

アスファルト混合物の歪について

樋渡 正美*・上田 満**・水口 哲夫***

On the Strain of the Asphalt Mixtures

Masami HIWATASHI, Mitsuru UEDA and Tetsuo MIZUGUCHI

Abstract

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 it was mentioned in the report of the past 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 stress-strain curve is largely affected by the rate of strain, so we made a special study of asphalt mixture at different rate of strain. But, in the past, the fastest rate of strain was 10mm/min, so we intended to examine the stress-strain curve of the asphalt mixture under the conditions of more faster rate of strain. The results of experiments are mentioned in this paper.

1. 緒 言

筆者等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わけである。その結果いろんな実験条件によってその性質は異なるのである。

たとえばアスファルト量を変えた場合、ファイラー量、歪速度、温度、配合等を変えた場合の各々についてその性質は異なってくる。

過去の実験の場合にはその各々の実験条件にもとづいて研究を進めてきたのであるが、特に歪速度を変えた場合については 10mm/min のものについてが一番早い歪速度のものであり、それよりも早い歪速度のものについては実験を行なっていない。

そこでこのたびはマーシャル試験と同じ歪速度、すなわち 50.8mm/min のものについて実験してみることとした。

当然予想されることであるが、歪速度が早くなればなるほど応力-歪曲線の勾配は立ってくるはずである

が、実験結果としてもやはりそのような傾向にある。

またマーシャル試験というのは供試体の軸方向に対して直角な方向に荷重をかけるのであるが、われわれ筆者は高さが10.2cm、直径が10.2cmの供試体を作製しそのものについてはマーシャル試験とは異なり、供試体の軸方向に荷重をかけることにした。

そしてその場合における応力-歪曲線を描き、マーシャル試験の場合と比較してみた。

その結果マーシャル試験の場合は変曲点が全く出て来ないのに、10.2×10.2cmの供試体の場合には明らかに変曲点が出て大変おもしろい結果が出たのでここで報告する。

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、引火は 332°C、針入度は 72.1、伸度は 150 以上であった。

ファイラーとしては石灰岩を粉砕した石粉を使用し、

* 土木工学教室

** 山口大学工業短期大学部土木工学科

*** 飛鳥建設KK

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

Item	Crushed stone	Coarse sand	Fine sand	Stone dust	Asphalt
The place of production	Sanyô chô	Aio chô	Toyoura chô	Mine city	Shimotsu chô
Specific gravity	2.731	2.633	2.629	2.724	1.029

骨材としては粒度が25mmから2.5mmまで碎石, 2.5mmから0.3mmまでは粗砂, 0.3mm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。

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、ウオーカビリティー、フィニッシュビリティーをもち、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変え、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個分の標準配合表が Table 2 に示されている。

なお圧縮試験の供試体はマーシャル供試体の配合と同じであるが、1個当りの骨材総使用量を5525kgとした。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

Table 2 Proportion in weight of test-piece

Kind of pavement		Coarse-grade type ascon (base)		Dense-grade type ascon (surface)		Topeka (surface)	
Proportion of aggregate		Proportion of maximum density	Standard proportion	Proportion of maximum density	Standard proportion	Proportion of maximum density	Standard proportion
Item	Particle size(mm)	Percentage (%)	Percentage (%)	Percentage (%)	Percentage (%)	Percentage (%)	Percentage (%)
Crushed stone	25~20	8.13	12.50	0.05	0.0	0.0	0.0
	20~13	13.87	21.00	15.82	10.00	0.0	0.0
	13~10	7.40	9.00	8.39	10.00	10.45	7.50
	10~5	16.35	17.50	18.35	20.00	22.58	10.50
	5~2.5	12.56	12.50	13.90	17.50	16.97	9.50
Coarse sand	2.5~0.6	17.45	15.00	18.95	19.00	22.56	25.00
	0.6~0.3	5.62	5.00	5.95	5.50	6.93	11.00
Fine sand	0.3~0.1	4.31	2.50	4.51	6.00	5.18	14.00
Filler	50.15~0.074 0.074>	14.31	5.00	14.13	12.00	15.33	22.50
Total of aggregate		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Asphalt		4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
		6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0

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おそ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 120~140°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、突き棒は清掃淨にして 90~150°C に加熱しておく。モールド内面、床版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ほぼ均等な 3 つの部分にわけてモールドの 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 25 回突きついて表面を平らにする。温度計をこの中心に立て所定の温度になったら締め固めを始める。この締め固め温度は 120°C 程度とする。

混合物を入れたモールドを突固め台におき、重量 4.5kg で落下高 45.72cm のランマーを挿入してマーシャル供試体 (φ10.2×6.35cm) に対しては 50 回、圧縮供試体 (φ10.2×10.2cm) に対しては 80 回両面をそれぞれ突き固める。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、プランジャーを挿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って載荷試験を行なうまで平らな面においておく。

