

最適アスファルト量に関する一考察 (その2)

渡 辺 隆・阿 部 頼 政

1. 序 論

アスファルト混合物において、骨材を被覆するアスファルト膜の適当な厚さについては色々と研究されている^{1), 2)}。しかしアスファルト薄膜の性質変化、すなわち骨材を被覆した場合のアスファルトはアスファルト単体としての性質とは異なってくるのが当然考えられるが、この点に関しては前報告³⁾で述べた通り最近になって2, 3の研究があるが、一般的にはあまり考慮を払われていない。このような薄膜に関しては機械工学の分野で軸受の摩擦、潤滑理論として詳しく研究されている⁴⁾。それによれば潤滑油の厚さが薄くなり、 10^{-3} mm程度のオーダーになると急に粘度の高い壁に突きあたったかのような抵抗を受けるが、これは潤滑油が表面力、その他の複雑な原因のもとにゲル化、個化したためであろうと言われている。われわれはアスファルト混合物においてもフィラー、砂の表面力等のため、アスファルトがかなり固体化しているものではないかと考えた。そして前報告³⁾におけるフィラーの最適アスファルト量が固体化していると考えれば、アスファルトにフィラーを加えたときの流動特性が合理的に説明できることを示した⁵⁾。すなわち前報告の仮定における α 、 β はそれぞれフィラーおよびある粒度範囲での砂に付着した固体的アスファルト量を示す定数と考えることができるわけである。

われわれの仮定は次のようなものである。

「アスファルト混合物の各骨材（フィラー、砂）にはそれぞれ最適アスファルト量があり、その代数和として混合物全体の最適アスファルト量が決まる」

この場合の最適アスファルト量とは1軸圧縮強度を最大にするアスファルト量を意味しており、これを式で示すと次のようにあらわせる。

$$(V_A)_m = \alpha V_F + \beta V_S \dots\dots\dots (1)$$

$(V_A)_m$ ：混合物の最適アスファルト量（体積）

V_F ：フィラー量（体積）

V_S ：砂量（体積）

α ：フィラーの種類によって決まる定数

β ：砂の種類によって決まる定数

前報告³⁾においてはフィラー（炭酸カルシウム）、砂（0.15mm～0.3mm）に対してこの仮定の成立することを実験的に証明した。今回は2種類のフィラー（炭酸カルシウム、消石灰）を組み合わせたときにも、混合物の最適アスファルト量が各々のフィラーの最適アスファルト量の代数和の形であらわされることを示す。さらに粒径の異なった砂5種類のそれぞれと炭酸カルシウムの混合物をつくり、1軸圧縮強度を調べた結果、砂の粒径がある程度以上大きくなって、また配合中の砂の割合が増大すると、この仮定が成立しなくなる部分のあることが判明した。前報告で述べた仮定の適用範囲を明確に示すために以下に報告するものである。

2. 実験方法

(1) 材 料

供試体作製に使用した材料はアスファルト1種類、フィラー2種類、砂5種類で、各々の性質を表-1に示す。

表-1 使用した試料の性質

アスファルト		骨 材		
項 目	性 質	試 料 名	比 重	備 考
種 類	日石製ストレートアスファルト	F ₁ 炭酸カルシウム	2.63	青倉石灰製 奥多摩化学製
比 重	1.026	F ₂ 消 石 灰	2.32	
針 入 度	94 (25℃, 100g)	砂 A : 0.15mm ~ 0.3mm	2.67	各々の粒径にフル イ分けした川砂
伸 度	150以上 (25℃)	砂 B : 0.3 ~ 0.6	2.66	
軟 化 点	44℃	砂 C : 0.6 ~ 1.2	2.64	
粘 度	5.0×10^3 ポアーズ (25℃)	碎石 D : 2.5 ~ 5	2.61	碎 石
		碎石 E : 5 ~ 10	2.77	

(2) 供試体の作製

あらかじめ160℃前後にあたためておいた骨材とアスファルトを鉄鍋に入れ、ガスで保温しながらかきまぜる。アスファルトが骨材表面にはほぼ均等に分配されたと思われるところでマーシャル用モールドに入れ、その空気中

