

発条転てつ機の転換負荷の状態監視手法

潮見 俊輔* 五十嵐 義信*
 安藤 公志** 濱田 好和***

Monitoring Method for a Switching Load of Spring Point Machines

Syunsuke SIOMI Yoshinobu IGARASHI
 Takashi ANDOU Yoshikazu HAMADA

It is an important issue for the railway equipment maintenance to prevent failures by monitoring their conditions of operation. For electric switching machines, a monitoring method which estimates the switching force indirectly from the operating current and voltage has been developed and put to practical use. However the method cannot be applied to other switch systems such as a spring point machine, which are not operated by electric power. Accordingly, we studied a monitoring method which estimates the switching force or reset force directly by strain of a switch adjuster. Also, we studied a method which estimates the reset time from time response of the reset force. In this report, we present the results of the studies on these methods, and also present the results of a field experiment.

キーワード：発条転てつ機，状態監視，転換負荷，復帰負荷，復帰時間

1. はじめに

発条転てつ機は、背向側から進入する輪軸による転換（割出し転換）が可能で、割出し後に自身のバネ及びオイルシリンダによって定位側へ復帰する動作を行う転てつ機である。この発条転てつ機に関わる障害として、復帰動作時にトングレールを動かすことで発生する負荷（復帰負荷）が増大し、発条転てつ機の能力を超えた場合に復帰動作が完了しない復帰不能がある。このような転換動作に要する力を推定する手段として、電気転てつ機では動作電力により転換負荷を推定する電気転てつ機モニタ装置が提案され¹⁾、実用化されているが²⁾、動作に電力を必要としない発条転てつ機の状態を監視する手段としては適用することはできない。

発条転てつ機が使用されることの多い、輸送密度の低い線区では、保守区から設備までの距離が遠い場合がある。この状況が、故障時の対応や保全を効率的に行う上での課題となっていることから、このような線区において設備状態の遠隔監視が有効性をもつと考えられる。そこで、発条転てつ機の復帰負荷の状態監視手法の開発に取り組むこととした。

本報告では、発条転てつ機の状態監視手法の基本となる、動作電力によらずに復帰負荷と復帰時間を測定する手法を提案する。また、この手法を検証するため発条転てつ機の復帰負荷の長期測定を実施した結果について述べる。

* 信号通信技術研究部（信号）
 ** 四国旅客鉄道株式会社 工務部 電気課
 *** 四国旅客鉄道株式会社 高知電気区

2. 発条転てつ機の動作と構造

発条転てつ機は、図1のように内部にバネとシリンダを設け、これらの作用により、定位側に密着力をかける機能と、背向側からの割り出し転換機能、輪軸通過後の復帰転換機能を実現している。割出転換後の復帰動作では、トングレールの開口に応じて、シリンダ内の動作油の流路面積を変化させることによって転換速度を変化させ、転換動作を制御している（図2）。

このような動作と構造のため、作動油の温度変化によって生じる粘度の変化や、復帰負荷の変化により、発条転てつ機の復帰動作は変化する。そのため、発条転てつ機の保守では、復帰動作開始から復帰動作終了までの時間（復帰時間）が基準内となるよう管理を行っている。また、温度による動作油の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方法が知られている³⁾。

