

舗装の長期的修繕計画について

東北大学 ○学 生 員 孔 永健

東北大学 フェロー会員 福田 正

1. はじめに

舗装管理システムの中で、中枢的な役割を果たしているのは長期修繕計画の最適化である。本研究では解析事例を用いて、プロジェクト群の最適修繕計画に年度予算の制約がある場合について、通常のランキング手法と最適化手法に基づく場合の修繕計画の修正に関して比較研究を行った。

2. 年度予算の制約がある場合の修繕計画の修正

(1) 修繕計画の最適化と予算要求¹⁾

n 年度におけるプロジェクト（道路区間） m の修繕費用、利用者費用および管理費用の和を、式(1)のように $g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn})$ で定義する。

$$g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}) = x_{mn} + uc_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}) + mc_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}) \quad (1)$$

ここで、

T_{Amn} : n 年度プロジェクト m の等値換算厚、

t_{mn} : n 年度プロジェクト m の供用年数

x_{mn} : n 年度プロジェクト m の修繕費用、

$uc_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn})$: プロジェクト m の舗装 T_{Amn} の供用年数が t_{mn} の場合に、 x_{mn} で修繕を行った時の利用者費用

$mc_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn})$: プロジェクト m の舗装 T_{Amn} の供用年数が t_{mn} の場合に、 x_{mn} で修繕を行った時の管理費用

x_{mn} の値は式(2)のようになる。

$$x_{mn} = \begin{cases} 0 & (\text{修繕しない場合}) \\ rc & (\text{修繕する場合}) \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 rc : 修繕費用（円/㎡）

状態 (T_{Amn}, t_{mn}) にある舗装を最適に修繕した場合の n 年度以降の累積費用関数を $f_{mn}(T_{Amn}, t_{mn})$ とすると、

$$f_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}) = \min \begin{cases} g_{mn}(T_{Amn}, 0, rc) + f_{m, n+1}(T_{Amn}, n+1, 1) \\ g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, 0) + f_{m, n+1}(T_{Amn}, n+1, t_{m, n+1}) \end{cases} \quad (3)$$

式(3)と式(1)を連動することにより、ネットワーク（道路区間群）の最適修繕計画 $\{x_{mn}^*\}$ を決定できる。

n 年度の予算要求額を b_n^* で表せば、最適修繕計画マトリックス $\{x_{mn}^*\}$ の n 列目の総和として、式(4)のようになる。

$$b_n^* = \sum_{m=1}^{n=nmax} x_{mn}^*, \quad n=1, 2, \dots, n_{max} \quad (4)$$

(2) 最適化解析による修繕計画の修正¹⁾

式(1)を用いて解析期間におけるプロジェクト m のライフサイクルコスト $L_m(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn}, \dots, x_{mnmmax})$ を式(5)で定義する。

$$L_m(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn}, \dots, x_{mnmmax}) = \sum_{n=1}^{n=nmax} g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}), \quad m=1, 2, \dots, M \quad (5)$$

これによって、ネットワーク（プロジェクト群）のライフサイクルコスト、すなわちトータルライフサイクルコスト TL は式(6)のようになる。

$$TL = \sum_{m=1}^{m=M} L_m(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn}, \dots, x_{mnmmax}) \quad (6)$$

いま s 年度において、年度予算の示達額 y_s が予算額より少なく、すなわち $y_s < b_s^*$ の場合に、この示達額 y_s を各プロジェクトに配分しなければならない。

このような場合の最適化問題は、式(8)の制約のもとに式(7)のトータルライフサイクルコストを最小にすることにより得られる。

$$\begin{aligned} \min TL = & \min \sum_{m=1}^{m=M} L_m(x_{m1}^*, x_{m2}^*, \dots, x_{m, s-1}^*, x_{ms}, \dots, x_{mnmmax}) \\ = & \sum_{m=1}^{m=M} \sum_{n=1}^{n=s-1} g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}^*) \\ & + \min \sum_{m=1}^{m=M} \sum_{n=s}^{n=nmax} g_{mn}(T_{Amn}, t_{mn}, x_{mn}) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\sum_{m=1}^{m=M} x_{ms} = y_s \quad (8)$$

