

アスファルト

第33巻 第164号 平成2年7月発行

164

特集・舗装技術へのエレクトロニクスの応用

特集にあたって	安崎 裕	2
舗装技術とパソコン	姫野 賢治・西澤辰男	3
東京都における舗装維持補修計画支援のシステム化について		
	達下文一・関口幹夫	20
施工管理とエレクトロニクス	増山 幸衛	25
室内試験とエレクトロニクス	古谷 薫	29
プラントとエレクトロニクス	吉兼 亨	37
施工機械とエレクトロニクス	高野 漠	44
舗装の評価とエレクトロニクス		
～主として路面性状測定について～	柴崎 隆次・安納正美	49

会長就任のご挨拶

高島 陽一 1

〈アスファルト舗装技術研究グループ・第4回報告〉

アスファルト舗装工学を目指して(1)	姫野 賢治	54
アスファルトの組成分析	谷口 豊明・伊藤 達也	55
ブレンドによるアスファルトの製造	久下 晴巳	61
アスファルトの劣化	谷口 豊明・伊藤 達也	67

〈工事事務所長シリーズ・その41〉

雑感～奈良のこと、道のこと～

菊川 滋 83

〈用語の解説〉

舗装データバンク

小島 逸平 86

アスファルト・スリップレイヤー(Bitumen Slip Layer)

高橋 正明 89

スチフネス・ノモグラフ(Stiffness Nomograph)

〈統計資料〉石油アスファルト需給統計資料

92

主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況

94

ASPHALT

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



会長就任のご挨拶

社団法人 日本アスファルト協会

会長 高島 陽一

5月30日、通常総会後の臨時理事会において当協会の会長に選任され、お引受することになりました。

任期半ばで、社命により新しい職務に就かれることなりました坂本前会長の後をお引受する訳でございますが、アスファルトを含む石油全般の状況が大きく変わりつつあるこの時期、光栄であると同時に、責任の重さを痛感致しております。誠心誠意当協会の発展に尽くす所存でございますので、ご関係の皆様方の一層のご指導、ご鞭撻を心よりお願い申し上げる次第でございます。

当協会は、昭和32年、アスファルトの品質の改善、使用技術の向上を図り、併せてアスファルトに関する産業の健全な発展と公共の福祉の増進に寄与することを目的として発足致しました。爾来30有余年、各委員会活動を中心に、地味ではありますが、着実に数々の成果を挙げて参りました。就中「アスファルト」誌につきましては、昭和33年4月刊行以来、その技術的内容は斯界で高い評価を賜わっており、益々多様化、高品質化を求められているアスファルトの今後の指針として尚一層の充実を図るべく、関係各位のご協力をお願い申し上げますと共に、ご愛読の程宜しくお願い申し上げます。

1990年代を迎えて、石油業界も規制緩和、国際化への対応と新たなる構造改善に迫られておりますが、アスファルト協会につきましても、こうした流れの中で、

1. アスファルト需要の国内・海外事情の情報を広く収集し、今後の業界発展の一助とすること。
 2. 常に新しいニーズに応えられる様、アスファルトの品質向上、改質アスファルト等技術研究を進めてゆくこと。
 3. 関係官庁、需要業界の皆様方と協会会員との間でより緊密な関係が維持できます様、広報活動に力点を置くこと。
- を大きなテーマと致しまして、21世紀に向かって

の新たなスタートを切って参りたいと存じます。

平成2年度のアスファルト需要見通しは、道路用424万6千トン、工業用、ブローンを加えて、496万5千トン、前年比98.0%となっております。現在の需要想定によりますと長期的にもほぼ横這いとの見方がなされております。

一方、不透明な原油情勢を見通すことは非常に困難ではありますが、今後5年、10年の間は、非OPEC諸国の動向等から、原油価格の上昇傾向は避けられないとの見方が一般的であります。

斯かる状況下において、精販業界、需要業界共に安定的な発展を続けてゆく為に、有用な国内・海外の情報を収集し、安定供給の維持の一助と致し度いと考えております。

また、消費者のニーズも多様化しつつあり、品質向上の要望も日ましに強くなりつつあります。アスファルトの守備範囲は時代と共に拡がってゆくものと考えられます。当協会が、関係する業界に果たすべき役割は、極めて大きいものであります。

以上の点につき、実効をあげてゆくためには、関係官庁の皆様、需要業界の皆様方をはじめ、アスファルトに携わるすべての方々と当協会会員各位との間に緊密な意思の疎通が行なわれることが必要不可欠であります。その為の広報活動には特に力を入れて参る所存であります。

当協会を支える力は、会員の皆様の共通の意思から生まれるものであります。斯界発展の為に、全国の会員各位の新たなご認識と、ご協力をお願い申し上げる次第であります。

また、アスファルトをご愛顧賜っております需要家各位、研究・販売に携わっておられる関係各位におかれましても、アスファルト業界に対し、充分ご理解を賜わり、一層のご支援をお願い申し上げましてご挨拶と致します。

(三菱石油株式会社 常務取締役)

特集中にあたって

安 崎 裕

建設省土木研究所舗装研究室長

アスファルト誌で「舗装技術へのエレクトロニクス」の特集が組まれたのは、今回が初めてでなく、記憶力に優れている読者は覚えておられるように、135号（昭和58年4月）に次いで2回目になります。

今回の特集でも、前回の特集とほぼ同じ分野を対象として執筆して戴いていますので、興味のある方は、両者を比べて読んでいただければ、この7年間の舗装技術のエレクトロニクス化の進展の度合を推し量ることが出来て興味深いのではないかと思います。

われわれの日常生活はエレクトロニクス技術と切り離しては考えられません。以前、それもそれほど遠くはない頃でも、当時夢物語であったことで、いま実現しているものが数多く見られます。特に最近では、普通の民生品の分野での傾向が大きいような気がします。

振り返って舗装技術の分野を見てみると、個々の機械・機器の進歩は見られるものの際だった技術革新の度合は他と比べて相対的に低いように思われます。これは、いわゆる民生品は大量生産されるものが多いので新技術導入の効果もそれだけ大きいことから、関係者は熱心になるのではないかと思います。これに対し、舗装の分野では、対象が主として公共道路という比較的狭い分野に限られるため、相対的に新技術導入の波及効果が小さいことも一因なのかも知れません。

しかしながら、効率化・多様化は道路舗装の面でも切実な問題となっており早急な対応が望まれている現状です。ことに3K問題（きつい、きたない、きげん）を抱える建設事業では人手不足も深刻であり、3Kを打破してその解決を図るためにも舗装技術のエレクトロニクス化は緊急かつ重要といえるのではないでしょうか。

舗装技術とパソコン

姫野 賢治*・西澤辰男**

1. はじめに

現在社会は、高度産業社会から高度情報社会へ向かって急速かつ確実に移行していると言われ¹⁾、工学に携わる技術者にも的確で高度な情報処理能力が要求されてきているように思える。特に、従来は一部の専門家だけが自らプログラミングを行いながら操作していたコンピュータも、パーソナルコンピュータ（以下、パソコンと称する）の出現と種々の目的のために開発された市販応用ソフトウェアの普及にともない、誰もが使うことを期待され、実際にも数多くの人が使うようになってきたと言えるであろう。このような傾向は、独り情報工学の分野のみならず、舗装工学のように社会生産基盤の建設に直接携わる分野等においても同様である。

本報告は、パソコンを中心とした情報処理あるいはデータ処理技術の歴史と現状を概観し、これらの舗装工学における適用の実態やその例を、筆者らの知識と経験を中心とりまとめることを試みたものである。

2. コンピュータの歴史と現状

2.1 コンピュータの歴史

今ではその存在が当然となった感のあるコンピュータの世界最初のものは、ドイツのヴィルヘルム・シカルトが1623年に作製した加減算機であるとされる（一説には、パスカルのものとも言われる）が、この時代のものは歯車やカムなどの機械的なメカニズムを用いたものであり、末端まで完全には動力が伝わらずうまく動作しなかったものも多いらしい。今日にいういわゆる電子式の汎用計算機 ENIAC が米国で誕生したのは、その後300年以上も経過した今からわずか44年前のことである²⁾。これは、第2次世界大戦中ドイツ軍の戦闘機を撃ち落とすための対空砲の弾道を高速に計算することを目的として開発されたものである。もっとも、

動力がかつての機械仕掛けから電子仕掛けに変わっただけで、原理的には昔のものと大きく異なる訳ではない³⁾。

それ以降のコンピュータの進歩は周知のように極めて急速であり、1959年には中央処理装置（CPU）にトランジスタを用いたもの、1964年には集積回路を用いたものという具合に次々に新しいものが登場したが、この頃までのコンピュータの開発はひたすらハードウェア的に容量の大型化とサイズの小型化を目指したものであった。

このような流れに対して、価格と性能を下げて開発されたミニコンピュータが発売されるようになると、それまでは数が少なかったため大型計算機を使うことのできなかった他分野の技術者たちをもひきつけることとなつた。このような大衆化によってコンピュータは単に科学技術計算のみならず実験機器の制御などにも用いられるようになり、コンピュータという語の持つ意味とその実態とが次第に隔たるようになる。なお、ミニコンは進化してスーパーミニコンという形で現在に引き継がれることとなる。

さらに、1971年にはコンピュータのCPUを1つの集積回路に収納したいわゆるマイクロプロセッサが開発され、安価で機能的にも優れたものが多く出回るようになったため、コンピュータに必要な種々の周辺装置をこれに搭載して、ここに世界初のパーソナルユースのコンピュータ、いわゆるパソコンが誕生することになった。今からわずか13年前、やはり米国での出来事である⁴⁾。

2.2 わが国におけるパソコンの歴史

わが国で国産初のパソコンが発売されたのは、米国に遅れること1年、1978年のことである。この当時のパソコンは8ビット機であり、一部のマニアが趣味で用いるという傾向が強かったが、1982年にはビジネス

*ひめの けんじ

北海道大学工学部土木工学科助教授

**にしざわ たつお

石川工業高等専門学校土木工学科講師

を指向した一般ユーザー向けの16ビット機が出現し、その後わずか5年の間に実に500万台以上のビジネス用パソコンが販売された⁴⁾と言われている。それは、16ビット機の管理しうるメモリー空間が飛躍的に拡大したことの他に、オペレーティングシステム(OS)の進歩を挙げることができる。すなわち、開発当初のパソコンは、ハードウェアとソフトウェアの仲介的役割を演ずるOSと言語処理系とが一体化したBASICというソフトが全ての処理を担っていたため、その上で稼動しうるアプリケーションソフトの開発が困難であったのに対し、16ビット機が開発された当初には既にCP/Mという単独のOSが世に現れており、応用ソフトウェアの開発速度が急激に高まったためである。このCP/Mは、後にミニコン上で主流となっていたUNIXと呼ばれるOSの機能を取り込み現在パソコンで主流となっているMS-DOSに発展し、この上で動く応用ソフトウェアは、土木工学に関連したものだけでも著しい数のものが開発されている⁵⁾。なお、BASICはそのまま言語処理系部が生き残り、現在でもその手軽さからよく用いられてはいるが、PascalやCといったAlgol系の構造化の言語の台頭に影響されて、次第に文法的に構造化されたBASICへと進化しつつある。

ビジネスパソコンの母体が世に現れてわずか8年間にハード、ソフトの両面でこのような急激な進化が起り、しかもその速度は全く衰えを見せていないように思える。

2.3 パソコンの現状

現在、8ビット機はゲームやホビーを中心に地位を固めつつあるが、実務に用いられるパソコンは、32ビット機の出現やOSと応用ソフトウェアの仲介役であるオペレーティング環境(OE)と呼ばれるソフト面の充実などを通じての高機能化の動きがあり、逆向きに上位機であるミニコンから人間との対話処理に重点を置いて進化してきたワークステーションとの境界が曖昧になりつつある。一方で、ハード面においても机上型のデスクトップタイプのものだけではなく、ここ数年はひざの上で使えるラップトップタイプ、さらには可搬性を重視したノートタイプへの需要も増大している。

このような結果、コンピュータは、規模、価格、計算速度、利用形態等の観点から、現在ではほぼ表-1のような分類されると言い得るであろう。

さて、本来コンピュータは歴史的には数値計算を高速かつ正確に行なうことを目的として開発され進歩してきたものであり、パソコンもメインフレーム(大型

計算機)を単に小型化したという思想から生まれたものであるが、近年は数値計算に限らず、各種機械の制御、データ通信、テキスト・記号処理、データベース、画像処理といった他の用途にも幅広く用いられるようになってきた。さらに、単なるデータの記憶・処理だけではなく、判断などの人間の思考過程を模倣するいわゆる人工知能の分野にも力が注がれ始めるようになってきている。このため、コンピュータとは、もはや「電子計算機」ではなく「汎用電子情報処理機」とでも称すべき時代になったと言い得るであろう。このことが、単に情報工学の分野に限らず、社会一般で急速にパソコンが受け入れられてきた最大の理由と言えよう。

また、最近の傾向として、従来のように専門家だけではなく、非専門家たる一般のエンドユーザー(ユーザー)がコンピュータを操作することが多くなり、自らプログラミングをせずに出来合いの応用ソフトウェアを購入して使用するケースが多くなってきていることも特徴的である。このことは、一般社会のパソコン利用目的の大半が、ワープロ、表計算などの限られた用途に偏っている現状を振り返ってみても明かであろう。

表-1 コンピュータの分類

名称(略称、別称等)	概略の価格	特徴
スーパーコンピュータ (スパコン)	10億円以上	科学計算向き。実数演算を毎秒1億回以上実施可能。
メインフレーム (大型計算機)	1億円~ 30億円	大学、企業等の計算機センターにおける主流。事務機にも用いられる。
スーパーミニコンピュータ (スーパーミニコン)	1000万円~ 2億円	1960年代のミニコンがソフト、ハードとともに性能アップしたもの。
ワークステーション (WS)	150万円~ 3000万円	人間とのインターフェースを重視。技術者向けのものをEWSと言う。
パーソナルコンピュータ (パソコン)	1万円~ 300万円	いわゆるパソコン。欧米ではマイクロコンピュータとも言う。
ポケットコンピュータ (ポケコン)	1万円~ 10万円	BASIC語が利用可能で低級パソコンの役割。ポケコン通信も可能。
ファミリーコンピュータ (ファミコン)	~2万円	ゲーム中心だが、電話とつないでファミコン通信も可能。

3. パソコンの構造

ハードウェアにも、本体のほかにフロッピーディスクドライブやハードディスクドライブ、あるいは、プロックタやディジタライザなどの種々のものがあるよう、ソフトウェアにも、大きく分けて、基本ソフトウェアと応用ソフトウェアとがある。本来、コンピュータは、その利用者から見てハードウェアに近い低レベルな処理をなるべく意識しないで使えることが理想であり、ハードウェアとユーザーの仲介役を演ずる基本ソフトウェアとしてOSが発展してきた。しかしながら、現在

のパソコンレベルのOSは、依然としてハードウェア寄りの側面をもっており、プログラマーは常に低レベルの処理を意識しないと使いやすいソフトウェアを開発することが難しく、このことが誰もが気軽にパソコンを使いこなすことができない要因になっているものと思われる。このような事情から、応用ソフトウェアの利用者がより快適にパソコンを利用できるようにするためにOSと応用ソフトウェアの隙間を埋めるべく、オペレーティング環境(OE)と称すべきソフトウェアが開発されるようになってきている。

このような事情を踏まえると、現在ハードウェアとソフトウェアを含めたパソコンの大まかな構成は図-1のようであると言える。ワープロ、表計算、データベース等の現在よく用いられているソフトウェアはこの図でいう応用ソフトウェアに分類される。

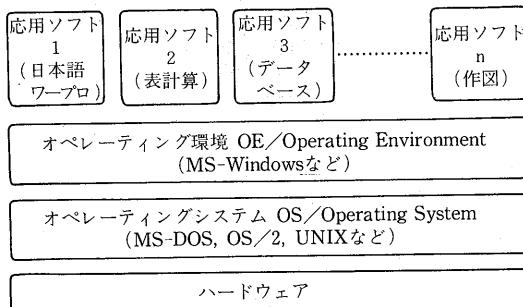


図-1 コンピュータの構成

4. パソコンの舗装技術への適用例

以上、パソコンの歴史と現状を概観したが、このパソコンを舗装技術に応用するとなると、われわれ一般のエンドユーザーにとって、ほぼ、応用ソフトウェアに限定した検討で十分であろう。OSのコマンドを巧みに操ったり、OSやもう少しハードウェア寄りのBIOSなどを直接操作するようなプログラミングを行う人は物足りないかも知れないが、このような立場に立ち舗装技術に対してパソコンで何ができるかについて、1つ1つの要素技術に着目した事例をいくつか紹介し、その後に筆者らの開発したデータ処理技術や市販の応用ソフトウェアを適用した例などについて述べる。なお、ここでは、MS-DOSをOSとする16ビット機を想定しているが、その他のケースについても余り一般性を失わずに当てはまるものと思われる。

4.1 要素技術的な使用例

4.1.1 ファイル処理

パソコンに限らず、コンピュータを用いたほとんど

すべての処理は、何らかのデータを入力して、内部で適当な加工を施し、目的に合った形で外部に出力をするというものである。一般的には、外部記憶装置上のファイルからデータを読み込んで、適当な処理を行った後に別のファイルに書き出すことになる。MS-DOSでは、キーボードやRS-232Cインターフェースなどもすべてファイルとして扱うので、市販の応用ソフトウェアを多用する人にとっても、このファイルの加工技術は重要であろうと思われる。

ファイルの加工は、自らプログラミングを行う場合と、応用ソフトウェアに備わっている機能を用いて行う場合がある。図-2は、カード型データベースの1つであるアスキー社のCARD 2を用いて住所録を作成している画面であるが、それ自身がもっている機能により、作成されたファイルをテキスト型ファイルに変換し、簡単なプログラムを組んで項目を並べ換えて、ジャストシステムの一太郎というワープロに読み込み印刷したもののが図-3である。

TheCARD<訂正・更新>		メモ	0行 呼出: 11回 登録日: 64-01-03
氏名	: 姫路 健		
性別	: メンバー		
勤務先	北海道大学		
所属部署	工学部土木工学科		
職場TEL	011-716-2111	内線(6864)	役職: 助教授
職場所在地	〒 060	北海道	職場FAX: 011-726-2296
	札幌市北区北十三条西 8丁目		
自宅TEL	011-722-0168		
自宅住所	〒 065	北海道	札幌市東区北40条東5丁目
	2番18-402号		
出身大学	東京大学		
生年月日	S 310306	卒年: 昭和 54 年	
	(M=明治、T=大正、S=昭和)		
年齢	34		
奥様の名前	泉	子供の数	: 3 人
年賀状の有無	0 (0:不要、1:要)	不要	喪中: 0 (0:No、1:Yes)
備考	本人		

* カードにデータを入れて下さい。 [おわり:ESCキー] [索引簿参照:/=]

図-2 CARD 2による個人情報入力画面

賃状要			
◆ 横野三平			[東京大学30年卒]
(職) 〒 03-726-1111			〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1
〔宅〕 〒			〒251 神奈川県藤沢市片瀬山4-20-6
昭07年12月24日生(57歳)			賃状要
◆ 姫路 健			[東京大学54年卒]
(職) 011-716-2111			〒060 北海道札幌市北区北十三条西8丁目
(宅) 011-722-0168			〒065 札幌市東区北40条東5丁目2番18-402号
昭31年03月06日生(34歳)			夫人: 泉 子供3人 賃状不要

【次頁】

◆ 深野 淳	建設省近畿地方建設局道路部計画調整課課長	[東京大学54年卒]
(職) 〒 06-942-1141	〒 540 大阪府大阪市中央区千本通4丁目1号館	
〒 0720-51-7881	〒 573 大阪府枚方市	

図-3 CARD 2により作成した住所録の一部

このように、多くの市販の応用ソフトウェアは、MS-DOS 共通のデータ形式であるテキスト型ファイルを仲介としてデータを変換しあえる場合が多いので、異なるソフトウェアを使用しても必ずしもデータを再入力する必要はない。ただし、市販応用ソフトウェアは機能が豊富でこれを使いこなすためにはかなり勉強して熟練する必要があることもある。

4.1.2 グラフィックス

パソコンを使ったほとんどの人が興味を覚えるのはそのグラフィックス機能ではないだろうか。パソコンの入門書には必ずこの種の例題が載せられており、パソコンをいじったことのある人なら誰しも手間暇かけて打ち込んで画面に絵を表示させ感激を味わったことがあるに違いない。パソコングラフィックスはそれほど手軽で、また工夫次第ではかなり高度な図も描くことができる。

通常のパソコンのグラフィックス画面は1画面が縦400個、横640個のマス目から成っており、このマス目1つ1つにいろいろな色をつけた結果がグラフィックスになるのである。すなわち、グラフィックスの基本は指定したマス目を指定した色で埋めることをパソコンに対して指示してやることである。普通にパソコンで用いられている高級言語には直線や円を描いたり、ある領域を指定した色で塗りつぶしたりするための命令が用意されているので、これらを適当に組み合わせて使用すれば良い。

最近は簡単な図をマウスなどのポインティングデバイスを使って作図する市販の応用ソフトウェアが出回っているが、技術者が大量の生データを専門に合わせて加工してそれなりの図を描こうとする細かいニーズを持っていれば、外部のファイルからデータを読み込む機能をもったソフトウェアを用いるか、自分で作図用のプログラムを組まざるを得ない。

以下、独自に開発した作図プログラムの一部を紹介する。

(1) コンター図の作成

領域内になんらかの量が分布しているとき、それらの量の分布状態を見るにはコンター図がよく用いられる。コンター図の描き方はそれほど難しくはなく応用範囲も広い。

例として、等温線を描くことを考えよう。いま、等温線を描こうとする領域を三角形要素で分割し、それらの三角形のすべての頂点で温度の値が求められているものとする。その中の1つの三角形ABCを考え(図-

4)，三つの頂点A, B, Cにおける温度がそれぞれ10°C, 20°C, 30°Cであるとする。この三角形内部の温度は各頂点からの距離に応じて適当に比例配分で求められると考えれば、描こうとする等温線が、10°Cより低いかまたは30°Cより高い場合には、この等温線はこの三角形の中を通らないはずである。もし、描こうとする等温線が15°Cのものであれば、辺ABの中点と、辺ACのA寄りの四分点を通ると考えられるから、この2点を結んでやればこの三角形内の等温線が描けたことになる。もちろん、同じ値の等温線が1つの三角形の中に2本以上描けることはない。このような操作をすべての三角形について行えば、結果的に連続した線として等温線が描けることになる。

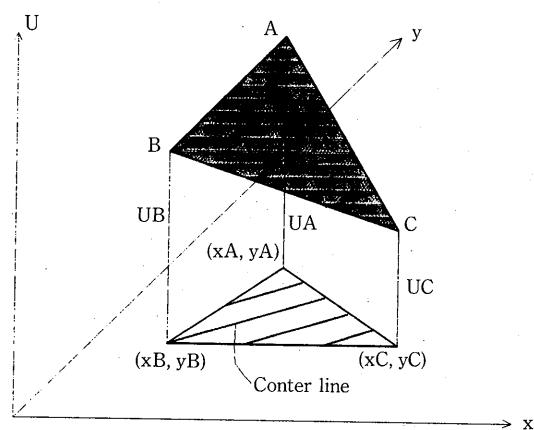


図-4 三角形要素のセンター図

例として、コンクリート舗装版横目地縁部に荷重が作用したときのたわみの値をFEM解析により求め、そのコンター図を描いた例を図-5に示した。

たわみのコンターライン：きざみは0.50E-03

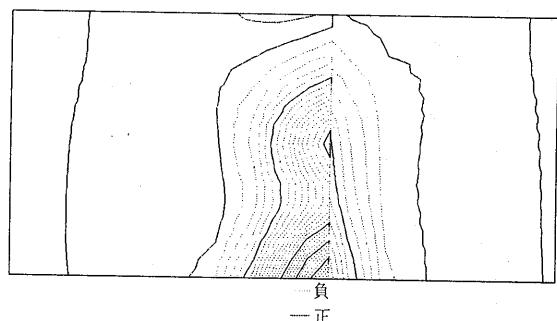


図-5 コンクリート舗装版のたわみ

(2) 透視図の作成⁶⁾

3次元立体を2次元の平面上に表す方法のなかで、

透視図は一番人の直感に訴えるものであろう。これは3次元座標系〔XYZ〕を2次元座標系〔xy〕に変換する簡単な式を使えば簡単に描ける。これは、2次元的な情報をもつ複数の写真から3次元的な座標を求める写真測量の逆変換である。

図-6に示すように、3次元〔XYZ〕座標系に任意の図形を与え、2次元〔xy〕で表されるZ軸に垂直な任意の画面への透視変換を行うことを考えよう。

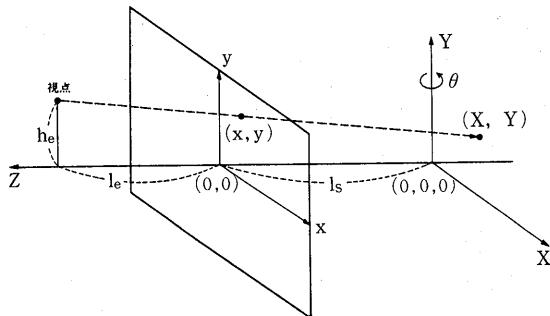


図-6 透視図の原理

3次元座標系上の任意の点(XYZ)の、画面上(xy)への透視変換は次式によって行う。

$$x = \frac{l_e * X}{l_e + l_s - Z}$$

$$y = \frac{Y * l_e + h_e * (l_s - Z)}{l_e + l_s - Z}$$

ここに、 l_s 、 l_e 、 h_e は図-6に示す長さで、それぞれ、3次元座標系の原点と画面との距離、画面と視点との水平距離および視点の高さを表している。もし、この図を θ だけ回転させて斜めから見た図を描きたければ、あらかじめ3次元図形をY軸の回りに $-\theta$ だけ回転させた場合の座標を求めておけばよい。見やすい図にするためには、 l_s 、 l_e 、 h_e および θ の値を試行錯誤的に色々と求めておく必要がある。

図-7にコンクリート舗装版のたわみ形状を透視図に描いたものを示す。

(3) スプライン補間の応用?

2次元のデータが離散的にしか得られていないとき、これを滑らかに結んで表現したり、その間の値を求めたいというようなことがしばしばある。もし、それらのデータに対して成立する関数関係が知られていれば、その関数に含まれるパラメータを最小自乗法によって

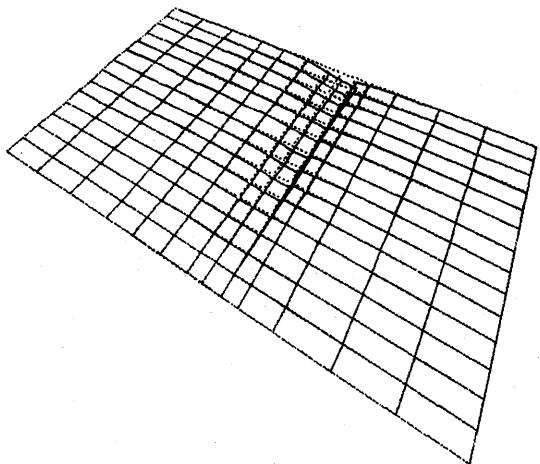


図-7 コンクリート舗装版のたわみ形状

求めることが一般的であるが、単にそれらの点同志をなめらかに結びたいときには関数補間という手法があり、スプライン補間もその1種である。

スプライン補間は、となりあった2点間の間の曲線の関数形をその近傍のデータを中心にして決定するために、1つのデータの値の変動が全体に及びにくいという特徴があり、実験データの整理などに適している。

図-8はFWDのたわみデータからたわみ曲線をスプライン補間ににより求め、レーザープリンターに直接出力したものである。載荷点直下でたわみ曲線が水平になるという条件を加えて解析を行ってある。また、図-9は、コンクリート舗装版の横目地縁部に生ずる曲げ応力の影響線を示したものである。

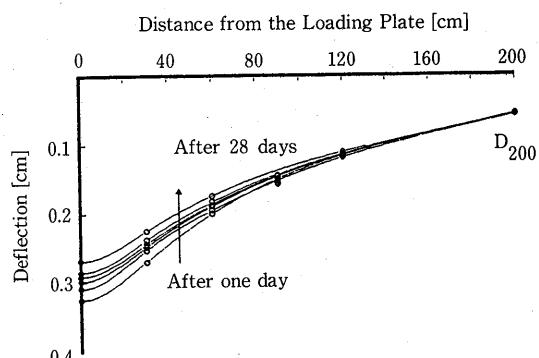


図-8 FWDデータによるたわみ曲線

(4) 3次元棒グラフの作成

データの表現を効果的に行う方法の1つに、グラフ化がある。表の形ではわかりにくい情報も視覚的に表現することにより大変わかりやすくなることが多い。

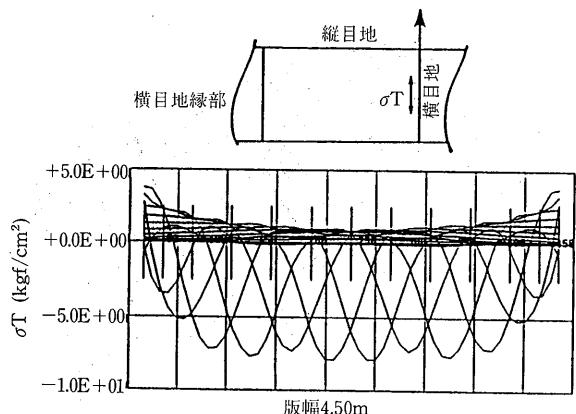


図-9 コンクリート舗装の曲げ応力の影響線

このための応用ソフトウェアも数多く市販されているが、ここでは、3次元棒グラフを自作した例を述べる。

図-10は、メインフレーム上で大量のデータを処理し、その結果をパソコンに取り込み、グラフィックス画面にグラフを描いてレーザープリンター上にハードコピーをしたものである(文字は活字)。この例は、図-8のように直接レーザープリンターに出力したものではなく解像度はパソコンの画面と同等であるが、斜め線は45度線しか用いないように工夫をしているため、ギザギザが目だちにくくなっている。簡単なアルゴリズムながら割合と実用的な図であろう。

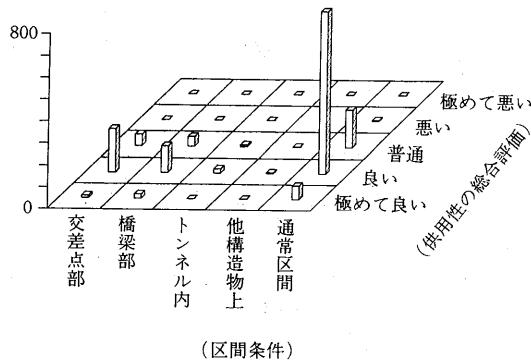


図-10 3次元棒グラフの作成例

4.1.3 周辺装置の利用

(1) ディジタイザの応用

ディジタイザとは、地図などに表現されたアナログ的な図面上の点の座標を読み取り、数字データとして出力できる装置で、結果を直接パソコン等に取り込むことができる。定規を使わずに2点間の距離を測ったり、河川の流路や湖沼の輪郭などの曲がりくねった線

の形状のデータをほぼ原図に忠実にパソコン上に取り込むことが可能である。

ディジタイザの舗装技術への応用例として、温度や載荷速度が与えられたときのアスファルトのスティフネス(剛性)を推定するための道具の1つであるVan der Poelのノモグラフを紹介する。これを用いるためには決められたルールに従って図の上を順に定規を動かしながら目盛りを読み取る必要があるため、コンピュータ処理に馴染みにくく、重回帰分析を行って数式化する努力も行われている⁹⁾。しかしながら、このノモグラフがカバーするスティフネスの範囲は大変広く、精度の高い回帰式を得る事は容易ではない。図-11は、ディジタイザを用いてノモグラフ上のすべての格子点とルーラの目盛りの座標を読み取り、人間が定規をあてながら行う処理とまったく同じことをパソコン上で再現してスティフネスを求め、通常の方法によるものと比較したものである。すべてのケースにおいてほぼ同一の値となり、コンピュータシミュレーションプログラムに組み込むことが可能となった。

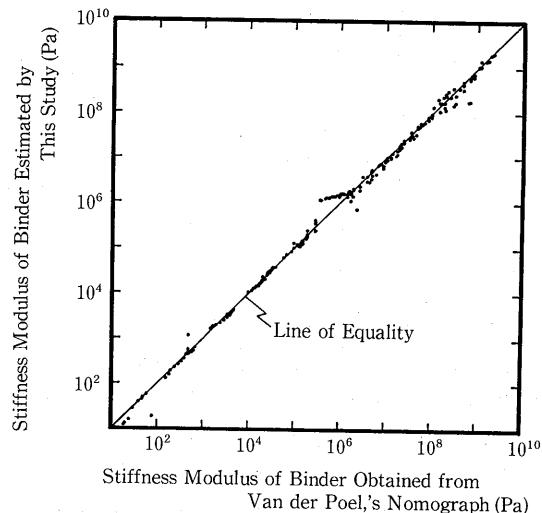


図-11 Van der Poel のノモグラフによる定規を用いた読み取り値とディジタイザを利用したコンピュータプログラムの計算値とのスティフネスの比較

(2) モデムの利用

モデムとは、パソコンで処理しうる直流のディジタル信号を電話回線で用いられる交流のアナログ情報に変調したり、逆にアナログ信号をデジタル信号に復調するための装置で、変復調機とも呼ばれる。通常図-

12のようにパソコンと電話機の間に接続され、遠く離れたパソコン間でデータの送受信をするために用いられる。もちろん、片側または両側がパソコン以外のコンピュータであってもかまわない。

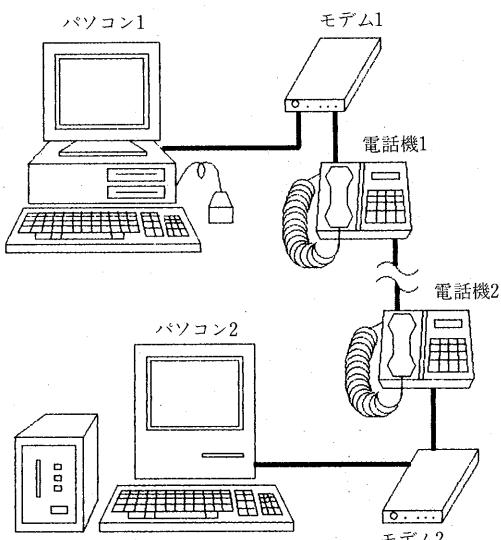


図-12 パソコンとモデムの接続の方法

このモードムを用いた処理の1つに、パソコン通信がある。電話機を用いて話し合うかわりに、パソコン間で文字などのデジタル情報を伝え合うのであるが、PC-VANやNifty-Serveなどの第3者が提供してくれるネットワークサービスを利用し、相手に対する通信内容を一時的にこのようなサービスで設けられたメールボックスに書き込むことにより、受信側は好きなときにそれを受け取って内容を確認することができるようになる。相手が不在であっても情報の伝達をすることができるし、相手が複数であってもほぼ同一の手間でメールを同時に送ることができ、電話の迅速さと手紙の正確さの両者を合わせ持った情報伝達方法といえよう。現場で得られた一まとまりのデータを事務所から本社へ伝え、それを本社で解析して会議の資料を作成する場合とか、本社から複数の支店や事務所に早急に文書を通達する場合など、手間も時間も相当の低減が期待できるものと思われる。

筆者らは、プログラム、データやメールの伝達のためのパソコン通信や、研究室および自宅からの大型計算機センターの利用などのためにモードムを活用しているが、可搬性の高いノート型パソコンやコードレスの車用電話等を利用すれば、現場で得られるさまざまなデータをリアルタイムに解析したり本社に送ることも

不可能ではない。

ちなみに、参考文献6)に掲載されているプログラミストは、このような方法により、共著者間でデータの送受信を繰り返しながら修正を加えて、メインフレーム用のプリンターで出力したものである。

(3) A/D変換機

電流や電圧などの測定装置からのアナログ信号をコンピュータで扱えるデジタルデータに変換するのがA/D変換である。たとえば変位計から出力された信号をパソコンで読み取り、リアルタイムで荷重-変位曲線をCRT画面上に表示させたいというような場合に用いる。

4.1.4 シミュレーション

(1) モンテカルロ法¹⁰⁾

対象とする世界の現象をある仮定の下でモデル化して、その現象を擬似的に再現することをシミュレーションという。実験室で実際の現象のモデルを作成し、模擬実験を行うのもシミュレーションであるし、コンピュータ上で数値的に行うのもシミュレーションである。モンテカルロ法は、この数値シミュレーションの1種であり、乱数を数多く発生させることによって確率変数であるパラメータの変動の影響を知ろうとするものである。繰り返しを基本とするこの方法はコンピュータによくなじむが、繰り返しの回数が非常に多い場合には計算時間が非常に長くかかることがある。

モンテカルロ・シミュレーションにおいて重要なのは、ある分布を持った確率変数をその分布に従った頻度で発生させることであり、あとはモデルに従って確定論的に作業が進行していく。図-13は、このモンテカルロ法を用いて、コンクリートの路盤K値の変動がコンクリート版の曲げ応力に及ぼす影響を調べたものである。

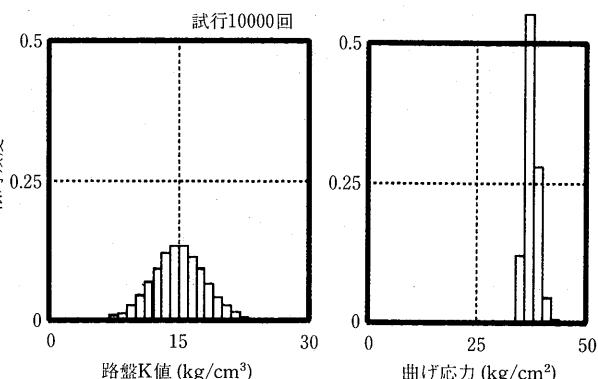


図-13 路盤K値の変動がコンクリート版の曲げ応力に及ぼす影響

4.2 補装技術にパソコンを用いたシステムの開発例

4.2.1 FEMのプリ・ポストプロセッサ¹¹⁾

ご存じのように、FEMにおいては対象とする構造物を小さな有限要素（エレメント）に分割し、そのエレメントごとに近似的な方程式を作りそれらを合成して、与えられた微分方程式を連立1次方程式に帰着して解くといった過程をとる。要素分割を細かくすれば精度も上がるわけであるが、必要なメモリや時間が増えるためコンピュータの能力によって制限を受けることになる。従来、このような計算は高速大容量のメインフレームの独壇場で、パソコンでは夢にすぎなかつたが、最近のハードの進歩はめざましいものがありこのような計算もパソコン上で可能になりつつある。その上、パソコンのグラフィックスを含むマンマシーンインターフェースの良さを利用すれば、より使い安いFEMシステムの構築も可能であろう。ただし、現状ではやはりFEM本来の計算はパソコンでは荷が重すぎる。それよりもそれぞれの

コンピュータの特性を活かして、FEM本来の計算はメインフレーム、FEMのデータ処理はパソコンで行うといった形で使い分け、全体として効率的なFEMシステムを構築していくことが現状では最善ではなかろうか。このような意味から、ここではパソコンを用いたFEMデータ処理（プリ・ポストプロセッサ）について述べよう。

(1) 入力データ処理（プリプロセッサ）

入力データには材料特性に関するもの、要素分割に関するもの、境界条件に関するもの、荷重条件に関するもの、およびオプションがある。このうち、最も手間が掛かるのは要素分割に関するもので、一度でもFEMを使ったことのある人ならおわかり頂けると思うが、大変な時間と労力が必要となる上にケアレスミスが避けられない。これをある程度自動化し、対話形式で行えるようにしたのがプリプロセッサである。このような対話形のデータ入力はパソコンの得意とするところである。例えば筆者はコンクリート舗装の平板FEMのプリプロセッサを作った（未完成品）。大型車の後軸をコンクリート舗装上で自由に移動させて適当な位置に固定すると、そこに大型車後軸が作用した時の構造解析を行う要素分割を自動的に生成する。もし後軸の位置や要素分割が気に入らなければ適当に修正することがで

きる。要素分割の1例を図-14に示した。このプリプロセッサを使用すると、要素分割に関する知識はまったく必要なく、コンクリート舗装のFEM解析が行える。この程度のプリプロセッサなら、例えば舗装の構造というように解析対象を特定すれば比較的簡単に作成できる。汎用タイプのものを作ろうとすることはかなりのプログラムになる。

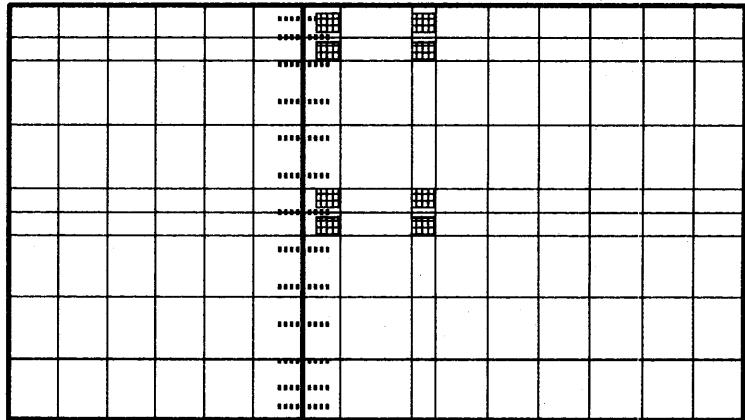


図-14 プリプロセッサによる要素分割

(2) 出力データ処理（ポストプロセッサ）

FEMの出力データは、一瞥すると単なる数字の羅列であり、じっくりみると目が回る。このような数値データから構造物の力学的な挙動を判断することは無理で、なんらかのデータの加工が必要になる。人間が優れているのは图形などのパターン認識の能力であるから、これらのデータも図化してみるとわかりやすい。そのような図としては変位図、応力図、コンター図など、必要に応じてある断面に沿った分布図などがある。これらの出力例については次の ESCOP の項に譲る。

4.2.2 ESCOP (Evaluation System of Concrete Pavement)¹²⁾

ESCOPEは与えられたコンクリート舗装の構造条件の下で、交通荷重に対する力学的な挙動を予測し、その全体的な状態を图形情報として提供し、必要に応じて疲労解析を実行して疲労度を計算できる機能を有している。システムは図-15に示すように、①入力サブシ

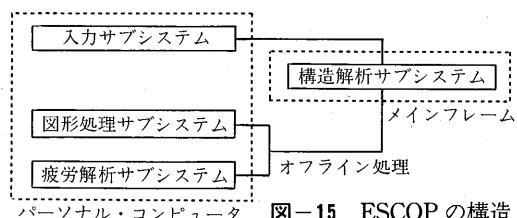


図-15 ESCOP の構造

システム、②構造解析サブシステム、③図形処理サブシステムおよび④疲労解析サブシステムの4つのサブシステムから構成されている。先の項で述べたプリポストプロセッサを含んだ典型的なFEMシステムといつてよい。入力サブシステム、図形処理サブシステム、疲労解析サブシステムはパソコンを用い、構造解析サブシステムはメインフレームを用いる。パソコンとメインフレームの間のデータ変換は、現在のところオフライン処理となる。これは著者のコンピュータがネットワーク環境下にないためであり、将来そうなればこれらはすべてオンラインで行える。以下それぞれのシステムについて説明する。

(1) 入力サブシステム (プリプロセッサ)

コンクリート舗装の構造条件（路盤、横目地を含む）、交通荷重を入力することにより、構造モデルに必要な入力データを作成する。

入力するデータには①コンクリート版に関するデータ、②コンクリートの材料特性に関するデータ、③路盤構造に関するデータ、④横目地構造に関するデータおよび⑤交通荷重に関するデータがある。すべての入力データにはデフォルト値が与えられており、重要度

の低いデータについては自動的に標準値が設定される。入力は対話処理形式なため、入力の誤りの訂正は容易である。明らかなように、FEM特有の入力データ（要素分割に関するデータ）は必要なく、それらはすべて自動的に生成される。生成されたデータは1つのファイルに納められ、オフライン処理によりメインフレームのデータセットに移される。メインフレームにおいてFEM本来の計算を実行し、その結果を1つのファイルに格納しておく。

(2) 図形処理サブシステム (ポストプロセッサ)

計算結果をオフライン処理でパソコンに移し、その結果を①たわみ形状の立体図、②主応力方向図、③等たわみ、等応力、等ひずみ図、④ある断面に沿ったたわみ、応力、ひずみの分布図、⑤スリップバーの応力分担図、⑥1本のスリップバー内の応力分布図などの図形情報として提供する。

これらの表示の選択はメニュー方式であり、グラフの形式やスケールの決定はすべて対話形式によって行えるので、目的に応じた図形を得ることができる。出力例を図-16に示す。

(3) 疲労解析システム

コンクリート舗装の疲労解析は、コンクリート版の設

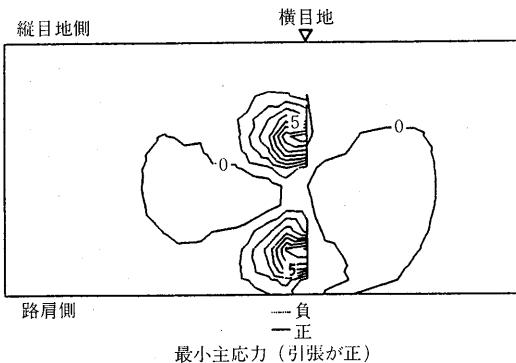
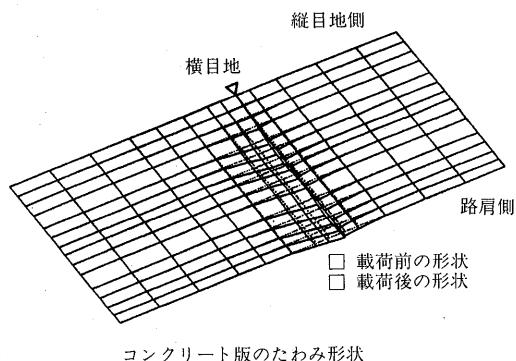
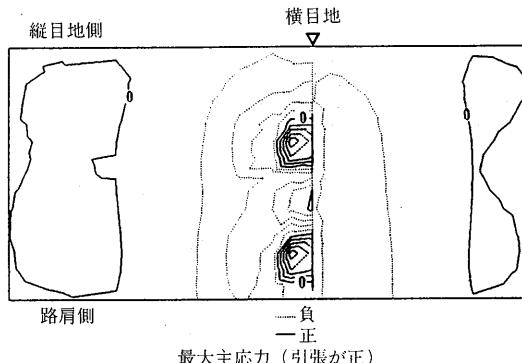
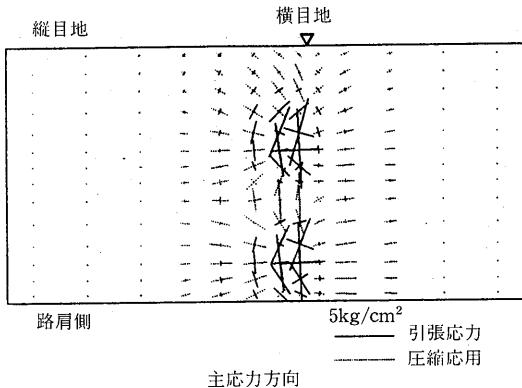


図-16 ESCOP の図形出力の例

計寿命内に発生する荷重応力と温度応力の合成応力の頻度分布を求め、この頻度分布にマイナーリー則を適用して疲労度を計算することによって行われる。

荷重応力の頻度分布は、車輪の輪重分布とその走行位置分布、構造モデルにより計算された応力影響線から求めることができる。車輪の重量分布は過去の測定データを参考にし、5t以上の大輪荷重についてその頻度分布をシフト指數分布に近似した。走行位置分布は次項で述べるTLAMによる測定結果を用いる。また、温度応力の頻度分布はセメントコンクリート舗装要綱による。

出力は目地縫部に沿った各点の疲労度として表示される。図-17は出力の一例で、国道8号のコンクリー

ト舗装について疲労解析を行った結果である。目地縫部に沿った各点における応力レベル（合成応力／曲げ強度）の相対頻度分布、大型車の車輪走行位置分布、および疲労度の関係を示している。

4.2.3 TLAM (Traffic Load Auto Monitoring)¹³⁾

TLAMは、スイッチを道路の横断線上に一定の間隔で並べこれをメインスイッチとし、車輪の通過位置を計測するものである。また本測定装置では路面上にある間隔でトリガースイッチが設置しており、これとメインスイッチ間の通過時間によって走行速度も計測できる。これら1軸のデータを時系列でシーケンシャルに記録しておき、これを処理してある地点でのオイラ的な交通流データを得る。装置の概要は図-18に示すとおりで、測定装置は検出部であるマットスイッチ、信号制御部であるデータロギング装置、データ処理部であるパソコンの3つの部分から構成する。細かい説明は省くが、このシステムにおいてパソコンはデータの転送、記録、後処理を担当している。

データの記録結果の例は図-19のとおりである。1車軸分のデータは14byteであり、この1軸のデータが時系列で記録されている。これらの軸データからまず、車輪位置、トレッド幅、車輪種類（2輪車、シングル、ダブル）、通過速度を計算し、これらの軸データをある規則のもとで組み合わせて車両データを作成する。あとはこのデータから車種別交通量、速度分布、車頭間隔分布、走行位置分布などの情報をいろいろな組合せで得ることができる。生データの基本構造は非常に単純なので、ユーザのニーズに合わせていかようにも（自分で）加工できるという大きな利点がある。TLAMの出力例を図-20に示した。

