

ロジックモデルを用いた舗装長寿命化のベンチマーク評価*

Bench-Marking Evaluation for Long-Life Pavement Based on Logic Model*

小田宏一**・児玉英二***・青木一也****・貝戸清之*****・小林潔司*⁶
By Koichi ODA**・Eiji KODAMA***・Kazuya AOKI****・
Kiyoyuki KAITO***** and Kiyoshi KOBAYASHI*⁶

1. はじめに

近年、土木施設のアセットマネジメントについては研究及び実務での適用例が数多く報告されている。土木施設の管理状態を客観的に把握し、点検や補修に関する統計データを分析することにより、長期的な予算計画と管理基準値の設定が容易に分析可能な方法論が開発されてきた。このように、管理対象の施設全体の長期的なマネジメントに関する意思決定を合理的に実施するために有用な情報を提供するマクロレベルでのアセットマネジメントは、若干の議論の余地が残されているものの、概ね実用化の域に達したと言える。

一方、土木施設を管理する現場の意見を集約すると、このようなマクロマネジメントの結果として導出された理想的な予算計画と、現実的な予算制約との乖離が大きく、最適な維持補修戦略の実行に至るまでには、大きな障壁がある場合が少なくない。例えば、本研究の適用事例でも取り上げる道路舗装の維持管理業務においては、補修のタイミングの合理化等の最適補修戦略によって、ライフサイクル費用の低減に与える影響は小さい。さらには、長期的な補修計画を立案した場合には、厳しい予算制約下においては、管理基準値を下げることにより、必要補修費の縮減への期待が少ないことは、これまでの実務での分析結果により明らかとなっている。このように、土木施設のアセットマネジメントでは、維持管理の現場でのコスト縮減に繋がるような施設個々の長寿命化のための評価手法が求められている。

このような背景のなか、本研究では、毎年実施している舗装管理業務で得られるモニタリングデータを用いて、持続的にマネジメントシステムの機能を向上させる取り組みを実施した。具体的には、道路舗装の維持管理業務を取り上げ、舗装管理のためのロジックモデルを構築するとともに、舗装の劣化速度の現状を示すベンチマーク曲線を用いたロジックモデルの評価より、道路舗装の長寿命化を定量的に評価する方法論を提案する。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 学習機能を備えたマネジメントシステム

土木施設の日常的維持管理は、意思決定の時間的視野の違いにより、3つの階層に分類される。さらに、それぞれの階層では、Plan - Do - Check & Action のマネジメントフローにより管理業務が進められる。これら、日常管理業務は、予算や技術力等、限られた資源の範囲内において、コスト縮減と市民へのサービス提供の最大化を目指した最適補修戦略を導出（Plan）し、最適戦略に従って補修業務を実施（Do）した結果、補修の積み残し量の把握、劣化予測モデルの更新による予算計画の見直し等（Check & Action）を行う。日常管理業務においても、持続的なマネジメントサイクルの運用によって、事後評価を行い、システム改善のための機能を備えている。

しかしながら、日常的維持管理では、あらかじめ決められた政策目標や技術基準の枠組みのなかで、維持管理業務の合理化を図ることを目的としている。積極的な施設の長寿命化とコスト縮減を図るためには、それらの政策目標の妥当性や技術基準の見直しを行わなければならない。これらの検討を、日常管理業務内で実施することは不可能であり、日常管理業務を監視する立場にあるマネジメントサイクルの評価機能が必要となる。日常的維持管理を支える階層的マネジメントサイクルに加え、それら进行评估する機能が新たな階層として機能することにより、学習機能を備えたマネジメントシステムが構築される（図-1）。日常的管理の階層的マネジメントサイクルにおいて生成されるモニタリングデータを集約し、

*キーワード：ロジックモデル，維持管理，ベンチマーク評価

** 正員 京都市建設局土木管理部調整管理課

(京都市中京区寺町通御池上上本能寺前町488,

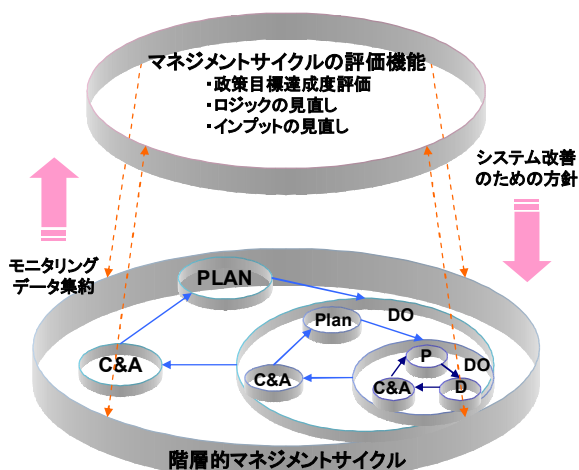
TEL075-222-3568, FAX075-212-3092)

