

曲げ試験から求めたアスファルト合材の強さ、および スティフネスについて

北海道大学工学部 学生員 ○森吉昭博

北海道大学工学部 正員 上島壮

北海道大学工学部 正員工博 菅原照雄

1. 概説

アスファルト合材の粘弾性的性状を支配するものとして、温度、変形速度等の要因があげられる。しかし、 $-10 \sim 30^{\circ}\text{C}$ という広範囲の温度に対していかなるアスファルト合材でもあてはまるという、力学的一般法則はまだ見いだされていない。一方、アスファルト舗装構造の理論的設計に必要となる、スティフネス、破断歪、曲げ強さ等についても、それらの要因の変化と共に、それらが数値的にいかに変化するかということも判っていない。又、一般舗装用合材の曲げ試験にシフトファクター a_T の概念がどの程度適用できるかということについてもまだよく判らない。本研究は以上の問題と取組むために、合材種別として、1) 無空隙アスファルト合材（マトリックス、マスチック、碎石入りマスチック・アスファルトの3種類）、2) 一般舗装用合材（アスファルト・コンクリート、ロード・アスファルト、トベカ、サンド・シート・アスファルトの4種類）を選び、供試体寸法 $2.5 \times 2.5 \times 25\text{ cm}$ 、試験温度 $-10 \sim 30^{\circ}\text{C}$ (5°C 毎)、変形速度 1, 3, 6, 12 $\%/ \text{sec}$ で、かつ両端単純支持（スパン 20 cm ）で中央集中荷重という条件のもとで高速曲げ破壊試験を行い、 $0.003 \sim 0.6$ 秒の各種載荷時間において、弾性解を用いて曲げのスティフネス、曲げ強さ、破断歪を計算した。試験結果から、曲げのスティフネス、曲げ強さ、破断歪等について、温度、変形速度等に関する一般法則が見いだされたとともに、シフトファクター a_T の概念を一般舗装用合材の曲げ試験に適用した結果、それらはある範囲で熱レオロジー的単純な性質をもつことが明らかにされた。

2. 試験に使用した合材種別

1) 無空隙アスファルト合材

- a) マトリックス: $\text{Pen } 49_{60} (F_A=25)$, $\text{Pen } 69_{80} (F_A=1.0, 1.5)$, $\text{Pen } 89_{100} (F_A=1.0, 1.5)$ 計5種類
- b) マスチック: $\text{Pen } 49_{60} (F_A=25, 1.0, S=50\%)$, $\text{Pen } 69_{80} (F_A=1.0 (S=46\%), F_A=1.0 (S=50\%))$,
 $\text{Pen } 89_{100} (F_A=1.0, 1.5, S=50\%)$, $\text{Pen } 109_{120} (F_A=1.0, 1.5, S=50\%)$ 計8種類
- c) 碎石入りマスチック・アスファルト: 碎石量40%, $C_v=0.78$, $\text{Pen } 40_{60}$, アスファルト量9.5%
- 連続粒度 $F_A=1.0, 2.0, 3.0$ 3種類
- 不連続粒度 $F_A=1.0, 2.0, 3.0$ 3種類
($25 \sim 0.6\text{ mm}$ 全)

2) 一般舗装用合材

- a) アスファルト・コンクリート: 碎石量50%, $C_v=0.86$, $\text{Pen } 89_{100}$, アスファルト量5.76%
- b) ロード・アスファルト: 碎石量50%, $C_v=0.83$, $\text{Pen } 49_{60}$, アスファルト量7.50%
- 碎石量50%, $C_v=0.82$, $\text{Pen } 49_{60}$, アスファルト量7.80%
- c) トベカ: 碎石量25.1%, $C_v=0.84$, $\text{Pen } 89_{100}$, アスファルト量7.00%
- d) シート・アスファルト: 碎石量11.8%, $C_v=0.78$, $\text{Pen } 89_{100}$, アスファルト量9.50%

