

アスファルト混合物の粘弾性的研究 (第三報)

樋渡 正美*・上田 満**・大橋 朝馬***

Viscoelastic Study of the Asphalt Mixtures (3rd Report)

Masami HIWATASHI, Mitsuru UEDA and Asama ŌHASHI

Abstract

We have been studying Rheology for a few years, and by way of it's objects we are now treating asphalt mixtures. It was mentioned in the first report that the viscoelastic constant can be decided by using the method of least squares, and also the compressive test subjected to a linearly increasing strain $\epsilon_0 t$ was tried at different rate of strain, amount of filler and amount of asphalt.

It is generally said that the stability value of asphalt mixture is largely affected by the temperature, so we must also make a special study of asphalt mixture at different temperature. In this paper, authors intend to examine the natures of asphalt mixtures in various temperature. From these study, if we can decide the proportion of asphalt mixture, it is very useful thing.

For practical purposes, we must deal with two or three layers of viscoelastic bodies, but in it's case, it is very difficult to determine the viscoelastic constant. From now on, we can also regard soil as viscoelastic body, and Viscoelastic behavior of soil will be largely studied by many investigators.

Anyway, a great many problems about the viscoelastic bodies are left without being solved.

Materials such as steel and glass, often regarded as elastic at ordinary temperatures, on close observations are found also to exhibit small amounts of viscous behavior.

This can be observed as creep (increase of deformation at constant stress) or stress relaxation (decay of elastic stress at constant deformation), and these effects may be important under certain conditions of use.

To return to our subject, the compressive test subjected to a linearly increasing strain $\epsilon_0 t$ was tried at different rate of strain, amount of asphalt and temperature.

The results of experiments are mentioned in this paper.

1. 緒 言

一般にアスファルトそのものは粘弾性体と考えられるわけであるが、それに骨材を加えて作ったアスファルト混合物はやはり粘弾性体と考えてさしつかえなるのであろうか。この問題を解明すべくわれわれ筆者は数年来アスファルト混合物の応力-歪曲線の性質を調べてきたのである。その結果として完全弾性体であれば歪速度がいかに変化しようとも同一歪に対しては常に一定の応力が生ずるはずであるが、アスファルト混合物に対してはそのような事実は生じないのである。すなわち後ほどよくおわかりになると思うが、歪速度

が早くなればなるほど小さい歪で大きな応力が得られるのであります。また破壊に至るまではある程度は応力-歪曲線は直線的にのびるはずであるが、われわれの実験の場合は指数函数的な変化をすることがわかります。

そして、ある一定の応力に近づくような曲線となる場合が多いわけである。このような観点からすればアスファルト混合物を粘弾性体と考えるのも別に不合理とも思えない。アスファルト混合物の応力-歪曲線に大きな影響を与えると思われる因子には、アスファルト量、フィラー量、歪速度、温度、配合等が考えられるが、第一報、第二報ではアスファルト量、フィラー量、歪速度、配合を各々変えたものについて行なった実験の結果について報告しているのでこのたびは温度、アスファルト量、歪速度、配合の各々を変えたも

* 山口大学工学部土木工学教室

** 山口大学工業短期大学部土木工学教室

*** 千葉県土木部

のについて実験を行なったのでその結果をここで報告したいと思う。

2. 実験方法

アスファルトとしてはストレートアスファルトを使用した。その性質として比重は 1.032, 軟化点は46.5

°C, 引火点は332°C, 針入度は72.1, 伸度は150以上であった。フィラーとしては石灰岩を粉砕した石粉を使用し、骨材としては粒度が25mmから2.5mmまでは碎石, 2.5から0.3mmまでは粗砂, 0.3から0.15mmまでは細砂を用いた。なお0.15mm以下はフィラーとした。これらの産地および比重が Table 1 に上げてある。

Table 1 The place of production and specific gravity of used materials

Ifem	Crushed stone	Coarse sand	Fine sand	Stone dust	Asphalt
The place of production	Sanyô chô	Aio chô	Toyouura chô	Mine city	Shimotsu chô
Specific gravity	2,694	2,639	2,648	2,713	1,029

アスファルト混合物には数多くの種類があるが、筆者等はその中で代表的な粗粒度アスファルトコンクリート密粒度アスファルトコンクリート、およびトペカの3種類について実験することにした。混合物の配合設計は与えられた材料を用いて所要の品質、ウォーカービリティ、フィニッシュビリティをもち、かつ最も経済的な混合物が得られるように行なわれねばなら

ない。

供試体は同一種類の混合物について3個ずつ作った。

またフィラーとアスファルトの量に関しては、フィラーの量を一定としアスファルト量は1.0%ずつ変えて行なった。

以上の配合による3個分の重量配合表が Table 2

Table 2 Proportion in weight of test-piece

Kind of pavement		Coarse-grade type ascon (base)		Dense-grade type ascon (surface)		Topeka (surface)	
Item	Particle size (mm)	Percentage (%)	Amount of using (g)	Percentage (%)	Amount of using (g)	Percentage (%)	Amount of using (g)
Crushed stone	25~20	12.5	435.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	20~13	21.0	730.8	10.0	348.0	0.0	0.0
	13~10	9.0	213.2	10.0	348.0	7.5	261.0
	10~5	17.5	609.0	20.0	696.0	10.5	365.0
	5~2.5	12.5	435.0	17.5	609.0	9.5	330.6
Coarse sand	2.5~0.6	15.0	522.0	19.5	661.0	25.0	870.0
	0.6~0.3	5.0	174.0	5.5	191.4	11.0	382.8
Fine sand	0.3~0.15	2.5	87.0	6.0	208.8	14.0	487.2
Filler>	0.15~0.074 0.074	5.0	174.0	12.0	417.6	22.5	783.0
Total of aggregate		100.0	3480.0	100.0	3480.0	100.0	3480.0
Asphalt		5.0	183.2	5.0	183.2	5.0	183.2
		6.0	222.1	6.0	222.1	6.0	222.1
		7.0	261.9	7.0	261.9	7.0	261.9

に示されている。混合するにあたっては自動アスファルトミキサーを使用せず鉄製の混合ナベに材料を入れて、これをガスコンロの上のせ下から加熱しながら

移植ゴテで混ぜた。この際アスファルトを直接ナベの中に入れると高温のために変質する恐れがあるので、まず骨材を入れてこれが十分温度が上がってからアス

ファルトを加えて混合した。

アスファルト舗装要綱には、「骨材は乾燥炉中で各粒度別に 160~190°C の温度に加熱しておく。乾燥炉のない場合は各粒度に計量混合してこれを加熱混合器上で 150~175°C の間に加熱してもよい。アスファルトは適当な大きさの容器に入れ、120°C~140°C の温度に加熱しておく。しかしアスファルトが変質するおそれがあるので、使用前に 1 時間以上この温度に保ってはならない。」とあるので筆者は計量混合をすませた骨材を混合ナベに入れこれをあらかじめ加熱し適当と思われる頃にアスファルトを加えて加熱混合した。また混合時の温度はアスファルト舗装要綱には 145~150°C とあるので約 150°C でそれ以上の温度にならないように行なった。

