

空港舗装における冬期路面对策に関する検討

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 道東支所
 国土交通省 北海道開発局 釧路開発建設部 釧路港湾事務所

○ 安倍 隆二
 牧野 昌史
 水上 一生

積雪寒冷地の空港では、冬期間、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、空港舗装における冬期路面对策の一手法として、効果があることが確認された。

キーワード：空港舗装、冬期路面对策、機能性SMA、すべり摩擦係数

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、および積雪状態であれば、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。

北海道内の空港の路線就航率（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係するものである。

本文では、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、滑走路の冬期路面对策として検討した室内試験結果、および釧路空港の場周道路で実施した試験施工の結果について述べるものである。

2. 室内試験における機能性 SMA の評価

機能性 SMA は図-1 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 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对策として検討され、ブラックアイスの路面状態における効果等が報告¹⁾ されている。また、多くの施工実績を有する混合物である。一方、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²⁾ 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对策の検討を行った。

(1) 試験項目

室内試験を行う舗装の種類は、機能性 SMA と空港の基本施設（設計荷重：LA-4 以上）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レ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-1 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。

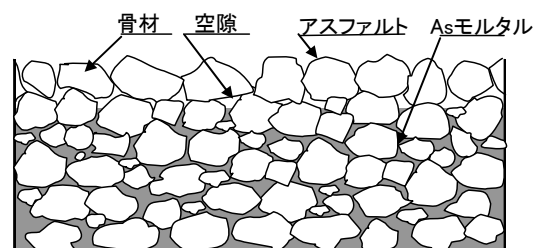


図-1 機能性 SMA の断面図

(2) 試験結果

a) 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を実施した。表-2 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。

b) 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により比較した。

図-2 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する耐久性が、密粒度アスコンに比べて優れている。

c) 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。北海道開発局「冬期路面管理マニュアル(案)」によれば、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、測定できないため、試験を実施していない。

図-3 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以下となっている。氷膜2層目から7層目は、0.1以下の小さなすべり摩擦係数を示している。一方、図-4 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、きめ深さが水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。

表-1 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)
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 ・ フラックアイス、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を行う。
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-2 室内試験結果

	機能性SMA	機能性SMA	密粒度アスコン	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	-
氷着引強度試験 (MPa)	0.48	0.48	0.53	0.49

※括弧内は規格値

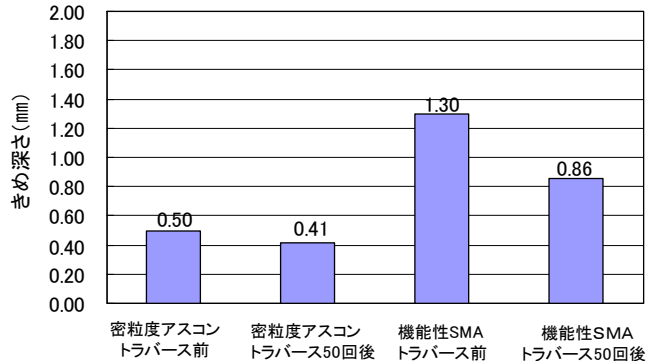


図-2 舗装路面のきめ深さ

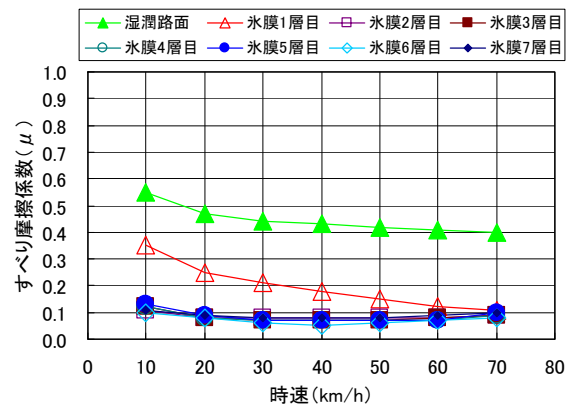


図-3 すべり摩擦係数(密粒アスコン)

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。

d) 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-5 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。

e) 凍結融解の耐久性

凍結融解試験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-6 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-7 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(H型)が、骨材の把握力に

