

アスファルト舗装を対象とした維持管理支援システムの開発

DEVELOPMENT OF COMPUTER ASSISTED MANAGEMENT
SYSTEM FOR ASPHALT PAVEMENT

水野直樹*・福井康裕**・松井邦人***・井上武美****

By Naoki MIZUNO, Yasuhiro FUKUI, Kunihito MATSUI and Takemi INOUE

Total length of highway pavement has been rapidly increasing and past explosive expansion of traffic volume has been causing serious deterioration to our nation's highway system. It is of critical importance for highway agency to maintain pavement condition above desired level within limited available funds. Hence it is essential to establish a rational and efficient procedure to allocate the funds in an optimal manner.

The objective of this paper is to develop "CAMPAS" (Computer Assisted Management for PAVement maintenance System) which will assist a highway engineer to set up an optimal maintenance and rehabilitation schedule on new and/or existing highway pavement. Dynamic Programming is incorporated as an optimization tool.

Keywords : pavement maintenance, life-cycle-cost, dynamic programming, PMMS

1. はじめに

わが国の舗装延長距離は、道路整備の進展とともに年々増大している。それに伴い維持管理費用も年々増大してきている。このように維持管理費用が年々増大している大きな要因として、

- ① 高度成長期に多くのアスファルト構造物が建設され、20年近い供用により補修が必要な時期にきている。
- ② 既設舗装を半永久的に供用しなければならない。
- ③ 新規構造物が高度化、複雑化してきている。
- ④ 事故に対しての社会的責任が道路管理者に要求されるようになった。

ことが考えられる¹⁾。現在、舗装の維持管理において計画から調査・設計・施工・維持管理等を合理的・効率的に有限な財源の中から行う必要に迫られている^{1)~3)}。

現実における舗装の維持修繕の意志決定は、路面のひびわれや、わだち掘れ等の路面の損傷程度に応じた道路機能や地域性等の諸条件を考慮して、優先順位の決定や工法の選定が行われている。しかし、その評価判定の基準や方法には、かなりの幅があり必ずしも明確ではない³⁾。

また、舗装の維持修繕と新設（または打換え）を独立して扱うのではなく、新設舗装の設計段階から、将来の維持修繕までを含めたライフサイクルという観点から最適な舗装設計を検討することが必要な時代になってきている²⁾。そして、既設舗装に関しても合理的・効率的に維持管理を行う必要がある。

現在稼働、および開発されている維持管理システム（以下：従来の手法と記す）は、多くの修繕工法の代替案を作成し、維持管理にかかわるトータルコスト（以下：トータルメンテナンスコストと記す）が最小となる最適案を見出す手法である^{3)~7)}。しかしこれは、修繕時の基準となる供用性レベル（構造からみた望ましい修繕工事の実施時）の値によって、大きく左右されている。そのため、意志決定までに多くの時間を要していた。なお、従来の手法は開発当初、維持修繕が設計管理システムの1つのサブシステムとして、取り扱われてきた。しかし、最近では維持管理に関するシステムとして独立しているものが

* 学生会員 工修 東京電機大学理工学部建設工学科松井研究室研究生 (〒350-03 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

** Ph.D. 東京電機大学教授 理工学部応用電子工学科 (同上)

*** 正会員 Ph.D. 東京電機大学教授 理工学部建設工学科 (同上)

**** 正会員 日本舗道(株)技術部技術第3課課長 (〒104 中央区京橋 1-19-11)

多いようである⁸⁾。

著者らは、トータルメンテナンスコストを考慮した維持管理に関する意志決定の最適化に最適化手法の1つである動的計画法 (Dynamic Programming：以下 DP と記す) を用いてシステムの開発を行っている。

本論文は、DP を用いてアスファルト舗装を対象とした維持管理支援システム (CAMPAS：Computer Assisted Management for PAVement maintenance System) を開発し、解析と考察を行って本手法の有効性を検討したものである。

2. 維持管理にかかわる費用^{4),5),9)}

長期供用性を考えた場合、舗装の維持管理にかかわる費用として、図一1に示すような費用が考えられる。舗装の維持管理にかかわる費用は、大きく分けて道路管理者費用・道路利用者費用・非道路利用者費用の3つからなっている。

(1) 道路管理者費用

道路管理者費用は、舗装を構築して維持管理を行っていくために必要な費用を意味する。したがって、道路管理者費用は、解析対象期間内に含まれる日常の維持管理費用、将来必要となる修繕費を考慮する必要がある。

