

密着度を指標とした転てつ装置の密着力管理に関する検討

(分岐器及び転てつ装置の構造，調整状態の影響)

○ [機] 潮見 俊輔 [機] 押味 良和

佐藤 輝空 椿 健太郎 (鉄道総合技術研究所)

A study on fixing force management of switching equipment by opening force as index

(effects of the structures and condition of turnouts and switching equipment)

○Shunsuke Shiomi, Yoshikazu Oshimi,

Terutaka Satou, Kentaro Tsubaki, (Railway Technical Research Institute)

Opening force of toe of tongue rails is used for indirect measurement of fixing force between a tongue rails and a stock rail. However, it has been known that opening force at some turnouts has different characteristics against fixing force, and it is one of problems for management of fixing force by opening force as index. For solving this problem, we studied effects of structures and condition of turnout and switching equipment against opening force and fixing force characteristics by measurements and simulations, and the different characteristics is confirmed on the turnout with closure point is available behind of an operation rod.

キーワード: 密着力, 密着度, 転てつ装置, 分岐器, 接着

Key Words: Fixing force, Opening force, Switching equipment, Turnout, Closure of rails

1. はじめに

分岐器のトングレール等の可動部が基本レール等の固定部にすき間なく接する状態(密着), および一定以下のすきまにある状態(接着)を確保するため, 転てつ装置は可動部を固定部に押しつける方向に密着力と呼ぶ力を作用させている. スイッチアジャスタを通じて転てつ棒に作用させる密着力は, 転てつ棒やジョーピンなどのひずみから測定できるが, センサの常設や交換を伴う. そのため, 通常の保守調整では, トングレールの先端を一定量開口させたときの力である密着度(先端開口力)の測定により間接的に密着力を管理している. しかし, 一部の分岐器において, 密着力が適正な状態と推定されるにも関わらず, 密着度が他の分岐器と異なる傾向を示す事がある.

本研究では, 密着度を指標とした密着力の管理において課題となる, 密着力に対する密着度の特性が特異になる条件について実験と解析の両面から検討を行った. 本報では, 特性が特異となる条件のうち, 分岐器や転てつ装置の構造, 接着等の調整状態の影響について報告する.

2. 密着力-密着度特性の調査

2.1 調査方法

分岐器や転てつ装置の種類や調整状態が密着力-密着度特性に与える影響について, 表1に示す各種分岐器を対象に調査を実施した. 各箇所において, ジョーピン形軸力計¹⁾を用いて測定した電気転てつ機の動作かんに作用する力を密着力として, 密着度測定器によりトングレール先端を所定量開口させたときの指示値を密着度として測定した. 併せて, トングレールと基本レールの接着状態についても記録した. 検査における密着度測定では通常, トングレールと基本レールのすき間に一定厚さ t_m (関節分岐器 1.0mm, 弾性分岐器 0.5mm) の鉄片が挿入されるとき

表1 密着力-密着度特性 調査対象分岐器

(基)		片開 分岐器	両開 分岐器	振分 分岐器	内方 分岐器	外方 分岐器
関節・滑節 分岐器	30k	1	0	0	0	0
	37k	4	0	1	0	0
	40N	14	2	2	0	2
	50N	15	4	1	1	0
弾性分岐器	50N	10	3	2	0	0
	60k	4	0	1	0	0
側線用分岐器		1	0	0	0	0
合計		68				

値を測定する。本研究では、密着度測定前にトングレール先端部にすき間 t_0 がある場合の結果についても同様に扱うために、初期の開口状態から一定の開口量 t_m を加えた、開口量 $t_0 + t_m$ のときの測定器の値を密着度として記録した。

