

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

車輪とレールの 接触位置を探る

鉄道車両は、直線では高速で安定して走行し、曲線では滑らかに曲がることが求められており、車輪踏面やレール断面の形状は、この相反する要求を満たすように設計されています。また、鉄道車両の運動は車輪／レール間の接触点で発生するクリープ力特性（※参照）の影響を大きく受けます。したがって、車両の運動特性を評価するためには、実際に使用されている車輪踏面やレール断面での接触状態を把握することが重要になってきます。



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

鉄道車両は直線では高速で安定して走行し、曲線では滑らかに曲がることが求められます。そのため車輪踏面やレール断面の形状は、この相反する要求を満たすように設計されています。しかし、車両が走行するにつれて車輪とレールの双方が摩耗すると、走行安定性や乗り心地が悪化することがあります。

さらに、鉄道車両の運動は車輪／レール間の接触点で発生するクリープ力特性の影響を大きく受けます。したがって、車両の運動特性を評価するためには、実際の車輪踏面形状やレール断面形状での接触状態を把握することが重要になってきます。ここでは、新たに開発した接触点を3次元で探索する手法とこれを用いた解析事例として本線用8番分軌器のトングレール部での解析結果について報告します。

車輪、レールの形状を知る

車輪とレールの接触点を求めるためには、車輪やレールの断面形状を知る必要があります。車輪踏面の一例として新幹線円弧踏面の設計形状を図1に

示します。車輪踏面やレール断面の設計形状は連続する円弧を滑らかにつながり合わせた形状であり、断面形状は関数として表わすことができます。しかし、走行距離や列車通過トン数の増加に伴って車輪やレールの摩耗が進行すると、断面は複雑な形状になります。

一昔前は、踏面描写器を使って用紙に記録した摩耗形状を定規で読み取ったり、画像処理をしたりして、車輪とレールそれぞれを数値化してから形状曲線の近似式を求めていました。特に、計算機の性能が低かった頃は、この近似式を用いることで解析スピードの向上を図っていましたが、これには大変

※ クリープ力とアタック角

クリープ力とは、車輪がレール上を転がりながら進むとき、車輪とレールの接触面におけるすべり（クリープ：Creep）により発生する接線力のことで、すべり率が大きくなると摩擦力（＝摩擦係数×法線力）に飽和する傾向を示します。

