

V-4 DPによる舗装の維持・修繕の最適化に関する基礎的研究

東北大学 学生員 ○ 埜村 昌弘
 “ 正 員 武山 泰
 “ 正 員 福田 正

1. はじめに

舗装の維持管理を合理的かつ経済的に行うために、近年、舗装管理システムの重要性が指摘されている。このためには、維持・修繕工法、あるいは、修繕箇所、修繕の優先順位等を経済性を考慮にいれて決定を行うためのサブシステムが必要となる。本研究は、舗装の維持・修繕の最適化問題に動的計画法を適用するための基礎的な検討を行ったものである。ここでは、舗装の挙動の変動特性を考慮するために、破損の遷移にマルコフ連鎖モデルを適用して、定式化を行っている。

2. 動的計画法（DP：Dynamic Programming）

ある制約条件のもとで最大の利益をあげる政策を決定する問題に対処する方法のひとつとしてDPがあり、いろいろな分野で広く用いられている。その原理は最適性の原理と呼ばれ、「最初の状態と最初の決定が何であっても、残りの決定は、最初の決定から生じた状態に関して最適なものでなければならない」と述べられている。¹⁾

最適性の原理によれば、舗装の維持・修繕の最適化は次のように定式化される。

$$f_n(i) = \min \{ R + C(1) + f_{n+1}(2), C(i) + f_{n+1}(i+1) \} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $f_n(i)$ ：状態*i*の舗装を最適に管理した際に*n*年目以降かかる費用

R ：修繕を実施した場合にかかる費用

$C(i)$ ：舗装が状態*i*にある場合に1年間にかかる利用者等の費用

ここでは、簡単のため修繕工法は1種類とし、修繕を行った場合、舗装は必ず最も良好な状態に遷移し、修繕を行わない場合には、供用性がかならず1段階低下するものとした。

つまり、*n*年目に状態*i*の舗装がある場合、その舗装に補修を実施するならば、補修費用がかかると同時に、舗装は良好な状態1に遷移することから、*n*年目において状態1に対する利用者費用が必要となる。さらに、その1年後の(*n*+1)年目には舗装は状態2に遷移し、状態2の舗装を(*n*+1)年目以降管理する費用が必要となる。補修を実施しない場合には、補修費用は不要であり、*n*年目における状態*i*に対する利用者費用と、(*n*+1)年目以降、状態(*i*+1)の舗装を管理する費用が必要となる。この両者の費用のうち、小さいものが最適管理費用となり、その際の意思決定が最適計画となる。

これらの計算は、解析対象期間の最終年から開始し、各年において考えられる全ての舗装の状態について、最適計画およびその際の最適費用を算出することにより行われる。

3. 舗装に関する費用と便益²⁾

舗装に関する費用と便益は、道路利用者、道路管理者、沿道住民（非道路利用者）の3つの異なる立場から、次のようなものが考えられている。

道路利用者：旅行時間、走行費用、事故費用、快適性

道路管理者：維持・修繕費用、住民からの苦情、交通事故

非道路利用者：環境（騒音、振動、大気汚染、景観）

4. DPによる維持・修繕の最適化問題の定式化

本研究においては、舗装の挙動の変動特性を考慮するために、マルコフ連鎖モデルによる舗装の供用性の評価システム³⁾を用いる。この評価システムは、舗装の状態をn段階のランクにより評価し、破損の遷移が単純マルコフ過程で表現されるとするものである。舗装の状態の各組に対する遷移確率をマトリックス表示すると次のようになる。

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}, \quad 0 \leq p_{ij} \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n p_{ij} = 1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

また、補修の効果を評価するために、次の補修効果ベクトルを用いる。これは、補修後の舗装の状態が、補修工法により異なること、また、同じ工法でも確率的に変動することを考慮するためのものである。

$$E = [e_1 \quad e_2 \quad \cdots \quad e_n], \quad 0 \leq e_j \leq 1, \quad \sum_{j=1}^n e_j = 1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

補修工法としては、代表的な補修工法である、オーバーレイと表面処理の2種類を考える。また、舗装の状態が同じランクでも、直前の補修工法により、その後の破損の遷移が異なってくることを考慮するために、舗装を、直前の補修工法により、新設(NEW)、オーバーレイ(OL:Overlay)、表面処理(ST:Surface Treatment)の3つのグループに分けて、遷移確率等の評価を行うものとする。

この場合、維持・修繕の最適化の問題は、次のように定式化される。

$$f_n(G, i) = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{日常の維持} : C(G, i) + \sum_{k=1}^n p_{ik} f_{n+1}(G, k) \\ \text{オーバーレイ} : oL R + \sum_{j=1}^n e_j [C(G=oL, j) + \sum_{k=1}^n p_{jk} f_{n+1}(G=oL, k)] \\ \text{表面処理} : sT R + \sum_{j=1}^n e_j [C(G=sT, j) + \sum_{k=1}^n p_{jk} f_{n+1}(G=sT, k)] \end{array} \right\} \quad (4)$$

ここで、 $f_{n+1}(G, i)$: グループG、状態iの舗装を(n+1)年目以降、最適に管理するための費用
 $C(G, i)$: グループG、状態iの舗装における利用者費用、日常の維持に要する費用等
 R : 修繕費用(オーバーレイ、表面処理)

解析期間の最終年から計算を開始し、各年において全てのグループの、全ての状態の舗装について、上式を用いて、費用が最小となる維持・修繕の計画を決定することができる。

5. むすび

現在、(4)式により、各種の費用等が最適計画に及ぼす影響等について検討を行っている。今後、さらに各費用を定量的に評価することにより、舗装管理システムの構築を行っていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 小和田 正、沢木 勝茂、加藤 豊：OR入門－意志決定の基礎－，実教出版，1984.
- 2) R. ハース、W. R. ハドソン 著／北海道土木技術会舗装研究委員会 訳：舗装マネジメントシステム，北海道土木技術会，1989.
- 3) 武山 泰、嶋田 洋一、福田 正：マルコフ連鎖モデルによるアスファルト舗装の破損評価システム，土木学会論文集 第420号/V-13, pp.135-141, 1990.