

# 凍結融解のくり返しを受けたアスファルト・モルタルの安定度とスリヘリ抵抗性について

平尾 晋\* 高橋 毅\*\*  
熊谷 茂樹\*\*\* 帆角 孔信\*\*\*\*

## まえがき

寒冷地における舗装道路の破壊原因は、交通荷重によるもののほか、タイヤチェーンによる摩耗、凍結融解作用など、地域的、または気象上の原因によるものも大きな問題となる。しかしこうしたいわゆる「耐久性」は現地調査では長期間を要するため、データを揃えることの困難さ、あるいは現場施工後の経過期間が短いことなどから不明な点が多い。

本報告はアスファルトの種類（針入度級）および配合割合の異なるアスファルト・モルタルを対象に、水浸および凍結融解作用が合材の安定性、およびスリヘリ抵抗性に及ぼす影響について検討するために行なった2,3の室内実験結果について述べたものである。

## 1 使用材料

アスファルトはA社表示針入度 60~80, 80~100, 100~120, 150~200, 200~300 の5種類、フィラーは石灰石粉、砂は勇払海岸砂と銭函海岸砂を等量混合したものを使用した。これらの性状は、表-1~3に示すとおりである。

表-1 アスファルトの性状

アスファルトの針入度級	項比重 (25°C/25°C)	針入度 (25°C 5sec 100g)	軟化点 (TR&B °C)	引火点 (°C)	燃焼点 (°C)	伸度 (10°C)	P.I.	フラース脆 化破壊点 (°C)	薄膜加熱試験 蒸発量 (%)	量後の針入度 (%)
60~80	1.034	62	48	336	366	100+	-1.2	-11	0.001	53.2
80~100	1.028	97	44	334	362	100+	-1.2	-12	0.001	67.0
100~120	1.026	109	43	337	362	100+	-1.2	-15	0.002	63.3
150~200	1.024	159	38	323	359	100+	-1.9	-20	増量 0.002	59.7
200~300	1.019	264	33	318	356	100	-2.5	-24	増量 0.114	54.5

表-2 砂の性状

材料	項比重 20°C/ 20°C	吸水率 (%)	単位容 積重量 (t/m³)	空隙率 (%)	粒 度 (通過重量百分率)						
					フィラー目の開き (mm)						
					4.760	2.380	1.190	0.590	0.297	0.149	0.074
粗砂勇払砂	2.79	1.4	1,819	34.8	96	88	77	59	45	12	1
細砂銭函砂	2.66	3.5	1,333	51.0				100	99	30	1
合成砂 50:50	2.73	2.5	1,576	42.7	98	94	89	80	72	21	1

\*前道路研究室長 現室蘭開発建設部技術長 \*\*道路研究室長 \*\*\*舗装研究室主任研究員 \*\*\*\*同室

これらに適用した試験方法の主なものは、次のとおりである。

(1) 標準マーシャル安定度試験

標準マーシャル安定度試験は、開発局道路工事仕様書参考付表に示す「アスファルト混合物の安定度試験方法（マーシャル式）」に従った。

(2) 水浸マーシャル安定度試験

上記試験方法 5-12-3 「水浸マーシャル試験」に従った。すなわち、25±1℃の水中に4日間水浸させた後、60℃±1℃で載荷試験を行なった。

なお、水浸残留安定度、吸水率、フロー値比は次式で求めた。

$$\text{水浸残留安定度}(\%) = \frac{\text{水浸マーシャル安定度}}{\text{標準マーシャル安定度}} \times 100$$

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{\text{水浸後空中重量} - \text{作成時空中重量}}{\text{作成時空中重量}} \times 100$$

$$\text{フロー値比}(\%) = \frac{\text{水浸マーシャル試験のフロー値}}{\text{標準マーシャル試験のフロー値}} \times 100$$

(3) 凍結融解マーシャル安定度試験

標準マーシャル安定度試験方法に従って作成した供試体を凍結融解くり返し試験槽に96時間浸して、水浸マーシャル安定度試験の方法に準じて、安定度試験を行なった。

表-4

	F/A (D/A)	重量配合率				Vm/ Vsv	理論 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	見掛 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	空隙 率 (%)	標準 マーシャル 試験		4日水浸マーシャル試験				
		アス ファ ルト %	石 粉 %	粗 砂 %	細 砂 %					安 定 度 (kg)	フ ロ ー 値 (1/100 cm)	安 定 度 (kg)	残 留 安 定 度 (%)	フ ロ ー 値 (1/100 cm)	フ ロ ー 値 比 (%)	吸 水 率 (%)
アスファルト 60 ~ 80	1.16 (1.0)	12.3	14.3	36.7	36.7	0.94	2,271	2,136	5.7	270	45	235	87.5	55	122	0.40
	1.5 (1.3)	11.75	17.6	35.33	35.33	1.02	2,286	2,164	5.1	340	45	315	92.5	50	111	0.30
	1.85 (1.6)	11.0	20.4	34.3	34.3	1.07	2,309	2,200	4.6	435	53	415	95.0	55	104	0.30
80 ~ 100	1.16 (1.0)	12.4	14.4	36.6	36.6	0.96	2,268	2,124	6.0	260	38	235	91.0	45	118	0.25
	1.50 (1.3)	12.0	18.0	35.0	35.0	1.06	2,278	2,184	4.0	380	42	360	95.0	52	124	0.20
	1.85 (1.6)	11.0	20.4	34.3	34.3	1.07	2,309	2,196	3.9	415	46	405	98.0	54	117	0.40
100 ~ 120	1.16 (1.0)	12.1	14.0	36.95	36.95	0.93	2,277	2,137	5.9	250	52	225	90.0	56	108	0.30
	1.5 (1.3)	11.7	17.6	35.35	35.35	1.02	2,288	2,167	5.1	335	55	320	96.0	76	138	0.13
	1.85 (1.6)	11.3	20.9	33.9	33.9	1.11	2,299	2,187	4.4	400	53	390	97.5	71	134	0.10
150 ~ 200	1.16 (1.0)	12.3	14.3	36.7	36.7	0.95	2,271	2,130	5.9	220	46	180	82.5	53	115	0.40
	1.50 (1.3)	12.1	18.2	34.85	34.85	1.07	2,275	2,149	5.3	290	57	260	89.0	68	137	0.20
	1.85 (1.6)	11.0	20.4	34.3	34.3	1.07	2,309	2,198	4.6	320	65	305	95.0	70	108	0.35
200 ~ 300	1.16 (1.0)	12.1	14.0	36.95	36.95	0.93	2,278	2,112	7.0	140	46	110	80.0	52	113	0.30
	1.50 (1.3)	11.9	17.9	35.1	35.1	1.05	2,281	2,146	5.7	205	53	175	84.5	56	106	0.20
	1.85 (1.6)	11.5	21.3	33.6	33.6	1.15	2,292	2,186	4.7	260	62	230	90.5	66	107	0.13

