



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	種々のアスファルトの低温領域における破壊包絡線
Author(s)	徳光, 克也; 森吉, 昭博; 中島, 隆
Description	ノート
Citation	石油学会誌, 37(4), 455-460
Issue Date	1994-07-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40028
Type	journal article
File Information	moriyoshi_JJPI37_455.pdf



[ノート]

種々のアスファルトの低温領域における破壊包絡線

徳光克也, 森吉昭博*, 中島 隆

北海道大学工学部, 060 札幌市北区北 13 条西 8 丁目

(平成 5 年 11 月 17 日受理)

本研究は、種々のアスファルトについてアスファルト混合物に見られる破壊包絡線概念が低温領域でも適用可能かどうかについて検討した。フラスゼイ化点試験および曲げ試験を種々のアスファルトについて低温領域で実施した結果、この包絡線はアスファルトでも存在し、三つのタイプ、すなわち一つは破壊時のひずみに関係なく曲げ強度が一定の場合、二つは曲げ強度が破壊時のひずみに比例する場合、三つは曲げ強度が急激に破壊時のひずみが小さい領域で低下するタイプに分類される。この形状やその位置はアスファルトの原油の性状に依存し、針入度級には依存しない。また、同一針入度級のアスファルトでもフラスゼイ化点の温度、その温度における曲げ強度、破壊時のひずみ、および破壊時の弾性係数が著しく異なること、さらに種々の添加剤を混入したアスファルトについては低温性状の向上につながるかどうかについてもこの破壊包絡線の形状やその位置から評価が可能である。

1. 緒 言

アスファルト舗装は低温から高温に至る広範囲な温度領域で、流動させないでかつき裂も生じさせないことが要求されている。このような広範囲にわたるアスファルト混合物の破壊性状を検討するため、アスファルト混合物の破壊包絡線の研究が形状やその位置の角度からすでに行われている^{1),2)}。

低温領域では特にアスファルトの破壊性状がアスファルト舗装のき裂に影響を与えていると思われるが、アスファルト単体の場合フラスゼイ化点とさらに低温の最小の破壊ひずみ付近で破壊強度および破壊時のひずみが測定されているにすぎず、中間領域を含めたいわゆる破壊包絡線の研究は行われていない。その主な理由として低温におけるアスファルト単体のひずみの測定が非常に困難であることが挙げられる。

本研究は、フラスゼイ化点試験機を改造して低温におけるアスファルト単体の曲げ強度、破壊時のひずみが測定できるようにし、この両者の関係を示す破壊包絡線の位置や形状を種々のアスファルトについて検討したものである。その結果、アスファルト単体についてもゼイ性領域において破壊包絡線が存在し、その形状はアスファルト毎に著しく異なること、またこの形状やその位置からアスファルトに混入された添加剤の低温領域における効果も簡単に評価できることが明らかにされた。

2. 実験材料

本研究で使用したアスファルトの主な性状を Table 1 に示す。ここで EVA, EEA, EMA, SBS の樹脂はアスファルトに混入され、混合物の流動や低温性状の改良を図るために用いられている。以下ではすべてのアスファルトについて Table 1 に示す略号を用いた。

3. 実験方法

供試体の作成方法はフラスゼイ化点試験における方法と同じである。鋼板には厚さ 0.1 mm の永久変形の少ない特殊な

のを使用した。0.4 g のアスファルトが均一に塗布された鋼板の供試体は、荷重とひずみが同時に測定できるように改良したフラスゼイ化点試験機にセットされて一定温度に保ったメタノール液中に投げられる。投入後、室温との温度差によってアスファルトに生じる熱応力を十分緩和させるために若干の時間が経過した後、一定速度で曲げ破壊時の荷重および破壊時のひずみを測定した。曲げ速度はフラスゼイ化点試験と同一である。実験はフラスゼイ化点より低い数点の温度で実施し、これより曲げ強度、破壊時のひずみおよび破壊時の弾性係数を求めた。実験用供試体は各温度につき 3~5 個とした。解析方法は従来の方法に準じた³⁾。ここで、ひずみ速度や実験温度に依存しない曲げ強度と破壊時のひずみとの関係を破壊包絡線と呼び、また破壊時のひずみが低温で一定値となる場合これを最小の破壊ひずみと呼ぶ。破壊包絡線の形状がひずみ速度や実験温度に依存せずに一定であれば、最小の破壊ひずみとは低温かつ高速載荷状態でこれだけの値でアスファルトが破壊するということを意味する。

