

アスファルト

第37巻 第181号 平成6年10月発行

181

特集・舗装用バインダーとしての規格・試験法

舗装用バインダーに関する試験方法について	片脇清士	1
道路用ストレートアスファルトの品質規格/試験法の 変遷とアスファルトの品質評価について	牛尾俊介	8
改質アスファルトに特有の規格・試験法	広津栄三郎・鈴木紀章	14
SHRPの提唱するアスファルト仕様と試験方法	神谷恵三	28
アスファルト評価のための粘弾性理論	佐々木 巖	35

〈シリーズ 石油ミニ知識〉

～石油の誕生～	室賀五郎	42
アスファルト舗装技術研究グループ第18回報告		44
舗装の力学 ～バーミスタ理論について～	吉村啓之・伊藤達也	45
梅野修一・岡藤博国・金井利浩・高橋 修		

〈用語の解説〉

長寿命化舗装	小島逸平	55
アスファルト試験器の自動化	板垣和芳	59
〈資料〉平成5年市販アスファルトの性状調査	技術委員会	61
〈統計資料〉石油アスファルト需給統計資料		65

ASPHALT

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

舗装用バインダーに関する試験方法について

片 脇 清 士*

建設省土木研究所新材料開発研究官

まえがき

現在のアスファルト品質規格は、将来の道路建設に関するニーズに適切に対応できるだろうか。

道路に要求される新しいニーズを踏まえて、耐久性、環境、省資源性や環境負荷の大小、省力化の観点も含めて、道路資材に関する仕様を見直そうとする動きがある。

たとえば、アスファルト舗装は、高温時にはわだち掘れ、低温時にはひび割れが生じやすいが、これらを防ぐ材料の高耐久性化、長寿命化技術は、資源を大幅に節約し環境負荷を軽減するための有力な手法となることはいうまでもない。

同様に、舗装に関する新しい機能を求めて、高機能の材料を活用したいという大きな動きがある。いささか高価ではあるが、きわめて長寿命なのでライフサイクルコストは軽減できる材料などの開発、材料にとっても多面的なアプローチが求められる。

材料の普及にとって重要なポイントは品質規定であることから、優れた新しい材料が開発されるように、そしてそれらが普及しやすくなるように、あわせて在来のも材料も時代の動向に適合するように、グレードアップの機会が十分に保証されるように、材料に関する品質規定や設計基準を適宜積極的に改定することが求められているといえよう。

舗装用アスファルト規格のはじめ

では、わが国に最初にアスファルトが入ってきた時はどうであつたろうか。舗装用アスファルトに関する品質規格はどのように始まったのであろうか。

少し古いおはなしから。

わが国で最初に、アスファルトの針入度試験に関する研究報告をおこなったのは、内務所土木試験所（建設省土木研究所の前身）である。大正15年12月に土木試験所報第2号に「瀝青質材料針度に就いて」という報告がなされている（写真-1）。

土 木 試 験 所 報

瀝青質材料針度に就て

第 二 號

内務省土木試験所

写真-1

「はしがき」には、「道路用瀝青質材料中針度試験は重要なものの一なり。然るに往々にして其結果を異にし争議を醸すことすらあるは甚だ遺憾とす。本片は之等の原因を究め其結果の或程度迄の性格を期すことに資せむが為め……」

と書かれ、大正14年度までに行われたアスファルト試験結果が示されている。

昭和2年には瀝青質材料標準試験方法が制定され、（土木試験所報第8号に記載）このなかでは、試料採取方法および12の試験項目と試験方法が記載されている。（写真-2、3）。

針度試験とは、現在の針入度試験のことである。

現在のアスファルト要綱に記載されるアスファルト

土木試験所報告

第 八 號

瀝青質材料標準試験方法
石材類標準試験方法

昭和二年十月

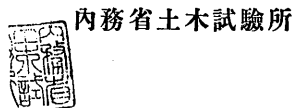


写真-2

試験項目と比べると、少なくとも物理的試験内容については大きな変化はない。70年前の試験方法の考え方が、現在まで、基本的には続いているといっても良いであろう。

内務所土木試験所で上記の一連の報告をしたのは、建設省土木研究所化学研究室の初代および2代目の方々である。当時は、大都会の道路でさえも、まだ馬車道が続いており、ようやく今で言う簡易舗装がはじまろうかという時期であった。大変な苦勞をされて、外国より試料を入手されたり、試験機械を導入されたとお聞きしている。

土木試験彙報第1号にはアスファルトの試験成績表が記載されている(表-1)。ニューヨークスタンダードオイルアスファルト、テキサスアスファルトなど当時の米国産アスファルトの、針入度、伸度(延性)、軟化点他の品質試験結果について、現在の舗装用石油アスファルトの品質規格(表-2)と参照すれば興味深い。

アスファルト規格に関する関心

道路事情はすっかり変わったことは言うまでもない。

内務省土木試験所報告

第 八 號

目 次

瀝青質材料標準試験方法

一 序 言	1
二 試料採取方法	1
三 比重試験	4
四 比粘度試験	7
五 浮游試験	10
六 針入試験 温度修正	13
七 延性試験	15
八 引火部試験及燃焼部試験	17
九 軟化部試験	20
一〇 蒸発部試験	21
一一 瀝青含量定量試験 無機物及有機物含量定量試験	23
一二 石油ナフタレン可溶性瀝青含量定量試験	26
一三 四氯化炭素可溶性瀝青含量定量試験	27
一四 固形ペラフィン含量定量試験	28
附録 用語と英対照表	21

写真-3

しかし、このように材料に関する試験項目が変わっていないことは何を物語っているのだろうか。

現在、アスファルトおよびアスファルト製品の市場は年間1300億円程度である。このうち道路用アスファルトでは1000億円程度を消費している。舗装事業費は年間1兆5000億円という巨額であるが、アスファルト合材だけでも6200億円は下らないであろう。

では、アスファルトそのものに関する研究開発投資額はいくらくらいであろうか。ある推計では年間15億円程度であろうとされる(ストレートアスファルト分野で、5億円程度、改質アスファルト分野で10億円程度)。

工業製品の平均研究投資額に較べれば、特にストレートアスファルト分野で、非常に少ない研究投資額が特徴であるとすれば、舗装工事の基本となる使用材料、アスファルトについては、研究開発が低調であったと言ってよいであろう。

これが道路事情はすっかり変わったにもかかわらず、新しいアスファルト材料がうまれなかった、見直しが本質的になされなかった原因であるし、アスファルト

表-1 A-2 石油製品 アスファルト類

試 験 番 号 試 料 名 依 頼 者	61 紐育スタンダード オイルアスファルト(1 函館市役所	75 ライジングサン メクスファルト 神奈川県第一号 国道改修事務所	58 テ キ サ ス ア ス フ ァ ル ト 函館市役所	74 テキサスアスファルト 白樽54° 神奈川県第一号 国道改修事務所
比 重 25℃/25℃	1.010	1.011	1.017	1.007
針 度 { 0℃, 200g, 60sec	4	16.5	15	23
25℃, 100g, 5 sec	49	52	43.5	51
46.1℃, 50g, 5 sec		192	123	145
延 性 25℃ cm	100 + α	33	49	48
軟化点 環球法 °C	48	50	59.5	52.5
蒸発減 163℃, 50g, 5 hr %	0.03	0.007	0.06	0.005
残留物針度 25℃, 100g, 5 sec	40	41.5	38.5	45
引火点 開放式 °C	292	269	263	265
燃焼点 °C	338	325	293	305
全瀝青 %	99.94	93.98	99.78	99.98
四塩化炭素不溶瀝青 全瀝青ニ 対スル %	0.03	0.07	0.04	0.03
70°Be石油ナフサ不溶瀝青 //	5.66	22.17	22.22	19.92
固定炭素 %	9.94	19.10	16.04	13.46
灰分 %	0.04	0.05	0.15	0.03

表-2 わが国の舗装用アスファルトに関する規格

舗装用石油アスファルトの品質規格 (勅日本道路協会規格)

項目	種類	40~60	60~80	80~100	100~120
針入度 (25℃)	1/10mm	40を越え60以下	60を越え80以下	80を越え100以下	100を越え120以下
軟化点	°C	47.0~55.0	44.0~52.0	42.0~50.0	40.0~50.0
伸 度 (15℃)	cm	10 以上	100 以上	100 以上	100 以上
三塩化エタン可溶分	%	99.0 以上	99.0 以上	99.0 以上	99.0 以上
引火点	°C	260 以上	260 以上	260 以上	260 以上
薄膜加熱質量変化率	%	0.6 以下	0.6 以下	0.6 以下	0.6 以下
薄膜加熱針入度残留率	%	58 以上	55 以上	50 以上	50 以上
蒸発後の針入度比	%	110 以下	110 以下	110 以下	110 以下
密 度 (15℃) (g/cm³)		1.000 以上	1.000 以上	1.000 以上	1.000 以上

(注) 各種類とも 120℃, 150℃, 180℃のそれぞれにおける動粘度を試験表に付記すること。

ゴム・熱可塑性エラストマー入りアスファルトの標準的性状

項 目	種 類	ゴム・熱可塑性エラストマー入りアスファルト	
		改質アスファルトⅠ型	改質アスファルトⅡ型
針入度 (25℃)	1/10mm	50以上	40以上
軟化点	°C	50.0~60.0	56.0~70.0
伸 度 (7℃)	cm	30以上	—
伸 度 (15℃)	cm	—	30以上
引火点	°C	260以上	260以上
薄膜加熱針入度残留率	%	55以上	65以上
タフネス (25℃) kgf·cm(N·m)		50(4.9)以上	80(7.8)以上
テナシティ (25℃) kgf·cm(N·m)		25(2.5)以上	45(3.9)以上

- (注) (1) ①密度 (15℃) は、試験表に付記すること。
 ②最適混合温度範囲および最適締締め温度範囲を試験表に付記する。
 (2) プラントミックスタイプの場合は、使用するアスファルトに改質材を所定量添加し調整した改質アスファルトに適用する。

セミブローンアスファルト (AC-100) の品質規格

項 目	規 格 値
粘 度 (60℃) poise (Pa·s)	10,000±2,000 (1,000±200)
粘 度 (180℃) cSt (mm²/s)	200以下 (200以下)
薄膜加熱質量変化率	% 0.6以下
針入度 (25℃)	1/10mm 40以上
三塩化エタン可溶分	% 99.0以上
引火点	°C 260以上
密 度 (15℃)	g/cm³ 1.000以上
粘度比 (60℃, 薄膜加熱後/加熱前)	5.0以下

(注) 180℃の粘度のほか、140℃, 160℃における動粘度を試験表に付記すること。

材料に関する試験項目が変わらなかった大きな要因であるといつてよいであろう。

このため、現場技術者にとっては、実際工事に用いられている材料がどんなものであるか、本当にその現場にふさわしいものか、などと検証する機会は得にくかったといえよう。

この結果、最終製品である舗装の品質には施工会社にとって施工技術のみに限定され、材料を上手く活用して、組み合わせるなどの工夫が入りにくいものとなったようである。

これからは、製品の品質差別化が重要なポイントになる。技術力の差異が大きな意味をもって来るからである。そうなれば、舗装という製品にどのような内容の提案ができるかが課題になる。

既に、舗装については、発注側からのニーズが明確な形で現れてきている。たとえば、耐久性に優れる舗装、生産性に優れ価格パフォーマンスに優れる舗装、新しい機能をもった舗装などなどである。これらは、いずれも材料が鍵になる。また試験項目が鍵になる。なぜなら、試験項目と試験方法は発注者の意図を具現化したものだからである。

試験項目にもとめられるもの

材料試験にもとめるものは、材料を受け入れる立場と材料供給者の立場とでは多少異なる点があるが、「共通のプラットフォーム」としての試験においては、次のような内容が重要であろう。

- ・同じ目的に用いられる多くの種類のバインダーの評価が同じ手法と考え方でおこなわれること。たとえば、ストレートアスファルトから改質アスファルト(1型、2型、いわゆる3型まで)同じ試験機器で測定できることが、統一的な評価に必要である。
- ・舗装の設計に役立つ材料の物性値が得られること。たとえば、多層弾性理論を展開するに必要な材料数値が材料試験から求められること。
- ・試験によって、より良い品質の材料が開発されるような、積極的な改善のための評価手法であること。
- ・技術の進展に対応した試験方法であること。材料科学の進歩により、分子の微細構造が容易に観察できる時代となった。微細構造の解析(NMR ESR EPMA)から、材料の破損や破壊のモードが推察できることから、材料の良否の選択が合理的に可能となる。また材料の優位性が、長期の期間をかけずに

短時間で判定できることは、設計の合理化に貢献する。

- ・製品の差別化のためには、製品Aは製品Bとどこが異なるのか、どこが改良されたのか。このためには、ポイントとなる項目で、製品の優位性をアピールできなければならない。たとえば、針入度試験で材料間の優秀性の差異をアピールできるだろう。
- ・新しいニーズに応じた材料であることの証明。発注者の希望する機能内容に適合した材料が提供されたこと。提供と同時にそれが納得できる形で、試験データが準備されていること。

SHRPアスファルト計画における試験項目

1970年代半ば、アメリカ合衆国におけるハイウェイの機能的劣化が目立ちはじめ、社会的に深刻な問題を呈した。これを招いた原因として、道路産業の研究予算は他産業に比べて極めて低く、有用な技術開発がなされなかったこと、地域、気候、材料を限定した各現場単位で集結する研究が多く、研究努力が分散しがちであったこと等があった。このため、問題を解決するには積極的かつ効率的な研究投資を行い、新しい技術と材料の開発に力を注ぐことであるという結論に達した。1987年、これを受けて発足した研究プロジェクトが、SHRP(Strategic Highway Research Program, シャープ計画)であることはよく知られている。

この計画の中では「耐久性を重視したアスファルトおよび混合物の新しい仕様(SUPERPAVE)」が提案され、これをうけて、アスファルトバインダー試験方法などが、現在AASHTOやASTMなどで規格化が進められている。

SUPERPAVEが提案された背景には、現行のアスファルトの仕様は、現在大きな問題となっているわだち掘れや疲労ひび割れ、低温ひび割れといった道路損傷には対処していないとの認識があったようである。

「現在の仕様は、すでに50年以上前からあるものもあり、その内容も針入度試験や軟化点試験、伸度試験などのような硬さや軟らかさの相対的な評価が中心であった。これらの試験は、長年の研究と経験からそれなりに実用的なものではあるが、その測定内容が実際のアスファルトの挙動とあまり関係ないものであるために、現在の過酷な道路環境には対処できていない。たとえばアスファルトについては、米国では針入度(ASTM D 946)および粘度(ASTM D 3381)の規定

等が適用されている。これらは加熱混合および舗設に基づいた仕様ではあるが、いうまでもなく、舗装の耐久性に基づくものではない。」(SHRPレポート)

このため、SHRP計画では従来の経験的な試験方法に代わりレオロジーを適用した理論的な試験方法を用い、これに促進劣化方法を併用することにより、長期の供用性に対応した仕様を開発した。これによれば、アスファルトは、高温時にはわだち掘れ、低温時にはひび割れ等の問題がおこることから、使用される場所の環境を考慮して選ぶべきであるとされ、舗装体の最高供用温度と最低供用温度から材料の試験条件を定めている。この温度を把握しておけば容易にアスファルトを選ぶことになる。

アスファルトのレオロジー

アスファルトのレオロジー、すなわち粘弾性状の測定は、1960年代初めに、坂上氏等(建設省土木研究所)によってなされている。当時は、アスファルトのレオロジーを測定する機器に十分なものがなかったようだが、測定機器を試作した上で、主要国産アスファルトについて一連の測定が行われている。技術的困難があるなかにもこのような測定がなされたのは、舗装用アスファルトの挙動を物理化学的に正確に把握することになり、アスファルト舗装の信頼性と耐久性を高めることになるとの強い意志があったためであろう。

残念ながら、このような世界に先駆けた業績も直接にはアスファルトの規定に反映されることにはならなかった。当時の試験装置の実用度や普及度に問題があったこともあろうが、このような理論的なものを受け入れる土壤が育っていなかったこともあろう。

けれども、このレオロジーの手法は、蒔田、森、坂本、寺田の各氏(土木研究所)によって、エポキシアスファルトなどの樹脂アスファルトの開発と性状測定に広く用いられ、それらの適用性を同定するのに大いに役立てられた。

このような経緯を振り返ると、SHRPの成果は、アスファルトレオロジーのルネサンスといってよいであろう。特に、Kennedy教授(テキサス大学)などの土木分野の舗装技術者が、レオロジーを積極的に評価し、必ずしもこの分野の専門家ではない州の道路技術者にも普及させようとしていることが注目される。

SUPERPAVEにおけるバインダーの仕様と材料試験

アスファルトのパフォーマンスを損なう要因として、SUPERPAVEでは以下の6つの損傷形態を問題としている。

- ・劣化(エージング)
- ・永久変形
- ・低温度クラック
- ・疲労クラック
- ・モイスチャーダメージ
- ・接着力

これまで、パフォーマンスは供用性あるいは耐久性と訳されることが多かった。

これらの損傷を考えると、供用性よりも耐久性ということの方が適切のように思われる。そこで、Performance Basedを「耐久性を重視した」と訳すことにしたい。

アスファルト舗装は、高温時にはわだち掘れ、低温時にはひび割れ等の温度に起因した損傷が起こることから、使用する場所の環境を考慮して選ぶべきであるとして、SUPERPAVEでは舗装体の最高供用温度と最低供用温度から試験条件を定めている。これと合わせて試験方法も全く新しいものになっている。従来の経験的な試験方法に代わりレオロジー理論を適用した理論的な試験方法を用い、これに促進劣化方法を併用することにより、長期耐久性に対応した仕様となっている。

SUPERPAVEについては神谷さんの報文に詳しく丁寧に記されているので参照していただきたい。このように、SHRPの提唱する試験方法は、アスファルト舗装の損傷形態毎に分類した劣化原因とその材料からの対策という面で、一本筋の通った手法である。

現在、FHWA主催のアスファルト試験普及プログラムによって、米国内の主要な技術者に対して、アスファルトバインダーおよび混合物の試験方法などの研修や実技トレーニングが定期的におこなわれている。ケンタッキー州レキシントンにある米国アスファルト協会研究所においては、FHWA、SHRPが主催するトレーニングコースを最近設置しているが、日本からは初めて、土木研究所の新田研究員とシェル石油化学株式会社の遠西氏が研修を終えている。

SHRP試験法については、規定項目や規定値などに今後検討すべき点は多くある。前述したように、アスファルト材料に関する試験法は、現在の技術水準や社会

環境から言っても、近い将来には大幅な変更が必要になってくると考えられている。今回SHRPで提案された仕様は、そのきっかけのひとつとなるものであろう。

SHRP試験方法の活用

では、わが国でのこの試験方法はどのように活用できるだろうか。

たとえば、異なるバインダー間の性状比較に適用できるであろう。

レオロジーを用いた試験は基本的に、バインダーの物理性状を数値化するものである。バインダーの内部抵抗を測定するために、外的条件を問わない利点がある。このため、感温性状や載荷時間などとの関係を同一の装置で定量的に知ることができる。また幅広いレオロジー性状を測定できる高性能の機器であるために、柔らかいものから、固いものまで測定できることから、現在、製品化されているバインダーの殆ど全てを、対象とする事が出来るといわれる。

アスファルトの迅速な同定にも適用できるだろう。

アスファルトの基本性状であるいくつかの物理化学的特性は、その材料に特有のものである。これを利用すれば、アスファルトもアジア圏内での流通および輸出・輸入を考慮しなければならなくなるが海外産のアスファルトの性状には、固有の性状が認められることから、その産地や使用原油などを知ることが出来るであろう。

改質アスファルトの性状を特徴付けることにも利用できる。

改質アスファルトには多くの種類があるが、それらの特性分類は、物理的性状でもって、容易に行うことができるだろう。より優れた材料を開発するためにも、有力なものさしの一つとなろう。たとえば、耐流動性にとって、本質的なクリープ性状は、温度だけでなく外力の載荷時間によっても異なることが知られているが、短時間で測定することが出来る。この測定結果を解釈することで、物性に関する有用な情報が得られる。

品質とその評価の高度化に関するニーズ

アスファルトは基本的資材であることはいうまでもない。

アスファルトの品質はこれまでおおむね日本工業規格の水準をクリアすれば良いとされてきた。しかし、ニーズの高度化にともない、高度な水準の、製品、製

造技術が要求されている。たとえば、耐流動アスファルトやひび割れしにくいアスファルトである。また高粘度アスファルトなども市場に広がってきた。このような高度な技術水準が製造者に要求されてきたとき、その品質評価の物差しは、現行の日本工業規格を超えるものとなろう。同時に、この品質評価の物差しが誤差の少ないものであれば、品質管理の簡易化、簡素化につながる。

SHRPのバインダー試験は原理的には明確だが、現段階では実際の測定は簡単ではない。操作の習得にも専門的なトレーニングを要し、測定結果の解釈にも学問的素養がいる。だから、体系的なトレーニングにより、測定技術の習得と測定結果の解釈を行うことができる。慣れてしまえばそれほどではないようである。

大規模な試験施工の必要性

昨年、ミネソタ州道路局が実施している大規模な試験舗装を視察した。この試験舗装はMNROADといい、高速道路（これ自体が試験道路）とループ状の試験道路から構成されたものである（試験舗装の内容については昨年12月に、日本道路協会で行われた日米道路新技術ワークショップ報告会で紹介した）。ここでは舗装構成のメニューが工夫されているだけでなく、追跡調査がいつでも、しかもきわめて長期にわたって可能な試験となっている。

同様に、米国ではSUPERPAVEの検証のための試験舗装（SPS 9）が設置されはじめた。日本にもSUPERPAVEに関する試験舗装に実施が要請されている。実施に至るまでには、体系的な事前準備が必要であるが、材料面においては共通のものさしである、SHRP試験方法による評価が進んでおり、試験方法に関する準備が整いつつある。折角の試験舗装であり、米国版SUPERPAVEだけでなく、日本独自の創意工夫を盛り込んだ、また特徴的な材料、新材料を組み込み、風土条件や国情にあった試験結果が得られるようにすることが望ましいであろう。

舗装技術の交換と情報の交流

大正年間の舗装技術導入の時代と異なり、現在は、わが国の舗装技術は高い水準を保っている。これは日本は既に多くの、高速道路、高架道路、橋面舗装、耐流動舗装などを経験してきたからであり、高い水準での舗装管理を、舗装をなし遂げてきた。

この点は、米国も配慮して、パートナーとして、舗装技術の交換を求めている。たとえば、米国連邦道路庁と土木研究所との定期的なワークショップ「先端道路技術に関するワークショップ」でもアスファルト舗装とアスファルト材料に関する技術情報の交換が重要な分科会活動の一つとなっている。

良く知られるようになったSHRPの試験方法も、日本での検証を進めているが、現時点では不成熟な点がまだいくつか見られる。とはいえ、その魅力の一つは、国際的なデータの交換が可能となる点である。試験データが、留保条件なしで、やりとりできる。このデータを直接用いて、国際間の試験舗装に関する測定結果が、解釈できることは、技術の進歩に大きく貢献するであろう。

魅力の他の一つは、材料の解釈が、共通のものさしでできることである。より優れたものを開発するために、国内だけを視野に留めているのでは、材料に関する情報が限定されてきた。しかし、国外では成分や混和材料なども、建設資材に限れば、基本的にオープンである。材料の主要部分や特性が公開され、きちんとした分類がなされれば、このことによって、施工技术や現場管理が簡素化される可能性が強い。

様々な国の異なる種類の材料について、測定データが蓄積されれば、分かりづらいたとされるアスファルトについても今後、評価のありかたについても共通の認識をもつことができ、的確な評価が期待できる。水準の高い材料について、適切に評価されることになれば、さらにレベルアップが促進され、ユーザーにとっても喜ばしいことになろう。

このような動向は市場の自由化、国際化の進展の中で、技術力の競争の強化を要請される時代の動きに対応することにもなる。

土木研究所における最近のバインダー試験

土木研究所においては、アスファルトのレオロジー試験機械一式を導入して、その習熟、主要なアスファ

ルトの測定、改質アスファルトの測定などを行っている。

これまでの測定によれば、バインダーについて精度の高い試験方法を導入することができた。試験の前提となるレオロジーにそった考え方も、おおむね合理的であると判断している。

わが国の場合、たしかに、ストレートアスファルトに限れば種類が少ない、むしろ、単一の製品のようにさえ見えることがあるくらい、といえる。

しかし、改質アスファルト等を含めると、その種類は、製品といってもよいが、急に多くなる。しかし、これらの製品はその組成があきらかにされることはなく、古い試験方法によって、その性能を推察しているにすぎない。

より普及を高めるには、新しいものさしで、各々の性能を明らかにし、ニーズに相応しい適用場所を設定する事が求められる。

あとがき

土木研究所においては、現在、異なる種類の改質アスファルトや高粘度バインダーなどを対象にレオロジーにそった品質試験を試みている。新しい優れた材料の開発と迅速な評価に寄与したいためである。新しいアスファルト材料の開発を促進し、正確に評価することがますます重要となるからである。

米国では、アスファルト製造者のアスファルト研究への意欲が高まっていると聞く。ユーザーの求めるバインダー仕様が明確になることは、高品質なバインダーの需要が保証されるという理由を考えれば、製造者がアスファルト研究の取り組みに積極的になることは不思議なことではないであろう。

なお、土木研究所では、バインダーについては化学研究室（担当研究者：新田弘之、佐々木巖、塚越徹、遠西智次、田中正義）が、混合物については舗装研究室の方々が業務を担当している。

— 参考文献 —

- 1) 片脇清士, アスファルト化学への新しいアプローチ, アスファルト, Vol.34, 170号, P34-45(1992)
- 2) 片脇清士, アスファルトに関する新しい研究, アスファルトゼミナール, アスファルト協会(平成5年)
- 3) 坂上信次, アスファルトのレオロジー的性質(1), (2), 建設省土木研究所報告第113号, 114号(昭和37年)
- 4) 新田弘之, 佐々木巖, 片脇清士, 舗装用アスファルトの新しい試験方法, 土木技術資料(1994)

道路用ストレートアスファルトの品質規格／ 試験法の変遷とアスファルトの品質評価について

牛 尾 俊 介*

はじめに

アスファルトの品質に関する議論のなかで最も重要なことはアスファルトが本来、基礎的な性質として具備していなくてはならないものと施工条件、供用条件等の利用条件により特別に要求される性質を良く把握した上で論ずることである。“最近のアスファルトは品質が悪くなった。”とか、“最近のアスファルトは以前のものよりも異なる。”との指摘が需要家サイドからあると聞けが、メーカーサイドとしては、日本に於けるアスファルト製造用原油の固定化は以前よりも進んでおり、アスファルトの製造技術、品質管理体制も高度化が計られ、近年のわが国に於けるアスファルトの品質は以前にも増して安定しているとの認識を持っている。では何故にこのようなギャップが生じているのであろうか？アスファルトの品質に何が求められているのかについて使用者側と製造者側との間に共通な評価基準が不十分な事に起因すると思われる。アスファルトは石油製品の中ではめずらしく長期にわたって苛酷な使用条件のもとにその品質性能の維持が求められる材料としての特徴を有し、供給時、施工時、供用時のアスファルトの寿命の輪回に於ける品質維持が非常に重要である。そこで貴重な紙面を拝借し、アスファルトに関する規格／試験法の変遷をふりかえり、品質評価における現状の問題点と今後のあり方について述べてみたい。

1. 規格／試験法の変遷

1911年アスファルトの針入度試験がASTM（アメリカ標準規格）に認定されて以来の規格の推移とその間に於ける日本のアスファルトの規格制定、又アスファルトの性質／試験法に関する注目すべき技術の発表等に関し、表-1の如くまとめて見た。ASTMは現在の規格が整備されるまで65年の年月を経ており、アスファルトの物性の定義、品質性能の評価、性状の変化等、

アスファルト舗装の技術の進歩と共に新たな試験法と規格値が追加されて来たことがわかる。特に薄膜加熱試験（後に回転薄膜加熱試験が追加）の導入は施工及び供用中のアスファルトの劣化に関するものであり、60℃粘度分類はアスファルト混合物の流動性に対処するもので、現在もアスファルトの重要な品質問題として検討されている。

昭和7年(1932)、わが国最初の規格としてJES173号K27が制定されて現在の規格の骨格が出来た。（針入度、軟化点、伸度、蒸発量、蒸発後針入度、四塩化炭素可溶分、引火点が項目となった。）

戦争の影響で規格値を満たすアスファルトが入手困難となり昭和16年に臨時JES59号21を定め、昭和25年にアメリカのASTMを参考にした道路協会規格が定められ、その後わが国の技術水準の向上とともに改定されて現在の独自の規格となっている。その間の大きな特徴は昭和30年代にアスファルトの伸度試験の測定温度(25℃)が問題となり15℃に於ける低温伸度が導入された。昭和45年前後に於いてアスファルトの均一性と高温安定性が検討され、蒸発後の針入度比の考え方が規格に導入され、引き続き薄膜加熱試験が規格化された。又施工性の観点から高温粘度(120℃～180℃)として動粘度の報告が義務づけられた。更に環境安全の面から四塩化炭素可溶分試験の溶剤が三塩化エタンに変更された。

アスファルトの物理試験は単独では単にアスファルトの性状を測定するだけであるが、針入度と軟化点を相互に関連づけてアスファルトの感温性を表わす指標として針入度指数(P1)が1936年に提案された¹⁾。更にアスファルトの物理定数としてvan der Poelにより、通常の物質のヤング率に相当するスチフネスが定義された²⁾。このP1とスチフネスの概念をアスファルト混合物の変形特性と関連づけてアスファルト舗装厚の設計に多層弾性体理論の適用が可能となり、1978年にシェル

*うしお しゅんすけ 昭和シェル石油(株)アスファルト部長、工学博士

表-1 規格／試験法の変遷

	ASTM	日 本	その他の動き
1889	ASTM 設立		
1991	針入度試験認定		
1919	軟化点試験認定		
1921	伸度試験 (D 113)		
1930	引火点試験 (D 92)		
1932		JES 173 号K27	
1936			針入度指数 (P I)
1941		臨時JES 59 号21	
1947	ASTM 規格 (D 946)		
1950		道路協会規格	
1951			AASHTO 道路試験スタート
1952			ステイフネス (STIFFNESS)
1956		(伸度10, 15, 25℃, ABC型)	
1958			
1960	薄膜加熱試験 (D 1754)		
1962			AASHTO 道路試験成果発表
1963	動粘度試験 (D 2170)		
	毛細管粘度試験 (D 2171)		
1966	可溶分試験 (D 2042)		
1967			
1969		(伸度 15℃に統一)	
1970			AASHTO 針入度規格 (M 20-70)
1972		(針入度比導入, 動粘度表示)	
1973			AASHTO 粘度分類規格 (M 226-73)
1975	ASTM 粘度分類規格 (D 3381)	(薄膜加熱試験導入, 三塩化エタン)	
1980			
1988		(セミプローン導入)	SHRP計画スタート
1992			
1993			SHRP : SUPERPAVE 発表

グループがBISAR³⁾を発表した。その後アスファルトの粘度特性を加えて、アスファルト混合物の塑性変形(わだち掘れ)の予測計算をすることが可能となった⁴⁾。このことはアスファルト舗装の設計法にアスファルトの物理的性質が適用できることの可能性の提唱となっている。

アメリカに於ける歴史的なAASHTO道路試験が1951年にスタートし、1962年にその成果が発表され、1970年にAASHTO独自の規格 (M20-70) が制定され、その後、粘度分類規格が1973年に制定され(M226-73)、1975年にASTMが同様な規格を制定するに至った (D3381-75)。

以上、ASTM、JISの規格の変遷について述べたが、アスファルトの品質規格は各国によりさまざまである。表-2は各国の規格項目と適用を示している。

2. SHRPの研究成果

アメリカのASTM規格の変遷は前節で述べたが、近代社会資本の象徴的存在であったアメリカの強大な道路網も財政難からの維持補修、研究開発等に対する投

資不足により、1970年代以降、道路施設の荒廃・機能低下が著しく進んだ。アメリカ連邦政府は抜本策としてSHRP計画(Strategic Highway Research Program) —戦略的道路研究計画—を発足させた (1988~1993)。この計画には、総額1.5億ドル (当時の円換算で約300億円) の巨費が投じられ、アスファルト材料の研究に5千万ドル(約100億円)を費やし、その成果としSHRP SUPERPAVEが発表された⁵⁾。この新しい品質規格の特徴は化学性状を規格に反映させて実用性状と関連づけ、構造設計に直接利用できるアスファルトの性状を規定しようとするものである。項目としては、

老 化 (Aging)
 変 形 (Rutting)
 温度応力亀裂 (Low Temperature Cracking)
 疲 労 (Fatigue)
 水分への反応 (Water Sensitivity)
 附着性 (Adhesion)

の性状を規定するものであり、表-3に示す新しい試験法が開発された。アスファルトの性状評価をレオロジー (粘弾特性) 特性で表わし、混合/供用中のアス

表-2 世界各国の道路用アスファルト規格項目

	AZ	AL	AR	BL	CD	DK	FL	FR	GM	GB	IL	ML	JP	NL	NZ	NY	SA	SP	SD	SW	TL	USA
1 針入度 25℃ 0.1mm	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2 軟化点 (R&B) °C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3 伸度 5cm/min cm	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4 粘度 60℃/135℃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5 動粘度温度 (EVT) 20,000/2,000/200 °C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6 フラース脆化点 °C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7 中和度 mg KOH/g	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
8 電気絶縁性 25℃ (MIN)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9 針入度指数 (PI)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10 針入度比 15℃/25℃又は40℃/25℃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11 蒸発量 ASTM-D6 163℃/5 h	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
12 回転薄膜加熱試験 (RTFOT) 163℃/85 MIN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
13 回転フラスコ (DIN 52016) 165℃/150 MIN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
RTFOT又は回転フラスコ又はD-6回転アスファルト	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
14 蒸発量 (LOH) %	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15 針入度 25℃/残留針入度	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
16 軟化点/軟化点の増 °C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
17 伸度 cm	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
18 60℃粘度比	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19 フラース脆化点 °C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20 針入度指数 (PI)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
21 溶剤可溶分 %m	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
22 灰分 %m	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
23 フックス分 %m	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
24 アスファルテン分 (ノルマルヘプタン) %m	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
25 耐久性試験 日	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
26 塩分 ppm	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
27 比重 (25℃/25℃)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
28 引火点 °C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29 オリエンシス スポットテスト	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
30 硫黄分 %m	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

USA : * 針入度分類 AZ : アルゼンチン AL : オーストラリア AR : オーストリア BL : ベルギー CD : カナダ DK : デンマーク FL : フィンランド FR : フランス
 USA : @ 粘度分類 GM : ドイツ GB : イギリス IL : イタリア ML : マレーシア JP : 日本 NL : オランダ NZ : ニュージーランド NY : ノルウェー SA : 南アフリカ
 SP : スペイン SD : スウェーデン SW : スイス TL : タイ USA : アメ리카

