

神戸大学工学部 正会員 西 勝 兵庫県 大橋 一公  
神戸大学大学院 学生員 恒藤 博文 神戸大学工学部 学生員○大西 宏二

1. はじめに

我が国の道路は、本格的な整備の進展とともに舗装のストックも増大し、新設の時代から維持、修繕の時代へと移行している。これに伴い維持管理費用も増大しており、経済的な観点から合理的かつ効率的な維持修繕計画を実施することがますます重要となっている。そこで、本研究では、動的計画法を用いた維持・修繕計画システムを構築し、プロジェクトレベルで運用することでその適用性を検証した。

2. システムの構築

(1) 舗装のパフォーマンス

本研究で構築された評価・修繕支援システム<sup>1)</sup>を用いてアスファルト舗装のパフォーマンス解析を行った。これは、設定条件(設計要因、材料特性、舗装断面等)を入力し、FEM(M軸対称反復有限要素法)に基づく構造解析よりパフォーマンスを算出するもので、その有用性も確認されている。

(2) 修繕工法と修繕後のパフォーマンス

本研究においては、修繕工法としてオーバーレイ工法を採用した。また、修繕後のパフォーマンスについては、路盤材料の劣化を考慮したパフォーマンス解析を行い算出した。路盤材料の劣化について、水硬性のあるスラグ路盤材に関しては路盤下面からのひび割れを想定したジョイント要素を導入し、水硬性のない粒調碎石に関しては材料の軟弱化を想定した。

(3) 費用

初期建設費用は、福田らの研究結果<sup>2)</sup>を参考に、設計時の等値換算厚  $T_A$  と直線関係にあると仮定し次式により考慮した。

$$IC = 356.64 \cdot T_A - 382.20 \quad (1)$$

以下の費用は文献<sup>3)</sup>に基づき設定した。日常の維持管理費用は、 $MCI$ に対応して単位面積当たり一定の費用が掛かると仮定し(表-1)、道路利用者損失費用については次式で考慮した。

$$\text{小型車} : U.C. = 12.125MCI^2 - 189.999MCI + 743.190 \quad (2)$$

$$\text{大型車} : U.C. = 37.677MCI^2 - 560.504MCI + 2085.490 \quad (3)$$

オーバーレイの費用は、建設省の各地方建設局の平均値(4749円/㎡)を設定した。また、修繕工事実施時に道路利用者がこうむる遅延費用は次式で考慮した。区間走行時間の遅れは単位延長当たり2分、車種別時間便益単価を小型車で31円/分、大型車で46円/分、車両が修繕工事の影響を受ける割合は100%を設定した。

$$\begin{aligned} \text{遅延費用} = & \text{区間走行時間の遅れ} \times \{31 \times (1 - \text{大型車混入率}) + 46 \times \text{大型車混入率}\} \times \text{日平均交通量} \\ & \times \text{影響を受ける割合} \times \text{工事日数} / \text{対象面積} \quad \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

なお、費用計算は割引率を6%として現在価値法で行い、残存価値についても考慮した。

(4) 動的計画法による最適化

より合理的かつ効率的に維持修繕を行うことを目的に、維持修繕計画に動的計画法<sup>4)</sup>(以下DP)を用い、最適案の検討を行うことにする。DPにおける、維持修繕計画問題は次式のように定式化される。なお、次 Masaru NISHI, Kazukimi OHASHI, Hirofumi TSUNEFUJI, Kouji OHNISHI

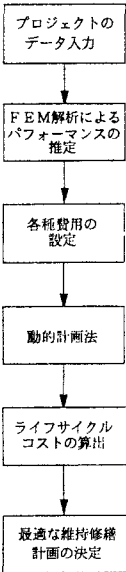


図-1 解析のフロー

表-1 MCIと維持費の関係

| M C I        | 維持費<br>(円/㎡) |
|--------------|--------------|
| 10.0~9.0     | 27           |
| 8.9~8.0      | 44           |
| 7.9~7.0      | 62           |
| 6.9~6.0      | 79           |
| 5.9~5.0      | 96           |
| 4.9~4.0      | 113          |
| 3.9~3.0      | 130          |
| MCIが3に落ちて2年目 | 148          |
| " " 3年目      | 165          |
| " " 4年目以降    | 182          |

