

# アスファルト

第20巻 第113号 昭和52年11月発行

# 113

## 日本アスファルト協会論文賞・発表

☆随想☆ 建造物の寿命 田口二朗 2

アスファルト雑感 相沢 満 4

《研究者のノートから》その2 阿部頼政 5

アスファルト舗装の構造設計における考え方 阿部頼政 5

●報文● 減圧毛管式粘度計による  
アスファルト60°C粘度の測定精度 林 誠之 14

## BLACK CHEMISTRY(2)

アスファルトを原料とする活性炭の製造・その1 工藤一至 23

## 道路舗装に必要なエネルギー・A.I.文献より・

アスファルト舗装・コンクリート舗装のエネルギー必要量の比較 29

重交通道路舗装用アスファルトの研究報告 13

協会ニュース  
アスファルトゼミナール開催予告 43

# 昭和51年度 日本アスファルト協会論文賞発表

入選第一席 賞 状 賞状額 副賞 6万円

## 「アスファルトの供用性に関する研究」

本誌第110号掲載

林 誠 之 日本石油(株)中央技術研究所

### [講評] 入選論文について

本論文はアスファルトの性状を舗装の供用性との関連において捉え、アスファルト舗装の供用性を損なうわだち掘れとひびわれの発生に關係の深いアスファルトの粘度や低温性状と混合物の力学的な性状との相関性について考察したものである。

アスファルト舗装のわだち掘れは室内の水浸WT試験変形率で代表されると考え、まず原アスファルトの25°C針入度、軟化点、60°C粘度のうち密粒度混合物の60°C水浸WT試験変形率に対しては60°C粘度がもっとも相関の良いことを明らかにし、ついでアスファルトの粘度と混合物の変形率は温度に關係なく、ほど一定の相関關係にあることを明らかにした。また、諸外国の状況から推論して、わが国で必要とされる変形率と粘度の目標値を提案した。

ひびわれに関しては混合物の低温曲げ試験における脆化温度を取上げ、この温度に対してもっとも相関の良いアスファルト性状は5°C針入度であることを見出した。

アスファルトの品質は本来舗装の施工性、供用性などと密接に関連するものであるから、評価試験項目もそのような観点から選定されるべき性質のものである。そのような意味で、舗装の代表的な破壊現象であるわだち掘れとひびわれに關係するアスファルトの性状は何であろうかという最初の考え方是非常に貴重である。

最近の全国的な舗装の実態から、混合物に対して今までになく高い流動抵抗性が要求されており、種々の材料と配合のものが試みられている。しかし、単に骨材粒度や配合を変えるだけでは苛酷な交通条件に対応しきれない場合が少なくないので、いきおいバインダーの性状に頼らざるを得なくなるが、本論文はそのような際のバインダーの選定において有力な手がかりを与えるものである。すなわち、わだち掘れに直接関与する60°C粘度と低温時のひびわれの発生に關係するであろう5°C針入度を規定することにより、道路条件に適合したバインダーの選定がより合理的に行なわれようというものである。

本論文は協会の舗装用アスファルト分科会の要請があつて急拵まとめられたことや筆者の御専門の立場もあって実際道路の舗装の供用性についてはほとんど触れておられない。しかし、本論文の根幹である水浸WT試験変形率や脆化温度が舗装の供用性を代表するとの前提は実際道路の観測によって将来確認されなければならない性格のものであろう。また、混合物の諸条件や施工条件などの影響もおそらく解明する必要があろうし、舗装のひびわれは低温時の脆性破壊に起因するもののみではないことや、わだち掘れとひびわれ以外の破壊現象をどう扱うかなども残された問題点であるといえよう。

今後の継続研究の成果が期待される。

選考委員 委員長 谷 藤 正 三 本協会名誉会長

委員 多 田 宏 行 建設省道路局国道第二課長

南 雲 貞 夫 建設省土木研究所舗装研究室長

真 柴 和 昌 本協会 技術委員長

武 藤 喜 一 郎 本協会 企画委員長

## 建造物の寿命

田口二朗\*

最近、札幌市に行く機会があった。20年前、最初に訪れた時とは格段の差で、今や人口130万人、整然とした町並み、近代的高層ビル、計画的に配置された公園、各種施設、何れを見ても近代的大都会である。

この発展のすばらしさは目を見張るものであったが、同時に何かもの足りなさも感じた。例えば、京都や奈良に行った時に感ぜられる歴史の重みとでもいったようなものである。

古いものがすべてよいというものでもないが、幾世期にもわたり風雪に耐えた建造物が堂々と存在すること自体、ずっしりとした感じを与え、街自体を引締めるものである。

最近、ふるさと意識という言葉がよく使われる。私も故郷に帰ると近くを散歩するが、子供の頃から見なれたお屋敷や、昔のままの公園を見つけるとほつとした気持になり、新興住宅が次々と広がって行くのを見ると何となくにがにがしい気持になることがある。ふるさと意識の根底にあるのは、変らざるものに対する安心感であり、山々のたたずまい、きれいな川の流れ、歴史を感じる建造物などであろう。この点、山々が見えず、汚濁した川、ビルに挟まれた神社等の東京はふるさと意識は少ないのでなかろうか。

城や名園、神社、仏閣など幾世期にもわたる建造物は、これを有する市民にとって貴重な財産である。このように残された建造物は、どの程度後世を意識して造られたのかは分らないが、現在、拝観料を取って見せているとは思いもかけなかったことであろう。

現在残されている建造物は、当時とすれば単なる実用品ではなかつたはずである。実用品はその実用性故に寿命が短い。実用品には多くの遊びがあるため、現在でも生き残っているのではないか。お城、名園しかりである。

\*建設省中部地方建設局 沼津工事事務所長

ふり返って、現在、我々が建造している工事で、幾世期も寿命がありそうなものはあるだろうか。いくらスクラップアンドビルトとはいえ少なからず淋しいではないか。次々と造られる高層ビル、高架道路、残りそうなものはない。巨大スクラップである。現代はあまりにも実用品のみを造りすぎているのではないだろうか。

沼津に来て、当地においてこのような幾世期にもわたってその存在が意義づけられている建造物があるのか気になり、二、三調べたので以下に紹介する。箱根街道と、箱根用水と千本松原である。何れも幾世期の風雪に耐え、いろいろのドラマが含まれており、大いにロマンをかきたてる。

### 中 中 中

いわゆる箱根街道は1618年江戸幕府が修造したもので、見事に成育した松並木、杉並木に挟まれた街道の一部を現在も国道1号として使用している。

この並木は、夏は木蔭に休ませ、冬は木立ちに風を避けさせるための幕府の親心からとの説が一般的であるが、実は軍事目的のためであったという説もある。すなわち、もし関東軍が敗軍となつて東海道を退却することにでもなつた場合には、並木はことごとく切り倒して、敵の追撃を防害する。また左右の土手には兵を伏せて奇襲することを考えたことである。

またこの並木は、近隣の人々にとっては大迷惑な代物で、今日でいういわゆる公害問題となつたようである。並木の保護育成を命ぜられた上、日蔭になる田畠でも年貢に差がなく、このため植えつけの若木が生育しないよう願っていたとのことである。

このように箱根街道は単なる実用品としての道路だけではなく、松、杉並木という付属物があつたために今日までその寿命が残っていたとも云える。

この東海道について更に言及すると、奈良、平安時代の旅人は大和から関東に行くには、御殿場から

足柄峠を通るルートであった。しかしながらこのルートは度重なる富士山の噴火によりしばしば閉され、鎌倉時代になっていわゆる箱根峠ルートが開かれたものである。

東海道が箱根山の北側、すなわち御殿場経由となるか、または南側のルートになるかについては、その後の鉄道、道路の建設に当りシーソーゲームを繰返すことになった。

国鉄東海道線は明治22年御殿場経由ルートで開通した。箱根の山越えの困難さからこのルート決定がなされたものである。現在の東海道線となったのは丹那トンネルが完成した昭和9年であった。新幹線も南側のルートである。

道路については国道1号が南側ルート、東名自動車道が北側ルートとなっている。

将来どれが残っているのだろう。

中 中 中

箱根用水（深良用水）は箱根芦の湖の水を湖尻峠をぬいて静岡県裾野市の深良地区以南の灌漑用水引き水のため1280mのトンネルを掘抜いたものである。

江戸の町人友野与右衛門が、幕府の抵抗に合いながら名主や農民の協力のもとに1670年に完成した。工期は4年であった。火薬もなく、削岩機もなく、また測量器具も不充分であった時代に両側から掘り進み、完成させたことは驚くべきことである。

現在は灌漑用水の他に、発電用水として用いられ、東京電力の発電所が3箇所に設けられている。出力は5,000KWである。

中 中 中

千本松原は沼津市の狩野川河口から富士市にかけての海浜に沿った松原である。

約400年前の天正年間、武田・北条の戦いで、松原が切りはらわれ、住民が潮風の害に苦しんでいたのを、増誉上人が、一本毎に経を誦し、5年の歳月をかけて千本の松を植えたといわれている。現在数十万本の松が住民を潮風の害から守っている。

中 中 中

このような見地で現在当事務所が行なっている事業のうち幾世期も寿命があるものがはたしてあるのかが気になった。

当事務所は河川、海岸、砂防、道路の混合でバリエティに富んでいる。

先づ河川については、狩野川台風で有名な狩野川の改修を行なっている。古来、幾度となく河道変遷が行なわれたが、現河道は当分変ることはないとであろう。特筆すべきは中流部から海に抜いた放水路である。これは度重なる洪水に対処するため、幕末の頃に構想がたてられたものであるが、紆余曲折を経て、完成したのは昭和40年である。2箇所のトンネルを含む延長3kmの狩野川放水路は、今後幾世期かの効用はありそうである。

海岸は堤防の築造と侵食対策としてのコンクリートブロックの据付けを行なっている。伊勢湾台風をきっかけに築造されたT.P.13mの堤防が41年に越波したため17mに嵩上げ中である。地元の反対を受けながら千本松原を一部切り取り万里の長城の如き堤防が延々として続いている。あまりにも実用品でありすぎ寿命はあまり期待できないだろう。

砂防は狩野川台風以来、数十箇所のダムを築造したが、土石の中に埋るのはあまり遠い将来ではないだろう。

道路は沼津B.Pが工事の最盛期であり、超軟弱地盤上の盛土である。東海大地震でどのようになるか心配である。これの寿命はよく分らない。道路については一般に道路構造の決定に当り、経済比較の結果、用地幅を少なくし、高架構造、大きいよう壁を採択するケースが多いが、このような構造物は将来的の財産として残らないことを考えると、当面の経済比較のみで構造を決めるのは問題があるのでなかろうか。

これらのことを考えると、幾世期も生きながらえるためには建造物そのものの耐用年数を必要とする同時に、時代を問わず人の心を打つ要素が必要である。

あまりにも単一機能的な実用品は、その用途が終れば邪魔物でしかない。遊びや余裕を持った建造物はその美的価値、空間的価値等の付随的価値によりその時代の要請に合った目的を持って有効に存在している。

現代の築造されている建造物は、その目的とする所にもよるが、あまりにも単機能追求型が多すぎるのでなかろうか。将来への遺産について、もっと考えるべきではないだろうか。

## アスファルト雑感

相 沢 満\*

最近、「アスファルトは商品でなく素材である」ということを聞いたが、なるほどアスファルトを使用する側から見ると素材だということもできよう。しかし、アスファルトを供給する側からすればアスファルトは立派な商品であると思っている。道路舗装用のアスファルトについて見ればアスファルトを単体で使用しないため商品でないというのかもしれないが、別の見方をすれば要求性状を十分に満足させていないという批判にも受け取れる。

昭和12年におけるアスファルトの銘柄数はストレートアスファルト12, ブローンアスファルト5, S Pブローンアスファルト5, アスファルト乳剤1, ミネラルラバー2, 合計25銘柄であるのに対し、現在の銘柄数もほぼ同数で増えていない。このことはアスファルトの銘柄は燃料油や潤滑油に比較して多様化していないことを示している。一方、昭和36年名神高速道路が一部開通し、高速道路時代が始まり、48年日本道路協会において舗装用アスファルト暫定規格が制定され、49年重交通時代の要求により低針入度の40-60ストレートアスファルトの製造出荷が開始された。さらに、最近では重交通道路のわだち掘れを防ぐためのアスファルトの規格の研究が進められ試験舗装の段階に来ている。

道路用アスファルトについてはいわゆる「白黒論争」があり、それぞれの特性から、それぞれの主張がなされているが、この論争は技術的な問題以上のものを含んでいるのですぐに決着が着くとは思われない。いずれにしても道路用アスファルトはメインテナンスフリーと補修のじん速化を目指したアスファルトの要求が強い

ようである。確かに高速道路の補修は交通事故と同様に交通の渋滞をまねくことになる。こうしてみると、アスファルトは銘柄が多様化するよりも要求品質が多様化する傾向にあると言えよう。

アスファルトの要求品質が厳しくなることはアスファルトを製造する側からすれば、製造管理と品質管理をより厳しくし、場合によっては新しい設備投資も必要となろう。一般的には、アスファルトは石油精製の副産物であり、人手も金もあまりかかりないで製造できるように思われるかもしれない。しかし、実際には燃料油、潤滑油と違って連続プロセスの要素が少なく、人手に頼る面が多いため商品として完成するためには大変な苦労があることはアスファルトの製造出荷を担当している者には実感であろう。また、アスファルトは製油所、油そう所の段階においても多くの加熱用スチームを消費する点でコストがかかっている。省エネルギーの見地からも製造、貯蔵さらに流通の段階を通して工夫改良すべき点があるのでなかろうか。

わだち掘れのしない、また骨材と分離しないアスファルトの改良研究を進め、それ等改良アスファルトを製造出荷するのは供給側の責任であるが、さらにコストインセンティブがアスファルト製造技術を進歩させる重要なファクターの一つであることも忘れてはならない。

アスファルトについても、石油ショック以前までは著しい需要の伸びを示していたが、日本経済と同様高度成長は終り、量より質の時代に移って来たと言えよう。

\* 日本石油 製造部 製油1課

# アスファルト舗装の 構造設計における考え方

阿 部 賴 政\*

1. はじめに

アスファルト舗装の構造設計は、昭和42年以来、ほとんど変更がなく、当時、新しくとり入れられた設計輪荷重や $T_a$ の考え方も、今では舗装技術者の常識となっている。しかし、その半面、設計法の成立過程や根拠については知らない技術者が多くなってきていているのではないかろうか。本稿は、当時要綱改訂の中心的存在であった故竹下春見博士の論文をもとに、設計輪荷重、 $H$ 、 $T_a$ の計算式等に関する考え方の根拠を整理しておこうとするものである。

## 2. 現設計法の概要

アスファルトの舗装構造を決定する主な要因は交通量と路床の支持力である。この原理は、わが国の設計法だけではなく、いずれの設計法も一致しており、また常識的にも、当然の事として受けとめることができる。交通量のとらえ方、路床の支持力の求め方には、各国の事情や、経験の相違により数多くの方法がとられているが、わが国では、設計輪荷重P(t)と設計CBRという概念で統一されており、この両者をもとに次の式から舗装厚が決定される。

$$H = \frac{58.5^{0.4}}{CBR^{0.6}} \dots \dots \dots (1)$$

$$T_a = \frac{12.5 P^{0.64}}{CBR^{0.3}} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、H：舗装厚（cm）

P : 設計輪荷重 (t)

T<sub>a</sub>: 舗装を全部表層基層用加熱アスファルト混合物で設計したときの必要な厚さ

(2)式で C B R (設計 C B R) は、路床土の C B R 試験により(3)式で求められ、設計輪荷重  $P$  は、輪荷重の測定結果より、後に述べる(15)式を使用して求められる。以上の 4 個の因子、 $H$ 、 $T_a$ 、 $P$ 、C B R を次章以下で検討する。

### 3. 設計CBR

路床の支持力を判定する方法には、セン断試験、平板

\* 日本大学理学部土木工学科 講師

載荷試験、貫入試験等、色々あるが、CBR試験は米国カリフォルニア州において、O.J. Porter が材料の支持力特性を簡単に比較するために考案したもので、その後、種々の修正が加えられて、わが国でも、JIS A1211に規定されている。

設計の対象となる区間の路床に対する CBR 試験結果から次の式によって設計 CBR が決定される。

設計CBR

$d_2$ は表-1に示された値である。(3)式は、各地点のCBR測定値が正規分布すると仮定して作られたもので、右辺の(CBR最大値-CBR最小値)/ $d_2$ の項は標準偏差をあらわす。したがって、設計CBRとはCBR測定値の平均から標準偏差を引いた値のことである。なお、この場合、理論的には、数多くの試験を行えば(3)式で求めた設計CBRより小さい測定値が16%程度は出現することになる。

表-1 設計CBBの計算に用いる係数

個数(n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10以上
d <sub>2</sub>	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18

#### 4. 設計輪荷重について

昭和36年に発行されたアスファルト舗装要綱（以下旧要綱と略す）では、交通量をA、B、Cの三種に区分し、それぞれ単位区間自動車交通量(台/日)を2,000未満、2,000～7,500、7,500以上として、CBR曲線による合計厚を示している。この段階では単に交通荷重の通過回数によって合計厚を変えているだけであり、いわば、舗装厚と交通の量的な面に着目するに留まり、両者の質的な面、すなわちT<sub>a</sub>と大型車（破壊作用の重み）の概念は入っていない。しかし、竹下は、すでに昭和34年に交通荷重の質的な面に注目し、カリフォルニア及びイギリスの設計法を引用しながら、次のように述べている。<sup>1)</sup>

「要するに舗装厚設計のためには、バス、トラックなど

の交通車両のみを調査の対象とすればよいが、輪荷重と交通量（繰返し荷重）の関係およびそれを設計法にとり入れる方法については今後の研究に待つべき点が多い。」ここに述べられている通り、この時点では輪荷重と交通量の関係は、まだはっきりとはとらえられていない。この頃から、竹下はカリフォルニア法として次の式を度々紹介し、計算例をあげて解説している<sup>2)</sup>。

P : 輪荷重(t)

N : 設計寿命年間に輪荷重 P が通過する回数

この式の利用例として、竹下は8t輪荷重1輪と同じ破壊作用をする輪荷重の大きさと台数の関係は大略的に表-2になると示しているが、現要綱の方法で筆者が計算した値は表-3のようになる。両者を比較すると明らかなように、当時のカリフォルニア法では輪荷重による破壊作用の差を非常に大きくとっている。すなわち、破壊作用が輪荷重の4乗に比例するのではなく6~7乗に比例する程度の値となる。もっとも、その後、これは改訂の度に小さくなっているが……(後に表で示す)。

表-2 カリフォルニア法による竹下の計算

輪荷重(t)	8	7	6	5.5	5	4	3.5	3	2
台数	1	2	6	10	20	120	350	1,400	$10^5$

表-3 現要綱による計算

輪荷重(t)	8	7	6	5.5	5	4	3.5	3	2
台数	1	1.7	3.2	4.5	6.6	16	27	51	260

昭和38年に竹下は破壊作用係数H.K.として次の式を提案している。<sup>3)</sup>

これは(4)式の  $P$  (輪荷重) のかわりに、タイヤの接地圧力  $p$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) を使用したものである。図-1は、繰り返し載荷試験を行なった結果より、沈下量と繰り返し回数の関係を求め、曲線のこう配が急に大になる回数を  $N$  として、 $\sqrt{P \log N}$  を計算し、これを  $K$  値に対してプロットしたものである。図によれば、30cm 載荷板を利用した場合と 75cm 載荷板を利用した場合とでは、 $K$  値の増加による破壊作用係数の増加の状態がちがってくる。

図-2は $\sqrt{P \log N}$ のかわりに $\sqrt{p \log N}$ とおきかえた場合を示している。これによると載荷板の直径が30cm

表-4 輪荷重と重みの関係

輪荷重(t)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9
重み	0.001	0.002	0.005	0.01	0.02	0.045	0.1	0.2	0.5	1	2	3.5	6	10	16	25	35	50

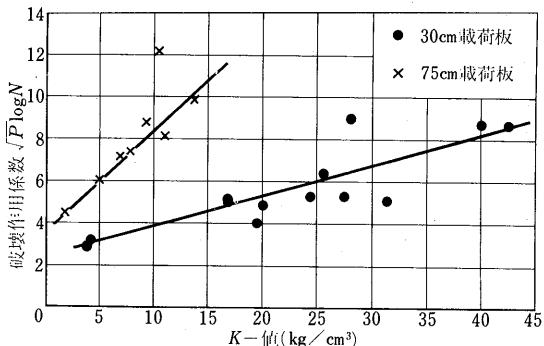


図-1 K値と $\sqrt{P} \log N$ の関係

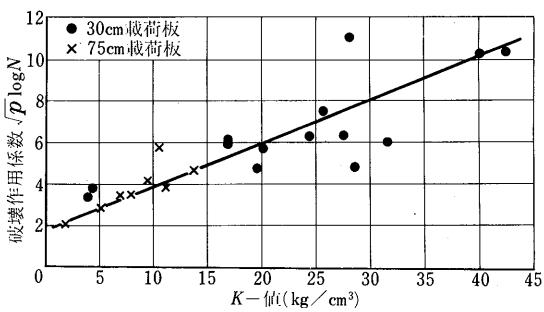


図-2 K値と $\sqrt{p} \log N$ の関係

の場合も75cmの場合も比較的よく一つの直線にのっている。このことから、竹下は、破壊作用係数としては、接地圧をとる方が便利であろうとしている。

その後も竹下は、(4)式を折あるごとに検討し、昭和39年には、(4)式のプロットを多少変えて、表-4のような輪荷重の重みを提案している<sup>4)</sup>。この表に示された値も、現行の数値から見るとかなりかけ離れてはいるが、5t輪荷重の重みを1とする考え方方がここではっきり、示されている。

これまで、カリフォルニアの式(4)に頼り、苦労してきた輪荷重の重みの問題は、昭和40年、「アスファルト舗装に関する対数グラフの応用<sup>5)</sup>」という報文で一挙に解決する。これは、技術的な論文よりも、両対数グラフの面白さ、便利さを読者に紹介しようとした、いわゆる“学者の遊び”である。しかし、そこには今日の設計曲線に使用されている重要な式と考え方が初めて提案されており、きわめて画期的な業績と言えよう。

竹下はこの報文でJ.F.Shookらの論文から表-5を紹介し、図-3のようにいくつかの点をプロットして次のように解説している。

い値を与えるものとして  $(P/5)^4$  をとることにしよう。  
 Pは輪荷重を t であらわしたもので、5 t 輪荷重のウェイ  
 イトを 1 と考えていることになる。そして 5 t 輪荷重が  
 $10^6$  (台/寿命) の場合を 1 としよう。5 t 輪荷重が 1 日  
 1 車線当り 150 輪で 20 年間かわらないものと仮定すれば、  
 $150 \times 365 \times 20 = 1,095,000 \div 10^6$  (台) となるから、い  
 ま N を 1 日 1 車線当り  $P_t$  t の輪荷重の交通量とし、

とおけば……（中略）……

(6)式の意味をすこし解説すると、 $P = 5 \text{ t}$  のときには

表-5 等值軸荷重係數(Equivalent axle load factors)

軸荷重 (kips)	California (1942) $2^{L-18}$	California (1957) $(L/18)^5$	California (1962) $(L/18)^{4.2}$	Shock & Finn $10^{0.12(L-18)}$	AASHTO, Flexible $D=5.0$	AASHTO, Rigid $D_2=9.0$
2	0.000	0.000	0.000	0.012	0.0002	0.0002
4	0.008	0.001	0.002	0.020	0.003	0.002
6	0.016	0.004	0.010	0.035	0.01	0.01
8	0.031	0.017	0.033	0.062	0.03	0.03
10	0.062	0.053	0.085	0.108	0.09	0.08
12	0.125	0.132	0.180	0.188	0.19	0.18
14	0.250	0.288	0.348	0.328	0.36	0.34
16	0.500	0.556	0.610	0.573	0.62	0.60
18	1.00	1.000	1.00	1.00	1.00	1.00
20	2.00	1.69	1.56	1.74	1.51	1.57
22	4.00	2.72	2.32	3.04	2.18	2.34
24	8.00	4.23	3.35	5.31	3.03	3.36
26	16.00	6.30	4.68	9.72	4.09	4.67
28	32.00	9.10	6.40	16.2	5.39	6.29
30	64.00	12.8	8.55	28.2	6.97	8.28

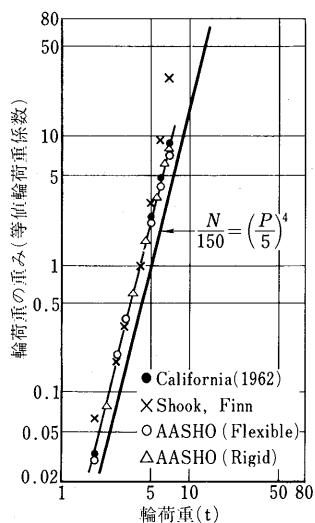


図-3 輪荷重の重み

150輪/日/車線は(6)式より、

$$N = 150 \left( \frac{P}{5} \right)^4 = 150 \times \left( \frac{8}{5} \right)^4$$

