

京都大学大学院	学生会員	○春名 智洋
京都大学大学院	学生会員	田村 謙介
中央復建コンサルタンツ	正会員	慈道 充
京都大学大学院	フェロー	小林 潔司

1. はじめに

近年では一次的なインフラ整備がほぼ終了し、先進諸国では維持補修及び更新が社会資本整備における投資の大半を占めている。社会資本である道路舗装の維持補修及び更新においても、合理的な方法で道路舗装を管理するシステムを用いて、維持補修及び更新を行わねばならない状況にある。道路舗装の修繕投資は、利用者費用を含むライフサイクル費用が最小になるタイミングで行われるのが望ましい。近年導入されている舗装管理システム (Pavement Management System:PMS) ではライフサイクル費用を最小にするように舗装の設計、維持修繕を行うことを理想としている。現実には、道路管理者は限られた予算の中で、多くの道路区間を対象とした修繕投資を行うことを余儀なくされている。本研究では、道路舗装の管理システムの設計を念頭に置きながら、予算制約の下で道路舗装の合理的な修繕順位を決定する実用的な修繕ルールを開発することを目的としている。

2. 本研究の考え方

(1) 舗装修繕管理システム

本研究ではPMSのサブシステムである舗装修繕管理システム (Maintenance Management Systems:MMS) を提案する (図-1 参照)。MMSは、1) 対象道路網における各区間の道路舗装の状況を記録するデータベースシステム、2) 道路舗装の劣化過程を推定する劣化過程システム、3) 劣化水準の予測値に基づいて修繕区間の優先順位を決定する修繕箇所選定システムにより構成される。データベースシステムは道路舗装の管理台帳をデータベース化したものである。また劣化水準の予測、舗装の実地点検による観測値、修繕工事による機能回復という新しい追加情報に基づいて、各道路区間のデータベースは逐次更新される。道路舗装の機能劣化は不確実なプロセスであり、将来時点の劣化水準を確定的に予測することは不可能である。本研究ではこのような機能水準の推定を、劣化プロセスの期待値パスを用いて推定する方法を提案する。修繕箇所選定システムでは、各年度における道路舗装の機能水準の推計結果に基づいて、年度内に補修が必要となる道路区間をリストアップするとともに、修繕区間の優先順位を設定するシステムである。

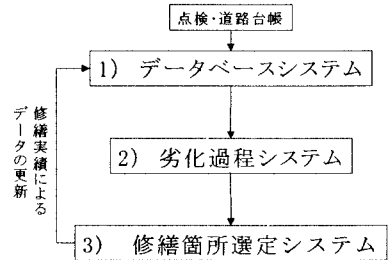


図-1 舗装修繕管理システムの構成

(2) 舗装機能水準の長期維持可能性

本研究で提案するMMSを運用するにあたり、道路舗装の修繕予算が重要な政策パラメータとなる。ある一定水準の予算水準が確保されれば、道路網全体の機能水準を長期にわたって維持することが可能となる。本研究では、長期にわたって道路網の機能水準をある一定のレベルに維持できるような予算を維持可能予算と呼ぶ。また、維持可能予算の中で長期的なライフサイクル費用を最小にするような予算水準を最適維持可能予算と呼ぶことにする。本研究で提案するMMSの1つの目的は、最適維持可能予算、期待ライフサイクル費用、及び道路舗装の長期的な維持可能水準の関係を分析することにある。

3. 予算制約を考慮した修繕モデル

(1) モデル化の前提条件

道路管理者は初期時点から無限に続く時間軸上で、ある対象地域を考え、当該地域に含まれる全ての道路区間にわたる舗装の機能水準及び交通需要を観測しながら、舗装の機能水準を回復するための修繕を行う。舗装の劣化が進展すれば、利用者費用及び社会的費用が増大する。この2つの費用を併せて可変的費用とする。道路舗装の機能水準は累積交通需要及び自然的劣化により時間を通じて低下していくものとし、交通需要及び自然的劣化に伴う2種類の不確実性に直面している。道路管理者は、各道路区間の修繕時期を1期遅らせた場合に発生する修繕費用と可変的費用で構成される期待ライフサイクルコストの損失をそれぞれ比較することにより修繕優先順位を決定する。

(2) 劣化過程のモデル化

舗装の機能水準は交通需要に影響を及ぼさないと仮定して、各区間の交通需要はある定常過程に従って変動すると仮定する。道路舗装の機能水準は交通需要及び自然的劣化により時間を通じて低下していく。各道路区間 $i(i = 1, 2, \dots, N)$ の初期時点から時刻 t までの累積交通需要を $s_i(t)$ と表す。各道路区間における舗装の機能水準を z_i と表し、区間 $(0, Z)$ で定義されているとする。修繕投資が時刻 $0 \leq \theta_{i1} < \theta_{i2} < \dots$ において実施され、時刻 θ_{ij} に道路舗装の機能水準が所与の値 $\bar{Z}_i (\leq Z)$ に改善されるとする。単位期間を Δt とし、各期における各道路区間の累積需要及び機能水準を離散近似して表す。

$$s_{i(k+1)} = s_{ik} + \beta_i \Delta t + \sigma_{i1} \eta_{i1}(t_k) + \dots + \sigma_{in} \eta_{in}(t_k) \quad (1)$$

$$z_{i(k+1)} - z_{ik} = -\rho_i \{s_{i(k+1)} - s_{ik}\} - \delta_i \Delta t - \Delta q_i(t_k) \quad (2)$$

$$\Delta q_i(t) = \begin{cases} u_i(\text{確率 } \lambda_i \Delta t) \\ 0(\text{確率 } 1 - \lambda_i \Delta t) \end{cases} \quad (3)$$

