

# 最適アスファルト量に関する一考察

渡辺 隆・阿部 頼政

## 要 旨

アスファルト混合物（アスファルト、フィラー、砂）の最適アスファルト量に関し、われわれは次のような仮定をたてた。

「アスファルト混合物では各構成要素（フィラー、砂）それぞれに最適アスファルト量があり、構成要素の各々に最適アスファルト量が供給されたとき、混合物も最大の安定度を得る」

この仮定を式で示すと次のようになる。

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

$(V_A)_m$ ：混合物の最適アスファルト量（体積）

$V_F$ ：フィラー量（体積）（炭酸カルシウムで78～90%が0.075mm以下）

$V_S$ ：砂量（体積）（0.15～0.3mmの粒径のフルイ分け試料）

$\alpha$ ：フィラーの種類によって決まる定数

$\beta$ ：砂の種類によって決まる定数

われわれはまず1軸圧縮試験を行ない、安定度として圧縮強度 $\sigma_m$ をとり、この仮定を実験的に調べた。その結果実験値は非常によい精度でこの仮定に適合することが確認でき、 $\alpha = 0.381$ 、 $\beta = 0.147$ を得た。

さらにマーシャル安定度試験を行ない、マーシャル安定度においても1軸圧縮試験から求められた。

$$(V_A)_m = 0.381 V_F + 0.147 V_S$$

なる式が成立することを確認できた。また両者の試験温度が異なることから、この式は温度によらず成立する可能性があるという推測ができた。

## 1. 概 説

アスファルト混合物における最適アスファルト量の決め方は混合物の良否を左右する重要な問題の一つである。わが国の舗装要綱では所定の骨材配合に対し、マーシャル安定度試験を行ない、その安定度、密度、フロー値等を求めて、実験的に最適アスファルト量を決定するよう指示されている。すなわち骨材の配合とアスファルト量は無関係で、実験により最適量を見出すという原則

にたっている。しかし経済的には最適なアスファルト量は大体決まっておき、このアスファルト量付近で実験を行なっている。これは事実上骨材配合が決まればアスファルト量も大体決まることを意味しており、これらの関係が見出されれば最適アスファルト量決定に非常に便利なのが予想できる。過去には経験的なアスファルト量決定の方法がいくつか提案されている。代表的なものとしては表面積説と空隙説とがある。

アスファルト量と種々の力学的性質の間関係についてはこれまでも多くの基礎的研究が報告されている。LeeとRigden<sup>1)</sup>はフィラーのdry compactionを行ない、このときの空隙とフィラー・タール混合物の最大引張強度の間にある関係を見出した。すなわち混合物の強度が最大になるのはフィラーのdry compactionにおける空隙をタールが完全に満たすときであると実験的に証明している。また、Heukelom<sup>2)</sup>はこの結果を利用して次のよ

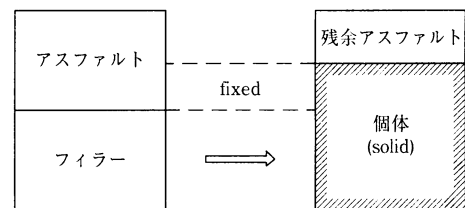


図-1 Heukelomの考え方

うな報告をしている。アスファルト混合物ではまずフィラーとアスファルトが一定の割合で結合され、固体(Solid)を作り、残りアスファルトが骨材のバインダーとして働く。そしてこの固体の体積（フィラーと一定量のアスファルトが加わって固体的な働きをする部分）の全体に対する割合を変数にとると、アスファルト混合物のworkability、マーシャル安定度等がフィラーの種類によらず、一つの曲線上にのり、種々の挙動が明確に説明できることを述べている。

われわれはこの二つの論文を主として参考にし、これらの考え方を発展させ、またわれわれ独自の仮定を設けて、それを実験的に証明することにより新しい配合設計の指針を提案しようとするものである。