$\equiv 150 \times 6.55 \div 983$  輛/日/車線

であるから、8 t 輪荷重が、150輪/日/車線 通行するときの破壊作用は、5 t 輪荷重が 983台/日/車線 通行するのと同じ破壊作用になることになる。また同様の計算を行なうと、たとえば 5 t 輪荷重に換算した交通量が20台/日/車線 であるとすれば、その破壊作用は 3 t 輪荷重が 150輪/日/車線 に相当する。

このような計算をくり返すと、5 t 輪荷重の重みを 1 として、その他の輪荷重を等値の換算係数（重み）としてあらわせば、表-6 に示すようになる。交通調査の結果、各輪荷重の数を全部 5 t 輪荷重に換算して全交通量を 5 t 輪荷重の交通量に換算するのに表-6 が利用できる。1

表-6 輪荷重の換算係数(5 t 輪荷重への換算)

輪荷重(t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
換算係数	0.0016	0.0025	0.13	0.41	1.02	4	6.5	11	16	35	80	

以上の竹下の解説で、輪荷重の重みに関する本質的な考え方は、すべて言いつくされているが、この段階ではまだ現要綱の表現法との間に若干差があるので、誤解のないように筆者の見解をつけ加えておこう。

ここで提案されている最も重要な点は、5 t 輪荷重を基準として、破壊作用が輪荷重の4乗に比例するという考え方、及び  $10^6$  回を寿命と考えることであろう。輪荷重の重みについては、竹下のプロットや推論の方法に多少あいまいな点があるので、表-5をもとにもう一度検討してみることにする。図-4は、カリフォルニア(1942)、(1957)を除き、適当な間隔で軸荷重の重みをプロットしたものである。Shookらの点は両端で離れてくるが、カリフォルニア(1962)、AASHOのFlexibleとRigid ほぼ完全に同一直線上にあると見なすことができる。

両対数紙上で直線の一般式は次のように書ける。

ここに、 $y$ ：軸荷重の重み

$L$ ：軸荷重（t）

a, n : 定数

両辺の対数をとれば

図から  $y = 0.01$ , 10に相当する  $L$ の値を読みれば、それぞれ、 $2.7(t)$ ,  $15.5(t)$ が得られる。これを(8)式に代入すれば、

この両式を連立させて解けば、 $n = 4.0$ 、 $a = 1.7 \times 10^{-4}$ が得られる。ここで重要なのは $n = 4.0$ という値であり、これは、軸荷重の重み  $y$  が軸荷重の 4 乗に比例して変化することを示している。

図-4には、この直線を、

で近似させた場合の  $y$  と  $L$  の各数値から求めた  $n$  の値を示した。これも、当然のことではあるが、ほぼ 4.0という値が得られている。

これまで読みとり誤差を避けるため軸荷重で述べてきたが、軸荷重の $\frac{1}{2}$ として輪荷重をとり、5 t 輪荷重の重みを1とすれば、次の式が得られる。

これは、図-4で  $L=10$  (横軸が軸荷重のため),  $y=1$  の点を通り、(11)式の直線に平行となる。

竹下は計算過程を示していないが、式(6)の左辺は以上のような考え方をもとにしていると思われる。これによって、彼が昭和34年以来、苦心してきた輪荷重の重みの問題は、具体的な数値として解決されたことになる。すなわち、表-6は式(6)以下の竹下の説明を待つまでもなく、

として現要綱に示された値と同一のものになっている。

式(6)の右辺が  $N/150$  となっているが、これは、20年間に  $5 t$  輪荷重 100万輪通過を基準としているためで、現要綱のように10年間を寿命と考えればこれは  $N/300$  となる。また、(6)式は日交通量で表現されているが、これを10年間の交通量としてあらわせば、

$$\left(\frac{P}{5}\right)^4 = \frac{N \times 365 \times 10}{300 \times 365 \times 10} \div \frac{N \times 365 \times 10}{10^6} \quad \dots \dots \dots (14)$$

となる。ここで  $N$  は  $5 t$  輪荷重に換算した 1 日・1 方向の輪数である。以上は、舗装供用中の交通量が常に一定とした計算であるが、10 年間の平均的な交通量の伸び率として 5 年後の伸び率  $a$  を導入すれば、(14) 式は次のように書き直すことができる。

$$\left(\frac{P}{5}\right)^4 = \frac{3.65}{1,000} \times N \times a \quad \dots \dots \dots \quad (15)$$

これは、現要綱に示された式と完全に一致している。

次に(15)式の意味を考えてみよう。 $P(t)$ の輪荷重が  $n$  輪 1日・1方向 通行するとすれば、 $5t$  輪荷重換算輪数  $N$  は重みが  $(P/5)^4$  であるから、

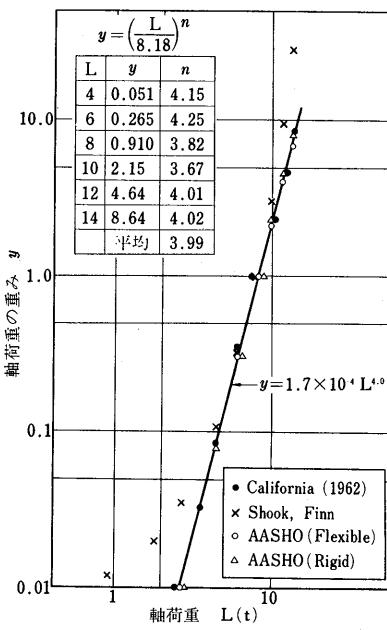


図-4 輪荷重の重み

- 昭和40年前後に国道上で実測した輪荷重分布から計算

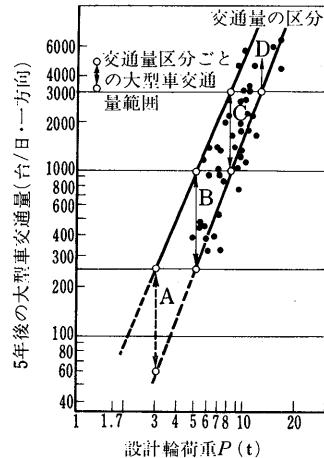


図-5 設計輪荷重と大型車  
交通量との関係

10年間の交通量を考えれば(16)を(15)に代入して、

これを整理すると次の式が得られる。

この式の左辺は  $P(t)$  の輪荷重が10年間に通行する回数を示し、右辺はそれが  $10^6$  (100万) 回であることを表わしている。(17)式の右辺の  $P$  は混合交通では左辺の  $P$  と一緒に

致しないのが当然であるが、この場合は特殊な場合として左右共通のPをとったものである。左辺のPは設計輪荷重と呼ばれるが、(18)式に示されるとおり、これはその荷重を10年間に 100万回通過させるという意味を持っている。

設計輪荷重に関する以上の考え方は、現在、アスファルト舗装要綱の付録として示されており、要綱の本文には、設計輪荷重3t, 5t, 8t, 12tをそれぞれ大型車交通量A, B, C, Dに対応させて示してある。これは輪荷重の測定が困難なためであり、設計輪荷重から大型車交通量への換算は図-5の実測値をもとにしている。

## 5. HとT<sub>A</sub>について

C B Rによる舗装厚の設計曲線を数式化しようとする試みは古くからなされてきたが、竹下は、半理論的にこれを導いたものとして次の式を提案した。<sup>8)</sup>この式は、Kerkhoven, Dorman の式に交通量の影響を入れたものである。

$$H = \frac{7.8}{\sqrt{CBR}} \sqrt{P} \log N - (1 + 5 \log CBR) \quad \dots\dots\dots(19)$$

ここで  $N = 10^6$  台とすれば、

となる。ここに、

H : 舗裝合計厚 (cm)

P : 輪荷重 ( t )

N: 設計寿命年間に  $P(t)$ なる輪荷重が通過する回数

その後、Corps of Engineers の設計曲線を両対数紙上で、図-6 のように示し、直線関係から次の式を得ている。

$$H = \frac{58.5 P^{0.4}}{CBR^{0.6}} \dots \dots \dots (21)$$

これは、現要綱にそのまま採用されている式である。しかし、竹下も述べているように、この式には理論的根拠はない。単に、C B R 設計曲線を数式化したものである。したがって、設計曲線を作製した条件がそのまま適用されるべきであるが、特に注意すべき点は、オリジナルな設計曲線は C B R = 3 までしかないのである。現在、要綱に示してある C B R 3 未満に対する値は、(2)式によって外挿されたものである。

Hに関しては、上述のように比較的単純に現行の式を導びきだしているが、 $T_a$ を決定する式では、結論までに種々の仮定が入ってくる。 $T_a$ の母体となったのは、AASHTO試験道路の主要な結果である舗装厚指数の考え方であるが、これは周知の事実であろう。

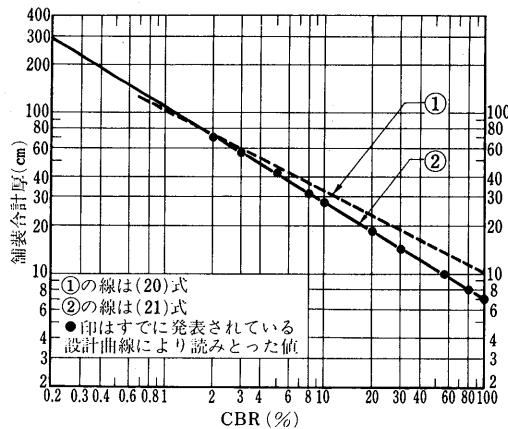


図-6 設計曲線の比較  
(5t輪荷重の場合CBR=2の値は要綱より)

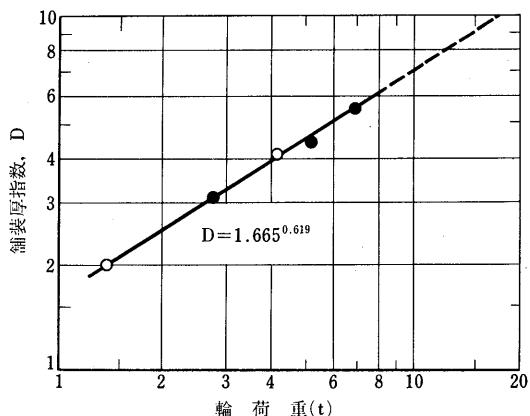


図-7 輪荷重とDの関係 (AASHTOより)

舗装厚指数は次の式によって表現されている。

ここに、

D：舖裝厚指數 (Structural Number)

$a_1, a_2, a_3$  : 舗装構成材料の相対強度係数

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>: それぞれ表層, 上層路盤, および下層路盤の厚さをin単位であらわした値

A A S H O の報告書では、この舗装厚指標と軸荷重及び繰返し回数についてまとめた結果が図示してあるが、竹下は、このうちサービス指標が 2.5における上記の関係をとりだし、繰返し数 100万回における軸荷重と D の関係を図-7 のようにプロットして示した。<sup>10)</sup> なお、図の横軸は軸荷重の半分をとって輪荷重としたものである。

図の直線関係を竹下は次のように表現している。

これは、AASHTO試験道路の平均的なCBR (=2.9)

におけるDとPの関係である。したがって、(23)式は、CBR 2.9以外の路床では適用できないはずであるが、竹下は次のような方法によって、(23)式を有効に利用する方向を見いだした。

東京、大阪および名古屋付近の国道のうちでC-曲線（旧要綱）により設計・施工されたもののうち、交通開放後数年経過して、構造的に何等の欠かんも見出しえないものに・印をつけ、交通開放後2年以内に構造的な欠かんがあらわれ、失敗したと思われるものに×印をつけてプロットされたものが図-8である。竹下は、この成功例と失敗例の間に境界線をひいて、DとCBRの関係を見出し、輪荷重が異なった場合でもDとCBRの関係が図-8の線と平行であると仮定して、次の関係を導いた。<sup>9)</sup>

$$D = \frac{2.2 P^{0.64}}{CBR^{0.3}} \dots \dots \dots (24)$$

これは舗装厚指数で表現されているが、 $T_a$ の式に書きなおすと、アスファルト混合物の相対強度係数が0.44であり、1 inch = 2.54cmであることから、

$$D = \frac{0.44}{2.55} T_a \quad \dots \dots \dots \quad (25)$$

となり、これを(24)式に代入して、

$$T_a = \frac{12.5 P^{0.64}}{CBR^{0.3}} \dots \dots \dots (26)$$

の式が得られる。

以上、4章及び5章で考察してきた結果をまとめると現設計法の根拠となっているものは、次のとおりである。

- (1)輪荷重の重み ..... 表-5  
 (2)H ..... 図-6  
 (3)T<sub>a</sub> ..... 図-7 及び図-8

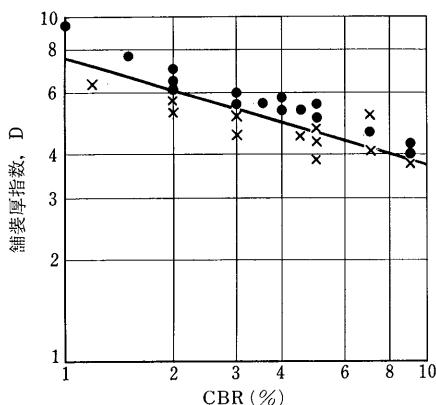


図-8 DとCBRの関係(C-curveにより設計された舗装についての調査結果)

6. 雜 感

前章までに現設計法の根拠を一覧してきた。概略ではあるが、ある程度成立過程はつかめたかと思う。こうして見てくると、現在、金科玉条とされている要綱の設計法も、先人が乏しい資料を前に悪戦苦闘して書きあげてきたことがよくわかる。しかし、不思議なことに一度印刷公表されてしまうと、その成立過程にあった仮定や、問題点、さらには、将来変更されるべきものと明記されていたものが、すべて忘れ去られがちなのは、どういうわけであろうか。2、3の例をあげて見よう。まず、設計寿命であるが、アスファルト舗装の寿命は10年であるとこれまで解説してきた。10年という数字は設計輪荷重を10年間に 100万回通すことのできる舗装という発想からでたものであろうが、これは20年間に 100万回でも本質的には変りはない。要は 100万回というのが主なわけである。では、この 100万回の根拠は何か。竹下によれば、「最近は、設計に関する荷重の繰り返し回数の一つの限度として 100万回をとることが多い」である。当時からすでに10数年……。

次にT<sub>a</sub>の計算式である。非常に荒い方法で導びいた式であるが、「多くのデータにより修正されるまでは暫定的に設計曲線として利用できるであろう」という竹下の言葉は、その後、どのように受けとめられてきたのだろうか。さらにHは「T<sub>a</sub>だけでも舗装の設計ができるが、いまだちにC B Rによる合計厚という概念を捨て去るのは時期尚早と思われる」という表現であった。しかし、Hは現在も非常に強い拘束力をもった形で規定され、このため、フルデプス舗装の設計等で大きな制約となっている。

アスファルト舗装要綱が技術普及の点で非常に重要な役割を果してきたことは異論のないところであるが、一方その内容については、技術者が常に検討を加え、改良していくべきものであろう。現在、要綱の改訂が進行中であるが、今回の改訂には無理としても、以上のような宿題は、いずれ我々が何らかの解決を与えなければならぬかと思う。

## 7. 設計曲線の表現法について

現行の設計輪荷重による考え方では、10年間に設計輪荷重を100万回通すようにHとT<sub>a</sub>を決定している。10年間に100万回という制約が入るため、設計輪荷重が変数となり、8t(C交通)、12t(D交通)等、現実には存在し得ない輪荷重で設計することになっている。これは交通量の多少が、設計輪荷重の大小によって、調整されるようになっているためである。この間の関係は、なかなか理解し難く、誰しも頭を痛めた経験があるのでは

なかろうか。10年以上、親しみ慣れてきた設計法を変更することには大きな抵抗があるかと思うが、以下に、著者が前から提案していた方法を紹介して参考に供したいと思う。

本方法は、図-9のような手順によってHとT<sub>d</sub>を求める。すなわち①②までは従来と同じ方法によるが③の推定では、舗装の寿命をn年間とし、その間の5t輪荷重換算累加輪数N<sub>c</sub>を推定する。n=10にすれば従来と同じであるが、この方法で主となるものはN<sub>c</sub>であり、nは交通量の伸び率によって変る従属変数と考えるべきものである。したがって交通量が予想以上に伸び、7年間でN<sub>c</sub>に到達すればn=7が寿命となる。

図-10、図-11は交通荷重の破壊作用が輪荷重の4乗に比例するとして $T_a$ 、Hと $N_c$ の関係を示したものである。④ではこの図を利用して所定の $N_c$ に対応する $T_a$ 、Hを求めることがある。なお、図には従来の交通区分に相当する $N_c$ をA、B、C、Dで示した。アスファルト舗装要綱の「 $T_a$ と合計厚の目標値」は、各曲線とA、B、C、Dの交点であらわされている。

本方法は従来の方法と原理的に異なる点はない。表現法を変えただけである。また、このような表現法は諸外国で一般に使用されているもので、従来、わが国だけが設計輪荷重という特殊な方法をとっていたわけである。

従来の設計輪荷重  $P$  と  $N_c$  の間には当然一定の関係があり、次の式で示される。

$$N_c = \left(\frac{P}{5}\right)^4 \cdot 10^6 \quad \dots \dots \dots \quad (27)$$

なお、この関係式により、交通量の区分に応じた数値を示せば表-7のようになる。また、 $H$ と $T_0$ を式数から求めようとすれば次の関係式が利用できよう。

$$T_a = \frac{3.84 N_c^{0.16}}{C_B R^{0.3}} \dots \dots \dots \quad (29)$$

本方法では、舗装の破壊が経過年数によるものではなく、累積交通量によるものであることを、はっきり前面に打ち出しているため、設計寿命10年というような統一はとりにくくなる。しかし、逆に言えば、それだけ技術者の判断が加えられるというメリットがあり、さらに、ステージコンストラクションの設計や、舗装の寿命予測がしやすいなど便利な点も多い。特に研究用としては、本方法が利用しやすいと思うがいかがであろうか。次章にその一例をあげることにする。

### 8. 各種設計曲線との比較

アスファルト舗装の構造設計に関しては、これまで非

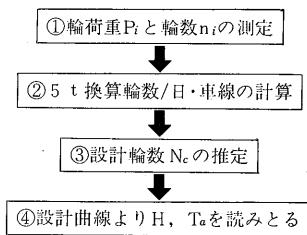


図-9 設計の手順

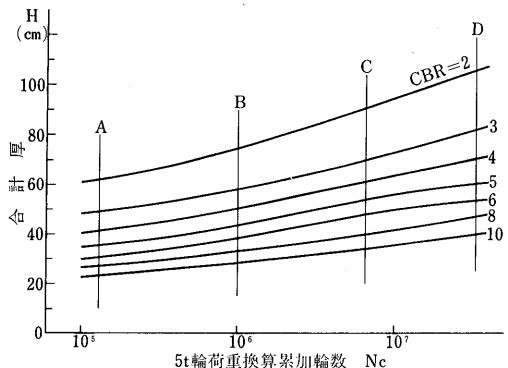


図-10 合計厚の目標値

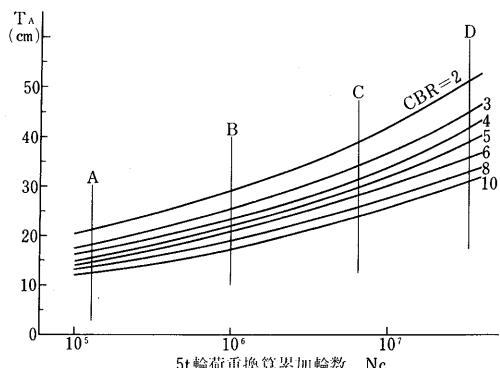


図-11  $T_g$ の目標値

表-7 PとN<sub>c</sub>の関係

交 通 量 の 区 分	A	B	C	D
設 計 輪 荷 重 P (t)	3	5	8	12
5t 輪荷重換算累加輪数 N <sub>e</sub> (×10 <sup>6</sup> )	0.13	1	6.6	33

常に数多くの方法が発表されてきた。A A S H O の道路試験結果は、わが国だけではなく、大なり小なり各種設計法の参考とされてきたが、交通、路床の条件を統一しても、舗装厚には設計法によってかなりの差がある。これは、各国の気象・風土の相違と共に、技術と経験の歴史の相違が影響するためであろう。

図-12では、CBR=5の場合について、代表的な設計曲線の比較を行なった。舗装厚は、わが国の $T_A$ に換算し、寿命は、5t輪荷重換算輪数( $N_c$ )で示してある。これらの設計法はいずれ機会をあらためて紹介するつもりであるし、また、交通量のとらえ方、等値換算係数のとり方等、多少問題になる点もあるが、本稿では検討の必要もないと思われる所以、ここでは計算法の詳細は省略する。

図から明らかなように、これらの設計法の中では、わが国の舗装厚は、かなり薄い部類に属している。竹下が輪荷重の重みで参考にしてきたカリフォルニア法による舗装厚は、C交通、D交通等でわが国の1.5倍程度になっている。英国の舗装厚がわが国の中にはほとんど一致している点は非常に興味深い。以上は、累積交通量による舗装厚の変化を比較したものであるが、CBRの影響はどのようにとり入れられているであろうか。これを比較したものが図-13である( $N_c=10^6$ )。カリフォルニア法とわが国で舗装厚は異なるが曲線の形は類似している。これは、CBRの重みを同じように見ていることを示しているのではないかと考えられる。シェルの方法では、両者に比較してCBRによる舗装厚の差が小さい。英国の設計曲線からは、上層路盤にロールドアスファルト及びマカダムを使用する場合をそれぞれプロットして示した。わが国の舗装厚は、この両者の中間に位置している。図から明らかなように、英国の設計法による舗装厚は、わが国による舗装厚と、ほとんど完全に一致している。周知のように、英国は世界に先がけて、舗装技術を開発し、舗装率100%と言われて久しいが、現在もなお、舗装の研究に力を入れており、「経験のないものは取り入れない」という考え方で、独自の実績を積

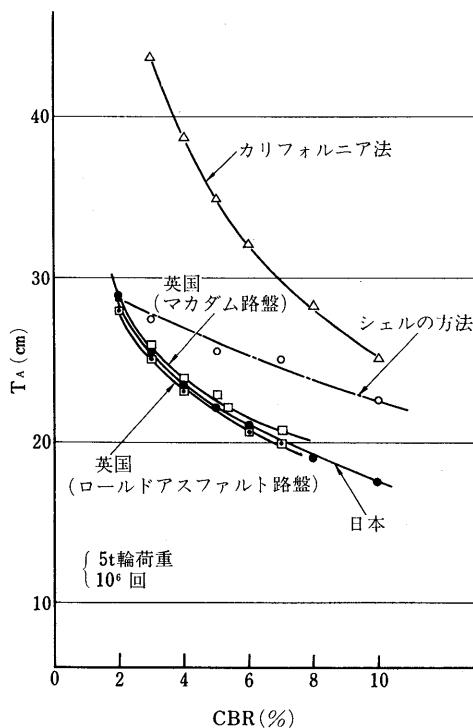


図-13 設計曲線の比較(2)

み重ねている。その長年の研究成果である設計曲線とわが国の設計曲線が全く一致しているということは、竹下の洞察力がいかに秀れていたかを示すものであるかと思われる。ただ英国とわが国では気象も交通条件もかなり異なっている。わが国に条件に適した技術を開発していくことが我々に課せられた今後の課題となろう。

#### 9. あとがき

現設計法ができあがるまでの経過をたどってみたが、ここまで整然としたものを作られた竹下博士はじめ、当時のアスファルト舗装小委員会メンバーの諸先輩に心から敬意を表したい。筆者は当時まだ学生で、竹下博士にはとうとうお目にかかる機会はなかったが、今回、あらためて数十編の論文を読み、文章にあらわれた博士の人柄に強くひかれた。生前お会いできなかつたのがいかにも残念である。

本稿では、できるだけ多くの資料に目を通したつもりであるが、まだまだ不十分な点、あるいは筆者の誤解もあるかと思う。諸先輩の御教示をいただければ幸いである。

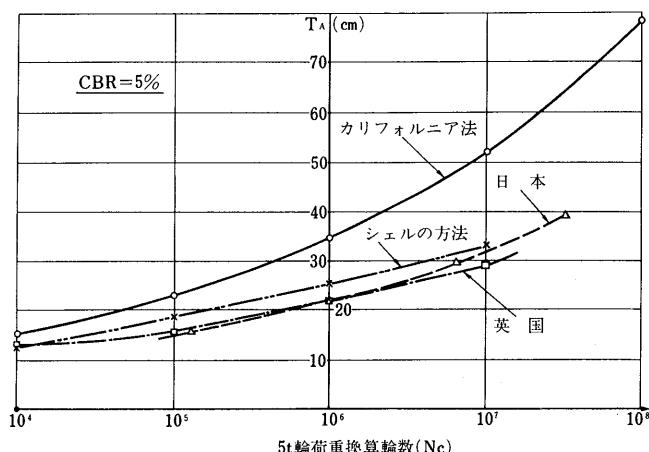


図-12 設計曲線の比較(1)