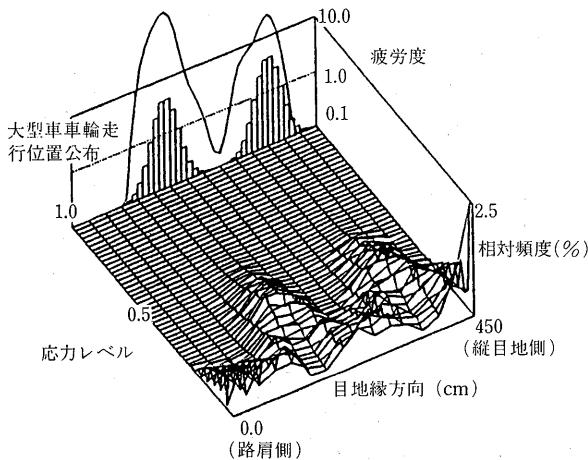


図-17 ESCOP の疲労解析の出力の例

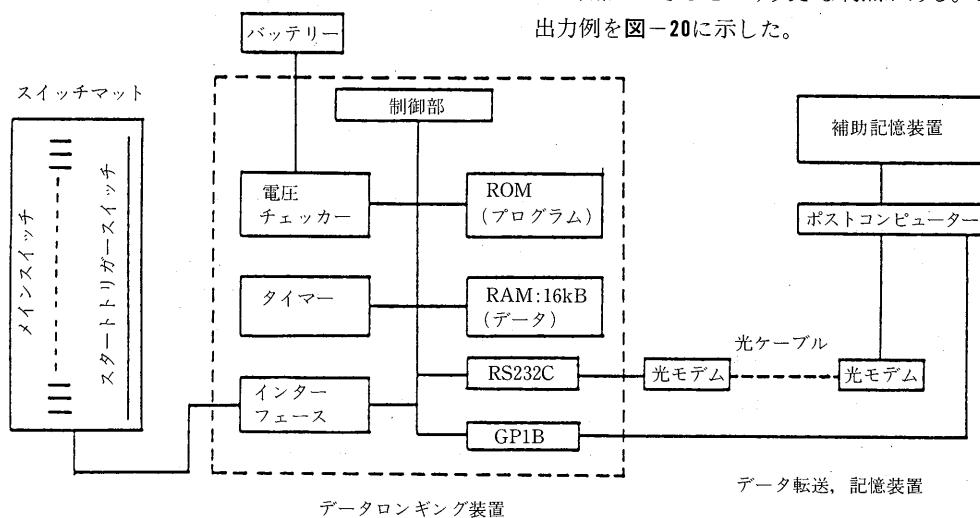


図-18 TLAM の機器構成

図-19 TLAM のデータ構造

4.2.4 ELSA (Elastic Layer System Analysis)¹⁴⁾

ELSA は、パソコン上で利用可能な多層弾性構造解析プログラムであり、半無限多層弾性地盤内の応力、ひずみおよび変位の解析を行うとともに、4.1.2で示したコンター図を描くことができる。詳細は文献14)に譲るが、現在でも若干の改良を加え続けており、最新バージョンはV6.3（1990年4月23日修正）である。なお、本プログラムはPDSとして無償で入手することができる。

4.2.5 LMBS (Layer Modulus Backcalculation System) ¹⁵⁾

LMBS は、フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ (FWD) 等のたわみ測定装置によって得られたデータから、舗装各層の弾性係数を非線形最小自乗法の原理によって逆解析するためのプログラムであり、ELSA の解析部分をサブプロシージャとして内包し、ELSA 同様、Borland 社の Turbo Pascal によってコーディングされている。このプログラムは、原理的にはたわみ測定点と同数かそれ以下の数の層の弾性係数を同時に

推定することができる。この条件を満たしていれば、
弾性係数が未知の層は舗装のすべての層でも一部の層
だけでもかまわない。

図-21は、LMBSによって推定された弾性係数を与えて計算した路面たわみと、実測の路面たわみを比較したものである。もともと、この両者が一致するように弾性係数を計算しているので、ある程度一致する

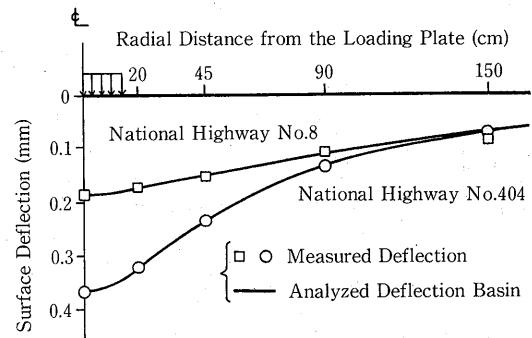


図-21 LMBSによる推定弾性係数を用いた解析たわみと実測たわみの比較

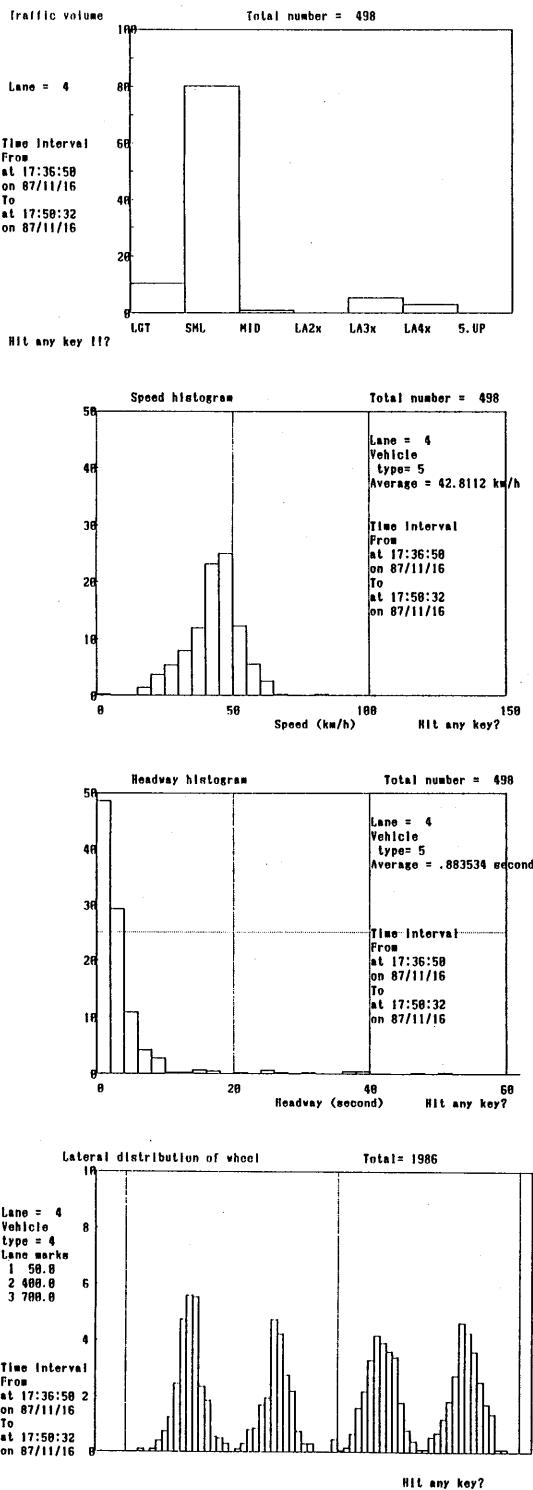


図-20 TLAM の出力の例

は当然であるが、逆解析結果の妥当性の検証になろう。なお、計算量が非常に膨大であるため、このプログラムを用いるためにはハードウェア的にかなり高速な処理ができるように配慮することが好ましい。

4.2.6 補装体内温度の推定システム¹⁶⁾

舗装の内部、とりわけアスファルト混合物層の温度は、直接それによって舗装の破壊が起こるか否かにかかわらず、舗装の設計、維持修繕等にとって極めて重要な因子であることは言うまでもない。この舗装内部温度を知るためにには、直接測定する他に、経験的または理論的に推定する方法がある。このうち、純粹に理論的に舗装温度を推定することは、ある境界条件のもとに拡散方程式を解く問題に帰着できるが、もっとも簡単な1次元の場合でも、境界条件の取り方、材料の熱的な性質の定量化を含めて未解決の問題が多く、しかも数値解析的に有限要素法や差分法などによって解かなければならないため、舗装工学上あまり一般的に用いられてはいない。

筆者らは、このような問題点を実験的、理論的に解決しつつ、AMeDASの気象データのみを入力条件として舗装の内部温度を時時刻刻かなり高い精度で推定するシステムを開発した。図-22は、この方法によつて解析した温度と、実測の温度とを比較したものである。非常に高い精度で推定が可能だし、ある時点での路面温度が測られていれば、この誤差がさらに小さくなるように補正が可能である。

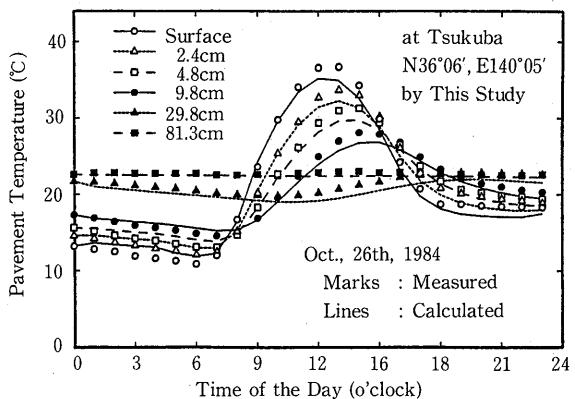


図-22 パソコンによる気象データからの舗装内部温度分布の実測値との比較

4.3 市販ソフトを用いた例

4.3.1 スプレッドシートソフト

スプレットシートソフトは表計算ソフトとも呼ばれ、表形式でデータあるいは計算式を埋め込み、縦横計算、並べ替え、検索等を簡単な操作あるいは命令によって行ってくれる。有名なものにLotus社のLotus 1-2-3,

Micro Soft 社の MS-Multiplan, Micro soft 社の MS-Excel 等がある。この種のソフトの特徴は、一旦表を完成させてしまった後でも、データを変更すれば関連した計算を再び自動的に行うフィードバックシステムをもっていることである。また表形式での表示を基本としているので理解しやすく、プログラムの知識がなくても簡単な計算やグラフィックス処理を実行できる。このグラフィックスは便利で、ちょっとした図であれば大変簡単に描くことができる。さらにマクロとよばれる特有のプログラム言語が用意されており、使いようによってはかなり高度な数値計算、シミュレーション、データベースなどの処理も可能である。欧米のビジネス分野におけるパソコンの爆発的な普及は、このスプレッドシートソフトによるところが大きいといわれている。

ここではスプレッドシートの代表格であるLotus 1-2-3を用いたアスファルト混合物の骨材配合比の決定の例を挙げよう(図-23)。配合比の数字を変えるとそれに伴って合成粒度の欄が再計算されて変更されていく。その時の合成粒度と予定粒度を比較しながら、使用骨材の配合比を決めて行けばよい。この表を内蔵のグラフィックス機能を用いて描くことも容易である。

4.3.2 データベース

パソコンの持つ機能のうち、忘れてはならないものの1つに、データを大量かつ高速に記憶する機能がある。ハードディスクなどの外部記憶装置の性能次第では、その記憶量はほぼ無制限に思える。そして、その記憶されたデータの中から、目的に合ったものだけを抽出したり、あ

るいは、あるルールにしたがって並べ変えたりすることができます。このような機能は、室内における実験データの整理、現場における施工実績の管理、実道の維持補繕記録の集計など、ありとあらゆる場合に活用することができる。

アスファルト協会のアスファルト舗装技術研究グループでは、過去十数年分の海外の主要文献を容易に検索できるように、テグレット社の知子の情報というカード型データベースソフトを用いた文献検索システムを開発中である。舗装工学に関わる用語を樹形図的に体系化し、全ての文献にこれらの用語をキーワードとして与えて、論文の内容から検索する場合の便利さを考えている。図-24は、例として、2600余りの全登録文献に対して「FWD」をキーワードとして検索を実施したもの一部を示したものである。

HERBERT F SOUTHGATE; ROBERT C DEEN

deflection behavior of asphaltic concrete pavements

(01) AAPT: 44;1;264-279;1975

4122 ダイナフレクト, 4123 FWD, 1211 厚さ, 1622 舗装温度,

4129 + 舗装構造評価機器

A. I. M. CLAESSEN; C. P. VALKERING; R. DITMARSCH

pavement evaluation with the Falling Weight Deflectometer

(01) AAPT: 45;1;122-157;1976

4123 FWD, 1218 変位, 1211 厚さ, 7230 維持管理システム

R. C. KOOLE; W. VISSER

design and evaluation of airport pavements

(01) AAPT: 48;1;507-540;1979

6310 空港舗装, 1531 輪・軸荷重, 4123 FWD, 8135 多層弾性プロ,

1300 アスファルト舗装設計

BIBBEN, R. F; BELL, C. A; HICKS, R. G

effect of season of year on pavement response

(02) TRR: .;993;1-11;1984

4122 ダイナフレクト, 4123 FWD, 1211 厚さ, 1623 凍結融解,

16°

図-24 パソコンによる外国文献検索システムの出力
例 (キーワード: FWD)

骨材配合比の決定

骨材名 配合比(%) フルイ目(mm)	碎石特6号 36	碎石7号 24	砂 28	フィラー 12	合成粒度 100	予定粒度
20.000	100	100	100	100	100.0	100
13.000	95	100	100	100	98.2	95
5.000	6	100	100	100	66.2	65
2.500	0	23	89	100	42.4	43
0.600	0	1	36	100	22.3	24
0.300	0	0	20	100	17.6	18
0.150	0	0	2	93	11.7	11
0.074	0	0	0	83	10.0	6

図-23 スプレッドシートによる骨材配合比の決定

4.3.3 グラフィックスソフト

グラフィックスソフトには、4.3.1で述べたようなスプレッドシートのグラフィックス機能を補い、表形式のデータをより多様な図で表現できるようにしたものと、マウスなどのポインティングデバイスを使って絵を描くものがある。前者にはMicro Soft社のMS-Chartがあり、Lotus 1-2-3やMS-Multiplanで作成したデータをそのまま使って注釈や見栄えを良くする飾り付けを含んだいろいろなグラフを描き、一太郎などのワープロに組み入れてレポートにまとめるといった作業を行うことができる。図-25はアスファルト誌168号の石油アスファルト需給統計資料からの内需実績のデータをMS-Chartで図にしたものである。この程度の図であればデータ入力も含めて1時間余りで完成する。

もう1つのグラフィックスソフトにお絵かきタイプのものがある。俗にCADソフトとも呼ばれることがあるが、CADとは本来、形状データベースに基づき設計計算や自動製図をコンピュータの支援によって統合的に行うことでのいささか意味が異なる。パソコンにおけるCADソフトは製図におけるペンとドラフターの機能をコンピュータ上で実現させるといった程度にすぎない。その代表的なものは花子（ジャストシステム）で、レポート中の説明用の図を作成する際に便利なソフトである。センター図の説明のための図-3はこの花子によって描いたものである。图形を切ったり貼ったり伸ばしたり縮めたりといった修正変更が容易なのが便利であるが、ドットプリンターを用いたため、直線以

外の線はやや粗い感じがする。

4.3.4 景観シミュレーション¹⁷⁾

土木構造物は機能性だけでなく、特に最近、周辺環境との調和が重視されている。そうなると、あらかじめ計画段階において周辺景観との調和を考慮しなければならない。いまのところ景観評価のための定量的な手法は確立されておらず、構造物の完成した姿を視覚化した代替案をいくつか作成し、モニタリングを行って最終的には人の主観的な判断に委ねるという手段が一般的である。その作業のなかで大変なのは構造物の視覚化すなわち景観シミュレーションであり、それには透視図や写真合成（モンタージュ）のようなものが用いられる。最近はその作業にいわゆるコンピュータ・グラフィックス（CG）を利用しようという動きが盛んである。CGはそのレベルにもよるが、特にモンタージュに匹敵するような絵を描こうとするとその計算量は膨大で、とてもパソコン程度では手に負えるものではないと考えられてきた。ところが最近のパソコンハードの進歩にはめざましいものがあり、若干の投資を行えばある程度の景観シミュレーションが可能になりつつある。ここではその1例としてパソコンによる橋梁の景観評価シミュレーションシステムについてご紹介しよう。

景観シミュレーションの概念図を図-26に示した。基本的にはモンタージュと同じ考え方で、原風景の写真をイメージスキャナで取り込み、そこにCADによって作成した橋梁のパースをはめ込み、多少の修正を試行錯誤的に加えて最終的な絵をスライド、写真あるいは

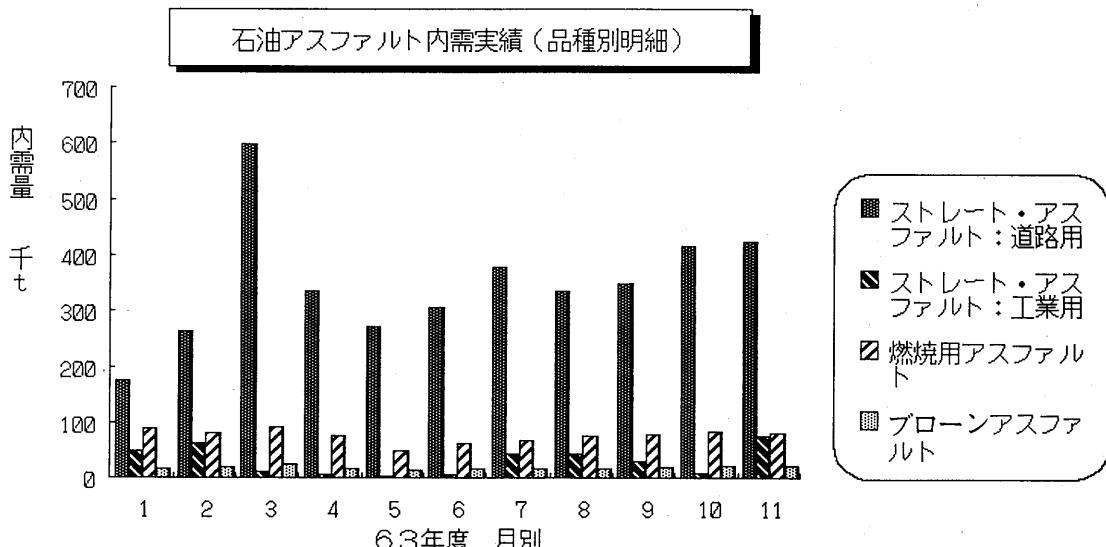


図-25 MS-Chartによる作図例

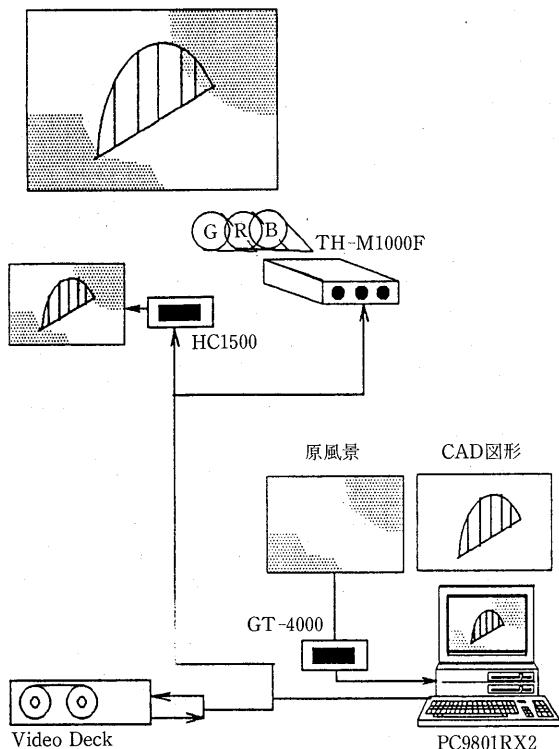


図-26 橋梁景観シミュレーション概念図

はOHP用シートに出力する。

必要な装置としては、高解像度のイメージスキャナ（エプソン社製、GT4000）、パソコン（NEC社製、PC9801RX）で写真の画像をフルカラー表示させるためのフレームバッファ（デジタルアーツ製、Hyper Frame）、橋梁の3次元パースを描いて背景と合成するプログラム（C言語で作成したオリジナル）、画面の細部修正をドット単位で行えるお絵かきソフト（デジタルアーツ製、彩子）、合成画面のハード・コピー（東芝製、HC1500）、これら全体の処理に必要な2 MBのRAMボード、40MBのハードディスクである。

図-27に景観シミュレーションの手順を示した。写真-1がシミュレーションの最終成果である。橋梁の形式、色彩はCADによって容易に変更が可能なため、まさにシミュレーションの名にふさわしい。このようなシミュレーションがパソコンレベルでも可能になったことを見るにつけて、コンピュータ技術の進歩に驚かされる。

4.3.5 プレゼンテーション用ツール

個人、グループ、企業などが成し遂げた成果を、他の人に説明する機会というの非常に多い。このような説明をプレゼンテーションというが、日本人はとか

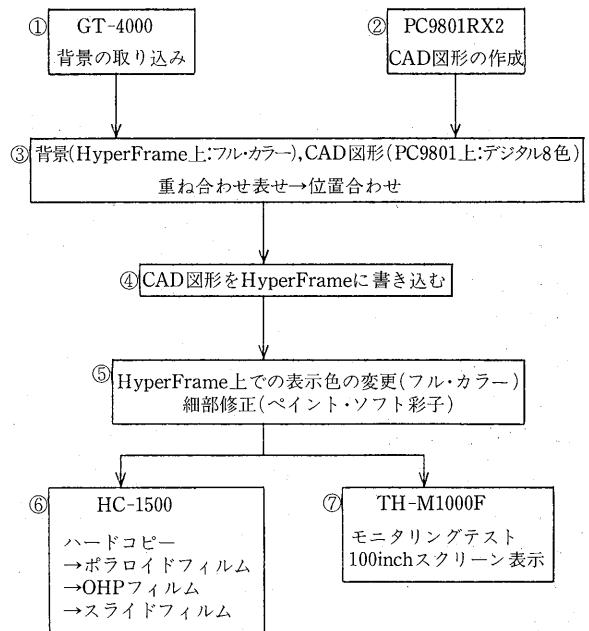


図-27 シミュレーション手順

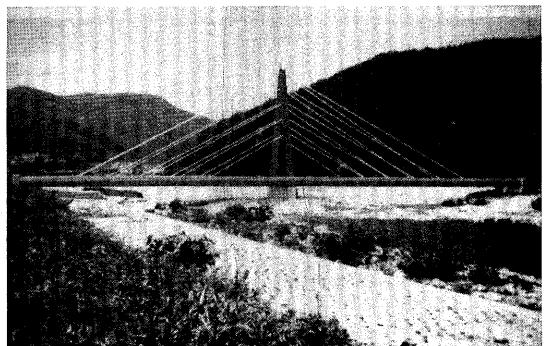


写真-1 景観シミュレーションの出力

くこのプレゼンテーションが苦手といわれている。実際国際学会などにたまたま参加したりすると、本当にこのことを実感する。文化や教育の違いもあるうが、欧米のプレゼンテーションに関するハード・ソフト両面が非常に完備されている。最近はこのようなプレゼンテーションにおいて、その資料作成から実際の発表までを支援するコンピュータ・ソフトおよびその周辺機器が開発され、欧米では盛んに利用されている。国際学会などで美しくレタリングされたスライドやOHPによる発表を見た方も多いと思うが、そのようなプレゼンテーション用の資料を作成するにはかなりの技術が要求され、従来専門の業者に委託するのが通例であった。しかし、それらを持ちのパソコンによって作成するシステムが開発されてきている。筆者もまだ詳

しくは知らないが、雑誌などから得た知識から若干紹介させていただく。

(1) ソフトウェア

プレゼンテーション資料作成のソフトは、DTP(ディスク・トップ・パブリッシング)で用いられるものとほぼ同様のグラフ、表作成用のそれである。ただプレゼンテーション用のものは、字体が大きさも種類も豊富で、また他のソフトによって作成した図表を適当に切り貼りしたりすること(イメージカッター)、プレゼンテーションの台本を作成、編集すること(スクリプトエディター)、実際にプレゼンテーションを行う際に時間調整を行い、図表を台本に合わせて表示すること(プレゼンター)などの機能がある(らしい)。

そのようなソフトとしては、Bright Bill Roberts Co. 製、Show Partner、ナルボ社製、OverLook Ver.1.0、内田洋行製、舞&和、アドミラルシステム製、ザ・プレゼンテーションなどがある。資料作成だけであれば、普通の図表作成ソフトで図を作成し、それを次項で述べるような装置によってスライドやOHPに転写すればよい。日本ではこの分野はまだまだ遅れているようだ、おなじみのマッキントッシュのパソコン(Mac)にはこの種の便利な道具が豊富に揃っている。

(2) ハードウェア

パソコンを使ってプレゼンテーションを行おうとすると、CRT画面を大画面に投影する必要がある。大型のディスプレー(TV)を用いる方法がすぐ思い浮かぶが、コンピュータ用の出力装置としてはかなりの高性能が要求されるため相当高価になる。比較的手軽な方法は、OHP用液晶スクリーンユニットを用いる方法である。これは、OHP用のトランスペアレンサーの代わりに、ラップトップパソコンなどで用いられる液晶パネルをプロジェクターの上に置いてコンピュータ画面を直接投影する装置である。液晶を用いているため、現在のところコントラストやむらなど表示品質に若干の問題があるが、装置の価格が20~30万円程度と大型ディスプレーほど高価ではない点に魅力がある。また、今後技術の展開によって表示の品質も改善され、こと

によるとカラー化も実現するかもしれない。

もし、プレゼンテーション自体をコンピュータで行うことせず、その資料であるスライドやOHPシートの作成にパソコンを利用したいのであれば、それ用の装置がある。パソコンの画面をスライドや写真に直接印画するカラーフィルムコーダがあるし、最近の高品質カラープリンターはOHPシートに直接プリントアウトできるものが発売されている。これらを用いれば、比較的容易にパソコンで作成した図表を用いたプレゼンテーション用資料が作成できる。しかもこれらのスライドやOHPシートはカラーなので、見目麗しい説得力のある図表として示すことができ、(もちろん、発表者の発表技術とあいまって)効果的なプレゼンテーションが可能となろう。わが国においてもプレゼンテーションの重要性は広く認識されつつあり、今後この種のパソコン用ツールにもさらなる展開が予想される。

5. おわりに

ビジネス用16ビットパソコンが発売されてからわずか8年、高度産業社会から高度情報化社会への転換期にさしかかり、大学における学部や学科も「情報」または「バイオ」という語を含め新設が比較的容易であるとも言われる時代である。この8年間にパソコンはソフトの面でもハードの面でも著しい進歩を遂げたが、このような段階でパソコンが舗装技術にどのように役立つかを振り返ってみると、工夫次第では、現時点でも想像以上に役に立つようであるし、これからますます使いやすくなっていくものと思われる。新入社員が大学時代にぜひ身につけておいて欲しい技術に、英会話とパソコン操作があるという話をしばしば耳にするが、このことはすでに舗装業界でもパソコンのオペレーターが不足していることを物語っている。

社会全体が転換期にある現在、舗装工学の分野のみが取り残されることが好ましいはずではなく、産学官が協力してパソコンを積極的に取り込んでいく努力が必要ではあるまい。

— 参考文献 —

- 1) 大林芳郎：高度情報化社会への視座、JACIC情報、Vol.1, No.4, p.1, 1986
- 2) 坂村 健：TRONからの発想、岩波書店
- 3) 中村英夫、村井俊治：測量学、技報堂
- 4) テクノポリス編集部：日本のパソコンの歴史、テ

- クノポリス、第6巻、第6号、pp.117-136, 1989
- 5) 姫野賢治：土木工学に関するパソコン用応用ソフトウェアの紹介、土木学会誌、Vol.72, pp.91-101, 1987年11月
- 6) 戸川隼人：BASICによる有限要素法の基礎、サイ

- エンス社, 1985, pp.136-137.
- 7) 土木学会: 土木情報処理の基礎—FORTRAN77に則して—, 丸善, pp.224-246, 1988
 - 8) 渡辺力, 名取亮, 小国力: 数値解析とFORTRAN, 第3版, 丸善, pp.709-710, 1983
 - 9) Shahin, M.Y. : Design System for Minimizing Asphalt Concrete Thermal Cracking, Proc. of 4th ICSDAP, pp.920-932, 1977
 - 10) 伊藤學, 亀田弘行, 黒田勝彦, 藤野陽三共訳: 土木建築のための確率統計の応用, 丸善, pp.297-356, 1988
 - 11) 西澤辰男, 福田正, 松野三朗: パソコンによるコンクリート舗装のFEM解析図形処理システム, 土木学会年講概要集, 第5部, 1988
 - 12) 西澤辰男, 福田正, 松野三朗: コンクリート舗装版の疲労ひびわれに関する研究, 土木学会年講概要集, 第5部, 1989
 - 13) 梶川康男, 西澤辰男, 枝本正信: 可搬式自動車交通流自動観測システムの開発, 土木学会論文集, No.391/VI-8, pp.107-114, 1988
 - 14) 姫野賢治: パソコンによる舗装の多層弾性構造解析, アスファルト, Vol.32, No.161, pp.65-72, 1989
 - 15) Himeno, K., Maruyama, T., Abe, N. and Hayashi, M. : The Use of FWD Deflection Data in the Mechanistic Analysis of Flexible Pavements, Proc. of the 3rd Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, 1990 (in printing)
 - 16) 姫野賢治, 渡辺 隆, 勝呂 太: アスファルト舗装の内部温度の推定に関する研究, 土木学会論文集, No.366/V-4, pp.123-132, 1986年2月
 - 17) 近田康夫, 城戸隆良, 小堀為雄: パーソナルコンピュータ上の橋梁景観シミュレーションシステムの構築, 構造工学論文集, Vol.36A, pp.543-550, 1990
 - 18) The Computer, 日本ソフトバンク, No.24, pp.152-176, 1989.7.

日本のアスファルト事情 1989年版

B5・48ページ・実費価格 ¥700(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
纂致しました。

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2丁目6番7号
和孝第10ビル

次

★需 要	★課 題	臨時石油アスファルト需給等対策会議
用 途	★参考資料	道路予算
需要の推移	品質規格	世界の原油確認埋蔵量
★供 給	試 験 法	原油輸入量の推移
生 産	品質管理	原油価格
流 通	アスファルト舗装の特長	石油需給計画
施 策		

東京都における舗装維持補修計画支援のシステム化について

達下文一*・関口幹夫**

1.はじめに

道路の維持管理の主な業務は、大別すると①維持管理のための管理事務と点検等の情報収集業務、②維持補修の設計・積算業務、③維持補修工事の実施業務がある。

管理事務は、道路法上の認定、道路使用等の許認可事務が主であり、調書や台帳類で処理している。設計図書などの引継ぎ資料の保存、保管業務では、維持補修設計の基礎資料としてきわめて重要であるが、よく整理された状態で保存管理されているとは言い難い。また点検等の情報収集では、日常点検、陳情・苦情等の情報のほか、路面性状、道路交通振動・騒音、交通量、軸重等の情報があるが、これらは一元的に管理されていない。

補修箇所の選定、補修工法、舗装構成と使用材料の選択等の設計そのものの業務は、各種の設計情報を活用して道路工事設計基準をもとに設計者の技術的判断に委ねられ、また設計の積算は、パソコンによる設計積算システムにより実施されている。

このように維持管理の現状は、様々な部署で個別に情報が管理されており、情報の一元管理が強く望まれるとともに、効率的な情報処理システムが必要不可欠となっている。このことから、昭和60年より道路の点検と維持補修を適切に執行する方策と体制の検討を行ない、業務の改善と技術水準の維持、向上を図るために基本的な方針の策定を行なってきた。これらの検討結果は各種業務のシステム化の推進が基本であり、現在、様々なレベルでOA化の推進が積極的に展開されている。

本稿では、主として東京都における道路舗装の維持管理に関するシステム化の取組みの現状について概観する。

2.システム開発の現状

東京都は、延長約2,000kmの道路を維持管理している。これらの道路は高度成長時代に大量に建設されたものが多く、いかに効率的に維持管理していくかが問われるようになってきた。

図-1は道路舗装に関するシステム開発のイメージを、舗装の維持管理大系と設計の基本フローとして示したものである。基本的には土木工事の設計積算、予算執行管理、工事進行管理および工事結果の記録保存の業務範囲を包括する「土木工事設計システム」¹⁾がある。「道路維持補修計画支援システム」は、その中の維持管理システムの一つとして道路の現状把握、評価、補修設計および予算計画業務を対象とするサブシステムとして位置付けられている。

これらのシステム開発は諸についたばかりではあるが、平成3年の新宿新都庁舎の移転に合わせて、積算については、土木工事設計システムのサブシステムである設計積算システムが稼働し、道路維持補修計画支援システムでは、共通利用システムおよび現況把握システムの試行を予定している。また道路占用物件の管理システムとして財政道路管理センターの「道路管理システム」のデータベースを利用して、占用企業者間の工事調整等の業務支援を行う。

図-2は、道路の効率的維持管理を目指すための「道路維持補修計画支援システム」を示し、そのシステムは、①橋梁、②舗装、③付属物、④道路台帳の四つのサブシステムから構成されている。このシステムは、本庁(汎用機)→建設事務所、土木技術研究所(分散プロセッサ、EWS)→工区(パソコン)をネットワーク上に展開する総合的なシステムである。

3.舗装管理情報システム

舗装を常に良好な状態で管理するためには、適時適

*たつした ふみいつ 東京都建設局道路管理部保全課長 工博

**せきぐち みきお 東京都建設局道路管理部保全課調査係

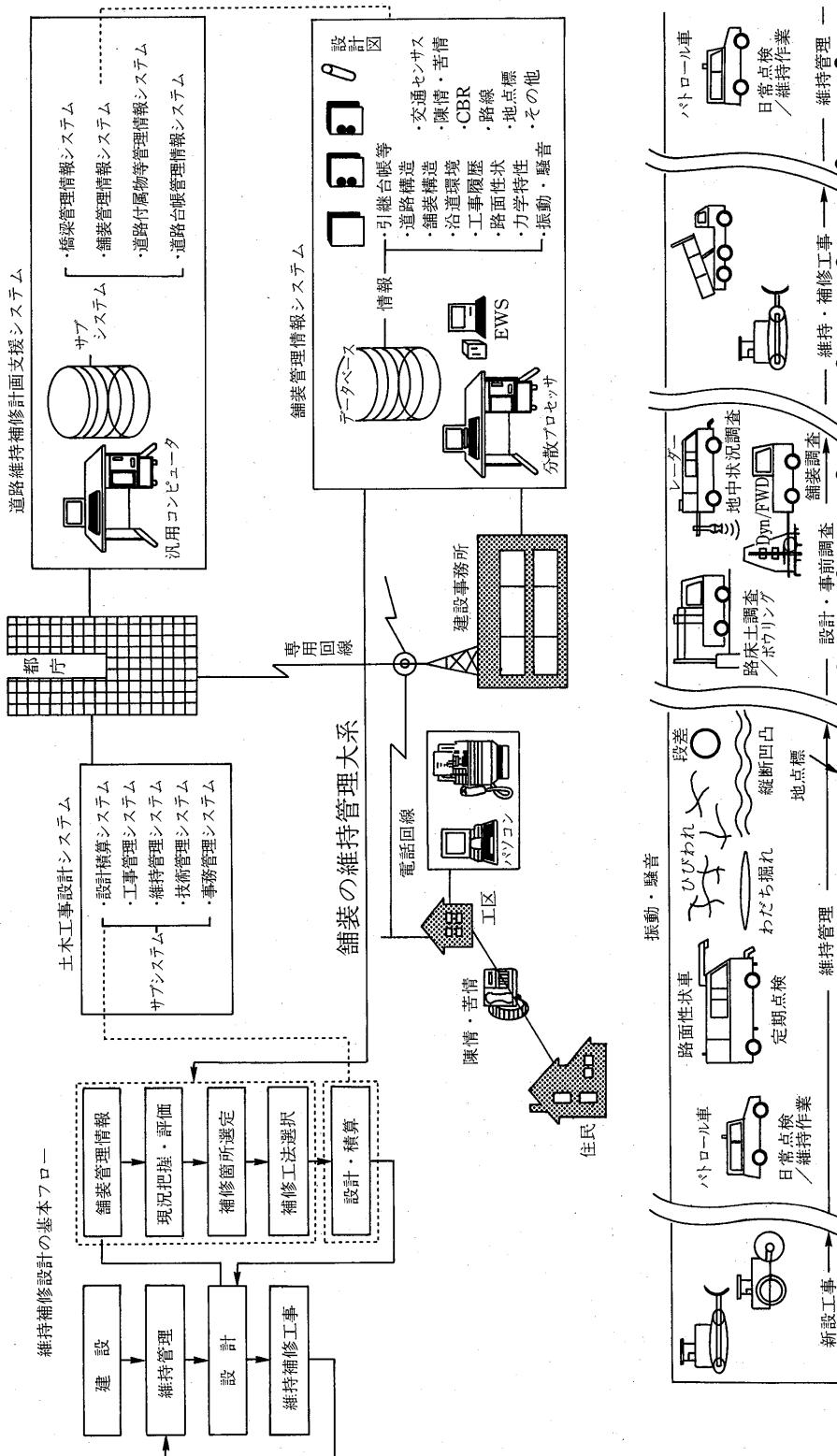


図-1 補装の維持管理大系と設計の基本フロー
(将来のイメージ)

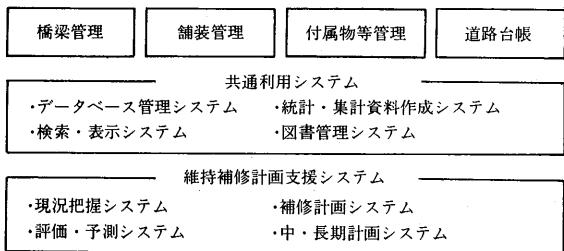


図-2 道路維持補修計画支援システム

切な維持補修を行う必要があり、そのためには現状の舗装状態を的確に評価するとともに、その状態が将来どのように変化するかを予測することが重要である。

舗装管理情報システムの目的は、「限られた予算を最も効率的に使用して、利用者のために安全、快適かつ経済的な舗装を提供すること」である。システムは、舗装の計画、設計、建設、維持(補修)、評価、研究等を検討する包括的な一連の行為を含んでいる。

舗装管理情報システムは、ネットワークレベルおよびプロジェクトレベルについて構成されており、その概要は図-3の基本フローに示すとおりである。ネットワークレベルとしては、各種情報の記録・保管・更新を行うデータベースシステム、集計や統計処理を行

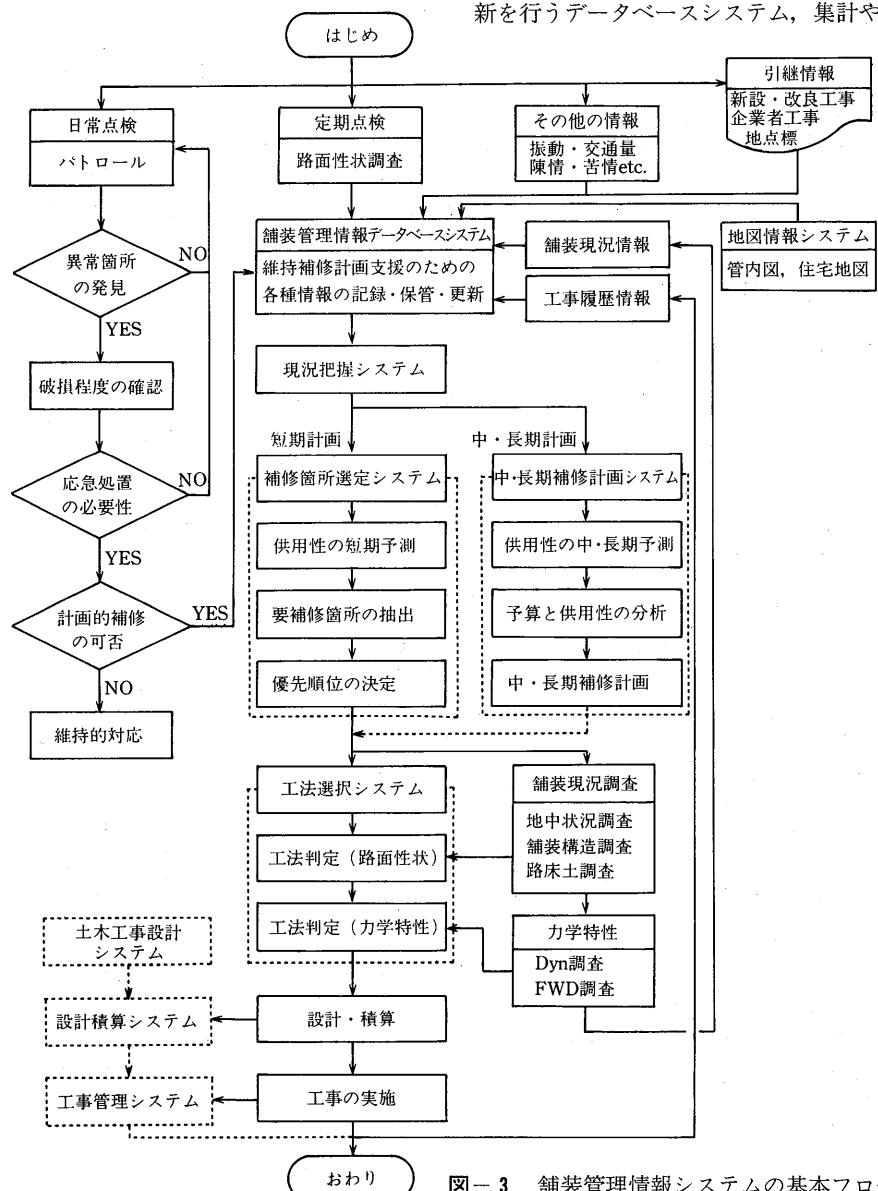


図-3 舗装管理情報システムの基本フロー

う現況把握システム、短期の補修計画支援を行う補修箇所選定システム、中・長期補修計画システムである。一方、プロジェクトレベルとしては、補修箇所選定システム、工法選択システムで構成されている。

(1) データベースシステム

システムは分散処理型に対応したリレーショナルデータベースであり、取扱う情報は道路の基本情報である引継ぎ情報（地点標、歩道・車道幅員構成等の道路構造、舗装構造、沿道環境情報など）、点検情報（日常点検、路面性状の定期点検）および維持補修工事および占用復旧工事の履歴情報、舗装構造調査データなどからなる。これらの情報は、管理する路線の地点標100m区間データとして上下線別に構築される。また振動、騒音、交通量などは、4～5kmに1箇所のデータで構成するほか、陳情・苦情・大規模陥没事故の履歴、地下空洞探査結果、ダイナフレクトなどの力学特性データ、試験舗装などに関する情報も取入れている。

なお、陳情・苦情や工事現場の位置確認、路面性状等の各種評価図の作成に対応するため、デジタル地図システムとして住宅地図（約1/1,500）、管内図（1/25,000）および都全域図（1/100,000）をサポートする。

(2) 舗装の現況把握システム

舗装の現況把握は、機能に関するものと構造に関するものがあげられる。機能の評価は、最大わだち掘れ、ひびわれ率、縦断凹凸量の路面性状の3要素および評価指数としてPSIを用いて行い、都道全体、管理事務所別、道路種別、路線別、設計交通区分別等の管理水準の現況把握を行うシステムの基礎データとして運用する。これらの管理水準の現況把握から事務所間の格差の是正、管理水準の見直し、さらに戦略的維持補修計画策定のための基礎資料として活用する。なお、路面性状は、3年サイクルで調査を行なっていく。

一方、舗装構造の現況を把握するシステムとしては、過去5回程度の工事履歴を取り、工事範囲は道路延長方向メートル単位で幅員方向は車線単位で処理可能とし、最新舗装構造を自動生成により把握できるシステムを構築する。これにより補修工法と補修サイクルの実態の把握を行い、補修設計における工法選択のための基礎情報を提供すると共に予防的維持補修計画策定の基礎データとする。

(3) 補修箇所選定システム

現行の補修箇所選定方法は、主観的な判断に左右されやすく、工事量の増大、熟練技術者の高齢化等によ

り、その判断の客觀性が問われている。このことから、路面性状調査データの活用を推奨すると共に、設計者に良く整理された判断資料を提供するために補修箇所選定システムを構築する。

補修箇所選定システムとしては、上り・下り車線別の地点標100mの単位区間の路面性状データをベース情報として、半幅員又は全幅員の工事予定区間を選定する手法を検討している。すなわち路面性状データ個々の管理基準値を越える箇所を1次的に抽出し、振動や陳情・苦情等を加味した都独自の供用性指数（PSIに相当する）により順位付けを行う。次に抽出箇所の前後3箇所又は2箇所の全幅に該当する区間の個々の管理水準の評価を行って、工事対象区間を抽出する手法を開発してシステム化を図る予定である。なお、わだち掘れについては、平均値に代えて区間最大値を採用する方向である。これは都道全体の管理水準が一般的に高いレベルにあるため、わだち掘れの平均値に比較して区間最大値を用いた方が、補修予定箇所の抽出において実態に即した指標となることによる。

一方、市街地の補修工事区間の抽出にあっては、交差点や橋梁等の構造物が工事の起終点となり得ることが多く、必ずしも地点標100m区間の割り振りでは現実的な工事区間の特定が困難である。そこで工事区間の特定を設計者が容易に判断できる資料として、管内図レベルの地図上に抽出した工事区間をグラフィック表示、出力するシステムもサポートする予定である。

橋梁のジョイント、各種埋設物のマンホール、施行継ぎ目等の段差は、振動・騒音の発生元であり、住宅が近接している市街地の道路では、沿道環境対策のうえから特に配慮が求められている。将来、振動を考慮したシステムの構築が課題である。

(4) 補修工法選択システム

舗装の破損には、機能に関する破損と構造に関する破損があり、維持補修工法の選択にあたっては、舗装の破損状態、交通量、在来の舗装構造、従来の経験等を考慮して総合的に行なう必要がある。このことからシステム化の手法としては、路面性状の評価に基づく方法と舗装構造の力学特性の評価に基づく方法を重ね合わせた手法を適用していく。

(5) 中・長期補修計画システム

中・長期補修計画システムは、将来、現況把握システムを発展させ、ネットワークレベルでの潜在的補修規模、需要の予測、投資効果の予測等経済評価を考慮して、計画期間内でトータルコストを最小にする考え方

方を導入したシミュレーションシステムの構築を目指すものである。

4. おわりに

増大する舗装の維持管理業務に的確に対応していくためには、日常点検や陳情・苦情などきめの細かい対応のほか、路面性状などの科学的データによる現況の評価に基づく、計画的かつ予防的維持補修が必要不可欠である。計画的予防的維持補修を行っていくためには、各種の設計情報を一元管理して、評価分析する舗装マネジメントシステムの活用が求められる。このようなシステムを実施運用していくには、エレクトロニクス技術の利用が必要不可欠であり、エレクトロニク

ス技術を積極的に活用した最適な設計を目指すことが益々重要視される。

しかし、このようなエレクトロニクス技術を活用した装置を用い、高度に合理的なシステムが確立されたとしても、それを運用していくのは、それに従事する人間であるということを忘れてはならない。人間性のあるシステムの構築が必要であることはいうまでもない。

— 参考文献 —

- 1) 達下文一：東京都建設局における技術業務のシステム化、首都圏、PP.33~45, 1989.3

日本アスファルト協会試験方法 JAA-001-1978. 石油アスファルト絶対粘度試験方法 *Testing Method for Absolute Viscosity of Asphalt*

- | | |
|----------------|---------------------------|
| 1. 適用範囲 | 5 - 1 - 1. 粘度計校正用標準液による方法 |
| 2. 試験方法の概要 | 5 - 1 - 2. 標準減圧毛管粘度計による方法 |
| 3. 用語の意味 | 6. 試料の準備 |
| 3 - 1. 絶対粘度 | 7. 操作 |
| 3 - 2. ニュートン流体 | 8. 計算および報告 |
| 4. 装置 | 9. 精度 |
| 4 - 1. 粘度計 | 9 - 1. くり返し精度 |
| 4 - 2. 温度計 | 9 - 2. 再現性 |
| 4 - 3. 恒温そう | ◆ |
| 4 - 4. 減圧装置 | ◆ |
| 4 - 5. 秒時計 | 実費額 400円 |
| 5. 校正 | 申込先 社団法人 日本アスファルト協会 |
| 5 - 1. 粘度計の校正 | 東京都港区虎ノ門2丁目6番7号 |
| | 〒105 電話 (03)502-3956 |

施工管理とエレクトロニクス

増山幸衛*

1. はじめに

「エレクトロニクス」という言葉は、電子工学とか電子技術とか訳されているが、その進歩速度の早さと応用範囲の広さから、現代の科学技術の先端全般を意味する表現として使われることもしばしばである。それだけ、殆どの分野で切り放すことができない程電子技術が我々の生活に密着していることもいえる。

一方建設技術の中ではこういった電子技術の採用は比較的ゆっくりとしており、最近になってやっと目が向けられた感じがする。これは建設技術が一般に「現場」という多様な展開を求められることにも一因はあるが、他産業と比べて合理化に対する切迫感が今一つ欠けているといった産業構造上の問題にも大きく影響されていると考えられる。

しかし昨今の建設技術者や建設労働者の不足は、必然的に建設産業も今後合理化への道を歩まざるを得ない状況があるのでなかろうか。

建設技術の合理化へのアプローチは、色々な方向からなされなければならないが、施工管理の面からも具体的な提案が求められる。ここでは主として、施工管理をテーマに、「エレクトロニクス」を直接的な電子技術とのみ捉えずに、ハード面およびソフト面からの利用方法の考え方の例を紹介する。

2. 施工管理の考え方

施工管理とは一般に、「建設工事の施工のための計画を立て、施工途中、計画通りの工程で工事を進められているかどうか、要求される品質や形状のものが施工されているかどうかを調べて、もし計画工程より遅れていれば、粗悪な品質のものや要求されている形状を外れたものができていることが発見されたならば、なるべく早くその原因を追求して改善を図ることが必要である。このようなことを行うことを施工管理という。」¹⁾とされている。要約すると工程管理と品質管理を行う

