

V-19 加熱アスファルト混合物の配合試験方法及び密度試験に関する実験的研究

北見工業大学工学部 正員 末岡 伯 従

1. まえがき

加熱アスファルト混合物の配合設計は一般に、アスファルト舗装要綱¹⁾(以下、要綱と略す)に示す標準粒度で、アスファルト量(以下、A s量と略す)を変え、マーシャル試験を利用し、設計A s量を設定するが、この配合の中にファイラー(単に、F)が含まれてる。耐摩耗表層では、ファイラービチューメン(以下、F Bと略す)の量と、F Bの中でのアスファルト(単に、A)とFの比率が重要なため、骨材粒度の中からFの量は取り除き、この分を各骨材粒径に振り分けることになる。本研究の場合も、一定の粒度の粗細骨材とF Bが合成したものと考え、F/Aを一定とし、さらにアスモルがアスコンの結合材との考えから、G/Sも一定とする。これまで、北海道開発局開発土木研究所でも、タイヤチェーン、スパイクタイヤに対し、ラベリング、すりへり抵抗試験、わだち掘れに対しホイールトラッキング試験、すべりに対しすべり試験などと共に数多くマーシャル試験がなされてきた。本研究は、これを踏襲し、学生実験、卒業研究において、数年にわたり、アスファルトに関する試験やマーシャル試験が実施されてきたので、これを整理しつつ、比較的最近²⁾、表層用加熱アスファルト混合物の着色に関する実験的研究を始めた。厚さ2 c mの供試体を作成し、マーシャル試験供試体と比較のため実験を行ったので、これも報告する。

2. 使用材料と試験方法

アスファルトは、シェル石油(株)ストレートアスファルト80~100、比重1.022、針入度91、軟化点48℃混合温度145~151℃、締固め温度133~138℃ファイラーは、訓子府石粉74μmふるい通過分、比重2.715細骨材は、粗目を常呂産の砂を、細目は斜里産の砂を用いた。粗骨材は、訓子府産の碎石を用いた。ふるいの精度を高めるため、2.38mm~590μm、12.7~4.76mmふるい目の間に、1.19mm、9.52mmふるいをはさみふるい分けた。149μmふるい通過分は約3%と少なかったので使用しなかった。砂、碎石共、充分水洗いし、絶乾状態とし保管し、使用前に110℃で加熱し用いた。

今回の研究で用いた粒度は、北海道開発局道路・河川工事仕様書³⁾、細粒度ギャップアスコン標準粒度で、ファイラーを含めない、中央粒度とし、細骨材、粗骨材に振り分けた。骨材粒度、各粒径の配合比、性状を図-1、表-1に示した。マーシャル試験方法は、要綱と道路工事仕様書を参照した。なお、混合温度は、粗骨材が多くなると、規定の締固め温度に入らない場合があったため、標準より高め、混合温度の影響⁴⁾を考え180℃を超えない温度とし、密度試験においては、あまり影響しないものと考え、約200℃とし、締固め温度に入るよう締固め試験を行った。

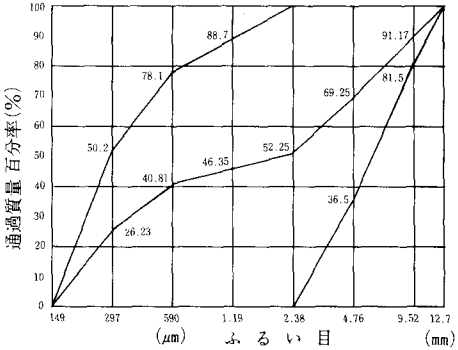


図-1 骨材粒度

表-1 骨材粒径の性状と配合比

種類	訓子府産碎石			常呂産砂			斜里産砂
ふるい目	12.7~9.52mm	9.52~4.76mm	4.76~2.38mm	2.38~1.19mm	1.19mm~590μ	590~297μ	297~149μ
比重	2,716	2,724	2,714	2,673	2,630	2,674	2,784
吸水量	0.53%	0.54%	0.75%	1.13%	1.06%	1.06%	0.89%
粗骨材	18.5%	45.0%	36.5%				
細骨材				11.3%	10.6%	27.9%	50.2%
合成粒度	8.83%	21.49%	17.43%	5.90%	5.54%	14.58%	26.23%