また、これらの費用に加えて、解析対象期間の最終年で残存している残存価値を考慮する必要がある^{4),5)}。

(2) 道路利用者費用

道路利用者費用は、道路を直接に利用する利用者自身が、負担しなければならない費用を意味する。したがって、道路利用者費用では、走行時間費用、不快費用を考慮する必要がある。

また、維持修繕工事を実施する際に生じる車両の遅延費用、および付加的な車両操作費用も考慮する必要がある。

(3) 非道路利用者費用

非道路利用者費用は、社会的費用のことである。社会的費用とは、舗装を構築したときに第三者 (非道路利用

者)、あるいは全体に対して影響を及ぼし、さまざまな形で被害 (騒音、振動、大気汚染、景観破壊等) を与える。それらの被害の原因者 (道路利用者) が負担していない費用を意味する。

一般に、これらの維持管理にかかわる費用は、舗装の経年数が長く、供用性レベルが低いほど加速度的に増大する^{4)~7)}。

3. 既往の維持管理に関する考え方^{1)~11)}

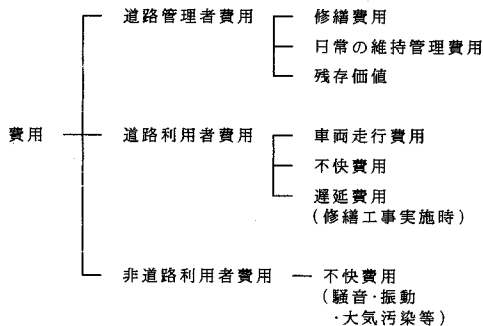
現在稼働、および開発されている維持管理手法は、以下に示すフローで行っている^{3)~8)}。

- ① 長期計画に影響を及ぼす因子を整理する。
- ② 安全性、設計寿命など所要の目的を満足する代替案を作成する。
- ③ 解析計画期間を設定する。(舗装の場合：20~40年)
- ④ 適切なディスカウント率を選定する。
- ⑤ おおのこの代替案について、将来の維持修繕費用および道路利用者費用を含む、すべての費用を試算する。
- ⑥ おおのこの代替案について、解析期間中に発生する費用をディスカウント率を用いて、現在価値に換算する。
- ⑦ 上位の計画、定量化できない要因、その他を総合的に評価して好ましい代替案を選定する。

このように従来の手法は多くの代替案を作成し、その中から好ましい代替案を選ぶ手法である。しかし、従来の手法は構造側からみた耐用年数で、修繕実施時の判断を行っている。耐用年数 (Life Cycle, Life Time, Service Life) とは、構造物または、その部分が使用に耐えなくなるまでの年数を意味しており、供用年数と同意である。われわれは一般に耐用年数、供用年数を考えた場合、物理的耐用年数にとりがちであるが、次のような包括的で総合的なものとして考慮すべきである¹⁾。

- ① 物理的耐用年数：劣化により定まる耐用年数
- ② 構造物耐用年数：物理的耐用年数の一種で、構造耐力上の要因により定まる耐用年数
- ③ 経済的耐用年数：経済的要因により定まる耐用年数
- ④ 社会的耐用年数：社会的要因により定まる耐用年数
- ⑤ 法定耐用年数：資産の減価償却費を算定するために大蔵省で定められた耐用年数

このように、長期計画にわたって経済的、合理的・効率的な維持管理に関する意志決定の最適化を行う場合



図一1 維持管理にかかわる費用

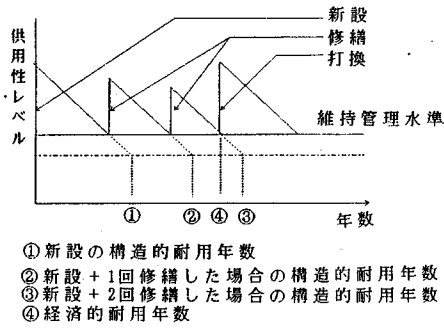


図-2 構造的耐用年数と経済的耐用年数¹⁰⁾

は、構造的な耐用年数だけで判断してはならない。経済的耐用年数も考慮する必要がある。経済的耐用年数は図-2に示すような概念がある¹⁰⁾。この経済的耐用年数は全国一様でなく、路線および区間によって異なることされている。

代表的な維持管理システムの1つである SAMP 5 (System Analysis Method for Pavement) を例に考えてみる^{7), 11), 12)}。SAMP 5 は、最初 Hudson, McCullough によって開発され、その後改良が加えられ NCHRP レポートで初めてプログラムが公開されたシステムである⁷⁾。SAMP 5 は修繕工事実施の指標に PSI (Present Serviceability Index) を用いている。AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) では、一般的な修繕工事実施時を PSI が 1.6~2.5 としている。

