

転てつ機の予防保全手法の確立

○大城 雅巧 山内 健治 居波 哲 金井 友宏 (東海旅客鉄道株式会社)

A preventive maintenance methodology for electric switch machines

○Masayoshi Oshiro, Kenzi Yamauchi,

Tetsu Inami, Tomohiro Kanai (Central Japan Railway Company)

The Tokaido-Shinkansen has 336 NTS-type electric switch machines along the line. Load force in a turnout movement and locking position of each switch machine are monitored by monitoring devices. A Load force value during a turnout is generally similar to the one during previous turnout. This means a spike of the value must be a switch machine trouble. However no algorithm was implemented to find a sign of a jump. This paper describes an algorithm to detect load force spikes before a switch machine fails a turnout.

キーワード：東海道新幹線，電気転てつ機，予防保全

Key Words：Tokaido-Shinkansen, Electric Switch Machine, Preventive Maintenance

な負荷力上昇は，アラーム発生のしきい値を下げるだけで

1. はじめに

東海道新幹線の信号設備の一つに NTS 形電気転てつ機 (以下、転てつ機) がある。転てつ機は、東海道新幹線の全線に計 336 台あり、転てつモニタにより全ての転てつ機の負荷力やロック値を監視し転換不能の未然防止に努めている。現状の状態監視では、一度アラームが発生しても次回転換時には正常状態となるような、突発的に負荷力が変化する事象について予兆管理が難しい状況にある。

本研究では、転てつモニタ負荷力データを活用した負荷力傾向値診断プログラムの作成を通じ、突発的な負荷力上昇の予兆を捉え、状態監視保全の更なる精度向上を目指す。

2. 転てつ機と転てつモニタ

東海道新幹線で採用している転てつ機は、転換時にかかる負荷力として、13.7kN まで耐えることができるよう設計されているが¹⁾、異物介入をはじめとする外的要因により負荷力がその値を超えると転換不能となる。こうした負荷力増大を知得するため、転換毎や時間毎の各種測定値の推移を監視し、警報値を超えた際にアラームを出力する転てつモニタを導入し、転換不能に至る前に処置をしている。転てつモニタで出力したデータの一例を図 1 に示す。負荷力は「電圧値」と「回転数」の実測値をもとにトルク値に換算しており、状態監視保全に活用している。突発的

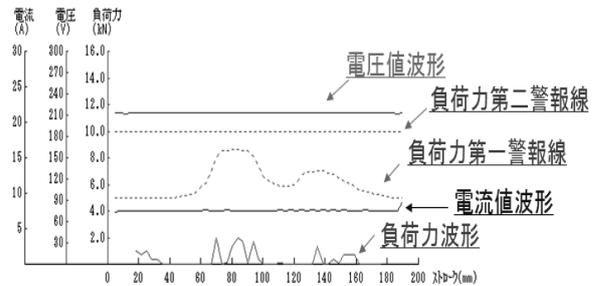


図 1 転てつモニタの波形グラフ

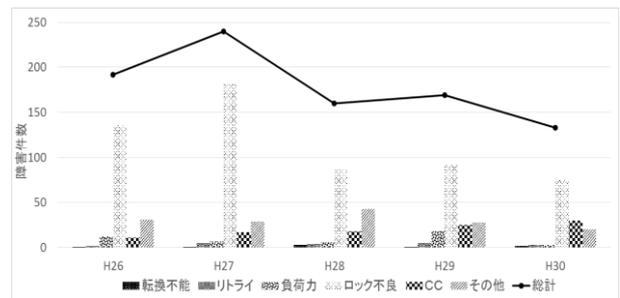


図 2 転てつ機関係障害発生件数の推移

は前兆を捉えることが困難であるため、負荷力傾向値を診断するプログラムの検討を行った。

3. 転換アラームの発生状況

毎月4回の転てつモニタ検査において、負荷力やロック値の推移を確認することで、状態監視保全を行っている。また、転てつ機保全巡回検査においても、転てつモニタの転換データを確認することで、転てつ機調整等に活用している。東海道新幹線における平成26～30年度の転てつ機関係障害発生件数の推移を図2に示す。転てつモニタを活用したこれらの取組みにより、過去5年間でおよそ3割減となり、全体の件数は減少傾向にある。しかし、突発的な転換アラームは依然として発生しており、これらの発生を未然に防ぐことが東海道新幹線の安全・安定輸送確保のために必要不可欠である。