4. 実験結果および考察

4. 1. フラスゼイ化点における破壊時の性状

4. 1. 1. フラスゼイ化点とアスファルトの性状

アスファルトは温度が低下してゼイ化するとろくなり、わずかな変形に対しても破壊しやすくなる。フラスゼイ化点はアスファルトがゼイ性領域に入る限界の温度を示している。

フラスゼイ化点における破壊時の性状を Table 2 に示す。一般にフラスゼイ化点は針入度が大きくなるにつれて低くなる傾向にあるが、本研究で用いたアスファルトについてもその傾向がみられる。しかし、針入度級 60/80 のアスファルトのフラスゼイ化点は -12°C ~ -27°C の広範囲に及んでいる。

フラスゼイ化点が同一のアスファルトでも、破壊時のひずみや曲げ強度の関係を示す破壊包絡線の形状は異なる (Fig. 1 参照)。ここで、S100/120 のアスファルトの実験温度範囲は -16°C ~ -25°C で温度間隔はほぼ 2°C 毎に、AL60/80 のアス

* 連絡先

Table 1 Properties of Asphalts

Asphalt	Penetration [0.1 kg, 5 sec, 25°C]	Softening point [°C]	Penetration index
SEM40/60	38	59.5	-1.0
SEM60/80	73	59.5	+1.5
M60/80	63	48.5	-1.0
EVA	38	69.0	+2.0
EEA	37	63.0	+0.9
EMA	41	65.0	+1.5
SBS	47	64.5	+1.7
S40/60	56	52.5	-0.5
S60/80	62	51.0	-0.4
S80/100	90	47.5	-0.4
S100/120	108	44.5	-0.7
IH60/80	69	50.5	-0.2
AL60/80	72	50.0	-0.1
KU60/80	71	51.0	-0.1
W120/150	134	43.0	-0.6
W200/300	235	37.5	-0.4
W400/500	470	34.5	+3.5

M60/80 : Straight asphalt (Middle East, 5-Mixing), EVA : M60/80 + EVA (4%), EEA : M60/80 + EEA (5%), EMA : M60/80 + EMA (4%), SBS : M60/80 + SBS (5%).
SEM40/60, SEM60/80 : Semi blown asphalt.

S40/60, S60/80, S80/100, S100/120 : Straight asphalt at Supplier B (Middle East, 5-Mixing).

IH60/80, AL60/80, KU60/80 : Straight asphalt in single crude oil at Supplier C.

W120/150, W200/300, W400/500 : Straight asphalt in same single crude oil at Supplier A.

EVA : Ethylene vinyl acetate co-polymer, EEA : Ethylene ethyl acrylate co-polymer, EMA : Ethylene methyl acrylate co-polymer, SBS : Styrene butadiene block co-polymer.

ファルトの実験温度範囲は $-16^{\circ}\text{C} \sim -22^{\circ}\text{C}$ で温度間隔は 2°C 毎とした。また、両者の曲げ試験の載荷速度はフラースゼい化点試験と同一である。

フラースゼい化点が -12°C と同一の場合のアスファルトの

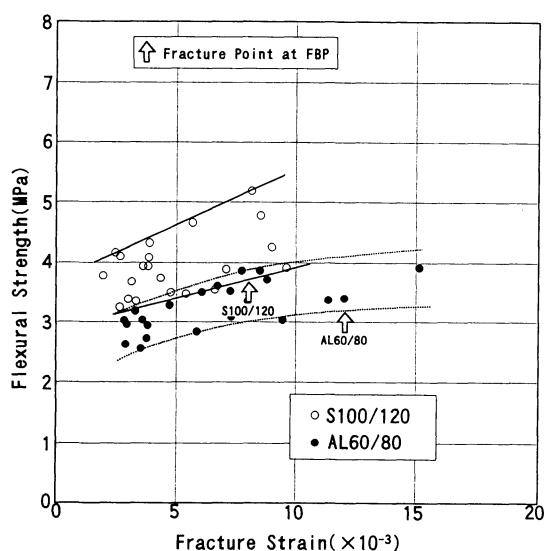


Fig. 1 Failure Envelope of Asphalts with Same Fraass Breaking Point (FBP = -16°C)