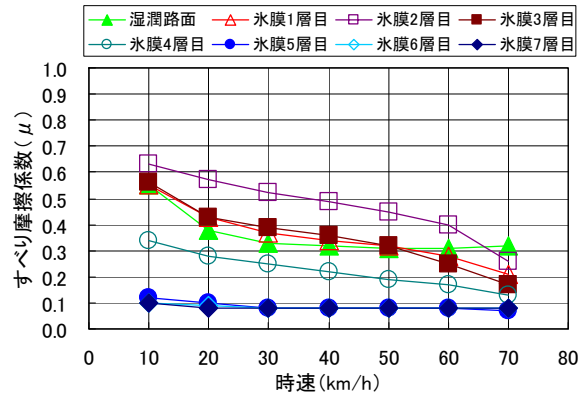


図-4 すべり摩擦係数(機能性 SMA)

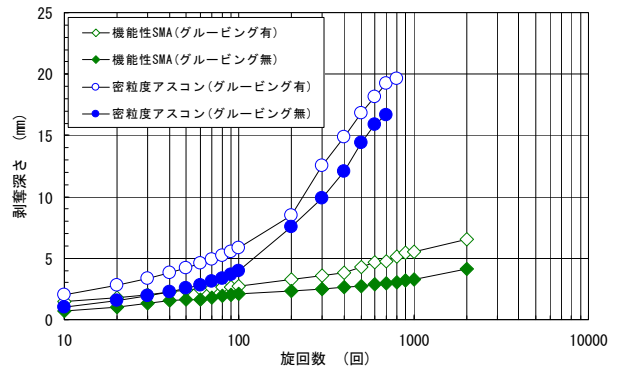


図-5 据え切り試験

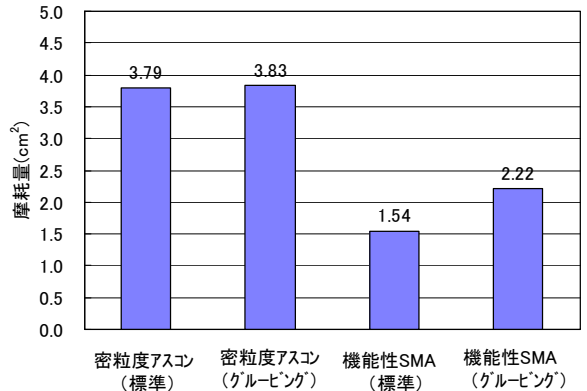


図-6 凍結融解試験後のラベリング試験

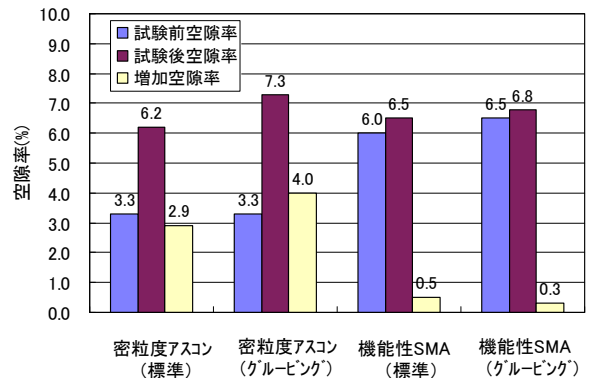


図-7 凍結融解試験(増加空隙率)

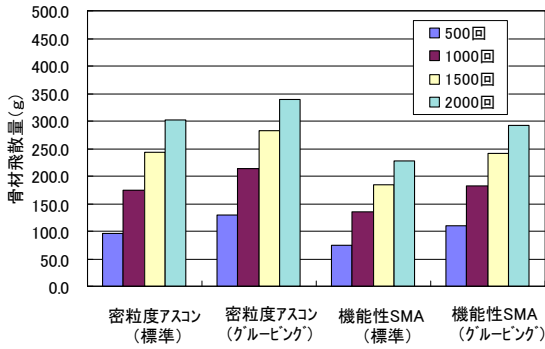


図-8 走行試験(骨材飛散量)

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。

f) 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。

走行試験後の骨材飛散量を図-8 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-9 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。

3. 試験施工による機能性 SMA の評価

機能性 SMA の現地での評価を行うため、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-3 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) 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。