ことによって適切な原価管理を行うことである。

この3つの一般的関係は図-1¹⁾に示すように、工程、原価、品質相互に反対する性質がある。即ちa曲線では施工の早さに採算速度があり、b曲線では品質の良いものは費用が高くなり、c曲線では突貫工事を行えば品質は悪くなるといった関係がわかる。

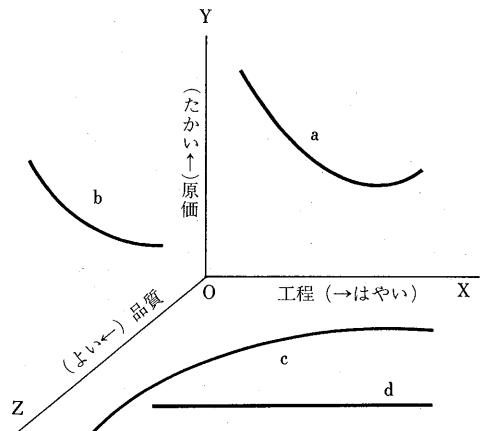


図-1 工程・原価・品質の一般的関係

従来こういった関係のバランスをとった管理は「経験」によって行われており、管理のための情報は個人のノウハウとして蓄積されたものが多く、公開されて誰でも使えるようにはなっていなかった。しかしこからの施工管理には、管理のための情報を電子技術の枠ともいえるコンピュータに集積し、適切な加工を行い、変化する状況に併せて最適なアウトプットによってフィードバックするといった方法が、より合理的な方法として求められる。

2.1 品質管理とエレクトロニクスの応用

製造工場等では、一般に同一作業の繰返しが多く、ライン上の定型作業となるケースが多いため、機械化、ロボット化が比較的し易いが、建設現場では現場の状

*ますやま ゆきえい 世紀東急工業技術部技術開発課

況にあわせて設計との整合を図る必要がある。こういった部分がロボット化等への移行を遅らせている一つの要因であったともいえる。このようなことから建設現場での品質管理では、ハードとソフトとの融合が重要なことが多い。

最近では施工機械で直接現場の状況を把握しながら、設計にあった品質管理を行う方法として、既にいくつかの方法が報告されている。その一例を図-2および図-3²⁾に示す。

コンピュータによる制御の流れ 周辺センサ及び機器・機能

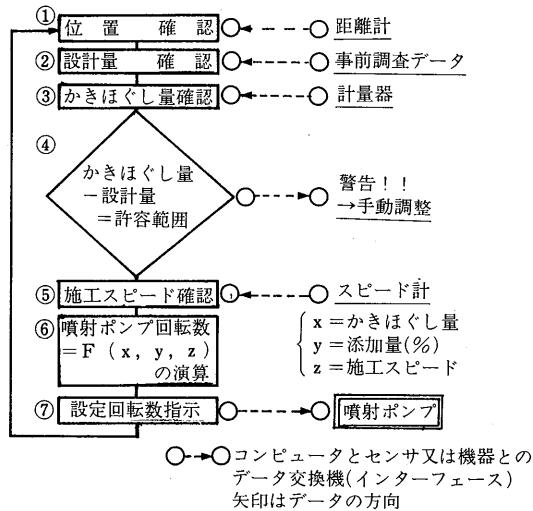


図-2 軟化剤添加システム

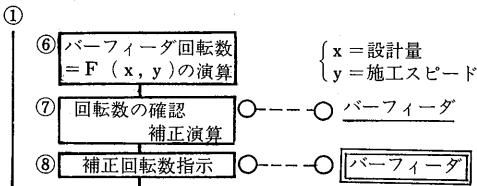


図-3 新合材添加システム

これは、路上表層再生のリミックス工法において、設計量にあわせた軟化剤（図-2）や新規混合物（図-3）を適切に供給する為のフローで、図の左側はコンピュータの処理の流れであり、右側は施工機械に取付けられたセンサ等の周辺機器を示している。これらセンサとコンピュータの間にはインターフェースが介在し、データのやり取りと制御をおこなうことができる。

こういった自動管理による品質は、図-1に示すc曲線のようにはならず、d曲線のように工程に影響されない管理が行えることになる。

最近ではセンサの性能もかなり向上してきており、距離計にしても1cm単位でほぼ正確に取りこむことができ、また舗装現場のような高温の状況でも故障する事無く作動することができる。さらにデータを処理するコンピュータも、限界はあるにしてもかなり苛酷な状況での使用が可能となってきた。こういったことから今後更に、超音波やR I等非破壊で状況を把握できるセンサを使って、施工しながら品質を制御する方法が推進されることと思われる。

2.2 工程と原価管理とエレクトロニクスの応用

工程と原価の関係は図-1のa曲線にあるように、一般に採算速度の範囲であれば最低原価で施工することができる。そこで、現場での工程管理は科学的にされなければならないとの観点から、現場での管理の基本として、コンピュータを使った手法が紹介されている。したがって、土木技術員の現場管理教育としては、まずははじめにネットワーク手法の必要性とその基本的な考え方方が教えられる。

しかし、実際にはどのテキストもPERTやCPMの考え方を示しているが、具体的なプログラミングの手法は示していない。また容易に手に入る汎用性のあるソフトも殆ど紹介されていないことから、概念的には必要性を理解したとしても現実的に殆ど使用されていないようである。

ここでは簡単な事例を基に、パーソナルコンピュータでできるプログラミングによるネットワークの組み方を紹介する。なお、ネットワークを組む上で、表示方法等基本的な約束事がある。例えば、アクチビティ、イベント、最早開始時刻、最遅完了時刻等々の用語であるが、それらの意味とそれぞれの計算方法等は一般的の参考書に詳しく述べられているのでここでは省略するが、既に承知のこととして以下に記述する。また事例として示すプログラムは、フロー図では具体的に分かりにくいのでパソコンで一般に使われているベーシック言語をモデルにして一つの考え方を示す。

1) 工種の選定と先行、並行、後続工種の関係

工種の選定は、その工事に必要な工種を挙げ、できるだけ複雑にならないようにまとめる。例えば縁石工では、縁石基礎、布設、目地等細分化すればいくつもの工種になるが、管理できる範囲でまとめる。次に各工種間の先行作業、後作業を決める。これはその工種を施工するためにはどうしても先に行っておかなければならない工種を先行作業とし、さらに各作業の施工必要日数を入力する。先行作業がない場合は“*”（他

の記号でも良い)とする。このことから後作業は計算で出すことができる。

作業の例を図-4のようにする。最近のパソコンは日本語もそのまま変数として取り扱えるが、作業の区分をアルファベットで代表することによってプログラムはより簡単にできるので、できるだけアルファベットを使用することを推薦する。

工 程	区 分	日 数	前工種(F \$)	後工種(R \$)
準備工	A	10	*	E F
測量工	B	7	*	C D H
掘削工	C	4	B	F
人孔工	D	12	B	G
歩道工	E	8	A	I
路盤工	F	10	A C	I J
管渠工	G	7	D	I J
縫石工	H	20	B	*
街渠工	I	7	E F G	*
舗装工	J	4	F G	*

図-4 工種と作業間の関係

このデータから後作業は自動的に計算で出すことができる。計算方法は図-5に示す。

```

前工種 F $(1~10)、後工種 R $(1~10)
FOR I=1 TO NM : (NMは工種の数=10)
  NA$(I)=CHR$((&H40)÷1)……(A, B, C, D, …)
  NF(I)=LEN(F$(I))……前工種の数
  FOR K=1 TO NM
    C=INSTR(F$(K),CHR$(&H40+1))
    IF C THEN R$(I)=R$(I)+CHR$(&H40+K)
  NEXT K
  IF LEN(R$(I))=0 THEN R$(I)="*"
  NR(I)=LEN(R$(I))……総工種の数
NEXT I
RETURN

```

図-5 後工種計算サブルーチン

この計算結果から図-4の右側に示す後工種が分かる。

2) ネットワークラインの書き方

図-4に示した工種と作業間の関係から、ネットワークの基本ラインを画面上に描かしたのが図-6である。



図-6 ネットワーク図

る。この図は、4つのラインからなっており、それぞれの前後関係が分かる。

図-4の関係からネットワークの4つのラインを見つけ出す計算ルーティンを図-7に示す。

```

L=1
FOR N=1 TO NM
  IF F$(N)="*" THEN L$(L)=L$(L)+NA$(N)
  LM=L : L=L+1
NEXT N
FOR N=1 TO NM : FF$(N)=F$(N)
  IF NF(N)>1 THEN GOSUB *KEISAN 1
  NN=ASC(FF$(N)-&H40)
  IF NN<=0 THEN NN=0 : NEXT : N
  FOR L=1 TO LM
    IF RIGHT$(L$(L), 1)=NA$(NN) THEN
      L$(L)=L$(L)+NA$(K) : GOTO [*]
      ..... (/は繋る)
  NEXT L
[*]NEXT N
RETURN
* KEISAN 1:(SUB-ROUTINE)
  FOR I=1 TO KF(N)
    HE$(I)=MID$(F$(N), I, 1)
    HEN(I)=NR(ASC(HE$(I))-&H40)
  NEXT I
  MIN=HEN(I) : MI=1
  FOR I=2 TO NF(N)
    IF HEN(I)<MIN THEN MI
  NEXT I
  FF$(N)=MID$(F$(N), MI, 1)
RETURN

```

図-7 ネットワークラインの計算

この計算により

$$\begin{aligned} L \$ (1) &= A - E - I \\ L \$ (2) &= B - C - F - J \\ L \$ (3) &= D - G \\ L \$ (4) &= H \end{aligned}$$

となり、これが図-6に示すネットワークラインの基本形となるが、工夫により、この他色々なネットワークの書き方ができる。

次に、各ラインおよびアクティビティの大きさを計算するが、手順としては次の通りである。(以下の計算方法はどの参考書にも記載されているので省略する。)

- ① クリチカルパスの計算。
- ② クリチカルパスをベースに各アクティビティの開始および終了時刻の計算を行う。
- ③ 更に、各アクティビティの最早開始時刻、最遅終了時刻を計算する。
- ④ それぞれのアクティビティを、クリティカルパスをベースにフリーフロートを折り込んで画面表示する。

以上でネットワーク図(図-6)が出来上る。(サン

（フルプログラムは長くなるので省略する）

3) ネットワークプランの修正

上記のネットワークプランは単純な工種間の関係と、所要日数からネットワークを組んだが、実際には材料等の調達状況、労務員数の制限等を折り込んで組む必要がある。具体的なプログラムはここでは省略するが、最近の人手不足から、マンパワースケジュールの山積みおよび山均しの考え方方に特に重要であるので次節に示す。

4) フォローアップ

実際の工程管理で使用する場合、工程内任意の時期にフォローアップをおこなう必要がある。その場合、図-4に示す日数に残所要日数を入力できるように、また工程の段取りによっては前工種の変更等を行うことによって、フォローアップ日以降の新たなネットワークが作成できる。

また、実施予算との対比を行いながら、シミュレーションすることも可能で、基本的なプログラム手法を習得している技術者なら比較的簡単に作ることができると。

3. マンパワースケジュールの考え方

図-6のネットワーク図のマンパワースケジュールを図-8に示す。上段は最早開始時刻で始めたもので、下段はその山を均したものである。図-6の中で歩道工、路盤工、舗装工および縁石工はそれぞれ8, 5, 3, 6日のフリーフロートを持っており、この間の工程調整は全体工程に影響しないので、その範囲で現場の状況にあわせて山を均せばよい。しかし、実情として最大17人の労務員が3日間集まらない場合は、クリティカルパスを変更することも考えに入れる必要がある。

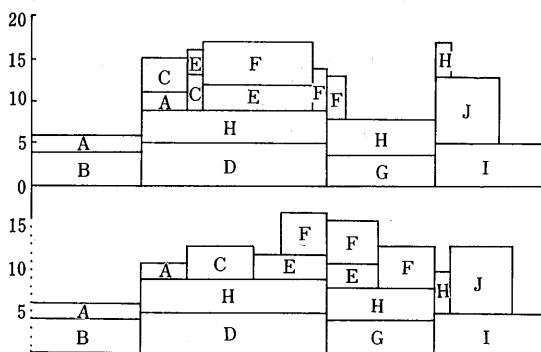


図-8 マンパワースケジュール例

一般的には、コンピュータで山均しをプログラミングする場合は次のような手順を行う。³⁾

- ① トータルフロートの小さい順に作業を開始する。
- ② トータルフロートが同じ場合は作業時間の短い方から開始する。
- ③ クリティカルパスは最優先する。
- ④ クリティカルパスの作業に人員割り当てが不可能な場合は既に作業中の仕事でもフロートのある作業からクリティカル作業に回す。

以上の考え方で計算はできるが、マンパワースケジューリングは現在最も厄介な問題である。計算通りの効率のよい人員が時として集まらず、このことによってコンピュータによる合理的な工程管理が行き詰まることもしばしばである。今後更に融通性のあるシステムを開発していく必要性を痛感している。

4. あとがき

施工管理とエレクトロニクスということで、実際に使用しているハードおよびソフトの一部分について内容を紹介した。

現場は生き物のように変化し、それを一つの体系でどこまで合理的に管理できるかは難しい問題が多く残されている。したがって、今回紹介した管理方法は多くの中の一つであり、更にデータを集積し、ハード面、ソフト面での改良を行っていく必要がある。

なお、紙面の都合であまり具体的なプログラムの紹介ができず、分かりづらいものとなったことをおわび致します。

—参考文献—

- 1) 土木施工管理技術研究会 土木施工管理技術テキスト（施工管理編）平成2年5月
- 2) 稲垣他 リミックス方式による施工管理の合理化の一手法 第17回日本道路会議特定課題論文集
- 3) 宇津橋 ネットワーキングプランニング 日刊工業新聞社 昭和58年12月

室内試験とエレクトロニクス

古 谷 薫*

1. まえがき

舗装に関する室内試験機は、その市場規模および試験法の関係から一般の理化学試験機に比べ、エレクトロニクスの応用は立ち遅れていた。

しかし、最近は舗装の分野においても従来の試験法の範囲内で、表-1に示すようにセンサとマイコン^{a)}を使用してプログラム制御等を行う試験機が普及してきた。また、データ集録装置とパーソナルコンピュータ（以下、パソコンと略す）とを組み合わせ、計測からデータ管理までを自動的に行う試験機を舗装関連の試験として使用している例も多くなっている。

このエレクトロニクスを応用した試験機の普及には、昭和63年11月に舗装に関連する試験方法を集成した「舗装試験法便覧」^{b)}が刊行され、試験結果の整理方法の明確化等が行われたことも一つの契機となっている。

表-1 室内試験におけるエレクトロニクスの応用例（主な舗装関係）

分野	試験項目	試験値検出、条件設定	制御	データ管理
アスファルト	針入度 軟化点	接触感知光センサ 温度検出センサ 発光ダイオード	シーケンス プログラム —	プリンタ印字 デジタル表示 デジタル表示
	粘度 引火点 タフネス・テナシティ	トルクのデジタル検出 温度検出センサ ロードセル	プログラム 引張試験機	" パソコン計測
	ふるい分け 粒度分布 真比重 形状	— レーザによる分析 液面検出、温度センサ ハロゲンランプ、カラーモニタ	シーケンス プログラム "	ハンドヘルド計測 パソコン計測 プリンタ印字
	マーシャル試験	ロードセル、温度センサ デジタルノギス、電子天秤 差動トランジット、変位センサ RS232Cでのデータ転送	シーケンス — —	— ハンドヘルド計測 プリンタ印字 配合設計システム
	抽出回収	アスファルト抽出 アスファルト回収	— 温度センサ	シーケンス プログラム
疲労試験	繰返し曲げ 間接引張り	ロードセル、変位センサ "	プログラム "	パソコン計測 "
摩耗量	摩耗量測定 "	非接触超音波センサ 接触針センサ	プログラム "	パソコン計測 "
路床路盤	一軸CBR 振動三軸	ロードセル、変位センサ "	プログラム "	パソコン計測 "

ここで、エレクトロニクスを応用して試験機やデータ管理を自動化することによって試験業務全般に生じるメリットを列挙すると以下のとおりである。

- 1) 熟練度により個人差を生じる試験方法をセンサ等に代替させることによる精度向上と省熟練化
- 2) 試験手順や試験条件の設定をシーケンスやプログラム制御等で自動化することによる省力化
- 3) 有機溶剤等を使用する試験機の自動化による作業環境の改善

注) マイコン^{a)}

- =マイクロコンピュータ (microcomputer)
- CPU (central processing unit, 中央演算装置)
- チップとプログラムやデータなどを記憶するメモリ (memory, 記憶装置) チップおよび入出力のための I/O (input/output) チップから構成される。

注-1) 制御の方法は、以下の定義による。

- シーケンス制御 (sequence control)
→あらかじめ定められた順序や条件に従って、制御の各段階を逐次進めていく制御
- プログラム制御 (program control)
→目標値があらかじめ定められた変化をする制御

注-2) コンピュータの略称を次のとおりとする。

- パーソナルコンピュータ
→パソコン (PC)
- ハンドヘルドコンピュータ
→ハンドヘルド (HC)

*ふるや かおる 日本舗道技術研究所第3研究室副主任研究員

- 4) センサやパソコン等による計測・制御の試験機を使用した疲労試験機による混合物の性状把握
 5) データ処理システムの活用による試験データ解析と報告書作成時間の短縮
- 次にエレクトロニクスを応用した主な室内試験機とデータ管理の自動化の現況について述べる。

2. 自動試験機の現況

舗装関係の室内試験に使用されているエレクトロニクスを応用した試験機の現況は以下のとおりである。

(1) アスファルトの性状試験機

① 自動針入度

針入度の測定は、従来から手動操作により行っており、特に針の供試体表面へのセッティングは、測定値の誤差に最も影響を与えていた。この測定者による個人誤差を最小限にし、繰り返し精度や再現精度を高めるために自動針入度試験機が開発された。

試験機は、測定装置およびプログラムコントローラにより構成されている。(写真-1, 図-1)

測定装置の内、針の供試体表面への接触を感知する部分に光センサを使用し、 $2/100\text{mm}$ の検出精度でセッティングを可能としている。また、コントローラに針の進入距離をデジタル表示し、測定終了後に各々の測定値、3回の平均値および測定が許容差以内かどうかを判定した結果が印字される。

なお、測定開始から結果の印字までシーケンス制御により自動化されている。

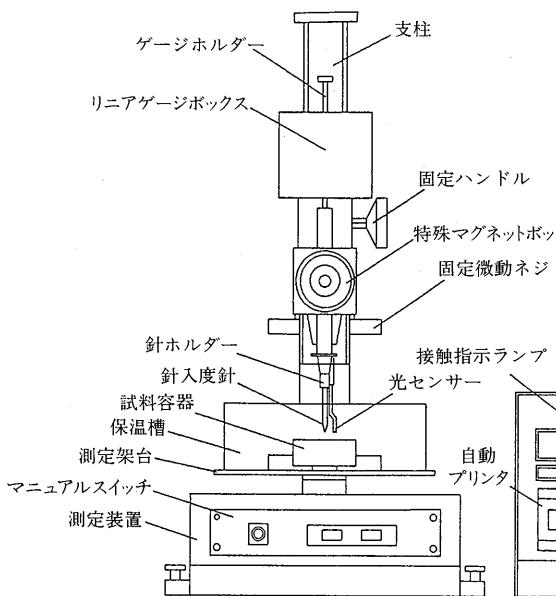


図-1 自動針入度試験装置の構成図

② 自動軟化点

軟化点試験では、加熱浴の昇温速度の均一性が試験精度の確保にとって最も重要であり、その速度の維持に熟練を要していた。この速度を一定に調整すると共に、軟化点を自動的に測定する試験機が普及している。(写真-2)

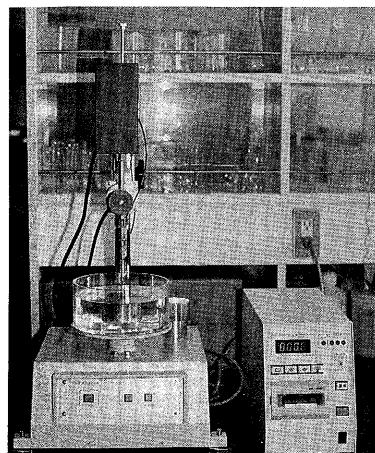


写真-1 自動針入度試験装置

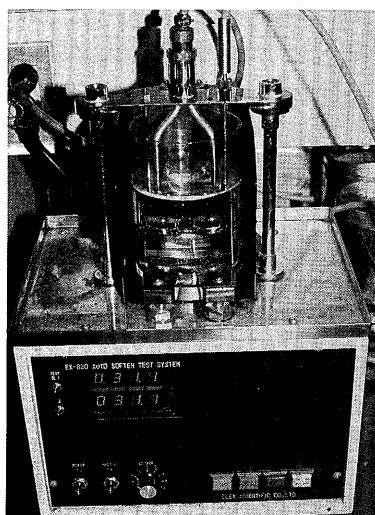


写真-2 自動軟化点試験装置

自動軟化点試験機は、加熱浴の温度を白金抵抗体により検出し、その昇温速度をプログラム制御によって一定に保つ。また、発光ダイオードによって軟化落下していく玉を光学的にとらえ、これを検出し、この時の温度を測定してデジタル表示する。

③ 自動粘度

アスファルトの高温粘度を測定する簡易法として回転粘度計があるが、従来のアナログ式のものは粘度測定時の温度調整や目盛りの読みとりに誤差を生じやすく、測定後の粘度計算も面倒であった。そこで、温度をプログラム制御すると共に、粘度デジタル計測する自動粘度計が使用されている。

この試験機は粘度の検出をトルクにより行い、周波数制御されたパルスによってデジタル計測される仕組みである。その表示はスピンドル回転速度と粘性抵抗による関数を積分して、直接デジタルで粘度の単位(CPS)で表す。(図-2)

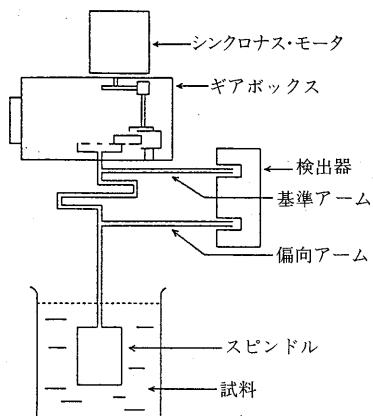


図-2 自動粘度試験装置概念図

④ 自動引火点

アスファルトを加熱した時の引火点を測定する装置として、クリープブランド開放式での試験をプログラムによる昇温速度の制御から引火点測定までを自動化している。

⑤ 自動タフネス・テナシティ

アスファルトのタフネス・テナシティを引張試験機(圧縮も使用できる万能型)とパソコンとの組み合わせにより測定している。パソコンの画面上には、荷重-変位曲線とタフネス・テナシティの計算

値が表示される。(図-3)

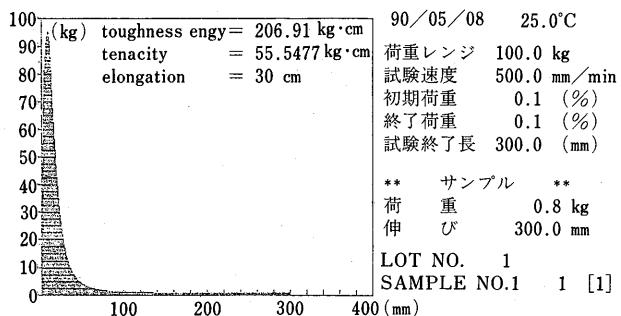


図-3 タフネス・テナシティ試験結果例

(2) 骨材の性状試験機

① 自動ふるい分け

骨材のふるい分け試験は、手作業あるいは機械(ロータップ)で行われているが、機械ふるいでも完全にはふるい分けられず、また水洗いを行う場合には乾燥による時間も伴っていた。そこで、ふるい分け効率の向上と細骨材の水洗いと乾燥までをシーケンス制御により1サイクルで行う自動ふるい分け試験機が開発されている。²⁾

② レーザー粒度分布

レーザー光のフラウンホーファー回折現象を利用して各粒子を回折パターンによる光の強度分布で表し、それぞれの粒子の強度分布から粒度を計算する試験機である。この試験機はパソコンに接続され、測定開始からデータの計測、整理までを一括して処理できる。

なお、この試験機は粉体を対象とし、その測定範囲は192μm以下である。(図-4)

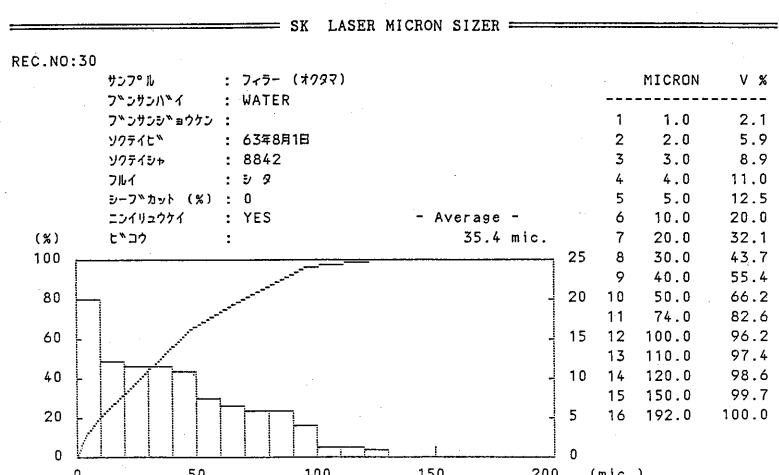


図-4 レーザーによる粒度分布測定結果

③ 自動比重測定

粉粒体の真比重を測定する試験機で、ピクノメータ法を原理として測定セル内の脱気から測定までをプログラム制御で行い、比重の演算結果をプリントアウトする。(写真-3)

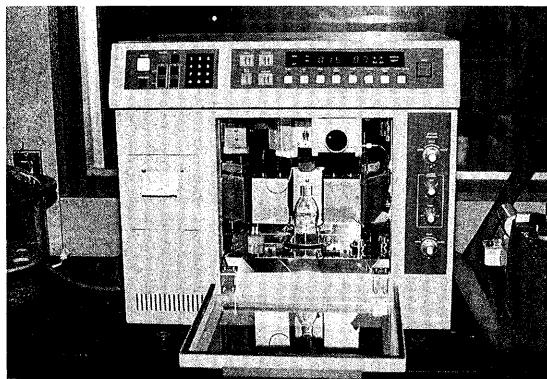


写真-3 自動比重測定機

液温は温度センサによって測定し、液面の検出には針センサを用い、また分散媒の重量は電子天びんで測定している。

④ 顕微鏡による粉体形状撮影

粉体等の形状を顕微鏡で捉え、それをモニタで撮像または写真撮影を行っている。(写真-4)

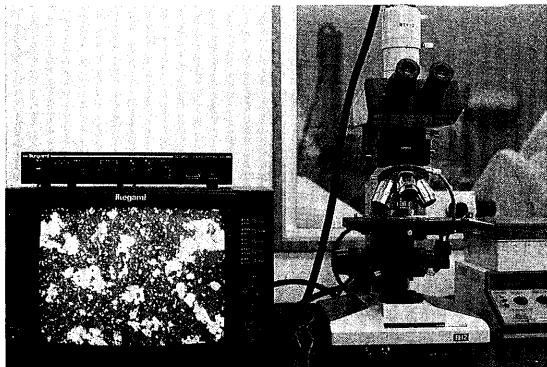


写真-4 顕微鏡写真撮影装置

(3) マーシャル試験法の試験機

① 自動マーシャルミキサー

マーシャル試験の供試体作製時の混合には手練りでの作業が主体であった。このため、混合温度、時間、度合い等に個人差の介在する余地があった。そこで、アスファルトの計量から混合までをマーシャルモール

ドを使用して行う自動マーシャル試験機が開発されている。³⁾

ミキサーのブレードの形状は、短時間で混合効率を高めるための機構とし、アスファルトの計量はロードセルを使用した。また、遠赤外線ヒーターによって混合時の温度は任意に設定可能とした。

この計量から混合までの一連の動作はシーケンス制御によって完全自動化されている。

② マーシャル安定度試験機

マーシャル安定度試験機に使用されるフロー計を変位センサで代替し、荷重計センサと共に使用して荷重と変位とをデータ収録装置に転送し、安定度とフローを計算しプリントアウトしている。

(4) アスファルトの抽出・回収試験機

① アスファルト抽出試験機

アスファルト混合物の抽出試験の内、迅速性を必要とする場合に遠心分離抽出法が使用されているが、細粒骨材分の流出等による誤差が大きく出る場合があるために、この骨材分の定量操作が必要となっていた。

また、遠心分離抽出法では、有機溶剤を多量に使用するという欠点もある。

このため、遠心用容器締付け部の加工と金属フィルターの使用により細粒骨材分の流出を微量化すると共に、動的溶解法の採用や乾燥工程の改良等によって、試験精度向上と迅速性を高めた試験機が開発されている。⁴⁾ 有機溶剤の使用についても、抽出乾燥工程をシーケンス制御によって自動化することにより、試験物が有機溶剤ガスを吸引しない等の作業環境の改善が考慮されている。

② アスファルト回収試験機

アスファルトの回収試験は、アブソン法に準拠して行われているが、アスファルトの蒸留過程では温度制御が繁雑で熟練を要する他、この温度制御のために試験中の有機溶剤ガスの吸引等の作業環境も問題であった。そこで、マイコンによってこの蒸留温度をプログラム制御すると共に、不活性ガスも自動吐出し、試験者の個人差の変動の低減と省力化および作業環境の改善が図られた。(写真-5)

(5) 疲労試験

① 繰り返し曲げ試験

走行荷重によって舗装体に生じる応力またはひずみを繰り返し載荷によってシミュレーションする疲労試験は、アスファルト混合物の動的性状を把握するため使用されている。

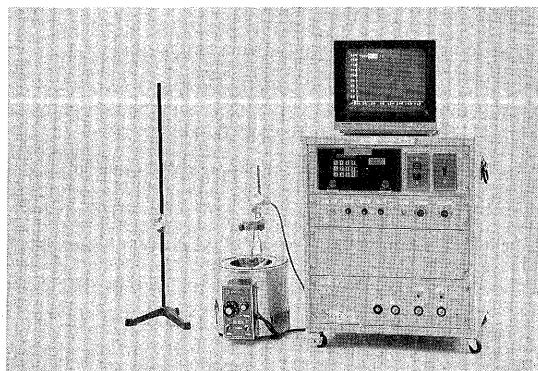


写真-5 自動アブソン回収試験装置

この試験機にはロードセルや変位センサおよび波形発振、増幅の制御や温度制御等に多くのエレクトロニクスが応用されている。また、パソコンの接続により試験機からの信号をモニタしながら、決められた載荷回数におけるデータを計測し、フロッピィにセーブすると共に、グラフィック処理を行う。この計測データから変形係数が求められる。

② 間接引張り試験機

アスファルト混合物の弾性係数を求めるために、円柱供試体に対して垂直に繰り返し載荷し、供試体に生じる水平方向の変位を測定する。繰り返し曲げ試験と同様に波形を出力する試験機とパソコンとの接続によりデータ計測と弾性係数の計算を行う。(写真-6)

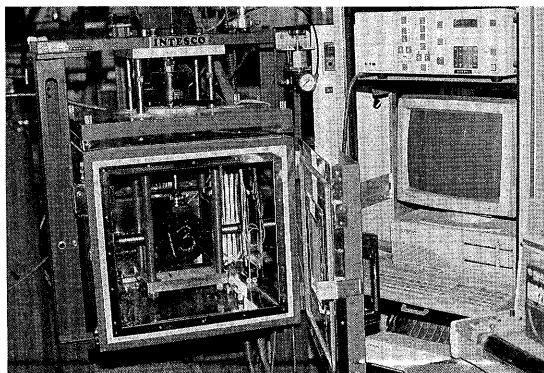


写真-6 間接引張り試験装置

(6) 摩耗量測定

① 非接触摩耗量測定装置

この測定装置は、回転ラベリング試験後の供試体の横断形状を超音波センサにより非接触で測定するものである。なお、測定後のデータはパソコンに送信し摩耗量を計算した後、プロッタに横断形状を作図する。(写真-7：道路公団試験所にて)

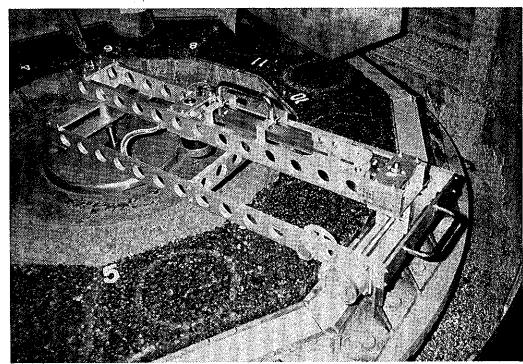


写真-7 回転摩耗量非接触測定機

② 接触摩耗量測定機

この測定機は、ラベリング試験後の供試体の横断形状を接触針センサにより測定し、接続したパソコンで摩耗量の計算を行い、プロッタに横断形状を作図する。

(7) 路床、路盤材の試験

① 自動一軸・CBR 試験機

一軸・CBR 試験機については、従来より力計に差動トランスをつけて、アナログのXYレコーダーに記録するものがあった。最近は、ロードセルと変位センサにより、荷重と変位とをA/D(アナログ/デジタル)変換し、パソコンのフロッピィにデータを保存した後、各種プログラムによって指定された用紙にプロッタでデータとグラフとを書き出せるようになった。

② 振動三軸試験機

締め固め供試体を一定の拘束圧(側圧)および偏心応力(軸応力)で繰り返し載荷により、復元変形量を測定し、弾性係数を算出する。これらのデータは、ロードセル、センサにより計測され、パソコンでデータ処理される。

3. データ処理システム

ここまで、試験機のエレクトロニクスの応用を中心について述べてきたが、試験機とハンドヘルドコンピュータ(以下ハンドヘルドと略す)およびパソコンとのリンクにより、データ計測から管理(報告書作成)までを行った例としてアスファルト混合物の配合設計処理システムを以下に示す。

(1) 配合設計システムの構成

図-5に示した配合設計システムは、マーシャル供試体を作製してその厚さ・密度を計測し、安定度・フローを測定するまでの一連の作業において自動化試験機やコンピュータの活用により、データ計測や計算処理

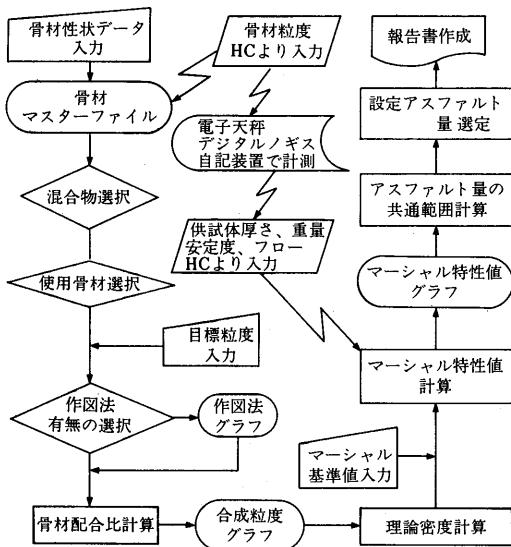


図-5 配合設計システム構成図

理および報告書の作成までの省力化を図ったものである。⁵⁾

(2) 実施例

配合設計システムの実施例を以下に示す。

① 配合比・理論最大密度の計算

各骨材の性状試験データをパソコンに入力（粒度は、ハンドヘルドからの転送可能）し、対象とする混合物の予定粒度を入力すると自動的に最適な配合比が算出され、その配合比による理論最大密度が計算される。

② マーシャル供試体厚さ・密度測定

図-5に示すように、マーシャル供試体の厚さ測定にデジタルノギスを使用し、密度の測定には電子天びんを使用する。これらをデータ集録装置およびI/OボードとRS-232Cとを介してハンドヘルドにデータを取り込み、それぞれ平均厚さおよび各密度を計算した結果をプリントアウトする。

また、この保存データをRS-232Cでパソコンに転送し、配合設計プログラムでのマーシャル特性値の計算に用いられる。

③ 安定度・フロー

安定度・フローの測定値もデータ収録装置からハンドヘルドにデータ転送し、パソコン側の配合設計プログラムで処理できるようになっている。

④ マーシャル特性値のグラフと設計As量の選定

各特性値を計算処理した後、パソコン上のディスプレイにグラフが描かれ、各基準値によりアスファルト量の範囲を求めた後、その共通範囲により設計アスファルト量が算出される。

以上のデータ処理後に、図-6に示すように報告書が作成される。

4. 統合化システム

前章まで試験機とデータ処理へのエレクトロニクスの応用例を示したが、従来は計測とデータ処理とを試験ごとに別々に行っており、まだそれらを統合化したシステムの例は少ない。

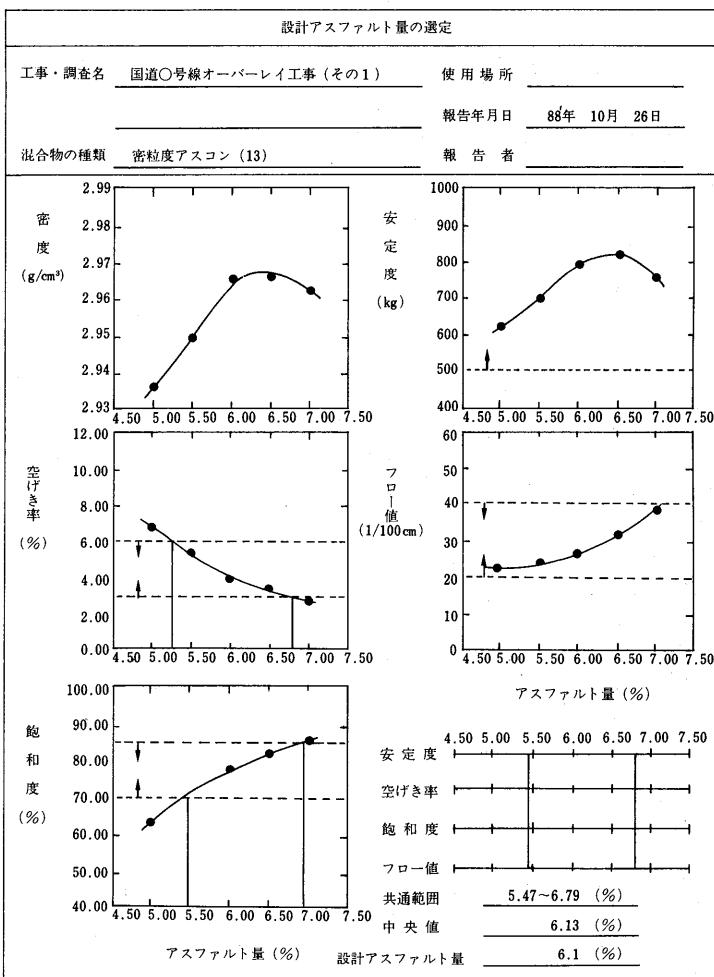


図-6 配合設計報告書作成例

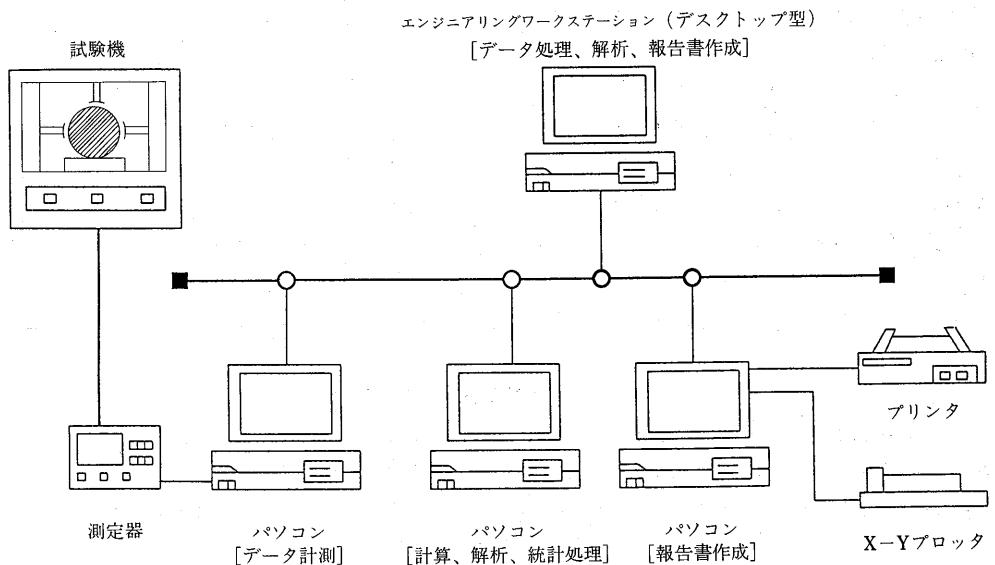


図-7 実験室における LAN の構築

そこで、図-7に示すように、各パソコン間をネットワークで結び、各種試験装置（試験機、センサ、計測器等）から試験データを収集し、それを処理（計算、解析、統計処理）して、最後に報告書の作成（表、グラフも含む）までをオンラインで行うシステム〔LAN (local area network)〕の構築が考えられる。⁶⁾

ここでもし多量のデータ処理や解析が必要となれば、エンジニアリングワークステーション(EWS: engineering work station)を使用したシステムに拡張していく。

また、研究開発や試験業務をより効率的に行うために、図-8に示すように、データの計測から処理および報告書の作成までを支援するラボラトリオートメ

ーション (LA: laboratory automation) システムの構築も要望される。⁷⁾

このLAシステムは、研究開発や試験業務に必要な技術情報の収集を外部あるいは内部のデータベースにより行い、研究・試験報告書は光ファイル等でファイリングして情報の共有化を行って、情報収集→データ計測→処理→解析→報告書作成→ファイリングを統合化したシステムである。

今後は、これらのシステムを活用し、エレクトロニクスを効率的に応用していく必要があると思われる。

5. あとがき

90年代に入り、パソコンは16ビットから32ビットへと、またラップトップ、ノートパソコンの出現等、コンピュータの高性能化、小型化はとどまるところを知らない。一方、センサも同様に高性能化、小型化が進み、その種類も豊富になって、今やほとんどの試験機に使用されるようになってきた。このように、既に室内試験においてはエレクトロニクスの導入から応用の段階に入っており、これらの試験機や計測器およびパソコン等の研究試験業務への効率的な活用が課題とな

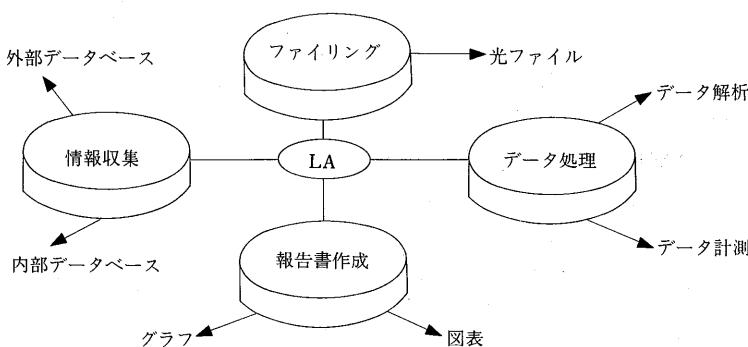


図-8 ラボラトリオートメーションシステム

っている。なお、エレクトロニクスを応用した試験機の導入は試験の省熟練化、省力化をもたらすが、機器そのものの価格が従来のものより割高になってくることから、必ずしも試験業務のコストダウンにはつながらない面がある。今後、これらの新しい機器が一層普及し量産されることによって、機器の価格が低減されることを期待したい。また、新しい試験機の使用等により、現在の試験業務の積算単価が見直されていくことも望まれる。

これまで述べてきたように、エレクトロニクスの応

用された試験機によって研究試験業務にもたらされるメリットは多い。しかし、ここで注意しなければならないのは、これらの試験機を使用する場合にキャリブレーションの重要性を認識すると共に、計測したデータを盲信せず、常に試験条件等のチェックを怠らないこと等の試験に対する基本的事項をもう一度見直してみることである。今後も新しい試験機やデータ処理システムが次々に開発されるであろう。それと共に、これらをより有効に活用するための統合化システムの導入の必要性がますます高まっていくものと思われる。

— 参考文献 —

- 1) 道路協会：舗装試験法便覧，11月，1988
- 2) 荒井明夫，植松祥示：舗装の品質管理業務における試験機器の自動化，舗装 Vol.23, No.2, 1988
- 3) 同上
- 4) 同上
- 5) 古谷薰，佐藤剛，芳野宏行：アスファルト合材工場における品質管理の合理化，道路建設，No.497, 6月, 1989
- 6) 日経BP：LAN導入ガイド，日経バイト，3月, 1990
- 7) 通産省工業技術院：研究者のためのラボラトリーオートメーション，電波新聞社，1983

☆1990年版発行のお知らせ☆

皆様からご好評をいただいている下記出版物は、毎年改訂発行しております。

ただいま発売中です。

日本アスファルト協会・発行

『アスファルト・ポケットブック』1990年版

ポケットブック版・表紙ビニール製・本文72ページ・実費領価1部 800円(送料実費は申込者負担)
ハガキにてお申込み下さい。

主な内容

- 石油アスファルトの生産実績
- 石油アスファルトの需要推移
- 石油アスファルトの需要見通し
- 石油アスファルトの製造及び流通
- 石油アスファルトの生産場所及び油槽所
- 石油アスファルトの製造原油
- 石油アスファルトの品質規格
- 石油アスファルトの用途
- 石油アスファルトの価格
- 道路投資額と石油アスファルト需要
- 昭和61年度の道路予算
- 道路の現況
- 道路整備5ヵ年計画
- 参考資料
- 石油供給計画
- 主要諸国の道路事情
- データーシート
- 住所録
- 会員名簿
- 関連官庁・関連団体

プラントとエレクトロニクス

吉 兼 亨*

1. アスファルトプラント発展の沿革

バッチ式のアスファルトプラントが初めて米国に出現したのが1870年代頃とされており、現在のプラントのようにドラムドライヤ（ロータリードライヤ）などの加熱装置と計量装置を備えるようになったのは1900年代に入ってからで、1950年代に機械的自動化が一段と進んだ。

これに対してドライヤドラムミキシングプラント（以下DMプラント）が米国に出現したのが1990年頃で、当時すぐに100台ほどに達し1930年代中頃まで用いられたが、その頃生産能力の高いわゆる連続式ミキサーを用いた連続式プラントやバッチ式プラントの開発が進み、DMプラントは姿を消していった。その後、1960年代には計量精度などの問題から連続式の2軸パグミルミキサを備えたいわゆる連続式プラントは衰退し、代って1960年代の終わり頃から1970年代にかけて省エネと再生のメリットから米国で再びDMプラントが出現し、急速に普及が進み、1980年には米国でのアスファルトプラントの販売シェアでは95%にも達するほどに普及したとされている。

このような変遷の中でアスファルトプラントのメカニックの進展は1950年代後半に入り、バッチ式プラントにおいて、空圧機構と電気制御系統の導入により自動化が進み、更に1960年代にはシーケンス制御による全自動プラントの出現をみるに至った。しかし、この時代の計量システムは、計量機としては例えれば横杆プルワイヤーを用いたベンシュラム式の全機械式のものが多かったが、その後差動トランスやポテンショメータを組み込んで、計量による変位量の伝達をプルワイヤーから電気信号に置き換えて、計量制御や表示を行いういわゆる電気式はかりの時代となり、1975年頃になって同じようなはかり機構が用いられているレーディクスコンクリートプラントに遅れること数年で、コードセルを検出部に持つ電子式はかりがアスファルト

プラントに導入されるようになり、ようやくエレクトロニクス化へ一步踏み入れたことになる。

このようにわが国のアスファルトプラントにおけるエレクトロニクス化は、計量システムから始まったといえる。その後、ピンレベル計、温度計などに優れたセンサーが導入され、後者は混合物の温度管理のためのバーナーの自動燃焼管理システムのセンサとしても取り入れられた。また、計量システムやサイロ下に設けられたトラックスケールによる自動出荷管理や製造における原材料管理などがミニコンやマイコンを利用して開発され1975年頃から普及し初めている。

1960年代後半に米国で省資源（省機械、省エネ）、公害防止などの面で連続式プラントであることのDMプラントが復活し、わが国でも用いられ始めたが、1975年に世界に先駆けて全自动連続重量計量システムを装備したプラントが出現した。その後、このタイプのプラントにおいて混合物の粒度管理を全自动化し、計量システムと組み合わせることにより、全自动配合管理システムを完成し、それを装備したプラントが世界で初めて1987年にわが国に出現した。このシステムでは配合管理の自動化はもとより管理データの処理、アウトプットまでも一貫してリアルタイムに行えるものである。まさに、ミニコン、マイコンの導入によりアスファルトプラントは急速にエレクトロニクス化が進展しつつあるといえる。