アスファルト混合物は図-2のようにアスファルト、

ファイラー、砂、粗骨材からできている。われわれが実験を行なった砂、ファイラーだけの混合物（粗骨材を含まず）の最適アスファルトに関して次のような仮定をした。

アスファルト	$V_s$ (体積)
ファイラー	$V_F$ (体積)
砂	$V_s$ (体積)
粗骨材	$V_s$ (体積)

図-2

アスファルト混合物の組成

「アスファルト混合物の各骨材（砂、ファイラー）には各々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きまる」

これはLeeとRigden, Heukelomのファイラーに対する考え方を砂にまで拡大し、さらにわれわれの研究の中心になる最適アスファルト量に関して仮定を設けたものである。またRigdenは最大引張強度を示す配合から最適アスファルト量を決めたが、われわれは1軸圧縮強度が最大になるときのアスファルト量を最適アスファルト量とした。さらにこれまでは多くの場合アスファルト混合物の配合は重量で考えられていたが、Heukelomの論文、その他<sup>3)</sup>を参考にし、またわれわれの考え方を解析するにあたってはその方が妥当であろうと考え、われわれはすべて体積であらわすことにした。混合物全体の最適アスファルト量が各骨材の最適アスファルト量の代数和としてあらわせるということはアスファルト混合物がコンクリートのような化学的な結合ではなく、単なるよせ集めであることを考えれば、この仮定も成立する可能性があると思われ、またすでに表面積説においても使われている方法である。しかし表面積説はアスファルト量の概略値の推定に利用されている程度で、現在は余り使われていない。われわれは独自に合理的アスファルト量決定方法を検討していたが、表面積説に近い解答が得られたのである。

(アスファルト、ファイラー)混合物で1軸圧縮強度が最大になるときのアスファルト量(体積)を $(V_A)_F$ 、(アスファルト、砂)の場合を $(V_A)_S$ とする。それぞれの骨材容積に対するアスファルト量の比を $\alpha$ 、 $\beta$ とすれば

$$\frac{(V_A)_F}{V_F} = \alpha, \quad \frac{(V_A)_S}{V_S} = \beta \dots\dots\dots(1)$$

さらに全体の混合物で1軸圧縮強度が最大になるときのアスファルト量を $(V_A)_m$ とすればわれわれの仮定は(2)式のようにあらわすことができる。

$$(V_A)_m = \alpha V_F + \beta V_S \dots\dots\dots(2)$$

ここに $\alpha$ 、 $\beta$ は骨材が最適アスファルト量に影響する種々の要素(粒径、吸油性、形状等)をすべて含んだ骨材固有の定義で、アスファルト量を決定するという意味から $\alpha$ 、 $\beta$ をそれぞれファイラーのアスファルト係数、砂

(0.15mm~0.3mm)のアスファルト係数と名づける。 $\alpha$ と $\beta$ は材料固有の定数であるから、後に述べるように実験的にこれを求める。

さて、(2)式が成立することを証明するわけであるが、その証明の方法としては $\alpha$ は(ファイラー、アスファルト)混合物の1軸圧縮試験から実験的に決定し、(アスファルト、ファイラー、砂)混合物の1軸圧縮強度最大になるときの配合から $(V_A)_m$ 、 $V_S$ 、 $V_F$ を求めて $\beta$ を計算し、骨材配合にかかわらず、 $\beta$ が一定になるという証明方法をとることにした。これは砂のみの場合の1軸圧縮強度がアスファルト量に対して鈍感で、明瞭なピークを示さないため、砂のみを使った実験からはっきりした $\beta$ の値が決め難かったからである。

解析の結果われわれの仮定の式は非常によい精度で実験値と一致することが判明し、次の式を得た。

$$(V_A)_m = 0.381 V_F + 0.147 V_S \dots\dots\dots(3)$$

次に前の実験と異なった砂、ファイラーの混合割合に対しての最適アスファルト量を(3)式から計算で求め、そのアスファルト量で混合物が圧縮強度最大になることを実験から確かめた。

