

S8-2-3

車輪・レール接触に関する各種特性値の測定に関する考察

－横圧、輪重、接線力、アタック角、接触点などの実態把握－

[機] ○松本 陽、 [土] 佐藤 安弘、 [機] 大野 寛之 ((独) 交通安全環境研究所)
留岡 正男 (東京地下鉄)
谷本 益久、 [機] 陸 康思 (住友金属テクノロジー)
佐藤 與志 (住友金属)

Consideration on the Measurement of Wheel/Rail Contact Characteristics

・ Observation of contact forces, contact angle, contact point, etc ・

Akira Matsumoto, Yasuhiro Sato and Horoyuki Ohno, Member,
(National Traffic Safety & Environment Laboratory)

Masao Tomeoka (Tokyo Metro), Masuhisa Tanimoto and Yasushi Oka (Sumitomo Metal Technology)
Yoshi Sato (Sumitomo Metal)

Various characteristic data on wheel/rail contact interaction, such as contact forces interacting between wheel and rail, attack angle of wheelset, position of wheel/rail contact point, are very important, because they should provide the dynamics of vehicle and track, and finally affect the maintainability of wheels and rails. The authors have studied new measuring methods on wheel/rail contact characteristics in order to realize more economical, more efficient, and more accurate measuring. In this paper we describe the mechanisms of various new methods for measuring wheel/rail contact characteristics, such as attack angle, lateral/normal/tangential forces, etc, from on-board side and way-side, and show examples of the characteristics measured by such methods on real commercial lines.

キーワード：計測方法、接触力、アタック角、接触解析、急曲線

Keyword: Measuring method, Contact force, Attack angle, Contact analysis, Sharp curve

1. はじめに

車輪・レール接触に関する各種の特性値、すなわち輪重、横圧、接線力などの接触力、アタック角、接触点位置などの幾何学的関係は、車両の運動を規定し、安全性、保守性、環境性に影響を与える重要なパラメータである。したがって、これらが実際にどのような値になっているかを把握することは大変重要なことであるが、高速で転動し、ともに複雑な曲面形状を持つ「車輪・レール接触系」の各種特性値を計測することは、一般的に非常に難しい。

このため、これまでいろいろな工夫をなされた測定法が用いられてきたわけであるが、費用、手間、精度などの面からの制約が多かった。筆者らは、より簡便かつ経済的で、精度の高い各種の測定法の実現のために研究を進めてきたが、それらを系統的に整理して、本稿において報告する。

2. 車輪・レール接触に関する特性量

2.1 接触に関する特性値の測定とその意味

(1)特性値とその意味 車輪・レール接触に関する特性値としては、相互間の相対変位、接触面に働く力、接触点

の位置及び形状などがあげられる。相対変位としては、輪軸の横変位とアタック角が主なもので、車輪やレールの形状が既知であれば、接触解析結果と併用することにより、横変位から内外軌輪径差及びそれに伴う縦方向クリープ量

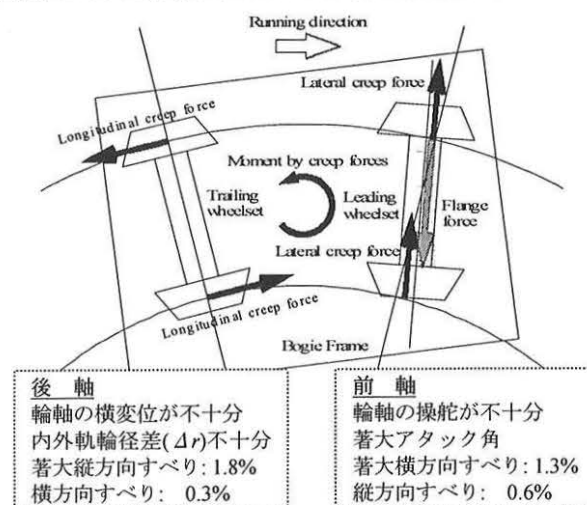


図1 曲線通過中の台車と諸特性値

が推定でき、アタック角からは横方向クリープ量が推定でき、台車の曲線通過性能の概要が求まる。横変位及びアタック角の測定結果から、曲線通過中の台車の状況について図示した例を図1に示す¹⁾。