2.2 調査結果

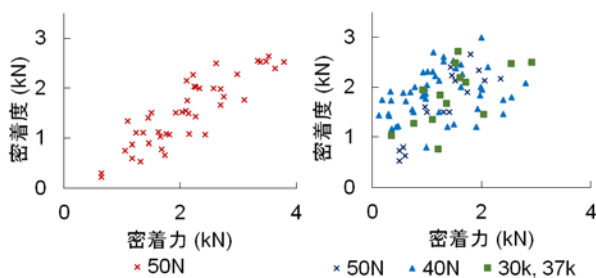
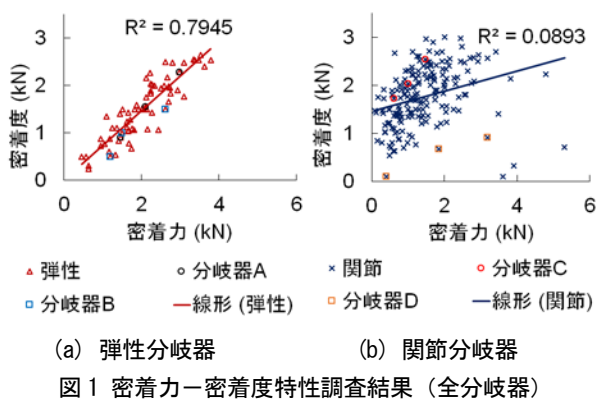
関節分岐器と弾性分岐器のそれぞれについて、図1に全箇所の測定結果を示す。弾性分岐器（測定回数 $N=68$ 、定圧スイッチアジャスタ使用箇所除く）は、密着力と密着度の相関が高く（ $R^2=0.79$ ）、密着力に対して密着度は概ね比例関係にある。一方、関節分岐器（ $N=184$ ）では密着力と密着度の相関が低い（ $R^2=0.09$ ）。しかし、個々の分岐器の密着力-密着度特性に注目すると、それぞれは概ね線形性を有している。しかし、近似線の傾きや切片が異なるために、関節分岐器としてまとめて分類した場合に密着力と密着度の相関が低くなったと考えられる。

分岐器による測定結果の差異は、分岐器や転てつ装置の構成、調整状態、密着度測定の方法などが影響していると考えられる。本稿では、分岐器等の構造や調整状態に注目し、これらが密着力-密着度特性に与える影響について検討を行った。

2.3 分岐器のレール種類、番数、線形の影響

測定結果について、レールの種類、番数、線形ごとの傾向を整理した。図2に同一品形（弾性分岐器片開き8番、関節分岐器片開き8番）でトングレールの接着状態が良好な分岐器についての、レールの種類毎の測定結果を示す。図3(a)に50N レール関節片開き分岐器の番数毎の結果を、図3(b)に50N レール関節分岐器の線形毎の結果を示す。

レールの種類による密着力-密着度特性について、30k および 37k レールの分岐器（4 箇所）や 40N レールの関節



分岐器（10 箇所）は箇所毎のばらつきが大きい一方、50N レールの結果は、弾性分岐器（5 箇所）、関節分岐器（3 箇所）共に 37k レールや 40N レールに比べて箇所毎のばらつきが小さい。また、分岐器の線形や番数は密着力-密着度特性に影響しない場合が多いが、転てつ装置の構成が異なる 16 番分岐器については他の品形と異なり、密着度に比して密着力が高い傾向を示した。

以上より、レールの種類や転てつ装置の構成は密着力-密着度特性に影響を与えるが、分岐器の番数や線形は特性に対する影響が小さいと考えられる。

2.4 転てつ装置の構成の影響

在来線用の 16 番片開き分岐器の転換鎖錠装置の構成を図4に示す。調査を実施した箇所（図3(a)の16 番分岐器）は、先端側の第1スイッチアジャスタロッドに直角クランク2個と信号リンクを介して、後端側の第2スイッチアジャスタに接続する構成（図4(a)）をとっている。この構成の場合、密着力を測定した動作かんには、第1、第2の両スイッチアジャスタの合力が作用する。そのため、当該箇所の傾向は他箇所とは異なり、密着力が高い傾向を示す。一方、ナット調整に伴う密着力の増加は第1スイッチアジャスタに対して作用するため、密着力に対する密着度の増加率は、他箇所と同様の傾向を示す。

