

耐流動性アスファルト舗装用吸油材の 製造と効能に関する研究

安藤 豊¹・杉 智光²・山田 優³

¹正会員 住友大阪セメント株式会社 セメント・コンクリート研究所 (〒551 大阪市大正区南恩加島 7-1-55)

²正会員 理博 住友大阪セメント株式会社 セメント・コンクリート研究所 (〒551 大阪市大正区南恩加島 7-1-55)

³正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本町 2-3-138)

アスファルト混合物中のアスファルトの一部を吸油材によって吸収させることによって、混合物の施工性やひび割れ抵抗性を低下させることなく耐流動性を高める工法について研究した。本文は、工法のねらい、そのための吸油材の目標性状、吸油材の原材料の選定理由と製造方法、吸油材の物理的性質、アスファルト混合物への吸油材の適正添加率、および混合物への添加による耐流動性改善効果、その他の性質に及ぼす影響について検討した結果を述べたものである。

Key Words: asphalt pavement, rutting, inorganic oil absorbent hardener, dynamic stability

1. はじめに

アスファルト舗装の破損の主な形態として、ひび割れとわだち掘れがあげられる。近年、構造設計法の進歩により、ひび割れの発生は少なくなったが、わだち掘れは充分には防ぎえていない。むしろ車両の重量化に伴って、舗装路面のわだち掘れ現象が生じやすくなり、問題となっている¹⁾。

わだち掘れの進行速度に影響する要因は、外的なものとして交通荷重と温度、内的なものとして表層・基層のアスファルト混合物の品質とその厚さを含めた舗装の構造である。路面の変形は路床と舗装の各層の永久変形が合わさって表われるが、アスファルト混合物層の変形は主に夏期の高温時のそれ自身の塑性流動の結果である。路盤・路床の変形は、それらの材料品質の改善だけでなく、層厚などの構造の強化によって減少する。しかし、アスファルト混合物層の変形については層厚を増大させても防ぐことが困難である。それを減少させるためには、混合物自体の改質が必要である。

高温でのアスファルト混合物の塑性流動の原因は、アスファルトの軟化である。それゆえ、高温でも高い粘度を維持するアスファルトを用いれば、混合物の塑性流動を小さくすることができる。耐流動性舗装にする方法として、アスファルト舗装要綱ではその目的で開発された改質アスファルトなどを用いることが記載されている。しかし、それらの改質アスファルトは普通のアスファルトに比べて、一般に施工温度が高く、厳しい温度管理を

必要とする。また粘度を高くすることにより、たわみ性や応力緩和性能が低下し、ひび割れを発生しやすくなるおそれがある。

そこで筆者らは、アスファルト混合物の高温時の軟化がアスファルト中の感温性の高い軽質油成分によって生じると考え、この軽質油を吸油性の高い材料で吸収することにより、施工性やひび割れ抵抗性を低下させることなく、アスファルト混合物の塑性流動を防止する方法について研究した。この吸油材による耐流動対策は、大阪府を中心に各地の重交通道路で適用され、樹脂入り改質アスファルトの使用と同等の耐流動効果を示している²⁾。実道路での供用性状については別途まとめて報告することとし、本文は吸油材の製造方法と効能に関する室内での研究結果について報告する。

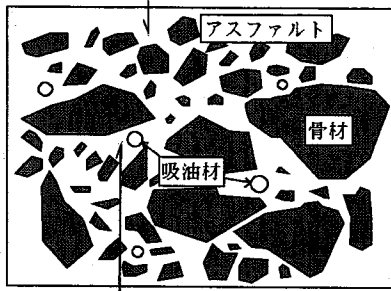
2. 吸油材による耐流動工法について

(1) 工法のねらい

アスファルト混合物はアスファルト、骨材とフィラーからなる粒状系複合材料である。加熱混合されたアスファルト混合物は、フィニッシャーで所定の厚さに敷きならされた後、ローラで転圧される。転圧後、混合物の温度が50°C程度以下に低下すると、自動車の輪荷重の載荷によっても混合物が塑性変形しない程度にアスファルトの粘度が高まり、交通開放を行うことができる。

このようにアスファルト混合物は、輪荷重によって容易には塑性流動変形しないようにつくられるが、夏期の

吸油材のない間隙中のアスファルトの性質には変化を及ぼさない。



周囲の余剰アスファルト、特にその軽質油分を吸油材が吸収して高粘度のアスファルトの部分をつくる。これが骨材の動きを拘束する。

図一 アスファルト混合物中での吸油材の影響の説明図

路面温度が 60°C 近い状態で大きな輪荷重が繰り返し走行すると、しだいに塑性流動変形が累積し、わだち掘れが生じる。この塑性流動変形に対するアスファルト混合物の抵抗は、アスファルトの粘度と骨材のかみ合わせ効果によることになる。骨材のかみ合わせ効果の改善には限界があるので、耐流動性を高めるためには高粘度のアスファルトを使用することが効果的と一般に考えられている。しかし、アスファルトの粘度を高くしすぎると、混合物の施工性の低下、許容引張りずみ量の減少によるひび割れ発生確率の増大をまねくおそれがあり、高粘度化にも限度がある。

そこで、アスファルトには通常の粘度のものをういて施工性や供用中の耐ひび割れ性の変化を最小限にとどめ、吸油材を用いて図一に示すような状態をつくり、混合物のせん断抵抗を高めて塑性流動変形を小さくできないかと考えた。すなわち、骨材間隙中の一部に吸油材を入れ、その周囲のアスファルトを吸収させる。混合物のせん断抵抗の低下の原因となる余分なアスファルト、特に流動しやすい軽質油分が減少することにより、その部分でのせん断抵抗の増大を期待する。一方、他の間隙部分には吸油材の影響が及ばず、アスファルトは通常どおりの粘度で、混合物の伸び能力や応力緩和性能などは維持される。

