

実物大模型による車輪・レール間の接触点位置把握と のり上がり脱線に対する余裕度評価

土井 賢一* 飯島 仁 片折 暁伸 桃崎 秀二 堀岡 健司
(東日本旅客鉄道)

Evaluation of the margin against Wheel Climb Derailment by identification of the contact point position between wheels and rails investigated by a experimental method of full-scale model

Kenichi Doi*, Hitoshi Iijima, Akinobu Kataori, Shuji Momosaki, Kenji Horioka
(East Japan Railway Company)

When the vehicle runs through sharp curve, contact points position between wheels and rails are transferred forward in the rail longitudinal direction from the center of wheel, moreover the position are located nearer the tip of wheel-flange. The authors once reported the method to investigate the position by a geometrical method. In this paper describes the result of investigation of the position measured by a experimental method by using full-scale models of wheel and rail, and makes clear that the contact point is not "point" but practically narrow "area" which has about 10mm length.

キーワード：のり上がり脱線，接触点位置，車輪上昇量，アタック角，フランジ

(Keywords: Wheel Climb Derailment, contact point position, wheel lift-up value, attack angle, flange)

1. 緒言

車両が急曲線部をアタック角を生じながらフランジ接触状態で走行する際、車輪・レール間の接触点位置が3次元的に見てどのような位置にあるかを明らかにすることは、脱線の危険性を定量的に評価するために不可欠である。既往の研究でも、レール長手方向に見た接触点位置や⁽¹⁾⁽²⁾、レール・車輪断面内での接触点位置⁽³⁾、また断面内での接触点位置と脱線に対するリスクとの関連⁽⁴⁾について論じられてきている。筆者らは既報の中で、3次元 CAD を用いた幾何学的手法により求めた3次元的な接触点位置と、この接触点位置からのり上がり脱線に対する余裕度を評価できる可能性について提言したが⁽⁵⁾、本研究では、その後に行った実物大模型を用いた実験的手法による車輪・レール間の接触点位置の測定結果について報告し、実際の車両に照らした接触点位置とのり上がりとの関連について考察する。

2. 実物大模型による接触点位置の把握

(2・1) 測定装置の概要 図1に車輪・レール接触点測定装置を示す。車輪(直径 860mm・修正円弧路面・フランジ角度 65°)・レール(50kgN レール)それぞれ実物から切り出した試験片を用い、レールを試験台に固定し、可動ステージには車輪を固定する。可動ステージは並進 3 自由度、

回転 2 自由度(ヨーイング、ローリング)の設定ができ、様々な接触状態を再現することができる。

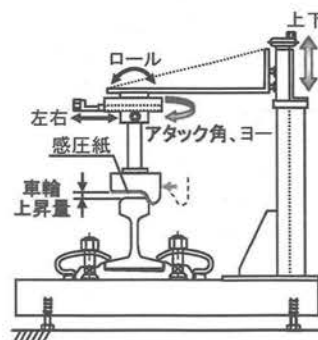


図1 車輪・レール接触位置測定装置

〈2・2〉 測定方法 測定は、車輪表面に感圧紙を貼付し、車輪に車輪上昇量、アタック角（ヨーイング角）を設定した状態でレールに接触させ、その接触痕を記録した。また車輪の上昇に伴う輪軸のローリングを考慮し車輪上昇量に応じたロール角を設定した。

〈2・3〉 測定結果 例として、装置においてアタック角を 1.3° に設定し、車輪上昇量を 1mm から 12mm まで 1mm 刻みで変化させ、それぞれレールと接触させた場合の接触痕を図2に示す。実験での接触痕はレール長手方向に 10mm 程度の範囲を持つ細長い接触面となり、車輪上昇量約 2mm から 10mm の間では接触範囲はほぼ一定であった。

