

# トペカ合材の配合設計に関する実験について

小山道義\* 高橋毅\*\*  
久保宏\*\*\*

## 1. ま え が き

表層用アスファルト合材の配合を決めるにはいろいろな方法がある。一般にはアスファルト舗装要綱(日本道路協会)に示されている方法によっているが、これは主として合材の品質を決定するのに安定度を一つの目安にするものである。北海道においては、安定度のほかに冬期間自動車がすべり止めにつけているタイヤチェーンに対するスリヘリ抵抗性をあわせ考えなければならない。道路研究室では、いわゆる寒冷地向きの表層用合材をつくるための配合設計方法を確立する目的で、アスファルト合材の安定性やスリヘリ抵抗性などの性状を合材中に占めるフィラー・ピチューメンの質と量との面から検討を加えてきた。

実験の対象には、タイヤチェーンによるスリヘリに対する摩耗層として広く採用されているアスファルトモルタルが表層用合材の基本となるものと考え、まずこれをとり上げることにした。合材試験は、マーシャル試験機による安定度試験と、実際道路におけるタイヤチェーンの剝摩作用を実験室内で再現したラベリング試験機によるスリヘリ試験とを行なって、合材の良否を判定することとした。また、この結果を上長都試験道路やその他の実際現場に施工して検証試験を行ってきた。これについてはすでに報告したとおりである<sup>1),2)</sup>。

この報告は、アスファルトモルタルの実験について、同様の配合決定方法をトペカ合材に拡大適用した場合の2~3の実験例について述べたものである。

## 2. 配合設計方法

北海道においてはトペカ表層に対しても、アスファルトモルタル摩耗層の場合と同様に、冬季タイヤチェーンによるスリヘリに対して抵抗性が大きく、また夏季高温時に安定性の高いものが要求される。現在、道路研究室で使用しているラベリング試験機は、その機構上粗骨材を含む合材のスリヘリ試験には不相当である。また、現在行なっている試験方法では、施工後の自然転圧による圧密化を再現できない。しかし、スリヘリ被害を受けたトペカ表層を観察す

ると、その被害は粗骨材のもろさにも関係するが、その大きな原因は粗骨材間を埋めているモルタル部分に起因していると考えられる。したがって、トペカの配合設計には碎石や砂利などの粗骨材を結合しているアスファルトモルタルが、タイヤチェーンによるスリヘリに対して十分大きな抵抗性を示し、かつ、トペカとして所要の安定度を確保できるように考えればよいはずである。

これまでのアスファルトモルタルの配合設計に関する実験結果から大要次のようなことがわかっている。アスファルトモルタルの安定性やスリヘリ抵抗性は合材中のフィラー・ピチューメンの質( $F/A$ )およびフィラー・ピチューメンの量( $V_m$ )と砂の空隙量( $V_{sv}$ )との比( $V_m/V_{sv}$ )によって支配される。また、 $V_m/V_{sv}$ の増加にともなって安定度が増加していき、スリヘリ量は減少していくが、ある値以上の $V_m/V_{sv}$ になると安定度は低下し、スリヘリ量がほぼ一定値となる。この際得られるマーシャル最大安定度は、もちろん $F/A$ によって変わるが、その最大安定度を示す $V_m/V_{sv}$ の値と、スリヘリ量が固定する点の $V_m/V_{sv}$ の値は等しい。また一般にフィラー( $F$ )とアスファルト( $A$ )との比( $F/A$ )の増加にともなって最大安定度は増加していくが、スリヘリ量については上述の $F/A$ の範囲内で最小となるような $F/A$ の値が存在する。これらの実験結果を基として、道路研究室が現在行なっているトペカの配合設計方法は次のとおりである。

フィラー・ピチューメンを結合材と考えるアスファルトモルタルの配合設計方法に従って、まず与えられたアスファルト、石粉、砂について、スリヘリ抵抗性の大きなアスファルトモルタルの配合比を決定する。ついで、このアスファルトモルタルの量( $V_M$ )と粗骨材の空隙量( $V_{gn}$ )との比( $V_M/V_{gn}$ )を変えてマーシャル安定度試験を行ない、所要条件と照らし合わせて最終的な配合比を決めようとするものである。

使用材料が決定している場合には、アスファルトモルタルの配合は、 $F/A$ および $V_m/V_{sv}$ を決めることにより、アスファルトの重量百分率 $A$ が次式から計算できるので簡単に求められることになる。

\* 第2研究部長 \*\* 道路研究室副室長 \*\*\* 同室主任研究員

$$A(\%) = \frac{\frac{V_m}{V_{sv}} \cdot e_m}{G_s \left( \frac{1}{G_a} + \frac{1}{G_f} \cdot \frac{F}{A} \right) + \left( 1 + \frac{F}{A} \right) \frac{V_m}{V_{sv}} \cdot e_m} \times 100 \quad (1)$$

ここに  $G_a, G_f, G_s$ ; それぞれアスファルト, フィラー, 砂の比重  
 $e_m$ ; 砂の空隙比 (絶対乾燥状態の砂に対して棒突きによる単位体積重量試験を行なって求めたもの)

実際の試験手順では, アスファルト量  $A$  の値はあるアスファルト使用量の範囲でこれを予定し, 0.5% の差で供試材の配合を決定するのが普通である。したがって, この

$$\frac{V_m}{V_{sv}} = \left( \frac{1}{G_a} + \frac{1}{G_f} \cdot \frac{F}{A} \right) G_s \left( \frac{100}{A} - 1 - \frac{F}{A} \right) e_m \quad (2)$$

トベカの配合は, 粗骨材の間を埋めるアスファルトモルタルと碎石の空隙量との比 ( $V_M/V_{qv}$ ) および先に求められたアスファルトモルタルの配合比から, トベカとしてのア

場合には試的な  $F/A$  と  $A$  の値について  $V_m/V_{sv}$  の値を次式から求めて試験結果を整理することになる。

スファルトの重量百分率  $A_t$  が次式で計算できるので求められることになる。

$$A_t(\%) = \frac{\frac{V_m}{V_{sv}} \cdot \frac{V_M}{V_{qv}} \cdot e_m \cdot e_t}{\left( \frac{1}{G_a} + \frac{1}{G_f} \cdot \frac{F}{A} \right) \left\{ G_g \left( 1 + \frac{V_m}{V_{sv}} \cdot e_m \right) + G_s \cdot \frac{V_M}{V_{qv}} \cdot e_t \right\} + \left( 1 + \frac{F}{A} \right) \frac{V_m}{V_{sv}} \cdot \frac{V_M}{V_{qv}} \cdot e_m \cdot e_t} \times 100 \quad (3)$$

または

$$A_t(\%) = \frac{\frac{V_M}{V_{qv}} \cdot e_t}{G_g \left( \frac{1}{G_a} + \frac{1}{G_f} \cdot \frac{F_m}{A_m} + \frac{1}{G_s} \cdot \frac{S_m}{A_m} \right) + \left( 1 + \frac{F_m}{A_m} + \frac{S_m}{A_m} \right) \frac{V_M}{V_{qv}} \cdot e_t} \times 100 \quad (4)$$

ここに  $G_g$ ; 碎石や砂利など粗骨材の比重

$e_t$ ; 粗骨材の空隙比 (絶対乾燥状態の試料に対して棒突きによる単位体積重量試験を行なって求めたもの)

$A_m, F_m, S_m$ ; トベカの中のアスファルトモルタル分の重量配合百分率

アスファルトモルタル分の質が  $F/A$  と  $V_m/V_{sv}$  で与えられるとき (3) 式で, また配合比がわかっていれば (4) 式で計算する。

実際の試験手順では,  $A_t$  の値はあるアスファルト使用

量の範囲でこれを予定し, 0.5% の差で供試材の配合を決定するのが普通である。したがって, この場合には試的な  $A_t$  の値について ( $V_M/V_{qv}$ ) の値を次式から求めて試験結果を整理することになる。

$$\frac{V_M}{V_{qv}} = \frac{G_g \left( \frac{1}{G_a} + \frac{1}{G_f} \cdot \frac{F}{A} \right) \left( 1 + \frac{V_m}{V_{sv}} \cdot e_m \right)}{\left\{ \left( \frac{100}{A_t} - 1 - \frac{F}{A} \right) \frac{V_m}{V_{sv}} \cdot e_m - G_s \left( \frac{1}{G_a} + \frac{1}{G_f} \cdot \frac{F}{A} \right) \right\} e_t} \quad (5)$$

または

$$\frac{V_M}{V_{qv}} = \frac{G_g \left( \frac{1}{G_a} + \frac{1}{G_f} \cdot \frac{F_m}{A_m} + \frac{1}{G_s} \cdot \frac{S_m}{A_m} \right)}{\left( \frac{100}{A_t} - 1 - \frac{F_m}{A_m} - \frac{S_m}{A_m} \right) e_t} \quad (6)$$

### 3. 配合実験

アスファルト合材の性質はその配合ばかりでなく, 使用材料によっても影響をうける。したがって, 本実験では配合比によって合材の性状が左右されるかを究明するために使用材料は一定とした。使用材料の試験性状は表-1~3に示すとおりである。

実験はまず, スリヘリ抵抗性の大きなアスファルトモル

タルの配合比を求めるために,  $F/A=1.24$  (1.0), 1.49 (1.2), 1.87 (1.5) の3種のフィラー・ビチューメンについて, アスファルト使用量が 9.0~13.0% の範囲で 1% きざみとなるようにアスファルトモルタル供試材を作製し, そのおのおのについてスリヘリ抵抗性を, また参考までに安定度を調べた。その結果を表-4および図-1, 2に示す。この実験では, 図-2からわかるように  $F/A=1.87$  (1.5),  $V_m/V_{sv}$  が 1.05 以上のアスファルトモルタルがスリヘリ試験において

表-1

	原油名	比重 (25°C)	針入度 (25°C)	伸 度		引火点 (°C)	蒸発量 (%)	蒸発後の 針入度 (原針入度に 対して%)	軟化点 (°C)
				5°C	10°C				
アスファルト	クエート	1.05	105	28	100以上	255	0.08	90.4	44

表-2

	産 地	比 重	粒 度 (通過重量百分率)			
			0.59 mm	0.297 mm	0.149 mm	0.074 mm
石 粉	鹿 越	2.70	100	100	81	80

表-3

	産 地	比重	吸水率 (%)	単位容積 重量 (t/m <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	粒 度 (通過重量百分率)								
						mm 19.1	9.52	4.76	2.38	1.19	0.59	0.297	0.149	0.074
砂	錦 岡	2.77	0.35	1.78	35.7			100	97	90	69	34	3	0
	銭 函	2.46	2.72	1.41	42.7						100	95	9	0
合成砂	錦 岡 : 7 銭 函 : 3	2.69	2.10	1.68	37.2			100	98	93	79	52	5	0
砕 石	手 稲 町 福 井	2.52	3.17	1.69	32.9	100	54	19	6	0				

表-4

番 号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
設 計 配 合	$F/A^*$	1.24 (1.0)				1.49 (1.2)				1.87 (1.5)				
	$V_m/V_{sv}$	0.83	0.93	1.05	1.18	0.79	0.90	1.04	1.18	0.91	1.05	1.21	1.36	
	重配 合比	アスファルト (%)	10.0	11.0	12.0	13.0	9.0	10.0	11.0	12.0	9.0	10.0	11.0	12.0
		石 粉 (%)	12.4	13.6	14.9	16.1	13.4	14.9	16.4	17.9	16.8	18.7	20.6	22.4
		砂 (%)	77.6	75.4	73.1	70.9	77.6	75.1	72.6	70.1	74.2	71.3	68.4	65.6
理論的 最大密度	(g/cm <sup>3</sup> )	2.33	2.30	2.27	2.24	2.36	2.33	2.30	2.27	2.36	2.32	2.29	2.26	
マ ー シ ャ ル 試 験	供 試 体 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.20	2.20	2.14	2.09	2.16	2.22	2.21	2.16	2.21	2.26	2.21	2.13	
	空 隙 率 (%)	5.6	4.4	5.7	6.7	8.5	4.7	3.9	4.8	6.4	2.6	3.5	5.8	
	安 定 度 (kg)	138	224	118	61	83	276	269	179	216	299	172	—	
	フ ロー 値 (1/100 cm)	36	49	74	142	24	42	56	90	21	49	81	—	
ラ 試 ベ リ ン グ 試 験	供 試 体 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )		2.19	2.14	2.06		2.20	2.18	2.14	2.21	2.21	2.18	2.14	
	空 隙 率 (%)		4.8	5.7	8.0		5.6	5.2	5.7	6.4	4.7	4.8	5.3	
	成 形 荷 重 (t)		20	20	20		20	20	20	20	20	20	20	
	ス リ ヘ リ 量 (cm <sup>2</sup> )		2.56	2.59	2.32		1.96	2.32	2.42	2.44	1.35	1.71	1.33	

\*  $F/A$  の ( ) 内の数字は 74  $\mu$  フレイを通過する石粉を  $F$  としたもの。

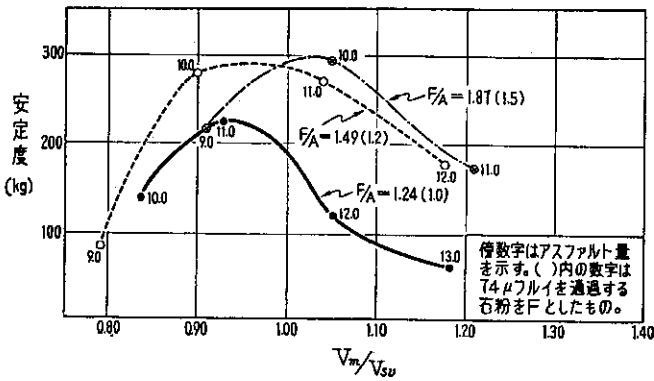


図-1  $V_m/V_{sv}$  と安定度との関係

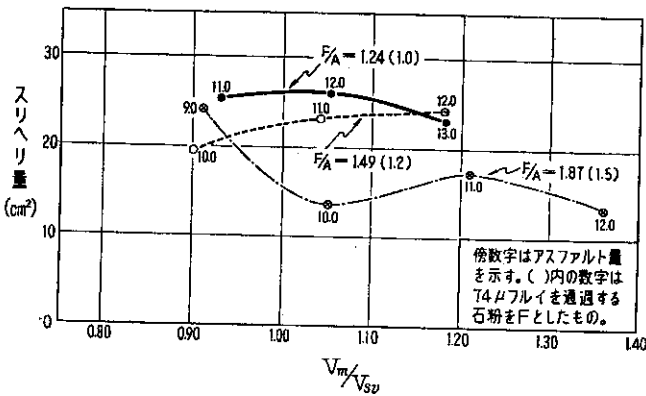


図-2  $V_m/V_{sv}$  とスリヘリ量との関係

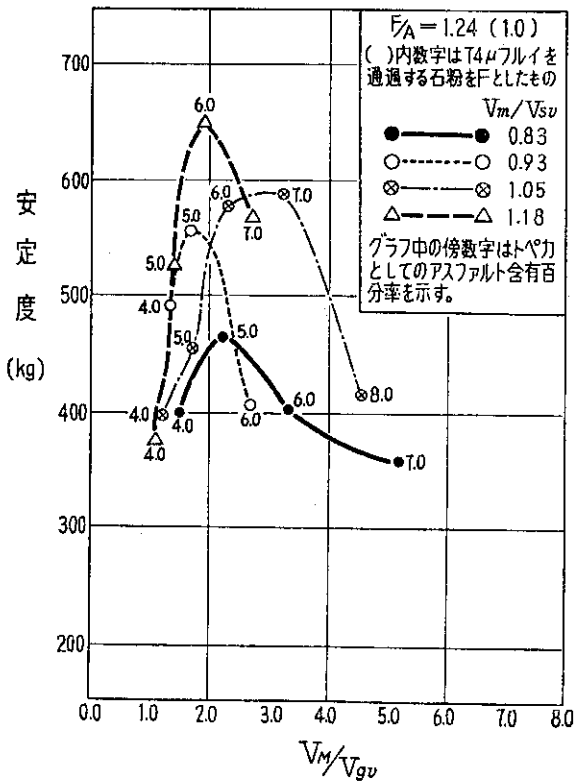


図-3  $V_m/V_{gv}$  と安定度との関係

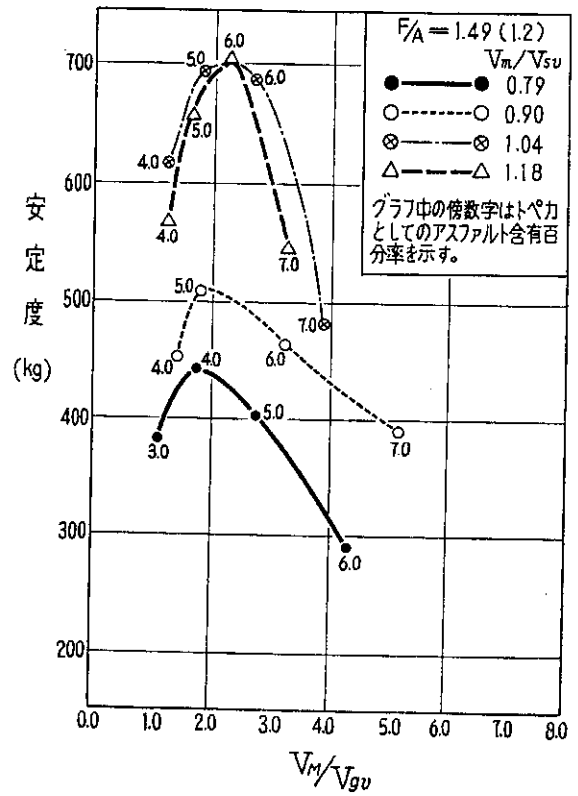


図-4  $V_m/V_{gv}$  と安定度との関係

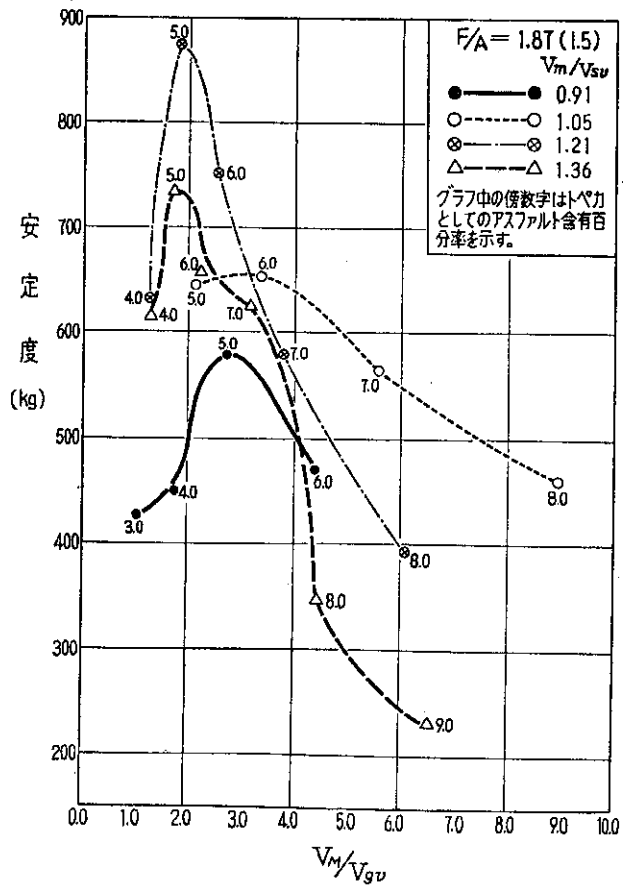


図-5  $V_m/V_{gv}$  と安定度との関係

表-5

番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
ア ス フ ア ル ト モ ル タ ル	$F/A$	1.24 (1.0)																	
	重 配 合 比 量	アスファルト (%)	10.0				11.0				12.0				13.0				
		石 粉 (%)	12.4				13.6				14.9				16.1				
		砂 (%)	77.6				75.4				73.1				70.9				
スリヘリ量 (cm <sup>2</sup> )						2.56				2.59				2.32					
	$V_m/V_{gv}$	0.83				0.93				1.05				1.18					
ト ペ カ	設 計 配 合 比	$V_M/V_{gv}$	1.48	2.21	3.28	5.18	1.29	1.87	2.68	1.14	1.62	2.25	3.18	4.51	1.03	1.44	1.96	2.70	
		重 量 配 合 比	アスファルト (%)	4.0	5.0	6.0	7.0	4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	4.0	5.0	6.0	7.0
			石 粉 (%)	5.0	6.2	7.4	8.7	5.0	6.2	7.4	5.0	6.2	7.4	8.7	9.9	5.0	6.2	7.4	8.7
			砂 (%)	31.2	38.8	46.4	54.4	27.6	34.3	41.1	24.5	30.4	36.4	42.7	48.6	21.9	27.3	32.6	38.3
			砕 石 (%)	59.8	50.0	40.2	29.9	63.4	54.5	45.5	66.5	58.4	50.2	41.6	33.5	69.1	61.5	54.0	46.0
理論的 最大密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.44	2.42	2.40	2.38	2.43	2.41	2.39	2.43	2.41	2.39	2.37	2.34	2.43	2.40	2.38	2.36			
マ ー シ ャ ル 試 験	供試体密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.21	2.25	2.26	2.26	2.28	2.29	2.31	2.24	2.25	2.28	2.29	2.28	2.23	2.27	2.30	2.30		
	空隙率 (%)	9.4	7.0	5.8	5.0	6.2	5.0	3.3	7.8	6.6	4.6	3.4	2.6	8.2	5.4	3.4	2.5		
	安定度 (kg)	400	466	404	360	492	558	406	398	456	578	580	415	377	531	651	568		
	フロー値 (1/100 cm)	21	19	26	22	15	23	23	27	22	35	38	52	30	24	32	45		

表-6

番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
ア ス フ ア ル ト モ ル タ ル	$F/A$	1.49 (1.2)																	
	重 配 合 比 量	アスファルト (%)	9.0				10.0				11.0				12.0				
		石 粉 (%)	13.4				14.9				16.4				17.9				
		砂 (%)	77.6				75.1				72.6				70.1				
スリヘリ量 (cm <sup>2</sup> )						1.96				2.32				2.42					
	$V_m/V_{sv}$	0.79				0.90				1.04				1.18					
ト ペ カ	設 計 配 合 比	$V_M/V_{gv}$	1.10	1.75	2.75	4.33	1.48	1.93	3.29	5.14	1.29	1.86	2.69	3.89	1.14	1.63	2.25	3.16	
		重 量 配 合 比	アスファルト (%)	3.0	4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0	7.0	4.0	5.0	6.0	7.0	4.0	5.0	6.0	7.0
			石 粉 (%)	4.5	6.0	7.5	8.9	6.0	7.5	8.9	10.4	6.0	7.5	8.9	10.4	6.0	7.5	8.9	10.4
			砂 (%)	26.0	34.6	43.3	51.6	30.2	37.7	44.9	52.5	26.5	33.1	39.5	46.1	23.4	29.3	34.9	40.8
			砕 石 (%)	66.5	55.4	44.2	33.5	59.8	49.8	40.2	30.1	63.5	54.4	45.6	36.5	66.6	58.2	50.2	41.8
理論的 最大密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.46	2.45	2.43	2.41	2.44	2.42	2.40	2.38	2.43	2.41	2.39	2.37	2.43	2.41	2.39	2.37			
マ ー シ ャ ル 試 験	供試体密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.23	2.25	2.24	2.24	2.26	2.27	2.29	2.29	2.28	2.29	2.32	2.30	2.29	2.32	2.33	2.32		
	空隙率 (%)	9.3	8.2	7.8	7.1	7.4	6.2	4.6	3.8	6.2	4.9	2.9	3.0	5.8	3.7	2.5	2.1		
	安定度 (kg)	386	444	403	291	456	513	467	394	619	695	688	481	568	658	706	549		
	フロー値 (1/100 cm)	30	23	13	23	34	36	40	37	35	36	36	31	25	36	37	50		

良好な成績を示している。したがって、本配合設計方法の考え方によれば、トベカの配合はこれらのモルタルを用い

て、 $V_M/V_{qv}$  の値を変えた一連の供試合材を作製して、安定度試験を行えばよいことになる。しかし、本実験では参考までに、 $F/A = 1.24 (1.0)$ ,  $1.49 (1.2)$  のフィラー・ピッチューメンのアスファルトモルタルを用いたものについても同様にトベカとして安定度試験を行なって、アスファルトモルタルの性状とトベカの性状との関係について検討してみた。実験の結果は表-5~7, ならびに図-3~8 のとおりである。これについて少し考察を加えてみると次のようである。

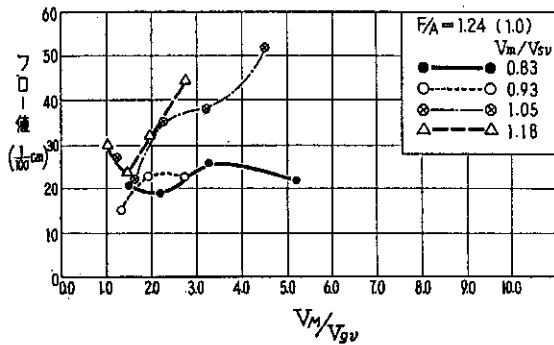


図-6  $V_M/V_{qv}$  とフロー値との関係

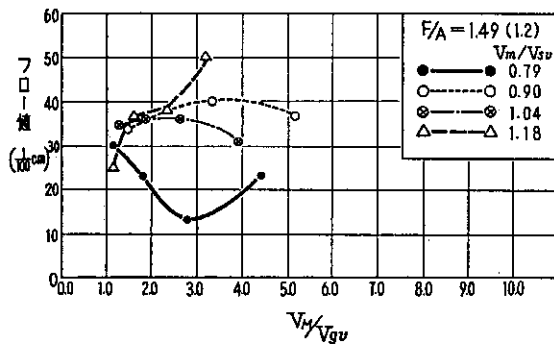


図-7  $V_M/V_{qv}$  とフロー値との関係

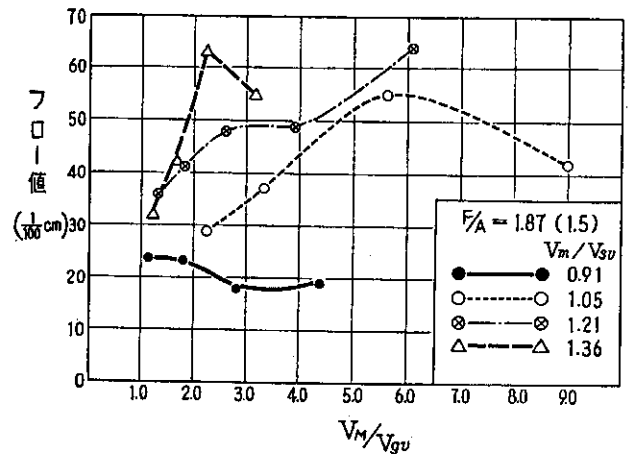


図-8  $V_M/V_{qv}$  とフロー値との関係

表-7

番号	1	2	3	4	5	4	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
ア ス フ ア ル ト モ ル タ ル	$F/A$		1.87 (1.5)																		
	重 量 配 合 比	アスファルト (%)	9.0				10.0				11.0				12.0						
		石 粉 (%)	16.8				18.7				20.6				22.4						
		砂 (%)	74.2				71.3				68.4				65.6						
	スリヘリ量 (cm <sup>2</sup> )	2.44				1.35				1.71				1.33							
	$V_m/V_{sv}$	0.91				1.05				1.21				1.36							
ト ベ カ	$V_M/V_{qv}$		1.09	1.75	2.75	4.36	2.17	3.34	5.55	8.95	1.27	1.79	2.61	3.88	6.04	1.18	1.67	2.21	3.09	4.41	6.54
	重 量 配 合 比	アスファルト (%)	3.0	4.0	5.0	6.0	5.0	6.0	7.0	8.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
		石 粉 (%)	5.6	7.5	9.4	11.2	9.4	11.2	13.1	15.0	7.5	9.4	11.2	13.1	15.0	7.5	9.4	11.2	13.1	15.0	16.8
		砂 (%)	24.7	33.1	41.4	49.5	35.8	42.7	51.9	57.1	24.9	31.2	37.2	43.5	50.1	21.9	27.5	32.8	38.2	43.6	48.2
		砕石 (%)	66.7	55.4	44.2	33.3	49.8	40.1	28.0	19.9	63.6	54.4	45.6	36.4	26.9	66.6	58.1	50.0	41.7	33.4	26.0
		理論的 最大密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.46	2.45	2.43	2.41	2.41	2.40	2.38	2.35	2.43	2.41	2.39	2.37	2.35	2.43	2.40	2.39	2.36	2.34	2.32
マ ー シ ャ ル 試 験	供試体密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.22	2.24	2.28	2.27	2.31	2.33	2.32	2.32	2.25	2.32	2.31	2.31	2.30	2.28	2.32	2.34	2.36	2.31	2.25	
	空隙率 (%)	9.8	8.6	6.2	5.8	4.1	2.9	2.5	1.3	7.4	3.7	3.3	2.5	2.1	6.2	3.3	2.1	1.0	1.3	3.0	
	安定度 (kg)	426	449	581	468	643	656	561	466	632	876	753	579	392	615	736	653	624	345	231	
	フロー値 (1/100cm)	24	23	18	19	29	37	47	42	36	41	48	49	64	32	42	63	55	—	125	

