

分岐まくらぎに内蔵したレール転換装置の改良と性能確認試験

清水 紗希 安田 新太郎* 玉川 新悟
山本 智之 及川 祐也 (鉄道総研)

Improvement of Switching Device for Turnout Installed in Bearer and Performance Confirmation Test
Saki Shimizu, Shintaro Yasuda*, Shingo Tamagawa
Tomoyuki Yamamoto, Yuya Oikawa, (Railway Technical Research Institute)

So far, the authors have been developing a new switching device to further save labor and manpower for maintenance of turnouts. The new switching device under development is aimed to be capable of being built into a sleeper and controlling and monitoring a switch rail. We have solved problems found in the previous performance confirmation tests and designed an improved switching device that secures the necessary performance. However, results of its performance confirmation tests revealed that there were still problems such as waterproofness. Therefore, in this paper, we propose a switching device with further improved performance and function.

キーワード：鉄道，分岐器，転換装置，電動油圧アクチュエータ
(railway, turnout, switching device, electric and hydraulic actuator)

1. はじめに

鉄道の線路を二つ以上に分ける軌道構造を分岐器といい、トングレールを転換させることで列車の進行方向を切り替えることができる⁽¹⁾。現在、分岐器のトングレールの転換には、電気転てつ機が一般的に用いられている⁽²⁾ (図 1 参照)。電気転てつ機は、電気を動力としてモータでトングレールを転換し、転換後の状態を機械的に鎖錠したうえで、鎖錠や開通方向等の状態を照査する機能をもつ。国内で広く使用されている NS 形や TS 形⁽²⁾の電気転てつ機を採用した分岐器のポイント部では、まくらぎとまくらぎの間に設置された転てつ棒や控え棒が保線作業に支障するため、当該箇所ではバラストのつき固めが不十分となり、軌道の弱点箇所の一つとなる。また、分岐器の検査やトングレールの転換不能に伴う修復等の線路内作業には多大な労力を要しており⁽³⁾、将来の労働力不足への懸念もあるため、更なる分岐器の保守省力化・省人化が望まれている。

その実現のための方法の一つとして、筆者らは電気転てつ機に代わり、分岐まくらぎに内蔵したうえで、トングレールの制御とモニタリングを両立させた転換装置 (1 号機) と、これに防水性を付加した転換装置 (2 号機) を提案した⁽⁴⁾。2020 年には、転換装置 (2 号機) に対し性能確認試験を実施し、その結果明らかとなった構造の問題点 (3.1 節で後述) について報告した⁽⁵⁾。本稿では、問題点の解消を含め

て、実使用に必要な性能を有した転換装置を目標として実施した設計、製作の一連の検討結果を報告する。



図 1 電気転てつ機

2. 転換装置のコンセプトと基本構造

〈2・1〉 コンセプト 本研究で製作する転換装置のコンセプトを以下の通りとした。

- a) 分岐まくらぎに内蔵が可能
- b) トングレールの位置と転換力の制御およびモニタリングが可能
- c) 転換装置をユニットごと容易に取替が可能
- d) 既存の電気転てつ機と置き換えが可能
- e) 既存の電気転てつ機と同等以上の性能を有する
- f) 軌道構造としての要求性能を満足する

上記の a) は、分岐まくらぎ内に転換装置を内蔵することで、電気転てつ機で使用する転てつ棒を撤去し、バラストのつき固めを容易にすることを目的としており、加えて、既存の電気転てつ機のような軌間外側の設置スペースが不

要となる。b)は、トングレールと基本レールの隙間の検査の省力化や、転換不能の発生検知や事前防止を目的としている。c)は、現地での転換装置の検査を不要とする代わりに年に一度のオーバーホールを想定し、容易に取替が可能なことを目的としている。d)は、既設の分岐器への適用を可能とし、広い普及を図ったものである。e)は、既存の電気転てつ機が有するレールの転換力、連続動作に対する耐久性、防水性⁶⁾等について、同等以上の性能を確保し、所定の安全性を担保するものである。また、f)は、まくらぎの強度、レールの保持力等について軌道構造としての要求性能を確保し、所定の安全性を担保するものである。

