



## 空港施設維持保全技術と安全性の向上



関西大学 政策創造学部

羽原 敬二

(財)関西空港調査会 航空交通研究会メンバー

### ■はじめに

わが国のこれまでの空港整備により、ストック量は一貫して増加を続け、30年間で滑走路延長は約1.7倍、計器着陸装置（ILS）の設置箇所は約3.3倍に増加している。これらの空港施設の機能を適切に発揮させるためには、空港の的確な管理・運営に加え、既存施設の更新を着実に推進することが不可欠である。かつて増大する航空需要へ対応するため、空港の新設および増設を優先し、更新に要する費用を抑制してきた。このため、点検業務の強化など予防保全を推し進め、施設の延命化を図ってきたが、当初想定されていた耐用年数を経過した施設が増加するにつれ、これらの適切な機能保持が喫緊の課題となっている。こうした既存施設の着実な更新を行うためには、緊急性の高い既存施設を早急に更新するとともに、施工方法の改良などによるライフサイクルコストの縮減や管理システムの充実を図りつつ、既存施設の円滑かつ計画的な更新を実施する必要がある。

こうした状況において、輸送の定時制、安全性、および経済性を確保しつつ、次世代の安全で安心な空港システムを構築することについて、技術的課題の一面を述べることにした。

### 1. 空港舗装システムの構築と技術開発<sup>1)</sup>

空港舗装への要求性能は、走行安全性と構造安全性の2つに大きく分けられる。具体的には、走行安全性は、航空機操縦士による操縦性、乗員・乗客の乗心地に直接かかわる舗装の平坦性、スリップ事故の発生にかかわる舗装の滑り摩擦抵抗性を指し、構造安全性は、航空機荷重に対する舗装の支持力をいう。

空港管理者は、これらの要求性能を満たすことができるように、舗装を設計・施行、維持していかねばならない。これを効率的に実施するためには、空港舗装の設計・施工および補修を一体化したものと捉える空港舗装システムを確立する必要があり、具体化に向けた技術の開発が、以下のように行われている。

#### (1) 設計・施工

走行安全性については、地盤沈下によって凹凸が生じたり、摩擦により表面の滑り摩擦抵抗が低下したりした空港舗装上を航空機が高速走行する時に、その変状が影響を与えることになるため、航空機が走行する時の応答特性を明らかにし、航空機を操縦する観点から空港舗装の性能が定量化されると共に、滑走路表面の滑り摩擦特性の保持方策が示されている。

構造安全性における舗装の支持力については、近年の航空機の大形化、運行回数の増加などの厳しい荷重条件に対応するために、空港舗装の設計・建設方法の合理化・体系化が不可欠な要件となる。建設副産物等の低品質材料の空港舗装への利用および建設にかかわるコスト縮減が要請されていることに対処するため、試験舗装を製作して、B747脚載荷装置を用いることにより航空機荷重の定

量化を行うと共に、航空機荷重による舗装の内部対応力状態を調査することによって、厳しい荷重条件に対応可能なアスファルトおよびコンクリート舗装の構造設計方法が研究・開発されている。特に、アスファルト・コンクリート塊を空港舗装に有効利用する方策、耐久性に優れた新たな舗装材料の開発、コスト縮減に繋がる設計・施工方法、および舗装材料の開発など、舗装材料と建設方法の合理化が進んでいる。

## (2) 補修

空港舗装の機能は、供用につれて低下していくため、その維持・補修を適切に実施しなければならない。その場合、航空機の運行が途絶える夜間の作業を可能とするには、急速補修工法を用いることとなる。これに対処すべく、舗装表面の破損状態に関して補修の必要性を判断した上で、FWDを用いた非破壊検査により構造状態を判断し、最適な補修方法を選定する補修システムが開発されている。さらに、急速補修方法としては、アスファルトとコンクリート舗装各々に対応するものが開発され、特に、コンクリート舗装については、①施設閉鎖を必要としない工法、②広範囲の地盤沈下に対応可能な工法の技術開発、③地震被災時の空港舗装の応急復旧システム、などの開発が進んでいる。

今後の課題としては、要求性能に基づいた空港舗装の破壊の定義、設計から評価を経て補修に至るまでの設計原理の統一、空港舗装性能の定量化などの点が指摘され、これらの整備によりトータルコストに基づいた空港舗装システムの構築が可能になるとされる。