2. アスファルトプラントのエレクトロニクス化

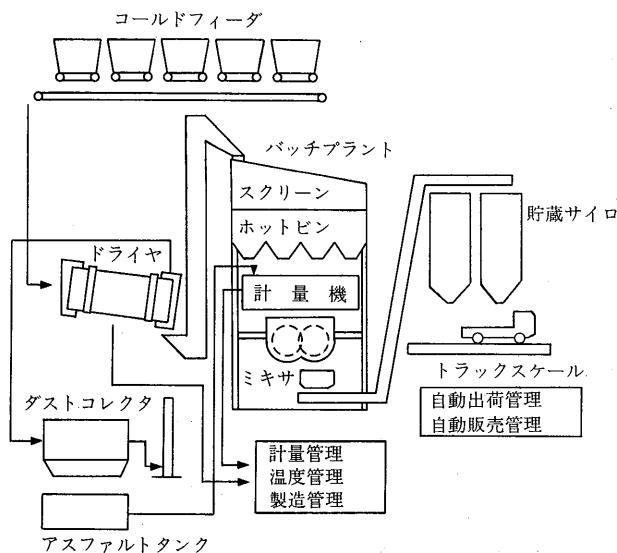
(1) アスファルトプラントにおけるエレクトロニクス化の概要

アスファルトプラントのエレクトロニクス化の概要を図-1及び図-2に示す。

図-1はバッチ式プラント、図-2はDMプラントの例である。

図-1のバッチ式プラントにおけるエレクトロニク

*よしかね とおる 大有建設㈱取締役技術本部長兼中央研究所長

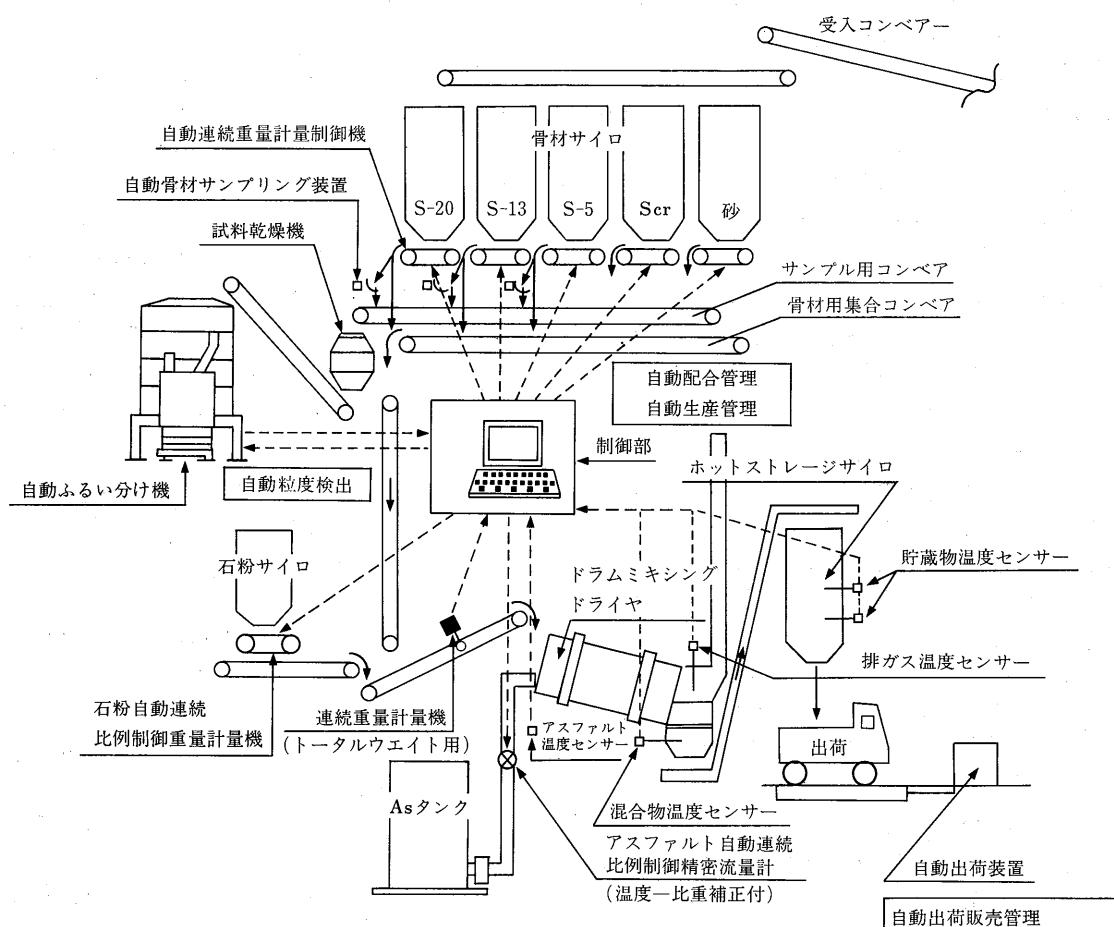


ス化の中心は計量・製造管理システムと出荷管理システムである。これに対し図-2のDMプラントの例ではそれに自動配合管理システムを備え製造、出荷の記録はもとより、計量管理・粒度管理の実行とその記録をリアルタイムでアウトプットできるのが特徴である。

以下アスファルトプラントのエレクトロニクス化の柱となっている計量管理、自動配合管理、温度管理及び製造、出荷、販売管理についての概要を述べる。

(2) 計量管理

アスファルトプラントの中で最初のエレクトロニクス化のシンボルは計量システムであろう。長い間機械式の代表であったベンジュラム式は、その成熟期には差動トランシスやポテンショメーターを併用したいわゆる電気式ばかりとしてパンチカードシステムなども導入されたが、計量による変位量の検出は横杆を用い機械式で行われ、基本的には衝撃やベンジュラムを省くことはできなかったが、ロードセルの出現は計量機を



完全に電子化した。即ち、同じ電気信号でも差動トランジスタやポテンショメータはあくまで一旦機械式ばかりで検出した変位量（変位長さ、変位角）を電気信号に変えるためのものであったが、ロードセルではそれ自体が直接荷重を受けて変位する量を電気信号として直接発信できるので、スケールホッパーの荷重を横杆を用いないで直接ロードセルに与える構造とすることができ（初期のものは横杆を用いたものもあったが、現在は多点式で直接ロードセルにて支持している）、横杆に設けられているナイフエッジの摩耗や、ペンジャラム機構における機械的フリクションなどによる誤差もなく、保守点検も容易である。しかも信号をデジタル変換することにより計量の制御精度も高まるとともに、自動記録もデジタル記録が容易にできる。この結果機械式コード板時代の自記装置の分解能のように、実計量値と記録値のずれのため、自記記録結果に対する信頼性が低く、品質管理の合理化が叫ばれながらも自記記録結果が殆ど活用されなかった経緯からみると格段の進歩である。

ロードセル方式はその初期には計量制御はアナログ信号で行い、表示のみデジタルで表すものもあったが、現在では信号のA/D変換を最初に行い、そのデジタル信号により計量の制御、自記が平行して行われるようになっているので、計量値と記録値とが不一致となることはない。また、デジタル値としてメモリーに記憶されるので生産データの処理がコンピュータで容易に行えるところから、生産ロット単位の品質確認のための材料の使用量も容易にチェックできる。

このように計量制御や、計量記録の精度が高まってきたのであるから、品質管理の試験業務の簡素化にはこの自記記録が大いに活用されてよいものと思われる。例えば小口の工事では計量値の納品伝票へのプリントまたは自記記録データの提出で、抽出試験などを省くのも一つの方法ではないかと思う。試験（管理）業務の簡素化のみでなく、抽出試験に用いる有機溶剤によって生ずる労働安全衛生の面からも、地球環境の破壊という面からも抽出試験を省くことが必要と思われる。わずかな抜き取りよりも全数チェックのできる自記データの活用が望まれる。勿論計量をめぐるエレクトロニクス化がいくら発達してもバッチ式プラントでは計量機への供給口は機械式であり、その供給制御精度が、結局は計量機の動的精度を支配するのでこの部分の保守点検が重要であり、今後もより信頼性の高い供給装置の開発が望まれるわけである。

次に、最近アスファルトプラントに出現してきた計量機として連続重量計量機がある。これにはベルトコンベアを流れている材料の重量を連続的に計量するだけのタイプと、もう一つは常に一定の重量を供給することのできるフィーダとしての連続計量機がある。この分野での計量機は以前には梃の原理を用いた機械式の連続重量供給装置として、製鉄などの原料供給装置などに用いられていたが、機構上から来る問題として流量の変化が生じるとハンチング現象により一定値に安定するのに若干タイムラグがあった。ハンチング中でも平均値は所定値に近似しているので問題はないが、現在ではロードセルを用いた電子式となり供給量をフィーダの開口部の機械的な断面積変化でなく、フィーダのベルトコンベアの速度を制御するようになったので、フィードバックタイムも瞬時に近くハンチング現象も殆どなく且つ所定の値に短い時間で収斂するので、その動的計量精度はバッチ式のそれに匹敵するか中には上回るものもある。このタイプの導入で従来の連続式プラントでは容積計算のため計量精度が悪く且つアスファルト量や石粉量が骨材量に応じて比例制御ができなかった問題点の解決が図られ、連続計量システムの計量精度への信頼度が高まり、DMプラントの復活に不可欠の計量システムとなった。

DMプラントにこのシステムが全自动として取り入れられたのは、昭和50年にわが国で行われたのが初めてであるが、その後このシステムの採用は普及している。前述のようにDMプラントが米国で普及した背景には、骨材の粒度が骨材生産者において優れた管理が行われていることと、計量精度の向上があげられる。米国のDMプラント出現の初期にはこのような計量システムは用いられていなかったが、今では相当に普及している。単に計量精度のみでなく、連続運転中の異状値の発生を容易に発見しうるし、修正不能な異状値の発生時には自動的に運転を中止することも容易であるので信頼性の面でも一段と優れている。

また、アスファルトの連続計量においても、以前のように単にアスファルトポンプで定量供給するのではなく、精密流量計の制御部にアスファルトの温度-比重関係を入力しておくことにより、温度センサーからの信号で供給容積を温度と比重に応じて換算重量で供給でき、且つ骨材総量の計量信号をもとに、自動バルブによるフィードバック制御により、アスファルト量が流量計により比例制御できる機構も備えるようになっている。また、最近ではアスファルトを重量（質量）

で連続計量のできる装置も出現している。

(3) 自動配合管理システム

アスファルト混合物の配合管理は基本的には、粒度管理と計量管理に分かれる。計量管理については(2)に述べたのでここでは主に自動粒度管理について述べる。バッチプラントでは粒度管理はハードとしてのヘッドスクリーンを用いることにより、同じ配合の混合物が連続して生産されている時には、コールドフィーダーで供給される骨材の粒度の変動巾に比べて、ホットビンの粒度変動巾はかなり小さく管理されているが、生産が不連続のため供給が断続的であったり、連続生産でも配合の切り替えがあったりすると、ホットビン粒度は必ずしも安定しいてると云い難いが、十分な経験にもとづきコールド骨材の供給や配合の修正を行えば混合物の粒度はある程度安定させることもできよう。しかし、これらはあくまで経験に頼るものであり且つ安定状態にあるかどうかもその都度試験されたりして記録などが残されている訳ではないので、混合物の粒度の変動を知るには抜き取り検査以外に確認の方法がない、しかもその抜き取り検査はわずかなサンプルを対象に行うものだけに試験誤差が大きくなることから検査基準も甘くならざるを得ない。また、品質管理として行う1日1回程度の粒度試験というのは確認のためのものに過ぎず、その結果により目標粒度に合うよう配合を修正しても、その粒度試験の結果が平均値と一致するという確率は低いもので、修正をしたがためにかえって実際の平均値と目標値とのズレが大きくなってしまうことが問題である。このように粒度管理はホットスクリーンにより行われているが、通常はその変動が実際にどうなっていたのかは全く判断のしようがない。

これに対して計量管理の方は前述のようにバッチ毎の計量記録はもちろんのこと、ロット毎の使用材料の

合計によるトータル的チェックも可能である。

一方、わが国でも最近になって普及はじめた、DMプラントでは、前述したように連続計量でも非常に精度の高い計量管理システムが採用されるに至って、大いに進歩したものとなったが、粒度管理に関しては機構上ホットスクリーンを設けることができないが、バッチ式プラントにおけるホットスクリーンによる粒度管理に対応するコールドスクリーンを備えたプラントは少なく、粒度管理は工程における1日に1~2回程度の粒度試験の結果から配合の修正を行っているのが現状であるが、この方法では余程粒度の安定した骨材(DMプラントの発祥地である米国ではこのような骨材の入手は容易であるがわが国ではかなり困難)が入手でき、且つ全ての貯蔵、移送段階で分離を防止しない限り、バッチプラントのホットスクリーンによる管理と同等の管理精度を得ることは困難であろう。このような背景から最近自動粒度管理装置が開発された。

このシステムを簡単に述べると、骨材を全量ふるい分けるふるい機即ちコールドスクリーンを用いる代わりに、図-3のフローに示したように全自动で骨材の流れから一定の時間間隔毎に(今のところ約10分間隔程度)骨材の試料をサンプリングし、ふるい分析を行いそれをもとに合成粒度が目標粒度に所定の精度以内に近似する解を求め、その配合比をもって直ちに計量装置の設定値を修正するもので、自動計量管理システムとドッキングして全工程を自動オンライン化することにより粒度の管理のみならず配合までも管理でき、且つその都度は勿論のこと、生産又は工事ロット毎の粒度、計量管理データ、その統計解析、管理図の作成までもアウトプットできるもので既に昭和62年より実働し十分な成果を上げている。

この装置の詳細は文献^{1),2)}に詳述してあるので、ここでは、管理データの一部を示すと、図-4、図-5の

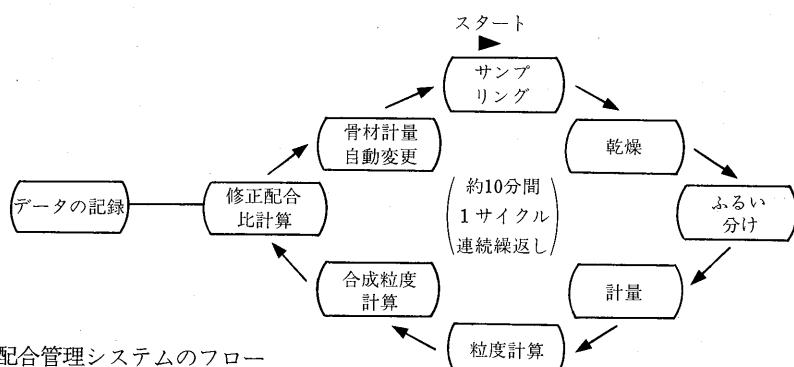


図-3 自動配合管理システムのフロー

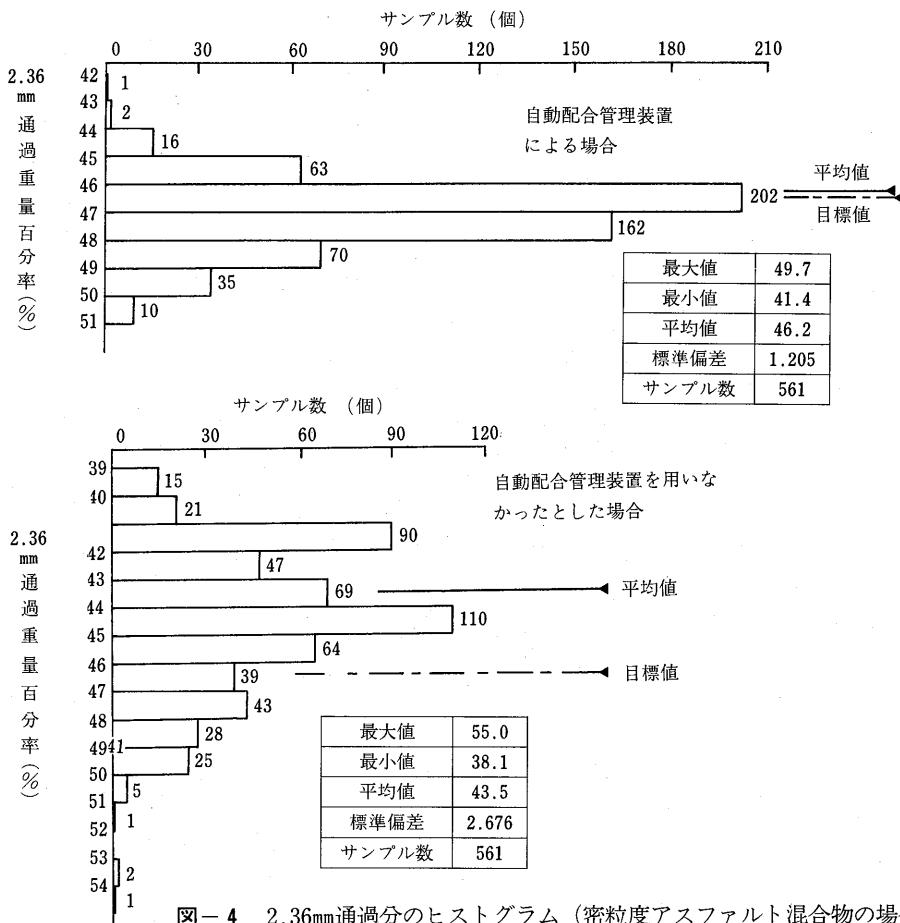


図-4 2.36mm通過分のヒストグラム（密粒度アスファルト混合物の場合）

2.36mmフリイ通過分

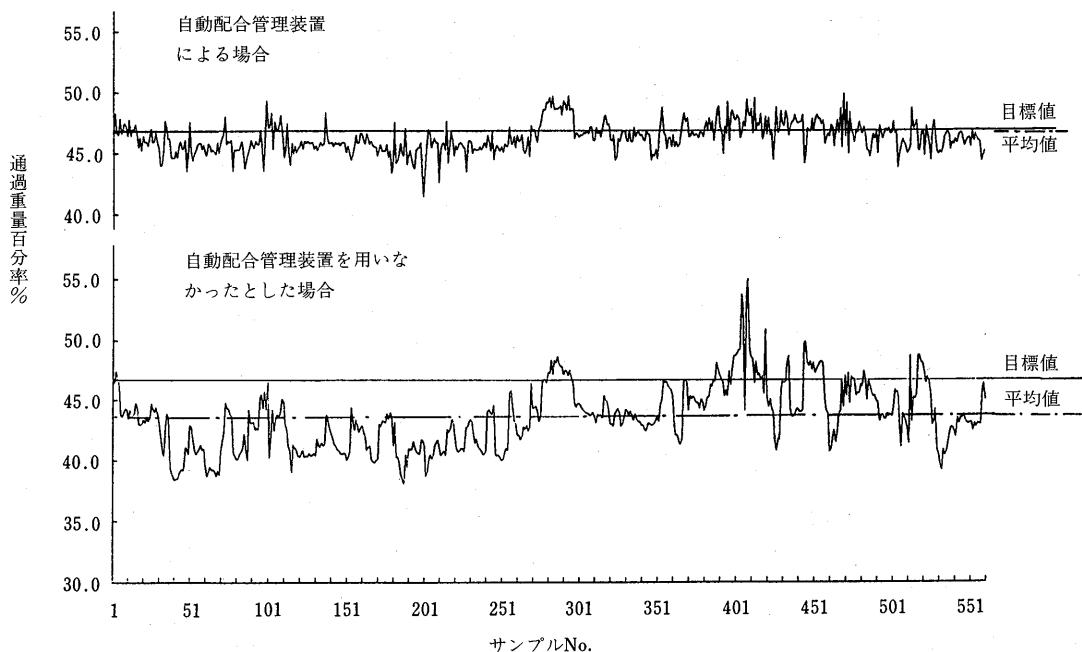


図-5 混合物粒度の変動の例（密粒度（13）アスファルト混合物の場合）

ようである。この図からコールドフィーダ（連続自動重量制御式）から供給される骨材の粒度変動が著しく大きいにもかかわらず混合物の粒度が非常に安定していることがよく分かる。写真-1に自動粒度管理装置を備えた制御室の例を写真-2に自動粒度管理装置の制御演算・表示部を示す。

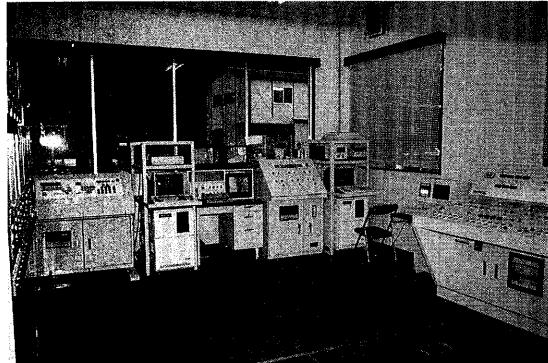


写真-1 全自動管理システムの制御室 (DMプラントの例)

正面左側：自動粒度管理装置

〃 中央：自動計量管理装置及製造管理装置

〃 右側：出荷・販売管理装置

右側面：機械設備運転操作盤



写真-2 自動粒度管理装置の制御・演算・表示部

したがって、このような粒度管理と計量管理とをオンラインで行うことにより配合の自動管理が行え、この記録データを活用することで、多くのデータを統計的に管理することができるので、精度が悪く手間がかかる、且つコスト面でも統計的に信頼度を高めるほど検査数を増すこともできない抜き取り検査と置き換えることも可能であろう。人手不足、及び有機溶剤による労働安全衛生、地球環境の汚染などの面からも自動

管理結果を利用することによる品質管理検査の合理化は必要と考える。また、この装置は連続式プラントに限らずバッチ式プラントに用いても同様な全自动で自動管理記録を取ることができるので、何れのタイプのプラントにも適用できるものである。

(4) 温度管理

混合物の温度はバーナーの燃料の供給量により管理されるが、生産量、目標温度、骨材の水分量(骨材個々の含水率と配合比による)などにより供給量を変える必要がある。このうち生産量、目標温度及び配合比はあらかじめ設定できるものであるが、骨材の含水率は混合物温度の変動要因であるので、その変動を抑えるには燃料の供給量の管理が必要となる。管理特性としては骨材の含水率の他、混合物温度(あるいは骨材温度)、排ガス温度があるが現在のところ骨材の含水率をリアルタイムに計測するセンサーがない(機械式の自動計測装置はあるがタイムラグが若干生じることと、自動サンプラーまで含めると装置がかなり大がかりとなるのでアスファルトプラントでは用いられている例がない)ことから、一般に前工程における水切りなどで骨材の含水率を安定した状態で使用する方法で対処している。これに対して混合物温度、排ガス温度はセンサーを用いて容易に計測できるところから、燃焼の管理特性として用いられているが、タイムラグの関係から一般には排ガス温度によりフィードバック制御する方法が取られている。

(5) 製造、出荷、販売管理

コンピュータ性能の向上とともにアスファルトプラントの計量管理用はもとより、プラント各装置の運転状況(モーター負荷、バーナー、集塵装置の作動状況など)などをディスプレイ上への表示と記録をしたり、計量管理システムやサイロ下のトラックスケールによる自動出荷システムから、出荷伝票の発給を始め請求書の作成など出荷、販売管理まで一連の業務処理オンライン集中化したFA化の進んだ管理システムも出現している。(写真-1参照)また、品質管理などの管理図やレポートの作成も外部入力によりオフコン処理のできるシステムも利用され始めている。写真-3に集中管理盤の一例を示す。多くの機能を一つの操作盤内に納め非常にコンパクトなものとなっている。これらに前述した自動配合管理装置が加われば、製造、品質、出荷、販売管理まで一貫した全自動生産管理システムとなり品質の安定、合理化、省力化に大いに貢献するものと考える。

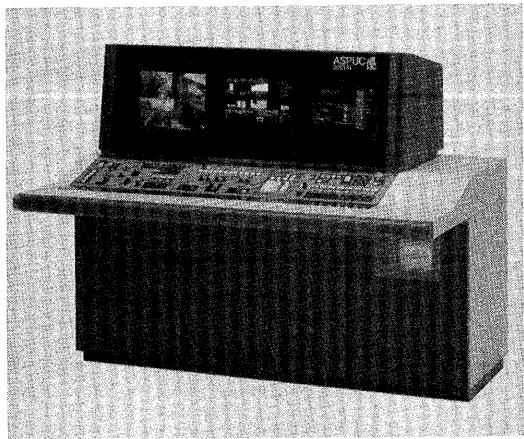


写真-3 集中制御盤の一例

ディスプレイの左側：主要機械装置のTVモニター用
マルチスクリーン

中央：計量管理の表示及材料、混合物、
温度の表示

右側：設備運転状況とバーナー、排ガス、バグフィルタの温度表示

3.まとめ

以上アスファルトプラントの製造出荷設備においてエレクトロニクス化されたシーケンス制御やフィードバック制御などの管理システムについて述べたが、まだ開発されたばかりのものもあるが、工程管理の自動化がエレクトロニクス化により大幅に進展し、品質の向上、省力化などに大きく寄与している。なかには骨材の含水率のように適切なセンサーの開発が望まれているものもあるが、いづれにしても、ここまで発展してきた現状を認識し自動管理システムを有効に活用して、品質管理や検査の手法を合理化することが急務であると考える。終わりに浅学の上に準備不足のため、内容の乏しいものとなった点をおわびします。

—参考文献—

- 1) 吉兼, 竹島, 中西; 自動配合管理システムによる加熱アスファルト混合物の配合管理, 日本道路協会, 第17回日本道路会議論文集(昭62年) pp. 548~549
- 2) 吉兼, 竹島, 中西; 自動配合管理システムによる加熱アスファルト混合物の配合管理, 製装(昭62年) Vol.23, No.1 pp.29~35

石油アスファルト統計月報

B5 : 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。

ハガキにてお申込み下さい。

申込先 105 東京都港区虎ノ門2丁目6番7号
和孝第10ビル
社団法人 日本アスファルト協会
アスファルト統計月報係

—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

施工機械とエレクトロニクス

高野 漢*

1. まえがき

舗装の高度化を目指して、多くの新工法、新材料が開発されている今日、これらを実用に供し、所期の成果を得るために、施工技術面で、多くの技術革新が必要と思われる。従来舗装工事は単一の作業を積み重ねる施工法が主体であったが、技術者、作業員が不足する現状にあって、生産性を高め、品質の確保に対応して行くためには、より複合化、総合化された施工システムの導入が必要である。他方、作業のシステム化にともなう施工機械に関する問題点として、受注産業であり、多種少量生産が主体であるので、機械の保有形態がリース、レンタルに移行する中にあって、新しい性能を有する機械をどのようにして導入したらよいか、新機種、新技術の開発のための投資が充分になされるか等がある。当然のこととして、これらの諸事情を考慮しつつ、建設業は、より合理的な方法で生産を行なべく施工面で多くの改善が必要で、生産手段の改良に目を向け、施工技術の改良、開発を重要視しなければならない立場にある。これまで機械単体の開発、導入に向けられていた資金の一部を、施工技術のシステム化の研究に振り向けるべきであるともいわれており、したがって従来とはやや異なった見方にもとづく機械の改良、開発がなされつつあり、そのために、エレクトロニクスの応用が非常に役立っている。換言すれば、メカトロ化があって、施工技術の革新を実行することができるのである。最近は、非接触で測定可能なセンサーを自由に使用できることなどから、先端では自動化技術の進歩はめざましいが、末端ではほとんど施工法に変化が見られず、新しい技術を開発すると同時にその普及を促進することが、今日の重要な課題といえる。

2. エレクトロニクスの応用に関する研究、開発の現況

舗装技術へのエレクトロニクスの応用は、アスファルト舗装関係において、自動化された試験機、舗装の

評価に用いられる機器に多くの例が見られ、レーザー、超音波、各種センサーが利用されている。施工技術への応用は、1965年頃、アスファルトフィニッシャの敷きならし厚の制御装置が実用化されたのに端を発し、エレクトロニクスの技術の進展とともに、同装置の改良がすすみ、道路工事用機械の中で自動化がもっとも先行している。その後モーターグレーダのブレード、ベースペーパの敷きならし厚、ブルドーザの土工板、バックホウ（油圧ショベル）のバケットの水平移動等の自動制御技術が開発され、実用化されている。しかし道路工事の特例として、制御の基準となるガイドラインを設置するのに手数を要するため、丁張、ロープ等に代わってレーザーを利用することなどが研究されているが、実施例は少なく、したがって、前述の自動制御装置は普及するに至っていないのが現状である。他方施工面での技術革新のために、エレクトロニクスを利用した品質管理手法の改善、施工機械の高度化等の要求が強く、各方面で研究がなされており、日本道路会議における報告よりその傾向を見ることができ、第17、18回の日本道路会議におけるエレクトロニクスを応用した施工機械の改善に関する論文は、表-1のとおりである。これらの研究、技術開発の傾向より、施工技術のエレクトロニクス化の現状と動向を推察することができ、表-1の各論文を参照し運転の容易化、省力化、品質管理の合理化等を目的とした、敷きならし機械、締固め機械、建設機械の安全対策等に関するエレクトロニクスの応用例について述べる。

3. 敷きならし機械

3.1 路盤用機械

敷きならし装置の高さを油圧シリンダーなどで昇降させ、基準面（線）に接したセンサーからの信号にもとづき、油圧シリンダーを制御する方式が古くから行われておらず、これに代る新しい方式は見当らない。こ

*こうの ひろし 日本舗道㈱取締役技術開発部長

表-1 日本道路会議論文集よりエレクトロニクスの利用に関する論文一覧表

論文NO	論文題名		主な内容
一般論文集	17回 536	石川 古谷 舗装の品質管理データ 処理システムについて	パソコンを利用し統計的手法による要 因分析、工程へのフィードバック、日 常管理における書類作成の省力化等を 目的としたシステムの開発
	17回 587	伊藤 早川 ベースペーパによる路 盤の施工	自動化された機械による路盤材料の敷 きならし例
	17回 606	森 綿引 播本 マイクロ波によるアス ファルト混合物の加熱	合理的な手法によりアスファルト舗装 を加熱するための基本的研究
	18回 504	後町 山辺 大宮 舗装のメカトロニクス 利用による情報化施工 の検討例	今後の舗装機械は、リアルタイムの施 工管理が必要であることを前提とし、 その一部である舗装厚自動測定装置の 開発
	18回 510	中村 南条 松井 路床、路盤の締固め管 理の手法について	振動ローラを用い、連続的に締固めの 程度を測定し、その結果を施工管理に 反映させる手法の実施例
特定課題論文集	17回 508	稲垣 奥平 廣藤 リミックスにおける施 工管理の合理化の一手法	事前調査にて路面形状を測定し、その データを用い、添加剤の散布量をコン ピュータにより制御する施工管理の合 理化の実施例
	17回 511	高野 三崎 舗装機械より見た舗装 の施工管理	舗装の施工管理の高度化と合理化を図 るための、リアルタイムに所要の測定 と記録を自動的に行う舗装機械の検討

の方式の施工上における問題点は、基準面の設置である。丁張間に張ったロープ、ふち石の上面、型わく等が、基準面として用いられているが、設置のために手数がかかること、フォーメーションに対して所要の精度で設置することがかなりむずかしいこと等が、普及する上で障害となっており、レザーの利用も試みられているが、道路の場合、縦横断勾配の設定、曲線部における線形の変化等にどのように対応するかという問題が残されている。基準面を使用しないで、別な方法により敷きならし高さを制御する研究もなされているがまだ実用化されていない。施工管理の合理化のためには、敷きならし厚と幅、密度、含水比、作業速度、出来形、出来高等をリアルタイムに記録することが必要となるが、モーターグレーダ、ブルドーザ等を改良することで対応するのか、専用機械を開発するのか、議論が分かれる所である。今後、生産性の向上、建設業に働く労働力の減少への対応、建設機械に係わる投資の合理化等を考慮すると、次に述べる表層、基層の敷きならし機械との兼用が将来に向っての解決策と思われる。敷きならし作業に必要な基本的な機能は同一であるので、材料が変る度に施工機械を変えるという考え方は、施工の合理化を進める上で得策とはいはず、路盤用機械は、求められる性能、構造等が略々同一であることを考えると、表層、基層敷きならし機械共通して、エレクトロニクスの応用による改良、開発が進められることが望ましい。

3.2 表層・基層敷きならし機械

この種の機械を代表するアスファルトフィニッシャは、前述のとおり、建設機械の中で、もっとも古くからエレクトロニクスを応用した敷きならし高さの自動制御装置を使用しており、かなり普及しているが、標準装備とはなっていない。路盤用機械と同様に、制御のための基準面の設置が省力化と相反するため、普及を防げる一つの原因となっているなど、現状の問題点を乗り越えて施工の自動化を図るために、総合的な施工の自動化の検討が必要である。舗装工事におけるエレクトロニクスの応用は、作業現場が移動すること、作業環境が悪いこと等の理由により、普及がおくれているが、アスファルトフィニッシャは、他の建設機械に比較して自動化しやすいとされており、前述の部分的な自動制御から脱して、コンピュータを利用し、各種情報を施工管理に応用する方向に開発が進められている¹⁾。従来、自動化の目的は、省熟練化、品質の向上、危険な作業からの解放等であるとされていたが、最近の建設産業の問題点に対応し、自動化の目的に新たな項目が追加されつつあり、

- 1) 品質保証：品質の向上と同時に品質の平均化、安定化に役立つこと。
- 2) 人材確保：未熟練者が運転できる機械であること。
- 3) 労務対策：生産性の向上；特に小規模工事の施工の合理化に役立つこと。
- 4) 管理機能：リアルタイムにおける品質、施工管理

に利用できること。

5) 安全対策；危険を予知し事故防止に役立つこと。

等であり、従来の考え方よりかなり幅広いものを要求されているので、この目的に対応して新しい施工技術を確立するための技術革新は、新しい性能を有するアスファルトフィニッシャの開発を出発点として推進されるものと思われる。

他方、アスファルト舗装機械に望まれる特性は²⁾、オペレータの技能低下、アスファルト混合物の多様化、舗装工事の小規模化が進む中にあって、

- 1) 作業性が悪い混合物であっても、混合物本来の特性を有する舗装を造ることができること。
- 2) 工事内容の多様化に適応しつつ、しかも施工管理の機能を持っていること。
- 3) オペレータを機械運転業務から解放し、施工状況の監視業務を行えるようにすること。

等を上げることができ、そのためのメカトロニクス化が急速に進められているが、現段階では既存の機械の改良に重点がおかれ、従来のものと異なる機能を有する機械は実用化されていない。前述の各種要求を取り入れ、試作されたものが図-1、表-2に示すアスファルトフィニッシャであり³⁾、この機械の特長は次のとおりである。

1) 自動操縦装置による無人運転

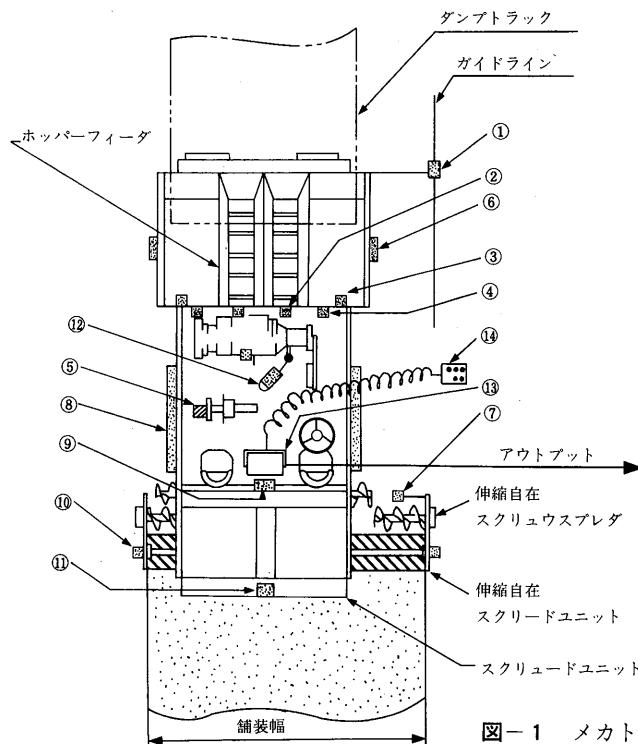


図-1 メカトロ化されたアスファルトフィニッシャの一例

2) 各センサーによる操作にともなう安全の確認

3) 混合物の自動供給

4) 舗装幅、厚、延長等出来形、出来高の自動測定、記録

5) 敷きならし厚、幅の自動制御

6) 作業速度、混合物の温度等の自動測定、記録

以上の性能を有する機械は、実験の段階にとどまつておらず、3), 5) 項の装置を取り入れ運転を容易化した1人で運転できる機械が実用に供されている。

最近の情報として、スエーデンのCDI社が開発したマットコントローラーがあり、これは、アスファルト舗装の施工にともなって、施工管理に必要な情報を連続的に測定、記録することができ、施工管理の省力化を行うことを目的としている。この装置は、図-1に示す情報をリアルタイムにアウトプットすることができ、今後のアスファルトフィニッシャの方向を示す1例である。このようにして、現段階では各操作単独の

表-2 アスファルトフィニッシャのメカトロ化に必要な機器（図-1参照）

NO	名 称	用 途
1	センサー	進行方向の位置検出
2	"	前方障害物の検出
3	"	ホッパ内材料レベルの確認
4	リミットスイッチ	ホッパウイング開閉位置検出
5	スピードセンサー	敷きならし速度、距離測定
6	センサー	ウイング操作にともなう安全確認
7	"	スプレタまわりの材料レベル検出
8	舗装厚制御装置	敷きならし厚の測定、自動制御
9	こう配計	横断方向こう配の測定、自動制御
10	近接スイッチ	敷きならし幅の自動制御
11	温度計	舗装の温度測定
12	運転制御装置	前後進、ブレーキ、ステアリング等自動運転
13	C P U	自動運転用コンピュータ
14	リモートボックス	遠かく操作

(アウトプット)	
日 時	
工 事 名	
混 合 物 種 類	
舗 装 延 長	m
幅	m
平 均 幅	m
面 積	m ²
混合物 単位重量	kg/m ²
全 量	t
温 度	°C
平均 作 業 速 度	m/min
測 点	

自動制御にとどまっている舗装機械は、自動運転、仕上げ面の平たん性のリアルタイムの管理手法、舗装厚その他の自動測定、自記録装置等が実用化されると、エレクトロニクスを応用した、知能を有するものになることが予想され、この技術が他の機械に採用される時点で、施工技術の革新は急速に行われるものと思われる。

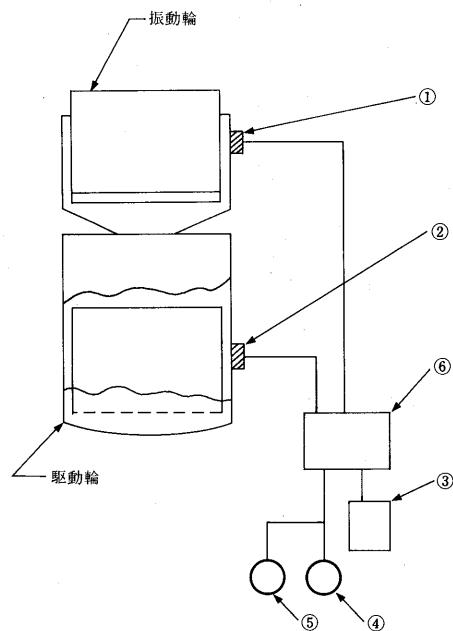
4. 締固め機械

締固め作業は、品質の良否を決める要因であり、舗装工事においては特に影響が大きいので、施工管理の向上のため種々対応がなされている。従来、正しく転圧作業が行われるようオペレータを訓練することで対処していたが、オペレータ不足とともに運転の容易化の必要性などから、新しい締固め作業の管理手法が研究され、

- 1) 転圧回数を自動的に記録する装置
 - 2) 転圧時、機械の幅寄せを自動的に行う装置
- 等が実用化されている。

路床、路盤の締固め管理は、プルーフローリング、砂置換による密度測定、転圧回数を規定すること等により行なわれているが、密度測定はリアルタイムの管理に不向きであり、プルーフローリング、転圧回数による管理は、検査員、オペレータの主觀に依存しているので、省力化のため新しい管理手法の開発が望まれている。こうした現状にあって、振動ローラを用い、締固め度の増加とともに、振動輪の振幅が変化することに着目して、その変化を表示することにより、転圧作業を管理する方式がヨーロッパで一般化しているが、この技術を更に発展させ、締固められる状態を転圧作業の進行と同時に連続的に測定し、その結果をアウトプットすることができるCDSと称されるシステムが、スウェーデンのゲオダイナミック社により開発され、国内で試用した結果、部分的な改良が必要であるが路床、路盤の締固め管理の合理化に役立つものとして期待されている⁴⁾。このシステムの概要を図-2に示す。振動輪に取り付けたセンサーで、その加速度を測定し、加速度の波形の乱れをプロセッサーで分析して数値化したCMV(Compaction Meter Value)と称する指標として表す。同時に走行距離を測定し、各点における指標をコンピュータにより記録しておき、必要に応じて転圧を行なった部分のCMVを平面図としてアウトプットすることができる。CMVと管理基準との関係を事前に明確にしておけば、転圧作業中にメータに表示

されたCMVを見ることにより締固めの進行状況を知ることができ、アウトプットは、管理図として利用することができる。試用結果の報告⁴⁾によれば、下層が軟弱な場合、たわみ量とCMV、密度とCMVの関係にかなりばらつきがあるが、下層の条件がよいときは相関性があるので締固めの管理に利用することができるとしており、今後の研究に期待することろ大である。なおこの装置は高価であるので、単に転圧作業中、オペレータなどに対しCMVのみを表示する簡易な装置の開発が検討されている。このシステムはアスファルト舗装の締固めには不向とのことで、他の方式の開発がスウェーデン等で進められている由である。又、締固め機械は、車輪への混合物の附着防止のため車輪を加熱し、所要の温度にコントロールするなど、使いやすくするためのエレクトロニクスを利用した新しい技術の展開も試みられている。



NO	名 称	用 途
1	A センサー	振動輪の加速度の波形の測定
2	I センサー	走行距離の測定
3	プロセッサー	加速度の波形の分析
4	C M V 表示メータ	締固め度の変化を示す指標のアナログ表示
5	振動数 表示メータ	振動輪の振動数のアナログ表示
6	コンピュータ	データの記録 パソコンへの転送 締固め管理図の作成

図-2 CDSを装備した振動ローラ

5. 安全装置

建設機械の運転操作上の第三者に係わる安全対策として、バックブザー(後進時の信号発信), 安全バンパー(人・物などに接触したとき機械を停止させる装置), バックセンサー(死角に入った人物などを検知する装置), 死角部分を監視するテレビカメラ等, 従来からエレクトロニクスを利用した安全装置が使用され, 事故防止に役立っているが, これらの装置は, 人物と障害物の区別ができない, 警報ゾーンが狭い, (3~5m), センサーの死角が多い等があり, 性能向上のための改善が望まれていた。これに対応して, 図-3に示す安全チョッキシステムが開発され, この分野における技術の進歩に役立っている⁵⁾。この装置は超音波の利用技術の発展によって完成したもので, 図-3において, 機械に取り付けられたアラームソーナーから発せられた超音波を, アラームベストを着用した作業者が受信すると, チョッキに取り付けられたブザーが鳴り, 作業者は危険を予知することができ, 同時に超音波を発し, これを機械上のセンサーが受信するとブザーが鳴り, オペレータは危険を予知することができるシステムとなっている。警報ゾーンは幅4~5m, 延長10mであり, その内幅2m, 延長4mのゾーンは, アラームベストを着用するしないにかかわらず, 人物や障害物がゾーンに入ると機械上のブザーが鳴り, アラムベストを着用しない第三者の事故防止に役立っている。この種の安全装置は, 近接作業が多い道路工事においてはきわめて有用であり実効が上っているが, 他の機械や作業の安全対策として利用することができ, その普及が望まれる。

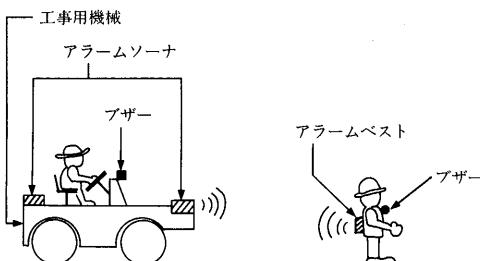


図-3 安全チョッキシステムの原理

6. その他の機械

瀝青材料や碎石等の散布機械分野は, エレクトロニクスの応用例がない。ダムのアスファルトフェーシングなど危険な所で作業する機械は, リモートコントロールなどの目的でエレクトロニクス化が進んでいる。

路上表層再生機械の分野では, 舗装の加熱における温度制御, 新旧混合物の計量, 添加剤の計量等において, エレクトロニクスを利用し, その精度の向上がいちじるしい。舗装を加熱するのにマイクロ波を利用する技術の開発も行われ, ガス又はオイルバーナーに代わる新しい装置として興味が持たれている。

7. あとがき

舗装工事は, 他の土木工事に比較して, 品質保証のための施工中における監視業務が多いため, 完全な無人化は困難であるので, オペレータの技能低下, 施工管理の合理化等への対応を考慮すると, 舗装機械の開発, 改良の方向は, エレクトロニクスを応用した運転の容易化, 監視業務の自動化, 測定, 記録, 報告等を行うことができる人工知能化等の実現を目指すものと考えられる。前述の各装置は試作, 試用の段階のものが多く, メカトロ化に向って動き出した所であるが, 舗装機械は, 比較的定形作業が多いので, 他の建設機械に比較して自動化, メカトロ化が行いやすいとされており, 前述の装置の実用化, 普及が早急になされることを期待したい。次の段階は, 重作業のロボット化である。高温の混合物を取扱うアスファルト舗装に係わる作業は, 第1にロボット化の対象としなければならないと思われるが, まだその動きは見られない。超小型掘削機が簡単に入手できる今日, この種の機械のメカトロ化は, 即舗設作業用ロボットの導入となり得るので, エレクトロニクスの応用による入手不足への対応として, 機械の自動化とともに苦じゅう作業のロボット化の実現を期待したい。

参考文献

- 1) 後町他「舗装のメカトロニクス利用による情報施工の検討例」第18回日本道路会議一般論文集
- 2) 高野他「舗装機械より見た舗装の施工管理」第17回日本道路会議特定課題論文集
- 3) 高野「アスファルトフィニッシャの高度化の動向」建設の機械化, 87 . 7
- 4) 中村他「路床, 路盤の締固め管理の一手法について」第18回日本道路会議一般論文集
- 5) 後町他「安全チョッキシステムの開発」平成元年, 全国建設業労働災害防止大会論文集より

舗装の評価とエレクトロニクス

～主として路面性状測定について～

柴崎 隆次*・安納 正美**

1.はじめに

我国の舗装済み道路の延長は着実に増加し、昭和63年4月1日現在で簡易舗装を含むと732.529kmにもおよんでいる。

これらの膨大なストックを合理的に維持管理していく上において、舗装路面の供用性、破損状況を定量的に把握する事が、不可欠な要素となる。

路面性状の装置は從来から横断プロフィルメータ等の機器を用いた人力作業が中心であったが、ストックの増大に対応して、調査の省力化と安全性、データ処理の高速化を図るべく、路面性状測定装置の開発ならびにデーターバンクの整備が行われてきた。

本報告書は主としてこれらの路面性状調査システムの概要を紹介するものである。

2. 光学技術（オプトエレクトロニクス）を用いた路面性状自動測定装置

昭和60年度の建設技術評価制度を契機として、路面性状自動測定装置による路面破損の定量化技術及び解析・計算処理が鋭意推進されてきた。

その後、建設省をはじめとして、路面性状を中心とするデータバンク化の進展と相俟って、年間約2.5万kmの路面性状測定車の利用が図られている。

(1) 各社の測定方法の比較

各社の測定方法を表-1に、測定車の外観を写真-1に示す。

本装置の特徴は、高度な非接触センサー等の新技術を用いて、高速かつ交通の流れに沿った連続測定により、条件が良ければ、最大100km／日以上もの調査が可能である。

表-1 各社の測定方法の比較

会社名	項目	(株)パスコ	国際工業(株)	日満化学工業(株)	東京道路エンジニア(株)
ひ び わ れ	記録方式	ストリークカメラ	ストリークカメラ	ビデオカメラ	ストリークカメラ
	調査時期	夜間のみ	夜間のみ	夜間のみ	夜間のみ
	記録媒体	写真フィルム	写真フィルム	業務用ビデオテープ	写真フィルム
	走行速度(km/hr)	5~80	0~60	0~60	0~60
	読み取り方式	ネガ投影	ネガ投影	画像処理	ネガ投影
	データ入力	自動入力	自動入力	自動入力	手入力
わ だ ち 掘 れ	記録方式	パルスカメラ	ビデオカメラ	ビデオカメラ	CCDカメラ
	投影光	条線	条線	条線	点線
	記録媒体	写真フィルム	磁気テープ	業務用ビデオテープ	フロッピー
	調査時期	夜間のみ	夜間のみ	夜間のみ	夜間のみ
	走行速度(km/hr)	0~100	0~80	0~80	0~80
	読み取り方式	ネガ投影	画像処理	画像処理	自動処理
	データ入力	自動入力	自動入力	自動入力	自動入力
平 坦 性	測定方式	非接触型変位計	非接触型変位計	非接触型変位計	非接触型変位計
	記録媒体	磁気テープ	磁気テープ	業務用ビデオテープ	フロッピー
	調査時期	昼夜可	昼夜可	夜間のみ	昼夜可
	走行速度(km/hr)	0~100	0~100	0~80	0~60
	データ入力	自動入力	自動入力	自動入力	自動入力

