

V-4

中国カラマイ産アスファルトの産出形態とその性状

北海道大学 正 員 菅 原 照 雄
同 上 学生員 福 田 敬 大

1. 概 要

本報告は、著者の一人菅原が 1987 年 8 月中華人民共和国新疆ウイグル自治区、新新疆石油管理局の要請にもとづいて行った調査並びに日本に持ち帰った試料の試験の結果について述べるものである。

新疆ウイグル自治区は中国の西北に位置し、天山山脈を挟み北にジュンガル盆地、南にタクマラカン砂漠がひろけている、この地区は地下鉱物資源に恵まれて、最近その開発が活発に進められている、なかでも石油資源が世界の注目を集めており、一部では次の世紀の中東とすらささやかれている。

現在の時点で開発は余り進んでおらず、わづかにジュンガル盆地の西北、ソ連との国境の近くクラ瑪依市（カラマイ）において、1955年油田の開発が始まり、年間数百万トンの原油が生産されているのみである。原油としては世界的には例の少ない陸生原油であり、盆地内で産出する原油の種類も非常に多いと言われるが、中国側が完全に自主的開発を進めているため、その全貌は殆ど明らかにされていない。

現地での調査の内容は、天然アスファルトの産出形態、重質原油の産出状態、重質原油の精製状況等であり、日本に持ち帰った材料については、その化学成分分析、物理性状試験、さらにそれを用いたアスファルト混合物の力学特性などを行った。

調査は菅原が責任者となり、菅原の要請にもとづき三菱石油株式会社研究本部（飯島 博博士）が協力する形態をとった。この背景には中国側が直接三菱石油株式会社に依頼出来ず、また同時に日本としても直接それに関与出来ないという背景があった。

本調査はこのような困難な状況のもとで、特にアスファルトについての技術開発への協力を求められたものであり、我々はこの分野で最初に足を踏み入れた外国人となった。

このアスファルトは従来のアスファルトに比較して極めて特異な性状を持つとされる。とくに比重が 1 よりも小さい、アスファルテン量が約 1 % と極端に小さい、常温以上で粘度が大きい等の特性を持つ。ここではアスファルトの基本的性状並びにアスファルト混合物の力学的性状について検討を試みる。

中国との技術の交流という面にも配慮し、出来るだけアスファルトの一般性状から混合物の特性を推定出来るように、針入度試験を大幅に利用し、さらに BITUMEN TEST DATA CHART から混合物の性状を推定出来るよう配慮した。

2. アスファルトの産出形態について

ここでは、天然アスファルトの産出形態について報告しておく。

黒油山の名は中国側の記録によってその存在が古くから知られ、アブラハムの名著にもその存在が述べられている。現地に入って調査した結果、この地区には実に多様な形態で天然アスファルトが分布しており、それがジュンガル盆地の全域に分布していることが明らかになった。その産出の形態には未だ世界に例を見ないものもあり、地域の広さと同時に産出形態の豊富なことに驚かされた。

1) 黒油山の産出形態

黒油山は高さ 20 m に満たない丘である。丘の成因は地下から湧出する原油にジュンガルの飛砂が混じり、次第に積もっていったものとされている。しかしこの山の母岩は軟質の砂岩であり、母岩中の 5 ないし 10 mm 程度の亀裂に原油が浸透してごく軟質の鉱物質を含まない純粋なアスファルトが生成されている部分もあり、また同時に母岩に原油が浸透していわゆる含油砂岩を形成している部分もある。

丘の頂部には現在でもやや粘稠な原油の湧出がみられる。類似のアスファルト丘がこの近辺に 30 程あり、その高さは 5 ないし 35 m といわれる。

2) ウルホ歴青脈

ウルホ歴青脈は一種のギルソナイトであり、白亜系の地下の断層に沿って厚さ約 40 cm のアスファルト脈が存在している。その延長は約 1 km、深さは約 100 m に及ぶと言われる。現在知られているアスファルト脈の数は 17 条である。

