

アスファルトの低温脆性の評価に関する研究

A RESEARCH ON LOW TEMPERATURE PROPERTIES OF ASPHALTS

森吉昭博*・藤原正浩**

By Akihiro MORIYOSHI and Masahiro FUJIWARA

This paper describes the results of experimental research to the brittle properties of asphalts by means of Fraass breaking point test and new method measuring fracture temperatures of asphalts due to thermal stress at low temperatures (Moriyoshi Breaking Point Test). In this study, it is concluded that the brittle temperatures of asphalts (Moriyoshi Breaking Point) depend upon the refinery, the mixing plant, the date, the shape and thickness of vessel made of stainless steel and glass transition point of asphalt, and cracked shape of asphalt is closely related to the quality of asphalts.

Keywords: asphalt, brittle fracture, quality of asphalt

1. ま え が き

アスファルト舗装の寒冷地における横断亀裂現象は約50年前に R. F. Rader¹⁾に指摘され、その後多数の研究により解明しようと試みられてきた^{2),3)}。しかし、アスファルトの低温領域における性状把握が不十分であったため、いまだにこの現象は防止することが難しいとされている。

この現象を抑えるために R. C. G. Haas⁴⁾はアスファルトの限界のスティフネスを設定し、横断亀裂の数を求めるメモグラムを提案している。菅原ら⁵⁾は熱応力破壊試験の結果とアスファルトの限界のスティフネスから亀裂温度を求めている。これらの方法はアスファルトの限界のスティフネスをいずれもアスファルトの軟化点温度や針入度から求めているため、低温領域におけるアスファルトの脆化温度を推定しているにすぎない。しかし同一針入度級のアスファルトでもメーカーや製造法により低温性状が異なることが経験的にわかっている⁶⁾。したがって直接アスファルトの低温性状をフラス脆化点

試験から求めようとする方法もある⁷⁾。しかし、この方法はばらつきが多く、実験の再現性に乏しいため、研究にはあまり利用されていない。

著者らはアスファルトの低温性状を簡単にかつ正確に求める森吉脆化点試験を開発し（以下この試験から求めた脆化点を森吉脆化点とよぶ⁸⁾）、この森吉脆化点が熱応力破壊温度と密接な関係にあること^{9)~11)}、また精度を高めたフラス脆化点とも密接な関係にあることなどを明らかにしている。

本研究は種々のアスファルトについて森吉脆化点試験を実施し、各アスファルトの低温脆性の評価およびこの試験法の精度等について検討した結果について報告する。

2. 使用材料

本研究で使用した主なアスファルト（ストレートアス

表-1 使用アスファルトのタイプおよび針入度級

針入度級	アスファルトのタイプ
80/100	Type A* Type B* Type C* Type D* Type E~O** Type P, Q*
100/150	Type A
150/200	Type A
180/200	Type B

* 正会員 工博 北海道大学助教授 工学部土木工学科
(〒060 札幌市北区北13西8)

** 学生会員 北海道大学大学院修士課程 工学部土木工学科
(現・JR 東日本 (株))

* : 標準のアスファルト ** : 3~4日毎に各々のプラントから直接採取
* : 高速道路用アスファルト ** : 製油所毎に直接採取 (11箇所)

表—2 熱応力試験に使用したアスファルトの性状

	針入度 (25℃, 100g./ 5sec)	軟化点 (℃)	針入度 指数	フラス 脆化点 (℃)	森吉 脆化点 (℃)	熱応力 破壊 温度 (℃)
14	34	54.0	-1.1	-4	-10	-19.0*
15	44	60.5	+0.8	-12	-23	-29.0
16	60	50.6	-0.6	-10	-21	-27.9
17	69	50.5	-0.2	-12	-22	-28.5
18	108	44.5	-0.7	-14	-25	-33.0
19	173	40.5	-0.4	-21	-30	-36.4**
20	235	37.5	-0.4	-21	-32	-38.4
10	90	47.5	-0.4	-13	-24	-31.0 -30.5 -33.6***
8	98	44.0	-1.2	-12	-19	-29.0 -28.8 -27.5
11	109	47.6	+0.3	-19	-28	-35.4 -36.6 -36.9
9	69	52.0	+0.1	-10	-18	-28.1 -27.9 -27.1
12	85	47.5		-15	-27	-34.5
13	90	46.5		-15	-24	-29.9

*：冷却速度 -12℃/h、突合せ治具

**：冷却速度 -12℃/h、袋状治具

***：冷却速度 -30℃/h、袋状治具

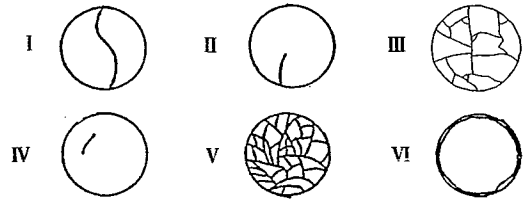
ファルト)は表—1に示すとおりである。なお、熱応力試験およびこれとの対応をみるために行ったフラス脆化点試験および森吉脆化点試験に使用したアスファルトは表—2に示す。このときの混合物は密粒度アスファルトコンクリート(アスファルト量5.8%,最大粒径13mm)を用いた。

