

フ ラ ー ス 脆 化 点 試 験

— 試験装置の自動化と全道ストレートアスファルトの性状調査 —

Fraass Breaking point Test

— Automatic Testing and an Examination of Asphalt quality —

佐々木克典* 柴田 哲史*
川村 和幸** 水島 達朗***Katsunori SASAKI, Tetsushi SHIBATA,
Kazuyuki KAWAMURA and Tatsuaki MIZUSIMA

北海道のような積雪寒冷地域における道路は、これまでスパイクタイヤによる道路の摩耗、さらに粉塵による環境汚染が社会的問題となってきた。しかし、今後スパイクタイヤの規制に伴い、積雪寒冷地域において特徴的である横断きれつ現象などの問題が表面化してくると考えられる。これは、現在のストレートアスファルトの品質管理が、高温領域についての規定のみであり、横断きれつ現象などの原因と考えられる低温領域での規定がないためと思われる。本研究では、低温領域でのアスファルトの品質管理を規定する試験としてフラス脆化点試験を取りあげ、本試験の精度を高めるとともに自動化を図り、道内で使用されているストレートアスファルトの性状調査を試みた。その結果、アスファルトの基本性状とフラス脆化点との関係を把握するとともに、アスファルトの応力を検出することができた。

〈フラス脆化点；横断きれつ；アスファルトの応力〉

Wear of pavements by studded tires has become a social problem in Hokkaido. However, with regulation of the use of studded tires, problems of transverse cracks and stripping of pavements, which are peculiar in snowy and cold areas, are now appearing.

In this report, we evaluate the "Fraass breaking point test" as a method of testing asphalt quality at low temperature. We achieved high accuracy with an automatic Fraass tester we have developed, and using the tester we examined straight asphalt which are generally used in Hokkaido. The results of the tests make it possible to understand the relationship between and also the asphalt quality and Fraass breaking point, and also the behavior of asphalt stress.

Keywords: fraass breaking point, transversal crack, asphalt stress.

*維持管理研究室員 **同室長 ***同室副室長

1. はじめに

道路の破壊現象の一形態に横断きれつがあるが、アスファルト性状の同じものを使用して施工したにも係わらず、舗装工区によって横断きれつの発生状態が大きく異なっているという状況がある。

これは、現在のアスファルトの品質管理が高温領域のみで評価されていることによるものと考えられ、積雪寒冷地域で発生する横断きれつ現象などに対しては低温領域でのアスファルトの品質管理を考える必要がある。しかし、低温領域でのアスファルト性状試験としてのフラス脆化点試験（以下フラス試験と記す）は、測定値のばらつきが大きく、繰返し精度 2°C を満足するにはかなりの熟練が必要¹⁾とされる。そのため、本試験はアスファルトの品質管理としては用いられなくなり、アスファルト品質管理としては高温領域の規格のみの状態となっている。

本報文は、フラス試験を自動化することによって測定精度を飛躍的に高め、さらに脆化破壊温度だけでなく破壊にいたるまでの応力をも測定することによって、アスファルトの低温領域での性状を的確に把握できるように改良を施したので、これについて紹介する。また、この自動フラス脆化点試験機（以下自動試験機と記す）を使用して、現在、北海道で使用されているストレートアスファルト（以下ストアスと記す）の性状調査を実施したので合わせて報告する。

2. フラス試験の自動化

フラス脆化破壊点は、アスファルト舗装要綱の昭和42年度版（改定版）に耐摩耗用混合物に用いるアスファルトの品質管理として規定されていたが、昭和50年度版を最後に削除されている。また、北海道開発局道路工事仕様書においても、昭和38年から昭和41年まで規定されていたが、昭和42年の仕様書改定から削除されている。

低温領域の品質管理試験としては、フラス試験、曲げ試験²⁾、森吉式脆化点試験がある。フラス試験は、試料が 0.4g ときわめて少量で試験が行えるが、試験値の精度・安定性が悪い。曲げ試験は、アスファルト混合物の試験なので、アスファルト単体の品質評価がむずかしい。また、森吉式脆化点試験は精度的にも良好で、かつ装置は簡単であるが、試料が 100g とかなり多く必要である。

一方、アスファルト舗装の施工後の劣化したアスファルトの性状を判断するにはアスファルト混合物から抽出したアスファルトを使用しなければならず、このときに回収されるアスファルトが少量のため、試料も少量で判断できる試験であることが必要であろう。そこで、低温

