

タールピッチ サンドマスチックの性状

—室内実験を中心として—

斎藤隆穂*・中瀬浩司*・奥田 謙*
田中隆雄*・松野昌平*

1. 緒 言

アスファルト混合物を水中に流し込んで、堤防・防波堤・海岸護岸などの捨石部を固結するサンドマスチック工法は、欧米諸国ではすでに1930年代から実施されている¹⁾²⁾。最近わが国でも運輸省港湾局主催の直轄港湾技術研究会、北海道大学板倉教授らを中心としてこの工法の開発研究が進められ、それに基づいて和歌山港をはじめ実用の段階に達し、港湾・海岸工事の新材料としてすぐれた成果をあげている³⁾⁴⁾⁵⁾。サンドマスチック用の歴青材としては一般にアスファルトが使用されるが、西ドイツおよびオランダでは粘着性などにおいてすぐれた特長をもつタールピッチ、またはタールピッチとアスファルトの混合物を用いてマスチックを製造して、捨石の水中固結および堤防の被覆などを行ない、これらがアスファルトを用いた場合と同様な流動性および安定性を示し十分使用に耐えることが報告されている⁶⁾⁷⁾。

今般、著者らは日本タール協会の主催によりタール系歴青材によるサンドマスチックの開発を目的とし、昭和化工KKの研究室においてアスファルトおよびタールピッチサンドマスチックについて一連の実験を行ない、①サンドマスチックの流動性、および表面性状に関し興味ある知見を得、②高沸点タール油でフラックスしたピッチをバインダーとするサンドマスチックの性能が従来のアスファルトサンドマスチックの性能に十分匹敵しうることを確認したのでその詳細を報告する。

2. 実験の方針

サンドマスチックに要求される重要な性能は、施工時の流動性、施工後の強度、およびたわみ性であるといわれている¹⁾⁸⁾。しかしこれらを支配する因子の数はきわめて多く帰帰関係を求めるのが困難なために、配合や施工の最適条件を定める上に決定的な資料がまだ見当たらないのが現状である。この工法に関する標準的な参考資料としては従来の試験と経験をもとにして作成された「サンドマスチック工法の施工基準(案)」⁹⁾があるが、こ

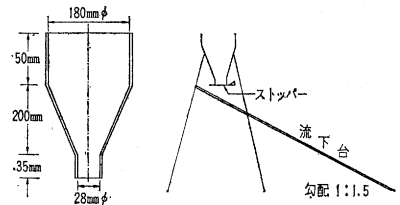
れには流動性以外の強度、たわみ性などに関する規準は設けられていない。またこの工法の性格から水中における流動性を確保することが最も重要であると考えられるので、まず、④「施工基準(案)」に基づいて標準的なアスファルトサンドマスチックの実験を行ない、⑤流動特性と直接寄与する要因との関係を明らかにして、⑥歴青材と骨材との配合の条件を定め、⑦これに基づいてタールピッチサンドマスチックの実験を行ない、⑧流動性、強度、たわみ性などについてアスファルトサンドマスチックと比較の上で、適当なタール系歴青材の性状を検討することにした。

流動性の試験方法としては、回転粘度計を使用することも考えられたが、1)施工基準(案)で一応オーソライズされていること、2)流下の状況を観察できること、3)本研究の目的が理論的な厳密さを要するものでなく、あくまでもタール系歴青材の開発にあること、4)研究の期間が限

られていることなどの理由で、フローコーンテストを採用することにした。図一

1にフローコーン装置を示す。

図一 フローコーン試験装置



3. 使用材料

(1) アスファルト

使用したアスファルトは昭和化工製のクエイト原油セミブローンアスファルトであり、針入度級40/60, 60/80, 80/100の3種を選択した。その性状を表一に示す。

(2) タール系歴青材

製鉄用コークス製造の際発生するコークス炉タールより得た中ピッチを三種(富士製鉄室蘭・八幡化学・日本鋼管川崎)と、オイルガス製造時に発生するオイルガスタール系ピッチ(東京ガス)の四種を用いた。コークス炉タール系ピッチについては、原料炭の銘柄がおのおの

* 特別会員 日本タール協会

異なるものである。これらの性状を 表-2 に示す。

フラックス油としては、加熱による劣化を防ぐために 表-2 のごとき分留性状を示す高沸点の除晶アントラセン油を用いた。いずれもピッチと同じベースのタールより分留したものであり、また、メーカーにより沸点範囲が異なるのは、メーカーによりタール蒸留のプロセスが異なりカッピングの範囲が異なるためである。

(3) 骨 材

表-1 アスファルトの性状

測定項目	種 類			
	40/60	60/80	80/100	
比 重 (2/25°C)	—	—	1.021	—
軟 化 点 (環球法 °C)	50.5	49.0	52.5	43.0
針入度(25°C, 100 g, 5 sec) d/mm	52	77	70	90
針入度(0°C, 200 g, 60 sec) d/mm	—	—	19	—
伸 度 (10°C) cm	43	96	27	140 以上
蒸 発 減 量 (163°C, 5 hrs)%	0.00	0.02	0.03	0.08
蒸 発 後 の 針 入 度 %	97	91	94	100
P. I	-0.1	-0.1	+0.3	-0.2
備 考 ¹⁾	a	a	b	a

注 1) aはアスファルト サンド マスチックのフローコーン テストに用い、bは水中フローコーンテストに用い。

表-2 ピッチの性状およびフラックス油の性状

a) ピッチの性状

種 類	オイルガス ールピッチ	コールタールピッチ		
	東京ガス (製)	日本鋼管 (製)	八幡化学 (水銀)	富士製鉄 (水銀)
軟 化 点 °C	(R & B) 70.5	(R & B) 85.0	(水銀) 68.5	(水銀) 66.2
灰 分 %	0.09	0.05	0.08	0.06
固定炭素 %	58.5	49.7	49.4	46.4
揮 発 分 %	41.4	50.2	50.5	53.5

b) フラックス油の性状

分留試験	除 晶 ア ン ト ラ セ ン 油			
	東京ガス (製)	日本鋼管 (製)	八幡化学 (製)	富士製鉄 (製)
初 留 点 °C	275	212	272	260
~270°C	0	15	0	2
~300°C	24	44	8	15
~350°C	95	94	68	68
>350°C	5	6	32	32

表-3 骨 材 の 性 状

試 料	砂						フ ィ ラ ー	
	1.5		1.8		2.1		—	
F.M								
真 比 重	1.508		1.560		1.573		2.620	
か さ 比 重	2.674		2.666		2.659		2.680	
空 げ き 率 (容積%)	1.664		1.711		1.715			
	43.1 ¹⁾		35.8 ²⁾		40.6 ¹⁾		35.5 ²⁾	
粒 度 (通運重量%)								
フルイ	100		100		100			
1.2	98		97		96			
0.6	90		86		77		100	
0.3	59		55		39		98	
0.15	11		12		7		99	
(mm)	1		1		0		78	
備 考 ³⁾	a		b		a		b	

注 1) 砂の空げき率の測定は 500 cc のメスシリンダーに乾燥した砂を 1/5 ずつ入れ、そのたびごとに下から 25 回たたき、上から 25 回十分に突き固め、これをくり返した。

2) 同上の方法で最終密度になるまで突き固め、これをくり返した。

3) aはアスファルト サンドマスチック実験に用い、bはタールサンドマスチック実験に用いた。

砂は利根川産の粗目砂、および細目砂を配合してF.M. (粗粒率)を調整した合成砂を、フィラーは奥多摩産の石灰石粉を使用した。それらの性状を 表-3 に示すが、いずれも「施工基準 (案)」に指定された粒度分布の範囲を満足するものである。

3. アスファルト サンドマスチック

(1) 流 動 性

サンドマスチックの流動性は、それを構成している砂、フィラーおよびバインダーの性状、配合割合、流下条件などによってきわめて鋭敏に左右される。因子の数が多く交互作用も考えられたので、統計的手法を用いて主要因効果を探索した。

a) 実験方法 経験的、技術的に考えて流動性に直接大きな影響をおよぼすと推測される 5 因子を選定し、従来の施工の実績、および予備実験などを参考にして 表-4 のごとく各因子の水準を決定した。

表-4 因 子 と 水 準

因 子	水 準		
	1	2	3
A. アスファルトの種類	40/60	60/80	80/100
B. D/A (重量比) ¹⁾	0.8	1.0	1.2
C. アスファルト量 wt%	18	19	20
D. 砂 の F.M.	1.5	1.8	2.1
E. 流 出 温 度 °C	170	180	190

注 1) Dust/Asphalt, Dust ; Filler および砂の 200# 通過分

L-27 直交配列表¹⁰⁾を用いて、以上のごとく選定された実験条件を割付け、組合わせを決定し、乱数表によりランダム化した後にフローコーン テストを行なった。

フローコーン テストは「施工基準 (案)」に準じて行なった。ただし流下台の勾配は 1:1.5 である。流動性の代用特性としてはコーンよりの流出時間、流下速度、流下距離を選んで流れの状況を観察し、同時に流下後の表面状況を観察した。表面の状態についてはきれつを生じたり、またアスファルトと砂とが分離した様相を呈す

るものは好ましくないとされている。そこできれつに至る段階のしわ、あらさの程度、および分離の程度を判定し、最も良い場合を0、最も悪い場合を3、中間の状態を1または2と評価した。

b) 実験結果 実験条件と測定結果の一部を表-5に示す。スケールアウトの値があったため、流出時間と1m 流下時間は測定値の逆数に、流下長さはつぎに示すような指数に変換してそれぞれ解析を行なった。

実測長さ (cm)	100>0	100 ~120	120 ~140	140 ~160	160 ~180	180 ~200	200<
指 数	-3	-2	-1	0	1	2	3

分散分析の結果 95% 以上の有意性を認めた要因効果を表-6に示す。しかし効果は流下長さをのぞきもとの

ディメンションになおしてある。

i) 流動性：流動特性の代用特性と考えられる流出時間、1m 流下時間（流下速度）、流下長さはいずれもアスファルトの種類、アスファルト量、砂の F.M. によって支配される。流出時間に対する要因の効果を図-2に示す。D/A（ダストとアスファルトの比、ダスト：骨材中の 200# 以下の部分）の効果は認められず、また流出温度についてはその寄与率が小さく、D/A で ± 0.2 、流出温度で $\pm 10^\circ\text{C}$ 程度の変動があっても、実験の範囲内ではほとんど影響を与えないことを示めた。

施工基準（案）では、フローコーンよりの流出時間が 20~60 sec と規定されている。分散分析結果に直交分解を行ない、流出時間 20~60 sec を与える範囲を推定す

表-5 流動性の実験結果

実験 番号	アスファ ルトの種類 ¹⁾	D/A ²⁾	フィルラー量 (wt%) ³⁾	アスファ ルト量 (wt%)	砂の F.M. ⁴⁾	流出温度 (°C)	結 果				
							流出時間 (sec)	1m流下時間 (sec)	流下長さ (cm)	表面状態 しわ、 あらさ	
1	40/60	0.8	18.5	18	1.5	170	∞	∞	56	3	0
3	80/100	0.8	18.5	18	2.1	190	22	19	200	3	3
5	40/60	0.8	19.5	19	1.8	190	42	73	138	1	1
7	60/80	0.8	20.5	20	1.5	190	32	43	147	2	1
9	40/60	0.8	20.5	20	2.1	180	13	20	175	0	0
11	40/60	1.0	23.1	18	1.8	190	47	58	152	1	1
13	60/80	1.0	24.5	19	1.5	190	15	46	135	2	1
15	40/60	1.0	24.5	19	2.1	180	22	35	150	0	0
17	60/80	1.0	25.7	20	1.8	180	17	24	177	0	0
19	60/80	1.2	27.7	18	1.5	190	72	119	126	1	0
21	40/60	1.2	27.7	18	2.1	180	32	51	243	0	0
23	60/80	1.2	29.2	19	1.8	180	23	33	168	0	0
25	80/100	1.2	30.8	20	1.5	180	15	20	193	1	0
27	60/80	1.2	30.8	20	2.1	170	21	23	200	0	0

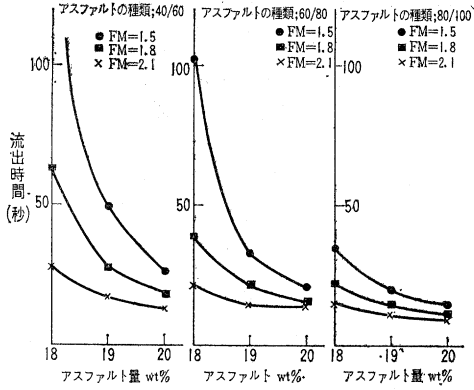
- 注 1) 昭和化工製セミフローアスファルトを使用
 2) D:ダスト（フィルラーの 200 メッシュフルイ通過分、奥多摩産） A:アスファルト
 3) フィラー中のダスト分は 78 wt% である。
 4) 利根川産の細目、粗目砂を配合して F.M. を調整した。

表-6 流動性の要因効果

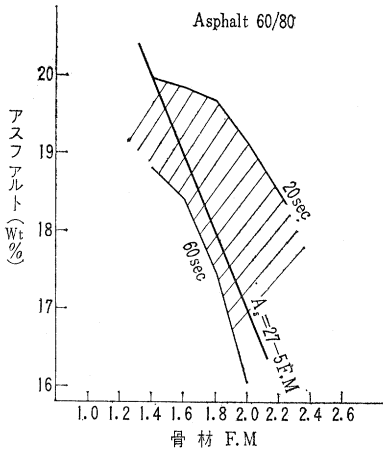
特 性	要 因	ϕ	ϕ_e	F	寄 与 率 (%)	要 因 効 果			信頼限度 (95%)
						水準 1	水準 2	水準 3	
流 出 時 間 (sec)	A (アスファルトの種類)	2		4.0*	11.4	27	21	15	
	C (アスファルト量)	2	20	6.7**	21.4	33	19	14	
	D (砂の F.M.)	2		6.0**	18.6	31	20	14	
1m流下時間 (sec)	A (アスファルトの種類)	2		14.4**	25.9	49	34	17	
	C (アスファルト量)	2	18	9.3**	16.0	49	29	19	
	D (砂の F.M.)	2		15.2**	27.5	58	30	17	
	E (流出温度)	2		3.8*	5.3	34	33	21	
流 下 長 さ (長さ指数)	A (アスファルトの種類)	2		27.0**	34.6	-0.6	0.2	1.8	± 0.5
	C (アスファルト量)	2	20	13.4**	16.4	-0.3	0.4	1.3	
	D (砂の F.M.)	2		24.9**	31.8	-0.8	0.8	1.5	
表 面 状 態 しわ、あらさ (表面指数)	B (D/A)	2		5.5*	6.2	1.8	0.8	0.6	± 0.4
	C (アスファルト量)	2	10	12.2**	15.4	1.7	0.9	0.6	
	D (砂の F.M.)	2		27.9**	37.0	2.0	0.8	0.3	
表 面 状 態 分 り (表面指数)	A (アスファルトの種類)	2		24.2**	45.3	0.2	0.3	1.8	± 0.4
	B (D/A)	2	16	9.3**	14.3	1.2	0.8	0.2	
	E (流出温度)	2		8.8**	12.8	0.4	0.6	1.3	

* 危険率 5% で有意 ** 危険率 1% で有意

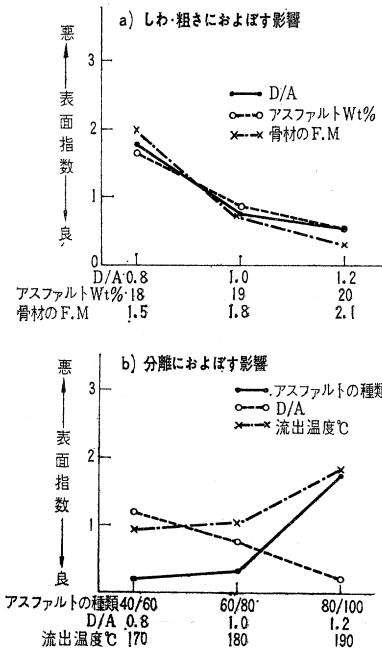
図一 流出時間におよぼす各因子の影響



図二 流出時間より推定した配合範囲



図三 表面状態におよぼす各因子の影響



れば 図一 のごとくなり、一般に採用されている配合設計式、アスファルト量 (wt%) = 27 - 5F.M. はこの推定範囲内にふくまれ、採用した実験方法、および解析方法に信頼性が有ることを確認した。ii) 表面状態：表面状態におよぼす各要因の影響を 図一 に示す

す。砂の F.M. が小さくなるほどきれつが生じやすく、アスファルトおよびダストの量が多くなるに従いがい、表面は平滑となる。また流動時のアスファルトの粘性が小さくなると砂との分離を生じやすい。

c) 骨材空げきの影響について サンドマスチックの流動性および表面状態には、砂の F.M. およびアスファルト量が大きな影響をおよぼした。ここで砂の F.M. の効果を考えて見ると、粒度分布に基づく砂の空げきの影響と粒子の大きさや形状に基づく表面積の影響とに大別して考えることができる。ファイラーもしくはダストについても同様である。サンドマスチックの構成を考えれば、アスファルトはまず骨材表面に吸着され、骨材間の空げきを充たし、さらに過剰のアスファルトがあつていけばアスファルト中に比較的密に骨材が懸濁した状態にある。したがってサンドマスチックの流動性を考える場合、配合比のみならず骨材の空げきおよび表面積の影響を考慮する必要がある。

いま、サンドマスチックを構成するアスファルト、砂 (ファイラー中の 200# 以上の部分を含む)、ダストの重量分率を A, S, D で表わし、それらの真比容、高比容、比表面積を v, v_B, s にサフィックスをつけて表わすことにすれば流動性 η におよぼす配合の影響はこれらの関数として表わすことができる。独立変数としてダストとアスファルトの重量比、砂の空げきとアスファルトペースト (アスファルトとダストの混合物) の容積比、骨材の表面積とアスファルト容積との比をとれば、

$$\eta = \eta \left(\frac{D}{A} \cdot \frac{P \cdot v_p}{V_s \cdot S} \cdot \frac{v_A \cdot A}{s_s \cdot S + s_D \cdot D} \right)$$

ただし、 $V_s = v_{BS} - v_s$ 単位重量当り砂の空げき量、

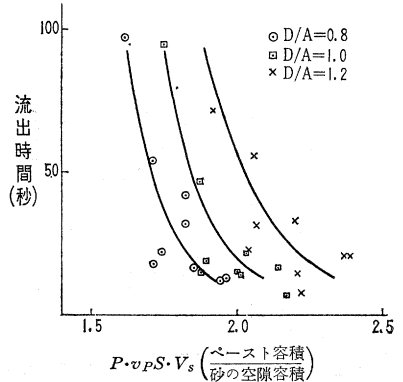
$$P \cdot v_p = v_A \cdot A + v_D \cdot D \text{ ペーストの容積}$$

ここで骨材の粒度構成、およびサンドマスチックの一般的な配合より考えて砂の表面積は無視することができ、またファイラーの製造工程を考慮してファイラーの比表面積のばらつきを無視すれば、近似的に、

$$\eta \approx \eta \left(\frac{D}{A} \cdot \frac{P \cdot v_p}{V_s \cdot S} \right)$$

以上により実験結果を整理すれば 図一 5 が得られ、共分散分析の結果、実験範囲内では F.M. の効果は認められず、ダストとアスファルトの重量比 (D/A) とペー

図四 流出時間におよぼす砂の空隙の影響



ストと砂の空げきの容積比 ($P \cdot v_p / S \cdot V_s$) が流動性、および表面性状に対し主要因として働くことが判った。

以上の結果を要約すれば

① ペーストと砂の空げきとの容積比 $P \cdot v_p / S \cdot V_s$ が適正範囲にあれば良好に流動するが、 D/A の増大、およびアスファルトの針入度の減少は、ペーストの粘性を増大し流れにくくする。

② 流動性の良好な混合物は、表面状態(しわ、あらさ)も良好であるが、 D/A が小さいと砂とアスファルト、またはペーストとの分離が起り、これに起因するしわ、あらさが顕著になりきれつが生じ易くなる。針入度が大きいか、または流出温度を高めるにつれてアスファルトの粘性が低下し分離の傾向が増大する。

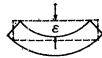
(2) 強度とたわみ性

セメントモルタル曲げ圧縮試験用の型わくを用いて、 $40 \times 40 \times 160$ の供試体をつくり、変位速度 30 mm/min、温度 15°C で曲げおよび圧縮強を測定した。曲げ試験の

表-7 温度とたわみ性

実験番号	実験条件						強度		
	アスファルトの種類	D/A	アスファルト量 (wt%)	フィラー量 (wt%)	砂の F.M.	フローコンテスト流出時間 (sec)	曲げ強度 (kg/cm ²)	たわみ量 (mm)	圧縮強度 (kg/cm ²)
1	40/60 (a)	1.2	20.0	30.8	1.8	21 (190°C)	26	—	24
2	60/80 (b)	0.8	19.0	17.5	1.5	37 (180°C)	19	16	26
3	60/80 (b)	1.0	19.5	22.4	1.5	22 (180°C)	17	19	23
4	60/80 (b)	1.0	18.0	20.7	1.8	32 (180°C)	20	15	25
5	60/80 (a)	1.0	18.0	23.1	2.1	19 (170°C)	20	—	21
6	80/100 (a)	1.2	20.0	30.8	1.5	15 (180°C)	15	—	20

注) たわみ量を ϵ



際に最大応力を示すまでのたわみ距離を測定し、たわみ性の評価とした。結果を表-7 に示すが、施工基準(案)によれば従来の標準的な値は、曲げ強度 23 kg/cm²、圧縮強度 25 kg/cm² である。

5. タールピッチ サンドマスチック

表-8 タールピッチ試料の性状

記号	標準			
	c-1	c-2	0-1	0-2
ピッチの種類	コールタール系*	コールタール系*	オイルガスターール系**	オイルガスターール系**
比重 (25/25°C)	1.232	1.238	1.283	1.287
軟化点 (R & B)°C	40.0	46.5	42.5	46.5
針入度(25°C, 100 g, 5 sec) d mm	127	70	102	70
針入度(0°C, 200 g, 60 sec) d mm	20		20	
分留試験 (wt%)				
170°Cまでの留出量	0.0		0.0	
270°Cまでの留出量	1.2		0.0	
300°Cまでの留出量	7.0		1.9	
残留物の軟化点(R & B, °C)	56.0		52.5	
ナフタリン分 (%)	0		0	
酸性油分 (cc/100 g)	0.1		0.0	
ベンゾール不溶分 (%)	12.0		31.9	
引火点(クリーブランド) (°C)	154		160	
P. I	-1.8	-1.3	-1.6	-1.3

* ピッチ, フラックス油ともに日本鋼管製

** 同上, 東京ガス製

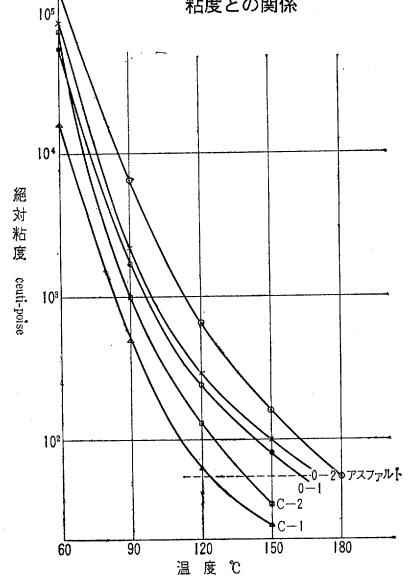
(1) タールピッチの調製と性状

ピッチはコールタール系とオイルガスターール系の両者を用い、フラックス油には加熱による劣化を避けるために高沸点の除晶アントラセン油を用いた。

たわみ性、強度はバインダーの低温におけるコンシステンシーによって大きく影響を受けることが予想されたので、針入度のフラックス曲線を作成し、表-1 のアスファルト 60/80 (b) の針入度に合わせてフラックスの配合を決定した。その一般性状を表-8 に示す。

