

線路設備モニタリングデータを活用した効率的なメンテナンスの推進

東日本旅客鉄道株式会社

○下田 周平

石川 諒人

氏家 琉

東日本旅客鉄道株式会社

正会員

小林 嗣忠

神谷 俊晴

I. 背景と目的

CBM によるメンテナンスコスト削減には、人力によるつき固め作業の最小化と機械化施工による、計画的な施工が必要である。そのためには、線路設備モニタリングシステム（以下、モニタリング）を活用した施工箇所優先度の明確化と、連続的な施工をするためのグルーピング化が重要であり、精度の高い軌道状態の将来予測と、施工優先箇所のリストアップ（図 1）が求められる。

本研究では、施工計画の担当者が、施工の優先度の判断や機械化施工のグルーピングをより合理的に行うための、高精度な軌道状態の将来予測手法を提案する。また、この手法による施工優先箇所リストを作成し、計画的な作業の比率を高め、コストダウンや機械化施工の促進を目指す。

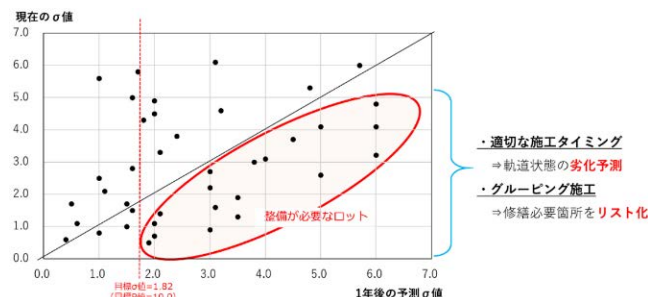


図 1 施工優先箇所のリストアップイメージ

リストの作成にあたり、「実用性」と「将来予測の精度」の課題に着目した。

II-1. 課題①「実用性」…リストの使いやすさ(構内への対応、修繕要否の容易な判断)

リストの実用性向上のため、活用する軌道変位を「高低変位」のみとした。モニタリングは、分岐器等の光飛びの影響を受けるため、分岐器がある構内等を計数中止区間としており、高低変位を含む全ての軌道変位データが計上されない設定となっている。しかし、高低変位データについては、列車速度に関わらず分岐器区間等においても検測精度が高いことがわかっている。また、施工段階では、高低変位に対する修繕が多いことから、対象データを構内も含む高低変位に絞ることで、データ欠損が少なく実用性の高い保守優先箇所の算出を可能とした。

また、保守優先箇所の決定については、高低変位 σ 値を活用した。これは、1m 毎の高低変位データでは、擬似波形により近接箇所がまとまって抽出されることや、修繕要否を判断する箇所が多くなり、保守優先箇所毎の優先順位（差異）が明確とならない可能性が出てくることを考慮したためである。

II-2. 課題②「将来予測の精度」…軌道状態の将来予測の精度向上

将来予測に対しては、「捕捉精度」と「予測精度」を考慮した。捕捉精度は、軌道状態の悪化傾向をどれ程捉えているのかを示しており、施工箇所の優先度を決定するために重要となる。捕捉精度は、軌道状態の実測値と予測値に対する悪化傾向が一致した割合（捕捉率）（図 2）の算出から検証を行う。予測精度は、数値精度を表しており、予測値を実際の数値にどれ程近づけることができるのか、施工要否を判断する上で考慮しなければならない。

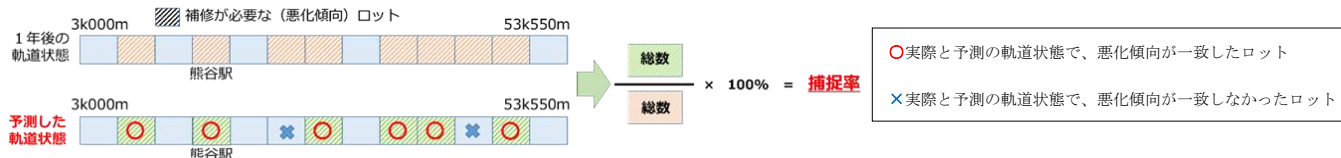


図 2 捕捉精度(捕捉率)算出イメージ図

II-2-①. 捕捉精度

捕捉精度向上のため、将来予測には、三重指数平滑法を活用した。三重指数平滑法は、予測に必要な蓄積データに対して重み付けし予測値を求める手法である。重み付けは、最新データになるほど指数関数的に大きくなる特徴があり、データの傾向を捉えやすい。さらに、季節性（蓄積データの周期性）が考慮されるため、過去の周期的な施工実績を軌道状態の変動から記憶し、年間を通した軌道状態の良化傾向や悪化傾向を把握可能となる。