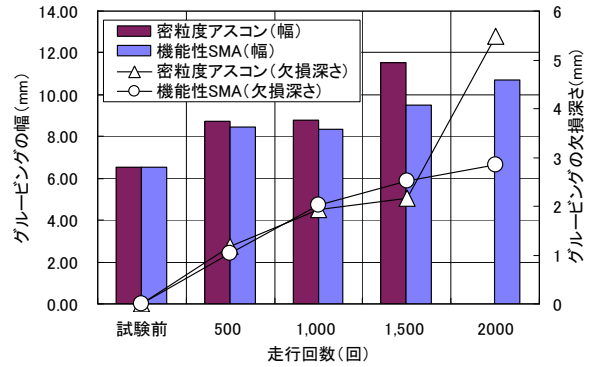


図-9 走行試験(グルーピングの角欠けと欠損深さ)

表-3 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

表-4 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

表-5 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

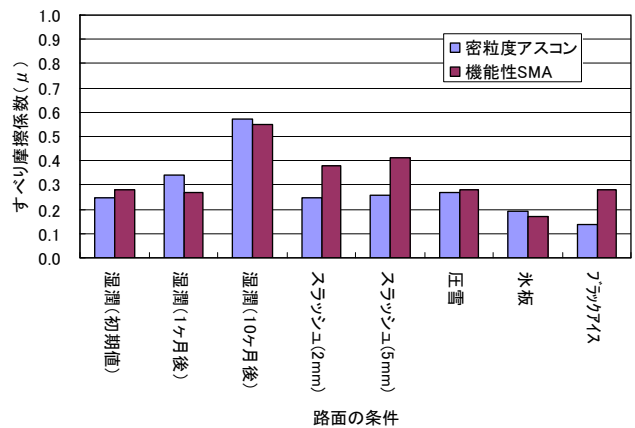


図-10 すべり摩擦係数(DF テスター)

