

中部国際空港 滑走路舗装延命化対策の取組み

中部国際空港施設サービス株式会社 エアサイド施設部 矢田好輝
ニチレキ株式会社技術研究所 田中伸介、日本工営株式会社名古屋支店 浜昌志

1. はじめに

中部国際空港は3,500mの滑走路を有し、2005年2月17日に開港した24時間運用の拠点空港である。滑走路は深夜の時間帯でも貨物便の運航があり、最新のダイヤでは週1日のみ5時間弱の夜間作業時間があるのみで、他日は0~3時間弱しか夜間作業時間が確保できていない。

2023年度は開港19年目であるが、これまで舗装の大規模改修は実施していない。大規模改修を想定した場合、滑走路1本の運用では限られた時間での夜間施工による施工目地の増加等より、改修後の補修サイクルが短くなる懸念があった。一方、当空港の路面状況は供用期間に対して比較的良好であったため、大規模改修時期を遅らせることを目的に舗装延命化の検討を2017年度より実施してきた。

本報告では中部国際空港の滑走路舗装の延命化対策として取り組んできた検討概要、試験施工や施工後モニタリングを踏まえた対策効果を報告する。



写真-1 中部国際空港（撮影2019年8月）

2. 舗装延命化検討の考え方

延命化検討開始時点では滑走路のひび割れ、わだち掘れは大きな問題が生じていなかった。設計・施工時には滑走路ではアスファルトフィニッシャ4台でホットジョイント施工（施工巾7.5m×4=30m）を行ったこと、基層に大粒径アスコン、下層路盤にスラグを活用する等の舗装構造上の配慮を行ったことも路面性状が良好な要因と考えている¹⁾。ただし、アスファルト舗装の材料特性や他空港の舗装損傷事例

より、劣化が進むことでの施工目地開口、ひび割れ発生、水分残留に伴う剥離等の懸念があると考えた。また、グルーピングの目潰れ等による排水機能低下等の懸念があると考えた。

(1) 選定した延命化対策

舗装内に水分を残留させないこと、アスファルトの劣化抑制等の観点より、1)施工目地処理、2)表面処理、3)再グルーピングの3項目を延命化対策として設定した。対策実施の優先度より、1)~3)の順で検討を進め、滑走路にて1)は対策済、2)、3)は試験施工を実施し対策効果をモニタリングしている。

(2) 延命化対策の技術上の課題

1) 施工目地処理

滑走路の施工目地はホットジョイント施工によりセンターから15m位置となり、航空機主脚の走行は少ない位置である。注入対策が十分にできているか、不十分な注入対策では再開口により雨水浸透防止効果が発揮できずに維持管理頻度が増すことが課題であった。課題解決のために目地内への浸透、目地上部を封かん可能な材料開発を行った。

2) 表面処理

表面処理を行うことで、アスファルトの劣化を抑制し、ひび割れ発生を遅らせる効果を見込むものとした。当空港では過年度にA8N誘導路ショルダーで表面処理の試験施工を行い、劣化抑制に一定の効果を確認している²⁾。滑走路に表面処理を施工することで摩擦係数の確保、グルーピング溝の保持・効果はどの程度発揮できるか、適用できない範囲はあるか等の課題があった。課題解決のために室内試験による材料開発、室内試験、試験施工を実施した。

3) 再グルーピング

劣化、老化した舗装面、完全にグルーピングの溝が潰れていない舗装面にグルーピング施工を行うことで、骨材飛散、角欠けの懸念があった。課題解決のために一部区間で試験施工を実施した。

3. 施工目地処理

滑走路の施工目地でコア抜きをした結果を図-1に示すが、目地直下の基層上部で水分量が大きい。目地直下の水分量は1%を超え、コア抜き後の孔壁には写真-2に示すように水分の浸みが確認できる。図-2に示す目地の無い走行箇所との違いが明瞭である。当空港では2011年度より施工目地開口が確認されていた。目地開口部のシールが十分でないと、目地部に浸透した雨水が基層内に残留、増加することで舗装に悪影響を与えることが考えられる。一方、維持管理にて施工目地開口部へ注入対策を行っていたが、注入材の充填が均一ではないといった状況があり、注入材が施工目地内で封かんできているかの検証ができていなかった。施工目地開口部を封かんするための材料検討、施工方法を2018年度に選定し、2019年1月に施工目地注入対策を実施した。