アタック角とは、車輪とレールの相対的なヨー角のことで、車輪フランジがレールに向かう場合を正とします。一般にアタック角が大きいほど脱線に対する安全性が低下します。

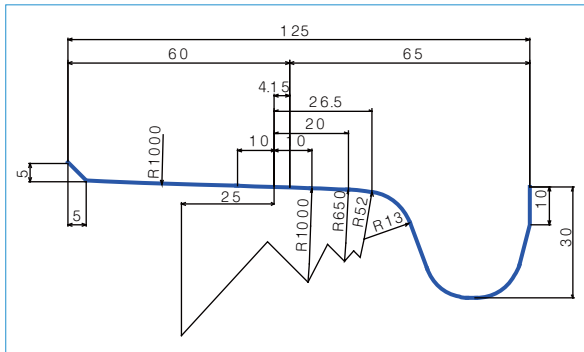


図1 新幹線円弧踏面の断面形状



図2 車輪踏面形状測定装置

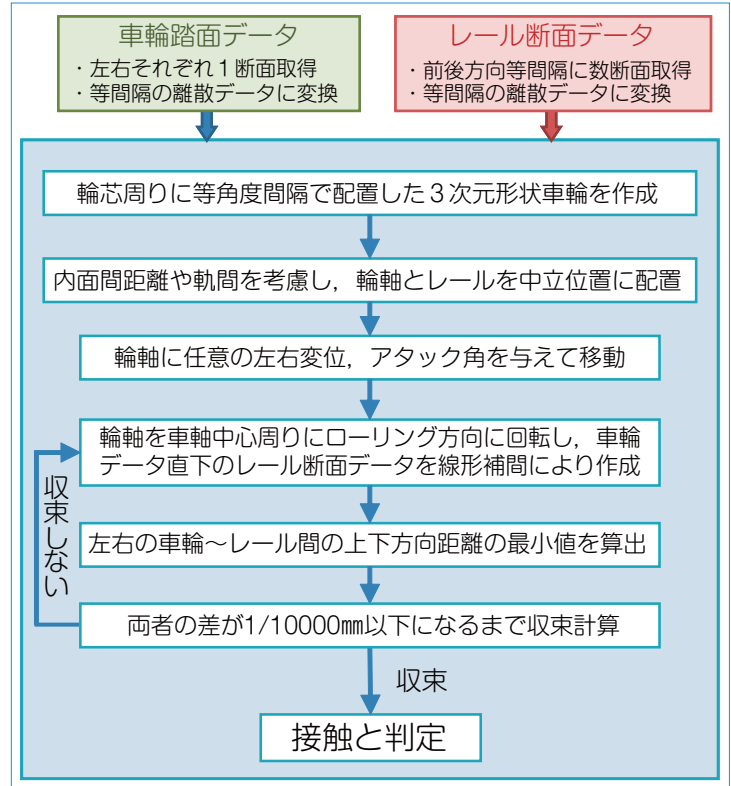


図3 接触点の3次元探索アルゴリズム

な労力が必要でした。現在では、**図2**に示すような実物の車輪踏面やレール断面の形状を測定する装置が開発されており、摩耗形状のデジタルデータが取得可能になり、新品車輪と摩耗車輪の比較も容易にできるようになりました。

車輪／レール接触点の3次元探索手法

前述した形状測定装置で得られたデジタルデータなどを用いて、車輪とレールの接触点を探索するのですが、従来は車輪／レール間の接触点を2次元で探索する手法¹⁾が用いられていました。この手法ではアタック角(※参照)の影響が考慮できず、ある断面に限った解析しかできませんでした。しかし、急曲線や分岐器を走行する場合には、アタック角やレール断面形状の

変化によって車輪／レール間の接触位置が前後方向に移動することが考えられます。そこで、2次元探索手法を拡張して、接触点を3次元で探索する手法について検討しました。**図3**に車輪／レール接触点の3次元探索手法のアルゴリズムを示します。

- ① 形状測定装置により得られた車輪踏面およびレール断面のデジタルデータを左右方向(まくらぎ方向)に等間隔(0.1mm)の離散データに変換する。設計形状の場合もあらかじめ同様の離散データに変換する。
- ② 車輪踏面は、離散データとして得られた1断面を、輪芯周りに等角度間隔で配置した3次元の形状データとして作成する。レールは、前後方向に等間隔で測定した離散データをそのまま配置した3次元

- の形状データとし、車輪内面間距離や軌間を考慮して輪軸とレール形状データを中立位置に配置する。
- ③ 任意の左右変位およびアタック角を与えた輪軸の3次元形状を、車軸中心周りにレール方向を軸としてローリング方向に回転させる。このとき、車輪直下のレール断面形状データを線形補間により作成する。
- ④ 左右それぞれの車輪／レール間の上下方向距離の最小値を算出する。両者の差の絶対値が、接触判定値とした1/10000mm以下の場合、左右車輪が同時にレールに接触したものと判定する。
- ⑤ 判定値を満たさない場合は、③に戻り、両者の差が判定値を満たすまで3次元形状輪軸をローリング回転して収束計算を続ける。

