

## 営業列車搭載型軌道材料モニタリング装置収録データの活用方法に関する一考察

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○小松佳弘 葛西亮平 小西俊之 矢作秀之

### 1. はじめに

J R 東日本研究開発センターでは、設備管理業務の TBM(Time Based Maintenance)から CBM(Condition Based Maintenance)への転換を目指した研究開発を進めており、その一環として営業列車搭載型軌道モニタリング装置の一部線区への導入を進めている。

営業列車搭載型モニタリング装置は「軌道変位測定装置」と「軌道材料モニタリング装置」の二つの装置から構成されている。そのうち軌道材料モニタリング装置は、3次元距離画像を撮影し、解析することでレール締結装置の脱落等を自動検知するとともに、保線技術者が目視確認可能な濃淡画像を同時に取得する装置である。

営業列車で軌道状態のモニタリングを行うことのメリットとして、従来の検測専用車両や人力による検査に比べてより高頻度に大量のデータを取得することが出来ることがあげられ、今後取得したデータの軌道管理業務での活用が期待されている。

本稿では特にレール締結装置管理に着目し軌道材料モニタリング装置の判定精度を検証するとともにデータの活用方法について考察する。

### 2. J R 東日本におけるレール締結装置の管理について

レール締結装置は軌道を構成する材料の一つであり、J R 東日本の本線上に7, 0 0 0万組以上敷設されている。レール締結装置については年1回のマクラギ検査時に検査を行うとともに線路総合巡視等で状態確認を行っている。総合巡視や現場調査時に発見した不良は数量や位置などを把握して修繕しているものの、詳細な発生位置や日付、状態などの詳細な情報が分析可能なデータとして残されないケースがある。

従って、レール締結装置の不良の発生傾向について把握することは保守管理上重要であると考えられるものの、これまでは統計的に分析するにあたって、まずデータを集めることが障壁となっていた。

しかし軌道材料モニタリング装置の導入によって、これまで困難であったレール締結装置の不良に関する大量のデータベース(発生箇所、日付、種類)を得ることができる。

そこで本研究では軌道材料モニタリング装置から得られたデータに基づき、レール締結装置の不良について生存時間分析を行い、条件ごとのレール締結装置の不良発生傾向の差について検討を行った。また、分析結果に基づき軌道材料モニタリング装置の最適な確認周期について試験的に

検討を行った。

### 3. 機械判定精度の検証

1. で述べたように軌道材料モニタリング装置は距離画像の解析によりレール締結装置の脱落判定を機械的にを行っている(詳細な判定方法については既報<sup>1)</sup>を参照)。本研究では分析に先立ち機械判定の精度検証を行った。

#### (1) 方法

線区 T の一部区間(L=12k259.4m、締結装置 71,866 組)ならびに線区 C の一部区間(L=3k559.0m、締結装置 16,316 組)を対象として、材料モニタリング装置収録の濃淡画像データを目視確認し、機械判定の結果と照合を行った。

#### (2) 結果

精度検証の結果、機械判定の正常標本精度は 99.93%(=97,434 組/97,502 組)であり、異常網羅率は 87.50%(=119 組/136 組)となった。

なお、危険側の誤判定(不良箇所を「正常判定」する割合)は 0.02%であり、原因としてはレール締結装置の部分的な脱落や碎石などの誤検知があった。ただし、連続での誤判定はなく、実用上問題ない精度であると考えられる。

次に正常標本精度についてレール締結装置種別ならびに線区による比較を行った。結果を表 1 に示す。

表 1 比率の差の検定

	レール締結装置		線区	
	板ばね	バンドロール	T	C
○	67114	21015	71814	16315
×+▲	45	8	52	1
正常標本精度	99.93%	99.96%	99.93%	99.99%
$\chi^2(1)$	2.23		9.71	
p値	.135		.002	

※ ○: 正常判定、×: 不良判定、▲: 注意判定

正常標本精度について本データからはレール締結装置毎に有意な差は見られなかった。一方で線区別で比較すると線区 C の方が有意に正常標本精度が高くなった。これは今回検証対象とした線区 C の区間が TC 型省力化軌道区間であり碎石などが締結装置周りに散乱して判定に支障するケースが少なかったためと考えられる。

#### (3) 考察

今回分析を行った結果、良好な精度が得られることを確認できた。但し、機械判定で×(異常)判定が出たものの

キーワード 軌道管理, 生存時間分析, レール締結装置

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目479番地 研究開発センターテクニカルセンター 048-651-2389

内、実際に脱落している箇所は 61.48% となっている点に留意が必要である。

4. 生存時間分析

材料モニタリング装置のデータを用いてレール締結装置の不良(脱落)が発生するまでの期間の推定を試みた。

(1) 方法

線区Cの2015年6月1日～2016年1月28日の計9走行分のデータを使用して(最大観測期間 237 日)生存時間分析を行った。対象としたレール締結装置は計 360,209 組(バンドロール 210,354 組、149,855 組)であり、307 組において異常判定が発生した。