将来的には、上記の a)~f)に加え、下記の項目を達成することを目標とする。

g) 転換装置を複数台設置し、多点制御が可能

上記の g)は、ポイント内に設置した複数台の転換装置がトングレールを自律的に最適な線形に保持することで、更なる分岐器の保守省力化・省人化と乗り心地の向上を目指したものである。

〈2・2〉 基本構造 図2に示す転換装置(2号機)⁶⁾を例にすると、転換装置は転換ユニットと制御箱で構成され、両者はケーブルで繋がっている。転換ユニットはまくらぎ凹部に設置し、制御箱は小屋等に設置する。

転換については、サーボモータにより油圧ポンプを稼働させ、油圧シリンダを動作させる機構とした。また、油圧シリンダは、図3に示すように、ロック時はシリンダチューブがピストンを締め付け、転換時はピストン内部からロック解除用の作動油が回り、シリンダチューブを拡張させた状態(ロック解除した状態)で、転換用の作動油でピストンを移動させる機構である。

トングレールと転換ユニットの接続部は、図4に示すように、転換ユニット側は油圧シリンダの先端を鉤形状とし、トングレール側に鉤がかかる顎部を設けた形状の治具を取り付け、転換する構造とした。転換する際、トングレール先端はトングレール後端の弾性部をたわませることにより円弧軌道で動く。電気転てつ機では転てつ棒が回転し、トングレール先端の動きに追随するが、油圧シリンダは回転させることができないため、油圧シリンダ先端と連結金具に

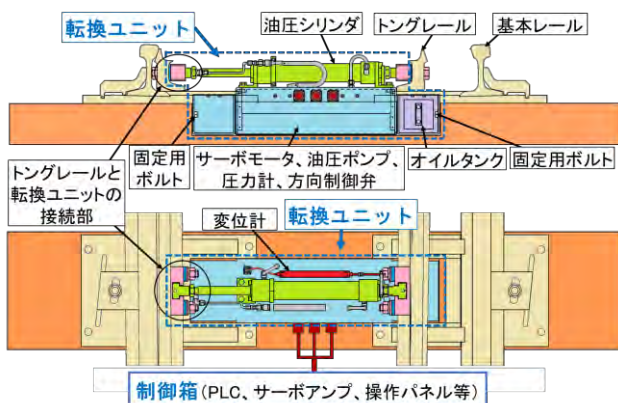


図2 まくらぎに内蔵した転換装置(2号機)⁶⁾

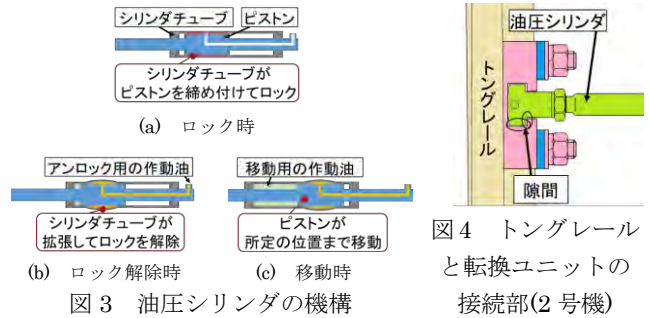


図3 油圧シリンダの機構

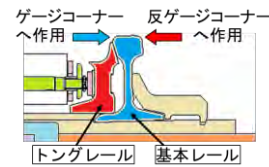


図5 作用する横圧

隙間を設け、この隙間でトングレール先端の動きを許容する構造とした。

トングレールの位置は、変位計により油圧シリンダのピストンの変位を測定、転換力は油圧から換算しており、トングレールの位置または転換力による転換の制御が可能である。

3. 設計条件と構造

〈3・1〉 設計条件 転換装置および軌道構造としての性能を有するため、また、性能確認試験⁶⁾で得られた問題点の解消のため、設計条件を以下の通りとした。

(1) 転換力 既存の電気転てつ機の最大転換力⁶⁾(5kN)と同等以上とする。

(2) 防水性 転換ユニットはまくらぎ凹部に設置するため、水はけの悪い道床への設置も想定し、まくらぎ上面まで浸水した場合でも転換動作に影響のない構造とする。転換装置(2号機)では転換ユニット内部へ浸水しても問題なく動作できるように、浸水により故障する電子機器は制御箱へ設置したが、約1カ月間の屋外での転換試験の結果、油圧機器が浸水により故障する事象が発生した⁶⁾。

