

V-7 補修規模を考慮した舗装の維持管理の最適化

東北大学 正員 ○武山 泰

東北大学 正員 福田 正

1. まえがき

動的計画法（D. P.）を用いて、単位補修規模の舗装の維持管理計画の最適化を行うと、補修コストおよび利用者コストにより決定されるある一定レベル以下の舗装を全て補修するという結果が得られる。しかし、実際の維持管理においては、舗装の供用性レベルを毎年、全ての舗装について測定することは莫大な費用がかかることから現実的ではない。また、補修規模が大きくなるほど「規模の経済」により単位面積当たりのコストが低廉となることから、ある程度の規模をまとめて補修が行われている。ここでは、補修規模に応じたコストの算定を基本として、補修規模を考慮した場合の維持管理計画の最適化について検討を行った。

2. 単位規模に関する維持管理計画の最適化

舗装の破損遷移をマルコフ連鎖過程によりモデル化することにより、D. P.を用いて維持管理計画の最適化問題を定式化することができる¹⁾。簡単のため補修工法を1種類に限定し、管理者は補修する／しないのどちらかを選択するものとする。このとき最適計画のもとでの舗装に関わるトータル・コストは式(1)で与えられる。

$$f_t(i) = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{補修しない: } C(i) + \sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot f_{t+1}(j) \\ \text{補修する: } R + C(i) + \sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot f_{t+1}(j) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 i : 舗装の状態（ n 段階のランクで評価する）

$f_t(i)$: 状態 i の舗装を t 年目以降最適に維持管理するための費用

R : 補修に要する費用（補修コスト）

$C(i)$: 状態 i の舗装に対して必要な1年間の利用者コストおよび管理者コストの和

p_{ij} : 状態 i の舗装が翌年に状態 j に遷移する確率

3. 補修規模に応じた補修コストの算定

補修コストは積算基準に基づいて算定する。この場合、「規模の経済」として、必要となる機械器具類が同じ補修規模の範囲では補修規模によらず一定の運搬費がかかること、使用量が多いほど資材単価が割安となること、直接工事費が多いほど諸経費率が小さくなることなどにより、補修規模が大きくなるほど補修単価は低減する。

4. 補修規模を考慮する場合への拡張

補修規模を考慮するために、単位補修規模の舗装が m ブロック連なった舗装を考える。このとき、舗装の状態の数が n^m であり、補修方法が 2^m であるものとして単位補修規模に対する最適化モデルから補修規模を考慮する場合への拡張を容易に行うことができる。

しかし、この方法では計算機のメモリ容量などの制限により、非常に小さいブロック数についてしか解析を行うことはできない。これに対して、 m 個のブロックが環状に連なった舗装を仮想的に考えることにより、

舗装の状態数を低減させることができる。舗装の状態を5段階で評価する場合、8ブロックの舗装を対象とすると、 $5^8 = 390,625$ の舗装の状態数を 25,395 まで低減させることができる。しかし、このような取扱いを行ったとしても、扱えるブロック数は高々10ブロック程度に限定される。

5. マルコフ連鎖における平均滞留ステップ数を用いた最適化

マルコフ連鎖モデルにおける平均滞留ステップ数²⁾を用いることにより、式(1)に基づいて、各ランクの舗装に対して補修が選択される補修コストの限界値を近似的に算定することができる。状態*i*の舗装が、ランク*n*に至るまでにランク*j* ($i \leq j < n$) に滞留する平均ステップ数は式(2)で与えられるマトリックス *M* の要素 m_{ij} となる。

$$M = [I - P']^{-1} \dots\dots\dots (2)$$

これより、ランク*i*の舗装を補修することにより得られる便益は式(3)により与えられる。

$$B = \sum_{j=1}^{n-1} (C(n) - C(j)) \cdot (m_{ij} - m_{ij}) \dots\dots\dots (3)$$

この便益が、その状態の舗装の補修に要する費用を上回る場合、補修を行うことが選択される。これより、式(3)の便益*B*が補修コストの限界値を与えることになる。

6. ネットワークレベルの最適化

実際の舗装管理システムへの適用を考える場合、予算制約のもとで交通量、破損遷移確率などの異なる複数の路線を最適に維持管理していくことが求められる。このネットワークレベルの最適化についても、D. P. の配分問題として定式化することができる。

いま、予算を*N*路線に配分することを考える。 *i* 番目の路線に予算を x_i だけ配分すると、それによる便益が $g_i(x_i)$ で与えられる。予算が x 円に制約されるとき、全路線での総便益 $g_1(x_1) + \dots + g_N(x_N)$ を最大にする最適配分を求めればよい。最適性の原理を用いて定式化すると、式(4)となる。

$$\begin{aligned} f_n(x) &= \max \{ g_1(x_1) + \dots + g_n(x_n) \} \\ &= \max \{ g_n(x_n) + f_{n-1}(x - x_n) \} \end{aligned} \dots\dots\dots (4)$$

簡単のために、予算を*M*等分することにより離散量の問題として取り扱う。各路線に対して、*M*等分した予算の0～*M*までの*M*+1通りの予算が配分された場合の便益を求めることにより、式(4)より、*n*番目の路線までの最大便益を順次求めることができる。

7. むすび

舗装の破損遷移をマルコフ連鎖過程としてモデル化することにより、舗装の維持管理の最適化の問題をネットワークレベルの段階を含めて定式化することができた。現在、利用者コスト・維持コスト・補修コストなどを算定し、また、寒冷地および温暖地の舗装について破損遷移確率などを求め、各種の最適化問題に関して試算を行っているところである。

参 考 文 献

- 1) 埜村昌弘・武山 泰・福田 正：D. P. による舗装の維持・修繕の最適化に関する基礎的研究，平成2年度土木学会東北支部技術研究発表会，1991.
- 2) 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-13，1990.