

空港舗装工事の生産性向上と維持管理時代にマッチした舗装材料の開発

東亜道路工業株式会社 技術本部 藤永 弥

1. はじめに

人や物資の移動が益々増加する中、国内の航空旅客数は9,500万人を超過するなど、空港の重要性が高まっている。さらに、グローバル化やインバウンドといった言葉に代表されるように、国際線の便数の増加傾向などもあり、24時間運用する空港も増加している。

空港の滑走路、誘導路、エプロンといった舗装施設は、航空機や地上支援車両等の重荷重車両が走行するため、一般的な道路舗装よりも過酷な交通条件であり定期的な補修が必要とされる。さらに、空港舗装の補修工事は時間的制約が非常に厳しい中で行われており、東京国際空港(羽田)では入場から退場までわずか5時間半しかない状況も報告されている。(表-1 参照)

また、国内における滑走路の工事は新たな建設は稀であり、維持管理が主流となっていることを考慮すると、空港舗装の補修材料・工法に求められる性能は以下3点が主要と考えられる。

- ①補修頻度を低くする「耐久性」
- ②規制時間を短縮する「生産性」
- ③ライフサイクルコストを低減する「経済性」

本報は、これらのニーズに資する当社で開発した舗装材料について検討した結果を紹介するものである。

表-1 施工タイムスケジュール例

工種	時刻		23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00
	20:40	20:40	20:40	20:40	20:40	20:40	20:40	20:40	20:40	20:40
安全ミーティング	→									
準備 (機械点検・機械移動)	→									
入場・誤進入防止措置 照明・資機材搬入	→									
施工	→			撤去		舗設		50℃養生		
片付け・清掃	→									
情報官確認	→									
現場退場	→									

※破線は作業時間範囲 ※一点破線は閉鎖時間範囲

2. 養生時間を従来の1/10に短縮した急速分解性タックコート (タックファイン SQ)

2.1 開発の背景

タックコートは新たに舗設するアスファルト混合物層とその下層の瀝青安定処理層、中間層、基層との接着を確保する目的として行う重要な工程である。タックコート材料には、通常アスファルト乳剤(以下、乳剤)が用いられる。乳剤はアスファルトディストリビュータで散布され、散布路面にアスファルトの皮膜が形成するまで養生し、新たなアスファルト混合物層を舗設する。空港土木工事共通仕様書では、「受注者は、敷均しをその下層表面が湿っていないときに施工する」と、記述されている。しかし、十分な養生時間が確保できない場合、供用後のプリスタリングの発生や、未分解の乳剤が施工車両のタイヤに付着することにより施工路面から乳剤がはく奪され層間剥離が発生し舗装の破損の要因となる。

これらの問題を解決するために、化学的作用で強制的にアスファルト皮膜を形成させる急速分解性タックコート材(製品名「タックファイン SQ」以下、開発乳剤)を開発し、乳剤散布後の養生時間の大幅な短縮を図った。

2.2 乳剤の分解について

乳剤はそのほとんどがアスファルトと水からなり、乳剤中に含まれる水分の蒸発によりアスファルト層を形成し、アスファルト混合物層との接着を確保する(図-1 参照)。アスファルト層を形成す

る現象を“分解”と呼ぶが、分解機構は水分の自然蒸発によるため養生時間は環境温度に依存することから、冬期の夜間施工などでは1時間近く要することもある。

2.3 開発乳剤について

開発乳剤は乳剤と分解剤を同時散布して、化学的作用で強制的に分解させる機構とした。ここで言う分解剤とは、乳剤の安定性を阻害する特殊な薬品と水を混合し、乳剤を化学的に強制分解させる液体である。開発乳剤は分解剤により5℃程度の低温領域でも散布後10分以内に分解し、アスファルト層を形成する。

表-2に開発乳剤と分解剤の物理性状を示す。

(1) 開発乳剤

開発乳剤は、空港舗装のタックコートとして付着性、速乾性の観点から推奨されている（一社）日本アスファルト乳剤協会が定めた「タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤：PKM-T」の規格を満足するカチオン系改質アスファルト乳剤とした。

