

## 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

|              |     |   |                   |
|--------------|-----|---|-------------------|
| 大阪大学大学院工学研究科 | 正会員 | ○ | 笹井 晃太郎            |
| 大阪大学大学院工学研究科 | 学生員 |   | 吉田 伊織             |
| 大阪大学大学院工学研究科 | 非会員 |   | Shakya Manish Man |
| 大阪大学大学院工学研究科 | 正会員 |   | 貝戸 清之             |

### 1. はじめに

従来より、単一の健全度指標に基づいて構造物の劣化過程を表現する研究が蓄積されている。例えば、舗装の劣化過程に関しては、1) ひび割れ、わだち掘れ、平坦性という個別劣化事象を MCI 指標という単一の評価指標に総合化するとともに、1 元化された総合化指標の時間的変化をモデル化する方法、2) ひび割れ、わだち掘れ、平坦性という個別劣化事象のみに着目し、それぞれの劣化事象の経年的変化をモデル化する方法が採用されてきた。しかしながら、社会基盤施設の劣化過程には、多様な劣化要因が介在するために、1) 構造物によっては、ある単一の劣化事象が卓越する場合や、2) 複数の劣化事象が互いに相互作用を及ぼしながら劣化が進展する場合などがありうる。現実には観測される点検データには、このような複数の場合が混在する。このため、1 つの指標として総合化されたデータを用いた場合、その指標がどの劣化事象の状況を表しているのかという情報は獲得できない。また、単一の劣化事象を用いた劣化過程モデルでは、社会基盤施設ごとの劣化事象の異質性や劣化事象間の相関性を表現できないという限界が存在する。本研究では、高速道路舗装の路面指標と耐荷力指標を連続量を用いた多元的劣化過程モデル（以下、連続量多元的劣化過程モデル）により記述し、複数指標を考慮することで、精緻な維持管理計画を立案する手法を提案する。

### 2. 提案手法

本研究で提案する連続量多元的劣化過程モデルは、構造物の劣化管理指標が連続量として表現される場合に適用可能である。単一の劣化事象に関して、構造物カテゴリーにより劣化メカニズムが多様に異なることに着目し、異質性を考慮した連続量劣化ハザードモデル<sup>1)</sup>を用いて、着目している劣化事象の進行

過程を表現する。連続量劣化ハザードモデルでは、ベースラインモデルをベンチマーキングケースとして、構造物カテゴリーの異質性を異質性パラメータ  $\varepsilon$  により表現する。異質性パラメータ  $\varepsilon$  が確率密度関数  $p(\varepsilon)$  に従って分布する場合、個々の構造物カテゴリーの劣化速度を相対的に評価することが可能となる。すなわち、 $\varepsilon = 0$  の場合がベンチマーキングケースに該当し、 $\varepsilon > 0$  のサンプルはベンチマーキングケースより相対的に劣化が早い構造物カテゴリーとして、 $\varepsilon < 0$  の場合は劣化が遅いカテゴリーとして相対評価することが可能となる。

また、多変量周辺分布間の依存構造を表現するためにコピュラを用いる。コピュラは、複数の確率変数の周辺分布関数とそれらの同時分布関数を接合する関数であり、多変量周辺分布の確率構造を維持しながら、同時分布関数を推定できる点に特徴がある。図-1 は、複数の社会基盤施設の劣化状態を 2 種類の劣化事象 A, B を用いて評価する場合を想定している。同図の上側は横軸に異質性パラメータ  $\varepsilon_A$ 、縦軸に異質性パラメータ  $\varepsilon_B$  を用いた、異質性パラメータの組  $(\varepsilon_A, \varepsilon_B)$  の 2 次元空間上プロットである。しかし、確率変数の周辺関数・同時関数を定めないまま、異質性パラメータの分析を行うことは難しい。同図下側の様に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。

### 3. 実証分析

連続量多元的劣化過程モデルを高速道路舗装の点検データに適用した。データは路面性状調査により獲得された路面指標（ひび割れ率、わだち掘れ量、IRI）と FWD 調査により獲得された耐荷力指標によ

キーワード 連続量多元的劣化過程モデル、連続量劣化ハザードモデル、コピュラ、舗装、複合構造  
 連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 工学研究科 AR 棟 607 号室  
 社会基盤マネジメント学領域 TEL06-6879-4325

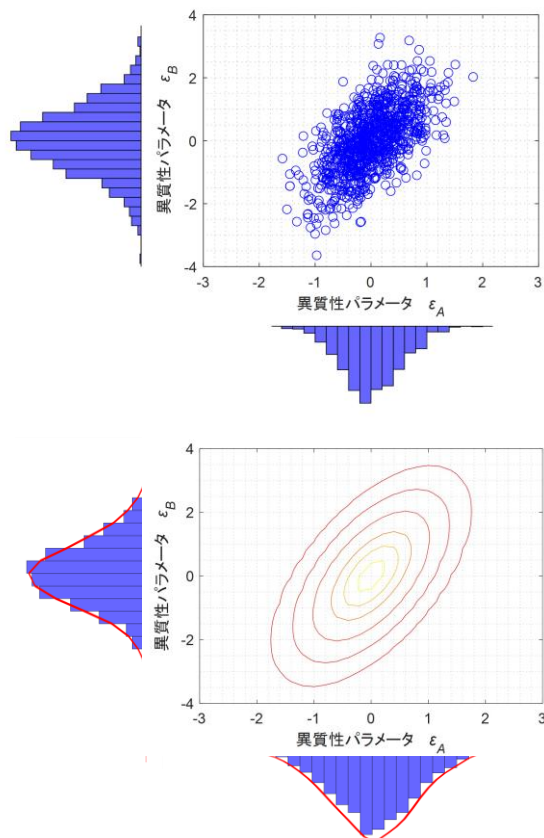


図-1 異質性パラメータの同時分布

り構成される。

舗装の劣化過程は路面の劣化過程と耐荷力の低下過程で構成される複合的過程であり、路面指標と耐荷力指標に相関関係が存在すると考えられ、これらの相関性の不確実性をコンピュータを用いて表現する。

また、FWD 調査は舗装表面に重錘を落下させ、そのときに生じるたわみ量の測定を通して舗装耐荷力を診断する手法のために通行規制を行う必要があり、耐荷力指標を広範囲かつ高密度に得ることは難しい。一方、測定車が対象区間を走行しながら実施する路面性状調査は通行規制の必要がなく、網羅的に路面指標を獲得することができる。このように、一部の点検データ（劣化事象）において、部分的にのみ点検結果が観測されている場合においても、連続量多元的劣化過程モデルを用いると、多元的劣化過程全体を推定することができる。

図-2 に推定されたひび割れ率（路面指標）と耐荷力指標の異質性パラメータの同時確率密度関数を示す。異質性パラメータのばらつきは大きいものの、正の相関が確認された。同時確率密度関数を用いるこ

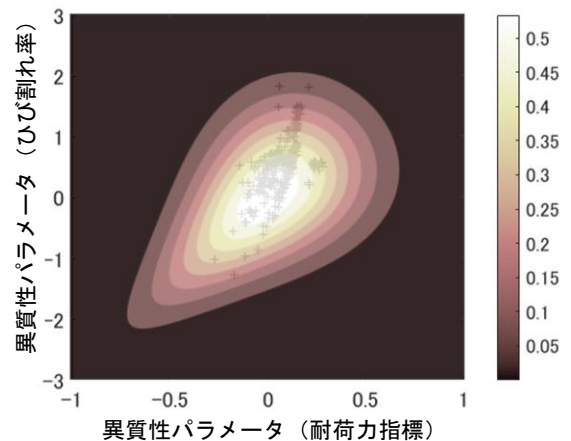


図-2 推定された同時分布

とにより、路面指標が獲得されている点において、耐荷力指標が獲得されていなくとも、同地点におけるひび割れ率の異質性の値に基づいて、同時確率密度関数を周辺化することにより、耐荷力指標の異質性の周辺確率密度分布が得られる。また、確率密度関数を利用して異質性が期待値より大きな値をとるような危険側に対するリスク評価も可能である。

また、同図を用いて路面指標、耐荷力指標ともに異質性パラメータが 0 以上となる第 1 象限に位置するグループでは、上層路盤や下層路盤のような深い層を含む大規模な補修・更新の必要性を考慮に入れ、重点的な管理を行う等の中長期的な計画を策定することができる。

#### 4. おわりに

本研究では、複数劣化指標を考慮して中長期的維持管理計画を策定するための連続量多元的劣化過程モデルを提案した。また、高速道路舗装の維持管理に路面指標と耐荷力指標の同時確率密度関数を推定することにより、維持管理計画を精緻化できることを示唆した。今後は更なる実証分析を通して舗装以外の複合的な劣化過程を有する社会基盤施設にも提案手法が適用可能であることを示していく。

#### 【参考文献】

- 1) 水谷大二郎, 小林潔司, 風戸崇之, 貝戸清之, 松島格也: 連続量を用いた劣化ハザードモデル: 舗装耐荷力への適用, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.72, No.2, 191-210, 2016.
- 2) Nelsen, R. B.: *An Introduction to Copulas*, Springer, 1999