表-3 SHRPによる新しいアスファルト試験装置一覧

試験装置種類		使用目的
性状試験	ベンディング・ビーム・レオメータ	低温でクリープによるスチフネスを測定し、低温ひびわれに対する抵抗性を評価する。
	ダイナミック・シェアー・レオメータ	高温で回転によるレオロジーを測定し、わだち掘れに対する抵抗性を評価する。 同様に中温でレオロジーを求め、疲労ひびわれに対する抵抗性を評価する。
	ダイレクト・テンション試験装置	低温で直接引張による歪を測定し、低温ひびわれに対する抵抗性を評価する。
劣化試験	回転薄膜加熱試験装置	プラントにおける合材製造時のアスファルト劣化を室内的に再現する。
	促進加圧劣化試験装置	供用中における舗装体のアスファルト劣化を室内的に再現する。

ファルトの劣化を評価する手法である。この研究計画は1992年に終了したが、アメリカ連邦道路局(FHWA)に引き継がれ、今後15年間の追跡研究が実用化をめざして行なわれる予定である。このSHRP計画は世界的な拡がりとなっており、1994年10月にはSHRP Asphalt Technology Conferenceとしてアメリカ・ネバダ州レノ市で国際会議が開催される予定であり、国際的な動きになって来るであろう。

3. 舗装用アスファルトの品質評価⁶⁾

アスファルトの化学組成又は物理性状と実用パフォーマンスの相関によりアスファルトの品質を評価しようとする動きが現在及び将来の大きな課題となっている。G. Van Goosmilligenらはアスファルトの実用評

価方法としてQUALAGONを提案した。

アスファルト混合物中のアスファルトの重要な性質を次の如く注目した。

レオロジー
凝集力
付着力
耐久性

3.1 アスファルトのレオロジー

アスファルトの機械的性質は粘弾特性で表わされるのが一般的で、針入度、軟化点、粘度との相関で論じられる。PfeifferとVan Doormaal¹⁾はアスファルトの感温性を針入度指数(PI)で定義し、Bats⁷⁾らは高温粘度域における同義の性質を粘度指数(BTS)で表わした。この考えにもとづくと、粘弾性特性としてのアスファルトの品質が出合う非常に幅広い温度領域に於けるアスファルトの性質は図-1の如く表わされ、アス

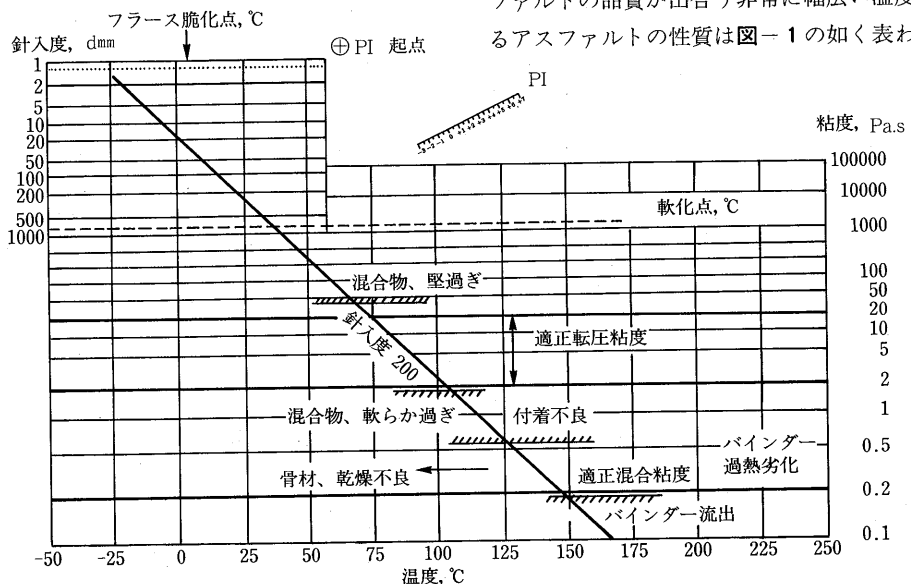


図-1 密粒度アスファルト混合物に例を取ったアスファルトの粘度-温度特性

ファルト混合物に影響を及ぼすアスファルトのレオロジー特性は図-2の如く表される。

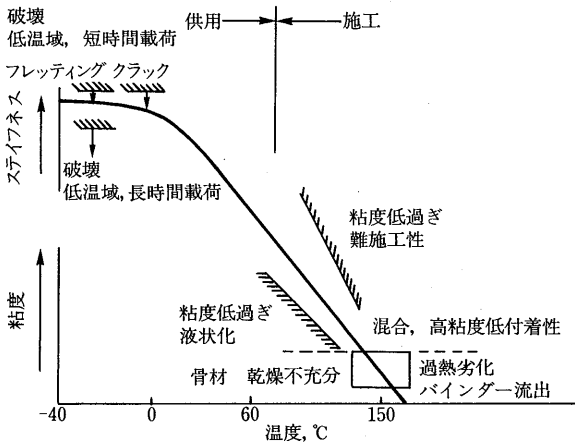


図-2 施工, 供用期間を通じた道路用アスファルトの性状と性能

3.2 凝集力

アスファルトの凝集力は均一性に深いかかわりがあり, 伸度試験によって評価が可能である。通常アスファルトの伸度は標準温度25℃で測定した場合ほとんどの場合同じ値を示すが, 温度を下げて試験するとアスファルトの品質の特性が顕著に表われる。即ち, 15℃前後の低温伸度の値で評価できるとしている。

3.3 付着性

アスファルトの付着性を直接測定する適切な方法がなく, 骨材表面, 水及び不純物の存在により大きな影響を受ける。アスファルト自体ではっきりとわかっていることは中に含まれるパラフィン分が増加すると付着力が低下する事実と多孔質な骨材と接した時, アスファルトから油分がにじみ出して骨材に吸収されて付着力となる点である。

滲み出し試験 (EDT) はシェルによって開発された試験法 (SMS 2697) でアスファルトからオイル分が滲み出す傾向を定量分析するもので, 滲み出しの傾向が少ないアスファルトは多いものに比し, 付着性にすぐれているとしている。

3.4 耐久性

アスファルトの耐久性はアスファルトの品質が長期にわたってアスファルトに必要なレオロジー特性, 凝集力, 付着力を保持していることであり, オリジナルなアスファルトが酸化, 揮発分の蒸発と滲み出しにより硬化する度合で定義することが出来る。アスファルトの酸化及び蒸発による硬化の程度は薄膜加熱試験 (TFOT) や回転式薄膜加熱試験 (RTFOT) で評価されるのが一般である。更にTBP-GLC揮発分で規定される値は青煙の発生やそれに関連して起こる健康や周囲への悪影響を効果的に抑制する。この試験によって測定した初留-終点の揮発性により, 蒸発による硬化のコントロールの目安が得られる。

4. QUALAGONによる評価

シェルグループはこれらのアスファルトの品質評価項目を図-3の如く関連づけアスファルトの原料及び製造方法を選択する手法として用い良好な結果との報告である⁹⁾。ここで注意しなくてはならないのは, QUALAGONに用いられている品質評価の試験法と基準値はアスファルトが長期供用性に耐える為に具備しなくてはならない品質を有するアスファルトの製造責任の具体化であり, 日常のアスファルトの品質管理或いは規格値とは異次元のものである。

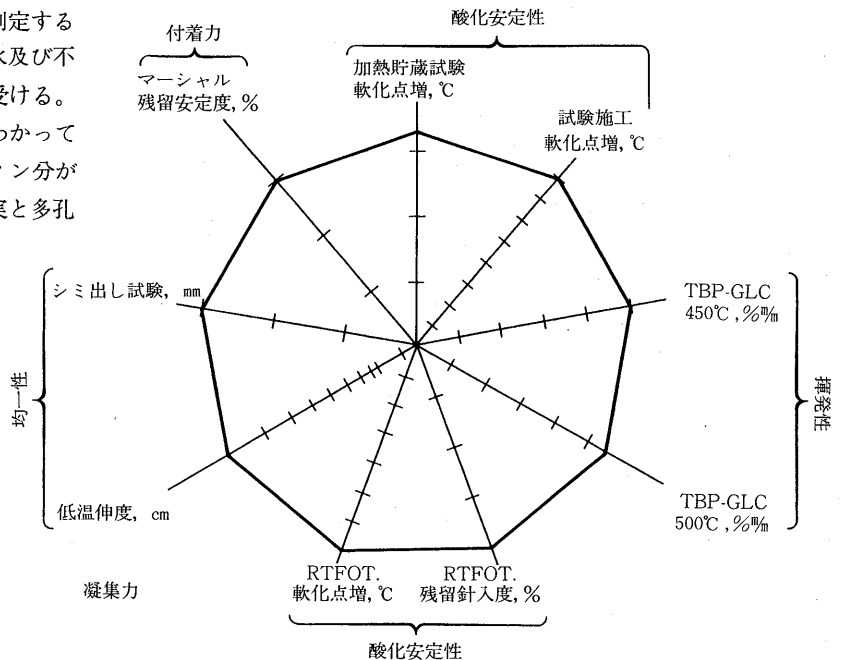


図-3 道路用アスファルトのQUALAGON評価

5. 今後の課題

アスファルトの品質、規格、試験法が舗装技術の進歩、供用条件の苛酷化により大きな変革期を迎えていることは、前述の通りである。アスファルト舗装の供用性能は気象条件、交通条件、舗装構造、舗装材料等多くの要因により左右されるが、アスファルト混合物に起因するとされる欠陥が多い。

アスファルト混合物の評価は施工性、強度特性、仕上がり路面状態、長期耐久性などの観点で行われるが、アスファルト混合物の品質特性に影響を与える要素もまた多い。骨材の品質、アスファルトの品質や配合設計、プラント機械設備、温度管理などの施工条件によっても良否が左右される。従ってアスファルトの品質のみの評価で全てを論じることは出来ないが、アスファルトの品質が、大変重要であることは論を待たない。

この意味で前項で述べたように舗装体のパフォーマンスを重視した考えかたでアスファルトの品質を評価しようとする方向は必然の成り行きである。この時注意しなければならない点として次の諸点を強く望みたい。

- ・ストレートアスファルト、改質アスファルト、再生アスファルトの品質評価方法と品質基準は目的、用途別に異なるべきである。
- ・評価試験方法は日常管理として平易に行うことが出来る簡易な方法であることが望ましい。
- ・アスファルトの製造者責任を明確にすべく使用アスファルトの製造工場、使用箇所が追跡できるようにすべきである。

— 参考文献 —

- 1) Pfeiffer, J Ph and Van Doornaal, PM : The rheological Properties of asphaltic bitumens. Journal of the Institute of Petroleum, Vol 22, pp 414-440, 1936
- 2) Van der Poel, C : A general system describing the visco-elastic properties of bitumen and its relation of routine test data. Journal of Applied Chemistry, Vol 4, pp 221-236, 1954
- 3) Shell International Petroleum Company Limited : Shell Pavement Design Manual, 1978
- 4) A.I.M. Claessen, J.M. Edwards, P. Sommer and P. Uge : Asphalt Pavement Design. Fourth international conference on structural design of asphalt pavements. The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA 1977
- 5) 菅原 照雄 : 戦略的道路研究計画 (SHRP) の現況及び世界の研究動向, ペーブテックス研究会講演資料, 1992
- 6) Van Gooswilligen, G, de Bats, F Th and Harrison, T : Quality of paving grade bitumen - A practical Approach in terms of functional tests. Proceedings of the fourth Eurobitume symposium, pp 290-297, Madrid, October 1989
- 7) de Bats, F Th and Van Gooswilligen, G : Practical rheological characterisation of paving grade bitumens. Proceedings of the fourth Eurobitume symposium, pp 304-310, Madrid, October 1989

☆

☆

☆

☆

☆

☆

☆

☆

☆

改質アスファルトに特有の規格・試験法

広 津 栄三郎*
鈴 木 紀 章**

1. はじめに

わが国で、改質アスファルトが研究されはじめたのは昭和20年代であり、改質材として天然ゴムを使用したゴム入りアスファルトがその始まりであった。試験施工などによりその効果がみとめられ、徐々にではあるがその使用例が増加していった。その後、改質材もSBRラテックスへと変わり、昭和40年代になると樹脂系改質剤を添加した製品の開発、50年代にはセミブローンアスファルトが研究されるなど、改質アスファルトの基礎が築かれた。

アスファルト舗装要綱には、昭和50年にゴム入りアスファルトが¹⁾、昭和53年には樹脂入りアスファルト、AC-140が²⁾、そして昭和63年には改質アスファルト(I型、II型)とセミブローンアスファルト(AC-100)が一般材料として採択された³⁾。以上のような経過をへて、改質アスファルトの使用量が10万トンにのったのが昭和52年で、平成5年度には改質アスファルトに該当する製品の出荷量は25万トンに達したと思われる。

最近では改質アスファルトも使用目的に応じた種々の製品が開発され、特定した用途に採用されている。これらの改質アスファルトは、いずれもストレートアスファルトではカバーできない面を補うために使用されるのであり、性状試験もその特性を適切に評価できることが望ましい。しかしながら、改質アスファルトの性状試験の多くはストレートアスファルトの試験を踏襲しているのが現状である。最近になり改質アスファルトの性状を的確に把握、評価しようとする試験がいくつか提案、検討されている。

ここでは、改質アスファルトの試験としてタフネス・テナシティ試験、60℃粘度試験、フラス脆化点試験について記述し、ストレートアスファルトの試験と重複する項目は除外してある。後者についてはその概要

を別項で紹介した。なお、改質アスファルトとの関連で改質アスファルト入り混合物の再生利用と、再生混合物の高品位化を図る再生用改質アスファルトの現況についても簡単にふれた。

2. 改質アスファルトの種類と規格

2.1 改質アスファルトの分類と種類

改質アスファルトは舗装用石油アスファルトの性状を舗装の耐久性向上を目的として改善したものである。それには、アスファルトにゴム・熱可塑性エラストマー、熱可塑性樹脂などの高分子材料などを添加した、ゴム・熱可塑性エラストマー入りアスファルトと、アスファルトにブローイング操作を加えて60℃粘度を高めたセミブローンアスファルトがある。この他に熱硬化性樹脂入りアスファルトや天然アスファルトをアスファルトに加えたものがある。

これらの改質アスファルトを、添加する改質材の種類、混合方式等から分類すると図-1のようになる⁴⁾。

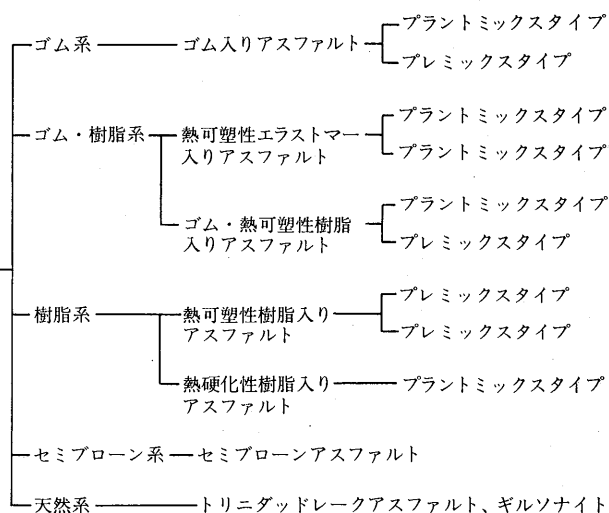


図-1 改質アスファルトの分類

*ひろつ えいざぶろう 東亜道路工業(株)東京支社技術課長

**すずき としあき 東亜道路工業(株)取締役技術部長

現在、製品として販売されている改質アスファルトの種類と主な用途の例を示すと図-2の通りである。

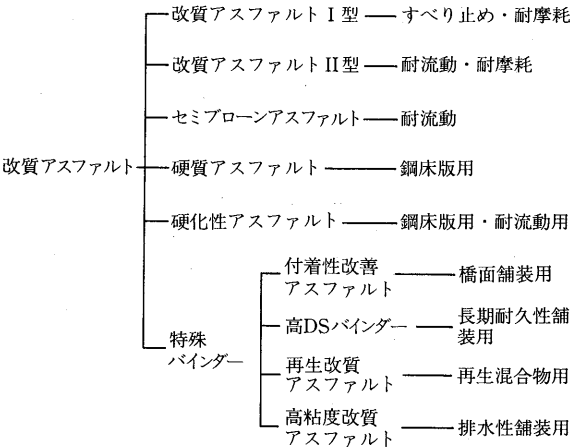


図-2 改質アスファルトの種類と主な用途

改質アスファルトの用途は、図-2に示すように試行段階にあるものも含めて多岐にわたっているが、いずれもストレートアスファルトの改質効果を期待して使用されている。参考までに、ゴム・熱可塑性エラストマーをストレートアスファルトに添加した場合のストレートアスファルトと混合物の改質効果を示すと表-1のようになる⁹⁾。

2.2 改質アスファルトの品質規格

改質アスファルトの種類に対応した標準的性状と規格を一括して表示したのが表-2である⁹⁾⁷⁾⁸⁾。この中で、排水性舗装に使用されている高粘度改質アスファルトについては、日本改質アスファルト協会から発表されている標準的性状（案）を参考までに記載した。

2.3 リサイクルと改質アスファルト

改質アスファルトに係るリサイクルに関しては、改質アスファルトを使用した混合物のリサイクルと再生混合物の高品質化を目指した再生用改質アスファルトの2通りのケースがある。いずれの場合も、本件についての検討は、緒についたばかりであり、ここではそ

の概要のみを紹介する。

2.3.1 改質アスファルト混合物のリサイクル

改質アスファルトを含む混合物の再生に関して懸念されるのは、舗装発生材に含まれる改質アスファルトの影響と、どの程度まで改質アスファルト混合物の混入が可能かということである。また、プラントに搬入される舗装発生材の中で改質アスファルト混合物の特定は非常に困難なことである。

現時点までの検討結果⁹⁾¹⁰⁾を要約すると以下ようになる。

- ①改質アスファルト混合物の混入は、動的安定度(以下DS)の上昇、破断ひずみの増加など、混合物の特性が改善される。
- ②混入率はおおむね20%が妥当であるが、50%程度までは問題はなさそうである。
- ③改質アスファルト混合物を混入しても「プラント再生舗装技術指針」（以下再生指針）に適合する。

2.3.2 再生混合物用改質アスファルト

再生指針で再生混合物をD交通の表層に採用しても良いことが認められた。加えて、再生混合物の使用増加と相まって、耐流動性、耐久性に優れた高品質化が求められている。この要望に応える製品として改質アスファルトが検討され、一部では使用され、また採用する動きが各地で見られる。

再生混合物に改質アスファルトII型を新アスファルトとして添加すると、そのDSは大きくなり、耐流動性は得られても、ひび割れの発生などが危惧される。したがって、再生混合物用に新たな改質アスファルトの開発が必要で¹⁰⁾¹¹⁾、針入度、軟化点など従来の改質アスファルトとはことなる製品が必要である。また、再生骨材混入率変動への対処、添加方法の検討も重要な事項である。

現在、高品質化の判断基準となっているのはDSで、その値はおおむね3,000～5,000回/mmである。

今後の課題は、製品を含めた再生混合物の高品質化に対応する技術基準の制定が急がれるところである。

表-1 改質材による改質効果

改質アスファルトの性状	アスファルト混合物の物性		
軟化点の上昇	変形抵抗の向上	⇒ 耐流動	高温領域
粘度の上昇	ブリージング防止	⇒ すべり抵抗性	
タフネス・テナシティの向上	把握力・粘着力の向上	⇒ 耐剥離 ⇒ 耐摩耗 ⇒ すべり抵抗性	
感温性の低下	供用温度領域で安定な性状		低温領域
脆化点の低下	脆さの改善・耐衝撃の向上 ⇒ 耐摩耗		

表-2 改質アスファルトの標準的性状・規格

改質アスファルトの種類		アスファルト舗装要綱			本四連絡橋公団橋面舗装			改質アスファルト協会		東京都	
項目		改質アスファルト I 型	改質アスファルト II 型	改質アスファルト (AC-100)	改質アスファルト I 型	改質アスファルト II 型	高粘度改質アスファルト	ゴム入りアスファルト	樹脂入りアスファルト		
針入度 (25℃)	1/10mm	50以上	40以上	40以上	60~100	60~100	40以上	50~70	45~65		
軟化点	℃	50.0~60.0	56.0~70.0	—	55~65	60~75	70.0以上	50.0~60.0	57.0~75.0		
伸度 (5℃)	cm	—	—	—	—	—	—	20以上	—		
伸度 (7℃)	cm	30以上	—	—	—	—	—	—	—		
伸度 (10℃)	cm	—	—	—	50以上	10以上	—	—	—		
伸度 (15℃)	cm	—	30以上	—	—	—	50以上	—	50以上		
三塩化エタン可溶分	%	—	—	99.0以上	—	—	—	—	—		
引火点	℃	260以上	260以上	260以上	280以上	280以上	260以上	260以上	280以上		
フラスコ脆化点	℃	—	—	—	-12以下	-12以下	—	—	—		
薄膜加熱質量変化率	%	—	—	0.6以下	—	—	0.6以下	0.6以下	0.3以下		
薄膜加熱針入度残留率	%	55以上	65以上	—	—	—	65以上	55以上	65以上		
粘度比 (50℃、薄膜加熱後/加熱前)		—	—	5.0以下	—	—	—	—	—		
薄膜加熱後 (180℃×2.5時間)	蒸発量	%	—	—	0.3以下	0.3以下	—	—	—		
	残留針入度	%	—	—	65以上	65以上	—	—	—		
	軟化点	%	—	—	80~110	80~110	—	—	—		
タフネス (25℃)	kgf・cm (M・m)	50 (4.9)	80 (7.8)	—	120以上	30以上	200 (12.5)	60 (5.8)	120 (11.8)		
テナシティ (25℃)	kgf・cm (M・m)	25 (2.5)	40 (3.9)	—	100以上	10以上	100 (14.7)	30 (2.9)	60 (5.9)		
灰分	%	—	—	—	1.0以下	1.0以下	—	—	—		
密度 (15℃)	g/cm³	報告	報告	1.000以上	—	—	報告	報告	報告		
比重 (25℃/25℃)		—	—	—	1.000以上	1.000以上	—	—	—		
60℃	Poise (Pas)	—	—	10,000±2,000 (1,000±200)	4,000以上	16,000以上	200,000以上	—	—		
粘		—	—	報告	—	—	—	報告	報告		
140℃	cSt (mm²/s)	—	—	報告	—	—	—	報告	報告		
160℃	cSt (mm²/s)	—	—	報告	—	—	—	報告	報告		
180℃	cSt (mm²/s)	—	—	200以下 (200以下)	—	—	—	報告	報告		
160℃	SFS	—	—	—	500以下	1,000以下	—	—	—		
200℃	SFS	—	—	—	200以下	300以下	—	—	—		

3. 改質アスファルトに特有な試験

3.1 タフネス・テナシティ試験

3.1.1 試験の目的と適用範囲

タフネス・テナシティ試験はBensonが1955年に提案した試験¹²⁾で、金属半球の球面をアスファルト試料中に埋め、一定の温度および速度で金属半球を引き抜き、そのときの荷重と変位曲線からアスファルトの仕事量を求める。この試験はアスファルトのモジュラスを評価でき、改質アスファルトの特徴的な性質を評価するものである。

わが国では、ゴム入りアスファルトの評価試験として、主に舗装会社の研究室で古くから実施されてきた。ゴム入りアスファルトの普及と共に、昭和53年版のアスファルト舗装要綱²⁾でゴム入りアスファルトの試験項目としてタフネス・テナシティ試験が採用され、その試験方法はBenson法に準拠するものであった。日本アスファルト乳剤協会は1984年乳剤協会規格(JEAAS)¹³⁾の中にゴム入りアスファルト乳剤の試験方法としてタフネス・テナシティ試験の標準を示した。(社)日本道路協会は1988年舗装試験法便覧¹⁴⁾に乳剤協会規格に準拠したタフネス・テナシティ試験方法を採用している。

タフネス・テナシティ試験の適用範囲は、主に改質

アスファルトの品質検査を目的として実施する。

3.1.2 試験方法

(1) 試験装置および器具

① タフネス・テナシティ試験器

テンションヘッド、おさえねじ、スパイダー、試料容器からなる試験器を図-3に示す。

② 恒温水槽

タフネス・テナシティ試験器を並べて入れることができるもので、 $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ の範囲で恒温水槽の液温を保持できるもの。

③ 温度計

温度範囲は、 $23.5 \sim 27.5^\circ\text{C}$ 程度のもので $\pm 0.1^\circ\text{C}$ まで読み取れる温度計VIS-17。

④ 引張試験機

引張速度が500mm/minの能力を持つもので、0～100kgf(0～981N)までの荷重を検出できる検出器を持ち、かつ引張荷重と変位を同時に記録できる機能を持つもの。

(2) 試験方法

試験手順のフローを図-4に示す。

試料を規定された温度条件で溶解し、変形しない金属製の試料容器に50g採る。直ちに、温めておいたテ

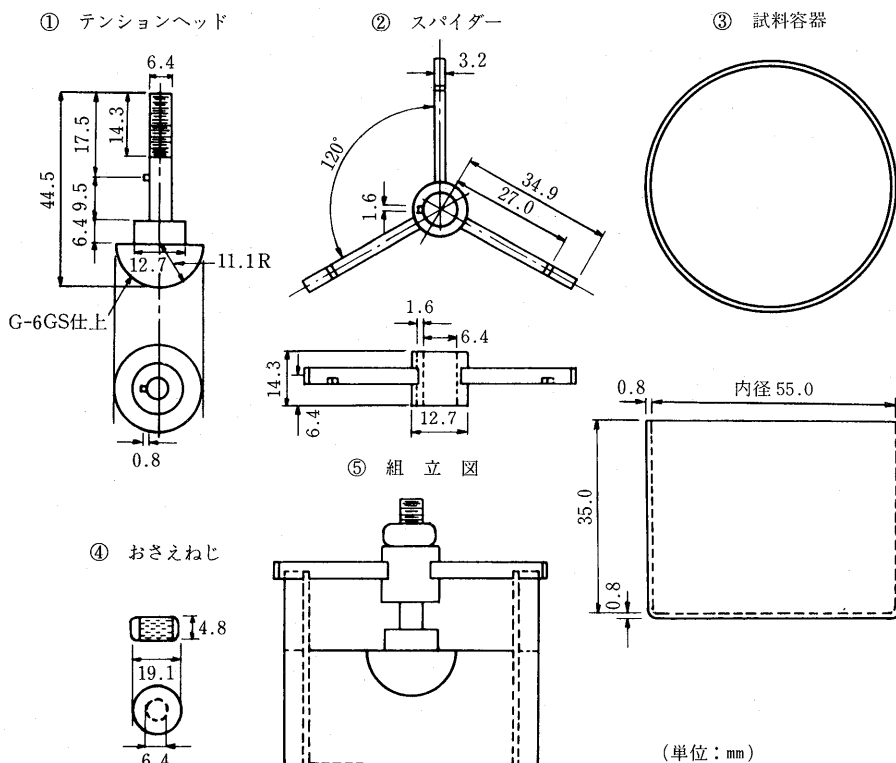
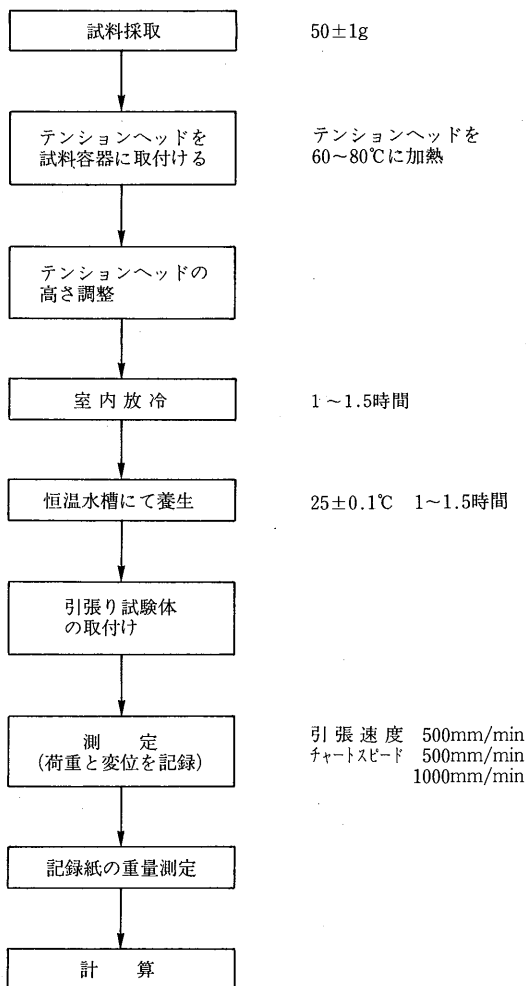
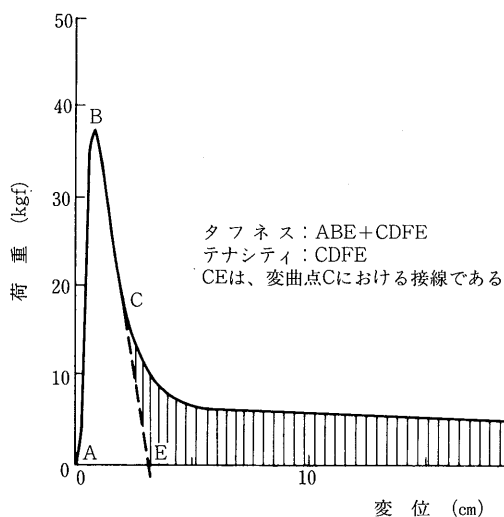


図-3 タフネス・テナシティ試験器



図－4 タフネス・テナシティ試験のフローチャート



図－5 タフネス・テナシティ荷重－変位曲線

ンションヘッドを試料容器に取り付け、1～1.5時間室内で放冷した後、25±0.1℃に保った恒温水槽で1～1.5時間養生し、引張り試験機によって500mm/minの速度でテンションヘッドを引張り、その時の荷重と変位を測定し、記録用紙の荷重－変位曲線によって示されたタフネス・テナシティの面積を重量法によって算出する。

(3) 結果の整理

- ① 記録紙に描かれた荷重－変位曲線から、図－5に示す方法によってグラフを整理する。ただし、変位量は試料の伸びが300mmまでとする。図－5でA, B, C, D, F, Aで囲まれた部分の面積をタフネス、C, D, F, Eで囲まれた部分をテナシティとし、kgf・cm (N, m) の単位で報告する。
- ② 荷重－変位曲線で示されたタフネス・テナシティの面積の求め方は、原則として重量法とする。なお、プランメータを使用する場合は2回以上面積を測定しその平均を求める。
- ③ 荷重－変位曲線で示されたA, B, C, D, F, AおよびC, D, F, Eで囲まれた記録紙を切り取り、それぞれの重量を0.001gまで求める。
- ④ 記録用紙の未使用部から、一定の荷重と変位をかけた時の面積に相当する記録紙を切り取り、その重量を0.001gまで求める。
- ⑤ 試料のタフネス・テナシティは式(1)、(2)によって求める。

$$\text{タフネス (kgf・cm)} = \frac{W_1}{W_0} \quad \text{..... (1)}$$

$$\text{テナシティ (kgf・cm)} = \frac{W_2}{W_0} \quad \text{..... (2)}$$

W_0 : 単位面積当りの記録紙の重量 (g/kgf・cm)

W_1 : 記録紙 (A, B, C, D, F, A) の重量 (g)

W_2 : 記録紙 (C, D, F, A) の重量 (g)

- ⑥ 同一試料について、2回の試験の平均値をとり、kgf・cm (もしくはN・m) 単位で整数位にして報告する。

3.1.3 試験に関する付記事項

(1) パソコン制御の引張り試験機

パソコンで引張り試験機の制御や測定を行う試験装置

を写真-1に示す。この試験装置における結果の整理は、荷重-変位曲線で示されたタフネス・テナシティの面積をパソコン上で計算し、タフネス・テナシティを求める。この方法を用いる場合には、図-5に示す変曲点Cにおける接線を補正し、定期的に重量法によってキャリブレーションを行い補正する。

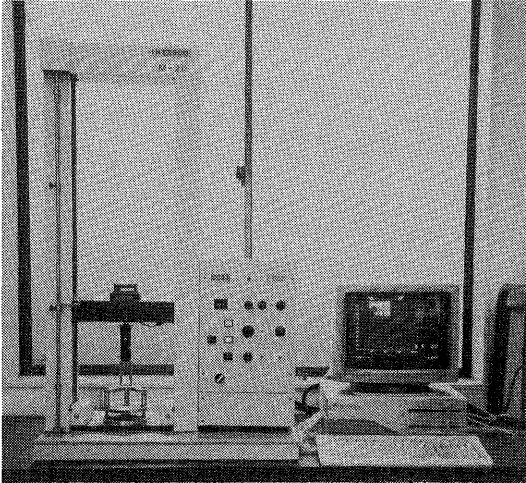


写真-1 パソコン制御のタフネス引張試験機

(2) 試料の切断

試料によっては、測定中にテンションヘッドが試料から抜けてしまったり、試料が途中で切断したり、試料が途中で切れその断面が糸状に細かくだれたりする現象を示すことがあるので形状を記録する。

(3) 高粘度改質アスファルト

高粘度改質アスファルトのような凝集力が大きなアスファルトの場合、試料容器中の試料の大部分がテンションヘッドに付着し持ち上げられ、引張りの途中でテンションヘッドから試料が剥離することがある。従って、高粘度改質アスファルトのタフネス・テナシティ試験は、試験温度や引張り速度など試験の方法について検討する必要があると思われる。

(4) ベースアスファルトと改質アスファルトの比較

ベースアスファルトのタフネスと改質アスファルトのタフネスの関係を図-6に示す¹⁵⁾。これよりベースアスファルトのタフネスは、ほぼ20~60 (kg・cm) に集中しているものの、改質アスファルトは50~200 (kg・cm) となっている。

ベースアスファルトのテナシティと改質アスファルトのテナシティの関係を図-7に示す¹⁵⁾。これよりベースアスファルトのテナシティは、ほぼ0~20 (kg・cm) に集中しているものの、改質アスファルトは20~150 (kg・cm) となっている。

cm) となっている。

タフネスおよびテナシティともに、ベースアスファルトと改質アスファルトの測定値に大きな差異を示している。従ってタフネス・テナシティ試験は、改質アスファルトの品質の確認に適している。

