

模型輪軸を用いた分岐器における車輪・レール接触幾何に関する基礎的研究

林 世彬* (東大生研) 田畑 拓也 (東京理科大) 土井 久代 (鉄道総研)

陳 樺 (鉄道総研) 中橋 順一 (鉄道総研) 葛田 理仁 (鉄道総研) 杉山 博之 (東京理科大)

安藝 雅彦 (東大生研) 洪 介仁 (東大院) 須田 義大 (東大生研)

A BASIC STUDY OF CONTACT GEOMETRY ON TURNOUT BY USING FULL SIZE WHEELSET MODEL

Shihpin LIN (The University of Tokyo), Tatuya TABATA (Tokyo University of Science),
Hisayo DOI (Railway Technical Research Institute), Hua CHEN (Railway Technical Research Institute),
Junichi NAKAHASHI (Railway Technical Research Institute),
Masahito KUZUTA (Railway Technical Research Institute),
Hiroyuki SUGIYAMA (Tokyo University of Science), Masahiko AKI (The University of Tokyo),
Chiehjen HUNG (The University of Tokyo), Yoshihiro SUDA (The University of Tokyo)

The accurate prediction of contact points is significant importance in vehicle dynamic simulations. However, the experimental validation of the contact geometry results that involve multi-contact situation such as turnout has not been performed. In this study, the measurement of the wheel / rail contact geometry on the turnout using mock-up wheelset has experimented. And, the comparison between the measurement result and the numerical results was done.

キーワード：接触幾何，フランジ接触，分岐器通過，実験解析，数値解析

(Contact geometry, Flange contact, turnout passing, experiment analysis, numerical analysis)

1. 序言

鉄道車両の走行特性は、レールと車輪の接触力によって支配される。車輪には、車体の支持、駆動・制動力の伝達、そして、レールに沿って滑らかに追従・操舵させるための機能があるが、いずれも、レールと車輪の接触面に作用する力によるものであり、鉄道車両の運動力学の観点からも、古くから接触力を表現する力学モデルを構築する試みがなされてきた。

マルチボディダイナミクスをはじめとする数値解析を用いて、鉄道車両の運動解析を行う場合、レール・車輪間の接触力計算が必要となる。接触力のモデル化には、実際のレール・車輪間の接触状態を把握する必要があり、接触幾何学の問題である。理論解析の実施には、実際の挙動把握が重要である。解析結果が実現象を表現しているかどうかというバリテーションチェックは必要であり、実際の現象を知ることは、理論モデル化や新たな方式を検討する上で有益なことである。レール・車輪接触状態の把握をする試みとして、曲率半径一定の急曲線区間に実台車を停止させ、レール・車輪接触点位置と接触面形状の計測が、東京大学生産技術研究所千葉実験線において行われた⁽¹⁾。

一方、鉄道の分岐は、鉄道の発展に貢献した重要なパーツでありながら、分岐器通過に関して、理論的なアプローチはあまり実施されてこなかった。本研究においては、接触幾何の検討が望まれている分岐器通過に関して、車輪がトングレールにおける乗り移り現象に着目し、(1)分岐器のトングレール部分における接触状態の調査・計測。(2)接触幾何理論による計算⁽²⁾と計測結果の照合。という検討を行った。

2. 接触位置の計測

〈2.1〉計測に使用した分岐器とレール形状 本研究では、側線八番分岐器を計測対象とした。50N 側線用分岐器のトングレールは(1)直線形状であるため摩耗しやすい、(2)基本レールより10mm高く設計されており、車両通過時において、台車の3点支持が生じやすい⁽³⁾などの課題があるため、検討対象とした。図1に計測に使用した側線八番分岐器の模式図を示し、図2に分岐器の測定ポイントA, B, C, Dにおけるトングレール側レールの形状データを示す。図3にトングレール部分の拡大を示す。