*** 非会員 京都市建設局土木管理部調整管理課

**** 正員 博 (工) 株式会社パスコ研究開発センター

***** 正員 博 (工) 大阪大学大学院工学研究科 グローバル
若手研究者フロンティア研究拠点

*⁶ フェロー 工博 京都大学経営管理大学院経営管理講座



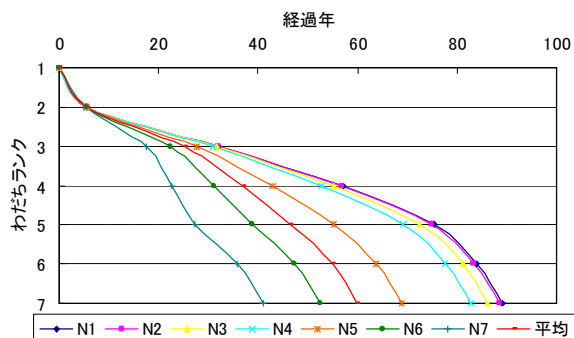
図－１ 学習機能を備えたマネジメントシステム概念図

それらをもとに政策目標達成度の評価、さらにはロジック及びインプットの見直しを検討し、その結果を再度システム改善のための方針として日常管理にフィードバックする。

（２） 統計的劣化予測モデルの意義

土木施設のアセットマネジメントでは、将来時点における補修需要を予測しライフサイクル費用を評価するために、劣化予測モデルの構築が必要不可欠である。劣化予測モデルは、その利用目的に応じて性質が異なるが、施設群全体を対象としたマクロマネジメントの場面においては、過去の劣化状態を記録したデータをもとに統計的に劣化過程の規則性を推計する統計的劣化予測モデルが用いられる。統計的劣化予測モデルは、ある程度のデータの蓄積を行うことが利用のための条件となるが、実際の管理対象のパフォーマンスデータを用いて推計することで、その結果が維持管理の現場での経験的な知見との整合が図りやすいという長所がある。土木施設の劣化過程には多くの不確実性が介在しており、たとえ同種の施設であっても、供用及び施工環境が異なれば、劣化のパフォーマンスに大きな違いが生じる。

一方、統計的劣化予測モデルのもう一つの性質は、過去の劣化のパフォーマンスを表現することができることにある。図－２に、幹線道路におけるわだち掘れ量の劣化予測モデルの推計結果を示す。過去に実施した路面性状調査により計測した道路区間のわだち掘れ量と補修履歴データを用いて、多段階指数ハザード関数を用いたマルコフ推移確率行列を導出し、各健全度間の期待寿命長を劣化曲線として定義したものである。同図には、大型車交通量による劣化速度の違いを併記している。本図に示しているわだち掘れ量の劣化予測モデルは、過去の一定期間における平均的な劣化速度を評価したものと言



注) 幹線道路のわだち掘れ量の劣化予測モデルの推計結果を示す。縦軸にわだち掘れ量の離散的損傷度ランク、横軸に経過年を示す。大型車交通量区分（7 区分）別の劣化速度の違いを表現している。

図－２ 統計的劣化予測モデルの推計結果

換えることができる。日常的維持管理では、この統計的劣化予測モデルをもとに、将来時点における施設の劣化と補修需要を予測する。新たなデータを取得して劣化予測モデルを更新しない限り、劣化予測モデルは不変である。