凍結融解くり返し試験槽は、媒介溶液温度が $-18 \pm 1.5^\circ\text{C}$ から $+4.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$ の間を1日約10サイクルの割合でくり返して凍結、融解作用を行なうもので、媒介溶液にはプロピレングリコール溶液を使用している。供試体は直接溶液中に浸さないで、ゴム製容器（厚さ3mm、供試体と容器の間隙3mm）を用いて容器の中に水を満した。

なお、凍結融解残留安定度、吸水率、フロー値比は次式で求めた。

$$\text{凍結融解残留安定度}(\%) = \frac{\text{凍結融解マーシャル安定度}}{\text{標準マーシャル安定度}} \times 100$$

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{\text{凍結融解後空中重量} - \text{作成空中重量}}{\text{作成時空中重量}} \times 100$$

$$\text{フロー値比}(\%) = \frac{\text{凍結融解マーシャル安定度のフロー値}}{\text{標準マーシャル試験のフロー値}} \times 100$$

(4) 標準ラベリング試験

北海道開発局が案として示す「アスファルト・モルタルおよびトベカなど粗骨材を含む表層用合材の配合設計方法（案）」の中のラベリング試験方法に従った。

(5) 凍結融解後ラベリング試験

凍結融解マーシャル試験					ラベリング試験			フィルター・ビチューメンの物理的性状					
安定度 (kg)	残留安定度 (%)	フロー値 ( $1/100$ cm)	フロー値比 (%)	吸水率 (%)	標準すりへり量 ( $\text{cm}^2$ )	凍結融解すりへり量 ( $\text{cm}^2$ )	吸水率 (%)	針入度 (5 sec 100 g)			軟化点 ( $^\circ\text{C}$ )	針入度 温度 勾配値	針入度 指数 (P. I.)
								25 $^\circ\text{C}$	35 $^\circ\text{C}$	45 $^\circ\text{C}$			
215	80.0	57	127	0.35	1.70	1.90	0.50	35	66	125	54	0.0292	2.20
295	87.0	53	118	0.36	1.40	1.65	0.27	42	80	155	57	0.0285	2.40
400	92.5	58	109	0.36	1.13	1.30	0.20	49	96	185	60	0.0282	2.50
220	84.5	49	129	0.15	1.40	1.60	0.43	42	97	230	52	0.0383	0.29
349	92.0	60	143	0.10	1.20	1.35	0.25	48	115	260	55	0.0379	0.36
393	96.0	71	154	0.33	1.00	1.15	0.20	58	140	340	58	0.0368	0.56
209	83.0	60	115	0.20	1.34	1.39	0.34	48	120	300	50	0.0427	-0.40
309	92.5	82	149	0.10	1.10	1.16	0.29	55	140	360	53	0.0406	-0.10
380	95.5	72	136	0.04	0.94	1.02	0.10	62	170	460	56	0.0398	-0.03
169	78.0	58	126	0.40	1.20	1.27	0.35	70	185	490	48	0.0459	-0.89
242	85.0	74	130	0.10	1.00	1.07	0.15	80	230	640	50	0.0446	-0.71
288	91.0	78	120	0.35	0.92	0.95	0.10	91	270	780	52	0.0429	-0.46
80	60.0	55	120	0.30	1.00	1.08	0.45	105	290	800	41	0.0477	-1.14
144	71.0	62	117	0.20	0.90	0.97	0.17	130	380	1,100	44	0.0459	-0.90
207	80.0	72	116	0.17	0.82	0.86	0.15	160	500	1,550	47	0.0433	-0.52

標準ラベリング試験法に従って作成した供試体を、凍結融解マーシャル安定度試験で述べた凍結融解試験と同じ方法で96時間浸して、すりへり試験を行なったものである。なお吸水率は次式で求めた。

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{\text{凍結融解後空中重量} - \text{作成時空中重量}}{\text{作成時空中重量}} \times 100$$

(6) 針入度指数

針入度指数 (P. I.) の計算には次式を用いた。すなわち、異なる2つの試験温度における針入度と、温度差によって求めた。

$$\text{針入度温度勾配値}(A) = \frac{\log P_1 - \log P_2}{T_1 - T_2}$$

ここに、T = 試験温度  
P = 針入度

$$\text{P. I.} = \frac{30}{1 + 50 A} - 10$$

3 実験結果と考察

ファイラー・ビチューメンおよびアスファルト・モルタルの試験結果はすべて表-4のとおりである。

(A) 凍結融解作用がアスファルト・モルタルの安定度とすりへり抵抗性に及ぼす影響

1) マーシャル安定度

図-1はD/Aとマーシャル安定度との関係をアスファルトの針入度級別に表わしたものである。同一アスファルト、同一配合のものを比較すれば、安定度は標準マーシャル、水浸マーシャル、凍結融解(60~80)

