

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

①研究代表者		氏 名 (ふりがな)		所 属		役 職			
		(かいと きよゆき) 貝戸 清之		大阪大学 大学院工学研究科		教授			
②研究 テーマ	名称	統計的アセットマネジメント手法に基づくバックキャスト型道路政策の深化 についての技術研究開発							
	政策 テーマ	[主テーマ] インフラ分野のデジタル・ト ランスフォーメーション			分科会／ 公募タイプ	タイプⅣ (ハード分野)			
		[副テーマ]							
③研究経費 (単位：万 円) ※端数切り捨て。実際の研究期 間に応じて記入欄を合わせる こと		令和3年度		令和4年度		令和5年度		総 合 計	
		3,100		1,755				4,855	
④研究者氏名		(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追 加下さい。)							
氏 名		所属・役職 (※令和6年3月31日現在)							
小林潔司		京都大学 名誉教授 京都大学経営管理大学院 特任教授							
松島格也		京都大学防災研究所 特定教授							
小濱健吾		大阪大学大学院工学研究科 特任准教授							
水谷大二郎		東北大学大学院工学研究科 助教							
笹井晃太郎		大阪大学大学院工学研究科 特任研究員							

⑤研究の目的

従来のアセットマネジメントにおいては、補修を経験した道路インフラが少数であったために、補修の実施に伴う健全度の回復によって、（補修が実施されていなければ観測されていたであろう）それ以降の劣化状態が観測できなくなるというサンプル欠損バイアスの影響を無視することができた。しかし、近年補修を経験した道路インフラの数が増加している（増加し続ける）こと、補修が実施される道路インフラは相対的に劣化の進展速度が速い傾向にあることを勘案すると、令和6年の点検3巡目以降の劣化予測精度にサンプル欠損バイアスが及ぼす影響が無視できなくなる可能性は想像に難くない。そのために、本プロジェクトではリサーチクエスション (RQ) 1-1「サンプル欠損バイアスの影響下において、その影響を考慮した統計的劣化予測は可能か」という問いを課し、課題解決のための方法論を開発する。また従来のアセットマネジメントでは、補修によって道路インフラの健全度は想定した健全度まで回復し、補修後の道路インフラは補修前と同様の劣化過程を進むものと考え、それが永続的に繰り返されるという前提のもと、ライフサイクル費用最小化を達成するような最適補修計画の立案に主眼が置かれてきた。補修を経験した道路インフラが増え、それらの点検データがある程度蓄積されてきたことから、RQ1-2「補修による健全度回復量と、補修後の劣化速度を定量的に評価できるか」を設定し、これらを同時推定可能な劣化モデルと推定手法を開発する。RQ1-1とRQ1-2によって二期目以降（補修後）のライフサイクルを迎える道路インフラのアセットマネジメントの体系化を図る。

このアセットマネジメント手法を基幹技術として、これまでのアセットマネジメントでは用いられてこなかった詳細な劣化属性情報や、アセットマネジメント以外の道路政策との融合を視野に入れて、RQ2「アセットマネジメントと劣化属性情報との融合による意思決定の高度化は可能か（アセットマネジメント×属性情報）」、RQ3「科学的根拠に基づくEBPMの道路政策への適用は可能か（アセットマネジメント×EBPM）」、RQ4「道路ネットワークとしてのリスク評価は可能か（アセットマネジメント×リスクマネジメント）」を設定して、従来分権的に検討されることが多かった道路政策に対して、DX時代を見据えた意思決定の高度化と政策の深化を図る。

⑥これまでの研究経過、目標の達成状況

■研究目的の達成状況

◇研究項目1-1 サンプル欠損バイアスを考慮した統計的劣化予測手法の精緻化

劣化予測モデルの修正・拡張，ベイズ推定アルゴリズムを構築するとともに，実際の橋梁を対象とした目視点検データを用いた劣化予測を実施するという目的を達成した．

◇研究項目1-2 劣化速度に着目した補修効果の定量的評価手法の開発

補修による健全度回復量と補修後の劣化速度を潜在変数とした混合確率モデルとその同時推定アルゴリズムを開発し，舗装に対する点検データを用いた適用事例を通して，回復量と劣化速度を2指標とする補修効果の定量的評価が可能であることを示すという目的を達成した．

◇研究項目2 補修優先順位および工法選定手法の開発

点検データと詳細な補修履歴，あるいは交通情報などの劣化属性情報を融合させることによって高度な意思決定や，派生的な意思決定に貢献する知見の創出が可能な方法論を提案するという目的を達成した．