(3) 使用温度範囲 電気転てつ機の環境条件⁶⁾から、転換装置の使用温度範囲を-20~60℃とする。

(4) トングレールのふく進に対応 転換ユニットとトングレールの接続部は、トングレールのふく進を考慮したものではなく、ふく進が生じた場合、油圧シリンダに力が作用し、故障する恐れがあった。そのため、トングレールのふく進(±15mm以上)に対応可能な構造とする。

(5) 列車荷重 図5に示すように、ゲージコーナーへ作用する横圧は基本レールが受け、反ゲージコーナーへ作用する横圧はトングレールが受けるものとする(図5参照)。鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造⁷⁾の12章分岐器類に基づき、トングレールへ作用する横圧は、75kN(静止論重)×0.2(変動横圧係数)×1.0(作用係数)=15kNとし、油圧シリンダはトングレールを保持できる性能を有するものとする。

(6) ケーブルの配線 転換装置 (2 号機) は制御箱に繋がる転換ユニットのケーブルを左右レール間に配置していたが、バラストのつき固め作業に支障しない位置に配置する。

(7) 転換ユニットの固定強化 転換装置 (2 号機) は固定用ボルトをまくらぎ長手方向に突っ張る構造で転換ユニットをまくらぎに固定していたが、転換試験では転換ユニットが変位する事象⁶⁾がみられたため、まくらぎへの固定を強化する。

(8) ボルトの緩み対策 転換装置 (2 号機) は転換試験の際にトングレールと転換ユニットの接続部のボルトに緩みが生じた⁶⁾ため、ボルトの緩み対策を施す。

〈3・2〉 構造 図 6 に転換装置 (3 号機) の構造を示す。基本構造は転換装置 (2 号機) と同様であるが、トングレールと転換ユニットの接続部は、図 7 に示すように、トングレールのふく進に対応するため、レール長手方向の隙間を大きくするとともに、ボルトの緩み対策用のナットを使用した。また、油圧シリンダは仕様値で最大転換力 5kN 以上、ロック時の保持力は 15kN 以上を確保し、列車荷重に対しトングレールを保持できる性能とした。制御箱に繋がる転換ユニットのケーブルは、まくらぎに溝を作り、まくらぎ長手方向へ配置する構造とした。使用温度に対しては、油圧オイルに低温用オイルを採用し、サーボモータ等使用温度範囲を満足しない機器類については、収納する油圧シリンダ下部機器箱内部に断熱シートを貼り付けることとした。また、転換ユニットの固定については、まくらぎにインサートを埋込み、ボルトで固定した。防水性については、油圧シリンダ下部機器箱を防水構造とし、油圧機器等一式を収納した。また、まくらぎ凹部底部に排水用の穴を設けた。

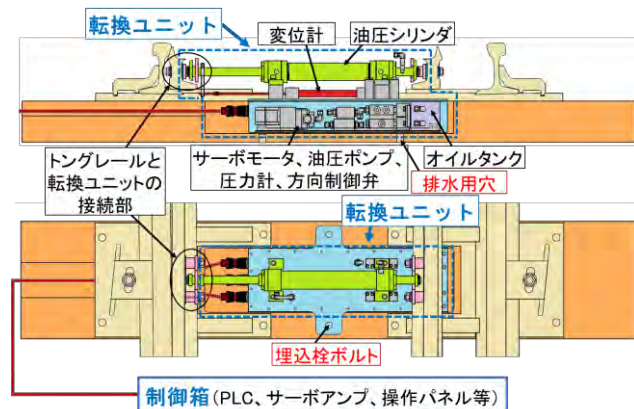


図 6 まくらぎに内蔵したレール転換装置 (3 号機)



図 7 トングレールと転換ユニットの接続部 (3 号機)

4. 性能確認試験

転換装置 (3 号機) に対して、使用温度範囲の確認試験、および防水性、連続動作に対する耐久性の確認試験を実施した。なお、まくらぎの強度については所定の強度を有することを別途確認⁶⁾しており、本稿では省略する。