領域の品質管理試験としてフラス試験を取りあげ、高精度化を図るために自動化を行った。

2.1 試験の意義

アスファルトは温度が低下すれば硬く脆くなり、わずかな変形に対しても破壊を起こしやすくなる。積雪寒冷地域のアスファルト舗装では、冬期の剝離や春先に起こりやすいひびわ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くないもの、つまり脆化するときの温度の低いものが望まれる³⁾。また、アスファルトの脆さは、使用するアスファルトの経年的な老化性状、また交通車両などによる疲労性状に影響される。本報文で紹介するフラス試験によって、アスファルトの脆化状態とその進行が的確に把握できることになる。

2.2 試験方法の概要

フラス脆化点とは、アスファルトの低温における変形しやすさを示すもので、鋼板の表面に作成したアスファルト薄膜を曲げたとききれつの生じる最初の温度をいう⁴⁾。試験は $41 \times 20 \times 0.15\text{mm}$ の鋼板に 0.4g のアスファルトを均一に塗布したものを供試体とし、これを試験機に設置して 40mm から 36.5mm へ曲げ伸ばしを繰返す。このとき1分間に 1°C の割合で温度を降下させアスファルト膜にきれつを生じさせるものである。また、自動試験機では、同時に3個の試料について試験することが可能である。

2.3 試験機

(1) 試験機曲げ部

フラス試験機は図-1の中央部のように2本の鋼製管からなり、内側管の下端に鋼製クリップを設け上部のハンドルを回転させることによって、2個のクリップ間にある内側管が外側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ながら曲げる。しかし、回転速度を一定にするにはかなりの熟練が必要である。自動試験機では上部に動力としてモーターを取りつけ、2個のクリップ間を自動で上下する機構にし回転速度を一定にした（図-2参照）。

(2) 鋼板

材質としてはバネ鋼を用いている。規格はJIS K2207.5.15に準ずる。

(3) 冷却装置

フラス試験の温度管理は、図-1に示す内側と外側の試験管の間の環状の空間に、その高さの約半分までアセトンを満たしロートをとおして細かく砕いたドライアイスを加えることで温度管理をしているため、温度管理が非常にむずかしい。また、空気を冷却しているため試験管内に温度むらがあり、試験管内温度と試料体温度に温

