

中部国際空港における舗装管理システム（CAPMS）の開発について

DEVELOPMENT OF THE AIRPORT PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM (CAPMS) FOR THE CENTRAL JAPAN INTERNATIONAL AIRPORT

浜 昌志*・反町 容**・猪岡英夫***

Masashi HAMA, Yasushi SORIMACHI and Hideo INOOKA

The Central Japan International Airport, which opened in February, 2005, was built and is managed by private sector initiative. Appropriate management and evaluation is important for maintenance of the pavement. This paper presents an outline of the development of the Airport Pavement Management System (CAPMS), which is used to support the management of the pavement of the Central Japan International Airport.

Key Words : airport, pavement, management system, maintenance

1. はじめに

中部国際空港は滑走路長3,500mを有し、成田国際空港、関西国際空港に次ぐ、わが国を代表する国際空港である。2000年8月より埋立開始された同空港では、民間主導の建設と工事管理のもと、大きなコスト縮減を実現した上で2005年2月17日に開港した。中部圏の旅客、貨物を担うほか、国内線と国際線の乗り継ぎの利便性が良いことなどから、計画以上の利用状況であり、セントレア（Centrair）の愛称で地域における知名度も高い空港である（写真-1）。



写真-1 中部国際空港

旅客や貨物の高速移動手段として航空機の利用が増大し、それに伴い空港舗装施設にいくつかの損傷事例^{1), 2)}が最近報告されているが、これらの損傷による滑走路閉鎖は社会的な影響が著しいものである。また、多くの空港では施設がすでに維持管理時代に突入しているため、計画的に維持

管理を行う予防的保全が求められるようになっている^{3), 4)}。空港舗装は一般道路舗装と比べて、代替性がないこと、供用後は対策を行う上での制限が多いこと、面的に広大なことといった特徴があり、その上、舗装面は良好な乗り心地と安全性確保が要求される。

今回、中部国際空港の供用に先立ち、舗装管理に必要な事項を抽出し、さらにGIS（地理情報システム）を活用して、「舗装管理システム（CAPMS）」を設計・開発したので、そのシステム内容について概要を報告する^{5), 6)}。

2. 舗装管理システム（CAPMS）とは

(1) システム導入の目的

中部国際空港の「舗装管理システム（CAPMS）」とは、Centrair Airport Pavement Management Systemの頭文字をとったもので、舗装管理を行う上でのデータベース、検索機能、評価機能、予測機能などを有したシステムである（図-1）。この空港は運航形態が、滑走路1本で24時間供用であり、運航に支障のある舗装上の異常が生じた後では、その対策に生じるコストや社会的影響が大きいものとなる。

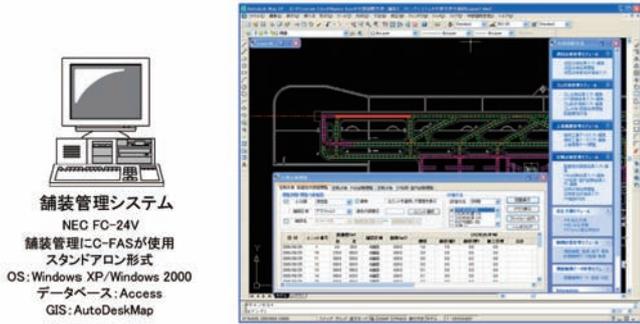
ここで、舗装管理システム導入の目的を次に示す。

- ・点検結果などのデータの電子化、一元化を図る
- ・常に舗装の状態を把握し、一定の路面性状の確保を管理する
- ・補修計画を立案する際に、点検データなどの有効活用を図る
- ・効率的な補修計画を立てることにより、ライフサイクルを通じたコストの縮減を図る

* 名古屋支店 技術部

** 首都圏事業部 統合情報技術部

*** 中部国際空港株式会社 空港施設部



図一 舗装管理システムCAPMSの画面例

(2) 利用条件

システムを利用する条件としては、この空港の維持管理担当職員が専用で使用するものとし、舗装上に発生する損傷の基礎的な専門用語や知識は得ているものとした。なお、システム開発の早い段階から維持管理職員に協議参加をもらい、管理者の要求や知識レベルの統一化を図った。

