V-409　修繕確率を考慮したネットワークレベルの舗装の最適修繕計画

東北大学　学生員　○　堀木　賢一
東北大学　正会員　武山　泰
東北大学　正会員　福田　正

1．はじめに

近年，舗装の維持管理を，合理的かつ経済的に行うための舗装管理システムの重要性が指摘されている。そこで本研究では，測定された舗装の破損データを基に，限られた予算を破損の進行および交通量の異なるいくつかのグループの舗装に対して効率良く配分するための基礎的な研究を行った。手法としては動的計画法（以下ＤＰと呼ぶ）を用いた。また，舗装の変動特性を考慮するために，舗装の状態を良好な1から劣悪な6までの6つのランクに分け，破損遷移にマルコフ連鎖モデルを適用して定式化を行っている。

2．修繕確率カーブ

舗装の状態で，良好なものは全く修繕せず，劣悪なものは100%修繕することが望ましい。ところが，実際には①予算の制約，②規模の経済（修繕はまとめて行った方が経済的），③劣悪な箇所をその都度修繕するときには路面性状を常に把握していなければならない，④実際の修繕は個々の技術者の判断に任されている，などの理由から劣悪なものでも100%修繕されているわけではなく，良好なものでも全く修繕されていないわけではない。今，そのランクの舗装に対して修繕を行う比率を修繕確率とすると，その確率は良好なものほど低く，劣悪なものほど高くなる。今，縦軸に修繕確率，横軸に予算の関係するパラメータをとって修繕確率カーブというものを定義すると，これによってある修繕量に対応した修繕確率というものを推測することができる。ここではこれを図1のような指数関数であると仮定した。

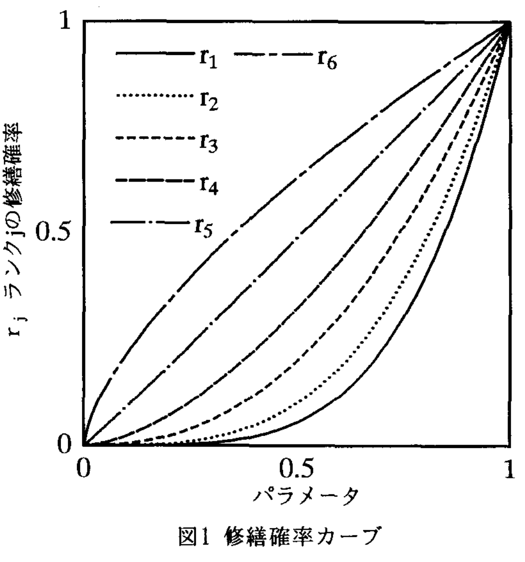

図1 修繕確率カーブ

3．マルコフ連鎖モデルによる定常状態確率

本研究では舗装の変動特性を考慮するためにマルコフ連鎖モデルを用いた。また，舗装の状態が平均的にどのような状態にあるかという定常状態確率X^*を求めた。これは修繕を考慮した遷移確率マトリックスP'（この場合は6つのランクに分けたので6行6列）と共に次のように表される。

$$X^* = X^* P' \qquad ただし X^* = [x_1^* \cdots x_6^*] \tag{1}$$

これは1自由度を持つので，次の拘束条件で解くと定常状態確率X^*を求めることができる。

$$x_1^* + x_2^* + \cdots + x_6^* = 1 \tag{2}$$

この定常状態確率と先ほどの修繕確率により修繕量を次の式により求めることができる。

$$修繕量（m^2） = 舗装面積（m^2） \times \Sigma x_j^* \times r_j \tag{3}$$

4．DPの理論と費用便益分析

今，総予算 z を n 個に分けて最大の効果をあげるような配分予算量 z_1，z_2，・・・z_n を求める問題を考える。あるグループ i に z_i だけ配分したときの修繕効果を $g_i(z_i)$ とすると，この問題は次のように定式化できる。

$$f_n(z) = \max\{g_1(z_1) + g_2(z_2) + \cdots + g_n(z_n)\} \tag{4}$$

ただし，$z_1 + z_2 + \cdots z_n = z$，$z_i \geqq 0$，$i = 1 \cdots n$

これを，最適性の原理を用いて書き換えると，

$$f_n(z) = \max\{g_n(z_n) + f_{n-1}(z - z_n)\} \tag{5}$$

となる。これが満たされるような z_n を探しだす。以下この作業を繰り返し，z_1・・・z_n を求める。これがDPによって求めた最適解である。ここでは，この関数 $g_i(z_i)$ を求めるために次のような費用と便益を仮定して計算を行った。費用としては，次のように修繕費用と日常の維持管理費用を考えた。

$$C = \Sigma(c_j \times s_j) + P \times M \tag{6}$$

ここで　C　：　道路管理者が負担する費用（円），c_j　：　ランク j の日常の管理費（円／m²）

s_j　：　定常状態におけるランク j の舗装面積（m²），P　：　修繕費（円／m²）

M　：　修繕量（m²）

また，便益としてはランク6から修繕によりランクが良くなることによる燃費の低減を考えた。

$$B = \Sigma(b_j \times N \times L_j) \tag{7}$$

ここで　B　：　利用者が受ける便益（円），　b_j　：　ランク j での燃費の低減（円／台・km）

N　：　車の台数（台／年）

L_j　：　定常状態におけるランクの路線長（km）＝路線長（km）×x_j^*

よって，先ほどの関数 $g_i(z_i)$ は次のように求められる。これは上に凸の関数となる。

$$g_i(z_i) = B - C \quad （ここでは z_i を修繕量とした） \tag{8}$$

5．解析例

以上のような仮定をもとにDPを用いて解析を試みると図2のような結果が得られる。これは，ある2つの地域（地域Ⅰ，Ⅱとする）のそれぞれB，C，D交通についての配分状況が総修繕量によってどれだけ変わるかを調べたものである。（なお，路線長はどれも100kmとした。）これによりある総修繕量におけるそのグループの最適な修繕量を求めることができる。

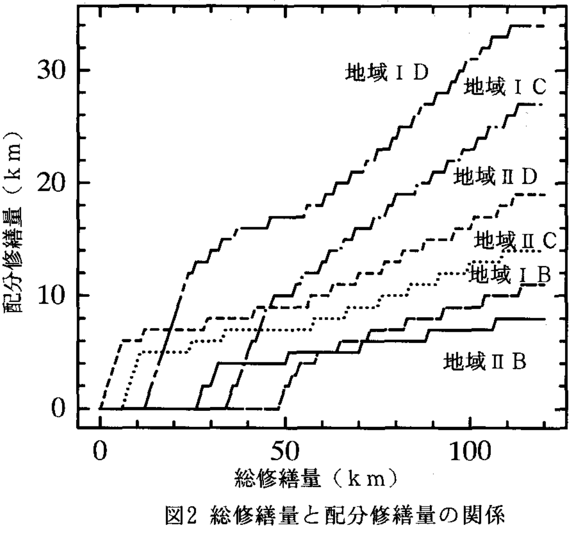

図2 総修繕量と配分修繕量の関係

6．おわりに

本研究では，ネットワークレベルの舗装管理をDPを用いて解析を試みたが，これは意思決定の様々な問題に対して適用できるということがわかった。また，今後の課題としては次のようなものが挙げられる。

（1）今回の研究では，修繕確率を適当な指数関数に仮定したが，これを定量的に算出すること。

（2）実際の道路ネットワークを考慮したモデルを構築すること。