(2) 吸油材の目標性状

上記の工法のために要求される吸油材のアスファルト混合物中での効果をまとめると、以下のとおりとなる。

①効果は緩慢で混合物の製造および施工の際にはアスファルト混合物の性質に影響を与えず、温度を通常より高くすることなどを必要とせず、添加しても一般のアスファルト混合物と同様の容易さで混合物を製造、施工で

きること。

②供用中、わだち掘れが発生しやすい 60°C 付近の高い温度が続くと、余剰アスファルトの吸収、特にアスファルト中の軽質油分を吸収する特性を発揮すること。

③それによる混合物の耐流動性増大効果が吸油材の少ない添加量で生じ、吸油材の影響を受けないアスファルト部分が十分に存在し、混合物のひび割れ抵抗性を保証すること。

以上の効果をもたらすために、吸油材は微細な空隙を有した多孔質体で、直径 0.3~5 mm の球形顆粒状とした。微細な空隙を有した多孔質体としたのは、アスファルトと混合直後には吸油しないことにより施工性を損ねることなく、舗設後路面温度の上昇と交通荷重に伴い浸出して流動の原因となる軽質油を徐々に吸収させるためである。粒径範囲を 0.3~5 mm の顆粒状としたのは、粒径が大きくなると粗骨材のかみ合わせに障害を与え、また吸油材の分散が均一でなくなり好ましくない。粒径が細かくなり粉末状になると、比表面積が大きくなり、混合時からアスファルトの性質に影響を与える。粒形は混合しやすく、また破碎しにくいように球状とした。

吸油材を添加したアスファルト混合物の耐流動性とひび割れ抵抗性は、それぞれホイールトラック試験と静的曲げ試験で評価することとし、改質アスファルトを使用した場合と同程度の試験成績にすることを目標とした。

3. 吸油材の原材料の選定

(1) 表面被覆材

前記のような性状の吸油材を得るため、核となる種石に吸油性を有し微細な空隙を形成しやすい水硬性粉状体を付着させて表面を被覆し、粒径 0.3~5 mm のものを得ることとした。この表面被覆のための水硬性材料は、硬化後の吸油性が高いものが望ましい。そこで、JIS K 5101「顔料試験方法」に従い、各種の水硬性材料とその水和物の吸油量を測定した。水和物は水：水硬性材料=100：1（重量比）の懸濁液を脱水、乾燥して作製した。試験結果を表一に示す。

水和物の吸油量は、未水和のものに比較して約 1.4~2.2 倍高い値を示した。水和物の中では、NO.8 の高硫酸塩スラグセメント B の水和物がその他の水和物より約 1.5 倍高い吸油量を示した。このことから、表面被覆材としては高硫酸塩スラグセメント B の水和物が適していると考えた。

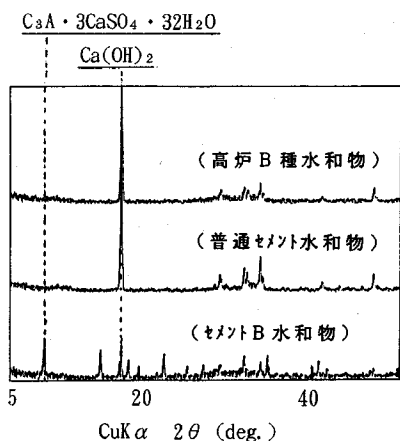
高硫酸塩スラグセメント B、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種のそれぞれの水和物の粉末 X 線回折図を図二に示す。高硫酸塩スラグセメント B の水和物にはエトリンガイト ($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)

表一 各種水硬性材料とその水和物の吸油量試験結果

No	試料	吸油量(%)
1	高硫酸塩スラグセメントA*	12.6
2	高硫酸塩スラグセメントB**	13.4
3	普通ポルトランドセメント	12.5
4	高炉セメントB種	13.4
5	高炉スラグ粉末	14.8
6	石こう粉末	12.0
7	No.1(セメントA)の水和物	19.8
8	No.2(セメントB)の水和物	29.3
9	普通ポルトランドセメントの水和物	17.4
10	高炉セメントB種の水和物	18.8

*セメントA(普通セメント85%+スラグ粉末8%+石こう7%)

**セメントB(普通セメント45%+スラグ粉末30%+石こう25%)



図一 各種水和物の粉末X線回折図

が顕著に生成しているのが認められた。このエトリンガイトの針状結晶の生成により空隙が増加し、吸油量が増大したものと推測される。

(2) 種石

種石は粒径が概ね1.2mm以下で、表面被覆材と十分緊密に接着するものが好ましい。そのためには、ポーラスなものが良いと考えた。そこで、各種細砂の全細孔容積を水銀ポロシメータにて測定して選定した。その測定結果を表一に示す。

高炉スラグの全細孔容積は海砂のそれと比較して約5~10倍高い値を示した。また、同じ高炉スラグでも徐冷スラグの全細孔容積は急冷スラグのその2倍高い値を示した。そこで、種石としては高炉徐冷スラグを用いることにした。

4. 吸油材の製造方法

表面被覆材の高硫酸塩スラグセメントBと種石の高炉徐冷スラグとを1:1の割合で混合し、18%前後の水

表二 種石候補材料の全細孔容積および粒径分布

項目	種類	海砂	高炉急冷スラグ	高炉徐冷スラグ
	全細孔容積 (cm ³ /g)		0.756x10 ⁻²	4.23x10 ⁻²
通過質量百分率(%)	4.75mm	100	100	100
	2.36	99.5	98.2	99.3
	1.18	94.3	74.9	89.6
	0.6	87.2	31.9	47.6
	0.3	60.4	8.1	7.7
	0.15	15.9	2.1	6.6

