

講演 2. 転換時の振動検出による発条転てつ機の予防保全の取組

交通システム研究部 ※ 緒方 正剛 佐藤 安弘 大野 寛之

1. はじめに

発条転てつ機は、単線の地方鉄道路線などに用いられ、転換時にバネ力で自動的に定位に復帰する転てつ機であるが、復帰動作が完了しないと、異線進入による脱線事故の危険性が生じるため、定期的な保全が重要である。鉄道分野の予防安全に関する取組の一つとして、小型の振動センサを用いた転換時の振動検出による発条転てつ機の予防保全の取組について報告する。

2. 発条転てつ機の機能と特徴¹⁾

転てつ機には、電気転てつ機と発条転てつ機がある。電気転てつ機は、電気で駆動されるモータの回転力をクラッチ、歯車等を介して動作かんの往復運動に置き換え、その動作かんに連結されているスイッチアジャスターロッド及びスイッチアジャスタを介して、分岐器のトングレールを転換させる機構である。ほとんどの鉄道路線では電気転てつ機が使用されている。

一方、発条転てつ機は、モータがない代わりにバネと油圧シリンダを備え、バネ力によりスイッチアジャスタを介して分岐器のトングレールを定位側に復帰させる機構である。図1に発条転てつ機の例を示し、主要部分の構造を図2に示す。対向列車に対しては、バネ力により、トングレールを基本レールに密着させその状態（定位）を確保する。列車が背向で通過するときは、車輪がバネ力に打ち勝ってトングレールを割出し、トングレールを反位側に転換させ、列車通過後は、バネとダンパの作用により一定時間後に自動的に定位側に復帰する。ダンパがないと、車輪がトングレールを通過するごとにトングレールが転換・復帰を繰り返すことになるが、そのばたつきを抑えるため、ダンパによる緩衝機能を備えている。発条転てつ機は、分岐器の開通方向を変えるための電気動力が不要で、列車本数が比較的少ない地方鉄道の単線区間における上下列車の交換可能

駅などで見られ、駅に到着する列車には対向で定位の進路を保持し、出発する列車は背向で割出しを行い分岐を通過する。当初の発条転てつ機は、緩衝機能が無くもっぱら都市の路面電車で用いられてきたが、現在でも路面電車においては、緩衝機能を省いた発条転てつ機が用いられることが多い。



図1 発条転てつ機の例



図2 転てつ機主要部分の構造

3. 発条転てつ機の保全

3. 1. 調整事項²⁾

(1) 密着調整

定位側・反位側それぞれにおいてトンゲールと基本レールとの密着が確保されるよう、スイッチアジャスタのナットを回して密着調整が行われる。これは、定位の時にバネが所定の圧縮量となるように調整するもので、バネの圧縮量により復帰動作時の転換力を発生させる発条転てつ機では、所定の転換力を確保する観点から重要な調整である。

(2) 復帰時間の調整

トンゲールを反位側に転換させた列車の通過後、トンゲールが定位に復帰するまでの時間は 4～8 秒の間になるよう、ダンパのニードルバルブを調整する。復帰時間が極端に短い場合は、列車がトンゲールを通過する際にトンゲールがばたつく可能性がある。一方、復帰時間が極端に長い場合は、ダンパによる負荷が大きすぎる状態であるので、上記適正值に調整する。

3. 2. 保全事項¹⁾

(1) 給油

発条転てつ機では、復帰動作時の転換力はバネ力で決まっているため、可動部分の円滑動作は欠かせない。このため、可動部分の給油は十分に行う必要がある。

(2) ダンパ

ダンパオイルの定期的な交換、オイルの量や汚れのチェックが必要とされている。

3. 3. 保全支援システムの必要性

発条転てつ機においては錆や傷等を原因として、トンゲールと床版の摩擦等により転換負荷が増大してバネによる復帰動作が完了しない「復帰不能」が発生する場合がある。復帰動作が完了しないとトンゲールと基本レールの間隙が生じ、対向列車に対して異線進入による脱線事故の危険性が生じる。これを予防するために上記調整や保全が必要であり、従来より、給油などは現場の状況に応じ経験的に実施され、現場で転換状況を確認することにより復帰時間の把握がなされているが、その頻度は限られている。

一方、信号制御が必要な場合に、転てつ機のストロークを検出して定位・反位の信号を出力する回路制御器を設ける。これにより、転てつ機の復帰不能が発生した場合に場内信号機に停止信号を現示して列車の分岐器への進入を防止することができる。但し、回路制御器を設備することで、回路制御器自身