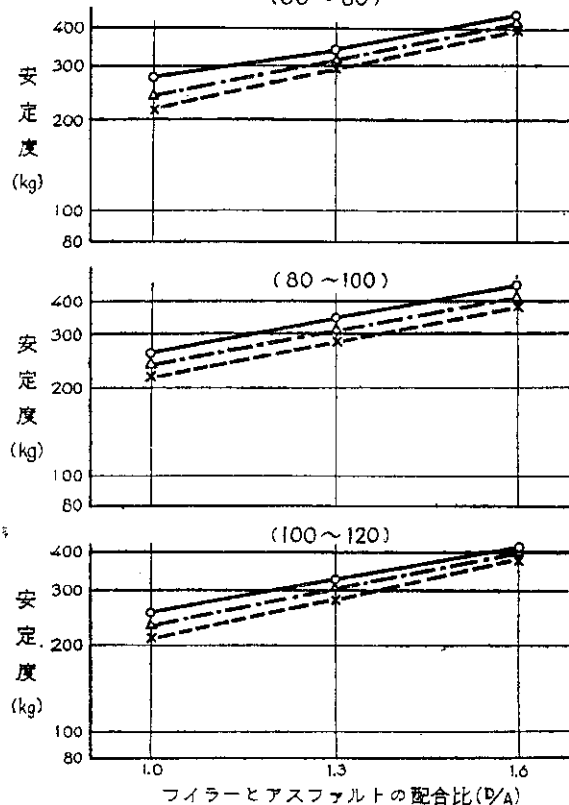


図-1 D/A と 安 定 度

融解マーシャル安定度の順に小さくなっている。また、同一アスファルトでD/Aの異なるものについてはD/Aの大きいほうが安定度は大きい。これは、標準、水浸、凍結融解ともに同じ傾向である。

図-2はアスファルトの針入度級と安定度の関係を示したものである。アスファルトの針入度が大きくなるに従って、標準、水浸、凍結融解安定度ともに小さくなる傾向がある。

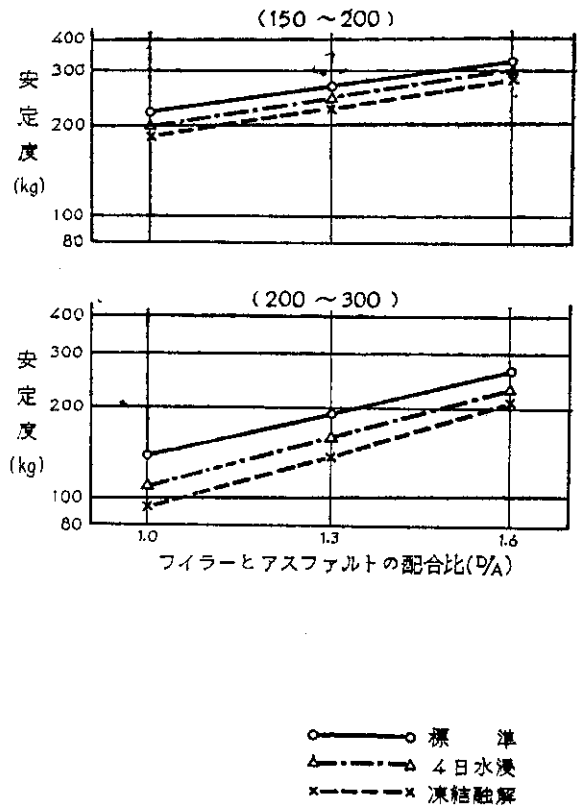
2) 残留安定度

(i) D/Aおよびアスファルトの針入度と残留安定度との関係

図-3は、アスファルトの針入度と4日水浸残留安定度および凍結融解残留安定度との関係をD/Aごとに示したものである。

これから次のようなことがわかる。

- a いずれの場合でも同一アスファルト、同一配合では凍結融解残留安定度は、4日水浸残留安定度よりも小さい。
- b 同一アスファルトでは、4日水浸、凍結融解のいずれの場合もD/Aが大きいほど、残留安定度も大きい。
- c D/Aが大きくなるに従って、残留安定度が増加する量は、D/Aが大きくなると小さ