載荷試験に対しては、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用供試体に対しては、マーシャル試験に準じて行ない圧縮試験用供試体に対しては ASTM の規定に準じて行った。

なお、載荷試験時の温度は 60°C でなければならぬから、この試験を始める前に供試体を 60±1°C に調節した恒温水槽中に 40 分浸した。

また圧縮試験では供試体を 60°C±1°C に保つため、載荷台の上に 60°C 程度の水の入った水槽を載せその中に供試体を入れ載荷試験を行なった。ヒズミ速度は 5 mm/min に調節し 5 秒毎にヒズミリングの目盛を読みとる。

ヒズミリングの読みが最大に達し、下降し始めるまで荷重を加える。マーシャル供試体に対してはマーシャル試験により行うが、この際本研究では初めての試みとして、X-Yレコーダーをマーシャル試験機にとりつけて自動的に応力-歪を記録させた。

Table 3 Marshal test of coarse-grade type ascon

Proportion of aggregate	Amount of filler	Amount of asphalt (%)	Apparent density (gr/cm ³)	Percentage of void (%)	Degree of saturation (%)	Flow value (0.01cm)	Stability value (kg)
maximum density	14.31	4.0	2.443	3.30	72	32	826
		5.0	2.449	2.90	81	40	721
		6.0	2.432	1.19	93	53	580
	2.50	4.0	0.415	5.05	65	28	193
		5.0	2.379	5.67	67	23	246
		6.0	2.389	3.28	81	21	273
Standard proportion	5.00	4.0	2.399	5.94	62	23	232
		5.0	2.412	4.34	73	18	177
		6.0	2.396	2.40	86	31	223
	7.50	4.0	2.411	4.64	66	32	537
		5.0	2.433	3.68	76	36	473
		6.0	2.419	2.06	87	43	491

Table 4 Marshal test of dense-grade type ascon

Proportion of aggregate	Amount of filler (%)	Amount of asphalt (%)	Apparent density (gr/cm ³)	Percentage of void (%)	Degree of saturation (%)	Flow value (0.01cm)	Stability value (kg)
Maximum density	14.13	4.0	2.395	5.04	65	31	551
		5.0	2.414	4.32	73	38	434
		6.0	2.405	2.96	83	48	313
	6.00	4.0	2.348	7.29	56	21	193
		5.0	2.427	3.62	76	25	536
		6.0	2.433	1.13	93	30	535
Standard proportion	12.00	4.0	2.352	6.85	57	34	301
		5.0	2.390	5.12	70	34	322
		6.0	2.387	3.03	82	48	440
	18.00	4.0	2.389	6.22	60	31	279
		5.0	2.404	4.31	72	44	434
		6.0	2.387	3.10	82	51	333

Table 5 Marshal test of topeka

Proportion of aggregate	Amount of filler (%)	Amount of asphalt (%)	Apparent density (gr/cm ³)	Percentage of void (%)	Degree of saturation (%)	Flow value (0.01cm)	Stability value (kg)
Maximum density	15.33	4.0	2.299	8.75	49	33	220
		5.0	2.372	5.22	68	32	459
		6.0	2.390	2.96	83	46	264
	11.25	4.0	2.207	11.65	42	21	299
		5.0	2.243	10.07	52	23	171
		6.0	2.324	5.21	75	23	259
Standard proportion	22.50	4.0	2.230	11.44	43	23	534
		5.0	2.264	9.33	54	27	391
		6.0	2.308	5.64	70	31	367
	33.75	4.0	2.269	10.14	47	24	536
		5.0	2.255	10.28	53	27	408
		6.0	2.283	6.46	67	31	497

3. マーシャル試験結果

マーシャル試験の結果が Table 3～5 に上げてある。

これらの荷重—歪曲線が Fig. 1～Fig. 3 までに示してある。また粘弾性定数を求めるにあたっては過去の論文と全く同じ方法で行ないその結果が Fig. 4, Fig. 5 に示されている。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。

なお図面の枚数の関係で図面が省略してあるものが一部あるけれどもごかんべんねがいたい。

A. 荷重と歪曲線に対する考察

Vol.21 No.2 (1970)

1) 粗粒度アスファルトコンクリート

まずフィラーの影響についてみるとフィラー量が7.5%のものが一番安定度の高いものであるといえるであろう。また密度が最大となる配合のものについてはフィラー量が14.31%であり、このもののほうがより高い安定度を示している。

