

アスファルトの針入度指数についての一考察

竹 村 健*

1 針入度指数の一般概念と問題点

われわれは日常、アスファルトの物理的性質の把握のために、針入度試験と環球法による軟化点試験を行なっている。針入度試験によりわれわれは、アスファルトのある一定温度（一般には 25°C）におけるコンシステンシーの度合を知ることができ、また軟化点試験によりアスファルトがある一定のコンシステンシーになるための温度を知ることができる。

いま、A, B, C 三種のアスファルトがあるとし、25°C における針入度 (100 gr, 5 sec) がそれぞれ P_2, P_1, P_1 、また軟化点がそれぞれ t_2, t_2, t_1 であるとき、(図-1 参照)、B と C は硬さが同じであるが異なった型であるといい、これに対し、コンシステンシーを針入度値をもって代表

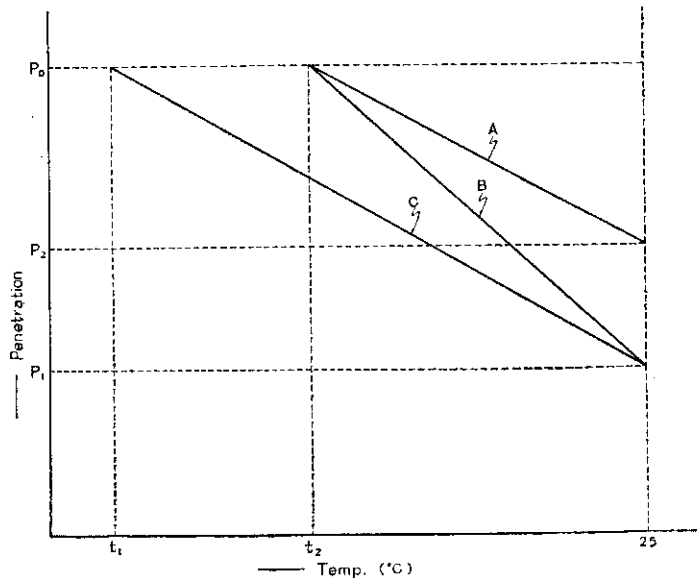


図-1 アスファルトの型

させ、軟化点におけるコンシステンシーを $\log P_0$ とし、

$$\frac{\log P_0 - \log P_2}{t_2 - 25} = \frac{\log P_0 - \log P_1}{t_1 - 25}$$

がなりたつとき、アスファルト A と C は硬さは違うが同じ型であるといっている。このアスファルトの型というものは他のレオロジー的性質と密接な関連をもち、非常に重要である。

アスファルトのこの型の記述のために従来種々の方法がとられてきたが、そのうちで最もよく利用されている

ものに針入度指数 $P.I.$ (Penetration Index) がある。この $P.I.$ は J. P. PHEIFFER & P. M. Van DOORMAL¹⁾ によって発展せられたものであるが、この概念は軟化点における針入度は 800 であるという仮定に基づいている。これの針入度の感温性 $P.T.S.$ (Penetration-temperature Susceptibility) は次式によって表わされ、

$$P.T.S. = \frac{\log 800 - \log P}{t - 25} \quad \dots\dots\dots(1)$$

t : 軟化点温度 °C,

P : 25°C における針入度 dmm

$P.I.$ はこの $P.T.S.$ を用い

$$P.I. = \frac{30}{1 + 50(P.T.S.)} - 10 \quad \dots\dots\dots(2)$$

から計算される。

J. P. PHEIFFER²⁾ は “この $P.I.$ は、アスファルトがその変形において示すところのニュートン流体からの deviation と密接な関係をもち、静的方法において荷重時間が短かすぎないときには、low index number (-2 or lower) のアスファルトはニュートン則に従い、-2 より高い index のものは粘弾体的性質になり、さらに +2 より高い $P.I.$ を示すものについてはチキソトロピー的現象が観察される” と述べている。