さらに今度は同じ材料でマーシャル安定度試験を行ない、マーシャル安定度にも同様の関係が成立することを確認できた。またこのときの温度が1軸圧縮試験の場合と異なることから、(3)式は温度によらず、また試験法によらず成立する可能性があるという予想もついた。

今回は以上の結果の報告であるが、今後粗骨材の入った場合粒度と $\alpha$ 、 $\beta$ の関係等研究を進める予定である。

## 2. 実験方法

### (1) 材 料

供試体作製の材料としてはアスファルト、ファイラー、砂の3種を使用した。各材料の性質は表-1に示す。

表-1 各材料の性質

材 料	比 重	性 質
アスファルト	1.03	日立製ストレートアスファルト (80/100) ○ 針入度 94 (25℃, 100g) ○ 伸 度 150以上 (25℃) ○ 軟化点 44℃ ○ 粘 度 $5.0 \times 10^{-3}$ ポアーズ (25℃)
ファイラー	2.72	200番フルイ78~90%通過するCaCO <sub>3</sub> の粉末
砂	2.67	粒径0.15mm~0.3mmにフルイ分けした川砂

(注)：使用したアスファルト、ファイラー、砂は各1種類である。

### (2) 供試体の作製

- 突固め温度 120℃ (舗装要綱のマーシャル供試体に準じた)
- 突固め回数 表裏100回, 計200回 (マーシャル)

供試体と同じ単位体積あたりの締固めエネルギーを与えるため)

- 供試体の寸法 径 10cm, 高さ 約12cm
- 養生 温度30℃, 48時間空中養生

### (3) 試験方法

1軸圧縮試験を採用した。これはマーシャル試験機の弓形載荷のかわりに厚さ8mm, 直径11cmの円型鉄板を載荷板として, 同試験機を手まわしにより載荷したものである。また載荷方法としては応力制御の方式をとり, その値は大体 $7.6 \times 10^{-2}$  kg/cm<sup>2</sup>/secである。

供試体の変形量と荷重を示すプルーベングリングの変形量の測定は電気式ダイヤルゲージを用いた。これはダイヤルゲージの中に抵抗線が入っていて, 変位に応じて抵抗値が変わるものである。これを動歪測定器に接続し, 更にX-Yレコーダーに接続して荷重-変形曲線を自記させた。

## 3. 実験データによる解析

### (1) $\alpha$ の決定

フィラーとアスファルトの混合物で最大圧縮強度を与える配合があるであろうことは容易に想像できる。

われわれはこの最適アスファルト量(以下強度を最大にするアスファルト量という意味で説明する)を決定するために1軸圧縮試験を行なった。その結果を図-3に示す。

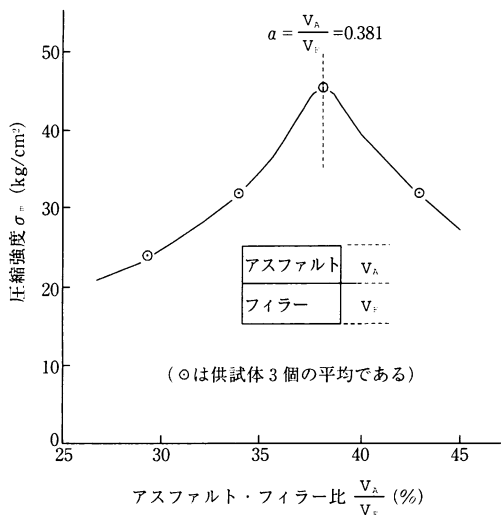


図-3 アスファルト, フィラー混合物の圧縮強度

グラフから明らかなように, 1軸圧縮強度はアスファルト, フィラーの比によって最大があり, これから $\alpha$ が決定できる。

$$\alpha = \frac{(V_A)_f}{V_F} = 0.381 \dots\dots\dots (4)$$

### (2) $\beta$ が一定であることの証明

(2) 式を書きなおすと

$$\beta = \frac{(V_A)_m - \alpha V_F}{V_S} \dots\dots\dots (5)$$

ここで(4)式より $\alpha = 0.381$ ,  $(V_A)_m$ ,  $V_F$ ,  $V_S$ は実験結果の圧縮強度最大になる点の配合から求められるものである。従って実験値から $\beta$ は計算できる。