An Experimental Study in Connection with Mix Design Test and Density Test of Hot-laid Asphaltic Mixture by Noritsugu Sueoka

3. FB法と要綱法の性質

(1) FB法と要綱法の歴史

FB法の研究は、昭和28年札幌～千歳間35Kmに本格的なアスファルト舗装の道路ができ、冬期間のタイヤチェーンによる路面のすりへりが問題となり、夏の安定性と共に土木試験所を中心にFB法の研究が始められた。以降、多くの現場施工、調査と共に、研究がなされてきたが、FB法は積雪寒冷地の配合設計方法であるため、本州のような温暖な地域には適合せず、実用になりがたい配合設計方法と言われている。⁶⁾ 問題点は、まずF/Aの比率をいかにするか、これはアスファルトとフイラーの種類や性質などで一定しないこと。次いで、FBで骨材間隙を埋めると、アスファルトで埋めるとでは骨材構造に変化を生じさせアスファルトと添加して作成した供試体との骨材構造で差違が生じてしまう。また、できあがった混合物が果して最良の混合物になっているかどうかの判定も、過去の経験が必要となる、としている。しかし、いずれにしてもアスファルト自体の歴史は浅く、研究の積重ねが必要となる。

(2) FB法と要綱法の相違

一般に広く利用されている要綱法による配合試験方法とFB法との違いは、骨材粒度の中にフイラーを含めるか、これを取り除きF/Aを一定にするかの違いでしかない。しかし、FB法による試験結果から分るように、F/AによるFによる影響は非常に大きいと言うべきであり、このことから要綱による場合も、AS量を変えた混合物粒度を考えたとき、フイラーに大きく影響されているはずである。またFB法でF/Aを一定にした場合、アスファルトの粘弾性的性質の緩和で、マーシャル試験結果では、割となめらかな曲線がえられ整理しやすい利点がある。

(3) 密度試験における歴史

マーシャル試験において測定されている密度試験の歴史は非常に古い。古代ギリシャの時代、彼のアルキメデス(BC287～212)が王ヘロンから、黄金細工師が王冠を作るときに、黄金の代りに混ぜた、銀と銅の重さを見出そうと、発見したのがアルキメデスの原理である。

さらに、イタリアのガリレイ(1564～1642)がアルキメデスの復元を企て、彼の最初の物理学の論文「流体静力学的はかり〔比重計〕」は、主な金属、宝石の空中と水中での重さの表を付加して、「アルキメデスの方法は、非常に粗雑で、正確さからかけ離れている」ために正確な方法を再現しようとしたのが始まりとされている。⁷⁾

さらに、彼は物体の落下速度は、その物体の比重で異なり、比重が同じであれば物体の重さが異なっても等速度で落下する。比重の異なる物質は、その比重に応じた速度で落下する。これは、ガリレイによる有名な、自然落下の法則であり、本質的な点での実験は、今日の実験と何ら変わりはない。

本研究の場合、マーシャル試験供試体を作成する際、密度試験を実施し、密度(Dm)を測定し、空隙率(Vv)、飽和度(Vfa)、骨材間隙率(Vma)などを計算する。これは従来から、要綱で設計AS量を設定するために必要な値である。FB法による場合、F/A、G/Sの比を一定とする。そして、アスモルがアスコンの結合材とする配合設計方法であるため、空隙比と同様に考え、アスモル飽和度、粗骨材間隙率を、本研究から計算し求めてきた。しかし、繁雑をさけ、今回は従来通りの計算値で報告した。

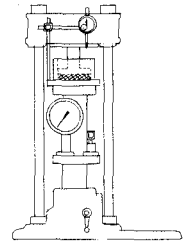


図-2 締固め機

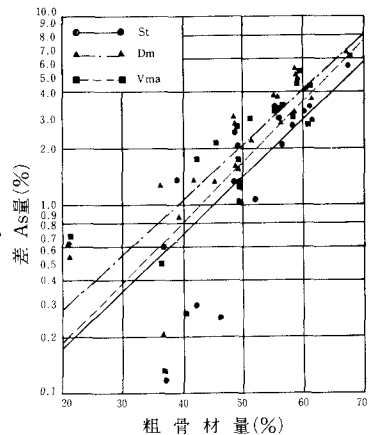


図-3 F/A=1.0

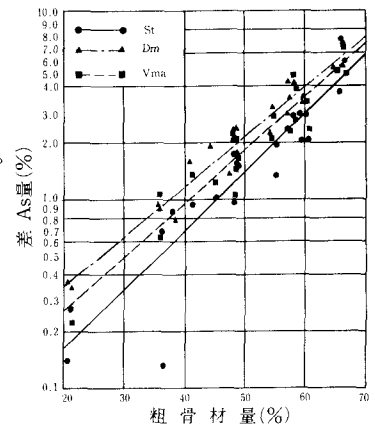


図-4 F/A=1.5

4. 配合設計方法における試験方法

(1) 粗骨材量と差A s量の試算式

これまでの実験において、過去数年、同一年般入、産地の砂、碎石、同一産のアスファルトを使用し、マーシャル試験供試体を作成し、試験してきた。そこで、今回の実験結果も含め、同一粒度におけるアスモルとアスコンの最大S t、Dm、最小Vma点のA s量を求めた。アスコンの配合比における粗骨材量（以下、G量とする）と、G量を抜いて計算した、換算アスモルと実測アスモルのA s量の差A s量とは、片対数方眼紙上で直線となることは、報告した⁸⁾。今回、これをF/Aごとに整理し、図-3、4、5、6と、G量が分かると差A s量が計算できるよう、試算式を表-2に示した。

(2) アスモルを結合材とするアスコン

今回の実験では、まず最初にアスモル供試体を作成し、最大S t点のA s量を求め、これにより、アスモルを結合材とするアスコンの供試体を作成した。この研究で、アスモルの最大S tのA s量によって、アスコンにおける配合設計が可能かどうか、と言うことを目的とし行われた。

計算方法ではまず、アスモルF/A=1.0の最大S t点のA s量は9.5%であったので、A:F:Sの比からSは81%、A=3%ではA:F:S:G=3:3:25.58:68.42の比となる。

A s量は3~8%の範囲で0.5%きざみで供試体を作成し試験した。

F/A=1.0、1.5、2.0でG/Sを各々変え3通り、共通粒度G/S=47.75/52.25で3通り、計12通り試験した。結果は図-7、8、9に示した。なお密度試験も同様とし、測定点を図示した。

(3) 厚さ2cm供試体における密度試験方法

表層用加熱アスファルト混合物の着色に関する研究を目的とし、実際の道路で、“現在舗装の厚さの設計において表層の上部2cm程度を摩耗層と考えて設計厚さに含めていないが、今後それらの厚さをどのように考えてゆくべきかも問題となろう⁹⁾”とされるため厚さ2cmの供試体を、図-2に示す締固め機を使用し、6~8t荷重で、約20秒押えて作成し、密度試験を実施した。

マーシャル試験供試体におけるDmは、アスファルトと粗骨材粒径ごと各比重を測定し、計算によって理論密度(Dt)を求める。そして、突固めによって求めたアスファルト混合物の供試体からDmを測定する。供試体の表面には大なり小なり吸水する空隙があり、これを混合物の空隙に含めるかどうかにより、密度から計算される空隙にかなり大きな影響があり、供試体表面のきめに応じた測定が必要とされている。¹⁰⁾

本実験で求めたDmは、水中の重量測定において供試体にパラフィン被ふくせず、直接金鋼かごに入れ、水中から取り出したら、ウェスで表面の水分を手早くぬぐい表面重量を計った。厚さ2cm供試体のDmも同様に試験した。

