

発条転てつ機用モニタリング装置の開発

潮見 俊輔* 五十嵐 義信*
押味 良和* 原 智昭*

Development of a Monitoring System for Spring Point Machine

Syunsuke SIOMI Yoshinobu IGARASHI
Yoshikazu OSHIMI Tomoaki HARA

Increase of a switching load, which is the force required to switch movable rails on a turnout, is one of causes of switching disablement. Switching load is influenced by lubrication conditions and contact forces at contact surfaces of sliding portion of a turnout and switching mechanisms. However, to keep the contact surfaces in good conditions by normal maintenance work is difficult as most turnouts and switching mechanisms are installed outside. To solve the issue, a monitoring method of switching load has been developed. A monitoring method for electric switching machines, which estimates the load from the operation current and voltage, has already been developed. Moreover, some of electric switching machines are equipped with monitoring equipments. In this report, we present a measuring method of switching load by strain of a switch adjuster. Moreover, we present a monitoring method for a spring point machine, to which the former method is not able to be applied. Finally, we present results of the field test.

キーワード：発条転てつ機，モニタリング，転てつ機モニタ，転換負荷，復帰時間

1. はじめに

転てつ機の転換動作が正常に行えない事象(転換不能)は、転てつ機および分岐器に関わる様々な原因により発生する。その原因の一つとして、転換動作に伴う負荷(以下、転換負荷)が、転てつ機の能力(以下、転換力)を超えることが挙げられる。転換負荷は、トンダレールと床板などの摩擦係数や、接触力に影響を受けると考えられている。潤滑状態を保ち錆の発生を予防し、転換負荷の増加を防ぐための摺動部への給油が日常の保守作業として行われている。また、トンダレールの自重の一部を回転するローラで支持することで、滑り接触を行うトンダレールと床板の間の接触力を低減させる転てつ減摩器の導入や、剛性の高いエスケープクランクの開発¹⁾が行われている。更に、一部においては、電気転てつ機の動作電流、電圧から転換負荷を推定し、負荷増加の予兆を得る電気転てつ機モニタ装置が導入されている^{2) 3)}。

車両による割出し転換とばねによる復帰動作の機能を有する発条転てつ機は、おもに、旧国鉄線路種別の丙線、簡易線に分類される線区や、民鉄、路面電車に導入されている設備である。シンプルな機械構造で構成され、転換動作に外部動力や制御信号を必要としない発条転てつ機の特徴は、これら線区の列車の運行形態や保守の状態に合致していたといえる。現在、発条転てつ機が導入さ

* 信号・情報技術研究部 信号システム研究室

れた一部の線区では、優等列車の運転や高頻度の運転が実施されている。これらの線区では特に、復帰不能等による輸送障害の発生を幹線系線区と同様に予防することが必要とされている。一方で、地域鉄道の多くの経営環境は厳しく、保全に関わる要員の数や配置を最小化せざるを得ない状況にある。

鉄道総研では、発条転てつ機の障害発生の予防や保守方法の改善を目的として、動作電流、電圧によらずに復帰動作時の転換負荷を測定、記録する手法の検討、およびモニタ装置の開発を行っている。本報では、開発したモニタ装置に適用した、転換負荷の測定方法、および測定波形からの保守上必要となるデータの抽出方法について報告する。また、モニタ装置の概要および長期測定試験結果について報告し、最後にモニタデータの活用について提案を行う。

2. 発条転てつ機

2.1 動作と構造

発条転てつ機は、内部に有するばねにより、分岐器の開通方向が常時一定(定位方向)になるように力を作用させる機能を有している。また、分岐器背向のトンダレールが常時開通していない方向(反位)からの車両の進入に対して、輪軸によりトンダレールを動かす動作(割出し転換)をし、車両を通過させる機能を有している。更

に、割出し転換後に、ばねの作用により定位側に復帰動作を行う際に、動作油の流路面積を変化させる機構を有し、転換速度を変化させる機能をもつシリンダが設けられている(図1, 図2)。

発条転てつ機の静的な転換力は、内部のばねの圧縮量と下部クランクの回転角の関係から、計算上、図3に示すようにストロークに対して1.9～2.0kN(190～200kgf)の範囲となる⁴⁾。ただし、後述の密着力の調整が適正に行われないうちに、密着力、転換力が低下する可能性があることに注意が必要である。