## 参考文献

- 1) 竹下春見「たわみ性舗装設計法の問題点」  
土と基礎 A-32, 34年4月
- 2) 竹下春見「アスファルト舗装要綱について(1)」  
土木技術資料 3-10, 36年10月
- 3) " 「舗装構造の荷重分散効果」  
土木技術資料 5-2, 38年2月
- 4) " 「アスファルト舗装に関する諸問題」  
アスファルト No.7, 39年6月
- 5) " 「アスファルト舗装に関する対数グラフの  
応用」 道路 No.295 40年9月
- 6) アスファルト舗装小委員会 「アスファルト舗装要  
綱の改訂(I)」 道路 No.323 43年1月
- 7) 簡易舗装研究会編「簡易舗装の設計と施工」
- 8) 竹下春見「C B R法の拡張」 土と基礎 39年6月
- 9) " 「アスファルト舗装の構造設計に関する考  
え方」 舗装1-2, 41年4月
- 10) " 「舗装厚指数(S N)について」  
道路 No.297 40年11月



## 重交通道路舗装用アスファルトの研究・概況報告

建設技術研究補助金による研究事業の内容・委員会構成については、前号に発表したとおりである。

6~9月期に委員会検討・粘度等級アスファルトの規格案(右掲)、既存資料の整備などを行ない、室内試験用アスファルトの試作→室内試験(水浸マーシャル、ハイールトラッキング、高速曲げ)を行なった。

この結果、建設省関東・中部・近畿の各地建ならびに神奈川県の格別の協力を得て、下記のとおり、本年10月より粘度等級アスファルトによる試験施工の実施に入った。

### 粘度等級アスファルトの規格

項目	種類	A C - 140
粘度 60°C (Poise)	14,000±4,000	
粘度 180°C (cst)	200 以下	
針入度 25°C, 100g, 5sec (1/10mm)	40 以上	
薄膜加熱重量変化 (%)	0.6以下	
塩化エタン可溶分 (%)	99.0以上	
引火点 C.O.C (°C)	260 以上	
比重 25°C/25°C	1,000 以上	

### 粘度等級アスファルトによる試験施工箇所一覧

地建・県	工事事務所名	施工個所	延長(m)	工期(舗装)	施工業者名	メーカー名	アスファルト量
関 東	大宮国道	草加市谷塚4号	500	52.12.15~12.25	三井道路	富士興産 アスファルト	40 t
	相武国道	八王子市大和田20号	150	52.11月下旬	大成道路	シェル石油	70
	川崎国道*	辰巳第2舗装357号		52.11.12~11.18	東亜道路	シェル石油	170
	横浜国道**	上川井16号	300,600	52.11.20~11.24 52.12.1~12.5	熊谷道路	シェル石油	50
中 部	名古屋国道	海部郡弥富町23号	860	52.12.1~12.20	国土道路	昭和石油	70
近 畿	大阪国道	此花区四貫島43号	150	52.10月完了	福田道路	大協石油	40
	兵庫国道	尼崎市東本町43号	200	52.10月完了	日本舗道	丸善石油	20
神奈川県	藤沢土木	戸塚~茅ヶ崎(辻堂)	460	52.10月完了	亀井土建 相模開発	三菱石油 日石石油	60 60

\* 8,000poise

\*\* - 部 8,000poise使用

# 減圧毛管式粘度計による アスファルト60°C粘度の測定精度\*

林 誠 之\*\*

## 1. まえがき

近年、わが国の道路破壊主原因としては、わだち掘れによるものが多くなっている。そして、アスファルトのバインダー性状のうち、わだち掘れと相関性の良い性状<sup>1)</sup>としては60°C粘度があることをすでに報告した。

アスファルトの60°C粘度測定方法としては、減圧毛管式粘度計、共軸二重円筒回転粘度計、平行板型粘度計などによる方法があるが、測定方法の簡便さ、試験法の完備状況から考えて、現状においては管理試験方法として、ASTM D 2171-66(以下ASTM法と略す)による減圧毛管式粘度計方式に準拠する方法が最も適していると考える。

そこで、本稿ではASTM法に記載されているAsphalt Institute(以下AIと略す)タイプNo.100, 200, 400番粘度計を用い、60°C粘度が約1,000~60,000poise(以下Pと略す)のアスファルトについてASTM法どおりならびにASTM法を若干簡便化した方式で測定した場合の測定精度について述べる。

この考察の狙いはあくまでも重交通道路舗装用アスファルトを念頭に置いたものである。すなわち、そのようなアスファルト<sup>2)</sup>(60°C粘度=14,000±4,000P, 針入度 $\geq 40$ )はセミブローンアスファルトとならざるを得ないが、① こういったアスファルトもASTM法に記載されている精度で測定可能かどうか、② こういったアスファルトを測定する際に特に注意すべき点はないか、の2点について主に考察した。その理由は、米国の舗装用アスファルトの規格では、最も高粘度のものでも原アスファルトの60°C粘度は4,000±800Pであり、この程度のアスファルトは十分ストレート方式で製造可能なものであるが、今後わが国で必要になると考えられる重交通道路舗装用アスファルトは、60°C粘度も14,000P程度と非常に高く、しかもセミブローンアスファルト系となることから、この辺の違いにもASTM法が十分対処可能かどうかを検討したものである。

\*昭和52年10月18日受理

\*\*日本石油株式会社中央技術研究所第1研究室

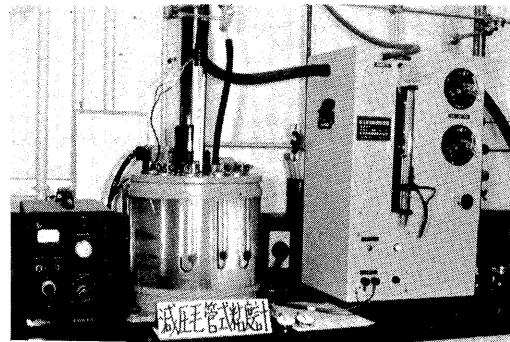


写真-1 減圧毛管式粘度計

## 2. 粘度測定装置

測定装置を写真-1に示す。粘度計は恒温そう(写真の中央)の中に入れ、恒温そうの温度は温度制御器(写真左側)で所定温度に制御する。減圧系は真空ポンプ(写真に映っていない)から減圧度調節器(写真右側)を通して圧力制御を行い、粘度計の毛管側に接続する。

## 3. 粘度測定方法

ASTM D 2171-66に準拠し、温度60°C±0.05°C(ASTM法は±0.01°C)、圧力-300±0.5mmHg·gの減圧下で測定した。試験方法は本誌にもすでに詳しく紹介されているので、ここでは以下に実際に行った時の手順およびASTM法と条件を若干異にした部分について示す。

- (1) 粘度計はあらかじめトリクロルエチレンで清浄にした後、乾燥しておく。
- (2) 恒温そうを60±0.05°Cに維持する(使用温度計の目量が0.05degのため±0.05deg以内しか確認できなかった)。
- (3) 所定温度(試料の60°C粘度が6,000P以下では約135°C, 6,000P以上では約145°C)に加熱した粘度計に、同じ温度範囲に加熱した試料を粘度計の試料採取標線E(図1参照)の上約1cmまでそそぎ込む。
- (4) 粘度計を(3)の所定温度に保ったオーブンに5~10分間入れ、気ほうを除く。
- (5) 粘度計をオーブンから出し、5分以内に恒温そうのホルダーにそそぐり、最上部の標線が恒温そうの

水面から少なくとも30mm没するように粘度計を鉛直にセットする。

- (6) 減圧系を-300±0.5mmHg·gに保ち、粘度計に接続するラインをコックで閉じたまま減圧系と粘度計の毛管側を接続する。
- (7) 粘度計を恒温そうにセットしてから所定時間経過後、減圧系に接続するコックを開けて粘度計の中のアスファルトを流し始める。
- (8) 毛管側の各バルブ(図1参照)の前後にある標線間(たとえば図1のバルブBでは標線FとGの間)をアスファルトが通過するのに要した流動時間をストップウォッチで0.1秒の単位まで読みとる。流動時間が60秒を越えたバルブ名と流動時間を記録する。
- (9) 粘度値は使用した粘度計の(8)で確認したバルブに相当する係数を選び、次式により絶対粘度を計算する。

$$\text{絶対粘度}, \quad P = k \cdot t$$

ここで,  $k$ =係数,  $P/\text{秒}$

$t$ =流動時間, 秒

- (10) 使用後の粘度計を十分に洗浄、乾燥する。

#### 4. 使用粘度計

使用した粘度計は図-1に示すAIタイプのもので、No.100, 200, 400番について、それぞれ各10本の粘度計を用いて測定した。

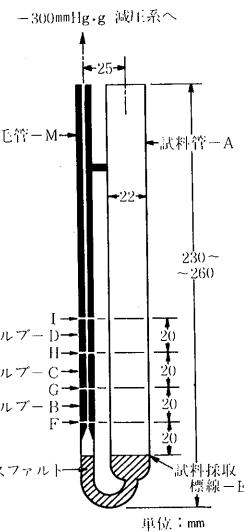
#### 5. 測定試料

測定試料数は合計9種類でその性状を表-1に示した。

表-1 試料アスファルトの性状

試験項目	試 料	1	2	3	4	5	6	7	8	9
針入度(25°C, 100g, 5sec)	70	77	40	50	45	61	41	9	54	
軟化点R & B(°C)	47.0	47.5	52.0	51.5	55.5	61.5	59.0	65.0	67.5	
伸度(15°C)(cm)	150+	150+	150+	150+	24	5	9	—	4	
蒸発減量(%)	0.07	-0.01	-0.01	-0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	
蒸発後の針入度(%)	90.0	87.0	80.0	98.0	97.8	95.0	87.8	89.0	100	
蒸発後の針入度比(%)	88.9	100	103	93.9	97.7	100	100	—	85.1	
薄膜加熱減量(%)	0.09	-0.01	-0.09	-0.03	-0.01	0.08	0.05	—	0.01	
薄膜加熱後の針入度(%)	55.0	63.6	67.5	70.0	71.1	70.5	61.0	—	81.5	
四塩化炭素可溶分(%)	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	100	99.9	99.9	99.9	
引火点COC(°C)	308	338	354	340	338	264	318	350	324	
比重(25°C/25°C)	1,027	1,033	1,041	1,032	1,033	1,013	1,032	—	1,007	
粘度(SFS)	120 °C	214	405	669	—	—	929	—	—	—
	140 °C	82.5	148	223	235	260	240	275	—	—
	160 °C	36.5	65	96	89	129	94	148	—	156
	180 °C	—	34	49	42	60	45	69	—	74
粘度(60°C)(P)	1,135	1,854	4,455	5,195	7,637	12,370	18,060	44,490	61,440	

図-1 AIタイプ粘度計



サ イ ズ ナ ル バ ー	毛 管 半 径 m m	粘 度 間 域 P
25	0.125	42~ 800
50	0.25	180~ 3,200
100	0.50	600~ 12,800
200	1.0	2,400~ 52,000
400	2.0	9,600~200,000

試料の選定にあたっては、60°C 粘度が 1,000, 2,000, 4,000, 8,000, 16,000, 40,000, 60,000 P 程度のものを選んだ。

試料 1 は国産ナフテン系原油からのストレートアスファルト、試料 2 ~ 3 は中東系原油からのストレートアスファルトであり、試料 4 ~ 7 および 9 は中東系原油からのセミブローンアスファルト、試料 8 は中東系原油をある条件でプロパン脱れきして得られたアスファルト (P D A) である。

## 6. 測定結果および考察

### 6.1 飛び離れた測定結果の検定

各試料の測定データについては、すべてのケースについて飛び離れた測定結果が有るかについて検定したが、どのケースについても危険率 5% の棄却限界で判定し、棄却すべきデータのないことが確認された。

### 6.2 粘度測定時の温度、圧力変動に基づく誤差

今回の測定に使用した温度計の目量は 0.05 deg であったため、確認できた温度制御範囲は  $60 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$  以内であった。アスファルトの感温性はアスファルトの種類、測定温度によって異なるので厳密なことは言えないが、今回使用した試料の 60°C 付近における温度による粘度変化は大略

$$\eta_1 / \eta_2 = 4^{-\frac{T_2 - T_1}{10}} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

程度といえる。

ここで、

$T_1, T_2$ ; 60°C 付近での測定温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\eta_1, \eta_2$ ; 温度  $T_1, T_2$  のときの粘度 (P)

今回の測定において考えられる最大の温度変動範囲は  $59.95^{\circ}\text{C} \sim 60.05^{\circ}\text{C}$  であることから、この両端の温度をそれぞれ  $T_1, T_2$  として (1) 式に代入すると  $\eta_1 / \eta_2 = 1.014$  となり、温度制御幅に基づく粘度値の最大変動幅は約 1.4% 以内と考えられる。

一方減圧度の制御幅は  $-300 \pm 0.5 \text{ mmHg} \cdot \text{g}$  以内であった。したがって、考えられる最大変動幅は  $1.0 \text{ mmHg}$  となるが、この変動幅に基づくアスファルト粘度への影響は約 0.3% 以内といえる。

また、その他各試料の比重、粘度計への充てん液高の違いに基づく粘度値への影響については、0.1% 以下と小さかった。

### 6.3 同一粘度計による繰り返し精度

サイズナンバーが 400 番タイプの粘度計を使用して、試料 6 のセミブローンアスファルト (60°C 粘度 ≈ 12,000

表-2 同一粘度計による繰り返し性

	試 料	6	8
使 用 粘 度 計	No.400-3	No.400-2	
繰 り 返 し 回 数	1	12,460	44,640
	2	12,340	45,050
	3	12,160	45,870
	4	12,190	46,150
	5	12,370	45,000
	6	11,920	44,910
	7	12,040	45,730
	8	12,250	45,000
	9	12,040	44,640
	10	12,000	43,720
平 均 粘 度	12,177	45,071	
標 準 偏 差	178	705	
変 動 係 数 (%)	1.46	1.56	
最 大 粘 度	12,460	46,150	
最 小 粘 度	11,920	43,720	
〔最大粘度 - 最小粘度〕	540	2,430	
〔最大粘度 - 最小粘度〕 平均粘度 (%)	4.43	5.39	
繰り返し性許容差(対平均値) (%)	4.67	4.99	
1 回測定の信頼限界 (%)	3.30	3.53	
2 回 " (対平均値) (%)	2.34	2.50	
10回 " ( " ) (%)	1.05	1.12	

備考：粘度の単位は (P)

P) および試料 8 の P D A (60°C 粘度 ≈ 45,000 P) について、それぞれ 10 回の繰り返し測定を行った。

#### (1) 試験方法

試料 6 は No.400-3 粘度計を、試料 8 は No.400-2 粘度計を使用した。

各試料はあらかじめそれぞれ 10 個のカップに小分けしておき、毎回測定に先立ち  $145^{\circ}\text{C}$  で 30 分間加熱し溶解したものを、あらかじめ  $145^{\circ}\text{C}$  に保ったそれぞれの粘度計に同時に張込み、4 分後に  $60^{\circ}\text{C}$  の恒温そうに同時にセットし、10 回とも恒温そうに入れた後正確に 30 分後に同時に減圧系へ接続し粘度測定を行った。

#### (2) 試験結果

結果を表-2 に示す。この結果から求めた繰り返し性許容差 ( $\sqrt{2t} (9, 0.05) \times \text{変動係数}$ ) は、セミブローンアスファルトである試料 6 ならびに粘度は高くてもニュートン流体性の強い P D A である試料 8 ともに ASTM 法の繰り返し性許容差 (対平均値として 7%) を満足した。

また表-2 からわかるように、両試料とも〔最大粘度 -

表-3 異なる粘度計に試料を取りおき測定した場合の粘度測定結果

備考：粘度の単位は(P)

試 料	1	2	3	4	5	6	7	8	9
粘度計番号	粘度計サイズナンバー	100	100	200	400	400	400	200	400
1	1,156	1,851	4,469	5,040	7,610	11,760	16,740	44,520	43,320
2	1,102	1,822	4,444	5,033	7,583	11,780	16,210	44,210	44,640
3	1,156	1,828	4,449	5,294	7,639	13,130	19,640	44,570	44,180
4	1,132	1,912	4,546	5,061	7,426	12,000	16,470	44,750	44,650
5	1,104	1,857	4,555	5,188	7,837	12,870	18,300	43,260	45,060
6	1,146	1,850	4,340	5,386	7,512	13,090	20,270	45,150	44,800
7	1,126	1,890	4,316	5,415	8,043	11,300	16,390	44,450	44,100
8	1,169	1,857	4,408	5,163	7,338	12,670	19,470	44,340	42,540
9	1,113	1,852	4,553	5,167	7,676	11,900	19,290	44,850	44,820
10	1,142	1,821	4,466	5,204	7,704	13,150	17,800	45,420	45,090
平均粘度	1,135	1,854	4,455	5,195	7,637	12,370	18,060	44,650	44,320
標準偏差	23.2	28.9	83.7	135	201	689	1,550	697	821
変動係数(%)	2.04	1.56	1.88	2.61	2.63	5.57	8.55	1.56	1.85
最大粘度	1,169	1,912	4,555	5,415	8,043	13,150	20,270	45,750	45,090
最小粘度	1,102	1,821	4,316	5,033	7,338	11,300	16,210	43,260	42,540
〔最大粘度-最小粘度〕	67	91	239	382	705	1,850	4,060	2,490	2,550
〔最大粘度-最小粘度〕/平均粘度(%)	5.9	4.9	5.4	7.4	9.2	15.0	22.5	5.6	5.8
〔最大粘度-最小粘度〕の危険率5%の棄却限界値	85	106	308	497	740	2,540	5,700	2,560	3,200
〔最大粘度-最小粘度〕(-) 標準偏差	2.9	3.1	2.9	2.8	3.5	2.7	2.6	3.6	3.1
									3.0

最小粘度)/平均粘度の値は6.2で述べた温度制御幅(±0.05deg)に基く粘度変動幅(平均粘度に対して1.4%)を越えており、他の要因の影響も受けていると考えられる。

#### 6.4 異なる粘度計に試料を取りおき順次測定する場合の精度

アスファルトの60°C粘度値の精度をどこまで要求するかは目的によって異なるが、所望する信頼限界の値によつては繰り返し測定回数の多くなることも考えられる。

しかし、ASTM法による60°C粘度測定に必要な所要時間は、粘度計の洗浄に要する時間も含めると1サイクル約3時間以上は必要であることから、同一粘度計で繰り返し回数の多い場合は測定時間がかかりすぎ、アスファルトの製造品質管理試験としては不向きと考えられる。

このような場合、繰り返し回数と等しい数の粘度計をそろえ、その本数の粘度計にあらかじめ試料を注入して準備しておき、順次60°Cの恒温そうに入れて測定できれば、信頼限界の幅を狭めるために繰り返し回数が増しても、粘度計さえ必要本数あれば短時間で測定が可能とな

る。

そこで、このような方式で測定した場合の変動係数が6.3で行ったような同一粘度計を使用しASTM法どうり測定した場合の変動係数と同等になるかどうか検討した。

##### (1) 試験方法

各サイズナンバーの粘度計10本を用意し、粘度計はあらかじめ所定温度(試料の60°C粘度<6,000Pでは135°C、60°C粘度≥6,000Pでは145°C)に保ち、10本の粘度計に所定温度に保った試料を同時に注入し放冷する。

放冷した試料入り粘度計を順次2~5本ずつ恒温そうにセットし、1.5~2時間60°Cに保った後測定し、合計各10本の粘度計について粘度を測定した。

##### (2) 試験結果

結果を表-3に示す。

##### (2-1) 同一粘度計による繰り返しとの比較

表-3と表-2の試料6、8はそれぞれ若干(45°C×30分程度)の熱履歴を異にしているが元は同じものである。表-3と表-2では平均粘度が若干異っているが、ここでは変動係数の違いに着目する。

表-3と表-2から、セミブローンアスファルトである試料6の変動係数は本方式による異なる粘度計使用の場合は5.57%と、6.3で述べた表-2の同一粘度計使用時の変動係数(1.46%)に対して約4倍となり、両者の変動係数には明らかに差が見られた。

一方試料8のPDAのようにニュートン流体性の強い試料では、表-3(試料8、サイズナンバー400)に示したように異なる粘度計使用の場合の変動係数は1.85%と、表-2に示した同一粘度計使用時の変動係数(1.56%)と比べ若干大きくなる程度であった。

以上のことから、6.3で述べた方式での同一粘度計による繰り返し性の変動係数と、本方式での異なる粘度計に試料をあらかじめ取りおいてから順次測定する場合の繰り返し性の変動係数とは一致しない場合があることがわかった。

#### (2-2) 粘度計間の〔最大粘度-最小粘度〕、標準偏差について

今回は前文で述べた理由から、同一試料を異なる10本の粘度計で1回測定した値をもって粘度計間の標準偏差として求めた。

表-3から試料8を除く粘度測定値と粘度計間の〔最大粘度-最小粘度〕、標準偏差の関係を図-2に示す。図-2からわかるように、試料粘度が高まるにしたがい〔最大粘度-最小粘度〕、標準偏差は大きくなり、その勾配は両対数紙で約1.4であった。

図-2の縦軸の値をそれぞれの試料の平均粘度で割ったものについて図-3に示した。図-3からわかるように、変動係数は60°C粘度の高い試料ほど大きくなり、試料の60°C粘度値に対して一定とならない様子がわかる。またこの事は〔最大粘度-最小粘度〕/平均粘度についても同様であった。

また図-2の両近似式から、このデータの範囲内においては概略

$$[\text{最大粘度}-\text{最小粘度}] \approx 3.2 \times \text{標準偏差}$$

の関係があった。

#### (2-3) アスファルトの種類による粘度計間の変動係数

(2-2)で述べた結果の理由を探るために再度表-3を凝視すると、試料1~3のストレートアスファルトおよび試料8のPDAのように、ニュートン流体性の強いアスファルトであるストレートアスファルト(PDAも含む)系では、粘度値に関係なく(ただし本実験では約45,000P以下で)変動係数は1.5~2.0%と小さく一定している。

これに対してセミブローンアスファルト系では変動係数が2%以上と高く、粘度値が高いほど変動係数は高くなる傾向にある。しかしこの傾向は一定したもの

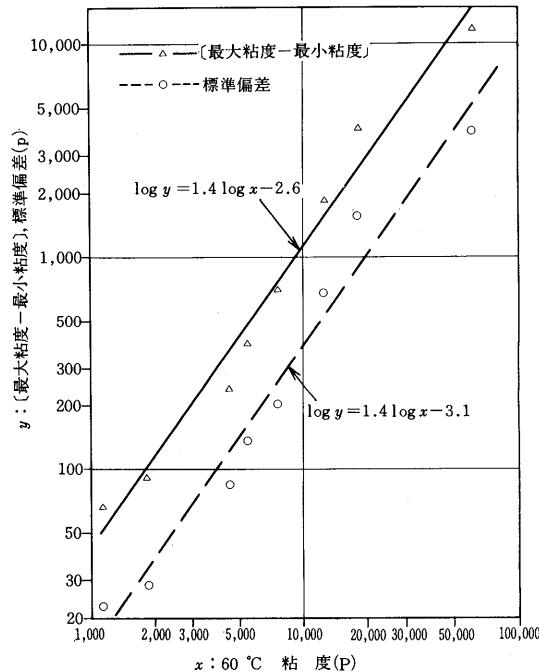


図-2 試料粘度と粘度計間の〔最大粘度-最小粘度〕および標準偏差の関係(異なる粘度計使用の場合)

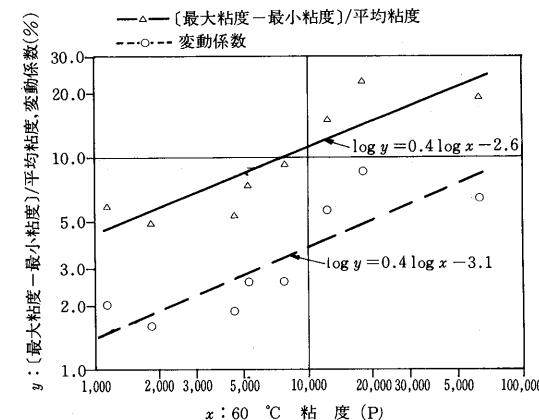


図-3 試料粘度と粘度計間の〔最大粘度-最小粘度〕/平均粘度および変動係数の関係(異なる粘度計使用の場合)

ではなく、表-3、図-3からわかるように試料7と9を比べると粘度の低い試料7のほうが変動係数の高い場合もある。また、表-3にはのせなかつたが、約14,000P程度の数度値をもつセミブローンアスファルトでも測定試料の種類によって変動係数が異なり、2.0%程度の場合もあった。

このように、セミブローンアスファルトでは変動係数と粘度値の間に傾向的な相関性はあっても、あまり

定量的関係はみられなかった。そこで、変動係数と試料の非ニュートン性の相関関係について検討してみたが良い関係は見いだせなかった。すなわち、粘度計の全バルブ(B~F)で粘度測定を行うことにより、各種せん断速度における粘度値が求まることから、 $\log$ (せん断速度)と $\log$ (粘度)の関係(図-4)を一次近似式にまとめ、その勾配と変動係数の関係をそれぞれの試料についてプロットしてみたが、セミブローンアスファルト系ではバラツキが大きく、両者の間に相関関係があるとは言えなかった。