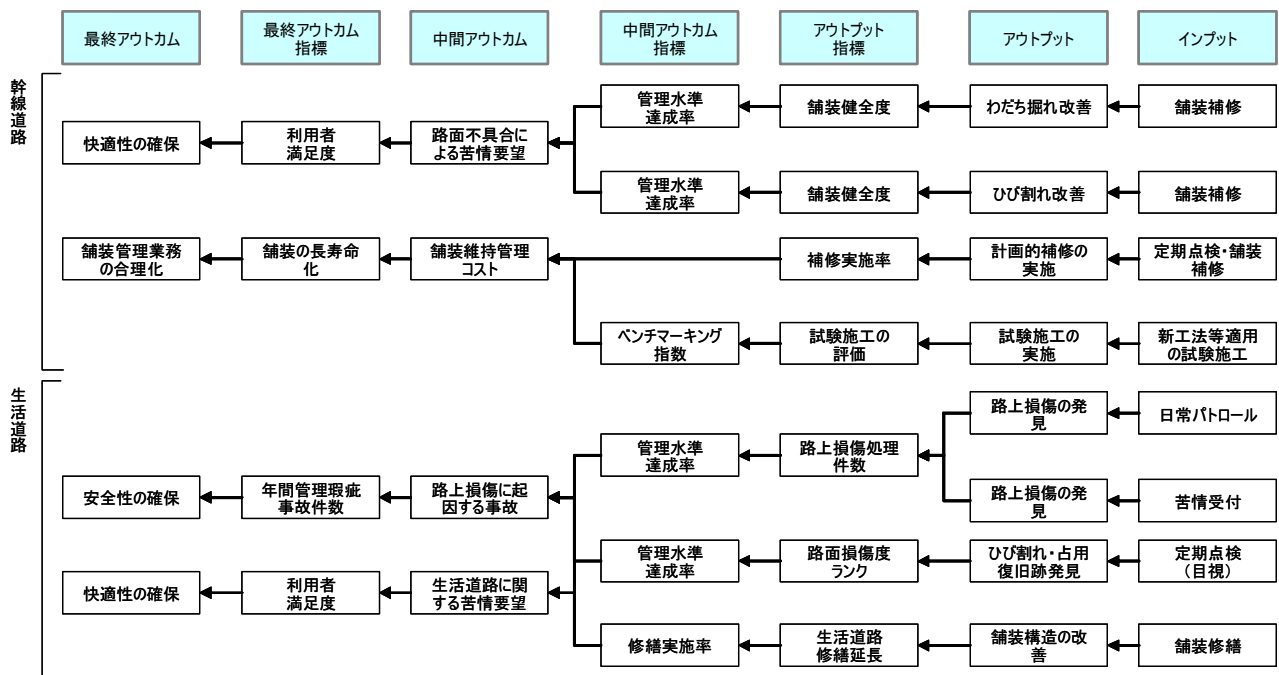
ここで、新たな点検データを獲得し、劣化予測モデルを更新する場合を想定しよう。劣化予測モデルを推計し、ある一定期間が経過した後に路面性状調査を実施し点検データを獲得する。獲得した点検データを用いて、既存の劣化予測モデルを更新する。その際、更新する以前の既存の劣化予測モデルのベンチマーク曲線と定義する。更新した劣化予測モデルがベンチマーク曲線より図－２の右側にシフトすれば、ベンチマーク曲線を構築した時点から更新までの期間に行ったメンテナンスにより、平均的な劣化速度が遅くなったことを意味する。この間に、なんらかの舗装の長寿命化施策を適用したとするならば、ベンチマーク曲線から右側へシフトした量が長寿命化の効果として評価することが可能である。

このように、アセットマネジメントにおける統計的劣化予測モデルは、施設の長寿命化の効果を評価し、持続的にシステムの改善を行う学習機能を有するマネジメントシステムにおいて中心的な役割を担っている。舗装劣化のベンチマーク評価については、４．にて議論する。

３． ロジックモデルの構築

（１） ロジックモデルの基本的な考え方

土木施設の維持管理に係る活動は、例えば予算計画や点検（日常パトロールや定期点検）、補修工事等、数多く存在する。それらの個々の活動は、それらの活動を実施することによる維持管理の目標と成果に至るまでの因果関係を論理的に記述することができる。