ここで、試算例として表-1 に示すようなある設計断面で、修繕工事実施の指標となる PSI の値を 1.6~2.5 まで計算してみる。解析結果からトータルコスト (初期建設費含む) と PSI の関係を図-3 に図示する。図-3 から PSI の値が 1.9 付近でトータルコストが最も小さくなるのがわかる。試算例の条件下では 1.9 付近が望ましい修繕工事実施時の値となる。このように修繕工事実施時の値を変化させることによってトータルコストが大きく左右されてしまう。そして、この望ましい修繕工事実施時の値は地域、路線または区間等によって異なる。

わが国における舗装の維持修繕は、ひびわれや、わだち掘れ等の路面の損傷程度に応じた道路機能や地域性等の諸条件を考慮して、優先順位の決定や工法の選定が行われている。対象とする舗装の修繕の必要度という観点から路面の損傷に着目した MCI (維持管理指数: Maintenance Control Index) を開発している^{2), 3)}。しかし、MCI は、路面の損傷程度によって修繕の必要度を判断している。したがって、構造的耐用年数や望ましい維持管理水準を定量的に把握することが重要な課題であ

表-1 SAMP 5 を用いた解析の設定条件

試算例	
設計断面 アスファルト コンクリート 砕砂 石利	6.00 5.50 5.50
解析期間 スケジューラ	20年 5%
新設直後の PSI	4.2
修繕直後の PSI	4.2
修繕後の最小維持期間	1.5~2.5
新設後の最小維持期間	2.0年
修繕後の最小維持期間	3.0年
最小オーバーレイ	0.5
最大オーバーレイ	3.0
初期交通量 18kip交通量 累積	10000 2000 5000000

但し、層厚、オーバーレイ厚は、inch

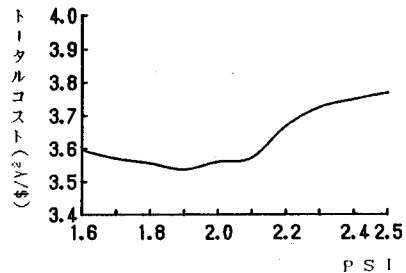


図-3 PSI とトータルコストの関係

る。

著者らは、この問題点を解決するために DP を用いて維持管理手法の方法論の確立を行った^{13), 14)}

4. 開発したシステムの概要

本研究で開発したプロトタイプの維持管理支援システム CAMPAS は、16 ビット上のパーソナルコンピュータ (以下コンピュータと記す) で、稼働する維持管理支援システムを目指したものである^{15), 16)}。

本研究で開発したシステムは、NEC PC-9801 V シリーズで稼働するシステムである。なお、OS は MS-DOS、使用言語は N 88-BASIC を使用している。本システムのハードウェア構成を図-4 に示す。

本システムのフローを図-5 に示す。本システムは、現在の舗装状態を定量的に把握する舗装状態診断部、維持修繕計画において、道路管理者が設定を行う維持修繕計画部からなっている。コンピュータによる入力、コンピュータに不慣れたエンドユーザーが操作することが想定される。そのため、ユーザーフレンドリーなマンマシン・インターフェイスを設計しなければならない。本

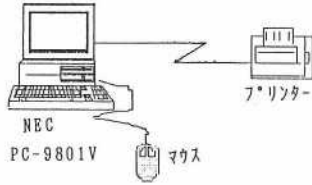


図-4 本システムのハードウェア構成

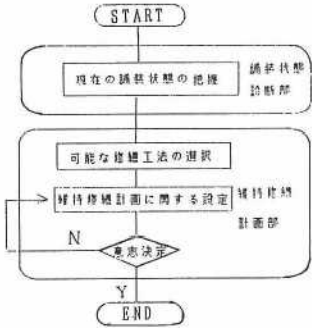


図-5 本システムのフロー

システムは、キーボードレスによるマウス入力によって操作を行えるように設計を行った。これにより、キーボード入力による負担の軽減や、ヒューマンエラーの防止が可能となる。

ここでの、システムのデータは、以下に示す項目を入力、および変更することが可能である。現在、本システムは第34回建設省技術研究会報告書をもとにデータ入力されている^{2), 15), 16)}

- ① 新設時の最大供用年数
- ② 切削表面処理後の最大供用年数
- ③ オーバーレイ後の最大供用年数
- ④ 切削オーバーレイ後の最大供用年数
- ⑤ 可能な修繕工法
- ⑥ オーバーレイ厚
- ⑦ 切削オーバーレイ厚
- ⑧ 修繕後の維持管理費用

