

各最大骨材寸法に応じたアスファルト混合物の 合理的な設計粒度曲線群について

ON THE REASONABLE GRADING CURVES FOR THE ASPHALTIC CONCRETE WITH EACH MAXIMUM SIZE

秋 山 政 敬*
By Masayuki Akiyama

1. ま え が き

交通量の激増にともない施工の迅速と堅実な舗装体の築造がきわめて重要な課題となり、このためアスファルト舗装が大幅に行なわれている。したがって設計の規準化、合理化をはかることはきわめて肝要である。

それには表層の質の向上をはかるために最もすぐれたアスファルト混合物を設計、製造することが必須である。よいアスファルト混合物は第一に粒度曲線がすぐれている必要がある。そこで設計の合理化、規準化をはかる上にその骨子となる粒度問題を取りあげマーシャルテスト、ビームスタビロテストを行なった混合物の性状を判定し、現場試験、舗設後の状況調査をあわせて考察し、また本設計粒度曲線群と異なる粒度曲線によるアスファルト混合物とも比較検討し、合理的な設計粒度曲線群を選定した。

これらの粒度曲線群は最大骨材寸法ごとに二次方程式 $y=ax^2+bx+c$ をもって表わすことができる。その物理的性状には類似性があり、基本的性状としてほかの最大寸法による混合物の物理的性状のおおよその推定もできる。したがって設計への応用もできることとなる。また最大骨材寸法ごとにすぐれた粒度のアスファルト混合物が得られるからクラッシャー破砕粒度のどの粒度についても有利に現場混合される利点をもっている。これらの粒度曲線群の特徴の一つとして各フルイ目の間の重量百分率がほぼフルイ目の大小にしたがって漸減している傾向にあり、相似性をもっている。

つぎに本設計粒度曲線群と有名なビーム粒度の適、不適合範囲と比較したが、最大骨材寸法を変えた設計曲線によりビームの不適合範囲の粒度についてもすぐれたアスファルト混合物が得られることが実証された。

また本設計粒度曲線群の粗細粒度の分布が従来のワイマウスーフラーなどの粒度とどのような関係にあるかを一見してわかるように比較、図示した。

つぎにアスファルト混合物の安定度、密度、フロー値、空げき率、骨材間げき率 (VMA)、アスファルト填充率 (VFB)、アスファルト量などの規則性によりアス

ファルト混合物の適用範囲の関連図も示した。これによって最大骨材寸法による粒度ごとに諸性状のおおよそを知ることができる。

つぎに粒度分布のわずかの差がアスファルト混合物に大きな影響のあることを明らかにした。それに関しては最大骨材寸法 20 mm (19.1 mm) のものについて本設計粒度曲線群と諸外国の代表的粒度のうち最も有名な米国アスファルト協会 (A.I) およびカリフォルニアの基本粒度によるアスファルト混合物ならびに最大骨材寸法 15.3 mm のものについて米国アスファルト協会 (A.I) の粒度を参考として設計したワシントン州のものと比較した。その結果本設計粒度曲線がきわめてすぐれていることがわかった。

またワイマウスーフラー曲線と本設計粒度曲線とを比較したが骨材間げき率から本設計が有利であることがわかった。

2. 最大骨材寸法を基とした設計粒度曲線群について

(1) 合理的な粒度曲線の方程式 (Fig. 1)

最大骨材寸法ごとの粒度分布曲線は二次方程式 $y=ax^2+bc+c$ をもって表わされる。

ここに y : 骨材の重量通過百分率 (%)

x : 各フルイ目の寸法 (mm) を示す整数で、 $x=0\sim 9$ に対応するフルイ目の寸法はそれぞれ 0.074, 0.177, 0.42, 1.19, 2.38, 4.76, 9.52, 19.1, 31.7 38.1 mm である。

各基本最大骨材寸法の粒度方程式の係数 a, b, c は下記のようなものである。これら a, b は曲線をもつて、 c は直線をもつて骨材寸法との関係が描けるから、これらを使用すればほかの最大骨材寸法の方程式も容易に得られる。

40 mm (38.1 mm)	$a=0.7055$	$b=4.433$	$c=0.5$
30 mm (31.7 mm)	$a=0.9580$	$b=4.111$	$c=3.0$
20 mm (19.1 mm)	$a=1.3900$	$b=3.420$	$c=5.5$
10 mm (9.52 mm)	$a=1.8860$	$b=2.301$	$c=8.0$
5 mm (4.76 mm)	$a=2.9630$	$b=0.451$	$c=10.5$

* 正員 東京都建設局道路建設本部

ここに c は 200 メッシュ 通過% を示している。

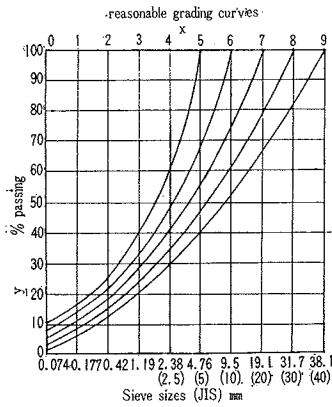
基本最大骨材寸法ごとの粒度方程式は

40 mm (38.1 mm) $y=0.7055x^2+4.433x+0.5$
 30 mm (31.7 mm) $y=0.9580x^2+4.111x+3.0$
 20 mm (19.1 mm) $y=1.3900x^2+3.420x+5.5$
 10 mm (9.52 mm) $y=1.8860x^2+2.301x+8.0$
 5 mm (4.76 mm) $y=2.960x^2+0.451x+10.5$

() は最大骨材寸法の実寸法である。

(2) 任意の最大骨材寸法における粒度方程式

Fig. 1.



