

アスファルト混合物の配合設計に関する所究

樋 渡 正 美*・上 田 満**・西 村 省 道***

Research in Connection with Proportion Plan of Asphalt Mixture

Masami HIWATASHI, Mitsuru UEDA and Shōzō NISHIMURA

Abstract

When we come to a decision about the proportion of asphalt mixture, we shall give a test in Marshall test etc. of asphalt mixture, and we come to a decision about the proportion of asphalt mixture by it's result of Marshall test.

But, if we can decide the proportion of asphalt mixture without Marshall test, it is very useful thing and it keep us from wasting the amount of time.

That is to say, we hope that, if we decide the proportion of aggregate, we can decide the most suitable amount of asphalt to it's proportion of aggregate without Marshall test.

Then, we author make a special study of marshall test being good for deciding the proportion of asphalt mixture, and we made a comparison between theoretical amount of asphalt and a most suitable amount of asphalt of it's experimental result.

Theoretical amount of asphalt which we used are the coming, equation of Mckesson, that of Ōta and California method etc.

The comparison between theoretial amount of asphalt and experimental one is mentioned in this paper.

1. 緒 言

アスファルト混合物の設計にあたり、混合物のアスファルト量を変えてマーシャル試験法、ハーバード試験法、ビーム法などの試験を行なった結果からその配合の使用可否を決定し、アスファルト量を決めている。

しかし、机上においてそれに代わり得る設計法があれば労力的にも、時間的にも有理であると思われる。

すなわち、骨材配合が決まったならば、その配合に対する最適アスファルト量が決定できればよい。そこで筆者等は現在日本で加熱混合物の試験として一般に使用されているマーシャル試験を行ない、その結果より得られるアスファルト適量と Mckesson の式、大田の式、カリフォルニア法などのアスファルト量を推定する方法より得られたアスファルト量を比較検討し、アスファルト混合物においてアスファルト量を左右する要素を調べてみる。

2. 供試体の作製および試験方法

本実験に使用したアスファルト、骨材の性質を最初に述べておく、アスファルトは 出光興産 K. K. 製のストレートアスファルトを使用した。その性質の検査としては、針入度は J. I. S. K2531による軟化点試験法、伸度は J. I. S. K2532による伸度試験法、引火点、発火点は開放式引火点試験器を使用し、比重はハーバード比重ビン法により求めた。その結果として下記のような結果が得られた。

針入度： 96 (25°C, 100g, 5秒)

軟化点： 45.0°C

引化点： 318°C

発化点： 354°C

伸 度： 150以上 (15°C)

比 重： 1.031 (25°C)

また、使用した骨材の性質は Table 1 に示してある。供試体の製作および試験は次の順序で行なった。

* 土木工学科

** 工業短期大学部土木工学科

*** 日本道路 K. K.

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	Sanyo chō	Aio chō	Toyoura chō	Mine city	Shimotsu chō
Specific gravity	2.731	2.633	2.629	2.724	1.031

(1) 配 合

アスファルト混合物の配合はアスファルト舗装要綱に示してある加熱混合物の標準配合表により、粗粒度アスコンについては基層用、密粒度アスコンについては表層用、そしてトベカ、さらに各々の場合について最大密度を与える配合として Talbot の式 $p=(d/D)^n \times 100$ を使用しその指数の n については粗粒度アスコンの場合は $n=0.38$ 、密粒度アスコンの場合は $n=0.40$ 、トベカの場合は $n=0.42$ として骨材の重量配合を決定した。

なお各配合にフィラーとしては石粉またはフライアッシュを使用し、アスファルト量は 4.0%、4.5%、5.0%、5.5%、6.0%、6.5% の 6 種類とした。

このアスファルト量はアスファルトを含む全混合物に対する重量パーセントである。以上の配合による供試体 3 個分の重量配合を Table 2 および Table 3 に示している。

またそれらの供試体の各々の骨材粒径加積曲線を Fig. 1, Fig. 2, および Fig. 3 に示している。

(2) 供試体の作製

供試体の作製にあたり、骨材を前述の配合割合にしたがって 1 バッチ分 3,500g を計量し、110°C の乾燥炉に入れ加熱しておく。一方、アスファルトは混合ハチに所要量だけ入れてあらかじめ 140°C 程度に加熱しておき、後に骨材を加えてよく混合した。

