

寒冷地空港舗装の耐久性向上に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 23

担当チーム：寒地道路保全チーム

研究担当者：熊谷政行、丸山記美雄、安倍隆二、
布施浩司

【要旨】

道内空港においてブリスタリング現象が発生し、舗装体の破損により飛行機の安全走行へ支障を与えている。本研究では道内空港の現場条件から、室内試験によるブリスタリング現象を再現し、その現象が発生する要因を検討した。検討結果として、ブリスタリング現象はアスファルト舗装の空隙率や試験温度に影響されることが検証できた。対策工法として実施した表層に改質Ⅱ型のアスファルトを適用したことや、1層の施工厚を増す対策工法の効果が室内試験や現地調査により確認された。

積雪寒冷地の空港では、冬期間において滑走路の路面状態が雪氷等によるすべり摩擦係数の低下により、航空機が着陸できない状況が発生し、利用者の利便性を低下させている。滑走路のすべり摩擦抵抗の改善を目的に、舗装表面が粗面である機能性 SMA に着目し、滑走路用の表層用混合物としての適用性について室内試験や試験施工を行い検討した。室内試験および試験施工の結果、機能性 SMA は、路面状態がスラッシュやブラックアイス時にすべり摩擦係数の改善効果が見られた。また、積雪寒冷地特有の凍結融解や耐久性等を評価する室内試験においても空港用の標準表層混合物である密粒度アスコン(20F)と比較し、同等以上の性能を有し、空港舗装における冬期路面対策の一手法として、効果があることが確認された。

キーワード：積雪寒冷地、空港舗装、ブリスタリング、冬期路面対策、機能性 SMA

1. はじめに

積雪寒冷地の空港において、空港舗装の破損が頻発しており、飛行機の安全運航への支障が懸念されている。全国ではブリスタリング現象により舗装剥離が発生し、空港閉鎖事例の報告¹⁾もあり、これらの原因究明と対策が喫緊の課題である。積雪寒冷地の空港舗装では、温暖地域と使用する舗装材料やアスファルト混合物の配合方法が異なるため、積雪寒冷地条件に適した対策技術が必要である。

本研究では2つの研究課題に取り組んだ。一つ目の研究課題は近年北海道内の空港で問題となっているブリスタリング現象に着目して現地調査や室内試験を実施し、発生原因や対策工法について検討した。

二つ目の課題は、積雪寒冷地空港の冬期間における航空機の就航率の低下により、利用者の利便性を低下させていることが課題となっている。そのため、冬期間における滑走路の摩擦抵抗を改善させる冬期路面対策技術が必要である。本研究では、舗装表面が粗いアスファルト混合物である機能性 SMA に着目し、滑走路の冬期路面対策として検討した室内試験結果や、道内空港で実施した試験施工の結果について報告する。

2. ブリスタリング対策

2.1 研究方法

ブリスタリング現象により舗装体に機能的損傷が生じた発生要因や対策工法の効果を検証するために、室内試験や現地調査を実施した。

(1) 試験方法

ブリスタリング現象を再現する試験²⁾³⁾（以下、ブリスタリング試験）は**図-1**、**写真-1**に示すブリスタリング試験装置を用い実施した。圧力はコンプレッサーの圧搾空気を使用している。圧力の調整は圧力が上昇し、所定の圧力の負荷に達した時点で、バルブを閉じ、圧力を一定にし、試験を実施した。また、設置した供試体の下面位置に径 50mm の穴を空け、圧搾空気が直接供試体下面に圧力を負荷できる構造となっている。また、ブリスタリング試験は、温度調整が可能な試験室で実施した。

アスファルト混合物の配合については、**表-1**に示す配合条件で実施した。この配合は新千歳空港における舗装工事で実施した骨材を使用し、配合を決定した。最適アスファルト量は5.3%とし、ブリスタリング試験を実施した。試験に使用した供試体は

30cm×30cm×4cm、5cm（縦×横×厚さ）のホイールトラッキング試験用の供試体を使用した。

次に、試験温度の設定を決定するため、**図-2**に示す新千歳空港の夏期データを参考に決定した。図では、外気温の日最高気温と舗装表面における最高温度の関係を示している。新千歳空港の舗装体の最高温度は60℃程度であることや、**図-3**に示すプリスタリング現象が発見された6月22日の10日前までの舗装体の最高温度は、おおむね45℃以下を推移していたことから、試験温度を45～60℃の条件で実施した。

舗装体に負荷する圧力については、**図-4**に示す飽和水蒸気圧と気温の関係を参考に設定した。気温は45℃において最大0.01MPa、60℃においては最大0.02MPaの飽和水蒸気圧が負荷されることから、この値を負荷する圧力として設定した。

表-2に今回実施した調査項目を示す。調査項目としては、プリスタリング現象が発生する条件の確認試験、対策工法として実施した舗装厚を増厚することによる効果の確認試験、および表層の空隙率を確保するために改質アスファルトを使用した効果の確認試験を実施した。

表-1 室内試験の配合条件

混合物の名称	アスファルトの種類 (針入度)・(1/10mm)	軟化点 (℃)	最適アスファルト量 (%)	空隙率(%)
密粒度アスコン(20mm)	80-100(95)	47	5.3	3.4

表-2 調査項目

試験項目	試験名	試験条件	
プリスタリング現象が発生する条件の確認試験	プリスタリング試験	舗装体の温度条件	45, 50, 55, 60℃
		アスファルト量	4.3%～6.8%, 0.5%毎
	加圧透水試験	空隙率	2～8%程度
		アスファルト量	4.3%～6.8%, 0.5%毎
舗装厚の増加によるプリスタリング抑制効果の確認試験	プリスタリング試験	空隙率	2～8%程度
		舗装厚	4cm, 5cm
		現地舗装体温度計測	熱電対による計測
	改質アスファルトの効果確認試験	走行荷重の影響試験	トラバース回数: 0, 1, 3, 7, 10回, 試験温度: 60℃, 走行荷重: 686±10N, 走行速度: 供試体中央部通過 42±1回/min
	グルーピング潰れの抵抗性試験	グルーピング上をトラバース走行 トラバース回数: 2, 3, 11回, 試験温度: 60℃, 走行荷重: 686±10N, 走行速度: 供試体中央部通過 42±1回/min	

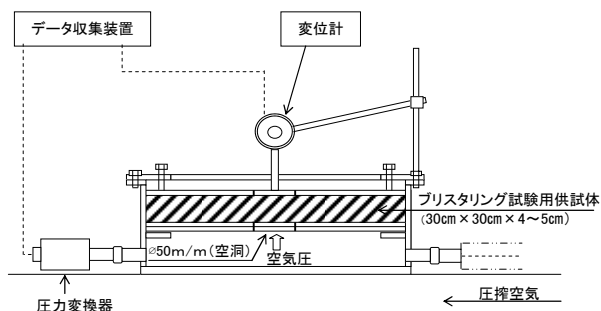


図-1 プリスタリング試験装置

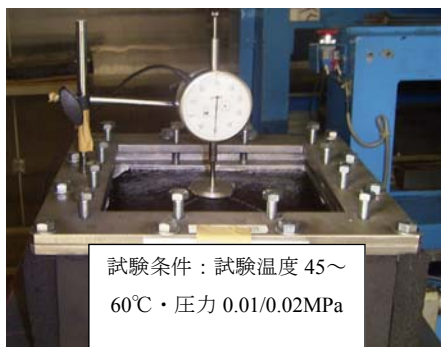


写真-1 プリスタリング試験装置

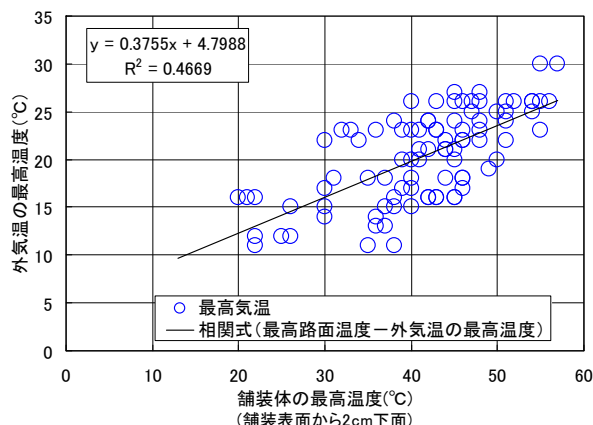


図-2 舗装体と外気温の最高温度の関係

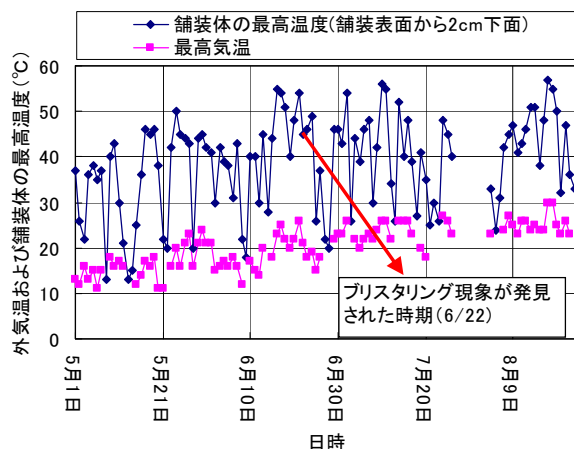


図-3 舗装体と外気温の最高温度

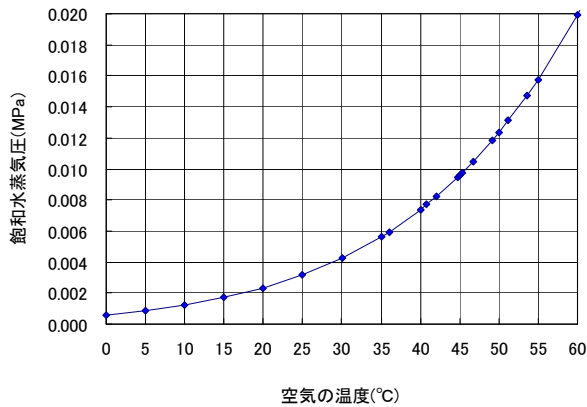


図-4 飽和水蒸気圧と気温との関係

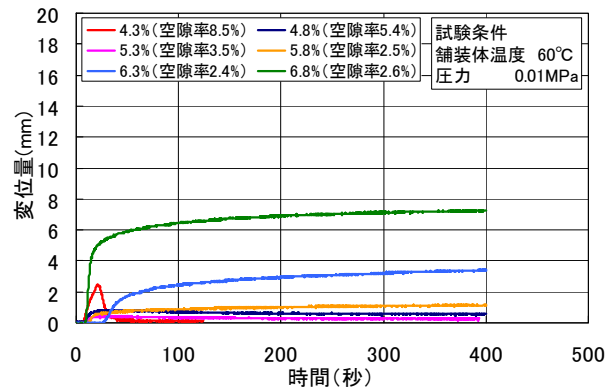


図-5 ブリスタリング試験 (60°C、0.01MPa)

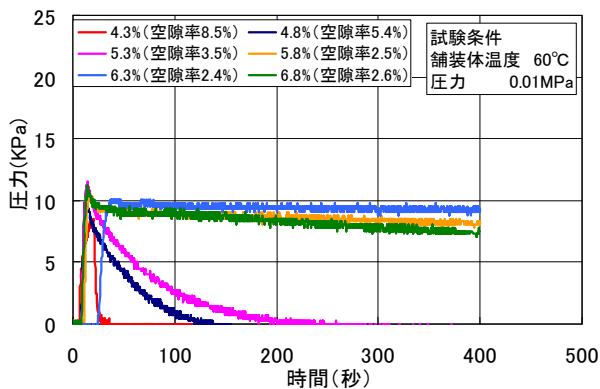


図-6 ブリスタリング試験 (60°C、0.01MPa)