(1) 舗装状態診断部

舗装状態診断部の入力画面を図-6に示す。舗装状態診断部において、考慮する項目は、

- ① 道路管理者：道路管理を行っている責任者
- ② 対象地域：対象とする舗装の地域
- ③ 交通区分：計画期間内の日平均大型車交通量
- ④ 大型車混入率(%)：日平均全交通量の大型車の割合
- ⑤ 規定速度：対象とする舗装の規定速度(km/h)
- ⑥ 舗装の経歴：対象とする舗装の経歴

の6項目である。なお、道路管理者・大型車混入率(%)・



図-6 舗装状態診断部の入力画面



図-7 維持管理計画部の入力画面

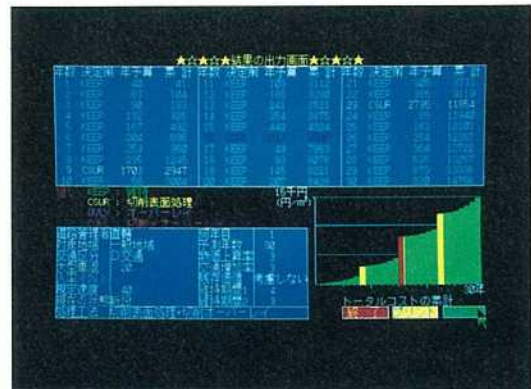


図-8 出力画面

規定速度は、本システムでは現在のところ考慮していない。

(2) 維持管理計画部

維持管理計画部の入力画面を図-7に示す。維持管理計画部において、考慮する項目は、

- ① 予測年数：解析対象期間
- ② 処理工法：可能な修繕工法

- ③ 物価年上昇率 (%)：物価の年平均上昇率
- ④ 交通量年増加率 (%)：交通量の年平均増加率
- ⑤ 維持期間：新設・修繕後の最小維持期間
- ⑥ 残存価値：計画期間後の構造物としての残存価値の6項目である。なお、交通量年増加率 (%) は、本システムでは現在のところ考慮していない。

本システムの出力画面の一例を図-8に示す。出力画面には、図中左下の諸条件での解析計画年内における各年の決定策・年予算・累計額をそれぞれ示している。そして、決定策が修繕の場合には、最適な修繕工法を与えてくれる。図-11の場合は、9年目と23年目に切削表面処理を行い、16年目に切削オーバーレイを行う結果を示している。出力画面は、終了・プリンター出力・維持管理計画部の入力画面に戻ることが可能である。また、計算時間に関しては、可能な修繕工法を2工法、解析対象期間を30年間とした場合、約15s程度である。

5. 解析と考察^{3),17),18)}

(1) 解析の設定条件

以下のような設定条件に基づいて従来の手法と本手法との解析と考察を行った。

- ① 延長距離：500 m
- ② 幅員：15 m
- ③ 車線数：4
- ④ 解析対象期間：30年
- ⑤ 対象地域：雪寒地域
- ⑥ 利率率 (ディスカウント率)：6 %
- ⑦ 日平均交通量：5 000 (台/日・方向・1車線)
- ⑧ 大型車混入率：15 %
- ⑨ MCI の管理水準：4.0
- ⑩ 走行速度：60 km/h
- ⑪ 解析で考慮する費用：a. 日常の維持管理費用
b. 道路利用者損失費用
c. 修繕費用
d. 遅延費用
e. 残存価値

ここで、維持の際に要する費用は a., b., 修繕の際に要する c., d. である。また、e. の残存価値は、解析対象期間の最終年での経済的な構造物としての価値である。

(2) 供用性予測モデル

供用性の予測式として、雪寒地域における新設、オーバーレイ、表面処理の各経年数と MCI の関係を、式(1)~(3)と設定した^{3),18)}。

新設の場合

$$MCI=10.1-0.41 a-0.18 \times 10^{-3} b-0.10 \times 10^{-1} c$$
(1)

オーバーレイの場合

$$MCI=9.7-0.42 a-0.27 \times 10^{-3} b-0.45 \times 10^{-1} c$$
(2)

表面処理の場合

$$MCI=10.2-0.71 a-0.44 \times 10^{-3} b-0.28 \times 10^{-1} c$$
(3)

ここで、 a：経年数 (年)

b：1車線当たりの交通量 (台/日・方向・1車線)

c：大型車混入率 (%)

また、各交通区分における構造側からみた耐用年数(最大供用年数)は、式(1)~(3)を用いて MCI の値が 4.0 以下になった経年数を構造側からみた耐用年数とした。おのおのの最大供用年数は、以下のとおりである。