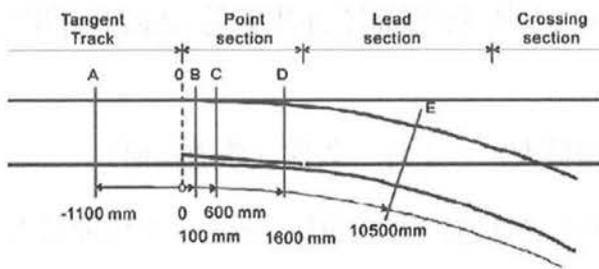


図 1 . 計測に使用した側線八番分岐器の模式図

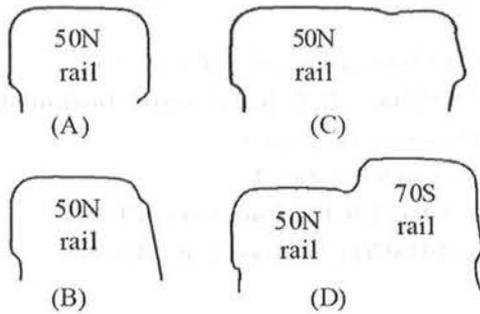


図 2 レールの形状データ

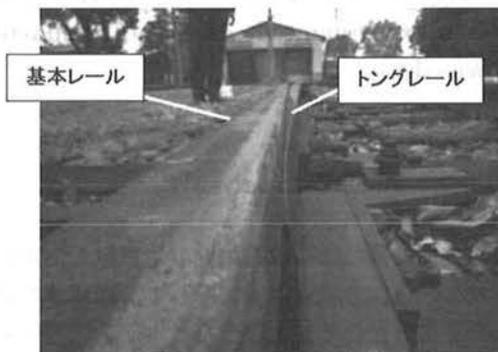


図 3 トンゲレール部分の拡大

(2.2) 計測箇所を選定 輪軸が基本レールからトンゲレールへの乗り移りが生じる箇所を特定するため、感圧紙を敷いたレールの上を、実際の台車を転動させ、接触状態を調べた。図 4 にレール上に敷いた感圧紙の様子を示す。この結果を踏まえて、本研究では、C 断面に着目して計測を行った。



図 4 計測箇所検討における感圧紙の状態

(2.3) 実物大輪軸モックアップ 本研究において、レール・車輪接触点位置と接触面形状の計測は、(1) 左右変位及びアタック角(ヨー角)を容易に変更することが可能、(2) 接触痕の大きさは計測せず、接触地点のみの計測であり、車輪における輪重は大きく寄与しない、などを考慮し、1067mm 軌間用の実物大・木製輪軸モックアップを使用した⁽⁴⁾。図 5 に計測で使用した木製輪軸モックアップの全体図を示し、図 6 に木製輪軸モックアップの寸法諸元を示す。車輪形状の実測データは、プロファイルデータの作成に用いた。

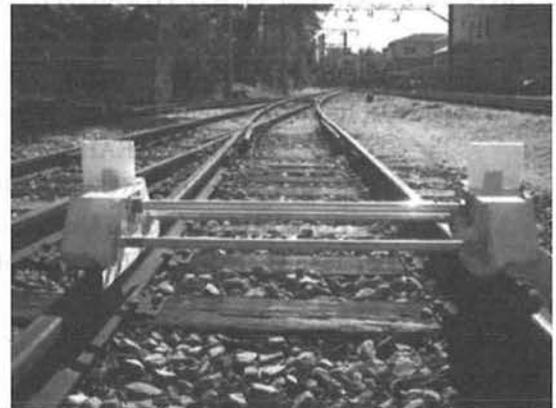


図 5 実物大輪軸モックアップ

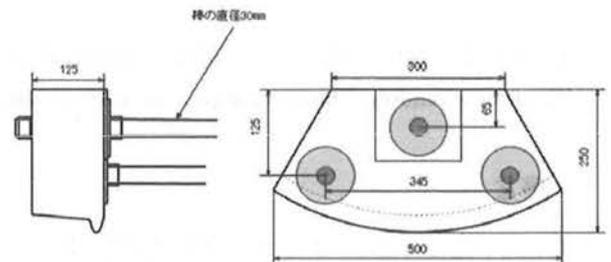


図 6 木製輪軸モックアップの寸法諸元

(2.4) 車輪踏面とレールの接触位置の計測 本研究では、輪軸モックアップの車輪踏面とレールの接触位置を取得するため、レールと車輪踏面の間に感圧紙を設置した。感圧紙は富士フィルム社のプレスケール(超低圧用)を使