*しばざき りゅうじ 日満化学工業㈱業務第二部 **あんのう まさみ 日満化学工業㈱業務第二部

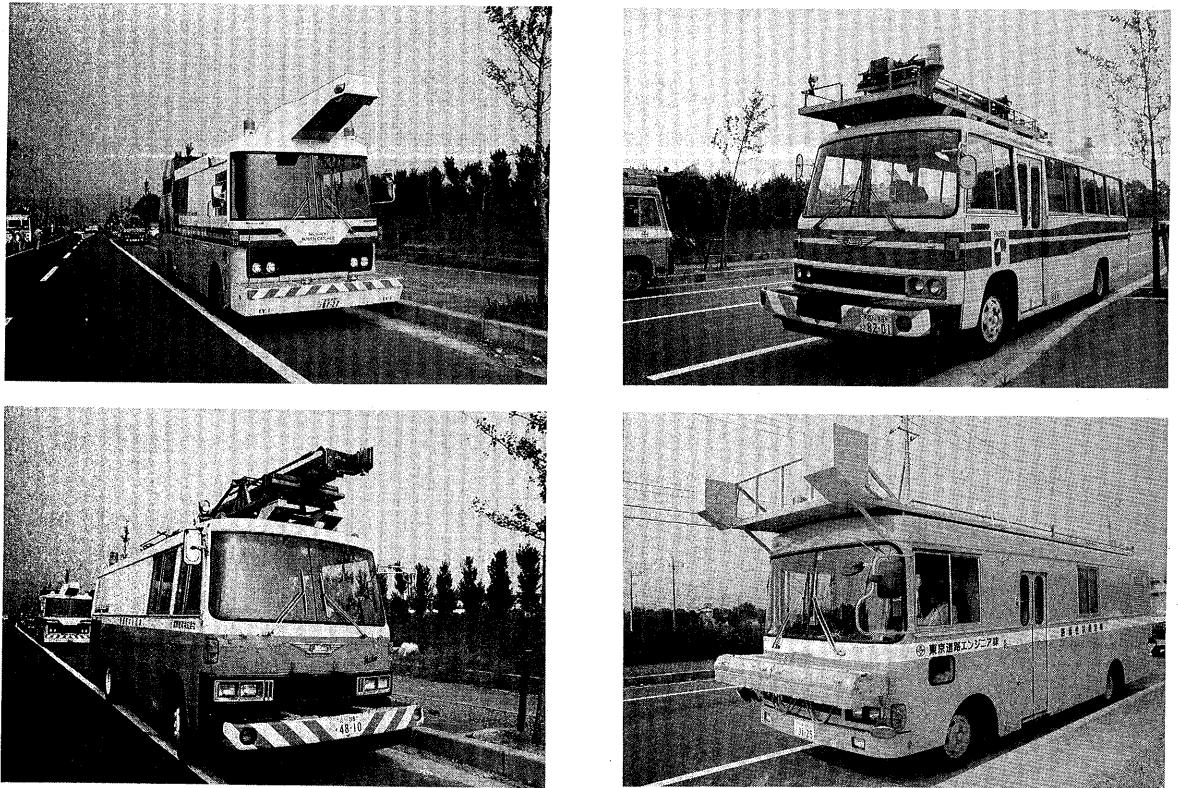


写真-1 路面性状自動測定車の代表的機種

(2) 性能確認試験

路面性状自動測定装置は、計測各社いずれも建設技術評価制度においてその精度の認定を受けたものである。それ以降の性能確認は調査会社の自社検定、あるいは、発注官庁の指示により検定区間を設け、精度確認が実施してきた。

しかし昨年度より、建設省土木研究所舗装研究室の指導のもとに財團法人土木研究センターによって、調査会社が保有する全ての測定装置について、同一の条件・試験方法で定期的な性能確認試験が行われる様になった。

その性能確認項目と評価基準は次の通りである。

- (a) 距離測定精度 一テープによる実測値（約1000m）に対し±1%以内の精度。
- (b) ひびわれ測定精度 一幅1mm以上のひびわれが識別可能な精度。
- (c) わだち掘れ測定精度 横断プロフィルメータの測定値に対し、±3mm以内の精度。
- (d) 平坦性測定精度 3mプロフィルメータの測定値に対し、±30%以内の精度。

内の精度。

(3)今後開発が望まれる自動測定装置

1) ひびわれ自動認識装置

平坦性、わだち掘れのデータ解析は、計測車の測定能力に合せて電算機によりリアルタイム処理の対応が図られている。

一方、ひびわれ解読については、各社共にプロジェクトあるいはハイビジョンテレビ等に投影し、視察によってメッシュの評価点をライトペン等で入力する半自動方式が一般的に行われている。

そのため、各社とも個人差の解消、省略化のために画像処理手法の開発を行っている状況にある。

当社においては、株式会社小松製作所と共同研究を行っており、そのひびわれ自動認識装置の処理の概要を以下に示す。

（第17回日本道路会議論文発表「新しい画像処理技術による路面クラックの自動認識」）

- ① 計測された原画像（1m×1m）に対し、可変スリット法（投影波形を利用した特徴抽出法）を適用し、クラックの候補点を線セグメントとして検出する。

- ② セグメントデータは、路面上の骨材等の陰影ノイズも含まれるため、各セグメントに対して、分類、判定を行うとともに、隣接するセグメントペアに対し、方向変化、端点間距離等の位置関係を表現する評価パラメータを計算し、配置状況をマップに格納する。
- ③ セグメント間の連続性の判定より、クラックを認識し、連続した線画として表現する。そしてメッシュ内のクラックの有無、線状・面状の分類、クラックの全長、幅等の評価項目を自動的に算出する。(図-1 参照)

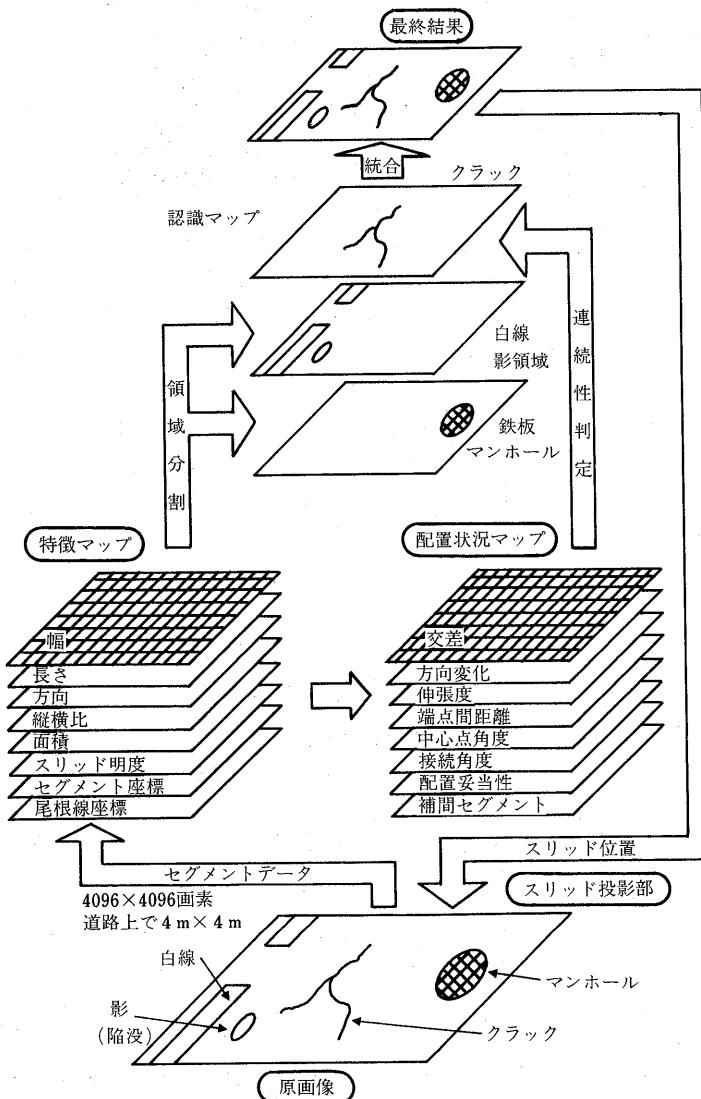


図-1 ひびわれ自動解析装置のフロー

当初、上記シミュレーションは、IBM 大型計算機でメッシュ当たり約84秒も要していたが、現在専用高速

処理ハードウェアを実装し、0.75秒／メッシュまで、高速度、高精度化の改良が行われている。

2) 路面段差の自動測定装置

道路構造物の増加や都市内道路における高架が促進されるに伴なって、高架のジョイント部等に発生する段差に起因した、振動や騒音が近年大きな問題となってきた。

今後、管理者サイドからの要求項目である従来の三要素に加えてユーザーサイドからの乗り心地や、沿道住民の環境を保護するためにも、段差の定量化技術とその自動測定装置の開発が必要となってくると思われる。

3. 輋装データバンクシステム

現在、直轄国道においては、各地方建設局の本局コンピュータの環境に、舗装データバンクシステムが構築されているとともに、「舗装データバンク運用細則」に準じ、補修計画を立案するための各種資料の作成が行われている。

そのシステムの流れは図-2 のとおりである。

(1) システムの概要

本システムは昭和58年度に構築された*舗装データバンクを基に、大幅な改良を加えたものであり、以下にシステム概要及び主な改良点について示す。

1) 入力機能

路面性状データ及び道路管理特性データ、施工補修データ(表-2、表-3 参照)及び舗装構成データの入力データ単体チェックに加えて、各入力データ間の関連チェック強化を図り、データ精度を高めている。

- 施工補修データ……維持または修繕の履歴データで、新設・全層打換えは含まない。
- 舗装構成データ……新設または全層打換えの時の構成断面データであり、その後の施工補修データが加わった場合には、最新の構成断面を自動生成する。

*アスファルト第26巻No.135号「維持管理・補修へのエレクトロニクスの利用」

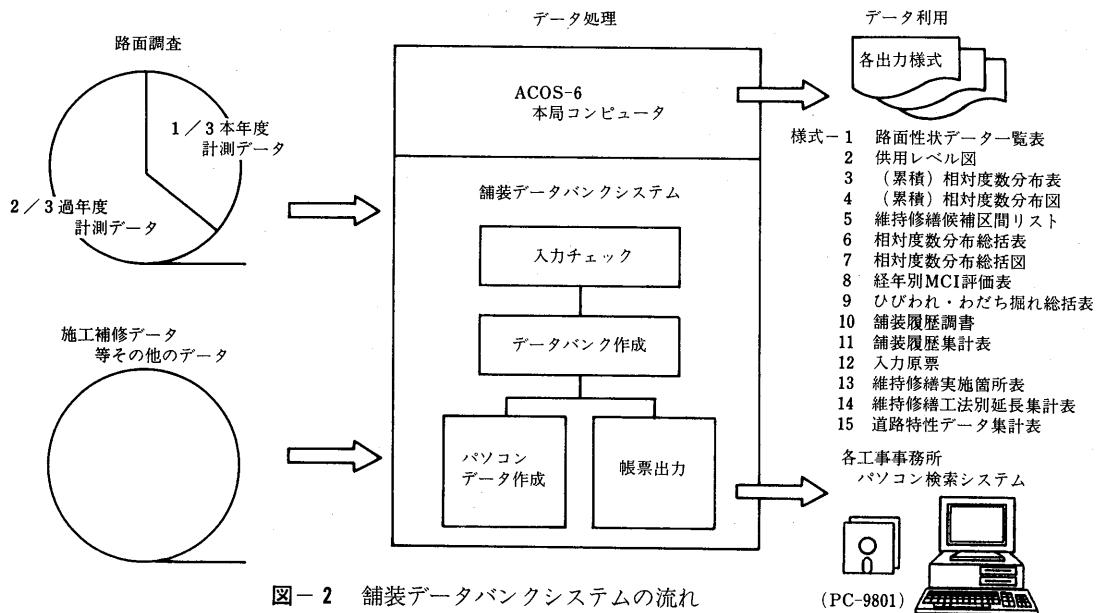


図-2 舗装データバンクシステムの流れ

(PC-9801)

表-2 道路管理特性データ

分類コード	データ内容
0 0 2	管理担当工事事務所・出張所
0 0 3	県市町村境
0 0 4	キロポスト間距離
0 5 2	車線数
0 5 3	交通量区分
0 5 4	路床土のCBR
0 5 6	地域区分(その1) DID等
0 5 7	地域区分(その2) 雪寒区分
0 5 8	道路構造物
0 6 1	交差点の有無

表-3 施工補修・舗装構成データ

データ名	工法
施工補修データ (分類コード201)	上層路盤打換え(JA) 表層打換え(SA) 部分打換え(BA) 切削オーバーレイ(CR) オーバーレイ(R) 切削表面処理(CH) 表面処理(H) わだち掘れ処理(摩耗対策……帯状の表面処理)(W) 切削(流動対策……コブ取り)(C) 路上表層再生(SR) 路上再生路盤(BR) その他(E)
舗装構成データ (分類コード202)	新設(N) 全層打換え(AA) 在来(既設舗装)

また、舗設年月、構成が不明でも、その後の調査によって構成が明らかとなった時、在来構成として入力でき、その後の施工補修データに対しても、最新の構成断面の自動生成を行う。

2) 予測式及び各種データ結合機能

路面性状データまたは、施工補修データをメインデータとして、その他各種入力データを結合するもので、予測年度パラメータを設定することにより予測処理も行う。

3) 出力機能

出力指示パラメータより、15様式を出力する。グラフ関係は高速化のためにXYプロッターからページプリンタ出力に変更した。

4) パソコンによる検索機能

ACOS-6 上に保有している各種データを分割・加工し、事務所単位にフロッピーへ出力し、パソコンシステムへのデータ受け渡しを行う。

5) システム管理機能

本局電算センターのディスク管理を考慮し、システム動作環境の生成・末梢を行うとともに、データの保存、保存データの再登録を行う。

(2) パソコンによる検索システム

ACOS-6 上のデータバンクシステムから、より実務的な利用を主眼にパソコンによる検索システムが新たに機能追加された。そのパソコン検索システムの流れを図-3に示す。

PC-9801を使用して事務所毎や、出張所・路線毎、経年別等の路面性状を検索・集計ができる。さらに検索箇所の舗装構成も知ることができる。

したがって、事務所や出張所において種々の検索が可能となったことで、破損状況の把握、予測式の検討

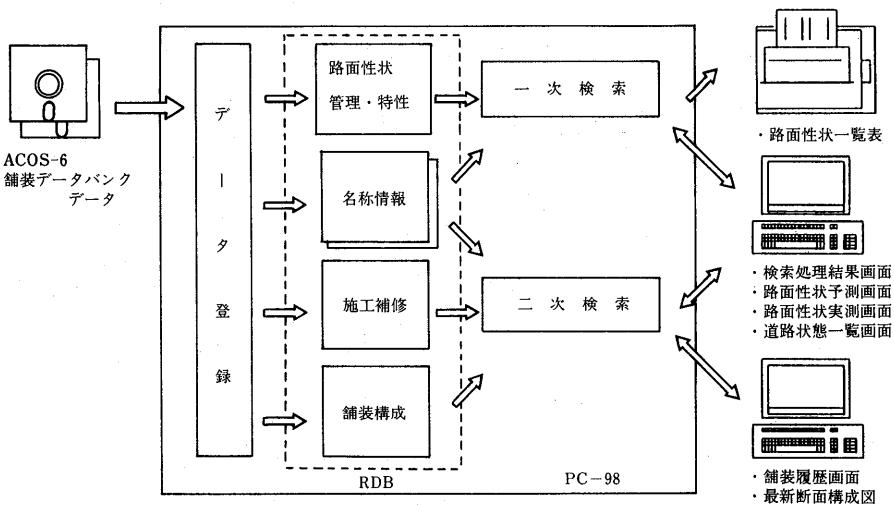


図-3 パソコン検索システムの流れ

資料の出力、舗装構成から現場レベルで必要な補修方法の検討などが容易に行えるようになった。

今後さらに補修箇所の優先順位ならびに工法選定等の機能拡張が期待されるところである。(図-3 参照)

1) 一次検索機能

本機能は、帳票ファイル情報テーブルの内容について検索キーを指定し、検索結果を画面表示または、プリンタに出力する。

・検索キー項目の全部または一部を指定して、AND 条件で検索する。

(検索項目)

- ① 道路位置キー …出張所、路線番号、枝番、距離標（自・至）
- ② 道路管理・特性キー …路面種別、地域区分(1)、地域区分(2)、交通量区分、車線数、舗設年度
- ③ 路面性状キー …ひびわれ率、わだち掘れ（最大値、平均値）、平坦性、MCI、MCI式番号、CBR、TA
- ④ 施工補修キー …補修工法、最新補修年度

(検索結果)

- ① 検索されたデータ件数と距離の合計及び路面性状値の加重平均を表示する。(検索処理結果画面)
- ② 検索されたデータの路面性状の予測値を表示する。(路面性状予測画面)
- ③ 検索されたデータの路面性状の実測値を表示する。(路面性状実測画面)
- ④ 検索されたデータの道路の管理、特性データを

表示する。(道路状態一覧画面)

⑤ 検索されたデータの路面性状データを一覧表形式でプリンタに出力する。(道路状態一覧画面)

2) 二次検索機能

本機能は、一次検索されたデータ中より、ある任意のデータを選択することにより、その距離標（自・至）の範囲に含まれる施工履歴データを画面に表示する。また、同様に舗装構成データより最新の断面構成の画面を自動生成し表示する。

[検索結果]

- ① 検索範囲（自・至）の中で、施工年月、路面種別、施工方法を車線別に表示する。(舗装履歴画面)
- ② 検索範囲（自・至）の中で、最新の断面構成を車線別に表示する。(最新断面構成図)

あとがき

路面性状測定については、最新のレーザー及びマイクロエレクトロニクスの導入によって、高速及び迅速なデータ処理が進められてきた。

またそのデータ利用にあっては、舗装データバンクへの結合から供用性の経時的な変化の把握等、きめ細かな管理のための高度利用が期待されるところである。

今後、舗装に要求される性能はさらに多様化していくものと推測され、その一例として排水舗装など新たな機能を持つ舗装等が挙げられる。

これらの機能性舗装に関しても、その性能や経時変化を定量的に把握することは重要な課題であり、これらの対処すべく、測定の分野においても更に一層の技術革新が進められることを期待する。

アスファルト舗装工学を目指して(1)

前回の研究グループ報告でも予告したとおり、今回より新規研究グループの独自の研究成果を発表させて頂くことになった。「アスファルト舗装工学を目指して」という副題を付して、国内外の文献調査を中心に取りまとめていく予定である。とは言っても、単なる文献の集約に留まらずに、たとえば舗装の破壊規準を整理するような場合を例にとれば、諸外国の設計基準を入手し、その規定はどういう考え方でどのような根拠に基づき定められたかをとことん追求し、論文の孫引きをくり返しながら各メンバーが激論をたたかわせて疑問点を解明していくというようなやり方をとっている。また、たとえば舗装の力学理論を研究する場合には、たった1つの数式がどのようにして得られたのかを明らかにするだけのためにレポート用紙数十枚にもわたって数式を展開し、その理論の原点から全体を積み上げていくというような姿勢で望んでいる。

何度も記すように、本研究グループは最終的にはアスファルト工学の理論的な体系化を目指して活動を行っているのであるが、この研究報告は順にファイルアップして行けばそのまま教科書になるというような講

座ものを意図している訳ではない。もちろん、研究活動をスタートさせる時点で一応の骨組みを形作り、どの部分から研究を進めて行くかはかなりの時間をかけて議論をしているが、発表は各班の担当テーマがまとまり次第、順に毎回読み切り形式で行うことにしている。したがって、全ての成果が出そろったところで予め目標にした体系に従ってこれらを並べかえ、場合によっては加筆修正を行った時点で今まで国内ではほとんど例を見なかったような内容の書ができるといふことを期待している。

今回は「アスファルトの組成分析」・「ブレンドによるアスファルトの製造」および「アスファルトの劣化」について、それぞれ谷口さん、伊藤さんと久下さんにとりまとめて頂いた。かつて勉強会でこの内容についての研究成果の発表があったときは、そのすばしさに思わず歓声と拍手が湧き起こったほどである。シリーズ第一弾としてはたいへんふさわしい内容だと思う。次回は舗装の設計法に焦点をあてて、輪荷重の測定方法や考え方について発表して頂く予定である。

(姫野賢治)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

* 姫野 賢治 北海道大学工学部土木工学科

* グループ長 ** 班長

* * 野 村 健一郎 大成道路(株)技術研究所開発研究室
 榎 戸 靖暢 日本道路公団建設第一部建設第一課
 田 中 輝栄 東京都建設局道路管理部保全課
 中 村 州 章 日本道路公団技術部道路技術課
 野 村 敏 明 日満化学工業(株)技術研究所
 八 谷 好 高 運輸省港湾技術研究所滑走路研究室
 南 沢 輝 雄 (株)パスコ道路技術センター情報技術部

* * 田 中 輝 栄 東京都建設局道路管理部保全課
 小 沼 貞 雄 (株)パスコ道路技術センター情報技術部
 金 井 利 浩 鹿島道路(株)技術研究所
 神 谷 恵 三 日本道路公団試験所舗装試験室
 亀 田 昭 一 新東京国際空港公団工務部舗装課
 鈴 木 秀 輔 大成道路(株)技術研究所開発研究室
 田 中 耕 作 鹿島道路(株)技術部
 峰 岸 順 一 東京都土木技術研究所舗装研究室
 村 山 雅 人 東亜道路工業(株)技術研究所
 湯 川 ひとみ 鹿島道路(株)技術研究所

* * 吉 村 啓 之 前田道路(株)技術研究所第一研究室
 伊 藤 邦 彦 大成道路(株)技術研究所開発研究室
 梅 野 修 一 運輸省港湾技術研究所滑走路研究室
 岡 藤 博 国 世紀東急工業(株)技術部技術開発課
 竹 井 利 公 熊谷道路(株)技術研究所
 横 山 稔 昭和シェル石油(株)アスファルト室
 * * 久 下 晴 巳 日本道路(株)技術本部技術研究所
 伊 藤 達 也 日満化学工業(株)技術研究所
 笠 原 彰 彦 日本鋪道(株)技術研究所第二研究室
 高 橋 義 一 常盤工業(株)技術研究所
 谷 口 豊 明 大林道路(株)技術研究所施工研究室
 * * 藤 田 仁 日本道路(株)技術本部技術部調査課
 泉 秀 俊 日本鋪道(株)技術部技術第二課
 小 笠 幸 雄 大林道路(株)技術部技術課
 小 林 孝 行 昭和シェル石油(株)中央研究所
 富 田 弘 樹 日本鋪道(株)経営企画部企画課
 増 山 幸 衛 世紀東急工業(株)技術部技術開発課
 吉 村 啓 之 前田道路(株)技術研究所第一研究室

アスファルトの組成分析

谷 口 豊 明*・伊 藤 達 也**

1. はじめに

今回、研究グループ第4回報告として、「ブレンドによるアスファルトの製造」「アスファルトの劣化」という2つのテーマで報告させて頂くことになった。ここでは、まずこれら2つのテーマへの導入部として「アスファルトの組成分析」と題して、分析の方法や組成の実態について紹介する。

2. アスファルトの組成分析

アスファルトは、炭化水素とその酸化化合物、硫黄化合物、窒素化合物などの極めて複雑な高分子炭化水素の化合物で、平均分子量は800~1,000程度であると言われている。また、大部分の化合物は個々に分離することがほとんど不可能なため、アスファルトの成分分析は化学的性状の類似した化合物を一つのグループとして分離する方法が一般的に用いられている。従って、アスファルトの組成分析と言えば、この「グループ」の構成比率を求めるこを指す場合が多い。一方、アスファルトの内部構造はマクロ的に見ると、アスファルテンとマルテンによるコロイド構造（アスファルト誌 Vol.27, No.142, 1985「用語の解説」を参照されたい）を呈し、この構造がアスファルトの感温性などの物理的性状に大きく関与していると考えられている。他方、最近の研究には、溶媒によって分離されるアスファルテンがこのままの状態でアスファルト中に存在するとは考えにくく、アスファルテンの量とマルテンの粘度とから、単純にアスファルトの流動性（Flow properties）、感温性、せん断に対する粘度の鋭敏性を十分に説明できないとする考え方¹⁾も見られる。いずれにしても、アスファルトの組成を知ることは、その物理的性状や組成の変化による物理的性状の変化を知る上で重要と考えられる。

ここでは、まず代表的な組成分析方法の概要を簡単に紹介する。

2.1 組成分析方法

① 吸着法

アスファルトの各成分が、吸着剤に対する吸着性と溶剤に対する溶解性に違いがあることを利用して分離するものである。最も良く知られている方法にアメリカ鉱山局法があり、図-1に示すように、アスファルトをアスファルテンとレジンおよびオイルと呼ばれる成分に分離するものである。

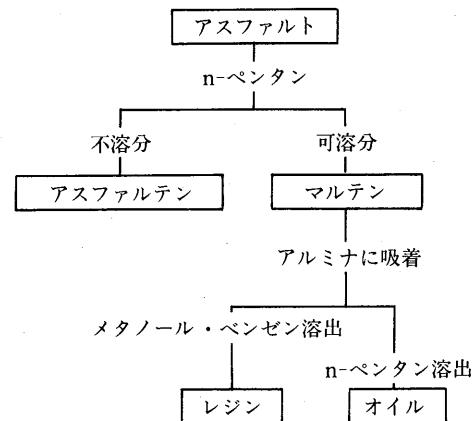


図-1 アメリカ鉱山局法（吸着法）⁸⁾

② カラム吸着クロマトグラフィー法

基本的な考え方は吸着法と同じである。吸着法と異なるのはマルテン分をさらに分離する際にカラム吸着クロマトグラフィーを用いる点である。マルテンは飽和分、芳香属分、レジン分の3成分に分離されることから、アスファルテンと合わせて「4成分分離法」と呼ばれることもある。

我が国では石油学会規格 J P I - 5 S - 2 2 - 8 3 「アスファルトのカラムクロマトグラフィーによる組成分析法」として定めており、現在最も一般的な分析法（「試験法便覧」日本道路協会編 P 436~452参照）である。（図-2 参照）

*たにぐち とよあき 大林道路技術研究所 **いとう たつや 日満化学工業技術研究所

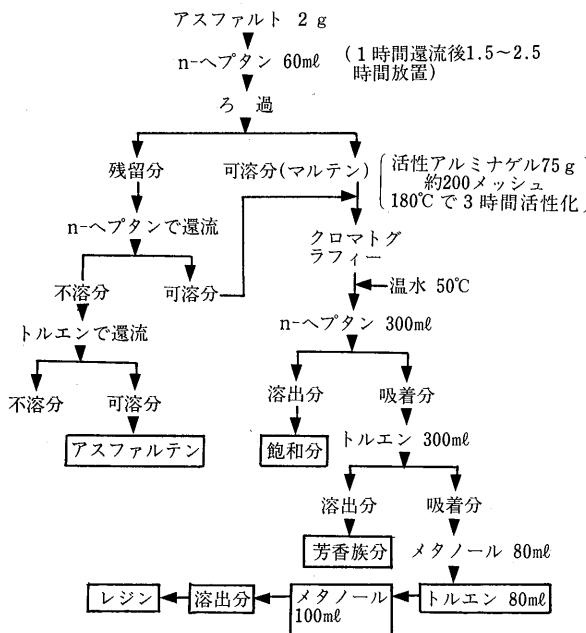


図-2 石油学会法(カラム吸着クロマトグラフィー)⁹⁾

③ 化学沈澱法

アスファルトの各成分の化学反応性の差を利用した方法である。アスファルトをまずアスファルテンとマルテンに分離するのは上記2法と同じである。次に、分離したマルテンに試薬(硫酸)を加え、反応性の差によって順次ナイトロジエンベース(N)、第1アシダフィン(A₁)、第2アシダフィン(A₂)およびパラフィン(P)の4成分に分離するものである。この化学沈澱法としては、Rostler-Sternberg法が有名である(図-3)。Rostlerら²⁾は、マルテンをさらに分離した4成分のうち、化学反応性の高いNとA₁、化学反応性

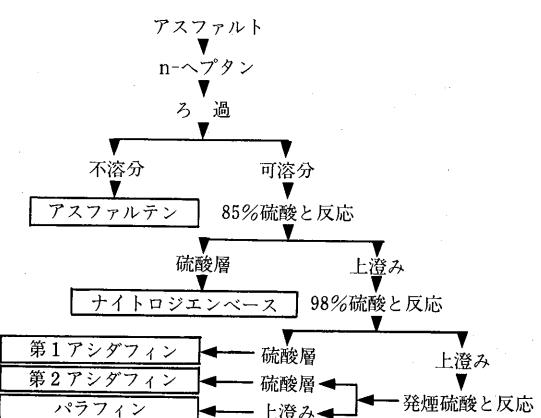


図-3 Rostler-Sternberg法(化学沈澱法)⁹⁾

の低いA₂とPの比率($N + A_1$) / ($P + A_2$)がアスファルトの耐久性(一種の摩耗試験による評価)との間に図-4のような関係にあることを見出している。この成果は、後にDavidsonらによって、アスファルト舗装の再生工法に用いる再生添加剤の望ましい品質に関する提案に利用されている³⁾。なお、($N + A_1$) / ($P + A_2$)はRostlerパラメーターと呼ばれている。Rostler-Sternberg法による5成分の特徴⁴⁾を表-1に示す。

④ GPC (Gel Permeation Chromatography) 法

クロマトグラフィーの一種である。①～③の方法がアスファルトを幾つかの成分に分離し、各成分の比率(重量%)を求めるものであったのに対し、GPCはアスファルトの分子量の大きさによってゲル中での浸透性が異なることを利用して分子量の分布を求めるものである。

分析方法の原理から、アスファルト中の分子を骨材の粒子に見立てた一種の“ふるい分け試験”と考える

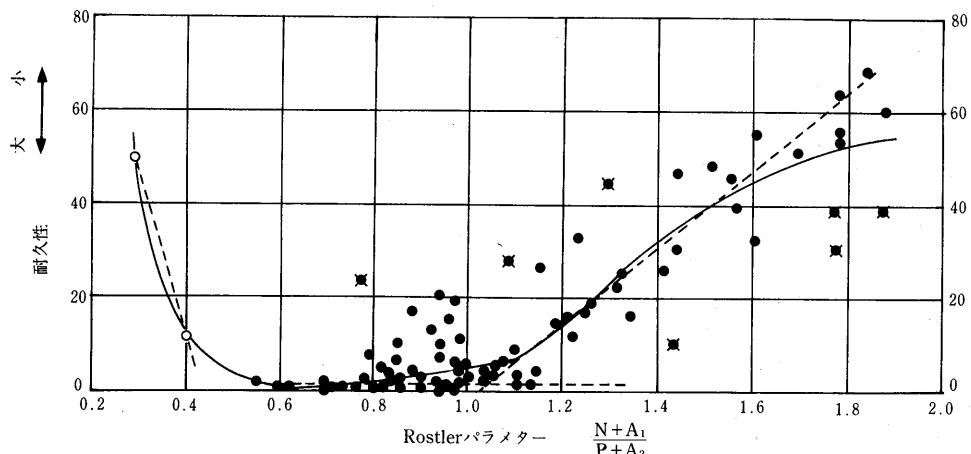
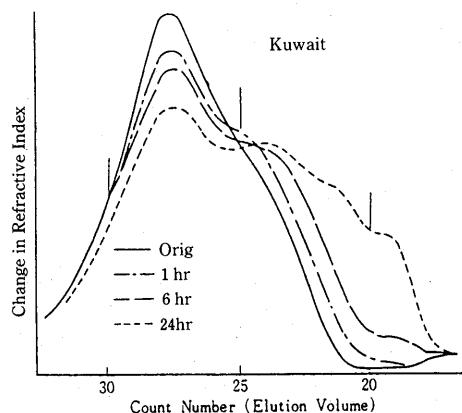


図-4 Rostlerパラメーターと耐久性の関係²⁾

表-1 Rostler-Sternberg 法による 5 成分の特徴⁴⁾

区分	一時的な特徴	分離法 ASTM D 2006	化学反応性	機能
A ; アスファルテン	高分子縮合物	n-ペンタン 不溶	低	アスファルトの構成物質、アスファルテンの量はマルテンの粘度に関係する。
N ; 窒素基	マルテンの一部で窒素基を含む化合物	85%H ₂ SO ₄ 沈殿物	高	アスファルトの分散剤
A ₁ ; 第1アシダフィン	不飽和レジン分炭化水素	98%H ₂ SO ₄ 沈殿物	高	分散したアスファルトの溶媒
A ₂ ; 第2アシダフィン	微不飽和炭化水素	発煙硫酸 (30%SO ₃) 沈殿物	低	同上
P ; パラフィン	飽和炭化水素、固体ワックス分を含む	未反応分 (30%SO ₃)	低	ゲル化剤

こともできる。GPC 法は、アスファルトが劣化すると高分子成分が増加することに着目し、アスファルトの劣化の程度を知る方法としても利用されている。図-5 は GPC 法による分析結果の一例⁵⁾で、横軸は分子のサイズ、縦軸はある分子サイズの濃度を表わしている。

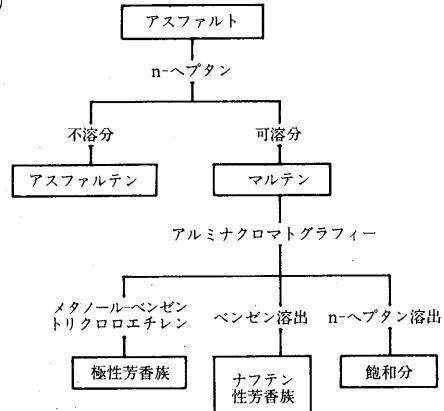
図-5 GPC 法による分析結果の一例⁵⁾(ホットストレージによる分子量 (サイズ) 分布の変化)

以上、4種類の組成分析法を紹介したが、この他にも多くの方法が提案されている^{6,7,8,9)}。②に示した石油学会法とはほぼ同様のものとして、Corbett 法がある。これは、マルテンを極性芳香族 (Polar Aromatics), ナフテン性芳香族 (Naphthenearomatics) および飽和分 (Saturates) に分離するもので 4 成分の特徴は表-2 に

表-2 Corbett 法による 4 成分の特徴¹⁰⁾

成 分	色	密 度	芳香族分	外 観
飽和分	無 色	0.87	0.00	液体
ナフテン性芳香族	黃色・赤色	0.98	0.23	液体
極性芳香族	黒 色	1.07	0.42	固体
アスファルテン	褐 色	1.15	0.50	固体

示すようである¹⁰⁾。なお、Corbett 法は ASTM の試験法 (D4124-82) として制定されており、米国ではアスファルトの組成に関する研究において Rostler-Sternberg 法とともに広く利用されているようである。(図-6 参照)

図-6 Corbett 法 (カラムクロマトグラフィー)⁸⁾

ここで注意しなければならないのは、組成の分析法によってアスファルテンの成分自体が異なることである。表-3 は、溶剤として n-ペンタン (アメリカ鉱山局法) と n-ヘプタン (石油学会法、Rostler 法、

表-3 ストレートアスファルトのアスファルテン量⁸⁾

ストレートアスファルト	ペンタン アスファルテン wt %	ヘプタン アスファルテン wt %
ガッチャサラン (イラン)	15.0	8.7
クエート (クエート)	15.3	5.7
キルクーク (イラク)	22.0	9.3
アガジャリ (イラン)	13.0	5.95
ティアファナ (ベネズエラ)	16.6	9.4
バチャケロ (ベネズエラ)	16.5	10.6
ラグニラス (ベネズエラ)	20.5	9.65
ラゴマール (ベネズエラ)	16.3	7.2

Corbett 法)を用いた場合のアスファルテンの分子量を比較したものである⁸⁾。従って、マルテンの成分がやはり分析法によって異なることも容易に想像できる。

2.2 アスファルトの組成の実態

わが国においては、舗装用アスファルトの組成を取扱った文献はそれ程多くはない。一方、欧米諸国、特に米国ではアスファルトの品質、耐久性、リサイクリングおよび各種の添加剤に関するアスファルトの組成を取り扱った文献の数も多く、1960年以降(Vol.29~)の AAPT Proceedings に限っても150編以上の論文が発表されている。また、米国では「2度にわたる石油ショック以降アスファルトの品質に変化が生じたのではないか?」という疑問から、1950年以降に生産されたアスファルトの品質(組成)を調査した事例^{11,12,13)}など、組成を重要視した研究が盛んである。

ここでは、まず内外の文献からアスファルトの組成に関する調査事例を2、3紹介する。

わが国では、「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」(アスファルト、Vol.31, No.157, 1988)で最近の市販アスファルトの性状について組成分析をはじめ種々の試験結果が報告されている。調査の対象となったアスファルトは40/60, 60/80, 80/100の3種で、試料数は各々5, 23, 11の計39である。各成分量の分布範囲は、アスファルテン8~18%, レジン18~30%, 芳香族42~55%, 飽和分12~19%であり、アスファルトのグレード間で差は認められない。この原因としては、原油や製造方法の違いなどが考えられる。

一方、海外におけるこの種の調査としては、Anderson ら¹¹⁾が FHWA の膨大なファイルに収められてる 1950~1970 年までのデータと、1978年に自ら行った調査結果を比較したものがある。表-4 は Rostler-Sternberg 法による組成分析(5成分)結果、表-5 は Rostler パラメーターの時代的変遷を示したものである。

表-4 年次別の平均成分比率¹¹⁾

成 分	成分比率 (%)		
	1950	1960	1978
アスファルテン (A)	22.3	20.1	19.3
ナイトロジェンベース (N)	18.7	21.2	24.4
第1アシダフィン (A ₁)	22.2	22.7	19.6
第2アシダフィン (A ₂)	24.9	23.0	26.0
パラフィン	12.1	12.8	10.4

Anderson らは、各成分の比率の変化は時代によってさほど大きくなないと判断している。しかし、Rostler パ

表-5 Rostler パラメーターの分布¹¹⁾

範 囲	構 成 比 (%)		
年 次	1950	1960	1978
<0.8	11.4	0	9.5
0.8~1.0	29.7	10.7	15.9
1.0~1.2	20.1	46.4	28.6
1.2~1.5	21.5	21.4	17.4
1.5~1.7	5.5	5.4	12.7
1.7~1.9	6.8	7.2	4.8
1.9~2.3	5.0	8.9	6.3
>2.3	0	0	4.8
サンプル数	219	56	63
平 均	1.16	1.26	1.34

ラメーターは、0.8もしくは1.0以下あるいは1.7以上である場合、舗装としての耐久性(図-4参照)も劣るというVallerga ら¹⁴⁾や Jamieson ら¹⁵⁾の研究成果を引用して、アスファルトの組成の変遷について次のような注意を促している。すなわち、1950年代では Rostler パラメーターで1.0を下回るものが約41%, 1.7以上が約12%であったのに対し、1960年代になると1.0以下が約11%, 1.7以上が約16%と改善の傾向がみられたものの、最近(1978年のデータ)になって1.0以下および1.7以上のものが再び1950年代と同じ程度まで増えていることを指摘し、特に2.3以上のものも新たに現れたことに注目している。この背景には時代による原油产地や製造方法の変化があるものと考えられる。特に原油产地に関しては、Corbett ら¹⁰⁾が指摘しているように、全米(1980年)でアスファルトを製造する78の製油所で計260種(原油のブレンドによる組合せも含めると600種程度)の原油が使われていることから、アスファルトの組成はこの影響を少なからず受けていると推測される。また、このような組成の時代的変化は、アスファルトの物理的性状にも影響を及ぼしているものと考えられる。

表-6 は同じく Anderson ら¹¹⁾が調査した結果で針入度指数(P I)の分布を年次別に示したものである。P Iは、1950年-0.36, 1960年-0.58, 1978年-0.65と次第に減少しており、アスファルトの感温性は1950年以降明らかに大きくなる傾向にあることがわかる。

図-7 は Corbett ら¹⁰⁾が調査した3種類のアスファルトの原油产地、組成および物理性状を示したものである。3種類の原油のAPI度は、Aが30~34°C, Cが18~22°C, Eが12°C以下(API度は原油の区分法の一種で、数字が大きい程軽質な原油であることを表す)である。原油によって、組成がかなり違うことや、60°C

表-6 針入度指数（P I）の分布¹¹⁾

範囲	構成比 (%)		
年次	1950	1960	1978
>0.3	7.1	6.0	0.0
0.3~0.0	11.6	10.0	6.5
0.0~-0.3	21.9	18.0	16.1
-0.3~-0.6	31.2	18.0	16.1
-0.6~-0.9	18.6	28.0	32.2
-0.9~-1.2	6.7	6.0	21.0
-1.2~-1.5	1.9	4.0	6.5
<-1.5	1.0	10.0	1.6
サンプル数	311	50	62
平均	-0.36	-0.58	-0.65

粘度はいずれも2000Poise でありながら、他の物理性状がかなり違う点が注目される。また、GPC法による分析で分子量がほぼ同じでありながら、物理性状が異なるため別のグレードで扱われる場合や、これと全く逆の場合があることを報告したもの¹⁶⁾もある。従って、分析法の選択や分析結果の解釈にあたっては十分な注意が必要と考えられる。

3. おわりに

以上、アスファルトの組成分析法と組成の実態につ

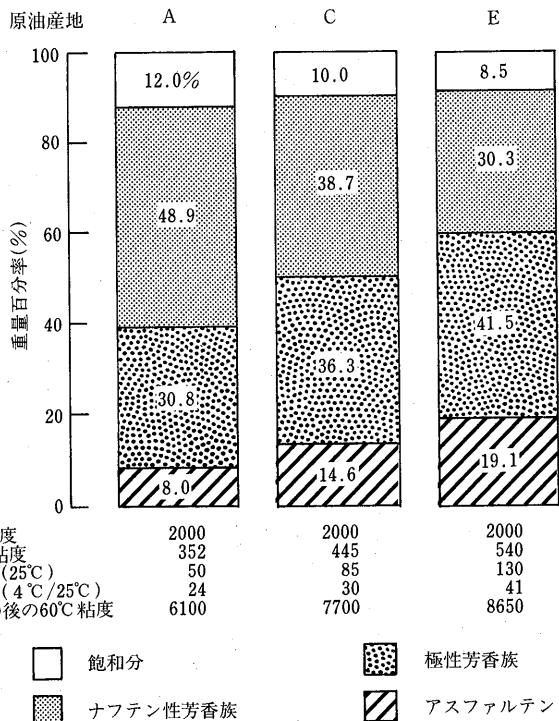


図-7 3種類の原油によるアスファルトの組成と物理性状¹⁰⁾

いて簡単に紹介した。これらを参考にして続く2テーマに関する報告をお読み頂ければ幸いである。

参考文献

- Dukatz, E. L., Anderson, D. A. and Rosenberger, J. L. "Relationship between Asphalt Flow Properties and Asphalt Composition", AAPT Proceedings, Vol.53, P160, 1984
- Rostler, F. S. and White, R. M., "Composition and Changes in Composition of Highway Asphalt, 85-100 Penetration Grade", AAPT Proceedings, Vol.31, P35, 1962
- Davidson, D. D., Canessa, W. and Escobar, S. J., "Recycling of Substandard or Deteriorated Asphalt Pavements - A Guideline for Design Procedures", AAPT Proceedings, Vol.46, P497, 1977
- Rostler, F. S. and Rostler, K. S., "Basic Consideration in Asphalt Research Pertaining to Durability", AAPT Proceedings, Vol.50, P582, 1981
- 笠原, "GPC (GeL Permeation Chromatography)", アスファルト, Vol.22, No.121, P32, 1979
- 松原, "アスファルトの分析法, 第1回", アスファルト, Vol.22, No.118, P51, 1978
- 林, "アスファルトの分析法, 第2回", アスファルト, Vol.22, No.119, P65, 1978
- 松原, "アスファルトの分析法, 第3回", アスファルト, Vol.22, No.120, P58, 1979
- 井町, "アスファルトの組成分析試験", 舗装, 19-9, P27, 1984
- Corbett, L. W. and Schweyer, H. E., "Composition and Rheology Considerations in Age Hardening of Bitumen", AAPT Proceedings, Vol.50, P571, 1981
- Anderson, D. A. and Dukatz, E. L., "Asphalt Properties and Composition : 1950-1980", AAPT Proceedings, Vol.49, P1, 1980
- Puzinauskas, V.P., "Properties of Asphalt Cements", AAPT Proceedings, Vol.48, P646, 1979
- Hodgson, R. S., "Changes in Asphalts", TRB Record 999, P10, 1984

- 14) Vallerga, B. A., White, R. M. and Rostler, K. S., "Changes in Fundamental Properties of Asphalt During Service in Pavement", Final Report, Contract FH-11-6147, 1970
- 15) Jamieson, I. L. and Hatting, M. M., "The Correlation of Chemical and Pyhsical Properties of Bitumen with Their Road Performance", Proceedings, Australian Road Research Board, Vol.15, Part5 1970
- 16) Garrick, N. W. and Wood, L. E., "Predicting Asphalt Properties from HP-GPC Profiles", AAPT Proceedings, Vol.57, P26, 1988

フルデブス・アスファルト舗装設計施工指針（案）

B5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2-6-7

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ブス・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。

フルデブス舗装は、舗装厚が薄く、工種が单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、フルデブ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、フルデブ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 フルデブス・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 澄青材料	6-3 檢 査
3-3 骨 材	7. 記 錄

ブレンドによるアスファルトの製造

久下晴巳*

1. はじめに

わが国においても、また世界的に見ても、初期の舗装用ストレートアスファルトは限られた数種の原油から精製されていたため、当時の品質規格に対して、品質を維持しやすい状況にあった¹⁾。しかし近年では当時に比べて良好な原油が少なくなってきたことから、2種以上の原油を混合してそれからストレートアスファルトを製造したり、製品となった2種以上のストレートアスファルトを直接混合することも行われている。

一方、現在のアスファルトの規格試験では舗装の舗設時や供用時に発生する種々の問題をコントロールできないという議論があり、ブレンドによって従来とは異なる品質のストレートアスファルトが出荷されることとも相まって舗装の破壊の原因になっているのではないかという指摘がある²⁾。

ここでは以上の観点に立ってアスファルトのブレンドについてまとめてみた。

2. アスファルトの製造方法

アスファルトの製造工程は図-1に示すとおりである。原油を常圧蒸留装置にかけて、LPG、ナフサ、

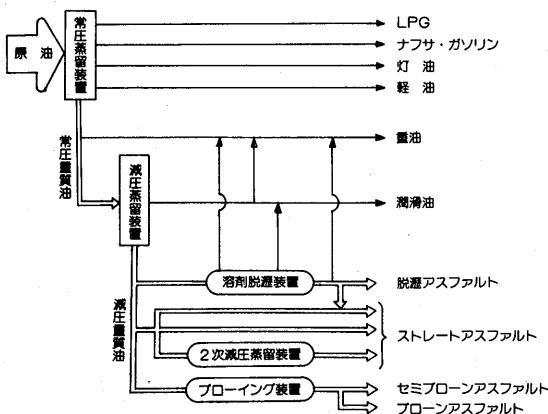


図-1 アスファルトの生産工程

灯油、軽油等の留出留分を分別した後の常圧残油をさらに減圧蒸留装置にかけ、留出留分を徹底的に除いたものがストレートアスファルトである。そしてこのアスファルトの製造法が蒸留法と呼ばれるものである。

減圧重質油から溶媒を使って重質潤滑油を採取することが行われているが、潤滑油分を採取した後の部分が脱脂アスファルトで、そのとき溶媒にプロパンを使用したものがプロパン脱脂アスファルト（PDA）である。脱脂アスファルトの製造法が抽出・沈澱法と呼ばれるものである。

蒸留法、抽出・沈澱法は原油の中に存在する重質分を物理的に分別したものであるが、この重質分にある特定の条件で空気を吹き込んで化学的に重質分の分子構造を変化させたものがブローキングアスファルトであり、この製造法が空気酸化法と呼ばれている。

その他のアスファルトの製造法としては、イオウアスファルトを製造するような化学反応法、また、2種以上の原油を混合してそれからアスファルトを製造したり、2種以上の製品アスファルトを直接混合する混合法がある。

わが国で蒸留法によって初めてストレートアスファルトが製造されたのは昭和2年であり、空気酸化法によってブローキングアスファルトが製造されたのは昭和4年であった。

3. アスファルト採取原油の変遷

図-2は戦後から最近に至るわが国輸入原油油種構成比の推移である。図-2によると、わが国における処理原油中、いわゆる中間基（または混合基）原油とされる中東系原油は常に全体の70%以上を占めていることがわかる。さらにパラフィン基原油といわれる南方原油も常に10~20%程度の比率で輸入されている。

また中東系原油は昭和35年頃にはクウェートが大きな比重を占め、その後、イラン、アラビア、クウェー

*くげ はるみ 日本道路技術研究所

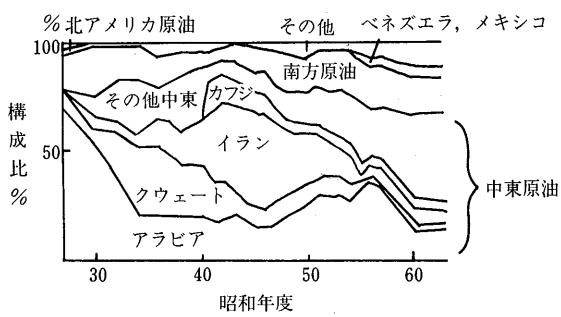


図-2 わが国輸入原油構成比の推移³⁾

ト的主要3原油油種時代を経て40年頃からイラン原油主体の時代となっている。

昭和48年の第1次石油ショック後はアラビア原油が再び多く輸入されるようになり、昭和55年にはばっ発したイラン・イラク戦争を契機とする第2次石油ショック以後はイランおよびクウェート原油の輸入はほとんどなくなっている。昭和50年頃からその他中東系の占める割合が急激に増加しているが、これらは主にアラブ首長国連邦のアブダビ原油、マーバン原油等のいわゆる中質系原油と呼ばれるものである。

各石油精製業者がアスファルト採取にどのような原油を使用しているかを示す統計資料は全くないが、カフジ、アラビアヘビーを中心で、一部それ以外の中東系原油さらにはメキシコ原油等が使用されているようである。また、わが国の原油輸入量に占めるアスファルト生産量はこの20年あまり変わらず1.5~2%となっている。

4. アスファルトのブレンド

特定の原油が常時入手できない場合や、単一の原油から得たアスファルトが目的に合致しにくい場合には経験的に2種以上の原油を混合し、それからアスファルトを製造することも一般に行われている。この際問題になる原油の混合比は、厳密な理論の裏づけが不可能なため、試行錯誤的に求めなければならない⁴⁾。また各製品の特徴を生かす意味で、2種以上の製品アスファルトを直接混合することも行われる。事実上、この方式によるブレンドアスファルトが市場に出るケースはあまりないとの指摘もあるが⁵⁾、この際最も重要なことは、混合するものの同志のコロイド構造の差による「適合性」である。すなわち、ゾル的なものと、ゲル的なものを混合した場合には、針入度や軟化点と混合比率の間にリニアな関係がみられないばかりでなく、ときには規則性も見い出されないこともある⁴⁾。

一般に、同一のコロイド構造を持つ2種以上のアスファルトを混合したときには、混合製品の性状とそれぞれのアスファルトの性状との間にはおおむねリニアな関係がみられるが、例外もかなり知られている²⁾。例えば、図-3は製法と等級が同一で、60°C粘度も同じ2種のアスファルト（図-4に示す範囲の2種）をブ

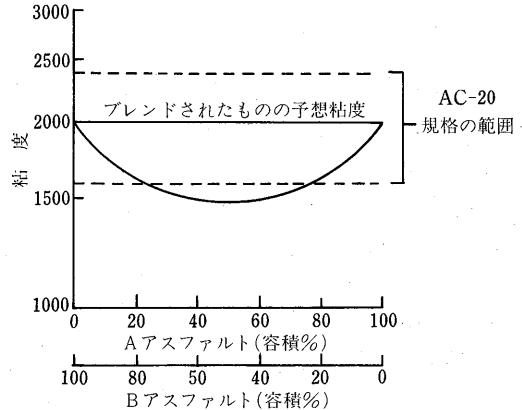


図-3 アスファルトのブレンドに対する化学的作用²⁾

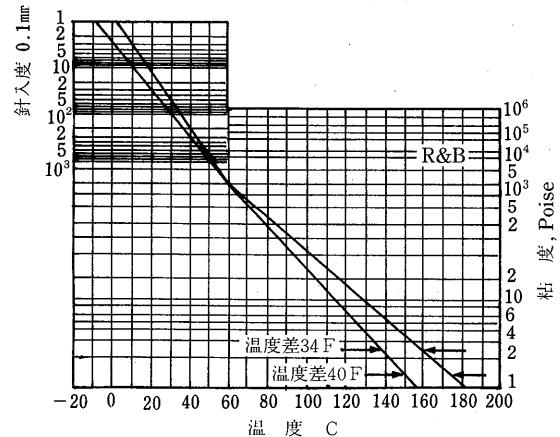


図-4 北西テキサスに出廻っているAC-20の性状の範囲

レンドした場合できえ、混合比率が変わると60°C粘度が変化しており、混合比率によっては規格値をはずれる場合があることを示している。

また異種のコロイド構造をもつアスファルトの混合例としてブローンアスファルトとベネズエラ系残渣油を混合したときのP.I.および針入度、軟化点の関係を示したものが図-5である。図-5よりわかるように針入度は極大点を有し、P.I.と軟化点はブローンアスファルトの增量と共に漸増している⁴⁾。

このようにアスファルトの混合は複雑な性状の変化を伴うため、予備実験を行った上で混合比を決定するのが無難であろう。

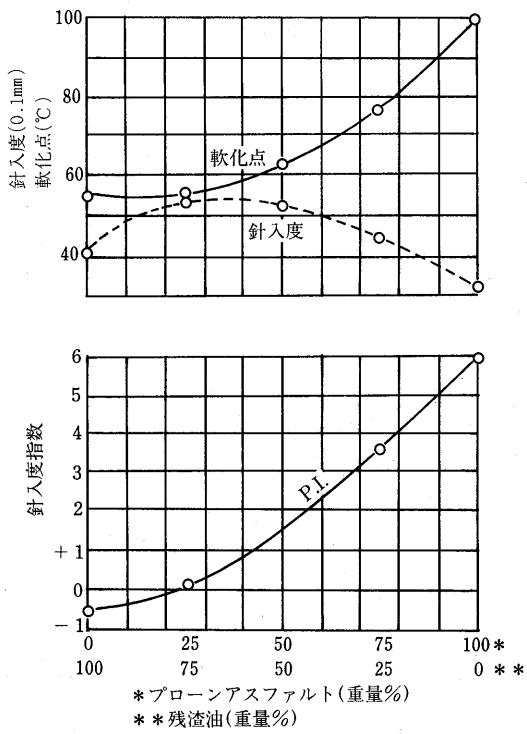


図-5 プローンアスファルトとベネズエラ系残渣油⁴⁾を混合したときのP. I. 針入度、軟化点の関係

5. アスファルトのブレンドと舗装との関連

5.1 アスファルトの規格試験との関連

アスファルトの性状試験結果は、日本においてもアメリカにおいても、平均値でみると昔と今では変化がない。しかし、日本、アメリカの現場技術者は、アスファルトが昔と比べて確かに変化したという強い信念を持っている^{6,7)}。これは原油の変化によるものかアスファルトのブレンドによるものかは定かでないが、現在のアスファルトの規格試験ではアスファルトの性状を十分に把握できず、舗装の舗設時や供用時に発生する種々の問題をコントロールできないということが言われている²⁾。

確かにアスファルトの品質規格は、表-1、表-2からもわかる通りわが国においても、また世界的にみても昔と比べて変化したが¹⁾、変化の主な点は、プロンでの混合時のアスファルトの熱劣化を評価する薄膜加熱試験が行われるようになったことである。

アスファルトの耐久性を評価する方法の一つとして Rostler は Rostler パラメータを提案している⁸⁾。Rostler パラメータはアスファルトの組性分析法の一種である化学沈殿法によって得られる。化学沈殿法とはアス

表-1 アスファルトの品質規格の変遷¹⁾(日本)

規格名	石油アスファルト	舗装用石油アスファルト	舗装用石油アスファルト(暫定規格)	舗装用石油アスファルト	舗装用石油アスファルト	舗装用石油アスファルト
発行年	昭和25年	昭和36年	昭和42年	昭和47年	昭和50年	昭和53年
試験項目	○	○	○	○	○	○
針入度						
軟化点		○	○	○	○	○
伸度	○	○	○	○	○	○
蒸発減量	○	○	○	○	○	○
蒸発後の針入度	○	○	○	○	○	
蒸発後の針入度比				○	○	○
薄膜加熱質量変化率			○	○	○	○
薄膜加熱後の針入度変化率			○	○	○	○
可溶分	○	○	○	○	○	○
引火点	○	○	○	○	○	○
比重				○	○	○

注) 要綱の改訂にともなって規格名も変更されている。

アルトの各成分の化学反応性の差を利用した方法である。すなわち、アスファルトをまずアスファルテンとマルテンに分類する。次に、分離したマルテンに試薬(硫酸)を加え、反応性の差によって順次ナイトロジエンベース(N)、第1アシダフィン(A₁)、第2アシダフィン(A₂)およびパラフィン(P)の4成分に分離するものである。この化学沈殿法としては、Rostler-Sternberg 法が有名である(図-6)。Rostler パラメータはマルテンをさらに分離した4成分のうち、化学反応性の高いNとA₁、化学反応性の低いA₂とPの比(N+A₁) / (P+A₂) である。

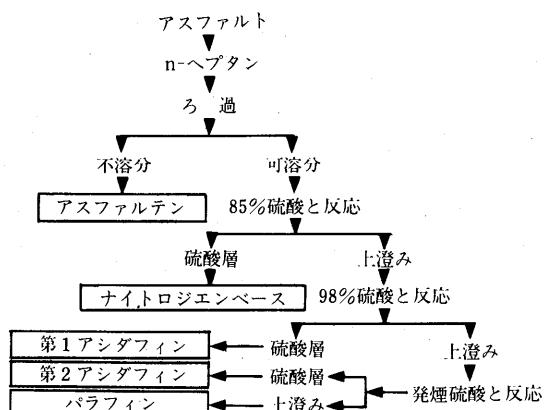


図-6 Rostler-Sternberg 法(化学沈殿法)¹⁰⁾

表-2 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°C)	○●	○●	○●	○●	○●	○●	○●	○●	○●	○●	○●	○●	○●	○●	○●	●
軟化点(R&B)	○	○●	○●		○●	○●	○●	○●	○●	○●	○	○●	○	○●	○●	○
伸度(5cm/分)	○	○●	○	○●	○●	○	○●	●		○●		○●	○	○●	○	○●
粘度(60°C, 135°C)	●	●	●	●		●							●		●	●
フーラス脆化点		○●	○		○●	○		●		○●			○	○●		
針入度指数		○	○								●					
蒸発減量試験	○	○●	○	○	○	○	○●	○	○●	○●	○	○●	○	○	○●	○
残留針入度	○	○●	○	○		○●		○●	○●			○	○	○		○
軟化点上昇				○	○				●			○		○		
伸度				○	○							○		○●		
60°C粘度比															●	
フーラス脆化点					○	○			○			○		○●		
針入度比											●					
薄膜加熱試験	●		●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●
残留針入度			●	●			●			●	●	●	●	●	●	●
軟化点上昇				●			●									
伸度	●			●	●	●	●					●	●	●	●	●
60°C粘度比	●			●		●						●				●
フーラス脆化点				●	●		●					●				
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°C/25°C)	○	○●	○●		○	○●	○●	○●		●	●	●	○	○●	○	
引火点	○●	○		○●		●	○●	●		○●	○●	●		●	○●	●
スポットテスト				●								●		●	●	●
イオウ含量		○														

凡例 ○ : 1960年に品質規格が定められていた項目
 ● : 1983年

表-3はアメリカにおけるRostlerパラメータの時代的変遷を示したものである。Andersonらは、各成分の比率の変化は時代によってさほど大きくないと判断している。しかし、Rostlerパラメータは、0.8もしくは1.0以下あるいは1.7以上である場合、舗装としての耐久性も劣るというVallerga⁹⁾やJamieson¹⁰⁾らの研究成果を引用して、アスファルトの組成の変遷について次のような注意を促している。すなわち、1950年代ではRostlerパラメータで1.0を下回るものが約41%, 1.7以上が12%であったのに対し、1960年代になると1.0以下が約11%, 1.7以上が約16%と改善の傾向がみられたものの、最近(1978年のデータ)になって1.0以下および

表-3 Rostlerパラメターの分布

範囲	割合				
	年	1950	1960	AI	PSU(1978)
< 0.8		11.4%	0 %	—	9.5%
0.8-1.0		29.7	10.7	—	15.9
1.0-1.2		20.1	46.4	—	28.6
1.2-1.5		21.5	21.4	—	17.4
1.5-1.7		5.5	5.4	—	12.7
1.7-1.9		6.8	7.2	—	4.8
1.9-2.3		5.0	8.9	—	6.3
> 2.3		0	0	—	4.8
サンプル数		219	56	—	63
平均		1.16	1.26	—	1.34

1.7以上のものが再び1950年代と同じ程度まで増えていることを指摘し、特に2.3以上のものも新たに現れたこ

とに注目している。この背景には時代による原油生産地や製造方法の変化があるものと考えられる。ただし、これはあくまでもアメリカの例であり、日本における Rostler パラメータの変遷を紹介した報告はない。

5.2 舗設時、供用時の問題との関連

最近よく問題となる舗装の舗設時におけるテンダーミックス、供用時における流動、温度応力クラック、ラベリング、はく離（水浸安定性）等の現象は、ブレンドその他の理由によるアスファルトの性状の変化、あるいは現行のアスファルトの規格試験ではアスファルトの性状を十分に把握できないことによるのではないかとの見方もあり²⁾、アスファルトの性質の変化を敏感に評価でき、また、舗設時や供用時に発生する種々の問題をコントロールできる試験法の考案が望まれる。

ただ舗設時や供用時の問題については、アスファルト混合物の配合設計時に混合物としての評価試験によって評価しようという考え方もあり¹⁾（表-4）、アスファルト、あるいは混合物の両方から検討する必要がある。

6.まとめ

現在市場に出回っているストレートアスファルトは

原油の生産地がどこであるか、また製法は蒸留法であるのか混合法その他であるのか残念ながら明かではない。しかし、近年では良好な原油が少くなりつつあることから、混合法によって製造されるストレートアスファルトが増加することは間違いないものと思われる。混合法によってストレートアスファルトを製造する場合、ブレンドアスファルトの性状と混合比率の間にはリニアな関係が見られないことがあることから、ブレンドにあたっては混合するもの同志のコロイド構造の適合性を考慮する必要がある。

また、現在のアスファルトの規格試験では舗装の舗設時や供用時に発生する種々の問題をコントロールできないのではないかとの考えがあり、より適切な規格試験を見出し、適切な規格値を設定することによって舗装が長期にわたり良好な供用性を保つことができるようになるものと思われる。アメリカの新道路研究計画（S H R P）の中でもアスファルトに関する課題が取り上げられ、「アスファルトとアスファルト混合物の化学的、物理的性質について研究を行い舗装の供用性を改善する」ことを目的としていることから成果が期待される。

表-4 アスファルト混合物の配合設計の課題と評価試験法

配合設計の課題	評価すべき混合物特性	評価試験方法
交通量、交通荷重の増加に対する対応	永久変形に対する抵抗性	ホールドランディング試験 繰返し曲げ試験 クリープ試験 ビーム安定度試験 間接引張試験
	疲労抵抗	疲労試験 クリープ試験
環境要因に対する考慮（特に温度と水）	高温時、重荷重下での抵抗性	クリープ試験 クリープ試験
	低温ひびわれ	繰返し荷重試験 直接引張試験 割裂引張試験
	耐久性	凍結融解試験 乾湿繰返し後のスティフェネス試験
舗装構成にふさわしい配合設計	スティフェネス	クリープ試験 繰返し荷重試験
舗装以外への適用に対する配合設計	透水性	透水性試験

参考文献

- 1) アスファルト舗装技術研究グループ10周年記念、アスファルト、155号、1988
- 2) J. A. Epps, W. J. Kari : Factors to be Considered

in Developing Performance based Specification,
AAPT, Vol.52, P271~1983

- 3) (社)日本アスファルト協会資料

- 4) 金崎, 岡田: アスファルト, 1963
- 5) 関根: アスファルト品質の変遷と将来動向, アスファルト, Vol.26, No.137, 1983
- 6) V. P. Puzinauskas : Properties of Asphalt Cements, AAPT, Vol.48, P646~1979
- 7) 伊藤, 寺田: 補装用ストレートアスファルトの性状調査, 土木技術資料, Vol.29, No.3, 1987
- 8) F. S. Rostler, R. M. White : Composition and Changes in Composition of Highway Asphalt, 85-100 Penetration Grade, AAPT, Vol.31, P35
- ~1962
- 9) B .A. Vallerga, R .M. White, K. S. Rostler : Changes in Fundamental Properties of Asphalts During Service in Pavement, Final Report, Contract, FH-11-6147, 1970
- 10) I. L. Jamieson, M. M. Hattingh: The Correlation of Chemical and Physical Properties of Bitumen with Their Road Performance, Proceedings, Australian Road Research Board Vol.15, Part5 1970

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、銳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

1. 研究の概要
 - 1.1 文献調査
 - 1.2 室内試験
 - 1.3 試験舗装
 - 1.4 研究成果
2. 舗装の破損の原因と対策
 - 2.1 アスファルト舗装の破損の分類
 - 2.2 ひびわれ (Cracking)
 - 2.3 わだち掘れ (Rutting)
3. セミブローンアスファルトの開発
 - 3.1 概 説
 - 3.2 市販ストレートアスファルトの60°C粘度調査
 - 3.3 製造方法の比較
 - 3.4 セミブローンアスファルトの試作
 - 3.5 試作アスファルトの特徴
 - 3.6 60°C粘度と他の物理性状の関係
 - 3.7 薄膜加熱による性状変化
4. セミブローンアスファルトを用いた混合物の性状
 - 4.1 概 説
 - 4.2 マーシャル安定度試験
 - 4.3 ホイールトラッキング試験

次

- 4.4 高速曲げ試験
- 4.5 水浸マーシャル安定度試験
- 4.6 試験結果のまとめ
- 4.7 品質規格の設定
5. 試験舗装による検討
 - 5.1 概 説
 - 5.2 実施要領
 - 5.3 施工個所と舗装構成
 - 5.4 追跡調査の方法
 - 5.5 使用アスファルトの性状
 - 5.6 アスファルト混合物の性状
 - 5.7 第1次および第2次試験舗装の供用性状
 - 5.8 第3次試験舗装の供用性
 - 5.9 アンケート調査
 - 5.10 試験舗装のまとめ
6. む す び
- 資 料
 1. セミブローンアスファルトの規格 (案)
 - 2.1 石油アスファルト絶対粘度試験方法
 - 2.2 60°C粘度試験の共通試験
 3. 舗装用セミブローンアスファルトの舗装施工基準

アスファルトの劣化

谷 口 豊 明*・伊 藤 達 也**

1. はじめに

アスファルトコンクリートの耐久性を考える場合、混合物の主要な材料であるアスファルト自体の耐久性 (Durability, Longevity) は、バインダーとしての働きから見ても、非常に重要な因子である。一方、アスファルトは物理的・化学的にも極めて複雑な材料で、その基本的な性質さえ十分に把握されていない部分が多い。また、アスファルトは混合物の製造・舗設あるいは供用中の気象環境・交通など種々の取扱いや作用を受けるため、同じ性質のアスファルトを使用した場合でも状況によって、その耐久性の評価は様々な結果となることがある。

本稿は、アスファルトの耐久性に関して特に重要なと思われるアスファルトの劣化の問題について、物理・化学的な面から検討した内外の研究成果をとりまとめ研究の現状を紹介するものである。

2. 「劣化」の定義

本題に入る前に、まずアスファルトの「劣化」や「老化」ということばについて考え方を整理しておくことにする。「道路用語事典」(日本道路協会編、丸善)によると、アスファルトの老化および劣化を次のように定義している。

「老化」:

アスファルト混合物に含まれているアスファルトがアスファルト舗装として供用中に紫外線・気象などの影響を受けて時間の経過に伴い劣化すること。」

「劣化」:

アスファルト混合物に含まれているアスファルトが加熱作用などの影響を受けて、その物理的性状に変化をきたすこと、一般には針入度の低下、軟化点の上昇、伸度の低下となって現われる。」

この定義によれば、劣化とはアスファルトの物理的性状が変化することであり、供用中に起こる劣化が老

化となる。一方、「道路舗装用語の解説」(建設図書)では、老化を次のように定義している。

「老化」:

施工時や供用中に揮発分の蒸発、空気による酸化、熱や光による重合などの作用を受け、時間とともに組成の変化や硬さの増大などを生じ、舗装用アスファルトとしての性状が変化すること、劣化の程度は通常、残留針入度・組成分析などの試験によって表す。」

この場合、老化とは施工時および供用中に起こる劣化を指しており、前者の老化の定義と違いが見られる。いずれにしてもアスファルトの劣化は種々の性状が舗装材料として好ましくない(と思われる)方向へ変化することと考えて間違いないと思われる。

以上のような定義を参考にして、図-1に示すようにここでは物理的性状の変化を総称して劣化、供用中に起こる劣化を老化と呼ぶことにする。また、施工中(特に混合中)に起こる劣化は主な原因が熱および酸素との反応によると考えられることから、これを熱劣化と呼ぶことにする。

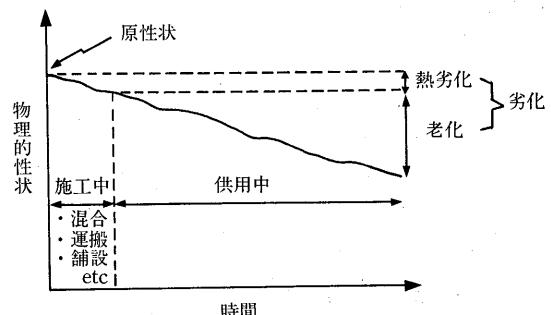


図-1 アスファルトの劣化

3. アスファルトの劣化

3.1 化学的性状の変化

前述のように、アスファルトは種々の作用を受けることによって、化学的性状に変化が生じる。この化学

*たにぐち とよあき 大林道路技術研究所 **いとう たつや 日塗化学工業技術研究所

的性状の変化は物理的性状の変化と密接な関係があると考えられ、アスファルトの劣化もこの化学的性状の変化として把えることができる。Traxler¹⁾は、アスファルトの性状に変化を与えるものとして、表-1に示す15の現象を挙げ、これらの現象が時間・熱・酸素・日光（紫外線）および、ベータ・ガンマ線の介在によって起こるとしている。

3.1.1 組成を変化させる要因

① 長期供用による組成の変化

図-2は、Michigan道路試験²⁾で使用したアスファルトの18年間の供用で生じた組成の変化を示したもので、アスファルテンの増加とナフテン芳香族の減少が特徴的である。これは、ナフテン芳香族が極性芳香族に変化し、さらにアスファルテンへ変化したことによるものである。また、図-3は、ペンシルバニア州における試験舗装を Gotolskiら³⁾が調査した結果で、供用13ヶ月後と5ヶ月後の組成の変化を示している。供用5ヶ月後では、第1アシダフィン（A₁）の増加と第2アシダフィン（A₂）の減少が見られるもののアスファルテンの増加はほとんど認められないのに対し、供用13ヶ月後では、A₁、A₂の変化の他に、アスファルテンの増加がはっきりと現れており、時間の経過に対し、組成の変化は一律でないことがうかがえる。

② 热および酸素の作用による組成の変化

表-2は、薄膜加熱試験後の各成分の変化⁴⁾を示したものである。試験方法から考えて、組成の変化は熱および酸素の作用によることは明らかで、芳香族分と飽和分

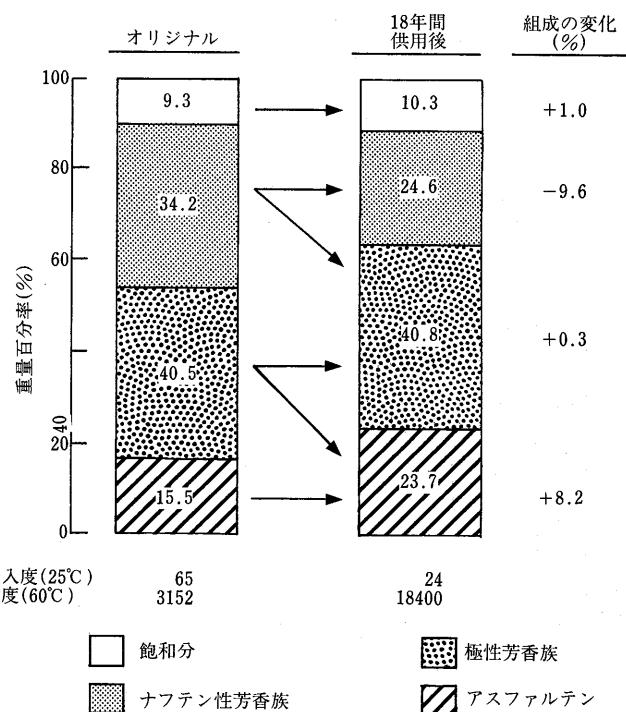


図-2 18年間の供用による組成の変化²⁾

表-2 薄膜加熱試験後の各成分の変化

成 分	原アスファルトの平均値(%)	薄膜加熱試験後の成分変化率(%)	
		範 囲	平 均
アスファルテン分	12.1	0~+4.2	+1.5
レジン分	22.3	0~+4.4	+2.1
芳香族分	49.7	-4.9~+1.3	-2.6
飽和分	15.1	-4.0~+0.2	-1.4

表-1 アスファルトの性状に影響を及ぼす現象¹⁾

現 象	介 在 す る 要 因					発生する部分	
	時 間	熱	酵 素	日 光	ベータ・ ガムマ線	表 面	内 部
1. 酸 化 (光のない部分)	○	○	○	—	—	○	—
2. 光酸化 (直接光による)	○	○	○	○	—	○	—
3. 蒸 發	○	○	—	—	—	○	○
4. 光酸化 (反射光による)	○	○	○	○	—	○	—
5. 光化学反応 (直接光による)	○	—	—	○	—	○	—
6. 光化学反応 (反射光による)	○	○	—	○	—	○	—
7. 高分子化 (重合)	○	○	—	—	—	○	○
8. 内部構造の発達 (エージング, チキソトロピー)	○	—	—	—	—	○	○
9. サイネリシス (オイル分のしみ出し)	○	○	—	—	—	○	—
10. 核エネルギーによる変化	○	○	—	○	—	○	○
11. 水の作用	○	○	○	—	—	○	—
12. 固体による吸収	○	○	○	—	—	○	—
13. 固体表面における成分の吸着	○	○	—	—	—	○	—
14. 界面における化学反応あるいは触媒反応	○	○	○	—	—	○	○
15. 微生物の活動	○	○	○	—	—	○	○

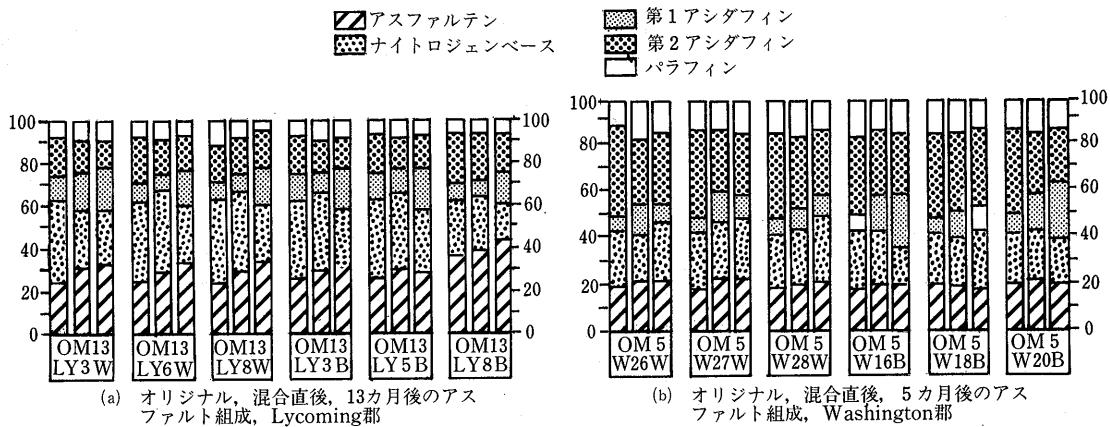


図-3 アスファルトの組成の変化³⁾

和分の減少、アスファルテン分とレジン分の増加が認められる。

King と Corbett⁵⁾は、アスファルトの加熱試験を窒素と酸素の気体中で交互に行い、熱と酸素の作用を区分する試みを行った。図-4はその実験結果で、150°Cにおける、各成分の重量変化を示している。

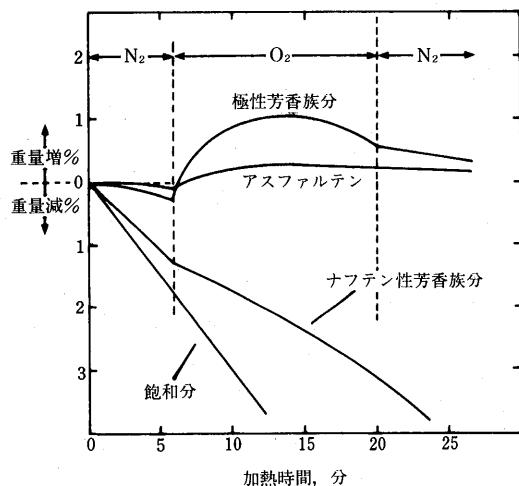


図-4 150°C加熱によるアスファルト成分の重量変化⁵⁾

アスファルテン分と極性芳香族分は、酸素中で重量増加を示し、特に極性芳香族分の重量増加が顕著である。一方、ナフテン芳香族分は重量減の傾向が酸素中ではややゆるやかになり、また飽和分は、窒素・酸素のいずれでも変化の傾向は一定となっている。このことより、アスファルテンや極性芳香族分（レジン分に相当）は、酸素の作用すなわち酸化によって重量増加を起こし、ナフテン芳香族分や飽和分など比較的低分子量のものは、酸素よりも熱の作用によって重量が減

少する性質であることがわかる。図-5は、同じKingらが3種類のアスファルトについて、その重量変化を調べたものである。アスファルトによって、酸素中の重量増加に違いが見られる。この原因としては、各成分の構成比率や酸化による重量増と加熱による重量減のバランスが、アスファルトによって異なることが考えられる。

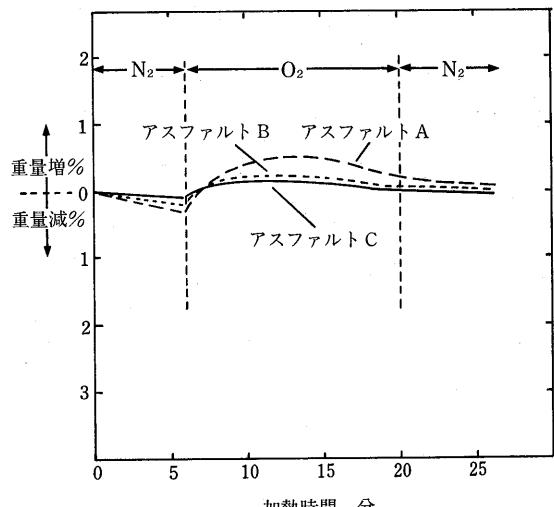


図-5 150°C加熱によるアスファルトの重量変化⁵⁾

笠原ら⁶⁾は、加熱温度が組成の変化に及ぼす影響を調べている。図-6は薄膜加熱試験における加熱温度とアスファルテンの成分量の関係を示したものである。前述のように、アスファルテンは酸素中での加熱によって重量の増加傾向を示す。図-6から、アスファルテンの成分量は温度が高いほど増加の度合が大きくなっていること、高温ほど酸化による重量増加を促進する傾向にあることがわかる。

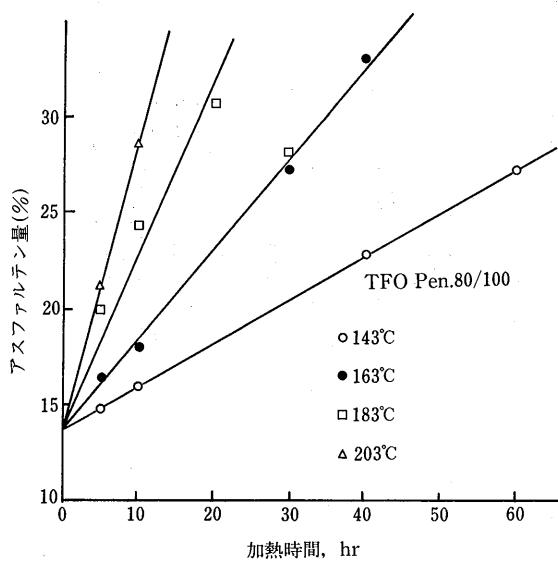


図-6 薄膜加熱試験における加熱時間、温度とアスファルテン量の関係⁶⁾

③ 紫外線の作用による組成の変化

図-7は、異なる条件により養生を行ったアスファルトの分子量分布⁷⁾を示したものである。実線は、試料をアルミホイルで覆い室内に暗置したもの、破線はウェザロメータによる促進試験を行ったもの、点線は屋外に放置したものである。ウェザロメータの紫外線の作用により分子サイズの大きい成分(図の左側の部分)が増加している。また、屋外に放置したものは分子サイズの大きい成分の増加がウェザロメータの場合よりさらに多くなっている。これは紫外線の作用により、アスファルトの組成に変化が起き、また自然の状態ではこの変化がさらに大きいことを示している。

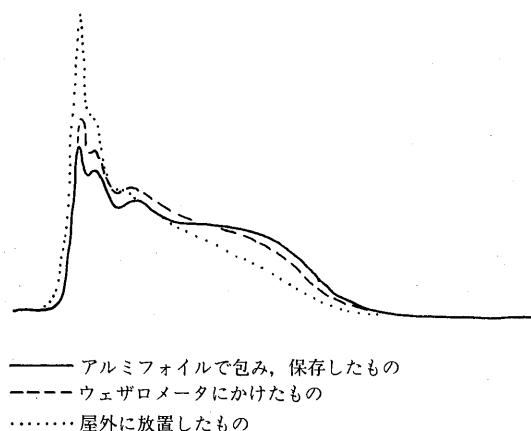


図-7 分子量分布に現われた紫外線の影響⁷⁾

図-8はウェザロメータによって促進耐候試験を行ったアスファルトのアスファルテン成分量の変化を示したもの⁸⁾である。

ウェザリング時間の増加に伴って、アスファルテン量はゆるやかに増加する傾向を示している。試験においては、紫外線の他に、熱(60°C)、水(間欠散水)の作用も受けているため判断はできないが、やはり紫外線の影響は無視できないものと考えられる。

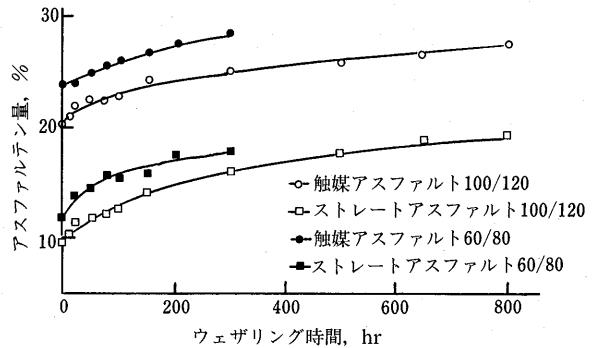


図-8 ウェザリング試験によるアスファルテン量の変化⁸⁾

④ 気象その他の条件の影響

Kempら⁹⁾はカリフォルニア州内で気象条件の異なる4つの箇所を選定し、アスファルトの性状変化を追跡調査している。彼らは、気象条件の他に混合物の空げき率や骨材の吸水性(Porosity)に着目し、図-9～11に示す結果を得た。縦軸はいずれも60°C粘度であるが(組成分析のデータは示されていない)上記の三つの要素はどれもアスファルト性状の変化に影響を及ぼしていることがうかがわれる。

3.1.2 組成変化のメカニズム

本項では、供用中に起こる劣化すなわち老化のメカニズムについて考えてみる。このメカニズムを知る手がかりとして、舗装の深さ方向における劣化の程度の違いを調べた事例^{10,11)}を紹介する。図-12は18年間供用後の舗装の表面部分(厚さ1/8in ■ 3.2mm)とその下層部分(厚さ1/4in ■ 6.4mm)から回収したアスファルトの組成である。また、表-3は施工後3年経過した舗装の0～0.5cm, 0.5～2.5cm, 2.5～4.5cm部分から回収したアスファルトの組成である。

図-12の例では、表面部で原アスファルトの組成からナフテン芳香族の減少とアスファルテン分の増加が目立つに対し、その下層部では変化が小さく、明らかに表面部の劣化が下層部より大きいことがわかる。

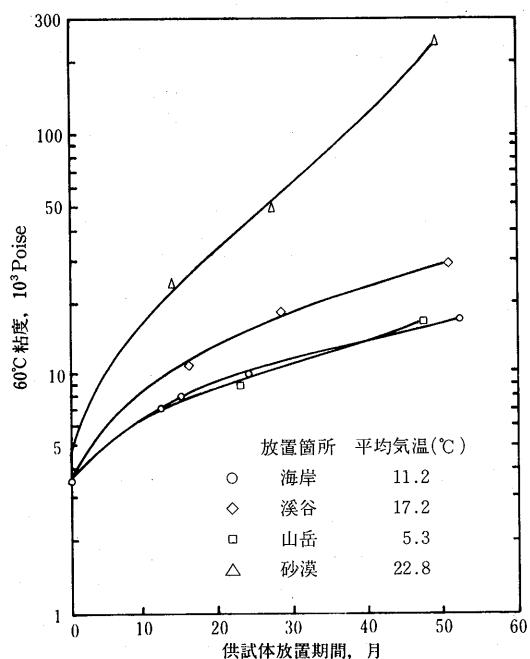


図-9 気象条件が60°C粘度に及ぼす影響⁹⁾

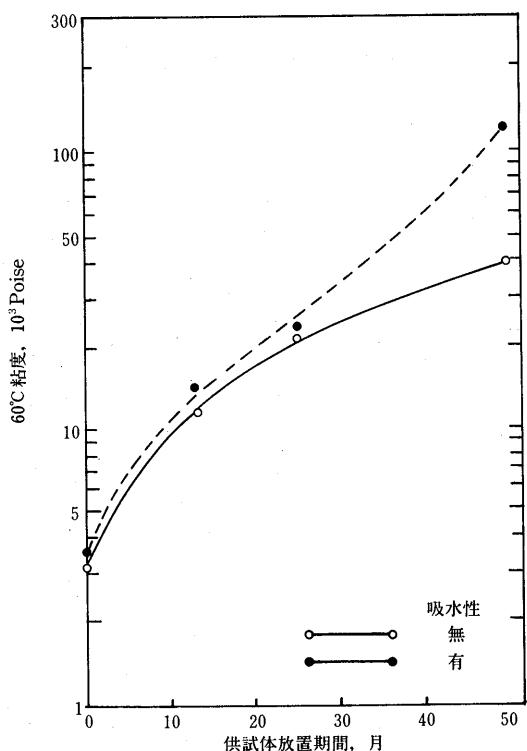


図-11 骨材の吸水性が60°C粘度に及ぼす影響⁹⁾

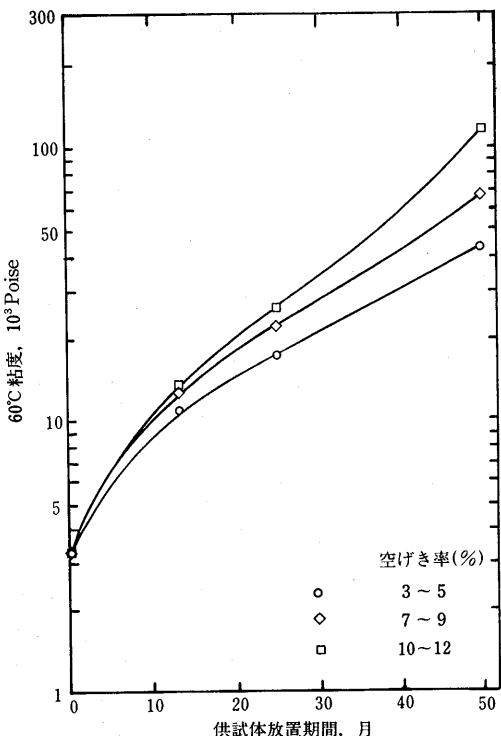


図-10 混合物の空けき率が60°C粘度に及ぼす影響⁹⁾

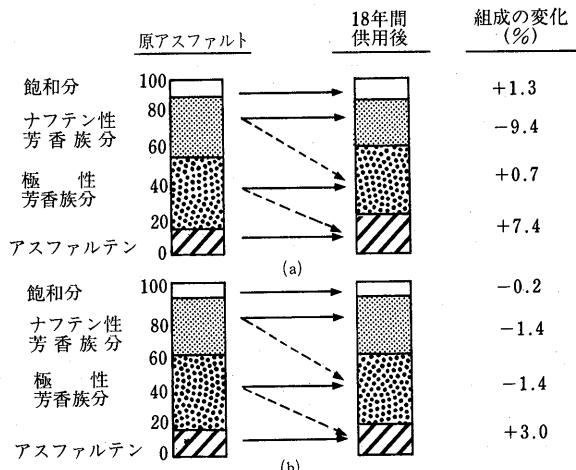


図-12 アスファルトの組成(原アスファルト, 18年供用後), (a)表面部分(厚さ1/8in)(b)下層部分(厚さ1/4in)¹⁰⁾

表-3 アスファルトの組成(原アスファルト, 施工後3年)¹¹⁾

成分(%)	飽和分	芳香族分	レジン	アスファルテン
深さ				
原アスファルト	17.3	45.2	26.1	13.0
0~0.5cm	11.8	37.5	27.7	23.0
0.5~2.5cm	12.4	43.5	22.9	20.7
2.5~4.5cm	12.9	41.5	23.4	22.0

一方、表-3の例では、組成の変化として目立つのはアスファルテンの増加と飽和分の減少であるが、図-12と異なるのは、表面部と下層部で組成の変化の差が小さいことである。経年数あるいは他の条件（前者は米国、後者は日本の例）によって深さ方向の変化にこのような違いが生じるのかは明らかではないが、いずれにせよ、供用中の老化は表面からその下の部分へ進行してゆくと考えて差し支えないと思われる。ただし、3.1.1①で述べたように、老化の進行が時間の経過に対し一律でないことも忘れてはならない。参考までに、図-12、表-3に対応する物理性状のデータを表-4、5に示す。

表-4 18年間供用後の物理性状¹⁰⁾

試料	物理性状	工区					
		1	2	3	4	5	6
原アスファルト	軟化点、℃ 針入度(25℃)、1/10mm 伸度(15.6℃)、cm 60℃粘度、Poise	52.2 46 150+ 60℃粘度、Poise	51.1 52 150+ 3,880	51.1 48 150+ 5,310	51.7 49 67 4,480	51.7 51 16 6,410	52.2 49 27 7,740
表面部分 (厚さ1/8in)	軟化点、℃ 針入度(25℃)、1/10mm 伸度(25℃)、cm 伸度(15.6℃)、cm	57.8 26 150+ 5	65.6 19 7 0.5	60.0 23 150+ 4.5	63.9 23 6 —	63.9 23 7 3	73.9 19 5 2.5
下層部分 (厚さ1/4in)	軟化点、℃ 針入度(25℃)、1/10mm 伸度(25℃)、cm 伸度(15.6℃)、cm 60℃粘度、Poise	53.9 37 150+ 8 7,320	57.8 34 150+ 8.5 17,041	56.1 36 150+ 8.5 7,752	57.2 35 150+ 6.5 9,705	52.9 36 150+ 6 11,787	63.9 32 40 4.5 34,414

表-5 3年間供用後の物理性状¹¹⁾

物理性状	深さ(cm)			
	原アスファルト	0~0.5	0.5~2.5	2.5~4.5
針入度(1/10mm)	95.0	33.0	52.0	52.0
軟化点(℃)	45.0	60.2	52.0	53.0
P I	-0.95	+0.12	-0.62	-0.42

老化のメカニズムについては、堀尾ら⁸⁾が屋外ばく露試験と室内の促進耐候試験の結果を基に以下に示す劣化機構のモデルを推定しているので、解説の抜粋および概念図を以下に紹介する。なお、このモデルは劣化の及ぶアスファルト膜厚を数十ミクロンと考えたものであり、前述のようなアスコン表層全層にこれが拡張できるかは定かでない。

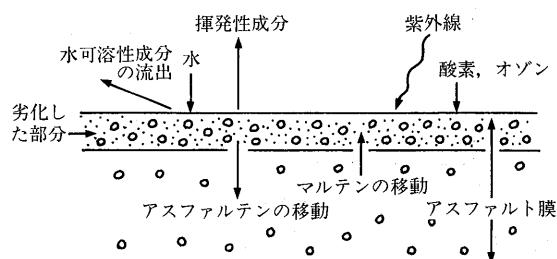
解説

「堀尾、今西、山口、『舗装用アスファルトの耐候性に関する研究』、石油学会誌、第18巻、第7号(1975)」

より抜粋

『均一なアスファルト膜は、光と酸素などにより表面が酸化され、酸化物の生成や重合によるアスファルテンの生成が表面付近におきる。一方、揮発性成分は徐々に揮発するとともに、酸化物等の水可溶性成分も水に溶解して流出する。このような現象のため表面付近は著しくアスファルテン過剰になってくる。そしてアスファルト表面とアスファルト内部とのこの濃度こう配が推進力となり、アスファルテンとマルテンの相互移動がおこり、濃度こう配をなくす方向に現象が進む。この二つの現象、すなわち表面におけるアスファルテンの増加（劣化速度と関連する）と内部への拡散（運動の容易さと関連する）は運動的平衡関係にあり、それの大きさによりアスファルトの硬化と組成との関係は左右される。促進試験と劣化機構の相違はこの機構により説明される。すなわち、促進試験の場合には、急激な劣化条件下にあられるため、表面におけるアスファルテンの生成のはやさが、アスファルテンの内部拡散のはやさにまさり、その結果、アスファルト表面にアスファルテンを主成分とした劣化皮膜が形成される。

この皮膜が内部アスファルトの保護膜のような働きをして、各種劣化因子が内部アスファルトに作用するのを防ぐとともに、内部アスファルトの流動による表面への露出を阻止する。そして、たわみ性の少ないアスファルテン皮膜は、温度変化等による伸縮にたえられず、き裂が発生すると部分的に急速に下部まで発展する。従ってアスファルテンの増加は表面だけにおこり、全体的な生成は少ない。これに対して、戸外試験の場



アスファルトの劣化機構

合には条件が温かため、アスファルテン皮膜が形成される前に内部アスファルトが流動して、表面に露出して劣化を受ける。このため、アスファルト全体が均一に劣化を受け、アスファルテンの生成量、揮発性成分の揮発は全体的に均一におこるとともに、その量は促進試験の場合より多くなる。なお、劣化皮膜は光がアスファルト中に作用を及ぼすとされている数十ミクロン程度の厚さと考えるのが妥当であるが、確認はしていない。』

以上の説明から、アスファルトの劣化あるいは老化において新たなアスファルテン分の生成および増加がアスファルトの性状の変化に関して重要な役割を果たしていることがわかる。そこで、このアスファルテン分の生成と増加が物理性状にどのような影響を及ぼすのかを次にみてみることにする。

3.1.3 アスファルトの組成と物理性状の関連

表-6、図-13、14はアスファルトの組成と物理性

状の関係について検討した事例である。前述のように、アスファルトのコンステンシーに関しアスファルテンが重要な役割を果たしていることがわかる。ただし、表-6のように、原アスファルトやTFOT後(加熱時間は32.5hr)の伸度が良好であっても供用性の評価は低い場合もあり、この時のアスファルテン量は供用性の良いものより少ないので特徴である。原油の種類や製法によってアスファルテン量が異なることは前述のとおりであり、アスファルテンの絶対量が必ずしもそのアスファルトの劣化特性や供用性に結びつかないものと考えられる。

図-15は、Zaca-Wigmore道路試験において使用したアスファルトの室内劣化試験結果(劣化特性の指数)と試験道路の供用51ヶ月後の供用性(路面性状)の評価値との関連を示したもの¹⁴⁾である。両者は非常に良い相関関係にあり、特定の成分が舗装の供用性を予測する上で重要な因子となる可能性を示した例である。一

表-6 アスファルテン量、伸度、供用性の関係¹²⁾

(アスファルト150/200)

項目	アスファルトA		アスファルトB		アスファルトC		アスファルトD	
	原アスファルト	TFOT後(32.5hr)	原アスファルト	TFOT後(32.5hr)	原アスファルト	TFOT後(32.5hr)	原アスファルト	TFOT後(32.5hr)
伸度、25°C (cm)	140+	140+	140+	140+	140+	6.5	140+	87.0
供用性	不良		不良		良		良	
アスファルテン量 (%)	13.7	24.0	15.3	26.3	20.7	32.0	17.9	26.9
TFOT後のアスファルテン量の増分 (%)	—	10.3	—	11.0	—	11.3	—	9.0

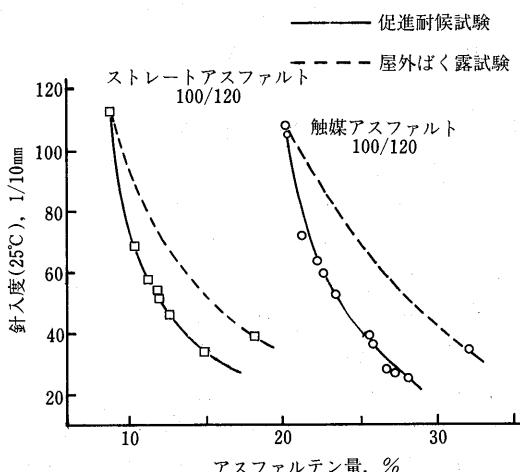


図-13 アスファルテン量と針入度の関係⁸⁾

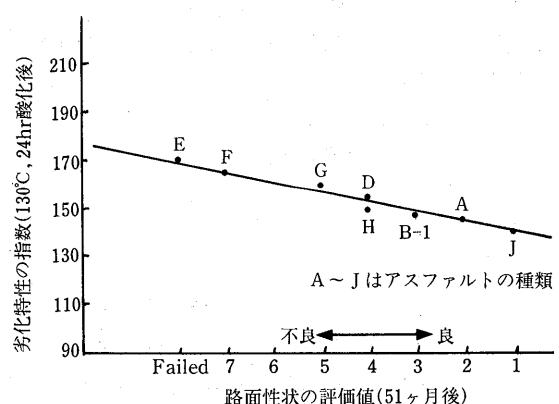


図-15 アスファルトの劣化特性と路面性状の評価値との関係¹⁴⁾

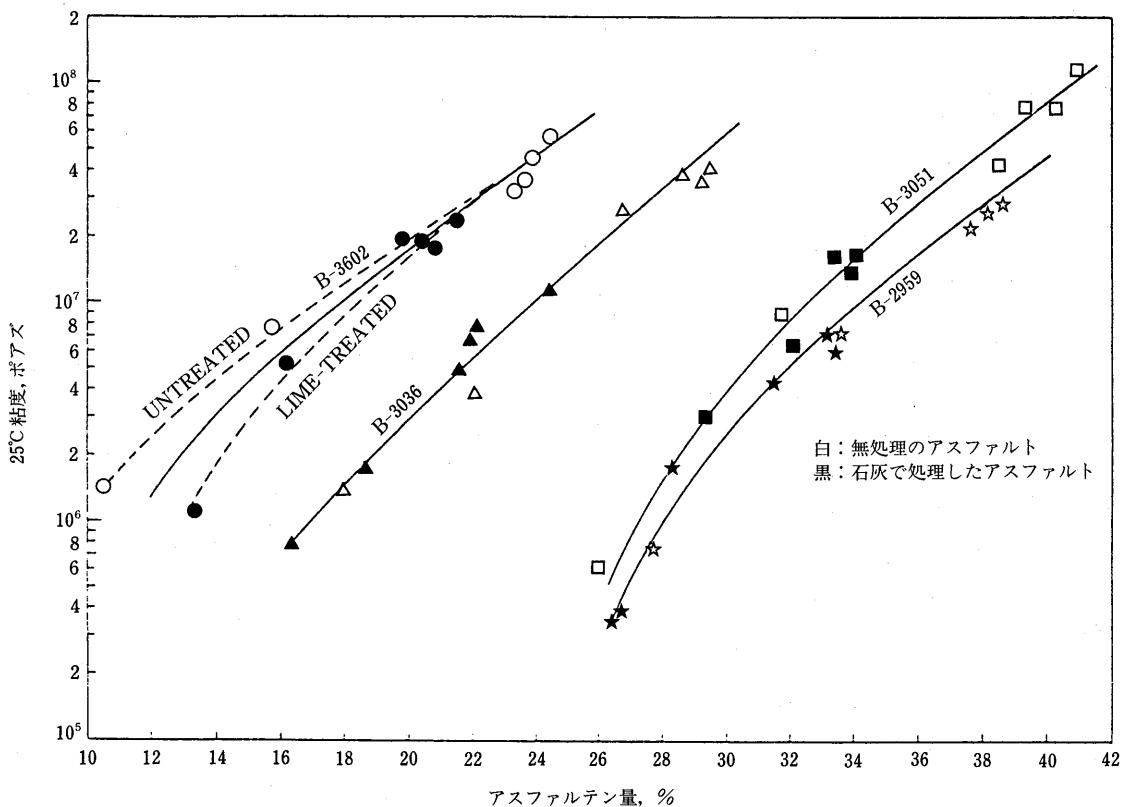


図-14 アスファルテン量と粘度の関係¹³⁾

方、日本で生産されている道路舗装用アスファルトについて1985年度に実施した性状調査結果⁴⁾によれば、アスファルトの組成（4成分）と比重および引火点が比較的高い相関を示しているが、比重や引火点はアスファルトの供用性状との関連が明確でないことから、組成分析の結果からアスファルトの供用性状を判断するのは困難であると結論づけられている。前者(図-15)は室内試験結果と実際の供用性を結びつけたもの、後者は室内試験結果の相関からの推測であり、対照的な結果となっている。