3. 実験方法

(1) 森吉脆化点試験

アスファルトを直径14cm,深さ1cm,厚さ1mmのステンレス製の皿の容器2個におおの50g(0.49N,皿上で厚さ3mmとなる)ずつ取り,約120℃まで加熱融解し,その後徐冷し両試料を45℃の恒温室内に10分間以上保管し,1個の試料を一定温度のメタノールの低温水槽内に1分間投入し,その後すぐ取り出してアスファルトに亀裂があるかどうかを目で確認する。亀裂があれば別の試料を用いて同温度で同様の作業を行うが,亀裂がない場合は再度恒温室内で試料を10分間以上保管し,試料を交互に用いてさらに1℃低い温度で同様の作業を繰り返す。両試料の破壊温度差が3℃以上あれば実験はやりなおす。この試験の森吉脆化点は両試料のうち高い方の温度とし,亀裂の形状の検討に際してもその方を採用する¹²⁾。

脆化点において生じたアスファルトの亀裂の形状は大別して図—1に示すような6つのタイプがあるとみなせる。まずタイプⅠは亀裂が皿の端部から端部へと連続的に入る場合であり,タイプⅡは亀裂が端部から出発して,途中で止まっている場合である。さらに図—1に示すように多数の亀裂の入るタイプⅢの亀裂や中央部にのみ亀裂がみられるタイプⅣの亀裂がある。また,このほかに特異な例として亀裂が直線的でなく,網の目状に入るタイプⅤの亀裂,および図—1のように皿の端部に沿って円周状に入るタイプⅥの亀裂がある¹³⁾。



図—1 亀裂の形状のタイプ分け

以上は標準の実験であるが,本研究では比較・検討のため以下のような特殊な条件でも実験を行った。なお,その設定以外は標準の条件と同様に行った。

① 水槽温度を0.2℃ごとに変化させたもの
通常1℃ごとに行う実験を0.2℃ごととして行った。なお,皿は6枚用意してこれらを循環的に使用することとした。

② アスファルトの厚さを変化させたもの
皿上のアスファルトの厚さを標準の3mmのほか,0.5mm,1mm,6mm厚でも行った。

③ 皿の材質や寸法を変化させたもの
表—4に示すようなさまざまな皿について行った。

(2) フラス脆化点試験

DIN U 6に準拠した方法で行ったが,装置本体を低温水槽内のメタノール中に浸し,冷却速度-1℃/minのもとで1分ごとに本体を取り出してアスファルト試料の亀裂の有無を確認し,亀裂が初めて認められた温度を脆化点温度とする方法をとった。このとき温度は温度精度±0.01℃のデジタル温度計で測定した。この方法では従来の方法より著しく実験精度が改善されている¹⁴⁾。

(3) 熱応力破壊試験

この試験は供試体寸法2.5×2.5×26cmの棒状のアスファルト混合物を両端固定し,周囲のメタノールの温度を低温水槽とプログラム温度設定器を用いて±0.1℃の精度で温度制御しながら,ある温度から一定冷却速度でアスファルト混合物が熱応力で破壊するまで実施する。この装置は荷重および温度による荷重計や治具の変形量をできるだけ少なくなるように配慮されている。荷重の記録はデータロガと自動平衡型記録計を用い2分間隔にデジタル入力と同時にアナログ入力も行った。

解析は荷重が最大となり,アスファルト混合物が破壊するときの温度を熱応力破壊温度とし,熱応力は測定された荷重を供試体の元の断面積で除したものとした。また,熱応力破壊強度は破壊温度における熱応力とした¹⁵⁾。

(4) 実験水槽

森吉脆化点試験,フラス脆化点試験および熱応力破壊試験で使用した実験水槽は0.1℃単位の温度設定が可能であり,調節精度は±0.01℃である。水槽内の温度は設定温度のみに頼るのを避け,別個に±0.01℃の

デジタル温度計を用いて計測した。

(5) ガラス転移点の測定

高分子物質はある一定の温度でその物質特有の粘性を失ってガラス状となり、その温度を境にして熱膨張係数や比熱、および比容（1グラムの体積）の温度による変化の程度が著しく異なる。これをガラス転移と称し、その温度をガラス転移点という。本研究ではプラントからある日付けごとに採取したアスファルトの一部の試料について、このガラス転移点を測定し、脆化点試験結果との比較・検討を試みた。測定は試料を約30mgとり、高感度示差熱量計（DSC-10A）によった。この試験装置は酸化アルミニウムの粉末を基準物質とし、これと試料の温度を等しく保ち両者の必要なエネルギーの差を測定し、その計測結果から不連続となった点の温度からガラス転移点を求める。測定は1つの試料について2回行った。