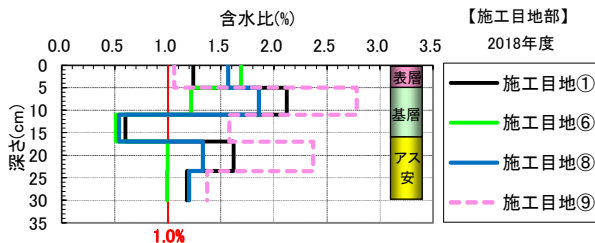


図-1 施工目地部の水分量深度分布

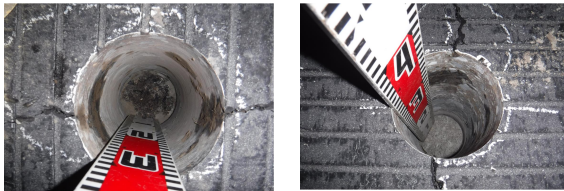


写真-2 施工目地部のコア抜き後 (2018年度)

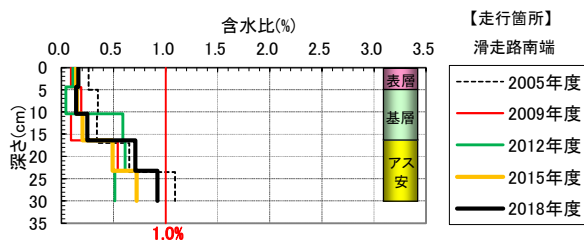


図-2 走行箇所の水分量深度分布

(1) 材料選定

シール材の選定は、施工目地（表層 5cm 厚）へ浸透させ、遮水機能を確保できる観点で行った。施工目地開口幅 1mm 程度で、場所により開口幅が変化、維持補修実績が異なる状況であった。また、夜間補修となり作業時間の制限より養生時間も考慮することにした。

材料の飛散のない材料として、常温樹脂系(アクリ

ル系樹脂)を用い、ガラス板を用いて目地をモデル化したスリットに注入材を入れることで浸透状況、浸透時間を確認した。スリット幅は 0.3mm, 0.5mm, 1.0mm と変化させ、目地幅の違いを確認するものとした。ガラス板の高さは 10cm で表層厚 5cm 箇所を基準線として、材料を投入してからの基準線までの到達時間や浸透状況を確認した。温度条件は冬季施工として最低温度 5℃, 平均温度 20℃とし、増粘剤を加えることで粘度の調整を行った。

- 増粘剤を添加しないと、注入材が流れ出てしまい、目地表面付近に留まりにくくなる。
- 増粘剤を添加すると、浸透時間が遅くなる、20℃より 5℃は浸透時間が遅くなる。
- 目地幅(スリット幅)が小さいほど、増粘剤添加量は少なくてよい。
- 室内試験では、増粘剤 3%, 増粘剤 5%の添加量で、施工目地内に注入材が残留する(封かんで)と考えた。
- 増粘剤を入れることで、注入材が白色化し、注入材の目視による残留が確認できる。
- アクリル系樹脂は、増粘剤の有無によらず気温 5℃では 30 分程度で注入材の硬化が始まった。

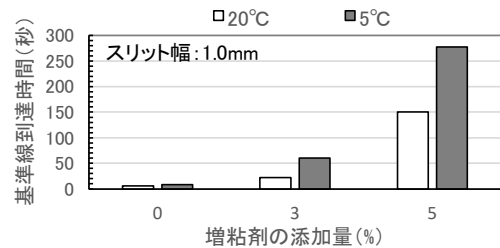


図-3 増粘剤添加量別の基準線到達時間

(2) 試験施工

2018年度に現地試験施工を実施したが、施工目地部のコア抜きによる確認で、アクリル系樹脂+増粘剤 3%, 5%では目地内の注入が不十分な結果であった。表面部は封かんでいていたが、表層下面まで浸透できていなかった。そのため、目地内部の封かんと目地表面の封かんの2回施工の有効性確認を行った。目地内部は増粘剤 1~2%入りで注入した後に、目地表面は増粘剤 5%入りの確認を行った。