に放冷する。試料内部の温度が120℃になったところで、表裏各50回、マーシャル用突固め機で突き固め、冷えてからモールドより抜きとる。

(3) 供試体の養生

寸法と重量をはかった後、供試体は20℃の恒温室に24時間放置する。

(4) 養生のすんだ供試体を使ってアムスラー試験機で1軸圧縮強度を測定する。このときの変形速度は0.05 mm/secである。

前報告と実験条件が若干異なっているのでその相異を表にして示す(表-2)。方法を変更したのはこれまでの方法では非常に手間のかかるため、今回は簡単にしたものである。

表-2 実験条件の相異

実験条件	前 回	今 回
供試体高さ	12cm	6.35cm
突固め回数	表裏各 100回	表裏各 50回
試験温度	30℃	20℃
載荷方法	応力制御	歪制御
載荷速度	7.6×10^{-2} kg/cm ² /sec	0.05mm/sec

3. 2種類のフィラーの混合物

まず[炭酸カルシウム, アスファルト], [消石灰, アスファルト]の混合物をつくり、さらに炭酸カルシウムと消石灰の配合割合を種々に変えて[炭酸カルシウム, 消石灰, アスファルト]の混合物をつくり、1軸圧縮強度を調べた。その結果を図-1に示す。

各混合物の体積を図-2のようにすれば炭酸カルシウム, 消石灰それぞれの最適アスファルト量を示すアスファルト係数 α_1, α_2 は次のようにあらわせる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \left(\frac{V_{A1}}{V_{F1}} \right) \sigma = \max = 0.38 \\ \alpha_2 &= \left(\frac{V_{A2}}{V_{F2}} \right) \sigma = \max = 1.07 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

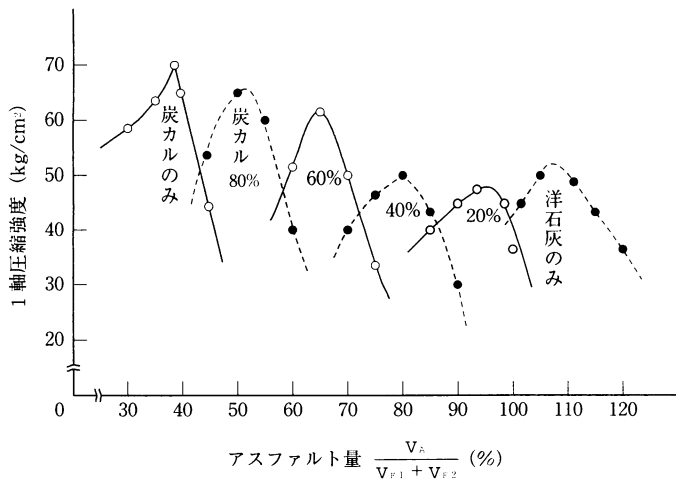


図-1 フィラー配合率による1軸圧縮強度

アスファルト	V_{A1}	アスファルト	V_{A1}
炭酸カルシウム	V_{F1}	消石灰	V_{F2}

アスファルト	$(V_A)_m$
炭酸カルシウム	V_{F1}
消石灰	V_{F2}

図-2 各混合物の体積

実験条件がかなり変わっているにもかかわらず、 α_1 は前報告の結果とほとんど差がない。

もしわれわれの仮定が成立すればこれらの混合物の最適アスファルト量 $(V_A)_m$ は次の式によって計算される。

$$(V_A)_m = 0.38 V_{F1} + 1.07 V_{F2} \dots\dots\dots (3)$$

これは混合物の最適アスファルト量(体積)がそれぞれの骨材量(体積)に定数をかけ、その代数和として計算できることを示している。

各々の骨材配合に対し式(3)による計算値と実験結果の強度最大点におけるアスファルト量を骨材量に対する比で表-3に比較した。表からあきらかなように実験値と計算値はほとんど一致している。従って2種類のフィラー(炭酸カルシウム, 消石灰)に対してはわれわれの仮定は成立することが証明された。この関係を横軸にフィラー配合率, 縦軸に最適アスファルト量をとって示すと図-3のように直線としてあらわされる。

