

VI-277

空間的・時間的連続性を考慮した
道路舗装の維持管理計画の最適化モデルに関する研究新東京国際空港公団 正会員 吉田典史 福島工業高等専門学校 フェロー 岩松幸雄
茨城大学工学部 正会員 呉 智深 茨城大学工学部 正会員 原田隆郎

1. はじめに

道路の維持管理は、自然条件、社会条件、技術水準、予算レベル等の様々な制約のもとに、管理している路線の中から、どこを、いつ、どのように補修するかを合理的に決定して、供用期間中、最も経済的かつ効果的な手法で、道路の機能のあるレベル以上に保つことである。筆者らはこれまでの研究¹⁾²⁾において、このような維持管理計画の策定という複雑な問題を、路線や区間選定といった空間的視点と補修時期の決定といった時間的視点のそれぞれから個別にアプローチしてきた。その結果、個々においては最適補修サイクルや補修区間長などの指針は見えてきたものの、両者の相互作用については、まだ統合的に考慮しなければならない課題となっている。

そこで本研究では、空間・時間の各視点を統合した維持管理計画の相互最適化についての検討を行った。具体的には、維持管理計画を組み合わせ最適化問題として定式化し、モデルを構築すると共に、ニューラルネットワークを適用するための方法論を検討した。そして、提案モデルの数値シミュレーションを行うことにより、最適補修サイクルの検討や、最適な補修区間長と補修工法の検討を行った。

2. 道路舗装の維持管理計画に関する相互最適化モデルの構築

本モデルでは補修案の策定に関して、総補修費用と選択可能な補修工法、路面の管理水準の制約のもと、計画策定年間を通じて、どの箇所を、どの時期に、どの工法で補修を行えば維持管理期間中における対象路線の劣化度の和が最小になるかという組み合わせ最適化問題としてその決定を行うものとする。

本モデルでは最適な補修区間長の検討を行うために、道路管理の最小単位である単区間の集合としてユニットという概念を設定する。ここで、ユニットとは、計画対象路線をいくつかの単区間の集まりで区切り、その区切られた区間のことを指し、ユニットの長さは、過去の補修工事による補修区間長を参考にして、100m~2000mの100m間隔とする。補修計画はユニット単位で行うものとし、計画対象区間を同じ長さのユニットで分割してそれぞれのユニットに対して補修を行うかどうかを決定する(図1)。補修計画は全てユニット単位で決定され、ユニット内の各単区間には、個々の単区間の路面性状に関係なく全て同じ補修工法が実施される。

モデルの定式化を行うために、以下のように補修区間、補修工法、補修時期を未知数とする0-1整数型の三次元変数 X_{ikt} を導入する。

$$X_{ikt} = \begin{cases} 1 : \text{ユニット番号} i \text{ を補修工法} k \text{ で} t \text{ 年目に補修する場合} \\ 0 : \text{ユニット番号} i \text{ を補修工法} k \text{ で} t \text{ 年目に補修しない場合} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)のように定めた変数 X_{ikt} を使用し、目的関数と制約条件を定式化した。この場合、目的関数と制約条件として以下の4項目が挙げられる。

1) 維持管理期間 T の全区間 N を通じて、路面の劣化度の総和を最小にする。

$$F: \sum_i \left[T \cdot V_i - \sum_{k=1}^L \sum_{t=1}^T \{ (T-t)(a_k - b_k) + a_k \} X_{i,k,t} \right] \rightarrow \min \quad (2)$$

ここで、 a_k : 劣化度の回復量に関する補修工法毎の係数、 b_k : 路面の劣化速度に関する補修工法毎の係数である。

2) 計画策定期間中の補修費用の総額は予算に近い額でなければならない。

$$G_1: \left(\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^L \sum_{t=1}^T c_k \cdot X_{i,k,t} - Y \right)^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

ここで、 C_k : 工法毎の補修費用である。

3) 維持管理の対策工法として、ユニット毎に毎年選択される補修工法は無対策も含めた一つである。

ある年 t のユニット i において選択される補修工法の総和が1になり、このことがすべての区間、すべての期間について成立するので補修工法数に対する制約条件は次式で示される。

$$G_2: \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left(\sum_{k=1}^L X_{i,k,t} - 1 \right)^2 = 0 \quad (4)$$

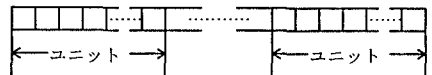


図1 ユニットによる計画対象路線の区分

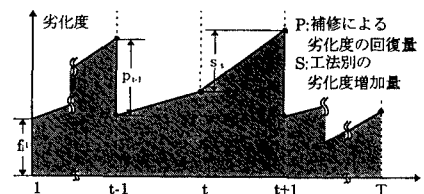


図2 劣化度の時系列的関係

キーワード：道路舗装、維持管理計画、ニューラルネットワーク、組合せ最適化問題

連絡先：〒316 日立市中成沢町4-12-1 TEL 0294-38-5172 FAX 0294-35-8146

4) 計画策定年間を通じて、劣化度の上限値は管理水準 DL1 で下限値は 0 である。

$$G_3: 0 \leq V_i - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^L a_k \cdot X_{i,k,t} + \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{k=1}^L b_k \cdot X_{i,k,t} \leq DL1 \quad (5)$$