3. 試験結果

試験した全合材について応力～歪曲線をかき、降伏点が見られる温度領域を脆化領域と名づけると、その領域は温度～曲げ強さ曲線ではピーク付近の領域に相当する。(図1参照) その領域の温度範囲、および種々の条件のもとでの破断歪、スリフネス等の結果をまとめると図2～図4のようになる。

図から次のことが分る。

- 1) 脆化領域は同種合材であれば次の条件のとき高温側に移行する。(図2参照)

- a) 変位速度が速くなるとき、
- b) アスファルト量が少なくなるとき、
- c) アスファルトのP.I.が高くなるとき、

- 2) 脆化領域の温度はマトリックスが約 $0 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 、マスタックが約 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 、砕石入りマスタックアスファルト、および一般舗装用合材で約 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲である。

- 3) 曲げ強さの大きさは脆化領域のものが一番大きい値である。(図1参照)
- 4) 脆化領域における曲げ強さの大きさは、 $55 \sim 100\%$ 位の値である。(図2参照)
- 5) 破断歪は1)と全く逆のことがいえる。
- 6) どの合材でも破断歪は $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-1}$ 位の値である。

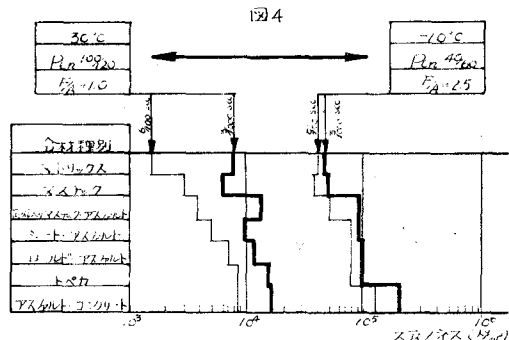
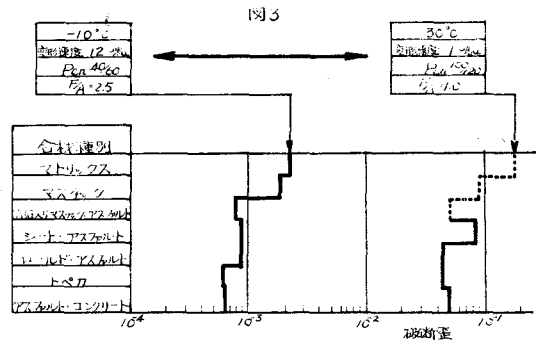
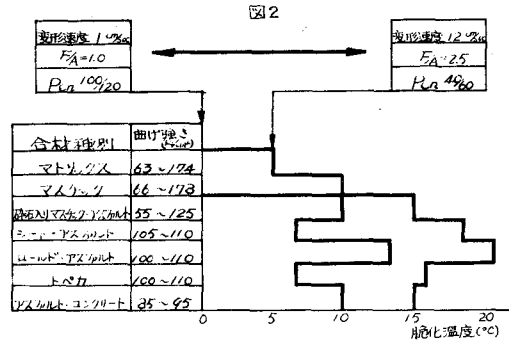
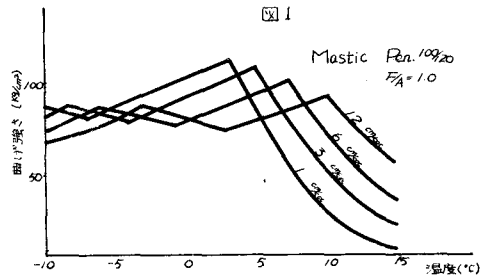
- 7) スリフネスの値は同種合材であれば、次の条件のとき大きくなる。

- a) 低温に近づくとき、
- b) アスファルト量が少なくなるとき、
- c) アスファルトのP.I.が高くなるとき、

- 8) どの合材でもスリフネスの最大値は $(4 \sim 20) \times 10^{-4}\%$ 位の値である。(図4参照)

- 9) 三軸のグラフを用いて、変形速度の影響を加味すると、スリフネスは変形速度に無関係となる。(図6参照)