## 2. 空港舗装システムの構築と維持管理<sup>2)</sup>

空港舗装は、アスファルトコンクリート舗装とセメントコンクリート舗装に大別される。民間航空機用の滑走路には、メンテナンスや機材の大型化に柔軟な対応ができるため、アスファルトコンクリート舗装が用いられるが、大型ジェット機の静止荷重が長時間作用し、轍掘れが生じ易いエプロンの舗装については、セメントコンクリート舗装が多い。さらに、地盤沈下が想定される空港のエプロン舗装には、リフトアップ機能を持たせたPCコンクリート舗装も用いられている。

滑走路に使われているアスファルトコンクリート舗装の材料であるアスファルトは、砂利や砂を結合する接着剤の役割を果たす石油系の製品であり、舗装関係者はバインダと呼んでいる。アスファルトは、一般的には、原油からガソリン、軽油、重油を抜いた残り滓と考えられるが、現在では、厳しい品質管理の下に製品化されており、通常の製品はストレートアスファルトと呼ばれる。ストレートアスファルトは、道路舗装で一般に使用され、材料の入手も容易であるため、舗装の維持管理では、小規模の舗装補修の補修材として使用される。

空港舗装では、大きな加重となる航空機が繰返し通過することによって発生する舗装の不具合に対応するため、添加剤または改質剤を加えてバインダの性状を改良した改質アスファルトが多く用いられるようになった。改質アスファルトは、磨耗対策に用いられる改質Ⅰ型と、轍掘れ対策用として耐流動対策に用いられる改質Ⅱ型の2種類に大きく分けられる。添加剤としては、ゴム、樹脂などが用いられ、アスファルト自体に予め添加されたものをプレミックスと呼び、砂利や砂と混ぜ合わせる時に添加されるものをプラントミックスと呼ぶ。ストレートアスファルトよりは割高になる。

空港における改質アスファルトの使用は、轍掘れ対策として改質Ⅱ型が使用されることが多いが、舗装工事で施工管理がストレートアスファルトよりも難しいことがあるため、施工後の維持管理を行う場合にも注意する必要がある。たとえば、改質Ⅱ型でストレートアスファルトに空気を吹付けて酸化させ、性状を変化させたセミブローンアスファルトが滑走路の改良工事に用いられることがある。これは、ストレートアスファルトよりも舗装が固いために、通常よりも早くグルーピン

グの施工が可能となる利点もあるが、施工後に急激に舗装の温度が下がると、舗装表面に小さなクラックが発生する場合があります、その後雨水が染込むことによって短期間に舗装の状態が悪くなり易い。名古屋空港で最初に発生した滑走路の大規模剥離はこのセミブローンアスファルトが使用されていた。

空港舗装には、今後さらにさまざまな種類のアスファルトが用いられることが考えられるが、材料を使用する際には、利点だけに着目するだけでなく、長期にわたる維持管理において発生する欠陥を観察し、健全な舗装の維持管理業務に役立てていくことが必要である。

### 3. 空港アスファルト舗装の維持管理<sup>3)</sup>

#### (1) 滑走路舗装の管理

空港土木施設としての滑走路舗装は、降雨時や降雪時においても、航空機を安全に離着陸させる機能を確保しなければならないため、路面の平坦性、排水性、および一定水準以上の路面摩擦抵抗などが要求される。一旦舗装の破損が発生すると、滑走路は閉鎖され、空港の機能は完全に麻痺し、社会的にも影響が大きいため、空港土木施設を管理するには、PRI 調査、FWD 調査、定期点検などにより、予兆の現れた箇所は、舗装状態を注意深く監視し、予防的観点から補修を行う方法で対応している。

PRI (Pavement Rehabilitation Index : 舗装補修指数) 調査は、舗装面を30m 程度のユニットに区分し、ユニット毎に舗装のひび割れ率、轍掘れ、平坦性の3要素から補修の適期を予測するもので、相対的な供用性の低下の程度、ユニット毎の変状具合が把握できるため、定期点検時における要注意箇所の判断材料や大規模な補修時期の判定にも用いられている。

