

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

**No.1280**

December 2013

高安定性アスファルト混合物の各種特性の評価

河村	直哉
森川	嘉之
村山	雅人
平戸	利明
前川	亮太

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,  
Port and Airport Research Institute, Japan

## 目 次

要 旨 .....	3
1. はじめに .....	4
2. 室内試験によるHSAの各種特性の評価 .....	4
2.1 流動変形抵抗性 .....	5
2.2 耐油性 .....	7
2.3 疲労抵抗性 .....	9
3. 試験施工によるHSAの施工性の検証 .....	10
3.1 試験施工の概要 .....	10
3.2 試験舗装におけるアスファルト混合物の性状確認 .....	10
4. HSAを用いた舗装の耐久性の検証 .....	13
4.1 繰返し走行載荷試験の概要 .....	13
4.2 試験結果 .....	14
5. まとめ .....	14
6. おわりに .....	14
参考文献 .....	15

# Properties of High Stability Asphalt Mixture

**Naoya KAWAMURA\***

**Yoshiyuki MORIKAWA\*\***

**Masato MURAYAMA\*\*\***

**Toshiaki HIRATO\*\*\***

**Ryota MAEKAWA\*\*\*\***

## Synopsis

High stability asphalt mixture has highly resistance to viscous deformation that is equal to semi-flexible pavement material under the vehicle loading and has oil resistance. The pavement using the mixture can place in service on the next day after the construction. The mixture might be one of the promising materials for controlling severe rutting under the heavy loadings of aircrafts and the severe time constrains for construction of airport pavement. However application of the mixture to airport pavement has not been studied. The inhibiting effect of rutting and grooving damage is not clear under the aircraft loading.

For the purpose of applying the mixture to airport pavement, the authors evaluate the properties of the mixture in laboratory tests that simulate the environment of airport pavement, and investigate durability of the test pavement using the materials in field tests. As a result, under the load condition designed with aircraft loading, it shows that the special add-in material for the mixture needs to be added more than 25% of optimum asphalt content to achieve resistance to viscous deformation of semi-flexible pavement material in laboratory tests. In the field tests, it is confirmed that the rutting resistance of the pavement using the mixture is as inhibiting effect of rutting as the pavement using polymer modified asphalt mixture under the large aircraft loading. On the other hand, the superiority in the resistance of grooving deformation is confirmed.

**Key Words:** High stability asphalt mixture, Large aircraft loading, rutting, Oil resistance,  
Resistance to grooving damage

---

\* Researcher, Pavement Group, Structural Engineering Field

\*\* Head, Researcher, Pavement Group, Structural Engineering Field

\*\*\* Toa road corporation

\*\*\*\* Assistant professor, Civil and Environmental Engineering, Faculty of science and engineering, Univ of chuo  
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5059 Fax : +81-46-844-0255 e-mail: kawamura-n@pari.go.jp

# 高安定性アスファルト混合物の各種特性の評価

河村 直哉\*・森川 嘉之\*\*・村山 雅人\*\*\*・平戸 利明\*\*\*・前川 亮太\*\*\*\*

## 要 旨

高安定性アスファルト混合物は、道路荷重条件下において半たわみ性混合物に匹敵する優れた流動変形抵抗性が得られる一方で、従来の加熱アスファルト混合物と同様に施工後早期の交通解放が可能である。そのため、空港舗装のような荷重条件や時間的制約が厳しい環境下では、高いわだち掘れ抑制効果のある舗装材料として期待することができる。しかしながら、空港舗装への適用性が検討された例はほとんどなく、航空機荷重条件下におけるわだち掘れ抵抗性やグルーピングの変形抵抗性など明らかにされていない部分がある。

そこで、本研究では、高安定性アスファルト混合物の滑走路等空港の基本施設の舗装への適用を目的とし、空港の舗装環境を想定した室内試験において高安定性アスファルト混合物の各種特性を明らかにするとともに、屋外試験においてこの材料を用いた舗装の施工性および大型航空機荷重に対する耐久性を調査した。その結果、室内試験では、航空機荷重を想定した荷重条件下において半たわみ性混合物と同等の流動変形抵抗性を得るためには、特殊添加材の添加量をアスファルト量のうち、25%以上添加する必要があることを示した。屋外試験では、特殊添加材の添加量 25%における高安定性アスファルト混合物を用いた舗装の施工性に問題がないことを示した。また、大型航空機荷重下では、高安定性アスファルト混合物を用いた舗装のわだち掘れ抵抗性は、ポリマー改質アスファルト II 型を用いた舗装と同程度であったものの、グルーピングの塑性変形抵抗性には一定の優位性が確認された。

**キーワード：**高安定性アスファルト混合物、大型航空機荷重、わだち掘れ、耐油性、グルーピングの変形抵抗性

---

\* 構造研究領域空港舗装研究チーム研究官

\*\* 構造研究領域空港舗装研究チームチームリーダー

\*\*\* 東亜道路工業㈱

\*\*\*\* 中央大学理工学部環境都市工学科

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所

電話：046-844-5059 Fax：046-844-0255 e-mail: kawamura-n@pari.go.jp

## 1. はじめに

アスファルト舗装の主要な破壊形態の一つにわだち掘れが挙げられる。わだち掘れの発生を抑制する手段として、改質アスファルトを使用する方法がある。これまでに、様々な改質アスファルトが開発されてきた。例えば、ストレートアスファルトにゴムや熱可塑性エラストマーを添加したポリマー改質アスファルトをバインダーとするアスファルト混合物があり、現在、わだち掘れを抑制するための材料として一般的に用いられている。また、より高いわだち掘れ抑制効果が得られるアスファルト混合物として、アスファルト混合物にセメントミルクを注入する半たわみ性混合物やエポキシ樹脂とアスファルトの混合バインダーを用いたエポキシアスファルト混合物がある。これらの材料は、アスファルトの弱点である油に対する抵抗性も有する。以上の特徴を持つ一方で、改質アスファルトなどを用いた通常の加熱アスファルト混合物とは異なり、セメントやエポキシ樹脂の反応により強度が発現されるまでに養生が必要である。また、近年では、半たわみ性混合物に匹敵する流動変形抵抗性と耐油性を有し、かつ、従来の加熱アスファルト混合物と同様に強度発現のための養生を必要としない高安定性アスファルト混合物（以下、HSA という）が開発されている<sup>1)</sup>。これらの特徴は、ポリマー改質アスファルトを主材とするアスファルトバインダーに熱可塑性樹脂の添加材（以下、特殊添加材という）を添加することで発現される。

以上のように、様々なアスファルト混合物が現在開発されており、今後、舗装を効率的に維持管理するためには、これらの材料の特徴を活かしつつ、適材適所に適用することが必要とされている。

ここで、空港舗装に着目すると、滑走路や誘導路の多くはアスファルト舗装であり、わだち掘れが顕著な箇所では、ポリマー改質アスファルトの使用による対策がなされつつある。アスファルト舗装の滑走路端部などでは航空機の旋回や停止によりわだち掘れやグルーピングの変形が大きくなるケースがあり、現状ではポリマー改質アスファルトによる対策効果が得られているとしても、今後、より高い変形抵抗性を持つ材料が運用上の時間的制約の中で必要とされる可能性はある。

一方、エプロンでは、わだち掘れや油による劣化が懸念されるアスファルト舗装ではなく、コンクリート舗装が採用されることが多い。運用上、日中に施設を閉鎖することができない舗装箇所では、プレキャストコンクリート舗装が採用されることがあるが<sup>2)3)</sup>、施工翌日に供