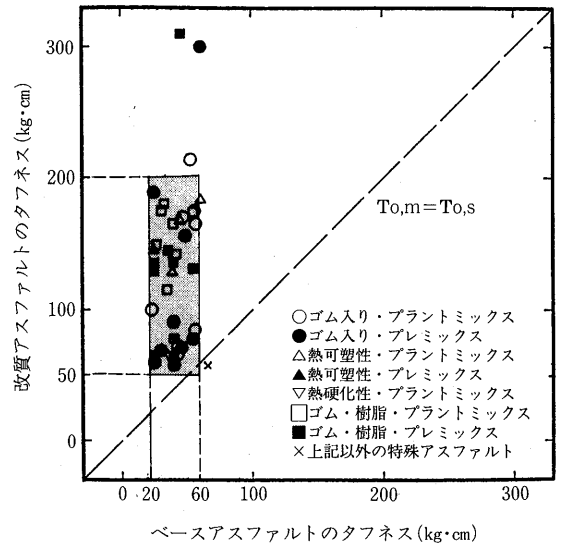


図-6 タフネスに関するベースアスファルトと改質アスファルトの関係

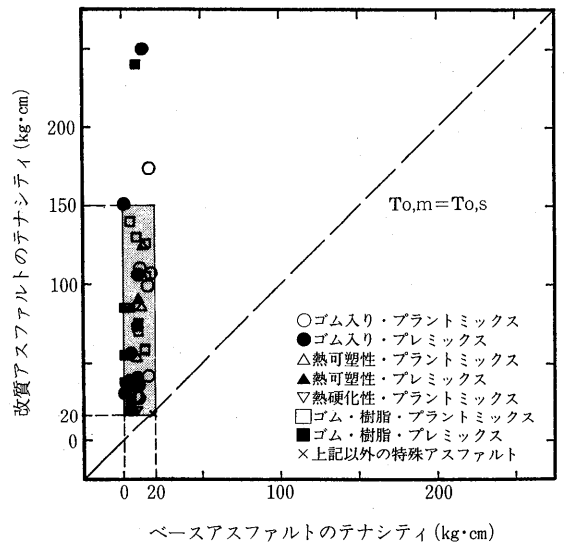


図-7 テナシティに関するベースアスファルトと改質アスファルトの関係

(5) タフネスとDS

東京都で使用されている改質アスファルトの実態調査よりまとめたタフネスとDSの関係を図-8に示す¹⁶⁾。プラントは合材工場にて作製した供試体、現場は現場より切り採った供試体で試験したものである。これよりタフネスとDSには、明確な関係を見いだすことができない。

3.2 60℃粘度試験

3.2.1 試験の目的と適用範囲

60℃粘度試験は、1963年にASTM D2171として暫定的に取り入れられ、その後1966年正式規格として確定した試験で¹⁷⁾、規定された粘度計をもちいて60℃の温度において、一定減圧度を与えたときのフロータイムを測定し、その値に粘度計の定数を乗じて粘度値を求める。この試験は、アスファルト舗装の供用温度上限付近におけるアスファルトのコンシステンシーを、工学

的基本単位で表し合理的に評価するものである。

わが国では昭和53年版のアスファルト舗装要綱で、セミプローンアスファルトの規格として採用されるに至り、日本アスファルト協会によりASTM法を取り入れたJAA-001-1978が制定された¹⁸⁾。その後、舗装試験法便覧では土木研究所の研究成果に基づいた方法を60℃粘度試験方法として採用している。

60℃粘度試験の適用範囲は、セミプローンアスファルトの品質検査、舗装用アスファルト、改質アスファルトの性状評価およびアスファルト混合物から回収されたアスファルトの劣化の程度の評価を目的として実施する。

3.2.2 試験方法

(1) 試験装置および器具

減圧毛管式粘度計による試験装置の全体構成を図-9に示す。

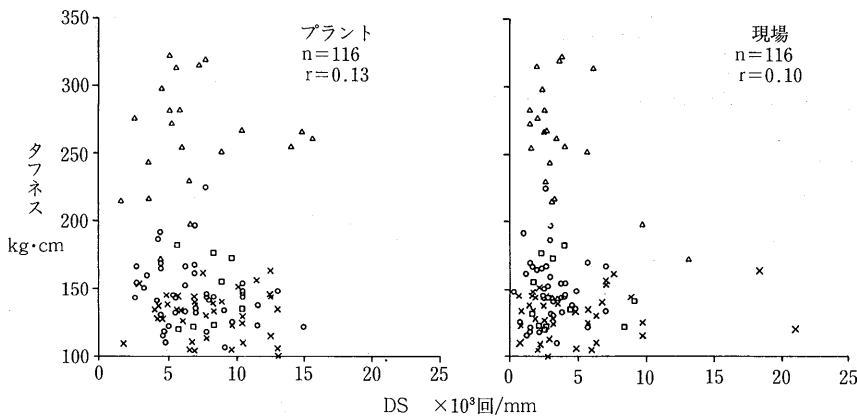


図-8 タフネスとDSの関係

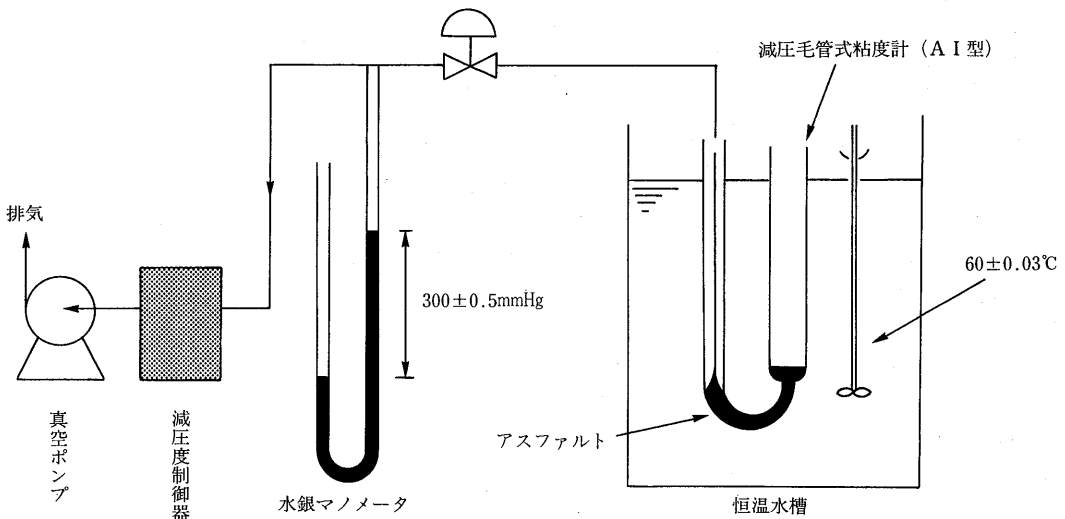


図-9 減圧毛管式60℃粘度試験装置の構成

①粘度計

Asphalt Institute型減圧毛細管式粘度計を用いる。
粘度計の形状を図-10に、粘度計番号、概略の粘度計係数、測定粘度範囲を表-3に示す。

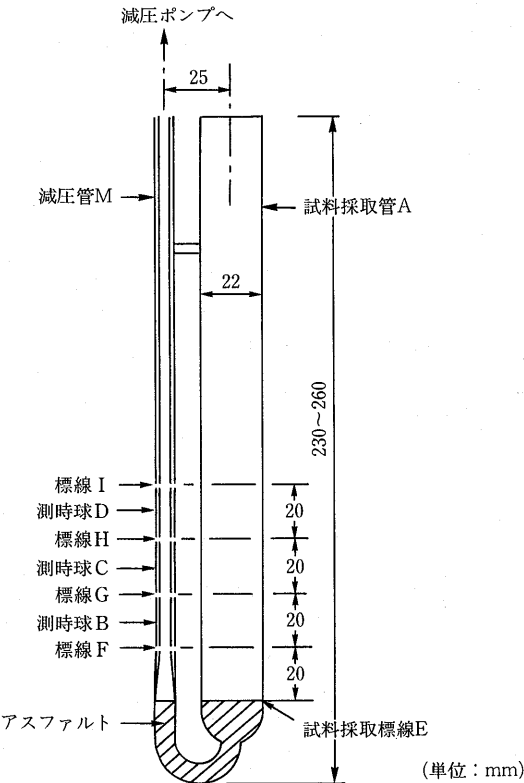


図-10 減圧管式粘度計の形状および構造

表-3 粘度計の概要

粘度計 No.	300mmHgにおけるおおよその定数K			測定粘度範囲 (poise)
	測定球B	測定球C	測定球D	
24	2	1	0.7	72~ 800
50	8	4	3	180~ 3,200
100	32	18	10	600~ 12,800
200	128	64	40	2,400~ 52,000
400	500	250	160	9,600~200,000
800R	10,000	8,000	3,000	38,000~800,000

②温度計

温度範囲は、58.5~61.5℃程度のもので $\pm 0.03^\circ\text{C}$ まで読み取れるもの。

③恒温水槽

粘度計が最低3本は装着可能なもので、 $60\pm 0.03^\circ\text{C}$ の範囲で恒温水槽の液温を保持できるもの。

④減圧装置

300mmHg(300Pa)まで任意の減圧速度で $\pm 0.5\text{mmHg}$

の範囲で維持できるもの。また、粘度計に接続中、コックを解放した時、減圧速度の低下がみとめられないもの。減圧源としては減圧ポンプが適している。

⑤秒時計

正確度が15分当たり $\pm 0.05\%$ 以内で、最小目盛0.1秒ストップウォッチ、電動式タイマー等を用いる。

⑥乾燥器

粘度計3本が養生可能な大きさと、温度設定が $40\sim 200^\circ\text{C}$ まででき、 $\pm 2^\circ\text{C}$ の範囲で制御が可能なもの。

⑦粘度計立て

粘度計3本を同時に垂直に立てることが可能なもので、材質が 200°C まで耐えるもので乾燥器に入れることができる大きさのもの。

(2) 試験方法

試験手順のフロー図を図-11に示す。

試料を規定された温度条件で溶融し、規定された温度条件下で試料を注ぎ込んだ3本のAsphalt Institute型減圧毛細管式粘度計を恒温水槽により $60\pm 0.03^\circ\text{C}$ に保ち、 $-300\pm 0.5\text{mmHg}$ の減圧度によって試料が毛管中を一定の長さだけ吸い上げられるのに要する60秒を越えた時間を測定し、その時間に粘度計定数を乗じて粘度

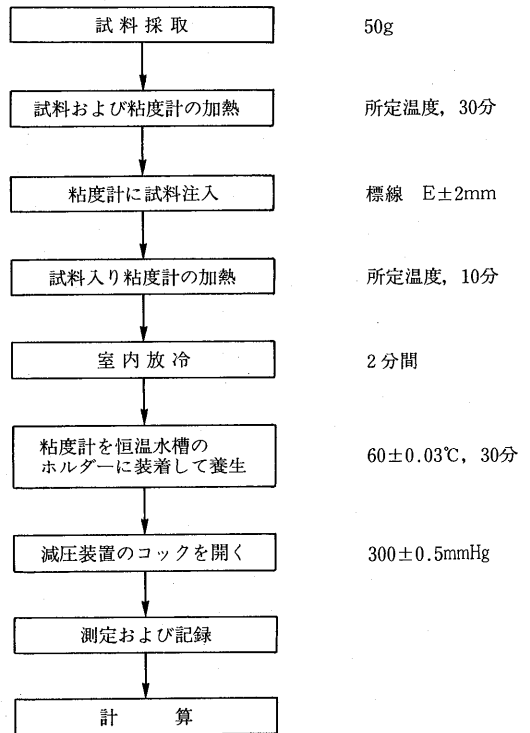


図-11 60℃粘度試験のフローチャート

値を算出する。
試料の温度条件の表－4に示す。

表－4 各アスファルトにおける所定温度

温度条件	所定温度		
試料溶融温度 (℃)	原アスファルト	ストアス	135 ± 2
		セミプローン	150 ± 2
		改質アス	170 ± 2
	薄膜加熱試験後	ストアス	135 ± 2
		セミプローン	150 ± 2
		改質アス	170 ± 2
粘度計加熱温度 (℃)	原アスファルト	ストアス	135 ± 2
		セミプローン	150 ± 2
		改質アス	170 ± 2
	薄膜加熱試験後	ストアス	135 ± 2
		セミプローン	150 ± 2
		改質アス	170 ± 2
試料採取粘度計 加熱温度 (℃)	原アスファルト	ストアス	135 ± 2
		セミプローン	150 ± 2
		改質アス	170 ± 2
	薄膜加熱試験後	ストアス	135 ± 2
		セミプローン	150 ± 2
		改質アス	170 ± 2

といわれている¹⁹⁾、また放冷時間も粘度値に影響を与えることから規定された条件は厳密にまもる必要がある。

(2) 測定時間

本試験法では最初に60秒を越えたときの時間から粘度値を求めるように規定している。これは60℃においてニュートン流動性を示すアスファルトであればこのような問題はないが、非ニュートン流動性を示す場合、測定された粘度値は測定時のせん断速度によって変化するため、せん断速度をだまかに規定する一つの方策として、60秒を越えたときの時間を採用している²⁰⁾。

(3) 高粘度改質アスファルト

舗装試験法便覧では、粘度計の概要の中で測定粘度範囲を42～200,000poiseと示している。200,000poiseを越える高粘度改質アスファルトについては、粘度計番号800Rを使用し試験を実施した場合においても、変動係数が7%を越えることがある。したがって、高粘度改質アスファルトのような60℃粘度が高い製品については多種類の試料による測定精度の確認や向上について検討する必要がある。

(4) 軟化点と60℃粘度の関係

軟化点と60℃粘度の関係を図－12に示す¹⁴⁾。これから、

(3) 結果の整理

①結果の算出

あらかじめ標準粘度液で測定した定数か、粘度計に添付されている定数を用いて(3)式により絶対粘度を算出する。3本の測定値の平均を有効数字3桁に丸め、粘度とする。

$P = K \cdot t \dots\dots\dots (3)$

ここに、P：絶対粘度 (poise)

K：最初に60秒を越えた測時球の定数

t：最初に60秒を越えた標線間を通過した時間 (s)

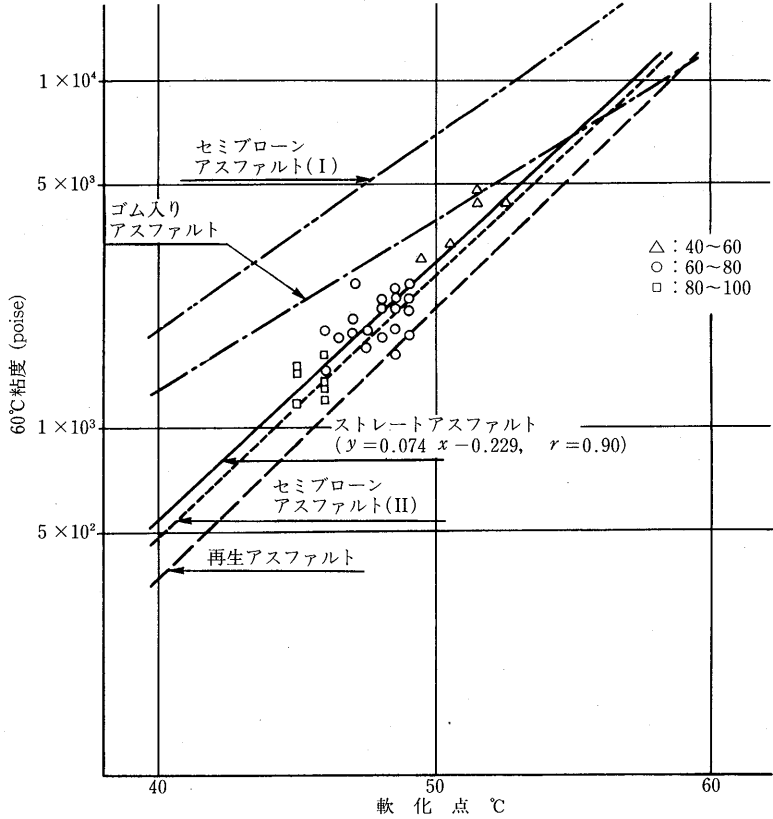
②精 度

3本同時に測定した試験結果の変動係数が7%を越えてはならない。

3.2.3 試験に関する付記事項

(1) 恒温層の温度管理

恒温水槽の温度管理は特に重要で±1℃の温度変動は約32%, ±0.1℃で約2.8%の誤差をもたらす



図－12 軟化点と60℃粘度の関係

両者の間には良い相関を示すものの、アスファルトの種類によってその傾きが異なることを示している。

(5) ベースアスファルトと改質アスファルトの比較

ベースアスファルトと改質アスファルトの60℃粘度の関係を図-13に示す¹⁵⁾。

ベースアスファルトの60℃粘度は約1,400~2,500poiseであるのに対し、改質アスファルトの60℃粘度はベースアスファルトの2~7倍と大きな値を示している。

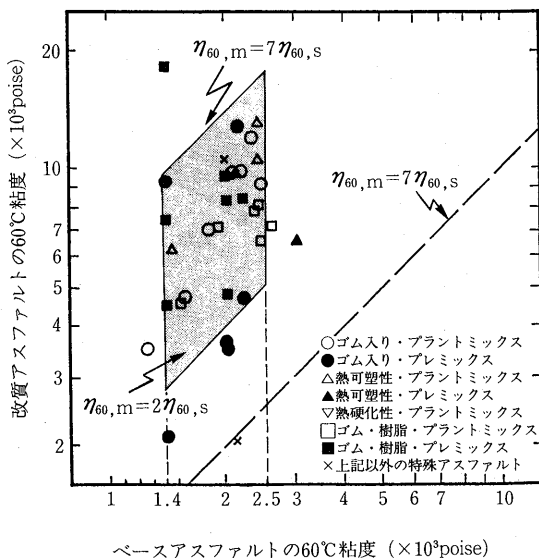


図-13 60℃粘度に関するベースアスファルトと改質アスファルトの関係

(6) 60℃粘度とDSの関係

60℃粘度とDSの関係を図-14に示す¹⁵⁾。これから両者の間には良い関係を示すものの、ストレートアスファルトとセミブローンアスファルトの傾きと、高分子エラストマーを添加した改質アスファルトの傾きは異なる。

3.3 フラース脆化点

3.3.1 試験の目的と適用範囲

フラース脆化点はFraassが1937年に提案した試験で、鋼板の表面に均一な厚さのアスファルト薄膜を作製した試験片を温度を低下させながら曲げたとき、亀裂の生じる最初の温度を求める。

アスファルトは温度の低下によって硬くなり、条件によっては非常に小さな変形により脆性破壊を生じる。このため、寒冷地においては冬期のひび割れによる破壊を防ぐために、アスファルトはできるだけ脆化点の低いものが望まれる。

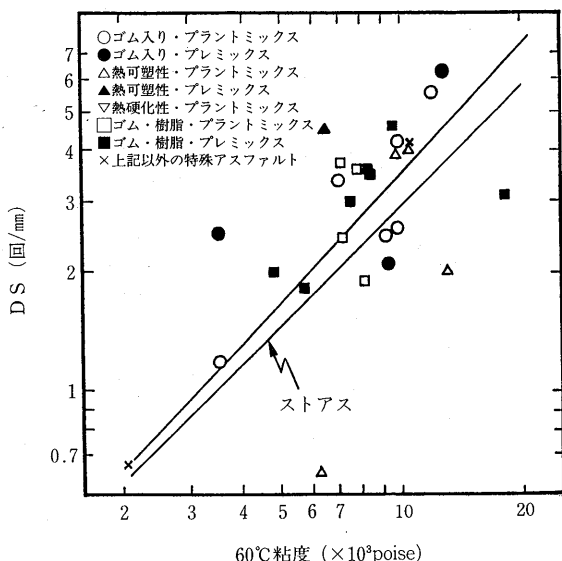


図-14 60℃粘度とDSの関係

フラース脆化点試験はアスファルトの低温性状を評価するものであり、加熱アスファルト混合物の低温性状と関連付けた評価が行われている。

フラース脆化点試験の適用範囲は、舗装用石油アスファルトおよび改質アスファルトの低温における性状の評価を行うもので、主に研究所で実施する。

3.3.2 試験方法

(1) 試験装置および器具

①試験器

図-15に示す形状、寸法のもので、試験器曲げ部、鋼板、冷却装置、温度計からなる。

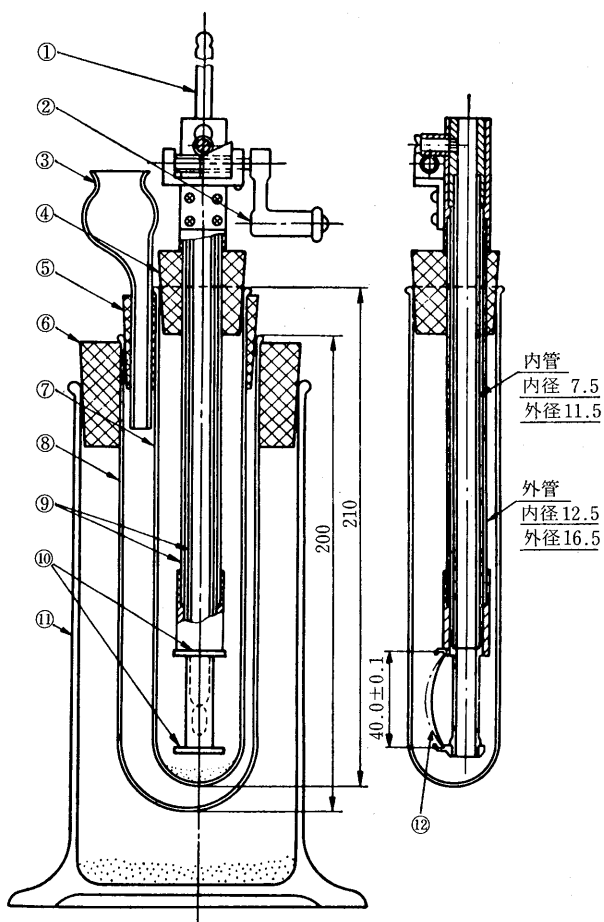
②試験器曲げ部

2本の耐熱ガラスなどの同心管からなり、その下端には構成クリップを設ける。この2個のクリップ間にある内側の管の部分にはスロットを設け、内側の管に挿入する温度計の球を露出させる。ハンドルを回転させることによって、内側の管が外側の管に対して上下する機構を持ち、これによってクリップ間の距離を変化させる。ハンドルを10回転させれば、クリップ間の距離は、初めの 40.0 ± 0.1 mmから 36.5 ± 0.1 mmになる。鋼板を曲げたとき、鋼板が緩まないように上下のクリップが平行であることを確認する。

③鋼板

長さ 41.0 ± 0.05 mm、巾 20.0 ± 0.2 mm、厚さ 0.15 ± 0.02 mmの弾力性のある平らな鋼板で、使用しないときは平らな状態で保存する。

注) ゆがみやそりのある鋼板は使用してはならない。



- ① 温度計 ⑤ ゴム栓 (またはコルク栓) ⑨ 同心管
② ハンドル ⑥ ゴム栓 (またはコルク栓) ⑩ クリップ
③ ロート ⑦ 試験管 (内側) ⑪ 円筒
④ ゴム栓 ⑧ 試験管 (外側) ⑫ 試験片

図-15 フラース脆化点試験器 (一例)

④冷却機

口径の異なる2本の試験管を偏心させてゴム栓またはコルク栓で保持し、このゴム栓またはコルク栓は小さなロートも保持する。大きな試験管は、さらに大きなゴム栓またはコルク栓で円筒の中に保持される。

小さな試験管と円筒には、くもり止めとして少量の塩化カルシウム (乾燥用、試薬) を入れる。大きな試験管および円筒は、適当な寸法の銀メッキを施さない魔法びんで代用してもよい。

⑤温度計

表-5 に示す温度計による。

⑥ホットプレート

試料を軟化点より80℃以上高い温度に加熱できるもの。

注) 温度調節をできるものが望ましい。

⑦アセトン

試薬級

(2) 試験方法

試験手順のフロー図を図-16 に示す。

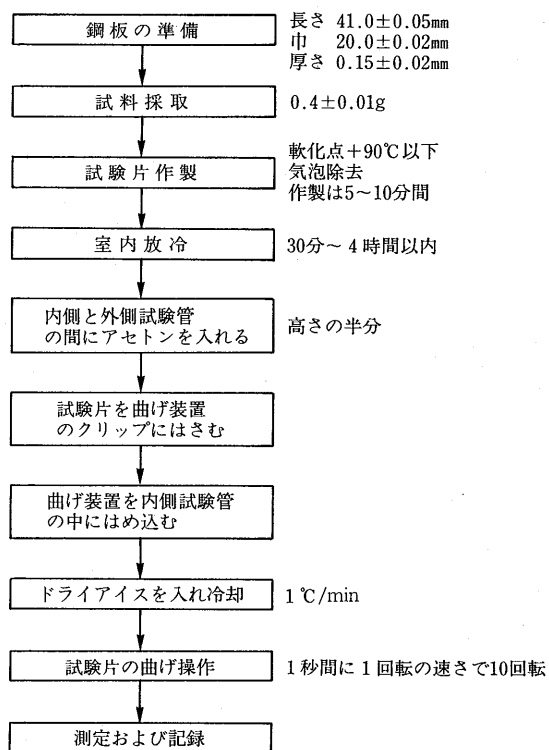


図-16 フラース脆化点試験のフローチャート

表-5 フラース脆化点試験の温度計

目盛り範囲 (℃)	-38 ~ +30	全長 (mm)	370 ± 10
浸没 (mm)	250	直径 (mm)	6.0 ~ 7.0
目盛り量 (℃)	0.5	形状	円筒
目盛り長目盛線 (℃)	1 および 5 ごと	長さ (mm)	10 ~ 16
目盛り目盛数字 (℃)	5 ごと	直径 (mm)	幹より太くならないこと
目盛りの誤差 (℃)	0.5 以内	目盛部分の長さ (mm)	60 以上
温度計加熱許容温度 (℃)	80	頂部の形状	環状または丸止め

規定された鋼板に試料を $0.4 \pm 0.01 \text{ g}$ 採る。試料を採取した鋼板をホットプレート上に置き、試料の軟化点より 90°C 以上高くならないように試料を溶融する。溶融した試料を鋼板の上に様な厚さに広げ、小炎を試料の上で水平に移動させ気泡を除去する。試験片を曲げ装置のクリップにはさみ、これを試験管の中にはめ込む。温度が $1^\circ\text{C}/\text{min}$ の割合で降下するように調整した後、ハンドルを1秒間に1回転の速さで10回転まで回し、試験片に生じる亀裂を観察する。初めて亀裂が生じたときの温度を測定し記録する。

(3) 結果の整理

①結果の算出

3°C 以内にある3個の測定値の平均を求め、 1°C 単位に丸めてフラース脆化点とする。

②繰返し精度

同一試験室において同一人物が同一試験機で日また時間を変えて試料を2回試験したとき、試験結果の差は 2°C を越えてはならない。

3.3.3 試験に関する付記事項

(1) フラース脆化点試験の問題点

フラース脆化点の測定に関する問題点として、測定精度のバラツキが大きいといわれており、繰返し精度 $\pm 2^\circ\text{C}$ を満足するにはかなりの熟練が必要であることから、試験の改良も検討する必要があると思われる。

(2) アスファルト脆化点の簡易な試験法

森吉²¹⁾はアスファルトプラントの試験室でも簡便に試験できる脆化点の試験方法を提案している。

これは、アスファルト50gを $\phi 14\text{cm}$ のステンレス製の容器に採り、この試料を低温水槽内のメタノールに入れ熱応力によってアスファルトの表面に亀裂が発生することによって評価するものである。

(3) 針入度とフラース脆化点の関係

針入度とフラース脆化点の関係式を表-6²²⁾に示す。

表-6 針入度とフラース脆化点の関係

近似	変数	相関式の係数			標準偏差値 ($^\circ\text{C}$)
	X	A	B	C	
一次式近似	25 $^\circ\text{C}$ 針入度	-2.82	-0.14	0	4.3
	15 $^\circ\text{C}$ 針入度	-2.01	-0.35	0	3.3
	5 $^\circ\text{C}$ 針入度	-5.78	-0.61	0	2.6
二次式近似	25 $^\circ\text{C}$ 針入度	-5.42	-0.081	-0.23×10^{-3}	4.2
	15 $^\circ\text{C}$ 針入度	0.35	-0.46	0.98×10^{-2}	3.3
	5 $^\circ\text{C}$ 針入度	-1.34	-1.10	0.0086	2.3

$$Y = \text{フラース脆化点}(^\circ\text{C}) = A + BX + CX^2$$

これより針入度試験とフラース脆化点は、良い相関を示している。また、針入度試験の温度を低下することにより相関性が良くなる。

(4) フラース脆化点と混合物脆化点の関係

フラース脆化点と密粒度混合物脆化点の関係を図-17²²⁾に示す。これから両者の間には良い関係を示すものの、混合物脆化点は、フラース脆化点より約 20°C 高い値を示している。

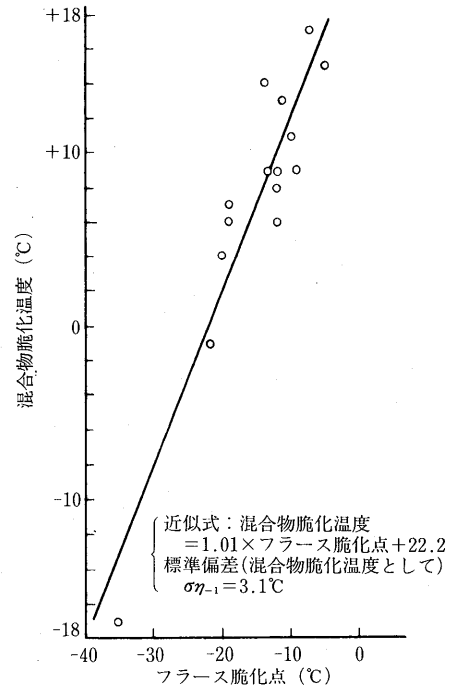


図-17 フラース脆化点と密粒度混合物の脆化温度の関係

4. 改質アスファルトの特殊な試験

4.1 針入度粘度値 (PVN)

Penetration Viscosity Number (PVN) はカナダにおける低温クラックの調査で、P I では満足した相関関係が得られなかったことからMoLeodによって提案された。PVNは 25°C 針入度と 135°C の粘度より式

$$\text{PVN} = \frac{4.258 - 0.7987(\log P) - \log V}{0.7591 - 0.1858(\log P)} \times (-1.5) \quad (4)$$

(4) によって求める²³⁾。

ここでは、 $P = 25^\circ\text{C}$ における針入度

$V = 135^\circ\text{C}$ における高温粘度

4.2 弾性回復率

アスファルトの弾性回復率を評価する方法として、

伸びの復元より求める方法²⁴⁾とねじりの戻りより求める方法²³⁾について述べる。

4.2.1 弾性回復率²⁴⁾

この試験は、標準的な伸度試験機を用いて、温度10℃、引張り速度50mm/minで行う。試験は供試体を20cm引張り、5分間静置し切断する。この供試体を20分間放置して回復した長さを測定し、元の20cmの長さと比較する。

一般的なアスファルトは10%またはそれ以下の弾性回復力を示す。一方、改質アスファルトは80%以上の大きな弾性回復力を示す。

4.2.2 ねじり弾性回復率²³⁾

カリフォルニア交通局では、改質アスファルト乳剤の残留物の中にゴム分が含まれていることを調べるために、簡単なねじり弾性回復試験を行っている。

試験器は図-18に示す。試料容器（約85gのアスファルトが入る容器）、ディスク、スパイダー、ポインターからなる。

容器の指定位置まで試料を入れる。スパイダーをディスクシャフトにはめ、ディスクをその厚さ分まで供試体のなかに入れる。供試体の温度を25℃に保ち、ディスクとポインターを180°回転し停止する。容器の半円周に対する弾性回復率として20、30、60、120、600、1,800秒ごとにポインターが戻った距離を記録する。

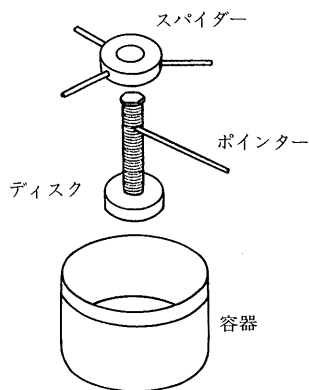


図-18 ねじり弾性回復率試験器

4.3 伸度強さ

伸度試験は伸びだけを測定するものであるが、伸度強さ試験は、伸びと強さを同時に測定するもので数種類の方法がある。ここでは、供試体の形状を改良した方法について示す²³⁾。

図-19に供試体の型枠の形状を示す。この型枠では

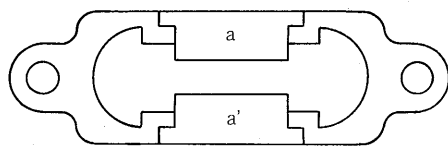


図-19 伸度強さの型枠

長さ3cmの一定断面をもった供試体を作られる。

伸度試験機を伸びと応力を測定できるように改良し、試験温度4℃、引張り速度5cm/minの条件で伸びと強さを記録する。

この試験では、アスファルトのストレス・スト레인曲線の斜線評価を求めることができる。図-20にストレス・スト레인曲線の例を示す²³⁾。ここでは、2本の斜線の傾きで評価される。初期荷重としての斜線はアスファルトの弾性係数とみなすことができ、追加荷重の斜線はアスファルトとポリマーの弾性係数とみなすことができる。

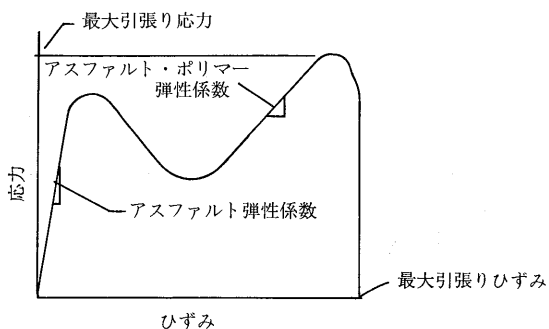


図-20 伸度強さの応力-ひずみ曲線

5. おわりに

改質アスファルトの性質は、タフネス・テナシティ試験、60℃粘度試験、フラース脆化点試験のみで把握できるものではなく、針入度試験や軟化点試験などの一般的アスファルトの試験とアスファルト混合物の性状と関連付けることによって把握できるものである。

改質アスファルトに対するニーズは、長寿命化舗装用、剥離防止用、再生混合物用など、今後ますます多様化すると思われる。これらのニーズに応えるためには、改質アスファルトの特性を的確に評価できるように、従来の試験法の改良や新たな試験法の提案などが必要であると考えられる。

— 参考文献 —

- 1) ㈱日本道路協会：アスファルト舗装要綱，昭和50年版，(1975)

- 2) ㈪日本道路協会：アスファルト舗装要綱，昭和53改訂版，(1978)
- 3) ㈪日本道路協会：アスファルト舗装要綱，昭和63年版，(1988)
- 4) ㈪日本アスファルト協会：改質アスファルトを用いた混合物の設計と施工の手引き，(1992)
- 5) 日本改質アスファルト協会：改質アスファルトの選定基準および作業標準（案），(1994)
- 6) ㈪日本道路協会：アスファルト舗装要綱，平成5年版，(1993)
- 7) 本州四国連絡橋公団：橋面舗装基準(案)，(1983)
- 8) 東京都建設局：土木材料仕様書，(1993)
- 9) 栗谷川：改質アスファルト混合物発生材の再生利用に関する研究，改質アスファルト，創刊号，p.16，(1993.8)
- 10) 荒井：改質アスファルト含有舗装発生材の再生利用と再生混合物の高品質化利用，舗装，Vol.29，No.7，p.9，(1994)
- 11) 羽入：再生骨材を使用した重交通用舗装混合物に関する一考察，道路建設，p.48，(1994.7)
- 12) Jewell R. Benson: New Concepts for Rubberized Asphalts, Roads and Streets, p.138, (April 1955)
- 13) ㈪日本アスファルト乳剤協会：日本アスファルト乳剤協会規格，JEAAS-1984
- 14) ㈪日本道路協会：60℃粘度試験方法，フラスコ脆化点試験方法，タフネス・テナシティ試験方法，舗装試験法便覧，p.398，p.418，p.456，(1988)
- 15) 安崎：特殊アスファルトの現状，第58回アスファルトゼミナール，p.29，(1989)
- 16) 岩瀬：樹脂入りアスファルト混合物に関する一考察，都土木技研年報，p.53，(1985)
- 17) ASTM D2171-85：Standard Test Method for VISCOSITY OF ASPHALTS BY VACUUM CAPILLARY VISCOMETER
- 18) ㈪日本アスファルト協会：石油アスファルト絶対粘度試験方法，JAA-001-1978
- 19) 林：減圧毛管式粘度計によるアスファルト60℃粘度の測定精度，アスファルト，No.113，p.14，(1977)
- 20) 雑賀：舗装に関する新しい試験法⑤，60℃粘度試験方法，舗装，Vol.27，No.9，p.33 (1992)
- 21) 森吉：アスファルト単体とアスファルト混合物の低温性状，舗装，Vol.29，No.2，p.12 (1994)
- 22) 林：アスファルトの供用性に関する研究，アスファルト，No.110，p.42 (1977)
- 23) New Mexico State Highway and Transportation Department：Polymer modified asphalt guideline Phase I (New Mexico Modified Asphalt Database)，p.6 (August 1988)
- 24) Steven G. Muncy：Recycling：A Systems Approach，The Proceedings of Pavemet Recycling with Asphalt Emulsions (November. (1985)