◇研究項目3 個別施設計画を事例とするEBPMの開発

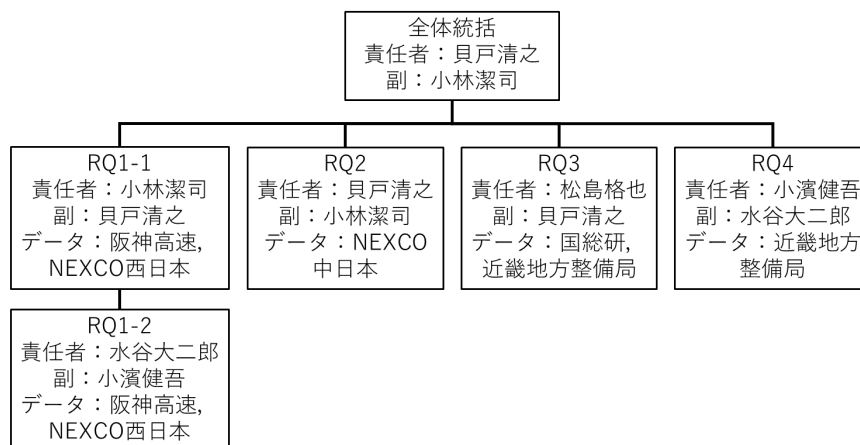
統計的劣化予測に基づく道路インフラの期待寿命を科学的根拠として，橋梁の個別施設計画の立案することにより，道路管理者の技術レベルに依存しない個別施設計画書の作成と，作成された個別施設計画の事後検証が可能となることを示すという目的を達成した．

◇研究項目4 経年劣化を考慮した道路ネットワークのリスク評価手法の開発

経年劣化を考慮した道路インフラのリスク評価が可能となるように，構造種別間のリスク評価を融合させることによって，道路ネットワークとしてのリスク評価を行うための方法論を提案するという目的を達成した．

■各研究者の役割・責任分担

当初計画の下図を基本とし，研究開発期間中に参画した大阪大学・笹井が各RQにおいて適宜役割を担い研究を遂行した．



⑦中間・F S 評価で指摘を受けた事項への対応状況

・指摘事項 1：劣化特性（例えば速度）に対応して、補修などのデータ欠損があった場合に生じるモードの違いを解析し、これをデータ欠損の検出に利用するとしたら、そのモード分析の研究内容が重要になると考える。また、再劣化の特性に影響する補修方法や既に劣化している部位の影響（例えば塩害であれば浸透塩分の逆流など）で劣化が促進される様な現象分析についても研究を行い、パターン抽出することが期待される。

・事項 1 に関する対応状況：部材材料の違いを考慮し、解析に用いるデータの分類を精査した。本研究が統計的アセットマネジメント手法に基づく技術研究開発であり、現象分析などは本研究の範囲を超えるが、関連するデータが獲得できれば、提案手法をデータ欠損の検出や再劣化の特性解析に活用することができる。

・指摘事項 2：劣化予測が実際の現象と概ね整合するかどうかの検証が望まれる。

・事項 2 に関する対応状況：研究項目3「個別施設計画を事例とするEBPMの開発」において、補修計画の策定が必要となる健全度ランクⅢへの劣化の進行に関して、モデルの予測結果と実際のデータとの整合性を検証した。

・指摘事項 3：構造物群を対象にしたアセットマネジメントとしての実装のためのマニュアルの内容を早期に定めて、マニュアルが実用できるかどうかを判断しながら開発を進めていただきたい。

・事項 3 に関する対応状況：

・指摘事項 4：最終成果であるマニュアルの作成から逆算し、具体的な研究内容・研究計画の洗い出しが必要。

・事項 4 に関する対応状況：マニュアルの作成に関して国土交通省の担当課や地方整備局の担当者らと協議し、（要領やガイドラインのような）上位レベルのマニュアル、（個々の要素技術に関する解説を記した）下位レベルのマニュアルを作成する方向で調整している。下位レベルのマニュアルについては、本研究開発において、統計的劣化予測技術マニュアル（案）を作成した。上位レベルのマニュアルについては、本研究開発終了後も引き続き関係省庁等と協働する。

⑧研究成果

◇研究項目1-1 サンプル欠損バイアスを考慮した統計的劣化予測手法の精緻化

補修が実施された損傷に対して、サンプル欠損バイアスを考慮した劣化予測モデルを用いて補修の劣化抑制効果を定量的に評価する方法を開発した。同モデルは、多段階指数ハザードモデルの尤度に補正係数を乗じることにより定義される（補正係数は、実績データより算出される健全度分布と、事前健全度のデータより算出される補修が実施されなかった場合に観測される頻度分布との比として定義できる）。これによって、補修実施部材と補修未実施部材との劣化速度の相違により推計結果にバイアスが生じている（例えば、劣化速度が大きい部材に対して補修が実施され、劣化速度が小さい部材に対しては補修が実施されない場合、それぞれデータの性質が異なるため、補修実施データと、補修未実施データを用いた劣化予測結果を単純比較することができない）場合においても、劣化抑制効果を評価することが可能となる。

図-1-1-1に、開発した手法（サンプル欠損バイアスを考慮したマルコフ劣化ハザードモデル）による補修措置（簡易補修）による劣化抑制効果の評価結果を示す。補修が実施されていない、すなわち相対的に劣化の進行が遅い（劣化速度が小さい）データをもとに劣化予測を行うことにより劣化パス②を推定できる。このとき用いたデータにおいては劣化の進行が相対的に大きいデータが欠損している。そのため、本来の劣化過程と比較して、劣化速度が過小評価されている可能性がある。このような推計バイアスに対してサンプル欠損を考慮した劣化予測モデルを用いて補正することにより劣化パス⑥が推定できる。これにより、劣化速度の差異に起因する推計結果のバイアスを除去することができる。さらに、サンプル欠損を除去した、すなわち劣化速度の差異を補正した場合における推計結果を用いて劣化シミュレーションを行うことにより、補修が実施されておらず、かつ劣化速度が相対的に大きい劣化パス④を推定することができる。この結果を劣化パス①（補修が実施されており、劣化速度が相対的に大きい劣化過程）と比較することによって、補修効果を評価することが可能となる。