〈4・1〉 高温・低温試験 JISE3019「鉄道信号保安部品の高温及び低温試験方法」⁹⁾の試験区分 5 種(-20~60℃)に準拠した試験を実施し、設定した使用環境に応じた温度での適正を確認することとした。

高温試験の概要は以下の通りである。

- 1) 常温常湿で転換装置の機能試験および外観観察を行う。
- 2) 転換装置を試験槽の中に置く。
- 3) 試験槽の温度が 60℃に達した後、その温度に 2 時間放置する。転換装置の電源は試験槽に置いてから 60℃に達するまでの間に投入する。
- 4) 60℃に保ったまま、最終の機能試験を行う。
- 5) 最終の外観観察を行う。常温常湿で行っても良い。

低温試験の概要も同様であるが、転換装置の電源については、最終の機能試験の直前に投入することとなっている。

試験の結果、転換装置は試験前後の機能試験、外観観察で異常のないことを確認した。

〈4・2〉 散水試験 防水性を確認するため、散水試験を実施した。試験の概要は以下の通りである。

- 1) 常温常湿で転換装置の機能試験および外観観察を行う。
- 2) まくらぎ中央上部から時雨量 200mm で水道水を散水する。まくらぎ上面まで滞水してから 1 時間経過後、散水を止める。なお、あえてまくらぎ底部の排水用の穴、ケーブル用の溝を塞ぎ、まくらぎ上面まで滞水させた (図 8(a) 参照)。
- 3) 転換装置の機能試験および外観観察を行う。また、転換装置を取り外し、防水構造とした機器箱内部への浸水の有無を確認する。

試験の結果、試験前後の機能試験で異常のないことを確認したが、防水構造とした機器箱内部において、制御箱と繋ぐケーブルの接続部付近で、微量ではあるが浸水していることを確認した (図 8(b)参照)。

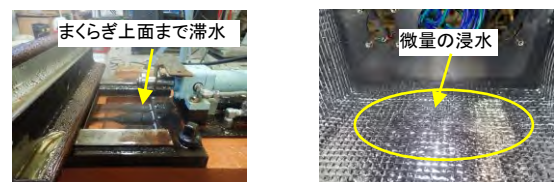


図 8 散水試験

〈4・3〉 連続転換試験 連続動作に対する耐久性を確認するため、屋外の試験用ポイントに転換装置を敷設し、連続転換試験を実施した (図 9(a)参照)。防水性については前節で機器箱内部への浸水が確認されたが、この試験の際はまくらぎ底部の穴により排水可能な状態とした。

試験の結果、油圧シリンダのロック解除の圧力計が故障

し、往復 2500 回程度で転換不可となった。機器箱内部に約 200ml の浸水がみられたこと、図 9(b)に示すように、圧力計のコネクタ内部に水が乾いた痕跡がみられたことから、雨水の浸水や結露等により故障した可能性が考えられる。また、転換動作の際、図 10 に示す転換ユニットが固定部を中心に回転してしまう事象と、図 11 に示すロッドが回転してしまう事象がみられた。



(a) 転換試験の様子 (b) 圧力計のコネクタ部

図 9 連続転換試験



図 10 転換ユニットの回転

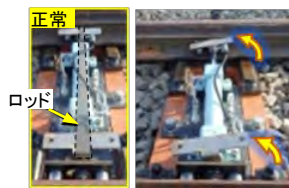


図 11 ロッドの回転

〈4・4〉 明らかになった問題点

前節までの試験により、明らかになった転換装置の問題点は以下の通りである。

- (1) 防水性 連続転換試験より、まくらぎ底部に排水用の穴を設けても機器箱への浸水があったことから、機器箱へは一切浸水をしないよう、防水性の強化が必要である。
- (2) 転換ユニットの固定方法 転換動作の際、転換ユニットが固定部を中心に回転してしまうことから、まくらぎへの固定強化が必要である。
- (3) ロッドの回転 転換動作の際、ロッドが回転してしまうことから、転換動作に支障する恐れがあり、回転を防ぐ構造にする必要がある。