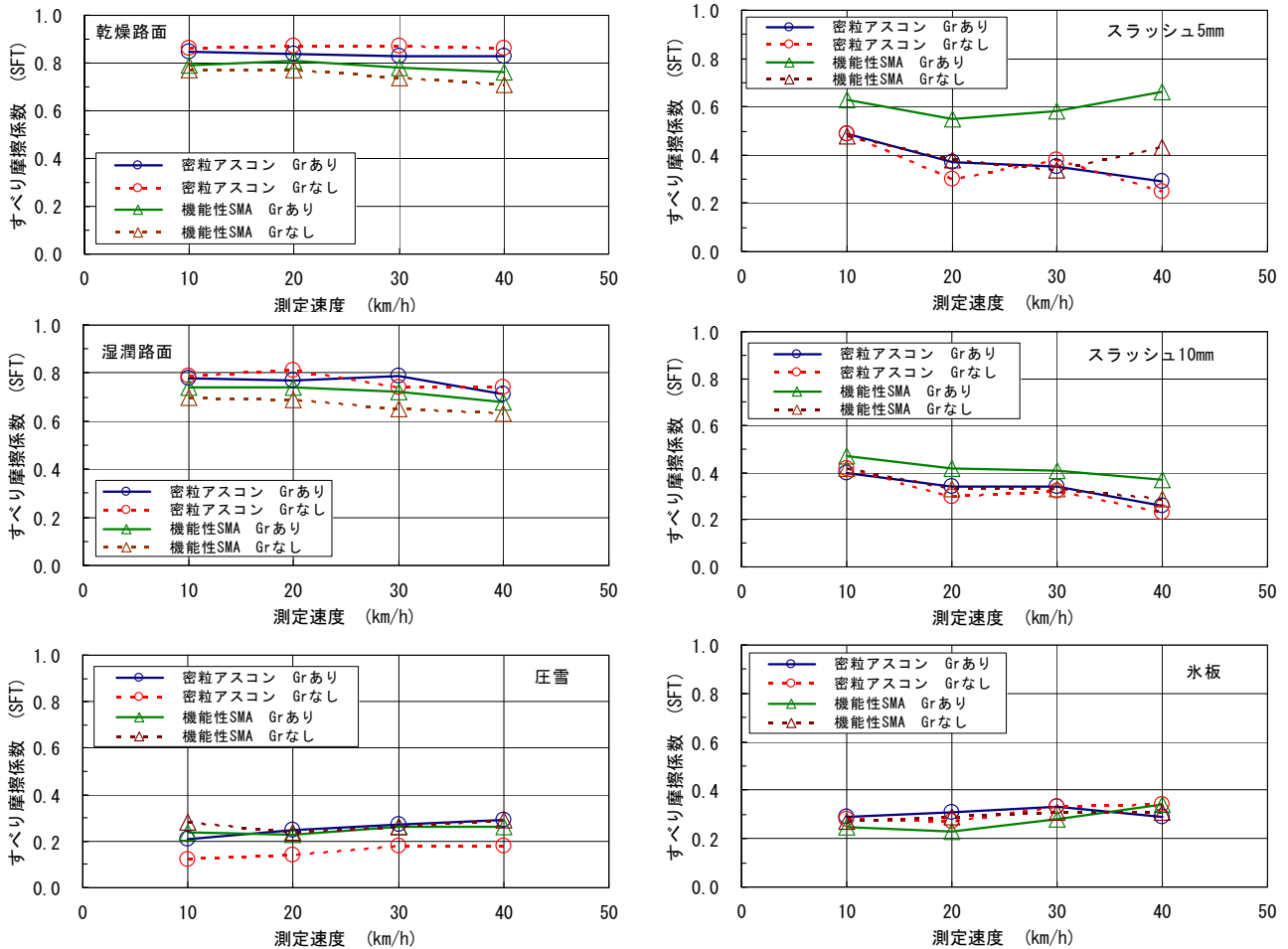


図-11 すべり摩擦係数(サーブ車)

(1) 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-4 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。

(2) 調査結果

a) 舗装路面の粗さ

試験はセンサきめ深さ測定装置、およびサンドパッチ法で舗装表面のきめ深さを評価した。試験結果を表-5 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。

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の試験結果(測定速度 60km/h)を図-10 に示す。試験結果から、機能性 SMA は密粒度アスコン(20F)と比べて、シャーベット、ブラックア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。

c) サーブ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。しかしながら、今回の調査では、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-11 にサーブ車によるすべり摩擦係数を示す。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、グル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。

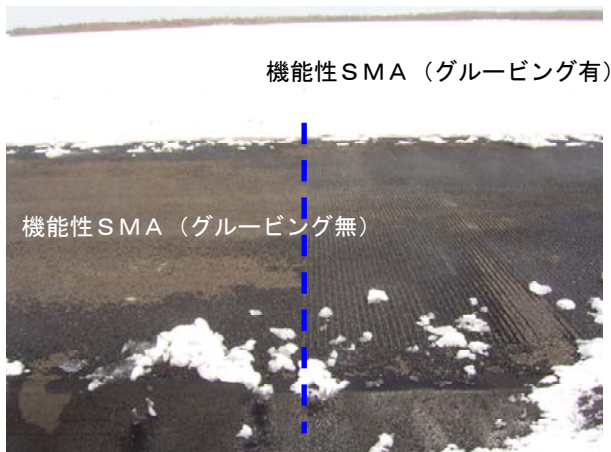


写真-1 機能性SMA(グルーピングの有無)

また、グル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ルーピングを施工した機能性SMAの摩擦係数の改善効果は、グル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、ブラックアイスの路面状態が確認できず、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-1に機能性SMAのグルーピング有、グルーピング無しの区間を示す。機能性SMAの路面状態は、表面の粗面化により、少量の融雪水の場合は、グルーピ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、路面に多量の融雪水がある場合は、グルーピングの施工されていない工区の路側部には路面の滞水箇所が発生し、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-2はスラッシュの融解過程におけるグルーピングを有する機能性SMAとグルーピ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って、サー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、グルーピングを併用して使用することが望ましいと考えられる。



写真-2 密粒度アスコンと機能性SMA

4. まとめ

室内試験結果、および釧路空港の現地試験の結果、以下の知見が得られた。

- (1) 室内試験による機能性SMAは、粗いきめ深さを有していることから、ブラックアイスの路面状態に対し、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。
- (2) 室内試験における据え切り試験、凍結融解試験、および走行試験の結果、機能性SMAは密粒度アスコン(20F)と比較し、耐久性に優れている。
- (3) 現地調査結果から、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、グルーピング工法を併用した方がより効果的である。

5. 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対策の一手法として効果が確認された。今後は、実際の航空機の荷重による耐久性の確認、供用している滑走路でのすべり摩擦係数の改善効果、および整備効果の検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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