用できるというメリットがある一方で、初期建設費が高いというデメリットがある。そのため、現場打ちのコンクリート舗装と比較し経済性に劣っており、施設閉鎖できないコンクリート舗装箇所では、高い耐久性を有し、施工後早期の交通解放が可能であり、かつ、可能な限り経済性に優れる材料が望まれている。

以上の舗装箇所におけるニーズを解決する一つの手段として、高い流動変形抵抗性と耐油性を有するアスファルト混合物の適用が考えられる。エポキシアスファルト混合物については、道路舗装でエポキシアスファルト混合物を用いる場合に、その工期短縮方法が検討された例はあるものの<sup>4)</sup>、空港舗装での早期交通解放性という観点からは十分な検討はなされていない。また、半たわみ性混合物については、空港舗装への適用は検討されているものの<sup>5)</sup>、基本施設への適用にはほとんど至っていない。一方、HSA については、道路荷重条件下で高い流動変形抵抗性を示すことが分かっているが、空港舗装に用いた場合に航空機荷重条件下でどの程度のわだち掘れやグルーピングの損傷に対する抑制効果が得られるかは明らかではない。また、HSA の疲労抵抗性についても明確ではない。

本研究では、HSA の適用性に着目することとし、滑走路等空港の基本施設の舗装への適用を目的として、空港の舗装環境を想定して HSA の各種特性を室内試験にて明らかにするとともに、屋外実験場にて試験施工を実施し、本材料を用いた舗装の施工性および大型航空機荷重に対する耐久性を調査した。

## 2. 室内試験によるHSAの各種特性の評価

アスファルト混合物の流動変形抵抗性や疲労抵抗性などの性能は、骨材粒度およびアスファルト量により変化する。本検討では、骨材粒度に着目するとともに、アスファルト量としてアスファルトに占める特殊添加材の添加量に着目して、空港の舗装環境を想定した室内試験においてHSAの流動変形抵抗性、耐油性および疲労抵抗性を評価した。なお、本検討では、アスファルト混合物の種類に関わらず、添加するアスファルト量は、マーシャル安定度試験から得られる最適アスファルト量<sup>6)</sup>とした。

### 2.1 流動変形抵抗性

#### (1) 特殊添加材の影響

航空機荷重を想定した荷重条件下で、特殊添加材の添加量がHSAの流動変形抵抗性に及ぼす影響を検討した。

#### a) 試験方法

流動変形抵抗性の評価には、写真-1 に示すホイールトラッキング試験機（以下、WT 試験機という）を用いた。WT 試験機は、アスファルト混合物の供試体上で車輪を往復走行させることで、実舗装における繰返し走行載荷を再現する試験機である。試験方法は、舗装調査・試験法便覧 B003<sup>7)</sup>に準拠した。なお、この試験法は道路の荷重条件を想定しており、本検討では、航空機の荷重条件に近づけるために、輪荷重を通常の 2.5 倍に設定した。以下では、変更した荷重条件における試験を、修正 WT 試験という。表-1 に修正 WT 試験の試験条件を示す。なお、比較のため、WT 試験の試験条件を併せて示している。流動変形抵抗性の評価には、往復走行回数 1,260 回における車輪走行部のわだち掘れ量（以下、最終変形量という）を用いた。

#### b) 試験材料

これまでの道路舗装における実績では、アスファルトバインダーにおける特殊添加材の添加量は、最適アスファルト量のうちの 20%としていた。この添加量を基準として、本検討では、最適アスファルト量に占める特殊添加材の添加量を 20、25 および 30%の 3 通りに設定した。この設定は、添加量を多くすると流動変形抵抗性の向上効果が得られる一方で、アスファルト混合物の混合性および施工性が低下することを考慮して決定した。試験には、最大粒径 13mm の密粒度ギャップアスファルト混合物（以下、密粒 G(13)）を用いた。この混合物に用いた骨

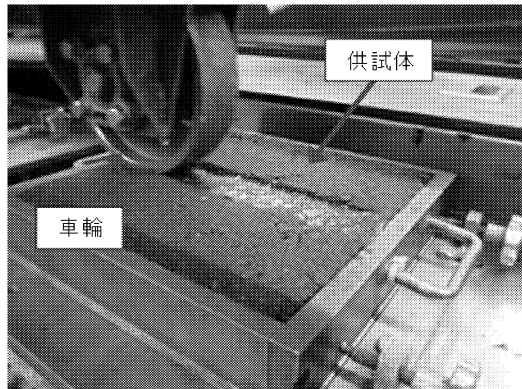


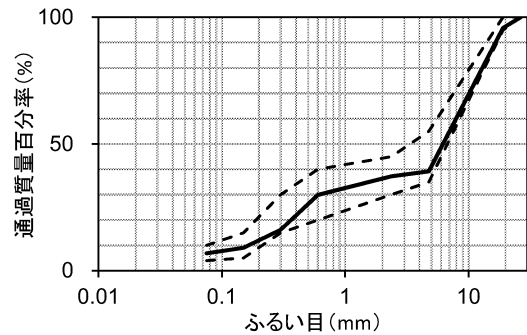
写真-1 WT 試験機

表-1 修正 WT 試験の試験条件

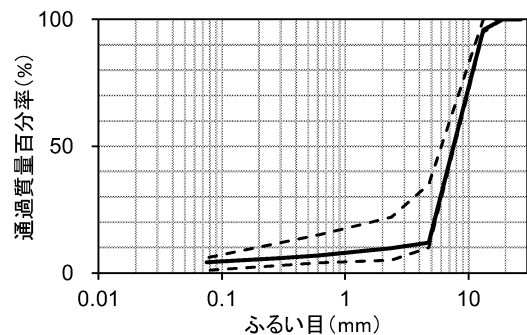
	WT試験	修正WT試験
供試体寸法	300mm × 300mm × 50mm	
試験温度	60℃	
タイヤ種	ソリッドゴム	鉄輪
載荷荷重	686N	1715N
走行回数/時間	1260往復/60分	

材の粒度を図-1 および表-2 に、最適アスファルト量を表-3 に示す。また、比較材料として半たわみ性混合物を用いた。半たわみ性混合物の母材であるアスファルト混合物は、最大骨材粒径 13mm の開粒度アスファルト混合物であり、これに、急硬性セメントミルクを注入し作製した。

図-1 および表-2 に開粒度アスファルト混合物の骨材粒度を示し、表-3 に本検討で用いた開粒度アスファルト混



a) 密粒 G(13)



b) 開粒度アスファルト混合物

図-1 アスファルト混合物に用いた骨材の加積粒度曲線

表-2 合成粒度

ふるい目	合成粒度(%)	
	密粒G(13)	開粒度(13)
26.5	—	100.0
19	100.0	100.0
13.2	96.6	95.9
4.75	44.9	12.0
2.36	42.5	9.8
0.6	28.8	6.9
0.3	16.2	5.9
0.15	9.6	—
0.075	6.9	4.2

表-3 各骨材粒度における最適アスファルト量

	密粒G(13)	開粒度(13)
最適アスファルト量(%)	5.4	4.7

合物の最適アスファルト量を示す。試験には、材齢 7 日の供試体を用いた。なお、以下の調査に用いるすべての半たわみ性混合物は以上の材料および配合としている。

c) 試験結果

図-2 に修正 WT 試験の結果を示す。試験結果より、特殊添加材の添加量が多くなると、最終変形量は小さくなった。道路用の特殊添加材の添加量 20%においては、最終変形量が半たわみ性混合物の結果の 2 倍であったことから、荷重が大きくなると、半たわみ性混合物と同等の流動変形抵抗性は得られないことが示された。また、重荷重条件下で半たわみ性混合物と同等以上の流動変形抵抗性を得るためには、添加量を最適アスファルト量の