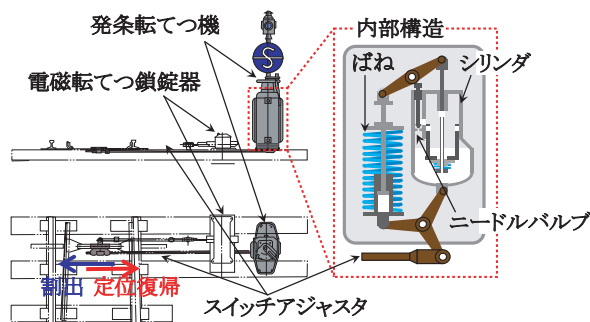


図1 発条転てつ機の構造と構成

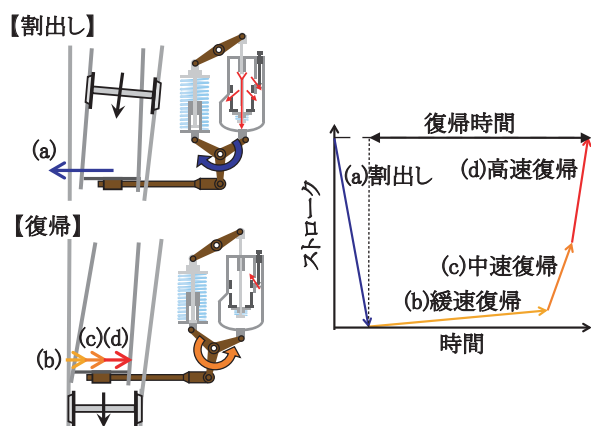


図2 割出転換時の復帰動作（模式図）

3. 発条転てつ機の状態監視項目

発条転てつ機特有の障害として、復帰動作時の負荷（復帰負荷）が転てつ機の能力（復帰力）を超えることによる動作の停止（復帰不能）がある。復帰不能の要因としては、雪、氷等の異物の介入によるもの他、降雨等による油の流出や床板の錆や傷による、トンダレールと床板の間の摩擦力増大などが挙げられる。特に、摩擦力の増大による復帰不能については、ハンドルにより転換操作を行った際の感覚の他に判断の方法はなく、降雨毎に給油を実施するなど保守に苦慮している現状である。また、発条転てつ機は輸送密度の低い線区に使用されることが多く、保守区から遠い箇所にある設備の保守や障害復旧に苦慮している。復帰負荷を何らかの方法で測定し、復帰力を上回らないことを判断することが可能であれば、摩擦力の増大のような要因による復帰不能の予防に役立つものと考えられる。

また、保全項目として管理されている復帰時間の調整は、おおよそ季節の変わり目に行われている。これも状態監視の対象とすることにより、調整時期を適正にでき将来的には保全周期の効率化を図ることができると考えられる。

そこで、発条転てつ機の状態監視手法として、復帰負荷と復帰時間を監視する手法を検討することとした。

4. 発条転てつ機の復帰負荷，密着力の測定

復帰負荷の測定方法について検討を実施するに先立ち、復帰動作に伴う復帰負荷の特性について、現用設備を対象に調査した。負荷特性は、測定試験で一般に用いているジョーピン形の軸力計（図3）を、下部クランクとスイッチアジャスタを接続するジョーピンに代えて挿入し、軸力計に加わる力を測定して得ることとした。

割出転換時の測定結果を図4に示す。輪軸の通過後、約4秒間復帰動作を行っていることがわかる。また、このときの測定値は復帰負荷を示しており、約0.6kNであっ

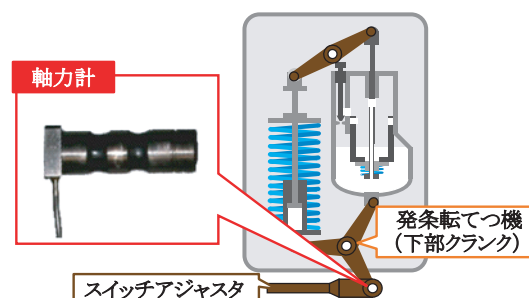
た。発条転てつ機単体の転換力は約1.96kN（200kgf）と言われているが⁴⁾、これに対して負荷は小さく、能力に十分余裕があることがわかる。また、復帰動作終了後の測定値は密着力を示しており、約1.6kNであった。密着力は適正な調整を実施したときに約1.77kN（180kgf）になるといわれており³⁾、測定値はこれに近い値であった。

