

フライアッシュをフィラーとしたアスファルト混合物について

樋 渡 正 美*・上 田 満*

On the Asphalt Mixtures Using Flyash for Filler

Masami HIWATASHI and Mituru UEDA

Abstract

It is not yet clear that the filler plays any part in the asphalt pavement. But being generally believed to have a large effect upon the stability and durability of pavement, the study of filler is very important. Up to this time, the stone dust has usually been used as filler, but in this experiment the flyash is adopted instead of it. The reason is that the price of stone dust is higher than that of flyash. The main object of this experiment is to make sure that the flyash is able to be used as filler or not. According to this experiment, in case of asphalt concrete, the stability of asphalt mixture added the flyash is higher than that of the stone dust adding asphalt mixture. But in other mixtures, such as topeka and sheet asphalt, the former shows lower stability than the latter. In order to improve this fault of flyash, some additives are used at the next experiment. And the result obtained is reported in this paper.

1. 緒 言

道路用舗装合材に含まれるフィラーは舗装体の流動特性、安定度およびその他の実用性能に大きく影響するから、その選択も施工上重要なことである。フィラーの評価で問題となるのは比重、粒径、粒度分布、粒形、表面構造、化学的性質などのフィラーの基本的諸性質、およびこれから二次的に決まってくる表面積、空ゲキ率、充テン能などである。とくにこのような二次的諸性質がフィラーアスファルトのコンシステンシーや流動特性との間に相関性をもっているようである。フィラーの比重は舗装合材の安定度に影響をおよぼすほか、とくにフィラーアスファルトの場合はフィラーの沈降現象にきいてくる。粒径および粒度分布はフィラーの最も基本的な性質であり、この評価には多くの方法が発表されているが、現在最もよく用いられている簡便な方法にフルイ試験がある。粒径および表面構造は一般に顕微鏡とマイクロメーターの併用により測定されるが、粒子の形のみならず粒子の滑粗、不規則なリョウ角、偏平性、繊維性などが観察される。これらはアスファルトの付着性ならびに合材の安定性にも影響を与える。表面積は粒径、粒度分布、表

面構造からほぼ決まってくる値で、これが大きいものはフィラーアスファルトの粘度を増加させる傾向がある。

空ゲキ率と充テン能は密接に関係のあるものであり、空ゲキ率の大きいものは各粒子間の接触点数が少なく充テン能も大きい。これらは合材に対するフィラー添加効果を予知するうえにきわめて重要な性質である。

空ゲキ率は上記の各性質から決まってくるが、より実用に即した圧縮フィラーの空ゲキ率を求めることもある。フィラーの性質のうちとくにアルカリ度はアスファルトとの付着性に影響する。一般にわずかの酸性を有するアスファルトは微アルカリ性のフィラーとよく付着する。そこで筆者らはアスファルト混合物のフィラーとして、石粉およびフライアッシュを用い、各々の場合におけるマーシャル試験結果の比較を行なってみた。石粉とフライアッシュは上記に述べたフィラーの評価で問題となる諸性質のうち異なつた点が多い。すなわち比重の点では、石粉のほうがフライアッシュより大きく、粒度分布においては Fig. 2 に示すように異なり、また粒形は石粉のほうが角ばつた感じでフライアッシュは丸みをおびているなどである。し

*土木工学教室

たがってフライアッシュはフィラーとしての条件はそなえているけれど石粉には劣っているように思える。しかしながら経済的な観点からすればフライアッシュは安価であるので、なんらかの改良を加えてフライアッシュをフィラーとして使うことにより道路を安く建設したいわけである。筆者らの予想していたとおり実験を行なつてみた結果、一般にフライアッシュのほうが劣っていた。特に細骨材が多いアスファルト混合物においてはその傾向が大きく先に述べたフィラーの評価の問題点によるものが多い。主な原因と考えられるものにフライアッシュの粒度分布、粒形、比重、化学的性質などであろう。筆者らはこの点を改良するのにフライアッシュ自身の改良は望めないので添加剤を加えることによつた。そのようにして行なつた実験結果として少しばかりよいものが得られたので報告する。

2. 実験方法

アスファルト舗装要綱には供試体は同一種類の混合物について4個以上製作することとあるので筆者らは5個作ることにした。また石粉とフライアッシュの性質を比べるのであるからいろんな配合のアスファルト混合物を作るべきであるが、それは不可能に近いのでアスファルト混合物の配合はアスファルト舗装要綱の47ページに示してある加熱混合物の標準配合により、その表のうちで粗粒度アスファルトコンクリートにつ

いては基層用、密粒度アスファルトコンクリートについては表層用、そして修正トベカ、トベカ、シートアスファルトについて行なつた。なおアスファルト舗装要綱による標準配合表をTable 1にかかげておく。

以上の配合による5個分の供試体の重量配合表をTable 2に示す。その表にも書いてあるように粒度が25mm～2.5mmまでは碎石、2.5mm～0.15mmまでは砂、0.15mm以下はフィラーで本実験の場合には石粉またはフライアッシュを用いた。またTable 2に示した供試体の重量配合による各々の粒径加積曲線がFig.1に掲げてある。以上により重量配合が定まつたわけであり、これらの骨材とアスファルトを加熱しながら混合するわけである。混合のしかたは自動のアスファルトミキサーの容量が小さく、容量の大きいアスファルトミキサーがなかつたのでガスコンロで下から加熱しながら手でまぜた。アスファルト量はアスファルト舗装要綱の範囲内を0.5%おきに変えて行ない、アスファルトの針入度は116のものを使用した。以上のようにして実験を行ないあまりよい結果が得られなかつたので、アスファルトの針入度が69のものを使用しさらにフライアッシュを石粉の重量の81%として全く同様に実験を行なつた。最後に添加剤をフィラーの代わりに加えることに気づき添加剤の分だけフライアッシュを減じて全く同様の実験を行なつた。使用した材料の産地と比重がTable 3に、フィラーの粒径加積曲線がFig. 2に示されている。

Table 1 Standard proportion of asphalt pavement

Kind of pavement		Coarse-grade type asphalt concrete		Dense-grade type asphalt concrete		Modified topeka	Topeka	Sheet asphalt
Main use thickness of pavement (cm)		Surface or Base 2.5~5.0	Base 4.0~7.5	Surface 2.5~5.0	Surface or Base 4.0~6.5	Surface 2.5~5.0	Surface 2.5~5.0	Surface 1.5~2.5
Particle-size of aggregate percentage passing	25mm	—	100	—	100	—	—	—
	20	100	75~100	100	80~100	100	—	—
	13	75~100	—	80~100	—	85~100	100	—
	10	60~85	45~70	70~90	60~80	—	85~100	100
	5	35~55	30~50	50~70	48~65	65~80	—	85~100
	2.5	20~35	20~35	35~50	35~50	50~65	65~80	80~95
	0.6	10~22	5~20	18~29	19~30	25~40	35~60	55~80
	0.3	6~16	3~12	13~23	13~23	—	25~48	30~60
	0.15	4~12	2~8	8~16	7~15	10~20	15~30	10~35
	0.074	2~8	0~4	4~10	0~8	3~10	6~12	4~14
Asphalt(%)		4.5~7.5		4.5~7.5		6.0~8.5	7.0~9.5	9.5~12.0
penetration		60~150		60~150		60~120	40~100	40~80

Table 2 Proportion in weight of test-piece

Kind of pavement		Coarse-grade type ascon (base)		Dense-grade type ascon (surface)		Modified topeka (surface)		Topeka (surface)		Sheet asphalt (surface)	
Item	Particle size (mm)	Percentage	Amount of using	Percentage	Amount of using	Percentage	Amount of using	Percentage	Amount of using	Percentage	Amount of using
Crushed stone	25~20	12.5	725	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	20~13	21.0	1,218	10.0	580	7.5	435	0.0	0	0.0	0
	13~10	9.0	522	10.0	580	5.5	319	7.5	435	0.0	0
	10~5	17.5	1,015	20.0	1,160	14.5	841	10.5	609	7.5	435
	5~2.5	12.5	725	17.5	1,015	15.0	870	9.5	551	5.0	290
Coarse sand	2.5~0.6	15.0	870	19.0	1,102	25.0	1,450	25.0	1,450	20.0	1,160
	0.6~0.3	5.0	290	5.5	319	9.0	522	11.0	638	22.5	1,305
Fine sand	0.3~0.15	2.5	145	6.0	348	8.5	493	14.0	812	22.5	1,305
Filler	0.15~0.074	3.0	174	5.0	290	8.5	493	13.5	783	13.5	783
	0.074>	2.0	116	7.0	406	6.5	377	9.0	522	9.0	522
Total of aggregate		100.0	5,800	100.0	5,800	100.0	5,800	100.0	5,800	100.0	5,800
Asphalt		4.5	273	4.5	273	6.0	370	7.0	437	9.5	609
		5.0	305	5.0	305	6.5	403	7.5	470	10.0	644
		5.5	338	5.5	338	7.0	437	8.0	504	10.5	680
		6.0	370	6.0	370	7.5	470	8.5	539	11.0	717
		6.5	403	6.5	403	8.0	504	9.0	574	11.5	754
		7.0	437	7.0	437	8.5	539	9.5	609	12.0	791
	7.5	470	7.5	470	—	—	—	—	—	—	

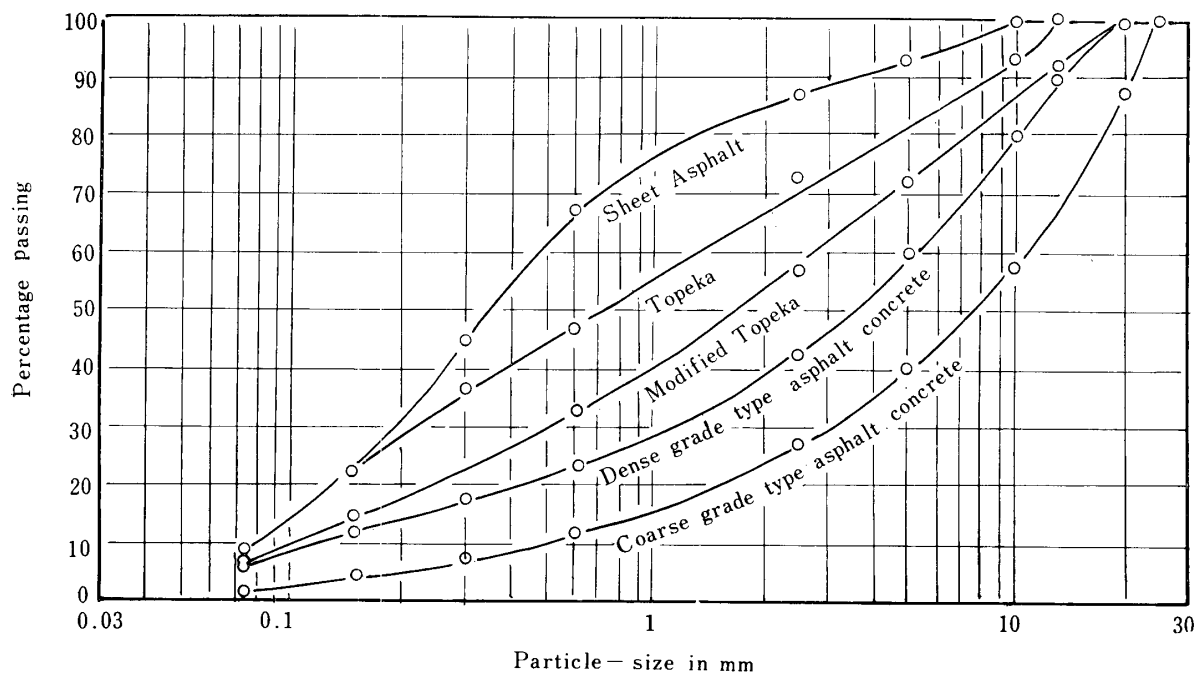


Fig. 1 Particle-size accumulation curves of aggregate

Table 3 The place of production and specific gravity of used materials

Item	Crushed stone	Coarse sand	Fine sand	Stone dust	Flyash	Ca(OH) ₂	Fe ₂ O ₃	Rignin	Asphalt
The place of production	Sanyô Chô	Aio Chô	Toyoura Chô	Mine City	Ube City	Mine City	Kita kyusyu City	Iwakuni City	Shimotu Chô
Specific gravity	2.623	2.630	2.623	2.646	2.142	2.624	2.826	1.265	1.036

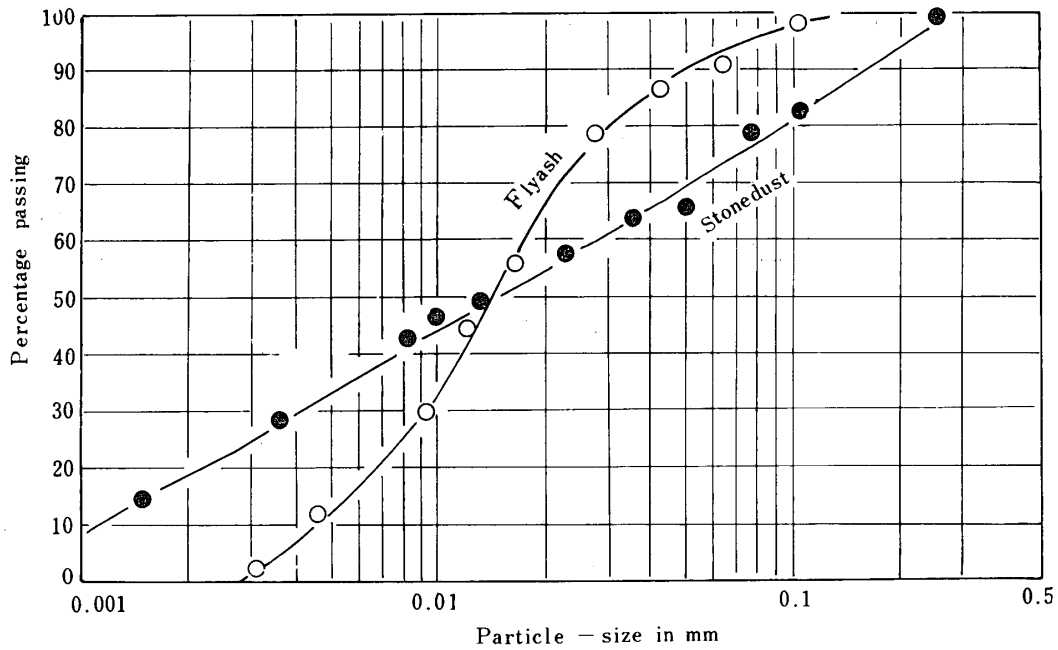


Fig. 2 Particle-size accumulation curves of filler

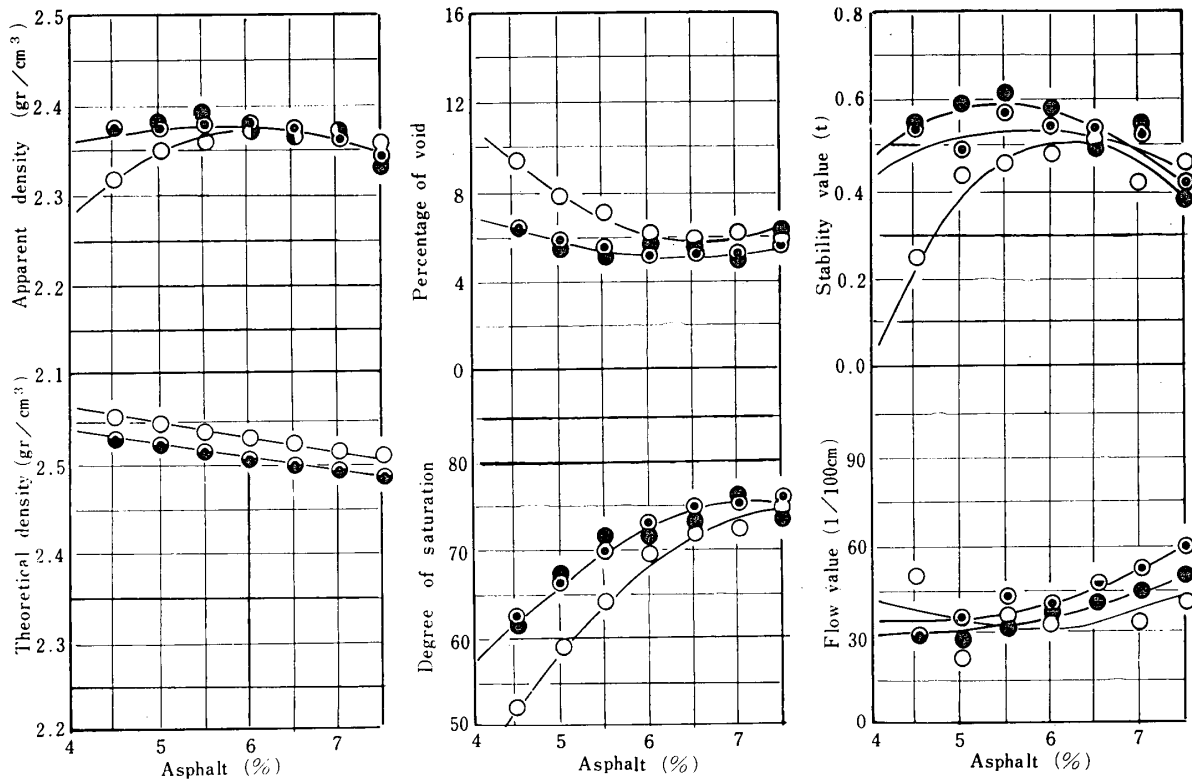


Fig. 3 Coarse grade type Ascon

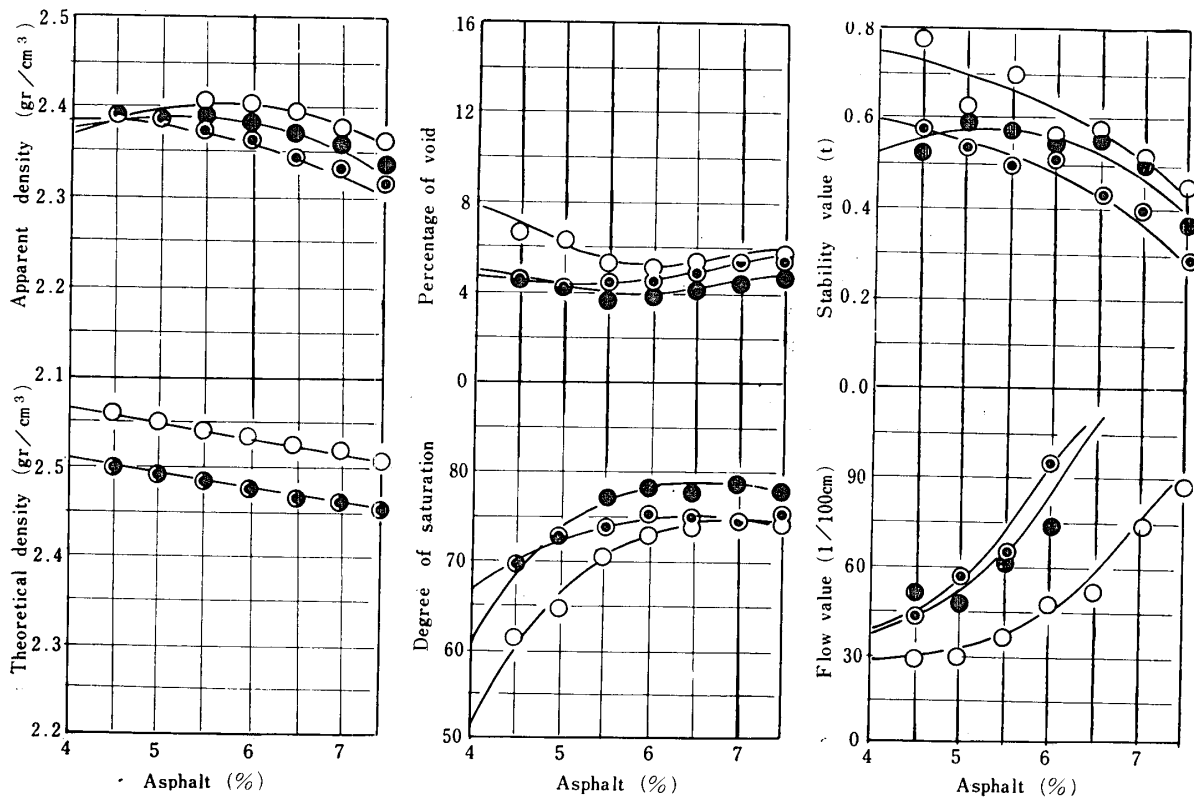


Fig. 4 Dense grade type Ascon

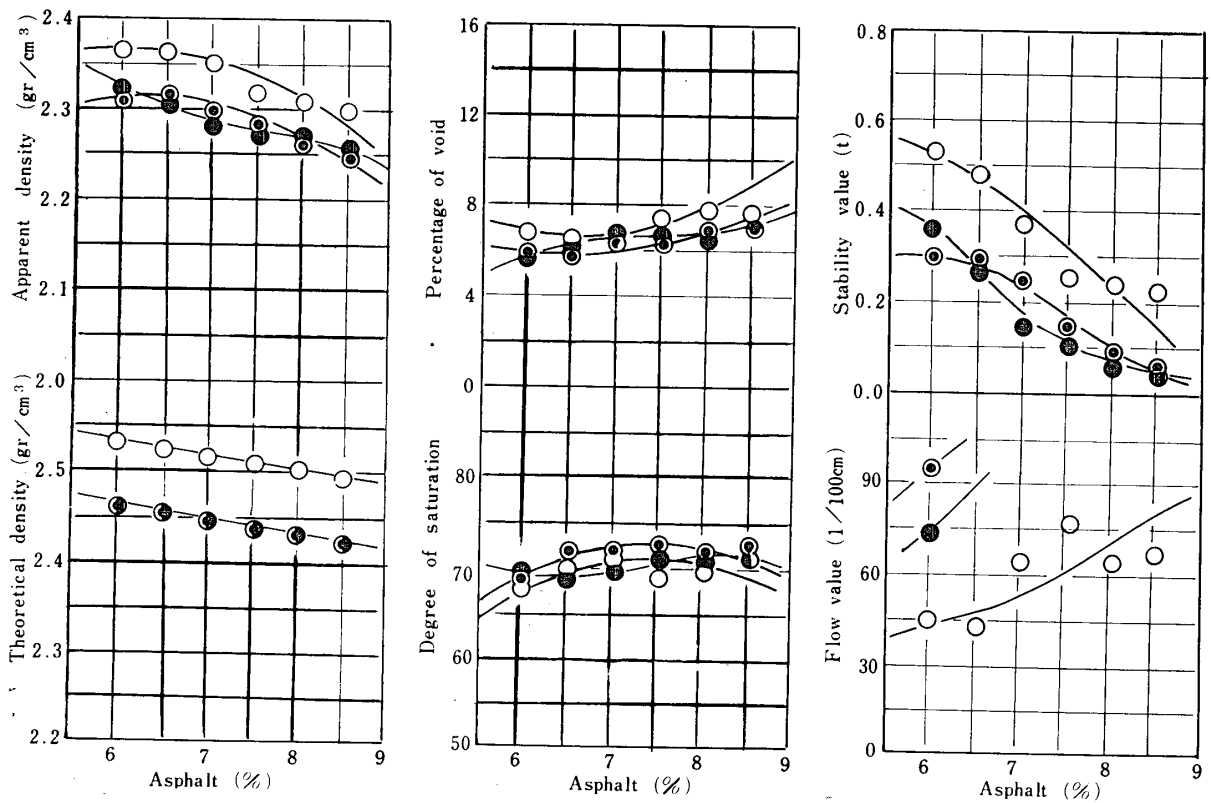


Fig. 5 Modified Topeka

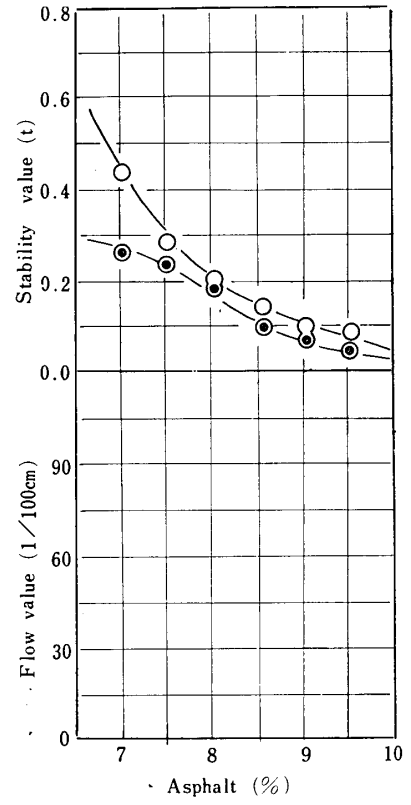
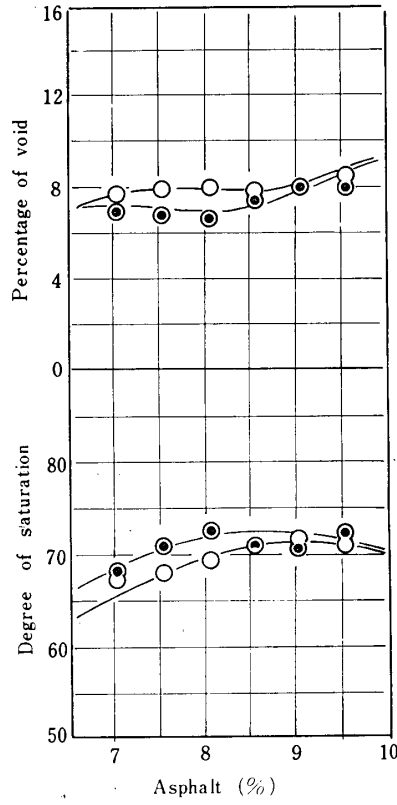
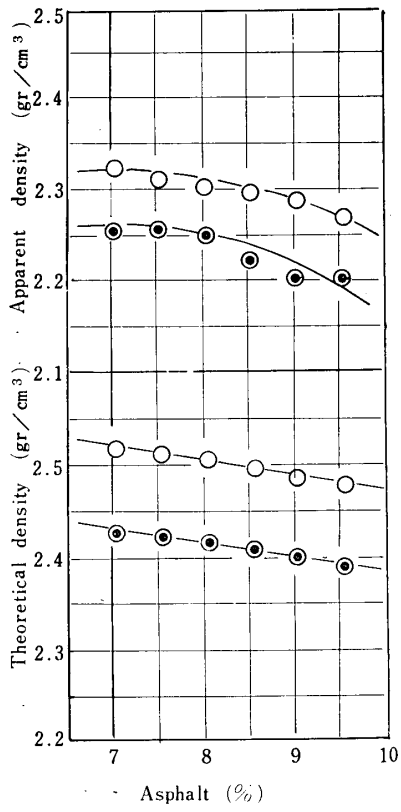


Fig. 6 Topeka

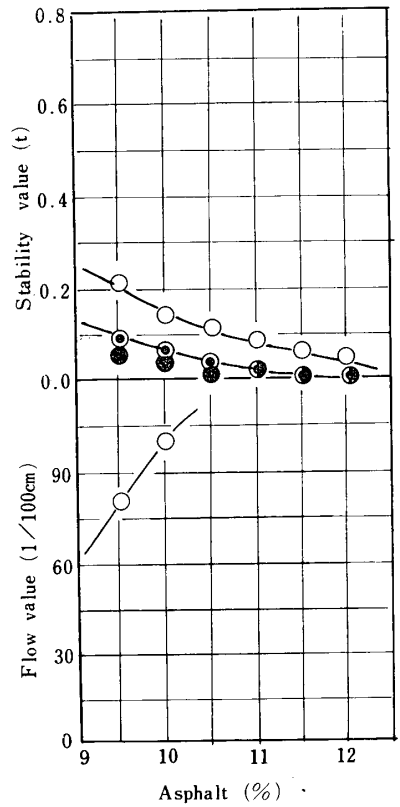
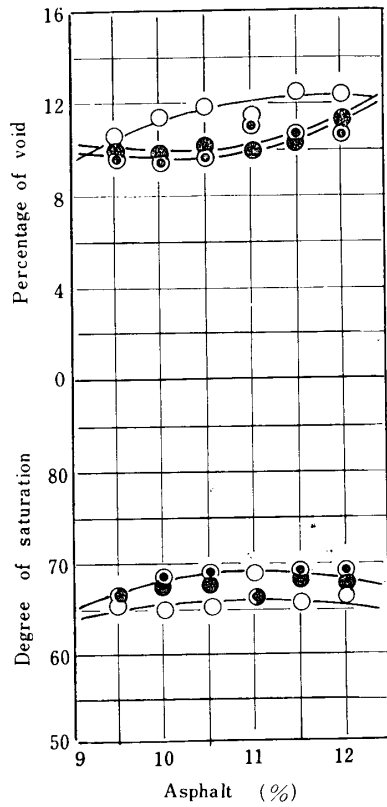
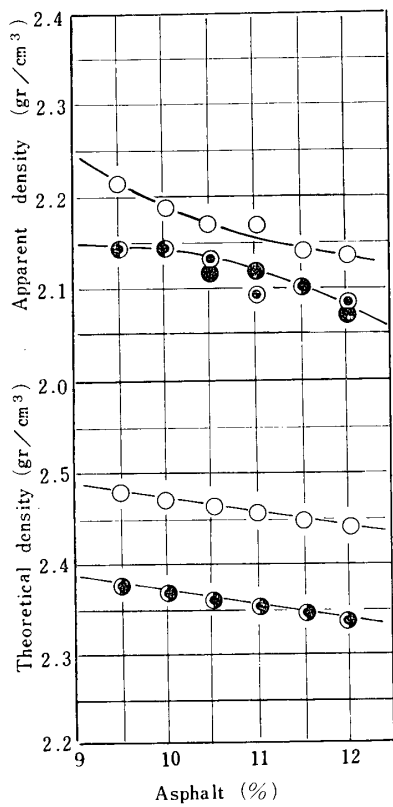


Fig. 7 Sheet asphalt

3. 実験結果

Table 3 に掲げた材料を使用して Table 2 に示す配合の供試体を作り、マーシャル試験を行なつて Fig. 3 ~ 7 のような結果を得た。図中の記号はフィラーとして○印が石粉、●がフライアッシュを用いた供試体に対する測定値を表わしている。また●印はフライアッシュの3%を消石灰でおきかえたものであるが、これはフィラーに少量の消石灰を添加するとアスファルトとの付着がよくなつて安定性を増すとされていることを確かめるためである。Fig. 3 ~ 7 から一般につきのようなことがいえるであろう。フィラーとしてフライアッシュを使用すると比重が軽いために見掛密度は減少するが、飽和度の増大と空ゲキ率の減少にみられるように締固まりはかえつてよくなることがわかる。しかしながら粗粒度アスコンを除くと一般にフロー値の増大と安定度の減少をきたしており、消石灰の添加もこの場合あまり効果がないようである。「アスファルト舗装要綱」の54ページにマーシャル試験に関連して各種舗装に要求される基準値が示されているのでその値を Table 4 に掲げる。筆者らの実験においては試料を表裏50回づつ突き固めて供試体を作つているから、交通量が7,500台/日以上舗装には適用できない。ここで個々の舗装について実験結果を考察してみると粗粒度アスコンすなわち Fig. 3 においてはフライアッシュのほうが空ゲキ率は低く、飽和度は高くなつている。さらに安定度は石粉よりも高くフロー値は大体において石粉と同じぐらいである。マーシャル試験に対する基準値とくらべてみるとアスファルト量が5.5%~7.5%の間であれば基準値を十分満足している。Fig. 4 の密粒度アスコンにおいては粗粒度アスコン同様フライアッシュのほうが空ゲキ率は低く、飽和度は高くなつている。しかしながら安定度においてはやや劣つておりフロー値も大となつているが、Table 4 のマーシャル試験に対する基準値とくらべてみればアスファルト量が5.5~7.0%の間はフロー値