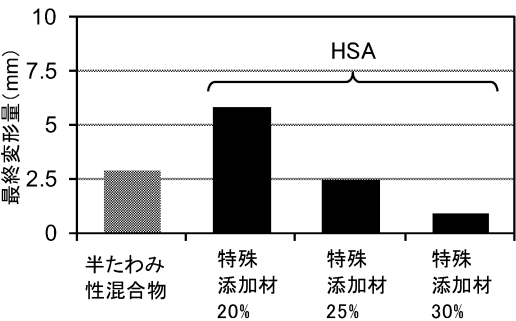


図-2 流動変形抵抗性に対する特殊添加材の添加量の影響

25%以上添加する必要があることを示した。

以下の調査では、以上の結果および予備的に混合性と施工性を確認した結果を踏まえて、検討対象とする HSA の配合は、アスファルト量に占める特殊添加材の割合を 25%とした。なお、残りの 75%には、ポリマー改質アスファルト II 型を使用した。

(2) 骨材粒度の検討

最適アスファルト量に占める特殊添加材の添加量を 25%としつつ、骨材の粒度を変えることで流動変形抵抗性に対する骨材粒度の影響を検討した。

a) 使用材料

本検討では、表-4に示す5種類の骨材粒度のアスファルト混合物を用いた。密粒G(13)の骨材粒度は、図-1および表-3に示した。また、それ以外の骨材粒度を図-3および表-5に示し、各骨材粒度における最適アスファルト量を表-6に示す。また、滑走路やGSE車両通行帯のアスファル

表-4 アスファルト混合物の種類

最大骨材 粒径(mm)	混合物の種類	本資料での 記載名称
20	粗粒度アスファルト混合物	粗粒(20)
20	密粒度アスファルト混合物	密粒(20)
20	密粒度ギャップアスファルト混合物	密粒G(20)
13	密粒度ギャップアスファルト混合物	密粒G(13)
13	砕石マステックアスファルト混合物	SMA(13)

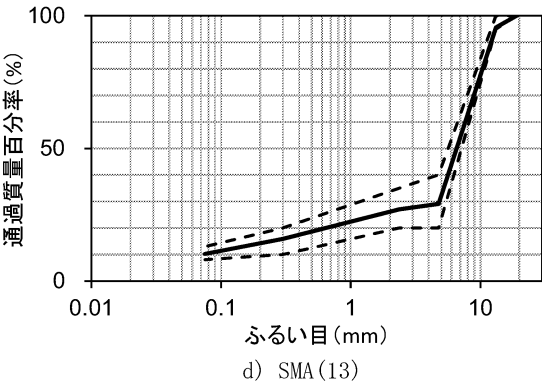
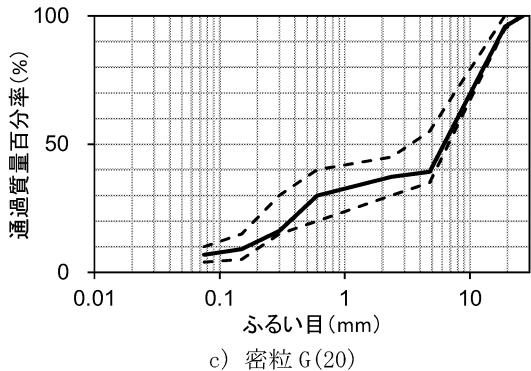
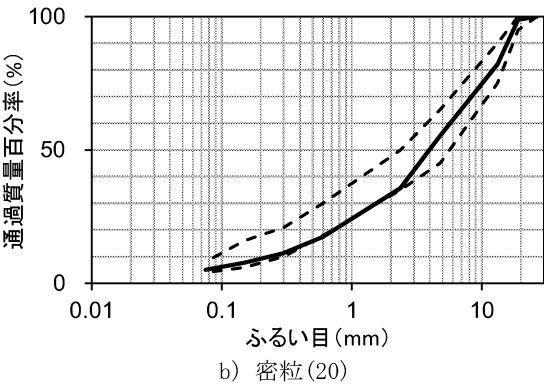
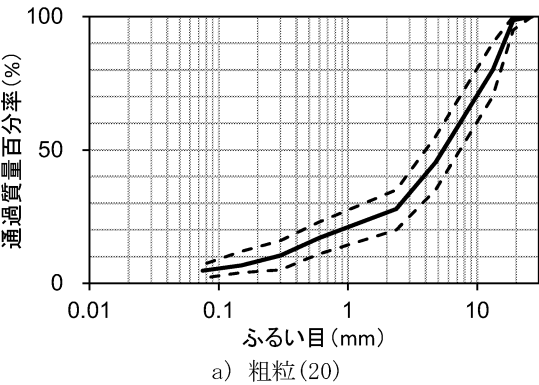


図-3 各骨材粒度の加積粒径曲線

ト舗装で用いられるアスファルト混合物（以下、従来材料）と流動変形抵抗性を比較するために、HSAに加え、ストレートアスファルト60/80を用いたアスファルト混合物（以下、StAsという）、わだち掘れ抑制対策として使用されるポリマー改質アスファルトII型を用いたアスファルト混合物（以下、PMAIIという）、および、半たわみ性混合物を用いた。なお、StAsおよびPMAIIの骨材粒度は、HSAと同一の骨材粒度とした。

#### b) 試験結果

図-4にHSAおよび従来材料に対して実施した修正WT試験の結果を示す。HSAの最終変形量は、SMAにおいて他の粒度と比較し大きくなったものの、骨材粒度による明確な差はなく、いずれの骨材粒度においても半たわみ性混合物と同程度であった。アスファルト混合物の骨材粒度が違えば混合物中の骨材の配向も異なるため、骨材粒度は流動変形抵抗性に影響するが（例えば8）、HSAの場合、骨材粒度による流動変形抵抗性の向上効果はあまり期待でき

ないと考えられる。

また、HSAの結果を従来材料と比較すると、PMAIIに対しては最終変形量が約0.2～0.4倍に抑制された。またStAsでは最終変形量が20mm以上となり、StAsに対しては少なくとも0.1～0.2倍に抑制された。なお、StAsの結果については、いずれも試験途中で変形量が大きくなったために、試験途中で終了した場合の結果である。以上のことから、航空機荷重を想定した条件下におけるHSAの流動変形抵抗性は、StAsおよびPMAIIに対して優位であることが示された。

## 2.2 耐油性

### (1) 試験方法

耐油性の評価には規格化された試験方法はない。そのため、本検討では、アスファルト混合物の供試体を油に浸漬させることで供試体を劣化させ、その供試体に対して力学試験を実施することで耐油性を評価した。力学試

表-5 各アスファルト混合物の骨材粒度

ふるい目	合成粒度(%)				
	粗粒(20)	密粒(20)	密粒G(20)	密粒G(13)	SMA13
26.5	100.0	100.0	100.0	—	—
19	98.7	98.8	95.8	100.0	100.0
13.2	79.9	82.1	—	96.6	95.6
4.75	45.3	55.2	39.2	44.9	29.2
2.36	27.9	35.7	37.2	42.5	27.1
0.6	17.0	17.4	30.0	28.8	—
0.3	10.4	11.3	16.2	16.2	15.9
0.15	6.7	7.7	9.1	9.6	—
0.075	4.7	5.1	7.0	6.9	10.2