この $P.I.$ が大きくなればなるほど、その挙動がニュートン流体からずれていくというこは、多くの人々により観察されており、納得のいくことであるが、この事実は (2) 式からは、また、いままでの $P.I.$ に対する解釈からは説明することができない。(2) 式の意味することは、 $P.I.$ の変化はそのアスファルトの感温性のみに支配されるということである。

アスファルトの粘度と温度との関係は先の報告³⁾ において述べたように、W. L. F 則に従い、任意の温度 $T^\circ K$ でのアスファルトの粘度 η_T は

$$\log \eta_T = \log \eta_{Ts} - \frac{8.86(T - Ts)}{101.6 + T - Ts} \quad \dots\dots\dots(3)$$

で表わされる。ただし、ここで Ts : アスファルトの種類に特有な特性温度、 η_{Ts} : 温度 $Ts^\circ K$ におけるアスファルトの粘度である。

* 前応用理化学研究室 (化学班) 主任研究員、現北大応用電気研究所

(3) 式から、アスファルトの感温性 $d \log \eta_T / dT$ は

$$\frac{d \log \eta_T}{dT} = -\frac{8.86 \times 101.6}{(101.6 + T - T_s)^2} \dots\dots\dots(4)$$

となり、 T_s の高いほど感温性が大きくなることが知られる。

HIROSE & WADA¹⁾によると、アスファルト中のアスファルテン含有量の多いものほど T_s が高くなる傾向のあることが報告されている。このことからアスファルトの感温性はアスファルテン含有量の多いものほど大きい傾向のあることが知られる。また、種々のアスファルトの粘度-温度の測定³⁾から、アスファルトの種類によってその感温性にはそれほど差のないことも知られている。他方(2)式は、感温性が大きくなると $P.I$ が小さくなることを示し、したがってアスファルト中のアスファルテン含有量の多いものほど $P.I$ は小さくならなければならない。これは種々の実験事実、例えば、アスファルテン含有量の多いものほどニュートン流体からはずれるといった事柄と矛盾してくる。

このような矛盾は、アスファルトの種類による(1)式すなわち $(\log 800 - \log P)/(t - 25)$ の違いを感温性による差と解釈したために起こってきたことであり、筆者はこのアスファルトの違いによる(1)式の違いがどこからくるものであるかを検討し、 $P.I$ の値は感温性を示すものではないことと、新しい解釈により $P.I$ と多くの実験事実との関連を説明できることを知ったので以下にこれを報告する。

2 理論的考察

定義により粘度 η は

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \dots\dots\dots(5)$$

で表わされる。ここで τ : セン断応力、 $\dot{\gamma}$: セン断速度。

ニュートン流体である物質については、 η は τ や $\dot{\gamma}$ の値にかかわらず一定であるが、チキソトロピーを示す物質や、弾性的性質をおびてきている物質では、 η の値は τ や $\dot{\gamma}$ の値によって変わる。そして一般には τ と $\dot{\gamma}$ との間の関係は次式で示される。

$$\eta = \frac{\tau^n}{\dot{\gamma}} \dots\dots\dots(6)$$

ただし、 η , n は定数、ニュートン流体のときは $n=1$ で、 n が 1 からずれるにしたがってその物体はニュートン流体からずれることを示している。

いま、 τ_0 における粘度の値を η_0 , τ_i における粘度の値を η_i とすると、(5), (6) 式より

$$\log \frac{\eta_i}{\eta_0} = (n-1) \log \frac{\tau_i}{\tau_0} \dots\dots\dots(7)$$

となる。

軟化点における粘度を $\eta_{s,t}$, 針入度測定温度 25°C に

おける粘度を $\eta_{p,25}$ とすると、(1) 式は

$$\frac{\log 800 - \log P}{t - 25} = -A \frac{\log \eta_{s,t} - \log \eta_{p,25}}{t - 25} \dots\dots\dots(8)$$