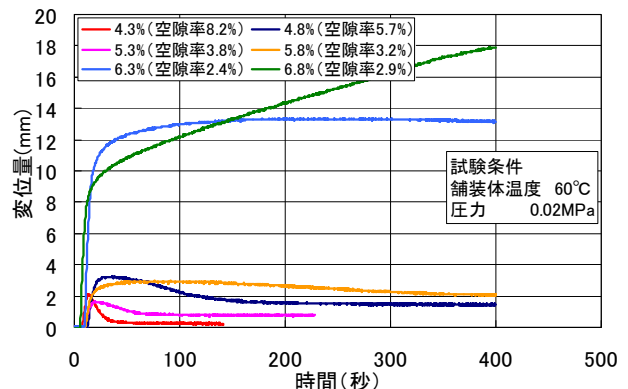


図-7 ブリスタリング試験 (60°C、0.02MPa)

2.2 研究結果

(1) ブリスタリング現象が発生する条件の確認試験

図-5、6に舗装体温度 60°C、圧力を 0.01MPa の条件で実施したブリスタリング試験結果を示す。最適アスファルト量は 5.3%であり、空隙率は 3.5%である。供試体作製時に、締固め度の精度差が生じるため、表示はアスファルト量と空隙率で図示している。アスファルト量は 4.3%~6.8%まで変動させ、それに伴い空隙率はおおむね 2%~8%程度に変動させた。また、図は経過 400 秒までを図示したものであるため、図-9、10に示す最大変位量とは異なる。

アスファルト量 5.8~6.8%(空隙率 2.4~2.6%)の供試体は、変位量がある一定量まで上昇し、その後の変位量の変動が少ない傾向にある。圧力の減少については緩やかに減少していく傾向にある。このような供試体は水密性が高く、ブリスタリング現象の発生が懸念される試料である。一方、アスファルト量 4.3~5.3%(空隙率 3.5~8.5%)の試料は、変位は一時的に発生し、圧力についても速やかに減少する。

図-7、8は舗装体温度 60°C、圧力 0.02MPa の条件で実施したブリスタリング試験結果を示す。圧力 0.01MPa の条件に比べて圧力の負荷が大きいため、

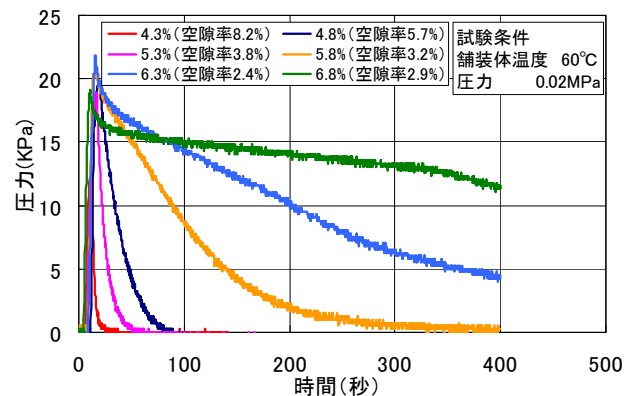


図-8 ブリスタリング試験 (60°C、0.02MPa)

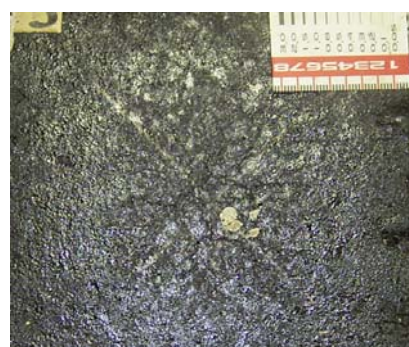


写真-2 ブリスタリング試験により発生したクラック

変位が大きい。また、圧力の低下傾向は 0.01MPa に比べて大きい。この原因は、舗装表面に微細なクラックが生じ、空気が抜けるためである (写真-2)。舗装体内に発生する水蒸気圧は、外気温によって変動するため、図-4 に示す飽和水蒸気圧を参考に、0.01MPa 程度以上の発生する確率の高い温度条件 (45~60℃) についてとりまとめた試験結果を図-9 に示す。また、図-10 にアスファルト量と変位量の関係を示す。アスファルト量が多く、空隙率が低い試料ほどプリスタリング量が多い。空隙率 3%を境にプリスタリングによる変位量が多いことが分かる。プリスタリング現象は、舗装体が 45℃でも 0.01MPa 程度の圧力が作用すれば、空隙率が 3%以下の条件下では、プリスタリング現象が発生することが分かる。

次に、アスファルト量を 4.3~6.8%まで変動させたマーシャル供試体により、加圧透水試験を行い、透水係数を確認した。アスファルト混合物の加圧透水試験⁶⁾は、以下の条件で実施した。

- ① 150KPa の水圧により 24 時間で透水する場合は、この条件で透水係数を算出する。
- ② 不透水の場合は更に、500KPa の水圧により 24 時間で加圧する条件で透水係数を求める。

試験結果を図-11 に示す。空隙率 2~3%程度では不透水になり、透水係数が 10^{-7} cm/sec^{4) 5)} 以下を不透水とすると、3~4%程度の間が不透水の境界となる。この結果から判断すると、プリスタリングの発生する確率が高いのは、空隙率 3~4%程度以下と推定できる。

プリスタリング試験と加圧透水試験の結果から、プリスタリングが発生する空隙率は、3%程度と考えられる。また、3%程度以下の空隙率では、舗装体が高温になるとプリスタリング現象による変位量は大きく、舗装体の破損の危険性は高いと考えられる。

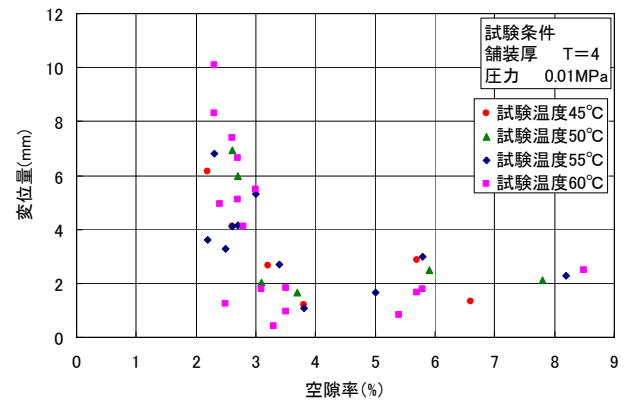


図-9 プリスタリング試験 (T=4cm, 0.01MPa)

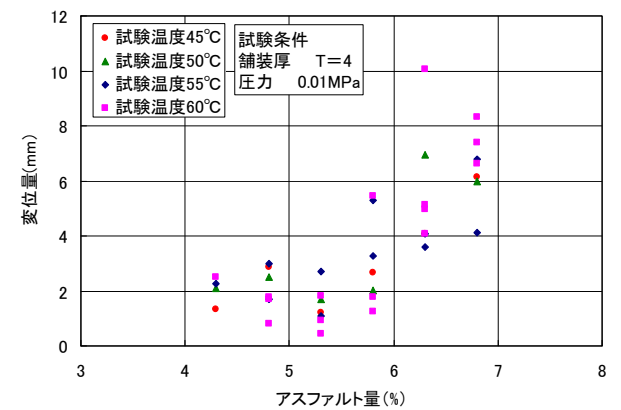


図-10 プリスタリング試験 (T=4cm, 0.01MPa)

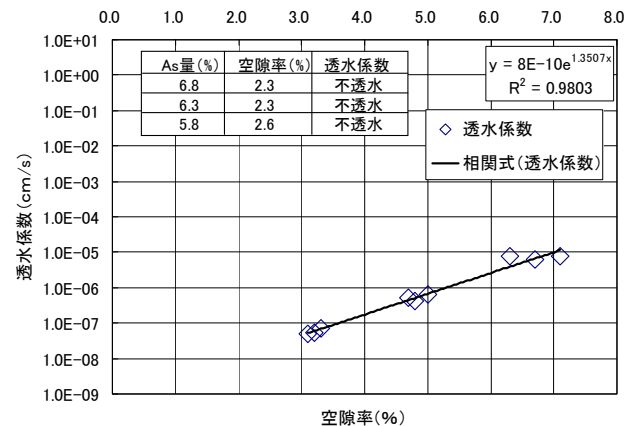


図-11 加圧透水試験

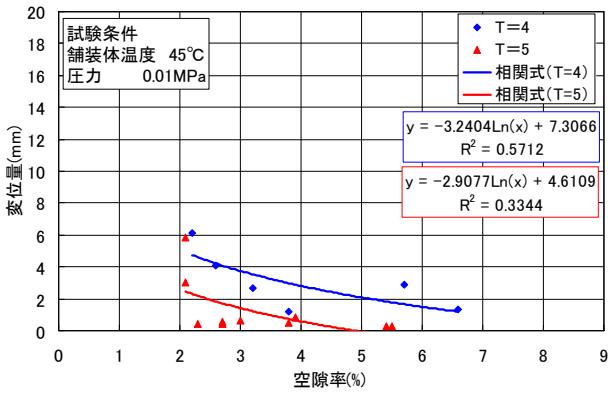


図-12 ブリスタリング試験 (45°C、0.01MPa)

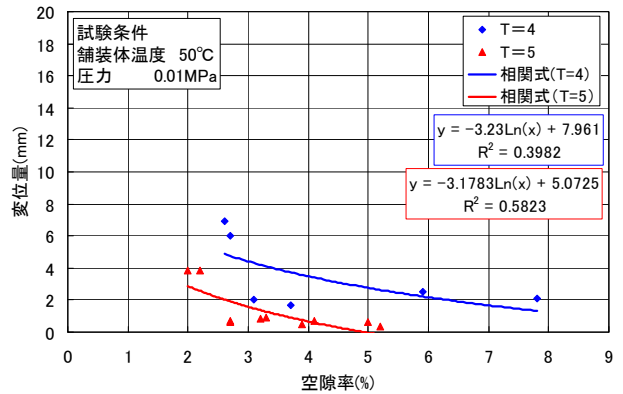


図-13 ブリスタリング試験 (50°C、0.01MPa)

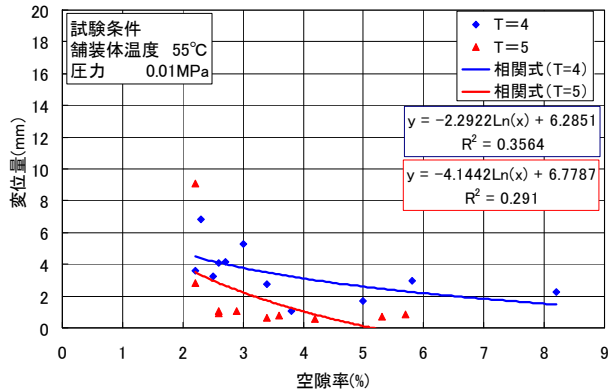


図-14 ブリスタリング試験 (55°C、0.01MPa)

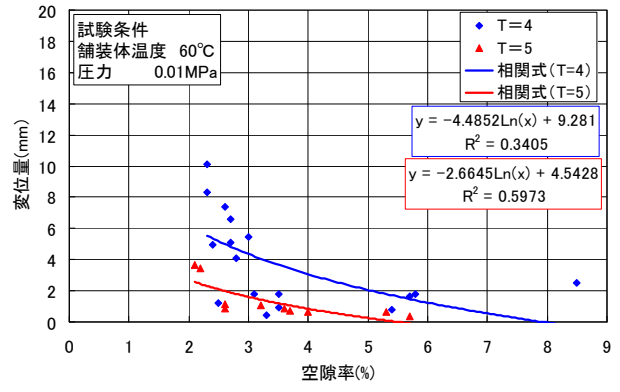


図-15 ブリスタリング試験 (60°C、0.01MPa)

