

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
令和2年度研究開発実施報告書

「科学技術イノベーション政策のための科学」
研究開発プログラム
「科学的エビデンスに基づく社会インフラのマネジメント
政策形成プロセスの研究」

貝戸 清之
(大阪大学大学院工学研究科 准教授)

目次

1. 研究開発プロジェクト名	2
2. 研究開発実施の具体的内容	2
2 - 1. 研究開発目標	2
2 - 2. 実施内容・結果	2
2 - 3. 会議等の活動	17
3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況	18
4. 研究開発実施体制	18
5. 研究開発実施者	20
6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など	21
6 - 1. シンポジウム等	21
6 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など	22
6 - 3. 論文発表	22
6 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）	22
6 - 5. 新聞／TV報道・投稿、受賞等	23
6 - 6. 知財出願	23

1. 研究開発プロジェクト名

「科学的エビデンスに基づく社会インフラのマネジメント政策形成プロセスの研究」

2. 研究開発実施の具体的内容

2 - 1. 研究開発目標

以下に本プロジェクトの達成目標を箇条書きで、アウトプット（成果物）→アウトカム（社会への影響・効果）のように列挙する。

- ・科学的根拠を政策形成へ活用するための意見集約と理解促進の仕組み作り
→管理者の人的・予算的リソースの制約と制約下における政策形成プロセスの明確化
- ・管理者が保有する点検データに応じた劣化予測やライフサイクル費用評価手法の開発
→ 管理者の技量に依らず、情報量に応じた政策形成の同質性と公平性を担保する。
→ 政策形成を下支えする科学的根拠の提示方法を確立する。
- ・インフラ長寿命化政策形成(個別施設毎の長寿命化計画の立案)プロセスへの試行的導入
→ インフラ長寿命化に要する社会的費用削減を達成する。
→ 本邦技術による海外途上国支援の道筋をつける(新しいインフラ輸出施策として)
- ・インフラ点検政策形成プロセスへのバックデータの提供
→ 科学的根拠に基づく点検周期の最適化を図り、安全性確保を実現する。
- ・社会インフラのマネジメントを超えたデータサイエンス×マネジメント分野の創出
→ 土木業界における新しい技術継承，知識共有，新規ビジネスの形態を創出する。
→ 他の公共インフラ政策，教育・医療・金融政策などへの適用可能性を検討する。
→ 政策と科学の共進化を目的とする新しい科学技術分野を創出する。
- ・以上を体系的に整理した書籍の出版
→ 当該分野の広報と基礎資料の提供。

2 - 2. 実施内容・結果

(1) スケジュール

研究開発の実施項目	2019年度 (6カ月)	2020年度 (12カ月)	2021年度 (12カ月)	2022年度 (12カ月)
1. 科学的エビデンス創出フェーズ				
インフラ管理データの相互比較検証	←→			
インフラに対する統計的劣化予測	←→			
2. マネジメント政策形成フェーズ				
補修効果の事後評価手法の開発	←→			
補修プロファイリング手法の開発	←→			
3. 価値創造フェーズ				
評価実施と効果検証	←→			

(2) 各実施内容

今年度の到達点①

マネジメント政策形成という観点から求められるデータベース構成（データベースの標準化）を検討する。その一方で、データ管理の在り方については集約型管理にとどまらず、分散型管理の可能性についても検討を行う。

実施項目①：インフラ管理データの相互比較検証

実施内容

現在はインフラ管理に関する構造台帳、点検データ、補修履歴情報、図面などは全て独立したデータベースで管理されている。また管理者ごとに記録の様式も異なる。今後、インフラの管理に関わるデータの蓄積が進み、マネジメント分野においても（国土交通政策として）デジタルトランスフォーメーション化が推進されることが容易に想像できることから、記録するデータの仕様を標準化しておくことが不可欠である。そこで、本年度は斜面・法面に対する防災点検と特定土工点検に着目して、それぞれの業務フローと、各業務における入力情報と出力情報を調査して、両点検で共有化可能な入出力情報とそれらの基盤プラットフォームとなる3Dモデルについての検討を行った。一方で、データ管理については、ブロックチェーンなどの分散型の管理方式の導入可能性を検討したが、公共構造物を対象とした場合には現時点では時期尚早との声が多く、本年度の具体的検討は見送った。

今年度の到達点②

代表的なインフラ管理者（例えば高速道路）を対象に点検データを取得して、補修に伴う点検データの欠損が生じた場合に対するサンプル欠損バイアスを考慮した統計的劣化予測を行う。

実施項目②：インフラに対する統計的劣化予測

実施内容

インフラ管理者が蓄積している点検データに応じた統計的劣化予測を検討した。特に、インフラに対する簡易的な補修行為によって健全度が回復すると、本来補修を実施しなければ獲得できたはずの点検データが欠損してしまうという問題を具体的なサンプル欠損バイアスの事例として取り上げる。特に、データ欠損の影響を尤度関数で補正するというモデルを構築するとともに、モデルパラメータの推定をベイズ推定法を援用して構築した。統計分析の結果については、インフラマネジメント政策研究会にて、管理者間におけるインフラ寿命の相違に関する考察を行うとともに、マネジメント政策を形成する上での科学的エビデンス（劣化曲線や平均寿命）をどのようにアウトプットしていくのか（アカウントビリティを果たすツールとしての視点も考慮する）について集中的に議論を行った。

今年度の到達点③

従来劣化予測手法では、補修後の劣化曲線や寿命は、補修前と同様という仮定を設けているが、実務者の経験では補修前後の劣化曲線が異なることはよく知られている。ここでは、補修前と補修後の劣化曲線と寿命の相違を相対的に評価するための手法を開発する。

実施項目③：補修効果の事後評価手法の開発

実施内容

インフラに対する劣化曲線を算出すると、補修や更新のタイミングを決定することが可能となり、インフラの生涯に必要なライフサイクル費用を算出できる。このライフサイクル費用を最小化するように、補修や更新計画を立案する。精緻な劣化曲線を算出することは極めて重要であり、これは上記方法で解決することができる。しかし、長期間に亘り供用されるインフラはその生涯において複数回の補修や更新を経験する。現在の方法論では、補修後の劣化曲線や寿命は、補修前と同様という仮定を設けているが、実務的には補修前と補修後の劣化曲線が異なることはよく知られている。したがって、目視点検データを補修前と補修後、さらには補修工法ごとにグルーピングし、補修前と補修後の劣化曲線と寿命の相違を相対的に評価するための手法を開発した。

今年度の到達点④

インフラに対する補修プロファイリング手法の基礎検討として、インフラの劣化速度の異質性に着目したベンチマーク分析（混合マルコフ劣化ハザードモデル）に基づく劣化プロファイリング手法を開発するとともに、実際の点検データを用いて提案手法の妥当性を検討する。

実施項目④：補修プロファイリング手法の開発

実施内容

インフラの補修・更新計画は概ね次の3タイプに分類できる、1) 予防保全型、2) 事後保全型、3) 要監視保全型。本プロジェクトでは個別のインフラがこれらのうちのどのタイプに分類すべきかを、統計的劣化予測の結果から定量的に決定するためのプロファイリング手法を開発した。また、劣化が速いインフラが密集する地域を可視化するためのプロファイリング手法も開発した。特に、橋梁や下水道を具体的な対象としたケーススタディを実施するとともに、方法論の標準化（政策形成への第一歩）に着手した。標準化に際しては、国際的な標準化を見据え、アセットマネジメントの研究者・実務者が集う **International Symposium on Infrastructure Asset Management**（2021年8月米国シカゴ開催予定、2016年に第一回シンポジウムを京都大学にて小林が主催）にて成果を報告するとともに、特に欧米の事例収集にあたる。また、本手法の具体的な海外導入先として想定される東南アジア、特に2007年から共同研究実績を有するベトナムでの導入を目指した意見交換を行う。

