

仙台空港における空港舗装長寿命化に向けた特殊改質アスファルト混合物の施工事例

仙台国際空港株式会社 空港運用部 施設・設備グループ

田中 俊哉

ニチレキ株式会社

鈴木とおる

1. はじめに

空港の基本施設舗装は、空港施設のなかで最重要施設の一つであり、安全な運用を確保するためには舗装を良好な状態に常に維持することが重要である。そのため、舗装の維持・改修においては費用対効果を考慮し、長寿命化が図れる方法を採用することが空港運営にとって重要な要素の一つと考えている。

このようなことを踏まえて仙台空港では、舗装改修前に実施する非破壊・破壊試験および路面調査等の健全性評価に加え、航空機の走行特性等を含めた対象箇所の供用状況・損傷状況を鑑み、的確かつ経済的に最も有効な改修方法を検討・採用することを積極的に行っているところである。代表的なものとして、A滑走路とB滑走路が交差する区間(以下、「ABクロス」)および「B滑走路」に、従来よりも耐久性が非常に高い特殊改質アスファルト混合物を適用した改修方法が挙げられる。

以下に、それぞれの区間における採用の考え方や混合物の特長、供用状況について記述する。

2. 改修区間および損傷状況

対象となった改修区間は図-1に示すように、A滑走路とB滑走路の接続部(以下、ABクロス)、およびB滑走路の一部である。

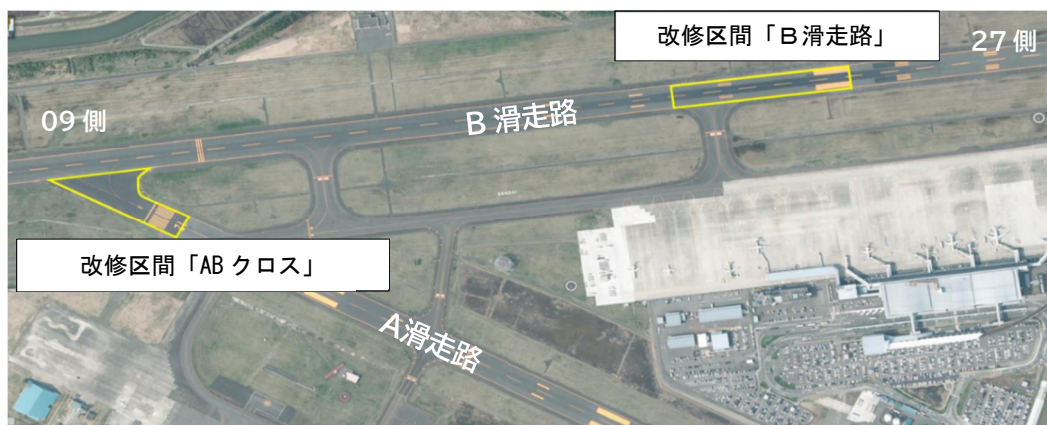


図-1 改修箇所の位置

(出典:国土地理院ウェブサイト)

(1) ABクロス

ABクロスは、航空機が鋭角に旋回し、航空機タイヤによるすえ切り作用を強く受ける場所にあたる。現地踏査や事前調査の結果、改修前の舗装路面には経年に伴う耐水劣化やアスファルトモルタルが剥脱し、粗骨材が露呈するなどの面荒れが進行していた。また、メインギアのタイヤ走行位置には、航空機荷重の繰返し作用に起因するわだち掘れや縦横断方向に進展した疲労ひび割れが生じていた(写真-1)。このひび割れはアスコン層深くまで及んでいるものも確認された。

(2) B滑走路

B滑走路は仙台空港のメイン滑走路である。27側の目標点付近は航空機着陸が頻繁に行われるゾーン

表層:特殊改質アスファルト混合物A	t=8cm
基層:特殊改質アスファルト混合物B	t=8cm
既設アスファルト混合物	

図-2 舗装構成 (AB クロス)

表層:特殊改質アスファルト混合物C	t=7cm(平均)
既設アスファルト混合物	

図-3 舗装構成 (B 滑走路)

