

VI-71

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

茨城大学工学部 正 会 員 原田隆郎
 茨城大学工学部 フェロー 岩松幸雄
 茨城大学工学部 正 会 員 呉 智深

1. はじめに

道路舗装の維持管理は、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、道路の機能があるレベル以上に保つことである。この維持管理において補修計画を策定する場合、①ある時間において、管理対象区域内のどの路線のどの区間をどのように補修すべきかを検討する空間的な計画策定と、②ある路線のある区間において、どの時期にどのような補修をすべきかを検討する時間的な計画策定の2つの視点が必要となり、これらの個々の最適化とともに、両者相互の最適化が必要である。

本研究では、この時間的な維持管理の最適化の観点から、ある区間について「いつ」「どのような工法で」補修を行えば目標とする供用期間の最適な供用ができるかの維持管理における時間依存性の検討を行うとともにモデルを提案し、その数値シミュレーションにより最適な補修サイクルの指針を提案する（図1）。

2. 道路舗装の維持管理計画における時間的最適化モデルの提案

(1) 健全度予測モデルの設定

本モデルでは時間（経年数）をパラメータとする健全度 G を定義し（図2）、このパフォーマンスによって維持管理の時間依存性を検討する。この健全度 G は道路舗装の信頼度 R と維持管理指数 MCI から構成される。ここで、信頼度 R は供用による内在的劣化を考慮したものであり、新設からの補修回数 n と新設からの経年数 Y 、前回の補修工法 k をパラメータとした関数とする。また、維持管理指数 MCI は舗装の路面3特性（ひび割れ率、わだち掘れ量、縦断方向凹凸量）の関数と定義する。さらに、路面3特性はそれぞれ前回補修工法 k と前回補修時からの経年数 t の関数と定義することで、最終的に健全度 G は経年数（時間）の関数となる。

(2) モデルの目的関数および制約条件

時間的な維持管理計画の最適化においては、利用者が安全および快適に走行できるように舗装の路面性状が一定の管理水準を下回らないことが必要であるとともに、目標とする供用期間の維持管理にかかる費用（ライフサイクルコスト）が最小になるように、最適な補修時期と補修工法を決定することである。つまり、本モデルを以下の目的関数と制約条件を満足するような補修時期と補修工法を決定する最適化問題と捉えることができる。

$$< \text{目的関数} > \sum_n CR \rightarrow \min \quad (1)$$

$$< \text{制約条件} > \sum_t G \geq LE \quad (2)$$

ここで、 CR ：補修費用、 n ：補修回数、 G ：劣化度、 LE ：管理水準、 t ：経年数である。なお、モデルにおける供用期間は舗装の新設から次の新設までとし、この間を計画策定年 T とする。

(3) 最適化問題への相互結合型ネットワークの適用

組み合わせ最適化問題を解決する手段としてニューラルネットワークの並列計算機能に応用することがよく知られている。相互結合型のニューラルネットワークでは、各ニューロンに対して(3)および(4)式による状態変化を非同期的に行うとき、各ニューロンの状態は(5)式で定義されたエネルギー関数 E を最小化するように変化する。これを「エネルギー最小化の原理」という。

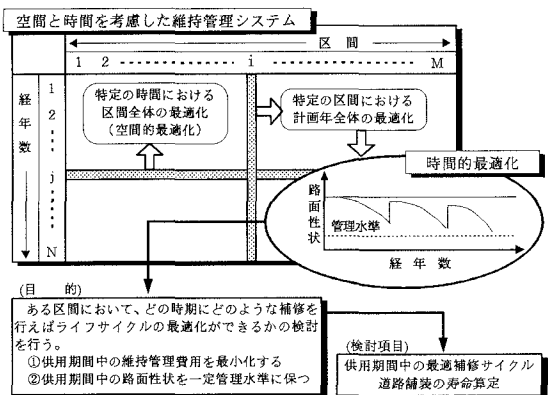
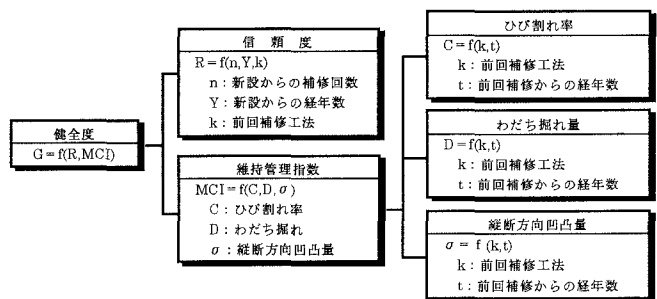


図1 維持管理計画における時間的最適化の概念

図1 維持管理計画における時間依存性の検討を行うとともにモデルを提案し、その数値シミュレーションにより最適な補修サイクルの指針を提案する（図1）。

図2 健全度 G の定義

$$u_i = \sum_j w_{ij} \cdot V_j + h_i \quad (3)$$

$$V_i = f(u_i) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \tanh \left(\frac{u_i}{\alpha} \right) \right) \quad (4)$$

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j w_{ij} \cdot V_i \cdot V_j - \sum_i h_i \cdot V_i \quad (5)$$