混合が完了したら締固めを始める。この締固めには自動締固め機械を用いた。締固め用ランマーの打撃面とモールド、床板、カラー、突き棒は清浄にして 90~150°C に加熱しておく。モールド内面、床板にグリースを塗り組立て、混合物をなるべく分離しないように入れる。このため混合ナベの中ではほぼ均等な 3 つの部分においてモールドの 4 方向から入れる。混合物を入れ終わったら、突き棒で全面を平均に 25 回突き、ついで表面を平らにする。温度計をこの中心に立て所定の温度になったら締固めを始める。この締固め温度は 120°C 程度とする。

混合物を入れたら所定の温度にし、そのモールドを突固め合におき、重量 4.5kg、落下高 45.72cm のランマーをそう入して 50 回突固める。突固めが終わったらモールドを逆にして組立て、供試体の裏面をもう一度 50 回突固める。この場合モールド中の供試体が底板に落ち着くまでランマーで軽く打撃した後に締固めを始める。

底板とカラーを取りはずし供試体のはいったモールドを少なくとも 2 分間水中に入れて冷却させる。水中から取出したモールドは押抜き用カラーを取りつけプランジャーをそう入して載荷試験機にかけて供試体をモールドから抜取る。抜出した供試体は注意深く取扱い載荷試験を行なうまでは平らな面においておく。

供試体は成形後約 24 時間で試験する。試験の要領はマーシャル試験に準じて行なった。試験体の密度の測定に関しては供試体円周の 4 方向で高さを測定し、次いで空中重量、水中重量を測定する。供試体の水中重量を測定するときにパラフィン被覆は行なわなかった。

供試体を水中につるすためには、金網カゴを用いた。

筆者等の実験はマーシャル試験機ではなく、圧縮試験機により粗粒度アスファルトコンクリート、密粒度アスファルトコンクリート、およびトベカの各々についてひずみ速度を 1 mm/min, 5 mm/min の 2 種に変え、それぞれ温度 60°C, 40°C, 20°C のもとで試験を行なった。

載荷試験時の供試体の温度は、それぞれ所定の 3 種の温度でなければならない。このために試験を始める前に供試体を所定温度 $\pm 1^\circ\text{C}$ に調節した恒温水ソウ中に 40 分間浸した。なおアスファルト舗装要綱には 30 分~60 分間浸すことになっている。載荷用弓形内面と案内棒を清浄にしてグリースを塗る。

供試体を水ソウより取り出し、円筒形の側面を下部弓形の内面にのせ案内棒を通して上部弓形をその上にのせる。このように準備した供試体を載荷試験機の上ののせてある所定温度の水ソウに入れ、載荷試験機を中心に合わせてすえつける。ひずみリングのダイヤルの針が最大点に達し下降し始めるまで載荷を続ける。このときひずみ速度が 1 mm/min の場合には 30 秒毎に、5 mm/min の場合は 6 秒毎にひずみリングの目盛を読み取る。ダイヤルゲージの読みが最大時のとき、最初の読みとの差を百分の 1 cm 単位で示し、フロー値とする。

3. 実験結果

実験結果の整理にあたって粘弾性定数を求めるわけであるがその方法は第一報で述べたと全く同じ方法で行なった。そして、試算法によって求めたダッシュポット定数およびスプリング定数とアスファルト量との関係を、横軸にアスファルト量、縦軸に粘弾性定数を取り試験温度 60°C, 40°C, 20°C の 3 種のものでグラフに書いてみた。また応力-歪曲線の変化する様子も各アスファルト量、歪速度、温度について示してある。応力-歪曲線は Fig. 1~Fig. 6 までに粘弾性定数は Fig. 7~Fig. 18 までに示してある。これらの図よりいえることはつぎのようなことであろう。

A. 各々の場合におけるグラフの考察

1. 粗粒度アスコン (60°C, $\epsilon_0 = 1 \text{ mm/min}$ の場合)

ダッシュポット定数とスプリング定数と単位が異なるのでくらべにくい単位を無視して絶対値の大きさだけでくらべると値はそんなに大差はないがダッシュポット定数のほうがスプリング定数より大きい値をとっている。ダッシュポット定数は 5.5% のアスファルト量のとときに最も小さい値を持つ下に凸のグラフとなる。スプリング定数はアスファルト量が増加するにつれて小さくなって