○—○ 標準  
△---△ 4日水浸  
×---× 凍結融解

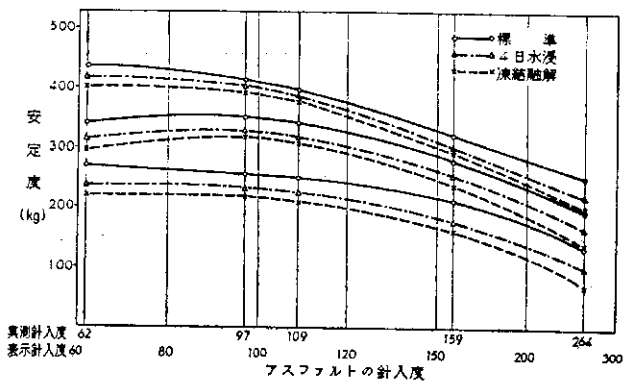


図-2 アスファルトの針入度と安定度

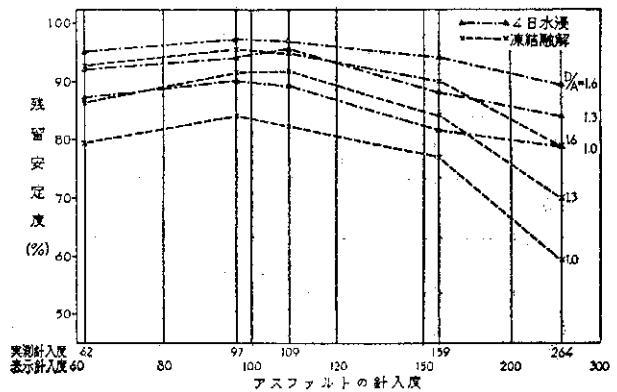


図-3 アスファルトの針入度と残留安定度

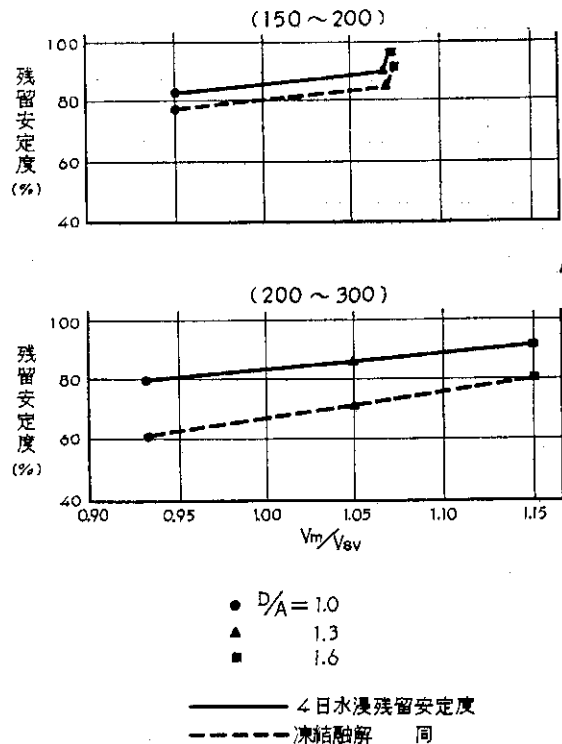
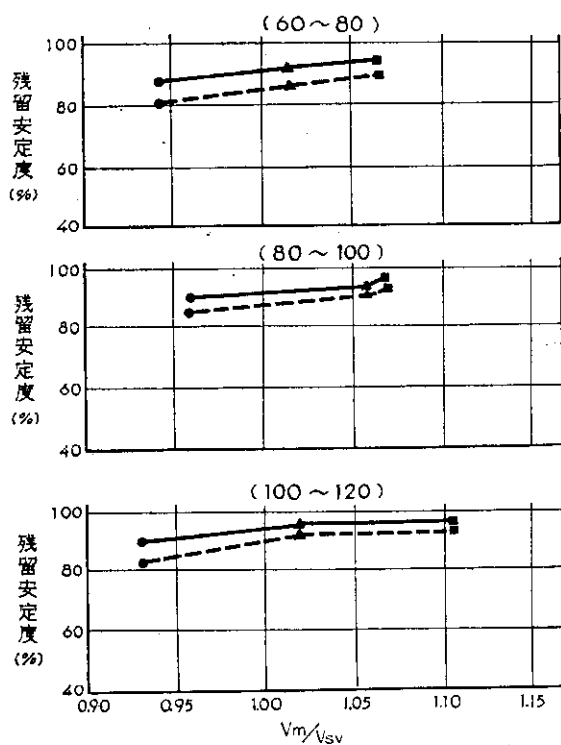


図-4  $V_m/V_{sv}$  と 残 留 安 定 度

いようである。

d 本実験の範囲では、アスファルトの針入度級 80~100, 100~120 のものは残留安定度が高く、次に 60~80, 150~200 で、200~300 のものが一番低くなった。

e 針入度級が、200~300 のアスファルトを用いた合材は、凍結融解残留安定度がきわめて小さい。

(d)  $V_m/V_{sv}$  と 残 留 安 定 度

図-4 は  $V_m/V_{sv}$  と、残留安定度の関係を示したものである。いずれの針入度においても  $V_m/V_{sv}$  が大きくなるに従って、残留安定度は大きくなっている。

(e) 空隙率と残留安定度

図-5 は空隙率と残留安定度の関係を示したものである。いずれの針入度級においても、D/A が小さいほど空隙率は大きく、空隙率が大きくなるに従って、残留安定度は小さくなる傾向を示している。

3) フロー値

図-6 は D/A とマーシャル安定度試験のフロー値の関係を針入度級別に示したものである。凍結融解を受けた合材は、標準、水浸の合材よりもすべてフロー値が大きくなった。

また、D/A の増加に伴って、フロー値は大きくなる傾向を示しているが、針入度級別の傾向は明らかには得られなかった。

4) 吸水率

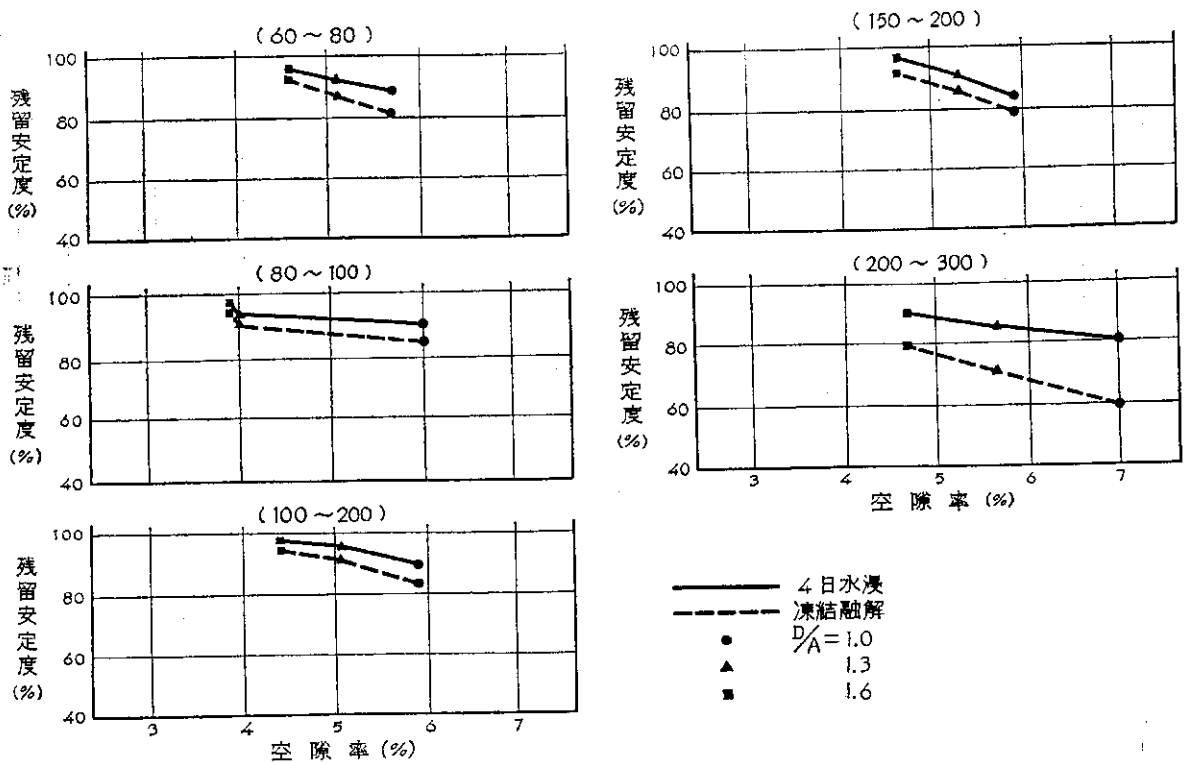


図-5 空隙率と残留安定度

図-7は空隙率と吸水率の関係をアスファルトの針入度級別、D/Aごとに示しているが、凍結融解と4日水浸の場合を比べると、4日水浸のほうが吸水率は一般に大きい。また、D/Aが小さいほど空隙率は大きく、空隙率が大きくなるに従って吸水率は大きい。しかし、針入度級別の傾向は明らかでなかった。