（3）成果

実施項目①：インフラ管理データの相互比較検証

成果：土木構造物の中でも、とくに斜面・法面を対象として、各種点検業務フローを比較検証することによって、その管理の高度化・効率化を図るための課題を明らかにした。具体的には、斜面・法面に対する道路防災点検、防災カルテ点検および特定土工点検の業務フローと、業務フローへのインプット・アウトプット情報を整理するとともに、実務上の問題点を把握した。この結果、斜面・法面管理の高度化・効率化には、①点群計測（例えば、MMSやLP）とそれに基づく3Dモデルの開発、②多時期相対比較による異常検知手法の開発が必要であることを示した。本年度は異常検知手法に関してAI技術に着目して、とくに入力と同じデータを出力として復元するように重み学習を行う **AutoEncoder** を用いた方法論の開発を行った。具体的には、実際の法面に疑似的なはらみ出しを与え（厚さ1cm～3cmの板の貼り付け）、はらみ有り、無しの2時期の点群データを用いて、異常検知の可能性を検証した。その結果、本研究で対象とした事象であれば、点群計測の相対比較によって異常を検知

できることを示した。

点群深層学習に基づく斜面の局所的異常検知

1. はじめに

(1) AutoEncoderによる異常検知

AutoEncoder (以下, AE) とは入力と同じデータを復元するように重みを学習するニューラルネットワークであり, 近年では異常検知などに用いられている. AEによる異常検知では, 図-1に示すように, はじめに正常データのみを用いてAEを訓練する. その後, 新規データを訓練済みのAEに入力し, 入力と復元との復元誤差を算出する. このとき, 新規データが正常なものであれば, 復元も正常なものであるため復元誤差が小さくなる. 一方で, 異常なものであればAEは正常データの特徴しか学習していないため, 異常データを復元することができず誤差が大きくなる. したがって, 復元誤差を確認することで入力是否正常であったか, 異常であったかを判別可能である.

(2) PointNet

点群は画像などのようにグリッドに固定された構造をもたないため, 順序が一意に決定されない. したがって, 点群をモデルの入力とする場合, 入力の順序を任意に入れ替えたとしても出力が不変な構造(順不変性)をもつ必要がある. PointNet¹⁾では, 重みを共有した多層パーセプトロン(multi-layer perceptron, MLP)とMaxPool-ingにより順不変性が獲得されており, 本研究ではこの構造をAEに導入する.

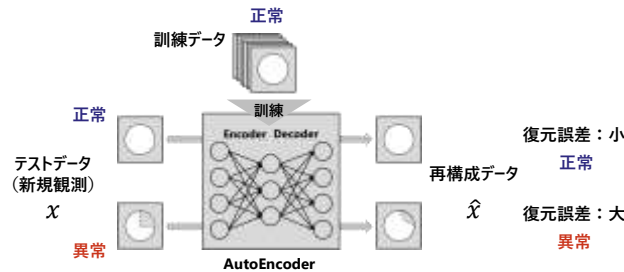


図-1 AutoEncoderによる異常検知

2. 提案手法

本研究では, AEに順不変性を導入することで, 入力に点群をとれるように拡張したPointAutoEncoder(以下, PAE)を用いる. 図-2にPAEの構造を示す. 各数字は行列の列数を表す. エンコーダにはPointNetにおける順不変性を満足する構造を採用した. 1×1 畳み込み層はフィルタサイズ1の1次元畳み込み層であり, 重みを共有したMLPと同等である.

損失関数には入力点群と再構成点群の非類似度を設定する必要がある. また, デコーダに

は順不変性を考慮しないため、損失関数により順不変性を考慮する必要がある。そこで、次

$$L_{CD} = \sum_{x \in S} \min_{\hat{x} \in \hat{S}} \|x - \hat{x}\|_2^2 + \sum_{\hat{x} \in \hat{S}} \min_{x \in S} \|x - \hat{x}\|_2^2 \quad (1)$$

L_{CD} は互いに一方の点群の各点に対し他方の点群における最近傍点を探索し、それらの間の平方距離を足し合わせたものである。また、各点 x_i における異常度を次式で定義した。

$$R_i = \frac{\min_{\hat{x} \in \hat{S}} \|x_i - \hat{x}\|_2^2}{\max_j \min_{\hat{x} \in \hat{S}} \|x_j - \hat{x}\|_2^2} \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2)$$

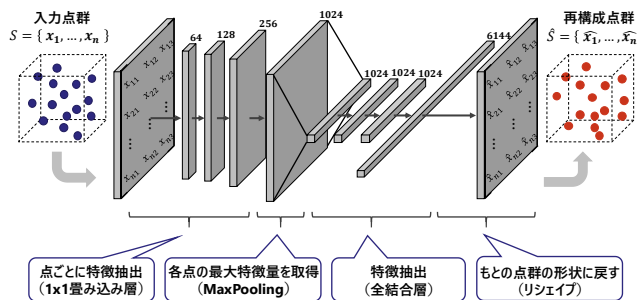


図-2 PointAutoEncoderの構造

3. 実証分析

提案手法をMMS (mobile mapping system) により取得された法面点群データに適用した。データには、擬似的なはらみ出しを設ける前後 (それぞれ正常データ, 異常データと呼ぶ) の2時期のデータが存在する。擬似的なはらみ出しは縦横ともに25cmで厚さが3cm, 2cm, 1cmと異なるものを3箇所設けた。取得された点群数は、正常データで873,168点, 異常データで928,225点となっており、データ量が膨大である。そこで、はらみ出し近傍のデータを、はらみ出しを含む法枠内から抽出した。点数はそれぞれ8,163点, 9,034点となった。それらから、それぞれ2,048点のランダムサンプリングを行い、544個の正常サンプル, 32個の異常サンプルを作成した。512個の正常サンプルを訓練データとし、残りの正常サンプル32個 + 異常サンプル32個をテストデータとした。ランダムサンプリングにより、多時期計測で得られる点にずれが生じることを再現し、各点群データにそれぞれ異なる時期に計測されたものであるという意味づけを行った。

前処理として、各点群データの座標値は[0,1]の範囲に正規化した。図-2に示すように、エンコーダには4層の1x1畳み込み層, デコーダには3層の全結合層を用いた。エンコーダの全ての層とデコーダの最初の2層でバッチ正規化を行った。各層の活性化関数にはReLUを用いた。学習におけるエポック数は600, バッチサイズは32とした。重みの最適化手法にはAdamを用い、ハイパーパラメータの値はKingma and Ba²⁾の推奨値を用いた。訓練データを用いて、PAEの訓練を行い、テストデータを入力して各点の異常度を算出した。

図-3に、はらみ出しを含む異常サンプルに提案モデルを適用した結果を示す。3cm, 2cmはらみともに各点異常度は高い値を示しており、目視でも困難なはらみ出しを検知できている。また、点数は入力と再構成で等しいにも関わらず、再構成点群においては入力点群よりも密な点群が得られているように思われる。これは、再構成点群においては、PAEにより

正常データの特徴として曲面内に位置するという情報が学習されたためであると考えられる。これにより再構成点群においては、より纏まりをもって曲面内に位置するように再構成されている。

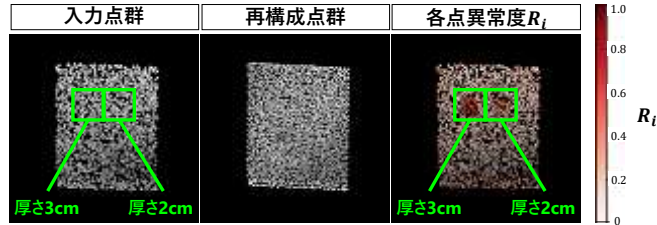


図-3 法面データにおける入力，再構成，異常度

4. おわりに

本研究では，異常検知に用いられる深層学習モデルであるAEを入力に点群をとれるように拡張した。また，法面の局所的異常検知を実データに基づいて行うことで，検知可能性を検証した。今後ははらみ出し以外の局所的異常への適用可能性やオクルージョンによる欠損への対応を検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) C. R. Qi, H. Su, K. Mo and L. J. Guibas : PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation, *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.652-660, 2017.
- 2) D. P. Kingma and J. Ba : Adam: A method for stochastic optimization, *International Conference on Learning Representations*, pp.1-13, 2015.