C-1 と 0-1 は、水中の低温における混合物の脆化の危険を防止するために 0°C におけるアスファルトの針入度と同一にしたものであり、C-2 と 0-2 は通常の 25°C における針入度をアスファルトと一致させたものである。アスファルト

図-6 温度とバインダーの粘度との関係



とタールピッチとは感温性が異なるのでタールピッチ混合物の流出温度選定のめやすになる粘度の温度変化をB型回転粘度計により測定した。その結果を図-6 に示されるごとくアスファルト<オイルガスターール系<コールタール系の順で感温性は大きくなる。アスファルト サンドマスチックの施工温度は約 180°C とで行なわれて

表-9 因子と水準

因子	水準			
	1	2	3	
A	ピッチの種類	コールタール系	オイルガスターール系	コールタール系
B	針入度 (A ₁) (A ₂)	127(c-1) 102(0-1)	70(c-2) 70(0-2)	127(c-1) 102(0-1)
C	D/T ¹⁾ (B ₁) (B ₂)	1.0 0.7	1.3 1.0	1.6 1.3
D	(D/T=0.7) $\frac{P \cdot v_p}{S \cdot V_s}$ (D/T=1.0) (D/T=1.3) (D/T=1.6)	1.5 1.7 2.1 2.7	1.8 2.0 2.4 3.0	2.1 2.3 2.7 3.3
E	砂の F.M.	1.5	1.8	2.1
F	フローコンテスト流出温度 °C	120	140	160

注 1) D/T Dust/Tar wt 比

2) $\frac{P \cdot v_p}{S \cdot V_s}$ ペースト/砂の空げき vol 比

いるが、歴青材の粘性を考えればタール系の場合には施工温度を 130°C 程度まで下げ得ることを示している。

(2) ペーストのコンシステンシー

タールピッチはやや感温性が高いために、C-1 および 0-1 のごとく低温でアスファルトと同等のコンシステンシーを持つタールピッチをバインダーとした混合物は温暖な水中では軟化することが考えられたので、この欠点をペーストの D/T (ダストとタールの重量比) を大きくとることによって補うことにし、D/T とペーストのコンシステンシーとの関係を、グリース稠度試験機を用いて測定した。

結果を図 7 に示す。

(3) 流動性および強度とたわみ性

a) 実験方法

アスファルトサンドマッシュの場合と同様にフローコーンテストを採用した。4.(1)c)にて述べた観点から、タールペーストと砂の空げきと

図-7 ペーストのコンシステンシー

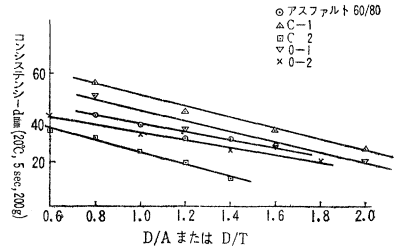


表-10 流動性、強度の実験結果

実験番号	タールピッチの種類	D/T	P・vp / S・Vs	砂の F.M.	タール量 (wt%)	フィラー量 (wt%)	フローコーンテスト流出温度 (°C)	フローコーンテスト結果				強度試験結果		
								流出時間 (sec)	1m流下時 (sec)	流下長さ (cm)	表面状態 (しわ、あらさ)	曲げ強度 (kg/cm ²)	たわみ量 (mm)	圧縮強度 (kg/cm ²)
2	c-1	1.0	2.0	1.8	20.1	23.1	140	22	35	171	1	43	15	39
4	0-2	1.0	1.7	1.8	18.6	21.4	120	∞	∞	—	—	100	9	93
6	0-2	1.0	2.3	1.5	23.0	26.4	160	35	60	142	0	59	14	51
8	c-1	1.6	3.0	1.5	20.4	37.5	140	64	195	118	0	37	15	37
10	c-2	1.3	2.1	1.8	18.4	27.5	140	198	∞	94	0	151	8	162
12	c-2	1.3	2.7	1.5	21.7	32.5	120	66	253	110	0	106	10	96
14	0-1	1.0	2.0	1.5	21.3	24.5	160	57	146	127	1	28	15	38
16	c-1	1.3	2.1	1.5	19.2	28.7	140	108	470	105	1	46	15	53
18	c-1	1.3	2.7	2.1	20.8	31.1	120	25	48	144	0	15	16	21
20	c-1	1.3	2.4	1.5	20.5	30.7	120	41	55	145	0	34	16	42
22	0-1	1.6	2.7	1.5	19.7	36.2	160	∞	∞	—	—	28	17	36
24	0-1	1.6	3.3	2.1	20.6	37.9	140	93	175	118	0	21	16	29
26	c-2	0.7	1.8	2.1	21.4	17.2	120	36	48	147	0	91	10	99