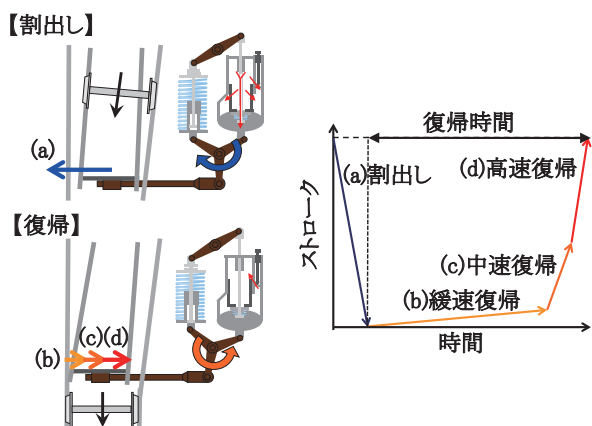


図1 発条転てつ機の動作概要

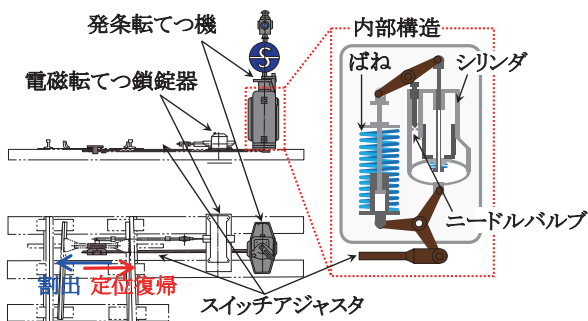


図2 発条転てつ機の構成

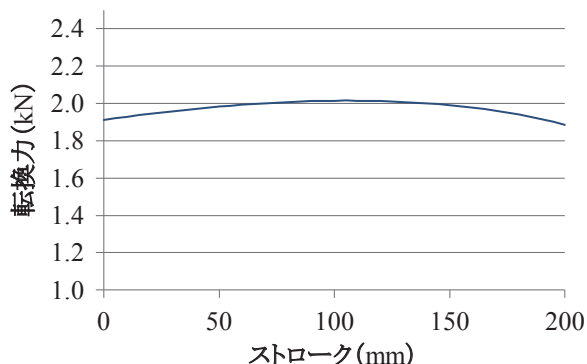


図3 発条転てつ機の転換力(静的, 計算値)

2.2 検査と調整

発条転てつ機の検査、調整作業では、外観検査や給油作業等の他の転てつ装置と共通する作業に加えて、電気転てつ機等と異なる方法の密着力の調整作業、および発

条転てつ機独特の復帰時間の検査、調整が行われる。

2.2.1 密着力の調整

密着力の調整は、以下の手順で行う⁴⁾。括弧内は反位側の調整の場合を示す。

- (1) 発条転てつ機のハンドルを中立位置に動かし、スイッチアジャスタの定位側(反位側)のナットを緩める
- (2) ハンドルを定位側(反位側)からハンドル幅の1/2(5mm)だけ反位側(定位側)に回転させた位置に動かす(図4)
- (3) トングレールが接着状態となるまで、スイッチアジャスタのナットを締める
- (4) ハンドルを定位(反位)に戻すことで、所定の転換力が確保できる

上記の調整は、ハンドルを切り欠きに収めて列車を通過させる状態において、ばねが所定の圧縮量となるよう調整する作業に相当する。発条転てつ機は、ばねの圧縮量により復帰動作時の転換力を発生させるため、所定の転換力を確保する観点からも重要な作業である。