砂利道の歴青路面処理指針（59年版）増刷

第3刷 B5版・64ページ・実費頒価500円（送料実費）

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

SHRPの提唱するアスファルト仕様と試験方法

神谷 恵 三*

1. はじめに

早いものでSHRPが5年間の研究を終了してから約2年の時間が経過しようとしている。この間、マニュアル・指針・試験方法・試験装置という形で各分野ごとに数多くのSHRP研究成果が国際会議等で発表・紹介されており、全世界からの注目を集めているのは周知のとおりである。

日本においてもSHRPに関する講演会・報告会等が開催され、舗装業界からの関心を集めているが、特にSUPERPAVEと呼ばれるアスファルト舗装の配合設計関連については官民からの関心が非常に高いように思える。今のところ、SHRPからはバインダー仕様に伴う試験方法・試験装置等が主な成果となっているが、いずれは本法の供用性能に関する検証効果が報告されるものと期待される。

紙面の関係上、以下にはSUPERPAVEと呼ばれる配合設計システムから述べることにするが、これに関する研究経緯については他誌^{1,2)}を参照していただくこととしたい。

2. SUPERPAVE

現在、SHRPが提唱しているバインダーの仕様とは、5年間に得られた研究成果の中で最も注目されているものである。このバインダー仕様は、SUPERPAVE配合設計システムの中のバインダー選定部分に相当する

ものである。

SUPERPAVEでは、(1)供用性に基づいたバインダー仕様の開発、および(2)供用性に基づいた混合物仕様の開発という2つの研究テーマを柱としている。“供用性(Perfomance)”という言葉は広く漠然とした意味を持っているが、これの現象としてSHRPでは具体的に以下の6つの損傷形態を取り上げている³⁾。

- ・劣化 (エージング)
- ・永久変形
- ・低温度クラック
- ・疲労クラック
- ・モイスターゲメージ
- ・接着力

これらの損傷形態を混合物の配合設計に組み込むことによって、ローカルの交通・環境要因に合った供用性能を有する混合物の設計が可能となる。

現行のバインダー仕様(表-1)については、米国では針入度(ASTM D 946)および粘度(ASTM D3381)の規定等に基づいている。これらは加熱混合及び舗設に基づいた仕様ではあるが、舗装の供用性に基づくものではない。また、現行の混合物仕様についてはマーシャル試験及びビーム試験法が採用されているが、これらも経験的に定められた規定値であるが故、供用性に基づくものではないと解釈されている³⁾。

SUPERPAVEの開発に当たっては、個々の供用性要因についてこれまでに多大な努力と時間が払われてきたことは言うまでもない。膨大な文献検索をはじめ、現行の評価試験方法の見直し及び改良、損傷要因の物

表-1 米国の針入度規定 (ASTM D946)

	40~50		60~70		85~100		120~150		200~300	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
25℃針入度 (100 g, 5 秒)	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
クリーブランド開放式引火点 °F	450		450		450		425		350	
25℃伸度 (5 cm/min) cm	100		100		100		100		100 ^A	
トリクロエチレン溶解度 %	99.0		99.0		99.0		99.0		99.0	
薄膜加熱試験後の針入度残留率 %	55+		52+		47+		42+		37+	
薄膜加熱試験後の伸度			50		75		100		100 ^A	

^A) 25℃伸度が 100cm未満の場合でも、15.5℃伸度 (速度 5 cm/min)の最小値が 100cmであれば良い。

*かみや けいぞう JH試験研究所舗装試験研究室

理化学的解釈、全米を代表するアスファルトバインダーの選出及びサンプル試験の実施、全米を代表する学識者からのアドバイス・製造者及びユーザーからの意見集約、学問レベルから実用レベルへの簡略化等々、どの研究過程においても簡単に結論が収束するはずがなかった。SUPERPAVEは、路面の供用性状をバインダーの物理化学的な性状に結びつけることに成功した配合設計システムであり、世界的に注目されているところである。今日まで解明できなかったバインダーの物理化学性状を明瞭にし、学問レベルから実用の仕様レベルにまで簡略した偉業は高く評価されている。

3. バインダー仕様について

表-2⁴⁾はSHRPバインダー仕様の最新版(93年7月時点)であり、初版から約10回の改訂を数えたものである。初版では化学者向けレベルから出発していたが、物理学及び流体学者レベルを経て、プラント業者レベルへと内容を簡略化した結果が現在のものである。かつてのドラフトではマスターカーブ(前述)の作成を求めていたが、表-2ではこれの作成を省略しており、より実用的な仕様となっている。しかし、このバインダー仕様が完成するまでには現場の供用性を確認する必要があるため、将来的に変更の生じる可能性もあると思われる。

表-2の“PG”とは、供用性の段階(Performance Grade)を意味し、現行法(表-1)でいう針入度グレードに当たる。針入度の替りに各現場の舗装体温度でバインダーのグレード分けをしている点が合理的であり、まさしく供用性グレードであると言える。日本と米国の緯度(図-1)がほぼ同じく位置していること

から、表-2の舗装体温度区分で日本で発生する舗装体温度をカバーできそうである。表-2の左側には、供用性試験項目とその規定値を各々設定している。任意の供用性グレード“PG_{n-m}”と各評価試験とが交差するマトリックスは、試験温度を示している。ここで、(n)はアスファルトの高温レスポンスを、(m)は中低温時のレスポンスを示す。(n)と(m)の値が大きくなれば、舗装体の供用温度領域が広がることになるので、バインダーに対してより苛酷な供用能力を求めることになる⁵⁾。

バインダーの供用性試験は、舗装体の各劣化状態に応じて実施される。即ち、①オリジナルバインダーによるもの、②回転式薄膜加熱試験(RTFOT)、③RTFOT+促進加圧劣化試験を経たものという劣化段階である。①は混合前の状態を対象としており、②では加熱混合・施工過程を再現した短期劣化状態であり、③は舗装供用後5~10年の劣化状態を再現するものである⁵⁾。前回までの仕様ではRTFOTの替りに薄膜加熱試験(TFOT)でも可能としていたが、短時間で効果的に劣化を再現できるという観点からTFOTを省略したと思われる。

舗装の劣化状態に合わせて、永久変形・低温度クラック・疲労クラックという損傷評価試験を合理的に規定している。例えば、短期劣化段階においては“わだち”が発生しやすいので、②の状態では永久変形を規定している。この時の試験温度は、『7日間平均の舗装体最高温度』としている。短期劣化を受けたバインダーはオリジナルの状態よりも硬化しているので、ここでの規定値($G^*/\sin\phi$)はオリジナル値よりも大きく(1.0kPa→2.2kPa)している。一方、長期劣化を再現す

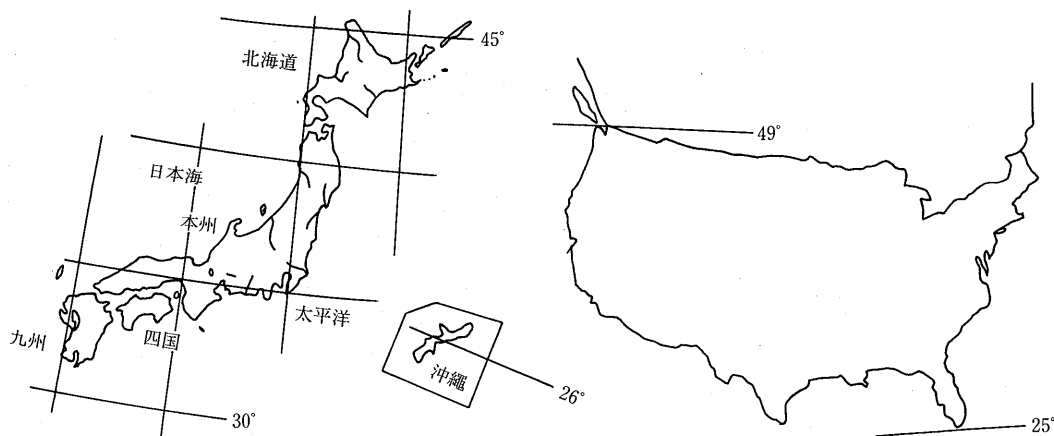


図-1 日本と米国の緯度

よびPG_{3-m}に該当しており、PG_{n-4}またはPG_{n-5}の規定を満たすアスファルトは存在しないこと⁷⁾が確認された。また、針入度指数とPGとの関連性(図-2)を見たが、針入度及び軟化点というコンシステンシーから求まる針入度指数では、やはりPGを表現できないことが分かった。高温状態で最も苛酷なPG_{4-m}については、アスファルトを改質させることによって、供用性規定を満足するアスファルトを製造できるであろうと報告している。

本バインダー仕様は、モデュラス・ひずみ等の力学性状で規定しているので、ストレートアスファルト・改質及び再生アスファルトという区別なく規定できるとしている⁸⁾。

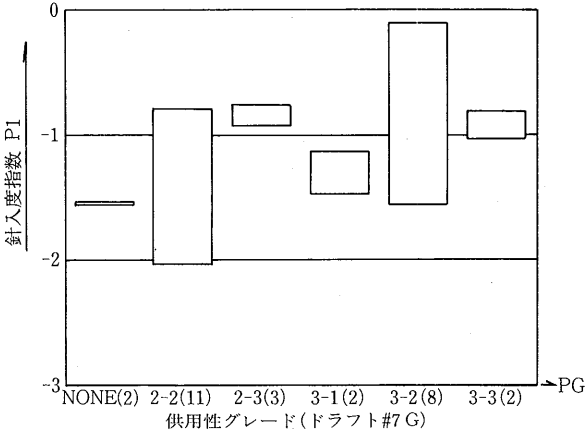


図-2 針入度指数とドラフト (#7 G) との関連性⁷⁾

4. バインダーの試験方法

4.1 マスターカーブにおける供用性状の解釈

現在のバインダー仕様(表-2)で規定している舗装の損傷形態(永久変形・低温度クラック・疲労クラック)を前章のマスターカーブ上で説明すれば、図-3のとおりとなる。

弾性挙動(つまり低温度)領域では、アスファルトは硬化し脆性破壊が発生しやすくなるので、“低温度クラック”が対象となる。粘性挙動(高温度)領域ではアスファルトは流動しやすくなるので、“永久変形”が対象となる。一方、粘弾性挙動(中低温度)領域では、アスファルトは脆性と流動性の間に位置するので、“疲労クラック”が考慮されている。各供用性試験は、損傷形態ごとに表-2で規定している温度下で実施されることとなる。

このようにマスターカーブは、現場温度と路面の損傷形態とをうまく結びつけており、各現象ごとに仕様

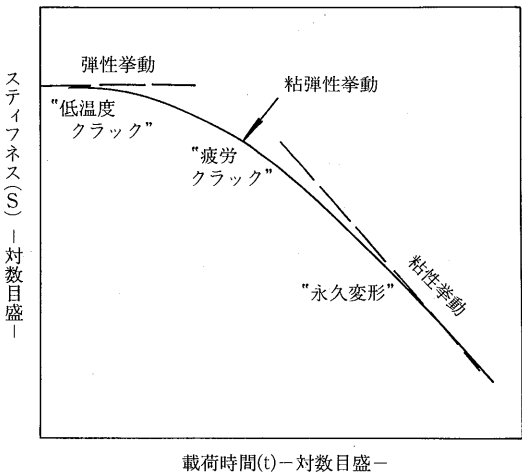


図-3 マスターカーブによる供用性状の解釈

規定値を設定できる有効な手段であると考えられる。しかしながら、マスターカーブの作成に当たっては供試体の養生に数ヵ月程度の時間を要するという運用上の大きな問題があった。SHRPではこれを簡便に出来るような試験方法・装置を研究し、開発することに成功した。さらに、バインダー仕様のドラフト(#6)まではマスターカーブの作成を求め、作成した曲線上の値を読み取って供用性状を判定していたが、マスターカーブの作成自体が依然複雑であったことから、現在の仕様(表-2)のように、各供用性試験結果から供用性状を直接評価できるよう実用化することにも成功した。以下には、各供用性試験を実施するための試験方法・装置を説明する。

4.2 バインダー試験方法・装置^{9,10)}

表-2にもあるように、試験方法にはSHRP B-00#という番号が付与されているが、これはあくまで当面の運用のためにSHRPが命名した仮の呼び名である。SHRPバインダー試験は、将来的には全米の標準試験となる予定であるので、以下に紹介する全てがAASHTO試験法として正式に認可・登録されるものと考えられる。

4.2.1 動的セン断試験<SHRP B-003>

本試験は、高温領域における“わだち”及び平均の舗装体供用温度における“疲労クラック”の流体性状として、バインダーの複弾性率(G^*)及び位相角(δ)を求めるものである。試験装置(図-4)は、2枚の平行板(直径8~50mm)の間にバインダーを充填し、平行板にトルクを掛けることによってバインダーに作用するトルク・回転たわみ量・位相角を測定するものである。

表-2 SHRPバインダー仕様⁴⁾

供 用 性 グ レード (Performance Grade)	PG 5 2							PG 5 8							PG 6 4							PG 7 0				
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
	<52							<58							<64							<70				
7 日間平均の鋪装体最高設計温度 (℃) ^{a)}																										
鋪装体の最小設計温度 (℃以下) ^{a)}	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
① オ リ ジ ナ ル バ イ ン ダ ー																										
引火点最小温度 (AASHTO D 48)	230 ℃																									
粘度 (ASTM D 4402) : ^{b)}	135 ℃ (試験温度)																									
最大粘度 ≤ 3 P a · s 試験温度 (℃)																										
動的せん断試験 (SHRP B-003) : ^{c)}																										
G* / sin δ ≥ 1.0 kPa	52																									
周波数 10rad/sec 試験温度 (℃)	58																									
物理硬化指数 ^{d)}	報 告																									
② 回転式薄膜加熱試験 (AASHTO T 240, ASTM D 2872) 後の残留バインダー	1.00																									
重量損失率 (%)																										
動的せん断試験 (SHRP B-003) :																										
G* / sin δ ≥ 2.2 kPa	52																									
周波数 10rad/sec 試験温度 (℃)	58																									
③ ②+促進加圧劣化試験 (SHRP B-005) 後の残留バインダー	100																									
促進加圧劣化試験 試験温度 (℃)	90										100										100/(110) ^{e)}					
動的せん断試験 (SHRP B-003) :	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	16	34	31	28	25					
G* / sin δ ≥ 5.000 kPa																										
周波数 10rad/sec 試験温度 (℃)																										
クリープスティアネス (SHRP B-002) : ^{g)}																										
S (t) ≤ 300,000 kPa, m値 ≥ 0.30	0	- 6	-12	-18	-24	-30	-36	- 6	-12	-18	-24	-30	- 6	-12	-18	-24	-30	0	- 6	-12	-18					
試験温度 (℃)	60秒載荷																									
直接引張試験 (SHRP B-006) : ^{h)}																										
破断ひずみ ≥ 1.0%	0	- 6	-12	-18	-24	-30	-36	- 6	-12	-18	-24	-30	- 6	-12	-18	-24	-30	0	- 6	-12	-18					
速度 1.0mm/min 試験温度 (℃)																										

(注) a) 舗装体温度は、SUPERPAVEソフトウェアの演算式を使って気温から推定するか、制定機関の値を使用する。
b) 製造元は、すべての安全基準を満たす温度で、バインダーを十分に密着・混合できることを保証すれば、この条件は削除できる。
c) アスファルトアスファルト製造の品質管理のために、アスファルトがニュートン流体となる試験温度（一般に55℃以上）における $G^* / \sin \delta$ 値を測定する代わりに、パーゼン・アスファルトの粘度を測定してもよい：粘度測定は通常の標準法（キャピラリーまたは回転粘度計を含む）であればよい。
d) 物理硬化指数 h は、物理硬化を説明するもので、 $h = (S_{90}/S_1)_{min}$ で計算する（ここに、1と24はパーゼンアスファルトのコンディショニング時間を示す）、コンディショニング h および試験は、指定した試験温度で行う。計算値を報告する。
e) PAV（促進加圧劣化試験）のエージング温度は、砂漠気候の110℃を除いて100℃である。
f) クリープスティアフネス値が300,000kPa以下なら、直接引張試験は必要ない。クリープスティアフネス値が300,000~600,000kPaの間であれば、クリープスティアフネスの規定によることができる。いずれの場合も、 m 値は一定である。

る③の状態では、疲労クラック・低温度クラックという2項目（3試験）を取り上げており、ここでもそれぞれの長期劣化に見合った規定値を設けている。低温

度クラックのクリープスチフネスを最大値で規定しているのは、舗装体混合物が脆性破壊領域に入りにくい状態とすることをねらっている。“低温度クラック”

の試験では『最小の舗装体供用温度+10℃』を、“疲労クラック”の試験では『平均の舗装体供用温度』を採用している。モイスタチャージダメージ及び接着力の評価試験がここでは見当たらないが、これらは骨材の介在を要するので、混合物仕様で規定されることになっている。

バインダー仕様の開発に当たっては、全米を代表するアスファルトのサンプルを選定しており、これを使った室内及び現場試験がドラフトの改訂ごとに実施されてきた。米国で使用されている30種類のアスファルトを92年時点のドラフト（表-3）で試験した結果によると、現行の仕様値と供用性グレードは全てPG_{2-m}お

表-3 SHRPバインダー仕様（ドラフト#7G）⁷⁾

供 用 性 グ レード (Performance Grade)	PG ₁₋		PG ₂₋					PG ₃₋					PG ₄₋	
	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2
7 日間平均の舗装体最高温度 ^{a)} , °C	<45													
最小の舗装体供用温度 ^{a)} , °C	>-30	>-40	> 0	>-10	>-20	>-30	>-40	> 0	>-10	>-20	>-30	>-40	> 0	>-10
① オ リ ジ ナ ル バ イ ン ダ ー														
引火点最小温度 (ASTM D 92)	230 °C													
粘度 (ASTM D 4402) ^{b)} ≤ 2000 cSt	165 °C (試験温度)													
動的せん断試験 (SHRP B-003)														
G* / sin δ ≥ 1.0 kPa ;														
載荷周波数 10 rad/s ;														
試験温度℃	45													
② 回転式薄膜加熱試験 (AASHTO T 240 ; ASTM D 2872) 後の残留バインダー ^{c)}														
最大損失重量比	1.00 %													
動的せん断試験 (SHRP B-003)														
G* / sin δ ≥ 2.0 kPa ;														
載荷周波数 10 rad/s ;														
試験温度℃	45													
③ ②+促進加圧劣化試験 (SHRP B-005) 後の残留バインダー														
促進加圧劣化試験の試験温度℃	90													
動的せん断試験 (SHRP B-003)	10	5	30	25	20	15	10	35	30	25	20	15	40	35
G* / sin δ ≥ 3.0 MPa ;														
載荷周波数 10 rad/s ;														
試験温度℃														
クリープスティアフネス (SHRP B-002) ^{d)}	-20	-30	10	0	-10	-20	-30	10	0	-10	-20	-30	10	0
S (t) ≤ 200 MPa.m ≥ 0.35 ;														
60秒載荷 ;														
試験温度℃														
直接引張試験 (SHRP B-006)	-20	-30	10	0	-10	-20	-30	10	0	-10	-20	-30	10	0
破断ひずみ ≥ 1.0 % ;														
速度 1.0mm / min ;														
試験温度℃														

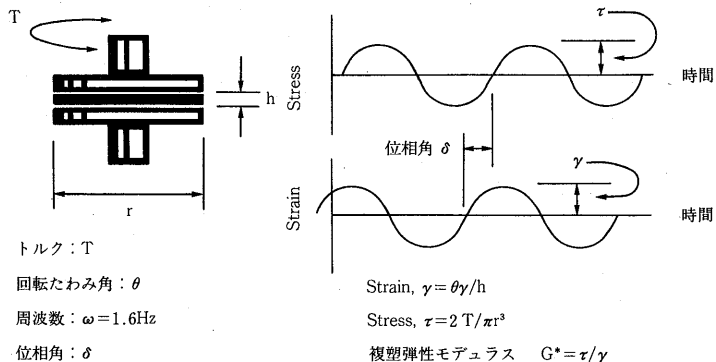


図-4 動的せん断試験¹⁰⁾

表-2のドラフトにもあるように、「耐わだち」の評価としては『7日間平均の舗装体最高温度』における($G^*/\sin\delta$)の最小値を、「耐疲労クラック」については『平均の舗装体供用温度』における($G^*\sin\delta$)の最大値を規定している。

4.2.2 促進加圧劣化試験<SHRP B-005>

本試験は、長期の供用時に発生するバインダーの劣化現象を再現させるものである。短期間の劣化現象については、既存の回転式薄膜加熱試験(RTFOT, ASTM D 2872)または薄膜加熱試験(TFOT, ASTM D 1754)のどちらか一方によって試験を行い、この試験を経たあとに本試験を実施することになっている。RTFOT

またはTFOTの残留バインダー50gを図-5に示す試験容器に置き、現場に応じて設計した高温の下で20時間空気を加圧することによって、バインダーを劣化させる。

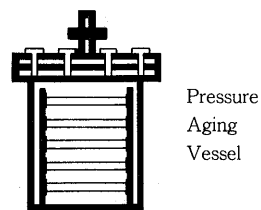


図-5 促進加圧容器¹⁰⁾

4.2.3 クリープスティフネス(曲げビーム)試験<SHRP B-002>

本試験は、「低温度クラック」の性状として、クリープスティフネス($S(t)$)と m 値を求めるものである。本装置(図-6)は、試験温度に保った液槽の中にビーム型の供試体($125 \times 12.5 \times 6.25\text{mm}$)を浸し、ビームの中央に100gの荷重を240秒間載荷した時のたわみ量を測定するものである。

「耐低温度クラック」の評価としては、『最小の舗装体供用温度+10℃』におけるクリープスティフネス($S(t)$)の最大値、及び(m)の最小値を規定している。

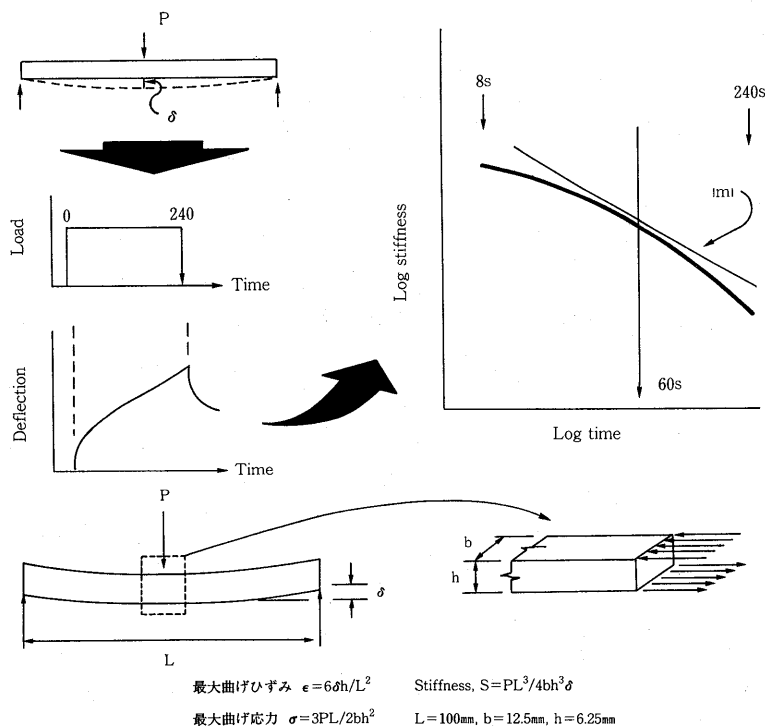
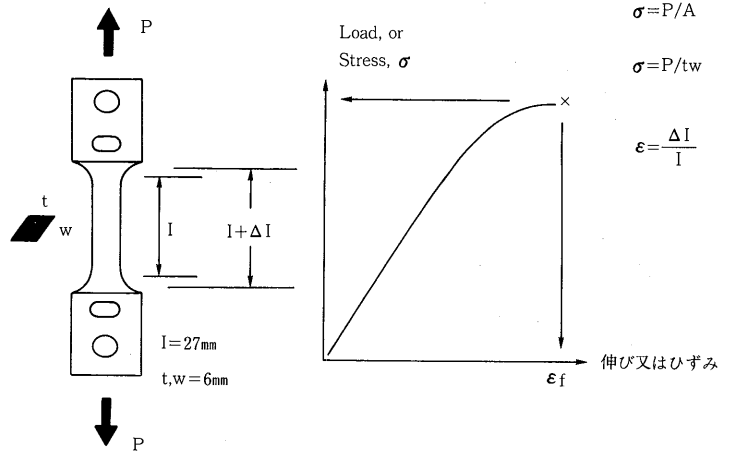


図-6 曲げビーム試験¹⁰⁾

4.2.4 直接引張試験<SHRP B-004>

本試験は、「低温度クラック」の疲労性状として、バインダーの引張破壊ひずみを求めるものである。本装置(図-7)は、犬の骨型の供試体を一定の速さで引き延ばし、供試体が破壊する時のひずみを測定し、これが1.0%を越えるか否かを見るものである。

「耐低温度クラック」の評価としては、『最小の舗装体供用温度+10℃』における引張破壊ひずみの最小値を規定している。



5. おわりに

上記試験は、バインダーの供用性状を評価するための中枢となるものではあるが、混合物試験・現場管理試験という一連の配合試験の中ではバインダーの選定という最初の部分でしかない。SUPERPAVEに関するさらなる情報が建設省土木研究所を窓口として日本に入ってくるとともに、日本の状況に整合するための各種確認試験が今後ともに数多く実施されることを期待したい。

最後に、筆者の勉強不足と情報不足のせいもあり、試験方法の詳細及び注意点にまで言及することができなかったことをお許し願いたい。

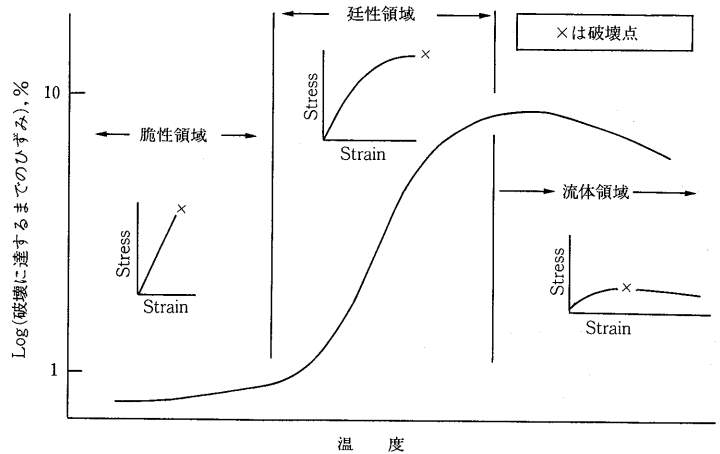


図-7 直接引張試験¹⁰⁾

参考文献

- 1) H. L. Von Quintus, et al. : Asphalt Aggregate Mixture Analysis System, NCHRP Report 338, p.1-5, March 1991
- 2) 神谷：米国におけるSHRPとその研究成果(上), 高速道路と自動車, 1993年10月
- 3) Strategic Highway Research Program. Asphalt : A Strategic Plan--1990, p.3-5, June 1990.
- 4) 神谷：米国におけるSHRPとその研究成果(下) 高速道路と自動車, 1993年11月
- 5) Jack Youtcheff: Update on the SHRP Binder Specification, FOCUS, p.1-2, August 1992.
- 6) David Jones, Binder and Mixture Aging in Asphaltic Pavements : A Specification, Technical Research Memorandum #5, p.8, June 1992.
- 7) Jack Youtcheff, Classification of Materials Reference Library Asphalts Using Draft Binder Specification # 7G, SHRP ASPHALT RESEARCH PROGRAM TECHNICAL MEMORANDUM #6, p.2-3, July 1992.
- 8) Rita Leahy, Compaction Method and Accelerated Performance Tests for the SUPERPAVE Mix Design System, SHRP ASPHALT RESEARCH PROGRAM TECHNICAL MEMORANDUM #7, p.1, August 1992.
- 9) SHRP, TECHNOLOGY INFORMATION SHEET, January 1993.
- 10) David A. Anderson, An Overview of the SHRP Binder Test Methods and Specification, March 10-11, 1994.

アスファルト評価のための粘弾性理論

佐々木 巖*

1. はじめに

アスファルト材料は、粘性と弾性の両方の性質をあわせもつ、典型的な粘弾性体であることは良く知られている。粘弾性をあつかう学問は「レオロジー」とよばれ、1929年Binghamらによってアメリカでレオロジー学会が創設されたことにはじまり、その定義は物質の変形と流動に関する科学であるとしている¹⁾。

アスファルト舗装の評価に粘弾性等のレオロジーを適用する試みは、日本では1960年代から建設省土木研究所²⁾や北海道大学³⁾など各機関で盛んに実施されたが、それ以後なかば空白の時を過ぎてきた感もある。

ところが最近米国において実施されたSHRP計画において、レオロジーを考慮したバインダーの試験法および仕様ならびにアスファルト混合物の配合設計システムの研究が実施されている。そのうちバインダー部分についてはその成果の全容が明らかになりつつある。^{4)~6)}

そこで、アスファルト評価のための粘弾性理論を概説するとともに、SHRPの提唱するバインダーの仕様と粘弾性との関連について述べることにする。

なお、レオロジーを一般的に解説した参考書は多数出版されており¹⁾、詳しくはそれらを参照されたい。粘弾性を議論する場合には以下の記号を用いるため本文ではこれらの記号を使用した。

σ : 応力, γ : セン断ひずみ, G : セン断弾性率

J : セン断クリープコンプライアンス, η : 粘度

t : 時間, T : 温度

なお伸長変形については、弾性率 E 、クリープコンプライアンス D 、ひずみ ϵ が記号として用いられている。

2. 弾性と粘性

結晶性を持たない無定形高分子の弾性率は、一般的に温度により図-1のような挙動を示す。ガラス状領域とゴム状領域の間の転移域にガラス転移点 T_g がある。アスファルトは雑多な高分子物質が数多く含まれ

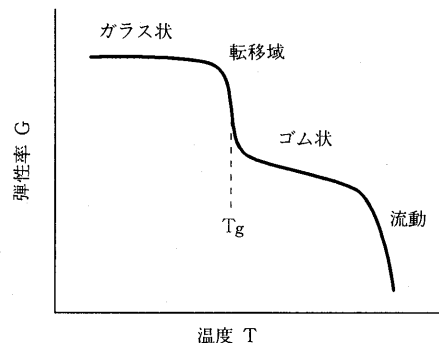


図-1 無定形高分子の弾性率の温度依存性

ている材料であるため、温度依存性の異なる曲線が重畳されたような挙動を示すため、明確なゴム状領域を示さず転移域からなだらかな右下がりの線を描く。低温でのガラス状領域においては弾性挙動を示し、高温になるにつれて弾性率は低下し流動的になり粘性挙動を示す。

物質が変形する場合には、変形した力をエネルギーとして蓄え除荷すると元の形に戻る場合と、変形に際してエネルギーを消費し元に戻らない場合があり、それぞれ弾性と粘性であり表-1のように整理できる。

表-1 粘性と弾性

用語	特性式	模型	口語的表現
フックアン	$\sigma = G \cdot \gamma$		弾性体、固体
ニュートニアン	$\sigma = \eta \cdot \frac{d\gamma}{dt}$		流動体、液体

理想的な弾性を示すものをフックアン (Hookean body) あるいは理想弾性体 (ideal elastic body) といい、表-1の特性式で示されるフックの法則に従う。ここで比例係数 G がセン断弾性率 (ずり弾性率) である。また理想的な粘性を示すものはニュートニアンあるいはニュートン流体 (Newtonian fluid) といい、セン断速度に対する応力の比 η が粘度である。なお伸長変

*ささき いわお 建設省土木研究所化学研究室

形時の弾性率はEで示しヤング率と呼ばれ、ポアソン比 μ を用いて $E = 2(1 + \mu)G$ の関係が成立する。

加硫ゴムやエラストマーなどの高分子物質は常温において比較的理想的な弾性を示す。これは引き伸ばされた高分子鎖が収縮することによりエントロピーSが減少するエントロピー弾性といわれるものである。内部エネルギーをUとして次式のように表され、温度低下により応力が増し弾性率が増加する。

$$\sigma = \left(\frac{\partial U}{\partial \epsilon}\right)_T - T \left(\frac{\partial S}{\partial \epsilon}\right)_T$$

ニュートン流体では表-1の式でもわかるように、図-2に示すようなせん断速度と応力との間に原点を通る直線関係があり、その傾きが粘度 η である。このため図-3のように粘度はせん断速度に依存せず一定の値をとる。ところが流動状態により内部分子の構造やコロイドの分散状態に変化が生じて、図-2、3および次式のように、

$$\sigma = \eta(\gamma) \frac{d\gamma}{dt} + \sigma_y$$

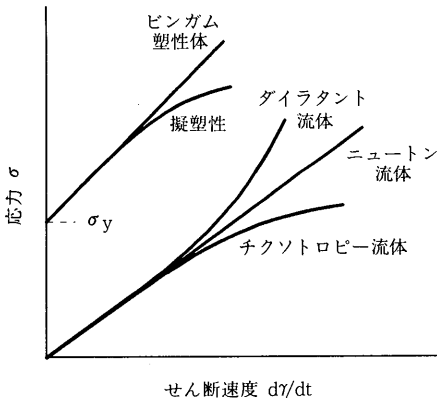


図-2 各種流体の応力とせん断速度の関係

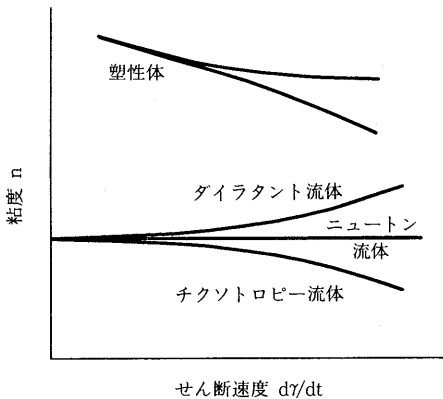


図-3 粘度のせん断速度依存性

応力すなわち粘度が変化する流体があり、これらは非ニュートン流体と総称される。このうち流動が始まるまでに一定の降伏応力を示すものをビンガム塑性体あるいは塑性流体と呼ぶ。高分子濃厚系溶液ではチクソトロピー流体のような流動をすることが多く、微粒子の混入した分散系粘性体ではダイラタント流体あるいは擬塑性流体であることが多い。