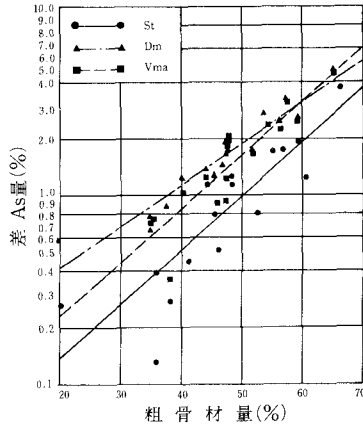


図-5 F/A=2.0

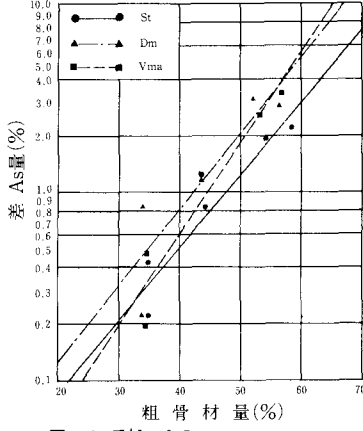


図-6 F/A=2.5

表-2 粗骨材量と差logAs量の関係式

F/A	S t (%)	Dm (%)	Vma (%)
0.5	$\frac{G-38.61}{29.92}$	$\frac{G-35.22}{30.81}$	—
1.0	$\frac{G-45.01}{32.87}$	$\frac{G-39.02}{34.01}$	$\frac{G-42.51}{30.96}$
1.5	$\frac{G-45.33}{34.19}$	$\frac{G-37.40}{38.13}$	$\frac{G-40.88}{35.46}$
2.0	$\frac{G-50.11}{34.72}$	$\frac{G-37.38}{45.62}$	$\frac{G-42.88}{34.81}$
2.5	$\frac{G-47.40}{25.86}$	$\frac{G-42.49}{24.94}$	$\frac{G-44.48}{20.96}$

表-3 F/A=1.0密度試験

()は2cm厚供試体

G/S	0 100	47.75 52.25	57.84 42.16	62.93 37.07	67.91 32.09
g/cm ³	2.220	2.380	2.425	2.448	2.456
最大Dm	(2.215)	(2.360)	(2.390)	(2.413)	(2.410)
%	9.20	6.15	5.57	5.23	4.97
As量	(12.20)	(8.30)	(7.46)	(7.39)	(6.95)
%	26.15	17.60	15.80	14.55	14.15
最小Vma	(28.30)	(22.50)	(18.60)	(17.65)	(17.40)
%	8.50	5.64	5.25	4.98	4.78
As量	(11.82)	(7.74)	(7.00)	(7.02)	(6.82)
最大Dm点	6.50	3.70	2.60	2.15	2.22
%	(2.30)	(1.30)	(1.50)	(0.55)	(1.30)
Vv, Vfa	77.0	78.5	83.0	85.5	85.5
	(92.0)	(93.5)	(93.0)	(97.5)	(97.5)