表三 吸油材の物理的性質

項目	代表値	測定方法	
かさ比重	2.225	JIS A 1109	
表乾比重	2.421		
見掛け比重	2.759		
吸水率(%)	8.7	JIS A 1110	
すりへり減量(%)	23.3	JIS A 1121	
安定性(%)	1.7	JIS A 1122	
通過質量百分率(%)	4.75mm	100	JIS A 1102
	2.36	72.5	
	1.18	34.0	
	0.6	3.5	
	0.3	0.3	

を噴霧状に散水して造粒機で造粒した。ロサンゼルスすりへり減量が30%以下となるまで養生した後、乾燥機で造粒物中の余剰水を蒸発させた。造粒物の使用時含水率は、アスファルト舗装要綱に示されているフィラーの規格値である1%以下と同程度を目標とした。

乾燥後の造粒物を4.75mmふるいと0.6mmふるいを通して、その間の物を吸油材とし、4.75mmふるい通過率は100%、0.6mmふるい通過率は5%以下になるように設定した。4.75mm以上の物は破碎して再度ふるいを通して製品とした。0.6mm以下の物は、種石として再利用した。

5. 吸油材の物理的性質

(1) 一般的な物理的性質

骨材の試験方法に準じて試験した吸油材の物理的性質を表一に示す。吸油材は0.3~5mmの粒度範囲にあり、一般の骨材と同程度の硬さを有し、吸水率が高い特徴がある。

水銀ポロシメータを用いて測定した吸油材と川砂の細孔分布を、それぞれ図一3および図一4に示す。吸油材は川砂と比較して、全細孔容積が約10倍大きく、また細孔そのものも微細な範囲に分布している。

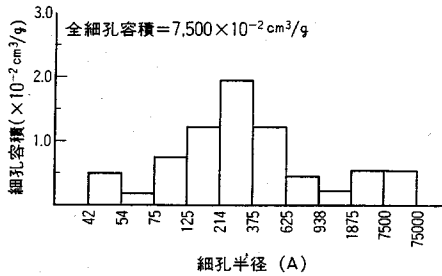


図-3 吸油材の細孔分布

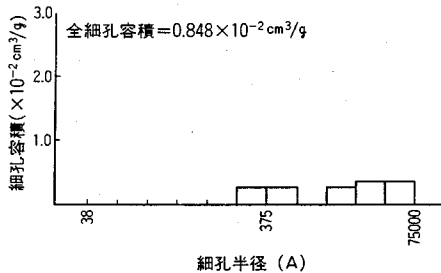


図-4 川砂(富士川砂)の細孔分布

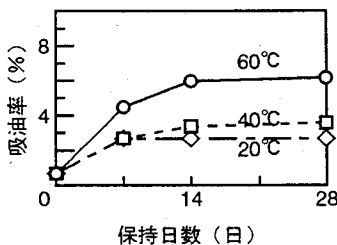


図-5 保持日数の進行に伴う吸油率の変化

(2) 吸油材の吸油率と吸油成分

2.5 mm 以上の吸油材と針入度 60~80 のストレートアスファルトとを同重量比で温度 155°C で混合し、室温まで冷却させた後 20°C、40°C および 60°C で保持して、所定の経過日数後に吸アスファルト率（以下、吸油率と称す）を測定した。測定は、混合物を 150°C に再度加熱して吸油材を沈降分離後、JIS A 1110「粗骨材の比重および吸水率試験方法」に準じ、吸油材表面のアスファルトをベンゼンでふき取り、その後吸油材内部のアスファルトをソックスレ抽出器を用いて抽出した。吸油率は、次式を用いて算出した。

$$\text{吸油率 (\%)} = \frac{\text{〔抽出前吸油材重量〕} - \text{〔抽出後吸油材重量〕}}{\text{〔抽出後吸油材重量〕}} \times 100$$

吸油材の吸油率測定結果を、図-5 に示す。吸油材の吸油率は、保持温度が上昇するに従い、あるいは保持日数の進行に伴い増加した。増加の度合いは、保持温度が 20°C および 40°C よりも 60°C において高くなった。また

各保持温度の場合とも、保持日数 14 日で吸油率の増加はほぼ停止し、平衡に達した。

混合直後の吸油率は、0.7%であった。吸油材の添加率を仮に 6% とすると、その 0.7% すなわち約 0.04% だけ骨材間隙中の実質アスファルト量は減少することになるが、それは微量であり、吸油材の吸油に起因する舗設時の施工性の低下は生じないものと推測される。

60°C で 28 日保持後の吸油率は、6.2%であった。このときの吸油量は同じく吸油材添加率を 6% とすると、0.37% の実質アスファルト量の減少をもたらす。このように、高温で長期間保持した場合の吸油量はかなり大きく、吸油材添加アスファルト混合物の耐流動性の向上に大きく寄与するものと考えられる。

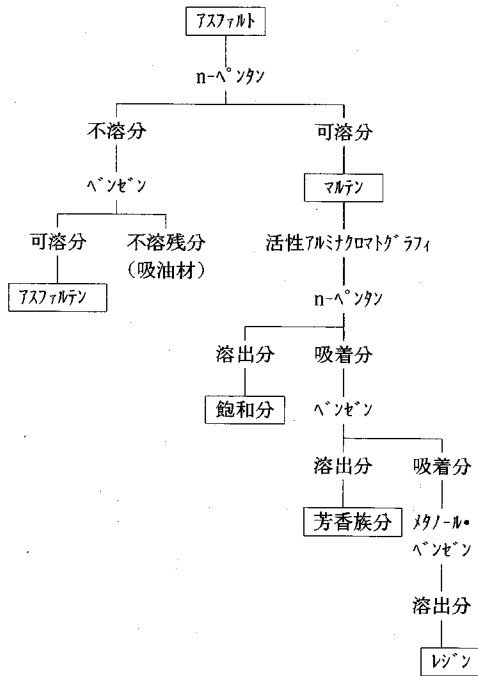
次に、吸油材の吸油成分について分析した。吸油率測定の場合と同じ方法で混合物を作製し 60°C で保持して、所定保持日数ごとにアスファルトの組成分析を行った。アスファルトは、下記に示す 4 種類に分けて分析した。