この時の温度がアスファルトにおよぼす影響を考

Table 2 Standard 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	Percentage	Amount of using	Percentage	Amount of using
Crushed stone	25~20	12.5	437.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	20~13	21.0	735.0	10.0	350.0	0.0	0.0
	13~10	9.0	315.0	10.0	350.0	7.5	262.5
	10~5	17.5	612.5	20.0	700.0	10.5	367.5
	5~2.5	12.5	437.5	17.5	612.0	9.5	332.5
Coarse sand	2.5~0.6	15.0	525.0	19.0	665.0	25.0	875.0
	0.6~0.3	5.0	175.0	5.5	193.0	11.0	385.0
Fine sand	0.3~0.15	2.5	87.5	6.0	210.0	14.0	490.0
Filler	0.15~0.074	3.0	105.0	5.0	175.0	13.5	472.5
	0.074以下	2.0	70.0	7.0	245.0	9.0	315.0
Total of aggregate		100.0	3500.0	100.0	3500.0	100.0	3500.0
Asphalt		4.5	146	4.0	146	4.0	146
		4.0	165	4.5	165	4.5	165
		5.0	184	5.0	184	5.0	184
		5.5	204	5.5	204	5.5	204
		6.0	223	6.0	223	6.0	223
		6.5	243	6.5	243	6.5	243

Table 3 Proportion in weight of test-piece by equation of Talbot

Kind of pavement		D=25mm n=0.38		D=20mm n=0.40		D=13mm n=0.42	
Item	Particle size(mm)	Percentage	Amount of using	Percentage	Amount of using	Percentage	Amount of using
Crushed stone	25~20	8.13	284	0.0	0.0	0.0	0.0
	20~13	13.87	485	15.83	554	0.0	0.0
	13~10	7.40	259	8.39	294	10.45	366
	10~5	16.35	572	18.35	642	22.58	790
	5~2.5	12.56	440	13.91	487	16.97	594
Coarse sand	205~0.6	17.45	611	18.92	662	22.56	790
	0.6~0.3	5.62	197	5.96	208	6.93	243
Fine sand	0.3~0.15	4.31	151	4.51	158	5.18	181
Filler	0.15~0.074	3.37	118	3.48	122	3.93	137
	0.074以下	10.94	383	10.65	373	11.40	399
Total of aggregate		100.00	3500	100.00	3500	100.00	3500
Asphalt		4.0	146	4.0	143	4.0	146
		4.5	165	4.5	165	4.5	165
		5.0	184	5.0	184	5.0	184
		5.5	204	5.5	204	5.5	204
		6.0	223	6.0	223	6.0	223
		6.5	243	6.5	243	6.5	243

慮して160°Cを越えないように注意を払った。なお本実験では適当なる自動アスファルトミキサーがなかったためガスコンロで下から混合鉢を加熱しながら手で混ぜた。混合が終了したならば、混合物の温度が約120°Cに下がるまでガスコンロの火を下火

にして待ち、内面にグリースを塗ったモールドに締め後の供試体の高さが6.35cm程度になるように混合物を入れ、突き棒で全面にわたって25回突き、後で表面をならした。その時の混合物の温度は107°C以下であってはならない。