いま粒度方程式の応用として、比較的良好に使用されていると考えられる最大骨材寸法 13mm (12.7mm), 15mm (15.3mm), 25 mm (25.4mm) のものについて粒度方程式を求めるとつぎのようである。

さきに求めた粒

度方程式の係数 a, b, c より各最大骨材寸法の示す a, b, c の値をとれば

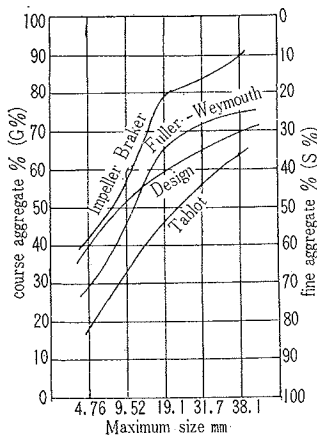
25 mm (25.4 mm) $y=1.1397x^2+3.843x+4.1$
 15 mm (15.3 mm) $y=1.6928x^2+2.676x+6.6$
 13 mm (11.7 mm) $y=1.7844x^2+2.480x+7.3$

いま 13 mm (12.7 mm) の場合の粒度曲線を描くのに二次方程式の変数 x をフルイ目の関係から求めると 12.7 mm のとき $x=6.4$ である。また各フルイ目に対応する x の値を求めた方程式に代入すれば各フルイ目の重量百分率 (%) が得られ、粒度曲線が描ける。

(3) 本設計粒度曲線の特徴

a) 有名な粒度曲線との比較

Fig. 2



本基本粒度曲線群とワイマウスーフラーの最大安定度曲線、タブロットの最大安定度曲線およびインペラー破碎粒度分布曲線を最大骨材寸法と G%, S% の関係をもって比較図示した (Fig. 2)。ここに 2.38 mm 以下を細骨材分 (S%), 2.38 mm 以上を粗骨材分 (G%) として示した。ここで注目すべきは本設計粒度曲線に

よるものおよびタブロットの安定度曲線のものはスムーズに変化していることである。

b) ビームの推奨粒度との比較

ビームは最大骨材寸法 1 in の粒度の適合範囲を推奨し、範囲外のへい害について述べているが、一般にクラッシャーによる破碎粒度は最大骨材寸法ごとに得られるものであり、破碎機によってその破碎粒度の適用範囲、傾向も異なり、調整もできるものである。

いま本設計法による最大骨材寸法 1 in (25.4 mm) の粒度曲線

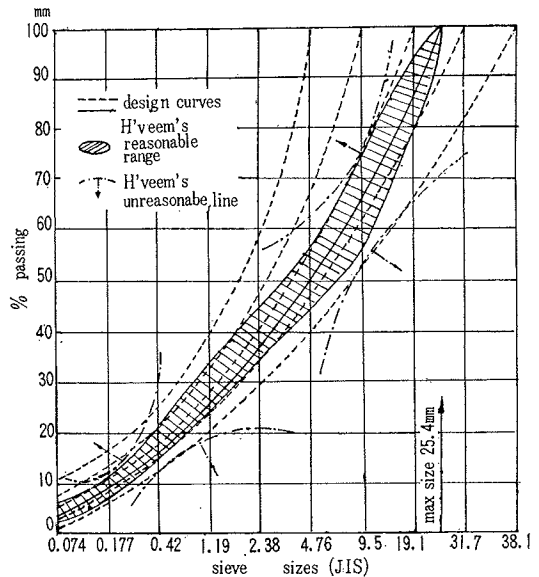
$y=1.1397x^2+3.843x+4.1$

の方程式にて示されるものと比較すると (Fig. 3) 粗骨材寸法 4.76 mm まではほぼビームの適用粒度範囲の中心線を走っており、2.38~0.42 mm まではやや下部に位置する曲線となり 0.177~0.074 mm はほぼ適用範囲の中心を走っている。

またこのビームの適用粒度範囲は本設計粒度曲線群の最大骨材寸法 20 mm (19.1 mm) および 30 mm (31.7 mm) のものの間に、類似した位置にある。

Fig. 3

Comparison in this design curves and H'veem's curve



本設計粒度曲線群によれば最大骨材寸法ごとに、安定性上、経済上適切な混合物を得ることができる。したがって舗装を設計する場合 wearing course, binder course, base course に分けて行なうが、アスファルト量と安定性を考えた場合各最大骨材寸法 2 種以上の組み合わせにより、たわみ性舗装用としてきわめて優良な設計とすることができる。

またビームの適合範囲外においてもすぐれたアスファルト混合物が得られるわけである。

3. 本設計粒度を用いたアスファルト混合物の性状

本設計粒度曲線群のアスファルト混合物の良否を求めるのに現在主として採用されているマーシャルテスト、ビームスタビロテストを行ない、この結果テストの示す諸要素がきわめて規則的で類似性のあることが判明した。したがって中間の大きさの最大骨材寸法の粒度曲線をもつアスファルト混合物の諸性状のおおよその判定もできるわけである。

(1) 試験基準

a) 試験条件

- ① アスファルト溶解温度 130+5°C
- ② 骨材加熱温度 150+5°C
- ③ 混合物の温度 130-5°C
- ④ 混合時間 45~70秒
ただし最大骨材寸法 40 mm のものは 80~85秒
- ⑤ 安定度試験 標準
試料作成 55回標準たたき打

b) 使用材料

- ① アスファルト針入度 86±1
JIS K 2207 の規定に合格
- ② 碎石 JIS K 1110, 1104, 1121 の規格に合格
- ③ 石粉 フルイ目 通過重量%
420 μ 100
177 μ 93
74 μ 68
- ④ 細骨材 JIS A 1109, 1105 の規定の合格
- ⑥ 骨材比重

Table 1

最大寸法 フルイ目 mm	38.1 (40)	31.7 (30)	19.1 (20)	9.52 (10)	4.76 (5)	2.38 (2.5)
38.1	100.0					
31.7	82.5	100.0				
19.1	67.5	80.0	100.0			
9.52	53.0	62.5	75.5	100.0		
4.76	40.5	47.5	55.5	67.5	100.0	
2.38	24.5	34.5	40.5	47.5	59.0	100.0
1.19	20.0	24.0	28.0	32.5	38.5	69.2
0.42	12.5	15.0	18.5	22.5	24.5	45.7
0.177	5.5	8.5	11.5	14.0	16.5	28.4
0.074	0.5	3.0	5.5	8.0	10.5	13.6
38.1 ~ 31.7	17.5					
31.7 ~ 19.1	15.5	20.0				
19.1 ~ 9.52	14.0	17.0	24.5			
9.52 ~ 4.76	13.0	15.0	17.5	32.5		
4.76 ~ 2.38	11.0	13.0	15.0	20.0	40.0	
2.38 ~ 1.19	9.5	10.5	12.5	15.0	21.5	30.8
1.19 ~ 0.42	8.0	9.0	9.5	10.0	14.0	23.5
0.42 ~ 0.177	6.5	6.5	7.0	8.5	8.0	17.3
0.177 ~ 0.074	5.0	5.5	6.0	6.0	6.0	14.8
0.074 ~ 0	0.5	3.0	5.5	8.0	10.5	13.6