- ① プレーンアスファルト：吸油材を添加していないアスファルト。添加したものと同様の熱履歴を加えた。
- ② 周辺アスファルト：吸油材を沈降分離した残りのアスファルト。
- ③ 付着アスファルト：沈降分離した吸油材の表面に付着したアスファルト。
- ④ 吸収アスファルト：吸油材の内部に吸収されたアスファルト。

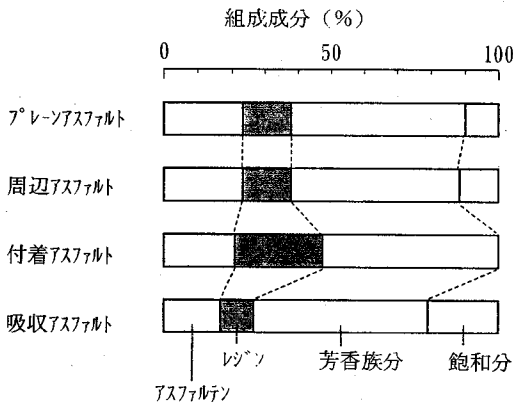
アスファルトの組成分析は、アメリカ鉱山局法³⁾と飯島らの方法⁴⁾とに準じて行った。まずアメリカ鉱山局法に準じて、n-ペンタンを使用してアスファルトをアスファルテンとマルテンに分離した。次に、飯島らの方法に準じて、活性アルミナクロマトグラフィーを用いてマルテンをレジン、芳香族分および飽和分に分離した。本実験で行った組成分析系統図を図-6 に示す。

アスファルト中で、高分子量 (MW=1,000~100,000) のアスファルテンは互いに二次的に結合してミセルを形成しており、一方アスファルテンに次ぐ分子量 (MW=500~50,000) のレジンはアスファルテンミセルを解こうする作用を有し、低分子量 (MW=300~2,000) のオイル (芳香族分+飽和分) 中にコロイド的に分散させる役割を演ずると考えられている⁴⁾。アスファルテンが増加するほどアスファルトの粘性が増し、レジンが増加するほど粘着性が増す。また、オイルが増加するほど流動性が増すと考えられている。

付着アスファルト量は、7 日後で 7.8%、14 日後で 8.3%、および 28 日後で 8.1% であり、平均付着量は 8.1% であった。この場合の付着厚さは約 0.3 mm と計算される。実際のアスファルト混合物中での被膜厚さは数 10 μm 程度と言われており⁵⁾、本実験結果の付着厚さは実際の被膜厚さの 10 倍程度の値であった。



図一六 本実験で行った組成分析系統図



図一七 各アスファルトの組成成分

各アスファルトとも保持日数の進行に伴う成分の変化は大きくなく、ほぼ一定の値を示した。各アスファルト別の組成成分の平均値を図一七に示す。吸油材粒子中に吸収されたアスファルトは、軽質油分である飽和分がプレーンアスファルトに比較して2倍程度に増加しており、吸油材が軽質油を優先的に吸収することが認められた。その影響は付着アスファルトに顕著に表れており、付着アスファルト中に飽和分はほとんど認められなかった。周辺アスファルトはプレーンアスファルトと同様の組成成分率であり、吸油材による影響はほとんど認められなかった。

このように、吸油材が吸収するアスファルトの組成成

分に選択性があるのは、高温での各成分の粘度が異なること、およびレジンにより解こうされた高分子量のアスファルテンミセルが吸油材の微細な空隙に容易に入りにくいことに起因すると考えられる。吸油材が飽和分を優先的に吸収する結果、吸油材粒子近辺のアスファルトは飽和分の少ないものになり、オイル分が減少した結果、高粘度なものに改質されると推測される。その結果、図一に示したような状態を形成することが期待される。

(3) 吸油材の有効比重

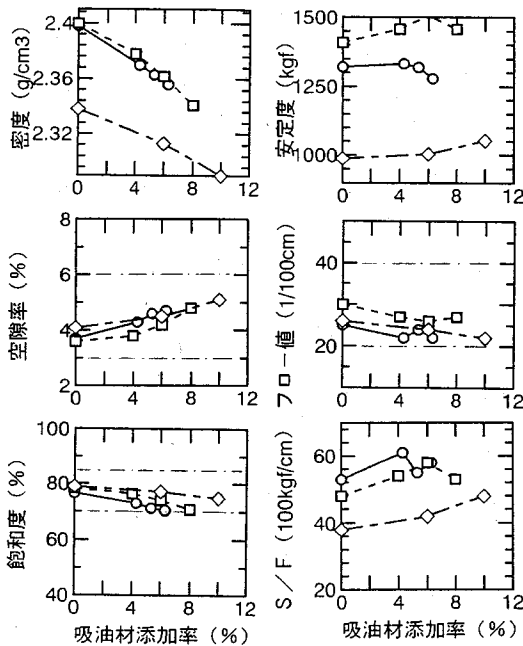
アスファルト舗装要綱では、“混合物の理論最大密度の計算に用いる骨材比重は、見掛け比重とする。ただし、吸水率が1.5%を越える粗骨材は、見掛け比重と表乾比重との平均値を用いる”としている。この考え方は、骨材の吸水率が1.5%以下の場合、骨材は吸水率の100%までアスファルトを吸収することを、また吸水率が1.5%以上の場合、吸水率の約75%までアスファルトを吸収することを想定している⁶⁾。

