

低速走行時の車輪上昇量の連続的測定に関する基礎的検証

○[機] 今田 亮一, 村木 克行, 飯島 仁, 土井 賢一, 桃崎 秀二, 片折 暁伸, [機] 松本 重夫
(東日本旅客鉄道株式会社)

Accurate Measurement of the Wheel Lift-up Value from the Rail under
the Critical Condition of Wheel Climb Derailment

○Ryoichi Imata, Katsuyuki Muraki, Hitoshi Iijima, Kenichi Doi, Shuuji Momosaki,
Akinobu Kataori, Shigeo Matsumoto (East Japan Railway Company)

To prevent the wheel-climb derailment under low speed ranges, one of the key points is said to strictly evaluate the friction coefficient μ between a wheel flange and a rail. However, few results were reported on the studies of the μ , though many investigations had been done until to the present. To evaluate the μ value, it is necessary to precisely detect the moment when the wheel was thrown into the critical condition of the derailment. To detect the moment, the authors proposed a new method to continuously and accurately measure the wheel lift-up value from the rail using an optical riser sensor. The device was installed on the truck of an EMU for commuter use, and the car was experimentally operated on the station yard track to measure the value. As the results of the experiment, they found the new device could accurately measure the value.

キーワード: 乗り上がり脱線, 車輪上昇量, 摩擦係数, 連続測定

Key Words: Railway, Track, Rail, Truck, Wheel, Derailment, Friction Coefficient

1. はじめに

これまで, 弊社を含め幾つかの鉄道で車輪削正直後に構内の急曲線や番数の小さい分岐器でのり上がり脱線が発生している⁽¹⁾。これの防止策として当社では, これまで車輪削正後のフランジ部への油塗布を実施することとしてきた。しかし, 最近発生した脱線⁽²⁾などの状況をみれば, これらの対策は必ずしも万全ではないと見られる。

低速時の車輪ののり上がり脱線は, 外軌側車輪フランジ-レールゲージコーナー (GC) 部間の摩擦係数が支配的な因子とされ, この摩擦係数に関わる要素に関する様々な知見が先達の研究によって得られている。若林らは車輪の理論のり上がり量と車輪の実せりあがり量とを求め, 両者の挙動からのり上がりの過程でも車輪は微小な滑り下がり現象を繰り返していることを明らかにした^{(3),(4)}。橋らは前記の理論値と実際の車輪がせり上がり量との差から車輪が臨界脱線状態に陥った瞬間を正確に捉え, この時点の脱線係数とナダル限界から摩擦係数を推定する手法を提案した⁽⁵⁾。しかしながら, これらの研究は模型実験による検証にとどまっている。

臨界脱線状態に陥った時点を現車で正確に検知するためには, 理論のり上がり量を正確に算出することと共に, 車輪がレール踏面からせり上がった量を極めて短い間隔で高い精度で測定する必要がある。ところが最近まで光学式測長器は, レーザ光を金属光沢のあるレール踏面に照射す

る際に生ずる散乱光が外乱として作用するために, これを実際のレールに適用して車輪のせり上がり量を計るのは困難とされてきた。加えて, 測定器本体を輪軸の中心に堅固に装着することも実質不可能であり, これらが摩擦係数 μ の測定を本線で実施することを難しくしていた。

本研究では, これを踏まえ, 低速時の乗り上がり脱線現象の主因子である外軌側車輪フランジ-レール GC 部の摩擦係数測定のため, 車輪上昇量の連続的な測定を行ない, この値と理論のり上がり量との差異から乗り上がり現象の臨界状態を捉えることを試みる。本稿では, 現車走行時の車輪上昇量の連続的な測定を試行した試験結果について報告する。

2. 測定方法

車輪のレールからの上昇量を求めるためには, 輪軸の回転中心にレール踏面との距離を計る測定器を取り付けるのが本来望ましいが, それは難しい。このため, 本研究では, 輪軸の中心位置からレール長手方向の等しい距離 2 箇所の地点の軸箱にレール踏面の距離(上下変位)を測定する測定器を取り付け, そして, これら二つの測定器が得た値の平均を車輪の上昇量と見做す方式を導入した。