FWD (Falling weight Deflectometer) 調査は、舗装表面に重錘を落下させ、その時に生じるたわみ量を測定することによって、舗装の健全度を診断する非破壊構造評価方法であり、舗装を解体しないため、短期間に多数実施できる利点がある。

#### (2) 空港舗装巡回点検システム

舗装の点検は、施設の機能が損なわれないように、毎月1回、目視により点検を実施している。点検により舗装の破損を発見した場合には、破損部の評価を行い、補修工法を検討するが、評価や補修工法は、点検者の技術的判断が必要とされる。したがって、より効率的な点検業務が誰でも可能となる空港舗装保全業務を支援するシステムとして、空港舗装巡回等点検システムを構築し、利用することが実施されつつある。

空港舗装巡回等点検システムの機能としては、①現場で点検情報(位置、破損状況)の入力が可能、②DGPS、GISにより空港平面図上に位置表示が可能、③破損状況により対応処置の助言が可能、④現場で過去の点検履歴の検索が可能、⑤現場で路面性状調査結果の閲覧が可能、⑥点検位置図、点検帳票の作成支援が可能、が挙げられる。

#### (3) アスファルト舗装の補修

アスファルト舗装の破損箇所には、路面性状による機能上のものと路床や路盤の破損から生じる構造上のものがある。補修工法としては、シール材注入、パッチング、オーバーレイ、切削オーバーレイ、打ち換えなどがある。

空港でよく用いられる補修工法としては、軽度のひび割れでは、経済性、施工性、および舗装体への雨水の浸入防止の観点から、シール材注入による補修が効果的であり、局所的に発生したポットホール、段差、ひび割れなどに対しては、パッチングを採用する。航空機の走行により発生した凹凸や窪み等により平坦性が低下した場合には、周辺の構造物との取付けを考慮し、切削オーバーレイを採用する。いずれの場合においても、補修工法の選定に関しては、舗装の破損状態は運用条

件などを考慮して最適な補修を行う必要がある。

クラックや剥離など舗装の不具合は、夏場の高温や降雨により、急激に劣化が進み破壊する傾向があり、6月から9月の高温時は、要注意時期である。

#### (4) 空港舗装における今後の課題

近年、各空港土木施設の維持管理においてコスト縮減が求められており、舗装に関しても延命および補修費のコスト縮減を図る観点から、新工法のさまざまな取組みが行われている。ただし、現状では、空港舗装については、予防保全工法による延命効果は定量的な検証がなされていないため、今後、現場での施工実績は、その効果の持続性を検証していく必要がある。

### 4. 空港舗装の損傷防止対策<sup>4)</sup>

#### (1) プリスタリング・層間剥離の原因分析

近年、舗装改良を実施した空港において、プリスタリングや層間剥離の発生がみられるようになり、対策工事が必要になっていることから、その防止を図るため、空港舗装補修要領および空港舗装構造設計要領が平成19年3月に改訂されている。

プリスタリングは、舗装の温度が上昇することにより、舗装の内部に閉じ込められた水分が気化、膨張し、舗装の上部層が剥離して表面が円形に膨れ上がる現象をいい、剥離が進行すると、航空機の走行によって舗装の破壊に至ることがある。

プリスタリングを防止するためには、①舗装の内部に水分を閉じ込めないこと、②表層・基層の境界を確実に付着させること、が必要である。したがって、同要領改訂では、表層の空隙率は3%以上、タックコート用アスファルト乳剤は付着性が高く、速乾性のある改質系アスファルト乳剤が望ましいことが加えられた。さらに、表層と基層の界面に作用する剪断力の低減には、表層はできるだけ厚い方が望ましいため、プリスタリング対策を実施する場合の表層の1層仕上がり厚を8cmとすることが追加された。表層の1層最大仕上がり厚は、表層の平坦性の確保が困難であったため、従来7cmとしていたが、施工技術の進歩により表層8cmを標準的な施工で実施することが可能であることが確認されたことにより、変更された。

プリスタリングによる不具合を未然に防止するためには、使用する材料や断面構造に頼るだけでなく、施工においても、①舗設する面はできるだけ乾燥状態にし、タックコートの過剰散布や養生不足（未分解）状態では舗設しないこと、②舗設作業中や舗設完了後に表面の膨張が確認された場合には、閉じ込められた空気や水蒸気を解放して再転圧すること、など注意が必要となる。