4. 負荷力上昇の要因

過去の負荷力上昇による転換アラームでは、転てつ機の据え付け状態が変化することにより、レールに対する鎖錠装置の通りが悪くなることでひずみが発生し、負荷力が上昇することがあった。また、分岐器の床板が欠油状態の時に繰り返し転換を行うことで、突然引き残りが起き、床板面に傷と摩擦粉が発生し、急激な負荷力上昇が発生することがあった。これは、当社技術開発部にて行われた先行研究²⁾において、トングレール底部と床板面に発生した凝着摩擦が、突発的な摩擦力の増大を引き起こし、負荷力上昇の要因となることを裏付けている。

5. 転換不能予防保全手法の提案

5.1 負荷力傾向値診断プログラムの作成

これまで、転てつ機の負荷力診断は転てつモニタを用いた警報値管理や負荷力傾向判断を行っていた。負荷力の警報値は第1警報、第2警報を転てつ機毎に設定し、その値を超えると警報が出る仕組みとなっており、過去の負荷力傾向などを考慮して設定している。警報まで至らない状態では、転てつモニタ検査における負荷力傾向の把握を目視で行っていたため、判断のばらつきがあった。そこで、転換毎に出力される負荷力波形を、数値データにしてテキスト出力できる現行の転てつモニタ機能を活用し、その数値変動を解析し自動判定するプログラムを作成した。本プログラムでは、負荷力データから次転換の負荷力傾向値を予測する手法として、「移動平均法」を採用した。移動平均法は、通常平均計算に比べ、季節変動を有するデータを予測する点において優れており、気温変動を始めとする外的要因により不規則に変動する負荷力値を予測する上で有効な手段となる。移動平均の予測値 F_t は式1であらわす³⁾。

$$F_t = \frac{Y_{t-9} + Y_{t-8} + \dots + Y_{t-2} + Y_{t-1} + Y_t}{10} \quad (\text{但し } t \geq 10) \quad \dots \dots \dots (1)$$

