

針入度試験によるアスファルトのレオロジー特性などの検証

鹿島道路株式会社 正会員 ○山口 将
 同 上 正会員 佐藤 聡明
 同 上 正会員 金井 利浩

1. はじめに

アスファルトのコンシステンシーを評価する方法のひとつに針入度試験がある。当該試験から得られる針入度は、アスファルトのグレード分けの指標となっており、瀝青材料を利用する技術者や研究者にとって馴染み深いものとなっている。過去には当該試験の結果から工学的な指標である粘度などを推定するといった検討もなされていたが、最近では前述のように専らコンシステンシーの評価に用いられているのが現状である。

本研究は、針入度試験が簡便に試料の工学的な特性を評価できる可能性に再度注目し、ストレートアスファルトのレオロジー特性の検証ならびにスティフネスの推定を試みた結果、2, 3の知見を得たので報告するものである。

2. 試験方法と試験に供したアスファルト

針入度試験は、舗装調査・試験法便覧「A041 針入度試験方法」に示されている試験器によって実施した。一般に、針入度試験は、試験用カップに入ったアスファルトを 25℃の水に 1 時間養生し、5 秒間針を貫入させて試験を行うが、本研究では、表-1 に示した試験温度で試料を 1 時間養生した後、貫入時間を 3 秒、5 秒、7 秒、9 秒と変化させて試験を行い、貫入量を測定した。なお、試験に用いたアスファルトは、ストレートアスファルト 60/80 (針入度 65, 軟化点 52℃) である。

表-1 試験条件

項目	条件
試験温度 (°C)	10.0, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0, 35.0, 40.0 (11水準)
貫入時間 (s)	3, 5, 7, 9 (4水準)
試験荷重 (g)	100

3. 試験結果および考察

3-1 貫入時間と貫入量の関係

表-1 に示した条件で行った試験の結果について、貫入時間と貫入量の関係を図-1 に示す。図-1 のように貫入時間が長く試験温度が高くなるほど、貫入量は大きくなっている。また、各温度における貫入時間と貫入量の曲線群は、片対数紙上で概ね平行となっている。

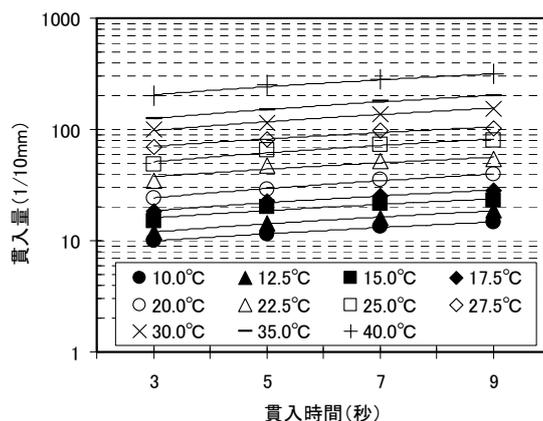


図-1 貫入時間と貫入量の関係

3-2 レオロジー特性の検証 (時間-温度換算則)

アスファルトのレオロジカルな性状を検証するため、貫入量について時間-温度換算則^{1),2)}が成り立つか否かを調べた。具体的には図-1 において基準温度 T_0 を 25℃とし、基準温度 25℃より低い温度は左側へ、25℃より高い温度については右側へシフトさせてみた。その結果、図-2 のように基準温度を 25℃としたときのマスターカーブを得ることができた。なお、データのシフトにあたり、横軸の貫入時間を対数で表示すれば、シフトファクター α_T は式(1)のように表せる。

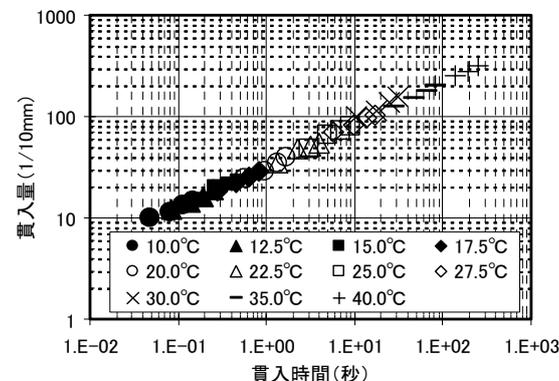


図-2 貫入量のマスターカーブ
(基準温度 $T_0=25^\circ\text{C}$)

$$\log \alpha_T = \log t_T - \log t_0 \quad (1)$$

ここに、 t_0 : 基準温度 T_0 での貫入時間, t_T : 基準温度 T_0 (貫入時間

キーワード 針入度試験, ストレートアスファルト, 時間-温度換算則, レオロジー特性, 粘度, スティフネス

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島道路技術研究所 TEL042-483-0541 E-mail: ymsaru@kajimaroad.co.jp

t_0)での貫入量と同一レベルとなる試験温度 T の貫入時間である。

確認のため、本研究で得られたシフトファクター ($\log \alpha_T$) と式(2)に示す既往の研究³⁾における $\log \alpha_T$ (実測値との比較により検証済み) を比較したものが図-3である。両者は概ね一致していることから、図-2のマスターカーブは妥当であり、針入度試験の貫入量に関しても時間-温度換算則が成り立つと言える。すなわち、針入度試験によってもアスファルトがレオロジー的に単純な材料であることが検証できたと考える。

$$\log \alpha_T = \frac{-C_1(T - T_s)}{C_2 + (T - T_s)} \quad (2)$$

ここに、 T :試験温度(°C)、 $T_{R\&B}$:軟化点(52.0)(°C)、 T_s : $T_{R\&B} - 8.5(43.5)$ (°C)、 PI :針入度指数(-0.04)、 $C_1 = -2.0836PI + 24.7532(T < T_s)$ または $C_1 = -0.8527PI + 8.2789(T > T_s)$ 、 $C_2 = C_1(0.7609PI + 10.9185)$ である。