利用者が限定されることから、WEB技術による開発ではなく、システム上の維持管理と情報登録が容易なスタンドアロン形式による開発とした。なお、システムは利用者も操作に慣れているWindows-XP Proを基盤として開発した。

次に、空間情報（面的情報）、数表、調査結果などの情報をデータベースとし、これを一括して管理蓄積できるソフトウェアがシステム開発上必要となる。このシステムでは汎用データベースエンジンとしてMS-Access、そしてGISエンジンとしては、土木技術者がよく利用するCADデータとの親和性が高いAutoDeskMapを採用した。

(3) 入出力条件

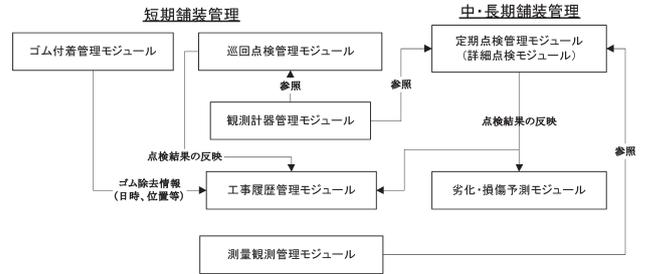
データについては、空港平面図を任意の矩形形状で分割したユニットを一単位として管理することにした。これらのユニットは入力した値や予測した値に対して、3段階の色分け区分で評価して表示させることを基本として、各評価項目に対して視覚的に損傷位置が把握できるようにした。

システムの構成、入力画面構成および入出力項目は、米国空港システムやわが国の空港CALsなどを参考に設定している。とくに米国のJFK空港や連邦航空局FAAにヒアリングを行うことなどで、維持管理上の実効性を高めた。なお、データ入力には、損傷項目などを極力、設定リスト内から選定する選択方式を採用し、データ出力時におけるデータの検索、集計解析を容易にすることにした。

3. システム構成

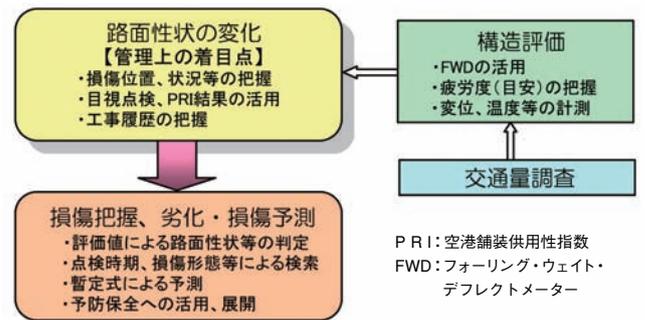
システム内で対象とするデータは図一2の7つのモジュールに分けて管理するものとした。空港舗装に要求される事項としては、十分な荷重支持力、良好な路面性状、良好な

摩擦特性が必要となるが、それらの要求事項の把握のほか、工事履歴や測量観測データの管理、劣化・損傷の予測を行う機能を設けた。また、データ管理やシステム利用形態は短期的に扱うものと、中・長期的に扱うものに大別されることから、そのような使い方を踏まえたモジュール構成にもなっている。