図ー3 舗装ロジックモデル（一部抜粋）

土木施設の維持管理業務におけるロジックモデルは、予算執行、点検の実施、補修の実施といった活動（インプット）が、安全性や快適性の確保といった維持管理の最終目標の達成のための影響を計測するためのツールである。さらには、成果（アウトカム）の達成状況を定期的にモニタリングし、システム全体の改善を行うためのインプットの見直しを行う。ロジックモデルを用いて評価・改善する対象は、例えばパトロール頻度、検査項目、補修の新工法の導入といった技術的な指針を示すものであり、日常の舗装管理業務を持続的に実施していく過程で発生する様々なデータを分析し、それらインプットの見直しを指針として取りまとめ、維持管理の現場へ周知徹底させる。ロジックモデルは、図ー1に示したように階層的マネジメントサイクルの上位に位置する評価機能において、日常管理のPlan - Do - Check & Actionのマネジメントフローを監視するための考え方を提供するものである。

（2）京都市舗装ロジックモデルの構築

京都市では、舗装の維持管理業務の合理化を目指し、舗装ロジックモデルを構築し、ロジックモデルに基づく舗装管理のあり方について検討を行っている。京都市が管理する道路ネットワークは、交通量が多く主要地点間を結び京都市道路網の骨格をなす幹線道路と、市民の生活に密着し日常の移動空間を提供する生活道路に大きく分類される。幹線道路と生活道路では、舗装の維持管理に対する考え方も異なっている。幹線道路では、自動車交通の安全性や快適性を確保するために、経年的に発生

する路面の損傷（ひび割れ、わだち掘れ、平坦性の指標により評価）や構造的劣化に伴い、切削オーバーレイや打ち換えといった大規模補修を適用する。一方、生活道路では、歩行者を含めた生活道路利用者の安全性を確保するために、ポットホール等、突発的に発生する路上障害による事故をすばやく発見し処置するとともに、それらの損傷発生を未然に防止するような舗装に改良することが求められる。

幹線道路と生活道路の維持管理の違いを考慮し、舗装ロジックモデル構築した（図ー3）。舗装ロジックモデルは、舗装管理に関するすべての活動とそれによる成果の因果関係をモデル化したものであり、その全てを掲載することはできない。本論文では、構築した舗装ロジックモデルの一部を抜粋して掲載している。幹線道路のロジックモデルでは、最終アウトカムとして安全性や快適性のほか、舗装管理業務の合理化を取り上げた。舗装管理業務の合理化は、舗装管理の長期的な視点にたち、舗装の長寿命化に資するための計画的補修の実施のほか、劣化が著しく早いような特異箇所を発見し、新工法・新材料の適用により、ベンチマーク曲線を改善するためのロジックである。劣化速度の異質性の評価と特異箇所の発見方法及びベンチマーク評価の方法については、4.にて議論する。

一方、生活道路のロジックモデルでは、道路利用者及び歩行者の安全性を確保することを最終目標として掲げ、ポットホール等の路上損傷処理件数をアウトプット指標とし、路上損傷による管理瑕疵事故件数を最終アウトカム指標として評価する。路上損傷による事故発生リスク

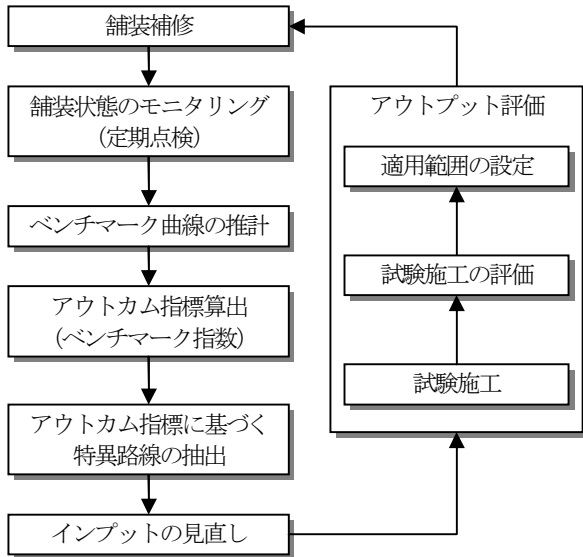


図-4 ベンチマーク評価の手順

を低減させるためには、日常パトロール頻度の再設定等のインプットの見直しを行う。さらには、路上損傷発生が発生しやすい区間は構造的に脆弱である可能性があり、詳細調査のうえ、当該舗装箇所を優先的に補修（改良）することで損傷発生リスクを低減する。