にあたり、損傷が進んでいた。事前調査の結果、ひび割れは航空機メインギア走行位置外縁付近に集中し、ひび割れはトップダウンひび割れであることが確認された。これは走行位置外縁の表面部分に引張ひずみが生じ、その繰返しによりひび割れが生じたものと考えられた。また、航空機荷重の繰返し作用に加え、混合物の経年劣化や温度応力が助長し損傷を拡大したものと判断された。(写真-2)

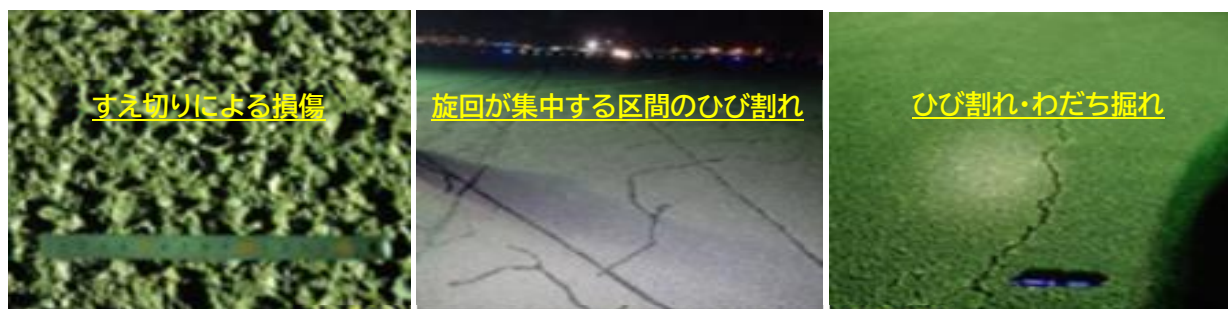


写真-1 改修前の損傷状況 (AB クロス, 路面状況)

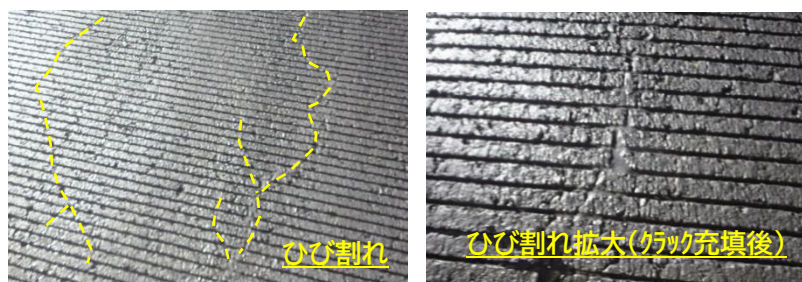


写真-2 改修前の損傷状況 (B 滑走路, 路面ひび割れの様子)

3. 特殊改質アスファルト混合物の要求性能およびその適用

混合物の適用にあたっては、上記損傷状況および荷重特性から混合物各層に求められる要求性能を材料的・力学的に検討し、さらに適用する混合物の経済性についても検討した。その結果、従来の考え方や仕様に捉われず各層に適した特殊アスファルト混合物を選定することとした。なお、改修区間では、航空機荷重および走行特性が同条件と考えられる箇所において、従来から使用しているポリマー改質アスファルトⅡ型混合物(以下、現行材料)と特殊アスファルト混合物の供用性の比較も実施している。

(1) AB クロス

各種の健全性評価結果および実施可能な補修方法として補修断面は2層(表層・基層)切削オーバーレイ(t=16cm)が採択されることとなったが、供用形態や損傷状況より、混合物にはすえ切りに強く(面荒れの進行はFODが懸念されること)、耐流動性やリフレクシオンクラック等のひび割れ抵抗性が高い混合物が要求された。このことから、表層にはすえ切り抵抗性が高く耐流動性に優れた混合物として「特殊改質アスファルト混合物A」、基層には改修したアスコン層下面に生じる曲げ疲労ひび割れに対する抵抗性が高く、残存する既設アスコン層のひび割れから生じるリフレクシオンクラックの進展を抑制する混合物として「特殊改質アスファルト混合物B」を適用した(図-2)。