図一五から認められるように、混合直後の吸油材の吸油率は0.7%と微量であったが、保持温度60℃の場合、吸油率は約6%まで増加して平衡に達し、最終的には吸水率(8.7%)の7割前後まで吸油した。このことから、吸油材は混合直後では吸油材粒子内部にアスファルトをほとんど吸収せず、粒子内部に空隙を保持した状態でアスファルト混合物中に存在していることがうかがわれる。その際の吸油材の比重は、かさ比重に近い。理論最大密度を算出する際の吸油材の状態を、混合直後の吸油材粒子内部に空隙を保持した状態で考えるか、それとも吸油材内部にアスファルトを吸収し終えた状態で考えるかによって、吸油材の比重の取り方が変わってくる。前者の場合ではかさ比重に近くなり、後者の場合には見かけ比重と表乾比重の平均値程度になると考えられる。

このことは、吸油材添加アスファルト混合物の品質管理試験を行う時期によって、吸油材の比重の取り方が異なってくることを意味する。混合直後の場合の吸油材の比重としてかさ比重を、60℃で2週間保持した場合の吸油材の比重として見かけ比重と表乾比重との平均値を用いることが適切と考えられる。

6. アスファルト混合物への吸油材の適正添加率

アスファルト混合物に対する吸油材の適正添加率を検討するため、舗装試験法便覧に従ってマーシャル安定度試験およびホイールトラック試験を実施した。実験に用いたアスファルト混合物の種類は、表層用混合物としてM-13密粒度アスファルト混合物(OAC=5.6%)、M-20密粒度アスファルト混合物(OAC=5.3%)、細粒



[凡例] □ : M-13密粒度アスコン
 ○ : M-20密粒度アスコン
 ◇ : 細粒度アスコン

図-8 表層混合物における吸油材添加率とマーシャル安定度試験値との関係

度アスファルト混合物 (OAC=6.8%), および基層用混合物として粗粒度アスファルト混合物 (OAC=4.8%) の4種類であった。骨材は大阪府高槻産の硬質砂岩を用い、アスファルトは針入度60~80のストレートアスファルトを用いた。各アスファルト混合物のアスファルト量を最適アスファルト量に設定し、吸油材はそれらのアスファルト混合物に対して外割で0~10%添加した。

(1) マーシャル安定度試験による考察

最適アスファルト量 (以下、OACと称す) における表層用混合物での吸油材添加率とマーシャル安定度試験値との関係を、図-8に示す。マーシャル試験用供試体は突固め回数両面75回で作製し、60°C保持を行わずに測定した。そのため、理論最大密度算出の際の吸油材の比重として、かさ比重を用いた。

図-8から認められるように、吸油材添加率が増加するにしたがい密度が減少し、それに伴い空隙率が増加し、飽和度が減少した。空隙率は各混合物とも吸油材添加率10%まで舗装要綱の規格値内であったが、飽和度は舗装要綱の規格値を逸脱しやすい傾向が認められ、OACの小さい混合物ほど吸油材の小さい添加率で規格値を外れた。吸油材を外割で添加する場合、舗装要綱の飽和度の規格値を満足する添加率は、M-20密粒度アスファルト

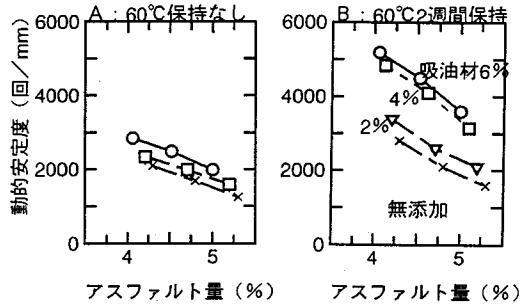


図-9 粗粒度アスファルト混合物におけるホイールトラッキング試験結果

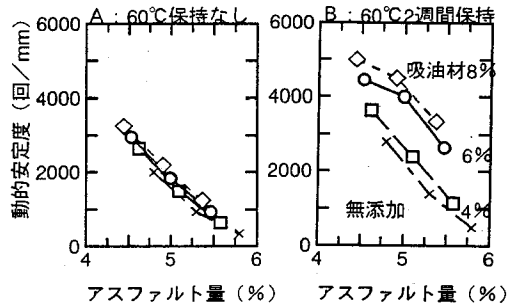


図-10 M-20密粒度アスファルト混合物におけるホイールトラッキング試験結果

混合物の場合6%添加まで、M-13密粒度アスファルト混合物の場合8%添加までであった。

また、吸油材添加率が増加するにしたがい、安定度(S)はほぼ一定で、フロー値(F)が減少した。その結果、耐流動性の目安となるS/F²が増加する傾向が認められた。フロー値もアスファルト量の少ないM-20密粒度アスファルト混合物で、吸油材の添加率が8%以上になると舗装要綱の規格値を下回る傾向が認められた。

粗粒度アスファルト混合物の場合、吸油材添加率6%までマーシャル安定度各試験値とも舗装要綱の規格値を満足した。

(2) ホイールトラッキング試験による考察

60°C保持なしと60°C2週間保持の場合における粗粒度アスファルト混合物およびM-20密粒度アスファルト混合物のホイールトラッキング試験結果を、それぞれ図-9および図-10に示す。また、M-13密粒度アスファルト混合物および細粒度アスファルト混合物の試験結果を、60°C2週間保持の場合のみについてそれぞれ図-11および図-12に示す。ここでアスファルト量は、吸油材外割添加後の混合物全質量に対するアスファルトの質量パーセントである。