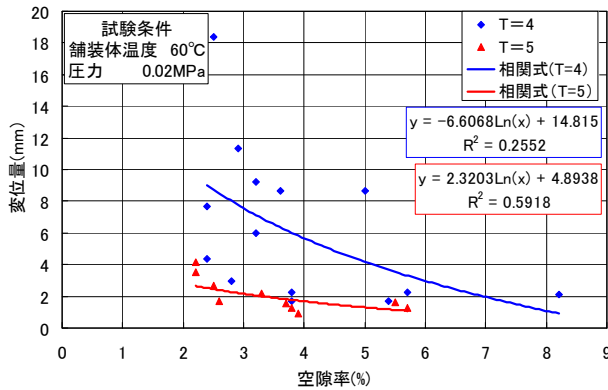


図-16 ブリスタリング試験 (60°C、0.02MPa)

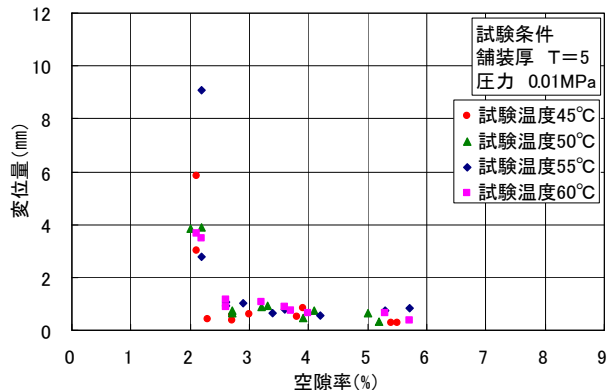


図-17 ブリスタリング試験 (T=5cm、0.01MPa)

(2) 舗装厚を増厚することによる効果確認試験

① ブリスタリング試験

図-12~15 にブリスタリング試験結果を示す。図は試験温度 45~60°C の条件下における舗装厚 T=4cm、T=5cm の空隙率とブリスタリングによる変位量の関係を示す。全ての温度条件で舗装厚 T=5cm のブリスタリング現象による変位量が、舗装厚 T=4cm に比べて小さい傾向にある。また、舗装厚 T=4cm、試験温度 60°C の条件は、その他の温度条件より変位量が大きくなる傾向が見られる。原因としては、今回使用したストレートアスファルトの軟化点が 47°C であり、高温になるとアスファルトの粘度が低下し、変形しやすくなるためと考えられる。一方、舗装厚

T=5cm、試験温度 60°C の条件では、あまり顕著な差は見られなかった。この要因としては、舗装体の荷重が影響していると考えられる。

図-16 に 0.02MPa、試験温度 60°C の条件下の試験結果を示す。圧力が大きくなるとそれに伴い負荷も大きく受け、変位量が大きくなっている。図-17 に舗装厚 T=5cm の全ての条件時の試験結果を示す。

図-9 に示す舗装厚 T=4cm と比べると変位量が小さく、空隙率も 2%前半でブリスタリングが発生している。舗装の増厚は死荷重を大きくするため、ブリスタリングによる変位量を抑制する効果があることが確認できた。

寒冷地空港舗装の耐久性向上に関する研究

② 現地の舗装体温度計測

図-18 は新千歳空港の誘導路の最高路面温度になったデータをプロットしたものである。アスファルト舗装の層間に剥離が生じ、密閉された微細な空間が発生したと仮定すると、この空間には、ボイル・シャルルの法則⁶⁾が成立する。また、この空間は舗装体の温度条件により、膨張と収縮を繰り返す作用が発生する。層間剥離の位置が表面に近いほど、舗装体温度が高くなる。

ブリスタリング現象が発生した当時の新千歳空港の表層の舗装厚は5cmである。また、対策工法は表層8cm+基層8cmの合計16cmであり、層間接着力の高いゴム入りタックコートを使用している。

改良前の剥離面の位置を表面から5cmの位置とし、対策後は8cm、16cmが剥離面の位置として、層間には水分が十分にある状態で、飽和水蒸気圧が作用すると仮定する。最高路面温度の条件では、表面から5cmの位置の舗装体温度が49.2℃、圧力0.0119MPa、8cmの位置では舗装体温度46.7℃、圧力0.0105MPaが作用する。5cmの位置で剥離した場合と発生する圧力を比較すると、11.8%の低減が図れる。また、16cmの位置で剥離した場合は、舗装体温度40.8℃、圧力0.0077MPaであるため、層間に発生する圧力は35.3%低減される。

ブリスタリング現象が発生した時期に測定した舗装表面から2cm下の位置における舗装体温度が57℃と記録されていることから、舗装体の深さ方向のデータを推定した式も図示した。最下面の位置(33cm)では最低温度時と最高温度時の温度変化があまり見られないことから、33cmの位置と表面から2cmの位置を直線で結び、舗装体の深さごとの温度を推定した。圧力については、飽和水蒸気圧の状態とし、舗装体の荷重は考慮していない。表面から5cmの位置は55.5℃、圧力0.0161MPaであり、改良後の8cmの位置が52.7℃、圧力0.0141MPaであるため12.4%の低減、16cmの位置が45.5℃、圧力0.0098MPaであるため39.1%の圧力の低減となる。

また、この他に $2.4\text{g/cm}^3 \times \text{舗装厚分}$ の死荷重が加わる。舗装厚 $T=5\text{cm}$ の場合、圧力0.001MPa、舗装厚 $T=8\text{cm}$ の場合、圧力0.002MPa、および舗装厚 $T=16\text{cm}$ の場合、圧力0.005MPaの舗装体の荷重が舗装体の層間に載荷される。層間剥離した場合、層間に発生した小さな空間が膨張する水蒸気圧に、舗装体の死荷重が抵抗すると考えられる。

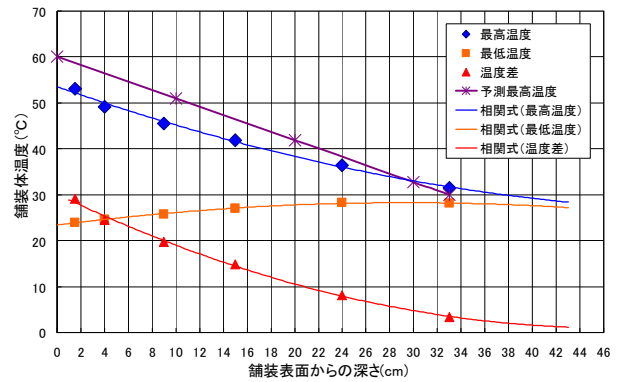


図-18 舗装体温度と舗装表面からの深さの関係

(3) 改質アスファルトの効果確認試験

① 走行荷重の影響試験

滑走路にブリスタリング現象が発生した原因として、飛行機の走行荷重が影響し、表層の空隙率が低下したことも要因と考えられる。

走行荷重の影響を確認するため、ホイールトラッキング試験用の供試体を60℃に養生した後、トラバースにより車輪を走行させ、輪荷重を1~10回走行後、所定の温度に養生した後にブリスタリング試験を実施した。最適アスファルト量5.3%の供試体を使用し、トラバース走行後、ブリスタリング試験を実施した。

試験結果を図-19、20に示す。トラバースの回数と変位量の間にはばらつきが見られるが、トラバース走行した供試体で特徴的なことは、輪荷重を受けた供試体の中に、圧力の低下が遅く、水密性が高くなっている試料がある。このことは、ストレートアスファルトを使用した混合物は、経年的に輪荷重を受け、空隙率が低下し、ブリスタリング現象の誘発する可能性を示唆している。

② グルーピング潰れの抵抗性試験

グルーピングの目潰れ防止やブリスタリング防止対策の目的から改質Ⅱ型のアスファルトを使用し、対策工として実施している。改質Ⅱ型のアスファルトを使用した表層混合物にグルーピング

(6m/m×6m/m×32m/m、グルーピングの巾×深さ×間隔)を施工した混合物のグルーピング潰れの抵抗性を確認するために、室内試験を実施した。表層混合物を60℃に養生し、トラバース走行後、グルーピング潰れを測定した。試験条件を同一にして、ストレートアスファルトを用いた混合物と改質Ⅱ型を用いた混合物の比較を行った。

試験結果を図-21に示す。図に示す変形幅と変形深さとは、トラバース走行によりグルーピングの変形した幅と深さである。ストレートアスファルトを用いた混合物と比較して、改質Ⅱ型の変形量が小さ

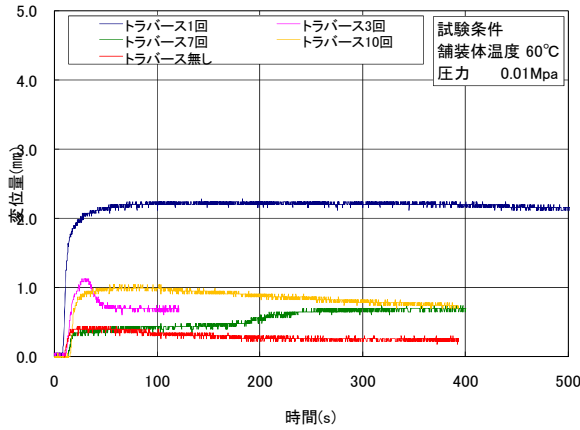


図-19 ブリスタリング試験（トラバース）

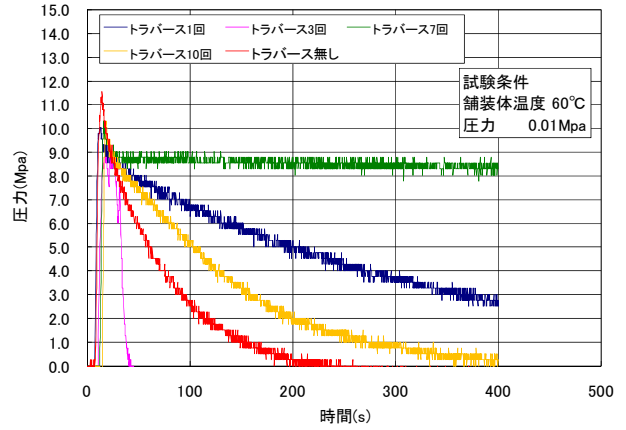


図-20 ブリスタリング試験（トラバース）

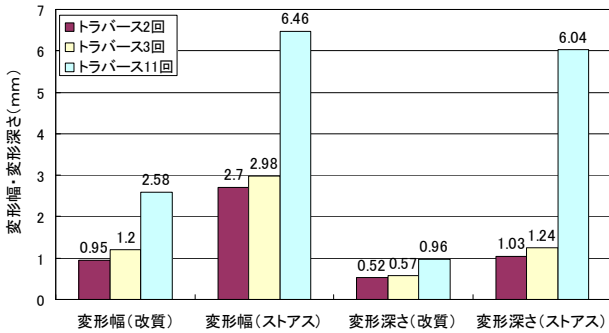


図-21 グルーピングの目潰れ抵抗性試験

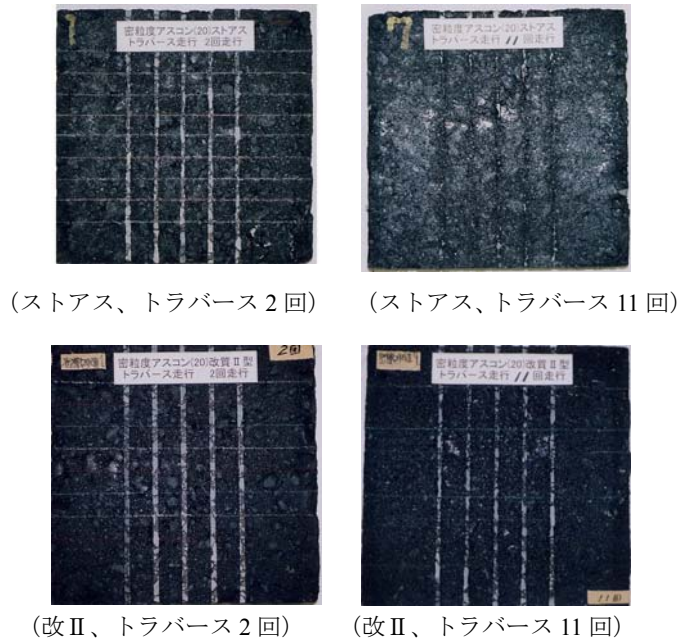


写真-3 グルーピング潰れの抵抗性試験

く、表面観察でもフラッシュしていない。一方、トラバース 11 回走行のストレートアスファルトを用いた混合物の供試体では、完全に潰れた状態になり、表面観察ではアスファルトが表面に浮き、フラッシュした状態である（写真-3）。