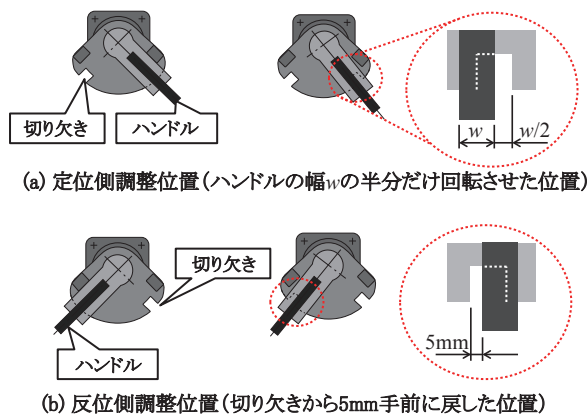


図4 密着力調整時のハンドル位置

2.2.2 復帰時間の検査および調整

シリンダは内部の作動油がストロークの変化にしたがって流路を流れることにより、動作の緩衝作用を実現している。そのため、作動油の温度変化による粘度の変化により、復帰動作に要する時間(復帰時間)は変化する。復帰時間が短い場合は、列車通過中のトングレールのばたつきを生み出す恐れがある。一方、復帰時間が極端に長い場合は、負荷に対する転換力の余裕が小さい状態であるため、保守においては、復帰動作開始から復帰動作終了までの時間(復帰時間)が基準値内となるよう流路の開度(ニードルバルブ)を調整する管理を行っている。経験上、温度による粘度の変化を見越して、春期から夏季に実施する調整では、復帰時間が長くなるよう、秋季から冬期に実施する調整では、復帰時間が短くなるように流路面積を調整する作業が行われている⁴⁾。

3. 発条転てつ機モニタ装置

発条転てつ機は、外部からエネルギーの供給を受ける動力転てつ機と異なり、車両の割出し時に蓄積できるエネルギー以上の仕事を復帰動作時に作用することはできない制約がある。また、割出し時に発条転てつ機が車両に与える仕事は、大きいほど車両運動に影響をあたえるため、発条転てつ機自体の転換力を増やすことは特に、軽量の車両が走行する箇所においては困難である。一方で、転換負荷は、降雨等による油の流出や床板の錆や傷などによる、トングレールと床板の間の摩擦力等に影響をうけるので、負荷軽減のための給油等を適正に行うことが必要である。しかし、これを十分に行うことが困難であったり、原因究明が困難な箇所において、転換負荷の状態をモニタリングし復帰不能の発生を予測することは、復帰不能を防止、改善する有効な手段になりうると考える。

3.1 測定項目

復帰動作時の転換負荷増加による復帰不能の防止を目的としたときに、2章で記述した検査、調整項目である、定位接着時の密着力と復帰時間、および復帰動作時の負荷に注目することが必要である。つまり、定位接着時の密着力（＝ばねによって発生される静的な転換力の大きさ）が復帰動作時の負荷に対して十分に大きいことと、シリンダ内の油が動的な負荷となり、復帰時間が過大となる状態となっていないことが判断できる測定項目とする必要がある。

密着力と転換負荷の大小関係は、車両の割出しから定位復帰までのスイッチアジャスタに加わる力（図5）を測定することによって得られる。また、負荷波形から特徴点（車両による割出しから復帰動作開始への変化点①、および復帰動作から定位密着状態への変化点②）を得ることにより、復帰時間も併せて得ることができる。したがって、測定項目は、定位復帰までのスイッチアジャスタに加わる力のみで良い。

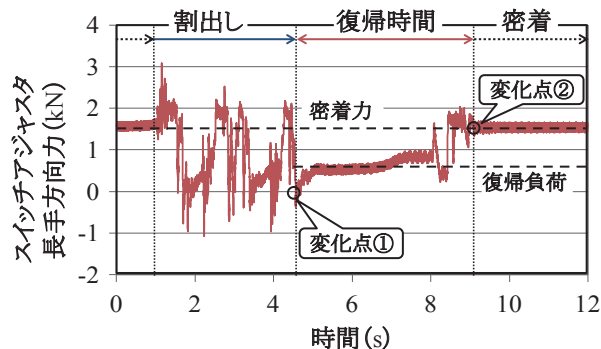


図5 スwitchアジャスタ長手方向に加わる力の変化

3.2 機器構成

モニタ装置の現場機器構成を図6に示す。スイッチア

ジャスタの長手方向の力を測定するための、ひずみゲージをセンサとして備えたスイッチアジャスタ、センサの抵抗値変化を増幅するアンプ、A/Dコンバータ、記録装置、データ伝送装置から構成される。このうち、A/Dコンバータ、記録装置、データ伝送装置については、汎用のサーバ機能付ロガー等を用いることも可能である。また、各転てつ機で蓄積されるモニタデータは、保守区等から汎用または専用の通信網を経由して現場装置へアクセスし、必要なデータを取得することが可能である。