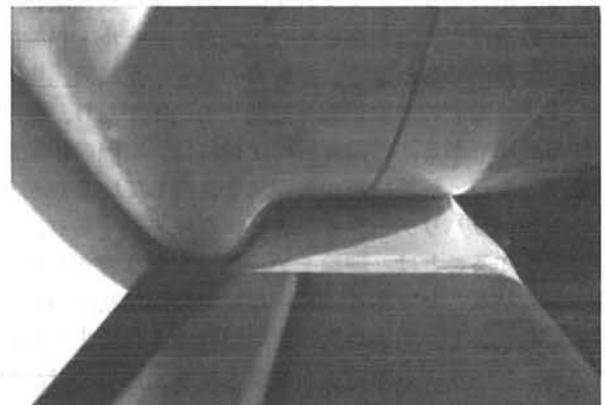


図 7 輪軸モックアップを感圧紙にのせた状態

用した。本感圧紙は、未使用時は白色であり、所定の圧力がかかると、紙内のマイクロ・カプセルが破壊し、内部の発色材が発色する構造となっている。感圧紙設置にあたり、レール表面を研磨し、感圧紙をレール曲面にフィットさせた。また、使用済みの感圧紙を専用装置で解析すると、印加された圧力が定量的に計測できる。図7において輪軸モックアップを感圧紙にのせた状態を示し、図8に輪軸モックアップを取り除いた感圧紙の例を示す。感圧紙にはレール中心、及び輪軸中心を通る枕木方向鉛直線のマーカをつけた。



図8 輪軸モックアップを取り除いた感圧紙

(2.5) 輪軸モックアップの姿勢計測 本研究において、レールに対する車輪の位置を規定するため、輪軸モックアップの姿勢計測は計測フレームを使用した。計測フレームは、レーザ変位センサーを初期化するためのキャリブレーション構成、及び本計測のための本計測構成の2通りである。キャリブレーション構成において、固定済みの各治具に輪軸モックアップを当てれば、自動的に計測フレームに対して、模型輪軸の上下変位、ロール変位、ヨー変位、前後変位、横変位のゼロ点位置になる。本実験における計測は、分岐区間内にあり、スラックなどが設定されており、接触幾何計算結果との照合のため、計測基準は直線側の基本レールとした。

計測フレームにおいて、輪軸モックアップのヨー変位、前後変位、横変位、上下変位、ロール変位、及び参照データとして、輪軸モックアップのヨー変位・横変位用レーザセンサと同軸上に、対レールのセンサーを配置し、計測フレームに対するレールの傾きを合わせて取得できるようにした。図9にレーザ変位計配置の上面図を示し、図10に輪軸モックアップ姿勢計測における計測フレームを示す。