なお、滑走路や誘導路の舗装改良および補修工事は、日常、空港を供用しながらの施工となり、短時間施工を余儀なくされ、シックリフト法<sup>5)</sup>の採用、中温化剤<sup>6)</sup>や改質系アスファルト乳剤の使用などが必要な場合が生じるため、これらの使用についても同要領に追加されている。

#### (2) 空港アスファルト舗装損傷の改良工法<sup>7)</sup>

空港アスファルト舗装に関しては、2000年7月に名古屋空港滑走路南端部で航空機の運航に支障を来すような、表層部材が部分的に剥がれる事象が発生したように、近年従来の主要な損傷形態であった劣化や老化に伴うひび割れや流動軟化以外の損傷が問題となっている。名古屋空港の損傷状況は、表層5cmが離陸時の航空機水平荷重によってめくり上げられた結果であるとされている。剥がれが生じた場所は、2年前に補修した箇所であり、航空機が離陸に向けて滑走路に進入する位置、および離陸に向けて加速を始める位置である。調査の結果によれば、当位置付近では、表層部の空隙率が2%程度に低下しており、舗装内部には水分が含まれていたことが認められている。

この事象の発生メカニズムは、航空機の繰返し載荷に伴い、表層アスファルト混合物の空隙率が低下し、補修以前に舗装面として供用していた箇所のひび割れに残留した舗装内水分が積み重ねら

れた補修履歴により蓄積され、その含有水分が夏季の温度変化で蒸気化、不透気化した表層を押し上げたと推定されている。剥がれた位置が誘導路との交差部付近で、離陸に向けて加速を開始する地点付近であることから、プリスタリング現象で表層と基層の接着が弱くなっていた箇所に、水平荷重が作用することにより、表層材が飛ばされたと考えられている。

これまでの調査・検討結果から、プリスタリング現象が生じやすい状態は、①表層空隙率2.5～3.0以下、②表層透水係数10～7cm/sec以下、③舗装内含有水分（炉乾燥含水比）1.0%以上、④表層・基層間の層間接着強度1.0N/mm<sup>2</sup>以下、であり、目安となる評価値とされる。

最近の空港アスファルト舗装の損傷事例および対策工については、以下のような考察が得られている。

- ①オーバーレイ工事、打換え工事を行う際には、既設舗装の舗装内含有水分について確認すべきである。
- ②巡回点検時には航空機走行位置周辺を中心に、路面性状の変化、路面の膨らみを調査する必要がある。
- ③プリスタリング現象が発生した場合、直径30cm程度の膨らみが路面で確認でき、その箇所を打音検査する。
- ④プリスタリング現象の予防保全対策としては、表層空隙率、舗装内含有水分を調査する手法を用いる。
- ⑤改良工事における対策工は、1層施工厚の厚層化、混合物の耐久性向上、施工性の改善であり、大粒径アスファルト混合物、改質アスファルト、中温化技術などが具体的なものである。
- ⑥施工上の細目として、タックコート材料選定・養生、ホットジョイント施工など、舗装の弱点となる箇所の対処をできるだけ付加する。

## 5. 空港土木施設の緊急補修<sup>B)</sup>

滑走路などの舗装に破損が発生すると、補修のために、施設閉鎖を行うこととなり、航空機の運航に多大な影響を及ぼす結果となる。したがって、滑走路の舗装に不具合が発生した場合でも、航空機の運航に与える影響を最小限に止めるため、速やかに緊急補修を実施する必要がある。

緊急補修工は、舗装補修工と施設補修工に分類される。

### ①舗装補修工

滑走路、誘導路、エプロン、および構内道路において、航空機の運航または構内道路交通に支障となる破損が生じた場合またはその恐れがある場合に、緊急的に実施する舗装補修工事

### ②施設補修工

滑走路、誘導路、エプロン、および構内道路以外において、航空機の運航、構内道路交通、空港運用に支障となる破損が生じた場合またはその恐れがある場合に、緊急的に実施する補修工事