図 1 に測定器を台車軸箱に取り付ける治具等の概念図を示す。今回の走行試験では, JR 東日本の常磐線通勤用 E531 系車両を実験の対象とした。当該車両の台車軸箱支持はダ

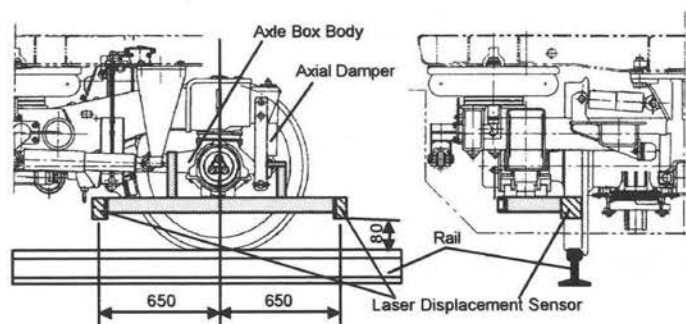


Fig.1 Conceptual figure of experimental measurement device

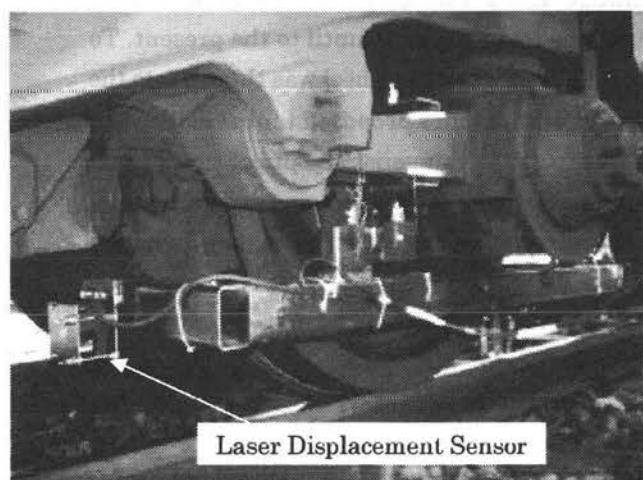


Fig.2 The riser sensor attached on the axle box

ンパ付きの軸ハリ方式である。筆者らは図2に示すように軸箱体に治具を取り付けた。走行中に軸ハリは車輪中心に回転運動するので、図示のような方式とすれば、治具もそれに応じた動作を行う。すると、軸箱中心からレール長手方向で見て等距離の地点に設置された測定器のレール踏面からの距離の和はたとえ軸箱が車輪中心に回転しても、その影響はキャンセルされるため不変である。従って、二つの測定器が検出したレールからの距離の相和平均が車輪ののり上がり量となる。

走行時の振動の影響によって、治具自体が変形して測定に誤差が生ずるのを防ぐため、治具は剛性を有した構造となるよう配慮した。走行試験時の台車実装状態を図2に示す。

車輪の上下変位(せり上がり量)の測定は、軸箱体に固定した治具にレーザー変位計を取り付け、レール踏面に照射したレーザー光の反射光を取得することで測定した。ここで、レール踏面は金属面であり、これまでの通常のレーザー変位計では、散乱光の影響で正確な変位量の取得は困難である。そのため、本研究では、レーザーの照査機能に CCD を使用したタイプの変位計を用いることとした。変位形の測定誤差は $0.5 \mu\text{m}$ であり、計測のサンプリングは $500 \mu\text{s}$ である。

