサイクル・トレイン方式の採用により、0.21～0.35ドル／(m³, 1cm)のコストで建設が可能である。

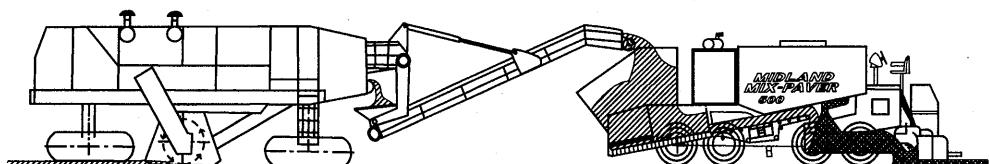


図-7 ミッドランド・ミックスペーバ

5. おわりに

わが国は、欧米に比較しアスファルト乳剤、乳剤混合物の開発において遅れをとってしまったのは事実である。しかしながら、近年建設省土木研究所と民間で、また日本道路公団試験研究所と(社)日本アスファルト乳剤協会等との協同研究を通じ、有用な常温混合物が開発されてきており、欧米との技術のギャップを埋めるのも時間の問題と思われる¹⁵⁾。

海外の情報を通じ乳剤舗装の実態を理解し把握することは非常に重要なことであるが、その国の置かれている社会情勢、乳剤舗装の歴史、国民意識等の実態を見逃してはならない。なにしろ、わが国では官も民も乳剤舗装の経験者がほとんどいないと言っても過言ではなく、欧米と違って乳剤舗装に対する啓蒙から始めなければならないハンディキャップがある。

常温再生舗装は、省資源、省エネルギー、環境、コスト面から非常に優れた工法である。米国における既設道路約4万マイル(640万km)には、2700億ガロンの石油を貯えているとの試算もあり¹²⁾、これらの有効利用は経済原理にもかなったものである。

舗装発生材を再利用した常温再生舗装は、地球環境問題のひとつの解決策でもあり、今までにも増して世界各国の技術競争はし烈になると予想される。

今後わが国における乳剤舗装、乳剤による常温再生舗装の進展のためには、適用先、適用方法の合理性の追求と共に、コスト・パフォーマンスに優れた混合物の開発が必要である。また、全てを加熱アスファルト混合物と比較する姿勢を改め、わが国の実状、ニーズに見合った乳剤舗装を展開していくことがなによりも重要と思う。

—参考文献—

- 1) 寺田 剛、坂本浩行、片脇 清：エネルギー消費量およびCO₂排出量から算定した省資源・省エネ舗装、舗装Vol.30-2 (1995)
- 2) (社)日本道路協会：路上再生路盤工法技術指針(案)，平成5年1月
- 3) 菅原秀造、橋本和行：切削廃材を利用した乳剤混合物、あすふあるとにゅうざい、No.67 (1981)
- 4) 松井信頼、藤永 弥、橋本和行：省資源・省エネルギーを目指した常温再生工法の開発、道路建設、No.595 (1997)
- 5) 植村 正：ヨーロッパ特にフランスにおけるアスファルト乳剤舗装技術の現状、あすふあるとにゅうざい、No.116 (1994)
- 6) ヨーロッパ常温舗装調査団：ヨーロッパにおける常温舗装技術の現状、あすふあるとにゅうざい、No.130 (1998)
- 7) (社)日本道路建設業協会 第6回海外舗装技術調査団、ヨーロッパにおける舗装技術の調査、(1995)
- 8) Symposium of world road bitumen emulsion producers, Sferb資料 (1997)
- 9) 水口浩明：舗装の常温化の動向と現況、アスファルト、Vol.38、No.186 (1996)
- 10) ISSA Report, May/June (1997)
- 11) Guidelines For Cold In-Place Recycling, Asphalt Recycling & Reclaiming Association (1991)
- 12) William F.O'Leary : Recycling with Asphalt Emulsions, 1992 Fall Meeting & Users Seminar of the Asphalt Emulsion Manufacturers Association
- 13) Barre Banks : Midland Mix-Paver800 A New Machine for Cold Recycling, 22nd Annual Meeting of the Asphalt Emulsion Manufacturers Association and 19th Annual Meeting of the Asphalt Recycling & Reclaim Association (1995)
- 14) R.Gary Hicks and David F.Rogge : Cold In-Place Recycling as an Option for Asphalt Pavement Preservation and Rehabilitation, 22nd Annual Meeting of the Asphalt Emulsion Manufacturers Association and 19th Annual Meeting of the Asphalt Recycling & Reclaim Association (1995)
- 15) 共同研究報告書 第167号 建設省土木研究所：常温型舗装の利用技術の開発に関する共同研究報告書、平成8年3月

環境保全を指向した加熱アスファルト舗装の中温化技術

吉 中 保*
根 本 信 行**

1.はじめに

21世紀を目前に控えて、地球環境の保全に対する重要性はますます高まっており、省エネルギーや地球温暖化の抑制など、環境保全の推進に対する関心は世界的な広まりをみせている。そのような状況の中、舗装の分野においても、環境保全の時流に沿った研究や取り組みが行われている。

加熱アスファルト混合物（以下、加熱アスコンと称す）は、品質や施工性等の面から一般的な道路舗装材として使用されており、全国で年間約8,000万ton製造されている。加熱アスコンに用いるアスファルトには、ストレートアスファルト、改質アスファルト、高粘度アスファルト等のさまざまな種類のものがあり、舗装の目標性能に応じた使い分けがされている。使用に際しては、加熱アスコンの製造時における混合性や舗設時における締固め性等を確保するため、アスファルトそれぞれの温度-粘度特性に応じて適切な目標温度が設定される。このように、適切な目標温度にするため、製造においては材料を加熱するためのエネルギーが消費されており、また舗設においても、敷均しや締固めに使用する舗設機械の稼働に要するエネルギーが消費されている。

筆者らは、環境保全への重要性が増しつつある社会状況の中で、加熱アスコンに対する環境保全の観点からの技術的な改善策の検討を進めてきた。これは、加熱アスコンの製造時に従来の混合温度の条件を低減しても品質が確保されれば、材料の加熱に要するエネルギー消費量を抑制でき、また締固めに要するエネルギーを低減することができれば、舗設機械編成の簡略化によって舗設における所要燃料の抑制へつながるものと考え、新しい概念を導入した技術（以下、中温化技術と称す）を開発した¹⁾。この製造および舗設におけるエネルギー消費量の抑制は、それに伴うCO₂排出量の削減という地球温暖化の抑制対策に有効であり、舗装の分野における環境保全の推進に寄与できる技術となり得る。

ここでは、加熱アスコンに中温化技術を適用し、製造における加熱温度の低減化、および舗設機械編成の簡略化を図り、製造時および舗設時におけるエネルギー消費量とCO₂排出量の削減効果についてとりまとめた。

2.中温化技術について

中温化技術は、加熱アスコンの製造時における混合性や、舗設時における締固め性あるいは施工性等の向上を図ることによって、製造時および舗設時における温度条件を通常よりも低減させることができるものである。

2.1 概 要

中温化技術とは、加熱アスコンを製造する過程で特殊添加剤を添加することによってアスファルト内に微細泡を発生、分散させ、さらに発生させた微細泡を、後述する方法によって、舗設が終了するまでの時間にわたり混合物内に保持させるものである。これにより、加熱アスコンの製造時には、アスファルトの発泡によって骨材との混合性が向上する。そして、舗設時には、混合物中に散在する微細泡の一種のペアリング的な働きによって締固め機械によるニーディング作用を効果的に增幅させて、締固め性の向上も図ることができる。この混合性と締固め性の向上によって、加熱アスコンの製造と舗設における温度条件を従来よりも約30℃程度低減しても、同等の品質、および施工性を得ることが可能である。

このように、中温化技術は、微細泡の働きによって混合性のみならず締固め性をも向上させた、新しい概念を導入した技術であり、製造から舗設までの全ての

*よしなか たもつ 日本舗道㈱技術研究所研究第一グループ副主任研究員

**ねもと のぶゆき 日本舗道㈱技術研究所研究第一グループ課長

工程で微細泡を利用している。特に舗設時においては、微細泡による高い締固め効果が得られることが大きな特徴である。図-1に締固め効果の概念図を示す。

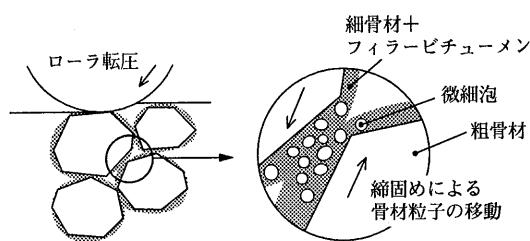


図-1 中温化技術による締固め効果

2.2 特殊添加剤による微細泡の発泡特性

特殊添加剤は、発泡剤および発泡強化剤などの数種の材料を組み合わせたものである。発生する微細泡には、製造から舗設までの間に消滅しにくい熱に対する安定性がある。これは、発泡剤のコーティングによる発泡持続性（熱安定性）の向上、発泡膜の強化による長期保持性の向上、さらには発泡の微細化とそれに伴う発泡数の増量化によって得られる。

アスファルトに発泡剤のみを添加した場合、および特殊添加剤を添加した場合の、微細泡の発生に伴うアスファルト容積値の経時変化を図-2に示す。

図-2より、アスファルト容積値は微細泡の発生によって見掛け上増加し、時間の経過に伴って元の容積値へと収束する。アスファルト容積値のピークに達す

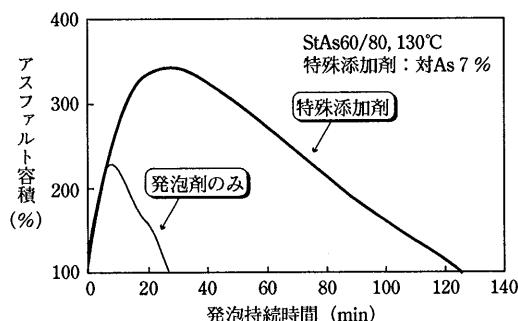


図-2 特殊添加剤による微細泡の発生

るまでの時間は、発泡剤のみでは添加後約10分未満であるのに対し、特殊添加剤では約20分～30分後となっている。また、発泡持続時間は、発泡強化剤などの効果によって特殊添加剤の方が長く、2時間以上持続しており、発泡ピーク後のアスファルト容積値の経時変化も緩やかである。なお、この特殊添加剤による発泡持続時間は、通常の場合における混合物の製造から舗設までの時間経過を想定し、2時間程度となるように設定しているが、持続時間の調整は可能である。

実施工において、特殊添加剤を加熱アスコンに使用した場合には、混合物製造時のミキシングによる機械的な剪断力によって、発生した微細泡は多少消滅するが、混合終了後も経時に発生することから、舗設における転圧時でも締固め効果が発揮される。

2.3 温度低減における締固め効果

ここでは、中温化技術による締固め効果について検討した結果を示す。締固めにはジャイレトリ試験機（米国RAINHART社製、表-2）を用い、表-1に示す供試体の作製条件（改質II型アスファルト、密粒度アスファルト混合物13mmTopを使用）によって締固め試験を行った。試験の結果について、ジャイレトリ旋回数（以下、旋回数と称す）と空隙率の関係を図-3に

表-2 ジャイレトリ試験条件

	旋回角度	締固め圧力	モールド直径	旋回速度
条件	1.25°	600KPa	10cm	30rpm

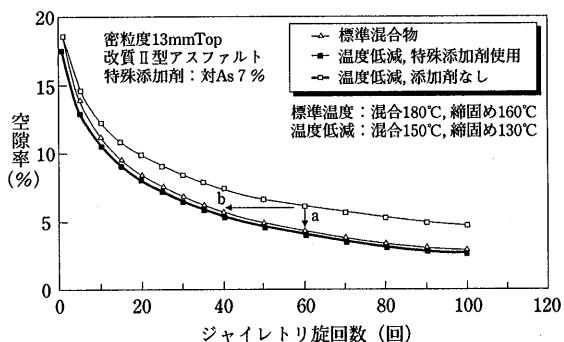


図-3 ジャイレトリ旋回数と空隙率の関係

表-1 供試体の作製条件

配合種	温度条件等	As量(%)		特殊添加剤(%)
		混合温度	締固め温度	
密粒度アスコン (13mmTop, 改質II)	標準混合物	180°C	160°C	0
	温度低減, 特殊添加剤使用	150°C	130°C	7
	" , 添加剤なし			0

注)・アスファルトは改質II型アスファルトを使用した。

・特殊添加剤の添加量は、アスファルトに対する重量比である。

示す。なお、特殊添加剤を使用した加熱アスコンの温度条件は標準温度（通常の混合および締固め温度）よりも30°C低減させ、締固めは混合直後に行った。

図-3より、標準温度よりも温度条件を低減した場合の特殊添加剤有無の比較では、同一旋回数における空隙率は特殊添加剤の使用によって減少し（図-3のa）、締固め性が向上していることがわかる。すなわち、同一空隙率を得るための旋回数は、特殊添加剤を使用したものの方が少なく（図-3のb）、添加剤なしに比べて締固めに要するエネルギーは少ない。また、特殊添加剤を使用すれば、混合および締固め温度とも標準温度より30°C低減しても、標準混合物と同等の締固め性が得られている。

以上より、特殊添加剤を使用することによって、締固め性は向上され、温度条件を約30°C程度低減した場合でも、標準混合物と同等の締固め性が得られる。（ここでは、改質II型アスファルトを使用した場合について示したが、ストレートアスファルトの場合も同様の結果が得られている。）

2.4 時間経過に伴う締固め効果

ここでは、特殊添加剤を使用した加熱アスコンの混合から締固めまでの時間経過に伴う締固め性への影響について、ジャイレトリ試験機を用いた締固め試験によって検討した結果を図-4に示す。供試体の作製条件は、表-1および表-2に準拠し、混合物の養生は混合温度と同温に設定した恒温乾燥炉にて行った。締固め試験は、混合直後から養生時間150分まで、30分間隔で実施した。

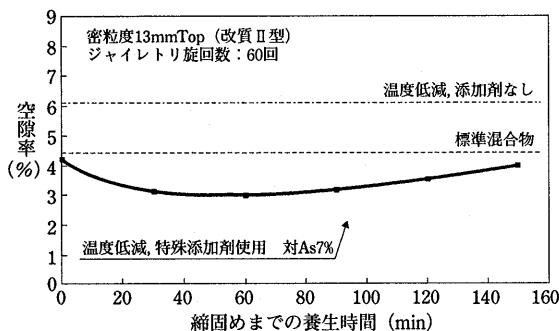


図-4 締固めまでの養生時間による空隙率の変化

図-4より、特殊添加剤を使用した加熱アスコンは、混合後から締固めまでの時間経過によって、空隙率が若干変化している。混合直後から、試験を実施した150分経過までの空隙率をみると、混合直後よりも時間が

経過した場合の方が小さい値を示している。その傾向は、30分以降90分経過までがほぼ一定の空隙率であり、90分程度を過ぎた時点から徐々に大きくなるが、150分の時点においても混合直後の空隙率よりも若干小さい値を示している。さらに時間が経過すれば、空隙率は、温度低減した添加剤なしの場合と同等まで変化していくものと考えられる。

特殊添加剤を使用した混合物の、締固め効果の経時的な持続性は、アスファルト単体での発泡特性（図-2）とほぼ同様の傾向を示しているが、150分経過した時点での空隙率でも混合直後より小さい値であることからみると、フィラー等を含んでいる混合物で発生させた微細泡の方が、アスファルト単体での場合よりも消滅しにくく、締固め効果が持続しやすいものと考えられる。

3. 中温化技術の適用例

中温化技術は、加熱アスコンの混合温度の設定により、2つの適用方法がある。

一つは、混合温度を通常よりも低減して適用する方法である。これにより、通常と同等の品質を確保した上で、製造時の加熱燃焼に伴うエネルギー消費量およびCO₂排出量の削減や、夏期等の施工における舗装体温度の早期低下を必要とする場合に対応できる。

他方は、混合温度を通常と同様にして適用する方法である。これにより、締固め性の向上を利用した舗設機械編成の簡略化とそれに伴うCO₂排出量の削減や、再生アスコンの製造における再生骨材の増量化による混合物温度の低下に対する締固め性や施工性の確保、あるいは、寒冷期の混合物温度の低下が顕著な条件等における舗設許容時間の拡大に対応できる。

4. 中温化技術の環境への効果

表-3は、これまでに実施検討した中温化技術の適用方法例と、その効果について示したものである。ここでは、環境への効果という観点から、特にエネルギー消費量とCO₂排出量の削減について、表-3の①および④の検討結果を述べる。

4.1 中温化技術による製造時の加熱抑制

前節では、中温化技術の適用によって、加熱アスコンの温度条件の低減化が可能であることを示した。ここでは、加熱アスコンの製造における混合温度条件を30°C低減したときの、加熱抑制に伴うエネルギー消費量およびCO₂排出量の削減効果について示す。

表-3 中温化技術の適用方法とその効果

混合温度	適用方法など	効果
従来より約30°C低減	①製造時の温度低減化	製造時の省エネルギーおよびCO ₂ 排出量の削減
	②規制内修繕工事における舗設時の温度低減化	規制時間の短縮（工事渋滞の緩和） 初期わだちの抑制（補修サイクルの延長）
従来と同一	③再生アスコンの利用促進（再生骨材配合率の増量化）	再生骨材の利用促進、施工性改善（リサイクル技術の向上）
	④舗設機械編成の簡略化	施工時の省エネルギーおよびCO ₂ 排出量の削減

注) ③は、新骨材の加熱温度を従来と同一として再生骨材の増量化を図る場合とし、上記のように分類した。

4.1.1 加熱抑制によるエネルギーの削減効果

加熱アスコンの製造においては、所定の混合温度となるように、碎石、砂等の材料の加熱温度をコントロールする。材料の加熱温度は、目標となる混合温度、骨材の含水比などの諸条件によって異なり、そして加熱温度が変化すれば、加熱に要するエネルギー消費量も変化する。

ここでは、加熱アスコンの製造に伴うエネルギー消費量の試算を行い²⁾、中温化技術による混合温度の低減化に伴うエネルギー消費量の削減効果と、骨材含水比がエネルギー消費量に与える影響について検討した。混合温度とエネルギー消費率の関係、さらに骨材含水比と消費率の関係について試算した結果を図-5に示す。なお、エネルギー消費率は、混合温度160°C、骨材含水比6%の場合を100%と仮定した。

図-5より、エネルギー消費率は、混合温度によって変化し、同一の骨材含水比条件下において混合温度を約30°C低減することによって、約10~14%程度低下する。また、骨材含水比とエネルギー消費率との関係をみると、含水比が約1%変動することによって、消費率は約9%変化する。これより、エネルギー消費量の削減を図るために、混合温度の低減化が有効であり、

プラントでの材料管理（骨材の含水比を極力減らす等）を徹底することで削減量はさらに拡大される。

4.1.2 加熱抑制によるCO₂排出量の削減効果

加熱アスコンの製造に伴って発生するCO₂は、材料加熱の燃焼によるものが大部分であり、CO₂排出量は燃料の消費量に比例する。ここでは、プラントにおける加熱アスコンの製造に伴うCO₂排出量について試算を行い（重油組成をC:H:S=86:13:1とし、1L燃焼でのCO₂排出量に合材1ton製造当たりの所要重油量を乗じて求めた）、混合温度とCO₂排出量との関係について検討した。骨材含水比を3%，外気温（骨材温度）を30°Cと仮定した場合の、CO₂排出量の試算値を図-6に示す。

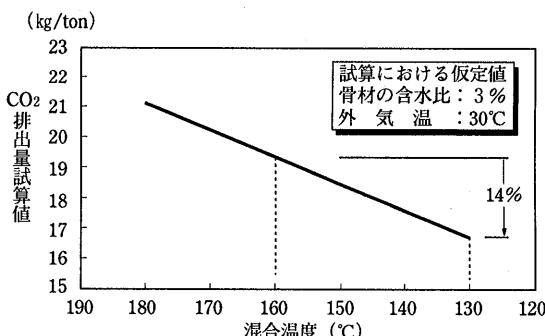
図-6 混合温度とCO₂排出量試算値の関係

図-6に示すように、混合温度とCO₂排出量は相関しており、混合温度の低減に伴ってCO₂排出量は減少する。混合温度160°CにおけるCO₂排出量を基準とすると、混合温度を30°C低減した130°Cではこれより14%抑制され、混合温度の低減によりCO₂排出量は削減される。

4.2 中温化技術による舗設機械編成の簡略化

ここでは、中温化技術による締固め性の向上を有効に利用し、舗設機械編成の簡略化を図った場合の、施工の効率化によるエネルギー消費量およびCO₂排出量の削減効果について示す。

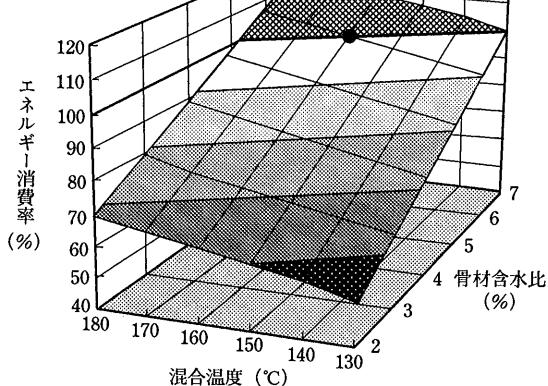


図-5 エネルギー消費率の試算結果

4.2.1 舗設機械編成の違いによる締固め性

舗設機械編成の簡略化の可能性については、まず、ジャイレトリ試験機を用いた室内実験によって、標準温度条件下での特殊添加剤の有無による加熱アスコン（ストレートアスファルト、密粒度アスファルト混合物13mmTopを使用）の締固め性に関する検討を行った。表-4の供試体作製条件による試験結果を図-7に示す。なお、ジャイレトリの試験条件は表-2に準拠し、旋回数は最大300回までとした。

次に、同様の加熱アスコンを用い、表-5に示す条件で舗設機械編成の違いによる締固め性の検討を現場で行った。アスファルトフィニッシャによる敷均し後の締固め方法は、①マカダムローラとタイヤローラを組み合わせて締固めたもの（通常の機械編成）、②4tonコンバインドローラのみで締固めたもの、その他に、③敷均しのみでローラを使用しないものの合計3種類

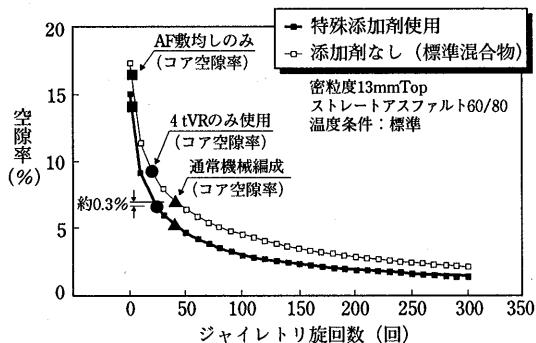


図-7 ジャイレトリによる締固め試験結果とコア空隙率の関係

とした。舗装体から採取した切取りコアの空隙率を、図-7のジャイレトリの締固め曲線上に併せて示す。

図-7より、同一の空隙率を得るための旋回数は、特殊添加剤なしよりも使用した方が少なく、特殊添加剤を使用することによって、締固めに要するエネルギーが低減できることがわかる。さらに、現場の舗装体から採取したコアの空隙率をみると、特殊添加剤を使用しない加熱アスコンを通常の機械編成で締固めたものと、特殊添加剤を使用した加熱アスコンを4tonコンバインドローラのみで締固めたものとは、ほぼ同一の値（空隙率で約0.3%の差）が得られている。以上のことから、特殊添加剤の使用によって締固め性が向上するので、舗設機械編成の簡略化は可能である。

4.2.2 舗設におけるエネルギー消費量およびCO₂排出量の削減効果

中温化技術によって舗設機械編成の簡略化を図れば、機械の稼働による燃料消費が抑制され、舗設時のCO₂排出量も削減する。表-6には、各舗設機械の燃料消費量³⁾とCO₂排出量の試算値⁴⁾、および通常の舗設機械編成と簡略化を図った場合のCO₂排出量を合わせて示す。

表-6の試算例に示すように、燃料消費量は、舗設機械編成の簡略化によって通常編成よりも1時間あたり9.8L抑制され、これによりCO₂排出量も約53%の削減が可能である。このように、中温化技術を適用して舗設機械編成の簡略化を図れば、舗設時における燃料消費量すなわちエネルギー消費量とCO₂排出量は削減できる。

表-4 供試体の作製条件

配合種	混合物条件	As量(%)	混合温度(℃)	締固め温度(℃)	特殊添加剤(%)
密粒度アスコン (13mmTop, StAs)	標準温度、特殊添加剤使用	6	160℃	140℃	7
	なし（標準混合物）		(標準温度条件)		0

注) ① 締固め温度は、ジャイレトリ試験機における締固め開始温度である。
② アスファルトはストレートアスファルト60/80を使用した。
③ 特殊添加剤の添加量は、アスファルトに対する重量比である。

表-5 使用機械と施工条件

使 用 機 械	施 工 形 態		
	①	②	③
アスファルトフィニッシャ：国産TV型、幅2.5~4.5m	○	○	○
マカダムローラ：R2, pass : 2回	○		
タイヤローラ：15ton, pass : 6回	○		
コンバインドローラ：4ton, pass : 4回		○	

施工ヤード：A=30m×3m×2種類, t=4cm, 下層：As舗装（タックコートあり）

表-6 舗設機械の編成による燃料消費率の比較

舗設機械の種類	試算値		施工形態	
	燃料消費量 (L/h)	CO ₂ 排出量 (kg/h)	通常編成	編成削減
アスファルトフィニッシャ	5.5	15.7	○	○
マカダムローラ	5.8	16.6	○	
タイヤローラ	7.2	20.6	○	
4tonコンバインドローラ	3.2	9.1		○
	燃料消費量=18.5 L/h		8.7 L/h	
	CO ₂ 排出量=52.9 kg/h		24.8 kg/h	

注) ① 燃料消費量は、土木工事積算基準マニュアル³⁾を参考に試算した。

② CO₂排出量は、「土木建設業における環境負荷評価」講演要旨集⁴⁾を参考に試算した。

5.まとめ

地球温暖化の要因とされるCO₂排出量は、わが国では全産業のうちの約1割が土木分野からのものであり(1992年における排出量は約3030万ton), そのうちの約25%が道路部門からのものといわれる⁴⁾⁵⁾。道路部門のうちでも、舗装材料として一般的に使用されている加熱アスコンの施工においては、原材料の製造以外にも、プラントにおける混合物の製造、現場までの運搬、さらには舗設機械の稼働などで多量のエネルギーが消費されている。

ここでは、加熱アスコンに中温化技術を適用し、製造における加熱温度の低減化や舗設機械編成の簡略化を図ることによる、製造時および舗設時におけるエネルギー消費量とCO₂排出量の削減に対する有効性について述べた。

て述べた。

環境面からCO₂の排出量に着目すれば、試算条件の設定によって多少の変動はあるが、製造において混合温度を30℃低減することによって14%程度(仮に8,000万tonの製造を考えた場合, CO₂はおよそ20万tonの削減となる), また、舗設において機械編成を簡略化することによって、通常の場合よりも約50%が抑制できるものと考えられる。

環境保全への取り組みは、全産業において推進していく必要がある。この加熱アスコンへの中温化技術の適用による省エネルギーとCO₂排出量の削減は、道路分野における環境保全への対策技術のひとつとして寄与できることを期待するものである。

—参考文献—

- 1) 吉中保, 根本信行: 環境保全を指向したアスファルト舗装技術に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第2巻, 1997.12, P.239
- 2) 吉中保, 石正和夫, 根本信行: 中温化技術を利用した再生加熱アスファルト混合物に関する一検討, 道路建設, No.594, 1997.7, P.34
- 3) 働建設物価調査会: 土木工事積算基準マニュアル,
- 4) (社)土木学会 地球環境委員会: 土木建設業における環境負荷評価, (LCA) 研究小委員会講演要旨集, 1997.8
- 5) 寺田剛, 坂本浩行, 片脇清: エネルギー消費量およびCO₂排出量から算定した省資源・省エネ舗装, 舗装, Vol.30 No.2, 1995.2, P.4



都市部における熱環境と都市型洪水に及ぼす舗装の影響

村井 貞規*
野村 健一郎**
姫野 賢治***

1. はじめに

近年、世界的な人口の増加と、それにともなうエネルギー消費の増大による地球温暖化や、フロンガスによるオゾン層破壊などの環境問題が顕在化し、グローバルな地球環境の悪化への関心がますます高まりつつある。また都市部においては、工場、車や建物からの排熱などによる影響や、都市化により地表環境が変わることによって起こるヒートアイランド現象が問題になってきた。

一方、東京などの大都市圏においては、都市化の進展と流域の開発により、市街地の地表面の多くが建築物やアスファルト舗装などで覆われるようになり、豪雨時などには、雨水が急激に河川に流出し、いわゆる都市型洪水が発生するようになってきた。また、都市型洪水には、ヒートアイランド現象が原因といわれている集中豪雨が影響するケースも増えている。

ここでは、舗装によるヒートアイランド現象および都市型洪水の抑制効果など、舗装を切り口として、都市における熱と水の収支について述べる。なお、本文は、主に平成9年6月に土木学会で講習会用にまとめられたテキストを参考に作成したものである。

2. ヒートアイランド現象

都市部の気温が、その周辺部に比べて確実に上昇しつつあることは、客観的な指標からも、また日常の暮らしからも実感できる。近年相次いで夏期の最高気温を更新するなど、はっきりと温度環境が変化していることを示す現象が続いているし、特に都市部では夏季には冷房なしでは眠れないような熱帯夜が何日も続くようになった。さらには、その高い気温から逃れるために室内を冷房し、熱を大気に放出して外気温を高めるという悪循環に陥って、環境の悪化に拍車をかけているようにさえ見える。

ヒートアイランド現象は、風が弱いという条件下で、温度の高い大気が都心部にいわば島のように、あるいは空間的にはドームのように形成される現象を指すが、単に気温や湿度の問題だけでなく、これに伴って、特に午後から夕方にかけて、局所的な上昇気流による都市型の集中豪雨を発生させるという報告もある。

ヒートアイランド現象にはいくつかの原因が考えられるが、地表面が舗装などで覆われていることが直接的あるいは間接的に都市の熱環境に影響を及ぼしていることがその一つとして挙げられている。また同じ舗装であっても、その種類によって熱環境に及ぼす影響が異なるのは当然であろう。したがって、単に舗装の力学における熱に関する議論だけでなく、ヒートアイランド現象のような、都市の熱環境に対する舗装自身の影響についての検討が必要になっていると言えよう。

3. 都市部の熱収支と温度分布

複雑な都市の熱収支を要素別に考察することは非常に難しいが、都市があるために本来の自然と異なる熱環境要素として人工廃熱・大気汚染などによる影響や、舗装など地表面の変化による影響が挙げられる。また、建築物が密集していることによる保熱効果いわゆるキャニオン効果があることも指摘されている。舗装による影響としては、昼間吸収された熱が舗装を暖め、舗装面から逆に大気へ再放射される長波放射としての影響と、地表が覆われて水分の蒸発が抑制されたために起こる潜熱輸送の減少が挙げられる。