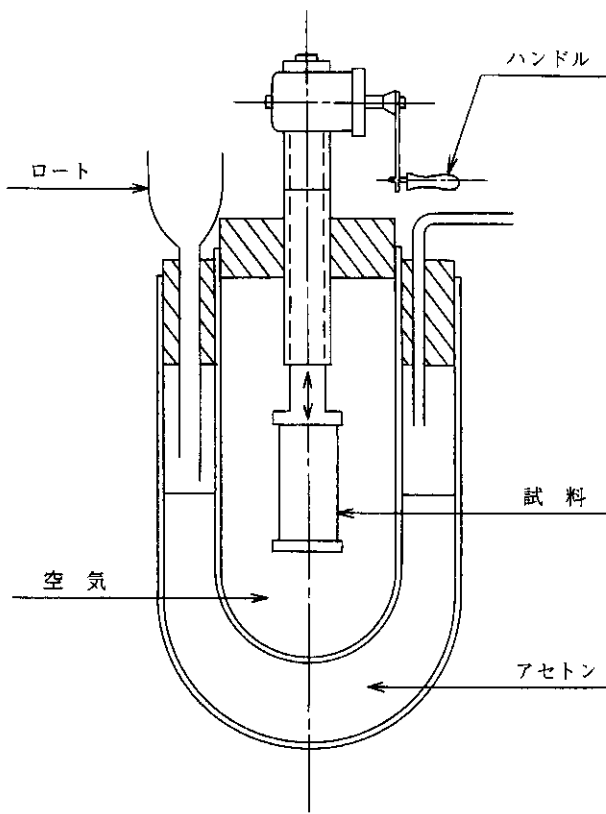


図-1 フラース脆化点試験機（現行法）

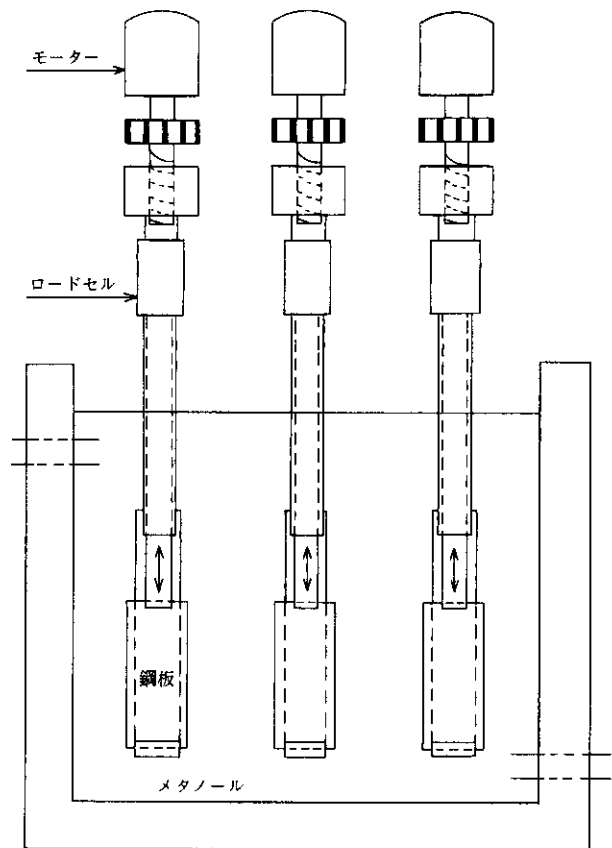


図-2 自動フラース試験装置

度差が生じ試験精度を低下させていた。自動試験機では、冷却液であるメタノールの温度管理を自動制御にし、直接試料体を冷却することにより温度差を解消した。

(4) 温度計

自動で温度制御するため、白金抵抗体の温度センサー（感度0.1℃）を使用している。

(5) 応力の検出

試験機曲げ部に1gまで検出できるロードセル(荷重計測機)が設置してあり、図-3のように試験開始から終了まで一連のアスファルト+鋼板の荷重を検出している。

2.4 試料の準備

JIS K2207.5.15.3に準ずる。

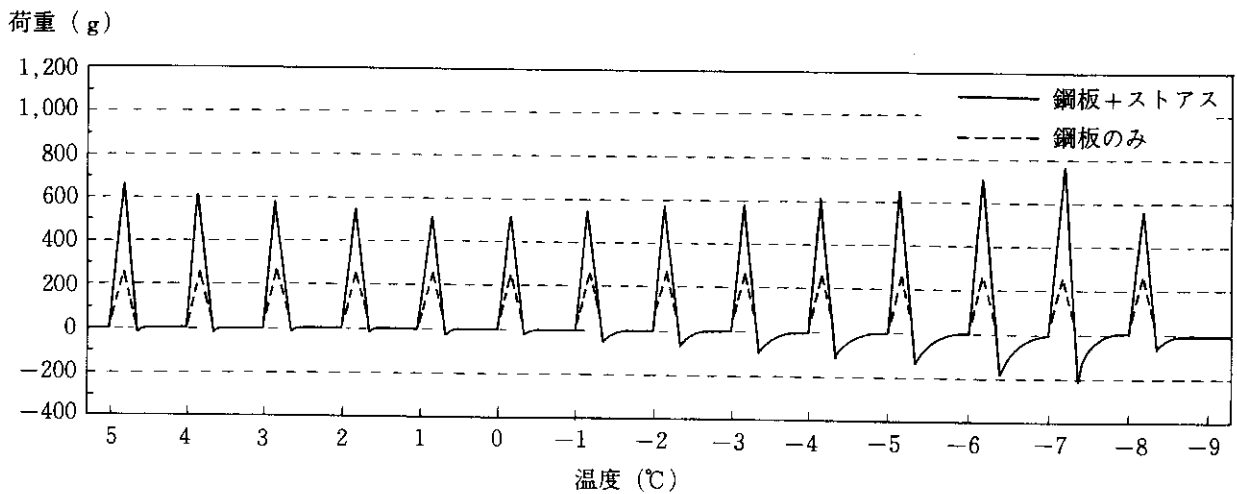


図-3 荷重状況図

2.5 試験の手順

- (1) 外部の冷却機付水槽にメタノールを規定量だけ満たし、試験水槽に循環させる。
- (2) 試料を塗布した鋼板を徐々に曲げて、曲げ装置のクリップ間に挟み試験水槽内に設置する。
- (3) 自動制御装置をスタートさせ、1分間に1℃の割合で冷却媒体であるメタノールの温度を下げる。また、試験機の曲げ部分はクリップ間が初期値の40.0±0.1 mmから36.5±0.1 mmまで10秒間で1回曲げる。試料面にきれつが入らないときは同速度で戻す。この操作を1分間ごとに繰り返して行く。
- (4) 曲げ上部に応力計測機があり、試料にきれつが生じたときの応力の変化から破壊点を判定した。

2.6 試験機精度

表-1に示す性状のストアスを標準として使用した。試

表-1 ストレートアスファルト性状表

品 名	ストアス	JIS K-2207
針入度(25℃ 100g 5sec)	84	80~100
軟化点(℃)	46.0	42.0~50.0
伸度(15℃) (cm)	+100	100以上
三塩化エタン可溶分(%)	99.68	99.0以上
引火点(℃)	344	260以上
比重(25/25℃)	1.0241	1.000以上