このアスファルトは後述するようにきわめて純粋で、現在掘削中のものはかなり高純度で輸出されている。この形態での埋蔵量は世界有数のものということが出来よう。

3) ウルホ歴青砂岩

前項の歴青脈の側に約 20 平方キロに渡り、含油砂岩としては世界で最も規模の大きなものである。

表-1 各アスファルトの一般物性性状並びに成分分析結果

	H60/80	H80/100	M100/120	K90	K110	天然アスファルト
針入度 (25℃) 1/10mm	60	90	110	92	119	
軟化点 (℃)	50.6	47.5	45.0	49.0	47.0	
針入度指数 (PI)	-0.60	-0.35	-0.49	0.14	0.41	
伸び度 (25℃) cm				54	87	
比重 (25/25℃)	1.030	1.025		0.971	0.972	0.997
60℃粘度 (poise)	3140	1650	1120	3970	2460	
混合温度 (2poise ℃)	165	146	152	172	167	
転圧温度 (30poise ℃)	112	100	102	116	111	
フラスコ脆化点 (℃)	-13	-14	-18	-23	-22	
三塩化エタン可溶分 (%)				99.9	99.9	97.8
引火点 (c.c.c) ℃				358	360	
薄膜加熱試験 (%)				-0.04	-0.12	
薄膜加熱後の針入度変化率				73.9	65.5	
組成分析 wt%						
飽和分				35.4	31.3	13.7
芳香族分				40.4	34.1	24.5
レジン				23.2	33.9	47.5
アスファルテン				1.0	0.7	12.0
トルエン不溶分				0.0	0.0	
ワックス分 (JPI法) wt%				8.4	9.0	
硫黄分 wt%				0.18	0.18	
窒素分 wt%				0.85	0.90	
金属分 PPM (検出限界)						
ICP 法						
Ca (30)				236	405	
Si (5)				8	9	
Fe (5)				50	33	
Na (50)				78		
V (5)						
Ni (5)				36	39	

3. アスファルトの性状

3-1 試験の項目

一般物性性状、針入度試験 (感温性試験 A 値、時間依存性試験 B 値)、粘度、レオメータを用いた高温粘度、毛細管粘度計による 60℃ 絶対粘度などを求め、さらに化学分析も実施した。

3-2 使用したアスファルト

日本産 H 80/100, H 60/80, M 100/120, カラマイ産 K 90, K110 の合計 5 種類、さらに成分の分析はウルホ歴青脈のアスファルトについてもおこなった。

3-3 試験の結果

1) 一般物性性状ならびに成分分析結果

一般物性性状、成分分析結果を表-1 に示す。

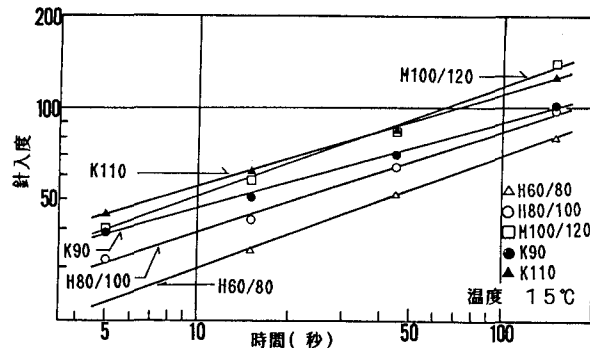


図-1 時間と針入度の関係

表-2 各アスファルトのB値

温度 (℃)	アスファルトの種類	B値	C値
25℃	H60/80	0.3850	1.5313
	H80/100	0.3652	1.6907
	M100/120	0.4147	1.7583
	K90	0.3046	1.7308
	K110	0.3141	1.8463
20℃	H60/80	0.4040	1.3109
	H80/100	0.3871	1.4279
	M100/120	0.3993	1.5356
	K90	0.3115	1.5485
	K110	0.3222	1.6307
15℃	H60/80	0.3673	1.1044
	H80/100	0.3378	1.2536
	M100/120	0.3686	1.3354
	K90	0.2832	1.3831
	K110	0.3041	1.4355
10℃	H80/100	0.3152	1.0185
	M100/120	0.3269	1.1696
	K90	0.2669	1.1952
	K110	0.2687	1.2710
5℃	K110	0.2368	1.0902

