

アスファルト

第15巻 第87号 昭和47年10月発行

ASPHALT

87

社団法人 日本アスファルト協会

ASPHALT

第 87 号
目 次

アスファルトの性質とその規格について

M. J. W. Dounes 2

マスチック・アスファルトの流動特性と
その連続式流し込み工法への
応用研究について 有福 武治 10

アスファルト表層のスティフネスと
レオロジイ特性 —その1— 間山 正一
 北郷 新平 23

★特集・海外のフルデブス・アスファルト舗装★

アメリカ——駐車場 サービス・ステーション

ドライブウェイ 32

フランス——新有料道路のフルデブス 33

ドイツ——アウトバーン最初のフルデブス 34

読者の皆様へ

“アスファルト”第87号、只今お手許にお届け申し上
げました。

本誌は当協会がアスファルトの品質改善を目指して
需要家筋の皆様と生産者側との技術の交流を果し、よ
り一層優れたアスファルトをもって、皆様方の御便宜
を図ろうと考え、発行致しているものであります。

本誌が皆様の需要面における有力な参考資料となる
ことを祈りつつ今後の御愛読をお願い致します。

社団法人 日本アスファルト協会

会長 石渡 健二

〒105 東京都港区芝西久保明舟町12 和孝第10ビル
TEL 03-502-3956

☆編集委員☆

(50音順)	多田 宏行
石動谷英二	南雲 貞夫
印田 俊彦	萩原 浩
牛尾 俊介	原 肇哉
加藤兼次郎	真柴 和昌
木畑 清	増永 緑
高見 博	松野 三朗

本誌広告一手取扱

株式会社 広業社

東京都中央区銀座8の2の9

TEL 東京(571) 0997(代)

ASPHALT

Vol. 15 No. 87 OCTOBER 1972

Published by THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

アスファルトの性質とその規格について

M. J. W. Dounes *

本文では、アスファルト合材の混合、舗設、供用中の流動特性に関する境界規定およびアスファルトの性質を測定できる平易な試験法について意見を述べたいと思う。また最近日本で提唱されているアスファルト

の接着性と老化性に関する試験についても検討を加えた。そして、最後に施工技術とアスファルトの品質の相対的重要性についても述べてみる。

はじめに

アスファルトにたずさわる技術者たちは、施工される道路の性質を適切に定義づけるアスファルトの規格を作成する問題に対し、非常な努力をそいできた。しかし最良の規格であっても、表現上基本単位を使わなければならぬという点と、簡単な室内試験で表現できなくてはならないという点との間で、妥協せざるを得ない状態であった。

アスファルトが実際に供用される各条件は図-1に示されるが、図中ではアスファルトの流動特性の規定が温度と関連づけられ、各条件下、すなわち混合・転圧・施工後の使用期間の各段階において表示されている。混合・転圧および高温の供用条件下では、流動性に関連するアスファルトの挙動は粘度で表示することが出来るが、大部分、施工後の供用中の条件下では、アスファルトは粘弾性体の挙動をし、その挙動特性はスティフネス係数で表示される。¹⁾

スティフネス係数とは、与えた応力とその結果生じるひずみとの割合で定義され（また荷重が振幅荷重の場合には、振幅との大きさの関係で定義される）、鋼やセメントコンクリートの工学材料に使われる弾性係数と類似したものである。しかしあスファルトの弾性係数の値は一定でなく、温度と載荷時間により定まるものである。

特殊な装置により、直接このスティフネス係数を計測することは可能であるが、多くの場合アスファルトの軟化点と針入度の値から計算でき、この計算により得られるスティフネス係数はかなり正確なものである。

研究上は特に複雑なアスファルトの係数も使われるが簡易な方法で算出されたスティフネス係数に対し、実用上さしたる利点は持ち合わせていない。²⁾

道路舗装用アスファルトで作られた比較的密な合材を評価する際、重要な媒介変数を利用することができるが、（図-1 参照），以下アスファルトに関して各使用段階

における合材の評価について述べる。

施工時における合材の評価

混合温度は、主に骨材を乾燥する上で必要な温度から決定されるが、不必要的硬化を結合材に生じさせるほど高い温度であつてはならない。結合材は混合温度において、骨材との適切な混合が可能となるように、十分な流動性をもたなければならないが、混合物運搬時に結合材が骨材間より流れ出るような過度の流動性があつてはならない。

アスファルト添加後混合物に加えられるフィラーは、結合材で骨材を被覆する工程が完了した後の、結合材のみかけ粘度を増加させる重要な役割を持っている。実際上の条件下では、混合温度における結合材の粘度は約200 cSである。

転圧工程中に要求される規定として、ローラー下の混合物の流れ出しを限定するものがある。すなわち結合材の粘度が最も重要な要素となり、約20,000cSの粘度がこの転圧段階の粘度として関係づけられる。混合物敷均し直後、混合物はローラーを支持することはできないので、ローラー転圧ができる程度の混合物冷却がすばやく進行しなければならない。しかし混合物の冷却速度は、適切な転圧に要する時間が保たれるよう、適度に遅くなくてはならないが、交通開放が迅速にできないほど遅すぎてはいけない。

混合物の冷却度合、すなわち冷却速度は周囲温度にかなり影響される。さらに骨材の性質が転圧に非常に大きな影響をもっており、一般に、細粒部分が陵角に富むものであればあるほど、その混合物はすばやくローラーを支持できるが、反面完全な転圧を実施するには困難さが伴う。

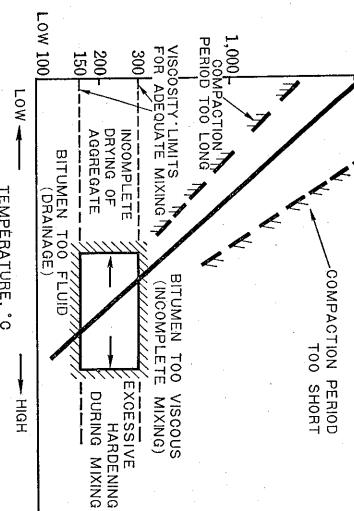
温度一粘度相関関係図における、前述の粘度範囲内のアスファルトの直線勾配は、転圧時における結合材の影響度合を示し、温度に対し高い感温性をもつ結合材は不利であることを示している。

* シエル石油株式会社 土木建設部

図-1 通常の混合、舗設、供用条件におけるアスファルトの性質

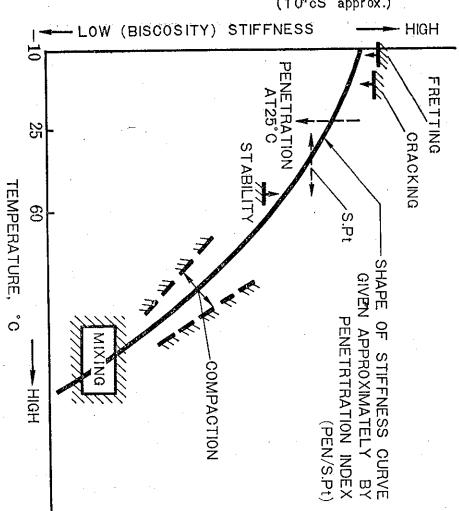


STIFFNESS (VISCOOSITY-cs)

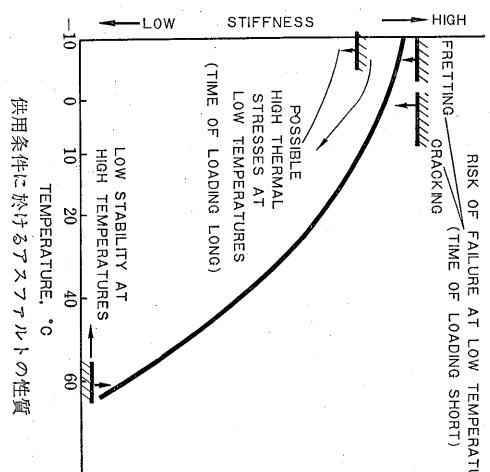


舗設時のアスファルトの性質

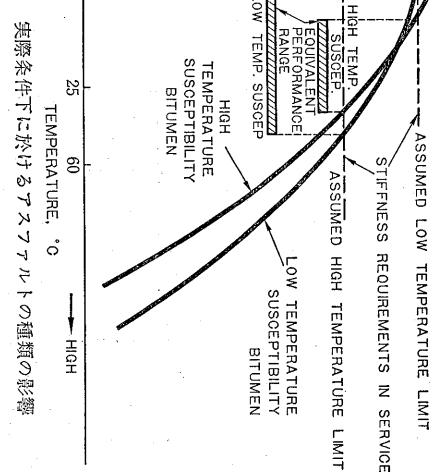
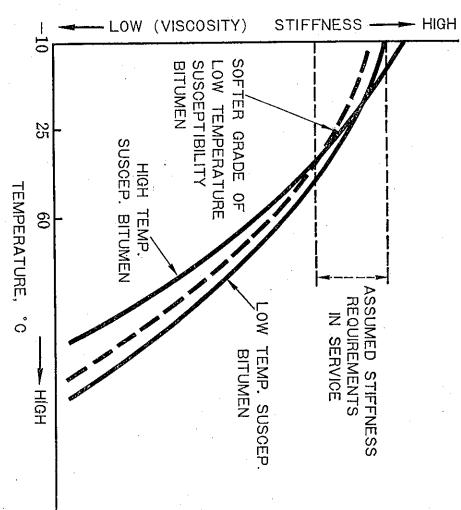
(10^4cs approx.)



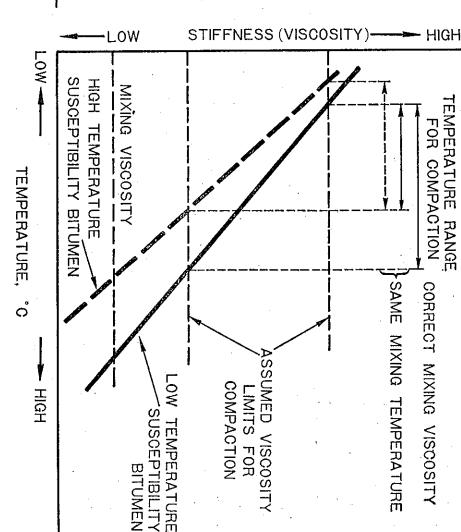
試験結果と限界域



供用条件におけるアスファルトの性質



実際条件下におけるアスファルトの種類の影響



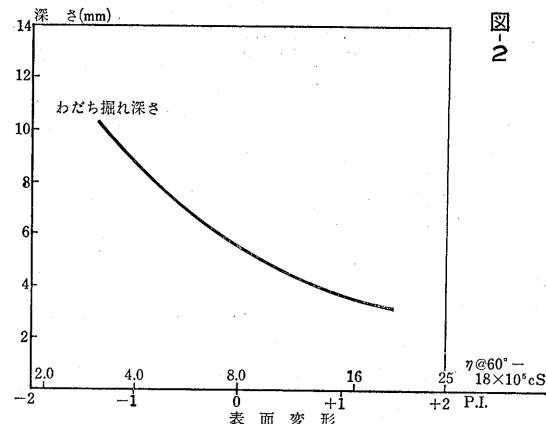
混合、転圧に於けるアスファルトの性質

供用条件における評価

高 温 時

混合物の変形は動・静両荷重の影響により発生するが特にブレーキ・加速・方向転回動作中に発生する高せん断応力下では、かなり大きな変形がみられる。変形は供用温度 (60°C が最高供用温度とみなされる) が高いほどより大きくなる傾向にあり、 60°C までの温度範囲内では、短載荷時間、くり返し荷重の蓄積的影響は粘度により決定される。

重交通下、密な混合物での表面への浮き出し、ブリーリングの危険性は、供用時の高温温度における結合材の粘度に関連があるとされている。結合材の 60°C における粘度が、わだち掘れの危険度合を判定する決定因子として適當かどうかが、いろいろ異なる流動特性をもつアスファルトを使用して、英國にて実施された広範な道路試験で検討されたが、その結果その適合性の確認が得られた³⁾。その混合物は粗骨材25%, 40/50のアスファルト 7.3~9.3%のホットロールドアスファルト合材 (B. S. 594) であったが、予想されたごとくアスファルト量の大きな影響がみられ、図-2に示されるごとく、8年後のわだち掘れと 60°C の結合材粘度とに関連があることが判明した。同図では針入度指数* の形で感温性に対する



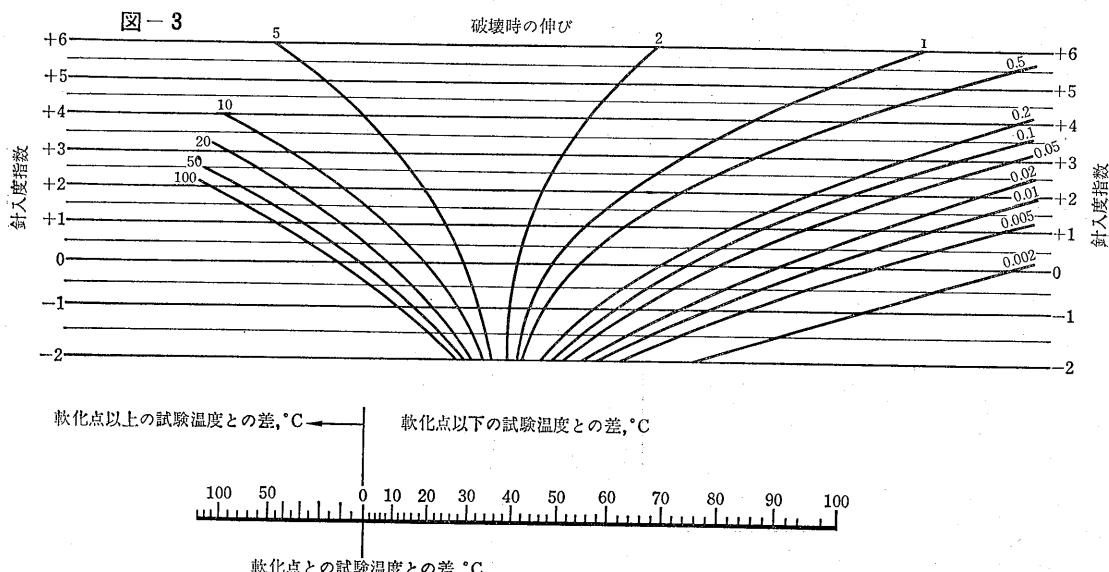
指標も表示されている。

* 針入度指数 (Penetration Index=P.I.) とは、下記の式であらわされる軟化点と針入度との関係である。

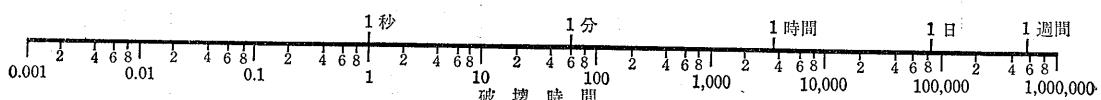
$$\frac{20 - \text{P.I.}}{10 + \text{P.I.}} \times \frac{1}{50} = \frac{\log 800 - \log \text{pen } t^{\circ}\text{C}}{\text{軟化点 (R&B)} - t^{\circ}\text{C}}$$

低 温 時

低温時の破壊はアスファルト混合物のひびわれか、または各骨材粒子の飛散に關係づけられ、一般に、通行交通



アスファルトの破壊時の伸びを予想するためのノモグラフ



により発生する応力とひずみに起因して破壊が生じる。疲労ひずみ

その際の載荷時間は非常に短かく、 50 km/h で通過する車輪と舗装体表面の抵触時間は約 0.2秒とされている。

アスファルトおよびアスファルト混合物の流動特性と破壊に関する広範な研究の結果、破壊の挙動は直接、その材料のスティフネス係数に関係あることが判明した。

この結果から図-3のノモグラフが開発され、いかなる条件の温度、載荷時間でもアスファルトの破壊時の伸び、すなわちひずみが通常の針入度と軟化点(R&B)の試験結果を使用することにより、予想することができるようになった。しかし混合物に関しては、アスファルト自体より混合物のアスファルト量と空隙率が、破壊に関しては、より重要な要素となることを忘れてはならない。

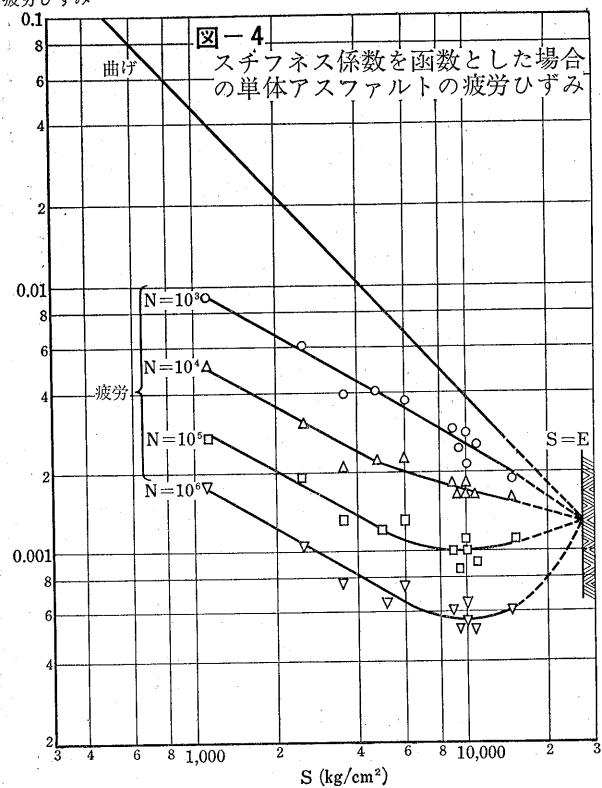
アスファルトおよびアスファルト混合物は、他の材料と同様にくり返し荷重下で疲労を受ける。図-4では応力のくり返し回数が大きくなるにつれて、アスファルト単体の破壊ひずみがどのように小さくなるか、またひずみがいかにアスファルトのスティフネス係数に依存しているかを示すものである。

しかし広範にわたる室内実験からも、量的に室内実験結果と現場条件を関連づけることは不可能であった。その理由としては、各異なる条件の蓄積的影響を集約し量的に関連づけることが困難だからである。

その異なる条件としては次のものがある。

1. 輪荷重が多様性をもつ。
 2. 供用温度が大きくかわる。
 3. 輪跡が一定しない。
 4. 鋼製体構造が異なる。
 5. クラックの自癒作用に関しての時間の経過と温度変化の相異。

上記のうち特に5.に関する影響の違いが、どの程度表現できるかは難しい問題である。



しかし妥当な条件下におけるアスファルトのスティフネス係数は、破壊の危険度合を推測する手段として使うことが可能である。

施工中、供用期間中におけるアスファルトの流動特性に関する規定は表-1に概要されるが、表-1は図-1中の曲線が全体として問題にする要点につき詳しく表示した表である。表示されたアスファルトの性状は混合・敷均し・転圧あるいは供用の各段階における性状に関連したものであり、骨材と混合前の原アスファルトサン

表-1 道路用アスファルト混合物に使用されるアスファルトの境界条件

各条件下の挙動		境界条件		混合物中のアスファルトの関連する性質
		温度 °C	載荷時間 S	
施工 に関して	混 合 散 転	高 温 側 (100より かなり上)	—	粘度相当温度 (200cS) 最低と最高
	布 压	高 温 側	—	粘度相当温度
供 用 中	塑 性 変 形 うき出し(フランジング) ひびわれ 波 立 ち	舗装体の高温 " " " " 舗装体の低温側 " " " " " " " "	長い載荷時間 " " " " 短かい " " (10 ⁻²) 長い " " " 短かい " " (10 ⁻³)	粘度* 粘度* スティフネス ☆ " " ☆ " " ☆

(注) 検討されたごとく、原則としてアスファルトは発生したと思われる変化を表わす状態にあるものとする。

* 混合作業中のもの

・混合作業中のもの
☆供用中の老化後のもの

ブルに対する試験は、実用上意味の少ないものであることが強調されている。

最近、日本で提唱されている新しい試験について検討してみると、下記のものが上げられている。

①アスファルトに対し

老化性に関連し

1. 蒸発減量(搅拌、末搅拌の針入度比)
2. 薄膜加熱試験

粘着性に関連し

1. 静的はく離試験

②アスファルト混合物に対し

1. ホイールトラッキング試験
2. 水浸マーシャル試験

老化試験を考察してみると、その目的は混合、運搬、敷均し工程を経た、敷均されたアスファルトの流動特性を正確に予想することにある。世界中で使われている試験では、実際の混合工程を模擬するため、温度は同温度で、混合時間では実際には1分以下の時間に対し、75分から5時間の時間が採用されている。揮発分の蒸発と酸化反応の機構が、実際と類似しているのかを確認する場合、実際と試験の差に注意を払わなければならない。

