

アスファルト

第39巻 第190号 平成9年1月発行

190

特集・舗装用アスファルト技術に関する最近の状況

特集にあたって	坂本 浩行	1
SHRPバインド試験の測定原理と背景	新田 弘之	3
SUPERPAVEによるわが国のアスファルトの評価	塚越 徹	10
ヨーロッパのアスファルト技術の現況	青木 秀樹	19
ストレートアスファルトの性状と最近の動向	長谷川 宏	24
改質アスファルトの最近の動向	日本改質アスファルト協会	30

座談会

アスファルト舗装技術

～これまでの歩みと21世紀への展望～

司会 河野 宏 38

インターネットと舗装工学（第3回）

姫野 賢治 54

＜第8回論文賞佳作＞

防音材料におけるアスファルトの利用技術

脇阪 三郎・多田 悟士 60

＜アスファルト舗装技術研究グループ・第27回報告＞

峰岸 順一 71

Pavement Analysis and Design

岡藤博国・阿部長門・伊藤達也・遠藤 桂 72

小笠幸雄・金井利浩・増山幸衛・吉村啓之

＜用語の解説＞

トンネル内舗装

小島 逸平 83

PAV（プレッシャーエージングベッセル，加圧劣化試験）

青木 秀樹 85

＜統計資料＞石油アスファルト需給統計資料

88

ASPHALT

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

第 9 回 論 文 賞 論 文 募 集

主催 (社)日本アスファルト協会

アスファルトは、道路舗装材料や建築防水用などの公共資材を初めとしてインクの原料・産業廃棄物の固化等の広い範囲に利用され、各分野における重要性はますます高まっております。

このため、アスファルトの利用・製造・品質・流通等の技術的進歩改善を目指した技術についての論文を広く募集いたします。

〔 応 募 要 項 〕

●テーマ

「アスファルトの利用・製造・品質・流通」に関するもの

アスファルト利用技術、アスファルトの製造技術、アスファルト品質技術（改質アスファルトを含む）、アスファルトを用いた舗装技術、アスファルトを用いた防水技術等

●応募条件

- (1) 論文は20,000字程度（図表、写真等を含む）とし、A4版用紙に1ページ40行、1行45字で取りまとめる。（ワープロ可）
- (2) 提出に際して論文要旨（300字以内）を添付する。
- (3) 応募論文は返却しない。
- (4) 入選論文の著作権は、当協会に帰属する。

●応募資格

資格は問わない

●賞金

入選1席 …… 賞金 30万円 1編
入選2席 …… 賞金 10万円 2編
佳 作 …… 賞金 5万円 4編

●締切り

平成9年12月31日（水）必着

●発 表

アスファルト誌第196号（平成10年7月）にて発表

●選考委員

委員長

多田 宏行 (財)道路保全技術センター理事長

委 員

阿部 頼政 日本大学理工学部土木工学科教授

飯島 尚 積水樹脂(株) 技術担当常任顧問

河野 宏 (社)土木学会専務理事

千葉 博敏 グリーンコンサルタント(株)

取締役社長

南雲 貞夫 (株)ガイアートクマガイ

常務取締役 技術研究所長

長谷川 宏 日本石油(株) 中央技術研究所

トライボロジー研究室主管研究員

真柴 和昌 パシフィック石油商事(株)

取締役社長

森永 教夫 建設省河川局河川環境課

都市河川室長

●送り先

〒105 東京都港区虎の門1-21-8 秀和第3虎ノ門ビル

社団法人 日本アスファルト協会

TEL 03-3502-3956

FAX 03-3502-3376

第74回 アスファルトゼミナール開催のご案内

社団法人 日本アスファルト協会

拝啓 時下ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。

さて、恒例の当協会主催の「アスファルトゼミナール」を下記要領にて開催致します。

内容等参考の上、奮ってご参加くださいますようご案内申し上げます。

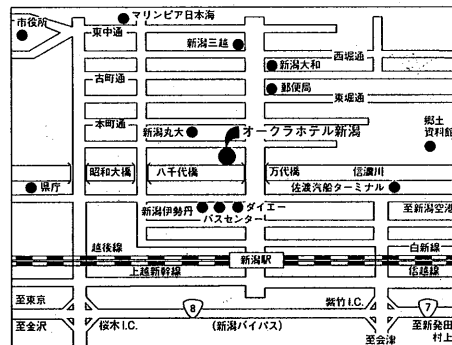
敬 具

記

1. 主 催 社団法人 日本アスファルト協会
2. 協 賛 社団法人 日本アスファルト乳剤協会、日本改質アスファルト協会
3. 後 援 建設省、社団法人 日本道路建設業協会、社団法人 日本道路建設業協会 北陸支部、
社団法人 日本アスファルト合材協会、北陸地区アスファルト合材連絡協議会
4. 開催月日 平成9年2月6日(木)～7日(金)
5. 開催場所 新潟市 オークラホテル新潟「末広の間」(案内図参照) 新潟市川端町6-53 ☎025-224-6111
6. 内 容 下記申込先までお問合わせ下さい。
7. 申込方法 平成9年1月20日までに下記参加申し込み書に必要事項をご記入のうえ参加費を添えて現金書留でお申し込み下さい。申し込み受付次第受講券、領収書をお送り致します。
8. 申 込 先 社団法人 日本アスファルト協会 アスゼミ係
〒105 東京都港区虎ノ門1-21-8 秀和第3虎ノ門ビル ☎03-3502-3956 F A X 03-3502-3376
9. 参 加 費 6,000円
10. 参加人数 600名 (締切日以前でも定員になり次第締め切らせていただきます。)
11. そ の 他 ①払い込み済みの参加費は、不参加の場合でも払い戻し致しません。参加者の変更をすることは差し支えありません。なお、不参加者には後日テキストをご送付致します。

- ②宿泊のあつ旋は、勝手ながら当協会では致しませんので、各自にてお願いします。
- ③会場には駐車設備がありませんので、車でのご来場はご遠慮願います。

会 場 案 内 図



交 通 案 内

新潟駅より ▼タクシーで5分

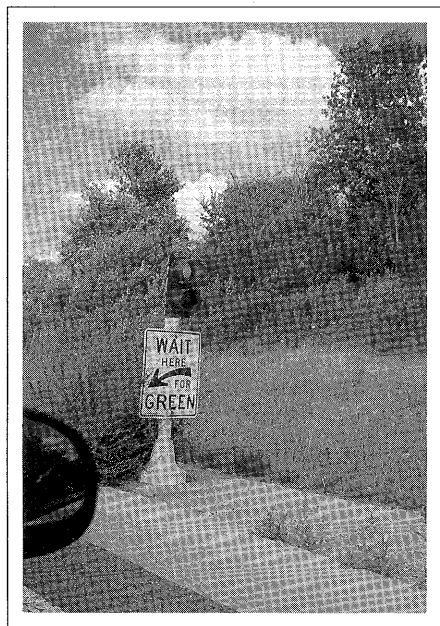
▼市バス(古町方面行き)磯町下車徒歩3分

第74回 アスファルトゼミナール 参加申込書

動 務 先			
所 在 地	〒 Tel		
連絡先部課・氏名			
参 加 者 氏 名	役 職 名	参 加 者 氏 名	役 職 名

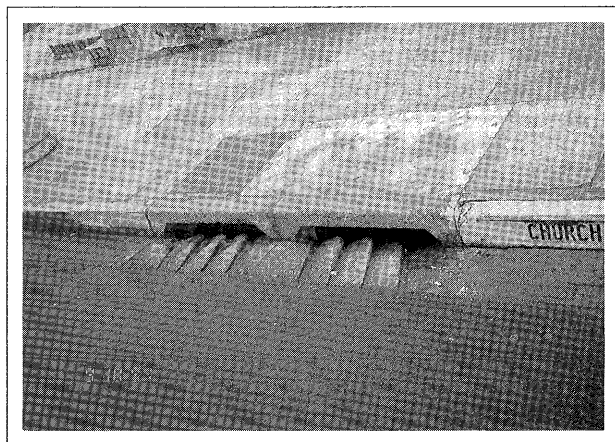
路ヲウヅチング

ちよつと変わったもの



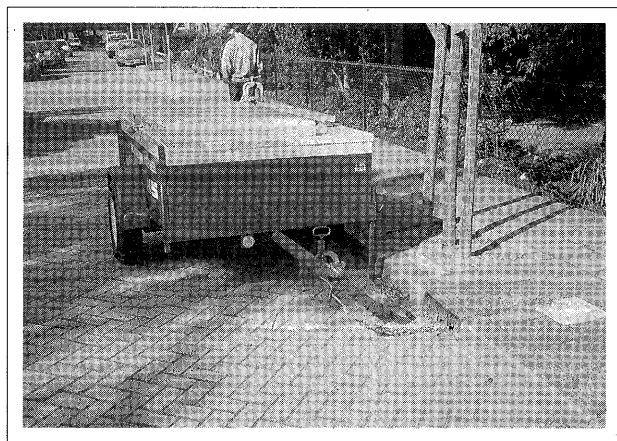
▲ フリーウェイへのアクセス道路。交差点ではなく合流形式ですが、本流に一度に流れ込まないように信号制御をしています。

(ミネアポリス)



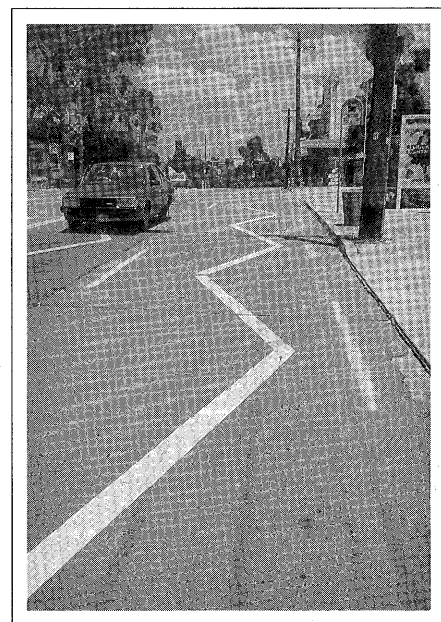
▲ 路側の排水測溝からの雨水の呑み口。下ではなく横向きに誘導する工夫がなされています。

(ケープタウンの近くで)



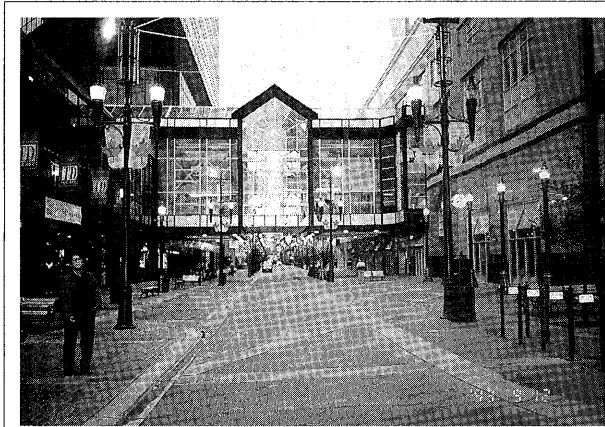
▲ 排水口のゴミよけが盗難防止に利用されています。

(オランダ)



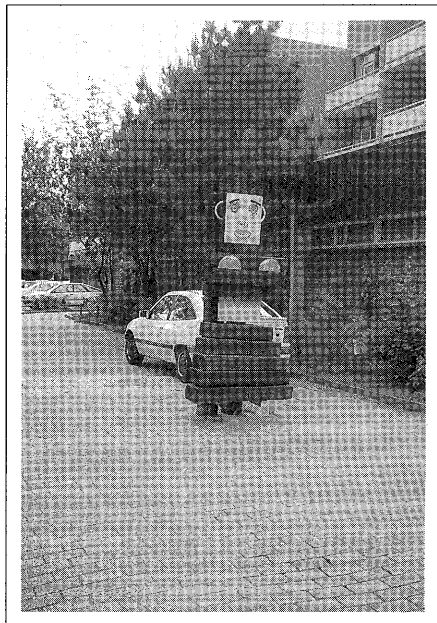
▲ ドライバーに減速を促す路面標示。効果はあるでしょうか

(シドニー)

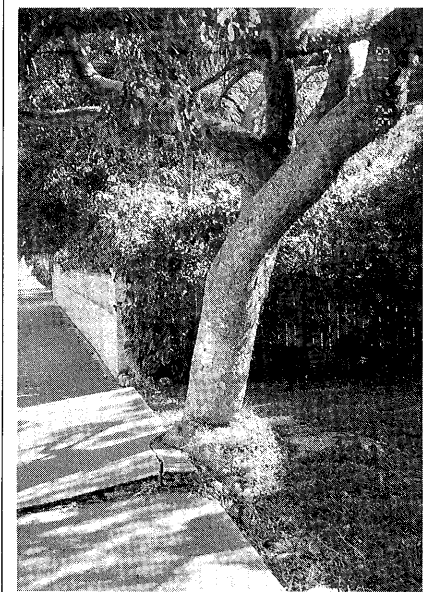


▲
道路上の空間の有効利用。単なる通路を超えています。土地代はただでしょうか？

(カルガリー)



▲
何のためかよくわからない構造物
(オランダ)



▲
植物の力。コンクリート舗装も版ごとリフト。アスファルト舗装だけではありません。

(マイアミ)



▲
節約型の車線の区画線。細く短く飛び飛びに引かれています。
(モスクワ)

特集にあたって

坂本 浩行

建設省土木研究所化学研究室長

我が国の道路舗装は、昭和29年度を初年度とする道路整備五箇年計画の積み重ねによって着実に進展してきた。現在、道路舗装の大部分はアスファルト舗装が占めており、その技術的基準類の主要な指導書として、アスファルト舗装要綱（以下、As要綱という）がある。As要綱は、初版が昭和25年に発刊され以来、その時代の社会的要請とそれに対応した技術開発にともない、これまでに数回改訂されている。舗装用アスファルト技術もAs要綱とともに展開している。その中で、舗装用アスファルトは舗装の供用性かなりの影響を与えるので絶えず関心が持たれ、As要綱改定にあわせてアスファルトの種類や品質規定が設けられてきた。

As要綱の初期に舗装用バインダーとして取り扱われてきた材料には、石油アスファルト、石油アスファルト乳剤、カットバックアスファルト、タール等がある。その後、舗装用タールおよび高針入度の石油アスファルトは、昭和53年版以降では除外されている。全般的に舗装用アスファルトの推移を見ると、昭和53年版以降では重交通道路の耐流動や耐摩耗対策として、各種の改質アスファルト等の新しい材料の導入は若干あるものの、材料的にはあまり変わっていないといえる。一方、材料の品質や位置づけの点では、その時代の交通条件やアスファルト製造原油の輸入事情により柔軟に対応を図っている。例えば、昭和36年版では製造原油として1) ナフテン基、2) 混合基、3) パラフィン基の3種類のものがあり、伸度でこれらを分

類した。しかし、昭和42年版では製造原油は混合基のものが主流となり、伸度は一本化され現在に至っている。また、車両の大型化、交通量の増大により舗装のわだち掘れに対しては、ひび割れを考慮しつつ、これらをいかに最小限に抑制するかということで、バインダー材料、配合設計の選定等に注意がなされてきた。それらは、昭和53年版以降における針入度40~60のアスファルトの採用、さらには、改質アスファルトとしてゴム入りアスファルト、熱可塑性樹脂入りアスファルトおよびセミブローンアスファルトの採用となった。昭和63年度版以降では、これらのものは現場の供用性等の実績から一般材料に位置づけされている。また、排水性舗装用のアスファルトとして、高粘度の改質アスファルトが使用されるようになった。

As要綱の舗装用バインダーの変遷から見ても分かるように、その時代の要請に応じて、品質の向上や新しい材料の導入を図ってきているが、その流れは、既存材料の流れに沿ったものである。

しかしながら、近年国際化、情報化、技術のハイテク化等によって、産業経済および国民生活の面で変化が生じてきており、意識や価値観の変革とも相まって各分野でニーズの多様化や高度化が進行してきている。舗装分野においてもこれらの傾向は例外ではなく、道路舗装をするにあたっては量的拡大もさることながら、質の充実化が要求されている。すなわち、これまでの走行安全性を追及することはもとより、こ

れに加えて快適性、環境との調和、美観性、道路環境の保全といった様々な機能を、適用個所によって併せて考慮しなければならないようになってきている。

現在、社会的に求められている舗装に関する主要な課題として、舗装用アスファルトに係わりの薄いものも含めて例示すると以下のものがあげられる。

- (1) 地球環境保全（省資源・省エネルギー、リサイクル）
- (2) 道路環境保全（交通騒音の低減）
- (3) 交通安全・走行快適性の確保（ハイドロプレーニング防止、水はね防止、耐流動、耐ひび割れ）
- (4) 長寿命化（メンテナンスメリー化、補修回数の低減）
- (5) 施工の合理化（児童化、省人化）
- (6) 維持管理（良好な供用水準の確保、効率的な補修材料の開発）

アスファルト舗装の供用性は、材料、施工、外的条件等によって変化するが、材料の1つであるアスファルトの影響因子も大きいことはいうまでもない。そのため、アスファルトの高品質化や各種の改質アスファルトが開発されてきたが、アスファルトの品質と舗装の供用性の関係は必ずしも明確になっていないのが現状である。

一方、米国のSHRP (Strategic Highway Research Program) におけるSUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements) では供用性にもとづいたアスファルトおよびアスファルト混合物の仕様についての研究がなされており、その成果が注目される。

舗装の供用性は、アスファルト単体のみの高度化を図っても他の部分（舗装構造、骨材、配

合設計、施工技術等）がそれをバックアップする水準に達していなければ、製品としての高度化の意義は薄れるので、総合的に対処する必要のあることはいうまでもない。

このような状況において、舗装用アスファルト技術に関する内外の議論が活発化している。そこで本誌では舗装用アスファルト技術に関する内外の技術情報として、下記のものを紹介することとした。

(1) SUPERPAVE

① SUPERPAVEの最近の動向

② SUPERPAVEによるわが国のアスファルトの評価

(2) ヨーロッパのアスファルト技術の現況

(3) わが国の舗装用アスファルト

① ストレートアスファルトの性状と最近の動向

② 改質アスファルトの製造方法の最近の研究動向

今後、国際化や多様化する舗装ニーズの中で、舗装用アスファルト技術に求められるものは何かの技術課題を整理し、積極的に対応を図る必要があると考えられる。

2. SUPERPAVEバインダ試験

SUPERPAVEバインダ試験には、現在わが国で広く使われている針入度試験や軟化点試験など、また米国で主流になっている60℃粘度試験なども全く採用されていない。従来のバインダ試験は、経験的な試験が中心であり、得られた数値は供用性と直接的にはあまり関係がない。それでも長年の経験により、これらの試験結果は供用性とよい相関が得られるように成っている。しかし、現在では様々なタイプのバインダが開発されており、これらを同様には評価できなくなっている。そのため、日本ではタイプごとに試験法、規格などを設定して対応している。

こういった背景をもとに、SHRPでは測定対象を広くもつ粘弾性試験を採用し、弾性率などの一般化された数値を得ることができるようにした。これらの粘弾性試験は、試験条件についても供用状態を考慮して選ぶことのできるものであった。これにより様々なタイプのバインダの測定が同様にできるようになるとともに供用性とより関係の深いと考えられる数値で評価が行えるようになった。また、現在の試験には長期供用後の性状を把握するためのものは無かったため、これも開発している。以下に、個々の試験の説明をする。

2.1 回転粘度計による粘度測定

高温粘度の試験には、従来の逆流毛管式粘度計による動粘度測定ではなく、アスファルト内にスピンドルを入れ回転させたときの回転速度と回転トルクから絶対粘度を得る回転粘度計が採用されている。

この方法は、古くから粘度測定に用いられてきたもので、すでにこれを研究に用いているところも多い。この測定法は、回転数を変化させることができるので、せん断速度による影響を把握することができる。これに対して、毛管式では粘度によりせん断速度が変化するので、せん断速度依存性のある物質の粘度測定には向かない。ストレートアスファルトは、高温ではせん断速度依存性はほとんどないので、毛管式による影響は少ないが、ゴム・エラストマーなどを混入させた改質アスファルトでは、せん断速度依存性が見られる場合もあり、せん断速度の影響を考慮する必要がある。

測定方法としては、図-1に示すようにシングルタイプとダブルタイプ⁶⁾⁷⁾があるが、シングルタイプは、試料の温度を均一に保つことは困難であるとともにせん断速度に大きな分布が発生してしまうので、測定精度はあまりよくない。したがって、舗装用アスファルトの高温粘度測定にはダブルタイプ（二重円筒）のも

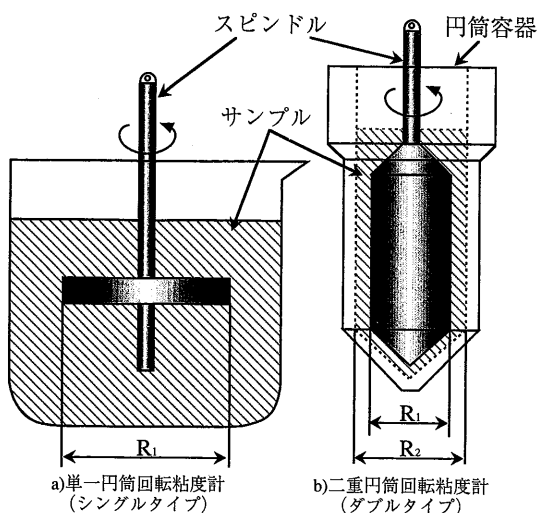


図-1 回転粘度計

のが適している。SHRPでは、ASTMの中のブルックフィールド型回転粘度計を採用しており、二重円筒を使うようにしている。

測定手順は、所定の量のアスファルトを円筒に入れ、さらにスピンドルをその中に入れて回転駆動部と接続し、これを恒温槽に入れアスファルトが試験温度に達したところで数値を読みとるようにする。改質アスファルトのなかには非ニュートン性を示すものもあり、特にせん断速度によって粘度が変わる現象（チキソトロピー性、ダイラタンシー性などがある）が見られ場合には、せん断速度依存性を十分に考慮して測定しなければならない。

回転粘度計で粘度が測定されるのは、理論的には次のようになる。このとき円筒は十分に長いと仮定する。まず粘度 η は次式のように応力 σ とずり速度 $d\gamma/dt$ で表される。

$$\sigma = \eta \times (d\gamma/dt) \quad \dots (1)$$

図-1 b) のような二重円筒回転粘度計の場合、ずり速度と応力は回転速度 Ω と回転トルク M と関係があり、次式で表される。

$$d\gamma/dt = 2R_2^2\Omega / (R_2^2 - R_1^2) \quad \dots (2)$$

$$\sigma = M / 2\pi R_1^2 L \quad \dots (3)$$

ここで、 R_1 ：円筒の内半径

R_2 ：回転子の半径

L ：回転子の長さ

したがって、粘度は以下のように表される。

$$\begin{aligned} \eta &= \sigma / (d\gamma/dt) \\ &= (M / 2\pi R_1^2 L) \times \{ (R_2^2 - R_1^2) / 2R_2^2 \Omega \} \quad \dots (4) \end{aligned}$$

ここで、 $(1/2\pi R_1^2 L) \times \{(R_2^2 - R_1^2)/2R_2^2\} = A$ (円筒およびスピンドルの形状で定まる定数) であるので、次式のようになる。

$$\eta = A(M/\Omega) \quad \cdots (5)$$

また、回転速度は回転数 n を用いて次式のように表される。

$$\Omega = 2\pi n \quad \cdots (6)$$

したがって、粘度は次式のように、回転数と回転トルクで決定される。

$$\eta = (A/2\pi) \times (M/n) \quad \cdots (7)$$

このようにして、粘度が決定されるわけだが、実際には粘度計に付属の粘度表または自動計算により、容易に粘度を知ることができる。

2.2 ダイナミックシェアレオメータ (DSR) による動的粘弾性の測定

DSR (Dynamic Shear Rheometer) は、液固体の粘弾性を測定するためのもので、樹脂などの研究開発用途に従来より用いられてきたものである。粘弾性の測定には、静的方法と動的方法があり、基本的にはどちらを使っても粘弾性状を解析できる。しかし、動的粘弾性測定には、①試験時間が非常に短い②流動状態でも弾性が測定できる③振動载荷の条件が実際の供用条件から設定できる等の特徴がある。アスファルト舗装を粘弾性理論で検討した例は、国内でもいくつもあり、粘弾性での評価には古くから期待されていたものと思われる。SHRPでは、供用中の動的作用によって受ける損傷の評価にDSRを用いるようにしている。つまり流動性と疲労ひび割れについての評価に用いるようにしている。

動的粘弾性の測定にはいくつかの測定方法があるが、SHRPでは、図-2に示すように2つの平行円盤にサンプルを挟んで測定する方法を選定している。回転方向に一定周波数で振動させたときのトルクを測定してこれを計算によって複素弾性率 G^* や $\tan\delta$ といった結果をえる。

平行円盤を用いた動的粘弾性測定の場合、サンプルに一定周波数 ω で正弦振動を与えたときの回転角 $\theta(t)$ とトルク $M(t)$ により、ひずみ $\gamma(t)$ および応力 $\sigma(t)$ は、次式のように計算される。

$$\gamma(t) = \theta(t)R/h \quad \cdots (8)$$

$$\sigma(t) = 2M(t)/\pi R^2 \quad \cdots (9)$$

動的測定では、測定対象がアスファルトのような粘弾性物質の場合、振動ひずみ $\gamma(t) = \gamma_0 \cos \omega t$ を与えると、応力は δ だけ位相がずれて発生するので、次式のよ

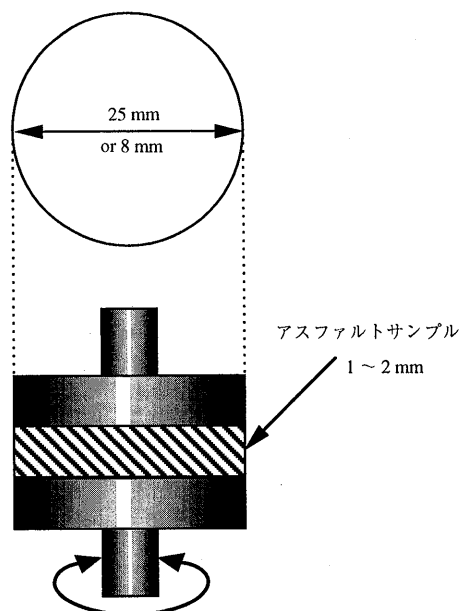


図-2 DSR測定部

うに表される。

$$\begin{aligned} \sigma(t) &= \sigma_0 \cos(\omega t + \delta) \\ &= \sigma_0 \cos\delta \cos\omega t - \sigma_0 \sin\delta \sin\omega t \end{aligned} \quad \cdots (10)$$

ここで、 γ_0 : 最大ひずみ

σ_0 : 最大応力

ここで、 G' と G'' を次式のようにおく。

$$\begin{aligned} G' &= (\sigma_0/\gamma_0) \cos\delta, \\ G'' &= (\sigma_0/\gamma_0) \sin\delta \end{aligned} \quad \cdots (11)$$

G' は貯蔵弾性率とよばれ、弾性的性質を示すものである。また、 G'' は損失弾性率と呼ばれ、粘性的性質を示すものである。これらの関係は複素数 i を用いることにより整理がつき、 $|G^*| = \sigma_0/\gamma_0$ としたとき、次のような関係で表される。

$$G^* = G' + iG'' \quad \cdots (12)$$

ここで G^* は複素弾性率とよばれ、(11) 式は G^* を用いて、次式のように書き換えられる。

$$G' = |G^*| \cos\delta, \quad G'' = |G^*| \sin\delta \quad \cdots (13)$$

また、粘性的傾向と弾性的傾向の度合いを示すためによく損失正接 $\tan\delta$ というものが使われるが、以下のような関係がある。

$$\tan\delta = G''/G' \quad \cdots (14)$$

図-3に示すように、測定物質が理想粘性体である場合、 $G' = 0$ すなわち $\delta = \pi/2$ となる。また、理想弾性体であると $G'' = 0$ すなわち $\delta = 0$ となる。アスファルトの測定の場合、 $0 < \delta < \pi/2$ となるが、ストレートアスファルトでは、高温になるほど $\delta \rightarrow \pi/2$ になる。改質アスフ

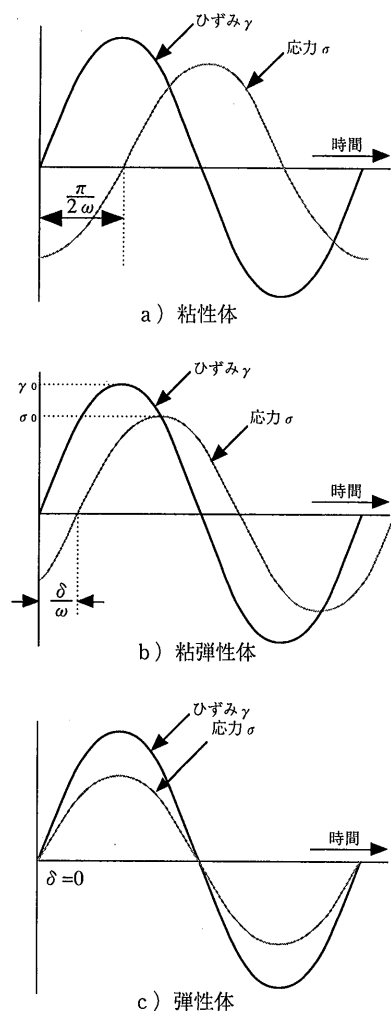


図-3 動的測定におけるひずみと応力の挙動

アルトでは、添加したポリマーにより粘弾性状が全く異なるので、一様な傾向は述べることはできない。

SUPERPAVEによる評価では、舗装の損傷形態により最も関係の深いと思われる係数を用いるようにしている。SHRPのスタッフの一員であるDr.Bahiaら⁸⁾によれば、これらの係数と損傷の関係を以下のように説明している。

まず、粘弾性の理論より1サイクル当たりのエネルギー損失 W_c は、次式のように表される。

$$W_c = \pi \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot \sin \delta \quad \dots (15)$$

ここで、 σ : 応力

ε : ひずみ

ここで、わだち掘れの場合、一定の応力がかかることにより引き起こされると考え、 $\sigma = \sigma_0$ (一定) とすると、(15) 式は次式のようにになる。

$$W_c = \pi \cdot \sigma_0 \cdot \varepsilon \cdot \sin \delta \quad \dots (16)$$

ここで、 $\varepsilon = \sigma_0 / G^*$ であることから、次式のようにになる。

$$\begin{aligned} W_c &= \pi \cdot \sigma_0^2 \cdot (\sin \delta / G^*) \\ &= \pi \cdot \sigma_0^2 \cdot \{1 / (G^* \sin \delta)\} \end{aligned} \quad \dots (17)$$

したがって、わだち掘れを評価するには、 $G^* / \sin \delta$ がよいとしている。

また、同じように疲労ひび割れについてもこの式を用いて説明している。疲労ひび割れでは、一定のひずみが繰り返しかかることにより引き起こされると考え、 $\varepsilon = \varepsilon_0$ (一定) とすると、(15) 式は以下のようにになる。

$$W_c = \pi \cdot \sigma \cdot \varepsilon_0 \cdot \sin \delta \quad \dots (18)$$

ここで、 $\sigma = \varepsilon_0 G^*$ であることから、上式は次式のようにになる。

$$\begin{aligned} W_c &= \pi \cdot G^* \cdot \varepsilon_0^2 \cdot \sin \delta \\ &= \pi \cdot \varepsilon_0^2 \cdot (G^* \cdot \sin \delta) \end{aligned} \quad \dots (19)$$

したがって、疲労ひび割れを評価するには、 $G^* \sin \delta$ がよいとしている。これらの係数と損傷の関係の説明はSHRPで提案されているもので、古くからあるレオロジー学では一般的ではない。今後は、これらの式の確認と実証データの収集が求められるところである。

試験条件としては、測定周波数 $\omega = 10 \text{ rad/s}$ で測定することを決めている。これは粘弾性特性は温度や測定周波数によっても大きく変化するが、SHRPでは実際の走行条件でアスファルトが受ける振動と同程度の周波数に設定しようとしてこのように決定している。つまり、米国で標準的な走行速度である約80km/hを想定すると、DSRの測定周波数は10rad/sになるとしている。都市部などで走行速度が遅くなる場合、この周波数を小さくして評価する必要があると考えられるが、SHRPでは周波数を小さくするのではなく温度を上げて測定するようにしている。重交通路では、さらに測定温度を上げて対応しようとしている。

2.3 ペンディングビームレオメータ (BBR) による静的粘弾性の測定

BBR (Bending Beam Rheometer) は、アスファルトの低温における静的粘弾性を測定するためのもので、SHRPの研究の中で開発されたものである。図-4に示すように、BBRはビーム状にしたアスファルトを一定荷重で3点曲げ試験をするものである。アスファルトが自重でたわむのを避けるのと温度を精度よく一定に保つために、アスファルトの比重に近い不凍液中で試験するように工夫されている。低温ではアスファルトは非常に硬いためDSRではひずみ量があまりとれず測定が難しいが、BBRでは十分なたわみがとれるのでア

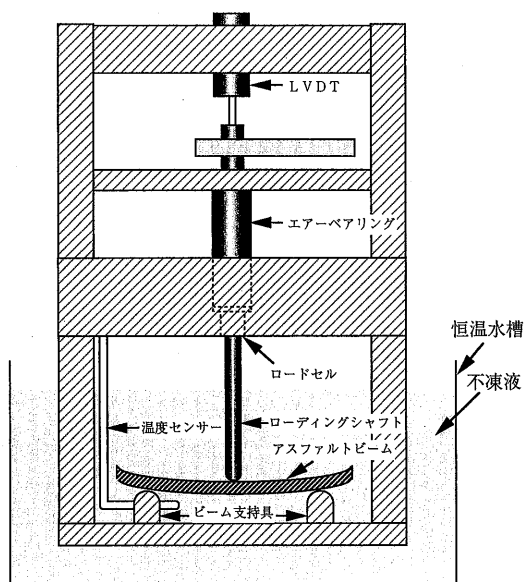


図-4 BBR試験機概要

スファルトの低温性状を容易に測定できるようになっている。

基本的には角柱型の供試体の一定荷重による3点曲げ試験であるが、粘弾性体の場合、時間と共にたわみ量が増加していくので弾性率（ヤング率）に相当する部分も変化する。これを弾性率と区別してスティフネス（Stiffness）と呼んでいる。特にSHRPでは、BBRで測定したものをクリープスティフネス（Creep Stiffness）と呼んでいる。クリープスティフネス S は、温度 T と時間 t により変化するため、以下のように表される。

$$S(T, t) = PL^3 / 4bh^3 \delta(T, t) \quad \dots (20)$$

ここで、 P ：荷重（N）

L ：スパン長さ（mm）

b ：ビーム幅（mm）

h ：ビーム高さ（mm）

$\delta(T, t)$ ：たわみ量（mm）

また、粘弾性的傾向を評価するものとして、SHRPでは m 値というものも設けている。この m 値は、図-5に示すように、両対数グラフ上で時間とスティフネスをプロットした場合の傾きである。式で表すと次式のようになる。

$$m(t) = -d \log S(t) / d \log t \quad \dots (21)$$

ここで、 m について考えると、測定物質が弾性体と仮定するすると、 $S = \text{Const}$ であるので、(21)式に代入すると、 $m = 0$ となる。

つぎに、測定物質が粘性体と仮定すると（実際にはBBRではそのような測定は不可能であるが）、 $\sigma = \sigma_0$ で

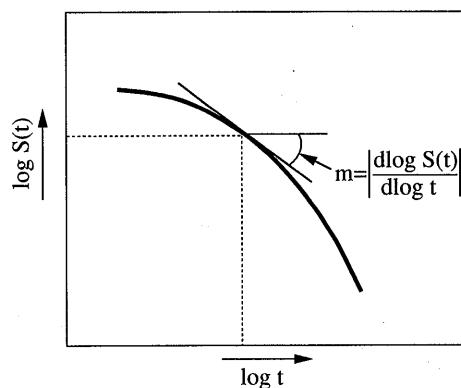


図-5 スティフネスの時間変化

あるので γ は時間 t の一次関数で表され、 $\gamma(t) = (\sigma_0 / \eta) t$ となる。従って、 S は次式のようにになる。

$$S(t) = \eta / t \quad \dots (22)$$

これを、(21)式に代入すると

$$\begin{aligned} m &= -d \{ \log(\eta/t) \} / d \log t \\ &= -d \log \eta / d \log t + d \log t / d \log t \\ &= 1 \end{aligned}$$

となる。

そして、アスファルトのような粘弾性体の場合は、 $0 < m < 1$ となる。

SHRPでは、このBBR測定を低温ひび割れの評価のために実施することになっている。とくに低温ひび割れが問題になるのは、劣化したアスファルトの場合であるため、PAV（プレッシャーエージングベッセル）を使って促進劣化させたアスファルトについて試験を実施するようにしている。

評価は、試験温度（設計最低温度 $T_{min} + 10^\circ\text{C}$ ）で60秒における測定結果で行うことにしている。これは、当初低温ひび割れは最低温度で2時間保持したときの性状と相関性があると考えていた。しかし、2時間では試験時間が長いので、図-6のように試験温度を 10°C

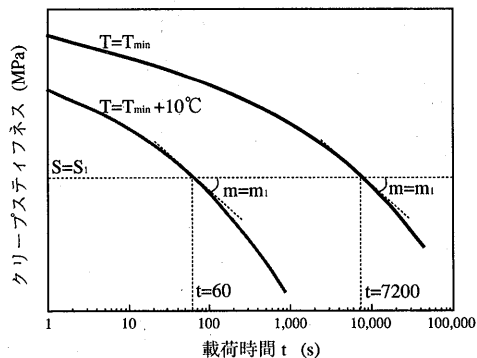


図-6 BBR測定における温度の影響

上げたところ60秒の性状と2時間の性状はほぼ同じであったので、10℃上げて試験時間を短くすることにした。BBRの結果はSとmの両方の値で規定されている。低温でひび割れを発生しにくいアスファルトとは、まず低温収縮により内部応力が発生した場合にも発生応力が小さいものとしている。低温でSが小さいものほど収縮による内部応力が小さいので、 $S \leq 300\text{MPa}$ と規定している。さらに、内部応力が発生しても応力を緩和する能力の大きいものほどよいとしている。応力緩和能力は、mが大きいものほど持っているので、 $m \geq 0.300$ と規定している。

2.4 ダイレクトテンション (DT) による低温破断性状の測定

DT (Direct Tension) は、低温における破断性を評価するもので、アスファルトを一定速度で引っ張り、破断したときの伸び率で評価するものである。この試験は、通常の引張り試験機と基本的には相違がないが、対象がアスファルトということでSHRPによっていろいろな工夫がなされている。試験片は、図-7に示すようにダンベル状であるが、試験機との接触部分でアスファルトが破壊するのを防ぐために、接触部分にはPMMA (ポリメチルメタアクリレート) 製のエンドグリップを使用している。また、低温ではアスファルトにわずかなきずが生じても試験誤差の原因になることから、変位の測定には、エンドグリップに設けられた穴をレーザー変位計で測定するようにしている。測定

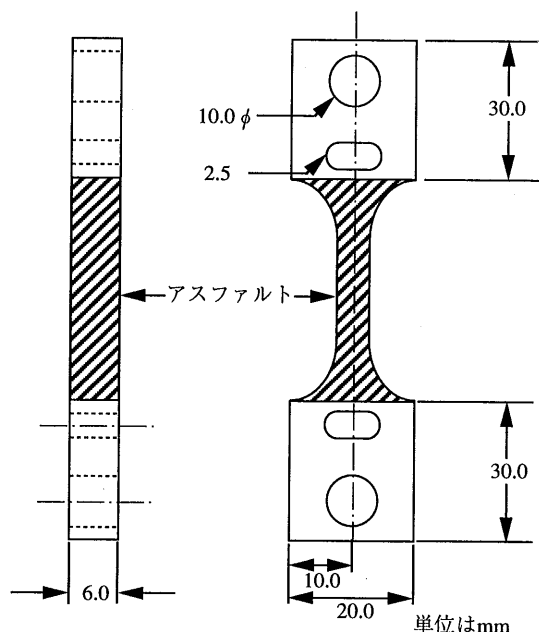


図-7 DT試験片

は当然低温で行うので、恒温槽が付いている。条件としては、BBRと同様にPAV後の試料を対象にし、試験温度(設計最低温度 $T_{min} + 10^\circ\text{C}$)において引張り速度 1.00mm/min で引っ張った場合の破断ひずみ、破断応力を測定することになっている。

SHRPでは、ストレートアスファルトのDT試験結果は、他の試験で得られたスティフネスとかなり相関性が高い結果を得ているようであるが、それでもなおSHRPの規格にいた理由を以下のように説明している。図-8に示すように、ポリマー添加した改質アスファルトの測定においては、スティフネスなどのレオロジー性状が同じ傾向を示している場合でも、破断時のひずみやエネルギーが異なることがしばしば観察された。従って、スティフネスと同様にひずみに対する耐久力も評価する必要があると考えた。また、ひずみ速度 $4\%/min$ (27mm のアスファルトを 1.0mm/min で引張る速さと同じ) で試験を行ったとき、アスファルトが脆くなるのはひずみ量約 1.0% 以下となる温度であることが観察された。従って、ひずみ量を 1.0% 以上とするように決めている。

最終的には、このDT試験はBBR試験の補助的な試験としてSUPERPAVE仕様に残っている。BBR試験での結果が、 $m > 0.300$ で $300\text{MPa} < S < 600\text{MPa}$ である場合にDT試験を実施することになっており、破断ひずみ $> 1.00\%$ となる場合に使用できるようになる。

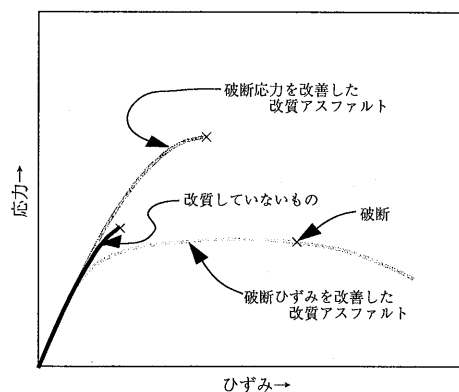


図-8 DT試験における改質材の影響

2.5 プレッシュャーエージングベッセル (PAV) によるアスファルトの促進劣化試験

PAV (Pressure Aging Vessel) は、長期供用後のアスファルトの劣化を再現するために、SHRPで開発された促進劣化試験である。アスファルトは、まず混合物製造時に高温に曝されるので、このとき劣化をする。

この劣化についてはすでにTFOTがあり（SHRPではRTFOTを推奨している）、ある程度の劣化について評価が行われてきた。しかし、ひび割れなどのアスファルトの長期供用劣化が関係する損傷では、長期供用後のアスファルトを再現して、評価に使うことが有効である。この劣化は主に供用中に日光や熱によって徐々に起こるものであり、混合物製造時の高温による劣化とは異なるものである。そこで、長期供用後と同等の劣化を室内で再現して、この状態のアスファルトを用いてひび割れ性を評価することを目的としてこの試験が考え出された。

試験方法としては、RTFOTあるいはTFOTを行った後のアスファルトにPAV試験を施す。PAV試験は、図-9に示すようにTFOT皿に50gのアスファルトを入れ、これをPAVの中に入れる。これを通常100℃（地域

によっては、90℃、110℃などの条件がある）、圧縮空気で2.07MPaにして、20時間劣化させるというものである。

SHRPでは、文献調査などを通じて長期供用によるアスファルトの劣化を再現するためには、熱劣化を起こさない程度の温度で圧力をかける方法が有効であると判断して、これについて研究を行ってきた。60℃、70℃、80℃などでの試験や、空気や酸素雰囲気での試験などを調査した結果、上記のような条件で試験を行うことにより、5年から10年の供用劣化を再現できると結論している。筆者らもこれについては研究をしており⁹⁾、ストレートアスファルトの場合では化学性状、物理性状ともに長期間暴露したものと室内でPAVにより促進劣化させたもので劣化の状態が非常に似ていることを確認しており、すでに報告している。

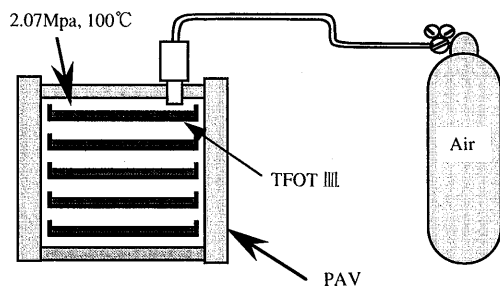


図-9 PAV試験

3. おわりに

以上説明してきたように、SHRPのバインダ試験は、それぞれ理論的背景をもとにして試験方法から試験条件、規格値が定められている。しかし、現在のSHRP試験だけでバインダのすべての供用性状が明らかにできるわけではなく、今後の研究により、不足している部分を補い、供用性状がより正確に予測できる評価方法が開発していくことが必要であるだろう。

参考文献

- 1) SHRP: The SUPERPAVE Mix Design System Manual of Specifications, Test Methods, and Practices, SHRP-A-379 (1994)
- 2) SHRP: Superior Performing Asphalt Pavements (SUPERPAVE): The Product of the SHRP Asphalt Research Program, SHRP-A-410 (1994)
- 3) 片脇, 新田, 佐々木, 中村, 久保: 舗装用アスファルトの新しい試験法—SHRPで指定されている品質規格, 土木技術資料, 35-9 (1993)
- 4) 新田, 塚越, 遠西: SHRP試験による国内アスファルトの性状測定, 石油製品討論会 (1994)
- 5) 新田, 坂本, 片脇: SUPERPAVEバインダー試験による国内アスファルトの性状調査, 舗装31-7 (1996)
- 6) JIS K7117: 液状の樹脂の回転粘度計による粘度試験方法 (1987)
- 7) ASTM D4402: Standard Test Method for Viscosity Determinations of Unfilled Asphalts Using The Brookfield Thermosel Apparatus
- 8) Validation of SHRP Binder Specification Through Mix Testing, Journal of AAPT, (1993)
- 9) 遠西, 新田, 坂本, 片脇: アスファルトバインダーの劣化試験方法に関する研究, 舗装30-6 (1995)

SUPERPAVEによるわが国のアスファルトの評価

塚 越 徹*

はじめに

建設省土木研究所化学研究室では、アメリカのSHRPで提案しているアスファルトの新しい規格（SUPERPAVE）について検討を行っている。この中で、平成5、6年度において国内で市販されている各種舗装用ストレートアスファルトおよび改質アスファルトのSUPERPAVEによる評価を行っている。筆者は平成5、6年度に土木研究所の交流研究員として、この研究に参加しており、研究チームの研究成果についてはすでに関係する学会、雑誌等で発表してきている^{1)~17)}。

今回は、この研究チームの研究成果のうち土木研究所資料¹⁴⁾に取りまとめられているデータを用いて解析を行った結果について報告する。

1. SUPERPAVEバインダー試験

1.1 試験方法

図-1にSUPERPAVEの評価フローを示す。試験は、劣化試験と性状評価試験で構成されている。以下、各評価サンプルの名称、劣化試験方法ならびに評価項目、試験方法の概要を示す。

