

空港舗装維持管理システムの開発

クボタシステム開発㈱ 正会員 ○白井二規
鳥取大学工学部 正会員 奥山育英
鳥取大学大学院 学生員 秋山哲治

1. 背景・目的とアプローチ

空港舗装は、一旦舗設されると維持補修によって舗装機能を保持しながら供用寿命を延ばしていかなければならない施設である。そのため、いつ、どの様に維持補修を行うかは大変重要になってくる。現在、定期点検の際の測定結果から得られた舗装状態を表すPRIという指数によって、補修をすべきか否かのおおよその基準が定量化されている。しかし、定期点検で毎回、広大な空港舗装施設全般においてこの測定を行うことは不可能であり、ある決められた区域を点検するというのが現状である。このため実際には測定されない箇所で破損などが生じ、そして補修するという後追い処置が主である。これに対して、関西国際空港のような滑走路が一本で24時間運行の空港では、後追い処置は即空港の機能停止につながる恐れがある。

本研究ではこのようなことのないように、破損が生じる前に補修するというプリベンティブ・メンテナンス・システムをダイナミック・プログラミングを用いて解説する。またそれはデータベースシステムにより管理されることが必要であり、この大略を述べる。

2. データベースシステム

データベースシステムは、舗装が破損する前に補修する先取りのなものと、破損後に補修する後追いの補修との両方に適用できるものでなければならない。そしてその情報を挙げると、1. 空港舗装区の位置に関する情報、2. 舗装層の構成素材・舗装厚に関する情報、3. 舗装の破損に関する情報、4. 補修に関する情報、5. 定期点検に関する情報、などがある。

3. プリベンティブ・メンテナンス

先取りの補修を行うには、将来の舗装状態の予測が必要になり、データベースシステムの構築

により実現される。空港の舗装状態を良い状態から順に8, 7, ..., 1とした時、単位期間後のそれぞれへの状態変化の割合から状態確率行列が得られる。そしてt段階後(時刻t)の状態確率行列が求まり、これに従って舗装劣化は進行すると考えられる。しかし、補修後に舗装が別の行列に支配される可能性を考えて舗装の分類Kを設け、補修歴のない舗装からの時刻に対する舗装状態のデータをプロットした時、これらの平均の曲線より状態が良いデータから得られた推移行列をK=1、悪いデータから得られた推移行列をK=3、平均から得られた推移行列をK=2、また補修歴のある舗装についても同様にK=4, K=6, K=5とする。例として補修の種類を

R0 : 定期的維持補修(簡易補修)

R1 : オーバーレイ.1

R2 : オーバーレイ.2

R3 : オーバーレイ.3

R4 : オーバーレイ.4

R5 : 打ち換え

とし、R1~R5が行われると舗装は状態8に回復され、R5は舗装の分類を補修歴のない分類へ移行させるものとする。i=0, ..., 5のそれぞれの補修による分類の移行が行列で表され、この成分は、補修iの後に分類がKからK'へ推移する確率 $q_{iK}^{K'}$ であるとす。補修時期を考えると、破損が起きる前に補修し、かつ補修の費用を少なくすることに注目する。ここで、維持管理に当たる空港が独自に、舗装がある状態になってはならない限界状態 X_{min} と、その状態にこの確率以上しない限界確率 P^* を定義する。そして、時刻tの時舗装状態がjにある確率を $P_j(t)$ とすると、時刻tの時舗装状態が X_{min} 以下になる確率は、

$$0 \leq \sum_{j=1}^{X_{min}} P_j(t) < P^* \quad \text{----- (1-1)}$$

$$P^* \leq \sum_{j=1}^{X_{min}} P_j(t) \leq 1 \quad \text{----- (1-2)}$$

のうち一方を満たすことになる。ここで式(1-1)を満たせば費用を最小にする補修 R_i が選ばれ、式(1-2)を満たすときは、状態が X_{min} になる可能性が P^* を超えるため、 $i=0$ 以外の補修を実行し、舗装状態を8に回復させなければならない。この様なもとで $X^K(t)=j$ を分類 K の舗装における時刻 t の舗装状態、 $C_i[j, R_i]$ を状態 j の舗装に補修 R_i を行ったときの費用とすると、ダイナミック・プログラミングを用いると、舗装分類 K の舗装において時刻 t に補修 R_0 と $R_i, i=1, 2, 3, 4, 5$ を行ったとき、時刻 t から n 年間に渡って維持補修するための、最適な費用 $C_n[X^K(t)], C'_n[X^K(t)]$ は次の式(2-1), (2-2)のように表すことができる。

補修 R_0 を実施したとき、

$$C_n[X^K(t)] = C_i[X^K(t), R_0] + C'_{n-1}[X^K(t+1)] \quad (2-1)$$

補修 $R_i, i=1, 2, 3, 4, 5$ を実施したとき、

$$C'_n[X^K(t)] = C_i[X^K(t), R_i] + \sum_{K'=1}^{X_{min}} \{ q_{ik}^{K'} \cdot C'_{n-1}[X^{K'}(t+1)] \} \quad (2-2)$$

ただし、初期値を

$$C'_{-1}[X^K(t)] = \sum_{j=X_{min}+1}^8 \{ C_i[j, R_0] \cdot P_j^K(t) \} + \sum_{j=1}^{X_{min}} \{ C_i[j, R_1] \cdot P_j^K(t) \} \quad (2-3)$$

$$C_i[X^K(t), R_i] = \sum_{j=1}^8 \{ C_i[j, R_i] \cdot P_j^K(t) \}$$

とする。そしてこれらから(2-4)の様最小をとることで、舗装分類 K の舗装における時刻 t から n 年間の最適費用が決まる。この時、最適補修も決定される。

$$C'_n[X^K(t)] = \min \{ C_n[X^K(t)], C'_n[X^K(t)] \} \quad (2-4)$$

もし式(1-2)を満たす時は、式(2-1)を無限大にすることで舗装状態を回復させる。

4. システムの適用

舗装の破損には舗装路面と舗装構造に関するものがあり、路面の劣化に対する補修にはオーバーレイや打ち換えなどを、構造の劣化に対

しては打ち換えをしなければならない。このため、路面のオーバーレイ補修の後まもなく構造の打ち換え補修をするようなことが起こる。しかし、空港舗装は施設の運用との関連から厳しい時間制約があるため、補修回数はできるだけ少なくする必要がある。また、経済面からもこのことはいえる。この様なことのないように前もってある期間を決めておき、舗装路面と舗装構造の補修時期の差がこの期間以下ならば、舗装路面に関する補修の時期を待たずに舗装構造の補修を実行するようにする。

また、舗装の状態の予測は確率的であるので、予測と実際の相違は起こることがある。これに対しては、次のような組合せに対する採択に従えばよい。

f : 現在の舗装状態が X_{min} 以下の場合

g : X_{min} 以下の状態になる確率が、 P^* 以上である場合

h : 現在を予測した舗装状態の X_{min} 以下になる確率が、 P^* 以上である場合

f, g, hでない場合をそれぞれ f', g', h' とする。

(f, g, h) ----- 予測計画に従わず現在の破損状況に対する補修を実行する。

(f', g, h) ----- 予測計画の補修選択に従う。

(f, g', h) ----- 予測計画に従わず現在の破損状況に対する補修を実行する。

(f', g', h) ----- 予測計画に従わず現在の破損状況に対する補修を実行する。

(f', g, h') ----- 予測計画の補修選択に従う。

(f', g', h') ----- 予測計画の補修選択に従う。

そして現在の破損状況に対する補修は、これまでの後追いの補修の経験とデータベースシステムを十分活用して行う。

(参考文献)

- 1) 航空運輸局: 空港舗装補修要項(案), 1984, 10.
- 2) J. V. Carnahan: Optimal Maintenance Decisions For Pavement Management, Journal of Transportation Engineering, Vol. 113, No. 5, September, pp554-573, 1987.
- 3) 鍋島一郎: 動的計画法, 数学ライブラリー7, pp19-22, 森北出版, 1985, 9.