混合工程ではアスファルトは加熱され、極端に薄膜の状態で空気にさらされ、運搬中では密閉空気にさらされ最終段階の敷均しと転圧工程では、上部表面のみが空気と周囲温度にさらされることになる。

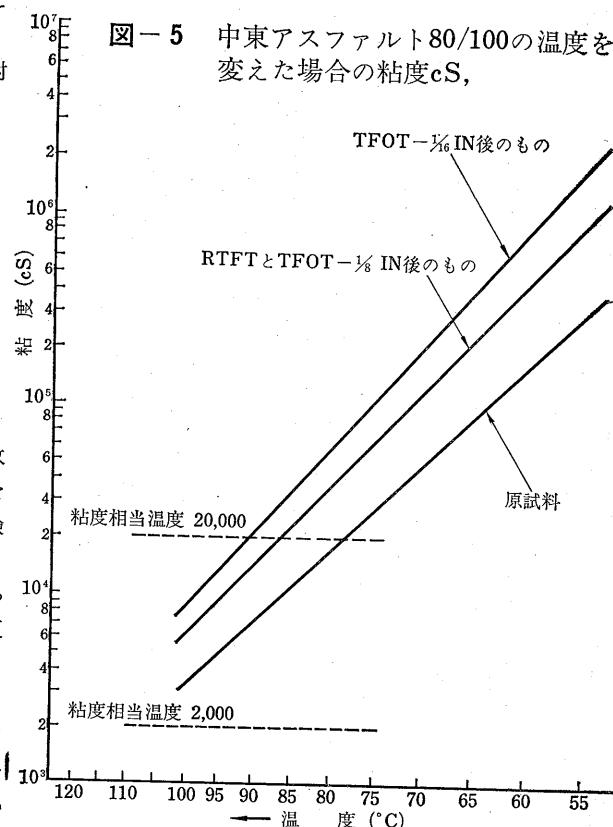
蒸発減量試験(ASTM D6, IP45)では、アスファルトを針入度試験用容器に入れ、163°C, 5時間加熱器の中へ入れ試験されるが、その試験結果はほとんど意味を持たず、ただ加熱され貯蔵されるアスファルトを模擬した試験にすぎない。たしかにこの試験により揮発分の存在を検出することは出来るが、それであるなら引火点試験による方法の方が、よりよく揮発分の検量をすることができるであろう。

搅拌方法がとり入れられた蒸発量試験では、酸化、揮発をさまたげる酸化物の形成(スキンフォーメイション)の危険性を取除くために、搅拌を採用したのであろうが、実際の混合工程を模擬するには、はなはだ手ぬるい手段でしかないといえる。

最近の薄膜加熱試験(ASTM D1754)では、約3mm厚のアスファルトを163°Cで5時間加熱器にさらす、より実用条件に適合した方法が採用されている。

ドイツでの試験法(DIN1995-V12)は薄膜加熱試験法とよく類似しているが、4mm厚のアスファルト膜が試験に供される点で相違している。この種の薄膜加熱試験は、実際の作業工程中に起るアスファルトの軟化現象と非常によい相関関係を持ち、現在では数多い規格に採

図-5 中東アスファルト80/100の温度を変えた場合の粘度cS,



用されている。

しかしこの試験では、誤った試験結果を引き起しやすい酸化膜形成(スキンフォーメイション)の影響をこうむりやすい欠点がある。さらに一段ときびしい条件の試験方法が、ニューサウスウェールズで紹介され検討されているが、この試験法では1.5mm(1/16インチ)のアスファルト膜が使われる。この寸法の試験手順では、試験後得られる残留物が少量であること、また容器の水平度合の調節が、試験結果に大きく影響を及ぼす等操作上の難点がある。

1963年、アメリカ、カリフォルニア州の道路局で、Rolling Thin Film Testが開発された⁶⁾。

この試験ではアスファルトが入った円柱状のガラス容器を、垂直に回転する円板のたなに取りつけることによりアスファルトが容器内面上で、連続的に流動している状態を保持できるよう工夫されている。回転装置は加熱器中にすえつけられ、163°Cは保たれる。しかしサンプルを加熱器中に置く時間はわずか75分で、予熱された空気が各容器中に定期的に吹き込まれる。

原産地のちがう各種のアスファルトを使い、一般に使われているThin Film Oven TestとRolling Thin

Film Test (以下 R T F T と略す) を比較し、評価し、試験後のサンプルを用いて、通常の流動特性を調べる試験を実施した結果が、図-5 に表示されている。

R T F T 試験による重量の損失は、むしろ小さく出ているが、これは他の方法に比し、より大きな酸化が試験中に行なわれたとすれば説明がつく。揮発分は引火点試験値で十分その存在を認めることができ、R T F T 試験後の流動性に関する値は、実際の作業工程中に起る硬化を、よく模擬していると見なして差しつかえないと思われる。

本 R T F T 試験を支持する点として、次の利点があげられる。

- 1) 機械的見地からも R T F T 試験法は、実際の作業工程における混合機構とよく一致したものをとり入れている。
- 2) 試験中アスファルトは継続的に流動されるので、均一の硬化が促進される。
- 3) 必要な場合および残留物の収得量が、かなりある場合、同時に違うサンプルを試験することができる。
- 4) R T F T 試験後のアスファルト残留物の収得量は全容器に同じアスファルトを充填した場合、200 g ものサンプルの回収が可能である。
- 5) 75分という短かい試験時間が採用された結果、1日の作業時間中に4回の試験をすることが可能である。
- 6) 試験後サンプルの残留針入度、軟化点に関し、くり返し性がよい試験である。

R T F T 試験が規格のため広範に使われるその理由とは、上記6つの利点があげられる。R T F T 試験ではわ

ずか75分の試験時間が採用されるが、実際に薄膜でさらされる時間は、実際の作業工程中の混合時の時間と矛盾しない。

アスファルトに関する粘着性は、アスファルトの技術的问题の中でもっとも複雑な点であり、またもっとも未知の現象である。アスファルトと骨材の粘着力の喪失は混合物中に発生し、時には破壊につながる。結合材と骨材との粘着力の喪失は、マカダムタイプのような高空隙率の混合物に発生しやすいが、粘着力の喪失が必ずしも道路舗装体の破壊につながるとはかぎらない。事実、マカダムタイプ混合物のこの種の原因による破壊は比較的まれで、一般にこのタイプの混合物の破壊は、不適な基礎構造を持つ道路に対するきびしい交通条件に関連するとされている。粘着力に影響を与える主要因として鉱物質骨材、特にフィラーフの性質が考えられる。

アスファルトの粘着力に関する研究によると、粘着力の相違は流動特性の違いが大きく影響していると一般的にいわれている。これは静的はく離試験の場合、たぶん事実であると思われる。すなわちこの試験では、80°Cにおいて水がアスファルトを置換する度合を測定していることになるが、試験温度における粘度の違いが試験結果に影響を与えていると思われる。

静的はく離試験において、粘度が与える影響は図-6 に示されるとおりで、関係官庁の試験所およびシェル石油中央研究所から得られた試験結果に基づき作られた図である。

図-6より明確なように、粘度以外の他要素も静的はく離試験結果に作用しているが、粘度の影響はこの種の試験法の有効性や、その試験温度の妥当性に疑問をいたしかざるを得ない。過去、アスファルトの粘着力の違いについて行なわれた研究では、マーシャル供試体モールドで作られたアスファルトブロックが違った回数、温度で水浸され、残留安定度に対するパーセントが測定された。その結果より残留安定度の原安定度に対する相違は等粘度温度でなくして、同一の温度で締固めて作成された供試体の空隙率の違いによるものであることが発見された。以上の結果をもとに考へると、200cS粘度相当温度を反映する純流動特性の相違、すなわち試験された各アスファルトによる相違は考慮に値しないといえるであろう。

いま我々は在来試験の欠陥をのみ

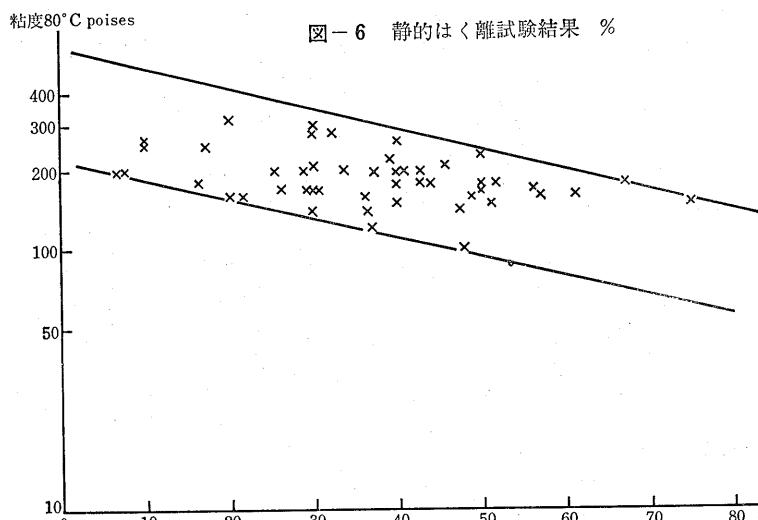
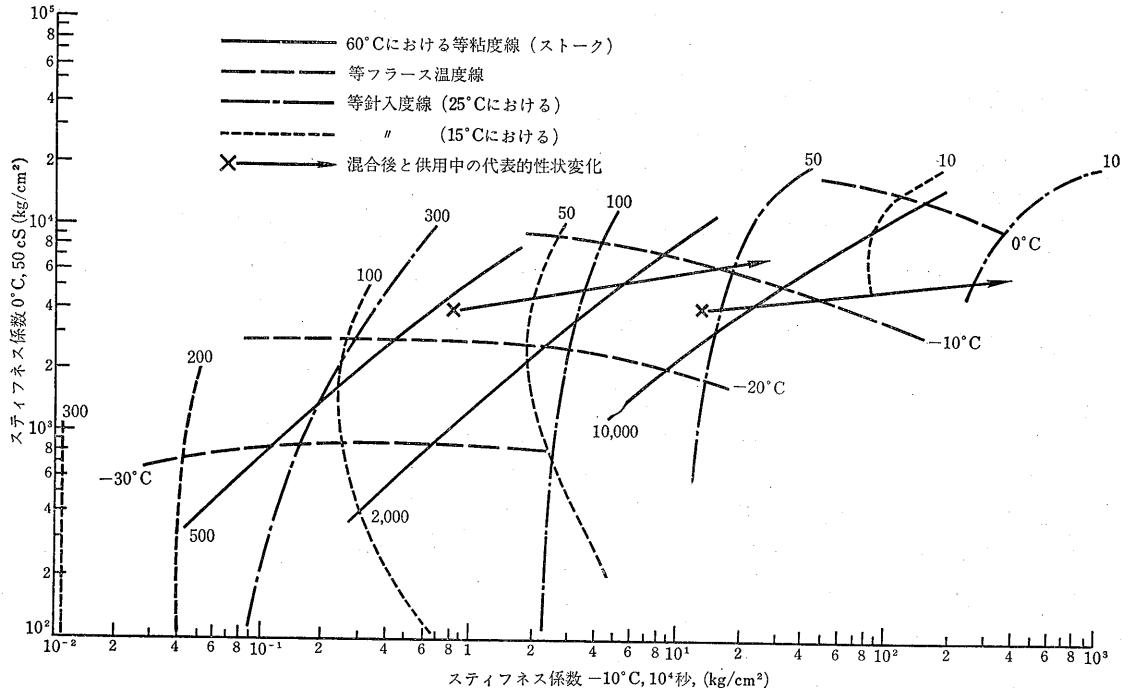


図-6 静的はく離試験結果 %

図-7 低温時スティフネスと実験結果との一般的関係



見るのでなく、今後よりよい試験法の確立のため努力する立場をとらなければならない。しかし粘着力を考えた場合、よりよい試験法を確立することは非常にむずかしい問題である。なぜなら全てのアスファルトは、骨材に対し非常によく似た粘着特性をもっているからである。

しかしながら、湿った骨材に対するアスファルトの粘着性は入手される粘着剤（十分な熱安定性を有する）を添加することにより、粘着性を改良することが可能である。粘着性についていえることは、粘着性の持続は供用中のアスファルトの最低粘度に支配されるから、高温時の供用中の規定が必要となる。

回転する負荷車輪をアスファルト混合物に作用させる室内試験が、はく離変形の現象を研究するため従来より使用されてきている。

水浸ホイールトラッキング試験は、有効材料である骨材に対するアスファルトの接着性を調べる試験法として採用されているが、密な材料の骨材に対する接着性の試験には適しない。実際にはある程度のはく離は、強度の減少にかかわりなく発生するが、多くのフィラーを使用して比較した結果によると、道路試験でよい結果が得られたものは、水浸ホイールトラッキング試験において少なくとも20時間破壊しないことと関連づけられる。（厳しい舗装体の環境条件下でのはく離は、水浸ホイールトラッキング試験での4時間以内の破壊と関連づけられる。）

舗装体表面の変形は、不十分な転圧、不適切な荷重分散、層間の接着性の欠陥、摩耗層の塑性変形などにより発生するが、RRL（英国道路試験所）は、45°Cで実施されるホイールトラッキング試験と実際の工事経験より次の最大変形率 (mm/hr) を提唱している。

最大変形率 (45°C) mm hr		
日当り一方向 商用車台数	日当り一方向 商用車台数	日当り一方向 商用車台数
1,000台以上	350~1,000台	350台以下
7	30	60

英国シエル・エガム研究所において特別に開発された転圧機械と1,000回通過、1回の往復時間1秒、試験温度60°C、接地面圧8kg/cm²を使用したトラッキング試験機を使用して得られた実験結果では、実際の舗装体の性能と試験結果との間に相関関係が得られた。

100回通過後のわだち掘れ深さとマーシャルスティフネス ($\frac{\text{マーシャル安定度}}{\text{マーシャルフロー値}}$) の相関関係がアスファルトコンクリート混合物のみならず、ロールドアスファルト、グースアスファルト混合物についても求められた。

結論

前に示された図-1、表-2で概要されたアスファルトの流動特性に関する規定について、全体的に見た場合、高温時、中温時の温度範囲においては、試験法について大きな問題はないが、等級別けの目的ではいかなる値も使うことが可能である。60°Cにおける結合材の粘度を測定し使用することは、一般によく使われる針入度分類よりも利点が多く、特に各アスファルトによる混合温度における粘度の違いを最小限にすることができる。またこの規定と同時に10°C、15°Cの低温時におけるアスファルトの特性を示す適切な規定を加え、さらにR T F Tのような老化試験後のアスファルトに対しても規準を決めれば、アスファルトの分類や舗装体性能と、アスファルトの特性を関連づけるため大きな役割りを果すものと考える。しかしながらこの場合、スティフェス係数や破壊歪等の、より基本的な低温における試験法の採用にまでは至ることができず、実験的試験を利用しなければならないという、望ましからぬ点が大きな問題点として残っている。

通常の試験と長短両載荷時間における低温時のスティフェス係数との間に見られる一般的な関係を示すと、図-7のとおりとなる。この図より、25°Cにおける針入度は、短載荷、低温時のアスファルトの挙動を知るために不十分であり、フラー脆化点は長載荷時間におけるアスファルトの挙動を知る上で、不十分な手段であることがわかる。一方60°Cで、等粘度をもつアスファルトでも、60°Cでは境界規定より見て軟らかすぎる場合、15°C、できれば10°Cのような低温時の針入度を求めてみると、長短両載荷時間とある程度関連づけられる。

老化性に関してはRoling Thin Film Testは、ほかのいかなる試験の手順より、正確に混合中の実際の作用を模擬し、試験室的な観点からも数々の利点を持っていいる。

粘着性は測定するのに非常にむずかしい要素であり、おそらくほとんどのアスファルトは非常に似かよった粘着特性をもっている。しかし最高供用温度で高い粘度をもつアスファルトほど、はく離に対し抵抗性をもつと思われるから、低感温性をもつアスファルトが望ましいことはいうまでもない。

アスファルトの粘着性のわずかの相違は、使用フィラーの骨材の性質の相違により生じてくると考えられるので、採用される試験は実際の混合物に対しても行なわなければならない。

アスファルトの適合性を最終的に決めるものは現場での性能であり、このために真の比較が可能であると確信できる。また、正確に手順だてられた現場試験を実施す

る必要がある。我々はこの目的のため数多くの要求に適合する試験や、無数の小規模な実験を実施してきたが、極端な場合にのみアスファルトの差違が認められること多かった。

それらの現場試験は非常に注意深く行なわれ、全般の工事レベルは高い水準をもつものであった。この状況の中で工事技術と、アスファルトの品質との相対的必要性を討議することは非常に興味深いことである。すなわち入手された多くの状況から判断すると、例外は除き最も良の舗装性能を得るには、施工の細部、特に混合・転圧温度に対し、より大きな注意が必要であることが明確となつた。また低感温性を有するアスファルトは、高温時や長い載荷時間では、より安定性があり、また低温時や短かい載荷時間では、より大きな弾性が得られるので望ましい。

すなわち低感温性アスファルトの使用により、まずい配合設計や工事技術による影響を最小限にとめることができ、また配合設計や技術が良好の場合は、より優秀な性能を得ることが可能であるといえる。

交通密度の急速な増加と、今日数多くの国で見られる輪荷重増加の影響に対処するため、今後より優秀な舗装性能が益々要求されるようになるであろう。

参考文献

- 1) Van der Poel C., "A general system describing the viscoelastic properties of bitumens and its relation to routine test data," J. Appl. chem. 4 (1954) 221
- 2) Jongepier R., "characteristics in the rheology of bitumens," Paper presented at A.A.P.T. meeting (Los Angeles) 1969
- 3) Dormon G. H., "Some observations on the properties of bitumen and their relation to performance in practice and specifications", paper presented at first conference on asphalt pavement for southern Africa (Durban) 1969.
- 4) Heukelom W., "Observations on the rheology and fracture of bitumens and Asphalt mixes," paper presented at A.A.P.T. meeting (Minneapolis) 1966.
- 5) Bazin P. and J.B. Saunier, "Deformability, fatigue and heating properties of Asphalt mixes," Proc. Int. Conf. on Structural Design of Asphalt pavement, University of Michigan, Ann Arbor (1967)
- 6) Hveem F. N., E. Zube and J. Skog, "Proposed new tests and specifications for paving grade Asphalts", paper presented at A.A.P.T. meeting (San Francisco) 1963

〔シエル石油 牛尾俊介・下村敏男 訳〕

マスチック・アスファルトの 流動特性とその連續式流し込 み工法への応用研究について

有 福 武 治

マスチック・アスファルト（サンドマスチックや更に碎石を含む広義のマスチックを意味する）の河川や海岸構造物の一部として、流し込み工法は過去約10年前より使われ始め、その利点は広く認められ、現在数多くの施工例があげられているが¹⁾、これらはすべてバケットによる施工で、連續式流し込みの研究は、わが国ではほとんど皆無であり、外国では施工例のみが数件散見されるのみである。

一般に水利関係への応用としてのマスチック・アスファルトの流し込みの利点は

- (1) マスチック・アスファルトが捨石の間隙に流れ込み捨石を包みこんで一つの塊（mass）として働く。
- (2) マスチック・アスファルトは不透水性であり、水の移動を最小限にし、堤体の砂の移動（洗掘）を防止する。
- (3) 冷却すれば固結するので、養生期間等も不要であるので、施工速度が早い。
- (4) 波浪の衝撃に対して弾性があり、

- (5) たわみ性があるので、基盤のゆるやかな変位になじみ、亀裂破壊を伴わずに変形できるので、基盤との間に空洞を生ぜず、洗掘防止に役立ち、
- (6) 流し込みの水温は5~25°Cと冬期・夏期にかかわらず温度差がないので、流し込み後の機械的性質が明らかであり設計に便利である。
- (7) 耐酸耐アルカリであり、人畜無害である。
- (8) 流し込みのために、特殊なアスファルト・プラントおよび施工機械は不要であり、通常の道路用アスファルト・プラントで十分である。

その他の利点をもっているので、着実に利用され拡大されつつある。

筆者はマスチック・アスファルトの流動特性の研究とパイプによる流し込みの機構を明らかにし、連續的に流し込むための問題点を解明する機会があったので、その概略を述べる。

§ 1 マスチック・アスファルトの流動特性について

1-1 マスチック・アスファルトの高温における流動性について

マスチック・アスファルトの流動性については、流し込み時（高温での）の粘度と、流し込み終了後の常温（水温または水面上露出部分での温度）における捨石斜面および捨石間隙での流動とに分けられる。

高温における粘度測定方法は数種提唱されているが、筆者等の研究によるとオランダ・シエルのR. E. Kerkhoven²⁾の方法が最も妥当であると考えられ、代表的なものとして図-1は落球式（直径25mmおよび38mmの鋼球）の落下時間により粘度を測定する³⁾との比較である。これで判るように落球式の測定値は、種々の条件の影響をうけ誤差が多く信頼度が少ない。

