

# ロジックモデルを用いた舗装長寿命化のベンチマーキング評価

青木 一也<sup>1</sup>・小田 宏一<sup>2</sup>・児玉 英二<sup>3</sup>・貝戸 清之<sup>4</sup>・小林 潔司<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社パスコ研究開発センター (〒153-0043 東京都目黒区東山2-8-11)

E-mail:kiakzo6013@pasco.co.jp

<sup>2</sup>正会員 京都市建設局土木管理部調整管理課 (〒604-8571 京都市中京区寺町通御池上上本能寺前町488)

E-mail:odacg020@city.kyoto.jp

<sup>3</sup>京都市建設局土木管理部調整管理課 (〒604-8571 京都市中京区寺町通御池上上本能寺前町488)

E-mail:kodcf215@city.kyoto.jp

<sup>4</sup>正会員 大阪大学特任講師 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 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

E-mail:kaito@ga.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>5</sup>フェロー会員 京都大学教授 経営管理大学院 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

E-mail:kkoba@psa.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

本研究は、道路舗装の維持管理業務の合理化と舗装の長寿命化を目的としたアセットマネジメントに着目し、道路舗装の劣化リスクに関する路線別のベンチマーキング評価を用いた長寿命化をモニタリングするためのマネジメントシステムとその導入に関する実践について論じる。劣化過程に多大な不確実性を含む舗装区間の相対的劣化速度を、平均的な劣化曲線（ベンチマーキング曲線）からの乖離度合いを示す異質性パラメータにより表現し、劣化過程の特異箇所を明らかにすることで、長寿命化戦略を適用する道路舗装区間の優先度を決定する方法論を提案する。さらに、ロジックモデルを用いて長期的かつ持続的に舗装の長寿命化を評価する新たな維持管理業務のあり方について言及するとともに、本研究で提案したベンチマーキング評価を京都市の舗装維持管理業務へ適用した実践について考察する。

**Key Words :** pavement, logic model, asset management, bench-marking evaluation, deterioration hazard rate

## 1. はじめに

近年、土木施設のアセットマネジメントに関する研究及び実務での適用例が数多く報告されている。土木施設のアセットマネジメントでは、まず、施設の状態を長期的に維持しサービスの提供を継続するために必要な事業費を算出し、その事業費を調達することが当面の課題となる。これまでの研究成果によって、劣化予測モデルやライフサイクル費用分析、最適補修モデル等の方法論が開発され、それらが実用の域に達している。とりわけ、道路舗装の場合は、路面の損傷状態を定量的に把握するための調査技術が早くに確立されており、他施設と比較してアセットマネジメントの分析に必要な豊富な情報が獲得しやすい環境にある。このことは、舗装のアセットマネジメントの研究や実務への適用に強く貢献しているといえよう。

土木施設のアセットマネジメントでは、点検や補修のタイミングを合理化することによって、トータルコストを削減したり、予防的補修を実施することにより施設の長寿命化が達成される可能性がある。橋梁を例にとれば、

損傷が進行した状態に補修を実施する事後的補修に比べ、損傷の初期段階に予防的に補修を実施する予防的補修の方がライフサイクル費用の低減効果が大きいことが実証的に示されている。しかしながら、このような点検や補修のタイミングを合理化することにより低減されるコストの範囲には限界がある。特に道路舗装の場合、予防的補修の適用は難しく、補修工法は舗装構造の損傷レベルに依存する。さらには、道路舗装の劣化過程には多様な不確実性を含んでおり、劣化のメカニズムを特定できないことも、舗装のアセットマネジメントの難しさの要因の1つである。将来時点の補修費用は、対象とする施設の劣化速度に依存する。道路舗装の場合、その劣化速度は交通量や舗装構造等の観測可能な要因だけでなく、施工条件や気象条件等のような観測が困難な要因に大きく影響を受ける。つまり、舗装区間個々によって劣化速度のばらつきが極めて大きい。このため、すべての管理対象道路の舗装の劣化の特性を把握することは不可能であり、劣化速度の違いを評価し劣化速度が特異な舗装区間を抽出することが重要となる。

舗装の長寿命化を道路舗装の維持管理業務の最終アウ

トカムとして設定した場合、長寿命化の達成度を定量的に評価する必要がある。舗装の平均的な寿命長は劣化パフォーマンスにより表現することができ、その劣化パフォーマンスカーブは、過去の点検データを用いた統計的劣化予測モデルを用いて算出することができる。このようにして推計した平均的なパフォーマンスカーブを、個々の舗装区間の劣化速度を相対的に評価するための基準(ベンチマーク)として設定することができる。その結果、ベンチマーク曲線に比べて著しく劣化速度が速い箇所を重要管理対象区間として抽出することが可能となる。このようにして抽出された重要管理対象区間に対しては、長寿命化のための施策を検討する必要がある。当該区間の劣化速度が改善されれば、ネットワーク全体の劣化パフォーマンスが改善され、ベンチマークケースの劣化パフォーマンスカーブも改善される。その結果として、トータルコストの削減が達成される。劣化速度に与える影響は複数の要因が関連しており、抽出された重要管理対象の各区間について詳細な調査を行い、新たな施工方法や新材料の適用等を試み、その適用結果を評価することが求められる。これらの継続的な実践こそ、アセットマネジメントの次世代において取り組むべき大きな課題のひとつと言えよう。本論文では、施設個々の劣化速度に着目したアセットマネジメントにおける意思決定問題をベンチマーキング評価と定義する。

このような問題意識のもとで、本研究では、毎年実施される舗装管理業務により獲得されるモニタリングデータを用いて、舗装維持管理業務のPDCAサイクルに従い継続的にマネジメントシステムの精度を向上させ、舗装維持管理業務の目標達成をモニタリングするための新たなマネジメントシステムを開発する。具体的には、自治体における道路舗装の維持管理業務を対象として、舗装管理のためのロジックモデルを構築するとともに、舗装の劣化予測モデルの推計結果を用いて長期的視点における道路舗装の長寿命化を定量的に評価する仕組みを提案する。さらに、京都市の舗装の維持管理業務を対象として、従前の舗装の維持管理業務の課題を整理し、本研究で提案する新たな舗装マネジメントシステムを導入した実践的取り組み事例について述べる。なお、本研究における実践では、劣化ハザード率の推計等の要素技術において新規性は見られない。すでに開発された要素技術を総合化し、実際の維持管理の現場への適用を試みた実践について論じるものである。この実践の過程において、アセットマネジメントの新しい取り組みのスキーム作りについて、筆者らが産官学の垣根を越えた議論を行った。本論文では、京都市において実践した舗装アセットマネジメントについて具体的な内容を述べることで、アセットマネジメントに関する研究と実務の新たな取り組み

に関する内容については、別の機会に発表したい。以下、**2.**では、本研究の基本的な考え方を整理する。**3.**にて舗装維持管理業務のためのロジックモデルの構築について、**4.**にて、劣化ハザード率の推計方法について説明する。最後に、**5.**では、本論文で提案したベンチマーキング評価を京都市の舗装維持管理業務に適用した実践的取り組みについて述べる。