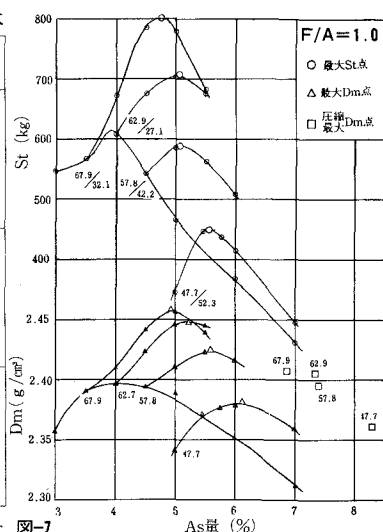


表-4 F/A=1.5密度試験

()は2cm厚供試体

G/S	0 100	47.75 52.25	61.64 38.36	67.57 32.43	73.33 26.67
g/cm ³	2.275	2.420	2.458	2.485	2.485
最大Dm	(2.270)	(2.405)	(2.440)	(2.435)	(2.440)
%	8.13	5.75	4.73	4.62	4.61
As量	(10.58)	(7.33)	(6.56)	(6.40)	(6.50)
%	23.80	16.14	13.85	12.75	12.85
最小Vma	(25.20)	(17.90)	(17.90)	(16.12)	(15.60)
%	7.86	5.42	5.42	4.54	4.45
As量	(10.27)	(7.02)	(6.26)	(6.12)	(6.19)
最大Dm点	5.70	2.60	2.55	1.65	1.80
%	(1.85)	(0.75)	(0.55)	(1.05)	(0.60)
Vv, Vfa	77.0	83.5	82.0	87.0	86.0
	(90.0)	(95.5)	(96.0)	(93.5)	(96.0)

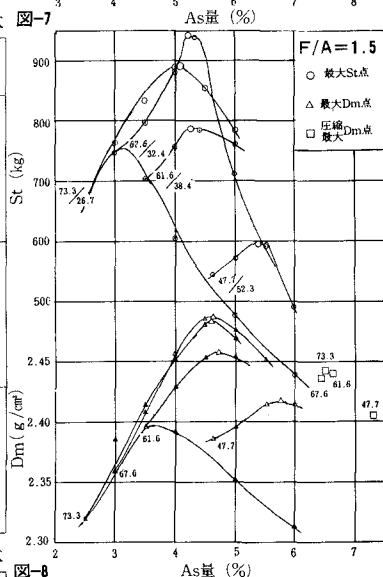


表-5 F/A=2.0密度試験

()は2cm厚供試体

G/S	0 100	47.75 52.25	53.02 46.98	59.59 40.41	65.93 34.07
g/cm ³	2.322	2.455	2.455	2.482	2.480
最大Dm	(2.305)	(2.405)	(2.445)	(2.448)	(2.460)
%	7.70	5.35	4.90	4.60	4.25
As量	(9.67)	(6.91)	(6.25)	(6.14)	(5.85)
%	21.30	14.45	14.10	—	12.40
最小Vma	(23.65)	(17.60)	(15.55)	(15.30)	(14.90)
%	7.54	5.10	4.58	—	4.25
As量	(9.52)	(6.14)	(6.14)	(6.23)	(5.48)
最大Dm点	3.90	2.10	2.80	1.50	1.80
%	(1.70)	(1.45)	(1.50)	(0.85)	(0.85)
Vv, Vfa	81.0	86.0	82.5	87.5	84.0
	(93.0)	(92.0)	(90.0)	(93.5)	(94.5)

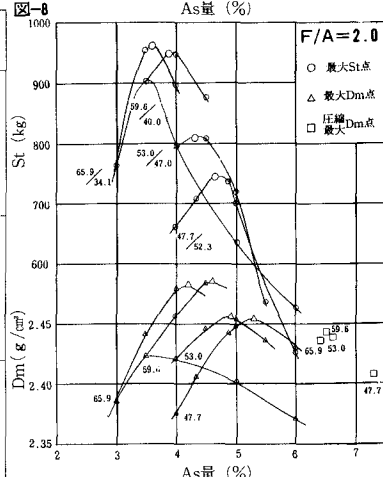


図-9 アスモルを結合材とするアスコン

5. 試験結果と考察

(1) 粗骨材量と差A s量について

本研究の目的の一つは、FB法におけるアスコン供試体作製の簡易化にある。すでに図に示したように、アスコンの最大S tを示すA s量における換算アスモルと実測アスモルとに差A s量が生じた。F/Aの違いでは、F/Aが増加すると、S tの場合には、差A s量の差は減少する。F/A=1.0 1.5の図から明らかなように、S t、Vma、Dmの順に差A s量の差は増大する。このことは、Dmの場合、アスモルにG量を増すことで、割合速く、限界に到達することを意味する。このことから、最大S t、Dm点のA s量に差が生じるのは、限界に到達が速いか遅いかの違いであり、Dmが限界に達してもなおS tの強度は増加している、ということである。Vmaの場合も、S tに次いで限界に到達するのが遅い。なお、F/A=0.5では、データ不足のため、予測した点も加えてあり、F/A=2.5もデータが不足している。しかし、F/A=1.5は割合データ数も多く、測定点がまとまっているが、F/A=1.0、2.0の場合は、バラついている。いずれも、アスモルの質、すなわち、アスモル中の細砂(297~149 μ m)に大きく影響されているのは確かで、粘着抵抗による骨材把握のバランスにあるものと考えられる。なお、細砂(149~74 μ m)の場合には、F/AのFに近いが、これと同様に働くことが予想される。