このように都市の熱収支はそのメカニズムが複雑であるが、熱を作り出す原因に着目すると、人工的に作り出された熱と、自然から与えられた熱との全体的な収支バランスによって構成されている。

図-1に示した測定例では人工廃熱の量を住宅地では $10W/m^2$ 、業務地では $100W/m^2$ であるとしている。

*むらい さだのり 東北工業大学工学部教授・工博

**のむら けんいちろう 大成ロテック株技術研究所・工博

***ひめの けんじ 中央大学理工学部教授・工博

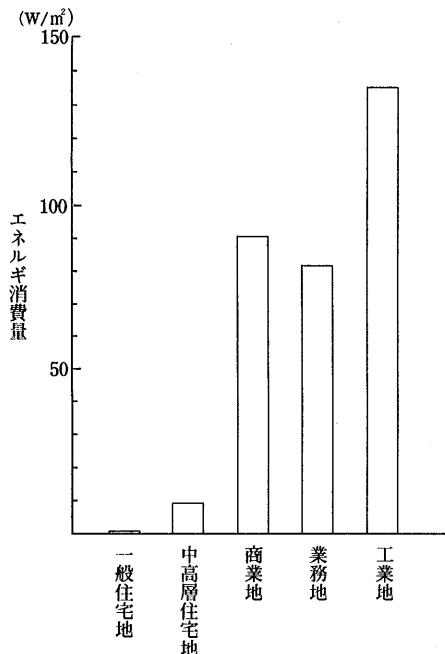


図-1 土地利用用途別発生熱量

一方、アスファルト舗装では土の地面より $150\text{W}/\text{m}^2$ も多くの熱量を大気中に放出している。人工廃熱による環境への影響を軽んすべきではないが、ここで指摘されたように、舗装が都市部の熱収支に及ぼす影響というのは廃熱に比較してもかなり大きいことがわかる。

都市に特有な熱収支に関する研究によれば、最も大きな効果を持つものはアスファルト混合物層の高い蓄熱性能による熱の保持である。これはアスファルト層のアルベドが小さく、かつ熱伝導率が大きいことによ

る。すなわちアスファルト混合物は、日中大量の熱を吸収し地中に蓄熱する。図-2に示すように砂利や砂の舗装では熱伝導率が小さいために、昼間は熱は表面付近にしか蓄熱されない。これに対して熱伝導率の大きいアスファルト混合物は、大量の熱を地中に伝えることにより、明け方にはむしろ地中の方が高温になる。これが舗装表面から大気への長波放射を起こし、さらに熱伝達により大気に熱を伝える。これが都市部においては熱帯夜の一因となるわけである。

東京圏の熱環境解析を行った例では、宅地化および人工廃熱による顯熱輸送の効果が大きいことが示されている。宅地はキャニオン効果によってアルベドが小さく熱容量が大きくなると考えられている。一方、草地では顯熱輸送よりも潜熱輸送の方が大きい逆転現象が見られる。草地では地表が覆われていないために水分の蒸発があること、熱容量が小さいために顯熱輸送量を減少させる効果がある。

また、杉本らの報告¹⁾によると、仙台市内の気温の移動観測を行った結果、夜間に市街地と郊外の間に $2 \sim 4\text{ }^\circ\text{C}$ の気温差を持つヒートアイランドが形成され、表面の条件が異なる商業地と田園との境界付近で気温が急変していることを見出している。図-3に示すように、森林や水田、緑地の宅地化が気温上昇を及ぼすことからも明らかである²⁾。

さらには、大阪市の調査においても、大阪市内の平均気温は市域外の郊外における気温に比較して夏季に平均 $2 \sim 3\text{ }^\circ\text{C}$ 高く、市内においても比較的緑の多い地点や大きな河川の周辺では $2 \sim 3\text{ }^\circ\text{C}$ 、他の地点に比べ

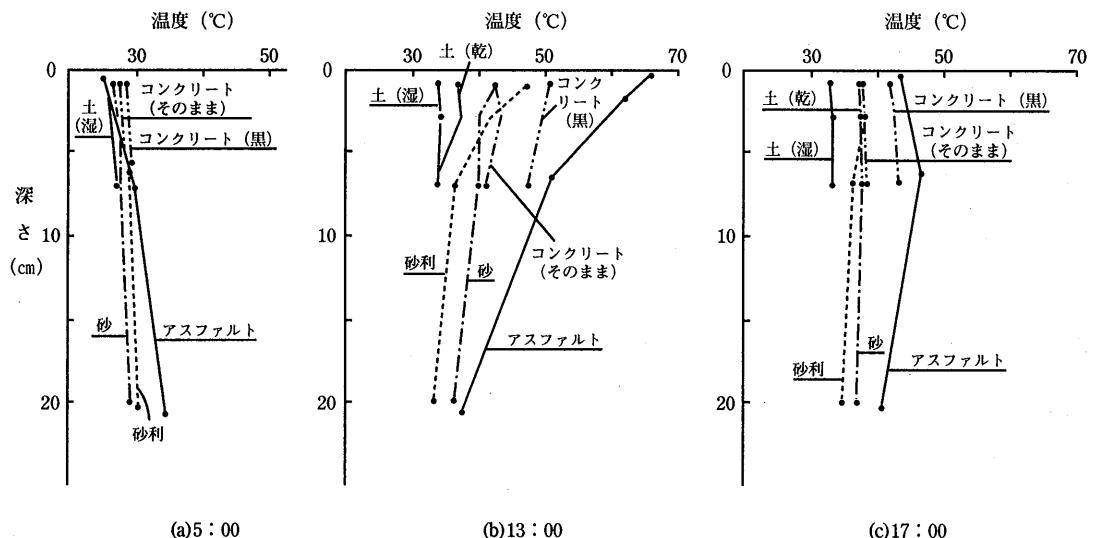


図-2 各種舗装内の温度分布

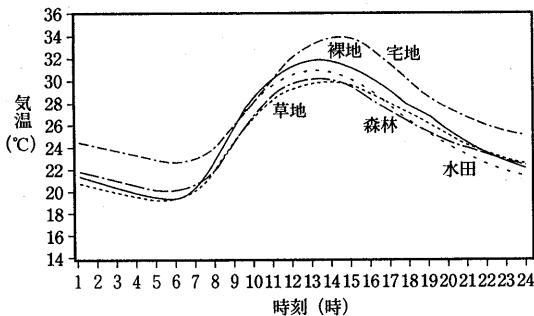


図-3 土地被覆条件の気温変化に及ぼす影響の調査例

て低いという結果を得ている^{3,4)}。緑被の増加が地表面温度の上昇を抑制することは明らかで、図-3に示すとおり熱帯夜の日数と樹林地率との間にも明らかな相関が見られる。なお、当然のことながら、緑といつても人工芝では意味がなく、むしろ人工芝面は晴天時ににおいて温度が著しく高くなり、夜間も温度が下がらないと言われている⁵⁾。

4. 補装の熱的特性

4.1 補装用材料の熱的特性

人体が受ける熱の流入経路は2つある。一つは太陽や地面からの電磁波、すなわち放射によるものであり、もう一つは大気から直接伝わる伝導熱、いわゆる顕熱によるものである⁶⁾。

放射は、日射や日射の照り返しのように波長の短い「短波放射」、大気や地面、建物の壁面からの波長の長い「長波放射」、すなわち赤外放射に区別される。これらのうち、日射と大気からの赤外放射は比較的広範囲な環境条件によって決定されるが、それ以外については地面の補装の状態などの条件によって決定されることが多い。

図-4は地表面から放たれる長波放射の日変化を示したものである⁷⁾。アスファルト補装では日中その表面温度が57°Cまで達し、約650W/m²の長波放射を放っている。ピークに達した後、日射が弱くなると放射量は大きく減じるが、深夜でも土より多くの長波放射を発している。一方、コンクリート補装ではアルベドが大きいため最高値は約530W/m²に留まり、土より若干少ない。また、熱容量が大きいため日変化は最も小さくなっている。さらに、土ではコンクリートと同程度に増加するが、熱伝導率が小さいので、日射が弱くなると急激に温度は下がり、放射量も夕方以降は小さくなる。

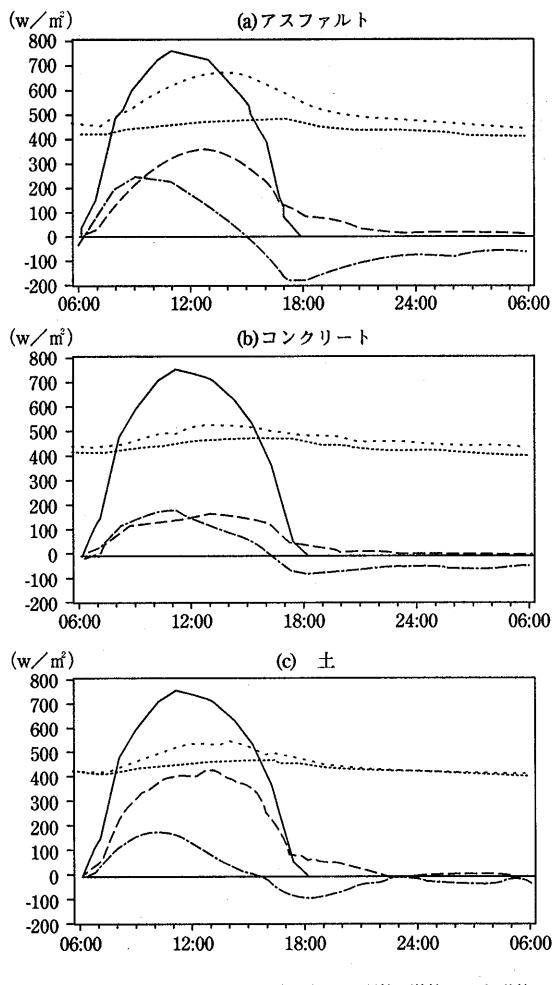


図-4 補装面の違いによる熱収支

つまり、アスファルト補装はアルベドが小さくて日射を吸収しやすく、熱伝導率が小さいので、最も熱を蓄えやすい。これに対し、コンクリート補装はアルベドが大きく、熱伝導率が大きいため、アスファルト補装よりも熱を蓄えにくい。また、土は地表面で水分の蒸発熱として熱が失われる所以、蓄熱量は最も小さくなる。

4.2 透水性補装および排水性補装に期待できる補装温度低減効果

吉田らは透水性補装の熱収支特性を調べている⁸⁾。前日に降雨のあった平成元年9月20日の観測結果によると、図-5のように、透水性補装の表面温度は通常補装の表面温度に比べて全体的に低く、最大で3.2°C、平均で1.1°C低くなっている。地中温度も透水性補装の方が小さくなっている。彼らは透水性補装の場合、前日の雨水を補装体内に保持しているため、補装体内に含

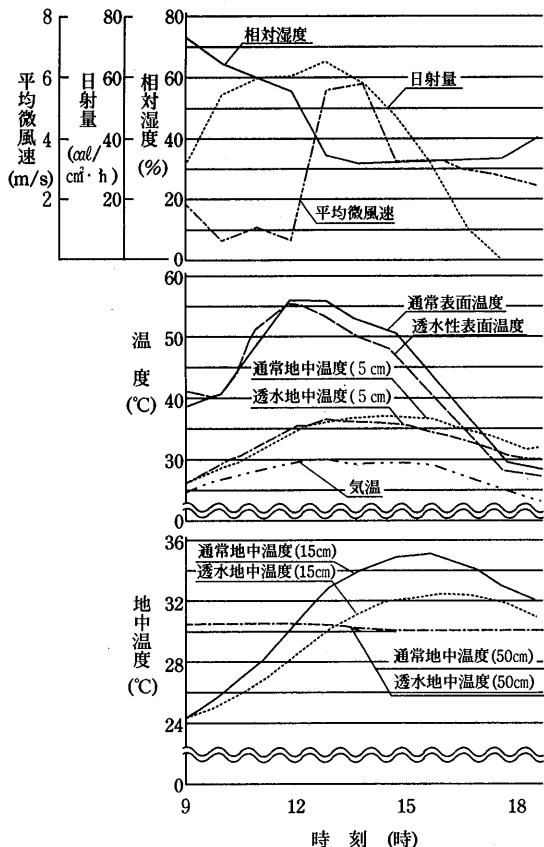
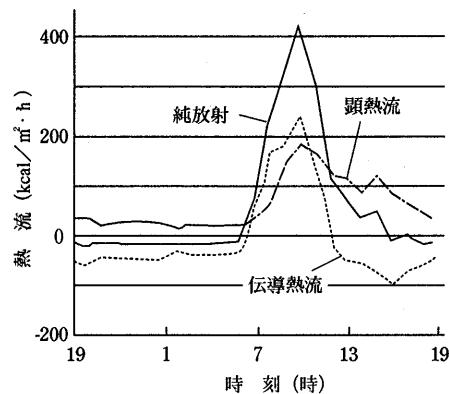


図-5 構内試験舗装測定結果

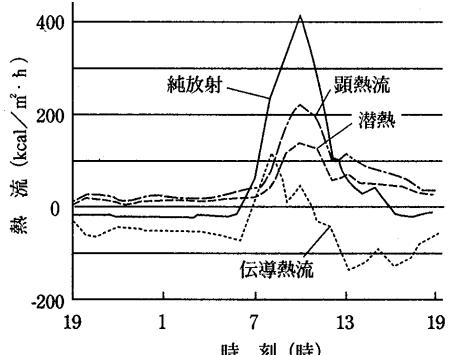
まれている水分の蒸発による気化熱、すなわち、潜熱移動が温度上昇を緩慢にしていると述べている。また、吉田らが透水性舗装と密粒度アスファルト舗装の熱収支の試算を行った結果を図-6に示すが、潜熱にかわって伝導熱流が透水性舗装に比べて大きな値を示す結果になっている。これは透水性舗装が通常舗装に比べて熱を舗装体内に保持しにくいことを意味している。

これに対し、三田らが実施した図-7に示す試験舗装での測定結果によると、15mmの降雨があった後に晴天が続いた時期には、密粒度アスファルト舗装と透水性舗装はほぼ同様の温度変化を示しているのに対し、排水性舗装が1~3°C低い傾向を示している⁹⁾。さらに、林らは、透水性舗装と密粒度アスファルト舗装の表面温度を年間にわたって観測した結果から、透水性舗装とアスファルト舗装の年間変動をみると大きな差はないとの報告している¹⁰⁾。

一方、浅枝は、透水性舗装と保水性舗装の舗装温度の低減効果について調査を行っている¹¹⁾。図-8は、1994年8月9日の表面温度の観測結果を示したものである。透水性舗装の場合、雨天の後晴天が続くと1日以内に



(a)通常舗装



(b)透水性舗装

図-6 透水性舗装の熱収支試算結果

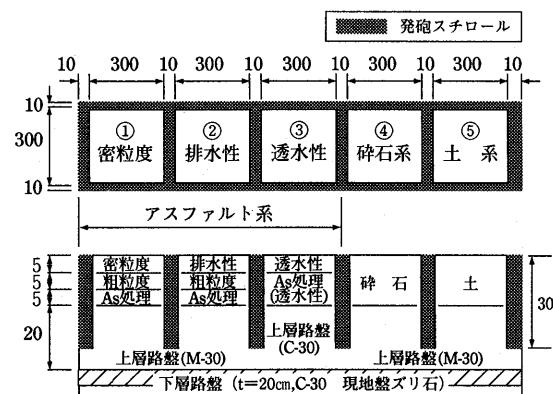


図-7 三田らによる試験舗装概要

表層の水分はほとんど失われてしまい、表面温度についてはアルベドが大きいことを考慮してもアスファルト舗装に対して数度低下するに留まる。これに対し、保水性舗装の場合は、数日間水分が保持され、熱容量の増大などの理由によって裸地に近い温度を比較的長く持続することが分かったとしている。

ここに示したもののはか、いくつかの研究成果を総

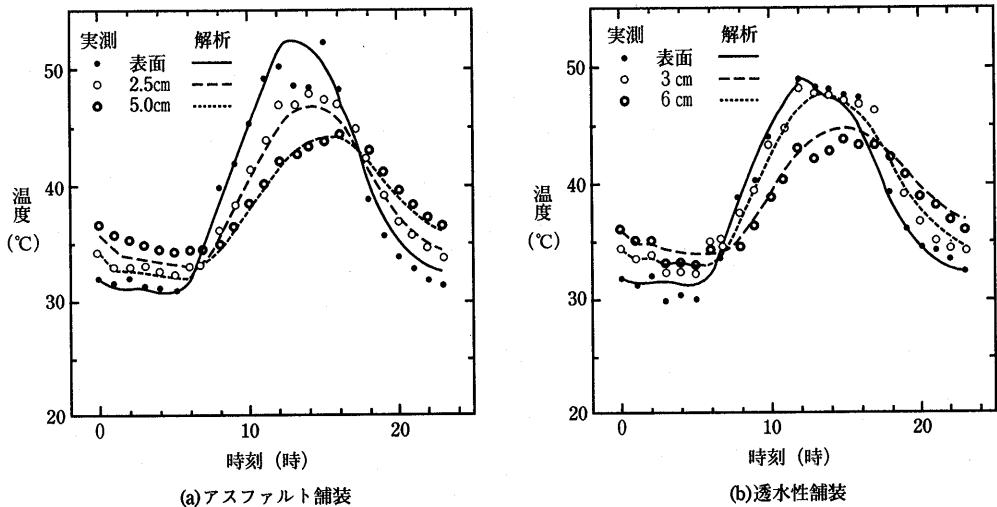


図-8 補装の表面及び内部の温度の日変化

括すると、排水性舗装または透水性舗装にすることで、舗装表面温度を数度低下させることができるものと考えられる。このほか、排水性舗装は、夕方の温度低下が通常の舗装よりも早いという指摘もある¹²⁾。

5. 都市部の水の収支

近年の河川流域の都市化の進展に伴う流域の浸透・貯留機能の低下により、洪水時流量が先鋭化するだけでなく、雨水浸透量の低下による地下水の枯渇、河川の平常時の流量減少が多く見られるようになっている。

しかも、このような水循環系の変化がヒートアイランド現象に代表される都市の熱環境の変化に影響を及ぼしていると言われている。

5.1 都市部の浸水被害

都市化の進展によって、水田、畑、林地などの自然地が減少し、地表が建築物やアスファルト舗装などで覆われるようになると、河川流域の浸透・貯留機能が著しく低下し、その結果、図-9に示す一例のように、いったん大雨が降ると雨水は地中に浸透することなく、急激に河川に流出するようになる¹³⁾。

表-1は、東京都における戦後の主要な浸水による水害状況を示したものである¹⁴⁾。これによれば、浸水被害の原因是、昭和50年代半ばまでは台風が主流であったが、都市化の進展による浸透・貯留機能の低下による浸水と、ヒートアイランド現象による熱界雷の発生が原因とされている集中豪雨による浸水、いわゆる「都市型洪水」が増加している。

5.2 舗装率と雨水流出係数値の変遷

都市化の進展に伴って舗装率も上昇する傾向にあり、

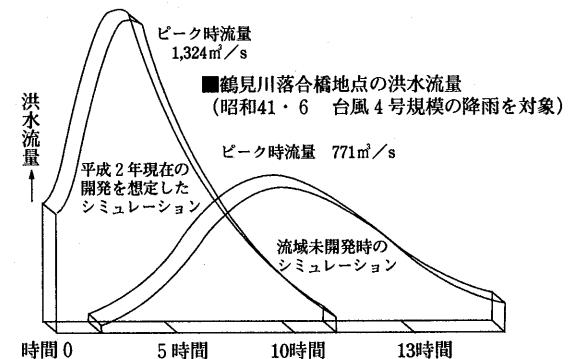


図-9 流域の市街化による洪水流量と到達時間の変化

それと連動するように雨水流出係数計画値も変化してきている。図-10は、東京都における雨水流出係数計画値の変遷について示したものである。これによれば、東京都区内の舗装率、すなわち、行政区域面積に対する

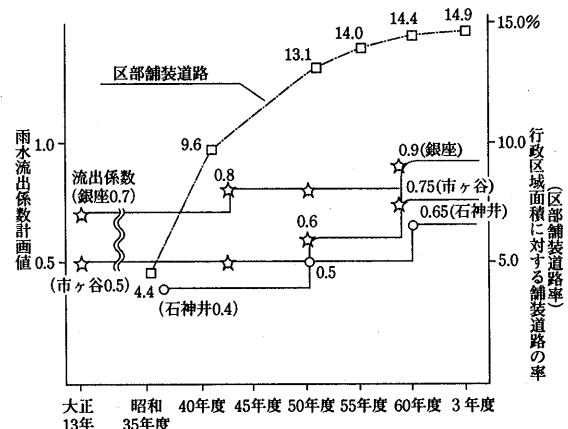


図-10 雨水流出係数値の変遷

表-1 戦後の主な水害状況

年月日	水害原因	時間雨量 (mm)	総雨量 (mm)	浸水家戸数	
				床上	床下
22. 9.13~15	台風(カスリーン)	34.7	166.8	78,993	24,879
23. 9.15~16	台風(アイオン)	38.8	158.0	533	16,813
25. 7.27~29	台風(ヘンリー)	41.6	243.1	4,551	21,214
27. 6.22~24	台風(ダイナ)	26.7	96.3	703	8,563
30. 10. 9~11	台風(第25号)	21.5	117.3	46	9,216
31. 9.26~27	台風(第15号)	20.2	95.3	—	1,229
32. 6.26~28	台風(第5号)	30.0	152.1	396	17,050
33. 9.17~18	台風(第21号)	50.5	170.9	1,042	25,787
33. 9.22~27	台風(第22号)	76.0	444.1	142,802	337,731
34. 9.24~27	台風(第15号)	10.4	122.9	1,402	9,561
35. 8.10~20	台風(第14号)	15.4	102.9	—	2,293
35. 8.25~26	雷雨	42.2	121.5	747	21,455
38. 8.28~29	台風(第11号)	30.8	155.2	2,140	29,172
41. 6.27~28	台風(第4号)	30.0	235.0	15,852	85,942
41. 9.24~25	台風(第26号)	17.5	102.5	439	7,868
51. 9. 8~9	台風(第17号)	65.0	220.0	2,190	6,022
53. 6. 6	集中豪雨	62.0	100.0	2,081	4,863
54. 5.14~15	集中豪雨	45.0	135.0	1,030	1,061
54. 10.15~19	台風(第20号)	47.0	251.0	180	1,550
56. 7.22	集中豪雨	80.0	86.0	1,795	8,640
56. 10.22~23	台風(第24号)	51.0	221.0	6,235	35,441
57. 9.11~12	台風(第18号)	65.0	313.0	5,733	17,022
60. 7. 4	集中豪雨	91.0	96.0	1,558	8,052
61. 8. 4	台風(第10号)	56.0	263.0	737	5,407
62. 7.25	雷雨	73.0	82.0	504	3,805
62. 7.31	雷雨	60.0	60.0	509	2,038
1. 8. 1	集中豪雨	70.0	280.0	1,100	2,534
3. 9.19	台風(第18号)	47.0	245.0	483	2,739
5. 6.21	雷雨	133.0	135.0	163	302
5. 8. 1	雷雨	54.0	54.0	67	80
5. 8.27	台風(第11号)	66.0	345.0	1,623	3,922

る舗装道路の率は昭和35年の4.4%から平成3年には14.9%にも達している。また、雨水流出係数計画値も、例えば、石神井では昭和50年以前に0.40であったものが昭和50年には0.50に、さらに昭和60年には0.65にまで増加している。

また、銀座では昭和42年以前には0.70であった流出係数計画値が、昭和42年には0.80に、さらに昭和58年には0.90にまで増加している。

これは、舗装率の上昇が雨水流出量の増加と密接に関係していることを示すものである。

5.3 雨水対策技術の現状

洪水への対応や汚濁負荷の軽減など、雨水対策の向上への要望は強く、都市環境の整備を進める上からも、地域の特性を考慮した総合的な対策が求められている。

雨水対策の代表的なものとしては、流出抑制施設がある。また、これらには、図-11に示すように雨水を貯留する「貯留型施設」と雨水を土中に浸透させる「浸透型施設」がある¹⁵⁾。なお、この図では、透水性舗装が

浸透型の流出抑制舗装として位置付けられているが、最近では、排水性舗装の流出抑制効果が注目され研究が進められている¹⁶⁾。以下、排水性舗装による流出抑制効果について触れる。

6. 排水性舗装による流出抑制効果

6.1 排水性舗装の貯留機能と流出機能

排水性舗装の流出抑制機能としては、貯留機能と流出機能が期待できる。すなわち、降雨を舗装体の空隙にいったん貯留する機能と、その貯留した雨水を徐々に舗装体から流出させる機能である。

ここでは、一例として図-12(a)のように排水性混合物層全体に雨水が均一にかつ表面まで含まれ、貯留能力が最大限に発揮されている状態を想定する。

この状態を初期条件に、貯留された雨水がどのように流出してゆくかを図-12(b)~(e)に示す。

これらの図に示すように、下流端にある水はすぐに流出を開始し、順次、限界水深に向かって水位が落ち、

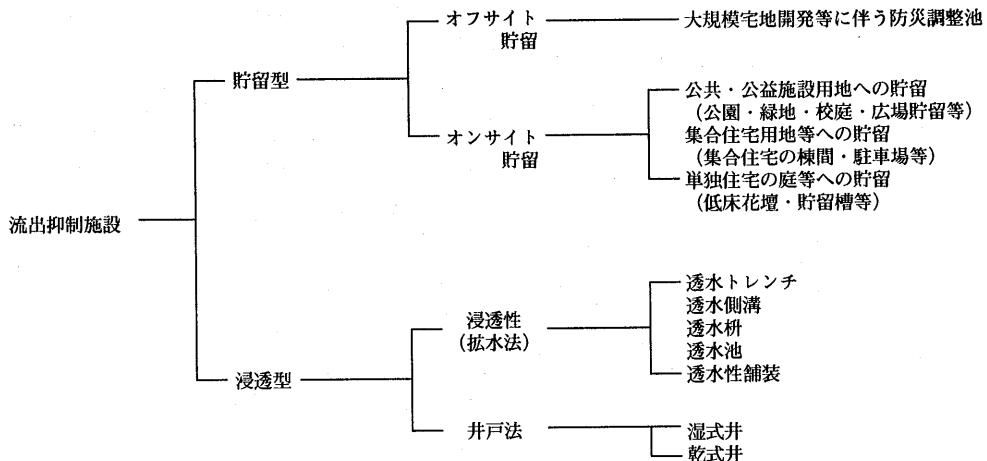


図-11 流出抑制施設の分類

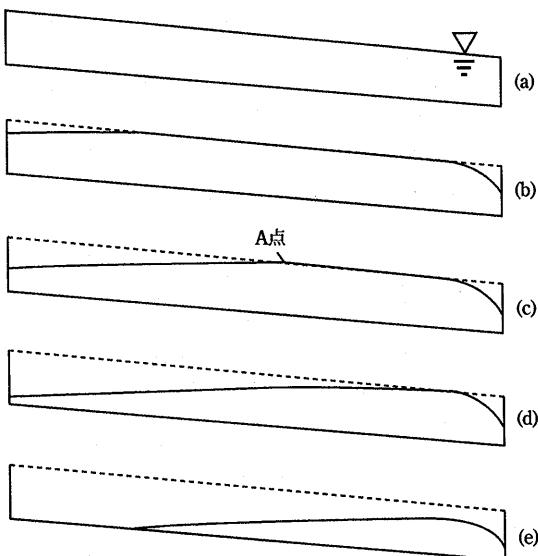


図-12 舗装体内部の水面形

水面勾配下流端から上流側へと広がってゆく。

次いで、上流端側の水面は舗装勾配よりも緩勾配となり、その範囲は時間とともに下流側へ拡大する。なお、図-12(c)～(d)の間は、排水速度（単位時間当たりの排水量）はほぼ一定である。また、図-12(e)はそれ以降の状態を示しており、上流端側から水のない部分が拡大し、かつ水のあるところも全体的に水位が減少する。したがって、時間とともに排水量が減少する。

なお、これらは水理学でいうところの非定常流に相当するため、水面の変化の詳細を知るには、数値計算によらなければならない。

6.2 排水性舗装のが都市型洪水抑制効果の試算例

ここでは、降雨強度 100mm/h で10分間続いた集中豪雨のために目黒川に流れ込む下水道が逆流し、周辺部

に冠水が生じた「東京都目黒区目黒4丁目の五差路」を選定し、試算した例を紹介する¹⁷⁾。

図-13は、道路上のみの降雨を考慮に入れた場合の、五差路における下水道の流出量の時間変化を求めた結果である。これは、道路表面にのみ降雨があり、それが流出した場合と同義である。なお、ここでは約2時間分の図しか示していないので、排水性舗装の場合には損失流量があるように見えるが、約1日をかけてゆっくりと流失しているだけで損失はない。

これより、密粒度アスファルト舗装と排水性舗装では、排水性舗装の方がピーク流量が小さく、ピーク時刻も遅くなっている。しかも、その効果は空隙率の高

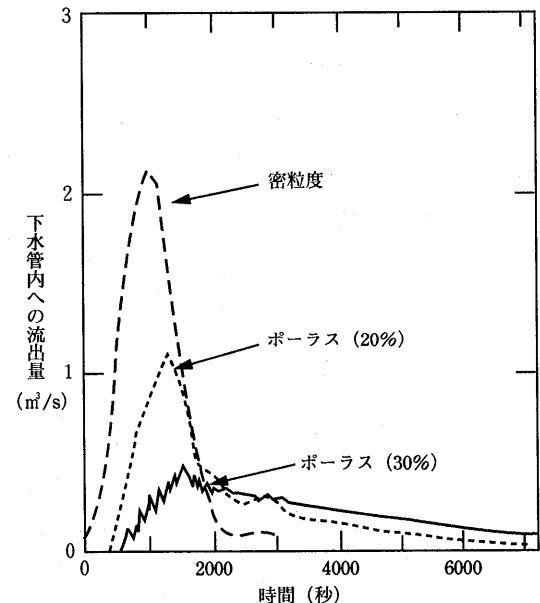


図-13 道路表面のみを考慮に入れた場合の排水量曲線

い方が大きいことがわかる。

次に、道路以外の部分をすべて宅地とみなして、その流出係数を0.6および0.7、また、そこから道路の下の下水道までに排出される時間を1分および3分と仮定して、宅地の損失雨量と時間遅れを考慮に入れて五差路のマンホール位置での流出量を解析した結果が図-14(a)～(d)である。

これらより、損失率が0.3の場合と0.4の場合とでは多少の違いがあるが、いずれの場合も密粒度アスファルト舗装に比べて、排水性舗装ではピーク流量はかなり低減していることがわかる。また、24時間後程度の

計算を行えば、各条件下ではすべての流出量の和は等しく、時間的な遅れを持ちながらもいずれは流出することが確認できている。

また、排水性舗装の場合は空隙率が20%、30%のどちらの場合でも下水道の流出量は図中破線で示されたピーク流量($8.5 \text{m}^3/\text{s}$)をほぼ下回っており、今回設定した条件がかなり極端ではあるが、もしごくすべての舗装に排水性舗装が用いられていれば、道路の冠水は起きなかつたか起きてもわずかであったであろうと推定している。なお、排水性舗装の効果は、局所的にではなく、今回のように広い面積に適用するほどより有効に