## 2. 本研究の基本的な考え方

### (1) 従来の研究概要と本研究の視点

わが国では、高度成長期に大量に建設された道路構造物の高齢化が顕在化しており、土木施設の維持管理に関する注目が高まっている<sup>12)</sup>。インフラ資産の合理的な維持管理方法を検討するためには、将来時点における補修需要を推計し、合理的な補修戦略を立案するためのライフサイクル費用評価が重要な課題となる。また、将来時点の補修需要を推計するためには、土木施設の劣化過程をあらかじめ予測する必要がある。これまで多くの劣化予測モデルを推計する技術が開発された<sup>3)6)</sup>。ライフサイクル費用評価のアウトプットは、劣化予測モデルの推計精度に大きく影響を受ける。

津田らは、橋梁部材を対象として、部材の劣化過程をハザードモデルを用いて表現するとともに、劣化過程が多段階の健全度で表現される劣化過程を多段階指数ハザードモデルにより定式化した<sup>4)</sup>。小林らは多段階指数ハザードモデルを応用した道路舗装の劣化予測モデルを開発し、補修によって推計サンプルに欠損が発生する場合の推計結果のバイアスを除去する推計方法を提案した<sup>9)</sup>。また、劣化予測モデルを用いた最適補修モデルに関する研究も報告されている<sup>7)11)</sup>。これら一連の劣化予測モデルや最適補修モデルに関する研究は、施設全体の平均的な劣化過程を確率モデルを用いて表現し、劣化予測モデルをインプット情報としてライフサイクル費用評価を行うことを目的としている。それにより、予算計画や最適補修戦略等を導出することが可能となり、マクロレベルのアセットマネジメントの実用化に大きく貢献した。

一方、小濱らは、土木施設個々の劣化速度を、平均的な劣化速度からの乖離度として定義し、平均的な劣化速度を示すベンチマーキング曲線と、施設個々の劣化速度の異質性を示すパラメータを同時に推計する混合指数ハザードモデルを開発した<sup>12)</sup>。この研究により、施設個々の劣化ハザード率を用いて劣化速度の相対評価が可能となり、施設個々の劣化リスクを考慮した戦略的な補修戦略を立案することが可能となった。

これらのアセットマネジメントの要素技術に関する研

究のほか、これらの技術を用いたアセットマネジメントの実用化に関する研究も数多く報告されている。例えば1991年に米国の研究機関で開発された橋梁アセットマネジメントシステム「PONTIS」は、橋梁部材の劣化過程の不確実性を考慮したマルコフ推移確率行列を用いて劣化予測モデルを定義し、最適維持・補修・更新戦略を策定するための情報を提供することを目的としている<sup>13)14)</sup>。さらには、道路舗装を対象とした世界的なユーザに利用されているマネジメントシステム（PMS:Pavement Management System）として、世界銀行により開発されたHDM（Highway Design and Maintenance Standards Model）が存在する<sup>15)</sup>。最新バージョンであるHDM-4は、主に途上国における道路開発と維持管理計画の支援システムとして広く利用されているが、HDM-4を利用するためには数多くのインプット情報を必要とするため、アセットマネジメントの現場での利用には難点がある。

わが国においてもPMSに関する研究が積極的に実施されてきた。例えば、慈道らは、自治体が管理する道路舗装を対象として、舗装区間別の最適な補修のタイミングを導出し、将来時点における必要補修費を算出するためのマネジメントシステムを開発した<sup>16)</sup>。本システムには、維持管理情報と会計情報を結合して運用するための管理会計システムを搭載されている。このほか、わが国のアセットマネジメントに関する実践例は自治体を中心に数多く報告されているが、それらの多くは自治体等の施設管理者各々の目的やニーズに応じた計画の策定、マネジメントシステムの開発が進んでいるのが実情である。たとえば、青森県では、県が管理する延長15m以上の橋梁を対象として、厳しい地方財政下において橋梁の合理的な維持管理のための計画策定に関する取り組みを実施した<sup>17)</sup>。「青森県橋梁アセットマネジメントシステム開発コンソーシアム」を立ち上げ、各種の意思決定機関として統括会議を設置し、その下のワーキンググループで点検調査や対策工法等の詳細な検討が行われた。産官学連携によるコンソーシアムの運用体制を構築しており、学識経験者のほか、県内の建設コンサルタントや施工会社等が参加し、県との共同で地域特性に応じた橋梁の維持管理業務を実践している。

このようなアセットマネジメントに関するこれまでの取り組みにより、調査点検等の基礎的データが収集され、長期的な維持管理計画が立案されてきた。しかしながら土木施設を対象としたアセットマネジメントは、施設の劣化過程とそれに応じた維持管理業務を長期的にモニタリングし評価することによって初めてその効果が計測される。そのため、アセットマネジメントのPDCAサイクルに従って、順次その効果を検証し改善するための方法を取り入れたマネジメントシステムの開発と運用が必要

となる。本研究では、京都市における舗装の維持管理業務を対象として、長期的視点において維持管理業務を継続的に改善していくためのロジックを構築するための実践について述べる。アセットマネジメントに関する第1歩を踏み出した実践例が数多く報告されるなか、本研究は、自治体における継続的なアセットマネジメントの実践に着目しており、ベンチマーキング評価という方法論に独創性・新規性が存在するとともに、その実践の過程に関して有用な情報を提供することを目的としている。

## (2) 舗装維持管理業務の課題

自治体等の道路管理者は、膨大な延長に及ぶ道路ネットワークを管理しており、これらの道路の機能を低下させることなく、安心・安全や快適性の確保等、市民満足度の高いサービスを持続的に提供する責務がある。一方、昨今の厳しい財政状況下において、必ずしも十分な維持管理予算を確保できるとは限らない。前述したように、アセットマネジメントに関するこれまでの研究成果により、舗装のライフサイクル費用を合理化するような予算計画を立案することが可能となった。しかしながら、アセットマネジメントにおける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、最適補修戦略の実行に至るまでに大きな障壁がある場合が少なくない。ライフサイクル費用分析により導出した最適補修戦略は、長期的視点においてライフサイクル費用を低減させることが可能な場合でも、近視眼的に十分な補修費用を確保できなければ、施設の劣化が進行し、最適な補修のタイミングを逸してしまう。このように、アセットマネジメントのマクロレベルでは、最適な維持管理シナリオを実行するために必要な予算を調達するとともに、プロジェクトレベルでは、限られた予算の範囲内で、合理的な補修計画を立案することが求められる。