次に曲げ強さ、スリフネス、破断歪と温度との関係を見ると次のようになる。



10) 曲げ強さと温度について (図1参照)

- 1) の a) ~ c) のパラメーターが変化すると温度軸にはほぼ平行にずれる。(c) の場合は多少形が変る。)
- 変形速度, P.I. の大きさ等により曲線がほぼ平行にずれるので, どの温度をとるかで曲げ強さの順序がかわる。
- 脆化領域の左右の曲線の勾配はその領域での合材の抵抗 (感温性) を示す。
- 勾配の緩やかなもの程, その領域での抵抗が大きい。勾配の急なものはこの逆である。
- 脆化領域より低温側にもう一つピークがある。

11) 破断歪と温度について (図5参照)

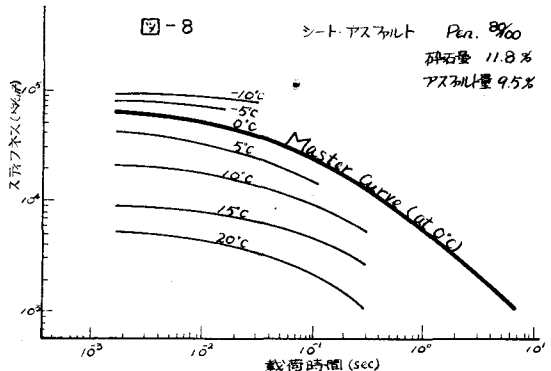
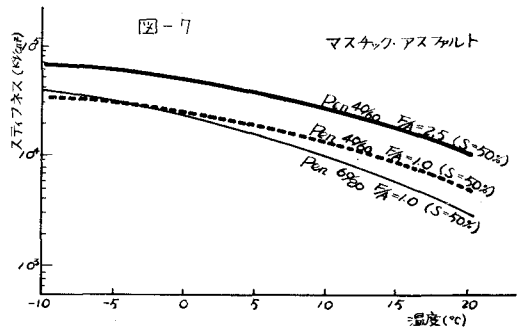
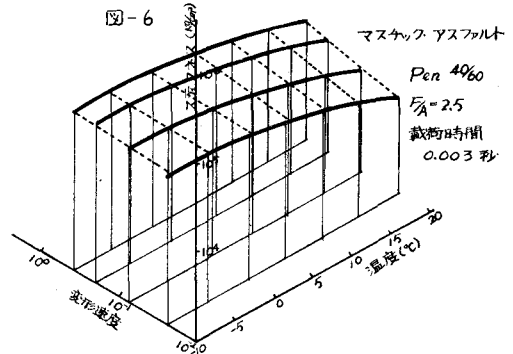
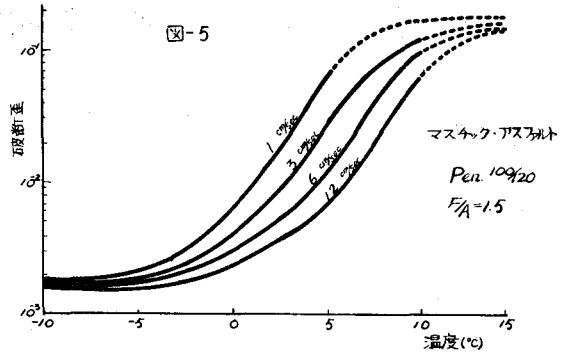
- 10) の a) と同じことがいえる。
- 歪は小さいとき真の値であるが, 大きくなると計算値なので歪係数的なものとするべきである。
- 曲線は緩い S 字型となり, 上限, 下限とも一定値に近づく。
- 脆化領域は勾配の急な領域に相当する。

12) スティフネスと温度について (図7参照)

- 7) の a) ~ c) のパラメーターが変化すると曲線は温度軸に平行にずれる。(c) のときは多少形が変る)
- 低温で, しかも載荷時間の短いとき曲線はほぼフラットになる。