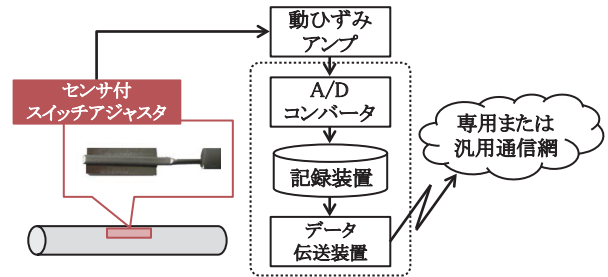


図6 モニタ装置機器構成（現場機器）

3.3 スwitchアジャスタひずみによる転換負荷測定

密着力や復帰動作時の転換負荷を測定する手段として、ジョーピン形のセンサ（図7(a)）とひずみゲージ（図7(b)）をスイッチアジャスタの表面に取り付けて転換負荷を得る方法がある。前者は、電気転てつ機の動作かんや、発条転てつ機の下部クランクに挿入されている既存のジョーピンと交換するセンサであり、測定試験で用いられるセンサである。後者は、長さの変化率（ひずみ）を測定するセンサであり、スイッチアジャスタの長さの

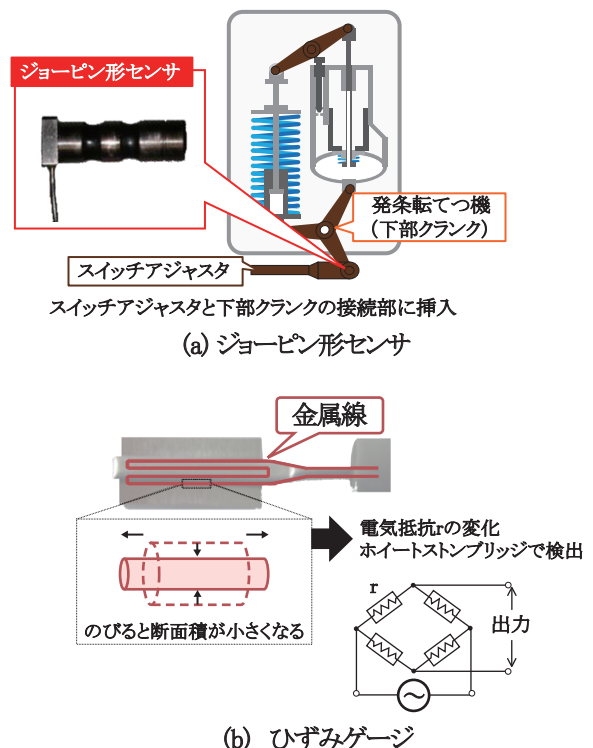


図7 転換負荷測定用センサ

特集：信号通信・運輸

変化率から長手方向に加わる荷重を得る。本研究では、長期間の使用に対して利点があると考えられる、後者の方式を採用した。

発条転てつ機に用いるオフセット 0mm のスイッチアジャスタの長手方向に割出し、転換動作に伴う荷重が加わるときの荷重とひずみとの関係を図 8 に示す。両者は線形関係にあり、スイッチアジャスタのひずみ（以下、スイッチアジャスタひずみ）から荷重を得ることができる。しかし、スイッチアジャスタに加わる荷重は 1.0 ～ 2.0kN 程度の大きさであるため、出力されるひずみは数十 μ 程度であることがわかる。数十 μ 程度のひずみの測定においては、測定部材とゲージの線膨張係数差によって生じる見かけひずみや測定系のノイズの影響は無視できない。ただし、前者については、密着力と復帰負荷の差である、復帰余力を得ることが重要であり、必ずしも密着力や復帰負荷の絶対値は必要ではないため、見かけひずみによって生じる変動の影響は無視することができる。また、ノイズ影響については、測定器の選定やノイズ対策の実施、フィルタの適用により、現状でも十分に実用に耐える波形を得ることができる⁵⁾。