これらの事からここで述べている測定方式による変動係数と密接な相関性のある因子を見いだすことはできなかったが、定性的にはブローン度が高いほど変動係数が大きくなるようであり、したがって同一60°C粘度のセミブローンアスファルトでも出発原料の違いによりブローン度が異なると、それに応じて変動係数も変るようである。この事は逆にいえば、同一出発原料をブローンして順次60°C粘度の高いセミブローンアスファルトを作った場合には、60°C粘度が高いほど変動係数は大となる可能性がある。

#### (2-4) 各試料のせん断速度と粘度の関係

今回の粘度測定では、各試料とも粘度計の全バルブで測定したため、せん断速度と粘度の関係を得ることができたのでその結果を図-4に示した。

図-4からわかるように、ニュートン流体性の強いストレートアスファルト系(PDAを含む)はせん断速度による粘度変化は小さく、セミブローン系はそれより大きいことがわかる。

また、本来は一定のせん断速度の値における粘度値をもって粘度を定義すべきであるが、実際は図-4か

らわかるように広範囲の粘度のアスファルトについて共通の一定したせん断速度を定めると、測定せん断速度域外の領域まで外挿して粘度値を求めるという危険なケースも出てくること、毎回全バルブで測定することは測定時間が長くかかること、図-4からわかるようにせん断速度による粘度変化はこの程度のアスファルトではあまり大きくなないことなどの点から、一応ASTM法で規定している60秒を越えたバルブの値で定義する方法で十分と考える。

なお、1本の粘度計の各バルブについて測定し、その平均をもって粘度値とする方法は、単にそれぞれのせん断速度範囲における粘度値の平均値を出しているにすぎず、測定値の信頼限界の幅を狭めていることはあまりならないので適切でないと考える。

#### (2-5) 本方式による60°C粘度測定値の信頼限界

(2-3)で詳しく述べたように、本方式による測定ではストレートアスファルト系とセミブローンアスファルト系では変動係数が異なり、しかも同一60°C粘度でもブローン度の違いによって変動係数が異なる。したがって、いわゆる一般的な意味での「測定誤差」を一義的に決めるることはできないようである。そこで、以下に一つのモデルケースについて示した。

60°C粘度測定の意義はまえがきでも述べたように、わだち掘れとの相関性の良さを考慮して測定するものである。したがって、ここでは従来から使用されている舗装用アスファルトから重交通道路舗装用アスファルト( $60^{\circ}\text{C}$ 粘度= $14,000 \pm 4,000 \text{ P}$ )程度のものまでを対象に考えることにする。

まず従来から使用されている舗装用アスファルトはストレートアスファルトであり、針入度は40~100のものである。こういったアスファルトの $60^{\circ}\text{C}$ 粘度は約1,000~4,000P程度<sup>2)</sup>であり、この範囲のアスファルトを製造するためにはあまりブローン操作を加える必要性はない、したがって、性状もニュートン流体性の強い性質をもつものといえる。したがって、この範囲のアスファルトの測定における変動係数は前述したように2%程度におさまりそうである。

次に $60^{\circ}\text{C}$ 粘度が、 $14,000 \text{ P}$ 程度(針入度は40以上で)となると、ストレートあるいはPDA方式で製造することは困難であり、セミブローン方式とならざるを得ない

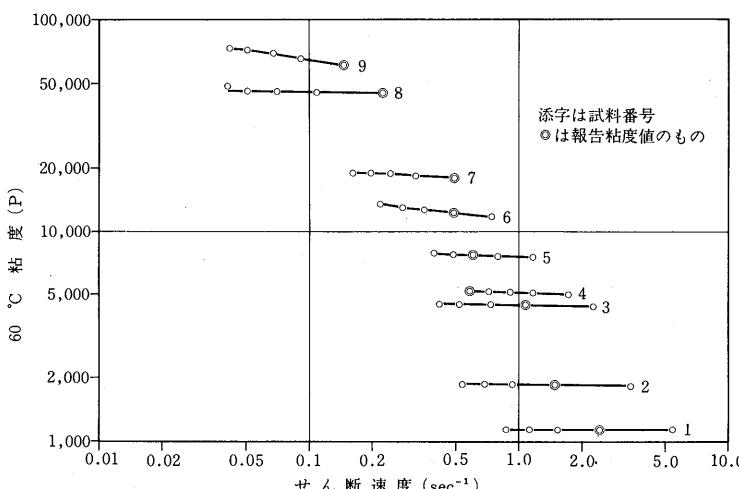


図-4 各試料のせん断速度と粘度の関係(異なる粘度計使用の場合)

が、その場合にはブローン度の違いによって変動係数は異なる可能性が強く、一義的には数値を決め難い。しかし当所のデータでは最大のケースが試料7の8.55%であり、大体5~6%のケースが多いことから、現時点では8.6%をとっておけば安全であると考える。

両アスファルトの中間的なものとして60°C粘度が8,000P程度のものは予想しがたいが、14,000Pの場合から類推して変動係数は5%以下と考えられる。

そこで以上を一つのモデルケースとして、表-4に各粘度値における信頼限界を示すとともに、逆に±10%の信頼限界を有する粘度値を得るために必要な測定本数を示した。

この結果、60°C粘度が4,000P以下のいわゆる従来からの舗装用ストレートアスファルトについては粘度計1本の測定で10%以内の信頼限界をもつ粘度値が得られ、8,000P程度では10%の信頼限界を得るためにには2本の粘度計による測定が必要であり、14,000P程度では4本の粘度計による平均値を出す必要があるといえる。

なお、以上の結果はあくまでも当所における粘度計10本に試料をあらかじめ取りおき順次測定したデータをもとにした標準偏差を基準に考察したものであり、一般論として広くいえるものではなく、あくまでもこういった簡便法で行った場合の一試験機関における一例である。

(2-6) ASTM法に記載されている繰り返し精度との比較  
ASTM法では繰り返し性許容差は平均値に対して7%以内となっている。ただしここでいう繰り返し性許容差とは、同一測定者が同一の粘度計を用いて測定した場合のいわゆる正規の意味での繰り返し精度である。

ここでは初めからお断わりしているように、実際的な見地から同一測定者が複数の粘度計にあらかじめ試料を取りおき順次1回ずつ測定し、その際使用した粘度計の数をもって繰り返し数に相当すると仮定した場合について検討しているわけで、ASTM法の繰り返しとは異なる意味をもっている。

しかし、ASTM法の繰り返し性許容差7%という意味は、10回測定時の繰り返し性変動係数としては2.2%( $=7/\sqrt{2}t(9, 0.05)$ )に相当し、この値は(2-3)およ

表-4 一モデルケースにおける粘度値の信頼限界(異なる粘度計使用の場合)

モ デ ル	粘度計1本による測定値の信頼限界 <sup>*3)</sup> (%)	信頼限界が±10%となるために必要な粘度計の測定本数 <sup>*3)</sup> (本)
60°C粘度 <sup>*1)</sup> (P)	変動係数 <sup>*2)</sup> (%)	
1,000~4,000 <sup>*4)</sup>	2.0	± 4.5
8,000程度 <sup>*5)</sup>	5.0	±11.3
14,000程度 <sup>*5)</sup>	8.0	±19.5

備考 \* 1) 25°C針入度はすべての場合40~100とする。

\* 2) 変動係数は粘度計10本で1回ずつ測定したもの。

\* 3) 危険率5%, \* 2) の変動係数を使用、測定回数は各1回。試料はあらかじめ粘度計に取りおき、放冷後に測定。

\* 4) ストレートアスファルト系。

\* 5) セミブローンアスファルト系。

び(2-5)で述べた本検討結果から、いわゆるストレートアスファルト系(PDAを含む)については満足できるが、セミブローンアスファルト系の測定ではこの値を満足させることは困難と思われる。

## 6.5 異なる粘度計でASTM法どおり厳密に測定した場合の精度

6.4で示したように、異なる粘度計に試料を取りおき、粘度計を順次恒温そうに入れ1.5~2時間置いたのち60°C粘度を測定した場合の変動係数は、セミブローンアスファルト系試料では6.3で述べた同一粘度計を用いASTM法どおり厳密に測定したいわゆる繰り返し測定時の変動係数と比べかなり大きくなかった。

そこでここでは念のため、試料6を使用して異なる10本の粘度計を用いASTM法どおり厳密に測定してみた。

### (1) 試験方法

すべての測定において試料の熱履歴は145°C×30分の同一条件とし、粘度計の予熱温度は145°C、試料注入後の放冷時間は4分間とし、その後直ちに60°C恒温そうに入れ、正確に30分後に測定を開始する方法とした。

### (2) 試験結果

結果を表-5に示す。

この結果、試料6のセミブローンアスファルトを10本の異なる粘度計で測定した場合に、測定方法を厳密に守ることができれば、変動係数は1.25%と十分小さくなり、この値は繰り返し性許容差として平均値の4.0%に相当し、これはASTM法に記されている繰り返し性許容差(対平均値)7%以内の条件を十分満足するものであった。

また、この場合の変動係数1.25%は6.3で述べた同一粘度計を使用してASTM法どおり厳密に繰り返し測定した場合の変動係数1.46%とほぼ同程度であった。

表-5 異なる粘度計でASTM法どおり厳密に測定した場合の粘度測定結果

試 料		6
粘 度 計 番 号	No.4 0 0 - 1	11,320
	2	11,410
	3	11,380
	4	11,400
	5	11,320
	6	11,740
	7	11,440
	8	11,430
	9	11,550
	10	11,670
平 均 粘 度		11,466
標 準 偏 差		143
変 動 係 数 (%)		1.25
最 大 粘 度		11,740
最 小 粘 度		11,320
(最 大 粘 度 - 最 小 粘 度)		420
(最大粘度 - 最小粘度) / 平均粘度 (%)		3.66
繰り返し性許容差(対平均値) (%)		4.00
1回測定の信頼限界 (%)		2.83
2 " " (対平均値) (%)		2.00
10 " " ( " ) (%)		0.89

備考：粘度の単位は（P）

## 6.6 粘度計に試料を注入後の放冷時間の影響

6.4と6.5で示したように、同一試料6を用い異なる粘度計10本で測定しても、測定方法の差によって変動係数は大きく異なった。

そこでここでは試料6を用い、粘度計に試料を注入後60°C恒温そうにセットするまでの間の放冷時間の差による影響を検討した。

### (1) 試験方法

サイズナンバー400番の粘度計を5本ずつの2組に分け、6.5の試験方法に準拠し、放冷時間のみ一方の5本の粘度計では4分間とし、他方の5本の粘度計では80分間とした。そして各組の粘度計について各1本ずつを同時に粘度測定した。

### (2) 試験結果

結果を表-6に示す。

表-6からわかるように、粘度計への試料注入後放冷時間が異なると、60°C粘度値の異なる場合のあることがわかった。

なお、放冷時間が一定の条件の中では表-6からわ

表-6 異なる粘度計における試料注入後放冷時間の検討結果（試料6）

試料注入後放冷時間*1	3 分 間	80 分 間	前2者デー タの総計
測 定 番 号	1	11,270(6)	12,280(3)
	2	11,180(7)	12,150(2)
	3	11,160(8)	11,880(1)
	4	11,460(9)	12,330(4)
	5	11,940(10)	11,700(5)
平 均 粘 度	11,402	12,068	11,734
標 準 偏 差	323	272	450
変 動 係 数 (%)	2.82	2.25	3.83
最 大 粘 度	11,940	12,330	12,330
最 小 粘 度	11,160	11,700	11,160
〔最大粘度-最小粘度〕	780	630	1,170
〔最大粘度-最小粘度〕 / 平均粘度 (%)	6.84	5.22	9.97

備考 \*1 : 粘度計に試料を注入後、60°C恒温そうに粘度計をセットするまで、室温で放置した時間。

\*2 : ( )内はサイズナンバー400番の粘度計番号。  
粘度の単位は（P）。

かるように変動係数は比較的小さく、両者を一括して扱うとその他の手順は全く同じでも変動係数は大きくなることがわかる。

6.5および6.6の検討結果から、粘度計へ試料を注入した後60°C恒温そうへセットするまでの放冷時間の変動は、測定精度に大きく影響する場合のあることがわかった。

## 6.7 測定精度を高めるための方策

以上の検討結果およびその他の検討結果から次のことがいえる。

### (1) 温度制御性

測定温度制御範囲を狭めることは効果があるとともに、逆に制御性の悪い場合には大きな悪影響を及ぼすことがいえる。

すなわち、今回の場合制御幅が±0.05°Cであったため粘度値に対して1.4%の誤差に相当したが、これを±0.01°Cとすれば0.28%と小さくなり、逆に±0.1°Cの場合は2.8%，さらに±1.0°Cでは温度変動だけのために約32%の誤差を生ずる可能性がある。

### (2) 粘度計に試料を注入した後の放冷時間

これまで述べたように、特にセミプローンアスファルト系では大きく精度に影響を与える場合もあることから、厳密に一定時間に保つほど精度は向上すると考

えられる。

### (3) 粘度計の清浄法

粘度計の清浄法については、塩素系有機溶剤で十分のようであり、重クロム酸カリウム混液による洗浄を行っても粘度計自身は非常に透明性を増したが、特に変動係数は小さくならなかった。

### (4) その他

セミブローンアスファルト系の高粘度アスファルトを対象に考えた場合、影響の程度が不明の因子がまだ残っていると考えられるため、試験の各工程における温度、時間に関しては厳密に一定に保つことおよび繰り返し測定においては試料の熱履歴を一定にすることなどが必要であると考えられる。

## 7. 結論

60°C粘度が60,000P程度までのアスファルトを試料とし、減圧毛管式粘度計でASTM法どおりならびに若干簡便化した方法による60°C粘度の測定を行った場合の測定精度について述べた。

この結果、ストレートアスファルト系(PDAを含む)では粘度計への試料取りおきを行っても、ASTM法に記された精度内に収まるようである。

一方重交通道路舗装用のセミブローンアスファルトの場合は、同一粘度計あるいは異なる粘度計を用いても厳密にASTM法に従って測定すれば、ASTM法の精度内に収まった。一方、異なる粘度計にあらかじめ試料を採取しておき順次60°C粘度を測定した場合の変動係数は大きくなりASTM法の精度内にはおさまらず、またその変動係数はブローン度が高いほど大きくなる傾向にあった。

そしてこの原因としては、試料を粘度計へ採取してか

ら60°C恒温そうへそう入するまでの時間が一定しない場合には、それぞれの場合の粘度値が若干異なってくることによるものと考えられる。

これらの点から、特にセミブローンアスファルトを測定する場合は、試験法における温度、時間について定められた条件を厳密に遵守する必要があると考える。

## 8. あとがき

ASTM法に記されている繰り返し性許容差(対平均値)7%は、ストレートアスファルトの測定においてはほとんど問題はないが、60°C粘度の高いセミブローンアスファルトを測定する場合には厳しい値であり、厳密に試験法どおり行わないと精度が悪くなるようである。また一口にセミブローンアスファルトとはいっても、試料の種類によってかなり測定精度に影響を与える場合がみられた。<sup>5),6)</sup>

既報において、AIタイプとは異なった粘度計による減圧毛管式粘度計の測定精度で、繰り返し性許容差(対平均値)<sup>5)</sup>は5.5%、<sup>6)</sup>5%との報告もあるが、いずれも60°C粘度は3,000P程度以下のアスファルトが検討の主体であり、高60°C粘度のセミブローンアスファルトについては今後さらに多種類の試料による測定精度の確認が必要であると考える。

## 9. 引用文献

- (1) 林 誠之; アスファルト, 20, No.110, 33(1977)
- (2) 林 誠之; 同 誌, 20, No.112, 5 (1977)
- (3) 林 誠之; 同 誌, 19, No.107, 15(1976)
- (4) 関根幸生; 同 誌, 20, No.110, 2 (1977)
- (5) J.J.Heithaus; ASTM STP, No.309, 63(1961)
- (6) J.M.Griffith, V.P.Puzinauskas; ibid, No.328, 20(1962)

## -----アスファルト舗装技術研究グループの発足について-----

### 研究課題の例

- ①わだち崩れ…混合物の流動・舗装体の沈下
- ②クラック…材料的問題・舗装の設計条件
- ③オーバーレイ…破壊の判定(クラック, わだち)・厚さの設計・材料
- ④橋面舗装と特殊材料
- ⑤骨材粒度…すべり抵抗・わだち・すりへり・飛散
- ⑥軟弱地盤対策
- ⑦維持修繕のシステム化
- ⑧AASHOの道路試験の再検討及びその後の研究
- ⑨交通量のとらえ方再検討
- ⑩わが国の舗装の今後の方向づけ

その後は、未解決の問題について研究をすすめる。

## アスファルトを原料とする活性炭の製造(1)

工 藤 一 至\*

### 1. 緒 言

アスファルトは、今までその大部分が舗装、ルーフィング、防水用など、土木・建築用材料として利用され、工業的な分野における利用率は極めて低いものであった<sup>1)</sup>。そして、石油コクス、炭素繊維、活性炭に代表されるような炭素材料の製造を目的とする工業原料として見直され、研究開発が行なわれるようになったのは比較的最近のことである<sup>2)</sup>。

そこで著者は、このように衆目を集めているアスファルトの新しい工業的利用法の中でも、公害防止材としてのみならず歴史的に広範な用途を有する活性炭の製造について、これまで折りに触れ知見したところを記し、参考に供したい。なお、本稿は2回にわたるシリーズであるから、前編では活性炭の製造全般について概説し、後編では著者らが手掛けた石油系活性炭の製造法について、文献に見られる方法との比較を交えながらや詳しく述べることにする。

### 2. その歴史——木炭から活性炭まで——

燃料あるいは冶金以外の目的に炭素を用いた例は、遙かに遠い昔、紀元前16世紀にまでもさかのばる。その頃は、医者が医療を目的に木炭を用いたと伝えられているから、今日でいう活性炭そのものではなかったことになる。偶然にも発見した木炭のもつ吸着作用を利用していったものと思われる。当時、木炭は船の飲料水を保存するためにも使われた。やがて骨炭が現われ、食品類の脱色、精製などに応用され、製造方法もしだいに今日の姿に移り変って行った。

しかしながら、真に今日の市販活性炭発達の布石となつたとされているものは、1900年および1901年、Qstreich<sup>3)</sup> が取得した製造特許であった。

その1つは、植物質原料と金属酸化物を混合し、これを適当な温度で炭化する方法であり、今1つは、木炭を二酸化炭素中で赤熱する方法である。それぞれ後述する薬品賦活法およびガス賦活法そのものであった。

1915年の第1次世界大戦の勃発により、毒ガス防禦用活性炭の開発が相戦う双方で急がれ、活性炭工業は活況

を呈した。そして、その用途は、防毒マスク用のみにとどまらず、鉱物油や植物油の精製、砂糖の精製、グリセリンなど化学薬品類の精製へと俄かに拡大され、今日知られている活性炭の用途のほとんどがこの時期に出し尽されたと云っても過言ではない。

しかしながら、このようにドイツ、イギリスを中心とするヨーロッパの大陸で華々しい開花期を迎えた活性炭工業も、第2次大戦の後は、その様相を一変した。すなわち、その生産量においても、製造、応用、再生などの新しい技術面においても、戦後の舞台はいやが上にも戦禍に荒廃したヨーロッパから、海を越えてアメリカに移動した。

戦後は、生活環境保全を目的として上水処理、空気浄化への活性炭の利用、たばこフィルタなど新しい用途が登場した。原料の面では、大量に生産し、大量に供給する意図から、石炭、石油系原料への進出があった。製造装置も、従来用いられてきたレトルト形式のものや回転釜形式のものに加えて、流動層形式あるいは多段移動層形式のものが現われ、ガス賦活法が隆盛を迎える一方で、薬品賦活法の漸次衰退が見られた。

さらに、工場廃水・都市下水の2次・3次処理への活性炭処理プロセスの適用、使用済み廃活性炭の再生技術の開発と改良など、アメリカを中心とする吸着技術並びに製造と再生の技術が蓄積され今日に至っている。

我が国における活性炭工業は、当初、外国産骨炭および活性炭の輸入に端を発し、模倣の時代を経て独自の技術確立へと進んだ。この歳月の間、製造会社が群雄割拠し、ときに相互に離合集散を繰り返して来た歴史のあることも忘れない。

今また、活性炭業界は、ブームの峠を一つ越えつつあるように思われる。今回のブームの契機は、戦後の高度経済成長に伴う産業公害の台頭であった。廃煙脱硫への利用、汚濁廃水浄化への利用など、すべてが環境汚染防除のためであった。その結果、数ある公害防止方法のなかから活性炭を用いた吸着操作の優位性が認められ、斯界に拍車をかけた。その特徴は、大会社、大資本の進出であり、原料および資本構造が複雑・多様化し、しかも国際化の感を呈したことであった。

活性炭の応用は、人類の福祉と自然環境の保護・保全

\* 丸善石油研究所

に向かっているが、活性炭を水処理に応用するとき、省資源の目的以外に、吸着プロセスの経済性を高めるために使用済み廃活性炭の再生が必要になる。そこで、吸着能の回復が良好で、かつ強度の劣化が少なく再生し易い活性炭の製造方法の検討も行なわれている。

木質原料から、石炭・石油などのような大量に、かつ普遍的に入手できる原料への転換、ヤシ殻など天然原料による活性炭の原料产地における生産など、時流に呼応した動きも活性炭の歴史に新たな一頁となるであろう。

### 3. 活性炭の原料

W. Herbert<sup>4)</sup>は、著書「活性炭」の中で、「活性炭原料としてかつて提案されなかったような価値の低い有機物はおよそ有り得ない」と述べている。確かにその通りだと思う。ちなみに思いつくままにまとめてみると表-1のようになる。

動・植物質原料、石炭・石油等の鉱物質原料に始まり廃プラスチック、廃タイヤなど、各種工業製品の廃材の活用に至るまで、その実用性を考慮してもなお相当に広範囲の物質から活性炭は製造することができる。

- しかしながら、活性炭原料として最も基礎的な条件は、
- (1)大量入手が可能で、しかも安価であること
- (2)比較的普遍的に存在し、安定した需給確保が見込まれること。

などであろう。このような条件に見合ったものとすれば、古くから良質なことで知られるヤシ殻炭は、今日の大量需要には経済的にとってい応じきれるものではない。とすれば、数えるに枚挙のいとまがないほどの活性炭原料ではあるが、実際に工業ベースにのってくるものは自ずと限定されることは想像に難くないであろう。

まず取りあげられたものは、亜炭・褐炭・無煙炭であった。今日、石炭の種類は、これに瀝青炭も加わるようになった。すなわち、瀝青炭は、加熱処理の過程で、その化学的性質から必ず熱的に軟化溶融する。それはアスファルトが熱的に溶融するのにも似て取り扱いが困難を極め、その解決に多くの労作を必要としたからであった。

そして、石油系原料、特にアスファルトが最後に注目されることになったのは、活性炭がこれまでに社会に要求されるとは考えられなかった社会的・経済的背景

表-1 活性炭の製造原料

植物系	やし殻、 木材、 木炭、 鋸屑、 樹皮、 素灰、	穀殼、 クルミ殼、 綿実の殼、 コーヒー豆、 海藻、	とうもろこしの茎や芯、 甘蔗の絞り粕、 白菜の絞り粕、 ブドウの絞り粕、 廃糖蜜、	アルコール工場廃液 パルプ工場廃液 リグニン 厨芥、糞尿汚泥
	獸血、 獸骨、 魚腸骨、			皮革工場廃物
鉱・工業系	石炭—泥炭、 アスファルト、 石油コークス、 油母頁岩、 天然ガス、	硫酸スラッジ、 オイルカーボン、 グラファイト、	煙道煤、油煙、 ピッチ、	廃ゴム、タイヤ、 廃プラスチック、

とは別に、アスファルトの熱的性質が余りにも大きな原因であった。

後で詳しく述べるが、アスファルトは、まずははじめに何としても破碎した石炭やヤシ殻のような熱的に安定で、加熱時の形状変化が少ない固体原料に加工しなければならず、この技術段階を突破するまでに相当な歳月が費されてきた。

アスファルトの灰分含有率が低いことは、石炭と著しく異なるところであり、長所の一つである。石炭を原料とする場合は、低灰分炭を選択するとか、選炭その他の方法で脱灰するなどの方法が採られるけれども、アスファルトの場合その必要はない。高硫黄原油から出発したアスファルトを原料とした場合であっても、硫黄は熱処理過程で除かれ、石炭中の灰分のような負担にはならない。アスファルトは、このように低灰分活性炭の大量生産を可能にする点に将来とも活路を見いだすに違いない。

### 4. 活性炭の分類

活性炭を一口に分類すると云っても、その方法は多岐にわたる。前節で述べた出発原料による分類もその一つであるが、(1)形状による分類、(2)賦活方法による分類、(3)使用目的・方法による分類などはよく行なわれる方法である。

#### 4.1. 形状による分類

活性炭粒子の大きさ、製造方法によって呼称のし方もさまざまであるが、およそ次のように理解される。

- |     |                  |        |              |
|-----|------------------|--------|--------------|
| 活性炭 | 1. 粉状(末)炭        | 2. 粒状炭 | 3. その他一糸状、布状 |
|     | 破碎炭              |        |              |
|     | 成形炭—柱状、球状、中空球状など |        |              |