グルーピング潰れの抵抗試験では明らかに改質アスファルト混合物の耐久性が高く、優れていることが分かった。また、改質Ⅱ型の混合物は、表面がフラッシュしないことや変形量が少ないことから、空隙を保持する能力が高く、ブリスタリングに対する抵抗性は、ストレートアスファルト混合物を用いた混合物に比べて高いと考えられる。

2.3. ブリスタリング現象が発生した要因

新千歳空港においてブリスタリング現象が発生した要因は、以下の項目が関係して発生したと推定できる。

(1) 舗装体温度

図-3 にブリスタリングが発生した当該年度の 5 月 1 日～8 月 31 日までの舗装体の日最高温度（表面から 2cm 下の位置）と外気温の最高温度を示す。5 月 1 日から 6 月 15 日までは、舗装体温度は概ね 45℃以下を推移していたが（5/17～46℃、5/24～50℃を除く）、ブリスタリング現象が発見された 6 月 22 日の 1 週間前から舗装体温度 50℃以上が 4 日間あり、この期間に舗装体温度は上昇し、ブリスタリング現象を誘発したと考えられる。また、当該年度の夏期における舗装体の最高温度は、57℃であり、8 月 17 日に記録

している。

(2) 層間剥離

ブリスタリング現象は、アスファルト層の層間剥離した箇所が発生したと考えられるが、新千歳空港のA滑走路やD誘導路にも層間剥離がみられた(図-22)。

(3) 空隙率

アスファルト混合物の空隙は、水蒸気圧を緩和することができ、空隙率を3%以上確保することが望ましい。図-23に示す新千歳空港のオーバーレイ層の空隙率は、2%程度の箇所もある。A滑走路の採取したコアの中において、加圧透水試験結果では、不透水のコアも確認され⁷⁾、場所によっては、不透水になっている箇所があった。

(4) 水分量

水分は水蒸気圧になって層間を膨張させる働きがあるため、水分が多ければ、飽和状態になりやすく、水蒸気圧を大きくする可能性が高い。

図-24はA滑走路の終点側であるP=4700のR側の水分量調査を実施したものである。施工継ぎ目付近の水分量が高く、水分は十分に供給されていた。

以上のブリスタリング現象を発生させる4つの条件は新千歳空港では全て揃っている。

新千歳空港のブリスタリング現象は、舗装体温度が50℃以上になっており、舗装表面より5cm下の位置でも50℃程度あった。また、オーバーレイ層の空隙率が3%以下で不透水箇所もあり、層間剥離が発生している箇所もあった。

剥離箇所では最大0.01MPa程度の水蒸気圧が作用し、舗装体の温度もコアから回収したアスファルトの軟化点の値は、50℃⁷⁾程度であることから、舗装体温度50℃の場合は、アスファルトの粘度も低下し、容易にブリスタリング現象が発生すると推察できる。

2.4 追跡調査

平成21~22年度に新千歳空港で実施したブリスタリング対策工法の追跡調査を実施した。目視観察は滑走路および誘導路中心線から左右10m程度の範囲に着目しブリスタリング現象発生の有無を確認した。目視調査の結果、ブリスタリング現象の発生箇所はなく、対策工法の有効性が確認された。

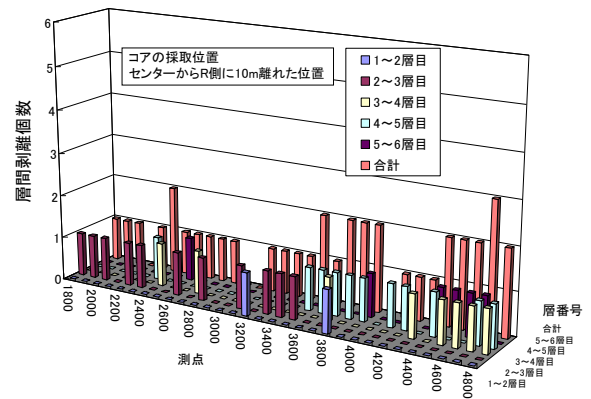


図-22 A滑走路の層間剥離箇所数(R側)

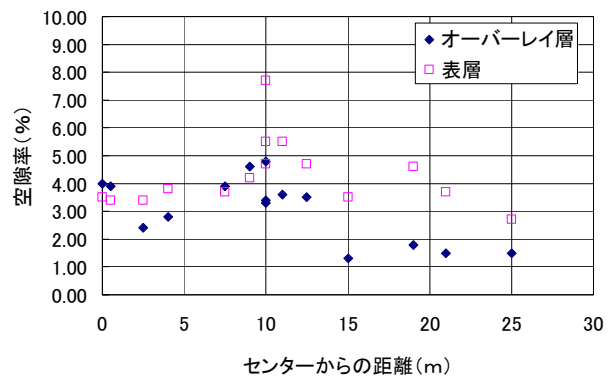


図-23 A滑走路の舗装体の空隙率(R側・P=4700)

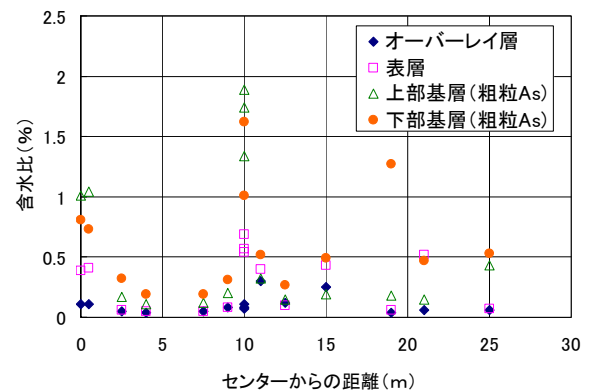


図-24 A滑走路の舗装体の含水比(R側・P=4700)

2.5 まとめ

今回、室内試験や現地調査によってブリスタリング試験を実施した結果、以下に示す知見が得られた。

- (1) 室内試験で実施したブリスタリング試験結果では、ブリスタリング現象が生じる条件は、空隙率 3%以下で発生する。今回の試験温度は 45℃までの設定だったが、45℃の舗装体の温度条件下でもブリスタリング現象は発生する。また、試験温度が高い程、ブリスタリング現象による変位は大きくなる。
- (2) ブリスタリング現象による変位量は舗装厚を厚くすることにより、変位量を抑制することができる。また、舗装厚を厚くすると、層間剥離の発生する位置が低下するため、ブリスタリング現象の抑制効果がある。
- (3) 供用している空港舗装において、ストレートアスファルト混合物を使用している箇所は、供用に伴い、空隙が低下し、ブリスタリング現象を誘発する可能性がある。また、改質Ⅱ型のアスファルト混合物はブリスタリングやグルーピング潰れを抑制する効果がある。

2.6 ブリスタリング対策工法

北海道内の空港におけるブリスタリング対策工法を実施するための留意点を以下に示す。

(1) 配合設計

従来の配合設計は、最適アスファルト量を多くし、耐久性を重視する配合であった。そのため、空隙率が 3%以下となるものも多く、ブリスタリングが発生しやすい配合設計となっていた。

ブリスタリング現象の発生を抑制するために、配合設計では、3%以上の空隙率を目標とする。ただし、ブリスタリング対策工法を実施した工事箇所の品質管理データとブリスタリングの発生頻度から判断すると、空隙率 4%程度以上が望ましい。

(2) ポリマー改質アスファルトⅡ型の使用

航空機荷重の影響から空隙率が低下するため、長期的な空隙率の確保が必要である。対策としては、ポリマー改質アスファルトⅡ型の使用し、航空機荷重による変形を抑制する。

(3) 表層・基層の施工厚を $t=8\text{cm}$ で施工

ブリスタリング現象は層間剥離や水分による飽和水蒸気圧影響を受けるため、従来の施工厚 $t=5\text{cm}$ を変更し $t=8\text{cm}$ とし、飽和水蒸気圧の影響を極力少なくする。

(4) 改質アスファルト乳剤の使用

ブリスタリング現象は、層間剥離の位置から発生しやすい。そのため、層間剥離を防ぐため付着力の高い改質アスファルト乳剤を使用する。また、タックコートは車輪に付着するため、付着しにくいタックコートの活用も検討すること。

(5) ホットジョイントの利用

ブリスタリング現象は、舗装体への水分供給がブリスタリング現象の誘発原因となっている。水分の供給は施工継手の開口部が原因となっているため、ホットジョイントの活用等により施工継ぎ手を極力少なくする。

(6) その他

舗装体の寒暖差の影響から温度応力が発生し、施工継ぎ手が開きやすい構造となっている。施工継ぎ手が開いた場合、シール材により早急な応急処理が必要である。



写真-4 対策前ブリスタリング現象の発生状況



写真-5 ブリスタリング発生箇所の採取コア

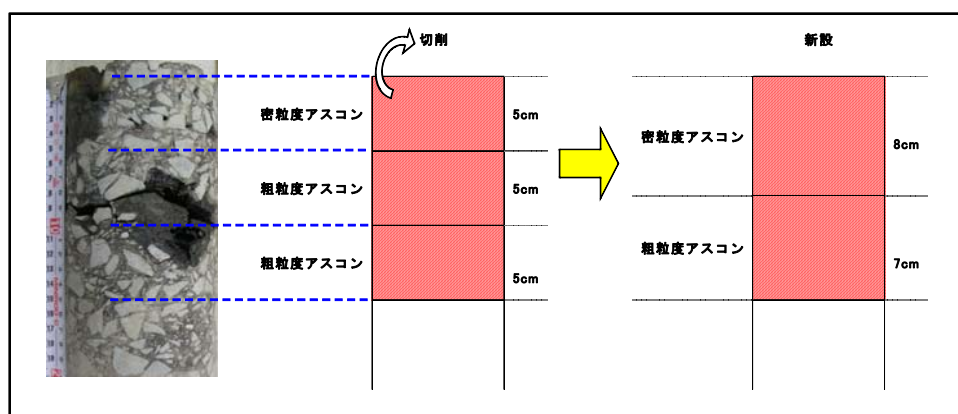


図-25 ブリスタリングの対策工

2.7 対策工法の活用事例

道内の A 空港ではブリスタリング現象が多数発生した(写真-4)。対策工法を検討するため、コアを採取し、現地調査を実施した(写真-5)。検討した結果、図-25 に示す対策工法を実施した。