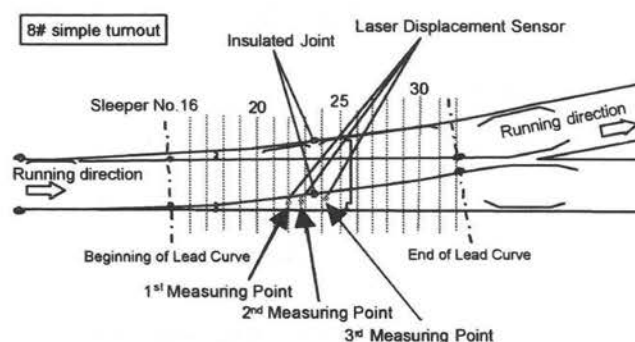


Fig.3 Sketchy figure of the laser sensors installed on the switch

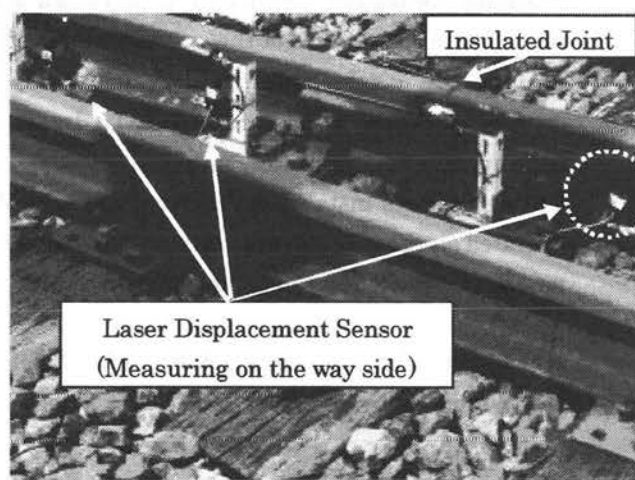


Fig.4 The site of the experimental track

3. 走行試験結果

3. 1 走行試験の概要

平成20年9月に、常磐線・高萩駅構内の側線用8#分岐器⁶⁾の分岐側を対向で走行する状態で実験を実施した。本走行試験では、分岐器内の3箇所において、地上側から車輪踏面を照査する変位計を設置し、そのデータと本装置で得た値との比較も行った(図3及び図4参照)。ただし、車上側の変位計で得た値の連続的な較正が出来なかった。このため、対比は絶対値としてではなく、3点の大小の比較にとどまっている。なお、地上側の測定箇所と車上側のデータとの照合のために、地上側測定3箇所の傍らに反射板を敷き、車上側の測定治具の枠に取付けた赤外線センサにより、車上側で3箇所の地点を特定することとした。また、地上側に設置した変位計の測定点を進行方向に沿って、それぞれ第1測定点～第3測定点とした。車上側の変位計については、走行試験開始直前に直線の平地で留置している状態で、変位計がレール頭頂面を捉えている値をゼロ値としての較正のみを行った。本研究における測定の主たる目的は、絶対量の把握というよりもむしろ、車輪上昇量の変化を正確に捉えることにある。よって、まずは金属光沢面であるレールを対象として、変化状態をきめ細かに捉えることができるかどうかの確認を優先したためである。

測定条件は、乾燥状態で摩擦係数を極端に上昇させるため、10両編成の実験用車両を予め分岐器を約30回程度、速度約20km/h程度で繰り返し走行させた。また、湿潤状態のデータも比較するため、繰り返し走行後に、分岐器内の一部で散水を行なった。

3.2 測定結果

図5は、繰り返し走行を17回、22回、28回行なった際の波形を比較したものである。横軸は走行距離、縦軸は車輪上昇量である。この図から、3つの波形を比較すると、本方式による測定には再現性が十分見られ、安定した波形が取得できることがわかる。また、地上測定との比較では、分岐器内にあって若干の継目落のある絶縁継目後の第3測定点で、他の2測定点に比べ、各測定とも小さい値となっていることなど、測定値の傾向は一致していると言える。

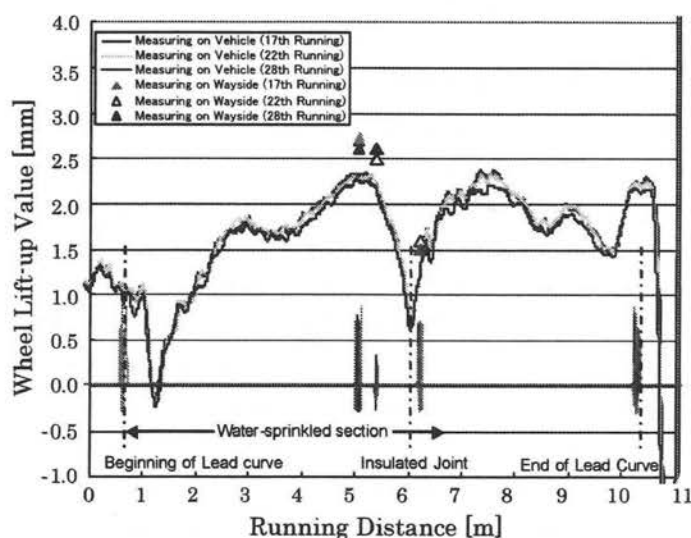


Fig.5 Changing of the wheel lift-up value recorded by the sensors and the same value recorded on the way side.
(Verification of repeatability)