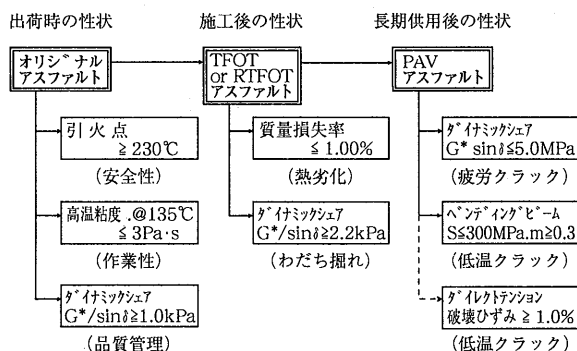


図-1 SUPERPAVE評価フロー

(1) 評価サンプル

①オリジナルアスファルト

アスファルトの製造・出荷時（あるいはユーザーの入手時）の劣化を受けていないサンプルをいう。

②TFOTアスファルト

薄膜加熱試験 [JIS K 2207] (Thin Film Oven Test. 以下TFOTと称す。)により促進劣化させたサンプルをいう。

③RTFOTアスファルト

回転式薄膜加熱試験 [ASTM D 2972] (Rolling Thin Film Oven Test. 以下, RTFOTと称す。)により促進劣化させたサンプルをいう。

④PAVアスファルト

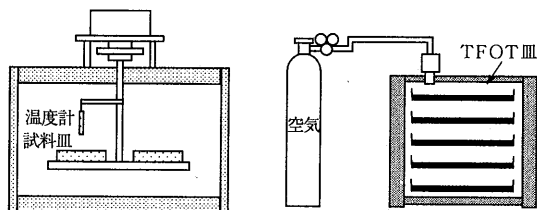
加圧劣化試験 (Pressure Aging Vessel. 以下PAVと称す。)により促進劣化させたサンプルをいう。

(2) 劣化試験方法

①TFOT

本試験は、アスファルト合材工場でのアスファルトと骨材の加熱混合および運搬・施工時における熱劣化を実験室的に再現しているものである。

試験は、試料皿にオリジナルアスファルトを50±0.5g秤量し、試験装置にて温度163℃、5時間、空気雰囲気中で行う。試験後は、質量変化率の測定を行う。また、劣化サンプルはTFOTアスファルトと



試験温度 : 163℃
試験時間 : 5時間
雰囲気 : 空気 (大気圧)

試験温度 : 100℃
試験時間 : 2.0時間
雰囲気 : 空気 (2.07MPa)

図-2 劣化試験方法の概略

*つかごし とおる 日本石油(株)中央技術研究所トライボロジー研究室

して評価を行う。

②RTFOT

本試験も、TFOTと同様に、アスファルト合材工場でのアスファルトと骨材の加熱混合および運搬・施工時における熱劣化を実験室的に再現しているものである。

試験は、試料瓶にオリジナルアスファルトを35±0.5g秤量し、試験装置にて温度163℃、85分間、空気雰囲気中で行う。試験後は、質量変化率の測定を行う。また、劣化サンプルはRTFOTアスファルトとして評価を行う。

ただし、SUPERPAVEでは、TFOTとRTFOTのどちらでも選択が可能であったため、この試験の差異が少ないことを確認して⁷⁾、今回の試験はTFOTを行った。

③PAV

本試験は、アスファルト舗装における5年～10年の供用中の劣化を実験室的に再現しているものである。

試験は、TFOT後のサンプル（TFOTアスファルト）をTFOT試験皿に50±0.5g秤量し、試験装置にて温度100℃、20時間、2.07MPaに加圧した空気雰囲気中で行う。また、試験後の劣化サンプルはPAVアスファルトとして評価を行う。

(3) 評価項目および試験方法

①引火点

本評価項目は、オリジナルアスファルトの取り扱い上の安全性を規定するものである。

試験は、現行の規格 [JIS K 2207] と同様であり、SUPERPAVEでは、引火点を230℃以上と規定している。

②高温粘度 (135℃)

本評価項目は、オリジナルアスファルトのポンプ配送等の作業性（取り扱い性）を規定するものである。SUPERPAVEでは高温粘度(135℃)を3 Pa・s以下と規定している。

試験は、ASTM D 4402 (High Temperature Viscosity Measurement) に準拠して、回転粘度計 (Rotary Viscometer. RVと称する場合もある。) により、温度135℃で測定を行う。ただし、SUPERPAVEでは、せん断速度についての条件は決められていないが、今回我々の試験ではせん断速度を変えて測定を行った。

③ダイナミックシェア

本評価項目は、オリジナルアスファルト、TFOTアスファルトならびにPAVアスファルトの粘弾性状を規定するものである。SUPERPAVEではこれら粘弾性状をアスファルトの供用時の損傷と関連付けている。オリジナルアスファルトでは、コンシステンシを管理するために粘弾性状として $G^*/\sin\delta$ を選定し、製造時の条件として、1.0kPa以上となる規格値を規定している。TFOTアスファルトでは高温付近でのわだち掘れと関係があると考えられる粘弾性状として $G^*/\sin\delta$ を選定し、わだち掘れが発生しない条件として2.2kPa以上となる規格値を規定している。さらに、PAVアスファルトでは長期供用後の室温付近での疲労クラックと関係があると考えられる粘弾性状として $G^*\sin\delta$ を選定し、疲労クラックが発生しない条件として5.0MPa以下となる規格値を規定している。

試験は、ダイナミックシェアーレオメータ (Dynamic Shear Rheometer. DSRと称する場合もある。) により行う。SUPERPAVEでは、角速度10rad/sの条件で、6℃間隔で設定された温度で規格値を満足するか評価を行う。

ただし、今回我々は以下の方法で試験を行っている。オリジナルアスファルトおよびTFOTアスファルトの試験の場合、サンプルは直径25mmの平行盤（パラレルプレート）の上にセットする。このときサンプルの厚さ（ギャップ）は1mmとする。試験は、角速度10rad/s一定で、40～80℃（ストレートアスファルトのような柔らかいサンプルの場合は、40～70℃

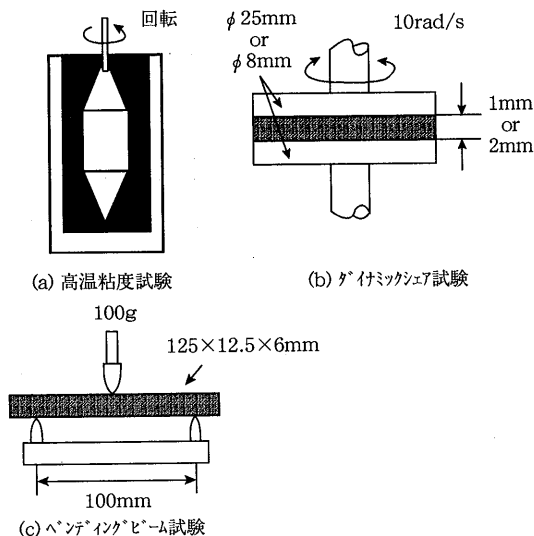


図-3 評価試験方法の概略

まで)の範囲で10℃間隔で行う。また、PAVアスファルトの試験の場合、サンプルは直径8mmの平行盤の上にセットする。このときサンプルの厚さは2mmとする。試験は、角速度10rad/s一定で、0～40℃の範囲で10℃間隔で行う。

④ベンディングビーム

本評価項目は、PAVアスファルトの粘弾性状を規定するものである。SUPERPAVEでは、この粘弾性状をアスファルトの長期供用後の低温付近での低温クラックと関係があると考え後述のS値およびm値を選定し、低温クラックが発生しない条件として、荷荷時間60秒で測定されるS値が300MPa以下かつm値が0.3以上となる規格値を規定している。ここで、S値とは、Stiffness（スティフネス）の略であり、測定時間（t）によって変化する応力（ σ ）と変位量（ γ ）の比（ $S=\sigma/\gamma$ ）より求められる。また、m値とは、測定時間によって変化するS値の時間に対する変化率（ $m=-d\log S/\log t$ ）である。

試験は、ベンディングビームレオメータ（Bending Beam Rheometer. BBRと称する場合もある。）により行う。PAVアスファルトサンプルを、所定のモールドを用いて長さ125mm×12.5mm×6mmのビーム状に成形し、試験装置にセットする。測定は、100mm間隔の支持台の上で試験片の中央に100g一定荷重で240秒間荷重して行う。SUPERPAVEでは、6℃間隔で設定された温度で規格値を満足するか評価を行う。

ただし、今回我々の試験では、-20～-5℃の範囲で5℃間隔で行った。

⑤ダイレクトテンション

本評価項目は、ベンディングビームと同様に、長期供用後の低温付近での低温クラックと関係があると考え規定している。

ただし、SUPERPAVEではベンディングビームでS値が300MPa以下である場合には試験を行わなくてよいことになっている。このことから今回の評価ではベンディングビームのみ行った。

1.2 パフォーマンスグレードの判定方法

SUPERPAVEでは、アスファルトの分類について現行の針入度に替えて、アスファルトの使用が可能な温度範囲という考え方をもとに分類を行っている。また、この温度範囲で使用する場合には、供用中に発生する問題（わだち掘れ、疲労クラック、低温クラック）について保証できるとしており、供用状態を考慮したという意味からこの分類をパフォーマンスグレード（以下PGと称す。）と称し、PG○-□のように表示している。（ここで、○は供用可能な最高温度、□は供用可能な最低温度を示している。）

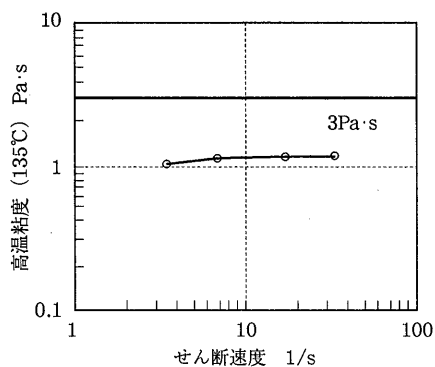
次に、我々が試みたPGの求め方を示す。図-4に、オリジナルアスファルト、TFOTアスファルト、PAVアスファルトの各評価項目の試験結果例および規格値を示す。図からもわかるように、今回のダイナミックシェア、ベンディングビームの試験は、10℃間隔および5℃間隔で行っており、規格値を満足する温度は回帰式を用いて求めることにした。

次に、これら評価により求められた温度範囲を整理すると表-1のようになる。供用可能な最高温度についてはオリジナルアスファルトあるいはTFOTアスファルトのダイナミックシェアの評価から決定される。

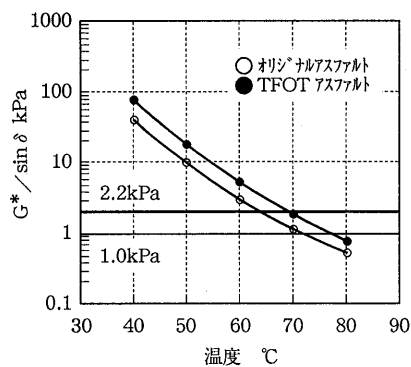
表-1 SUPERPAVEによる判定結果（例）

サンプル	試 験 項 目	評価結果	供用可能温度・℃																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
オリジナル アスファルト	ダイナミックシェア $G^*/\sin \delta \geq 1.0\text{kPa}$, ℃	71																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													</

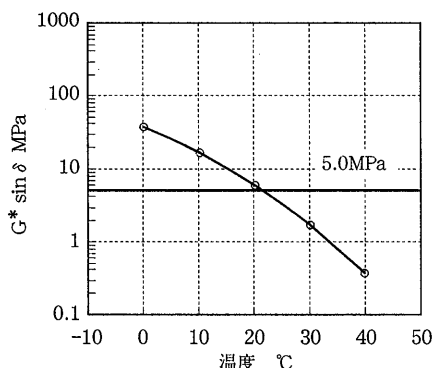
（注）（ ）カッコ内は、ベンディングビーム規格値を満足する温度-10℃の結果である。



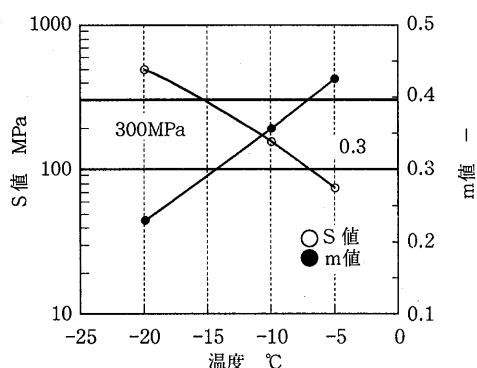
(a) 高温粘度の試験結果 (オリジナルアスファルト)



(b) ダイナミックシェア (オリジナル/TFOTアスファルト)



(c) ダイナミックシェア (PAVアスファルト)



(d) ベンディングビーム (PAVアスファルト)

図-4 SUPERPAVEによる試験結果 (例)

また、供用可能な最低温度については、PAVアスファルトのベンディングビームの評価結果より決定される。ただし、ベンディングビーム規格値を満足する温度-10℃が、試料の供用可能最低温度となる。

1.3 試料

性状調査を行った試料は、国内で市販されている各種アスファルトを広く評価する目的で以下の点を考慮して収集を行った。

ストレートアスファルト及びセミプローンアスファルトについては、製造量、製造原油等を考慮して選定を行い、針入度グレード60～80を中心に各針入度グレードのものを(財)日本アスファルト協会より提供して頂いた。

ポリマー添加による改質アスファルト (改質アスファルト I 型、改質アスファルト II 型、その他 (各用途に対応した改質アスファルト)、高粘度改質アスファルト) については、(財)建設物価調査会発行の建設物価を参考に選定を行い、(財)改質アスファルト協会及び関係各社より提供して頂いた。

表-2 に試験に使用した試料の種類、試料数を示す。

表-2 資料の一覧

種 類	試 料 数
ストレートアスファルト 40～60	4
ストレートアスファルト 60～80	13
ストレートアスファルト 80～100	5
セミプローンアスファルト	2
改質アスファルト I 型	8
改質アスファルト II 型	10
改質アスファルト (その他)	4
高粘度改質アスファルト	6

2. 結果

2.1 オリジナルアスファルト

(1) 引火点

引火点を図-5 に示す。(図中の●プロットは測定値であり、実線は最大値と最小値を結んだものである。以下に示す図も同様である。)ここで、図に示した引火点については各社提出の性状表より引用したものである。SUPERPAVEの規格値は、230℃以上であるが、

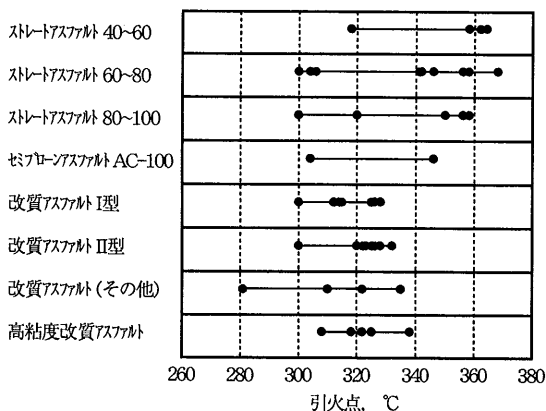


図-5 引火点の試験結果

国内の現行規格あるいは協会規格では260℃以上となっているので、全試料ともに規格を満足するものとなっている。

(2) 高温粘度 (135℃)

高温粘度 (135℃) の回転粘度計による試験結果を図-6に示す。SUPERPAVEでは、せん断速度についての規定はないが、今回はせん断速度を変えて測定を行った。ただし、ストレートアスファルトの場合、高温ではほぼニュートン流体と見なすことができ、せん断速度に対する依存性がないことから一定のせん断速度 ($34s^{-1}$) で測定を行っている。また、改質アスファルトの場合は、高温でも非ニュートン流体であり、せん断速度が速くなると多くの場合粘度が上昇する傾向であった。このことから、改質アスファルトの高温粘度を測定する場合には、使用条件にあったせん断速度での測定が必要であると考えられる。

図に示した粘度は、せん断速度 $34s^{-1}$ (ただし、高粘度改質アスファルトは、せん断速度 $6.8s^{-1}$) で得られる

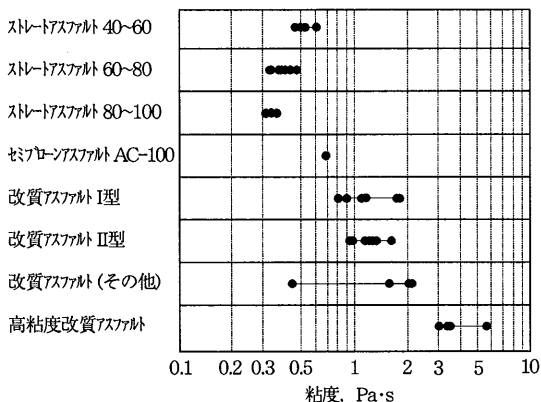


図-6 高温粘度 (135℃) の試験結果

値である。SUPERPAVEの規格値では $3 Pa \cdot s$ 以下としており、今回の測定では高粘度改質アスファルトを除いたものが規格を満足する結果となっている。

(3) ダイナミックシェア

ダイナミックシェアの試験結果を図-7に示す。(図中の●がオリジナルアスファルトの結果である。)

ストレートアスファルトの場合、針入度が大きくなるに従い規格値を満足する温度が低くなる傾向にある。また、改質アスファルトの場合、ほとんどが70℃以上を満足する結果となっている。ただし、高粘度改質アスファルトの場合、粘弾性状を比較するには意味があるが、密粒度アスファルト混合物を想定した規格値をこのまま用いるには問題があると考えられる。

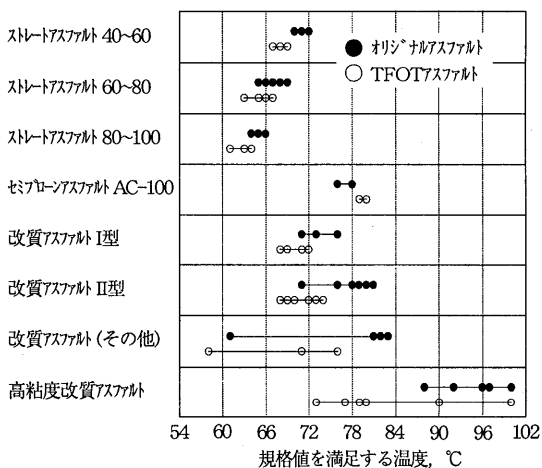


図-7 ダイナミックシェアの試験結果

2.2 TFOTアスファルト

(1) 質量損失率

TFOTの質量損失率の結果を図-8に示す。SUPER-

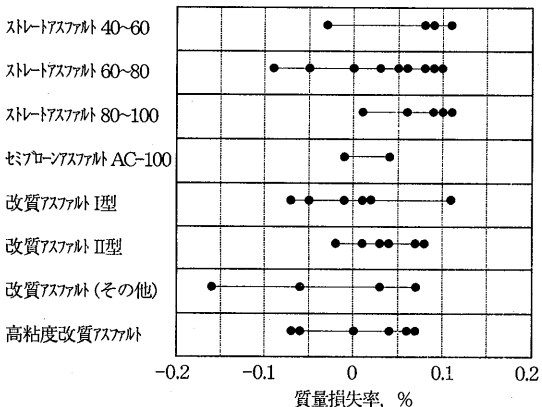


図-8 質量損失率の試験結果

PAVEの規格値は1.0%以下であるが、国内の現行規格あるいは協会規格では0.6%以下となっているので、全試料ともに規格を満足するものとなっている。

(2) ダイナミックシェア

ダイナミックシェアの試験結果を図-7に示す。(図中の○がTFOTアスファルトの結果である。) 図より、オリジナルアスファルトとTFOTアスファルトの規格値を満足する温度を比較すると、TFOTアスファルトの方が低い温度を示している。これは、SUPERPAVEではオリジナルアスファルトの粘弾性状($G^*/\sin\delta$)について1.0kPa以上、TFOTアスファルトの粘弾性状について2.2kPa以上と2.2倍の値としているのに対して、今回調査した試料は、劣化による粘弾性状の変化がそれほど大きくなかったことを意味している。ただし、セミブローンアスファルトについては、TFOTアスファルトの方が高い温度を示す結果となっている。

次に、図-9に各試料の60℃における粘弾性状の測定結果を示す。この結果からも、オリジナルアスファルトとTFOTアスファルトの粘弾性状を比較した場合、セミブローンアスファルトの性状変化が大きく、次にストレートアスファルト、ポリマー改質アスファルトの順に小さくなっている傾向にある。

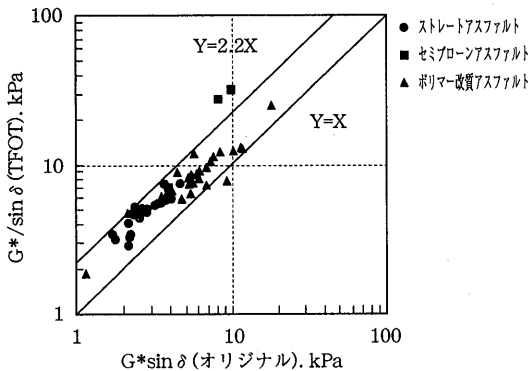


図-9 ダイナミックシェアの試験結果 (60℃)

2.3 PAVアスファルト

(1) ダイナミックシェア

PAVアスファルトのダイナミックシェアの試験結果を図-10に示す。図より、ストレートアスファルトの場合、針入度が大きくなるに従い規格値を満足する温度が低くなる傾向にある。また、改質アスファルトの場合、セミブローンアスファルトでは規格値を満足する温度は高いが、ポリマー改質アスファルトの場合では低くなる傾向にある。図-11に各試料の20℃における貯蔵弾性率 ($G^*\cos\delta$: 複素弾性率 (G^*) の弾性項)

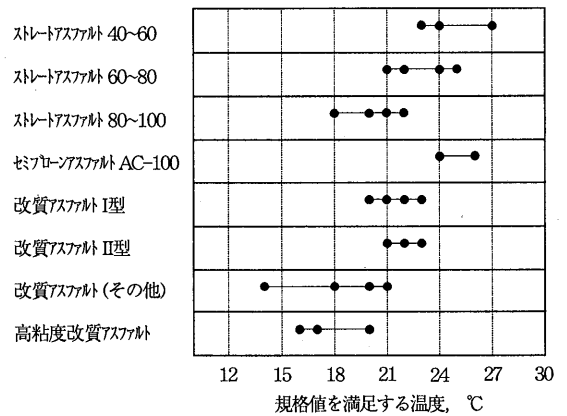


図-10 ダイナミックシェアの試験結果

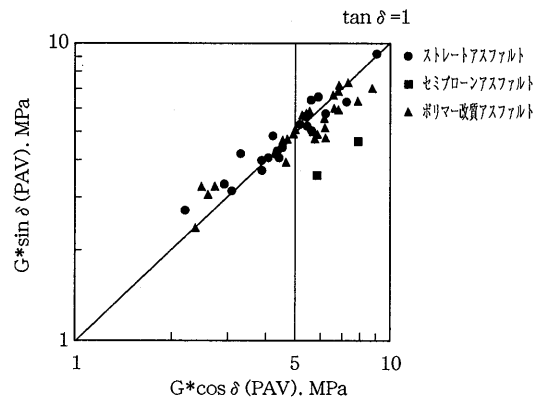


図-11 ダイナミックシェアの試験結果 (20℃)

と損失弾性率 ($G^*\sin\delta$: G^* の粘性項) を示す。この結果から、セミブローンアスファルトの複素弾性率は弾性項に大きく依存している特徴があることがわかる。

(2) ベンディングビーム

PAVアスファルトのベンディングビームの試験結果を図-12に示す。図よりストレートアスファルトの場合

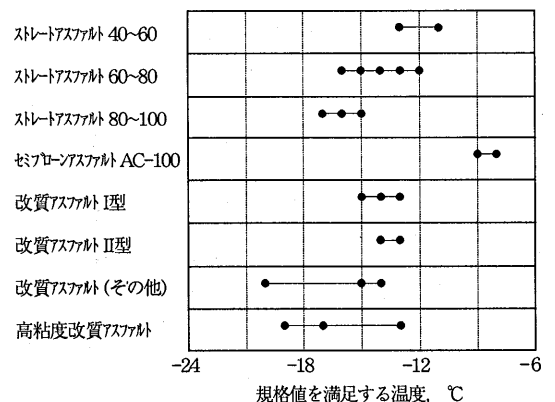


図-12 ベンディングビームの試験結果

合、針入度が大きくなるに従い規格値を満足する温度が低くなる傾向にある。また、改質アスファルトの場合、セミブローンアスファルトでは温度が高いが目立つが、ポリマー改質アスファルトでは低くなる傾向にある。

図-13に各試料のS値およびm値が規格値を満足する温度を示す。この結果より、ほとんどの試料でS値とm値が同等か、m値の方が温度が高くなっており、m値で規格温度が決まる傾向にある。ただし、ここでもセミブローンアスファルトは、他と違った性状を示し、規格値を満足する温度はm値に大きく依存していることがわかる。また、図-14に各試料の-10℃におけるS値、m値の値を示す。この結果からも、セミブ

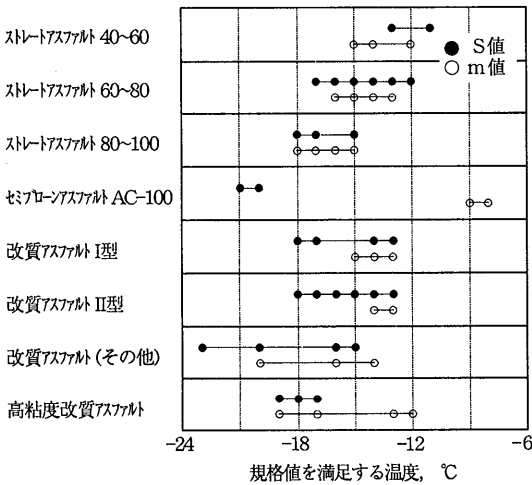


図-13 ベンディングビームの試験結果

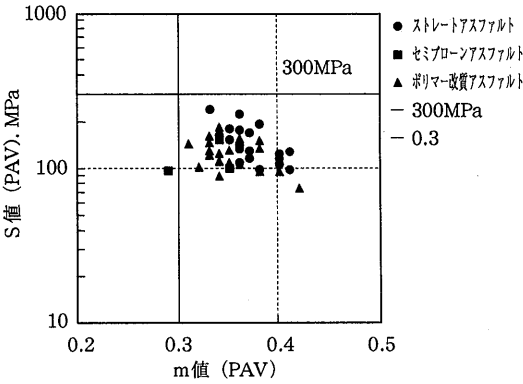


図-14 ベンディングビームの試験結果 (-10℃)

ローンアスファルトはm値が小さく弾性体に近い状態であると考えられる。また、その他のストレートアスファルトおよび改質アスファルトについて大きな差は確認できなかった。

2.4 PGによる評価

図-15に前述の全ての結果をもとに、SUPERPAVEで判定した供用可能な温度範囲を示す。ただし、改質アスファルト（その他）についてはその使用目的が別々であるので、まとめは行っていない。

供用可能最高温度についてはストレートアスファルトの場合、針入度が大きくなるに従い低くなる傾向にある。また、改質アスファルトの場合は、高粘度改質アスファルト、セミブローンアスファルト、改質アスファルト II型、改質アスファルト I型の順になっている。ここで、特にセミブローンアスファルトの評価結果が良好であることがわかる。また、ストレートアス

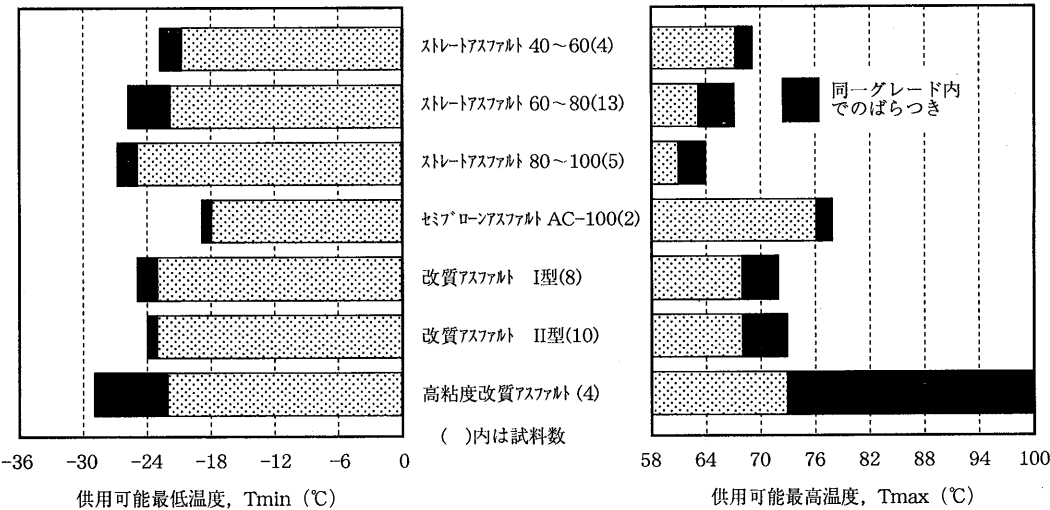


図-15 SUPERPAVEで判定した場合の供用可能な温度範囲

ファルトの一部を除くほとんどの試料で60℃以上で供用可能という結果となっている。

供用可能最低温度についてもストレートアスファルトの場合には前述と同様に針入度が大きくなるに従い低くなる傾向にある。一方、改質アスファルトの場合には高粘度改質アスファルト、改質アスファルトII型、改質アスファルトI型、セミプローンアスファルトの順になっておりセミプローンアスファルトの評価結果は悪くなっている。ただし、この結果では最低温度としては-18℃程度まで使用可能となっている。

以上の結果より、高温特性の改良についてはブロッキングによる方法が効果的であるが、低温特性を考慮する場合にはポリマー添加による改質が、バランスのとれたものとなると考えられる。

また、SUPERPAVEではPGを6℃間隔で分類しており、図中横軸の温度はPGの目安となるものである。これより、現行規格では同一グレードであっても、SUPERPAVEで評価した場合は違いがあり、規格温度の設定によっては同一グレードとならない場合もある。

3. まとめ

今回の調査で使用した試料は国内で市販されている

代表的なものであり、SUPERPAVEで評価した場合の現状をおおよそ把握できたものと考えられる。ただし、評価に用いた規格値についてはアメリカの気象条件、交通条件あるいは密粒度アスファルト混合物を想定したものとなっている。このことから、今後は日本の実態（現実には重交通によるわだち掘れなどが発生している）にあった評価条件あるいは基準が必要であると考えられる。

あとがき

本報告は、建設省土木研究所において筆者を含めた研究チームの行った研究成果をもとに解析したものである。本報告をまとめるにあたっては、新田研究員、佐々木研究員（建設省土木研究所）にご指導いただいた。ここに深く謝意を表します。また、当時交流研究員として、筆者と同じくこの研究チームにおいて共同で研究を行った遠西氏（昭和シェル㈱）、田中氏（ニチレキ㈱）に感謝を表します。

最後に、研究チーム全体の指導をしていただいた建設省土木研究所 片脇新材料開発研究官、坂本化学研究室長に深く謝意を表します。

— 参考文献 —

- 1) 片脇 清, 新田弘之, 佐々木巖, 中村俊行, 久保和幸: 舗装用アスファルトの新しい試験方法 SHRPで提案されている品質規格, 土木技術資料, 第35巻, 9号, pp.28~34. (1993.9)
- 2) 新田弘之, 佐々木巖, 塚越 徹, 遠西智次: アスファルトの新しい試験方法, 第20回日本道路会議論文集, pp.440~441. (1993.10)
- 3) 片脇 清, 新田弘之, 佐々木巖, 塚越 徹, 遠西智次, 中村俊行, 久保和幸: SHRPアスファルト試験操作の手引き, 土木研究所資料, 第3257巻, (1994.2)
- 4) 新田弘之, 佐々木巖, 塚越 徹, 遠西智次, 片脇清: 供用状態を重視したアスファルト試験に関する2, 3の考察, 舗装, 第29巻, 8号, pp.3~7. (1994.8)
- 5) 坂本浩行, 新田弘之, 佐々木巖, 遠西智次, 塚越徹: 舗装用アスファルトの劣化試験方法に関する検討, 土木学会第49回年次学術講演会 (V-35), pp.70~71. (1994.9)
- 6) 新田弘之, 塚越 徹, 遠西智次: SHRP試験による国内アスファルトの性状測定, 石油製品討論会, pp.52~56. (1994.10)
- 7) 遠西智次, 新田弘之, 坂本浩行, 片脇 清: アスファルトバインダーの劣化試験方法に関する研究, 舗装, 第30巻, 6号, pp.3~7. (1995.6)
- 8) 新田弘之, 遠西智次, 佐々木巖, 田中正義, 坂本浩行: 舗装用アスファルトの低温特性に関する実験, 土木学会第50回年次大会 (V-275), pp.550~551. (1995.9)
- 9) 塚越 徹, 佐々木巖, 田中正義, 新田弘之, 坂本浩行: 舗装用アスファルトの粘弾性状と混合物の流動特性に関する実験, 土木学会第50回年次大会 (V-275), pp.552~553. (1995.9)
- 10) 遠西智次, 新田弘之, 塚越 徹, 佐々木巖, 坂本浩行: 舗装用アスファルトの劣化試験方法に関する検討(その2), 土木学会第50回年次大会 (V-275), pp.592~593. (1995.9)
- 11) 新田弘之, 坂本浩行, 遠西智次: SHRP試験による国内アスファルトの性状について, 第21回日本道路会議論文集, pp.234~235. (1995.10)
- 12) 田中正義, 新田弘之, 坂本浩行: SHRPバインダ仕様に関する検討, 第21回日本道路会議論文集,

- pp.236～237. (1995.10)
- 13) 佐々木巖, 坂本浩行, 塚越 徹: 気象データを利用したアスファルト舗装の最高路面温度推定地図の作成, 第21回日本道路会議論文集, pp.238～239. (1995.10)
- 14) 片脇 清, 坂本浩行, 新田弘之, 佐々木巖, 塚越 徹, 遠西智次, 田中正義, 中村俊行, 久保和幸: SHRPアスファルト試験による舗装用アスファルトの性状調査 データ編・土木研究所資料, 第3389巻, (1995.10)
- 15) 田中正義: SHRP試験によるアスファルトの粘弾性状と混合物との関係, 石油製品討論会, pp.48～52. (1995.11)
- 16) 新田弘之, 坂本浩行, 片脇 清: SUPERPAVE バインダー試験による国内アスファルトの性状調査, 舗装, 第31巻, 7号, pp.3～7. (1996.7)
- 17) 新田弘之, 塚越 徹, 遠西智次, 坂本浩行: レオロジー的評価手法による舗装用アスファルトの試験, 土木研究資料, 第38巻, 8号, pp.32～37. (1996.8)

重交通道路の舗装用アスファルト 「セミブローンアスファルト」の開発

B 5 版・132 ページ・実費頒価 3000 円 (送料実費)

当協会において、昭和50年の研究着手以来、鋭意検討されてきた重交通道路の舗装用アスファルトについての研究の集大成です。本レポートが、アスファルト舗装の耐流動対策の一助となれば幸いです。

目	次
1. 研究の概要	4.4 高速曲げ試験
1.1 文献調査	4.5 水浸マーシャル安定度試験
1.2 室内試験	4.6 試験結果のまとめ
1.3 試験舗装	4.7 品質規格の設定
1.4 研究成果	5. 試験舗装による検討
2. 舗装の破損の原因と対策	5.1 概 説
2.1 アスファルト舗装の破損の分類	5.2 実施要領
2.2 ひびわれ (Cracking)	5.3 施工箇所と舗装構成
2.3 わだち掘れ (Rutting)	5.4 追跡調査の方法
3. セミブローンアスファルトの開発	5.5 使用アスファルトの性状
3.1 概 説	5.6 アスファルト混合物の性状
3.2 市販ストレートアスファルトの60℃粘度調査	5.7 第1次および第2次試験舗装の供用性状
3.3 製造方法の比較	5.8 第3次試験舗装の供用性
3.4 セミブローンアスファルトの試作	5.9 アンケート調査
3.5 試作アスファルトの特徴	5.10 試験舗装のまとめ
3.6 60℃粘度と他の物理性状の関係	6. む す び
3.7 薄膜加熱による性状変化	資 料
4. セミブローンアスファルトを用いた混合物の性状	1. セミブローンアスファルトの規格 (案)
4.1 概 説	2.1 石油アスファルト絶対粘度試験方法
4.2 マーシャル安定度試験	2.2 60℃粘度試験の共通試験
4.3 ホイールトラッキング試験	3. 舗装用セミブローンアスファルトの舗装施工基準

ヨーロッパのアスファルト技術の現況

青 木 秀 樹*

「ヨーロッパにおける舗装用アスファルト技術の現況、環境への配慮、EU（欧州連合）のアスファルト規格統一」

1. はじめに

最近のヨーロッパを中心とした舗装用アスファルト技術の現況、特に低騒音舗装・排水性舗装、環境への配慮、そしてアスファルトのEU規格について、アスファルト技術関係者との交流を通して得た断片的ではあるが技術情報について報告する。

本報告に関係するヨーロッパのアスファルト技術者としては、シェルグループヨーロッパ各国のアスファルト技術スタッフ、そして研究機関では英国の「TRL」（Transport Research Laboratory）、フランスの「LCPC」（Laboratoire Central des Ponts Chaussées）、その他各国政府道路局関係者、及び民間数社のコントラクターであるが、いずれも「アスファルト」という共通言語をキーワードとしての交流機会からの情報である。

2. ヨーロッパにおける低騒音舗装および排水性舗装の現況

2.1 概要・歴史

ヨーロッパ主要国での道路舗装・整備は古くはローマ時代に始まり、中世、近代を経て現代に至るまで長い歴史を持っているが、最近、我が国でも注目されている低騒音舗装、排水性舗装の歴史から見ると、フランスの取り組みが比較的早く、1980年代初めから本格的な低騒音舗装に着手している。

1984～1988年には年間平均80万㎡の工事量であり、1993年までの実績では2500万㎡に達している。1995年実績は約500万㎡と欧州各国を凌駕している。

排水性舗装の目的については、騒音の低減、環境対策を主目的にあげ、走行安全性を副次的効果と位置づ

けている。そのためフランスでは、走行安全性の確保を目的とする一部の道路において試験的に厚さ2cm程度の薄層排水性舗装を実施している。

騒音の考え方については、各国で多少異なっており、そのことが排水性舗装の普及の度合に違いを生じさせているようである。

たとえば、フランスとベルギーでは環境騒音（沿道騒音）の低減を主体に考えている。したがって、車輛走行時の発生騒音の低減と空隙率の大きな舗装体による吸音効果に期待し、沿道環境での交通騒音全体の騒音低減効果を評価しているため、厚さ4cm以上、空隙率20%程度の舗装が主流となっている。

一方、オーストリアでは牽引式の騒音測定機でタイヤの転がり騒音を測定し、主に路面の状態による発生騒音の低減効果を期待しているため、舗装体の厚さよりも路面テクスチャーが重視され、結果的には薄層排水性舗装等が採用されるケースも見られるようになってきている。

2.2 使用材料

一般的に、ヨーロッパ各国で排水性舗装に使用している砕石は通常の舗装に使用する砕石に比べてより単粒化を図り、必要な空隙が確保できるように基準化している。また、砕石の材質についても、より厳しい基準を設けており、例えばベルギーでは排水性舗装用の主骨材としては10mm～14mmサイズの砕石で、ロサンゼルスすり減り減量15%以下、偏平率は0.390と規定している。（通常の舗装用骨材としては7mm～14mmを使用している。）

我が国の場合、排水性舗装用の主骨材は5mm～13mmと最小寸法と最大寸法の差が大きいものを1つの単粒砕石として取り扱っており、また偏平率についてもヨーロッパに比較して多い基準を採用するケースもあり、これらの点に関しては、今後の排水性舗装に必要な空隙の質と量を確保し、均質な舗装を構築するためには

*あおき ひでき 昭和シェル石油株式会社中央研究所

検討の価値ありと考えられる。

一方、使用しているアスファルトについては日本と同じように熱可塑性エラストマー入り改質アスファルトが主流となっているが、添加剤としてファイバーや廃ゴム粉末を利用したものも行われている。なお、オーストリアでは、廃ゴム粉末は加熱時の硫化臭及び発ガン性物質が検出されたため使用を中止しているとのことである。

2.3.1 構造・耐久性

構造的な耐久性については、排水性舗装が通常の密粒度アスコンと比較して劣るという報告は少ない。むしろオーストリアでは通常の密粒度アスコンの場合の供用性はワダチ掘れによって7年程度で補修が必要となる現場の場合、排水性舗装では10年供用できると高く評価している。

全般的に、排水性舗装の機能である騒音低減性と雨天時の走行安全性に関しては各国ともに高い評価を与えており、施工実績は着実に増加している。また、特殊な場所（路盤湧水）での使用、長い坂道の埋設排水、橋梁の床版排水と新工法（ツインレイ）による騒音低減対策を実施している国もある。

2.3.2 ツインレイ工法

ツインレイ工法とは、低騒音舗装の機能的寿命に関する空隙詰まりに対する解決策のひとつとして採用され始めている工法である。ツインレイ構造は、粗い均一粒度（例えば11/16または16/22）の基層と細粒度（例えば4/8）の上層からなり、在来の排水性舗装に比べて以下のような利点があると言われている。

- * 細粒の上層は路面組織が細くなるため、タイヤ騒音の低減効果が高くなり、細粒土層と組み合わせた粗粒の基層は騒音低減効果を更に高める相乗効果を果たす。

- * 上層は土砂に対する遮蔽効果（土砂を排除する篩いの役目）を持つ。

- * 路面の空隙に進入した土砂があったとしても、土砂は上層部で留まり、排水性舗装面清掃装置車で簡単に清浄可能である。

このツインレイ工法では安定性に優れた高粘度改質アスファルトがバインダーとして使用されている。

以下にオランダで実施された各種路面における騒音測定結果と走行速度の関係を示す。（図-1参照）

1977年頃から低騒音舗装を実施しているフランスの場合、スタートした当初の空隙率は15%であり、現在も供用中で残っているものがある。

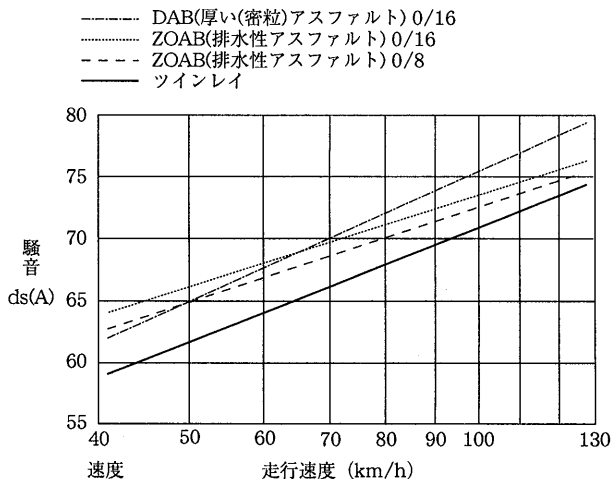


図-1 走行速度と各種路面における騒音

1984~1988年には、高速道路を主体に、年間80万 m^2 の施工を実施。さらに1989年以降は高速道路はもとより、国道、都市高速でも広く使用されている。

最近では、空隙率25%前後のものも見られるが、一般的には空隙率20%のものが多く。

排水性舗装の厚さは一般的には40mmが多いが、30mmのものもあり、これは最大粒径6mmの骨材を使用している。薄層（1.5~2.0cm）のものも実施されているが、これはマクロテクスチャのみをつくるものであり、グルーピング的な考え方で行っている。

SAMIについては粗骨材がSAMI層を破る懸念があるということで、フランスでは一般的には使用していない。しかし、既設路面にクラックがあるような所では一部使用されており、効果があるということである。

排水性舗装の端部処理はたれ流し方式が多いが、都市部においては排水枡への誘導措置を実施している。

2.4 配合設計

フランスでのアスファルト量の決定方法は、ジャイレトリー試験による40回転空隙率、200回転での連続空隙率を参考にして決めている。

アスファルトの種類別による配合を表-1に示す。

2.5 パリ郊外の試験舗装現場

1991年にパリ郊外エブレ〜ボルゲエ間で実施した空隙率の大きい試験舗装現場の配合及び追跡調査結果を表-2に示す。試験舗装は1km/工区の規模で4工区施工されている。

3. 環境への配慮

オーストリアのウィーン工科大学のW・プラチャス

表－１ アスファルトの種類と配合

区 別	骨材の粒径 (mm)	アスファルト量 (%)	2mm通過量 (%)	フィラー量 (%)
ストレートアスファルト	0/10 0/10(2/6) 0/14(2/16) 0/14(4/10)	4.2～4.8	13～15	4.0～5.0
モデファイド(繊維入り)アスファルト	0/14(2/6) 0/10	6.0 5～5.5	13～15	9.0 5.0
SBS,EVAその他のポリマー入りアスファルト	0/10 又は 0/14	4.5～5.0	10～18	3.5～4.0
ゴム粉末入りアスファルト	0/10(2/6)	6.3	11.0	3.5～4.0
HTV(試験施工)用ビチューメン(ストアス) ポリマー入りアスファルトビチューメン(繊維入り)	6/10 2/6～6/1 6/10	3.0～3.5 — 4.5～5.0	— — —	1.0～1.5 — 4.0

注1) () 内はこのサイズがギャップ粒度になっている。

表－２ 試験舗装の性状

	1 工 区	2 工 区	3 工 区	4 工 区
配 合 比	6/10mm : 87%, 0/2mm : 11%, フィラー : 2%	6/10mm : 50%, 2/6mm : 50%	2/6 mm : 100%	6/10mm : 100%
A s 種	40/50, ドープ 4%	改質アス(SBS)	改質アス(SBS)	改質アス(SBS)
A s 量	4.5%	3.5%	3.5%	3.0%
空 隙 率	25.5%	28.6%	31.6%	31.4%
浸透速度	1.2cm/Sec	1.7cm/Sec	1.8cm/Sec	3.8cm/Sec
騒 音	76.8 dB (A)	79.2 dB (A)	72.3 dB (A)	75.8 dB (A)
摩 擦 係 数	40km	0.47	0.35	0.35
	60km	0.35	0.27	0.28
	80km	0.25	0.28	0.25

注) 空隙率, 浸透速度, 騒音, 摩擦係数は施工直後の測定値

①現場は日交通量: 9000台/日(全交通量), 大型混入率: 8%の直線の坂路である。

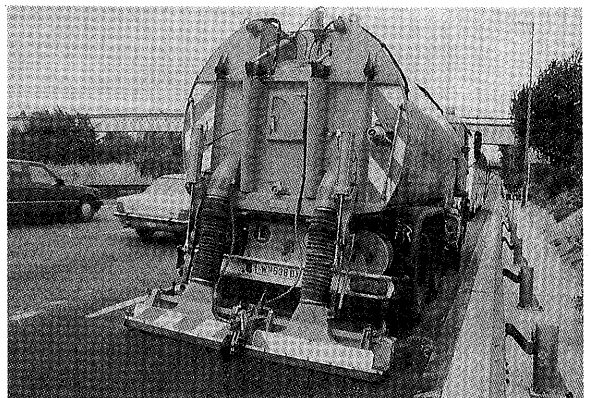
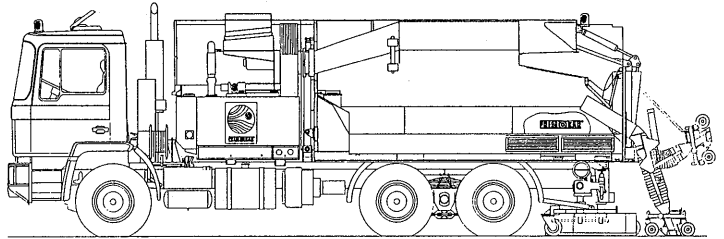
②本試験施工箇所の縦断勾配曲点の手前に横断排水設備が施されているところが認められた。

③路肩排水構造はたれ流し側方排水である。

トファー教授によれば, アルプス越え(標高1400m以上のところもある)の主要な道路もポラスアスファルトで舗装しているとのことである。山岳地でのポラスアスファルトの採用理由としては, 有料道路であるため建設予算を有していること, 騒音低減効果を評価したオーストリア政府が「道路周辺環境の改善」として環境基金をこの道路予算に組み入れたことを上げていた。