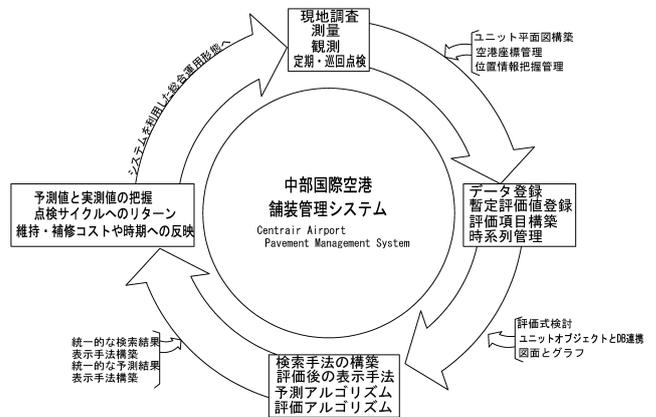
図二 システム内のモジュール構成

なお、舗装管理における一番の着目点は、図一3に示すように、直接、航空機や旅客に影響を与える路面性状の変化である。



図三 評価項目の関係

このシステムでは図一4に示すように、計画・調査～入力・管理～評価・出力～改善を行うための予測といった一連の機能を有したものになっている。



図四 システムのPDCAサイクル

4. モジュール実行機能の紹介

図一2に示す7個のモジュールのうち、本報告では巡回点検、定期点検、路面ゴム付着、劣化・損傷予測に関するモジュール内容の概要を紹介する。

(1) 巡回点検管理モジュール

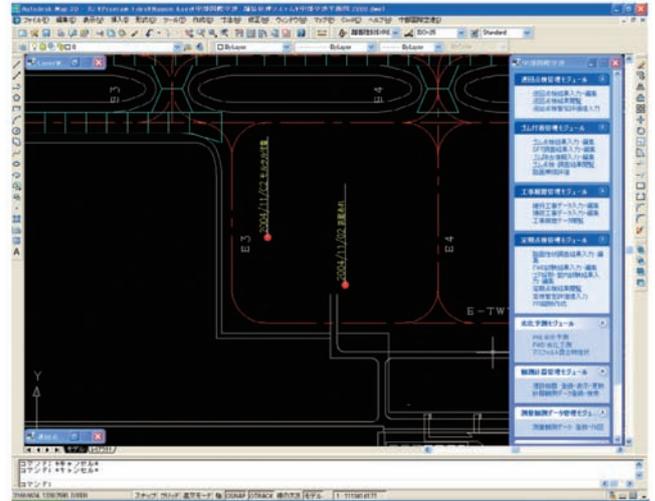
舗装点検の基本となる日常的な巡回点検においては、損傷位置や損傷状況が把握できる機能を「巡回点検管理モジュール」に設定した。また、各損傷においては、損傷の度合いに応じた暫定評価値を設け、点検結果に対しての点検者の主観によらない評価も可能とすることで、維持補修時期などの判断資料として利用できるものとした。暫定評価値は、わが国の空港の路面性状評価として設定されているPRI (Pavement Rehabilitation Index) ⁷⁾ や米国空港の路面調査評価に用いられているPCI (Pavement Condition Index) ⁸⁾ などを参考に設定した。表一1に暫定評価値例を示すが、あくまでも暫定のものであり、システム内では点検者の主観による評価も入力できる機能などを設け、供用後の路面状況などをみて、評価値は見直していくものとしている。

表一1 暫定評価値の例

区分	損傷	A	B	C
		経過観察	発生範囲が広い場合は維持補修	維持補修
アスファルト舗装	線状ひび割れ	延長1m未満または平均幅2mm未満	延長1m以上かつ平均幅2mm以上	延長5m以上かつ平均幅2mm以上
	わだち掘れ	6mm以上13mm未満	13mm以上25mm未満	25mm以上
	段差	5mm以下	5~12mm	12mm以上
コンクリート舗装	線状クラック	幅1mm以下	1~3mm	3mm以上
	段差	5mm以下	5~12mm	12mm以上

巡回点検ではGPS付点検車両を用いて、現地の位置確認、損傷状況の調査、写真撮影などを実施するが、それらの点検情報を文字、数値、写真および図面の形式で入力できるものとした。入力した情報は、点検時期、ユニット番号、損傷形態などで検索が可能であり、それらは図一5に示す表形式で表示させるのと同時に、図一6に示すように地図上に損傷確認日、損傷位置、損傷形態を表示し、かつ、先の暫定評価値によって評価した結果でユニットを着色表示できるものとした。地図上のユニットを選択することで、そのユニットに対する損傷状況の閲覧ができるものとなっている。

図一5 巡回点検結果閲覧の例 (表形式)



図一6 巡回点検結果閲覧の例 (地図表示)