## (3) アセットマネジメントの階層構造

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。

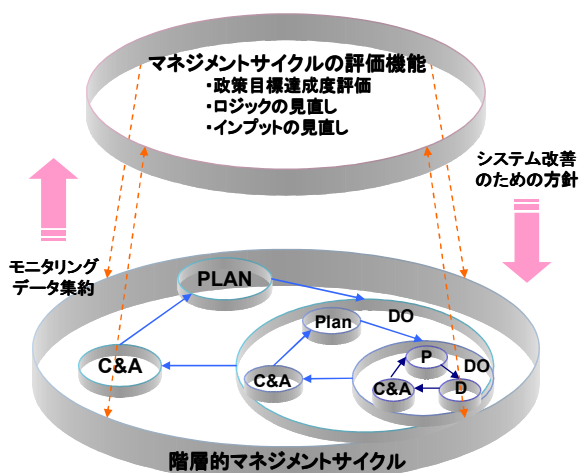
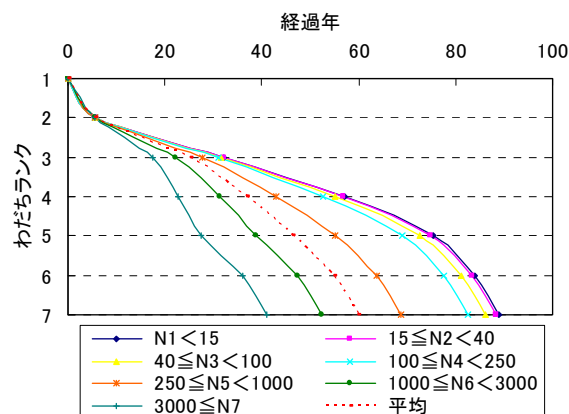


図-1 アセットマネジメントの階層構造

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削減を図るためには、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、日常管理業務内でことを実施することは不可能であり、日常管理業務を統括することを目的としたメタレベルのマネジメント機能が必要となる。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、それらを評価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-I)。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、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ことが必要となる。

#### (4) 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



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(単位: 台/日・方向)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

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1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い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をベンチマーキング曲線と定義する。更新した劣化予測モデルがベンチマーキング曲線より図-2の右側にシフトすれば、ベンチマーキング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、何らかの舗装の長寿命化施策を適用したとするならば、ベンチマーキング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。

本研究では、道路舗装の劣化予測モデルとして、ハザード関数を用いて定式化したマルコフ推移確率行列を推計する<sup>412)</sup>。マルコフ推移確率行列は、過去の調査データや補修履歴データ等の統計データを用いて、ハザード関数を特定するための劣化ハザード率を推計することで算出することができる。劣化ハザード率は、舗装の損傷別の健全度ランク個々についての劣化の速度を表す指標であり、劣化ハザード率が大きいほど、劣化速度が相対的に早いことを示す。ベンチマーキング評価では、このハザード率を用いて、舗装区間の劣化特性を把握し、長寿命化のための重要管理対象区間の抽出等を検討する。なお、劣化ハザード率の推計方法については、4.で述べる。

#### (5) ロジックモデルとベンチマーキング評価

施設全体の劣化パフォーマンスカーブを長寿命化ヘシフトさせるためには、維持管理業務の実施単位によって対象施設の範囲を細分化し、個々のセクションに属する施設の劣化速度の異質性を評価することが求められる。そのうえで、劣化速度の相対評価によって、劣化速度が著しく速く、業務プロセスを改善する対象となるセクションを抽出する。ベンチマーキング評価による改善対象の舗装区間は、全体の劣化パフォーマンスを改善するために、補修工法等の新たな維持管理手法を取り入れるなど試行的改善を行うことが必要となる。さらに、新たな手法を導入した業務の結果を計測するためのモニタリング調査を行い、新たな維持管理に関するデータを取得し、劣化パフォーマンスを推計し、劣化速度の異質性を評価する。劣化パフォーマンスカーブの相対評価により、新たに業務改善の対象となるセクションが抽出され、それに対してベンチマーキング評価を行う。このように、継続して維持管理業務の成果をモニタリングし、逐次、ベンチマーキング評価を実行することにより、施設全体の長寿命化という目標を達成するための業務サイクルが機能することになる。

このベンチマーキング評価を実施する主体は、日常的な舗装の管理を実施する現場ではなく、舗装の維持管理のパフォーマンスを評価する機能を有する部局であることが望ましい。舗装ロジックモデルは、この日常的な舗装の維持管理業務のパフォーマンスを計測し改善するための評価ツールである。日常的維持管理のパフォーマンスに関するデータを蓄積し、ロジックモデルを用いて各評価指標を導出するとともに、インプットの改善を検討する。改善されたインプットは技術指針等として整理し、

日常の維持管理業務において実践に供せられる。以下、3.においてロジックモデルの作成方法を、4.において、さらに維持管理業務の成果を計測するための劣化パフォーマンスの推計方法について考察する。

### 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<sup>18)</sup>。

土木施設の維持管理業務に関す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等で示される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-1に示した階層の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役割を有している。

#### (2) 舗装ロジックモデルの構築

本論文の実践の対象である京都市では、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いて舗装管理のあり方について検討している。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



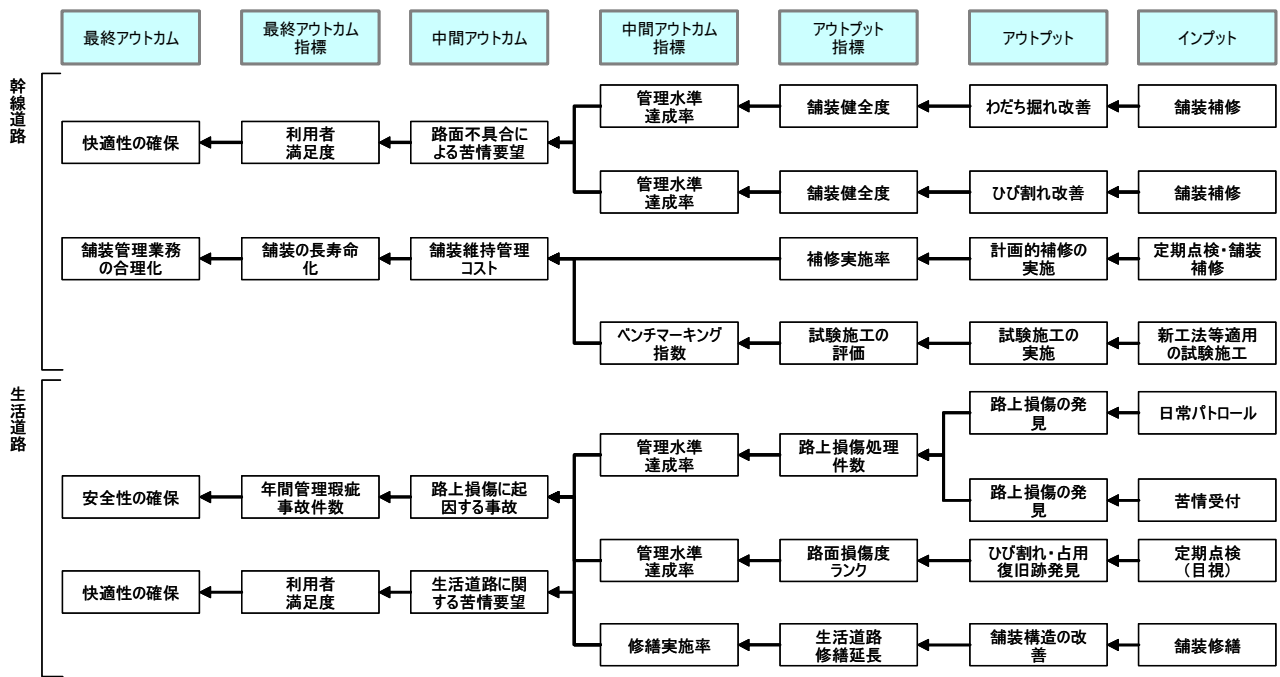


図-3 舗装ロジックモデル (一部抜粋)