しかしながら、これで完全に云い尽されている訳では

表-2 工業化におけるガス賦活法と薬品賦活法の差異

賦活法	ガス賦活法	薬品賦活法
賦活剤	水蒸気、二酸化炭素、空気などの酸化性ガス	塩化亜鉛、りん酸など各種脱水性無機薬品
賦活温度	750~1000°C	750°C以下
装置工学的スケールアップ	比較的容易	問題点多い
材料腐食	小	大
公害問題	小	大
経済性(生産性)	問題点少ない	問題点多い
原 料	炭素質材料の未炭化物および炭化物	木質系未炭化物
性 状	純度高い	脱色力大、純度劣る 賦活薬品含有

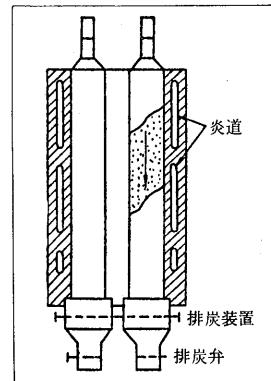


図-1 外熱型直立炉

決してない。粉状炭と粒状炭の間の区別も、何ミリ（何メッシュ）以上とか以下というような明確なものではない。見掛け上、破碎炭であっても製造過程では一旦成形した後に適当なサイズに砂碎する場合もあるであろう。これは、粒状活性炭に必須の条件とされる機械的強度をもたせるための考え方の現われである。「成形」という二文字には、粉末原料の有効利用という意味のほかに、高強度活性炭の製造という意味合も含まれているのである。

成形炭は、作り方に二種類ある。一つは、文字通り、原料を成形するための成形機（造粒機）を用いる場合であり、今一つは、成形機を用いない（というよりも必要としないといった方が当っている）場合であるが、詳しくは後編でのべる。ただ後者の場合は成形機を用いないために不整形の活性炭が得られるが、使用上の問題はない。

#### 4.2. 賦活方法による分類

活性炭の製造は、従来、この賦活方法に多くの努力がはらわれ、文献・特許の数も無数といってよいほどであるが、薬品賦活法とガス賦活法に大別される。

##### (1) 薬品賦活法

出発原料またはその炭化物を薬品で化学的に処理する賦活方法の総称であり、脱水性の塩類あるいは酸、例えば、塩化マグネシウム、塩化亜鉛、磷酸、硫酸などが使われる。ことに塩化亜鉛は、塩化亜鉛賦活法と呼ばれるほど賞用されてきたが、薬品賦活法は既に往時の勢いがないことは前述した通りである。

##### (2) ガス賦活法

今日、アメリカをはじめ世界中いたるところで最も汎用されている賦活方法であり、活性炭製造の主流を成している。水蒸気、二酸化炭素、空気またはこれらの混合ガス、換言すれば酸化性のガスによるおよそ700~1000

°Cの範囲における高温ガス化反応である。賦活反応によって現われる吸着力は、賦活ガスの性質と濃度、反応温度と時間、原料組成などによって微妙な違いを見せる。また、賦活に先立つ出発原料の色々な前処理のし方によっても製品活性炭の性能は変ってくる。活性炭造りの面白さもこの辺にあるといえる。なお、薬品賦活法とガス賦活法の一般的な違いは、例えれば表-2のように整理できるであろう。

#### (3) 薬品賦活法・ガス賦活法の併用

薬品賦活法による活性炭とガス賦活法による活性炭とでは、細孔構造の発達が異なるといわれ、従って吸着力にも多少の違いが生ずるところから、用途・目的に合せて両方の吸着力を共有させたいときには、これらの賦活方法を併用する場合も考えられる。

#### 4.3. その他の分類

以上のほか、用途面から水処理用（液相用）、ガス吸着用（気相用）、医薬用、触媒用などの分類もある。また、活性炭としての特性のほかに、イオン交換性を有する複合型の多目的活性炭もあり、これなどはどのような分類方法に従うのが適当であろうか。

#### 5. ガス賦活炉の形式

活性炭製造の主流を成す賦活法について、その賦活炉を見てみると、つぎのようにいくつかのタイプに分けることができる。しかしながら、実際の賦活炉は、これらの特性が組み合わされたものであることは明白である。

##### 5.1. 加熱方法による分類

外熱式（図-1）の賦活炉では、反応に必要な熱を炉の外部から供給する間接加熱方式を探る。

内熱式（図-2）の賦活炉では、外熱式の炉とは反対に直接加熱方式によって熱の授受が行なわれる。すなわち、ガス賦活剤のほかに、正確に調節された支燃性ガス（空

気または酸素)を炉に供給し、賦活原料の一部を燃焼させながら必要熱量を獲得する場合、賦活炉内で独立に燃料を燃焼させて加熱する場合および賦活炉とは別に熱ガス発生装置を用意して、高温の燃焼ガスを賦活炉に供給する場合がある。

内外併熱式の賦活炉は、内熱式および外熱式両方の加熱形式を同時に行なうものである(図-3)。

外熱式は、装置材料の問題、炉内の均一な温度分布が得難いなどの理由から、現在ではほとんど見られなくなった。これに対し、内熱式、特に熱源を別途に用意する形式のものが、外熱式の場合の欠点を克服している点で広く採用されている。賦活炉は、熱エネルギー多消費型の装置であるから安価な燃料の入手も装置設計上のポイントであり、炭礦の地下ガス(メタンガス)を熱源に産炭地における流動層炉による活性炭製造試験例は、この加熱方式によるものであった(図-4<sup>5)</sup>)。内外併熱式の賦活炉は目下開発段階にあるといわれる。

## 5.2. 炉の形状による分類

### (1) 固定層(充填層)

ガス賦活法は、固体原料と賦活剤であるガスとの気一固系反応であるから、今やこの方法は行なわれなくなっている。

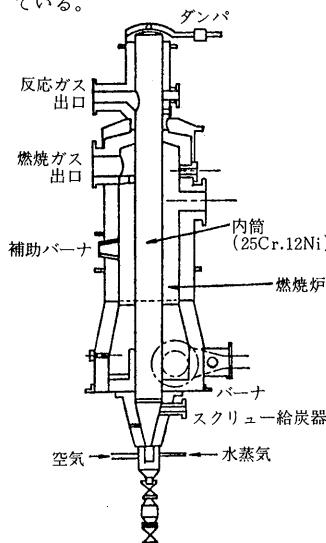


図-3 内外併熱式流動炉

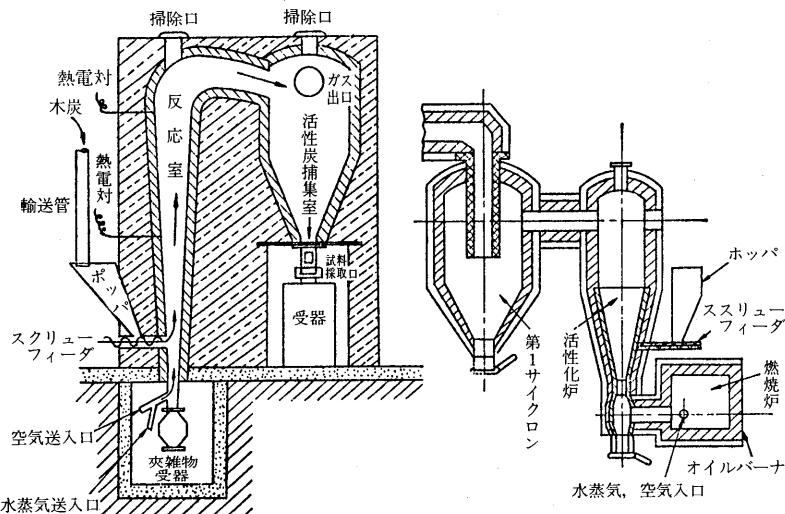


図-2(1) 流動ガス賦活炉(内熱式)

図-2(2) 燃焼炉付設内熱型流動炉

### (2) 流動層および輸送層

固体原料と賦活ガスとの接触効率を高めるためには、固体原料を運動させることが望ましい。流動層は、賦活ガスによって、固体原料を流動浮遊状態に置き、激しく攪拌混合するものである。一方、輸送層では、流動層の場合よりもさらにガス流速が速くなり、固体粒子の終端(末)速度をはるかに越える場合を扱う。いずれの場合も製品は、良質で、かつ生産性・経済性も固定層の場合よりもはるかにすぐれているが、炉の運転管理面に多少技術的熟練を必要とする。

### (3) 移動層および流動移動層

この形式の賦活炉は、ロータリーキルン(図-5)およ

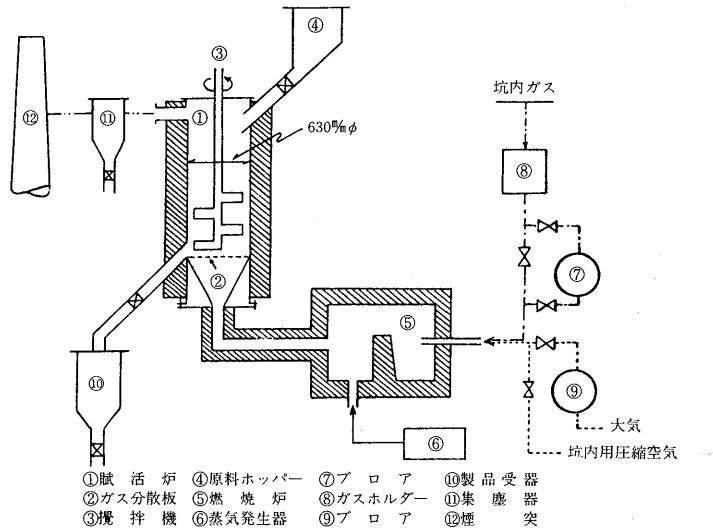


図-4 630φ单段賦活装置

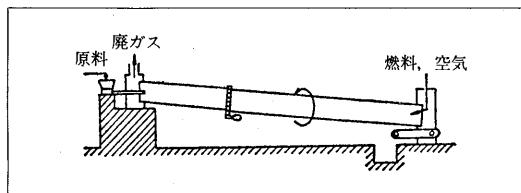


図-5 内熱式ロータリーキルン

び多段床炉（図-6）によって代表される。流动層や輸送層形式の炉では、原料固体の粒子サイズが自ずと規制され、かつ賦活反応過程で激しく摩耗されたりするけれども、この形式の賦活炉では、任意サイズの固体原料を無理なく、横方向あるいは縦方向に移動させ、ガス賦活剤に対する接触面を更新しながら賦活反応の均一化がはかられるという特色がある。

## 6. 製造工程

前節までに述べたことがらで、広範囲な用途を有する活性炭は、原料を粉碎・成形するなど何らかの前処理を行なった後、賦活炉にかけることによって製造されるものだという大筋が明らかになったと思う。そこで、本節では、一連の製造過程を今日の主流をなすガス賦活法の工程を追いながら述べてみたい。

最も基本的な工程図を図-7に示した。賦活後の工程は、製品活性炭の用途・目的あるいは経済性を考慮した上で、適宜、簡単にも複雑にも行なわれる。最も肝心なのは、やはり何といっても、原料入手以後賦活反応終了までの工程である。

粉末炭あるいは破碎炭は、ヤシ殻、亜炭、褐炭など熱的に軟化溶融しない原料から出発する場合は、この工程に従って製造され、炉の形式の選定、炉の運転条件の選択など、細部については各製造メーカーが秘術を尽すところである。

一方、アスファルトのように、製造の過程で熱的に安定な固体原料とすることを絶対的な必要条件とする原料を用いる場合、微粉化してしまった原料の有効利用をはかるために成形する場合、また、より強度の高い活性炭を製造するために、敢えて原料を微粉碎して用いる場合には、成形工程（造粒工程）が加わる。

今日の活性炭は、強度が大きくなくてはならない。充填層で用いるときには、上からの荷重に耐えられなければならぬ（耐圧強度）、移動層・流动層形式の吸着装置内で用いるとか、活性炭を水力輸送するなど、動的な扱いをするときには、激しい摩耗に耐えられなければならない（摩耗強度）。また、使用済み廃炭の高温再生を含め熱的雰囲気下にさらされるときには、熱的亀裂が

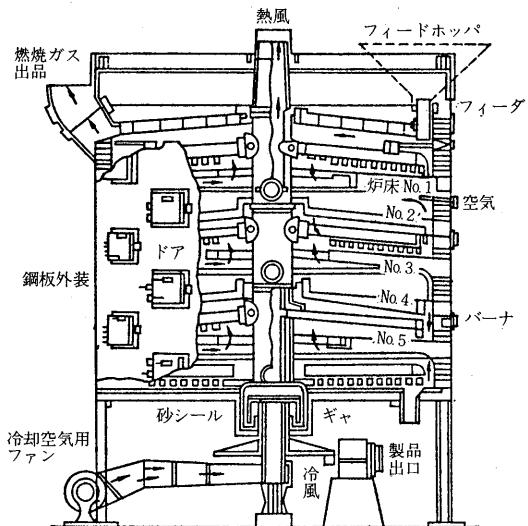


図-6 Herreshoff型多段床炉の概略図

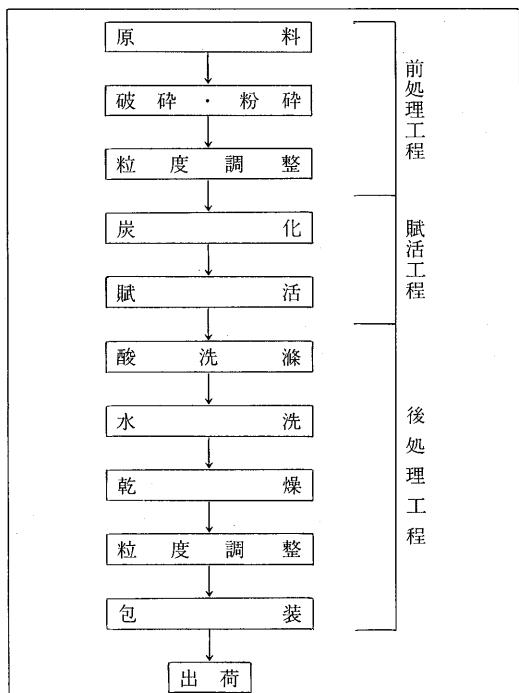


図-7 活性炭の基本製造工程

発生しないこと（耐熱強度）も重視される。すなわち、粒状活性炭は、どんな使い方をするにしても細粒化・粉末化して行く方向でしかその使用は許されないから、化学的にも物理的にも堅牢な活性炭の製造が思考されてきた。言い換えると、活性炭の強度は、活性炭原料が製品となったときに有する強度に頼るのでなく、人為的に

与えるものと考える時期を迎えているように思う。

このような観点に立って、石炭系球形活性炭の製造技術を今日のものとしたのは、通産省工業技術院公害資源研究所の研究<sup>6)</sup>であった。

同研究所の開発した製造工程を図-8に示した。大略、微粉炭の成形(造球)、炭化、水蒸気賦活の三工程から成る。これらの工程は、それぞれが独立に効果を發揮するものではなく、各工程における原料処理条件、処理装置の適否が工程間で相互に作用し合い、全体として所期の効果を発揮するのであるが、その中でも微粉炭(例えば、200meshふるい下65%以上)の造球が全工程中最も重要なことはいうまでもない。詳細は関係の論文・解説をお読みいただくとして、このプロセスの特色をまとめたならば、

(1) 従来、活性炭原料としては不適当とされてきた瀝青炭の自己粘着性を十分に活用して、幅広く石炭を活性炭原料とし、かつ活性炭に求められる吸着能力に応じて石炭の種類を配合使用できる。

(2) 微粉炭の造球は、皿形造球機やドラム形造球機によって行なわれ、粒子サイズは任意に調節できる。従つて、粒子サイズによって賦活炉の形式が左右されることなく、賦活炉選択の自由度が大きい。流動層形式、回転炉形式など、いずれの賦活炉によっても容易に賦活できる。

(3) 製品活性炭は、その形状から転動性に富み、かつ強度も大きく取り扱いが容易である。

(4) 製品活性炭の歩留まりが高く、性状の安定した製品を量産できる。

ということになるであろう。石炭を原料とした成形炭の製造はこのほかにも知られるが、高く評価されるプロセスの一つである。

以上のように、これまで取り扱いが至難とされていた瀝青炭は、活性炭原料として確固たる位置を占めるようになった。それでは、石油系原料、取り分け、アスファルトの場合はどのように処理されているのであろうか。関係の学・協会誌上に報告されたものは、わずかに数報を数えるばかりであるが、次回はそれについてまとめてみたいと思う。

## 7. 結 言

本稿では、一般日用語にまでなった活性炭の歴史より書き始め、活性炭原料に要求される特質、製造装置とプロセスの概要、そして今日特に堅牢さを必要とする活性炭の製造について石炭を用いる場合を述べた。特殊な用途に向けられる活性炭は別として、大量に、安価に、そして安定した供給が確保できる活性炭の製造について、

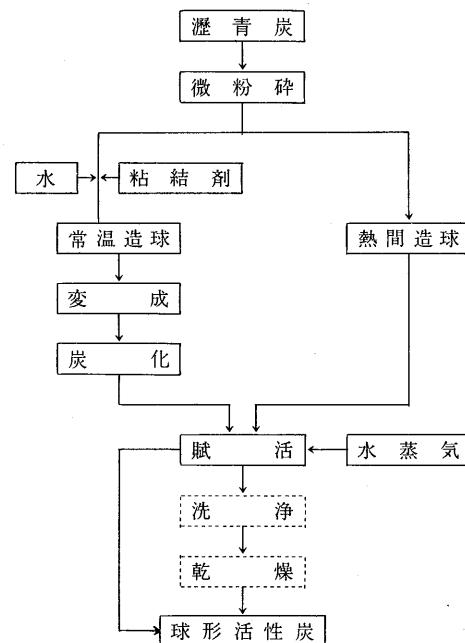


図-8 球形活性炭製造プロセス

きわめて大ざっぱに眺めてきた。次号で述べるアスファルトを原料とする場合を理解する一助ともなればと考えたからであった。

なお、本稿をまとめるに際し、柳井 弘氏の著書「活性炭読本」を参考にさせてもらうところが多かった。ここに謝意を表する。

## 文 献

- 1) 飯島, 燃協誌, 51, 264 (1972)。
- 2) 本田, 炭素材料研究会講習会テキスト, P.12(1974)。
- 3) Ostrejko, R., British Pat. 14224 (1900).  
British Pat. 18040 (1900).  
German Pat. 136792 (1901)。
- 4) 工藤一至訳 (G. Bailleulほか著), 「活性炭」(横川書房) (1970)。
- 5) 工藤, 細田, 本間, 三井, 石橋, 野田, 奈良, 佐々木, 辰元, 小松, 燃協誌, 52, 325~335 (1973)。
- 6) 渡, 加藤, 本田, 化工誌, 36, 387~397 (1972)。

# ENERGY REQUIREMENTS FOR ROADWAY PAVEMENTS

## 道路舗装に必要なエネルギー

THE Asphalt Institute MISC-75-3

道路を舗装するためには、どれほどのエネルギーが必要か——未だどこの国でも、どの研究機関でも、詳細な算出や検討は行なわれていない。

本協会でも、かねてよりアスファルト舗装に必要とするエネルギーを、また経済性の面からも、その検討を行うべく資料の整備に着手しているが、適當かつ正確な資料の入手に悩んでいる。

幸い、ASPHALT INSTITUTE から送られて来た文献のうち、非常に貴重な資料を見出すことが出来たので、急ぎ翻訳し、以下、詳しいデータを発表する次第である。

本文献は、アスファルト舗装、コンクリート舗装など

の工事に必要とするエネルギーが検討されている。

データの積み上げとして、舗装に使われるすべての材料を製造するために必要とするエネルギー、これらの材料の取扱い、処理、乾燥、混合、運搬、敷きならし、締固めなどに必要とするエネルギーを、より詳細に、より正確を期するために、凡ゆる面を考慮して検討が行なわれている。

本文献の詳細をお読みいただく前に、冒頭に典型的な舗装断面、舗装材料に必要とするエネルギー量の比較を掲載する。(試算根拠は本文中に記述)

典型的な舗装断面についての舗装材料の相異によるエネルギー必要量の比較 1 Btu = 0.252kcal

フルデプスアスファルト舗装  $T_A = 9.5 \text{ in} (24\text{cm})$

断面		4" (約10cm) サーフェイス : 4 in, @ 27,800 Btu/yd <sup>2</sup> -in = 111,200 Btu
		5.5" (約14cm) ベース : 5.5 in, @ 27,800 Btu/yd <sup>2</sup> -in = 152,900 Btu
		合 計 264,100 Btu/yd <sup>2</sup> (約79,230Kcal/m <sup>2</sup> )

加熱アスコン10cm + 乳剤安定処理路盤20cm ( $T_A = 9.5 \text{ in} (24\text{cm})$ )

	4" (約10cm) サーフェイス : 4 in, @ 27,800 Btu/yd <sup>2</sup> -in = 111,200 Btu
	8" (約20cm) ベース : 8 in, @ 15,600 Btu/yd <sup>2</sup> -in = 124,800 Btu
	合 計 236,000 Btu/yd <sup>2</sup> (約70,800Kcal/m <sup>2</sup> )

加熱アスコン15cm + 碎石路盤18cm

	6" (約15cm) サーフェイス : 6 in, @ 27,800 Btu/yd <sup>2</sup> -in = 166,800 Btu
	プライムコート : 0.25 gsy = 12,400 Btu
	ベース : 7 in, @ 11,500 Btu/yd <sup>2</sup> -in = 80,500 Btu
	合 計 259,700 Btu/yd <sup>2</sup> (約77,910Kcal/m <sup>2</sup> )

セメントコンクリート舗装20cm(無筋)

	8 in, @ 67,700 Btu/yd <sup>2</sup> -in = 541,600 Btu/yd <sup>2</sup> (約162,480Kcal/m <sup>2</sup> )

連続鉄筋セメントコンクリート舗装20cm

	セメントコンクリート : 8 in, @ 67,700 Btu/yd <sup>2</sup> -in = 541,600 Btu
	横方向鉄筋 : 8 in, @ 2,410 Btu/yd <sup>2</sup> -in = 19,280 Btu
	縦方向鉄筋 : 8 in, @ 23,110 Btu/yd <sup>2</sup> -in = 184,880 Btu
	合 計 745,760 Btu/yd <sup>2</sup>

約745,800 Btu (約223,740Kcal/m<sup>2</sup>)

## はしがき

アメリカ合衆国も含め、ほとんどすべての国において自動車が主要な交通手段となっている。全世界の交通専門家は、ほとんど一様に乗用車、トラックおよびバスが、かなり遠い将来にわたって、人間および貨物の主要な移動、輸送手段となるであろうと考えている。したがって、これらの車輌を走らせるための舗装は社会、すなわち、われわれの生活様式の継続のために必要欠くべからざるものである。

アメリカ合衆国においては、街路、公道などすべての舗装道路の93%以上がアスファルト舗装である。アスファルト舗装は、他の国においても同様に比率が高い。人間および貨物を迅速に、効率良く、かつ経済的に移動せしめようとするならば、すべての道路網の舗装の保守、新設および舗装の機能回復のためにアスファルトを有効に利用しなければならない。アスファルトと同等の強度や融通性があつて道路システムを良好な状態に維持しうるような代替舗装材は発見されていない。

アスファルトは原油から精製される。原油にはエネルギー用に使用しうる多くの成分が含まれてはいるが、アスファルトは伝統的に土木建築材料として考えられ使用されてきた。アスファルトはエネルギーを保有してはいるが、それを燃やしてしまえば、その価値は消滅してしまい土木建築材料としては価値はなくなる。

本研究におけるエネルギー計算に当っては、基本的にアスファルトは土木建築材料であり、それが保有しているエネルギーが消費に向けられることはないと仮定した。したがって、本研究においては、アスファルトは全くエネルギーを持たないという立場をとっている。

本研究においては、異なるタイプの舗装（アスファルト舗装のみでなく）工事のために必要とするエネルギーが検討されている。これには、舗装に使われるすべての材料の製造に要するエネルギー、これらの材料の取扱い、処理、乾燥、混合、運搬、敷きならびに締固めに要するエネルギーおよび、必要な場合には、基本的な作業に対し副次的に必要とされるエネルギーも含まれている。本稿をまとめるにあたっては、いくつかの仮定が必要であったので、できるだけ客観的かつ正確なものにするため、多くの情報源を調査した。

将来、舗装の設計を行なうに当っては、現在、経済的コスト面に関して行なわれているのと同じように技術者達はエネルギー需要を考慮し、それを工事の技術的分析に含めていく必要があると思われる。

The Asphalt Instituteは、本研究がこれらの技術者達に対して工事の質を落すことなく最少のエネルギー必要量で設計を行なう上での一助となれば幸せである。

## 道路舗装のためのエネルギー必要量

いろいろなタイプの道路舗装に対するエネルギー必要量の研究は次のような分類により行なわれる。

1. 基礎舗装材料（アスファルト、ポルトランドセメント、骨材など）
2. 舗装用混合物の製造（アスファルトコンクリート、ポルトランドセメントコンクリートなど）
3. 材料の運搬（ストックパイルも含む）
4. 材料の敷きならしと舗装の仕上げ