4. 結果および考察

(1) 森吉脆化点の精度について

表-3は通常1°Cごとに水槽温度を低下させて行う実験を森吉脆化点試験の精度を検討するために0.2°Cごととした場合の森吉脆化点と亀裂の形状のタイプとを示す。アスファルトはType Aの80/100であり、6枚の皿を循環的に使用した。この結果より、亀裂の初出した温度の各皿でのばらつきの程度を調べると最高で-24.8°C、最低で-25.6°Cであり、その範囲は0.8°Cである。したがって森吉脆化点試験での脆化点温度は測定のための温度間隔は妥当なものといえよう。一方、亀裂の形状を比較すると標準の実験では亀裂が相当多数入っているのに対し、この実験結果では比較的少なかった。このことより、温度間隔を小さくすると本数の多い亀裂は生じづらいものと考えられる。

(2) 皿上のアスファルトの厚さによる違い

表-4はアスファルト（Type Aの80/100使用）の厚さが0.5mm、1mm、3mm、6mmの3つの場合で皿の大きさ、数種の材質について実験を行った場合の森吉脆化点を示す。これによると森吉脆化点の値は1mmと3mmとの間では大差ないが、厚さ6mmの方がおよそ1~2°C低くなっている。これは厚さが6mm程度となると熱の伝達が悪くなり、試料自体の温度が一樣となる時間が異なるためと考えられる。厚さ6mmの場合、実験中に亀裂の生じたらしい音がその目で確認される温度よりも1~2°C高い温度で聞こえたこともあったほか、亀裂確認よりも高い温度で、すでに皿の底部では亀裂の生じているらしい表面での線状の盛り上がり現象が一部のデータで確認されている。また、厚さ1mm以下の場合、亀裂の幅は他に比較して細く、確認は比較的困難で

表-3 0.2°Cごとに行った森吉脆化点試験結果

皿の番号	1	2	3	4	5	6
森吉脆化点(°C)	-24.8	-24.8	-25.4	-25.4	-25.2	-25.6
亀裂形状のタイプ	1	1	1	1	1	1

表-4 皿の材質・大きさおよびアスファルト厚を変化させた森吉脆化点試験結果

皿の材質	皿の内径(cm)	アスファルト厚(mm)	森吉脆化点(°C)
ステンレス	14	0.5	-26
		1	-27
		3	-26
		6	-28
	10	1	-28
		3	-28
6		-29	
同、縁無	14	1	-27
アルミニウム	14	1	-28
		3	-28
		6	-30
	12	1	-28
		3	-28
		6	-34
インバール ¹⁾	14	1	-29
		3	-29
		6	-29
真ちゅう	10	1	-24

1)：インバール製のみ肉厚は3mmとした

あった。一方、厚さ0.5mmの場合も森吉脆化点はほぼ同じであった。ただし、この場合は亀裂形状が他と大分異なり、縁のない皿での場合と同様に中央部分のみとなった。これはアスファルトの厚さがこのように著しく薄いことにより皿の端部の縁の影響がきわめて少なくなったためと思われる。

以上より、厚さ3mm程度が最も試験の遂行上妥当な厚さであると考えられる。

(3) 皿の大きさ、形状、材質による違い

表-4はアスファルトがすべて同一（Type Aの80/100使用）で大きさ、形状および材質の異なる5種類の皿を用いて森吉脆化点試験を行った結果を示す。

これによると他の3種のものと比較してステンレス製の皿の内径14cmの場合が亀裂の発生温度が比較的高く、

インパール製のものが低くなっている。また、ステンレス製の皿では、大きい皿の方が亀裂の入る温度が若干高くなっているとみることができる。これは皿の大きいほど同じ温度にさらされた場合、表面積が大きいため、受ける影響も大きく、亀裂発生が容易になるためと思われる。また、インパール製の皿で森吉脆化点が低くなったのは材質ではなく、この皿の肉厚が厚く、熱容量が大きくなったことに起因するものと思われる。すなわち、皿の熱容量が大きいため、同じ水槽温度の設定でもこの皿の場合は実際にアスファルトが冷媒と同じ温度に達するまでにより時間を要しているためと考えられる。また、アルミ製の皿で森吉脆化点が低いのはステンレス製のものよりも材質が軟らかく、剛性が小さいためと思われる。なお、アルミ製の小型の方の皿では亀裂は端部にのみ入り、確認は特に困難であった。これは皿の端部では特に応力が集中することと無縁ではないと思われる¹⁶⁾。また、縁のない皿では亀裂は皿の中央部のみに生じ、その形状も細かい網の目状となり（前述のタイプⅣ、タイプⅤの亀裂の複合したもの）、他の形状と著しく異なった。