従って本研究ではシエル式粘度計と称

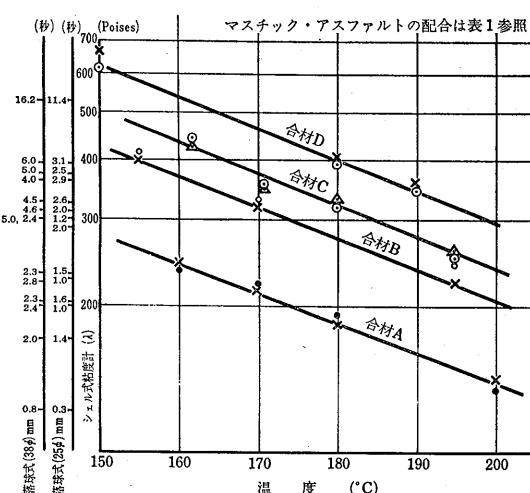


図-1 シエル粘度計と落球式粘度測定との測定結果比較

して本型式を使用した。(図-2参照)

1-2 マスチック・アスファルトの配合と高温における流動性との関係

マスチック・アスファルトの配合設計については、ほとんど経験的に決められているが、数多くの実験研究より R. E. Kerkhoven²⁾ の提唱が適当と考えられる。すなわち「マスチック・アスファルトの骨格として考えられる砂の粒子によって構成される空隙をフィラーが充填し、さらに未充填の空隙をアスファルトが充填する。そして充填したあとの余剰アスファルトが流動性を左右する因子となる。」

いま砂とフィラーとの混合物の容積 V_{sf} は次式で表わされ、

$$V_{sf} = \frac{100}{100 - H_m} \cdot \frac{F + M}{F + M + B} \cdot 100$$

ここで

H_m : 締め固められた砂とフィラーの混合物の空隙量%

F, M, B : フィラー、砂、アスファルトのそれぞれの容積

マスチック・アスファルトの配合設計として

- 1) 砂とフィラーの混合骨材を締め固め、その空隙率(H_m)を測定する。
- 2) アスファルト量 B (%容積比) と H_m より前式を用いて V_{sf} を計算し、

- 3) 所定温度におけるアスファルトの粘度 η_{bit} と図-3 と V_{sf} よりマスチック・アスファルトの粘度 η_m を知ることができる。

これらのうち代表的な配合試験の結果は表-2 のようであり、使用材料は表-3 のようである。

いま数多くの種類のマスチック・アスファルトの高温における粘度 η_m と、アスファルトの粘度 η_{bit} との関係図は図-4 のようになり、大体 η_m は η_{bit} の約 150~450 倍の曲線の枠内にあることが判った。但し特殊の配合の場合には除く。(表-2 参照)

このほか加熱状態における流動性に影響する骨材の沈降状態の実験調査の結果は、標準配合のマスチック・アスファルト(細目砂 70%, 石粉 10%, アスファルト 20%)の粘度 $\eta_m = 5 \times 10^4 \sim 4 \times 10^5$ poises の範囲内では

表-1 シエル式粘度計と落球式粘度計による粘度測定値比較表

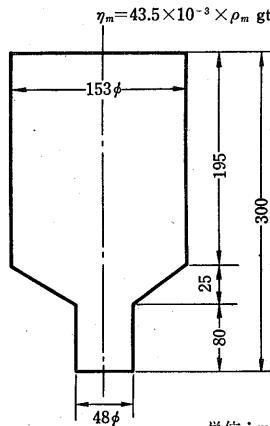
	配 合	温度°C	シエル式粘度計			落球式	
			500cc 流出	1,000cc 流出	35mmφ	25mmφ	
合 材	アスファルト	20%	160	3.2 秒	Poises 237	7.0 秒	Poises 245
	フィラー	31.5%	164	—			1.5 秒
	ダスト	20%	170	3.0 —	222	6.2 —	217
	砂	48.5%	174	—			1.6 —
	(F · M = 1.6)		180	2.6 —	192	5.2 —	182
	A	20:20:60 (重量比)	%	200 210	1.8 —	133 4.0	140 0.3
合 材	アスファルト	19%	162	6.0 —	444	12.1 —	424
	フィラー	30%	165	—			3.1 —
	ダスト	19%	170	—			2.9 —
	砂	51%	171	4.8 —	355	100 —	350
	(F · M 1.6)		180	4.3 —	320	9.4 —	330
	B	19:19:61 (重量比)	%	195 210	3.4 —	252 7.4	258 —
合 材	アスファルト	20%	155	5.4 —	400	118 —	413
	フィラー	31.5%	160	—			2.5 —
	ダスト	20%	170	4.3 —	320	9.5 —	333
	砂	48.5%	175	—			1.2 —
	(F · M 1.4)		183	—			2.8 —
	C	20:20:60 (重量比)	%	195 200	3.0 —	222 7.0	245 1.0
合 材	アスファルト	19%	150	9.0 —	665	17.4 —	610
	フィラー	31%	160	—			11.4 —
	ダスト	19%	180	5.4 —	400	113 —	397
	砂	51%	190	4.8 —	355	9.8 —	345
	(F · M 1.4)		195	—			2.5 —
	D	19:19:62 (重量比)	%	200	—		4.5 1.5

使用した材料の性質

クエート、セミプローン、アスファルト 砂(1) 茨城、鹿根砂
砂(2) 利根川、柏市附近、相模興業
石粉 北名摩工業(灰酸カルシウム)

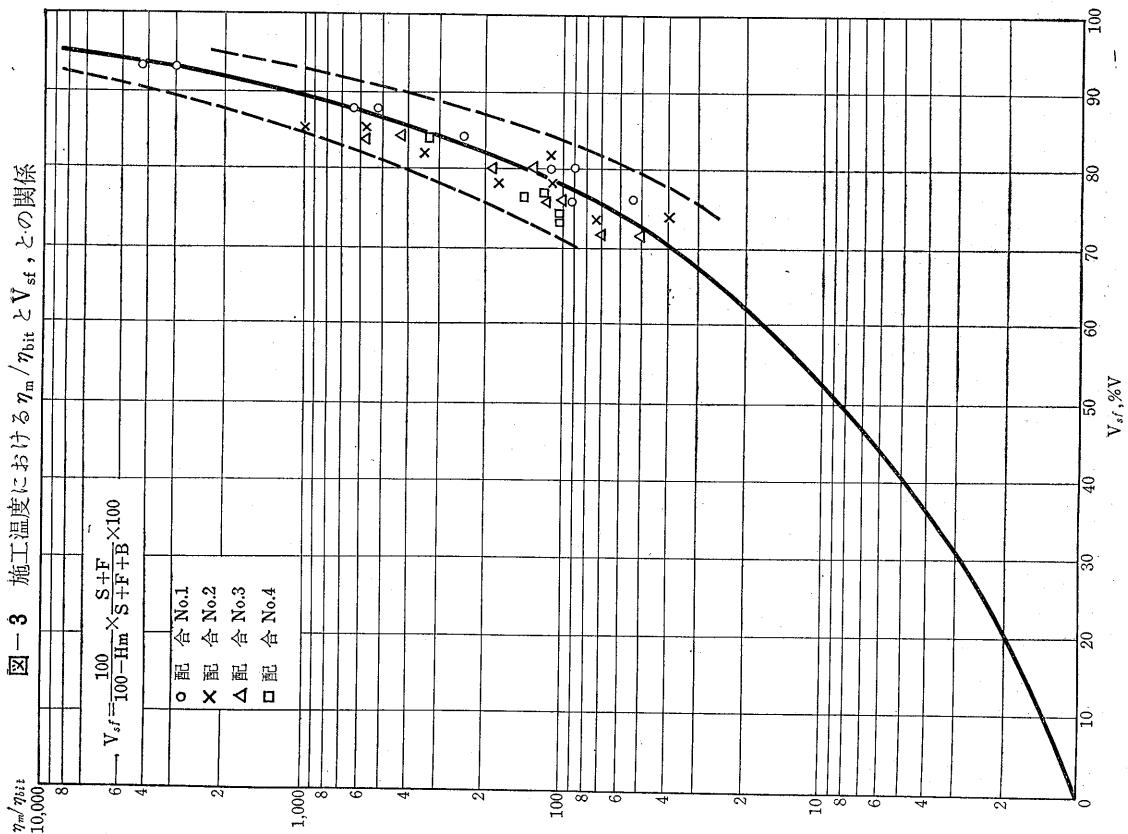
比重 2.66
比重 2.70
比重 2.703

アスファルト	フルイ目	石粉	砂(1)	砂(2)
針入度 @ 25°C	70		99.6	99.8
軟化点 °C	50.7	2.5	99.0	99.4
P.I.	> 0.2	1.2	97.7	81.6
伸度 @ 25°C cm	100	0.6	57.0	50.4
フランズ脆化点 °C	= 16	0.3	6.5	7.7
蒸発減量 %	0.03	0.15	69.5	1.4
引火点 °C	315	0.074	F.M	1.6
	%			



ここに、
 η_m : マスチック・アスファルトの粘度 (Poises)
 ρ_m : マスチック・アスファルトの密度 (g/cm^3)
 g : 重力の加速度 (cm/sec^2)
 t : 1,000cc 流出所要時間 (sec)
 $g = 10^3$ とすると、 $\eta_m = 43.5 \times \rho_m t$

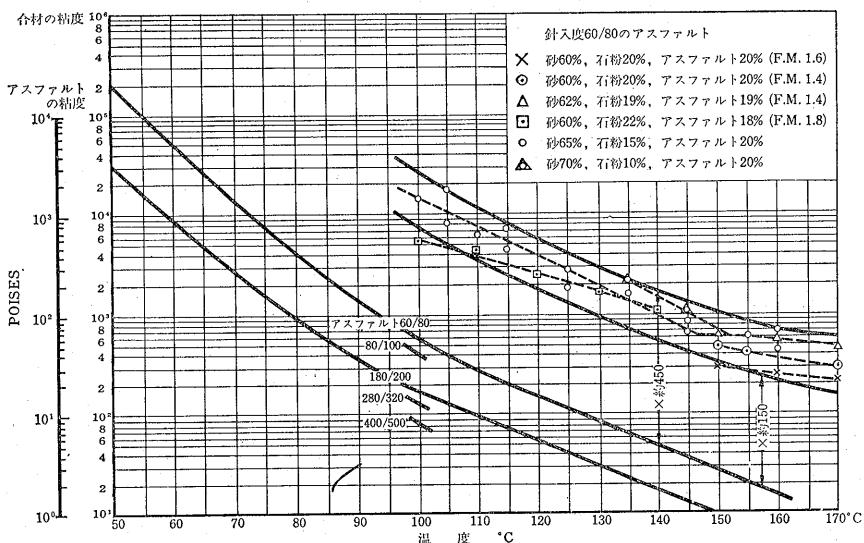
図-2 シエル式粘度計

図-3 施工温度における η_m/η_{bit} と V_{sf} との関係表-2 配合試験による V_{sf} と η_m/η_{bit} との関係

	配合 No.1 S/F=90/10					配合 No.2 S/F=80/20					
	アスファルト(%)wt	14	16	18	20	22	14	16	18	20	22
砂	77	76	74	72	70	69	67	66	64	62	60
石粉	9	8	8	8	8	17	17	16	16	16	16
Hm (%)	25	25	25	25	25	23	23	23	23	23	23
Vsf(%)vol	93	88	84	80	76	91	86	82	78	74	70
試験温度(°C)	160	180	160	180	160	180	160	180	160	180	180
η_{bit} (Poises)	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1
η_{mix} (Poises)	3.4×10^3	3×10^3	3.4×10^3	5.2×10^3	6.4×10^3	2.5×10^3	4.2×10^3	1.8×10^3	1.9×10^3	1.1×10^3	1.1×10^3
η_m/η_{bit}	4.2×10^4	3×10^4	7.0×10^4	5.2×10^4	3.2×10^4	2.5×10^4	1.2×10^4	9.0×10^3	9.4×10^3	5.4×10^3	3.6×10^3

	配合 No.3 S/F=70/30					配合 No.4 S/F=60/40					
	アスファルト(%)wt	14	16	18	20	22	14	16	18	20	22
砂	60	59	57	56	55	52	50	49	48	47	46
石粉	26	25	25	24	23	34	34	33	32	31	30
Hm (%)	21	21	21	21	21	19	19	19	19	19	19
Vsf(%)vol	88	84	80	76	72	86	81	77	74	70	66
試験温度(°C)	160	180	160	180	160	180	160	180	160	180	180
η_{bit} (Poises)	—	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
η_{mix} (Poises)	—	3.4×10^3	5.8×10^3	3.8×10^3	1.4×10^3	2.4×10^3	1.0×10^3	1.4×10^3	5.0×10^3	2.4×10^3	1.5×10^3
η_m/η_{bit}	—	4.2×10^4	5.8×10^4	1.9×10^4	1.4×10^4	1.2×10^4	1.0×10^4	7.0×10^3	5.0×10^3	1.2×10^4	1.5×10^4

図-4 針入度60/80のアスファルトを使用して各種配合のマスチック・アスファルトの温度-粘度曲線



約24時間放置しても、砂の粒子の沈降現象はみられず、機械の故障等でパイプ中に貯蔵放置しても、管壁が沈降現象に影響なく、パイプ内の流動について支障ないことが判った。すなわち、上層部・中層部・下層部のアスファルト量の測定より判定し、流し込み機器の故障によるマスチック・アスファルト合材のパイプによる流し込み施工の再開の可能性の検討になる。(表-4参照)

なお捨石中の流し込み深さについては、通常捨石の大きさの1.5~2倍の深さと経験的にいわれているが、室内および現場試験の結果、次の実験式を得たが、数カ所の現場の実測値に概略合致するので、概算値を知る意味で適用可能と思われる。(表-5参照)

$$\ell = \left(\frac{S_A}{22.5} \right)^4 \cdot \frac{2 \times 10^3}{\eta_m} \cdot 50 \text{cm}$$

ここで ℓ : 流し込み深さ cm

S_A : 割栗捨石の平均大きさ cm

η_m : 流し込みの際のマスチック・アスファルトの粘度範囲は $10^2 \sim 10^4$ Poises が望ましい。

1-3 常温におけるマスチック・アスファルトの流動
マスチック・アスファルトが捨石の間隙に流れ込み、捨石を包んで一つの塊としての機能を発揮するためには

表-3 配合試験の使用材料 (表2.3.4のために)

アスファルト:
クエート、セミブローン 60/80

砂: 福島県石城郡四倉 海岸砂
石砂: 奥多摩工業 (炭酸カルシウム)

針入度 @ 25°C	68	フル目 (mm)	砂	石粉
軟火点 °C	51	通 過 百 分 率	5.0 2.5 1.2	100 99.0 82.0
P. I.	— 0.2			
伸度 15°C	100			
フ拉斯脆化点 °C	— 16	0.6	28.0	100
蒸発減 %wt	0.04	(%wt) 0.3	1.0	98.9
針入度減 %	11	0.15	0	85.1
引火点 °C	310	0.074	2.680	2.793
四酸化炭素可溶分 %	99.9	比 重 粗粒率 (F. M.)	1.91	—

常温下で、マスチック・アスファルトが流動しないことが必要である。ことに斜面においては必要な問題といえる。いま 1:2 の斜面におけるマスチック・アスファルトの自重によるせん断応力は 8.9×10^3 dynes/cm² であり、水中の場合の比重を 1.0 g/cm^3 とすると約 5.0×10^3 dynes/cm² となり、実験結果(表-6)よりこの時のマスチック・アスファルトの粘度は、針入度 80/100 のアスファルトの使用すると、表-6 より 3.0×10^{11} Poises であり、 $\frac{\eta_m}{\eta_{bit}} = 6,000$ (ただし 10°C) となる。

斜面における 10cm 厚さのマスチック・アスファルトの流動について R. E. Kerkhoven の式²⁾ を用いて、平均流動を試料スラブ表面の 2/3 とすると次式で表わされ、

$$S = \frac{\rho_m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot h^2 t}{3\eta_m}$$

また捨石の間隙を半径10cm, あるいは半径5cmの円筒と考え円筒における平均の流れは円筒の軸における流れの1/2とすると

$$S = \frac{\rho_m g r^2 t}{8\eta_m} \quad \text{となる。}$$

ここで ρ_m : マスチック・アスファルトの比重
($1 g/cm^3$) (水中で)

g : 重力による加速度 $10^8 cm/sec^2$

α : 斜面の傾斜角

h : 捨石上のマスチック・アスファルトの被り, またはスラブの厚さ cm

t : 流動の時間 = $2 \times 10^8 sec$ (7年間)

η_m : マスチックア・スファルトの粘度
(Poises)

r : 円筒の半径 (cm)

2つの上式および上記の値を用いて, 7年間の想定される流動の値(cm)は表-7となり, 実際の機能上支障ないことが判った。

このほか捨石層に流し込みしたマスチック・アスファルト層に圧力がかかるたり, 上部にケーン等が沈められて, マスチック・アスファルト層が圧入される場合を考慮して図-5のような試験を行った。その結果は図-6および図-7のようであり, 使用マスチック・アスファルトは細目砂 (F.M.1.4) 70%, 石粉10%, アスファルト(針入度280/320) 20%である。ダーシーの法則⁴⁾より次式が誘導される。すなわち

$$(\ell_1^2 - \ell_0^2) \frac{P \cdot t}{\eta_m} \cdot 2K$$

ここで ℓ_0 , ℓ_1 は圧入前および圧入後のマスチック・アスファルトの浸透深さ cm

t : 時間 (sec)

K : 浸透係数 cm

P : 圧力 dynes/cm²

η_m : マスチック・アスファルトの粘度 Poises

図-6および図-7より圧入深さは表-8のようになり, これからK値は表-9のようになる。ただしマスチック・アスファルトの粘度は $20^\circ C$ で 6×10^8 Poises と仮定した。

これらのK値について, 土木学界⁶⁾やA.CasagrandeおよびR.E.Fadum⁷⁾またH.Leussink⁸⁾らによって与えられており値と比較すると, マスチック・アスファルトの粘度($20^\circ C$ において $\eta_m = 6 \times 10^8$ Poises)と水の粘度 ($20^\circ C = 10^{-2}$ Poises)の値に

表-4 マスチック・アスファルトの沈降試験

(小さい管路をもつパイプについて)

1. パイプ: 直径 8cm × 200cm長さ	70%
2. マスチック・アスファルト配合	10%
細目砂: 利根川, 栗橋, F, M, 1.62	20%
石粉: 奥多摩工業	
アスファルト クエート・セミプローン, 針入度 280/320	

項目	フルイの呼名 寸法 mm	砂			石粉		
		利根川水系 栗橋附近	比重	表 絶	乾	項目 フルイ 寸法mm	奥多摩産
通過重量百分率 %	2.5	100	吸水量 %	3.20	通百分量 %	0.3	100
	1.2	98	単位棒突き	1.50	過分重量 %	0.15	92
	0.6	89	容積重量	シヨベル	量 %	0.074	80
	0.3	46			比 重 :	2.72	
	0.15	5					
	0.074	1	粗粒率(F.M.)	1.62			

放 置 時 間 hr		温 度 $70^\circ C$			温 度 $90^\circ C$			
		2	5	20	66	2	17	58
アスファルト量上部	% Wt	20.3	20.0	19.6	20.2	20.3	20.6	24.6
アスファルト量中部	% Wt	20.2	20.2	20.0	20.0	20.3	20.5	18.0
アスファルト量下部	% Wt	20.1	20.2	19.5	19.4	19.6	19.1	18.2

マスチック・アスファルトの沈降試験

(大きい管路をもつパイプについて)

1. パイプ: 直径 20cm × 100cm長さ
2. マスチック・アスファルトの配合は上と同じ配合

試 験		温 度 $70^\circ C$				
		20	48	65	A	B
アスファルト量上部	% Wt	20.8	20.8	19.3	20.9	22.2
アスファルト量下部	% Wt	20.2	19.4	19.4	18.9	18.2

表-5 流し込み試験 (現場および室内試験)

捨石の大きさ	流し込み深さ cm			平均捨石の大さの4乗の相対比
	合材温度 $80/100^\circ C$	合材温度 $12^\circ C$	合材粘度 2×10^3 Poises	
	大さきさ cm			
4~30cm	10※	15※※	17	1
8~30cm	10※	25※※	19	1.5
15~30cm	—	50※※	22.5	3
15~30cm	—	50※	22.5	3

注 ※ 木枠に流込み試験を行つた。(現場試験)

※※ 木枠に流込み (室内試験)

表-6 マスチック・アスファルトのせん断応力粘度

針入度 80/100 アスファルト		
	せん断応力 dynes/cm ²	粘度 Poises 10°C
水平断試験	39.5×10^8	6×10^1
	29.0×10^8	1.2×10^{11}
	19.0×10^8	1.4×10^{11}
	10.0×10^8	2.0×10^{11}
	5.0×10^8	3.0×10^{11}
	1.0×10^8	4.5×10^{11}
斜面 1:1において (10cm厚)	13.0×10^8	1.1×10^{11} ≈