また, 以前はオーストリアでも古タイヤのゴム粉末をストアスに混入して使用していたが, 発ガン性のポリクロロが検出され, また, 加熱時にカーボンゴムから硫黄が発生するということで, 環境対策上, 現在では古タイヤのゴム粉末の使用は行われていない。

ポラスアスファルトの維持管理について, 冬季のチェーンによる損傷は少ないが, 凍結対策として撒く塩の散布量は一般の舗装と比べ, 1.3～1.4倍になるとのことである。また, 低騒音舗装の機能回復用洗浄機械が年1回～2回程度使用されている。(図－2 参照)



図－２ 機能回復作業状況

4. その他の舗装用アスファルト技術

最近注目されている舗装用アスファルト技術の中から興味深いものをピックアップすると、低騒音舗装、排水性舗装の他に環境対応型常温工法として「マイクロサーフェッシング」用改質アスファルト乳剤、そして「マイクロサーフェッシング」用明色タイプアスファルト乳剤、また、路面で高分子凝集剤をアスファルト乳剤と反応させてエマルジョンブレイクを強制的に発現し、硬化促進させる常温舗装工法、そして橋面舗装用に広く使用され始めているグースアスファルト用特殊改質アスファルト、また、ストンマスチックアスファルト用の改質アスファルトがある。

そして、耐磨耗、耐わだち、耐流動に優れた重交通対策用バインダーとしてPI（針入度指数）が大きく、SHRP試験の評価も高いポリマーによらない改質アスファルトであるケミカルモディファイドアスファルト「マ

ルチファルト」も実績を伸ばしている。

また、鉄道、土木など道路舗装以外の分野でもアスファルトの応用が実施されており、コンセプトとして応用できる部分もあると考えられる。これらの技術はほんの一例であり、断片でしかないが、日本でも今後使用検討の可能性が高い技術と考えられる。

5. アスファルトのEU規格

ヨーロッパは現在、EUとして通貨統合をはじめ、経済市場の統合化をめざし、経済・政治外交面でも注目されているが、行政のみならずアスファルトの規格に關しても統合化が検討されている。

まず、参考に世界各国のアスファルトの品質規格項目とヨーロッパ各国のアスファルトに関する代表的な規格を表-3に示す。

一般的な世界25ヶ国のアスファルトの政府仕様規格

表-3 各国のアスファルトの品質規格 (シェルグループ社内技術資料)

国 名 試験項目	オーストラリア	オーストリア	ベルギー	カナダ	デンマーク	フィンランド	フランス	西ドイツ	イギリス	イタリア	オランダ	日本	ノルウェー	南アフリカ	スウェーデン	アメリカ	
																針入度分類	粘度分類
針入度 (25℃)	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●
軟化点 (R & B)	○	●●	●●		●●	●●	●●	●●	●●	●●	○	●●	○	●●	●●	○	
伸度 (5 cm/分)	○	●●	○	●●	●●	○	●●	●		●●		●●	○	●●	○	●●	
粘度 (60℃, 135℃)	●	●	●	●		●							●		●		●
フラス脆化点		●●	○		●●	○		●		●●			○		●●		
針入度指数		○	○								●						
蒸発減量試験	○	●●	○	○	○	○	●●	○	●●	●●	○	●●	○	○	●●	○	
残留針入度	○	●●	○	○	○		●●		●●	●●		○	○	○		○	
軟化点上昇					○	○				●			○		○		
伸度					○	○							○		●●		
60℃粘度比															●		
フラス脆化点					○	○				○			○		●●		
針入度比												●					
薄膜加熱試験	●			●	●	●		●			●	●	●	●		●	●
残留針入度				●	●			●			●	●		●		●	
軟化点上昇					●			●									
伸度	●				●	●		●					●	●		●	●
60℃粘度比	●			●		●							●				●
フラス脆化点					●	●		●					●				
針入度指数											●						
溶解性	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●
灰分		○		○				●	○				○		○	○	
パラフィン含量		○			●●	○	●●	●		●●			○				
アスファルテン含量								○									
比重 (25℃/25℃)	○	●●	●●		○	●●	●●	●●		●	●	●	○	○	●●	○	
引火点	●●	○		●●		●	●●	●			●●	●●	●		●	●●	●
スポットテスト				●										●		●	●
イオウ含量		○															

凡例 ○● ○：1960年 ●：1983年

を見ると、全項目数は30項目以上になるが、共通項目としては6～14項目にまとめられる。代表的な主要項目としては、25℃針入度、軟化点、伸度、蒸発量、蒸発後針入度、引火点、比重、二硫化炭素または四塩化炭素可溶分の8項目であり、25ヶ国全部が採用している項目は25℃針入度のみである。

アスファルトのEU規格として検討されている現在の状況は、CEN（ヨーロッパ規格標準化委員会）のTC19（石油製品及びその試験方法）の小委員会SC1で舗装用のアスファルトの規格案を作成中の段階である。

まだ規格案の段階であるが、その規格案によると、舗装用アスファルトを以下の3グループに分けている。

- (a)針入度20～330のグレードについて25℃針入度と軟化点によって分類
- (b)針入度250～900のグレードについて15℃針入度と60℃粘度によって分類
- (c)60℃粘度1500～12000mm/secのグレードについて60℃粘度によって分類

ここで、この(a)のグループではアスファルトを20/30, 30/45, 35/50, 40/60, 50/70, 70/100, 100/150, 160/220, 250/330の9グレードに分類し、それぞれ薄膜加熱試験による質量変化率(%), 残留針入度(%), 軟化点を規定している。

また、(b)と(c)では薄膜加熱試験後の60℃粘度比、(b)では4.0, (c)では2.0～3.0)を規定している。

また、ポリマー改質アスファルトの規格については現在、規格案だけでなく評価試験法についても論議が重ねられている段階であるが、当委員会メンバー18ヶ国、18人のそれぞれの改質アスファルトの各国品質レ

ベル、技術レベルの格差が大きく、規格化には後数年かかる見通しである。

従来の規格は過去に使用されてきた原油から得られたアスファルトの性質に基づいて考えられてきたが、現在の道路用アスファルトは市場環境の急激な変化の影響を受け、その要求性能は厳しくまた高度になってきている。従って、アスファルトの評価試験法に関しては、SHRPによる試験法等に対する関心も高まってきている。ヨーロッパのアスファルト試験機関でSHRP試験機をよく見るようになってきたことから考えれば、SHRPに対する評価も高まりつつあると考えられる。

6. おわりに

以上、ヨーロッパにおけるアスファルトに関する舗装技術、低騒音舗装、新技術情報、環境関連情報及びアスファルトのEU規格に関して断片的にはあるが概説した。

現在、東南アジア、中国のインフラ整備需要急増に伴い、アスファルトの世界の年間アスファルト需要が約8000万トンになろうとしている。インターネットによりヨーロッパをはじめ、世界のアスファルト技術情報も益々身近なものになってきている。

21世紀は「情報スーパーハイウエーの時代」とも言われている。情報ネットワークの地球規模での進展により世界的な情報基盤が構築されれば、EUだけではなく、世界中の貴重な技術情報を自由に活用できるようになり、アスファルトに関しても新しい技術融合がさらに推進されることも可能になるであろうと考えられる。

☆

☆

☆

☆

☆

☆

ストレートアスファルトの性状と最近の動向

長谷川 宏*

1. はじめに

石油アスファルト（以下、アスファルトという。）の用途は、道路舗装用、水利構造物用、防水用、電気絶縁用および工業用など種々あるが、本稿ではその大部分を占める道路舗装用の性状について記述する。

アスファルトは、舗装材料の1つとして極めて重要な位置づけにあり、舗装関係者にとってその品質には深い関心が寄せられるところである。

昭和50年、アスファルト舗装要綱にアスファルトの規格が本格的に採用されて以来現在まで21年が経過している。この間、アスファルト製造メーカーは、アスファルト製造の原油、製造方法等について特に大きな変更はなく厳重な品質管理体制のもとに製造を行っており、品質の低下はないと認識している。しかし、ユーザー側から、最近のアスファルトは規格制定当時と比較して品質が悪くなっているのではないかと、との意見が時々聞かれる。

アスファルト協会がアスファルトの性状調査を昭和48年に始めて以来23年が経過している。本稿は、道路用ストレートアスファルトの性状の変遷を今までの調査結果をもとに分析した結果について報告するものである。

2. 製造方法の時代的变化

2.1 製造方法の変遷

アスファルトの製造方法や原油の変遷については、本誌No154¹⁾に「アスファルトの歴史」として、詳しく書かれている。

日本で初めて石油アスファルトが製造されたのは明治の後期で、当時は主としてカリフォルニア産の原油を単蒸留して製造していた。

現在のように減圧蒸留装置で製造するようになったのは、昭和2年(1927)、我が国で初めてのシュルツ式(Schultze type)真空蒸留装置が日本石油(株)新潟製油

所と小倉石油(株)東京製油所に建設され、ストレートアスファルトが製造されたのが最初である。この装置は、水平円筒型直火蒸留釜をもつ単独(バッチ式)蒸留装置であった²⁾。

昭和3年から8年にかけて、日本石油(株)柏崎製油所、同鶴見製油所、丸善鉱油(株)大阪製油所、昭和石油(株)川崎製油所などにヘックマン式(Heckmann type)真空蒸留装置が設置された。この装置は、単独式のほか連続蒸留式があった。

昭和24年(1949)、太平洋岸製油所の操業再開および原油輸入が許可されると、石油各社はとりあえず戦災で破壊された設備を修理して操業を再開した。

戦後の一時期、アスファルト製造に空気吹込み法が併用されたこともあり、また昭和32年以前においては回分式蒸留が主体であったが²⁾、その後は急速に連続式の減圧蒸留装置にとって代わった。当初は米国より技術導入して建設され、高真空度が得られるため、それまでの回分式に比べて含ろう油分との切れがよく、混合基原油からもう分の少ない優れたアスファルトが製造できるようになった。現在も、基本的にこの方法で生産されている。

昭和43年(1968)頃からは、潤滑油基油の製造のため導入されたプロパン脱湿装置から副生する脱湿アスファルトをストレートアスファルトに混合する方法も行なわれるようになった。

2.2 処理原油の変遷

戦前、アスファルトは、豊川原油、メキシコ原油、カリフォルニア原油などのナフテン基原油あるいは新津原油、東山原油、テキサス原油、オクラホマ原油などの混合基原油など様々な原油から生産されていた。

戦後は、コーリング、サンノーキン(北米)、ベネズエラ(南米)、クラモノ(東南アジア)などのナフテン基原油が使用され、昭和20年代まではアスファルトは主としてナフテン基原油から生産されていた。

*はせがわ ひろし 日本石油(株)中央技術研究所トライボロジー研究室 (社)アスファルト協会技術委員会委員長

経済の復興とともに増加するエネルギー需要は中東の安価な原油へと向かい、イラン、クウェート、アラビアなどの混合基原油からもアスファルトが製造されるようになった。一方、昭和29年には第1次道路整備五箇年計画がスタートしてアスファルトの需要は急増したが、増加するアスファルトの需要に応えることに特に大きな支障はなかった。

また、アスファルト製造に適した原油とは、必ずしも良質のアスファルトが生産される原油という意味ではなく、原油中のアスファルト含量が多いためにアスファルトを製造する目的に適しているということである。図-1³⁾に示すように、原油のAPI比重⁴⁾が小さい程、すなわち原油が重質である程アスファルトの収率は高い。昭和20年代まではアスファルト収率の高いナフテン基原油のサンノーキン、コーリングが主として処理されていた。

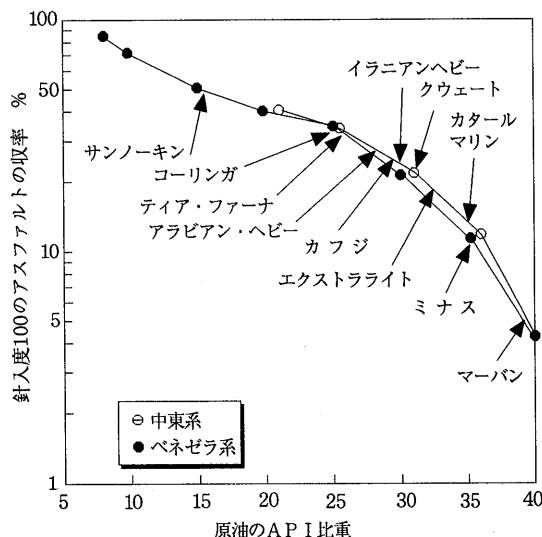


図-1 API比重とアスファルト収率³⁾

昭和30年代以降、ナフテン基原油に比べてアスファルト収率が比較的小さい混合基原油からのアスファルト製造が主体となる一方、米国からの原油の輸入が昭和39年(1964)に打ち切れ、アスファルトの製造原油は主として中東系で占められるようになり、品質的には一定したものが生産されるようになった。中でも比較的重質なアラビアン・ヘビー、カフジ、イラニアン・ヘビー、クウェートの4原油がアスファルト製造用原油として主として処理されるようになった。

昭和50年代半ばから、日本の石油製品に対する需要構造が変化し、ガソリン、灯油、軽油などの需要が増

加して、軽質化傾向が進んだ。他方、火力発電所や大型工場のボイラーなどに使用されるC重油は、燃料転換や環境問題、産業構造の変化などの影響を受けて、需要が大幅に減ってきた⁶⁾。これに合わせて製油所では重質油分解装置により重質油を軽質化する一方、輸入する原油も軽質原油の比率が高くなった。図-2に、原油の総輸入量に対するアスファルト製造に適した4原油(アラビアン・ヘビー、カフジ、イラニアン・ヘビー、クウェート)の割合を示す^{7),8)}。図に示すように、昭和50年以降4原油の割合は漸減しており、通常はこれらの原油を主としてアスファルトを製造するが、輸送や原油タンクの事情から他の原油を混合し処理することが多い。

平成8年度のアスファルト協会の調査によると⁹⁾、4原油の他、アラビアン・ミディウム、アラビアン・ライト、ベリー、イスムス、イラニアン・ライト、カタール、マーバン、ウムシャイフ、アッパ・ザクム、デュバイ、マヤ、ティアファーナ、勝利などの原油が一部混合され処理されていることが分かった。

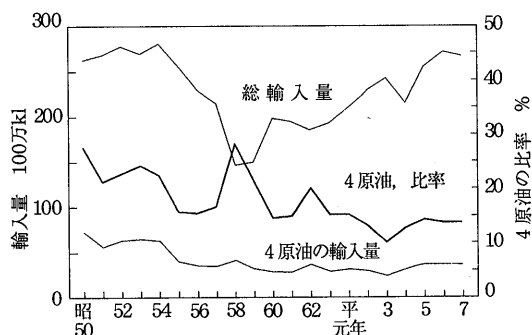


図-2 原油総輸入量に対するアスファルト向き原油の割合

4原油：アラビアン・ヘビー、イラニアン・ヘビー、クウェート、カフジ

3. 性状の時代的变化

3.1 性状調査の背景

アスファルトがいろいろな原油から生産されるようになってくると戦前の規格では不十分となり、昭和31年(1956)日本工業規格(JIS) K2207石油アスファルトが制定された。

一方、戦後の道路整備が再開されるようになると、(社)日本道路協会では、昭和25年にアスファルト舗装要綱を発行したが、昭和40年代になると道路網の拡大、特に高速道路の普及および車両の重量化などに伴いアスファルトについていろいろと問題が提起されるようになった。(社)日本道路協会で種々検討が行なわれ、昭

和47年7月にアスファルトの暫定規格案が出された。

当協会では、市販アスファルトの性状を把握し暫定規格との照合を行なってみることが必要であると考え、昭和48年9月に製造出荷した各社のアスファルトについて性状調査を行なった。これ以降、昭和57～59年を除き毎年調査を実施してきた。

当初の性状調査の方法は、各アスファルトメーカーより試料を当協会に提出してもらい、順不同にして試験項目ごと決められた試験担当会社が指定の試験方法により性状試験を実施した。昭和54年以降は、各社で製造している製油所の試験成績書を報告してもらい、そのデータをもとに集計している。

3.2 性状分析結果

性状調査の対象は、JIS規格にあるストレートアスファルト、ブローンアスファルトおよび防水工事用アスファルトの各グレードであるが、以下には道路用のストレートアスファルトについてその性状の変遷を分析してみる。

表－1にストレートアスファルト60～80および80～100の各年度ごとの調査対象試料数を示す。調査初期の頃に比べて、60～80は試料数が増加しており、逆に80～100は減少傾向にある。以下に述べるデータは、各年度ごとおよびグレードごとに全試料のデータの平均値を示したものである。

図－3および図－4に針入度、軟化点および動粘度の変遷を示す。針入度および軟化点は、調査開始当時からほとんど変わらなくほぼ一定である。これは、アスファルトの製造が主として針入度で管理されていることによるものと思われる。

ストレートアスファルト60～80の動粘度は、昭和48年から昭和52年ころまでは年ごとの変動が大きく、品質のばらつきが大きかったことがうかがえる。これは、第一次石油危機と時を同じくしており、その影響があったものと推定される。

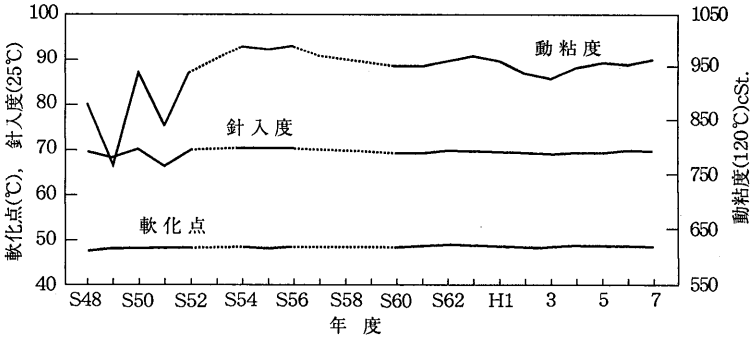
図－5には、薄膜加熱試験後の質量変化率の変遷を示す。一般に薄膜加熱試験では、アスファルト中の軽質成分は蒸発して損失となり、酸化劣化すると酸素分子を吸収して質量が増加する。したがって、試料中に

軽質分が多いと質量変化率はマイナス傾向となるが、図に示すように昭和48年以降概ねプラス側にあり調査初期から大きな変化はなく、特に軽質分が増加あるいは減少しているというようなことはない。

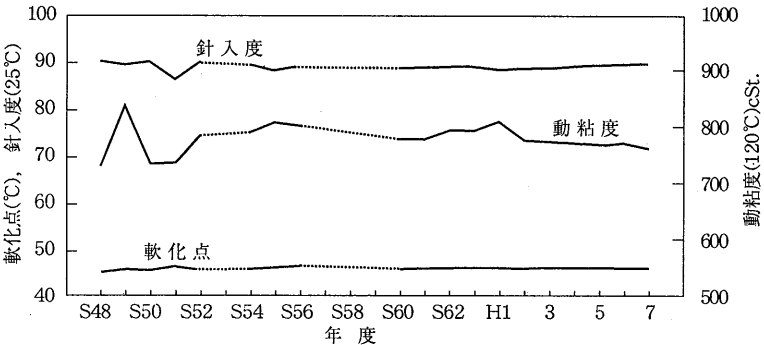
図－6および図－7に、針入度と動粘度の関係を、性状調査初期(昭和48年から昭和54年まで)と最近(昭和62年から平成7年まで)に分けてプロットした。調査初期のストレートアスファルト60～80は、針入度と

表－1 ストレートアスファルトの針入度別調査対象試料数

グレード 年度	60～80	80～100	グレード 年度	60～80	80～100
昭和48	16	23	60	27	12
49	15	25	61	26	13
50	19	21	62	26	14
51	18	26	63	26	15
52	22	23	平成元	27	17
53	未調査	未調査	2	27	15
54	24	23	3	27	15
55	26	22	4	28	15
56	31	21	5	28	15
57	未調査	未調査	6	28	12
58	未調査	未調査	7	26	14
59	未調査	未調査	—	—	—



図－3 ストレートアスファルト60～80の性状変化



図－4 ストレートアスファルト80～100の性状変化

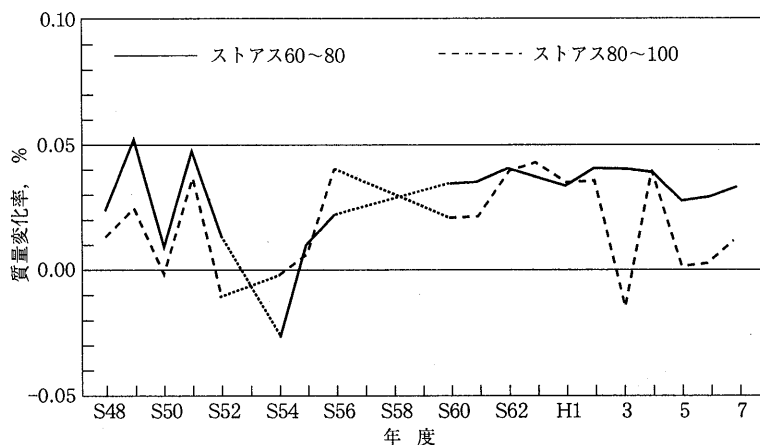


図-5 ストレートアスファルトの性状変化（薄膜加熱試験後の質量変化率）

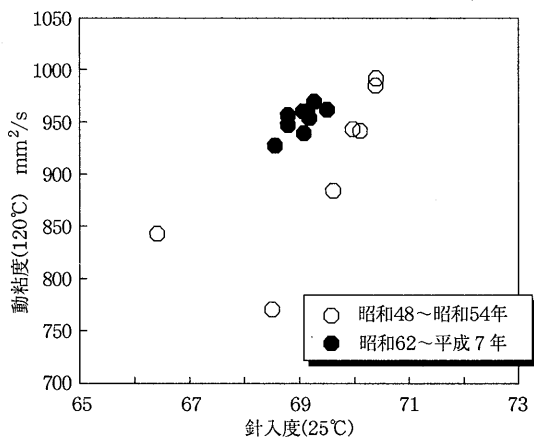


図-6 ストレートアスファルト60~80の針入度と動粘度の関係

動粘度のばらつきが大きく、また針入度に対する動粘度が低い傾向にある。一方、最近のストレートアスファルト60~80はばらつきが小さく針入度に対する動粘度は若干高くなっている傾向が窺える。

ストレートアスファルト80~100については、初期のものはばらつきは大きい、最近のものに比べて針入度に対する動粘度が高いものが多い見受けられる。

以上のように調査初期に比べて最近のアスファルトは若干の変化傾向がみられるものの、その違いは極めてわずかであり性状調査初期から現在に至るまで殆ど変化していないといつてよい。ただ、性状は非常に安定してきており、舗装用アスファルト混合物の性状も以前に比べて安定しているのではないかと推定される。いずれにしても、JISあるいはアスファルト舗装要綱の規格を十分に満足しているものとなっている。

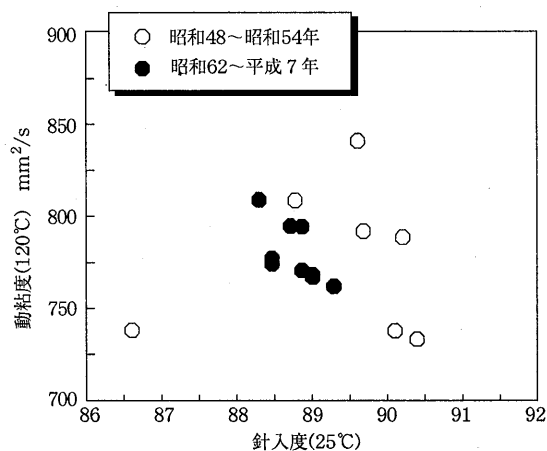


図-7 ストレートアスファルト80~100の針入度と動粘度の関係

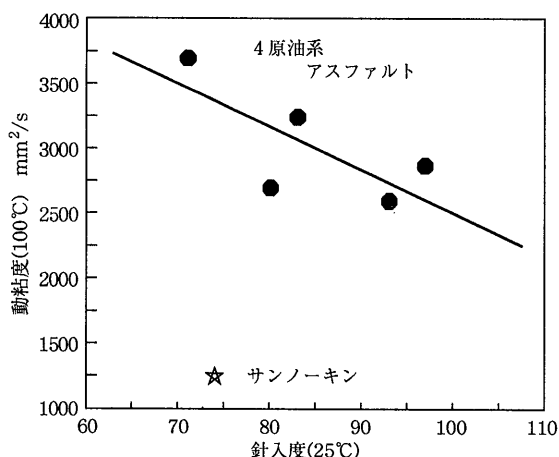
4. 原油別のアスファルト性状

先にも述べたように、アスファルトの製造は4原油（アラビアン・ヘビー、カフビ、イラニアン・ヘビー、クウェート）を主とし、それに他の原油を一部混合して処理されるのが一般的であり、単一の原油から製造されたアスファルトは現在製品としては存在しないと思われる。したがって、文献のデータを基に原油の違いによるアスファルト性状の違いについて若干触れておく。

表-2は、本誌に掲載された文献²⁾から一部を抜粋して記載したものである。この表の針入度と動粘度のデータを基にして4原油の針入度と動粘度の関係を図示すると図-8のようになる。すなわち、アラビア系の4原油は、針入度と動粘度の関係がほぼ同一の直線で表され、原油の違いによる性状の相違は小さいと思われる。一方、昭和20年代に使用されていたナフテン基

表－２ 原油の違いとアスファルトの性状（文献²⁾の抜粋）

原 油		サンノーキン		カ フ ジ		クウェート		アラビアンヘビー	イランヘビー
項 目									
針入度 (25℃)		74	71	83	80	93	97	78	
軟化点	℃	44.0	48.5	46.5	46.0	46.0	46.5	46.0	
針入度指数		-1.7	-0.8	-0.9	-1.2	-0.7	-0.4	-1.3	
比 重 (25/25℃)		1.016	1.025	1.030	1.030	1.030		1.012	
粘 度 (100℃)	mm ² /s	1,250	3,700	3,250	2,700	2,600	2,875	1,800	
	(160℃) mm ² /s	54.5	153	119	130	109	104	99	
組 成 (アスファルテン) %		13.9	23.9	—	19.8	—	—	19.8	



図－８ ４原油系アスファルトの針入度と動粘度の関係

のサンノーキン原油から製造されたアスファルトは、４原油系の同一針入度と比較して動粘度が低いため、動的安定度などの耐流動性が劣っていたものと推定される。このように、アスファルトは、原油の違いによって性状は大きく異なるものの、かつて云われたように、混合基原油のアスファルトはナフテン基原油のアスファルトに比べて悪い、ということは一概にいうことはできないことが分かる。

５．JIS規格の改訂

本論とは若干ずれるが、最近改訂されたJIS規格について触れておく。

アスファルトのJIS規格は、1956年７月に制定されて以来、1996年の改正までに４回改正されている。1989年の３回目までの改正については、本誌^{1),2),10)}に詳しく書かれているのでそちらを参照願いたい。

1994年に石油アスファルトの三塩化エタン可溶分試験に用いる溶剤（三塩化エタン）がオゾン層破壊特定物質に指定された。そのため、工業技術院からアスファルト協会に改正原案作成が委託され、当協会では工

業標準原案作成委員会を組織し代替溶剤の検討を行なった。その結果、試験法としては単に溶剤を三塩化エタンからトルエンに変更することで問題ないとの結論に達した。検討結果の詳細は、1996年のJIS改訂版の解説に詳しく記載されている。

６．おわりに

混合基原油から製造されたアスファルトは、ナフテン基原油のアスファルトに比べて品質が劣るのではないかとの疑問は、古くからある問題である。

本誌第１巻１号にその前年の第４回日本道路会議の論文について論じており、ナフテン系アスファルトでなければだめだとする意見に対し、具体的根拠がないとの反対論的意見が述べられている¹¹⁾。現在でもなお、最近のアスファルトは昔のものに比べて悪くなっているのではないかとの意見を時々耳にする。本稿では、アスファルト協会が調査した性状調査データを基に22年間の性状の変遷を振り返ってみたが、アスファルト単体の性状ではそのような傾向を掴むことはできなかった。

舗装体あるいは混合物として、ナフテン系アスファルトがよいとの新たな研究成果があれば教えて頂きたい。日本のアスファルトの90%以上は、混合基原油系であり、今後もこの傾向は変わらないであろう。混合基原油系アスファルトからより優れたアスファルトを製造するための参考としたい。

— 参考文献 —

- 1) 本誌、アスファルトの歴史, Vol.30, No.154, p.26 (1987)
- 2) 関根幸生, 本誌、アスファルト品質の変遷と将来動向, Vol.26, No.137, p.14 (1983)
- 3) W.L.Nelson, Oil & Gas j., Nov., 8, p.192 (1954)
- 4) 通商産業省監修, 石油資料 (平成８年), 石油通信

社

- 5) 通商産業省監修, 石油資料 (昭和47年), 石油通信社
- 6) 財日本エネルギー経済研究所, OIL,NOW '94, (1994)
- 7) 本誌, 主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況, Vol.30, No152, p.63 (1987)
- 8) 本誌, 主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況, Vol.39, No188, p.80 (1996)

- 9) アスファルト協会, 技術委員会資料, 平成8年10月
- 10) 牛尾俊介, 本誌, 道路用ストレートアスファルトの規格と試験法について, Vol.31, No157, p.9 (1988)
- 11) 村山健司, 本誌, 道路会議に発表されたアスファルト関係論文に関して, Vol.1, No.1, p.31 (1959)

日本のアスファルト事情 1996 年版

A 5・52 ページ・実費頒価 ¥800 (送料実費)

当面するアスファルト事情を
わかりやすく解説した資料です。
広くご利用いただけるよう編
纂しました。

ハガキにてお申込み下さい。

申込先 社団法人 日本アスファルト協会

105 東京都港区虎ノ門1丁目21番8号

秀和第3虎ノ門ビル

目 次

★需 要
用 途
需要の推移
★供 給
生 産
流 通
施 策
★課 題

★参考資料
品質規格、試験法、品質管理
アスファルト舗装の特長
アスファルト関連統計
道路投資額の推移
年度別舗装延長
主要諸国の道路事情

世界の国別原油確認埋蔵量
道路財源の推移
原油・石油製品の CIF 単価
OECD 諸国のアスファルト生産量・内需量
OECD 諸国のアスファルト輸入量・輸出量
地域国別原油輸入状況
平成8～12年度石油需給計画

改質アスファルトの最近の動向

日本改質アスファルト協会

1. はじめに

改質アスファルトは昭和63年度版のアスファルト舗装要綱にて、それまでの特殊材料から一般材料として扱われるようになって以降、出荷量も年々増加し、1988年に約14万トン（当協会集計）であった出荷量が7年後の1995年には約24万トンにまで増加している（セミブローンアスファルトは除く）。これは舗装用アスファルト全体出荷量の約6%にすぎないものの、主に表層用アスファルトとして利用されることを考慮すれば、一般材料として広く認知され、定着してきたといえることができる。しかしながら、これらの改質アスファルトの性能を十分に発揮させるためには、その性質や使用方法を十分に理解した上で正しく利用していただく必要がある。そこで日本アスファルト協会からは「改質アスファルトを用いた混合物の施工と手引き¹⁾」が、また当協会からは「ポケットガイドブック²⁾」が発刊され、舗装用改質アスファルトの正しい使い方や注意事項をとりまとめて広く利用されている。

特に、最近の改質アスファルトは舗装のニーズの多様化に対応すべく、高品質化、多品種化する傾向にあり、使用を誤ると場合によっては、その効果が十分に発揮されない可能性もでてくる。そこで、本報は、改質アスファルトを正しく利用していただくための基礎知識として改質アスファルトの歴史とわが国で改質アスファルトが必要とされる背景、改質アスファルトの種類およびその効果、改質アスファルトの動向等について述べることにする。

2. 舗装用改質アスファルトの歴史

舗装用改質アスファルトの歴史は、1900年代初頭に西欧でアスファルトにゴムの添加が試みられたのが始まりといわれる。その後1945年に英国が着手し、以後フランス、オランダでも同様な検討が開始され、1947年には米国で合成ゴム、ラテックス入りアスファルトの試験施工が実施されている。日本では1952年の東京都での天然ゴム粉末、神戸市での屑ゴムを用いた試み

を皮切りに、北海道開発局では天然ゴム粉末による試験施工が国道36号で行われている。わが国の改質アスファルトの歴史は表-1に示すとおり第1期から第5期に分けて考察できる。昭和20年代の後半から昭和30年代の前半にかけての第1期は改質アスファルトの研究開始の段階であり、舗装の荒れ、ひび割れへの対応が主であった。昭和30年代後半の第2期は混合物の飛散抵抗性、積雪寒冷地でのタイヤ・チェーンによる摩耗わだち掘れ対策を行っている。第3期の昭和40年代に入って本格的なモータリゼーションの時代をむかえ、交通量の増加や交通荷重の増大に起因する流動わだち掘れ抑制対策として、アスファルトを固くすることで対応しようとしたものの、反面ひび割れを助長する結果となり、改質アスファルト、特に樹脂入りアスファルトが注目されるようになっていった。昭和50年代から昭和60年代にかけての第4期は流動わだち掘れ、スパイクタイヤによる摩耗わだち、ひび割れの破損3大形態が問題となり、改質アスファルトを用いた実用化のための本格的な試験舗装が実施され、アスファルト舗装要綱には一般材料として認知されていった。第5期は舗装の機能に応じた改質アスファルトの標準化、試験法の確立がなされ、さらに耐久性の向上あるいは再生技術等の研究の時代に入って今日に至っている。

3. 道路環境と改質アスファルト

3.1 道路・交通の現状

表-2³⁾は世界の主要国の道路延長、国土面積、舗装率、道路密度を比較したものである。また、表-3³⁾は、高速道路および主要幹線道路延長と自動車保有台数について国別にまとめたものである。道路密度で見ると国土が極めて広いアメリカはともかく他の主要国が2km/km²以下であるのに対し、わが国は299km/km²と高く、国土面積の割に道路延長が極めて長いことがわかる。しかし、利用率の高い高速道路および主要幹線道路延長では、アメリカ、イギリスを除いて、いずれも4~6万km前後であり、ほぼ同等の規模にある。一

表－１ 改質アスファルトの歴史

第１期：研究着手および改質アスファルトを試用した小規模試験舗装による供用性の検討開始 現 象：舗装面の荒れ、ひび割れが多く発生し、対策としてバインダーによる接着力、把握力が要求される……粉末ゴム	
昭和27年 28 30 32	東京都でNR粉末試用，神戸市粉末ゴム試用：第１回日本道路会議 北海道開発局でNR粉末でR36号に試験施工：第１次道路五計 ゴム入りアスファルトを本格研究（北大） ：舗装用アスファルト規格：日本アスファルト協会
第２期：研究成果（ＳＢＲラテックス，NRラテックス）とこれを使用した積雪寒冷地での試験施工，改質アスファルトの販売，規格設定 現 象：積雪寒冷地のタイヤチェーンによる摩耗わだちおよびすべり対策の開粒度タイプ舗装の骨材飛散等の破損が起こり，把握力の強いバインダーが要求される……ＳＢＲラテックス，NRラテックス	
昭和35年 36 37 40 41	NR／アスファルトマスターバッチ商品化，NR入りアスファルト販売，規格設定 アスファルト舗装要綱：第３次五計 I I S R P アスファルト舗装へのゴム利用の研究：R 1号全面舗装完了 札幌市輸入ＳＢＲラテックスで試験施工：第４次道路五計：名神高速全面開通 北海道開発局輸入ＳＢＲラテックスR36号試験施工，国産改質ＳＢＲラテックス販売：道路維持修繕要綱
第３期：技術研究成果による建設省，道開発局による供用性の検討のため，本格的試験舗装，合成ゴムラテックス利用技術確立の研究，セミプロローンの研究，樹脂系アスファルトの販売 現 象：本格的モータリゼーションによって全国的に流動わだちが発生し，固いアスファルトが使用されたが，その結果ひび割れなどの発生が起こり，靱性の改良効果のある樹脂改質材が目される。	
昭和42年 43 44 45 46 50	北海道開発局国産ＳＢＲラテックス使用製造法の実用化，第５次道路五計，アスファルト舗装要綱改訂 F H W Aの提案でＳＢＲラテックス使用の試験舗装（ユタ州），I I S R P 合成ゴムラテックスの利用技術確立を目標，「ゴムアスファルト研究会」 建設省ＳＢＲラテックス試験舗装：東名高速全面開通，I I S R P 第一回ゴムアスファルト舗装国際会議 樹脂系アスファルト改質材の販売 北海道開発局ゴムアスファルトの特定箇所への使用認定：第６次道路五計，アス廃材産廃指定，東京都ゴム入りアスファルトの大規模試験舗装，樹脂入りアスファルトの販売，規格設定（メーカー） アスファルト舗装要綱改訂，セミプロローンの研究，ゴム入りアスファルトの標準的性状をプレミックスとプラントミックスで設定
第４期：改質アスファルト舗装（ゴム入りアスファルト舗装）の本格的技術向上のため土研，土研センター，改質アス協会が共同研究（S56～62），研究成果による実用化のための本格的試験舗装，またアスファルト舗装要綱で改質アスファルトが一般材料として認定される。 現 象：流動わだち掘れ，摩耗，ひび割れの３現象が多く舗装の供用性の低下要因として問題となり，早急なバインダー開発が切望される。	
昭和53年 56 63	日本改質アスファルト協会（ゴムアスファルト協会）の前身であるゴムアスファルト懇話会が設立，アスファルト舗装要綱でゴム入りアスファルト，樹脂入りアスファルトおよびAC-14を特殊材料として採用：第８次道路五計 耐流動・耐摩耗舗装用ゴム入りアスファルト開発の共同研究開始（後の筑波１号） 筑波１号研究終了，アスファルト舗装要綱で改質アスファルトが一般材料となり，ゴム入り（I型）樹脂入り（II型）アスファルトのプレミックスとプラントミックスを一体化，標準性状を設定，セミプロローンアスファルト（AC-100）も一般材料となる。 ：S H R P計画スタート，常磐自動車道，北陸自動車道全面開通，本四連絡橋児島一坂開通，第10次道路五計，アスファルト舗装要綱修正，舗装試験法便覧，路上表層再生工法技術指針（案）
第５期：舗装の各種機能に対する改質アスファルトの標準化，改質アスファルト・混合物の試験法の確立，改質アスファルト混合物の再生利用および長寿命舗装ならびに橋面舗装，排水性舗装用バインダーの研究 現 象：改質アスファルト選定基準と作業標準設定，改質アスファルト試験方法の検討，改質II型をより高品質にした改質アスファルトの検討が望まれる。	
平成４年 5	日本ゴムアスファルト協会を日本改質アスファルト協会に変更，アスファルト舗装要綱改訂……熱可塑性樹脂を熱可塑性エラストマーに呼称変更，改質材による区分をその性状による区分に変更，改質I型の一体化した標準性状を設定，粘度－温度曲線の廃止 剝離防止対策，橋面舗装，排水性舗装などに使用されている種々の改質アスファルトの標準化を要望

方，わが国の自動車保有台数はアメリカを除いてほぼ2倍であり，自動車利用が集中するこれらの主要幹線道路を対象にした場合は，わが国の舗装は極めて過酷な状態におかれていると言わざるおえない。さらに表－

4³⁾は主要国道路の交通量（百万台キロ／年，km／年）と質（百万トンキロ）を表した一例であり，これより，わが国は舗装の供用性に与える影響が大きい貨物車の総交通量が極めて大きく，フランスの約2.5倍，ドイツ

表－2 道路の現況

国 名	全 道 路 延 長							
	(1) 高速道路 (km)	(2) 主要道路 (km)	(3) 二級道路 (km)	(4) その他の道路 (km)	(5) 合 計 (km)	(6) 舗 装 率 (%)	(7) 面 積 (km ²)	(8) 道路密度 (km/km ²)
フ ラ ン ス	8,100	28,500	355,000	420,000	811,600	—	551,000	1.47
ド イ ツ	10,955	42,123	84,936	498,268	636,282	99.0	357,025	1.88
イ ギ リ ス	3,147	12,331	35,697	311,153	362,328	100.0	229,988	1.57
イ タ リ ア	6,301	45,076	112,111	141,666	305,388	100.0	301,311	1.02
ア メ リ カ	86,818	654,052	698,588	4,905,220	6,277,859	58.2	9,809,418	0.64
日 本	5,410	53,304	125,536	948,642	1,130,892	72.1	377,801	2.99

表－3 主要国の道路現況

国 名	高速道路 km	主要幹線 道 路 km	自 動 車 保有台数 千台	国土面積 千km ²	千台当りの 高速道路延長 km/千台	千台当りの主要 幹線道路延長 km/千台	高 速 道 路 国 土 面 積 km/千km ²	主要幹線道路 国 土 面 積 km/千km ²
アメリカ	86,818	740,870	190,362	9,809	0.456	3.892	8.851	75.530
ドイツ	10,955	53,078	39,603	357	0.277	1.340	30.686	148.678
イギリス	3,147	15,478	24,335	230	0.129	0.636	13.683	67.296
フランス	8,100	36,600	29,275	551	0.277	1.250	14.701	66.425
イタリア	6,301	51,377	30,721	301	0.205	1.672	20.934	170.688
日 本	5,410	58,714	63,266	378	0.086	0.928	14.312	155.328

表－4 主要国道路交通の現況

国 名	総 交 通 量 (百万台キロ/年)			走 行 距 離 (km/年)			国内貨物輸送 (百万トンキロ)
	乗 用 車	バ ス	貨 物 車	乗 用 車	バ ス	貨 物 車	道 路
フ ラ ン ス	343,000	4,000	106,000	14,200	50,000	22,000	146,000
ド イ ツ	406,000	3,400	44,600	13,000	49,400	33,100	202,900
イ ギ リ ス	333,500	46,000	64,200	16,000	62,000	43,000	126,500
イ タ リ ア	308,790	4,836	49,021	1,100	62,000	20,065	182,746
ア メ リ カ	2,567,060	9,234	1,012,262	17,800	14,321	22,246	1,189,900
日 本	405,729	7,068	265,414	10,413	28,428	11,822	281,599

に対しては実に6倍強を示している。

表－5 主要都市気温比較（6～9月）

都 市	日中最高気温を 越えた日数 (%)			日中最高気温を 越えた連続日数		
	20℃	25℃	30℃	20℃	25℃	30℃
ロンドン (1982)	82 (67.2)	25 (20.5)	1 (0.8)	18	6	1
パ リ (1982)	114 (93.4)	48 (39.3)	12 (9.8)	77	11	4
サンフランシスコ (1982)	41 (33.6)	7 (5.7)	1 (0.8)	12	3	1
東 京 (1960-90)	122 (100)	106 (87.0)	34 (28.0)	122	106	34

3.2 自然環境
自然環境の中でも気象条件は、舗装の耐久性に大きな影響を与える要因の一つである。表－5³⁾はロンドン、パリ、サンフランシスコと東京の気温を比較したもので、特に気温が高くなる夏期（6月～9月）の4ヶ月間のデータを示したものである。これらの主要都市がいずれも高緯度にあることから、当然とはいうものの、東京の日中の最高気温が30℃を超えた日数は、これらの都市と比較して極端に多く、3ヶ月間のほぼ1/3を占め34日であり、しかも連続しているのが特徴である。また、表－6³⁾は東京と世界の主要都市の降雨量

表－6 主要都市降雨量比較

都 市	3ヶ月間降雨量 (mm)				年 間 雨 量 (mm)
	1～3月	4～6月	7～9月	10～12月	
ロンドン	185.8	171.2	180.6	221.5	758.8
パ リ	142.5	147.0	157.6	152.4	614.3
ハンブルグ	139.3	171.3	238.7	192.6	741.9
ローマ	210.8	123.3	119.4	281.3	734.8
トロント	158.3	202.5	212.6	189.4	758.0
ニューヨーク	243.5	254.7	274.4	261.0	1,028.3
東 京	219.0	457.0	455.0	330.0	1,460.0

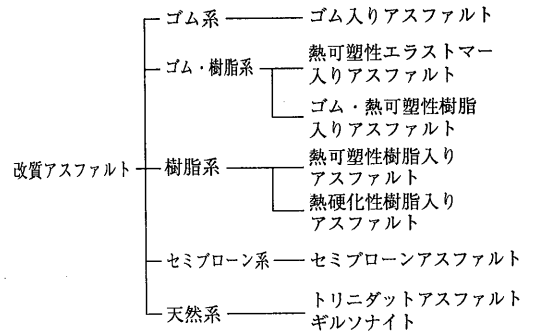
を比較したものであり、年間降雨量が世界の主要都市と比較して2倍近いばかりでなく、特に7～9月の気温の高い季節に2～3倍の降雨量となり、舗装にとって極めて過酷な気象条件下にあるといえよう。

3.3 わが国の道路環境からみた改質アスファルト

わが国の道路は上述のとおり高温多湿の気象条件下にあり、しかも質、量ともに過酷な交通状況のもとにあることから、塑性流動によるわだち掘れ、耐水性の低下による剝離等に起因するひび割れや表面の荒れなどが生じやすい環境下におかれている。このため、耐流動性、耐水性、耐久性を高めた改質アスファルトの使用が不可欠となってきた。また、雨天時の安全走行の確保は、走行騒音の低減、ヒートアイランド現象の抑制、あるいはすべり抵抗性の確保等、多様なニーズの高まりから最近ではこれらの機能を有する排水性舗装が目立ってきており、このための高粘度改質アスファルトの需要も着実に増加する傾向にある。

4. 改質アスファルトの分類

改質アスファルトの分類は図－1に示すとおりである。改質アスファルトはアスファルトに添加剤を加えて改質するゴム系、ゴム・樹脂系、樹脂系と、ストレートアスファルトに高温で空気を吹き込んでつくられるセミブローン系アスファルトおよび天然系アスファルトに大別される。



図－1 改質アスファルトの分類

ルトに大別される。

さらに改質アスファルトは、あらかじめストレートアスファルトに改質材を溶融分散させたプレミックスタイプと、アスファルト混合物の製造時にミキサへ改質材を直接投入するプラントミックスタイプがある。

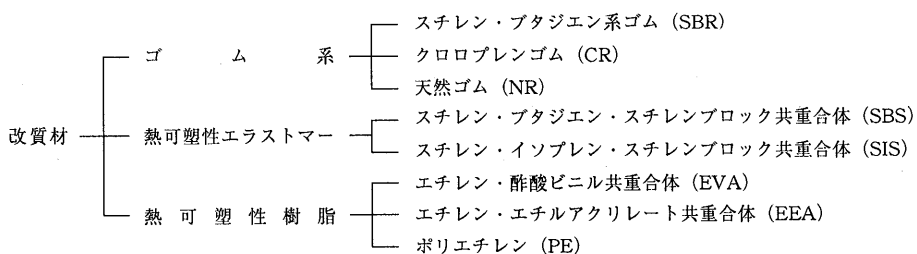
5. 改質材の種類と改質効果

5.1 改質材の種類

改質アスファルトに用いる一般的な改質材の種類は図－2に示すとおりである。ゴム系改質材にはSBR, CR, NR等があり、熱可塑性エラストマーとしてはSBS, SIS等が、熱可塑性樹脂ではEVA, EEA, PE等がその代表的なものである。

5.2 改質効果

改質アスファルトの多くは、軟化点、タフネス・テナシティ、60℃粘度の改善を目的とし、ストレートアスファルトに各種改質材を添加して製造される。改質材を添加した時の改質効果は、表－7に示すとおりである。すなわち、ストレートアスファルトの軟化点を高め、感温性を改善することにより混合物の変形抵抗性が向上し、耐流動性効果が高まる。また、タフネス・テナシティの向上、フラス脆化点を低下させることにより耐摩耗・耐剝離性、耐ひびわれ性等が改善される。このように改質アスファルトは、使用する改質材