粗骨材 2.650, 細骨材 2.632, 石粉 2.706

c) 試験に使用した基準粒度 (Table 1) 基準粒度としては Table 1 のように調整した。

(2) 本設計粒度による混合物の性状

a) 混合物の規則的性状 マーシャル テストおよびビーム スタビロ テストによって基本となる混合物の性状を求めた (Fig. 4, Fig. 5)。その結果基準値となる関係各値が明らかとなった。すなわちつぎの点に規則性を求めた。

- ㊸ As-Voids, ㊹ As-Voids 4%, ㊺ As-V.F.B., ㊻ As-V.F.B.-Voids 4%, ㊼ Voids-V.M.A., ㊽ V.M.A.-V.F.B., ㊾ As-V.M.A., ㊿ As-V.M.A.-Voids 4%

これらの間に規則性がみられるのであるが (Fig. 6) これは粒度曲線群の規則性のためである。

これらの関係図のうち ㊹, ㊻, ㊽, ㊿ に空げき率 4

Fig. 4

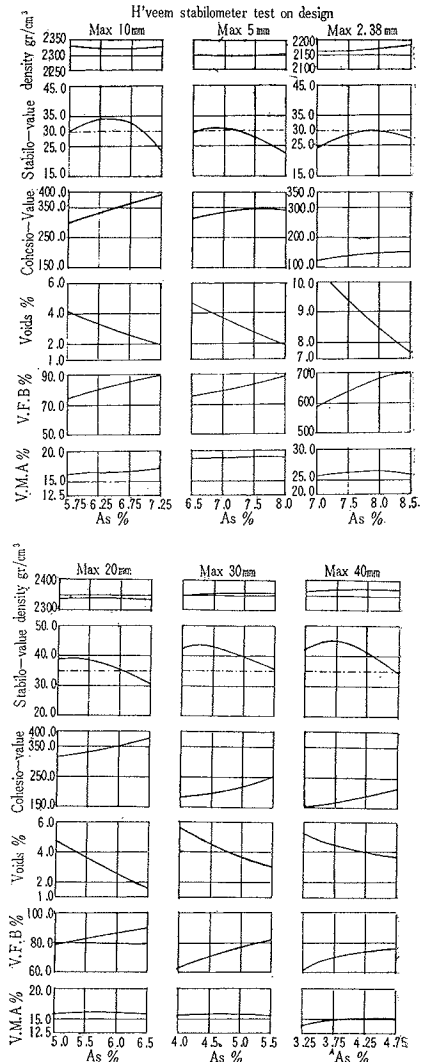


Fig. 5

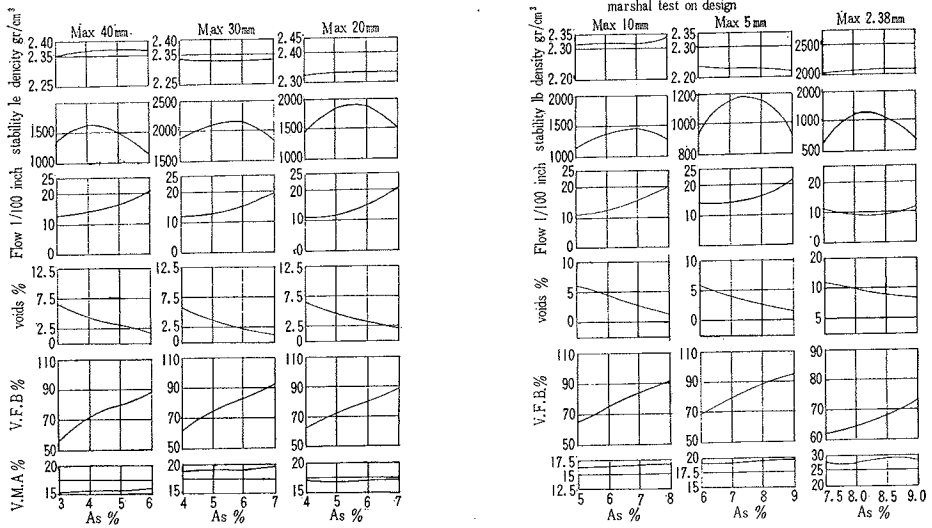
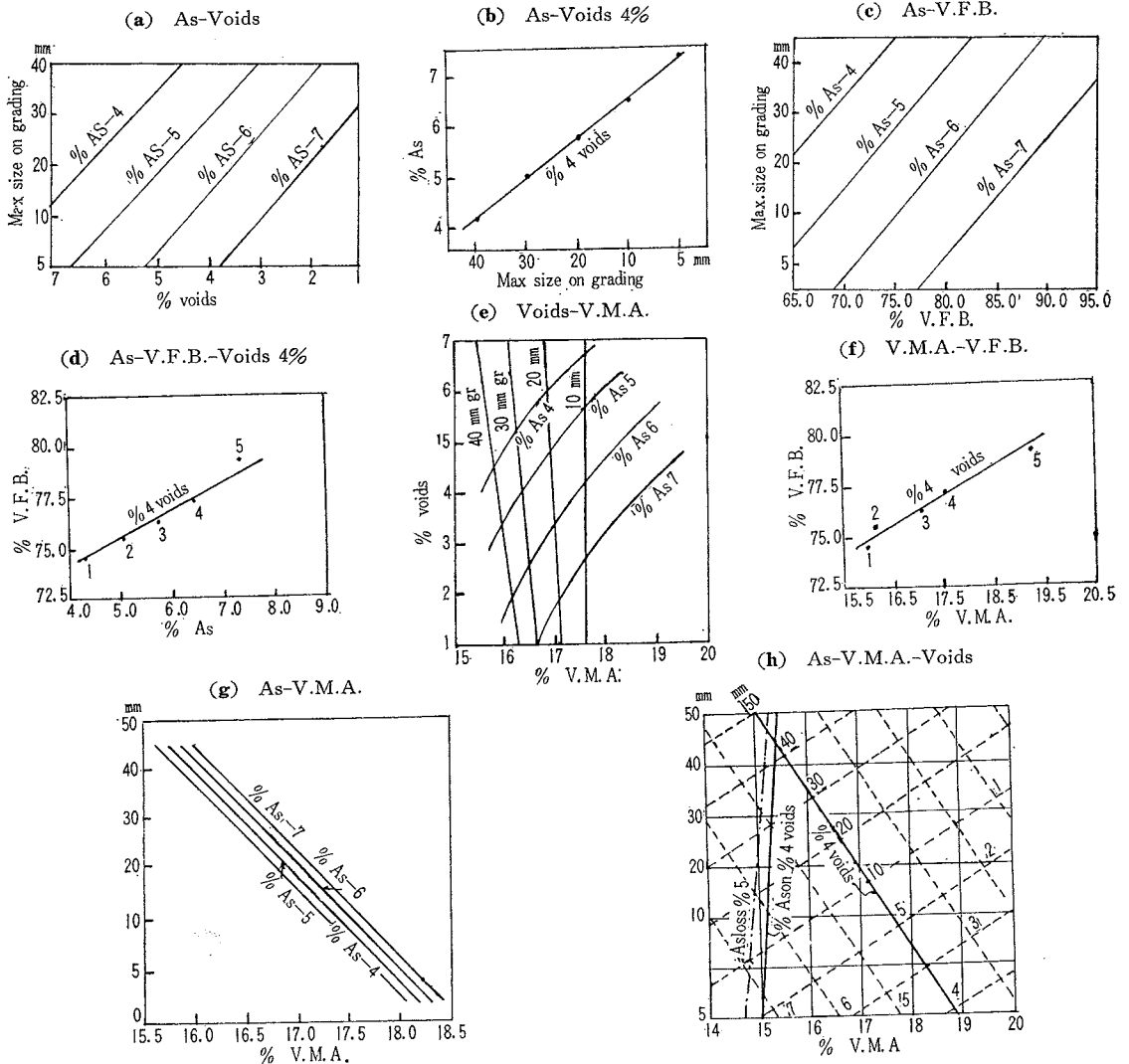