なお、現場機器を汎用の測定器で構成する場合には、見かけひずみの影響により、ひずみの変動から記録開始の動作を行うことができない。この場合には、割出し動作開始を検知するためのセンサを別途設け、記録開始のトリガとして用いる必要がある。

スイッチアジャスタひずみの測定値および復帰余力の測定結果の例を図 9 に示す。

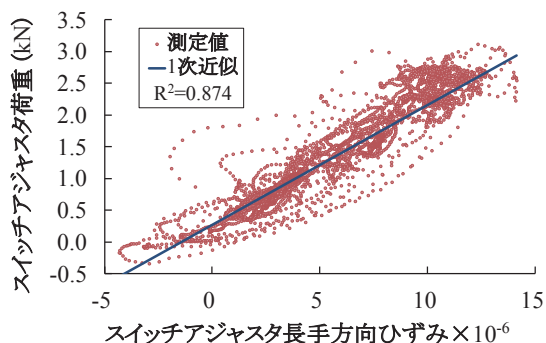


図 8 スwitchアジャスタ荷重とひずみの関係

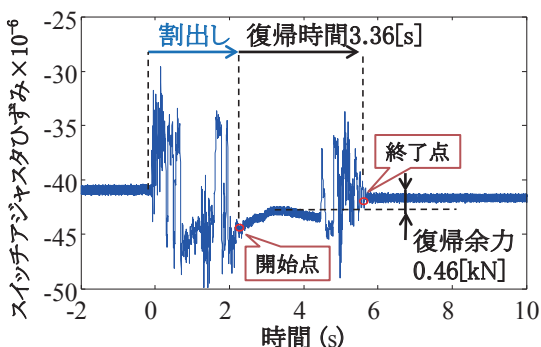


図 9 スwitchアジャスタひずみの測定例

3.4 スwitchアジャスタひずみによる復帰時間推定

発条転てつ機に接続したスイッチアジャスタひずみの波形は、図 9 に示すように、割出時と復帰動作終了時に大きく変化し、転換前や復帰後の密着状態や復帰動作途中はひずみ量の変化が小さい特徴を有している。この特徴を利用して、復帰終了点及び復帰開始点をスイッチアジャスタひずみから見だし、復帰時間の推定を行った。手順を図 10 に示す。

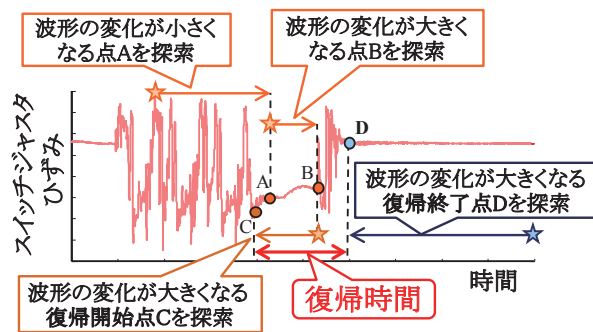


図 10 スwitchアジャスタひずみによる復帰時間推定

4. 発条転てつ機モニタによる測定試験

同一の発条転てつ機を対象として、長期間の測定試験を実施している。センサおよび測定装置の状況、復帰余力および復帰時間の測定結果について述べる。

4.1 試験条件

試験条件は以下の通りである。

- (1) 測定場所 : 50N 関節分岐器 片開き 8 番
- (2) データ数 : 4601 割出転換
- (3) データ取得期間 : 136 日 (中断有)
- (4) センサ取付期間 : 6 年 2 ヶ月

4.2 試験結果 (センサおよび測定装置の状況)

