

分岐器の転換負荷と転てつ装置の転換負荷トルクに関する一考察

堀 雄一郎* (JR 東日本)

Research for the relation between the throwing force of a switch and the throwing torque of a switch machine
Yuichiro Hori* (JR East)

The throwing force of switches must be maintained appropriately to avoid the switching failures. So far, it is impossible to measure the throwing force directly, but it is possible to measure the throwing torque by the ES type switch machine. So I studied about the relation between the throwing force of the switch and the throwing torque of the switch machine, as a basic examination.

キーワード：分岐器，電気転てつ機，転換力，転換負荷トルク，軌道変位，ボールベアリング床板，
(Switches, a switch machine, a throwing force, a throwing torque, track irregularities, ball bearing baseplates)

1. はじめに

鉄道線路用分岐器のトングレールを転換する際の負荷（転換力）は、軌道状態によって増大し、限度を超えると転換不能（ポイント故障）に至ることがあるため適切な保守管理が必要である。これまで、転換力は試験時等を除き常用的に直接測定することができていない。一方、分岐器を転換する電気転てつ機には、転換負荷トルク（転換トルク）を常時モニタリングする機能を有するものがある⁽¹⁾。そこで、本稿では分岐器の転換力と電気転てつ機が測定する転換トルクの関係を実物の分岐器を使用して測定し、転換トルク機能によって分岐器転換力を代替する可能性についての基礎的な検討を行った。

2. 実施概要

本検討では、実物の分岐器及び電気転てつ機として、JR 東日本の首都圏で標準的に導入されている 2000 形分岐器（いわゆる次世代分岐器⁽²⁾）を使用して転換力及び転換トルクを同時に測定し、両者の測定結果を比較して相関性を検討した。なお、分岐器の様々な保守状態を想定するため、各種軌道変位、レールふく進（トングレール先端食い違い）、ボールベアリング床板の配置状態（有無）等の条件を設定して試験を実施した。本稿では、このうち一部の条件のケースに関する検討を行った。

3. 試験概要

〈3・1〉 試験対象

(1) 分岐器種別 在来線用 60kg10 番片開き右分岐器

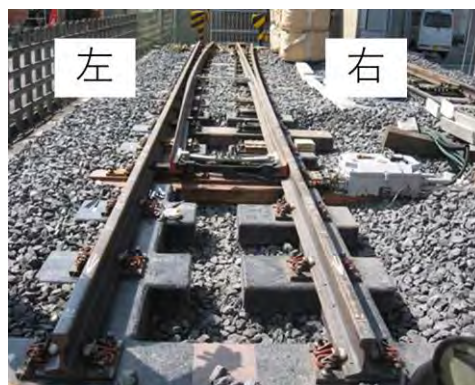


図 1 試験対象分岐器 (JR 東日本 2000 形分岐器)

- (T60 片 10-2001) ※グリッドまくらぎ使用，訓練用分岐器
- (2) 電気転てつ機種別 ES 形電気転てつ機（公称最大転換力 2.94kN）
- (3) ポイント床板 ボールベアリング床板⁽³⁾使用

〈3・2〉 試験内容と測定項目

次項に示す試験条件毎に転換試験を行い、分岐器及び転てつ機の各種状況と分岐器転換力及び電気転てつ機転換トルク（電気転てつ機の転換データ測定機能として標準装備されているもの）を測定した。ここで、転換力と転換トルクの測定原理を説明する。

(1) 転換力

転換力は、電気転てつ機の動作かんとスイッチアジャスタロッドを接続するジョーピンにひずみゲージを貼付した「ジョーピン形荷重計⁽⁴⁾」を使用し、電気転てつ機がトングレールを転換させる力が同ジョーピンの直角方向に作用す

ることを利用して電気抵抗の変化から転換負荷を測定するものである。電気抵抗の変化と転換負荷の関係を予め検定により把握して測定する。トングレールの転換方向（左→右，右→左）により，ジョーピンへの荷重載荷方向が逆転するため，プラスマイナスの違いで荷重の向きが認識できる。本測定法は，分岐器及び転換付属装置類の状態による転換負荷の変化を測定するものである。なお，今回の試験では，サンプリング周波数 100Hz で実施した。

