

V-157

舗装修繕計画の最適アルゴリズムに関する研究

東北大学大学院 情報科学研究科 学 生 員 三浦伸之*
 東北大学大学院 情報科学研究科 正 員 武山 泰**
 東北大学大学院 情報科学研究科 フェロー 稲村 肇***

1. はじめに

舗装維持管理の最適化について、プロジェクト（修繕の最小単位）レベルでは動的計画法などを用いることにより最適化が可能であることが示されている¹⁾。しかし、ネットワークレベルの最適化については、有効な手法が示されていない。

本研究は、動的計画法を用いたネットワークレベルの最適化手法の開発であるが、計算量を少なくし、規模の大きなネットワークに対しても最適解を求めることができるアルゴリズムの開発を目的とする。

2. システムの構成

2-1. 舗装の破損遷移モデル

舗装の状態はランク1～6の6段階に分けて評価する。ランクが大きいほど破損が進行していることを表す。あるランクから他のランクへの遷移は、それ以前の舗装の履歴に依存するものと考えられるが、ここでは、直前のランクのみに関係するものとして、破損の遷移を離散パラメータのマルコフ連鎖によりモデル化する。ランク m の舗装が次年度にランク n に遷移する確率を p_{nm} ($m, n=1, 2, \dots, 6$) で表す。

2-2. ライフサイクルコスト

ここでは、道路管理者費用として維持管理費、修繕費、道路利用者費用として車両走行費を考え、両者の和をライフサイクルコストとする。

建設省土木工事積算基準を参考に舗装の修繕費用を積算すると、修繕面積 $x(\text{m}^2)$ と修繕費用 $R(x)$ (円) の関係は、次式により回帰される。

$$R(x) = 2076.9x + 9732.2 \times 10^2 \quad (r^2 = 0.9995)$$

また、舗装のランク別維持管理費、車両走行費は表-1の値とする。車両走行費は値が大きくなるので、ランク1の費用を0.0に基準化した。

表-1 維持管理費、車両走行費

ランク	維持管理費(円/㎡・年)	車両走行費(円/km・台)
1	4.4	0.0
2	6.2	0.1
3	7.9	0.4
4	9.6	1.1
5	11.3	2.1
6	13.0	3.1

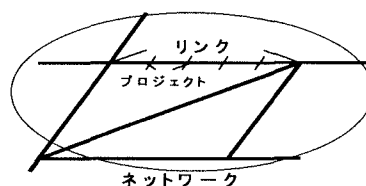


図-1 ネットワークの構成

2-3. ネットワークの構成

ネットワーク（図-1）は、複数のリンクで構成され、リンクは複数のプロジェクトからなる。リンク毎に、道路幅員、日交通量が与えられ、プロジェクト毎に舗装状態のランクが与えられる。

修繕区間は、1プロジェクトから複数プロジェクトまで選択することができる。複数プロジェクトの場合、それぞれが隣接していれば、一括して修繕することができる。

3. 最適化

3-1. プロジェクトレベルの動的計画法

$f_N(s)$ をランク s の舗装を N 年間最適に修繕したときの期待費用、 s を舗装状態のランク、 $C(s)$ をランク s の舗装の維持管理費と車両走行費の和、 R を修繕費用、 p_{sk} をランク s の舗装がランク k に遷移する確率、 $SV(s)$ をランク s の舗装の残存価値とした時、破損遷移の費用関数は動的計画法を用いて次の漸化式で表される。

$$f_N(s) = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{修繕する} : C(s) + R + f_{N-1}(1) \\ \text{修繕しない} : C(s) + \sum_{k=1}^6 p_{sk} f_{N-1}(k) \end{array} \right\} \cdots (1)$$

ただし、 $N=1$ のとき、

Keyword 舗装管理システム、ネットワークレベル、動的計画法 連絡先 * ** *** 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06

$$f_1(s) = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{修繕する} : C(s) + R + SV(1) \\ \text{修繕しない} : C(s) + \sum_{k=1}^6 p_{sk} SV(k) \end{array} \right\}$$