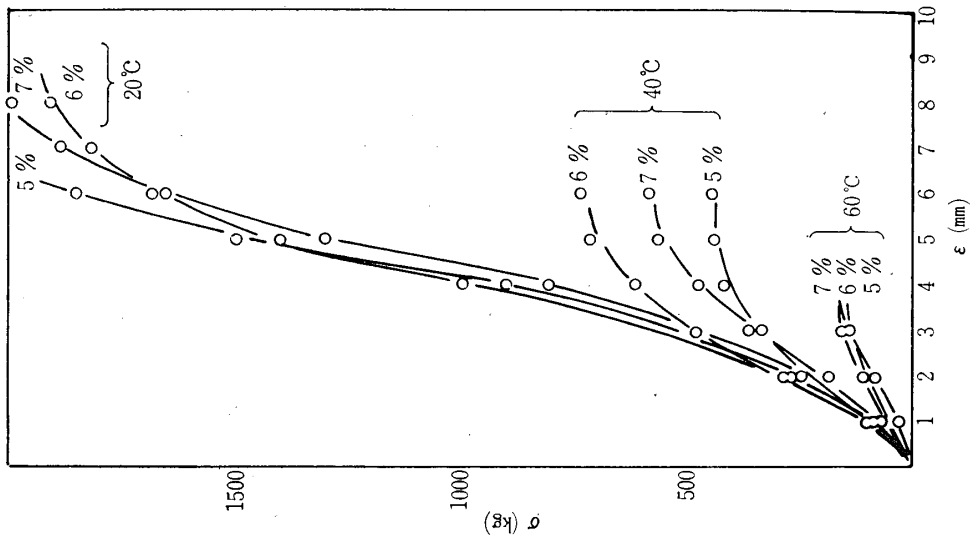


Fig. 1 Coasegrade type ascon at the rate of deformation being 1mm/min

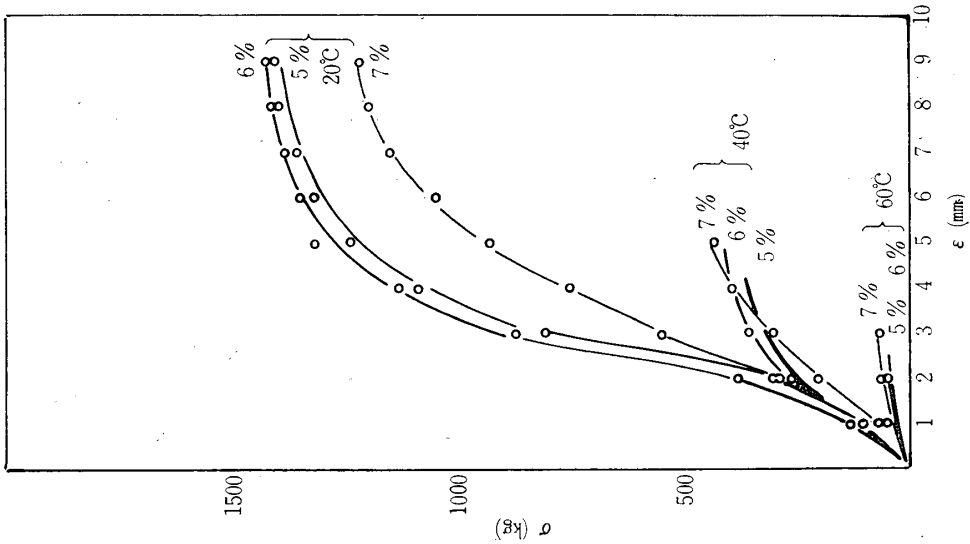


Fig. 2 Densegrade type ascon at the rate of deformation being 1mm/min

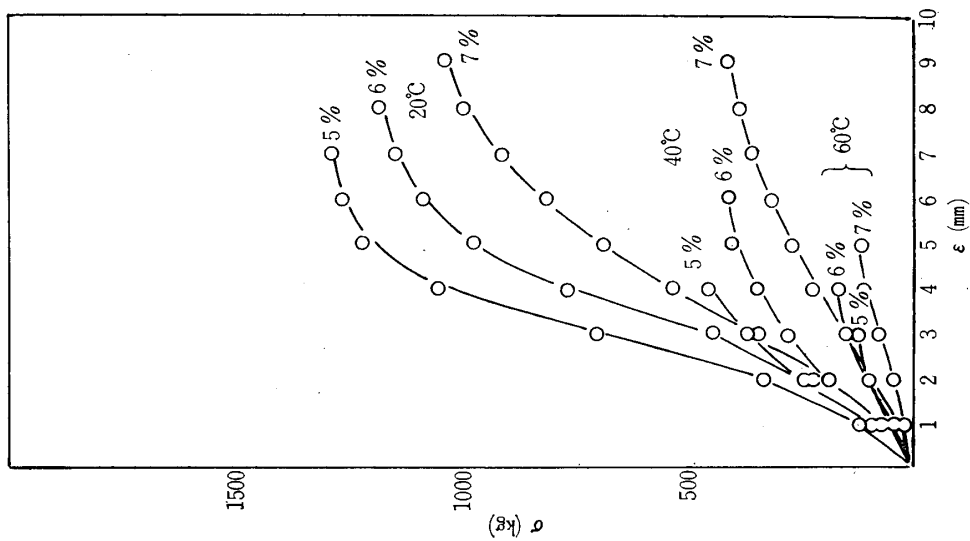


Fig. 3 Topeka at the rate of deformation being 1 mm/min

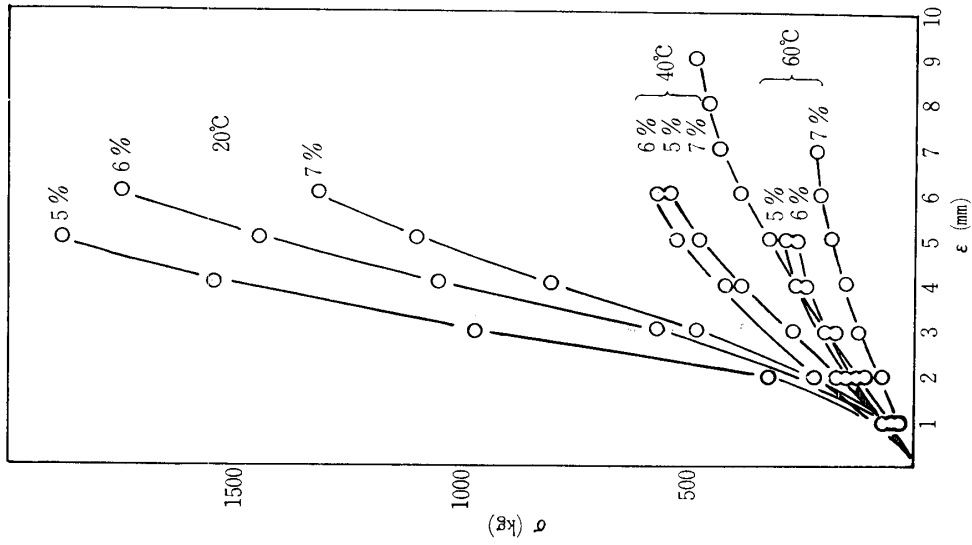