Fig. 6



を採っているのは Dillard の論文にあるように道路表層舗設後のアスファルト混合物はその温度変化を交通くり返し荷重によって空げき率の変化(通常 1~3%)が考慮されなければならないからである。また空げき率が大きいと混合物の強度が落ちることおよび透水率が大きくなりそれだけ老化の現象を速める可能性が考えられる。一方空げき率があまりに小さいと夏期フラッシングの可能性がある。米国アスファルト協会(A.I)およびカナダ(Mcleod の提案)の規格も空げき率 3~5%を採っているのはこのためであろう。よって空げき率としては冬期舗設 4~3%, 夏期舗設 3.5~2.5%が適当であると考察されるので、空げき率 4%を基準とした。

Fig. 6 (a) は粒度曲線ごとにアスファルト量の変化にしたがって空げき率がいかに変わるかを示したものであってほぼ平行な直線関係にある。したがって逆に空げき率をきめればアスファルト量のおおよそがきまってくる。**Fig. 6 (b)** は空げき率 4%の場合の各粒度曲線ごとの所要アスファルト量がほぼ直線関係にあることを示している。**Fig. 6 (c)** は粒度曲線ごとのアスファルト量と瀝青空げき填充率がほぼ直線関係にあることを示している。この関係図から米国アスファルト協会規格およびカナダの規格 70~85% の範囲内にあることが明らかである。**Fig. 6 (d)** は空げき率 4%の場合のアスファルト量と瀝青空げき填充率の関係を示したものである。ただし各点 1, 2, 3, 4, 5 はそれぞれ最大骨材寸法 40 mm, 30 mm, 20 mm, 10 mm, 5 mm の粒度のときの値をとったものである。この場合 V.F.B. は 70~85% の範囲内にある。**Fig. 6 (e)** は粒度曲線ごとの空げき率と骨材間げき率の関係を所要アスファルト量と関連づけて示したものである。これらはほぼ規則的な関係にあり、米国アスファルト協会、カナダの規格の 14 以上には十分である。**Fig. 6 (f)** は空げき率 4%の場合の骨材間げき率と瀝青空げき填充率の関係を示したものであって各点 1, 2, 3, 4, 5 はそれぞれ 40 mm, 30 mm, 20 mm, 10 mm, 5 mm 粒度の値を示す。これらの値はすべてアスファルト填充率(V.F.B.)が 70~85% の範囲内にある。**Fig. 6 (g)** は骨材間げき率に対するアスファルトの影響を最大骨材寸法ごとに示したものでほぼ直線をもって表わされる。**Fig. 6 (h)** は空げき率 4%の場合の骨材間げき率とアスファルト量との関係を最大骨材寸法ごとに示しており、アスファルト量が 5% 損失の場合の関係も示している。これらは同時に規則性があり、すべて V.M.A. 14 以上である。

(2) 混合物の安定性 (Fig. 7)

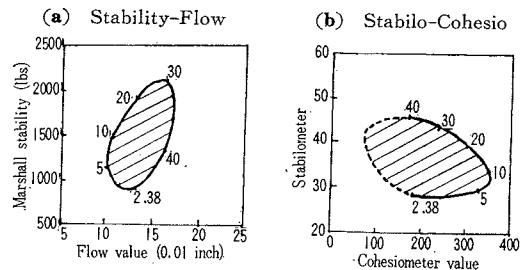
マーシャル安定度とそのフロー値、ビームスタビロ安定度とそのコヒジョン値は混合物の強度を示すためにきわめて密接な関係にあることはいうまでもないが両者が同時に規定の範囲内にあることが必要であり、重要であ

る。マーシャル安定度は米国アスファルト協会においては 500 lb 以上、フロー値 8~16 を規定しており、カナダ(Mcleod の提案)では重交通においては安定度 1200 lb 以上、フロー値 10~16 を規定している。

一方ビームスタビロ安定度は米国アスファルト協会において 35 以上、コヒジョン値は 50 以上を規定している。

Fig. 7 (a) はマーシャル安定度とフロー値の関係を最大骨材寸法ごとに平均基準安定度(ただし空げき率 4%の場合)を示したものであって、最大骨材寸法 30 mm の粒度を頂点とし、2.38 mm を最小としてほぼだ円形状に変化する。ここで 2.38 mm 以下に値する分の影響が粗骨材粒度によっていかに変化するかそのおおよそを知ることができる。したがっておのおの値がこのだ円形内に入る混合物はほかの物理的諸性状の関係も満足し得る良好なものであるといえる。**Fig. 7 (b)** はスタビロ安定度とそのコヒジョン値の関係を最大骨材寸法ごとに平均基準安定度(ただし空げき率 4%の場合)をもって示したもので、最大骨材寸法 40 mm を頂点とし 2.38 mm を最小値としてほぼだ円形状に変化する。この場合