ここで、 w ：重み、 h ：しきい値、 V ：ニューロン、 α ：温度である。本モデルにおける最適化問題についてこのエネルギー最小化原理を適用し、目的関数および制約条件をエネルギー関数に変換することによって、本モデルの未知数である補修時期と補修工法の最適解を導出する。

3. モデルの数値シミュレーション

(1) 数値モデルの概要

モデルの数値シミュレーションにおいては、ニューラルネットワークの適用によるエネルギー関数への展開のしやすさを考慮して、(6)および(7)式のように目的関数および制約条件を簡略化した（図3）。さらに、解の導出においては補修間隔および補修工法が同時に決定されるように、ニューロンの設定を工夫するとともに、補修間隔の出力解の候補として0年を導入することによって、適切な補修回数も併せて出力できるようにモデルとした。つまり、本シミュレーションにおいては、補修工法として表面処理工法とオーバーレイ工法を取りあげ、それぞれの補修間隔

図3 シミュレーションのための数値モデル

として2～5年を設定し、この組み合わせ分のニューロンを各補修サイクルごとに準備した。また、(8)式は求めるべき補修間隔の総和が計画策定年 T と等しくなくてはならないという制約条件を定式化したものであり、(9)式は設定したニューロン V の発火条件（ある補修サイクルにおいては必ず1個のニューロンが発火しなくてはならない）を定式化したものである。

$$\phi_1 = \sum_j \left(\sum_{iw} a_{jiw} \cdot V_{iw} \cdot \sum_{iw} b_{jiw} \cdot V_{iw} + \sum_{iw} c_{jiw} \cdot V_{iw} \right) \quad (6)$$

$$\phi_2 = \sum_j \sum_{iw} d_{jiw} \cdot V_{iw} \quad (7)$$

$$\phi_3 = \left(\sum_j \sum_{iw} b_{jiw} \cdot V_{iw} - T \right)^2 \quad (8)$$

$$\phi_4 = \sum_i \left(\sum_w V_{iw} - 1 \right)^2 \quad (9)$$

ここで、 V_{iw} は $i \times w$ の2次元のニューロンであり、 a_{jiw} は前回の補修工法による健全度減少分を表すニューロン V_{iw} の係数、 b_{jiw} は補修間隔を表すニューロン V_{iw} の係数、 c_{jiw} は信頼度の低下による健全度減少分を表すニューロン V_{iw} の係数、 d_{jiw} は補修工法の費用（工費）を表すニューロン V_{iw} の係数である。目的関数のニューロン V_{iw} が2次元で表現されていることから、(5)式のエネルギー関数 E も2次元に拡張し、この両者の係数比較を行うことによってニューロンの状態変化を制御する重み w としきい値 h を導出し、数値モデルをプログラミングした。

(2) 数値モデルの運用と考察

計画策定年 T を変数として9年から3年おきに30年まで変化させて数値モデルを運用し、8個の最適解を導出した結果を表1に示す。表中の「補修サイクルの最適解」において()内の数値は補修間隔（年数）である。この結果より、供用開始後は表面処理工法で対応し、経年数に応じてオーバーレイ工法を多めに適用していくことがわかる。また、最適補修回数 M は長い計画策定年数 T を設定するほど大きくなっており、工法ごとにある程度決まった有効年数があることも確認でき、最終的に目指しているライフサイクルの延伸などの様々な問題を検討する第一段階の理論手法を構築することができた。

4. おわりに

本研究では、維持管理の時間的最適化の視点から、ある区間について「いつ」「どのような工法で」補修を行えば目標とする供用期間の最適な供用ができるかの維持管理における時間依存性の検討を行った。その結果、提案モデルの数値シミュレーションによりその妥当性を確認することができた。今後、影響要因の定量評価など本モデルをより現実化することによって、ライフサイクルの検討や長寿命化への指針を提案することができると考えられる。

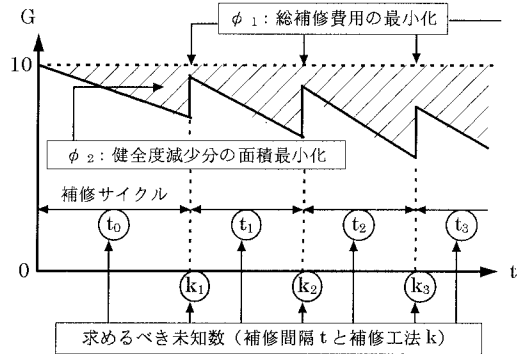


表1 数値モデルの運用結果

T	補修サイクルの最適解	M
9 年	N(3)OL(3)H(3)	2 回
12 年	N(2)H(2)OL(2)OL(3)H(3)	4 回
15 年	N(2)H(3)OL(2)OL(3)H(3)H(2)	5 回
18 年	N(4)H(2)OL(3)H(2)H(2)OL(5)	5 回
21 年	N(3)H(2)OL(3)H(3)H(2)H(2)OL(4)	7 回
24 年	N(2)H(3)H(2)H(3)H(3)OL(4)H(3)OL(4)	7 回
27 年	N(3)H(2)OL(2)OL(4)H(3)H(4)OL(4)OL(3)H(2)	8 回
30 年	N(2)H(3)OL(4)H(3)OL(4)H(3)H(2)OL(2)OL(3)OL(4)	9 回

※T：計画策定年、M：最適補修回数、N：新設、H：表面処理、OL：オーバーレイである。