(2) 定期点検管理モジュール

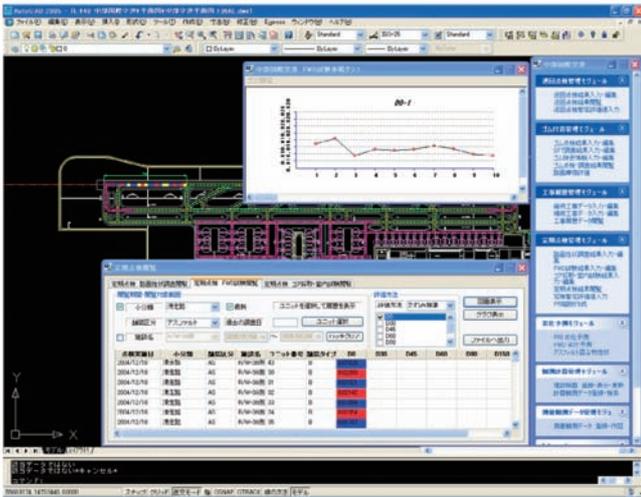
中・長期的な舗装の補修判断に用いる「定期点検管理モジュール」では、これまでわが国の空港管理⁷⁾において、実績のある路面性状調査PRI、非破壊調査FWD (Falling Weight Deflectometer) および抜取りコアを用いた室内試験結果を管理、評価、閲覧できるものとしている。

PRIやFWDは調査データが多いことや、FWDに関しては測定値の温度補正や逆解析など⁹⁾を行う必要がある。そのため、調査データの解析は別途行うものとし、調査結果、解析結果は所定のエクセル形式で整理することで、システム内にはこれらのエクセルファイルを読み込ませて一括登録するものとしている。

閲覧方法は「巡回点検管理モジュール」と同様に、評価値を設定しており、その評価値に応じた地図上での色分け評価、表形式による履歴などが把握できるものとした。なお、この空港では、供用前の航空機荷重による疲労を受ける前の舗装に対して、FWD試験を行い初期データの入手を行っている。このように、異常が発生してから調査を行うのではなく、初期データを抑えることでデータ推移を判断していくことも必要と考える。

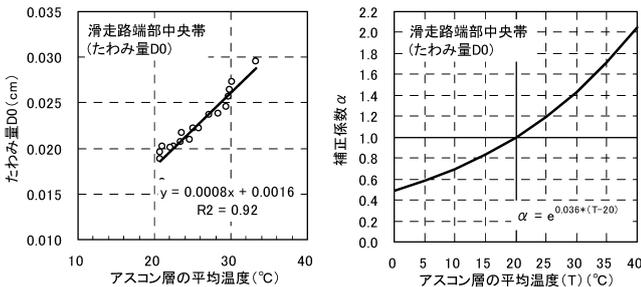
図一7にFWD試験結果の閲覧例を示すが、評価値として各センサーのたわみ量、逆解析結果から得られる弾性係数を設定しており、経年変化後の調査によって、どのようにたわみ量や弾性係数が推移するかの確認ができるものとしている (図一7の画面上は例としてダミーデータを入れ、分かりやすく色分け表示をユニット区別に表示している)。

ここで、FWDの構造評価に際しては、得られるたわみ量を補正して用いる必要があるが、この空港では供用前に実施した調査結果を踏まえて、アスファルト舗装には舗装内温度を20℃へ補正したたわみ量 $D_{(20)}$ を用い、コンクリート舗装では温度勾配を0℃/cmに補正したたわみ量を用いることとした。



図一七 FWD試験結果閲覧の例

図一八は得られたアスコン温度とたわみ量 D_0 の関係と、それから導いたアスコン温度とたわみ量の補正係数 α の関係の一例である ($D_{(20)} = D_{(T)} / \alpha$)。FWDのセンサーごとに設定した補正式で補正したたわみ量に対し、逆解析、順解析を行うことで、構造上の評価を行うものとしている。