表-6 各骨材粒度における最適アスファルト量

	粗粒(20)	密粒(20)	密粒G(20)	密粒G(13)	SMA13
最適アスファルト量(%)	4.6	5.3	5.0	5.4	6.0

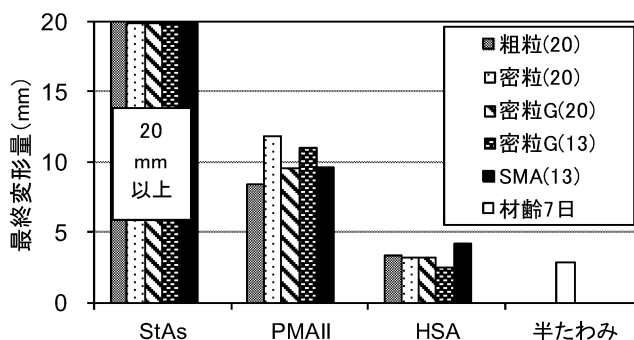


図-4 修正 WT 試験の結果（従来材料と比較）



験には、マーシャル安定度試験およびねじり抵抗性試験を実施した。なお、本検討では、航空機の燃料がアスファルト舗装に付着することを想定し、油には航空機の燃料に近い灯油を用いた。以下に各試験における試験条件と供試体の作製条件を示す。

a) マーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験は、舗装調査・試験法便覧B001に準拠した<sup>7)</sup>。耐油性の評価には、残留強度率を用いた。残留強度率は、灯油に浸漬させていない供試体のマーシャル安定度に対する灯油に浸漬させた供試体のマーシャル安定度の比である。

マーシャル安定度試験に供する劣化試験体の作製方法は、2通りの方法とした。1つは、大気圧下で灯油に浸漬させたマーシャル供試体（以下、油浸マーシャル供試体という）であり、もう1つは、減圧下で灯油に浸漬させたマーシャル供試体（以下、真空油浸マーシャル供試体という）である。油浸マーシャル供試体は、大気圧条件下において室温で48時間灯油に浸漬させた後、室温で24時間気中養生し、マーシャル安定度試験に供した。また、真空油浸マーシャル供試体は、64Paに減圧した条件下で、室温で1時間灯油に浸漬させた後、大気圧条件下で24時間気中養生し、マーシャル安定度試験に供した。灯油浸漬時に減圧した理由は、灯油をアスファルト混合物内部に強制的に浸潤させることで、油によるアスファルト混合物の劣化を促進させるためである。

b) ねじり抵抗性試験

ねじり抵抗性試験は、舗装性能評価法の「ねじり骨材飛散値を求めるためのねじり骨材飛散試験機による測定方法」<sup>9)</sup>を参考にして実施した。ねじり抵抗性試験は、アスファルト混合物のねじり抵抗性を評価するために、写真-2に示すねじり骨材飛散試験機を用いた試験であり、航空機などが旋回する際に発生するタイヤのねじり荷重を再現しているものである。実際の試験では、タイヤと供試体をそれぞれ回転させ、供試体に一定のタイヤ荷重を作用させる。表-7に試験条件を示す。本試験における耐油性の評価には、試験後の車輪通過部のアスファルト混合物のわだち掘れ量を用いた。

試験に用いる試験体は、寸法300mm×300mm×50mmのWT試験用供試体を灯油に浸漬させた試験体である。作製方法は、大気圧下において室温で48時間灯油に浸漬させ、大気圧下において24時間室温にて養生後、60℃で5時間養生し、試験に供した。また、比較のため、灯油に浸漬させない供試体も試験に供した。

(2) 試験材料

マーシャル安定度試験およびねじり抵抗性試験では、

表-4に示した粗粒(20)以外のアスファルト混合物を用いた。粗粒(20)は、空港舗装では基層用のアスファルト混合物であり、本試験はアスファルト舗装の表層に灯油が付着することを想定しているため検討から除外した。バインダーには、HSAに加え、従来材料との比較のため、StAs、PMAIIを用いた。また半たわみ性混合物も用いた。従来材料との比較は、密粒G(13)のアスファルト混合物で行った。

(3) 試験結果

図-5にHSAを用いた油浸マーシャル供試体および真空油浸マーシャル供試体に対して実施したマーシャル安定度試験の結果を示す。密粒(20)以外の粒度では、残留強度率は、半たわみ性混合物と同程度かそれ以上であった。

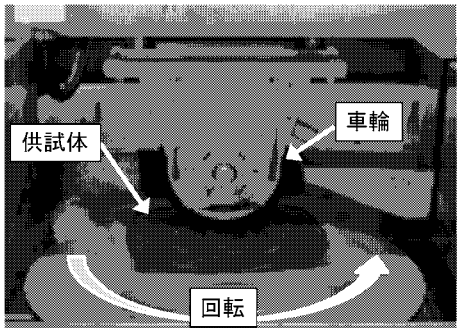


写真-2 ねじり骨材飛散試験機

表-7 ねじり抵抗性試験の試験条件

試験温度(℃)	60
試験時間(時間)	2
荷重(N)	686
タイヤ種	ソリッドゴム
回転半径(cm)	7.5
破壊判定基準	変形量10mm

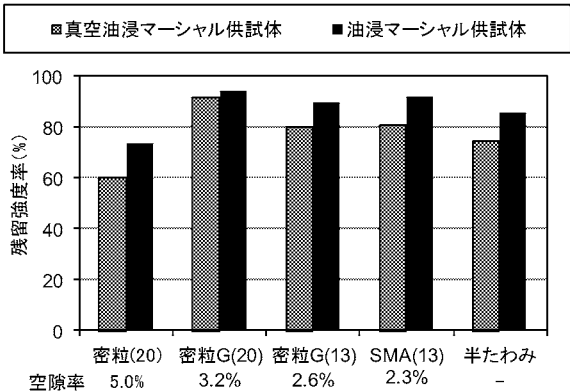


図-5 マーシャル安定度試験結果（骨材粒度の影響）

一方、密粒(20)では、他の粒度の結果と比較して、いずれの試験においても残留強度率が小さかった。灯油に浸漬させていないマーシャル供試体の強度が他の粒度と同程度であったことを考慮すると、これは、空隙率が他の粒度のアスファルト混合物よりも大きかったためであると考えられる。ここでいう空隙率は、マーシャル供試体の理論最大密度に対するマーシャル供試体のかさ密度の比で求められる。理論最大密度とは、締め固めたアスファルト混合物中に空隙が全くないと仮定した場合のアスファルト混合物の密度である。

図-6 および図-7 には、StAs および PMAII と比較した結果を示す。StAs および PMAII についても、空隙率が大きい場合、残留強度率が小さいことが認められ、HSA の結果と同様のことが言える。また、いずれの試験においても、StAs および PMAII の結果と比較すると、HSA の残留強度率は大きく、アスファルトの弱点である耐油性が改善されていることを確認できる。

図-8 に油浸ねじり抵抗性試験の結果を示す。HSA に対

して試験を実施した結果、骨材粒度の違いによる変形量の差はなく、半たわみ性混合物と同程度であった。また、図-9 には、骨材粒度を密粒 G(13)とした場合について StAs および PMAII と比較した結果を示す。StAs では、灯油に浸漬させない供試体は試験途中で破壊に至り、浸漬させた場合には灯油から供試体を引き上げる際に混合物が崩壊した。PMAII では、灯油に浸漬させると試験途中で破壊に至った。その一方で、HSA では、PMAII と比較し変形量は小さく、灯油に浸漬させても破壊に至ることは

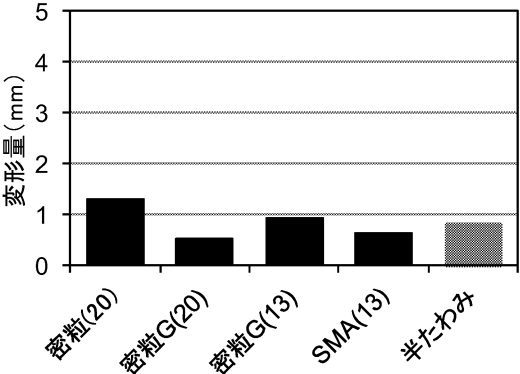


図-8 油浸ねじり抵抗性試験の結果  
(骨材粒度の影響)