アスファルト量については少いものが高い安定度を示している。

2) 密粒度アスファルトコンクリート

フィラー量の影響についてみるとフィラーの量が多くなるほど安定度が低くなっており、大体の

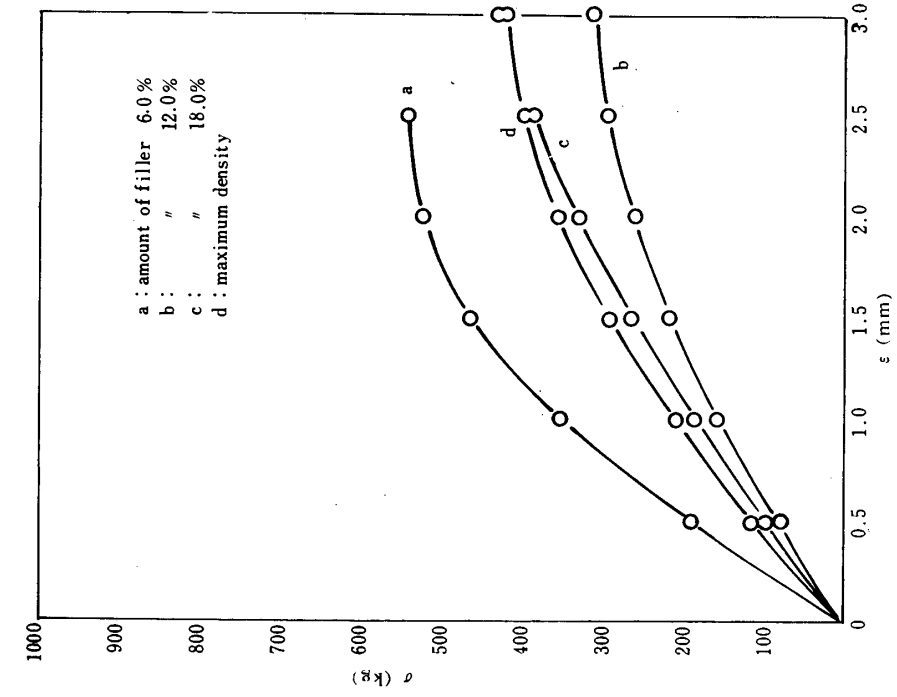


Fig. 1 Stress-strain curves of coarse grade type ascon

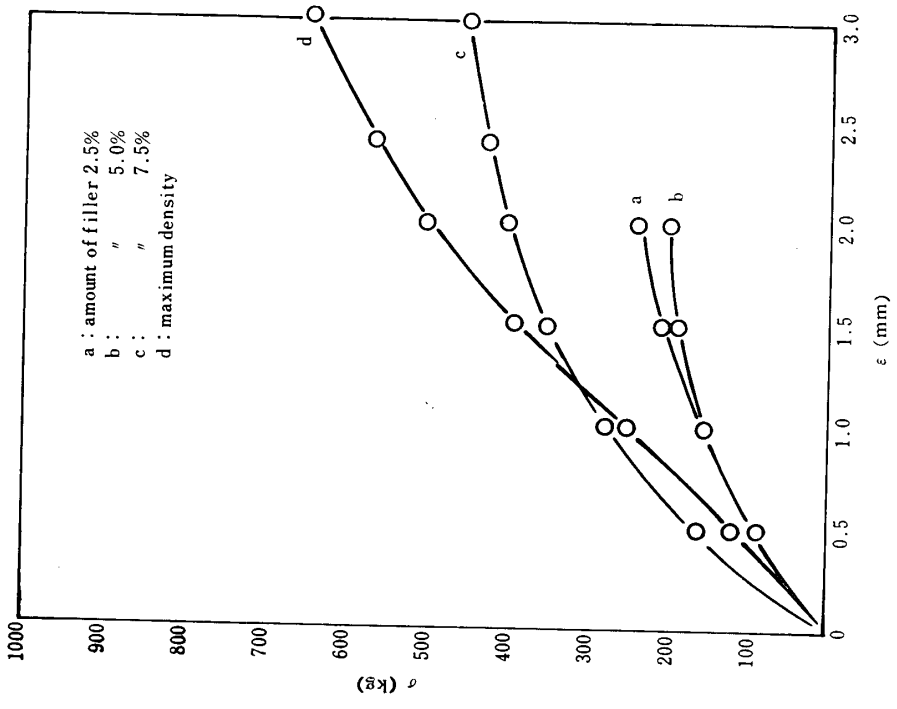


Fig. 2 Stress-strain curves of dense grade type ascon

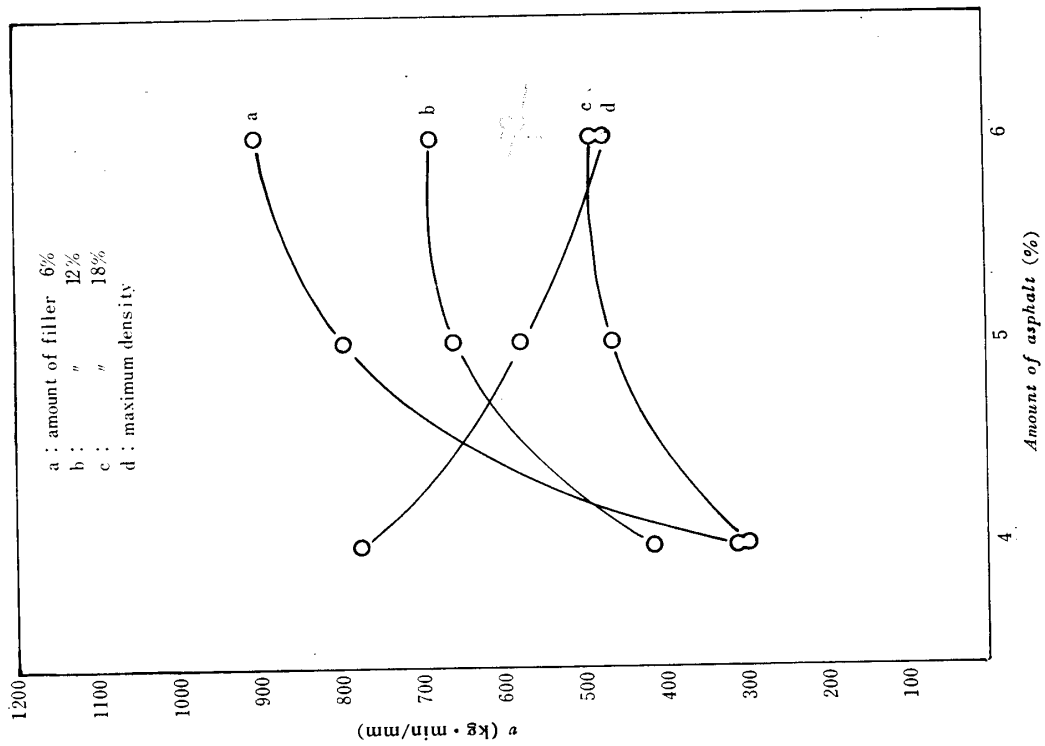


Fig. 4 Constant of dashpot of dense grade type ascon

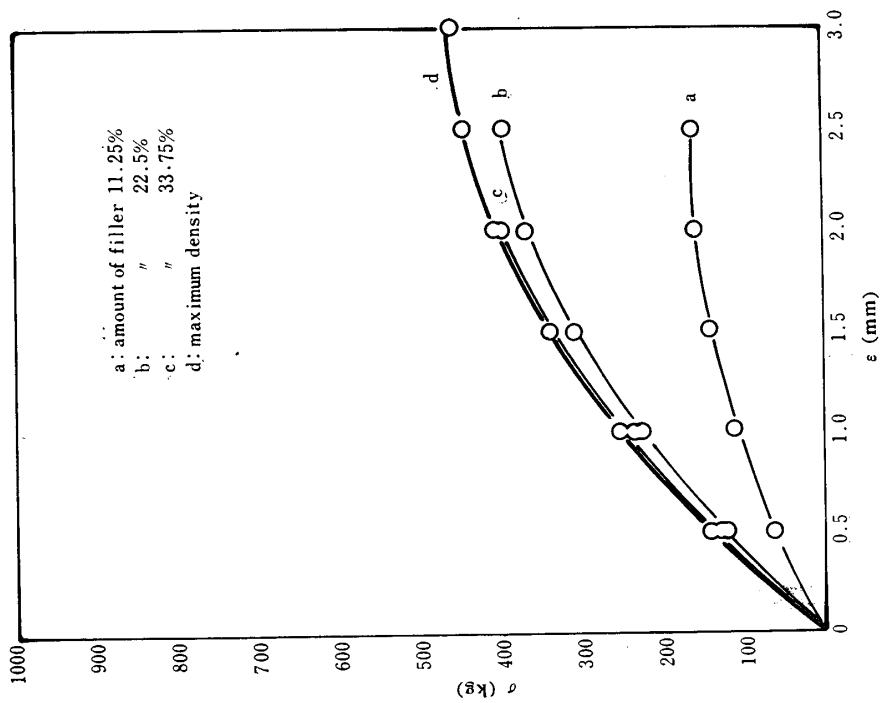


Fig. 3 Stress-strain curves of topeka

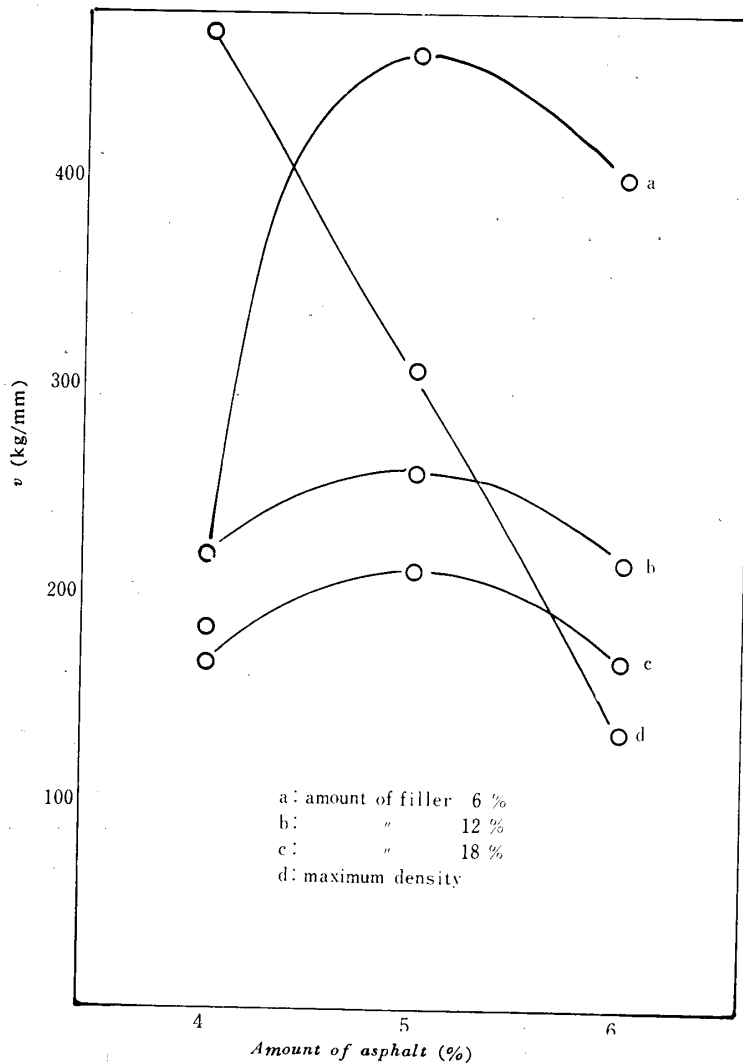


Fig. 5 Spring constant of dense grade type ascon

傾向としてはフィラー量が6%のものがよい結果を得ている。密度が最大となる配合のものについては、アスファルト量が4%の場合についてのみ大きな効果を上げているがその他のアスファルト量のものについてはあまり効果がなかったようである。

アスファルト量については大した影響はなくみな同じぐらいの安定度を示している。

3) トベカ

フィラー量については多い目の配合のものが高い安定度を示しており、密度が最大となる配合のもの効果はあまりない。またアスファルト量に関しては4%の場合が一番安定度は高く、少ないアスファルト量のほうが有効であろう。

B. 粘弾性定数に対する考察

1) 粗粒度アスファルトコンクリート

ダッシュポット定数はフィラー量2.5%, 5.0%

7.5%の順に大きくなっておりフィラー7.5%, アスファルト6%のとき最大となっている。これはフィラー量が多く、アスファルト量の多いものほど材料に流動性がないような傾向にある。

スプリング定数はフィラー量の多い程大きくなり、アスファルト量の少ないほど大きくなる傾向がある。これは変形に対してフィラー量の多い程アスファルト量の少ない程抵抗が強いといえる。

2) 密粒度アスファルトコンクリート

スプリング定数はフィラー量の多い程大きくなり、アスファルト量5%の所で最も大きくなることか見える。これはフィラー量の多い程またアスファルト量は5%で変形に対する抵抗が強いといえる。

ダッシュポット定数はフィラーの多いほど大きくなる傾向があり、アスファルト量の少ないほど

大きくなる傾向にある。これはフィラー量の多いほどアスファルト量の少ないほど材料に流動性がなくなるといえる。

3) トベカ

スプリング定数はフィラーの多いほど大きくなりアスファルト量の少ないほど大きくなる傾向がある。これはフィラー量が多いほどアスファルト量が少なくなるほど材料は変形に対して抵抗が強いことを示している。

ダッシュポット定数はフィラーの多いほど大きくなり、フィラー33.75%、11.25%に対してはアスファルト量5%、フィラー量22.5%ではアスファルト6%で最小となる。

これはフィラー33.75%、11.25%ではアスファルト5%で、フィラー22.5%ではアスファルト6%で材料に流動性が一番あるといえよう。

4. 圧縮試験結果

圧縮試験の結果は Fig. 6～Fig. 8に示されている。

これらの図からわかるように载荷の初め頃は徐々に荷重が増加し、ある程度経過すると歪の増加に比べ

と荷重が急に増加している。

これは粒状体を圧縮したとの Stress-Strain Curve に似ているようである。そこで粒状体に対する Stress と Strain の関係を調べてみることにする。粒状体を圧縮すると図のような曲線を示すことはよく知られている。この曲線の示すことはつぎのように解釈される。砂を圧縮すると砂はある程度間隙の大きい粒のかたまりや間隙の小さい粒のかたまりからできているのでこれに荷重を加えると、ごくゆるいつまり方のかたまりはこわれやすいので、荷重によってより密なかたまりに移行する。しかし、こわれ難いかたまり(この抵抗の主たるものは、粒と粒との間の摩擦であろう)はなかなかこわれにくいであろう。

最初の歪の伸びの部分は、こわれやすいかたまりがこわれることにより大きすぎる間隙が小さくなって、砂中の間ゲキがより一様になろうとする過程に対応する。圧縮が進むと一応こわれやすいかたまりはこわれてしまい、かたまりの安定が定まるため主として変形粒はかたまりの弾性変形によって起こるようになる。一つ一つの弾性変形もいくらかはあるかも知れないが、粒のかたまり(これはちょうど比較的すき間の大きいスポンジのようなものと思われる。)の全体とし

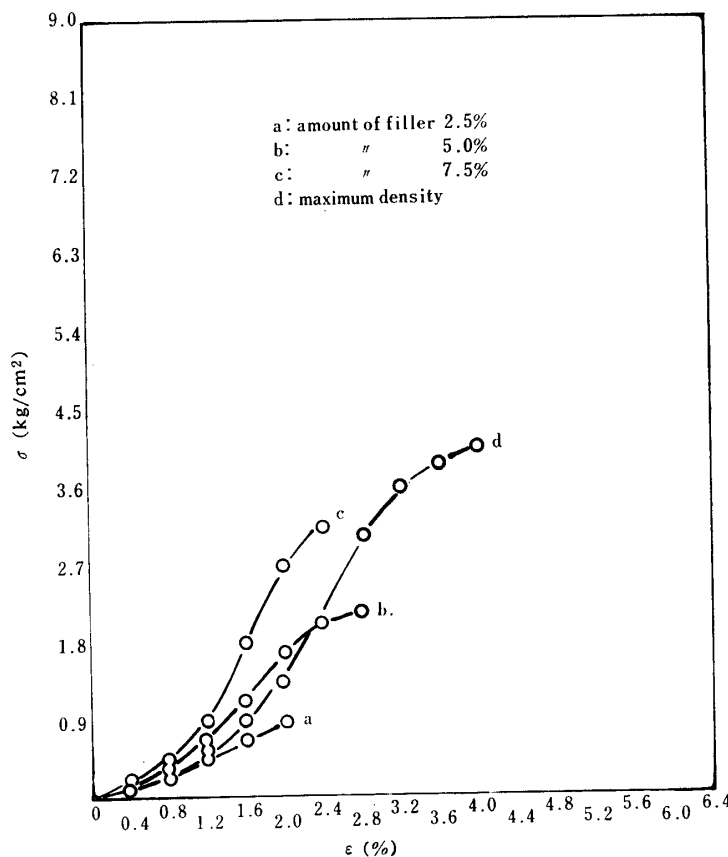


Fig.6 Stress-strain curves of coarse grade type ascon

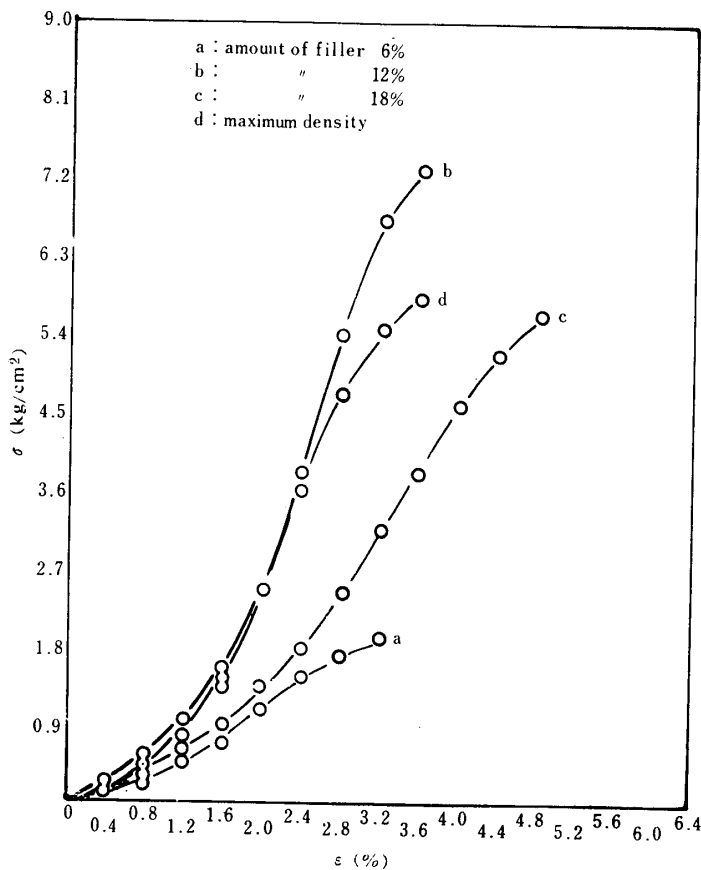


Fig. 7 Stress-strain curves of dense grade type ascon

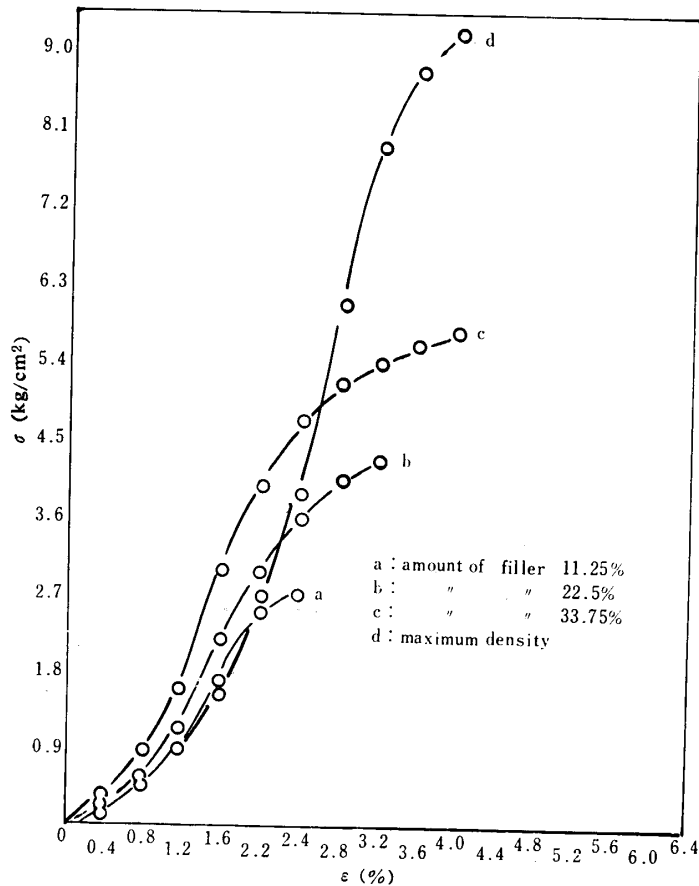


Fig. 8 Stress-strain curves of topeka

ての変形のほうがはるかに大きいだろう。この段階の応力とひずみとの関係はほぼ直線になる。直線からはずれてくるのは、粒の破壊が生じるからで、粒が破壊されれば前述の粒のかたまりの安定性は保てなくなりこのかたまりのすき間は一段と小さくなるであろう。