アスファルトの中でも特に改質系のバインダーについてはチクソトロピー流動をすることが多いため、せん断速度に基づいた比較評価を行う必要があり、せん断速度はミキサー混合中の挙動を考慮して設定することが望ましい。SHRP試験においては、混合物製造時の状況を考慮して135℃における粘度が規定され、せん断速度を一定の範囲に定めるためブルックフィールドの二重円筒型回転粘度計が採用されている。

3. 粘弾性

3.1 粘弾性模型

粘弾性物質とは粘性と弾性の両方の性質をあわせもつ物質で、アスファルトをはじめとして高分子物質は典型的な粘弾性物質である。この粘弾性を説明するために、スプリングとダッシュポットを組み合わせた粘弾性体の模型がよく使われる。両者を直列につなげたものがマックスウェルモデル(Maxwell model)、並列につなげたものがフォークトモデル(Foigt model)である。

マックスウェルモデルはひずみの入力に対して発生する応力の緩和(relaxation)を説明する模型であり、フォークトモデルは応力の入力に対するクリープ(遅延弾性とも呼ばれる)を説明する模型である。

3.2 緩和現象(リラクゼーション)

緩和現象においては図-4のように、スプリングの瞬間的な変形 γ_0 に対して変形速度の遅いダッシュポット

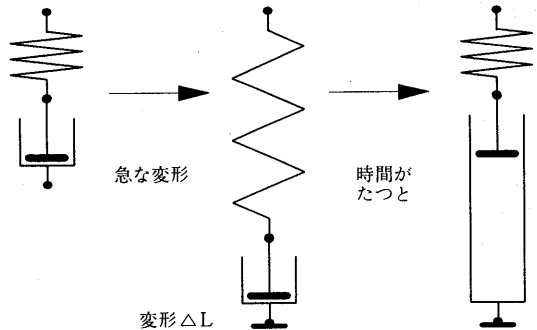


図-4 マックスウェル模型の緩和挙動

が遅れてついてくるため、系に作用する応力が緩和される。応力の時間変化を図-5に示す。これを式で表すと、

$$\sigma = G \cdot \gamma = \eta \frac{d\gamma}{dt} = \eta \cdot \frac{1}{G} \cdot \frac{d\sigma}{dt} \text{ より}$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ ただし } \tau = \frac{\eta}{G}, \sigma_0 = G \cdot \gamma_0$$

となり、時間 t に応じて応力が緩和される。 τ はこの模型の緩和度合いを示す固有の定数で、緩和時間と呼ばれる。ここで弾性率は緩和に応じて減少し、

$$G(t) = \frac{\sigma}{\gamma_0} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

となり、これが緩和弾性率である。

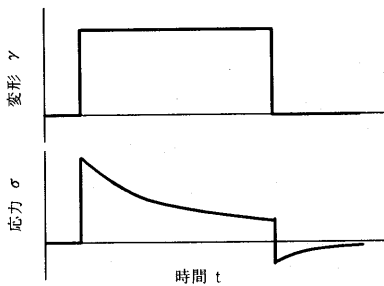


図-5 緩和現象における変形入力に対する応力の応答

3.3 遅延現象 (クリープ)

クリープの場合は、図-6のように印加された応力 σ_0 がスプリングとつり合う点まで変形が進み、その変形速度はダッシュポットの粘度に応じて遅延される。そして除荷されるとまた $\gamma = 0$ に戻る。この時間変化を図-7に示す。式で表現すると、

$$\sigma = G \cdot \gamma + \eta \frac{d\gamma}{dt} = \sigma_0 \text{ より}$$

$$\gamma(t) = \frac{\sigma_0}{G} (1 - e^{-\frac{t}{\lambda}}) \text{ ただし } \lambda = \frac{\eta}{G}$$

であり、せん断変形量は σ_0/G に近づいてゆくことがわかる。ここで λ を遅延時間 (retardation time) と呼び、また $1/G$ はクリープコンプライアンス (Creep compliance) と等しく、せん断のクリープコンプライ

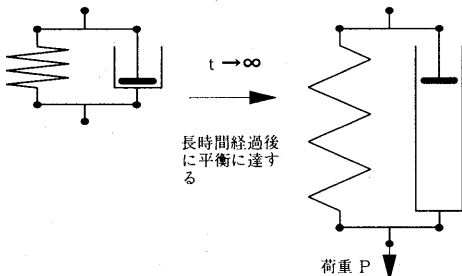


図-6 フォークト模型の遅延 (クリープ) 挙動

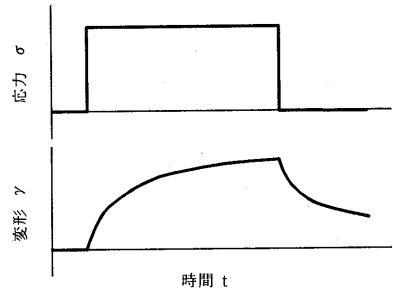


図-7 遅延現象 (クリープ) における応力入力に対する変形の応答

アンスは記号 J で表される。

SHRPにより提案されているベンディングビームレオメータ (BBR) は定荷重曲げクリープ試験であり図-5に似た試験結果が得られ、ここからスティフネス等を計算しバインダー仕様へ適用している。低温時の収縮ひび割れは、温度低下により生じた収縮応力をバインダーがクリープ変形することにより回避されるため、クリープコンプライアンスおよびその変形速度によってバインダーを規定しようとするものである。

3.4 4要素モデル

より実在の物質に近づけた議論を行うため、緩和現象と遅延現象の両方の性質を有する場合について考えるための模型が図-8に示す4要素モデルである。この模型に一定の応力 σ_0 を与えた場合には図-9のように、载荷と同時にスプリング G_1 による瞬間弾性変形 oa が生じたのち、 G_2 と η_2 で構成されるフォークト要素の遅延弾性変形 (クリープ変形) および永久変形となる η_1 の流動の合計である変形 ab が続く。除荷すると、 G_1 の瞬間弾性変形 bc 、 G_2 と η_2 の遅延弾性変形 ce が生じて、結果的に η_1 の流動である ef の永久変形が残る。なお変

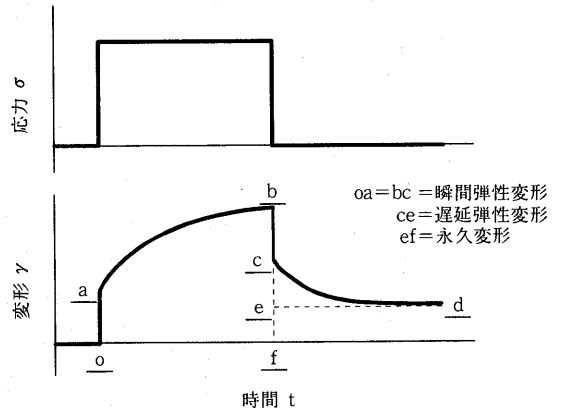


図-9 4要素模型への応力入力に対する変形の応答

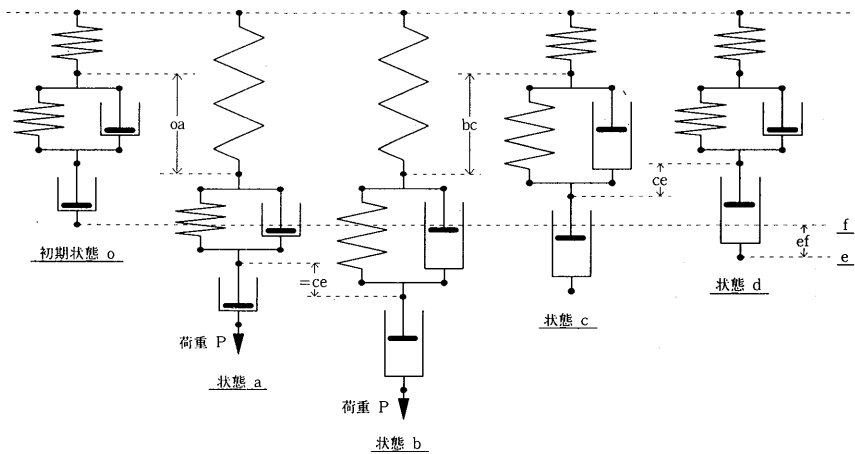


図-8 4要素模型への定荷重の載荷と除荷に対する変形挙動

形量は次式の関数で説明される。

$$\gamma(t) = \underbrace{\frac{\sigma_0}{G_1}}_{\text{瞬間弾性変形}} + \underbrace{\frac{\sigma_0}{G_2} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right)}_{\text{遅延弾性変形}} + \underbrace{\frac{\sigma_0}{\eta_1} t}_{\text{永久変形}} \quad \text{なお } \tau_2 = \frac{\eta_2}{G_2}$$

これが一回の車輪通過によるアスファルトへの荷重載荷であるとするならば、この微小な永久変形の積算がわだち掘れであると概念的には理解することができるであろう。ただし後述するように粘弾性を的確に評価するためには、模型の一般化などによる精密化と、変形速度や周波数あるいは載荷波形などの条件について慎重な検討と照査が必要である。

3.5 一般化モデル

実際の物質では、非常に幅の広い緩和時間と遅延時間の分布をもった粘弾性物質である場合がほとんどである。より研究的なレオロジー解析においては、上述の模型要素を複数から無限に組み合わせた一般化モデルを仮定して計算を行うことにより得られる、緩和スペクトルあるいは遅延スペクトルを用いて研究が行われている。

4. 動的粘弾性測定

前節で述べた静的な粘弾性測定は次のような問題点

- ・緩和時間が短いものは弾性の測定が困難。
- ・特性時間が長いものは測定に長時間を要する。
- ・流動測定では弾性を測定できない。

があるため特性時間（緩和時間および遅延時間）の測定が困難である場合が多い。このため正弦的に振動するひずみを与えた動的測定

が行われる。動的測定には次のような利点がある。

- ・変形の向きがたえず変化するため弾性の測定が容易。
- ・位相角の遅れにより容易に粘性の程度が把握できる。
- ・結果の積算や計算処理により測定精度が向上できる。

弾性に富んだ温度域や変形速度での再現試験、エスラトマー等により改質されたアスファルトにおいては弾性項の測定の必要性が高いため、粘度測定による粘性項のみの評価では的確な評価を行うことは不合理である。

フックアン、ニュートニアン、および粘弾性体に、角速度 ω 、振幅 γ_0 の正弦振動ひずみ

$$\gamma(t) = \gamma_0 e^{i\omega t} = \gamma_0 \cdot \sin \omega t$$

を与えた場合の応力の応答を図-10～12に示す。

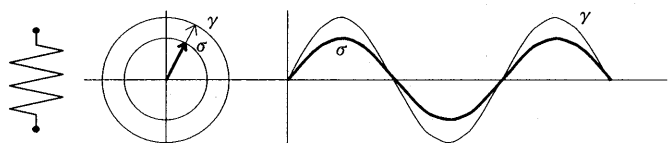


図-10 フックアンに正弦振動を与えた場合の応力応答

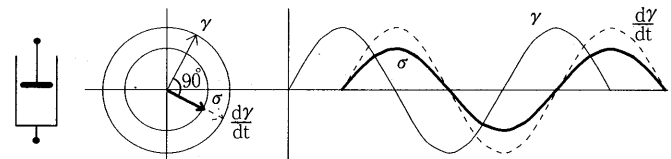


図-11 ニュートニアンに正弦振動を与えた場合の応力応答

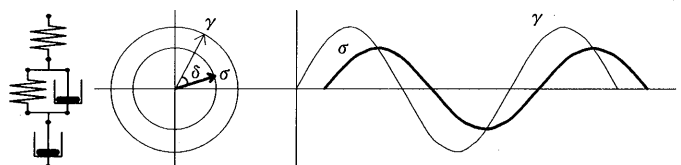


図-12 粘弾性体に正弦振動を与えた場合の応力応答

フックアンはスプリングモデルであるため $\gamma(t)$ に対してリアルタイムの $\sigma(t) = G \cdot \gamma(t)$ が結果として得られる。ニュートニアンの場合は応力がひずみ速度に比例するため、

$$\begin{aligned}\sigma(t) &= \eta \cdot \frac{d\gamma(t)}{dt} = \eta \cdot \gamma_0 \cdot \frac{d\sin\omega t}{dt} \\ &= \eta \cdot \gamma_0 \cdot \cos\omega t = \eta \cdot \gamma_0 \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})\end{aligned}$$

となり位相が 90° 遅れて応答する。粘弾性体の場合は

$$\begin{aligned}\sigma(t) &= G^*(\omega) \cdot \gamma_0 \cdot \sin(\omega t - \delta) \\ &= G'(\omega) \cdot \gamma_0 \cdot \sin\omega t - G''(\omega) \cdot \gamma_0 \cdot \cos\omega t\end{aligned}$$

という関係が導かれ位相角 δ の遅れが生じる。ここで、 $G'(\omega)$ は動的弾性率または貯蔵弾性率と呼ばれる弾性項、 $G''(\omega)$ は損失弾性率と呼ばれる粘性項、 $G^*(\omega)$ はその合成ベクトルであり、それぞれ角速度すなわちひずみ速度の関数となっている。また、弾性項に対する粘性項の比

$$\tan\delta = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)}$$

を損失正接と呼び、 $\tan\delta$ が大きいかほど位相遅れが 90° に近く粘性的な粘弾性を有し、小さいほど位相遅れが少なく弾性的な粘弾性体であるといえる。なお、動的測定は一般的なレオメーターではおおそ $10^{-3} \sim 10^2 \text{ rad/s}$ の周波数範囲での測定が信頼性が高い。

SHRP規格においては、わだち掘れの規定は粘度では不十分でありバインダーの弾性挙動を評価する必要があるとし⁷⁾、ダイナミックシェアレオメーター(DSR)を用いて 10 rad/s で測定したときの $G^*/\sin\delta$ の下限値により供用可能速度の規定を設けている。 $G^*/\sin\delta$ は $1/J''$ と等価であり、Non recoverable strainを表すものであるとされている。 J'' はせん断の損失クリープコンプライアンスであることから、せん断クリープにおける粘性項の上限を設けることにより、わだち掘れの抵抗性を規定するものではないかと考えられる。混合物でのわだち掘れと $G^*/\sin\delta$ の関係が試験され、良い相関関係があったと報告されている。(図-13⁷⁾)

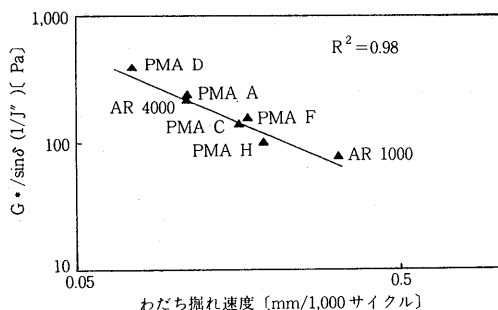


図-13 動的粘弾性測定結果とわだち掘れ速度試験結果の関係⁷⁾

疲労ひび割れに関しては、変形により消費(損失)されるエネルギーがひび割れの進行に関係あるとされ⁷⁾、損失弾性率 $G'' = G^* \cdot \sin\delta$ の上限が規定として採用されている。また同様に試験舗装におけるひび割れ発生率との対比が報告されている。(図-14⁷⁾)

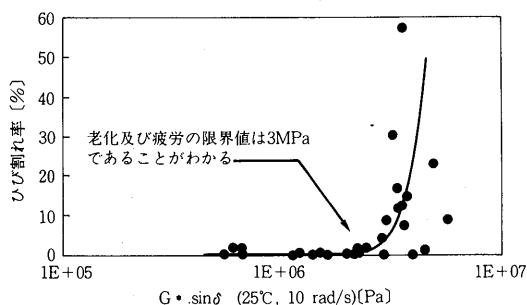


図-14 動的粘弾性測定結果とひび割れ率との関係⁷⁾
(Zaca-Wigmore試験道路より)

5. マスターカーブ

アスファルトを変形させる場合、急激に動かすと硬いがゆっくり動かせば液体のように流れる。低周波による測定つまり長い载荷時間により測定される挙動は、より高温で速く動かす場合の流動状態と等しい。逆に高周波による測定は、より低温条件でゆっくりと変形させる場合の挙動と同じである。これを温度-時間換算則(あるいは温度-振動数換算則)と呼び、シフトファクター a_T を用いて異なった温度の結果が次式のように基準温度 T_0 における弾性率に変換される。

$$G\left(\frac{t}{a_T}, T_0\right) = b_T^{-1} \cdot G(t, T)$$

ここで縦軸換算因子 b_T はほぼ一定であるため無視されることが多い。高分子溶融体のシフトファクター a_T は係数 c_1 と c_2 を用いて次のような関係があり⁸⁾、この式は提唱者3人の名からWLF式といわれる。

$$\ln a_T = \frac{-c_1(T - T_0)}{c_2 + (T - T_0)}$$

ストレートアスファルト60/80を 80°C から -30°C までの各温度で周波数を変化させ動的測定した図-15(a)の弾性率から、基準温度を 20°C にした場合、図-15(b)のように合成曲線であるマスターカーブが作成される。マスターカーブは非常に広い範囲の変形速度あるいは温度に対する性状を一つの曲線で評価でき、図-15(b)では左側が高温物性を右側が低温物性を示している。なお横軸に载荷時間をとった場合には左右が反対のグラフに、縦軸を J とした場合は上下が反対の曲線形状であるマスタークリープコンプラ

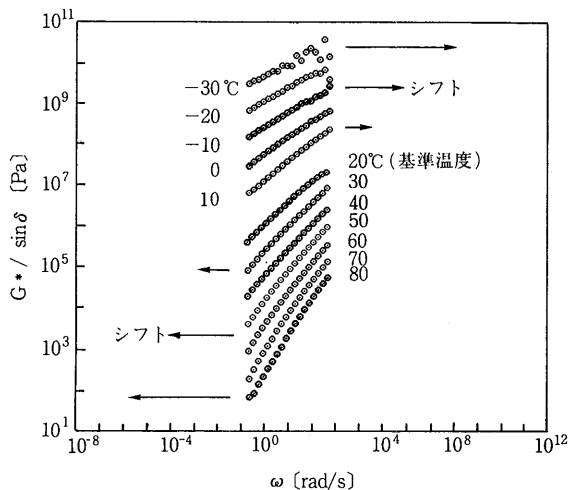


図-15(a) 動的粘弾性測定結果 (-30~80℃)

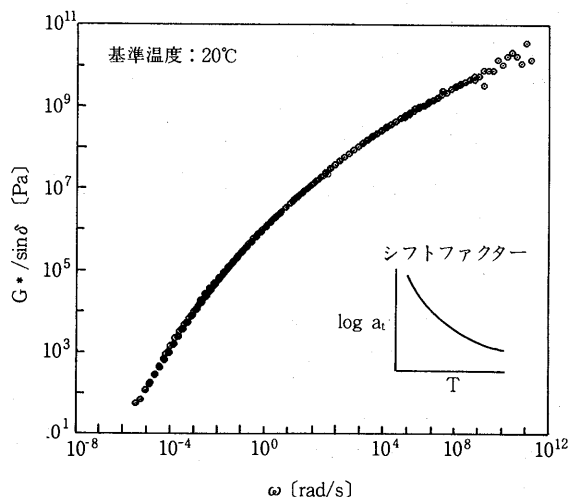


図-15(b) (a)から作成したマスターカーブ

イアンスカーブとなる。

SHRP規格においては、BBR試験から得られたクリープスティフネスを弾性率に変換しDSRの結果と合わせてマスターカーブを作成することが当初は検討されていたが、理論の複雑さなど実用面から最終的な仕様においては削除されている。

6. 供用性と試験条件の対応

アスファルトは粘弾性物質であるため、材料評価において変形速度や測定温度などの試験条件が異なると得られる結果は大きく異なったものとなる。例えば、チクソトロピー流動をするバインダーでは変形開始時点での挙動と流動状態では測定結果が大きく異なる。これはコロイド構造に微視的な構造変化を生じて粘度が変化し、特に改質アスファルトでは改質添加剤の高分子鎖の挙動とあいまってこの差が特に顕著である。したがって舗装構造の中でアスファルトに生じるひずみ量や変形速度の状態を考慮して供用状態に即した評価を行うことが重要であり、SHRPのバインダー仕様の開発においては混合物の破壊モデル等からその配慮がなされているようである。

わが国においても表層におけるひずみ変化を検討しBell Shape Wave等を用いて実験を行った例⁹⁾など、供用中の変形速度やひずみ量に対する挙動を知る努力が以前からなされている。ハーバーサイン波を用いた動的載荷により、遅延時間等の粘性項の測定と残留する永久変形等からわだち掘れの評価を行うなど、粘弾性を考慮した損傷形態ごとの評価が必要であると考えられる。

動的粘弾性測定であるダイナミックシェアレオメーターの試験周波数は、米国内での交通状況と規制速度を考慮して設定されているため、比較的渋滞の多い日本の事情に合致するかどうかを確認する必要があると思われる。

ひび割れは温度収縮や交通荷重により発生するひずみを緩和できなくなった時に発生するものであるため、供用条件に見合った緩和時間を求める必要がある。そして緩和弾性率は酸化劣化や紫外線硬化により大きく変化するため、適切な劣化再現試験が求められる。

7. おわりに

アスファルトをはじめとして高分子系材料は粘弾性体であるため、流動状態を評価するための特性値である粘度ばかりでなく、回復可能な変形、緩和弾性や遅延弾性などを評価することが必要である。そして施工時以外にはアスファルト舗装混合物が流動状態で供用されることはないため、低温域の評価、変形速度が速い場合の評価、改質系バインダーの評価については、動的粘弾性測定等による弾性項の測定の重要性を認識することが重要である。

SHRPの提唱する試験法は、供用期間中を通してバインダーが経験する劣化と変形状況に即して粘弾性の評価方法が設定されている。ただし交通事情や材料の特性などが米国と異なるため、試験法および規格のうち試験条件と規格値については粘弾性理論に基づきわが国の事情に見合うよう再検討することが必要であろう。

レオロジーの理論展開の流れに沿って粘弾性の解説をしたが、教科書のうけうりの部分も多くなってし

まった。破壊モデルなどの粘弾性理論を考慮し、粘弾性理論に基づいたアスファルト材料技術と舗装工学が進歩し浸透してゆくことを期待したい。

— 参考文献 —

- 1) たとえば、日本レオロジー学会編：講座・レオロジー，岡小天：高分子刊行会，レオロジー入門，工業調査会，中川鶴太郎ら：レオロジー，みすず書房，など
- 2) 阪上：アスファルトのレオロジー的性質（1）（2），土木研究所報告，1962-1,6
- 3) 菅原：アスファルト混合物の力学的性状について，土木学会論文報告集，No207，1972-11
- 4) 片脇ら：舗装用アスファルトの新しい試験法—SHRPで提案されている品質規格—，土木技術資料，1939-9
- 5) 神谷：米国におけるSHRPとその研究成果（上）（下），高速道路と自動車，1993-10,11
- 6) The SUPERPAVE mix Design System Manual of Specifications, Test Methods, and Practices, SHRP-A-379,1994
- 7) D.A. Anderson: An Overview of the SHRP Binder Test Methods and Specification, 1994-3, 来日時のプレゼンテーションより
- 8) J.D. Ferry: Viscoelastic Properties of Polymers, 3rd ed., Wiley, 1972
- 9) 笠原ら：アスファルト混合物の動的性状とその舗装構造の力学解析への利用，土木学会論文報告集，No254，1976-10

フルデプス・アスファルト舗装設計施工指針（案）

B5版 42ページ 実費頒価 800円（送料は実費）・申込先（社）日本アスファルト協会
〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7

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

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

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

目次

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. 総説 | 3-4 アスファルト混合物 |
| 1-1 フルデプス・アスファルト舗装の定義 | 4. 路床および路盤 |
| 1-2 適用範囲 | 4-1 概説 |
| 2. 構造の設計 | 4-2 路床 |
| 2-1 舗装の構造 | 4-3 路盤 |
| 2-2 設計の方法 | 5. 表層および基層 |
| 2-3 排水 | 6. 品質管理および検査 |
| 3. 材料 | 6-1 概説 |
| 3-1 概説 | 6-2 出来形および品質の管理 |
| 3-2 瀝青材料 | 6-3 検査 |
| 3-3 骨材 | 7. 記録 |

～ 石油の誕生 ～

アスファルトのいわば“原料”ともいえる石油について、読者の皆様が多少なりとも興味をお持ちの事柄を“石油ミニ知識”と題して、本号からしばらくの間連載致します。最初は石油の誕生を取り上げてみました。どうかコーヒブレイクの折にでもご一読下さい。

石油（ここでは原油のことですが）がどの様にしてできたのかということは、その恩恵を多大に享受している我々にとっては大変興味深いことです。しかしながら石油の誕生ははるか昔の地中における出来事で、実験室でそっくり再現する事が困難な現象であり、その断片的な解明ですら大変な労力を要し、しかもその生成には多くの因子が絡み合っているのです、一つのパターンですべてが説明できるような単純なものではないようです。ここでは成書^{1,2)}等を参考に石油の誕生について概観してみましょう。

石油の起源については、しばしば有機起源説と無機起源説に大きく分けられます。しかし今日では、石油がほとんどの場合堆積岩中に存在することや生体のヘモグロビンやクロロフィルから由来したと考えられるポルフィリンと言う物質が石油中に存在することなどを根拠として、有機起源説が有力とされています。

〔有機起源説〕

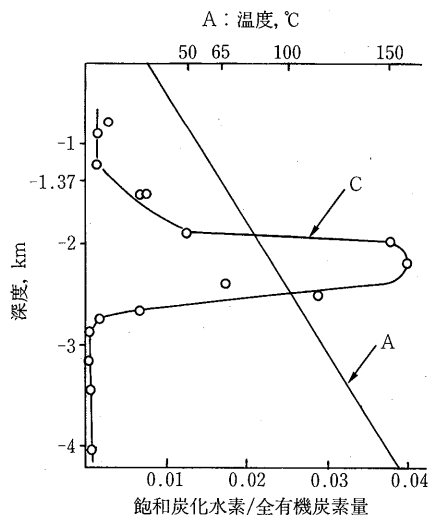
有機起源説にも諸説ありますが、近年に至り石油の起源物質や生成のみならず、移動、集積といった油田の形成に必要な一連の現象の解明に研究の方向が進展してきました。現在大方の支持を得ているのはケロジェン起源説と言われるものです。

太古の藻類、動植物プランクトンなどの生物の遺骸が、陸に近い海底の盆地や内湾のように海流が停滞して酸素の供給が少ない還元性雰囲気において堆積物中に取込まれ、生体を構成していた含水炭素、蛋白質、脂質などが微生物による分解作用などを受け、糖、アミノ酸、脂肪酸等の単量体を生じ、これがさらに重縮合してできたものがケロジェンです。

ケロジェンとはいささか耳慣れない言葉かと思いますが、堆積岩中の溶媒不溶な有機物の総称と考えられます。さらに堆積が進むとより高い温度、圧力の影響によって、ケロジェンが液体炭化水素へと再び分解し

て石油が生成した、と言うのがケロジェン起源説のあらましです。堆積物が固結して岩石となっていくプロセスを続成作用と言いますが、続成作用がある程度進行した後に石油が生成されたという所から、ケロジェン起源説のことを続成作用後期成因説とも言います。それではケロジェンから石油ができる条件はどのようなのでしょうか？

図－１は堆積岩の深度と炭化水素量／全有機炭素量比(石油の生成量に比例していると見なせるでしょう)の関係を表しています。図－１によれば石油が生成するのに適した埋没条件としては、概ね深さ1,000～3,000 mで、温度的には100℃を越えないところでピークを示しています。これはケロジェンから石油が生成する温度としては低いように思われるかも知れませんが、地質学的な長い時間が温度を補っていると考えられているようです。



A：地温こう配
C：炭化水素比のピーク

図－１ 高分子飽和炭化水素 ($C_{21} \sim C_{33}$) 量に対する全有機炭素量比の埋没に伴う変化 (Albrecht & Ourissonの修正図) (出典：田口一雄，ペトロテック，9，24 (1986))

ケロジェンを含む地層は世界中に広く分布しています。ケロジェンを含む堆積岩のうち、石油がそこから

生成したと見なされる岩石を石油根源岩と呼んでいます。石油根源岩で生じた石油が油田を形成するためには、石油の移動、集積のプロセスとそれを蓄えておく地層的な構造が不可欠となります。

ケロジェンの分解によって生成した石油は、周囲の浸透性のある層を通過し上方へ移動し、孔隙を有する岩石中に貯まります。この石油を貯留する岩石を石油貯留岩といい、多くの場合砂岩や炭酸塩岩から成ります。根源岩から石油貯留岩への石油の移動を一次移動、貯留岩内で石油層を形成するための側方あるいは上方への移動を二次移動と称しています。一次移動の機構については、粘土鉱物の層間結合水を媒体とするとか水の力によらないなど諸説ありますが、定説はなく解明の不完全な部分とされています。

油田の形成には石油貯留岩中の石油を逃がさないための地層構造が必要となります。図-2に見られるように、帽岩（キャップロック）という浸透性の小さい緻密な地層がこの役割りを果たしています。キャップロックは岩塩や石膏、頁岩、泥岩などです。原油が特に貯まりやすい地質構造は、背斜構造と言われる地層の褶曲作用で波状に変形した山の部分です。背斜構造の中で貯留岩は孔隙を下から水、石油、ガスの順に満たして存在しています。

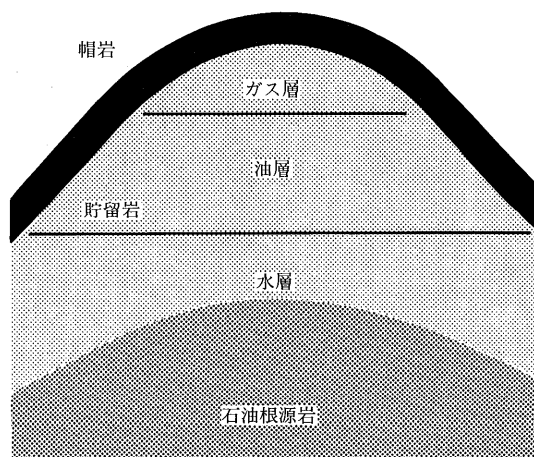


図-2 背斜構造における油田の概念図

それでは石油が誕生したのはいつ頃の事でしょう？地球ができたのは45ないし46億年前、生命の誕生は30億年前とのことです。石油が多く発見されているのは5億7,500万年前以降の古生代、中生代、新生代の地

層からです。埋蔵量は中生代のジュラ紀(2億1,200万年前～1億4,300万年前)以降が多く、古生代はずっと少なくなっています。

〔無機起源説〕

無機起源説には、元素の周期律表でお馴染みのメンデレーフも主張したと言われるカーバイド説、火山活動によって石油が合成されたとする火山説、宇宙で合成され地球内部に取り込まれた炭化水素が石油になったとする宇宙説などがあります。さらにこれらの無機起源説の多くをひとまとめにして体系づけたともいえるものが、近年天文学者のゴールドによって発表されています³⁾。

これは、地球誕生時に地球の深層に取り込まれた宇宙起源の炭化水素が、高圧のメタン(地球深層ガス)をキャリアとして、たとえばダイヤモンドが生じる深さ150km～300km辺りの深部から上昇してくる際に、圧力の低下によって石油(炭化水素)を放出するというものです。メタン自身もまた、石油生成の反応に与かったり、生物起源の炭素質物質の堆積や保存に関与します。

上述のプロセスにおいて、温度、圧力の関係で炭化水素の分解が起こることがあれば、炭素の沈積によって、深層ではダイヤモンドが生じ、より浅部では石墨(黒鉛)や石炭様物質を生じる、ということで炭素質物質の生成はほとんどのこの地球深層ガス説で説明できそうな感さえ致します。

ちなみに、植物起源と一般に信じられている石炭については、地球深層から上昇してきたメタン等の解離により生じた炭素が、植物起源の堆積物を基盤として沈積し、石炭生成に寄与したとの説を展開しています。

ゴールド説の多くの部分は、現段階では仮説の域にあると言いきりかねませんが、何ともスケールの大きい話ではあります。

—— 参考文献 ——

- 1) 田口一雄：1993, “石油はどうしてできたか” 青木書店
- 2) 氏家良博：1990, “石油地質学概論” 東海大学出版会
- 3) トーマス・ゴールド著、脇田宏監訳、1988, “地球深層ガス” 日経サイエンス社
(室賀五郎 三菱石油(株)開発研究所)

アスファルト舗装技術研究グループ・第18回報告

今回の報告は、1991年7月の168号で報告した「舗装の力学」の続編にあたります。168号では、均一な様路盤に集中荷重が載荷された時の応力、変位を求めるブシネスクの理論について報告しました。本文では、パーミスタの2層弾性体の表面変位について、式の誘導を中心に検討し、他の研究者の近似計算法との比較および弾性理論プログラムと比較した結果を報告しま

す。

理論的な設計法の歴史的経緯を掘り下げることが目的として、力学解析の基礎を一から掘り起こし、出来るだけ数式の誘導を試みた成果の報告です。今後、舗装の理論的な設計方法を確立していく際の参考資料となれば幸いと考えています。

(研究グループ代表幹事：峰岸順一)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

峰岸 順一 東京都土木技術研究所技術部

*は班長 **は副班長

阿部 長門 東亜道路工業(株)技術研究所
飯田 健一 鹿島道路(株)技術研究所
池田 和則 世紀東急工業(株)技術研究所
伊藤 達也 ニチレキ(株)技術研究所
遠藤 桂 日本道路(株)技術本部技術研究所
大竹 和彦 福田道路(株)技術研究所
岡藤 博国 世紀東急工業(株)技術研究所
小笠 幸雄 大林道路(株)技術管理部
金井 利浩 鹿島道路(株)技術研究所
川端 浩平 日本舗道(株)技術研究所
北沢 弘明 ニチレキ(株)総務部
久保 知裕 昭和シェル石油(株)東京支店アスファルト課
佐々木 巖 建設省土木研究所材料施工部化学研究室
佐藤 雅規 世紀東急工業(株)技術研究所
**菅野 伸一 常盤工業(株)技術研究所
杉内 正弘 飛鳥道路(株)技術研究所

**鈴木 秀輔 大成ロテック(株)技術研究所
鈴木 康豊 (株)パスコ道路技術センター
高橋 修 長岡技術科学大学建設系
田中 耕作 鹿島道路(株)技術研究所
田中 秀明 東亜道路工業(株)技術研究所
* 谷口 豊明 大林道路(株)技術研究所
深沢 邦彦 大成ロテック(株)技術研究所
**増山 幸衛 (株)道路保全技術センター保全部
水口 浩明 前田道路(株)技術研究所
水野 卓哉 福田道路(株)技術研究所
* 南沢 輝雄 (株)パスコ道路技術センター
村田 信之 日本舗道(株)企画部
森久保道生 昭和シェル石油(株)中央研究所
* 吉村 啓之 前田道路(株)技術研究所

