

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

分岐器での走行安全性を解析する

分岐器とは、軌道を2つ以上に分ける軌道構造物で、一般的な曲線と比べて構造が複雑になっています。特にトングレール先端部では車輪踏面とフランジ先端付近の2点で接触する可能性があり、これに伴い接触点が急激に変化し、走行安全性が低下する懸念があります。本稿では、車輪とトングレールの接触状態を考慮できるプログラムを作成し、側線用8番分岐器通過中の車両の挙動と車輪／レール間の接触状態について解析した結果を報告します。



中橋 順一
Junichi Nakahashi
車両構造技術研究部
車両運動研究室
主任研究員
[専門分野] 車両運動、
車輪／レール接触問題

はじめに

分岐器とは、軌道を2つ以上に分ける装置（いわゆるポイント）のことで、駅や車両基地に設置されています。鉄道車両は分岐器に案内されることで、同じところを往復するだけでなく、隣の軌道に渡って違う目的地へ向かうことができます。

分岐器は図1に示す通り、大きく分けて、ポイント部、リード部、クロッシング部（図参照）の3つの部分から成り立っており、一般的な曲線と比べて構造が複雑になっています。その中でもトングレールは、先端が尖った特殊な形状をしており、車輪はその先端部

において踏面とフランジ先端付近の2点で接触する可能性があります。これに伴って車輪／レールの接触点が急激に変化するため、走行安全性が低下する懸念があります。したがって、分岐器の保守作業、特にトングレール先端部の摩耗管理が重要となっています¹⁾。

本稿では、車輪とトングレールの接触状態を詳細に考慮できるプログラムを作成し、側線用8番分岐器通過中の車両の挙動と車輪／レール間の接触状態について解析した結果を報告します。

側線用8番分岐器

側線用8番分岐器は、車両が高速で走行しない車両基地などに多く設置されています。鉄道総研内にある側線用8番分岐器の写真を図2に示します。特徴としては、図1の通りリード曲線半径が約100mと小さく、トングレールが直線で入射角（約2°）があるため、基本レールからトングレールに移る箇所では、軌道が角折れした状態になっています。さらにトングレールと基本レールの高さに差があり、前者が最大10mm高くなっています。この構造的な水準変位によって車両の動揺

ポイント部

トングレール、転てつ棒などからなり、転換することで車両の誘導方向を変える装置。

リード部

トングレール後端とクロッシングを繋ぐ部分。レール種別や番数によって、リード曲線半径が決められている。

クロッシング部

軌間線が交差する部分の装置。固定クロッシング、可動クロッシングに大別される。

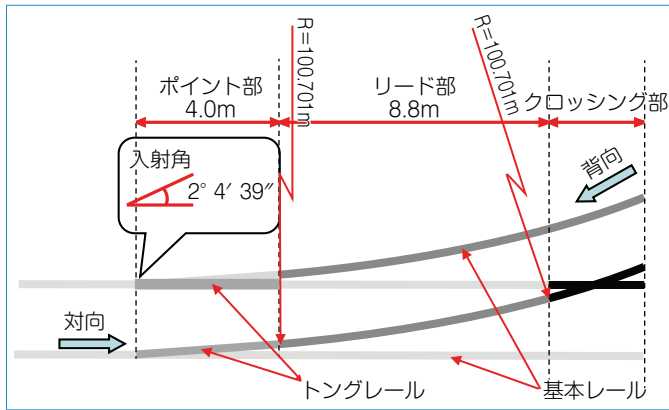


図1 分岐器の構造 (側線用8番分岐器)



図2 側線用8番分岐器 (鉄道総研内)

