

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

急曲線での鉄道車両の走行安全性を評価する

急曲線走行時の鉄道車両の乗り上がり脱線に対する走行安全性を確保するためには、車輪とレール間の作用力である輪重と横圧の大きさが重要となってきます。とくに、車両が低速で走行する場合には、軌道の平面性変位に対して車輪がレールから離れず、輪重が極端に小さくならないことが求められます。通常、鉄道車両の走行安全性は走行試験によって評価しますが、ここでは、軌道の平面性変位と車両の特性から生ずる輪重減少の関係を評価することが可能な、実物の1車両を用いた定置試験方法について紹介します。



土井 久代
Hisayo Doi
鉄道力学研究部
車両力学研究室
主任研究員

はじめに

鉄道車両が急曲線を走行する際には、車輪・レール間の作用力である横圧が増加したり、また、曲線の出口付近など軌道の平面性変位（この定義は後述します。）が大きくなりやすい箇所では輪重が減少しやすくなったりと、乗り上がり脱線（☞参照）の発生するリスクが高くなります。とくに、走行速度が低くなると、車両に負荷される遠心力が小さくなることから外軌側の輪重がより減少し、乗り上がり脱線に対するリスクがさらに高まります。

このような急曲線・低速走行時の車両の走行安全性は、通常、走行試験によって評価されます¹⁾。走行試験は、おもに新しい構造の車両が開発された際に、その車両が導入される路線において実施されます。走行試験による評価はもっとも実際のですが、コストや

時間において、負担や制約が大きいという難点があります。また、走行試験での評価は、走行した軌道の線形や不整の状態に限られ、例えば、軌道整備の基準値から想定されるもっとも厳しい軌道条件での試験を必ずしも行うことができません。そのほか、車両を別の路線に配置転換させたい場合、走行試験を実施した路線よりも厳しい軌道条件となることもありえます。

そこで、急曲線の低速走行試験を補完する方法として、実物車両を用いた定置試験の導入が考えられます。海外では、欧州規格²⁾などで定置試験による評価法が示されています。鉄道総研でも、横圧の増加については、曲線中の台車の旋回性能を評価することのできる試験装置を開発し、車両の構成要素が台車旋回性能に与える影響を評価してきました³⁾。ここでは、鉄道総研

☞ 乗り上がり脱線

車両が急曲線などを通過する際、進行方向先頭輪軸の曲線外側車輪のフランジ部はレールに接触しながら走行します。このとき輪軸には曲線外側（外軌側）へ左右力（横圧）が働いたため、車輪は回転しながら外軌に乗り上がろうとします。この乗り上がろうとする力が大きい場合や外軌側車輪の輪重が小さい場合に脱線へと至ります。このメカニズムで起こる脱線を乗り上がり脱線といいます。

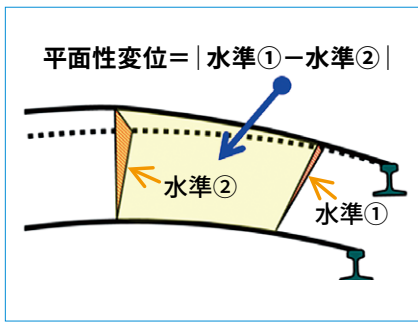


図1 軌道の平面性変位

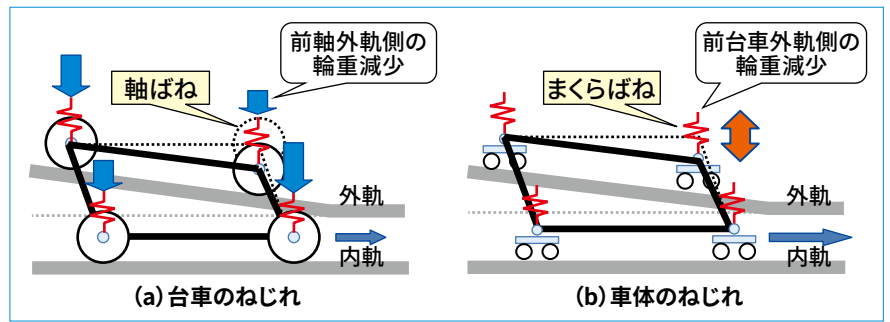


図2 平面性変位と輪重減少のイメージ(出口側緩和曲線部)

で検討・提案した、軌道の平面性変位と車両の特性に起因する輪重減少の関係を評価可能な定置試験法を紹介します。提案する試験法は、大型の特定の試験設備を用いることなく比較的簡易な道具立てで試験を行えることが特長となっています。なお、ここではこの定置試験法のことを、「車両の平面性変位追従性能試験法」とよぶこととします。