(2)B 滑走路

損傷の主要因はトップダウンによる疲労ひび割れである。補修工法は1層の切削オーバーレイ(平均 $t=7\text{cm}$)が採択されたが、上述のABクロスと同様に曲げ疲労ひび割れ抵抗性に高い混合物が要求された。それに加え、滑走路の端部であるため、剥離抵抗性やグルーピング変形抵抗性に優れたものが要求された。このことから、ABクロス基層に適用したバインダーを用いて疲労抵抗性が高め、さらに高い剥離抵抗性やグルーピング変形抵抗性を付加した「特殊改質アスファルト混合物Cを表層に適用した(図-3)。

4. 特殊改質アスファルト混合物の性状

(1) 特殊改質アスファルト混合物A (以下、特殊改質A)

1) タイヤすえ切り抵抗性

タイヤすえ切り作用に対する抵抗性は、回転ホイールトラッキング試験機¹⁾により評価し、現行材料と比較した。アスファルト混合物のすえ切り抵抗性は高温になるほど低下するため、昨今の気温上昇を踏まえて試験温度は 70°C で実施した。荷重は試験機の最大負荷であった 0.63MPa (大型車両の接地圧)とした。特殊改質Aでは測定時間120分後の沈下量が 5.3mm であり、現行材料の $1/2$ に改善された(図-4)。供試体の観察より特殊改質Aに粗骨材がはく奪する様子は見られず、すえ切り作用に対して極めて安定した混合物といえる。

2) 耐流動性

耐流動性評価はホイールトラッキング試験機¹⁾を用い、航空機荷重を勘案して試験タイヤの設置圧は 0.9MPa まで高め、航空機の緩速走行も考慮した過酷な条件として試験タイヤ走行速度を $1/4$ に遅くして評価した²⁾。この条件により求めた修正動的安定度は、特殊改質Aは $7,000$ 回/mmを示し、現行材料 450 回/mmの 15 倍高い値を示すものであった(図-5)。

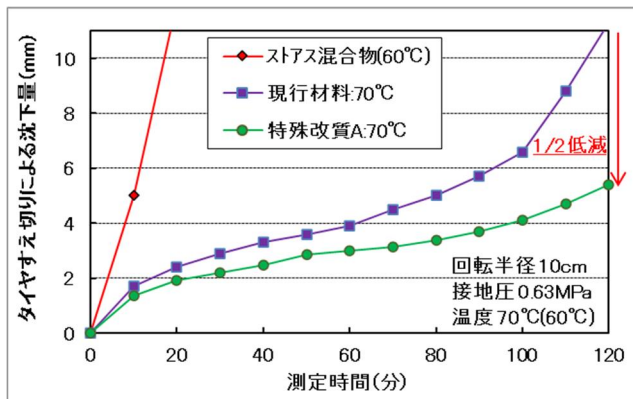


図-4 タイヤすえ切り抵抗性

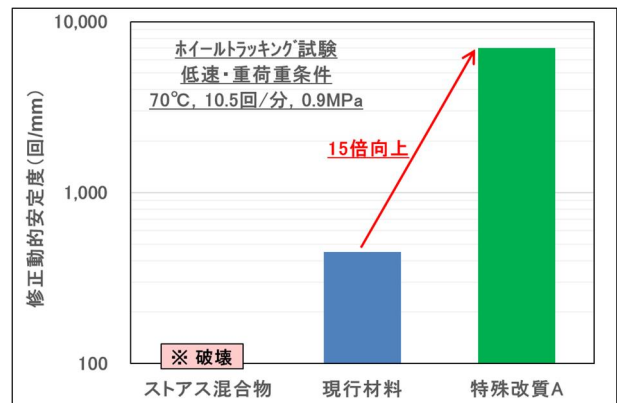


図-5 耐流動性

(2) 特殊改質アスファルト混合物B (以下、特殊改質B)

疲労抵抗性は、繰り返し曲げ疲労試験¹⁾の破壊回数で評価した。破壊回数は、材料評価で多く行われるひずみ 400μ の条件において特殊改質Bが 200 万回を示し、現行材料の 200 倍(ストアス混合物の 400 倍)大きな値を示した。特筆すべき点は、特殊改質Bを採用した場合、発生ひずみが多少大きくなっても現行材料と同等以上の破壊回数を有することである。言い換えれば、破壊回数 8 万回とした場合に、現行材料の耐えうるひずみが 200μ であるのに対し、特殊改質Bでは現行材料の 5 倍に相当する 1000μ まで許容できることを意味する(図-6)。これは、既設アスファルト層のひび割れによる剛性低下に起因して、たわみ量が増大したとしても高いひび割れ抵抗性が期待できることを示唆している。