- 新設 14年
- オーバーレイ 10年
- 表面処理 6年

(3) 日常の維持管理費用

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維持費用が掛かると仮定した^{3),18)}。維持費用の一覧を表-2に示す。

(4) 道路利用者損失費用

道路利用者損失費用は、MCI の値が 7.5 以下の場合に損失があるとした。また、日常の維持管理費用と同様に MCI に対応して、小型車と大型車と区分し、式(4)、(5)のように MCI と道路利用者損失費用の関係式を考えた^{3),18)}。

小型車 60 km/h の場合

$$U.C.=(12.125 M^2-189.999 M+743.190) \times 4.173$$
(4)

大型車 60 km/h の場合

$$U.C.=(37.677 M^2-560.504 M+2085.490) \times 0.73$$
(5)

ただし、 U.C.：道路利用者費用 (円/100 km)

M：MCI (維持管理指数)

この、式(4)、(5)と経年数における MCI 式であ

表-2 日常の維持管理費用^{3),18)}

MCI	維持費 (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

表-3 解析のデータ

経年数	新設			オーバーレイ			表面処理		
	MCI	維持費用	利用者費用	MCI	維持費用	利用者費用	MCI	維持費用	利用者費用
0~1	9.1	27	0	7.7	62	0	7.6	62	0
1~2	8.6	44	0	7.3	62	14	6.9	79	50
2~3	8.2	44	0	6.8	79	64	6.2	79	175
3~4	7.8	62	0	6.4	79	132	5.5	96	375
4~5	7.4	62	8	6.0	79	224	4.7	113	698
5~6	7.0	62	39	5.6	96	342	4.0	113	1061
6~7	6.6	79	94	5.2	96	485			
7~8	6.2	79	175	4.7	113	698			
8~9	5.8	96	280	4.3	113	896			
9~10	5.4	96	410	3.9	130	1120			
10~11	5.0	96	565						
11~12	4.5	113	794						
12~13	4.1	113	1005						
13~14	3.7	130	1241						

単位 (円/㎡)

る式(1)~(3)を用いて各経年数ごとの道路利用者損失費用を表-3に示す。

(5) 修繕費用

修繕費用は、単位面積当たり一定の費用が掛かると仮定し、以下のように設定した^{3),18)}。

オーバーレイ 4749 (円/㎡)
表面処理 1976 (円/㎡)

(6) 遅延費用

修繕工事実施時の渋滞や迂回による遅延費用は、工事日数により定まる^{3),18)}。

a) 工事日数

工事日数は、対象面積と工法ごとの1日当たりの作業面積によって決まると考え、1日当たりの作業面積を、表面処理、オーバーレイとも1390㎡/日と設定した。対象面積と工事日数は式(6)、(7)から求める。

$$\begin{aligned} \text{対象面積} &= \text{延長距離} \times \text{幅員} \\ &= 500 \times 15 \\ &= 7500 \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{工事日数} &= \text{対象面積} / \text{1日の工事面積} \\ &= 7500 / 1390 \\ &= 5.4 \text{ (日)} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

b) 遅延費用

遅延費用は、土木研究所交通安全研究室の「路上作業中の交通処理に関する分析」から、工事による走行区間時間の遅延は、4車線で1分とし、車種別時間便益単価を小型車で31円/分、大型車で46円/分と設定した^{3),18)}。また、車両が受ける影響は、「路上作業中の交通処理に関する分析」から4車線で50%と設定した。ここで、遅延費用は式(8)から求まる^{3),18)}。

$$\begin{aligned} \text{時間損失} &= \text{走行タイムの遅れ} \{31 \times (1 - \text{大型車混入率}) \\ &\quad + 46 \times \text{大型車混入率}\} \times \text{日平均交通量} \times \text{影} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{響を受ける割合} \times \text{作業日数} \dots\dots\dots (8) \\ &= 1 \times \{31 \times (1 - 0.15) + 46 \times 0.15\} \times 20000 \\ &\quad \times 0.50 \times 5.4 \\ &= 1795500 \end{aligned}$$