以上より、使用したいずれの皿でも実験は可能であるが、皿の形状によって森吉脆化点が若干異なる結果となるため、種々のアスファルトの性状を比較するには同一形状で同一の材質の皿を用いなければならないことがわかる。

(4) 針入度級の異なるアスファルトを混合した場合

表—5に Type B の 80/100 と Type B の 180/200 のアスファルトの割合を変えて混合した後、120°C で 12 時間放置した場合のおおの森吉脆化点と亀裂の形状を示した。これによると 80/100 の森吉脆化点が -24°C、180/200 のそれが -32°C であったのに対し、混合した場合の森吉脆化点は割合に応じて両者の脆化点の中間の値をとるのではなく、いずれも等しく 180/200 より 2°C ほど高い温度であった。また、亀裂の形状は混合していない 2 者が前述のタイプⅠの亀裂に属するのに対して、混合したものはタイプⅡの亀裂に属している。

このことより亀裂がタイプⅡである場合、逆にそのアスファルトは異なったアスファルトを混合したものであり、不均一なアスファルトであることが疑われ、また、低温での性状も単に両者の割合に応じた中間的な値をとるとは限らないといえることができる。

また、表—6にはメーカーが硬軟 2 種のアスファルト
表—5 針入度級の異なるアスファルトを混合した場合の森吉脆化点

80/100の量：180/200の量	100:0	60:40	50:50	40:60	0:100
森吉脆化点 (°C)	-24	-30	-30	-30	-32
亀裂形状のタイプ	I	II	II	II	I

表—6 針入度級の異なるアスファルトでの試験結果

針入度級	80/100	100/150	150/200
森吉脆化点 (°C)	-25	-28	-28
亀裂形状のタイプ	I	I, II	II

から中間の柔らかさのアスファルトを作成した 3 種の針入度級のアスファルトについての森吉脆化点試験の結果と亀裂の形状を示した。これによると森吉脆化点は 100/150 と 150/200 の両アスファルトで変わらず、ともに 80/100 のアスファルトよりも 3°C ほど低い温度となった。また亀裂の形状をみると 80/100 と 150/200 とでは明らかに異なっており、150/200 では 2 つの皿のうち一方が 80/100、他方が 150/200 に近い形状となっている。これより、100/150 は 80/100 と 150/200 の両者が混合されたことが亀裂形状からも確認できたように思われる。

このようにアスファルトの亀裂形状がタイプⅡのようになる原因は異種のアスファルトが混合されたとき得られたアスファルトのコロイド構造が不均一になるためと思われる。このような現象は昔からいわれていたアスファルトの不適合現象と関係があると考えられる。

(5) 森吉脆化点試験およびフラス脆化点試験からみた薄膜加熱試験前後の各社（メーカーおよび製油所）の性状の違いと日変動の比較

表—7, 8, 9 および図—2, 3, 4 にプラントの異なる 3 社のメーカーの Type B~D のアスファルトの脆化点の日変動を薄膜加熱前、後 (163°C, 5 h) についてフラス脆化点試験、森吉脆化点試験の両者について示す。また、表—10 に製油所の異なる Type E~O のアスファルトについての同様の試験結果を示す。いずれも針入度級は同じ 80/100 である。

これより、まず両脆化点の試験結果を比較するとフラス脆化点は同じアスファルトについて 6 回試験を行って ±2~3°C 程度と試験値のばらつきが大きいのにに対して森吉脆化点は 2 回でいずれも ±1°C の範囲におさまっており、後者の方がより精度の高い試験であるといえることができる。次に、薄膜加熱前後で比較すると、概して薄膜加熱後のアスファルトは両脆化点はともに高い傾向が認められる。これは薄膜加熱によりアスファルトの粘度や強度が変化するためと考えられる。したがって加熱前後での脆化点温度の差はアスファルトによって異なっている。

表—10 の製油所ごとのアスファルトの森吉脆化点は製油所によってかなりのばらつきがみられる。これは同じ針入度級とされていても製油所での生産段階からアスファルトの性状はかなり異なることを示している。

表一 7 Type B のアスファルトでの脆化点試験結果 (プラント 1)

日付	薄板加熱	フラス脆化点試験		森吉脆化点試験		
		脆化点 (°C)	バラツキ (°C)	脆化点 (°C)	バラツキ (°C)	亀裂のタイプ
6/25	前後	-15.5	-14~-19	-2.3	-23・-25	II I, III
		-14.2	-13~-19	-2.4	なし	
6/29	前後	-15.2	-14~-16	-2.4	なし	IV II
		-14.4	-13~-16	-2.1	-21・-22	
7/1	前後	-15.8	-14~-19	-2.4	-24・-26	I I
		-14.3	-14~-15	-2.4	-24・-25	
7/3	前後	-15.8	-15~-18	-2.4	なし	I I
		-13.5	-13~-14	-2.2	-22・-24	
7/6	前後	-15.0	-14~-16	-2.5	なし	III II
		-14.5	-11~-19	-2.4	-24・-25	
7/9	前後	-17.3	-16~-20	-2.4	-24・-25	I II
		-15.3	-14~-16	-2.3	-23・-24	
7/12	前後	-15.3	-14~-17	-2.5	-25・-26	II II
		-14.8	-13~-18	-2.2	-23・-23	
7/15	前後	-15.7	-15~-18	-2.6	-26・-27	II I
		-14.5	-13~-16	-2.1	-21・-22	
7/18	前後	-15.2	-14~-17	-2.5	-25・-26	II II
		-14.5	-13~-16	-2.1	-21・-23	
7/21	前後	-14.2	-13~-15	-2.5	-25・-26	I II
		-12.7	-11~-14	-2.2	-22・-23	
7/28	前後	-14.2	-13~-16	-2.6	-26・-27	II II, VI
		-12.0	-11~	-2.2	なし	

表一 8 Type C のアスファルトでの脆化点試験結果 (プラント 2)

日付	薄板加熱	フラス脆化点試験		森吉脆化点試験		
		脆化点 (°C)	バラツキ (°C)	脆化点 (°C)	バラツキ (°C)	亀裂のタイプ
7/2	前後	-14.2	-9~-15	-2.5	なし	II III
		-13.2	-12~-15	-2.5	-25・-26	
7/6	前後	-15.0	-14~-16	-2.6	-26・-28	IV I
		-13.7	-13~-14	-2.7	なし	
7/8	前後	-16.3	-16~	-2.7	-27・-28	II I
		-14.3	-14~-15	-2.6	-26・-27	
7/9	前後	-15.0	-14~	-2.8	なし	II I
		-15.3	-11~-19	-2.7	なし	
7/11	前後	-18.5	-18~	-2.7	-27・-28	II II
		-16.0	-14~	-2.7	なし	
7/13	前後	-15.2	-14~-17	-2.7	なし	II I
		-15.0	-13~-17	-2.5	-25・-26	
7/16	前後	-14.5	-8~-18	-2.7	なし	II I
		-14.2	-13~-18	-2.7	なし	
7/18	前後	-15.2	-14~-17	-2.6	-26・-28	II I
		-14.5	-13~-15	-2.5	-25・-27	
7/22	前後	-16.2	-15~-18	-2.5	-25・-26	II I
		-15.3	-14~-17	-2.4	-24・-26	
7/24	前後	-15.0	-14~-17	-2.7	-27・-28	III II
		-15.3	-13~-20	-2.5	-25・-26	
7/27	前後	-16.8	-13~-18	-2.6	なし	II I
		-14.2	-13~-15	-2.5	-25・-27	
7/29	前後	-15.5	-14~-17	-2.5	-26・-27	I II
		-15.8	-15~	-2.6	なし	

表一 9 Type D のアスファルトでの脆化点試験結果 (プラント 3)

日付	薄板加熱	フラス脆化点試験		森吉脆化点試験		
		脆化点 (°C)	バラツキ (°C)	脆化点 (°C)	バラツキ (°C)	亀裂のタイプ
6/23	前後	-15.0	-13~-16	-2.5	-25・-26	I I
		-11.5	-10~-14	-2.5	-25・-26	
6/26	前後	-14.5	-13~-16	-2.5	-25・-27	I III
		-13.5	-12~-16	-2.5	-25・-26	
6/29	前後	-15.0	-12~-17	-2.3	-23・-24	I I
		-16.0	-14~-18	-2.4	-24・-25	
7/2	前後	-13.5	-13~-15	-2.3	-23・-24	I I
		-15.0	-13~-17	-2.3	-23・-24	
7/6	前後	-14.8	-12~-19	-2.3	なし	I I
		-14.8	-12~-17	-2.4	-24・-25	
7/8	前後	-14.5	-13~-16	-2.3	なし	I I
		-13.5	-12~-15	-2.2	なし	
7/11	前後	-13.5	-12~-14	-2.5	なし	I I
		-12.8	-12~-17	-2.3	-23・-24	
7/14	前後	-16.0	-14~-20	-2.3	-23・-24	I I
		-13.4	-12~-17	-2.2	-22・-23	
7/17	前後	-15.8	-14~-19	-2.3	-23・-24	II I
		-13.3	-12~-20	-2.3	なし	
7/20	前後	-15.6	-14~-19	-2.5	なし	I I
		-14.8	-13~-17	-2.4	-24・-26	

表一 10 製油所別アスファルトでの試験結果

Type	薄板加熱	フラス脆化点試験		森吉脆化点試験		
		脆化点 (°C)	バラツキ (°C)	脆化点 (°C)	バラツキ (°C)	亀裂のタイプ
E	前後	-14.8	-13~-16	-2.5	なし	I, II I
		-13.7	-13~-15	-2.4	-24・-25	
F	前後	-15.2	-14~-16	-2.7	なし	I, II I
		-14.0	-12~-16	-2.5	-25・-27	
G	前後	-13.7	-13~-15	-2.4	なし	I, II I
		-13.3	-13~-15	-2.3	なし	
H	前後	-13.7	-13~-14	-2.5	なし	I I, VI
		-11.0	-10~-12	-2.3	-23・-24	
I	前後	-14.2	-14~-15	-2.3	-23・-25	I I, VI
		-13.8	-12~-15	-2.4	-24・-26	
J	前後	-14.7	-13~-17	-2.6	なし	I I
		-14.5	-13~-15	-2.5	-25・-27	
K	前後	-15.0	-14~-16	-2.5	-25・-26	I I
		-14.5	-14~-15	-2.3	-23・-24	
L	前後	-14.8	-14~	-2.5	-25・-26	I I
		-13.6	-11~-15	-2.1	なし	
M	前後	-17.5	-16~-19	-2.3	-23・-25	I I
		-13.7	-13~-20	-2.2	なし	
N	前後	-12.8	-12~-14	-2.4	なし	I I
		-9.7	-9~-11	-2.0	-20・-21	
O	前後	-14.0	なし	-2.3	-23・-25	I I
		-11.2	-10~-12	-2.2	-22・-23	

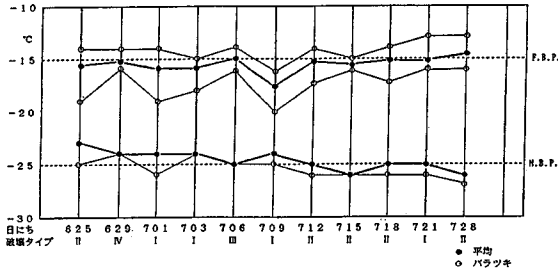


図-2 Type Bのアスファルトでの脆化点試験結果 (薄膜加熱前) (プラント1)

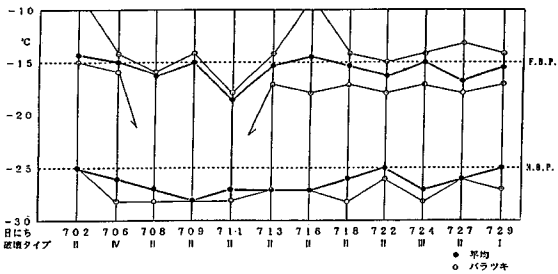


図-3 Type Cのアスファルトでの脆化点試験結果 (薄膜加熱前) (プラント2)

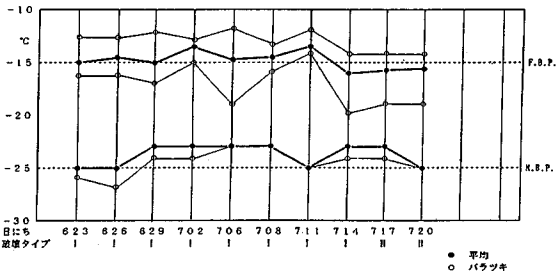


図-4 Type Dのアスファルトでの脆化点試験結果 (薄膜加熱前) (プラント3)

同じ針入度級のアスファルトでの日変動は表-6, 7, 8に示したほか、フラスコ脆化点試験結果の平均値と森吉脆化点試験については2つの試料のうち高温のものゝの亀裂の生じた温度の変動を図-2, 3, 4に示した。これらを見ると、アスファルトは2~3°Cの範囲で変化のゝることが森吉脆化点結果から明瞭にわかる。これはアスファルトの性質が製造または輸送の段階で異なったり、あるいは変化したアスファルトがプラントに供給されたためと考ゝえられる。脆化点が混合物の熱応力破壊温度と深くかゝわりをもつので¹⁷⁾、同じ針入度級のアスファルトでも、混合物の熱応力破壊温度は異なることを示している。このことは現状のように外気温を考ゝ慮して舗装に使用するアスファルトを決定する場合、針入度、軟化点のみの規格では問題があることを提起していると思われ

表-11 ガラス転移点と森吉脆化点試験結果

アスファルト	ガラス転移点 (°C)	森吉脆化点 (°C)
D-6/23	-3.4, -3.7	-2.5
D-7/6	-3.2, -3.6	-2.3
D-7/20	-3.2, -3.5	-2.5
C-7/2	-3.5, -3.7	-2.5
C-7/9	-3.8, -3.9	-2.8
C-7/29	-3.1, -3.5	-2.5
B-7/3	-3.3, -3.4	-2.4
B-7/6	-3.2, -3.4	-2.5
B-7/15	-3.0, -3.3	-2.6

る。

(6) ガラス転移点と森吉脆化点試験結果の比較

表-11はガラス転移点測定結果と森吉脆化点試験結果を示す。これを見ると明らかなように両者の温度がほぼ対応していることがわかる。すなわち森吉脆化点における亀裂の発生はアスファルトの物理性状の温度に応じた変化に対応していると推察されるので、十分なデータの蓄積があれば、ガラス転移点は森吉脆化点と対応関係にあるように思われる。

(7) 亀裂の形状とアスファルトの性質

アスファルトの種類と亀裂のタイプとのかゝわりあいを調べると以下のようなことがいゝえる。まず、ストレートアスファルトではタイプIかまたはタイプIIIの亀裂に属するものが大半を占める。しかし、例外としてたとえばタイプIIやタイプIVの亀裂に属するものもある。これについてはストレートアスファルトと称されているものの、性質および組成の違いがあるためアスファルトの質が不均一になったと考ゝえられる。また、触媒アスファルトなどではタイプVの亀裂に属するものが多い。このうち、タイプIは亀裂が瞬間的に端から端まで入った場合と一般には考ゝえられるが、場合によってはタイプIIおよびタイプIVのものが伸長したものも含まれていると考ゝえられる。タイプIIIはタイプIで生じた亀裂がさらされた温度が低温であったためさらに多数の亀裂が連鎖的に入った場合とも考ゝえることができる。また、タイプVIに属するものは皿の端部での付着に問題があるようで、脆化点は比較的低いものが多かった。

3社のメーカーのType B~Dについての薄膜加熱後も含めた亀裂の形状を調べ、以上に述べた6つのタイプに分類した結果は表-7, 8, 9に示す。これによるとプラント3のアスファルトではタイプIが大部分を占めるのに対してプラント2ではタイプIIが大部分であり、またプラント1のアスファルトではタイプIとタイプIIとが半々である。このことより、同じ針入度級でもメーカーによってアスファルトの性質の異なるアスファルトであることは明らかである。特にプラント1のアスファルトについてはもしこのように亀裂の種類によってアスファ

表—12 高速道路使用アスファルトでの試験結果

Type	薄膜加熱	フラース脆化点試験		森吉脆化点試験		
		脆化点 (°C)	パラツキ (°C)	脆化点 (°C)	パラツキ (°C)	亀裂のタイプ
P	前	-13.8	-13~-16	-2.2	なし	I
Q	前	-12.2	-11~-13	-2.2	-22・-23	I

ルトが明確に分類されるのであれば品質の異なるアスファルトがプラントにおいて混合された結果であるとも考えることができる。一方、薄膜加熱後での亀裂の分類結果をみると、特にプラント2のアスファルトでは多数がタイプIIからタイプIへと転移しているのがわかる。これは薄膜加熱の結果このアスファルトが均質なものになったことによるものと思われる。一方、プラント3のアスファルトではほぼタイプIであるとみなされ、プラント1のアスファルトでは加熱前の分類結果とあまり変わらないようであり、これらの場合については亀裂の形状から薄膜加熱によってアスファルトの性質の変化はなかったといえる。なお、これらの3社のメーカーから採取したアスファルトの物理試験の結果はこの期間中全く同一のものであった。

また表—10は各製油所から採取した Type E~O のアスファルトの結果を示す。これによると製油所での生産段階においてはほとんどがタイプIとなっている。これはタイプIのような亀裂がみられた場合、製造以後に性状の異なる他のアスファルトと混合されず均質なアスファルトであるという可能性が高いことを示唆しているように思われる。

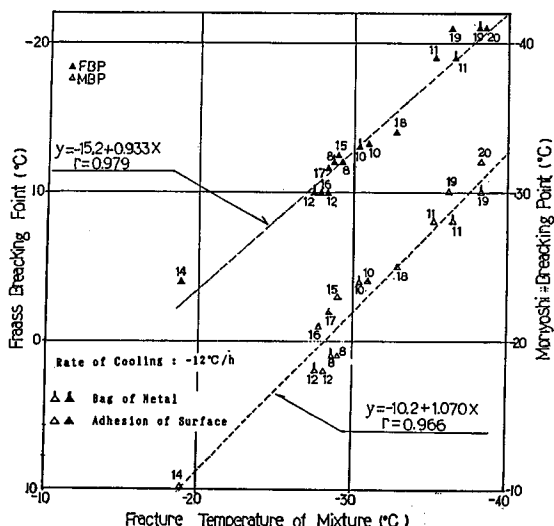
以上より亀裂の形状によってアスファルトの不均一性を推定することはある程度可能であることがわかる。

(8) 高速自動車道使用アスファルトでの性状

表—12は高速自動車道の相隣る工事区間で使用したアスファルトのフラース脆化点、森吉脆化点と亀裂の形状を示す。これより両者で使用したアスファルトはメーカーが異なるとされているが、脆化点や破壊形状から両者ほぼ同一のアスファルトであるように思われる。

(9) 森吉脆化点、フラース脆化点と混合物の熱応力破壊温度との関係

図—5はフラース脆化点、森吉脆化点と混合物の熱応力試験による破壊温度との相関を示す。これによると低針入度から高針入度の広範囲な針入度級のアスファルトに対して両脆化点と混合物の熱応力破壊温度の間には一定の関係がある。ここではアスファルト混合物の治具の接着方法が袋状または突合せ状の両者とも熱応力破壊温度はほぼ同一のように思われる。図に記した直線により、脆化点試験の結果から実際の舗装体における破壊温度の推定が可能であると考えられる。



図—5 同一の粒度およびアスファルト量、異種のアスファルトでの熱応力破壊温度とフラース脆化点、森吉脆化点との関係

5. 結 論

以上述べたことを要約すると以下のとおりである。

- (1) 森吉脆化点はアスファルトの厚さおよび皿の形状に依存するが、同一の形状、同一の材質の条件で実験を行うとフラース脆化点よりも再現性に優れている。
- (2) 森吉脆化点試験におけるアスファルトの亀裂形状はアスファルトの品質と関係があるように思われる。
- (3) アスファルトの低温性状はメーカーや製油所、および日ごとに異なる。
- (4) 森吉脆化点はガラス転移点と対応関係にあるように思われる。
- (5) 森吉脆化点は室内作成のアスファルト混合物の熱応力破壊温度と密接な関係にあることから、この温度はアスファルト舗装の低温亀裂現象の1つの指標になると思われる。

本研究を遂行するにあたり、本学電気工学科の深井一郎教授にご助言を頂いた。また試料採取に際して建設省土木研究所、日本道路公団札幌建設局および北海道庁の皆様大変お世話になった。論文の作成にあたっては、大田黒直文、高橋正人両君にご協力頂いた。関係者の皆様にここに感謝の意を表する。

なお、森吉脆化点試験は日本道路公団札幌建設局の試験舗装の特記仕様書に盛り込まれ、現在アスファルトの品質管理試験として採用されている。この試験は寒冷地のアスファルトの品質管理試験というだけでなく、アスファルトの高温領域の軟化点試験と対応した低温領域の精度の良い試験の一種といえる。したがって温暖地や熱

帯においてもこの試験法は広範囲な温度領域のアスファルトの品質を規定するために必要となると思われる。

参考文献

- 1) Rader, L. F. : Investigations of the Physical Properties of Asphaltic Mixtures at Low Temperatures, Proc. of ASTM, Vol. 35, Part II, pp. 559~580, 1935.
- 2) Monismith, C. L. : Non-Traffic Load Associated Cracking of Asphalt Pavements, PAAPT, Vol. 35, pp. 239~357, 1966.
- 3) Canadian Good Roads Association Ad Hoc Committee on Low Temperature Behavior of Flexible Pavements, Proc. of Canadian Good Roads Association, pp. 69~122, 1970.
- 4) Haas, R. C. G. : A Method for Designing Asphalt Pavements to Minimize Low-Temperature Shrinkage Cracking, The Asphalt Institute, Research Report 73-1 (RR-73-1), pp. 1~91, January 1973.
- 5) Sugawara, T. et al. : Low Temperature Cracking of Asphalt Pavements, Paving in Cold Area, Mini-Workshop, Canada/Japan Science and Technology Consultations, 1982.
- 6) Shields, B. P., Anderson, K. O. and Dacyszyn, J. M. : An Investigation of Low Temperature Transverse Cracking of Flexible Pavements, Proc. of Canadian Good Roads Association, pp. 273~308, 1969.
- 7) 渋谷芳雄, ほか : 道路舗装用アスファルトのフラス脆化点について, アスファルト, Vol. 8, No. 43, pp. 6~11, 1965年4月.
- 8) 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, pp. 273~275, 1987年7月.
- 9) 森吉昭博・新田 登 : 脆性領域におけるアスファルト混合物の破壊に関する研究, 土木学会論文集, 第390号/V-8, pp. 219~223, 1988年2月.
- 10) 森吉昭博 : アスファルト混合物の熱応力破壊, 石油学会誌, 第31巻, 第2号, pp. 172~175, 1988年3月.
- 11) 森吉昭博, ほか : アスファルト混合物の熱応力破壊とアスファルトの性状との関係, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol. 44, pp. 605~608, 1983年2月.
- 12) 8) ibit
- 13) 森吉昭博, ほか : 森吉脆化点試験の応力解析, 土木学会北海道支部論文集, Vol. 44, pp. 601~604, 1983年2月.
- 14) 10) ibit
- 15) 森吉昭博・水沢 隆 : アスファルト混合物の熱応力試験に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第384号/V-7, pp. 137~141, 1987年8月.
- 16) 13) ibit
- 17) 11) ibit
- 18) 森吉昭博 : アスファルト及びアスファルト混合物の低温脆性に関する研究, 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集, pp. 2~3, 1988年10月.

(1988. 10. 26・受付)