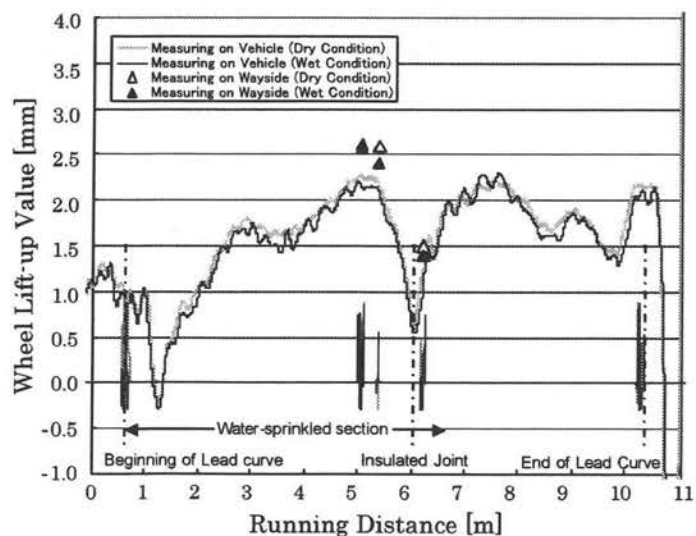


Fig.6 Changing of the wheel lift-up value recorded by the sensors and the same value recorded on the way side.
(Difference between two conditions)

なお、今回の走行試験における走行状態は、車輪上昇量は最大でも2.3mm程度あり、フランジ接触はしているものの、フランジ65度の付近までの上昇はしていないと推定される。したがって、本研究の目的である、のり上がり脱線現象に至る程度 of 車輪上昇量の波形の取得には至っていないと思われる。

図6は、乾燥状態（非散水状態）での最終試番（第28試番）と、次試番で一部区間に散水を行なった場合の比較をしたものである。この図から車上測定及び地上測定とも、散水後の車輪上昇量の測定値が小さいなど、測定の傾向は一致している。また、乾燥状態に比べ散水後は、第1測定点に比べ第2測定点で、車上測定と地上測定ともに測定値が下がっていることなど、きめ細かい測定ができていると考えられる。

図7は、全測定試番における、各3測定点における車上測定と地上測定の測定値の関係を示したものである。縦軸は地上測定での車輪上昇量、横軸は車上測定での車輪上昇量である。車上測定と地上測定は、ゼロ点の基準が合わないことから、必ずしも絶対値は一致しないが、増減分については一致をみるはずである。即ち、この図において、各プロットの傾向は、切片を有した（あるいは切片はない）傾きが1となる直線になることが望ましい。図7をこの観点で見た場合、プロットにばらつきはあるものの、殆どのデータは概ね傾き1の直線上にならんでおり、本測定方法による取得データがほぼ安定した測定であったと考えられる。

総じて、分岐器内のリード部分等での、車輪上昇量の変化などは、ある程度細やかに測定できていることがわかる。しかしながら、今回使用した変位計は、スポットタイプのものであり、特定点での車輪上昇量のみを相対的に捉えているなどの問題もあるので、今後の検証が必要である。