- 目地内注入は、増粘剤 1~2%入りでコア底面付近まで浸透がみられた。目地上部は増粘剤 5%入りで封かんでいていた。
- コアを用いた加圧透水試験では、不透水の結果であった。

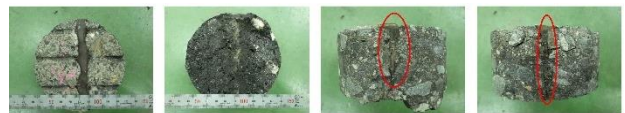


写真-3 注入材浸透状況例(目地内 2%, 目地上部 5%)

試験施工結果を受けて、目地上部封かんとしては増粘剤5%入りを採用し、施工目地開口にはばらつきがあるため目地内封かんは増粘剤1~2%入りを設定した。2019年1月の施工目地注入対策は、アクリル系樹脂+増粘剤1%で目地内封かんを行い、1時間後にアクリル系樹脂+増粘剤5%で目地上部封かんを行った。

4. 表面処理

米国空港では表面処理は延命化対策として実施されている³⁾。当空港においても表面処理を舗装面に塗布することで、ひび割れ抑制効果が得られ、結果としてFOD、混合物剥離等の重大損傷を防ぐことになると考えた。

当空港のA8N誘導路ショルダーでは2007年に表面処理の材料等を変化させて塗布することで、ひび割れ抑制効果を確認していた²⁾。しかし、滑走路への適用を考えた場合、摩擦係数が確保できるか、グルーピング機能低下等の懸念があった。表面処理塗布後に滑走路路面としての安全性能の確保、表面処理材の耐久性の確保を確認するために、材料開発、室内試験、現地試験施工を実施した。

(1) 表面処理材料開発

A8N誘導路ショルダーでの試験施工状況⁴⁾、施工時間の制約より、薄層表面処理散布工法（以下、従来品）を改良して開発していくものとした（以下、開発品）。従来品は2011年に標識消去（目標点標識）として、既設の標識上に上塗りした実績を有している。

材料開発は表-1の目標値を設定して実施した。なお、グルーピング溝を埋めないために、膜厚は1mm程度を目標とした。

表-1 表面処理材料開発目標値

項目	目標値
施工時硬化性状	可使時間5分以上、硬化時間90分以内
ねじれ抵抗性	室内摩耗試験機で摩耗量250g以下
すべり抵抗性	動的摩擦係数0.35 μ DFT以上

室内試験にて、硬化性状は指触、ねじれ抵抗性は接地圧0.17MPaによるすえきり試験で確認した⁴⁾。開発品は、従来品と比較して、ねじれ抵抗性が大幅に改善され（従来品167g、開発品7g）、養生時間も30分短縮できた⁴⁾。すべり抵抗性は後記する試験施工で確認した。

(2) 表面処理による劣化抑制効果

室内試験では、促進劣化を促進耐候性試験（紫外

線）で再現し、開発材の効果を確認した⁴⁾。任意期間の促進劣化後はショットブラストにより表面処理材を除去し、表面1cm部分のアスファルト混合物からアスファルトを抽出し、針入度試験等を実施した。

図-4に示すように表面処理ありの場合、表面処理なしと比較して針入度は供用年数10年程度まで劣化抑制効果が確認された。軟化点も同様の傾向であった。また、表面処理なしの5年相当経過時と、表面処理ありの15年相当経過時のアスファルト混合物表層部の劣化度合いは同程度であり、開発品による10年間程度の劣化抑制効果が確認された。

また、促進耐候性試験で表面処理の施工を5年後塗布、10年後塗布、15年後塗布にて塗布後の針入度等の低下を確認した。促進劣化X年後の5年後程度は表面処理前の針入度が維持される傾向であった。

促進耐候性試験結果では、新設時に表面処理を塗布することが最も有効で10年間程度の効果が確認できたが、劣化が進んだ路面状態に表面処理を塗布しても5年程度は効果を発揮することが確認できた。