表-3 実験値と計算値の比較

フィラー配合率 $\frac{V_{F2}}{V_{F1} + V_{F2}}$ (%)	最適アスファルト量 計算値 $\frac{(V_A)_m}{V_{F1} + V_{F2}}$ (%)	最適アスファルト量 実験値 $\frac{(V_A)_m}{V_{F1} + V_{F2}}$ (%)
20	51.8	52.0
40	65.6	65.0
60	79.4	80.0
80	93.3	95.5

4. フィラーと種々の砂の混合物

砂とフィラー(炭酸カルシウム)の配合割合を種々にかえ、粒径の異なる3種類の砂および碎石それぞれについてアスファルト量による1軸圧縮強度の変化を調べ、各々の骨材配合において強度が最大になるアスファルト量を最適アスファルト量として表-4に示した。この結果を図-4のように横軸に骨材配合率, 縦軸に最適アスファルト量をとって、各骨材ごとに示すと途中から折れまがる二つの直線になる。最適アスファルト量はフィラー量の多い部分では各骨材ごとにフィラーの最適アスファルト量から出発する左さがりの直線で示されるが、フィラー量が40%以下(砂量が

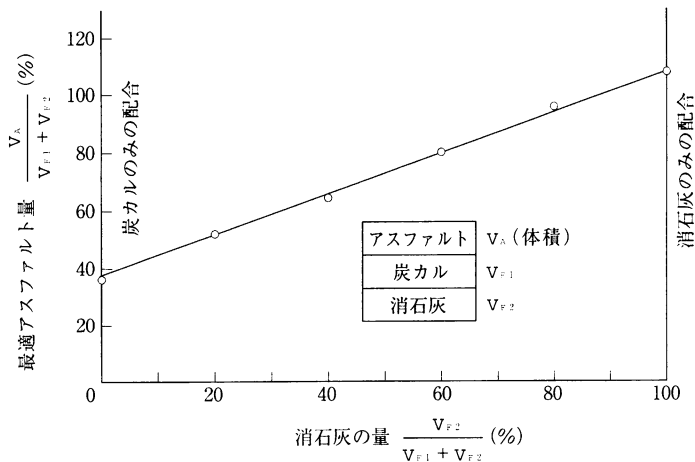


図-3 フィラー配合率と最適アスファルト量の関係
(炭酸カルシウム：消石灰)

表-4 骨材配合と最適アスファルト量

骨材の種類	骨材(フィラー)配合	最適アスファルト量	1軸圧縮強度 σ_m kg/cm ²
	$\frac{V_F}{V_F + V_S}$ (%)	$\frac{(V_A)_m}{V_F + V_S}$ (%)	
砂 A 0.15~0.3mm	10	21.0	30.9
	30	23.5	48.0
	50	27.5	62.0
	65	30.0	70.9
	80	34.0	69.6
砂 B 0.3~0.6mm	0	15.0	17.0
	10	17.0	34.5
	20	19.0	42.0
	40	23.0	65.6
	80	33.0	41.2
砂 C 0.6~1.2mm	10	19.0	21.0
	10	19.0	38.6
	40	21.5	55.0
	60	27.0	58.5
	80	32.5	80.0
碎石 D 2.5~5.0mm	0	15.0	17.0
	20	13.5	45.0
	40	15.0	71.5
	60	23.0	39.0
	80	31.0	61.0
碎石 E 5.0~10mm	15	13.0	42.1
	30	15.0	59.5
	51.4	18.5	89.0
	80	30.0	72.7

60%以上)になるとこの直線からずれてくる。そして粒径の大きいものほど直線からずれる点がフィラー量の多い方に移ると一般的に言えるであろう。この関係を詳しく考察するために粒径0.6mm~1.2mmの砂を例にとり図-5に書き改めた。

図の α はフィラーの最適アスファルト量、 β は直線を延長して縦軸にぶつかった点、 β' は実験で得られた値、 $K-K$ は最適アスファルト量が直線性を示さなくなる限界の骨材配合率である。いま $K-K$ の右側の領域を K_R 、