計31名

舗装の力学

～バーミスタ理論について～

吉村啓之* 岡藤博国****
 伊藤達也** 金井利浩*****
 梅野修一*** 高橋修*****

1. はじめに

道路舗装は一般に性質の異なった材料からできている。舗装の構造を最も簡単な力学モデルとして表わせば、舗装と路床からなる2層系の問題となる。舗装を2層系として扱う理論には、板理論と2層弾性体理論がある。ここでは2層弾性体理論を中心に述べることにする。

2層弾性体理論は1931年に松村¹⁾によって解かれている。またMarguerre²⁾は境界面が滑らかな場合の解を求め、数値計算を行っている。しかし、この理論が世界的に注目されるようになったのは、1943年にBurmister³⁾が2層弾性体の表面変位を計算し、舗装に応用するための方法を提案してからである。バーミスタによる2

層弾性体の表面変位は、厳密解を基にして作製した図から読みとった係数を用いて得られるものである。その後、2層弾性体の変位を簡単な数式だけで求める研究、2層弾性体の応力、ひずみの数値計算を行った研究が次々と発表された。表-1に解析理論の年表⁴⁾を示す。バーミスタの研究があまりにも有名になったことから、2層弾性体理論はバーミスタ理論として知られることになった。本文では2層弾性体理論の概略を紹介するとともに、表面変位について検討した結果を報告する。なお、バーミスタの論文では「displacement」と「settlement」を使いわけているが、本文では日本語訳を「変位」に統一して記述することにした。

表-1 解析理論の沿革⁴⁾

年代	解析事項
1882	Cerrutiの半無限弾性体に水平荷重が作用した場合の解法
1885	Boussinesqの半無限弾性体に鉛直荷重が作用した場合の解法
1925	WestergaardがWinkler基礎上の弾性平板の式を公表
1931	松村が2層系問題の厳密解を発表
1933	Marguerreが2層系の境界面が滑らかな場合の解を公表
1940	Palmer, Barbarが2層系の表面変位の近似解法
1945	Burmister円形荷重による表面沈下の図表を公表
1948	Foxが2層問題の応力の数値解を公表
1949	Odemarkが2層系の表面変位の近似解を公表
1951	Acum, Foxが3層問題の数値解を公表
1955	牟岐の半無限弾性体のHankel変換による解法
1959	Meth, Velweysosが2層問題の数値解を公表
1961	Nascimenntoの多層地盤の表面変位の近似解法
1962	Jones, Peattieが3層問題の計算図表を公表
1963	Chevron社が多層弾性プログラムCHEV5Lを公表
1967	植下、マイヤホフ3層問題の厳密解を公表
1968	Shell社が多層弾性プログラムBISTROを公表
1973	Shell社が多層弾性プログラムBISARを公表

2. Burmister理論^{3,5)}

2.1 基礎

Burmisterの理論の基礎となる仮定は次のとおりである。

- (1) 2つの層を構成する地盤は等質等方性の弾性体であり、その力学的挙動はHookeの法則にしたがう。
- (2) 第1層は有限な厚さHを有するが、水平方向には無限に広がっているものと仮定する。一方、第2層は水平、鉛直方向に無限大に広がっているものとする。
- (3) 第1層の表面においてせん断応力は0であり、荷重面以外での垂直応力も0とする。また、第2層の無限深さにおける応力および変位は0に等しい。
- (4) 連続条件は2つの場合を仮定する。

*よしむら ひろゆき 前田道路㈱技術研究所

**いとう たつや ニチレキ㈱技術研究所

***うめの しゅういち 運輸省港湾技術研究所

****おかふじ ひろくに 世紀東急工業㈱技術研究所

*****かない としひろ 鹿島道路㈱技術研究所

*****たかはし おさむ 長岡技術科学大学建設系

①境界面が“粗”の場合

境界面では連続しており，せん断応力が完全に作用する。応力と変位はすべて連続している。

②境界面が“滑”の場合境界面では連続しているが，摩擦がないと仮定する。垂直応力と垂直変位だけが連続している。

2.2 式の仮定

2層系の理論を発展させた円筒座標系を用いた3次元問題に対する弾性理論式はLoveによって導かれている。応力成分は図-1のように示される。

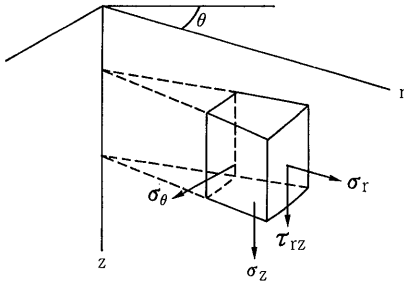


図-1 応力成分

平衡方程式は式(2.1)のように表わされる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} &= 0 \end{aligned} \quad \text{式 (2.1)}$$

また，適合方程式は式(2.2)のように表わされる。

$$\begin{aligned} \nabla^4 \phi &= 0 \\ \nabla^2 &= \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad \text{式 (2.2)}$$

応力関数 ϕ を用いた場合の各応力成分は式(2.3)のように表わされる。

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \frac{\partial}{\partial z} \left[(2-\mu) \nabla^2 \phi - \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right] \\ \sigma_r &= \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \nabla^2 \phi - \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} \right] \\ \sigma_\theta &= \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \nabla^2 \phi - \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} \right] \\ \tau_{rz} &= \frac{\partial}{\partial r} \left[(1-\mu) \nabla^2 \phi - \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad \text{式 (2.3)}$$

また，変位は式(2.4)のように表わされる。

$$\begin{aligned} w &= \frac{1+\mu}{E} \left[(1-2\mu) \nabla^2 \phi + \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} \right] \\ u &= -\frac{1+\mu}{E} \left[\frac{\partial^2 \phi}{\partial r \partial z} \right] \end{aligned} \quad \text{式 (2.4)}$$

適合方程式を満足する応力関数 ϕ として式(2.5)を用いる。

$$\phi = J_0(mr) \left[A e^{mz} - B e^{-mz} + C z e^{mz} - D z e^{-mz} \right] \quad \text{式 (2.5)}$$

ここに， J_0 ：0次のBessel関数

m ：無次元のパラメータ

A, B, C, D ：境界条件により決まる定数

式(2.5)を式(2.3)および式(2.4)に代入して，応力，変位を表わすと式(2.6.1)～(2.6.5)のようになる。なお，式の誘導は省略する。

なお，第1層には添字1を，第2層には添字2を付けることにする。また，円筒座標系の原点は，第1層と第2層の境界に設ける。

2.3 式の誘導

2.3.1 ケース1 (境界面が粗の場合)

一般式に荷重条件，境界条件を考慮して未定係数 A, B, C, D を求める。

応力：

$$\sigma_{z1} = -m J_0(mr) \left[A_1 m^2 e^{mz} + B_1 m^2 e^{-mz} - C_1 m (1 - 2\mu_1 - mz) e^{mz} + D_1 m (1 - 2\mu_1 + mz) e^{-mz} \right] \quad \text{式 (2.6.1)}$$

せん断応力：

$$\tau_{rz1} = +m J_1(mr) \left[A_1 m^2 e^{mz} - B_1 m^2 e^{-mz} + C_1 m (2\mu_1 + mz) e^{mz} + D_1 m (2\mu_1 - mz) e^{-mz} \right] \quad \text{式 (2.6.2)}$$

半径方向応力：

$$\sigma_{r1} = +m J_0(mr) \left[A_1 m^2 e^{mz} + B_1 m^2 e^{-mz} + C_1 m (1 + 2\mu_1 + mz) e^{mz} - D_1 m (1 + 2\mu_1 - mz) e^{-mz} \right] \quad \text{式 (2.6.3)}$$

$$-m \frac{J_1(mr)}{mr} \left[A_1 m^2 e^{mz} + B_1 m^2 e^{-mz} + C_1 m (1 + mz) e^{mz} - D_1 m (1 - mz) e^{-mz} \right]$$

垂直変位：

$$w_1 = -\frac{1+\mu_1}{E_1} J_0(mr) \left[A_1 m^2 e^{mz} - B_1 m^2 e^{-mz} - C_1 m (2 - 4\mu_1 - mz) e^{mz} - D_1 m (2 - 4\mu_1 + mz) e^{-mz} \right] \quad \text{式 (2.6.4)}$$

水平変位：

$$u_1 = +\frac{1+\mu_1}{E_1} J_1(mr) \left[A_1 m^2 e^{mz} + B_1 m^2 e^{-mz} + C_1 m (1 + mz) e^{mz} - D_1 m (1 - mz) e^{-mz} \right] \quad \text{式 (2.6.5)}$$

第1層の表面 ($Z=-h$) において, 荷重を垂直な円形等分布と仮定すれば,

$$\sigma_z = -m J_0(mr), \quad \tau_{rz} = 0$$

となり, 式 (2.7.1), 式 (2.7.2) のようになる。

境界面 ($Z=0$) においては,

$$\omega_1 = \omega_2, \quad u_1 = u_2, \quad \sigma_{z1} = \sigma_{z2}, \quad \tau_{rz1} = \tau_{rz2}$$

となり, 式 (2.7.3) ~ 式 (2.7.6) のようになる。

また, 第2層の無限深さでは応力および変位が0であることから, A_2, C_2 は0となる。未定係数6個に対し, 方程式が6個あるので, 連立方程式を解くことによって係数を決めることができる。

係数 A_1, B_1, C_1, D_1 は, 式 (2.8) のように決定される。

$$2A_1 m^2 = \left[K(1-4\mu_1)(1+2mh)e^{mh} - L e^{-mh} + KL(4\mu_1-2mh)e^{-mh} \right] \frac{1}{\Delta}$$

$$2B_1 m^2 = \left[(4\mu_1+2mh)e^{mh} - L e^{-mh} + K(1-4\mu_1)(1-2mh)e^{-mh} \right] \frac{1}{\Delta}$$

$$C_1 m = \left[K(1+2mh)e^{mh} - KLe^{-mh} \right] \frac{1}{\Delta}$$

$$D_1 m = \left[e^{mh} - K(1-2mh)e^{-mh} \right] \frac{1}{\Delta} \quad \text{式 (2.8)}$$

ここに,

$$\Delta = \left[e^{2mh} - (L+K+4Km^2h^2) + KLe^{-2mh} \right]$$

2層系の強度係数は

$$n = \frac{E_2}{E_1} \left[\frac{1+\mu_1}{1+\mu_2} \right], \quad K = \left[\frac{1-n}{1+n(3-4\mu_1)} \right],$$

$$L = \left[\frac{(3-4\mu_2) - n(3-4\mu_1)}{(3-4\mu_2) + n} \right]$$

である。

第1層の表面での垂直変位は式 (2.9) のように表わされる。

また, 第1層と第2層の間での応力および変位は式 (2.10) のように表わされる。

$$-m J_0(mr) \left[A_1 m^2 e^{-mz} + B_1 m^2 e^{mh} - C_1 m(1-2\mu_1+mh)e^{-mh} + D_1 m(1-2\mu_1-mh)e^{mh} \right] = -m J_0(mr) \quad \text{式 (2.7.1)}$$

$$m J_1(mr) \left[A_1 m^2 e^{-mh} - B_1 m^2 e^{mh} + C_1 m(2\mu_1-mh)e^{-mh} + D_1 m(2\mu_1+mh)e^{mh} \right] = 0 \quad \text{式 (2.7.2)}$$

$$-\frac{1+\mu_1}{E_1} \left[A_1 m^2 - B_1 m^2 - 2(1-2\mu_1)C_1 m - 2(1-2\mu_1)D_1 m \right] = -\frac{1+\mu_2}{E_2} \left[-B_2 m^2 - 2(1-2\mu_2)D_2 m \right] \quad \text{式 (2.7.3)}$$

$$+\frac{1+\mu_1}{E_1} \left[A_1 m^2 + B_1 m^2 + C_1 m - D_1 m \right] = +\frac{1+\mu_2}{E_2} \left[B_2 m^2 - D_2 m \right] \quad \text{式 (2.7.4)}$$

$$-\left[A_1 m^2 + B_1 m^2 - (1-2\mu_1)C_1 m + (1-2\mu_1)D_1 m \right] = -\left[B_2 m^2 + (1-2\mu_2)D_2 m \right] \quad \text{式 (2.7.5)}$$

$$+\left[A_1 m^2 - B_1 m^2 + 2\mu_1 C_1 m + 2\mu_1 D_1 m \right] = +\left[-B_2 m^2 + 2\mu_2 D_2 m \right] \quad \text{式 (2.7.6)}$$

$$\omega = J_0(mr) \frac{2(1-\mu_1^2)}{E_1} \left[\frac{1+4Kmhe^{-2mh} - KLe^{-4mh}}{1-(L+K+4Km^2h^2)e^{-2mh} - KLe^{-4mh}} \right] \quad \text{式 (2.9)}$$

$$\sigma_z = -m J_0(mr) \left[\frac{[1+mh-L/2-0.5K(1+2mh)]e^{-mh} + [KL(1-mh)-L/2-0.5K(1-2mh)]e^{-3mh}}{1-(L+K+4Km^2h^2)e^{-2mh} + KLe^{-4mh}} \right] \quad \text{式 (2.10.1)}$$

$$\tau_{rz} = -m J_1(mr) \left[\frac{[mh+L/2-0.5K(1+2mh)]e^{-mh} + [KLmh-L/2+0.5K(1-2mh)]e^{-3mh}}{1-(L+K+4Km^2h^2)e^{-2mh} + KLe^{-4mh}} \right] \quad \text{式 (2.10.2)}$$

$$\sigma_r = -m J_0(mr) \left[\frac{[1-mh+L/2-1.5K(1+2mh)]e^{-mh} + [KL(1+mh)+L/2-1.5K(1-2mh)]e^{-3mh}}{1-(L+K+4Km^2h^2)e^{-2mh} + KLe^{-4mh}} \right]$$

$$+\frac{m J_1(mr)}{mr} \left[\frac{[1-2\mu_1-mh+L/2-0.5K(3-4\mu_1)(1+2mh)]e^{-mh} + [KL(1-2\mu_1+mh)+L/2-0.5K(3-4\mu_1)(1-2mh)]e^{-3mh}}{1-(L+K+4Km^2h^2)e^{-2mh} + KLe^{-4mh}} \right] \quad \text{式 (2.10.3)}$$

$$\omega = J_0(mr) \frac{1+\mu_1}{E_1} \left[\frac{[2-2\mu_1+mh+L/2+0.5K(3-4\mu_1)(1+2mh)]e^{-mh} - [KL(2-2\mu_1-mh)+L/2+0.5K(3-4\mu_1)(1-2mh)]e^{-3mh}}{1-(L+K+4Km^2h^2)e^{-2mh} + KLe^{-4mh}} \right] \quad \text{式 (2.10.4)}$$

2.3.2 ケース2 (境界面が滑の場合)

第1層の表面 ($Z = -h$) においては

$$\sigma_z = -mJ_0(mr), \tau_{rz} = 0$$

である。

$$-mJ_0(mr)[A_1m^2e^{-mh} + B_1m^2e^{mh} - C_1m(1-2\mu_1 + mh)e^{-mh} + D_1m(1-2\mu_1-mh)e^{mh}] = -mJ_0(mr) \quad \text{式(2.11.1)}$$

$$mJ_1(mr)[A_1m^2e^{-mh} - B_1m^2e^{mh} + C_1m(2\mu_1-mh)e^{-mh} + D_1m(2\mu_1+mh)e^{mh}] = 0 \quad \text{式(2.11.2)}$$

境界面 ($Z = 0$) では

$$\sigma_{z1} = \sigma_{z2}, \omega_1 = \omega_2, \tau_{rz1} = \tau_{rz2} = 0, u_1 \neq u_2$$

である。

$$[A_1m^2 + B_1m^2 - (1-2\mu_1)C_1m + (1-2\mu_1)D_1m] = [B_2m^2 + (1-2\mu_2)D_2m] \quad \text{式(2.11.3)}$$

$$\frac{1+\mu_1}{E_1}[A_1m^2 - B_1m^2 - 2(1-2\mu_1)C_1m - 2(1-2\mu_1)D_1m] = \frac{1+\mu_2}{E_2}[-B_2m^2 - 2(1-2\mu_2)D_2m] \quad \text{式(2.11.4)}$$

$$\tau_{rz1} = 0 = [A_1m^2 - B_1m^2 + 2\mu_1C_1m + 2\mu_1D_1m] \\ \tau_{rz2} = 0 = [-B_2m^2 + 2\mu_2D_2m] \quad \text{式(2.11.5)}$$

係数 A_1, B_1, C_1, D_1 は式 (2.12) のように決定さ

れる。

$$A_1m = [C_1(F-2\mu_1) - D_1(1-F)]$$

$$B_1m = [C_1F - D_1(1-2\mu_1-F)]$$

$$C_1m = [(1-2\mu_1-F)e^{mh} + (2\mu_1+mh)e^{mh} - (1-F)e^{-mh}] \frac{1}{\Delta}$$

$$D_1m = [Fe^{mh} - (F-2\mu_1)e^{-mh} - (2\mu_1-mh)e^{-mh}] \frac{1}{\Delta} \quad \text{式(2.12)}$$

$$\Delta = [Fe^{2mh} + (2F-1)2mh - (1+2m^2h^2) + (1-F)e^{-2mh}]$$

$$n = \frac{E_2}{E_1} \left[\frac{1+\mu_1}{1+\mu_2} \right], F = \left[\frac{(1-\mu_2) + n(1-\mu_1)}{2(1-\mu_2)} \right]$$

第1層の表面での垂直変位は式 (2.13) のように表わされる。

また、第1層と第2層の間での応力および変位は式 (2.14) のように表わされる。

3. 2層系の変位

3.1 厳密解

バーミスタ^{3,5)}は2層系の表面変位を容易に求めるための変位係数 (F_w) のグラフ (図-2) を作成してい

$$\omega = J_0(mr) \frac{2(1-\mu_1^2)}{E_1} \left[\frac{F - [2F - 1 - 2nh]e^{-2mh} - (1-F)e^{-4mh}}{F + [(2F-1)2mh - (1+2m^2h^2)]e^{-2mh} + (1-F)e^{-4mh}} \right] \quad \text{式(2.13)}$$

$$\sigma_z = -mJ_0(mr)[2F-1] \left[\frac{[1+mh]e^{-mh} - (1-mh)e^{-3mh}}{F + [(2F-1)2mh - (1+2m^2h^2)]e^{-2mh} + (1-F)e^{-4mh}} \right] \quad \text{式(2.14.1)}$$

$$\sigma_{r1} = mJ_0(mr) \left[\frac{[(1+mh) - 2F(1-mh)]e^{-mh} - [(1+3mh) - 2F(1+mh)]e^{-3mh}}{F + [(2F-1)2mh - (1+2m^2h^2)]e^{-2mh} + (1-F)e^{-4mh}} \right]$$

$$- \frac{mJ_1(mr)}{mr} \left[\frac{[(1-2\mu_1)(1+mh) - 2F(1-2\mu_1-mh)]e^{-mh} - [(1-2\mu_1)(1+mh) + 2mh - 2F(1-2\mu_1+mh)]e^{-3mh}}{F + [(2F-1)2mh - (1+2m^2h^2)]e^{-2mh} + (1-F)e^{-4mh}} \right] \quad \text{式(2.14.2)}$$

$$\omega = J_0(mr) \frac{2(1-\mu_1^2)}{E_1} \left[\frac{(1+mh)e^{-mh} - (1-mh)e^{-3mh}}{F + [(2F-1)2mh - (1+2m^2h^2)]e^{-2mh} + (1-F)e^{-4mh}} \right] \quad \text{式(2.14.3)}$$

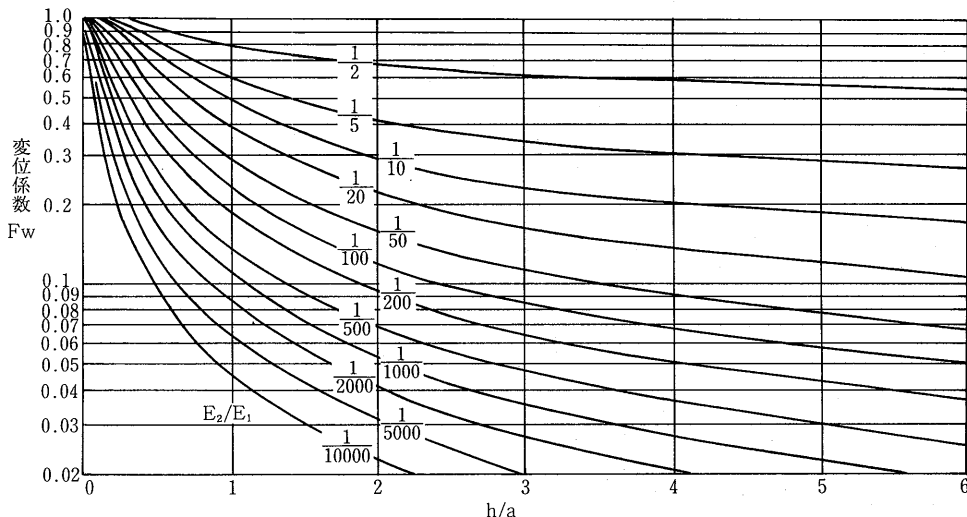


図-2 2層系の変位係数 ($\mu_1 = \mu_2 = 0.5$)⁵⁾

る。2層系の表面での変位は上下層の弾性係数の比(E_1/E_2)、接地半径と第1層の厚さの比(h/a)から読み取った変位係数を式(3.1)に代入して求められる。

$$\omega = \frac{1.5pa}{E_2} \cdot Fw \quad \text{式(3.1)}$$

ここに、 ω : 表面変位

p : 接地圧

a : 接地半径

E_2 : 第2層の弾性係数

Fw : 変位係数

図-2は第1層、第2層のポアソン比が0.5の場合であるが、その後バーミスタは1962年の論文⁶⁾で第1層のポアソン比を0.2、第2層のポアソン比を0.4にした場合の変位係数のグラフ(図-3)を公表している。また、第1層、第2層のポアソン比を0.35にした場合の変位係数のグラフはde Barros⁷⁾によって作られている。

3.2 近似計算

(1) バーバーの方法^{8,12)}

バーバーは第1層に厚さ h をもった2層弾性体と、その第1層(厚さ Z)を第2層と同じ土で置き換えた弾性体とは、力学的に同じであると考え、 Z を式(3.2)で表わした。

$$Z = h \left\{ \frac{E_1(1-\mu_2^2)}{E_2(1-\mu_1^2)} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \text{式(3.2)}$$

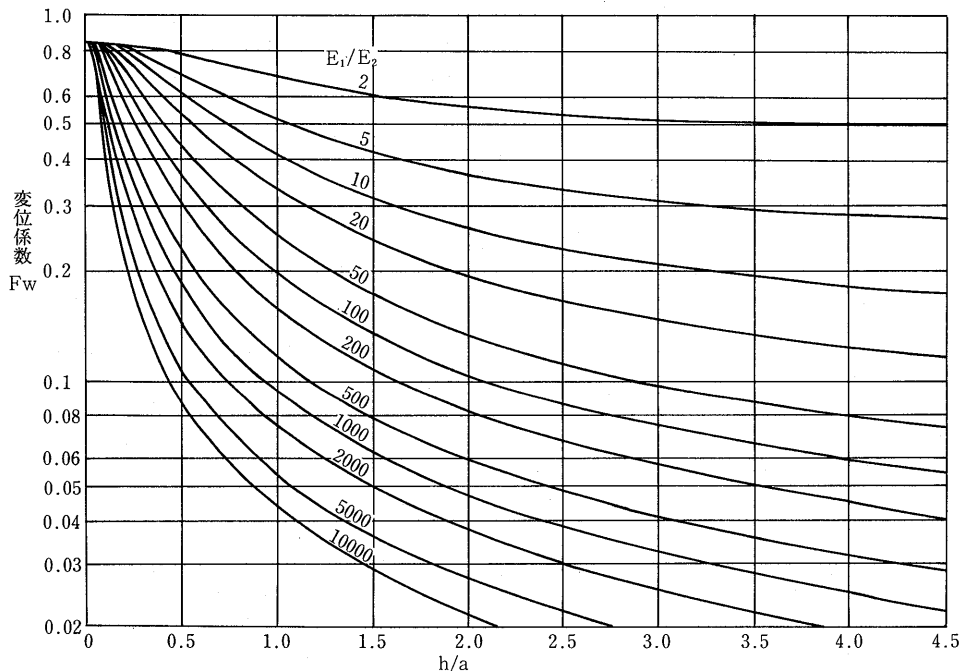


図-3 2層系の変位係数 ($\mu_1=0.2, \mu_2=0.4$)⁶⁾

$\mu_1=\mu_2=0.5$ とすれば

$$Z = h \left\{ \frac{E_1}{E_2} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \text{式(3.3)}$$

となる。

一様弾性地盤内で半径 a の円形面上に等分布荷重が載荷されたとき、深さ Z_1 における中心軸での変位量(ω_{Z_1})は

$$\omega_{Z_1} = \frac{2(1-\mu^2)pa}{E \left\{ 1 + \left(\frac{Z_1}{a} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad \text{式(3.4)}$$

となり、 $\mu=0.5$ とすれば、

$$\omega_{Z_1} = \frac{1.5pa}{E \left\{ 1 + \left(\frac{Z_1}{a} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad \text{式(3.5)}$$

となる。

図-4の深さ Z (第1層と第2層の境界面)におけ

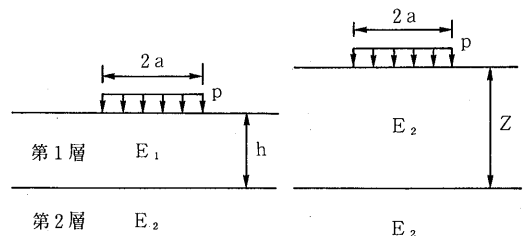


図-4 バーバーの等値厚の考え方

る変位量 (ωz) は $\mu_1 = \mu_2 = 0.5$ とした場合、式 (3.3) を代入すれば、

$$\omega_z = \frac{1.5pa}{E_2 \left\{ 1 + \left(\frac{Z}{a} \right)^2 \right\}^{1/2}} = \frac{1.5pa}{E_2 \left\{ 1 + \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} \quad \text{式 (3.6)}$$

となる。また、第1層の表面における変位量 (ω_1) は

$$\omega_1 = \frac{E_2}{E_1} \left[\frac{1.5pa}{E_2} - \omega_z \right] \quad \text{式 (3.7)}$$

となるので、式 (3.6) を代入して、

$$\omega_1 = \frac{1.5pa}{E_1} \left[1 - \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} \right] \quad \text{式 (3.8)}$$

となる。

2層系の表面変位量 (ω) は式 (3.9) となる。よって、変位係数 (Fw) は式 (3.10) で表わされる。

(2) ウデマルクの方法^{9,13)}

ウデマルクはバーバーの変位係数とバーミスターの変位係数がよく一致するようにバーバーの近似計算の仮定に n_1 と n_2 の2つの修正係数を用いた。

式 (3.3) に修正係数 n_1 を取り入れると、

$$Z = n_1 h \left\{ \frac{E_1}{E_2} \right\}^{1/3} \quad \text{式 (3.11)}$$

となり、第1層と第2層の境界面での変位量 (ωz) は

$$\omega_z = \frac{1.5pa}{E_2 \left\{ 1 + n_1^2 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} \quad \text{式 (3.12)}$$

となる。また、式 (3.5) に修正係数 n_2 を取り入れ、第1層の表面における変位量 (ω_1) は式 (3.13) となる。よって、2層系の表面変位量 (ω) は式 (3.14) となる。ここで、ウデマルクはバーミスターの変位係数と比較した結果、 $n_1 = n_2 = 0.9$ が最も適切な修正係数であることを見出した。よって、変位係数 (Fw) は

$$Fw = \frac{1}{\left\{ 1 + 0.9^2 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} + \frac{E_2}{E_1} \left[1 - \frac{1}{\left\{ 1 + 0.9^2 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right\}^{1/2}} \right] \quad \text{式 (3.15)}$$

$$\omega = \omega_z + \omega_1 = \frac{1.5pa}{E_2} \left[\frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} + \frac{E_2}{E_1} \left[1 - \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} \right] \right] \quad \text{式 (3.9)}$$

$$Fw = \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} + \frac{E_2}{E_1} \left[1 - \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} \right] \quad \text{式 (3.10)}$$

$$\omega_1 = \frac{E_2}{E_1} \left[\frac{1.5pa}{E_2} - \frac{1.5pa}{E_2 \left\{ 1 + n_2^2 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right\}^{1/2}} \right] = \frac{1.5pa}{E_1} \left[1 - \frac{1}{\left\{ 1 + n_2^2 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right\}^{1/2}} \right] \quad \text{式 (3.13)}$$

$$\omega = \omega_z + \omega_1 = \frac{1.5pa}{E_2} \left[\frac{1}{\left\{ 1 + n_1^2 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \right\}^{1/2}} + \frac{E_2}{E_1} \left[1 - \frac{1}{\left\{ 1 + n_2^2 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right\}^{1/2}} \right] \right] \quad \text{式 (3.14)}$$

で表わされる。

(3) マイヤホフの方法^{10,13)}

マイヤホフは板理論に基づいて変位式を導いている。

$$\omega = 0.192 \frac{P_0 l_0^2}{D} \quad \text{式(3.16)}$$

ここに、

P_0 : 集中荷重

E_1, μ_1 : 板の弾性係数, ポアソン比

E_2, μ_2 : 路床土の弾性係数, ポアソン比

h : 板の厚さ

$$D = \frac{E_1 h^3}{12(1-\mu_1^2)}$$

$$l_0 = \left\{ \frac{2D(1-\mu_2^2)}{E_2} \right\}^{1/3}$$

$$= \left\{ \frac{(1-\mu_2^2)E_1 h^3}{6(1-\mu_1^2)E_2} \right\}^{1/3}$$

$\mu_1 = \mu_2 = 0.5$ とし、載荷円の半径を a 、荷重強度を p とすれば、

$$\omega = \frac{0.52 P_0}{E_2 \times \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{1/3} \times h} = \frac{1.63 a^2 p}{E_2 \times \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{1/3} \times h}$$

$$= \frac{1.5 p a}{E_2} \frac{1}{0.92 \left(\frac{h}{a} \right) \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{1/3}} \quad \text{式(3.17)}$$

となる。よって、変位係数は (Fw) は

$$Fw = \frac{1}{0.92 \left(\frac{h}{a} \right) \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{1/3}} \quad \text{式(3.18)}$$

で表わされる。

(4) ナシメントの方法^{11,14)}

2層系において、円形等分布荷重の中心軸上の変位量 (ω_2) は、

$$\omega_2 = \frac{2(1-\mu_2^2)p_1 a_1}{E_2} \quad \text{式(3.19)}$$

で表わされる。 $\pi a^2 p = \pi a_1^2 p_1$ より

$$\omega_2 = \frac{2(1-\mu_2^2)p a^2}{E_2 a_1} \quad \text{式(3.20)}$$

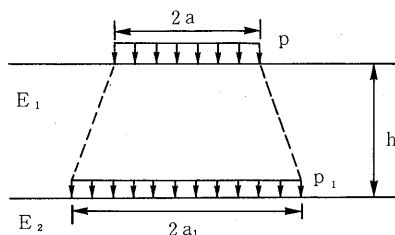


図-5 ナシメントらの荷重分散の考え方

となる。

ここで、 $2a_1 = 2a + Kh$ で表わすと

$$\omega_2 = \frac{2(1-\mu_2^2)p a^2}{E_2(a + \frac{Kh}{2})} = \frac{(1-\mu_2^2)p}{E_2} \frac{2a}{1 + \left(\frac{Kh}{2a} \right)} \quad \text{式(3.21)}$$

となる。なお、 K は荷重分散係数と呼ばれ、パーミスタ理論に基づき、 $\mu_1 = \mu_2 = 0.5$ のときの上下層の弾性係数比から求めたものである。表-2に荷重分散係数を示す。

表-2 上下2層の弾性係数比と荷重分散係数 (K) との比較¹¹⁾

上下2層の弾性係数比	荷重分散係数	上下2層の弾性係数比	荷重分散係数
1	0.0	100	6.8
2	0.4	200	9.3
3	0.6	300	10.9
4	0.9	400	12.3
5	1.2	500	13.6
6	1.4	600	14.5
7	1.6	700	15.5
8	1.8	800	16.3
9	1.9	900	17.0
10	2.0	1000	17.7
20	3.1	2000	23.7
30	3.8	3000	27.2
40	4.4	4000	30.0
50	4.9	5000	32.6
60	5.5	6000	35.8
70	5.8	7000	38.0
80	6.3	8000	40.0
90	6.6	9000	42.0
		10000	44.0

図-5の2層弾性体を1層とみなしたときの等値弾性係数を E_s とすれば、円形等分布荷重の中心軸上の変位量 (ω) は

$$\omega = \frac{2(1-\mu_2^2)p a}{E_s} \quad \text{式(3.22)}$$

となる。

1層系の E_2 層に荷重強度 p 、直径 $2a$ の円形等分布荷重を直接載荷したとすれば、その中心軸上の変位量 (ω_1) は、

$$\omega = \frac{2(1-\mu_2^2)p a}{E_2} \quad \text{式(3.23)}$$

となる。よって、沈下係数 (Fw) は

$$Fw = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{1}{1 + \left(\frac{Kh}{2a} \right)} \quad \text{式(3.24)}$$

となる。

3.3 変位係数の比較

ここでは $\mu_1=\mu_2=0.5$ におけるバーミスタの変位係数と各研究者の変位係数の比較を行ってみた。弾性係数の比(E_1/E_2)、第1層の厚さと接地半径の比(h/a)を次のように変化させて計算した。

$$E_1/E_2 : 10, 50, 100, 500, 1000$$

$$h/a : 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6$$

なお、バーミスタの変位係数は図-2から読み取ったものを用いた。図-6~10に示すように、近似計算の変位係数はマイヤホフの係数を除けば、厳密解のバーミスタの係数とほぼ一致することがわかった。また、 E_1/E_2 の比が高いほど近似度がよいことが認められる。限られた計算結果であるが、変位係数の中でウデマルクの係数が厳密解に一番近い値を示している。表-3に変位係数を比較した一例を示す。

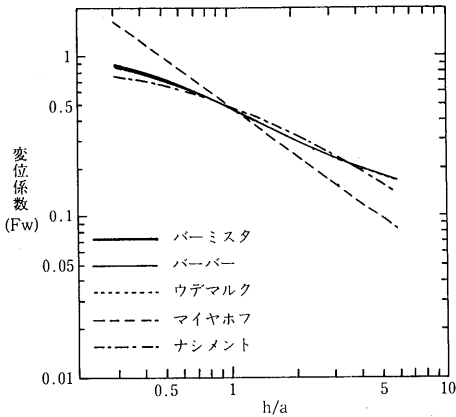


図-6 変位係数の比較 ($E_1/E_2=10$)