以上の目的でアスファルト, フィラー, 砂の配合割合を種々に変え, 1軸圧縮試験を行なった。

この実験結果から骨材総量に対するフィラーの割合 $\left(\frac{V_F}{V_F + V_S} \times 100\%\right)$ で骨材配合を表わし, 骨材総量に対するアスファルトの割合 $\left(\frac{V_A}{V_F + V_S} \times 100\%\right)$ でアスファルト量を表わして,  $\sigma_m$ をプロットしたものが図-4である。

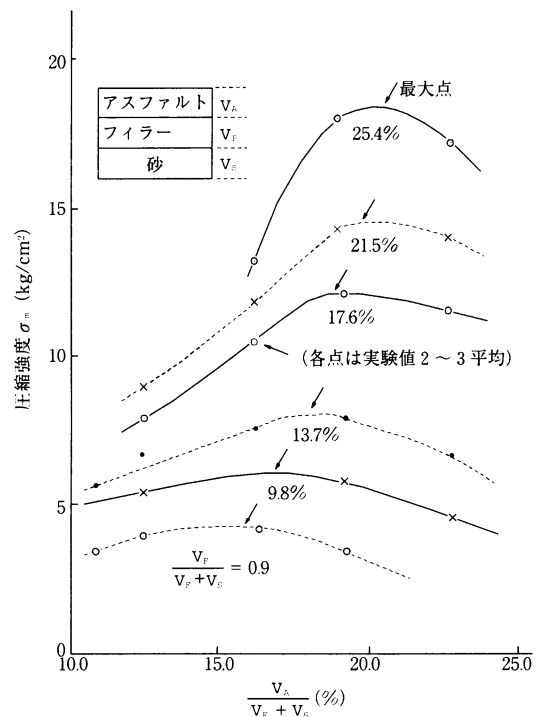


図-4 圧縮強度とアスファルト量の関係

それぞれの点を滑らかな曲線で結び, 最大点を決定した。この $\sigma_m$ 最大点における配合から $\beta$ を計算した値が表-2である。

表-2  $\sigma_m$ 最大のときの $\beta$ の値

骨材配合	アスファルト量	$\beta$
$\frac{V_F}{V_F + V_S} (\times 100\%)$	$\frac{(V_A)_m}{V_F + V_S} (\times 100\%)$	
5.9%	15.8%	0.145
9.8	16.9	0.146
13.7	18.0	0.148
17.6	18.8	0.147
21.5	19.8	0.148
25.4	20.5	0.145
平均		0.147

表-2から明らかなように骨材配合にかかわらず $\beta$ は一定である(誤差2%以下)。したがってわれわれの仮定の(2)式は証明されたことになる。実験値を代入すれば(3)式になる。

この解析で若干問題が残ると思われるのは最大点のとり方である。測定点が少ないため滑らかな曲線で結び、グラフから最大点を決定したのであるが、念のためアスファルトの量とり方を $\frac{V_A}{V_F+V_S}$ (%)にとり、最大点を求めて同様の計算を行なった。その結果はやはり $\beta = 0.147$ となり、前の計算結果と一致した。