軌道の平面性変位と輪重減少

この試験法の目的は、軌道の平面性変位と輪重減少の関係を評価することです。ここで、平面性変位とは、図1に示すように、一定距離間の水準(左右のレールの高低差)の変化量のことです。軌道の平面に対するねじれの状態を表します。

平面性変位がある場合に生じる輪重減少のイメージを、出口側緩和曲線部での走行を例に、図2に示します。図2(a)は、軸距に対する平面性変位がある場合で、このとき前軸外軌側の軸ばねが伸び、その位置の輪重が減少します。図2(b)は、前後方向のまくらばね位置の間隔、すなわち、前後の台車の中心間距離に対する平面性変位がある場合で、このとき、前台車外軌側の輪重が減少します。

実際の車両では、軸ばねやまくらばねのほかに、車体や台車枠のねじり剛性など、車両全体の特性が輪重の増減に現れます。

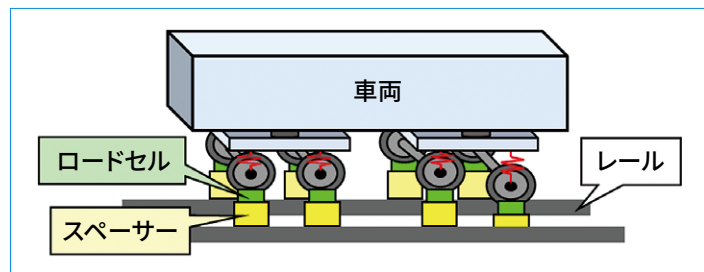


図3 車両の平面性変位追従性能試験法の概念図

「車両の平面性変位追従性能試験法」の基本概念と試験機構

基本概念

定置試験法を構築するにあたり、その基本概念を次の(1)から(4)のように決めました。

- (1) 実物1車両の在姿状態での試験が可能であること
- (2) 軌道の平面性変位を模擬可能であること
- (3) 1車両の全8車輪の位置の輪重が測定可能であること(輪重減少率の算出)
- (4) ある基準高さに対する車輪の上下変位が測定可能であること(平面性変位の算出)

試験機構

基本概念に掲げた軌道の平面性変位を模擬するためには、車両の各車輪を上下方向に変位させればよいと考えられます。そこで、車輪とレールの間にスペーサーを挿入し、スペーサーの厚さを変えることで軌道の平面性変位を模擬することにしました。図3にその

概念図を示します。車輪とレールの間にはスペーサーのほかに、輪重を測定するためのロードセルも設置します。また試験はレベル(水平)の直線軌道上で行います。

図4に実際に実施した試験の様子と試験のために製作した試験機構を示します。この試験で用いた車両は、まくらばねとして空気ばね(自動高さ調整装置付き)をもつ、ボルスタレス台車を使用した在来線車両です。車輪とレールの間にスペーサーとロードセルを配置するための車輪の昇降は、油圧ジャッキを用いて行いました。車輪の上下変位量は、この試験法では基本的にスペーサーの厚さによりますが、ここでは車輪上下変位量をレーザー変位計で測定し、平面性変位を算出しました。

試験結果(平面性変位と輪重減少率の関係)