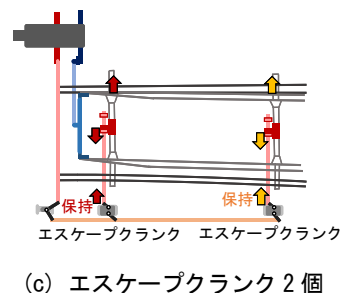
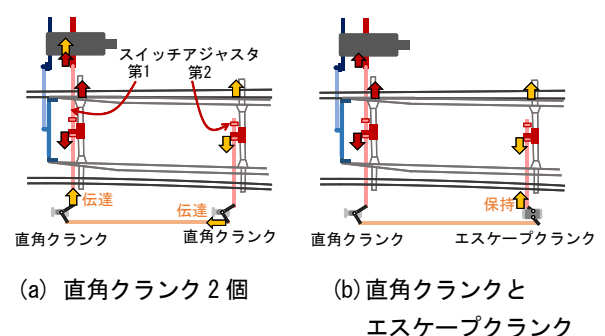
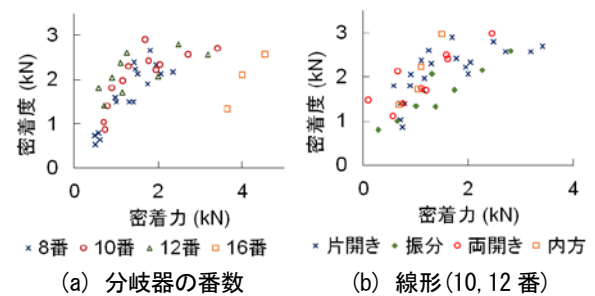


図4 在来線高番数分岐器用転てつ装置の構成

図 4(a)に示す直角クランク 2 個を用いる転てつ装置は、第 2 スイッチアジャスタの密着力が第 1 スイッチアジャスタのロッドにも作用する。一方、図 4(b)の後端側のみエスケープクランクを用いるタイプや、図 4(c)のエスケープクランク 2 個を用いるタイプではエスケープクランクで密着力を保持する。密着力はエスケープクランクより電気転てつ機側に伝わらないため、これらでは、動作かんで観測する密着力における第 2 スイッチアジャスタの影響はない。

このように、図 4(a)の転てつ装置の構成の場合はトングレー ルが基本レールに作用する力とスイッチアジャスタロッドや動作かんで観測する密着力が必ずしも一致しない。密着度に対する密着力の測定結果を扱う場合のほか、密着力の常時監視を行う際は留意が必要といえる。

2.5 接着状態の影響

トングレー ルと基本レールの間のすき間（接着）の状態について図 5 に示す「接着良好」「先付き」「胴付き」の 3 種類に分類した、40N 関節片開き 10 番分岐器における測定結果を図 6 に示す。また、同一分岐器において 3 者の状態をフロントロッドの離隔調整により作成した場合の試験結果を図 7 に示す。両者の結果より、「胴付き」の分岐器における密着度は、「先付き」および「良好な接着」の分岐器の同程度の密着力に対して小さく、密着力の増加に対する密着度の増加率は低い傾向が示された。

表 2 に接着状態と密着力-密着度特性の関係として、各箇所での測定結果から得られる線形近似線の傾きの平均値、中央値、標準偏差 σ を示す。箇所毎にばらつきが認められるものの、中央値に着目した場合、胴付きの分岐器では線形近似線の傾きが小さく、密着力が高い状態でも密着度が小さく得られる傾向にあることがわかる。