※ 推定値

表-7 マスチック・アスファルトの斜面における流れ
(Flow) 7年間, 10°C

		7年間の平均流動cm, 10°C, 砂70%, 石粉10%, アスファルト20%	
		針入度 80/100	針入度 180/200
10cm 厚の スラブ	勾配 1:2	12	120 ≈
	勾配 1:10	2.5	24 ≈
捨石	80~200kg(40~50cm) $r=10cm$	2	22 ≈
(垂直の流れ)	5~40kg (15~30cm) $r=5cm$	0.5	5 ≈

注 ≈ 計算による推定値

表の針入度 180/200 については、アスファルトの10°Cの粘度より

$$\frac{\eta_m}{\eta_{bit}} = 6,000$$

大きい差があるにもかかわらず、Leussink の値を入れると、水で K 値は粗目の砂利 (5~35cm) に対し 0.4~ $0.8 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$ となり、K 値に大きい差異のないことは注目すべきことである。

これらによってケーン等を置くことによるマスチック・アスファルトの捨石層への圧入や流動深さは、問題にならない位の値であり、もし水温が 10°C とするとマスチック・アスファルトの粘度は 20°C の約 10 倍であり、前式より同じ浸透圧入深さとなるのに 10 倍の時間がかかることがわかる。したがって粗目の砂利 2~10cm の場合 6 kg/cm² の圧力で流し込み深さより、さらに 11cm 深さに浸透圧させるためには、10 倍の 10 日間が必要になることになる。実際のケーン等を置いた場合の捨石マウンド層への加圧は前記のような値は考えられず、もしあつたとしても初期の加圧の段階において圧入され平坦化して望ましい形となる。

このほかマスチック・アスファルトの常温下での試験として、圧縮・曲げ強度試験・落下衝撃試験・ハーバード試験等数多くの試験が行なわれているが、既に数多く発表⁵⁾されているし本稿では紙数の関係で省略する。

§ 2 マスチック・アスファルトのパイプによる流し込みについて

従来流し込み工法として水面上および水面下 40~50cm

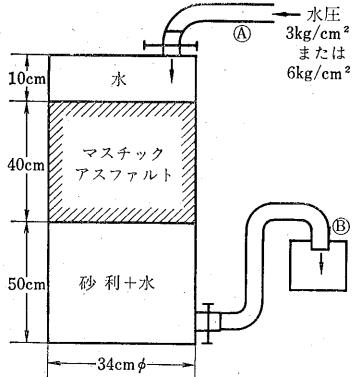
図-5 透水試験およびマスチックアスファルト
圧入試験装置

図-6 圧入試験 (使用砂利 5~10cm)

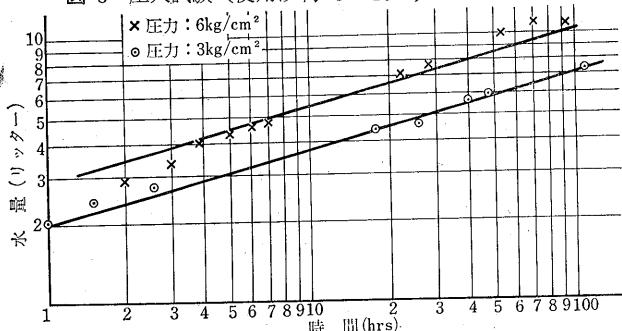
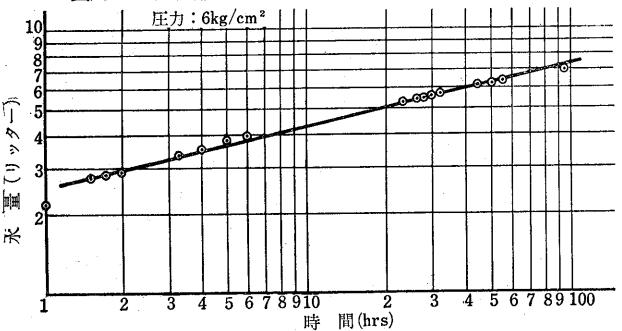


図-7 圧入試験 (使用砂利 2~5 cm)



位まではシートで、それ以上の水面下ではバケットによる施工が行なわれていた。これらバケットによる流し込みは、流し込み場所がバケットをクレーンでつるため不確定なこと、透滲状況を確認できないこと、合材のロスが大きいこと、施工が連続的でないことなどの問題点があり、これらを改善するための方法としてパイプによる流し込み工法が考えられる。この施工法のパイプ中のマスチック・アスファルトの流動の機構について考察することにし、かつその問題点を次に明らかにする。

2-1 従来の流し込み施工結果について

前述のように数多い施工例¹⁾があるが、これらの事例について要約すると、従来使用されているフロー・コーンによるマスチック・アスファルトの粘度は、流出時間が

30～50の秒の流動性をもつものがよい（粘度約 $1.0 \sim 4.0 \times 10^2$ Poises）とされ、流し込み済の捨石の引抜抵抗値を与える経験式として、農林省土地改良事業計画設計規準¹⁰⁾は次式を与えている。

$$T = 4 W + 800$$

T : 引抜荷重 kg

W : マスチック・アスファルト流し込み量 kg/cm^3
(ただし捨石表面の被りは含まず)

もちろん、引抜試験用埋込みブロックの形状にもよりまたマスチック・アスファルトの被り厚さにより、引抜抵抗値が異なってくるが、数多くの事例と比較すると特殊の事例を除いて引抜抵抗値に大きい差異はないので、捨石の引抜抵抗値の目安を与えるものとして本経験式は有効と考えられる。

また捨石を一つの塊としてマスチック・アスファルトが包み、波浪等の諸外力に対抗するものであるが、捨石を包むマスチック・アスファルト塊と波高との関係は、Hudson¹¹⁾の式で示され過去の事例（台風の気象状態の明確に記録されている和歌山、鹿島等）について検討すると適用されることが明らかにされている。

2-2 パイプによる流し込みの特長

パイプによる流し込みの特長として

- 1) 流し込みの水深はバケットの場合より大きい範囲にとることができ（潜水夫の作業性および流し込みの位置決定の点より）、かつパイプ中におけるマスチック・アスファルトの高さ（圧力）により調節可能である。
- 2) 連続的かつ一定の幅に流し込み可能である。
- 3) パイプを含めた流し込みプラント全体の運営を台船または陸上において計画的に行うことにより、施工上に潜水夫その他の特別の熟練は要らない。
- 4) パイプその他の機器を保存することにより、所定の温度（粘度）に保つことができる。

2-3 パイプによる流し込みについて

従来の経験より捨石に流し込む際の適当なマスチック・アスファルトの粘度範囲は $1.0 \sim 4.0 \times 10^2$ Poises とされて（換算値）おり、またマスチック・アスファルトはニュートン流体（流し込みに適当な温度範囲において）としての流動性状を示すものと考えられ、さらにアスファルト・プラントの容量（考えられる最高 $100\text{ton/hr} = 50 m^3/\text{hr}$ ）、流し込みに必要な最高の水深、施工機械操作上の難易性よりみたパイプの最大径（考えられる最大径 $1.00 m$ ）等を考慮しても流出速度は $50 cm/S$ 以下である。

したがってレイノルズ数は非常に小さく、たしかに約200と考えられ、乱流が生ずると考えられるレイノルズ数約2,100よりはるかに小さいので、これらの流れは層流

表-8 砂利層へのマスチック・アスファルトの圧入深さ
(計算)

時 間	初期流込厚さ 8cm後の追加圧入深さ, 20°C (cm)		
	2~5cm 砂利 6kg/cm³	5~10cm 砂利	
		3kg/cm³	6kg/cm³
2 時 間	1	0	3
12 時 間	4	2	8
1 日 間	6	5	11
2 日 間	8	8	16
4 日 間	10	11	22
8 日 間	14	15	29
16 日 間	17	—	—
32 日 間	21	—	—
56 日 間	23	—	—

表-9 K 値

K, cm		
砂利 2~5cm	砂利 5~10cm	
6kg/cm³	3kg/cm³	6kg/cm³
$0.4 \cdot 10^{-1}$	$0.8 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$

図-8 直径一様なパイプの圧力線図

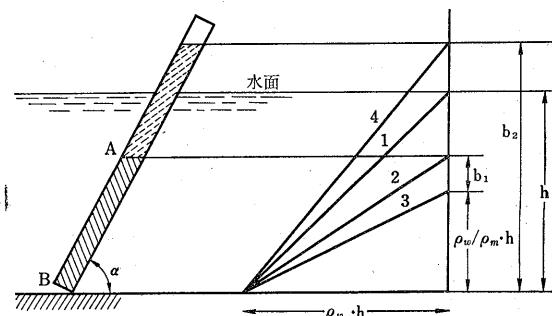
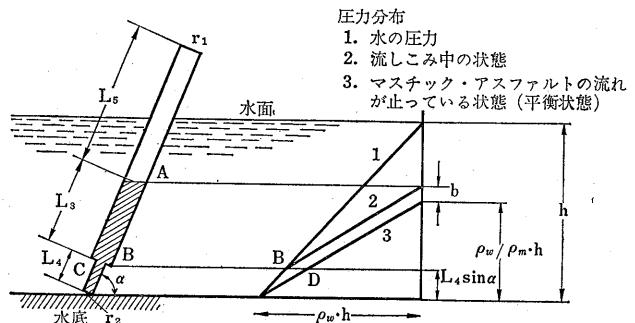


図-9 パイプの先端がノズルになり、傾いている場合の圧力関係線図



と考えてよい。

ニュートン流体の流れを考えると

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}$$

τ :せん断応力

η :粘性係数

$$\frac{dv}{dy} : 速度勾配$$

この場合、種々の断面をもつパイプ

中の層流に対しての圧力勾配は

$$\frac{P_1 - P_2}{\ell} = K \eta Q$$

ここで P_1, P_2 は長さ ℓ cm のパイプの入口と出口における圧力 dyne/cm², Q : 流量 cm³/S, η : 粘度 Poises (dyne/cm² S), K : 断面の形状に関係して変る数値、したがって、パイプが円形ならば、 $K = \frac{8}{\pi r^4}$ (r はパイプの半径) でポワジューユ (Poiseuille) の法則であり、長方形の場合は $K = \frac{3}{4ab^3}$ (ただし $a > b$ とし、 $2a, 2b$ は 2 辺の長さ) で表わされる。

図-8において垂直パイプ中を重力のみで流れる場合

$$\frac{P_1 - P_2}{\ell} = \rho g$$

ここで ρ : 流体の密度 g/cm³, g : 重力による加速度約 10³ cm/sec²

$$Z = K \eta Q = \frac{P_1 - P_2}{\ell}$$

流出の条件は

$$\rho_m \cdot b_2 > \rho_w \cdot h$$

流出が止って平衡のとき

$$\rho_m \cdot b_2 = \rho_w \cdot h \quad \therefore b_2 = \frac{\rho_w}{\rho_m} \cdot h$$

ここで ρ_m : マスチック・アスファルトの密度

$$g/cm^3$$

$$\rho_w$$
 : 水の密度 g/cm³

b_2 : パイプ中のマスチック・アスファルトの液面までの垂直高さ cm

したがって $\rho_m \cdot b_2 < \rho_w \cdot h$ の場合は水がパイプ内に逆流し水蒸気発生の原因となる。

B点での圧力関係を考えてみると

$$g \rho_m \left(b_1 + \frac{\rho_w}{\rho_m} \cdot h \right) = g \cdot h \cdot \rho_w + \frac{P_1 - P_2}{\ell} (\text{ABの長さ})$$

$$= g h \cdot \rho_w + Z \frac{\left(b_1 + \frac{\rho_w}{\rho_m} \cdot h \right)}{\sin \alpha}$$

$$g b_1 \cdot \rho_m = Z \frac{\frac{\rho_w \cdot h}{\rho_m}}{\sin \alpha}$$

図-10 パイプによるマスチック・アスファルトの流动

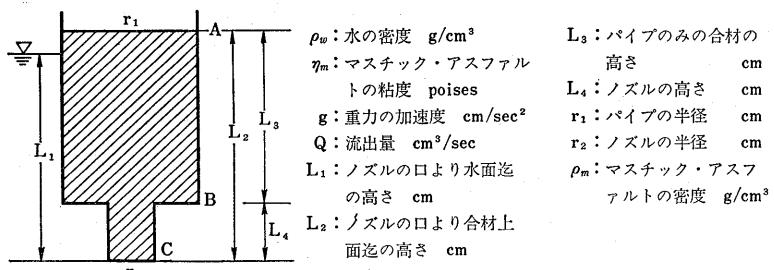


図-11

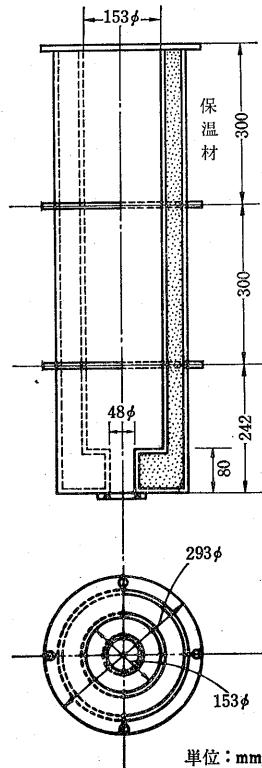


図-8の4の場合には、ノズルより水の逆流入はなく、一般的に次のことがいえる。

$$b_1 \geq h (1 - \rho_w / \rho_m)$$

上の2つの式より

$$Z \geq g (\rho_m - \rho_w) \sin \alpha$$

いまマスチック・アスファルトの密度 $\rho_m = 2 g/cm^3$, 水の密度 $\rho_w = 1 g/cm^3$ パイプが直立しているとすると、 $\sin \alpha = 1$ である。即ち $Z \geq 1$

いま $b \rightarrow \infty$ とすると上の2つの式より $Z = 2$ となり、Zは2より常に小さい値となる。しかしまスチック・アスファルトのパイプ中の液面が無限大という非現実的な高さでは作業できないので、Z値としては経験値をとる

必要があり、これは前述のようにプラント能力、流し込み深さ、その他の条件によって左右される。

したがって流し込みにおける必要条件は次のようにある。

- 1) パイプ内に水の逆流を防ぐこと。
- 2) アスファルト・プラントの能力、施工規模に応じて、パイプによる連続したマスチック・アスファルトの流れであること。

このためには、パイプの先端を $Z > 1$ の条件を満足させるように絞るべきである。

さてパイプの先端を細くし、図-9 のように α なる角度に傾いている場合を考えると、B点におけるパイプ内の圧力がパイプ外の水圧に等しいか、それより大きいためには、半径 r_1 部の圧力損失 Z ($L_3 + L_4$) を無視するところの条件が必要である。

$$B D = Z_2 L_4 \geq L_4 \sin \alpha (\rho_m - \rho_w)$$

$\rho_m = 2, \rho_w = 1, \sin \alpha = 1$ とすると $Z_2 \geq 1$ となり、

$$b_1 = \frac{Z_2 L_4}{\rho_m}$$

したがって上式は

$$b_1 \geq \frac{(\rho_m - \rho_w)}{\rho_m} L_4 \sin \alpha$$

$\rho_m = 2, \rho_w = 1$ とすると

$$b_1 \geq \frac{L_4}{2} \sin \alpha$$

となり、 b_1 の最下限値が求められる。ただし前述の2つの条件(逆流入を防ぐこと、プラントの能力、施工規模に応じたマスチック・アスファルトの連続した流れであること)を考慮に入れて b_1, L_4 の広い許容範囲をきめるべきである。また波浪によるパイプの上下等によるB点での作用の変化に b_1 が影響ないよう、値をきめる必要がある。なお施工すべき水深と $Z_2 \geq 1$ を併行して考慮する必要がある。

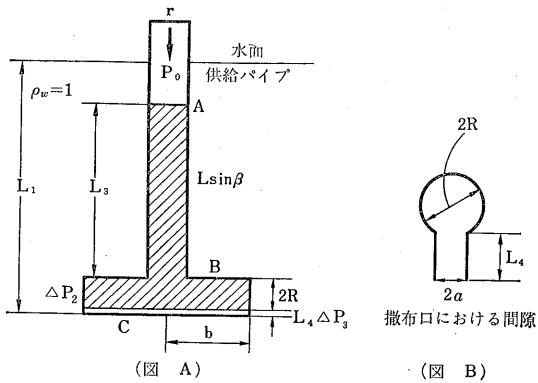


図-12 水中流し込み装置

2-4 パイプ中の流動の検討

以上の点を考慮に入れて図-10のパイプ中を粘性ある流体が層流で流れるときは、

$$\text{摩擦抵抗 } W = \tau 2\pi r \ell, \quad \tau = -\eta_m \frac{dv}{dr}$$

$$\text{流速 } v = \frac{1}{2\eta_m} \cdot \frac{\Delta P}{\ell} (r^2_0 - r^2)$$

ただし ΔP は管路両端の圧力差

$$\text{流量 } Q = \int_{r=0}^{r=r_0} 2\pi r dr \cdot v = \frac{\pi}{8\eta_m} \times \frac{\Delta P}{\ell} \cdot r_0^4$$

上の一般式をこの場合に代入すると、

$$V_1 = \frac{1}{4\eta_m} \cdot \frac{\Delta P_1}{L_3} (r_1^2 - r^2) \quad (2 \cdot 1)$$

$$V_2 = \frac{1}{4\eta_m} \cdot \frac{\Delta P_2}{L_4} (r_2^2 - r^2) \quad (2 \cdot 2)$$

これを微分し

$$\frac{dV_1}{dr} = -\frac{1}{2\eta_m} \cdot \frac{\Delta P_1}{L_3} \cdot r, \quad \frac{dV_2}{dr} = -\frac{1}{2\eta_m} \cdot \frac{\Delta P_2}{L_4} \cdot r \quad (2 \cdot 3)$$

また

$$Q_1 = \frac{\pi}{8\eta_m} \cdot \frac{\Delta P_1}{L_3} \cdot r_1^4, \quad Q_2 = \frac{\pi}{8\eta_m} \cdot \frac{\Delta P_2}{L_4} \cdot r_2^4 \quad (2 \cdot 4)$$

$$W_1 = -\eta_m \left[\frac{dV_1}{dr} \right]_{r=r_1} \cdot 2\pi r_1 L_3,$$

$$W_2 = -\eta_m \left[\frac{dV_2}{dr} \right]_{r=r_2} \cdot 2\pi r_2 L_4 \quad (2 \cdot 5)$$

パイプの先端において水の逆流入を防ぎ、マスチック・アスファルトがパイプより流出するためには、ノズルの先端におけるマスチック・アスファルトと水との圧力のつりあいを考える必要があり、これのためには

$$L_2 \rho_m \cdot g - \frac{W_1}{\pi r_1^2} - \frac{W_2}{\pi r_2^2} = L_1 \cdot \rho_m \cdot g \quad (2 \cdot 6)$$

(2・5) に (2・3) を代入すると

$$W_1 = \Delta P_1 \pi r_1^2, \quad W_2 = \Delta P_2 \pi r_2^2 \quad (2 \cdot 7)$$

これらを (2・6) に代入すると

$$L_2 \rho_m \cdot g - L_1 \rho_w \cdot g = \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (2 \cdot 8)$$

しかるに $Q_1 = Q_2$ であり

$$\frac{\Delta P_1}{L_3} \cdot r_1^4 = \frac{\Delta P_2}{L_4} \cdot r_2^4$$

$$\therefore \Delta P_1 = \Delta P_2 \frac{r_2^4}{r_1^4} \cdot \frac{L_3}{L_4}$$

(2・8) の右辺は

$$\Delta P_1 + \Delta P_2 = \Delta P_2 \left(\frac{r_2^4}{r_1^4} \cdot \frac{L_3}{L_4} + 1 \right) \quad (2 \cdot 9)$$

$$(2 \cdot 4) \text{ より } \Delta P_2 = Q \frac{8\eta_m}{\pi} \cdot \frac{L_4}{r_2^4}$$

$$\Delta P_1 + \Delta P_2 = Q \frac{8\eta_m}{\pi} \cdot \frac{L_4}{r_1^4} \left(\frac{r_2^4}{r_1^4} \cdot \frac{L_3}{L_4} + 1 \right)$$

$$= Q \frac{8\eta_m}{\pi} \left(\frac{L_3}{r_1^4} + \frac{L_4}{r_2^4} \right)$$

この結果を(2・8)に代入すると

$$L_2 \rho_m \cdot g - L_1 \rho_m \cdot g = Q \frac{8\eta_m}{\pi} \left(\frac{L_3}{r_1^4} + \frac{L_4}{r_2^4} \right) \quad (2 \cdot 10)$$