5. 装置の改良

〈5・1〉 設計条件 3章の設計条件および前章で得られた問題点の解消に加えて、以下の設計条件を追加した。

(1) トングレールの変位測定 転換装置 (3 号機) では、トングレールの位置は油圧シリンダのピストンの変位で確認していた。この場合、油圧シリンダ先端とトングレール腹部間に雪等の異物が介在した際にトングレールの位置と当該変位が乖離する恐れがある。また、異物が介在しない状態では当該変位とトングレールの位置は等しくなることから、当該変位計の照査も兼ねて、より精度よくトングレールの位置を把握するため、転換ユニット～トングレールの変位を測定可能な構造とする。

(2) 予備の鎖錠機構 転換装置 (3 号機) では、油圧シリンダの鎖錠機構によりトングレールを保持していたが、既存の電気転てつ機が動作かんと鎖錠かんの並列鎖錠方式であることを踏まえ、油圧シリンダの鎖錠機構が故障

した場合に備えて 2 つの鎖錠機構を有する並列鎖錠方式の構造とする。

〈5・2〉 構造 図 12 に転換装置 (4 号機) の構造を示す。基本構造は転換装置 (3 号機) と同様であるが、転換ユニット～トングレールの変位計を追加した。また、鎖錠機構を追加し、並列鎖錠方式とした。油圧シリンダのロッドと追加した鎖錠機構のロッドを機械的に接続したことにより、ロッドの回転も抑制されるものと考えられる。転換ユニットのまくらぎへの固定は固定箇所を増やすことで強化した。機器箱の防水性は IP67 とし、浸水箇所と考えられるケーブルの接続部付近を含めて強化した。

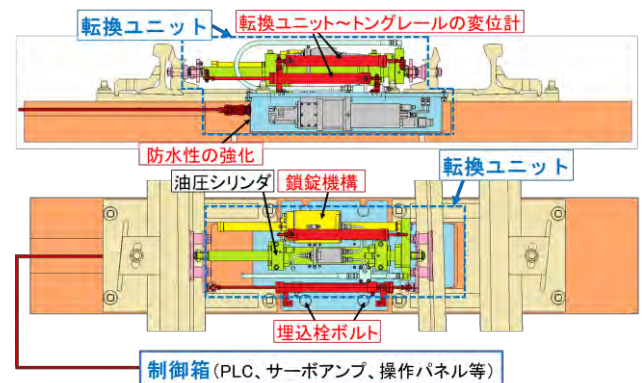


図 12 まくらぎに内蔵したレール転換装置 (4 号機)

6. おわりに

本稿では、実使用に必要な機能と性能を有した転換装置を目標として設計、製作、性能確認試験を実施し、試験で得られた問題点の解消および機能と性能を向上させた転換装置を提案した。今後は、製作した転換装置 (4 号機) の性能確認試験を行い、問題点の抽出を行うとともに、さらに機能と性能を向上させた転換装置の開発を行っていく予定である。

文 献

- (1) 及川祐也：「分岐器」, RRR, Vol. 73, No. 9, pp. 28-31 (2016)
- (2) 潮見俊輔：「電気転てつ機」, RRR, Vol. 76, No. 8, pp. 30-33 (2019)
- (3) 塩田勝利, 及川祐也, 潮見俊輔, 押見良和：「軌道材料および電気転てつ機のモニタリング情報を用いた分岐器の状態検知に関する基礎検討」, 第 21 回鉄道工学学会シンポジウム論文集, pp. 67-74 (2017)
- (4) 玉川新悟, 清水紗希, 及川祐也, 山本智之：「分岐まくらぎに内蔵したレール転換装置の開発」, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.76, No.2, pp.395-400(2020)
- (5) 山本智之, 玉川新悟, 安田新太郎, 塩田勝利, 中野哲弥：「レール転換装置の性能確認試験と問題点の抽出」, 第 28 回鉄道技術連合シンポジウム, P-S2-1-1 (2020)
- (6) 日本産業規格：「電気転てつ機」, 日本産業規格, JIS E3010(2021)
- (7) 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編：「鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造」, pp.192-193 (2012)
- (8) 山本智之, 玉川新悟, 中野哲弥：「転換装置内蔵分岐まくらぎの耐曲げ荷重試験と破壊に関する安全性の照査」, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-325(2021)
- (9) 日本産業規格：「鉄道信号保安部品の高温及び低温試験方法」, 日本産業規格, JIS E3019(2018)