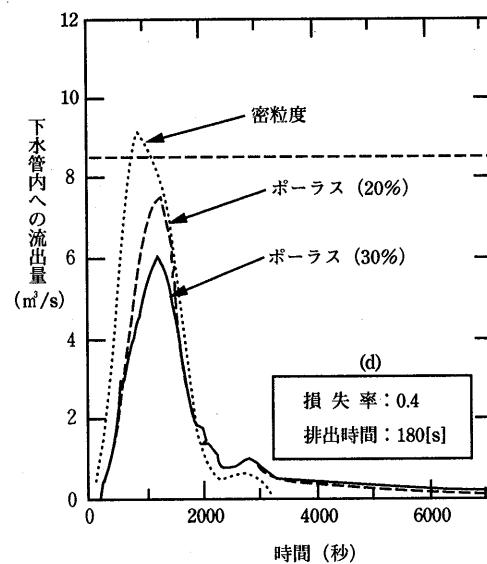
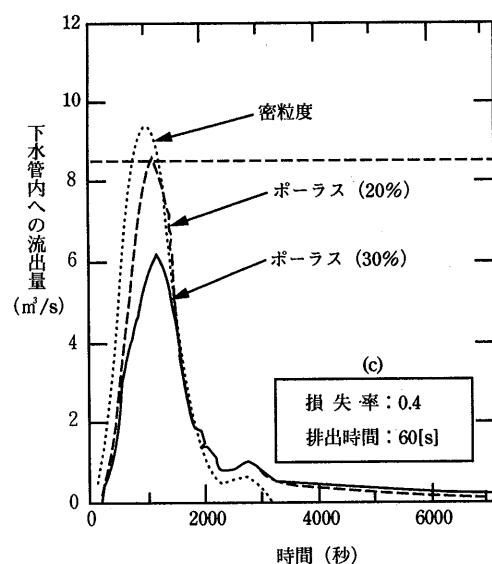
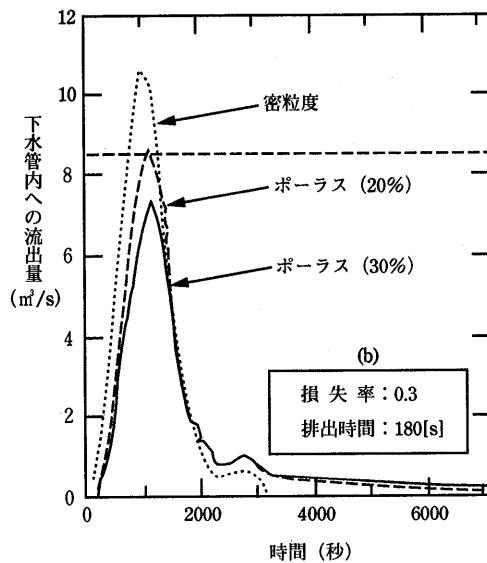
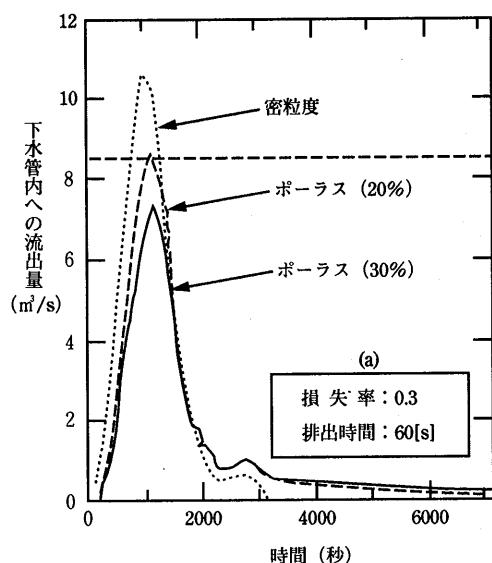


図-14 (a)～(d) 流域全面積を考慮に入れた場合の排水量曲線

なるものと期待される。

なお、本検討では、排水性舗装の空隙の飽和度を考慮していないこと、排水性舗装の耐久性を考慮せずに空隙率を30%というかなり大きい値も設定していること、また、経年のごみや泥などによる空隙づまりの進行による排水機能の低下を考慮していないことなど、解析の複雑化を避けるためとはいっても、排水性舗装の厳密な意味での水理的特性や直面する課題といったものを無視している。

7. おわりに

以上、「都市部における熱環境と都市型洪水におよぼす舗装の影響」に関して、既往の研究結果に基づき述べた。

都内全体に道路が占める割合は、面積率で20%をやや下回る程度であり、都心部では23%を超える。従って、都市の熱環境を論ずる際には、舗装の種類を決して無視することはできないであろう。

わが国の道路舗装のうち、コンクリート舗装の割合は4%程度であり、簡易舗装を含めたアスファルト舗装の割合が70%以上を占めていることを考えると圧倒的に少ない。これは主に、施工性、経済性、維持修繕対策の容易性、快適性等の種々の理由によるものであるが、都市の熱的環境を論ずるに当たっては、コンクリート舗装の方が有利であると考えられよう。

また、アスファルト舗装を排水性舗装とした場合に期待できる舗装温度の低減効果は、1~3°C程度のようである。しかし、排水性舗装は、都市型洪水が発生したときの排水効果も考え併せた場合には、大きな選択肢になるものと考える。

参考文献

- 1) 杉本莊一、近藤純正：仙台市におけるヒートアイランドと各種地表温度の日変化の観測、天気、Vol. 41, No. 9, 1994
- 2) 川又幸太郎、玉井信行、河原能久：熱収支モデルによる東京圏の熱環境解析例、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、第2部、1992
- 3) 西田実、河野仁、他6名：大阪におけるヒートアイランド、クールアイランドの構造と緑化によるヒートアイランド対策の可能性について(2)、第33回大気汚染学会講演要旨集、1992
- 4) 河野仁、他6名：大阪におけるヒートアイランド、クールアイランドの構造と緑化によるヒートアイランド対策の可能性について(1)、第33回大気汚染学会講演要旨集、1992
- 5) 近藤三郎、間仁田和行、横山容三、小沢知雄：樹木、芝生の微気象調節効果に関する実証的研究、造園雑誌、Vol.46, No. 3, 1983
- 6) 柴原千浩、浅枝隆、窪田陽一、藤野愛子：屋外環境の改変による受熱量の変化について、環境システム研究、Vol.21, 1993
- 7) 浅枝隆、藤野毅：舗装面の熱収支と蓄熱特性について、水文・水資源学会誌、Vol. 5, No. 4, 1992
- 8) 吉田真悟、岩井茂雄、三浦裕二：透水性舗装の熱収支に関する基礎的研究、日本大学理工学部学術講演会論文集、E-7, 1989
- 9) 三田ほか：路面温度の上昇抑制機能を有する舗装構造に関する検討(その1)、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集、第5部、1995
- 10) 林徹夫、片山忠久、塩月義隆、津々見伸広、堤純一郎：5種類の被覆材料による地表面熱収支の長期観測、九州大学総合理工学研究報告、第11巻、第3号、1989
- 11) 浅枝隆：都市インフラストラクチャの表面被覆と熱収支、(社)土木学会、都市の熱環境に関する学際シンポジウム、1995
- 12) 南出貴司、姫野賢治、高橋将、ポーラスアスファルト混合物の熱的特性に関する研究、土木学会北海道支部平成5年度論文報告集、V-3, pp. 952-955, 1994
- 13) 建設省都市局河川室：近未来下水道 都市部におけるより良好な水・熱環境の再生を目指して－河川部門からみた下水道－、下水道協会誌、Vol. 31, No.371, 1994
- 14) 前田俊一、神田学、日野幹雄：衛星画像と地上データを用いた都市気象の解析、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、第2部、1991
- 15) 効国土開発技術センター：都市河川計画の手引き－洪水防御計画編、1993
- 16) 大川秀雄、原富男、山勢武人：排水性舗装による都市流出係数低減効果について、第21回日本道路会議一般論文集(B), pp.426-427, 1995
- 17) 姫野賢治、大川秀雄、帆苅浩三、川村彰：ポーラスアスファルト舗装のもの都市型洪水抑制効果に関する研究、土木学会舗装工学論文集、Vol. 1, pp.137-142, 1996

低騒音舗装の現状

池田拓哉*

はじめに

走行安全性の確保を主目的に試験舗装として施工が開始された排水性舗装は、国道43号の騒音訴訟が道路管理者側に騒音対策を求める厳しい判決内容となつたことを受けて、現在では、一般道路においては騒音対策を主目的として施工されるようになっている。その施工面積は、平成8年度末時点の推定で800万m²を超えており(図-1)、平成8年12月に(社)日本道路協会から排水性舗装技術指針(案)¹⁾が刊行されたことから、施工面積を正確に把握することが不可能となるまでに技術が広まっている。本文では、低騒音舗装の概要を簡単にまとめるとともに、その問題点を示し、現在行われている低騒音舗装に対する取り組みの事例を示すこととする。

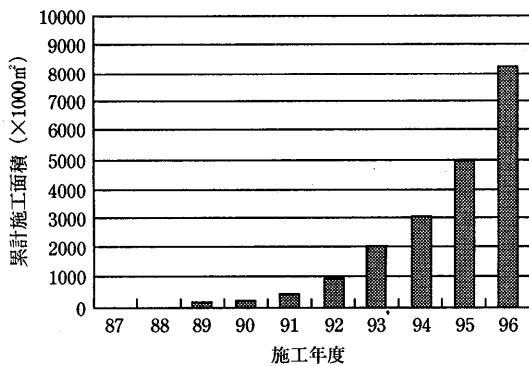


図-1 排水性舗装の施工実績

これまでの低騒音舗装

道路交通騒音の発生原因を図-2に、また、騒音低減効果があるといわれている舗装を図-3に示す²⁾。この中で最も広く使われているのが、バインダに高粘度改質アスファルトを使用し、空隙率20%以上を確保した排水性舗装である。排水性舗装が騒音低減効果を有する理由は大きく2つある。1つは、タイヤのトレッド(すべり止めやタイヤと路面の間にある水を排除す

るための溝)に巻き込まれた空気が、路面と接触する際に連続的に圧縮され解放される際に生じる破裂音(エアポンピング音)を、排水機能層の空隙の中に空気を逃がすことで防止することであり(図-4)、もう1つは車両から発生するエンジン音等が路面に反射する際に、その一部を空隙の中に吸収することで騒音を低減することである(図-5)。

このようなアスファルト混合物内の連続空隙を利用した低騒音舗装は、新設時における密粒度アスファルト混合物を表層とする従来のアスファルト舗装に比較して、3~5dBの騒音低減効果がある。ちなみに1dBの騒音の違いは、健常者であれば明らかな音の大きさの違いとして感知できるものであり、3~5dBの騒音低減効果は道路騒音対策として有意義な数値である。

また、セメントコンクリート系の低騒音舗装としては、骨材露出工法が挙げられる。この工法は、通常のセメントコンクリートを打設した後に、まだ固まらな

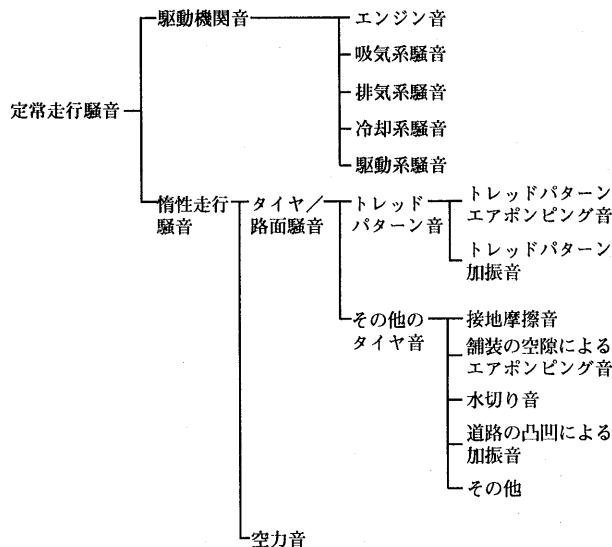
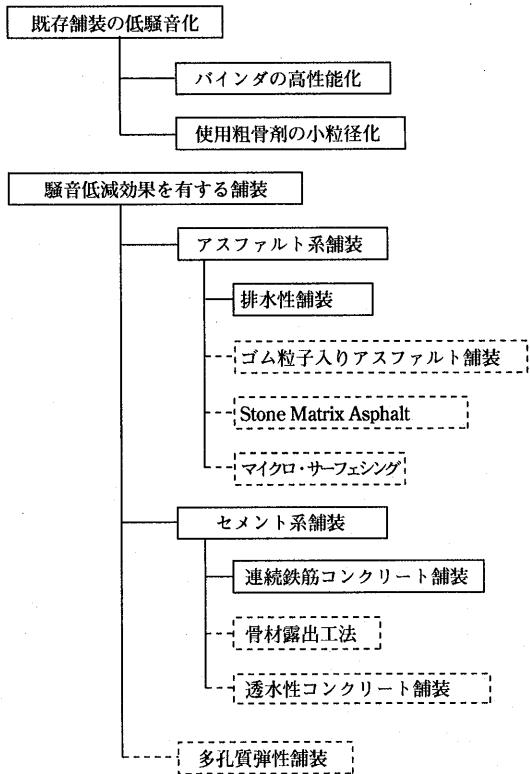


図-2 道路交通騒音の発生原因

*いけどたくや 建設省土木研究所道路部舗装研究室長



(注) 破線で囲んだものは、現在低騒音舗装として検討中のものである。

図-3 低騒音舗装の例

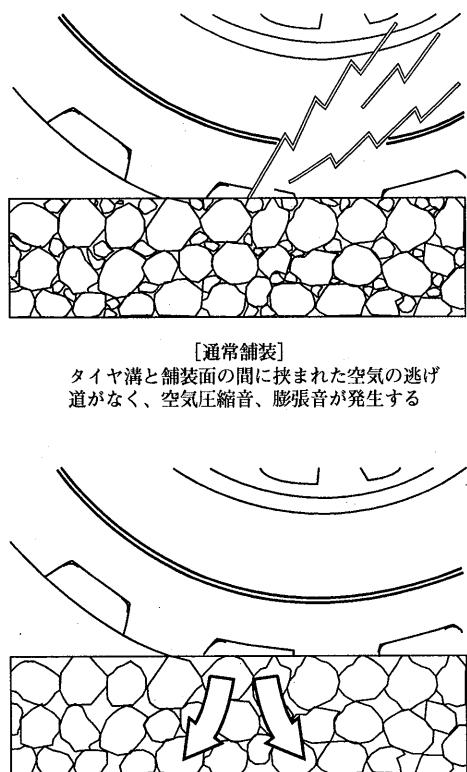


図-4 エアポンピング音の抑制原理

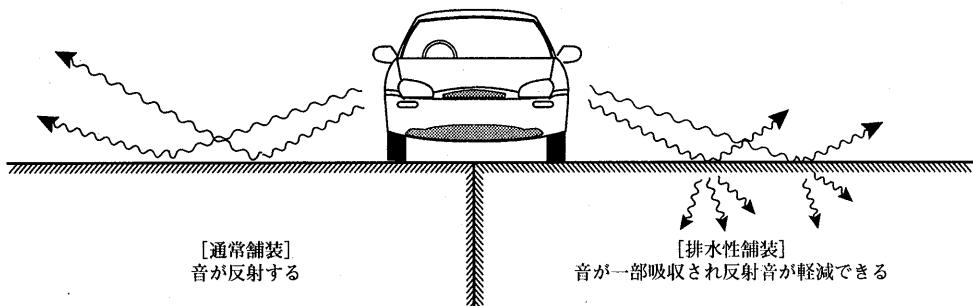


図-5 路面反射音の吸収原理

いコンクリート版の表面に凝結遅延剤を含浸させた布等を貼り付けたり、遅延剤を散布することでコンクリート版表面の硬化を遅らせ、表面が硬化する前にモルタル分を掻き取って、粗骨材を露出させる。これによって、舗装路面にある程度規則的な凹凸を設け、エアポンピング音を減少させるものである。ただ、絶対的な騒音低減機能という点では空隙率の大きいアスファルト舗装の方が優れており、骨材露出工法はセメントコンクリート系の舗装が必要となるトンネル内などで低騒音舗装として位置付けられる。

低騒音舗装の問題点とその対策

現在施工されている排水性舗装のうち、どの程度が騒音対策を目的として施工されているかはわからないが、排水性・低騒音舗装に関連する問題を列挙し、現状での対処状況について述べることとする。

(1) 空隙つぶれ

排水性舗装型の低騒音舗装は、排水機能層内部に連続空隙を有することで騒音低減を図っているが、その空隙が少なくなると当然ながら騒音低減機能は低下する。空隙がなくなる現象は、空隙つぶれと空隙詰まり

に分けられる。

空隙つぶれは、過剰なアスファルトモルタルが、高温によるバインダの粘性の低下や重車両によるこね返しによって排水機能層内部で移動し、空隙をふさぐ現象をいう。一旦空隙つぶれを起こしてしまった排水機能層の機能を改善する方法はなく、切削オーバーレイ等によって排水機能層を更新するしか対策はない。

空隙つぶれは、アスファルト混合物の配合設計に誤りがあった場合や、バインダが十分な耐流動性を有していない場合に発生する。排水性舗装についての研究が開始された初期には、バインダとして改質アスファルトII型に相当するものが使用されており、配合設計方法も確定した方法がなかったが、現在では、バインダメーカーの工夫により、高粘度改質アスファルトの性状は初期のものよりかなり改善されており、配合設計方法が確立されたこともあいまって、空隙つぶれは発生しにくくなっている。

(2) 空隙詰まり

排水機能層の空隙を、車両が持ち込んだ土砂等が埋めてしまう現象をいう。高速道路のような、出入りが管理された道路ではこの問題は比較的少ないようであるが、一般道においては種々の車両が混在して走行するため、汚れた車両からの落下土砂や車輪に付着した土砂が排水機能層を埋めていく。

空隙詰まりは空隙に詰まっている土砂を取り除けば解消することができる。そのため、圧力をかけた水を路面に噴射し、空隙を埋めた土砂等を水とともに回収し、水と土砂を分離して水だけを循環利用する機能回復車（写真-1）が実用化されている。

図-6に洗浄による機能回復前後の現場透水量試験の結果を示す³⁾。空隙が詰まるとともに現場透水量が低下していくが、現場透水量がある程度以上低下すると洗浄による機能回復が望めないことがわかる。

実際の道路管理においては、

- ①どの程度まで空隙が低下したら洗浄すべきか
 - ②洗浄の頻度はどの程度とすべきか
 - ③洗浄によってどこまでの機能の回復を期待するか
- の3点が問題となるが、このことについては現在データを蓄積中であり、明確な回答は得られていない。

(3) 施工単価

排水性舗装用アスファルト混合物（以下、

排水性混合物）を使用した低騒音舗装は、通常のアスファルト舗装より単価が高くなる。その要因としては、まずバインダの単価が通常のストレートアスファルトの単価の4.8倍、改質II型バインダの1.8倍であることが挙げられる。排水性舗装の施工面積が伸びてきたことは冒頭に述べたとおりであり、需要量が増大すれば価格が下がるという、規模の経済の原則に従って徐々にその単価を下げてきたが（図-7）、ベースアスファルトに加える改質材の量が通常の改質アスファルトよりもかなり多いため、価格の低下には限界がある。



写真-1 排水性機能回復車

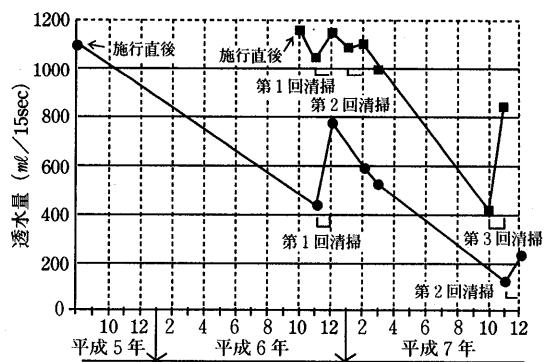


図-6 機能回復車の洗浄効果³⁾

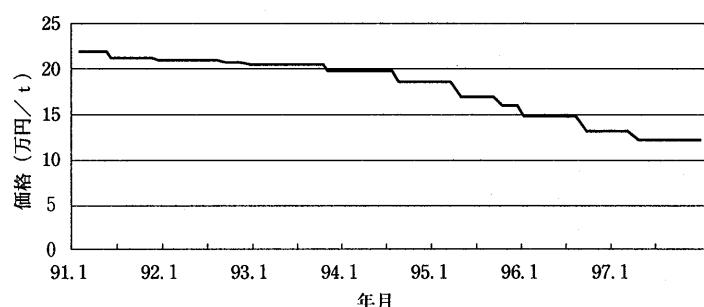


図-7 高粘度改質アスファルトの価格の変化
(建設物価の単価による)

また、排水性混合物を製造する際のプラント効率の低下も要因として挙げられる。通常のアスファルトプラントは、密粒度アスファルト混合物のような連続的な粒度を有するアスファルト混合物の製造に適した構造をしており、排水性混合物のような中間の粒度を抜いたアスファルト混合物の製造は構造的に向いていない。したがって、混合物の製造効率は、アスファルトプラントの公称能力の70%程度に低下する⁴⁾。それに加えて、排水性舗装用アスファルト混合物は粒度が不連続であり詰まりを起こすため、サージビンやホットサイロに貯蔵しておくこともできない。

(4) 骨材形状

排水性混合物の騒音低減機能は混合物の空隙率に依存するが、数値上同じ空隙率であっても、空隙の形状によってその効果が異なる。空隙の形状は粗骨材の形状に大きく左右され、理想的な粗骨材形状としては、扁平や細長いものを含まない、立方体や球に近いものが望まれる。そのような碎石を使用して製造した排水性混合物は、空隙の形状がよく、空隙詰まりの問題も生じにくい。

現在の碎石製造技術では、扁平や細長い骨材をより理想的な形状に修正することができるが、その技術を適用すると、市場で販売には適さない粒度の碎石くず(碎石スラッシュ)が発生することになる。碎石スラッシュは産業廃棄物であり処理には費用を要するため、舗装側で良質な形状の骨材を求めるとなると、その処理費が粗骨材単価に反映されることになる。

(5) 骨材粒径

アスファルト舗装用の碎石としては、5号(20~13mm)、6号(13~5mm)、7号(5~2.5mm)の3種類がよく使われるが、排水性舗装用アスファルト混合物には、ほとんど6号碎石だけが使われる。そして、排水機能や騒音低減機能を高める目的で空隙率を上げるには、最大粒径を小さくし、最小粒径を大きくした、粒度範囲が非常に狭い骨材が理想的である。碎石工場においてこの要望に対応するには、ふるい目を変更し、該当する粒径の骨材だけを抜き出すことになる。現在の粗骨材製造方法では、ある特定の粒径の碎石だけを製造することはできないので、この操作は碎石の製造バランスを崩すことにつながり、碎石のコストにも影響することになる。

(6) 検査

舗装に低騒音機能を期待して施工する場合、完成した工事の受領に当たっては低騒音舗装としての機能を

発揮していることを確認する必要がある。排水性混合物を使用した舗装は、密粒度アスファルト混合物を使用した舗装より、新設時においては低騒音であることが知られているが、それが定量的にどの程度の効果となっているのかは確認できない。さらにいうならば、低騒音舗装というからには、「通常の舗装よりXXdB騒音が低減すること」と特記仕様書に規定するのが本筋である。

イヤから発生音については図-8の方法が⁵⁾、路面での吸収音については図-9の方法が⁶⁾試みられているが規格として規定されるまでには至っていない。今のところ、施工直後の現場透水量試験の結果が1000ml/15sであることをもって間接的に騒音低減効果があることを推定しているが、低騒音舗装として適用するのであれば、本来は通常の舗装に比べて何dB下がっているかということを定量的に確認することが、検査のあり方としては望ましい。

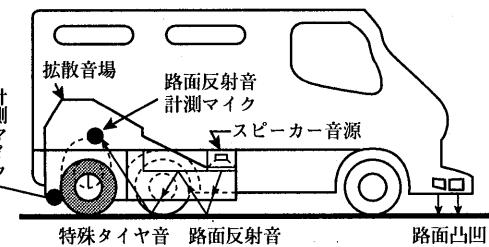


図-8 自走式の騒音測定車⁵⁾

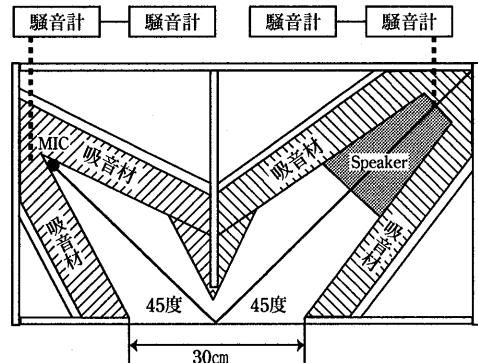


図-9 吸音率の測定装置⁶⁾

(7) 橋面での施工

都市部を通過する自動車道では高架部を通過していることが多いが、その舗装についても低騒音化することを求められることがある。高架部には、コンクリート床版と鋼床版があるが、一般的に同じ荷重が作用し

た場合、土工部やコンクリート床版上の舗装に比べ、鋼床版上の舗装はたわみ量が大きく、舗装に発生するひずみ量も大きくなる。そのため、鋼床版についてはバインダについて特別な配慮が必要になる。また、鋼床版、コンクリート床版のいずれも床版と舗装の間に水がたまるとはく離等の破損につながる。これまで床版面の舗装は水を中に入れないための努力を続けてきたが、排水性舗装型の低騒音舗装は、意図的に水を中に入れる構造となっている。

以上の特殊な事情を背景として、鋼床版舗装用の高粘度改質アスファルトが試作されており、建設省土木研究所で行った調査によれば、通常の高粘度改質アスファルトより大きな曲げ疲労抵抗を有することが確認されている(図-10)。また、床版面の排水対策についても、導水パイプの設置や水抜き孔の適切な配置によって対処している。

(8) 交差点部の施工

都市部の低騒音化において、交差点部に排水性混合物を適用することがあるが、交差点部は車がハンドルを切るため、排水機能層にねじりによるせん断方向の力が作用する。そのため、粗骨材のはく脱が生じ、路面が荒れることがある。

また、交差点部は細かな交通規制を行いながら、施工区間を小割にして施工せざるを得ないことが多い。

そのため、アスファルト混合物の温度を適切に保てない、フィニッシャの走行が安定する前に敷きならしが終わってしまう、フィニッシャが使えず手引きになる、などが原因となり施工上の欠陥となりやすい。

これに対しては、施工後の表面に樹脂系の材料を塗布するトップコートやエポキシアスファルトの使用⁷⁾が試みられているほか、交差点部については空隙率を15~17%に落とすことによって、車輪のねじりに対する抵抗性を高めることが試みられている。

私見ではあるが、交差点部は道路全体から見れば局部であり、もともと施工に制約の多い場所である。そこに排水性舗装用アスファルト混合物のような特殊な材料を使用して、所要の品質を確保して施工することはかなり困難であり、交差点部だけは通常の密粒度で改質アスファルトをバインダに使用したアスファルト混合物とすることも現実的な選択とも考えられる。

(9) リサイクル

排水性・低騒音舗装の日本国内における施工は1987年が最初であるが、現在のものに近い高粘度改質アスファルトの単価が、(財)建設物価調査会が発行する「建設物価」に掲載され始めたのは1990年からのことであり、排水性舗装用のバインダが普及し始めたのもその頃である。高粘度改質アスファルトは、骨材との付着性を高めるために、従来の改質II型の倍程度の改質材

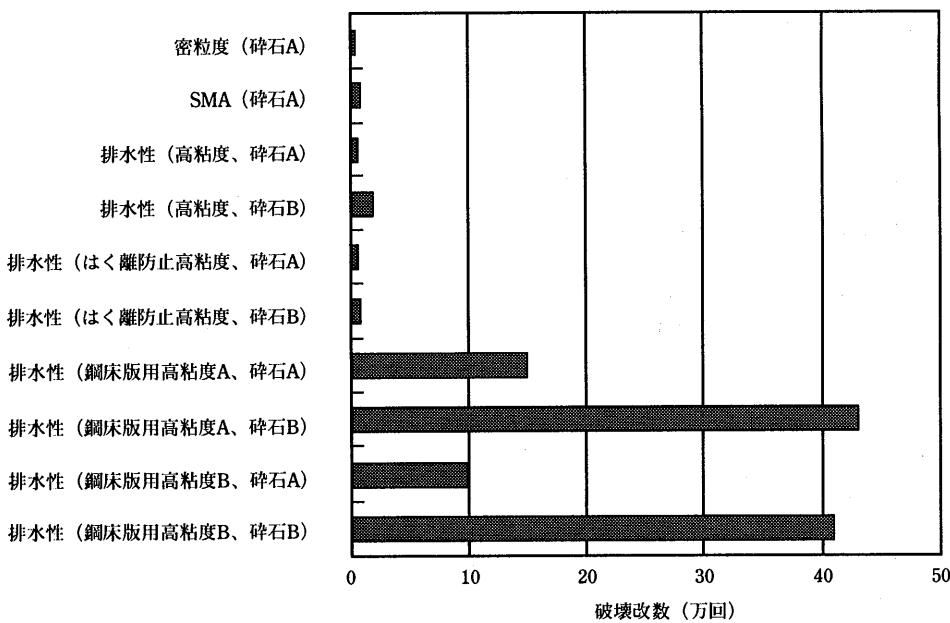


図-10 鋼床版用高粘度改質アスファルトの疲労抵抗

が添加されている。排水性舗装あるいは低騒音舗装もいつかは修繕が必要になるが、これだけの改質材を含む舗装発生材を通常の方法でリサイクルできるかどうかについては検討する必要がある。

新しい技術

これまで、バインダに高粘度改質アスファルトあるいはエポキシアスファルトを使用した、多孔質のアスファルト混合物による、排水性舗装型の低騒音舗装について解説してきたが、最近では材料、施工法について新しい試みがなされている。

(1) 薄層化

排水性舗装型の低騒音舗装の施工単価が、通常のアスファルト舗装に比べて高いことは既に述べたが、公共事業全体としてコスト縮減が求められている。そのためには、排水機能層の厚さを減らすことが有効である⁸⁻¹¹⁾。

現在の排水性舗装は40~50mmが1層の標準であるが、これを25~30mmとすれば工費を30%程度削減することができる。そのためには、粗骨材を小粒径化する必要があるが、これにともなう碎石需給バランスへの影響や、粗骨材単価の上昇といった新たな課題を解決しなければならない。また、薄層排水性混合物については、既設路面との付着力を確保する必要があり、高濃度のゴム入りアスファルト乳剤を散布した直後に排水性舗装用アスファルト混合物敷きならし工法が開発されている¹²⁾。

(2) 2層化

どのような対策をとっても、車両が通行する以上空隙詰まりを完全になくすことは困難である。そこで、排水機能層を2層に分け、上層を最大粒径5mmの排水性舗装用アスファルト混合物、下層を最大粒径13mmの排水性舗装用アスファルト混合物とする工法が開発されている¹³⁻¹⁵⁾。これは、土砂等の細かい物質を上層で止め、下層の透水機能を低下させないようにしたものである。