5. 復帰負荷の測定手法の検討

5.1 センサの検討

状態監視のように、恒久設備として長期間用いることを前提とした場合、安定した測定が実施できることはもちろん、機械的な強度が従来の設備と変わらない方法を取ることが望ましい。

転換負荷・復帰負荷の測定方法として、ジョーピン形軸力計を用いる方法のほか、スイッチアジャスタの長手方向の歪みを歪みゲージを用いて測定し、歪みから力を算出する方法がある。この方法は、図5のようにスイッチアジャスタへのゲージの貼り付けが必要であるが、転てつ機、付属装置の形状を変えずに測定できるため、機械的な強度は従来の設備と変わらない。但し、発条転てつ機に使用するスイッチアジャスタは、基本的にオフセットのないものを使用するために、図6のように、荷重に対する歪みの出力が小さく、ノイズ対策について検討が必要である。これについては、実環境において、機器構成とあわせて検討を行うこととした。



スイッチアジャスタと下部クランクの接続部に挿入

図3 ジョーピン形軸力計

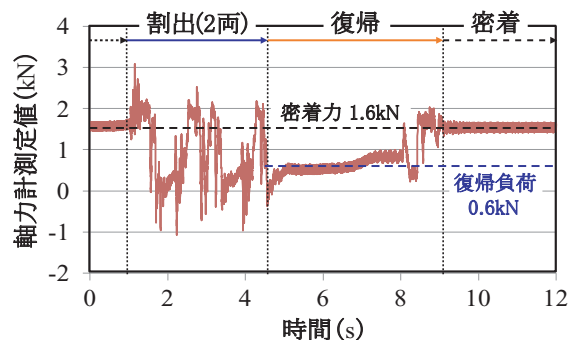


図4 復帰動作時の復帰負荷，密着力

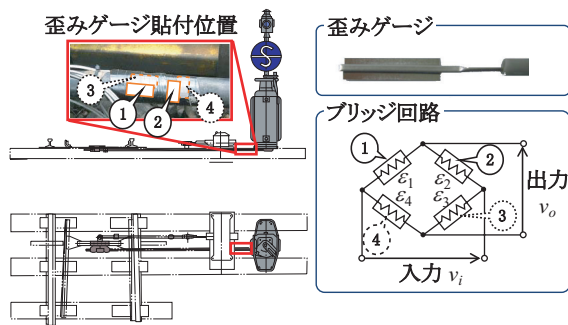


図5 スイッチアジャスタ歪みの測定

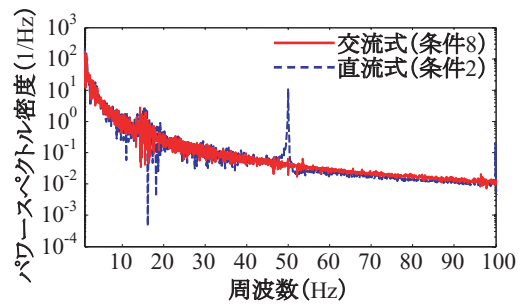


図7 歪みのパワースペクトル密度分布

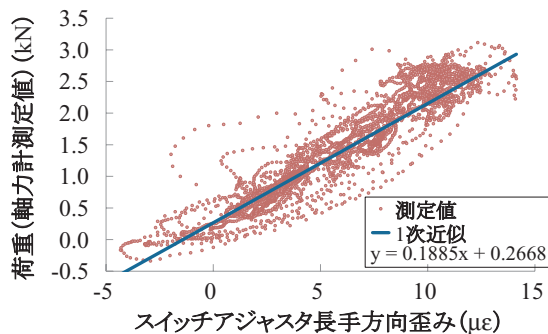


図6 荷重とスイッチアジャスタ歪みの関係

5.2 機器構成の検討

ブリッジ回路により得られる歪み出力を増幅する動歪みアンプについて、耐ノイズ性に優れる交流式（ブリッジ回路に交流電流を印加）と経済性に優れる直流式（ブリッジ回路に直流電流を印加）の比較を行い、機器構成の検討を行った。