(2) 分解剤

分解剤は、作業環境ならびに周辺環境に配慮し、中性タイプ（pH 7程度）とした。

2.4 開発乳剤の分解時間と乾燥時間

乳剤の分解時間の確認方法は、乳剤と分解剤を散布した面に吸水紙を押し当て、濁色の水が付着しなくなった時点で分解したと判断した（写真-1）。図-2に5～40℃における開発乳剤とPKM-Tとの分解時間を確認した結果を示す。

図-2より、開発乳剤の分解時間はPKM-Tの1/10程度に短縮することが判明した。

次に、分解後の水分が蒸発に要する時間を確認するため、写真-1の吸水紙に付着する水分の質量を測定した。散布する乳剤の温度は5℃、20℃、40℃の3条件とした。図-3に水分付着量の結果を示す。供試体表面の水分がほぼなくなるまでの時間について、開発乳剤はPKM-Tよりも約1/4～1/10に短縮することが確認された。

したがって、開発乳剤は工事規制時間を大きく短縮すると考えられる。

2.5 現場施工

愛知県常滑市の中部国際空港（通称：セントレア）

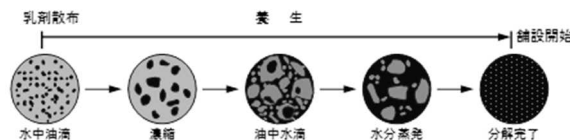


図-1 アスファルト乳剤の分解過程

表-2 開発乳剤と分解剤の性状

	試験項目		試験結果	JEAAS PKM-T規格
	乳 剤	エングラ一度 (25℃)	—	3
ふるい残留分 (1.18mm) %		—	0.0	0.3以下
付着度		—	3/3	2/3以上
貯蔵安定度 (24h) 質量%		—	0	1以下
粒子の電荷		—	陽(+)	陽(+)
蒸発残留物		%	52	50以上
針入度 (25℃) 1/10mm		—	18	5～30
軟化点 (°C)		—	61	55.0以上
分解剤	タイヤ付着率※ (60℃) 質量%	—	3.0	10以下
	試験項目	pH	7.1	社内規格 6～8