式において、維持と修繕が同じ費用を算出した場合は維持とした。

$$\begin{cases} F_n(i, j) = \min \begin{cases} M(i, j) + U(i, j) + F_{n-1}(i, j+1) & (\text{維持}) \\ U(i, j) + R(i) + F_{n-1}(i, 0) & (\text{修繕}) \end{cases} \\ F_1(i, j) = \min \begin{cases} M(i, j) + U(i, j) - SV(i, j) & (\text{維持}) \\ U(i, j) + R(i) - SV(i, 0) & (\text{修繕}) \end{cases} \end{cases} \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 $i$ ：舗装状態（ $i=1$ ：新設、 $i=2$ ：修繕）、 $j$ ：新設あるいは修繕からの供用年数、 $F_n(i, j)$ ：状態  $i$  で、 $j$  年目の舗装における計画目標期間最終年まで  $n$  年目のトータルコスト、 $M(i, j)$ ：状態  $i$  で、 $j$  年目の舗装における維持管理費用、 $U(i, j)$ ：状態  $i$  で、 $j$  年目の舗装における道路利用者損失費用、 $R(i)$ ：修繕費用と遅延費用、 $SV(i, j)$ ：状態  $i$  で、 $j$  年目の舗装における残存価値

### 3. 設定条件

各プロジェクトの舗装構造と交通条件は表-2のように設定し、路床土の設計CBRは8%とした。また、その他の設定条件として、計画目標期間：30年、道路延長500m、車線数2、車線幅員3.25m、車両走行速度60km/h、修繕基準：MC I=4、交通量伸び率：10年目まで1年当たり0.08、11年目以降0を設定した。

表-2 舗装構造と交通条件

| 交 通                          |   | B交通   | C交通   |
|------------------------------|---|-------|-------|
| 交通量(台/日・方向)                  |   | 3000  | 5000  |
| 大型車混入率(%)                    |   | 16    | 23    |
| 等値換算厚<br>T <sub>a</sub> (cm) | 3 | 19.10 | 26.20 |
|                              | 層 | 19.35 | 26.55 |

### 4. 解析結果

今回の解析では、修繕基準に達したら修繕するという経験的手法による維持修繕計画と、DPによる最適案を比較した(図-2、3)。図より、経験的手法では修繕の生じなかったB交通スラグ断面でもDPでは修繕を行っており、DPによる維持修繕の選択が比較的供用性の高い時に行われていることがわかる。また、表-3より、コストは総じてDPの方が安いことが認められる。これは、全体の修繕回数は増えても利用者費用の増加が抑制されたからであると推察される。

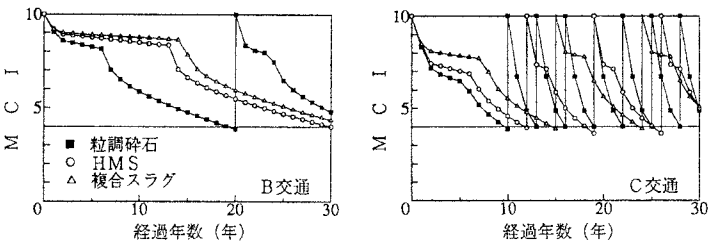


図-2 経験的手法による維持修繕計画

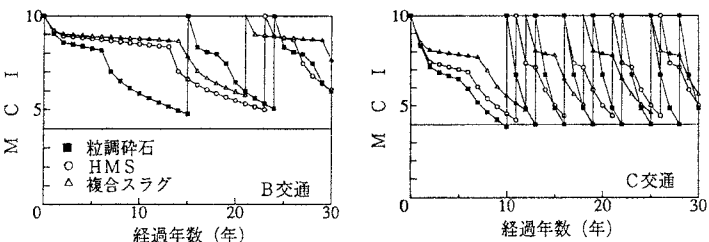


図-3 動的計画法による維持修繕計画

### 5. おわりに

本研究において、動的計画法を用いた維持・修繕計画システムの有用性が確かめられた。今回は、プロジェクトレベルでの検証を行ったが、今後、管理主体を想定したネットワークレベルでの本システムの運用についても検討を加えたい。

#### <参考文献>

- 1) 西 勝、遠山俊一、大橋一公、恒藤博文：円形走行試験に基づくアスファルト舗装パフォーマンスカーブの構築、建設工学研究所報告第37号、pp.361-380、1995。
- 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、土木学会論文集、No.502/V-25、pp.167-170、1994。
- 3) 建設省道路局国道第一課、建設省土木研究所：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究、第41回建設省技術研究会報告、pp.362-381、1987。
- 4) 尾形克彦：ダイナミックプログラミング、培風館。

表-3 経験的手法とDPによるコストの比較

| 交通 | 路盤材料  | 経験的手法 | 動的計画法 |
|----|-------|-------|-------|
| B  | 粒調碎石  | 13498 | 13090 |
|    | HMS   | 10216 | 9517  |
|    | 複合スラグ | 9269  | 8602  |
| C  | 粒調碎石  | 37631 | 37502 |
|    | HMS   | 27047 | 26045 |
|    | 複合スラグ | 21738 | 20170 |

単位(円/㎡)