キーワード CBM, 施工優先箇所リスト, 捕捉精度, 予測精度, 三重指数平滑法, 重回帰分析

連絡先 〒360-0033 埼玉県熊谷市曙町 5 丁目 5 番地

東日本旅客鉄道株式会社 高崎支社 熊谷保線技術センター TEL048-525-1315

II-2-②. 予測精度

予測 σ 値の精度向上のため、軌道状態に影響を与える要素を分析したところ、各ロット長の高低変位最大値と σ 値の相関関係は、20m ロットの高低変位最大値が最も高いことがわかった。予測モデルとして、実測 σ 値に対して予測 σ 値と 20m ロット高低変位最大値を重回帰分析することで予測 σ 値の精度を向上させることとした。

II-3. 予測フロー

予測解析フローを図 3 に示す。捕捉精度の向上のために三重指数平滑法により予測 σ 値を算出し、更に、予測精度の向上のために 20m ロット高低変位最大値を考慮した重回帰分析により予測 σ 値を補正する。なお、「駅間は MTT による長い延長の施工が主体」「リストの判断材料が増え複雑になる」「計算量を減らし解析時間を短縮」という点を考慮し、駅間は 100m ロット、構内は 20m ロットとすることで、リストの実用性を向上させた。



図 3 予測解析フロー

III. 研究結果

III-1. 捕捉精度の検証結果

捕捉精度について、高崎線の全 830 ロットを対象に、目標 σ 値=1.82 (P 値=10) を超える悪化傾向ロット箇所の実測 σ 値に対して、予測 σ 値が悪化傾向ロットをどれ程捉えているか、その割合（捕捉率）から精度を調査した。調査した結果、捕捉率は 86% となり、予測モデルは実測 σ 値の悪化傾向箇所を概ね捉えていることが分かった。

III-2. 予測精度の検証結果

高崎線（1 級線）を対象に予測モデルの精度を確認した。結果として、1 年後の予測 σ 値と実測 σ 値の相関係数は、駅間で 0.83、構内で 0.73 であった。また、高崎線と比較し定尺区間の多い両毛線（3 級線）と吾妻線（4 級線）においても 0.7 以上の相関係数値を示したことから、本研究の予測モデルは様々な線区に活用できると考えた。

III-3. リスト

表 1 に、リストの一例を示す。予測 σ 値が高い順番に対して保守優先度としている。保守優先箇所の選定では高低変位量を考慮するが、本研究の予測モデルは、20m ロットの高低変位最大値を考慮しているため、予測 σ 値に従い保守優先箇所を選定することが可能である。現行システムの予測機能と併用することで、さらに適切な選定が可能となる。

また、モニタリングは、分岐器においても高低変位の検測精度は高いが σ 値に変動がある。 σ 値の変動特性を構内データ使用上の注意点とし整理することで、さらなる予測精度向上が可能となることがわかった。

図 4 は、人力によるつき固め実績と機械化施工率である。CBM の検討により 2021 年度は前年度比で約 57% の削減となった。さらに、リストを活用した 2022 年度は前年度比で 70% の削減を実現し、機械化施工率も 63% と高水準を維持している。高精度な軌道状態の将来予測によるリストの活用により、実用性を高めたことで、施工計画性が向上し、人力によるつき固め作業の最小化とグルーピングによる機械化施工率の向上が可能となった。

IV. 今後の展望

本研究では、高低変位 σ 値の捕捉精度及び予測精度を向上し、作業計画段階における合理的な保守作業の支援を実現することができた。リストにより、実際の軌道の動きを柔軟に追従する予測から、きめ細かい施工箇所の選定が可能となり、CBM への軌道管理業務の変革を推進可能となった。

表 1 リスト(抜粋)

【駅間】2022年8月 算出

優先度	線別	キロ程	キロ程	現状高低変位 最大値	現状 σ 値	1年後予測 σ 値	基準値到達日	MTT 施工計画	SWMTT 施工計画	複合工事 施工計画
1	上り線	47k200m	47k300m	10.42	4.74	4.62	2024/5/3			道床入替 未定
2	下り線	52k300m	52k400m	9.32	4.43	4.49	2023/3/27			道床入替 2023/2/1
3	下り線	52k400m	52k500m	9.56	4.41	4.21	2024/2/13			道床入替 未定
4	上り線	46k800m	46k900m	9.14	4.45	3.93	2023/11/15	未定	未定	未定
5	上り線	36k200m	36k300m	8.54	3.93	3.83	2023/3/31	2023/2/1		

本研究での算出部分

現行システムの予測部分

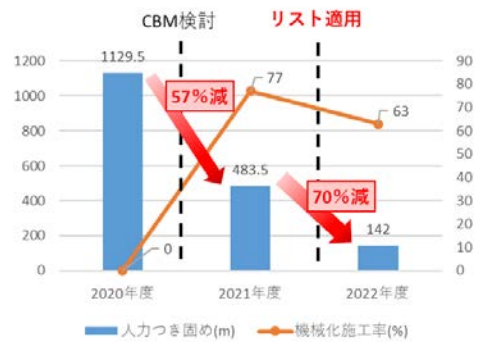


図 4 人力 TT 施工実績と機械化施工率