実施項目②：インフラに対する統計的劣化予測

成果：阪神高速技術から阪神高速道路の点検データを提供して頂き，マルコフ劣化ハザードモデルおよび混合マルコフ劣化ハザードモデルを試行的に適用して劣化曲線推定，平均寿命予測を実施した。また，舗装点検データや下水道管路データなども入手可能であったので，それらに対してもこれらのモデルを適用して劣化曲線や平均寿命を得た。さらに，研究実施者間で，マネジメント政策を形成する上での科学的エビデンス（劣化曲線や平均寿命）をどのようにアウトプットしていくのか（アカウントビリティを果たすツールとしての視点も考慮する）を議論し，案を作成した。さらに，今後インフラの老朽化に伴い，補修・補強がなされるインフラの増加が見込まれる，すなわち補修による点検データの欠損が数多く見込まれることから，サンプル欠損を考慮した統計的劣化予測モデルの定式化と推定手法の開発を行った。以下には，サンプル欠損を考慮した劣化予測モデルと高速道路における適用事例を示す。

サンプル欠損を考慮した劣化予測モデルに基づく簡易補修の実施タイミングの提案

1. はじめに

橋梁やトンネルに対する五年に一度の定期点検の実施が道路法施行規則で定められている。その際に、安全性の向上と予防保全を目的に、点検時措置（点検時の簡易補修）が施されることがある。点検時措置は補修のために損傷に再接近する必要がなく、さらに点検業務総額の数%の費用で実施可能であることから実務的にその有用性が確認されているものの、点検時措置の効果を実証的に示した事例は存在しない。また効果が最大限発揮されるタイミングを明らかにすることにより、点検時措置に関する実施判断の効率化が期待される。点検時措置の効果の評価は、点検時措置が実施された場合の劣化過程と、実施されなかったと仮定した場合の劣化過程の比較が有効である。しかし、前者は点検データから獲得可能な一方で後者は獲得不可能である。本研究では点検時措置が実施されなかった損傷の劣化情報に基づいて後者の補完を試みるが、これらには点検データの収集に起因するサンプル欠損¹⁾が生じているため、従来の劣化予測モデルを用いると、措置の効果を過小評価する恐れがある。本問題をサンプル欠損バイアスとして議論を行う。サンプル欠損の選択的考慮によりサンプル欠損が発生する属性を特定した上でバイアスの除去を行い、措置の効果の評価を行う。加えて、点検時措置を実施すべきタイミングの提案を行う。

2. 本研究の基本的な考え方

本研究で用いる点検データは、異なる2時点における点検に関するもので、順に前回点検、今回点検と称する。点検では措置前判定として損傷の状態が4段階の健全度で記録される。点検時措置の必要性が認められる損傷には点検時措置を実施の上、措置後判定として同様に4段階の健全度が再度記録される。一方、点検時措置が不要な損傷に対しては、点検時措置を実施しないが、便宜上措置後判定として措置前判定と同じ健全度が記録される。点検時措置は劣化速度が相対的に大きい損傷に対して実施されると仮定する。

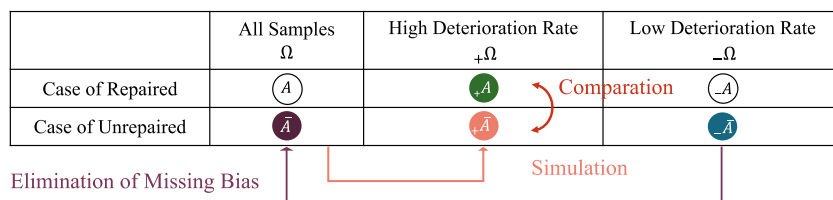


図-1 劣化過程の分類と評価の流れ

獲得されたサンプルの集合を Ω 、 Ω の要素のうち劣化速度が大きいものの集合を $+\Omega$ 、小さいものの集合を $-\Omega$ とする。この3つの集合に対して点検時措置が実施されたとした場合、されなかったとした場合に実現する6通りの劣化過程について考え、これを図-2.1に示す。このうち点検データとして獲得可能であるものは $+A$ 、 $-\bar{A}$ である。 $+A$ および $-\bar{A}$ は点検時措置の実施の有無のみならずサンプル元来の劣化速度が異なるため、これらの比較に基づいて点検時措置の効果の評価はできない。 $-\bar{A}$ に発生しているサンプル欠損バイアスを除去することにより \bar{A} を推定し、 \bar{A} に従う劣化現象のシミュレーション結果の劣化が速く進展したものに着目することにより $+A$ を推定する。 $+A$ と $+A$ は点検時措置の実施の有無のみが異なる劣化過程の組であるため、これらの比較に基づいて点検時措置の効果の評価を行う。

$-\Omega$ は劣化速度が小さいサンプルを要素として持つ集合であるため、 \bar{A} を $-\Omega$ に基づいて推定する場合、劣化速度を過小評価してしまう。これは、劣化速度が大きいサンプルが $-\Omega$ の要素として獲得できない点を考慮していないため生じる問題で、このメカニズムで劣化速度が過小評価される問題をサンプル欠損バイアスと称する。また、劣化速度が相対的に大き

いサンプルが欠損している状態をサンプル欠損と称する。サンプル欠損の発生の有無は劣化前の状態である前回措置後判定に依ると仮定し、前回措置後判定が $i(i = 1, 2, 3)$ において、それぞれサンプル欠損が生じているか否かを区別した $2^{4-1} = 8$ パターンの選択的考慮を行う。

3. モデルの定式化

損傷の進展過程にマルコフ劣化ハザードモデル²⁾を仮定する。期間 z の健全度が i から j への推移確率 $\pi_{ij}(z)$ は

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

である。 θ_i はハザード率である。サンプル $k(k = 1, \dots, K)$ について前回措置後判定 i^k 、今回措置前判定 j^k 、点検間隔 z^k が得られ、 $\xi^k = (i^k, j^k, z^k)$ 、 $\Xi = (\xi^1, \dots, \xi^K)$ とする。サンプル欠損を考慮しない Ξ が生起する尤度は

$$\mathcal{L}(\Xi) = \prod_{k=1}^K \prod_{i=1}^I \prod_{j=i}^I \pi_{ij}(z^k)^{\delta_{ij}^k} \quad (2)$$