対策工法の基本的な考え方を以下に示す。

- ① 表層舗装厚は $t=8\text{cm}$ 、基層部は $t=7\text{cm}$ とした。
- ② タックコートは改質アスファルト乳剤を使用し、分解後もタイヤに付着しにくい材料を使用した。
- ③ 表層混合物の配合設計の空隙率は 3%以上確保
- ④ 表層混合物にはポリマー改質アスファルト II 型を使用
- ⑤ ホットジョイントを活用

対策工法を実施した結果、A 空港ではブリスタリング現象を抑制することが確認された。

参考文献

- 1) 長田、佐野、浜：空港舗装のブリスタリング現象、舗装、vol.38、№3、pp.3-7、2003
- 2) 上島、菅原：ブリスタリング現象に関する一考察、第 10 回日本道路会議論文集、pp.155-156、1970
- 3) 畠山、松浦、山下：ブリスタリング現象に関する実験的研究、土木学会第 41 回年次学術講演会、V-40、pp.79-80、1976
- 4) 高橋、皆方、大野、佐藤：砕石マスチックの橋梁部における適用性、日本道路公団試験研究室報告、vol.37、pp.22-31、2000
- 5) 久保、八谷、長田、平尾、浜：最近の空港アスファルト舗装の損傷と改良工法について、土木学会舗装工学論文集、№9、pp.35-40、2004
- 6) 金岡、久保：空港滑走路舗装のブリスタリング現象に関する一考察、土木学会第 57 回年次学術講演会、V-008、pp.15-16、平成 14 年 9 月
- 7) 安倍、岳本、衛藤：新千歳空港舗装体の劣化原因調査および対策工法の検討、土木学会舗装工学論文集、№8、pp.261-272、2003

寒冷地空港舗装の耐久性向上に関する研究

SMA は舗装表面に粗いきめを有していることから、積雪寒冷地における道路の冬期路面対策として検討され、ブラックアイスの路面状態における効果等が報告^{9~11)}されている。また、多くの施工実績を有する混合物である。排水性舗装も機能性 SMA と比較し、同等以上の粗いきめを有しているが、積雪寒冷地では除雪車等による顕著な骨材の剥離が報告^{12) 13)}されていることから、航空機の安全運行に支障が発生する懸念がある。以上の理由から、耐久性に優れ、粗いきめを有する機能性 SMA を用い、空港舗装における冬期路面対策の検討を行った。

研究方法としては、室内試験と現地調査を実施し検討した。

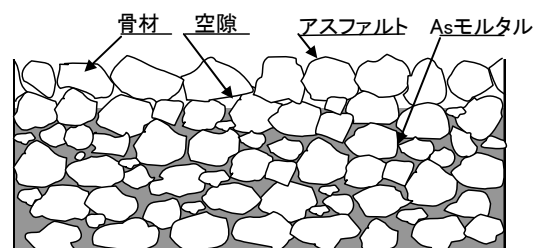


図-26 機能性 SMA の断面図

(1) 試験項目（室内試験）

室内試験を行う舗装の種類としては、機能性 SMA と空港の基本施設（設計荷重：LA-4 以上）¹⁴⁾ に用いられている密粒度アスコン（最大粒径 20mm）と比較し、滑走路において一般的に施工されているグルーピングの有無の条件を加えて試験を実施した。なお、配合設計については、試験舗装を実施する釧路空港で使用する配合と同一とした。

試験項目は、冬期間の安全運航の確保として必要な機能に対する評価、および耐久性に対する評価を実施することを前提に、表-4 のとおりとした。

試験は冬期間のすべり摩擦係数の改善や凍結抑制効果を確認するために、供試体に氷膜を作製後、DF テスターを使用したすべり摩擦係数の計測や氷着引張強度試験を実施した。また、耐久性の評価としては、凍結融解試験、走行試験、および据え切り試験等を行った。

3. 寒冷地空港の冬期路面対策

3.1 はじめに

積雪寒冷地の空港では、除雪作業を実施しても継続的に降り続く雪や路面の凍結等の影響により航空機が着陸できない状況が発生し、利用者の利便性を損ねている。これは、滑走路の路面状況が凍結、スラッシュ（シャーベット）、および積雪状態になると、路面の摩擦係数が小さくなるため、航空機の着陸に必要な制動距離が長くなるためである。

北海道内空港の路線就航率（就航便数／計画便数）は各空港の立地条件により異なるが、冬期間以外は約99%と高くなっている。一方、冬期間には80%以下まで低下している空港もあり、この空港では欠航原因の概ね4割が滑走路の路面状況に関するものである。

表-3 に空港管理者が滑走路利用可否の判断材料となるブレーキングアクション（推定ブレーキ作動状況）の分類⁸⁾を示す。すべり摩擦係数が 0.25 以下の POOR の条件では、路面状況により航空機は離着陸禁止の場合が発生する。また、スラッシュの路面状態では、15mm の厚さを超える路面状態であれば、航空機は離着陸禁止となる。更に、離着陸の判断は航空機荷重や航空機が受ける横風の風速によっても異なる。

冬期路面対策の実施により、すべり摩擦係数が改善された場合、路面状態の評価も上がることから、横風制限値や重量制限値が緩和され、航空機の就航率が向上する可能性がある。

本研究では、舗装表面が粗いアスファルト混合物である機能性 SMA に着目し、滑走路の冬期路面対策として検討した室内試験結果、釧路空港の場周道路および新千歳空港で実施した試験施工の結果について述べるものである。

表-3 ブレーキングアクションの分類

路面状態	ブレーキングアクションの呼称	滑走路の摩擦係数
雪氷路面	GOOD	0.40以上
	MEDIUM TO GOOD	0.36~0.39
	MEDIUM	0.30~0.35
	MEDIUM TO POOR	0.26~0.29
	POOR	0.25以下

3.2 研究方法

機能性 SMA は図-26 に示すように、舗装表面が粗く、舗装体内部が緻密で安定性に優れたアスファルト混合物である。機能性 SMA に使用するアスファルトは、ポリマー改質アスファルト（II型）を使用した事例もあるが、空港施設の重要性も考慮し、ポリマー改質アスファルト（H型）を使用した。機能性

寒冷地空港舗装の耐久性向上に関する研究

を使用しているため、軟化点やタフネス・テナシティーに優れ、高温時に変形しにくい性質を有する。そのため、変形量が小さく、動的安定度が大きい結果となった。この試験結果から、機能性 SMA は密粒度アスコン(20F)と比較して高い耐流動性を示し、航空機荷重による舗装表面の骨材の移動も少ないと考えられる。

(3) 舗装路面の粗さ

舗装路面の粗さの測定方法としてサンドパッチング法¹⁶⁾により比較した。

図-27 に試験結果を示す。機能性 SMA と密粒度アスコン(20F)を比較すると、機能性 SMA はきめ深さが大きく、粗面化された舗装である。また、ホイールトラッキング試験装置を用い、試験室温度 60℃、供試体全面に走行荷重を 50 回走行した条件においても、きめ深さは密粒度アスコン(20F)より優れ、活荷重による影響を抑え、きめ深さの品質を長期的に確保できる耐久性が、密粒度アスコンに比べて優れている。

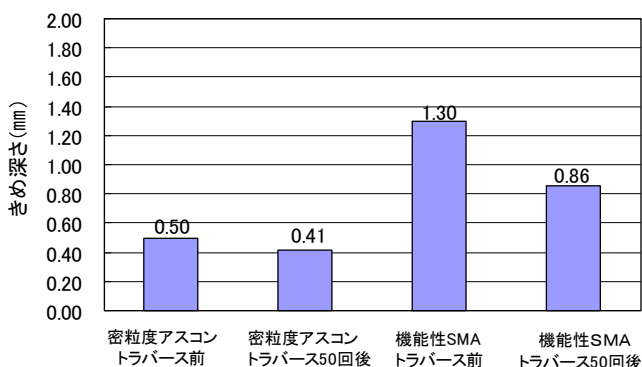


図-27 舗装路面のきめ深さ

(4) すべり抵抗性

舗装路面の種類によるすべり抵抗の評価を行うために、回転式すべり抵抗器(以下、DF テスター)を使用し、すべり摩擦係数を測定¹⁵⁾した。試験は室内で作成した 40cm×40cm×5cm(縦×横×高さ)の供試体を用いて実施し、氷膜を作製するために1層当たり30gの水を塗布し、供試体を作製した。氷膜は7層まで作製し、-10℃の低温室内で試験を実施した。1層当たりの氷膜厚さは約0.2mm程度であり、5層で1mm程度の厚さとなる。氷膜と氷版の区分では1mm未満が氷膜であり、1mm以上が氷版と区分¹⁷⁾されている。尚、グルーピングを施工した供試体によるDF テスターによる摩擦係数は、適切に測定できないため、試験を実施していない。

図-28 に密粒度アスコン(20F)の試験結果を示す。氷膜1層目のすべり摩擦係数は、回転速度10~20km/hの条件下で、0.25以上、回転速度30km/h以上は0.25以下となった。氷膜2層目から7層目は、

表-4 室内試験の試験項目

試験項目	試験目的	試験方法
ラベリング試験	耐摩耗性能の評価	舗装調査・試験法便覧(第3分冊) 往復チェーン型・クロスチェーン使用
ホイールトラッキング試験	耐流動性の評価	舗装調査・試験法便覧(第3分冊) 試験温度60℃
砂を用いた舗装路面のきめ深さ測定	路面の粗さの評価	舗装調査・試験法便覧(第1分冊) サンドパッチング法 トラバース前後(走行回数50回) 試験温度60℃
回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定	すべり抵抗の評価	舗装調査・試験法便覧(第1分冊) ・湿潤状態 ・ブラックアイス、氷板 氷膜(塗布量30g)を7層、各供試体に作製後、各層毎にDFテスターにより測定する。DFテスターは、グルーピングが無いケース
据え切り試験	骨材の飛散抵抗の評価	NIPPO試験方法 試験温度60℃
加圧透水試験	プリスタリングに対する抵抗性の評価	舗装調査・試験法便覧(第3分冊) 150kPa 24h、500kPa 24h
氷着引張強度試験	氷の付着力	舗装性能評価法別冊を準拠 鋼球は使用しない
凍結融解試験	凍結融解の耐久性	舗装調査・試験法便覧(第3分冊) 凍結融解後(300サイクル~+4.5℃~-18.5℃)、チェーンラベリング試験による摩耗量、および凍結融解による増加空隙率の比較を行う
走行試験	耐久性の評価	舗装調査・試験法便覧(第3分冊) スパイクラベリング試験機を用い、500回、1000回、1500回、2000回走行後のサンドパッチングによるきめ深さ、グルーピングの角欠け、骨材の飛散量の計測を行う

表-5 室内試験結果

	機能性SMA		密粒度アスコン	
	グルーピング無し	グルーピング有り	グルーピング無し	グルーピング有り
マーシャル試験				
安定度 (KN)	5.56 (5.0以上)		10.21 (8.8以上)	
飽和度 (%)	69.2 (65-85)		80.2 (75-85)	
フロー値 (1/100cm)	34 (20-50)		26 (20-40)	
空隙率 (%)	6.1 (3-7)		3.2 (2-5)	
ラベリング試験 (cm ²)	1.28	1.15	1.11	1.22
ホイールトラッキング試験 (回/mm)	10500	9000	180	162
加圧透水試験 (cm/s)	1.9×10 ⁻⁷	—	1.2×10 ⁻⁶	—
氷着引張強度試験 (MPa)	0.48	0.48	0.53	0.49