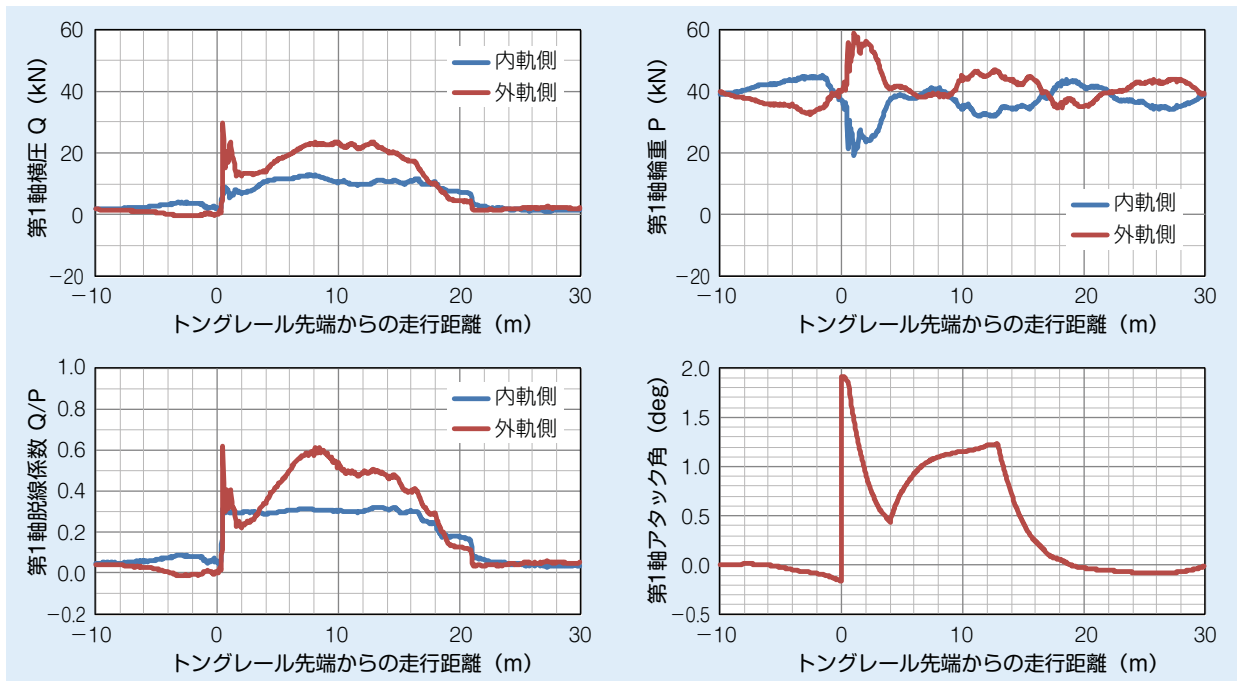


図3 側線用8番分岐器通過時の車両挙動の解析結果

や外軌側の輪重抜けが発生します。このように側線用8番分岐器は、本線上で使用されている一般用分岐器と比較して、脱線に対して厳しい構造であると言えます。

分岐器通過時の車両の挙動

まず、側線用8番分岐器における分岐線側通過時の車両の挙動についてシミュレーションを行いました。図3に第1軸の輪重 (P)、横圧 (Q)、脱線係数 (Q/P) および車輪とレールの相対角度で表されるアタック角の解析波形を示します。走行方向は対向 (ポイ

ント部側から進入する場合) で走行速度は20km/hとしています。ここでは、分岐器の線形のみを考慮し、これを通り変位として入力し、その他、鉄道総研内の分岐器で実測された高低、水準、軌間を軌道変位として入力しました。また、レール断面形状は50kgNレール (タイプレート角なし) の一様断面とし、車輪/レール間の摩擦係数は0.3としました。

過去に行われた走行試験結果から、側線用8番分岐器を対向で走行した場合の車両の挙動には、以下の特徴があります。

車両がポイント部に進入するとトングレール先端の入射角によって、アタック角が大きくなり、横圧が急激に立ち上がります。その後、ポイント部の構造的な水準変位によって外軌側の輪重が増加し、横圧が一旦減少します。さらに、リード部に進入すると、基本レールとトングレールの高さの差が減少していくため、外軌側の輪重は減少し、横圧が増加していきます。また、外軌側の横圧と輪重の比で表される脱線係数はトングレール先端やリード曲線の中央部付近で大きくなります。

今回の解析結果は、これらの特徴を

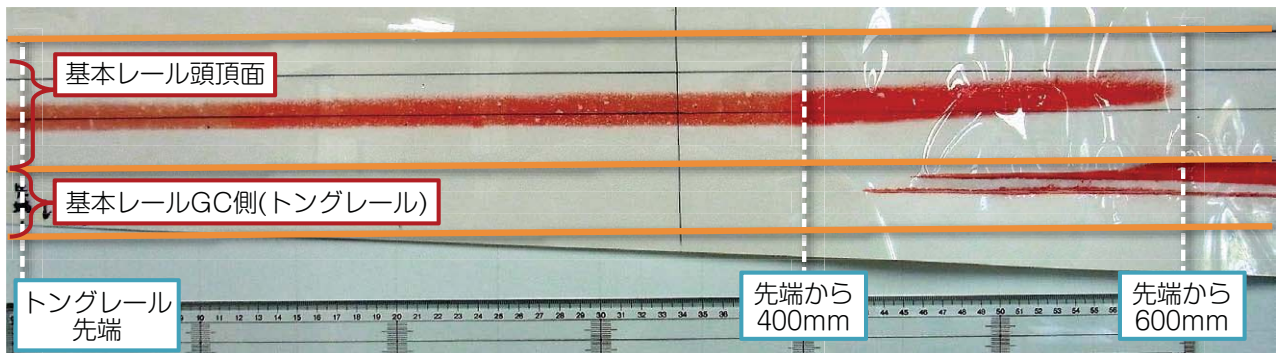


図4 感圧紙上に写した車輪の走行状態

再現できていると考えられます。さらに、測定が難しいアタック角についても解析結果から、トングレール先端では約2degで入射角と同程度、リード部では1.0～1.4degになることがわかります。