車輪・レール接触面に働く力としては、輪重、横圧、接線力(円周方向力)があり、車両重量の支持、車両の案内、車両の駆動・制動の役割を果たしている。接線力は駆動・制動に伴う空転や滑走に関係し、輪重と横圧は、脱線などの安全性に関係する。輪重と横圧の比である脱線係数は安全上最も重要な数値で、計測するニーズも非常に大きい。また、輪重ゆへは、脱線をはじめとして好ましくない現象を引き起こすので、輪重の監視も重要な要素である。

車輪・レール接触点の位置や接触楕円の形状は、上記の力などを生成する最も基本的なパラメータであるが、通常、直接測定することは最も難しい。車輪・レールの相対変位から推定するか、車輪やレールの変形状態から推定する方法が考えられる。

図2に車輪・レール接触に関する各種特性値の関係を示す。

(2)測定位置 測定位置としては、車上側からの計測と地上側からの計測があり、それぞれ長短がある。車上計測は、特定の車両にセンサを設置するため、その車両が走行する路線全体にわたって測定をすることができる。地上計測は、路線の特定の地点にセンサを設置するため、その地点を通過するすべての車両(旅客の乗車する営業列車も含む)を計測できるという利点を有する。これらは目的に応じて使い分ける必要がある。

3. 車輪・レール相対位置及びアタック角の測定²⁾

3.1 車上からの測定

車輪とレールの横方向相対変位やアタック角は、車輪からレール上の異なる2点までの距離を非接触式センサで測定し、それらの値の平均値により横変位を、差によりアタック角を測定することができる。図3に、その模式図を示す。この方法は、曲線通過中(直線-緩和曲線-円曲線-緩和曲線-直線)の車両の状態を克明に観察することができるが、構造的に車両限界を支障することになるため、営業時間中に計測できないなどの制限がある。

3.2 地上からの測定

軌道上から、通過する車輪のリム部の2点までの距離を非接触式センサで計測し、車上側測定と同じ原理で、それらの値の平均及び差より、車輪横変位とアタック角を計測することができる(図4)。この方法は、建築限界を支障しないので、旅客が乗車した営業列車もすべて計測することができ、非常に有用である。

図5は、2000年に発生した地下鉄日比谷線中目黒事故の直後に、事故発生地点を通過する営業列車について測定した例である³⁾。この図を見ると、台車中の前側輪軸、すなわち、車両中の1軸、3軸のアタック角が大きく10mrad以

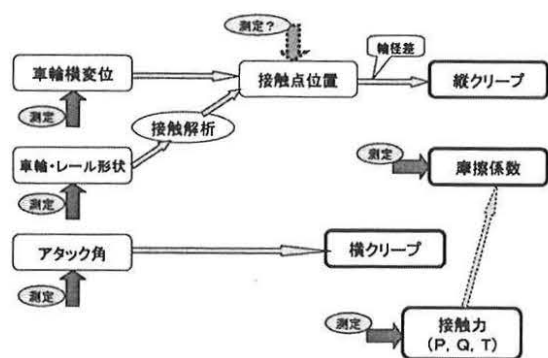


図2 車輪・レール接触に関する特性値の関係

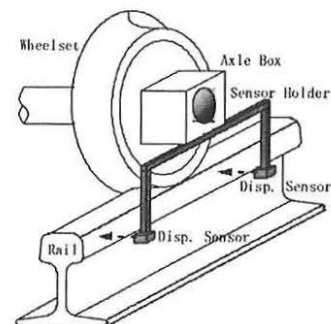


図3 アタック角の測定(車上)

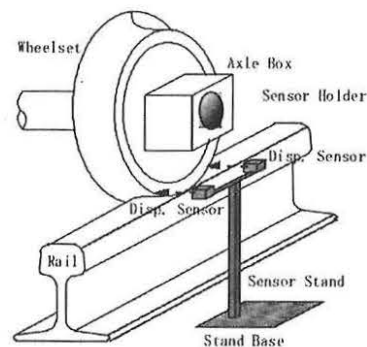


図4 アタック角の測定(地上)

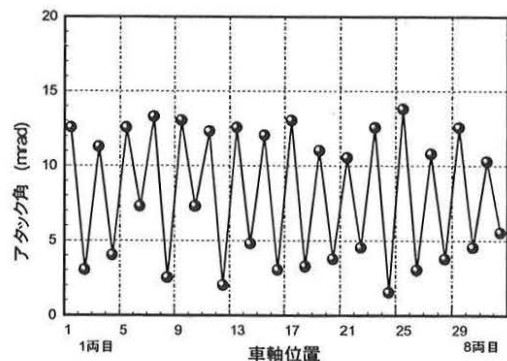


図5 アタック角の測定例(地上-1列車分)