※括弧内は規格値

3.3 研究成果 (室内試験結果)

(1) 耐摩耗性

耐摩耗性の評価を行うため、チェーンラベリング試験を実施した。試験条件として、試験温度-10℃、試験時間1時間30分、クロスチェーンを使用し、チェーンラベリング試験¹⁵⁾を実施した。表-5にチェーンラベリング試験結果を示す。空港舗装においては、規格値はないが、国道の規格値1.3cm²以下と比較すると、規格内に収まっている。今回の試験結果からは、機能性 SMA と密粒度アスコン(20F)を比較すると、グルーピングの有無にかかわらず同程度の耐摩耗性を有していることが確認できた。

(2) 耐流動性

空港舗装では、動的安定度の基準はないが、耐流動性の評価を行うため、ホイールトラッキング試験¹⁵⁾を実施した。表-5にホイールトラッキング試験結果を示す。ホイールトラッキング試験は、試験温度60℃、試験時間60分、輪荷重686±10Nの条件で実施し、道路用の舗装と同じ方法を用い評価した。

機能性 SMA はポリマー改質アスファルト(H型)

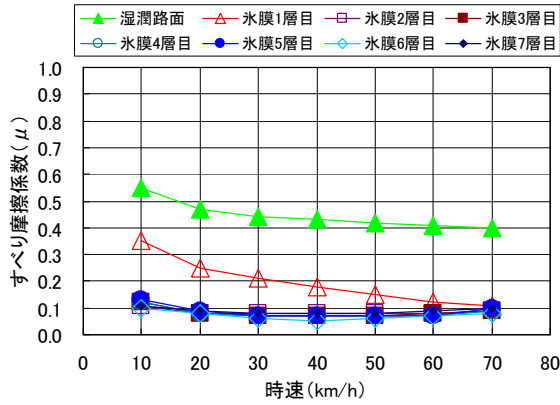


図-28 すべり摩擦係数(密粒アスコン)

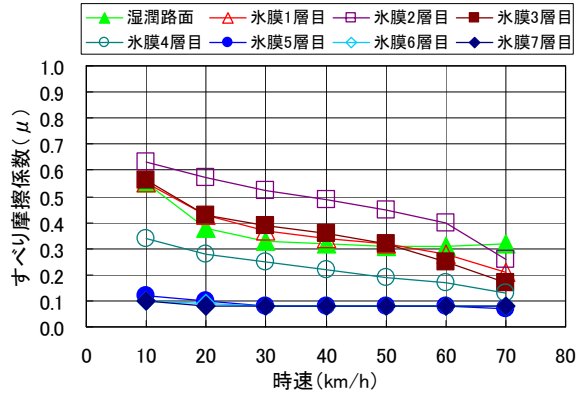


図-29 すべり摩擦係数(機能性 SMA)

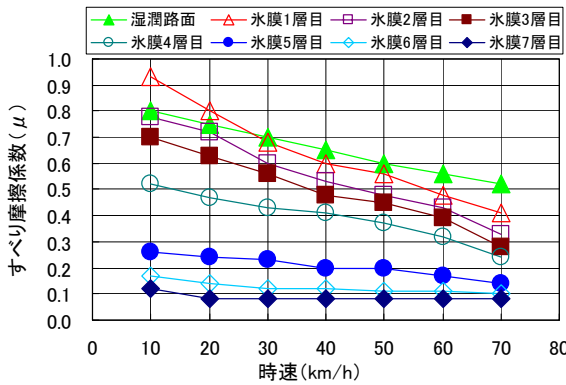


図-30 すべり摩擦係数(ショットブラスト)

表-6 据え切り試験の試験条件

項目	条件	
供試体寸法	300mm×300mm×50mm (縦×横×厚さ)	
輪荷重	686±10N	
接地圧	628KPa	
旋回条件	角度	90°
	回数	2,000回
試験輪	周波数	0.3Hz
	寸法	200mm×50mm×15mm (直径×幅×厚さ)
試験温度	JIS硬度78±2 (60℃)	
試験温度	60℃	

0.1以下の小さなすべり摩擦係数を示している。

一方、図-29に機能性 SMA を用いた供試体における、氷膜を7層まで塗布した DF テスターによるすべり摩擦係数の試験結果を示す。氷膜3層目までは、時速 60km/h 以下のすべり摩擦係数は 0.25 以上確保されている。5層目以降の1mm以上の氷版では、きめ深さが氷で覆われる影響により、密粒度アスコン(20F)と同程度のすべり摩擦係数を示した。尚、湿潤路面のすべり摩擦係数が氷膜 1~3 層目より小さい理由は、作製直後の供試体であるため、舗装表面のアスファルトに含まれるオイル分等の影響と推察される。

舗装表面のアスファルトに含まれるオイル分等の影響を排除する目的で、機能性 SMA の舗装表面をショットブラストした供試体に同様な試験を実施した。試験結果を図-30に示す。舗装表面のアスファルトが落ち着いたことやきめ深さが更に粗くなった影響から、湿潤路面のすべり摩擦の上昇し、湿潤と氷膜の路面条件におけるすべり摩擦係数の関係は妥当な結果が得られた。

以上の結果から機能性 SMA はブラックアイスの路面状態においては、密粒度アスコン(20F)と比較し、すべり摩擦係数の改善効果が確認された。

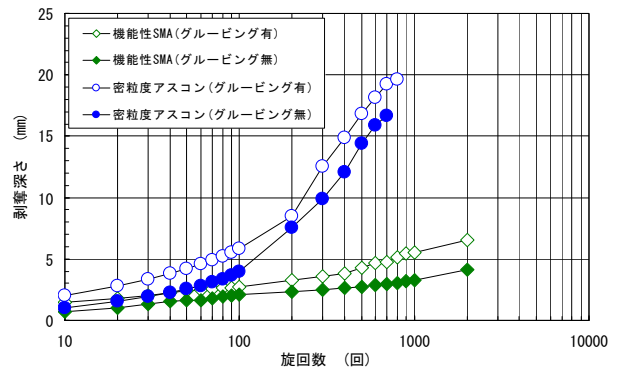


図-31 据え切り試験

(5) 骨材飛散抵抗

骨材の飛散抵抗を評価する目的で、据え切り試験を実施した。試験条件を表-6に示す。試験はアスファルト混合物の表面上を所定の接地圧、およびゴム硬度を有するソリッドタイヤを旋回運動させ、車輪の沈下量(以下、剥奪深さ)を測定し、混合物の骨材飛散抵抗性を評価する試験である。また、試験温度は路面の最高温度を考慮して60℃とした。

図-31に据え切り試験結果を示す。密粒度アスコン(20F)と機能性 SMA を比較すると、機能性 SMA はグルーピングの有無に関係なく剥奪深さが小さく、

機能性 SMA の骨材飛散抵抗が優れていることが室内試験結果から評価できる。また、舗装表面にグルーピングを有する供試体は、グルーピングを施工していない供試体と比べて、やや低い骨材飛散抵抗性を示し、グルーピングの舗装表面の施工は骨材飛散抵抗をやや低下させている結果となった。

(6) プリスタリングに対する抵抗性

夏期に舗装体が膨れあがるプリスタリング現象が北海道の空港でもみられること^{18) 19)}から、舗装体の透水係数を把握するため、加圧透水試験¹²⁾を行い、アスファルト混合物の透水係数を算出した。試験結果を表-5に示す。機能性 SMA、および密粒度アスコン(20F)の透水係数は、プリスタリング現象を防止するための目安となっている $1 \times 10^{-7}(\text{cm/s})$ 以上¹³⁾を確保している。また、表-5に示す室内配合でも目安値とされる空隙率3%以上を確保している。そのため、現地の配合設計を適切に行えば、プリスタリング現象を抑える配合は可能であると考えられる。また、ポリマー改質アスファルト(H型)はストレートアスファルトやポリマー改質アスファルト(II型)よりも軟化点が高いことからプリスタリング対策としても有効と推察される。

(7) 路面の氷着力

氷着引張強度試験は、鋼製治具の試験面に接着した不織布に水を含ませた後、氷点下の雰囲気温度において供試体表面に氷着させる。その後、油圧式引張試験機を用いて垂直方向の氷着強度を測定することによって、路面の氷着力を評価²¹⁾するものである。なお、今回の試験では鋼球は使用していない。

表-5に試験結果を示す。表面の粗いきめを有している機能性 SMA は密粒度アスコン(20F)と同等程度の氷着強度であり、密粒度アスコン(20F)に比べて、舗装表面の氷が剥がれにくいことはないと考えられる。また、今回の試験は-10℃の条件下で実施し、急速に不織布が冷却したため、グルーピングの排水効果による影響は少なく、グルーピングの有無による条件の差は、生じなかったと考えられる。

(8) 凍結融解の耐久性

凍結融解試験¹⁵⁾はコンクリートの凍結融解試験(JIS A 1148)に準じて試験を実施した。凍結融解試験は、+5℃~-18℃の凍結融解を行い、凍結融解の1サイクルの時間は3時間に設定し、凍結融解のサイクル数は300サイクルとした。

凍結融解に対するアスファルト混合物の耐久性を確認するために、凍結融解後に、チェーンラベリング試験を実施した。また、凍結融解による体積膨張の影響を把握するため、凍結融解後の増加空隙率を計測した。

図-32に凍結融解試験後のラベリング試験結果を示す。機能性 SMA はグルーピングの有無の条件に拘わらず、摩耗量が小さく、凍結融解に対する抵抗性が高いことが分かる。また、供試体を目視観察すると密粒度アスコン(20F)は凍結融解によって、脆弱になった箇所は、ラベリング試験により供試体に剥離した溝が見られるが、機能性 SMA には、そのような破損形態は見られない。

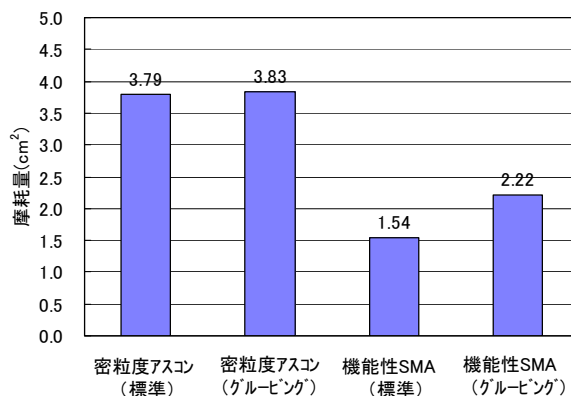


図-32 凍結融解試験後のラベリング試験

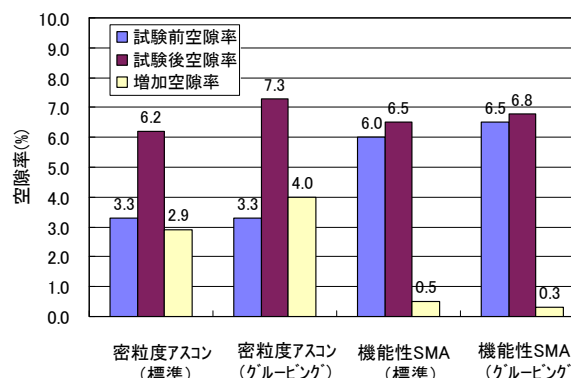


図-33 凍結融解試験(増加空隙率)