車輪／トングレールの接触状態の実験による確認

トングレールは先端が尖っているため、進行方向に進むにつれて断面が太くなっていきます。そのため、分岐器進入前は基本レールを走行してきた外軌の車輪は、どこかでトングレールに乗り移ることになります。この乗り移りに際して車両の動揺が発生することがあり、過去の脱線事例でもトングレール先端付近で発生したものが多く報告されています¹⁾。

ここでは、ポイント部に感圧紙(圧力が加わることで色が変化する特殊な紙)を貼りつけ、第1軸のみ感圧紙を通過するように車両を小移動させて、車輪とレールの接触状態を確認する実験を行いました。

図4に実験で得られた車輪通過後の感圧紙の様子を示します。トングレール先端位置から基本レール頭頂面に沿って感圧した赤線がありますが、先端から400mmを越えたあたりから基本レールのゲージコーナー側(レールの軌間内側、GC側)に2本目の線が現

れており、ここでトングレールと接触を開始しています。

今回行った数回の実験結果にはばらつきがありましたが、基本レール頭頂面を走行しているのは先端から600mm程度まで、トングレールと接触を始めているのは、先端から400mm付近からであることがわかりました。この区間において、車輪が基本レールからトングレールに乗り移っていると考えられ、さらに基本レール頭頂面とトングレールの2点で接触している可能性もあります。

車輪／トングレールの接触状態を再現するシミュレーション

次に、前述の接触実験結果を再現するための車両運動シミュレーションを行いました。一般的な車両運動シミュレーションは、車輪とレールの断面形状を一定として、これらの接触状態をあらかじめ解析し、その結果を参照ファイルとして準備しますが、進行方向に沿ってレール断面形状が変化する分岐器では接触点解析を逐次行う必要があります。ここでは、シミュレーションにおける時間刻み(1/10000秒)ごとに得られる各軸の走行距離に応じて、スラック(構造的な軌間変位)^(注)を考慮した左右のレール断面形状を配置し、そこに車両運動シミュレーションから算出した車輪／レール間の相対

左右変位に応じて輪軸をまくらぎ方向に移動させて、車輪／レールの接触解析を行いました。

解析により得られた側線用8番分岐器通過時の車輪／レールの接触点の推移を図5に示します。縦軸はいずれも分岐器手前の直線区間を走行した際接触位置を基準にしています。図中の点線は、GC側およびフィールドコーナー側(レールの軌間外側、FC側)における、レール頭頂部から14mm下の位置で、この2つの線によりレールの幅を表しています。外軌側レールはほぼ直線として、内軌側レールはスラックに応じて曲がった形状として図示されています。赤線で示した車輪とレールの接触位置は、内軌側ではスラックや分岐線側の基本線形の影響で、FC側に移動しているものの、おおむねレール頭頂面中心となっていますが、外軌側ではトングレール進入後から接触点がFC側に移動し、トングレール先端から400mm付近でGC側に急激に移動しているのがわかります。

外軌側トングレール先端付近における接触点の推移を拡大したものを図6

注 スラック(構造的な軌間変位)