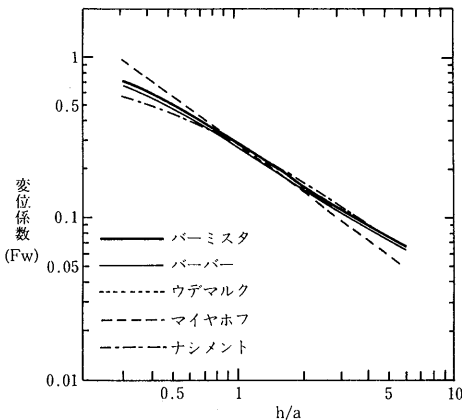


図-7 変位係数の比較 ($E_1/E_2=50$)

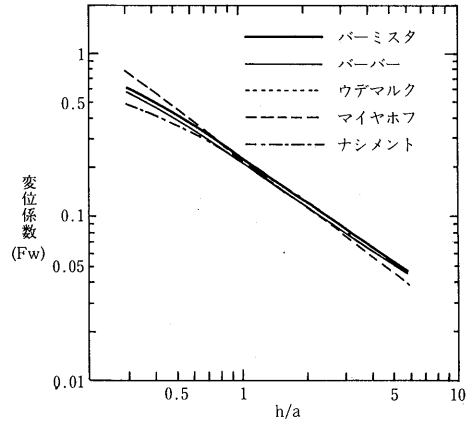


図-8 変位係数の比較 ($E_1/E_2=100$)

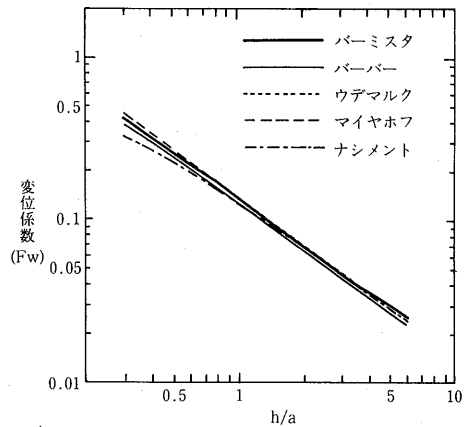


図-9 変位係数の比較 ($E_1/E_2=500$)

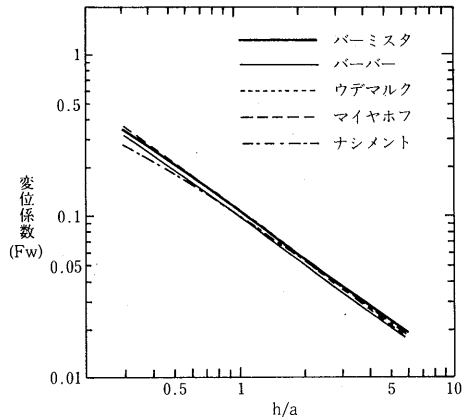


図-10 変位係数の比較 ($E_1/E_2=1000$)

3.4 弾性理論プログラムによる変位との比較

ここでは、弾性理論プログラムによって計算した舗装体表面の変位とバーミスタの変位係数によって計算した変位を比較してみた。なお、弾性理論プログラムはBISARを用いた。

表-3 変位係数の比較

E_1/E_2	h/a	バーミスタ	バーバー	ウデマルク	マイヤホフ	ナシメント
10	1	0.490	0.479	0.484	0.505	0.500
10	5	0.185	0.183	0.181	0.101	0.167
10	0.5	0.740	0.712	0.727	1.009	0.667
50	1	0.295	0.277	0.294	0.295	0.290
50	5	0.0760	0.0731	0.0759	0.0590	0.0755
50	0.5	0.530	0.488	0.518	0.590	0.449
100	1	0.235	0.219	0.235	0.234	0.227
100	5	0.0570	0.0526	0.0557	0.0468	0.0556
100	0.5	0.430	0.401	0.433	0.468	0.370
500	1	0.135	0.127	0.139	0.137	0.128
500	5	0.0300	0.0271	0.0296	0.0274	0.0286
500	0.5	0.260	0.246	0.270	0.274	0.227
1000	1	0.110	0.100	0.110	0.109	0.102
1000	5	0.0225	0.0210	0.0230	0.0217	0.0221
1000	0.5	0.215	0.197	0.217	0.217	0.184

計算の条件は次に示すとおりである。

層間条件は「粗」で計算

$h/a = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1, 1.5, 2, 3,$
4, 5, 6

$a = 15\text{cm}$

$P = 7\text{kg/cm}^2$

$\mu_1 = \mu_2 = 0.5$

(1) E_1 を一定にした場合

$E_1 = 60000\text{kg/cm}^2$

$E_2 = 60, 120, 600, 1200, 6000\text{kg/cm}^2$

$E_1/E_2 = 10, 50, 100, 500, 1000$

(2) E_2 を一定にした場合

$E_1 = 1000, 5000, 10000, 50000, 100000\text{kg/cm}^2$

$E_2 = 100\text{kg/cm}^2$

$E_1/E_2 = 10, 50, 100, 500, 1000$

図-11, 12は計算結果を示したものである。図から、バーミスタの表面変位とBISARによる表面変位は、バ

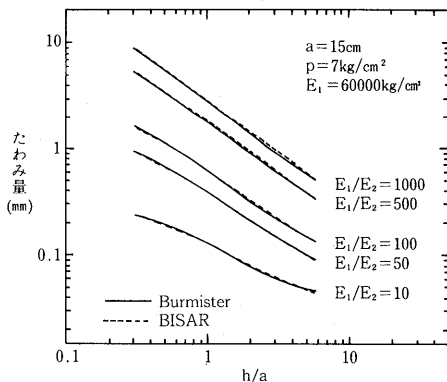


図-11 BurmisterとBISARのたわみの比較(E_1 :一定)

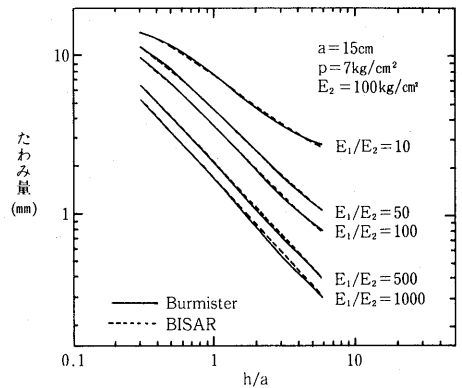


図-12 BurmisterとBISARのたわみの比較(E_2 :一定)

ーミスタの変位係数の読み取り誤差があるにもかかわらず、ほぼ一致していることが認められる。2層系の表面変位は弾性理論プログラムを使わずに、バーミスタの変位係数を用いることによって正確に求めることができる。

4. おわりに

本報告は2層弾性体理論の概略を記述し、表面変位の近似計算方法との比較および弾性理論プログラムによる表面変位との比較を行ったものである。

2層系弾性体の応力、ひずみについては、あらためて報告することにした。

参考文献

- 1) 松村孫治: "弾性率の深さとともに変化する地盤における基礎の沈下", 土木学会誌, Vol.17, No.11, p.1-19, 1931年

- 2) Marguerre, K. : "Spannungsverteilung und Wellenausbreitung in der dicken Platte", Ing. Archiv., Vol.4, 1933
- 3) Burmister, D. M. : "The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications to the Design of Airport Runways", Proc. Highway Research Board, Vol.23, p.126-148, 1943
- 4) 舗装学会 : "舗装機能の評価法", 1992年
- 5) Burmister, D.M. : "The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems", Journal of Applied Physics, Vol. 16, p. 89-94, 126-128, 296-302, 1945
- 6) Burmister, D. M. : "Applications of Layered System Concepts and Principles to Interpretations and Evaluations of Asphalt Pavement Performances and to Design Construction", 1st Inter. Conf. Structural Design of Asphalt Pavements, p.441-453, 1962
- 7) de Barros, S. Thenn : "Application of Three-layer System Method to Evaluation of Soil-Cement Bases", HRR No.145, p.83-108, 1966
- 8) Palmer, L. A. and Barber, E. S. : "Soil Displacement under a Circular Loaded Area", Proc. HRB, Vol.20, p.279-286, 1940
- 9) Odemark, N. : "Investigations as to the Elastic Properties of Soils and Design of Pavements according to the Theory of Elasticity", Statens Vaginstitut, Meddelande, No.77, 1949
- 10) Meyerhof, G. G. : "Preliminary Analysis of Benkelman Beam Deflections and Flexible Pavement Design", Proc. 43rd Annual Conv. Canadian Good Road Assoc., p.390-401, 1962
- 11) Nascimento, U., Seguro, J. M., da Costa, E. and Pinela, S. : "A Method of Designing Pavements for Road and Airports", Proc. 5th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol.2, p.283-288, 1961
- 12) 植下協 : "舗装の力学(4)", 舗装, Vol.8, No.2, p. 32-35, 1973年
- 13) 植下協 : "舗装の力学(5)", 舗装, Vol.8, No.3, p. 35-38, 1973年
- 14) 植下協 : "舗装構造の力学", 道路建設, 1968年1月, p.59-68

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

- | | |
|--------------|-----------------------|
| 1. 適用範囲 | 5-1-1. 粘度計校正用標準液による方法 |
| 2. 試験方法の概要 | 5-1-2. 標準減圧毛管粘度計による方法 |
| 3. 用語の意味 | 6. 試料の準備 |
| 3-1. 絶対粘度 | 7. 操作 |
| 3-2. ニュートン流体 | 8. 計算および報告 |
| 4. 装置 | 9. 精度 |
| 4-1. 粘度計 | 9-1. くり返し精度 |
| 4-2. 温度計 | 9-2. 再現性 |
| 4-3. 恒温そう | |
| 4-4. 減圧装置 | |
| 4-5. 秒時計 | |
| 5. 校正 | |
| 5-1. 粘度計の校正 | |

◆ ◆
実費頒価 400円

申込先 社団法人 日本アスファルト協会
東京都港区虎ノ門2丁目6番7号
〒105 電話 (03)502-3956

長寿命化舗装

道路技術5ヵ年計画(平成5年6月,建設省道路局)では平成5年度からスタートした第11次道路整備5ヵ年計画(総額76兆円)を技術的にサポートする技術テーマについて開発と導入計画を示した。技術開発の一つに「一層効果的で無駄のない道路整備,維持管理の追求」があり,「維持管理・更新の安全性向上,省力化・低廉化等の高度化を図る技術」の中に「長寿命化舗装」の計画が示されている。ここでは「舗装の設計期間を従来より長く設計することによって,初期の建設費は高くても維持管理費を軽減し,かつこれらの工事にもなう発生材の削減,工事渋滞の軽減を目的とした舗装」を長寿命化舗装として位置付けている。

研究開発は行政・大学・民間3者の協力によって推進する事になっているが,長寿命化舗装の検討の一つとして(社)日本道路協会アスファルト舗装小委員会の設計法分科会では建設省土木研究所を中心に試験舗装による調査や諸外国のパフォーマンスモデルの検討をスタートしている。

一方,(社)日本道路建設業協会技術振興委員会アスファルト舗装部会では長寿命化舗装の開発コンセプトとして以下の4点を挙げ,

- ①可能な限りメンテナンスフリーに近い舗装構造とする。
- ②ライフサイクルコストは従来工法の2/3に低減できる。
- ③車両総重量25トン対応が可能である。
- ④環境保全に寄与する工法である。

イ)イニシャルコスト比較(直接工事費の分析),ロ)構造解析(多層弾性理論解析),ハ)省資源・省エネルギーの視点の分析,ニ)ライフサイクルコスト比較,という主要な4つの見方で,長寿命化舗装のメリットの検討を行い,以下の傾向を明らかにしている。尚,分析に用いた舗装のケースは設計CBR=3%の路床土を対象に改良する舗装工法と材料配合として表-1,2の値を用いている。

1) イニシャルコスト (図-1 参照)

- ・路床を安定処理する場合は,設計CBR=6%程度にする方がコストがミニマムになり有利である。

- ・路床と路盤の両方を安定処理する場合は設計期間10年ではCBR=12%,同20年ではCBR=20%に路床構築する方がメリットがある。
- ・フルデプス舗装では設計期間が10年,20年のいずれもCBR=20%に路床構築するとメリットがある。
- ・連続鉄筋コンクリート(CRC)を用いたコンポジット舗装は安定処理する路床の厚さとセメント量の影響からCBR=6%がメリットがある。

2) 多層弾性理論

- ・アスファルトコンクリート層の弾性係数を大きくするよりは路床を安定処理する方が舗装表面のたわみ量を小さくできるので,路床構築のメリットがある。
- ・安定処理は路床と路盤の両方を安定処理する方が表面たわみ量が小さく,季節変化も小さくできるので有利である。
- ・表面たわみ量,アスコン層下縁の応力が小さく安定しているのはケース3で,長寿命化舗装は構造的に有利である。
- ・路床・路盤を安定処理した T_A の大きい舗装は,車両の交通振動の低減工法として効果がうかがえる。

3) 省資源・省エネルギー

- ・路床を安定処理する工法は材料使用量(トン/100 m^2)を減ずるので,省資源のメリットがある。
- ・路盤の安定処理は材料使用量を大巾に減じない。
- ・フルデプス工法は在来工法より材料使用量を70%程度のレベルにし,低減効果はある。
- ・CRCによるコンポジット舗装工法は材料使用量の減少に影響しない。
- ・路床の安定処理は,セメントのエネルギー原単位が大きいので省エネルギーにはならない。また路盤を安定処理すると,路床安定処理と類似の傾向となる。
- ・フルデプス舗装もアスファルトのエネルギー原単位が大きいので,断面を小さくしても省エネルギーにはならない。
- ・CRCを用いたコンポジット舗装は消費エネルギーは大きくなる。
- ・設計期間10年を20年にしても消費エネルギーはほ

表－１ 検討した舗装構造¹⁾

(単位 cm)

ケース (設計年数)	材料・工法			表 層	基 盤	連続鉄筋 コンクリ ート	アスフ アルト 安定処 理	セメント 安定処理 qu =30	セメント 安定処理 qu =10	粒 調 砕 石	クラッシ ャ ラ ン	路 床 安 定 処 理
	CBR	TA	H									
ケース 1 (10年)	3	45.3	100	5	10	—	10	—	—	35	40	—
	6	37.0	75	5	10	—	10	—	—	15	35	30
	12	30.2	58	5	10	—	8	—	—	—	35	70
	20	26.4	43	5	10	—	8	—	—	—	20	100
ケース 2 (10年)	3	45.9	84	5	10	—	9	30	30	—	—	—
	6	37.0	65	5	10	—	9	15	26	—	—	30
	12	30.0	38	5	10	—	8	15	—	—	—	70
	20	27.0	33	5	10	—	8	—	—	—	10	100
ケース 3 (20年)	3	51.0	90	5	10	—	15	30	30	—	—	—
	6	41.5	73	5	10	—	8	20	30	—	—	30
	12	34.2	56	5	10	—	8	15	18	—	—	70
	20	29.1	37	5	10	—	8	14	—	—	—	100
ケース 4 (10年)	6	37.4	43	5	10	—	28	—	—	—	—	30
	12	30.2	34	5	10	—	19	—	—	—	—	70
	20	26.2	29	5	10	—	16	—	—	—	—	100
ケース 5 (20年)	6	41.4	48	5	10	—	33	—	—	—	—	30
	12	34.2	39	5	10	—	24	—	—	—	—	70
	20	29.4	34	5	10	—	18	—	—	—	—	100
ケース 6 (20年)	3	—	69	5	—	25	—	20	—	25	—	—
	6	—	42	5	—	25	—	18	—	—	—	30
	12	—	37	5	—	25	—	13	—	—	—	70
	20	—	34	5	—	25	—	10	—	—	—	100

表－２ 配合率¹⁾

(単位 %)

材 料	表 層	基 層	瀝青安定処理	粒調砕石	クラッシャー ラン	セメント (上層) 安 定 処 理	セメント (下層) 安 定 処 理	セ メ ン ト コンクリート
アスファルト	6.0	5.0	4.5	—	—	—	—	—
フィラー	6.0	5.0	—	—	—	—	—	—
砕 石	51.0	57.0	77.5	80.0	100	78.0	97.0	51.2
砂	37.0	33.0	18.0	20.0	—	18.0	—	31.4
セ メ ン ト	—	—	—	—	—	4.0	3.0	14.8

注) 路床安定処理はセメントを 3.0%, 4.0%, 4.5%添加

とんど変わらないので長寿命化舗装の方がメリッ
トが高い。

4) ライフサイクルコスト

表－３に示す条件を前提に解析期間を40年としたコ
スト比較を行った。尚、舗装補修にともなって発生す
る道路利用者の便益損失は具体的な試算が難しいこと
から仮の指標として5cm切削オーバーレイ工事の費用

をX (円/回)、10cm切削オーバーレイは1.8X、A断
面の打換えは4.4X、B断面の打換えは5.2Xと倍率を
仮定して計算している。

- ・A断面(設計期間10年、CBR=12%)とB断面(設
計期間20年、CBR=12%)の比較ではAの方がB
より1.1～1.2倍割高となる。
- ・A断面とC断面(設計期間40年、CBR=12%)を
比べると、Aの方がCより2倍程度割高となる。

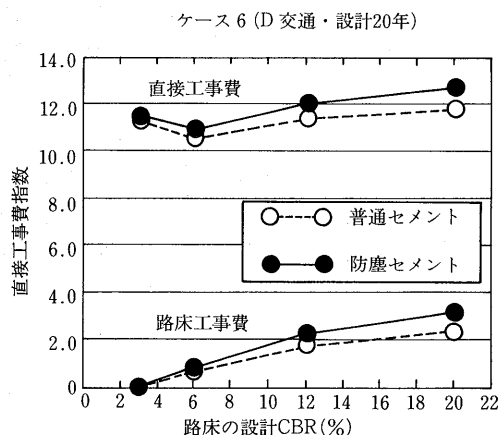
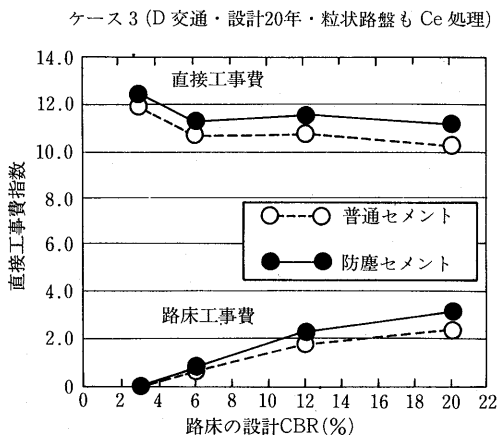
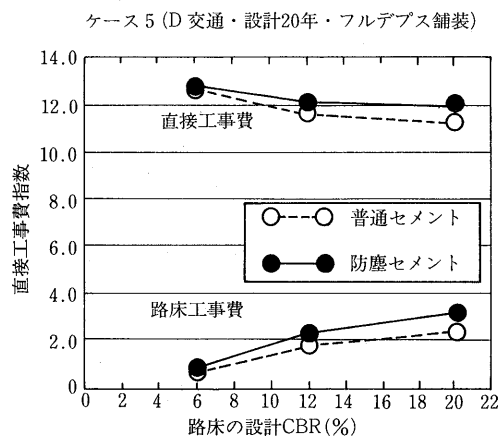
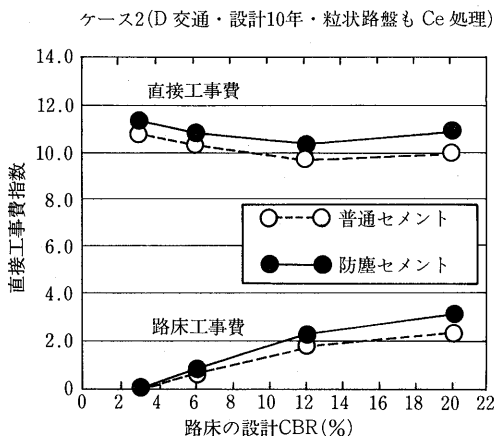
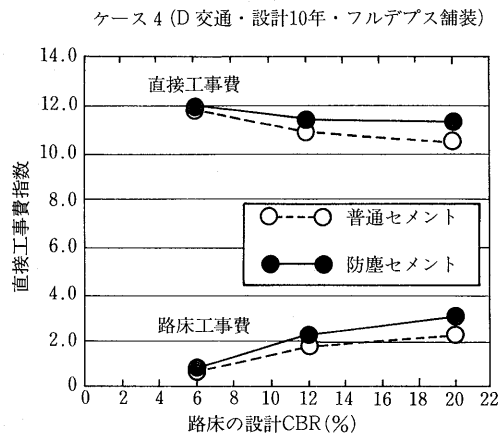
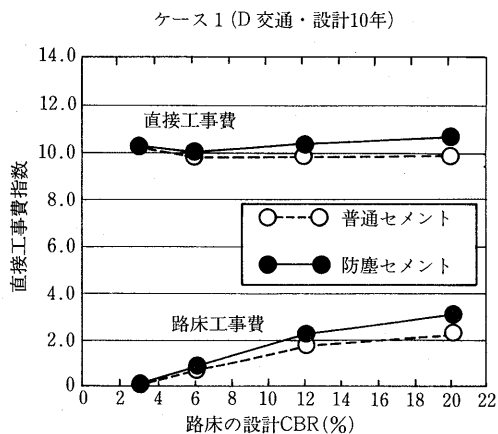


図-1 直接工事費¹⁾

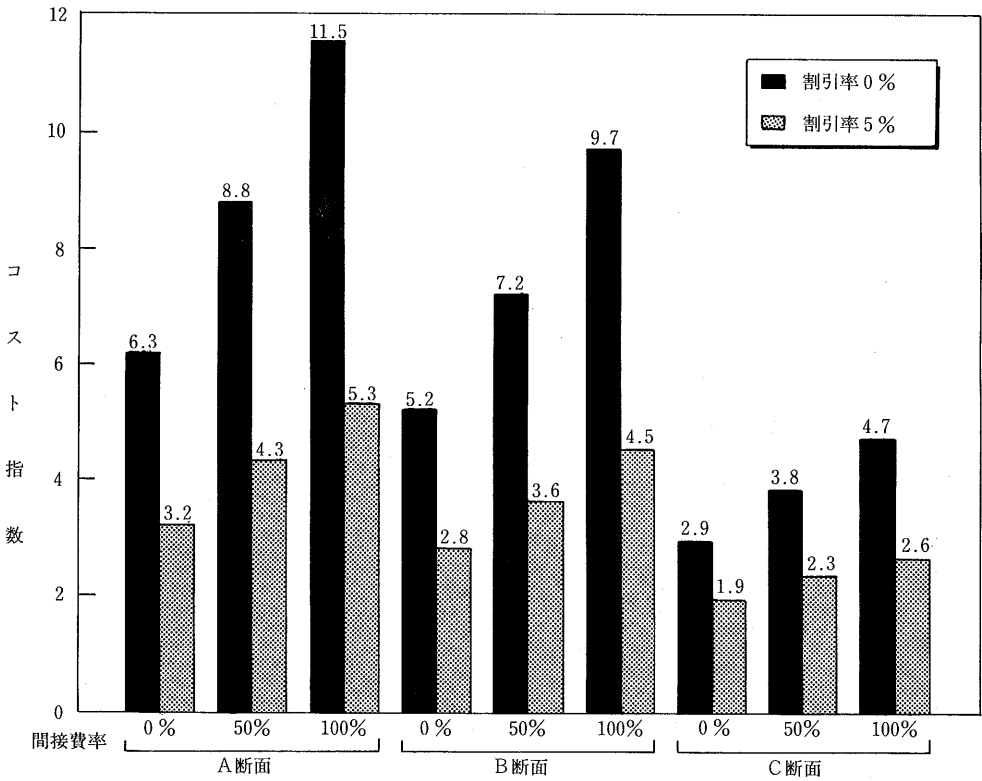
・間接費用のカウン트의仕方がライフサイクルコストの評価では重要となるが、Cの方が相対的に有利である。

総合的に長寿命化舗装は在来工法よりメリットが大

きいので検討に値する舗装工法といえる。ただし、適用にあたっては地中埋設物や排水施設の整備等関連する事柄が残されているといえる。

表－3 各断面の修繕サイクル¹⁾

断面	設計年数	修 繕 サ イ ク ル
A	10年	供用後5年経過した時点で表層・基層（5 cm＋5 cm）の切削・オーバーレイを行なう。 その後5年経過した時点（供用後10年）で改良路床を除いた路盤より上部の舗装を打換える。 このサイクルを40年までくり返すものとする。
B	20年	供用後5年、10年、15年経過した時点（5年ごと）に、表層・基層（5 cm＋5 cm）の切削・オーバーレイを行なう。 15年経過した時点から5年後（供用後20年）に改良路床を除いた路盤より上部の舗装を打換える。 このサイクルを40年までくり返すものとする。
C	40年 コンボジット	供用後5年、10年、15年・・・35年経過した時点（5年）で、表層（5 cm）の切削・オーバーレイを行なう。 表層下部の連続鉄筋コンクリート以下の舗装は40年供用できるものとする。



図－2 ライフサイクルコストの試算¹⁾

— 参考文献 —

1) 重交通対応舗装の構造・施工に関する検討 (案),
平成6年, (社)日本道路建設業協会・技術振興委員

会・アスファルト舗装部会
〔小島逸平 (株)ガイアートクマガイ技術研究所〕

アスファルト試験器の自動化

景気回復宣言にもかかわらず、我が舗装業界も例外ではなくリストラ（事業再構築）が一段と進行している。こうした中で、アスファルトや合材に関する品質管理や研究開発の分野でも人員の削減や試験の効率化が叫ばれており、関係者はその対応に創意工夫を凝らして奮戦していることと思われる。

そこでこの度の執筆テーマは、熟練を問わず如何なる人が試験を実施しても精度の高い結果が得られ、しかも試験が終了するまで絶えず監視を必要としない、自動化されているアスファルト試験器について紹介してみよう。

1. 針入度試験（JIS K 2207準拠）

- ①目的：アスファルトのコンシステンシーを表す指標の一つである針入度の測定を行う。
- ②方法：25±0.1℃に保ったアスファルト試料の中に、おもりを含めた質量50gの針が自由落下で5秒間に貫入する距離を0.1mm単位で読む。
- ③問題点：測定時間はストップウォッチを用いて5秒間とするが、そのコントロールを厳密に行うのに熟練を要する。
- ④自動化内容：針が自由落下を開始するボタンを押すだけで、5秒後には自動的に自由落下が止まる仕掛けになっている。
- ⑤自動化によるメリット：高齢化により反応時間及び視力が衰えがちであっても精度良く測定できる。

2. 軟化点試験（JIS K 2207準拠）

- ①目的：アスファルトのコンシステンシーを表す指標の一つである軟化点を測定する。
- ②方法：試料を入れたリングをピーカー中の環台にセットし、その上に鋼球を乗せる。加熱浴により湿度上昇速度を常に5±0.5℃/minの割合で昇温していくと、試料が徐々に軟化して鋼球が下がり始め最後には環台の底面が着く。その時の温度を0.1℃単位で読む。
- ③問題点：ブンゼンバーナーを用いてピーカー中の

水を加熱浴させるが、その時の昇温速度を常に5±0.5℃/minに保つには、可成りの熟練と終了までに絶えず監視を必要とする。

- ④自動化内容：温度上昇に伴い試料と鋼球が落下して底板に触れるが、その直前に光学検知管が自動的に感知し、測定温度をプリントアウトする。
- ⑤自動化によるメリット：試料の準備後に所定の設定を行ってからスタートボタンを押すだけで、それ以降の手順なしで誰もが高精度の測定値を出せる。また、測定結果がプリントアウトされるので、瞬時に読み取る必要がなく、知りたい時にデータが入手できる。

3. 引火点試験（JIS K 2265準拠）

- ①目的：アスファルトを加熱した時、発生する油蒸気に引火する温度（引火点）を測定する。
- ②方法：ガスバーナーまたは電熱器により試料カップの底を均一に加熱する。加熱スタート時は14~17℃/minの割合で試料の温度を高め、予想される引火点以下55℃の温度に達したら加熱を調節して、予想引火点28℃以下から引火点に達するまで5.5±0.5℃/minの割合で昇温する。
一方、予想引火点以下28℃の温度になったら、2℃上昇する毎に試験炎を試料のすぐ上を弧を描くように1秒間程度で通過させる。この動作を繰り返し、油蒸気に引火した時の温度を読む。
- ③問題点：試験の加熱速度を初期には14~17℃/min、途中から5.5±0.5℃/minと2段階に変化させる。この操作に加えて、試験炎を2℃上昇する毎に1回の操作を同時に行うことから、可成りの熟練を要求される。また、引火した時の判定が見分け難い。
- ④自動化内容：試料の予想引火点をあらかじめ機器本体にインプットしておくだけで、2段階ある昇温速度が自動的にコントロールされる。引火した時の判定は、引火炎が一瞬に発するイオン電流を感知管が自動キャッチ

することにより行われ、測定値はプリントアウトされるので必要時に取り出せる。

- ⑤自動化によるメリット：複雑な昇温速度のコントロールと、一定間隔で試験炎を動かす操作と、引火温度の測定とが全て自動的に行なわれるので、初心者でも精度の高い結果が得られる。また、試験中に監視の必要がないことから、スタートボタンを押した後は別の作業に取り掛かれる。

4. フラース脆化点試験 (JIS K 2207準拠)

- ①目的：アスファルトの低温における可撓性（変形し易さ）を示すもので、鋼板の表面に作製したアスファルト薄膜を曲げた時に亀裂の生じる最初の温度（フラース脆化点）を求める。

- ②方法：試料片を入れた試験管の中にドライアイス投入しながら温度を $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の割合で降下させていく。予期されるフラース脆化点より少なくとも 10°C 高い温度になった時に試験片の曲げ操作を始める。ハンドルは1秒間に1回転の早さで10回転まわし、曲げ装置を取り出すことなく試料面に生じる亀裂の有無を観察し、亀裂の入らない時は同じ早さで戻す。この操作を1分間毎に繰り返し、試料の皮膜に初めて亀裂が生じた時の温度を読む。

- ③問題点：一定割合での温度降下、一定速度でのハンドル回転、並びに亀裂発生時の判定等の複雑な一連操作を完璧にこなすには、極めて高い熟練を必要とする。亀裂発生時の判定方法としては、試験管が曇るので目視では困難な場合が多く、一般的には亀裂音を耳で聴きとる方法を採用している。この場合、発生音が極めて小さいことから聴診器を用

いることが多い。

- ④自動化内容：温度降下は、冷媒としてエタノールを用いて自動的に行われる。予期されるフラース脆化点より少なくとも 10°C 高い温度をあらかじめ機器本体にインプットしておき、その温度に達したら自動的に試験片が一定温度で曲げ操作を開始する。初めて亀裂が生じた時の温度は、マイクロホンによる亀裂音の感知で自動的に行われ、測定値はデジタル表示される。

- ⑤自動的によるメリット：同時進行を必要とする主たる複雑な3操作が全て自動化されているので、スタートボタンを押すだけで測定が行える。このため、試料片の作製には多少の熟練は要求されるものの、その後は初心者でも手間をかけずに精度の高い試験結果が出せる。

以上で述べたように自動化された試験器は、人手不足、熟練者不足の時代を反映して今後も一段と普及していくことと思われる。表-1は、自動試験器の価格目安と便利度を参考までに示したものである。これから分かるように、自動試験器の購入には多額の費用が必要となることから、使用頻度に応じた購入選択が極めて大切となる。

表-1 アスファルト試験器の価格目安一覧表

(UNIT: ¥)

項目 試験種類	手 動 型	自 動 型	便 利 度
針入度試験	約15~40万	約 60万	B
軟化点試験	約12万	約 150万	A
引火点試験	約20万	約 220万	A
フラース脆化点試験	約13万	約 280万	A

A：試験精度の向上と効率化に極めて有効なもの

B：あった方が好ましいもの

— 参考文献 —

舗装試験法便覧, 日本道路協会, 1988.