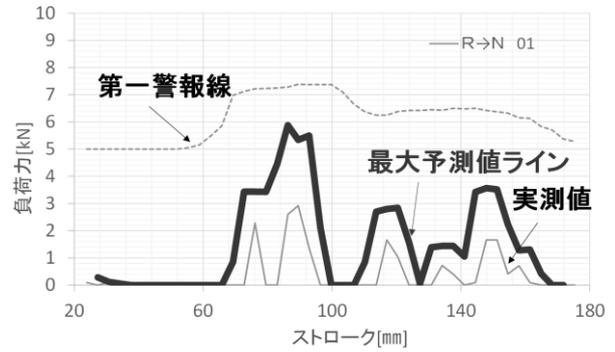


図3 負荷力最大予測値の波形

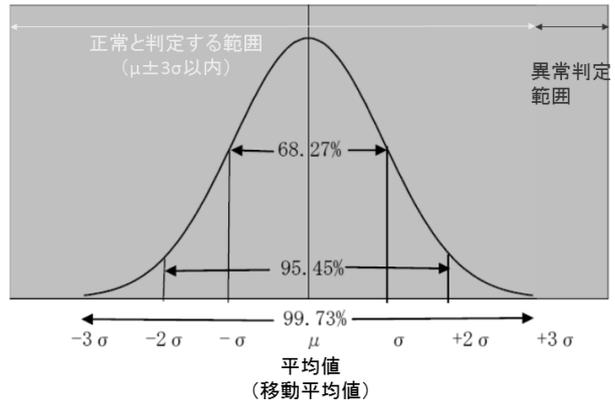


図4 本プログラムの異常判定基準

また、移動平均法にて算出した負荷力値に、値のばらつきを示す標準偏差 σ の3倍となる値を加え、通常転換で発生し得る最大の負荷力値を最大予測値として、図3に示す最大予測値ラインを作成する。最大予測値ラインを超過した転換負荷力を異常転換と判定とする。図4に本プログラムの異常判定基準を示す。移動平均と標準偏差を使用した傾向値予測の代表例として、ポリンジャーバンドという株価予測指標があり、この考え方を採用した。本研究では、ばらつきの幅として 3σ を採用することで、99.7%の確率で値の変化が収まる範囲を予測することとし、過去3万件にもおよぶ負荷力データを収集、解析しプログラムの開発を行った。現状の転てつモニタでは、転てつ機毎に固有の警報値を設定しているが、本プログラムでは、転てつ機の負荷力に応じた可変的な警報値を都度生成することとなり、現状の警報値に満たない小さな負荷力の異常変化を検知することが可能となる。

5.2 本プログラムの使用方法

図5に本プログラムの使用方法を示す。はじめに、転てつモニタより出力した負荷力データを本プログラムにより、自動的に全ストローク200mmの各位置における負荷力を3mm刻みで分割する。このデータの最大予測値を自動計算し、負荷力データと比較、最大予測値を超えた場合、ストロークのどの位置が異常かを赤表示する。加えて、ポッ

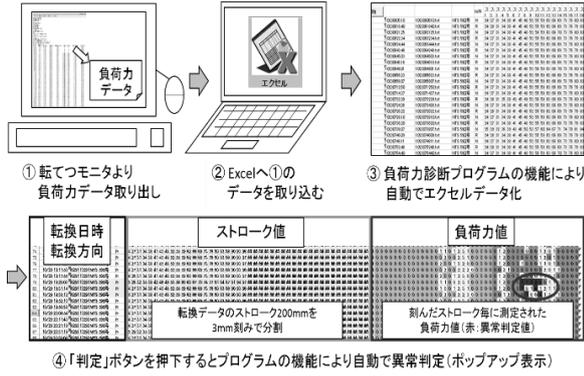


図5 本プログラムの使用方法

表1: 移動平均区間と異常判定方法による
誤判定回数の比較

移動平均 区間数	最大予測値 1点超過	最大予測値 2点連続超過
2 区間	16 回	0 回
5 区間	8 回	0 回
10 区間	3 回	0 回
12 区間	3 回	0 回

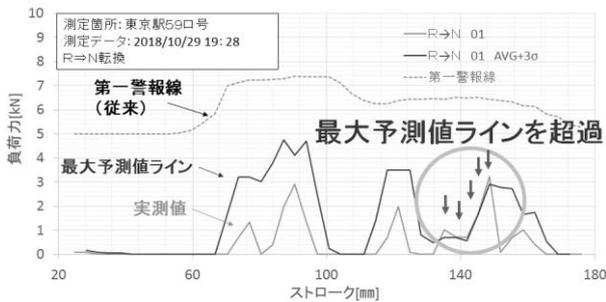


図6 負荷力診断結果 (負荷力-ストローク)

ポップアップ表示にて異常判定と出力, 時系列グラフも自動作成する. これらにより, 判断のばらつきなく, 異常判定を行うことができる.

5.3 プログラムのパラメータ検討

移動平均法の平均区間数と, 異常判定方法を決定するにあたり, 東京駅構内P53の通常転換データを利用し, 解析を実施した. 100回の通常転換のうち, 異常と誤判定した回数(最大予測値の超過回数)は, 10区間平均以上で収束することがわかった(表1). 気温変動による変化を確実に吸収できると判断し, 10区間移動平均を採用した. また, 最大予測値超過1点の判定では誤判定が生じるため, 最大予測値超過が2点連続した場合に異常と判定する.

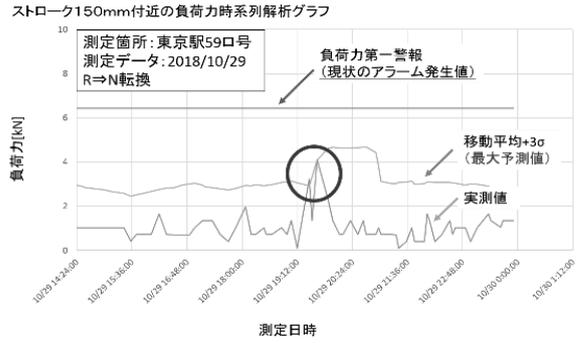


図7 負荷力診断結果 (負荷力 - 測定日時)