(2) アスモルを結合材とするアスコンの配合について

今回の試験は、アスモルの比を一定に、G量を変えた実験である。即ち、A s量2.5~7.0%の範囲で、A s量を増加させG/S一定の場合と、G/SのG量を増大させた違いによる試験である。アスモルの粒度においては、細砂50.2%と比較的多い。このため、差A s量は小さく、割となだらかな曲線となっている。F/A=1.5では、G量67.6%で限界で、これ以上G量を増しても強度は減少、Dmでも限界に近づいている。F/A=2.0では、G量56.9%で限界に達する。G/SでG量の増大の場合の最大S t、Dmは、F/Aの増加でS tは増大するが、F/A=2.0ではA s量は増す。DmはF/A=1.0と1.5はほぼ一致しているがF/A=2.0で増加し、A s量は減る。いずれも、対数曲線状の曲線を描きS t、Dmは増大すると言える。

(3) F/A=1.5における粗骨材量とアスモルの

質によるマーシャル試験結果の比較

F/A=1.5における、G/Sの増加とアスモルの質の違いによるマーシャル試験結果を図-10に示した。アスモル中の砂の割合は、2.5~0.6mm、0.6~0.3mm

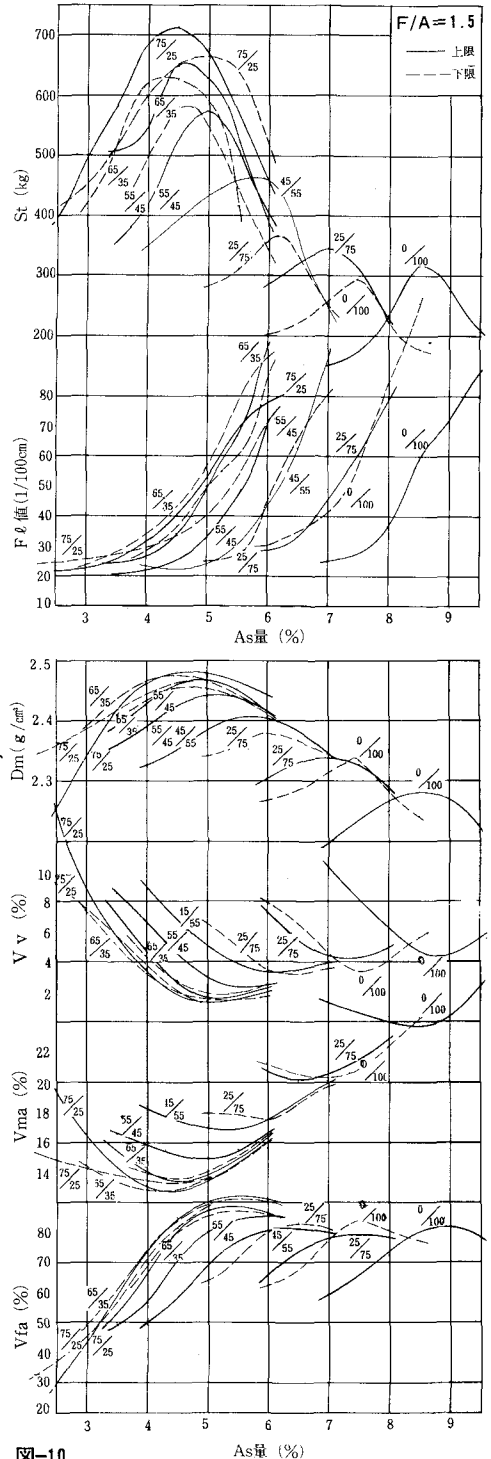


図-10

G/Sとアスモルの質に関するマーシャル試験結果

0.3～0.15mmふるい分で、配合比25:21:54を上限粒度、配合比55:24:21を下限粒度とし、上限は実線で、下限は破線によって図示した。図から、アスモルは、上限が下限より S_t が大きく、 D_m は小さい。最大 S_t 点における F_l 値から分るように、上限が下限より F_l 値が大きいところから、粘着力が大きいものと考えられる。上限は $G/S=0/100\sim75/25$ まで、下限に比べ A_s 量範囲は広く、なだらかな曲線を描くが、下限は割と急である。 G/S の増加で、 S_t 、 D_m は増大し、 F_l 値、 V_v 、 V_{ma} は減少する。 V_{fa} は一度は減少するがまた増大するようである。上限、下限いずれも G/S の増大で、 D_m が大であれば、 S_t も大となることが言える。 D_m が増大すると V_v は減少する。 S_t 、 D_m 、 V_{ma} 、 F_l 値、 V_v 、 V_{fa} については、締固めは、“骨材は密になればなるほど、さらに密にすることはむずかしい”¹¹⁾とされている、ところからも、同様の状態となっていると考えられる。すなわち、図-10からも分るように、 D_m の $G/S=0/100\sim45/55$ を超えると、間隔が狭まり、下限は上限より速く、すでに $G/S=55/45$ で極限に到達している。