写真-1 分解時間の判定（左：未分解、右：分解）

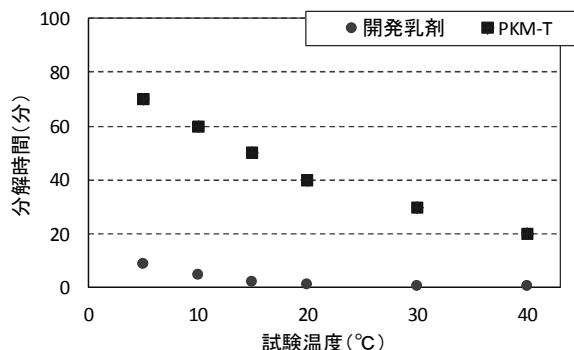


図-2 温度と分解時間の関係

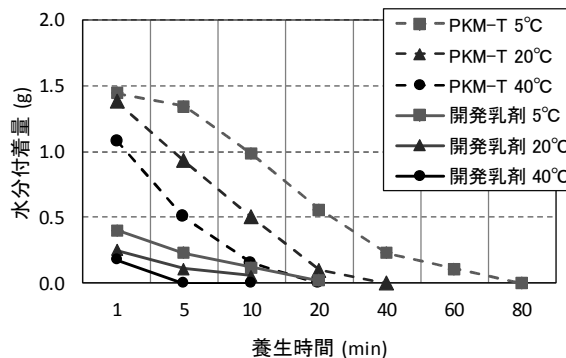


図-3 開発乳剤とPKM-Tの水分付着量

の切削オーバーレイ工 (t=8cm) の現場にて、PKM-T と開発乳剤を散布し、比較を行った。

写真-2 に開発乳剤の散布状況を示す。

乳剤散布にあたり、いずれの乳剤とも 60℃まで加温した。また、分解性能の確認は前述の吸水紙による判定で行った。

分解時間確認結果は表-3 に示すとおり、PKM-T が 40 分であったのに対し開発乳剤は 3 分程度であった。

さらに、施工後コアを採取し、層間引張試験を行った結果、20℃での引張強度は約 1.6N/mm² であり室内試験結果と同様に高い引張強度が確認された。

乳剤の養生時間の短縮は、直接施工時間の短縮につながることから、先述の表-1 のケースでは開発乳剤を使用することにより、工程を約 30 分短縮することが可能と考えられる。(表-4 参照)

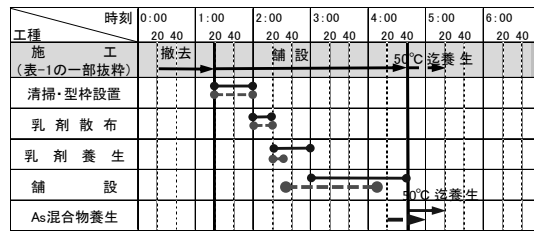


写真-2 開発乳剤散布状況

表-3 分解時間確認結果

	開発品	PKM-T
施工日	2017年1月19日	2017年1月17日
路面温度	5℃	6℃
乳剤温度	60℃	60℃
分解時間	3分	40分

表-4 タイムスケジュールの比較



実線(上段):PKM-T、破線(下段):開発乳剤

3. 工事規制の早期開放に有効な中温化アスファルト (ECO バインダー)

3.1 中温化技術について

周知のとおり、アスファルト舗装はその温度が低下することにより所定の強度を発揮する。そのため、空港舗装では、交通開放時の舗装表面温度をストレートアスファルト混合物で 50℃以下、改質アスファルト混合物で 70℃以下としなければならない。

一般に、アスファルト混合物は 160~180℃で製造され、最終転圧終了時の温度は 100℃程度あるため、温度が低下するまで養生しなければならない。しかしながら、層厚施工や熱帯夜での施工の場合、ミストファンを用いるなどの対策を講じて、混合物温度の低下には時間を要している。

交通開放までの時間を短縮させる方法として、アスファルト混合物の製造から施工の温度を 30℃程度低減可能(写真-3 参照)な中温化技術がある。中温化技術には大きく①発泡系、②粘弾性調整系、③滑剤系の 3 種類があり、開発した中温化アスファルト(製品名「ECO バインダー」)は③の滑剤系に属するものである。

滑剤系中温化技術は、アスファルト及び骨材界面における潤滑性を高めて温度低減を図る機構(図-4 参照)であり、ほとんどがプレミックスタイプであることから、全てのアスファルトプラントで出荷可能である。

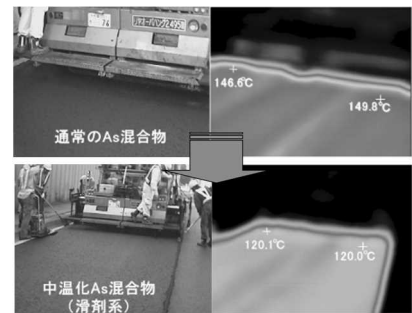


写真-3 中温化敷きならし状況

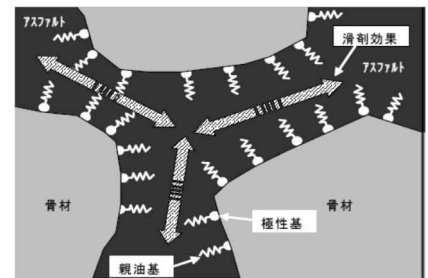


図-4 滑剤系の概念図

3.2 施工事例

道路舗装の事例ではあるが、中温化技術の活用により交通開放時間を短縮した施工事例を紹介する。本工事は宮城県北部土木事務所発注工事の切削オーバーレイ工 (t=5cm) である。現場は幅員が狭く国道と工業団地を連結する道路であるため、朝夕の交通渋滞が厳しいことから、規制時間の短