[板垣和芳 昭和シェル石油(株)中央研究所]

平成5年市販アスファルトの性状調査

(社)日本アスファルト協会技術委員会

1. はじめに

市販アスファルトの性状調査については、JISと(社)日本道路協会規格が、異なっていた昭和49年当時より品質の適合性に関して毎年実施してきており、本年度も市販アスファルトの品質動向を把握するために行った。

2. 調査方法

各製油所毎に各製品の長期間にわたる性状範囲を報告してもらうアンケート方式で行った。

- (1) 調査対象は、ストレート・ブローン・防水工事用アスファルトの全種類とする。
- (2) 製油所毎に、平成5年1月～12月に製造された当該製品の全ロットを対象に、試験項目毎の最大値、最小値、平均値を報告する。

3. データー提出機関

データーは、下記の各社製油所から本協会へ提出されている。(50音順)

出光興産	昭和四日市石油	日本石油
鹿島石油	西部石油	日本石油精製
九州石油	谷口石油精製	富士興産
極東石油工業	東燃	富士石油
興亜石油	東北石油	三菱石油
コスモ石油	新潟製油	ユニオン石油工業
三共油化工業	ジャパンエナジー	歴世礦油
昭和シェル石油		

4. 調査結果

表1～3の石油アスファルトの品質要約は、(1)ストレートアスファルト、(2)ブローンアスファルト、(3)防水工事用アスファルトに分類し、全アンケート報告値から品質項目毎に、最大および最小値を抽出してまとめたもので調査期間中に製造された各種アスファルトの品質項目毎の範囲を示したものである。

表4、5は、製油所毎の各品質項目における全ロットの平均値を、ストレートアスファルトのうち60～80、80～100の2種類について、取りまとめたものである。

5. あとがき

この性状調査は、前述のとおりアンケート方式による報告値を整理したものである。

報告内容は、

- (1) 各製油所の品質項目毎の試験値の最大値、最小値および全ロットの平均値であり、一連の性状が同一ロットの性状でないこと。
- (2) 調査対象期間が、一年間に渡ったこと。
- (3) 測定機関が異なっていること。

などの理由から、品質範囲に幅があるが、JISや(社)日本道路協会規格の品質規格内にあり、適合している。

表-1 石油アスファルト品質調査要約 (1) ストレートアスファルト

種 類 項 目	20 ~ 40		40 ~ 60		60 ~ 80		80 ~ 100		150 ~ 200	
	範 囲	J I S	範 囲	日本道路協会規格・J I S	範 囲	日本道路協会規格・J I S	範 囲	日本道路協会規格・J I S	範 囲	J I S
針 入 度 (25℃)	24~30	20を超え40以下	41~57	40を超え60以下	61~79	60を超え80以下	81~98	80を超え100以下	151~199	150を超え200以下
軟 化 点 ℃	56.0~59.0	50.0~65.0	48.4~53.5	47.0~55.0	45.5~52.0	44.0~52.0	43.0~49.0	42.0~50.0	36.5~42.5	30.0~48.0
伸 度 (15℃) cm			34以上	10以上	100以上	100以上	100以上	100以上	100以上	100以上
伸 度 (25℃) cm	100以上	50以上								
三塩化エタン可溶分Wt%	99.7~100.0	99.0以上	99.5~100.0	99.0以上	99.3~100.0	99.0以上	99.2~100.0	99.0以上	99.2~100.0	99.0以上
引 火 点 ℃	307~346	260以上	270~366	260以上	270~372	260以上	270~362	260以上	286~360	240以上
薄膜加熱 質量変化率 W t %			-0.04~0.12	0.6以下	-0.28~0.15	0.6以下	-0.36~0.15	0.6以下		
薄膜加熱 針入度残留率 %			58~78	58以上	56~79	55以上	51~75	50以上		
蒸発質量変化率W t %	-0.04~0.01	0.3以下							-0.04~0.03	1.0以下
蒸発後の針入度比 %			81~103	110以下	80~105	110以下	80~103	110以下		
密度 (15℃) g / cm ³	1.031~1.046	1.000以上	1.030~1.055	1.000以上	1.020~1.046	1.000以上	1.018~1.041	1.000以上	1.019~1.031	1.000以上
動粘度 (120 ℃) cSt			807~1,770		628~1,290		492~1,170		397~506	
動粘度 (140 ℃) cSt					324~425		256~347			
動粘度 (150 ℃) cSt			186~371		146~283		124~296		108~134	
動粘度 (160 ℃) cSt					138~180		118~157			
動粘度 (180 ℃) cSt			62~113		49~95		42~91		41~50	

表-2 石油アスファルト品質調査要約 (2) ブローンアスファルト

種 類 項 目	10 ~ 20		20 ~ 30	
	範 囲	J I S	範 囲	J I S
針 入 度 (25℃)	11~19	10を超え20以下	21~30	20を超え30以下
軟 化 点 ℃	92.0~107.0	90.0以上	80.5~101.5	80.0以上
伸 度 (25℃) cm	2 ~ 4	1 以上	2 ~ 6	2 以上
三塩化エタン可溶分 Wt %	99.3~100.0	98.5以上	99.2~100.0	98.5以上
引 火 点 ℃	290~346	210以上	294~342	210以上
蒸発質量変化率 Wt %	-0.02~0.01	0.5以下	-0.06~0.03	0.5以下
針 入 度 指 数	3.0~4.6	2.5以上	2.9~5.0	2.5以上

表-3 石油アスファルト品質調査要約 (3) 防水工事用アスファルト

種 類 項 目	第 三 種		第 四 種	
	範 囲	J I S	範 囲	J I S
針 入 度 (25℃)	21~39	20以上40以下	32~44	30以上50以下
針 入 度 指 数	5.0~7.2	5.0以上	6.0~7.5	6.0以上
軟 化 点 ℃	100.0~119.5	100以上	98.0~119.0	95以上
蒸発質量変化率 Wt %	-0.03~0.01	1 以下	-0.03~0.01	1 以下
三塩化エタン可溶分 Wt %	99.03~100.0	95以上	99.3~99.97	92以上
引 火 点 ℃	284~340	280以上	284~320	280以上
フラスゼい化点 ℃	-29~-15	-15以下	-27~-20	-20以下
だ れ 長 さ mm	1 ~ 6	8 以下	0 ~ 4	8 以下
加 熱 安 定 性 ℃	0 ~ 4	5 以下	1 ~ 4	5 以下

表－４ ストレートアスファルト性状表 (60～80)

番号	針入度 (25℃)	軟化点 ℃	伸 度 (15℃) cm	三塩化 エタン 可溶分 Wt %	引火点 ℃	薄 膜 加 熱		蒸発後 の針入 度比 %	密 度 (15℃) g/cm ³	動 粘 度 (cSt)				
						質 量 変 化 率 Wt %	針 入 度 残 留 率 %			120℃	140℃	150℃	160℃	180℃
1	70	48.5	150以上	99.86	333	+0.02	63.3	100	1.034	905		207		71
2	67	51.4	100以上	99.69	324	-0.01	73.0	100	1.035	1,166		267		89
3	70	48.5	150以上	99.9	335	+0.03	63.0	102	1.033	971		227		77
4	68	49.0	100以上	99.5	306	+0.01	69.0	98	1.035	945		215		72
5	68	49.0	130以上	100.0	308	-0.10	66.0	100	1.037	852		198		67
6	69	49.0	130以上	99.9	342	+0.03	68.0	98	1.035	749		174		60
7	67	47.5	150以上	99.8	344	+0.10	69.0	98	1.036	948		216		72
8	70	47.3	140以上	99.86	334	-0.05	63.6	100	1.032	830		195		67
9	66	48.5	150以上	100.0	358	+0.10	64.0	100	1.038	1,027		232		75
10	64	48.5	150以上	99.9	300以上	+0.10	66.0	93	1.035	1,070		243		81
11	71	49.0	100以上	99.9	342	-0.01	60.0	96	1.027	1,070	375	244	161	84
12	71	48.5	150以上	99.9	328	+0.05	68.0	95	1.030	875		206		74
13	70	46.0	100以上	99.7	357	+0.10	70.0	98	1.038	868		197		66
14	69	47.5	150以上	99.8	297	-0.25	62.0	86	1.031	1,029	348	220	146	100以下
15	68	48.2	140以上	99.90	309	-0.00	65.5	99	1.028	988	343	218	145	72
16	69	49.5	150以上	100.0	364	+0.11	69.1	98	1.034	990		223		75
17	68	47.0	150以上	99.8	364	+0.08	76.0	92	1.031	1,007	375	245	161	78
18	68	49.0	150以上	99.8	341	+0.08	76.0	92	1.033	1,005	366	237	160	81
19	71	48.5	140以上	99.9	300以上	+0.06	64.3	88	1.035	938		225		73
20	64	48.0	150以上	99.9	367	+0.10	68.0	98	1.034	989		268		92
21	70	46.3	150以上	99.9	360	+0.06	66.0	97	1.036	906		204		69
22	72	50.5	100以上	100.0	325	+0.02	69.0	100	1.030	1,067	374	234	160	79
23	68	48.0	150以上	100.0	295	-0.04	65.0	102	1.028	1,078		233		81
24	69	49.0	150以上	99.9	270以上	+0.02	66.0	91	1.033	977		223		76
25	69	48.0	150以上	99.76	325	+0.07	60.8	99	1.031	851		198		67
26	68	47.5	140以上	100.0	300以上	+0.08	70.0	95	1.039	960	344	221		75
27	73	46.5	100以上	99.8	347	+0.04	66.0	101	1.033	841		199		70
28	69	48.0	100以上	99.97	302	-0.07	69.0	100	1.029	891		194		64

表－５ ストレートアスファルト性状表 (80～100)

番号	針入度 (25℃)	軟化点 ℃	伸 度 (15℃) cm	三塩化 エタン 可溶分 Wt %	引火点 ℃	薄 膜 加 熱		蒸発後 の針入 度比 %	密 度 (15℃) g/cm ³	動 粘 度 (cSt)				
						質 量 変 化 率 Wt %	針 入 度 残 留 率 %			120℃	140℃	150℃	160℃	180℃
1	90	46.0	150以上	99.84	336	+0.02	60.8	100	1.030	732		175		63
2	83	47.5	150以上	99.9	334	+0.04	61.0	102	1.031	847		205		71
3	89	46.5	100以上	99.5	305	-0.01	70.0	98	1.032	766		182		63
4	88	46.5	130以上	100.0	308	-0.10	65.0	100	1.032	699		168		59
5	89	45.0	140以上	99.86	326	-0.05	60.6	100	1.029	690		168		59
6	91	46.0	150以上	100.0	358	+0.10	64.0	100	1.035	834		197		66
7	91	46.5	100以上	99.9	338	-0.01	67.0	99	1.021	885	325	222	146	74
8	90	44.0	100以上	99.7	355	+0.10	69.0	98	1.035	720		170		59
9	92	46.0	150以上	99.8	285	-0.32	62.0	87	1.029	839	293	190	128	100以下
10	91	46.5	150以上	100.0	350	+0.10	67.4	98	1.033	782		186		64
11	89	47.0	140以上	99.9	300以上	+0.06	60.6	90	1.032	768		193		74
12	88	44.5	150以上	100.0	286	-0.06	70.0	93	1.025	820		187		65
13	88	46.5	150以上	100.0	270以上	+0.01	63.0	89	1.030	785		186		67
14	91	45.3	150以上	99.6	321	+0.07	61.7	100	1.028	667		156		54
15	85	46.1	100以上	99.8	347	+0.05	64.0	101	1.031	682		165		60

<石油アスファルト需給統計資料> その1

石油アスファルト需給実績 (総括表)

(単位: 千 t)

項 目 年 度	供 給					需 要					
	期初在庫	生 産	対 前 年 度 比	輸 入	合 計	内 需	対 前 年 度 比	輸 出	小 計	期末在庫	合 計
56 年 度	240	4,598	(97.4)	0	4,838	4,563	(97.0)	19	4,582	226	4,808
57 年 度	226	4,624	(99.2)	0	4,850	4,575	(100.3)	18	4,593	213	4,806
58 年 度	213	4,947	(108.4)	0	5,160	4,921	(107.6)	4	4,925	226	5,151
59 年 度	226	5,235	(105.9)	0	5,461	5,221	(106.1)	0	5,221	240	5,461
60 年 度	240	5,029	(96.1)	0	5,269	5,035	(96.4)	0	5,035	215	5,250
61 年 度	215	5,744	(114.2)	0	5,959	5,695	(113.1)	0	5,696	235	5,931
62 年 度	235	5,892	(102.6)	9	6,136	5,862	(102.9)	0	5,862	274	6,136
63年度上期	274	2,754	(100.3)	3	3,031	2,734	(102.0)	1	2,735	287	3,022
63年度下期	287	3,150	(100.1)	0	3,437	3,219	(101.2)	0	3,219	219	3,438
63 年 度	274	5,904	(100.2)	3	6,181	5,953	(101.6)	1	5,954	219	6,173
元年度上期	219	2,895	(105.1)	1	3,115	2,732	(99.9)	1	2,733	372	3,105
元年度下期	372	3,170	(100.6)	0	3,542	3,258	(101.2)	3	3,261	276	3,537
元 年 度	219	6,066	(102.7)	1	6,286	5,990	(100.6)	4	5,994	276	6,270
2 年度上期	276	3,046	(105.2)	0	3,322	2,974	(108.9)	5	2,979	323	3,302
2 年度下期	321	3,231	(101.9)	1	3,553	3,231	(99.1)	3	3,234	310	3,544
2 年 度	276	6,277	(103.5)	1	6,554	6,205	(103.6)	8	6,213	310	6,523
3 年度上期	310	2,844	(93.4)	0	3,154	2,841	(95.5)	6	2,847	302	3,149
3 年度下期	302	3,129	(96.8)	0	3,430	3,103	(96.0)	12	3,115	313	3,428
3 年 度	310	5,973	(95.2)	0	6,282	5,944	(95.8)	18	5,962	313	6,275
4 年度上期	313	2,969	(104.4)	0	3,282	2,893	(101.8)	59	2,952	326	3,278
10~12月	326	1,649	(103.3)	1	1,976	1,664	(101.6)	13	1,677	298	1,975
5. 1 月	298	360	(90.9)	0	658	341	(93.2)	0	341	314	655
2 月	314	460	(99.4)	0	774	457	(99.1)	3	460	314	774
3 月	314	683	(101.5)	0	997	754	(119.7)	0	754	244	998
1~3 月	298	1,503	(98.1)	0	1,801	1,552	(106.5)	3	1,555	244	1,799
4 年度下期	326	3,152	(100.7)	1	3,479	3,216	(103.6)	16	3,232	244	3,476
4 年 度	313	6,121	(102.5)	1	6,435	6,109	(102.8)	75	6,184	244	6,428
5. 4 月	244	591	(113.0)	0	835	518	(102.6)	3	521	314	835
5 月	314	397	(86.3)	0	711	352	(81.9)	2	354	356	710
6 月	356	405	(85.6)	0	761	448	(92.2)	3	451	310	761
4~6 月	244	1,393	(95.7)	0	1,637	1,318	(92.8)	8	1,326	310	1,636
7 月	310	521	(105.5)	0	831	509	(98.5)	0	509	323	832
8 月	323	502	(97.3)	0	825	492	(111.3)	8	500	326	826
9 月	326	494	(98.2)	0	820	484	(94.5)	9	493	329	822
7~9 月	310	1,517	(100.3)	0	1,827	1,485	(101.0)	17	1,502	329	1,831
5 年度上期	244	2,910	(98.0)	0	3,154	2,803	(96.9)	25	2,828	329	3,157
10月	329	570	(113.5)	0	899	563	(112.8)	15	578	325	903
11月	325	556	(100.5)	0	881	559	(97.9)	12	571	312	883
12月	312	547	(92.1)	0	859	569	(95.8)	13	582	279	861
10~12月	329	1,673	(101.5)	0	2,002	1,691	(101.6)	40	1,731	279	2,010
6. 1 月	279	410	(113.9)	0	689	359	(105.3)	20	379	312	691
2 月	312	465	(101.1)	0	777	441	(96.5)	12	453	325	778

[注] (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 6年3月確報。

(2) 構成比は全輸入量に対する 100分比である。

(3) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

＜石油アスファルト需給統計資料＞ その2

石油アスファルト内需実績（品種別明細）

（単位：千t）

項 目 年 度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト			燃焼用 アスファルト	ブローン アスファルト	合 計	ストレート・アスファルト			燃焼用 アスファルト	ブローン アスファルト	合 計
	道路用	工業用	計				道路用	工業用	計			
56 年 度	4,082	202	4,284	4	275	4,563	96.4	110.4	97.0	—	95.5	97.0
57 年 度	3,943	185	4,128	187	260	4,575	96.6	91.6	96.4	467.5	94.5	100.3
58 年 度	3,951	177	4,128	540	253	4,921	100.2	95.7	100.0	288.8	97.3	107.6
59 年 度	4,000	162	4,162	805	254	5,221	101.2	91.5	100.8	149.1	100.4	106.1
60 年 度	3,739	139	3,878	911	246	5,035	93.5	85.8	93.2	113.2	96.9	96.4
61 年 度	3,979	241	4,220	1,238	237	5,695	106.4	173.4	108.8	135.9	96.3	113.1
62 年 度	4,252	360	4,612	995	255	5,862	106.9	149.4	109.3	80.4	107.6	102.9
63年度上期	1,987	166	2,153	464	117	2,734	101.9	169.4	105.2	89.2	102.6	102.0
63年度下期	2,319	255	2,574	504	141	3,219	100.7	98.1	100.4	106.1	100.0	101.2
63 年 度	4,306	421	4,727	968	258	5,953	101.2	117.3	102.5	97.3	101.2	101.6
元年度上期	2,043	151	2,194	423	115	2,732	102.8	91.0	101.9	91.2	98.3	99.9
元年度下期	2,317	296	2,613	509	136	3,258	99.9	116.1	101.5	101.0	96.5	101.2
元 年 度	4,360	447	4,807	932	251	5,990	101.2	106.2	101.7	96.3	97.3	100.6
2 年度上期	2,149	269	2,418	432	124	2,974	105.2	178.1	110.2	101.9	108.7	108.9
2 年度下期	2,267	337	2,604	497	130	3,231	97.8	113.9	99.7	97.6	95.6	99.2
2 年 度	4,416	606	5,022	929	254	6,205	101.3	135.6	104.5	99.7	101.2	103.6
3 年度上期	2,090	268	2,358	372	111	2,841	97.3	99.6	97.5	86.1	89.5	95.5
3 年度下期	2,226	323	2,549	424	130	3,103	98.2	95.8	97.9	85.3	100.0	96.0
3 年 度	4,316	591	4,907	796	241	5,944	97.7	97.5	97.7	85.7	94.9	95.8
4 年度上期	2,153	253	2,406	372	115	2,893	103.0	94.4	102.0	100.0	103.6	101.8
10～12月	1,257	145	1,402	196	66	1,664	103.8	98.0	103.2	93.3	95.7	101.6
5. 1 月	213	54	267	55	19	341	95.5	100.0	96.4	78.6	100.0	93.2
2 月	320	66	386	51	20	457	101.6	126.9	105.2	70.8	90.9	99.1
3 月	615	50	665	67	22	754	130.3	74.6	123.4	94.4	110.0	119.7
1～3 月	1,148	170	1,318	173	61	1,552	113.7	98.3	111.4	81.2	100.0	106.5
4 年度下期	2,405	315	2,720	369	127	3,216	108.0	97.5	106.7	87.0	97.7	103.6
4 年 度	4,558	568	5,126	741	242	6,109	105.6	96.1	104.5	93.1	100.4	102.8
5. 4 月	397	30	427	72	19	518	98.0	300.0	102.9	101.4	100.0	102.6
5 月	259	21	280	54	18	352	84.4	47.7	79.8	90.0	94.7	81.9
6 月	321	53	374	56	18	448	90.7	79.1	88.8	121.7	94.7	92.2
4～6 月	977	104	1,081	182	55	1,318	91.7	86.0	91.1	102.8	96.5	92.8
7 月	367	56	423	67	19	509	93.4	140.0	97.7	104.7	95.0	98.5
8 月	326	61	387	88	17	492	101.6	169.4	108.4	129.4	100.0	111.3
9 月	352	43	395	67	22	484	94.4	78.2	92.3	106.3	104.8	94.5
7～9 月	1,045	160	1,205	222	58	1,485	96.1	122.1	98.9	113.8	100.0	101.0
5 年度上期	2,022	264	2,286	404	113	2,803	93.9	104.3	95.1	108.6	98.3	96.9
10月	405	72	477	64	22	563	101.3	313.0	112.8	118.5	100.0	112.8
11月	408	57	465	70	24	559	97.1	101.8	97.7	97.2	104.3	97.9
12月	412	55	467	82	20	569	94.3	83.3	92.8	117.1	95.2	95.8
10～12月	1,224	184	1,408	216	67	1,691	97.4	126.9	100.4	110.2	101.5	101.6
6. 1 月	213	53	266	74	19	359	100.0	98.1	99.6	134.5	100.0	105.3
2 月	284	55	339	83	19	441	88.8	83.3	87.8	162.7	95.0	96.5

〔注〕(1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 6 年 2 月確報

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

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

(4) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

改質アスファルトを用いた混合物の設計・施工の手引き

B 5 版・37ページ・実費頒価 ￥500（送料実費）

申込先（社）日本アスファルト協会

〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7

和孝第10ビル

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

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

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

目 次

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

石油アスファルト統計月報

B 5 版・16ページ・実費頒価 ¥500 (送料実費) 毎月30日発行

申込先 (社) 日本アスファルト協会
〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7
和孝第10ビル

石油アスファルトの用途は、道路用を始めとして建築防水用、分解用原料等の工業用、
燃焼用と多岐に渡っております。

したがって本書は石油アスファルトに関する統計について出来るだけ細かく集計した日
本で唯一の石油アスファルトに関する統計資料です。

目 次

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

社 名	住 所	電 話
〔メーカー〕		
出 光 興 産 株 式 会 社	(100) 千代田区丸の内3-1-1	03 (3213) 3 1 3 4
エ ッ ソ 石 油 株 式 会 社	(107) 港区赤坂5-3-3	03 (3585) 9 4 3 8
鹿 島 石 油 株 式 会 社	(102) 千代田区紀尾井町3-6	03 (5276) 9 5 5 6
キ グ ナ ス 石 油 株 式 会 社	(104) 中央区京橋2-9-2	03 (3535) 7 8 1 1
キ グ ナ ス 石 油 精 製 株 式 会 社	(210) 川崎市川崎区浮島町3-1	044 (288) 8 4 4 5
九 州 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区内幸町2-1-1	03 (5512) 8 6 0 6
極 東 石 油 工 業 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03 (3270) 0 8 4 1
興 亜 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町2-6-2	03 (3241) 8 6 3 1
コ ス モ 石 油 株 式 会 社	(105) 港区芝浦1-1-1	03 (3798) 3 1 2 1
三 共 油 化 工 業 株 式 会 社	(105) 港区新橋1-7-11	03 (5568) 6 4 1 1
株式会社 ジャパンエナジー	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03 (5573) 6 0 0 0
昭和シェル石油株式会社	(100) 千代田区霞が関3-2-5	03 (3503) 4 0 7 6
昭和四日市石油株式会社	(510) 四日市市塩浜町1	0593 (45) 2 1 1 1
西 部 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区丸の内1-2-1	03 (3215) 3 0 8 1
ゼ ネ ラ ル 石 油 株 式 会 社	(105) 港区西新橋2-8-6	03 (3595) 8 4 1 0
東 燃 株 式 会 社	(100) 千代田区一ツ橋1-1-1	03 (3286) 5 1 1 1
東 北 石 油 株 式 会 社	(985) 仙台市宮城野区港5-1-1	022 (363) 1 1 2 2
日 本 石 油 株 式 会 社	(105) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1 1 1 1
日本石油精製株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1 1 1 1
富 士 興 産 株 式 会 社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03 (3580) 3 5 7 1
富 士 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-2-3	03 (3211) 6 5 3 1
三 井 石 油 株 式 会 社	(101) 千代田区霞が関3-3-2	03 (5512) 3 6 0 5
三 菱 石 油 株 式 会 社	(105) 港区虎ノ門1-2-4	03 (3595) 7 4 1 3
モ ー ビ ル 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03 (3244) 4 6 9 1

〔ディーラー〕

● 北 海 道

コスモアスファルト(株)札幌支店	(060) 札幌市中央区大通り西10-4	011 (281) 3 9 0 6 コ ス モ
株式会社 トーアス札幌販売支店	(060) 札幌市中央区北2条西2	011 (281) 2 3 6 1 J O M O
東光商事株式会社札幌営業所	(060) 札幌市中央区南大通り西7-2	011 (241) 1 5 6 1 三 石
中西瀝青株式会社札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011 (231) 2 8 9 5 日 石
株式会社 南部商会札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2-15	011 (231) 7 5 8 7 日 石
株式会社 ロード資材	(060) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011 (281) 3 9 7 6 コ ス モ

社団法人 日本 アスファルト 協会 会 員

社 名	住 所	電 話
● 東 北		
株式会社 男 鹿 興 業 社	(010-05)男鹿市船川港船川字埋立地1-18-2	0185 (23) 3 2 9 3 J O M O
カ メ イ 株 式 会 社	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-18	022 (264) 6 1 1 1 日 石
コスモアスファルト(株)仙台支店	(980) 仙台市青葉区中央3-3-3	022 (266) 1 1 0 1 コ ス モ
正興産業株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市青葉区国分町3-3-5	022 (263) 5 9 5 1 三 石
竹中産業株式会社 新潟営業所	(950) 新潟市東大通1-4-2	025 (246) 2 7 7 0 昭和シェル
株式会社 トーアス仙台販売支店	(980) 仙台市青葉区大町1-1-10	022 (262) 7 5 6 1 J O M O
常盤商事株式会社 仙台支店	(980) 仙台市青葉区錦町1-10-11	022 (224) 1 1 5 1 三 石
中西瀝青株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-30	022 (223) 4 8 6 6 日 石
株式会社 南部商会仙台営業所	(980) 仙台市青葉区一番町1-1-31	022 (223) 1 0 1 1 日 石
ミヤセキ 株 式 会 社	(980) 仙台市宮城野区榴岡2-3-12	022 (257) 1 2 3 1 三 石
菱油販売株式会社 仙台支店	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-1	022 (225) 1 4 9 1 三 石
● 関 東		
朝 日 産 業 株 式 会 社	(103) 中央区日本橋茅場町2-7-9	03 (3669) 7 8 7 8 コ ス モ
アスファルト産業株式会社	(104) 中央区八丁堀4-11-2	03 (3553) 3 0 0 1 昭和シェル
伊 藤 忠 商 事 株 式 会 社	(107) 港区北青山2-5-1	03 (3497) 6 5 4 8 九 石
伊 藤 忠 燃 料 株 式 会 社	(107) 港区赤坂2-17-22	03 (3584) 8 5 2 1 J O M O
梅 本 石 油 株 式 会 社	(162) 新宿区揚場町2-24	03 (3269) 7 5 4 1 コ ス モ
エムシー・アスファルト株式会社	(100) 千代田区内幸町1-3-3	03 (5251) 2 0 6 0 三 石
株式会社 木 畑 商 会	(104) 中央区八丁堀4-2-2	03 (3552) 3 1 9 1 J O M O
共 立 石 油 株 式 会 社	(107) 港区元赤坂1-7-8	03 (3796) 6 6 4 0 J O M O
株式会社 ケイエム 商 運	(103) 中央区八重洲1-8-5	03 (3245) 1 6 3 1 三 石
コスモアスファルト株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3551) 8 0 1 1 コ ス モ
国 光 商 事 株 式 会 社	(164) 中野区東中野1-7-1	03 (3363) 8 2 3 1 出 光
株式会社澤田商行関東支店	(104) 中央区入船町1-7-2	03 (3551) 7 1 3 1 コ ス モ
三徳商事株式会社 東京支店	(101) 千代田区神田紺屋町11	03 (3254) 9 2 9 1 昭和シェル
新 日 本 商 事 株 式 会 社	(170) 豊島区南大塚3-32-10	03 (5391) 4 8 7 0 昭和シェル
住商石油アスファルト株式会社	(105) 港区浜松町2-3-31	03 (3578) 9 5 2 1 出 光
竹 中 産 業 株 式 会 社	(101) 千代田区鍛冶町1-5-5	03 (3251) 0 1 8 5 昭和シェル
中 央 石 油 株 式 会 社	(160) 新宿区新宿2-6-5	03 (3356) 8 0 6 1 モービル
株式会社 トーアス	(160) 新宿区西新宿2-7-1	03 (3342) 6 3 9 1 J O M O
東京富士興産販売株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-2	03 (3591) 3 4 0 1 富 士 興
東京レキセイ株式会社	(150) 渋谷区恵比寿西1-9-12	03 (3496) 8 6 9 1 富 士 興
東 光 商 事 株 式 会 社	(104) 中央区京橋2-1-4	03 (3274) 2 7 5 1 三 石
東 新 瀝 青 株 式 会 社	(103) 中央区日本橋2-13-10	03 (3273) 3 5 5 1 日 石
株式会社 トーメン	(107) 港区赤坂2-14-27	03 (3588) 7 9 5 5 昭和シェル
東洋国際石油株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3552) 8 1 5 1 コ ス モ
東 和 産 業 株 式 会 社	(174) 板橋区坂下3-29-11	03 (3968) 3 1 0 1 三共油化
中 西 瀝 青 株 式 会 社	(103) 中央区八重洲1-2-1	03 (3272) 3 4 7 1 日 石
株式会社 南 部 商 会	(100) 千代田区丸の内3-4-2	03 (3213) 5 8 7 1 日 石
日 石 丸 紅 株 式 会 社	(105) 港区西新橋2-4-2	03 (5251) 0 7 7 7 日 石
日 東 商 事 株 式 会 社	(170) 豊島区巢鴨4-22-23	03 (3915) 7 1 5 1 昭和シェル
日 東 石 油 株 式 会 社	(104) 中央区八丁堀1-11-3	03 (3551) 6 1 0 1 昭和シェル
パシフィック石油商事株式会社	(103) 中央区日本橋蛸殻町1-17-2	03 (3661) 4 9 5 1 モービル

社団法人 日本アスファルト協会 会員

社 名	住 所	電 話
富士興産アスファルト株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-2	03 (3580) 5 2 1 1 富 士 興
富 士 鉱 油 株 式 会 社	(105) 港区新橋4-26-5	03 (3432) 2 8 9 1 コ ス モ
富士油業株式会社東京支店	(106) 港区西麻布1-8-7	03 (3478) 3 5 0 1 富 士 興
丸紅エネルギー株式会社	(101) 千代田区神田駿河台2-2	03 (3293) 4 1 7 1 モービル
ユ ニ 石 油 株 式 会 社	(107) 港区元赤坂1-7-8	03 (3796) 6 6 1 6 昭和シェル
菱 東 商 事 株 式 会 社	(101) 千代田区神田和泉町1-13-1	03 (5687) 1 2 8 1 三 石
菱 油 販 売 株 式 会 社	(160) 新宿区西新宿1-20-2	03 (3345) 8 2 0 5 三 石
瀝 青 販 売 株 式 会 社	(103) 中央区日本橋2-16-3	03 (3271) 7 6 9 1 出 光
● 中 部		
コスモアスファルト (株)名古屋支店	(460) 名古屋市中区錦2-14-21	052 (223) 0 7 1 1 コ ス モ
株式会社 澤 田 商 行	(454) 名古屋市中川区富川町1-1	052 (353) 5 1 1 1 コ ス モ
三徳商事株式会社静岡支店	(420) 静岡市伝馬町5-3	054 (255) 2 5 8 8 昭和シェル
三徳商事株式会社 名古屋支店	(453) 名古屋市中村区則武1-10-6	052 (452) 2 7 8 1 昭和シェル
株式会社 三 油 商 会	(460) 名古屋市中区丸の内2-1-5	052 (231) 7 7 2 1 コ ス モ
静 岡 鉱 油 株 式 会 社	(424) 清水市袖師町1575	0543 (66) 1 1 9 5 モービル
新東亜交易株式会社名古屋支社	(450) 名古屋市中村区名駅3-28-12	052 (561) 3 5 1 4 富 士 興
竹中産業株式会社 福井営業所	(910) 福井市大手2-4-26	0766 (22) 1 5 6 5 昭和シェル
株式会社 田 中 石 油 店	(910) 福井市毛矢2-9-1	0776 (35) 1 7 2 1 昭和シェル
株式会社 トーアス名古屋販売支店	(450) 名古屋市中村区名駅4-2-12	052 (581) 3 5 8 5 J O M O
富 安 産 業 株 式 会 社	(939) 富山市若竹町2-121	0764 (29) 2 2 9 8 昭和シェル
中西瀝青株式会社名古屋営業所	(460) 名古屋市中区錦町1-20-6	052 (211) 5 0 1 1 日 石
松 村 物 産 株 式 会 社	(920) 金沢市広岡2-1-27	0762 (21) 6 1 2 1 三 石
丸 福 石 油 産 業 株 式 会 社	(933) 高岡市美幸町2-1-28	0766 (22) 2 8 6 0 昭和シェル
三 谷 商 事 株 式 会 社	(910) 福井市豊島1-3-1	0776 (20) 3 1 3 4 モービル
● 近 畿		
赤馬アスファルト工業株式会社	(531) 大阪市北区中津3-10-4	06 (374) 2 2 7 1 モービル
飯野産業株式会社 神戸営業所	(650) 神戸市中央区海岸通り8	078 (333) 2 8 1 0 J O M O
大阪アスファルト株式会社	(531) 大阪市北区中津1-11-11	06 (372) 0 0 3 1 出 光
木曾通産株式会社大阪支店	(530) 大阪市北区西天満3-4-5	06 (364) 7 2 1 2 コ ス モ
共 和 産 業 株 式 会 社	(700) 岡山市富田町2-10-4	0862 (33) 1 5 0 0 J O M O
コスモアスファルト(株)大阪支店	(550) 大阪市西区西本町2-5-28	06 (538) 2 7 3 1 コ ス モ
コスモアスファルト(株)広島支店	(730) 広島市田中町5-9	0822 (44) 6 2 6 2 コ ス モ
三 徳 商 事 株 式 会 社	(532) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (394) 1 5 5 1 昭和シェル
昭和瀝青工業株式会社	(670) 姫路市北条口4-26	0792 (26) 2 6 1 1 J O M O
信 和 興 業 株 式 会 社	(700) 岡山市西古松363-4	0862 (41) 3 6 9 1 三 石
スーパーストロングインターナショナル(株)	(532) 大阪市淀川区西中島2-11-30	06 (303) 5 5 1 0 昭和シェル
正 興 産 業 株 式 会 社	(650) 神戸市中央区海岸通り6	078 (322) 3 3 0 1 三 石
中国富士アスファルト株式会社	(711) 倉敷市児島味野浜の宮4051-12	0864 (73) 0 3 5 0 富 士 興
千代田瀝青株式会社	(530) 大阪市北区東天満2-10-17	06 (358) 5 5 3 1 三 石
ド ー ロ 商 事 株 式 会 社	(542) 大阪市中央区東心斎橋筋1-3-11	06 (252) 5 8 5 6 富 士 興
中西瀝青株式会社 大阪営業所	(530) 大阪市北区西天満3-11-17	06 (316) 0 3 1 2 日 石
株式会社 ナ カ ム ラ	(670) 姫路市国府寺町72	0792 (85) 2 5 5 1 J O M O
富士アスファルト販売株式会社	(550) 大阪市西区京町堀2-3-19	06 (441) 5 1 9 5 富 士 興
富 士 商 株 式 会 社	(756) 小野田市稲荷町6539	0836 (83) 3 2 1 0 昭和シェル

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) 大阪市北区中之島3-6-32	06 (443) 2 7 7 1 昭和シェル
株式会社 松 宮 物 産	(522) 彦根市幸町32	0749 (23) 1 6 0 8 昭和シェル
丸和鉱油株式会社	(532) 大阪市淀川区塚本2-14-17	06 (301) 8 0 7 3 コ ス モ
横田瀝青興業株式会社	(672) 姫路市飾磨区南細江995	0792 (33) 0 5 5 5 J O M O
株式会社 菱 芳 礦 産	(671-11) 姫路市広畑区西夢前台7-140	0792 (39) 1 3 4 4 J O M O
● 四国・九州		
伊藤忠燃料株式会社 九州支社	(812) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (471) 3 8 5 1 J O M O
今別府産業株式会社	(890) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4 1 1 1 J O M O
大分九石販売株式会社	(870) 大分市中央町1-1-3	0975 (34) 0 4 6 8 九 石
株式会社 カ ン ダ	(892) 鹿児島市住吉町1-3	0992 (24) 5 1 1 1 昭和シェル
株式会社 九 菱	(805) 北九州市八幡東区山王1-17-11	093 (661) 4 8 6 8 三 石
コスモアスファルト(株)九州支店	(810) 福岡市中央区大名2-4-30	092 (771) 7 4 3 6 コ ス モ
三協商事株式会社	(770) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5 1 3 1 富 士 興
サンヨウ株式会社	(815) 福岡市南区玉川町4-30	092 (541) 7 6 1 5 富 士 興
株式会社 トーアス高松営業所	(760) 高松市亀井町8-11	0878 (37) 1 6 4 5 J O M O
中西瀝青株式会社 福岡営業所	(810) 福岡市中央区天神4-1-18	092 (771) 6 8 8 1 日 石
株式会社 南部商会福岡営業所	(810) 福岡市中央区天神3-4-8	092 (721) 4 8 3 8 日 石
西岡商事株式会社	(764) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1 0 0 1 三 石
畑 礦 油 株 式 会 社	(804) 北九州市戸畑区牧山新町1-40	093 (871) 3 6 2 5 コ ス モ
平和石油株式会社高松支店	(760) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7 2 5 5 昭和シェル
九 菱 株 式 会 社	(812) 福岡市博多区博多駅前4-3-22	092 (431) 7 5 6 1 昭和シェル
〔賛助会員〕		
岡谷鋼機株式会社東京本店	(100) 千代田区丸の内1-5-1	03 (5323) 3 2 0 2

編集顧問

多田 宏 行
藤井 治 芳
松野 三 朗

編集委員

委員長：河野 宏	副委員長：真柴和昌
青木秀樹	菅野善朗
田井文夫	半野久光
阿部忠行	栗谷川裕造
七五三野茂	姫野賢治
荒井孝雄	小島逸平
野村敏明	室賀五郎
安崎 裕	佐々木政彦
長谷川 宏	

アスファルト 第181号

平成6年10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 TEL 03-3502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

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

印刷所 アサヒビジネス株式会社

〒107 東京都港区赤坂1-9-13 TEL 03-5563-0123(代)

ASPHALT

Vol.37 No.181 OCTOBER 1994

Published by THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION