

○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⁾。また、ネットワークレベルにおける最適化については、その計算量が問題となっていたが、計算量を減少させるアルゴリズムを著者らは開発した²⁾。

本研究では、より現実的な条件に近付けるために2つのことについて考える。1つは、修繕工法が複数ある場合、もう1つは遅延費用を考慮する場合である。

2. システムの構成

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、直前のランクのみに関係するものと仮定し、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_{mn} ($m, n=1, 2, \dots, 6$)で表す。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。修繕した舗装は、次年度にランク1になる。

また本稿では、道路幅員・日交通量が与えられた1リンクでの最適化を考える。リンク間には相互関係がないものとする。ネットワークレベルの最適化は、リンク毎の最適化を組み合わせたものと一致する。

費用については、維持管理費・修繕費・車両走行費の和を解析期間 N 年間に渡り合計したものをライフサイクルコストとして考える。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の費用としてその差額をとることにより、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/m ² ・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

3. 修繕工法が複数ある場合

3-1. 修繕工法と修繕費

修繕工法は薄層オーバーレイとオーバーレイがあるものとする。オーバーレイはランク6まで修繕可能だが、薄層オーバーレイはランク4までしか修繕できないものとする。修繕面積 x (m²)は修繕費 $R(x)$ (円)の1次関数で表されるものとし、オーバーレイの修繕費は薄層オーバーレイの修繕費の2.5倍と仮定した。

$$\text{薄層オーバーレイ} \quad R(x)=Ax+B$$

$$\text{オーバーレイ} \quad R(x)=2.5Ax+2.5B$$

薄層オーバーレイについて建設省土木工事積算基準を参考に積算し、修繕面積 x (m²)と修繕費用 $R(x)$ (円)の関係を回帰させた次式によるものとした。

$$A=2076.9, B=9732.2 \times 10^2 (\text{決定係数}=0.9995)$$

3-2. アルゴリズム

すでに修繕が決定している区間に隣接している区間は、まとめて修繕することができるので、その区間は修繕費が安くなると考えることができる。修繕費が安くなれば、単独で修繕するときよりも低いランクでも修繕したほうがよい場合が見れる。

プロジェクトの単位長さを100mとし、幅員20m・日交通量27000台のリンクにおいて、修繕費の関数に

	オーバーレイ	修繕費	薄層オーバーレイ	修繕費
ランク1				
2	修繕しない		修繕しない	
3	両側隣接	$2.5Ax-2.5B$	両側隣接	$Ax-B$
4	片側隣接	$2.5Ax$	片側隣接	Ax
5			単独	$Ax+B$
ランク6	単独	$2.5Ax+2.5B$		

図-1 修繕条件と修繕費

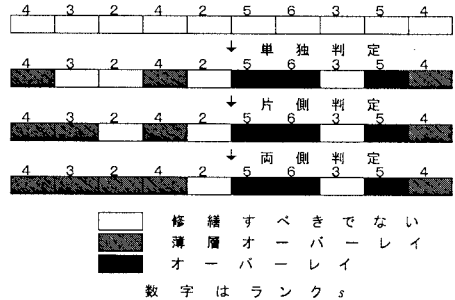


図-2 最適化アルゴリズム

3-1で求めた A, B の値を用いると、ランク毎の修繕条件とその時の修繕費は図-1のようになる。この場合、ランク1-4での修繕費は薄層オーバーレイのほうが安くなるので、修繕工法として薄層オーバーレイが選択されることになる。最適化アルゴリズムは図-2のようになる。

3-3. アルゴリズムの正当性

図-3のように、リンクは全部で L 個のプロジェクト(単位区間)で構成されている。1つあたりの面積を e とする。リンク全体の舗装のランクをベクトル $s=(s_1, s_2, \dots, s_L)$ で表す。 $f_N(s)$ 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、 $C(s)$ をランク s の舗装の維持管理費と車両走行費の和、 $p_{ss'}$ をランク s の舗装がランク s' に遷移する確率とする。