この場合 $\rho_m : 2 \text{ g/cm}^3$, $\rho_w : 1 \text{ g/cm}^3$, $\eta_m = 2 \times 10^3$ Poises, $g : 10^3 \text{ cm/sec}$ でありパイプによる流し込みの基本式である。この(2・10)式を用いて、図-11のような模型を用いて流し込みの結果、良好な結果を得た。

紙数の関係上詳細な結果はさけるが η_m は8種類の合材で、砂F.M. 1.4と1.6の2種類、アスファルト針入度70で、19%, 20%, 21%, 砂58%, 60%, 62%, 石粉19%, 20%, 21%の重量比で粘度 η_m は、 $4.6 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$ Poises であり、予期以上の流動状態を示した。水深は約55cmである。

2-5 幅広い撒布パイプをパイプの先端につけた場合の流れについて

前述のパイプは線としての流し込みであり、これらを幅広く撒布するためには図-12のようなものが考えられる。2-4と同様の考え方もとで式を誘導すると次のようになる。

すなわち図-10のパイプ中をマスチック・アスファルトがスムースに均一に流れるためには、Bにおける圧力差 ΔP_2 はCにおける ΔP_3 より小さくなければならない。撒布パイプBでは、両端にマスチック・アスファルトが均一に流れ、位置の水頭差が無視できるから(2・4)の場合と同様に

$$\Delta P_2 = \frac{1}{2} \frac{8\eta_m Q b}{\pi R^4} \quad (2 \cdot 11)$$

$$\text{流量 } Q = \frac{ba^3}{4\eta_m} \cdot \frac{\Delta P_3'}{L_4} \cdot X \quad (2 \cdot 12)$$

Xは吐出口を長方形と考えると $\frac{16}{3}$

$$\Delta P_3 = \frac{12\eta_m Q L_4}{2b(2a)^3} \quad (2 \cdot 13)$$

吐出口の傾斜角を α とすると $\Delta P_3'' = -\rho_m g L_4 \sin \alpha$ となり、吐出口の長さ L_4 の間の圧力差 P_3 は

$$\Delta P_3 = \Delta P_3' + \Delta P_3''$$

せん断応力はBでは $\tau_2 = \frac{P_3 R}{b}$ で、両端では $\tau = 0$ である。図-12のB図のような場合は

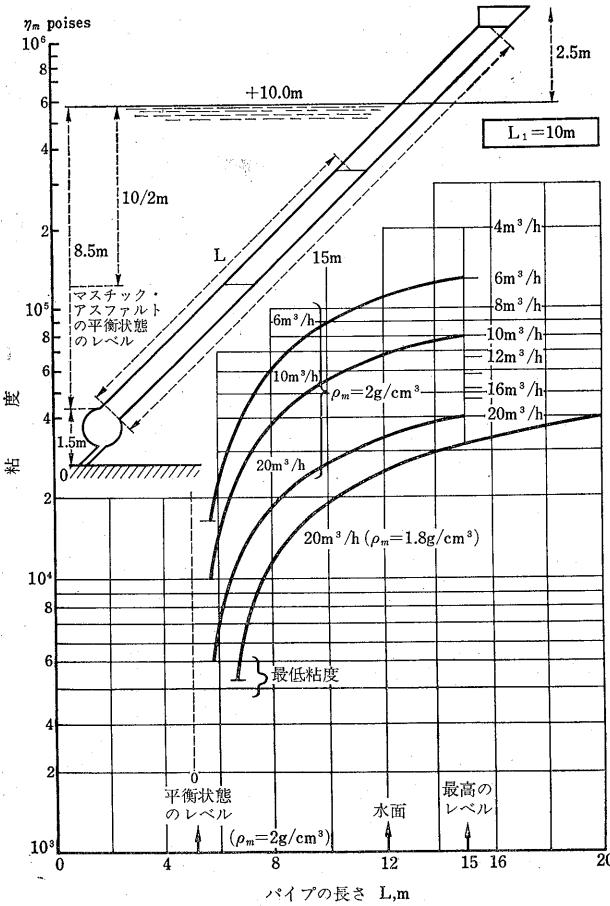
$$\tau_3 = \frac{\Delta P_3 \cdot a}{L_4} = \frac{3\eta_m Q}{b(2a)^2}$$

パイプAの傾斜角を β としたときのパイプAの圧力差 ΔP_1 は前と同様に

$$\Delta P_1 = \Delta P_1' + \Delta P_1'' = \frac{8\eta_m Q L_3}{\pi r^4} - \rho_m g L_3 \sin \beta \quad (2 \cdot 14)$$

いまパイプの上に圧力 P_0 を加えたとすると、流し込みパイプ全体の圧力とCにおける水圧が等しいときは次式が成立する。

図-13 流し込みパイプの η_m , L_1 , Q との関係図



$$P_0 - \Delta P_1 + 2R \cdot \rho_m \cdot g - \Delta P_3 = L_1 \cdot \rho_w \cdot g \quad (2 \cdot 15)$$

- a) 均一の流れの場合は $\Delta P_3'' > > \Delta P_2$ といえ、(2・11)と(2・12)より $\Delta P_3'' = 10\Delta P_2$ と仮定すると

$$\frac{3L_4}{b(2a)^3} = 20 \frac{b}{\pi R^4}$$

もし粘度がせん断応力と関係があるとすると、さらに高い圧力割合をとるべきであり、いま $\Delta P_3'' = 20\Delta P_2$ とすると

$$\frac{3L_4}{b(2a)^3} = 40 \frac{b}{\pi R^4}$$

これらの2つの式に a , b を適当に決めて代入すると R と L_4 の関係が判る。

- b) 水の逆流入を防ぐためには $P + \Delta P_2 > P - L_4 \sin \alpha \beta_w \cdot g$ ここで $P = L_1 \rho_w \cdot g$ (水圧)

(2・13) およびこれに続く2つの式より

$$\frac{b\eta_m Q L_4}{b(2a)^3} - L_4 \rho_m \cdot g \cdot \sin \alpha > -L_4 \rho_m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

上式で、 $\rho_m = 2 \text{ g/cm}^3$, $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ である

で

$$\frac{12\eta_m Q}{2b(2a)^3} > g \cdot \sin\alpha$$

$$\frac{Q}{(2b)(2a)} \cdot \eta_m = v \cdot \eta_m > \frac{1}{12} (2a)^2 g \cdot \sin\alpha$$

ここで v はマスチック・アスファルトの流速であり、 $\alpha = 45^\circ$, $g = 10^3 \text{ cm/sec}^2$ とすると上式は

$$v\eta_m > 5.5 \times 10^3$$

いまマスチック・アスファルト・プラントの能力を 40ton/hr とすると a) の関係より望ましい η_m が算出される。いま $R = 50\text{cm}$, $L_4 = 50\text{cm}$ とすると、 $v = 1.1\text{cm/sec}$, $\eta_m > 5 \times 10^3 \text{ poises}$ または約 10^4 poises となる。

- c) 流し込みのパイプ A における流動抵抗は、できるだけ小さいほうが望ましいので、重力以外の力(または圧力) P_0 をマスチック・アスファルトの液面にかけることが望ましい。また吐出口の入口における圧力は、この点における水圧と等しいか、より大きい値である必要がある。したがって (2-14) および (2-15) より

$$-4P_1 + 2R\rho_m \cdot g \geq (L_1 - L_4) \rho_w \cdot g$$

いま $\eta_m = 10^4 \text{ poises}$, $L = 1000\text{cm}$, $\sin\beta = 0.7$ ($\beta = 45^\circ$), $\sin\alpha = 1$, $Q = 20 \text{ m}^3/\text{hr}$ ($= 5.6 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{sec}$) とすると

$$74 \geq \frac{10^5}{1 - \frac{5 \cdot 10^2}{L_3}}$$

ここで L_3 は流し込みパイプ A にマスチック・アスファルトが満される長さであり、 $L_3 \sin\beta + 2R + L_4 =$ 吐出口の出口より、マスチック・アスファルトの液面までの高さである。

以上の諸式を用いるとパイプの諸元の決定が容易となる。

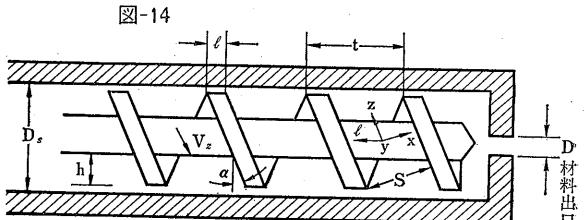
しかしながら以上流し込み機器の機能の解析を進めるに当つての原則は、マスチック・アスファルトの粘度は 10^4 poises を前提としているが、実際は、粘度の変動やパイプにおける流動摩擦抵抗を検討してみる必要がある。

まず自重による流下の場合 (2-15)において $P_0 = 0$ であり、 $-4P_1 + 2R\rho_m \cdot g - 4P_3 = L_1 \rho_w \cdot g$

すなわち

$$-\frac{8\eta_m Q L_3}{\pi r^4} + \rho_m \cdot g L_3 \sin\beta + 2R \cdot \rho_m \cdot g - \frac{12\eta_m Q L_4}{2b(2a)^3} + \rho_m \cdot g L_4 \sin\alpha = L_1 \rho_w \cdot g$$

上式に前述のような Q , r , g , α , β , R , $2b$, $2a$, L_4 , ρ_w の値を代入すると、上式は η_m , ρ_m , L_3 および L_1 の変数のみを含むものとなり、流し込みの際の粘度、



D_s : スクリュー外径	cm	S: 溝幅	cm
h : スクリュー山高さ	cm	α : スクリュー傾斜角	°
e : スクリュー溝長さ	cm	ξ : 圧力勾配 $\frac{dP}{dl}$	kg/cm
N: 回転数	r.p.m	η_m : マスチック・アスファルトの粘度	poises
P: 押し出し機先端圧力	kg/cm ²	g: 重力加速度	cm/sec ²
Q: 容積流量	cm ³ /sec		

マスチック・アスファルトの比重、水深の変動によっていかに流動に影響するかが判る。

これらの関係図の一例を示すと図-13のようである。図-13より水深10mの場合、粘度 η_m が与えられたときのマスチック・アスファルトの液面の高さがわかる。また、粘度の変化が合材の流量に如何に影響(流し込み深さ)するかがわかる。

またマスチック・アスファルトの密度が 2.0 g/cm^3 より 1.8 g/cm^3 に減少することは、粘度の最大最小許容値が約20%低くなることであり、粘度の許容変動幅はほとんど変わらない。またこのような急激な変動があるとは考えられず、流し込み施工には影響ないと考えてよい。

流し込み施工する海底は常時平坦であるとは考えられない。いま水深が 10m より 12m に増えたと仮定し、かつ $1:2$ の急な勾配とすると約 4m 余分に流し込む必要がある。いま機器の移動を10分で 6.6m とすると 4m を流し込む所要時間は

$$\frac{400\text{cm}}{1.1\text{cm/sec}} = 360\text{sec} = 6\text{分}$$

したがってマスチック・アスファルト合材(比重 2g/cm^3)が補充される供給パイプ A の長さを $L_6\text{m}$ とすると

$$2[L_6 \sin\beta - L_6] \quad (\text{パイプ A における単位当たりのマスチック・アスファルトの粘性抵抗}) = \text{水深の増加}$$

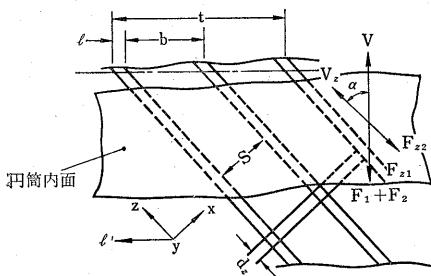
第2項のパイプ A における粘性抵抗は、通常 ($Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$, $\eta = 10^4 \text{ poises}$) パイプにマスチックを充填させた時の垂直高さの約 $1/8$ である。

$$Z (L_6 \cdot 0.7 - \frac{1}{8} L_6) = 2$$

$$\therefore L_6 = 1.75\text{m}$$

即ち供給パイプ中のマスチック・アスファルト液面を約 $30\text{cm}/\text{min}$ の割で増加させ、流し込み厚さが約 2cm 薄くなることを意味している。これは機器の移動で調節可能であり、この程度の水深変化は施工には問題のないことがわかる。一方波高による影響についてみると作業不能

図-15 スクリュー展開図



の海象条件は有義波の波浪0.3~0.6m以上¹³⁾といわれており、波高1m以上のは海上工事に不適当な状態であると考えてよく、したがって波高1mを一つの基準と考えると、水深5~10mのところでは、实际上流し込みパイプにおける圧力に差を生じないので「作業可能な天候」であれば、機器の運営には波浪は影響ないと考えてよい。

2-6 流し込みパイプの保温について

以上述べたような流し込みパイプ中のマスチック・アスファルトのスムースな流動のためには、流し込み機器の十分な保温が必要であり、このためには二重パイプにして熱媒体油を通して、保温加熱を行なえば十分であることが計算¹⁴⁾実験より判った。なお保温に必要な熱量は数千Kcal/hrと小さい値である。

以上のようにマスチック・アスファルトのパイプによる流し込みは理論的に解明でき、かつ実験的にも十分裏づけされ、パケットの場合と異なり適用できるマスチック・アスファルトの粘度範囲が広いことが本工法の有利な点の一つといえる。

§ 3 流し込み装置の改善について

3-1 パイプによる流し込み装置の問題点

以上の流し込みはマスチック・アスファルトの自重による流し込みであり、これらの利点は

- 1) マスチック・アスファルトの自重による流動であるので、流し込み装置が簡単であること。
- 2) マスチック・アスファルトの密度は約2g/cm³であるので、水中流し込みの場合、パイプ中の水深の約1/2以上のマスチック・アスファルトのヘッドがあれば流し込み可能である。

また一方欠点は

- 1) マスチック・アスファルトの自重による流し込みであるので、流動に必要なマスチック・アスファルトの適正粘度の範囲(10°~10⁴poises)が狭い。
- 2) したがって粘度が比較的高い場合(たとえば10⁵

poises)は、自重による流し込みは困難である。

- 3) パイプ中のマスチック・アスファルトのヘッドが、水深の1/2以下の場合はパイプ先端より水の逆流入の危険性がある。したがって水の逆流入防止のため、パイプ先端のノズル構造に留意する必要がある。
- 4) パイプの傾斜のゆるやかな場合(有効ヘッドの小さい)の流し込みでは、パイプ中のマスチック・アスファルトの流動は緩慢である。
- 5) アスファルト・マットレスやグース・アスファルトのように、碎石をマスチック中に混合した合材はわずかに粘度が高く流動性が悪くなり、パイプでは自重による流し込みが困難となる。
しかし合材としては、アスファルト量が少なくなるので経済的であり、常温で斜面での安定性がよい。またこのようなアスファルト合材の温度が下り、碎石の量が多くなると碎石の内部摩擦の影響が大きくなり、ビンガム材料に属するようになると考えられる。すなわちせん断応力がある降伏値Kを越えたとき、初めて流動をおこすような性質をもつようになる温度および合材配合も考えられる。

このような問題点を改善する工法として考えられるのは、パイプ中にスクリューを内装し、マスチック・アスファルトを押し出す方式であり、ニュートン流体と碎石を含む場合のビンガム材料として考える場合の2つについて考察すると、図-14について次の仮定を設ける。

- 1) 材料は非圧縮性である。
- 2) 材料の円筒内面、スクリュー面との間にすべりがない。
- 3) スクリューのみぞ深さnは、みぞ幅Sに比して十分小さく、スクリューのねじ山の影響を無視する。
- 4) スクリューのねじ山と円筒面との間隙は小さく漏洩流は無視する。

A) ニュートン流体として考える場合の流量については、計算により最終は次式で与えられる¹⁵⁾。

$$Q = \frac{n \cdot \pi \cdot D_s \cdot N h^3 \left(\frac{t}{n} - e \right) \cos^2 \alpha}{2} \frac{nh^3 \left(\frac{t}{n} - e \right) \sin \alpha \cos \alpha \left(\frac{2P}{\alpha L} \right)}{12\eta_m}$$

ここで右辺の第1項は推進流、第2項は背圧流によるものである。

なお粘度 η_m が全長Lについて一定で、スクリュー条数を1(n=1)とすると、ねじ山の幅eは溝幅に比べて小さいとすれば押し出しの所要馬力Zは(図-15参照)

$$Z = W \eta_m N^2 L + \varsigma N A P$$

$$\text{ここで } W = \pi^2 D_s^2 \left(\frac{\pi D_s}{h} + \frac{e}{\delta \tan \alpha} \right)$$

$$\varsigma = \frac{\pi^2 D_s^2 h \tan \alpha}{2}$$

B) ピンガム材料として考える場合は流動特性は、その流体に働くせん断応力が、ある一定の降伏値を越えたとき、初めてこの流体は流動をおこすのである。

図-14で、材料出口の圧力は、流しこみ深さの水圧より大きければよく、かつアスファルト・プラントの流量に見合うように大量に材料出口より吐出させる必要があるので、スクリュー・溝幅Sを溝の高さhに比べて十分大きくとる場合、材料の流れは近似的に二平板間の流れと見なすことができる。またスクリューの回転についてはスクリューを静止させて、円筒を逆回転させても材料の流れは同じであると考えられる。またこの場合に4つの場合が考えられるが、本工法の場合は先端を絞り、溝内の流れと逆方向に圧力を生じさせるが、背圧Pが小さいため、スクリュー面に働くせん断応力τが材料の降伏値Kより大きいと考えられるので、計算により流量¹⁵⁾は

$$Q = \frac{hS}{2} \left(V_z + \frac{\xi h^2}{6\eta P} \right)$$

ここで $V_z = \pi D_s N \cos \alpha$, $\tau = \xi y$

yは溝深さ方向, Zは溝長さ方向を示している。

押し出しのスクリュー・ポンプの馬力は

$$K = - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \times \pi P \cdot V \cos \alpha$$

で表示される。

以上述べたように本工法の機構は、スクリューによる押し出しであるので、問題点としては流動させるマスチック・アスファルトの粘度範囲は、自重による場合より広い。

パイプでの自重による流しこみの粘度範囲は、 $10^2 \sim 10^4$ poises であるが、スクリューをもつパイプの利用については、マスチック・アスファルトの粘度によって捨石層への流しこみ、不透水性層のみの敷設等と用途別に使用わけされるべきである。また適用できるマスチック・アスファルトの粘度範囲が広いので、スクリュー回転のための動力の変動が大きい。かつ先端の材料出口の大きさ形状が流量、流速に大きく影響する。碎石を含むマスチック・アスファルト流動性状（特に、高温における粘度）の研究が必要であり、これらのために特殊な回転式粘度計が有効と思われる。

§ 4 結び

マスチック・アスファルトの護岸等の海岸構造物への応用について、パケットによる捨石への流しこみが広く行なわれているが、これらの経験的施工法の改善のためパイプによってマスチック・アスファルトの自重を利用

する流しこみ工法の解析検討を行ない、その問題点を明らかにし、本工法が利用可能であることを示した。

またパイプ中にスクリューを内蔵して、マスチック・アスファルト合材を押し出す方式を紙数の関係上簡単ではあるが検討し、その可能性を示した。

本研究は京都大学に提出した論文のための研究の一部であり、京都大学岡田・中川両教授および世紀建設佐藤勇常務、農林省農業土木試験場中島保治課長のお世話になつたことを紙面を借りて御礼申しあげます。

なお紙数の関係上、要点のみの記述になったことを申しあげます。

【筆者：シエル石油株式会社 大阪支店長】

文 献

- 1) 農林省農地局：土地改良事業計画設計基準，第14編水工アスファルト工（後編）P.33 昭45。
- 2) R. E. Kerkhoven : The Proceeding of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 34. P. 547 (1965)
- 3) 菅義夫 : 理研彙報, 10(2). 146 (昭6) または後藤廉平その他2名: レオロジーとその応用 P. 42 (共立) (昭46)
- 4) テルツアギ・ペック : 土質力学 (小野, 星塁その他2名共訳), 基礎編. P. 37 (昭32) 丸善
- 5) 農林省農地局：土地改良事業計画設計基準，第14編水工アスファルト工（後編）P.9 昭45。
- 6) 土木学会 : 土木工学ハンドブック, 上巻 P. 299 (昭42) 技報堂
- 7) テルツアギ・ペック : 土質力学 (基礎編), 小野, 星塁その他2名共訳, P. 41 (昭32) 丸善
- 8) H. Leussink : Durch Lässing Keits Versuche mit Steingröll Vortrage den Bongrundtagung 1956, in Köln-Hamberg (1957)
- 9) 板倉忠三, 菅原照雄 : 石油学会誌, 第7巻, 第8号 P. 10 (1964)
- 10) 農林省農地局：土地改良事業計画設計基準，第14編水工アスファルト工（後編）P.15 (昭45)
- 11) R. Y. Hudson : Laboratory Investigation of Rouble-Mound Breakwater, Proc. A.S.C.E. Vol. 85, No. W.W. 3 (1959) または土木工学ハンドブック 技報堂 (昭42) 一土木学会
- 12) 機械工学便覧 : P. 8~16 (昭34年版) 日本機械学会
- 13) 港湾空港請負工事積算基準 (昭34年) : 気象海象条件と作業の実行性, P. 107 日本港湾協会 (昭43・10)
- 14) 機械工学便覧 : P. 11~16 (昭34年版) 日本機械学会
- 15) 森 劳郎 : レオロジー, P. 113. 応用力学講座13(昭34) 共立出版および清水卓次 : 押出技術に関する諸問題, ラバーダイジェスト P. 34 (1958. 4)