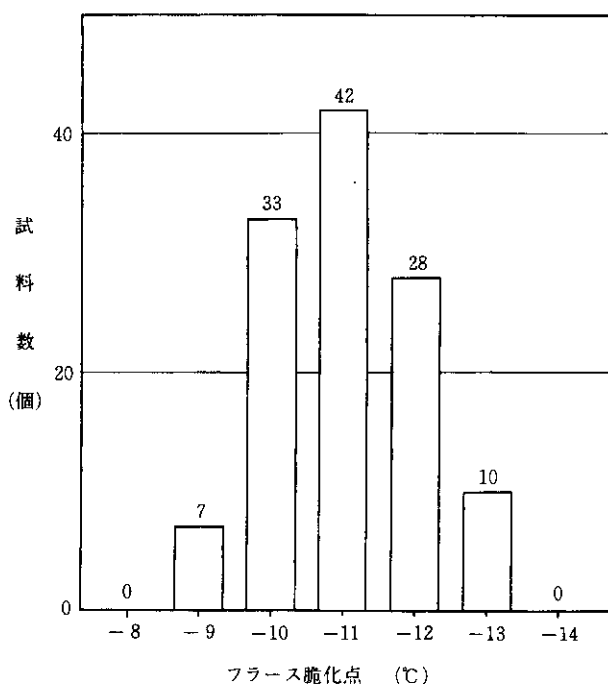


図-4 標準アスファルトのフラス脆化点分布図

験は40回行い、試料数120個について測定した。

図-4は縦軸に試料数、横軸に脆化温度を表わしている。試験結果は、平均-11.1℃で温度範囲が-9~-13℃で破壊されている。標準偏差は1.03であり99%信頼区間は±0.2℃となるが、1℃の温度低下ごとに1回、曲げ伸ばしをするので±1℃の誤差といえることができる。

3. 北海道におけるストアス性状調査

現在、わが国で使用されている道路舗装用ストアスは60~80(針入度)が多く使用されている。しかし、積雪寒冷地域である北海道は横断きれつ現象などの問題を考慮して、針入度80~100のアスファルトを使用している。

一方、北海道で使用されているストアスの性状調査が行われた事例は今まで少ない。そこで、北海道におけるストアスの性状試験を実施した。

3.1 調査の概要

調査の対象は、全道83カ所のプラントから収集したストアスである。これらは試験成績表を付随の上、各プラントから直接収集したものである。

本調査ではJIS-K2207に準じ、針入度、軟化点、さらに本報文中で紹介したフラス試験の3種類について行った。試験結果は、以下の3項目について検討した。

- 1) 品質の現況
- 2) 各試験結果の相互関係
- 3) 試験成績表と試験値の関係

3.2 試験結果

(1) スタオスの品質現況

針入度に関しては規格値に入らなかった例がみられた。それらの規格のはずれ方は、ほとんど80以下と規格値より低い値を示している。軟化点については、すべての試料が規格値内であり分散も少ない。また、1987年に建設省土木研究所で行われたストアス品質試験結果⁵⁾と比較してみると、今回の試験結果では針入度の値が低めで、分散も大きめになっている。これは、建設省土木研究所の試験が製油所より直接収集したストアスであるのに対し、今回の試験がプラントより収集したストアスであったこと、つまり、製油所から各プラントへの運搬・備蓄過程における要因が関わったと考えられる。また、軟化点については特に目立った変化はみられなかった。

フラス脆化点は、-7~-14℃と広範囲のものとなった。図-5はフラス脆化点の分布形状を表わしている。また、フラス試験におけるアスファルトの応力状態を示したものが図-6である。図中の丸印はアスファルト+鋼板の応力変化を示したものである。図中の四角印は同じ条件での鋼板のみの応力変化であるが、鋼板は曲げる