ネットワークレベルの最適解は定式化は可能だが計算量が莫大になり解けない。そこで、位置1に隣接している連続する $L-1$ 個の部分(位置2,3,..., $L-1, L$)のランクは $s_r=(s_2, s_3, \dots, s_{L-1}, s_L)$ で表し、ここはすでに修繕が決定しているものとする、次式(1)と(2)が成立する。

$$f_N(s_r) = C(s_r) + R(e(L-1)) + f_{N-1}(1, 1, \dots, 1) \dots (1)$$

$$f_N(s) = \min \begin{cases} \text{修繕する: } C(s) + R(eL) + f_{N-1}(1, 1, \dots, 1) \\ \text{修繕しない: } C(s) + R(e(L-1)) + \sum_{s'_1=1}^6 p_{s_1 s'_1} \cdot f_{N-1}(s'_1, 1, \dots, 1) \end{cases} \dots (2)$$

式(2)と式(1)の差をとると、

$$f_N(s) - f_N(s_r) = \min \begin{cases} \text{修繕する: } C(s_1) + R(e) - D_R + f_{N-1}(1) - D_{f_{N-1}}(1|1, \dots, 1) \\ \text{修繕しない: } C(s_1) + \sum_{s'_1=1}^6 p_{s_1 s'_1} (f_{N-1}(s'_1) - D_{f_{N-1}}(s'_1|1, \dots, 1)) \end{cases} \dots (3)$$

$$C(s) = C(s_r) + C(s_1)$$

$$D_R = R(e) + R(e(L-1)) - R(eL)$$

$$D_{f_{N-1}}(1|1, 1, \dots, 1) = f_{N-1}(1) + f_{N-1}(1, 1, \dots, 1) - f_{N-1}(1, 1, 1, \dots, 1)$$

$$D_{f_{N-1}}(s_1'|1, 1, \dots, 1) = f_{N-1}(s_1') + f_{N-1}(1, 1, \dots, 1) - f_{N-1}(s_1', 1, 1, \dots, 1)$$

D_R は修繕が決定する区間に隣接している部分をまとめたときに生じる値引き分であり、計算可能である。

$D_{f_{N-1}}=0$ と仮定すれば、式(3)はプロジェクトレベルの

項のみになり、容易に解がもとめられる。修繕が決

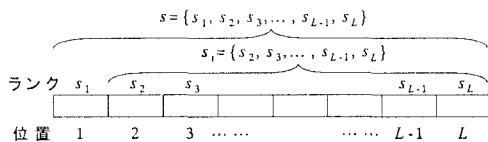


図-3 リンクの構成

定している区間から、隣接している部分を次々と判断していくアルゴリズムを用いれば、ネットワークレベルの解が得られることになる。

4. 遅延費用を考慮する場合

4-1. 遅延費用を考慮する場合の問題点

修繕工事が行われる場合、車両の通過時間は修繕工事が行われない場合に比べて大きくなる。この交通遅延時間に時間価値を乗じたものが遅延費用である。遅延費用は修繕面積が大きいほど高くなる。しかし、同じ修繕面積でも、修繕区域が1つにまとまっている場合のほうが、遅延費用は安くなると考えられる。つまり遅延費用にも規模の経済が働くことになる。

しかし、規模の経済の影響が大きいとき、

$D_{f_{N-1}}(1|1, 1, \dots, 1)$ と $D_{f_{N-1}}(s_1'|1, 1, \dots, 1)$ の差が大きくなる場

合がある。遅延費用を考慮するときはこれを見逃すできない。このような場合には、舗装が完全に悪化したところでも、隣接している舗装が悪化するまで修繕はしないほうがよいという判断になることがある。

4-2. 最適アルゴリズムの検討

ネットワークレベルの最適解は、 $L=5\sim 8$ 程度なら計算機で解くことができる。その結果から式(4)のような性質があることが明らかになった。

$$D_{f_{N-1}}(s_1|s_2', s_3', \dots, s_L') \sim D_{f_{N-1}}(s_1|s_2') \dots (4)$$

式(4)を用いれば、 $D_{f_{N-1}}(s_1|s_2')$ を先に求めておけば、

式(3)が計算可能になる。このことは、「ある場所の修繕計画は、次年度の隣接部分以外の舗装状態の影響をほとんど受けない」ということを表している。

5. 結論

修繕工法が複数ある場合も、以上のようなアルゴリズムで最適修繕計画が立てられることが明らかになった。また、そのアルゴリズムの正当性を数式で示した。遅延費用を考慮する場合の近似方法も示したが、この場合のアルゴリズムについては検討中である。

【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

2) 三浦 伸之・武山 泰・稲村 肇：舗装修繕計画の最適アルゴリズムに関する研究，土木学会第54回年次学術講演会第5部，pp.314-315，1999