ランクごとの舗装の残存価値 $SV(s)$ を定めることは困難だが、解析期間 N を長くとることにより、残存価値の影響は無視できる。また、解析期間によらず舗装のランク s のみで修繕計画が決定される。

破損遷移が確率を含むモデルの場合は、状態が偶然現象として定まるものであるから、修繕計画は事前に定まらず、出現した状態に応じて決定される。

3-2. プロジェクトレベルの最適解を用いたネットワークレベルの最適アルゴリズム

ここに、プロジェクトが L 個あり、それらの舗装のランクを $s=(s_1, s_2, \dots, s_L)$ と表す。また、連続する $L-1$ 個のプロジェクト $s_R=(s_1, s_2, \dots, s_{L-1})$ はすでに修繕が決定しているものとする。

図-2 ケース a のように、すでに修繕が決定している部分 s_R の面積を a 、隣接している部分 s_L の面積を b とする。修繕費用は $R(x)=Ax+B$ とする。 s_L について考えると、単独で修繕すれば修繕費用は $R(b)$ であるが、 s_R と s_L をまとめて修繕する場合の修繕費用は、 s_R はすでに修繕が決定しているので、残りの費用 $R(a+b)-R(a)=Ab$ が s_L の修繕費となり、 s_L を単独で修繕した場合の修繕費用 $R(b)=Ab+B$ よりも B だけ安くなる。図-2 ケース b のように、 s_L が修繕すべき区間に囲まれている場合には、 $R(a+b+c)-R(a)-R(c)=Ab-B$ となり、 $R(b)$ よりも $2B$ だけ安くなる。

ケース a、ケース b の $f_N(s_L)$ はそれぞれ式(2)、式(3)のようになる。

$$f_N(s_L) = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{修繕する} : C(s_L) + Ab + f_{N-1}(1) \\ \text{修繕しない} : C(s_L) + \sum_{k=1}^6 p_{s_L k} f_{N-1}(k) \end{array} \right\} \dots (2)$$

$$f_N(s_L) = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{修繕する} : C(s_L) + Ab - B + f_{N-1}(1) \\ \text{修繕しない} : C(s_L) + \sum_{k=1}^6 p_{s_L k} f_{N-1}(k) \end{array} \right\} \dots (3)$$

図-2 のアルゴリズムのように、徐々に修繕区間を調べていく方法で修繕計画は決定できる。はじめに、ネットワークを構成する全てのプロジェクトに



図-2 最適アルゴリズム

表-2 修繕計画による費用の差 (単位: 万円/年)

	A	B	A-B
修繕費	4333	4238	95
維持管理費	644	631	13
車両走行費	1450	1347	103
ライフサイクルコスト	6427	6216	211

対してプロジェクトレベルの最適解、式(1)を用いて修繕すべきかどうかを決定する。続いて、修繕が決定している部分に隣接しているプロジェクトは、まとめて修繕できる可能性があるので式(2)、式(3)で修繕の判断をすればよい。

4. 事例と結論

実際、式(1)のみで修繕箇所を決定していく修繕計画を A、図-2 のアルゴリズムで修繕箇所を決定していく修繕計画を B とし、両者を比較する。

プロジェクトの単位長さを 100m とし、幅員 16m 日交通量 8000 台の道路 2km と、幅員 20m 日交通量 27000 台の道路 3km で構成されるネットワークにおいて修繕計画を実行していくと、費用は表-2 のようになる。ここでの費用は、長期に渡り舗装を管理した場合の 1 年間の平均費用として計算している。つまり、1 年あたり 211 万円、ライフサイクルコストの 3.2% の費用を削減することができる。

規模の経済が関わるネットワークにおいて、以上のようなアルゴリズムを用いることにより、少ない計算量で修繕計画を立てることが可能になった。

〔参考文献〕 1) 武山 泰: 舗装路面評価のための情報処理とその応用に関する研究, 東北大学学位論文, 1992, 7