以上の結果を分かりやすく立体座標で図-5に示し

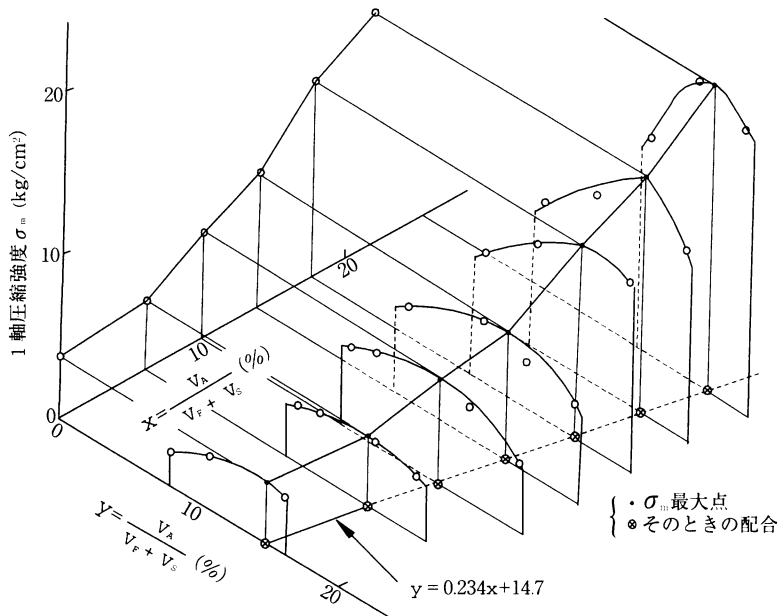


図-5 1軸圧縮強度と配合の関係

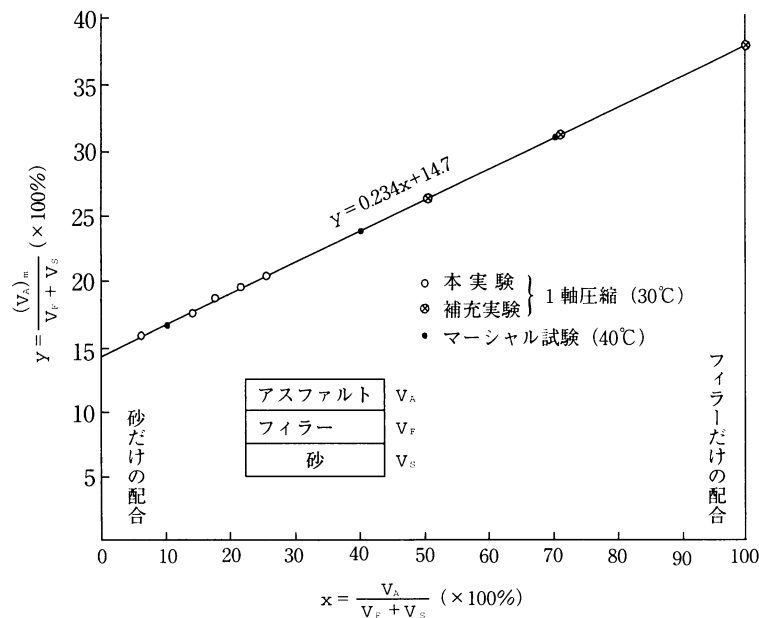


図-6 骨材配合率とアスファルト量の関係

た。

圧縮強度最大点における骨材配合率とアスファルト量の関係をx軸に $\frac{V_F}{V_F+V_S}$ ( $\times 100\%$ ), y軸に $\frac{(V_A)_m}{V_F+V_S}$ ( $\times 100\%$ )をとってプロットすると図-6のようになる。

これらを実験値はほとんど直線(相関係数=0.999)にのり、直線の式を最小自乗法から決定すると(3)式とほとんど一致する。すなわち

$$y = 0.234x + 14.7 \dots\dots\dots (6)$$

となる。

#### 4. 補充実験による仮定の式の確認

これまでの解析によりわれわれの仮定は証明された。しかしふりかえって考えると、われわれが解析に使用したデータは $\frac{V_F}{V_F+V_S}$ が25%以下と100%のものであった。したがって、25%~100%の間にこの式を適用することには若干問題が残る。そこで、 $\frac{V_F}{V_F+V_S} = 49.5\%$ と70.4%で実験を行ない、われわれの仮定に適合するかどうかを調べた。

$$(1) \frac{V_F}{V_F+V_S} = 49.5\% \text{の場合}$$

この骨材配合における最適アスファルト量を(6)式から計算すると

$$\begin{aligned} \frac{(V_A)_m}{V_F+V_S} (\%) &= 0.234 \times 49.5 + 14.7 \\ &= 26.2 (\%) \end{aligned}$$