また、これらの推定結果を用いて、法定点検間隔である5年間に對する劣化シミュレーションを行うことにより、補修の実施、および補修の実施施策を現状から変更した場合に、将来時点の各健全度に該當する健全度の損傷数に与える評価を行った。

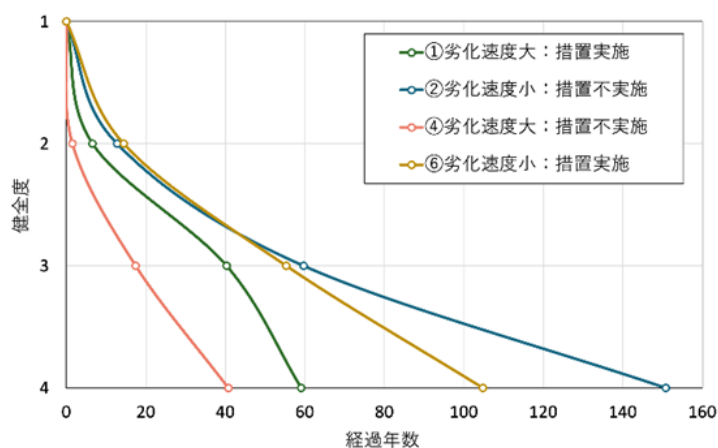


図-1-1-1 劣化過程の分類

◇研究項目1-2 劣化速度に着目した補修効果の定量的評価手法の開発

補修を経験した道路インフラを対象としてその補修効果を定量的に評価するために、補修前後の健全度を潜在変数として捉えることにより、1) 補修時の健全度回復量と、2) 補修前後の劣化速度の異質性（相対的な差異）を推定することが可能な劣化・回復予測手法を開発した。これにより、道路インフラの補修直前・直後の健全度が確定的には判明していない（例えば、多層構造を有する高速道路舗装は、層別の補修が実施されるために健全度が完全に回復するとは限らず、補修前後に時間をおいて健全度調査が実施される場合はあるものの、補修直前・直後の調査データは十分には蓄積されていない）場合にも補修効果の定量的評価が可能となる。本研究においては以下に説明するように舗装を具体的な研究対象としているが、補修直前・直後に点検が実施されないことはいずれの道路インフラであっても同様であることから、方法論は普遍的に使用可能である。

開発したモデルを実際の高速道路舗装において獲得されたFWD調査データに適用し、その有用性を検証した。FWD調査により連続値で獲得されるたわみ量をもとに舗装構造の健全度として5段階の耐荷力ランクを定めた。各ランクから次のランクに推移するまでの推定年数を繋いだ曲線を図-1-2-1に示す。表層と下層路盤種別による劣化速度の差異が見取れる。図-1-2-2には、回復予測結果として、横軸の補修前ランクから色分けされた補修後ランクへの推移確率を帯の面積で示す。おおむね深い層を補修の対象とすることにより回復量が大きくなる傾向を表現できていることがわかる。表-1-2-1には、異質性の推定結果を示す。着目する地点・時点において補修履歴が存在するか、また、存在する場合、その補修対象がどの層であったかによりグループ分けを行い、グループ間の劣化速度の相対評価を行った。異質性が大きいほど相対的に劣化が速いことを意味する。修繕の対象をより深い層とした場合に劣化速度の抑制効果が大きいことが定量的に示された。

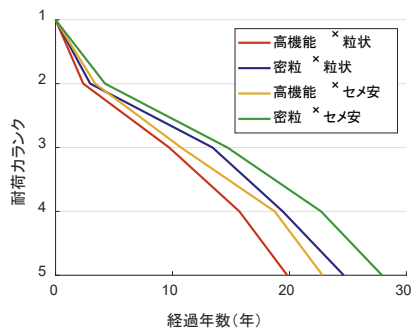


図-1-2-1 劣化予測結果

分類	個数	中央値	平均値	標準偏差	変動係数
表層	84	0.97	1.05	0.64	0.61
基層	117	0.86	1.08	0.95	0.87
上層路盤	67	0.74	0.90	0.74	0.82
下層路盤	10	0.38	0.44	0.35	0.81
修繕無し	11	0.60	0.90	1.27	1.42