(3) ゴムによる表面処理

排水性舗装型の低騒音舗装は、エアポンピング音の抑制や駆動機関音の吸収で騒音低減を図ろうとするものであるが、道路交通騒音において道路の凹凸による加振音も無視できない大きさである。これを低減することを目的として既設のアスファルト舗装の表面に5mm程度の厚さのゴム粒子、フィラー、特殊アスファルトから成る薄層のゴム層の施工が試みられている¹³⁾¹⁶⁾。

この工法は層に透水性がないためエアポンピング音の抑制効果はないが、加振音の低減により2~3dBの騒音低減効果があると言われている。

(4) 多孔質弾性舗装

廃タイヤのゴムをヒジキ状に細断し、ウレタン樹脂を混ぜて圧縮して固めた工場製品で、1m×1m×5cm(場合によっては3cm)の板状で供給される。これをセメントコンクリート舗装あるいは半たわみ性舗装の上にウレタン系接着剤で接着して施工する。エアポンピング音の抑制、駆動機関音の吸収、加振音の抑制の3つの効果を有しており、10dB程度の大きな騒音低減効果が期待される。工場で管理された状態で製造されるため品質は安定しているが、施工単価は樹脂系接着剤を多量に用いるため、通常の排水性舗装型の低騒音舗装より高い。また、路面との接着方法や曲線部での施工について検討すべき点を残している。

(5) ゴム舗装

タイヤ接触音を低下させようとする目的は、ゴムによる表面処理と同様であるが、廃タイヤのゴムチップ(粒状)と細骨材をウレタン樹脂で固め、セメントコンクリート舗装あるいは半たわみ性舗装の上に20mmのゴム表面処理を施工する工法が開発されている。

この工法は、もともとはスパイクタイヤの禁止にともなうブラックアイスやつる路面といわれる凍結問題に対処するために開発された工法であるが、5dB程度の騒音低減効果も有しているので今後の低騒音舗装として期待される。施工は現場練り、現場敷きならしで行われるため曲線部にも柔軟に対応でき、空隙により騒音低減機能を発揮するのではないので空隙詰まりの問題も生じない。北海道苫小牧市での施工結果を見ると、施工後2年4月の時点で、グレーダによる引っかき損傷が見られるだけで、はがれや摩耗の問題は生じていない。今後は、すべり抵抗性についての改善と、大規模施工の際の混合物の製造供給の問題を解決することが望まれる。

おわりに

第12次道路整備5箇年計画においても、環境対策は大きな課題となっており、1998~2002年度において低騒音舗装を3,400kmにわたって施工することが計画されている。道路交通騒音の抑制は、今後も道路管理者にとって重要な課題であることは明らかであり、今後も舗装の工夫による新たな騒音低減の技術開発が望まれる。

— 参考文献 —

- 1) 排水性舗装技術指針（案）, (社) 日本道路協会, 平成 8 年10月
- 2) 低騒音舗装研究会：低騒音舗装の概説, (財) 建設物価調査会, 平成 8 年11月
- 3) 本間：多機能型排水性舗装清掃車の開発, 技術管理業務成果報告会発表論文集, 建設省建設経済局建設機械課, 平成 9 年 8 月
- 4) 田中ほか：排水性舗装の普及に伴う碎石とアスファルト混合所の現状と課題, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 438~439, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月
- 5) 阿部ほか：試験車走行による低騒音舗装の効率的評価, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 480~481, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月
- 6) 東海林：低騒音舗装の吸音率測定方法の一例, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 496~497, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月
- 7) 排水性舗装用エポキシアスファルト混合物施工の手引き, (社) 日本アスファルト協会, 平成 9 年 3 月
- 8) 武田ほか：排水性舗装の薄層化の検討, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 456~457, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月
- 9) 帆苅：薄層排水性舗装の高度化と適用箇所に関する検討, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 458~459, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月
- 10) 堀山ほか：高空隙率薄層排水性舗装の試験施工について薄層化の検討, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 460~461, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月
- 11) 黒木ほか：高速道路に適用した薄層排水性舗装の追跡調査結果について, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 462~463, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月
- 12) 羽山ほか：高付着型薄層排水性舗装「セーフペーク工法」の開発, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 262~263, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月
- 13) 特集道路騒音を低減する技術, 日経コンストラクション, 第197号, 平成 9 年12月12日号
- 14) 山本ほか：ツインレイ排水性舗装の騒音低減効果について, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 472~473, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月
- 15) 岡本ほか：二層式低騒音舗装の性状について, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 488~489, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月
- 16) 浦邊ほか：変形路面における薄層アスファルトマスチックの均一施工とその供用性状, 第22回日本道路会議論文集 B, pp. 544~545, (社) 日本道路協会, 平成 9 年12月



長寿命化舗装による環境への対応

坂 田 耕 一*

1. まえがき

道路は、国民の経済・社会活動を支える最も基本的な社会資本の一つであり、その上部構造物である舗装に期待される機能の保全と向上は、いかなる時代においても技術的至上命題である。

道路舗装が果たすべき基本的機能は、通行車両、歩行者、沿道生活者などの多種多様の関係者に安全性、快適性、円滑性、良好な空間環境などのサービスを直接、間接的に提供することである。

ところで、舗装の設計寿命（以下設計期間）はアスファルト舗装の場合10年、コンクリート舗装の場合20年が一般であり、その他の土木構造物に比較し著しく短く設定されている。

これは道路舗装が線状で極めて長大な構築物であることから、日常の維持・点検や定期的な修繕によってその機能の保全と向上を図る方が道路整備の推進と合わせて経済的にも得策であることによっている。

しかし、膨大となった舗装ストックの機能保全を限られた補修費の中で効果的に実施するには、従来の方式では限界に近づいている路線が出現してきている。

すなわち、比較的短期に繰返される修繕工事による工事渋滞や沿道環境悪化への批判であり、「より長持ちのする舗装」への要求は重要幹線ルートを中心に特に強まってきている。

本文では、これら状況への対応とし、日本道路建設業協会（以下道建協）のアスファルト舗装部会が平成6年に検討した、路床構築による長寿命化舗装の構造とその省エネルギー性、ライフサイクルコストなどの検討結果¹⁾をまず述べ、次いで最近のいくつかの動向について補足的に述べた。

2. 路床構築による舗装の長寿命化

道建協アスファルト舗装部会が長寿命化舗装の検討を開始した背景は、以下の4点が関係している。

a) 平成4年改訂の「アスファルト舗装要綱」によって、10年以上の設計期間の導入、路床構築の導入、ライフサイクルコストを含めた構造設計の検討等が可能になった。

b) 建設省発表の「最重点研究開発課題と開発目標」におけるメンテナンスフリー化技術、および「道路技術五箇年計画」の中の「長寿命化舗装」への対応を検討をしてみる。

c) 車両制限令の改訂における車両総重量25トン化への対応を検討する。

d) 長寿命化舗装はイニシャルコストは当然高くなるが、ライフサイクルコスト、省資源、省エネルギー面で具体的にどの程度の効果が得られるかを概略把握する。

2.1 検討に当っての前提事項

本検討では次に示すような事項を前提とした。なお、検討はアスファルト舗装を主体とし、かなり大胆な仮定のもとで進めた。

(1) 長寿命化対応舗装

ここでの長寿命化対応舗装とは、幹線道路のD交通区分以上の区間、渋滞が著しい区間、5トン輸荷重以上の対応も若干は余儀なくされる区間、および耐流動対策として、表層・基層とも動的安定度(DS)が3,000以上の必要性がある区間を想定して検討した。

(2) 検討の基本的な方針および認識

長寿命化対応舗装の設計・施工の検討において、その前提とした事項は次のとおりであり、概略の検討事項を示したもののが図-1である。

①路床は、与えられたものを用いるのではなく、経済的な範囲で高い支持力を得るように積極的に構築する。

②舗装は構造的破損が生じにくい構造とし、可能な限りメンテナンスフリーを目指した構造とする。

*さかた こういち 日本道路技術研究所所長

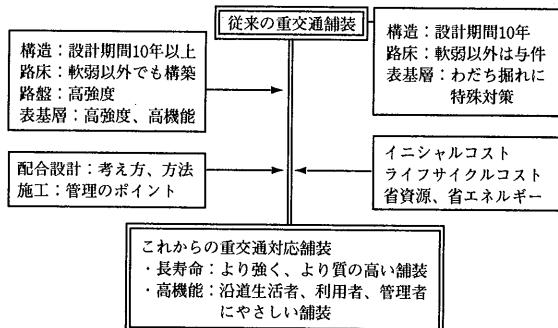


図-1 重交通対応舗装の検討事項

- ③表層・基層は所期のライフサイクルを持ち、かつ舗装全体としてのライフサイクルコストが従来の2/3に低減できることを目指す。
- ④舗装構造は、省資源、省エネルギー、および環境

保全等にもつながるものとする。

2.2 検討した舗装構造

検討に当って、現状路床はシルト質砂でその設計CBRは3と想定した。この現状路床をセメント安定処理により設計CBRが6, 12, および20となるように路床構築するとして、各種条件で舗装構造を設計した。

(1) 設計条件

舗装構造の設計条件として、交通区分はD交通、設計期間は10年、20年および40年に設定した。設計方法はアスファルト舗装要綱および多層弾性理論に基づいて設計した。

(2) 舗装構造

路床構築の効果を検討するために選択した舗装構造を表-1に示す。設計方法はケース1~5をアスファルト舗装要綱により、ケース6~8を多層弾性

表-1 舗装構造

(単位 cm)

ケース (設計年数)	材料・工法			表層	基層	連続鉄筋コンクリート	アスファルト安定処理	セメント安定処理qu=30	セメント安定処理qu=10	粒調碎石	クラッシュヤラン	路床安定処理
	CBR	T _A	H									
ケース1 (10年)	3	45.3	100	5	10	-	10	-	-	35	40	-
	6	37.0	75	5	10	-	10	-	-	15	35	30
	12	30.2	58	5	10	-	8	-	-	-	35	70
	20	26.4	43	5	10	-	8	-	-	-	20	100
ケース2 (10年)	3	45.9	84	5	10	-	9	30	30	-	-	-
	6	37.0	65	5	10	-	9	15	26	-	-	30
	12	30.0	38	5	10	-	8	15	-	-	-	70
	20	27.0	33	5	10	-	8	-	-	-	10	100
ケース3 (20年)	3	51.0	90	5	10	-	15	30	30	-	-	-
	6	41.5	73	5	10	-	8	20	30	-	-	30
	12	34.2	56	5	10	-	8	15	18	-	-	70
	20	29.1	37	5	10	-	8	14	-	-	-	100
ケース4 (10年)	6	37.4	43	5	10	-	28	-	-	-	-	30
	12	30.2	34	5	10	-	19	-	-	-	-	70
	20	26.2	29	5	10	-	16	-	-	-	-	100
ケース5 (20年)	6	41.4	48	5	10	-	33	-	-	-	-	30
	12	34.2	39	5	10	-	24	-	-	-	-	70
	20	29.4	34	5	10	-	18	-	-	-	-	100
ケース6 (40年)	3	-	69	5	-	25	-	20	-	25	-	-
	6	-	42	5	-	25	-	18	-	-	-	30
	12	-	37	5	-	25	-	13	-	-	-	70
	20	-	34	5	-	25	-	10	-	-	-	100
ケース7 (40年)	3	-	75	5	5	20	-	20	-	25	-	-
	6	-	48	5	5	20	-	18	-	-	-	30
	12	-	43	5	5	20	-	13	-	-	-	70
	20	-	40	5	5	20	-	10	-	-	-	100
ケース8 (40年)	3	-	85	5	10	25*	-	20	-	25	-	-
	6	-	58	5	10	25*	-	18	-	-	-	30
	12	-	53	5	10	25*	-	13	-	-	-	70
	20	-	50	5	10	25*	-	10	-	-	-	100

*転圧コンクリート版

理論により行った。

ケース1は比較のための基準構造で、設計期間10年、路床土の設計CBRが3, 6, 12, 20の舗装である。ケース2と3は、ケース1の下層路盤を安定処理し、設計期間を10年、20年にしたものである。ケース4と5は瀝青安定処理層、基層・表層の構成としたフルデプスタイプの構造である。ケース6~8はセメント安定処理路盤、連続鉄筋コンクリート版あるいは転圧コンクリート版の上に、アスファルト混合物層を施したコンポジット舗装タイプのものであり、設計期間は40年である。

なお、設計期間20年および40年として選択した舗装構造は、現状技術で見る限り、路盤やコンクリート系舗装版以下の構造的強さと耐久性は十分としても、表・基層部についてはわだち掘れやすびり抵抗などの機能的耐久性が十分に確保される完全ノーメンテナンス舗装とは想定しにくい。

したがって、後述するライフサイクルコストの検討においては表層あるいは表・基層は適切な間隔で切削オーバーレイされるとの想定を取り入れて検討した。

2.3 検討結果

検討は以下の3項について実施した。

- a) 表-1に示す各ケースの舗装構造のイニシャルコスト（直接工事費）の比較による各ケースにおける路床構築の効果
- b) 省資源・省エネルギー面の効果

c) ライフサイクルコスト面での効果

2.3.1 イニシャルコスト

イニシャルコスト（直接工事費）の試算は、埼玉県熊谷市の近くの国道で5000m²の工事規模を想定して実施した結果、図-2のとおりである。

本図より判ることは以下のとおりである。

- ①ケース8以外は設計期間は10年から40年まで変えても、イニシャルコストに大きな差は生じない。
- ②路床構築の効果はケースによって若干の差はあるが、現状路床の設計CBRが3の場合おおむね設計CBR=6で構築するのが最も安くなる。
- ③設計期間における表・基層をノーメンテナンスによる想定で熱硬化性樹脂バインダーを使用した場合、イニシャルコストの上昇は相当な額となる。
- ④しかし、各ケースの舗装構造が設計期間において、本当にノーメンテナンスに近いなら本図のケース3はケース2を2倍して比較すべきものである。またケース6~8に対してはケース2を4倍して対比すべきもので、明らかに安いものとなる。このような視点での検討は、長寿命化舗装を必要としている重要幹線ルート対応だけでなく、環境対処の必要な箇所（例えば修繕工事の頻度を極小化したい箇所）においても重要となってくると考える。

2.3.2 省資源・省エネルギー

(1) 省資源

省資源については表-1の1~6の各ケースで、イニシャルコストが最も安くなる路床構築をした時

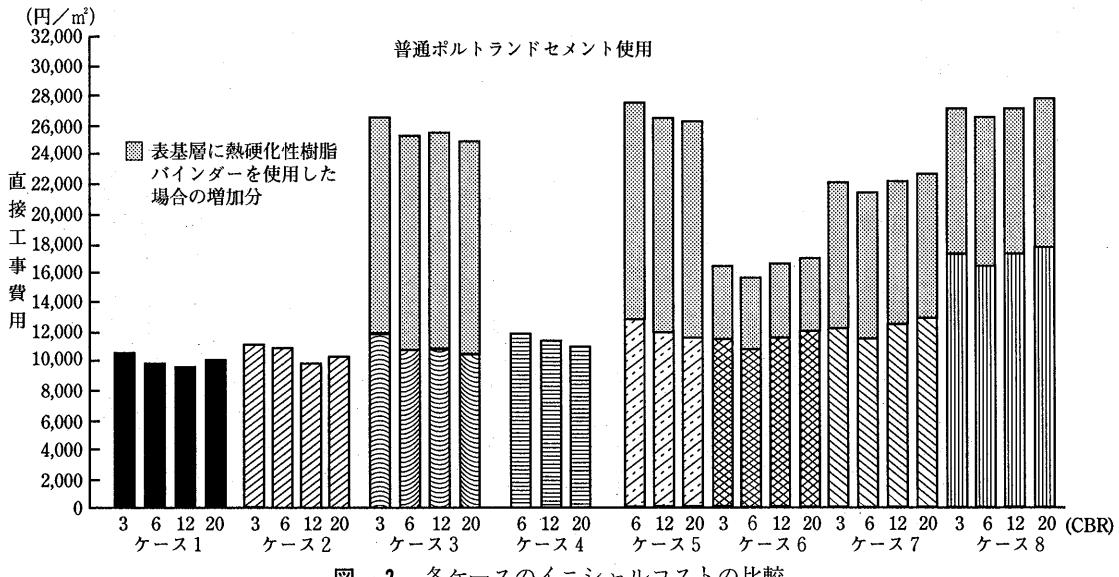


図-2 各ケースのイニシャルコストの比較

の舗装構造の構築に使用される持込み材料の総重量を対象に比較した。したがって省資源の資源とは、おおむね骨材資源に対するものである。

結果は図-3のとおりである。

本図より判ることは以下のとおりである。

- ①使用骨材資源を減ずる点では、路床構築で設計CBRを20まで高めれば、各ケースとも約1/2まで削減できる。
- ②イニシャルコストの安い設計CBR 6への路床構築では、20%前後の削減となる。
- ③使用材料の削減は、採取地の自然破壊を抑制し、地球環境保全に利するとともに、材料運搬車両通過数の低減をもたらし、工事関係箇所周辺への環境対策にもつながる。

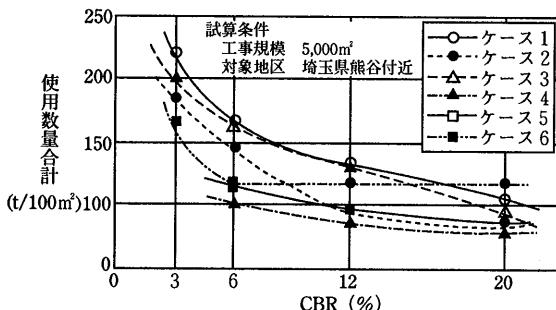


図-3 材料使用量

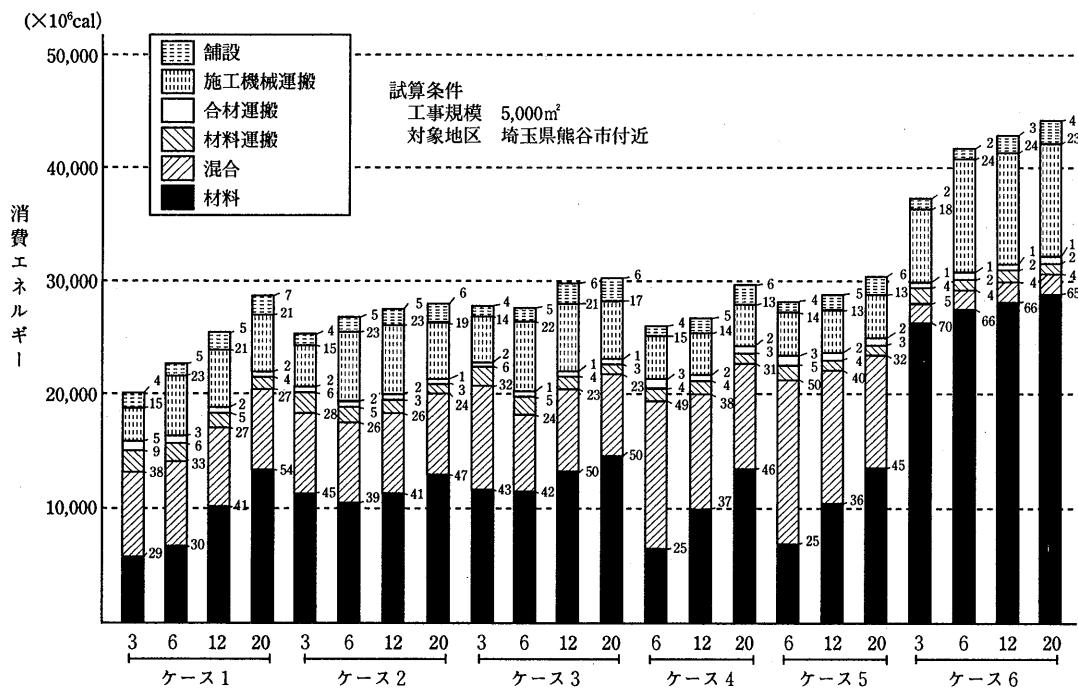


図-4 エネルギー消費量計算結果 (100m³当り)

(2) 省エネルギー

省エネルギーについては、省資源の検討で対象とした各ケースの舗装構造の構築に必要なエネルギーを材料、混合、運搬、施工別に算出し、これを合算して比較検討した。

なお、利用したエネルギー原単位はやや旧いが参考文献²⁾によった。

試算した結果は図-4のとおりである。

本図より判ることは以下のとおりである。

- ①ケース 1 と 2 を対比すると、路床構築のためのセメント安定処理や路盤のセメント安定処理をすると、消費エネルギーがかなり増す事が判る。これは、使用したエネルギー原単位が表-2に示されるように、セメントのエネルギー原単位がアスファルトの2倍強と突出していることによるものである。
- ②ケース 6 (連続鉄筋コンクリート舗装版使用) がアスファルト系舗装構造に比較して大きな消費エネルギーを示すのも上記と同じ理由によるものである。
- ③しかし、2.3.1の④で述べた視点で見れば、ケース 3 はケース 2 の 2 倍と比較すべきものであり、ケース 6 はケース 2 をおおむね 4 倍して比較すべきものである。したがって、設計期間をより長く

表-2 エネルギー原単位と米国アスファルト協会のそれとの比較

材料等	区 分	本調査 (kcal/t)	米国アスファルト協会 (kcal/t)
セメント		1,442,000	2,243,000
アスファルト	660,000 (9,900,000) ⁽¹⁾	303,200 ⁽²⁾	
アスファルト乳剤	464,000	280,600 ⁽²⁾	
碎石類	34,070 (19,350) ⁽³⁾	19,400 ⁽³⁾	
砂	19,560 (4,840) ⁽³⁾	4,167 ⁽³⁾	
石粉	146,000 (131,100) ⁽³⁾	19,400	
鋼材 (日本鉄鋼協会)	6,380,000	5,834,000	
トラック輸送	368kcal/t・km 640kcal/t・km ⁽⁵⁾	656kcal/t・km ⁽⁴⁾ 1,008kcal/t・km	

(1)アスファルトを燃料としたときの値。 (2)往復100マイルの運搬を含む。
 含まない値。 (3)3軸車と3軸トレーラ。 (5)国鉄のデータによる。

するために使用する路床構築の省エネルギー性は
 相当に顕著なものである。

2.3.3 ライフサイクルコスト

ライフサイクルコストの検討は、以下の3つの舗装構造について行なった。

a) A断面

(ケース2: 設計期間10年, 設計CBR=12)

b) B断面

(ケース3: 設計期間20年, 設計CBR=12)

a) C断面

(ケース6: 設計期間40年, 設計CBR=12)

なお、検討CBRを12としたのは路床を永久構築物とし扱うためである。

(1) 検討に当たっての設計条件

①各断面のライフサイクル(修繕サイクル)は図-5のようにし、解析期間は40年とした。

②ライフサイクルコストは直接工事費で示した初期工事費(イニシャルコスト)、修繕工事費(表-3参照)および社会的損失費用(表-4参照)の合算で算出した。

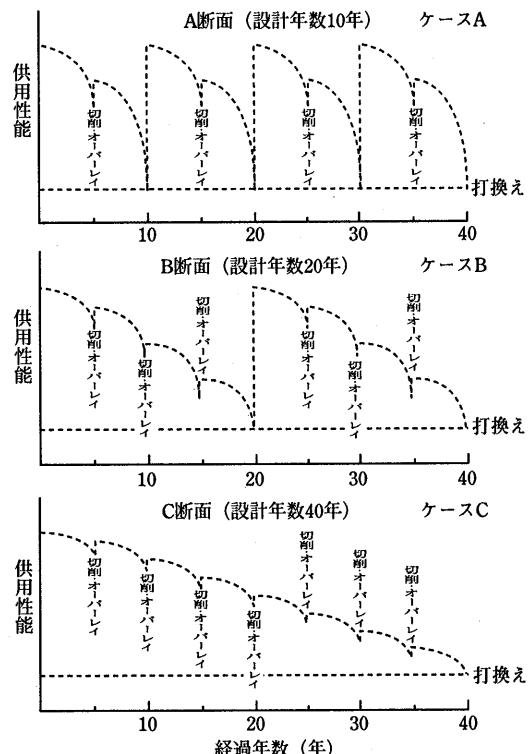


図-5 各舗装断面のライフサイクルの概念図

表-3 各修繕工事の工事費と修繕回数

(単位: 円/m²)

工種	項目	断面	A断面		B断面		C断面	
			コスト		回数	コスト		回数
			直接工事費	間接的損失費		直接工事費	間接的損失費	
建設時		表+基層(10cm)	3,420	-	1	3,420	-	1
		~路盤	4,570	-	1	5,660	-	1
		路床改良	1,730	-	1	1,730	-	1
切削・ オーバーレイ	取り壊し(表+基) 構築(表+基)	1,200	1.8x	4	1,200	1.8x	6	800*
		3,420		4	3,420		6	1,760*
打換え	取り壊し(表+基) 構築(表+基) 構築(表+基) 構築(～路盤)	1,200	3	1,200	1	-	-	0
		2,200	4.4x	3	3,100	5.2x	1	-
		3,420		3	3,420		1	-
		4,570		3	5,660		1	-

* 表層1層分(5cm)の工事費および取り壊し費

表-4 交通規制を含む社会的損失費用
(間接的損失費用)

修繕工事の内容	修繕工事1回当りの間接的損失費用(円/回)	*1m ² 当りの間接的損失費用(円/m ² ・回)
C断面の切削・オーバーレイ(表層5cm)	x	x
AおよびB断面の切削・オーバーレイ(表・基層10cm)	1.8x	1.8x
A断面の打換え	4.4x	4.4x
B断面の打換え	5.2x	5.2x

*この項目は修繕工事1回当りの間接的損失費用を工事面積で除して求める。

(2) 検討結果

試算結果は図-6のとおりである。

本図より判ることは以下のとおりである。

①40年間という長期の計算なので割引率の影響はかなり大きいことが判る。

②A断面とB断面の比較より、設計期間を10年から20年へ2倍にしても、2.1.(2). ③に先述したライフサイクルコスト2/3への低減はなされない。

③C断面はA断面との比較で49~55%とライフサイクルコストは約1/2に低減される。

これは、図-5に示すようにC断面の場合、40年間全断面打換えをしないことの効果によるものである。

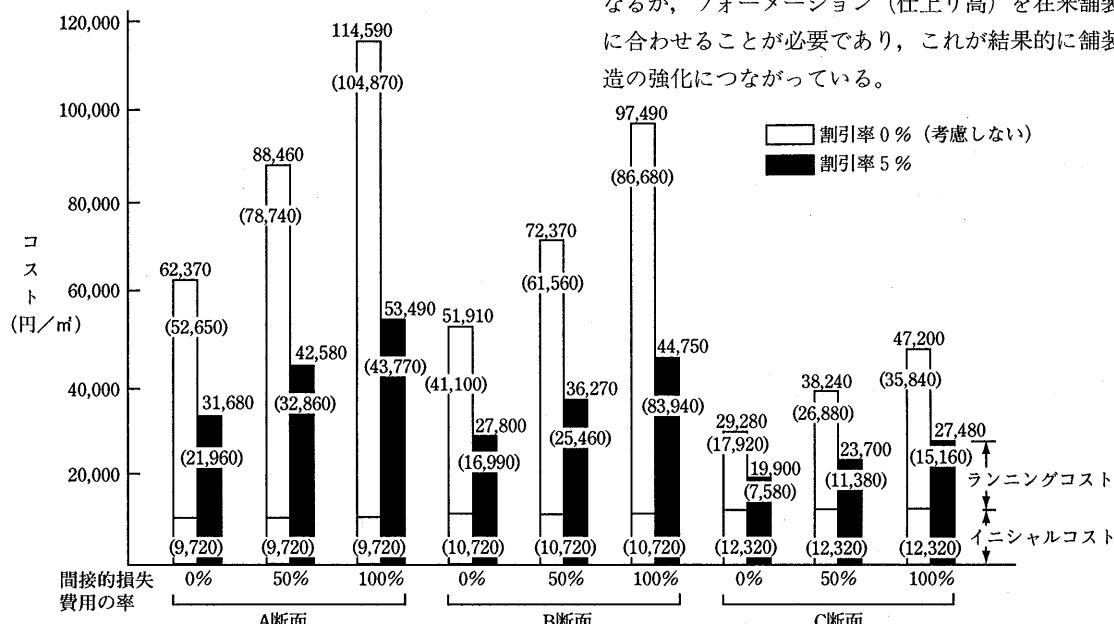


図-6 ライフサイクルコストの試算結果

2.3.4 まとめ

省資源、省エネルギー、ライフサイクルコストより検討すると、長寿命舗装のためにはアスファルト舗装の場合路盤以下、コンポジット舗装の場合コンクリート舗装版以下を可能の限り強化して半永久構造物化することが必要であり、この点で路床構築は重要な一翼を担うものといえる。

3. 長寿命化舗装への最近の動向

前章では路床構築を組合せた長寿命化舗装についての検討結果を述べたが、路床構築の採用は新設時はともかく、修繕工事においての採用は容易でないという現実問題がある。

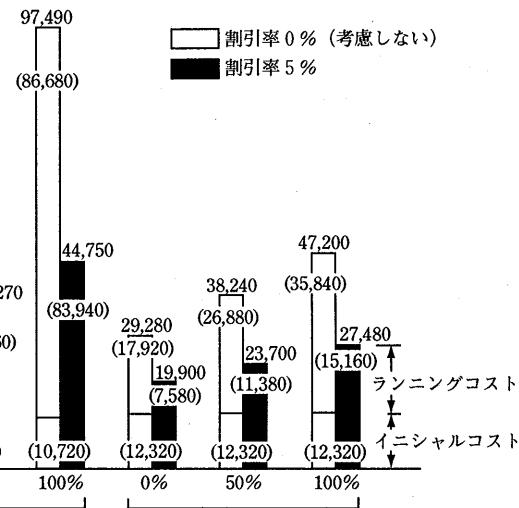
すなわち、長寿命化舗装を必要としている幹線ルートは相当に厚い舗装厚となっており、夜間工事で打換え、昼間は交通開放するという規制条件の中ではとても路床の安定処理を実施する作業スペースや時間が無いという現実である。

3.1 路床構築を組合せる場合

修繕工事で路床構築を採用しているケースは、迂回路があり昼夜間の連続規制が可能で、その結果、作業スペースが十分に取れるケースが多い。

また、電気、通信、ガス、上下水道等の各種埋設管の掘り直しをしなくともよいように情報ボックス、電線共同溝等の整備の先行も重要な条件となる。

なお、路床構築をすると一般に所要の舗装厚が薄くなるが、フォーメーション（仕上り高）を在来舗装面に合わせることが必要であり、これが結果的に舗装構造の強化につながっている。



3.2 路床構築を組合せない場合

このケースでは、路盤層の構造強化と耐久性向上が特に重要になる。全断面打換えを計画する場合、既存の粒状材路盤層は残し、路上再生路盤工法でセメント安定処理路盤に再生するのが多用されるようになってきている。その上部には高強度セメント安定処理路盤や大粒径アスコン（改質アス使用）あるいは厚層の半たわみ性舗装（高粘度改質アス使用）などを施工することが一般に検討されるが、既設の舗装全厚との関係で適切な構成とする必要がある。

大都市域内の重交通の環状道路を抱えているある自治体では設計期間40年で舗装の構造を設計し、表基層部の耐久性も15年間持つ（つまり大規模修繕は15年間実施しない）とする、長寿命舗装を検討している。

問題点は、良好な施工性と生産性を確保するために規制延長が500～700mと長くなること、交差点部の規制と施工方法に検討を要することなどがあるが種々の対応策が検討されている。

3.3 表・基層の機能の長寿命化

20年や40年の設計期間で舗装を設計する場合、理想的には表・基層の機能も長寿命でノーメンテナンスであることが望ましいが、一般的に見て現在の表・基層機能では相当に難しい。

図-2で、表・基層に熱硬化性樹脂バインダーを使用した場合のものを併記したが相当のコストアップになる。しかし、このケースでも20年間わだち掘れやひびわれが管理上の許容値内に留まりノーメンテに近いなら、ライフサイクルコストは相当のメリットが出る。

一方、表層の機能の長寿命化という点では、オーバーレイや切削オーバーレイに代替する選択肢として予防的維持修繕の取り組みへ視点を転換することも重要なになってきている。

例えば、本特集号「常温舗装技術」にも述べられているが、欧洲で多用されているマイクロサーフェイシング工法（常温型急硬性超薄層舗装工法）は、1車線幅を時間当たり最大1.2～1.5km程度まで施工可能であり、舗設開始から約1時間で交通開放できる。表層の機能保全と環境対応面で世界的に拡がってきていている工法である。

わが国においても技術導入され、数年前より既設路面の低騒音化などと合わせ各地で施工されているが、わが国の修繕工事の特色である、工事規模が小さい、規制延長が短かい等の諸規制のため、生産性の向上は難しく、コスト面でも本来の姿にほど遠い現状にある。

短時間開放が可能な点により注目し、延長700～1000mの移動規制が認められれば作業性、生産性とも相当に向上するものであり、関係方面的検討に期待している。

4. あとがき

路床構築をした場合、路盤も安定処理してあれば路盤以下は半永久構造物として使用できる可能性については、参考文献¹⁾をまとめた当時、数人の方より「路床を強化構築した初期の名神、東名高速道の修繕履歴実績（大半が表層の修繕しかしていない）から、ほぼ実証されていると考えてよいのではないか」との助言を得た。

筆者等もそのように考えていたが、全断面打換え工事の際に路床構築を実施するのは、交通規制と利用可能な作業スペースの面でかなりの技術力を要する実状を踏まえ、図-5のケースBのライフサイクルを設定した。参考文献¹⁾にはこの点を踏まえ、路床構築の設計施工のガイドライン的なまとめを付け、技術的に確実な設計と施工が確保されれば、このケースBはケースCのようなサイクルに転換することを示唆した。

また、同図の切削オーバーレイのサイクルが短か過ぎるとの指摘も何人かの方々から受けたが、重交通幹線ルートを想定したので、厳しい方の実態を利用したものである。

昨年12月の地球温暖化防止会議（京都）でCO₂等の削減目標が定められた。建設関係の中でも舗装は加熱製品を最も多用しており、その対応として機能を確保しながらの中温化、常温化および薄層化が重要キーワードである。

コスト縮減対応も含め、この方面的技術開発促進、施工時における生産性と品質性能確保等の点で、適正な工事規模、交通規制条件のあり方等の検討は極めて重要なになってきていると考える。

— 参考文献 —

- 1) 日本道路建設業協会、技術振興委員会、アスファルト舗装部会：重交通対応舗装（長寿命化舗装）の構造・施工に関する検討、道路建設、1995.1, pp.45-56
- 2) セメント協会：道路舗装のエネルギー消費量と経済性（コンクリート舗装とアスファルト舗装の比較に関する一試算）、セメントコンクリート、No.383, 1979.1, pp.33-47

「舗装の強化と維持に関する新技術」

アスファルト誌の40周年の特集が組まれていた関係で1年間休ませて頂きました。今回は、1995年9月にカナダで行われた第20回PIARCの国際道路会議のQuestion 4について報告いたします。

報告は、世界各32ヶ国の路面性状及び舗装構造の測定と評価に関するもの、ライフサイクルコスト分析に関するもの、補修計画のシステムに関するもの、

るもの、今までより耐久性や強度の期待できる舗装の新材料や新工法に関するもの、新しい契約方式についての内容等と多方面にわたっています。概要の紹介程度の内容となりましたが、各国の舗装への取り組みの現状がある程度把握できると思われます。

(研究グループ代表幹事：峰岸順一)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

* は班長 **は副班長

峰岸順一 東京都建設局道路管理部保全課

*阿部長門 東亜道路工業(株)技術研究所
飯田健一 鹿島道路(株)技術部
伊藤達也 ニチレキ(株)道路エンジニアリング部
岡藤博国 世紀東急工業(株)技術部
小笠幸雄 (株)道路保全技術センター
風林克也 日本道路(株)技術部技術開発課
小林正利 福田道路(株)技術研究所
**金井利浩 鹿島道路(株)技術研究所
北澤弘明 ニチレキ(株)情報システム部
黒田 智 日本鋪道(株)技術研究所
越健太郎 前田道路(株)技術研究所
小関裕二 大林道路(株)技術研究所
*佐々木巖 建設省土木研究所材料施工部化学研究室
佐藤雅規 世紀東急工業(株)技術研究所
清水浩昭 世紀東急工業(株)技術研究所
菅野伸一 常磐工業(株)技術研究所
*鈴木秀輔 大成ロテック(株)技術研究所
鈴木康豊 (株)パスコ道路技術センター
**関口英輔 日本大学理工学部阿部研究室助手

高田祥子 日本道路(株)技術本部技術研究所
谷口豊明 大林道路(株)技術研究所
谷口 聰 建設省土木研究所舗装研究室
立石大作 日本石油(株)中央技術研究所
手塚朗子 東亜道路工業(株)技術研究所
玉木琢磨 大成ロテック(株)技術部
浜田幸二 日本道路(株)技術本部技術研究所
早川洋子 (株)パスコ道路技術センター
林 信也 鹿島道路(株)技術研究所
**深沢邦彦 大成ロテック(株)技術研究所
藤谷 篤 昭和シェル石油(株)中央研究所
舟根 毅 常磐工業(株)技術研究所
牧田哲也 ニチレキ(株)技術研究所
*増山幸衛 世紀東急工業(株)技術部技術一課
水口浩明 前田道路(株)技術研究所
水野卓哉 福田道路(株)技術研究所
村田信之 日本鋪道(株)企画部
山脇宏成 (株)ガイアートクマガイ技術研究所
吉村啓之 前田道路(株)技術研究所

計39名

第20回PIARC国際道路会議

Question 4：舗装の強化と維持に関する新技術

(New Techniques for Pavement Strengthening and Maintenance)

小 関 裕 二*・早 川 洋 子**・村 田 信 之***

第20回PIARC国際道路会議「Question 4：舗装の強化と維持に関する新技術」の概要

本文は、世界道路協会 (World Road Association-PIARC) が1995年9月3～9日の1週間にわたり、カナダのモントリオール国際会議場で開催した第20回国際道路会議のQuestion 4について報告するものである。

この会議では、技術委員会およびWGのセッションのほか、大臣セッションを含む7つの特別セッションおよびQuestion 1～4のトピックセッションが開催された(表-1)。

Question 4は、舗装の強化と維持に関する新技術のうち、特に最近4年間に各国で導入した新技術、材料、施工および制度などをとりまとめたものであり、表-2に示す32ヶ国から報告書(National Report)が提出されている。各国の報告書は次の4テーマから構成されている。

テーマ1：舗装の調査と評価に関する新技術

テーマ2：舗装の強化と維持に関する新技術、材料、

施工(中重交通道路、軽交通道路)

テーマ3：技術革新を促進するための方策

テーマ4：舗装の強化と維持技術の今後

日本は、テーマ1に対して路面下空洞探査、テーマ2に対して半たわみ性舗装を用いたコンポジット舗装、

表-2 National Report提出国

西ヨーロッパ	イギリス、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、デンマーク、オランダ、ベルギー、ドイツ、フランス、スイス、オーストリア、イタリア、スペイン、ポルトガル
東ヨーロッパ	ポーランド、チェコ、スロバキア、ハンガリー、ルーマニア、クロアチア
ア ジ ア	日本、中国、マレーシア、スリランカ、イラン、サウジアラビア
ア メ リ カ	カナダ(ケベック州)、メキシコ、キューバ、アルゼンチン
そ の 他	オーストラリア、モロッコ

表-1 技術委員会およびWG、特別セッション、トピックセッション

技術委員会およびWG	
C 1：路面性状委員会	C 10：都市委員会
C 3：技術交流と開発委員会	C 11：道路橋委員会
C 4：都市間道路委員会	C 12：土工・排水・路床委員会
C 5：道路トンネル委員会	C 13：交通安全委員会
C 6：道路維持管理委員会	C 14：環境委員会
C 7：コンクリート舗装委員会	G 2：自然災害の防止WG
C 8：たわみ性舗装委員会	G 3：先進的交通運用管理WG
C 9：経済・財政委員会	G 4：大型貨物自動車問題WG
特別セッション	
1：交通安全に関する大臣セッション	5：アフリカの道路維持補修の管理と予算に関するセッション
2：主要都市に関するセッション	6：新しい交通問題に関するセッション
3：ラテンアメリカに関するセッション	7：戦略的計画に関するセッション
4：北米自由貿易協定に関するセッション	
トピックセッション	
Q 1：道路行政の実施管理	Q 3：道路工事における品質管理
Q 2：都市空間計画と交通	Q 4：舗装の強化と維持に関する新技術

*こせき ひろじ 大林道路㈱技術研究所

***むらた のぶゆき 日本舗道㈱技術開発部

**はやかわ ようこ ㈱バスコ道路技術センター

表-3 テーマ1：舗装の調査と評価に関する新技術

テーマ3、4に対応するものとして道路技術5箇年計画を報告している。なお、報告書は国によって、内容や頁数が大きく異なり、同じ項目が別のテーマで報告

されている場合もある。

日本を除く各国から報告された項目を分類し、テーマ別に一覧表にしたものが表-3～6である。ただし、

この表は、報告された項目について○印を付しており、必ずしも各国の取り組み有無を示すものではない。

以下、この表をもとに各国の報告書をテーマ別によりまとめ、その概要を報告する。

分類	種別	名	西ヨーロッパ	東ヨーロッパ	アジア	アメリカ	その他	モロッコ
評価指標	PSI (供用年数指標)	IFI (国際摩擦指標)						
評価指標	DR (Distress Rate)							
路面性状	GI (Global Overall Pavement Quality Index)		○					
評価指標	IPC (Index of the Pavement Condition)			○				
路面性状	PCI (Pavement Condition Index)				○			
評価指標	PQI (Pavement Quality Index)				○			
路面性状	PCR (Pavement Condition Rating)					○		
評価指標	RQI (Riding Quality Index)				○			
路面性状	わだち掘れ		○		○			
評価指標	すべり抵抗		○		○			
路面性状	ラフネス (IRIなど)		○		○			
評価指標	ひびわれ		○		○			
舗装構造	マクロテクスチャ		○		○			
方法	たわみ		○		○			
舗装構造	Ie (Structural Index)				○			
方法	SD (Structural Deduct)				○			
舗装構造	SSI (Structure Strength Index)				○			
その他	騒音			○				
その他	吸音係数				○			
ライフル	COMPAREシステム		○					
コスト分析	ASTO-システム (Asfalttippaallitystieden Tutkimusohjelma)		○					
運用シス	CPMSシステム (Chinese Pavement Management System)			○				
システム	データバンクシステム			○				
支援システム	IQRMシステム (Quality Image of the National Road Network)			○				
支援システム	HMMMSシステム (Highways Maintenance Management System)				○			
支援システム	BELMANシステム			○				
支援システム	SOSNシステム (The Pavement Condition Evaluation System)				○			
支援システム	PANDEFシステム				○			
支援システム	URMSシステム (Unsealed Road Management System)					○		
支援システム	ARCシステム (Pavement Surface Condition Evaluation)					○		
支援システム	PAVUEシステム				○			
支援システム	Fill and Millシステム				○			
支援システム	その他のシステム					○		
GPSを取り	ROADLOCシステム (Road Location)					○		
GPSを取り	ROCONDシステム (Road Condition)						○	○
GPSを取り	入ったシステム							○

表-4 テーマ2：舗装の補強と維持に関する新技術、材料、施工

表-5 テーマ3：技術革新を促進するための方策

分類	別種	名 称	西ヨーロッパ		東ヨーロッパ		アシシア		アメリカ		その他	
			イギリス	ノルウェー	オランダ	ベルギー	スコットランド	オーストリア	ラテンス	アイルランド	ポーランド	ブルガリア
研究開発支援策	官民による共同研究	○										
	技術革新奨励											
	新技术の評価制度						○					
	性能規定の優先					○						
契約方式	品質保証制度											
	ボーナス・ペナルティ方式	○										
	長期維持契約					○						
	入札手続き管理システム					○						
技術交流	国内での技術移転											
	SPRINT(欧洲の技術移転)プログラム	○										
	海外技術の導入	○										
	共同研究 BRUTE(欧洲の共同研究)プログラム	○					○					

表-6 テーマ4：舗装の強化と維持技術の今後

分類	別種	名 称	西ヨーロッパ		東ヨーロッパ		アシシア		アメリカ		その他	
			イギリス	ノルウェー	オランダ	ベルギー	スコットランド	オーストリア	ラテンス	アイルランド	ポーランド	ブルガリア
管理の合理化技術	地中深塗レーダー											
	地中深塗レーダー+サーモグラフィ											
	維持管理システム											
	供用性を考慮した仕様	○										
耐久性向上技術	光学的解析											
	イメージ解析											
	改質アスファルト											
	ベレット状アスペスト											
施工工法	急速舗用コンクリート混合物											
	リフレクションクラック対策											
	ホワイトピング											
	軽量工法											
機能付加技術	薄層舗装											
	ポーラスコンクリート											
	リサイクリング											
	常温リサイクリング											
再生技術	産業副産物の利用	○										
	排水生鍛錬の機能回復											
施工工法	舗装機械											
	高度化技術											

テーマ1：舗装の調査と評価に関する新技術

(New methods for pavement survey and assessment of the condition of a network or a section)

本テーマでは、各国が路面性状および舗装の耐久性に関する調査に用いている測定装置、評価指標やその基準値、解析や運用のために構築したシステムなど、舗装のマネジメントに関する事項が報告されている。以下に、①測定装置、②評価方法、③運用システムの3分類について、それぞれの概要をとりまとめる。

1. 測定装置

1.1 路面性状に関する測定装置

舗装の路面性状調査は様々な原理・方法で行われているが、新技術として報告されたなかでは、レーザによる計測技術を適用したものが多く見られる。また、目視調査においても、従来の調査表に記入する方法に代わって、ポータブルなデータ入力装置を開発するなどの自動化が図られている。ここでは、路面性状に関する測定装置のうち、レーザを用いる装置および目視調査のデータ入力装置について紹介する。

(1) RST (Road Surface Tester)

図-1に示すRSTは、走行速度90km/hでの計測が可能なスウェーデン製の路面性状測定車である。車両前面に搭載したレーザでプロファイルを測定し、車両後方に搭載したビデオカメラで舗装表面の破損状況を記録する。プロファイルやビデオ画像の解析により、ラフネス、わだち掘れ、テクスチャ、ひびわれのデータが収集される。

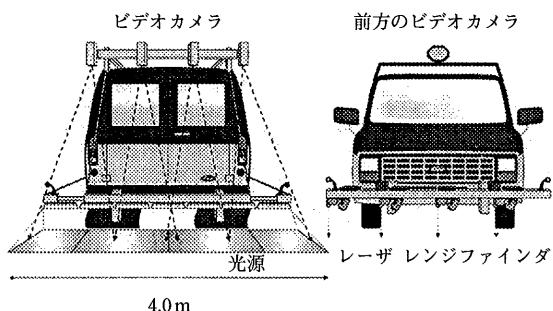


図-1 RST (スウェーデン)

サウジアラビアでもRSTが使用され、ラフネス、わだち掘れ、ひびわれのデータを収集している。また、ハンガリーでもラフネスの調査に使用されている。

ドイツは、RSTと他の測定装置から得られたデータとの関連性を分析し、RSTによって測定されたプロファイルが、HRM(High-speed Road Monitor), ARAN

(Automatic Road Analyzer), ARGUS (Automatic Road Condition Graduating Unit System)などの測定装置で計測されたものと比較して、特に長波長領域において高い相関があると報告している。

(2) レーザによるわだち掘れ測定装置

カナダ・ケベック州で報告しているレーザ計測技術を用いたわだち掘れ測定装置（図-2）は、65km/hで走行しながら10m間隔でわだち掘れを測定するものである。レーザによるデータと傾斜計による横断勾配の測定結果はリアルタイムに処理され、測定車内のコンピュータ画面にわだち掘れの形状が直ちにプロットされる。

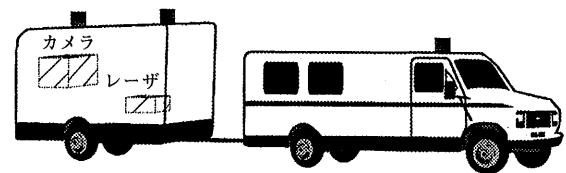


図-2 レーザによるわだち掘れ測定装置（カナダ）
トレーラ
重量: 988kg
高さ: 2.97m
長さ: 5.96m
幅: 1.93m
コンピュータおよび記録システムを搭載した車両

(3) Danish Profilograph

Danish Profilographは、デンマークで開発されたプロファイル測定車で、写真-1に示すように前方に25個のレーザ変位計を搭載し、これにより舗装の縦断およ



写真-1 Danish Profilograph (デンマーク)

より横断方向のプロファイルを測定するものである。測定されたプロファイルは、IRI（国際ラフネス指数）の算出に関して世界銀行が定めた基準を満足する。プロファイルの解析により、ラフネス、わだち掘れおよび舗装表面のテクスチャに関するデータが得られる。

(4) 目視調査のデータ入力装置

中国は、舗装破損の形態・程度・面積などのデータ収集のため、キーボードによる入力装置を開発した。これは、22種の舗装の破損データを300km分蓄積することができ、取得されたデータはPMSのデータベースへ転送される。

オーストラリアは、ペンによるデータ入力装置と音声により路面の破損状況を記録する装置を開発した。ペンによる入力装置は、位置情報が車両の距離計と連動し自動的に記録され、オペレータは路面の破損形態、補修作業の優先順位やコメントなどをペンを用いてスクリーン上に記入できる。また、音声による入力装置は、ラップトップコンピュータ、音声インターフェイス、ヘッドホンマイクなどからなり、車両の位置を自動的に記録する装置も備え付けられている。

両国とも、これらの装置を用い、作業の効率化、省力化、データ精度の向上という効果をあげている。

1.2 舗装構造に関する測定装置

舗装構造に関する測定装置として、舗装たわみと舗装厚の測定を行うものについて報告されている。ここでは、たわみ測定に用いるFWD (Falling Weight Deflectometer) とカービアメータ (Curviameter)，舗装厚の測定に用いる地中探査レーダについて紹介する。

(1) FWD

イギリスは、舗装強化に必要な舗装構成の評価や舗装各層毎の強度算定などを行うために、FWDを使用した舗装の構造評価を推奨している。FWDによる調査は、延長方向の測定間隔をたわみ性舗装で5~20m、コンポジット舗装で0.2~1mとしている。

デンマークは、舗装構造の調査結果が舗装管理計画における重要な情報として位置づけられており、自国製のFWDを空港舗装用の重荷重タイプ、トレーラあるいは商用バンに搭載するタイプなど、利用者の用途に応じて使い分けている。

この他に、12ヶ国でFWDについて報告されているが、そのほとんどが使用を開始した、もしくはベンケルマンビーム、ラクロア・デフレクトグラフなどのたわみ測定機からの移行を検討中という内容である。

(2) カービアメータ

ベルギーは、ネットワークレベルにおける舗装支持力評価を目的にラクロア・デフレクトグラフによるたわみ測定を20年以上にわたって実施してきたが、測定精度の向上のため、フランス製のカービアメータによる測定を計画している。この装置は、測定間隔5m、たわみ量の測定精度2/100mmで、1時間に3,000点のたわみを測定することができる。また、カービアメータを搭載したトラックをもとに、たわみ以外に路面破損データなども収集できる多機能な測定車も開発中である。

なお、カービアメータは、ポーランドとスペインでも使用されている。

(3) 地中探査レーダ

イギリスは、舗装構成やその厚さの非破壊測定のために、高速道路および国道での地中探査レーダの適用に関する指針を検討中である。このため、現場の詳細な調査を目的とした低速（2~10km/h）用および広域的な調査を目的とした高速（50~80km/h）用の装置で路上試験を行い、両装置とも、誤差範囲は層厚の10%程度であるという結果を得ている。

なお、デンマーク、イタリア、ポーランド、スペインでも、地中探査レーダを使用している。特に、デンマークではGPR (Ground Penetrating Radar) として商品化されており、その精度はコアによる測定との較差が5~8%以内であるとしている。図-3は、GPRの測定装置と解析結果の出力例である。

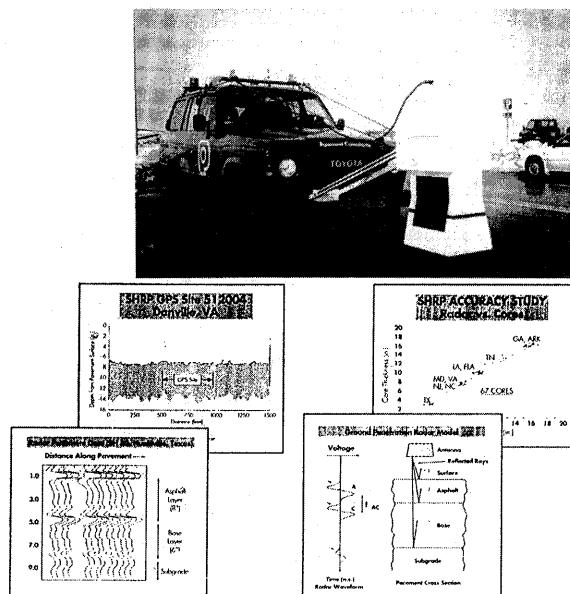


図-3 GPRとその解析結果出力例（デンマーク）

2. 評価方法

様々な測定装置を用いて測定されたデータは、それぞれの調査項目ごとに、またはいくつかの調査項目を組み合わせた総合指標として舗装の評価に使われ、補修計画の策定などに役立てられている。ここでは、各国で使用されている評価方法として各調査項目の基準値や総合指標について紹介する。

2.1 路面性状に関する評価

(1) 調査項目による評価

ポーランドは、IRI、わだち掘れ、摩擦係数について、表-7のように4段階の基準値を設定し、舗装状態のランク付けを行っている。

表-7 ポーランドにおける評価基準値

路面性状	評価	基 準 値
IRI (m/km)	A	<2.8
	B	2.8~4.4
	C	4.5~5.8
	D	>5.8
わだち掘れ (mm)	A	<10
	B	11~20
	C	21~30
	D	>30
摩擦係数	A	$0.35 < \mu$
	B	$0.25 < \mu \leq 0.35$
	C	$0.20 < \mu \leq 0.25$
	D	$\mu \leq 0.20$

キューバは、振り子式の摩擦測定装置(DIVA)による摩擦係数CFD (Coefficient Friction DIVA)で評価を行っている。CFDは式-1により算出する。

$$CFD = (\text{平均値}) / 100 \times K \times Tmb \dots \text{(式-1)}$$

平均値：同一区間の測定値3回の平均

K：測定装置の補正係数

Tmb：測定時の温度に対する補正係数

(2) 総合指標による評価

スロバキアは、目視調査結果に基づく舗装の評価として、IPC (Index of the Pavement Condition) を用いている。IPCは視覚的に破損が全くない状態を100として、破損のレベルと発生頻度の関数で表される指数である。算出された値は7段階に分類し、舗装状態が評価される。

スイスは、式-2で示される総合的な評価指標GI (Global Overall Pavement Quality Index) を舗装状態のランク付けや長期供用性の予測に利用している。

$$GI = 1/100 (20I_1 + 45I_2 + 35I_3) \dots \text{(式-2)}$$

I_1 はひびわれ、 I_2 は乗り心地あるいはラフネス、 I_3

はわだち掘れで、それを5段階に分類したランクに基づいて算出する評価値である。

中国は、次の3つの評価指標を使用している。

① PCI (Pavement Condition Index)

22種の舗装破損データによる舗装破損率の統計量によって計算される評価指標で、 $PCI = 0 \sim 100$ の範囲で表される。

② RQI (Riding Quality Index)

IRIによって計算される舗装のラフネスと快適性を表す評価指標で、 $PQI = 0 \sim 10$ の範囲で表される。

③ PQI (Pavement Quality Index)

舗装の供用性を評価する指標で、 $PQI = 0 \sim 100$ の範囲で表される。

2.2 舗装構造に関する評価

メキシコは、FWDによる垂直変位の解析結果から求める構造指標Ie (Structural Index) を6段階に分類し、構造評価を行っている。

中国は、現交通量における許容たわみと実測たわみの比で計算される指標である構造強度指數SSI (Structure Strength Index) で舗装の構造評価を行っている。

2.3 補修基準

フィンランドは、主な補修理由であるわだち掘れおよびラフネスについて、表-8、9に示す補修基準を用いている。わだち掘れは制限速度に応じて、IRIは道路のクラス別に基準が設定されている。

また、イランでは、アメリカAASHOにより定義されたPSI (Presents Serviceability Index) とは別のPSIで補修基準を定め、補修の優先順位付けと工法選定を行っている。

クロアチアは、IRI、ひびわれ、わだち掘れについてのランク付けと、それらに応じた補修工法およびその単価を交通量別に設定している。

表-8 わだち掘れによる補修基準 (フィンランド)

制限速度 (km/h)	わだち掘れ (mm)
60以下	21
70~80	18
100以上	15

表-9 ラフネスによる補修基準 (フィンランド)

道 路 ク ラ ス	I R I (mm/m)
中央分離帯のある幹線道路	3.0
幹 線 道 路	3.5
地 方 道	4.5
そ の 他	5.5

3. 運用システム

ここでは、運用システムとして、ライフサイクルコスト分析システム、補修計画の支援システム、さらに、GPS (Global Positioning System: 汎地球測位システム)を取り入れたシステムについて紹介する。

3.1 ライフサイクルコスト分析システム

イギリスは、ライフサイクルコストモデルCOMPAREを報告している。これは、新設および既設舗装を対象に、解析期間中の補修費用と利用者費用を考慮して長期シミュレーションを行うもので、必要な補修工法および時期、補修工事費、利用者費用、年ごとの舗装状況が示される。図-4は、片側2車線道路での平均的な交通量のアスファルト舗装を解析した結果である。これによると、たわみは構造的な補強を施したオーバーレイによってのみ改善され、わだち掘れは表面処理では改善されないとしている。なお、すべり抵抗は、図中の3つの補修工法いずれによっても改善されることが示されている。また、COMPAREは現在研究が進められている段階であるが、将来必要となるコストの評価と適正な便益の算定に有用であり、この他にも、新技术や新材料の便益の評価、補修戦略の策定などに活用できる。

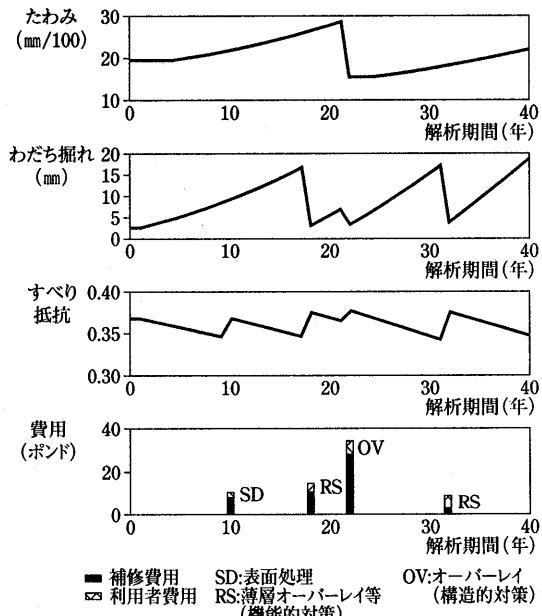


図-4 COMPAREによる解析例（イギリス）

中国は、ネットワークレベルでの解析例を報告している。図-5、6は、ある解析区間(区間延長10.1km)における10年間のRQIおよび利用者費用の推移を示す。

要求予算が100%満たされた場合と50%の場合の2ケースについて比較したものである。これによると、要求予算の50%の場合、解析期間10年の間に、2度の補修(1993年、1998年)を行う必要があり、その総補修費用は3.313百万元になる。一方、要求予算の100%の場合は、同様のRQIを得るには1994年に1度補修を行うだけでよく、その費用は3.233百万元である。また、補修の遅れは、RQIの低下を招き、その結果、利用者費用が高くなるとして、解析期間10年間におけるこの2ケースの利用者費用の較差は1.72百万元となる。

フィンランドは、道路の建設時および供用期間にわ

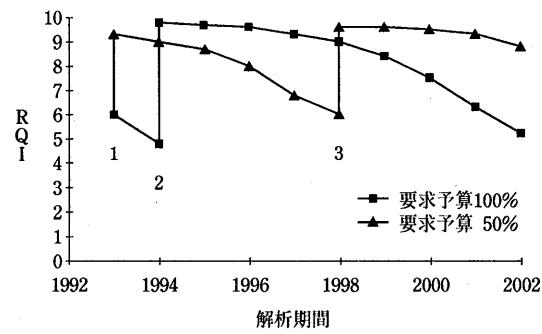


図-5 中国における解析例 (RQI)

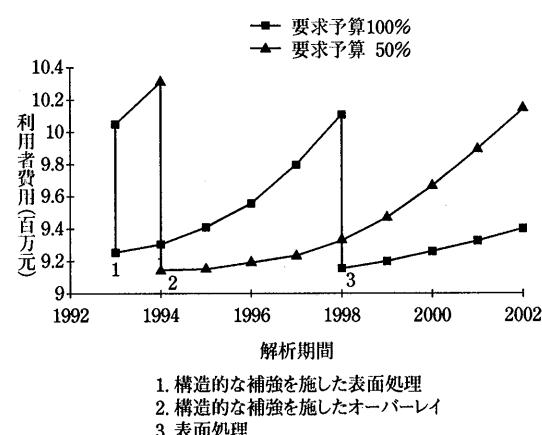


図-6 中国における解析例 (利用者費用)

たる道路管理費用が最小になるような年間補修費用算出のために、補修とライフサイクルの関係を考慮している。舗装のライフサイクルの計算は、図-7に示されるようなグラフが利用されている。このグラフは横軸が摩耗抵抗性に関する指標、縦軸が舗装寿命を示している。一般に舗装材料は、交通量に基づいて選択さ

れ、レベリングや表面処理といった補修工法の選択は、全体の舗装計画と費用の枠組みの中で行われている。

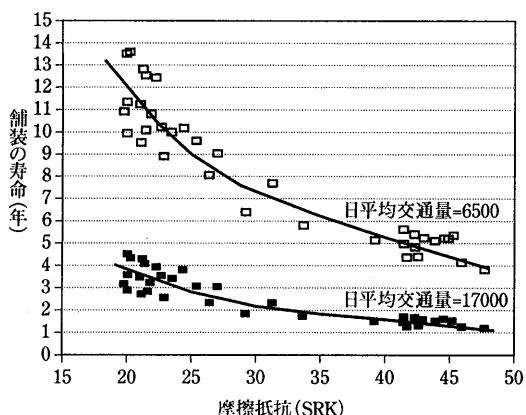


図-7 フィンランドにおける舗装の寿命曲線の例

3.2 補修計画の支援システム

ドイツは、ハイウェイ・ネットワークなどの広域道路網の管理において、座標値、路面状況データ、維持修繕記録などの正確な路線情報を管理するデータバンクシステムが必要であると報告している。この考え方に基づき、ドイツにおけるデータバンクは、路線をノード(区間)に分割し、100mごとの距離標で管理している。図-8は、このデータバンクによる路線評価の一例である。これは、舗装の評価ランクを4段階に分類し、着色したもので、これにより、舗装の局地的な評価が可能で、ネットワーク中で直ちに補修が必要な箇所が確認できる。アウトバーンや連邦道路における経済的なメンテナンスシステム構築にあたり、補修履歴、交通量、路面性状の経時変化などをデータベースに蓄積し、今後、補修箇所選定システムの構築を計画中である。

カナダ・ケベック州は、ある区間の舗装の破損原因
テーマ2：舗装の強化と維持に関する新技術、材料、施工

(New techniques, materials and methods for strengthening and maintenance)

本テーマでは、各国の舗装に関する様々な新材料や新工法が報告されている。以下に、①材料、②工法、③その他の3分類について記述が多い事項を選出し、その概要をとりまとめた。

1. 材 料

新技術として、常温および加熱アスファルト混合物、それらに使用するバインダ、舗装内部に敷設する特殊材料について紹介する。

を決定するARCシステムを報告している。このシステムは、舗装の破損のメカニズムを推測し、確率を用いて、舗装のどの層に問題があるかを決定するもので、補修計画立案支援システムに統合され、現在試験的に運用されている。

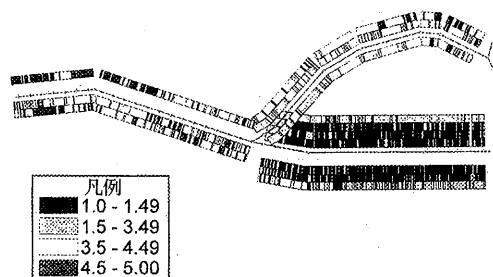


図-8 ドイツにおける舗装評価の例

3.3 GPSを取り入れたシステム

オーストラリアは、GPSを利用した2つのシステムを報告している。1つは道路を交差点や構造物などで分割するROADLOC (Road Location)，もう1つはROADLOCにより分割された区間の舗装状態を評価するROCOND (Road Condition) と呼ばれるシステムである。GPSにより、従来の1/3のコストで高速にデータを収集することができるようになり、測位精度も±10mに向上了。

ベルギーにおいて現在開発中であるカービアメータを搭載した測定車は、GPSによるナビゲーションシステムおよび舗装破損状況の目視調査結果を記録するキーボード入力装置を搭載している。GPSにより、縮尺1/10,000のデジタル地図上に測定車の通行位置を正確に示すことができる。さらに、地形や土壌のタイプなどとたわみ情報、目視調査による破損情報を関連づけることで、舗装の劣化の原因が舗装構造に起因するものか否かの識別が可能になる。

1.1 常温混合物

ここでは、常温施工される混合物について述べる。

(1) マイクロサーフェシング

マイクロサーフェシングは、マイクロアスファルト、マイクロカーペットなどの名前で報告されているものもあるが、アスファルト乳剤、セメント、骨材などの混合物を薄層施工する技術である。この技術は、摩耗の補修やすべり抵抗の改善を目的に行われることが多いが、フランスの都市部ではカラー化したものも行わ

れている。

クロアチアは、マイクロサーフェシングの使用材料、施工、調査結果を以下のように報告している。

① 使用材料

使用する骨材の粒度は、図-9に示すように最大粒径11.2mmである。使用する乳剤は鉱物学的に検討した特殊なものを使用し、気温が低い場合はセメント、気温が高い場合は乳化安定剤を加える。また、混合物の粘性が高い場合は水を加える。

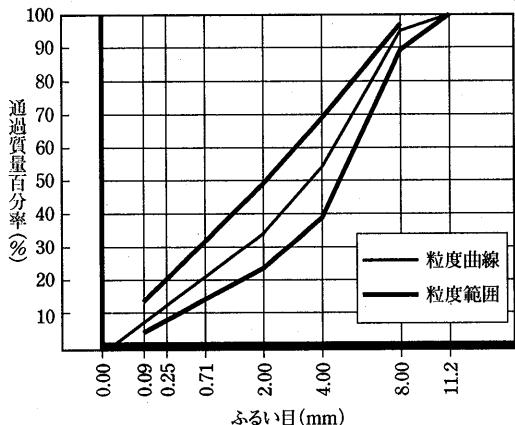


図-9 マイクロサーフェシング粒度曲線（クロアチア）

② 施工

混合物の製造、舗設は図-10に示す構造の装置で行われ、敷均し完了から交通開放までの時間は、気温30°Cの場合が20分、10°Cの場合が2時間程度である。

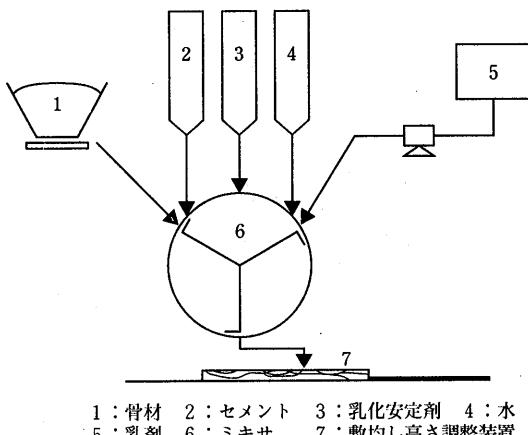


図-10 マイクロサーフェシング混合・敷均し装置（クロアチア）

③ 調査結果

地中海性気候の地域では、数年間の供用後も大きな損傷はないが、欧州大陸性気候の地域では若干の損傷が確認された。

(2) アスファルト乳剤セメント混合物

薄層で施工されるマイクロサーフェシングとは別に、アスファルト乳剤やアスファルト乳剤とセメントを併用した常温混合物も報告されている。しかし、その用途は各国で異なり、フランスは路盤材や中交通道路の基・表層材に、ドイツはコンクリート舗装の補修に、ノルウェーは軽交通の舗装補修に、ポルトガルは密粒・開粒タイプの混合物で使用している。さらに、イギリスは重交通道路の構造的な層として適用するための研究を行っている。

1.2 加熱アスファルト混合物

加熱アスファルト混合物の中では、ポーラスアスファルトやSMA（碎石マスチック）の報告が多い。また、高耐久性混合物として、高締固め混合物や大粒径混合物も報告されている。ここでは、ポーラスアスファルト混合物とSMAに関する報告の概要を紹介する。

(1) ポーラスアスファルト混合物

ポーラスアスファルトの記述が見られる国のほとんどは透水性や低騒音に期待しているというものである。その中で、フランスは27~30%の高空隙ポーラスアスファルトの研究や排水機能の回復に関する研究を行っており、イギリスは重交通道路で適用できる高耐久性ポーラスアスファルトの研究を行っている。

(2) SMA

ストーンマスチックアスファルトまたはスプリットマスチックアスファルトとしてSMAの報告も多い。クロアチアやチェコでは、SMAを高速道路や重交通道路の表層で適用することが多く、その評価として、高いたわみ性を有し、変形抵抗性、耐久性に優れていることを報告している。なお、スロバキアは、使用する骨材のすり減り抵抗性に高い基準値を設けている。

スウェーデンは、耐摩耗を目的に3種類のSMA (STABINOR, VIACOTOP, HABS) を使用している。その代表的な骨材粒度と仕様を図-11と表-10に示す。

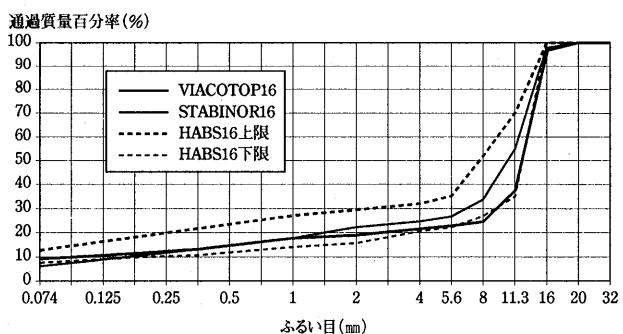


図-11 SMA粒度曲線（スウェーデン）

表-10 SMAの混合物データの例（スウェーデン）

混合物名	アスファルト ^①	アスファルト量 (質量%)	繊維	繊維量 (質量%)	空隙 (容積%)
HABS	B85	5.7~7.2 ^②	鉱物繊維/セルロース繊維	0.3~1.5 ^②	2.2~4.2
STABINOR	B85	約6.0	鉱物繊維	0.5	3.0~4.0
VIACOTOP	B85	6.7~7.0	セルロース繊維	0.3	3.0~4.0

^①B85: 25°C針入度70~100(1/10mm)のアスファルト^②繊維の種類による

ポーランドは表-11に示す様々な材料でSMAを製造している。また、耐流動性や凍結融解に対する抵抗性が優れていると報告している。図-12は凍結融解を繰り返した後の引張強度(5°C)の変化を3タイプのSMAと密粒度、開粒度アスコンと比較した結果を示しております。SMAは凍結融解後の引張強度の変化が少ない。

表-11 SMAに用いられる材料（ポーランド）

アスファルト	針入度45/60あるいは65/85
アスファルト量(%)	5.8~7.5
骨材	玄武岩、石灰岩、斑れい岩、銅スラグ砂など
改質材	ポリマーあるいはセルロース
粒径(mm)	0/4, 0/5, 0/6.3, 0/9.6, 0/12.8

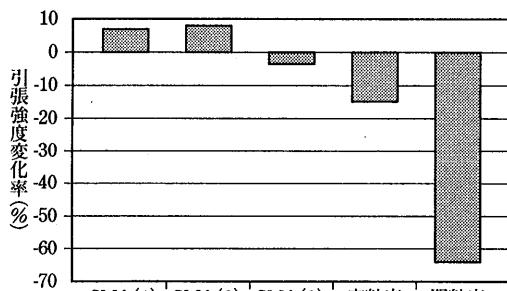


図-12 凍結融解後の引張強度の変化（ポーランド）

1.3 バインダ材料

各国の報告書には、改質アスファルト使用の記述が多く見られるが、キューバのように国産原油に関する記述など、その国独自の状況が見られる報告もある。

改質アスファルトを新技術として報告している国では、オーストラリアのように既に使用するための指針を作成した国もあれば、スイスのように試験施工の段階の国もある。その他の国における改質アスファルトに関する報告の概要を以下に紹介する。

カナダ・ケベック州は、古タイヤから作られた粒状ゴムを混合したゴム入りアスファルトを表層に使用している。これは、ストレートアスファルトとポリマー改質アスファルトの中間の特性および費用であり、耐わだち掘れやリサイクルの見地から優れている。

ルーマニアは、1992年から改質アスファルトを試験的に使用している。原アスファルトは、パラフィン分の無い針入度80/100または100/120、フラーク脆化点-20°C以下、アスファルテン分10~20%のものを使用している。改質材にSBSポリマーを使用する場合、表層には添加量6%で行う。

スロバキアは、SBSまたはEVAエラストマーによる改質が良好であると報告している。アスファルトはアスファルテン分に比べ、芳香族分の多いアスファルトが適しているとされ、この評価にはクロマトグラフィー分析が用いられている。

イギリスは、多くの工事で目的別に改質材の種類を変えて使用している。改質の目的および材料は、概ね表-12のとおりである。

表-12 改質材の目的と種類（イギリス）

目的	改質材の種類
レオロジー	ポリマー（熱硬化性、熱可塑性）
スティフネス	繊維、フィラー、TLA
はく離防止	消石灰、セメント、アミン類

1.4 特殊材料

舗装に適用する材料として、骨材やバインダ以外の材料も報告されている。特に、リフレクションクラックの抑制を目的としたジオテキスタイルの使用に関する報告が多い。また、ベルギーやフランスは耐流動対策にスチール製の材料を舗装内に敷設しており、ポルトガルはすべり抵抗の増加を目的にアスペストを混合物に混入している。ここでは、適用事例が多いジオテキスタイルについて、その概要を紹介する。

オーストラリアは、路床の乾燥収縮によるクラックを抑制するために、ジオテキスタイルを適用している。クラックが発生した表層には、ポリマー改質アスファルト乳剤とグラスファイバーを同時に散布するスプレーバーを使用している。このほか、繊維と改質アスファルト乳剤を同時に散布し、施工する機械はベルギーでも使用されている。

一方、ルーマニアでは、人力施工でジオテキスタイル

ルの敷設を行っているが、ひびわれた既設路面にこれを適用し、良好な結果を得ていると報告している。ジオテキスタイルは、良好な結果だけでなく、オーストラリアのように既設コンクリート版上に適用した事例を紹介し、リフレクションクラックを防ぐことはできなかつたことを報告している国もある。

また、イランは、北部地方で広く生産されている黄麻布にアスファルトを含浸し、既設舗装の修繕に使用するといった独自の技術を報告している。

2. 工法

2.1 表面処理工法

スラリーシール、スプレーシール、チップシール、サーフェスコート、シールコートなどは、全てアスファルトやアスファルト乳剤を使用した表面処理工法であり、多くの国が新技術として報告している。

これらは軽交通道路だけでなく、重交通道路でも行われ、その目的は未舗装道路やひびわれた路面における骨材の飛散防止と雨水からの保護、車両走行騒音の低減とすべり抵抗の回復である。

工法は国によって異なり、たとえば、ハンガリーは、重交通道路はエラストマー改質乳剤や2層コートの中間にグラスファイバーメッシュを入れることにより強度を増加させる方法や改質アスファルトの散布後にチッピングする方法を行っている。また、ルーマニアは、サーフェスドレッシングと同様の工法である乳剤を用いたマカダム浸透工法を行っている。

特に、スリランカは、サーフェスドレッシングとして、以下に示す3工法について詳細に報告している。

- ① 未舗装道路にカットバックアスファルトと砂を散布する工法
- ② 軽交通道路にアスファルト乳剤と1層目が最大粒径19mm、2層目が9.5mmの骨材を散布し仕上げるダブルサーフェスドレッシング工法
- ③ 老朽化が進んだ道路にアスファルト乳剤とセメントを混合した10mm厚のスラリーシールを行う工法

一方、マレーシアのように試験的に適用しているが、費用対効果の結論が出ていないと報告する国もある。

2.2 再生工法

リミックス、リペーブなどの工法やセメントを用いた路上再生工法が報告されている。

(1) アスファルト舗装の再生工法

乳剤を用いたコールドリサイクリングを含め、再生工法が報告されている。チェコは、切削オーバーレイ

に代わる新しい技術としてリミックスをあげている。また、マレーシアは、環境保護の観点からリペーブ工法をあげているが、設計や品質管理の問題が解決していないと報告している。イギリスは、どちらの工法も修繕工事に適用している。

常温での再生工法として、ひびわれが発生した舗装を常温で破碎し、改質乳剤と混合後、舗設するコールドリサイクリングが多くの国で報告されている。また、フォームドアスファルトによる再生工法も報告されている。

スイスは乳剤による現場常温再生工法の利点として、コスト面の優位性、材料資源（骨材、バインダ）の節約、エネルギー（生産、輸送）の節約、環境（汚染、騒音）への悪影響の低減、交通開放時間の短縮をあげている。

(2) セメント材料による再生工法

路上再生または現場発生材にセメントを混合する技術も報告されている。

オーストラリアでは、路上再生路盤工法の費用が、通常の補修工事に比べ、安価であることから適用されている。

オーストリアでは約300kmのコンクリート舗装が施工後33年以上経過しており、これらの舗装の修繕に再生工法が行われている。古い舗装版は、上面のアスファルト舗装とともに破碎、撤去後、分級、洗浄し、セメント安定処理路盤の骨材として再生使用される。また、その一部はアスファルト中間層およびコンクリート舗装の骨材として再生される。この再生工法で、表層は最大粒径8mmの天然材料を使用した厚さ30~40mmの骨材露出コンクリート舗装が施工され、修繕費用の低減、すべり抵抗の改善、騒音低減効果を得られるとしている（図-13）。

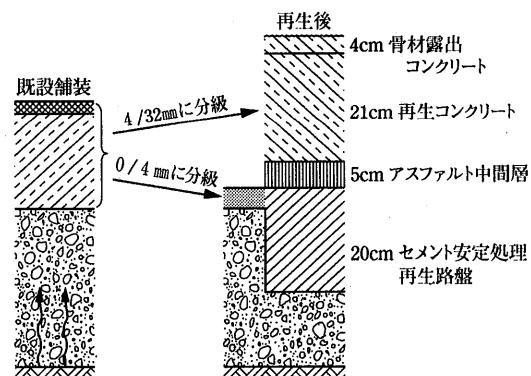


図-13 再生工法（オーストリア）

また、スペインは、セメント路上再生について、表-13に示す短所と長所を報告している。

表-13 セメント路上再生の短所と長所（スペイン）

短 所	費用面から広い施工面積が必要 締固めが困難 リフレクションクラックの可能性
長 所	一定の処理厚および混合が可能 勾配の維持が可能 車線毎の施工が可能 材料処分が少ない

2.3 特殊工法

各国が様々な工法を報告しているが、中でも薄層アスファルト舗装または薄層アスファルトオーバーレイが多い。また、プレクラッキングやマイクロクラッキングのようにリフレクションクラックを工法面から抑制する技術や路内排水の改善工法、さらに長寿命の観点からコンポジット舗装を報告する国もある。

(1) 薄層アスファルト舗装

アスファルト混合物を厚さ25mm程度の薄層で施工する事例が報告されている。厚さの表記は、表-14に示すように各国で異なる。

表-14 各国の薄層舗装の厚さの表記

国 名	厚さ (mm)
イタリア	10~20
フランス	15~20
スペイン	15~25
スロバキア	15~30
ハンガリー	15~33
イギリス	20
カナダ	25

薄層に施工することによって、既設舗装表面を交通、気候などから保護できることやギャップ粒度にすることで、高い供用性（安定性、安全性、快適性）を有し、さらに安価であると報告されている。

混合物は一般的な方法で製造、舗設を行うと報告している国もあるが、フランスは、薄層アスファルトコンクリート(UTBC: Ultra-thin Bituminous Concrete)専用の舗設機械を用いる。また、フランスの都市部ではポーラスなテクスチャにより低騒音を目的に行うこともある。

(2) プレクラッキング工法

フランスで行われているプレクラッキング工法は、水硬性固化材により安定処理された層を硬化前に2~3m間隔の目地または溝を設ける方法で、予期できない

リフレクションクラックを抑制するものである。

(3) マイクロクラッキング工法

ポーランドで行われているマイクロクラッキング工法は、既設コンクリート版を破碎後、転圧し、その上にアスファルトオーバーレイを行うもので、リフレクションクラックを抑制するものである。

2.4 セメント系舗装

セメント系の舗装に関しては、コンクリートオーバーレイ、骨材露出コンクリートなどの技術が報告されているが、ここではコンクリートオーバーレイに関する報告について簡単に紹介する。

コンクリートによる補修の中で、主にデンマークとイギリスによって行われているプロジェクトでは、アスファルト舗装やコンクリート舗装の補修用セメント系オーバーレイ材の開発を行っている。一方、オランダは、コンクリートによるオーバーレイを100~160mmで行う施工標準を決定するための調査を行っており、ルーマニアは、既設のコンクリート舗装やアスファルト舗装を強化することを目的に160~200mm厚のコンクリートのオーバーレイを行っている。

3. その他

材料、工法以外にも配合設計手法などに関する報告も見られる。以下にその一部を紹介する。

3.1 配合設計手法

アスファルト混合物の配合設計に関して、以下のようないい報告が見られる。

オーストラリアは、配合設計に使用することを目的にジャイレトリーコンパクタGYROPACおよび写真-2に示すMATTA (Materials Test Apparatus) という装置（繰返し間接引張試験とクリープ試験が可能なノッティングガムテスタと同じ原理の非破壊試験機）を開発した。配合設計は図-14に示す3つの交通量レベル

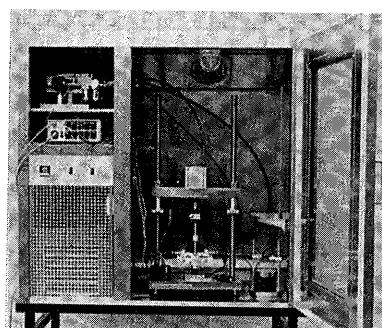


写真-2 MATTA (オーストラリア)

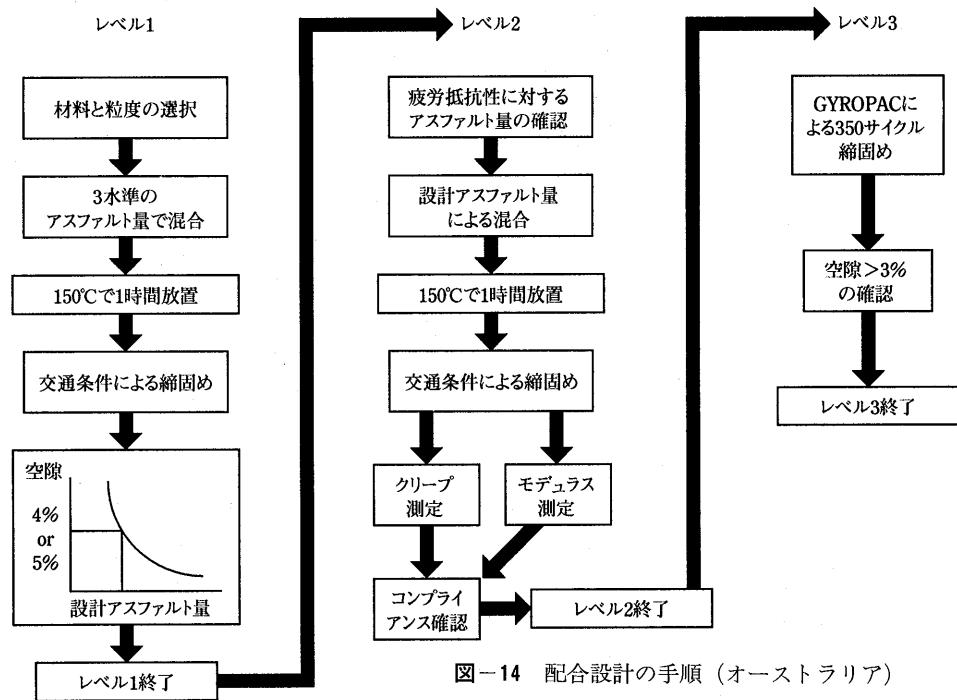


図-14 配合設計の手順（オーストラリア）

ルに分かれており、交通量が多くなるほどレベルがあり、試験項目が増えるようになっている。

フィンランドでは配合設計に、経験的な手法とジャイレトリーコンパクタを用いた締固めによる容積法の2手法を適用している。

オランダは、マーシャルハンマーからジャイレトリーコンパクタを用いて混合物を締固めるようになったと報告している。

また、イギリスでは、経済性の改善と設計の合理化を目的に混合物と供用性の関係を明確にする研究が進められており、ノッティンガムテストが混合物を評価する装置に適していると報告している。

3.2 補修構造設計手法

既設舗装の補修を行う場合の手順について、その概

テーマ3：技術革新を促進させるための方策

(Measures taken for facilitating progress and innovation)

本テーマは、政策立案者に対する事項が報告されている。以下に、各の方策を①研究開発の支援制度、②契約制度、③技術交流の3分類について、それぞれの概要をとりまとめる。

1. 研究開発の支援制度

技術革新の促進を目的として、公的な資金援助、官民による共同研究、新技術の評価制度および性能規定など、国による研究開発の支援策が報告されている。

要を簡単に紹介する。

オーストラリアは、オーバーレイの設計手法として、FWDとベンケルマンビームのたわみから解析する手法を開発している。

オーストリアは、補修断面の設計に、以下の①～③の手法を適用しているが、③の重要性を強調している。

- ①比較手法：残存等値換算厚を用いる。
- ②たわみ手法：FWDたわみ量から舗装厚を決定する。
- ③解析手法：室内試験およびFWD試験結果を用い、疲労解析する。

サウジアラビアは、わだち掘れに対して、既設アスファルト混合物の空隙、安定度を測定し、切削深さを決定している。

進に効果があり、今後は補修技術に絞った支援プログラムの導入も検討している。

1.2 官民による共同研究

イギリスは、国と民間企業で組織する共同研究プロジェクトの1つであるBITUTESTプログラムを報告している。このプログラムは、ノッティンガム大学主導の下、国と7企業がホットロールドアスファルトの広範なフィールド試験をはじめ、アスファルト混合物の適正化、瀝青材料の試験方法および配合設計の改善に関する共同研究を実施している。

1.3 新技術の評価制度

(1) 技術革新憲章

フランスは、道路審議会と業界団体の間で締結した道路技術革新憲章を報告している。この憲章は、技術革新の奨励と周知を目的としたもので、試験あるいは使用の実績が少なく、技術評価や標準化がなされていない新材料、工法、機械に適用される。また憲章には、費用、実施・評価方法、リスク負担、情報交換、秘密保持および結果の伝達方法などが規定されている。

憲章運営委員会は、提案された技術を審査し、試験の実施可否を決定する。試験には以下に示す4段階があり、それぞれの試験は実施方法や評価条件などを定めた契約書を締結後、実施に移される。

① 将来予測試験

革新的なアイデアを確認する小規模な試験。

② 研究検証試験

室内研究で得た成果を検証する限定規模の試験。

③ 技術的実証試験

前段階②で良好な結果を得た提案技術を技術面から確認するフルスケール試験。

④ 経済性実証試験

提案技術の経済性を確認するフルスケール試験。

これまでに50件を超える試験が行われ、その結果に基づいて提案技術の評価と認定がなされている。

(2) 民間開発技術の評価制度

ドイツでも民間企業が開発した新材料、工法、設計手法などに対し、公的機関が試験施工により安全性、メリット、経済効果などを評価する制度がある。この制度において、評価を受けた新技術を採用したときのリスクは、発注者と施工業者が分担する。

1.4 性能規定の優先

デンマークは、材料の特性値などを具体的に規定する仕様規定が新技術導入の障壁になっていることから、要求される性能を規定する性能規定を優先している。

これにより、工事に適用される技術、材料などの選択における自由度が増すというメリットがある。しかし、一方では、要求を満足していることをどのような手段で検証するかという性能規定の運用に課題がある。

2. 契約制度

新技術の採用による維持管理の低減を目的として、新たな契約方式が報告されている。

2.1 供用性を加味した契約

(1) 品質保証制度

発注者が提示する舗装状態や交通量などの条件に対し、施工業者が効果的な技術の提案と品質保証を行う品質保証制度がカナダ・ケベック州から報告されている。この制度が1992年に試行されて以来、提案技術の導入による舗装の長寿命化が図られている。現在、本格的な制度導入と提案技術の標準化が進められている。

(2) ボーナス・ペナルティ方式

ノルウェーは、スパイクタイヤによる舗装の摩耗が激しいため、その対応策として導入したボーナス・ペナルティ方式の契約を報告している。この契約では、施工業者が耐摩耗技術を機能に見合った適正価格で提案することができる。一方、発注者は提案技術の耐摩耗性について評価を行い、その結果に応じてボーナスまたはペナルティを決定する。

2.2 長期維持契約

デンマークは、1995年から本格導入した長期維持契約制度を報告している。この契約は、路盤から表層までの維持修繕工事を対象としたもので、契約期間は4年間である。混合物などの単価は、物価に基づき毎年調整される。維持管理の低減に効果があるとしているが、リサイクリング工事が対象外であること、契約期間が長いため新規参入が難しいことなどを検討課題として挙げている。

2.3 入札手続き管理システム

舗装工事の入札告知から契約までの手続きに加え、工事の検査にも使用できる入札管理システムが、デンマークから報告されている。このシステムは、舗装管理システムと互換性をもち、補修工事の計画や入札書類の作成が可能である。地方自治体の入札手続きを簡素化できることから、近隣自治体との共同使用が進められている。

3. 技術交流

技術交流の重要性が広く認識されてきており、国内

外における技術移転や多国籍共同体による共同研究が報告されている。

3.1 国内での技術移転

国を中心とした国内での技術移転について、発展途上国から報告されている。

キューバは国および地方自治体レベルで技術フォーラムを開催することにより、技術の普及、地方材料の活用、環境保全、コスト縮減などに効果をあげている。

また、マレーシアは公共事業研究所を設立し、研究業務に着手するとともに、セミナー、フォーラムなどの開催を通じて技術の向上を目指している。

3.2 海外への技術移転

(1) SPRINTプログラム

欧州のSPRINT (Specific Program for Innovation and Technology Transfer) プログラムが、イギリスから報告されている。このプログラムは、道路建設に関するトピックをとりまとめ、これを各地で開催されるワークショップで紹介していくものである。ワークショップは各国の製品の展示や紹介の機会でもあり、機械や工法のデモが行われることもある。海外への技術移転において、ワークショップの果たす役割は大きいとしている。

(2) 技術導入

SMAなどの海外技術の導入について、イギリスから報告されている。SMAはドイツで開発され、その優れた供用性によって多くの国で採用されている。イギリスでもSMAの試験舗装が実施され、注目すべきポテンシャルをもつことが確認された。この結果を受け、普及展開に向けてSMAの紹介と推奨が現在行われている。

この他、チェコやハンガリーでは、海外企業とのジ
テーマ4：舗装の強化と維持技術の今後

(The future of maintenance and strengthening techniques)

本テーマでは、各国が期待をかける次世代技術が報告されている。以下に、その次世代技術を①管理の合理化、②耐久性の向上、③機能の付加、④リサイクリング、⑤施工の合理化の5分類について、それぞれの概要をとりまとめる。

1. 管理の合理化技術

維持管理の低減に有効な管理の合理化技術として、非破壊調査手法、維持管理システムおよび供用性を考慮した仕様が報告されている。

1.1 非破壊調査手法

ヨーロッパにより新技術がもたらされ、自国に合うよう改良を加えている。

3.3 多国籍共同体による共同研究

欧州の多国籍共同体によって進められているBRITE (Basic Research in Industrial Technology for Europe) プログラムが、以下のとおり報告されている。

(1) NEWPAVEプロジェクト

デンマークおよびイギリスの多国籍共同体が研究を進めるNEWPAVEプロジェクトは、たわみ性舗装の強化あるいはコンクリート舗装の補修に使用できるセメント系オーバーレイ材料を開発することを目的としている。研究開発費の半分はBRITEが負担し、残りを複数の共同体メンバーが負担している。

(2) ECOPAVEプロジェクト

デンマークとイギリスの多国籍共同体による共同研究として、ECOPAVE (Economic Pavement) プロジェクトも報告されている。この共同研究は、高強度コンクリート層の上にアスファルト系の表層を施すコンポジット舗装に関するもので、コンクリート層の敷きならしをアスファルトフィニッシュで行い、ジョイントを機械的なプレクラッキングで置き換えることを特徴としている。研究開発費の負担はNEWPAVEと同様である。

(3) ポーラスコンクリートのプロジェクト

スペインおよびオランダの多国籍共同体によるポーラスコンクリートの共同研究が、スペインから報告されている。スペインは示方配合を担当するほか、ポーラスコンクリートに関する新しいせん断試験やカンタブロ試験などの試験方法についてもオランダと共同研究している。

(1) 地中探査レーダ

レーダ波を用いて舗装の構造や状態を非破壊で調査する地中探査レーダが、ベルギーから報告されている。地中探査レーダの調査項目は次のとおりである。

- ①舗装構造：地下水位、舗装の層厚、材料の確認
- ②舗装状態：補修履歴、クラック、空洞の確認
- ③工事検査：舗設量、仕様との一致

地中探査レーダによる調査は、計測が速く非破壊であるため、交通の妨げや舗装へのダメージがないことから、メリットの大きな調査技術として期待されている。

(2) 地中探査レーダとサーモグラフィ

カナダ・ケベック州は、地中探査レーダとサーモグラフィを組み合わせた調査システムを報告している。このシステムは、迅速なデータ収集と処理が可能で、破損箇所をリアルタイムで認識し、自動的に描画することもできる。さらに、舗装の評価や補修計画に適用できるだけでなく、舗設機械への応用も可能である。今後はデータ解析の高度化と精度向上を目指した開発を進めるとしている。

1.2 維持管理システム

維持管理システムについては、レベルの差はあるものの、数多くの国から報告されている。いずれの国も、限られた財源を道路の補修に効果的に配分するため、様々なツールやシステムの開発を進めている。

たとえば、中国では道路データベース、地理情報システムGIS (Geographical Information System)、舗装マネジメントシステムおよび投資解析システムに重点をおき、自国に最適なシステム構築に取り組んでいる。全体システムは構築途上ではあるが、地方部でも一部運用されつつある。

また、ノルウェーやフランスでは、補修費用を厳しく管理していくため、最適補修工法の選定システムや監視システムの開発が必要としている。

1.3 供用性を考慮した仕様

供用性を考慮した仕様に関する取り組みが、オーストラリアから報告されている。研究開発段階ではあるが、繰返し3軸試験を用いて、舗装の供用性を考慮した舗装材料のランク付けを行っている。既存材料だけでなく、コンクリート廃材を混入した再生材料といった規格化されていない新材料についても検討しており、この仕様の有効性が確認されたとしている。

2. 耐久性の向上技術

道路利用者の利便性確保やコスト縮減を背景として、舗装の補修頻度の低減に有効な耐久性の向上技術が報告されている。

2.1 試験・解析方法

(1) 光学的解析

光学顕微鏡を用いた岩石学的試験がベルギーから紹介されている。この試験はコンクリートの品質管理とコンクリート構造物の損傷診断に適用される。品質管理や損傷診断の精度を向上することができ、補修計画に有益な指標が得られる。

また、光学顕微鏡を用いたアスファルト混合物の光

学的解析がデンマークから報告されている。この技術は、アスファルト混合物の空隙やクラック、アスファルトのマトリックスなどの解析に用いられる。アスファルト混合物の配合設計や品質管理に利用でき、既設舗装の評価や供用性の予測にも応用できるとしている。

(2) イメージ解析

アスファルト混合物の空隙構造を解析するイメージ解析技術が、デンマークから報告されている。従来技術は空隙率という比率の決定に限られていたが、この解析技術を用いることで、耐久性に影響を及ぼす空隙のサイズや形状を把握できる。

2.2 舗装材料

(1) 改質アスファルト

イスイスは、わだち掘れと温度クラックの解決策として、ポリマー改質アスファルトの導入を試みており、高速道路で実施した大規模な試験施工とその試験結果について報告している。試験結果から、改質アスファルトはコスト増に見合った明確な効果が得られなかつた。しかし、一連の試験は研究の促進、新材料の評価や標準化などの面で、関係者に大きなインパクトを与えることになったと報告している。

また、メキシコやルーマニアからは、補修頻度の減少を目的として、改質アスファルトの摩耗層への適用や改質アスファルト乳剤を用いた表面処理工法の取り組みなどが報告されている。

(2) ペレット状アスベスト

カナダ・ケベック州は、アスファルト混合物を改質するアスベスト纖維の飛散を防止できるペレット状アスベストについて報告している。ペレットは直径10mmで、表面を水溶性コーティング材で被覆している。安全性を高めるだけでなく、添加量管理が容易で、混合物への分散性も良い。製造技術は実用段階にあり、今後は製品の試用によって効果を検証していくとしている。

(3) 急速補修用コンクリート混合物

ベルギーは、コンクリート舗装の比率が高いため、その緊急補修も少なくない。一方、道路利用者への支障を低減するため、交通規制が24時間に制限されている道路も多いことから、急速補修用のコンクリート混合物が開発されている。

2.3 舗装工法

(1) リフレクションクラック対策

インターフェイスシステムと呼ばれるリフレクションクラック対策がベルギーから報告されている。この

対策は以下のとおり分類される。

- ① 改質アスファルトと単粒度碎石の組み合わせ
- ② 数mm厚の不織布（ポリエステル等）とストレートアスファルト、改質アスファルトの組み合わせ
- ③ ジオグリッド（ポリエステル、グラスファイバー等）
- ④ 織布（ガラスまたはポリエステル糸）
- ⑤ メタルグリッド

試験結果から、軽交通には改質アスファルトを含浸させた不織布が有効で、中重交通にはメタルグリッドの効果が高いとしている。今後の課題として、適切な敷設方法の確立を挙げている。

(2) ホワイトトッピング

支持力の低下したアスファルト舗装上にコンクリートオーバーレイを施すホワイトトッピングが、メキシコから報告されている。この工法は、供用寿命の長期化を可能とするものとして期待されているが、交通規制期間の長いことが普及上の課題とされている。

(3) 軽量工法

オランダは、路床の支持力不足が大きな課題であり、その解決策として発展させてきた発泡コンクリートや発泡スチロールを用いた路盤工法などの軽量工法を報告している。これらの工法については、今後も設計法や標準施工法の開発、吸水状況や挙動についての追跡調査を続けていくとしている。

3. 機能の付加技術

道路利用者の安全性や快適性に対する要求が増しており、これらに対応した機能の付加技術が報告されている。

3.1 薄層舗装

フランスでは、表層を機能層として舗装構造から分離することが考えられている。特に、安全性や快適性に加えコスト縮減の観点から、アスファルト系の薄層舗装が報告されており、すべり抵抗性の高いギャップ粒度の薄層舗装や小粒径（0／6 mm）の薄層低騒音舗装などの進展と普及が期待されている。また、環境に優しく費用効果の高い常温薄層舗装の開発にも取り組むとしている。

チェコでは、サービス水準の維持を目的として、15～30 mm厚の加熱混合物などアスファルト系の薄層舗装を次世代技術と位置づけている。

3.2 ポーラスコンクリート

欧州のBRITEプログラムの1つであるポーラスコン

クリートの共同研究が、スペインから報告されている。試験施工では、転圧コンクリートをベースとした配合のポーラスコンクリートが、5 cm厚の表層として施工された。アスファルトフィニッシュを敷きならしに使用することにより、高締固めと均一な仕上がり面が得られ、施工の簡便化も可能としている。また、表層として十分な強度をもち、騒音レベルもスペインで通常用いられるアスファルト混合物に比べ4 dB (A) 程度低いとの結果が得られている。検討課題として、下層のコンクリートとポーラスコンクリートの接着技術の確立を挙げている。

4. リサイクリング技術

環境保全の観点から重要度が増している常温リサイクリング技術、産業副産物利用技術が報告されている。

4.1 常温リサイクリング

常温リサイクリングについては、環境上の理由から多くの国が強い関心と前向きな取り組みを示している。

デンマークは、アスファルト再生骨材にアスファルト乳剤を添加する常温リサイクリングを報告しているが、その普及には課題も多いとしている。デンマークはアスファルトプラント間の距離が短く、リミックスなど加熱路上再生工法が年間50万m³も施工されているため、常温リサイクリングの適用は限られた範囲にとどまっている。また、常温によるコスト差は20%以下で、加熱混合物との品質格差を補うものではないとしている。

一方、常温路上再生工法がメキシコとポルトガルから報告されている。メキシコではフォームドアスファルトとセメント、ポルトガルではカチオン系乳剤とセメントがバインダとして使用されている。この工法はコスト縮減にも貢献し、ポルトガルは仕様書への掲載を検討している。

4.2 産業副産物の利用

産業副産物の舗装への利用がイギリス、フランス、オランダなどで検討されている。

イギリスの場合、現場試験を含む2年間の研究を計画している。この研究で経済性や環境に与える影響についての試算、供用性や作業性などの評価を行い、設計基準との適合性について検討を行う予定としている。

5. 施工の高度化技術

今後の進展が期待される施工の高度化技術について、いくつかの国から報告されている。

5.1 ポーラスアスファルトの機能回復

ポーラスアスファルトの機能回復について、スペインから報告されている。機能低下に対する解決策として、自走式車両の後部に洗浄、吸引装置をもつ機械が開発されている。この機械は吸引した汚水をフィルターで濾過して再使用でき、作業幅員は最大2.5mである。開発機械を用いた洗浄により、効果的な機能回復が可能としている。しかし、機能低下が舗装の供用条件によって異なるため、洗浄頻度などの標準化はなされていない。今後の課題として、時間経過に伴う機能低下を理論的に解明する必要性を指摘している。

5.2 舗装機械

フランスでは、補修技術の開発に伴い、乳剤散布装置を組込んだアスファルトフィニッシャ、超音波やレーザ技術を用いた舗装機械の自動制御システム、ビデオカメラを用いた作業監視システムなどが生み出されている。特殊機械の開発はしばらく続くものと予測しており、特にハイテク技術を駆使したロボット化が進展し、品質向上や作業環境の改善に役立つ新型機械が、数年で開発されるであろうと報告している。

また、イタリアやオランダは、たとえばスリップフォーム機械のコンパクト化といった作業効率の改善を目的とした開発、あるいは作業員の健康保全を目的とした開発に取り組んでいると報告している。

Question 4のまとめ

本文では、第20回国際道路会議のQuestion 4「舗装の強化と維持に関する新技術」に提出された各国報告書を4つのテーマ別にとりまとめ、概要を紹介した。テーマ別のまとめは以下のとおりである。

テーマ1 「舗装の調査と評価に関する新技術」では、路面性状や舗装構造の測定装置、評価方法や運用システムについて述べられ、リアルタイムなデータ処理、専門知識を必要としないユーザーインターフェイスを強調する記述が多く、パソコンの普及などの背景がうかがえる。また、新たな傾向として舗装評価と地理情報システムGISの結合にもふれられている。GISにより、舗装に関する様々な情報を載せた地図の描画や情報とリンクさせた解析を容易にできれば、舗装マネジメントへのさらなる応用も期待できる。

テーマ2 「舗装の強化と維持に関する新技術、材料、施工」では、特にコスト縮減のための表面処理や薄層オーバーレイについて報告している国が多い。また、ポーラスアスファルトやSMAの使用について報告している国も多く、機能性や耐久性を重視していることがうかがえる。さらに、常温混合物や再生工法を新技術として報告する国も多く、今後、環境保全に関連した技術も多くなることがうかがえる。

テーマ3 「技術革新を促進するための方策」では、政策立案者に対する事項が述べられている。特に国による研究開発の支援策を報告している国が多く、官民の新たな関係が生まれてきている。また、新技術による維持管理の低減を目的とした新たな契約制度も報告されている。さらに、グローバルな技術移転や共同研究についても報告されており、技術交流の重要性が広く認識されてきている。

テーマ4 「舗装の強化と維持技術の今後」では、レベルの差はあるが、各国が期待をかける次世代技術が述べられている。特に、維持管理システムの開発や非破壊調査手法など管理の合理化について報告している国が多い。また、補修頻度の低減に有効な耐久性の向上技術、安全性や快適性などのニーズに対応した機能の付加技術、環境保全の観点から重要度が増してきたリサイクリング技術、あるいは今後の進展が期待される施工の高度化技術についても述べられている。

なお、各国から提出された報告書は、「Question 4 New Techniques for Pavement Strengthening and Maintenance」としてPIARCより刊行されており、参照していただければ幸いである。



廃棄物処分場の舗装

一般廃棄物や産業廃棄物の最終処分場の構造については昭和46年出された厚生省35号の「廃棄物の処理および清掃に関する法律施行細則」によって規定された内容に合致するように構築されてきた。またこの規則はその後、昭和52年総理府厚生省令1号、昭和53年環水企第16号、環産第4号、環整第17号を経て、現在では厚生省通知衛環284号（平成7年12月22日）の規定が適用されている。しかしこれらには最終処分場に舗装を適用するような既述はなかったが、現在、生活環境審議会廃棄物処理部会廃棄物処理基準等専門委員会報告（案）で答申中の基準（案）では以下に示すような水密アスファルトコンクリートを取り入れた舗装工法が示されている。

ここでは先ず、遮水工が最低限満たすべき構造等に関する基準の明確化および遮水機能の強化を行なうべきであるとし、以下の仕様をまとめている。

①管理型最終処分場等の遮水工は、イ)基礎地盤、ロ)遮水シート等の遮水層、ハ)上部保護層の各部分によつて構成されるものであり、地下水集排水設備や浸出水集排水設備等の関連施設の機能と相俟つて、遮水機能を発揮するものであると定義している。

また具体的に遮水工を設計・施工する時は、地質、地下水の状況などの自然的条件に応じて各種の遮水技術の中から現場の状況に応じて適切に選択して施工するように注意を喚起している。また、確実な施工を確保するため、遮水工工事段階での都道府県等による立入検査の実施、設置者に対する施工管理の指導が必要であるとしている。

②最終処分場の底面又は法面の表面に設置する遮水工を構成する各部分については次のような基準を満たすものとすべきであるとしている。

ア. 基礎地盤

遮水工の底盤部を構成する基礎地盤は、廃棄物等の荷重を支えるとともに、遮水工全体を支持・保護するものである。このため、突起物や角れき等の除去、抜根を行なった上で整形および締固めを行なう等により、十分な強度を有し、かつ平滑に仕上げるように示している。

イ. 遮水層

次のいずれか又はこれらと同等以上の遮水機能を

有するものとしている。

- (ア) 粘性土等を厚さ50cm以上かつ透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 以下となるように施工した上に、一定の規格を満たす遮水シートを空隙のないように敷設したもの。
- (イ) 水密アスファルトコンクリートを厚さ5cm以上かつ透水係数 $1 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ 以下となるよう施工した上に、一定の規格を満たす遮水シートを空隙のないように敷設したもの。
- (ウ) 不織布等のマットの上に、一定の規格を満たす二重の遮水シートを敷設したもの。二重シートの中間には、二重シートが同時に破損することを防ぐための保護層を設ける。

ウ. 上部保護層

廃棄物の投入や重機の運転等による破損から遮水層を保護するため、遮水シートの上面には、不織布等を下層とし砂等を上面とする保護層を設ける。

エ. 法面遮水

遮水工の施工を確実なものとするため、法面勾配は1:2よりも緩くする。

地形的制約からそれが困難な部分では、地形性状などを考慮して浸出水が滞留するおそれがないと認められるところに設ける遮水工は、遮水工の安定性を確保する観点から上記の遮水工に代えて、モルタル処理した基礎地盤の上に一定の規格を満たす遮水シートの敷設又はゴムアスファルト吹き付けを行う方法その他これらと同等以上の遮水機能を有する方法により遮水工を設ける。

③現行の基準（厚生省通知衛環284号平成7年12月22日）において遮水工を設けなくてよいとされている部分について以下のように基準の明確化を図っている。

地形、地質等に関する十分な調査を実施した結果、イ)埋立地と公共水域及び地下水との間にある地層がすべて、厚さ5m以上であり、かつ透水係数 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ 以下の土質地盤、ロ)ルジオン値1以下の(10^{-5} cm/sec 以下)の岩盤であることが確認された部分、ハ)その他これらと同等以上の遮水機能を有するものがあると確認された部分としている。

なお、遮水工を設けなくてもよい場合であっても、浸出水集排水設備等の設備は当然必要である。

④遮水層を設けなくてもよい部分であってもそれらの

地盤に達するまで埋立地の浸出水による埋立地周辺の地下水及び公共用水域の汚染を防止することが出来る鉛直方向の遮水工を設ける時は、②に示す遮水工を設けなくてもよい。

ただし、この場合の鉛直方向の遮水工は、埋立地下の地質、地下水水流等を十分に把握した上で、埋立地の外への地下水の流下を遮断できるように、埋立地下の難透水性の地層までの間に、次の方法又はこれらと同等以上の機能を有する方法による遮水工を設けること。

ア. グラウト工法によりルジオン値1以下の鉛直遮水層を形成する方法。

イ. 地中連続壁を厚さ50cm以上かつ透水係数 1×10^{-5} cm/sec以下となるよう施工する方法。

ウ. 鋼矢板を連続的に打設し、かつ継ぎ手部分に止水材を注入する方法。

⑤地下水の湧出等により遮水機能を損なわれることを防止しなければならない。そのため、地形、地質等に関する調査を行なった上で、地下水の湧出場所及び湧出量を予測し、必要に応じ地下水を有効に排除することが可能な地下水集排水設備を設ける。

この答申は現在国会で審議中であるが、いずれにせよ平成10年6月17日施行予定であるので、図-1に示すような処分場に、図-2に示すような水密アスファルト混合物による舗装工法の可能性が出てくることになる。

[小島 逸平 倭ガイアトクマガイ技術研究所]

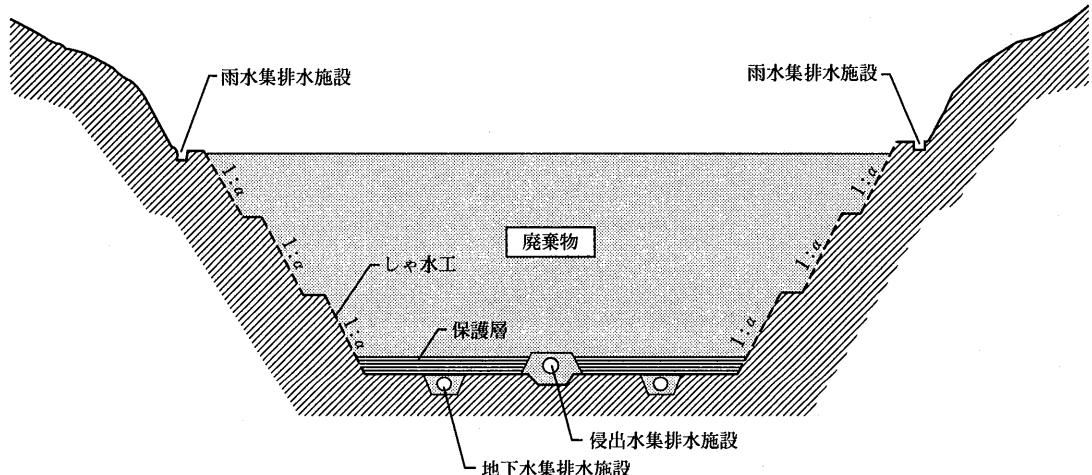


図-1 廃棄物最終処分場の例

	浸出水が滞留するおそれがある部分	
	底面部	法面部
CASE 1	<ul style="list-style-type: none"> ■ 保護土 (t=500) - - - 不織布等 (t=10) — しゃ水シート (t=1.5) ■■■ 粘性土等 (t=500以上) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 保護土 (長纖維補強土,t=300) - - - 不織布等 (t=10) — しゃ水シート (t=1.5) ■■■ 粘性土等 (水密性長纖維補強土, t=500以上)
CASE 2	<ul style="list-style-type: none"> ■ 保護土 (t=500) - - - 不織布等 (t=10) — しゃ水シート (t=1.5) ■■■ 水密アスファルトコンクリート (t=50以上) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 保護土 (長纖維補強土,t=300) - - - 不織布等 (t=10) — しゃ水シート (t=1.5) ■■■ 水密アスファルトコンクリート (t=50以上)

図-2 最終処分場の舗装の例 (単位mm)

用語の解説

アスファルトの発癌性

紀元前から人類に使用されてきたと記録にあるアスファルトであるが、アスファルトの発癌性についてのまとまった疫学調査の報告等は少ない。

ある物質が人への発癌性を有するかどうかということを証明することは、人間の場合、発癌までに20年以上かかるを考えると、極めて難しい作業である。

1987年にIARC(国際癌研究機関)で開催された発癌物質の評価に関する会議では発癌性評価の基準を以下の4グループに分類している。

グループ1：ヒトへの発癌物質

グループ2A：おそらくヒトへの発癌物質と考えられるもの

グループ2B：ヒトへの発癌物質として可能性のあるもの

グループ3：ヒトへの発癌物質としては分類できないもの

グループ4：おそらくヒトへの発癌物質ではないもの
ここでは合計630種類の物質が検討され、グループ1には50種類、グループ2Aには37種類、グループ2Bには159種類、グループ3には383種類、グループ4には1種類の物質が分類された。この中から抜粋してグループ1と2A及び2Bの一部を表-1, 2に示す。

表-1 ヒトへの発癌に十分な根拠があるとされた物質あるいは環境(グループ1)

	部 位	そ の 他
職業性のもの		
石炭からのガス製造	皮膚, 膀胱, 肺	
コールタールピッチ, コールタール	皮膚, 膀胱, 肺, 口腔, 喉頭	屋根革
コーカスの作成	腎	
Isopropyl alcohol 作成	副鼻腔, 喉頭	強酸処理過程
鉛油	皮膚	陰嚢癌多い、二次癌として肺 消化管、皮膚なども多い
ゴム工場	膀胱 白血病,	aromatic amine への暴露 溶剤への暴露
環境		
アスベスト	肺	造船所労働者
Amphibole fiber	中皮腫	喫煙との相乗作用あり
Chrysotile fiber	中皮腫	
Crocidolite	肺	
Erionite (fibers)	中皮腫	
す す	肺, 食道, 肝, 白血病	
金属		
アルミニウム製造	肺, 膀胱	
比素および比素化合物	ML, 肺, 白血病 皮膚, 肝血管肉腫 大腸, 膀胱, 鏡膜腫	インチキ万能薬のFowle液 飲料水汚染によるblack foot disease
6価クロム	肺 (比素鉱山) 肺	Zn, Ni, St, Pb などとの重複 曝露多い
ニッケルおよびニッケル化合物	鼻腔, 肺 喉頭	
化学物質		
4-Aminobiphenyl	膀胱	
Benzene	ANNL	
Benzidine	膀胱	
2-naphthylamine	膀胱	
Chloromethyl methyl ether		アニリン系色素
Vinyl chloride	肝血管肉腫, 脳, 肺, 血液	
嗜好品		
かみたばこ	口腔, 咽頭, 食道, 喉頭	ハムスター頬粘膜に発癌可
無煙たばこ	口腔, 咽頭, 食道	インド, パキスタン, 米国
たばこの煙	肺, 膀胱, 喉頭, 咽頭, 口腔, 食道, 脾, 胃, 肝, 子宮	パイプ, 葉巻は膀胱癌増やす
生活用品		
アスベスト入りタルク	中皮腫	

表-2 ヒトにたいして発癌性のある可能性の高いもの（グループ2）

グループ2 A	部 位	そ の 他
職 業 クレオソート	皮膚（陰囊）	木材防腐作業
金 属 Beryllium およびその化合物	肺	Viscose-rayon 作業者
Cadmium およびその化合物	前立腺	
Silica 結晶	肺, 上咽頭, 大腸	
	肺	石切り場, ガラス工場
化学物質		
Acrylonitril	肺	
Benz(α) anthracene		
Benzo(α) pyrene		
Dibenz(a, h) anthracene		
Benzidine-based dyes	膀胱	
Diethyl sulphate	咽頭	
Dimethylcarbamoyl chloride		製油
Dimethyl sulphate	気管支	
Ethylene dibromide	M L	
Vinyl bromide		
Propyrene oxide		
Ethylene oxide	白血病	滅菌に使用
N-Ethyl-N-nitrosourea		
N-Methyl-N-nitrosourea		
Formaldehyde	頬粘膜, 咽頭	
	鼻	
	肺	
	白血病, 脳腫瘍	
	前立腺, 膀胱, 皮膚	アニリン系色素
グループ2 B (暴露の可能性の高いものを抜粋)		
サッカリン	膀胱	
ウレタンやアクリル樹脂		
鉛	胃, 肺	
DDT	肺胞細胞癌 乳, 肉腫	

ここで「ヒトの発癌に十分な根拠があるとされた物質」（グループ1）として「たばこの煙」が嗜好品の中に明示されている。肺癌だけではなく、咽頭癌、食道癌、膀胱癌、胃癌、肝臓癌、脾臓癌、子宮癌等々に影響があるようである。禁煙運動が拡大しているのも納得せざるをえない状況である。「地球環境をきれいに保つためにも、身の回りの人の健康のためにも、先ずは今日から禁煙を実行しましょう。」

さて、アスファルトについては、この「ヒトの発癌に十分な根拠があるとされた物質」（グループ1）あるいは「ヒトに対して発癌性の可能性の高いもの」（グループ2）には載っていない。従来、アスファルトはその外見からコールタールと混同されることが多々あるが、物性、発癌性とも非常に異なることが指摘されている。特に、発癌性ではコールタールには動物実験、疫学調査のいずれにおいても強い発癌性が認められており、「ヒトの発癌に十分な根拠があるとされた物質」（グループ1）に明示されている。

一方、アスファルトに関しては、Baylor & Weaver (1968) が25の石油精製工場のアスファルト製造部門に

勤める462人の健康状態を379人の一般人と比較している。アスファルト製造部門就業者はいずれも、最低5年、平均15.1年従事している。当報告によれば、一般人との比較において両グループ間で健康状態に顕著な差は認められなかつたとのことである。

彼らは、また過去20年間の医学文献を調査したところ、石油系アスファルトが原因と考えられる肺癌や皮膚癌を一例も見出すことはできなかつたと報告している。さらに、道路建設会社のアスファルト作業従事者、屋根防水工事のアスファルト作業現場の就業者、またアスファルト運搬トラック運転手を対象とした調査の結果、アスファルト作業者に特異な健康被害の発生や皮膚癌や肺癌発生の兆候は認められなかつたと報告されている。

ここで、外観が似ているためによく混同されるコールタールと石油アスファルトの違いを先ずは認識しておく必要がある。コールタールの発癌性はコールタールに含まれる発癌物質のベンゾ[a]ピレン ($C_{20}H_{12}$) との関係が論じられているが、石油アスファルトにはこの発癌性に関係するベンゾ[a]ピレン ($C_{20}H_{12}$)

の含有率がコールタールに比較して極めて少ないのである。

さて、このベンゾ [a] ピレンであるが、1933年にJ.W.Cookらがコールタールピッチから単離、動物に皮膚癌を発生させることを見出した多環式芳香族炭化水素の代表的発癌物質であり、コールタール中に約1.5%存在する。分子量252.3、融点178~180°C、沸点310~312°Cの物質である。

ベンゼン、トルエン、キシレンに可溶、エタノールに難溶、水には不溶、希薄溶液は紫色の蛍光色を示す。

ここにベンゾ [a] ピレンの含有率に関して、アスファルトと各種食品及び水を比較したレポートがあるので表-3に示す。

表-3 Benzo (a) pyreneの各食品別含有率
(アスファルトとの比較)

Water/foodstuff 水/食品	Benzo(a)pyrene content, ppm
bitumen (アスファルト)	0.1~27
groundwater (地下水)	< 5
garden water	ca 90
woodland water	60~1300
sunflower oil	ca 10
lettuce	ca 13
cabbage	12~25
tea extract	ca 20
grilled steak	< 50
grilled sausage (焼きソーセージ)	< 85
grilled pork (焼豚)	<140

また、発癌性に関するベンゾ [a] ピレンの発生量に関して、アスファルトプラントとその他身近な比較事例紹介があるので表-4を参照して頂きたい。

表-4 Benzo (a) pyreneの各設備別発生量

Source	g/1000m ³ of air
asphalt mixing plant (アスファルト混合所)	13
power station, gas	100
power station, coal	300
diesel engine (ディーゼルエンジン)	5,000
refuse burning (ごみ焼却場)	11,000
coke oven volatiles	35,000
domestic boiler,coal (石炭ボイラー)	100,000

このレポートから理解できるようにアスファルトに含まれるベンゾ [a] ピレンは極めて少ない。

これらのデータからアスファルトに含まれるベンゾ

[a] ピレンよりは焼きソーセージ、焼豚に含まれるベンゾ [a] ピレンの方がより多いことが理解できる。

もちろん、焼きソーセージや焼豚に含まれるベンゾ [a] ピレン程度で発癌するなどという報告はない。

また、最近Kosuge, Teradaらはコールタール中に1-aminophenanthreneやPhenaleno(1,9-g,h)quinolineなどの変異原性の極めて強い芳香族アミン類やAza-arene類を数多く含むことを明らかにしている。

石油系のアスファルト類よりも石炭系のタールに発癌性、変異原性を示すものが多い理由のひとつとしてこれら芳香族アミン類やAza-arene類の存在も無視することはできないとも言われている。

このように、石油系アスファルトは石炭系のタールに比較して発癌性が極めて低いことを裏付ける報告・文献等が多い。

尚、IARC (International Agency for Research on Cancer) のワークショップでの発癌性評価に関する報告書によれば、人への発癌性の確認された物質と職業について、石炭からのガス製造業やコールタール製造業に皮膚癌、ぼうこう癌、肺癌などが見られるとの報告がある。

一方、WHOによるHealth Criteriaシリーズの中のアスファルトの人体の健康に及ぼす影響に関する文献によれば、アスファルトは混同視されがちなコールタールと異なり、ほとんど発癌性は認められなかったと述べられている。

— 参考文献 —

- 1) 「The SHELL BITUMEN HANDBOOK」
- 2) 「Health Criteriaシリーズ(アスファルトの健康に及ぼす影響)」(WHO)
- 3) 「発癌性評価に関する報告書」(IARC)
- 4) 「Influences of Asphalt Tar on Human Health」(WHO1982)
- 5) 「生態化学」Vol. 8 -No. 4 (1986)
- 6) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.
- 7) Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs Vol.1 to 42, Suppl 7, Lyon, 1987
- 8) 「クリニカ」(特集・環境発癌物質と人癌発生の関連)
- 9) 「仙台市衛生試験所報」(第13号 昭和58年度)
- 10) 「化学大辞典」