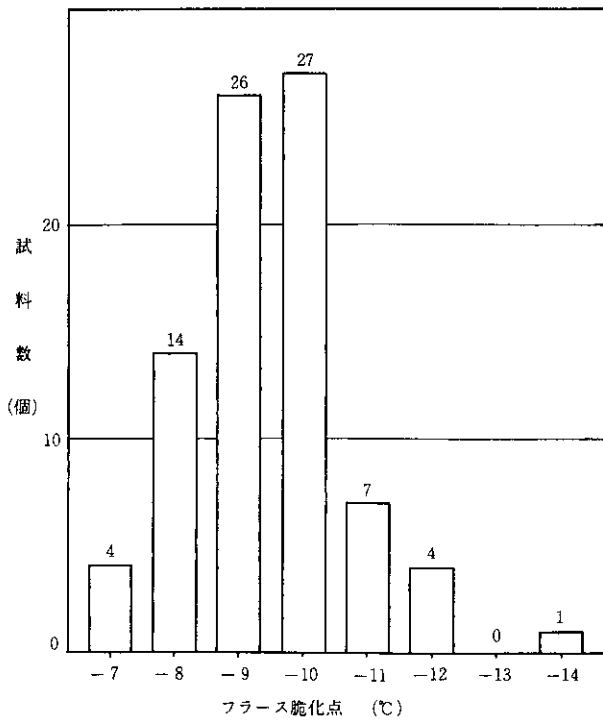


図-5 フラス脆化点分布図

方向、伸びる方向ともに温度による応力変化は生じていないことがわかる。

この結果から、アスファルト+鋼板の応力から鋼板のみの応力を引いたものがアスファルト単体の応力になる。プラス温度領域でアスファルトが受ける曲げる方向の応

力は温度の低下とともに小さくなり、2°C付近で最小値となる。また、マイナス温度領域では破壊の直前で最大値となる。この傾向は83カ所すべての試料にみられた。また、アスファルト混合物としてのスパイクによる摩耗は0°C付近で顕著との報告がなされている。これはアスファルトの応力、すなわちアスファルトの結合力が2°C付近で最小値になっている状態と符合している。

鋼板の伸びる方向での応力はプラス温度領域でほとんどみられないが、マイナス温度領域になると少しずつ大きくなり、破壊の直前で最大値となる。以上のことから、(ある温度以下での)アスファルトは、プラス温度領域で弾性体の性質をもち、0°C付近を境にマイナス温度領域では塑性体の性質が顕著になる。また、マイナス温度領域で起こる応力は純粋にアスファルトの硬化による応力であり、横断きれつ現象や剝離などに影響を及ぼしているものと考えられる。

(2) 各試験結果の相互関係

今回の試験では、軟化点、針入度、フラスと3種類の試験結果について相互関係を検討した。

一般にアスファルトの感温性を評価する値として、針入度と軟化点から求める針入度指数 (PI) がある。PIは通常ストアスの場合で、-2~2の範囲をとるといわれている。試験結果では、-2~-0.9で目だった変化はみられなかった。