曲線部において車両が通過しやすいように、軌間を広げること。分岐器ではポイント進入前のスラック逡減や、設置の際のリードレールの曲げ方など、構造上の軌間変位がある。

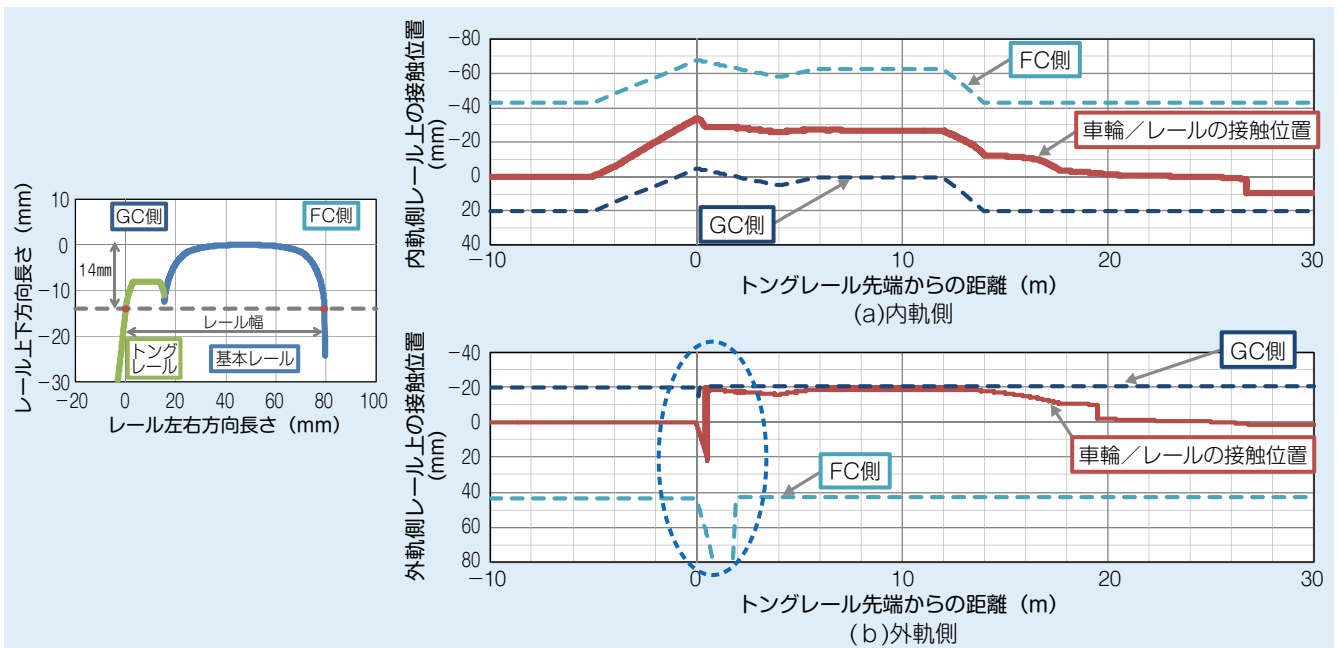


図5 逐次接触解析により得られた車輪/レールの接触点の推移

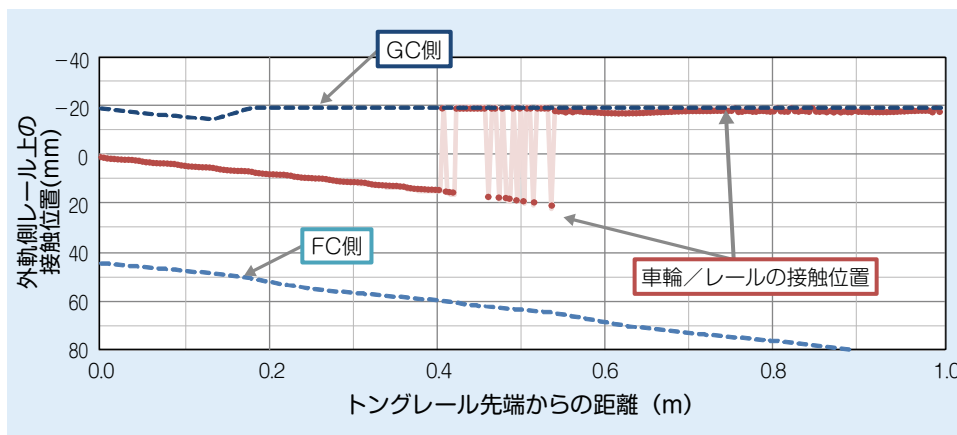


図6 外軌レールにおける車輪/レールの接触点の推移(図5の青丸部を拡大)

に示しますが、トングレー ル先端から400～600mmの間では接触点の変動しており、レール中央部に沿う線とトングレー ル側に現れる線の2本の線が認められます。この結果は前述の感圧紙による実験結果とおおむね一致しており、トングレー ル形状を詳細に考慮することで、側線用8番分岐器通過中の車輪/レール間の接触状態や車輪がトングレー ルへ乗り移る現象を再現できていると考えられます。

しかしながら、この解析結果では、トングレー ル先端部などで横圧波形の変動が大きくなりました。これは車輪

フランジ直線部と分岐器断面が接触する際に接触点が移動していることによるものと考えられますが、実測ではこの変動は現れないことから、車輪フランジと踏面が2点接触する影響などについてモデル化する必要があります。

おわりに

今回、車輪とトングレー ルの接触状態を詳細に考慮できるシミュレーションを開発し、側線用8番分岐器通過中の車両の挙動や車輪/レール間の接触状態について解析した結果を報告しました。これらの結果は、分岐器における脱

線事故の原因推定やトングレー ル先端部の摩耗形状に対する管理手法の提案などに展開できるものと考えています。

今後は、3次元接触点解析²⁾への拡張や2点接触の影響について検討していきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 上村康夫ほか：各社報告 ポイント先端部の管理，日本鉄道施設協会誌，1994.3
- 2) 中橋順一：車輪とレールの接触位置を探る，RRR，2012.4