

ネットワーク型舗装修繕計画の最適化

東北大学大学院情報科学研究科 学生員 孔 永健

東北大学大学院情報科学研究科 正会員 福田 正

1. はじめに

ネットワークレベル舗装管理システムは、複雑な組み合わせ最適化問題で、その解析手法として線形計画法、整数計画法などが一般に用いられているが、そのアルゴリズムは列挙法に基づいているので、計算量が膨大になるために、解析期間を短くしたり、プロジェクトの修繕回数に制約を付さなければならない場合が生じる。本研究においては、動的計画法を適用した予算配分手法を構築し、その解析事例として、解析期間における各年度、各プロジェクトの修繕計画を最適化することを試みた。

2. ネットワークレベル舗装管理システム

(1) パフォーマンスモデル

舗装のパフォーマンスモデルは、AASHTOモデルを使用することにした²⁾。

$$\log_{10}(N/0.452) = 9.36 \cdot \log_{10} \left(\frac{T_A/7.26+1}{\log_{10}[\Delta PSI/(4.2+1.5)]} \right) - 0.96 \\ + 2.32 \cdot \log_{10}(CBR) + \frac{0.4+1094/(T_A/7.26+1)^{5.19}}{\dots\dots\dots(1)}$$

ここで、N: 累積5tf換算輪数。CBR: 路床土の設計CBR(%)。T_A: 舗装各層を表層及び基層用加熱アスファルト混合物で設計したときの必要厚さ、等値換算厚(cm)。

修繕(オーバーレイ)後のパフォーマンスは、式(1)のT_Aの代わりに次式のT_{AR}を用いることによって表す。

$$T_{AR} = d + \alpha \cdot T_A \dots\dots\dots(2)$$

ここで、T_A: 修繕時における既設舗装の等値換算厚。T_{AR}: 修繕後における舗装の等値換算厚。α: その舗装の残存寿命を表す指標で、ここではα=0.8とした²⁾。

(2) 最適化手法

ここで、ネットワーク:M個のプロジェクトによる構成、b: 解析期間n_{max}年間にわたるネットワークの修繕のための総予算、L_m(z_m): 解析期間において、プロジェクトmにz_mの修繕のための予算を配分した時のライフサイクルコスト(m=1, 2, ..., M)、ΣL_m(z_m): ネットワークのトータルライフサイクルコストとすると、問題は式(3)-2の制約のもとに、式(3)-1に示されるようにネットワークのトータルライフサイクルコストを最小にする最適解z_m^{*}を決定することである。

$$\min_{\sum_m} \sum_m L_m(z_m) = \sum_m L_m(z_m^*) \dots\dots\dots(3)-1$$

$$\sum_m z_m = b \dots\dots\dots(3)-2$$

n年度におけるプロジェクトmの修繕のための予算配分x_{mn}、利用者費用uc_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn})および管理費用mc_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn})の和を、式(4)のように年度費用関数g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn})で定義する。

$$g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}) = x_{mn} + uc_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}) \\ + mc_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}) \dots\dots\dots(4)$$

プロジェクトmの解析期間n_{max}にわたるライフサイクルコストL_m(z_m)は、各年度の費用の総和となり、次の式(5)-1のようになる。

$$L_m(z_m) = \min_{\sum_n} \sum_n g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}) \\ = \sum_n g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}^*) \dots\dots\dots(5)-1$$

この時、プロジェクトmの修繕のための予算配分x_{mn}の解析期間における総和は、配分量z_mを超えてはならないので、次の制約を受けることになる。

$$\sum_n x_{mn} = z_m \dots\dots\dots(5)-2$$

修繕のための総費用bをm個のプロジェクトに最適に配分した場合のトータルライフサイクルコストをh_m(b)とすると、動的計画法における最適性原理³⁾により、次の関係が得られる。

$$m=1 \text{ の場合, } h_1(b) = L_1(b)$$

$$m \geq 2 \text{ の場合}$$

$$h_m(b) = \min \{ L_m(z_m) + h_{m-1}(b - z_m) \}, 0 \leq z_m \leq b \dots\dots(6)$$

プロジェクトmに配分された修繕のための予算配分量z_mは、さらに式(5)-2の制約のもとに、解析期間内の各年度に配分される。すなわち、状態(T_{Amn}, t_{mn})にあるプロジェクトmにおいて、修繕のための予算z_mを最適に各年度に配分した場合のn年度以降のライフサイクルコストを示す費用関数をf_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, z_m)とすると、同様に最適性原理を適用することにより、次の関係が得られる。

$$n=n_{max} \text{ の場合}$$

$$f_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, z_m) = g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn})$$

$$n < n_{max} \text{ の場合}$$

$$f_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, z_m) = \min \{ g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}) \\ + f_{m, n+1}(T_{Am, n+1}, t_{m, n+1}, z_m - x_{mn}) \} \dots\dots\dots(7)$$

一つのプロジェクトに対する「修繕する」または「修繕しない」の決定は二者択一の問題であり、予算配分x_{mn}は次のように与えられる。

$$x_{mn} = 0 \text{ (修繕しない)}, x_{mn} = rc \text{ (修繕する)} \dots\dots\dots(8)$$

また、プロジェクトmのn年度とn+1年度における等値換算厚と舗装の供用年数は、式(8)の修繕条件によって、次のように変換される。

$$x_{mn} = 0 \text{ の場合, } T_{Am, n+1} = T_{Amn}, \quad t_{m, n+1} = t_{mn} + 1$$

$$x_{mn} = rc \text{ の場合, } T_{Am, n+1} = T_{ARm, n+1}, \quad t_{mn} = 0$$

$$\dots\dots\dots(9)$$

3. 解析事例

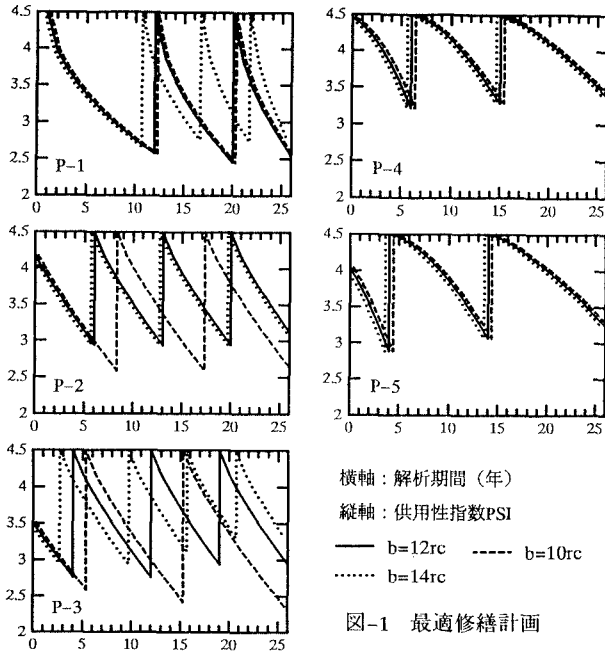


図-1 最適修繕計画

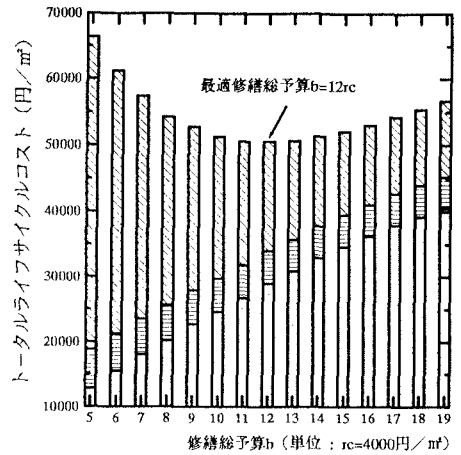


図-2 トータルライフサイクルコストと最適修繕総予算

5つのプロジェクトより構成するネットワークを解析事例とする。各プロジェクトの舗装構造と交通条件は表-1のように設定した。路床土のCBRは8%とする¹⁾。

表-1 プロジェクトの舗装構造と交通条件

プロジェクト No.	交通区分	初期 T_A	供用年数	全交通量	5t換算輪数
P-1	D	34	0	13000	9600
P-2	C	26	2	9000	1900
P-3	C	26	5	9000	1900
P-4	B	19	2	5000	270
P-5	B	19	5	5000	270

注: (1)単位[5t換算輪数]=回/1日, [全交通量]=台/1日・1方向・1車線。
(2)供用年数は解析時における各プロジェクトの供用履歴年数を示す。

割引率は5%として、現在価値法で費用計算を行った。管理費用 mc (円/ m^2)、利用者費用 uc (円/ $km \cdot$ 台)と供用性指数PSIとの関係は、文献2)の計算式を用いた。

その他の入力数値として、解析期間:25年、道路延長:1km、車線数:2、車線の幅員:3.5m、交通増加率:0、新設後または修繕後の初期供用性指数:PSI₀=4.5、限界供用性指数:PSI_{cr}=1.5、修繕工法:オーバーレイ(厚さ5cm)、修繕費用: $rc=4000$ 円/ m^2 とした。修繕のための総予算:修繕費用 $rc=4000$ 円/ m^2 の20倍の金額を与える。

(1) 修繕総予算が与えられた場合の修繕計画

修繕のための総予算 $b=10rc, 12rc, 14rc$ の場合の解析結果によれば、解析期間における各プロジェクトの修繕時期と供用性指数PSIの変化は図-1のように求められる。この修繕時期が修繕費用の予算要求年度である。なお、

管理費用(維持費用)については、各年度において経常的に要求されるものとしている。

(2) トータルライフサイクルコストと最適総予算

修繕のための総予算が $b=5rc \sim 19rc$ の場合のトータルライフサイクルコストの計算結果を図示すると、図-2のようになる。これによれば、総予算が $b=12rc$ の場合にトータルライフサイクルコストは最小となる。すなわち、利用者費用(走行費用)も含めて舗装のライフサイクルコストを評価すれば、予算額の最適値が存在し、本事例の場合では $b=12rc$ である。

また、トータルライフサイクルコストを占める利用者費用、維持費用、修繕費用の割合の変動は、図-2に示されるように修繕費用が少ない場合には利用者費用(走行費用)が大きく、修繕費用の増加に伴って利用者費用は急激に減少する。

4. むすび

最適化手法に動的計画法を適用したアルゴリズムを開発することにより、既往のネットワークレベル舗装管理システムの問題点の解決を図った。この最適化手法を用いることにより、解析期間における修繕のための総予算が与えられた場合のネットワーク(道路区間群)に対する最適予算配分(修繕計画)を決定することができる。

参考文献

- 1) アスファルト舗装要綱, 日本道路協会, 1982年11月。
- 2) 孔永健・福田正: 動的計画法に基づくアスファルト舗装の最適設計(ノート), 土木学会論文集, No. 502/v-25, pp167-170, 1994. 11.
- 3) 鍋島一郎: 動的計画法, 森北出版, 1973. 7