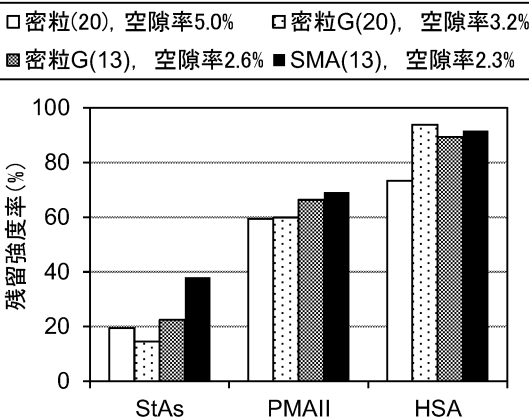


図-6 油浸マーシャル供試体に対する結果  
(StAs および PMAII との比較)

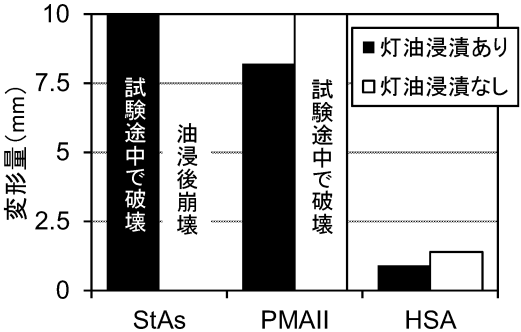


図-9 油浸ねじり抵抗性試験の結果  
(StAs および PMAII との比較)

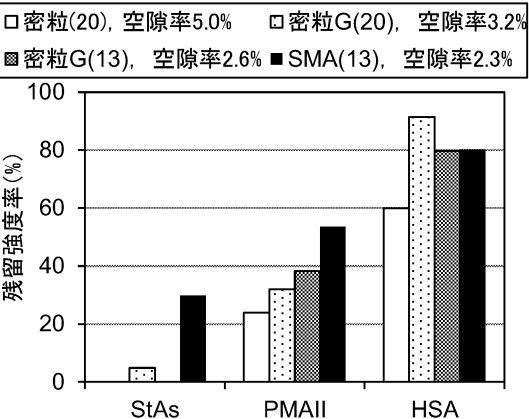


図-7 真空油浸マーシャル供試体に対する結果  
(StAs および PMAII との比較)

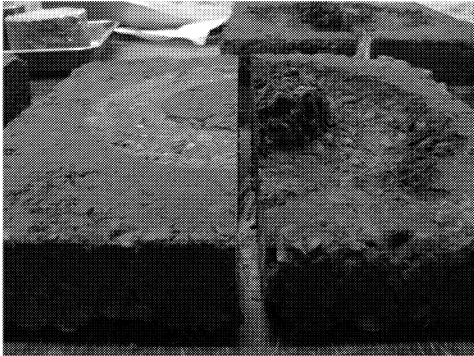


写真-3 油浸ねじり抵抗性試験後の供試体  
(左半分：HSA、右半分：PMAII)

なかった。写真-3には、試験後の供試体を示す。変形状況の違いを明確に確認できる。以上のことから、HSAは、従来材料と比較して耐油性に優れることが確認された。

2.3 疲労抵抗性

(1) 試験方法

疲労抵抗性は、曲げ疲労試験を実施し、疲労破壊回数により評価した。試験は舗装調査・試験法便覧B018Tに準拠した<sup>7)</sup>。表-8に試験条件を示す。

(2) 試験材料

HSAの疲労抵抗性の評価には、密粒(20)、密粒G(20)、

密粒G(13)およびSMA(13)を用いた、従来材料との疲労抵抗性の比較には、アスファルト混合物の骨材粒度は密粒G(13)を用いた。

(3) 試験結果

図-10および図-11に曲げ疲労試験の結果を示す。HSAの疲労破壊回数は、8,000から10,000回であり、粒度による大きな差異は認められなかった。従来材料の疲労破壊回数と比較すると、HSAの疲労破壊回数は、StAsと同程度、PMAIIよりも小さく、半たわみ性混合物よりも大きかった。このことから、今回の試験条件の範囲では、StAsと同程度の疲労破壊抵抗性であることが示された。

表-8 曲げ疲労試験の試験条件

項目	試験条件
供試体寸法(cm)	4×4×40
試験方法	ひずみ制御
試験温度(℃)	10
載荷周波数(Hz)	5
載荷波形	サイン波
ひずみ	400μ

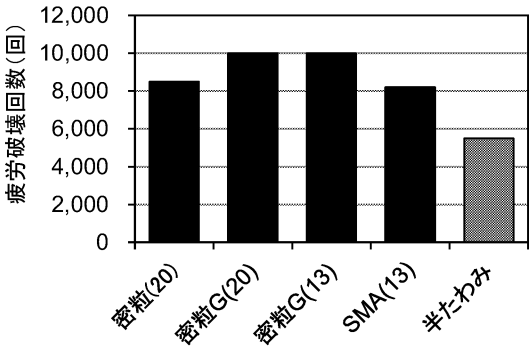


図-10 疲労破壊回数（骨材粒度の影響）

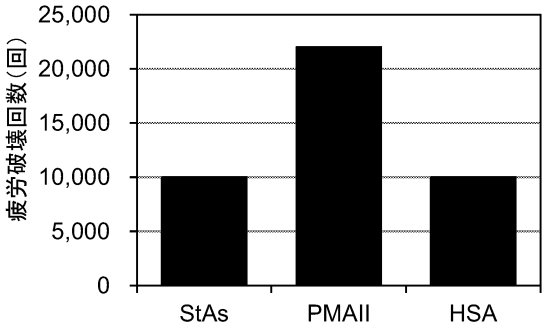


図-11 疲労破壊回数（StAs および PMAII との比較）

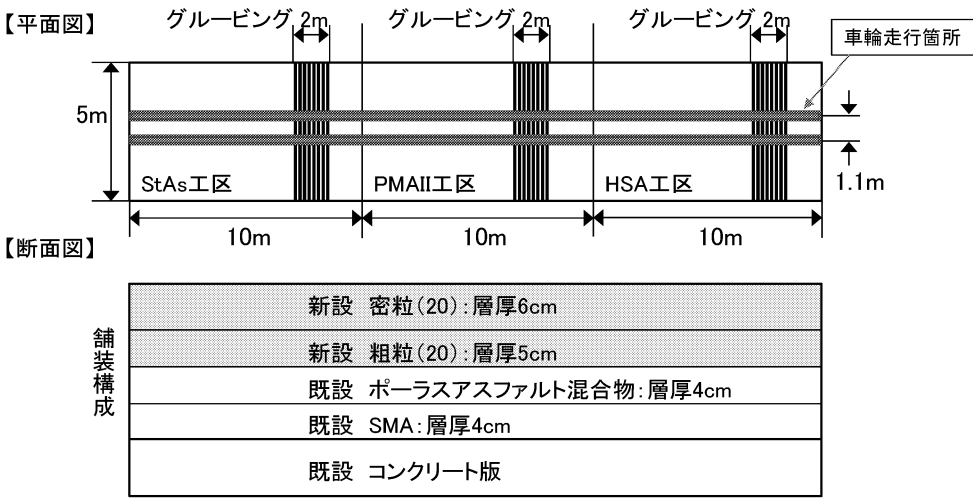


図-12 試験舗装の平面図および断面図

用いた工区（以下，StAs工区という），PMAIIを用いた工区（以下，PMAII工区という），HSAを用いた工区（以下，HSA工区）である。図-13に各舗装工区の表基層に用いたアスファルト混合物の骨材粒度を示し，表-9には，各工区に使用したアスファルト混合物のアスファルト量を示す。なお，アスファルト量は，最適アスファルト量とした。StAs工区およびPMAII工区の各層には，同一の骨材粒度およびアスファルト量のアスファルト混合物を用いた。表層施工から2日後には，表層にグルーピングを施工した。グルーピングは，滑走路等のすべり抵抗性を確保することを目的として設置される溝である。グルーピングの形状は幅および深さが6mmであり，設置間隔は32mmである。