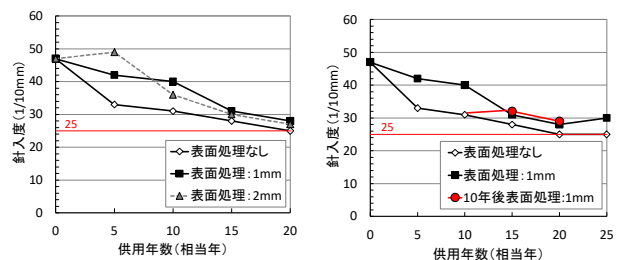


図-4 促進耐候性試験での針入度変化

(3) 施工性確認の試験施工

施工性確認は空港外の試験ヤードで試験施工を行い確認した。最終的には後記するように、滑走路で試験施工を行い、施工性や仕上がりを確認した。

空港外の試験ヤードは、舗装面にグルーピングを施工し、施工方向等の施工課題を確認した。

- 材料の敷均しはグルーピング溝内への充填状況を確認し、専用の塗布用ブラシを使用し、敷均し方向はグルーピング溝方向とした。溝直角方向での施工では溝内に残留する材料が多くなった。ブラシによる施工は溝方向に施工することで、溝内の材料を掃き出すことができ、溝深さを確保できた。
- 敷均しには骨材ローラの適用も確認したが、グルーピング溝内への塗布が困難であった。
- 表面塗布可能な可使時間は8分、交通開放可能な硬化時間は85分以下であり、目標値を満足できた。
- 硬化後の仕上がり厚は1.0~1.1mmであり、目標とした1mm程度を満足した。

- DF テスタによるすべり摩擦係数は $0.45\mu_{DFT}$ であり、目標値を満足した。空港舗装維持管理マニュアル（案）に関する各種マニュアル⁵⁾に示される換算式で SFT によるすべり摩擦係数に相当する値に換算すると $0.68\mu_{SFT}$ となる。
- 塗布から 2 時間経過後に、タイヤローラによるすえきり試験（1 往復）を実施した。すえきり試験では表面処理が剥がれることは無かった。

(4) 滑走路での試験施工

ゴム除去工事（ウォータージェット）により表面処理が剥がれてしまう懸念があった。滑走路で 1m^2 の表面処理を塗布後、ウォータージェットを行ったが、表面処理は剥がれてしまった。そのため、ゴム除去としてウォータージェットを行う箇所には表面処理の適用は困難である。

滑走路では 2020 年 8 月に航空機、気象条件による耐久性の確認を目的として $L=3.5\text{m}, W=5\text{m}$ を 3 箇所で行った。また、2021 年 10 月に実際に施工に用いる専用施工機で施工速度や仕上がり等の施工性確認を目的として $L=16\text{m}, W=45\text{m}$ の規模で施工した。

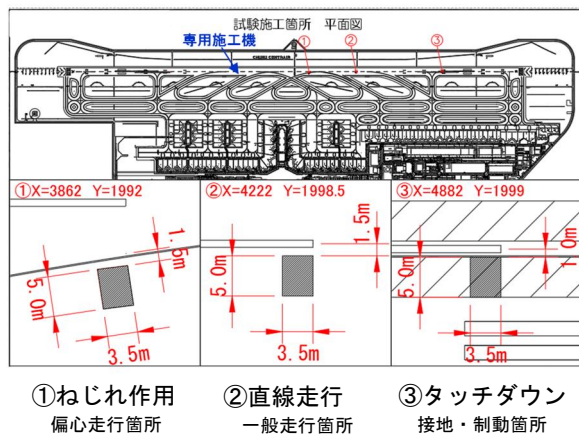


図-5 滑走路試験施工位置

1) 耐久性の確認

2020 年 8 月の試験施工では、航空機の影響で表面処理の耐久性変化があるかを確認するために、①ねじれ作用（高速離脱誘導路交差部の偏心走行箇所）、②直線走行（一般走行箇所）、③タッチダウン（接地・制動がある箇所）の 3 箇所で行った⁴⁾。