検討は、表1に示す、歪みアンプ、電源、絶縁トランスの有無、ローパスフィルタ（LPF）の有無について異なる機器構成を対象とし、転換動作をさせた時の歪み値の測定を実施した。測定結果として、測定源波形の50Hzにおけるパワースペクトル密度（PSD）を表1に示す。また、図7にPSD分布の代表結果を示す。結果から、商用電源を電源に用いた場合であっても、交流式アンプは直流式と比べて良好な波形を得られる一方、直流式アンプは、電源を乾電池とする必要がある等、設置上の課題があることがわかった。

以上より、交流式のアンプを用いた条件8の構成に準じて、以降の測定を実施することとした。

表1 機器構成検討条件とパワースペクトル密度（50Hz）

| 条件 | アンプ | 電源 | 絶縁トランス | LPF (Hz) | PSD (1/Hz) |
|----|-----|-------------|--------|----------|------------|
| 1 | 直流式 | AC100V 50Hz | 無 | — | 71.8 |
| 2 | 直流式 | AC100V 50Hz | 無 | 30 | 10.7 |
| 3 | 直流式 | AC100V 50Hz | 有 | — | 12.8 |
| 4 | 直流式 | AC100V 50Hz | 有 | 30 | 7.30 |
| 5 | 直流式 | 乾電池 | — | — | 20.5 |
| 6 | 直流式 | 乾電池 | — | 30 | 2.71 |
| 7 | 交流式 | AC100V 50Hz | 無 | — | 4.18 |
| 8 | 交流式 | AC100V 50Hz | 無 | 30 | 0.06 |

6. 復帰時間の推定手法の検討

発条転てつ機の保全、調整項目の一つである復帰時間は、復帰開始時から復帰終了時までの所要時間であるが、現状の保守では、作業者の視聴覚によって復帰開始、復帰終了のタイミングを判断して計時している。復帰時間は転換負荷の他、季節の経過による作動油の粘度変化が影響するため、状態監視装置においても復帰負荷とあわせて監視することが必要である。そこで、復帰時間の推定手法を検討した。

ところで、発条転てつ機の転換・復帰負荷の波形は、図4に示したように、割出時と中速～高速復帰時に歪み量が大きく変化し、転換前や復帰後の密着状態や緩速復帰時には歪み量の変化が小さくなる特徴を有している。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歪みから見だし、復帰時間の推定を行う方式をとることとした。以下にその手順を示す。また、図8(a)に全体の手順を、図8(b)から図8(e)に各手順の詳細を示す。

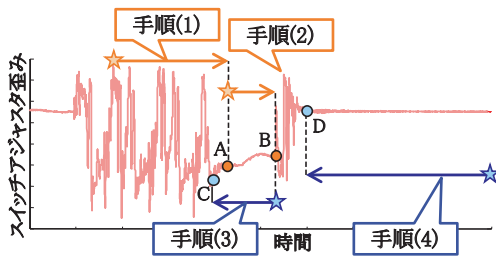
手順(1) 緩速復帰状態の探索: 歪み変化が大きい割出転換時を探索の始点として、0.25s 間隔の連続した3点(a, b, c)の歪みの最大と最小値の差が閾値以下となる点Aを探索する。

手順(2) 中・急速復帰状態の探索: 点Aを探索の始点として、0.1s 間隔の連続した3点(d, e, f)が逆L字状に並ぶ点Bを探索し、点Bを中・急速復帰開始点とする。

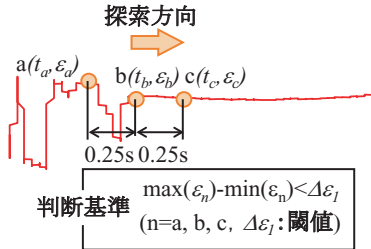
手順(3) 割出転換と緩速復帰の境界の探索: 点Bを探索の始点として、0.1s 間隔の連続した3点(g, h, i)がL字状に並ぶ点Cを探索し、点Cを復帰開始点とする。