4. 舗装劣化のベンチマーク評価

(1) ベンチマーク評価の手順

幹線道路では劣化速度の異質性を評価することにより、劣化速度が相対的に早い舗装区間を特異路線として分類し、新工法・新材料等の適用を試験的にを行い、長寿命化に効果のある補修方法を検討する。試験施工の結果、舗装の長寿命化に効果的な補修方法の適用範囲を設定し、標準的な技術として普及させ、全体的なベンチマーク曲線を更新する。これらの繰返しにより、順次、舗装の長寿命化とコスト縮減を実現し、舗装管理業務の合理化を達成する。ベンチマーク評価の手順を、図-4に示す。

(2) 特異路線の抽出方法

離散的な健全度で表現される道路舗装の劣化状態を予測するモデルとして、指数ハザードモデルを用いたマルコフ推移確率の推計方法が提案されている。指数ハザード関数を用いて、検査時刻 τ_A と $\tau_B = \tau_A + z$ の間で健全度が i から j ($j > i$)に推移するマルコフ推移確率

$\pi_{ij}(z)$ ($i = 1, \dots, I-1; j = i, \dots, I$)は、

$$\begin{aligned} \pi_{ij}(z) &= \text{Prob}[h(\tau_B) = j | h(\tau_A) = i] \\ &= \sum_{m=i}^j \prod_{s=i}^{m-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_s - \lambda_m} \prod_{s=m}^{j-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_{s+1} - \lambda_m} \exp(-\lambda_m z) \\ & \quad (i = 1, \dots, I-1; j = i+1, \dots, I) \end{aligned}$$

と表すことができる¹⁾。ただし、表記上の規則として、

$$\begin{cases} \prod_{s=i}^{m-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_s - \lambda_m} = 1 & (m = i \text{ の時}) \\ \prod_{s=m}^{j-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_{s+1} - \lambda_m} = 1 & (m = j \text{ の時}) \end{cases}$$

が成立する。ここで、健全度 i のハザード率を、混合指数ハザード関数

$$\begin{aligned} \lambda_i^{lk} &= \tilde{\lambda}_i^{lk} \varepsilon^k \\ (i &= 1, \dots, I-1; k = 1, \dots, K; l_k = 1, \dots, L_k) \end{aligned}$$

を用いて表すことで、劣化速度の異質性を評価することができる²⁾。ここに、 $\tilde{\lambda}_i^{lk}$ はグループ k の要素 l_k が有する健全度 i の平均的ハザード率である。異質性パラメータ ε^k は、グループ k の標準ハザード率 $\tilde{\lambda}_i^{lk}$ からの乖離の程度を表す確率変数であり、 $\varepsilon^k \geq 0$ が成立すると仮定する。異質性パラメータ ε^k の値が大きくなるほど、当該グループ k に含まれるすべての施設の劣化速度が、標準ハザード率に対して速いことを表している。

異質性パラメータを推計するグループ k を、路線別あるいは舗装構造等の同質区間にて設定することで、各グループの異質性パラメータの相対評価から、劣化速度の特異路線を抽出する。

5. おわりに

本研究では、土木施設の維持管理問題に着目し、学習機能を有するアセットマネジメントシステムについて提案した。そのなかで、自治体が管理する道路舗装の維持管理に焦点をあて、舗装機能の違いに応じて、幹線道路と生活道路の舗装ロジックモデルを構築し、その運用方法を提案した。さらに、舗装の長寿命化を達成するための定量的な評価方法として、統計的劣化予測モデルを用いた劣化予測のベンチマーク評価方法を提案した。舗装管理の合理化を達成するためには、広範に及ぶ舗装管理業務を体系的に整理し、ロジックモデルを運用するための方法を確立することが今後の最大の課題である。本研究では、幹線道路の長寿命化に関する評価方法に限ったが、生活道路の維持管理の合理化については別の機会に報告したい。なお、幹線道路のベンチマーク評価の適用事例及び評価単位のグループ化の方法ならびに今後の実用化への示唆及び適用範囲の拡大のための課題等については発表時に報告させていただきたい。

参考文献

- 1) 小林潔司, 熊田一彦, 佐藤正和, 岩崎洋一郎, 青木一也: サンプル欠損を考慮した舗装劣化予測モデル, 土木学会論文集F, Vol. 63, No.1, pp1-15, 2007.
- 2) 小濱健吾, 岡田貢一, 貝戸清之, 小林潔司: 劣化ハザード率評価とベンチマーキング, 土木学会論文集 (投稿中)