図－2 改質材の種類

表－7 改質材による改質効果

要求性能	混合物物性	改質アスファルト性状	外的因子
耐流動	変形抵抗の向上	軟化点の上昇 感温性の低下	粒度 アスファルト量
耐摩耗	すりへり抵抗の向上 脆さの改善 耐衝撃性の向上	タフネス・テナ シティの向上 脆化点の低下	骨材の質，粒度 アスファルト量
耐はく離	はく離抵抗の向上	タフネス・テナ シティの向上	骨材の質，粒度 水分
耐びわれ	たわみ性の付与	疲労特性の向上 劣化の抑制	粒度 アスファルト量
耐すべり	すべり抵抗の向上 フリージングの防止	粘度の上昇 タフネス・テナ シティの向上	表面形状 骨材の質，粒度 アスファルト量
排水性	高空隙率の付与 骨材飛散の防止	軟化点の上昇 粘度の上昇 タフネス・テナ シティの向上	表面形状 骨材の質，粒度 アスファルト量

を複数組み合わせることで、個々の物理性状を高め、適用目的に応じた効果を発揮することがわかる。

6. 改質アスファルトの製造方法

改質アスファルトの製造方法は、各メーカー独自の方法を採用しており、ノウハウも多いことから詳述するには至らないものの、その一例を図－3に示す。まず、所定量の原料アスファルトを製造タンクに移送し、次に計量された改質材、添加剤を所定の手順に従って製造タンクに投入する。原料アスファルトと改質材および添加剤を所定の条件のもとで混合・溶解して製造する。その後製品タンクへ移送し出荷するまで保管される。

7. 改質アスファルトの動向

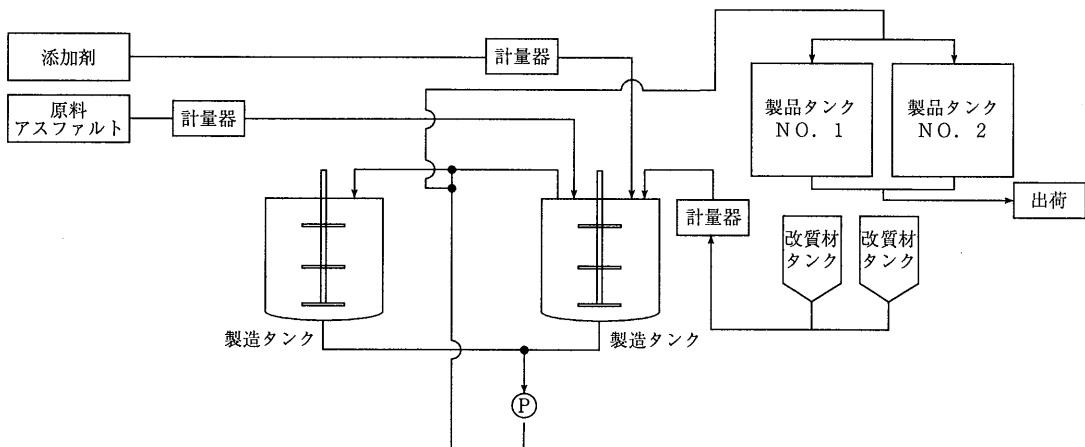
7.1 概要

最近の改質アスファルトに対するニーズは多様化しており、交通渋滞、夏期の猛暑、ライフサイクルコストの低減、長寿命化という観点から耐流動性のさらなる向上が求められている。また、リサイクル法の施行、骨材資源の枯渇の背景、および建設発生材の有効利用という観点からD交通へも適用できる再生混合物用の材料開発が求められている。さらには、交通安全、騒音低減の観点から排水性舗装の適用が急増し、高粘度改質アスファルトの需要が急激に増加してきている。また、耐水性向上の面からは橋面舗装専用の改質アスファルトが検討されるなど多種多様な改質アスファルトが開発されている。

ここでは、アスファルト舗装要綱に記載されていない最近開発され、実用化している改質アスファルトについて以下に紹介することとする。

7.2 高粘度改質アスファルト

排水性舗装は高空隙率であるため、一般の混合物と比較して日光、空気、水などの影響を受けやすい。したがって、舗装表面の骨材飛散、空隙つぶれ等の現象を防ぎ、良好な供用性を確保するためにはアスファルトの骨材に対する把握力・接着力を高め、かつ骨材をアスファルトで厚く皮膜する必要がある。これらの点を考慮し、排水性舗装が持つ排水、騒音低減、すべり止め等の機能を長期間にわたって持続できるように配慮して開発された改質アスファルトが高粘度改質アスファルトである。排水性舗装用アスファルトの検討初期には、ストレートアスファルトと改質II型を用い、植物繊維や消石灰との併用で適用を試みてきたが、早期



図－3 改質アスファルトの製造方法 (例)

破損による耐久性の低さという問題が生じてきた。この問題解決のために高粘度改質アスファルトが開発され、それを用いると繊維などの補助材料を必要としないで所定の耐久性を確保できるようになり、その使用が普及してくると同時に排水性舗装の施工実績も伸びてきた。この性状の違いを表した室内試験の一例は図-4⁴⁾に示すとおりである。ここでは、アスファルトをストレートアスファルト、改質II型、高粘度改質アスファルトの3種類を用い、目標空隙率18%、22%の2配合、植物繊維の有無等の違いを検討できるように供試体を作製し評価している。評価はホイールトラッキング試験でトラバース走行を行い、供試体の破壊、表面の荒れ（空隙つぶれ）が起こった時点での走行回数で行っている。その結果、ストレートアスファルトは早期に破損、改質II型では空隙率が高くなると走行回数が低下するのに対し、高粘度改質アスファルトでは全て試験中止（3万回以上）まで良好な性状を示している。

また、高粘度改質アスファルトは骨材飛散抵抗性、耐候性、付着性、耐流動性を高めるため、タフネス・テナシティ、軟化点、60℃粘度などの性状を大きく改善した特徴を持っている。

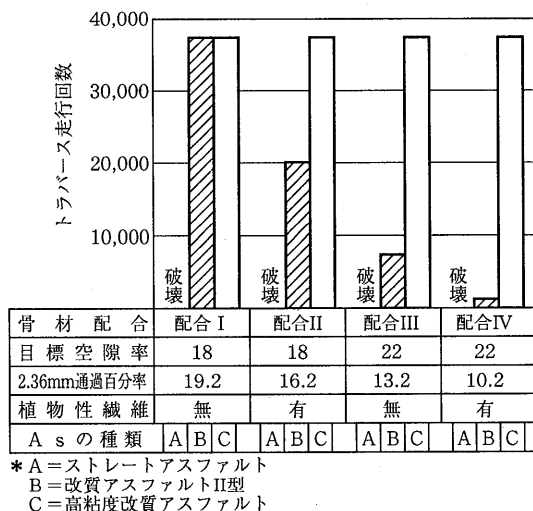


図-4 各種アスファルト混合物とトラバース走行回数の関係

7.3 付着性改善改質アスファルト

橋面舗装では床版保護の観点から防水層を設ける場合が多く、舗装体に浸透した雨水が防水層上に滞水し、この水によりアスファルト舗装の剥離が助長される。付着性改善改質アスファルトは、アスファルト、骨材、

水の間で起こる剥離現象を内的な因子である物理化学的な界面張力と表面電位および外的因子である交通荷重の3つの観点⁶⁾からとらえ、剥離を防止する目的で開発された改質アスファルトである。付着性改善改質アスファルトを使用した場合の粗骨材の剥離抵抗性試験結果は図-5⁸⁾に、水浸ホイールトラッキング試験結果は図-6⁹⁾に示すとおりであり、付着性改善アスファルトの剥離抵抗性がストレートアスファルトおよび改質II型に比べ優れていることを示している。

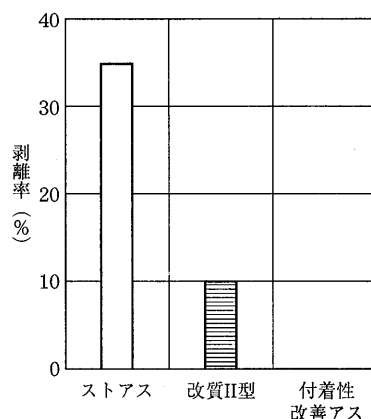


図-5 静的剥離試験結果

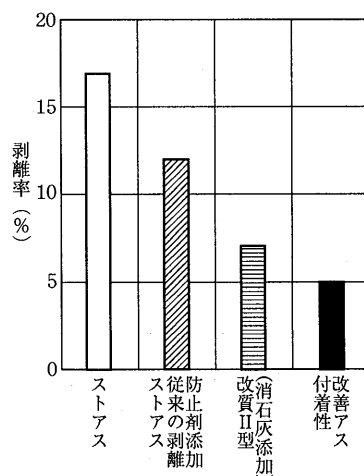


図-6 水浸WT試験結果

7.4 超重交通用改質アスファルト

超重交通箇所への耐流動対策は、改質II型での十分な対応は極めて困難な場合⁷⁾もあり、改質II型以上の耐流動性と耐久性を併せ持つ改質アスファルトとして超重交通用改質アスファルトが開発された。この混合物性状は図-7⁸⁾、8⁹⁾に示すとおりであり、動的安定度(DS値)は改質II型の2～3倍の値を確保している。さ

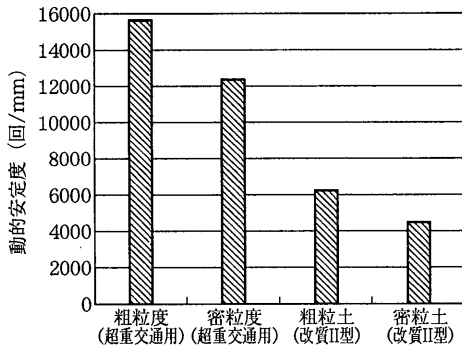


図-7 ホイルトラッキングによる動的安定度

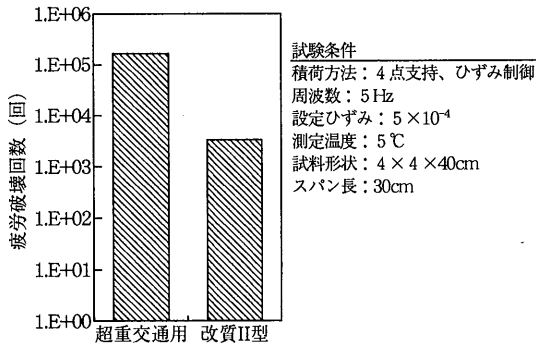


図-8 疲労抵抗試験結果

らに、高いDS値が得られるアスファルトはひび割れ抵抗性が劣る傾向があると指摘されているが、この超重交通用改質アスファルトは図-8に示すとおり改質II型と比較し、2オーダー以上の高い疲労破壊回数を有することから、高い耐久性能を持つことがわかる。

7.5 再生混合物用改質アスファルト

省資源、省エネルギーの観点から、舗装廃材の再生利用の機運はますます高まると予想され、また再生混合物のD交通路線への適用も「舗装廃材再生利用技術指針(案)」への改訂により道が開けた今日、重交通路線への再生改質アスファルト混合物の適用は今後一般化していくことが予想される。このような中で、再生骨材に改質II型を新アスファルトとして用い、改質II型相当の混合物を得ようとした場合は、再生骨材の混入率がかなり制限を受け、再生骨材の大量利用を図ることは困難と推測される。そこで、再生骨材を混入して、バージンの改質II型混合物と同等の混合物性状が確保できることを目的に開発されたのが、再生混合物用改質アスファルトである。図-9⁹⁾は旧アスファルトの混入限界を50%とし、新アスファルトと旧アスファルトの混合比を変えたときの針入度の変化を示したものである。これより、新アスファルトとしてストレートアスファルトおよび改質II型を用いた場合、旧アス

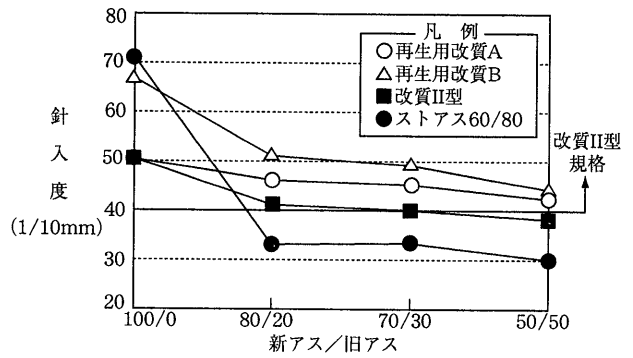


図-9 再生アスファルトの針入度

ファルトの混入率が多くなると針入度は低下し、混入率が20~30%になると改質II型の規格である40以上を満足していない。しかし、再生用改質アスファルトを用いた場合は十分規格を満足している。また、図-10⁹⁾の再生骨材混入率とDS値の関係では再生骨材混入率が増加するに従い、DS値は低下傾向を示すものの、改質II型を使用した場合より高い値が確保できている。

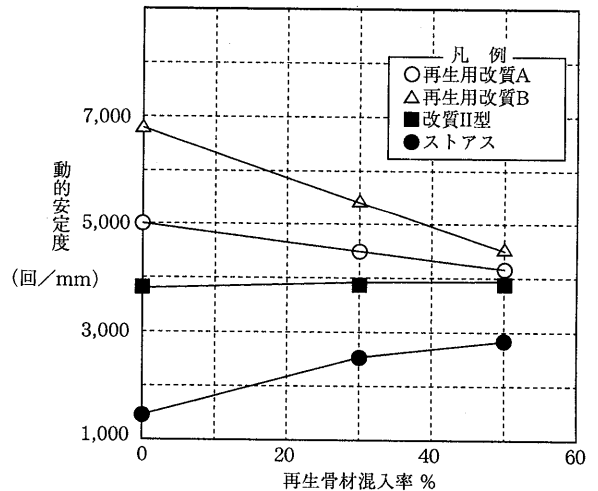


図-10 再生骨材混入率と動的安定度との関係

以上、最近開発された改質アスファルトについて述べてきたが、当協会ではこれらの改質アスファルトの品質・性能を表-8のように協会規格として定めた。すなわち、高粘度改質アスファルト、付着性改善アスファルト、超重交通改質アスファルトともに60℃粘度を新しく規格値として取り入れ、改質I、II型に比べ軟化点、伸度(15℃)、タフネス・テナシティの値を高く設定している。さらに付着性改善改質アスファルトにはフラース脆化点、粗骨材のはく離面積率を規格として採用した。

表－8 改質アスファルトの品質及び性能

種 類	改質 アスファルト I 型	改質 アスファルト II 型	高 粘 度 改質 アスファルト	付 着 性 改 善 改質 アスファルト	超 重 交 通 用 改質 アスファルト
項 目					
針入度 (25℃)	1/10mm	50 以上	40 以上	40 以上	40 以上
軟化点	℃	50.0 ～ 60.0	56.0 ～ 70.0	80.0 以上	68.0 以上
伸 度 (7℃)	cm	30 以上	—	—	—
伸 度 (15℃)	cm	—	30 以上	50 以上	30 以上
引火点	℃	260 以上	260 以上	260 以上	260 以上
薄膜加熱質量変化率	%	—	—	0.6 以下	0.6 以下
薄膜加熱後の針入度残留率	%	55 以上	65 以上	65 以上	65 以上
フラス脆化点	℃	—	—	—	—12以下
タフネス (25℃)	N・m (kgt・cm)	5.0以上 (50 以上)	8.0以上 (80 以上)	20.0以上 (200 以上)	16.0以上 (160 以上)
テナシティ (25℃)	N・m (kgt・cm)	2.5以上 (25 以上)	4.0以上 (40 以上)	15.0以上 (150 以上)	8.0以上 (80 以上)
密 度 (15℃)	g/cm ³	報 告	報 告	報 告	報 告
60℃粘度	1×10 ⁴ Pa・s (1×10 ⁴ Poise)	— (—)	— (—)	2.00以上 (20.0以上)	0.15以上 (1.5 以上)
最適混合温度	℃	報 告	報 告	報 告	報 告
最適締固め温度	℃	報 告	報 告	報 告	報 告
粗骨材のはく離面積率	%	—	—	—	5 以下

備考 1) 付着性改善改質アスファルトの協会規格は、建設省中部地方建設局のバインダー規格を参考とした。

2) タフネス、テナシティのCGS単位からSI単位へ変換した規格値は、端数を切り上げた。

8. 改質アスファルト評価試験の動向

現在用いられている改質アスファルトの性状試験は一般に「舗装試験法便覧」に準じて実施されるが、これらの試験方法はストレートアスファルトの評価試験として発展してきたものが多く、近年の多様化する改質アスファルトの評価試験としては、その特徴を必ずしも正確に評価しているとは言えない。特にタフネス・テナシティ試験、60℃粘度試験がその代表であり、当協会でもいろいろと検討を行っている。今後は、旧試験方法にとらわれないSHRP試験方法のような新しい独自の評価試験方法の開発が必要と考えられる。

9. おわりに

わが国の改質アスファルトは、道路環境をとりまく交通条件、気象条件とともに様々なニーズに対応する形で発展してきた。今後、これまでのニーズの他に、より高度な機能を持つ舗装、メンテナンスフリーを理想とした超寿命化舗装、省資源、自然保護のためのリサイクルなどの舗装技術に対応する改質アスファルトの開発が課題となると考えられる。また、改質アスファルトの研究開発はメーカーのみの問題でなく、舗装全体の技術開発の促進という観点から官学民の関係

が一体となって進めていくことが望まれる。

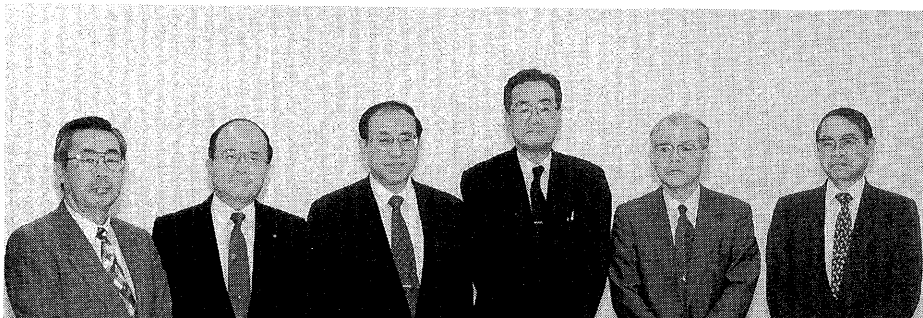
— 参考文献 —

- 1) 日本アスファルト協会：改質アスファルトを用いた混合物の施工と手引き
- 2) 日本改質アスファルト協会：改質アスファルトポケットガイド，1995
- 3) 栗谷川：改質アスファルトと舗装技術，改質アスファルト，No.5，p.8，1995
- 4) 塩尻他：排水性舗装用アスファルト混合物の高温安定性，舗装，27-2，p.3，1992
- 5) 羽入他：橋面舗装用付着性改善改質アスファルト，アスファルト，Vol.36，No.189，p.14，1996
- 6) 阿部他：耐剥離性を向上したアスファルト舗装の橋面舗装への適用，道路建設，p.57，1990.8
- 7) 羽入：改質アスファルトII型の実態，質疑応答，舗装，29-12，p.9，1994
- 8) 村山他：超重交通用改質アスファルト，アスファルト，Vol.36，No.189，p.25，1996
- 9) 羽入他：再生骨材を使用した重交通用舗装混合物に関する一考察，p.46，1994.7

座談会

アスファルト舗装技術

～これまでの歩みと21世紀への展望～



出席者

飯島 尚 積水樹脂(株)技術担当常任顧問
牛尾 俊介 日東石油(株)専務取締役
達下 文一 ニチレキ(株)技術顧問
藤井 治芳 建設省顧問
山下 弘美 (株)レインボーコンサルタント技術顧問

司会・河野 宏 編集委員会委員長
(社)土木学会 専務理事)

平成8年10月9日

於・(社)日本アスファルト協会会議室

司会 日本アスファルト協会は1997年、創立40周年を迎えます。10年前の30周年のときと同じですが、10年毎の節目の年に機関誌『アスファルト』で特別な座談会を企画しております。

今回もそのような座談会として、アスファルト舗装技術の過去を振り返り、現在を考え、将来を語る座談会を企画いたしました。

きょう出席の5名の方は、いずれも舗装技術に造詣の深い方でございます。

それからもう1つの共通点としては、最近、長年勤めてこられた職場を離れられました。これまでの職場では、舗装の技術に大変深いかかわりを持たれておられましたし、今その舗装技術について思い出とか感慨も数多くお持ちだろうと思っております。

その辺のことを含めて、皆様ならではの話を聞かせていただければ大変ありがたいと思っておりますの

で、よろしくお願いいたします。

☆舗装との出会い☆

司会 最初、非常に月並みな質問ですが、皆様と舗装との出会い、舗装技術者としての出発点について、皆様一人ひとりから、ウォーミングアップを兼ねて、ひとつずつ喋っていただけたらと思います。

山下さんは10年前、このような座談会を司会されますし、経験者でもありますから最初にお願いします。

山下 私は大学に明確な考えがあって入ったわけではないので、何をやるかが判らなかつた。伯父の紹介で藤井さんのご尊父であられる藤井真透先生をお訪ねする機会を得て、幾度かお訪ねして先生のご薫陶をうけるうちに、道路の重要性が漠然とではあるがわかるようになり、自然なりゆきで卒業論文は舗装でと考えておりました。

指導教授であられた谷藤正三先生に相談に上がったところ、土研で卒業研究をするようにと指導を受けたのが、私の舗装との出会いでした。当時の土研には福岡先生を始め、竹下さん、井上さん、岩間さん、田中さん、松野さん等が在職されていました。

直接指導を戴いたのは井上さんと松野さんでしたが、折りに触れて他の皆さんにご指導いただきました。土研での卒業研究では錚々たるメンバーに巡会え、今考えてみれば、大へん幸運なことでありました。そういう雰囲気の中での卒業研究は面白く大学院を終えるまでお世話になりました。

卒業間際になって谷藤先生から日本道路で新しく研究所をつくるがどうかというお話があり、指導を戴いていた井上さんもその研究所に移ると言うことなので、私も日本道路にお世話になることになり私の舗装屋人生が始まったのです。

司会 今、土木研究所の話も出ましたが、藤井さん、いかがでしょう。藤井さんの場合は。

藤井 私は建設省に入省する際「現場に出してほしい」とお願いしたのですが、大学院の経験もあったことから、土木研究所に配属になりましたが、その時、たまたま田中淳七郎さんが名神の現場に出たあとで、「足らないからお前入れ」と、それが舗装の具体的な出会いなんですよ。

舗装については殆ど知りませんでしたが、たまたま、私の家にお見えになった方々（例えば森豊吉、瀬戸、那須川等の各氏）のお話を聞く機会があり、当時中学生だった私は新技術への情熱を感じた思い出があります。

当時の日本の建設工学、特に建設省の事業は河川が中心で、明治時代から治水中心に続いてきた技術の歴史があるわけです。もっと言えば、わが国の近代土木工学の歴史は鉄道と治水が中心に戦前の技術を形づけてきたと云えましょう。

その間においてだんだん技術工学の対象も広がってきて、戦後になって、日本の舗装の悪さを解決するために、舗装工学を最大に伸ばさなければならないこと。それから橋梁工学と、この2つが当時の道路工学の2大潮流になっていたと思います。計画学はやっと発展始めた頃でした。

そういうことから、舗装の世界は、佐藤寛政さんや高野務さん、あるいは谷藤正三さんとか金子証さんとか、そういう錚々たる先輩の方々から、竹下春見さん、高橋国一郎さん、あるいは浅井新一郎さんなどが続か

れ、次いで多田宏行さん、田中淳七郎さん、藤原武さんとか、錚々たる人が舗装に携わっていて、いってみれば技術面から非常に華やかな時代だったですね。

そんなことが1つのきっかけになって、私も土木研究所の舗装研究室に配属されてすぐ「九州に舗装の勉強に行つてこい」と言われて、九州の三太郎峠の現場へ行つた思い出があります。

学生の頃、最上武雄教授の下で土質工学を勉強していたので、土質工学の目から見ると明らかに排水というものがこの舗装を壊しているということが、その現場を見て分りましたが、このように舗装工学というのは材料工学だけでなく土質工学を含め非常に幅広い技術の集大成として出てくるものだと感じました。

当時、谷藤正三さんが土木研究所の所長、松野三朗さんが研究室長でして、以後、この二人の御指導を受けてまいりましたので、個人的には私も舗装屋だと思っています。

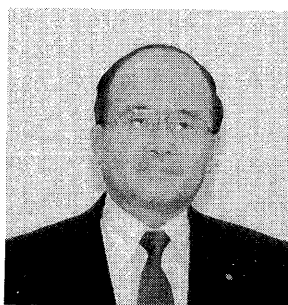
又当時は本四架橋が土木研究所の最大のテーマの一つでした。本四架橋のうち特に明石海峡のような長大橋は、その重さを、死荷重を減らすことが非常に経済性に大きな意味があると。死荷重を何とか減らせ。というテーマが出てきて、その担当をやらされました。それがきっかけになり特殊舗装とか、今、どういう言葉で言っているかわかりませんが、新しい材料の世界へ飛び込むきっかけができました。

それから同じ頃に、新大宮バイパスという当時日本で最先端の道路が出来たのですが、コンクリート舗装で25センチ厚という舗装です。これができて約2年で壊れたんです。

何でこんなに壊れるんだということから、設計荷重のとり方に問題があったのではないかと、ということになり、走行車両の重さを量るシステム、あるいはその重さを使った設計システムについて、手がけようじゃないかということで、これも担当を私がやらして頂きました。このような新しい試みについて担当させて頂いたことも舗装にのめり込んでいったもう1つのきっかけだろうと思いますね。

司会 どうもありがとうございます。飯島さんは藤井さんよりも数年遅れて土木研究所へ入られたと思いますけれど。

飯島 はい、私も舗装に入りましたきっかけは、現場から土木研究所に参ってからです。私は、福田先生が出たあとのコンクリートを担当するように、松野さんから言われました。入ってしばらくと言いますか、



飯島 尚氏

全くよくわかりませんでしたね。舗装については大学でもほとんど勉強しませんでしたし、まあ勉強したのかもしれないけども、あまり覚えていませんでした。

舗装研究室に入りまして、最初、コンクリートを担当しろということになって、西も東もわからなかったんですが、まず最初にコンクリートを作って、こういうもんだということ、いろいろやって、それから舗装の世界にどっぷりとつかっていったということです。

もちろんコンクリートだけではなくて、そのあともずーっと舗装研究室に長くおりましたのでいろんなことをしました。やはりまあきっかけは、初めに連続鉄筋っていうのを少し勉強してみようかなと思っていろいろ考えたんですけども、まあ結果としてはいろんなことをやらざるを得なかったというか、やってきたということですね。

司会 建設省の話ばかり続きましたけれど、達下さんの場合はいかがでしょうか。

達下 私は未だに舗装の専門家という自覚がなく中途半端です。といいますのも、生まれ育った地域に鉄道や鉄橋、道路や橋はあったのですが、舗装はほとんどありませんでした。ですから大学時代も橋梁に興味をもって能町純雄先生のもとで卒論を済ませました。大学では選択としての道路工学はあっても舗装という講義は無かったかと記憶しています。

勤めるにあたって公務員は2、3年で職務を変えるものとの認識が強かったものですから、入都時の面接では「不器用ですから10年間位、同じ技術的業務に就かせてください」と申し出ました。結果は、その存在すら知らなかった東京都土木技術研究所に配属になり都歴36.5年間の内、通算で約30年を立場を変えながら研究所勤務となりました。この間、ほとんどを道路と地盤に係わる調査研究に終始しました。入所時の研究室のボスは別所正彦さんで土質を中心に目新しいこと

は何でもさせられました。最初に教えられたのは調査報告書の青焼きりコピー機の操作でした。次いで道路協会発行の道路工学叢書第8集『路床土調査法』と当時発行されたばかりの『アスファルト舗装要綱』そして『道路構造令解説』を見せられ、帰宅時に丸善か紀伊国屋書店に立ち寄って自前で購入し読むようにとの指示でした。私は田舎から出てきたばかりでその所在場所すら知らない始末でした。

翌週からは、毎日のように日中は先輩に連れられ駐留軍の払い下げの幌付トラックの荷台に乗せられ、路床土や路盤調査と土質等の試料採取に出向き、日暮れて戻ってからはCBR試験や土質試験などに明け暮れました。ですから毎日、宿直室の住人のような生活を続け、五月のゴールデンウィーク明けには北海道では未体験の日差しによって、か弱き柔肌が剥けていました。(笑い)

当時は超過勤務手当などはほとんど貰えませんでした。が、公務員とはそのようなものと思っていました。

藤井 当時は、そのような状況だったんですね。

達下 その後、米国留学帰りの有山勇次郎さんがコンクリート研究室のボスに赴任され、米国の高速道路の話や専門書の紹介を受けるに及んで、あれらの施設は映画や書物の世界ではなく現実の世界であることに驚きと感動を受けたものです。当時、東京はオリンピック開催に向けて街並みを一変させていました。特に環状7号線や8号線および放射線等の幹線道路整備は立体交差と沿道ビルの高層化によって日に日に変化していきました。このような街の動きを肌で感じ自分自身も街を変えることに参加しているとの充足感が基礎地盤と構造物の調査研究に米国の街並みを夢見つつのめり込んでいました。特に土質屋が少なかったこともあってか自由な発言ができて「土」が面白くて面白くてたまりませんでした。若気の至りか土や地盤と生涯添い遂げ心中してもよいと思い詰めていた時期もありました。(笑い)

アスファルト関係の研究は、隣の研究室に都退職後も顧問で岸文雄さんがおられ、岩瀬正さんが活躍していました。でも岸さんは何か恐れ多くてお話を聞くこともできませんでした。ですからアスファルト、まして乳剤という言葉は岸さんに重なって、未だに怖い存在です。(笑い)岸さんにお声を掛けられた時は緊張しました。その内容は「今、励んでいる仕事は天職と思って頑張れ」という趣旨のことだったと記憶しています。未だ「天職」という言葉だけが脳裏を離れずにい

ます。お話が聞けるようになったのは、岸さんが80歳を過ぎてからだだったような気がします。

舗装に取り組むようになったのは、オリンピック終了後、当時、大々的に採用した早期施工のためのセメントマカダミックスなどのセメント安定処理層路盤による直上のアスファルト混合物表層へのリフレクションクラックの発生と会計検査院への対応からでした。その後は美濃部知事時代の沿道住民を中心とした道路公害論への対応に端を発しオイルショック対応へと続きました。いづれもが舗装の分野での対応技術によって解決策の足掛かりを見出そうとしたものです。各々の舗装に時代背景とご指導いただいた方々に繋がる深い思い出と感慨があります。

司会 では最後になりましたけれども、牛尾さんの場合はいかがでしょうか。

牛尾 私は社会に出ましてちょうど30年になるんですが、私にとっては舗装がすべてです。

と言いますのは昭和42年に当時のシェル石油に入りましたが、ちょうど昭和40年に名神が開通しまして、ちょうど東名高速道路の工事の真っ盛りで、道路建設工事、あるいはアスファルトの販売が活発な時期でした。あとでわかったんですが、入社したときに、私がたまたま土木屋で、大学の研究室でもアスファルトをやっていたもんですから、アスファルトに関するある程度専門の人間が欲しいということで、一応アスファルトへの配属が入社する前から決まっていたというのをあとから聞きました。

それで会社に入りまして、その後ずっとアスファルトの現場、あるいは役所、道路会社の試験室の手伝いをかなりやらされました。当時、現在とはほとんどごさいませんが、アスファルトに関するクレームが相当多かったことを記憶しています。

現場でなかなか安定度が出ないとか、よく固まらないとか、あるいは施工後の仕上がり表面がよくないとか、クレームが多く、それに対するいろいろな品質にかかわる説明、アスファルト混合物の試験方法等についてのお手伝いで、日本中走り回ったという状況がずっと続きました。

そうしておりますうちにアスファルト協会、日本道路協会のいろいろな技術委員会等にも参画させていただくような形も出てまいりまして、私としましては、過去30年ずっとアスファルトにかかわり、アスファルトで過ごさせていただいたということで、個人としても非常に幸せだったなというふうに思っているんです。

これらの委員会では非常に巾の広いテーマ（アスファルト舗装の設計、材料、施工、供用性調査等）について検討がなされ、最終的にはアスファルト舗装要綱に反映されて来ているわけですが、私はアスファルト材料の規格、試験法に関わって来ました。この間当時著名な先生方、先輩方と出合い、大変勉強になりました。例えば東京都の岸さん、岩瀬さん、北大の菅原先生、東工大の渡辺先生、日産化学の福島さん、三菱石油の飯島さん、その他まだ現役で活躍しておられる多くの方々、大変お世話になりました。

当時、いろいろな状況の変化があったんですが、特に私の場合には、会社の宣伝になっては具合悪いかと思いますが、シェルグループでアスファルトの研究とか技術資料が豊富にありましたので、日本に対する紹介、あるいは説明というふうなこともかなりやらしていただきまして、大変充実した状況で過ごしたと思っております。

司会 どうもありがとうございました。

皆様のお話を聞きながら、偶然の妙を感じました。牛尾さんの場合は確信犯というか、学校の時に舗装に出会い、以来ずっと続けられているわけですが、私の場合は藤井さんの後任として土木研究所に行きました。藤井さんが舗装に出会わなかったら、その当時私が藤井さんに会わなかったら、私も舗装と出会うこともなかったでしょうし、この座談会も全然別なメンバーでやっていたと思います。月並みな感想ですが、人の運命、事の成行きは大いに偶然に支配されるという気がします。

いままでのお話にありましたように、短い方で30年、永い方では40年近く舗装に携わっておられます。その経験の中でいちばん印象に残ったことを話して頂こうと思います。今度は牛尾さんから如何でしょうか。

☆舗装の思い出☆

牛尾 今までいろいろな経験させていただいたんですが、非常に感謝しておりますのは、通常、石油会社では、4年ないし長くて7年で、仕事がいまどんどん変わっていく、それで全く違う仕事を経験しながらというのが普通なんですけれども。私の場合、アスファルト関係で長くやらせていただいたお陰で非常にたくさん、先述のアスファルト関係の方々はもちろんのこと、建設省、道路公団、あるいは道路会社、非常に幅の広い分野でいろいろな方と知り合いになれて、今でも非常に親しくお付き合いをさせていただいている



牛尾 俊介 氏

というふうなことがございまして、感謝しております。

その間、特に私、建設省さんでいろいろお話をさせていただいたりする中で、特に偉大なる藤井先輩にもお世話になっておるんですが、ホットロール工法を富山県道路公社の立山の有料道路に、工法の説明をいたしまして、当時としてはきわめて珍しい舗装工法だということだったんですが、大変なサポートを建設省本省からもいただきまして、それが見事に出来上がりまして、もう20数年たっているんですが、いまだにビクともしないで、非常にいい形で。

司会 残っているんですか。

牛尾 はい、残っております。

藤井 鳥海山でもやった。

牛尾 ええ、そうです。鳥海山もやりました。その後どんどん国道工事でもお陰さまで出てまいりまして、強く印象に残っております。

その後、だんだんとアスファルトに対する要求が厳しくなっていまして、特にわだち掘れ、のちほどお話が出てくると思いますが、セミブローン・アスファルトの市場導入をやるということで、アスファルト協会が中心になり、建設省の指導でいろいろやられたときに、アスファルトのサイドから協力させていただいたり実際にやらせていただいたんですが。

そのときの失敗とか、怒られたことも、今でも強烈に覚えておりますが、このセミブローンアスファルトのサンプルを作るときに大変苦労したことを覚えております。今では製油所の製造技術が確立していて何ら問題ないんですが、当時、60℃粘度で8,000±2,000、10,000±2,000、14,000±4,000ポアズのアスファルトサンプルを作るのは針の穴に糸を通すようなものでした。

今、印象に残っておりますのはそういうところでございます。

司会 どうもありがとうございました。では引き続

いていかがでしょうか。

飯島 もう印象に残っているのが多すぎちゃって、何から話していいかわからない程です。そうですね、セミブローン・アスファルトの話が出ましたんで、その辺から話をさせていただきますと、ご存じのように第1次、第2次、第3次試験とやって、最終的には今の規格に落ちていっていますね。そこに至るまでのプロセスの中で、材料開発の難しさということをつくづく教えられたというのが、印象深いですね。なかなかうまくいきませんで、最終的には10,000±2,000ポアズの材料を作っていたんですけども。それで3次の試験舗装を全国各地建にお願いして、結果的にそれがうまくいったわけなんですけれども。

その中で感じたのは、材料開発は長期的な展望を持たないとなかなかうまくはいかないなということを感じたわけです。

つまり、物を作って現地で試験をやって、そして車を何万台か通した後さきっと測って、ひび割れとわだちとその他供用性の指標全体をうまく、折り合いをつけて、リーズナブルにしていくなという全体としてのストーリーの下に開発に取り組まないとうまくいかないということです。それは1次試験、2次試験というのは、まあ1万4,000ポアズでやってみたり、8,000ポアズでやってみたり、いろんなことをやって結果としてそこに落ちていたわけですけども。

同じようなことが、少し視点が違うんですけども、今度はアスファルトを改質するということで研究したときに感じました。具体的には筑波1号っていうのを土研のときに造ったんですけども。このときにはいろんなアスファルトを集めてきて、何を入れると効くか、効かないか、それはなぜ効くのかということですね。

そのときにアスファルトなるものの難しさというか、現在の状況はさらに難しくなっているのかもしれないけれども、つくづく感じました。やや細かい話ですが、プラントミックスとプレミックスの比較なんかをいろいろやって、プレミックスのほうがいいよなんていうような話を言ったものですから物議を醸したりしたこともありましたね。

要するにひと口に言うと材料開発は長期展望の下にあるプロセスできちっとやらないと簡単には答えが出ませんなということを強く思っております。

それからもう1つ言いますと、舗装を力学的な視線でものを整理できないかなということを常々思ってい

ました。最近はFEMや多層弾性論なんかが導入されてきてかなり整理されていますが、私も1つ何か考えようと思って、橋面舗装、特に鋼床版の舗装に取りくみました。この材料試験と歪の計算と現場の供用性の三位一体がうまく説明ができないかなということで、ずいぶん勉強させていただいたことが印象に残っています。

それからついでに、あんまりたくさん言っちゃうといけませんけども。もう1つは舗装の評価ということで、AASHO試験の結果、PSIが使われている訳ですが、それに代わる日本的なものがないかということで、MCIというのを最終的にはつくった訳です。この段階でライフサイクルコストというのが、当時からずんぶん言われてまして、この分析とこのMCIの評価式というものを、建設省の試験舗装を中心にいろいろ整理したというのが非常に強く印象に残っております。

司会 はい、どうもありがとうございます。

飯島さんはこの中ではいちばん舗装の研究歴が長い。

飯島 まあそうですね。通算いたしますと最初に8年舗装研究室にいて、あと6年おりましたから、14年舗装に携わってたことになります。

司会 藤井さん、藤井さんの場合、時間的にはそう長くはないと思いますけれども。いかがでございましょう。

藤井 今の司会の言葉に反論しますが、舗装研究室にいるから舗装に携わっているんだという認識が間違いですから。(笑い)

あとで山下さんに、舗装会社の歴史について話をして頂けたらと思います。日本の舗装事業が企業形態としてどのように成り立ち、現在にきているか。例えば日本道路は何年に出来て、どうなっていると。

私も37年から携わってきたんですけどね、舗装の歴史を考る際の前提となる数字をちょっと皆さんに御示しますが、昭和20年ごろ、舗装の延長は1万キロというふうに今、いわゆる言われているわけですね。そのころ自動車保有台数は全国で19万台です。

我国の最初の舗装要綱、曲がりなりにも一応自力で作った舗装要綱、35年のときに、舗装は約3万キロあるんです、簡易舗装まで含めて、そのときに約230万台です。

次に42年に舗装要綱を改定したんですが、そのときの舗装の延長が10万7,000キロで、それで車の台数が1,100万台です、ぐっと増大しました。

35年から42年の間に非常に問題が起きたというのは、



藤井 治 芳 氏

ここで5倍の交通、保有台数が増えたということになっているんですね。

次に、53年に改定されているんですね。53年のときに舗装延長は44万キロです。そのときに3,400万台と、また3倍増えているんですね。

そしてその次が63年なんですが、63年が73万キロで、5,200万台なんです。

平成4年に改定がされたわけですけども、そのときに80万キロの舗装延長、そして6,100万台と。

ですからだんだん単に舗装するというものの考え方から設計構造物としての舗装が必要だというふうに、この交通量の変化とともに変わってきているんですね。

そういう見方をしますと、わが国の舗装の、私もちょうどその35年以後、何らかの形で舗装に携わっていましたので思い出すのですが。わが国の舗装工学は35、6年ごろは、最大の問題はわだち掘れで、これがどうにもならない時代でした。

当時は砂利道舗装が主流だったのですが、わが国の戦前の砂利道が、戦後ブルドーザー、スカイスクレーパーを中心に機械施工が採用されアメリカ流の舗装技術を大巾に取入れたので、大量供給は可能になりコスト低減には役立ったけど、反面弱い砂利道となり、わが国の砂利道がもたなくなった。

その結果、走行性、耐久性等を考慮して早く舗装をということになり、表層をかけなければならないというところにつながったと思っています。したがって、表層混合物を重視するということが最初だったんですね。

又その当時は、構造設計概念もK値法とCBR法という評価方法に2つに分かれており、しかもCBRも、現場CBRと設計CBRと、各論併記する、言ってみれば路床、路盤に対する考え方が充分に確立していないという時代だったんです。

それがしばらくたつにつれて、路盤の役割の重要性

が一層認識されるようになり、路盤材料について非常に研究が進んだんです。

さらにそれが進んで、路床の重要性が着目されるようになり、在来砂利層の評価法とか改良路床とかいう設計概念もそのころ生まれました。そしてさらに路床からもう1回表層に戻ったということじゃないでしょうか。

こういう流れが、整理されたのが42年頃から53年頃でしたから、私も道路局の担当課長補佐、専門官で携わっていたので記憶に残っています。

一方、言ってみれば耐久性に関する議論とは別に、今度は機能という問題が出てきたわけです。それが例えば、表層における平坦性の問題、滑りの問題、摩耗の問題、騒音の問題とか、さらに走行性、美観に至るまで多くの課題が研究課題となり日本道路会議等でも非常に重視されていろんな研究がなされ、その結果現在では透水性舗装とか、カラー舗装、ブロック舗装とかいったことにまで発展してきていると考えています。

さらにその次に出てきたのが、費用の問題ですね。当時の舗装は、維持管理をしながら耐久性を考える舗装が全ての基本でした。トータルコストの考え方はなかったんです。最初の初期投資をいかに安くしてもちのいいものを作るか、あとはメンテナンスしていけばいいんだと、こういう発想だったのですが、だんだんそれではどうにもならないだろうということから、言葉で言えばメンテナンスフリー的な発想が濃くなって、それがトータルコストという概念を生みだしてきていると思っています。

又一方では、非常に記憶に残っている事に、混合物の種類について、42年の改定版の検討の最大のテーマとなりましたが、それは、いってみれば、混合物の種類が当時約110種類ぐらいあったものを、40種類ぐらいに少くすることでした。

似たような舗装混合物を製造することは非常にコストに無駄が多い。例えば東京都でも約68種類だったと思いますが、それを36種類に小さくすることによっていろんなコストを下げる、無駄をなくすることができるようになりました。そのころプラントを科学的に管理するということが非常に重視されて、舗装の安定性ということが重要視されましたから、非常に大変でしたけども大切なことだったと思っています。

それからやはりそれと相前後してですけど、当時アスファルト材料の品質規格について多くの問題が生じていたことです。「わだち掘れに強いストレートアスフ

アルトはできないだろうか」ということです。

そこで、まず試験の性格を全部チェックしなきゃいけないと思いまして石油会社、舗装会社から現実に使用しているアスファルトを土木研究所に集めて、舗装の試験機具のチェックなど、例えば針入度の試験機から軟化点から何を使っているかと。どうやって評価しているかというそのテストも含めて全部試験をしました。そして、いかに試験値というのが巾があるかということ、当時発表してますけどね。

そういうことをやりながら、各石油会社がもっと安定性のあるアスファルトを責任を持って出すという気運をもちあげました。第1ラウンドです。

そして第2ラウンドは、耐久性のあるものをどう安定的に製造してもらえるかということでした。もっともちのいいものを出しなさい。ところがなかなかアスファルトの価格がそれと伴わないからということで、石油会社の試験室だとか、製油所も回り、いろいろ議論をしました。

そして、要するにアスファルトというものをもっと真剣に考えることが意味があるよということと、アスファルトに携わる石油会社の技術者の地位を向上して頂くことが重要であるということをお願いしました。これが第2点。

こういう環境を整えながら、3点目は、アスファルト協会、アスファルトの責任者の方々に集って頂いて、いわゆる動粘度というか、粘度の高いアスファルトをぜひ作ってほしい、要するにわだち掘れに強い舗装用アスファルトを製造してほしいとお願いしました。

司会 それは何年でしたか。

藤井 50年ごろでしょう。それは何をやったかという、品質改善のためには協力するという空気を作りながら、わだち掘れに強い舗装用アスファルトを創造するために協会と国とが協力していきましょうということでした。

その結果が舗装用セミブローンアスファルトの誕生となったのです。

それから48、9年ごろ、路盤材料のスラグが黄色い水を出したり、最初問題になったのが和歌山県と香川県と千葉県の現場でした。それから北海道。

当時、スラグ問題は、デラー中心で処理していたようですが、製造者である製鉄会社を中心に技術問題を解決するため鉄鋼スラグ協会が設立され、技術研究も一層進展した結果、エージングというシステムが生れたと思っています。

又舗装のリサイクル問題についても、昭和47・48年頃から着手され始め、各地で独自にいろいろな努力がされていましたが、これらの経験成果と、その後の技術的研究のつみ上げをまとめて道路協会でリサイクル指針をまとめることができたのも良い思い出です。

それから歩道舗装も、当時の社会情勢から舗石方式からアスファルト混合物方式に転換しましたが、その供用性から東京都や厚木市が中心に透水性舗装を生みだしたり、町を綺麗にするため舗装にも景観という機能が重視されるようになって、インターロッキング舗装が生れたり、やっぱり、時代背景とともに生活者の生活感覚の中から舗装も技術向上を果していかなければならなくなってきた時代だと思います。

又一方で舗装のコストを下げて道路及び交通の実態に合せてより簡易な舗装を作ろうとする試みが尾之内さん、高橋さんを中心に行なわれ、昭和39年に最初の「簡易舗装要綱」が発刊されました。地方道、特に市町村道にとって特筆すべき政策でした。さらにその後より軽量の交通に対して、よりコストの易い舗装は考えられないかということから各地の現実の経験をふまえて、アスファルト協会より「歴青路面処理指針」が昭和48年に生れたのも素晴らしい出来事でした。

さらに最後に、技術者のことにちょっとふれますが、昭和35年に、機械施工技術検定というのを作りまして、機械施工者に対する資格制度を作ったんです。そして44年に土木施工管理技術検定というので、1級技術管理士と2級施工管理士が生まれました。

そして最近になって、道路保全センターの多田宏行さんたちが中心になって頑張っていたいただいたお陰で平成7年に、舗装施工管理技術者資格という制度が出来ました。

まあこういったことで、舗装に対する地道な努力をやってきたけれども、じゃあ今後はどうなんだという議論が今後残るのかなとこんな感じしますね。

司会 どうもありがとうございました。今のお話を伺っていて、建設省でもつばら舗装をやっているのは舗装研究室だというのは、大変な間違いだということが、分りました。(笑)