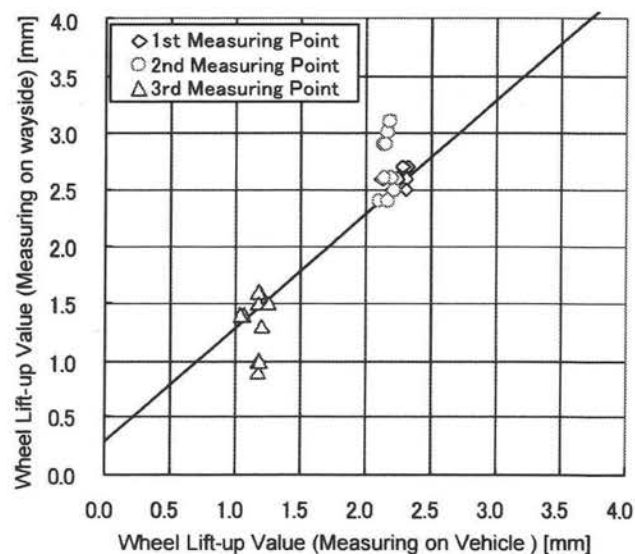


Fig.7 Relationship between the wheel lift-up value recorded by the sensors and the same value recorded on the way side

4. 結論

急曲線を低速度で通過する際に発生する「のり上がり脱線」防止のため、軸ハリ式台車を装架した車両を用いて臨界脱線状態を具現させる試験を行うに際し、当該台車の軸ハリが輪軸を中心に旋回運動することに着目し、輪軸中心からレール長手方向前後等距離に位置する軸ハリ上に 2 箇の CCD タイプの変位計を設置して前記車両を急曲線を走行させるとともに、車輪のレールからのせり上がり量を二組の変位計の総和平均から求めた結果、以下のようなことがわかった。

- (1) 今回の走行試験で使用したレーザ変位計は、金属光沢面であるレール踏面と測定器との間の距離を正確に連続測定できることを確認した。
- (2) 提案した方式は、臨界脱線状態の下における車輪のレールからのせり上がり量を高い精度で連続測定できることがわかった。

5. 問題点と今後の課題

今回の走行試験における測定方法の最大の問題点は、スポットセンシング型の変位計を用いたことから、測定量の変動に、実際の車輪の上下変位のほか、車輪のアタック角や左右変位に応じてレール踏面の曲率による変位計の計測量の増減が反映されてしまう点である。これに関しては、2 次元のセンシングを行うタイプの変位計を使うことで改善できると想定されるが、現状では CCD タイプでかつ 2 次元型のものでは、処理（サンプリング）に要する時間が数 msec となり、低速域とはいえ測定点間の距離は無視できないレベルとなる。

また、本走行試験においては、8 井分岐器の分岐側をある程度繰り返し走行を行なったが、車輪が大きく上昇する条件には至らなかった。このため、乗り上がり現象における臨界状態を捉えるために、さらに試験条件を検討し、次の点を考慮した上で、今後はさらに測定手法の改良及び測定結果の検証を進めていきたいと考えている。

- ・ 2 次元センシング型のレーザ変位計の適用の可能性
- ・ 連続 PQ 測定データとの連携
- ・ 他の測定機器等による摩擦係数の測定値⁷⁾との比較及び検証

本走行試験に実施にあたり、日本線路技術（株）及び東急車輛製造（株）には多大なる御協力をいただき、JR 東日本本社内各部及び水戸支社にも多大な御尽力をいただいた。また、測定全般にわたり、金沢工大・永瀬和彦教授には、多大な御指導を賜った。ここに、感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 例えば、神戸電鉄株式会社有馬線有馬口駅構内脱線事故調査報告書（航空・鉄道事故調査委員会）、(2007・9), RA2007-6-2.
- 2) 東北線 尾久駅構内脱線事故, 運輸安全委員会, 鉄道事故調査報告書要旨.
- 3) 若林雄介, 坂原洋介, 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・車輪間の接触位置測定), 日本機械学会論文集(C 編), Vol. 67, No. 659, (2001・7), 2261-2271.
- 4) 佐藤祐, 橋弘矩, 若林雄介, 永瀬和彦, 低速域における乗り上がり脱線現象解明の一研究 (第 3 報, 車輪のり上がり量の算出方法), 日本機械学会論文集(C 編), Vol.73, No.724, (2007・1), 59-65.
- 5) 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, (2007・8), 1-7.
- 6) 日本工業規格, 鉄道用分岐器類の線形, JIS E 1304, (2001・6).
- 7) 前橋栄一, 飯田浩平, 西山幸夫, 車輪およびレールの摩擦係数測定装置 μ テスタの開発, 鉄道総研報告, Vol.20, No.11, (2006・11), 23-28.