図8 P59 口号床板の摩耗痕

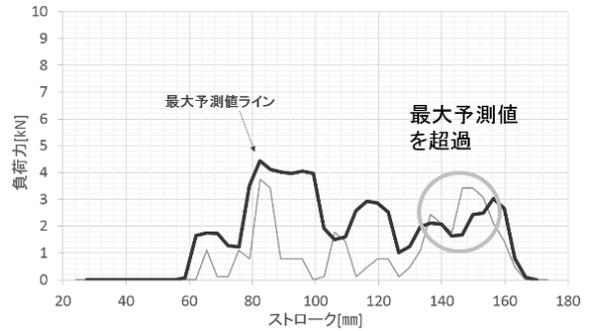


図9 小田原駅P55イ号の負荷力診断

5.4 実際の検知事例

本プログラムにて負荷力診断を行った事例を以下に示す. 図6に示すように, 平成30年10月29日に東京駅P59口号において負荷力実測値が最大予測値超過(5点連続)する事象が発生した. この際, 負荷力の実測値は第1警報値を超えていないため, 転てつモニタ上でアラームは発生していない. ストローク150mm付近の負荷力の時系列解析を図7に示す. このグラフから, 負荷力は当該の時間に突発的に上昇したことがわかる. 観測した負荷力は, 現状の転てつモニタでは, 第1警報値に至らない程度の小さな値であるが, 本プログラムでは異常判定とすることができる. 解析結果をもとに, 現地確認を行った結果, 図8の丸で示す床板に摩耗痕を発見した. そのため, 保線所にて床板削正を行ったところ, 本プログラムによる異常判定は全て解消した. これは, 負荷力上昇の要因である摩耗痕の発生が検知可能であることを表す結果である.

5. 5 他駅の障害解析事例

さらに負荷力傾向値診断プログラムの有効性を検証するため、他駅の障害事例について解析を実施した。

事例は平成 31 年 4 月 11 日に小田原駅構内において発生した負荷力上昇に伴うリトライ事象である。当該事象は、P55 イ号が反位から定位に転換した際に発生したものであり、リトライの発生要因は定位側 16 番枕木のトングレー ル底部及び床板の傷の発生に伴う一時的な引き残りと推定されている。本事象を解析した結果、図 9 に示すように、反位から定位に転換した際の約 150mm 付近（トングレー ル底部と定位側床板が接触する位置）における負荷力実測値が、最大予測値を超過する結果が得られた。これは、定位側床板において傷が発見された事実と合致する。

以上より、環境の異なる他駅においても本プログラムは有効であり、様々な環境下にある沿線各駅に展開することが可能であると確認できた。

6. 本研究を用いた予防保全手法の提案

5.4 項の東京駅 P59 ロ号の事象を含め、平成 30 年 10 月から令和元年 5 月までの間に本プログラムによる状態監視手法で未然に負荷力増大を防げた事象は 5 件あった。これは本提案が状態監視保全の精度向上につながることを示している。

今後は、毎月 4 回実施している転てつモニタ検査において、本プログラムによる解析を併せて行うことで、より精度の高い状態監視保全と予兆管理の確立を目指す。本プログラムにより異常を出力した際は、摩耗痕が発生していると思われる床板位置を把握し、必要により床板面やトングレー ル底部の削正を実施する。転換アラームが発生すると、原因究明のために緊急調査を行っているが、計画作業とすることで、このような緊急対応を回避することが可能になると期待される。

7. 今後の展望とまとめ

本プログラムは、移動平均と標準偏差という統計手法を用いることで負荷力最大予測値ラインを作成し、予測値を超えた負荷力を異常転換と自動判定するものである。本プログラムの全線展開を図り、引き続き高いレベルの予防保全手法を追求する。

参 考 文 献

- 1) 久保田清登, 乙川勝嘉: 新幹線用高速電気転てつ機の開発, (株)京三製作所, 東海旅客鉄道 (株)。
- 2) 近藤義将, 三輪昌弘: 分岐器の転換負荷力増加に関する一考察, 東海旅客鉄道 (株)。
- 3) 近藤宏: Excel で学ぶ時系列分析, オーム社。