リフレクションクラックの抵抗性は、ひび割れ貫通試験³⁾のひび割れ貫通時間により評価した。下面からのひび割れが混合物層を貫通するまでのひび割れ貫通時間は、特殊改質Bは現行材料の6倍、ストアス混合物の30倍を示し、リフレクションクラック抵抗性が高いことが確認された。(図-7)

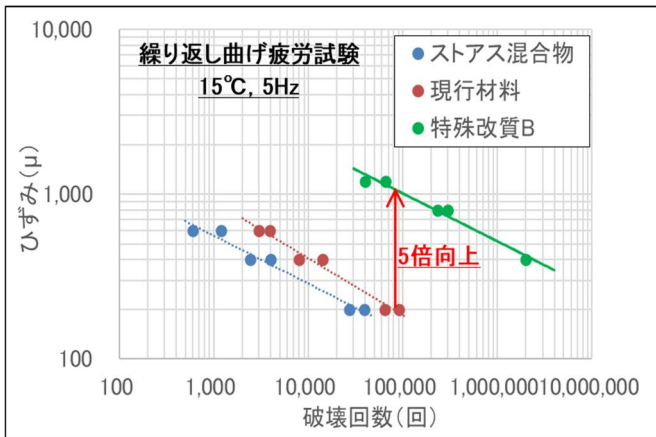


図-6 疲労抵抗性

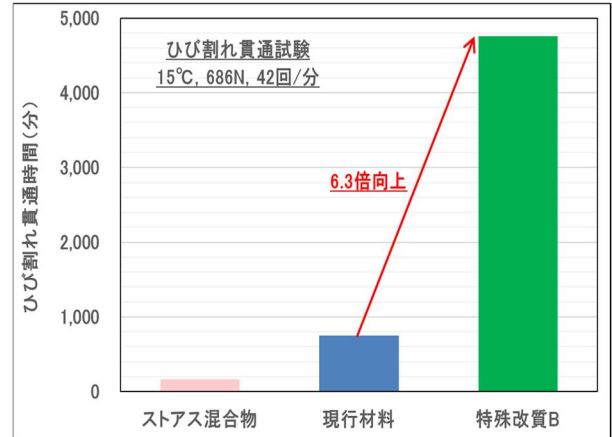


図-7 リフレクションクラック抵抗性

(3) 特殊改質アスファルト混合物C (以下、特殊改質C)

1) はく離抵抗性および曲げ疲労抵抗性

混合物のはく離抵抗性を水浸ホールトラッキング試験機¹⁾により評価し、試験水位は混合物が全没する冠水状態とした。その結果、現行材料のはく離率が12%(ストアス混合物は34%)であるのに対し、特殊改質Cのはく離率は0%であった。曲げ疲労抵抗性は、(2)と同様に繰り返し曲げ疲労試験により評価し、特殊改質Cの曲げ疲労抵抗性は特殊改質Bと同等以上を発揮し得るものであった。

2) グルーピング変形抵抗性

グルーピングの変形抵抗性は、空港設計要領に準じた形状のグルーピング(転圧方向の直角に、幅6mm深さ6mmの溝を32mm間隔で7本)を設置した供試体(300mm*300mm*50mm)を作製し、文献⁴⁾を参考にしてホイールトラッキング試験機を用いた走行負荷[走行タイヤ接地圧0.63MPa、試験温度40°C、走行回数5,000回]を行い、負荷前後のグルーピングが変形した程度(溝の幅・深さの変化率測定はノギスにより、容積の変化率は砂置換により)を測定した。なお、供試体の締固め度については室内の評価結果が過大とならないよう安全側を見込んで、空港土木工事の施工管理基準の下限値98%を目標とした。各要素の変化率を現行材料と比較して表-1に示す。

特殊改質Cは、指標としたいずれにおいても現行材料の半分ないし半分以下に変化率が低減しており、負荷に対してグルーピングの形状が変形しにくく、現行材料以上のグルーピングの変形抵抗性を有していることが推察された。