図-33に凍結融解試験前後の空隙率、および増加空隙率を示す。密粒度アスコン(20F)の凍結融解試験前の空隙率は3%程度であるが、凍結融解後は3~4%程度の空隙率の増加が見られる。供試体を目視観察すると、グルーピング有りの供試体は、グルーピング無しの供試体と比べ、凍結融解の影響が大きく、剥離した箇所が見られる。グルーピング有りの供試体は、グルーピングの施工の影響により、グルーピングの断面部がアスファルトで被膜される量が少なくなり、水分が滲入しやすいためと考えられる。機能性 SMA の増加空隙率は、0.3~0.5%を示し、凍結融解による空隙の増加は少ない。供試体を目視観察すると凍結融解による影響は殆ど見られず、良好な状態の供試体である。この要因は、機能性 SMA に使用しているポリマー改質アスファルト

寒冷地空港舗装の耐久性向上に関する研究

くなり、グルーピングの幅の寸法が計測出来ないため欠測した。機能性 SMA は角欠けの破損に対する耐久性が密粒度アスコン(20F)と比べ高いことが分かる。

(H型)が、骨材の把握力が優れ、凍結融解に作用する抵抗力が高く、増加空隙率に差が生じたと考えられる。

(9) 長期的な耐久性

走行試験は、機能性 SMA の長期的な耐久性を評価するため、スパイクラベリング試験機を使用し、試験を実施した。走行試験は走行タイヤにタイヤチェーンを装着させ、耐久性の試験を実施した。試験温度は-10℃、走行回数は 500、1000、1500、2000 回の条件で実施した。尚、輪荷重は 3.19kN に調整しており、走行速度は 40km/h の条件で試験を行った。

走行試験後の骨材飛散量を図-34 に示す。機能性 SMA は密粒度アスコン(20F)と比較し、走行回数が増加するに伴い、骨材飛散量に明確な差が生じ、骨材飛散量が少ない。この試験結果から機能性 SMA は低温下の条件でも密粒度アスコン(20F)と比較して、耐久性に優れていることが分かった。ただし、グルーピング有りの供試体は、グルーピング無しの供試体と比較すると、耐久性をやや低下させる試験結果となった。

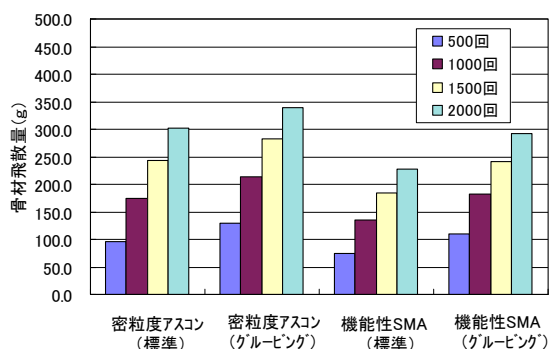


図-34 走行試験(骨材飛散量)

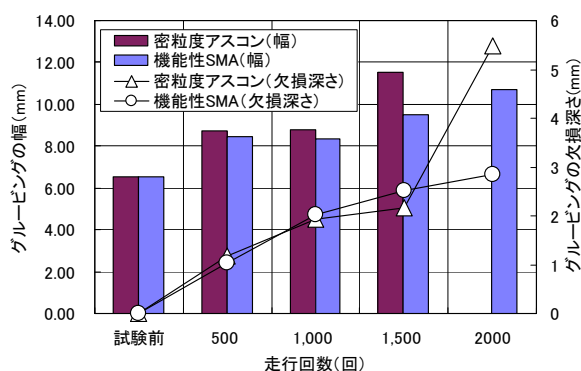


図-35 走行試験(グルーピングの角欠けと欠損深さ)

図-35 に走行試験前後のグルーピングの角欠けと欠損深さの推移を示す。密粒度アスコン(20F)は、機能性 SMA と比べて、走行回数が増加するに伴いグルーピングの上幅が大きくなり、角欠けが進み、走行回数が 2000 回になるとグルーピングの溝がほぼ無

3.4 試験施工による機能性 SMA の評価

機能性 SMA の現地における評価を行うため、釧路空港の場周道路を用い、試験施工を実施した。試験施工の工区割りは、室内試験と同様に機能性 SMA と密粒度アスコン(最大粒径 20mm)の比較評価の実施を前提とし、グルーピングの有無の条件を加え、表-7 に示す工区割りとした。なお、1 工区の施設延長については、航空局で滑走路の路面管理に使用しているサーブ・フリクション・テスター(以下、サーブ車)²¹⁾による路面摩擦係数の測定の際に一定区間の直線距離を必要とすることから、L=90m とした。

表-7 試験施工の工区割り

工区	混合物の種類	使用するバインダー	備考
1 工区	密粒度アスコン(20F)	ストレートアスファルト	グルーピング有り
2 工区	密粒度アスコン(20F)	ストレートアスファルト	グルーピング無し
3 工区	機能性 SMA	ポリマー改質アスファルト(H型)	グルーピング有り
4 工区	機能性 SMA	ポリマー改質アスファルト(H型)	グルーピング無し

(1) 研究方法(試験施工の調査項目)

試験施工の調査項目は、冬期路面対策としての効果に対する評価を実施することを前提とし、表-8 に示すとおりとした。なお、航空機の安全運転確保の観点から除雪車による骨材飛散の目視確認も施工 1 年後に実施したが、調査した時期の降雪量も少なく、除雪車の出動回数も少ないため、全ての工区において、骨材の飛散等は確認されなかった。

表-8 試験施工の調査項目

調査項目	調査目的	備考
センサきめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定	路面のきめを測定し、舗装路面のテクスチャを評価する。	
砂を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法		
回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定	施工後のすべり摩擦係数を測定し、施工後のすべり抵抗を評価する。	
サーブ車によるすべり摩擦係数の測定	すべり摩擦係数を測定し、機能性 SMA の冬期路面対策としての効果を確認する。	調査時期としては ・ブラックアイス ・圧雪 ・スラッシュ ・その他
冬期路面の路面状態の調査	除雪後の路面の調査を行い、路面の乾燥状況や路面の変化状況を確認する。	気象条件の把握

(2) 研究成果(現地調査)

a) 舗装路面の粗さ

試験はセンサきめ深さ測定装置¹⁶⁾、およびサンドパッチ法¹⁶⁾を用い、施工後の舗装表面のきめ深さを評価した。試験結果を表-9 に示す。どちらの評価方法でも機能性 SMA が密粒度アスコン(20F)に比べて粗いきめを有していることが分かる。なお、これらの数値は釧路空港で使用した材料で室内試験を実施した数値と近似した値を示した。

表-7 路面の粗さ測定

	機能性SMA	密粒度アスコン
センサきめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定	0.55mm	0.30mm
砂を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法	1.31mm	0.45mm

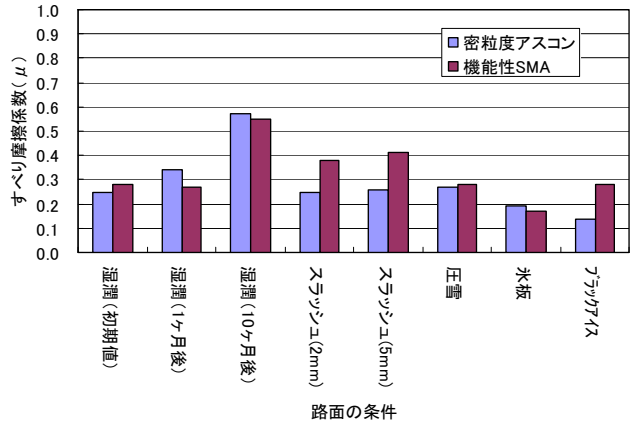


図-36 すべり摩擦係数(DF テスター)

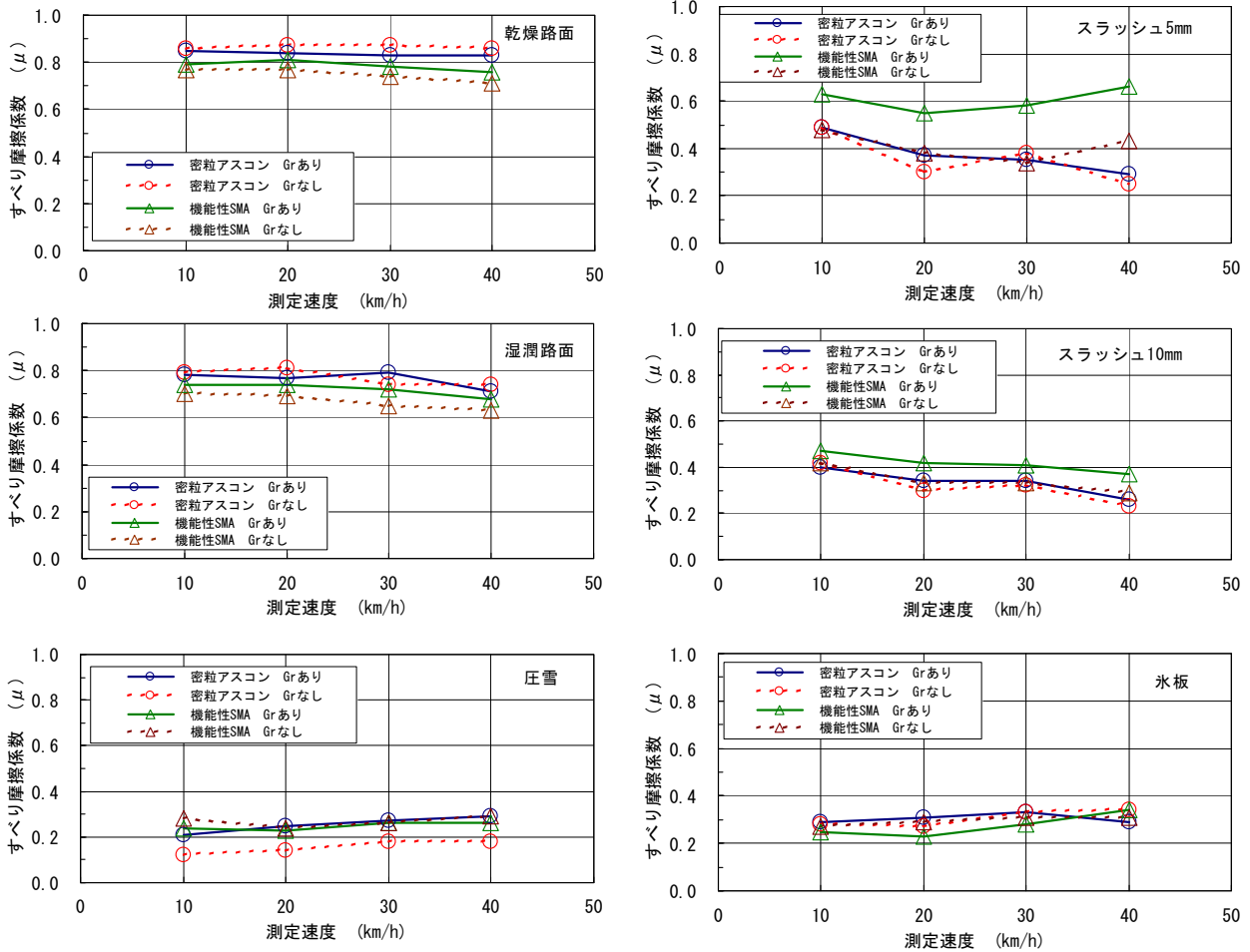


図-37 すべり摩擦係数(サブ車)

b) DF テスターによるすべり摩擦係数

DF テスターにより測定したすべり摩擦係数¹⁶⁾の試験結果(測定速度 60km/h)を図-36に示す。測定時期は施工直後、施工1ヶ月後、および施工10~12ヶ月後に測定した。機能性SMAは密粒度アスコン(20F)と比べて、スラッシュ、ブラックアイスの路面状態において、すべり摩擦係数0.1程度の改善効果が見られる。湿潤時のすべり摩擦係数が施工後に比