### 3.2 試験舗装におけるアスファルト混合物の性状確認

#### (1) マーシャル安定度および締固め度

図-14に，各工区に試験施工した表層および基層に用いたアスファルト混合物のマーシャル安定度を示す。空港土木工事共通仕様書<sup>9)</sup>では，施工管理基準として，マーシャル安定度に対しては9.8kN以上であることとしており，いずれのアスファルト混合物についても基準値を満足していた。また，図-15には，試験舗装から採取したコアから締固め度を求めた結果を示す。HSA工区の表層および基層の締固め度は，施工管理基準である締固め度98%以上であった。その一方で，StAs工区およびPMAII工区では，基層は基準を満足していたものの，表層では基準値以下であった。

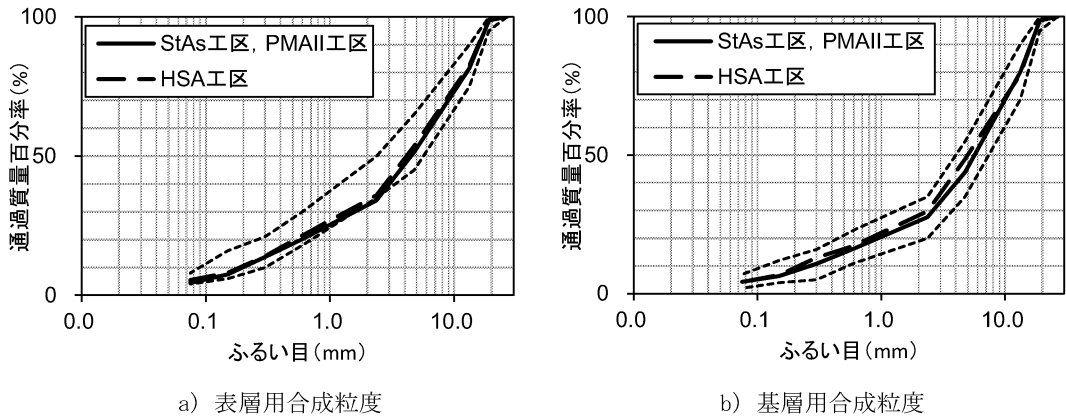


図-13 各工区に用いた骨材の合成粒度

表-9 各骨材粒度における最適アスファルト量

	StAs工区 PMAII工区 表層	StAs工区 PMAII工区 基層	HSA工区 表層	HSA工区 基層
最適アスファルト量(%)	5.2	4.6	5.3	4.9

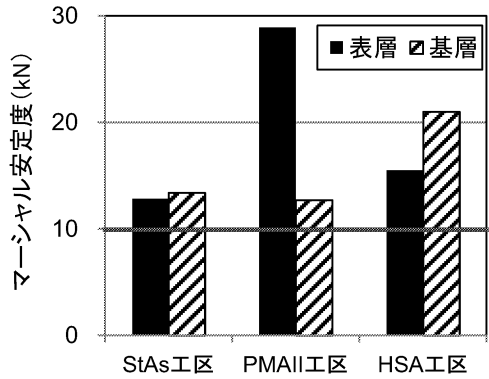


図-14 各工区の表基層に用いたアスファルト混合物のマーシャル安定度

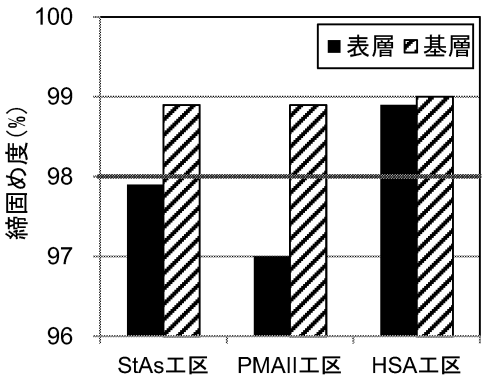


図-15 各工区の表基層に用いたアスファルト混

## (2) 流動変形抵抗性およびねじり抵抗性の確認

HSAについて、室内で配合した供試体に対して評価した各種特性が、試験舗装のアスファルト混合物でも確保されているかを確認するために、試験舗装の表層から切出した供試体に対して修正WT試験およびねじり抵抗性試験を実施し、HSAの流動変形抵抗性およびねじり抵抗性を評価した。試験条件は、表-1と表-5に示した。図-16に試験結果を示す。図中には、室内で配合した供試体に対して行った試験結果も併せて示している。試験結果をみると、試験舗装から切出した供試体の結果は、室内で配合した供試体の結果よりも変形量大きい傾向にあるが、おおむね同等の結果であった。このことから、流動変形抵抗性およびねじり抵抗性は、室内で配合した供試体の各種特性が試験施工したHSAにおいても確保されていることが示された。

## (3) グルーピングの変形抵抗性の評価

グルーピングは、航空機の走行荷重により潰れや角かけ等の損傷を受ける。次章の大型航空機荷重による載荷試験の前に、施工したグルーピングの潰れ等に対する変形抵抗性を室内試験で評価した。

### a) 変形抵抗性の評価方法

試験舗装の表層から寸法 300mm×300mm×50mm の WT 試験用供試体を切り出し、WT 試験機で走行荷重を載荷することによりグルーピングの変形抵抗性を評価した。試験条件を表-10に示す。変形抵抗性は、所定の走行回数におけるグルーピングの残存容積率で評価した。残存容積率は、試験前のグルーピングの容積に対する所定回数走行後のグルーピングの容積の比である。

### b) 評価結果

図-17 に試験時のグルーピングの残存容積率の経時変化を示し、写真-4 にはグルーピングの損傷状況を示す。StAs および PMAII のグルーピングの残存容積率は、100

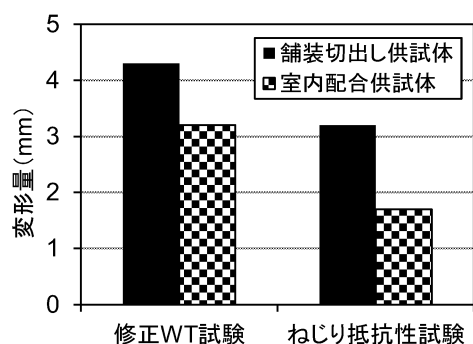


図-16 HSA 工区表層の流動変形抵抗性およびねじり抵抗性の確認

回走行時点で約 50%以下となり、StAs では、500 回走行時点で 10%程度となり、グルーピングはほぼ潰れた状態となった。PMAII においても 1000 回走行時点で 20%以下となり、グルーピングはほぼ潰れた。これらに対して、HSA では 2000 回走行後でも残存容積率 90%が保持されており、目視でもグルーピングの形状が維持されていることが確認され、HSA の優れたグルーピングの変形抵抗性が示された。

## 4. HSAを用いた舗装の耐久性の検証

室内試験で得られた結果を検証するために、前章で施工した舗装に対して大型航空機荷重下で繰返し走行載荷試験を実施し、HSAを用いた舗装のわだち掘れ抵抗性およびグルーピングの変形抵抗性を調査した。