3. 密着力-密着度特性の特異条件の解析

2 章に述べた実地調査より、分岐器や転てつ装置の構造、調整状態に関して、レールの横方向の断面二次モーメント、

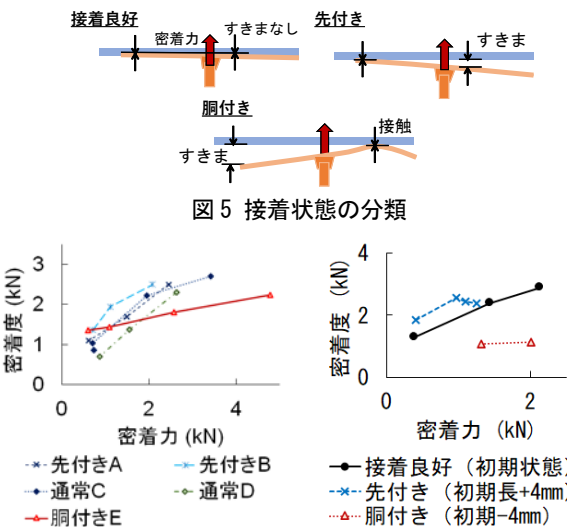


図 6 接着状態による密着力 密着度特性への影響

図 7 密着力密着度特性とフロントロッド離隔

高番数分岐器において直角クランクを用いた転てつ装置の構成、およびトングレー ルの接着状態が、密着力-密着度が特異となりうることを示された。このうち、レールの断面二次モーメントと接着状態について、トングレー ルの運動解析を行い、密着力-密着度とこれらのパラメータの関係について検討を行った。

3.1 解析方法、解析条件

密着力や密着度測定に伴う開口力によるトングレー ルの変形を、各部に力が作用する 1 本の梁の曲げの問題として図 8 に示す微小な梁をつなぎ合わせたマルチボディとしてモデル化した²⁾。微小梁をつなぎ節点にスイッチアジャスタによる密着力や、基本レールとの接触に対する反力、レールと床板の摩擦力、および密着度測定のためのトングレー ル先端の強制変位を与えている。シミュレーションは、トングレー ルと基本レールの初期形状とスイッチアジャスタロッドを含む各部材の諸元、スイッチアジャスタの調整量を入力として、①スイッチアジャスタの移動による密着力の作用、②密着力が作用した状態からの先端開口を 2 段階にわけて計算した。①により密着力が、②により密着度（先端開口力）が算出される。

解析条件を表 3 に示す。50N 関節分岐器片開き 8 番を想定した寸法等のパラメータを設定した。4.9m のトングレー ルは 0.1m 間隔に分割し、49 の梁要素の両端 50 節点に

表 2 密着力密着度特性と接着状態（線形近似線の傾き）

	線形近似線の傾き			
	平均値	中央値	σ	母数 N
接着良好	0.91	0.83	0.43	13
先付き	1.13	1.01	0.61	34
胴付き	0.36	0.33	0.09	5
胴付き (転てつ棒より 前側で接触)	0.7	0.69	0.22	4

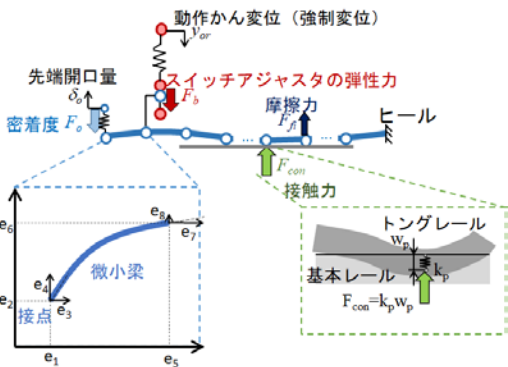


図 8 マルチボディを用いた密着力、密着度測定のモデル化

表 3 解析条件

パラメータ	単位	値
分岐器種類 (図面番号)	-	関節分岐器 (P50N片8-101)
レール長 l_0	(m)	4.9
転てつ棒位置 l_{SA}	(m)	0.45
レールの断面二次モーメント $I_y/2$	(cm ⁴)	200~322
ステップ時間	(μ s)	1.0
シミュレーション時間	(s)	2.2
梁要素数	(個)	49

ついて平面座標とたわみ曲線のベクトルを算出した。梁の断面二次モーメントは70S レールのトンダレール1本の値を2倍したものを適用した。密着度測定時の先端開口量は試験と同様に、密着した状態における先端開口量から1mm更に移動させた大きさとした。