藤井 先ほどいいましたが、簡易舗装を普及させたのは尾之内由紀夫さんと高橋国一郎さんです。尾之内さんが道路局の課長時代にイギリスに調査に行き帰って来て、そして以後、当時「特四舗装」と言っていましたけどね、特改四種事業という制度を作って、その技術基準として、簡易舗装要綱をまとめたのです。

この簡易舗装要綱のため当時真っ先に勉強しに行ったのが岐阜市です。当時岐阜市は松尾さんという市長が技術屋さんで、舗装に興味がある人で、これがタール舗装方式を作り、当時の市の8割方ぐらいタール舗装をやっていた。

それから東京都の乳剤舗装とかカットバック舗装についても勉強しました。当時東京都の岸さん、別所さん、武田さんなどの御指導を頂いたことも楽しい思い出の一つになっています。

このように舗装技術は研究所と現場とが一体化して日本の舗装技術を現在まで持ち上げてきた。その研究所は大学の研究室以外では建設省の土木研究所以外にも北海道開発局の土木試験所、東京都の土木技術研究所、日本道路公団の道路試験所等など、民間では日本舗道、日本道路、東亜道路等の研究所が歴史をもっておりまして。特に民間の研究陣の中で昆布谷さん、増田さん、井上静三さんなどなつかしい大先輩の方々の顔が思い出されます。官民一体となって舗装研究会というもので作って、みんなで勉強しようという気運がもっていた時代でしたよ。

司会 だいふ東京都のことも、藤井さんが触れられましたけれど、達下さん何か。

達下 アスファルトが怖くて近づきがたかった舗装に身を入れだしたのは「舗装研究会」の存在ですね。その契機は、別所さんや有山さんはもとより武田宏さん、片野洋さん、秋山政敬さんなどの大先輩に命じられて「舗装研究会」の使い走り幹事をさせられたからです。幹事長は鈴木道雄さんで、山之口浩さんなどと一緒に「舗装研究会」としての研究調査報告書の下書き作りなどをさせてもらいました。当時の「舗装研究会」は今日ご出席の藤井芳治さんのご尊父の藤井真透先生を代表者に建設省の研究補助金をもらって今に言うところのコンポジット舗装（当時は剛式アスファルトコンクリート舗装と呼んだ）でのリフレクションクラック防止対策工法についての調査研究をしていました。この時に「舗装研究会」の人々に知己をえ、暖かい援助をいただいたことが大きな支えになりました。

藤井 そうでしたね、覚えてるなあ。

達下 そして原稿が出来上がったとき、多田宏行さんに連れられて藤井先生にご挨拶できたことを昨日のように覚えています。

その後はAASHO道路試験報告の捉えどころの面白さ、特に舗装の評価手法に関心を持ちましたが、この勉強は早大の森麟先生のもとで行いました。またAASHO



達 下 文 一 氏

道路試験の成果を取り入れた昭和42年の「アスファルト舗装要綱」改定ではD交通設定にあたっての資料提出や路床土調査と設計CBRの決定方法などの下書きの執筆を高見博さんのご指導のもとで行いました。その後の改定では幹事、委員として松野三朗さんや南雲貞夫さん、さらには今日ご出席の方々にご指導を受けましたが、特に忘れがたいのは建設省地方道課の成田保三さんとの出会いでした。

このような皆さんのご援助を後ろ楯に東京オリンピック終了後における道路公害問題、特に道路整備が道路公害発生の元凶にされたことへの反発による舗装での技術的開発に自信を持つことができました。これらの舗装技術に一貫するテーマは、東京の道路と舗装は交通の便はもとより沿道に住み生活する人々に優しく潤いを与えるものであることを願ったものです。街路樹育成、総合治水対策、アメニティ等を求めた透水性歩道舗装、交差点流入部での追突や横断歩行者への事故防止のための滑り止めのためのOGFCや樹脂による硬質骨材薄層舗装、交通振動発生源の路面変形を防止するための改質アスファルト採用による低振動舗装、交通騒音発生源抑制のための低騒音舗装（排水性舗装）へと続いてきました。

これらは個々単独に生まれたものではなく、連綿とした先輩の技術を受け継ぎ、その技術を誇りにしながら舗装研究会の人々に支えられてきました。また所属した都の研究所では岸さんはもとより顧問の宮部直己先生、星埜和先生、久野悟郎先生にお教えを受けながら発展させてきました。特に1987年に「環7を守る会」からの強い要請によって環状7号線で低騒音舗装（排水性舗装）を試みるについては恩師の一人である北大の菅原照雄先生に先ずご相談したところ技術的示唆に富んだ励ましの言葉を戴いたことも心に焼きついています。

司会 最後になりましたが、山下さん、藤井さんか

らのリクエストもありました、民間の方の視点からも、会社の話も含めて。

山下 印象に残ったのは、名神高速道路の舗装工事とその後の路面性状調査です。

まず、舗装工事の施工管理を徹底的にやってみたこと、仕様書の満足させることは勿論、関連外国文献を現場に持ち込み、文献の記述と現場での諸現象の比較などもしました。これにより、文献の読み方が少しは判るようになりました。当時、セメント安定処理のセメント含有量の管理は一軸圧縮強度で行っていましたが、セメント量を直接測定する方法を土研から道路公団に転動されていた田中さんと相談の上、提案したところ一軸圧縮強度に代わってセメント定量法が採用され、セメントの管理の省力化が図れたことを記憶しています。このセメント定量法は後にセメントコンクリート舗装要綱にも採用されました。

名神高速道路も供用開始2～3年でヘアー・クラックが出始めましたので道路公団に路面性状調査の必要性を提案したところ、その提案が採用され、栗東北西を日舗さん、栗東以東を日道と分けて調査をしました。この調査では、我が国でのこの種の調査の例がなかったため、外国文献に頼らざるを得ない部分が少なからずありました。

日舗からは山之口、桃井の両氏、日道からは私と森の両名で、それぞれ昆布谷、井上の両先輩の指導のもとに調査を始めました。

この調査では、アブソン抽出法、ライスの最大比重測定法さらに穴あきベンケルマン測定法を新しく採用しました。これらの調査からアスファルトの老化性状、空隙量の変化、舗装のたわみ量の季節変化を体感として得ることができ、貴重な経験となりました。

藤井 我々の舗装を発展させた先達の方々を振り返ると建設業界では那須川さん、清水さん、大島さんなどがおられたということ、この方々が大局的な立場でいろいろと努力されたということ。

建設省の人で言えば、金子桩さん、それから高野務さん。高野建設技監時代にアスファルト舗装が採択されたと聞いています。これはあんまり知られていないけど、高野さんがいなかったらもっとアスファルト舗装の採択は遅れている、昭和32年頃です。

それとか谷藤さん、尾之内さん、それから高橋国一郎さん、そして浅井新一郎さん、竹下春見さんそしてお亡くなりになった藤原武さん、そしていちばん若いのでは多田さんさらには鈴木道雄さん（現日本道路公

団総裁)と。こういう人たちが舗装にもうきわめて情熱と指導性を発揮されたということが、後輩であるわれわれが安心して舗装の技術革新、改革に取り組めたものと思っています。この人たちがわれわれのやるのをね、一緒になってカバーしてくれたんだ。

それから案外目立たないのがね、当時、各県に舗装研究会というのが出来ましたよ。愛知舗装研究会、三重舗装研究会とか言って、各県がそれぞれ研究会を作って真面目な研究をしたということ。

それからさっき道路公団の話が出たけど、山科の試験所、以後の道路公団の舗装に関する大きな成果を果たしてきたと思います。又寒冷地表層では、北海道の試験所の久保さんとかいろんな人の努力が、そういういろんな立場の人たちの参画があつてこそ、ここまできたと思います。

その証拠に、道路会議の舗装部会の論文でも、建設省の技術研究会でも、舗装のテーマが非常に大きなテーマとして、長い間、主流を占めているということでもそれは証明されると思います。そういう全員参画の中で、舗装というものに大きなエネルギーを使ってきた。そしてまた守ってきたということだと思ふんでね。

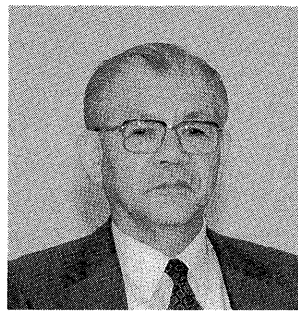
司会 ほかに過去の話で追加がございましたら。

山下 先程、藤井さんからリクエストがありましたので、大略舗装業界のことを申し上げますと、

道路建設会社が誕生し始めたのは大正末期から昭和初期にかけてであります。その主なるものを挙げますと、日本舗道の前身である日本石油(株)道路部(大正12年設立)、大成ロテックの大倉土木(株)(大正13年設立)、昭和初期には日本道路の前身の日本ビチュマルス舗装工業(昭和4年設立)、東亜道路工業の前身の日米合弁会社・日本ビチュマルス(昭和5年設立)、等があります。やや遅れて昭和8年に大林道路の前身である東洋舗装が設立されております。これらの会社の事業は当時の主要な舗装であった簡易舗装の施工が中心でありました。

第二次世界大戦の様相が悪くなり始めた昭和18年頃から労力、資材とも極端に不足するようになり、舗装工事のままにならない状態になり、この状態が昭和30年頃まで続き、特に戦後の10年間は舗装工事もすくなく、舗装各社は苦しい経営を強いられました。

それが第一道路整備五ヶ年計画が軌道に乗りかけた昭和31~32年頃から徐々に立直り始めました。その頃、五ヶ年計画を目指して世紀建設工業(昭和25年設立、現世紀東急工業)、丸善舗道を商号変更した鹿島道路



山下 弘美 氏

(昭和39年)、高野建設を商号変更した前田道路(昭和43年)等が設立されました。

昭和33年に始まった名神高速道路舗装工事は技術的にも立直るきっかけになりました。我田引水のきらいがありますが、当時研究機関を持っているのは日本舗道と東亜道路工業の二社でありました。宇都宮寿夫さんが日本道路にも研究所をつくろうということで、昭和33年に藤井真透先生、谷藤正三先生のご指導のもとに研究所が設立されました。これがその後の各社の研究所設立の誘い水になったように思います。

その頃、私が知る限りでは業界のリーダーには名須川さん(日舗)、清水さん(日道)、川口さん(東亜)などがおられ、さらに先ほど、藤井さんも、言っておられたように技術的なリーダーとしては日舗には森、亀掛川、中島、宮子、昆布谷、日道には宇都宮、土橋、井上、東亜には大槻、増田、戦後いち早く発足した世紀建設には工藤、佐藤の諸先輩が活躍されていまして。この頃から品質管理と機械化施工は大型工事だけでなく、一般国道の施工にも適用されるようになりました。工法としては、セメント安定処理工法、加熱アスファルト安定処理工法さらにグースアスファルトが定着して参りました。かくして、これらの技術をもって高度成長時の需要に対応したのですが、昭和42年頃からアスファルト・プラントを取り巻く環境の変化からアスファルト・プラントの定置化が始まりました。

それはアスファルト合材の市販を誘発し、場合によっては、合材の販売を有利にするためには合材の敷き均し、締固めまで含めて合材の市販が行われるようになりこれが、いわゆる上請への切掛けの一つになったのです。これがややもすると舗装工事の品質保証の所在が不明確に成り品質管理の在り方にも影響を与えることになり、この問題をなおざりにしておけば、舗装技術の再生産は期待できなくなり、技術の衰退をもたらすのではないかと心配しています。先に述べた先輩

たちの築いた技術をより輝いたものにするためにも、また、低騒音舗装、景観舗装などと新しい舗装技術を円滑にこなすためにも、早急にこの問題を解決すべく、抜本的な対策を望んでおります。

将来の問題として、舗装のライフサイクルに関して述べます。舗装のライフサイクルを論ずるに当たっては、その供用性を見極めが必要ですが、供用性を見極めを困難にしている最も大きな原因は、施工のバラツキ、不確実性にあるとされています。すなわち、設計段階で予測される供用性と実際のそれとの間にギャップがあります。それは設計供用性を保証出来る程度まで現時点では施工の精度が至っていないことによるのではないかと思います。

しかしながら、供用性を見極めの妨げにならない程度まで施工の精度を上げるのには、施工の特性から時間を要する。

このような問題に対処する方法の一つとして、供用性に関して施工業者がより広い範囲で責任を持つことも考えられます。

すなわちVE契約方式、DB契約方式、レーン・レンタル方式、あるいはパフォーマンス・ベースの仕様書にもとづく契約を舗装工事に導入することもそろそろ検討してもよい段階ではないかと思います。手始めに担保期間を5年程度まで延長することから始めるのも一つの方策かもしれません。

もし、このようなことが実施されれば、供用性と施工の精度の関連の探求、工事の評価方法の開発を早める事ができるのではないかと思います。これには官、学、民の協力が必要だと思います。

☆舗装技術の現状☆

司会 司会者の進行がまずかったと思います。

これまでは過去の話をして、これから現在、将来の話に移ろうと思っていたのですが、山下さんにその辺の口火を切っていただきました。

それではここでアスファルト舗装技術の現状、について皆様のご意見をお聞かせ願えたらと思いますが。

飯島 今、山下さんから非常に重要な問題提起がなされたように思います。

山下さんの答えになるかどうか分かりませんが、考えていることがあります。

例えば今では、いいものを作っても、なかなかそれがむくわれないような仕組みになっている。それから、例えば、材料と施工と設計の対応がきちっとクリアに

ならないとパフォーマンスである一定の評価ができないというような問題提起がありましたね、僕はむしろそれらの対応を1つ1つクリアにすることが可能かどうかという疑問を持っているんですよ。むしろ1対1にクリアにしなくても総合的な評価でいいのではないかな。例えばある舗装が少なくとも5年ぐらいきちんともった場合に、それを評価して発注等に反映させるしくみがないかどうかですね。もったという評価は、もう少し厳密に考えて、車との対応、その他、年数との対応もきちっと整理しなくちゃいけませんけども。

さらに、例えば、5年もって初めてそこで100パーセントの支払いを行なう。最初はまあ2年目に50パーセントぐらい払うよとかね。そういうふうに、きちんといい仕事をやるところが生き残れるような仕組みを考えないといけませんね。

つまり、舗装の研究や技術開発が全体として評価されるような仕組みにする必要があると思います。

そのいい例が最近の排水性舗装だと思います。

それはなぜかと言うと、最近、高速道路や国道等で排水性舗装がどんどんどんどん増えていますよね。

これは、私は21世紀の舗装だろうというふうに思っています。ただし、これがいつまでも効果が持続して、少なくとも5年ぐらいてももらわなきゃいかん訳です。だけどそれは誰でも彼でもできるかというと、恐らくできない訳で、やっぱり技術力があってきちんとできるところがやるような仕組みに持っていけないと思います。

恐らく、細かいところはちょっとわかりませんが、さっきご指摘のあった上請けの問題と関連があると思いますね。

次にこれからは恐らく一家に1台の、いや、1人に1台の車時代になるだろう。これだけ世の中が高度化し、いろんな複雑になってきている中で、舗装だけが唯一、もういつてみれば40年間同じようなことをやっている。

やっぱりこの辺でもうちちょっと高速道路にしる国道にしる耐久性のある高級化について根本的なことを考え直さないと地盤沈下になるのかなっていう感じがしています。まあもちろん自己反省も含めてなんですが、それがもう1点ですね。

それからもう1点は、ちょっと話しを横に振っちゃって申し訳ないんですけど。最近、都市化だとか、モールだとか、園路だとか、歩道だとか、都市空間だとか、その中にさきほどお話しがあったILBも含めて、

景観材料がどんどん施工されている。しかし、携わっているのは舗装屋さんじゃない場合が多いんですよ。

で、結果的にどうなっているかという、舗装の構造設計だとか材料の評価からスタートするんじゃなくて、見た目がいいとか、綺麗だとか、デザインだとか、そういう面だけでいろんなことが行われているんです。そうするとそこへ車に乗る、雨が降る、そして結果としてそれが2、3年で壊れたり、問題を起こしているケースが多いですね。これらの設計施工を舗装技術者の手に取り戻さなきゃいけないと思うんです。

結局、何て言うのかな、世の中、見た目だけでいくようなシステムになりつつあるというのは由々しきことだというふうに思っていて、舗装もその1つだと思いますね。

どういふのかな、最終的には公共空間を税金でもって、整備する訳ですから、材料の評価であるとか、設計をどうするとか、構造をどうするとか、評価をどうするとか、再度、きっちと技術者の手に取り戻していく、われわれも自覚していくと同時に、発注者も、建設省もそれを深く自覚しやっていく必要があるのかなと思いますね。

つまり、大きく分けて、車道の高級化、高耐久性化を進める、そしてその仕組みをどうするかということです。それからもう1つは、歩行空間だとか都市空間だとか、そういったところでデザインだとか景観を重視するあまりに、構造設計とか品質の評価とか、もの作りのプロセスを忘れていているところがあり、これを舗装技術者の手に取り戻す必要がある。この2つを、とりあえず申し上げたいと思います。

司会 達下さん、今の飯島さんの話ですとだいたい発注者関係への注文も多いようなのですが。

達下 この7月（平成8年）までの発注者サイドから、つい最近、受注者サイドに変わったものですから勉強が不十分で失礼があるかもしれませんが、立場はどうあれ道路整備に対する国民ひいては住民の意識と財政的な現実を直視する必要があると思います。特に舗装業界は公共事業への依存が高く急膨張した業界ですから、総論としては公共的建設事業投資が右肩下がり之余儀なくされ企業経営が難しくなるとの危機感はあっても、これだけの大業界だから「天の誰かが助けてくれる」あるいは「わが社だけは」との甘えが見られるような気がするのです。

それは舗装業界全体が大きな仲良しクラブの感があって各企業間で技術的バトルはあっても、それはその

企業の技術イメージの範疇を脱せず、極端には「技術をもって業をなさない」ように、特に地方自治体では発注者も受注者もが勤めてきたようなところがありますし、そのような体制が確立しているような気がします。しかし、これからはそのような時代背景にないと認識すべきだと思います。「技術をもって業をなせる」には発注者は技術を適正に評価し選択しうる能力を持ち、受注者は行政需要に応える信頼ある技術を個性をもって提供するという体制を確立しなければならないと思います。

私自身、これまでは一方通行の道を先輩の車の尾灯だけを見て走ってきたのですが、ここにきて見通しの悪い交差点の多い狭隘な道に入ると同時に車も乗り換えたものですから戸惑いを感じています。でも、わが国の近代的舗装技術の導入時や苦難時、すなわち初心に立ち戻る時に発注者、受注者の区分けのない国益としての合理的な舗装という施設が提供ができるようになると思います。特に地方自治体の舗装では、あの経済不況と世相の不安定だった昭和10年前後に結果的には中止になった昭和15年（紀元2000年）の東京オリンピック開催に向けて開発されたアスファルト乳剤と簡易舗装工法への情熱、さらには第2次世界大戦後の復興のための舗装技術者の努力、そしてこの間における専門技術集団としての舗装専門企業での技術的切磋琢磨の足跡をたどり返すことだろうと思います。

山下 設計、材料の研究、設計に関する研究、施工に関する研究、殊に、施工の不確実性を補う研究が進まないことには供用性は学問の領域にしか使えないことになります。

先程申しましたように、担保期間を少しずつ延ばすことによって、例えば、取り敢えず確実に5年間担保できる施工方法なり、その評価方法なりが研究され、ある程度の実用的な精度のある供用性の予測ができるようになるのではないかと思います。

担保期間が長くなれば、いわゆる上請もできにくくなり、舗装専門企業での技術的切磋琢磨も盛んになるのではないのでしょうか。

達下 「5年間だけ舗装が壊れなければいい」というのではなく、「5年間を目標にして、それ以上に舗装が壊れなければ」その分の利益は施工者に帰属させるということではないですか？。ですから、この考え方はある種のバリューエンジニアリングのようなものですよね。

司会 いづれにしろ、この場で両者合意というのは

難しいことと思いますが。

牛尾さん、どうぞ。

牛尾 私はアスファルト業界としまして、非常に大事な時期だなと最近考えているんです。

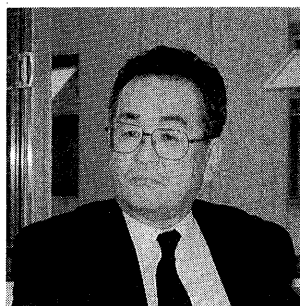
平成4年、今度出された「アスファルト舗装要綱」と、それと併行して「舗装工事共通仕様書」の解説版も出ていますが、この中をずっとこう見てみますと、きわめて自由度が増してきて、使う側、実際に設計する側、そこらあたりがいろいろなメニューの中から、かなり自主的に選べるような体系になってきているというのは非常に大きな特徴じゃないかなと思っているんですが。

そういう状況の中でアスファルト業界として考えた場合に、これはもう相当アスファルト業界の責任が大きいのというふうに思います。

なぜならば、非常にたくさんの工種、それと施工、それに付随した材料ということで、この三位一体になって1つのものが出来上がる中で、実際の設計、建設、それとあと供用ということで進んでいったときに、アスファルト業界の材料に対しての基本的な考え方と努力、これが本当に大事な時期じゃないのかなというふうに思っております。じゃあ今、不十分なのかって決してそういう意味で言っているんじゃないんですが。かなり不幸な現象だなあと今見ておりますのは、アスファルト業界、あるいはアスファルト・メーカーと言ってもいいかもしれませんが、アスファルトに関する技術者、あるいは開発体制というものが、こここのところちょっと低調になってきておるように感じています。

ところが、事実は非常に高いニーズがあるわけですね。こういう状況になりますと、例えばストレート・アスファルトだけじゃなくて、いろいろな材料としての要求に見合った改質アスファルトが、非常に多種類のものを出していかなといかん。それから今後起こってくるであろう常温化、つまり環境に配慮した常温化の時代ということを考えますと、やはりアスファルト業界のほうから積極的にかかわった材料の開発、あるいはそれに対する技術力というものがますます求められていくというふうに感じているんですが。そこらあたりを今後もう1度、アスファルト業界として自覚してやっていかないといけない時期じゃなからうかというふうに、常々考えておるんです。(笑い)

司会 皆様のご意見を伺っていて感じたのですが、問題には純技術的問題とそうでないものがあると思います。牛尾さんの云われた材料開発は純技術的問題



河野 宏氏

ですし、山下さん、飯島さんの言われた問題、上請の問題などは必ずしも技術だけの問題ではない。道路協会の舗装委員会は技術委員会ですので、当然純技術の問題には取り組まなければいけません。しかし最終的な目標は利用者・納税者に良い舗装を提供することですので、その目的に沿うものならば、百パーセントは技術でない問題でも取り上げる必要があろうかと思えます。そしてこの場合、技術を武器にして、技術をベースとして取り組むべきです。本来技術というのは、 $1+1=2$ のように簡単明瞭なこと、合理的で妥当性、現実性が特徴ですし、良い武器になるはずですよ。

私が常々感じていますのは、技術の軽視です。品質管理や検査がその例ですが、多くが書類上のことで処理されていて、技術力の差は見えにくく、その結果一応どこでも出来ることになってしまっている。そこからいろいろな問題が出てきている。そんな感じもします。

技術者の技術の再認識と責任の自覚。達下さんの「原点に戻る」と同じことになるのかも知れませんが、その辺がいちばん大切だと思います。

藤井 ちょっと今、道路委員会の舗装委員長長の総括的なお話もあつたんですけどね。

私は戦後の5回の舗装要綱の改定を通じて、舗装要綱が果たしてきた役割というのはきわめて大きかった。しかしそのことは舗装技術の一般化に非常に役に立ったと思うんです。しかし舗装そのものの技術を、あるいは評価を高めるという意味では必ずしも十分でなかった、そこにまず反省点を置かなきゃいけないだろう、いってみれば、舗装要綱はテキストであり過ぎた。だから、技術基準としてもう一度見直す必要がでてきたところをまず第1の反省にしなきゃいけないのかなと。

ただその際に、さきほど委員長が非常にうまくおっしゃったけども、舗装技術は、いってみれば道路空間

政策とびたり表裏一体をなすものなんでね、その政策との連携が不十分だとうまく舗装技術も発揮できないんですね。

そういう意味で、砂漠の中で舗装やるような状況ならば舗装技術だけでいいかもしれないけど、こういう都市空間、人間が住む空間の中でやる技術ですから、そういう意味で政策との連携からくる技術の選択ということが、これから非常に重要視されるだろう。

例えば、高速道路のように路面を時間的に比較的自由に使える場合の技術と、それから一般の道路ではあるけれども、例えば東京の街路とかいったように、日常生活の使用の中で路面を早く利用者に開放しなきゃいけないというような路面の自由が厳しく制約される場合の舗装技術、というのは今の舗装要綱からは充分には出てこないんです。

したがって、環境に応じた技術という組み立て方をして、もう1回、技術基準というものを座り直していかなくちゃいけないというふうな感じがしますね。

その際に、やはりさきほど右下がりの話がありましたが、確かに舗装だけじゃなくて、日本中のあらゆるものが、社会資本そのものも含めて、それに要する費用というのは限界が出ていきます。そういう中でやっていきますから、材料を大量に使用するシステムへの反省をまずしなきゃいけないだろうと思います。

そういう中で耐久性、材料を大量に使用しない中で、使用するシステムの反省の中から、より耐久性を重視した、あるいは機能をより重視した高規格化と言うんでしょうかね、これは社会的費用との絡みから、質を重視した舗装技術というものをわれわれが社会に提供していかなければどうにもなくなる。いってみれば、修繕のお金が、ランニング・コストが負担しきれなくなる時代が来ますから、そういう意味でなるべくランニング・コストを低くする舗装技術というものを生み出さなければいけない。

そのときにやはりもう1回そこで返ってくるのが、材料をフルに使う。その材料は骨材も今度はそうは山を崩せなくなっているし、だからバインダーも大いに改善してもらってやっていく、こういったような技術革新がますます必要になるだろうと思いますね。

したがって設計方法をいくらか精緻にしても、あまり意味がないだろうと。というのは、設計とパフォーマンスとの関係は、頭の中ではいくらかでも出せるけれど、現実とだんだん遊離していきますからね。

そういう意味でいろんな問題を見直す、そういう評

価システム。したがって責任、管理ですね。山下さんは難しいとおっしゃるけども、難しくともやる。それに耐えられなければ、舗装技術は敗退するというぐらいの気持ちで、この問題に臨むことによって、初めて21世紀型の舗装の事業が成り立つのかなと思いますね。

ですから、例えば道路占用工事で路面を修繕するとすぐ上に部分オーバー・レイする、汚てしょうがない。フセの穴が開いたあとに布を伏せたような感じでね。伏せだらけのつぎはぎだらけの舗装じゃないか。だから、いずれは全面的に打ち直すわけですね、その無駄ができないんです。もう1回打ち直すということが費用的に問題になってくるのです。とすればどうしたらいいか。

だからフセじゃなくて、私はそれをいわゆる「かけはぎ」というような。初めから修繕のときにかぎはぎのように一見わからないような技術、これは今ないんです、そういう材料がないんですよ。だから、そういったようにね、修繕の段階においても恒久化する、そういう技術を生みださなければいけないのではないかと思います。

最後に非常に大きなことを言いますが、今、国民の負担率というのは、健康保険であるとか年金であるとかということで約38パーセント程度になってきました。今度の老人介護等々が出てくれば、だんだん上がる。そこへもってきて電気代、水道代、ガス代、有料道路代とか、要するに社会生活を行うために、社会資本を使っていく費用がだんだん増えてくるわけです。

例えば下水道をどんどん今増やしています、例えば月20立米使うとしてその費用負担は一戸当り420円から5,000~6,000円のところもある。水道料金も5,000~6,000円のところもあれば400~500円ぐらいのところもある。

だから、いろんな施設をどんどん整備し、社会のニーズに応じてサービスレベルがどんどんどんどん上がっていくと、それに応じていろんな社会的サービスを提供していく。けれども費用負担から利用困難な時代が来るんですね。そうすると荒廃する日本社会が出てくるわけです。

したがって、そういうストックをフルに使えるような社会構造にしなきゃいけないということで、21世紀は20世紀で作り上げてきた社会資本をもう1度見直して、よりコストのかからない社会資本に改造していく世紀である。足らざるものは21世紀の初頭に何とか充

足するかもしれないけども、充足したからってそれで社会資本整備が終わるんじゃないくて、20世紀に作ったものはいずれもが老朽化、家で言えば3畳間、4畳半のね、しかもトイレやバス、風呂を、共有で使うようなアパートは今、誰も借り手がないですよ。しかし、今の住宅供給率は1以上なんです、1.1倍ぐらいです。ということは、住宅事情が100パーセント、今わが国の住宅政策としては足りているんです。しかし住宅問題では、国民は不足感を感じているわけです。それは質なんです。同じように社会資本でもそういう意味の質の議論をする時代に入ったと思っています。

そういう目で見たとときに、舗装というものが質の面で、今までやってきたものをそれでよしとするんじゃないくて、よりコストのかからないそういう舗装に切り替えていかなければ、どうにもならない時代が来る。そこにいろんな技術が、施工法も含め、材料も含め、あらゆる部門が参画してもらいたいということを考えているのです。

☆舗装技術の展望☆

司会 大分残り時間も少なくなってきましたが、言いたいことがおありの方はどうぞ。

藤井 舗装技術というのは、20世紀型としては成熟した技術だが、21世紀型としてはこれからの、若い技術。だからあらゆる分野の人が、いままでの技術を見直して、新しい21世紀の厳しい社会に耐えられる舗装技術を生み出してきてほしい、そのために大いに参画してほしいし、特に若い世代には頑張してほしいと思います。

司会 そうですね、21世紀は若い人の時代ですし。

飯島 大変素晴らしいお話ですね。ちょっと参考になるかどうか分かりませんが、今、コンクリートであるとか鉄であるとか、あらゆるコンストラクション・マテリアルズ、これを次の世代に向けて高度化しようという動きが正にアメリカで始まりましたね。

で、アメリカはすごいなあと思ったのは、シャープで色々研究成果を出したなと思う間もなく、今度はコンストラクション・マテリアルズの開発に向かっている。これはコンマートって言っているんですがつまり、コンストラクションマテリアルズの略ですね。アスファルトも入っているんですけども、たまたま『道路』の、8月号でしたか、土研の片脇さんが全体計画について書いています。正に藤井さんが言われたようなこ

とですね。

21世紀に向けて、アメリカは本腰を入れてすべての材料を見直して新しいものにしていこうというんで、確か20万ドルの予算をかけて今年の8月ですか、スタートしているんですよ。

藤井 アメリカを始め諸外国では、新しい技術への、新しいチャレンジを始めていますよ。単にアスファルトだけじゃなくてね。

飯島 樹脂も入るし、いろんなものをね。

藤井 だからそういう広い意味の非常にオーバー・オールな材料ね。アスファルトという言葉で言う場合には舗装材料という意味での代表名で言うだけだから狭く限定する必要はない訳ですよ。

だからアスファルト協会においてもアスファルトだけではなくてもっともっと大きな、いろんな材料のものを対象にして検討して頂けたらと思います。

飯島 アメリカがすごいというのは、正に80年代に荒廃するアメリカっていうのがあって、その後ITSで立ち直ってきて、その大きな柱の1つとして、シャープやAHS等の、いろんな計画が出てき、そして次の時代に向けてもうすでに新しい動きが始まっているわけですね。

来年にむけてISTEA-2とか、あるいはコンマート計画であるとか、そういう動きがありますから、やっぱり日本もぜひそういう流れに負けないようにやっていく必要がありますね。

藤井 最後に建設産業に従事している労働者っていうかな、就業者は約660万人ですよ。

第2位が農業ですよ、約330万人ですよ。

機械製造業などは約110万ぐらいで、10番目ですよ。

情報産業はね、約64万人ですよ、20番目ですよ。

この660万人ということは、約2,000万人の国民が、家族を入れてね、依存しているわけです。

だからそういう基幹産業が建設産業なんだから、それぞれの部門がもっとプライドを持って、いろんな技術革新のために、改善のために努力してもらいたいと、僕は思っているんです。

飯島 僕はですね、日本の世の中全体がバブルの後遺症で苦しんでいます、モノを作っていく、いいモノを、長く使うモノを作っていくという社会的なそのコンセンサスが失われつつあると思うんですよ。これはいろんな産業の空洞化よりももっと恐いことじゃないかなと思いますね。

司会 最近世界道路協会 (PIARC) の会長に、首都

高速道路公団の三谷理事長が就任されました。極東の日本からパリに本部のある協会の長がでることは前代未聞のことです。まさに国際化の象徴的出来事ですが、飯島さん、舗装の国際化については如何ですか。

飯島 国際化の話が出ませんでした。私は、国際化をもっともっと進めなくてはいけないと思いますね。国際化っていうとあたかも何か海の向こうの他人事みたいにみんな思っているんですけど、今やそうじゃないんだと思います。具体的にはもう外国人がいっぱい日本国内を歩き回っていると同時に、物、人、情報が飛びかっています。それから日本がもうアジアの中では単独に行動出来る時代ではなくなっているような気が

がします。アスファルト協会も是非アジアをリードするような活動をしないとイケない時代になっていると思いますね。

司会 長時間貴重なお話を伺い本当に有難うございました。

今日のお話の中で、特に今後の問題のところでは、皆様の舗装技術への思い入れがひしひしと感じられましたし、将来は是非かくあらねばと思いました。その実現の早からんことを祈念して、またそのための皆様方の今後のご活躍を期待して、座談会を終わらせて頂きます。

石油アスファルト統計月報

B 5 : 16ページ ¥500 (送料は実費) 毎月1日発行

アスファルトに関する統計資料を網羅し、月毎に発行する統計月報です。

広くご利用いただけるよう編纂致しました。

ハガキにてお申し込みください。

申込先 〒105 東京都港区虎ノ門1丁目21番8号
秀和第3虎ノ門ビル7階
社団法人日本アスファルト協会

— 目 次 —

- 石油アスファルト需給実績
- 石油アスファルト品種別月別生産量・輸入量
- 石油アスファルト品種別月別内需量・輸出货量
- 石油アスファルト品種別月別在庫量
- 石油アスファルト品種別荷姿別月別販売量
- 石油アスファルト品種別針入度別月別販売量
- 石油アスファルト地域別月別販売量
- 石油アスファルト品種別通産局別月別販売量
- 石油関係諸元表

インターネットと舗装工学 (第3回)

姫 野 賢 治*

1. はじめに

インターネットと舗装工学の3回の連載記事を書き始めて、今回が最終回となる。初めに全体の構想を練った時から既に1年近くが経ってしまった。その間、インターネットの世界での進歩はあまりにも著しく、アトランタオリンピックではインターネットとテレビ放送を結びつける試みが実験されたし、インターネットを使った新しい事業もいろいろな分野で始められているし、また、次から次へとインターネット関係の雑誌が創刊されているさまを見ていると、書くことは尽きないといった感がある。本当に今回で終わってしまったいいのだろうかという危惧も多少は抱いてはいるのであるが、筆者の勉強量よりも世の中の進歩の方がはるかに速いようにも思えるので、初期の構想どおり筆を進めることとする。そして、何よりも、本「アスファルト」誌は次号から4号続けて「アスファルトの利用技術」という特集号になるので、そもそもこの記事を続ける余地はないのである。本連載が3回に決まったのも、これが理由である。

さて、インターネットと言えば「ネットサーフィン」と「e-mail」の2つの知名度は高い。インターネットを体験したことがなく、いまだに「何じゃ、それ?」とおっしゃるような方でも、前回と前々回のこの連載記事をお読み頂ければ、おおよそのイメージはつかんで頂けるものと思う。巷に溢れるインターネット関係の記事も、この2つに非常に重きを置いているし、出版物のタイトルにも、「インターネット」「e-mail (電子メール)」「ネットサーフィン」ということばは頻繁に使われているが、インターネットで無視し得ない他の大きな機能であるFTP, telnet, NetNewsということばはあまり耳にしない。評論家風の方々も不思議なほどにこれらの価値に言及することがない。そこで、今回はこれら3つについて解説をしたい。

2. FTP

FTPは、File Transfer Protocolの略で、強いて訳せば「ファイル転送の取決め」とでも直訳しうるもので、この取り決めにしたがってファイルを送ったり受け取ったりする方法をFTPと呼んでいる。第1回目にご説明したe-mailでもファイルを送ったり受け取ったりできるが、この場合はテキスト形式の短い文書を相手に垂れ流的に送付して、受け取った方もそのまま読むというのが普通の姿である。送る側は読みやすいように適当に改行記号を挿入したりするので、送った側のイメージと受け取った方のイメージが合わないというような場合もしばしばある。とにかく、e-mailとは、伝えたいテキスト形式のメッセージが相手に届くことを第一義と考えていて、ソフトウェアのプログラムのように、1ビットでも誤って届くともう動かないというような厳密なものを送るために開発されたものではないのである。

ところが、たとえばある現場で何かの調査を行ったところフロッピーディスク3枚分ほどの大量のデータが得られて、これを技術研究所に送りたいとしよう。すべてが数字の集合であれば、普通のe-mailの文書としてそのまま相手に送ることは原理的には可能である。しかし、お互いに電話回線でこれを行ったら、送る方も受け取る方も、ともに相当な電話代を取られることは間違いない。それに、メールの送受信を司っているいわゆる「メールサーバ」と呼ばれるマシンは、このような大量のデータをやりとりすることを想定せずに設計されているので、サーバの管理者からクレームが届くことにもなりかねない。

では、このような場合にどうすべきかとういうと、まず第1に情報を失わないようにしながらファイルを圧縮するという技術を用いる。このためには、pkzip, pkpak, lhaなど、様々な圧縮技術を取り込んだ、世界

*ひめの けんじ 北海道大学部土木工学科助教授工博

e-mail:himeno@hucc.hokudai.ac.jp,GCA01104@niftyserve.or.jp,BJE41134@pcvan.or.jp

的に通用するソフトウェアが出回っている。受け取った方は同じソフトでそれを元に戻せば、圧縮する前と全く同じファイルを復元できる。ファイルの圧縮とはどのようなことをするのかといえば、たとえば10という数字が10,000個並んだファイルがあるとする。数字と数字の間が空白で区切られていたとすると、空白+"1"+"0"という3文字の組みが10,000個並んでいることになるので、これだけの情報を記憶するために普通は、3バイト×10,000=30,000バイト=30キロバイト程度の大きさのファイルを用意しなければならない。この情報をe-mailで送るとすると、結構な電話代がかかることになる。しかし、極端なことを言えば、「10が一万个」という1行のe-mailを送っただけで相手が理解できるのであれば、わずか10バイト、すなわち、元データの1/3,000程度の情報の送付で済んでしまうことになる。もっとも、実際には、高度な理論を使って、効率よく圧縮を行っている。

このように圧縮してできあがったファイルは、元のファイルに比べて、普通数分の1の大きさになるが、できあがったファイルは直接表示させることのできないバイナリー形式のデータになってしまうので、e-mailの場合にはそのまま送ることはできない。無理にe-mailで送ろうとすれば、このような目に見えないデータを情報を失わないようにテキスト化する技術を用いることになる。このときは、ファイルが圧縮したファイルの2～3割大きくなるが、もともとのファイルに比べたら相当に小さいものである。このテキスト化されたファイルはそのままe-mailで送ることができるが、途中で読みやすくするための改行文字が混入したりすると元に戻すことが難しくなる。

このファイルのサイズをなるべく大きくしないでテキスト化することを「エンコード」、このテキストファイルを元に戻すことを「デコード」という。もちろん送る側のエンコードの方法と、受け取った側のデコードの方法が一致しないと復元はできない。インターネットでは、一般的に、

- ・ uuencode
- ・ MIME (Base64)
- ・ BinHex

などという方法が広く用いられ、パソコン通信では、

- ・ ish

という方法が普通である。これらのどの方法も、エンコードされてできあがったテキストファイルのヘッダ一部に特徴を持っていて、受け取った側のメーラがこ

れを読みとってエンコードの方法を識別し、自動的に元のファイルを復元してくれる場合が多い。そうでなければ、別途これを復元するソフトを用意しなければならない。気の利いたメーラでは、普通のテキスト形式の文書を送るときに、「添付ファイル」として、別のいくつかのファイルを一緒に送ることができる。普通は、圧縮されたバイナリ形式のファイルを添付するが、このとき、バイナリ形式のファイルは予め指定した方法で自動的にエンコードされ、テキスト形式の文書のうしろに続けて送られる。

このように、e-mailを用いることによって、どのようなファイルも相手に送ることができるが、前にも述べたように、あまりに大量のデータをこのような方法で送ると、送る側のメールサーバに大きな負担になるし、受け取る側の郵便受けに入り切らなかったりする恐れがある。

FTPとは、このようなときに使われる方法である。FTPは、ファイルを送る相手や受け取る相手のマシンの中に入り込んで、そのハードディスクの中に直接ファイルをコピーしたり、そこにあるファイルを自分のハードディスクにコピーをしたりするといった感覚で使える。バイナリデータであっても、エンコード、デコードといったことに気を使うことなく、そのまま送受信ができる。この使用感は、1台のパソコン上でエクスプローラのようなファイラーを使っているときに、あるドライブから他のドライブにファイルをコピーするという操作を行ったときと非常に近い。

あるマシンに入り込むためには、当然そのマシンは電源がオンでなければならないし、インターネットとも繋がっていないとなければならないし、かつ、FTPサーバという種類のソフトが実行中でなければならない。24時間電話回線を通じて外部に繋ぎっぱなしということはまずありえないので、通常はケーブルでネットワークに直結しているマシンがFTPのサーバになる。接続のソフトを走らせてこのようなマシンに接続するためには、当然のことながら、そのマシンの上で走っているFTPサーバからの、利用者IDとパスワードを入力するという問い合わせに正しく応えられる資格を持っていないとなければならないことは言うまでもない。ただし、この許可さえ持っていれば、アクセスする側は電話回線を通じてでもどのサイトにも入り込める。

FTPサーバが全てのユーザにアクセスを許可するものを「Anonymous FTP (匿名FTP)」と称し、利用者IDに「Anonymous」を、パスワードに自分のe-mailア

ドレスを入れることによって、誰でもが利用できる。ただし、この場合は相手に向かってファイルを送ることはできない。この匿名FTPの場合は、接続用の特殊なソフトを使わなくても、NetscapeやInternet Explorerなどのネットサーフィン用のブラウザがそのまま使えて、そのURLの部分に、たとえば、

ftp://ftp.tohoku.ac.jp

または

ftp://anonymous@ftp.tohoku.ac.jp

などと入力するだけで入り込めるのである。そして、そのファイルのうちアクセスの許可されたものを自由に自分のパソコンに取り込むことができる。ちなみに、上記FTPサイトは、東北大学のものであり、土木の研究者に有用な情報をたくさん入手することができる。FTPのサイトに入り込むと、相手のハードディスクのディレクトリ（フォルダと同義。以下同じ）の構造が手に取るようにわかり、何かいけないうことをしているようで少々居心地が悪い感じがするが、ある限られた範囲のファイルしかコピーできないし、ましてや書き換えたり削除をしたりすることはできないようになっているので心配はない。ただし、これはFTPサーバを動かしている側の設定だけの問題であるので、遠くから自分のパソコンにアクセスするなどという場合には、すべてのディレクトリにアクセスができ、ファイルの書き込みも削除も自由に行えるというようにし

ておければ、出勤しなくても職場のパソコンのファイルの管理ができる。ただし、あくまでファイルのコピーをし合うだけで、遠隔操作をするわけではない。

図-1は、上記FTPサイトに接続した状態を示したものである。文字までは読みとれないかも知れないが、図で左半分は小生の自宅のパソコンの

e.myinter

というディレクトリが、右半分には東北大学のUNIXマシンのFTPサイトの中の、

/pub/TeX/latex-styles/jsce

というディレクトリが表示されている。ここで、pubとは、publicの略で、一般のユーザーに解放しているディレクトリにはよくこの名前がつけられている。マウスを使って、この画面上で右半分のどれかのファイルを左半分のどこかのディレクトリに簡単にコピーができるのである。匿名FTPではなく、与えられた利用者IDとパスワードでアクセスする一般のFTPであれば、左側から右側へ、すなわち、自分のパソコン上のファイルを相手のFTPサーバが動いているマシンのハードディスクに送ることもできる。

速度はお互いの間の回線の太さと、接続の状態にもよるが、28,800bpsのモデムと電話回線を使った場合で、毎秒1～2キロバイトという程度であろうか。回線が混んでいるとイライラすることもあるが、電話代さえ気にならない環境にいれば、我慢できな

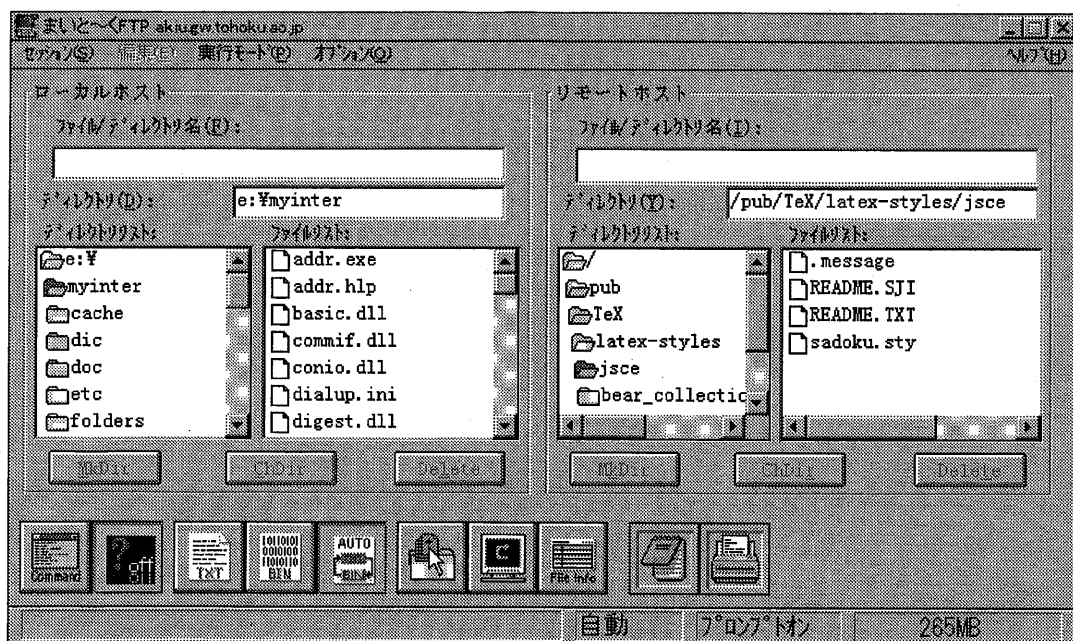


図-1 FTPで東北大のサイトに接続した状態

いレベルではない。私事で恐縮であるが、小生の「himeno@civil.hokudai.ac.jp」宛のe-mailは、大学のパソコンに直接届いてある名前のファイルになるため、このFTPを使うことにより、自宅からも、あるいは国内外の出張先からも簡単にこのe-mailを読むことができる。普通のe-mail程度であれば数秒で転送できる。

3. telnet

次にtelnetについて説明をする。これは特に日本語になっていないようだが、遠くからアクセスを許可されたネットワークに入り込み遠隔操作をするということである。一見FTPにも似ているが、FTPはファイルの転送を行うのに対し、telnetは遠くにあるシステムをあたかも目の前にあるシステムかのように使うという点で異なる。