5) すりへり抵抗性

(i) 標準試験すりへり量と凍結融解後すりへり量

図-8, 9は、標準試験すりへり量と凍結融解後すりへり量との関係をD/Aごと、アスファルトの針入度級別に示したものである。これからわかることは、

- a いずれの場合にも、同一アスファルト、同一配合では凍結融解後すりへり量は、標準試験すりへり量より大きい。
- b すりへり量は、同一アスファルトではD/Aの増加に伴って小さくなる。
- c 針入度級が大きくなるに従って、すりへり量は小さくなる。
- d 針入度級が大きくなるに従って、凍結融解後すりへり量が、標準すりへり量より大きくなる量は小さくなる。

6) アスファルトの針入度級と残留安定度およびす

りへり量、

図-10, 11は凍結融解後の残留安定度と、すりへり量をアスファルトの針入度級、D/Aごとに示したものである。これによれば、針入度級の大きいものはすりへり量は小さいが、残留安定度も小さく、針入度級の小さいものは残留安定度は大きい、すりへり量も大きいことがわかる。

(B) アスファルトの針入度級と、フィラー・ビチューメンの性状およびフィラー・ビチューメンの性状とアスファルト・モルタルの安定度、すりへり量との関係

図-12~17は、今回の実験に使用したアスファルトについて、その針入度級とフィラー・ビチューメンの性状、およびフィラー・ビチューメンの性状とアスファルト・モルタルの安定度、すりへり量との関係を取りまとめて示したものである。これらの図から次のようなことがわかる。

- a フィラー・ビチューメンの針入度は、D/Aの増加に伴って対数方眼紙上で直線的に減少する。
- b 同じD/Aでは、針入度の大きなアスファルトを用いた、フィラー・ビチューメンの針入度が大きい。
- c 針入度は試験温度が高くなるに伴い、対数方眼紙上で直線的に大きくなる。
- d フィラー・ビチューメンの軟化点は、D/Aの