6. まとめ

これまでの、実験結果から、 G/S の増加は、 F/A の増加の場合とマーシャル試験結果において同様の傾向を示すことが分かった。また、 F/A の場合も、 G/S の場合も共にアスモルの質に左右されやすい。とくに、細骨材の粒径で、 $297\sim149\mu m$ ふるい分に影響され、細砂を多く用いたアスモルを結合材とするアスコンは良質の混合物が得られやすく、粗骨材量が増大しても割と A_s 量は小さく、補正しやすい。

アスファルトや材質の異なる骨材を用いる場合には、その骨材の粒径、粒度、粒形、表面組織により補正も必要となる。吸収 A_s 量、アスファルト膜厚、骨材表面積などと共に、 F/A の質も考える必要があると思われるため、今後、検討したい。本研究での試験方法とデータがなんらかの参考になれば幸いである。

〈参考文献・図書〉

- (1) 日本道路協会：「アスファルト舗装要綱」
- (2) 末岡伯従：カラー舗装の適用と配合試験方法、土木学会北海道支部論文報告集、第47号、
P737～742、1991
- (3) 北海道開発局：「道路・河川工事仕様書」
- (4) 末岡伯従：FB法における微細粒径、混合温度がマーシャル試験結果に及ぼす影響、土木学会
第45回年次学術講演概要集、V-40、P106～107、1990
- (5) 松尾徹郎：北海道における表層の最近の傾向、道路、1970-7
- (6) 阿部頼政・南雲貞夫共著：土木学会編「新体系土木工学」27 歴青系材料、技報堂、1981
- (7) 青木靖三著：「ガリレイの道」-近代科学の源流-、平凡社選書68、1980
- (8) 末岡伯従：加熱アスファルト混合物におけるマーシャル安定度試験結果の比較、土木学会北海道支
部論文報告集、第46号、P615～620、1990
- (9) 久保 宏：スパイクタイヤ使用規制後の寒冷地舗装、土木学会第46回年次学術講演概要集、
V-3、P22～23、1991
- (10) 南雲・他著：道路建設講座12「道路舗装に関する試験法」、山海堂、昭和50年
- (11) 久野悟郎著：「土の締固め」主として道路土工に関連して、技報堂全書、昭和43年

〈参考データ〉

昭和53年度卒業研究「密粒度アスファルトコンクリートの配合設計方法に関する実験的研究」