観測開始から機械判定で×(異常)が出るまでの日数を生存期間とした。ただし観測期間の最後まで×が出ない場合や途中で測定不良が発生した場合には打ち切りとした。

(2) ノンパラメトリックモデルによる分析

レール締結装置種別や列車通トンによるレール締結装置の劣化傾向を検討するため、Kaplan-Meier 推定量を用いて生存曲線の推定を行った。

まずレール締結装置種別(板ばねバンドロール)毎に推定を行った(図1左)。生存曲線の差の検定を行った結果、有意な差は見られなかった(p=0.592)。

次に対象区間を年間通トン 3,000 万トン以上の区間と 3,000 万トン以下の区間に分けて推定を行った(図1右)。同様に生存曲線の差の検定を行った結果、統計的に有意な差が認められた(p<0.001)。

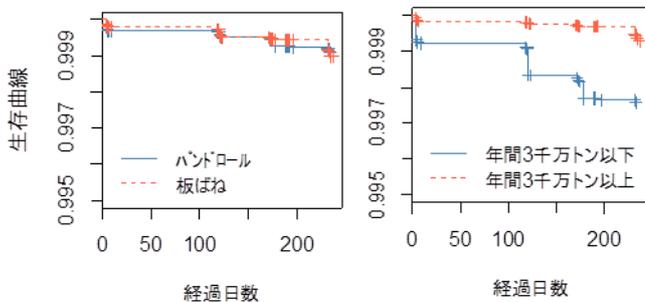


図1 Kaplan-Meier 推定量

通常年間通トンが多い線区の方が劣化の進展が早いと考えられ、上述の結果は一般的な直感に反する結果となっている。このような結果が得られた理由として以下の2点が考えられる。

- ・ 今回分析対象とした 3,000 万トン以上の区間において TC 型省力化軌道化が進んでいる(バラスト軌道区間 39%)のに対して、3,000 万トン以下の区間ではバラスト軌道区間(同 75%)を多く含んでいるため、碎石誤検知等の機械判定の誤差が影響を及ぼしている可能性が考えられる
- ・ 3,000 万トン以下の区間の方がレール締結装置の敷設年数が長く老朽化していることが想定される。

(3) パラメトリックモデルによる分析

次に生存時間の分布関数としてワイブル分布を仮定したパラメトリックモデルに基づき、締結装置 15 万組(軌道延長約 20km に相当)内で連続不良判定が生じる確率を求めた。

表3 パラメータ推定結果

	全体	3000万トン以上	3000万トン以下
N	360209	302940	57269
$\alpha$	0.699	0.796	0.608
$\lambda$	$1.774 \times 10^{-7}$	$3.668 \times 10^{-7}$	$2.133 \times 10^{-7}$

生存関数  $S(t) = \exp(-(\lambda t)^\alpha)$   
 ハザード関数  $h(t) = \lambda \alpha (\lambda t)^{\alpha-1}$

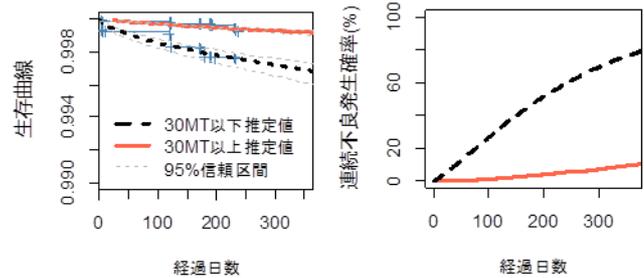


図2パラメトリックモデル推定結果(左)と連続不良発生確率(右)

3千万トン以下の線区で 41 日目、3千万トン以上の線区 368 日目で連続不良判定の発生確率が 10%を超過する結果となった。今回の結果が妥当であるとするれば、線区Cにおいては1ヵ月内に1～2回程度の頻度でモニタリング装置を確認し不良個所の対応をすることが必要であると考えられる。また TC 省力化軌道が多く含まれる区間の方がバラスト軌道主体の区間に比べて確認周期を延伸できる可能性を示唆している。

今回の分析結果はあくまで機械判定で異常が出るまでの期間を推定したものであり、実際にレール締結装置の脱落が生じるまでの期間を推定したものではない。機械判定の精度は良好ではあるものの、測定誤差(機械判定の誤り)が少なからず分析結果に影響を及ぼしていると考えられる。測定誤差の影響を考慮して分析精度の向上を図ることが出来れば、モニタリング装置のデータに基づいて定量的に線区毎の検査周期を検討できる可能性がある。測定誤差を考慮した分析方法については今後の課題としたい。

5. まとめ

本研究では軌道材料モニタリング装置のレール締結装置脱落の機械判定精度を検証し、良好な結果を得ることが出来た。また締結装置データの分析を行ったところ、線区毎に劣化傾向に違いがあることが示唆された。この結果が妥当であれば、モニタリングデータによる定量的評価に基づいて検査体系の効率化ができる可能性があると考えられる。

今後は引き続きデータの検証を進めるとともにレール締結装置脱落以外のデータ活用方法についても検討していく。

【参考文献】1) 葛西亮平他：営業列車搭載型軌道材料検査装置の改良について、鉄道工学シンポジウム論文集, No.19, 2015. 7