である。パターン $s(s = 0, \dots, 2^{I-1} - 1)$ の選択的考慮では、前回措置後判定を i としたとき、 s の2進数表記 $s_{(2)}$ の下から i 桁目 $d_i(s)$ が1ならばサンプル欠損を考慮し、0ならば考慮しない。パターン s の尤度は

$$\mathcal{L}_s(\Xi) = \prod_{k=1}^K \prod_{i=1}^I \prod_{j=i}^I \{\pi_{ij}(z^k)^{1-d_i(s)} \tilde{\pi}_{ij}(z^k)^{d_i(s)}\}^{\delta_{ij}^k} \quad (3)$$

であり、特に $\mathcal{L}_0(\Xi) = \mathcal{L}(\Xi)$ である。 $\tilde{\pi}_{ij}(z)$ は修正推移確率で

$$\tilde{\pi}_{ij}(z) = R(j|i, \boldsymbol{\beta}) \pi_{ij}(z) \quad (4)$$

と表される。補正係数 $R(j|i, \boldsymbol{\beta})$ は、理論的な健全度分布 $P(j|i, \boldsymbol{\beta})$ に対する観測された健全度分布 $H_{j|i}$ の比である。 $R(j|i, \boldsymbol{\beta}) < 1$ ならばサンプル欠損が生じており、 $R(j|i, \boldsymbol{\beta}) > 1$ ならば生じているとはいえない。 $d_i(s) = 1$ である i に対して $R(j|i, \boldsymbol{\beta}) > 1 + \gamma_s$ となる j が存在する s については、サンプル欠損が生じているとの仮定と結果が矛盾するため、パターン s を棄却する。 γ_s は十分小さい正数であり、棄却に関する余裕である。

マルコフ劣化ハザードモデルにおいて、健全度が1から j に推移するために要する時間の累積分布関数は

$$F_j(\zeta_j) = \prod_{k=1}^{j-1} \theta_k \sum_{k=1}^{j-1} \frac{1 - \exp(-\theta_k \zeta_j)}{\theta_k \prod_{m=1, \neq k}^{j-1} (\theta_m - \theta_k)} \quad (5)$$

である。これを用い、 $F_j^{-1}(\alpha)$ によりシミュレーションの結果下側 $100\alpha\%$ 点を得る。

4. 推計手法

${}_+A$ の推定にあたっては、 ${}_+\Omega$ にサンプル欠損を考慮しない推計を行う。尤度は式(7)に基づく。パターン s の推計を考える。 ${}_+A_s$ の推定にあたっては、まず、 ${}_-\Omega$ にサンプル欠損の選択的考慮により \bar{A}_s を推定する。尤度は式(3)に基づき、 $R(j|i, \boldsymbol{\beta}) > 1 + \gamma_s$ に従い棄却の可否を判断する。ただし、 $\gamma_s = 0.1$ とする。 \bar{A}_s に従う劣化現象を式(5)を用いてシミュレーション

し、下 $100 \frac{+K}{(+K + -K)}\%$ 点相当の結果を $+\bar{A}_s$ として得る。

5. 実証分析

橋梁管理者により収集された点検データを用い、実証分析を行う。なお、実証分析では点検時措置として行われた防錆剤の効果に着目する。

\bar{A}_s の推定結果を図-2に示す。ただし、推計が収束した $s = 0, 2, 4, 6$ のみ示す。 $s = 0, 2, 6$ は $R(j|i, \beta) > 1 + \gamma_s$ により棄却され、 $4 = 100_{(2)}$ よりサンプル欠損は前回措置前判定が3のサンプルで生じていると判断できる。

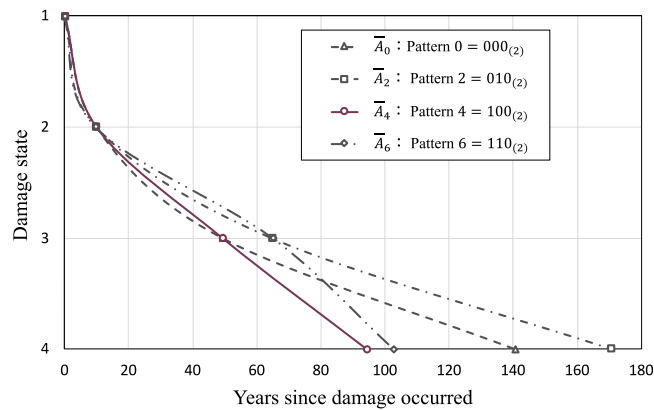


図-2 サンプル欠損を考慮した劣化予測結果

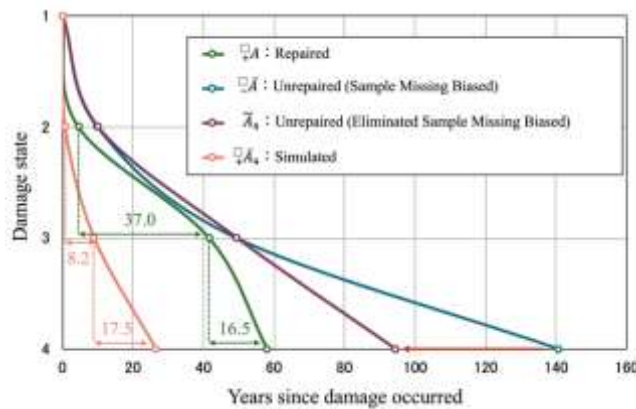


図-3 点検時措置の有無による劣化予測の相違

$+\bar{A}, \bar{A}_4, +\bar{A}_4$ の推定結果を図-3に示す。これらとの比較を目的に、 $-\bar{A}$ の推定結果も示す。 $-\Omega$ にサンプル欠損を考慮しない推計を行い、尤度は式(2)に基づく。

$-\Omega$ に対してサンプル欠損を考慮しなかった場合の劣化過程が $-\bar{A}$ であり、考慮した場合の劣化過程が \bar{A}_4 である。前者が健全度3から4にかけて寿命が伸びている一方で、後者は伸びが抑えられ、サンプル欠損による劣化速度の過小評価が解消されていることが確認できる。

$+\Omega$ に対して点検時措置が実施された場合の劣化過程が $+\bar{A}$ であり、実施されなかったと仮定した場合の劣化過程が $+\bar{A}_4$ である。点検時措置の実施により、健全度2から3へ推移するために要する年数が37.0年から8.2年と短縮されていることが確認できる。一方、健全度3から4へ推移するために要する年数はいずれも17年程度であり、点検時措置の効果は確認されず、状態が著しく悪い損傷への効果は期待されない。つまり、以下に挙げる場合に点検時措置の

実施は有効であるといえる。

- 健全度 3 以上の損傷に対して、点検時措置の実施により健全度 2 以下まで回復させられる見込みのある場合
- 健全度 2 以下の損傷に対して、次回点検までに健全度 3 以上に進展する恐れが大きく、健全度 2 以下に留めさせられる見込みのある場合

以下に挙げる場合は点検時措置の効果は有意に見られないといえるため、実施を見送った上で本補修による補修を行う方が効率的である。

- 点検時措置を実施しても健全度 3 以上に留まる見込みのある場合

6. おわりに

点検データの収集に起因するサンプル欠損を選択的に考慮した上で点検時措置の効果の評価を行い、点検時措置を実施すべきタイミングの提案を行った。

【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, pp.1-15, 2007.
- 2) 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定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.68-82, 2005.