完成した舗装に要したエネルギー量を求めるには、これらの項目の各々について分析し、いろいろと組み合せる必要がある。

エネルギーは各項目ごとに英國熱量単位 (Btu<sup>(1)</sup>) で表示してある。1 ポンドの水を温度1°F 上げるに要する熱量を1Btuといい、212°Fで水を蒸気に変えるには970Btuが必要である。ある物質1 ポンドを温度1°F 上昇させるに要するBtu量をその材料の比熱と言う。したがって液体状態の水(212°F以下)の比熱は1である。一般にアスファルトの比熱は0.5と言われている。舗装に使用される石の比熱は約0.2である。

エネルギー必要量を単位項目あるいは作業毎に要する燃料のガロン量で表わしているところもある。これはエネルギーを表示する実際的な方法ではあるが研究の種類によっては、まづ、Btu 単位で求める必要がある。特に異なるエネルギー源を組み合せて使用する場合、材料の製造あるいは作業遂行に消費されたエネルギーを求めるにはこの方法が必要である。本研究では、エネルギーを表示する基本的単位としてBtuを用いる。

基本的なエネルギーの換算値は次のとおりである。

$$1 \text{ kwh} = 3,415 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ hp-hr} = 2,547 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ hp} = 0.7457 \text{ kw}$$

これらの数値は換算表を見れば容易に求めることができる。しかしながら、実際には、これらの換算係数は実際の数値であることはない。すなわち燃料が電力とか動力に変換する際、エネルギーのロスがあるからである。

本研究に使用したいいくつかの例を挙げると

1 kwh の発電には 11,000Btu (2,772kcal)

1 bhp-hr の発電には 0.06gal のガソリン (0.227 ℥)

1 bhp-hr の発電には 0.04gal のディーゼル油 (0.15 ℥)

火力発電の燃料の効率は約31%である。内燃機関での燃料の効率はガソリンエンジンで約34%，ディーゼルエンジンで約46%である。

通常、動力装置は長時間定格パワーいっぱいで運転されることはない。したがって機械あるいは車輌の馬力を生産に結びつける際はマイナスの修正が必要である。

馬力を基礎にしたエネルギー消費を求めるには次のような仮定をおく。

固定した機械：定格パワーの67%で運転。

動力車輛：定格パワーの75%で連続運転。

固定機械には、アスファルト混合所、生コンプレント、コンベヤなどが含まれる。動力車輛には、舗設機械、ローラ類、ローダ類、グレーダ類とその類似機械が含まれる。車輛類に対するパーセンテージが高くなっている理由の一つは、製作作業は間欠的であるのに対し、エンジンは連続運転すると仮定しているためである。

いろいろな作業にはいろいろな種類の燃料が使用される。これら燃料のうち、いくつかを等価Btu値で示すと

ガソリン	125,000Btu/gal(約8,325kcal/ℓ)
ケロシン	135,000 " (約9,000 " )
燃料油No.1 (API 42)	135,000 " (約9,000 " )
燃料油No.2 (API 35) (ディーゼル油)	139,000 " (約9,260 " )
燃料油No.3 (API 28)	143,000 " (約9,500 " )
燃料油No.4 (API 20)	148,000 " (約9,860 " )
燃料油No.5 (API 14)	152,000Btu/gal(約10,100kcal/ℓ)
燃料油No.6 (API 10)	154,000 " (約10,300 " )
天燃ガス	1,000Btu/ft³ (約 9,000kcal/m³)
プロパンガス	91,000Btu/gal(約 6,000kcal/ℓ)
ブタンガス	100,000 " (約 6,600 " )

注書きしたように燃料油No.2はディーゼル油と呼ばれており、また船舶用C重油は燃料油No.6に該当する。

道路建設材料を製造し、必要に応じてそれらを混合、運搬し道路に舗装することに要するエネルギーを求める際には多くのファクターと変数を考えなければならない。したがって舗装に要した消費エネルギーを求めるには途中の各作業や手順工程を分析する必要がある。

## I. 基礎舗装材

### 1. アスファルト

アスファルトは原油から得られる。平均的な原油には約4%のアスファルトが含まれている。原油は加熱して精製工程にかけ軽質油留分を除去する。アスファルトと、他の残渣油は熱交換器によって入ってくる原油を部分的に予熱する。アスファルトが出荷されるようになるまでは、さらに各種の工程、操作、貯蔵などが必要であり、これらにもまたエネルギーが消費される。

アスファルトを精製するために必要な熱量を計算するのに、これこそが正しいという方法はない。アスファルトは精製中に何の変化も受けないのであるからエネルギーの受け渡しはないとする意見もある。また、原油の精製に消費されたエネルギーは比例配分してアスファルトの分として計算すべきだとする意見もある。そしてまた、

精製工程が異なればエネルギー必要量も違ってくる。

各種データによればアスファルト1バーレル(0.159kl)を生産するためには10,000~75,000Btu (2,520~19,000kcal)のエネルギーが必要であり、さらに、その後の加工取扱いに36,500~60,000Btu (9,200~15,120kcal)以上が必要である。

本研究では原油の温度を65°F(約18°C)と仮定する。原油は加熱され、残ったアスファルトは出荷貯蔵タンクにおいて約300°F(約150°C)の温度に保たれる。アスファルトの比熱は0.5、そして効率を80%と仮定すれば42ガロン(159ℓ)を生産するのに必要なエネルギーは約52,500Btu(約13,200kcal)となる。これにその後の加工、取扱いに要する52,500Btu(約13,200kcal)が加わり合計105,000Btu/バーレル(約166,000kcal/kl)となる。

105,000Btu/bbl

@42gal/bbl=2,500Btu/gal(約170kcal/ℓ)

@235gal/米トン=587,500Btu/米トン(約163,200kcal/t)

### 2. アスファルト乳剤

アスファルト乳剤はアスファルトセメントと、ごく少量の乳化剤を含んだ水からなっている。乳剤中のアスファルトの量はグレードと種類によって異なるが通常55~65容積%である。

アスファルト乳剤製造業者協会(AEMA)はアスファルト乳剤1ガロン(約3.78ℓ)をつくるのに0.01~0.03kwhを必要とする述べている。AEMAに加入しているある会社は1ガロンあたり38~189Btu(約9.6~48kcal)を要したと報告している。道路用以外のアスファルトの乳化には、もっと多くのエネルギーが必要である。38Btu(約9.6kcal)の電気エネルギーが必要であり、燃料の電力変換効率を31%と仮定すると、アスファルト乳剤1ガロンの生産には約125Btu(約32kcal)が必要となる。さらに乳剤中のアスファルトを精製するにエネルギーが必要である。水は乳化作業中、乳化のために約190°F(約88°C)に加熱されている。次表は各種アスファルト乳剤1ガロ

表-1 アスファルト乳剤1ガロン製造するのに必要なエネルギー量

単位: Btu(0.25kcal)

アニオン系	カチオン系
RS-1 1,950	CRS-1 2,020
RS-2 2,070	CRS-2 2,100
MS-1 1,950	---
MS-2 2,100	CMS-2 2,100
MS-2h 2,100	CMS-2h 2,100
SS-1 1,980	CSS-1 1,980
SS-1h 1,980	CSS-1h 1,980

ンを製造するのに必要なエネルギー量を示す。米トンあたりの必要熱量は表中の数値に241を掛けるとよい。

### 3. カットバックアスファルト

カットバックアスファルトは種類と等級に応じて20～50%の石油留分(燃料として使用しうるエネルギー材料)を含んでいる。留出油分は液状アスファルトをつくるための熱代用品となるのでエネルギー源とみなしてよい。使用する溶剤中のエネルギーはカットバックアスファルトの種類によって変わる。本研究では、RC カットバック中の溶剤はガソリンと同じ熱量[125,000Btu/gal(約8,300kcal/l)]を有するものと仮定する。MC カットバックについては溶剤はケロシンと同等[139,000Btu/gal(約9,300kcal/l)]とする、SC カットバックでは溶剤はNo 2重油[139,000Btu/gal(約9,300kcal/l)]と同等とする。

カットバックアスファルトを製造するために使用するアスファルトの精製にはアスファルトセメントの場合と同じエネルギー[2,500Btu/gal(約170kcal/l)]が必要である。次表にカットバック 1 ガロンを生産するのに要するエネルギーと、溶剤それ自身の燃料としてのエネルギー量を加えた量を示す。米トン当りの熱量(Btu)を求めるには、そのカットバックアスファルトにたいするガロン当りの熱量(Btu)に表中の、その等級に該当する gal/米トンの係数を掛けあわせればよい。

表一 2 カットバックアスファルト 1 ガロンを製造するに必要なエネルギー量

単位: Btu (0.25kcal)

Grade	Type			gal/米トン
	RC	MC	SC	
-30	---	70,000	---	256
-70	58,800	63,200	72,000	253
-250	46,200	47,000	58,100	249
-800	33,800	36,200	44,200	245
-3000	27,500	29,500	30,300	241

### 4. ポルトランドセメント

本研究においては、ポルトランドセメントの生産に要するエネルギー計算はアメリカ合衆国鉱山局(U. S Bureau of Mines) 提供のデータにしたがっている。ポルトランドセメントを製造するためのエネルギー源としては石炭、石油、天然ガスおよび電力である。

ポルトランドセメントの生産方法には 2 つの基本的な方法がある。それは、湿式法と乾式法として知られている。1971年に於いては、1米トンあたり湿式法で平均799万Btu(約200万kcal)、乾式法で約695万Btu(約175万kcal)

の熱量が必要であった。殆どの工場が湿式法を採用しているのでポルトランドセメント 1 米トン当りの必要熱量は加重平均は約757万Btu(約190万kcal)であった。この中には発電のための燃料効率を31%とした分も含んでいる。

最近のアメリカ鉱山局の統計によると、セメントの製造方法は、はるかに効率がよくなってきてている。乾式法が広く採用されるようになり、この方法の効率が高いのでエネルギー必要量は全国平均で700万Btu/米トン(約190万kcal/米トン)に近い数値となろう。本研究では下記の値を使用する。

7,570,000Btu/米トン

@376lb/bbl=1,420,000Btu/bbl(約250,000kcal/kg)

@94lb/袋=356,000Btu/袋(約90,000kcal/袋)

### 5. セメントコンクリート舗装用鋼材

セメントコンクリート舗装にはダウエルバー類、タイバー類およびスラブの補強等の目的のために鋼材が使用されている。鋼材を生産するために要するエネルギーは、まちまちであるが、最低の平均値として2,100万Btu/米トン(約580万kcal/ton)と考えてよからう。これは、10,500Btu/lb(約58,000kcal/kg) [鋼材の重量0.283lb/inch(約8g/cm)]に当る。セメントコンクリート舗装工事に、最も広く使用されている棒鋼の寸法、重量および 1 フィート当りのBtu量を次表に示す。

表一 3 セメントコンクリート舗装用鋼材

単位: Btu(0.25kcal)

Bar Designation number	Nominal diameter, in.	Unit weight, lb per ft (1.49kg/m)	Btu/ft (0.827kcal/m)
2	0.250	0.167	1,754
3	0.375	0.376	3,948
4	0.500	0.668	7,014
5	0.625	1.043	10,950
6	0.750	1.502	15,770
7	0.875	2.044	21,460
8	1.000	2.670	28,040

### 6. 石灰

全国石灰協会(National Lime Association)によれば、道路安定処理用の石灰の生産には、600万Btu/米トン(約170万kcal/ton)のエネルギーが必要である。

### 7. 碎石

碎石を生産するために要するエネルギーに関するデータは明確なものがない。Inland Empire AGC chapter から得た情報によれば碎石 1 米トン当り、岩石の穴あけと爆破に 11,200 ± 4,200Btu(約2,820 ± 1,060kcal) 他に破碎する

ために $52,100 \pm 17,400$ Btu(約 $13,000 \pm 4,400$ kcal)が必要である。オハイオ州のある筋が碎石1米トン(0.9ton)を生産するための消費する燃料、電力のコスト計算をしているが、それによれば約 $88,500$ Btu／米トン(約 $24,600$ kcal／ton)のエネルギーが必要である。この高い数値は、恐らく生産面に直接関係のないエネルギー消費作業の分も含んでいるに違いない。しかしながら、クレーン類、ブルドーザ類のような移動機械にたいしては、さらに $7,000$ Btu／米トン(約 $1,900$ kcal／ton)(約ディーゼル油 $0.05$ gal(約 $0.19\ell$ ))を見込まねばなるまい。本研究では、碎石生産の妥当な数値として $70,000$ Btu／米トン(約 $19,400$ kcal／ton)を用いる。

## 8. 天然あるいは未破碎骨材

天然あるいは未破碎骨材とは、殆んど面倒なく最低の手数で採取し得る天然の砂、砂利である。天然砂、砂利協会(Natural Sand and Gravel Association)によれば、天然砂および砂利の生産に要するエネルギー必要量について、殆んど情報を持合せていながら、その取扱い、出荷にたいし約 $2$ hp-hr／米トンが必要であると言っている。今、ガソリンで駆動する機械を使用するものと仮定すれば

$$\begin{aligned} & 2 \text{ hp-hr}/\text{米トン} @ 0.06\text{gal}/\text{hp-hr} \\ & @ 125,000 = 15,000 \text{Btu}/\text{米トン}(約4,200kcal/ton) \end{aligned}$$

## 9. 玉碎

砂利のような天然骨材でもクラッシャにかけてオーバーサイズを減らして所用の粒度にしたり、あるいは、規格の要求条件に合致するようにする必要のある骨材もある。このような骨材は、すべての粒子を破碎するわけではないから碎石に要したような多くのエネルギーは必要としない。したがって約 $35,000$ Btu／米トン(約 $9,700$ kcal／ton)(碎石に要した最低必要量 $52,000$ から $17,000$ を差引いたもの)に移動用機械分として $5,000$ Btu／米トン(約 $1,400$ kcal／ton)を加えた合計 $40,000$ Btu／米トン(約 $11,000$ kcal／ton)が玉碎を生産するのに必要とするエネルギー量となる。

## II. 補装用混合物の製造

### 1. 加熱アスファルト混合物プラント

加熱アスファルト混合物プラントにおいては、骨材を山積み状態から取り出す作業から加熱混合物を運搬用のトラックに積み込むまでの各工程においてエネルギーが消費される。これらの工程を心に留めてエネルギー消費を分類すると次のようになる。

#### 1) 骨材の乾燥と加熱

#### 2) その他プラントの全作業

- a. アスファルトの貯蔵
- b. コールドフィード
- c. ドライヤおよび排気装置
- d. 混合プラント

#### 1) 骨材の乾燥と加熱

1ポンドの水を $1^{\circ}\text{F}$ 上げるのに $1$ Btuが必要であり、それを水蒸気に変えるのに $970$ Btu必要である。 $1$ ポンド(約 $450$ g)の骨材を温度 $1^{\circ}\text{F}$ ( $1.8^{\circ}\text{C}$ )上げるのに要する熱量は約 $0.2$ Btu(0.05kcal)である。今、水分 $5\%$ を含んでいる骨材1米トン(0.9ton)を乾燥し、その温度を $70^{\circ}\text{F}$ から $325^{\circ}\text{F}$ に加熱に必要な熱量は、効率 $100\%$ で約 $224,500$ Btu(約 $56,500$ kcal)である。しかしながら、国立アスファルト舗装協会(National Asphalt Paving Association NAPA)の計算によれば、 $5\%$ の水分を含む骨材1米トン(0.9ton)を乾燥、加熱するには約 $260,000$ Btu(約 $65,500$ kcal)が必要である。また、NAPAでは骨材1トンから水分 $1\%$ を除去するには、約 $28,000$ Btu(約 $7,000$ kcal)の熱量が必要であると計算している。

データをまとめると次のとおりである。

- 骨材1トンから水分 $1\%$ を除くためには  
=  $28,000$ Btu(約 $7,000$ kcal)
- 骨材1米トンを温度 $1^{\circ}\text{F}$ 上昇させるには  
=  $470$ Btu(約 $120$ kcal)

バーバーグリーン社発行のアスファルト舗装工事ハンドブックのデータによれば、骨材1トンを加熱乾燥するには燃料 $2.13$ galが必要である。仮りに重油No.2(ディーゼル油)を使用したとすると、その熱量は約 $300,000$ Btu(約 $75,600$ kcal)に相当する。

イリノイからの未発表のデータによれば、混合物1米トンをつくるのに必要な骨材を乾燥するには、 $2.5$ gal( $9.5\ell$ )の燃料が必要である。したがって、骨材1米トン当たりの乾燥および加熱には合計 $365,000$ Btu(約 $8,800$ kcal)の熱量が必要である。

NAPAの数値は順調に稼動しているプラントの作業に基づいたものであり、バーバーグリーン社の数値は推定値と思われる。本研究での計算では、NAPAの数値を使用することにする。

#### 2) 他のプラント全作業

アスファルト混合所では加熱アスファルト混合物がトラックに積み込まれる時点まで、アスファルトは所定の温度で貯蔵しなければならない。このようなすべての作業のためにエネルギーが必要である。アスファルトプラントの製造業者は、これらに関するデータを殆どもっていない。アスファルト混合所の機械の運転には、定格

能力の67%の操業で必要とするエネルギーはhp-hr当り0.06ガロン(0.23ℓ)のガソリンを使用する場合の平均馬力にもとづいて計算している。

#### a. アスファルトの貯蔵

アスファルト混合所で貯蔵する際、アスファルトは骨材と混合されるまで所定の温度で保温していかなければならない。したがって、ここで、いろいろな多くの変数を考慮する必要がある。アスファルトを適正な温度に保つことが必要であるばかりでなくアスファルト混合所のシステム全体で失なわれる熱を補給しなければならない。

驚くべきことに、このエネルギー消費分野でも平均値を推定するに足る情報がないようである。上述したBarber-Greene社便覧には、種々のプラント日産量に対する加熱燃料の必要量を示す表が掲載されている。この表のデータによれば、貯蔵中のアスファルトの加熱に要する熱量は混合物1米トン当たり製造するのに平均8,000Btu(約2000kcal)が必要である。この便覧のデータは、計画用のためのものであって実際の条件に対しては、きわめて大まかなものであるから本研究では、これらの数値を20%減少させた熱量。

即ち加熱混合物 6,400Btu／米トン(約1,780kcal／ton)とする。

#### b. コールドフィード

1時間に約7ガロン(約26ℓ)のガソリンを使用するローダ1台が1時間200米トン(181)tonの割合で山積状態の骨材をコールドビンに供給するとした場合、骨材をコールドビンから取出して骨材ドライヤに輸送するためにエネルギーが必要である。このために必要な馬力は、平均して米トン当たり約0.07hp-hrとなる、コールドフィードおよびローダには次記に示すエネルギーを消費するものと推定される。

7ガロン/hr

$$\begin{aligned} @125,000 \text{Btu/gal}, 200 \text{tph} &= 4,375 \text{Btu/米トン} (\text{約}1,200 \text{kcal/ton}) \\ 0.07 \text{hp} \cdot \text{hr} @0.06 \text{gal}/\text{hp} \cdot \text{hr} \times 0.67 & \\ @125,000 \text{Btu/gal} &= 351 \text{Btu/米トン} (\text{約}98 \text{kcal/ton}) \end{aligned}$$

$$\text{加熱混合物 Btu/米トン} = 4,726 \div 4,730 \text{Btu/米トン} (\text{約}1,300 \text{kcal/ton})$$

#### c. 乾燥機および排気

ドラム乾燥機、燃料ポンプ、プロワ、排気ファン、および集じん機を回転させるモータ駆動用のエネルギーが必要である。第二次集じん機を考慮すれば、乾燥機および排気システム用には平均して米トン当たり0.95hp-hrが必要である。したがって、エネルギー必要量は、おおよそ次のとおりである。

$$\begin{aligned} 0.95 \text{hp} \cdot \text{hr}/\text{米トン} @67\% @0.06 \text{gal}/\text{hp} \cdot \text{hr} @125,000 \text{Btu/gal} & \\ = 4,770 \text{Btu/米トン} (\text{約}1,330 \text{kcal/ton}) & \end{aligned}$$

#### d. 混合プラント

本研究における混合プラントは、ホットエレベータ、スクリーンニグユニット、アスファルトポンプ、鉱物質フィラーフィーダ、パッギミルユニット、吐出しこンプレッサおよびストレージコンペヤからなる。混合プラントに要するエネルギーは次のように推定される。

$$\begin{aligned} 0.78 \text{hp} \cdot \text{hr}/\text{米トン} @67\% @0.06 \text{gal}/\text{hp} \cdot \text{hr} @125,000 \text{Btu/hr} & \\ = 3,920 \text{Btu/米トン} (\text{約}1,090 \text{kcal/ton}) & \end{aligned}$$

#### e. その他のプラントの全作業のまとめ

アスファルトの貯蔵	= 6,400Btu/米トン(約1,780kcal/ton)
ゴールドフィード	= 4,730 " (約1,300kcal/ton)
ドライヤおよび排気	= 4,770 " (約1,330kcal/ton)
混合プラント	= 3,920 " (約1,090kcal/ton)
計	19,820Btu/米トン(約5,500kcal/ton)

## 2. ドラムドライヤアスファルト混合プラント

ドラムミキシングタイプのアスファルトプラントのエネルギー必要量は、前述の「その他のプラントの全作業」から混合プラントの分を除いたものと同じである。アスファルトポンプおよびストレージコンペア(混合プラントの項に述べてある)の作動には米トン当たり約0.13hp-hrのエネルギーが必要である。これら両項目に対し必要なエネルギーは、

$$\begin{aligned} 0.13 \text{hp} \cdot \text{hr}/\text{米トン} @67\% @0.06 \text{gal}/\text{hp} \cdot \text{hr} @125,000 \text{Btu/gal} & \\ = 650 \text{Btu/米トン} (\text{約}180 \text{kcal/ton}) & \end{aligned}$$

したがってドラムミキシングタイプのプラントの操業には混合物1米トン当たりのエネルギー必要量は次のようにまとめられる

アスファルトの貯蔵	= 6,400Btu/米トン(約1,780 cal/ton)
コールドフィード	= 4,730 " (約1,300 " )
ドライヤおよび排気	= 4,770Btu/米トン(約1,330kcal/ton)
アスファルトポンプ、ストレージコンペア	
計	= 650 " (約 180 " )

$$16,550 \text{Btu/米トン} (\text{約}4,600 \text{kcal/ton})$$

## 3. ポルトランドセメントコンクリートプラント

中央プラント方式のポルトランドセメントコンクリートのエネルギー必要量の計算に関する情報は乏しい。本研究では、コンクリートプラントは中央プラント方式とし、プラントは電力で作動し、混合し即施工可能なコンクリートを舗設現場までトラックに積み込み運搬するものとする。プラントへの骨材供給に要する動力は、アスファルトプラントに対するものと同じとする。ローダが骨材1米トン当たり約0.035ガロンのガソリンを、またコンベアが1米トン当たり約0.05hpを消費するものと推定すると

$$\begin{aligned} \text{ローダ: } 0.035 \text{gal}/\text{米トン} @125,000 \text{Btu/gal} & \\ = 4,375 \text{Btu/米トン} (\text{約}1,210 \text{kcal/ton}) & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{コンベア: } & 0.05\text{hp}\cdot\text{hr}/\text{米トン} \times 0.67 @ 2,547\text{Btu}/\text{hp}\cdot\text{hr} \\ & \quad 0.31 \\ & = 275\text{Btu}/\text{米トン} (\text{約 } 80\text{kcal}/\text{ton}) \end{aligned}$$

合 計 4,650Btu/米トン(約1,290kcal/ton)  
バッチプラント一基は合計約195hpのパワーを必要とする、このプラントの生産量は約300yd<sup>3</sup>/hr(約230m<sup>3</sup>/hr)と推定される。電力で作動するプラントのエネルギー必要量は

$$\frac{195\text{hp}\cdot\text{hr} \times 0.67 @ 2,547\text{Btu}/\text{hp}}{300\text{yd}^3/\text{hr} \times 0.31 \text{ eff}} = 3,580\text{Btu}/\text{yd}^3 (\text{約 } 1,180\text{kcal}/\text{m}^3)$$

セメントコンクリートのyd<sup>3</sup>当りの骨材量は多少の変動があるのでポルトランドセメントコンクリートのyd<sup>3</sup>当りの全エネルギー必要量を求めるためには、2回に分けて計算する必要がある。

#### 4. 中央混合式安定処理混合物

中央混合式安定処理混合物を製造するレイアウトとしては、ローダで骨材をコールドビンにチャージし、コールドビンからコンベヤで骨材をパッグミルへ供給する。ここで安定処理材と混合されトラックに積込んで出荷される。ガソリンエンジン駆動のローダは安定処理混合物を製造中、少なくとも米トン当り0.035galの燃料を消費するものと思われる。コンベヤ、パッグミル、その他の必要機器の操作には1カ所の電源を使用するものとすれば、混合物1米トン当り約0.5hpの電力が必要である。したがって

$$\begin{aligned} \text{ローダ: } & 0.035\text{gal}/\text{米トン} @ 125,000\text{Btu/gal} \\ & = 4,375\text{Btu}/\text{米トン} (\text{約 } 1,200\text{kcal}/\text{ton}) \\ \text{プラント: } & 0.5\text{hp}\cdot\text{hr}/\text{米トン} @ 0.06\text{gal}/\text{hp}\cdot\text{hr} \\ & @ 125,000\text{Btu/gal}, @ 0.67 = 2,510\text{Btu}/\text{米トン} (\text{約 } 700\text{kcal}/\text{ton}) \end{aligned}$$

$$\text{合 計 } 6,885\text{Btu}/\text{米トン} (\text{約 } 1,900\text{kcal}/\text{ton})$$