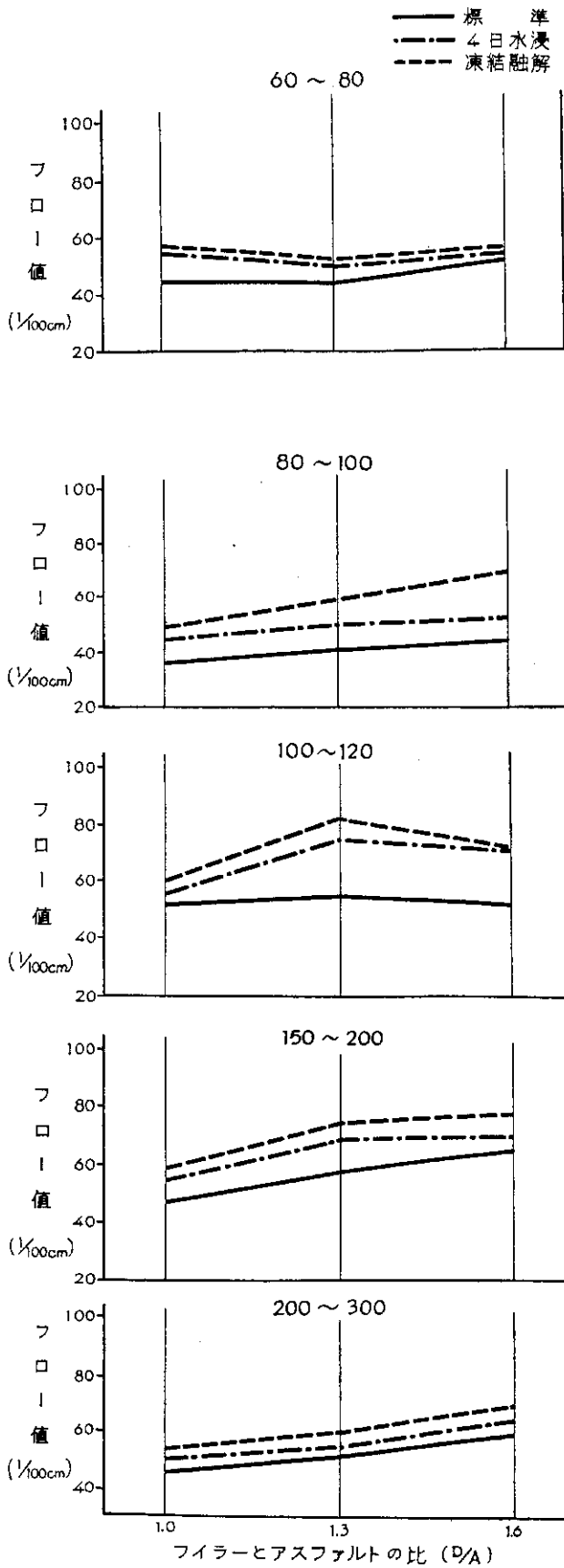


図-6 D/A とフロー値の関係

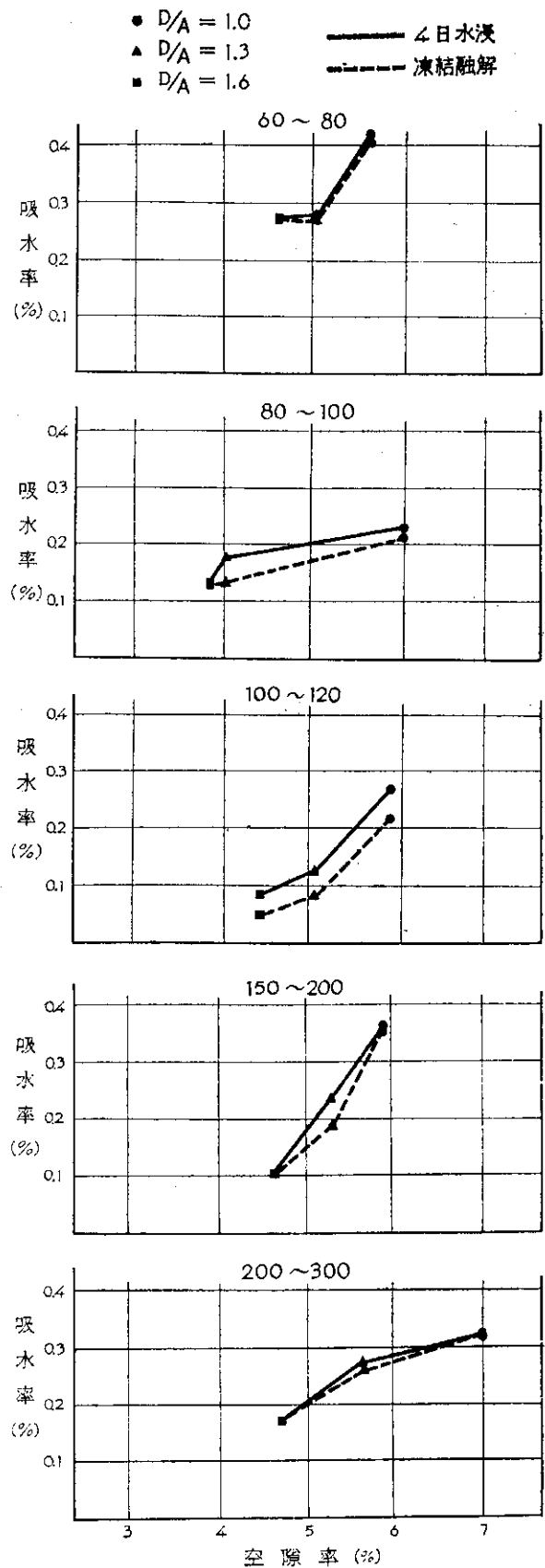


図-7 空隙率と吸水率の関係

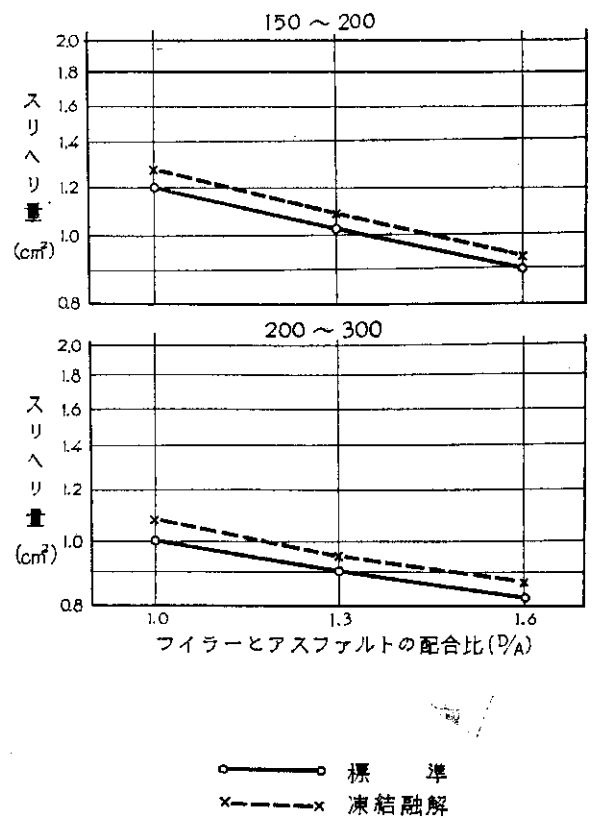
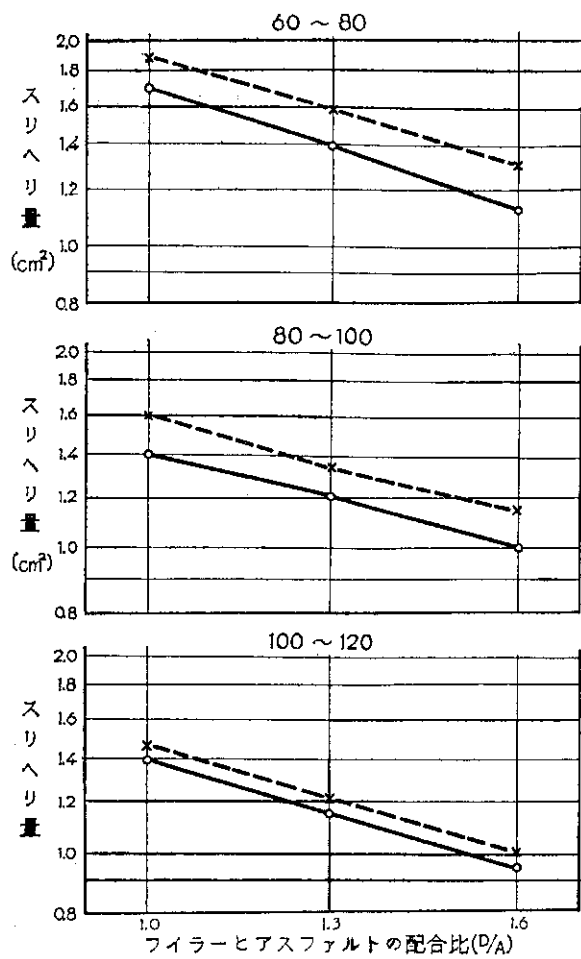