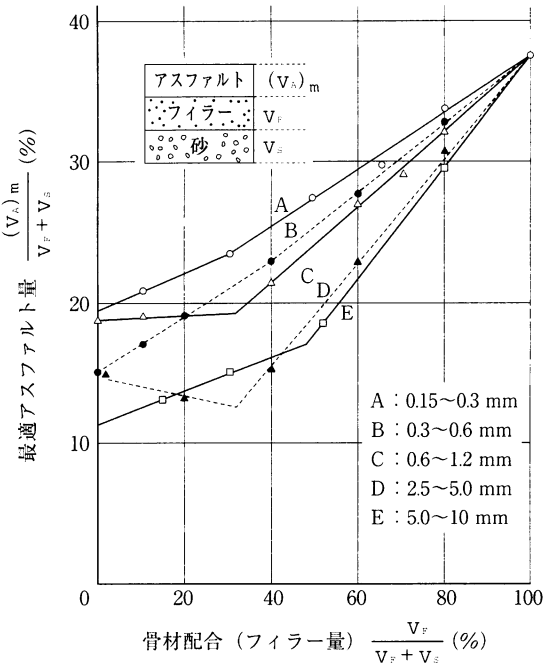


図-4 骨材配合と最適アスファルト量の関係

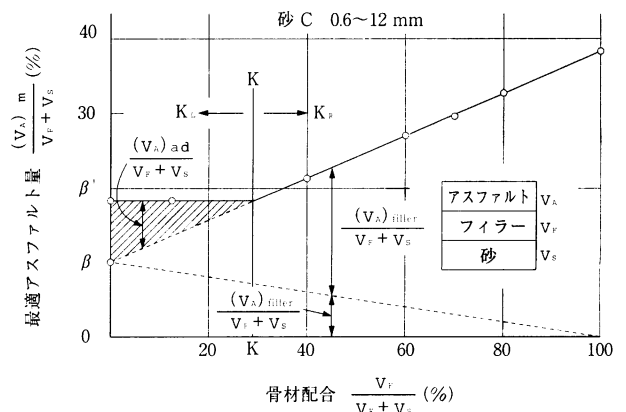


図-5 砂Cの場合の最適アスファルト量

左側の領域を K_L とすると、 K_R 領域ではこれまでの考察と同じく

$$(V_A)_m = \alpha V_F + \beta V_S$$

なる関係が成立している ($\alpha = 0.38$, $\beta = 0.10$)。

そしてフィラーに吸着され固体化したアスファルト量を $(V_A)_{filler}$ 、砂に分配されるアスファルト量を $(V_A)_{sand}$ とすれば、混合物の最適アスファルト量 $(V_A)_m$ は次のように示されている。

$$(V_A)_m = (V_A)_{filler} + (V_A)_{sand} \dots \dots \dots (4)$$

しかし K_L 領域ではこの関係が成立せず、さらに余分のアスファルト量 $(V_A)_{ad}$ を必要とする。

$$(V_A)_m = (V_A)_{filler} + (V_A)_{sand} + (V_A)_{ad} \dots \dots (5)$$

5. 各骨材のアスファルト被膜厚

K_R 領域におけるフィラーと各砂、碎石のアスファルト被膜厚および K_L 領域の左端(砂あるいは碎石のみの

表-5 各骨材のアスファルト被膜厚

骨材、フィラーの種類	平均粒径	α, β	K_R における膜厚	β'	K_L 左端の膜厚
炭酸カルシウム	0.037mm	$\alpha = 0.38$	2.4×10^{-3} mm		$\times 10^{-3}$ mm
砂 A : 0.15 ~ 0.3mm	0.225	$\beta = 0.17$	6.4	0.19	7.1
砂 B : 0.3 ~ 0.6	0.45	0.13	9.7	0.15	11
砂 C : 0.6 ~ 1.2	0.90	0.10	15.0	0.18	27
碎石 D : 2.5 ~ 5.0	3.75	≈ 0	≈ 0	0.12	75
碎石 E : 5.0 ~ 10	7.50	≈ 0	≈ 0	0.15	190