針入度と軟化点の相関は、図-7に示すように相関係数

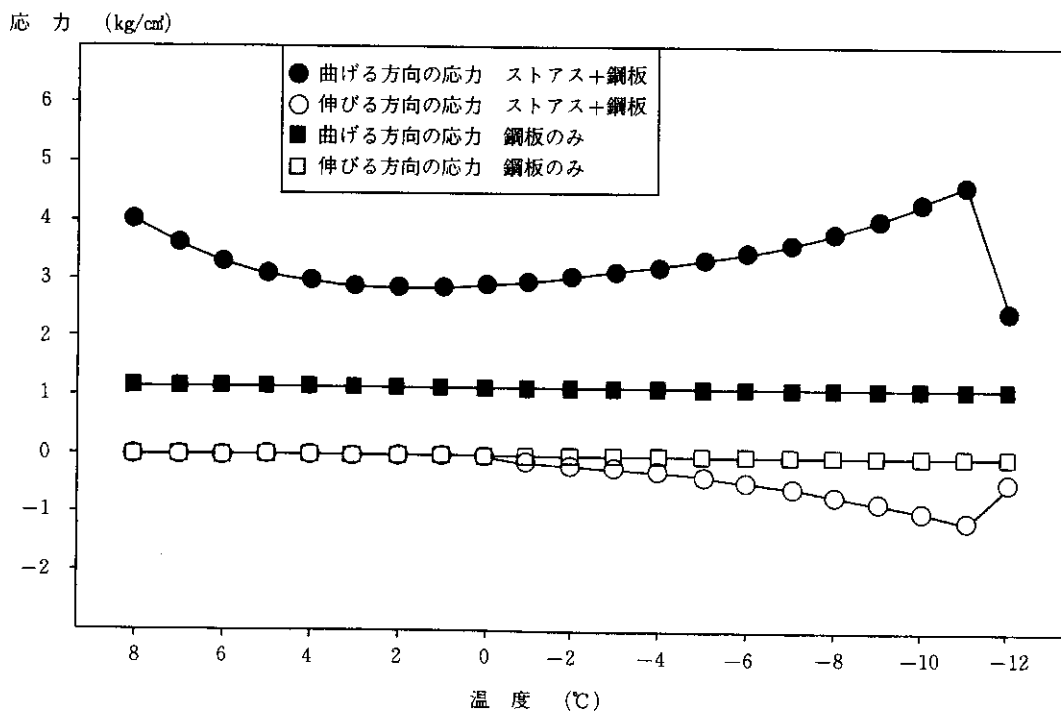


図-6 応力図

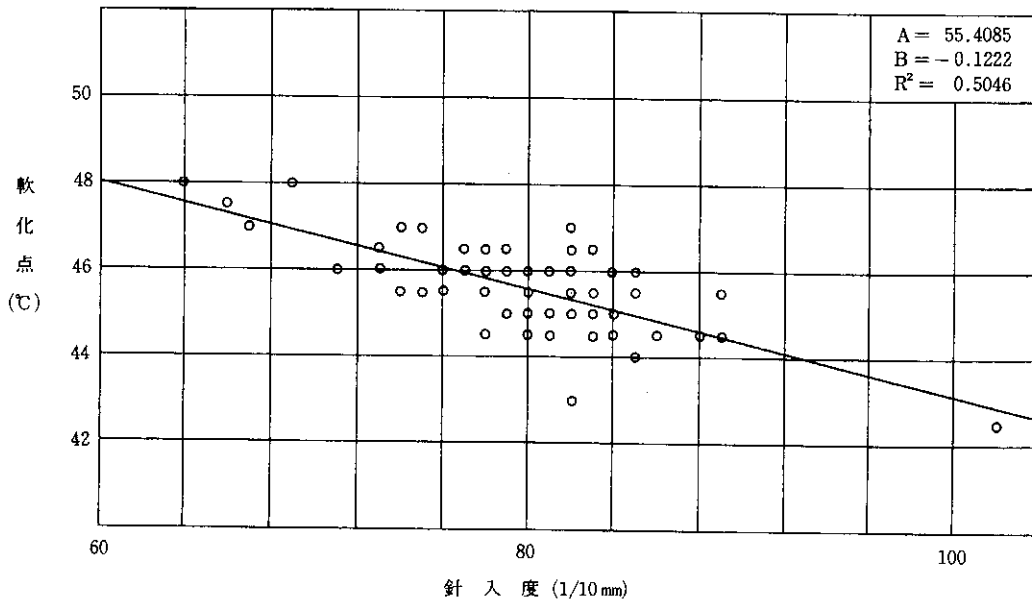


図-7 針入度と軟化点による相関図

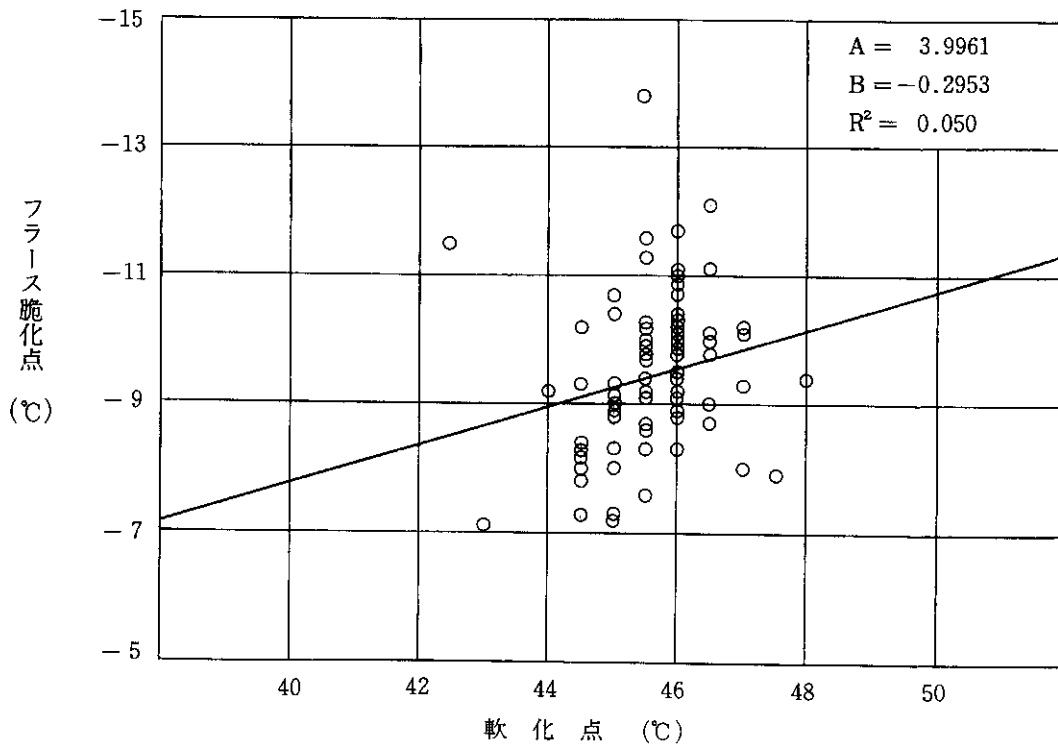


図-8 軟化点とフラス脆化点による相関図

$R^2=0.50$ と高い値ではなかった。図-8, 9 はフラスと軟化点, PI による相関を示した図であるが, 相関係数がそれぞれ $R^2=0.05, 0.29$ とまったく相関がない。また, フラスと針入度の関係は舗装試験法便覧に記載されているストアスの相関式⁸⁾を用いて表わした結果が図-10である。この図は一次相関式と二次相関式を用いたものに,