アスファルト表層のスティフネスと レオロジイ特性 (その1)

間山正一*
北郷新平**

1. まえがき

従来、ともすれば経験のみを偏重しすぎた舗装の世界に、最近、合理的設計 (rational design) の手法を取り入れようという声が高まっている。これは決して経験を無視しようというのではなく、むしろ経験に課せられすぎた負担を取り除こうという発想である。逆説的に表現するならば、経験の限界をいち早く察し、最小努力で最大効果をあげようという発想法といえよう。特にアスファルト舗装においては、材料の合理的評価を基礎に力学体系として、舗装体をとらえていくという思想が広まりつつある⁽¹⁾。より工学的手法の導入を考慮したアスファルト舗装の力学と材料に関する各種論文⁽²⁾が、その先鞭をきっているが、これらの体系だった研究方針の大要については参考文献に総括されており、筆者等のつけ加えるべきものはない。

本稿において述べるスティフネスとレオロジイ特性の概念は先に述べた「材料の合理的評価」には欠かせない貴重な概念である。特にスティフネスの立場は、世界的にはほぼ確立されたといってよいであろう⁽³⁾。本稿では、

これらの概念について詳しく述べ、アスファルト合材の設計にあたって留意すべき点を指摘していくことが主な目的である。

2. スティフネスについて

スティフネス (Stiffness) とは、載荷時間と温度の関数として表現される、応力と歪の関係である、と定義される。弾性率 (elastic modulus) に載荷時間と温度という、より高次の要素が入ったと考えればよいであろう。この応力、歪、時間の関係は合材のレオロジイ挙動に影響する。例えば、アスコンにおいて、そのスティフネス特性は合材そのものの挙動を示すのみならず、合材がその一部を構成する道路舗装や空港舗装の評価をも可能にするのである。これらのスティフネスの可能性については、イギリスの A. Please から R. R. L. グループのスティフネス評価、アメリカの C. L. Monismith の評価、日本の菅原等の評価および発展研究によって、確かめられている。

図-1 はある温度に対するアスコンの載荷時間とスティフネスの関係を単純にモデル化している。載荷時間が非常に短い場合は、スティフネスはほぼ時間に依存せず、弾性率に近づく。載荷時間が中間部にある場合は、スティフネスは載荷時間が増加するとともに減少する。さらに載荷時間が長くなると、その挙動は粘弾性的になり、一定の割合でスティフネスが減少していく。この状態のもとでは、スティフネスは合材の流動特性を明らかにする尺度となる。図-1において、伸び粘性率は剪断による粘度の約3倍であり、粘性変形の尺度となろう。

交通荷重に対するアスコン舗装のレスポンスは、現実には、3次元系としてとらえるのが最も実情にあっていい。しかし、この挙動把握はかなり複雑であり、またアスコンのレスポンスが時間と温度に依存すること等、その特性を覚えることはきわめてむずかしい。

そこで力学体系としてアスコン舗装を覚えるために、応力 (stress) と歪 (strain) の2つのパラメータを導入して、合理的評価を行なおうということになる。

3. Van der poel によるスティフネス

Van der poel^{(4), (5)}は、単純応力とそれによる歪と

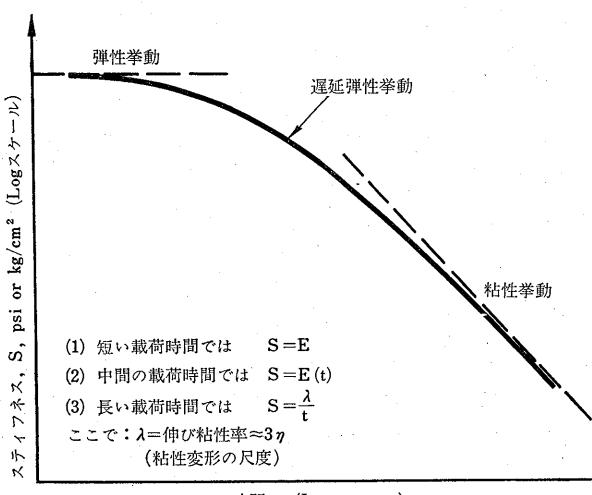


図-1 スティフネスの時間依存性

* セントラルコンサルタント(特)道路部 技師
** 茨城県大宮土木事務所

の関係に注目して、スティフネス、Sなるパラメータを提案した。すなわち

$$\sigma = N(t, T) \epsilon$$

または

$$S = (t, T) = \sigma / \epsilon$$

ここで

S = スティフネス (stiffness), psi または kg/cm^2

σ = 一軸応力

ϵ = 一軸歪

t = 載荷時間 (loading time)

T = 温度

これらの式を利用すれば、特定の時間と温度に対するスティフネス、応力あるいは歪が即知であるとすれば、そのアスファルト合材に生じる歪あるいは応力を知ることができる。

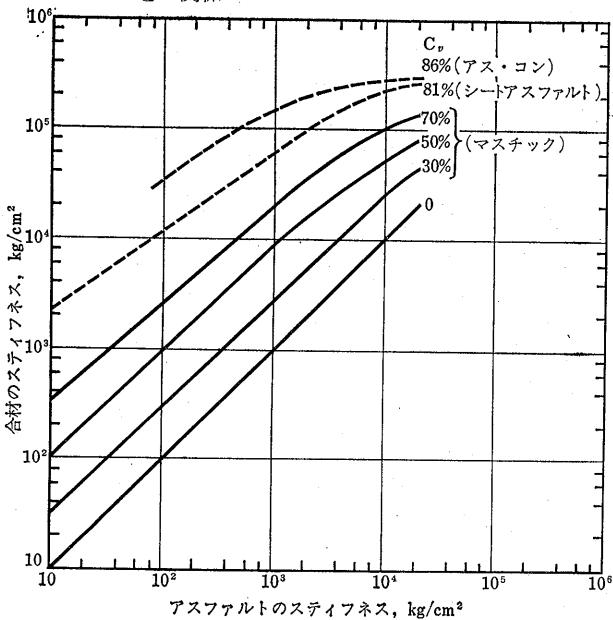
さらに Van Der Poel は、よい締め固められた密粒アスコン（空隙率が約 3 ~ 5 %）のスティフネスは、その合材中に含まれるアスファルトのスティフネスと骨材体積率 (Volume Concentration) Cv に依存することを示した。ここで Cv は以下のように定義される。

$$Cv = \frac{\text{締め固められた骨材の体積}}{\text{骨材体積 + アスファルト}}$$

つまり骨材体積率 Cv は骨材の容積比を示すもので、アスファルト量が多いものほどアスファルトに近く、アスコンではこの関係がかなり直線からは、はずれていることがわかる。

よく知られているように、任意の載荷時間と温度におけるアスファルトのスティフネスは、ノモグラフに回収アスファルトの針入度と軟化点（環球式）を導入して得られる。ここで求められたアスファルトのスティフネスと骨材体積率を図-2 に導入して合材のスティフネスを得る。

図-2 アスファルトのスティフネスと合材のスティフネスとの関係⁶⁾



Heukelom と Klomp⁽⁶⁾は、Van der Poel の方法をさらに発展させ、図-3 に示すようなアスファルトのスティフネスを求めるノモグラフを提案した。図-3 は、Van der Poel のノモグラフを修正したもので、主な修正点は、(a) newton/in² を kg/cm^2 という実用単位で直接求められる。(b)マイナスの PI に対する線の位置を考えた、ことである。図-3 から求めたアスファルトのスティフネスを図-4 に導入して、アスコンのスティフネスを求めることができる。図-4 は次式に基づいて得られた。

$$\frac{S_{\text{Mix}}}{S_{\text{bit}}} = \left(1 + \frac{2.5}{n} \cdot \frac{Cv}{1 - Cv} \right)^n \quad (2)$$

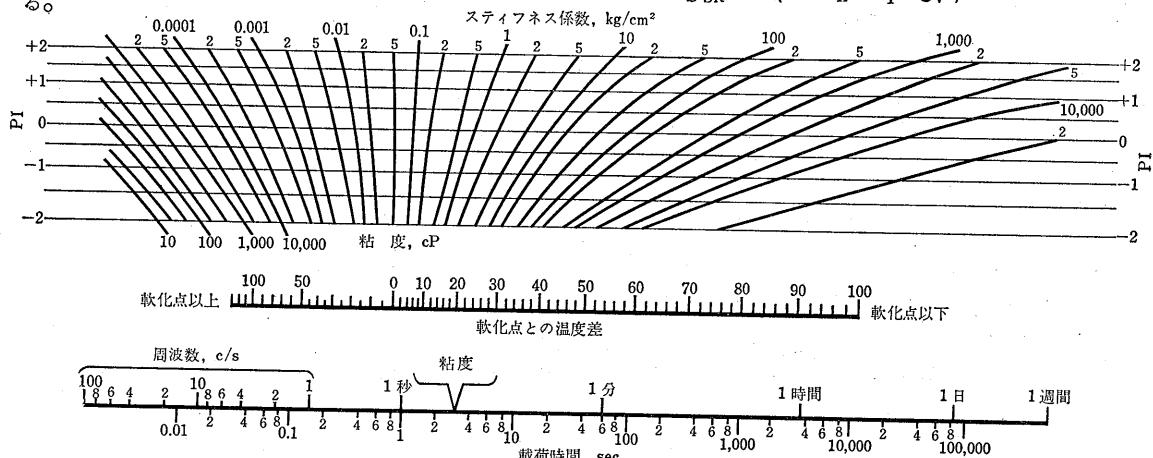


図-3 アスファルトのスティフネス係数をきめるノモグラフ⁶⁾

ここで

$$n = 0.83 \log \frac{4 \times 10^5}{S_{bit}}$$

S_{Mix} = 合材のスティフネス, kg/cm^2

S_{bit} = アスファルトのスティフネス, kg/cm^2

C_v = 骨材体積率

図-4 を適用できる合材としては、空隙率が約 3%, C_v 値が 0.7~0.9 のよく締め固められた合材である。

Pell と MacCarthy⁽⁷⁾ は、疲労試験中に測定したアスファルトとアスファルト合材のスティフネス値に基づいて、高温および歪振幅がきわめて小さいときは、Van der Poel のノモグラフはやや不正確になることを示した。

しかし彼等の報告したデータの 1 つである図-5 に注目するならば、算出したスティフネスと測定したスティフネスとはかなり近似しているといえよう。

Monismith⁽⁸⁾ も室内で締め固めたアスコン供試体とアスコン舗装からの切取り供試体の両者についてスティフネスの測定を行った（表-1）。切取り供試体（密粒アスコン）についてノモグラフから求めたスティフネスと、空隙率 3~4% をもつ $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ in. ($3.75 \times 3.75 \times 3.75$ cm) の室内供試体について測定したスティフネスとはその値がかなりよく一致していることがわかる。空隙率がさらに大きい供試体ではスティフネスの値が大きくなる。また基層からの切取り供試体について比較してみ

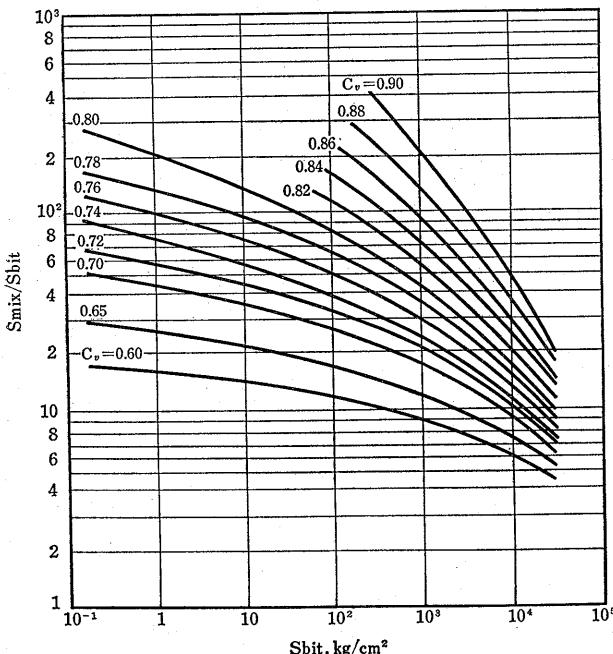


図-4 C_v をパラメータとした S_{bit} と S_{mix}/S_{bit} の関係⁶⁾

ると、これらの値はほとんど一致せず、この事実はスティフネス測定が切取り供試体の大きさに影響されることを意味する。さらに骨材の最大粒径に影響されるという事実も納得されよう。

表-1 に示されるように、測定スティフネスの値が少々バラツクのは、(1)サンプリングがランダムであること、(2)供試体の密度が異なる、という理由によるものと思われる。一般に、対象となる合材がノモグラフの開発された範囲（すなわち、よく締め固められた密粒度表層合材）に入っているならば、このノモグラフを使って便宜的にスティフネスを決定する方法はきわめて有用であるといえよう。

4. レオロジイ的考慮

ある合材の時間と温度の関係を直接的に測定する方法として幾人かの研究者は、圧縮・引張・曲げを使うことをすすめている。これらは一次元の単純な応力-歪関係の挙動を舗装内部に生じる 3 次元のレスポンスにまで拡張して、舗装挙動を説明しようとするものである。

試験法の種類として以下のものが含まれる。

- (1) クリープ (Creep)
- (2) 応力緩和 (Stress relaxation)
- (3) 歪速度一定 (Constant rate of strain)
- (4) 動力学的方法 (dynamic)

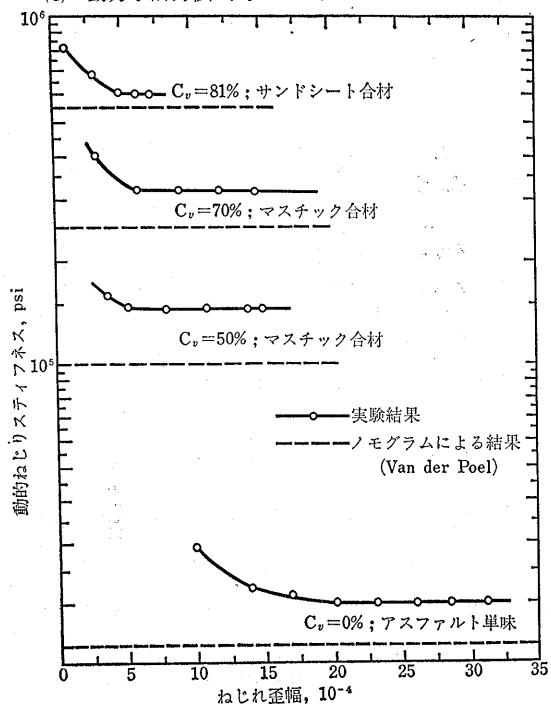


図-5 種々の合材のスティフネス (0°C , 24Hz)⁷⁾

表-1 アスコン試験供試体のスティフネス

試 料	供試体 番号	平均ア スファ ルト量 %	平 均 Cv	空隙率 %	回 取 アスファルト		計算されたス ティフネス ^a (kg/cm ² × 10 ⁴)	測定されたスティフネス ^b (kg/cm ² × 10 ⁴)				
					25°C の針入 度	軟化点 °C		20°C	4.4°C			
					平均	標準 偏差		平均	標準 偏差			
(a) 表層からの切取供試体 ^c												
1	19	5.9 ^d	0.87	8.0	46	53.3	2.31	10.57	1.25	0.42	4.76	1.53
2	20	5.9 ^d	0.87	8.9	36	58.9	3.50	10.29	1.16	0.39	4.92	1.91
3	20	5.9 ^d	0.87	7.6	52	56.1	2.24	8.26	1.06	0.41	4.98	1.41
4	19	5.9 ^d	0.87	8.1	59	52.2	2.17	8.89	0.96	0.37	4.13	1.11
室内で締固め	26	6.0	0.86	5.0	57	53.3	1.96	7.35	0.90	0.22	4.03	0.74
(b) 基層からの切取供試体 ^e												
1	12	4.6 ^d	0.87	8.8	36	54.4	5.18	16.24	1.10	0.42	4.17	1.54
2	12	3.6 ^d	0.88	8.0	35	54.4	6.23	19.18	0.97	0.26	3.96	3.14
3	8	3.6 ^d	0.88	9.4	33	60.0	4.06	14.70	1.03	0.41	3.08	0.90
4	10	4.6 ^d	0.88	9.1	48	53.9	4.06	14.07	0.99	0.42	3.47	1.22
室内で締固め	29	4.7	0.89	5.7	45	55.6	5.32	19.46	8.30	0.19	3.72	1.50
(c) 室内作成供試体 ^f												
花崗岩+85-100針 入度アスファルト	76	6.0	0.85	4.5	40	49.4	1.96 ^g	—	1.83 ^g	0.34 ^g	—	—
花崗岩+85-100針 入度アスファルト	14	6.0	0.85	3.6	52	53.3	1.89	8.5	1.44	0.58	8.82	1.82
花崗岩+85-100針 入度アスファルト	12	6.0	0.85	3.1	52	50.6	2.52	—	1.47	0.42	—	—
花崗岩+15針入度 アスファルト	12	6.0	0.85	3.6	15	71.7	5.46	—	3.92	0.92	—	—

a. 0.01 sec. の載荷時間で決められたスティフネス (図-3と図-4より)

b. Deacon(22)によつて開発された疲労試験装置を使い、0.1 sec. 載荷時間で曲げ応力を 200回くりかえした後、測定された曲げスティフネス

c. 表層合材用骨材の最大寸法は、18.8mm。1960年のカリフォルニア道路局規格による。

d. 施工時に中央ブランチで得られた合材の試料に基づく平均アスファルト量

e. 基層材料用骨材の最大寸法は50mm。1960年のカリフォルニア道路局規格による。

f. 室内作成供試体は、Deacon(22)の研究を参考に、最大寸法18.8mmの骨材を使用。1960年のカリフォルニア道路局規格による。

g. 23.9°Cにおけるスティフネス。

- a. 応力あるいは歪の正弦的変化 (動的載荷⁽⁹⁾)
 b. 走行車両の速度に対応する振動載荷の段階的作用、すなわち、くり返し載荷

これらの載荷の型と測定されるレスポンスとを図-6に示す。クリープ試験は圧縮・引張・曲げの条件下で行われる。アスファルト合材に対し一定温度のもとで一定応力を適用し、歪は時間の函数として測定される (図-6a)。通常、クリープ試験の結果は、スティフネスの逆数であるコンプライアンス(Compliance)をもって処理される。すなわち、

$$D(t) = \frac{\epsilon(t)}{\sigma_0} \quad (3)$$

ここで

$$D(t) = \text{コンプライアンス}, \text{ m}^2/\text{lb} \text{ または } \text{cm}^2/\text{kg}$$

$$\epsilon(t) = \text{時間の関数として測定される歪}$$

$$\sigma_0 = \text{一定応力}$$

応力緩和試験は、一定歪みを与えるような応力の変化を時間の関数として測定する (図-6b)。この結果から緩和弾性率、E(t) (Van der Poel のスティフネスに類似) を次式によって決める。

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\epsilon_0} \quad (4)$$

ここで

$$E(t) = \text{緩和弾性率, psi または } \text{kg}/\text{cm}^2$$

$\sigma(t)$ = 時間の関数として測定される応力

$$\epsilon_0 = \text{一定歪}$$

ある特定の温度においては、式 (1a) から求めたスティフネス S は、式(4)から求められる弾性率 E(t) と同じものと考えて実用上はさしつかえない。アスファルト合材が線形粘弹性材料であると仮定すれば、緩和弾性率 E(t) は、クリープコンプライアンスから数学的手法によって算出されうる。

一定歪速度試験は、ある特定の歪速度における応力一歪曲線の勾配から、緩和弾性率を計算する方法である (図-6c)。すなわち

$$E(t) = d\sigma/d\epsilon \quad (5)$$

ここで、 $d\sigma/d\epsilon$ は特定の歪速度における応力一歪曲線の勾配である。歪速度を変えて、この試験を行なうこと

によって、この弾性率は載荷時間の関数として得られる。アスファルト合材が単純粘弾性挙動を示すならば、式(5)の弾性率は時間の関数として得られる式(4)の弾性率と同じものになるはずである。

舗装合材のレスポンスを時間の関数として把えるもう一つの方法に、供試体に正弦的載荷(Sinusoidal loading)を行なう方法がある(図-6d)。アスファルト合材が粘弾性挙動を示すならば、載荷重による変形は ϕ/ω で示される時間分だけ応力が遅れるだけで、全く同じ正弦的変化をする。ここで ϕ は応力とそれによって生じる歪との間の位相角(phase angle)、 ω は載荷周波数(loader cycle)である。弾性率は応力と歪の最大値から決定され、一般に複素弾性率(complex modulus) E^* といわれる。すなわち

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \quad (6)$$

複素弾性率の絶対値とある周波数範囲の位相角とを測定することにより、温度の関数としてアスコンのレオロジイ特性を捉えることができる。

Van der Poel⁽⁴⁾は、複素弾性率と緩和弾性率の関係を明らかにするため、両者の数学的変換によるよりも、むしろ次のように評価すべきことを提案している。すなわち、正弦的載荷試験により求めた弾性率は、ある周波数 ω で決められる弾性率を、 $1/\omega$ の時間尺度(time scale)を使ってプロットすることにより、容易に比較ができるという提案である。ここで、 $1/\omega = 1/(radian/sec) = sec$ となるから、ある時間を示すことになる。したがって弾性率は時間の関数としてプロットされる。

このような手順によって、スティフネスや複素弾性率

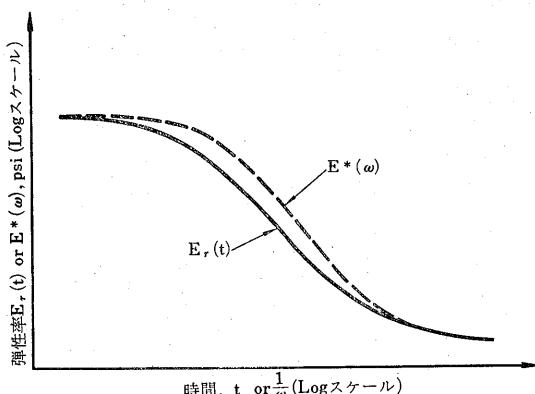
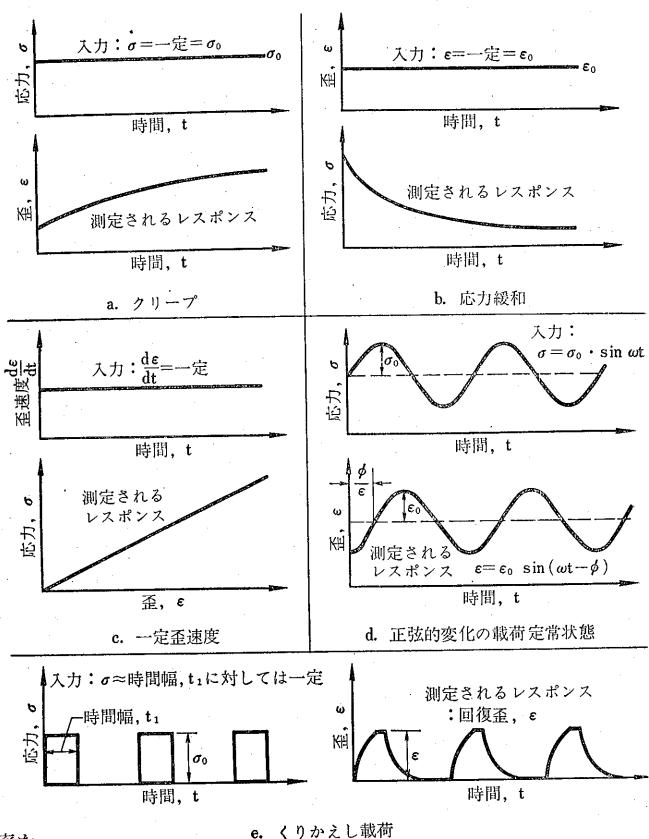


図-7 線形粘弾性材料の複合弾性率と緩和弾性率との比較

図-6 アスファルト合材のスティフネス特性を測定する場合の載荷方式



は時間の関数として、緩和弾性率と比較することができる(図-7)。図-7にみられるように、 $E^*(\omega)$ と $E_r(t)$ は載荷時間が非常に長い場合、あるいは非常に短い場合にのみ等しく、中間の載荷時間では差を生じている。この点について Van der poel は、広い載荷時間範囲にわたる弾性率に生じる変化に較べると、この程度の差はわずかであり、実用上はたいして問題にならない、と述べている。したがって静的載荷(例えばクリープあるいは緩和)もしくは動的試験(正弦的載荷)を問わず、ある時間における σ/ϵ から“スティフネス”と呼ばれる弾性率を決定して、さしつかないと主張している。

現在、実用化されているもう一つの試験は、くりかえし載荷試験である(図-6e)。この型の試験は、Seed とその共同研究者等が土の弾性特性を研究するのに使用している試験である⁽¹⁰⁾。この型の試験機を使って、ビームの曲げを測定し、荷重と変形の関係から次式を使って曲げスティフネスを得る(表-1)。すなわち

$$S = K \frac{P}{L^4} \quad (7)$$

ここで P = ビームへの載荷重

Δ = 測定歪

I = ピームの横断面の慣性モーメント

K = 載荷の型による定数

菅原と笠原⁽⁹⁾は、動的応答を得る手法として、先に掲げた2つの方法を重視し、前者を動的載荷（主として正弦波形）、後者をくりかえし載荷（任意波形）と名づけて、その動的載荷装置について詳述している。現在最も重要な動的載荷装置に至るまでの試験装置の使用過程については、文献⁽¹¹⁾に興味深く語られている。この文献はまた、アスファルトに関する各種研究機器について述べており、図-6に示した基本的載荷方法をさらに発展・開発して独自の研究機器を製作している。これらの研究機器を使用して、アスファルト（合材）のレスポンスを測定し、レオロジイ的考察を加えた各種論文⁽¹²⁾については今さら紹介するまでもあるまい。なお、アスファルト合材を動的載荷装置によって評価する意義、研究的世界的傾向、装置の型等については、文献⁽¹³⁾に詳述されており、筆者等がつけ加えるべきものはない。

以上説明したように、広い時間範囲にわたってアスコンのレスポンスを測定するには、多くの方法があり、またアスコンのレオロジイ挙動を把握するために、近年になって使われ出した工学的手法であることに注意する必要がある。アスコンのスティフネス特性を評価できるのみならず、外部応力（輪荷重による応力）および内部応力（温度変化による熱応力）に対するアスコンの種々のレスポンスを測定できる。さらに、これらの試験結果についてレオロジイ的解析を行なうことにより、舗装の合理的評価もしくは合理的設計が可能になるのである⁽¹¹⁾。

アスコンのレスポンスは時間とともに温度によっても異なるが、この挙動に注目して、室内試験においては時間と温度を変えてアスコンのレスポンスを実験する。図-7に示した広範囲の時間範囲にわたって、実際に室内実験でスティフネスを測定することはむずかしいが、温度というもう一つのパラメータを利用してアスコン挙動を測定することは可能である。このような思想に基づいて時間と温度をパラメータとして得られる実験結果を図-8に略示する。図-8を見て明らかのように、このデータは限られた時間範囲における温度をパラメータとした実験結果を示している。この室内実験の制約を脱して、広範囲の時間帯にわたる一連の温度におけるデータを得ようとして考えられたのが、いわゆる「時間-温度重ね合せの原理（Principle of superposition）」である。例えば、John D. Ferry⁽¹⁴⁾の言葉を借りるならば、「高分子物質のあらゆる変形機構の時間は、すべて同じ温度依存性をもち、すべての弾性機構の強度は絶対温度Tに

図-8 弾性率による温度の影響

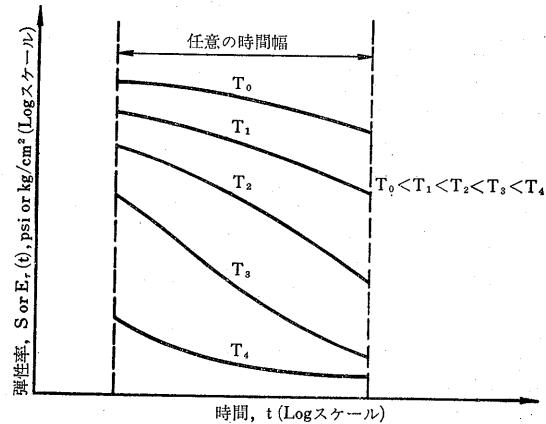
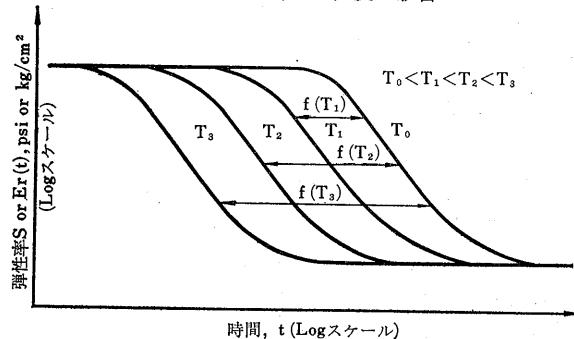


図-9 熱レオロジイ的に単純な材料のスティフネス係数に与える時間と温度の影響⁽¹⁵⁾



比例し、また単位体積中の分子数、したがって密度Pに比例する \propto という重ね合せの原理（または換算変数法）を用いることによって、より広範囲の時間帯にわたってアスファルト合材のレオロジイ的挙動を調べることが可能となる。

図-9に示したように、時間軸にそって平行移動するだけでよく、このような材料を熱レオロジイ的に単純性を示すといふ。基準温度（reference temperature） T_0 は任意に選ぶことができる。また換算時間（reduced time） ξ は、 ξ に対してプロットされた各々の温度における S 、 $E_r(t)$ 、 $D(t)$ の曲線から決められる。すなわち

$$\xi = t \exp [f(T)] \quad (8)$$

ここで

$\xi =$ 一定温度 T において、原時間（real time） t に対応する換算時間

$f(T) =$ 温度 $T > T_0$ に対して $f(T_0) = 0$ 、 $T_3 > T_2 >$

T_1 に対して $f(T_3) > f(T_2) > f(T_1)$ というよう、 $\log t$ 軸に沿って弾性率の平行移動を与える温度関数

温度関数 $f(T)$ は、移動係数とかシフトファクタと

いう言葉で表現され、しばしば記号 α_T をもって表現される。

ある特定の基準温度では、換算時間目盛は単に t/α_T の点で表現される。

物理学的にシフトファクタは

$$\alpha_T = t/\tau_0 \quad (9)$$

で表現される。ここで τ_0 は温度 T における現象を観測するのに必要な時間であり、 τ_0 はある基準温度 T_0 において同じ現象を観測するのに必要な時間である。さらにわかりやすく表現するために次の手順をふむ。両方の対数をとれば、 $\log \alpha_T = \log(t/\tau_0) = \log t - \log \tau_0$ となり、このことはよりもなおさず、ある現象に関するデータが時間の対数軸に沿って、そのままの形で $\log \alpha_T$ だけ移動することを意味する。

この実例は 図-10 に示されている。 T_2 を基準温度とし各温度を時間の対数軸にそって平行移動をし、得られた T_2 における曲線をマスター・カーブ (master curve) という。

マスター・カーブは、室内実験では得られないよう広範囲の時間にわたって、現象を説明できることがわかる。他の温度における曲線を求める場合には、 α_T を使って得られることは、先に説明したとおりである。

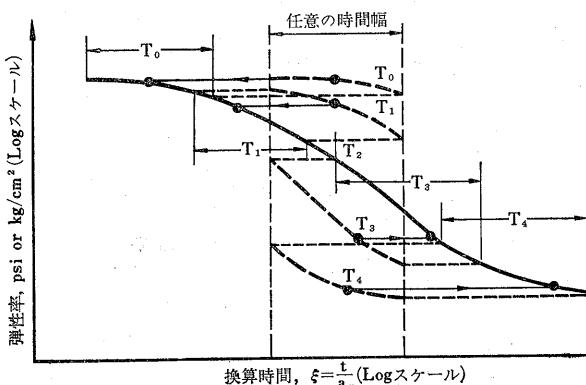


図-10 種々の温度で得られたデータから T_2 における拡大曲線をつくる手順

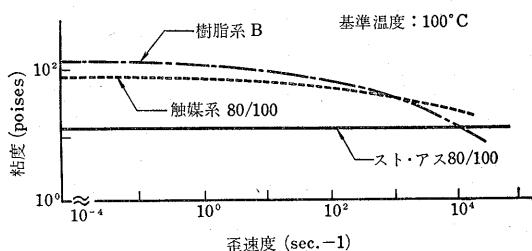


図-11 粘度の歪速度依存性¹⁸⁾

アスファルトセメントにおいては、粘度の歪速度依存性に注目して、この関係を利用できる^{(16), (17)}。筆者等は粘度に関して一連の研究を行なってきたが^{(17), (18), (19), (20), (21)}、アスファルトの粘度の歪速度依存性（一般にはPIの高いアスファルトほど、あるいは高歪速度もしくは低温ほど、粘度の歪速度依存性が大きくなる）に注目して重ね合せの原理を適用した。図-11は、同心円型回転粘度計とマイクロビスコメータを使って実験した粘度の歪速度依存性を示すデータに重ね合せの原理を適用して得られたマスター・カーブを示す。図-12は、そのときのシフト量 ($\log \alpha_T$) を時間の関数として表現している。

測定温度 T におけるアスファルトの粘度を η_T 、密度を d_T 、基準粘度 T_0 における粘度を η_{T_0} 、密度を d_0 とするとき、シフトファクタ α_T は次式で表現される。

$$\alpha_T = d_0 T_0 \eta_T / d_T \eta_{T_0} \quad (10)$$

T_0 の選択は自由であるが、図-12の曲線に示されるように、その勾配はまちまちである。ところが T_0 のかわりに各物質に固有の温度（特性温度と名づける） T_s をとると、すべての高分子物質の $\log \alpha_T$ と温度の関係が

$$\log \alpha_T = -8.86(T - T_s)/(101.6 + T - T_s) \quad (11)$$

で一律に表現されることに注目して、 T_s 概念の導入をはかった。なお T_s が未知の場合には、次式を T_s について

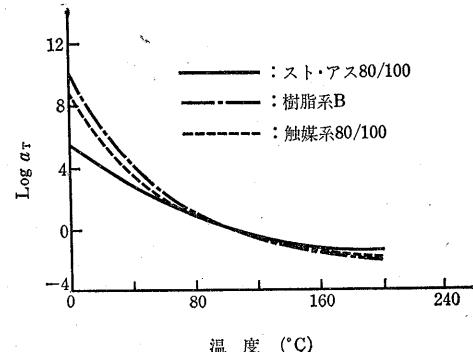


図-12 $\log \alpha_T$ と温度の関数¹⁷⁾

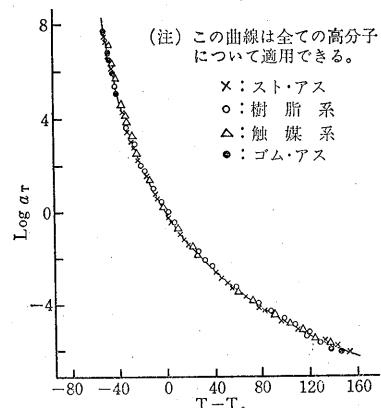


図-13 $\log \alpha_T$ と $T - T_s$ の関係¹⁷⁾

て解く。すなわち

$$\begin{aligned} \text{Log } \alpha_T = -8.86 \times 101.6 \times (T - T_0) / (101.6 + T - T_S) \\ \times (101.6 + T_0 - T_S) \quad (12) \end{aligned}$$

筆者等のデータを式(12)について解いた結果を図-13に示す。この図は、とりもなおさずアスファルトが高分子物質であることを示し、そのレオロジイ的取扱いの妥当性を裏づけるものである。

5. あとがき

スティフネスに関する基礎知識、アスファルト(合材)のレオロジイ的取扱いの妥当性とその方法、各種試験法の原理等について述べた。次回はアスファルト合材のレオロジイ的取扱いを、スティフネスに重点をおいて述べていく。また今回掲載分と合せて要約をしたい。

参考文献

- (1) 菅原・上島・森吉 ミアスファルト舗装体の力学と材料物性について、土木学会第25回年次学術講演会概要集V-77 (1970) pp. 725~226
- (2) 例えば、上島・森吉 ミアスファルト合材のぜい性破壊に関する研究(主として配合の影響について)、土木学会第25回年次学術講演会概要集, V-84 (1970) pp. 239~240
- (3) 森吉・上島・菅原 ミアスファルト舗装材料のレオロジイ、石油と石油化学第13巻第4号 (1969) pp. 80~85
- (4) VAN DER POEL, C., "A General System Describing the Viscoelastic Properties of Bitumens and its Relation to Routine Test Data" Jour. Appl. Chem. (May 1954)
- (5) VAN DER POEL, C., "Road Asphalt" In Building Materials. Their Elasticity and Inelasticity. M. Reinert. Interscience (1954).
- (6) HEUKELOM, W., and KLOMP, A. J. G., "Road Design and Dynamic Loading" Proc. Assn. Asphalt Paving Tech., Vol. 33 (1964) pp. 92~125
- (7) PELL, P. S., and McCarthy, P. F., "Amplitude Effect on Stiffness of Bitumen and Bituminous Mixes under Dynamic Conditions." Pheologia, Acta, Vol. 2, No. 2 (1962)
- (8) MONISMITH, C. L., "Asphalt Mixture Behavior in Repeated Flexure." IER Rep. No. TE-65-9, Univ. of California (Nov. 1965)
- (9) 笠原・菅原 ミアスファルト合材の動的応答に関する研究、土木学会北海道支部研究発表論文集 第28号 (1972) pp. 147~151
- (10) SEED, H. B., CHAN, C. K., and LEE, C. E., "Resilience Characteristics of Subgrade Soils and Their Relation to Fatigue Failures in Asphalt Pavements." Proc. Internat Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, Univ. of Michigan (1962) pp. 611~636.
- (11) 菅原照雄 ミアスファルト関係研究機器について、アスファルト 第15巻第85号 (1972) pp. 6~12
- (12) 例えば、笠原・岡田・上島・寺島 ミアスファルトおよびアスファルト合材の緩和弾性率に関する研究、土木学会 第25回年次学術講演会概要集, V-80 (1970) pp. 231~232
- (13) 菅原・笠原 ミアスファルト合材の動的応答と疲労について、道路建設 第295号 (1972) pp. 43~53
- (14) Jhon D. Ferry 「高分子の粘弹性」から主として第11章 粘弹性的挙動の高温依存性
祖父江寛監訳、村上謙吉・高橋正夫共訳 東京化学同人
- (15) MONISMITH, C. L., "Fatigue of Asphalt Paving Mixtures." Paper Presented at First Annual Street and Highway Conf., Univ. of Nevada (1966)
- (16) BRODNYAN, J. G., "Use of Rheological and Other Data in Asphalt Engineering Problems" HRB Bull. 192 (1958) pp. 1~19.
- (17) 間山・菅原 ミアスファルトのレオロジイ、土木学会第25回年次学術講演会概要集 V-64 (1970) pp. 159~160
- (18) 間山・北郷・中島 ミ高温におけるアスファルトの粘性に関する研究、土木学会第24回年次学術講演会概要集 V-125 (1969) pp. 295~296
- (19) 平井・間山・菅原 ミ舗装用アスファルトの粘度の歪速度依存性について、土木学会 第24回年次学術講演会概要集 V-128 (1969) pp. 301~302
- (20) 北郷・大阪・間山 ミ舗装用アスファルトにおける粘性の歪速度依存性に関する研究 (第2報) 土木学会第25回年次学術講演会概要集 V-82 (1970) pp. 235~236
- (21) 間山・中島・菅原 ミアスファルトのE. V. T. に関する一考察、土木学会第27回年次学術講演会概要集 V-107 (1972)
- (22) DEACON, J. A., "Fatigue of Asphalt Concrete", Thesis, D. Eng. (Transportation Eng.), Univ. of California (1964)

新刊紹介

丸山 古著

ナピンダン工場

—フィリピンにおける工場建設の一年—

B6版 218ページ ¥480 (送料¥80)

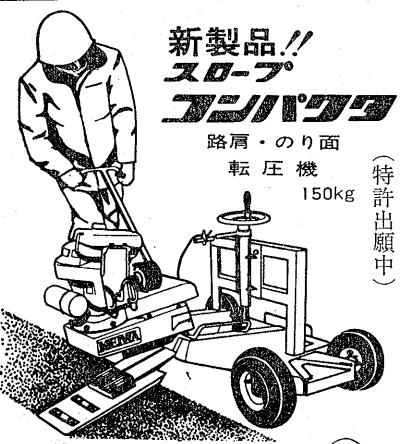
フィリピンの辺地におけるアスファルト乳剤工場の建設。それは著者にとって、技術者としてまた人間としての試練の一年であった。著者と現地の人々との温い友情が読者の感銘を呼ぶ。最近ますます盛んになりつつある、発展途上国に対するプラント輸出、技術指導、あるいは合弁事業について、本書は多くの示唆を含んでいる。