図一八 アスファルト舗装におけるたわみ量の温度補正例

(3) 路面ゴム付着管理モジュール

滑走路の安全性を確保するためには、段差が無いほかに、一定以上の路面摩擦係数を確保する必要がある。しかし、滑走路面で航空機が着陸し、制動する箇所では航空機タイヤのゴムが付着することで、路面摩擦係数は次第に低下する。「路面ゴム付着管理モジュール」では、この路面摩擦係数や、路面のゴム付着状況の管理、ならびに航空機着陸機数に伴う摩擦係数低下の予測などを行い、滑走路の安全運航に対する情報を提供するものとしている。

この空港では月に1回、SFT (Saab Friction Tester) 10) による路面摩擦係数の測定を行うので、これらの摩擦係数を登録して、摩擦係数の変化を閲覧できるものとしている。計画的なゴム除去に伴う摩擦係数の確保には、このような実測値の管理の他に予測機能が必要と考えられ、航空機機材、日交通量、滑走路利用方向などを登録することで、摩擦係

数の予測を可能なものとした。図一九に摩擦係数予測の例を示すが、大阪航空局で調査した事例¹¹⁾をもとに予測式を構築している。



図一九 摩擦係数の予測例

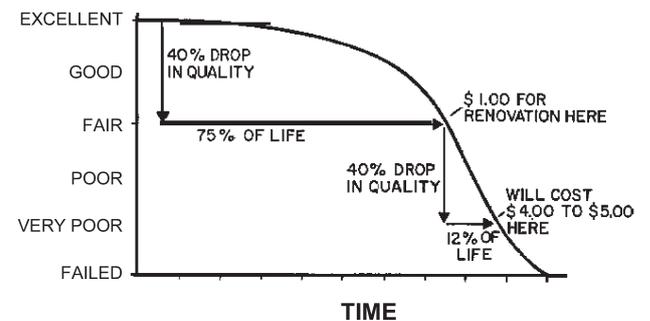
(4) 劣化・損傷予測モジュール

劣化・損傷の予測は、以下の3項目に対して行うものとしている。直接、供用性に影響を与える路面性状のほか、アスファルト混合物の物性変化や交通荷重累積に伴う疲労度算定を行うものとし、これらの機能はアスファルト舗装、とくに滑走路に対して実行機能を持たせている。

- ・路面性状の変化 (PRI総合評価値の変化)
- ・アスファルト混合物の物性変化 (劣化・老化、耐久性の変化)
- ・疲労度の変化 (弾性係数、交通量の変化)

1) 路面性状の変化

米国空港では路面性状評価の指標であるPCIの低下カーブの研究を長年実施しており、そのカーブに基づき路面性状の将来予測や補修計画を行っている。また、FAAのPMS (Pavement Management System) 12) では、図一十に示すように舗装の性能が一般的に低下する状態と、その様々な時点における補修の関連費用概念を示している。舗装が良好な状態にある年数は、いかに良好に保守されているかによって変化することを示しており、良好な舗装を保守する費用と、劣化した舗装を定期的に修復する費用の年間合計額の率は、およそ1:4から1:5であることが多くの研究により明らかになっている。



図一十 代表的な舗装状態のライフサイクル

このことから、いかにして路面状況の変化を予測し、適切な時期に補修を行うことがライフサイクルコストの低減に有効であることが分かる。

そこで、この空港では図-3に示すように、路面性状の変化を重視した予防保全の観点から、わが国の空港の路面性状評価法であるPRIの低下曲線を推定して設定することで、将来的な予測を行うものとした。PRIはひび割れ率、わだち掘れ、平坦性の3項目から構成され、ひび割れ率以外は交通荷重の影響を受けて損傷が生じるものである。ひび割れは交通荷重の影響と環境変化、経年変化の影響から発生するものである。そのため、次に述べるような仮定をたて、この空港に近接している環境条件や類似している運航形態の他空港PRI調査結果をもとに、PRI低下予測式を設定した。

- ・路面性状低下予測は10年までとし、PCI低下事例を参考に10年程度までは、直線的に路面性状が低下すると仮定した。
- ・滑走路にて、A舗装区域（端部）とB舗装区域（中間部）では路面性状の低下比率は、A：B=1.0：0.6と仮定した。
- ・交通量の影響による路面性状低下を再現する因子として、B747-400（ジャンボ機）に換算したカバレッジ（交通量）を式に加えるものとした。
- ・補修後に回復しきれないPRI、環境変化（経年変化）による路面性状の低下を再現する因子を式に加えるものとした。
- ・PRI低下の低下勾配にかかわる因子に乗じる係数については変数として設定し、供用後のデータを踏まえるものとした。

このような条件を基に設定した、PRIの低下予測式を以下に示す。

$$PRI = P_0 - P_S - \alpha \times (\Delta N / 1000) - \beta \times \Delta T$$

- P_0 : 初期のPRI (=10)
- P_S : 補修しても回復しきれないPRI (変数)
- $\alpha \times (\Delta N / 1000)$: 交通量の影響で低下するPRI
- α : 交通量の影響で低下するPRIの低下勾配係数 (変数)
- ΔN : B747-400換算カバレッジ (交通量)
- $\beta \times \Delta T$: 環境変化の影響で低下するPRI
- β : 環境変化の影響で低下するPRIの低下勾配係数 (変数)
- ΔT : 経過年数

このPRI予測低下式に、カバレッジ、経過年数、変数を入れることで、任意の時期におけるPRIの予測を行うものとした。これらの予測は図-11に示すように表形式で出されるが、その他に地図上で各ユニットが評価値別に色分けされるものも表現されるようになっている。なお、この予測式・変数は今後、供用後のデータを入手することや他研究事例¹³⁾を踏まえて、実態に合わせて見直しを行っていく計画である。

図-11 PRI予測の例

2) アスファルト混合物の物性変化

滑走路や誘導路に用いているアスファルト混合物は、アスファルトが劣化・老化することでひび割れが発生しやすくなり、混合物の空隙率が小さくなると変形しやすくなる。そこで、劣化・老化の面から針入度、そして繰返し荷重を受けた後の混合物の変形特性把握の面から空隙率といった指標を抽出し、それらに対し予測低下勾配を設定して測定結果からの低下予測を行うものとしている。これらの低下予測値は、「定期点検管理モジュール」で設定した評価値で、評価できるものとなっている。

また、この空港では針入度、軟化点や空隙率などの、アスファルトやアスファルト混合物の性状に関する施工後の初期データの入手も実施している。

3) 疲労度の変化

この空港のアスファルト舗装は多層弾性理論を用いた理論設計を採用した設計が行われ、そして先に示したように、供用前にはFWD試験が行われている。疲労度は分子に交通量、分母に許容繰返し回数を取ることで表されるため、両者の情報が得られれば目安ではあるが交通量を勘案した構造的な評価が可能となる。交通量は、PRI予測機能で各機材の交通量を登録することにより、B747-400のカバレッジに換算するようなものを設定している。許容繰返し回数は、本来、材料試験などからの疲労曲線から求められるものであるが、供用前に実施したFWD試験で設定した暫定的な許容繰返し回数をシステム内に挿入している。これらの許容繰返し回数も、今後のFWD試験結果や他機関の研究などを踏まえて今後見直しを行っていく予定である。

5. まとめ

中部圏の経済や、旅客の高速移動手段を支える社会資本として位置づけられる中部国際空港における「舗装管理システム (CAPMS)」について設計・開発を行った。舗装管理システムとして、今回特に留意した点、着目した点について次に整理する。

- ① 供用前から維持管理の重要性を説明して維持管理システムを導入し、初期データの入手を行った。
- ② 路面性状変化を第一と着目点と捉え、それらを補完するために構造特性の変化や抜取りコアによる室内試験の性状変化が確認できるモジュールを設定した。

- ③ システムの利用者が開発段階で限定できたため、利用方法やソフトウェアなどを、利用者の使い勝手のよいものを選定した。
- ④ 画面上で舗装施設をユニットに分割し、設定した評価値に基づく色分け区分を行うことで、損傷項目や時期などによる相対的な評価を可能とした。視覚的に明確となる色分け表示により、補修優先度などを意思決定する際に活用することができる。
- ⑤ 路面性状確保、荷重支持力確保、摩擦性状確保の観点で、計画・調査（Plan）～入力・管理（Do）～評価・出力（Check）～改善のための予測（Action）、といった一連の機能を設定することができた。