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-3)。舗装ロジックモデルは、舗装管理に関する全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、その成果は膨大な量に及ぶため、その全てを掲載することは不可能である。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立ち、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、ベンチマーキング曲線を改善することによって達成される最終アウトカムである。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キング評価の方法については、4.にて解説する。

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)することにより損傷発生リスクを低減する。

このようにロジックモデルを用いることにより、日常

的に実施される舗装の維持管理業務を定期的にモニタリングし、目標達成のためのインプットの改善を逐次検討することが可能となる。そのためには、ロジックモデルの各アウトプット及びアウトカム指標を定量的に評価することが重要となる。舗装の維持管理業務は多岐に亘り、生成される情報や導出する指標も数多く存在する。そのなかで、本論文では、幹線道路における舗装の長寿命化をモニタリングするためのロジックに焦点を絞る。以下、4.にて、舗装の劣化パフォーマンスを表すベンチマーキング曲線の推計方法と、劣化ハザード率を用いたベンチマーキング評価の方法について述べる。

#### 4. 劣化ハザード率の推計方法

##### (1) 劣化ハザード率推計のためのデータ管理

ベンチマーキング評価の対象として、本研究では舗装路面の損傷である、1) ひび割れ、2) わだち掘れ量の2つの路面の損傷状態を取り上げる。劣化ハザード率を推計するためには、舗装路面の劣化に関する時系列データを整備する必要がある。劣化ハザード率の推計には、①路面の損傷状態を観測した路面性状調査データ、②補修履歴情報、③路面の劣化速度に影響を及ぼす観測可能な特性変数(交通量等)が必要となる。①路面性状調査データは、舗装区間別の、ひび割れ、わだち掘れ等の損傷度を定量的に評価したデータであり、自動測定車を用いて定期的実施される調査によって獲得される。路面性状調査の評価単位は、100mを基本とする。ただし、交差点や橋梁、トンネル等の構造物が存在する地点で区間を

再分割するため、その場合の区間延長は100mよりも短くなる。調査データを時系列に整備する際、過去に実施された路面性状調査時の評価単位を同一の基準によって調査データを作成することが重要となる。

一方、②補修履歴情報は、補修が実施された区間、補修工法、施工条件等の情報を蓄積する。補修履歴情報は、補修が実施される時点に、路面性状調査の評価区間とリンクさせて、その都度記録する必要がある。

このように、舗装に関する各種データを評価単位毎の時系列データとして整備し、同一舗装区間に対して、過去に複数回の調査が実施された時点あるいは補修が実施された時点から最新の調査時の損傷度と調査の時間間隔及び特性変数の組み合わせを1サンプルとしたデータベースを作成し、劣化ハザード率を推計する。

## (2) 舗装区間別の劣化ハザード率の推計

舗装の劣化予測モデル及び劣化予測モデルの相対評価により得られる劣化ハザード率の推計方法について簡単に説明する。なお、推計方法等の詳細については参考文献<sup>4),12)</sup>を参照していただきたい。

劣化ハザード率は、道路舗装の統計的劣化予測モデルのパラメータとして表現される。統計的劣化予測モデルは、マルコフ推移確率行列を用いて定式化され、マルコフ推移確率は、マルコフ劣化モデルを用いて推計できる。まず、複数ある舗装の損傷の1つに着目し、その損傷度を離散的な健全度レーティングで定義する。いま、ある時刻において、レーティング $i$  ( $i = 1, \dots, I-1$ ) が観測された舗装区間について、その時点から時間 $y_i$ が経過した時刻においてレーティングが $i+1$ に変化する確率密度関数を、ハザード関数 $\theta_i(y_i)$ を用いて表現する。ハザード関数が経過時間 $y_i$ に依存せず、常に一定値 $\theta_i > 0$  ( $i = 1, \dots, I-1$ ) をとる場合、指数ハザード関数

$$\theta_i(y_i) = \theta_i \quad (1)$$

が成立する。指数ハザード関数を用いることにより、劣化過程が過去の履歴に依存しないというマルコフ性を表現できる。さらに、このハザード関数を用いてマルコフ推移確率を定義する。

指数ハザード関数を用いて、時間間隔 $z$ の間でレーティングが $i$ から $j$  ( $j > i$ ) に推移するマルコフ推移確率 $\pi_{ij}(z)$  ( $i = 1, \dots, I-1; j = i+1, \dots, I$ ) は、

$$\pi_{ij}(z) = \sum_{m=i}^j \prod_{s=i}^{m-1} \frac{\theta_s}{\theta_s - \theta_m} \prod_{s=m}^{j-1} \frac{\theta_s}{\theta_{s+1} - \theta_m} \exp(-\theta_m z) \quad (2)$$

( $i = 1, \dots, I-1; j = i+1, \dots, I$ )

と表すことができる。ただし、表記上の規則として、

$$\begin{cases} \prod_{s=i}^{m-1} \frac{\theta_s}{\theta_s - \theta_m} = 1 & (m = i \text{ の時}) \\ \prod_{s=m}^{j-1} \frac{\theta_s}{\theta_{s+1} - \theta_m} = 1 & (m = j \text{ の時}) \end{cases}$$

が成立している。指数ハザードモデルの未知パラメータ $\theta_i$ は、観測可能な説明変数と未知パラメータの組み合わせにより、

$$\theta_i = \mathbf{x}\beta'_i \quad (3)$$

として表現される。ここに、 $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_M)$  は説明変数による特性ベクトル、 $\beta_i = (\beta_{i,1}, \dots, \beta_{i,M})$  は未知パラメータ $\beta_{i,m}$  ( $m = 1, \dots, M$ ) による行ベクトルである。これにより、レーティング別に劣化速度の違いを表現することが可能である。

次に、劣化速度の相対評価のための舗装区間個々の劣化ハザード率を表現する、混合マルコフ劣化モデルの推計によって導出される劣化速度の相対評価である劣化ハザード率について説明する。分析対象とする舗装区間を、劣化速度の相対評価を行うための基本単位として、任意の $K$ 個のグループに分割する。さらに、グループ $k$  ( $k = 1, \dots, K$ ) には、合計 $L_k$ 個の舗装区間が存在すると仮定する。グループ $k$  ( $k = 1, \dots, K$ ) に固有なハザード率の変動特性を表すパラメータ（以下、異質性パラメータと呼ぶ） $\epsilon^k$ を導入する。この時、グループ $k$ の要素 $l_k$  ( $l_k = 1, \dots, L_k$ ) のレーティング $i$  ( $i = 1, \dots, I-1$ ) のハザード率を、混合指数ハザード関数

$$\theta_i^{l_k} = \tilde{\theta}_i^{l_k} \epsilon^k \quad (4)$$

を用いて表す。ここに、 $\tilde{\theta}_i^{l_k}$  はグループ $k$ の要素 $l_k$ が有するレーティング $i$ の平均的ハザード率（以下、標準ハザード率と呼ぶ）である。異質性パラメータ $\epsilon^k$ は、グループ $k$ の標準ハザード率 $\tilde{\theta}_i^{l_k}$ からの乖離の程度を表す確率変数であり、 $\epsilon^k \geq 0$ が成立すると仮定する。異質性パラメータ $\epsilon^k$ 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す。