Fig. 4 Coarsegrade type ascon at the rate of deformation being 5 mm/min

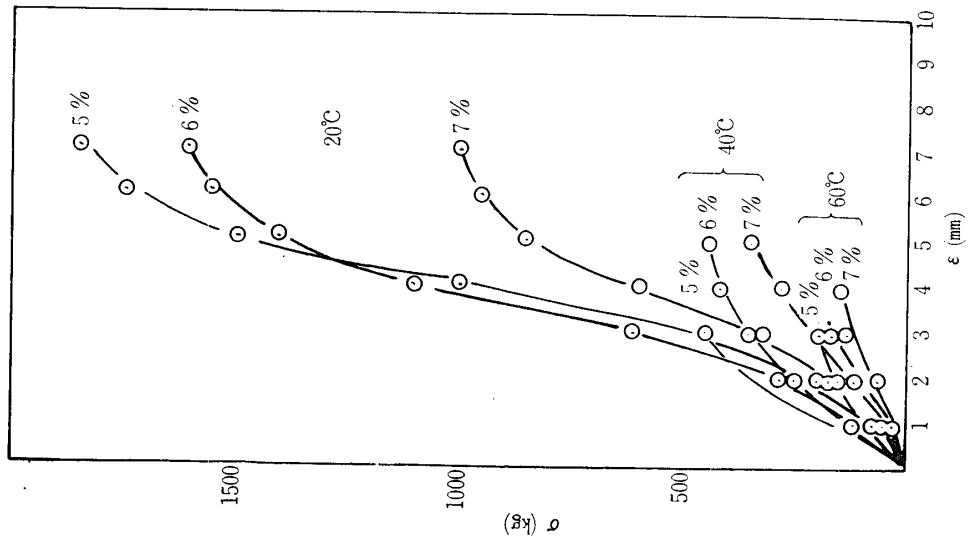


Fig. 5 Densegrade type ascon at the rate of deformation being 5 mm/min

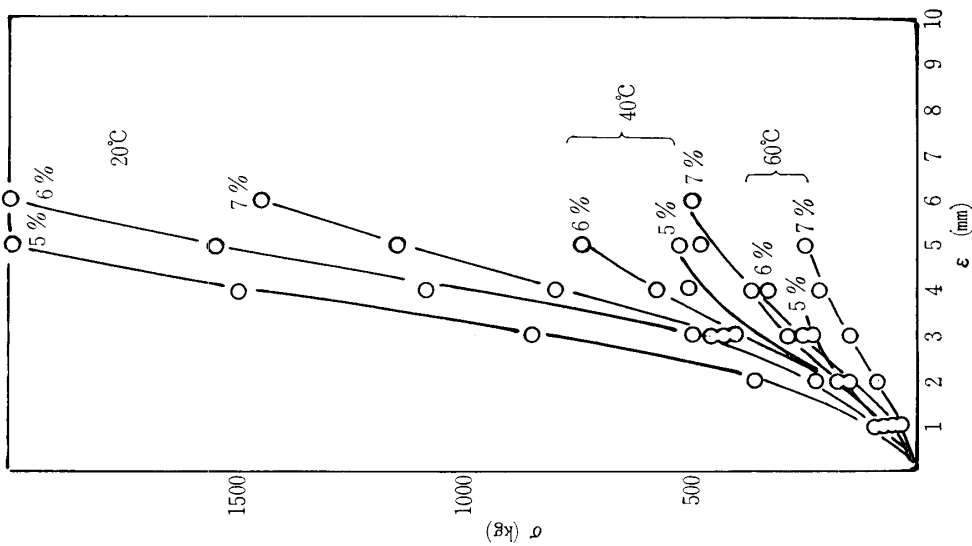


Fig. 6 Topeka at the rate of deformation being 5 mm/min

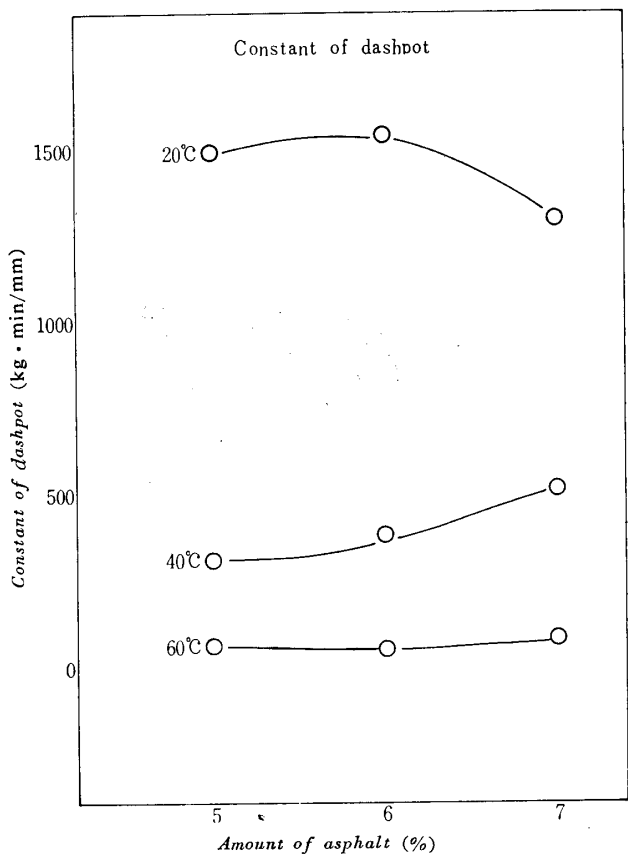


Fig. 7 Coarsegrade type asphalt concrete at the rate of deformation being 1 mm/min