縮が強く求められ、中温化舗装を施工した。

表層の密粒度アスファルト混合物（改質Ⅱ型）に中温化技術を用いた混合物と、比較として通常で製造した混合物を施工した。本ケースではアスファルト混合物の製造温度を 20℃低減することにより、交通開放の時間を約 30 分短縮した。（図-5 参照）

以上より、中温化アスファルトは夏場の施工や層厚施工において、工事規制の早期開放に有効な技術であると判断する。

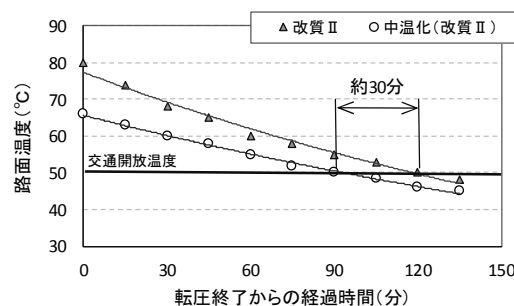


図-5 中温化アスファルト舗装の養生時間

4. 舗装の長寿命化を可能とした高耐久性アスファルト混合物（HS アスコン）

4.1 開発の背景

空港舗装における舗装の損傷状況を把握するため、航空局のホームページに示された「当該空港において発生した安全上の支障を及ぼす事態」のうち「滑走路又は誘導路（エプロン誘導路およびスポット誘導経路を含む。）の舗装面が剝離、陥没、ひび割れ、隆起、わだち掘れ、平坦性が損なわれた等があり、緊急補修実施等のため当該場所を実運用時間内に閉鎖した事態」のデータを分類した結果を図-6 に示す。

図-6 より、アスファルト舗装はコンクリート舗装と比べ閉鎖におよぼす損傷が圧倒的に多く、アスファルト舗装の破損が原因で閉鎖せざるを得ない事態が年間約 20 件も発生している。また、滑走路は横断方向にグルーピングを施すことにより、滑走路面の排水機能および、すべり抵抗性の向上を図っているが、その変形も課題となっている。

実運用時間内の閉鎖は利用者や社会に多大な損失を与えることから、アスファルト舗装の破損の発生を抑制する必要がある。したがって、空港舗装のアスファルト舗装材には、より高い耐久性が望まれる。

アスファルト舗装の長寿命化を目的として、高耐久性アスファルト混合物（製品名「HS アスコン」以下、高耐久性アスコン）を開発し、各種検討・施工を行っており、その評価結果について述べる。

4.2 高耐久性アスコンについて

高耐久性アスコンは従来のアスファルト舗装の弱点とも言える耐流動性、耐油性を克服したアスファルト混合物である。高耐久性アスコンの施工機械は、通常のアスファルト混合物と同一のものであるため、コンクリート舗装や半たわみ性舗装よりも施工機械は汎用であり施工時間も短い。

4.3 高耐久性アスコンの性状について

(1) 耐流動性

アスファルト舗装のわだち掘れ抵抗性（耐流動性）を定量的に評価する試験として、ホイールトラッキング試験があり、評価値は動的安定度で示される。図-7 に開発した高耐久性アスコンと改質Ⅱ型アスファルト混合物（以下、改質Ⅱ型）、および半たわみ性舗装の動的安定度を示す。図-7 より開