図-8 D/Aと す り へ り 量

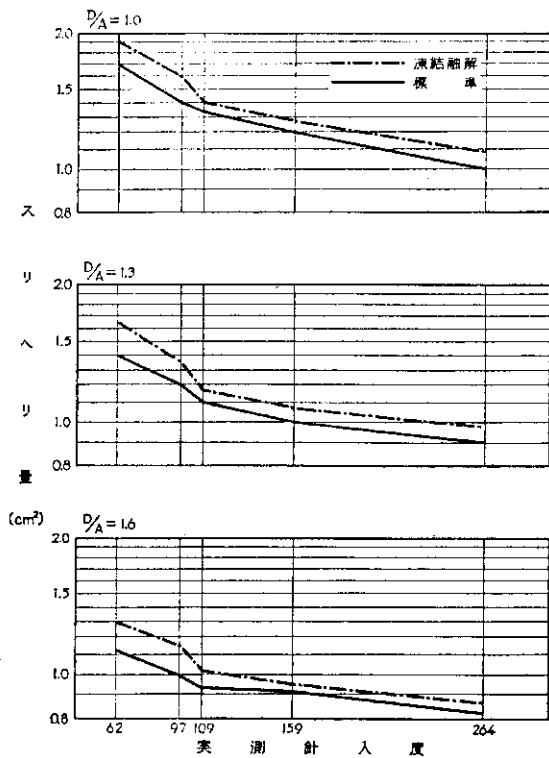


図-9 アスファルトの針入度とすりへり量

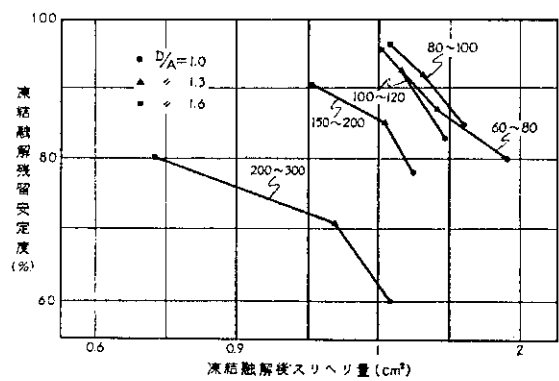


図-10 凍結融解後残留安定度と凍結融解後すりへり量



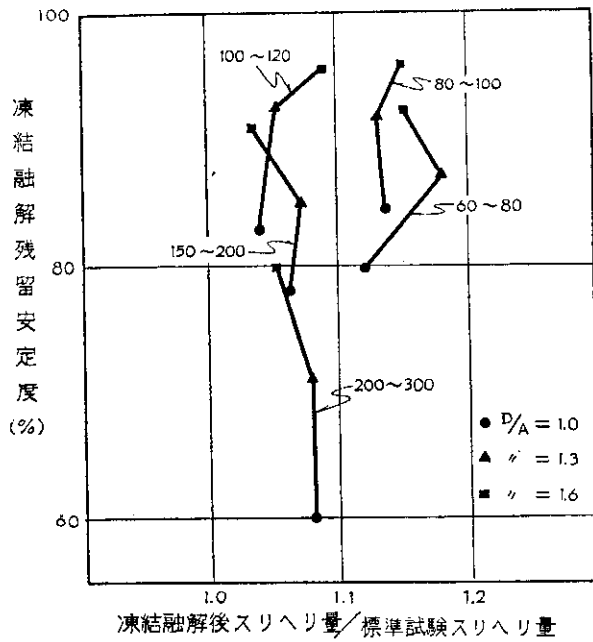


図-11 凍結融解残留安定度と  
(凍結融解後すりへり量/標準試験すりへり量)

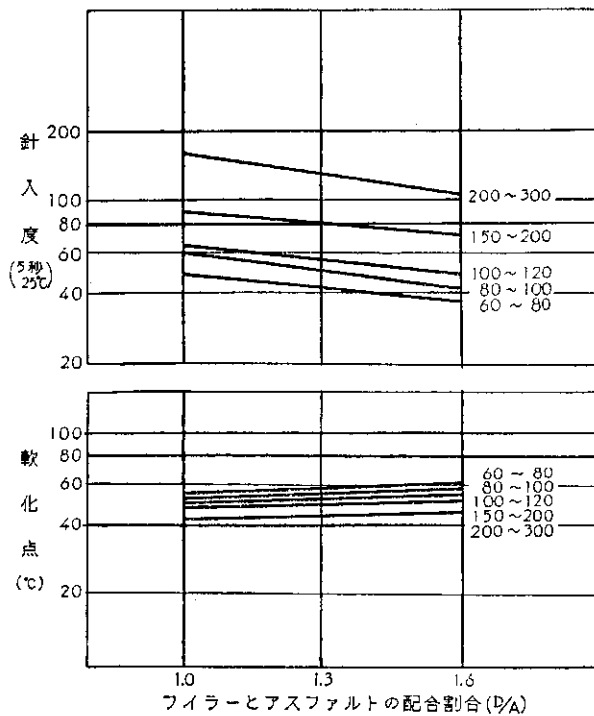


図-12 D/A と針入度および軟化点の関係

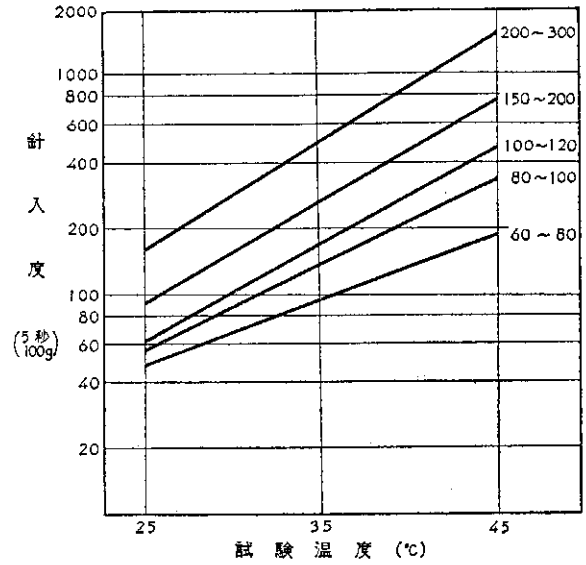


図-13 針入度試験温度と針入度 (D/A=1.0)

