

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○神前 真桜  
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 松岡 弘大  
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 稲場 亘  
 四国旅客鉄道(株) 非会員 高橋 和樹  
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 貝戸 清之

## 1. はじめに

地方鉄道では設備保守の省力化が喫緊の課題である。レール間の電氣的接続を担うレールボンドは、数が多く県査頻度も高いため、実態に応じた合理的な管理が求められる。レールボンドの異常発生頻度は指数ハザードモデルで分析可能だが、電気・保線両系統の設備管理データの横断的活用により、精度向上が期待される。本研究では、実路線での実証分析を通じて、データ統合の有効性を検証し、さらなる精度向上に向けた考察を行う。

## 2. レールボンドの管理

レールボンド脱落などによる事故や運行停止を未然に防ぐ目的で、レールボンドに対して保全検査が実施されている。保守業務の効率化施策として、現在すべてのレールボンドで一律の検査周期を、異常発生リスクの違いに応じて変更することが考えられる。しかし、現場の暗黙知だけでは、優先順位や周期の延伸期間などを具体化するには至らず、合理的な管理施策の策定に繋がっていないのが現状である。

この背景には、データ管理上の制約も存在する。レールボンドの台帳は複数のレールボンドを含む軌道回路単位で管理されており、個々のレールボンドの種別や設置位置、その地点の線形や軌道状態などは管理されていない。このため、電気系統で管理するデータのみでは、レールボンドの異常発生と、種別や設置位置、線形・軌道状態との関係を定量的に評価することが困難である。

既存のアセットマネジメントに関する検討では、上記のような課題に対して、統計モデルを高度化することで解決が図られてきた。一方、本研究では別の方向性として、データの系統横断活用を模索する。鉄道分野では「統合分析プラットフォーム」<sup>1)</sup>の構築が進め

られており、各系統が個別に管理してきたデータの集約、系統横断的な利用が可能となりつつある。これにより、これまで高度なモデルが担ってきたデータ欠損の補完や多次元評価などの役割をデータの系統横断活用で代替できる可能性があると考えられる。しかしながら、データの系統横断活用による効果とその限界を、定量的かつ実証的に整理した事例は多くない。

## 3. 異常発生モデル化と推計手法

本研究では統計分析手法として指数ハザードモデルを用いる。次の微小時間で異常が発生する確率密度  $\gamma_k$  はレールボンド  $k$  の特性を考慮するため、

$$\gamma_k = \exp(\mathbf{x}_k \boldsymbol{\beta}') \quad (1)$$

と仮定する。ここで、 $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_j)$  は未知パラメータ  $\beta_j$  による行ベクトル、 $\mathbf{x}_k = (x_k^1, \dots, x_k^j)$  はレールボンド  $k$  に関する  $j$  個の特性変数である。これより、ある使用期間までレールボンドが正常である確率は、

$$S_k(t) = \exp(-\gamma_k t) \quad (2)$$

となる。これを基に尤度関数を定式化したうえで、未知パラメータ  $\boldsymbol{\beta}$  に事前分布を設定し、MCMC 法を適用することで、事後分布として未知パラメータを推計した。

## 4. データ系統横断活用によるデータセット作成

本研究では、JR 四国が管理する予讃線（高松～観音寺間、約 55km）の区間におけるレールボンド 2,092 本の検査記録を対象とした。

図-1 に示すように、データセット作成におけるデータの系統横断活用を行った。系統横断活用 I は、レールボンドを管理する電気系統の情報のみでは困難であった、異常発生モデルの推計を可能にする。系統横断活用 II は、指数ハザードモデルの特性変数として、線路の線形や状態の影響を考慮可能にする。

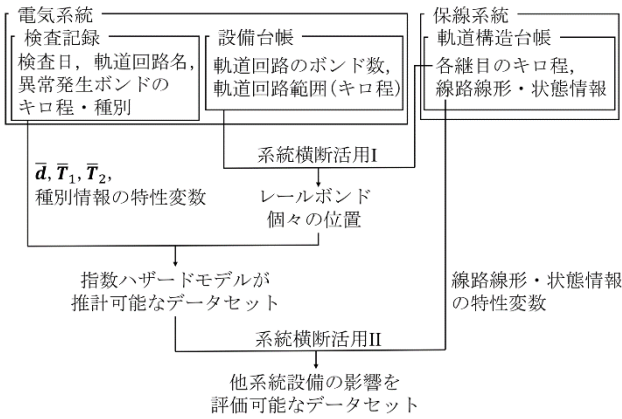


図-1 データセット作成の概要

### 5. データ統合の有効性検証

データの系統横断活用の有効性を検証するため、本研究では電気系統の管理情報（種別）のみを考慮したモデル（以下、モデル A）と保線系統の管理情報も考慮したモデル（以下、モデル B）の2つに対してパラメータの推計を行った。モデル A では定数項と4つのボンド種別の計5つの未知パラメータを推計した。モデル B では、モデル A に加えて、通り狂いの大きさ、設置地点が緩和曲線か否か、曲率の大きさを考慮し、8つのパラメータを推計した。