実施項目③: 補修効果の事後評価手法の開発

成果: 社会基盤施設に対する長寿命化技術に関しては、その導入効果を定量的かつ継続的に評価するための枠組みを構築しておくことがアセットマネジメントを実践していく上で重要な課題となる。本研究では、長寿命化技術の導入効果を導入前後の劣化速度の差異として評価する。その際に、長寿命化技術の導入効果が劣化過程のいずれの段階で最も発現し得るかを明らかにするために、劣化速度を規定する劣化ハザード率に対して、健全度ごとに段階的に変化する劣化異質性を考慮した混合マルコフ劣化ハザードモデルを提案した。推定された異質性パラメータの差異の有意性を仮説検定により評価し、長寿命化技術の導入効果を定量的に事後評価した。さらに、実際の点検データを用いて高速道路RC床版への防水層導入効果を評価し、提案手法の有用性を示した。

段階的劣化異質性に基づく長寿命化技術導入効果の事後評価

1. 階層的な異質性を考慮した混合マルコフ劣化ハザードモデル

(1) モデルの定式化

本研究においては目視点検データに基づく、個々社会基盤施設の劣化予測を目的としている。分析の対象とする社会基盤施設を K 個の施設グループ (評価単位) に分割する。ある施設グループ k ($k = 1, \dots, K$) は、合計 L_k 個の施設で構成されている。また目視点検では社会基盤施設の劣化状態によって健全度が I 段階で記録される。施設グループ k が健全度 i ($i = 1, \dots, I-1$) の状態での劣化速度 (以下、ハザード率) の異質性を表す異質性パラメータ ε_i^k を導入する。このとき、施設グループ k の施設 l_k ($l_k = 1, \dots, L_k$) の健全度 i での個別ハザード率 $\lambda_i^{l_k}$ は

$$\lambda_i^{l_k} = \tilde{\lambda}_i^{l_k} \varepsilon_i^k \quad (1)$$

と定義される。ここで、 λ_i^{lk} は施設グループ k の施設 l_k の健全度 i での標準ハザード率である。異質性パラメータ ε_i^k は個別ハザード率 λ_i^{lk} の標準ハザード率 λ_i^{lk} からの乖離の程度を表す確率変数である。標準ハザード率 λ_i^{lk} としては指数ハザードモデル

$$\lambda_i^{lk} = \exp(x^{lk}\beta'_i) \quad (2)$$

を採用した。 x^{lk} は社会基盤施設の構造特性や環境条件を表す特性ベクトル、 β_i は未知パラメータベクトルを表し $'$ は転置を表す。

式(1)を用いることにより、ある時刻に健全度 i と判定され、時間 z^{lk} 経過後、健全度 j と判定されるマルコフ推移確率 π_{ij} は

$$\pi_{ij} = \begin{cases} \exp(-\lambda_i^{lk} z^{lk}) & (i = j) \\ \sum_{s=i}^j \prod_{m=i, \neq s}^{j-1} \frac{\lambda_m^{lk}}{\lambda_m^{lk} - \lambda_s^{lk}} \exp(-\lambda_s^{lk} z^{lk}) & (i < j) \\ 0 & (i > j) \end{cases} \quad (3)$$

と表される。

(2)ベイズ推計

本研究ではパラメータの推計手法としてマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた階層ベイズ推計を用いる。異質性パラメータ ε_i^k の事前分布として平均1、分散 $1/\phi_i$ のガンマ分布を仮定する。さらにガンマ分布の分散パラメータ ϕ_i に対しても事前分布として平均 $\alpha_i\gamma_i$ 、分散 $\alpha_i\gamma_i^2$ のガンマ分布を仮定している。

2. 実証分析

(1)データベースの概要

本研究で提案したモデルを実高速道路橋のコンクリート系床版に発生しているひび割れに対して適用した。ひび割れ損傷に対しては近接目視による定期点検によって3段階の判定が行われている。この点検データを用い、データベースを作成した。その中で、ひび割れ損傷に対し、処置・補修を行っている場合、その後の損傷進展過程に影響を及ぼしていると考え、処置・補修を行った後のサンプルは除外した。その結果、サンプルサイズは39,222サンプルであった。

(2)推計結果

本分析において階層的な異質性パラメータを径間毎に設定した。さらに、本分析では異質性パラメータを用い、床版防水がコンクリート系床版におけるひび割れ損傷の進展速度低減に及ぼす影響を評価することとした。よって床版防水の施工の有無によって異質性パラメータを設定した。これにより、径間毎に異質性パラメータを最大で4個設定した。階層ベイズ推計による異質性パラメータの推計結果を図-1、図-2に示す。またそれぞれの平均に関しては表-1となっている。異質性パラメータに床版防水の施工の有無によって差異が生じているか否かをWilcoxonの符号付順位和検定を用いて検定した。検定を行う際、床版防水の施工の有無以外の構造特性や環境条件を取り除くため、同一径間の同一階層で、かつ床版防水施工の有無による異質性パラメータの組を作成できるものをサンプルとした。帰無仮説として、床版防水施工によって異質性パラメータに差が無い、対立仮説を床版防水施工によって異質性パラメータに差がある、として片側検定を行ったところ、統計検定量がそれぞれ-7.44、-2.14となり、有意水準5%で帰無仮説が棄却された。つまり、床版防水を施工することによって異質性パラメータが低減しているといえる。

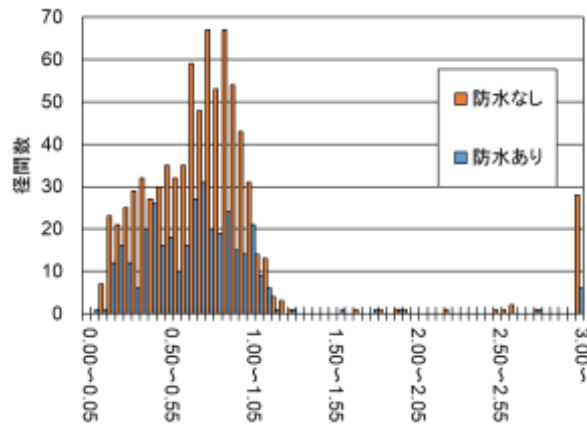


図-1 ε_1 の頻度分布（全データ）

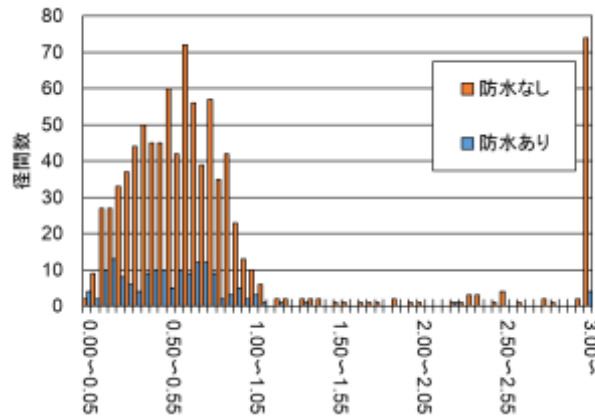


図-2 ε_2 の頻度分布（全データ）

表-1 異質性パラメータの期待値の平均

異質性パラメータ	床版防水あり	床版防水なし
ε_1	0.921	0.991
ε_2	0.624	1.036

3. おわりに

本研究では、個々の社会基盤施設の階層的な異質性を考慮した混合マルコフ劣化ハザードモデルを提案した。また、提案したモデルを用いることで、床版防水がコンクリート系床版におけるひび割れ損傷の進展速度低減に及ぼす影響を評価した。

【参考文献】

- 1) 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.
- 2) 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡弘大: 混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推計, 土木学会論文集D3, Vol.68, No.4, pp.255-271, 2012.