2) 針入度試験

a. 時間依存性試験 B 値

針入度試験において、5,10,15,20,25℃ の各温度で、時間を 3 ないし 4 点変化させ、針入度を求め、図一1に示す結果を得た。これらの関係はいずれのアスファルトにあっても非常によい相関で直線を示した。これを次の式に回帰させ、B 値を求めた。

$$\log \text{Pen} = B \log t + C$$

Pen:針入度
t:時間(秒)

C:定数

表一2は各アスファルトについてB値を示したものである。カラマイ産アスファルトのそれが他に比べて小さく出ていることは、このアスファルトの時間依存性が小さいことを示す。

b. 感温性試験 A 値

B 値の回帰式からそれぞれの温度での 5 秒の針入度値を求めて描いたものが図一2である。その数値から次の式で回帰させ、これらの結果を整理してA値を求めた。

$$\log \text{Pen} = A T + C$$

T:温度(℃)

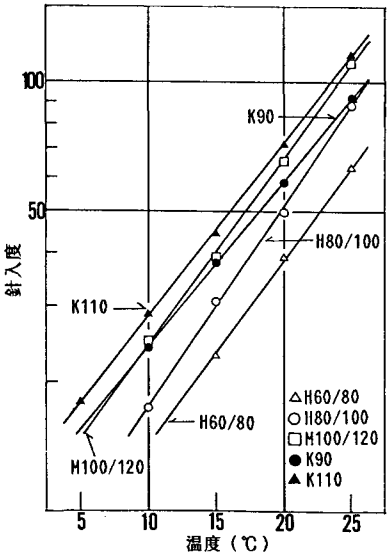
これらの関係はいずれのアスファルトにあっても非常によい相関で直線を示した。
表一3は各アスファルトについてのA値を示したものである。カラマイ産アスファルトのそれが他に比べて小さく出ていることはこのアスファルトの感温性が小さいことを示す。これは同時にB値の小さいことと対応している。このA値を用いて針入度指数を求め、軟化点と25℃針入度から求めた針入度指数との対比を試みた結果は表一4に示す通りである。ここの結果を見ると、Aから求めた結果と、軟化点、針入度から求めたものの間には若干の差が存在する。後に述べるフラス脆化点がA値から推定したものとよく

表一3 各アスファルトのA値

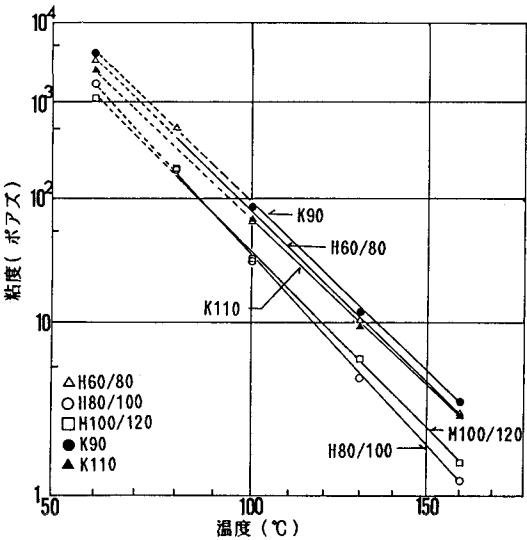
アスファルトの種類	A 値	K 値
H60/80	0.0438	0.7084
H80/100	0.0466	0.7769
H100/120	0.0434	0.9534
K90	0.0386	0.9975
K110	0.0404	1.0516

表一4 針入度指数の比較

アスファルトの種類	A 値から求めた P I	針入度、軟化点から求めた P I
H60/80	-0.60	-0.60
H80/100	-0.71	-0.35
H100/120	-0.54	-0.49
K90	+0.24	+0.14
K110	-0.07	+0.41