60°C保持なしの場合 (図-9および10参照)、吸油材添加混合物と無添加混合物の動的安定度を同じアスファ

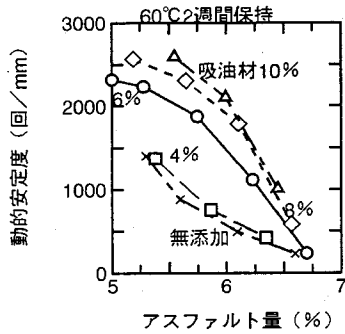


図-11 M-13 密粒度アスファルト混合物におけるホイールトラッキング試験結果

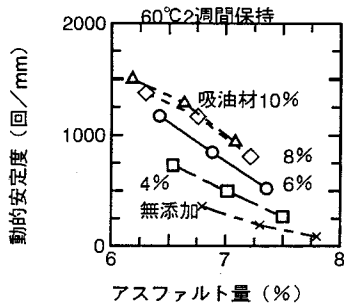


図-12 細粒度アスファルト混合物におけるホイールトラッキング試験結果

ルト量と比較すると、その差は小さく、吸油材の添加効果は明確でない。動的安定度はアスファルト量に依存し、アスファルト量が減少するに従い直線的に増加した。その勾配は混合物の種類により異なり、粗粒度アスファルト混合物では -500 回/mm・% (アスファルト) であり、M-20 密粒度アスファルト混合物では $-1,000$ 回/mm・% (アスファルト) であった。

60°C 2週間保持の場合(図-9~12 参照)、60°C 保持なしに比べ、動的安定度は無添加においても増加したが、吸油材添加率が大きいほど増加し、吸油材の添加に伴う耐流動性改善効果が認められた。アスファルト量と動的安定度の関係曲線の形状は、吸油材の添加率によって異なり、各混合物とも吸油材添加率が小さい範囲では60°C 保持なしの場合と同じく直線または原点側に凸の曲線となり、吸油材添加率が大きくなると逆に外側に凸の曲線に変化した。すなわち、アスファルト量が少なすぎたり、多すぎる場合には、吸油材の添加による動的安定度の増加率は低く、OAC 付近の適当なアスファルト量において増加率が高くなる傾向がみられた。

これより吸油材の添加効果が高いかどうかは、アスファルト量と動的安定度の関係の曲線の形から推測できると考えられる。外側に凸の曲線を描くようになる添加率付近において添加率の増加に伴う動的安定度の増加率

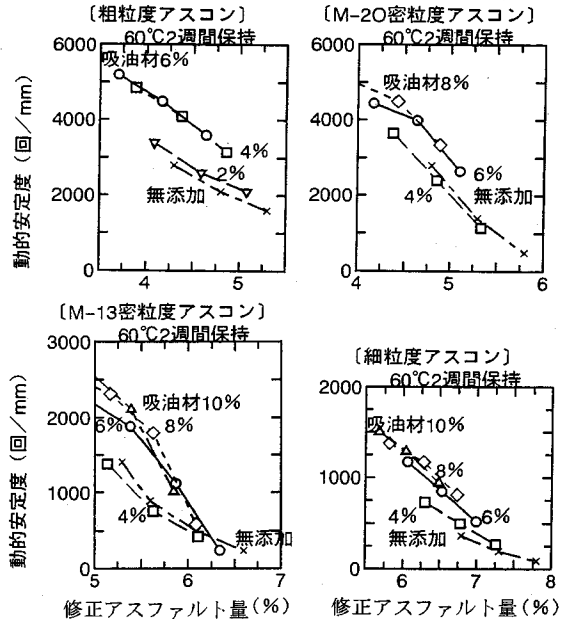


図-13 修正アスファルト量と動的安定度の関係

が高く、その添加率から増大させても動的安定度の改善効果はわずかであった。この添加率は、粗粒度アスファルト混合物の場合4%、M-20 密粒度アスファルト混合物の場合6%、M-13 密粒度アスファルト混合物の場合同じく6%、細粒度アスファルト混合物の場合8%であった。これらの添加率は、いずれも前項の考察より、マーシャル安定度試験に対する基準値を満足するものであった。そこでそれらの添加率を各混合物への適正添加率と判断した。

7. 吸油材添加による混合物の耐流動性改善効果

上記のとおり、各混合物とも OAC \pm 0.5% の範囲でこの適正添加率の吸油材を添加して 60°C 2週間保持した場合、無添加混合物に比較して、同一アスファルト量で 2~3 倍高い動的安定度を示した。

この動的安定度の増加は、主に吸油材のアスファルトの吸収による骨材間隙中の実質アスファルト量の減少によると考えられる。そこで、図-5 で示した実験結果から、60°C 2週間保持後の吸油材のアスファルト吸収率を 6% とし、その分を差し引いたアスファルト量を修正アスファルト量として、それと動的安定度の関係を示すと図-13 のようになる。いずれの混合物の場合においても、添加率の違いによる動的安定度の変化はかなり小さくなったが、まだ明らかに吸油材添加により動的安定度が高くなる傾向がみられる。この動的安定度の差が吸油

材の真の効果であり、軽質油分の選択吸収によるものと推測される。また、吸油材を適正添加率以上添加しても、同一修正アスファルト量で適正添加率の場合と同程度の動的安定度であった。

なお、舗装要綱では耐流動対策として、“目標 DS (動的安定度) は、交通条件、気象条件および経済性等を考慮して 1,500 回/mm 以上で設定するが、大型車交通量が著しく多い箇所では 3,000 回/mm 以上で設定することも多い”と記述されている。適正吸油材添加率における動的安定度は、アスファルト量が OAC 付近において、粗粒度アスファルト混合物の場合 3,500~4,000 回/mm、M-20 密粒度アスファルト混合物の場合 3,000~4,000 回/mm と上記の高い方の目標値 3,000 回/mm 以上を満足した。また、M-13 密粒度アスファルト混合物の場合 2,100~2,200 回/mm と低い方の目標値である 1,500 回/mm 以上を満足する程度であった。3,000 回/mm 以上が要求される箇所では吸油材による耐流動対策をはかる場合、表層混合物として M-20 密粒度アスファルト混合物を採用することが好ましい。細粒度アスファルト混合物の場合には 1,000~1,200 回/mm であり、低い方の目標値である 1,500 回/mm 以上をも満足できなかった。