- $2\text{kg}/\text{m}^2$ 程度（目標塗布厚 1mm ）でグルーピングに沿って滑走路の横断方向に塗布した。試験施工時の塗布量は、①ねじれ作用 $2.25\text{kg}/\text{m}^2$ 、②直線走行 $1.80\text{kg}/\text{m}^2$ 、③タッチダウン $1.90\text{kg}/\text{m}^2$ であった。
- 開発品の可使用時間は、約 10 分であった。全ての工区で塗布後 90 分以内に完全に硬化したことを確認した。試験施工時の路面温度は 28°C であ

った。

- 塗布後、グルーピングに顕著な材料の滞留は無く、施工前の溝深さから平均 1.5mm 程度の減少となった。
- 摩擦係数は DF テスタで確認し、SFT に換算⁵⁾した結果を表-2 に示す。表面処理有無で大きな差異はなかった。

表-2 SFT 換算後の摩擦係数 (μ_{SFT})

項目	表面処理	近傍の既設舗装
①ねじれ作用	0.70	0.76
②直線走行	0.73	0.78
③タッチダウン	0.68	0.59

施工後は路面状況、摩擦係数をモニタリングした。施工 11 カ月後の路面状況を写真-4 に示す。

- 施工 10 カ月後に、②直線走行で表面処理の塗布前舗装表面の骨材が露出したことを確認した。①ねじれ作用は良好な状態を継続、③タッチダウンはゴム付着により判断が難しい状態であった。
- いずれの箇所も、表面の骨材間の凹部、グルーピング溝部は表面処理材が残っていた。

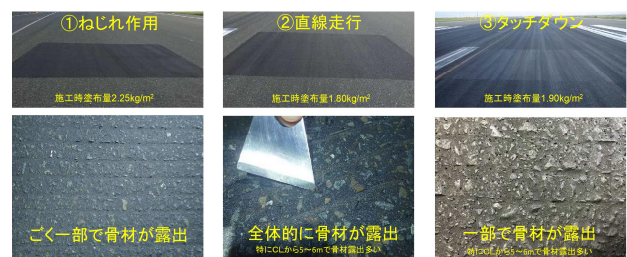


写真-4 施工 11 カ月後の路面状況

- ②直線走行は、交通量の多い箇所、塗布量が相対的に少ない箇所であり、骨材凸部で骨材が多く露出した。
- 施工 39 カ月後段階では骨材凸部の露出が増えているが、凹部には表面処理材は残っていた。

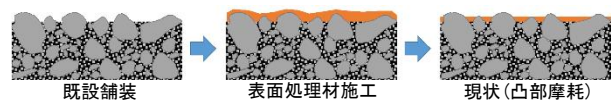


図-6 表面状況の推定図

- 凹部に表面処理材は残ることから、劣化抑制効果は維持されると考える。航空機の繰り返し走行による摩耗が生じるため、耐久性は場所によって異なると考える。
- 表面処理を実施している米国空港へのヒアリングでは、摩耗があるため滑走路については 5 ~ 7 年おきに表面処理材を塗布しており、定期的に表面処理を行う必要があると考える。

2) 施工性の確認

2021年10月の試験施工では、専用施工機（標準施工幅4.2m）を用いて、グルーピング溝方向に塗布し、施工性、仕上がり状況、日当り施工量を確認した。4レーン施工し、ラップ施工（ラップ幅25cm）の状況も確認した。