ハザード関数 $\theta_i$ によって、交通量や道路特性等の観測可能な劣化要因別の平均的な劣化速度を表現することが可能である。一方、舗装の劣化過程は観測不可能な要因による不確実性を多く含んでいる。そのような劣化過程の異質性については、混合マルコフ劣化モデルによって導出されるパラメータ $\epsilon^k$ によって表現することが可能

である。

### (3) 劣化ハザード率の解釈

以上に述べた方法により、各舗装区間の劣化ハザード率を推計することができる。ここでは、推計された劣化ハザード率の解釈に関する考え方について述べたい。

劣化過程の不確実性を考慮した確率的劣化予測モデルは、劣化過程の不確実性を確率で表現する。つまり、ある時刻における劣化状態を確定的に予測するものではなく、ある時刻において、ある健全度ランクに推移する可能性を確率で表現するものである。このような劣化推移確率は、劣化過程の不確実性を考慮したうえで、ある時刻における劣化状態のばらつきを表現している。対象とする施設が多い場合に、予算計画等のマクロ分析において、将来時点における補修需要を推計することが可能となる。マクロ分析においては、施設個々の劣化速度に関する情報を必ずしも必要としない。

一方、式(4)にて表される劣化ハザード率は、施設個々の劣化速度の異質性を、施設全体の平均的な劣化速度からの乖離度合いにより表現したものである。施設全体の平均的な劣化速度を推計したうえで、施設個々の劣化速度の違いを異質性パラメータにより表現し、その異質性パラメータがある確率分布にしたがって変化するという仮定に基づいて、施設個々の劣化速度を推計するものである。このようにして推計された劣化ハザード率は、個々の施設固有の平均的な劣化速度を表現したものであるが、個々の施設に関する確定的な劣化予測情報を与えるものではないことに注意する必要がある。異質性パラメータ $\epsilon_i$ が大きい舗装区間の劣化速度が、他の舗装区間と比較して相対的に速いことを、過去の劣化のパフォーマンスに関するデータにより示すものである。過去の劣化のパフォーマンスが相対的に速い箇所は、劣化速度に影響する何らかの要因が存在することが想定できる。この情報を用いて、劣化する確率が高い施設を優先的に補修することにより、将来的な劣化リスクを低減することが期待できる。さらに、極端に劣化パフォーマンスが悪い施設は、新しい工法を適用する等の試験施工を行うことで、施設の長寿命化を達成することが期待できる。

## 5. ベンチマーキング評価の実践

### (1) 実践の概要

京都市が管理する幹線道路の舗装維持管理業務を対象としたベンチマーキング評価の実践について述べる。京都市は、約3,100kmの舗装道路を管理しており、このうち幹線道路の総延長は約680kmに及ぶ。北部から都市中

心部にかけて国内有数の観光地が存在し、南部は産業活動・物流が盛んな地域特性を有しており、さらには緊急輸送道路、交通量等の特性が異なる多様な道路ネットワークが形成されている。

京都市では、出先機関である7つの土木事務所が道路の維持管理業務を担当している。この7つの土木事務所をサポートし道路施設の維持管理業務の推進を図るため、平成19年度に土木事務所の総合調整を行う「調整管理課」という本庁組織を新設する組織改正が行われた。組織改正前は、舗装や橋梁の維持補修、災害防除、河川維持補修等を所管する複数の本庁部署が土木事務所に関わっていたが、調整管理課が新設されることにより、土木事務所に関わる本庁部署は調整管理課に概ね一元化された。調整管理課は、土木事務所が執行する道路等の維持管理予算を管理し、土木事務所の工事設計に対する技術的な照査も行っており、舗装アセットマネジメント全般を実施する組織である。平成18年度から幹線道路を対象として路面性状調査を実施し、その結果をデータベースに蓄積している。データベースには路面の損傷情報のほか、過年度に施工した舗装工事の補修履歴も合わせて蓄積している。京都市の幹線道路を対象とし、蓄積されたデータを用いて劣化予測モデルを作成するとともに、路線別の劣化速度の異質性を評価した劣化ハザード率を推計し、ベンチマーキング評価を実施する。さらに、ロジックモデルをベースとした舗装維持管理業務の業務改善の実践について考察する。

### (2) 京都市の舗装維持管理業務の課題

京都市は膨大な道路延長を管理しており、舗装の劣化が顕在化している。これまで、市内の道路管理を担当する7つの土木事務所それぞれが日常パトロールや市民からの要望を踏まえて管内の補修路線の選定を行い、補修の必要性を判断していた。しかし、現在の厳しい財政状況においては、維持管理予算の飛躍的な増加は難しい。このようななか、膨大な延長に及ぶ舗装道路のなかから路線の重要度や路面の損傷状態を客観的に把握したうえで、複数の補修候補路線を選定し、その中から優先順位を設けて効果的な補修を実施していくことが求められる。

まず、幹線道路を対象として平成18年度より路面性状調査を実施し、ひび割れ、わだち掘れ、平たん性の路面の定量的な損傷度の把握に努めた。調査結果の評価単位は100mを基本とするが、舗装の剥離やポットホール等のスポット的な路面の損傷を把握することを目的として、20m毎の評価結果を同時に管理している。路面の損傷状態を定量的に把握することで、補修候補箇所を選定する際の客観的な指標化が可能となった。