図一2 温度と針入度の関係



図一3 温度と粘度の関係
(レオメーターによる)

合致していることを考えると、単に軟化点の測定誤差としてだけでは十分説明することは困難であり、アスファルトによって、軟化点がコンシステンシーを正確に表現していないことを示している。A値から求めたものの方がより正確に感温性を示すのではないかと考えられる。

3) 粘度試験

a. レオメーターによる高温粘度

レオメータを用いて45ないし 160℃において高温粘度の測定を行い、結果を図-3に示した。

これらの結果は次式により示される。

$$\log \log (100 \eta) = A \log (T + 273) + B$$

η: 粘度(ポアズ)
T: 温度(℃)

この式から回帰させて、軟化点における粘度を求めた結果、いずれも10⁴ポアズ近傍に位置していることが分り、この結果がおおむね妥当なものであることが明らかになった。

この結果はカラマイ産アスファルトの粘度が、同針入度級の他のアスファルトに比してかなり大きいことを示している。またこの直線の勾配の小さいことは、針入度におけると同様に感温性の小さいことを示し、A値の小さいことと対応している。いずれの結果をみても、カラマイ産アスファルトの混合時、輾圧時に必要とされる粘度は高温側にある。

b. 60℃粘度

毛細管粘度計による 60℃における絶対粘度は一般性状の表に示しておいた。

これらの結果はレオメータによる高温粘度試験の結果と同様に同針入度級のアスファルトにおいてカラマイアスファルトがかなり高い粘度を示している。

4) BITUMEN TEST DATA CHART

針入度、軟化点、60℃粘度、レオメーター粘度、フラース脆化点など、各種のデータをこれらをBTDC にプロットしてみた。その結果図-4に示すように全てのアスファルトについて、ほとんど直線として示されることが明らかになった。

すなわちカラマイ産アスファルトは粘性において基本的にストレートアスファルトと同じ性状を示す。このことはパラフィンワックスデータから見て、在来の常識とは一致しない。これはパラフィンワックスを含みながらもこの原油がナフテン基原油であることによると見られる。

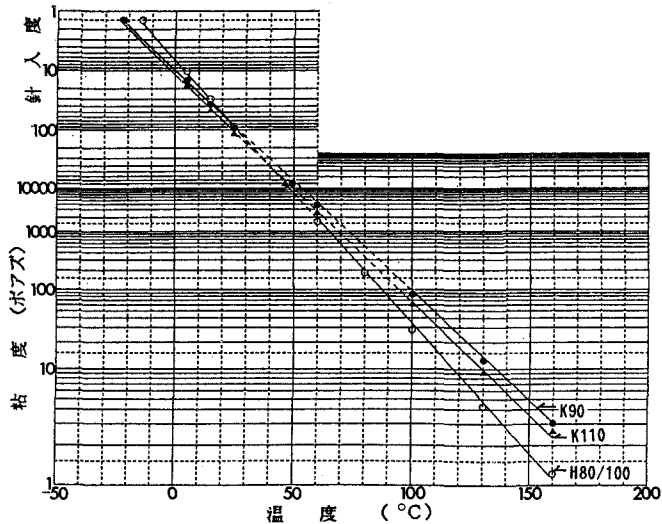


図-4 BITUMEN TEST DATA CHART

表-5 針入度から推定したフラース脆化点と実測脆化点の比較

アスファルトの種類	Pen 1.4の温度(℃)	フラース脆化点の実測値
H60/80	-12.8	-13
H80/100	-13.5	-14
H100/120	-18.6	-19
K90	-22.0	-23
K110	-22.4	-22