発行者 277 千葉県柏市中新宿 236-9

門 馬 茂

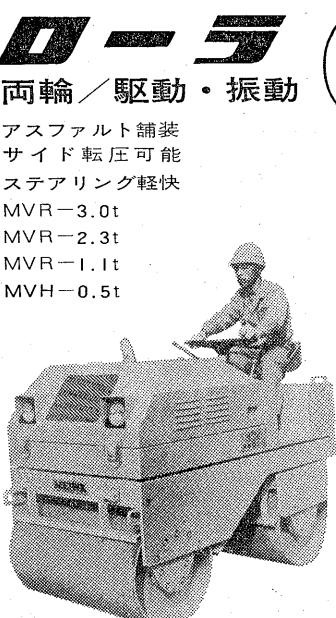
Tel: 0471 (66) 4675 振替: 東京 126723

新製品!!
**スロープ
コンパクタ**



路肩・のり面
転圧機 150kg
(特許出願中)

ローラ
両輪／駆動・振動



アスファルト舗装
サイド転圧可能
ステアリング軽快
MVR-3.0t
MVR-2.3t
MVR-1.1t
MVH-0.5t

明和
**バインプロ
ランマ**



路盤碎石締固め
水道・ガス管・道路
電設・盛土埋戻
VRA-120kg
VRA-80kg
VRA-60kg

**バインプロ
プレート**



アスファルト固め
路面整形・修理
VP-110kg
VP-70kg
VP-60kg

株式会社
明和製作所
川口市青木町 1-448

(カタログ送呈)全国各地に販売店あり

本社・工場 Tel (0482) 代表(51) 4525~9 〒332
大阪営業所 Tel (06) 961-0747-8 〒536
福岡営業所 Tel (092) 41-0878・4991 〒812
名古屋営業所 Tel (052) 361-5285~6 〒454
仙台営業所 Tel (0222) 56-4232・57-1466 〒982

駐車場 サービス・ステーション ドライブウェイ

—by THE ASPHALT INSTITUTS Information Series No. 91—

アスファルト舗装は適用性、経済性、耐久性その他の点で駐車場、サービス・ステーション、ドライブウェイ用としてすぐれている。

アスファルト舗装構造の設計に影響する主なファクターは交通（車輌の重量および数量）、路床の支持力および構造材の性質がある。フルデプス・アスファルト・コンクリートは強度が高く均一であり、耐水、霜に対する抵抗その他がすぐれているため、最小の厚さの構造の設計を可能にする。

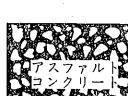
表-1、表-2に Asphalt Institute の Thickness Design manual, Manual Series No. 1 に基づいて、駐車場、サービス・ステーション、ドライブウェイをフルデプス・アスファルト・コンクリートで舗装する場合

表-1. 乗用車の駐車場およびドライブウェー

路床の状態	フルデプスアスファルトコンクリート, T_A	
	ドライブウェー 85台までの駐車場	85~100台の駐車場 (入口および重トラックの通路は表-2参照)
良 ^{*2} + 優 ^{*1}	4インチ (min.) (10.2cm) 	4インチ (min.) (10.2cm)  4½インチ (11.4cm) 
可 ^{*3}	4インチ (min.) (10.2cm)	6インチ (15.2cm) 
不良 ^{*4}	4インチ (10.2cm)	

- *1. 優：水分や霜に影響されない路床土で、よく格付けされた清浄な、とがった砂やレキがこれに含まれる。
- *2. 良：濡れているときでも十分な支持力を保っている路床土で、清浄な砂、砂レキ、害になるほどの塑性物質がない土壤がこれに含まれる。
- *3. 可：濡れても、適度の強度が保たれる路床土で、ローム、シルト質の砂、適度の粘土や微粒シルトを含む砂レキがこれに含まれる。
- *4. 不良：濡れたとき全く軟かくなり、また塑性になる路床土で、かなりの量の粘土や微粒シルトを含む土壤がこれに含まれる。

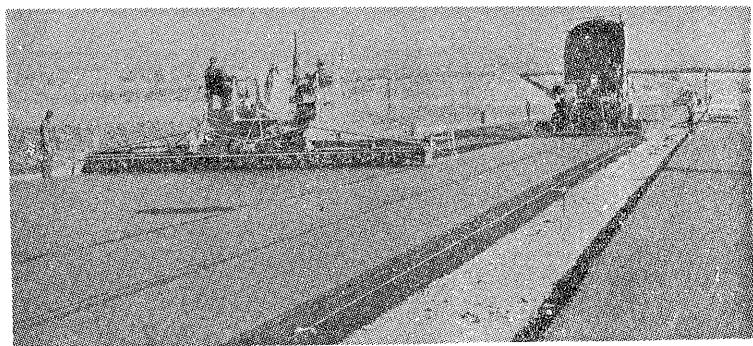
表-2. トラックの駐車場、サービス・ステーションおよびドライブウェー

路床の状態	フルデプスアスファルトコンクリート, T_A	
	重トラック20台/日までの駐車場、サービス・ステーション、乗用車駐車場入口および重トラックの通路	重トラック20~400台/日の駐車場（トラックストップを含む） 乗用車駐車場入口および重トラックの通路 荷物積卸場
良 ^{*2} + 優 ^{*1}	5½インチ (14cm) 	7½インチ (19cm) 
可 ^{*3}	7インチ (17.7cm) 	9½インチ (24.2cm) 
不良 ^{*4}	9インチ (22.8cm) 	12インチ (30.5cm) 

新フランス有料道路のフルデプス

Orleans 経由パリ—Poitiers 間と Chartres 経由パリ—LeMans 間の 2 本の新有料道路で、フルデプスアスファルト舗装道路が建設されつつある。その全延長は 465km である。この有料道路の設計・建設・運営・維持管理を行うため合同企業体が設置された。それは COFIROUTE (高速道路投資会社) として知られており、SOCASO (南方および西方自動車道建設協会) と SCAO (西方自動車道建設協会) の技術と建設グループが参加している。自動車道 A-10, A-11 の約 30km の部分はすでに建設が完了している。これらの一部分は、Jean Lefebvre 企業によって施工され、残りの部分も施工することになっている。

これらの新有料道路のためには、あらゆる高速道路計画の従来の企画・設計・施工・維持が検討された。さらに広汎な経済性の可能性について研究が行われ、試験道

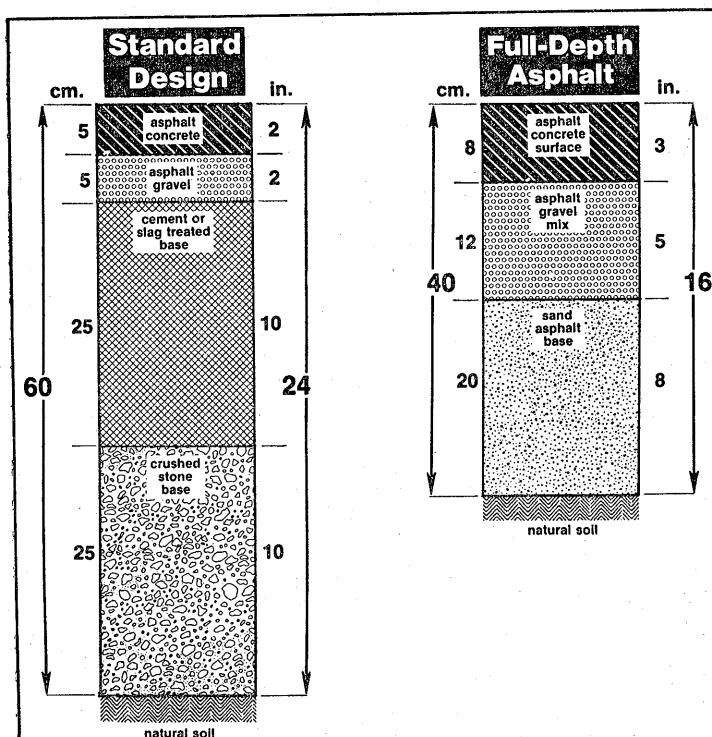


路での評価がなされたほか、土質の全面的調査を実施した。また多種類の道路断面図が引かれ、建設材料の規格が定められた。またアメリカに出張して、供用中の有料道路を視察し、計画・設計・施工・料金徴収・維持管理に関する実際知識を修得してきた。

SOCASO が有料道路にフルデプスアスファルト舗装の採用を決定したのは、次の事柄によっている。

- (1) フランスにおけるフルデプス工法の経験が得られたこと。
- (2) France's Department des Ponts et Chaussees から高速道路に対する新しいフルデプス設計ができたこと。
- (3) 建設の経済性——特にその地方にある材料が使え、しかもフルデプス工法は、材料が少なくてすむこと。
- (4) 維持管理を減らし得るほど供用性が高いこと。

最終的に選ばれた設計は第 1 図にみると、締固めた路床上に 40cm の総厚を持つもので、20cm の Sand/asphalt mix 層、12cm の asphalt gravel mix 層、8cm のアスファルトコンクリート表層から成るものである。



海外のフルデプス・アスファルト舗装

第1表 フランスのフルデプス・アスファルト舗装の代表的合材設計

	Asphalt Concrete Surface	Gravel Asphalt Mix	Sand Asphalt Base
混合比率 (%by weight)			
porphyritic gravel (crushed)			
(10-14mm)	30.1		
(6-10mm)	23.5		
Silicious gravel (6-25mm)		53.0	
Porphyritic Sand (0-6mm)	37.7		
Sand(50%crushed) (0-6mm)		14.4	
Sand(crushed) (0-2mm)		15.4	
Local Sand(one-size)		9.6	86.4
Crushed Sand (18%filler)			9.6
filler	2.8	3.8	
アスファルト	5.9	3.3	4.0
針入度	40/50	40/50	20/30
Marshall Stability at 60C (140F)			
Kg	1000	900	550
Lbs	2200	1980	1210
Flow (mm)	3.6	2.7	3.6
Unconfined Compression at 18C (64F) (8 days in air)			
Kg/cm ²	81	72	25
psi	1150	1020	360
(7 days in Water)			
Kg/cm ²	69	52	13
psi	980	740	185

従来の重交通設計では、第1図にみるよう
に4層からなり、総厚は60cmである。

フルデプス工法を採用すると、1車線1km
当たり (per lane/km) 約1,200t の材料が節減
できる。

合材の代表例を第1表に示しておく。特に
興味ある点は sand/asphalt base 層で、sand
材料は工事の沿線で確保がきプラントサイト
に集積されることである。またこの施工コス
トは、在來の他の材料を使った場合のコスト
の20%であった。

Sand/asphalt 層は 1 リフト 20cm で施工し
た。針入度の低いアスファルトを使ったが、
縁に沿って合材が脱落する傾向があった。そ
れは Sand が本質的に 1 種類のサイズであっ
たためである。この問題を解消するために転
圧機に鉄製の特別なアタッチメントが設計さ
れた。Sand/asphalt 層と asphalt/gravel
層の合計厚は約 30cm まで増加させた結果、た
とえ、いくらか脱落が生じても表層を十分支
えることができた。

合材と施工した路盤について、今後定期的
に広汎な試験の実施されることが望まれる。
それによってフランスの標準設計とフルデプ
ス道路の評価が可能になるし、またフルデプ
ス舗装の建設の専門技術に貢献することは疑
いない。

ドイツ—アウトバーンの最初のフルデプス

1971年11月4日朝10時半、ドイツで最初のフルデプス
舗装道路の開通式が行なわれた。政府代表、産業代表者
が集って、アウトバーンE-5（フランクフルトとケルン
を結ぶ—カンベルク市近郊）の公開をみまもった。こ
れは工科大学、政府機関ならびに産業界でドイツのフル
デプスアスファルト舗装設計を評価し実証した約2年間
の努力の成果であった。

ドイツでは従来のアスファルト舗装と比較して、フル
デプス舗装厚を如何にしたらよいか、誰も知識がなかっ
たので初期の研究が必要であった。

この研究が終了した時点で、次には必要舗装厚を計算
し、特に建設された試験舗装に基づくデータを用いて、
これらの厚さを立証することであった。

モービルオイルA・G社はミュンヘン工科大学と共同
して、1970年11月にフルデプス舗装と標準舗装による二

つの試験舗装に参加した。

1970年の冬より1971年の春までの期間、これらの舗装
について、たわみ、温度、湿度および縦断面の計画が行
なわれた。政府機関ならびに道路建設業者と共に、フル
デプス舗装の概念と上記の試験舗装の研究結果について
幾多の討議がなされた。

これらの討議の結果に基づいて、ある大建設会社（実
際にフルデプス舗装をした—Gebr. vander Wettern
G. m. b. H.）が政府機関に対し、フランクフルト～ケル
ン間のアウトバーンE-5の一部分のフルデプス舗装に
よる再建設を提案した。

フルデプス舗装に対するこの提案は標準舗装より、よ
り経済的であったので、この計画が承認された。これが
ドイツで始めて建設されたフルデプスアウトバーンとな
ったわけである。

工事現場はカンペルグに近い約3.5kmの南方向車線が選定された。

古いボルトランド・セメントコンクリート舗装が、二車線（トラック道と乗用車道）のフルデブス舗装に拡張建設された。

建設中の交通を維持するために、この計画構成にいくつかの問題が生じた（交通は北方向二車線であった）。

古いトラック車線が建設プラットホームとして利用され、内側車線が撤去され再建設された。

そして新しいトラック車線と乗用車線が完成された。

古いトラック車線は、次に撤去されて建設された。

完成断面を得るため掘さくを15cmの深さまでやり、粘度質砂利（ある部分はセメント安定処理をした）にして必要耐荷重を得るための路盤を建設した。（*切込み砂利程度とみられる）

調整された基層の状態を維持するために、毎日14cmのホットミックスベース（加熱アスファルト混合物）と、8.5cmの中間層を建設することが必要であった。28cmのホットミックスベースは建設機械の土台となり、また中央車線の撤去を容易にした。

すべての車線が28cmの深さに建設された後に、中間層と表層が同時にすべて舗装された。

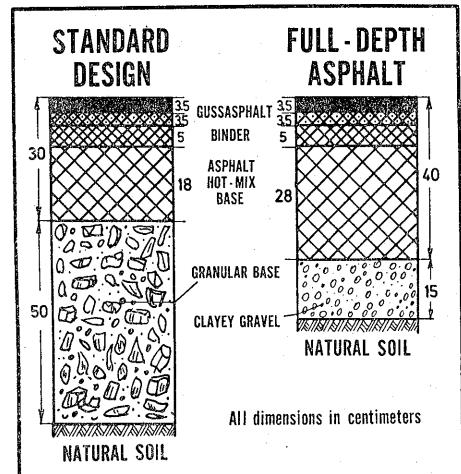
最上部の表層は3.5cmのグースアスファルトである。これは40/50ストレートアスファルトに1.5%のトリニダード・レークアスファルトを含んだものを用いている。

これは耐摩耗性すべり止め効果を有するが、現在ドイツ国内のすべての交通量の多い重荷重道路に使用されている。

アスファルト混合舗装の全層厚は40cmであり、構造的には従来の標準舗装の場合の30cmのアスファルト舗装ならびに50cmの路盤と比較される。（第1図参照）

このフルデブス工法は標準工法と比較してより早く、より経済的であった。結果的には20日間の短縮となり、

海外のフルデブス・アスファルト舗装



この区間がより早く一般交通に供された。

このフルデブス区間の実績を標準工法ならびに試験舗装のデータと比較決定するために、このアウトバーン区間の測定が行なわれ、定期的に分析されることとなっている。

路面たわみ量、路床の温度、湿度ならびに平坦率とすべり抵抗測定等が政府機関、建設業者ならびにモービルA・G社で実施される。使用されたアスファルト混合物は、ドイツの工業規格によるホットミックス・ベース、中間層および表層に基づいている（すなわち基層には、TV T、中間層と表層にはTV B I T 3）。

フルデブス舗装の振興のために、この舗装の映画が製作され、ウエーデルでの冬期会議にてユーザーや政府関係者に対する訓練コース用や建設省、建設業者の他の技術会議にも使用される。

〔フランス、ドイツ篇は Mobil International Division Asphalt News より転載〕

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) 東京都中央区京橋1-1	03(562) 2211
エッソスタンダード石油(株)	(105) 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
富士興産アファルト(株)	(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
ゼネラル石油株式会社	(104) 東京都中央区銀座4-9-13	03(541) 2531
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	(105) 東京都港区芝琴平町38	03(503) 4371
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
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) 東京都港区芝琴平町1	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(270) 6411
日本鉱業株式会社	(105) 東京都港区赤坂葵町3	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(503) 1111
三共油化工業株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内1-4-1	03(216) 2611
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
新日本油化学工業株式会社	(676) 兵庫県高砂市伊保町梅井字新浜1-1	07944(7) 0781
昭和石油株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内2-7-3	03(231) 0331
昭和四日市石油株式会社	(100) 東京都千代田区有楽町1-2-1	03(211) 1411
谷口石油精製株式会社	(512) 三重県三重郡川越町高砂	0593(65) 2175
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
ユニオン石油工業株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内1-4-2	03(211) 3611
〔ディーラー〕		
◎ 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	(103) 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) 2391 丸善
富士油業(株)東京支店	(106) 東京都港区西麻布2-8-6	03(402) 4574 富士興産アス
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
三菱商事株式会社	(100) 東京都千代田区丸の内2-6-3	03(210) 0211 三石
中西瀝青株式会社	(103) 東京都中央区八重洲1-3	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
日本輸出入石油株式会社	(100) 東京都千代田区大手町1-2-3	03(211) 6711 共石

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
日東石油販売株式会社	(104) 東京都中央区銀座4-13-13	03 (543) 5331 シエル
日東商事株式会社	(162) 東京都新宿区矢来町111	03 (260) 7111 昭石
瀝青販売株式会社	(103) 東京都中央区日本橋江戸橋2-9	03 (271) 7691 出光
菱東石油販売株式会社	(101) 東京都中央区外神田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	(101) 東京都千代田区神田美土代町1	03 (292) 3911 出光
大洋商運株式会社	(100) 東京都千代田区有楽町1-2	03 (503) 1921 三石
東光商事株式会社	(104) 東京都中央区八重洲5-7	03 (274) 2751 三石
東京アスファルト株式会社	(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) 東京都港区芝琴平町34	03 (503) 5048 富士興産アス
東京レキセイ株式会社	(141) 東京都品川区西五反田8-12-10	03 (493) 6198 富士興産アス
東京菱油商事株式会社	(162) 東京都新宿区新宿1-2	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江戸橋2-5	30 (273) 3551 日石
東洋アスファルト販売株式会社	(107) 東京都港区赤坂5-3-3	03 (584) 6211 エッソ
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) 東京都新宿区新小川町2-10	03 (269) 7541 丸善
ニニ石油株式会社	(105) 東京都港区西新橋1-4-10	03 (503) 0467 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
横浜米油株式会社	(221) 横浜市神奈川区金港町7-2	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
ビチュメン産業(株)富山営業所	(930) 富山市奥井町19-21	0764 (32) 2161 シエル
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
富士フロー株式会社	(910) 福井市下北野町東坪3字18	0776 (24) 0725 富士興産アス
株式会社名建商會	(460) 名古屋市中央区栄4-21-5	052 (241) 2817 日石
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) 名古屋市中村区西米野1-38-4	052 (481) 5551 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	(453) 名古屋市中村区広井町3-88	052 (561) 3511 三石
● 近畿		
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

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
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
川崎物産株式会社	(650) 神戸市生田区江戸町98	078 (391) 6511 昭石・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
毎日石油株式会社	(540) 大阪市東区京橋3-11	06 (943) 0351 エッソ
丸和鉱油株式会社	(532) 大阪市東淀川区塚本町2-22-9	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	(530) 大阪市北区老松町2-7	06 (364) 4305 日石
三徳商事株式会社	(531) 大阪市東淀川区新高南通2-22	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)シエル石油大阪発売所	(530) 大阪市北区堂島浜通1-25-1	06 (343) 0441 シエル
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) 姫路市飾磨区南細江995	0792 (35) 7511 共石

④ 四国・九州

入交産業株式会社	(780) 高知市大川筋1-1-1	0888 (73) 4131 富士・シエル
平和石油(株)高松支店	(760) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7255 シエル
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
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
九州菱油株式会社	(770) 北九州市八幡区山王1-17-11	093 (66) 4868 三石
畑礦油株式会社	(804) 北九州市戸畠区明治町5丁目	093 (871) 3625 丸善
丸菱株式会社	(812) 福岡市博多区博多駅前1-9-3	092 (43) 7561 シエル