

転てつ装置の密着力・密着度が特異となる現象の解明

潮見 俊輔* 押味 良和* 佐藤 輝空**
 椿 健太郎* 高崎 建*

A Study of Anomalous Characteristics Exhibiting Between Fixing Force of Switch and Tongue Rail Opening Force

Shunsuke SHIOMI Yoshikazu OSHIMI Terutaka SATO
 Kentarou TSUBAKI Ken TAKASAKI

Tongue rail opening force of turnout is measured to indirectly estimate fixing force of turnout. Although the tongue rail opening force is known to be proportional to fixing force, it is also known that the proportional relationship sometimes does not hold. In that case, the non-proportionality sometimes leads misestimation of the fixing force, so that it induces a switch malfunction due to high fixing force. In order to solve this problem, we clarify mechanism and causes of the misestimation related to gap between rails. With results of field investigation, tests in a test bed and motion simulation using a flexible multibody model of switch, we developed maintenance methods and a measurement tool for avoiding the misestimation.

キーワード：密着度，密着力，接着，密着度測定器，胴付き，転てつ装置

1. はじめに

分岐器においてトングレーल等の可動部が基本レール等の固定部に接する状態や、一定以下のすき間がある状態を確保するため、転てつ装置はトングレール等を基本レール等に押しつける「密着力」を作用させている。密着力はジョーピン形軸力計等のセンサを使用することで測定できるが¹⁾²⁾³⁾、センサの取付や維持管理を必要とするため、定期的な実施される転てつ装置の検査ではこれらのセンサを用いず、トングレール等の先端を一定量開口させる力「密着度」(「先端開口力」とも呼ぶ)⁴⁾を確認することで、密着力の状態を管理している。密着度は密着力に対して概ね比例的な関係を示すといわれている。

密着度による密着力の管理は、経験的知見に基づいて定められた管理値や、検査者の体感によって行われる。多くの設備ではこの方法により密着力を適正な状態に管理する事が可能である。しかし、一部において密着力の状態が適正でありながらも密着度が基準値を超過する場合や、密着度の調整基準値内に調整すると密着力が過大となる場合など、密着力に対する密着度の特性が特異な傾向を示す現象や設備が確認されており、設備管理上の課題となっている。

本報では上記の課題に対して、設備の種類や状態が異なる設備に対する実験的な調査と解析を行い、特異傾向

や測定結果のばらつきを示す設備や調整状態、測定方法とその原因を特定したので報告する。また、特異傾向やばらつきが生じにくい密着度の検査方法について述べる。

なお、密着度は可動クロッシングのノーズレールやウイングレール等の普通分岐器のポイント以外の箇所でも検査が行われるが、本稿では記述が煩雑となることを避けるため、レールの可動部を「トングレール」、レールの固定部を「基本レール」と総称する。

2. 密着力と密着度

2.1 密着力と密着度

密着力は、分岐器の密着や接着の確保を目的として、転てつ装置が転てつ棒を介してトングレールを基本レールに対して接着させる方向に作用させる力である。密着力はこの目的を達成するため、経験的には関節分岐器で1kN程度の力が作用するように調整される。強い密着力を設定すると、電気転てつ機の転換力を超過することによる転換不能の発生や、転てつ付属装置の各部材に高い応力が作用し耐久性を低下させるおそれがある。そのため、密着力は適正な状態に管理することが重要である。

密着力は、これが作用するスイッチアジャスタやジョーピン等の部材のひずみ等から観測可能であるが、専用の測定器を常設する必要がある。そのため、通常の検査では経験的に密着力に対して比例的に増加すると言われている。トングレールの先端開口力により密着力の状態を確認する。トングレールの先端を一定幅開口させた際の先端開口力は、一般に「密着度」と呼ばれている

* 信号・情報技術研究部 信号システム研究室

** 信号・情報技術研究部 信号システム研究室 (現 東日本旅客鉄道株式会社)

(図1)。密着度の検査は、スパナ等の工具で先端を開口させた際の体感で評価する方法と、密着度を数値として表示する「密着度測定器」を用いる方法がある。

2.2 密着度の測定方法と現状の課題

密着度測定器を用いた測定方法の事例を図2に示す。密着度測定器により先端を開口させる作業員Aと、規定の開口量に達したことを確認するための鉄片(厚さ0.5mmまたは1.0mm)を扱う作業員Bの2名1組で実施する。作業員Aがトングレール先端を開口させながら、作業員Bが先端開口量の確認を行い、所定の開口量に達した際に作業員Aが読み取った密着度測定器の指示値を密着度として記録する。開口量は関節分岐器で1.0mm、弾性分岐器で0.5mmとすることが一般的である。密着度の調整範囲は鉄道事業者や分岐器の種類により異なるが、上限を2.0kN~2.7kN程度に定めることが多い。

密着度測定を実施している保守会社の複数の拠点に対して実施したアンケートにおいて、密着度の検査や調整において困難に感じる点について得られた回答を表1に示す。密着度の測定結果が測定方法、測定者、測定場所や季節により影響を受けることや、脱線防止ガード等との物理的な干渉により測定が困難な場合があること、およびトングレールの接着状態が確保できない分岐器の存在等が課題であるとしている。

また、密着度をある値に設定した場合に、想定されている密着力に対して過小または過大になる分岐器が存在することが経験的に知られており、保守調整上の課題となっていた。

以上より、概ね比例的関係にあると理解されている密着力と密着度の関係について、一部の設備で特異な傾向を示すことと、測定方法等が測定結果へ影響する場合があることが課題となっていることがわかる。

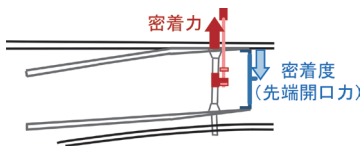


図1 密着力と密着度

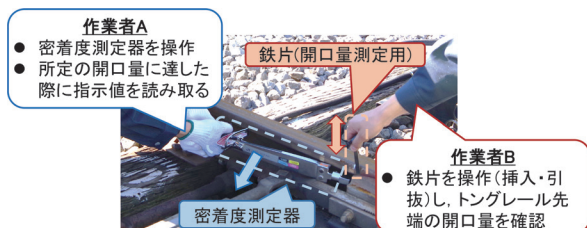


図2 密着度測定器を用いた測定

3. 現地測定、実験による調査

密着度測定、および密着度による密着力の管理における課題についての実態を把握するため、現地測定および実験による調査を実施した。

3.1 調査方法

現地測定による調査は、表2に示す分岐器を対象に実施した。密着力は、電気転てつ機の動作かんとスイッチアジャスタを接続するジョーピンをジョーピン形軸力計に交換して測定した。密着度は、鉄道事業者が用いるものと同型の密着度測定器を用いて測定した。1箇所の方岐器で定位、反位の両開通方向について、それぞれ密着力に対する密着度の変化傾向(以下、密着力・密着度特性)を、スイッチアジャスタのナットを調整して得た。また、トングレールと基本レールの接着状態等の設備の状態についても測定、記録を行っている。なお、測定前にトングレール先端部が開口している箇所については、初期状態からの相対的な開口量が0.5mmないし1.0mmとなるように鉄片の厚さを調整して測定を行った。

また、鉄道総研所内の50N関節片開き分岐器では、トングレールと基本レールの接着状態を変更した際の密着力・密着度特性の違い、および密着度の測定方法(測定者や開口量測定用鉄片の扱い、鉄片の挿入位置、密着度測定器の挿入角度等)に関する試験を実施した。

3.2 分岐器の種類、線形等の影響

現地測定の結果として、図3に関節分岐器と弾性分岐器の密着力・密着度特性の調査結果を示す。特に関節分岐器では、測定結果全体での密着力・密着度特性のばらつきが大きく、両者は比例関係にあるとは言いがたい。しかし、個別の方岐器の結果(分岐器A~E)に注目すると、各分岐器の密着度は密着力に対して比例的に増加する傾向にあることがわかる。また、分岐器毎に密着力に対する密着度の増加率や、1次近似線のy軸との交点

表1 密着度測定に関するアンケート調査(抄)

使用測定器等と課題 (N=19, 複数回答可)	A社製	B社製	C社製	スパナ等
	19	0	1	9
検査・調整における 困難な点(自由回答)	・測定者やフロントロッドの状態で誤差が生じやすい。 ・脱線防止ガードがある箇所は検査が難しい ・2人一組で作業を行わなければならない ・鉄片の挿入方法や挿入位置によって値が変わる ・規定値内に納めようとすると、トングレール先端の密着が確保されない場合がある			

表2 現地調査対象

(基)	関節・滑節分岐器				弾性分岐器		側線用 分岐器	特殊 分岐器	合計
	30k	37k	40N	50N	50N	60k			
片開分岐器	1	4	14	21	15	9	1	1	92
両開分岐器	0	0	2	4	5	0	0		
振分岐器	0	1	3	4	2	2	0		
内方分岐器	0	0	0	1	0	0	0		
外方分岐器	0	0	2	0	0	0	0		

(切片)に違いがあることが認められる。

次に、関節分岐器の調査結果について、分岐器の線形、番数、およびレールの種類、転換鎖錠装置の構成で分類した結果を図4に示す。分岐器の線形や番数、レールの種類に関する傾向は認められない。

一方、転換鎖錠装置の構成については、16番片開き分岐器で用いられる直角クランク2個を用いて後端側の第2スイッチアジャスタを操作する構成において、高い密着力が観測された。図5に高番数用転換鎖錠装置の構成と第2スイッチアジャスタの密着力の伝達について示す。図5(a)に示す直角クランク2個で構成される転換鎖錠装置は、電気転てつ機と第2スイッチアジャスタの間に密着力を保持する機能を持つ機構がない。そのため、動作かんには第1スイッチアジャスタの密着力と第2スイッチアジャスタの密着力の合力が作用する。これにより、16番分岐器用の転換鎖錠装置のみ特異な傾向が表れたと判断できる。第2スイッチアジャスタの密着力の測定結果から算出した、第1スイッチアジャスタの密着力と密着度の特性は、図4(d)に示す通り他の転換鎖錠装置の構成とほぼ同様の傾向であった。

なお、図5(b)に示すエスケープクランクを用いる

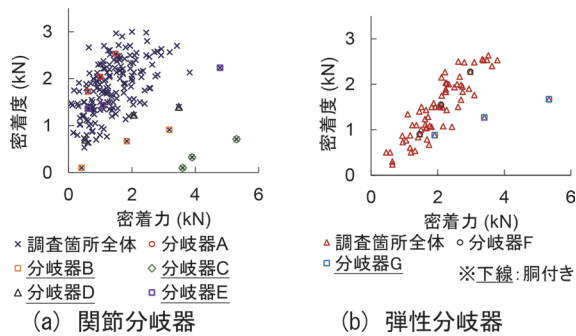


図3 現地測定結果 (密着力・密着度特性)

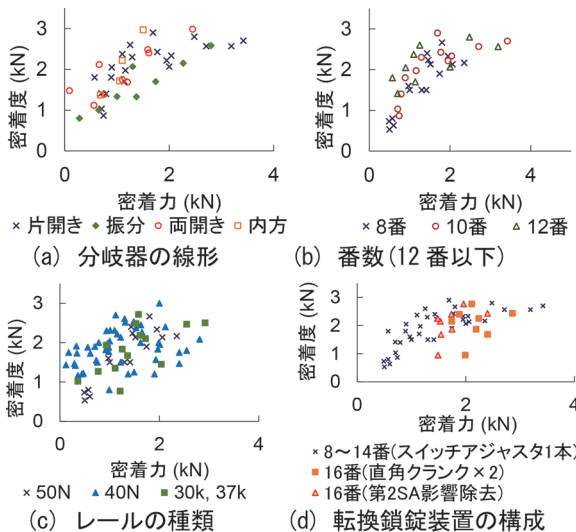


図4 分岐器の種類等と密着力・密着度特性

構成では、エスケープクランクで第2スイッチアジャスタの密着力を支持するため上記のような影響はない。

3.3 接着状態の影響

トングレールの接着状態をフロントロッドにて調整し、トングレールの先端から転てつ棒位置にかけて基本レールに接着している状態(接着良好)と、転てつ棒の後端(先端から0.82m)地点で基本レールとトングレールが接しているものの先端側は基本レールに対してすき間を生じている状態(胴付き)の2種類の状態で密着力・密着度特性を測定した結果を図6に示す。胴付き状態の場合、接着良好な場合と比べて密着力の増加に対する密着度の増加の割合が小さい傾向を示すことがわかる。

この傾向は、図3に示した関節分岐器と弾性分岐器の測定結果においても同様である。胴付きの分岐器(B~E, G)における密着力の増加に対する密着度の増加の割合は、接着が良好な分岐器(A, F)と比べて小さいことがわかる。

関節分岐器の密着力・密着度特性の線形近似線の傾きと切片について、接着状態ごとに平均値、中央値、標準偏差sを算出した結果を表3に示す。傾きについて箇所毎のばらつきが認められるものの、接着状態ごとの中央値に注目すると、転てつ棒より後端側で接触する胴付きの箇所では、他の接着状態と比べて傾きが小さく、前述

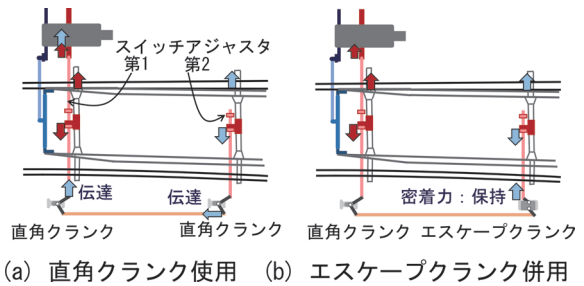


図5 高番数用転換鎖錠装置の一例と密着力

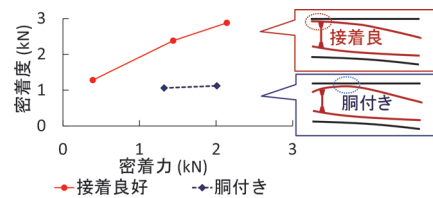


図6 トングレールの接着状態と密着力・密着度特性

表3 接着状態と密着力・密着度特性の線形近似線

	線形近似線の傾き			切片			母数 N
	平均値	中央値	σ	平均値	中央値	σ	
先付き	1.13	1.01	0.61	0.66	0.75	0.6	34
接着良好	0.91	0.83	0.43	0.5	0.46	0.58	13
胴付き (転てつ棒より 前側で接触)	0.7	0.69	0.22	0.85	0.85	0.52	4
胴付き (後端側で接触)	0.36	0.33	0.09	0.43	0.63	0.88	5

の実験結果や試験結果における定性的な特性とも一致することがわかる。

一方、切片については接着状態による有意な差は認められず、構造の影響とも言いがたい。分岐器の構造や接着状態とは異なる要因が影響していると考えられる。

3.4 密着度の測定方法の影響

密着度の測定は2.2節に述べた通り、トングレール先端部を開口させて、鉄片の挿入または予め挿入した鉄片の引き抜きにより所定の開口量に到達したことを確認して指示値を読み取る方法が取られている。しかし、現地調査およびアンケート調査より、密着度の測定方法が測定結果に影響している可能性が示された。そこで、同一の分岐器で検査作業や測定方法の条件を変え、特定のパラメータを変化させたときの密着度の測定結果への影響について実験的に検討を行った。

図7は密着度測定器および鉄片の操作を行う作業員による影響について、同一の分岐器で鉄道総研職員A～Eがそれぞれ測定を実施した結果を示す。図7(a)の密着度測定器の操作者を変更した場合の密着度の差は概ね0.4kN以内、また特定の操作者での測定毎のばらつきは0.2kN以内に留まった。一方、図7(b)の鉄片の操作者を変更した場合の密着度の差は、最大1.0kNである一方、操作者個々のばらつきについては最大0.4kNであったが、概ね0.2kN以内であった。このことより、開口量を確認するための鉄片の操作において、作業員の違いが測定結果に有意に表れ、同程度の密着力に対して1.0kN程度の差を生じることを確認した。

鉄片の挿入位置による密着度の影響を図8(a)に、

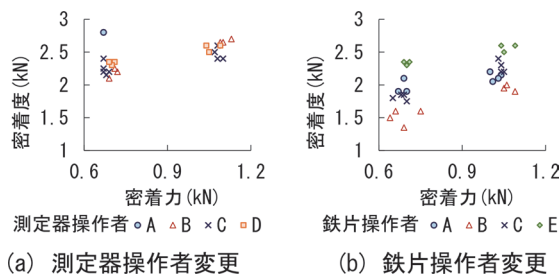


図7 測定作業員による測定結果への影響

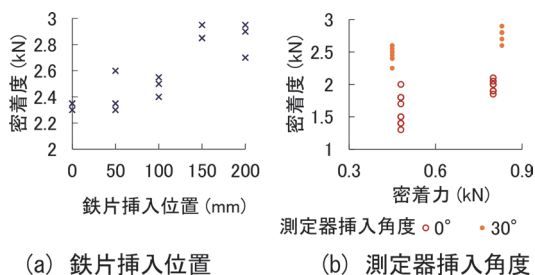


図8 密着度の測定方法の測定結果への影響

測定器の挿入角度による密着度の影響を図8(b)に示す。いずれも測定者を同一として実施したが、鉄片の挿入位置を後端側にする、または密着度測定器をレールに対して斜めに挿入することで密着度の測定値が高く出力される傾向が得られた。前者はトングレール先端から200mm後端側に挿入した場合に0.5kN程度、後者は密着度測定器をレールに対して30°傾けて挿入した場合に0.7kN程度密着度が増加する傾向が得られた。

以上により、密着度検査における具体的な測定方法を明文化して、統一することの必要性が確認された。

4. 接着状態が密着度に与える影響とその原因

3.2節で実験的に示された、特定の接着状態（胴付き）において密着力・密着度特性が特異になる現象について、鉄道総研で開発した転てつ装置の運動シミュレータ⁵⁾を使用した解析を行い、原因の推定と同様の現象が発生する条件の特定を行った。

4.1 密着力・密着度の発生機序とモデル化

トングレールと基本レールの間で相互に押しつける際に発生する密着力およびトングレール先端を開口させた際に先端部で観測される密着度と、トングレールや転てつ装置に作用する力の関係を図9に示す。(a)レール端部の拘束力、(b)レールの弾性力、(c)スイッチアジャスタ等の弾性力は密着力に影響する。また、トングレール先端の開口に伴う密着度は、転てつ棒位置に作用する密着力のほか、(d)の開口に伴うレール内力（開口量やレールの弾性特性、接着状態の影響）、(e)レールと床板との間の摩擦力が影響すると考えられる。

トングレールが中間部で接しない条件では梁の静的な弾性変形の問題として扱うことが可能である⁶⁾。しかし、静的な梁の変形として扱う事が困難な、トングレールと基本レールの接触点や接触力が動的に変化する場合も胴付き等の条件で存在しうるため、転換動作や先端開口に伴う接触点や接触力を逐次計算可能な転てつ装置・分岐器のマルチボディ運動解析モデル（図10）を用いて、

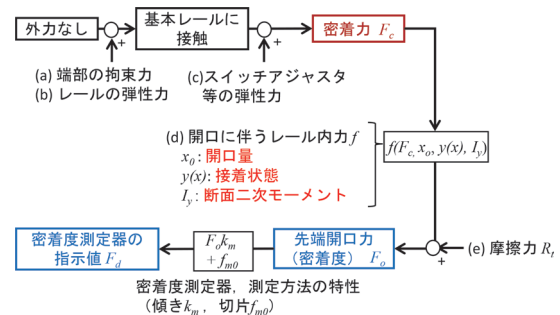


図9 密着力、密着度とその影響因子

転換動作と先端開口の動作を行った際の運動解析を行うこととした。

解析は、50N レールの関節片開き分岐器（左分岐器、8番、トングレール長 4.9m）を想定したパラメータを適用した。転換動作を行ったのち密着度測定を行うために分岐器を転換するとき、トングレール先端を 1mm 開口させるまでのレールの変形をそれぞれ解析し、このときにスイッチアジャスタとトングレール先端に作用する力からそれぞれ密着力と密着度を算出した。

4.2 解析結果（接着状態の影響）

転換完了時のトングレールと基本レールの接着状態について、通常の接着状態に相当する条件として接触点をトングレール先端部に設けた場合と、胴付きに相当する条件として転てつ棒より後端（先端から 0.6m）に接触点を設けた場合の 2 通りについてそれぞれ解析を行った。図 11 (a) に密着力・密着度特性に関する結果を、図 11 (b) に先端開口時のトングレール-基本レール間のすき間の大きさを示す。

転てつ棒より後端側で接触する胴付きの解析結果では、同種分岐器の実測結果と同様に密着力に対する密着度の増加率が低いことがわかる。通常の接着状態の場合は、密着度測定に伴いトングレール先端を開口させた際にトングレールと基本レールが接しないため密着力が全て開口部に作用する。一方、転てつ棒より後端で接する胴付きの場合は、先端開口時にも基本レールとトングレールが接する場所があるため、転てつ棒を介して作用する密着力が先端部と接触点の 2 点で分散支持される。そのため、胴付きの場合は密着力を増加させても密着度への影響が小さくなる。以上により、胴付きの分岐器においては他の接着状態と異なる密着力・密着度特性を示し、

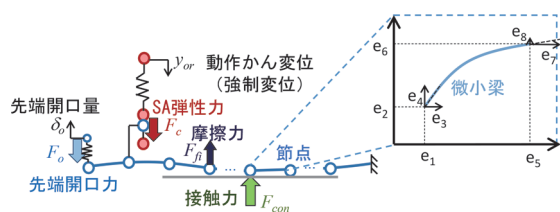


図 10 転てつ装置、分岐器の運動解析モデル

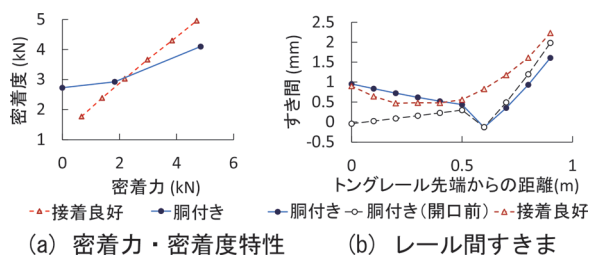


図 11 解析結果（接着状態の影響）

密着力に対する密着度の値が小さくなると考えられる。

4.3 解析結果（断面二次モーメントの影響）

密着力-密着度特性に対して接着状態以外に影響を及ぼしうる分岐器の構造や状態として、トングレールの横方向の断面二次モーメントの影響についてそれぞれ解析を行った。断面二次モーメントを 50N レールの関節分岐器に用いる 70S レールに対して、0.25 倍、0.5 倍、2 倍にそれぞれ変化させた際の密着力・密着度特性の結果を図 12 (a) に、先端開口時のトングレールと基本レール間のすきまを図 12 (b) に示す。

接着が良好な分岐器において断面二次モーメント I_x を 2 倍にした場合は概ね 70S レールと同様の増加傾向を示す一方、0.25 倍や 0.5 倍にした場合には密着力に対する密着度の増加率が低く、胴付きの分岐器に近い傾向を示した。このときのトングレールの変形に注目すると、後者の分岐器は転てつ棒より後端側に接触点があり、胴付きに近い状態であった。このように、断面二次モーメントが小さい分岐器、例えばトングレールが 1 本のみの特殊分岐器等では、密着力・密着度特性が通常の分岐器とは異なる可能性があることに留意が必要といえる。

なお、37kg レールと 60kg レールの分岐器に用いるトングレールの断面二次モーメントは、今回の解析で基準とした値のそれぞれ 71%、214% である。したがって、本解析の結果は普通分岐器においてレールの種類の影響が認められない現地調査の結果に対しても矛盾しない。

5. 密着度の調整、測定方法の提案

密着度測定器を用いた密着度の管理の手順や内容は、鉄道事業者が定めている保守マニュアルに沿って実施されている。一般的には、良否を判断するための密着度の基準値と使用する調整用鉄片の厚さについて、弾性分岐器と関節分岐器でそれぞれ規定されていることが多い。

本研究により、密着力・密着度特性が分岐器の番数や線形、レールの種類による影響を受けにくいことが確認された。一方で現行のマニュアルに定められていない、胴付きなどのトングレールの接着状態や密着度測定器の種類、開口量測定用鉄片の挿入位置等が密着度の測定結

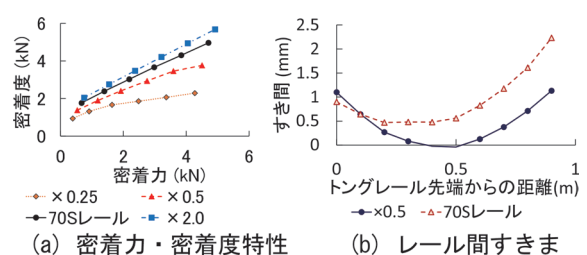


図 12 解析結果（断面二次モーメントの影響）

果に影響を与えることが確認された。

表4に本研究で得られた知見を反映した検査方法のイメージを、図13に調整作業のフローを示す。胴付き状態の分岐器で生じる過大な密着力を防止するために、密着度測定の前段階にトンゲール先端部の接着状態の確認を追加している。また、密着度測定における結果のばらつきを抑制するために、これまで検査者によって異なっていた可能性のある密着度測定器の挿入方法、鉄片の挿入位置、検査機器等の測定方法を具体的に示すことを提案している。

ちなみに、トンゲールの先端開口量に関して、測定前から開口が認められる箇所では、従来の0.5mmないし1.0mmの鉄片を用いる方法では相対的な開口量が小さくなるため密着度が小さくなることが知られている。本調査では、初期の開口状態に係わらず相対的な開口量を関節分岐器1.0mm、弾性分岐器0.5mmとすることで、初期の先端開口の大小に係わらず概ね同様の密着力・密着度特性が得られている。これを踏まえて、表4では密着度測定時の開口量を絶対値から相対値に変更している。

加えて、密着度測定の補助機器として、開口量に関わる鉄片操作の個人差や相対的開口量の測定等に対応した「開口量表示器」の試作を実施した(図14)。鉄片を扱う必要がなく、所定の開口量への到達を表示や音により通知する機能を有するため、密着度測定作業の省人化が期待できる。

なお、実際の密着度検査においては、分岐器等の構造によって密着度測定器が挿入できない場合や、密着度測定器が水平に挿入できない場合がある。また、胴付きの改善は施設側との協力が必要であるため、検査を行った時点では胴付きの状態のままで暫定的な良否判断を行う



図14 開口量表示器(プロトタイプ)

必要があると想定される。このような場合は、スイッチアジャスタのロッドを揺するなどしたときの体感から密着力の大小を判断するような方法も併用して、総合的に状態を判断することが重要である。

6. まとめ

本稿では、転てつ装置の検査項目である密着度と管理対象の密着力を対象として、実験および解析結果に基づき、両者の特性が接着状態(胴付き)により特異な傾向を示す現象と、測定方法に起因する検査結果のばらつきの実態とその原理を示した。また、上記を防止するための検査、調整方法を提案した。本稿で示した知見や提案が、転てつ装置の適正な維持管理の一助になる事を切に願う。

謝辞

本研究における現地調査の実施にあたり、北海道旅客鉄道株式会社、東日本旅客鉄道株式会社、九州旅客鉄道株式会社の関係者には多大なご協力をいただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

文献

- 1) 潮見俊輔：研究開発 七つ道具 ジョーピン形軸力計, RRR, Vol.74, No.1, p.40, 2017
- 2) 潮見俊輔ほか：発条転てつ機の転換負荷の状態監視方法, 鉄道総研報告, Vol.25, No.5, pp.23-28, 2011
- 3) 佐々木正孝ほか：NS形電気転てつ機モニタリングの基礎開発, JR East Technical Review, No.62, pp.57-60, 2019
- 4) 五十嵐義信：用語解説トンゲール先端開口力, 鉄道と電気技術, Vol.25, No.8, p.70, 2014
- 5) 潮見俊輔ほか：分岐器および転てつ装置の異物検知機能の解析, 日本機械学会論文集, Vol.84, No.681, p.17-00568, 2018
- 6) 潮見俊輔ほか：分岐器先端開口力に対するレールの接触状態の影響に関する解析, 第29回交通・物流部門大会論文集, No.1101, 2020

表4 密着度検査方法(現状と提案)

検査内容(赤字下線部:本稿での提案)
● 密着度は以下の基準値とする。 【関節分岐器】密着度は先端1mm開口時に○~△kN 【弾性分岐器】密着度は先端0.5mm開口時に□~×kN
● <u>先端が開口している箇所については、その開口量に0.5または1.0mmを加えた開口量で測定すること。</u>
● <u>鉄片挿入位置はトンゲール先端とすること。</u>
● <u>鉄片を予め挿入して、引き抜くときの密着度を読み取ること。</u>
● <u>密着度測定器は○社(型番)を用いること。</u>
● <u>密着度測定器は極力レールに対して水平に扱うこと。</u>

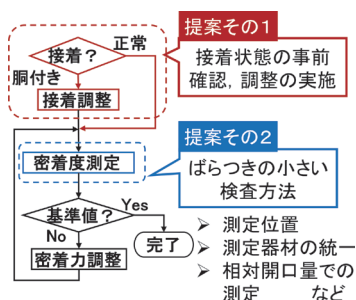


図13 密着度調整作業のフロー(黒:既存のフロー)