3-3 スティフネスの推定

アスファルトを工学的に取り扱ううえで、スティフネスは非常に重要な特性値である。ここでは、針入度試験で得られた貫入量から粘度を推定しそれをスティフネスに換算してみた。また、その結果の妥当性を確認するため、van der Poel のノモグラフ⁴⁾から読み取った値と比較した。ここで、試料がニュートン流動を示す場合、貫入時間 t (s)、貫入量 P (1/10mm) のとき粘度 η (Pa·s) は式(3)によって与えられる⁵⁾。また、アスファルトが粘性体であると仮定すると、スティフネス S (Pa) は、式(4)のように粘度 η (Pa·s) と時間 t (s) の関数となる⁴⁾。

$$\eta = 1.25 \times 10^8 \times t / P^2 \quad (3)$$

$$S = 3\eta / t \quad (4)$$

今回の貫入量のデータにこれらの処理を施して求めたスティフネスとノモグラフから読み取った値を対比したものを図-4示す。これをみると、貫入時間によってやや異なっているものの、両者は概ね一致しており、針入度試験結果からアスファルトの概略のスティフネスを推定できることがわかる。なお、貫入時間によって両者の関係がやや異なっているのは、図-5のように針の直径が一樣ではなく先端部が尖っているためと考えられる。

4. まとめ

- ①貫入量は、貫入時間が長く試験温度が高くなるほど大きくなり、各試験温度における貫入時間と貫入量の曲線群は、片対数紙上で互いに平行となることがわかった。
- ②貫入量をシフトさせてマスターカーブの作成を試みたところ、時間-温度換算則が成り立つことが判明し、針入度試験によってもアスファルトのレオロジー特性を検証できることが確認された。
- ③貫入量からアスファルトの粘度およびスティフネスを推定し、van der Poel のノモグラフの読み取り値と比較した結果、両者は概ね一致し針入度試験によってもスティフネスの概略値を推定できることが確かめられた。

[参考文献]

1)笠原篤, 岡川秀幸, 菅原照雄: アスファルト混合物の動的性状とその舗装構造の力学解析への利用, 土木学会論文報告書, 第254号, pp.107~117, 1976, 2)Williams, M.L., Landel, R.F. and Ferry, J.D.: The Temperature Dependence of Relaxation Mechanism in Amorphous Polymers and Other Glass-forming Liquids, Journal of American Chemistry Society, Vol.77, p.3701, 1955, 3)中江 利昭: レオロジー工学とその応用技術 pp.429~432, 4)Van der Poel, C.: A General System Describing the Visco-elastic Properties of Bitumen and its Relation to Routine Test Data, Journal of Applied Chemistry, Vol.4, pp.221-236, 1954, 5)Davis, R.L.: The ASTM Penetration Method Measures Viscosity, AAPT, pp.116-149, 1981

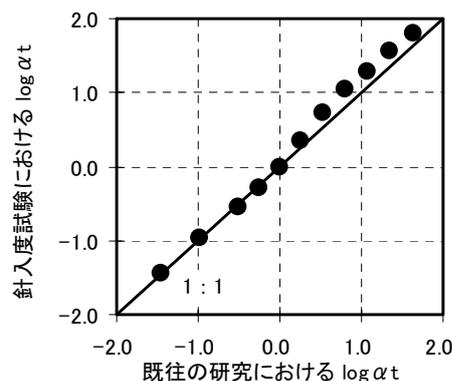


図-3 $\log \alpha_T$ の確認

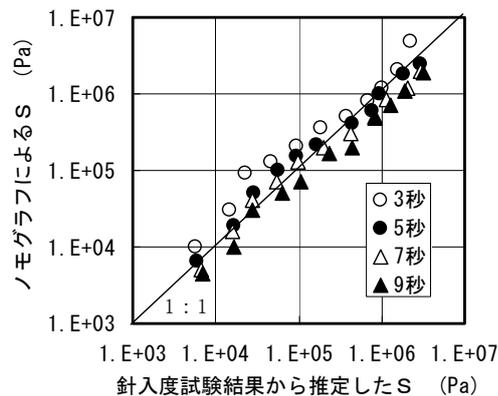


図-4 スティフネスの推定値と読み取り値

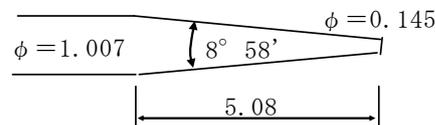


図-5 針先端部の形状(単位: mm)