表-1 グルーピング変形抵抗性

評価指標	現行材料	特殊改質C
溝の幅変化率 (%)	26.4	11.5
溝の深さ変化率 (%)	8.6	5.3
溝の容積変化率 (%)	37.7	15.2

走行負荷前と負荷後のグルーピング形状(各要素)の変化率

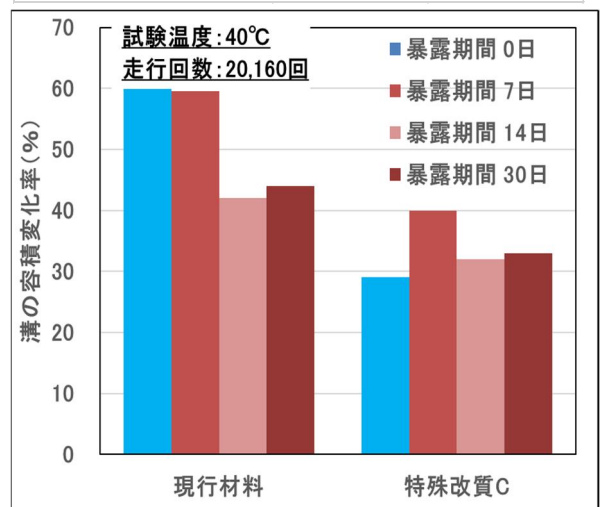


図-8 グルーピング変形抵抗性(暴露後)

次に、暴露期間(養生期間)とグルーピングの安定性(変形抵抗性)の関係を評価するため、前述した作製供試体を屋外暴露(暴露期間 0, 7, 14, 30 日)して、文献⁵⁾を参考にした走行負荷[航空機荷重を想定したタイヤ接地圧(1.1MPa)、試験温度 40℃、走行回数 20, 160 回(10, 080 往復)]を加えて、暴露前と「暴露+走行負荷後」のグルーピング形状の変化率を測定した。溝の容積変化率について図-8 に示す。

特殊改質 C の容積変化率は、暴露期間に関わらず現行材料よりも小さな値を示しており、現行材料が暴露期間 14~30 日で到達する容積変化率を、暴露期間が 0 日の段階で下回っていた。特殊改質 C のグルーピング溝は養生日数に影響されにくく、現行材料よりも安定しているものであった。

5. 施工状況

AB クロスは 2019 年 2 月に施工(1,950 m²)、B 滑走路は 2021 年 10 月に施工(3,567 m²)した。気温 10℃を下回る条件もあったが、同時期に隣接して施工した現行材料と比べて合材温度が 5~10℃高くなることを除き同様に施工でき、施工後の仕上がりも良好であった(写真-3)。

当該混合物の採用以外にも、改修箇所には長寿命化に向けた対策として、層間接着力の向上を目的とした「分解促進型タックコート」の適用、既設舗装との施工継ぎ目には舗装内への雨水浸透抑制を目的とした「止水テープ(L 形状)」の設置(写真-4)も行った。

B 滑走路のグルーピングは混合物舗設から約 1 か月後に設置し、良好であった(写真-5, 6)。



写真-3 施工後の仕上がり (AB クロス)



写真-4 L型止水テープ設置状況 (AB クロス)



写真-5 グルーピング設置状況 (B 滑走路)



写真-6 グルーピングの仕上がり (B 滑走路)

6. 供用状況

現在に至るまで AB クロスは 4 年、B 滑走路は 2 年が経過しているが、特殊改質材料の供用状況を示すと以下のとおりである。

(1) 路面性状

AB クロス、B 滑走路ともに、航空機荷重に起因するひび割れは発生しておらず、わだち掘れや BBI についても良好に推移しており、現行材料との違いは特に現時点では出ていない。

しかしながら、2021年2月に発生した地震(震度6弱, マグニチュード7.4)直後に、ABクロスの現行材料施工部に横断方向のひび割れが発生したが、特殊改質材料を用いた施工部にはひび割れの発生が見られなかった(現行材料と長寿命化材料の施工縦断方向の施工継ぎ目でひび割れが止まっていた, 写真-7)。これは特殊改質材料の変形能力等が高いためと推察されるが、この現象については今後の経過観測等を含め検討課題とする。現在に至ってもひび割れの進展はない。