手順(4) 密着状態と急速復帰の境界の探索: データの終端を探索の始点として、0.1s 間隔の連続した3点(j, k, l)がL字状に並ぶ点Dを探索し、点Dを復帰終了点とする。

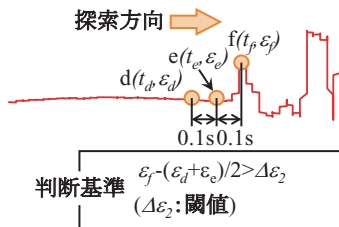
特集：信号通信技術



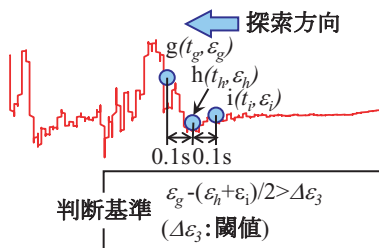
(a) 探索手順



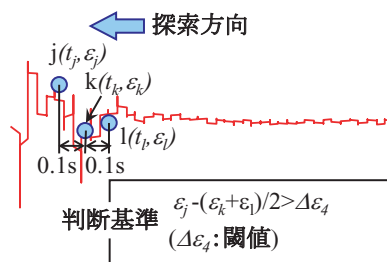
(b) 手順1: 緩速復帰状態の探索



(c) 手順2: 中・急速復帰状態の探索



(d) 手順3: 割出転換と緩速復帰の境界の探索



(e) 手順4: 密着状態と急速復帰の境界の探索

図8 歪み測定波形からの復帰時間の推定

7. 現地測定試験

検討した測定・推定手法を検証するため、本線上の発条転てつ機を対象に、復帰動作時のスイッチアジャスタ歪み、復帰時間を測定した。試験条件を以下に示す。先述の機器構成の検討結果に基づき、歪みゲージによる測定値を交流式の動歪みアンプで増幅し、出力信号をログで記録するよう測定機器を構成している (図9)。

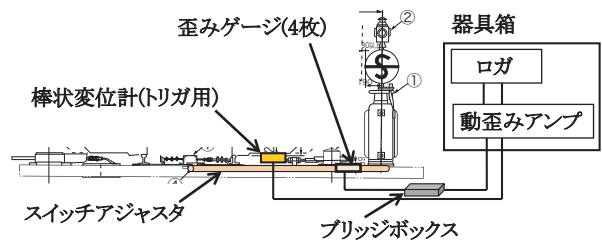


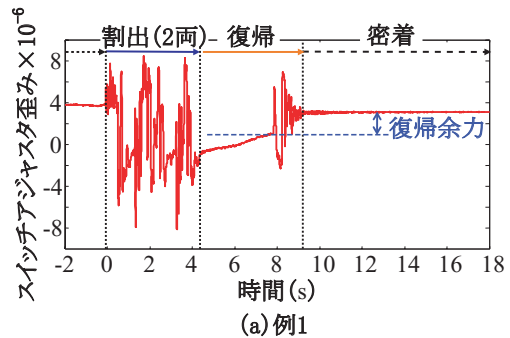
図9 測定機器構成

7.1 測定結果 —スイッチアジャスタ歪み—

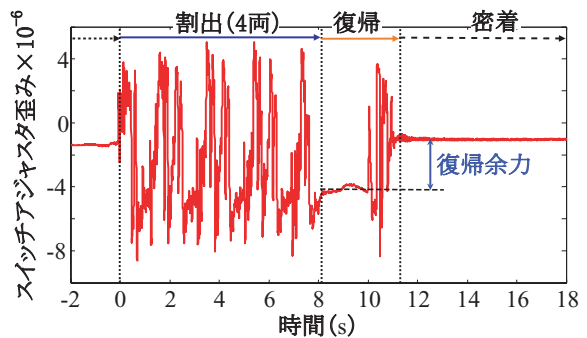
測定によって得られたスイッチアジャスタ歪みの代表結果を図10に示す。各測定結果は、ともにトングレーが車両によって割出され、その後、緩速復帰時にほぼ一定の歪みで推移し、中速・急速復帰動作の後に密着状態に戻っていることがわかる。