表-1-2-1 異質性推定結果

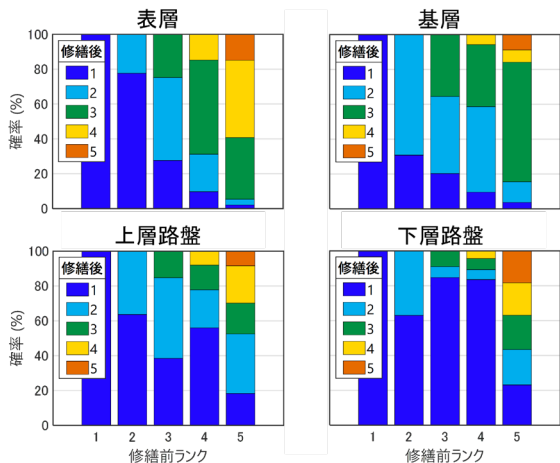


図-1-2-2 回復予測結果

◇研究項目2 補修優先順位および補修工法選定のための方法論の開発

高速道路舗装を対象として、補修優先順位および補修工法選定に利用可能な、連続量を用いた多元的劣化過程モデルを開発した。これにより、複数の劣化管理指標に対して、連続量劣化ハザードモデルを用いて相対的な劣化速度を表す異質性パラメータを推定すると同時に、多変量周辺分布間の依存構造を表現可能なコピュラにより、個別の劣化事象に関する劣化速度を踏まえた補修に関する評価が可能となった。

図-2-1は、高速道路の劣化状態を路面指標A、耐荷力指標Bを用いて評価する場合を想定し、コピュラ、異質性パラメータの周辺分布、同時分布の関係を模式的に示している。同図(a)と(d)は各異質性パラメータの周辺分布関数であり、それぞれの劣化事象の劣化速度に関する相対評価を行うことができる。(c)は、横軸に路面指標の異質性パラメータ ε_A 、縦軸に耐荷力指標の異質性パラメータ ε_B を用いて、異質性パラメータの組 $(\varepsilon_A, \varepsilon_B)$ を2次元空間上にプロットした同時分布である。このような異質性パラメータの空間的分布状態に関する情報を用いることにより、異質性パラメータ間の相関関係による傾向把握に加えて、個別の劣化事象に関する劣化速度を踏まえた総合評価を行うことが可能になる。例えば、2種類の劣化事象を対象とする2次元空間上においては、構造物の劣化特性を各象限の4つのカテゴリに分類でき、第1象限は2つの劣化事象がともにベンチマークケースより劣化速度が相対的に早いカテゴリ、第2象限と第4象限はそれぞれ路面指標A、耐荷力指標Bの進行が卓越しているカテゴリ、第3象限はベンチマークケースより劣化の進展が遅いカテゴリとして評価できる。さらに、(b)に表される異質性パラメータの同時確率密度関数から、一方の異質性パラメータが既知である場合の、他方の異質性パラメータが生起する条件付き確率密度を算出できる。

本研究で提案する方法論は、部分的な観測情報から多元的な劣化過程を確率的に表現可能であり、FWDなどの通行規制を伴うため、高頻度に行うことができない検査の情報を補完することができるほか、上記の論の通り、同時確率密度関数を推定することで、対象の道路区間がどの象限に属するか判断し、路面のみの修繕または路盤を含む深層までの修繕のどちらが採用されるべきかなど意思決定を支援することができると考えられる。

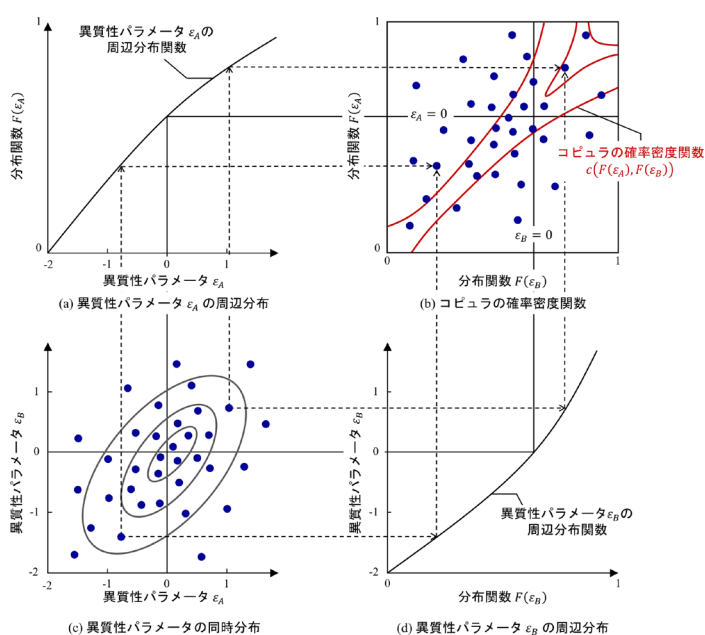


図-1-3-1 異質性パラメータの同時分布とコピュラ

◇研究項目3 個別施設計画を事例とするEBPMの開発

EBPMの検討内容として、橋梁の長寿命化計画（個別施設計画）の立案を考える。橋梁を対象に、統計的劣化予測結果とフォルト・ツリー分析（部材から橋梁全体系へ至るリスク経路の可視化とリスクの定量的評価）に基づく、補修優先順位の決定フローを開発した。2022年時点において、近接目視点検は2巡目に入っている。1巡目（2014～2018年）においては、早期あるいは緊急に措置を講ずべき橋梁（すなわちIII判定とIV判定の橋梁）を抽出し、それらに対する具体的な補修・更新計画を作成すればそれが個別施設計画となった。1巡目は対処療法的な事後保全段階であり、全ての橋梁を対象として目視点検データを収集するという事に主眼が置かれていた。一方で、2巡目の近接目視点検においては、（新たにIII判定、IV判定となる橋梁の抽出はもちろんのこと、）いわゆる計画的な予防保全にシフトすることが求められる。具体的には大量のII判定橋梁（点検時点では損傷が顕在化していない補修予備軍）の中から次期点検時までIII判定、IV判定に進行する可能性のある橋梁を抽出して補修優先順位を決定することが必要であり、これまでに蓄積された膨大な点検データの本格的な分析が不可欠である。