(2) FWD 調査による評価

舗装の構造的評価をする目的で FWD 調査を実施した。D0 たわみ量に着目して現行材料と比較した範囲では AB クロス、B 滑走路ともに、現時点では明確な差が認められない。今後も継続して調査し、別の評価方法(曲率半径を指標とした評価)なども取り入れながら、構造的な効果についても評価していく予定である。

(3) グルーピング

現行材料には角欠けや石抜け等が散見されたが、特殊改質 C の施工箇所は現在も良好な状態を維持している(写真-8)。

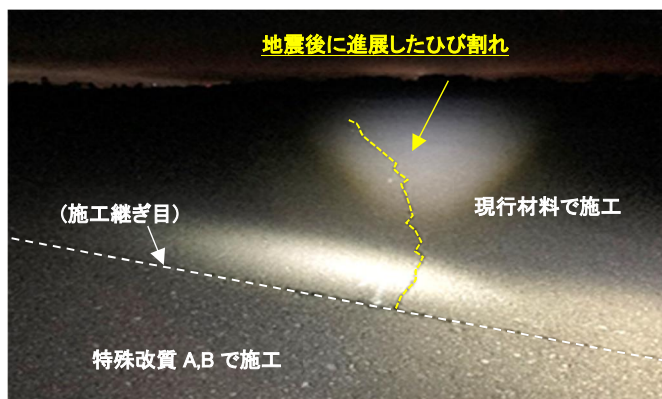


写真-7 ひび割れ状況 (AB クロス内)

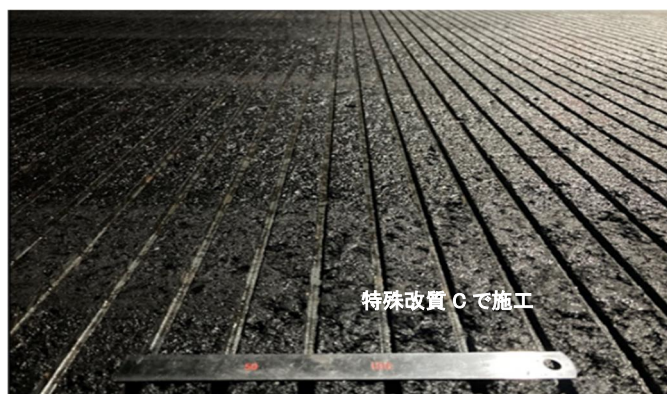


写真-8 グルーピング状態 (B 滑走路)

7. おわりに

本報告では、事前調査や供用状況等を踏まえた混合物選定の考え方、長寿命化に向けて適用した AB クロスおよび B 滑走路の特殊改質アスファルト混合物の性状および現時点での供用性について記述した。現在のところ供用後間もない

ため、現行材料との供用性の違いはまだ明確にはなっていない。しかし、グルーピングの状態では室内実験で想定した長寿命化効果が現れており、今後の供用性が期待できるものである。追跡調査を継続し、評価していく予定である。

今後も空港舗装の改修時には、長寿命化を図るためにアスコン各層に要求される性能を明確にし、それに応じた混合物を適用し、その妥当性や有意性、有効性およびライフサイクルコスト(LCC)等を検証しながら、維持管理技術の向上および利用者の利便性向上につなげていく所存である。

<謝 辞>

本報告の内容に関して、日本工営株式会社 札幌支店 課長 梶田様には、多くの有益なご助言をいただきました。本紙を借りて厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：「舗装調査・試験法便覧」，平成 31 年 3 月
- 2) 黄木秀実, 高馬克治：「重荷重用耐流動ポリマー改質アスファルトの開発とコンテナート等の流動わだち掘れ対策への適用事例」，舗装 Vol. 48, No. 10, pp. 15~20 (2013)
- 3) エレネ株式会社：「シヤカ舗装技術資料」(2020. 1)
- 4) 蜂谷, 坪川, 松崎, 江崎, 水上：「航空機荷重に対するグルーピングの安定性」，国土技術政策総合研究所報告, No26(2005)
- 5) 河村直哉, 坪川将丈：「アスファルト混合物の養生等がグルーピングの塑性変形抵抗性に及ぼす影響」，舗装 Vol. 53, No. 5, pp. 7~11 (2018)