たとえば、大学の大型計算機センターを使ってなにかの計算をするということを考えてみよう。ずっと昔なら、研究室から計算機を使うなどということは夢のまた夢で、とにかく計算機センターへ出かけて行くしかなかった。そのうち、TSS端末というものが各学科に作られ、そこまで行けば計算機に繋ぐことができたし、また、モデムの原型であるカプラと称する機械が普通に使えるようになってからは、内線電話をかけることにより、研究室のパソコンからでも直接大型計算機が利用できるようになった。ちなみに、この当時の通信速度は300bpsが標準であった。やがて外線電話からもアクセスできるようになり、学外からでも大学の計算機が使えるという時代になった。ただし、札幌から東大の計算機センターを使おうとすれば、東京までの市外通話代を負担しなければならなかったのも、どこからでも使えるという感じではなかった。

そうこうするうちに、各大学にローカルエリアネットワーク (LAN) が作られ、各研究室のパソコンがこのLANに繋がるようになると、学内であればどこでも簡単にアクセスできるようになり、ますます便利になった。そして、国内のこれらの各大学のLANが繋がって大きなネットワークを形成するようになると、札幌の研究室のパソコンから東大や京大などの日本中の大学の計算機センターが使えるようになった。そしてこのような大学間のネットワークが世界のインターネットと接続して、わが国のインターネット環境が整った訳である。現在は、大学のものにかかわらず、このインターネットに繋がっているコンピュータシステムは、その物理的な距離にかかわらず、すべて利用者がアク

セスして操作できるようになっていて、このための方法がtelnetなのである。とは言っても、もちろんそのコンピュータシステムに対するアクセス権限を持っていなければならないことは言うまでもない。たとえば、アメリカのNASAのコンピュータであっても、CIAのコンピュータであっても、利用者IDとパスワードをもっていさえすれば、その操作ができるのである。

このtelnetは、インターネットに接続されているパソコン通信を通じて簡単に利用することができる。NIFTY-Serveから使いたければ「go telnet」、PC-VANから使いたければ「jinettel」とすればよい。

上記とは別の、小生の「himeno@hucc.hokudai.ac.jp」というアドレス宛のe-mailは、ccms1,hucc.hokudai.ac.jpというIPアドレスを持った北大のマシンに送られ、そのハードディスクの小生に割り当てられた領域のあるファイルにどんどんとたまっていく。このPOPサーバの役を演じてくれるマシンは、上記IPアドレスにtelnetで直接入り込むことができ、そこではUNIXマシンとしていろいろな処理をすることができるし、メールが届いていれば「You have a mail」と教えてくれる。このため、インターネットに直接アクセスすることができなくても、パソコン通信さえできれば、上記アドレス宛のメールを読むことができるのである。

上でNIFTY-ServeやPC-VANからtelnetできるといったが、NIFTY-ServeやPC-VAN自体にも外部からtelnetでアクセスすることもできる。それぞれのIPアドレスは、

r2.niftyserve.or.jp

pcvan.or.jp

である。アクセスしたあとの操作方法はファイル転送などの一部の機能が制限されるものの通常のものと何も違いがない。だから、両者に届いたe-mailを確認するために、まずNIFTY-Serveにアクセスし、メールを確認した後、電話をかけ直すことなく、そのまますぐ「go telnet」というコマンドでPC-VANにアクセスし、PC-VANのメールを読み終えて元に戻ると、うまくすれば10円の電話代で済ませることもできる。ただし、一般にレスポンスがかなり遅くなるので、必ずしもお勧めするわけではない。

4. NetNews

NetNews (以下、ネットニュース) については、小生はうまく利用すればかなりの使い道があると考えているのであるが、これについてはあまり知られていな

いのではないであろうか。ネットニュースは実はパソコン通信の電子掲示板と非常によく似たものである。この特徴を説明しよう。

日常の業務で知りたいことが起きたり、パソコンの使い方がわからなかったり、おいしいレストランを知りたかったり、何らかの疑問を持ったときにインターネットを利用してそれを解決するにはどうしたらいいかを考えてみよう。今まで述べてきたe-mail, WWW, FTP, telnetを利用するのは、基本的にはネットワークで結びついた情報の海を自分で移動しながら知りたい情報を探すという感覚が近いであろう。確かに、e-mailで誰かに疑問点を送ることはできるが、誰に送るかという問題につきまとう。

ここで、前にも紹介した舗装のメーリングリストを考えてみよう。ここでは、舗装に関する疑問であれば、1つのe-mailを出すだけでメンバー全員にこのe-mailが届き、かなりの問題が解決するであろう。あの問題はAさん、この問題はBさんなどと考える必要もない。受け取った方は興味のないe-mailは無視すればよいのである。ネットニュースというのはこのメーリングリストに近い感じのものである。ただし、メーリングリストでは、自分には関心のないことであっても、メールボックスにe-mailがどんどんと飛び込んでくるので、大事なメールと無意味なメールが混在して困るという意見を頂いたことがある。

ネットニュースでは、自分から積極的に読みに行くので、興味のないものはどんどん読み飛ばしていけばいいのでこのような問題はない。話題ごとにいろいろなニュースグループというものが作られていて、知りたいこと、興味のあることなどがあると適当なグループを見つけてそこに書き込まれたニュースを読む訳である。興味のある書き込みがたくさんあって全部読みたいような場合もあるだろうし、誰かが書き込んだ疑問に対して別の誰かが丁寧に教えてくれた回答を読むことによって新しい知識を得ることもできる。なによりも、わからないことを直接書き込むことができるということが大きな特徴であろう。うまくいけば翌日にでも誰かが答えを書いておいてくれるだろうし、悪くすれば黙殺されることもあるが、それは運次第である。逆に、自分で答えられる疑問や、反論をしたい意見などが書き込まれていれば、それに対して応えてあげることも義務であろう。このように、自分で個別の情報を発信できるということがネットサーフィンとは大きく異なる点である。

ニュースグループは世界中に非常にたくさんのものがある。研究、仕事、娯楽、テレビ番組、映画俳優、などなど、テーマに制限はない。その多くは英語で書き込まれていて、自分で書くときも英語で行わなければならない。しかし、世界中の人たちが参加しており、英語だからという理由で躊躇する理由は何もない。"I am not shure, but..."などと平気で書き込まれている。どうしても英語は嫌だという場合でも、名前が「fj」で始まるニュースグループに参加すれば、日本語のみでのやりとりが行われている。たまには外国人が英語で書き込んでいくこともあるが、多分前後の情報は理解できていないのだろうと思う。

図-2は、「alt. windows95」というニュースグループの中のニュースを読んでいる画面を示している。上段はタイトル名、下段はそのうちのひとつの内容を示している。書かれている内容は、MacにWindows95をインストールすることができるかという疑問で、これをこのような問題に関心のある世界中の不特定多数の人に質問している訳である。答えのわかっている人がちょっと書き込んでくれば、この人の疑問は解決することになる。これはすごいことである。

5. おわりに

e-mailから始まって、長々とインターネットのことを書いてきた。タイトルにあるような舗装工学のことにほとんど触れることはできなかったが、これはインターネットがあまりにも大きく、舗装工学に限定した話題をなかなか作れなかったこと、また途中で無理に話題を限定する必要もないと感じたことによる。

さて、土木学会の舗装工学研究小委員会のあるワーキンググループでは、委員会の召集はまず委員長に対してe-mailで日程調整を行い、学会の担当者にはe-mailで会場の確保を依頼し、その回答をe-mailで受けて、全会員に召集のe-mailを発信する。集計された出欠予定はすべてe-mailで事務局に送られる。会議で決まった文書作成などの作業も担当者が原案をe-mailで他の会員に流し、皆でe-mailで意見を言い合って完成していく。

一方、舗装のメーリングリストでは、舗装についての講演会の日程、プログラム、発表形式などがe-mailでどんどんと流される。舗装に関する国際会議のcall for papersなどもどんどんと集まり皆が情報を共有できる状態にある。オランダのCROWに本拠をおくFWDについての世界的なメーリングリストに流された発言も重

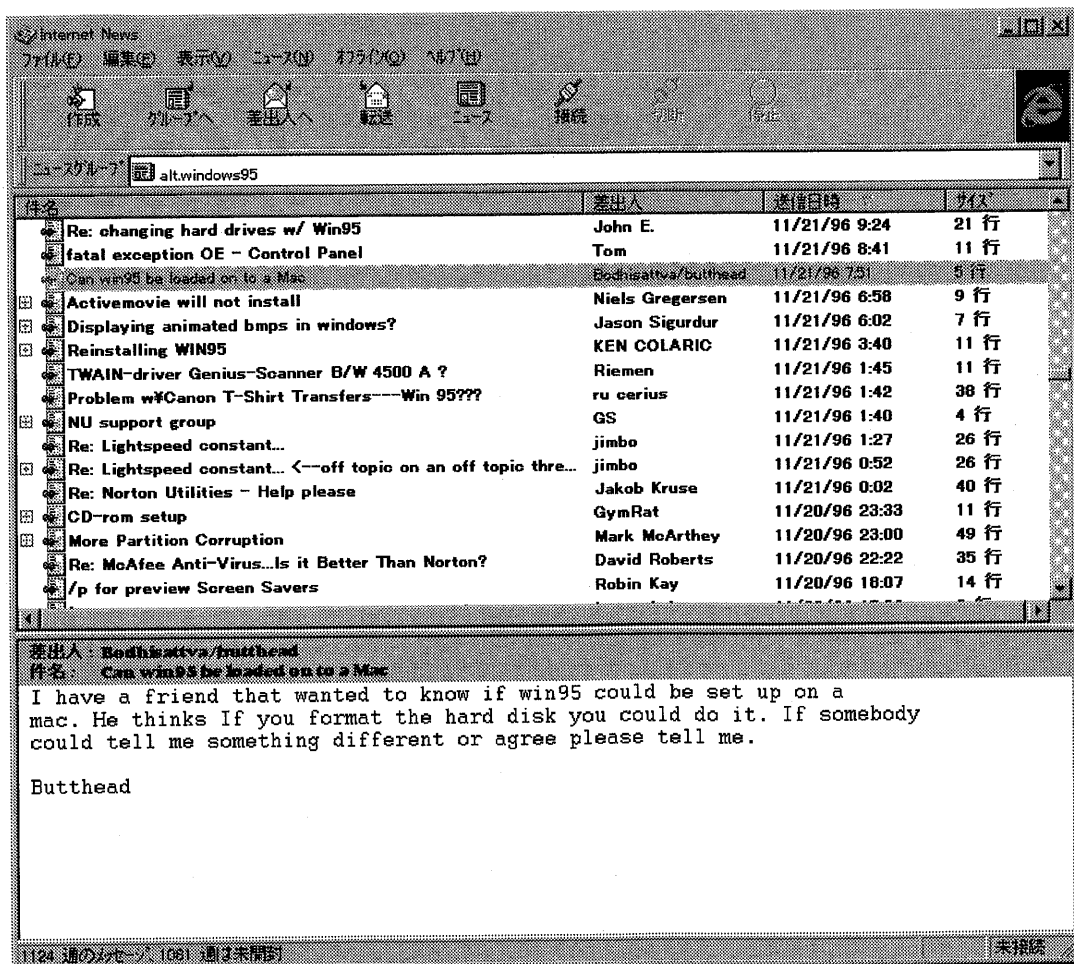


図-2 NetNewsでWindows95に関するニュースグループに接続した状態

要なものはここに紹介されたりする。また、たとえ海外に転勤になったとしてもインターネットが利用できる環境にいれば日本との物理的な距離は関係なく仕事を続けることも不可能ではなくなってきている。

このように、舗装工学にとってもインターネットは非常に役に立っている。これが「インターネットと舗装工学」の結論であろうか。まったくする気がないならいざ知らず、もしまだインターネットを始めるかど

うか迷っているのであれば、答えは簡単で、「すべき」であろうし、また、いつから始めようかと考えている方がいれば、これも答えは簡単で、「すぐに」であろう。待つことによって得られるものは何もない。躊躇する理由もまったくない。

すべての人への連絡がe-mailのできる日がくることを願いながら筆を置く（正確にはキーボードから手を離す）こととしよう。

☆

☆

☆

☆

☆

☆

防音材料におけるアスファルトの利用技術

脇 阪 三 郎*

多 田 悟 士**

1. はじめに

我が国の社会資本・生活環境は近年、急速に整備が進み社会生活・社会環境もかなり豊かになった感がある。他方、世界情勢においては国家・民族の問題など、特にここ10年、大きな変動がみられた。これに日本の政治経済も一部連動し、例えばバブル崩壊後の長期不況経済にみられる、国民生活基盤における動揺など、いままでの社会の流れに異変が感じられる。

この状況下において、生活様式の変化とともに国民の価値観にも変化がみられる。例えばこれまでの仕事中心から家庭中心へ、また男性本位のサラリーマン社会から女性の社会進出へとかわり、これより思想および制度に変革がおこった。これらの変革は、家族制度にも大きな影響を与えた。すなわち古来の大家族性(大家族)は減少し、小家族性(核家族+単独家族)を余儀なくされる時代を迎えたり。それに伴う問題もさまざまな姿で出現している。そのひとつに小家族性に起因した近隣関係との疎遠は、ときには社会問題にまで発展している。

集合住宅の増加は、小家族性の増加に比例してきた。その集合住宅において、ここで音(騒音)の問題について考えてみる。音(騒音)に対する感覚の個人差はあるものの、今日それらに対して敏感に反応してしまう生活状況・生活環境に、われわれはおかれていると考える。しかし、その音(騒音)に対して一時的に耐えられても、長期にわたれば、隣人住居人の相互理解の欠如から、受ける側にとって相当のストレスとなってくる。その結果、耐えきれず近隣間でのトラブルが発生してしまう。音響機器の使用、ピアノなどの楽器騒音、子供の遊戯・飛び跳ね、夜間の洗濯・入浴など、取り上げればきりが無い近隣トラブルの原因がある。これらの事前防止策、すなわちこの場合には防音対策を、住居提供者もしくはその住人がとることが当然の時代となってきた。

一方、いわゆる個人・自由尊重主義の傾向が時代とともに正当化されるにつれて、集合住宅に限定されず、いろいろな場面でこのようなたぐいの問題が発生している。道路交通騒音、工場騒音、工事現場騒音、航空機騒音などが該当しよう。

以上のごとく、我々の生活が豊かになるにともない、増加の傾向にある各種の騒音問題に対し、今日その防音対策技術および材料の開発がさかんに研究・検討されている。その結果、数多くの防音材料、防音システムが誕生し、社会に貢献している。

そこに筆者らの好きなことばである、「安価な割には優れた性能を有するアスファルト」がこの防音材料分野に健闘・貢献していた。この事実に対し道路屋の筆者らは、おおいに興味を抱いた。当初、この防音材料に対してアスファルトを構成する成分中、いかなる成分が、どのようなかたちで防音材料の一機能として利用されているのか、不明であった。確かに、アスファルトの利用技術において道路舗装用であれば骨材に対するアスファルトのバインダー特性を利用し、防水材料用であればアスファルトの優れた不透水性(透水係数 $4 \sim 9 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot \text{mmHg} \cdot \text{hr}$)を利用する、と素直に理解できた。しかしアスファルトと防音材料の関連性が理解できず、「アスファルトは単なるコストダウンを目的とした増量材」、程度の解釈であった。しかし詳しく調査・検討してみると意外や意外、アスファルト複合系において優れた防音効果を有することがわかり、アスファルトのすばらしさを再認識した。

本報では、各種アスファルトおよびその複合体の防音材料への利用において、制振材・吸音材への適用について、筆者らの基本的実験を中心に論じてみた。

2. 防音材料の分類

アスファルトおよびその複合体の防音特性を論じる

*わきざか さぶろう 東亜道路工業株式会社技術研究所

**ただ さとし 東亜道路工業株式会社技術研究所

まえに、各種防音材料の κατηγοリーを説明しておく。防音技術・材料とは一般に、われわれに好ましくない音（騒音）および振動を防止する技術・材料である。通常、音とは空気を媒体として伝達され（空気伝搬）、振動とは固体を媒体として伝達されるものである（固体伝搬）。すなわち伝搬経路は異なるが、振動エネルギーの領域で同一視できる。各種防音材料の κατηγοリーは図-1のごとく4分野に分類されている²⁾。すなわち防音材料とは制振材、吸音材、遮音材、防振（免振）材の分野がある。ここで遮音材と防振材は音・振動エネルギーを遮断するものであり、吸音材と制振材は音・振動エネルギーを吸収するものである。また遮音材と吸音材は音の領域で利用され、防振材と制振材は振動の領域で利用されている。その音および振動は上記のごとく本来エネルギーであり、このエネルギーに対して各材料がどのようなメカニズムで作用するか、でその防音機能は決定される。

本報において制振材料の制振能力は、発生振動エネルギーを吸収する度合いを示す損失係数（ η ）で表す。また吸音材料の吸音性能は、発生音エネルギーを吸収する度合いを示す吸音率（ α ）で表す。

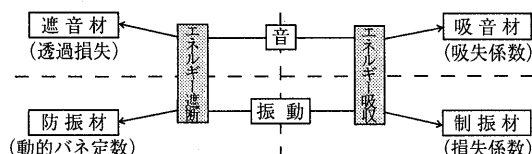


図-1 各種防音材の κατηγοリー²⁾

3. 制振材、吸音材とアスファルト

3.1 制振材とアスファルト

今日、制振材としてアスファルトを用いる場合、アスファルト単独の利用はなく各種の添加剤を加えて用いられていることが多い。しかし、「その制振材として

のアスファルト素材そのものの研究はあまりおこなわれていないため、効果的アスファルトの改質による制振材の開発には、素材となるアスファルトの検討も必要である」³⁾、といわれている。

アスファルトは石油精製残渣物であるため、複雑な成分で構成されている。そこで本報では石油学会法による四成分分析方法によりアスファルトを分離し、そのアスファルトの基本物性である針入度および構成四成分と制振性能との関連性を中心に検討した。評価試料は、アスファルト単体および改質アスファルトである。

3.1.1 各種アスファルトの制振性能の評価方法

アスファルトの制振性能の評価方法は、 η を温度に対して求めた。この η 測定方法は、リオン社製振動解析システムSA-74（図-2）を用い、中央加振方法により評価した。本システムは2チャンネルFFT（Fast Fourier Transform）分析器で騒音・振動解析装置（モーダル解析装置）である。本装置は、コンピュータコントロールにより自動測定および自動データ解析が可能である。なお最高測定周波数は100kHzである。図-3は、その振動解析結果の一例である。図の周波数応答関数

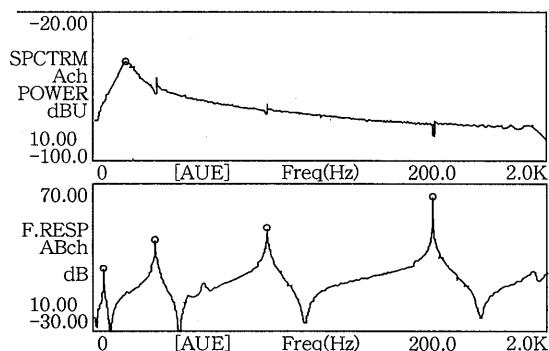


図-3 中央加振法による振動解析例
（上：速度，下：周波数応答関数）

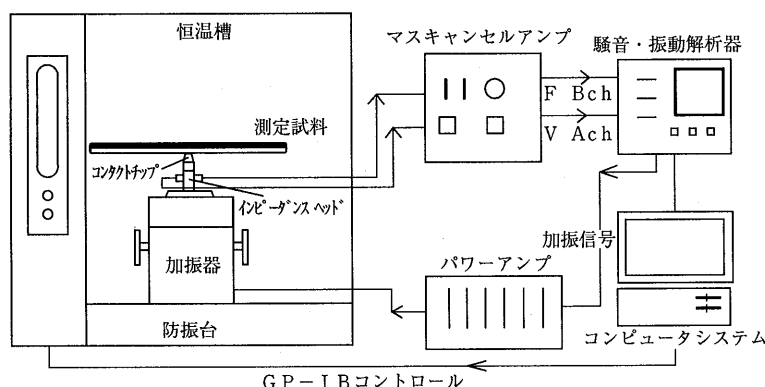


図-2 中央加振法による損失係数測定・評価システム

において、ピーク位置に○印がある部分
は、その周波数において測定試料が共振
していることを示す。この共振状態から、
所定の式に従って η が計算される。今回採
用したピーク位置は、図の三次の部分で
ある。この三次の η を本報では、一連のデ
ータとして採用した。

測定用試料作成方法は、テフロン板
(300×300mm)上に測定基盤となる金属板(冷間圧延鋼
板:SPCC,長さ275×幅10×厚さ1mm)を3~5本並
べ、3mm厚の金属スペーサをテフロン板の4隅に設置
した。次にそのSPCC金属板上へ溶融アスファルトを適
量盛り、素早く、離型処理したガラス板(300×300mm)
を乗せた。その状態で室温まで冷却後、冷凍庫(-10℃)
で3時間程養生した。その後、冷却された試料を取り
出し、金属板と同様のサイズにアスファルトをナイフ
でカッティングした。その結果、均一な2mm厚のアス
ファルト試料が、金属板上に作成された。この試料を
図-2に示した恒温槽内の加振器上に、瞬間接着剤を
用いて固定した。 η の測定温度範囲は、-20℃からアス
ファルトに変形などが生じない、軟化点温度前までで
ある。またブローンアスファルト(以下ブローンと称
す)の測定温度範囲は、-20℃からその固定接着剤に悪
影響(接着剤の軟化)が出ない70℃まで
とした。

3.1.2 各種アスファルトの損失係数(η)

産出原油と針入度グレードは同一のア
スファルト60-80に対する、構成成分と
温度- η の関係を調べた。表-1に示した
4種類のアスファルトは、中間基系スト
レートアスファルト(以下ストアスと称す)に属すも
のである。図-4は、それらのアスファルトの温度-
 η の結果を示した。これよりこの温度範囲における4種
類の中間基ストアス60-80の性状差において、温度-
 η の差はほとんどみられなかった。

次に、表-2に示した同一針入度グレード60-80で、
産出原油の異なるアスファルトの温度- η の測定を実施
した。ここで使用したアスファルトは、原油がナフテ
ン基、パラフィン基および中間基から製造されたストア
ス60-80である。その結果を図-5に示した。図よ
り、同じストアス60-80であるが図-4の結果とは異
なり、原油間においては η に差がみられた。特にナフテ
ン基系アスファルトの η は、他のパラフィン基および中
間基アスファルトに比較して大となる結果を得た。

表-1 中間基ストアス60-80の性状

ストアス名称	針入度 (25℃)	軟化点 ℃	P I	四成分(重量%)			
				飽和成分	芳香族成分	レジン	アスファルテン
K-60	69	46.9	-1.25	7.9	52.9	23.6	15.6
S-60	64	49.9	-0.63	7.8	53.8	22.6	15.8
C-60	68	49.2	-0.66	8.7	58.2	20.3	12.8
M-60	68	48.5	-0.85	5.8	55.8	20.1	18.3

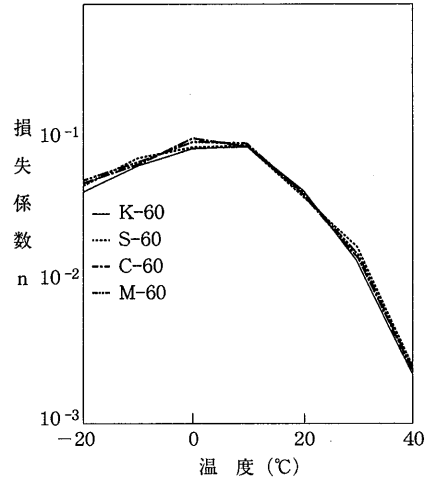


図-4 中間基アスファルト60-80の温度-損失係数(η)

表-2 原油の異なるアスファルト60-80の性状

原油名	針入度 (25℃)	軟化点 ℃	P I	四成分(重量%)			
				アスファルテン	レジン	芳香族成分	飽和成分
パラフィン系	65	50.0	-0.57	13.4	20.1	61.2	5.3
中間基系	60	49.0	-1.03	11.8	22.3	58.2	7.7
ナフテン系	74	47.0	-1.04	20.4	18.7	49.8	11.1

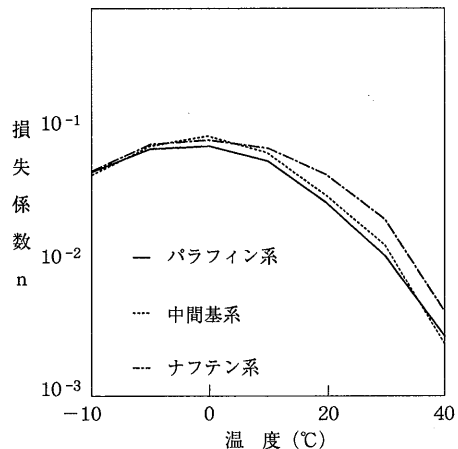


図-5 原油の異なるアスファルト(60-80)の温度-損失係数(η)

図-6は、表-3に示した中間基系アスファルトで各種針入度グレードの異なるストアス、ブローンおよび参考試料としてアスファルトコンパウンド(JIS：防排水工事用三種)それぞれについて、 η を測定した結果である。図より、針入度グレードの異なるストアスにおいて、温度- η の差はほとんどみられなかった。しかし針入度10-20および20-40のブローンは、ストアスより20℃以上の測定温度領域において η が大なる傾向にあった。またブローン10-20、20-40を比較すると、ブローン10-20の方がやや η が大きい結果となった。さらにアスファルトコンパウンドにおいては、ストアス、ブローンに比べ全温度領域で η は大となる結果を得た。

図-7は、中間基系のストアス150-200およびブローン10-20さらにナフテン基系ストアス60-80のアスファルト、およびこれらのアスファルトより抽出したマルテン分の温度- η を測定した結果である。図よりブローンおよびストアスにおいて η に差はみられるが、ナフテン基も含めたそのマルテン分についての温度- η の差はほとんどみられなかった。

一般に、凝集力の弱い無定形高分子は、低温から高温に温度が上昇するとガラス状態から粘弾性状態に移行する。このガラス状態と粘弾性状態の間に、転移領域(これをガラス転移温度と称し T_g と記す)が存在する。この転移領域では、分子鎖のミクロブラウン運動(分子鎖の局部的運動)があり、この領域においてもっとも振動を吸収する能力(性質)がある。さらに温度を上げていくとマクロブラウン運動(分子全体が運動)に移行し、振動吸収能力も徐々に低下していく⁴⁾。

アスファルトは、上記と同様に結晶構造を持たない凝集力の弱い無定形物質である。またアスファルトの内部構造についてアスファルトがゲル構造を取る場合、図-8のごとくアスファルトの内部構造模式図(マルテンを分散媒とし、アスファルテンミセルを分散相とするコロイド構造)が提唱されている⁵⁾。この模式図は、現在においても広く支持されている⁶⁾。通常ストアスは、図-8ほどのアスファルテンミセルの接近の無いゾル-ゲル構造を形成しており、またブローンは、図に近い構造を形成しているとされる⁷⁾。

さて図-6において、-20℃から20℃における各アスファルトの η は、ほぼ同一の値を得た。この原因を、マルテン分とヤング率から考察した。この温度領域での

アスファルト中のマルテン分の性状は、ガラス状態(-10℃以下)→粘弾性状態(-10℃～0℃)→粘性状態(0℃～20℃)に変化していると考えられる(図-7の η 測定結果を参照)。そこで約0℃から20℃の温度領域

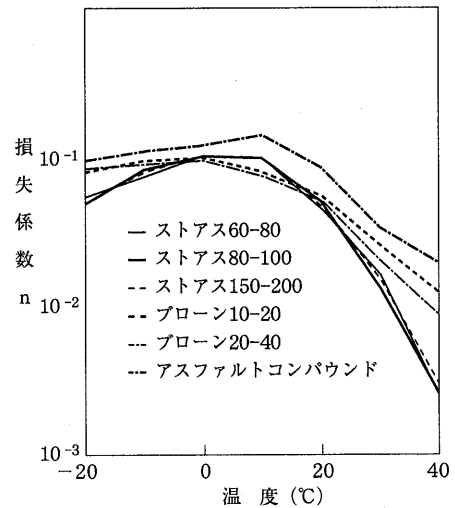


図-6 各種アスファルトの温度-損失係数 (η)

表-3 各種アスファルトの性状

アスファルト グレード	針入度 (25℃)	軟化点 ℃	P I	四成分 (重量%)			
				アスファルテン	レジン	芳香族成分	飽和成分
ブローン 10-20	15	87.0	2.54	36.7	22.7	26.5	14.1
ブローン 10-20	29	67.0	1.05	30.6	24.1	31.3	14.0
ストアス 60-80	68	48.5	-0.85	18.3	20.1	55.8	5.8
ストアス 80-100	90	48.0	-0.20	14.8	23.1	56.1	6.0
ストアス150-200	178	37.5	-1.69	9.3	24.8	56.6	9.3

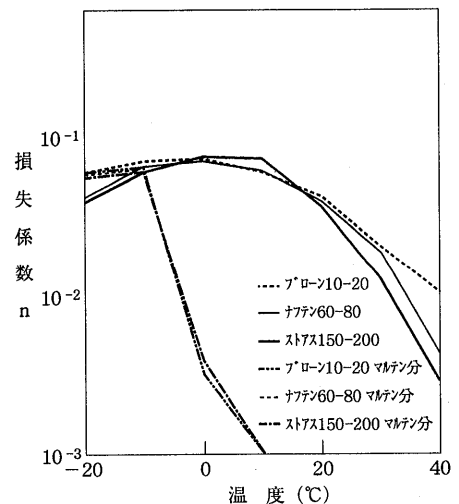
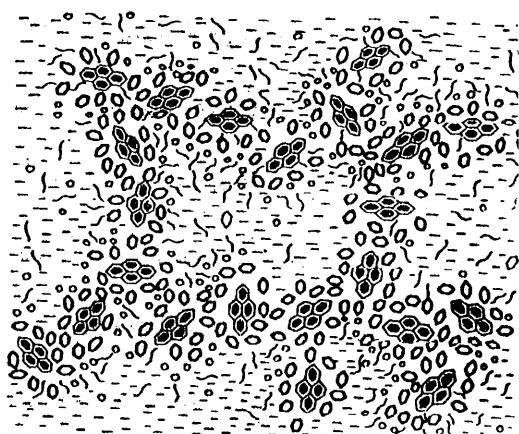


図-7 ストアス、ブローンおよびその抽出マルテン分の温度-損失係数 (η)



アスファルト内部のゲル構造

- アスファルテンの中心部
- 高分子量の芳香族性化合物
- 低分子量の芳香族性の強い化合物
- 芳香族性とナフテン性の混じった化合物
- 〰 鎖状飽和脂肪族性とナフテン性の混じったやや分子量の高い化合物
- 鎖状飽和脂肪族性とナフテン性の混じった低分子量の化合物

図-8 アスファルトの内部構造の模式図⁹⁾

では、それに含まれるアスファルテンと粘性体のマルテンとが組み合わされ、アスファルト全体として粘弾性体を形成する。かつ0℃から20℃間において、各アスファルトのヤング率は、その構成四成分に従った数値の差をもつであろう。藤谷は⁹⁾、「Oberstの計算図⁹⁾より制振材のヤング率が大きいほど、薄膜で効果的制振材(高い η を持った制振材)を得ることができる」と述べている。しかし、このOberstの計算図を参考にして、この温度領域における各アスファルトのヤング率の差をみるに、Oberstの計算図に比べ差として無視される程度の値であった。そのためこの測定温度範囲において、各アスファルト間の η に差がみられなかったであろう。一方、図-6の20℃以上の測定温度領域では、ブローン10-20および20-30においては、そのアスファルトの物性値に応じた η の差がみられた。しかし、ストアス間での物性の差(例えば針入度、四成分)はあるものの、 η の差はほとんどみられなかった。この原因を考えるに、それぞれのアスファルトのヤング率およびアスファルト内部構造から検討した。まず前述の、一般に指摘される制振材のヤング率の違いを考える。前記の藤谷の指摘およびOberstの計算図は、この温度領域においてゲル構造を形成しているブローンについては該当する。しかしゾルーゲル構造を形成して

いるストアスでは、ヤング率と相関性を持っている針入度が異なっても、Oberstの計算図からは無視されるヤング率の差である。そのためストアスについては、図-6のごとく温度- η の差異がほとんどみられなかった。次にアスファルトのコロイド構造における構造的影響も、アスファルトの制振効果を説明するに有力と考えた。この考察の根拠は、振動吸収における溶在ポリマー分子間の接触摩擦による熱エネルギーへの変換説¹⁰⁾に基づいている。すなわちアスファルトに振動が加わると、アスファルト中で隣接するアスファルテンミセル間の接触摩擦によりその振動エネルギーが熱エネルギーに変換される。この現象は、ゲル構造を形成するブローンに、特に強くみられるものと考えられる。しかしゾルーゲル構造を形成するストアスにおいて、確かに接触摩擦によるエネルギー変換量は、ストアス間の物性差が異なるであろう。しかしこのエネルギー変換はブローンに比べ弱く、そのため機械的にストアス間の物性の差、 η として測定されるまでにいたっていない(機械的に感知されない数値)。

さてブローンにおいてアスファルテンの増加につれて、特に高温側(約20℃以上)の η は増加する傾向を示した。本報では、2種類のブローンのみの検討で議論した。しかしこのブローンについても、ゲル構造を形成しかつ単にアスファルテンが増加すれば、それに比例して η も増加するとは判断しがたい。すなわち、このブローンにおいて、 η 値を最高にするための最適四成分量の存在があると予測される。この辺を把握することは、優れたアスファルト系制振材を開発するに有力な手段となろう。また上記のヤング率、マルテン成分およびアスファルト構造のいずれからも説明できなかった、図-5でみた原油差によるアスファルト間の η の差、興味ある解明すべき課題として残った。

3.1.3 アスファルトの改質による損失係数(η)

以上の結果より、このアスファルトを制振材としてわれわれの生活内で使用する場合を考える。われわれは通常、室内において10℃~30℃近辺で生活を送っている。そのために、アスファルトの T_g が上記生活温度範囲の中心付近(約20℃)にあり、かつ軟化点温度ができる限り高温側にあれば、アスファルトは優れた制振材となるであろう。これよりアスファルト単体では、ブローン系は制振材料には有望な材料と考えられる。しかし現実にはブローンはもちろん、ブローン単独では現実の制振材として要望される種々の規定(数々の材料の個々の規格)には合致せず、他の添加剤の助けが

必要となってくる。また図-6に参考試料としてアスファルトコンパウンドの温度- η を示した。このアスファルトコンパウンドは加熱防水材として使用するため、ブローンと比較して低温性状および高温性状が優れていなければならない。すなわち簡単にいうならば、針入度は大きく（低温性状の改良）、軟化点は高く（高温性状の改良）する必要がある。そのためアスファルトコンパウンド製造メーカーは、アスファルトへ数々のノウハウ材料を添加してその要求特性をみたしている。すなわちアスファルト系制振材とは、アスファルトを素材とし、コンパウンド化（改質）することが必要技術なのである。

さてアスファルト単独において、その粘弾性領域で制振効果があることを確認した。しかし、アスファルトを制振材として利用するには、さらに広い温度範囲で優れた粘弾性を付与する必要がある。そこで本報では、アスファルトとポリマー改質剤による制振性改良効果を調べた。ここで両物質の混合系の検討を単純化すべく、アスファルト構成四成分の分かっているストアス60-80、80-100それぞれ一種類、および改質ポリマーとして分子量約150,000のSBSおよびSBRに限定して試験をおこなった。

図-9は表-4に示したストアス60-80およびストアス80-100それぞれにSBS（スチレン・ブタジエンブロックコポリマー）5%を添加した試料の温度- η の測定結果を示した。図より明らかにポリマーを添加することにより、 η の改良がみられる。また η のピーク位置（ T_g に相当）は、アスファルト単体に比べやや低温側に移行する結果を示した。

表-4のアスファルトにSBSおよびSBR（スチレン・ブタジエンランダムコポリマー）をそれぞれ5%、各アスファルトに添加した試料の温度- η の結果を図-10に示した。またその混合物性状を表-5に示した。この結果、制振効果においてSBSよりSBRの方が、 η に対する制振改良効果は高い。またSBSによるストアスの制振性改良効果は、ストアス60-80に比べストアス80-100の方がやや優れる結果を得た。しかしSBRにおいては、明らかにストアス80-100の方が優っていた。しかしSBRをストアス150-200に5%添加した試料において、20℃以降で急激な η の低下がみられた。

以上の結果よりストアス60-80およびストアス80-100に対するSBSおよびSBRの添加による η 改良効果を、以下のように考察した。まずSBSよりSBRの方が、 η 性能は優る理由を考える。アスファルトに対する

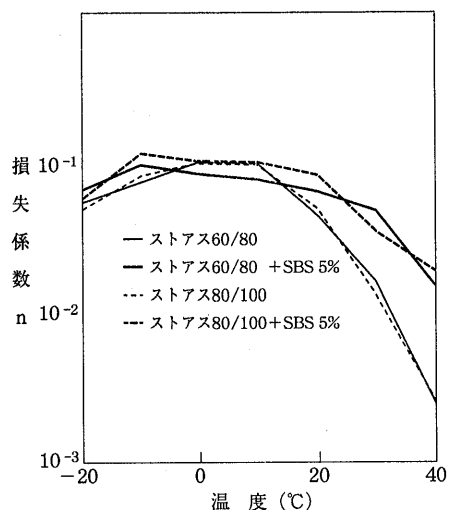


図-9 ストアスへ60-80, 80-100へSBSを添加した温度-損失係数 (η)

表-4 各ストアスの物理化学的性状

		ストアス60-80	ストアス80-100
飽和成分	(%)	8.7	5.6
芳香族成分	(%)	52.9	62.3
レジン	(%)	20.1	18.4
アスファルテン	(%)	8.3	13.7
針入度	(25℃)	74	88
軟化点 (R & B法) °C		47.0	46.5
P I		-0.14	-0.86
60℃ Vis., cP		2,832	1,690
130℃ Vis., cP		561	446

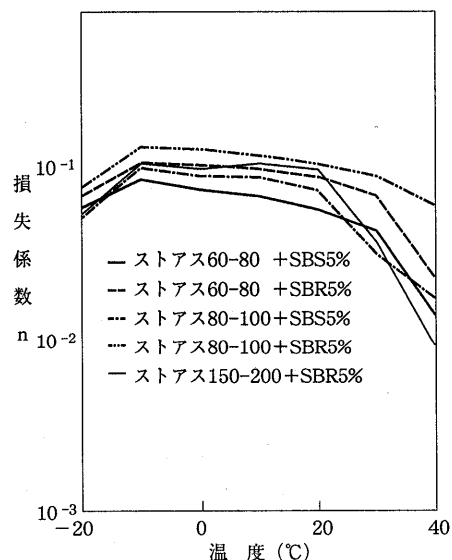


図-10 アスファルトへのSBS, SBR添加による温度-損失係数 (η)

表-5 ストアス60-80および80-100へのSBSおよびSBR添加アスファルトの物性

改質剤	5% SBS		5% SBR	
	ストアス 60-80	ストアス 80-100	ストアス 60-80	ストアス 80-100
針入度 (25℃)	35	55	41	58
軟化点 (R&B法) : °C	69.0	67.5	70.5	67.0
PI	1.79	2.87	2.35	2.63
タフネス : kgf · cm	249	204	213	133
テナシティ : kgf · cm	173	128	129	88
60℃ Vis. : cP	26,410	16,391	14,888	12,300
130℃ Vis. : cP	2,329	1,735	3,153	2,907
伸度 (15℃)	89	118	110	140以上

それぞれのポリマーのアスファルト中における溶存状態のモデル図を図-11に示した。図より、例えばアスファルト温度が130~160℃の場合にSBSは、自由にアスファルト中にランダム分散している。またSBRも同様である。それゆえ表-5に示す135℃の試料粘度をみると両試料は、ほぼ同じ値を示している。この状態から冷却していくとSBSは、S（スチレン）ブロック同志の物理架橋（ドメイン）を形成している。一方、その分子構造上SBRには物理架橋の現象は起こらず、高温状態と同様に常温状態においてもランダムな分散状態を維持する。その結果が、数値的に表-5のタフネス・テナシティ、60℃粘度、15℃伸度に反映されてくる。

そこでこのポリマー分散と η 特性を考える。同一分子量のSBS、SBRをアスファルトに添加した場合、上記

の説明のごとくSBSは常温においてSブロック部のドメインの形成によりSBS分子のB（ブタジエン）ブロックの分散は拘束を受け、そのBブロック鎖間の絡み合いの数もSBRより拘束を受ける。そこで、分散に関して拘束を受けぬSBRはSBSより分子鎖の絡み合う確率は高いとされる¹¹⁾。この分子鎖の絡み合いが接触摩擦により振動エネルギーを熱エネルギーに発散しやすいため、SBSとSBR間での η 特性に差が生じたと考えられた。また同一ポリマーにおいて、ストアス60-80よりストアス80-100の方が η が優れる結果を示した。この原因は、各ストアスの構成成分（四成分）にあらう。すなわちアスファルト構成四成分において、このようなたぐいのポリマーの溶解性能を支配するのは、芳香族成分およびレジン成分である。また飽和成分およびアスファルテンは溶解能力は、このたぐいのポリマーに対して無い⁶⁾。そのためアスファルトの四成分において、芳香族成分+レジン成分の含有比率の高いほど、今回使用したポリマーについて、溶解能力は高い。以上から、表-4よりこの含有比率はストアス80-100の方が高いことがわかる。その成分の差により、ストアス60-80に比べストアス80-100は、ポリマーの溶解分散性を向上させた。その結果、改質ストアス80-100は、 η の向上に寄与したものと考えられる。しかしストアス150-200においては、20℃以降では η の低下がみられた。この原因は、ストアス単体の系と異なり改質ストアス系において、前述の理由によるヤング率低下の影響を受け η の減少に起因したものである。

次に、ここでストアスとブローンに対する同一添加量におけるSBSおよびSBRの溶解能力と η 特性を考える。この場合の溶解能力は、上記した芳香族成分+レジン成分の含有比率の高いストアスの方が優れるであらう。しかしアスファルト単独ではブローンの η は優っていた。さてブローンを使用して制振材を工業生産する場合、ポリマーに依存するより無機質添加剤に依存しているのが実情である。この理由を上記の筆者らの結果から考える。分散性においてこれらの高分子改質材料は、アスファルトの構成四成分の影響を非常に受けやすい。しかし無機系添加材料は、アスファルトの構成四成分の影響はほとんど受けないためである。

3.2 吸音材とアスファルト

吸音材とは、一般に厚くすれば優れた吸音効果を示す。そのため研究開発者としては、余り熱を入れて研究する対象物ではなかったようだ。しかし近年においてその事情は変化し、薄くて優れた吸音材の開発が車

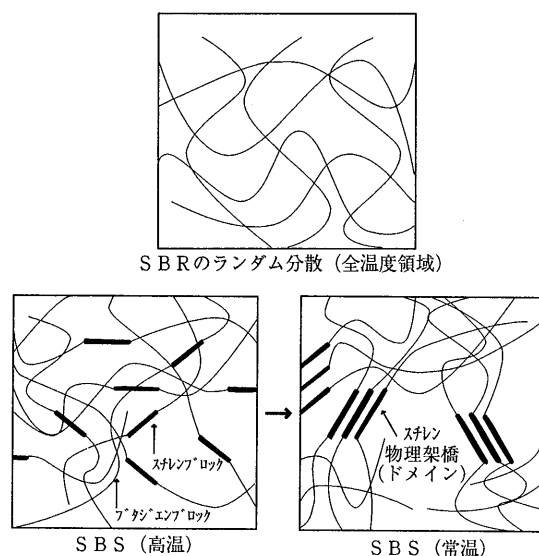


図-11 アスファルト中でのSBS、SBRの溶在モデル

面、電気機器、精密機械関係者などから求められる状況にある。

数々ある吸音材料の中で連続発泡ウレタンは、安価な割にはその要求性状を満たすことから注目されている材料である。ここでは、アスファルト乳剤と連続発泡ウレタン（以下では発泡ウレタンと称す）を組み合わせた、アスファルトウレタンの吸音効果を検討した。

3.2.1 アスファルトウレタンの吸音性能評価方法

アスファルトウレタンの吸音性能評価方法は、高分子発泡材に対する各種アスファルト乳剤を組み合わせ、吸音率（ α ）を測定しその吸音効果の評価をおこなった。そこで高分子発泡材には、発泡ウレタン（密度0.035 g/cm³）を用いた。

吸音率測定方法は、JIS A 1405に記載されている「管内法による建築材料の垂直入射吸音率の測定方法」で実施した。使用した測定器は、電子測器社製TYPE-10041である（図-12）。測定周波数範囲は100～2,000 Hzで1/3オクターブ分析で実施した。測定環境温度は20～25℃である。

発泡ウレタンへのアスファルト含浸方法は、所定厚さの発泡ウレタンにアスファルト乳剤を均一に含浸させ、二本のテフロンロールを用いて絞り、所定のアスファルト乳剤量にした。その後、40℃で24時間熱乾燥させ、重量法により発泡ウレタンに対するアスファルト含浸率を求めた。今回使用したアスファルト乳剤は、ベースアスファルト針入度10～20～150～200の、4種類である。そのアスファルト乳剤の性状は、表-6に示した。

3.2.2 アスファルトウレタンの吸音率（ α ）

表-6の試作アスファルト乳剤を用いて、アスファルト針入度の違いによる α 値への影響を調べるため、その各アスファルトウレタンの吸音性能を試験した。アスファルトウレタンの試料作成条件は、発泡ウレタン

表-6 各種アスファルト乳剤の性状

項 目	AE-10	AE-60	AE-80	AE-150
アスファルト針入度	17	71	92	185
乳剤の表面電化	アニオン	アニオン	アニオン	アニオン
アスファルト含有量 (%)	57	57	57	57
25℃粘度 (cP)*	85	75	85	110

*B型粘度計

厚10mmにアスファルトを100%含浸させるものである。その結果を図-13に示した。これより、ブローン系(AE-10)アスファルトウレタンは、無処理ウレタンよりも悪い結果を得た。またストアス系乳剤AE-60, 80で処理したアスファルトウレタンの α 値は、ほぼ同等の値であった。なお4種類のアスファルト乳剤によるアスファルトウレタンにおいて、最もAE-60, 80の α が、優れていた。またAE-150は、AE-60, 80の試料と比較して、 α 値が劣る結果を得た。以上の結果より、この類の発泡ウレタンに含浸させるアスファルトは、硬すぎ

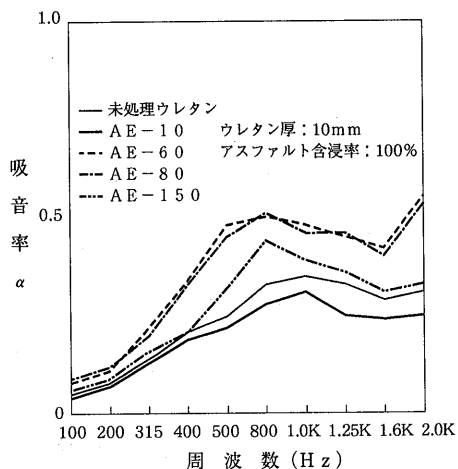


図-13 各種アスファルト乳剤によるアスファルトウレタンの吸音率（ α ）

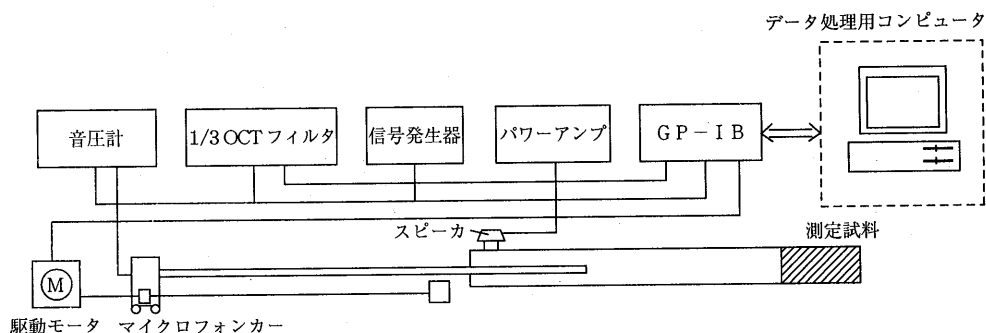


図-12 吸音率測定システム

ると無処理発泡ウレタンより α 能力を低下させてしまう。また逆にAE-150は、アスファルトベースが軟らかすぎるため、吸音効果にあまり期待できぬことが確認された。

次に、表-6のAE-60およびAE-80に対してゴムラテックス (SBR, 固形分50%) を4%添加し、ゴム入りアスファルト乳剤 (AERと表示) を試作した。このAER-60, 80を用いてアスファルトウレタンを試作し、その α 値の測定をおこなった。その結果を図-14に示した。これより、約400Hzまではラテックス添加の有無による効果の差はみられなかった。しかし400Hz以上では、AER-80>AER-60>AE-60=AE-80とAER-80が最も優れる α 値を示した。

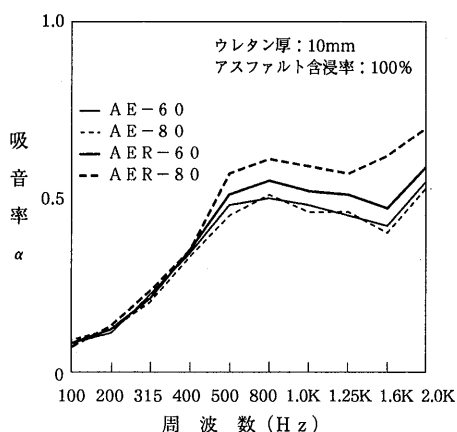


図-14 ゴム入りアスファルト乳剤含浸アスファルトウレタンの吸音率 (α)

発泡ウレタンの厚みを5~30mmに変え、それぞれの厚みのウレタンに対してAER-80をウレタンへ含浸させ、100%アスファルト含浸率に調整した。図-15は、それら試料の α 効果を調べた。その結果、このアスファルトウレタンも通常の多孔質吸音材と同様、同一アスファルト含浸量においてウレタン厚が増すに従い α は増加した。また最高値を示す α の位置は、厚みを増すにともない低周波数側に移行した。

図-16は、5mmの発泡ウレタンにAER-80を0~300%含浸させたときの、アスファルト含浸率と α の関係を調べた。その結果、含浸率の増加に従って α 値は向上するが、含浸率200%以上で α はさほど向上せず、アスファルト含浸率に限界のあるいわゆる α の飽和現象がみられた。

発泡ウレタンのみでは、音を吸収してもその振動エネルギーを熱エネルギーに変換 (振動の吸収) 能力は

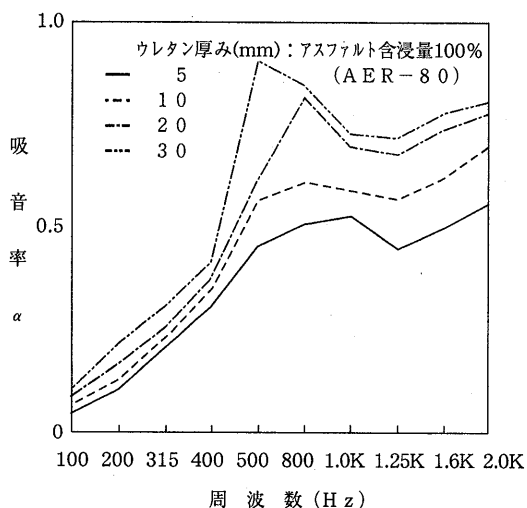


図-15 アスファルトウレタン厚に対する吸音率 (α)

弱い。そこでアスファルトのような粘弾性物質が付与 (コーティング) されることにより、発泡ウレタンと一体化されその相乗効果の結果、 α の向上に寄与するのであろう。しかしウレタンへ含浸されるアスファルトには、最適な硬度 (針入度) または最適な粘弾性のアスファルトが必要と考えられた。すなわちブローンのように硬すぎると、このような吸音性能におけるエネルギー吸収力は弱く、逆に素材 (発泡ウレタン) 自体よりも悪い結果を示した。またAE-150のように軟かいアスファルトになると確かに吸音効果はあるが、AE-60, 80に比べエネルギーの変換能力は劣る。

次に、アスファルトにSBRを添加したアスファルトウレタンは、さらにその α が向上した。この原因は、制振材で検討した内容と一致するものである。すなわちアスファルト乳剤が乾燥後、そのアスファルトへのSBR

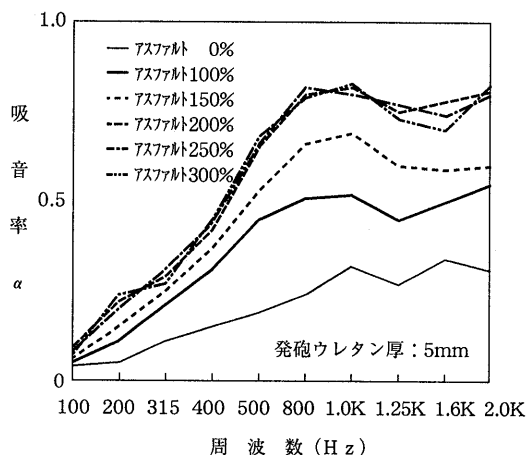


図-16 発泡ウレタンへのアスファルト含浸率と吸音率 (α)

の溶在状態の差 (AER-80>AER-60) に起因して、 α 改善に寄与したと考えられる。しかし400Hz以下においては、 α に差がみられなかった。この原因はこのウレタンに含浸させたアスファルト-SBR混合系は、この領域の周波数の振動吸収能力に劣ることにある。すなわちこの400Hz以下の振動吸収に対してアスファルトにSBRを用いることは、適当でないといえる。この領域の振動吸収を希望する場合には、また別のポリマー選択の必要がある¹²⁾。すなわち特定周波数の振動吸収には、上記の三者の系に限定せず、それに合った材料設計が必要とされる。

また含浸材の最適含浸量が存在する現象が、今回のアスファルトウレタンにおいてみられた。この現象が発生した原因は、アスファルト含浸量が過多になるとウレタン多孔質への特性障害、すなわちアスファルトによる発泡ウレタンに必要な孔の機能低下をおこし、 α の飽和現象に結びついたと考えられる。

制振性能試験では、測定温度ファクタがあった。しかし吸音試験においては、20~25℃の温度に限定して試験を実施した。アスファルトのような温度の影響を受けやすい材料を検討する場合、可能なら吸音性試験においても温度ファクタを導入するとまた違った効果や結果が生まれるかもしれない。また今回の試験では一種類の発泡ウレタンに限定して、以上の試験を実施してきた。しかしその他ウレタン素材、発泡倍率、さらには他の多孔質材料とアスファルト素材などの関係を検討すれば、制振材同様にアスファルト系材料にも興味有る効果も期待できるであろう。

4. おわりに

おわりに際し、以下でアスファルトおよびその利用技術に関連して、3つの意見を述べてみたい。

1) 年間500~600万t生産されているアスファルト、その約80%が道路舗装用バインダーとして利用されている。そのため筆者らは、他の利用分野はせいぜい防水材料程度、としか考えていなかった。しかし、たまたま「アスファルトの他の利用分野」の調査を実施する機会があり、そこで調査を進めるや、意外な所でアスファルトがさまざまな形で利用されていることに驚いた。その一つが「アスファルトの防音材料への利用」である。

このアスファルト系防音材料の利用技術に関して、産業界では積極的に検討されていた。しかし、その防音材としてのアスファルト素材研究はみあたらなかった¹³⁾。この点に関し、中山氏(日本セキソー工業)は「アスファルト素材がもっと理解できていれば、改質技術の進展によって、もっと適正な制振材の開発も可能であろう。」とのべている³⁾。

筆者らは「防音材料とアスファルト」について、過去約6年に渡って実施してきた実験データなどの一部を本報にまとめた。しかし、いまだに解明されない不明な性状をこのアスファルト素材はもっていると考える。

2) 平成7年1月、神戸を中心に大震災が発生し、多大の被害をおよぼした。その結果を反省して、構造物の各種免振技術が見直されている。

免振材は、何もビル構造物に限定されず、トンネルなどの地下構造物や地中連続壁にも必要な技術である。ビルなどの免振材料は、バネ定数などを満足する高級・高価な材料が使用できる。しかし地下構造物においてはその使用量は莫大であり、安価な免振材兼防水材料が使用されている。これに対しアスファルト系材料も進出すべく、努力している。しかしこの分野に関しては、アスファルト系材料は高価な材料となり、「安価な割りには……」からはずれ、残念な結果となっている。そこで筆者らのひとは「地下構造物関係者の方々、アスファルトの持つすばらしい能力を地下構造物に適用し、きたる震災に備えて下さい」、である。

3) 1998年、トヨタ自動車交通環境委員会が日本の道路クオリティについて「もはや車が走ればよいだけの道路でなく、今後はクオリティの高い道路こそ社会に望まれる道路であろう」とコメントした。だがこのクオリティの高い道路とは具体的に何を意味しているのか、不明である。この発表と前後して達下らは、「沿道環境に悪影響をおよぼす自動車公害として騒音、振動および排気ガスがある。これらの諸問題は車両面で改善・解決すべきであるが、えんえんとしており舗装技術での積極的改善の要望が強い」と述べた¹⁴⁾。車両メーカーは、車両ユーザに対して、確かに社内騒音の改善・改良にはかなりの努力をはらってきた。しかし車外騒音などの改善は、それに比べかなり遅れているのではなかろうか。

現在まで舗装技術改善の一つに振動・騒音の低減が取り上げられ、様々の検討がおこなわれてきている。また今後ともこの振動・騒音制御舗装材料および工法の開発は、社会よりもますます求められる当然の課題であり、われわれ舗装技術者には避けて通れぬ使命であろう。

— 参考文献 —

- 1) 湯沢雍彦著：「図解家族問題の現在」，日本放送協会，(1995)
- 2) 飯田一嘉：精密工学会誌，(12)，55 (1989)
- 3) 中山好雄：Polyfile，7，(1990)
- 4) 新田隆行，桃沢正幸：騒音制御，(1)，15 (1991)
- 5) Pfeiffer, J.P., Saal R.N. : Phys. Chem., 44 (1940)
- 6) Yen, T.F., Chilingarian, G.V. : "Asphaltenes and Asphalts, 1" ELSEVIER SCIENCE, Amsterdam, (1994)
- 7) Dickie, J.P., Yen T.F. : Anal. Chem, 39 (1967)
- 8) 藤谷俊英：色材，59 (1986)
- 9) Architectural Acoustics No.20, (Dec.) (1969)
- 10) 中川鶴太郎著：「レオロジー」，岩波全書 (1975)
- 11) Whiteoak, D., "The Shell Bitumen Handbook", Shell Bitumen, UK (1990)
- 12) 西沢仁：「防振，制振機能発現のための高分子材料の設計について」，技術情報協会 (1990)
- 13) 脇阪三郎，鈴木紀章：PETOROTECK，(2)，12 (1989)
- 14) 達下文一，森道夫，山内文雄：舗装，(23)，3 (1988)

フルデプス・アスファルト舗装設計施工指針 (案)

B 5 版 42ページ 実費頒価 800円 (送料は実費) ・申込先 (社) 日本アスファルト協会
〒105 東京都港区虎ノ門1-21-8
秀和第3虎ノ門ビル7階

路床の上のすべての層にアスファルト混合物を用いたフルデプス・アスファルト舗装は、昭和40年代半ばから積極的な試みとして市街地道路を中心にシックリフト工法により施工され、実施例は数十例に及んでいます。

フルデプス舗装は、舗装厚が薄く、工種が単一化されることから、工期が非常に制約される箇所等に適用して有効であるが、またアスファルト舗装の修繕に伴って発生する舗装廃材の利用方法の一つとして、フルデプス舗装の路盤への再生加熱アスファルト混合物の利用が考えられ、省資源の観点から今後普及する可能性も大きい。

本指針 (案) を、フルデプス舗装の設計施工に従事する関係者必読の書としておすすめします。

目 次

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. 総 説 | 3-4 アスファルト混合物 |
| 1-1 フルデプス・アスファルト舗装の定義 | 4. 路床および路盤 |
| 1-2 適用範囲 | 4-1 概 説 |
| 2. 構造の設計 | 4-2 路 床 |
| 2-1 舗装の構造 | 4-3 路 盤 |
| 2-2 設計の方法 | 5. 表層および基層 |
| 2-3 排 水 | 6. 品質管理および検査 |
| 3. 材 料 | 6-1 概 説 |
| 3-1 概 説 | 6-2 出来形および品質の管理 |
| 3-2 瀝青材料 | 6-3 検 査 |
| 3-3 骨 材 | 7. 記 録 |

「Pavement Analysis and Design」

今回は、1993年に米国で発刊された「Pavement Analysis and Design」のたわみ性舗装の設計法の概要を紹介します。当書は、米国において大学などで舗装の教科書として使用されているもので、我が国の舗装関係の教科書と比較してかなり内容が理論的であると言えます。理論的な舗装構造の解析について添付された解析プログラムと例題を通して理解できるように工夫されています。原本ではたわみ性舗装、剛性舗装について記述されていますが、本文ではその中から、た

わみ性舗装についての概要を紹介します。次の機会に、解析プログラムの詳細についての報告を予定しています。

さて、当研究グループの報告は、来年1年間アスファルト誌の40周年の特集が組まれている関係で休ませて頂きます。1年間を充電期間として今まで積み残してきた内容を整理し、今後とも新しい情報を出来るだけ早く紹介していきたいと考えております。

(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
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 日本舗道(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
清水浩昭 世紀東急工業(株)技術研究所
菅野伸一 常盤工業(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
田口克也 ニチレキ(株)技術研究所

谷口豊明 大林道路(株)技術研究所
谷口 聡 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
玉木琢雄 大成ロテック(株)技術部
塚越 徹 日本石油(株)中央技術研究所
遠西智次 昭和シェル石油(株)中央研究所
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
* 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 前田道路(株)技術研究所
村田信之 日本舗道(株)企画部
望月佐利 常盤工業(株)技術研究所
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36名

Pavement Analysis and Design

岡 藤 博 国*	小 笠 幸 雄*****
阿 部 長 門**	金 井 利 浩*****
伊 藤 達 也***	増 山 幸 衛*****
遠 藤 桂****	吉 村 啓 之*****

まえがき

本報告はYang H. Huangの著書である“Pavement Analysis and Design”を紹介するものである。本書は交通工学、材料力学、土質力学などを専門とする卒論生や大学院生を対象に舗装の設計法に関するテキストとして書かれたもので、特に理論的設計法を中心に記述されている。設計法を容易に理解させるために、たわみ性舗装とコンクリート舗装用に開発したコンピュータプログラム（IBM PC用）を付録のフロッピーディスクにおさめ、パソコンで解析できるように配慮されている。なお、著者はケンタッキー大学の土木工学の教授である。

本書は以下に示す13章からなっているが、本報告はたわみ性舗装の設計が記述されている章を中心に紹介するものであり、剛性舗装について書かれた第4章～5章、第12章～13章、および付録は取り扱わないこととした。

第1章 導入

第2章 たわみ性舗装の応力とひずみ

第3章 KENLAYERプログラム

第4章 コンクリート舗装の応力とひずみ

第5章 KENSLABSプログラム

第6章 交通量

第7章 材料特性

第8章 排水設計

第9章 舗装の供用性

第10章 信頼性

第11章 たわみ性舗装の設計

第12章 コンクリート舗装の設計

第13章 オーバーレイの設計

第1章 導入

本章は、舗装設計の歴史、舗装の種類、大規模試験舗装、設計要因、高速道路・空港・鉄道基盤の舗装の比較等、設計に関するこれまでの経緯や考え方が記述されている。

たわみ性舗装の設計方法には、経験による方法、せん断破壊による設計法、限界たわみによる設計法、供用性や試験道路に基づく回帰分析法、多層弾性理論等による理論的設計法などがある。近年コンピュータの発達に伴い、高度な計算処理を行う設計プログラムが開発されるようになった。コンピュータプログラムの開発でもっともよく知られているものの1つに、1963年に開発されたCHEVプログラムがある。このプログラムは弾性挙動を示す材料に適用できるように開発されたが、その後1979年に弾性挙動を示さない（非線形挙動を示す）粒状材料に対しても応用できるようAI（米国アスファルト協会）によってDAMAプログラムとして改良された。その他のよく知られたプログラムとしてShellによるBISARをはじめとして、以下が紹介されている。

- ・カリフォルニア大学バークレイ校で1986年に開発され、後にマイクロコンピュータで運用されるようになった多様な輪荷重が載荷できる弾性5層システムELSYM5。

- ・1986年にFinnらによって開発された、材料特性に依存する応力の層理論に基づきアスファルト舗装の疲労クラックやわだち掘れを予測できるコンピュータプログラムPDMAP。

- ・1968年にDuncanらが行った有限要素法によるたわみ性舗装の構造解析の手法を、1980年にコンピュータプログラムに組み入れたILLI-PAVE。

*おかふじ ひろくに 世紀東急工業㈱技術部

**あべ ながと 東亜道路工業㈱技術研究所

***いとう たつや ニチレキ㈱道路エンジニアリング部

****えんどう かつら 日本道路㈱技術本部技術研究所

*****おかさ ゆきお 勘道路保全技術センター技術検定室

*****かない としひろ 鹿島道路㈱技術研究所

*****ますやま ゆきえ 世紀東急工業㈱技術部技術一課

*****よしむら ひろゆき 前田道路㈱技術研究所

・LemerとMoavenzadehは舗装設計の要因として信頼性の概念を提唱し、1974年にサービス指数と信頼性の概念を取り入れた3層粘弾性システムのコンピュータプログラムを開発した。その後、1978年にFHWAによって改良されたVESYSII。

これらのコンピュータプログラムが開発される以前、1940年代の半ばから1960年代の初頭において、メリーランド試験舗装、WASHO試験舗装、AASHO試験舗装の3つの大規模な試験舗装が実施された。

メリーランド試験舗装では、細粒土の上に構築された舗装の破壊を引き起こす主な原因はボンピングであることが示された。WASHO試験舗装では、車輪走行位置における破壊は、路肩を舗装しない場合、IWPよりOWPの方が多いことが示され、路肩を舗装した場合、OWPとIWPのひびわれ度が同等になることから、路肩舗装の意義が証明された。AASHO試験舗装ではサービス指数の概念を舗装の世界に導入し発展させた。これらの大規模試験における結果から、種々の経験的な設計法が開発されている。

以下に設計に関わる要因について概略を示す。

交通と荷重で考慮すべき要因は、軸重、繰返し回数、接地面積および車速である（第6章に詳しく記述されている）。

環境で考慮する因子は気温と降水であり、どちらも舗装の各層の弾性係数に影響を与える。理論的設計法では、1年を24時間、12ヶ月または数シーズンの期間に分け、舗装各層は各期間ごとに異なった弾性係数を有する。ダメージは各期間毎に評価され、通年で累積することによって舗装の寿命が決定される。

また降水は、路盤に浸透する水の量や地下水位に影響を及ぼす。そのため排水を改善したり、水の有害な影響を軽減するためにあらゆる努力がなされるべきであり、地下水位は少なくとも舗装表面下3 ft (0.91m) 以深に保つべきである。

材料特性の把握は、破壊や破壊確率を予測するために重要であり、舗装材が線形弾性体と考えられるならば、路床および他の舗装構成層の弾性係数とポアソン比を明確にする必要がある。また、繰返し荷重下の弾性係数は、車のスピードに対応する載荷時間を考慮して決定する必要がある。設計が疲労ひびわれに基づく場合は、アスファルト混合物の疲労特性を明確にする必要がある。また、設計が舗装各層の永久変形の合計として表されるわだち掘れ深さに基づく場合は、舗装各層の永久変形パラメータを明確にする必要がある。

低温ひびわれのような他の要因が設計の基礎になっている場合は、冬期間の設計温度に対するアスファルトのスティフネスといった特殊な特性を明確にする必要がある。

理論設計法では、次に示すように破壊のタイプによりそれぞれ破壊基準が定められている。

① 疲労破壊

疲労破壊は、加熱アスファルト混合物層の下面の水平方向の引張りひずみに基づいている。破壊基準は、加熱アスファルト混合物の供試体に対して実験室で疲労試験を行い、その時の引張りひずみに対して許容できる繰返し載荷回数と関連づけられる。実際の舗装の許容繰返し回数は、スケールや荷重条件の違いのため実験室で得られるものより大きくなる。

② わだち掘れ

わだち掘れは、永久変形の結果として車輪走行部に沿って生じるが、これを制御するためには、路床上面の垂直方向の圧縮ひずみに限界を設ける方法と、わだち掘れ量に限度を設ける2つの設計方法がある。なお、わだち掘れ量の限界値は0.5インチ（約13mm）といわれている。

③ 温度ひびわれ

温度ひびわれには、低温ひびわれと温度疲労ひびわれの2つがある。低温ひびわれは通常、米国の北部地域やカナダ全域のように冬場の気温が低い地域のたわみ性舗装に生じる。一方、温度疲労ひびわれは、非常に固いアスファルトを使用したりアスファルトが気象条件により硬化した時に中部地域に生じる。

混合物のスティフネスや破壊特性が、温度と載荷速度の関数として既知であるならば、ある与えられた舗装に低温ひびわれが生じる可能性を評価することができる。温度疲労ひびわれは、繰返し荷重によって疲労破壊を生じるケースに似ており、日々の温度変化によってアスファルト層に繰返し作用する引張応力によって生じる。累積するダメージはマイナー則によって評価することができる。

設計期間の終了時に破壊が生じるという予測は、予測交通量や材料、施工の品質管理の変動に起因して大きく変動するという事実から、信頼性の概念に基づき実施することが重要である。

舗装の設計は、計画、設計、施工、維持修繕、評価、再生というトータルな舗装の管理プロセスの一部であり、過小設計では、年間を通じて舗装の維持修繕費用

や再生費用が高くなり、ライフサイクルコストが非常に高くなってしまふ。PMS情報システムの供用性データのフィードバックは、理論的設計法の発展にとって重要である。

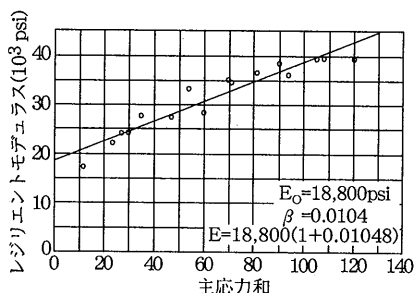
第2章 たわみ性舗装の応力とひずみ

本章では、たわみ性舗装に荷重が作用した際の、舗装に生じる応力とひずみの一般的な関係について、弾性論と粘弾性論の2つに分けて記述されている。

弾性論の記述では、均質な地盤における円形等分布荷重が作用したときの、鉛直応力 σ_z 、水平応力 σ_r と σ_{rt} 、せん断応力 τ_{rz} 、そして鉛直たわみ w が示されている。また、それらを簡便に求める手法として、FosterとAhlvin (1954) が発表した図¹⁾を用いることもできる。

荷重の載荷については、たわみ性載荷板を介する場合と剛性載荷板を介する場合で載荷板中心軸における応力やたわみは異なる。剛性載荷板の載荷中央の表面たわみは、たわみ性載荷板の場合の79%程度であり、その割合は多層弾性システム上でも同じであることがYoderとWitczak²⁾によって示されている。また、材料の非線形性を考慮して舗装の応答の近似解を求めるには、以下に示す操作を行う。

- ① 半無限地盤を図-1に示すように7つの層に分割し、各層の弾性係数を仮定したときの、各層の厚さ方向の中央点における応力をBurmisterの理論により求める。
- ② (1)式により弾性係数を計算する。
- ③ この弾性係数を用いて再び応力を求める。
- ④ ②、③の計算を、計算される連続した2回の係数の差が許容残差に収束するまで繰り返す。これにより非線形問題を近似的に線形問題に置き換えることができる。



(a) レジリエントモデュラス

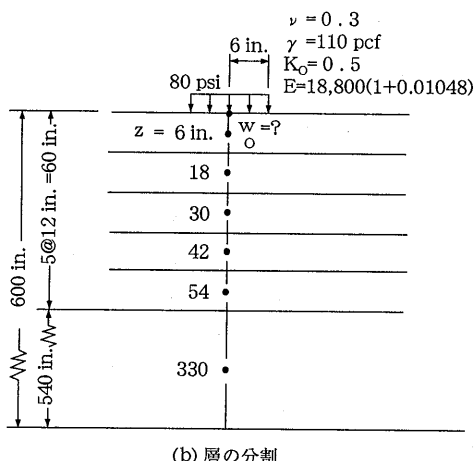


図-1 層の分割例と弾性係数の計算例

$$E = E_0 (1 + \beta \theta) \quad (1)$$

ここに、 θ は主応力和、 E は与えられた主応力和における弾性係数、 E_0 は主応力和がゼロの時の弾性係数、 β は主応力和の単位増加当たりの弾性係数の増加を表す土の定数である。

その他に、均質でない地盤、すなわち多層システムにおける解析方法として、2層システムの鉛直応力、鉛直表面たわみ、鉛直境界たわみ、クリティカルな引張ひずみについての説明や、載荷の形態が単車輪、複車輪そして二軸複車線の計算例が示されている。3層システムについては、Jonesの表³⁾やPeattieの図⁴⁾が紹介されている。

粘弾性論については、図-2に示すように、粘性はダッシュポット、弾性はバネによって特徴づけられるが、それらを直列にしたMaxwellのモデル、並列にし

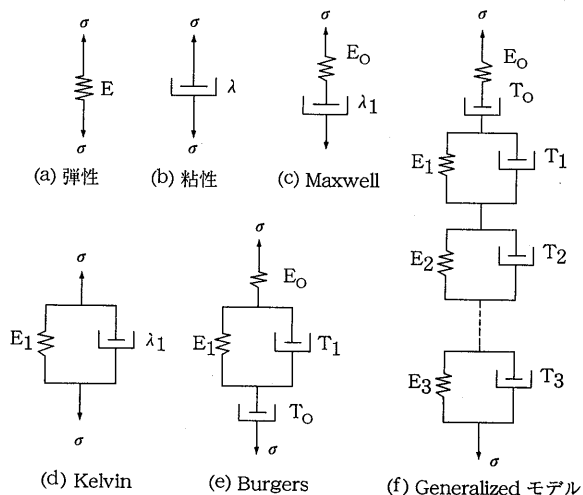


図-2 粘弾性材料の力学モデル

たKelvinのモデル、両モデルを1つずつ組み合わせたBurgersモデル、そして複数組み合わせた一般的モデルを用いて、応力とひずみの関係を得ることができる。

また、粘弾性を説明するための他の指標として、

$$D(t) = \frac{\epsilon(t)}{\sigma} \quad (2)$$

で定義される、時間の関数であるクリープコンプライアンス $D(t)$ がある。ここで、 $\epsilon(t)$ は、一定応力のもとでの時間依存ひずみである。

一定応力のもとでは、クリープコンプライアンスは弾性係数の逆数であり、一般的なモデルでは、

$$D(t) = \frac{1}{E_0} \left[1 + \frac{t}{T_0} \right] + \sum_{i=1}^n \frac{1}{E_i} \left[1 - \exp \left[-\frac{t}{T_i} \right] \right] \quad (3)$$

と表現される。このモデルに対して、様々な粘弾性定数、 E_0 、 T_0 、 E_1 、 T_1 を与え、任意の時間におけるクリープコンプライアンスを計算することができる。

FHWAで推奨されている11組の荷重載荷時間におけるクリープ試験結果から、クリープコンプライアンスを求めることができる。一般に、0.001, 0.003, 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1, 3, 10, 30, 100秒という11種の作用時間におけるコンプライアンスを測定する1000-sクリープ試験が行われたが、次章に述べられているコンピュータプログラムKENLAYERでは、遅延時間を0.01, 0.03, 0.1, 1, 10, 30, ∞ 秒としているので、7つの連立方程式を解くことで、クリープコンプライアンスを求めることができる。

その他、アスファルト混合物の挙動は、温度に依存するので、この温度のファクタを時間のファクタに変換する方法、移動荷重をハーバーサイン関数で近似したときの移動荷重に対する舗装の応答の解析例も示している。なお、粘弾性論については、原本の付録Aに詳細が述べられている。

以上のような解析は、この本に添付されているコンピュータプログラムKENLAYERにより実行することができ、そのプログラムの詳細は、第3章に示されている。

第3章 KENLAYERプログラム

本章では著者が開発したコンピュータプログラムKENLAYERの概要と適用および評価について記述されている。KENLAYERは、ジョイントや剛性層のないたわみ性舗装にのみ適用可能であり、基本的には線形弾性体に対して適用されるが、非線形弾性・粘弾性を線形弾性により近似的に表現することも可能な多層

弾性プログラムである。剛性舗装については、今回取り扱っていないが、同様のコンピュータプログラムKENSLABが開発されており詳細については第4, 5章に示されている。

また、KENLAYERは以下に示すような手法により、載荷荷重が単輪・複輪、複輪2軸、3軸の場合についても適用できる。

線形問題では、システムが線形なので2つから6つまでの円形載荷の複数輪に対して、重ねあわせの原理が適用できる。これらの載荷面のそれぞれに与えられた点の応力が同じ方向でない時、応力は x 、 y 成分に分解した後、重ねあわせの原理を用いる。この重ねあわせの原理は、非線形弾性システムについても連続近似手法によって適用できる。初めに、システムを線形と考え複数輪荷重による応力を重ね合わせる。このように計算された応力に基づいて、各非線形層に対して一組の新しい弾性係数を計算する。それらの新しい弾性係数を用いて、システムを再び線形と考え、弾性係数が特定の許容誤差に収束するまで同様の計算を繰り返す。

極限ひずみは載荷面直下かその近くで発生するので、各非線形層の弾性係数の計算位置として単輪の中心直下の点、または複輪間の中心の点が選択される。舗装が2軸または3軸荷重を受ける場合、まず1つの軸荷重だけが非線形層の弾性係数を決定するのに用いられる。弾性係数が決定された後、2軸または3軸荷重による応答が計算される。

粒状材料層の非線形弾性係数を決定するために2つの手法が用いられる。

手法1では、粒状材料層を最大厚さが2 in. (51mm)までの多数の層に細分化し、各層の厚さ方向の中心点での応力が弾性係数の評価に用いられる。もし水平応力が引張りなら、主応力 σ と θ を計算する際には水平応力を0にする。

手法2は、路盤や下層路盤を含むすべての粒状材料を1層と見なし、通常の舗装では上から1/4の点が弾性係数の評価に用いられる。粒状材料の舗装構成が従来と異なる舗装に対しては、より正確な結果を得るため手法1を利用する。

層システムが粘弾性の場合、7項のDirichlet級数により表現される。移動荷重が作用した時の舗装の応答は、載荷時の荷重がハーバーサイン関数で表されると仮定し、Boltzmannの重ねあわせの原理をDirichlet級数に適用することによって得られる。

静的載荷時の粘弾性層システムの解析に対する直接的な手法は、粘弾性層を載荷時間によって弾性係数が変化する弾性層と仮定することである。与えられた載荷時間に対して、弾性係数はその載荷時間でのクリープコンプライアンスの逆数で表わされる。

KENLAYERは、線形・非線形弾性でも線形粘弾性でも、最大19層の層システムに適用できる。もし層が線形弾性なら、弾性係数は一定であり、その値を決定するのにそれ以上の操作は必要ない。もし層が非線形弾性ならば弾性係数は応力状態により変化し、連続的な近似手法が収束するまで適用される。もし層が線形粘弾性ならば、静的載荷時の弾性解はDirichlet級数を用いて求めることができる。

ダメージ解析はアスファルト層の下面の水平方向の引張ひずみと通常は路床上面の鉛直圧縮応力に基づいている。ダメージ解析では、1年をいくつかの期間に分割し、各期間ごとにいくつかの荷重グループを考える。2軸または3軸の荷重が舗装に与えるダメージの解析には、図-3（図は2軸複輪の場合）に示すように、最初の軸荷重に関しては最大ひずみ ϵ_a を、2軸目または3軸目の軸荷重に関しては最大ひずみと最小ひずみの差 $\epsilon_a - \epsilon_b$ を用いる。各荷重グループでの各シーズンにおける疲労クラックと舗装の変形は年間を通じて評価しまとめられる。ダメージ比の逆数は舗装の設計寿命となる。

KENLAYERコンピュータプログラムによって得られたダメージ解析等の結果は、ELSYS5, VESYS, DAMA等他の層システムプログラムによるものと似ているが、MICH-PAVEやILLI-PAVEのような有限要素プログラムによるものとはやや異なる。

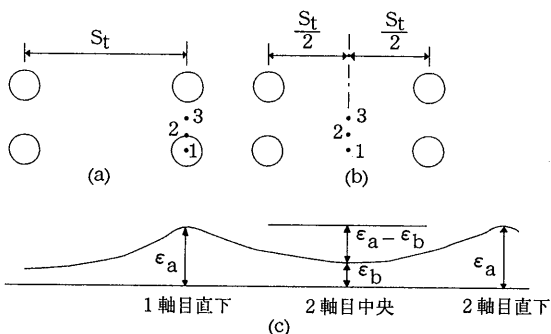


図-3 2軸荷重によるダメージ解析

第6章 交通量

交通荷重と交通量は舗装設計における最も重要な要

因であり、舗装設計における入力データとして荷重の大きさとその繰返し回数を正確に把握しておく必要がある。

本章では、舗装設計における交通データについて3つの処理方法が紹介されており、工学的な見地からの評価も記述されている。

- (1) 交通量（載荷回数）を考慮せず、様々な大きさの輪荷重を等価単輪荷重（ESWL）に換算する方法。

これは第二次世界大戦中の米国において、単輪荷重対応の空港舗装設計基準を、複輪を有する飛行機にも適用できるようにするために開発されたものである。基本的には複輪荷重を仮定の単輪荷重に換算するものであり、両者の輪荷重による舗装体の応答（応力、ひずみ、たわみ）が等しくなるように等価単輪荷重（ESWL）を計算により求め、舗装断面の設計に反映させる。なお、単輪荷重への換算の際には、車輪の接地半径が等しいと仮定する場合と接地圧が等しいとする場合がある。

図-4は、鉛直応力に基づいてESWLを算出するために、BoydとFosterが考案した図である（接地半径が等しいと仮定）。この方法では、ESWLは舗装の厚さによって変化すると仮定しており、舗装厚さが複輪間隔 d の半分よりも薄い場合は、複輪によって生じる路床上面の鉛直応力が重なり合わないことから、ESWLは総輪荷重の半分になる。

一方、舗装厚さが車輪中心間距離 S_d の2倍より厚くなると、両輪により生じる路床上面の鉛直応力が

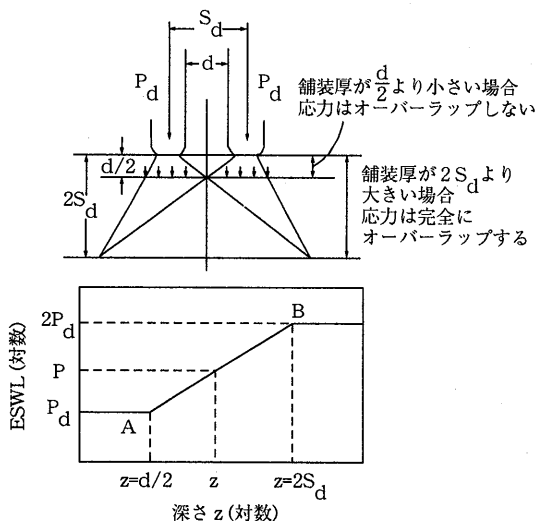


図-4 路床の鉛直応力が等しくなるようにして求めたESWL

完全に重なり合い、ESWLは総輪荷重に等しくなる。なお、舗装厚さと輪荷重の関係が両対数軸上で直線関係にあると仮定すれば、上記の中間の舗装厚に対するESWLも下図から簡単に読み取ることができるようになっている。

- (2) 車両の型式による分類は行わず、様々な軸荷重を標準単軸荷重（通常18kip）に換算する方法。

この方法が、現在多くの舗装設計法で用いられており、標準荷重以外の単軸荷重やタンデム軸、トライデム軸を荷重等価換算係数（EALF）により標準単軸荷重に換算するものである。すなわち、各単軸ならびに複軸荷重の繰返し載荷回数に、軸荷重毎に定められたEALFを乗じて合計したものが等価単軸荷重（ESAL）となり、このESALに基づいて舗装断面を設計する。

- (3) 車両の型式による分類を行い、各グループ毎の交通量を考慮する方法。

本方法はPCA（米国ポルトランドセメント協会）において舗装設計チャートを作成するのに利用されている方法である。トラックをいくつかのグループに分割し、各グループ毎にトラック係数（トラック1台当たりのESAL）を求め、この係数にトラックの台数、方向分布係数、車線分布係数および設計年数等を掛け合わせることで、設計に用いる全体の等価単軸荷重（ESAL）を求める。なお、荷重形態が同じでも舗装が受けるダメージは舗装構造（層の厚さおよび強度）によって変化するため、AIでは表－1に示すようなトラック係数を道路の区分毎に定めている。

KENLAYERプログラムを用いて各種舗装のダメージ解析を行った結果、載荷軸荷重と標準軸荷重によるダメージの比率は、舗装構造によって大きく変化することが確認されている。舗装の構造評価を行う場合、著者は荷重等価換算係数によって載荷軸荷重を機械的に等価単軸荷重に換算するのではなくて、対象となる舗装構造について直接ダメージ解析を行うことが工学的見地から最も妥当であるとしている。

第7章 材料特性

本章では、舗装の構造解析を行う際に用いる各舗装構成層の材料係数の算定方法や疲労試験方法等が記述されている。舗装材料は、交通荷重の繰返しにより永久変形を生じることがあり、完全な弾性体でないことが良く知られている。しかしながら、小さな荷重による多数回の繰返し載荷では、各サイクル毎の載荷荷重

表－1 道路および車両別のトラック係数(アメリカ)^a

車両タイプ	トラック係数									
	地方部					都市部				
	州際道路	他の主要道路	非主要な幹線道路	アクセス道路		州際道路	他のフリーウェイ	他の主要道路	非主要な幹線道路	アクセス道路
				主	要					
						レンジ				レンジ
普通トラック	0.003	0.003	0.003	0.017	0.003	0.003-0.017	0.002	0.015	0.006	0.006-0.015
2軸、4輪	0.21	0.25	0.28	0.41	0.19	0.19-0.41	0.17	0.13	0.23	0.13-0.24
2軸、6輪	0.61	0.86	1.06	1.26	0.45	0.45-1.26	0.61	0.74	0.76	0.61-1.02
3軸またはそれ以上	0.06	0.08	0.08	0.12	0.03	0.03-0.12	0.05	0.06	0.04	0.04-0.16
すべての単ユニットトラック										
トラック セミトレーラ	0.62	0.92	0.62	0.37	0.91	0.37-0.91	0.98	0.48	0.46	0.40-0.98
4軸またはそれ以下	1.09	1.25	1.05	1.67	1.11	1.05-1.67	1.07	1.17	0.77	0.63-1.17
5軸	1.23	1.54	1.04	2.21	1.35	1.04-2.21	1.05	1.19	0.64	0.64-1.19
6軸またはそれ以上	1.04	1.21	0.97	1.52	1.08	0.97-1.52	1.05	0.96	0.67	0.53-1.05
全ての複ユニットトラック										
全車	0.52	0.38	0.21	0.30	0.12	0.12-0.52	0.39	0.23	0.07	0.07-0.39

出典：AI（1991）

連邦道路局の道路統計部門のデータによる
いくつかの州ではフルトレーラの組み合わせも含む

と変形量の関係がほぼ同じであり、また変形量のうちほとんどが復元するため、概ね弾性体と見なすことができる。

弾性係数は、繰返し荷重下で復元するひずみに基づいているので、レジリエントモデュラス M_R と呼ばれており、次式で表される。

$$M_R = \sigma_d / \epsilon_r \quad (4)$$

ここで、 σ_d は偏差応力であり、一軸圧縮試験の軸応力、または三軸圧縮試験の軸応力から拘束圧をひいたものである。通常、レジリエントモデュラス試験は適用荷重が小さいため非破壊試験であり、同じ供試体で荷重や試験条件などを変えて多くの試験を行うことができる。

この繰返し載荷試験(レジリエントモデュラス試験)から得られたレジリエントモデュラスは、移動荷重条件下での多層構造解析において、各層の弾性係数として用いることができる。繰返し載荷試験の荷重パルスは、理論的には、舗装表面から該当する材料までの深さと車両の速度で決定される。

レジリエントモデュラスとともに動的弾性係数(ASTM(1986b), D3497-79参照)も、アスファルト混合物の弾性係数として用いることができる。アスファルト混合物の動的弾性係数は、ShellのノモグラフやAIの回帰式によっても求めることができる。レジリエントモデュラスと動的弾性係数の値の違いは、レジリエントモデュラスが休止時間を含んだハーバーサイン波を用いて測定していることに起因している。

一方、粒状路盤材や細粒土のレジリエントモデュラスは、繰返し三軸圧縮試験で決定することができる。

レジリエントモデュラスは、図-5に示すように、CBR値、R値(土のレジスタンス値)、テキサス三軸試験の分類、群指数、マーシャル安定度およびコヒージョンメータ試験値との間に相関性を有している。しかし、これらCBRなどの試験値はレジリエントモデュラスよりもせん断強さとの関連性の方が強いので、これらの試験値からレジリエントモデュラスを推定した場合、結果は概算値となる。

レジリエントモデュラスや動的弾性係数と同様に動的スティフネスも設計に用いられる。動的スティフネスは、アスファルト混合物の疲労試験に用いることはできるが、応力レベルに依存するため線形弾性解析での動的弾性係数として用いることはできない。このために動的スティフネスと動的弾性係数の相関関係が示されている。

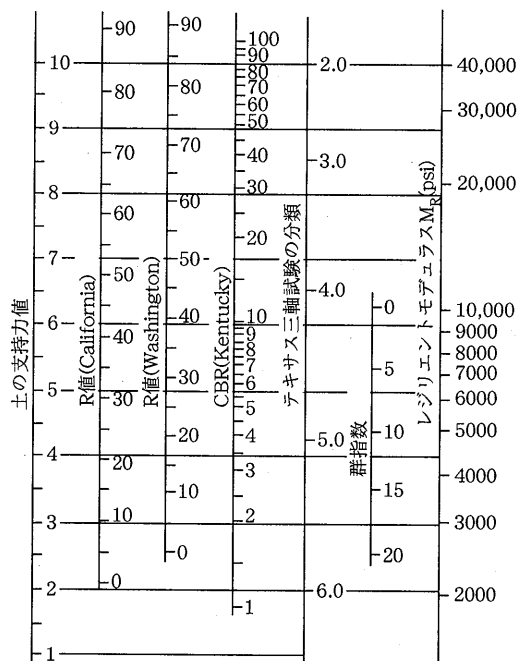


図-5 レジリエントモデュラスと他の試験値との相関関係チャート

アスファルト混合物の疲労試験の試験時間を短くするために、レジリエントモデュラス試験における休止時間0.9 s、載荷時間0.1 sの代わりに休止時間0.4 s、載荷時間0.1 sのハーバーサイン波を用いることにより、以下の2つのタイプの疲労試験を行う事ができる。

載荷回数の増加に伴ってひずみが増加する応力一定試験は、厚い舗装の検討に適用する。また、載荷回数の増加に伴って応力が減少するひずみ一定試験は、薄い舗装の検討に適用する。薄い舗装に応力一定試験を適用すると、設計寿命が短く評価され、余裕がある舗装設計となる。ShellとAIによって開発されたノモグラフと回帰式を用いることにより、破壊に至る繰返し回数を予測することができる。

粘性が十分にある細粒土とアスファルト混合物の永久変形特性は、徐々に載荷する静的試験、動的試験およびクリープ試験によって評価することができるが、粘性が少ない細粒土と粒状路盤材は動的試験でしか評価できない。永久変形試験は、現場の舗装に生じる代表的な応力を使うため、非線形の影響を無視することができる。

第8章 排水設計

本章は、舗装体への水の影響および排水施設の概要と設計について記述されている。

舗装体内への水の浸透は、粒状路盤材や路床土の材料強度を低下させるなどの悪影響を及ぼすことが広く知られている。舗装体内へ浸透する水には、舗装表面のクラックからの雨水や毛細現象によって路床土中から上昇する地下水などがある。このような水が舗装に対して及ぼす悪影響を防止する方策として、舗装体内への水の浸透を完全に遮断したり、交通荷重と浸透水の相互作用に耐えられるだけの強度を有する強固な舗装（フルデプス舗装など）を構築するということは経済性の面から考えても現実的ではない。実際には舗装体内に排水層などを設け、浸透した水をすばやく排水するという処置を施すのが一般的である。

排水施設には、荷重分散機能と排水機能を兼ね備えた排水路盤層や付帯施設である排水側溝などがある。それらの施設は、適切に粒度調整した碎石やジオテキスタイル、各種パイプにより図-6のように構築される。

その主な材料と役割を以下に示す。

- ①粒度を調整した碎石：排水路盤用骨材、排水側溝の充填材ならびにそれらの目詰まりを防止するためのフィルター材
- ②ジオテキスタイル：目詰まり防止用フィルター材(碎石よりも効率がい)

- ③各種パイプ：排水側溝内の縦断方向集水管など（集水パイプにより排水側溝の排水能力が大きくなる）

なお、碎石、ジオテキスタイルならびにパイプには、透水性能とフィルタ性能の相反する両面から、満足すべき品質基準が定められている。

排水設計は、設計浸透水量の算出、排水層の設計ならびに排水側溝・集水パイプの設計の順に行う。まず、雨水の舗装表面からの浸透量、地下水の上昇量、アイスレンズの融解水量（寒冷地のみ）を個別に計算し、舗装表面からの浸透水量に地下水量と融解水量のどちらが多い方を加えたものを設計浸透水量とする。つぎに、設計浸透水量よりも側方への排水量が多くなるように、また、舗装表面から浸透する雨水を降雨後1時間ですみやかに排水できるように排水層の透水係数を決定する。最後に排水側溝の寸法から、使用する充填材（碎石）の透水係数を算出するとともに、集水パイプの据え付け勾配と寸法（直径）の検討を行う。

理論的には、舗装体内への浸透水量が少なく路盤・路床の排水能力が大きければ、特別な排水施設は不要である。しかし、著者は路面性状の悪化等により雨水の浸透量が増加する場合を想定して、幹線道路などの重要な舗装に関しては排水施設を設けることが望ましいとしている。また、排水施設に係わる設計には、材料の強度が考慮されていないことから、作用する応力が大きい上層路盤を排水層とする場合には安定処理によって強度を高めるなどの注意を促している。

第9章 舗装の供用性

本章は、舗装のパフォーマンスについて記述されている。

舗装の破壊には、構造的な破壊によって発生する亀甲状クラック、ジョイント部のリフレクションによって発生するクラックなどのほかに、ポンピングによる路盤強度の低下、通過交通によるアスファルト混合物の過圧密や側方流動によって生じるわだち掘れ、その他、隆起やコルゲーション、沈下などがある（表-2）。このような破壊が生じた場合、舗装の供用性は当然低下してくる。しかしながら供用性の評価には2つの考え方があり、いずれかを用いることとなる。