測定対象とした発条転てつ機の復帰力は、ストロークによらずほぼ一定であるといわれており³⁾、また、軸力計を用いた事前試験の結果からも、密着力は復帰力に近い値をとることがわかっている。また、図6に示したように、スイッチアジャスタ歪みと密着力との関係が比例的であり、歪みの変化量から力の変化量を得られることがわかっている。このことから、密着状態のスイッチアジャスタ歪みと、緩速復帰時の歪みの差から、復帰負荷に対する復帰力の余裕 (以下、復帰余力とする) が得られる。この復帰余力が小さい程、状態の変化による復帰不能が起こりやすくなることを示す。図11に8日間の復帰余力の変化を示す。尚、今回の測定期間中に、復帰余力が0kN以下となる事象は見られなかった。

一方、密着時のスイッチアジャスタ歪みは、図12のよ



(a) 例1



(b) 例2

図10 スイッチアジャスタ歪み測定結果

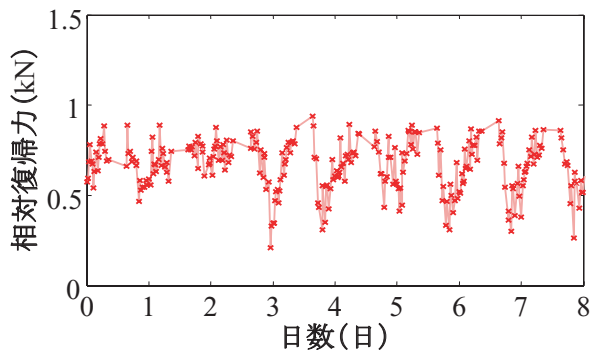


図11 復帰余力の変化

うに、測定毎に値が変化していたことから、スイッチアジャスタ歪みの測定値のみでは、密着力の絶対値を得られないことが明らかになった。また、この期間の測定場所付近のアメダスの日照データとスイッチアジャスタ歪みを比較すると、定性的には晴天時に歪みの変化が大きくなる傾向にあった。

歪みゲージは一般に、測定対象と歪みゲージの材料の違いによる線膨張係数差 $\Delta\rho$ と、抵抗素子の抵抗温度係数 α の温度に対する非線形特性から、式(1)に示す温度変化に対する見かけ歪み ϵ_{dummy} が発生するといわれている。

$$\epsilon_{dummy} = (\alpha / K_s + \Delta\rho) \dots\dots\dots(1)$$

(但し、 K_s はゲージ定数を示す)

市販のゲージの見かけ歪みは通常、 $\pm 1.8\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 以内であるといわれているが⁵⁾、今回の測定対象としているスイッチアジャスタ歪みに対する影響は無視できない。そこで、スイッチアジャスタのゲージ貼付箇所付近に温度センサを取り付け、スイッチアジャスタ歪みと、歪みゲージ付近のスイッチアジャスタ温度の関係について調べた。図13に測定結果を示す。丸印は転換毎の測定値を、直線は測定値の一次近似線を示す。密着時のスイッチアジャスタの歪み測定値とスイッチアジャスタの温度には強い相関があることから、密着時のスイッチアジャスタの歪み測定値が温度の影響を受け、転換動作毎に変化しているといえる。また、スイッチアジャスタの温度を歪みと同時に測定することにより、歪み測定値の温度影響を補正できる見込みを得た。