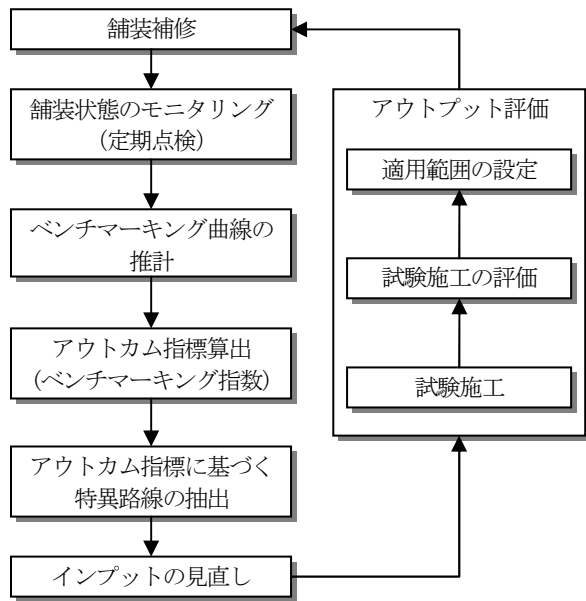


図4 ベンチマーキング評価の手順

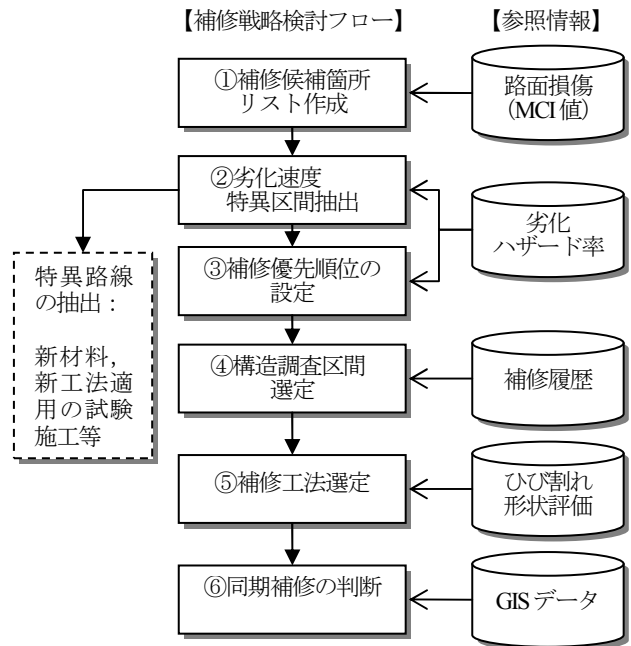


図5 劣化ハザード率を用いた補修戦略検討フロー

一方、路面の劣化状態のみで最適な補修工法を判定することは困難であり、路面下の舗装構造の健全度を評価する必要がある。舗装構造の健全度を調査する方法として、たわみ量の測定により舗装材料の強度や構造的強度を非破壊で評価できる FWD (Falling Weight Deflectometer) 調査等がある。仮に、市内の全路線で FWD 調査を実施できれば、路面損傷と舗装構造の両面から総合的に評価できるため、非常に精度の高い補修計画の立案や最適な維持修繕工法の採用が可能となるが、膨大な管理延長全てにおいて FWD 調査を実施することは、現実的に不可能である。このため、既に実施している路面性状調査や補修履歴情報等の既存データを有効活用し、補修箇所や構造調査箇所の優先度を決定するための手法が必要となった。

このような現状のもとで、舗装維持管理業務の課題に対して、本論文で提案したベンチマーキング評価を適用し、舗装の維持管理業務の改善した新たなマネジメントシステムを構築した。

### (3) ロジックモデルを用いたベンチマーキング評価

ベンチマーキング評価は、舗装区間の劣化ハザード率を導出することにより実行され、その結果として補修戦略の改善等のインプットの見直しは、ロジックモデルに従って実施される。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、ベンチマーキング曲線を更新する。これらを繰り返して実行することにより、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。ベンチマーキング評価の手順を、図4に示す。

劣化ハザード率の推計結果は、さらに戦略的な補修計画の立案のための意思決定の際に参照することができる。劣化ハザード率を用いた補修戦略を検討するフローを図5に示す。劣化ハザード率が高い舗装区間は、将来時点において当該舗装区間の劣化するリスクが高いことを示す。

### (4) ベンチマーキング評価の分析

京都市が管理する幹線道路の、ひび割れ率及びわだち掘れ量の進行過程を対象として、マルコフ劣化ハザードモデルを用いて劣化予測モデルを作成した(図2参照)。さらに、路線別の劣化速度の異質性を評価し、劣化ハザード率を算出した。

劣化予測モデルを作成するにあたっては、路面性状調査の同一の調査単位に関する複数の調査結果が必要となる。京都市では平成18年度から路面性状調査を開始しており同一調査単位に複数のデータを得ることができない。しかしながら、過去に実施した補修工事情報を蓄積しており、補修時点から路面性状調査までの劣化の進行と経過時間を1サンプルとして計上し推計のためのデータバ

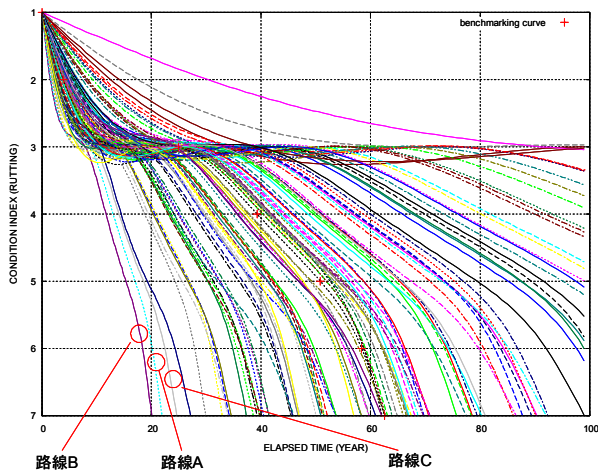


図-6 わだち掘れ量に関する路線別の劣化曲線

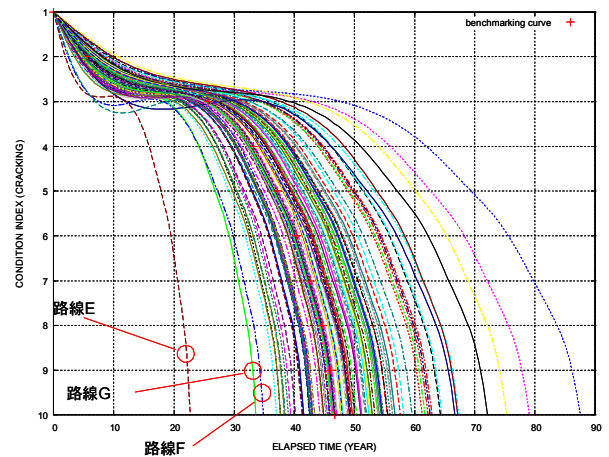
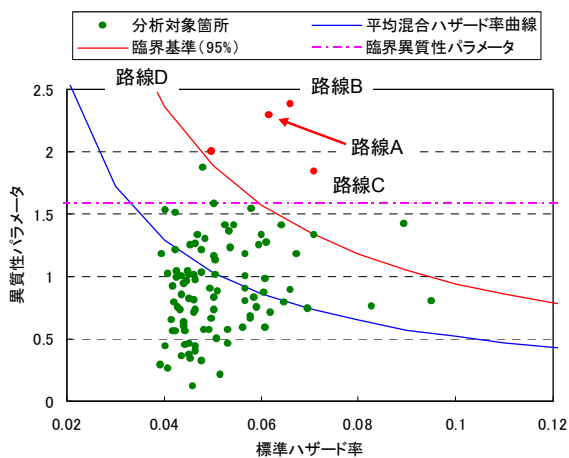
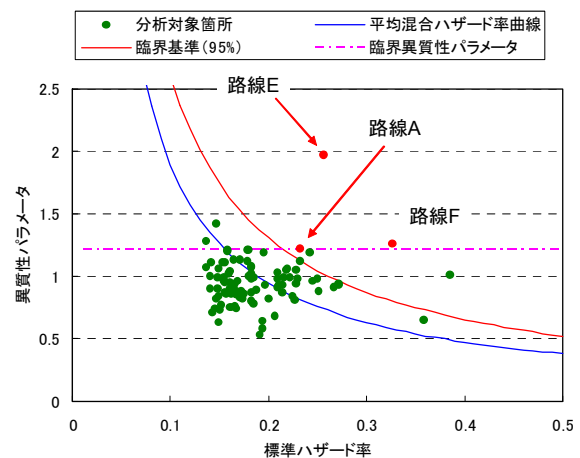