アスファルト混合物は混合中に骨材を潤滑にする傾向があるのでプラント運転エネルギーの約10%(250Btu/米トン)を削減する。したがって常温アスファルト混合物では1米トン当り6,630Btuが必要と推定される。

#### 5. 輸送

輸送を論ずる際に使用するエネルギー単位としては多く、トンマイル当りのBtu(Btu/tm)が最適と思われる。連邦ハイウェー管理局(FHWA)は、車種別のハイウェー走行時の燃料消費の分布を示す表を発表している。この表には車輌の平均積載量も含まれている。積載車と空車トラックに対して、それぞれ積載重量および総走行マイル数に対して負荷を調整する。次表に示されるガロン当りの米トンマイル数(tm)はFHWAより提供されたものである。これらの数値を用いてBtu/tmを求める。

表-4 トラックの走行に必要なtm/galおよびBtu/tm量

Truck type (for hire)	Gasoline powered		Diesel powered	
	tm/gal.	Btu/tm	tm/gal.	Btu/tm
2 axle, 6 tire	11.34	11,000	—	—
3 axle	29.29	4,270	36.56	3,800
3 axle (comb.)	16.81	7,440	23.79	5,840
4 axle "	24.80	5,040	42.51	3,270
5 axle "	43.07	2,900	70.75	1,960

アスファルトローリーの代表的な車種は4~5軸で、ダンプトラックは3軸と思われる。

#### 6. 敷きならし、施工、転圧

これまでの計算では、舗装用混合物を製造する機器の運転に要するパワーは製造量に比例して大きくなっている。舗装用混合物の敷きならし、仕上げの段階になると、一般的な概念を除いては、そうではなくなってくる。たとえばアスファルトペーパーは何段かの前進スピードに対し、ある一定の回転数(または馬力)で運転するようになっており、各々の前進スピードは舗装の巾員と厚さには無関係である。したがってペーパーの運転と効率によって制約される。ある程度までは、ローラは1時間当たりかなりの広さの面積を転圧することができ十分効率よく使用した場合、理論的には3台のローラで非常に高い生産性を上げることができる。これらのローラは効率良く使用されているか否とにかかわらず燃料を消費する。ポルトランドセメントコンクリートの施工と仕上げに関しても、おそらく同様であろう。生産性と無関係な単位とエネルギーとを関係づけるようなデータが揃うまでは平均生産効率を仮定するしかない。

#### 7. 加熱アスファルト混合式舗装

舗装工事に使用する加熱アスファルト混合物の平均(代表的)生産効率は工事のタイプ、使用するプラントの能力によって異なる。本研究では、1時間当り150米トンと仮定する。アスファルトコンクリートの敷きならし、締固めにはアスファルトペーパーと3台のローラを使用し、その各々が1時間当り4.5galの軽油を消費するものとする。

$$\begin{aligned} \text{機械 } 4 \text{ 台, } & 4.5\text{gal/hr} @ 139,000\text{Btu/gal}/150\text{米トン} \\ & = 16,700\text{Btu}/\text{米トン} (\text{約 } 4,600\text{kcal}/\text{ton}) \end{aligned}$$

#### 8. ポルトランドセメントコンクリート舗装

ポルトランドセメントコンクリートの平均生産効率を求めるのは難しいため本研究では1時間当り300yd<sup>3</sup>(約230m<sup>3</sup>)とする。舗装機械はプレーサスプレッダおよびペーパーより構成され各々は175hpのディーゼルエンジンとし、

さらに表面仕上げおよび養生用に10hpで動くガソリンエンジンユニット2台を用いる。

$$2 \text{ユニット}, @175\text{hp} \times 0.75, @0.04\text{gal/hr}, @139,000\text{Btu/gal} \\ = 1,459,500\text{Btu} \quad (\text{約}367,800\text{kcal})$$

$$2 \text{ユニット}, @10\text{hp} \times 0.75, @0.06\text{gal/hr}, @125,000\text{Btu/gal} \\ = 112,500\text{Btu} \quad (\text{約}28,400 \text{kcal})$$

$$\text{合計} \quad 1,572,000\text{Btu/hr} \quad (\text{約}396,200\text{kcal})$$

$$\therefore 300\text{yd}^3/\text{hr} = 5,240\text{Btu/yd}^3 \quad (\text{約}1,730\text{kcal/m}^3)$$

舗設後、養生し目地をカッティングする。目地のカッタには、いろいろな種類があり10~40hpのガソリンエンジンが用いられている。前進速度は1分間当たり25~30フィート(約7.5~9m)という高速であり、30hpのユニットを用いた場合1分間当たり10フィート(3m)とすれば目地1フィート当たり約280Btu(約70kcal)を消費する。

### III. その他の建設作業

#### 1. プレミックスタイプの粒状安定処理路盤材の敷きならし、締固め

プレミックスタイプの粒状安定処理路盤材の敷きならしと締固めには、いくつかの方法がある。もし、それぞれの方法を分析してみるならば本作業に要するエネルギーは加熱アスファルト混合物の敷きならしおよび締固めに要したエネルギーとおそらく同じになるであろう。さらに細い分析をせずに、この路盤材の敷きならし、締固めには1米トン当たり約17,000Btu(加熱アスファルト混合物とは同じ)と仮定する。

#### 2. 移動プラント混合方式(ウインドロウ)

あるタイプの移動式プラントミキサを用いて骨材をウインドロウからピックアップしアスファルトと混合しながら前進し混合物をウインドロウして畝状に積み上げて行く、このようなミキサは125馬力のディーゼルエンジンにより駆動され、1時間当たり200米トンを処理することができる。1時間に175米トンの混合物を製造するとすれば、この作業に要するエネルギーは次のように計算される。

$$125\text{馬力} \times 0.75, @0.04\text{gal/hr}, @139,000\text{Btu/gal} \\ = 2,980 \quad (\text{約}3,000\text{Btu/米トン}) \\ 175\text{米トン/hr} \quad (\text{約}830\text{kcal/ton})$$

#### 3. ブレードによる混合

ブレードによる混合には、いろいろな方法が行なわれているが、なんらかの仮定が必要である。今、125馬力のディーゼルエンジンを搭載したモータグレーダの平均作業速度を3マイル/hrとすれば、グレーダ1バス当たり巾9フィートが混合されることになる。したがって1バスで1時間当たりの処理面積は

$$9 \text{フィート} \times 3 \text{マイル}/hr \times 5,280 \text{フィート}/min$$

$$9 \text{ft}^2/\text{yd}^2$$

$$= 15,840\text{yd}^2/\text{hr} \quad (\text{約}13,200\text{m}^2/\text{hr})$$

各バス当たりに必要なエネルギーは

$$125\text{馬力} \times 0.75, @0.04\text{gal/hp-hr}, @139,000\text{Btu/gal}$$

$$15,840\text{yd}^2/\text{hr}$$

$$= 33\text{Btu/yd}^2/1\text{バス} \quad (\text{約}10\text{kcal/m}^2, 1\text{バス})$$

ブレードによる混合物を用いた舗装の1インチ当たりに要する平均混合作業はウインドロウされた畝状の骨材にアスファルトを添加するのに4バス、アスファルトと骨材とを混合し、その混合物をばっ氣するのに5バス以上、さらに、ばっ氣した混合物を路上に敷きならすのに3バス計12バスとなる。したがってモータグレーダによるブレード混合に要するエネルギーは次のようにになる。

$$33\text{Btu/yd}^2 \cdot \text{バス} \times 12\text{バス}/\text{インチ}$$

$$= 396\text{Btu/yd}^2 \cdot \text{インチ} \quad (\text{約}47\text{kcal/m}^2 \cdot \text{cm})$$

#### 4. アスファルト散布作業

アスファルトデストリビュータを使用したアスファルトの散布作業に要するエネルギーは次のような項目に分類される。

##### (1) アスファルトの加熱

##### (2) スプレイバーへのアスファルトのポンピング

##### (3) トラックの走行

アスファルトを散布温度まで加熱し、その温度を維持するには、さらに多くのエネルギーが消費される。このようにして温度調節した温度を維持しておく時間の長さが、このエネルギー消費量のうち最も大きな影響を与えるものと思われる。先に、アスファルトの貯蔵および加熱にはアスファルト混合物当たり6,400Btu(約1,600kcal)が必要とされていた。今、アスファルトの含有量(バインダー量)を5%とすれば、アスファルトセメント1ガロン当たり545Btu(約140kcal)ということになる。

カットバックアスファルトの場合はアスファルトセメントと同じ温度には加熱しない、したがって本研究では、カットバックアスファルトを散布温度まで加熱するには1ガロン当たり400Btu(約100kcal)とする。アスファルト乳剤の場合は1ガロン当たり100Btu(約25kcal)消費されるものとした。

アスファルトデストリビュータのポンピングユニットの馬力は平均約35馬力であり、散布に対するポンピ効率は散布巾により大きく異なるが妥当な数値としてスプレイバー巾、1フィート当たり1分間に10ガロンと思われる。したがって、今、パワーユニットがガソリンエンジンでデストリビュータのスプレイバーの巾が12フィートとすれば散布に要するエネルギーは次のように計算される。

$$35\text{馬力} \times 0.75, @0.06\text{gal}/\text{hp}\cdot\text{hr}, @125,000\text{Btu/gal}$$

$$10\text{gal}/\text{分}/\text{フィート} \times 12\text{フィート} \times 60\text{分}/\text{時間}$$

$$= 27.34\text{Btu/gal}(1.8\text{kcal}/\ell)$$

平均的なアスファルトデストリビュータとして3軸で路面にアスファルトを散布中は、トンマイル当り4,270 Btu(約1,080kcal)を消費すると仮定すれば、散布アスファルト1ガロン(約3.8ℓ)当り17Btu(約4kcal)をわずかに上まわることになる。

本研究では、アスファルトデストリビュータの散布作業時のエネルギー必要量は次のような数値を採用した。

表-5 デストリビュータの作業時のエネルギー必要量

単位: Btu/gal( )内はkcal/ℓ

材料の種類 項目	アスファルト セメント	カットバック アスファルト	アスファルト 乳剤
アスファルト の 加 热	545 (36)	400 (27)	100 ( 6.7)
アスファルト の 散 布	27 ( 1.8)	27 ( 1.8)	27 ( 1.8)
デストリビュ ータトラック	17 ( 1.2)	17 ( 1.2)	17 ( 1.2)
合 計	589 (39)	444 (30)	144 (10)

もし、アスファルトが精油所より納入され次第加熱することなく使用したとすれば、表中のアスファルトの加熱に要するエネルギーはzeroである。

## 5. シールコート用骨材スプレッダ

シールコート時の骨材散布に用いる自走式骨材スプレ

➡次ページより5ページにわたって各舗装工事などに必要とするエネルギー量の試算例をまとめて掲載する➡

ッダの代表的なものは約60馬力のエンジンを搭載している。1分間当たりの骨材の供給量はホッパの開閉度およびスプレッダの前進速度によってコントロールできる。

したがって、リミット以内であればスプレッダは所望の前進速度で操作することができる、今、1分間当たり約450フィート(約135m)で骨材を巾12フィート(3.6m)にわたって散布すると仮定すれば、1平方ヤード(約0.8m<sup>2</sup>)当たりのエネルギーは次のように計算される。

$$60\text{馬力} \times 0.75, @0.06\text{gal}/\text{hp}\cdot\text{hr}, @125,000\text{Btu/gal} \times 9\text{ft}^2/\text{yd}^2$$

$$450\text{ft}/\text{min} \times 60\text{min}/\text{hr} \times 12\text{ft}$$

$$= 9.4\text{Btu}/\text{yd}^2(2.8\text{kcal}/\text{m}^2)$$

## 6. 常温混合物(ローラ転圧用)

常温混合物についても仮定が必要である。

今、使用するローラとして1時間当り4.5galの軽油を消費し、巾員12フィート(3.6m)の車線で舗装厚1インチ(2.54cm)当り4パス必要であると仮定し、ローラの平均速度3マイル/ hr(4.8km/時間)とすれば1時間当たりの転圧面積は

$$3\text{マイル}/\text{hr} \times 5,280\text{ft}/\text{min} \times 12\text{ft}$$

$$9\text{ft}^2/\text{yd}^2 \times 4\text{パス}/\text{インチ}$$

$$= 5,280\text{yd}^2/\text{hr}(4\text{パス}/\text{インチ})(約4,400\text{m}^2/\text{hr})$$

したがって必要とするエネルギーは、

$$4.5\text{gal}/\text{hr}, @139,000\text{Btu/gal}$$

$$5,280\text{yd}^2/\text{hr} \cdot \text{in}$$

$$= 118\text{Btu}/\text{yd}^2 \cdot \text{in}(約120\text{Btu}/\text{yd}^2 \cdot \text{in})(約14\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{cm})$$

## ASPHALT TOPICS

### アスファルトとセメントコンクリートの比較(スイス)

ベルン(スイス)1976年2月発行のドイツの季刊誌“Das Stationare Mischwerk”によると、スイス政府はアスファルト舗装とポルトランドセメント舗装のコスト、エネルギー消費、人件費等を比較して、次のような結論を得た。

○自動車道1km当りの舗装コスト(スイスフラン)  
1973 1974

アスファルト舗装	465,000	563,200
ポルトランドセメント舗装	680,000	728,000

○自動車道1km当りのエネルギー消費量(kcal)

アスファルト舗装	$934 \times 10^6$
※ “ (精製段階でのエネ ルギー消費は除く)	$801 \times 10^6$

ポルトランドセメント舗装	$1,011 \times 10^6$
※精製過程で消費されるエネルギーはアスファルト が道路建設に使われず、重油として燃焼したとし ても必要である。	

○自動車道1km当りの労力(人・時間)	
アスファルト舗装	3,044
ポルトランドセメント舗装	5,572

[試算－1]

**加熱アスファルトコンクリート舗装工事に必要なエネルギー量の試算例**

1) 設定条件

アスファルトは4軸トラックでプラントまで50マイル(80km)の距離を輸送するものと仮定する。骨材は3軸シングルユニットトラックにてプラントまで10マイル(16km)を輸送する。混合物のアスファルト量は5%, また骨材配合は碎石60%, 天然砂35%, 無機質フィラー5%とする。フィラーの製造に要するエネルギーは碎石のそれと同一とする。

骨材は平均5%の水分を含んでいるものとし、それを乾燥し、さらに70°F(21°C)から300°F(約150°C)まで加熱する。混合物は3軸トラックで平均7.5マイル(12km)運搬し、混合物の締固め密度は145ポンド/ft<sup>3</sup>(約2,350kg/m<sup>3</sup>)とする。

2) 材料

アスファルトセメントの製造	= 587,500Btu/米トン(約163,200Kcal/ton)
運搬距離50マイル(約90km)×2, @ 5,040Btu/tm	= 504,000Btu/米トン(約140,000Kcal/ton)
アスファルトの合計	1,091,500Btu/米トン(約303,200Kcal/ton)
碎石, @ 70,000Btu/米トン, 60%	= 42,000Btu(約10,600Kcal)
砂, @ 15,000Btu/米トン, 35%	= 5,250Btu(約1,300Kcal)
無機質フィラー, @ 70,000Btu/米トン, 5%	= 3,500Btu(約880Kcal)
運搬距離, 10マイル(16km)×2, @ 4,270Btu/tm, 1.05=89,670Btu(約22,600Kcal)	
合計	140,420Btu/米トン(約35,380Kcal/ton)

3) 混合物の組成

アスファルト, 5%@1,091,500Btu/米トン	= 54,580Btu(約13,800Kcal)
骨材, 95%, @ 140,420Btu/米トン	= 133,400Btu(約33,600Kcal)
混合物の合計	187,980Btu(約47,400Kcal)

4) プラントの運転

骨材の乾燥, 5%@28,000Btu/%, 0.9米トン	= 126,000Btu(約31,800Kcal)
230°F(110°C)に加熱, @470Btu/°F/米トン, 0.9米トン	= 97,290Btu(約24,500Kcal)
他のプラント作業	= 19,800Btu(約5,000Kcal)
プラントの運転	243,090Btu(約61,300Kcal)

5) 運搬および舗設

混合物の運搬7.5マイル×2, @ 4,270Btu/tm	= 64,050Btu(約16,140Kcal)
敷きならしおよび転圧	= 16,700Btu(約4,200Kcal)
運搬および舗設の合計	80,750Btu(約20,340Kcal)
アスファルトコンクリート1米トン当たり	= 511,820Btu(約129,000Kcal)
∴ アスファルトコンクリート1トン当たり	= 約142,000Kcal

6) 締固め密度145ポンド/yd<sup>3</sup>

$$\therefore 511,820 \left(\frac{145}{2,000}\right) 0.75 = 27,800 \text{Btu/yd}^3 - \text{inch} \quad (\text{約}3,280 \text{Kcal/m}^2 \cdot \text{cm})$$

〔試算－2〕

**碎石路盤に必要なエネルギー量の試算例**

1) 設定条件

碎石の全てを3軸シングルユニットトラックで17.5マイル(10.5km)の距離を運搬する。また、路盤の締固め密度は130ポンド/ft<sup>3</sup>(約2,100kg/m<sup>3</sup>)と仮定する。

2) 材料、運搬、舗設

碎石の製造	= 70,000Btu/米トン(約19,400Kcal/ton)
運搬距離15.5マイル×2, @4,270Btu/tm	= 149,450Btu/米トン(約41,500Kcal/ton)
敷きならしおよび転圧	= 17,000Btu/米トン(約4,720Kcal/ton)
合計	236,450Btu/米トン(約65,620Kcal/ton)

3) 締固め密度: 130ポンド/ft<sup>3</sup>

$$\therefore 236,450(130/2,000)0.75 = 11,500\text{Btu/yd}^2 \cdot \text{inch}(\text{約}1,360\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{cm})$$

〔試算－3〕

**アスファルト散布作業に必要なエネルギー量の試算例**

1) 設定条件

カットバックアスファルトMC-250を0.25gal/yd<sup>2</sup>(1.13ℓ/m<sup>2</sup>)の割合で散布すると仮定する。アスファルトは貯蔵タンクまで4軸のローリーで50マイル(80km)を運搬する。貯蔵に際してはさらに加熱が必要である。現場の平均運搬距離は7.5マイル(12km)。

2) 材料、運搬、散布

運搬距離50マイル×2, @5,040Btu/tm, 249gal/米トン	= 2,024Btu/gal(約135Kcal/ℓ)
カットバックアスファルトMC-250の製造	= 47,0000Btu/gal(約3,130Kcal/ℓ)
運搬距離7.5マイル×2, @4,270Btu/tm, 249gal/米トン	= 257Btu/gal(約17Kcal/ℓ)
加熱ならびにデスピ散布	= 444Btu/gal(約30Kcal/ℓ)
合計	49,725Btu/gal(約3,300Kcal/ℓ)

3) プライムコート散布量: 0.25gal/yd<sup>2</sup>, @49,725Btu/gal

$$\therefore 12,400\text{Btu/yd}^2(\text{約}3,700\text{Kcal/m}^2)$$

〔試算－4〕

**骨材散布に必要なエネルギー量の計算例**

1) 設定条件

3/8インチの碎石(S-10)を20ポンド/yd<sup>2</sup>(10.8kg/m<sup>2</sup>)の割合で散布するものと仮定する。骨材は3軸のシングルユニットトラックで17.5マイル(28km)の距離を運搬し、骨材スプレッダを用いて骨材を散布したのち転圧を3回行なう。

2) 材料、運搬、敷きならし

碎石の生産	= 70,000Btu/米トン(約19,400Kcal/ton)
運搬距離17.5マイル×2, @4,270Btu/米トン	= 149,450Btu/米トン(約41,500Kcal/ton)

$$\text{計} \quad 219,450\text{Btu/米トン(約}60,900\text{Kcal/ton)}$$

$$\text{散布量}20\text{ポンド/yd}^2, @219,450\text{Btu/米トン}, 2,000\text{部/米トン} = 2,195\text{Btu/yd}^2$$

$$\text{骨材の散布} \quad = 9\text{Btu/yd}^2$$

$$\text{転圧, 3回, } @30\text{Btu/yd}^2 \quad = 90\text{Btu/yd}^2$$

$$\text{計} \quad 2,294\text{Btu/yd}^2(\text{約}2,300\text{Btu/yd}^2)$$

$$\therefore 2,300\text{Btu/yd}^2(\text{約}690\text{Kcal/m}^2)$$

〔試算－5〕ポルトランドセメントコンクリート舗装に必要なエネルギー量の試算例

1) 設定条件

1袋5.5入りの混合物 ( $w/c=5\text{gal}/1\text{bag}$ ) と仮定し、碎石2部 (比重=2.65) と砂1部 (比重=2.68) の割合で用い、かつ骨材の平均含水量を5%とする。セメントは4軸トラックで50マイル (90km) 先から運搬していくものとし、骨材とセメントは、それぞれ3軸のシングルユニットトラックで10マイル先 (16km), 5マイル先 (9km) から運んでくるものと仮定する。

2) 材 料 ポルトランドセメントの製造 = 7,570,000Btu/米トン(約2,103,000Kcal/ton)  
運搬50マイル×2, @5,040Btu/tm = 504,000Btu/米トン(約140,000Kcal/ton)

計 8,074,000Btu/米トン(約2,243,000Kcal/ton)

碎石, @70,000Btu/米トン, 2/3米トン = 46,670Btu/米トン(約13,000Kcal/ton)

砂, @15,000Btu/米トン, 1/3米トン = 5,000Btu/米トン(約1,400Kcal/ton)

運搬, 10マイル×2, @4,270Btu/tm, 1.05 = 89,670Btu/米トン(約24,900Kcal/ton)

計 141,340Btu/米トン(約39,300Kcal/ton)

3) 混合物の組成 ポルトランドセメント : 8,074,000Btu/米トン, 517部( $2.63\text{ft}^3$ ) = 2,087,130Btu(約526,000Kcal)

水 : 229部( $3.67\text{ft}^3$ ) = ..... ( 0 )

碎石 : 2,290部( $13.85\text{ft}^3$ ) } 141,340Btu/米トン = 242,750Btu(約612,000Kcal)

砂 : 1,145部( $6.85\text{ft}^3$ ) } 141,340Btu/米トン = 242,750Btu(約612,000Kcal)

ポルトランドセメント1  $\text{yd}^3$  (2.09米トン) の計 = 2,329,880Btu(約587,100Kcal)

4) プラントの運転 骨材の取扱い作業 : 3,435部×1.05, @4,650Btu/米トン = 8,390Btu(約2,100Kcal)

混 合 : = 3,580Btu(約900Kcal)

プラントの運転計 11,970Btu(約3,000Kcal)

5) 運搬および舗設

運搬 5マイル×2, @4,270Btu/tm, 2.09米トン/ $\text{yd}^3$  = 89,240Btu(約22,500Kcal)

舗 設 = 5,240Btu(約1,320Kcal)

運搬および舗設の計 94,480Btu(23,820Kcal)

ポルトランドコンクリート1  $\text{yd}^3$  の舗設に必要なエネルギーの合計 = 2,436,330Btu(約614,000Kcal)

$$\therefore \frac{2,436,330\text{Btu}/\text{yd}^3}{36\text{インチ}/\text{yd}} = 67,700\text{Btu}/\text{yd}^2\text{- インチ}(約8,000Kcal/m^2 \cdot cm)$$

〔試算－6〕連続鉄筋入ポルトランドセメントコンクリート舗装に必要なエネルギー量の試算例

1) 設定条件

1)-1 ダウエルバー

ダウエルバー付直径1インチ (25.4mm), 長さ18インチ (45.7cm), 施工目地20フィート (6m) 間ピッチの中央部1フィートに配置するものと仮定する。

$$28,040\text{Btu}/\text{ft} \times \frac{9\text{ ft}^2/\text{yd}^2}{1\text{ft} \times 20\text{ft}} = 18,900\text{Btu}/\text{yd}^2\text{ (約5,670Kcal/m^2)}$$

1)-2 タイバー

No.4バー, 長さ30インチ (76cm), 中24フィート (7.2m) の中心線にそって30インチピッチ (76cm) で配置するものと仮定する。

$$7,014\text{Btu}/\text{ft} \times 25\text{ft} \times \frac{9\text{ ft}^2/\text{yd}^2}{2.5\text{ft} \times 24\text{ft}} = 2,630\text{Btu}/\text{yd}^2\text{ (約790Kcal/m^2)}$$

1)-3 鉄 棒 (丸鋼) 丸鋼のクロスセクション部Asの式

$$As = \frac{Lfw}{2S} = \left( \frac{1.5 \times 12.5}{2} \right) \frac{L}{S}$$

ここで  $W$  = 重量, psf-ir, pccp

$f$  = 摩擦係数

$L$  = 膨脹目地間隔

$S$  = 鋼の許容応力, psi

縦、横方向の鉄筋は、巾24インチ (61cm) 横目地間隔60フィート (18m) の中に配筋する。

許容応力  $S = 30,000\text{psi}$  (2,100kg/cm<sup>2</sup>)

$$\text{縦方向鉄筋 : } As = \frac{9,377(60)}{30,000} = 0.01875\text{in}/\text{ft}$$

$0.01875\text{in}/\text{ft} \times 9\text{ft}^2 \times 12\text{in}/\text{ft} \times 0.283\text{部/in}^3$ , @ 10,500Btu/部 = 6,020Btu/yd<sup>2</sup>-in (約710Kcal/m<sup>2</sup> · cm)

$$\text{横方向鉄筋 : } As = \frac{9.375(24)}{30,000} = 0.0075\text{in}/\text{ft}$$

$0.0075\text{in}/\text{ft} \times 9\text{ft}^2/\text{yd}^2 \times 12\text{in}/\text{ft} \times 0.283\text{部/in}^3$ , @ 10,500Btu/部 = 2,410Btu/yd<sup>2</sup>-in (約280Kcal/m<sup>2</sup> · cm)