Table 2 Properties of Asphalts at Fraass Breaking Point

Asphalt	Fracture strain [$\times 10^{-3}$]	Strength [MPa]	Band of strength [MPa]	Elastic modulus [MPa]	Temp. [°C]
SEM40/60	11	3.2-4.0	0.8	290-360	-13
SEM60/80	9	3.2-4.3	1.1	360-480	-27
M60/80	10	4.1-5.0	0.9	410-500	-12
EVA	8	3.4-4.6	1.2	430-580	-12
EEA	7	4.6-5.4	0.8	660-770	-12
EMA	6	3.6-4.4	0.8	600-730	-12
SBS	10	3.9-5.3	1.4	390-530	-12
S40/60	7	3.6-4.7	1.1	510-670	-12
S60/80	15	5.0-6.4	1.4	330-430	-12
S80/100	12	4.1-5.6	1.5	370-510	-15
S100/120	8	3.7-5.2	1.5	460-650	-16
IH60/80	8	3.4-4.3	0.9	430-540	-15
AL60/80	12	3.1-4.1	1.0	260-340	-16
KU60/80	8	2.9-3.8	0.9	360-480	-14
W120/150	11	4.7-5.2	0.7	430-470	-17
W200/300	11	4.5-5.4	0.9	410-490	-21
W400/500	12	4.2-5.3	1.1	350-440	-27

破壊時のひずみは $6,000 \times 10^{-6} \sim 15,000 \times 10^{-6}$ に及び、破壊時のひずみが小さいものほど破壊時の弾性係数は大きな値となる傾向にある (Table 2 参照)。

Table 2 より、フラースゼい化点は同じ針入度級 60/80 のアスファルトでは、原油がブレンドされたものから精製された M60/80 や S60/80 のアスファルトに比べ単一原油から精製された IH60/80, AL60/80, KU60/80 のアスファルトの方が低く、その時の曲げ強度も小さい。また、セミブローンアスファルトは他の同じ針入度級のアスファルトに比べてフラースゼい化点が低い傾向にある。

4. 1. 2. フラースゼい化点における破壊時のひずみ

本研究で使用した全てのアスファルトのフラースゼい化点における破壊時のひずみは、Table 2 より $6,000 \times 10^{-6} \sim 15,000 \times 10^{-6}$ の範囲にあるが、同じ針入度級 60/80 のアスファルトでも破壊時のひずみは $8,000 \times 10^{-6} \sim 15,000 \times 10^{-6}$ の範囲にわたっている。また、Supplier A が単一原油から精製したアスファルト W120/150, W200/300, W400/500 は全てほぼ同じ破壊時のひずみとなっている。以上のことからフラースゼい化点における破壊時のひずみは針入度級に関係がなく、原油自体の性質に影響されるものと思われる。

S80/100 のアスファルトを用いたアスファルト混合物の曲げ試験から得られたゼい化点における破壊時のひずみは $10,000 \times 10^{-6}$ であり、これとこのアスファルトのフラースゼい化点における破壊時のひずみを比べるとほぼ同一であることから、アスファルト混合物のゼい化点における破壊時のひずみはアスファルトのフラースゼい化点の破壊時のひずみとほぼ同一であると考えられる⁴⁾。

フラースゼい化点における破壊時のひずみから最小の破壊時のひずみを引くと、各アスファルトのゼい性領域のひずみ量が求まる。Table 3 より最小の破壊時のひずみはどのアスファルトもほぼ同じ値を示すので、この両者のひずみの差が大きいということはフラースゼい化点のひずみが大きいことを意味する。また、フラースゼい化点より最小の破壊時のひずみとなる

温度との差は **Table 4** よりアスファルトにより著しく異なり、4～15℃の幅となり、この値は針入度や原油等に依存しない。さらに、この両者のひずみの差をフラスゼい化点から最小の破壊時のひずみにおける温度を引いた値で割ると、ぜい性領域の破壊時のひずみの温度依存性を求めることができる (**Table 4** 参照)。この値は破壊時のひずみと温度との関係を示す低温領域における曲線形状のこう配を示している。EEAおよびEMAのアスファルトを除くとどのアスファルトもこの値は0.6～1.5の間にある。針入度はこのひずみ量、温度差および破壊時のひずみの温度依存性とはなんら関連がないように思われる。ぜい性領域のひずみ量が大きくかつ温度依存性の小さい方が低温性状の良いアスファルトとして望ましいと考えられるので、W200/300、SBSのアスファルトがこの条件にあてはまると思われる。

4. 1. 3. フラスゼい化点における曲げ強度

フラスゼい化点における全てのアスファルトの曲げ強度はおおよそ3～6 MPaの範囲にあり、各アスファルトの曲げ強度のバラツキの幅は0.7～1.5 MPaである。単一原油から精製したSupplier Aの各アスファルトと5種類の原油をブレンドしたものから精製したSupplier Bの各アスファルトのフラスゼい化点における曲げ強度のバラツキを比較すると、前者はほぼ同一の曲げ強度となりそのバラツキが少ないのに対し、後者はそのバラツキが大きい。前者は破壊時のひずみの値もほぼ等しいことを考えると、単一原油から精製したアスファルトはフラスゼい化点が異なってもフラスゼい化点における曲げ強度、破壊時のひずみの各値はほぼ同一になると思われる。

4. 1. 4. フラスゼい化点における破壊時の弾性係数

Table 2 より各々のアスファルトのフラスゼい化点における破壊時の弾性係数は針入度級に関係なく250～800 MPaの範囲にあり、フラスゼい化点付近の破壊時の弾性係数のバラツキの幅は100 MPa程度である。また、同じ針入度60/80級のアスファルトのフラスゼい化点における破壊時の弾性係数は250～500 MPaとほぼ一定の範囲にあるが、その破壊時のひずみや曲げ強度の値はアスファルト毎に著しく異なっている。

4. 2. 最小の破壊時のひずみ付近におけるアスファルトの性状

アスファルトの破壊時のひずみは温度が低下するにつれて最小の破壊時のひずみに漸近し、その値は $2,000 \times 10^{-6}$ 程度であることが確認されている⁵⁾。どのアスファルトも破壊時のひずみは温度が低下するにつれて最小の破壊時のひずみに漸近し、その値は $1,000 \times 10^{-6} \sim 3,000 \times 10^{-6}$ となる (**Table 3** 参照)。また、最小の破壊時のひずみ領域の曲げ強度は1～3 MPa、最小の破壊時のひずみ領域の破壊時の弾性係数は1,000～3,000 MPaである。この破壊時の弾性係数は通常のアスファルト混合物の低温かつ短時間領域の弾性係数とほぼ同一である⁶⁾。

4. 3. 破壊包絡線の形状

破壊包絡線の形状は**Fig. 2** のように大きく三つのタイプに分けられる。一つは破壊時のひずみが小さくなるにつれてアスファルトの曲げ強度も低下していくタイプであり (S40/60, S60/80, S80/100, EVA, SBS)、もう一つは破壊時のひずみ

Table 3 Properties of Asphalts at Minimum Strain

Asphalt	Fracture strain [$\times 10^{-3}$]	Strength [MPa]	Width of strength [MPa]	Elastic modulus [MPa]	Temp. [°C]
SEM40/60	2	2.9-3.8	0.9	1,500-1,900	-19
SEM60/80	3	3.0-4.1	1.1	1,000-1,400	-31
M60/80	2	1.5-3.0	1.5	800-1,500	-22
EVA	2	2.9-4.2	1.3	1,500-2,100	-21
EEA	2	2.4-3.4	1.0	1,200-1,700	-24
EMA	2	1.9-3.6	1.7	1,000-1,800	-20
SBS	3	3.8-5.0	1.2	1,300-1,700	-24
S40/60	3	2.8-4.1	1.3	900-1,400	-19
S60/80	2	3.0-4.0	1.0	1,500-2,000	-22
S80/100	3	2.4-4.0	1.6	800-1,300	-25
S100/120	2	3.1-4.2	1.1	1,600-2,100	-25
IH60/80	2	2.6-3.6	1.0	1,300-1,800	-19
AL60/80	3	2.4-3.5	1.1	800-1,200	-22
KU60/80	2	2.9-3.8	0.9	1,500-1,900	-19
W120/150	2	2.8-3.7	0.9	1,400-1,900	-25
W200/300	2	2.8-4.0	1.2	1,400-2,000	-36
W400/500	1	2.0-3.2	1.2	2,000-3,200	-38

Table 4 Difference between Fraass Breaking Point and Temperature at Minimum Strain, Strain Difference between Temperatures

Asphalt	Strain [$\times 10^{-3}$]	Temp. [°C]	Strain/Temp. [$\times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$]
SEM40/60	9	6	1.5
SEM60/80	6	4	1.5
M60/80	8	10	0.8
EVA	6	9	0.7
EEA	5	12	0.4
EMA	4	8	0.5
SBS	7	12	0.6
S40/60	4	7	0.6
S60/80	13	10	1.3
S80/100	9	10	0.9
S100/120	6	9	0.7
IH60/80	6	4	1.5
AL60/80	9	6	1.5
KU60/80	6	5	1.2
W120/150	9	8	1.1
W200/300	9	15	0.6
W400/500	11	11	1.0

に関係なく曲げ強度がほぼ一定の値をとるタイプである (Ku60/80, AL60/80, SEM40/60)。残りは上に凸で、最小の破壊時のひずみに近づくにつれ急激に曲げ強度が小さくなるものの (W120/150, W200/300, W400/500, M60/80, EEA, EMA) に分けられる。

ブレンド原油からSupplier Bが精製したS40/60, S60/80, S80/100, S100/120の各アスファルトの破壊包絡線は、**Fig. 3** にみられるように、それぞれ重ね合わせるとフラスゼい化点における破壊時のひずみの位置がブレンド原油から造られたアスファルトの場合異なるのに対し、単一原油から造られたアスファルトの場合のフラスゼい化点の破壊時のひずみは**Fig. 4** にみられるようにほぼ同一であり、また単一原油から造られたSupplier AのW120/150, W200/300, W400/500の各アス

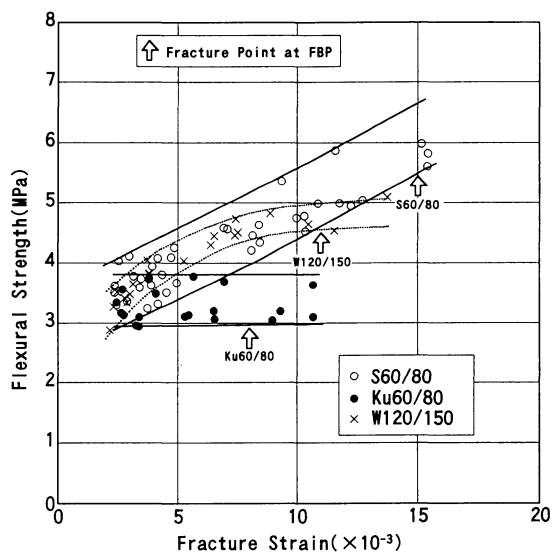


Fig. 2 Typical Shapes of Failure Envelope

ファルトの破壊包絡線はその位置や破壊時のひずみの大きさもほぼ同一となった。

次に、フラスゼい化点より最小の破壊時のひずみに達するまでのひずみやその温度範囲は、Table 4 にみられるようにアスファルトにより異なる。これよりアスファルトの性状が異なると破壊包絡線の形状が異なることがこの温度範囲からも推察できる。

4. 4. 添加剤混入が低温における破壊時の性状に与える影響

4. 4. 1. 添加剤が混入されたアスファルトのフラスゼい化点における破壊性状

添加剤が混入されたアスファルトの低温領域の破壊性状の変化を把握するため、ストレートアスファルト (M60/80) およびそれに4種類の添加剤 (EVA, EEA, EMA, SBS) を加えたものについてフラスゼい化点試験と一定曲げ試験を行った。フラスゼい化点は全てベースとなった M60/80 のアスファルトと同じ -12°C である。Table 2 よりフラスゼい化点における破壊時のひずみは SBS のアスファルトが M60/80 のアスファルトと同じ値であるが、他のものは M60/80 のアスファルトより小さくなっている。フラスゼい化点における破壊時のひずみの大きい方が破壊に至るまでのエネルギーを多く必要とするため望ましいと考えられる。よって、添加剤の混入された全てのアスファルトのフラスゼい化点における破壊時のひずみは、ぜい化点の破壊時のひずみから考えると元のアスファルトよりも低温性状が向上したとは言い難いと思われる。

フラスゼい化点におけるアスファルトの曲げ強度は M60/80 のアスファルトのそれに比べ EEA のアスファルトの方が若干増加している。また、EVA および SBS のアスファルトの曲げ強度のパラッキの幅も広がっている。

フラスゼい化点における EEA および EMA のアスファルトの破壊時の弾性係数は若干大きい、曲げ強度が同じ場合は破壊時の弾性係数が小さい、つまり破壊時のひずみの大きい方が低温性状の良いアスファルトであると言える。

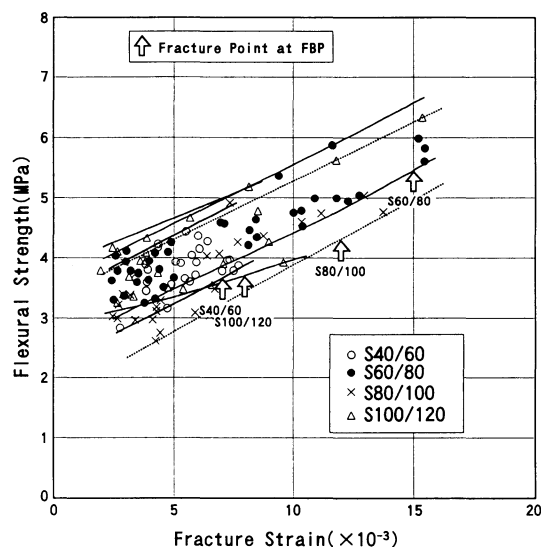


Fig. 3 Failure Envelope for Different Crude Oils

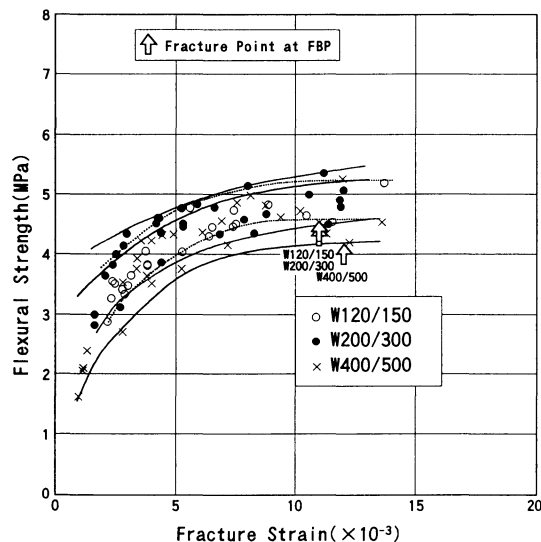


Fig. 4 Failure Envelope for Same Single Crude Oil

4. 4. 2. 添加剤が混入されたアスファルトの最小の破壊時のひずみ付近における性状

最小の破壊時のひずみにおける SBS のアスファルトの曲げ強度は、Table 3 より他の添加剤混入のアスファルトと比べて最も大きな値となった。また、最小の破壊時のひずみにおける弾性係数は、どの添加剤入りのアスファルトも元のアスファルトの M60/80 のそれより若干大きい。最小の破壊時のひずみはどのアスファルトもほぼ同一であるので、破壊時の弾性係数の大きいアスファルトの方が低温性状が良いと思われる。

4. 5. 添加剤が混入されたアスファルトの破壊包絡線の形状

種々の添加剤が混入されたアスファルトの破壊包絡線の形状は、Fig. 5 のように元のアスファルトの M60/80 と同様に破壊時のひずみが小さくなるにつれ曲げ強度も急激に減少し、上