図-1-4-1に、対象橋梁群の補修優先順位の決定フローを示す。部材健全度データ、橋梁健全度データ、損傷の種類、点検間隔のデータを用いる。混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いて、ある損傷が発生した部材の劣化速度を推計する。これにより、部材毎の劣化速度の違いを加味した予測を行うことができる。また、損傷の新規発生には

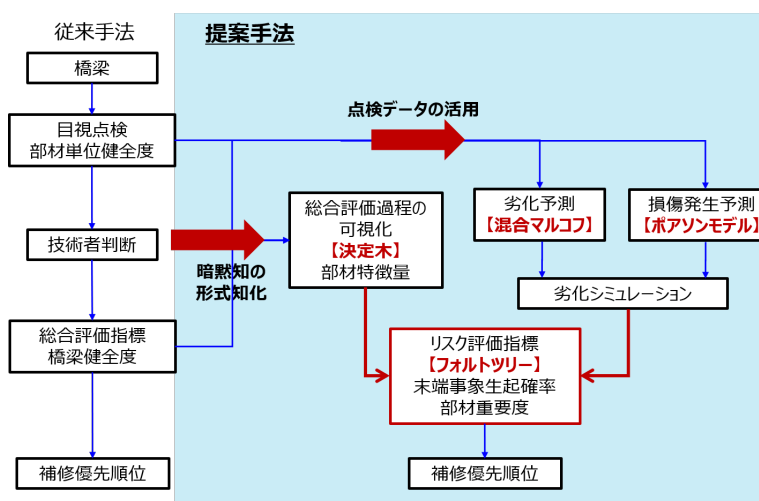


図-1-4-1 補修優先順位の決定フロー

ポアソンモデルを用いる。部材の健全度評価から橋梁全体の健全度評価の推論する決定木を構築するため、ツリーアルゴリズムを用いて構築した木に対する特徴量重要度を算出する。特徴量重要度は、管理者が橋梁全体の健全度を決定する際の部材の重要度を示す推計した劣化発生と劣化速度と特徴量重要度を用いて、橋梁部材の劣化シミュレーションを行い、リスク値を算出する。算出したリスク値（健全度IIからIII、IVに到達する確率）を末端事象とし、橋梁全体のリスク値を頂上事象としたフォルト・ツリー分析を行い、橋梁全体のリスク値を算出する。4)では、対象橋梁群でリスク値を比較し、各橋梁の補修優先順位を決定する。このように、末端事象の確率を確認することで注意すべき橋梁部材とその損傷を把握することができる。期待リスクが上位に着目し、末端事象の確率に基づいた補修計画を策定するで効率化が期待される。

◇研究項目4 経年劣化を考慮した道路ネットワークのリスク評価手法の開発

道路ネットワークに含まれる道路舗装は、時間の経過とともに荷重により不確実に劣化していく。劣化した舗装は、通行車両の快適性や安全性に影響を及ぼすため、効果的な補修のタイミングを決定するマネジメント計画が不可欠である。また、補修工事に伴う交通規制の利用者への影響や、補修工事費用の規模の経済性、舗装の相互影響を考慮すると、個々の舗装単位ではなく、全舗装からなる舗装システムを対象とした長期的なマネジメント計画の策定が求められる。

本研究では、マネジメント計画を長期計画と短期計画に分割して最適化してゆくアプローチを提案する。長期計画はライフサイクル費用の最小化が目的であるが、日単位の補修スケジュールを直接最適化せず、代わりに各年度における補修する舗装を決定する。短期計画は各年度内の費用最小化が目的であり、長期計画で決定された各年度に補修する舗装に基づいて、日単位の補修スケジュールを最適化する。各年度の初めに、長期計画と全舗装の健全度に基づき、当年度内に補修する舗装が決定される。例えば、長期計画のある年度のが「健全度2, 3 の舗装に対して補修を行う」である場合、その年度に点検により観測された健全度2, 3 の舗装は、当年度内に補修が必要な舗装として決定される。長期計画により決定された補修が必要な舗装の組み合わせに対し、短期計画では365 日毎日どの舗装を補修するか、道路ネットワークのどこを交通規制するかを決定する。短期計画では、補修による利用者への影響、補修の規模の経済性、一日に補修できる区間数の上限等、様々な要素を詳細に考慮し、スケジュールが最適化される。このように、長期計画では主に劣化の不確実性を考慮し、短期計画では主に舗装の相互影響を考慮することで、大規模な道路ネットワークにおいてもマネジメント計画の導出が可能となる。

図-1-5-1は費用関数に関する推定結果を示す。黄色い点が最適短期計画の利用者費用、青い点が最適短期計画の工事費用である。2 種類の費用ともに補修区間数 x の増加に対して単調増加かつ逓減する傾向を示しており、