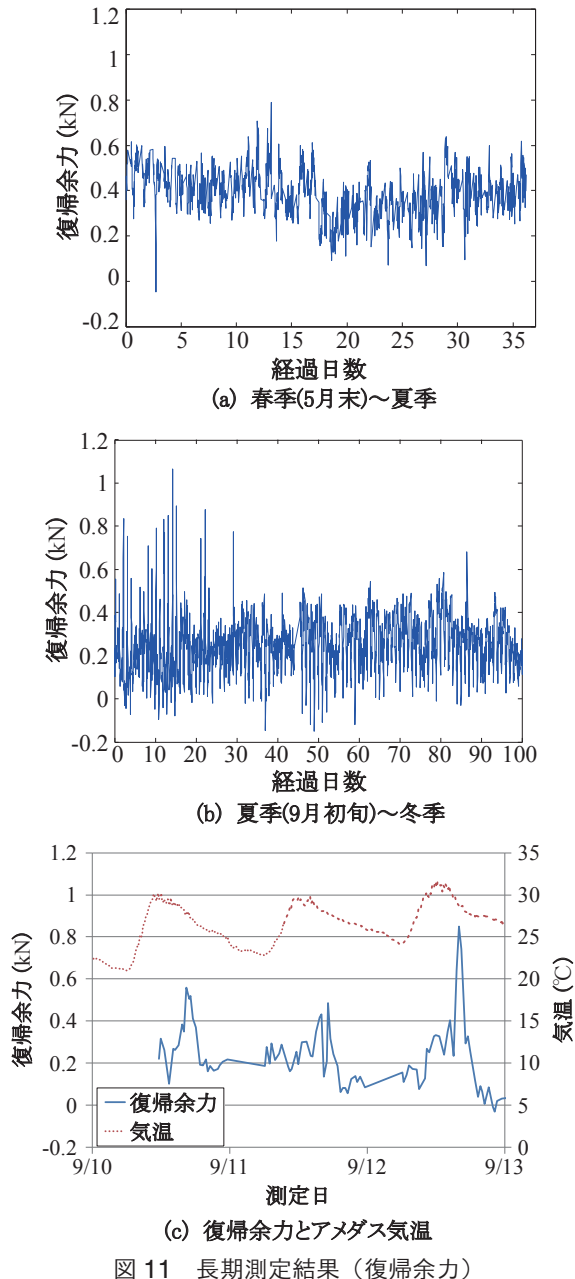
ひずみゲージ付スイッチアジャスタは、取付開始から 6 年 2 ヶ月経過 (2013 年 12 月現在) 段階で測定可能な状態を維持しており、この期間中におけるセンサの断線、剥がれ等の損傷は発生していない。

測定装置については、夏季の高温により停止する事象が発生した。実用化にあたっては、空調のない器具箱内で動作しうる耐環境性を備えることが必要である。

4.3 試験結果 (復帰余力)

春期から夏季、秋季から冬期にかけての 5 ヶ月間の復帰余力の変化を図 11 に示す。復帰余力は概ね 0.2kN (20kgf) 程度であることが確認できた。密着力の調整が適正な方法で実施され、1.8kN (180kgf) の転換力が確保できていると仮定すると、対象箇所の転換負荷は 1.6kN (160kgf) 程度と推測される。尚、測定期間中の

測定箇所における復帰負荷増大による復帰不能は発生していない。復帰余力と設置箇所付近のアメダスの気温(3日間)との相関係数 R^2 は 0.09 であり、両者の相関はないと考えられる。図 11 (b) に示す期間では、転換ごとの復帰余力の変動が大きいですが、これは、ひずみ測定波形が電源からのノイズの影響を受けて、復帰動作の推定位置にずれを生じたためである。ノイズ対策後は図 11 (a) の期間と同様に復帰余力が得られることを確認している。