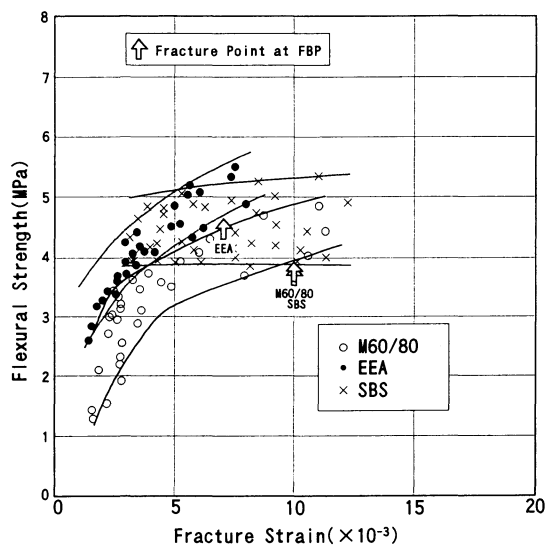


Fig. 5 Failure Envelope of Asphalts with Various Additive Agents

に凸の曲線を描くタイプ (EEA, EMA) と曲げ強度の低下がほとんど見られないタイプ (EVA, SBS) の 2 種類に分けられる。

破壊時のひずみが $7,000 \times 10^{-6}$ 以下の領域の EMA のアスファルトの破壊包絡線は M60/80 のアスファルトの破壊包絡線と同じ位置と形状であり、フラスゼい化点の破壊時のひずみの位置がひずみの小さい領域に移動しただけである。また、EEA のアスファルトの破壊包絡線は、M60/80 のアスファルトのそれと形状が同じで位置が全体的に高強度の方に移動しているが、フラスゼい化点における破壊時のひずみは小さい。一方、EVA, SBS のアスファルトの破壊包絡線は、M60/80

のアスファルトのそれにみられる最小の破壊時のひずみ付近において曲げ強度の急激な減少が見られず、特に SBS のアスファルトで曲げ強度は破壊時のひずみに依存していないことがわかる。

アスファルトとしては曲げ強度も破壊時のひずみも大きく、かつ温度が変化しても曲げ強度の変化が少ないことが望ましいので、理想的な破壊包絡線の形状は破壊時のひずみに関係なく一定の高強度を有することであると思われる。この点から SBS 混入のアスファルトはこの考えに近いものと考えられる。

5. 結 論

本研究において、次の結論が得られた。

- 1) 一定曲げ試験によりアスファルトのぜい性領域のアスファルトの破壊包絡線を求めることが可能である。
- 2) アスファルトの破壊包絡線の形状はアスファルト毎に著しく異なる。
- 3) 破壊包絡線を求めることによって、添加剤の混入がぜい性領域に及ぼす影響や種々のアスファルトの低温性状を評価することが可能である。

References

- 1) Moriyoshi, A., Sugawara, T., *Proc. of JSCE*, (251), 107 (1976).
- 2) Smith, T. L., *J. Polymer Science*, (20), 89 (1956).
- 3) Moriyoshi, A., Kawamura, K., *Sekiyu Gakkaishi*, **35**, (4), 353 (1992).
- 4) Moriyoshi, A., Nitta, N., *Proc. of JSCE*, (390), 219 (1988).
- 5) Moriyoshi, A., Kawamura, K., *Sekiyu Gakkaishi*, **36**, (2), 139 (1993).
- 6) Sugawara, T., Kamijima, T., Moriyoshi, A., *Proc. of JSCE*, (234), 131 (1975).

Summary

Failure Envelope of Various Asphalts at Low Temperatures

Katsuya TOKUMITSU, Akihiro MORIYOSHI,
and Takashi NAKASHIMA

Faculty of Engineering, Hokkaido University, Kita-ku, Sapporo 060

This paper describes whether the concept of failure envelope for asphaltic mixtures can be applied to various asphalts at low temperatures.

We conducted the Fraass Breaking Point and flexural test for various asphalts at low temperatures.

As a result, we concluded that;

- 1) The concept of failure envelope can be applied to various asphalts at low temperatures at which, however, the shape and position of failure envelope of the asphalts are different for individual asphalts.
- 2) The shape of envelope may be classified into 3 types. First is the type in which the flexural strength is constant and does not depend upon the fracture strain. Second is the type in which the flexural strength is proportional to

the fracture strain. Third is the type in which the flexural strength decreases rapidly in the small fracture strain zone.

- 3) The temperature zone for Fraass Breaking Point is -12 – -27°C , and the fracture strain in this zone is $8,000 \times 10^{-6}$ – $15,000 \times 10^{-6}$ for the same penetration grade of asphalts. Flexural strength of the asphalts in this temperature zone are not constant.

- 4) The shape and position of failure envelope for the asphalts containing various additives are also different for different asphalts.

Therefore, it is not difficult to estimate the effects of additive agents by using the shape and position of failure envelope.

Keywords

Asphalt, Failure envelope, Fracture strain, Flexural strength