凹関数で近似できる形となった。このように逓減する形状になるとしては交通規制費用と利用者費用には規模の経済性が存在する。

提案方法論により、従来手法では困難であった、補修区間数に対する短期計画の実施に伴う費用の非線形性を、長期計画でも考慮した最適化が可能になり、より現実的な長期計画の最適化が可能となる。

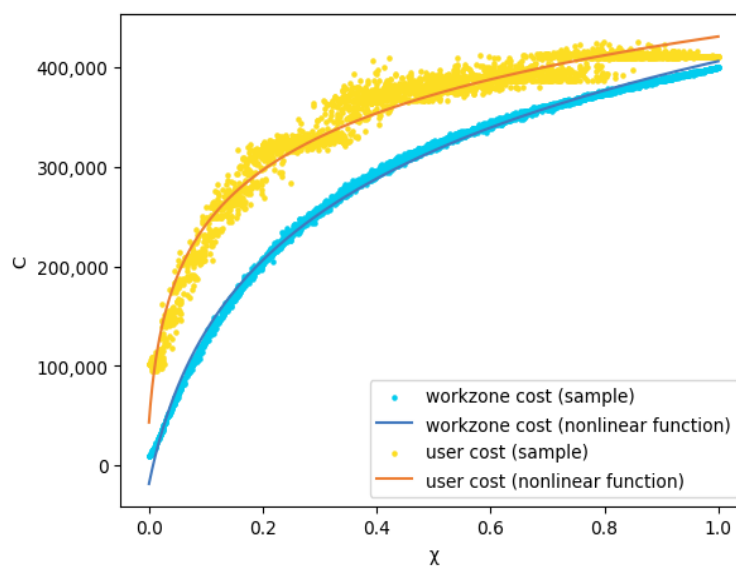


図-1-5-1 サンプリング結果と非線形な費用関数を用いた推定結果

⑨研究成果の発表状況

【査読付き論文】

- 1) 水谷大二郎, 貝戸清之, 四方滉也: 離散時間多段階ワイブル劣化ハザードモデル, 土木学会論文集, VOL80, NO.2, 23-00092, 2024.2
- 2) 稲垣博信, 笹井晃太郎, 貝戸清之, 山村昂也: 自治体における社会基盤施設の分野横断的管理の適用可能性, 土木学会論文集特集号(建設マネジメント), Vol.79, No23, 23-23190, 2024.2
- 3) 笹井晃太郎, 稲垣博信, 四方滉也, 貝戸清之: 目視点検データに基づくマルコフ連鎖モデル推定手法の比較分析, 土木学会論文集特集号(建設マネジメント), Vol.79, No.23, 23-23187, 2024.2
- 4) 安藤 翠, 四方 滉也, 貝戸 清之, 笹井 晃太郎, 塚本 成昭, 山下 成昭: 軽微な損傷に対する点検時措置による要補修損傷発生抑制効果, AI・データサイエンス論文集, Vol.4, pp.582-595, 2023.11
- 5) 安藤 翠, 貝戸 清之, 四方 滉也, 坂根 英樹, 加賀山 泰一: 阪神高速道路における点検時簡易補修の現状と課題, 構造工学論文集A, Vol.69A, pp.670-671, 2023.3
- 6) 貝戸清之, 小林潔司, 神谷恵三, 新雄成: 劣化・回復過程を考慮した層別修繕によるたわみ回復量の評価, 土木学会論文集, Vol.79, No.1, 22-00130, 2023.1

【学会発表】

- 1) Sasai, K., Kaito, K., Kobayashi, K., Suzuki, K., Kamiya, K., Nii, Y.: Evaluation of Repair Effects on Highway Pavement Layers based on Recovery and Deterioration Heterogeneity, 5th Symposium on Infrastructure Asset Management, University of New South Wales, 2024.3
- 2) Yuto Nakazato, Daijiro Mizutani and Takeshi Nagae: A macroscopic cost function approach for networklevel long-term pavement management planning, 5th Symposium on Infrastructure Asset Management, University of New South Wales, 2024.3
- 3) Yuto Nakazato and Daijiro Mizutani: Optimal annual work-zone schedule by days and sections for road networks considering work-zone synchronization and user cost, Virtual Inter-University Symposium on Infrastructure Management (VISIM), 2023.12
- 4) Ando, Y., Ikawa, Sasai K. and Kaito, K.: Proposal of Tunnel Repair Priority Order Based on Statistical Deterioration Model IRF Global R2T Conference & Exhibition, Arizona State University, 2023.11
- 5) 中里悠人, 水谷大二郎: 道路ネットワークの日・区間別の年次補修・規制計画: Bi-level 解法による最適化, 第68回土木計画学研究発表会・秋大会, 2023.11
- 6) 新雄成, 笹井晃太郎, 貝戸清之, 小林潔司, 神谷恵三: 層別修繕効果の評価に向けた修繕履歴による劣化過程の異質性分析, 第68回土木計画学研究・講演集, 土木学会, CD-ROM, No.35-02, 東京都立大学, 2023.11
- 7) 安藤由弥, 貝戸清之, 笹井晃太郎, 藤村知広, 井上謙, 光川直宏, 井川理智: 統計的