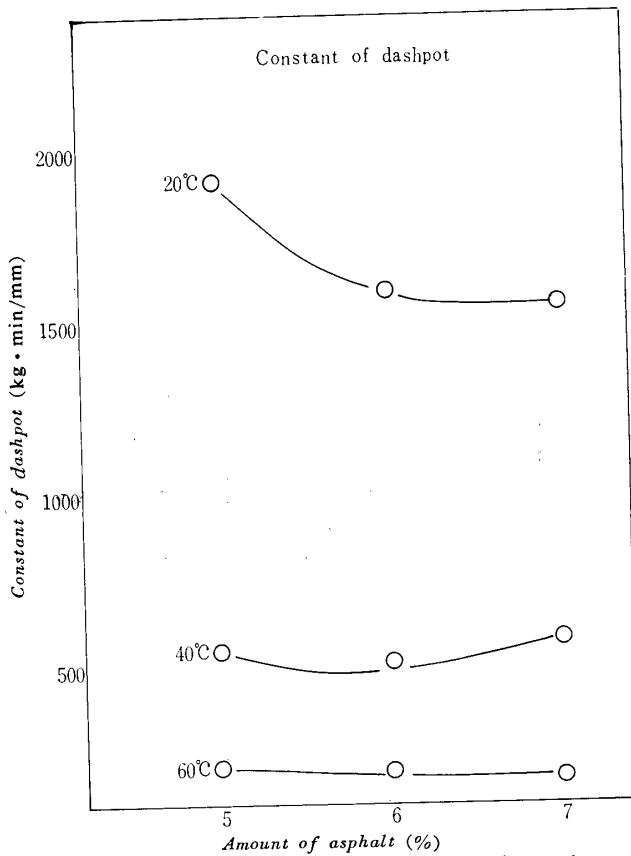


Fig. 9 Topeka at the rate of deformation being 1 mm/min

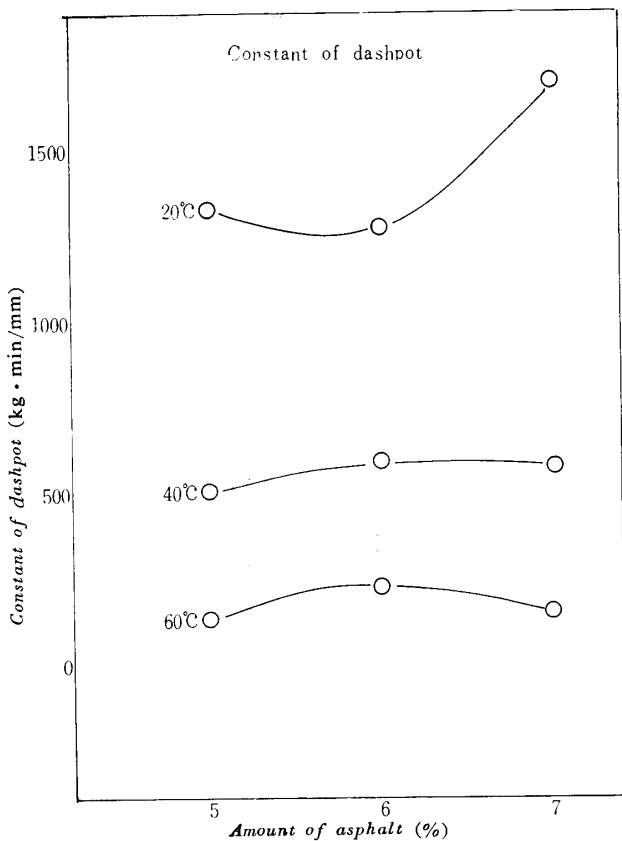


Fig. 8 Densegrade type asphalt concrete at the rate of deformation being 1 mm/min

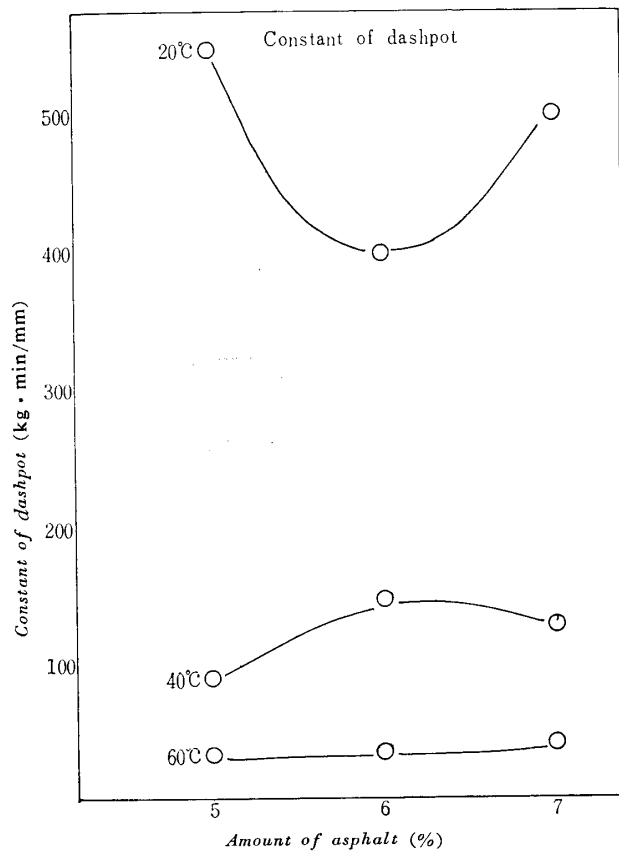


Fig. 10 Coarsegrade type asphalt concrete at the rate of deformation being 5 mm/min

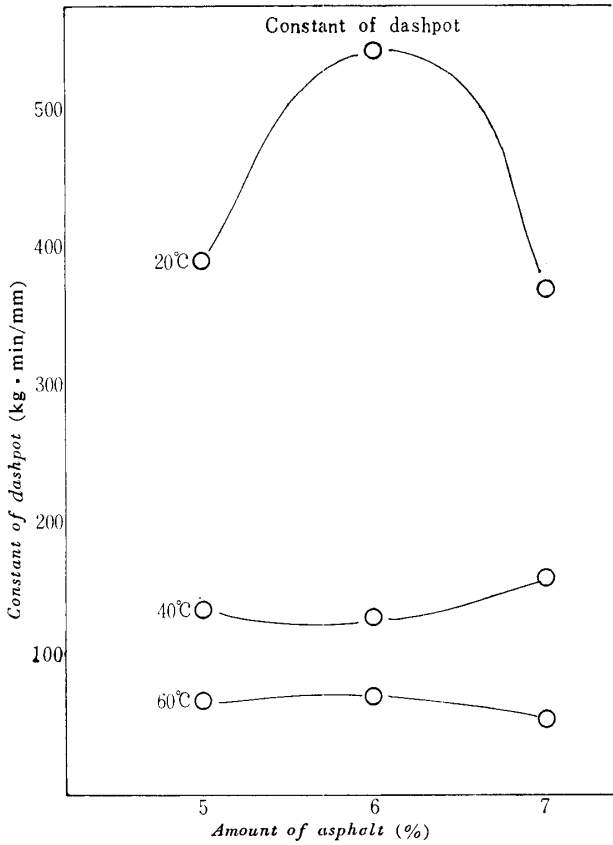


Fig. 11 Densgrade type asphalt concrete at the rate of deformation being 5 mm/min

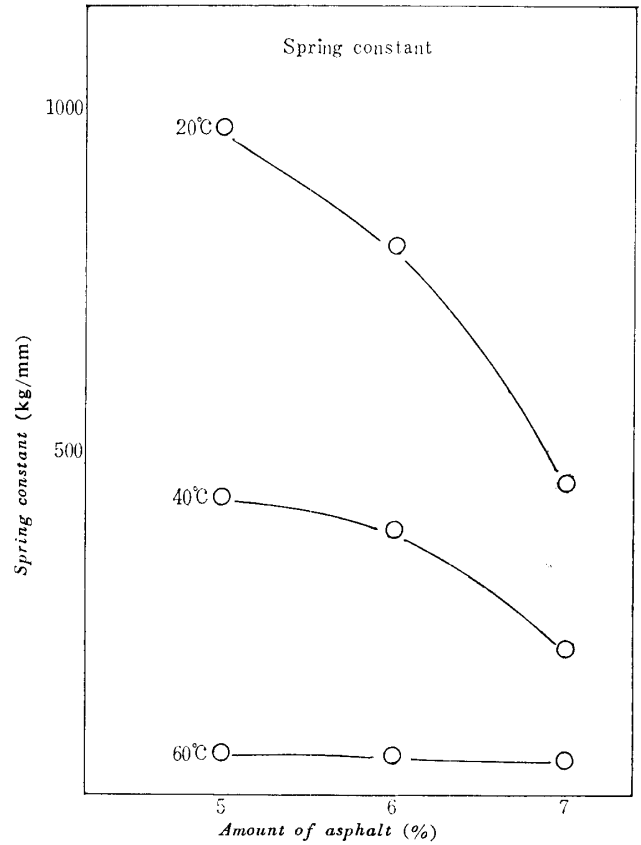


Fig. 13 Coarsegradetype asphalt concrete at the rate of deformation being 1 mm/min