実施項目④：補修プロファイリング手法の開発

成果：老朽化した下水道管渠が増加傾向にあるなかで、管渠の改築更新工事の効率化が重要視されている。特に管渠は埋設構造物であり、地中で複雑なネットワークを形成するという性質上、ある一定数の工事を集約化するような改築更新工事の水平的同期化施策が有効となる。そこで、本研究ではコンクリート管渠を対象とした目視点検データを用いて混合マルコフ劣化ハザードモデルを推定し、個々の管渠の劣化異質性を評価した。さらに、異質性パラメータ値と管渠の位置情報から空間的異質性分布をカーネル密度推定により評価した上で、重点管理区域をプロファイリングするとともに、管渠の改築更新施策を検討するための方法論を提案した。最後に、大阪市が管理する下水道管渠への適用事例を通して、提案手法の有効性を実証的に検証した。

下水道管渠の空間的劣化異質性に着目した重点管理区域プロファイリング

1. 混合マルコフ劣化ハザードモデル

本研究において分析の対象とする下水道管渠を S 個の施設グループに分割する。ある施設グループ $s(1, \dots, S)$ が合計 L_s 個の下水道管渠で構成されているとし、目視点検によりそれぞれの下水道管渠について I 段階で記録された健全度についてのデータが得られたとする。構造・環境条件などの既知の条件に対する説明変数で表される劣化速度の変動は標準ハザード率で表現される。一方で、標準ハザード率で表現することのできない不可観測の影響は、異質性パラメータと呼ばれる標準ハザード率を補正するパラメータで表現される。いま、施設グループ s に関する異質性パラメータを ε^s と表現すると、施設グループ s のある管渠 $l_s(l_s = 1, \dots, L_s)$ に関する個別ハザード率 $\lambda_i^{l_s}$ は、

$$\lambda_i^{l_s} = \tilde{\lambda}_i^{l_s} \varepsilon^s \quad (1)$$

と表現される。 $\tilde{\lambda}_i^{l_s}$ は施設グループ s の施設 l_s の標準ハザード率である。なお、標準ハザード率 $\tilde{\lambda}^{l_s}$ は

$$\tilde{\lambda}_i^{l_s} = \exp(x^{l_s} \beta'_i) \quad (2)$$

で表現される。 x^{l_s} は下水道管渠の構造・環境条件を表す特性ベクトル、 β_i は健全度 i に関する未知パラメータベクトルを表し「 $'$ 」は転置操作を表す。式(1)を用いることにより、ある時刻に健全度 i と判定され、時間 z^{l_s} 経過後、健全度 j と判定されるマルコフ推移確率 π_{ij} は

$$\pi_{ij} = \begin{cases} \exp(-\lambda_i^{l_s} z^{l_s}) & (i = j) \\ \sum_{k=i}^j \prod_{m=i, \neq k}^{j-1} \frac{\tilde{\lambda}_m^{l_s}}{\tilde{\lambda}_m^{l_s} - \tilde{\lambda}_k^{l_s}} \exp(-\lambda_i^{l_s} z^{l_s}) & (i < j) \end{cases} \quad (3)$$

と表現される。本研究ではパラメータの推計手法としてマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた階層ベイズ推計を用いる。異質性パラメータ ε^s の事前分布として平均1、分散 $1/\phi$ のガンマ分布を設定する。さらにガンマ分布の分散パラメータに対しても事前分布として平均 α, γ 、分散 $\alpha\gamma^2$ のガンマ分布を仮定している。

2. カーネル密度推定法

本研究においては劣化速度の大きな下水道管渠の密集している地域の評価法として標本より確率密度関数を推定するカーネル密度推定法を用いる。カーネル密度推定法とは、標本より全体の分布について推定する手法である。具体的には、各標本に対して密度分布を仮定し、それらの影響範囲について足し合わせることで全体の密度分布を推定する。いま、下水道管渠 $X_n(1 \dots N)$ の要素にカーネル関数 $K(x)$ を設定する。本研究においては、カーネル関数 $K(x)$ を、

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} \quad (4)$$

のように平均が0、分散が1のガウスカーネル関数により設定する。このカーネル関数 $K(x)$ が要素からの距離 x に対して、要素が持つ影響力の大きさを表す。そして、それぞれの要素に対して設定したカーネル関数 $K(x)$ について足し合わせることによりカーネル密度推定量 $\hat{f}_h(x)$ は、

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (5)$$

と表現される。 n はデータ数、 h はバンド幅を表し、パラメータ h は、密度関数の滑らかさを表現する。

本研究においては、平均からの劣化速度の乖離を表現する異質性パラメータ ε に対して閾値を設けることにより、閾値以上の異質性パラメータ ε^s を持つ劣化速度が大きい下水道管渠の標本を作成し、カーネル密度推定法を適用し、劣化速度の大きい下水道管渠が密集している地域をプロファイリングする。

3. 実証分析

ここでは、大阪市で管理されている下水道管渠に対して提案手法を適用し、その有効性を検証する。推計に用いた下水道管渠の点検データは5段階の判定により健全度が評価されている。この下水道管渠に関する点検データについてデータベースを作成する。その中で、点検間隔や健全度など推計に必要な情報が欠けたサンプルは除外した。推計に用いるサンプルデータのサンプルサイズは18849サンプルであった。以下、混合マルコフ劣化ハザードモデルの推計には、説明変数を用いる場合は、赤池情報量規準(AIC)の比較により、内径高さ・行政区・重要路線・用途地域の情報を管渠特性として用いた。

図-1に異質性パラメータにより分類した大阪市の地図を示す。異質性パラメータ1.00以上の劣化速度が大きい行政区を赤塗で、異質性パラメータが1.00以下の劣化速度が小さい行政区を青塗で示す。劣化速度が大きい管渠は海側に集中的に存在することを確認した。管渠特性の行政区は、赤塗の行政区に属する管渠を1青塗の行政区に属する管渠を0とし、ダミー化した。内径高さはAICが最も小さくなる値に閾値を設定し分類した。本研究では、最もAICが小さくなる閾値は600mmであったため、内径高さが600mm以上の管渠を1、内径高さが600mm以下の管渠を0とダミー化して推計に用いた。以上の管渠特性とデータベースを用いて、以下、混合マルコフ劣化ハザードモデルを推計した。

図-2に管渠ごとに異質性パラメータを設定し、混合マルコフ劣化ハザードモデルを推計した異質性パラメータのヒストグラムを示す。異質性パラメータが2.00以上の領域を橙塗で示す。橙塗で示す下水道管渠のみを抜き出し、異質性パラメータのデータと緯度と経度の地理的データを紐付けて、カーネル密度推定を行う。以下、異質性パラメータが2.00以上の管渠

を該当管渠と表現する。

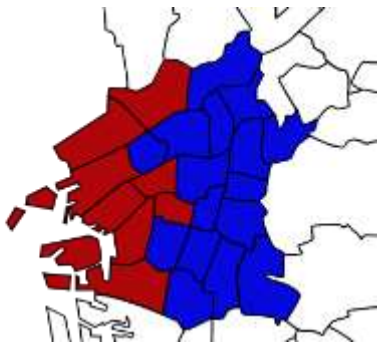


図-1 異質性パラメータで分類した大阪市の地図
(赤：劣化速度大 青：劣化速度小)