- 劣化予測に基づくトンネル補修優先順位の提案, 令和5 年度土木学会全国大会第78 回
年次学術講演会講演概要集, 土木学会, VI-1156, 広島工業大学, 2023.9
- 8) 新雄成, 笹井晃太郎, 貝戸清之, 小林潔司, 神谷恵三: 修繕履歴による劣化過程の異
質性に着目した層別修繕効果の評価, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講
演会講演概要集, 土木学会, VI-520, 広島工業大学, 2023.9
- 9) 笹井晃太郎, 吉田伊織, Manish Man Shakya, 貝戸清之: 連続量多元的劣化過程モ
デルによる舗装維持管理手法の提案, 令和5 年度土木学会全国大会第78 回年次学術講
演会講演概要集, 土木学会, VI-519, 広島工業大学, 2023.9
- 10) 安藤翠, 四方滉也, 貝戸清之: 点検時措置の要補修損傷発生抑制効果, 第66回土木
計画学研究・講演集, 土木学会, CD-ROM, No.30-07, 琉球大学, 2022.11
- 11) 新雄成, 貝戸清之, 小林潔司, 神谷恵三: 修繕前後のデータ欠損を考慮した舗装構
造の耐荷力推移予測, 第66回土木計画学研究・講演集, 土木学会, CD-ROM, No.30-
02, 琉球大学, 2022.11
- 12) 吉田伊織, 貝戸清之: 連続量を用いた多元的劣化過程モデルによる高速道路の予防
保全に向けた提案, 第66回土木計画学研究・講演集, 土木学会, CD-ROM, No.30-01,
琉球大学, 2022.11
- 13) 四方滉也, 貝戸清之: 劣化の時間依存性を考慮した離散ワイブル分布による劣化予
測手法の構築, 第66回土木計画学研究・講演集, 土木学会, CD-ROM, No.30-13, 琉
球大学, 2022.11
- 14) 山村昂也, 稲垣博信, 貝戸清之: 自治体における社会基盤施設の分野横断的管理の
適用可能性, 第66回土木計画学研究・講演集, 土木学会, CD-ROM, No.30-11, 琉球
大学, 2022.11
- 15) 新雄成, 貝戸清之, 小林潔司, 神谷恵三: 層別修繕効果の定量的な評価に向けた隠れ
マルコフ劣化モデル, 第 6 回 JAAM 研究・実践発表会論文集, (一社) 日本アセット
マネジメント協会, pp.61-67, オンライン開催, 2022.11【第 6 回 JAAM 賞受賞】
- 16) Ando, M., Shikata, K. and Kaito, K.: Ex-Post Evaluation of The Effects of Simple
Repair (Inspector's First- Aid Works at Inspection Site) with Deterioration
Prediction Model Considering The Sample Selection Bias, 4th IRF Asia Pacific
Regional Congress & Exhibition, World Trade Centre, Kuala Lumpur, 2022.10
- 17) Nii, Y., Kaito, K., Kobayashi, K. and Kamiya, K.: Evaluation of the Amount of
Deflection Recovery by Stratified Repair Using a Hidden Markov Deterioration
Model, 4th IRF Asia Pacific Regional Congress & Exhibition, World Trade Centre,
Kuala Lumpur, 2022.10
- 18) 吉田伊織, 貝戸清之: 補修を考慮した連続量劣化ハザードモデルの高速道路舗装への
適用, 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会講演概要集, 土木学会,
VI-395, 京都大学, 2022.9
- 19) 新雄成, 貝戸清之, 小林潔司, 神谷恵三: 構造条件と層別修繕による回復を考慮した

舗装構造耐荷力の経年推移予測，第 27 回舗装工学講演会，土木学会，No.033，北海道科学大学，2022.8

⑩研究成果の社会への情報発信

招待講演等で研究成果は広く公表している．以下は主なメディア掲載を記す．

- 1) 貝戸清之：過去10年の点検結果で未来を予測 予防保全への転換急ぐ国や高速道路会社，日経コンストラクション，第797号，pp50-51，2023.8
- 2) 貝戸清之：鉄道施設，危険な落下物 コンクリ片や天井材，3年で184件 国交省が開示，朝日新聞DIGITAL，2023.1.16
- 3) 貝戸清之：駅の天井から石膏ボードがドスン 鉄道施設の落下物，3年で184件，朝日新聞DIGITAL，2023.1.8
- 4) 貝戸清之：点検ビッグデータの活用とDXで高度化，毎日フォーラム，日本の選択1月号，pp.38-39，2023.1
- 5) 貝戸清之：老朽インフラ総点検から10年，日本経済新聞，デンシバSpotlight，2022.12.12
- 6) 貝戸清之（インタビュー）：ビッグデータで橋や道路の補修・更新時期を予測ー統計的劣化予測モデルがひらくインフラ大延命時代ー，POLICYDOOR，2022.4

⑪研究の今後の課題・展望等

今後の展望として、研究成果をさらに実践的なレベルで活用し、道路インフラのマネジメントにおける効果的な意思決定を支援することが挙げられる。具体的には、以下のような発展性が期待される：

実用化への移行：本研究で開発された劣化予測モデルや補修効果評価手法を、実際の道路管理システムに組み込み、実際のデータを用いてモデルの精度や有効性を検証する。これにより、現場での適用性を高め、効率的なインフラ管理を実現する。