台車の曲線性能の良否、ひいては曲線通過に関する安全度は、アタック角の測定で顕著に表れる。

4.1 車上からの測定

これに対して、日比谷線事故の原因調査等で明らかになってように、車輪・レール間の摩擦係数は常時大きく変化しており、脱線係数もそれによって変化するため、より頻繁に、理想的に常時脱線係数を監視することが望まれるということがわかってきた。

これらを用いて、より頻繁に、より容易に接触力が測定できる方法について研究を進めているところである。

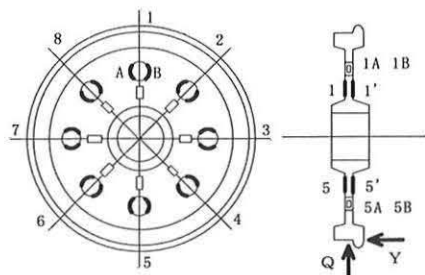


Figure 1 is a schematic diagram of a non-contact gap sensor system. The diagram shows a cross-section of a wheel assembly. A bearing (1) is mounted on a bearing box (2). A sensor base (7) is positioned near the bearing. A non-contact gap sensor (3) is mounted on the sensor base. A wheel (4) is shown with a rim (4a) and a boss (4c). A non-contact gap sensor (6) is mounted on the boss. A sensor base (8) is also shown. A non-contact gap sensor (5) is mounted on the sensor base. A boss (4c) is shown. A rim (4a) is shown. A wheel (4) is shown. A bearing (1) is shown. A bearing box (2) is shown. A sensor base (7) is shown. A non-contact gap sensor (3) is shown. A non-contact gap sensor (6) is shown. A sensor base (8) is shown. A non-contact gap sensor (5) is shown. A boss (4c) is shown. A rim (4a) is shown. A wheel (4) is shown.

図7 新しい横圧測定法の原理

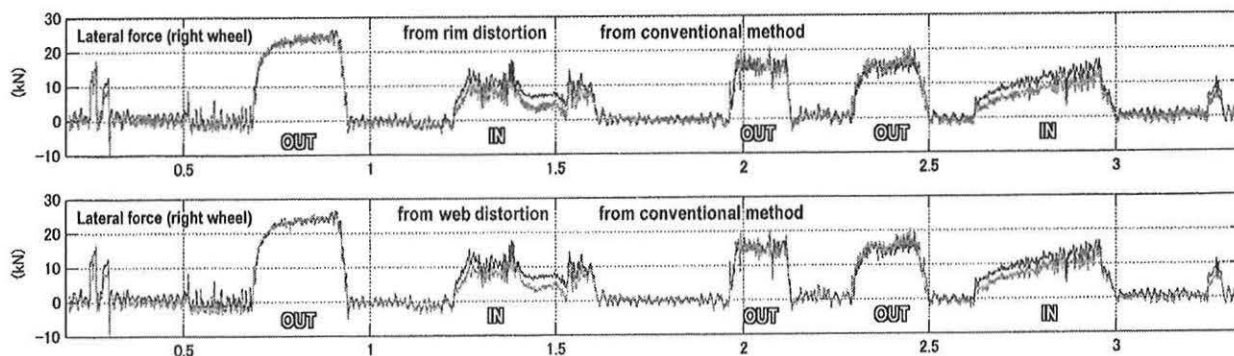


図8 営業線における新旧測定法の比較試験結果

4.2 地上からの測定

地上からの車輪・レール接触力の測定は、レールの歪みより測定するものである。横圧はレールの横方向曲げ、輪重はレールの垂直方向せん断によって測定する。地上側測定であるので、その地点を通過する列車の車輪すべてを測定できるのは、アタック角等の測定と同様である。図9に、図5と同一地点で測定した編成中での各輪軸の、脱線係数の比較を示す³⁾。この編成でも、事故車両と同じ部位である第29軸の脱線係数が最も高くなっているのがわかる。図5に示すように、当該軸ではアタック角の増加により横圧が増加し、出口側緩和曲線における軌道ねじれのため輪重が減少しているためである。

従来地上測定方法は、レールのせん断ひずみを検出するが、1断面のみでの測定であったが、筆者らはレールに歪みゲージを貼付する位置を工夫することにより、レール方向に連続的に輪重、横圧を計測する方法を考案した²⁾。