となる。ここで A は定数である。

軟化点試験におけるセン断応力を τ_s , また、針入度試験 (100 gr, 5 sec) におけるセン断応力を τ_p とすると、 $\eta_{s,t}$, $\eta_{p,25}$ は (7) 式から

$$\left. \begin{aligned} \log \eta_{s,t} &= \log \eta_{0,t} + (n-1) \log \frac{\tau_s}{\tau_0} \\ \log \eta_{p,25} &= \log \eta_{0,25} + (n-1) \log \frac{\tau_p}{\tau_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

であり、これを (8) 式に代入して、

$$\frac{\log 800 - \log P}{t - 25} = -A \frac{\log \eta_{0,t} - \log \eta_{0,25}}{t - 25} - A \frac{(n-1) \log \frac{\tau_s}{\tau_p}}{t - 25} \dots\dots\dots(10)$$

となる。右辺の第 1 項は感温性を示す式であり、第 2 項は n の値によって変わる値であり、すなわちニュートン流体からの deviation を示す式であることがわかる。

前にも述べたように、アスファルトの感温性は大体一定で、(3) 式に $t=40^\circ \text{C}$ (313°K), $T_s=305^\circ \text{K}$ (われわれが普段用いているストレートアスファルトではこのぐらいの値である。また、ブローン・アスファルトでは $t=90^\circ \text{C}$, $T_s=325^\circ \text{K}$ ぐらいであるが、これらの値を入れても (10) 式の第 1 項には大して変化はない) を入れると、

$$\log \eta_{0,t} - \log \eta_{0,25} = -1.150$$

となり、このようなアスファルトでは針入度は 100 前後であるから、 A を求めるために (10) 式に $P=100$, $n=1$ を入れて $A=0.782$ を得る。

また、 τ_p, τ_s はそれぞれ 10^5 dyne/cm^2 , 10^3 dyne/cm^2 程度であるから、これらの値を (10) 式に入れると、

$$\frac{\log 800 - \log P}{t - 25} = 0.07 - 1.564 \frac{n-1}{t-25} \dots\dots\dots(11)$$

となる。

すなわち、従来感温性を示す式と考えられていた $P.T.S$ は、アスファルトの真の感温性を示す項と、ニュートン流体からのずれを示す項とに分けて考えられる。しかも、この真の感温性を示す項はアスファルトの種類によって大きな変動はなく、ほとんど一定とみなされる。ゆえに、アスファルトの種類による $P.T.S$ の変動は第 2 項の n の値によるものであり、すなわちニュートン流体からのずれの程度によるものであることが理解される。

念のため $P.I$ と関係づけておくと、(2) 式と (11) 式とから

$$\frac{20 - P.I}{10 + P.I} = 3.5 - 78.2 \frac{n-1}{t-25} \dots\dots\dots(12)$$

となる。

3 実験値による考察

軟化点におけるアスファルトの粘度は、 $P.I$ や n 値の違いによって異なることはよく観察されているところである。²⁾ そこでまず、軟化点において観測された粘度の値 η を縦軸に、 $(n-1)$ の値を横軸にとってプロットすると図-2に示されるとおりになった。

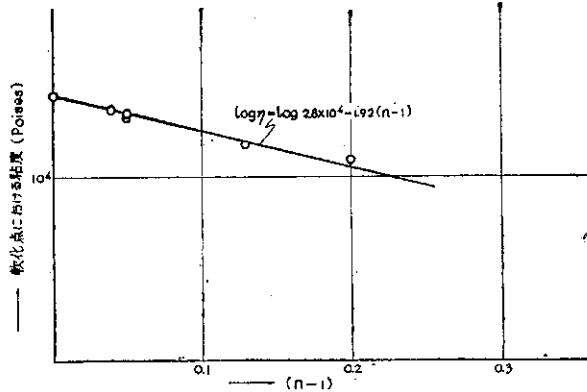


図-2 軟化点における粘度と n 値との関係

粘度の測定におけるせん断応力は約 10^5 dyne/cm²であり、軟化点試験におけるせん断応力は約 10^3 dyne/cm²であるので、これらの値を(7)式に代入して

