

S8-3-3. 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 臨界脱線状態下における車輪の挙動の詳細 -

○牛若 聡 (金沢工業大学 院), [機・電] 永瀬 和彦 (金沢工業大学)

A Study of Wheel Climb Derailment

-The 4th Report, Detailed Behavior of Wheel at Beginning of Wheel Climb Derailment-

Satoshi Ushiwaka (Kanazawa Institute of Technology),

Kazuhiko Nagase (Kanazawa Institute of Technology)

To quantitatively evaluate the risk of wheel climb derailment, it is necessary to gain the practical μ value between the rail and the wheel under the critical wheel climb-up condition. However, it has been said to be impossible to gain such a value. The author introduced a wheel climb-up detective sensor which could accurately measure the wheel climb-up value from the rail tread and the wheel climb-up speed against the rail tread, and measured these values. The authors found that the μ value could obtain from the wheel climb-up acceleration, which is to be able gain by the difference of the accurately measured wheel climb-up speed.

キーワード: 鉄道, 車輪, レール, 脱線

Keywords: Railway, Wheel, Rail, Derailment

1. はじめに

筆者らが行った過去の研究において, せり上がり量やアタック角に応じて多様に変化するレール・車輪間の接触点位置を高い精度で求める方法を提案した¹⁾. この方法で理論的に求めたのり上がり量は実験装置によって実測されたせり上がり量とよく一致することを確認した²⁾. また, 理論のり上がり量を高い精度で求めることができたことにより, 理論のり上がり量とせり上がり量の差異からすべり下がり量を求められることを明らかにした³⁾.

そのことを踏まえて, 多様な条件下での実験を行った. その中から比較的低速 (約 0.3km/h) での実験結果を図 1 に, 比較的高速 (約 2.0km/h) での実験結果を図 2 に示す. 実験で用いた実験装置及び実験方法は J-Rail'01 と同様である. また, レール及び車輪踏面はアセトンで脱脂, 洗浄した状態とした. 実験時の気温, 湿度は図示の通りである. 図中の縦軸第 1 軸に理論のり上がり量と実測せり上がり量, 第 2 軸に台車移動速度と脱線係数, 横

軸に台車移動距離を示す. 図 1 及び図 2 に示すように脱線係数がほぼ同一であるにもかかわらず低速と比較して高速ではすべり下がり現象が多く発生する傾向が見られた. このような傾向が見られる原因として, 臨界脱線状態下のレール・車輪間の摩擦係数に速度依存性があるためではないかと考えた.

そこで, 筆者らはすべり下がり現象によりレール・車輪間の接触点に滑りが発生しているときの車輪の挙動から摩擦係数を求められるのではないかと考え, 従前の実験装置を用いて得た実験データから摩擦係数の算出に必要となるすべり下がり量と車輪のせり上がり方向の加速度の算出を行ったが, 測定精度の不足により正確な値を算出することは困難であった.

この研究では, 測定精度向上のために実験装置の改良を行い, せり上がり量を高い精度で求め, この値からすべり下がり量とせり上がり方向の加速度の測定を試みた.

2. 車輪せり上がり時の摩擦係数の求め方

のり上がり脱線時のレールと車輪の接触点は、接触点を中心に回転しながら移動するという特殊な状態であるため、直接摩擦係数を測定することは困難である。

車輪がのり上がりを開始する際に生じるせり上がり方向の加速度は接触点において車輪に加わる力によって発生する。即ちせり上がり方向加速度は重力加速度による力とレール・車輪間の摩擦による力の差によって生じるものであることから、筆者らはせり上がり方向の加速度と接触点において車輪に加わる力を測定することで、ニュートン力学の第 2 法則によって摩擦係数を算出することができると考えた。そして従前の実験装置によって得られた実験データを用い、その考えに基づいて解析を行った。

3. 従前の装置で得た値を用いての解析結果

実験データから臨界脱線状態下の摩擦係数を求める上で最も重要となることは車輪のせり上がり方向の加速度である。また、接触点が滑っていない状態、即ち順調にのり上りを継続しているときは加速度から摩擦係数を算出することができない。そのため、すべり下がり現象

の発生を捉える必要がある。そこで、従前の実験装置を用いて行った実験結果からせり上がり方向の加速度及びすべり下がり量の算出を行った。この従前の実験装置はせり上がり量を $8\mu\text{m}$ の分解能で測定可能なものである。