すなわち、レールのせん断歪みを計測するという点で従来と同様であるが、ひずみゲージ間の間隔を通常は200mm程度とするのに対し、その間隔をまくら木間隔に近くなるまで離して貼付し、さらに2カ所のせん断ひずみゲージを、まくら木を跨いで設置するものである(図10参照)。まくら木を跨ぐことによってその反力の影響を受け、まくら木間に設置したゲージ組の波形よりも感度が低くなることが考えられるが、その感度を補正してまくら木間に設置したゲージ組の波形と接続することにより、連続化することができる。まくら木間のゲージ組とまくら木を跨いだゲージ組をレール長手方向に次々と貼付していけば、原理的にはどんな長さの区間でも、連続的に変化する輪重や横圧を測定することができる。

5. 車輪・レール接触点の測定及び解析

車輪とレールは、ともに3次元曲面であるので、その接触面は楕円となるが、複雑な曲面同士なので、楕円形状は複雑に変化する。接触点がどの辺に位置し、どのような楕円形状になっているかを知ることは非常に重要なことであるが、これを計測することは極めて難しい。特に、形状の

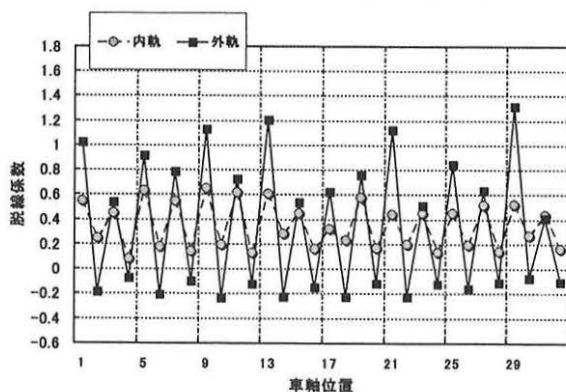


図9 脱線係数の測定例(地上-1列車分)

測定は事実上困難であるので、理論解析を併用する^④以外にない。接触点の測定は、車輪やレールの変形モードの測定などにより、測定できる可能性があり、筆者らは、現在、研究を進めている。

6. あとがき

車輪・レール接触に関する特性値の特徴とそれらについて、これまでの研究により筆者らが開発してきた各種の測定法について述べた。今後さらに研究を進め、より簡便で、実用性の高い測定法を実用化して、安全性の向上に貢献していきたい。

研究の遂行に当たっては、鉄道事業者等、関係各位のご協力とご助言を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 松本、"ビューティフル・カーブイング"をめざしてー鉄道の曲線通過に関わる研究課題とその成果ー、交通・物流部門大会、機構論00-50、pp1-6、2000.12
- 2) 佐藤ほか、台車姿勢、輪重及び横圧の地上側からの把握方法、土木学会第51回年次学術講演会、1996.9
- 3) 松本ほか、急曲線部における輪重・横圧・アタック角の実態について一日比谷線中目黒事故・脱線箇所付近での測定例一、30回交通安全公害研究所発表会、pp17-20、2000.11
- 4) 松本、栗原ほか、PQ輪軸を用いない車輪/レール接触力の測定方法第2報、J-Rail2005、2006.1
- 5) Matsumoto and et. al, "A New Measuring Method of Wheel-Rail Contact Forces", Proc. IDETC 2005-84682, ASME, 2005.9
- 6) Matsumoto and et. al, "Wheel-rail contact mechanics at full scale on the test stand", Wear, 191, pp 101-106, 1996

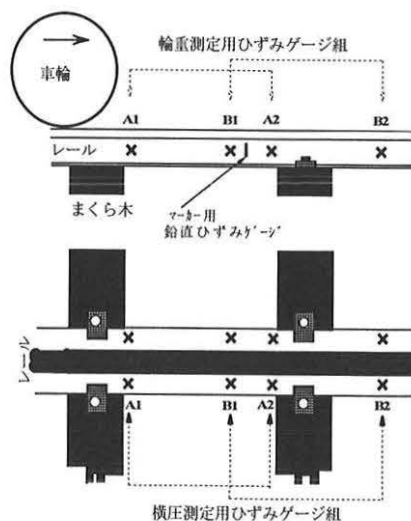


図10 輪重・横圧連続測定法(地上)の原理