$$\log \eta = \log \eta_0 - 2(n-1) \quad \dots\dots\dots (13)$$

を得る。

HIROSE & WADAによると、軟化点試験における粘度の値は、ニュートン流体として考えて約 2.6×10^4 poisesであるとされており、これを用いると(13)式は

$$\log \eta = \log 2.6 \times 10^4 - 2(n-1) \quad \dots\dots\dots (13')$$

となる。この式は図-2に見られる実験結果

$$\log \eta = \log 2.8 \times 10^4 - 1.9(n-1) \quad \dots\dots\dots (14)$$

と非常によい一致を示している。

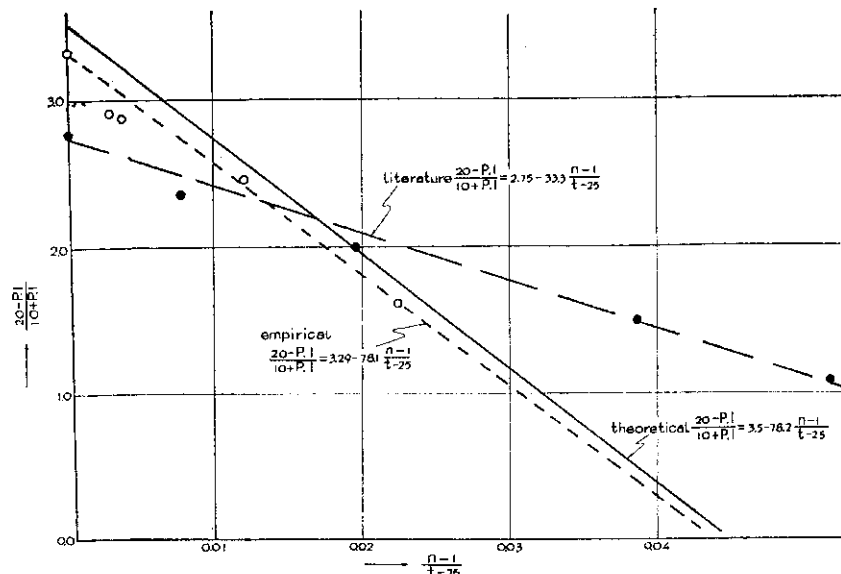


図-5 $P.I$ と n 値との関係

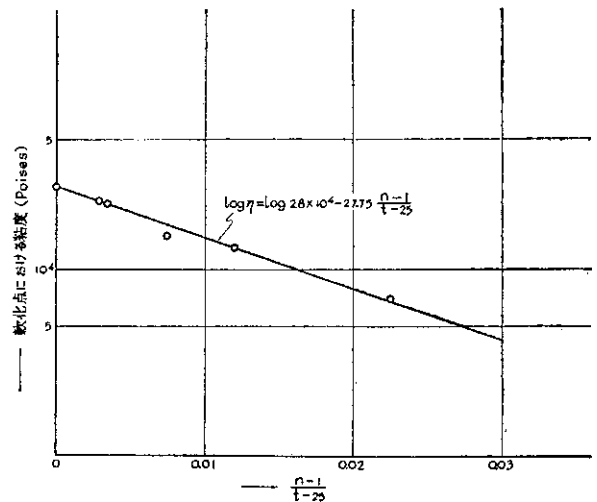


図-3 軟化点における粘度と $(n-1)/(t-25)$ との関係

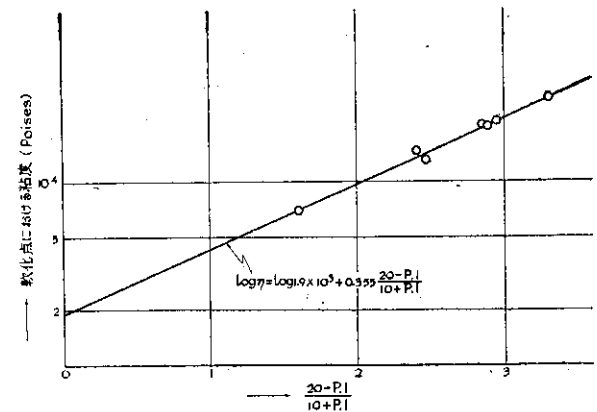


図-4 軟化点における粘度と $P.I$ との関係

この関係式は、理論的に導いた式(12)と対比するには都合が悪いので、縦軸に $\log \eta$ をとり、横軸に $(n-1)/(t-25)$ をとって図示すると、図-3に見られるとおり、その間の関係は実験誤差範囲内で次式で示された。

$$\log \eta = \log 2.8 \times 10^4 - 27.75 \frac{n-1}{t-25} \quad \dots\dots\dots (15)$$

次に軟化点の粘度 η と $P.I$ の関係について求める。前の取扱いと同様に、理論式と対比するために縦軸に $\log \eta$ を、横軸に $(20-P.I.)/(10+P.I.)$ をとって図示すると図-4に見られるとおりで、その関係式は

$$\log \eta = \log 1.9 \times 10^3 + 0.355 \frac{20-P.I.}{10+P.I.} \quad \dots\dots\dots (16)$$

で示された。したがって、 n と $P.I$ との関係は(15),(16)式から

$$\frac{20-P.I.}{10+P.I.} = 3.3 - 78 \frac{n-1}{t-25} \quad \dots\dots\dots (17)$$

となる。