図-8 ひび割れに関する路線別の劣化曲線

図-7 標準ハザード率と異質性パラメータの関係  
(わだち掘れ：ランク 2)図-9 標準ハザード率と異質性パラメータの関係  
(ひび割れ：ランク 1)

ースを構築し、約2,300サンプルを取得した。

次に、混合指数マルコフ劣化ハザードモデルを用いて、劣化速度の異質性を評価した劣化ハザード率を推計した。異質性パラメータの評価単位を各路線単位にグループ化し、1本の路線が複数の管理事務所に跨る場合は、事務所の管轄エリアにより分割した。

図-6に、わだち掘れ量を対象として路線別の劣化ハザード率を推計し、期待寿命長によって描画した劣化パフォーマンスカーブを示す。劣化ハザード率は、各舗装区間の劣化リスクを評価しており、劣化ハザード率の大きな舗装区間は、現在の舗装の損傷状態に依らず、将来時点において劣化する可能性が高いと判断できる。図-7は、同じくわだち掘れ量の劣化ハザード率の推計結果を用いて、評価区間別の標準ハザード率（ランク2）と異質性パラメータの関係をプロットしたものである。横軸の標準ハザード率には、大型車交通量によるばらつきが表現されている。一方、縦軸の異質性パラメータは、大型車交通量以外の要因による劣化速度の違いを表現したもの

である。図中の実線で示した平均混合ハザード率曲線は、分析対象路線全体のハザード率の平均を示し、臨界基準（95%）を示す実線は、ハザード率による順列の結果、上位5%を抽出する臨界値を表している。一方、破線で示した臨界異質性パラメータは、標準ハザード率の影響を除き、異質性パラメータの大きい評価区間の上位5%を抽出する臨界値である。図-8及び図-9は同じくひび割れについての推計結果を示している。

図-6及び図-7の結果より、わだち掘れ量の劣化が著しく速い3路線（路線A、路線B、路線C）を抽出した。これら3路線における、ひびわれ率、わだち掘れ量、平坦性の3つの指標から算出した維持管理指数（MCI：Maintenance Control Index）は4～5であり、他の路線と比較して現況の損傷度が著しく進行しているとはいえない。これらの3路線は京都市南部の主要な幹線道路であり、市内でも大型車交通量が著しく多い路線であることがわだち掘れ量を早く進行させる原因の1つと考えられる。また、この他にも施工当時の品質や観測不可能な要素が

起因していることが考えられる。これまで、補修工事を担当する現場の土木事務所では、これら路線に対する補修の優先順位を高く設定し補修費用の要望を行っていたが、維持管理指数（MCI）の評価により必ずしも補修の対象とはならなかった。しかし、劣化ハザード率を推計し、道路舗装のベンチマーキング評価を実施した結果は、現場の土木事務所の技術者による経験的な知見に基づく補修要望箇所と一致しており、ある時点の路面の損傷値（MCI値）だけでは評価できなかった劣化リスクの影響を考慮した結果が得られている。言い換えれば、現場を担当する技術者は、日常管理において経験的に劣化リスクが高い路線を把握しており、ベンチマーキング評価を用いることにより工学的知見による分析によって現場の経験的な見解が正しいことが明らかとなった事例である。一方、ベンチマーキング評価によって抽出される劣化リスクが高い区間は、必ずしも現場の技術者にて経験的に把握されるとは限らず、新たな問題箇所が発見される場合も考えられる。このような場合は、抽出された問題箇所の劣化のメカニズムを分析するための詳細な調査を実施することにより、ベンチマーキング評価の妥当性を検証していくことが重要となる。

#### (5) 舗装維持管理業務への適用による効果と課題

ベンチマーキング評価を用いた舗装維持管理業務を実践していくには、舗装の維持管理業務に係る各担当者が改善された業務モデルの目的や内容を理解し、それぞれの役割を果たしていく必要がある。そのため、アセットマネジメントに関する研修や補修履歴情報をデータベースに入力するシステム操作の研修等の普及活動を実施した。また、土木事務所により実施された補修工事の設計内容に対して、調整管理課がその妥当性や技術基準への適合性を照査し、併せてコスト縮減や舗装の長寿命化への効果が期待できる新工法や新材料の導入に関する情報を収集し、土木事務所への情報提供を行った。このような研修や情報共有等を実践することにより、着実に組織内における業務改善への取組が浸透しつつある。

補修工事を実施する際には、調整管理課が土木事務所の情報を集約し補修候補箇所リストを作成するとともに、ベンチマーキング評価による補修の優先順位を選定する。土木事務所は調整管理課から提供された情報を基に、現場の詳細踏査を行い、補修工法を決定し予算要求資料を作成する。最適な補修工法を決定する際には、FWD調査の実施箇所をベンチマーキング評価を用いて選定する。このように、ベンチマーキング評価を用いて新たな舗装の維持管理業務への取り組みが始まっている。ベンチマーキング評価で示された、わだち掘れ量の劣化速度が著しい路線については、わだち掘れ対策の強化として、一部

区間で耐流動性に優れた高耐久排水性舗装合材を採用して長寿命化を図っている。路面性状調査によるMCI値のみ用いた従前の補修計画では他の路線を優先されることとなるが、ベンチマーキング評価を用いたことで、将来の劣化リスクを考慮した、わだち掘れに対する長寿命化戦略に対する関係者の合意形成が得られた。

一方、山間部の道路を対象とした補修工事では、これまで沿道に家屋が建っていない舗装区間を修繕する際に路面高を考慮する必要がないことから、オーバーレイが適用されるケースが一般的であった。しかし、現況のMCI値が低く、将来の劣化リスクが高い路線については、路上路盤再生工法を採用する方針をとった。路上路盤再生工法は、従前の工法に比べ初期費用が高くなるが、ライフサイクル費用の削減と長寿命化が期待できると判断した。路上路盤再生工法は、路上において既設アスファルトを現位置で破砕し、同時にセメントや瀝青材料等の安定材を混合・転圧して、新たに安定処理路盤を構築するものである。この工法は、廃材が少なく、施工が早いというメリットに加え、打換え工法と比較してコスト縮減が図られる等の利点を有している。このように、現場の補修工事を担当する技術者にアセットマネジメントの理解が浸透し、コスト縮減や長寿命化を考慮した舗装設計の重要性が改めて認識され、ベンチマーキング評価を用いた補修戦略が実践されつつある。

京都市ではこのように、ロジックモデルに基づくベンチマーク評価を用いた補修戦略の実践が緒に就いたばかりであり、これらの取り組みによるコスト縮減や長寿命化の効果が実際に現れるまでには一定の時間を要する。これらの取り組みの効果をモニタリングするツールとしてロジックモデルが機能する。ロジックモデルにおけるアウトカム達成状況を定期的に評価し、ベンチマーキング曲線を改善するため、補修戦略等のインプットの定期的な見直しを行う必要がある。また、ベンチマーキング評価のためには、補修履歴情報や路面性状を継続的に蓄積する必要がある。劣化ハザード率により、劣化速度が相対的に速い箇所の抽出が可能であるが、それらの舗装に対して効果的な対策を施すためには、劣化速度が速い要因を詳しく分析する必要がある。また、劣化が著しく速い区間に対して試験施工を行った場合には、より詳細なデータの蓄積を行い、ベンチマーキング曲線の変化を検証しなければならない。そして、効果的な補修工法に対しては、他の路線への適用を通して、管理舗装全体の長寿命化や維持管理費用の削減という観点から、その有効性について評価することが必要となる。このように時間をかけて、各種データを継続して蓄積、検証し、合理的な舗装維持管理を実現させるためには、ロジックモデルの持続的な運用により業務改善を継続するとともに、