#### 1) - 4 連続鉄筋

$As = 0.6\%$  と仮定する。

$0.006 \times 36\text{in}^2/\text{yd} \times 36\text{in}/\text{yd} \times 0.283\text{部/in}^3$  @ 10,500Btu/部 = 23,110Btu/yd<sup>2</sup>-in (約2,730Kcal/m<sup>2</sup> · cm)

#### [試算-7] 乳剤安定処理路盤に必要とするエネルギー量の試算例

##### 1) 設定条件

アスファルト乳剤MS-2を4軸ローリーで常温混合物を製造するプラントまで50マイル (80km) の距離を運搬するものと仮定する。骨材 (碎石65%, 天然砂35%) は10マイル (16km) 先から3軸のシングルユニットラックで運びこまれる。骨材の含水率は5%, 常温混合物中のアスファルト乳剤量は8%とする。乳剤混合物は舗設現場まで3軸ラックで7.5マイル (12km) の距離を運搬する。

また、締固め密度は140pcf (2,268kg/m<sup>3</sup>) とする。

##### 2) 材 料

アスファルト乳剤MS-2の製造, @ 2,100Btu/gal, 241gal/米トン = 506,100Btu/米トン (約140,600Kcal/ton)

運搬50mil × 2, @ 5,040Btu/tm = 504,000Btu/米トン (約140,000Kcal/ton)

アスファルト乳剤の計	1,010,100Btu/米トン (約280,600Kcal/ton)
------------	-------------------------------------

碎石, @ 70,000Btu/米トン, 65% = 45,500Btu (約11,500Kcal)

砂, @ 15,000Btu/米トン, 35% = 5,250Btu (約1,300Kcal)

運搬, 10mil × 2, @ 4,270Btu/tm, 1.05 = 89,670Btu (約22,600Kcal)

骨材の計	140,420Btu/米トン (約35,400Kcal)
------	------------------------------

3) 混合物の組成 アスファルト乳剤 8%, @ 1,010,100Btu/米トン = 80,810Btu (約20,360Kcal)

骨材	92%, @ 140,420Btu/米トン = 129,190Btu (約32,600Kcal)
----	--

混合物の計	210,000Btu (約52,960Kcal)
-------	--------------------------

4) 混合物の運搬および舗設 常温混合プラントの運転 = 6,630 (約1,670Kcal)

運搬7.5mil × 2, @ 4,270Btu/tm	= 64,050Btu (約16,140Kcal)
-----------------------------	---------------------------

敷きならしおよび転圧	= 16,700Btu (約4,200Kcal)
------------	--------------------------

計	87,380Btu (約22,000Kcal)
---	-------------------------

乳剤安定処理 1 米トン当たり 297,380Btu (約74,900Kcal)

5) 締固め密度: 140pcf

∴ 297,380Btu/米トン (140/2,000) 0.75 = 15,600Btu/yd<sup>2</sup>-in (約1,480Kcal/m<sup>2</sup> · cm)

典型的な舗装工種、断面のエネルギー必要量 単位；Kcal/m<sup>2</sup>

試算1～7にもとづいて、それぞれの工事に必要なエネルギー量を以下にまとめる。

舗装の工種	舗装断面	各層別エネルギー必要量	全エネルギー必要量	工種間のエネルギー比較
フルデプス舗装		サーフェイス：33,360 ベース：45,870	79,230	1.02
加熱アスコン(乳剤路盤)		サーフェイス：33,360 ベース：37,440	70,800	0.91
加熱アスコン(碎石路盤)		サーフェイス：50,040 プライムコート：3,720 ベース：24,150	77,910	1.00
セメントコンクリート舗装 (無筋)		セメントコンクリート：162,480	162,480	2.09
セメントコンクリート舗装 (連続鉄筋)		セメントコンクリート：162,480 横方向の鉄筋：5,784 縦方向の鉄筋：55,464	223,728	2.87

#### 記者注

本論文は資源有限時代にあって道路舗装をエネルギー的な観点から検討したものであり、各項目の試算に用いている諸資料も、ほぼ妥当と思われることから時を得たものであり、参考になる面が多い。

なかでも、舗装の設計にあたっては、今までの設計条件の他に、そのエネルギー必要量からみた考察を追加すべきとする提案は参考に値する。

また、本論文では舗装の新設工事を主たる対象とし、典型的な舗装工種、断面についてエネルギー必要量を試算し、それを比較している。

しかし、舗装は永久的なものではない、日時の経過とともに供用性が低下しメンテナンスを必要とするることは言うまでもない。即ち、省エネルギーの本

質は、そのものの作用効果あたりのエネルギー量の大小であり、換言すれば舗装の寿命を考察したトータルエネルギー量をもって議論すべきが本論と思われる。

さらにまた、舗装の寿命が到達した時点で、その舗装体を構成する材料の多方面にわたるリサイクリング、資源の抽出の可否をも考察し、これらを加えた最終的なエネルギー必要量をもって議論すべきであり、それが望まれる。

いずれにせよ、前述したように資源有限時代の要求に即応した道路舗装のあり方を検討すべきである。それはまた、同時に舗装に携わる技術者、研究者に課せられた大きな課題であろう。

太田 健二

## 協会ニュース

調査委員会（9月6日、9月21日）

### ○流通基礎資料の発行

各社より回収した調査表をもとに整理、集計作業を行ない、10月中旬に流通基礎資料を発行する予定で進めている。（予定通り完成し、配布中）

なお、今年度発行したポケットブックは、各会員会社の協力もあり、3,500部を実費配布、次年度も発行の方針で検討していくこととなった。（在庫なし）

企画委員会（9月7日）

### ○20周年記念式典の件

### ○黑白問題の件

本年度で協会は20周年となるが、諸事情を考慮の上とくに式典を行なわず、25周年の時点であらためて審議することとなった。

先般の新聞に報道された「省エネルギーの面から白舗装への移行」について協会としての基本的な考え方をまとめておき時期的に必要になった時の資料とする。

これらの資料等については、関係各委員に担当してもらい、整備中である。

メーカー会議（9月8日）

### ○52年度市販アスファルト性状調査

本年度はアンケート方式により市販アスファルトの性状調査を行なうこととなった。

今後のスケジュールは、10月末 アンケート回収、11月～12月 アンケート集計、1月～2月 結果発表。

試験法分科会（9月8日、10月4日）

### ○可溶分、高温粘度、絶対粘度実施要領の件

### ○石油アスファルト絶対粘度試験方法の件

各照合試験についての最終的な打合せを行ない、可溶分、高温粘度については11月19日までに試験を行ない、事務局へ報告することとなった。

石油アスファルト絶対粘度試験方法については一部修正を加え、また、試験器についても一種に限定できるかどうか検討の結果、AI型粘度試験器一種とした。これにともない試験方法案についても一部修正が出てくるので、次回の検討項目となる。

定例理事会（9月13日）

### 1. 重交通道路舗装用アスファルトの試験施工の件

### 2. 日本道路公団に対する陳情の件

### 3. 昭和51年度協会論文賞の件

### 4. IRF開催への協力の件

### 5. その他諸報告

## 建設補助金研究特別委員会

### 1. 試験施工についての規模、内容について

特別委員会において試験施工を行なうに当っての「試験施工概要」「粘度等級アスファルトによる舗装工事特記仕様書」「監督に当っての心得」など詳細にわたる原案を作成した。（8月下旬～9月中旬）

### 2. 試験施工についてのミーティング

建設省道路局ならびに関東、中部、近畿の各地建、神奈川県に対し、上記の特記仕様書などの説明を行ない、相互の意見をとりかわすため、それぞれミーティングを開催した。

同席上には、各現場へ供給するメーカーも参加し、個別に詳しい打ち合せを行なった。（9月中旬～下旬）

### 3. 試験施工・特別委員現場出張

以下の三現場が10月中旬～下旬にかけて施工され、特別委員幹事が分担して出張した。なお提供メーカー各社も同行した。

○近畿地建 大阪国道工事事務所（四貫島）

兵庫国道工事事務所（尼崎）

○神奈川県 藤沢土木事務所（辻堂）

（試験施工個所一覧は13ページを参照されたい）

## 第33回アスファルトゼミナール開催予告

開催地 東京・霞ヶ関・久保講堂

開催月日 昭和53年3月10日(金) 9:00～17:00

主な内容 ○アス舗装要綱の改訂について

○重交通道路舗装用アスファルト

①粘度等級アスファルトについて

②室内試験と試験施工の研究概要

○その他、アスファルト舗装の最近の研究課題

詳しい内容は、来春1月、全国関係先へパンフレットで、また本誌114号（1月号）に掲載します。

受講料 3,000円

# 『アスファルト』第100号記念号をおわけしております

座談会・協会の歩み

## アスファルト舗装と共に

谷 藤 正 三	本協会名誉会長
高 橋 国一郎	建設事務次官（発行当時）
井 上 孝	建設省道路局長（発行当時）
南 部 勇	本協会初代会長
有 福 武 治	シェル石油技術研究部長

## アスファルトとその利用 一20年の変遷と将来ー

### ▷アスファルト

- 需給・流通の推移と現状
- 品質・規格・試験

### ▷アスファルト舗装

- アスファルト舗装の設計の変遷
- アスファルト混合物試験
- アスファルト舗装の施工
- アスファルト舗装の施工機械

アスファルト舗装の補修の変遷と今後

アスファルト乳剤舗装・特殊工法

### ▷土木・その他

- アスファルトの水利構造物への利用
- 農林省におけるアスファルトの工学的利用
- スラブ軌道とアスファルト
- 空港へのアスファルトの利用
- 建築関係のアスファルトの利用
- 砂漠開発アスファルトバリアの利用
- アスファルトの工業への利用
- 国際的にみたアスファルトの利用状況

◀隨想> 釣魚大全 ..... 吾嬬東二郎

### パネルディスカッション 今後の舗装の動向について

領価 B5判 130ページ 〒共 1,000円 《切手にても可、あと払いはご遠慮下さい》

申込先 〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7・日本アスファルト協会

## 別冊「アスファルト」をおわけしております

☆領価 各号とも300円（郵便切手にても可） ☆ハガキ（あと払い）のお申込みはご遠慮下さい。

別冊 No.21 昭和49年11月発行 (第27回アスファルトゼミナール)	舗装の設計におけるアスファルト混合物の活用 アスファルト系材料の問題点 アスファルト乳剤の活用とその実例	藤 井 治 芳 昆 布 谷 竹 郎 額 田 穂 稔
別冊 昭和51年5月発行 (第30回アスファルトゼミナール)	アスファルトの品質について アスファルト業界へ望む これから道路の方向と舗装技術の問題点 最近の石油事情について 最近のアスファルト事情と本協会の事業活動について	根 来 一 夫 谷 藤 名 誉 会 長 藤 井 治 芳 一 柳 良 雄 中 山 才 祐
別冊 No.23 昭和51年7月発行 (第31回アスファルトゼミナール)	今後の道路整備と舗装技術の動向 山梨県の道路現況と展望 歴青路面処理の試験舗装追跡調査報告 市町村道舗装と農林道舗装の施工について	坂 上 義 次 郎 中 本 正 則 太 田 健 二 物 部 幸 保
別冊 No.24 昭和51年12月発行 (第32回アスファルトゼミナール)	北海道の開発の現状と展望 最近の石油事情とアスファルト アスファルト舗装要綱・維持修繕要綱の改訂と 最近の舗装技術の動向について 積雪寒冷地舗装の最近の問題点について	林 杉 浦 誠 之 阿 尾 和 夫 部 崎 博 政

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
〔メーカー〕		
アジア石油株式会社	(100) 東京都千代田区内幸町2-1-1	03(506)5649
大協石油株式会社	(104) 東京都中央区八重洲5-1-1	03(274)5211
エッソスタンダード石油株式会社	(107) 東京都港区赤坂5-3-3	03(584)6211
富士興産株式会社	(100) 東京都千代田区永田町2-4-3	03(580)3571
富士興産アスファルト株式会社	(100) 東京都千代田区永田町2-4-3	03(580)0721
富士石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-2-3	03(211)6531
出光興産株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内3-1-1	03(213)3111
鹿島石油株式会社	(100) 東京都千代田区内幸町2-2-3	03(503)4371
興亜石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町21-6-2	03(270)7651
共同石油株式会社	(100) 東京都千代田区永田町2-11-2	03(580)3711
極東石油工業株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-7-2	03(270)0841
丸善石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-5-3	03(213)6111
三菱石油株式会社	(105) 東京都港区虎ノ門1-2-4	03(501)3311
モービル石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-7-2	03(244)4359
日本鉱業株式会社	(107) 東京都港区虎ノ門2-10-1	03(582)2111
日本石油株式会社	(105) 東京都港区西新橋1-3-12	03(502)1111
日本石油精製株式会社	(105) 東京都港区西新橋1-3-12	03(502)1111
三共油化工業株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内1-4-2	03(284)1911
西部石油株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内1-2-1	03(216)6781
シェル石油株式会社	(100) 東京都千代田区霞が関3-2-5	03(580)0111
昭和石油株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内2-7-3	03(231)0311
昭和四日市石油株式会社	(100) 東京都千代田区有楽町1-11	03(211)1411
谷口石油精製株式会社	(512) 三重県三重郡川越町大字高松1622	0593(64)1211
東亜燃料工業株式会社	(100) 東京都千代田区一ツ橋1-1-1	03(213)2211
東北石油株式会社	(983) 宮城県仙台市中野字高松238	02236(5)8141

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
〔ディーラー〕		
● 北海道		
アサヒレキセイ(株)札幌支店	(064) 札幌市中央区南4条西10-1003-4	011 (521) 3075 大 協
中西瀝青(株)札幌出張所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011 (231) 2895 日 石
(株)南部商会札幌出張所	(060) 札幌市中央区北2条西2-15	011 (231) 7587 日 石
株式会社ロード資材	(060) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011 (261) 7469 丸 善
(株)沢田商行北海道出張所	(060) 札幌市中央区北2条西3	011 (221) 5861 丸 善
(株)トーアス札幌営業所	(064) 札幌市中央区南15条西11	011 (561) 1389 共 石
葛井石油株式会社	(060) 札幌市中央区北5条西21-411	011 (611) 2171 丸 善
● 東北		
アサヒレキセイ(株)仙台支店	(980) 宮城県仙台市中央3-3-3	0222 (66) 1101 大 協
中西瀝青(株)仙台営業所	(980) 宮城県仙台市中央2-1-30	0222 (23) 4866 日 石
(株)南部商会仙台出張所	(980) 宮城県仙台市中央2-1-17	0222 (23) 1011 日 石
有限会社男鹿興業社	(010-05) 秋田県男鹿市船川港船川字化世沢178	01852(4)3293 共 石
竹中産業(株)新潟営業所	(950) 新潟市東大通1-4-2	0252 (46) 2770 シエル
● 関東		
アサヒレキセイ株式会社	(104) 東京都中央区八丁堀3-3-5	03 (551) 8011 大 協
アスファルト産業株式会社	(104) 東京都中央区八丁堀4-4-13	03 (553) 3001 シエル
富士鉱油株式会社	(105) 東京都港区新橋4-26-5	03 (432) 2891 丸 善
富士油業(株)東京支店	(106) 東京都港区西麻布1-8-7	03 (478) 3501 富士興産アス
伊藤忠燃料株式会社	(160) 東京都新宿区新宿3-4-7	03 (347) 3961 共 石
関東アスファルト株式会社	(336) 浦和市岸町4-26-19	0488 (22) 0161 シエル
株式会社木畑商会	(104) 東京都中央区八丁堀4-2-2	03 (552) 3191 共 石
国光商事株式会社	(165) 東京都中野区東中野1-7-1	03 (363) 8231 出 光
極東資材株式会社	(105) 東京都港区新橋2-3-5	03 (504) 1528 三 石
丸紅石油株式会社	(102) 東京都千代田区九段北1-13-5	03 (230) 1152 モービル
三菱商事株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内2-6-3	03 (210) 6290 三 石
三井物産株式会社	(100-91) 東京都千代田区大手町1-2-1	03 (285) 6389 極東石
中西瀝青株式会社	(103) 東京都中央区八重洲1-2-1	03 (272) 3471 日 石
株式会社南部商会	(100) 東京都千代田区丸の内3-4-2	03 (212) 3021 日 石
日東石油販売株式会社	(104) 東京都中央区新川2-8-3	03 (551) 6101 シエル
日東商事株式会社	(170) 東京都豊島区巣鴨3-39-4	03 (915) 7151 昭 石
瀝青販売株式会社	(103) 東京都中央区日本橋2-16-3	03 (271) 7691 出 光
菱東石油販売株式会社	(101) 東京都千代田区外神田6-15-11	03 (833) 0611 三 石
菱洋通商株式会社	(104) 東京都中央区銀座4-2-14	03 (564) 1321 三 石
三徳商事(株)東京営業所	(101) 東京都千代田区岩本町1-3-7	03 (861) 5455 昭 石
株式会社沢田商行	(104) 東京都中央区入船町1-7-2	03 (551) 7131 丸 善
新日本商事株式会社	(101) 東京都千代田区神田錦町2-7	03 (294) 3961 昭 石
昭和石油アスファルト株式会社	(140) 東京都品川区南大井1-7-4	03 (761) 4271 昭 石
住商石油株式会社	(160-91) 東京都新宿区西新宿2-6-1	03 (344) 6311 出 光

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
大洋商運株式会社	(103) 東京都中央区日本橋本町3-7	03(245)1632 三石
竹中産業株式会社	(101) 東京都千代田区鍛冶町1-5-5	03(251)0185 シエル
東光商事株式会社	(104) 東京都中央区京橋1-6	03(274)2751 三石
株式会社ト一アス	(100) 東京都千代田区内幸町2-1-1	03(501)7081 共石
東京富士興産販売株式会社	(105) 東京都港区虎ノ門1-13-4	03(591)3401 富士興産アス
東京レキセイ株式会社	(150) 東京都渋谷区恵比寿南2-3-15	03(719)0345 富士興産アス
東京菱油商事株式会社	(160) 東京都新宿区新宿1-10-3	03(352)0715 三石
東生商事株式会社	(150) 東京都渋谷区渋谷町2-19-18	03(409)3801 三共・出光
東新瀝青株式会社	(103) 東京都中央区日本橋2-13-5	03(273)3551 日石
東洋国際石油株式会社	(104) 東京都中央区八丁堀3-3-5	03(552)8151 大協
梅本石油株式会社	(162) 東京都新宿区新川町2-10	03(269)7541 丸善
宇野建材株式会社	(241) 横浜市旭区笛野台168-4	045(391)6181 三石
ユニ石油株式会社	(100) 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1	03(503)4021 シエル
渡辺油化興業株式会社	(107) 東京都港区赤坂3-21-21	03(582)6411 昭石
横米アスファルト販売株式会社	(220) 横浜市西区高島2-12-12	045(441)9331 エッソ

● 中 部

アサヒレキセイ(株)名古屋支店	(466) 名古屋市昭和区塩付通4-9	052(851)1111 大協
千代田石油株式会社	(460) 名古屋市中区栄1-24-21	052(201)7701 丸善
富士フソ一株式会社	(910) 福井市下北野町東坪3字18	0776(24)0725 富士興産アス
名古屋富士興産販売(株)	(451) 名古屋市西区庭町2-38	052(521)9391 富士興産アス
中西瀝青(株)名古屋営業所	(460) 名古屋市中区錦町1-20-6	052(211)5011 日石
三徳商事(株)名古屋営業所	(453) 名古屋市中村区則武1-10-6	052(452)2781 昭石
株式会社三油商會	(460) 名古屋市中区丸の内2-1-5	052(231)7721 大協
株式会社沢田商行	(454) 名古屋市中川区富川町1-1	052(361)7151 丸善
新東亜交易(株)名古屋支店	(450) 名古屋市中村区名駅3-28-12	052(561)3514 三石
静岡鉱油株式会社	(424) 静岡県清水市袖師町1575	0543(66)1195 モービル
竹中産業(株)福井営業所	(910) 福井市大手2-4-26	0776(22)1565 シエル

● 近畿

赤馬瀝青工業株式会社	(531) 大阪市大淀区中津3-10-4-304	06(374)2271 モービル
アサヒレキセイ(株)大阪支店	(550) 大阪市西区北堀江5-55	06(538)2731 大協
千代田瀝青株式会社	(530) 大阪市北区此花町2-28	06(358)5531 三石
富士アスファルト販売株式会社	(550) 大阪市西区京町堀3-20	06(441)5159 富士興産アス
平和石油株式会社	(530) 大阪市北区宗是町1	06(443)2771 シエル
平井商事株式会社	(542) 大阪市南区長堀橋筋1-43	06(252)5856 富士興産アス
関西舗材株式会社	(541) 大阪市東区横堀4-43	06(271)2561 シエル
川重商事株式会社	(651-01)神戸市生田区江戸町98	078(391)6511 昭石・大協
木曾通産(株)大阪支店	(550) 大阪市西区九条南通4-26-906	06(581)7216 大協
北坂石油株式会社	(590) 堺市戒島町5丁32	0722(32)6585 シエル
株式会社松宮物産	(522) 彦根市幸町32	07492(3)1608 シエル

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
丸和鉱油株式会社	(532) 大阪市淀川区塚本2-14-17	06(301)8073 丸善
三菱商事(株)大阪支社	(530) 大阪市北区堂島浜通1-15-1	06(343)1111 三石
中西瀝青(株)大阪営業所	(532) 大阪市淀川区西中島3-18-21	06(303)0201 日石
大阪アスファルト株式会社	(531) 大阪市大淀区豊崎5-8-2	06(372)0031 富士興産アス
大阪菱油株式会社	(541) 大阪市東区北浜5-11	06(202)5371 三石
株式会社菱芳礦産	(671-11) 姫路市広畑区西夢前台7-140	0792(39)1344 共石
三徳商事株式会社	(532) 大阪市淀川区新高4-1-3	06(394)1551 昭石
(株)沢田商行大阪支店	(542) 大阪市南区鰻谷西之町50	06(251)1922 丸善
正興産業株式会社	(662) 西宮市久保町2-1	0793(34)3323 三石
(株)シェル石油大阪発売所	(530) 大阪市北区堂島浜通1-25-1	06(343)0441 シェル
梅本石油(株)大阪営業所	(550) 大阪市西区新町北通1-17	06(351)9064 丸善
山文商事株式会社	(550) 大阪市西区土佐堀通1-13	06(443)1131 日石
横田瀝青興業株式会社	(672) 姫路市飾磨南細江995	0792(35)7511 共石
アサヒレキセイ(株)広島支店	(730) 広島市田中町5-9	0822(44)6262 大協

● 四国・九州

アサヒレキセイ(株)九州支店	(810) 福岡市中央区鳥飼1-3-52	092(77)7436 大協
畑 磺 油 株 式 会 社	(804) 北九州市戸畠区牧山新町1-40	093(871)3625 丸善
平和石油(株)高松支店	(760) 高松市番町5-6-26	0878(31)7255 シェル
今別府産業株式会社	(890) 鹿児島市新栄町15-7	0992(56)4111 共石
入交産業株式会社	(780) 高知市大川筋1-1-1	0888(22)2141 シェル
伊藤忠燃料(株)福岡支店	(812) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092(444)8353 共石
株式会社 カンダ	(892) 鹿児島市住吉町1-3	0992(24)5111 シェル
九州菱油株式会社	(805) 北九州市八幡区山王町1-17-11	093(661)4868 三石
丸菱株式会社	(812) 福岡市博多区博多駅前1-9-3	092(43)7561 シェル
西岡商事株式会社	(764) 香川県多度津町新町125-2	08773(2)3435 三石
三協商事株式会社	(770) 徳島市万代町5-8	0886(53)5131 富士興産アス
三陽アスファルト株式会社	(815) 福岡市南区上盤瀬町55	092(541)7615 富士興産アス
(株)シェル石油徳島発売所	(770) 徳島市中州町1-10	0886(22)0201 シェル

☆編集委員☆

阿部頼政	高見博	藤井治芳
石動谷英二	多田宏行	松野三朗
牛尾俊介	田中宏	真柴和昌
加藤兼次郎	南雲貞夫	武藤喜一郎
黒崎勲	萩原浩	

アスファルト 第113号

昭和52年11月発行

社団法人 日本アスファルト協会

☎105 東京都港区虎ノ門2-6-7 TEL03-502-3956

本誌広告一手取扱

株式会社 広業社

☎104 東京都中央区銀座8の2の9 TEL 03-571-0997(代)

ASPHALT

Vol. 20 No. 113 NOVEMBER 1977

Published by

THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION