

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

分岐器の動作の正常性を診断する

分岐器の動作不良である転換不能は、装置自体の故障のほか、異物の挟み込み、転換負荷の増加、ロック狂いにより発生します。状態監視装置の活用は、これらの発生にいたる予兆を知る手がかりとなり得ますが、転換動作ごとに増えるデータを人の目で確認することには限界があります。そこで、同じ分岐器の転換負荷波形が、状態変化が無い限りほぼ同じ波形となる性質に着目して、状態監視装置に蓄積される多数の動作データの正常性を診断し、通常とは異なるデータを取り出す手法を開発しました。



潮見 俊輔
Shunsuke Shiomi
信号・情報技術研究部
信号システム研究室
副主任研究員
【専門分野】 転てつ装置、
信号システム



押味 良和
Yoshikazu Oshimi
前 信号・情報技術研究部
信号システム研究室
研究員
【専門分野】 転てつ装置、
信号システム



五十嵐 義信
Yoshinobu Igarashi
信号・情報技術研究部
信号システム研究室
主任研究員(上級)
【専門分野】 転てつ装置、
信号システム

分岐器、転てつ装置とその動作

分岐器は鉄道車両の走行する方向を振り分ける機能をもつ設備です。分岐器にはさまざまな種類がありますが、方向を振り分ける機能のために、レールの一部が可動する構造となっています。この可動部を動作させる(転換と呼びます)ために、モーターやばねなどの動力や、人力で動かすための転てつ装置を分岐器に組み合わせて用います(図1)。

転てつ装置は、分岐器上を走行する車両の安全を確保するために、分岐器の転換機能のほか、動作後の状態を保持する機能(鎖錠)、開通方向をチェックする機能(照査)、信号の制御を行

う装置(連動装置)に状態を通知する機能(表示)を有しています。モーターを動力とする電気転てつ機を例にとると、動作をはじめから停止するまでの間に、①「解錠」、②「転換」、③「鎖錠」「照査」、④「表示」の順序でこれらの機能が働いています。

分岐器の動作不良—転換不能—

分岐器や動作させる転てつ装置の動作が完了しない状態が発生することがあります。この状態を転換不能と呼びます。転換動作のほか、あわせて行われる鎖錠や照査にとまなう、分岐器や転てつ装置の機械的な状態の変化によって生じる転換不能の原因は、大ま

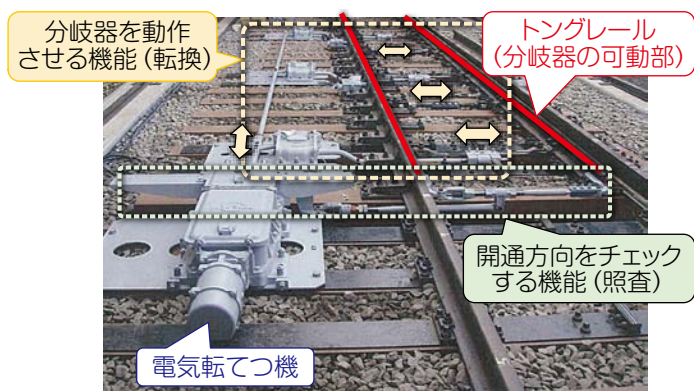


図1 分岐器と転てつ装置の転換、照査機能

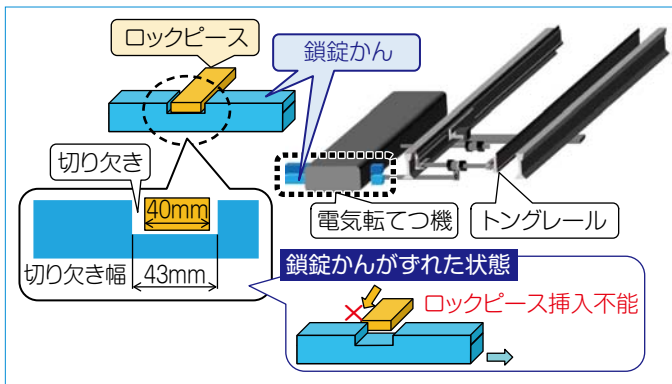


図2 照査機構と転換不能

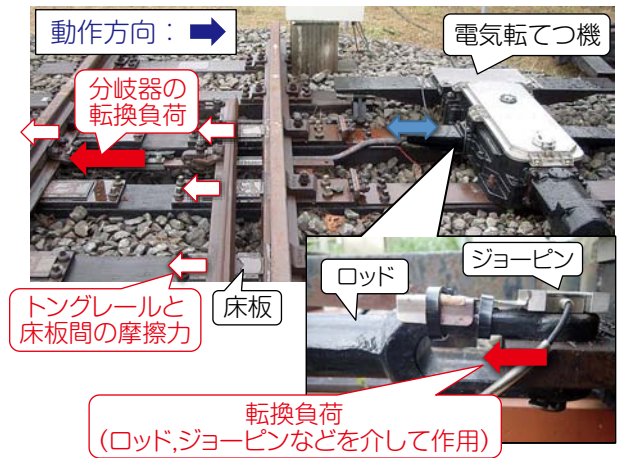


図3 転換機構と転換負荷

かに以下の5つと考えられています。

- (1) レールの移動や温度伸縮による鎖錠かんの移動
- (2) 異物の挟み込み
- (3) 転換負荷の増加
- (4) フリクションクラッチ (☞参照) のトルク変動
- (5) 動力転てつ機の単独故障

近年、電気転てつ機の改良や部品の信頼性の向上により、(4)や(5)を原因とする転換不能は少なくなりました。主に(1)～(3)を原因とする転換不能が発生していると考えられます。このうち、(2)の異物の挟み込みによる転換不能は、転てつ装置の照査機能が正常に動作した結果として発生したものです。統計の取り方によりますが、分岐器および転てつ装置に関する障害の約2/3を占めています。

近年、(1)の鎖錠かんの移動による転換不能や、(3)の転換負荷の増加を防止することを目指して、分岐器や転てつ装置の状態を監視する取り組みが行われています。

鎖錠かんの移動とその原因、監視方法

電気転てつ機の内部には、トング

レールにもなって移動する鎖錠かんの切り欠きに、ロックピースと呼ばれる「かぎ」を挿入して、分岐器の開通方向のチェック(照査)を行う機構があります(図2)。電気転てつ機の最後にこの機構が動作しますが、切り欠きの位置が所定の位置に来ない場合は、ロックピースを挿入することができないため、動作が途中で停止することになります。

鎖錠かんの位置が移動する要因は分岐器や転てつ装置の構造、使用環境によってさまざまですが、たとえば、日照による温度変化は影響因子の一つと考えられています¹⁾。

現在、鎖錠かんの移動量を観測して、転換不能にいたる前に再調整などの対策を行う方法が多くの鉄道事業者で行われています。たとえば、移動量が一定以上になったことを光学的に検出して警報を保守区などに通知する簡易な装置²⁾のほか、移動量をセンサーで検出する状態監視装置も実用化されています^{3),4)}。さらに、状態監視装置で得られたデータと気象予測をもとに、数日先の鎖錠かんの位置を推測する手法

も提案されています¹⁾。

転換負荷の増加とその原因、監視方法

転換負荷とは、転換動作を行うときに分岐器の可動部を動かすために必要な力の大きさを指します。転換負荷は、分岐器と電気転てつ機を接続するロッドやジョーピンを通じて電気転てつ機に伝わります(図3)。

転換負荷は、トングレールなどの摩擦力や慣性力、弾性力に影響を受けます。電気転てつ機などが持っている力(転換力)は種類によって決められています。摩擦力が増加するなどの使用環境の変化により転換負荷が増加し、転換力を超過すると転換不能にいたりします。

そのため、転換負荷の状態を知り、適切に管理を行うことは転換不能対策にとって重要です。現在、モーターの動作電流を用いて転換負荷の状態を監視する方法が実用化されています⁵⁾。また、転換負荷を伝えることによって生じる、ピン⁶⁾やロッド⁷⁾の微小な変形量(ひずみ)を観測する方法が開発されています。国内では、走行試験などの用途に用いられていますが、海外では、常時監視装置のセンサーとして用いられている例もあります⁸⁾。

状態変化の判断方法と課題

転換負荷の大きさや動作中の時間変化は、たとえ同じ種類の分岐器や転てつ装置であっても、設置した場所や設

☞ フリクションクラッチ

摩擦力で電気転てつ機のモーターと転換機構の間のトルクを伝達します。電気転てつ機の動作が途中で妨害されたときにクラッチが滑ることで各部を保護します。現在は改良されたフリクションクラッチやマグネットクラッチが用いられるため、トルク変動による転換不能は起きにくくなっています。

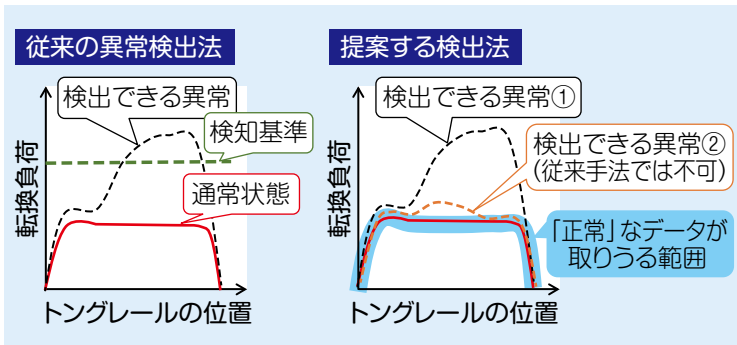


図4 従来の異常検出法と提案手法

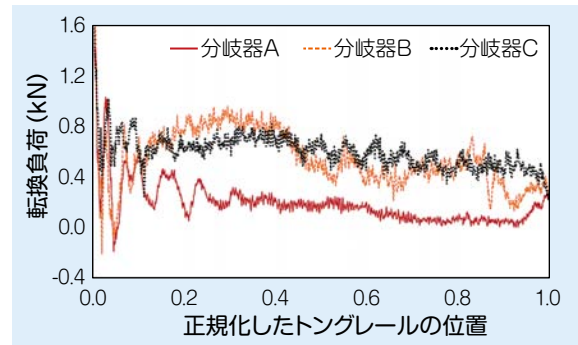


図5 異なる分岐器の転換負荷

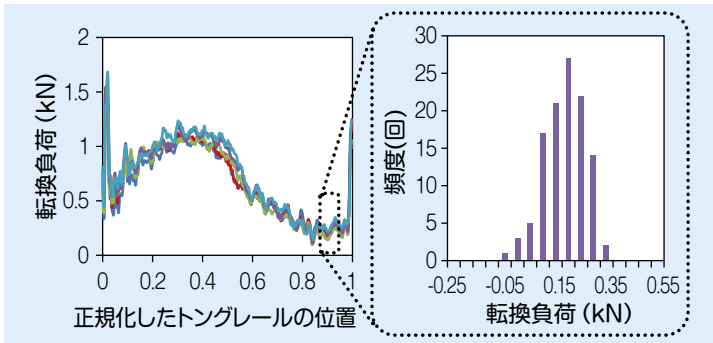


図6 転換負荷波形の分布

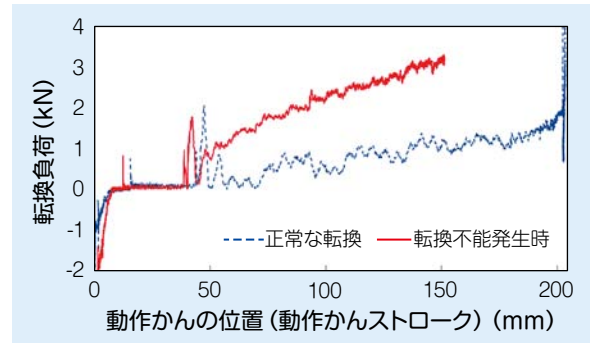


図7 転換不能発生時の転換負荷波形

備の状態に影響を受けるため、同じであることはありません。鎖錠かんの変位を検出する装置のような、一定の値を超えたことを検知して、処置を行う方法(図4)は、転換不能にいたる前に処置を行うことに対しては有効性をもつと考えられます。しかし、この基準値をどのように設定するかは、設定者の判断によります。また、設備ごとに特性が異なる転換負荷の特性を踏まえ、適正な基準値を膨大な数の分岐器に対して人手でもれなく設定することは困難です。

そこで、転換負荷のデータがもつ特徴に着目して、分岐器と転てつ装置の正常な状態を蓄積し、それを状態判定の基準として用いる手法を開発しました。

転換負荷データの特徴

分岐器ごとに異なる特性の例として、図5に異なる3台の分岐器の転換負荷の波形を示します。これらはすべて同じ駅構内で、ほぼ同じ日時に記録したものです。その波形は大きく異なることがわかります。

しかし、同じ分岐器が、正常に動作しているときの転換負荷波形は一般的に再現性が高いことが知られています(※参照)。図6に、ある関節分岐器で測定した転換負荷データを重ね合わせた結果と、あるトングレールの位置でみた転換負荷のばらつきを示します。図6より、同じ分岐器の転換負荷波形は、転換不能が発生しない安定した状態の場合は、正規分布になっていることがわかります。

しかし、転換不能が発生する場合には、転換負荷は大きく変化します。図7に、ある分岐器の正常な転換負荷波形と、転換負荷増加による転換不能が発生する直前の転換負荷波形を示します。転換不能が発生する直前には、正常な状態の転換負荷波形とは大きく異なる波形を示していることがわかります。

転換負荷の変化を判断する

同じ分岐器の転換負荷波形の再現性が高いことに着目して、正常に転換したときの転換負荷波形との違いを指標化して、転換負荷の状態を判断する手法を開発しました。状態を判断する手順を図8および以下に示します。

【転換動作毎の処理】

- (1) 転換負荷波形を記録し、転換動作ごとの転換時間差の影響を取り除くため、トングレールの動作開始からトングレールの動作終了時までの転換負荷波形を取り出し、その間の時間を0から1までの値で表した(正規化し

☞ 転換負荷波形の再現性

転換負荷波形の再現性の高い状態は、トングレールと床板の接触の状態やトングレールの動きの転換ごとの差異が小さい状態といえます。普通床板の分岐器はトングレールと床板が接触して摩擦力が作用するため、まくらぎの浮沈などがない限りは状態を維持しやすいと考えられます。ローラーなどでトングレールを支持し床板を接触させずに転換する構造の分岐器での転換負荷の再現性は、これと異なる可能性があります。

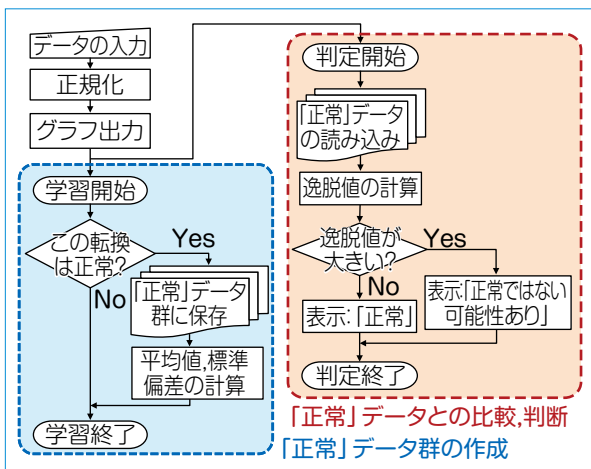


図8 転換負荷の状態判断手順

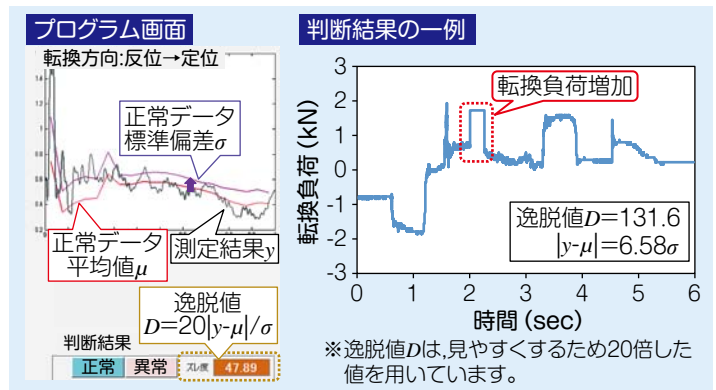


図9 転換負荷波形の判断プログラムと判断結果の例

た) データを作成します。

【「正常」データ群の作成】

- (2) 学習させる対象のデータを選び、「正常」データ群に記録させます。
- (3) 「正常」データ群のトングレールの位置ごとの平均値、標準偏差を求めます。

【「正常」データとの比較、判断】

- (4) 正規化したデータのトングレールの位置ごとに、「正常」データ群の平均値との差の絶対値を計算します。
- (5) 各地点の平均値からの差を標準偏差で除した値の最大値(これを「逸脱値」と称します)を求めます。

「正常」データの作成は、検査時の試験転換時のデータや、転換不能が発生せず安定して稼働している期間のデータなど、正常に稼働していることが明らかに判断できる状態をもとに作成することができます。

以上により得られた逸脱値は、値が大きいほど、「正常」データからかけ離れた転換負荷波形であることを示します。逸脱値の大小は、分岐器ごとのデータのばらつきや「正常」データとして記録した転換負荷波形の数にも影響を受けるため、逸脱値が大きいデータがすべて異常な状態とはいえません。しかし、従来のある一定のしきい値による状態変化の検出手法では難しい、部分的な転換負荷の増加や、しきい値にいた

る前の予兆検出が可能になります。

図9に試作した転換負荷波形の判断プログラムと、転換負荷増加を模したダミーデータによる判断結果の一例を示します。図9に示す例の逸脱値 $D = 131.6$ は、ダミーデータ y が平均値 μ から標準偏差 σ の6.5倍離れた値を取っていることを意味しています。

分岐器の状態判断技術の将来

ここでは、分岐器の状態変化を検出するための最近の鉄道総研の取り組みとして、状態量の一つである転換負荷の変化を検出する手法を紹介しました。分岐器の状態の変化は、転換負荷以外にも鎖錠かん変位や密着力などの、転換鎖錠装置で観測できる状態量のほか、転てつ棒や控え棒など分岐器の構成部材のひずみなどにも影響を与えると考えられます。今後はさらに、分岐器や転てつ装置の状態変化と、その観測に適する測定項目の発見や、新たな測定法の開発など、転換動作の現象解明への取り組みが今後の分岐器の状態判断技術のブレイクスルーに必要であると考えます。

また、状態判断を行った結果として、保守の方法をどのように変革させるかもあわせて検討することも今後必要になると考えます。分岐器と転てつ装置は、軌道分野と信号分野の融合領域です。両者が協力して問題に取り組

むことが重要です。普通床板の分岐器はトングレーと床板が接触して摩擦力が作用するため、まくらぎの浮沈などが無い限りは状態を維持しやすいと考えられます。ローラーなどでトングレーを支持し床板を接触させずに転換する構造の分岐器での転換負荷の再現性は、これと異なる可能性があります。RRR

文献

- 1) 流王智子, 五十嵐義信, 岩澤永照: 電気転てつ機のロック位置変動を予測する, RRR, Vol.73, No.2, pp.16-19, 2016
- 2) 鈴木貞夫: 規格解説 ロック狂い検出器, 信号保安, Vol.26, No.9, pp.32-38, 1971
- 3) 若林武夫: 電気転てつ機のデジタル式ロック狂いモニター, 鉄道総研報告, Vol.7, No.12, pp.9-16, 1993
- 4) 五十嵐義信, 櫻井育雄: 小型軽量新幹線用転てつ機の開発, 鉄道総研報告, Vol.16, No.7, pp.39-44, 2002
- 5) 山口浩二: 新幹線電気転てつ機監視モニター装置, 鉄道と電気技術, Vol.6, No.1, pp.39-41, 1995
- 6) 潮見俊輔: ジョーピン形軸力計, RRR, Vol.74, No.1, p.40, 2017
- 7) 潮見俊輔, 五十嵐義信, 押味良和, 原智昭: 発条転てつ機用モニタリング装置の開発, 鉄道総研報告, Vol.28, No.4, pp.11-16, 2014
- 8) Strainsall: Rail points load pins, <http://www.strainsall.com/products/load-pins/rail-points-load-pins/>