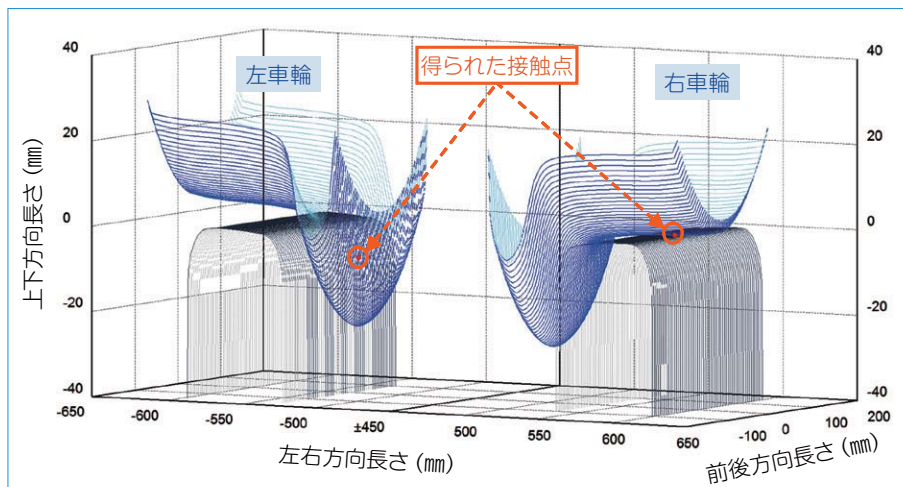


図4 3次元探索手法による接触点解析例

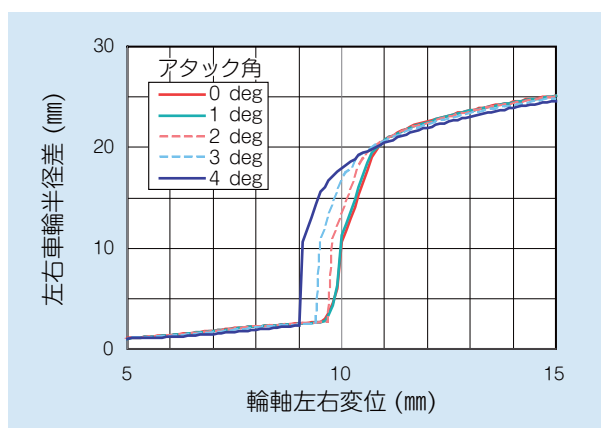


図5 輪軸左右変位と左右車輪の接触半径差の関係

この探索手法で得られた接触点における車輪半径、接触角、接触楕円の大きさなどの情報から、車両運動シミュレーションに必要なクリープ力などを求めることができます。

図4に3次元探索手法による接触点解析例を示します。これは車輪踏面を修正円弧踏面、レール断面を60kgレールの設計形状として、アタック角を3degとした場合に左車輪がフランジ直線部でレール断面と接触した場合、図中の赤印は、本解析で得られた接触点を表しています。

また、解析事例として接触位置に及ぼすアタック角の影響について検討しました。アタック角を0～4degの範囲で変化させて、輪軸左右変位と左右車輪の接触半径差を求めた結果を図5

に示します。アタック角による違いが認められたのは、車輪フランジ部がレールと接触し、左右車輪の半径差が急激に増加する部分であり、踏面部やフランジ先端で接触する場合には違いは認められませんでした。また、フランジ接触に至る輪軸左右変位はおよそ10mmですが、アタック角が大きくなると、より小さい左右変位でフランジ接触することがわかります。

さらに、一般的な曲線走行でのアタック角は約1degですが、0degと1degでは輪軸左右変位に対する左右車輪半径差は同程度であることから、レール断面の形状変化がない場合やアタック角が1deg程度の条件であれば、接触位置に及ぼすアタック角の影響は小さいと考えられます。

3次元接触を用いた解析例 (分岐器トングレール)

今回、車両の進行方向にレール断面形状が変化する事例として、分岐器のトングレール部に着目しました。分岐器のトングレール部は、設計形状でも断面形状が変化します。さらにリード曲線の半径が小さい8番分岐器は、アタック角が大きくなることもあり、本手法による解析が有効であると考えられます。また、過去に発生した分岐器での脱線事故において実際に乗り上がりやすい位置は、トングレール先端部から100～350mm程度の範囲に限定されることが報告されています²⁾。これらを踏まえ、本線用8番分岐器の設計形状断面を用いて3次元解析を行いました。