Fig. 7



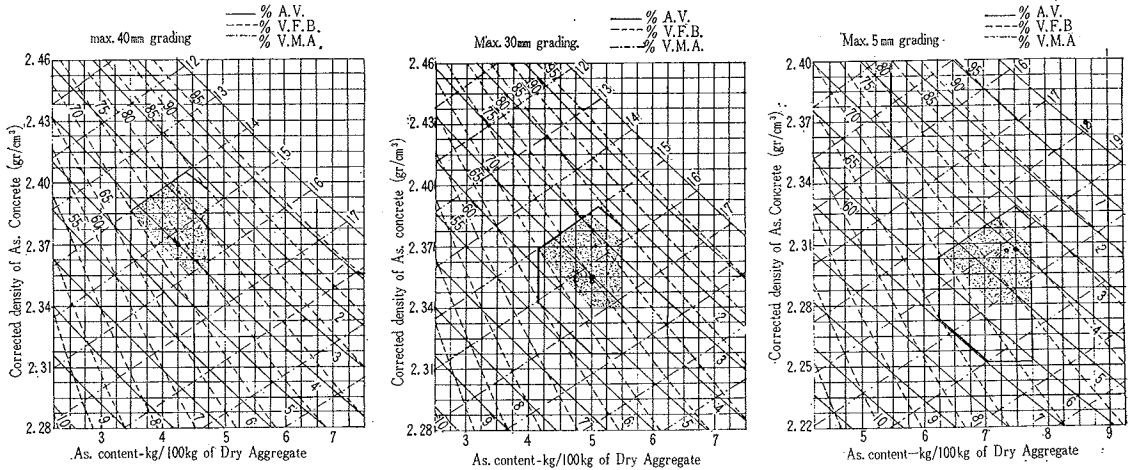
も 2.38 mm 以下に値する分に対する粗骨材粒度分の影響のおおよそを知ることができる。したがってこの場合もおのおの値がこのだ円形内に入る混合物はほかの物理的諸性状もおおよそ満足できる良好なものであるといえるようである。

(3) 混合物の性状の関連性 (Fig. 8., Fig. 9)

粒度曲線群の粒度とアスファルト量が適合しておれば図示した適合範囲の混合物ができ、さらに小範囲をもって示した部分に入る混合物ができるはずである。これら基本関連図は混合物の密度、空げき率、瀝青空げき填充率、適量アスファルト量、骨材間げき率を関連づけている。これらの関連図は最大骨材寸法ごとに示しているが各適合範囲は移動した形となっているのは本設計粒度曲線の類似性を物語っているものである。図の●点は修正値であり○点は実測値(標準平均値)である。

この関連図において骨材の比重の影響が考慮されねばならないが本関連図においては粗骨材 2.650, 細骨材 2.362, 石粉 2.706 で本邦で産出する骨材のほぼ平均比重に近いので、多くの設計にそのまま適用できるものである。なぜなら比重の大差がなければ影響が少ないから

Fig. 8



である。

また現場施工において締め固め温度、回数、基層の支持力が十分であることが必要である。かくして粒度が適合し、アスファルト量さえ適合しておれば適合範囲内に入るものである。

(4) 任意の粒度による混合物の性状判定

さきに求めた最大骨材寸法 13 mm (12.7 mm) の粒度方程式によるアスファルト混合物の性状ならびに安定度のおおよそを求めよう。

Fig. 6 (a)~(h) までの関係図より、規則性にしたがって Fig. 6 (a) より所要アスファルト量 6% 程度が空げき率 4% に近いことがわかる。Fig. 6 (b) より空げき率 4% のときの所要アスファルト量は 6.2% が適量であることがわかる。Fig. 6 (c) よりアスファルト量 6% のときの瀝青空げき 填充率は おおよそ 76.5% である。Fig. 6 (d) より空げき率 4% の場合のアスファルト量 6.2% のときの瀝青空げき 填充率 77% であることがわかる。Fig. 6 (e) よりアスファルト量 6% のときの骨材間げき率はおおよそ 17.4% である。このときの空げき率は 4.2% である。Fig. 6 (f) より空げき率 4% の場合の瀝青空げき 填充率は 77% で骨材間げき率は 17.3% である。このときのアスファルト量は 6.2% である。

つぎに Fig. 7 (a), (b) によって空げき率 4% の場合のマーシャル安定度、ビームスタビロ安定度のおおよそを判定しよう。

Fig. 7 (a) より平均基準値 (目標値) としてマーシャル安定度 1650 lb, フロー値 12/100 in を得る。Fig. 7 (b) より平均基準値 (目標値)

としてスタビロメーター値 35, コヒジョン値 335 を得る。

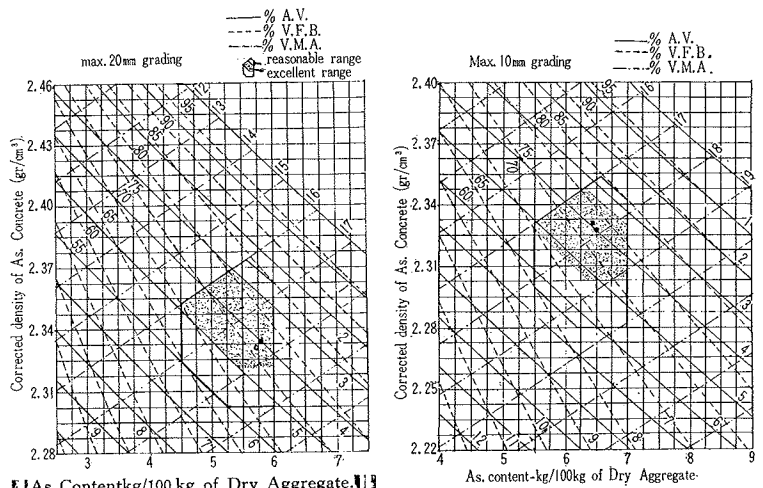
これらの値はアスファルト混合物としてきわめて良好なものであり、最大骨材寸法 13 mm (12.7 mm) の本設計粒度によれば良好なアスファルト混合物ができるわけである。また関連図から見れば最大骨材寸法 10 mm よりすこし比重の大きくなった混合物として見ればよい。

4. 他の設計粒度におけるアスファルト混合物との比較

(1) 米国アスファルト協会およびカリフォルニア粒度によるアスファルト混合物との比較

a) 粒度の比較 一般に設計粒度曲線として比較的多く使用されている 20 mm (19.1 mm) 最大骨材寸法のものを対象とし、粒度曲線群を代表させることとする (Table 2, Fig. 9)。この粒度表より本設計粒度が最もスムーズな粒度であり、各相隣るフルイ目ごとの重量残

Fig. 9.