これを、(単位：円/㎡)に換算すると240円/㎡となる。

(7) 残存価値

計画解析期間内の最後となった修繕によって、舗装の寿命が解析対象期間を越えて継続すると仮定する。このとき、舗装の残存価値は最後の修繕に要した費用に対して、舗装の寿命が直接関係があるとして式(9)から求める^{4),5)}。

$$S.V. = \left(1 - \frac{Y}{X}\right) C \dots\dots\dots (9)$$

ここで、S.V.：舗装の残存価値、X：最後の修繕によって生じた供用年数、Y：最後の修繕から解析対象期間の年数、C：最後の修繕費用

(8) 経済評価手法

経済評価手法として、最も一般的な現在価値法を用いた。現在価値法は、各種代替案の将来発生する費用をすべて基準となる価値に直して評価を行う手法である。現在価値の換算式は式(10)から求める^{4),5)}。

$$P.W. = \frac{F}{(1+i)^N} \dots\dots\dots (10)$$

ここで、P.W.：現在価値、F：第N年目に発生する費用、N：年数、i：ディスカウント率

(9) 解析結果と考察

従来の手法の代替案として、
代替案-1 新設~表面処理~オーバーレイ
代替案-2 新設~オーバーレイ~表面処理
の2つの代替案を考え、本手法と比較した解析結果を図-9、図-10に示す。図-9は供用年数におけるトータ

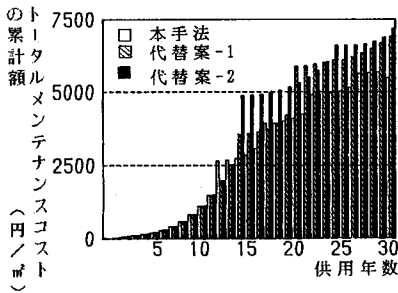


図-9 トータルメンテナンスコストと供用年数

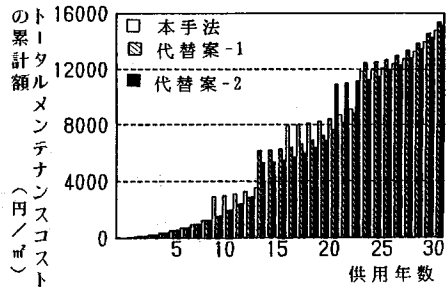


図-11 トータルメンテナンスコストと供用年数

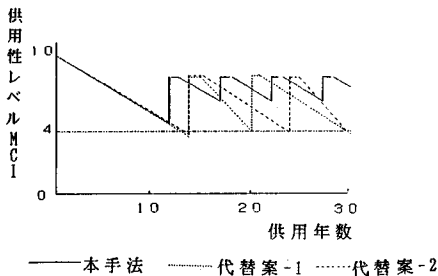


図-10 供用性レベルの推移変化

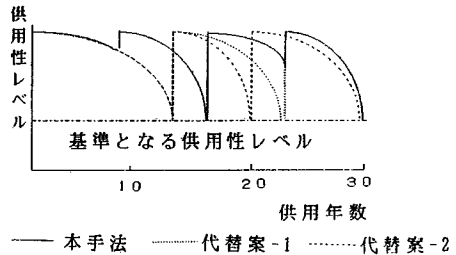


図-12 供用性レベルの推移変化

ルメンテナンスコストの累計額 (円/㎡) を示し、図-10 は供用性レベルの推移変化を示している。

図-9 からトータルメンテナンスコストの累計額が、従来の手法の代替案-1 は 6 885 円、代替案-2 は 7 160 円であるのに対し DP を用いた本手法の場合は、5 429 円と低い値を示している。本手法の場合は、表面処理のみで修繕を行っている。また図-10 から、供用性レベルがある程度高いところで修繕工事を行った方がよい結果を与えている。これは、“一般に供用性レベルがある程度高いところで修繕を行う方がトータルメンテナンスコストは低い^{2),3)}” ことを定量的に答える結果である。

また、提案するシステムの諸条件下で計算された結果である図-8 と従来の手法の代替案として、

代替案 1 新設 1 年目～切削オーバーレイ～切削表面処理

代替案 2 新設 1 年目～切削表面処理～切削オーバーレイ

を考え、本システムの結果と従来の手法の比較を行った。図-11 は、供用年数におけるトータルメンテナンスコストの累計額 (円/㎡) を示し、図-12 は、供用性レベルの推移変化を示している。前の解析と同じように図-11 からトータルメンテナンスコストは、従来の手法より低い値を示し、また図-12 から切削表面処理の場合は、供用性レベルがある程度高いところで修繕を行っている。

このように、DP を用いれば構造的耐用年数、経済的

耐用年数の両方を考慮して、最適な意志決定を行っている。

舗装施設の道路管理者はどの舗装 (What) のどの箇所 (Where) をどの時点 (When) でどのような工法 (How) でなぜ (Why) 修繕するかを合理的に決定することを要請されている^{1),3)}。維持修繕費用と供用性レベルの推移変化を定量的に把握することにより、DP を用いれば最適な維持修繕計画の意志決定は可能である。DP を用いると、従来の手法より、トータルメンテナンスコストは同じか低い値を示す。また、従来の手法のように多くの代替案を作成する必要はなく、可能な修繕工法を選択さえすれば、各年の最適な意志決定を定量的に与えられる。既設舗装に関しても同様である¹⁹⁾⁻²¹⁾。また、維持修繕の意志決定がもし変更になっても、DP は容易にその都度意志決定を行える利点を有している。