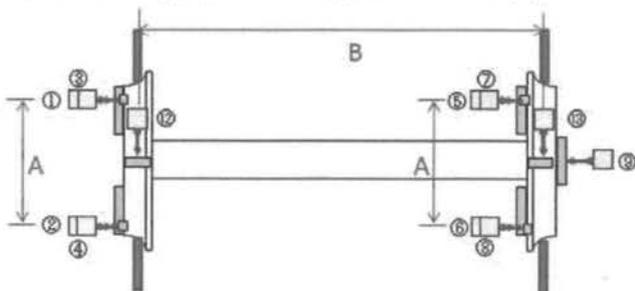


図9 レーザ変位計配置の上面図

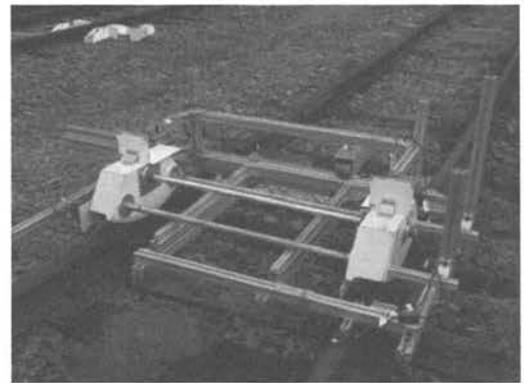


図10 計測中の計測フレーム

3. 実験結果と計算結果

表1 にアタック角と左右変位，さらに各ケースにおける接触状態と，計測を行った断面をまとめて示す。

表1 計測データのまとめ

	断面(接触状態)	輪軸左右変位(mm)	アタック角(deg)
CASE1	断面A(1点接触)	2.58	-1.28
CASE2	断面C(1点接触)	-5.00	-0.21
CASE3	断面C(2点接触)	24.00	5.10
CASE4	断面C(2点接触)	22.00	6.78

次に、レール上の感圧紙に残った接触痕を図11から14に示す。この感圧紙上に計算結果も併せて示す。実験結果は接触痕を楕円で囲み、計算結果は○印で表す。ただし、計算上におけるアタック角及びヨー角は表1の値を用いた。また、計算上のレール/車輪の接触状態図を図15に示す。図11から図14上に記入した接触楕円の最大値・最小値を読み取り、さらに計算値⁽⁴⁾も載せた表を表2として示す。ただし、接触点位置の左右方向はレールの頭頂面基準とした値を表記する。

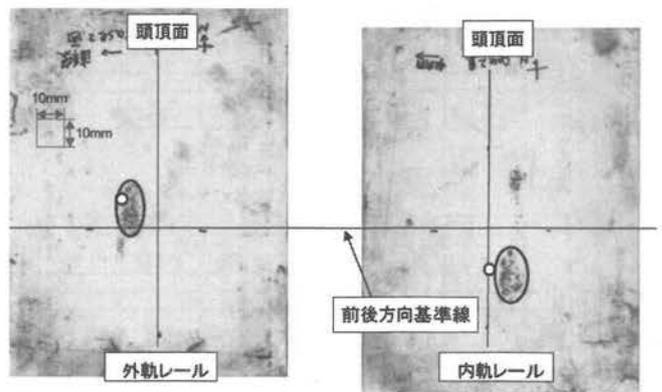


図11 感圧紙上の実験結果と計算結果 (CASE1)

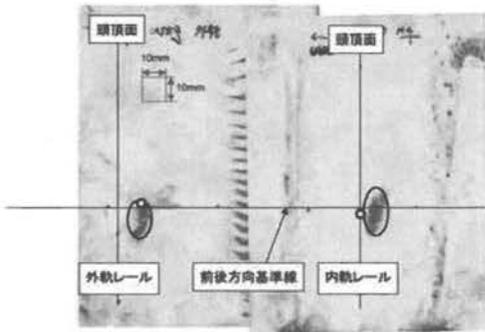


図 12 感圧紙上の実験結果と計算結果 (CASE2)

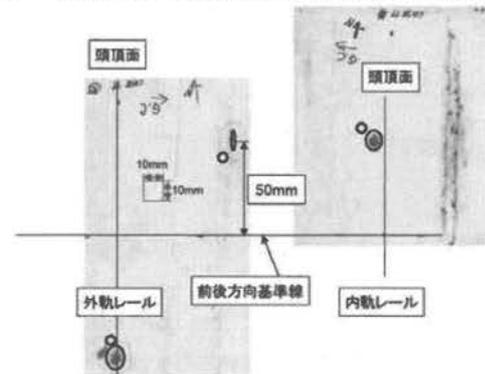


図 13 感圧紙上の実験結果と計算結果 (CASE3)

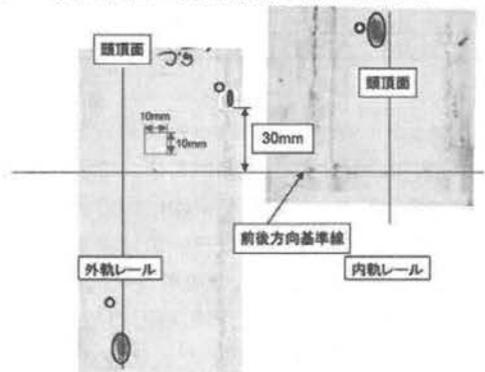


図 14 感圧紙上の実験結果と計算結果 (CASE4)