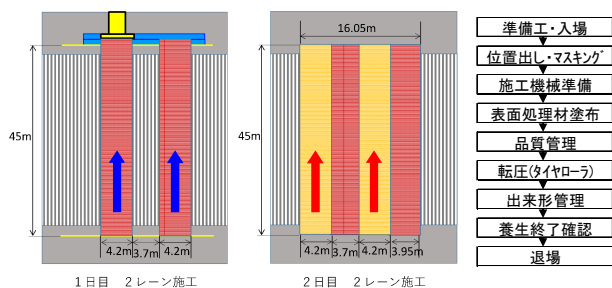


図-7 施工平面図と施工フロー

表面処理塗布は施工機械内部のミキサーで、アスファルト乳剤、骨材、水、添加剤を混合後、施工機械後方より混合物を排出し敷均した。



写真-5 専用施工機による塗布状況

- 塗布後、タイヤローラによる転圧が可能と判断された硬化時間は約30分であり、90分以内に硬化が確認された。（気温14～16℃）
- 養生終了は、指で擦っても剥がれない状態であることを確認し、交通開放した。
- 混合材の品質管理は、現地でコーンフロー試験を実施し、フロー値は1日目が直径23.5cm、2日目が27.5cmであり、規格値（直径15～35cm）を満足した。
- 塗布量は、1日目が1.77kg/m²、2日目が2.07kg/m²、全施工面積当たりでは2.01kg/m²であった。材料ロス率は、1日目、2日目とも24.8%であった。
- 出来形は、転圧後、針入式膜厚計を用いて塗膜厚さを測定し、1日目1レーンが1.3mm、2レーンが1.3mm、2日目1レーンが1.3mm、2レーンが1.6mmで規格値（1mm以上）を満足した。

レーン替えの際の材料ロスは施工手順の工夫で改善していくことが挙げられるが、専用施工機を用いて施工性確保の目処が確認できた。

本試験施工箇所でも路面状況をモニタリングしているが、施工25カ月後段階で骨材凸部の露出が見られるが、凹部に表面処理材が残っている。

(5) 表面処理のまとめ

- 室内試験より表面処理塗布後の劣化抑制効果は5～10年程度である。海外の滑走路適用事例では5～7年程度で再塗布を行っている。
- 頻繁にゴム除去工事があるような箇所の表面処理適用は困難である。ウォータージェットによる材料の剥がれにより適用が難しい。
- 試験施工からは航空機の繰り返し走行で、摩擦により骨材凸部の露出があるが、凹部には表面処理材が残ることから表面処理効果があると考えられる。

なお、当空港は現滑走路の大規模改修を速やかに実施することを目的に、平行誘導路を代替滑走路に転用する整備を行う予定である⁶⁾。そのため、現滑走路への表面処理施工は見送った。

5. 再グルーピング

当空港では定期的に勾配測定、すべり摩擦係数測定（SFT）を行っているが、排水勾配、摩擦係数は確保できている。一方で、グルーピングの目潰れ箇所が一部で確認できることから、排水機能、摩擦係数が確保できない場合に備えて再グルーピングを検討した。

劣化、老化した路面に再グルーピングを行うことで角欠け等が発生するかを確認するためにA3S誘導路～A3誘導路間の滑走路で試験施工を2021年9月に実施した。

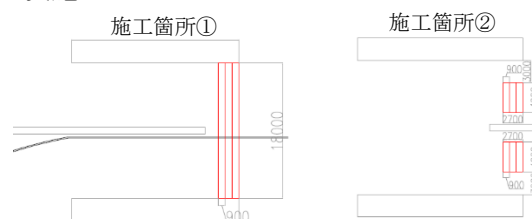


図-8 再グルーピングの施工規模

(1) 施工状況

施工位置の既設グルーピングは、大きな湾曲はなく、目潰れ、角欠けが確認できる位置であった。再グルーピングは現仕様のグルーピング寸法で施工しており、溝幅を大きくする等の対応は行っていない。

オペレータの技術により、概ね既設グルーピングに合わせた施工ができた。施工後の状況で写真-7に示すようにグルーピングに並行してひび割れのような箇所（既設の溝と一致していない箇所）が一部で