6. おわりに

舗装の設計は維持管理を前提として行われており、維持管理や適切な補修が行われなければ、供用期間が短くなる。このことは、人体に置き換えてみれば分かりやすく、年齢を重ねたり、過労を続ければ疲労やストレスが蓄積し、定期診断や治療が行われなければ、寿命が短くなったり体調不良を起こすのと同じと理解できる。空港舗装は対象とする荷重が大きく、かつ、低速走行施設では走行箇所が一定になりやすいこと、日射をさえぎるものがないため温度状態によって混合物の性状変化が生じやすいなど、多くのストレスを受ける施設になっている。

今回、このような空港舗装における維持管理の重要性を踏まえ、舗装管理システムの開発を行ったが、今後は開発したシステムを改良しながら利用していくことが必要である。将来的な希望も含めて、本管理システムの目指すものを以下に示す。

- ① 入力されたデータは補修判断などの意思決定資料に用いられることから、その出力形式については、意思決定者の判断がよりしやすいように見直していく必要がある。あわせて、その判断を行う上での評価値の実効性を高めていく必要がある。
- ② 現場と管理システムにおける無線通話などで、入力手間や現場に必要なデータが引き出せるようになれば、使い勝手がさらに良くなると考える⁴⁾。
- ③ 中部国際空港では点検の重要性が理解され、点検者の人数確保が可能となっているが、点検者の確保が十分でない場合や、点検者の舗装管理に関する知識が不十分な場合に備えて、知識ベース機能を設定することも有効である⁴⁾。
- ④ 定期調査に伴うデータの蓄積により、空港舗装におけるライフサイクルカーブを解析・設定し、寿命予測や補修計画に繋げていく必要がある。
- ⑤ 点検・評価手法について、技術動向を踏まえて最新なも

のに対応できるように改良していく必要がある。

- ⑥ システム化のみでなく、十分な知識を持った管理者、判断者の育成が最終的には必要である。

最後に、これらの舗装管理におけるシステム化や将来的な課題については、中部国際空港のみならず、全国の空港舗装管理として重要であり、国土技術政策総合研究所や他空港との連携などを踏まえて、より良好なものに改良・開発していく必要があると考える。

謝辞：今回実施した舗装管理システムの検討、開発にあたり、中部国際空港(株)より多くのご助言・ご指導を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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、pp.35-40、2004.12
- 2) 戸出 勝：大阪国際空港における大粒径アスコンを使用した誘導路改良について、平成16年度国土交通省近畿地方整備局 管内技術研究所発表会、2004.7
- 3) 平井健生：空港土木施設の保全業務の現状と今後の取り組みについて、航空局 第3回空港技術報告会、pp.111-120、2002.11
- 4) 辻本泰成：空港舗装点検等支援システムの導入へ向けた取り組みについて、航空局 第5回空港技術報告会、pp.1-13、2005.1
- 5) 猪岡英夫：中部国際空港における舗装管理について、平成17年度国土交通省 国土技術研究会、2005.10
- 6) 猪岡英夫、浜 昌志：中部国際空港における舗装管理システムの開発について、航空局 第6回空港技術報告会、2005.12
- 7) 運輸省航空局：空港舗装補修要領（案）、1999.4
- 8) ASTM D 5340-03：Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys、2003.12
- 9) 八谷好高、高橋 修、坪川将丈：FWDによる空港アスファルト舗装の非破壊構造評価、土木学会論文集No.662、pp.169-183、2000.11
- 10) 国土交通省航空局：空港土木施設管理規定、2003.12
- 11) 運輸省大阪航空局：ゴム除去工体制調査検討業務報告書、2000.3
- 12) Federal Aviation Administration：PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM, Advisory Circular No.150/5380-7、1988.9
- 13) 今西健治、八谷好高、坪川将丈、竹内 康：空港舗装の路面性状の経年変化に関する研究、土木学会第60回年次学術講演会、2005.9