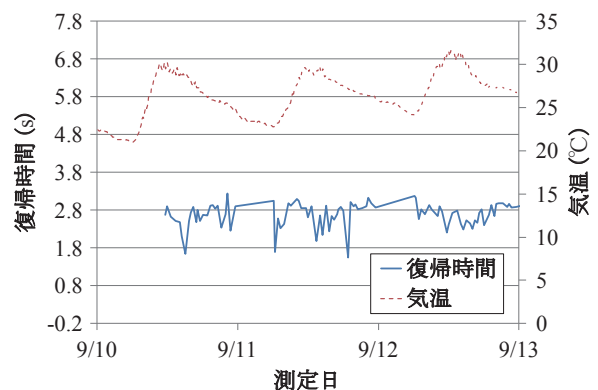
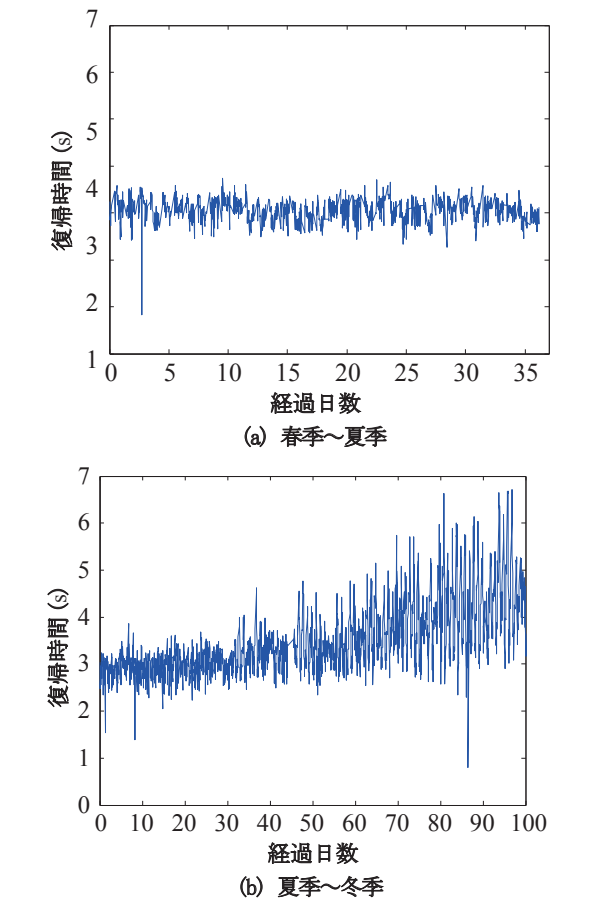


4.4 試験結果(復帰時間)

図 11 と同期間のスイッチアジャスタひずみ波形から推定した復帰時間を図 12 に示す。全体的には春期から夏季にかけては復帰時間が短くなり、夏季から冬季にかけては復帰時間が長くなる傾向にあることといえる。復帰余力と同様に、夏季から冬季の結果は転換ごとの変動

が大きいですが、これは復帰余力の変動と同様の原因である。

一方、復帰時間とアメダス気温との関係については、図 13 に示すように、相関があるとは言い難いことがわかる。特定の1日間の気温変化に対して、復帰時間の変化が小さいことが要因と考えられる。一方、復帰時間と日平均気温の関係を図 14 に示すように、日平均気温の低下にしたがって復帰時間が増える傾向にあった。また、相関係数 R^2 は 0.75 であり、両者の相関はあると考えられる。復帰時間に影響する作動油および作動油が流れるシリンダや発条転てつ機本体の比熱が空気と比べて高く、短時間の気温変化に対しての作動油の温度変化が少ないため、このような結果が得られると推定する。



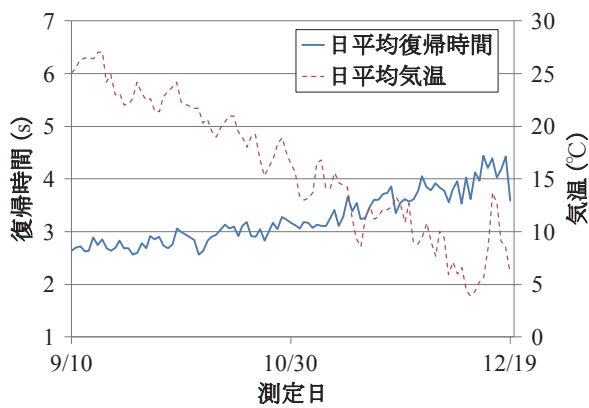


図 14 復帰時間とアメダス気温（日平均）

5. モニタデータの活用

モニタ装置で得られる復帰余力、復帰時間のデータを、設備の保守に活用するためには、データの処理が必要である。処理や表示の具体的な方法については、導入段階に保守区などの利用者が交えた検討が必要であるが、用途としては、突発的事象の検知と、継続的監視による保守方法の改善に大別されると考える。