配合)における膜厚を粒子を球と仮定して概算した(表-5)。表において2.5mm~5.0mm, 5.0mm~10mmの各碎石の膜厚が0になっているが、これは最適膜厚が現実的に0というのではなく、フィラーに付着しているアスファルトに比べ、碎石に付着している固体的アスファルトが非常に少量なので実験値にあらわれなかったものである。表からあきらかなように直線関係の成立する K_R 領域の膜厚はほぼ 10^{-3} mmのオーダーである。従ってこれは固体的アスファルト膜と考えてよいであろう。 K_L の左端における膜厚で K_R 領域の膜厚と同程度のものは砂A, 砂Bである。

この2種類の砂について図-4をみると K_L 領域でも直線からさほど折れまがっていないことがわかる。すなわちまだ固体膜の性質がかなり残っていると考えられる。他の砂, 碎石に関しては膜厚が非常に大きくなっており、これはもはや固体膜とは考えられない。何らかの原因により固体膜以上のアスファルト量を必要としているのである。

6. 骨組みの変化

図-4において直線の折れまがる限界点は測定値が少ないのははっきりしたことは言えないが、フィラー量が30~50%の付近である。われわれは直線性の失われる原因を混合物の骨格がフィラーから砂にかわるためではないかと考え、骨組みの構造を調べた。 K_L 領域すなわち碎石量の多い範囲での混合物の骨組みは砂, 碎石によって作られている(図-6・A)。この砂, 碎石の間にフィラーが入りこみ、フィラーの中に砂, 碎石が浮いている状態(図-6・B)に移行する限界のフィラー量を概算して求め、その結果を表-6に示した。骨格の主体が

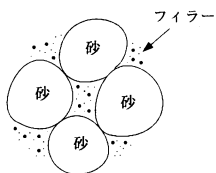


図-6・A

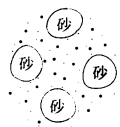


図-6・B

表-6 骨組みの変化する点

砂, 碎石の種類	骨材配合	$\frac{V_f}{V_f + V_s}$ (%)
砂 A : 0.15 ~ 0.3 ^{mm}		49.8 (%)
砂 B : 0.3 ~ 0.6		49.8
砂 C : 0.6 ~ 1.2		46.6
碎石 D : 2.5 ~ 5.0		44.7
碎石 E : 5.0 ~ 10		42.9

わるところも40~50%であり、直線性のなくなる点とほぼ一致する。も

ちろん上表の配合で突然骨格が変わるのではなく、部分的に少しずつ変わっていくであろうが、直線性の失われるのはこの骨格構造の変化によるものと思われる。しかし砂, 碎石が多くなると何故アスファルトを多量に必要とするのかはまだ判明せず、現在研究中である。

7. 結論

(1) 2種類のフィラーとアスファルトの混合物の1軸圧縮強度を最大にする意味での最適アスファルト量は各フィラーの最適アスファルト量の代数和として求めることができる。

(2) [砂, フィラー, アスファルト]混合物において、砂の粒径が小さい場合、あるいは砂の量の少ないところでは前報告の仮定が成立するが、砂の粒径が大きくなり、砂の量が多くなるとこの仮定は成立しなくなり、仮定したよりも多量のアスファルトを必要とする。その原因は骨組みの主体がフィラーから砂に移るためと考えられるが、砂が主体の場合何故成立しなくなるかは現在のところまだあきらかにできない。

× × ×

終わりにのぞみ卒業研究として実験, 解析に努力された東工大44年卒の五十嵐勇, 友田莞二, 蓮見一英, 45年卒の中野謙, 松下寿雄, 横山伸明, 東大44年卒の山県敬一, 大町達夫の諸氏のご協力に心から感謝する次第である。

参考文献

- 1) W.H. Campen他 "The relationships between voids, surface area, film thickness and stability in bituminous paving mixtures" Proceeding of A.A.P.T. 1959
- 2) C. Mack "Deformation mechanism and bearing strength of bituminous strength" H.R.B 1954
- 3) 渡辺隆・阿部頼政「最適アスファルト量に関する一考察」道路1968年12月号
- 4) 曾田範宗「摩擦と潤滑」岩波全書
- 5) 渡辺隆・阿部頼政「アスファルト薄膜の特異性」第9回日本道路会議論文集

(渡辺 隆 : 東京工大教授・工博)
(阿部頼政 : 東京工大助手・工博)