試験結果をプロットしたものであるが, 自動試験機で行った試験結果ではまったく相関がなかった。これは, 低温領域のアスファルト性状を示すフラス試験と高温領域のアスファルト性状を示す針入度, 軟化点, PI とはまったく独立のものであり, 低温領域のアスファルト性状を測定するにはフラス試験が重要であることを示してい

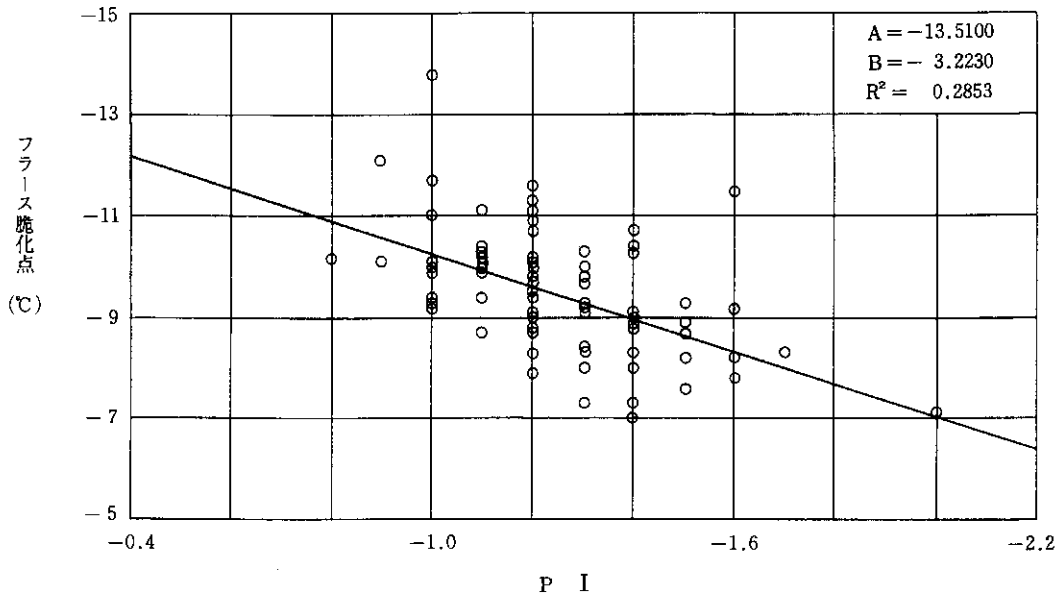


図-9 PI とフラス脆化点による相関図

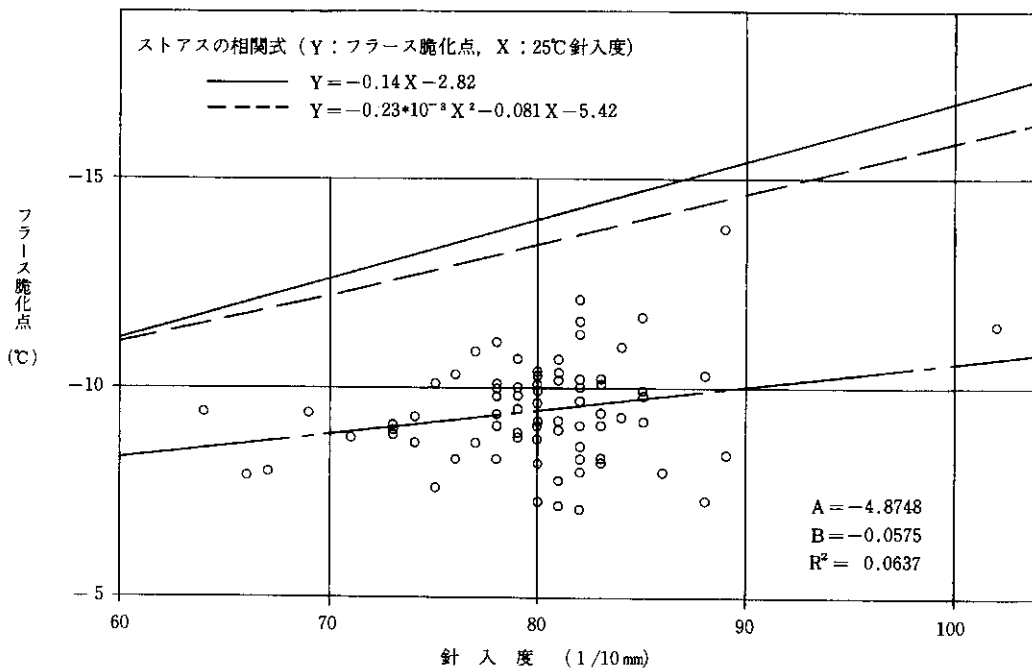


図-10 相関式と試験結果

る。

(3) 試験成績表と試験値の関連

83カ所のプラントから収集したアスファルトの中で、試験成績表が添付されていたのは71カ所であった。フラス脆化点についてはJIS規格に規定されていない中で、71カ所中18カ所の試験成績表に記載されていた。また、試験成績表を見ると同じ会社のアスファルトを扱っているプラントはどのプラントもほとんど同じ試験成績表で

あった。つまり、製油所出荷時点ではアスファルトの性状について試験を行っているが、それ以降の段階では性状試験を行っていないと思われる。しかし、輸送や貯蔵での取扱いが異なっているため性状値も変化し、舗設後に影響がでてくる可能性がある。

フラス試験の測定値と成績表の相関は、図-11に示すようにまったくなかった。傾向としては、測定値が試験成績表の値よりも小さかった。

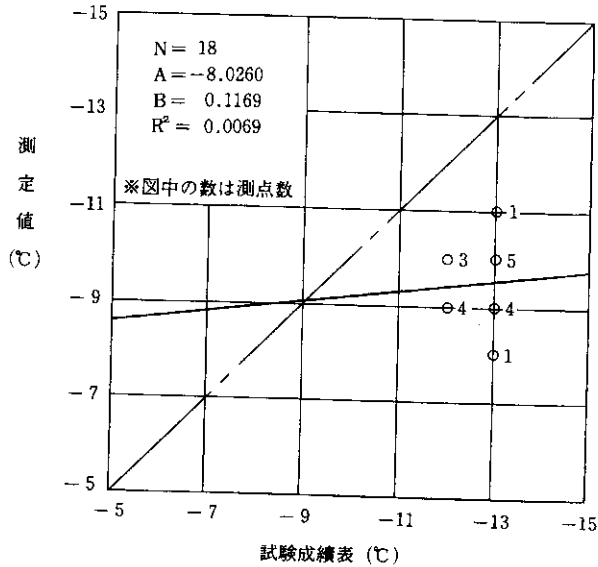


図-11 フラス脆化点

4. まとめ

本報文における成果として、以下のものがあげられる。

- 1) フラス試験は、精度が悪く再現性にも劣っていたが、自動化することで $\pm 1^{\circ}\text{C}$ まで測定精度を向上させた。
- 2) フラス試験の自動化により、脆化温度だけでなくアスファルト単体の応力を検出できるようになり、脆化の状態を明確に把握できるようになった。