(2) 転換トルク

本稿で用いる転換トルクは，電気転てつ機が分岐器を転換させる際のモーター回転に必要な電流値を負荷と捉えて測定する方式である⁶⁾。トルクと称しているが，実際は定格電流値を 100%とした相対電流値を%で表現している。本方式はあくまでも電流値の変動を捉えているため，荷重の作用方向の違いは把握できず，絶対値で表わされる。また，モーターの電流値を測定しているため，分岐器及び転換付属装置類の状態に加えて，電気転てつ機内部の負荷状態が反映される点が(1)の転換力と異なる。なお，サンプリング周波数は 20Hz であるため，(1)の転換力よりはピーク値の検出等に対する鋭敏性は低下する。今回のデータ整理では，サンプリング周波数の違いについて，転換トルクの実測値間を比例的に補間した。

〈3・3〉 試験条件

以下の軌道状態を設定し，条件毎に図 1 に示す左→右，右→左転換を行い各 3 回ずつ測定した。

(1) 高低変位

- ① トングレール中央部こう上 0~30mm,5mm 毎
- ② トングレール先端部こう上 0~30mm,5mm 毎

(2) 通り変位

- ① トングレール中央部右寄せ 0,2,6,10,15mm (グリッドまくらぎの剛性が強いので 15mm 超は設定できず)
- ② トングレール先端部右寄せ 0~30mm,5mm 毎

(3) 水準変位

- ① 左側トングレール中央部こう上 0~30mm,5mm 毎
- ② 左側全体こう上 0~30mm,5mm 毎

(4) トングレール先端食い違い

- ① 右トングレール前方移動 0~30mm,5mm 毎
- ② 右トングレール後方移動 0~30mm,5mm 毎

(5) ボールベアリングの有無 (3 列全数あり，後 1 列撤去，後 2 列撤去，全数撤去)，床板は無給油・錆無

なお，ここで示した測定項目のうち，一部は測定不良等により収集できなかったものがある。また本稿では，これらの測定結果のうち変位がゼロの状態の結果の一部について述べる。

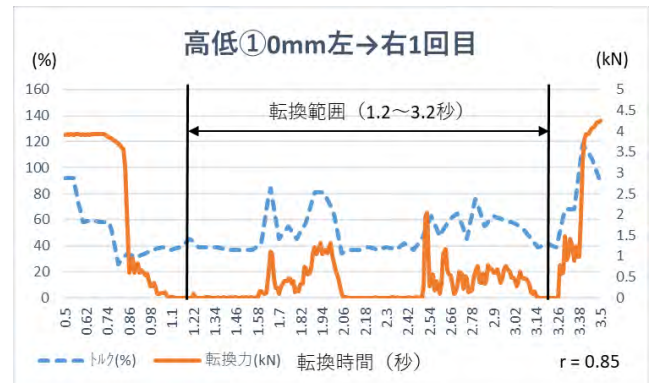


図 2 転換波形出力例 (試験条件(1)高低①左→右 1 回目)

〈3・4〉 データ整理 (図 2 参照)

測定データは，試番毎に横軸を電気転てつ機の転換開始時刻を 0 とする時刻 (秒)，縦軸を転換力 (kN) 及び転換トルク (%) として整理した。なお，時刻は，両者の転換開始時刻に微小な差異 (最大 0.2 秒程度) があるため，両者の相関係数が最大になるよう転換力側の時刻を調整した。

前述の通り，転換力は転換荷重の方向が識別できるため，プラスマイナスのデータが得られるのに対し，転換トルクは絶対値のデータしか得られない。そこで，今回は転換力の転換開始直後または転換終了直前のマイナス表示領域は絶対値を取ってプラス変換して両者の相関をみた。

この測定データは密着力 (トングレールを基本レールに押し付ける力) を含んでいるが，今回はあくまでも転換負荷を問題とするので，密着力の影響範囲である転換開始直後 (0.0~1.2 秒) 及び転換終了直前 (3.2 秒~転換終了) を除いた範囲，すなわち，時刻 1.2~3.2 秒の範囲 (以下，転換範囲と呼ぶ) について波形の確認及びデータ分析を行った。

これらを整理したデータをグラフ表示した例を (図 2) に示す。

4. 試験結果

〈4・1〉 良好な軌道状態における転換力と転換トルクの測定波形

現在，JR 東日本ではポイント床板への定期的な塗油作業を解消できるボールベアリング床板の使用を標準としている。よって，本試験は原則としてボールベアリング床板使用を前提に実施した。ボールベアリング床板を使用した場合，転換開始後からトングレールがボールベアリングに乗るまでと，転換終了前のトングレールがボールベアリングから降下した後に，一時的に負荷が増大する傾向がみられる。一方で，転換途中においてはトングレールがベアリング上を転がることから転換負荷が非常に小さいことがわかってい

る⁶⁾。本節では、ボールベアリング床板使用時で良好な軌道状態(軌道の変状をほぼゼロに設定した状態)のときにおける転換力と転換トルクの測定波形結果の事例を示す。

(1) 軌道状態が良好な場合の例① (図 3)

軌道状態が良好な場合の一例を図 3 に示す。両者の波形はピークもよく対応していることがわかる。転換力の値から転換途中(ボールベアリング上)の負荷はほとんどゼロであることもわかるほか、転換力がゼロのとき転換トルクは 40~50%程度であることもわかる。転換範囲における両者の相関係数は 0.89 であった。

(2) 軌道状態が良好な場合の例② (図 4)

軌道状態が良好な場合の別の例を図 4 に示す。両者の波形はよく対応しているものの、1.7 秒付近において転換トルクのピークがカットされていることがわかる。これは転換トルクのサンプリング周波数が疎であるために鋭敏な値を拾わない場合があることを表している。この場合でも転換範囲における両者の相関係数は 0.85 と高い値であった。

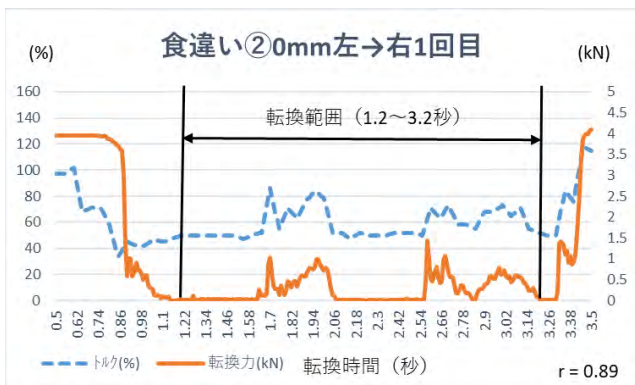


図 3 軌道状態が良好な場合における測定波形の例① (試験条件(4)食違い②左→右 1 回目)

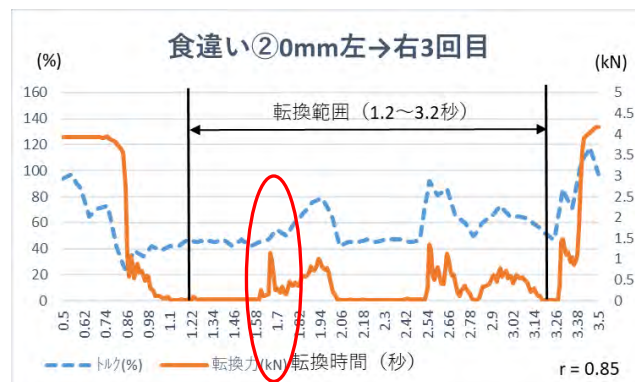


図 4 軌道状態が良好な場合における測定波形の例② (試験条件(4)食違い②左→右 3 回目)

〈4・2〉 ボールベアリング床板未設置の場合の測定波形 (図 5)

前述のように、ボールベアリング床板はポイント給油作業の省力化を目的に、JR 東日本では 2002 年頃より導入を開始した設備であるが、元々は設置されていなかったものである。そこで、本試験では参考のためその元来の姿における転換波形を測定した(図 5 参照)。本試験では、床板への給油はなく、また床板表面に錆もない状態であったが、図 3、図 4 と異なり、ボールベアリングがないことにより 1.8 秒付近以降、転換途中全般にわたって負荷が作用していることがわかる。値も転換力で最大 2.95kN、転換トルクで 149%と、転てつ機の転換能力限界に近い高い値であった。もちろん、床板に給油すればこれらの値は低下する。なお、この場合も転換力と転換トルクの波形には相似傾向が見られ、転換範囲における両者の相関係数は 0.97 であった。

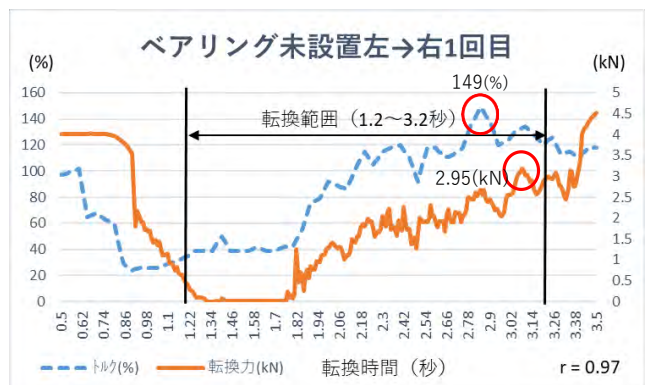


図 5 ボールベアリング未設置の場合 (試験条件(5)ベアリングなし左→右 1 回目)

5. 考察

〈5・1〉 転換力と転換トルクデータの相関関係の検討

4 章において、軌道状態が良好な場合及びボールベアリングがない場合について転換波形を比較し、その特徴を見てきた。ここでは、これらの場合について転換力と転換トルクの値を散布図に表し、両者の回帰式(直線回帰)及び相関係数を求めた。

(1) 軌道状態が良好な場合の例① (図 6)

図 3 の散布図、回帰式及び相関係数を図 6 に示す。これは、図 3 の「転換範囲」の値を使用したものである。

(2) 軌道状態が良好な場合の例② (図 7)

図 4 の散布図、回帰式及び相関係数を図 7 に示す。これは、図 4 の「転換範囲」の値を使用したものである。

(3) ボールベアリング床板未設置の場合 (図 8)

図 5 の散布図、回帰式及び相関係数を図 8 に示す。これ

は、図 5 の「転換範囲」の値を使用したものである。

いずれについても高い相関係数で直線回帰できており、傾き及び Y 切片も近い値であることがわかる。

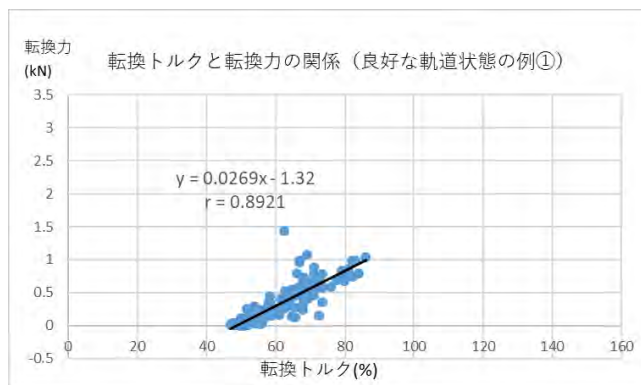


図 6 軌道状態が良好な場合の例①の転換力と転換トルクの関係
(試験条件(4)食違い②左→右 1 回目)

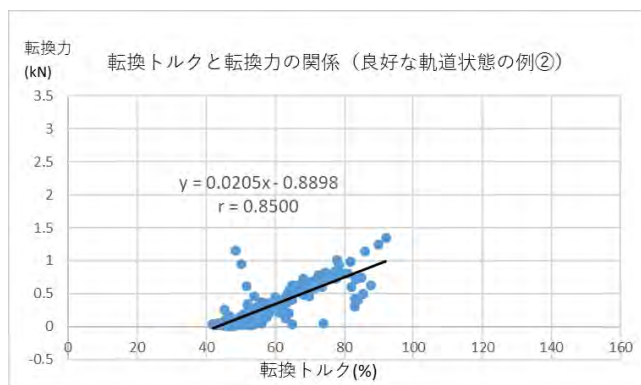


図 7 軌道状態が良好な場合の例②の転換力と転換トルクの関係
(試験条件(4)食違い②左→右 3 回目)