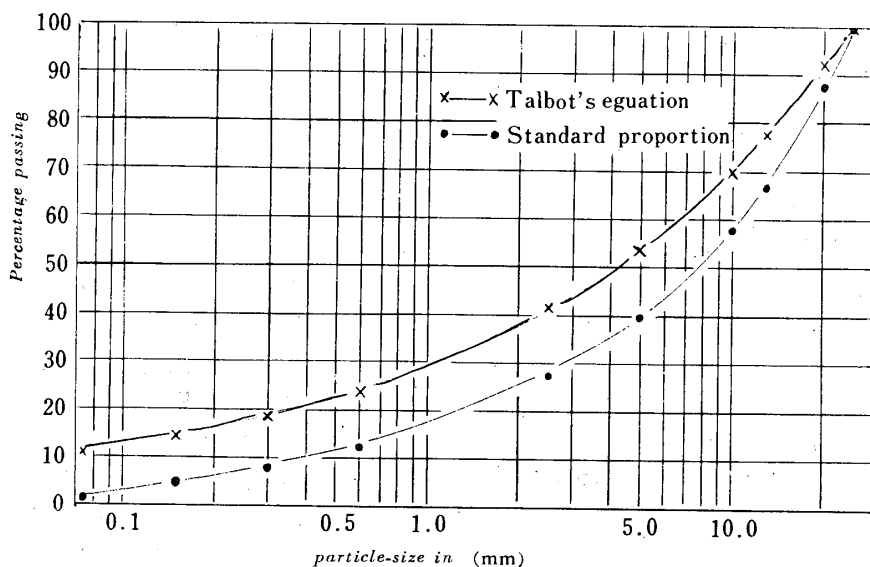


Fig.1 Particle-size accumulation curves of coarse-grade type ascon

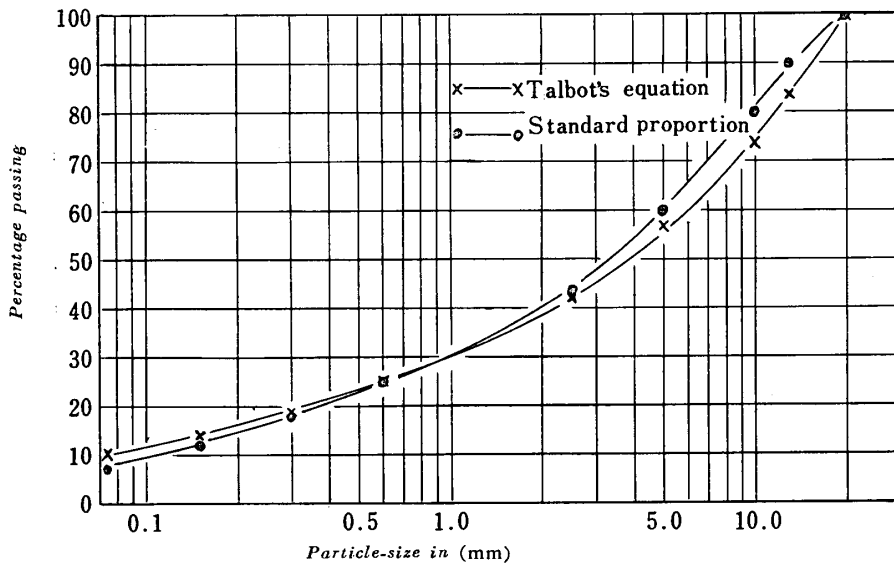


Fig.2 Particle-size accumulation curves of dense-grade type ascon

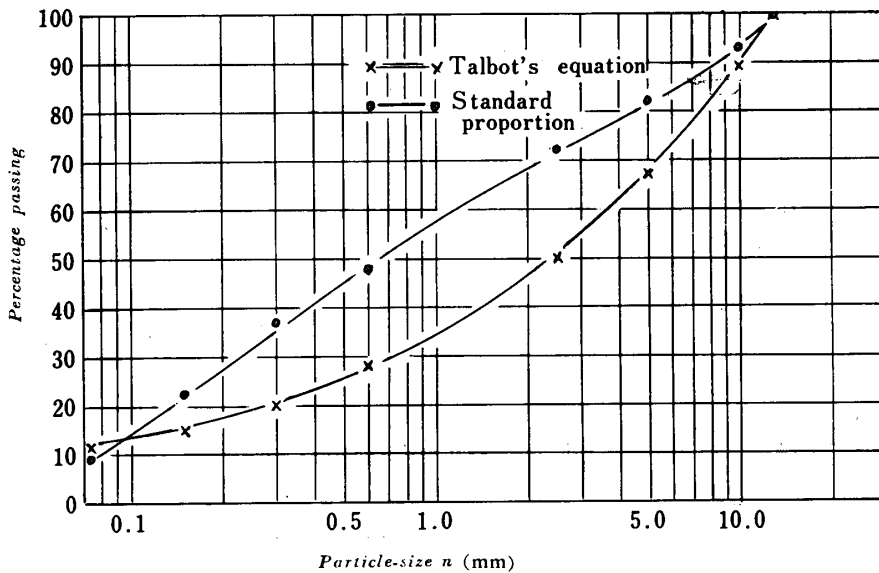


Fig.3 Particle-size accumulation curves of topeka

締固めは重さ4.5kgのランマーが45.7cmの高さより落下する自動締固め機械を使用した。そこで混合物を入れたモールドのナットを締固め台上に装置し、モールドのカラー内にランマーを挿入して、一面に対して50回締固めた。片面からの締固めが終ったならば、モールドをさかさにして組立て供試体の表面をもう一度50回締固めた。

締固めが終了したら、供試体はモールドのまま2分間程度水中に入れて冷却し、モールドから締固め用のランマーにて抜き出し、供試体置台に約24時間静置した。

(3) 試 験

まず約24時間室内に静置した供試体の高さ、空気

中の重量、水中の重量を測定した。空気中の重量測定には天びんを用い、水中の重量は供試体にパラフィン被ふくせず直接全網かごに入れ水中につけて測定した。

ついで安定度試験のためにマーシャル試験を行なうのであるが、マーシャル試験は60°Cの供試体に対して行なうので、試験前に60°Cの恒温水槽に約30分間つけておき、後に曲率半径5.08cmの弓形の載荷装置に供試体をすき間のできないように納め、フロー計を案内棒の一つに取り付けた。そしてフロー計とヒズミ計のゲージをゼロに合わせて毎分5.0±0.5cmの一様な変位速さで供試体に荷重をかけた。

そして、荷重が最大に達し減少を始める瞬間にヒズミ計の読みを取るとともにフロー計を抜き取りその読みを取った。

なお本実験では荷重測定のためにヒズミリングに取り付けてあるダイヤルゲージは一目盛りが5.7274 kgを示し、フロー計は一目盛りの読みが0.01cmを示すものを使用した。

3. 適当なアスファルト量の推定

アスファルト混合物における適当なアスファルト量の推定には、従来の総合的な経験によるものや、骨材の粒度あるいは表面積に基づいた式、あるいは図表によるものなど種々あるが、ここでは実験の結果と比較のために幾つかの方法によりアスファルト量を推定してみる。

(1) 普通のアスファルト混合物に対する式

$$p = 0.03a + 0.10b + 0.20c$$

ただし

p : 全混合物に対するアスファルト量 (重量%)

a : 粗骨材 (2.5mm 以上) の全骨材に対する重量%

b : 細骨材 (2.5~0.074mm) の全骨材に対する重量%

c : ダスト (0.074mm 以下) の全骨材に対する重量%

(2) Mckesson と Frickstad の式

(1)の式と同じような形の式を Mckesson と Frickstad とが提案しているが、これは初期のものであり、カリフォルニア州の狭い地域で考えられたものである。

$$p = 0.015a + 0.03b + 0.17c$$

ただし

p : 全混合物に対するアスファルト重量%

a : 2.0mm フルイにとどまる骨材の重量%

b : 2.0mm フルイを通過し0.074mm フルイにとどまる骨材の重量%

c : 0.074mm フルイを通過する骨材の重量%

本実験では2.0mmフルイにより、骨材のフルイ分けをしていないので、2.5mmフルイと0.6mmフルイこの間の骨材を2.5mm~2.0mm, 2.0mm

~0.6mm とに比例配分して計算した。

(3) 太田の式

太田氏は骨材の表面積を基にして必要なアスファルト量を計算するものとして次式を与えている。

$$p = \frac{1}{10^4} \sum P A_0 t$$

ただし

p : 必要なアスファルト量 (%)

P : 骨材の隣りあうフルイ間の重量%

A_0 : 各骨材の比表面積 (cm²/g)

t : アスファルトの被フク厚 (μ)

$$t = \frac{283}{A_0^{\frac{3}{4}}} \quad (\mu)$$

すなわち前式は次のようになる。

$$p = \frac{283}{10^4} \sum P A_0^{\frac{1}{4}}$$

なお、太田氏は上式で求めたアスファルト量に対し ±10%程度の変動はよからうといっている。

すなわち、(1 ± 0.1) p % のアスファルト量が適するにことになる。

(4) 亀卦川の式

亀卦川氏は(3)の太田の方法を基にして、次式を導いている。

$$p = 0.05a + 0.08b + 0.12c + 0.16d$$

ただし

p : 全混合物に対するアスファルトの重量%

a : 粗骨材 (2.5mm以上) の全骨材に対する重量%

b : 細骨材 (2.5mm~0.3mm) の全骨材に対する重量%

c : 細骨材 (0.3~0.074mm) の全骨材に対する重量%

d : ダスト (0.074mm 以下) の全骨材に対する重量%

(5) アスファルト舗装要綱の式

小規模な舗装工事などの場合は合成した骨材粒度により次式を用いて設計アスファルト量を算出している。

$$p = 0.023a + 0.065b + 0.130c + 0.110d + 1.13$$

ただし

p : アスファルト量

- a : 粗骨材 (2.5mm 以上) の全骨材に対する重量%
- b : 細骨材 (2.5mm~0.3mm) の全骨材に対する重量%
- c : 細骨材 (0.3mm~0.074mm) の全骨材に対する重量%
- d : ダスト (0.074mm 以下) の全骨材に対する重量%