の保全が必要となってくる。例えば、回路制御器の軸が汚れて軸が動きにくくなると、発条転てつ機の復帰力に対する負荷が大きくなるため、復帰不能の原因となり得る。

このため、発条転てつ機の動作状態を常時監視するシステムが開発されている。スイッチアジャスタのひずみ、あるいは転てつ機の変位量などを検出するため、センサ及びひずみアンプ、データロガーなどの機器を現場に設置し、通信機能によりデータの確認を常時行うことも可能なシステムが提案されている³⁾。しかしながら、さらなる省力化が求められる地方鉄道路線向けとして、機器を発条転てつ機に常設することなく、予防保全の支援に資する簡易な方法を検討した。

4. 転換時の振動検出による保全支援システム

4. 1. 概要

発条転てつ機に簡単に設置可能な小型のセンサとバッテリー駆動小型データ収録システム（以下、「本システム」という）を用いて、以下の機能の実現をめざす。

- ① トンゲール定位復帰時の振動加速度及び復帰時間の記録機能
- ② オフラインでのデータ分析による転換動作の異常予兆検出と予防保全の支援機能

センサ部にはマグネットを一体的に取付けており、センサの転てつ機への取付け及び取外しが接着剤を用いることなく容易にできるようにしている。なお、接着剤によるセンサの取付けと比較し、マグネットによる影響のないことを確認している。

これらは市販の乾電池で長時間（約 20 日間）駆動でき、転換動作時等の加速度ピーク値を繰返し記録することができる。パソコンと接続して、データの転送や測定条件の設定が可能である。

振動加速度のサンプリングデータを全て記録するとデータ量が膨大となるため、記録周期を設定し、その周期内の±のピーク値のみを時刻とともに記録する方式を採用している。振動加速度の生波形に対するピーク検出及び記録されるデータのイメージを図 3 に示す。この方式により、記録周期 1sec で 1 日記録を続けた場合のデータ量は、数 MB 程度とコンパクトとなる。

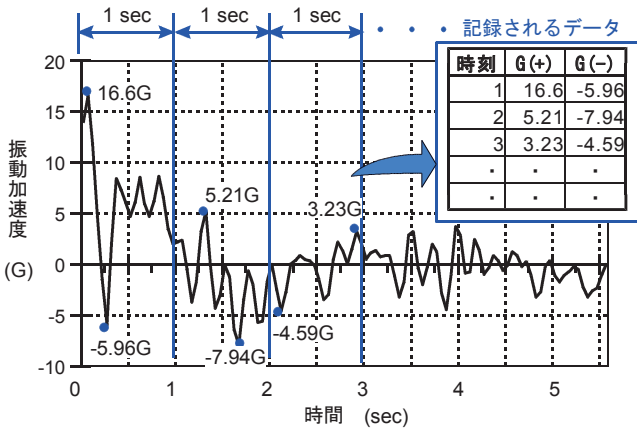


図3 本システムにおけるデータ記録イメージ

4. 2. 現地測定例

4.2.1.測定概要

単線電化の鉄道路線(A)及び非電化の鉄道路線(B)それぞれ1箇所の発条転てつ機において、本システムを用いて現地測定を行った。

センサは図4に示すように、スイッチアジャスタに取付けた。スイッチアジャスタにセンサを取付けた後、ある1日の日中時間帯において営業列車の通過に伴う通常の転換動作を複数回記録した。



図4 センサの取付け状況

4.2.2.測定結果

路線 A における測定結果例として、転てつ機の割出から復帰に至る1回の転換動作における振動加速度記録を図5に示す。図より、スイッチアジャスタがトングレールの割出による振動を受けてから、バネとダンパの働きで復帰するまで14sec かかり、復帰時の振動加速度は18.1G であることが確認でき

る。

路線 B における測定結果例を図6に示す。図より、同様に、割出から復帰するまで12sec かかり、復帰時の振動加速度は18.3G であることが確認できる。

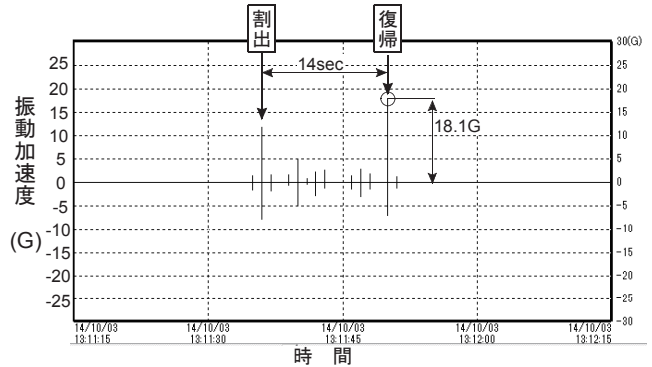


図5 現地測定例(路線 A)