3. ニューラルネットワークの適用

本研究では組み合わせ最適化問題を解決する手法として、相互結合型ニューラルネットワーク³⁾を利用した。設定した目的関数及び制約条件により、エネルギー関数はラグランジュ乗数 $\lambda_1, \lambda_2(i,t), \lambda_3(i,t)$ を用いて、式 (6) のように定義される。ニューラルネットワークはエネルギー関数 E が減少するようにその状態を変化させるので、エネルギー関数をニューラルネットワークによって動作させ、収束した平衡点が最適化問題の近似解となる。

$$E = \sum_i \left[T \cdot V_i - \sum_{k=1}^L \sum_{t=1}^T \{ (T-t)(a_k - b_k) + a_k \} X_{i,k,t} \right]^2 + \lambda_1 \left(\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^L \sum_{t=1}^T c_k \cdot X_{i,k,t} - Y \right)^2 + \lambda_2(i,t) \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left(\sum_{k=1}^L X_{i,k,t} - 1 \right) \right\}^2 + \lambda_3(i,t) \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left(V_i - \sum_{k=1}^L a_k \cdot X_{i,k,t} + \sum_{k=1}^L b_k \cdot X_{i,k,t} - DL \right) \right\}^2 \quad (6)$$

4. モデルの数値シミュレーション及び検証

本モデルで扱う補修工法は、打ち換え(N)、切削オーバーレイ(CR)、オーバーレイ(R)、表面処理(H)、および無対策(M)とし、劣化度を表すパラメータとしては、アスファルト舗装道路の維持管理指数である MCI を利用する。ここで、MCI は 0 から 10 までの数値で表され、MCI 値が 10 の時の劣化度を 0、MCI 値が 0 の時の劣化度を 10 と定義する。本来、補修を行えば路面の MCI 値は全て 10 となり、補修工法の違いによる路面の劣化度の回復量は差は見うけられないが、補修前の路面性状値が補修工法選定に与える影響が大きいことや、補修後の劣化度の進行具合が補修工法のレベルによって影響を受けることを考慮して、本モデルでは補修工法毎の路面の劣化度回復量を表 1 上段のように定めた。また、経年変化による劣化度の増加量は前年の補修工法のみに依存するものとして表 1 下段のように定める。

計画策定年数を 10 年、ユニット数を 5 として 1 ユニット内の単区間数を 1 から 20 まで変化させた場合の実データとシミュレーションデータによるシミュレーション結果を図 3 に示す。また、ユニットを構成する単区間数の違いが補修結果に与える影響を検討するための補修効果は、単位費用あたりの計画策定年内の全補修区間を通じての補修による劣化度減少量とする。

本モデルにおいて、ユニット内の単区間数が増加するにつれて 1 単区間あたりに要する間接工事費が低減するので、補修費用の観点から見れば 1 ユニット内の単区間数は多い方が効果的であると言える。しかし、ユニット内の各単区間の劣化度は様々ではないので、ある補修工法が同一ユニット内の大部分の単区間には適しているが、一部の単区間にとっては最適な補修工法ではないことも起こる。この傾向は、ユニット内の単区間数が増加すればするほど大きくなるので、補修工法の適合性の観点から見れば 1 ユニット内の単区間数はより少ない方が効果的であると言える。図 3 より、本モデルで設定した諸条件のもとでは 800m～1100m 程度が効果的であると言える。また一般的に、実際の路面における近隣区間の地理的条件や交通量は類似しているため路面性状のばらつきは小さい。しかし、シミュレーションデータは路面性状を乱数によって設定しているためその変動は大きい。このようなことから、ユニット内の単区間数増加による補修工法の不整合性の傾向は路面性状の変動の激しい区間の方が大きくなると言える。

5. おわりに

本研究では、道路舗装の維持管理計画策定問題を組み合わせ最適化問題と考えることにより、補修案作成モデルの構築を行った。そして、補修費用や劣化速度の諸条件を仮定して、目的関数と制約条件式を設定したニューラルネットワークモデルによる数値シミュレーションを行うことによって、ニューラルネットワークの有効性を確認した。さらに、その結果より最適補修区間長や補修サイクルについての指針を見いだすことが出来た。今後、劣化度の経年変化に過去複数年分の補修履歴を反映出来る非線形関数を採用することによって、より精密に補修サイクルや路面の寿命算定を行うことが出来ると考えられる。

【参考文献】

- 1) 原田隆郎、岩松幸雄、呉 智深：時間的最適化に着目した道路舗装の維持管理計画モデルの提案、土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集、VI-71、PP.142-143、1996.9
- 2) 吉田典史、岩松幸雄、呉 智深、原田隆郎：空間的最適化に着目した道路舗装の維持管理計画モデルの提案、土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集、VI-72、PP.144-145、1996.9
- 3) 平野広美：C でつくるニューラルネットワーク、パーソナルメディア、1991.3

表 1 補修工法毎の劣化度回復・増加量

補修工法	N	CR	R	H	M
劣化度回復量	6.0	2.8	2.0	1.2	0
劣化度増加量	0.1	0.3	0.4	0.5	1.0

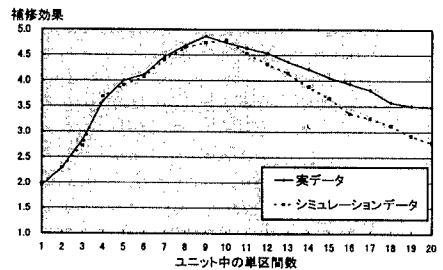


図 3 シミュレーション結果