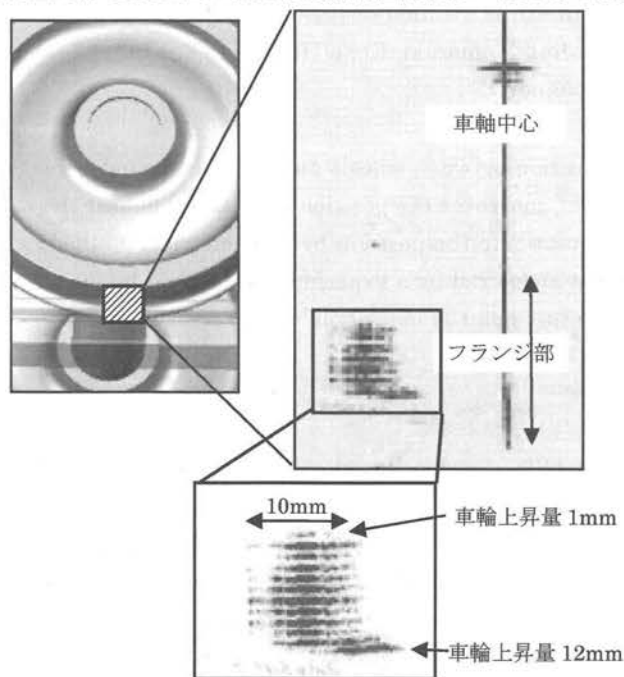


図2 接触点位置測定実験（測定例）
（車輪上昇量： 1mm ～ 12mm ，アタック角： 1.3° ）

図3に、このアタック角 1.3° の場合の車軸中心から接触範囲の前方移動量（接触痕から車軸中心線までのまでの垂線の長さ）をプロットしたグラフを示す。また比較のために、3次元CADにより求めた接触位置を同時に示す。

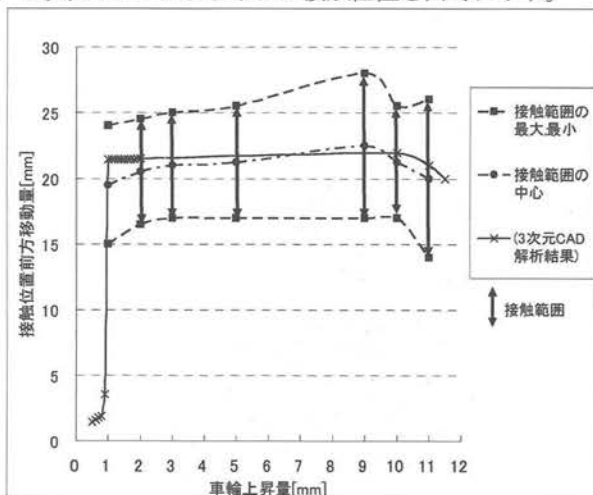


図3 車輪上昇量と接触範囲の車軸中心からの距離
（アタック角 1.3° の場合）

図2および図3より、車輪上昇量 2mm から 10mm 程度の間では、車輪とレールはフランジ 65° 部で接触おり、その接触範囲と車軸中心との距離はほぼ一定となっていると考えられる。またその接触痕の中心点は、3次元CADによる幾何学的手法での解析結果とほぼ同位置であった。

過去に橋ら⁶⁾が模型実験による電気抵抗の変化から求めた接触点位置の車軸中心からの距離は、実物大に換算して 25mm から 30mm 程度となるが、これは接触範囲のうち最も車軸中心から遠い点（つまり電気抵抗の変化が最も大きくなる点）が求められているものと考えられ、電気的な性質と照らして今回の実験結果と整合していると考えられる。

また図4に、接触痕の中心点を代表的な接触点位置とし、各アタック角における車輪上昇量と車軸中心からの接触点位置移動量の関係をプロットしたグラフを示す。また3次元CADによる解析結果を破線で示す。図示のように、フランジ角度 65° の部分で接触する領域（車輪上昇量 2.0mm ～ 10.0mm 程度）では、どのアタック角についても、3次元CADによる接触位置解析結果と 3mm 以内の差で概ね一致している。

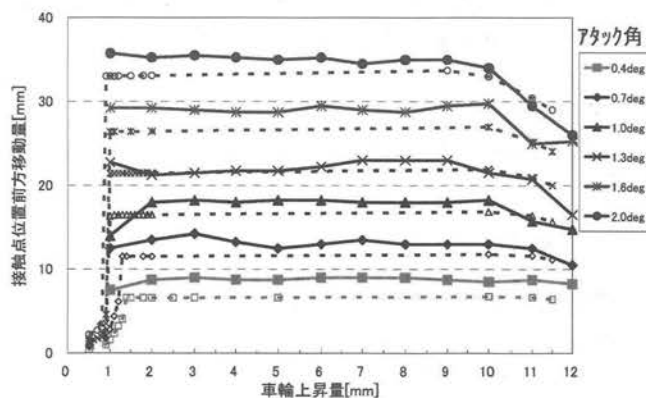


図4 車輪上昇量と接触点位置移動量
（接触痕の中心位置における）

3. 考察

〈3・1〉 のり上がり時の回転中心 車両が急曲線を走行時に、脱線係数がナダル限界（限界脱線係数）を上回ると、車輪はレールへののり上がりを開始することが知られている。過去の研究で橋ら⁷⁾は、車輪がのり上がりを開始する際には、車輪とレールの接触点において、車輪がレール側面に固着し、フランジがあたかもレール側面に引っかかったような状態となって、この接触点を回転中心として輪軸全体が上方に移動すると述べている。今回の実験では、車輪とレールの接触位置は、幾何学的に求まる接触点位置をほぼ中心とし、レール長手方向に細長く接触範囲として分布することが確認できた。では、この状態でのり上がりを開始するときの回転中心は、接触範囲のどの点であろうか？。のり上がり脱線に対する安全性を論ずる上で最も重要な接触位置は、後述するように、こののり上がり時の回転中心となる点である。実車両の走行状態において、脱線係数、

車輪上昇量、アタック角とともに、この回転中心となる位置をリアルタイムに把握することができれば、その状態におけるのり上がり脱線に対する余裕度についても、定量的な評価が可能になると考えられる。

〈3-2〉 接触点位置と理論のり上がり量 のり上がりが継続的に起きる際には、接触点つまり回転中心の位置が、車輪の回転に伴うのり上がり量に影響する。

過去の研究で佐藤ら^⑧は、脱線係数がナダル限界を上回って、車輪が接触点位置を支点として回転運動しすべり下がることなくのり上がりを継続する場合、回転中心は、車輪の移動やのり上がりによって刻々変化し、更に新たな回転中心により次ののり上がりを継続し、結果として車輪上昇量はこれら微小なりのり上がり量の総和となり、この上昇量を「理論のり上がり量」として求められると述べている。

フランジ接触状態にある車輪が、接触範囲中のさまざまな点を回転中心としてのり上がりを継続する場合の、理論のり上がり量の差異を図5に示す。ここでは接触範囲の最大、最小、中心の各位置を回転中心とした場合の、車輪回転各1°あたりの理論のり上がり量を、各アタック角ごとにプロットした。また比較のため、3次元CADにより求めた接触点位置に対する値も同時に示す。

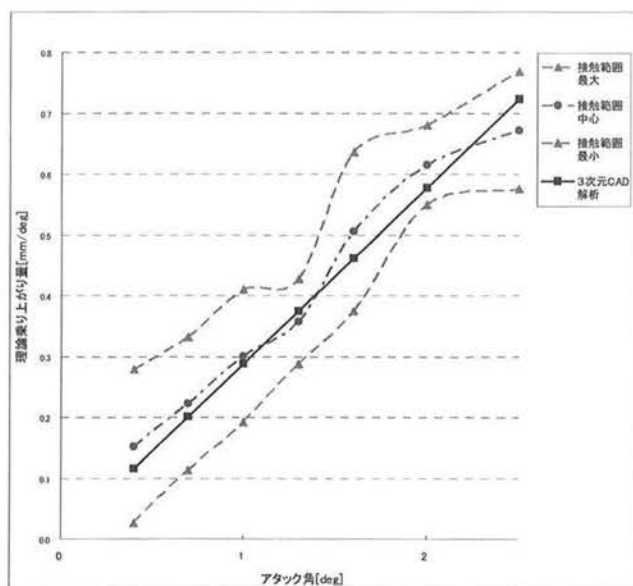


図5 接触範囲と理論のり上がり量
(車輪の回転角1°あたり)

図5より、車輪の回転に伴う理論のり上がり量は、アタック角が大きくなり、接触範囲が車軸中心から離れるほど大きくなる事が分かる。また、同じアタック角の接触範囲の中でも、車軸中心から離れた場所が回転中心となる場合に、理論のり上がり量は大きくなる。つまり、のり上がり時の回転中心が車軸中心から離れるほど、理論のり上がり量は増大し、それだけわずかな車輪の回転で脱線を起こすリスクが高まると考えられる。