を除いてすべて満足しているので十分使用に耐えることがわかる。しかし修正トベカ、トベカおよびシートアスファルトの場合にはマーシャル試験に対する基準値によると、安定度 350kg以上、フロー値20~40 (1/100cm) なければいけないのにこの実験においては安定度が200前後、フロー値が100に近いので大きく基準値をはずれている。とくにフロー値のはずれはひどく、これを改善する必要がある。ここで少しフロー値について考えてみるとフロー値においては一般にあまり大きいと変形量が大きいことを意味し、高い安定度を示しかつ高いフロー値を示すことは、安定でしかも「たわみ性」に富むことを表わすもので一概に制限すべきではない。最近、フロー値/安定度 $\leq 1\%$ なる表示方法が考えられている。すなわちフロー値は安定度との関係において考えられて、安定度が高ければフロー値が大きくても上記の関係を満足すれば一向差支えないという考え方である。しかしながらいづれにしてもフロー値が小さいことは望ましいわけだからフロー値に影響するものを考えてみると、主なものは飽和度であり、それが増せばフロー値も増加する。なお骨材間ゲキ量の大きい混合物は、アスファルト量が不十分でもフロー値は大きくなり、フィラーの多い配合の混合物はアスファルト量がわずか増加してもフロー値は急増する。これは骨材の内部摩擦角、粒度、形状などが影響する。筆者らの実験の場合は修正トベカ以下の細骨材よりなる配合においてはアスファルト舗装要綱にはアスファルトの針入度が、60~80程度のものを使用するように述べてあるのにアスファルトの針入度が116のものを使用したことが第一の欠点のようで、つぎにフィラーを考えてみるとフライアッシュは石粉に比べて比重がかなり小さいので体積としては多くはいるわけである。最小空ゲキの理論によるとフィラーの量は粗細骨材のすきまを満たすに足りるだけ用いればよいわけで、この点からしても容積で配合するのが妥当と思われる。したがつてフライアッシュの量を石粉との比重の割合 $2.142 \div 2.646 = 0.81$ に減じて配合す

Table 4 Standard value of Marshal test

Kind of pavement	Coarse-grade type asphalt concrete	Dense-grade type asphalt concrete	Modified topeka	Topeka	Sheet asphalt	Amount of traffic	Less than 2,000	2,000~7,500	More than 7,500
						Number of compaction	50	50	75
Percentage of void	4~7	3~6	3~7	4~8	5~9	Stability value(kg)	More than 250	More than 350	More than 500
Degree of saturation	70~80	75~85	70~80	70~80	65~75	Flow value (1/100cm)	20~50	20~40	20~40

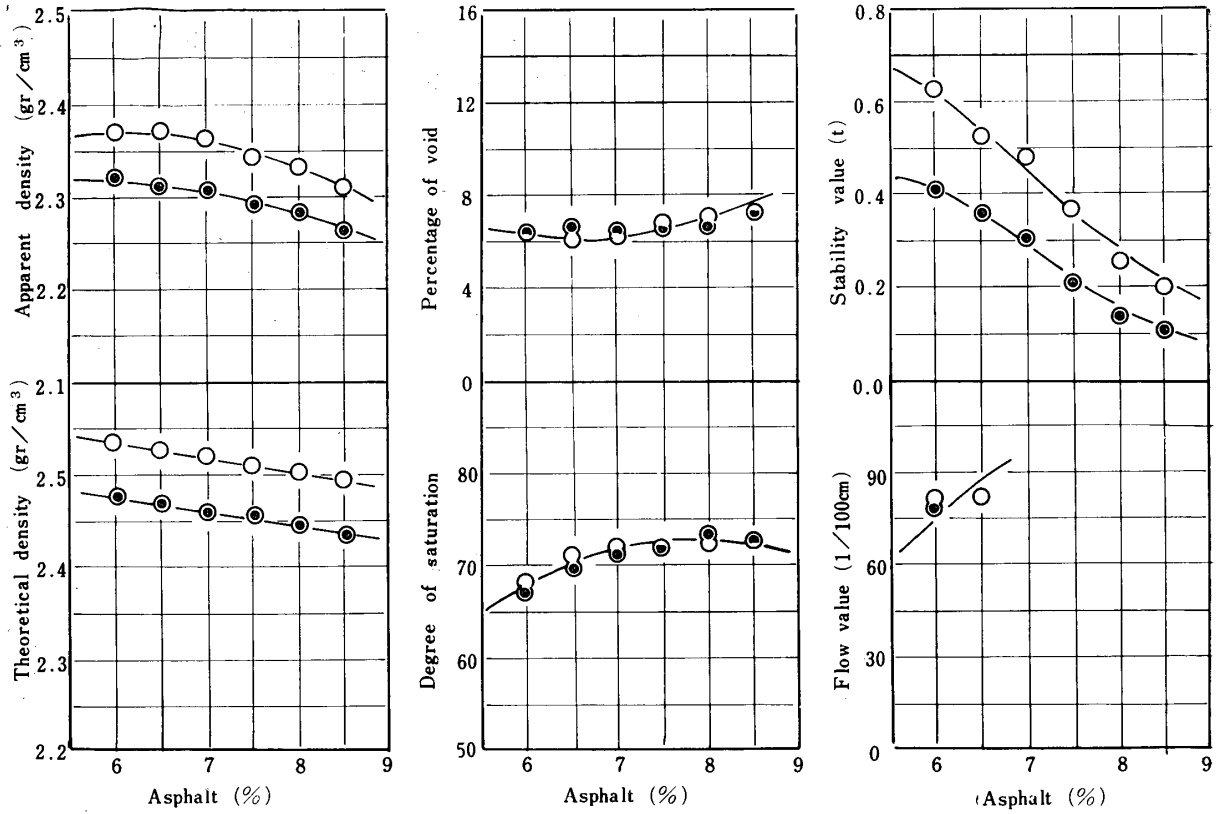


Fig. 8 Modified Topeka

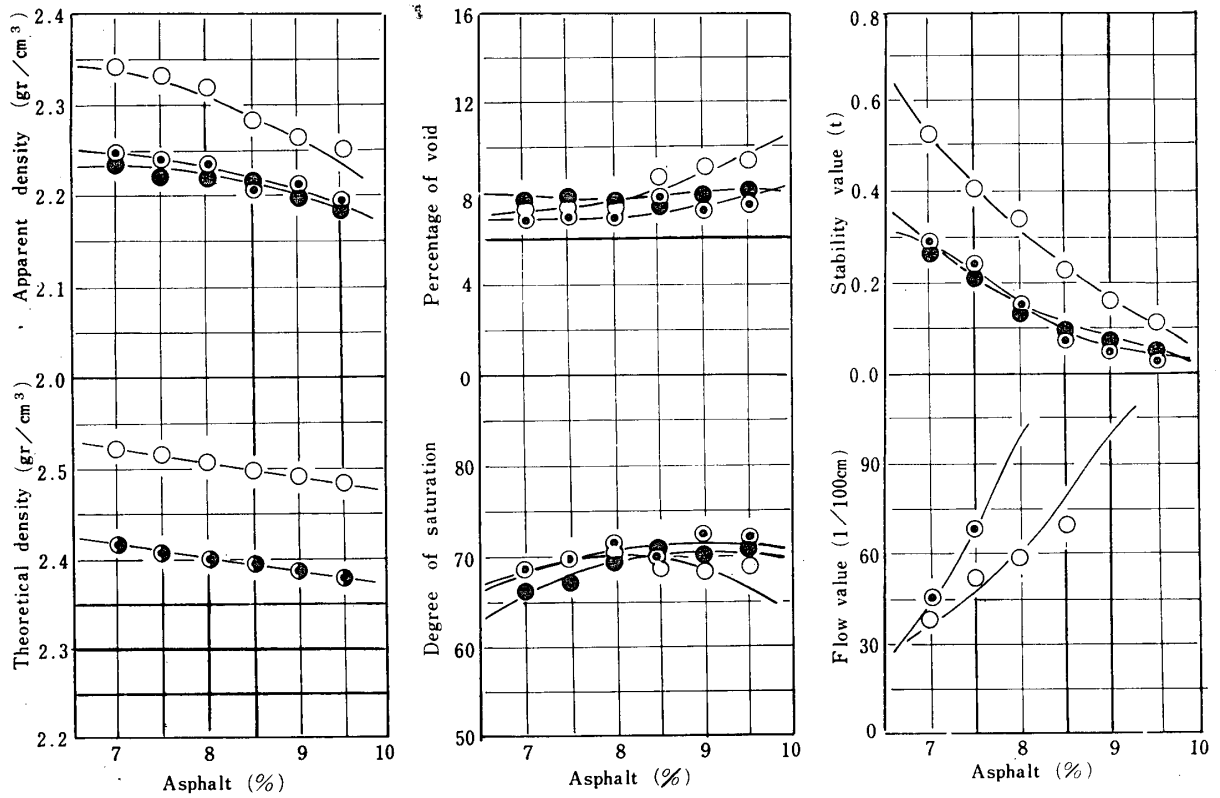


Fig. 9 Topeka

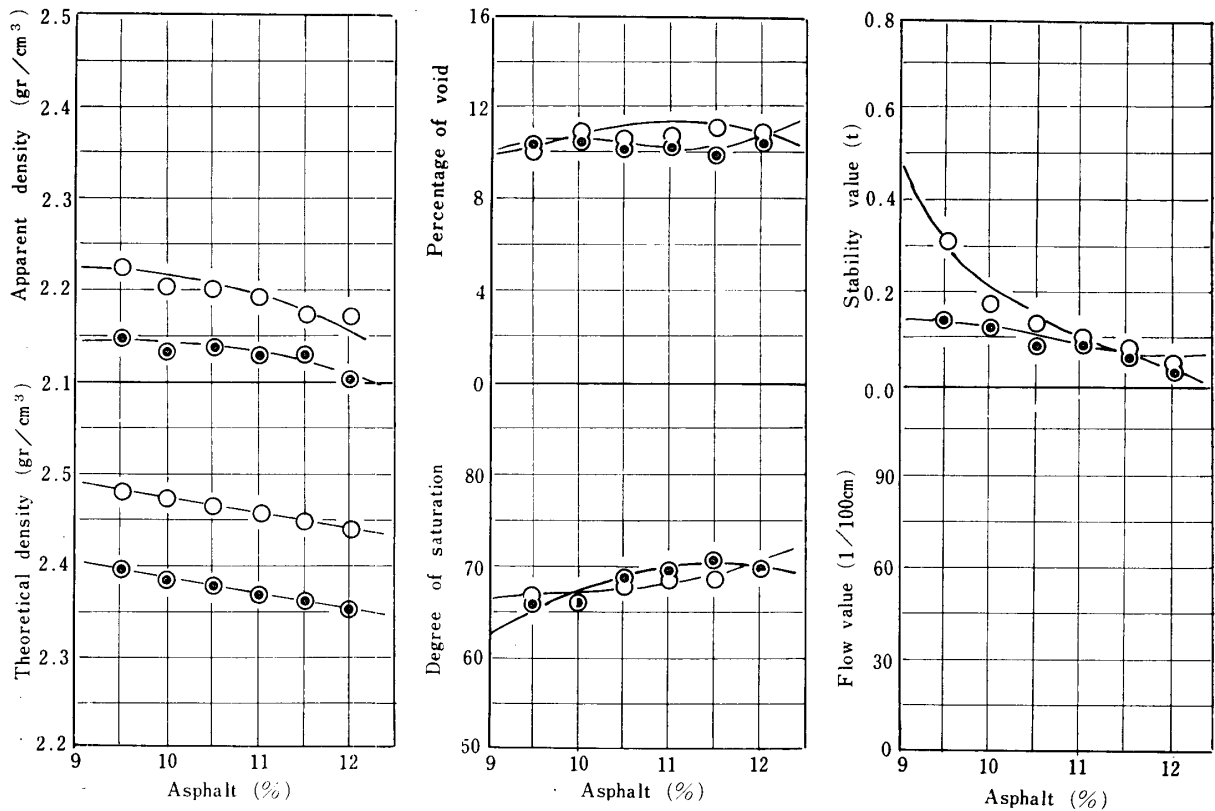


Fig.10 Sheet asphalt

ればよいであろう。以上のことを考慮して針入度69のアスファルトを使用し、フライアッシュを石粉の重量の81%として供試体を作りマーシャル試験を行なった。その結果が Fig. 8~10 に示されている。図中の○印はフィルターとして石粉を用いたものであり、●はフライアッシュが使用されている。Fig. 8~10 をみると安定度は石粉を用いたものに大分接近してきているがまだ十分とはいえない。ことにアスファルト量の少ないところでその差が大きく Table 4 の基準値と対照しても修正トベカ以外は使用に耐えない。フロー値が石粉の場合でも大きすぎるので添加剤によりこれを軽減するとともに、あわせて安定度の向上をはかるため、同じ材料で同じような配合の実験を行なったがその結果が Table 5 に示されている。添加剤の分量はフライアッシュに対する百分率で表わしてあるが、同量だけフライアッシュは減量した。この表から消石灰、配化鉄およびリグニンなどの少量の添加で空ゲキ率とフロー値の減少および飽和度と安定度の増加をもたらすことがわかる。

4. 結 言

この実験においてアスファルト量はアスファルト舗装要綱にかかげてある範囲内のものについて行なった

わけであるが、細粒の骨材が多い配合においては安定度がまだ飽和に達していないものが多い。すなわちアスファルト量をもう少し減少してやれば極大値に達することができるのではないかと。そういった考え方によりアスファルト量を減少して行なった実験では安定度が高くなっている。しかしながらアスファルト量はその舗装体の耐久性に関係しているのであまり少ないアスファルト量のものを使うと舗装した直後は確かに安定度は大きいかもしれないが時間の経過とともに普通のアスファルト舗装では安定度は強くなるが、アスファルト量の少ないものは安定度の低下を生ずることが考えられる。だから安定度というものはある程度長くまで保たれることが必要であろう。以上の実験からえられた結論はつぎのとおりである。

- (1) 粗粒度アスコンにおいてはアスファルト舗装要綱にかかげてあるマーシャル試験に対する基準値を満足するのみならず石粉をフィルターとするアスファルト混合物のマーシャル安定度よりもフライアッシュをフィルターとするアスファルト混合物のマーシャル安定度のほうが大きいわけであるからこの種の舗装に対してはフライアッシュをフィルターとするアスファルト混合物のほうがよいようである。

Table 5 The effect of additive

Kind of pavement	Asphalt (%)	Additive	Apparent density	Theoretical density	Percentage of void	Degree of saturation	Flow value (1/100cm)	Stability value (kg)
Modified Topeka	6.0	Flyash only	2.316	2.474	6.4	67.8	77	407
	6.0	Ca(OH) ₂ 1%	2.366	2.474	4.4	76.0	60	497
		〃 2%	2.351	2.475	5.3	73.2	79	407
		〃 3%	2.361	2.475	4.6	75.1	72	465
		〃 6%	2.360	2.477	4.7	74.5	59	451
	6.0	Fe ₂ O ₃ 3%	2.355	2.476	5.1	73.7	79	404
		〃 6%	2.376	2.478	4.3	77.2	46	482
		〃 9%	2.357	2.480	5.2	73.5	48	446
		〃 18%	2.357	2.488	5.6	72.3	61	423
	6.0	Rignin 1%	2.373	2.471	4.0	77.8	57	587
		〃 2%	2.347	2.470	5.0	73.4	89	469
		〃 3%	2.363	2.467	4.2	76.6	56	451
	6.0	Ca(OH) ₂ 1% + Rignin 1%	2.351	2.471	4.9	73.8	84	489
	6.0	Stone dust only	2.370	2.533	6.4	68.2	81	628
Topeka	7.0	Flyash only	2.257	2.429	7.1	68.4	100	260
	7.0	Ca(OH) ₂ 1%	2.288	2.430	5.8	72.9	100	349
		〃 2%	2.297	2.431	5.5	73.9	100	356
	7.0	Fe ₂ O ₃ 6%	2.286	2.436	6.6	71.6	93	341
	7.0	Rignin 1%	2.294	2.427	5.4	74.1	100	374
		〃 2%	2.287	2.423	5.6	73.5	100	340
	7.0	Ca(OH) ₂ 0.5% + Rignin 0.5%	2.287	2.428	5.9	72.7	100	309
		Ca(OH) ₂ 1% + Rignin 1%	2.288	2.428	5.7	73.1	100	389
7.0	Stone dust only	2.326	2.519	7.7	67.4	100	436	
Sheet asphalt	9.6	Flyash only	2.146	2.392	10.3	65.8	100	138
	9.6	Ca(OH) ₂ 1%	2.202	2.393	7.9	71.8	100	193
		〃 3%	2.195	2.394	8.3	70.9	100	182
	9.6	Fe ₂ O ₃ 6%	2.186	2.399	9.7	69.4	100	153
	9.6	Rignin 1%	2.181	2.390	8.7	69.8	100	161
		〃 2%	2.188	2.386	8.3	70.9	100	162
	9.6	Ca(OH) ₂ 1% + Rignin 1%	2.172	2.391	9.1	68.7	100	121
	9.6	Stone dust only	2.227	2.479	10.1	66.9	100	311

(2) 密粒度アスコンにおいてはアスファルト量の低いところではマーシャル試験に対する基準値を十分満足しているから使用に耐えるであろう。しかしながら石粉をフィラーとするアスファルト混合物の安定度よりもおとる。またフロー値が少し大きいのが気になるけれどこれは前にも述べたように安定度がある程度大きければ、フロー値は多少大きくてもよいのではないかと思われる。

(3) 修正トベカにおいてはフライアッシュの量が多く、アスファルト針入度の大きいものでは、Fig. 5に示すようにマーシャル試験に対する基準値にはとうていおよばないのでフライアッシュの量を20%減じ、アスファルト針入度が69のものを用いたものであれば、かつがつかつマーシャル試験に対する基準値を満足するようである。さらに添加剤を加えた場合にはTable 5に示すようにリグニン1%を加えた場合に一番いい結果が得られ、このと

きにはマーシャル試験に対する基準値は十分に満足している。

- (4) トベカにおいてはフライアッシュの量を減じ、アスファルト針入度の小さいものを使つてもマーシャル試験に対する基準値は満足しなくて、Table 5 に示す添加剤を加えた場合にリグニン1%添加のとき最大な安定度を示しているが、フロー値が大きすぎてマーシャル試験に対する基準値を満足するとはいえないようである。
- (5) シートアスファルトにおいては添加剤を加えて

もその効果はあまりなく、筆者らの行なつた実験の範囲内ではフィラーとしてフライアッシュを使用することは不可能である。

この研究は中電フライアッシュK.K.の依頼により行なつたものであり、主として材料および労力の提供は同社が、また実験の計画と指導は樋渡が、結果の整理と取りまとめは上田がそれぞれ担当した。

(昭和42年4月14日受理)