- 3) 北海道の各プラントのストアスの軟化点は規格値をすべて満足しているが、針入度では規格値より低い値のものがみられた。
- 4) フラス脆化点は、 -7°C ～ -14°C と広範囲のものとなっていることがわかった。
- 5) 80～100のストアスは、ある温度以下で 0°C 付近を境にプラス領域で弾性体の性質をもち、マイナス領域では塑性体の性質をもつことがわかった。

5. おわりに

フラス試験を自動化し、測定精度を高めることによってフラス試験の信頼性が確立されたが、フラス脆化点とアスファルト舗装の横断きれつ現象や剝離などとの関連性やアスファルトの応力挙動がまだ明確ではない。そこで、今後は試験施工やその後の追跡調査で関連性を解析・検討していきたい。

本報文を終えるにあたり、フラス試験機の自動化にあたって御助言をいただいた北海道大学の森吉助教授、各プラントからの試料収集を担当された各開発建設部の皆様に対し、ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1), 4) 舗装試験法便覧, 社団法人 日本道路協会, 昭和63年11月.
- 2) 森吉昭博, 高橋 将, 張 肖 寧:「低温領域におけるアスファルトの亀裂試験法」, 石油学会誌 第30巻第4号, 1987年7月.
- 3), 7) 松野三朗, 南雲貞夫, 三浦裕二, 山之口 浩: アスファルト舗装に関する試験, 昭和46年9月.
- 5) 伊藤正秀, 寺田 剛:「舗装用ストレートアスファルトの性状調査」, 土木技術資料 第29巻第3号, 1987年.
- 6) 久保 宏, 熊谷茂樹, 佐藤彪弐, 山西信雄, 小笠原章, 大類和昭:「スパイクラベリング試験について」, 土木試験所月報 No. 355, 昭和57年12月.
- 8) 林 誠之:「アスファルトの供用性に関する研究」, アスファルト, No. 110, 1977年1月.