実際に車輪がレール上を走行し、のり上がりを開始する場合に、接触範囲の中のいずれの点が回転中心となるかにつ

いては、接触範囲の中でのわずかな温湿度等の環境条件、表面状態、表面付着物の有無、等に起因する摩擦係数の差異、また輪軸中心からの距離の差に起因する回転中心周りのモーメントの差異により、一義的には決まらず、絶えず変動しているものと思われる。この実際の回転中心の位置を特定する方法は、現時点では確立できていない。しかし今後、実車両の走行状態における、脱線係数、車輪回転角、アタック角を精密に測定することが可能となり、かつその状態における車輪上昇量も測定することができれば、実測される車輪上昇量等の変化の状況と理論のり上がり量を比較することにより、逆にこの回転中心の位置も特定することが可能になると考えられる。

4. 今後の課題

今後は、実物大車両と試験軌道を用いた走行試験により、急曲線走行時の脱線係数、車輪回転角、アタック角と、車輪上昇量について連続的かつ精密な測定を行い、のり上がりを開始する際の回転中心の位置を求める。更に、これら測定結果から、のり上がり脱線に対し支配的な影響を及ぼす因子である車輪・レール間の摩擦係数を把握するための研究につなげてゆく予定である

5. 結論

本研究により、以下の知見を得た。

(1) 実物大模型による測定では車輪・レールの接触位置はレール長手方向に10mm程度の範囲を持つ細長い接触面となることを確認した

(2) 接触範囲については、中心点は概ね幾何学的手法による接触点位置と一致し、また電気抵抗の変化を利用した実験結果とも整合することを確認した

(3) 車両が急曲線を走行する場合、レールへののり上がりを開始する場合には、この接触範囲の中のいずれかの点を回転中心としてのり上がりの挙動を起こしていると考えられる

(4) 回転中心の位置、特に車軸中心からの距離が、のり上がりを継続する場合の理論のり上がり量に影響し、車軸中心から離れるほど脱線に対するリスクは高くなると考えられる

(5) しかし実際の回転中心は、さまざまな要因により絶えず変化していると考えられ、現時点ではその特定に至っていない

(6) 今後実車における走行試験において、走行に関連する各種物理量が既知の下で、車輪上昇量の変化の状況と、理論のり上がり量を比較することにより、実際ののり上がり時の回転中心は明らかになってゆくと考えられる。

文 献

- (1) 若林雄介, 坂原洋行, 平間淳司, 永瀬和彦: 「低速域におけるのり上がり脱線現象解明の一研究 (第 2 報, レール・車輪間の接触点位置測定)」, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.67, No.659 pp.168-173 (2001)
- (2) 須田義大, 仁科穰, 小峰久直, 林世彬, 辻隆史, 宮本岳史, 土井久代, 陳樺, 杉山博之, 谷井良充: 「急曲線における非線形接触状態を考慮した車輪/レールの接触幾何実験」, 第 15 回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-Rail2008)講演論文集, pp.547-550 (2008)
- (3) 金原弘道, 藤岡健彦: 「鉄道車両のレール/車輪間接触位置測定方法に関する研究」, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.676, No.54 pp.483-490 (2001)
- (4) Yasuhiro Sato, Akira Matsumoto, Hiroyuki Ohno, Yasushi Oka, Hiromichi Ogawa: "Wheel/rail contact analysis of tramways and LRVs against derailment", Wear, Vol.265 p.1460-1464 (2008)
- (5) 土井賢一, 片折暁伸, 村木克行, 石田陽士, 大内田章, 堀岡健司: 「幾何学的手法で得た車輪・レール間の接触点位置から見たのり上がり脱線の可能性」, 第 16 回鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail2009)講演論文集, pp.685-688 (2009)
- (6) 橋弘矩, 平間淳司, 永瀬和彦: 「鉄道車両ののり上がり現象解明の一研究—曲率半径及び車輪フランジ角が接触点位置に及ぼす影響—量の算出方法」, 第 14 回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-Rail2007)講演論文集, pp.105-108 (2007)
- (7) 橋弘矩, 佐藤祐, 牛若聡, 永瀬和彦: 「低速域におけるのり上がり脱線現象解明の一研究 (第 4 報, のり上がり脱線時におけるレール・車輪間の摩擦係数の測定方法とその結果)」, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.73, No.732 pp.2175-2181 (2007)
- (8) 佐藤祐, 橋弘矩, 若林雄介, 永瀬和彦: 「低速域におけるのり上がり脱線現象解明の一研究 (第 3 報, 車輪乗り上がり量の算出方法)」, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.73, No.25 pp.59-65 (2007)