【As Content/kg/100 kg of Dry Aggregate.】

Table 2

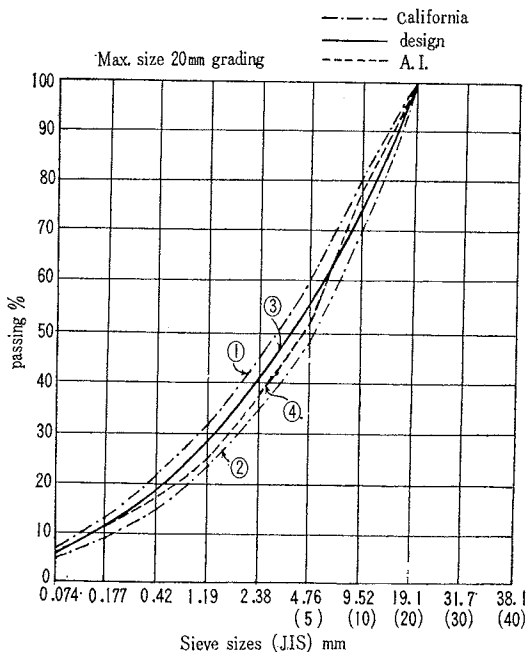
フルイ目 mm	19.1	9.52	4.76	2.38	1.19	0.42	0.177	0.074
種別								
California (1)	100	80.0	60.0	42.5	29.5	19.5	12.0	6.5
A. I	100	77.5	53.0	37.5	26.0	17.5	11.0	5.5
California (2)	100	70.0	47.5	34.5	24.0	15.0	8.0	4.5
Design	100	75.5	55.5	40.5	28.0	18.5	11.0	5.5

フルイ範囲 mm	19.1 ~9.52	9.52 ~4.76	4.76 ~2.38	2.38 ~1.19	1.19 ~0.42	0.42 ~0.177	0.177 ~0.074	0.074 ~0
種別								
California (1)	20.0	20.0	17.5	13.0	10.0	7.5	5.5	6.5
A. I	22.5	24.5	15.5	11.5	8.5	6.5	5.5	5.5
California (2)	30.0	22.5	18.0	10.5	9.0	7.0	3.5	4.5
Design	24.5	20.0	15.0	12.5	9.5	7.5	5.5	5.5

留百分率が漸減している。このような重量百分率のバランスがアスファルト混合物として良好な結果を与えているものと考えられる。また本設計粒度曲線は米国アスファルト協会のものに比較的近似している。0.177 mm 以下は同量であり、粗骨材量は3%多い。

b) 混合物の性状の比較 粒度曲線によってマーシャルテストの諸性状の差がよく表われている (Fig. 10)。特にその空げき率, V.M.A., 安定度の特徴がある。本設計粒度による混合物の安定度はアスファルト量によって安定度の変化が非常にゆるやかである。このことは所要のアスファルト量の有効範囲が広いことを意味する。またこれに関して骨材間げき率 (V.M.A.) をみるとやはりほかに比較して大きいことから当然であるし、空げき率変化もゆるやかであることからもうなずける。わずかの粒度の差異がこのような結果を表わしているのはアスファルト混合物が物理的結合体であるからである。またここで重要なのは本設計粒度曲線の骨材間げき

Fig. 10

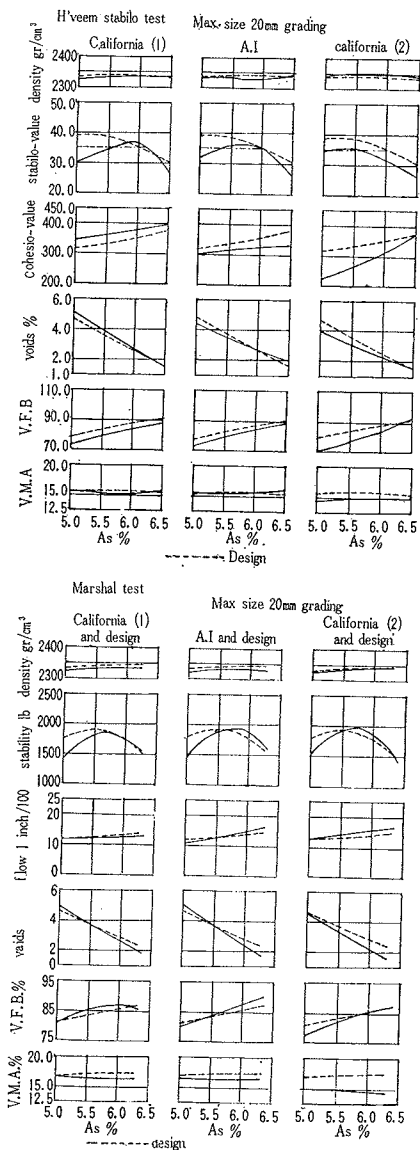


率が大きいことである。これが小さ過ぎるとアスファルト量に対する余裕がないため空げき率が小さくなったり、大きくなったりしてきれつ、波の発生、フラッシュなどの遠因を作る結果となるのである。

一方ビームスタビロテストにおける物理的諸性状の差もよく表われている (Fig. 11)。すなわちその空げき率, スタビロ安定度, コヒジョン値によくその特徴がある。ここで本設計粒度による混合物の安定度はアスファルト量によって安定度の変

化が非常にゆるやかであることに注目されたい。このことはマーシャルテストの場合と同様に所要アスファルト量の有効範囲が広いこと、したがって混合物の製造に

Fig. 11



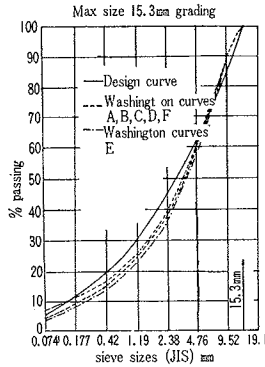
おける安全性が大きいことを意味する。

また米国アスファルト協会が規格 35 以上に対してカリフォルニアおよび米国アスファルト協会の粒度による混合物はあるアスファルト量においてわずかに合格であるのに比し、本設計粒度曲線によるものは規格に対する安全性も大きい。カリフォルニア粒度(2)のものは安定度が比較的ゆるやかであるにもかかわらずコヒジョン値のアスファルト量にたいする変化が急である欠点をもっている。このようにスタビロ安定度とコヒジョン値とはバランスがとれていなければならない。いずれか一方がきわめて良好であっても意味がない。瀝青空げき填充率(V.F.B.)についても本設計粒度曲線によるものは比較的良好である。すなわちその値の変化がゆるやかであり、値も若干大きい。このように粒度曲線の差がアスファルト混合物の物理性状に大きく、しかも微妙な影響を与えていることを見逃すことはできない。またマーシャルテストおよびスタビロメータテストとも同様な傾向が表われており、本設計粒度曲線によるアスファルト混合物がいずれもすぐれていることが明らかとなった。アスファルト混合物のマーシャルテストの結果のよいものはビームスタビロテストの結果がよいようである。ここで最大骨材寸法 20 mm (19.1 mm) の粒度曲線のものについては 2.38 mm 以下の通過%を Z, 0.074 mm 以下のそれを C とすればそれぞれ $37.5 < Z < 42.5$, $4.5 < C < 6.5$ を規定することはきわめて大切である。