ロジックモデルを用いたアウトカム指標として、舗装維持管理業務に関する具体的な費用削減効果を明らかにすることも、今後の大きな課題である。

## 6. おわりに

本研究では、道路舗装の維持管理問題に着目し、日常の維持管理業務にて生成される統計データを用いて舗装区間の劣化リスクを評価し、継続的に劣化リスクを減少させるようなアセットマネジメントシステムの考え方を提案した。さらに、舗装の長寿命化とライフサイクル費用の削減を達成することを目標とした補修戦略を求める方法論を開発し、実際の維持管理業務へ適用を図った取り組みについて考察した。その際、自治体が管理する道路舗装の維持管理に焦点をあて、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、コスト削減や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速度のベンチマーキング評価方法を提案するとともに、この方法を運用していくために必要なデータ更新や補修工法選定等を着実に行うためのマネジメントシステムを構築した。さらに本研究で提案した道路舗装の新たなマネジメントシステムの考え方を、京都市の幹線道路の維持管理業務に適用し、合理的な舗装維持管理を目指した実践事例を示した。実際に京都市が蓄積してきた路面性状調査結果や補修履歴情報を用いて劣化ハザード率を推計し、道路舗装の劣化過程のベンチマーキング評価を適用した。その結果、路面の損傷状態だけでなく、将来時点における舗装区間別の劣化リスクを用いた補修計画を立案することで、ベンチマーキング評価が、ネットワークレベルを管理する政策決定者とプロジェクトレベルにて補修工事を実施する担当者との間の合意形成に有効な手段であることを実証的に示した。また、ロジックモデルに基づいたベンチマーキング評価を維持管理業務の実践の場で適用したことにより、舗装の維持管理に係る組織内にコスト削減や舗装の長寿命化への考え方が浸透しつつあり、アセットマネジメントに取り組む体制が整ったと考える。

一方、コスト削減や長寿命化等の最終アウトカムを達成するためには中長期的な実践が必要であり、ロジックモデルに基づく評価を確実に実施するための各種データを蓄積・更新することが重要な課題である。さらには、本研究で立案したベンチマーキング評価を用いた舗装補修戦略は、劣化ハザード率の推計結果が補修戦略に強く影響を及ぼすこととなり、蓄積された膨大なデータから劣化ハザード率を順次更新していくための仕組みを構築

する必要がある。舗装維持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たロジックモデルを運用していくための方法論の確立が今後の最大の課題である。本研究の実践のフィールドである京都市では、舗装のアセットマネジメントの取り組みに着手したところであり、本研究で提案した方法論を実践し定着させるためには、関係者間における議論を重ね試行錯誤を繰り返しながら、高い成果が達成できるマネジメントシステムの構築のための活動を継続することが重要である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省道路局：「道路構造物の今後の管理・更新のあり方」に関する提言，2003-2004。
- 2) 小林潔司，上田孝行：インフラストラクチャ・マネジメント研究の課題と展望，土木学会論文集，No.744/IV-61，pp.15-27，2003。
- 3) 青木一也，山本浩司，小林潔司：劣化予測のためのハザードモデルの推計，土木学会論文集，No.791/VI-67，pp.111-124，2005。
- 4) 津田尚胤，貝戸清之，青木一也，小林潔司：橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推計，土木学会論文集，No.801/I-73，pp.69-82，2005。
- 5) 青木一也，山本浩司，津田尚胤，小林潔司：多段階ワイブルハザードモデル，土木学会論文集，No.798/VI-68，pp.125-136，2005。
- 6) 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，pp.1-15，2007。
- 7) 小林潔司：分権的ライフサイクル費用評価と集計的効率性，土木学会論文集，No.793/IV-68，pp.59-71，2005。
- 8) 貝戸清之，保田敬一，小林潔司，大和田慶：平均費用法に基づいた橋梁部材の最適補修戦略，土木学会論文集，No.801/I-73，pp.69-82，2005。
- 9) 青木一也，山本浩司，小林潔司：トンネル照明システムの最適点検・更新政策，土木学会論文集，No.805/VI-69，pp.105-116，2005。
- 10) 青木一也，山本浩司，小林潔司：時間依存型劣化過程を有するシステムの集計的最適点検・補修モデル，土木学会論文集 F，Vol.62，No.2，pp.240-257，2006。
- 11) 青木一也，貝戸清之，小林潔司：ライフサイクル費用評価が複数橋梁の劣化・補修過程に及ぼす影響，土木計画学・研究論文集，土木学会，Vol.23，No.1，pp.39-50，2006。
- 12) 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 A，Vol.64，No.4，pp.857-874，2008。
- 13) Cambridge Systematics, Inc.: *Pontis release 4.4 Technical Manual*, 2005.
- 14) Cambridge Systematics, Inc.: *Pontis release 4.4 User's Manual*, 2005.
- 15) PIRAC: Overview of HDM-4, *Highway Development and Management Series*, 2006.
- 16) 慈道充，江尻良，織田澤利守，小林潔司：道路舗装管理会計システムアプリケーション，土木情報利用技術論文集，土木学会，Vol.13，pp.125-134，2004。
- 17) 青森県県土整備部道路課：青森県橋梁アセットマネジメント基本計画，2004。

- 18)坂井康人, 上塚晴彦, 小林潔司: ロジックモデル (HELM) に基づく高速道路維持管理業務のリスク最適化, 建設マネジメント研究論文集, 土木学会, Vol.14, pp.125-134, 2007.

(2009. 10. 16 受付)

## BENCH-MARKING EVALUATION FOR LONG-LIFE PAVEMENT BASED ON LOGIC MODEL

Kazuya AOKI, Koichi ODA, Eiji KODAMA, Kiyoyuki KAITO and Kiyoshi KOBAYASHI

This study focuses on the asset management to aim at the rationalization of maintenance work in road pavement and making long-life pavement, and presents a practical concerning a new concept of Pavement Management System with learning ability which is utilizing the deterioration risk of pavement and bench-marking evaluation of deterioration speed. The relative deterioration speed which has substantial uncertainty in deterioration process is expressed by heterogeneity parameter that shows divergence degree from average deterioration curve (bench marking curve) and the methodology to decide the priority for pavement section to apply the log-life strategy is proposed by clarifying peculiar sections of the deterioration process. Furthermore, this paper mentions the ideal way of new maintenance management work to which making long-life pavement is evaluated by using logic model secularly and continually. Finally, the practical availability of the new concept proposed in this study was investigated by a case study for the usual maintenance work in Kyoto City.