表 2 接触位置の計測データと数値計算データ

(a) 外軌踏面接触

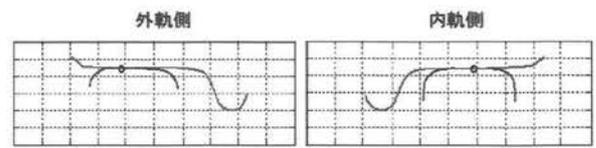
	前後(mm)			左右(mm)		
	実験値		計算値	実験値		計算値
	最大値	最小値		最大値	最小値	
CASE1	18.0	-2.0	13.12	15.0	5.0	13.05
CASE2	3.0	-13.0	2.16	-4.0	-14.0	-8.90
CASE3	-55.0	-66.5	-52.16	5.0	-4.0	3.12
CASE4	-78.0	-92.0	-88.19	4.0	-4.0	3.12

(b) 外軌フランジ接触

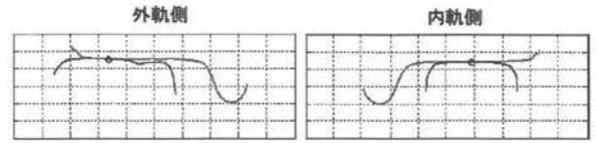
	前後(mm)			左右(mm)		
	実験値		計算値	実験値		計算値
	最大値	最小値		最大値	最小値	
CASE1	-	-	-	-	-	-
CASE2	-	-	-	-	-	-
CASE3	53.0	43.0	38.78	-55.0	-57.0	-52.02
CASE4	37.0	30.0	37.30	-54.0	-56.0	-51.83

(c) 内軌踏面接触

	前後(mm)			左右(mm)		
	実験値		計算値	実験値		計算値
	最大値	最小値		最大値	最小値	
CASE1	-6.0	-28.0	-12.87	-2.5	-14.5	-0.67
CASE2	8.0	-12.0	-2.11	-1.5	-11.5	-0.47
CASE3	53.0	43.0	51.46	10.0	2.0	10.91
CASE4	74.0	58.0	68.32	8.5	0.5	11.25



(a) CASE1



(b) CASE2

図 15 数値計算によるレール・車輪接触状態

図 11 から図 14 より、内外軌共に踏面接触の地点では円に近い楕円形状の接触痕が得られ、外軌側のフランジ接触の地点は前後方向に細長い楕円形状の接触痕が得られることが確認できた。これらの形状は、ほぼヘルツ理論と整合した結果であると言える。また、実験結果と計算結果接触点位置を比較すると、全体的に良い一致が見られることが分かる。従って、分岐区間においても、著者らが提案している車輪/レール接触幾何解析法の有用性を示すことができた。

4. まとめ

本研究では、分岐区間におけるトンゲレールへの乗り移り時の 2 点接触に着目し、側線 8 番分岐器を使用して分岐区間における接触幾何実験を実施し、数値計算と比較を行い、以下の結果が得られた。

1. 外軌側及び内軌側の踏面接触の接触点位置は、前後方向と左右方向共に良い一致が見られた。
2. アタック角が大きい場合、外軌側のフランジ接触点位置は前後・左右方向共に良い一致が見られた。

アタック角がほぼゼロの場合について、より詳しい検討を行った結果、アタック角が小さい場合、トンゲレールの形状変化の影響を受けフランジ接触点位置が前方に顕著に移動することが分かった。

文 献

- (1) 須田義大・他、急曲線における非線形接触状態を考慮した車輪/レールの接触解析, J-Rail2008 講演論文集, pp.547,2008
- (2) 杉山博之、須田義大、バックゲージ接触も考慮した車輪/レール 2 点接触幾何解析手法, 日本機械学会論文集 (C 編), 73 巻 729 号, pp. 1457-1464,2007
- (3) 佐藤 泰生、分岐器の構造と保守, pp.312, 2000
- (4) 佐藤 栄作・他、車輪・レール間の接触位置推定実験-レールの動的変位を考慮した接触角の比較, Translog2001 講演論文集, pp.449,2001