〔青木 秀樹 昭和シェル石油(株)中央研究所〕

大野春雄／監修 姫野賢治・西澤辰男・関 延子／著

土なぜなぜおもしろ読本

山海堂 A5版 171ページ 2500円

本書は土木建設系の大学・短大・高専・専門学校の学生を対象とした、土質工学の概論書として書かれたものです。土に対する素朴な疑問から技術的な問題までを専門用語、数式を最小限に抑えて書かれていますので、だれでも気楽に読め、質問に対する答えをQ&A形式でまとめていますので、どのページからでも読むことができます。土に関するトピックは土質工学以外に、地盤工学、地質学、土壤学などの分野から取り上げています。

本書の構成は

1. 土の生い立ち
2. いろいろな土
3. 暮らしと土の横顔
4. 土の調査
5. 土の工学
6. 地盤の改良
7. 工事に関わる土
8. 災害・環境に関わる土

となっており、土の起源から、種類、性質、特性、応用面など多岐にわたった内容を網羅しています。質問ごとに答えをやさしく、ていねいに解説しており、漫画のカットが適切に挟まれていますので、理解しやすくなっています。質問に対する答えを最後まで読むと、もっと知りたいという欲求にかられ、土に対して広く知ってもらうために書いたという筆者らの意向が手に取るように伝わってきます。さらに勉強したい人のために、参考文献55編が巻末に紹介されています。本書はむずかしい土質工学の専門書を読む前の概論書としては絶好の本といえるでしょう。

なお、「アスファルト」に関しては、アスファルト舗装下の空洞の項目で記述されています。なぜなぜおもしろ読本はシリーズ化されていますので、同じ筆者による「舗装なぜなぜおもしろ読本」の執筆を期待しています。

(吉村啓之 前田道路(株)技術研究所)

総目次 第191号～第194号（平成9年度）

アスファルトの研究 [品質・規格・試験など]

表題	執筆者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
<資料> 平成8年市販アスファルトの性状調査	技術委員会	194	69～72	平成10. 1 (1998)

アスファルト需給・統計関係の解析

表題	執筆者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況		192	73	平成9. 8 (1997)
(統計資料：石油アスファルト需給統計その1（総括表）、同その2（内需、品種別表）毎号巻末に掲載)				

特集・アスファルトの利用技術

表題	執筆者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
特集にあたって 第1節 アスファルト 第1章 天然アスファルトと石油アスファルト	河野 宏 土居貞幸・高木清美 室賀五郎・東国夫 江口英顯 (社)日本アスファルト乳剤協会 日本改質アスファルト協会	191	1～33 34～52 53～68	平成9. 4 (1997)
第2章 アスファルト乳剤 第3章 ゴム、熱可塑性エラストマー、熱可塑性樹脂入り舗装用 改質アスファルト				
第2節 アスファルトの道路舗装への利用 第1章 アスファルトと舗装 第2章 道路の種類と舗装構造 第3章 アスファルト混合物の種類と工法 第4章 アスファルト混合物の製造と施工 第5章 舗装の破損と修復	安崎 裕 阿部忠行 小島逸平 田井文夫・西村拓治 姫野賢治・帆苅浩三	192	1～7 8～14 15～28 29～56 57～69	平成9. 8 (1997)
第3節 アスファルトの各種舗装への利用 第1章 空港 第2章 港湾 第3章 鉄道 第4章 鉄道貨物ヤードにおけるアスファルト舗装設計法について 第5章 構内舗装・駐車場舗装 第6章 歩道・自動車道舗装 第7章 スポーツ施設 第8章 レース場・テストコースの舗装 第9章 石油タンク基礎における舗装 第10章 水工アスファルト 第11章 廃棄物最終処分場への舗装	八谷好高 梅野修一 安藤勝敏 上浦正樹・阿部長門 丸山暉彦 古財武久・野村健一郎 浜田幸二 鈴木敏治 斎藤治 高橋哲躬・小田芳明 加形護・渕上学 三根和人 稻垣竜興	193	1～11 12～16 17～21 22～28 29～34 35～40 41～46 47～52 53～57 58～70 71～77	平成9. 10 (1997)
第4節 防水・その他への利用 第1章 防水・防湿 第2章 建築 第3章 原料 第4章 燃料 第5章 その他	所武彦・鈴木康弘 小澤恒延 荒川隆明・土居貞幸 今井博文 藤井正己・矢野恭治 渡邊光喜 渡邊光喜 西岡敏昭・二見敏彦 栗田明・長谷川宏 室賀五郎・三谷治郎	194	1～23 24～32 33～42 43～48 49～68	平成10. 1 (1998)

その他一般 [協会事業活動・時事解説・随想など]

表 題	執 筆 者	号数	ページ P~P	発行年月 (西暦)
総目次 第187号～190号（平成8年度）	編集委員会	191	70～71	平成 9. 4 (1997)
<新刊書紹介>阪神・姫路大震災調査報告書、「第1巻 橋梁」	川島一彦	191	69	平成 9. 4 (1997)
<新刊書紹介>「アスファルト舗装修繕技術」	原富男	192	70	平成 9. 8 (1997)

☆1998年版発行のお知らせ☆

皆様からご好評をいただいている下記出版物は、毎年改訂発行しております。
ただいま発売中です。

日本アスファルト協会・発行

『アスファルト・ポケットブック』1998年版

ポケットブック版・表紙ビニール製・本文83ページ・実費領価1部 800円(送料実費は申込者負担)
ハガキにてお申し込み下さい。

主な内容

- 石油アスファルトの生産実績
 - 石油アスファルトの需要推移
 - 石油アスファルトの需要見通し
 - 石油アスファルトの製造及び流通
 - 石油アスファルトの生産場所及び油槽所
 - 石油アスファルトの製造原油
 - 石油アスファルトの品質規格
 - 石油アスファルトの用途
 - アスファルト合材の製造実績
 - 改質アスファルトの出荷実績
 - アスファルト乳剤の出荷実績
 - 道路投資額とアスファルト需要
 - 平成9年度の道路予算
 - 道路の現況
 - 第11次道路整備5カ年計画
 - 石油供給計画
 - 世界の石油アスファルト生産量
 - 主要諸国の道路事情
 - データーシート
 - 住所録
 - 会員名簿
 - 関連官庁・関連団体

〈石油アスファルト需給統計資料〉 その1

石油アスファルト需給実績（総括表）

(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	内 需	対前年 度 比	輸 出	小 計	期末在庫	合 計
61 年 度	215	5,744	(114.2)	0	5,959	5,695	(113.1)	0	5,696	235	5,931
62 年 度	235	5,892	(102.6)	9	6,136	5,862	(102.9)	0	5,862	274	6,136
63 年 度	274	5,904	(100.2)	3	6,181	5,953	(101.6)	1	5,954	219	6,173
元 年 度	219	6,066	(102.7)	1	6,286	5,990	(100.6)	4	5,994	276	6,270
2 年 度	276	6,277	(103.5)	1	6,554	6,205	(103.6)	8	6,213	310	6,523
3 年 度	310	5,973	(95.2)	0	6,282	5,944	(95.8)	19	5,963	313	6,276
4 年 度	313	6,121	(102.5)	1	6,435	6,109	(102.8)	76	6,185	244	6,429
5 年 度上期	244	2,910	(98.0)	1	3,155	2,803	(96.9)	26	2,829	329	3,158
5 年 度下期	329	3,209	(101.8)	1	3,539	3,233	(100.5)	79	3,312	238	3,550
5 年 度	244	6,119	(100.0)	2	6,365	6,036	(98.8)	105	6,141	238	6,379
6 年 度上期	238	2,954	(101.5)	1	3,193	2,761	(98.5)	60	2,821	377	3,198
6 年 度下期	377	3,070	(95.7)	0	3,447	3,073	(95.1)	112	3,185	272	3,457
6 年 度	238	6,024	(98.4)	1	6,263	5,834	(96.7)	172	6,006	272	6,278
7 年 度上期	272	2,814	(95.3)	0	3,086	2,620	(94.9)	175	2,795	300	3,095
7 年 度下期	300	3,211	(104.6)	1	3,512	3,077	(100.1)	168	3,245	271	3,516
7 年 度	272	6,025	(100.0)	1	6,298	5,697	(97.7)	343	6,040	271	6,311
4 ~ 6 月	271	1,419	(107.9)	0	1,690	1,299	(104.3)	69	1,368	325	1,693
7 月	325	482	(92.7)	0	807	491	(112.9)	22	513	297	810
8 月	297	524	(108.9)	0	821	451	(100.2)	39	490	333	823
9 月	333	518	(104.4)	0	851	493	(100.8)	28	521	338	859
7 ~ 9 月	325	1,524	(101.8)	0	1,849	1,435	(104.4)	89	1,524	338	1,862
8 年 度上期	271	2,943	(104.6)	0	3,214	2,734	(104.4)	158	2,892	338	3,230
10 月	338	493	(92.3)	0	831	518	(101.0)	29	547	284	831
11 月	284	559	(98.4)	1	844	527	(97.2)	33	560	287	847
12 月	287	548	(96.8)	0	835	519	(93.0)	30	549	289	838
10 ~ 12 月	338	1,600	(95.9)	1	1,939	1,564	(97.0)	92	1,656	289	1,945
9. 1 月	289	411	(96.7)	0	700	357	(102.9)	10	367	335	702
2 月	335	445	(95.7)	0	780	430	(98.6)	10	440	341	781
3 月	341	673	(103.1)	0	1,014	731	(107.3)	19	750	268	1,018
1 ~ 3 月	289	1,529	(99.1)	0	1,818	1,518	(103.7)	39	1,557	268	1,825
8 年 度下期	338	3,129	(97.4)	1	3,468	3,082	(100.2)	131	3,213	268	3,481
8 年 度	271	6,072	(100.8)	1	6,344	5,816	(102.1)	289	6,105	268	6,373
9. 4 月	268	551	(97.7)	0	819	428	(86.3)	27	455	365	820
5 月	365	353	(79.1)	0	718	341	(80.8)	22	363	357	720
6 月	357	374	(91.4)	0	731	402	(105.5)	25	427	305	732
4 ~ 6 月	268	1,278	(90.1)	0	1,546	1,171	(90.1)	74	1,245	305	1,550
7 月	305	534	(110.8)	1	840	467	(116.2)	38	505	337	842
8 月	337	478	(91.2)	1	816	453	(100.4)	31	484	333	817
9 月	333	501	(96.7)	1	835	495	(100.4)	24	519	318	837
7 ~ 9 月	305	1,513	(99.3)	3	1,821	1,415	(98.6)	93	1,508	318	1,826
9 年 度上期	268	2,791	(94.8)	3	3,062	2,586	(94.6)	167	2,753	318	3,071
10 月	318	514	(104.3)	0	832	505	(97.5)	37	542	293	835
11 月	293	561	(103.2)	0	854	502	(95.3)	29	531	325	856

〔注〕(1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 9年11月確報

(2) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

〈石油アスファルト需給統計資料〉 その2

石油アスファルト内需実績（品種別明細）

(単位:千t)

項 目 年 度	内 需 量				合 計	対 前 年 度 比						
	ストレート・アスファルト			ブローン アスフ アルト		ストレート・アスファルト			ブローン アスフ アルト			
	道路用	工業用	燃焼用			道路用	工業用	燃焼用				
61 年 度	3,979	241	1,238	5,458	237	5,695	106.4	173.4	135.9	114.0	96.3	113.1
62 年 度	4,252	360	995	5,607	255	5,862	106.9	149.4	80.4	102.7	107.6	102.9
63 年 度	4,307	421	967	5,695	258	5,953	101.3	117.3	97.2	101.6	101.2	101.6
元 年 度	4,360	447	932	5,739	251	5,990	101.2	106.2	96.3	100.8	97.3	100.6
2 年 度	4,416	606	929	5,951	254	6,205	101.3	135.6	99.7	103.7	101.2	103.6
3 年 度	4,317	590	796	5,703	241	5,944	97.8	97.4	85.7	95.8	94.9	95.8
4 年 度	4,559	568	741	5,868	241	6,109	105.6	96.3	93.1	102.9	100.0	102.8
5 年度上期	2,022	265	404	2,691	112	2,803	93.9	104.7	108.6	96.9	97.4	96.9
5 年度下期	2,315	336	456	3,107	126	3,233	96.2	106.7	123.6	100.6	100.0	100.5
5 年 度	4,337	601	860	5,798	238	6,036	95.1	105.8	116.1	98.8	98.8	98.8
6 年度上期	1,939	257	455	2,651	110	2,761	95.9	97.0	112.6	98.5	98.2	98.5
6 年度下期	2,190	249	513	2,952	121	3,073	94.6	74.1	112.5	95.0	96.0	95.1
6 年 度	4,129	506	968	5,603	231	5,834	95.2	84.2	112.6	96.6	97.1	96.7
7 年度上期	1,838	212	468	2,518	102	2,620	94.8	82.5	102.9	95.0	92.7	94.9
7 年度下期	2,173	264	510	2,947	130	3,077	99.2	106.0	99.4	99.8	107.4	100.1
7 年 度	4,011	476	978	5,465	232	5,697	97.1	94.1	101.0	97.5	100.4	97.7
4 ~ 6 月	921	97	229	1,247	52	1,299	103.0	124.4	101.8	104.2	106.1	104.3
7 月	342	48	83	473	18	491	112.5	98.0	125.8	112.9	112.5	112.9
8 月	297	37	100	434	17	451	97.7	78.7	122.0	100.2	100.0	100.2
9 月	329	49	96	474	19	493	97.6	128.9	101.1	100.9	100.0	100.8
7 ~ 9 月	968	134	279	1,381	54	1,435	102.4	100.0	114.8	104.5	103.8	104.4
8 年度上期	1,889	231	508	2,628	106	2,734	102.8	109.0	108.5	104.4	105.0	104.4
10 月	360	53	84	497	21	518	102.0	103.9	96.6	101.2	95.5	101.0
11 月	390	41	76	507	20	527	101.3	93.2	85.4	97.9	83.3	97.2
12 月	361	43	96	500	19	519	92.1	86.0	100.0	92.9	95.0	93.0
10 ~ 12 月	1,111	137	256	1,504	60	1,564	98.5	94.5	93.8	97.3	89.6	97.0
9 . 1 月	205	41	92	338	19	357	101.5	80.4	122.7	103.0	100.0	102.9
2 月	269	41	100	410	20	430	91.2	97.6	129.9	99.0	90.9	98.6
3 月	570	47	93	710	21	731	104.0	180.8	109.4	107.7	95.5	107.3
1 ~ 3 月	1,044	129	285	1,458	60	1,518	99.9	108.4	120.3	104.1	95.2	103.7
8 年度下期	2,155	266	541	2,962	120	3,082	99.2	100.8	106.1	100.5	92.3	100.2
8 年 度	4,044	497	1,049	5,590	226	5,816	100.8	104.4	107.3	102.3	97.4	102.1
9 . 4 月	323	14	76	413	15	428	83.5	107.7	95.0	86.0	93.8	86.3
5 月	238	8	79	325	16	341	84.7	17.4	103.9	80.6	84.2	80.8
6 月	278	20	78	385	17	402	113.4	52.6	106.8	105.8	100.0	105.5
4 ~ 6 月	848	42	233	1,123	48	1,171	92.1	43.3	101.7	90.1	92.3	90.1
7 月	308	57	85	450	17	467	90.1	118.8	102.4	95.1	94.4	116.2
8 月	290	47	100	437	16	453	97.6	127.0	100.0	100.7	94.1	100.4
9 月	311	73	93	477	18	495	94.5	149.0	96.9	100.6	94.7	100.4
7 ~ 9 月	909	177	278	1,364	51	1,415	93.9	132.1	99.6	98.8	94.4	98.6
9 年度上期	1,757	219	511	2,487	99	2,586	93.0	94.8	100.6	94.6	93.4	94.6
10 月	365	52	67	484	21	505	101.4	98.1	79.8	97.4	100.0	97.5
11 月	348	52	84	484	18	502	89.2	126.8	110.5	95.5	90.0	95.3

[注] (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 9年11月確報

(2) 工業用ストレート・アスファルト、燃焼用アスファルト、ブローンアスファルトは日本アスファルト協会調べ。

(3) 道路用ストレート・アスファルト=内需量合計-(ブローンアスファルト+燃焼用アスファルト+工業用ストレート・アスファルト)

(4) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

アスファルトの利用技術

B5版・290ページ・実費価格 ¥4,000（送料実費）

申込先 (社) 日本アスファルト協会
〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-21-8
秀和第3虎ノ門ビル7階

我が国におけるアスファルトの利用は、縄文前期の終わり頃より土器や石槍などの接着剤として使われ始めました。その後、江戸末期には油煙の原料として、明治に入ると防水や防湿および道路用として利用される等、アスファルトの黎明期を迎えております。

現在では、これまでの用途以外にも水利構造物や鉄道、燃料といった多くの分野に利用されるようになっております。

今回、創立40周年を記念し、アスファルトの種類、規格、製造方法、代表的な利用技術に関してわかりやすく執筆した本邦初の解説書を取りまとめました。

百科事典として、また関係者必読の書としてご購読をお勧めいたします。

目 次

第1編 アスファルト

第1章 天然アスファルトと石油アスファルト

第2章 アスファルト乳剤

第3章 改質アスファルト

第2編 アスファルトの道路舗装への利用

第1章 アスファルトと舗装

第2章 道路の種類と舗装構造

第3章 アスファルト混合物の種類と工法

第4章 アスファルト混合物の製造と施工

第5章 舗装の破損と補修

第3編 アスファルトの各種舗装への利用

第1章 空港

第2章 港湾

第3章 鉄道

第4章 鉄道貨物ヤード

第5章 構内・駐車場

第6章 歩道・自転車道

第7章 スポーツ施設

第8章 レース場・テストコース

第9章 石油タンク基礎

第10章 水利構造物

第11章 廃棄物最終処分場

第4編 防水・その他への利用

第1章 防水・防湿

1. 土木防水

2. 屋上防水（陸屋根防水）

3. 屋根防水（勾配屋根防水）

4. ターポリン紙（防湿紙）

第2章 建築

1. 木造住宅用床防音材

2. 床材

3. 鋼管塗布

第3章 原料

1. 酢酸原料用アスファルト

2. 石油コークス原料

3. 製鉄用コークスバインダー

第4章 燃料

第5章 その他

1. 電気絶縁用

2. レンズ研磨

3. のり面緑化用アスファルト乳剤

4. ノウサギ忌避剤

5. トンネル断熱材

6. 放射性廃棄物の固化材

7. その他への利用

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
[メーカー]		
出光興産株式会社	(100-0005) 千代田区丸の内3-1-1	03 (3213) 3135
エッソ石油株式会社	(107-0052) 港区赤坂5-3-3	03 (3585) 9438
鹿島石油株式会社	(102-0094) 千代田区紀尾井町3-6	03 (5276) 9556
キグナス石油株式会社	(104-0028) 中央区八重洲2-8-1	03 (3276) 5211
キグナス石油精製株式会社	(150-0012) 渋谷区広尾1-1-39	03 (5778) 5100
九州石油株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町2-1-1	03 (5512) 8606
極東石油工業株式会社	(104-0031) 中央区京橋1-8-7	03 (5250) 2681
興亜石油株式会社	(108-0023) 港区芝浦3-4-1	03 (5441) 2516
コスモ石油株式会社	(105-0023) 港区芝浦1-1-1	03 (3798) 3874
三共油化工業株式会社	(105-0004) 港区新橋1-7-11	03 (5568) 6411
株式会社ジャパンエナジー	(105-0001) 港区虎ノ門2-10-1	03 (5573) 6000
昭和シェル石油株式会社	(135-0091) 港区台場2-3-2	03 (5531) 5765
昭和四日市石油株式会社	(510-0851) 四日市市塩浜町1	0593 (45) 2111
西部石油株式会社	(105-0003) 港区西新橋2-1-1	03 (5512) 3417
ゼネラル石油株式会社	(105-0022) 港区海岸1-16-1	03 (5403) 3433
東燃株式会社	(150-0012) 渋谷区広尾1-1-39	03 (5778) 5179
東北石油株式会社	(985-0901) 仙台市宮城野区港5-1-1	022 (363) 1122
日本石油株式会社	(105-0003) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1111
日本石油精製株式会社	(105-0003) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1111
富士興産株式会社	(100-0014) 千代田区永田町2-4-3	03 (3580) 3571
富士石油株式会社	(104-0044) 中央区明石町8-1	03 (3547) 0011
三菱石油株式会社	(105-8457) 港区虎ノ門1-2-6	03 (5521) 2068
モービル石油株式会社	(108-8005) 港区港南1-8-15	03 (5495) 6700

[ディーラー]

● 北海道

コスモアスファルト(株)北海道支店	(060-0042) 札幌市中央区大通り西10-4	011 (281) 3906	コスモ
東光商事株式会社札幌営業所	(060-0042) 札幌市中央区南大通り西7-2	011 (241) 1561	三石
中西瀝青株式会社札幌営業所	(060-0002) 札幌市中央区北2条西2	011 (231) 2895	日石
株式会社ロード資材	(060-0001) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011 (281) 3976	コスモ

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話	
● 東北			
株式会社 男鹿興業社	(010-0511) 男鹿市船川港船川字海岸通り 1-18-2	0185 (23) 3293	J O M O
カメイ株式会社	(980-0803) 仙台市青葉区国分町 3-1-18	022 (264) 6111	日 石
コスモアスファルト(株)東北支店	(980-0021) 仙台市青葉区中央 3-3-3	022 (266) 1101	コスモ
正興産業株式会社仙台営業所	(982-0032) 仙台市太白区富沢 1-3-31	022 (244) 9586	三 石
竹中産業株式会社新潟営業所	(950-0087) 新潟市東大通 1-4-2	025 (246) 2770	昭和シェル
常盤商事株式会社仙台支店	(980-0011) 仙台市青葉区上杉 1-8-19	022 (224) 1151	三 石
中西瀝青株式会社仙台営業所	(980-0021) 仙台市青葉区中央 2-1-30	022 (223) 4866	日 石
ミヤセキ株式会社	(983-0852) 仙台市宮城野区榴岡 2-3-12	022 (257) 1231	三 石
● 関東			
朝日産業株式会社	(103-0025) 中央区日本橋茅場町 2-7-9	03 (3669) 7878	コスモ
株式会社 アスカ	(104-0032) 中央区八丁堀 4-11-2	03 (3553) 3001	出 光
伊藤忠商事株式会社	(107-0061) 港区北青山 2-5-1	03 (3497) 6548	九 石
伊藤忠燃料株式会社	(153-0063) 目黒区目黒 1-24-12	03 (5436) 8211	J O M O
梅本石油株式会社	(162-0824) 新宿区揚場町 2-24	03 (3269) 7541	コスモ
エムシー・エネルギー株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町 1-2-2	03 (5251) 0961	三 石
株式会社 木畑商会	(104-0032) 中央区八丁堀 4-2-2	03 (3552) 3191	J O M O
共立石油株式会社	(107-0051) 港区元赤坂 1-7-8	03 (3796) 6640	J O M O
株式会社 ケイエム商運	(103-0028) 中央区八重洲 1-8-5	03 (3245) 1626	三 石
コスモアスファルト株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀 3-3-5	03 (3551) 8011	コスモ
国光商事株式会社	(164-0003) 中野区東中野 1-7-1	03 (3363) 8231	出 光
澤田商行株式会社関東支店	(104-0042) 中央区入船町 1-7-2	03 (3551) 7131	コスモ
新日本商事株式会社	(170-0005) 豊島区南大塚 3-32-10	03 (5391) 4870	昭和シェル
住商石油アスファルト株式会社	(105-0013) 港区浜松町 2-3-31	03 (3578) 9521	出 光
竹中産業株式会社	(101-0044) 千代田区鍛冶町 1-5-5	03 (3251) 0185	昭和シェル
中央石油株式会社	(160-0022) 新宿区新宿 1-14-5	03 (3356) 8061	モービル
株式会社 トーアス	(153-0063) 目黒区目黒 1-24-12	03 (5436) 8250	J O M O
東京富士興産販売株式会社	(100-0014) 千代田区永田町 2-4-2	03 (3591) 3401	富士興産
東光商事株式会社	(104-0031) 中央区京橋 2-1-4	03 (3274) 2751	三 石
東新エナジー株式会社	(103-0027) 中央区日本橋 2-13-10	03 (3273) 3551	日 石
株式会社 トーメン	(107-0052) 港区赤坂 2-14-27	03 (3588) 7955	昭和シェル
東洋国際石油株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀 3-3-5	03 (3555) 8138	コスモ
中西瀝青株式会社	(103-0028) 中央区八重洲 1-2-1	03 (3272) 3471	日 石
株式会社 南部商会	(100-0005) 千代田区丸の内 3-4-2	03 (3213) 5871	日 石
日石丸紅株式会社	(105-0003) 港区西新橋 2-4-2	03 (5251) 0777	日 石
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巣鴨 4-22-23	03 (3915) 7151	昭和シェル
日東石油株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀 1-11-3	03 (3551) 6101	昭和シェル
パシフィック石油商事株式会社	(103-0014) 中央区日本橋蛎殻町 1-17-2	03 (3661) 4951	モービル
富士興産アスファルト株式会社	(100-0014) 千代田区永田町 2-4-2	03 (3580) 5211	富士興産

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話	
富士鉱油株式会社	(105-0004) 港区新橋4-26-5	03 (3432) 2891	コスモ
富士油業株式会社東京支店	(106-0031) 港区西麻布1-8-7	03 (3478) 3501	富士興産
丸紅エネルギー株式会社	(101-0062) 千代田区神田駿河台2-2	03 (3293) 4171	モービル
三井石油株式会社	(164-0012) 中野区本町1-32-2	03 (5334) 0730	極東石油
ユニ石油株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-7-8	03 (3796) 6616	昭和シェル
菱油販売株式会社	(182-0024) 調布市布田4-6-1	0424 (41) 7611	三石
瀧青販売株式会社	(103-0027) 中央区日本橋2-16-3	03 (3271) 7691	出光
● 中部			
コスモアスファルト(株)中部支店	(460-0003) 名古屋市中区錦2-14-21	052 (223) 0711	コスモ
澤田商行株式会社	(454-0037) 名古屋市中川区富川町1-1	052 (353) 5111	コスモ
静岡鉱油株式会社	(424-0037) 清水市袖師町1575	0543 (66) 1195	モービル
竹中産業株式会社福井営業所	(918-8015) 福井市花堂南1-11-29	0766 (33) 0001	昭和シェル
株式会社田中石油店	(918-8003) 福井市毛矢2-9-1	0776 (35) 1721	昭和シェル
富安産業株式会社	(939-8181) 富山市若竹町3-74-4	0764 (29) 2298	昭和シェル
中西瀧青株式会社名古屋営業所	(460-0007) 名古屋市中区新栄2-2-1	052 (241) 0175	日石
松村物産株式会社	(920-0031) 金沢市広岡2-1-27	0762 (21) 6121	三石
丸福石油産業株式会社	(933-0954) 高岡市美幸町2-1-28	0766 (22) 2860	昭和シェル
● 近畿・中国			
赤馬アスファルト工業株式会社	(531-0071) 大阪市北区中津3-10-4	06 (374) 2271	モービル
大阪アスファルト株式会社	(531-0071) 大阪市北区中津1-11-11	06 (372) 0031	出光
木曾通産株式会社大阪支店	(530-0047) 大阪市北区西天満3-4-5	06 (364) 7212	コスモ
共和産業株式会社	(700-0816) 岡山市富田町2-10-4	0862 (33) 1500	JOMO
コスモアスファルト(株)関西支店	(550-0005) 大阪市西区西本町2-5-28	06 (538) 2731	コスモ
コスモアスファルト(株)中国支店	(730-0022) 広島市中区銀山町3-1	0822 (44) 6262	コスモ
三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (394) 1551	昭和シェル
昭和瀧青工業株式会社	(670-0935) 姫路市北条口4-26	0792 (26) 2611	JOMO
信和興業株式会社	(700-0927) 岡山市西古松363-4	0862 (41) 3691	三石
スーパー・ストロングインターナショナル(株)	(532-0011) 大阪市淀川区西中島2-11-30	06 (303) 5510	昭和シェル
正興産業株式会社	(650-0024) 神戸市中央区海岸通り6	078 (322) 3301	三石
中国富士アスファルト株式会社	(711-0913) 倉敷市児島味野浜の宮4051-12	0864 (73) 0350	富士興産
千代田瀧青株式会社	(530-0044) 大阪市北区東天満2-10-17	06 (358) 5531	三石
ドーロ商事株式会社	(542-0083) 大阪市中央区東心斎橋筋1-3-11	06 (252) 5856	富士興産
中西瀧青株式会社大阪営業所	(530-0047) 大阪市北区西天満3-13-3	06 (316) 0312	日石
株式会社ナカムラ	(670-0852) 姫路市国府寺町72	0792 (85) 2551	JOMO
富士アスファルト販売株式会社	(550-0003) 大阪市西区京町堀2-3-19	06 (441) 5195	富士興産
富士商株式会社	(756-0811) 小野田市稻荷町6539	0836 (83) 3210	昭和シェル
株式会社松宮物産	(522-0021) 彦根市幸町32	0749 (23) 1608	昭和シェル
丸和鉱油株式会社	(532-0026) 大阪市淀川区塚本2-14-17	06 (301) 8073	コスモ
横田瀧青興業株式会社	(672-0000) 姫路市飾磨区南細江995	0792 (33) 0555	JOMO
株式会社菱芳礦産	(671-1103) 姫路市広畠区西夢前台7-140	0792 (39) 1344	JOMO

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
● 四国・九州		
伊藤忠燃料株式会社九州支社	(812-8528) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (471) 3851 J O M O
今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111 J O M O
株式会社カンド	(892-0823) 鹿児島市住吉町1-3	0992 (24) 5111 昭和シェル
北九州コスモ石油サービス株式会社	(804-0000) 北九州市戸畠区牧山海岸4-48	093 (871) 4720 コスモ
株式会社九菱	(805-0017) 北九州市八幡東区山王1-17-11	093 (661) 4868 三石
コスモアスファルト(株)九州支店	(810-0041) 福岡市中央区大名2-4-30	092 (771) 7436 コスモ
三協商事株式会社	(770-0941) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131 富士興産
サンヨウウ株式会社	(815-0037) 福岡市南区玉川町4-30	092 (541) 7615 富士興産
中西瀝青株式会社福岡営業所	(810-0001) 福岡市中央区天神4-1-18	092 (771) 6881 日石
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 三石
平和石油株式会社高松支店	(760-0017) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7255 昭和シェル
丸菱株式会社	(812-0011) 福岡市博多区博多駅前4-3-22	092 (431) 7561 昭和シェル

編集顧問

多田宏行
藤井治芳
松野三朗

委員長：河野 宏
阿部忠行 今井博文
荒井孝雄 菅野善朗
安崎裕 栗谷川裕造
池田拓哉 小島逸平

編集委員

副委員長：真柴和昌
七五三野茂 半野久光
鈴木明憲 姫野賢治
田井文夫 室賀五郎
野村敏明 森永教夫

アスファルト 第195号

平成10年4月発行

社団法人 日本アスファルト協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-21-8 TEL 03-3502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

〒104-0061 東京都中央区銀座8-2-9 TEL 03-3571-0997 (代)

印刷所 キュービックシステム株式会社

〒107-0052 東京都港区赤坂1-9-13 TEL 03-3224-1251 (代)

Vol.40 No.195 APRIL 1998

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**