(2) ワシントン州の設計粒度によるアスファルト混合物との比較

a) 粒度の比較 (Table 3, Fig. 12) 設計粒度法の応用として求めた 15.3 mm, 最大骨材寸法の方程式 $y=1.6928x^2+2.676x+6.6$ の本設計粒度とワシントン

Fig. 12.



州の設計粒度と比較する。ワシントン州の粒度と本設計粒度の大きな差は 2.38 mm, 通過%すなわち細骨材分が 36~39.5%, 設計では 44% であることである。またワシントン州のものは A~D は同一粒度であり, E は若干粒骨材分が異なり, F は 200 メッシュ通過%が比較的大きい値となっ

ている。これらの粒度がアスファルト量と相まってどのような性状を示すかは興味ある問題である。

b) 混合物の性状の比較 (Table 4) 設計粒度の差, 特に 2.38 mm の点における差が混合物として大きな性状の差を生じているのに注目されたい。このために骨材間げき率(V.M.A.)が本設計のもので 16%, ワシントン州のもので 13.8% へとなっている。しかるに米国アスファルト協会の規格ならびにカナダの規格では骨材間

Table 4

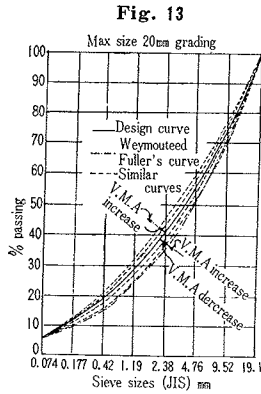
種別	A	B	C	D	E	F	Design
アスファルト量%	5.2	5.7	6.2	6.7	5.7	5.7	6.0
空げき率%	3.7	2.0	1.3	0.8	3.3	2.1	4.0
骨材間げき率%	13.1	12.6	13.0	13.5	13.8	13.7	16.0
瀝青空げき填充率%	71.7	84.1	90.0	94.8	96.1	83.4	84.5
スタビロ安定度	37	27	12	7	39	21	37.5
コヒジョン値	350	400	400	435	350	520	345
状態	正常	正常	異常	フラッシュ	正常	異常	正常
砂/シルト	7/1	7/1	7/1	7/1	7/1	4.4/1	6/1
G/S	62/38	62/38	62/38	62/38	64/36	60.5/39.5	56/44

Table 3

種別	A	B	C	D	E	F	Design
フルイ目							
mm							
15.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9.52	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	83.5
4.76	59.0	59.0	59.0	59.0	58.0	60.5	61.5
2.38	38.0	38.0	38.0	38.0	36.0	39.5	44.0
1.19	25.5	25.5	25.0	25.0	23.5	26.5	30.0
0.42	16.0	16.0	16.0	16.0	14.0	17.0	19.5
0.177	10.0	10.0	10.0	10.0	8.0	12.0	12.0
0.074	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	8.0	6.6
各フルイ目重量%							
mm mm							
15.3 ~ 9.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	16.5
9.5 ~ 4.76	29.5	29.5	29.5	29.5	30.5	28.0	22.0
4.76 ~ 2.38	21.0	21.0	21.0	21.0	22.0	21.0	19.5
2.38 ~ 1.19	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13.0	14.0
1.19 ~ 0.42	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	10.5
0.42 ~ 0.177	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.0	7.5
0.177 ~ 0.074	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	5.4
0.074 ~ 0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	8.0	6.6

げき率は 14 以上となっている。この骨材間げき率 14 以上を規格しているのは適量アスファルト以上の量をもって混合物を性質上有効ならしめるための条件である。しかるにワシントン州のものはアスファルト量 6% を越えるとアスファルト過剰となり種々の欠点を生ずる結果となる。スタビロ安定度, コヒジョン値からは粒度曲線 A, E ならびに本設計粒度のものが適している。しかし粒度 A は瀝青空げき填充率が 75 以下で小さ過ぎ, 粒度 E は大き過ぎる欠点をもっている。あまり瀝青空げき填充率が大きいとフラッシュの傾向をもつことになる。

ワシントン州の Carl, E. Minor は設計粒度を決定するのに Asphalt Institute Manual にあまりにも忠実であったため, その sand-silt ratio にこだわったためであろう。ワシントン州粒度のように粒度曲線の相対傾斜が急になると骨材間げき率が小さくなり, かつ粒度分布が不均一となっ



てアスファルト量に敏感になるほかアスファルト分布の不均一ともなる。

ここで 2.38 mm 以下の通過%を Z 、0.074 mm 以下のそれを C とすればそれぞれ $42 < Z < 46$ 、 $5.6 < C < 7.6$ は設計上重要な要素と考えられる。ここに最大骨材寸法 15.3 mm の粒度曲線の混合物において本設計が合理的であることが判明した。

(3) 粒度曲線と骨材間げき率

粒度曲線と骨材間げき率 (V.M.A.) は不可分の関係にあることはいままでもないがアスファルト混合物の耐久性、安定性を決定する重要な要素である。カナダでは骨材間げき率 14 以上、米国、英国などにおいても 14 以上、表層においては 15 以上を規定している。

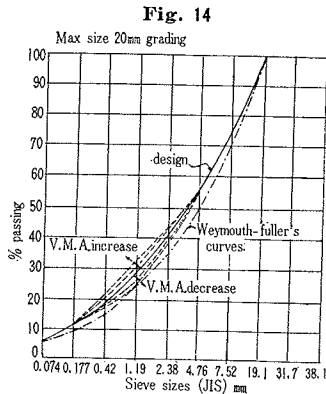
そこで最大骨材寸法 20 mm (19.1 mm) のものについて本設計粒度曲線とその類似曲線およびワイマウスフーラー粒度曲線について比較する (Fig. 13)。本設計粒度曲線から下降するにしたがって骨材間げき率は減少し、ワイマウスフーラー粒度曲線で最小となる。しかしこれを越えると次第に増加する。また本設計粒度曲線より細骨材分が増加すれば骨材間げき率は一般的に大きくなる。