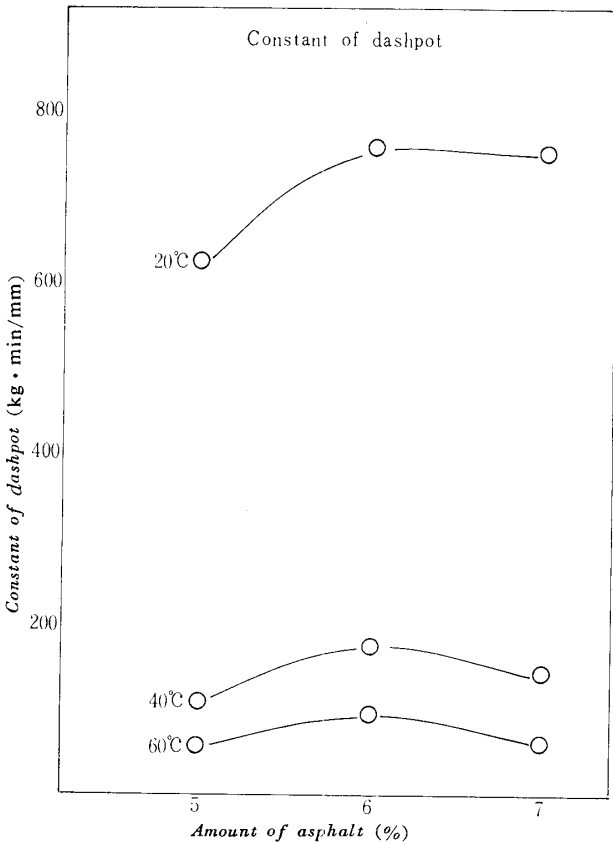


Fig. 12 Topeka at the rate of deformation being 5 mm/min

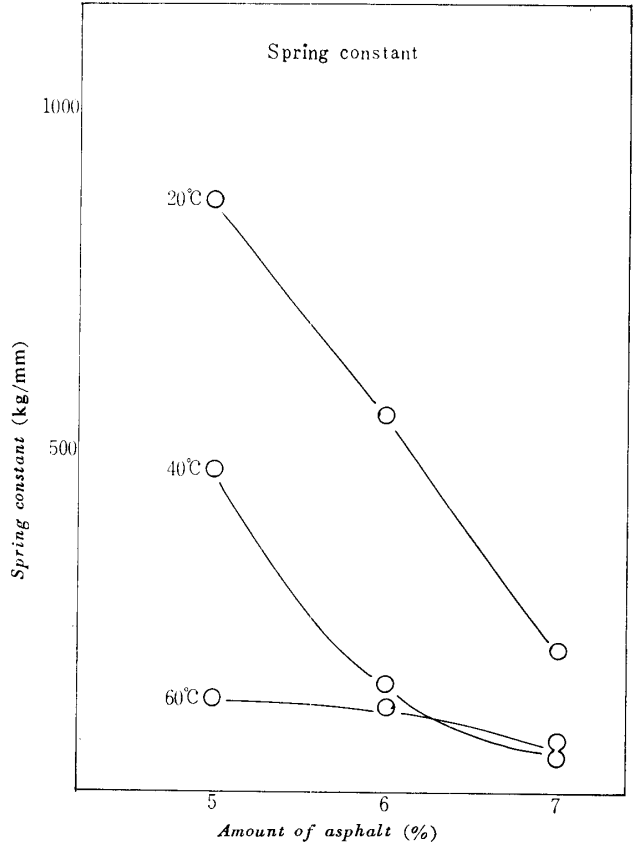


Fig. 14 Densgrade type asphalt concrete at the rate of deformation being 1 mm/min

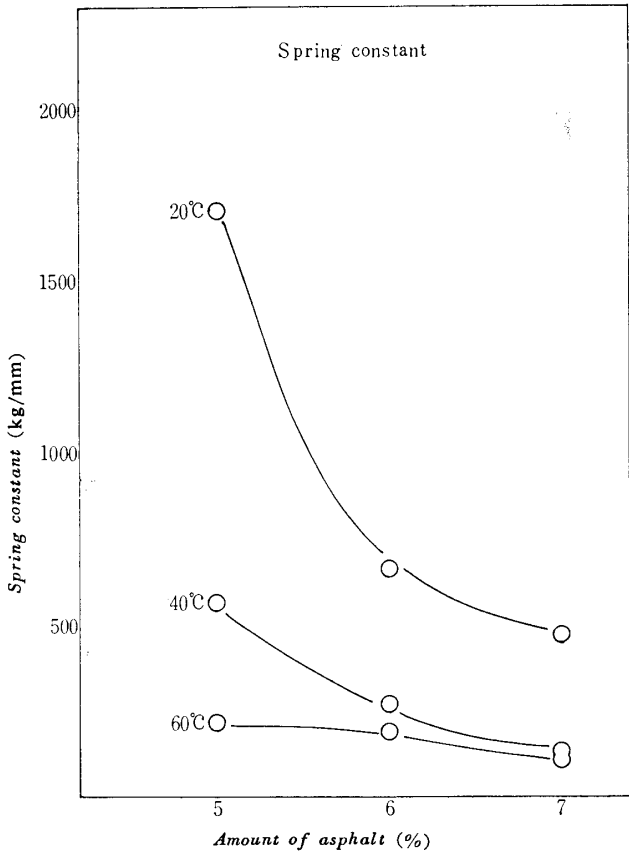


Fig. 15 Topeka at the rate of deformation being 1 mm/min

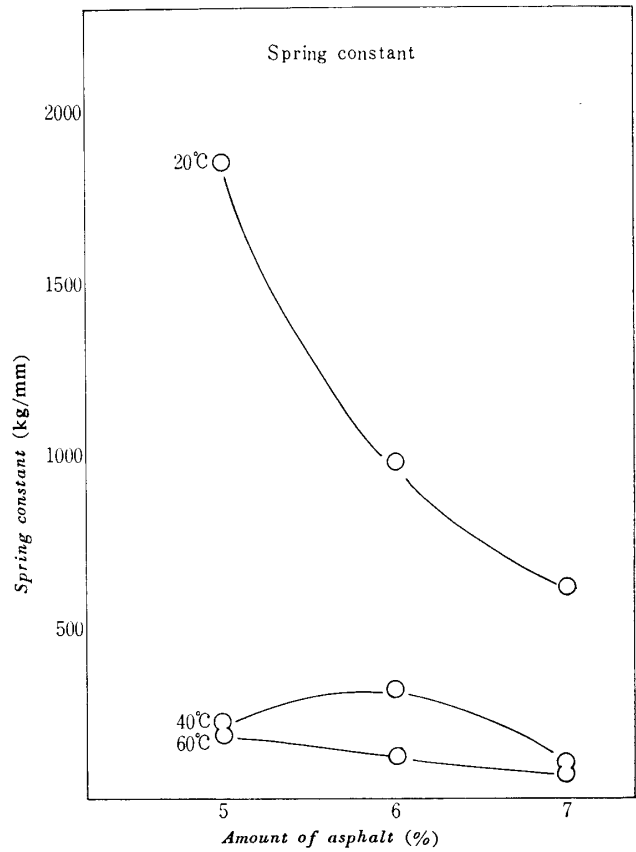


Fig. 17 Densegrade type asphalt concrete at the rate of deformation being 5 mm/min