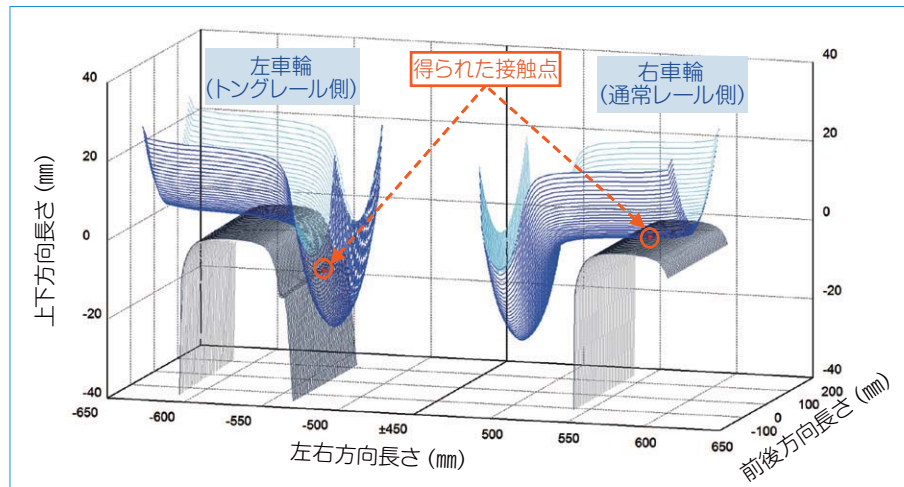


図6 分岐器断面形状での接触点解析例

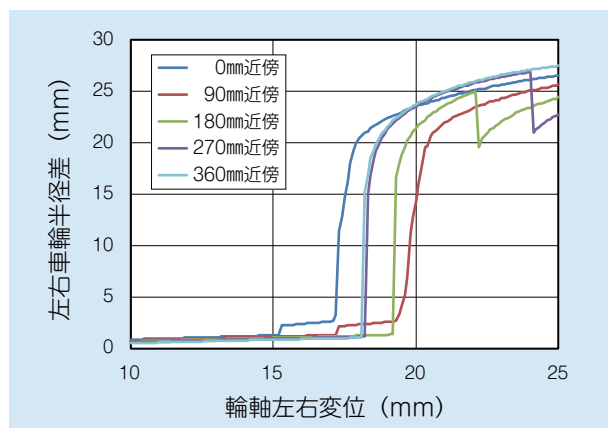


図7 輪軸左右変位と左右車輪半径差の関係

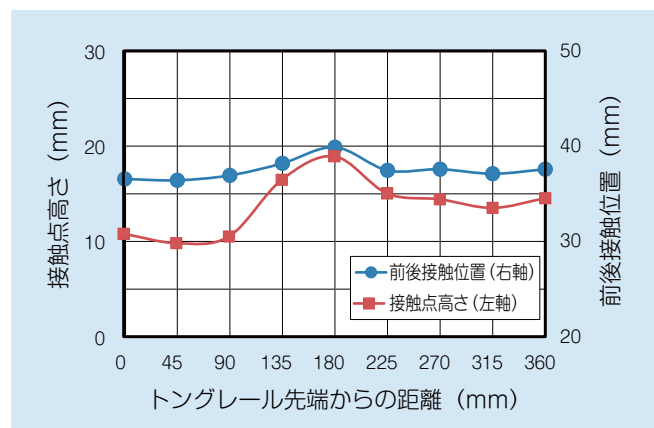


図8 トングレール先端からの距離と前後接触位置および接触点高さの関係

図6に分岐器断面形状での接触点解析例を示します。トングレール先端から360mm近傍においてトングレール部と車輪がフランジ接触した状態で、アタック角を2deg、スラック(曲線中の軌間を広げる量)は15mmです。図の左側レールにはトングレールを含む断面形状を用いており、前後方向に形状が変化していることがわかります。さらに、この分岐器レール上において3次元車輪データを車両の進行方向に移動して接触点解析を行いました。図7にトングレールの先端から0mmから360mmまで距離ごとに求めた輪軸左右変位と左右車輪半径差の関係を示します。トングレール先端から180、270mm近傍では、輪軸左右変位22、24mm付近で左右半径差が小さくな

っており、トングレールとフランジ接触した場合よりもさらに輪軸左右変位を大きくすると、接触点がトングレールから基本レールに移動するため半径差が小さくなります。

図8にトングレールとフランジが接触したときの車輪座標における前後接触位置と接触点高さを示します。前後接触位置はトングレール先端からの距離によらず40mm弱でほぼ一定となっています。一方で接触点高さはトングレール先端から100mm程度までは約10mm程度ですが、これを超えると15~20mmとなり、接触点がフランジ先端側へ移行していることがわかります。これは前述の乗り上がりやすい位置(トングレール先端部から100~350mm程度)とおおむね一致しています。

おわりに

新たに開発した3次元接触点探索手法とこれを用いた解析事例として本線用8番分岐器トングレール部での結果について報告しました。今後は、入射角のある側線用8番分岐器の断面形状などで接触点解析を行い、その結果を用いて車両運動シミュレーションを実施する予定です。RRR

文献

- 1) 足立雅和ほか：車輪とレールの摩耗を考慮した接触状態解析手法の開発，鉄道総研報告，2006.6
- 2) 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