また 4.76 mm 以下の細骨材量変化によって同様な傾向がある (Fig. 14)。すなわち本設計粒度曲線を中心としてワイマウスフーラー粒度曲線の方角に行くにしたがって骨材間げき率は減少し、これと反対方向に行くにしたがって増加する。

4. む す び

(1) すぐれたアスファルト混合物を設計、製造するには第一にその粒度曲線がすぐれていることが最も肝要であるため、すべて二次方程式 $y = ax^2 + bx + c$ をもって表わせるすぐれた粒度曲線群を選定した。そしてこれら粒度曲線群のアスファルト混合物は諸性状にすぐれた規則性がある。また安定性も一定の方向づけがなされずがれている。

(2) 他の任意の最大骨材寸法による粒度方程式も



$y = ax^2 + bx + c$ をとって表わすことができ、その方程式のアスファルト混合物は基本粒度による混合物の規則性、安定性よりその諸性状、安定性のおおよそを知ることができ、設計応用として便利に利用できる。

(3) 本設計粒度曲線群とビームの設計粒度範囲と比較するにビームの本適合範囲を固守するのは適当でない。なんとすれば最大骨材寸法ごとによいアスファルト混合物のできるすぐれた粒度曲線が存在するからである。

このことはワイマウスフーラーの最大密度曲線、タブロットの最大安定度曲線が最大骨材寸法ごとに存在するようにアスファルト混合物にも最良粒度曲線が最大骨材寸法ごとに存在するものであることを意味するものと考えられる。

(4) 粒度曲線がいかに重要であるかということ、すなわち粒度分布のわずかな差がアスファルト混合物の性状、安定性に大きな影響をおよぼすものであること示した。そのため本設計粒度曲線のすぐれていることを米国アスファルト協会、カリフォルニアその他の粒度曲線による混合物と比較実証した。

(5) 最大骨材寸法ごとのアスファルト量と空げき率、骨材間げき率、濫骨空げき填充率、混合物の比重の基本関連図を示して一見してそれらの関連がわかるようにした。

また骨材間げき率は 15 以上とされているが、本設計粒度のものはすべてこの値以上であることを認めた。

(6) 舗設アスファルト混合物の最上層は細粒度のものを、下部に移行するにしたがって粗粒のものを使用するとよい。これは混合物のコストの点からまた構造上の使用目的の点からいえるのであるが、本設計粒度方程式法によれば最大骨材寸法ごとに有利なすぐれた混合物を製造できる利点をもっている。

なお施工後の状況および舗装構造設計への適用などについては別途報告することとしたい。ここに本設計による混合物が高重交通下に対処でききわめて有効な結果をもたらしていることを強調して本報告を終る。

本研究に対してご支援、ご指示を賜った板倉忠三北海道大学教授、谷藤正三都市局長 (現在首都整備委員会事務局長)、竹ヶ原輔之夫都道路建設本部長 (現在東京都建設局長)、河上房義東北大学教授にたいして深く謝意を申し述べる次第である。

参 考 文 献

- 1) Rahu, G.A. : "Design of bituminous concrete mixtures" report prepared for High-way Research Board 1947.
- 2) "Air-field design, flexible pavement" chapz part XII July, 1951. Engineering Manual for Military construction, Corps Engineers, Department of the army.

- 3) The Asphalt Institute, "Manual on hotmix asphaltic concrete having" 1945.
- 4) U.S. Corps of Engineers: "Symposium asphalt paving mixture, High-way Research Board, Research report No. 7-B 1949.
- 5) Reprinted High-way Research Board proceeding vol. 35 1956. Relationships between density, Bitumen content and void properties of compacted bituminous paving mixture.
- 6) ASTM Special Technical publication No. 252-Bituminous paving materials symposium on methods of test for design of bituminous paving mixtures. Symposium on practical and statical significance of test properties of bituminous binders.
- 7) Liants routiers et enrbés-Matériaux de protection platre-Agglomérés-Bois har J. Aprambise. M. Duries Dunop 92, rue Bonapareto, Paris 1959.
- 8) Bitume-Actualités Numero13 juillet 1960.
- 9) Bitume-Actualités Numero 15 avril 1961.
- 10) Дорожные Асфальты Москва-1960 Издание, Третье, доиолненное м перерабоганное.
- 11) Дорожные Моквытия облеженных конструкций КИЕВ-1959 А.К. ЧИРУЛЯ, С, МТР ИВНИКОВ.
- 12) Proceedings of the asphalt paving technologists volume 31 January 29, 30 and 31 1962.
- 13) Revêtements d'étanchété en béton bitumineux. Par J.-L. Sors, Revue général des routes et des aérodromes. Numéro 359 Décembre 1961.
- 14) 板倉忠三：汀青舗装用材料及び試験法
- 15) 谷藤正三：汀青舗装の設計と施工
- 16) 谷藤正三・亀掛川振興：道路舗装施工法（最新土木施工法講座2）
- 17) 第4回日本道路会議論文集
 - ① 谷藤正三：アスファルト 舗装材料に対する 混和材料の影響について p. 213
 - ② 昆布谷竹郎外：マーシャル試験について p. 219
 - ③ 秋山政敬：アスファルトコンクリート 舗装の適用を決定する 1, 2 の基本的要素について p. 232
- 18) 第5回日本道路会議論文集
 - ① 板倉・菅原外：各種アスファルトの性状と 合材安定度の研究 p. 363
 - ② 板倉・菅原外：アスファルト合材の感温性状 p. 365
 - ③ 板倉・菅原：アスファルト 合材の耐久性に関する 基礎的研究
 - ④ 増田：ビームスタビロメーターによる 1, 2 の考察について p. 371
 - ⑤ 竹下・松野・松崎外：アスファルト 混合物の 安定性について
- 19) 第6回日本道路会議論文集
 - ① 森吉・泉：マーシャル試験によるアスファルト 混合物の物理的性質の推定について p. 230
 - ② 板倉・菅原外：アスファルト合材のビーム安定度および粘着力について p. 238
 - ③ 板倉・菅原外：骨材の粒組成および種類とマーシャル安定度および最適アスファルト含有量について p. 240
 - ④ 森吉・泉：空けきを基準にした マーシャル試験値の表現について p. 228

(1963.9.10・受付)