突発的に発生する事象としては、異物の挟み込みや急激な転換負荷増加による復帰不能が挙げられる。標準的な発条転てつ機の設備構成では、電磁転てつ鎖錠器による鎖錠動作を行う時点において、鎖錠不能が発生することで駅や指令において知覚し、調査復旧への処置が開始される。モニタデータからこのような事象を検知する方法としては、既存の転てつ機モニタ装置と同様に、復帰余力や復帰時間にしきい値を設ける方法や、復帰負荷波形の通常値を学習し、通常と異なる波形が得られた場合を検知する方法が考えられる（図 15）。

周期的に実施されている検査の間の設備の状態を保ち、故障や異常が発生する前に適切な処置を行うことは、設備の保守における重要な課題である。周期的に実施される検査周期間の設備の状態を確認する手段として、モニタ装置は有効な手段といえる。図 16 に、降雨後の晴天による復帰負荷の急激な増加と、定期的に行っている給油作業実施後の負荷減少をモニタリングした結果を示す。降雨後や保守作業後の復帰余力や復帰時間がモニ

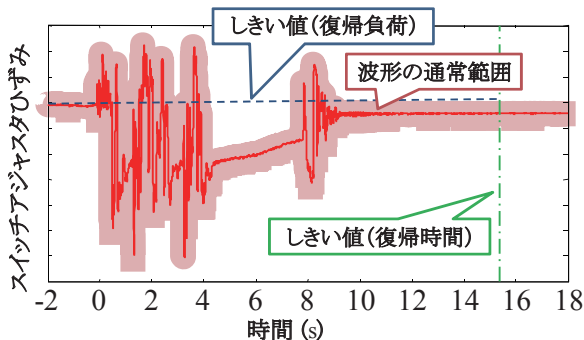


図 15 復帰動作の判断方法の例

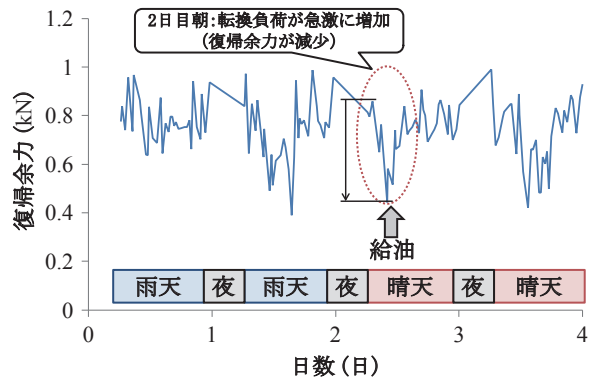


図 16 降雨後の給油作業と復帰余力

タデータにより確認できるようになることで、健全性の確認や検査、修繕、給油などの作業の優先順位付けを行うことが可能になると考えられる。

6. まとめ

発条転てつ機の復帰動作時の転換負荷および復帰時間の監視を目的としたモニタ装置の開発を行った。スイッチアジャスタのひずみから転換負荷を測定する手法を採用し、センサ取り付けから約 6 年経過した状態でも測定可能な状態を維持していることを確認した。また、提案する機器構成にて長期的な測定とデータ取得が可能であり、復帰余力、復帰時間の長期的な変化が得られることを確認した。以上により、発条転てつ機のモニタリングに必要な技術については確立したと考えるが、データの活用や表示方法については、導入段階で検討すべき課題として残されている。今後、導入における技術協力等を通じ、モニタ装置の活用による輸送障害低減に寄与したいと考える。

謝 辞

モニタ装置の開発にあたり、長期にわたる測定試験にご協力いただいた、四国旅客鉄道株式会社の関係各位に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 真砂和隆：転換特性を改良したエスケープクランクの開発，第 20 回鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL2013）講演論文集，pp.597-600，2013
- 2) 高山晴彦，乙川勝嘉：高速電気転てつ機の転換不能予知装置，京三サーキュラー，Vol.41，No.4，pp.9-13，1990
- 3) 小林信司：電気転てつ機の定常状態監視，鉄道と電気技術，Vol.8，No.9，pp.3-6，1997
- 4) 発条転てつ機調査研究委員会：発条転てつ機調査研究報告書，信号保安協会，1986
- 5) 潮見俊輔，五十嵐義信，安藤公志，濱田好和：発条転てつ機の転換負荷の状態監視手法，鉄道総研報告，Vol.25，No.5，pp.23-28，2011