3.2 物理的性状の変化

アスファルトの物理的性状の変化とは、アスファルトが熱劣化、老化によって生じる物性値（針入度、軟化点等）の変化である。

3.2.1 热劣化

アスファルトが製油所において精製され合材プラントを経て舗設されるまでの過程は、一般に図-16の通りである。図からもわかるように、アスファルトは舗設されるまで、隨時高温の状態にさらされており、当然熱劣化を受けているものと思われる。

そこでアスファルトの熱劣化をアスファルトを製油

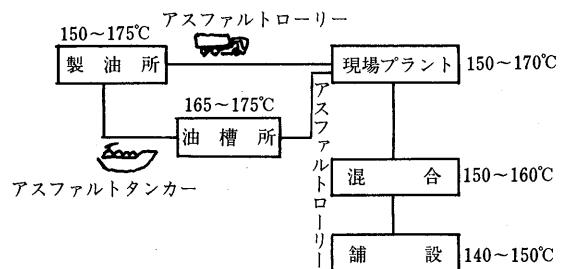


図-16 アスファルトの製造から舗装まで¹⁵⁾

所から合材プラントまで運搬する際の熱劣化（以下、運搬時の熱劣化とする）、プラントにおいてアスファルトと骨材を混合した際の熱劣化（以下、混合時の熱劣化とする）、アスファルト合材運搬時やホットストレージ等による熱劣化（以下、舗設時までの熱劣化とする）の3通りに分けて説明する。

① 運搬時の熱劣化

図-17は、運搬時の熱劣化を扱った事例である。この図は、横軸に製油所から合材プラントまでの輸送時間、縦軸に合材プラントにおける物性値から製油所における物性値を差し引いた値である。本来熱劣化を受

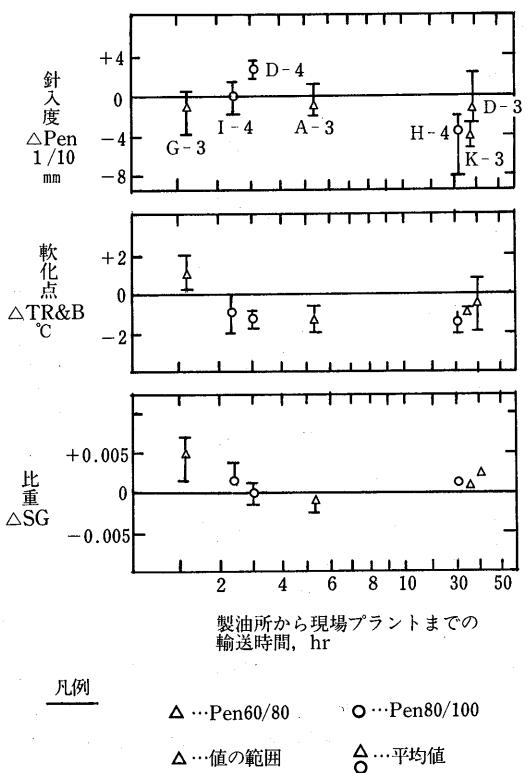


図-17 輸送時間と物理性状（現場一製油所）¹⁵⁾

けたアスファルトは針入度が低下し、軟化点が上昇すると言われていることから、運搬時に熱劣化を受けているならば、針入度はマイナスに、軟化点はプラス側にプロットされることになる。しかし図-17の結果では、各試験ともほとんど±0付近にプロットされており製油所と合材プラントにおけるアスファルト物性の変化はほとんど無いことがわかる。また輸送時間の増加に伴う変化も見受けられない。すなわち、アスファルト運搬時における加熱作用(170°C前後)は、アスファルトの物性値に変化をきたさないようである。言いかえれば、運搬時に熱劣化はほとんど生じないものといえる。

② 混合時の熱劣化

混合時の熱劣化が運搬時の熱劣化と大きく異なる点は、アスファルトと骨材が混合される際、アスファルトは薄膜の状態で加熱作用を受けていることである。すなわちアスファルト運搬時より過酷な条件にさらされていることになる。

アスファルト混合物作製直後の合材より回収したアスファルトの物性試験結果を図-18~22、表-7に示す。図-18~20は幕張試験舗装、図-21、22は高速道

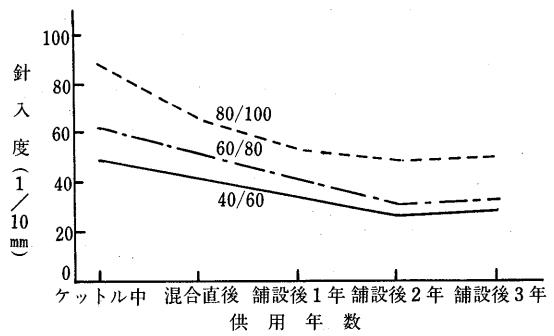


図-18 新アスファルトの経時変化（針入度）¹⁶⁾

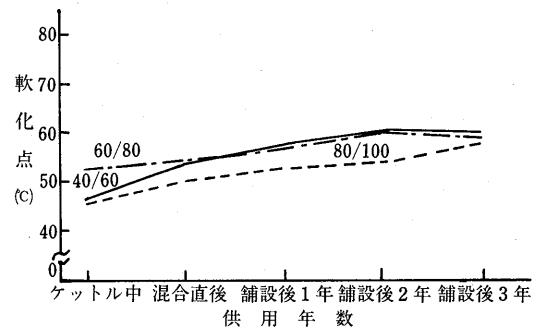


図-19 新アスファルトの経時変化（軟化点）¹⁶⁾

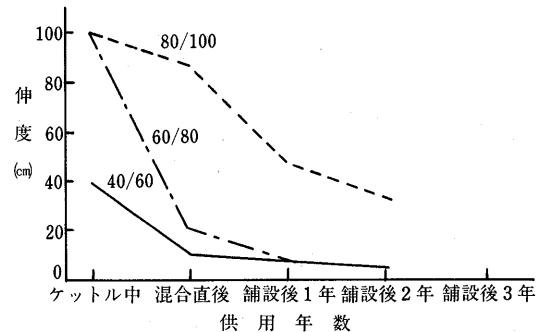


図-20 新アスファルトの経時変化（伸度）¹⁶⁾

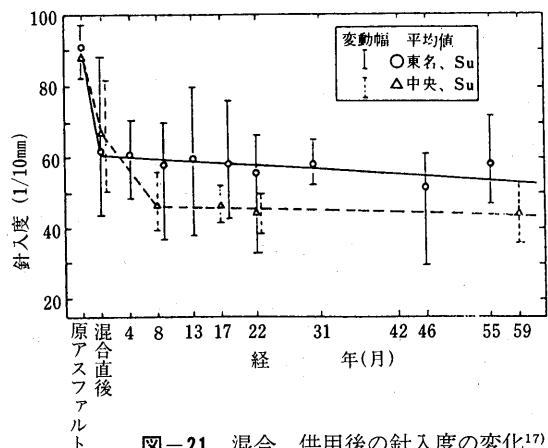


図-21 混合、供用後の針入度の変化¹⁷⁾

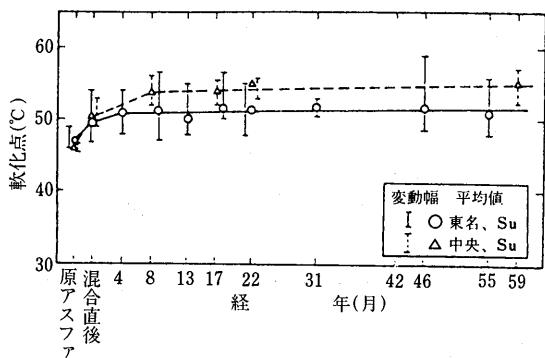


図-22 混合、供用後の軟化点の変化¹⁷⁾

表-7 回収アスファルトの性状試験結果¹⁸⁾

アスファルト 項 目	100~200		80~100	
	タンク内の アスファルト	回収アス ファルト *	タンク内の アスファルト	回収アス ファルト *
針入度 (1/10mm)	108	68	87	56
軟化点 (°C)	42.5	48.5	47.0	51.5
60°C粘度 (Poise)	1,090	2,440	1,800	3,480

注) * : 試料はプラントにより出荷直後のアスファルト混合物

路調査会、表-7は積雪寒冷地の試験舗装から引用したものである。各報告とも物性値は著しく変化しており熱劣化の作用を受けていることがわかる。

図-18より混合直後の針入度は、原アスの針入度に対し針入度級40/60のアスファルトで約85%、60/80で約80%、80/100で約75%の値まで低下しており、図-21は針入度級80/100のアスファルトであるがこの結果も前者と同様約75%の値となっている。また、表-7においては針入度級80/100で約64%、100/120で約63%の値に低下している。これらのことより混合時の熱劣化による針入度の変化割合は、針入度級によって異なり柔らかいアスファルトほど大きいようである。

軟化点においては、全般的に約2~8°Cの上昇を起こしており、アスファルトの針入度級による差は見受けられない。

③ 舗設時までの熱劣化

アスファルト合材製造後、施工現場までの運搬中にもアスファルト物性は時間とともに変化していくものと思われる。図-23は縦軸に混合直後の残留針入度、横軸に舗設直後の残留針入度を示したものである。ここでいう残留針入度とは、回収アスファルトの針入度と原アスファルトの針入度との比のことである。残留針入度は混合直後のほうが舗設直後より大きいことから、アスファルト合材運搬中にアスファルトが熱劣化

を受けているものと言える。

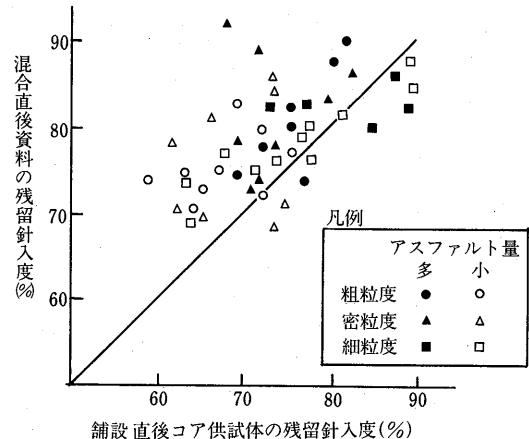


図-23 プラント混合直後および舗装直後における回収アスファルトの原アスファルトに対する残留針入度¹⁹⁾

ホットストレージによる熱劣化として笠原²⁰⁾は室内試験でアスファルト合材を密閉型の容器に入れ150°Cで貯蔵し、アスファルト合材の貯蔵時間に対する回収アスファルトの物性値の変化として図-24の結果を示している。針入度を見てみると貯蔵後15時間まで低下を続けその後安定状態になり、軟化点においても貯蔵時間とともに増加しその後安定状態になる傾向が見受けられる。以上のことを考慮するとアスファルト合材を現場まで運搬する際にも熱劣化は進み、また舗設するまでの時間が長ければ、それだけアスファルトの物性の変化は大きくなると言える。

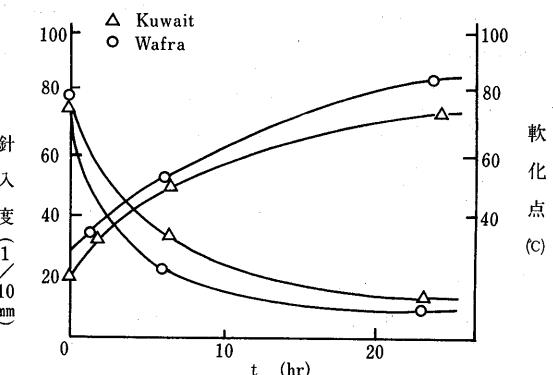


図-24 針入度及び軟化点の貯蔵時間との関係²⁰⁾

以上のことまとめると、アスファルトの物理的性状は、アスファルト運搬時には運搬時間にかかわらずほとんど変化は無いが、骨材との混合時にアスファルトが薄膜の状態になって始めて変化が生じるようであ

る。また、アスファルト合材製造後も、時間とともにアスファルトの物理的性状の変化は大きくなるようである。

3.2.2 老化

① アスファルト物性値の経時的变化

老化によるアスファルト物性値の経時的变化を長期にわたって調査しているものとして、図-25の幕張試験舗装、図-21、22の高速道路調査会、図-26の相模原市試験舗装の結果を示した。各調査結果とも針入度、軟化点は供用早期においてそれぞれ急激な低下および増加を示し、その後ゆるやかに変化していくようであ

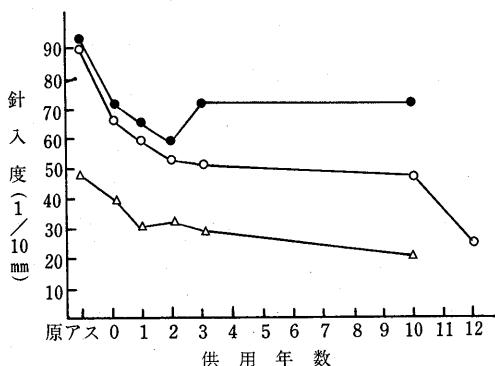


図-25 針入度の変化（幕張試験舗装）¹⁹⁾

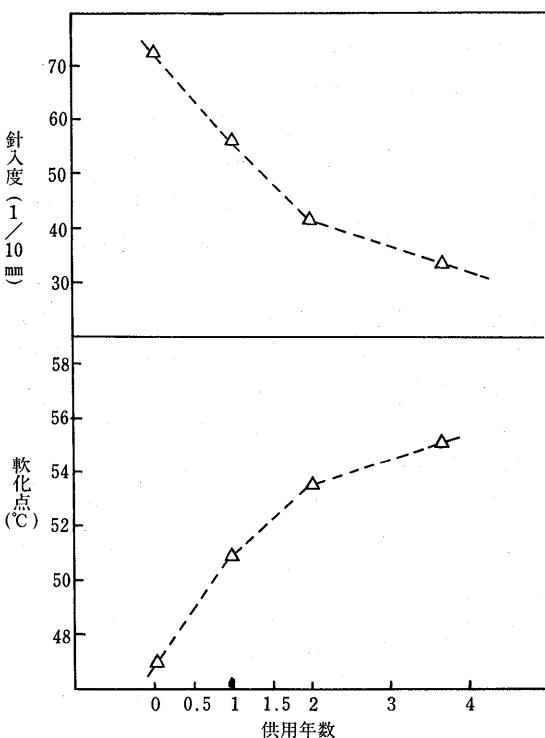


図-26 針入度・軟化点の変化（相模原市試験舗装）²¹⁾

る。急激な変化をおこす期間は路線、アスファルトグレード等の違いによりまちまちであるが供用1年間のものから供用4年以上のものまでみうけられる。

② 深さ方向の違いによるアスファルト物性値の経時的变化

アスファルト舗装における老化の進行スピードは随時紫外線や気象などの影響を受けている舗装表面とそれより下部の部分では当然異なっているはずである。図-27に深さ方向の違いによるアスファルト物性値の経時的变化を示した。この図よりアスファルトの老化は舗装の表面に近いほど早期に生じていることがわかる。しかし、供用年月が経つにつれ表面下の物性値も変化し舗装表面と同程度に近づいていく傾向が伺える。このことは、紫外線や水の影響が表面下に到達するまでに時間がかかることを意味しているものといえる。

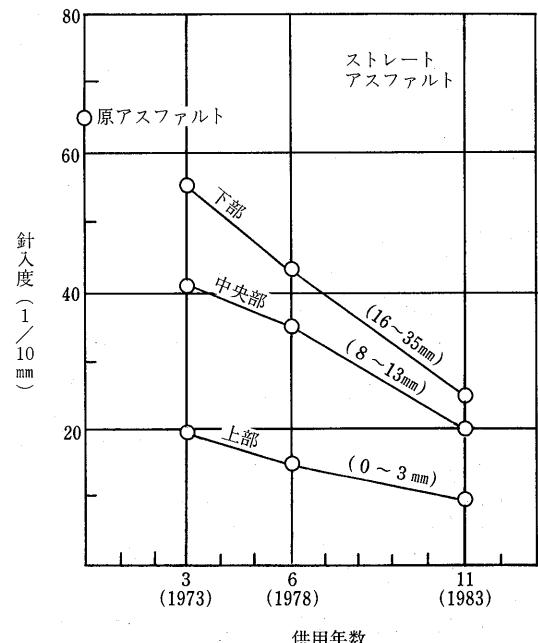


図-27 材令にともなう針入度の変化²²⁾

③ 車両走行の有無によるアスファルト物性値の変化

表-8は施工後3年経過した舗装の回収アスファルトの物性値を示したもので、CoreAは車両走行部分、CoreBは車両走行の無い部分である。CoreBのほうがCoreAに比べかなり老化しており、またアスファルト回収箇所が表面より深くなるほどその差が顕著である。すなわち、CoreAの車両走行部分は、交通荷重により圧密されたためCoreBよりも低空隙率の混合物となり老化の原因となる水や紫外線の作用を表面下では受け

表-8 回収アスファルトの物理性状¹¹⁾

物 性	コア 深 さ	コア A (センター)				コア B (端 部)			
		Orig.	0~0.5	~2.5	~4.5	0~0.5	~1.5	~3.0	~4.5
針 入 度 (dmm)		95.0	33.0	52.0	52.0	21.2	30.7	39.6	37.2
軟 化 点 (°C)		45.0	60.2	52.0	53.0	66.6	58.8	57.0	56.5
P I		-0.95	+0.12	-0.62	-0.42	+0.36	-0.31	-0.12	-0.37

にくい状態であったと言える。すなわち、混合物の空隙率によってアスファルトの老化度合いは異なると言える。

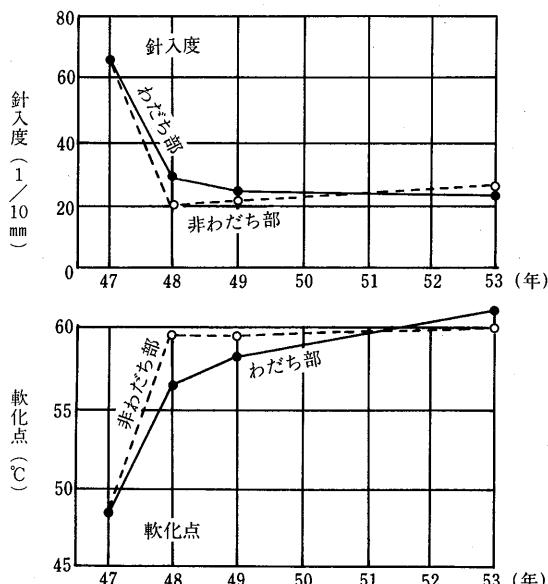
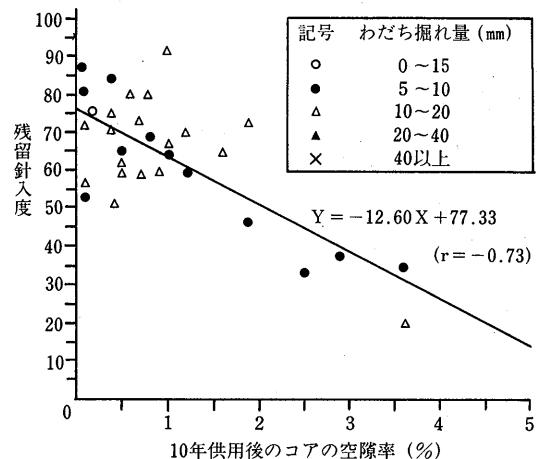
以上のことまとめると、老化によるアスファルトの物性の変化は、供用早期に急激な変化をおこしその後ゆるやかに変化していくものと言える。ただし、老化によるアスファルト物性値の変化は、アスファルト混合物の採取箇所、空隙率等の影響をかなり受けると言える。

3.2.3 供用性状と物性値との関係

アスファルトの物性的性状は、熱劣化、老化によりかなり変化することが認められた。次に物理的性状と供用性状の関係を見てみることにする。

① わだち掘れとの関係

図-28はわだち部と非わだち部におけるアスファルト物性の経時変化を示したものである。図よりわだち掘れの有無による、物性値の違いは針入度、軟化点とも見受けられない。図-29は幕張試験舗装の結果を示したものであるが、これによるとわだち掘れが顕著に

図-28 アスファルト混合物物性の経時変化²³⁾図-29 コア空隙率と残留針入度の関係²⁴⁾

なる性状は、空隙率2%以上で残留針入度が40%以下および空隙率1.5%以下で残留針入度が60%以上であると推測されている。

② ひび割れとの関係

図-30は幕張試験舗装の結果を示したものである。軟化点についてはひび割れとの関係が明確でないが、針入度では40以下、伸度では10cm以下のときにひび割れが増加している傾向にある。図-31~33は高速道路におけるひび割れとアスファルト物性値との関係を示したものである。図-31、32では針入度35以下、軟化点54°C以上、60°C粘度1000poise でヘアクラック等の発生、針入度25以下、軟化点60°C以上、60°C粘度2000poise で亀甲状クラック等が発生し易い結果となっている。図-33では針入度50以下、軟化点54°C以上でヘアクラック等の発生、針入度25以下、軟化点63°C以上で亀甲状クラック等が発生している。これらを総合すると、ひび割れとアスファルト物性値との関係は次のようになる。

針入度	35~50でひび割れ発生
	25以下でひび割れ大
軟化点	54°Cでひび割れ発生
	60~63°Cひび割れ大
伸度	10cm以下でひび割れ大

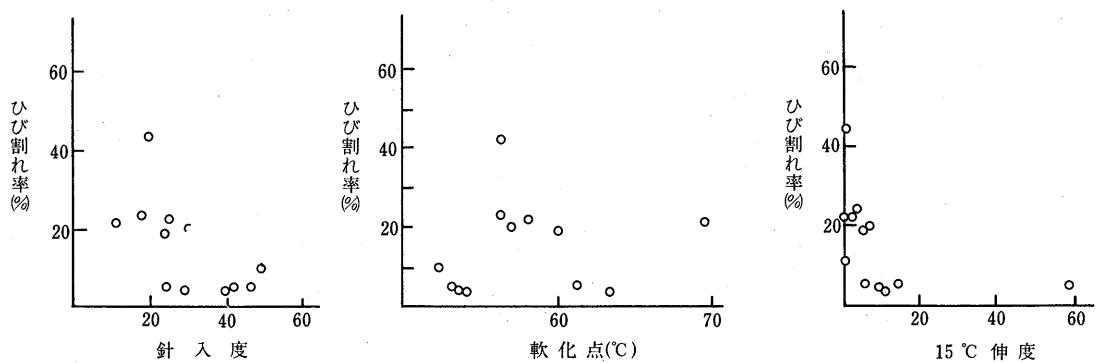


図-30 ひび割れ率と針入度、軟化点、15°C伸度との関係(B区間、第3車線、舗設後12年経過)¹⁹⁾

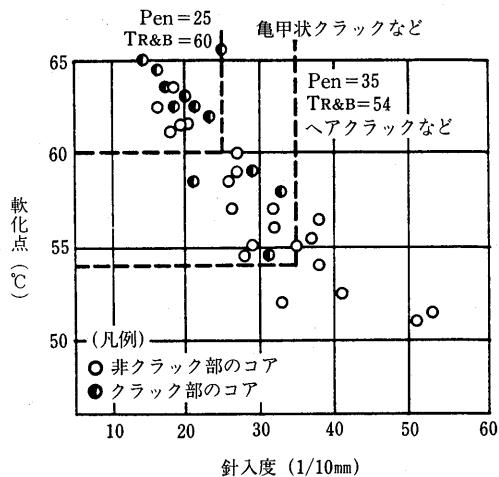


図-31 針入度、軟化点とひび割れの関係²⁵⁾

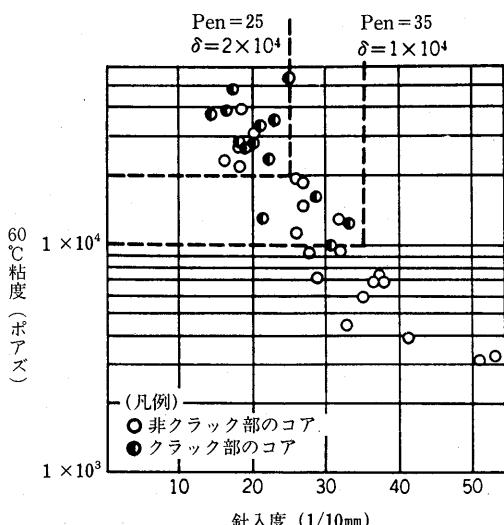


図-32 60°C粘度、針入度とひび割れの関係²⁶⁾

60°C粘度 10000poise(粘度比に換算すると
4~5)でひび割れ発生

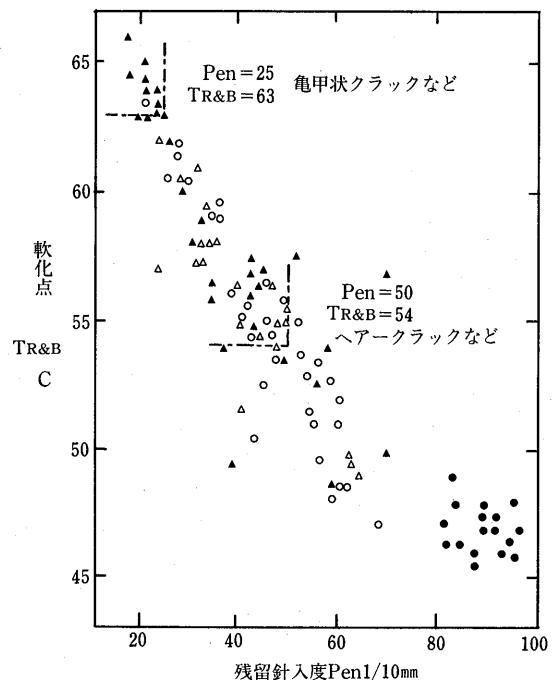


図-33 ひび割れと回収アスファルトの物理性状²⁶⁾

20000 poise 程度でひび割れ大
以上の結果からわだち掘れと回収アスファルトの物
性値の関係はあまり明確ではないもののひび割れとは
かなり明確な関係があると言えそうである。

4. 再生工法とアスファルトの品質

4.1 再生工法におけるアスファルトの再生

再生工法において、アスファルトの劣化が著しい場

合には再生添加剤が用いられる。再生添加剤は劣化したアスファルトを所定の品質まで改修しようとするものである。「路上表層再生工法技術指針(案)」(日本道路協会, 1988)では、再生アスファルトの品質が示されているが、これは「アスファルト舗装要綱」(日本道路協会, 1988)に定める舗装用石油アスファルトの品質規格と一致していることから、アスファルトの再生目標はあくまでバージンアスファルトの品質と同じでなければならないという考え方方に立っているものと思われる。一方では、再生添加剤はアスファルトの針入度・軟化点・粘度といった物性値を回復・調整する“軟化剤”であり、組成をバージンアスファルトのレベルまで改修する“若返剤”としての効果は、あまり期待できないとする意見²⁷⁾も過去に見られた。前述のとおり、アスファルトの劣化のメカニズムは複雑で、しかも原油产地や製法さらには施工・供用といった様々な作用を受けるため、原性状が同一であっても状況によっては劣化の様子が著しく異なることもあり得る。従って、このように劣化したアスファルトを再生する場合、物理的性状の改修は可能であっても化学的性状の改修はかなり難しいと言える。一般に再生添加剤と呼ばれるものは、劣化したアスファルトの芳香族成分などオイル分は増加させるが、アスファルテン分はバージンアスファルトのレベルまでには減少できないのが実情のようである²⁷⁾。図-34は再生添加剤による組成の回復効果を示した例²⁸⁾である。組成の回復という点に関しては、軟質のアスファルトを加えた方が効果的であると言えるが、一方では、Davidsonらの提案²⁹⁾を基に

再生能力および耐熱劣化性能に優れた再生添加剤の開発³⁰⁾も行われている。

4.2 再生添加剤の機能と性質

ここでは、Davidsonらが提案した再生添加剤のあり方²⁹⁾について紹介する。

まず、施工面からの制約として

- ① 旧材との混合が十分に行なわれるため、再生添加剤は混合に適した粘度のものであること。できれば乳剤化したもののが良い。
- ② 適切な混合装置・混合時間・混合温度により十分な混合を行なうこと。

次に、品質面では、

- ① 旧材中のアスファルトとの混合性が十分であること。このためにはアスファルテンの分散剤であるNの量が充分であり、かつアスファルテンのゲル化剤であるPの量を抑える必要があり、N/Pでこれをコントロールする。必要なN/Pはアスファルトによって異なるが、1.0以上であればよく、また再生されたアスファルトの(N+A₁)/(P+A₂)が0.4以上となることを確認しておく。これらはサイネリシス(分離現象)を起こさないために必要である。
- ② Rostlerらの研究成果³¹⁾を基にして、旧アスファルトの耐久性を改修するために、再生添加剤の(N+A₁)/(P+A₂)が0.4~1.0の範囲内(0.4~0.8が望ましい)にあることが必要である。
- ③ 当然ながら、再生されたアスファルトの品質は舗装用アスファルトの品質に見合ったものでなければならない。

この提案は、アスファルテンの量をあるレベルに抑え、かつアスファルテンを分散させる成分を確保することによって、劣化したアスファルトの品質を改修できるという考え方があることは明らかである。しかし、一方でWhiteら³²⁾は、あるアスファルトを各成分に分離し(Rostler-sternberg法)、その成分比に従って再度合成してもオリジナルと同じ性状にはならない場合があることを指摘している。これは分離方法自体の問題の他に、アスファルトが極めて複雑かつデリケートな物質であることを示すものである。従って、冒頭述べたように、アスファルト自体の耐久性を組成にまで立ちかえって検討することも今後必要になるのではないかと考えられる。

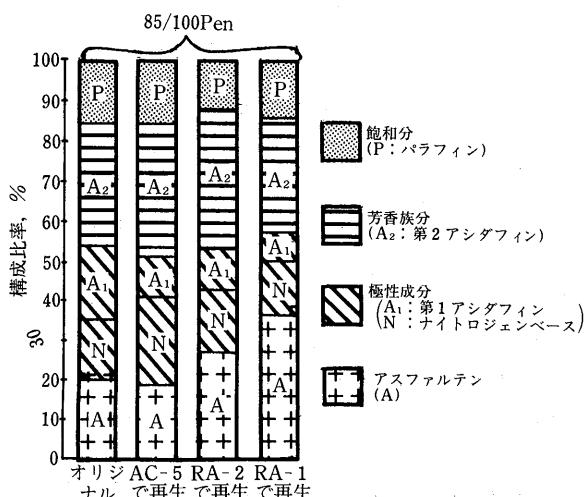


図-34 種々の再生添加剤で再生したアスファルトの組成²⁸⁾

5. より耐久的なアスファルトとは

本稿の最後として、アスファルトをより耐久的なものにするための方策について Rostler ら³³⁾の考え方を紹介する。

まず、アスファルトの各成分量の修正法として、アスファルテン (A)

Aはアスファルトの粘度を増加させる効果がある。最も好ましい修正法は、マルテンの量を減らすことなく、アスファルトの粘度を上げることである。例えば、アスファルテンとマルテン比が1:9であるものは、同比が4:6のものよりも耐久性が大きいといえる。

ナイトロジエンベース (N)

Nは、AがA₁、A₂及びPに対し分離 (Syneresis) を起こさない最小限の値に抑えるのが望ましい。

未だ方法は見出されていないが、Nの化学反応性を減らすことも大切である。

第1アシダフィン (A₁)

Nと同様の修正が必要である。

第2アシダフィン (A₂)

耐久性に関してA₂は最も必要な成分である。他の成分との兼合いを考慮してできる限り増やすことが望ましい。

パラフィン (P)

この成分は飽和炭化水素で最も耐久性に富み、かつ酸化に対しても強い。許される最大限の成分量はサイネリシスへの影響度や必要とする粘度特性に左右される。

次に、具体的な方策として、まず経済性が見合うことを前提として、

① アスファルトあるいはアスファルトの成分をブレンドする

② 少量で効果が期待できる添加剤を用いる。

を挙げている。①のブレンドについては、White ら³²⁾が次のような実験を行っている。一種の摩耗試験により評価した耐久性が良いもの (A) と悪いもの (B) がある。アスファルトAの成分 (N, A₁, A₂, P) を

アスファルトBの成分比に調整すると (A' とする), A' の耐久性はBと同様に悪いものとなる。逆にBの成分をAの成分比に調整すると (B' とする), B' はAと同様に良い耐久性を示す。また、あるアスファルトのアスファルテンを別のアスファルテンと置換える (量は同じとする) と粘度や耐久性に大きな違いが現われる。といった興味深い結果を得ている。これから、アスファルトの耐久性を改編する上で、成分の量的および質的バランスが重要であることがわかる。なお、②としてはエラストマーが最も有望であるとしている。

7. おわりに

アスファルトの劣化について内外の研究成果をとりまとめて紹介した。主なものとしては、①アスファルト混合物の製造・舗設および舗装としての供用の各段階で、アスファルトの組成と物理性状は変化 (劣化) するが、受ける作用の程度によってその変化は異なり一律ではない。②組成 (の変化) と物理性状 (の変化) とは必ずしも対応した関係にはない、などがある。このテーマに関する研究が予想した以上に盛んに行われている (いた) ことにおどろいたのと同時にこの問題の重要性を改めて認識した次第である。

アスファルト自体が元来複雑な材料であること、また、アスファルトを劣化させる作用や劣化を物理、化学的な面で覚えることの難しさもあるが、対象とした題材を十分にまとめきれなかったことは、筆者らの力不足によるところである。また、劣化の評価手法や劣化を極力抑えるための方策など今後の調査課題として残されたものも多い。しかし、アスファルトの劣化や耐久性を考える場合、その組成について検討することの重要性はある程度感じたのではなかろう。

最後に、このレポートを作成するにあたって、御指導いただいた北海道大学の姫野助教授に感謝の意を表します。

— 参考文献 —

- 1) Traxler, R. N. : Durability of Asphalt Cements, AAPT Proceedings, Vol.32, P44, 1963
- 2) Corbett, L. W. and Merz, R. E., Transportation Research Board Symposium, 1975
- 3) Gotolski, W. H., Ciesielski, S. K. and Heagy, L. H. : Progress Report on Changing Asphalt Properties of In-service Pavements in Pennsylvania, AAPT Proceedings, Vol.33, P285, 1964
- 4) 牛尾：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、アスファルト, Vol.31, No.157, P 9, 1988
- 5) 鈴木, 笠原：アスファルトの組成について(3)アスファルト, Vol.13, No.75, P 6, 1970(原典は入手不可能のため、引用文献を示す)

- 6) 笠原, 雜賀, 植村: 薄膜加熱試験におけるアスファルトの熱劣化の検討(第1報), アスファルトの熱劣化機構について, 石油学会誌, 第17巻, 第6号, P36, 1974
- 7) Jennings, W.: Workshop-Prediction of Asphalt Performance by HP-GPC, AAPT Proceedings, Vol.54 P635, 1985
- 8) 堀尾, 今西, 山口: 補装用アスファルトの耐候性に関する研究, 石油学会誌, 第18巻, 第7号, P49, 1975
- 9) Kemp, G. E. and Predoehl, N. H.: A Comparison of Field and Laboratory Environments on Asphalt Durability, AAPT Proceedings, Vol. 50, P492, 1981
- 10) Corbett, L. W. and Merz, R. E.: Asphalt Binder Hardening in the Michigan Test Road after 18 Years of Service, TRB Record 544, P27, 1975
- 11) 笠原, 植村, 牛島: 供用中におけるアスファルト舗装の老化の研究—アスファルトの劣化に及ぼす路面からの深さの影響, 石油学会誌, 第18巻, P30, 1975
- 12) Hattingh, M. M.: The Fraction of Asphalt, AAPT Proceedings, Vol.53, P197, 1984
- 13) Plancher, H., Green, E. L. and Petersen, J. C.: Reduction of Oxidative Hardening of Asphalts by Treatment with Hydrated Lime - A Mechanistic Study, AAPT Proceedings, Vol.45, P1, 1976
- 14) Davis, T. C. and Petersen, J. C.: An Inverse GLC Study of Asphalt Used in Zaca-Wigmore Experimental Test Road, AAPT Proceedings, Vol.36 P1, 1967
- 15) 藤田: アスファルトの粘度特性に関する試験, 試験所報告(昭和53年度), 日本道路公団試験所, P140, 1979.12
- 16) "舗装廃材の再生利用に関する研究", 第36回建設省技術研究会報告(昭和57年度), P383
- 17) "アスファルト舗装追跡調査解析結果報告書", 高速道路調査会, 昭和51年2月
- 18) 三和: 積雪寒冷地の耐摩耗を考慮した舗装, 舗装, P10, 1986.8
- 19) 飯島: 幕張試験舗装におけるアスファルトの老化と供用性, 土木技術資料 P 3, 1985.3
- 20) 笠原, 植村, 鳥居: ホットストレージによるアスファルトの劣化の研究(第1報)石油学会誌, P226, 1973.3
- 21) 石川: 再生アスファルト混合物の試験舗装に関する追跡調査, 道路建設, P48, 1982.12
- 22) 阿部, 古財: 滑走路舗装の経年変化と材料特性石油学会誌, P445, 1985.6
- 23) 藤本: 道徳高架橋(名四国道)の橋面舗装, 舗装, P16, 1980.6
- 24) 飯島: アスファルト舗装用混合物の配合設計に関する幕張試験舗装の解析, 土木技術資料, P34, 1982.12
- 25) 川口, 高田: 高速道路の舗装性状の実態, 舗装, P 8, 1983.7
- 26) "名神高速道路舗装調査報告書", 日本道路公団試験所
- 27) 川野, 塩尻: 再生混合物の添加剤に関する研究—軟化剤か若返り剤か, 道路建設, P70, 1985.10
- 28) Gannon, C.R., Womble, R.H., Ramey, C.A., Davis, J.P. and Little, W.V.: Recycling Conventional and Rubberized Bituminous Concrete Pavements Using Recycling Agents and Virgin Asphalt as Modifiers (A Laboratory and Field study), AAPT Proceedings, Vol.49, P95, 1980
- 29) Davidson, D. D., Canessa, W. and Escobar, S. J.: Recycling of Substandard or Deteriorated Asphalt Pavements - A Guideline for Design Procedures, AAPT Proceedings, Vol.46, P497, 1977
- 30) 野村, 鍛冶: 再生用添加剤の選定およびその添加・混合方法, 道路建設, P57, 1989.10
- 31) Rostler, F. S. and White, R. M.: Composition and Changes in Composition of Highway Asphalt, 85-100 Penetration Grade, AAPT Proceedings, Vol.31 P35, 1962
- 32) White, R. M., Mitten, W. R. and Skog, J. B.: Fractional Components of Asphalt - Compatibility and Interchangeability of Fractions Produced from Different Asphalts, AAPT Proceedings, Vol.39, P492, 1970
- 33) Rostler, F. S. and Rostler, K. S.: Basic Consideration in Asphalt Research Pertaining to Durability, AAPT Proceedings, Vol.50, P582, 1981

雜 感

～奈良のこと、道のこと～

菊川 滋

建設省奈良国道工事事務所所長

1. 咲く花の薫ふ都

「青丹よし ならの都の 咲く花の
薫ふがごとく 今さかりなり」

万葉の時代、花といえば梅であったという。桜を詠んだ歌は、梅の半数にも満たない。しかし、満開の桜がいさぎよく散っていく様は日本人の心情をとらえて離さず、春になれば花を求めて野へ山へとくり出していく。私も、その中の一人である。弁当を持って、家族を引き連れて桜の名所を回る。奈良に桜の名所は数々あるが、やはり吉野の千本桜は圧巻である。全山が桜色に染まる。桜の花の散っていく向こうには「青垣」と呼ばれる山々がかすんで見える。この山々を見ていると、1300年以上も前の時代、気の遠くなるような昔の人々が同じこの山々を見ていたという不思議な思いが頭をよぎる。

日本に統一国家が生まれたのは、この奈良県においてである。大和朝廷は「都」を造り、都から各地に道を造った。明日香の大和三山に囲まれた地に藤原京を、そして平城京を造営した。山辺の道、横大路、上ツ道、中ツ道、下ツ道、竹の内街道をつくり、さらに全国に道路網と駅制を整えていった。全国的な国造りのための大土木工事である。それ以前に、仁徳天皇陵等に代表される古墳時代の大土木工事があったが、国家プロジェクトとしての都の造営や道路ネットワーク造りは、統一国家誕生から始まった。この奈良県は古代日本で最も社会基盤の充実したところであった。当時、この奈良の地に住む人々は自分達の都に誇りを持ち、そこでの生活を大いにエンジョイしたことであろう。冒頭の「青丹よし……」の歌の背景である。

2. 大和と奈良という地名について

古代の政治、経済、文化は、大和を中心として国土の辺境とまで交流した。奈良は今なお「都」としての伝統を誇っている。県下に全国の国号地名を有したり、大和や飛鳥、春日など自治体名や町名が全国各地に数

多く分布するのも、その現れの一端である。このようなことから私も奈良の地名に興味を持つようになった。地名には多くの情報が含まれている。

「大和」という地名、大倭、倭などとも書き、「おおやまと」とも読む。当初は後述の「山辺の道」(やまのみち)に沿った小地域の名称であった。大和政権の発展にともない、郷名・国造国名・令制国名を経て国号まで使用対象が拡大したという。三輪山の山の本、すなわち「山本」の転訛とする説もある。さらに大和は、「山廻」で山のあるところ、山に囲まれた地を示すともいう。四方を山に囲まれた地形からみて妥当な考え方ではないだろうか。

「奈良」は、那羅・平城・乃樂・檜・寧樂などとも書く。その語源は草木を踏み平(なら)した所を意味する。緩傾斜地を表現する語か、樹名檜にちなむという説もある。平城もナラと読み、平に都城を意味する城を付加したとされる。

現在の奈良県が誕生したのは明治20年11月であるが、そこに至る明治初期の奈良県成立の経緯は以外と知られていない。明治のはじめ大和一国を管轄する奈良県が成立した。しかし、それも束の間、明治9年に金剛生駒連山を越えて堺県と合併、やがてこの堺県も大阪府に合併された。大阪府の管轄となった大和の人々は奈良県の再設置を願い様々な運動を行い明治20年によく大阪府から分離独立したといきさつがある。大和朝廷の誕生の地で古くから「日本のふるさと・奈良」として親しまれてきた土地の割には、王政復古を掲げた明治政府に冷たく扱われたものである。

3. 奈良の道……過去－現在－未来

(1) 過去（古い道筋）

奈良の道路の歴史は古い。大和朝廷の誕生、藤原京や平城京の造営などと関連しつつ、奈良の古道は自然道路から計画的な道路へと発展してきた。

今の桜井市金屋付近に海石榴市(つばいち)と呼ば

れたところがある。横大路の延長であるが、竹内街道や初瀬方面への初瀬道（伊勢街道）などがここへ集まる。また、難波、河内から大和川、初瀬川をのぼる船の港でもあったため、古代の市場として非常に栄えた。山辺の道は、この海石榴市を起点として、古代大和王朝の地、三輪山のすそから布留、春日を通り、北は奈良坂を越えて山背（やましろ）にいたる古代初期の幹線道路である。ルートは当時の低湿地帯を避け、大和平野東側の山すそを、ほぼ標高70mの等高線沿いに走る。大和平野は古代には湖であったとする説があるが、このことを一つの根拠としている。

7世紀末頃、持統、文武二代の都として栄えた藤原京は、中ツ道、下ツ道を東西の京極として造営された。また、中ツ道、下ツ道の北延長線が平城京の東京極および朱雀大路にあたっている。これらの三道と上ツ道さらに横大路は東西南北の方位に一致した幹線道路で、日本で最初の計画的道路でもある。このほか、竜田道、

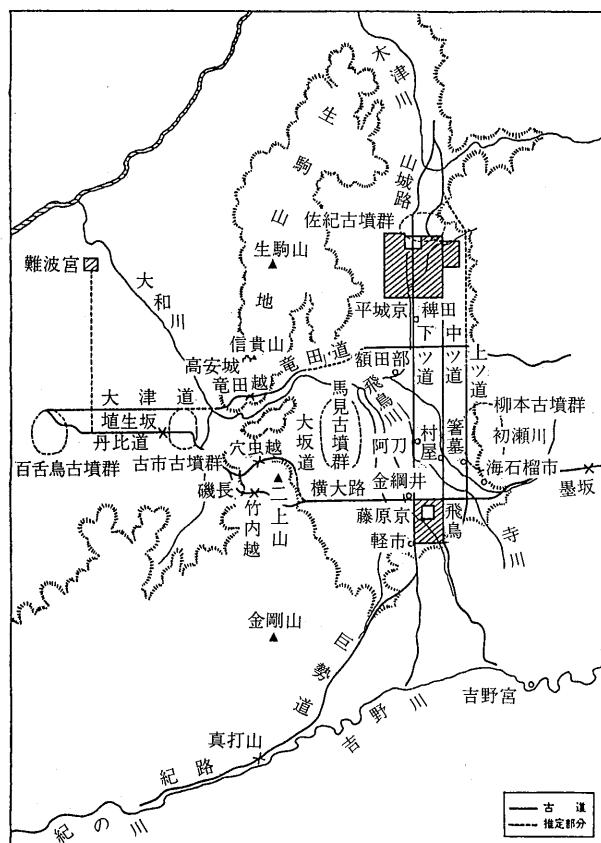


図-1 大和の古道（岸 俊男）

大坂道、竹内道、巨勢道、吉野道、伊勢道などが飛鳥の諸京や平城京を中心に発達した。その後、都の位置が、平安京、さらに遠くへと移るにつれて、その機能、重要性等に大きな盛衰があったことはいうまでもない。

蛇足になるが、現在の国道24号は、下ツ道の僅か東を全く並行に北上している。竹内道は国道166号、大阪道は国道165号とほぼ同じルートとして考えられている。このように現在の道路網と古道とは位置、機能など深い関連性を持ち興味深い。

(2) 現在と未来（京奈和自動車）

奈良県の面積は国土面積の約1%，人口も約1%である。ついでながら県内の市町村の数は47で都道府県の数と偶然一致している。奈良県の道路は、総延長約11,800kmで、これもまた日本全国の道路延長の約1%を占めている。ただ、道路を質の面からみると、高速自動車国道の延長が18.2kmと極めて短く、4車線以上の車線数を有する道路延長は91kmで県内道路総延長の僅か0.8%である。古代において奈良の地は間違いなく日本一の道路先進地域であったが、現状は道路整備が車社会のニーズに追いついていない状態である。

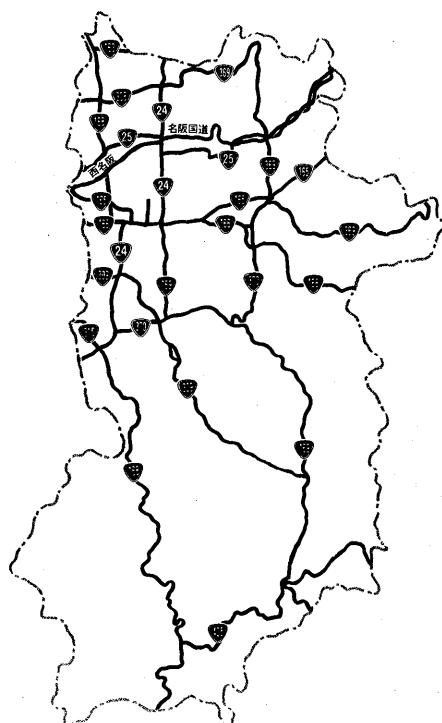


図-2 奈良県内の国道

奈良県の道路の大部分は、人口の約9割が集中する北部地域にある。北部地域には、東西の軸である近畿自動車名古屋大阪線、国道25号（名阪国道）と、南北の軸である国道24号を中心として、一般国道、県道、市町村道がこれらを補完する形で概ね格子状に配置されている。一方、南部地域では、国道168号、169号、309号が南北方向に通じているが広大な面積を抱え併せて大部分が山岳地帯であるため、道路網は疎である。なお、北部地域の格子状の道路配置は、その起源を溯ると古代条理制に行き着く。

高規格幹線道路として位置づけられた「京奈和自動車道」は、京都市を起点に奈良市、和歌山市にいたる総延長120kmの自動車専用道路である。本自動車道は、京都縦貫自動車道、近畿自動車道とネットワークを組み近畿圏における外郭環状道路の一部をなすものである。このうち、奈良県内は奈良市から五條市にいたる国道24号沿いの7市3町を通過する。奈良県における当面する課題として、宅地開発が盛んで都市化・過密化が進行する大和平野地域と地理的制約のため過疎化が進行する南部地域との地域格差の解消があげられる。このため、既に飽和状態に達している現国道24号の混雑を解消し、南北軸の強化を図る道路整備が急務となっている。その切り札となるのが京奈和自動車道であ