このようにアスファルト混合物の動的安定度は、混合物の種類やアスファルト量によって異なり、OAC の低い混合物では低吸油材添加率で高い動的安定度を得ることができ、OAC の高い混合物では吸油材添加率を大きくしても、舗装要綱で示される耐流動性混合物の低い方の目標値である 1,500 回/mm も達成できなかった。

8. 動的安定度に及ぼす保持条件の影響

図-9, 10 から認められるように、動的安定度を増加させるという吸油材の添加効果は、添加直後ではわずかにしか認められなかったが、60°C 2 週間保持した条件の場合顕著に認められた。この保持条件の影響を M-20 アスファルト混合物に吸油材を 6% 添加した場合でみると、図-14 に示すようになる。同混合物を 60°C で保持すると、保持日数の進行に伴い動的安定度が増加し、2 週間保持でほぼ一定の値となり、直後の場合に比較して約 2 倍高い動的安定度を示した。それに比べ、室温で保持した場合には、動的安定度の増加傾向はわずかであった。無添加混合物では、室温保持の場合はほとんど変化せず、60°C 保持の場合も動的安定度の増加は認められるが、吸油材添加の場合に比べて増加率は低かった。

また、M-13 密粒度アスファルト混合物 (OAC=5.4%) に吸油材を 6% 添加して、試験前の保持条件を変えてホイールトラッキング試験を実施した。その結果を図-15 に示す。60°C で保持した場合、保持日数の経過に伴い動

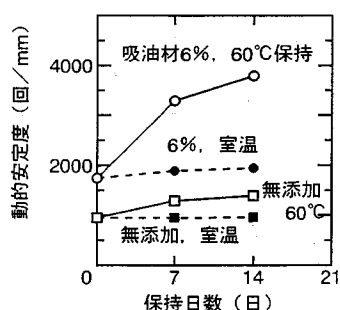


図-14 M-20 密粒度アスファルト混合物における保持日数と動的安定度との関係

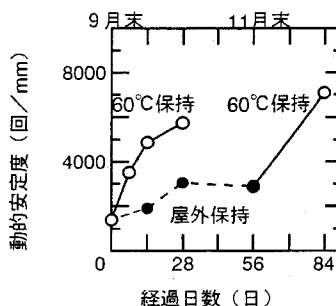


図-15 異なる保持条件での動的安定度の変化 (M-13 密粒度, 吸油材 6% 添加)

動的安定度は増加し、保持日数 28 日で初期の約 5 倍の動的安定度を示した。

秋期に屋外で保持した場合、保持日数の進行に伴い動的安定度は増加するが、温度が 16°C~48°C と低いため 60°C 保持の場合より低い。また、28 日以降では時期が 11 月に入り外気温が 5°C~20°C に低下したことにより、保持日数が増しても動的安定度の増加傾向は認められなかった。しかしその後、同供試体を 60°C で保持すると、動的安定度は顕著に増加した。

このように、吸油材は保持温度が夏期の路面温度である 60°C 程度に高くなると、吸油性効果を発揮し (図-5 参照)、アスファルト混合物の動的安定度を増加させる効果を示すことが認められた。

9. 60°C 保持に伴う混合物中アスファルトの針入度の変化

また、60°C 保持条件によるアスファルトへの影響が懸念されるため、M-20 密粒度アスファルト混合物で 60°C 保持した場合の針入度の経時変化を測定した。針入度試験は、混合物からアスファルトをアブソン抽出 (ASTM 法) で回収し JIS の方法に従って行った。

60°C 保持日数と針入度の関係を、図-16 に示す。吸油材 6% 添加混合物および無添加混合物とも、60°C 保持日

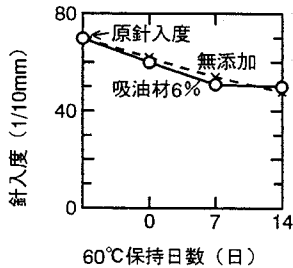


図-16 M-20 密粒度アスファルト混合物における保持日数と針入度との関係

数が経過するに従って針入度が低下する傾向が認められた。吸油材6%添加混合物と無添加混合物を比較すると、どちらも同じ傾向の針入度の低下度合いであった。このことから、吸油材添加の有無が、供用中のアスファルトの劣化速度に影響することはないと考えられる。

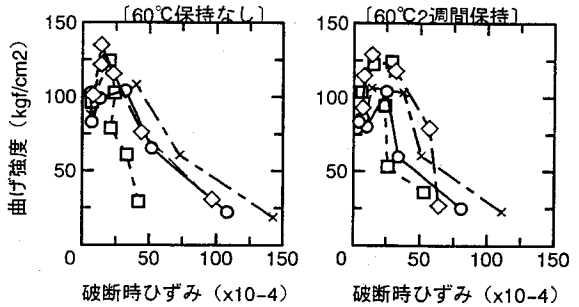
10. 吸油材添加アスファルト混合物の静的曲げ試験結果

次に、耐ひび割れ性を検討するため、寸法 30 mm×30 mm×300 mm の供試体の 2 点載荷で静的曲げ試験を行うことにより、混合物の破断時ひずみと曲げ強度を求めた。試験温度は、 $-20^{\circ}\text{C}\sim+20^{\circ}\text{C}$ とした。

なお吸油材添加混合物のほか、無添加のストレートアスファルト混合物および耐流動対策として一般に用いられているセミプローンアスファルト、ゴム系改質アスファルトをバインダとする混合物も試験して曲げ特性を比較した。混合物の種類は M-20 密粒度アスファルト混合物、またアスファルト量は 5.2% (OAC) とし、吸油材を 6% 外割添加した。