ここで、

$x_{mn}^*(n=1, 2, \dots, s-1)$: $s-1$ 年度までに実行済みの修繕費用

$x_{mn}(n=s, s+1, \dots, n_{max})$: 修正対象となる s 年度以降の修繕費用

(2) ランキング手法による修繕計画の修正

年度予算の示達額が要求額以下である場合に、修繕対象となるプロジェクト群から、供用性指数の低いプロジェクトの順位に優先的に予算を配分して修繕する。

3. 解析事例

(1) 解析条件

9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²⁾。

表-1 プロジェクトの舗装構造と交通条件

プロジェクト 外 No.	交通 区分	初期 T _A	供用 年数	全交 通量	5tf換 算輪数
P-1	C	26	1	9,000	1,900
P-2	C	26	2	9,000	1,900
P-3	C	26	3	9,000	1,900
P-4	C	26	1	9,000	2,850
P-5	C	26	2	9,000	2,850
P-6	C	26	3	9,000	2,850
P-7	C	26	1	9,000	3,800
P-8	C	26	2	9,000	3,800
P-9	C	26	3	9,000	3,800

注:(1)単位[5tf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。

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³⁾。現在価値法で費用計算を行い、割引率は5%とした。また、管理費用mc (円/m²)、利用者費用uc (円/km・台)と供用性指数PSIとの関係は、文献3)の計算式を用いた。

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:PSI=4.5, 修繕工法:オーバーレイ(厚さ5cm), 修繕費用:rc=4000円/m²とした。

予算の示達額による年度予算の制約:修繕計画の実施過程において、年度予算の示達額が要求額を下回る時点で、その年度以降の修繕計画を修正する。

(2)解析結果

図-1には解析初年度の時点における最適修繕計画に基づいた年度予算要求と各年度の示達額を示している。年度予算の示達額はその年度に至らなければ分からないものであるが、この解析事例では一律2rcと設定した。現実には $y_s < b_s^*$ を満たす年度予算の制約が無数に存在する。図-1に示されるように、5年度の予算要求額 $b_s^* = 3rc$ に対し、示達額は $y_s = 2rc$ となっている。この年度予算制約条件のもとに、最適化解析手法を用いて5年度後の修繕計画の修正を行った。図-2は修正後の予算要求計画の比較を示している。次に6年度についても同様の修正を行う。以下の年度においても同様である。

一方、ランキング手法による場合、図-2に相当する修正修繕計画による年度予算要求は図-3のようになる。初期の最適修繕計画におけるトータルライフサイクルコストを基準に、解析期間におけるトータルライフサ

イクルコストの差額は表-2に示されるように、ランキング手法による修正修繕計画の場合は大きくなることわがかる。

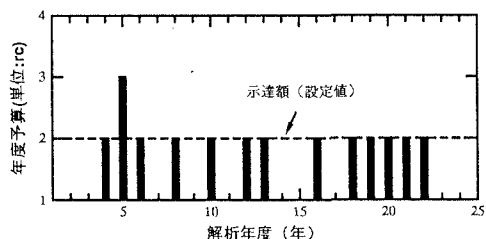


図-1 最適年度予算要求と年度予算の示達額

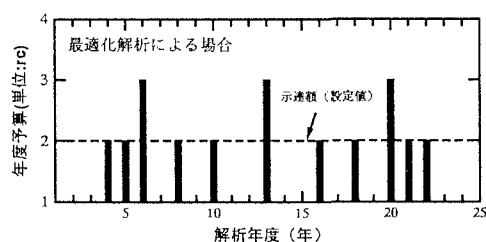


図-2 5年度以降の修繕計画修正による年度予算要求

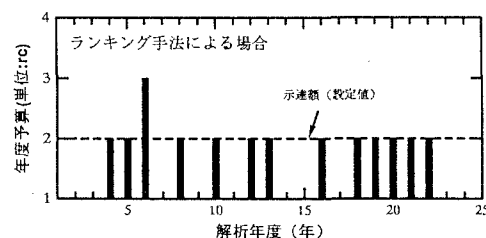


図-3 5年度の修繕計画修正による年度予算要求

表-2 トータルライフサイクルコストの差額 (円/m²)

修正 年 度	最適化解析 による場合	ランキング手 法による場合
5 年度	32	96
6 年度	90	194

4. むすび

解析事例の結果から、本論文で示した最適化手法を用いれば、従来のランキング手法よりもトータルライフサイクルコストが小さい状態で舗装の修繕管理を行うことができる。

参考文献

- 1) 孔永健・福田正:年度予算の制約がある場合のネットワークレベル舗装修繕計画(ノート),土木学会論文集, No. 532/v-30, 1996. 2
- 2) アスファルト舗装要綱, 日本道路協会, 1992年11月。
- 3) 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.