図-5に理論的に導いた(12)式と、実験的に導いた(17)式および測定値を示した。さらに R. N. J SAAL & J. W. A LABOUT⁵⁾による値も示した。式(12)と(17)がこのように一致を示し、また文献⁵⁾によるデータも、その数値はやや異なっているが、同様な関係式で表わされるということは、このような解釈が妥当であることを意味しているものと解される。

4 む す び

以上、針入度指数について理論的にまた実験的に考察し、理論式として(12)式、実験式として(17)式を得た。アスファルトの種類による $P.T.S$ 、あるいは $P.I$ の値の変化は実は感温性により変わるのではなく、 n -値、すなわちニュートン流体からのずれの度合いにより示されるものであることが知られた。

はじめの項で述べたアスファルト中のアスファルテン含有量の増大によるレオロジー的性質の変化に対しても、この考え方によりよく説明づけることができる。すなわち、アスファルト中のアスファルテンの増加は、特性温度を上昇させる傾向にあって感温性はやや増加するが、その程度はごく小さく、一方、弾性的性質が徐々に増加してきて n -値の増大をもたらす、その結果 $P.I$ が大

きくなることが理解される。

その他、J. P. PHEIFFER²⁾も述べている“この $P.I$ はニュートン流体からの deviation に密接に関係している”などの実験事実もよく理解することができる。

本報告では、入手試料の関係から測定範囲を広くとることができず、十分なる考察はできなかったが、今後数多くの実験によりさらに検討したいと考えている。

参 考 文 献

- 1) J. P. PHEIFFER & P. M. VAN DOORMALL: J. Inst. Petro. Tech, 22, 414 (1936).
- 2) J. P. PHEIFFER: The properties of Asphaltic bitumen with special reference to its technical Application, Elsevier, Houston, Tex, 1950.
- 3) 竹村 健: アスファルトの粘性に関する二・三の考察, 北海道開発局, 土木試験所月報, 第121号, (1963).
- 4) 広瀬英典, 和田八三久: 石油アスファルトの針入度と軟化点の物理的解釈, 応用物理, vol 29, No. 8, (1960).
- 5) R. N. J SAAL & J. W. A LABOUT: Rheological properties of Asphalt, Eirich Reology vol. II, chap. 9, (1956).

*

*

*