になるはずである。……………(計算値)

$$(2) \frac{V_F}{V_F+V_S} = 70.4\% \text{の場合}$$

このときの最適アスファルト量を(1)と同様に計算すると

$$\frac{(V_A)_m}{V_F+V_S} (\%) = 31.1\% \dots\dots\dots (計算値)$$

図-7, 8にこれらの実験結果との比較を行なっているが、 $\frac{V_F}{V_F+V_S} = 49.5\%$ の場合に2%程度の誤差が認められたが、70.4%ではほとんど一致している。

以上の考察によりわれわれの仮定は(アスファルト, ファイラー, 砂)における種々の配合に対して適用できることが再確認できた。

#### 5. マーシャル安定度への応用

現在配合設計は主としてマーシャル安定度試験で行なわれていて、1軸圧縮試験は

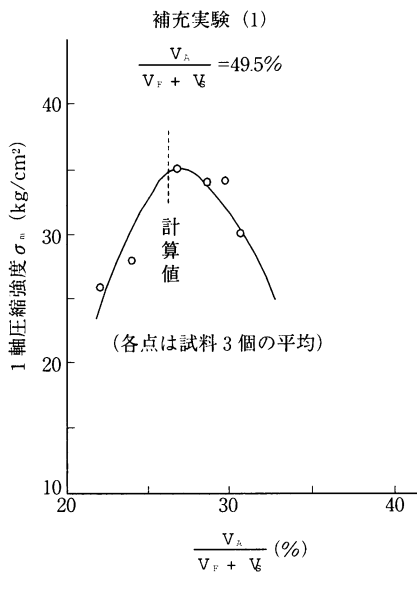


図-7

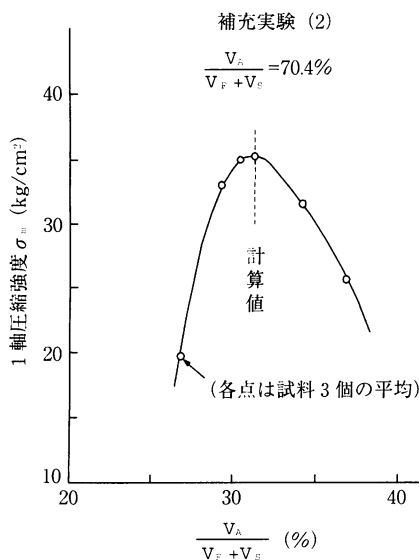


図-8

ほとんど利用されていない。そこでわれわれは(3)式をマーシャル安定度に応用しようと考え、その是非を実験によって検討してみた。

材料は1軸圧縮試験と同じものを使用し、供試体の作製方法、寸法等は舗装要綱<sup>4)</sup>に準じた。

変更した点は養生温度を40℃、空中養生にしたことだけである。この結果を図-9に図示し、滑らかな曲線で結び安定度の最大点におけるアスファルト量(実験値)を求めた。

また(3)式からアスファルト量(理論値)を求め、両者を表-3に比較した。

表-3から明らかなように理論値と実験値は誤差2%以下で一致している。また実験値は図-6の直線上にほとんど載っている。これは1軸圧縮試験から求めた(3)式がマーシャル安定度にも適用できることを示すものである。われわれの行なった1軸圧縮試験は応力制御であり、マーシャル安定度試験は歪制御である。またその載荷速度にも大きな差がある。それにもかかわらず両者の最適アスファルト量が(3)式であらわせるということはこの式が試験法によらず成立することを示しているも