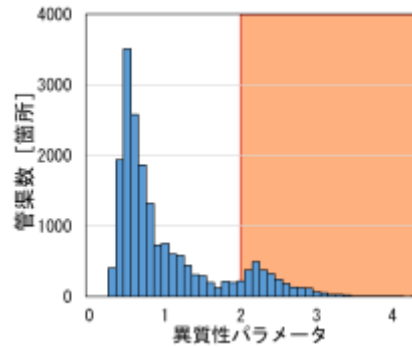


図-2 異質性パラメータについての
混合マルコフ劣化ハザードモデルの推計結果

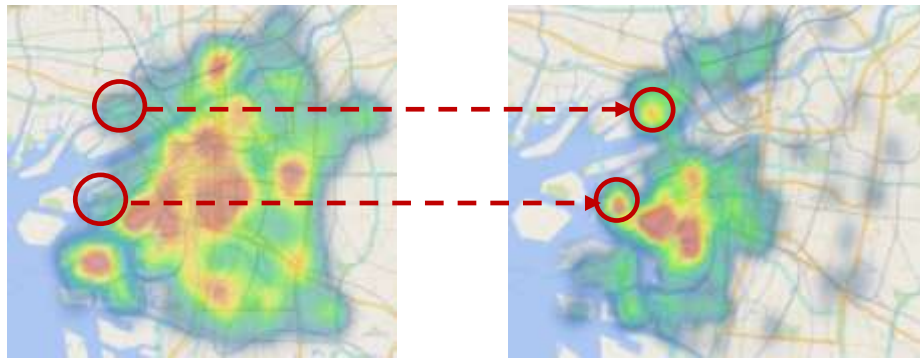


図-3 異質性パラメータが2.00以上の管渠に対するカーネル密度推定結果
(左：全管渠の中で該当管渠について推計

右：該当管渠を除き混合マルコフ劣化ハザードモデルを再推計後、カーネル密度推定を適用)

図-3に管渠ごとに異質性パラメータを設定し、混合マルコフ劣化ハザードモデルを推計後、該当管渠のデータに対して、カーネル密度推定を行った結果を示す。左の図では、難波や梅田などの商業地域および南港などの臨海地域に該当管渠が密集していることが確認された。右の図は該当管渠を補修したと仮定してデータセットから除外し、混合マルコフ劣化ハザードを再推計したのに対して、カーネル密度推定を適用した結果である。該当管渠を取り除いたことにより該当管渠が密集している地域が変化することを確認した。

4. おわりに

本研究で得られた知見を以下に述べる。

- 下水道管渠のデータに対して混合マルコフ劣化ハザードモデルを適用することで、劣化速度が大きい管渠が沿岸部の行政区に密集していることを確認した。
- 異質性パラメータに対してカーネル密度推定を適用することにより劣化速度が大きい管渠が密集している地域をプロファイリングする手法を示し、その手法の有効性を確認した。

【参考文献】

- 1) 国土交通省，平成 29 年度国土交通白書 pp.132-133，2018
- 2) 貝戸清之，小林潔司，青木一也，松岡弘大：混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推計，土木学会論文集 D3，Vol.68，No.4，pp.255-271，2012.

(4) 当該年度の成果の総括・次年度に向けた課題

本年度の研究成果はいずれの土木学会論文集に投稿予定，あるいは投稿済みである．これまでの研究活動が学術的にはある一定の評価を得つつある．すなわち統計的劣化予測モデルによる社会インフラの寿命評価やその結果として余寿命が政策形成のための科学的エビデンスとなり得る可能性を示すことができたと考えている．次年度以降は，これらの成果を実際の政策形成に落とし込んでいくための方法論を開発していくことが重要である．

2 - 3. 会議等の活動

年月日	名称	場所	概要
2020/4/8	補修事後評価WG	オンライン	開発方針の検討
2020/5/8	相互比較検証WG	オンライン	斜面点検の実態把握
2020/5/13	補修事後評価WG	オンライン	分析データと解析手法の検討
2020/6/11	統計的劣化予測WG	オンライン	開発方針の検討
2020/7/29	統計的劣化予測WG	オンライン	分析結果の妥当性確認
2020/8/21	補修事後評価WG	オンライン	分析結果の妥当性評価
2020/9/9	相互比較検証WG	オンライン	データベース案の作成と課題抽出
2020/9/30	補修事後評価WG	オンライン	分析結果の政策形成への活用
2020/10/9	統計的劣化予測WG	オンライン	分析結果の妥当性確認
2020/11/17	プロファイリングWG	オンライン	方法論の詳細検討
2020/11/18	相互比較検証WG	オンライン	AI分析結果第一案の検討
2020/12/2	プロファイリングWG	オンライン	分析結果のアウトプット検討
2020/12/15	相互比較検証WG	オンライン	データベースとしての3D検討
2021/1/20	相互比較検証WG	オンライン	AI異常検知と実務との整合性
2021/3/15	統計的劣化予測WG	オンライン	実務への適用検討
2021/3/16	相互比較検証WG プロファイリングWG	オンライン オンライン	AI異常検知の実務的課題の検討 最終成果報告

3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

国土交通省、西本高速道路、大阪市建設局とは開発してきた方法論とそこから導き出されるエビデンスを用いた政策形成を検討していくことで合意している。学術的な成果を上げることはもちろんのこと、政策形成プロセスに落とし込んでいく検討に軸足を移していく予定である。また、EBPMについて議論する場として、土木学会土木計画学研究委員会内に、「維持修繕および防災の統合的マネジメント小委員会（委員長：貝戸清之）」を立ち上げた。この小委員会の中でより多くの意見を収集していくことも考えている。

4. 研究開発実施体制

(1) 科学的エビデンス創出グループ（リーダー：貝戸清之）

大阪大学大学院 工学研究科
京都大学 経営管理大学院
東北大学 災害科学国際研究所
株式会社 パスコ
阪神高速技術 株式会社
株式会社 三菱総合研究所

実施項目①： インフラ管理データの相互比較検証

グループの役割の説明： リサーチ・クエスチョン「点検ビッグデータを用いたデータサイエンス技術によってインフラの寿命や、補修・更新に関する需要を予測する（科学的エビデンスを提示する）ことは可能か」に対する解決策を検討するために、インフラ管理者ごとに保有情報の相違を明らかにする。

実施項目②： インフラに対する統計的劣化予測

グループの役割の説明： リサーチ・クエスチョン「点検ビッグデータを用いたデータサイエンス技術によってインフラの寿命や、補修・更新に関する需要を予測する（科学的エビデンスを提示する）ことは可能か」に対する解決策を検討するために、統計的劣化予測手法の開発と実際の目視点検データを用いた実証分析を行う。

(2) マネジメント政策形成グループ（リーダー：貝戸清之）

大阪大学大学院 工学研究科
京都大学 経営管理大学院
東北大学 災害科学国際研究所

株式会社 パスコ

阪神高速技術 株式会社

株式会社 三菱総合研究所

実施項目①： 補修効果の事後評価手法の開発

グループの役割の説明： リサーチ・クエスチョン「劣化予測結果をどのように活用することによって老朽化インフラに対するマネジメント政策形成プロセスを進化させることができるのか」に対する解決策を検討するために、インフラの劣化予測に重大な影響を与える補修行為に対する影響を考慮した劣化予測とライフサイクル費用分析手法を開発する。

実施項目②： 補修プロファイリング手法の開発

グループの役割の説明： リサーチ・クエスチョン「劣化予測結果をどのように活用することによって老朽化インフラに対するマネジメント政策形成プロセスを進化させることができるのか」に対する解決策を検討するために、補修戦略の選定を行うための補修プロファイリング手法を提案する。

(3) 価値創造グループ (リーダー：貝戸清之)