確認できた。角欠け等に進展しないかについて、試験施工後から測線を決めてモニタリングを行っている。

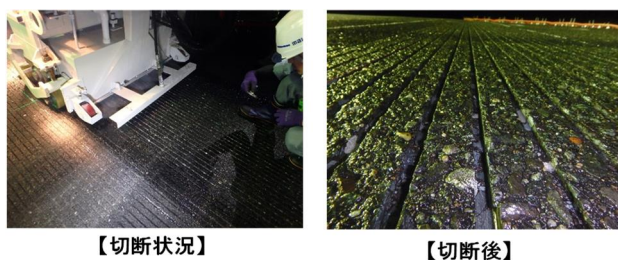


写真-6 再グルーピングの施工, 施工後状況

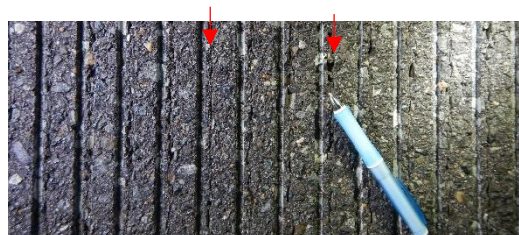


写真-7 再グルーピングの施工後状況

(2) 再グルーピング施工後のモニタリング

施工後のモニタリングは、角欠け発生有無、打音検査を定期的に確認しているが、施工 27 カ月後段階で不具合・損傷は発生していない。

2023 年 12 月時点で滑走路は排水勾配が確保できていること、摩擦係数はゴム除去により保守レベルを確保できている。今後、モニタリングを継続し、雨水滞留、摩擦係数が確保できない範囲が生じた場合、再グルーピングを一つの対策案として検討していくことを考えている。

6. まとめ

中部国際空港の滑走路の舗装延命化として、施工目地処理、表面処理、再グルーピングに着目して材料開発から施工性確認まで実施し、いずれも実現性や対策効果があることを確認できた。

(1) 施工目地処理

- ① 施工目地の開口状況は現地で異なる。確実な施工目地注入対策として、アクリル系樹脂＋増粘剤 1～2%で目地内封かんを行い、アクリル系樹脂＋増粘剤 5%で目地上部封かんを行った。

(2) 表面処理

- ① 室内試験より、表面処理塗布後の劣化抑制効果は 5～10 年程度であり、塗布するタイミングでも効果に変化する。
- ② 試験施工箇所のモニタリング結果より、航空機

の繰り返し走行で骨材凸部は摩耗による骨材の露出があるが、表面処理効果は残ると考える。

- ③ グルーピングの無い誘導路等で舗装縦断方向の施工を行えば、施工効率が上がり、施工費の削減効果が高い。
- ④ 専用施工機は塗布量にもよるが、 $3,000\text{m}^2/\text{h}$ の作業能力を有する。試験施工の条件において、作業時間を 6 時間とした場合、 $1,500\text{m}^2$ の施工が可能となる。さらに、施工システムの改善等により施工能力の向上が図れるものと考えている。
- ⑤ SDGs の観点からは、大規模改修と比較して温室効果ガスの削減や廃棄物の抑制で有益な工法となる。表面処理により延命化することで、切削・舗設等の回数が減り CO_2 削減等の効果も発揮でき、持続的な発展に繋がっていく技術であると考えている。

(3) 再グルーピング

- ① 供用 17 年程度経過した路面に再グルーピングを行ったが、施工後 2 年間のモニタリングでは角欠け等は発生していない。

舗装延命化の検討は、中部国際空港株式会社内で設置した舗装大規模改修検討会で審議してきた。表面処理、再グルーピングの技術的な助言を国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室より得た。施工目地処理、表面処理の材料開発、試験施工等についてニチレキ株式会社の協力を得た。本検討の遂行にあたり多大なご助言、ご協力いただいた皆様に心より感謝申し上げます。

今後も、空港舗装技術について、ご指導いただけますようお願い申し上げます。

参考文献

- 1) 間瀬ほか: 中部国際空港の舗装状態と舗装点検・管理の着目点について, 第 17 回空港技術報告会, 2016.10
- 2) 河村ほか: 表面処理工法による空港アスファルト舗装の自然劣化抑制効果の検討, ASPHALT, Vol.56, 2013.12
- 3) Airport Pavement Surface Treatment A Literature Review, DOT/FAA/TC-TN22/13, 2022.5
- 4) 横江ほか: 中部国際空港滑走路における表面処理工法を用いた舗装長寿命化の取組み, あすふあるとにゆうざい, No.215, 2022.4
- 5) DF テスタによる滑走路面すべり摩擦係数 測定マニュアル, 国土交通省航空局, 平成 29 年 8 月
- 6) 中部国際空港の将来構想, 中部国際空港将来構想推進調整会議, 2021 年 12 月