モデル B はモデル A よりも小さい WAIC を有していたため、系統横断活用は、変数追加による過学習の懸念を考慮しても十分な精度改善効果があると判断できる。また、期待寿命分布やある期間の異常発生数、異常発生ボンド数、1回のみ異常が発生したボンド数および2回以上異常が発生したボンド数の期待値から、モデル B の方が期待寿命のばらつきが大きいことを示した。現場技術者からは「数年で寿命を迎えるレールボンドの印象が強い」との意見もあり、現場技術者の暗黙知との整合の観点でもモデル B の方が妥当であると考えられる。

図-2 は、推計結果から算出した各レールボンドの期待寿命の分布である。CL100-1000 は主に伸縮継目で使用されるが、普通継目で使用される他の種別と比べて期待寿命が長いこと、種別の違いを問わず本曲線部に設置されたレールボンドは早期に異常が生じやすいこと、などを確認できる。これにより現場技術者の経験的な暗黙知を、異常発生までの期間への影響としてある程度定量化できたと考えられる。

### 6. さらなる精度向上に向けた考察

図-3 は、各レールボンドの実績の異常発生数と、モ

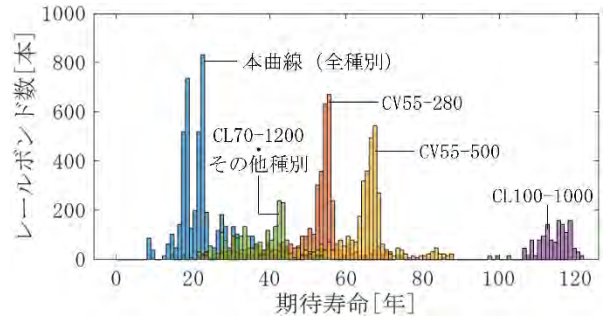


図-2 種別・条件がボンド期待寿命に及ぼす影響

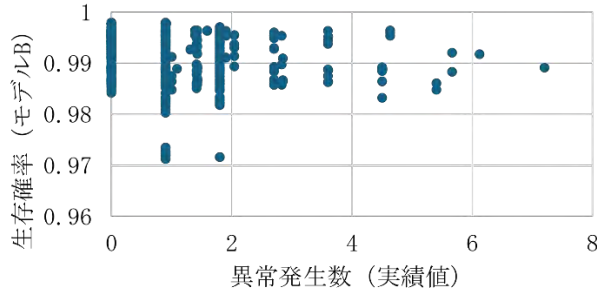


図-3 各ボンドの異常発生数と生存確率の関係

デル B が予測する生存確率との関係を示している。異常発生数が多いレールボンドに対して、必ずしも低い生存確率が予測されていないことが分かる。特に、最も多くの異常が確認されたレールボンドの生存確率が、異常のなかったレールボンドと同程度であり、管理上重視すべき極端に速い劣化傾向を適切に把握できていないことが読み取れる。

この要因として、特性変数だけでは説明しきれない、各レールボンド固有の劣化傾向を十分に捉えられていない可能性がある。その対策として、レールボンドごとの異質性パラメータの導入が考えられる。しかし、対象路線では、検査期間中に一度も異常が発生していないレールボンドが多数を占めることから、工夫なく異質性パラメータを導入すると推計結果がそれらの影響を強く受けるおそれがある。したがって、異常が確認されたものとされていないものを区別する混合モデルの導入を検討する必要があると考える。

### 7. まとめ

本研究では、データの系統横断活用の有効性を検証し、加えて、さらなる精度向上に向けた考察を行った。

#### 【参考文献】

- 1) 流王智子, 河村裕介, 羽田明生, 栗田いずみ: 分野をまたがる鉄道メンテナンスデータの統合分析プラットフォームの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.51-56, 2022.