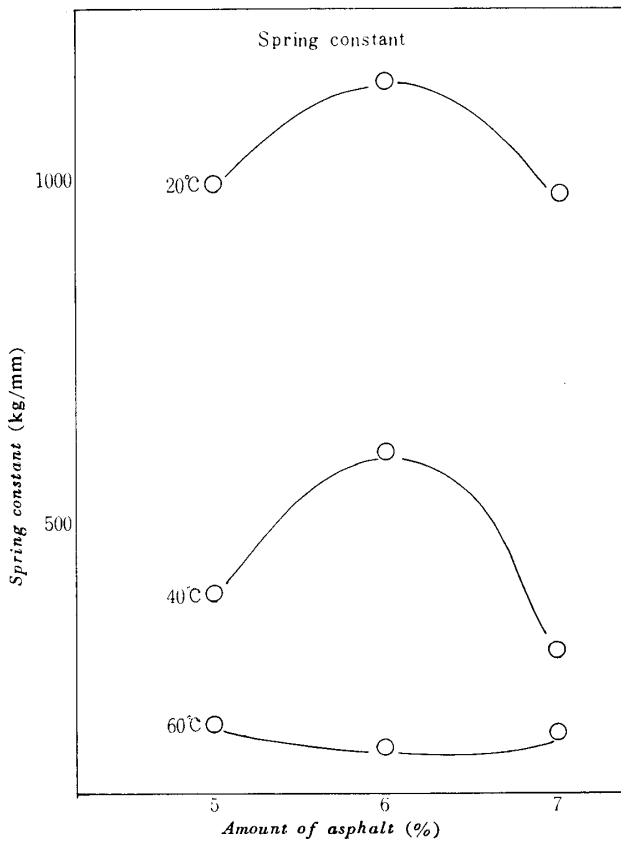


Fig. 16 Coarsegrade type asphalt concrete at the rate of deformation being 5 mm/min

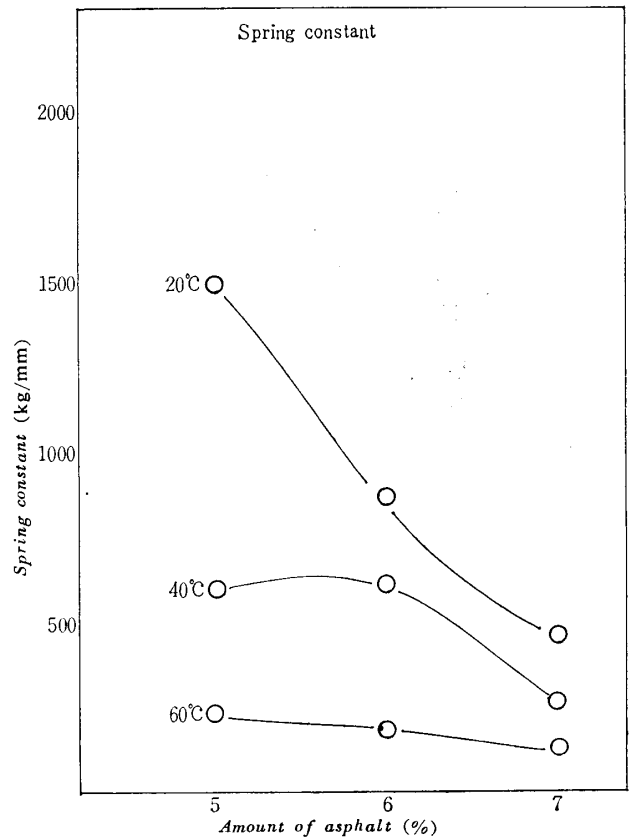


Fig. 18 Topeka at the rate of deformation being 5 mm/min

ゆく。

2. 密粒度アスコン (60°C, $\epsilon_0 = 1 \text{ mm/min}$ の場合)

ダッシュポット定数がスプリング定数よりも大きい値をとる。スプリング定数, ダッシュポット定数共にアスファルト量6%あたりで最大値を示す上に凸のグラフとなる。

3. トベカ (60°C, $\epsilon_0 = 1 \text{ mm/min}$ の場合)

この場合もダッシュポット定数の方がスプリング定数よりも全体的に大きい値を示している。ともにアスファルト量が増加するにつれて値は小さくなっているがダッシュポット定数の値がゆるやかに減少するのに比べ, スプリング定数の値は急激に減少することを示している。

4. 粗粒度アスコン (60°C, $\epsilon_0 = 5 \text{ mm/min}$ の場合)

スプリング定数がダッシュポット定数よりはるかに大きい値を示す。ひずみ速度が 1 mm/min の時に比べると, 立場が逆になっていて, スプリング定数がアスファルト量6%で最小値を示す下に凸のグラフ, ダッシュポット定数はアスファルト量が増加するにつれて除々にふえている。

5. 密粒度アスコン (60°C, $\epsilon_0 = 5 \text{ mm/min}$ の場合)

アスファルト量が増加するにつれてスプリング定数は急速に直線的に減少している。ダッシュポット定数はアスファルト量が6%で最大値をとる上に凸のゆるやかな曲線を示している。

6. トベカ (60°C, $\epsilon_0 = 5 \text{ mm/min}$ の場合)

5の密粒度アスコンとほぼ同じグラフとなっている。全体的にやや値が増加している。

7. 粗粒度アスコン (40°C, $\epsilon_0 = 1 \text{ mm/min}$ の場合)

アスファルト量が増加するにつれて, ダッシュポット定数は増加し, 逆にスプリング定数は減少している。両曲線はアスファルト量がほぼ6%あたりで交わっている。

8. 密粒度アスコン (40°C, $\epsilon_0 = 1 \text{ mm/min}$ の場合)

ダッシュポット定数はアスファルト量が6%から7%の間において最大値をとる上に凸のグラフとなる。スプリング定数はアスファルト量が増加するにつれて急激に減少している。ダッシュポット定数もスプリング定数もアスファルト量が5%のときは, ほぼ近い値を示しているが, それが増

すにしたがいダッシュポット定数はやや値が増すが, スプリング定数は急激に減少している。

9. トベカ (40°C, $\epsilon_0 = 1 \text{ mm/min}$ の場合)