表-6 実施した混合物試験一覧

試験項目	試験条件
ホイールトラッキング試験 変形抵抗 混合物の密度、変形抵抗へのニーディングの影響	試験温度: 45, 60℃ RD 並びに DS 値
曲げ試験 曲げ強さの温度依存性 曲げ強さの荷重速度依存性 アスファルトの同一コンシステンシー温度での曲げ試験	試験温度範囲: -15 ないし 12℃ 挽み速度: 5, 50 mm/min 針入度 20 を示す温度
マーシャル試験	試験温度 60℃
圧裂による低温強度	-15℃, 荷重速度 50 mm/min
温度度応力試験	10℃から開始, -30℃/hr
疲労破壊試験	条件 5℃, 10 kgf/cm ²
浸水安定性試験	条件 20℃ 水浸 7日間, 20℃ にて圧裂試験

5) 針入度から推定したフラス脆化点と実測フラス脆化点

表一5は針入度を1.4 と仮定して求めた脆化点と実測脆化点を示したものである。両者に極めてよい一致が見られる。これによれば誤差が大きく、精度の低いフラス脆化点に比し針入度から推定することも簡便な方法の一つと考えられる。

4. アスファルト混合物の力学的性状

4-1 試験の項目

密粒度アスファルトコンクリートについて表一6に示すような広範な力学性状試験を実施した。

4-2 試験の結果

1) ホイールトラッキング試験

試験温度 45 および 60 ℃においてホイールトラッキング試験を行い、変形抵抗性を求めた。

a. 密度、空隙率

ニーディングの前後において空隙率を求めた。いずれのアスファルト混合物にあっても顕著な差は見られなかった。

b. 変形抵抗性

図一5は実験の結果を示したものである。この図はカラマイ産アスファルトがこの温度領域で同一の針入度をもつアスファルトに比較して安定性が高いことを示している。これらの結果は粘度の大きいことによると考えられる。いずれのアスファルトにあってもしニーディングを与えたものについては安定性の上昇が見られた。このアスファルトはわだち掘れに大きい抵抗性を持つと結論出来る。

2) 曲げ試験

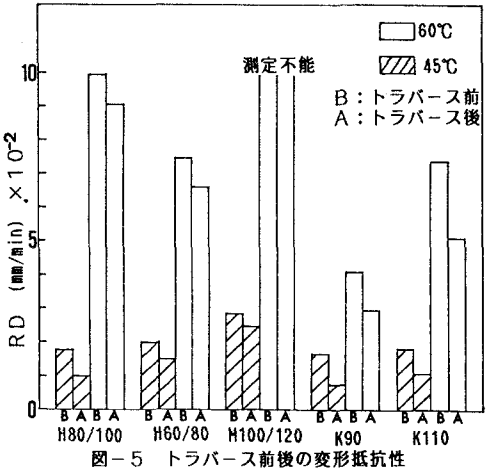
a. 曲げ強さの温度依存性

温度範囲を -15 ないし 12℃ とし、载荷速度を 5、50 mm/min として曲げ強さを求めた。図一6は試験の結果を示したものである。いずれの载荷速度にあってもし、ピーク時の曲げ強さはどのアスファルトも一定値を示し、その位置はアスファルトごとに非常に大きく異なっており、この中でカラマイ産アスファルトのそれが極めて低い温度に位置している。

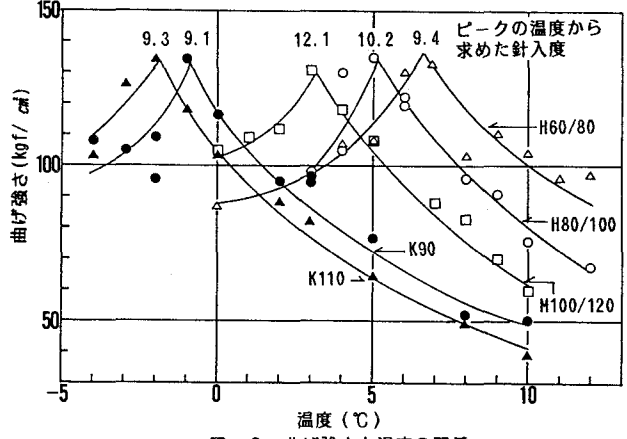
ピークの温度での針入度を先の回帰式から求め、図のピークの位置に示した。これによれば、どちらの载荷速度にあってもしおよそ同一針入度が得られる。曲げ試験の精度から考え同一針入度で脆化点が得られると結論出来る。これは針入度が混合物の脆化点の推定にも有用なことを示している。