従来は、舗装の不具合が発生する度に、特別修繕工事として別途発注を行っていたが、現在は、航空機の運航に与える影響を最小限にするため、①舗装の不具合が発生した場合には、速やかに対応すること、②事前に緊急時の体制を構築すること、などから、空港土木施設維持修繕工事（以下、経常維持工事）に含めることにより対応している。経常維持工事には、巡回点検、緊急点検も含まれており、万一、落雷、地震、台風などの突発的な事象により、空港施設に不具合が発生した場合でも、請負者は監督職員と協議の上、施設の緊急点検を実施する。監督職員から緊急補修の実施について指示があった場合には、航空機への影響が最小になるよう短時間で施工を行うこととなる。経常維持工事の請負者は、緊急補修がいつ発生しても、対応が可能な体制を整えており、小規模な

緊急補修が発生した場合でも、最低限の労務や機材等が必要になる。したがって、標準的な積算基準では実態と合致しにくいいため、出面積算<sup>9)</sup>が主体となり、高めの積算となる。

## ■おわりに

21世紀においては、遠隔地を点と点で結ぶ空港の目指すべき機能としては、①国際機能を備えた地方拠点空港、②広域交通ネットワーク形成の中核となる空港、③大都市圏または首都圏空港の補完機能を持つ空港、④地方の産業経済活動を支え一層の発展を図るために国内外の各地を結ぶ空のネットワーク拠点となる空港（地域活性化の中核となる空港）、④環境と調和した多様な機能を備えた空港、などが空港整備の課題として挙げられる。

人、物、情報が地球規模で活発に行き交う大交流時代の地域づくりには、空港は不可欠な社会経済基盤である。公共事業の評価については、費用対効果分析が重視される空港づくりは、環境と調和して、便利かつ安全で地域の理解と協力が得られる空港をより合理的に建設することが求められる。

わが国の空港整備は、新規建設から維持・更新の時代へと変化しおり、今後は、滑走路やエプロンの補修、改良工事の割合が高まることとなる。日本の空港の大半は、滑走路を1本で供用しているため、代替性がなく、各地域の拠点となる空港は過酷な利用条件で運用されているのが現実である。現在、維持・補修工事頻度が増加していく状況で、補修サイクルが短くなってきている傾向もみられ、今後の予防保全を踏まえた維持管理を行うためにも、適切な補修対策工の選定が重要な検討対象となっている。

(注)

- 1) 八谷好高「空港舗装システムの構築に向けて」『空港エンジニア・ニュース』第43号, July 2004, 国土交通省航空局建設課技術政策グループ発行, 7ページ。
- 2) 野田克人「土木編その1 アスファルト」『空港エンジニア・ニュース』第76号, JUN 2007, 国土交通省航空局建設課技術政策グループ発行, 5ページ。
- 3) 青木工「空港アスファルト舗装の維持管理」『空港エンジニア・ニュース』第79号, SEP 2007年, 国土交通省航空局建設課技術政策グループ発行, 12-13ページ。
- 4) 伊藤謙作「空港舗装の要領の改訂について プリスタリング・層間剥離の再発防止のために」『空港エンジニア・ニュース』第75号, MAY 2007, 国土交通省航空局建設課技術政策グループ発行, 3-4ページ。
- 5) シックリフト法は、アスファルト混合物層の1層最大仕上がり厚を10cm以上とする施工方法である。施工厚を厚くすることにより、急速施工が可能となるが、平坦性や締固め密度の確保が難しい。舗装完了後は、路面温度が低下していくため、十分な養生をせずに交通開放すると、轍掘れが発生しやすい。開放時間に制約がある場合には、中温化剤の使用を検討することが必要であり、耐流動性を向上させるための大粒径アスファルト混合物の使用を検討する必要がある。
- 6) アスファルト混合物の製造・舗設温度を通常よりも30℃程度低減させることができる添加剤である。
- 7) 久保宏・八谷好高・長田雅人・平尾利文・浜昌志「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, 2004年12月, 35-40ページ。  
須藤渉「空港舗装巡回等点検システムの開発概要について」国土交通省 国土技術政策総合研究所空港研究部 空港施工システム室。  
前川亮太「舗装層間剥離の新しい探査手法の開発」港湾空港技術研究所 空港研究センター。
- 8) 青木工「空港土木施設の緊急補修について」『空港エンジニア・ニュース』第102号, August 2009, 国土交通省航空局空港部技術企画課, 6-7ページ。
- 9) 緊急補修を実施するために使用した資機材や補修作業に従事した労務者を実態に応じて積算すること。