### 4.1 繰返し走行載荷試験の概要

繰返し走行載荷試験には、大型航空機の脚荷重を載荷可能な原型走行荷重車（写真-5）を用いた。この荷重車には大型航空機の主脚を模擬した1脚4輪の車輪が搭載されており（写真-6）、荷重車の荷台に重りを積載することで、実際の航空機荷重を再現することができる。試験条件を表-11に示す。試験時の環境条件としては、最高気温 24.4℃であり、路面の最高温度は41℃であった。載荷荷重は、B747の満載時の脚荷重である910kNを目標としたが、

表-10 試験条件

試験温度(℃)	60
タイヤ種	ソリッドゴム
荷重(N)	1715
走行回数(回)	2000
グルーピング容積計測方法	砂置換法

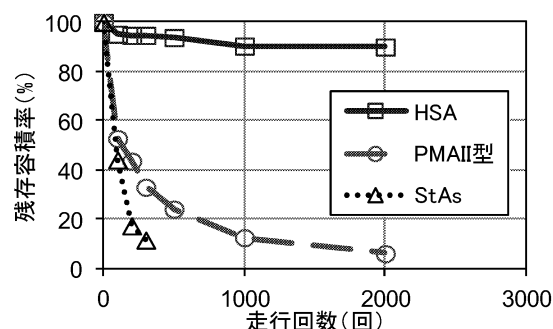


図-17 グルーピングの容積率の経時変化

実際には934kNとなった。繰返し往復走行回数は150往復とし、1工区から3工区を往復走行させた（図-13）。わだち掘れ抵抗性およびグルーピングの変形抵抗性を評価するために、0、10、20、50、80および150往復時に、わだち掘れ量とグルーピングの形状を測定した。いずれの測定についても小型プロファイルメーターを用いた。また、試験後には、各舗装工区の車輪通過部と車輪非通過部から直径10cmの円柱コアを採取し、各工区の表層および基

層の厚さを計測した後、車輪通過部と車輪非通過部で各層の層厚差を求めた。採取したコアの数量は、各舗装工区において車輪通過部および車輪非通過部から3本ずつである。

## 4.2 試験結果

### (1) わだち掘れ量

図-18 に、わだち掘れ量の経時変化を示す。わだち掘

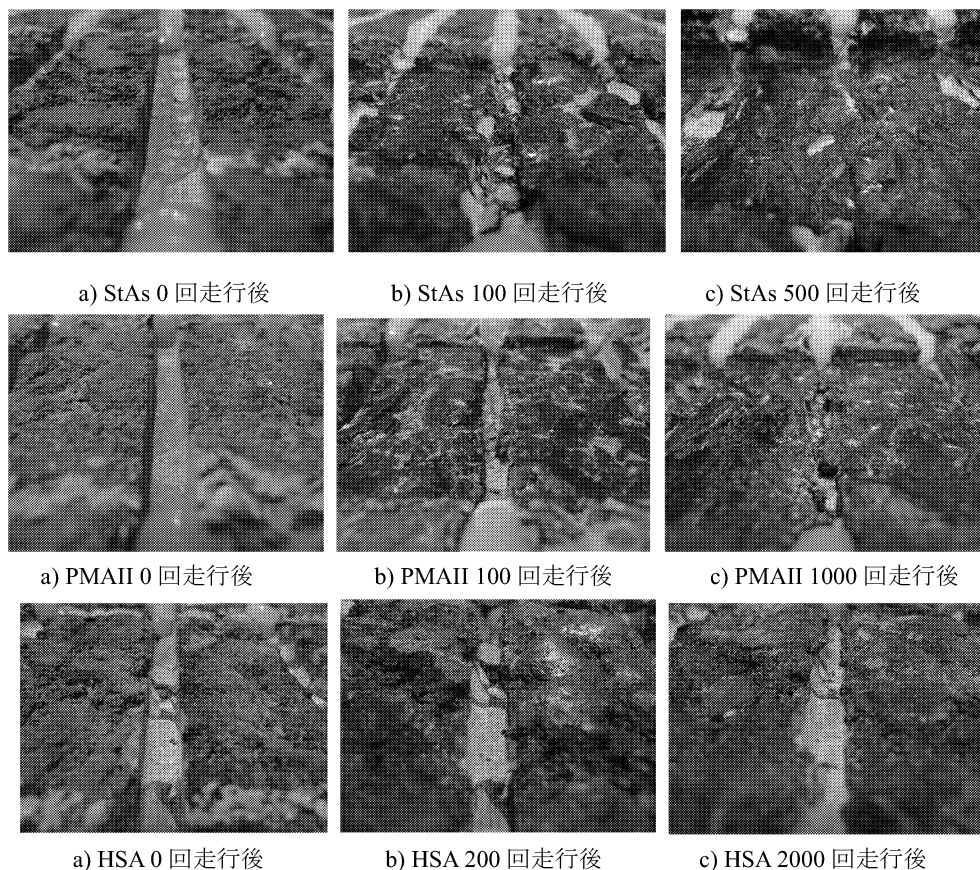


写真-4 グルーピングの損傷状況



写真-5 原型走行荷重車の外観

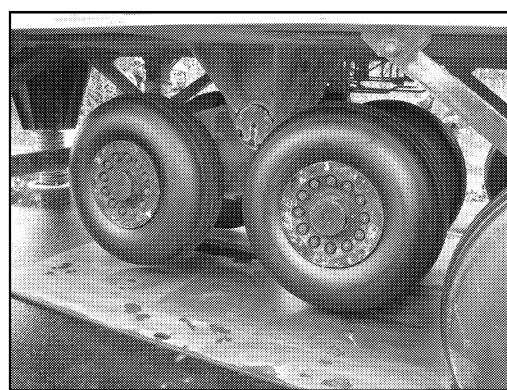


写真-6 1脚4輪の主脚を模擬した車輪

れ量の求め方は、舗装調査・試験法便覧 S 030 に準拠した<sup>1)</sup>。PMAII 工区および HSA 工区は、StAs 工区と比較しわだち掘れ量が 0.5 倍程度に抑制された。しかしながら、HSA と PMAII 工区では、わだち掘れ量にほとんど違いが認められず、室内試験で得られたような流動変形抵抗性の明確な違いは認められなかった。これは、室内試験の試験温度が 60℃である一方で、試験時の路面温度が最高でも約 40℃程度であったこと、および、PMAII および HSA のアスファルトバインダーの軟化点が 40℃よりも大きいことを考慮すると、40℃程度であれば PMAII においても高い流動変形抵抗性を示すためであると考えられる。

#### (2) 採取コアの厚さ

図-19に、車輪通過箇所と車輪非通過箇所における表基層の層厚差を示す。わだち掘れ量の結果では、PMAII および HSA 工区に差はなかったものの、採取コアによる層厚差の算出結果では、HSA 工区の変形量は、PMAII 工区と比較し小さかった。

#### (3) グルーピングの変形抵抗性

図-20 にグルーピングの残存容積率を示す。StAs 工区では 50 回走行時点で 0% となり、溝がほぼ消失した。PMAII 工区では 150 回走行後で約 30% 程度であった。一方、HSA 工区は 150 回走行後も 60% 程度であった。目視でも HSA 工区では、PMAII 工区と比較しグルーピングの潰れが少なく、変形抵抗性に優位性が認められた。走行回数が 30 回以上で残存容積率が増減しているが、HSA 工区では他

工区と比較し、角かけによる骨材飛散が多く確認され、角かけによりグルーピングの幅が大きくなったことに起因する可能性がある。HSA 工区の角かけについては、HSA の剛性が高いことに起因する可能性があるが、試験温度 60℃の室内試験では確認されていないことから、温度の影響で破壊形態が変化する可能性があるが、原因については今後の検討課題である。