$\epsilon_{i1}(t_k), \dots, \epsilon_{in}(t_k) (k = 0, 1, \dots)$ は正規分布 $N(0, \Delta t)$ に従う確率変数で、互いに独立である。

(3) 予算制約を考慮した修繕ルール

予算制約の下での修繕順序を求める実用的なルールを提案する。累積交通需要及び機能水準は期待値パスに沿って推移すると仮定した場合における修繕順位決定ルールは、以下の7つのステップにより構成される。

1. 計算期間を設定する
2. 修繕を行うべき最低レベルの機能水準 $\bar{z}$ を設定。
3. 全ての道路区間 i において、単位修繕費用当たりの修繕を1期遅らせた場合のライフサイクル費用の損失 K_{i1} を計算する。

$$K_{i1} = \frac{\tilde{J}_i(z_{ik}, 1) - \tilde{J}_i(z_{ik}, 0)}{F_i(z_{ik})} \quad (4)$$

$$\tilde{J}_i(z_{ik}, 1) = c_i(E[z_{ik}]) \{E[s_{i(k+1)} - s_{ik}]\} + \frac{F_i(E[z_{ik+1}])}{(1+\alpha)^{\Delta t}} + \frac{\Phi_i(\bar{Z}_i)}{(1+\alpha)^{\Delta t}} \quad (5)$$

$$\tilde{J}_i(z_{ik}, 0) = F_i(z_{i0}) + \Phi_i(\bar{Z}_i) \quad (6)$$

ここで、 α は割引率、 F_i は修繕費用、 $\Phi_i(\bar{Z}_i)$ は予算制約無しの下でライフサイクル費用が最小になるような最適修繕投資を行った場合に発生する期待ライフサイクル費用である。 $\tilde{J}_i(z_{ik}, 1)$ は1期後に修繕を行い、以後は予算制約無しの下で最適修繕を行った場合のライフサイクル費用、 $\tilde{J}_i(z_{ik}, 0)$ は直ちに修繕を行い、以後予算制約無しの下で最適修繕を行った場合のライフサイクル費用を表している。

4. K_{i1} が大きい順に k 期の修繕を行う。
5. $k+1$ 期の各区間の機能水準、及び k 期に発生する利用者費用を計算。
6. 次の期について4～6の計算を再び行い、1で設定

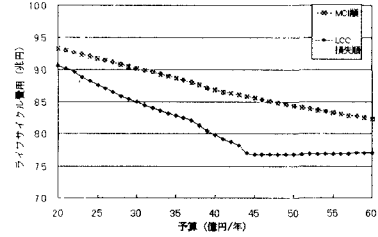


図-2 修繕予算とライフサイクル費用

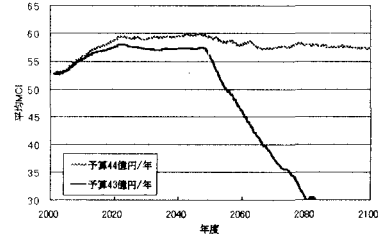


図-3 修繕予算と平均MCI

した計算期間終了まで繰り返す。

7. 計算期間終了後は予算制約無しに修繕が行われると仮定してライフサイクル費用を計算する。

以上の方法で、予算制約がある場合の最適修繕ルールを近似的に求めることができる。また予算制約下での将来のライフサイクル費用を推計することができる。

4. 実証分析

三重県が管理する既存の35540区間、及び今後新規整備される5283区間を対象として、本研究で提案したMMSに基づいて、平成13年4月から1ヶ月を単位期間として100年間にわたるライフサイクル費用及び全道路区間における平均機能水準の推移における推計を行う。本推計において舗装の機能水準をMCIとして表す。図-2は、ライフサイクル費用損失の大きい順に修繕順位を決定した場合、及びMCIの小さい順に修繕順位を決定した場合の修繕予算とライフサイクル費用の関係を表している。ライフサイクル費用損失順に修繕を行った場合において、47億円でライフサイクル費用が最小となっている。図-3は修繕予算と平均MCIの関係を表しており、少なくとも修繕予算が44億円あれば長期的に道路舗装の機能水準の維持が可能である。

5. おわりに

本研究では予算制約の下での修繕ルールを用いた修繕管理システムを提案し、三重県での道路舗装の管理に適用することにより、ライフサイクル費用の低減化、及び長期的な維持可能予算の導出から開発した管理システムの実用性を検証した。