13) シフトファクター a_T について

一般舗装用合材 (アスファルト・コンクリート, ロード・アスファルト, トベカ, サンド・シート・アスファルト) に対して, 曲げ試験から求めたスティフネスと時間との関係を示す曲線が, 温度が変化しても常に同じ形で, ただ温度 T によって時間軸の方向に左右にずれだけという熱レオロジー的単純な性質をもつか否か



を検討した。

Deacon, Krokosky 等は次のように述べている。

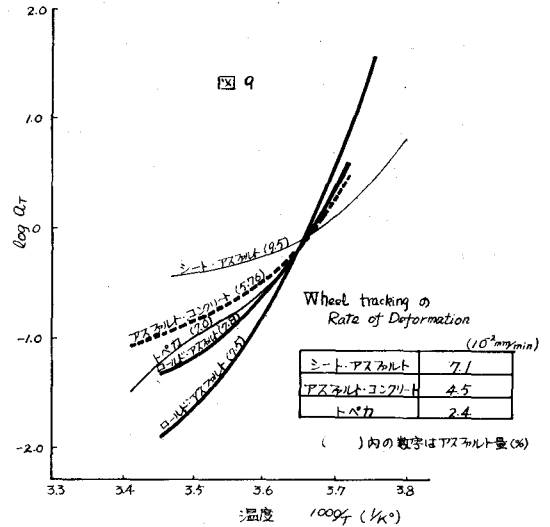
曲げ試験は応力緩和試験等と比べて一般にシフトファクター Q_T の概念を導入しにくい。しかし、ある一定の歪範囲で、かつアスファルト合材が現場で遭遇する温度、アスファルト量の範囲内では曲げ試験にも適用可能である。

従って本研究は曲げ歪を約 0.5% にあきえてシフトファクター Q_T の概念が適用可能か否かを論じた。その結果、次に述べることで結論される。

- a) 本研究に使用した合材はいずれもシフトファクター Q_T の概念を適用できる。

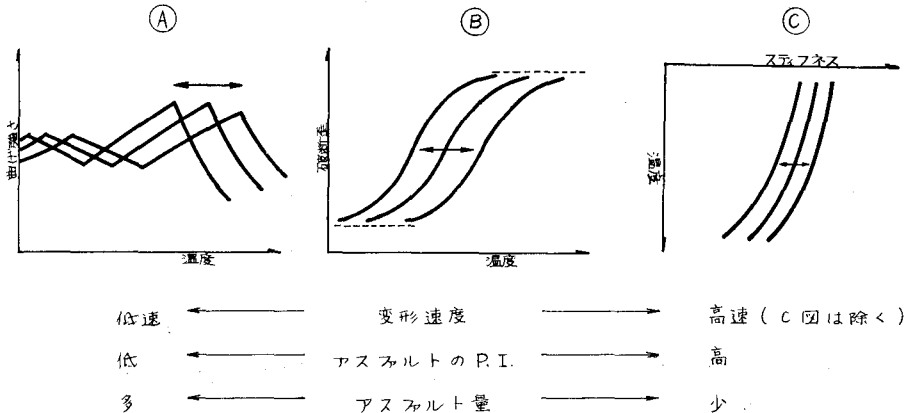
(図 8, 図 9, 参照)

- b) 合材の温度依存度の順序と Wheel tracking 試験の Rate of Deformation の大きさの順序が一致している。(図 9 参照)
- c) アスファルト量が増えると温度依存度が高くなる。



4. 結論

- 1) 同種合材の曲げ試験についてスティフネス、曲げ強さ、破断歪らが変形速度、P.I. の大きさ等により左右されるかを図示すると次のようである。



- 2) 一般舗装用合材の曲げ試験についても、曲げ歪を 0.5% 以内にあきえれば、シフトファクター Q_T の概念を適用できる。
- 3) 合材の温度依存度の順序と Wheel tracking 試験の Rate of Deformation の大きさの順序が一致する。
- 4) 異種合材間にも適用可能な共通的な合材のレオロジーについては、なお詳細な検討が要求される。