このようにしてかたまりの砂中でのあり方が変わっていくであろう。直線からずれたとき破壊が起るのは、この段階に達した試料をフルイにかけてみればよくわかる。

以上のように粒状体の圧縮に対する応力—歪曲線の説明をしたが、圧縮試験で同じような応力—歪曲線があらわれるということは、圧縮供試体にもこのような現象がおこっているものと考えられる。

つぎに各種混合物の応力—歪曲線に対するフィラー変化による考察をしてみる。

a. 粗粒度アスファルトコンクリート

アスファルト量 4%, 5%, 6% のいずれにおいてもフィラー量の多いほど荷重に対して変形量が小さくなる傾向があり、また荷重に対して強い材料であることを示している。

b. 密粒度アスファルトコンクリート

アスファルト量 4%, 5%, 6% のいずれにおいてもフィラー 12% で荷重に対する変形量が小さくなり、フィラー 18%, 6% では変形量はフィラー 12% にくらべて大きくなっていることがわかる。

これはフィラー 12% で荷重に対して変形の小さな材料であるといえる。

e. トベカ

アスファルト量 4%, 5%, 6% のいずれにおいてもフィラー量が多くなるほど荷重に対する変形量が小さくなっており、また強度の強い材料となる傾向がある。

5. 結 言

マーシャル試験の場合の応力—歪曲線の最高点の値(破壊荷重)は各々の場合について変わるわけであるが、破壊時の応力および歪をもって各々の応力、歪を割って無次元化した場合のグラフが Fig. 9 に示してある。これ