ダッシュポット定数はアスファルト量が増加するにつれて5%と6%の間に極小値をとり, また6%から7%になるにしたがい, 増加する下に凸のグラフとなり, スプリング定数は6%, 7%となるにしたがい急激に減少している。

10. 粗粒度アスファルトコンクリート

(40°C, $\epsilon_0 = 5 \text{ mm/min}$ の場合)

スプリング定数がダッシュポット定数よりはるかに大きい値を示す。双方ともに上に凸のグラフとなるが, スプリング定数の方は5%と6%の間で極大値をとり, ダッシュポット定数のほうは6%と7%の間で極大値を示す。

11. 密粒度アスコン (40°C, $\epsilon_0 = 5 \text{ mm/min}$ の場合)

スプリング定数はアスファルト量が6%において極大となる上に凸のグラフとなる。ダッシュポット定数は6%の値が5%よりわずかに減少し, また7%になるとかなり増大する下に凸のグラフとなる。

12. トベカ (40°C, $\epsilon_0 = 5 \text{ mm/min}$ の場合)

この場合も全体的にみて, スプリング定数のほうがダッシュポット定数よりも大きい値をとる。スプリング定数はアスファルト量5%と6%の間において極大を示す上に凸のグラフとなり, ダッシュポット定数はほぼアスファルト量が6%において極大を示す上に凸のグラフとなる。

13. 粗粒度アスファルトコンクリート

(20°C, $\epsilon_0 = 1 \text{ mm/min}$ の場合)

ダッシュポット定数がスプリング定数より大きい値をとる。アスファルト量が5%と6%の間においてダッシュポット定数は極大値をとる上に凸のグラフとなる。スプリング定数はアスファルト量が増加するにしたがい, ほぼ直線的にかなり急激に減少している。

14. 密粒度アスコン (20°C, $\epsilon_0 = 1 \text{ mm/min}$ の場合)

やはりダッシュポット定数がスプリング定数より大きい値を示し, ダッシュポット定数はアスファルト量が5%と6%の間に極大値をもつ下に凸のグラフとなり, スプリング定数はアスファルトの増加にしたがってほぼ直線的に減少している。

15. トベカ (20°C, $\epsilon_0 = 1 \text{ mm/min}$ の場合)

やはりダッシュポット定数がスプリング定数より大きい値を示し、ダッシュポット定数はアスファルト量が5%と6%の間に極大値をもつ下に凸のグラフとなり、スプリング定数はアスファルトの増加にしたがってほぼ直線的に減少している。

15. トベカ (20°C, $\epsilon_0 = 1 \text{ mm/min}$ の場合)

この場合も前の14と同じくダッシュポット定数がスプリング定数より大きい値を示す。どちらもアスファルト量が増加するにつれて、減少している。

この際ダッシュポット定数のほうは6%、7%となるにつれ減少はほとんどない。全体的にはスプリング定数のほうが急激に減少している。

16. 粗粒度アスコン (20°C, $\epsilon_0 = 5 \text{ mm/min}$ の場合)

ダッシュポット定数よりもスプリング定数のほうが大きい値を示す。アスファルト量が増加するにしたがい、スプリング定数は6%で極大となる上に凸のグラフとなり、ダッシュポット定数のほうは6%で極小となる下に凸のグラフとなる。

17. 密粒度アスコン (20°C, $\epsilon_0 = 5 \text{ mm/min}$ の場合)

スプリング定数のほうがダッシュポット定数より大きい値を示す。スプリング定数はアスファルト量が増加するにしたがって減少する。ダッシュポット定数はアスファルト量が増加するにしたがって減少する。ダッシュポット定数はアスファルト量が6%において小さい極大値を示す。

18. トベカ (20°C, $\epsilon_0 = 5 \text{ mm/min}$ の場合)

アスファルト量が増加するにつれて、スプリング定数は直線的に急激に減少する。一方ダッシュポット定数のほうは、アスファルト量が6%において極大値をとる上に凸のグラフとなる。

B. 各アスファルト混合物のダッシュポット定数とスプリング定数の温度による変化

1. 試験温度が60°Cから40°C, 20°Cとなるにつれてダッシュポット定数もスプリング定数も明らかに大きい値をとることが立証されている。なおくわしくみるとダッシュポット定数は20°Cの試験温度の値が他の40°Cと60°Cに比べて、極端にかけはなれて大きい値を示しており、アスファルト量による変化も温度が20°Cのものが激しい。スプリング定数のほうは、試験温度が低くなるにつれて、アスファルト量による変化も激しく、グラフは急激かつ直線的な

変化を示す。

4. 考察および結言

1. 各アスファルト混合物の粘弾性定数のアスファルト量による影響

スプリング定数は、アスファルト量が5%、6%、7%と増加するにつれて、全般的に減少する傾向がグラフより見られる。即ちアスファルト量が増加すると、アスファルト混合物は弾性的な応力が減少することになる。ダッシュポット定数の変化はアスファルト量に対してランダムなために一定の法則は得られない。

2. 各アスファルト混合物の粘弾性定数のひずみ速度による影響。

ひずみ速度が1 mm/minの載荷試験におけるダッシュポット定数は、ひずみ速度が5 mm/minの載荷試験におけるそれよりも大きい値を示している。スプリング定数においては、逆に1 mm/minのもとで載荷試験を行なったときの値より5 mm/minで行なったときのものの方がはるかに大きい値を示している。

3. 各アスファルト混合物の粘弾性定数の温度変化による影響。

前節でもふれたように、粘弾性定数は本実験範囲においては試験温度が低くなるにしたがって急激に大きい値を示す。特にダッシュポット定数においては、(0°Cのもとでの値から40°Cのもとでの値の増大率に比べ、20°Cのもとでの値は、はるかに大きい増大率を示している。この現象はアスファルト混合物が温度変化のもとでは極めて鋭敏な応力反応を示すことを立証している。

なおスプリング定数においては温度が低くなるにつれて大きい値をとるが、アスファルト量が増加すると低温になるほど急激にグラフが急こう配で下がる関係がわかる。すなわちアスファルト量が比較的小さい時は温度による効果は極めて大きい。アスファルト量があまり多くなると温度による効果もはつきりしなくなりかつ強度(スプリング定数)も極めて小さい値を示す傾向があることがわかる。よってアスファルト混合物を弾性的にみるとアスファルト量は少ないほうが有利で温度による効果も極めて大きいことがわかる。

本実験範囲のアスファルト量(5%、6%、7%)においてはダッシュポット定数もスプリング定数も温度が60°C、40°C、20°Cと下がるにつれて温度効果が極めて明確に表われている。

(昭和44年12月15日受理)