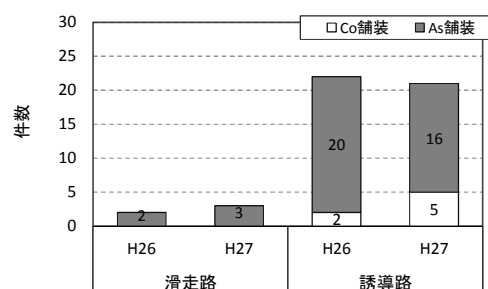


図-6 空港舗装の損傷件数

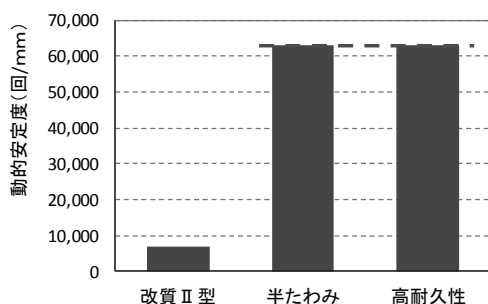


図-7 ホイールトラッキング試験結果例

発した高耐久性アスコンは半たわみ性舗装と同程度の耐流動性を有している。

(2) 耐静荷重

アスファルト混合物の静的荷重に対する定められた評価方法はなため、写真-4 に示すように、局所的な荷重を与える静荷重載荷試験を表-5 の条件により行った。

図-8 は静荷重載荷試験による供試体表面の貫入量を示したものであるが、高耐久性アスコンは半たわみ性舗装とほぼ同程度の耐力を有していることを確認した。

4.4 グルーピングへの適用検討

高耐久性アスコンを滑走路のグルーピングに適用した場合の耐久性について、独立行政法人港湾空港技術研究所の業務のうち既往文献に公表された結果を紹介する。

試験施工はストレートアスファルト混合物、改質Ⅱ型、高耐久性アスコンを使用した3工区とし、施工2日後に所定のグルーピング(w=6mm、t=6mm、@32mm)を設けた路面に原型走行荷重車(写真-5)を走行させ、グルーピングの変形量を確認した。原型走行荷重車はB747の主脚を模した試験車輪(写真-5中の□部)に934kNが掛かる構造となっている。

図-9 にグルーピング付帯箇所縦断形状測定結果を示す。ストアス、改質Ⅱ型工区では流動による溝幅の減少が認められた一方で、高耐久性アスコンはほとんど変化がみられなかった。

以上のことから、高耐久性アスコンはグルーピングの長寿命化を期待できる技術といえる。

4.5 重荷重車両道路への適用例

製鉄所構内の重荷重車両の走行路において高耐久性アスコンの試験施工を行い、供用性能を確認した。

試験施工は同一路線に高耐久性アスコンと改質Ⅱ型の2工区を設け比較した。本箇所はキャリアパレット(写真-6)と呼ばれる重荷重車両が頻りに走行する路線であり、これまでわだち掘れに起因する補修が繰り返されていた。

(1) わだち掘れ測定

図-10 に追跡調査として実施したわだち掘れ量の測定結果を示す。

供用開始から9ヶ月までのわだち掘れ量の進行量は改質Ⅱ型アスコンが約3mmであるのに対して、高耐久性アスコンは約1mmと小さな値であることから、わだち掘れ量についてのみの評価では2倍以上の耐久性が期待される。

(2) ライフサイクルコスト

高耐久性アスコンと通常改質Ⅱ型の補修費(施工費)の比率を1.46、補修間隔の比率を2.00と仮定したときのライフサイクルコストを試算した。なお、維持管理費用については不明確であることから算出に加味していない。



写真-4 静荷重載荷試験状況

表-5 試験条件

項目	試験条件
試験温度 (°C)	60
試験時間 (分)	240
最大変位量 (mm)	20
載荷治具形状	φ : 10mm 先端 : 半球
供試体寸法 (cm)	30 × 30 × 5
載荷荷重 (N)	686