ひとつはAASHO道路試験によって発達してきたPSIで、基本概念としては、わだち、クラック、パッチング、平坦性等の舗装の破壊の度合によって評価を行う

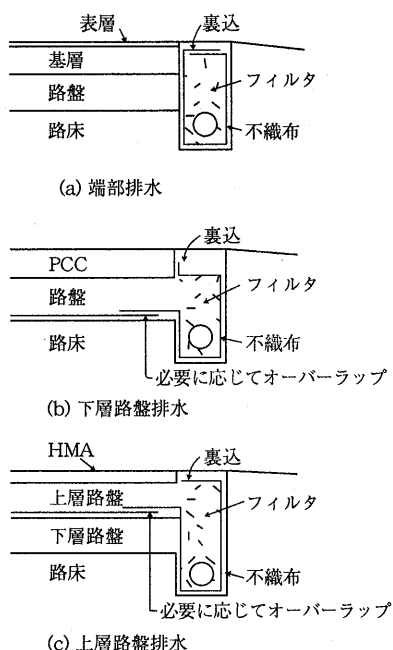


図-6 表層下の排水におけるジオテキスタイルの利用

表-2 アスファルト舗装の破損形態

破損のタイプ	構造的	機能的	荷重に関連	荷重に非関連
アリゲータまたは疲労ひびわれ	×		×	
ブリージング		×		×
ブロッククラック	×			×
コルゲーション		×		×
くぼみ		×		×
コンクリート版地上のリフレクションクラック	×			×
車線/路肩部の沈下または隆起		×		×
車線/路肩部の間の目地の開き		×		×
縦および横方向のひびわれ	×			×
パッチングの劣化	×	×	×	
ポリッシング		×	×	a)
ポットホール	×	×	×	
ポンピング及び水のブリージング	×	×	×	×
ラベリング及びウェザリング		×		×
わだち掘れ		×	×	
層間すべりによるひびわれ	×		×	
隆起	×	×		×

a) : タイヤによるはく離

考え方である。

もうひとつは、粗さから求めた粗さ指数によってのみ評価する方法である。舗装表面の粗さは、走行する車両の安全性を確保する上で重要であり、その評価は、荷重をかけた車輪をロックすることによって測定されるスキッドナンバーに基づいて行われ、新設または補修を行った舗装表面は、所定のスキッドナンバーを有することが求められる。

舗装体自体の構造評価において、非破壊による調査が行われているが、測定装置としては、静的あるいは低速で移動する荷重を加えることによってそのたわみを測定するベンケルマンビーム、静止した状態で振動を加える事によってたわみを測定するダイナフレクトやロードレクタ、そして衝撃荷重によるたわみを測定するFWDなどが用いられている。これらの測定によって得られたたわみデータを基に、MODULUS、WESDEFなどのプログラムを用いて舗装構造の逆解析を行うことにより、各層の弾性係数を求めることができる。

舗装のパフォーマンスの評価は、舗装の設計、維持修繕そして管理にとって重要なものであるが、これらの舗装に関する評価は、最近までは人間に頼っており、決して科学的なものではなかった。しかしながら、コンピュータを用いたエキスパートシステムの開発に伴い、前述したような舗装の破損データや供用性データを集めることによって、科学的に客観的な舗装の評価を行えるようになった。このシステムは、たわみ性舗装に対するSCEPTREと剛性舗装に対するEXPEARとに分かれている。

第10章 信頼性

本章は信頼性の概念を舗装の設計に応用するための手法について述べたものである。舗装の設計を大別すれば、機械的に決定する方法と確率を用いた方法に分けられる。例えば、舗装の設計の中で最も重要な要因の1つである交通量は、機械的な方法では固定された値になるが、確率を用いた方法では平均と分散で表わされる。従来方法では、設計にあたって過大設計になったり、過少設計にならないように、安全率の大きさと設計方法の感度だけで配慮しなければならなかった。しかし、確率を考慮することによって、平均値と変動係数に基づく繰返し数と予測値を比較することになり、合理的な設計方法になる。

設計の信頼性は交通量などの確率変数の平均と分散がわかれば容易に求めることができるが、一般には変動係数を用いることが多い。実際の交通量をNTとし、実際の供用性をNtとしたときの信頼性は次式で表わされる。

$$\text{Reliability} = \text{Probability} (\log NT - \log Nt < 0) \quad (5)$$

実際に設計の信頼性を計算するためには確率変数の分散、変動係数を求めたり、予測しなければならない。この情報は現場の観察、室内試験、過去のデータの蓄積などによって得られる。ここでは、路床および舗装のスティフネス、アスファルト混合物層およびコンクリート版の厚さ、コンクリートの破壊強度などの度数分布を調査した結果について述べている。

次に、信頼性を考慮したたわみ性舗装とコンクリート舗装のコンピュータプログラムについてそれぞれ紹

介を行っている。たわみ性舗装としてはマサチューセッツ工科大学が開発したVESYSプログラムを、コンクリート舗装としてはHuang and Sharpe (1989)が開発したPMRPDプログラムの内容を説明している。VESYSプログラムは各研究者によって改良されてきた(図-7)。その中で、アスファルト層下面の引張りずみ、表面や各層間の垂直変位またはわだち掘れ深さやひびわれの疲労ダメージ比などの平均値および分散を決定できるようになっている。一方、PMRPDプログラムはKENSLABSを簡略化したもので、交通量および設計要因に変動係数を入力することによって合理的な舗装厚を求められるようになっている。

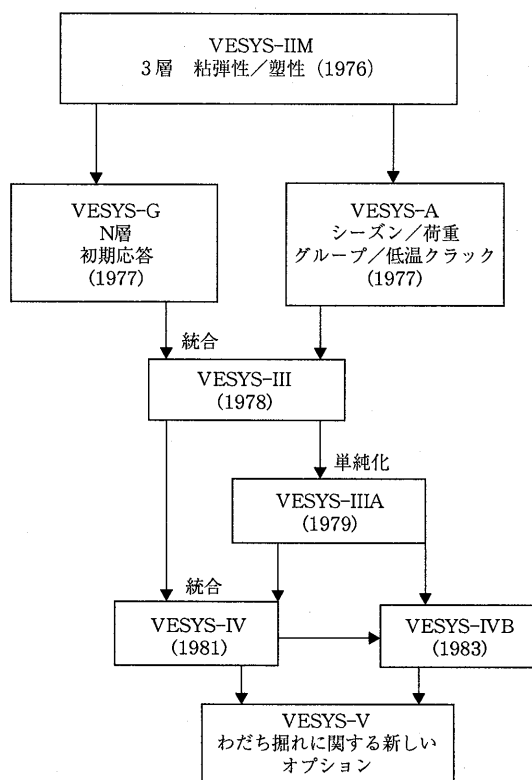


図-7 VESYSの発展

第11章 たわみ性舗装の設計

本章では、アスファルト舗装の設計方法として、米国アスファルト協会による方法(AI法)、AASHTOによる方法(AASHTO法)および工学的見地から修正を施した工学的手法について記述されている。また、最後に路肩設計に関する米国の現況と交通量や環境の考え方が紹介されている。

AI法やAASHTO法については、すでに指針がそれぞれ発刊されているのでここでは割愛し、修正を施した

工学的設計方法について概説する。

本書に述べられている工学的手法は、NCHRPレポート1-26(1990年)⁵⁾に紹介されたものである。本設計手法のモデルは図-8のように示される。

基本的な材料特性は、各層に使用される材料のレジリエントモデュラスである。そして、年間の気温や降水量が大きく異なる地域では、気象モデルを活用し、環境に応じた期間でその係数を変化させなければならない。気象モデルとしては、位置と時間を配慮した温度分布を決定する熱移動モデル(Dempsey, Thompson 1970)、路床内の水分分布を決定する水分平衡モデル(Dempsey et al. 1986)、粒状路盤の飽和度を予測する浸透・排水モデル(Lui, Lytton 1984)などがある。前者2モデルはテキサス大学で、後者はテキサスA&M大学で開発された。

舗装構造の解析には、有限要素法による解析が現実により適合しているものの、解析時間が長いなどの点から、層弾性プログラムを推奨している。層弾性プログラムでは、荷重に関しては単輪および複輪荷重を、材料特性に関しては線形弾性、非線形弾性および粘弾性材料を考慮できるKENLAYERが最も包含的であると記述されている。

破損モデルとして、疲労ひびわれ、わだち掘れおよび温度ひびわれを取り上げている。どの破損モデルを使用するにせよ最も重要な点は、モデルと現実がより一致するように細かな補正を行うことである。

①疲労ひびわれモデル

疲労ひびわれモデルには、Miner (1945)の累積疲

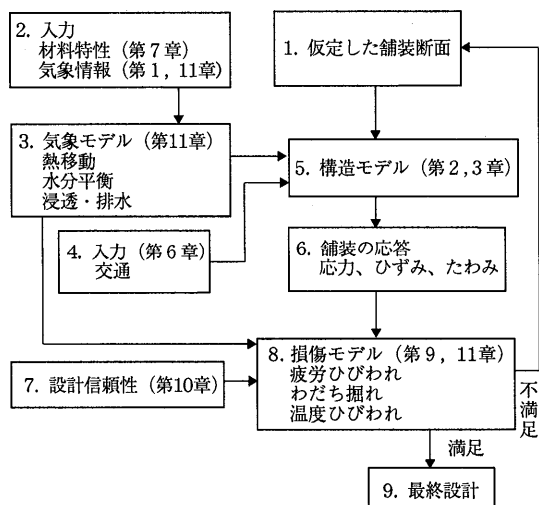


図-8 たわみ性舗装における設計手順

労概念が広く用いられている。このモデルでは、繰返し荷重の許容回数がその荷重によって生じるアスファルト混合物層下面の引張りずみと関係付けられるという特性を利用している。

②わだち掘れモデル

わだち掘れモデルには2つの方法があり、1つはAI法に使用されているような、限界わだち(AI法では約13mm)に対する許容繰返し回数と路床上面の垂直圧縮ひずみを関連づけたものである。もう一つは、各層の永久変形特性に基づき、直接わだち掘れ深さの予測を行うものである。後者については、NCHRPレポート1-26で推奨されたオハイオ州のモデルについて述べられている。このモデル式はVESYSプログラムのものよりも変数が一つ多く、より精度が高いとしている。

③温度ひびわれモデル

温度ひびわれモデルとして、低温ひびわれと温度疲労ひびわれの2つを考慮している。低温ひびわれは、舗装温度の低下に伴い、アスファルト混合物内に生じる温度引張応力が、その引張強度を越えたときに生じる。温度疲労ひびわれは、温度変化による混合物の疲労によって生じる。NCHRPレポート1-

26では、これらを解析するために、Lyttonら(1983)、ShahinとMcCullough(1972)によって開発されたモデルを推奨している。前者のモデルは理論的で粘弾性の亀裂メカニズムの原理に基づいており、後者のモデルは、現象論的に捕らえた理解しやすいものである。本書には、Shahin-McCulloughモデル⁶⁾による温度ひびわれの解析手法が示されている。

最後に、設計が各種の破損に基づいて行われる場合、各破損におよぼす要素がそれぞれ異なるので、解析に用いる交通荷重は等価単軸荷重でなく、荷重の大きさや形状などによる荷重グループを用いたほうが良いと述べている。

また、材料、気候、交通および施工など変動しやすい因子が数多くあるので、舗装の破損評価には信頼性の概念を適用することが望ましいとしている。

おわりに

本報告では、各章の概要を紹介した。しかしながら、700ページに及ぶ原本をこれだけの量にまとめたため、はなはだ不十分な紹介となってしまった事は否めない。今後、機会があればもっと詳しい紹介をさせていただきたいと考えている。

— 参考文献 —

- 1) Foster, C.R., and R.G. Ahlvin, 1954. "Stresses and Deflections Induced by a Uniform Circular Load," Proceedings, Highway Research Board, Vol.33, pp.467-470
- 2) Yoder, E.J., and M.W. Witzczak, 1975. Principles of Pavement Design. Wiley, New York.
- 3) Jones, A., 1962. "Tables of Stresses in Three-Layer Elastic Systems," Bulletin 342, Highway Research Board, pp.176-214.
- 4) Peattie, K.R., 1962. "Stress and Strain Factors for Three-Layer Elastic Systems," Bulletin 342, Highway Research Board, pp.215-253.
- 5) NCHRP, 1990. Calibrated Mechanistic Structural Analysis Procedures for pavement, NCHRP 1-26, Vol.1, Final Report : Vol.2, Appendices, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- 6) Shahin, M.Y., and B.F. McCullough, 1972. Prediction of Low-Temperature and Thermal-Fatigue Cracking in Flexible Pavements, Report No.CFHRR1-8-69-123-14, The University of Texas.

☆

☆

☆

☆

☆

☆

トンネル内舗装

トンネルの舗装は一般土工部や、高架部等に用いる舗装と構造や要求される性能が異なる事からこの部分を特化してトンネル内舗装と呼んでいる。

1) 規格類

トンネル内舗装として、規格等を定めているものとしては以下の例がある。

- ①建設省はアスファルト舗装要綱（日本道路協会，平成4年12月）や，セメントコンクリート舗装要綱（日本道路協会，昭和59年2月）に準拠している。
- ②日本道路公団では，セメントコンクリート舗装を原則としている（設計要領 第一集，平成6年11月）。
- ③首都高速道路公団ではコンクリート床版上の舗装（橋面）に準拠し（舗装設計基準，平成6年），表層は粗粒度ギャップアスファルトコンクリート，基層は粗粒度アスファルトコンクリートとしている。

2) 採択状況

一方，実体としては延長500m未満のトンネルではアスファルト舗装である事が多い。これは，中小のトンネルではトンネル内舗装だけを前後の舗装とは別にセメントコンクリート舗装にする事は不経済であるとする判断が優先しているためである。

しかし，アスファルト舗装は耐水性や耐摩耗性の面ではセメントコンクリート舗装より劣る事や，最近のニーズとして長大トンネルの出現等を反映して，照明効果，道路環境の保全，火災に対する安全性等々の性能をそなえた舗装工法を新設工事や補修工事で採択するようになりつつある。

3) 供用状態

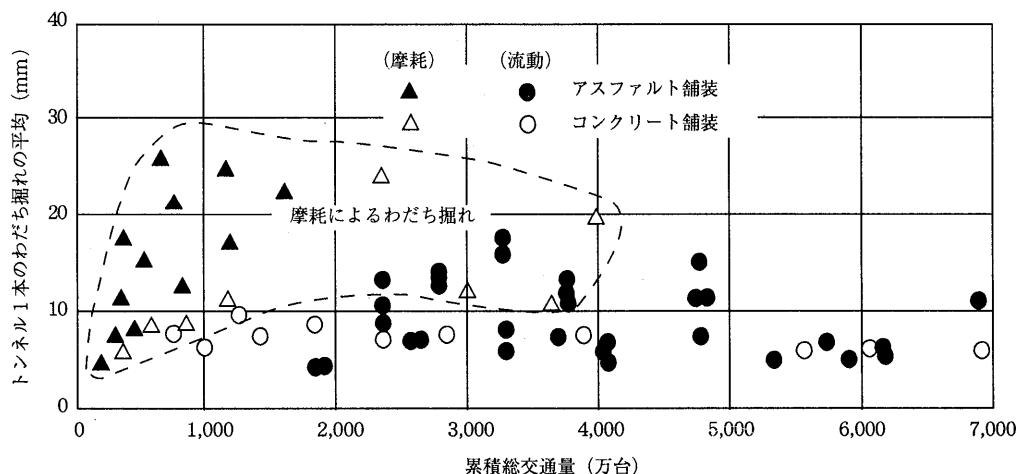
アスファルト舗装とコンクリート舗装の修繕までの供用年数を調べると表-1に示すような傾向にある。

これら修繕を行う時点での路面性状としてはわだち掘れが主体であり，図-1の傾向にある（コンクリート舗装ではひびわれ度が $10\sim 20\text{cm}/\text{m}^2$ 程度の時期が多い¹⁾）。

路面の明るさの評価として，室内試験による路面反射率(Y)から現地のトンネル内での平均照度係数(X)（アスファルト舗装では 18.5 lx/nt ，コンクリート舗装では 13 lx/nt ）を推定できる実験式を求め，舗装工種の検討を行うケースもある²⁾。

表-1 舗装の種類別の耐久性¹⁾

種 別 \ 地 域	一 般	積雪寒冷地
アスファルト舗装	約 10 年	5 ～ 6.5 年
コンクリート舗装	16 ～ 30 年	8 ～ 16 年

図-1 トンネル内舗装のわだち掘れの推移¹⁾

4) 舗装厚

路床・路盤を設ける事ができる場合は、アスファルト舗装要綱の示す T_A 法や多層弾性理論によって T_A やたわみ量をチェックして舗装厚をきめている。

5) 特殊工法・材料

トンネル内舗装でアスファルト舗装とコンクリート舗装以外の工法・材料を適用しているものとして以下の例がある。

(1) 工 法

①アスファルト系舗装

- a. 半たわみ性舗装
- b. 明色舗装 (明色骨材を配合したもの)

②コンクリート系舗装

- a. 連続鉄筋コンクリート舗装
- b. PC (プレストレストコンクリート) プレキャスト舗装
- c. RCプレキャスト舗装
- d. 明色コンクリート舗装
- e. 転圧コンクリート舗装

f. グルーピング工法

g. 骨材露出コンクリート舗装

(2) 材 料

①アスファルト系舗装

a. 半たわみ性舗装用セメントミルク
(特に超速硬タイプ)

b. 明色骨材

c. 改質アスファルト

②コンクリート系舗装

a. スチールファイバーコンクリート

b. プラスチックファイバーコンクリート

c. 明色骨材

d. 高強度コンクリート

—— 参考文献 ——

- 1) 小野寺, 野上: 高速道路におけるトンネル内舗装, 舗装Vol.19, No.11 (1984)
- 2) 川島, 中村: トンネル内の明るさ, 舗装Vol.19, No.11 (1984)
[小島逸平 (株)ガイアートクマガイ技術研究所]

砂利道の歴青路面処理指針 (59年版) 増刷

第3刷 B5版・64ページ・実費頒価500円 (送料実費)

目 次		
1. 総 説	3. 路 盤	5. 維持修繕
1-1 はじめに	3-1 概 説	5-1 概 説
1-2 歴青路面処理の対象となる道路の条件	3-2 在来砂利層の利用	5-2 維持修繕の手順
2. 構造設計	3-3 補強路盤の工法	5-3 巡 回
2-1 概 説	4. 表 層	5-4 維持修繕工法
2-2 調 査	4-1 概 説	付録1. 総合評価別標準設計例一覧
2-3 設計の方法	4-2 浸透式工法	付録2. 材料の規格
2-4 設計例	4-3 常温混合式工法	付録3. 施工法の一例 (D-2工法)
2-5 排 水	4-4 加熱混合式工法	付録4. 材料の品質, 出来形の確認

PAV（プレッシャーエージングベッセル、加圧劣化試験）

PAVは、SHRP（新道路研究計画）の「バインダー仕様」の中で規定された促進法の1つであり、長期供用後のバインダー性状を室内で再現するための促進加圧劣化試験である。これによって、供用後5～10年の劣化状態を再現することができると言われている。長期供用後の劣化を再現するPAVは、加熱混合及び施工過程を再現するRTFOT（回転式薄膜加熱試験）終了後の試料を用いて行うことと「Superpave」では規程している。しかしながら、RTFOT終了後の試料とTFOT（薄膜加熱試験）終了後の試料の粘弾性状はほぼ等しく、試料の取扱いはTFOTの方が簡単であることから、我が国ではTFOTを採用している機関も多い。RTFOT又はTFOT終了後PAVを行った試料とPAVだけを行った試料の粘弾性状は異なるため、長期供用後の劣化を再現するためには、RTFOT及びTFOTは無視できないと報告されている¹⁾。

1987年から5年間に渡って、米国で検討されたSHRPの中で、アスファルトに関する研究の大きな成果としては、「Superpave」と呼ばれる路面の供用状態をバインダーの力学的性状に結びつけた配合システムの開発が挙げられる。この中では、供用後のバインダーの劣化を促進法によって再現しながら、その性状をレオロジー的解析によって予測した上で評価する「バインダー仕様」が作製された。そのバインダー仕様を表-1に示す²⁾。この表に示すように、PAV後の試料は、あらかじめバインダーを使用する地域の舗装体最高設計温度、 m （7日間平均）と最小設計供用温度、 n から設定された試験温度で粘弾性試験が行われ、その結果がバインダー仕様中の規定値に合格した場合に限り、その地域での仕様が可能となる。又、それによって、バインダーの供用グレード、 PG_{m-n} （パフォーマンスグレード）が決定される。

「バインダー仕様」では、RTFOT又はTFOT後の試料50gを試料皿に採取し、それを図-1に示す圧力容器内に入れて、温度90～110℃（砂漠地域での利用を想定した場合は110℃とする）及び圧力2.1MPa（300psi）のもとで20時間強制的に酸化劣化させる。その後、図-2に示す評価フローに従って、劣化した試料をDSR（ダイナミックシェアレオメーター）、BBR（ベンディングビームレオメーター）及びDTT（ダイレクトテンシ

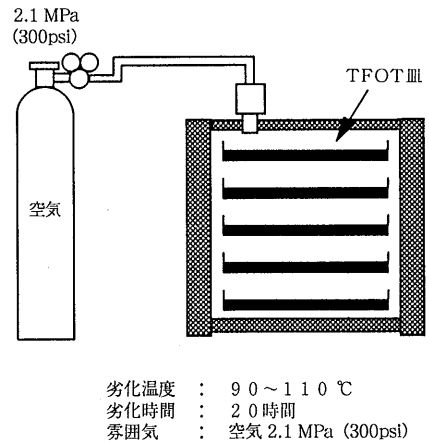


図-1 加圧劣化試験容器

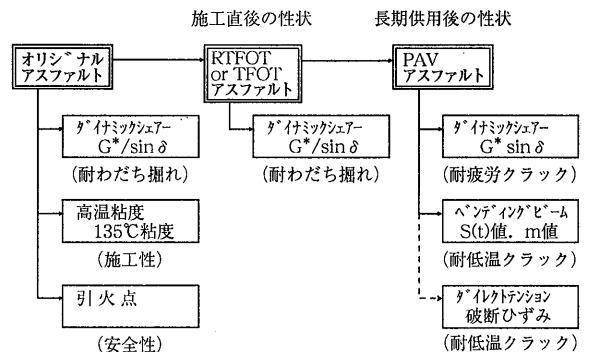


図-2 SHRPアスファルト評価フロー

ンテスター）に供し、その結果にオリジナルアスファルトの粘弾性状とRTFOT又はTFOT後の粘弾性状を加味して、試料の供用グレードを決定する³⁾。従来より、RTFOT及びTFOTによるアスファルトの促進加熱劣化によって施工時の熱劣化を再現する試験は行われてきたが、これらの試験方法では長期供用後の劣化状態を知るには至らなかった。これは、アスファルトの物理的及び化学的性状に及ぼす加熱劣化と加圧劣化の影響が異なるためであり、加熱劣化だけでは長期供用後の劣化状態を再現することができないためである。しかしながら、開発された「バインダー仕様」では、加熱劣化後のアスファルトに供用中の酸化劣化を再現する加圧劣化処理を施すことによって、供用後の劣化状態を再現することを可能にしている。又、図-3に示すように、屋外に5～5.5年間暴露した供試体から回

表-1 SHRPバイディング仕様

パフォーマンスグレード (PG)	PG 5.2					PG 5.8					PG 6.4					PG 7.0				
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-58	-64	-70	-76	-82	-88	-94	-100	-106	-112	-118	-124
7日間平均の舗装体最高設計温度 (°C) ^{a)}																				
舗装体の最小設計温度 (°C以下) ^{a)}	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-58	-64	-70	-76	-82	-88	-94	-100	-106	-112	-118	-124
オリジナル アスファルト																				
引火点最小温度 (AASHTO D 48)	230 °C																			
粘度 (ASTM D 4402) ^{b)}	135 °C (試験温度)																			
最大粘度 ≤ 3 Pa · s 試験温度 (°C)																				
動的せん断試験 (SHRP B-003) ^{c)}																				
G* / sin δ ≥ 1.0 kPa																				
周波数 10rad/sec 試験温度 (°C)																				
物理硬化指数 ^{d)}																				
重量損失率 (%)	1.00																			
動的せん断試験 (SHRP B-003) :																				
G* / sin δ ≥ 2.2 kPa																				
周波数 10rad/sec 試験温度 (°C)																				
PAV アスファルト (SHRP B-005)																				
促進加圧劣化試験 試験温度 (°C)																				
動的せん断試験 (SHRP B-003) :																				
G* / sin δ ≥ 5,000 kPa																				
周波数 10rad/sec 試験温度 (°C)																				
クリープスチーフネス (SHRP B-002) ^{e)}																				
S(t) ≤ 300,000 kPa, m値 ≥ 0.30																				
60秒載荷																				
直接引張試験 (SHRP B-006) ^{f)}																				
破断ひずみ ≥ 1.0%																				
速度 1.0mm/min 試験温度 (°C)																				

- 注) a) 舗装体温度は、SUPERPAVEソフトウェアの演算式を使って気温から推定するか、制定機関の値を使用する。
b) 製造元は、すべての安全基準を満たす温度で、バインダーを十分に管送・混合できることを保証すれば、この条件は削除できる。
c) ストレートアスファルト製造の品質管理のために、アスファルトがニュートン流体となる試験温度 (一般に55℃以上) における $G^* / \sin \delta$ 値を測定する代わりに、パーズンアスファルトの粘度を測定してもよい。粘度測定は標準法 (キャピラリーまたは回転粘度計を含む) であればよい。
d) 物理硬化指数 h は、物理硬化を説明するもので、 $h = (S_{90}/S_{10})_{min}$ で計算する (ここに、1と24はパーズンアスファルトのコンディショニング時間を示す)、コンディショニングおよび試験は、指定した試験温度で行う。計算値を報告する。
e) S値は60秒間載荷後のクリープスチーフネス値であり、m値は "log S" と "log 時間" 曲線上の60秒載荷時における勾配を示す。
f) PAV (促進加圧劣化試験) のエージング温度は、砂連気候の110℃を除いて100℃である。
g) クリープスチーフネス値が300,000kPa以下なら、直接引張試験は必要ない。クリープスチーフネス値が300,000~600,000kPaの間であれば、クリープスチーフネスの代わりに破断ひずみの規定によることができる。いずれの場合も、m値は一定である。

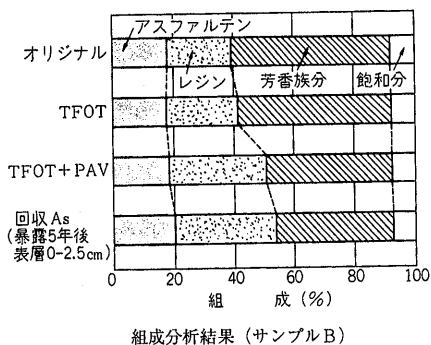
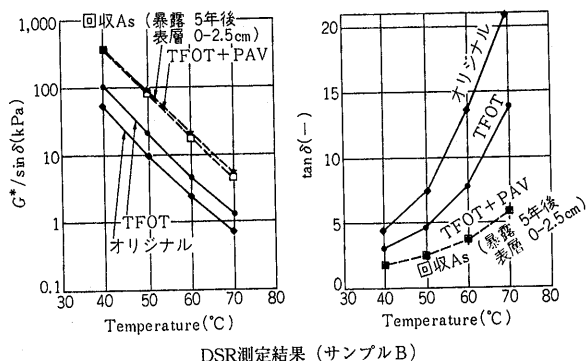
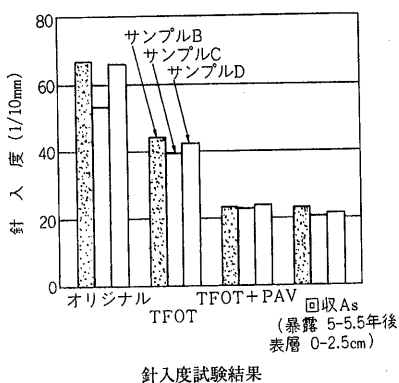


図-3 劣化アスファルトの性状

収したアスファルトとTFOT後PAVを行った室内劣化後試験のアスファルト性状を比較し、それらの針入度、弾性率、損失正接並びに、TLC-FIDによる組成分析結果は、ほぼ等しいことが報告されている⁴⁾。それにより、我が国のストレートアスファルトについてもPAVの有効性が確認されている。

SHRPの「バインダー仕様」では、任意の試験温度における粘弾性状によってバインダーの供用性グレードを決定するため、アスファルトの種類を区別する必要があるが、非常に実用的でもある。しかしながら、我が国では、この「バインダー仕様」で適用可能であると判断されたアスファルトでも、実際には損傷が起きていることがあることなどから、今後、日本の交通事情、気象条件等に適合した形で使用できるように、仕様を改善する必要があることも示唆されている⁵⁾。

参考文献

- 1) 遠西智次, 新田弘之, 坂本浩行, 片脇 清, "アスファルトバインダーの劣化試験方法に関する研究", 舗装, Vol.30, No.6, June 1995, pp.3-7.
- 2) 片脇 清他, "土木研究所資料 第3257号 SHRP アスファルト試験操作の手引き", 建設省土木研究所, 平成6年2月, p.2
- 3) 2) に同じ, p.4
- 4) 1) に同じ
- 5) 新田弘之, 坂本浩行, 遠西智次, "SHRP試験による国内アスファルトの性状について", 第21回日本道路会議 一般論文集 (B), Oct. 1995, pp.234-235.

[青木秀樹 昭和シェル石油(株)中央研究所]

〈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
60 年 度	240	5,029	(96.1)	0	5,269	5,035	(96.4)	0	5,035	215	5,250
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 年度上期	310	2,844	(93.4)	0	3,154	2,841	(95.5)	6	2,847	302	3,149
3 年度下期	302	3,129	(96.8)	0	3,430	3,103	(96.0)	12	3,115	313	3,428
3 年 度	310	5,973	(95.2)	0	6,282	5,944	(95.8)	18	5,962	313	6,275
4 年度上期	313	2,969	(104.4)	0	3,282	2,893	(101.8)	59	2,952	326	3,278
4 年度下期	326	3,152	(100.7)	1	3,479	3,216	(103.6)	17	3,233	244	3,477
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. 4 月	272	576	(96.5)	0	848	481	(94.3)	28	509	341	850
5 月	341	383	(89.8)	0	724	345	(90.0)	23	368	358	726
6 月	358	357	(90.4)	0	715	420	(93.3)	21	441	275	716
4～6 月	272	1,316	(92.8)	0	1,588	1,246	(92.8)	72	1,318	275	1,593
7 月	275	520	(95.9)	0	795	435	(81.8)	34	469	328	797
8 月	328	481	(98.6)	0	809	450	(107.1)	38	488	322	810
9 月	322	496	(97.8)	0	818	489	(104.9)	31	520	300	820
7～9 月	275	1,497	(97.4)	0	1,772	1,374	(96.9)	103	1,477	300	1,777
7 年度上期	272	2,813	(95.2)	0	3,085	2,620	(94.9)	175	2,795	300	3,095
10 月	300	534	(112.9)	0	834	513	(98.7)	28	541	293	834
11 月	293	568	(101.8)	0	861	542	(95.3)	33	575	289	864
12 月	289	566	(101.6)	0	855	558	(104.1)	32	590	263	853
10～12 月	300	1,668	(105.0)	0	1,968	1,613	(99.3)	93	1,706	263	1,969
8. 1 月	263	425	(104.7)	0	688	347	(96.7)	27	374	316	690
2 月	316	465	(112.0)	0	781	436	(103.8)	23	459	323	782
3 月	323	653	(98.8)	0	976	681	(101.6)	26	707	271	978
1～3 月	263	1,543	(104.1)	0	1,806	1,464	(101.0)	76	1,540	271	1,811
7 年度下期	300	3,211	(104.6)	0	3,511	3,077	(100.1)	169	3,246	271	3,517
7 年 度	272	6,024	(100.0)	0	6,296	5,697	(97.7)	344	6,041	271	6,312
8. 4 月	271	564	(97.9)	0	835	496	(103.1)	29	525	311	836
5 月	311	446	(116.4)	0	757	422	(122.3)	19	441	317	758
6 月	317	409	(114.6)	0	726	381	(90.7)	21	402	325	727
4～6 月	271	1,419	(107.8)	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

〔注〕 (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 8年8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					対 前 年 度 比						
	ストレート・アスファルト				ブローン アスファ ルト	合 計	ストレート・アスファルト				ブローン アスファ ルト	合 計
	道路用	工業用	燃焼用	計			道路用	工業用	燃焼用	計		
60 年 度	3,739	139	911	4,789	246	5,035	93.5	85.8	113.2	96.4	96.9	96.4
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 年度上期	2,090	268	372	2,730	111	2,841	97.3	99.6	86.1	96.0	89.5	95.5
3 年度下期	2,226	323	424	2,973	130	3,103	98.2	95.8	85.3	96.1	100.0	96.0
3 年 度	4,316	591	796	5,703	241	5,944	97.7	97.5	85.7	95.8	94.9	95.8
4 年度上期	2,153	253	372	2,778	115	2,893	103.0	94.4	100.0	101.8	103.6	101.8
4 年度下期	2,406	315	369	3,090	126	3,216	108.1	97.5	87.0	103.9	96.9	103.6
4 年 度	4,559	568	741	5,868	241	6,109	105.6	96.1	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. 4 月	341	37	86	464	17	481	87.6	209.4	99.6	94.1	98.1	94.3
5 月	251	7	72	330	15	345	92.7	20.6	118.0	90.4	86.9	90.0
6 月	303	33	67	403	17	420	94.4	78.6	100.0	93.5	85.0	93.3
4 ~ 6 月	895	77	225	1,197	49	1,246	91.4	81.1	105.1	92.9	89.1	92.8
7 月	304	49	66	419	16	435	84.9	62.8	85.7	81.7	84.2	81.8
8 月	304	47	82	433	17	450	99.7	335.7	98.8	107.7	94.4	107.1
9 月	337	38	95	470	19	489	114.2	53.5	117.3	105.1	100.0	104.9
7 ~ 9 月	945	134	243	1,322	52	1,374	98.6	82.2	100.8	97.0	92.9	96.9
7 年度上期	1,840	211	468	2,519	101	2,620	94.9	82.1	102.9	95.0	91.8	94.9
10 月	353	51	87	491	22	513	95.4	89.5	120.8	98.6	104.8	98.7
11 月	385	44	89	518	24	542	95.1	80.0	104.7	95.0	100.0	95.3
12 月	392	50	96	538	20	558	100.5	151.5	102.1	104.3	105.3	104.1
10 ~ 12 月	1,130	145	272	1,547	66	1,613	97.0	100.0	108.4	99.2	103.1	99.3
8. 1 月	202	51	75	328	19	347	99.0	102.0	86.2	96.5	105.6	96.7
2 月	295	42	77	414	22	436	99.3	280.0	86.5	103.2	115.8	103.8
3 月	548	26	85	659	22	681	103.8	70.3	98.8	101.2	115.8	101.6
1 ~ 3 月	1,045	119	237	1,401	63	1,464	101.8	115.5	90.5	100.6	110.5	101.0
7 年度下期	2,175	264	509	2,948	129	3,077	107.7	106.0	99.2	99.9	106.6	100.1
7 年 度	4,015	475	977	5,467	230	5,697	97.2	93.9	100.9	97.6	99.6	97.7
8. 4 月	387	13	80	480	16	496	113.5	35.1	93.0	103.4	94.1	103.1
5 月	281	46	76	403	19	422	112.0	657.1	105.6	122.1	126.7	122.3
6 月	253	38	73	364	17	381	83.5	115.2	109.0	90.3	100.0	90.7
4 ~ 6 月	921	97	229	1,247	52	1,299	102.9	126.0	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

- 〔注〕 (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 8年8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。

改質アスファルトを用いた混合物の設計・施工の手引き

B 5 版・37ページ・実費頒価 ¥500 (送料実費)

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

改質アスファルトは、アスファルト舗装の耐久性向上を目的として、舗装石油アスファルトの性質を改善したアスファルトで、改質方法によってその性質も多様です。したがって、これを十分に理解したうえで利用しなければ、その機能を十分に発揮させられないところがあります。

そこで、(株)日本アスファルト協会では、改質アスファルトを使用する場合の適用場所の選定をはじめ、混合物の製造および施工についての手引きをとりまとめました。

この手引きは、わが国における現今の改質アスファルトに関する標準的な技術を示したもので関係者必読の書としておすすめします。

目 次

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 1. 総 説 | 5.3 最適アスファルト量の決定 |
| 1.1 概 説 | 5.4 流動対策 |
| 1.2 本手引きの適用にあたっての注意 | 5.5 摩耗対策 |
| 2. 改質アスファルト | 5.6 すべり対策 |
| 2.1 分 類 | 5.7 その他 |
| 2.2 特 徴 | 6. 混合物の製造・運搬 |
| 2.3 品質規格 | 6.1 概 説 |
| 3. アスファルト混合物の破損と対策 | 6.2 改質アスファルトおよび改質材路湯の準備 |
| 3.1 概 説 | 6.3 混合物の製造の準備 |
| 3.2 流 動 | 6.4 混合物の製造・貯蔵・運搬 |
| 3.3 摩 耗 | 7. 混合物の舗設 |
| 3.4 すべり | 7.1 概 説 |
| 3.5 その他 | 7.2 舗設準備 |
| 4. 改質アスファルトの適用 | 7.3 プライムコートおよびタックコート |
| 4.1 一般地域における適用 | 7.4 舗設温度 |
| 4.2 積雪寒冷地における適用 | 7.5 敷きならし |
| 4.3 特殊箇所における適用 | 7.6 締固め |
| 5. 配合設計 | 7.7 継 目 |
| 5.1 概 説 | 7.8 寒冷期の施工 |
| 5.2 配合設計における確認試験 | 8. 管理と検査 |

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) 千代田区丸の内3-1-1	03 (3213) 3135
エ ッ ソ 石 油 株 式 会 社	(107) 港区赤坂5-3-3	03 (3585) 9438
鹿 島 石 油 株 式 会 社	(102) 千代田区紀尾井町3-6	03 (5276) 9556
キグナス石油株式会社	(104) 中央区八重洲2-8-1	03 (3276) 5211
キグナス石油精製株式会社	(210) 川崎市川崎区浮島町3-1	044 (288) 8445
九 州 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区内幸町2-1-1	03 (5512) 8606
極 東 石 油 工 業 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03 (3270) 0841
興 亜 石 油 株 式 会 社	(108) 港区芝浦3-4-1	03 (5441) 2516
コ ス モ 石 油 株 式 会 社	(105) 港区芝浦1-1-1	03 (3798) 3874
三 共 油 化 工 業 株 式 会 社	(105) 港区新橋1-7-11	03 (5568) 6411
株式会社ジャパンエナジー	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03 (5573) 6000
昭和シェル石油株式会社	(135) 港区台場2-3-2	03 (5531) 5765
昭和四日市石油株式会社	(510) 四日市市塩浜町1	0593 (45) 2111
西 部 石 油 株 式 会 社	(105) 港区西新橋2-1-1	03 (5512) 3417
ゼ ネ ラ ル 石 油 株 式 会 社	(105) 港区海岸1-16-1	03 (5403) 3433
東 燃 株 式 会 社	(100) 千代田区一ツ橋1-1-1	03 (3286) 5111
東 北 石 油 株 式 会 社	(985) 仙台市宮城野区港5-1-1	022 (363) 1122
日 本 石 油 株 式 会 社	(105) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1111
日本石油精製株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1111
富 士 興 産 株 式 会 社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03 (3580) 3571
富 士 石 油 株 式 会 社	(104) 中央区明石町8-1	03 (3547) 0011
三 井 石 油 株 式 会 社	(101) 千代田区霞が関3-3-2	03 (5512) 3605
三 菱 石 油 株 式 会 社	(108) 港区港南1-6-41	03 (3472) 7883
モ ー ビ ル 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03 (3244) 4691

[ディーラー]

● 北海道

コスモアスファルト (株) 札幌支店	(060) 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) 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) 札幌市中央区北2条西2	011 (231) 2895	日 石
株式会社南部商会札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2-15	011 (231) 7587	日 石
株 式 会 社 ロ ー ド 資 材	(060) 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	(010-05) 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) 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) 仙台支店	(980) 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	(980) 仙台市青葉区国分町3-3-5	022 (263) 5951	三 石
竹中産業株式会社新潟営業所	(950) 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) 仙台市青葉区錦町1-10-11	022 (224) 1151	三 石
中西瀝青株式会社仙台営業所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-30	022 (223) 4866	日 石
株式会社南部商会仙台営業所	(980) 仙台市青葉区一番町1-1-31	022 (223) 1011	日 石
ミヤセキ株式会社	(983) 仙台市宮城野区榴岡2-3-12	022 (257) 1231	三 石
菱油販売株式会社仙台支店	(981) 仙台市青葉区中山4-25-34	022 (277) 6633	三 石
● 関東			
朝日産業株式会社	(103) 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) 中央区八丁堀4-11-2	03 (3553) 3001	昭和シェル
伊藤忠商事株式会社	(107) 港区北青山2-5-1	03 (3497) 6548	九 石
伊藤忠燃料株式会社	(153) 目黒区目黒1-24-12	03 (5436) 8211	J O M O
梅本石油株式会社	(162) 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) 千代田区内幸町1-2-2	03 (5251) 0961	三 石
株式会社木畑商会	(104) 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) 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) 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) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3551) 8011	コ ス モ
国光商事株式会社	(164) 中野区東中野1-7-1	03 (3363) 8231	出 光
株式会社澤田商行関東支店	(104) 中央区入船町1-7-2	03 (3551) 7131	コ ス モ
三徳商事株式会社東京支店	(101) 千代田区神田紺屋町11	03 (3254) 9291	昭和シェル
新日本商事株式会社	(170) 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) 港区浜松町2-3-31	03 (3578) 9521	出 光
竹中産業株式会社	(101) 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) 新宿区新宿1-14-5	03 (3356) 8061	モービル
株式会社トーアス	(153) 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) 千代田区永田町2-4-2	03 (3591) 3401	富士興産
東京レキセイ株式会社	(150) 渋谷区恵比寿西1-9-12	03 (3496) 8691	富士興産
東光商事株式会社	(104) 中央区京橋2-1-4	03 (3274) 2751	三 石
東新エナジー株式会社	(103) 中央区日本橋2-13-10	03 (3273) 3551	日 石
株式会社トーマン	(107) 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) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3555) 8138	コ ス モ
中西瀝青株式会社	(103) 中央区八重洲1-2-1	03 (3272) 3471	日 石
株式会社南部商会	(100) 千代田区丸の内3-4-2	03 (3213) 5871	日 石
日石丸紅株式会社	(105) 港区西新橋2-4-2	03 (5251) 0777	日 石
日東商事株式会社	(170) 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) 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) 中央区日本橋蛸殻町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) 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) 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) 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) 千代田区神田駿河台2-2	03 (3293) 4171	モ ー ビ ル
ユ ニ 石 油 株 式 会 社	(107) 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) 調布市布田4-6-1	0424 (41) 7611	三 石
瀝 青 販 売 株 式 会 社	(103) 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) 名古屋支店	(460) 名古屋市中区錦2-14-21	052 (223) 0711	コ ス モ
株 式 会 社 澤 田 商 行	(454) 名古屋市中川区富川町1-1	052 (353) 5111	コ ス モ
三徳商事株式会社静岡支店	(420) 静岡市伝馬町5-3	054 (255) 2588	昭 和 シ ェ ル
三徳商事株式会社名古屋支店	(453) 名古屋市中村区則武1-10-6	052 (452) 2781	昭 和 シ ェ ル
株 式 会 社 三 油 商 会	(460) 名古屋市中区丸の内2-1-5	052 (231) 7721	コ ス モ
静 岡 鉱 油 株 式 会 社	(424) 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	(910) 福井市大手2-4-26	0766 (22) 1565	昭 和 シ ェ ル
株 式 会 社 田 中 石 油 店	(910) 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) 富山市若竹町3-74-4	0764 (29) 2298	昭 和 シ ェ ル
中西瀝青株式会社名古屋営業所	(460) 名古屋市中区錦1-20-6	052 (211) 5011	日 石
松 村 物 産 株 式 会 社	(920) 金沢市広岡2-1-27	0762 (21) 6121	三 石
丸 福 石 油 産 業 株 式 会 社	(933) 高岡市美幸町2-1-28	0766 (22) 2860	昭 和 シ ェ ル
● 近 畿			
赤馬アスファルト工業株式会社	(531) 大阪市北区中津3-10-4	06 (374) 2271	モ ー ビ ル
飯野産業株式会社神戸営業所	(650) 神戸市中央区海岸通り8	078 (333) 2810	J O M O
大阪アスファルト株式会社	(531) 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) 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) 岡山市富田町2-10-4	0862 (33) 1500	J O M O
コスモアスファルト (株) 大阪支店	(550) 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) 広島支店	(730) 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) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (394) 1551	昭 和 シ ェ ル
昭 和 瀝 青 工 業 株 式 会 社	(670) 姫路市北条口4-26	0792 (26) 2611	J O M O
信 和 興 業 株 式 会 社	(700) 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) 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) 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) 倉敷市児島味野浜の宮4051-12	0864 (73) 0350	富 士 興 産
千 代 田 瀝 青 株 式 会 社	(530) 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) 大阪市中央区東心斎橋筋1-3-11	06 (252) 5856	富 士 興 産
中西瀝青株式会社大阪営業所	(530) 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) 姫路市国府寺町72	0792 (85) 2551	J O M O
富士アスファルト販売株式会社	(550) 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) 小野田市稲荷町6539	0836 (83) 3210	昭 和 シ ェ ル
平 和 石 油 株 式 会 社	(530) 大阪市北区中之島3-6-32	06 (443) 2771	昭 和 シ ェ ル
株 式 会 社 松 宮 物 産	(522) 彦根市幸町32	0749 (23) 1608	昭 和 シ ェ ル
丸 和 鉱 油 株 式 会 社	(532) 大阪市淀川区塚本2-14-17	06 (301) 8073	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
横田瀝青興業株式会社	(672) 姫路市飾磨区南細江995	0792 (33) 0555 J O M O
株式会社菱芳磁産	(672-11) 姫路市広畑区西夢前台7-140	0792 (39) 1344 J O M O
● 四国・九州		
伊藤忠燃料株式会社九州支社	(812) 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) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111 J O M O
株式会社カンダ	(892) 鹿児島市住吉町1-3	0992 (24) 5111 昭和シェル
株式会社九菱	(805) 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) 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) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131 富士興産
サンヨウ株式会社	(815) 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) 福岡市中央区天神4-1-18	092 (771) 6881 日 石
株式会社南部商会福岡営業所	(810) 福岡市中央区天神3-4-8	092 (721) 4838 日 石
西岡商事株式会社	(764) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1001 三 石
畑礦油株式会社	(804) 北九州市戸畑区牧山新町1-40	093 (871) 3625 コ ス モ
平和石油株式会社高松支店	(760) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7255 昭和シェル
丸菱株式会社	(812) 福岡市博多区博多駅前4-3-22	092 (431) 7561 昭和シェル

[賛助会員]

岡谷鋼機株式会社東京本店 (163-10) 新宿区西新宿3-7-1 03 (5323) 3202

編集顧問	編集委員
多田宏行 藤井治芳 松野三朗	委員長：河野 宏 副委員長：真柴和昌 阿部忠行 今井博文 小島逸平 半野久光 荒井孝雄 折井進吾 七五三野茂 姫野賢治 安崎 裕 菅野善朗 田井文夫 室賀五郎 池田拓哉 栗谷川裕造 野村敏明 森永教夫

アスファルト 第190号

平成9年1月発行

社団法人 日本アスファルト協会

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

印刷所 キュービシステム株式会社

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

Vol.39 No.190 JANUARY 1997

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**