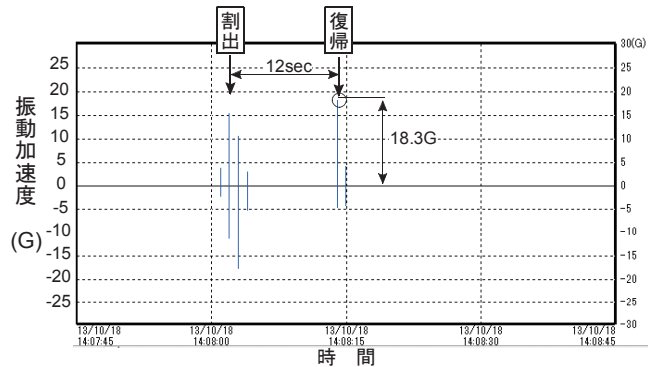


図6 現地測定例(路線 B)

このように、本システムにより転てつ機の復帰時間や振動加速度を把握できる。また、同一の転てつ機においては、反位から定位へ復帰する際の振動加速度の再現性は高く(路線 A における平均 17.5G、標準偏差 1.0G、路線 B における平均 18.7G、標準偏差 0.8G)、通常の転換動作において再現性があることを確認した。

さらに、季節変化等による長期的な再現性を確認するため、路線 A において冬期及び夏期に現地測定を行った。センサは、スイッチアジャスタの同じ場所に毎回取付けた。その結果を表1に示す。

表1 長期的なデータの再現性

測定日	振動加速度(G)	
	平均値	標準偏差
H26.10.03	17.5	1.0
H27.02.27	17.3	1.3
H27.09.17	16.5	0.3

表1より、発条転てつ機が反位から定位へ復帰する際の振動加速度について、測定時期による平均値などの違いはあまりないことを確認した。従って、何らかの原因によって転換負荷が増大するなどの異常に対して、振動加速度の値に変化が生じれば、異常検出ができる可能性があると考えられる。

4. 3. 異常発生模擬試験

4.3.1.目的

営業路線の現地測定によって、通常の転換動作時には、振動加速度等のデータに再現性があることを確認したが、3. 3. に述べたように転換負荷が増大するなどの発条転てつ機異常時について、振動加速度等のデータを確認するため、工場内に設置された発条転てつ機を用いて、異常発生模擬試験を実施した。

4.3.2.試験条件

発条転てつ機の正常時に試験を実施したほか、転換負荷の増大の原因となり得る、ヒールボルト(図7参照)の締めすぎ、転換鎖錠器の固渋を模擬した試験を実施した。また、ダンパの不良として、ニードルバルブの調整不良、ダンパオイルの減少(レベル計下限程度)を模擬した試験を実施した。



図7 ヒールボルトの締結状況

4.3.3.試験方法

当該分岐器を通過する車両は存在しないため、手動でハンドルを回転させることにより、一旦反位側に転てつ機を転換し、次にトングレールと基本レールの間に木片を挟み、その状態で手動ハンドルを定

位側に戻す。これにより、木片を挟んだままバネが圧縮される。木片をバール等でたたき出すことによって、バネとダンパの作用により一定時間後に自動的に定位側に復帰する。同一条件で転換→復帰を5回繰返した。本システムのセンサを現地測定と同様にスイッチアジャスタに取付け、測定を行った。

4.3.4.試験結果

試験条件の組合せ及び試験結果を表2に示す。振動加速度は5回の平均値を示す。ニードルバルブの調整不良で復帰時間は正常時の6secから13secに増加したが、復帰時の振動加速度には大差が無かった。また、ダンパオイルの減少による影響は判然としなかった。一方、ヒールボルト締めすぎや転換鎖錠器の固渋によってトングレールの転換負荷が増加すると、復帰時の振動加速度は、正常時よりも減少することを確認した。

表2 異常発生模擬試験結果

ヒールボルト		ニードルバルブ		ダンパオイル		転換鎖錠器		振動加速度 (G)
正常	締め込み	正常	調整不良	正常	減少	正常	固渋	
○		○		○		○		9.7
○			○	○		○		10.2
○		○			○	○		9.1
○		○		○			○	8.2
	○	○		○		○		6.5
	○	○			○	○		7.2
	○	○		○			○	6.7

5. まとめ

本システムを用いて転換動作を繰返し記録することにより、転換動作が鈍くなるなどの兆候を記録できる可能性があり、長期的な傾向を把握できるので、給油などの保全タイミングを適切に設定することができると考えられる。すなわち、転換不良が発生する前に適切な保全を可能とするための、予防保全を支援するツールとして有効と考えられる。

今後は、本システムに自動解析・評価ソフトを加えたシステムを構築し、その効果を検証する必要がある。

最後に、現地測定や異常発生模擬試験に協力いただいた鉄道事業者及びメーカー各位に感謝します。

参考文献

- 1)原; 鉄道と電気技術 Vol.12, No.7, pp78-84, 2001
- 2)亘保, 植竹; 鉄道と電気技術 Vol.28, No.5, pp60-66, 2017
- 3)潮見ほか; 鉄道総研報告 Vol.28, No.4, pp11-16, 2014