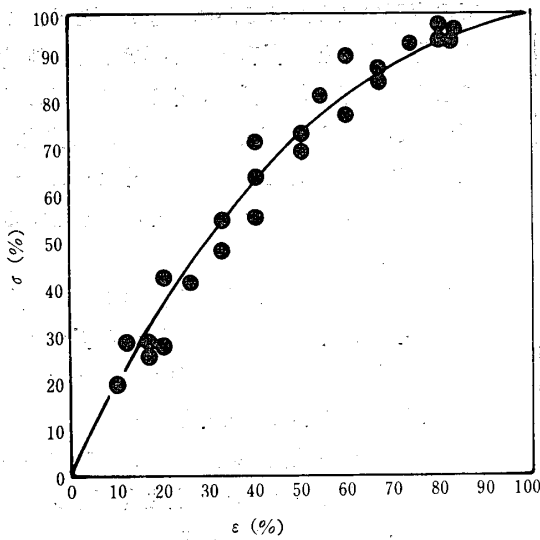


Fig. 9 Stress-strain curve of marshal test

より最小二乗法によって求めたグラフの式がつぎのようになる。

$$\sigma = 120.47(1 - e^{-0.0189\epsilon})$$

また、圧縮供試体の場合について、粗粒度アスコン、密粒度アスコン、トベカの各々の場合にやはり今と同じ破壊応力、および破壊歪で割って無次元化して描いたグラフが Fig. 10~Fig. 12 に示してある。

これらのグラフをみると三つの直線のつらなりと考えてもさしつかえないのではないかと思う。

その第一番目の段階はある程度間隙の大きい粒のかたまりからより密なかたまりに移行する段階、すなわち物質の流動が起る段階であると考えられる。

また第二番目の段階は密なかたまりの弾性変形が起る場合でいわゆる弾性変形を起す段階ではないかと思

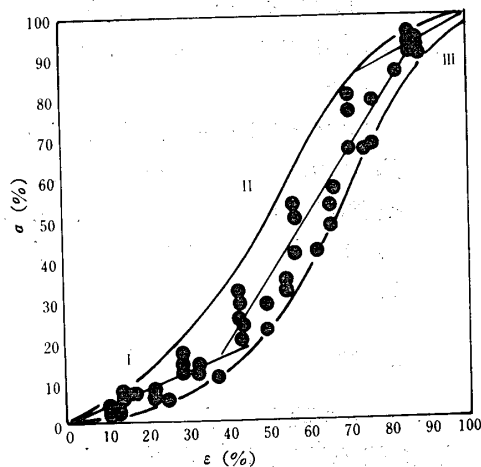


Fig. 10. Stress-strain curve of compressive test at coarse grade type ascon

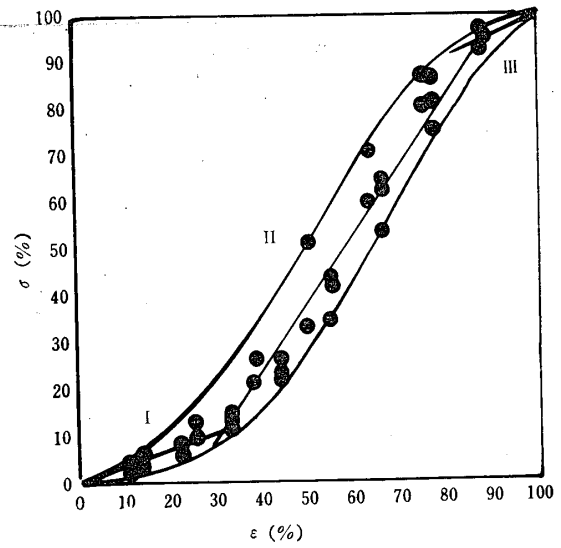


Fig. 11 Stress-strain curve of compressive test at dense grade type ascon

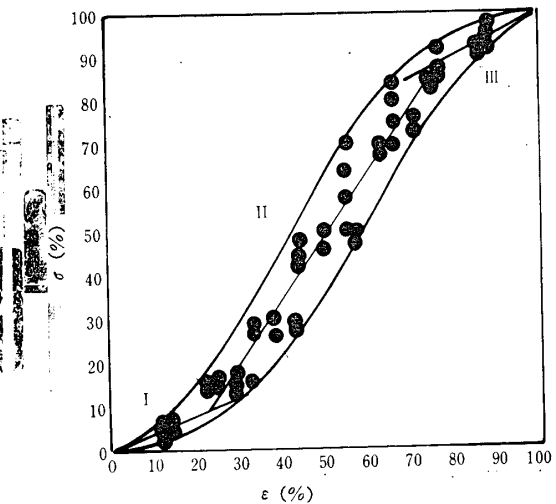


Fig. 12 Stress-strain curve of compressive test at topeka

う。

最後に第三番目の段階として密なかたまりの破壊という現象が起り、最終的な塑性変形の起る段階ではないであろうか。

また第一番目の段階から第二番目の段階に移る点が粗粒度アスコンからトベカにいたるにつれてより早い時期に起るという現象がおきており、これは粒度の粗いものはやはり密なかたまりに移行するのがおそいのではないであろうかという考え方もできると思う。

(昭和45年9月10日受理)