表-11 流動性および強度におよぼす要因効果

測定特性	要因	φ	φ _e	F	寄与率 (%)	平均			信頼限界 (95%)	
						水準1	水準2	水準3		
フローコーンテスト	流出時間 (sec)	A (タールピッチの種類)	1	9	12.3**	13.8	30	103	—	
		D (P・vp / S・Vs)	2		12.9**	29.0	209	36	22	
		F (流出温度)	2		5.2**	10.2	67	34	25	
		C × D	4		5.5*	8.6	—	—	—	
フローコーンテスト	1m流下時間 (sec)	A (タールピッチの種類)	1	13	5.5*	8.7	46	233	—	
		D (P・vp / S・Vs)	2		5.7*	18.2	556	69	33	
フローコーンテスト	流下長さ (指数)	A (タールピッチの種類)	1	15	21.8**	14.9	-0.6	-2.0	—	±0.4(A ₁) ±0.5(A ₂)
		C (D/T)	2		8.7**	11.0	-0.5	-0.8	-1.9	
		D (P・vp / S・Vs)	2		29.9**	41.4	-2.6	-0.7	—	
		F (流出温度)	2		5.5*	6.5	-1.5	-1.2	-0.4	
強度試験	曲げ強度 (kg/cm ²)	A (タールピッチの種類)	1	14	10.7**	4.1	59	43	—	±6(A ₁) ±9(A ₂) ±6(B ₁) ±9(B ₂) ±9
		B (針入度)	1		182.8**	76.9	31	99	—	
		C (D/T)	2		5.2*	3.6	52	45	64	
		D (P・vp / S・Vs)	2		7.7**	5.6	65	54	42	
強度試験	たわみ量 (mm)	A (タールピッチの種類)	1	14	9.8**	3.7	13	14	—	±1 (A ₁) (A ₂) (B ₁) (B ₂)
		B (針入度)	1		178.6**	74.3	15	10	—	
強度試験	圧縮強度 (kg/cm ²)	A (タールピッチの種類)	1	14	10.3**	5.2	63	46	—	±1 (A ₁) (A ₂) (B ₁) (B ₂)
		B (針入度)	1		123.9**	68.9	38	97	—	
		D (P・vp / S・Vs)	2		8.0**	7.9	76	55	47	

* 危険率 5% で有意 ** 危険率 1% で有意

の容積比を要因として採用し、4.(1)c)における結論の確認を兼ね実験を行なうことにした。4.(1)c)、5.(1)、5.(2)の検討結果、および予備フローコンテストの結果より表-9のごとく水準の選定を行ない、 L_{27} 直交配列表により実験の割付けを行なった。

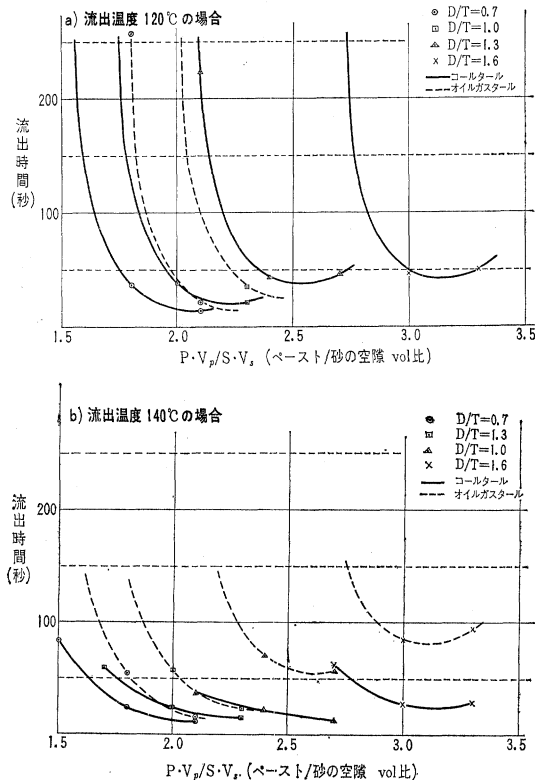
b) 実験結果 実験条件、および測定結果の一部を表-10に示す。スケールアウトのデータに対してアスファルトの場合と同様な処理を行ない、分散分析を行なった結果を表-11に示す。

なお、表面状態については良好な表面状態を呈することを予想して実験水準の選定を行なったため、得られた結果はいずれも良好な表面状態を呈した。したがって解析の必要はないものと認めた。

c) 流動性 流動性はその代用特性のいずれについても同一歴青材を用いた場合、ペーストと砂の空げきとの容積比 $R \cdot v_p/S \cdot V_s$ と D/T によって左右され、 D/T と $P \cdot v_p/S \cdot V_s$ を同一に配合設計を行なえば、実験範囲内で砂の F.M. は流動性に影響をおよぼさないことが確認された。流出時間に対する各要因の影響を図-8に示す。

D/T を大きくすると、それに応じて $P \cdot v_p/S \cdot V_s$ も大きくする必要があり、最適ペースト量はペーストを構成しているバインダーとダストの混合比率により異なっ

図-8 流出時間におよぼ砂の空隙の影響



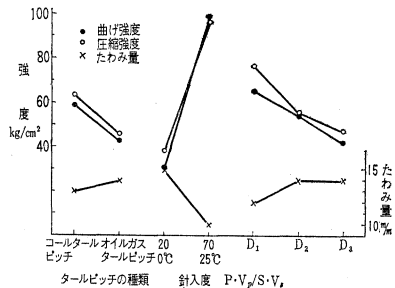
てくる。

オイルガスターは図-6にも示したごとく感温性はアスファルトとコールタル系との中間にあり、そのために同一温度で流動させるときの混合物の粘性は大きく流動性は悪くなる。この点については流出温度を高めるか、あるいは $P \cdot v_p/S \cdot V_s$ をコールタル系より大きくとることにより流動性を良くすることができる。

本実験の結果では針入度の相違による流動性の差は認められず、実際問題としてもこの程度の針入度変化があっても流動性には問題ないことを示している。またコールタル系については、製造所内の差も認められぬことを確認した。流出温度については、温度の高い方が流動性はよいが、120°C においても良好な流動性を示すことを確認した。タールピッチは高温になるとヒュームを発生し、混合物の劣化を考慮すれば作業温度はできるだけ低く保つことが必要であろう。

d) 強度およびたわみ性 強度およびたわみ性については、タールペース $P \cdot v_p/S \cdot V_s$ の相違も影響をおよぼすが、特に針入度の影響が大きくその寄与率から考えて支配的である。このことは強度およびたわみ性については、その温度における歴青材の粘性が大きく影響することを示す。図-9、に各要因の効果を示す。