### 5. まとめ

本研究では、高安定性アスファルト混合物の滑走路等空港の基本施設の舗装に適用することを目的として、空港の舗装環境を想定した室内試験において、高安定性アスファルト混合物の各種特性を明らかにするとともに、屋外実験場にて試験施工を実施し、本材料を用いた舗装の施工性および航空機荷重に対する耐久性を調査した。その結果、得られた知見は以下の通りである。

(1) 航空機荷重を想定した荷重条件下では、HSA が半たわみ性混合物と同等の流動変形抵抗性を得るためには特殊添加材の添加量を最適アスファルト量のうち、25%以上添加する必要があることを示した。また、この配合における HSA の流動変形抵抗性に対しては骨材粒度の影響は小さいことが示された。

表-11 走行試験の試験条件

環境条件	最高気温(℃)	24.4
	最低気温(℃)	18.4
	路面最高温度(℃)	41
走行条件	輪荷重(kN)	934
	往復走行回数(回)	150
わだち掘れ量測定		0, 10, 20, 50,
グルーピング形状測定		80, 150回走行時

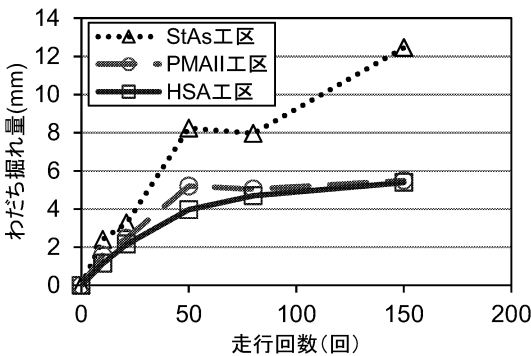


図-18 わだち掘れ量の経時変化

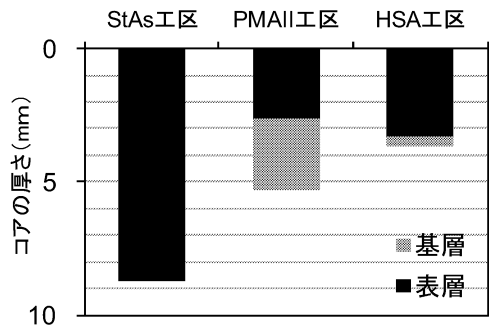


図-19 車輪通過部と非通過部の表基層の層厚差

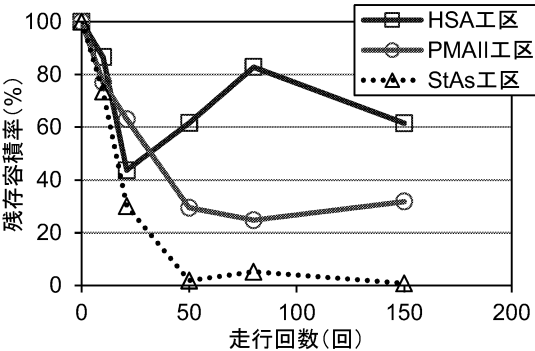


図-20 グルーピングの残存容積率の経時変化

(2) 特殊添加材の添加量が25%におけるHSAの耐油性は、半たわみ性混合物と同等であることが示された。しかしながら、空隙率の大きいと耐油性が低下することから、HSAの配合設計時には空隙率に留意する必要があることを示した。

(3) 特殊添加材の添加量が25%におけるHSAの疲労抵抗性は、今回の検討範囲では、ポリマー改質アスファルトII型に劣るものの、ストレートアスファルト60/80を用いたアスファルト混合物および半たわみ性混合物と同程度以上であることが示された。

(4) 屋外実験場にて、特殊添加材の添加量が25%におけるHSAを試験施工した。その結果、施工したHSAの性状は、空港舗装の施工管理基準を満足していた。また、室内試験において配合した供試体と概ね同等のわだち掘れ抵抗性およびねじり抵抗性が確保されていることが確認されたことから、その施工性に問題はない。

(5) また、試験舗装から切出した供試体に対して室内試験でグルーピングの変形抵抗性を確認した結果、HSAの優れた塑性変形抵抗性が確認された。

(6) 屋外実験場における実航空機荷重下の繰返し走行載荷試験の結果、HSAを用いた舗装のわだち掘れ抵抗性は、PMAIIを用いた舗装と同程度であったものの、グルーピングの塑性変形抵抗性には優位性が確認された。

## 6. おわりに

以上のように、本検討では、室内試験および屋外試験にてHSAの各種特性を調査した。屋外試験では、HSAを用いた舗装のわだち掘れ抵抗性は、現在わだち掘れ抑制対策として使用されているポリマー改質アスファルトを用いた舗装と比較して同程度であったものの、室内試験ではHSAの高い流動変形抵抗性が確認された。また、グルーピングの変形抵抗性については、HSAの優位性が室内および屋外試験で確認された。このことから、空港施設への適用性として、滑走路端部や滑走路末端部誘導路のように航空機の旋回や停止による厳しい荷重条件下で、従来のポリマー改質アスファルトではわだち掘れやグルーピングの潰れを抑制することが困難な場合に、HSAの適用が有効であると考えられる。

また、プレキャストコンクリート舗装が使用される箇所への適用については、今回の検討では、走行荷重においても少なからずわだち掘れが発生しており、エプロンのように静止荷重が作用する条件では、わだち掘れがさらに顕著になると考えられる。そのため、今回検討した配合での適用は困難であると考えられるが、特殊添加材

の添加量を増加させ、わだち掘れ抵抗性を高めることで、エプロン誘導路のように、長時間の静止荷重が作用しない箇所においては適用可能性があると考えられる。これについては今後の検討課題である。また、今後は、実際の空港舗装にて試験施工を行うことにより、わだち掘れ量などの経時変化を測定し、HSAの費用対効果について検討を加えることで、上記箇所への適用性についてより詳細に検証する必要がある。

(2013年8月9日受付)

## 参考文献

- 1) 平戸利明・幸坂優一・村山雅人 (2012) : ハイブリッドバインダによる高安定性アスファルト混合物の開発, 道路建設, Vol.23, No. 7, pp. 76-82.
- 2) 當銘正秀・熊谷耕二 (2009) : PCプレキャスト版舗装によるエプロン誘導路の耐久性及び施工性向上について, 平成21年度沖縄ブロック国土交通研究会
- 3) 坂下勲・鈴木慶律・一戸秀久 (2011) : プレキャスト版による函館空港のエプロン改良工事について, 北海道開発技術研究発表会
- 4) 岡本信人・寺田剛・久保和幸 (2006) : エポキシアスファルトを用いた工期短縮型舗装の開発, 舗装, Vol. 41, No. 11
- 5) 八谷好高・高橋修・坪川将丈・鈴木徹 (2000) : 空港舗装を対象とした半たわみ性材料の力学特性, 土木学会舗装工学論文集, Vol. 5, pp67-75
- 6) 社団法人土木学会 (1995) : 舗装工学, pp194-195
- 7) 日本道路協会 (2007) : 舗装調査・試験法便覧第3分冊
- 8) 高橋修・増井和也・八谷好高 (2004) : 粗骨材の骨格構造に着目した大粒径アスファルト混合物の配合設計に関する一検討, 土木学会舗装工学論文集, Vol. 9, pp57-64
- 9) 日本道路協会 (2008) : 舗装性能評価法別冊・別冊-必要に応じ定める性能指標の評価法編
- 10) 国土交通省航空局 (2013), 空港土木工事共通仕様書



港湾空港技術研究所資料 No.1280

2013. 12

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発 行 所 独立行政法人港湾空港技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号  
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印 刷 所 株 式 会 社 ワ コ ー

Copyright © (2013) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



古紙配合率70%再生紙を使用しています