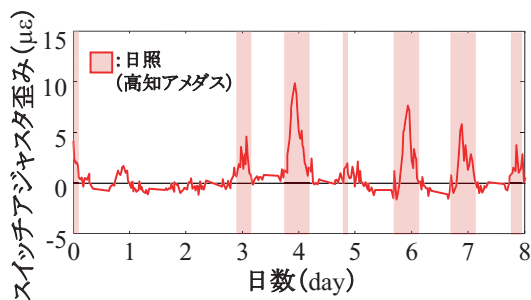


図12 密着時歪みの変化

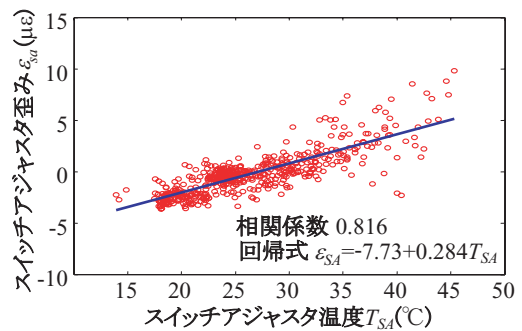


図13 密着時スイッチアジャスタ歪みと温度

7.2 測定結果 —復帰時間—

スイッチアジャスタ歪み波形から判定した状態変化点の例を図14に示す。測定結果より、列車による割出転換時の復帰時間を自動推定できることを確認した。また、図15に示す8日間中の復帰時間の変化から、短期間での復帰時間の変化は小さいことがわかった。しかし、図16のデータ収集期間毎の平均復帰時間と平均気温の関係が示すように、長期的には復帰時間が変化し、平均気温が高い期間には復帰時間が短く、平均気温が低い期間には復帰時間が長くなることがわかる。この結果は、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調整する方法³⁾とも一致する。

発条転つ機の構造上、作動油の粘度、シリンダの油温と復帰時間は相互に関係している。今回の測定では、シリンダの油温変化と相関が強いと考える季節的な温度変化と復帰時間の傾向が得られた。一方、日単位の外気温や日照に影響を受けるスイッチアジャスタ温度と復帰時間の傾向はあまり一致していないことがわかった。詳細な作動油の状態監視をおこなうためには、外気温とは別にシリンダ油温を測定することが適切であると考えられる。