図-9 強度・たわみ性におよぼす各因子の影響



針入度の増大により曲げ強度、圧縮強度は減少するがたわみ性は増加する。感温性を考慮した場合、低い温度における針入度をアスファルトの針入度と同程度になるようにタールピッチをフラックスすれば、アスファルトサンドマッシュと同程度のたわみ性を有するタールピッチ サンドマッシュの製造が可能である。本実験においてアスファルトの 25°C との針入度に合わせた C-2, 0-2 はアスファルトの場合より数倍大きい強度を示したが、たわみ性にやや乏しい。アスファルトの 0°C との針入度に合わせた c-1, 0-1 ではアスファルトの場合と同程度のたわみ性を有し、かつアスファルトの場合より大きな強度を示した。これらの比較を表-12に示す。なお、コールタル系については実験結果より判断して、さらに針入度を上げることにより、アスファルトの場合よりたわみ性は大きく、強度は同程度のタールピ

ッチ サンドマステックの製造が可能である。

表-12 針入度と強度、たわみ量との関係

試験項目	瀝青材		オイルガスタール		アスファルト
	針入度				
	127	70	102	70	75
曲げ強度 kg/cm ²	36.6	104.7	20.1	88.2	18
たわみ量 mm	14.8	9.8	15.9	10.9	16
圧縮強度 kg/cm ²	43.6	102.8	26.5	85.7	24

6. アスファルトとの比較

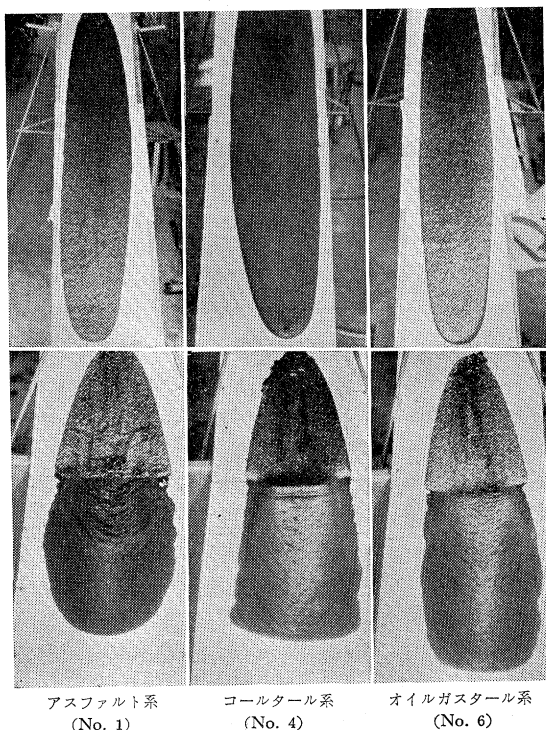
(1) 流動性

a) フローコーン テスト いままで述べてきたごとく、タールピッチの場合にも良好な流動性を示すサンドマステックを得ることができる。

b) 水中での流動性 大気中での流動性は、アスファルトに劣らず良好であることを示したが、水中での流動性を比較するために水中でのフローコーン テストを行なった。装置は大気中における場合と同様に設定し水面は流下台のフローコーンのセンターから 350 mm 離れた位置とした。

結果を表-13 および写真-1 に示すが、 l/L を比較してわかるごとく、水中での流動性は全く同様である。アスファルトの場合には流出温度が高いために水面付近が沸騰により乱され、水蒸気が発生してマステックが浮上り、そのために表面にかなりのしわが発生した。タ

写真-1 フローコーン テスト
(上段は大気中、下段は水中 15°C、
但し流下条件は表-13 参照)



ールピッチの場合は流出温度が低いためにこのような現象は認められず、水中での流動は非常にめらかに進行した。タールピッチの場合、流出温度はアスファルトより 50~60°C と低い温度で十分であることは大きな長所といえよう。

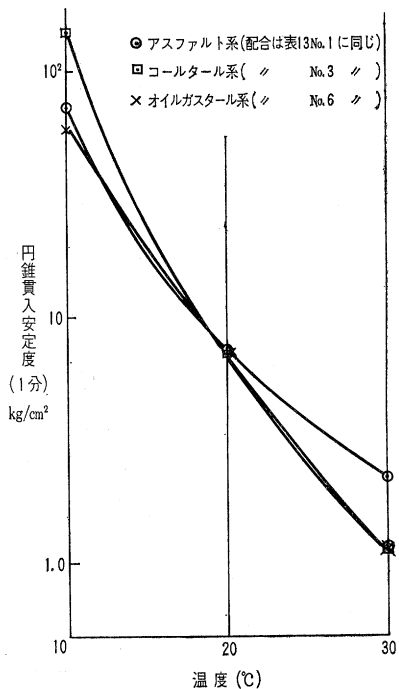
(2) 強度およびたわみ性

5.(3) d) にて述べ、また図-10、表-12 に見るごとく、0°C における針入度をアスファルトと合せたタールピッチを用いたサンドマステックは、アスファルトと同程度のたわみ性を有し、かつ強度はむしろタールピッチのほうが大きい。

(3) 混合物の感温性

図-6 に示したごとく歴青材単味の場合には、アスファルト<オイルガスタール系<コールタール系の順に感温性は大になる。合材に対して円錐貫入度試験を行なった結果は図-10 のごとく、やはりコールタール系の場合はやや感温性が大きい。水中における温度変化が小さいことを考慮す

図-10 混合物の感温性



(4) 加熱による劣化

混合プラント、クッカーなどにおける加熱作業時にフラックス油分の蒸発損失などにより粘性が増大する

ことが予想される。そこで、流出温度において蒸発減量および蒸発後の針入度変化をアスファルトと比較した。蒸発減量はタール系はいずれの場合にもアスファルトより多く、針入度変化はコールタールピッチの場合は、アスファルトより大きいようである。しかしこの際に使用したフラックス油の性状、および調製したコールタールピッチの性状より考えて、フラックス油の初留点が 270°C 以上の高沸点油を用いることにより十分カバーできると考えられる。いずれにせよ実際施工により検討するこ