表-8

F/A*	V <sub>m</sub> /V <sub>sv</sub>	V <sub>M</sub> /V <sub>gv</sub>	配 合 (重量比)				理 論 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	マ ー シ ャ ル 試 験				ラベリング試験**		
			アスファルト (%)	石粉 (%)	砂 (%)	碎石 (%)		見掛密度 (g/cm <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	安定度 (kg)	フロー値 (1/100 cm)	見掛密度 (g/cm <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	スリヘリ量 (cm <sup>2</sup> )
1.87 (1.5)	1.05	5.55	7.0	13.1	51.9	28.0	2.38	2.32	2.5	561	47	2.21	4.7	1.35
		8.95	8.0	15.0	57.1	19.9	2.35	2.32	1.3	466	42			

\* ( ) 内は 74 μ フリイを通過する石粉を F としたものの。

\*\* 粗骨材間を埋めるアスファルトモルタルについてのもの。

#### 4. 実験結果に対する考察

1) この実験の範囲内では、各 F/A および各 V<sub>m</sub>/V<sub>sv</sub> について、トベカ合材の最大安定度は V<sub>M</sub>/V<sub>gv</sub>=2.0 前後に集中する傾向にある。

2) スリヘリ抵抗性について良好な成績を示すアスファルトモルタルは図-2.からわかるように F/A=1.87(1.5)で、しかも V<sub>m</sub>/V<sub>sv</sub>≥1.05 である。これについてトベカとしての安定度試験結果は図-5 のようであるが、凍害防止のためにできるだけ富配合で、しかも所要条件を満足させるトベカの配合比ということで検討すれば、これは V<sub>m</sub>/V<sub>sv</sub> の値を 1.05 としたときである。図-1 からわかるように、この配合のアスファルトモルタルは、アスファルトモルタルとして最もよい安定度を示している。したがって、この実験のみから判断すると、アスファルトモルタルとしてスリヘリ抵抗性および安定度に良い成績を示すものを結合材としたトベカは、トベカとしての安定性においても良い成績を示していることになる。

3) トベカのフロー値は、一般に V<sub>M</sub>/V<sub>gv</sub> の増加につれまた碎石の間を埋めるアスファルトモルタルの V<sub>m</sub>/V<sub>sv</sub> が増すにつれて大きくなるようである。

#### 5. あとがき

以上、道路研究室で寒地用アスファルト合材に関する試験研究を進めるに当たってとっている配合設計方法のうち特にトベカ配合について述べた。この実験結果に基づいて昭和 36 年度施工の美々試験道路の表層工種として表-8 の配合の合材 2 種を舗設し目下検証中である。

- 註 1) 大越孝雄：寒地アスファルト舗装品質改良の一指針 土木試験所月報第 39 号 (1956 年 8 月)。  
 2) 小山・河野・三浦・松本：アスファルト合材のスリヘリ抵抗性と安定性について；土木試験所月報第 86 号 (1960 年 9 月)。  
 3) 小山・河野・高橋・白井：フィラー・ビチューメンを結合材とするアスファルト合材の配合設計方法の一つの試み；土木技術資料第 4 巻第 2 号 (1962 年 2 月)。

×

×

×