(6) カリフォルニア州の方法 (遠心ケロシン 当量法)

骨材表面のアスファルトを吸収する性質を考慮に入れるためにケロシンおよび潤滑油を用いた方法である。研究の結果によると、ケロシンにつけた細骨材の遠心分離後の残留ケロシン量が骨材の表面積およびその吸収性と密接な関係があることがわかった。

この方法は遠心ケロシン当量法ともいう。

以上の(6)つの場合についてアスファルト量を計算して出した結果がそれぞれ Table 4 に示してある。

Table 4 Amount of asphalt in each case

Kind of pavement		Coarse-grade type ascon		Dense-grade type ascon		Topeka	
Item		Standard proportion	Talbot's equation	Standard proportion	Talbot's equation	Standard proportion	Talbot's equation
In case of equation (1)		5.105	7.012	6.675	7.112	8.975	7.640
In case of Mckesson & Frickstad		2.194	3.588	3.042	3.570	3.749	3.757
In case of	Stone dust	5.278	6.649	6.761	7.153	8.418	7.564
Ōta	Flyash	5.331	6.837	6.904	7.338	8.656	7.763
In case of Kikekawa		6.205	7.433	7.275	7.477	8.998	7.776
In case of summary of asphalt pavement		5.033	6.172	6.240	6.257	8.668	6.635
California	Stone dust	5.2	5.6	5.8	5.9	6.3	6.2
method	Flyash	5.4	5.8	6.1	6.5	7.6	6.4

4. 実験結果

前述の配合による混合物についてマーシャル試験を行なった。補正係数は供試体の高さあるいは容積が標準の6.35cm, 514cm³をはずれた場合に安定度に乘ずる係数として求める。

本実験では供試体の表面があらいものもあり、高さの測定に誤差が入りやすく、高さと容積による補正係数が異なっていたため、容積による補正を行なった。

次にアスファルト量を横軸に、安定度を縦軸にそれぞれの関係を算術目盛に落とし、なめらかな曲線で結んだ。その際、ひどくばらつきのあるものについては最

小二乗法により曲線を決定した。この図を Fig. 4 に示しておく。また見掛密度、安定度、空げき率、飽和度に対してもアスファルト量との関係をグラフに描き、安定度、密度に対しては最高点、空げき率は粗粒度アスコンで5.5%、密粒度アスコンで4.5%、トペカで6.0%の点、飽和度は粗粒度アスコンで75%、密粒度アスコンで80%、トペカでは75%の点でのアスファルト量を求めその平均値をマーシャル試験による各配合の最適アスファルト量とする。

その結果が Table 5 に示しある。

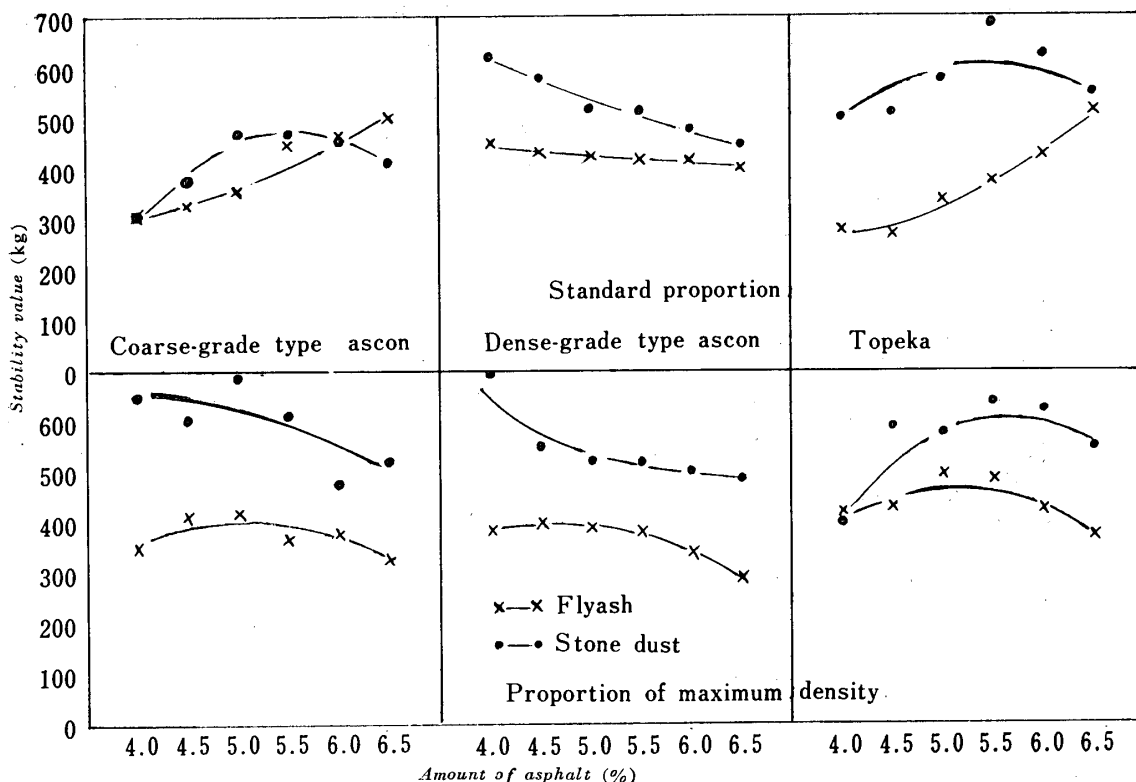


Fig.4 Stability value of Marshall test

Table 5 Most suitable amount of asphalt by Marshall test

Kinds of asphalt mixture		Stability value	Apparent density	Percentage of void	Degree of saturation	Amount of asphalt	
Most suitable amount of asphalt	Stone dust	Standard proportion	Coarse-grade type ascon	5.82	6.5	5.2	5.8
		Dense-grade type ascon	4.02	4.0	5.4	5.8	4.8
		Topeka	5.53	6.5	5.4	5.7	5.8
	Equation of Talbot	Coarse-grade type ascon	4.27	5.4	4.3	4.7	4.7
		Dense-grade type ascon	4.02	6.1	4.8	5.2	5.0
		Topeka	5.51	6.0	4.9	5.2	5.4
Flyash	Standard proportion	Coarse-grade type ascon	6.50	6.5	5.3	5.7	6.0
		Dense-grade type ascon	4.02	5.7	4.9	5.3	4.9
		Topeka	6.51	6.5	6.0	6.3	6.3
	Equation of Talbot	Coarse-grade type ascon	4.97	6.1	4.3	5.0	5.1
		Dense-grade type ascon	4.62	5.7	5.0	5.5	5.2
		Topeka	5.15	6.3	5.0	5.3	5.5

5. 考 察

これより実験により求めたアスファルト適量と、3に示した推定アスファルト適量とについて検討してみる。

(1) 普通のアスファルト混合物に対する式との比較

推定値はフィラー量が増加する、すなわち骨材表面積が大きくなるにつれてアスファルト適量が増加している。そしてフィラー量が非常に少なく粗骨材の多い標準配合の粗粒度アスコンでは実験値よりも小さく、他の混合物では大きくでている。特にフィラー量が多く、粗骨材の少ない標準配合のトベカではより大きな値となっている。

しかし、各配合間の適量を相対的にみれば、標準配合の粗粒度アスコンを除いてフライアッシュをフィラーとした実験値と一致しており、フィラーとして石粉を使った場合よりもフライアッシュの性質に近いものを使用して導いた式と思われるが、全体的にみて粗粒度に対する係数は小さすぎ、ダストに対する係数は大きすぎると思われる。

(2) Mckesson と Frickstad の式との比較

推定値はすべて実験値よりも小さくなっている。標準配合の粗粒度アスコンを除けば(1)の場合よりも個々の値は近づいているが、相対的關係が不一致であり、(1)と同様骨材の分類が大ざっぱで係数に問題があると思われる。

(3) 太田の式との比較

推定値は標準配合の粗粒度アスコンを除いて実験値より大きくなっている。しかし、(1)の場合よりもやや推定値が実験値に近づいており、接近量はフィラーが多い、あるいは粗骨材が多い配合の方が大きい。そして、石粉をフィラーとした場合その差はおよそ標準配合の粗粒度アスコンでは0.5%、他では2.0%となる。すなわち、この式でアスファルト被フク厚を $t = 283/A_0^{3/4}$ として、比表面積の $3/4$ 乗に逆比例するとしている点に問題があると思われる。

フライアッシュをフィラーとした場合、石粉のときよりもばらつきが大きくなっている。これは、ここではアスファルト量を表面積を基にして定めているので、一般にフィラーとして使用されている石粉の場合は大体同じ傾向となるが、石粉とは性質の異なるフライアッシュでは傾向がくずれてくるものと思われる。

(4) 龜卦川の式との比較

推定値は全て実験値よりも大きくなっている。そして、傾向としてフィラーが多い程実験値との差が大きくなっている。すなわちこの式の各係数は全般的に大きく特にダストに対する係数が大きすぎると思われる。

(5) 舗装要綱の式との比較

標準配合の粗粒度アスコンを除けば推定値は実験値よりも大であるが、だいたい実験値に近いものであり、相対的關係は一致している。全般的に大きくでているのは、普通のアスファルト舗装では時間の経過とともに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が低下することが考えられるためにマーシャル試験値よりも大きくして、より現実によくするようにしているものと思われる。

また、標準配合の粗粒度アスコンで推定値が小さくなっているのは舗装後時間の経過とともに締固まりが進み密度が大、すなわち飽和度が大となりフィラーが非常に少ない場合、骨材の空げきをアスファルトのみで満たす状態となり、アスファルトが骨材の結合を増す本来の役目を減じむしろ潤滑油的な働きをするためと思われる。

(6) カリフォルニア法との比較

推定値は(1)~(5)の中で最も実験値に近い。しかも石粉をフィラーとした場合、標準配合の粗粒度アスコンを除けば各配合の相対的關係も一致している。

それはこの方法が骨材の比重、表面積、表面のアスファルトを吸収する性質を考慮に入れてアスファルト適量を決めているためと思われる。

しかし、フライアッシュをフィラーとした場合は最大密度配合の粗粒度アスコンと標準配合の密粒度アスコンの推定値の大きさが実験値とは逆になっている。これは表面積の算出を単に粒径と比重によって行なっているためと、石粉とフライアッシュとでは性質が異なるので一般に使用されていないフライアッシュの場合には誤差がはいつてくるものと思われる。

(7) 実 験 値

実験値は各配合ともフライアッシュをフィラーとした場合のほうが、石粉の場合よりも適量アスファルトが多くなっている。これはフライアッシュのほうが石粉よりも表面積が大きく、さらにフライアッシュはアスファルトを吸収する性質が大であるためと思われる。

また、標準配合の粗粒度アスコンを除いてフィラ

一が増せば、すなわち表面積が増せばアスファルト適量が多くなっている。標準配合粗粒度アスコンはフィラーが少ないにもかかわらずアスファルト適量が大きくでているが、これはフィラーが少ないために骨材間の空げきが大きくなりアスファルト適量が増えたものと思われる。

6. 結 言

アスファルト量の決定にあたり、その考え方には次のようなものがある。

(a) 飽和理論

骨材の間げきをアスファルトで完全にうづめたものがよいとする考え方である。

(b) 表面積理論

骨材の表面を適当な厚さのアスファルト膜でおったものがよいとする考え方である。

(c) 間げき理論

骨材の間げきの一部をアスファルトで満たしあ

る一定の間げきを残しておくものがよい。

飽和理論と間げき理論は相反するものであり、実験結果からみて表面積理論、間げき理論がより適当と思われる。これらの二つの理論と考察とを考慮すれば、アスファルト量はアスファルトの性質に関するのはもちろんであるが他に

(1)骨材の比重 (2)骨材のアスファルト吸収性

(3)骨材の形状 (4)骨材の表面組織

(5)骨材の比表面積(6)フィラーの性質

(7)骨材の配合

が重要な要素となると思われる。しかし、アスファルト量にはこれらが組み合わさってきいてくるので、本実験からは明確なるこれらの相互関係は得られないが、これから個々の要素を変えて実験を行えばよいと思われる。

(昭和45年11月14日受理)