6. おわりに

アスファルト舗装を対象とした維持修繕計画に関する意志決定を、最適化手法の 1 つである DP を用いてシステムの開発を行った。そして、解析と考察を行い以下のことを確認した。

- (1) DP を用いた場合は、従来の手法と比べ、トータルメンテナンスコストが同じか、低い値を示す。
- (2) DP を用いた場合は、可能な修繕工法を選択さえすれば、定量的に修繕工事の実施時と最適な修繕工法を与える。
- (3) 既設舗装に関しても同様である。

以上のことから、従来の手法よりも効率的で信頼度の高いシステムを開発することは可能であることが示唆できる。現状では、基本的な問題でモデル化を行っている。したがって、供用性に応じた各費用の定量的な把握を行うことは、今後の大きな課題である。これらの課題を解決することにより、設計段階から将来の維持管理までを含めた、合理的・効率的な維持修繕計画が可能な維持管理支援システムへ発展させることも可能であると思われる。また、プロジェクトレベルからネットワークレベルへの維持管理システムへの移行が期待される。

謝 辞: 本論文作成にあたり、東京電機大学理工学部建設工学科の卒業研究生 笹岡義仁君の協力を得たことを記し、ここに感謝の意を表します。

付録 動的計画法 (DP)

DP とは相互に関連した、一連の意志決定についての最適化手法の 1 つである。1951 年に Richard Bellman が「多段階の意志決定過程においての最適政策は、システムの最初の状態と最初の決定がどのような決定であれ、残りの決定は最初の決定によって生じた状態に依存して、その後もまた最適政策をしていかなければならない」と提唱した。DP は宇宙工学関係の誘導制御問題を主として取り扱ってきたが、その後さまざまな分野に応用され大変有効なことが確認されている。DP の特徴として以下のことが考えられる。

(1) DP の特徴

- ① DP の問題は、それぞれ最適政策を伴う個々の段階に分割することが可能である。ここで、各段階における最適政策とは現段階の状態次の状態に対応する 1 つの状態に変えることである。
- ② 各段階はそれに対応するいくつかの状態をもっている。
- ③ 現在の状態が与えられるならば、残りの段階に対応する最適政策は前の段階においてとられた最適政策とは独立である。
- ④ 解を求める流れは、最後の段階における各状態に対応する最適政策を求めることによって始まる。

これらの特徴を維持管理システムに用いた場合、設定値、評価項目、および評価基準の変更になっても DP は容易に維持管理を行える利点を有している。また、DP は設定条件の従属性問題に関しても、おのおのの意志決定者が目的に合った条件を設定して維持管理を行うことが可能である。このように DP は柔軟性をもって維持管理を行える手法である。

(2) DP の手法

自動車、機械に代表される取り替え問題を例にとって

表一A・1 ある自動車の利益・取り替え費用・購入費

Y	0	1	2	3	4	5	6	7
P(K)	10	8	5	2	1	1	1	1
C(K)	3	4	5	6	7	7	7	7

ただし、Y: 経過年数, P(K): 利益, C(K): 取り替え費用

DP の説明を行っていくことにする。表一1 は、ある自動車の利益 (P), 取り替え費用 (C), 購入費 (H) の経年数ごとの値を示したものである。

ここで、目的として 7 年間にわたって利益が最大になるように車を取り替えていきたい。この決定策を DP を用いて求める。

[STEP 1] F1(0): 残り 1 年で、0 年目の車を所有している場合

$$F1(0) = \text{find max } \{ K : 10 + 0 \\ R : 10 - 3 \} = 10(K)$$

ただし、K: 維持, R: 取り替え

F1(1): 残り 1 年で、1 年目の車を所有している場合

$$F1(1) = \text{find max } \{ K : 8 + 0 \\ R : 8 - 4 \} = 8(K)$$

F1(2): 残り 1 年で、2 年目の車を所有している場合

$$F1(2) = \text{find max } \{ K : 5 + 0 \\ R : 8 - 5 = 5(K)$$

以下同様にして求める。

[STEP 2] F2(0): 残り 2 年で、0 年目の車を所有している場合

$$F2(0) = \text{find max } \{ K : 10 + F1(0+1) \\ R : 10 - 3 + F1(0) \} = 18(K)$$