3.2 解析結果（断面二次モーメントの影響）

トンダレール先端部が接着する先付きの分歧器に関して、レールの断面二次モーメント I_y を表3に示す初期設定値、および初期設定値の0.25倍、0.5倍、2.0倍に設定したときの密着力に対する密着度を算出した。結果を図9に示す。断面二次モーメントの影響は、2.4節に述べたレール種別に対する結果と同様に、断面二次モーメントが小さいトンダレールにおいて密着力に対する密着度の出力、およびその増加率が低い。一方、断面二次モーメントを2.0倍とした場合の密着力-密着度特性は、0.5倍に設定した場合に比べて初期設定値に対する違いは小さい。これらの結果は、50Nの分歧器に対する37kの分歧器の特性、および50N弾性分歧器に対する60k弾性分歧器の特性と矛盾しない。

3.3 解析結果（接着状態と接着位置の影響）

トンダレールの初期形状データとして、先端部が接する状態（先付き）と、先端部より0.5m、1.0m、2.0m地点でそれぞれ接する状態（胴付き）としたときの密着力-密着度特定の計算結果を図10に示す。先付きの結果と比べて、胴付きの各結果は何れも、密着力に対する密着度の増加率が小さい。また、基本レールとの接触位置が先端部に遠いほど、密着力に対して出力される密着度が高くなる傾向が得られた。このように、胴付きの場合の密着力-密着度特

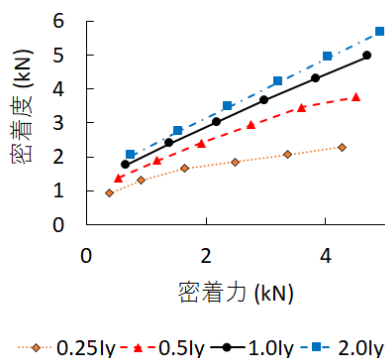


図9 解析結果（断面二次モーメントの影響）

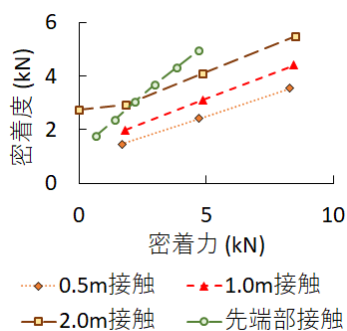


図10 解析結果（接着状態と接着位置の影響）

性は、接着位置により大きく影響を受けることから、密着度を用いて密着力の状態を管理する場合は、接着状態、特に胴付きとなっているか否かを確認することが重要といえる。

4. 密着度の保守方法に対する考察

以上の実地調査および解析結果から得られる、密着度による密着力の保守管理について留意すべき事項として、以下の3項目にまとめられる。

①密着度の値を基準に密着力を調整した場合、胴付きの箇所では過大になる可能性がある。

②30kや37kレールの分歧器、トンダレールが1本の特殊分歧器など、断面二次モーメントが小さいトンダレールを用いる箇所は、密着力に対する密着度の特性が他箇所と異なる。

③スイッチアジャスタが複数本ある高番数分歧器場合、複数箇所の密着力が作用するため、強度に関わるロッドに作用する力の大小は密着度からは特定できない。

密着度に基準値を定めて密着力を管理する場合、特に①に関しては、トンダレールの接着状態を確認して「胴付き」になっている状態にないことを確認した上で、密着度測定を行う事が必要といえる。また、②に関して、分歧器の設計によっては必要により基準値を別途定めることの必要性を示唆している。③に関しては、必要によりスイッチアジャスタのひずみ測定等の管理方法についても検討を行うことが望まれる。

5. おわりに

分歧器、転てつ装置に作用する密着力とその管理指標として用いられている密着度（先端開口力）について、特異な特性を示す、構造および調整状態に起因する3種類の条件を現地調査および運動解析により示した。密着度を用いた転てつ装置の管理に対して、本稿で得られた知見が活用できると幸いである。最後に、現地調査の実施にあたりご協力いただいた皆様に感謝申し上げます。

参 考 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, pp.40, 2017.
- 2) 潮見俊輔，押味良和，佐藤輝空，椿健太郎：分歧器先端開口力に対するレール接触状態の影響に関する解析，第29回 交通・物流部門大会(TRANSLOG2020) 講演論文集，日本機械学会，No.1101, 2020.