表-13 水中フローコーンテスト実験結果

実験番号	瀝青材の種類	実験条件						結果			
		D/AまたはD/T	$\frac{P \cdot v_p}{S \cdot V_s}$	砂のF.M.	タール, アスファルト量 wt%	フィラー量 wt%	流出温度 (°C)	流出時間 (sec)	L ¹⁾ (cm)	L ²⁾ (cm)	L/L
1	アスファルト 60/80(b)	1.0	—	1.8	18.0	20.7	180	40	155	76(75) ³⁾	0.49(0.48) ³⁾
2	アスファルト 60/80(b)	1.0	—	1.5	19.5	22.4	180	22	153	86	0.56
3	c-1	1.0	2.0	1.8	20.1	23.1	140	22	159	82	0.52
4	c-1	1.2	2.4	1.5	22.0	30.3	120	35	132	78(76)	0.59(0.58)
5	c-1	0.8	1.9	1.8	21.3	19.5	120	30	146	79	0.54
6	0-1	0.8	2.0	1.8	22.3	20.5	140	23	156	84(82)	0.54(0.53)

注 1) L; 大気中フローコーンテストにおける流下長さ
 2) L; 水中フローコーンテストにおける流下長さ
 3) 水温は 26°C (No. 1 のみ 25°C), かっこ内の数値は水温 15°C における値

表-14 タールピッチ サンドマスタックの設計配合例

タールピッチの種類	コールタール系 (c-1)				オイルガスタール系 (0-1)			
	120		140		120		140	
流出温度 (°C) ¹⁾	120		140		120		140	
D/T	1.0	1.2	1.0	1.2	0.8	1.0	0.8	1.0
$\frac{P \cdot v_p}{S \cdot V_s}$	2.0	2.3	1.8	2.0	2.1	2.4	1.9	2.1
タール量 (wt%) ²⁾	21.2		20.9		20.0		19.4	
(F.M.; 1.5 のとき)	21.2	20.9	20.0	19.4	23.9	23.5	22.6	21.9
(F.M.; 1.8 のとき)	20.2	20.0	19.0	18.6	22.9	22.5	21.6	21.0
(F.M.; 2.1 のとき)	20.1	19.9	18.9	18.4	22.7	22.4	21.5	20.8

注 1) 長時間加熱する場合は 120°C の方がよいと思われる。
 2) タール量は次式によって算出したものである。

$$T(\text{wt}\%) = \frac{\beta(v_{BS} - v_s \times 100)}{(v_T + \alpha v_D) + \beta(1 + \alpha)(v_{BS} - v_s)}$$

ただし α : D/T または D/A
 β : $\frac{P \cdot v_p}{S \cdot V_s}$ ペーストと砂の空げきとの容積比
 v_s , v_{BS} : 砂の真比容, 嵩比容
 v_T : タールまたはアスファルトの比容
 v_P : ダストもしくはフィラーの比容

とが必要である。

7. 最適配合条件について

以上の実験の結果, 実際の施工により検討を行なわねばならぬ若干の問題はあるが, 実験室的には C-1, あるいは 0-1 のグレードのタールピッチを用いれば, アスファルト サンドマスタックと同程度の性能を有するタールピッチ サンドマスタックの製造が可能となった。実験結果に若干の補足実験を加えて最適配合条件を求めた結果を表-14 に示す。

8. 結 言

タールピッチ サンドマスタックの開発を目的とし, 統計的手法を応用して, アスファルトおよびタールピッチサンドマスタックについてフローコーンテストを主体とした一連の実験を行ない, つぎの結果を得た。

① タールピッチを用いた場合でも, アスファルト サンドマスタックと同等の性能, すなわち流動性, 表面状態, 強度, たわみ性が良好なタールピッチ サンドマスタックを製造し得る。

② サンドマスタック用のタールピッチとしては, コ

ールタールピッチ, あるいはオイルガスタールピッチを初留点 270°C 以上の高沸点タール油でフラックスし, 低温の針入度をアスファルトと同程度にすれば良い。

③ サンドマスタックの流動性は瀝青材とダストの混合比 (D/A または D/T) と瀝青材ペーストと砂の空げきとの容積比によって支配される。この観点より配合設計を行なえば, 施工基準 (案) に規定された砂の粒度範囲内で良好な再現性が得られ, 砂の F.M. の影響を考慮しなくてよい。タールピッチ サンドマスタックの最適配合条件を表-14 に示した。

④ タールピッチ サンドマスタックでは, 作業温度をアスファルトより 50~60°C 低くすることが可能であり, 燃料原単位, および機器損耗の大幅減が見込まれる。また, 水中に流下させた場合, アスファルトより低温で水蒸気泡の発生がなく, 水中を滑らかに流動し, 捨石間の空げきへの浸透性が良好であろうことが予想される。

なお 6. で述べた諸点, および耐波浪性, 耐候性などについては, 経済的検討とともに実際の施工によりアスファルトと比較検討する必要がある。これらについてはつぎの機会にゆずりたい。

稿を終えるに当たって種々ご指導をいただいた北海道大学 板倉教授, ならびに昭和化工 K.K. 藤川, 平野両氏に誌上より厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 第二港湾建設局: “サンドマスタック流し込み工法の試験工事について” (1961).
- 2) Baron W.F. van Asbeck: “Bitumen in Hydraulic Engineering”.
- 3) 日本タール協会技術資料 No. 1, No. 3, (1963).
- 4) 竹川: アスファルト Vol. 6, No. 32, 19, (1963).
- 5) 加川: 土木学会誌 Vol. 48, No.2, 40, (1963).
- 6) Vft-Mitteilung, 10, Jahrgargen, Heft 2, Juli, (1961).
- 7) 日本タール協会技術資料 No. 2 (1963).
- 8) 板倉, 外: 土木技術 Vol. 16, No. 10, 44, (1961).
- 9) 直轄港湾技術研究会: “サンドマスタック施工基準 (案)” (1962).
- 10) 田口: “実験計画法 上下巻” 丸善 (1962).

(1964.1.27・受付)