b. アスファルトの同一コンシステンシー温度での曲げ試験

針入度 20 を示す温度を選びその温度を同一コンシステンシー温度として、载荷速度



図一5 トラバース前後の変形抵抗性



図一6 曲げ強さと温度の関係
(载荷速度50mm/min)

50 mm/minで曲げ強度を求めた。その試験温度を表-7に示し、試験結果を図-7に示した。強度についてはバラツキが見られるが、曲げ試験の精度から見れば大きな差が存在するとは結論しがたい。破壊ひずみについてはほとんど同じであり差を見出しがたい。

3) その他の試験の結果

疲労破壊試験、温度応力試験、浸水安定性試験を行い、疲労破壊試験については同じ温度において変形係数が大きいことに対応した疲労破壊回数がえられ、温度応力に関しては、低温での変形係数が小さいことに対応した低温での破壊温度が得られた。また比重の小さいことに基づく、浸水安定性の変化は全く見られないことが明らかになった。

5. 結果のまとめ

カラマイ産アスファルトの特性をまとめてみると以下のようになる。

同針入度級の日本の市販のアスファルトと比較すると、

アスファルト単体において：

- 感温性が小さく、通常のストレートアスファルトに比してP Iが大きい。
- 25℃より高温側で粘性係数が大きく、最適混合温度、転圧温度が高い。
- 25℃より低温において粘性係数が小さく、脆化点の低いアスファルト混合物において：

- 高温安定性が大きく、優れた高温性状をもつ。
- 低温での脆性が小さくフレキシビリティを保ち、優れた低温性状をもつ。
- 疲労抵抗性は変形係数に依存し、他のアスファルトと変わらない。
- 低温（-15℃程度）での強度には変化がない。
- 浸水による格段の影響はない。

以上本研究を総括し、カラマイ原油から生成されたアスファルトは、陸生原油、比重が小さい、アスファルト含量がきわめて小さいなど世界に例のない特性を持ち、さらに道路用として低温高温の双方に於いて現在世界で例を見ない優れた特性を持つアスファルトと結論出来る。

あとがき

これらの研究結果にもとづき、中国側に本格的に試験施工等を実施し、実用化研究に入ることを助言した。本研究にあっては、アスファルトの基礎物性、成分分析などについて、三菱石油 k k 飯島 博博士にご協力を戴いたここに厚く感謝の意を表し、なお混合物試験を行った畑 晴彦君の協力に感謝する。

表-7 各アスファルトの同一コンシステンシー温度

アスファルトの種類	Pen20における各アスファルトの温度(℃)
H60/80	11.2
H80/100	13.5
H100/120	9.5
K90	7.9
K110	6.2

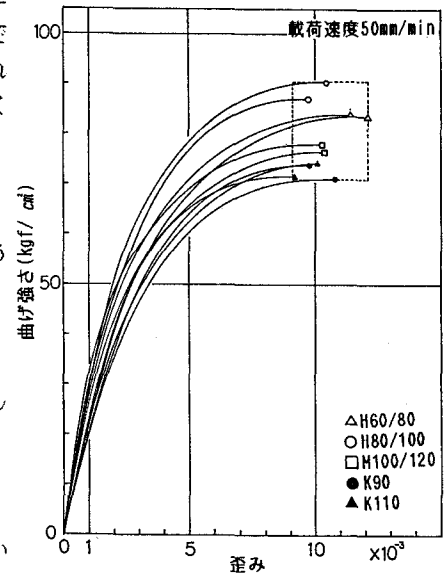


図-7 同一コンシステンシー温度 (Pen. 20 温度) での曲げ強さ