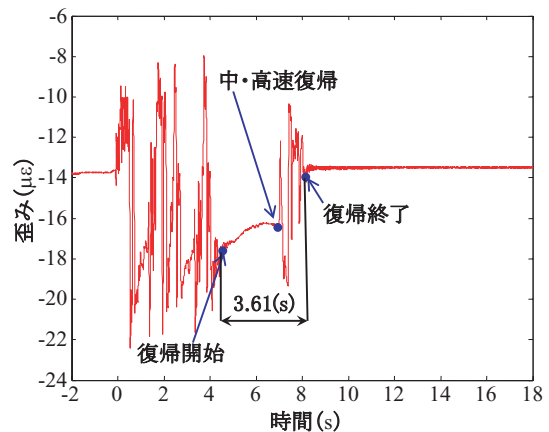


図14 スwitchアジャスタ歪みからの復帰時間の抽出例

特集：信号通信技術

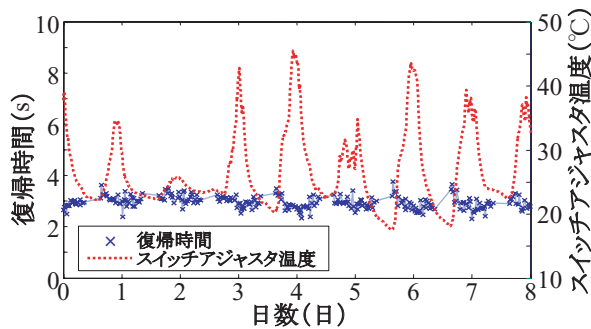


図 15 復帰時間の変化

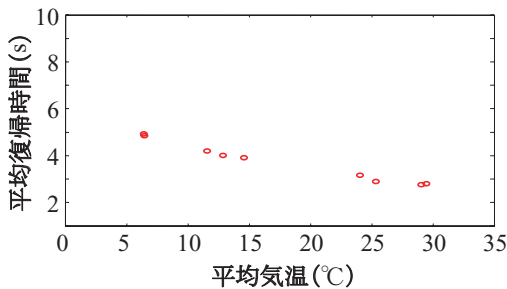


図 16 平均気温と平均復帰時間

7.3 試験結果のまとめ

スイッチアジャスタ歪みによる復帰負荷の測定、復帰時間の推定方法について、現地に測定機器を設置して歪みゲージを用いたスイッチアジャスタの長手方向の歪みの長期間（約1年間）測定を実施し、以下の結果が得られた。

- (1) スwitchアジャスタ長手方向の歪みの測定により、転換動作毎の復帰余力が得られた。
- (2) 発条転てつ機用のオフセットのないスイッチアジャスタでは、温度変化による歪み測定値の変化量が、密着時のスイッチアジャスタの歪みの大きさと比べて大きいため、歪み測定のみから密着力を得ることは難しい。
- (3) 密着時のスイッチアジャスタ歪み測定値とスイッチアジャスタの温度には強い相関があることから、スイッチアジャスタの温度を歪みと同時に測定することにより、歪み測定値の温度影響を補正できる見込みを得た。この補正により、歪みと温度から密着力を得ることができると考えられる。
- (4) 提案する復帰時間の推定方法により、割出転換時の復帰時間の自動推定ができることを確認した。
- (5) 季節的な気温の変化に対して復帰時間も変化し、夏に復帰時間が短く、冬に復帰時間が短い傾向が得られた。この結果は、従来からの発条転てつ機の調整方法とも一致する。
- (6) 日単位の温度変化と復帰時間の傾向はあまり一致し

ない。より詳細な作動油の状態監視をおこなう上では、外気温とは別にシリンダ油温を測定することが適切であると考えられる。

8. まとめ

動作電流によらない発条転てつ機の状態監視手法として、スイッチアジャスタの歪み測定による復帰負荷の測定手法、および発条転てつ機の復帰時間の推定手法を検討し、現地測定試験を実施した。その結果、提案する手法により、復帰余力と復帰時間が得られることを確認した。今後は、歪みゲージの長期耐久性の確認、より安価な測定機器の構成の検討、分岐器毎の傾向の違いについて調査するための測定試験を実施し、より実用的な装置構成について検討を行う予定である。

スイッチアジャスタの歪み測定による転換負荷、復帰負荷の測定、及びモニタリングは、発条転てつ機に限らず、電気転てつ機の動作かん部や、新幹線用転換鎖錠装置に複数備わるエスケープクランク部での転換負荷測定等、広く活用できる手法である。今回の測定結果から、歪み測定値からの密着力の取得について、歪み測定値の温度影響の補正が必要であることが課題として得られているが、密着力は、従来の動作電力による状態監視手法では測定が困難な項目であるため、今後更に検討を進めていく予定である。また、輸送密度の低い線区への適用には、汎用の装置を活用した低コスト化や、データの取得手段について検討が必要であるため、併せて検討を進めて行く予定である。これらの課題点を解決し、得られたデータから障害の予兆を抽出する技術とあわせて、輸送障害の低減、保守の軽減に寄与したいと考えている。

文 献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 桜井育雄: 発条転てつ機の転換力特性, 鉄道技術, Vol.41, No.7, pp.64, 1987
- 5) 高橋賞, 河合正安: 改訂新版 ひずみゲージによるひずみ測定入門, 大成社, 2005
- 6) 潮見俊輔, 五十嵐義信, 安藤公志, 浜田好和: 発条転てつ機のモニタリング手法に関する検討, 第15回鉄道技術・政策連合シンポジウム講演論文集, pp.179-182, 2008