る。

4. 広報誌「ならのみち」について

奈良に1年余り住んで、道についていろいろなことを考えた。“みち”は元来人が歩くことによって、かたちづくられたものである。その歩行空間には、人間の歴史が脈打ち、周辺には数多くの生活と文化の遺産が横たわっている。現在、道路というとどちらかといえば産業道路的なイメージが先行している。しかし、道路は経済発展の基盤となると同時に、町並みを構成する主要な空間として人々の暮らしを支える「文化の道」でもある。

奈良国道工事事務所は、こういった視点に立って事務所の広報誌「ならのみち」を発刊している。目的は、道路の多様な機能と生活とのかかわりあい、道路づくりの必要性を広く地域の人たちに理解してもらうことがある。「ならのみち」は、A4版10ページで、毎回、県内首長の道路によせるエッセイ、奈良の古道、改築事業の紹介、奈良の家並み、奈良の日本一等をシリーズで登場させている。編集の基本方針を「役所らしくない肩のこらない広報誌」として、すでに第2号を出したところであるが、お陰で好評を博している。



広報誌「ならのみち」

舗装データバンク

舗装データバンクとは、舗装の建設から維持管理までの各段階で発生する資料データを適切な形態に整備し、必要に応じて舗装の統計資料なり、舗装の合理的な維持管理、維持修繕計画の作成等各種の資料を作成するためにバンク化することである。わが国で運用されている舗装データバンクの主なものには建設省や日本道路公団のシステムがあり、いずれもデータは電算処理によって入力から出力まで一貫して行うようにされている。

(1) 建設省の例

建設省では昭和55年から直轄国道の管理調査として路面維持調査（基準調査）と車両重量調査をスタートさせ、それらのデータ等をバンク化し、以下のようにシステム化を図っている。

① 入力情報

表-1に示す情報を路線名と距離標を連結してディスクに入力しさらに、ディスク内のデータバンクは磁気テープに保管する。

表-1 入力データの種類
(土木研究所)

I 道路管理データ
1. 路線番号
2. 管理担当工事事務所・出張所
3. 都道府県・市区長村
4. キロポスト間距離
II 道路特性データ
1. 車線数
2. 大型車交通量による道路区分
3. 路床土のCBR
4. T ₄
5. 地域区分（その1）
6. 地域区分（その2）
7. 道路構造物
8. 舗設年月
9. 交差点の有無
III 路面性状データ
1. ひび割れ率
2. わだち掘れ
3. 縦断凹凸量
4. 路面種別
IV 施工・補修データ
1. 施工方法
2. 施工厚
3. 施工材料
4. 舗装構成
5. 路床改良の有無
6. 路床土の実測CBR
7. 実測T ₄

② 出力情報

以下に示す5つの様式の出力情報を活用している。

様式-1. 路面性状データ一覧

2. 供用レベル図
3. 度数分布
4. ヒストグラム
5. 維持修繕区間リスト

ここで、様式-1・2は工事事務所、路線別に出力が可能であり、様式-3は路面の種類別（アスファルト舗装、コンクリート舗装）、調査項目別（ひびわれ、わだち掘れ、平坦性及びMCI等）に出力できる。様式-5は、MCIの水準、わだち掘れ量、ひびわれ率、平坦性の水準を任意に設定し、その延長比率を出力することができるようしている。

これらの1例を様式-2と5について示すとそれぞれ図-1, 2のとおりである。

(2) 日本道路公団の例

日本道路公団では、矢張り昭和55年からコンピュータを利用した舗装マネジメントシステムの開発によりくみ、舗装データバンクは図-3に示すような位置付けから設計サブシステムとメンテナンスサブシステムを作成するために使用するデータを提供するサブシステムとして活用している。

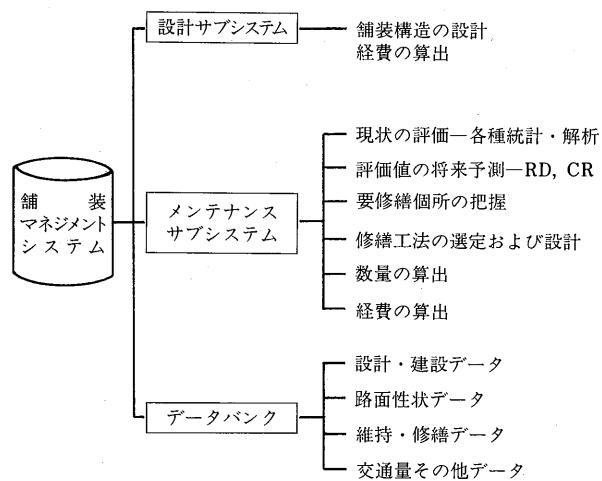


図-3 舗装マネジメントシステム（日本道路公団）

供用レベル図 (58年度)

ヒタチコウラシ

ゾムショ

シユウチヨウショウヨ

号線

888

総合評価

1

9

558

557

556

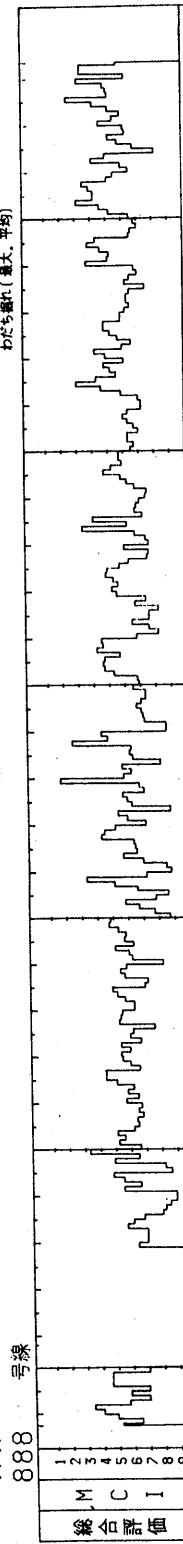
555

554

備考

N C

わだち幅員(最大、平均)

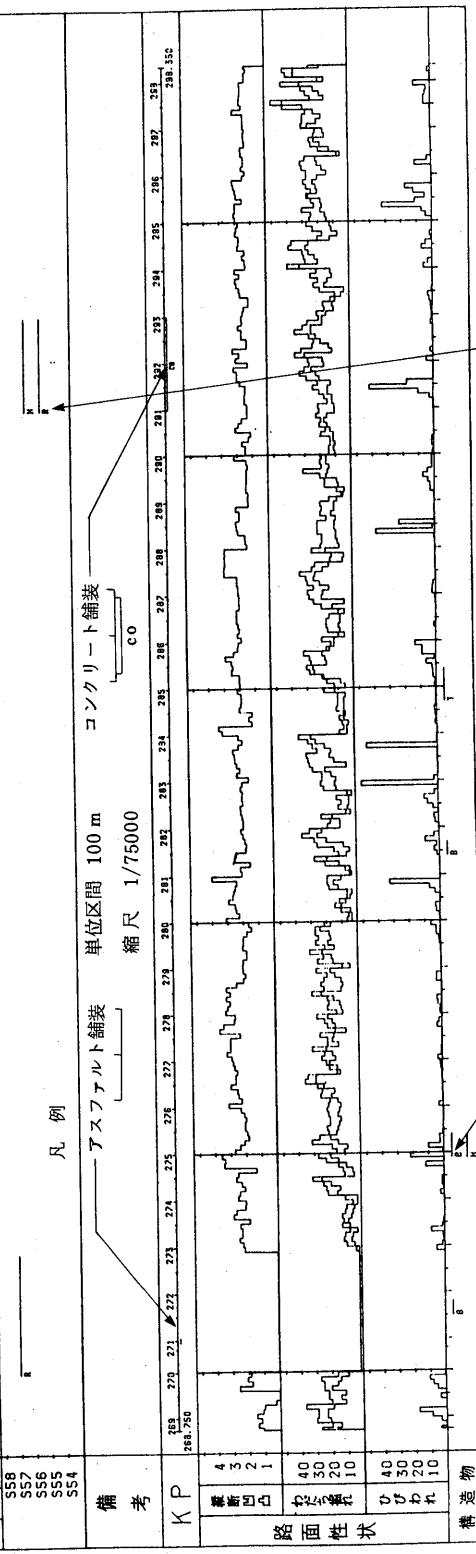


凡例

アスファルト舗装
単位区間 100 m
コンクリート舗装

縮尺 1/75000

CO



構造物

B : 橋梁および高架

T : トンネル

S : スノーシェッド

D : 洞門

P : 消雪パイプ

H : ロードヒーティング

N : 新設

A : 打換え

CR : 切削オーバーレイ

O : オーバーレイ

CH : 切削表面処理

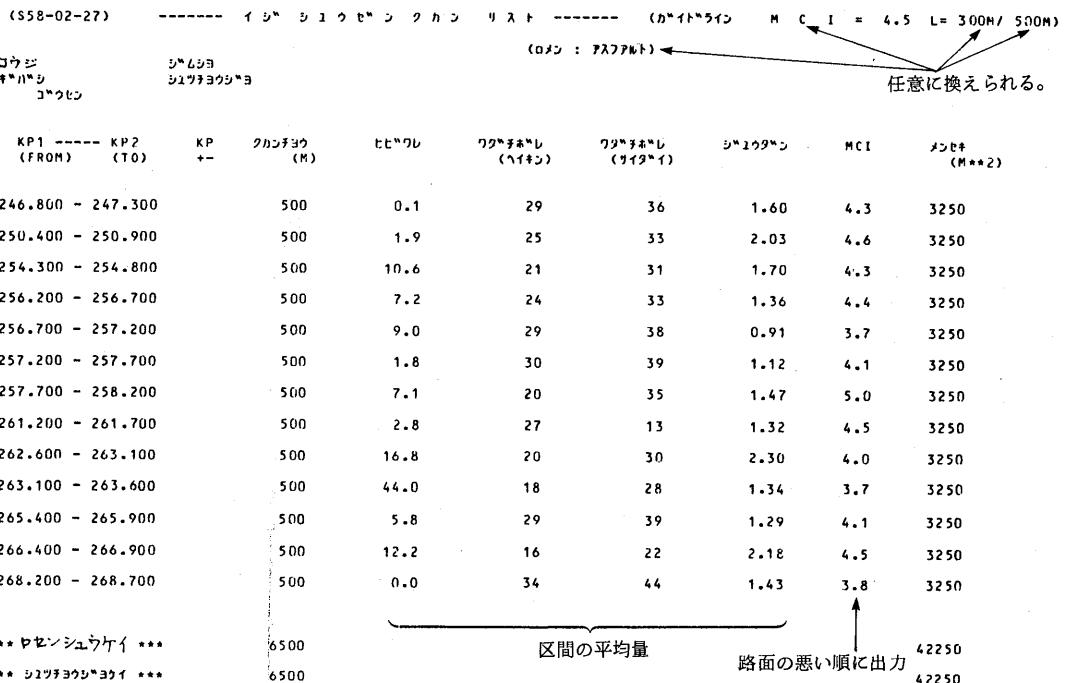
W : わだち幅員

P : 表面処理

C : 切削

SR : サーフェイスリサイクリング

図-1 供用レベル図 (土木研究所)



維持修繕候補区画の選出方法

前述した各種の出力結果から維持修繕区間のガイドラインを決めるわけであるが、選出方法は次のように考えた。

- (1) M C I がW以下である区間がY(m) 中にX(m) 以上ある区間を抽出せよ。
- (2) ひびわれ (または、わだち掘れ、縦断凹凸) 量がW以上である区間がY(m) 以上ある区間を抽出せよ。

図-2 維持修繕候補区間リスト (土木研究所)

ここでは、表-2に示す入力データをデータベースに組込み、路面性状の実態や路面性状管理図等の出力情報を参考にメンテナンスサブシステム（効率的かつ合理的な維持修繕計画の策定）や設計サブシステム（舗

装厚の設計）作りに活用している。さらに、それらを総合してわだち掘れの進行と修繕量の予測なども行っている。

表-2 入力データ種別 (日本道路公团)

設 計 デ ータ	路床条件	修 繕 デ ータ	目的及び各種条件
	舗装設計データ		混合物特性(アスファルト混合物(サーフェス))
	道路構造データ(車線状況)		" (" (パインダー))
	" (縦断線形)		材料特性(" (サーフェス))
	" (切盛・橋等)		" (" (パインダー))
建 設 デ ータ	混合物特性(アスファルト混合物(サーフェス))	路面性状 デ ータ	すべり抵抗
	" (" (パインダー))		ひび割れ(測定結果は磁気テープとして作成される)
	" (" (アスペース))		わだち掘れ(")
	" (粒状及びセメント安定処理)	交 通 量 デ ータ	年度別区間別交通量
	材料特性(アスファルト混合物(サーフェス))		インターチェンジ(I・C)データ
	" (" (パインダー))	特 性 値 デ ータ	供用開始年月データ
	" (" (アスペース))		
	" (粒状及びセメント安定処理)		

[小島逸平 熊谷道路技術研究所]

アスファルト・スリップレイヤー(Bitumen Slip Layer)

剛体と剛体の間にはさまれて、すべり層（滑動層；sliding layer, slip layer などと呼ばれる）として働くようなアスファルトを言う。主として堅固な構造物と周囲の土砂との間に施されて用いられる。

たとえば、鉱山のタテ坑 (mine shaft), トンネル、杭、矢板、小貯水池 (water basin) などにおいて、周囲の土砂の動きに対して構造物はうまく追随変形できないから、構造物表面に強大な摩擦力がかかる場合が多い。このとき適当な粘性物、たとえばアスファルトの薄層を介在させると、層内部での物質のすべり（すれ、せん断）によって構造物表面の摩擦力を実質的にゼロにすることができる。

具体的な例を基礎杭にとって説明する。

一般に大型重量建造物は地中に打ち込まれた杭 (基礎ぐい, piles) によって支えられる。地中の杭に荷重が作用すると、杭は図-1(a)のように、杭先端支持力と杭周面に働く摩擦力 (positive friction) によって抵抗する。ここで現場が軟弱な地盤であって、杭の施工後に周辺地盤の沈下が進行していくと、図-1(b)の如く中立点 (压密層厚の0.7~0.9付近といわれる) から上の杭部分に下向きの負の摩擦力 (Negative Friction, NF) が発生する。これは杭にとって本来支持すべき荷重以外に、好ましくない余計な荷重一引ずり込み, down-drag) がかかるることを意味する。負摩擦力N Fの大きさは意外に大きく、ふつう3~5 t /

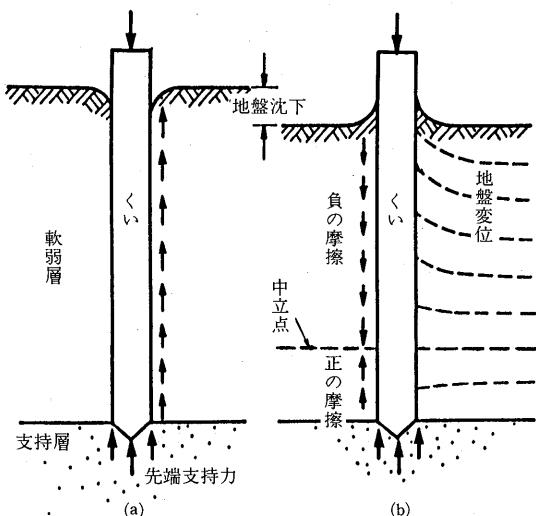


図-1 ネガティブフリクションの発生

m^2 の値が容易に実測される。

いま図-2のように厚さ h (m) のアスファルトで被覆された基礎ぐいの表面に、沈下量 d (m) の地盤沈下にともなうせん断力 τ (t / m^2) がかかる場合を想定する。非常に長い載荷時間では、アスファルトのスチフネス S (t / m^2) はその粘性係数 η (せん断速度 $\dot{\gamma}$) と時間 t の関数となり次のようにあらわされる。

$$S = \frac{3\eta}{t} \quad \dots\dots(1)$$

また $\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$ (ニュートンの粘性法則) であって、

$$\gamma = \frac{d}{h t} \text{したがって } \tau = \eta \cdot \frac{d}{h t} \quad \dots\dots(2)$$

$$\text{式(1), (2)から } \tau = \frac{d s}{3 h} \quad \dots\dots(3)$$

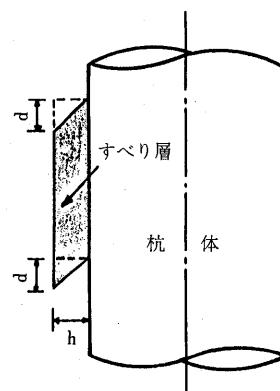


図-2 すべり層のせん断変形

たとえばスリップレイヤーとして針入度50、軟化点70 (P I = +2.8) のアスファルトを用いたとする。地中温度 $T = 15^\circ\text{C}$ 、載荷時間 $t = 1 \text{ year}$ として、スチフネス・ノモグラフよりスチフネス S を求めると、 $S = 0.003 \text{ t} / \text{m}^2 (\approx 25 \text{ N} / \text{m}^2)$ となる。この S の値と地盤沈下量 $d = 0.3 \text{ m}$ (30cm), すべり層の厚さ $h = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$ (5 mm) を(3)式に代入すると、すべり層に作用するせん断応力は $\tau = 0.06 \text{ t} / \text{m}^2$ となり、通常考えられる3~5 t / m²のN Fを大幅に低減することができる。

今回の計算例に用いたアスファルトの、ノモグラフから求めた $S - t$ 曲線図を図-3に示す。実測したス

チフネスもほとんどこの曲線の上にプロットできる。なお基礎ぐい用スリップレイヤーに用いられるアスファルトは、上記の1) 地中、長載荷時間におけるせん断力低減能力が充分であること。に加えて、2) 被覆した杭を現場で貯蔵する場合 ($T = \text{外気温} \sim 50^{\circ}\text{C}$, $t = \text{数日間}$)、アスファルトが過度に流動しないこと。および3) 杭の打ち込み時に、衝撃や、土中でのせん断によりアスファルトがひび割れたり、ずれたりしないこと(この時 $T = \text{外気温}$, $t = \text{約 } 0.05\text{ 秒}$)。も重要な条件となる。そしてこれらの場合に要求されるアスファルトのチフネスの値はノモグラフによって求めることができる。すなわち気象、作業条件を考慮した適当なタイプのアスファルトとはどういうものかを設計することができる。なお図-3によれば短か

い載荷時間領域(および低温)におけるチフネスは大きく、一方長い載荷時間領域(および高温)におけるチフネスは小さいというアスファルトのレオロジー性状が、スリップレイヤーとしての要求値にうまく利用されていることがわかる。

参考文献

- 1) A. Claessen, E. Horvat ; "Reducing negative friction with bitumen slip layers", Jour. ASCE, vol 100, GT8, Aug. (1974) pp925~944
- 2) 鋼管杭協会、「くいに作用する負の周面摩擦力とその対策」(1978) pp1~108
- 3) 「基礎に関連する障害の防止」、建築技術 8月号(1981) pp1~35

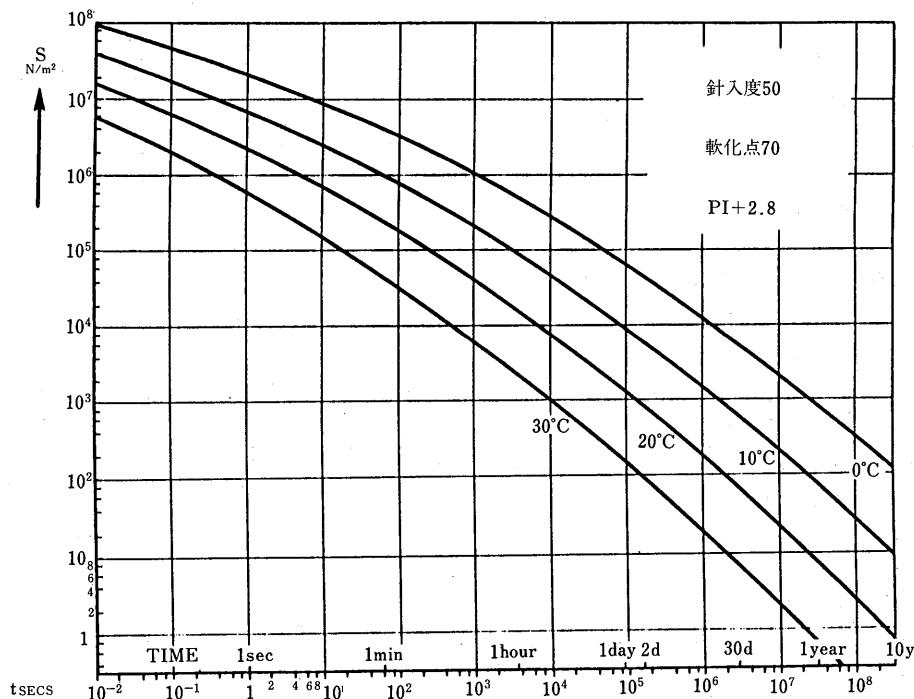


図-3 アスファルト・スリップレイヤーの $S - t$ 線
図(一例)

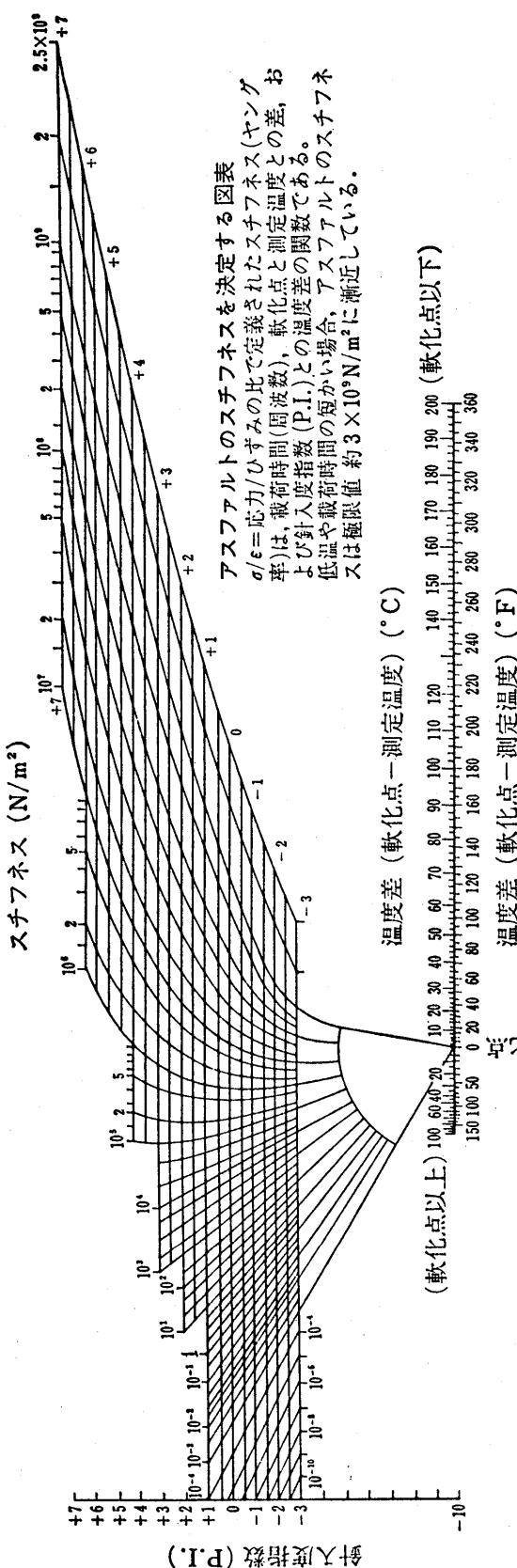
チフネス・ノモグラフ (Stiffness Nomograph)

アスファルトのチフネス(スティフネス、本誌No138、用語の解説参照)を簡便に求める早見計算図表のこと。ほとんど一般的に、1950年代にオランダ人ファン・デア・プウェル氏によって発表されたものをさしている。これを和訳したものを見図に示す。

参考文献

- C. van der Poel, "A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and its relation to routine test data", J. Appl. Chem. 4 (1954) 221

(昭和シェル石油㈱中央研究所 高橋正明)



例：スチフネスを求める方法
 軟化点 = 75°C
 軟入度指数 = +2.0
 針入度指数 = +2.0
 測定温度 = -11°C
 周波数 = 10 c/s
 斯チフネス単位 : 1 Newton / m² = 10 dyne/cm² = 1.02 × 10⁻⁵ kg/cm² = 1.45 × 10⁴ lb/in²

粘度を求める方法

下のスケールを温度と結びつけ、図を読むことにより、粘度 Newton·sec/m² が求まる。
 Newton·sec/m² = 10 poises

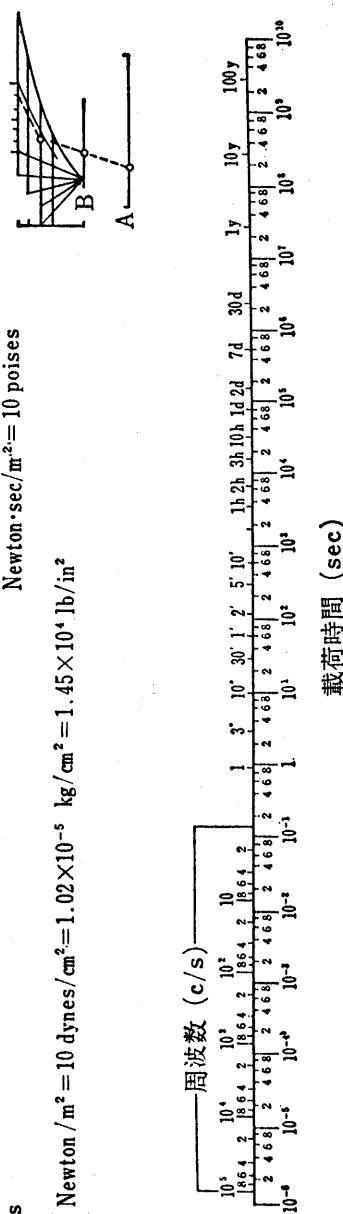


図 アスファルトのスチフネスを求める图表
 (van der Poel, 1954)

<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
52年 度	256	4,790	(115.3)	0	5,046	4,765	(116.2)	0	4,765	287	5,052
53年 度	287	5,229	(109.2)	0	5,516	5,218	(109.5)	0	5,218	297	5,515
54年 度	297	5,064	(96.8)	1	5,362	5,138	(98.5)	2	5,140	236	5,376
55年 度	236	4,720	(93.2)	1	4,957	4,703	(91.5)	21	4,724	240	4,964
56年 度	240	4,598	(97.4)	0	4,838	4,562	(97.0)	19	4,581	226	4,807
57年 度	226	4,624	(99.2)	0	4,850	4,574	(100.3)	18	4,592	213	4,805
58年 度	213	4,947	(108.4)	0	5,160	4,921	(107.6)	4	4,925	226	5,151
59年度上期	226	2,541	(106.4)	0	2,767	2,516	(106.7)	0	2,517	252	2,769
59年度下期	252	2,694	(105.4)	0	2,946	2,705	(105.5)	0	2,705	240	2,945
59年 度	226	5,235	(105.9)	0	5,461	5,221	(106.1)	0	5,221	240	5,461
60年度上期	240	2,400	(94.5)	0	2,640	2,338	(92.9)	0	2,338	294	2,632
60年度下期	294	2,629	(97.6)	0	2,923	2,696	(99.7)	0	2,696	215	2,911
60年 度	240	5,029	(96.1)	0	5,269	5,034	(96.4)	0	5,034	215	5,249
61年度上期	215	2,656	(110.7)	0	3,130	2,568	(109.8)	0	2,568	291	2,859
61年度下期	291	3,089	(117.5)	0	3,380	3,134	(116.2)	0	3,134	235	3,369
61年 度	215	5,744	(114.2)	0	5,959	5,702	(113.3)	0	5,702	235	5,937
62年度上期	235	2,745	(103.4)	7	2,987	2,681	(104.4)	0	2,681	312	2,993
62年度下期	312	3,146	(101.8)	2	3,460	3,181	(101.5)	0	3,181	274	3,455
62年 度	235	5,892	(102.6)	9	6,136	5,862	(102.8)	0	5,862	274	6,136
63年度上期	274	2,754	(100.3)	3	3,031	2,735	(102.0)	0	2,735	287	3,022
10~12月	287	1,678	(105.4)	0	1,965	1,708	(102.5)	0	1,708	262	1,970
1. 1月	262	365	(85.7)	0	627	339	(91.1)	0	339	284	623
2月	284	453	(94.2)	0	737	439	(93.2)	0	439	300	739
3月	300	654	(100.9)	0	954	733	(109.2)	0	733	219	952
1~3月	262	1,472	(94.7)	0	1,734	1,511	(99.8)	0	1,511	219	1,730
63年度下期	287	3,150	(100.1)	0	3,437	3,219	(101.2)	0	3,219	219	3,438
63年 度	274	5,904	(100.2)	0	6,178	5,953	(101.6)	0	5,953	219	6,172
1. 4月	219	583	(115.0)	0	802	493	(98.8)	0	493	309	802
5月	309	385	(97.7)	0	694	350	(95.6)	0	350	343	693
6月	343	396	(95.2)	0	739	403	(94.2)	0	403	331	734
4~6月	219	1,363	(103.5)	0	1,582	1,246	(96.4)	0	1,246	331	1,577
7月	331	517	(108.2)	0	848	517	(109.1)	0	517	330	847
8月	330	497	(99.0)	0	827	483	(97.8)	0	483	329	812
9月	329	518	(113.1)	0	847	487	(102.5)	0	487	372	859
7~9月	331	1,532	(106.5)	0	1,863	1,486	(103.0)	0	1,486	372	1,858
元年 度上期	219	2,895	(105.1)	0	3,114	2,732	(99.9)	0	2,732	372	3,104
10月	372	518	(95.0)	0	890	541	(96.3)	0	541	349	890
11月	349	621	(106.5)	0	970	612	(107.9)	0	612	357	969
12月	357	574	(104.4)	0	931	614	(105.9)	0	614	317	931
10~12月	372	1,714	(102.1)	0	2,086	1,767	(103.5)	0	1,767	317	2,084
2. 1月	317	368	(100.8)	0	685	352	(103.8)	0	352	332	684
2月	332	408	(90.1)	0	740	416	(94.8)	0	416	322	738

(注) (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報2年2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			燃焼用 アスフ アルト	合 計	ストレート・アスファルト			燃焼用 アスフ アルト	合 計
	道路用	工業用	計			道路用	工業用	計		
52年 度	4,242	235	4,477	—	288	4,765	116.9	112.4	116.6	—
53年 度	4,638	267	4,905	—	313	5,218	109.3	113.6	109.6	—
54年 度	4,620	175	4,795	—	343	5,138	99.6	65.5	97.8	—
55年 度	4,233	183	4,416	—	287	4,703	91.6	104.6	92.1	—
56年 度	4,082	202	4,284	4	274	4,562	96.4	110.4	97.0	—
57年 度	3,943	184	4,127	187	260	4,574	96.6	91.1	96.3	467.5
58年 度	3,950	177	4,127	540	254	4,921	100.2	96.2	100.0	288.8
59年度上期	1,915	79	1,994	403	119	2,516	99.9	95.2	99.7	170.8
59年度下期	2,084	83	2,167	403	135	2,705	102.5	88.3	101.9	132.6
59年 度	3,999	162	4,161	806	254	5,221	101.2	91.5	100.8	149.3
60年度上期	1,767	72	1,839	388	112	2,338	92.3	91.1	92.2	96.3
60年度下期	1,974	67	2,041	522	133	2,696	94.7	80.7	94.2	129.5
60年 度	3,741	139	3,881	910	245	5,034	93.5	85.8	93.2	112.9
61年度上期	1,825	66	1,891	565	112	2,568	103.3	91.7	102.8	145.6
61年度下期	2,160	175	2,335	673	125	3,134	109.4	261.2	114.4	128.9
61年 度	3,985	241	4,226	1,238	237	5,702	106.5	173.4	108.9	136.0
62年度上期	1,949	100	2,048	518	114	2,681	106.8	151.5	108.3	91.7
62年度下期	2,304	261	2,565	475	141	3,181	106.7	149.1	109.9	70.6
62年 度	4,253	360	4,613	995	255	5,862	106.7	149.4	109.2	80.4
63年度上期	1,988	166	2,154	464	117	2,735	102.0	166.0	105.2	89.5
10~12月	1,274	126	1,400	235	73	1,708	100.2	141.1	102.8	101.7
1. 1月	177	52	228	91	20	339	83.9	96.3	86.4	107.1
2月	267	65	332	84	22	439	90.2	106.6	93.0	93.3
3月	601	13	614	94	26	733	114.5	23.2	105.7	138.2
1~3月	1,045	130	1,175	269	68	1,511	101.3	76.0	97.7	110.7
63年度下期	2,319	255	2,575	504	141	3,219	100.7	98.1	100.4	106.1
63年 度	4,307	421	4,729	967	258	5,953	101.3	116.9	102.5	97.2
1. 4月	389	9	397	77	19	493	102.1	36.0	97.8	102.7
5月	274	6	281	52	17	350	97.5	60.0	96.6	91.2
6月	310	9	319	64	20	403	104.0	17.0	90.9	114.3
4~6月	973	24	997	193	56	1,246	101.5	27.3	95.2	102.7
7月	379	47	427	71	19	517	105.0	587.5	115.7	82.6
8月	339	47	386	79	19	483	101.8	117.5	103.5	78.2
9月	352	33	385	81	21	487	104.8	113.8	105.5	91.0
7~9月	1,070	127	1,198	230	58	1,486	104.0	162.8	108.2	83.3
元年度上期	2,043	151	2,194	423	115	2,732	102.8	91.0	101.9	91.2
10月	420	11	431	85	25	541	104.5	15.5	91.1	130.8
11月	428	78	506	83	24	612	99.1	269.0	109.8	103.8
12月	440	63	503	87	24	614	100.2	233.3	107.9	95.6
10~12月	1,288	152	1,440	255	72	1,767	98.9	120.6	102.9	108.5
2. 1月	190	59	249	82	20	352	107.3	113.5	109.2	90.1
2月	266	51	317	78	21	416	99.6	78.5	95.5	92.9
										94.8

(注) (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報2年2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。

主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況

(単位: 1,000 kl, %)

原油名 年度 項目	アラビアンヘビー		イラニアンヘビー		クウェート		カフジ		小計		総輸入量	
	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比
52年	6,491	2.3	31,376	11.3	21,761	7.9	3,650	1.3	63,278	22.8	277,898	100.0
53年	7,248	2.7	28,589	10.6	21,603	8.0	8,109	3.0	65,549	24.3	270,184	100.0
54年	9,946	3.5	15,015	5.4	25,640	9.1	12,597	4.5	63,198	22.5	280,486	100.0
55年	16,393	6.4	6,865	2.7	7,954	3.1	9,294	3.6	40,506	15.8	256,833	100.0
56年	16,131	7.0	4,764	2.1	9,060	3.9	6,035	2.6	35,990	15.6	230,239	100.0
57年	16,429	7.7	8,259	3.8	3,115	1.4	7,893	3.7	35,696	16.6	214,685	100.0
58年	15,061	10.3	13,238	9.0	3,375	2.3	9,892	6.8	41,566	28.4	146,543	100.0
59年	11,761	7.8	8,866	5.2	2,728	1.8	10,210	6.8	32,465	21.6	150,606	100.0
60年	10,454	5.3	6,273	3.1	2,578	1.3	9,698	4.9	29,003	14.6	198,330	100.0
61年	7,174	3.7	7,506	3.9	5,979	3.1	8,482	4.4	29,141	15.0	194,515	100.0
62年	12,925	7.0	7,789	4.2	10,311	5.6	6,267	3.4	37,293	20.1	185,364	100.0
63年	9,130	4.7	6,095	3.1	8,124	4.2	6,374	3.3	29,723	15.3	193,850	100.0
元年	4,500	2.1	8,991	4.3	9,671	4.6	8,910	4.2	32,072	15.3	209,700	100.0
52年度	6,986	2.5	30,873	11.1	22,679	8.2	3,918	1.4	64,456	23.2	212,911	100.0
53年度	8,400	3.1	21,707	8.0	23,330	8.3	10,709	4.0	63,146	23.4	270,121	100.0
54年度	11,256	4.1	17,929	6.5	21,491	7.8	11,070	4.0	61,746	22.3	277,143	100.0
55年度	16,250	6.5	2,865	1.1	8,865	3.5	8,449	3.4	36,404	14.6	249,200	100.0
56年度	17,571	7.6	7,329	3.2	7,451	3.2	5,685	2.5	38,036	16.5	230,231	100.0
57年度	14,888	7.2	8,849	4.3	1,865	0.9	8,126	3.9	33,728	16.3	207,395	100.0
58年度	15,071	7.1	13,057	6.1	3,498	1.6	11,378	5.3	43,004	20.2	212,844	100.0
59年度	13,447	6.3	6,422	3.0	5,130	2.4	10,385	4.9	35,384	16.6	212,911	100.0
60年度	6,790	3.4	6,232	3.2	3,330	1.7	8,409	4.3	24,761	12.6	197,261	100.0
61年度	6,422	3.4	7,636	4.1	5,990	3.2	8,952	4.8	29,000	15.5	187,516	100.0
62年度	13,793	7.3	7,311	3.9	11,758	6.3	4,577	2.4	37,439	19.9	187,886	100.0
63年度	7,619	3.8	6,406	3.2	7,126	3.6	8,259	4.1	29,410	14.7	199,756	100.0
元年度	4,736	2.2	9,143	4.3	10,318	4.9	7,966	3.8	32,163	15.3	210,900	100.0
元年1月	242	1.2	394	1.9	818	3.9	728	3.5	2,182	10.4	21,011	100.0
2月	73	0.4	614	3.5	587	3.3	650	3.7	1,924	10.8	17,772	100.0
3月	304	1.6	745	4.0	919	4.9	1,192	6.3	3,160	16.8	18,856	100.0
1~3月	619	1.1	1,753	3.0	2,324	4.0	2,570	4.5	7,266	12.6	57,639	100.0
4月	522	3.5	886	5.9	257	1.7	475	3.2	2,140	14.3	14,944	100.0
5月	578	3.4	331	2.0	586	3.5	832	5.0	2,327	13.9	16,780	100.0
6月	383	2.8	930	6.7	902	6.5	451	3.3	2,666	19.3	13,787	100.0
4~6月	1,483	3.3	2,147	4.7	1,745	3.8	1,758	3.9	7,133	15.7	45,511	100.0
7月	454	2.9	851	5.4	881	5.6	603	3.8	2,789	17.7	15,749	100.0
8月	484	2.8	611	3.5	762	4.3	1,010	5.7	2,867	16.3	17,587	100.0
9月	426	2.7	774	4.9	765	4.9	671	4.3	2,636	16.8	15,665	100.0
7~9月	1,364	2.8	2,236	4.6	2,408	4.9	2,284	4.7	8,292	16.9	49,001	100.0
10月	484	2.6	1,134	6.1	982	5.3	638	3.5	3,238	17.6	18,445	100.0
11月	328	1.7	936	5.0	1,053	5.6	932	5.0	3,249	17.3	18,776	100.0
12月	222	1.1	785	3.9	1,159	5.7	728	3.6	2,894	14.2	20,328	100.0
10~12月	1,034	1.8	2,855	5.0	3,194	5.6	2,298	4.0	9,381	16.3	57,549	100.0
2年1月	111	0.6	697	3.5	1,033	5.2	535	2.7	2,376	11.9	19,990	100.0
2月	281	1.5	568	2.9	677	3.5	593	3.1	2,119	11.0	19,279	100.0
3月	463	2.4	640	3.3	1,261	6.4	498	2.5	2,862	14.6	19,570	100.0
1~3月	855	1.5	1,905	3.2	2,971	5.0	1,626	2.8	7,357	12.5	58,839	100.0

〔注〕(1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報2年3月確報。 (3) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

(2) 構成比は全輸入量に対する100分比である。

アスファルト統計史

B5版・187ページ・実費額価 ¥3,000(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2-6-7
和孝第10ビル

我が国において、アスファルトが利用されてきたのは紀元前にまでさかのぼることが出来ます。

当時の利用目的は、防水・接着剤等に用いられていたようですが、今日では、道路用を始めとして工業用・燃焼用と色々な用途に用いられるようになり、需要量も増大してまいりました。

当協会の調査委員会において、我が国のアスファルト統計について資料の収集・整理に努めて参りましたが、ここに「アスファルト統計史」を30周年記念として出版することになりました。

アスファルトに関する統計としては、我が国唯一の資料であり、内容的にもきめ細かく取りまとめられており、関係者必携の書としておすすめします。

目 次

I. 生産量

1. アスファルト年別生産量

2. アスファルト品種別月別生産量

3. 石油アスファルト月別生産量

4. 石油アスファルト品種別月別生産量

II. 内需量（販売）

1. アスファルト販売量

2. アスファルト品種別月別販売量

3. 石油アスファルト月別内需量

4. 石油アスファルト品種別月別内需量

III. 輸出入

1. アスファルト年別輸入・輸出量

2. アスファルト月別輸入・輸出量

IV. 在庫量

1. 石油アスファルト年別在庫量

2. 石油アスファルト月別在庫量

3. 石油アスファルト品種別月別在庫量

V. 販売量

1. 石油アスファルト品種別針入度販売量

2. 石油アスファルト品種別荷姿別販売量

3. 石油アスファルト地域別月別販売量

フルデプス・アスファルト舗装設計施工指針（案）

B5版・42ページ・実費額価 ￥800（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2-6-7
和孝第10ビル

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。

弊協会のアスファルト舗装技術委員会においてフルデプス舗装の厚さ設計の基準化とシックリフト工法の標準化に関して鋭意検討され、ここに「フルデプス・アスファルト舗装設計施工指針（案）」がとりまとめられ出版されました。

フルデプス舗装は、舗装厚が薄く、工種が单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 歴青材料	6-3 検 察
3-3 骨 材	7. 記 錄

砂利道の歴青路面処理指針（59年版）

B5版・64ページ・実費価格 ￥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2-6-7
和孝第10ビル

一般に幅員が狭く、交通量とくに大型車の通行が希少な道路については、舗装の設計・施工にアスファルト舗装要綱や簡易舗装要項の適用を必要とするには至らないが、さりとて防塵処理のいわば中間に位置付けられる舗装（広義）を歴青路面処理と名付けて、その基準化の作業に昭和47年から着手しましたが、その際に①経済的であること②相応の耐久性を有すること③設計・施工に高度の技術能力を必要としない等のことを前提として鋭意検討し、数度に渡って改訂を重ね成案を得たものです。

本指針の最も特長とするところは、対象とする道路の観察による評価と、簡単な調査・測定に基づいて、構造設計が容易に出来る方法を示したことになりますので、関係者の必読書としてお進めいたします。

目 次

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

社団法人 日本アスファルト協会会員

(五十音順)

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(213) 3134
エッソ石油株式会社	(107) 港区赤坂5-3-3	03(585) 9438
鹿島石油株式会社	(102) 千代田区紀尾井町3-6	03(265) 0411
キグナス石油株式会社	(104) 中央区京橋2-9-2	03(535) 7811
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(266) 8311
九州石油株式会社	(100) 千代田区内幸町2-1-1	03(502) 3651
共同石油株式会社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03(224) 6298
極東石油工業株式会社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03(270) 0841
興亜石油株式会社	(100) 千代田区大手町2-6-2	03(241) 8631
コスモ石油株式会社	(105) 港区芝浦1-1-1	03(798) 3200
三共油化工業株式会社	(100) 千代田区丸の内1-4-2	03(284) 1911
昭和シェル石油株式会社	(100) 千代田区霞が関3-2-5	03(503) 4076
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	(100) 千代田区丸の内1-2-1	03(215) 3081
ゼネラル石油株式会社	(105) 港区西新橋2-8-6	03(595) 8300
東燃株式会社	(100) 千代田区一ツ橋1-1-1	03(286) 5111
東北石油株式会社	(985) 仙台市港5-1-1	022(363) 1111
日本鉱業株式会社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03(505) 8530
日本石油株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03(502) 1111
日本石油精製株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03(502) 1111
富士興産株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03(580) 3571
富士石油株式会社	(100) 千代田区大手町1-2-3	03(211) 6531
三菱石油株式会社	(105) 港区虎ノ門1-2-4	03(595) 7413
モービル石油株式会社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03(244) 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
萬井石油株式会社	(060) 札幌市中央区南4条西11-1292-4	011(518) 2771コスモ
株式会社 トーアス札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011(281) 2361共石
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	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
レキセイ商事株式会社	(060) 札幌市中央区北4条西3	011(231) 4501出光
株式会社 口一ド資材	(060) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011(281) 3976コスモ

社团法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
● 東 北		
有限会社 男鹿興業社	(010-05) 男鹿市船川港船川字埋立地1-18-2	0185(23) 3293共 石
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
株式会社 木畑商会仙台営業所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-17	022(222) 9203共 石
コスモアスファルト㈱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3-3-3	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
株式会社 トーアス仙台営業所	(980) 仙台市青葉区大町1-1-10	022(262) 7561共 石
常盤商事株式会社 仙台支店	(980) 仙台市青葉区上杉1-8-19	022(224) 1151三 石
中西瀝青株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-30	022(223) 4866日 石
株式会社 南部商会仙台出張所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-17	022(223) 1011日 石
ミヤセキ株式会社	(980) 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	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-1	022(225) 1491三 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(669) 7878コスモ
アスファルト産業株式会社	(104) 中央区八丁堀4-11-2	03(553) 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(497) 6660九 石
伊藤忠燃料株式会社	(107) 港区赤坂2-17-22	03(584) 8555共 石
梅本石油株式会社	(162) 新宿区揚場町2-24	03(269) 7541コスモ
株式会社 木畑商会	(104) 中央区八丁堀4-2-2	03(552) 3191共 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(551) 8011コスモ
国光商事株式会社	(164) 中野区東中野1-7-1	03(363) 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(551) 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(254) 9291昭和シェル
新日本商事株式会社	(101) 千代田区神田錦町2-5	03(294) 3961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(578) 9521出 光
大洋商運株式会社	(103) 中央区日本橋本町3-2-13	03(245) 1621三 石
竹中産業株式会社	(101) 千代田区鍛冶町1-5-5	03(251) 0185昭和シェル
中央石油株式会社	(160) 新宿区新宿2-6-5	03(356) 8061モービル
株式会社 トーアス	(160) 新宿区西新宿2-7-1	03(342) 6391共 石
東京レキセイ株式会社	(150) 渋谷区恵比寿西1-9-12	03(496) 8691富士興
東京富士興産販売株式会社	(105) 港区虎ノ門1-13-4	03(591) 3401富士興
東光商事株式会社	(104) 中央区京橋1-5-12	03(274) 2751三 石
東新瀝青株式会社	(103) 中央区日本橋2-13-10	03(273) 3551日 石
東洋国際石油株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03(552) 8151コスモ
東和産業株式会社	(174) 板橋区坂下3-29-11	03(968) 3101三共油化
中西瀝青株式会社	(103) 中央区八重洲1-2-1	03(272) 3471日 石
株式会社 南部商会	(100) 千代田区丸の内3-4-2	03(213) 5871日 石
日石丸紅株式会社	(104) 中央区築地5-4-14	03(541) 4015日 石
日東商事株式会社	(170) 豊島区巣鴨4-22-23	03(915) 7151昭和シェル
日東石油販売株式会社	(104) 中央区新川2-3-11	03(551) 6101昭和シェル
パシフィック石油商事株式会社	(103) 中央区日本橋蛎殻町1-17-2	03(661) 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2-4-3	03(580) 5211富士興
富士鉱油株式会社	(105) 港区新橋4-26-5	03(432) 2891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
富士石油販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-13-12	03 (274) 2061共 石
富士油業株式会社東京支店	(106) 港区西麻布1-8-7	03 (478) 3501富士興
丸紅エネルギー株式会社	(101) 千代田区神田錦町3-7-1	03 (293) 4111モービル
三井石油株式会社	(101) 千代田区神田駿河台4-3	03 (293) 7111極 東石
三菱商事石油株式会社	(100) 千代田区丸の内2-6-2	03 (210) 9702三 石
ユニ石油株式会社	(101) 千代田区神田東紺屋町30	03 (256) 3441昭和シェル
菱東商事株式会社	(101) 千代田区神田和泉町1-13-1	03 (5687) 1421三 石
菱油販売株式会社	(160) 新宿区西新宿1-20-2	03 (345) 8205三 石
菱洋通商株式会社	(104) 中央区銀座6-7-18	03 (571) 5921三 石
瀝青販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-16-3	03 (271) 7691出 光
● 中 部		
コスモアスファルト(株)名古屋支店	(466) 名古屋市昭和区塩付通4-9	052 (851) 1111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 (361) 7151コスモ
三徳商事株式会社静岡支店	(420) 静岡市紺屋町11-12	0542 (55) 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 三油商會	(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
新東亜交易株式会社名古屋支店	(450) 名古屋市中村区名駅3-28-12	052 (561) 3514富士興
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
株式会社トーアス名古屋営業所	(450) 名古屋市中村区名駅4-2-12	052 (581) 3585共 石
富安産業株式会社	(939) 富山市若竹町2-121	0764 (29) 2298昭和シェル
中西瀝青株式会社名古屋営業所	(460) 名古屋市中区錦町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
三谷商事株式会社	(910) 福井市豊島1-3-1	0776 (20) 3134モービル
● 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共 石
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共 石
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) 広島市田中町5-9	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13-51	0792 (77) 5001共 石
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・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
千代田瀝青株式会社	(530) 大阪市北区東天満2-8-8	06 (358) 5531三 石
株式会社ナカムラ	(670) 姫路市国府寺町72	0792 (85) 2551共 石
中西瀝青株式会社 大阪営業所	(530) 大阪市北区西天満3-11-17	06 (316) 0312日 石
平井商事株式会社	(542) 大阪市中央区東心斎橋筋1-3-11	06 (252) 5856富士興