各混合物の試験結果から曲げ強度と破断時ひずみの関係、すなわち破壊包絡線を描くと図-17 のようになった。破断時ひずみ、曲げ強度が全域にわたって大きいほどひび割れ抵抗性に優れた混合物であるといえる。60°C 保持なしでは、ひずみの小さい領域 (低温域) でセミプローンアスファルトとゴム系改質アスファルトの混合物が無添加ストレートアスファルト混合物より優れており、ひずみの大きい領域 (常温域) ではすべての耐流動性混合物が無添加ストレートアスファルト混合物より劣っていた。特にセミプローンアスファルト混合物では常温域での破断時ひずみが小さい。破壊包絡線は、ストレートアスファルト>ゴム系改質アスファルト=吸油材>セミプローンアスファルトの順であった。

60°C 2 週間保持の条件では、常温での破断時ひずみが小さくなり、すべての混合物がセミプローンアスファルト混合物の値に近づく傾向を示した。破壊包絡線は、ストレートアスファルト>ゴム系改質アスファルト>吸油



- (凡例) ○—○ 吸油材添加ストレートアスファルト混合物
 ×—× 無添加ストレートアスファルト混合物
 □—□ セミプローンアスファルト混合物
 ◇—◇ ゴム系改質アスファルト混合物

図-17 静的曲げ試験結果

材=セミプローンアスファルトの順であった。

図-16 の針入度試験結果から認められるように、吸油材添加混合物において、アスファルトの劣化の程度は無添加混合物と同程度であると推測される。図-17 に示されるように吸油材添加混合物はセミプローンアスファルト混合物と同程度の破壊包絡線を示し、4 種類の混合物の中ではひび割れ抵抗性に優れているとは言えない。このことから、吸油材添加混合物を使用する場合の舗装構造は、セミプローンアスファルトを用いた混合物を舗設する場合と同様に、基層以下の支持力を十分確保する必要があると考えられる。

11. 結 論

アスファルト舗装体温度が 60°C 程度に高くなると、アスファルト混合物中で吸油性を発揮し、混合物の耐流動性を高める吸油材について研究した。この吸油材の概要と主な効能について、次のとおりまとめることができる。

- ①吸油材は、直径 0.3~5 mm の顆粒状の多孔質体であり、高炉徐冷さいを種石とし、それを吸油性の大きい高硫酸塩スラグセメント水和物で被覆している。
- ②一般の骨材に比べて比重が小さく、吸水率が高いが、同程度の硬さを持つ。
- ③アスファルトとの混合時には、アスファルトの吸収は微量で、その後 60°C 程度の高い温度で保持することによって吸収が進む。吸アスファルト率の最終値は 6% 程度である。
- ④吸油材は軽質油分 (飽和分) を優先的に吸収し、吸油材周辺のアスファルトは飽和分が減少することにより高粘度なものに改質される。吸油によるアスファルトの減量効果とこの改質効果の相乗効果により、吸油材添加アスファルト混合物の耐流動性が向上するものと

推測される。

- ⑤吸油材添加アスファルト混合物の理論密度を算出する際の吸油材の比重は、その時点でのアスファルトの吸収度合いに応じて変化する。混合直後の場合には、かさ比重に近い値となる。
- ⑥動的安定度の改善効果を効率的に期待できる適正吸油材添加率は、粗粒度アスファルト混合物の場合4%、M-20密粒度アスファルト混合物の場合6%、M-13密粒度アスファルト混合物の場合同じく6%であった。
- ⑦細粒度アスファルト混合物の場合、吸油材を用いて耐流動性混合物を作製することは困難であった。
- ⑧吸油材添加アスファルト混合物の動的安定度は、適正添加率において無添加混合物に比較して、同一アスファルト量で2~3倍高い値を示した。
- ⑨60°C程度の温度で保持することにより混合物中のアスファルトの針入度は低下するが、吸油材の添加がその低下速度を高める傾向は認められなかった。
- ⑩しかし、静的曲げ試験結果からは、ひび割れ抵抗性はすぐれたものとはいえない。今後、このことについて詳しい研究を行い、配合設計ならびに構造設計において適切な考慮を必要とする。

最後に、本研究は大阪府土木技術事務所のご指導のもとに実施した。また、大林道路(株)大阪試験所の関係各位より多大なる協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 飯島尚ほか：座談会「舗装技術の現状と将来」, アスファルト, Vol.36, No.178, pp.1~25, 1994.1.
- 2) 椋本宏, 安藤豊, 古久保和志：吸油性骨材使用耐流動舗装の供用性状, 第19回日本道路会議一般論文集, pp.380~381, 1991.10.
- 3) Rethel L. Hubbard, K.E. Stannfield: Determination of Asphaltenes, Oils, and Resins in Asufalt, *Analytical Chemistry*, Vol.20, No.5, pp.460~465, 1948.5.
- 4) 飯島 博：アスファルトの組成と物性について, 石油学会誌, 第13巻, 第8号, pp.10, 1970.
- 5) 松野三郎, 南雲貞夫, 三浦裕二, 山之口浩：アスファルト舗装に関する試験, 建設図書, pp.158, 1971.
- 6) 松浦精一, 小林繁之：アスファルト混合物の最大比重試験(その2), 舗装, Vol.19, No.7, pp.31~36, 1984.7.
- 7) 松野三郎, 月成稔, 真田輝臣：アスファルト混合物の流動性に関する試験舗装について, 第9回日本道路会議一般論文集, pp.151~152, 1969.10.

(1995.10.11 受付)

PRODUCTION AND PROPERTIES OF AN INORGANIC OIL ABSORBENT HARDENER FOR ASPHALT PAVING MIXTURES

Yutaka ANDO, Tomomitsu SUGI and Masaru YAMADA

This paper describes the development of an inorganic oil absorbent hardener which absorbs a part of asphalt in asphalt paving mixtures at high temperature. Inorganic oil absorbent hardener improves the plastic flow resistance of asphalt paving mixtures without lowering workability and crack-resistance.