F2(1): 残り 2 年で、1 年目の車を所有している場合

$$F2(1) = \text{find max } \{ K : 8 + F1(1+1) \\ R : 8 - 4 + F1(0) \} = 14(K)$$

以下同様にして求めると表一A・2 のようになる。

表一A・3 は、最初の年 (T=1) に経過年数が 0 年目の車を所有していた場合の決定策を CASE 1 として、最初の年に経過年数が 3 年目の車を所有していた場合の決定策を CASE 2 として、それぞれの各年ごとの最適

表一A・2 表一A・1 の設定値においての結果

K	0	1	2	3	4	5	6	7
F1(K)	10K	8K	5K	2K	1K	1K	1K	1K
F2(K)	18K	14R	10R	6R	4R	4R	4R	4R
F3(K)	25R	22R	18R	14R	12R	12R	12R	12R
F4(K)	32K	29R	25R	21R	19R	19R	19R	19R
F5(K)	39K	36R	32R	26R	26R	26R	26R	26R
F6(K)	46K	43R	39R	35R	33R	33R	33R	33R
F7(K)	53K	50R	46R	42R	40R	40R	40R	40R

表一A・3 表一A・1の設定値における結果

T	1	2	3	4	5	6	7
CASE 1	K	R	K	R	R	K	K
CASE 2	R	K	R	K	R	K	K

但し、CASE 1:新車の自動車の場合

CASE 2:2年目の中古車の場合

な決定策を示している。すなわち、CASE 1では、2, 4, 5年目に車を取り替えれば最も利益があることを示している。

参 考 文 献

- 1) 土木情報システム委員会：建設支援のための土木情報システム，土木学会，1988年10月。
- 2) 建設省道路局国道第一課，建設省土木研究所：舗装の維持修繕の計画に関する調査研究，第34回建設省技術研究会報告，建設省，1980。
- 3) 建設省道路局国道第一課，建設省土木研究所：3. 舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究，建設省，1986。
- 4) Interstate Highway Maintenance Requirements and Unit Maintenance Expenditure Index：NCHRPR 42, 1967。
- 5) Life-Cycle Cost Analysis of Pavement：NCHRPR 122, 1985。
- 6) Pavement Management Practices：NCHRPR 135, 1987。
- 7) Flexible Pavement Design and Management (System formulation)：NCHRPR 139, 1973。
- 8) アスファルト舗装技術の変遷（諸外国の技術との比較検討）：アスファルト技術，Vol. 31, No. 155, 1988。
- 9) 田中揮栄：道路舗装計画に対する経済評価の方法，アスファルト技術，Vol. 29, No. 151, 1985。

- 10) 市川晃一：供用4000kmを迎えた高速道路，土木学会論文集，No. 391/VI-8, pp. 34~40, 1988。
- 11) 竹田敏憲：舗装管理システムについて（SAMP-5 (Systems Analysis Method for Pavement)，アスファルト技術，Vol. 23, No. 126, pp. 26~38, 1981。
- 12) 阿部頼政：舗装管理システムに関する研究の動向，土木学会論文集，Vol. 372/V-5, 1986。
- 13) 須賀雅夫：システム工学，コロナ社，1981。
- 14) 宮川公男：オペレーションズ リサーチ，春秋社。
- 15) 水野直樹・福井康裕・松井邦人・井上武美：アスファルト舗装を対象としたライフサイクルコストの一考察，土木学会第43回年次学術講演会，V-38, pp. 124~125, 1988。
- 16) 水野直樹・福井康裕・松井邦人・井上武美：アスファルト舗装を対象とした維持管理システムの開発研究，第13回電算機利用に関するシンポジウム講演集（土木学会土木情報システム委員会），pp. 9~13, 1988。
- 17) 第40回建設省技術研究会報告（昭和61年度）：建設省，1986。
- 18) 第41回建設省技術研究会報告（昭和62年度）：建設省，1987。
- 19) 水野直樹・福井康裕・松井邦人・井上武美：アスファルト舗装を対象とした維持管理システムの開発，第16回土木学会関東支部技術研究発表会，V-12, pp. 314~315, 1989。
- 20) 阿部頼政：舗装管理システムの今後の方向，土木学会第42回年次講演会，PSV-1, pp. 2~3, 1987。
- 21) 菊川 滋・猪股和義：舗装のライフサイクルコストについて，土木学会第41回年次学術講演会，V-28, pp. 55~56, 1986。
- 22) 岩松幸雄・田辺秀介・早川祐史：維持管理システムにおける土木構造物の劣化を表すモデルの提案，第43回土木学会年次学術講演会，IV-229, pp. 478~479, 1988。
(1989.6.5・受付)