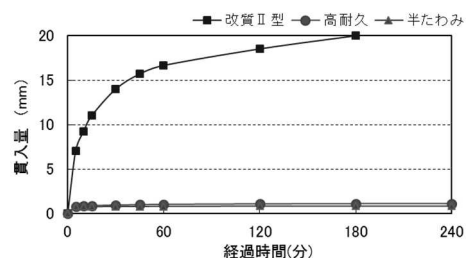


図-8 静荷重載荷試験結果



写真-5 原型走行荷重車

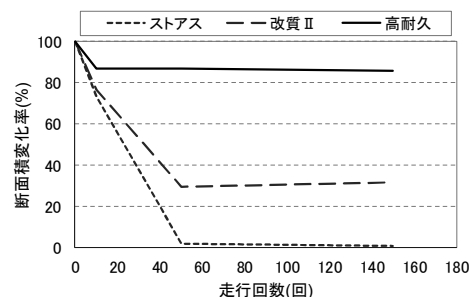


図-9 グルーピング断面積変化率

図-11 にライフサイクルコストの算出結果を示す。これより、改質Ⅱ型区間の3回目（図-11 中 T3）の補修から、高耐久性アスコンの方が安価になることが分かる。

本結果より、高耐久性アスコンを適用すると補修サイクルが長くなり、解析期間を長期間に捉えたとライフサイクルコストを縮減すると考えられる。



写真-6 キャリアパレット車

5. まとめ

本報で検証した 3 種の技術について確認された知見を以下に示す。

- 1) 開発した急速分解性アスファルト乳剤は従来品よりも養生時間を約 1/10 に短縮する。
- 2) 中温化アスファルトを用いた混合物は通常のアスファルト混合物よりも製造・施工温度を 30℃低減可能であり、工事規制の早期開放に有効である。
- 3) 高耐久性アスファルト混合物はコンクリート舗装よりも短時間で施工が可能であり、従来の改質Ⅱ型アスファルト混合物よりも耐久性が高い。
- 4) これらの技術を活用することにより、空港舗装における生産性の向上、およびライフサイクルコストの低減に有効であると判断する。

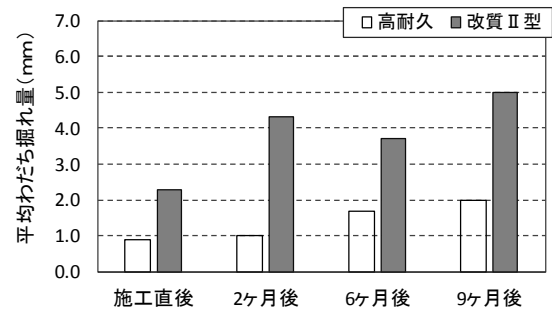


図-10 わだち掘れ量の推移

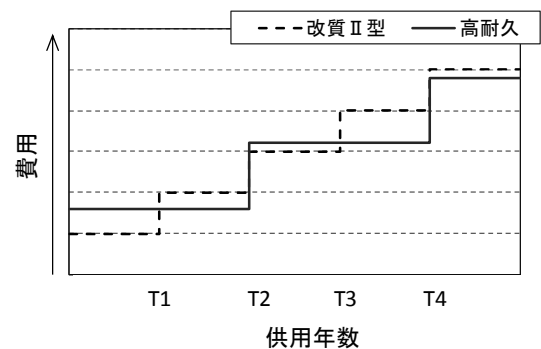


図-11 ライフサイクルコスト

6. おわりに

空港舗装は航空機やトーイングトラクタなどの高接地圧タイヤに晒され、補修工事においては時間的制約が非常に厳しい状況にある。今後はここに紹介した技術の費用対効果について精度の高い検討を行い、空港舗装のライフサイクルコストの縮減や補修工事における工程の確保と品質の向上に活用されることを期待する。

最後に、データを使用させていただいた独立行政法人港湾空港技術研究所、新日鐵住金株式会社、山九株式会社の各関係者の皆様方に謝意をここに表す。

【参考文献および資料】

- 1) 「空港土木工事共通仕様書」平成 25 年 4 月 SCOPE
- 2) 奥村ほか、分解促進機構を利用した環境に優しいタックコートの開発、第 32 回日本道路会議
- 3) 「中温化(低炭素)アスファルト舗装の手引き」平成 24 年 3 月 日本道路建設業協会
- 4) 国土交通省ホームページ空港の安全にかかわる情報
H27 版 URL: <http://www.mlit.go.jp/common/001135920.pdf>
H26 版 URL: <http://www.mlit.go.jp/common/001100130.pdf>
- 5) 永原ほか、空港舗装に向けた高耐久性アスファルト混合物の適用性検証、第 18 回舗装に関する懸賞論文、道路建設、pp.57-64、2013