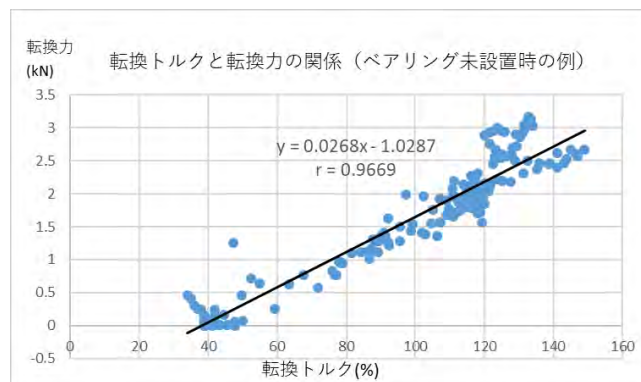


図 8 ベアリング床板未設置の場合の転換力と転換トルクの関係
(試験条件(5)ベアリングなし左→右 1 回目)

〈5・2〉 転換力と転換トルクの関係検討に向けた課題

前項において、軌道状態が良好な場合及びボールベアリングがない場合について、転換力及び転換トルクの相関性が非常に高いことが分かった。しかし、これはある 1 転換に限定した場合の話であり、異なる転換を合算した際の状況の検討は未実施である。今回の試験でいえば、軌道状態が良好な場合だけでも 50 転換分以上の測定をしており、転換試験は 1 週間以上にわたるため、測定日等の条件により転換波形には大きなばらつきがみられる。まずはこの点について検討を進める必要がある。

また、〈3・3〉に記載した様々な軌道の変位が生じた場合は、さらにばらつきが大きくなる。これらを合算した場合についての転換力と転換トルクに関する検討を行うことがその次の課題である。

6. まとめと今後の課題

本稿では、転換力と転換トルクの相関性について検討するため、両者の関係性を転換波形で確認した後、回帰式計算と相関係数の算出を行い、次の結果を得た。

- ・測定サンプリング周波数の違いにより、転換トルクよりも転換力の方が鋭敏な波形であった。
 - ・転換力は逆向き荷重をマイナスで測定できるが、転換トルクは絶対値で測定されマイナス成分は取得できない。
 - ・転換力が 0(kN)のときの転換トルク値はおおむね 40～50(%)であり、これが供試電気転てつ機内部の基礎的な荷重値であると考えられる。
 - ・ボールベアリングの有無で波形の傾向は全く異なるが、それぞれについて転換力と転換トルクは相似形で良く対応しており、相関係数も 0.85～0.97 と非常に高い。
- 今後の課題は、異なる転換を合算した場合の相関性、さらに軌道状態が変化した場合の両者の相関性を検討して一般化の可能性を検討することが必要である。

文 献

- (1) 市倉庸宏・小幡信夫:「次世代分岐器対応新型電気転てつ機 (ES2 形) の開発」, JREA, Vol.53, No.10, pp.24-27 (2010)
- (2) 小尾実・堀雄一郎:「次世代分岐器の開発」, JREA, Vol.46, No.7, pp.21-25 (2003)
- (3) 鶴飼毅彦:「ボールベアリング床板の開発」, 日本鉄道施設協会誌, 第 37 巻 8 号, pp.21-23 (1999)
- (4) 潮見俊輔:「研究開発 7 つ道具 ジョービン形軸力計」, RRR, Vol.74, No.1 pp.40 (2017)
- (5) 樋口博俊・鈴木雅彦・加藤尚志:「転てつ機モニタリングデータを用いた故障予測手法に関する研究」, JR EAST Technical Review, No.48, pp.43-46 (2014)
- (6) 堀雄一郎:「ポイント転換力に関する一考察」, 土木学会第 61 回年次学術講演会, IV-265, pp.527-528 (2006)