図 3 にレール及び車輪が清浄乾燥状態の場合のせり上がり量、理論のり上がり量、すべり下がり量と台車の走行位置の関係を示す。脱線係数 Q/P は約 1.2 として実験を行った。実験時の気温、湿度は図示の通りである。図中の縦軸第 1 軸に実測せり上がり量、第 2 軸にすべり下がり量、横軸に台車移動距離を示す。実験条件は図 1 と同様である。図 4 に図 3 の○印を付した部分のせり上がり量及びせり上がり方向の加速度と時間の関係を拡大して示す。図中の縦軸第 1 軸に実測せり上がり量、第 2 軸にせり上がり方向の加速度、横軸に時間を示す。

図 3 において、35mm 付近ですべり下がり状態から急激にのり上がり状態へと遷移している。そのため、すべり下がり量はこの付近を境に変化すると考えられるが、外乱が大きいためこの図からその変化を読み取ることは困難である。図 4 においては、0.41s 付近ですべり下がり状態から急激にのり上がり状態へと遷移していることから、この付近ではせり上がり方向の加速度が発生していると考えられるが、せり上がり方向の加速度は正負両方に分布しており、こちらもその変化を見ることは出来なかった。

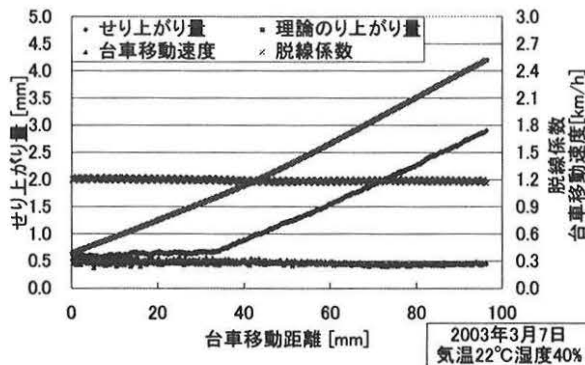


図 1 低速(約 0.3km/h)での車輪の挙動

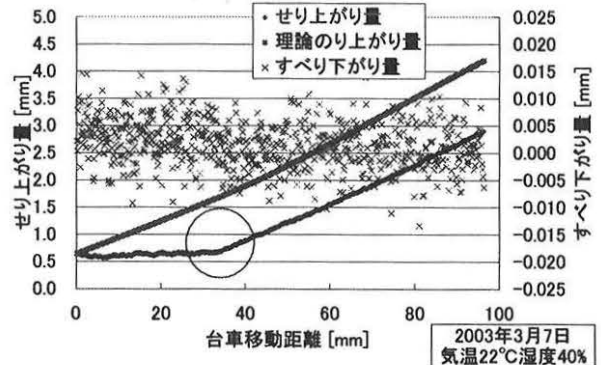


図 3 従前の装置で測定した車輪のすべり下がり量

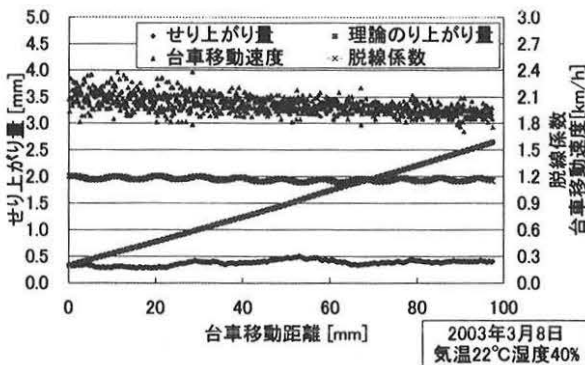


図 2 比較的高速(約 2.0km/h)での車輪の挙動

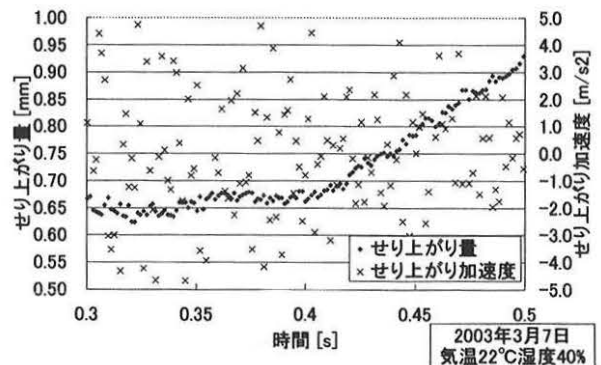


図 4 従前の装置で測定した車輪の
せり上がり方向加速度

4. 装置の改良

4.1 測定精度向上の方法

上記の問題点から、これらの値の測定を行うためには従前の実験装置でせり上がり量測定に用いていた $8\mu\text{m}$ の分解能を持つレーザー変位計では測定精度が不足しており、より高精度にせり上がり量の測定を行うことが必要であることがわかった。そのため、実験装置の改良を行い測定精度の向上を図ることとした。

従前のレーザー変位計を用いて従前よりも大幅に測定精度を向上することは不可能であったため、新たに $0.5\mu\text{m}$ の分解能を持つ高精度のレーザー変位計を導入し、せり上がり量の測定精度向上を図った。また、レーザー変位計を実験台車に固定し支えている部分の軸受けの見直しやノイズ対策などを徹底することで測定精度の向上を図った。

4.2 測定精度の比較

実験装置の改良による測定精度向上を確認するため、新たに導入した測定機器と従前の測定機器を用いてせり上がり量を測定し、測定精度を対比する実験を行った。図 5 に新たに導入した測定機器で測定したせり上がり量

及び従前の測定機器で測定したせり上がり量と時間の関係を示す。図中の縦軸にせり上がり量、横軸に時間を示す。図 5 より、従前の測定機器を用いた測定結果ではノイズなどによる変動が $3\mu\text{m}$ 程度ある事が確認できるが、新たに導入した測定機器を用いた測定結果では $1\mu\text{m}$ 以下である。また、その発生頻度も非常に少ない。このことから、新たな測定機器の導入によってせり上がり量の測定精度を格段に向上することが出来たと考えられる。

5. 新たに導入した測定機器での測定結果

以上を踏まえ、新たに導入した測定機器を用いてのり上がり脱線実験を行った。実験時の気温、湿度は図示の通りである。図 6 に改良後の実験装置を用いて行った実験結果を示す。脱線係数 Q/P は約 1.3 として実験を行った。図中の縦軸第 1 軸に理論のり上がり量と実測せり上がり量、第 2 軸に台車移動速度と脱線係数、横軸に台車移動距離を示す。図 6 に示した車輪の挙動を元にすべり下がり量とせり上がり方向の加速度の解析を行った。図 7 にせり上がり量、理論のり上がり量、すべり下がり量と台車の走行位置の関係を示す。図中の縦軸第 1 軸に実測せり上がり量、第 2 軸にすべり下がり量、横軸に台車移動距離を示す。図 8 に図 7 の○印を付した部分のせり

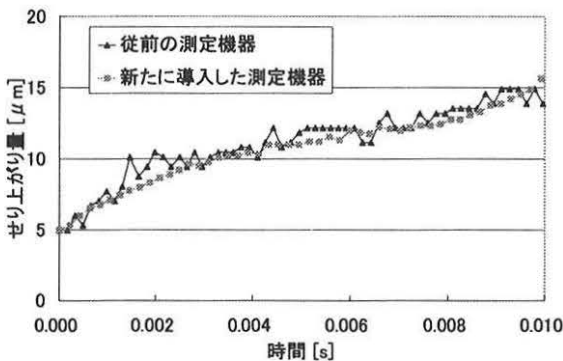


図 5 新旧測定機器による車輪せり上がり量測定精度の比較

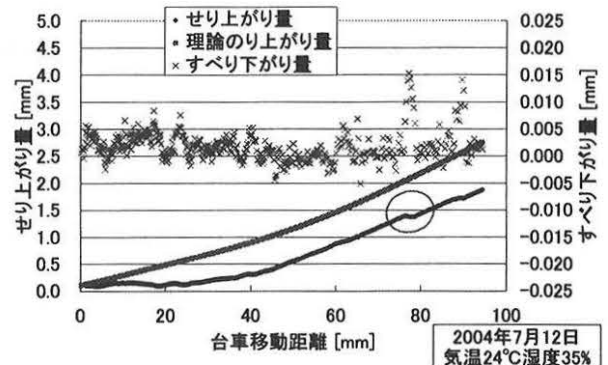


図 7 新たに導入した測定機器で測定したすべり下がり量

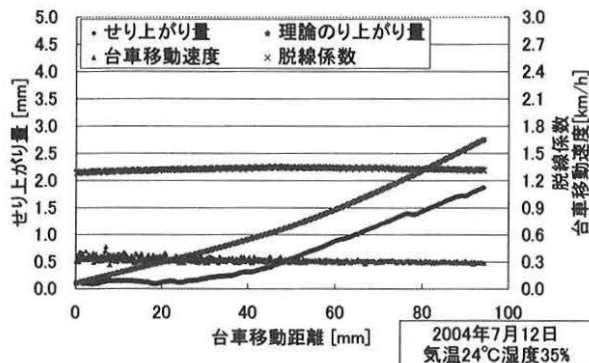


図 6 新たに導入した測定機器で測定した低速(約 0.3km/h)での車輪の挙動

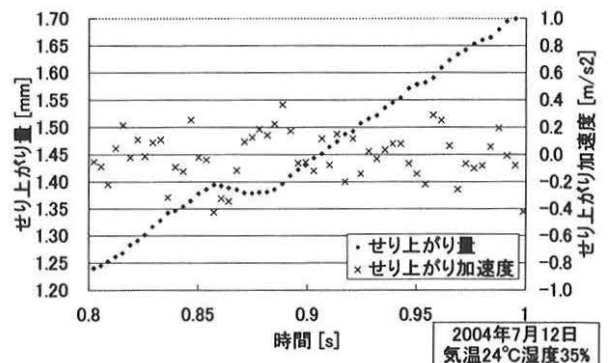


図 8 新たに導入した測定機器で測定したせり上がり方向の加速度

上がり量及びせり上がり方向の加速度と時間の関係を拡大して示す。図中の縦軸第 1 軸に実測せり上がり量、第 2 軸にせり上がり方向の加速度、横軸に時間を示す。

図 7 と図 8 を見て、まずはすべり下がり量、せり上がり方向の加速度ともに大幅に乱れが減少していることが見て取れる。図 7 において、顕著なすべり下がり現象が発生している 75～80mm の部分ではすべり下がり量が明らかに大きくなっていることが分かる。また、のり上がり現象があまり発生していない 0～40mm の範囲ですべり下がり量は 0 以上になっており、すべり下がりが発生していることが分かる。それに対し、ほぼ理論のり上がり量通りにせり上がっている 50～70mm の範囲では、すべり下がり量は 0 に近付いており、すべり下がりがあまり発生していないことが分かる。

図 7 では、0.86s 付近でのり上がりからすべり下がりに転じている部分では加速度は負の値になり、すべり下がる方向に加速度が発生していることが分かる。0.87～0.88s 付近で再度のり上がりに遷移する部分では正の値になっており、せり上がる方向に加速度が発生していることが明確に分かる。

これらのデータを用いることにより、今後レール・車輪間の摩擦係数を求めることが可能であると考えられる。

6. 結論

低速で急曲線を通過する際に発生する「のり上がり脱線」防止のために試作した模型台車を用いて実験を行った結果、本来は台車移動速度の増大によってのり上がり速度が増大すべき高速域においてすべり下がり現象が多発していることから、レール・車輪間の摩擦係数は臨界脱線状態の下でも多様に変化している可能性がある。そこで、臨界脱線状態の下における車両のすべり下がりの詳細な挙動を解明することによって、多様に変化する摩擦係数を求める研究を行った結果の要旨を述べると以下の如くなる。

- (1) すべり下がりが発生したときの車輪の加速度を求めることにより、のり上がり脱線時のレール・車輪間の摩擦係数を求め得ることを明らかにした。
- (2) 高い分解能で計測可能なセンサを導入することにより、車輪のせり上がり量を極めて高い精度で測定することができた。
- (3) 前記方法で得た高精度のせり上がり量を微分することによって車輪のせり上がり方向の速度及び加速度を高い精度で求めることができることが分かった。
- (4) 前記方法で得た加速度を用いることによって、のり上がり脱線現象解明のために不可欠とされながら、従前その値を求めることが不可能とされたのり上がり脱線時のレール車輪間の摩擦係数を求め得る

見通しを得た。

今後の課題として、のり上がり脱線時の摩擦係数を算出するためにはせり上がり方向の加速度のほかにレールと車輪の接点において車輪に働く力を正確に求める必要がある。

参考文献

- 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 - 第二報 レール・車輪間の接触点位置測定-, 機論, 67-659, C, pp2266-2271, 2001-7
- 2) 東真一, 若林雄介, 平間淳司, 永瀬和彦: のり上がり脱線臨界状態下における車輪の挙動 - 第 3 報 アタック角に応じた理論のり上がり量の算出-, 平成 14 年鉄道技術連合シンポジウム (J-Rail2002), pp487-490
- 3) 永瀬和彦, 坂原洋行, 野村俊明: 低速域におけるのり上がり脱線現象解明の一研究 - 第一報 模型実験装置による基礎実験結果-, 機論, 66-652, C, pp68-75, 2000-12