データのさらなる統合と活用：現在蓄積されているビッグデータをより効果的に統合し、補修計画や劣化予測の精度向上に役立てる。異なるデータソースや新しいセンサ技術の導入により、モデルの精度向上が期待される。

政策決定支援ツールの開発：本研究で提案された手法を基に、政策決定者が実務的に利用できる支援ツールを開発する。これにより、道路政策の策定や実行における意思決定の質を向上させる。

また、本研究に関する今後の継続的な課題として以下の点があげられる。

モデルの精度向上：劣化予測モデルの精度向上と、補修効果のより精緻な評価手法の開発が求められる。

実践への適用：研究成果を実際の道路管理業務に適用する際の課題を解決することが重要である。

長期的なモニタリングとフィードバック：補修効果の長期的なモニタリングを行い、得られたデータを基にモデルの改善を続けることが重要である。

本研究の成果は研究代表者の貝戸がサブ課題の研究開発責任者を務めるSIP第3期課題「スマートインフラマネジメントシステムの構築」（期間：R5から5カ年）などに引継ぎ、成果の活用を図る。

⑫研究成果の道路行政への反映

本研究開発では、定期的な近接目視点検の義務化、ハードウェア技術の発展、DXの推進、EBPMの推進など、近年の道路政策に関する課題解決に資する研究開発を行った。これにより、以下のように道路政策の質の向上に寄与することが期待される：

意思決定の高度化：劣化予測モデルや補修効果評価手法を活用することで、道路インフラの状態を精緻に把握し、適切な補修計画を策定することが可能となる。これにより、限られた予算や資源を最適に配分し、インフラの長寿命化に資することができる。

コスト削減と効率化：補修計画の最適化により、無駄な補修や重複作業を減少させ、コスト削減を実現する。また、効率的なメンテナンスが可能となり、道路ネットワーク全体の品質を維持しつつ、運用コストを抑えることができる。

リスク管理の強化：フォルト・ツリー分析やリスク評価手法を活用することで、潜在的なリスクを早期に検知し、適切な対応を取ることが可能となる。これにより、重大なインフラ障害を未然に防ぎ、安全性を確保することができます。

政策の透明性と信頼性の向上：科学的根拠に基づく補修計画や政策決定は、透明性と信頼性を高めることに寄与する。データに基づく意思決定は、ステークホルダーや市民に対し

て説明責任を果たし、信頼性の高い道路政策の実現において不可欠である。

さらに、本研究の成果として統計的劣化予測技術マニュアル（案）を作成した。これにより、インフラのアセットマネジメント技術の普及・標準化への道筋をつけ、より広範な実務適用を促進する。

⑬自己評価

本研究では、研究課題や項目の設定が適切であったと考える。特に近年の道路政策を反映した内容となっており、定期的な近接目視点検の義務化やDXの推進、EBPMの推進といった最新の政策動向を踏まえた研究項目が相互に補完し合い、効果的な成果を生み出す基盤を構築できた。

さらに、本研究の成果を論文執筆や学会発表を通じて広く公表してきた。複数の論文を執筆し、学術誌に掲載することで、研究成果を学術界に共有した。**⑨研究成果の発表状況**に記載した内容以外にも、いくつかの論文が投稿中または査読修正中である。国内外の学会においても多数の発表を行い、研究内容を専門家や関係者と共有する機会を設けることもできた。

また、本研究開発期間のみならず、研究成果の活用や今後の研究開発内容に道筋をつけることができた。具体例としては、マニュアル作成において、協議を通じてどのようなマニュアルが必要か検討し、異なる使用者を想定した複数のマニュアルが望ましいという結論を得た。下位レベルの技術マニュアルについては、本研究開発で案を作成した。上位レベルのマニュアルについては、国土交通省や地方整備局と引き続き連携して取り組む計画である。また、中間報告で劣化モードを考慮することに関する指摘事項があった。統計的劣化予測技術と劣化モード解析などの力学的モデルやその知見を総合的に活用する（総合知）点は非常に重要な研究課題である。この点は本研究開発の2年度目で一部取り組んだが、十分に課題を解決したとは言えない。このような統計的劣化予測技術と力学的知見の総合知的な活用については、別の研究プロジェクトに引継ぎ、研究開発に取り組んでいる。

人材の育成も本研究開発で推進することができた。本研究において、若手研究者が積極的に活躍し、重要な役割を果たした。また、本研究開発に携わった社会人博士課程学生らが博士学位を取得済みまたは取得見込みである。

国際展開についても、成果発表と人材育成の両面から取り組んだ。成果発表については、国際会議などで発表を行い、成果を積極的に発信した。また、査読付き海外ジャーナルにすでに数件投稿済みであり、文書の発信も行っている。社会基盤施設に対するアセットマネジメントは東南アジア、アフリカ諸国では近い将来に不可避な課題となる。この課題解決においては、特にJICAとの連携、具体的には道路アセットマネジメントプラットフォームの枠組みを活用して、長期研修員（各国の国土交通省に相当する省庁から派遣されるエンジニア）を受け入れることによって国際展開を図ることができた。このように、JICAの長期研修員制度および国際共同研究により、各国の道路政策形成に携わる、あるいは責任を持つ技術者へ技術移転を図ることで実用化に資する国際展開を進めることができた。