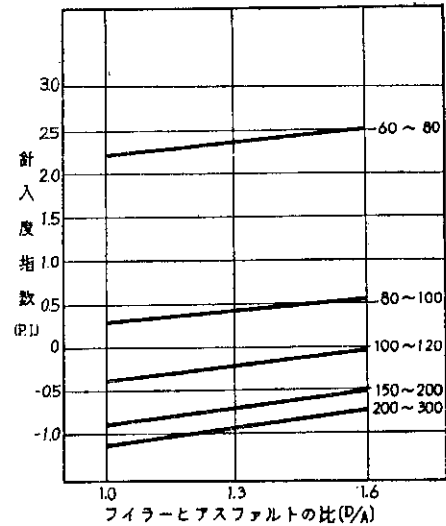


図-14 D/A と針入度指数の関係

増加に伴って対数方眼紙上で直線的に増大する。  
e 同じ D/A では、針入度の大きなアスファルトを用いた、ファイラー・ビチューメンの軟化点が低い。

f ファイラー・ビチューメンの針入度指数は、D/A の増加に伴って、普通方眼紙上で直線的に大きくなる。

g 針入度級の同じアスファルトを用いたアスファルト・モルタルの場合は、ファイラー・ビチューメンの針入度の小さいほう、軟化点の高いほう、P.I. の大きいほう (いずれも D/A の大きなほうということになる) が、マーシャル安定度は大きい。

針入度級の異なるアスファルトを用いた、アスファルト・モルタルの場合にも、D/A が同じであれば同様の傾向がある。

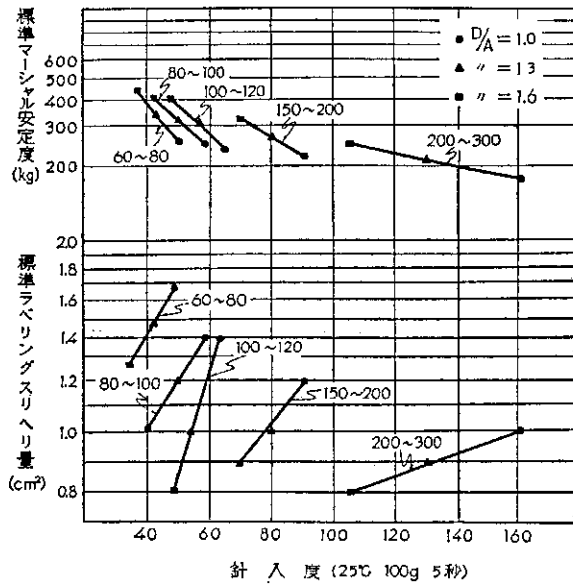


図-15 フィラー・ビチューメンの針入度と安定度およびすりへり量の関係

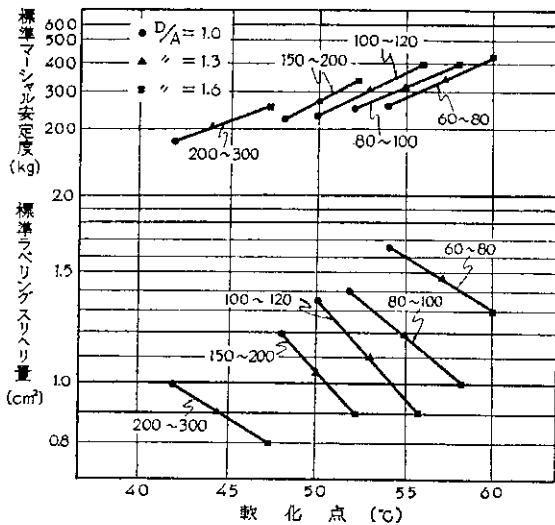


図-16 軟化点と安定度およびすりへり量の関係

h 針入度級の同じアスファルトを用いたアスファルト・モルタルの場合には、フィラー・ビチューメンの針入度の小さいほう、軟化点の高いほう、P.I. の大きいほうが、すりへり量は小さい。

針入度級の異なるアスファルトを用いたアスファルト・モルタルの場合にも D/A が同じであれば針入度の大きいほう、軟化点の低いほう、P.I. の小さいほうが、すりへり量は小さい。

あとがき

以上項目別に述べたことを要約すれば、次のようになる。

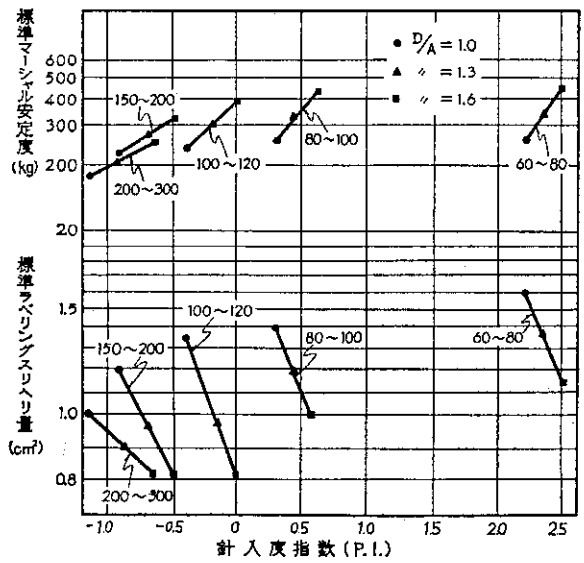


図-17 針入度指数と安定度およびすりへり量との関係

- a 凍結融解作用を受けたアスファルト・モルタルは、この作用を受けなかったものより安定度は小さくなり、すりへり量は大きくなり、フロー値も大きくなる。
- b 上記の関係は、D/A およびアスファルトの針入度によってその程度は異なる。
- c 本実験の範囲では、凍結融解作用によって、安定度、すりへり量の悪化する程度が最も小さいアスファルトは針入度級 100~200 であった。
- d 安定度を高めるには、針入度級の小さいアスファルトを用いたほうが良い。
- e すりへり抵抗性を大きくするためには、針入度級は大きいほうが良い。
- f フィラー・ビチューメンの物理的性状は、アスファルトの種類（今回は針入度別）によって大きく影響される。

今回は凍結融解作用を受けたアスファルト・モルタルの安定度およびすりへり抵抗性について、2, 3 の検討を加えたのであるが、今後は、くり返し载荷に対する耐久性とともに、さらに検討を加える予定である。

参考文献

1. 平尾晋, 高橋毅, 林亀一, 田沢文男: フィラー・ビチューメンの物理的性状について—アスファルトの違いによる影響—; 土木試験所月報第 142 号(40年 3月)
2. 平尾晋, 高橋毅, 林亀一, 鰐淵正則: 混合式スベリ止め材の耐久性について; 土木試験所月報第 141 号(40年 2月)