大阪大学大学院 工学研究科

京都大学 経営管理大学院

東北大学 災害科学国際研究所

株式会社 パスコ

阪神高速技術 株式会社

株式会社 三菱総合研究所

実施項目①： 評価実施と効果検証

グループの役割の説明： リサーチ・クエスチョン「劣化予測結果が、補修・更新計画立案を超えたさらなる価値創造を成し得るのか」「本プロジェクトで取り組むデータサイエンス技術が他分野（不完全情報下において意思決定・政策形成が求められる分野）のマネジメント政策形成へ適用可能であるのか」に対する解決策を検討するために、インフラマネジメント研究会での議論を中心に、本プロジェクトにおける分析結果全体を俯瞰的に評価するとともに、政策立案を超えた本プロジェクトの波及効果、波及効果を達成するために必要な追加開発項目（今後の課題）を抽出する。

5. 研究開発実施者

科学的エビデンス創出グループ（リーダー氏名：貝戸清之）

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
貝戸 清之	カイト キヨユキ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	准教授
小濱 健吾	オバマ ケンゴ	大阪大学大学院	NEXCO西日本高速道路 学共同研究講座	特任准教授
水谷 大二郎	ミズタニ ダイジロウ	東北大学	災害科学国際研究所	助教
小林 潔司	コバヤシ キヨシ	京都大学	経営管理大学院	特任教授
青木 一也	アオキ カズヤ	株式会社パスコ	経営戦略本部 技術革新部	室長
塚本 成昭	ツカモト シゲアキ	阪神高速技術 株式会社	技術部	課長
慈道 充	ジドウ ミツル	一財)阪神高速道 路技術センター	調査研究部 調査研究第二課	係長
二宮 陽平	ニノミヤ ヨウヘイ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	日本学術振 興会DC1
篠崎 秀太	シノザキ シュウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課 程
橋詰 遼太	ハシヅメ リョウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課 程
山岸 拓歩	ヤマギシ タクホ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課 程

マネジメント政策形成グループ（リーダー氏名：貝戸清之）

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
貝戸 清之	カイト キヨユキ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	准教授
小林 潔司	コバヤシ キヨシ	京都大学	経営管理大学院	特任教授
小濱 健吾	オバマ ケンゴ	大阪大学大学院	NEXCO西日本高速道路 学共同研究講座	特任准教授
水谷 大二郎	ミズタニ ダイジロウ	東北大学	災害科学国際研究所	助教
玉越 隆史	タマコシ タカシ	京都大学	経営管理大学院	特定教授
慈道 充	ジドウ ミツル	一財)阪神高速道 路技術センター	調査研究部 調査研究第二課	係長

塚本 成昭	ツカモト シゲアキ	阪神高速技術株式会社	技術部	課長
宮崎 文平	ミヤザキ ブンペイ	三菱総研	次世代インフラ事業本部	副主任 研究員
二宮 陽平	ニノミヤ ヨウヘイ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	日本学術振興会DC1
篠崎 秀太	シノザキ シュウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程
橋詰 遼太	ハシヅメ リョウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程
山岸 拓歩	ヤマギシ タクホ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程

価値創造グループ（リーダー氏名：貝戸清之）

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
貝戸 清之	カイト キョユキ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	准教授
小林 潔司	コバヤシ キヨシ	京都大学	経営管理大学院	特任教授
小濱 健吾	オバマ ケンゴ	大阪大学大学院	NEXCO西日本高速道路 学共同研究講座	特任准教授
水谷 大二郎	ミズタニ ダイジロウ	東北大学	災害科学国際研究所	助教
青木 一也	アオキ カズヤ	株式会社パスコ	経営戦略本部 技術革新部	室長
宮崎 文平	ミヤザキ ブンペイ	三菱総研	次世代インフラ事業本部	副主任 研究員
二宮 陽平	ニノミヤ ヨウヘイ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	日本学術振興会DC1
篠崎 秀太	シノザキ シュウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程
橋詰 遼太	ハシヅメ リョウタ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程
山岸 拓歩	ヤマギシ タクホ	大阪大学大学院	工学研究科 地球総合工学専攻	博士前期課程

6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

6-1. シンポジウム等

なし.

6-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

- (1) 書籍、フリーペーパー、DVD
なし
- (2) ウェブメディアの開設・運営
なし
- (3) 学会（6-4.参照）以外のシンポジウム等への招聘講演実施等
なし

6-3. 論文発表

(1) 査読付き（ 3 件）

●国内誌（ 3 件）

- ・貝戸清之，二宮陽平：ポットホールの発生頻度を補完的情報とするRC床版の状態依存型点検手法，土木学会論文集F4，Vol.76，No.1，pp.63-82，2020.10
- ・貝戸清之，篠崎秀太，鎌田敏郎，前川波奈江，山中明彦：下水道管渠の空間的劣化異質性に着目した重点管理区域スクリーニングと改築更新施策，土木学会論文集F4，Vol.77，No.77，2021.5（登載決定）
- ・貝戸清之，小林潔司，青木一也，Ei Ei Myo，米山秀樹，松本圭史：空間マッピングを用いた舗装劣化速度評価：ミャンマーにおける実践，土木学会論文集F5，Vol.77，No.77，2021.6（登載決定）

●国際誌（ 0 件）

(2) 査読なし（ 件）

- ・貝戸清之，松本圭史，青木一也，小林潔司：ミャンマーにおける空間マッピングを用いた舗装マネジメント，第4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.68-75，ビジョンセンター田町，2020.11
- ・

6-4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

(1) 招待講演（国内会議 0 件、国際会議 0 件）

(2) 口頭発表（国内会議 6 件、国際会議 0 件）

- ・篠崎秀太（大阪大学），貝戸清之：下水道管渠の集合的な維持管理実施のための更新対象地域の特定手法，令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会講演概要集，土木学会，DVD-ROM，VI-389，名古屋工業大学（オンライン），2020.9
- ・松本圭史（大阪大学），青木一也，貝戸清之：劣化・属性情報を用いたマネジメントマップによる舗装選定手法の提案，令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会講演概要集，土木学会，DVD-ROM，VI-404，名古屋工業大学（オンライン），2020.9

- ・山岸拓歩（大阪大学），安藤翠，貝戸清之：サンプル欠損を考慮した劣化予測モデルに基づく簡易補修の実施タイミングの提案，令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会講演概要集，土木学会，DVD-ROM，VI-778，名古屋工業大学（オンライン），2020.9
- ・松本圭史（大阪大学），貝戸清之，小林潔司，青木一也：空間マッピングを用いた舗装劣化評価，第62回土木計画学研究・講演集，土木学会，CD-ROM，No.7174，ウェブ開催（信州大学），2020.11
- ・篠崎秀太（大阪大学），貝戸清之：更新工事集約化のための重点維持管理対象地域スクリーニング手法の提案，第62回土木計画学研究・講演集，土木学会，CD-ROM，No.7093，ウェブ開催（信州大学），2020.11
- ・山岸拓歩（大阪大学），安藤翠，貝戸清之：サンプル欠損を考慮した劣化予測モデルによる簡易補修の有効性の検討，第62回土木計画学研究・講演集，土木学会，CD-ROM，No.7189，ウェブ開催（信州大学），2020.11

(3) ポスター発表（国内会議 0 件、国際会議 0 件）

6-5. 新聞／TV報道・投稿、受賞等

(1) 新聞報道・投稿（ 0 件）

(2) 受賞（ 1 件）

・第4回JAAM賞，一般社団法人日本アセットマネジメント協会，2020.11

(3) その他（ 0 件）

・

6-6. 知財出願

(1) 国内出願（ 0 件）

(2) 海外出願（ 0 件）