べ増加した原因は、車両や除雪車による舗装路面への影響、および舗装表面のアスファルトに含まれるオイル分の減少等が原因と推察される。なお、釧路空港内での現地調査では、立ち入り可能な時間帯が制約され、調査期間中にブラックアイスの路面状態が確認されなかったため、釧路市内のアスファルトプラント構内で人工的にブラックアイス路面を作製し、計測した結果を掲載した。



写真-6 密粒度アスコン(グレーピングの有無)

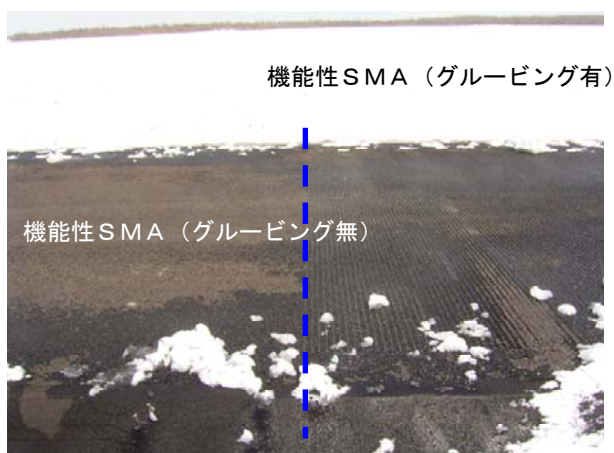


写真-7 機能性SMA(グレーピングの有無)



写真-8 機能性SMA(融解期)



写真-9 密粒度アスコンと機能性SMA

c) サーフ車によるすべり摩擦係数の評価

空港管理者が滑走路の利用の可否を判断するためにサーブ車を用いて路面摩擦係数を測定する時は、測定速度を 60km/h 以上で行うこととしている²²⁾。しかしながら、今回の調査箇所は、釧路空港構内の幅員の狭い場周道路であることから、安全性も考慮した測定速度で実施した。

図-37 にサーブ車によるすべり摩擦係数を示す。測定時期は供用後 10~12 ヶ月経過後に実施した。走行速度は 10km/h~40km/h の速度範囲で、10km/h 毎に、すべり摩擦係数を測定した。乾燥路面、湿潤路面、氷板路面、および圧雪路面では、すべり摩擦係数の差は見られない。一方、スラッシュの路面状態において、グレーピングを施工した機能性 SMA は、密粒度アスコン(20F)と比較し、0.1~0.4 程度の顕著な差が生じた結果となった。また、グレーピングを施工していない機能性 SMA は、スラッシュ 5mm、時速 40km/h の条件下で密粒度アスコン(20F)と比較し、すべり摩擦係数に差がみられた。

スラッシュの条件下にグレーピングを施工した機能性 SMA の摩擦係数の改善効果は、グレーピングに

よる排水効果と舗装表面の粗いきめ深さの相乗効果によるものと推察される。

釧路空港の現地調査では、調査期間中にブラックアイスの路面状態が発生せず、サーブ車による計測ができなかったが、過去の調査結果²³⁾や DF テスターによる調査結果から判断すると、ブラックアイス時にもすべり摩擦係数の改善効果を有していると推察される。

d) 冬期路面の路面状態の調査

試験施工区間における冬期間の路面状態を目視観察した結果を以下に示す。

写真-6 に密粒度アスコン(20F)の路面状況を示す。手前がグレーピング無しの区間、奥側はグレーピング有の区間である。グレーピングの無い区間は、雪解けの水がそのまま路面に伝わって流れ、路面が滞水により光沢している。一方、グレーピングを施工した区間は、グレーピングの排水効果により、路面の滞水による光沢は見られず、排水効果が確認された。

写真-7 に機能性 SMA のグレーピング有、グレー

ビング無しの区間を示す。少量の融雪水の場合、機能性 SMA の路面状態は、表面の粗面化により、グルービングの有無の条件に拘わらず滞水は見られない。しかしながら、写真-8 に示すように路面に多量の融雪水がある場合は、グルービングの施工されていない工区の路側部に滞水箇所が発生し、光沢した箇所が確認できる。このように表面の粗いきめ深さだけでは、多量の融雪水が発生した場合は、対応できない場合がある。

写真-9 はスラッシュの融解過程におけるグルービングを有する機能性 SMA とグルービングの無い密粒度アスコン(20F)との比較を示す。機能性 SMA は、密粒度アスコン(20F)とは異なり、舗装表面は滞水による光沢が見られない。このように、排水効果と粗いきめ深さが要因となり、サブ車によるスラッシュの条件下において、すべり摩擦係数の測定結果に差が生じたと推察される。

以上の結果から、機能性 SMA を空港の基本施設に使用する場合は、グルービングを併用して使用することが望ましいと考えられる。

3.5 まとめ

室内試験結果、および釧路空港の現地調査の結果、以下の知見が得られた。

(室内試験結果からの評価)

- (1) 機能性 SMA のきめ深さは、密粒度アスコン(20F)と比較し、粗いきめ深さを有し、高温時に促進載荷させた条件でも、きめ深さが保持できる。
- (2) 機能性 SMA は、ブラックアイスの路面状態に対し、舗装の粗面化による影響により、すべり摩擦係数の改善効果がみられる。一方、氷膜が厚くなると、きめ深さが無くなり効果が見られないことから、氷板に対しては効果が見られない。
- (3) 据え切り試験の結果、機能性 SMA は高温時の条件における骨材飛散抵抗性は高く、夏期における据え切りによる骨材飛散抵抗性は、密粒度アスコン(20F)と比べて優れている。
- (4) 凍結融解作用による混合物の耐久性は、密粒度アスコン(20F)と比較し、機能性 SMA は耐久性に優れている。
- (5) 走行試験の結果、低温下においても機能性 SMA は、密粒度アスコン(20F)と比較し、高い耐久性を有している。

(現地調査からの評価)

- (6) 現地調査の結果、機能性 SMA は密粒度アスコン(20F)と比べて、スラッシュやブラックアイスの

寒冷地空港舗装の耐久性向上に関する研究

条件下において、すべり摩擦係数の改善効果が見られる。しかしながら、舗装表面を覆う圧雪、氷板については、効果は見られない。また、機能性 SMA のすべり摩擦係数の改善は、グルービング工法を併用した方がより効果的である。

- (7) 冬期の路面状態を目視観察した結果、グルービングの無い機能性 SMA は、路面水が多いと、滞水が生じる場合がある。一方、機能性 SMA や密粒度アスコン(20F)にグルービングを施工したものは、路面の排水効果が良好である。
- (8) 空港基本施設の安全管理上から判断すると、すべり摩擦係数の改善効果、および気温低下に伴う再凍結防止の観点から、機能性 SMA は排水効果を有するグルービングを併用した工法が望ましいと考えられる。

3.6 おわりに

室内試験、および現地調査結果から機能性 SMA は、積雪寒冷地における空港の冬期路面对策の一手法として効果が確認された。滑走路コンディションが悪いことにより遅延や欠航が生じると、後続便へも連鎖するため、ダイヤグラムが1日中乱れることがある。北海道の空港を代表する新千歳空港の場合では、冬期であっても1日約5万人の旅客利用があるなかで、1日に10数便の遅延が発生することもあり、これらの遅延や欠航の減少が図られることによる効果は非常に大きいと考えられる。

参考文献

- 8) 国際民間航空機関(ICAO)、財団法人航空振興財団：国際標準及び勧告方式 飛行場 国際民間空港条約第14付属書 第1巻 飛行場設計及び運用第3版、pp307-308、2000.12
- 9) 市原、松尾、岳本、早坂：積雪寒冷地の排水性舗装に代わる機能性 SMA の検証、雑誌舗装、pp.21-25、2002.8
- 10) 瀧谷、作田、櫛田：一般国道227号江差町田沢改良工事の仮橋における冬期路面对策について-仮橋覆工板への機能性砕石マスチック舗装の施工例-、第50回北海道開発局技術研究発表会、2007.2
- 11) 千葉、田高、安倍：開粒度舗装の冬期路面对策としての効果について、寒地土木研究所月報 No644、pp21-27、2007.1
- 12) 田村、北川、西岡：高機能舗装損傷原因と新たな評価方法・表層混合物の導入提案について-北海道型の耐久性のある高機能舗装混合物を目指して-、第49回北海道開発局技術研究発表会、2006.2
- 13) 吉井、田高、丸山：積雪寒冷地における排水性舗装の路面損傷評価手法に関する一考察、第27回日本道路会議、2007.11
- 14) 運輸省航空局：空港舗装構造設計要領、pp9-12、1999

- 15) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧(第3分冊)、2007.6
- 16) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧(第1分冊)、2007.6
- 17) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル(案)、pp2、1997.11
- 18) 安倍、岳本、衛藤：新千歳空港舗装体の劣化調査および対策工法の検討、土木学会舗装工学論文集第8巻、pp261-272、2003.12
- 19) 安倍、岳本、久保、平尾：空港舗装のプリスタリング現象に関する一考察、土木学会舗装工学論文集第10巻、pp119-126、2005.12

寒冷地空港舗装の耐久性向上に関する研究

- 20) 久保、八谷、長田、平尾、浜：最近の空港アスファルト舗装の損傷と改良工法について、土木学会舗装工学論文集第9巻、pp35-40、2004.12
- 21) 社団法人日本道路協会：舗装性能評価法別冊-必要に応じ定める性能指標の評価法編-、pp63-72、2008.3
- 22) 国土交通省航空局：空港土木施設点検要領、pp1-8、2003.4
- 23) 佐藤、岳本、安倍：開粒度舗装の冬期路面対策としての効果について、第20回寒地技術シンポジウム、pp409-413、2004.10

A STUDY ON DURABILTY ENHANOEMENT OF AIRPORT PAVEMENT IN COLD SNOWY REGIONS

Budged : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2009-2012

Research Team : Cold-Region Maintenance
Engineering Research Group (Road
Maintenance Research Team)

Author : KUMAGAI Masayuki
MARUYAMA Kimio
ABE Ryuji
HUSE Koji

Abstract : This paper investigates the cause of asphalt pavement blistering at Airport in Hokkaido by reproducing the blistering phenomenon in indoor tests using conditions of the site. Blistering was found to be affected by void content and pavement temperature. This paper reports on a blistering countermeasure in which type-II modified asphalt is installed as the surface course, and on a blistering countermeasure in which the number of asphalt layers is decreased but their thickness is increased from those in conventional pavement.

At airports in cold, snowy regions, winter runway surface conditions that prevent airplanes from landing may occur because of decreased skid friction coefficient due to snow and ice, causing inconvenience to users. To improve the skid resistance of runways, the authors focused on high-performance SMA, which forms a rough pavement surface, and considered its application as a surface mixture for runways through laboratory experiments and test construction. The results demonstrated that the technique was effective in improving the friction coefficient under conditions of slush or black ice on the runway surface. In the laboratory experiment, which evaluated freezing and thawing unique to cold, snowy regions as well as durability and other properties, high-performance stone mastic also displayed a level of performance equaling or surpassing that of dense-grade asphalt concrete 20F – a standard surface mixture. SMA's effectiveness as a measure for winter runway surfaces in cold, snowy regions was confirmed.

Key words : cold snowy regions , airport pavement, blistering, measure for winter runway surfaces ,
high-performance stone mastic