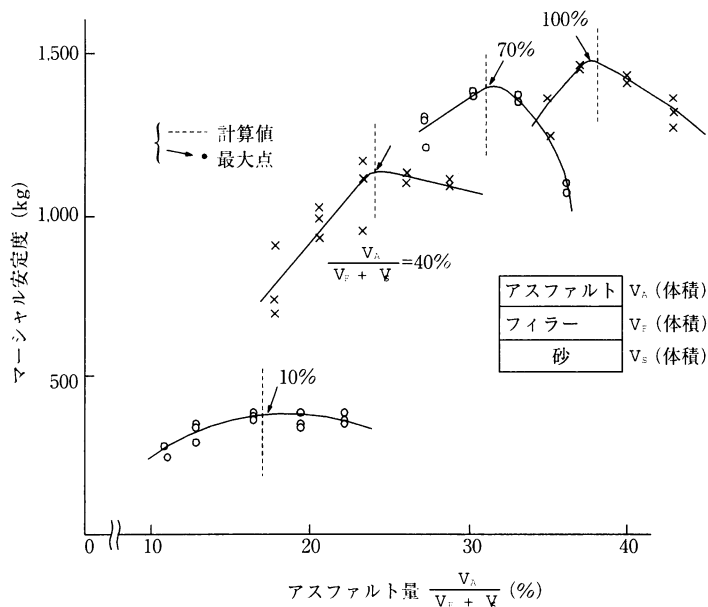


図-9 マーシャル安定度試験の結果

表-3 マーシャル試験における実験値と計算値の比較

骨材配合割合	A	B	両者の比
	計算値	実験値	
$\frac{V_F}{V_F + V_S}$ (%)	$\frac{(V_A)_m}{V_F + V_S}$ (%)	$\frac{(V_A)_m}{V_F + V_S}$ (%)	$\frac{B}{A}$
10%	17.0%	17.3%	1.02
40	24.1	24.1	1.00
70	31.1	31.4	1.01
100	38.1	37.6	0.99

のと思われる。

また1軸圧縮試験の温度は30℃、マーシャル安定度試験の温度は40℃であった。したがって(3)式は温度にもよらず成立する可能性のあることが推測される。

## 6. 結論

アスファルト混合物(アスファルト、フィラー、砂)において、所定の骨材配合に対し1軸圧縮強度、マーシャル安定度を最大にするアスファルト量は次の式によって決定できる。

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

$(V_A)_m$ :  $\sigma_m$ ,  $S_m$ を最大にするアスファルト量(体積)

$V_F$ : フィラー量(体積)

$V_S$ : 砂量(体積)

$\alpha$ : フィラーの種類によって決まる定数(実験値0.381)

$\beta$ : 砂の種類によって決まる定数(実験値0.147)

この式は温度、試験方法等にかかわらず成立するであろうと思われる。

## あとがき

アスファルト、フィラー、砂の混合物について、われ

われの仮定は実験的に証明された。また本文でもふれたように温度、試験法によらず成立する可能性が強い。ただこれを配合設計に利用するには式が成立する理論的な裏づけ等解決すべき問題が数多くある。また今回使用したフィラー、砂に対してはそれぞれ  $\alpha = 0.381$ ,  $\beta = 0.147$  を得たが、この値は粒径が同じでも材料の種類が異なれば吸油性等で当然変わってくるものであり、各種の材料について実験してみなければならぬ。しかしそれにもかかわらず、われわれの考え方は複雑きわまるものとされていたアスファルト混合物の力学的性質の解明に一つの手掛りとなるのではなかろうかと思われる。

終わりにのぞみ卒業研究として実験、解析に努力され

た東京工業大学の飯塚隆久、向畑光章、東京大学の旭勝臣、千葉工大の鈴木是南の諸君のご協力に心から感謝の意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) R.R.L. "Bituminous Materials Road Construction" 1962
- 2) W. Heukelom "The Role of Filler in Bituminous Mixes" . Proc. AAPT 34 (1965)
- 3) B.F. Kallas and V.P. Puzinauskas "A Study of Mineral Fillers in Asphalt Paving Mixtures" . Proc. AAPT 30 (1961)
- 4) 日本道路協会「アスファルト舗装要綱」

( 渡辺 隆：東京工大教授・工博 )  
( 阿部 頼政：東京大学大学院学生 )