図2に示したように、平面性変位に対する車両の特性を踏まえると、軸距または台車中心間の平面性変位に対

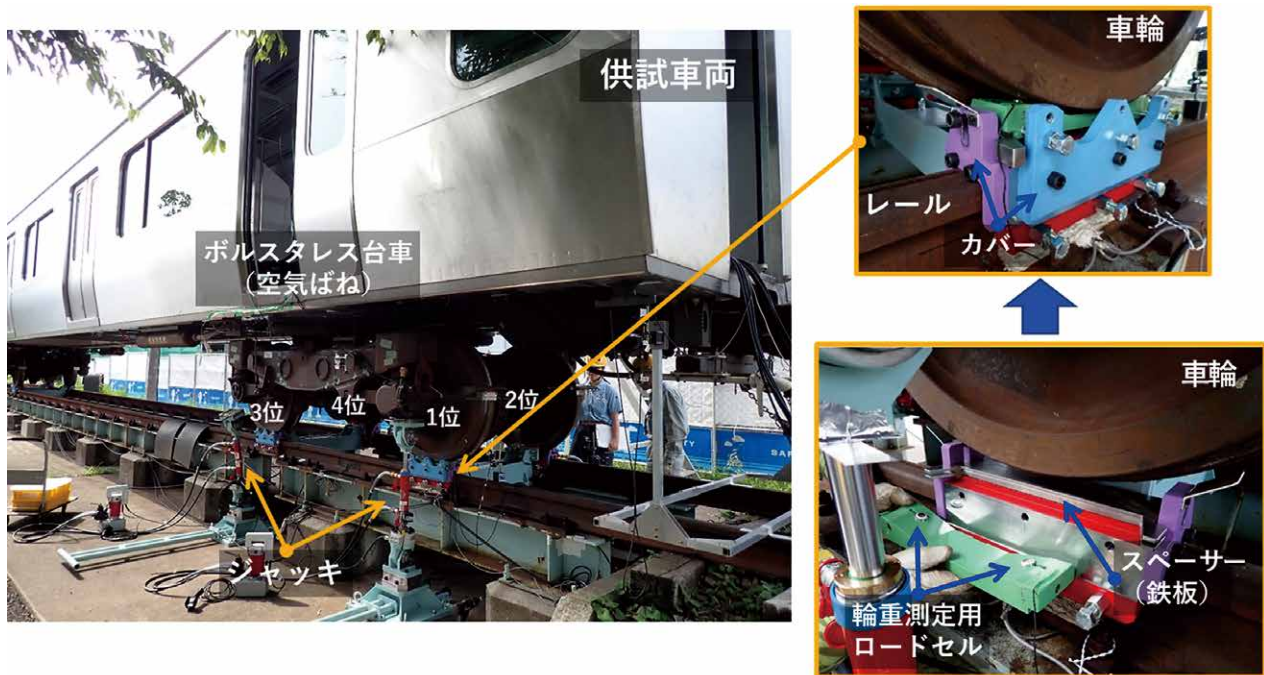


図4 実物の1車両を用いた試験の様子と試験機構

する輪重の変化を調べればよいと考えられます。供試車両の軸距は2.1m、台車中心間距離は13.8mでしたので、その距離における平面性変位に対する輪重減少率を調べました。ここで、輪重減少率とは、すべての車輪がレベル上にある場合の輪重を基本（ここではこれを、基本輪重とよぶことにします。）として、基本輪重から各条件における輪重の測定値を引き、さらにそれを基本輪重で除したものをいいます。よって、輪重が減少すると、輪重減少率は増加します。

試験結果の例を図5に示します。図5(a)は1位または2位の位置にある車輪を、すべての車輪がレベル上にある状態から下げ、平面性変位を設定した場合の結果です（ある一定量まで下げた後は、レベルに向かって車輪を上昇させていきます）。それぞれのプロットはスペーサーの厚さを5mmごとに設定した結果です。横軸は軸距(2.1m)平面性変位としました。

1位の車輪をレベルに対して下げ、

平面性変位を大きくしていくと、1位の輪重減少率(■)は増加し、2位の輪重減少率(●)は減少(2位の輪重が基本輪重よりも増加)することがわかります(図5(a)の右半分の結果)。これは、図2(a)に示したような状態、すなわち、1位の車輪を下げるとその位置の軸ばねが伸びるため、その位置の輪重が小さくなることを示しています。一方、2位の車輪を下げると、1位の輪重減少率は減少します(図5(a)の左半分の結果)。厳密にいうと、1つの車輪を昇降する場合には、図2(b)のような台車中心間距離(13.8m)に対する平面性変位も生じていますが、ここで生じている13.8m平面性変位は小さいため、おもに軸ばねの特性が結果に現れています。また、図5(a)は平面性変位0を中心として、左右対称の結果となっていることがわかります。

図5(b)は、図2(b)でいうところの車体ねじれのみが生じるように、1位と3位の車輪、または、2位と4位の車輪をレベルに対して下げた場合の結果

です。このとき、2.1m平面性変位は0であるので、横軸は13.8m平面性変位で示しました。図5(a)では、平面性変位に対してほぼ線形に輪重減少率が推移したのに対して、図5(b)では、様子が大きく異なり、ヒステリシスのある結果となっています。図5(b)で、1位と3位車輪を下げた際の空気ばねの内圧の変化を図6に示します。この結果から、平面性変位が大きくなると1位の車輪側にある空気ばね(図6の1位の空気ばね)の内圧が下がり、それによって図5(b)の1位の輪重減少率が増加(輪重が減少)したことがわかります。なお、図5(b)と図6のヒステリシスは、後述する空気ばね自動高さ調整装置が関わっています。

提案した試験法はスペーサーの厚さに応じた離散的な条件設定となりますが、図5に示したように、スペーサーの厚さ5mm程度ごとの設定であれば、車両がもつばねなどから想定される平面性変位に対する特性が得られることを確認しました。

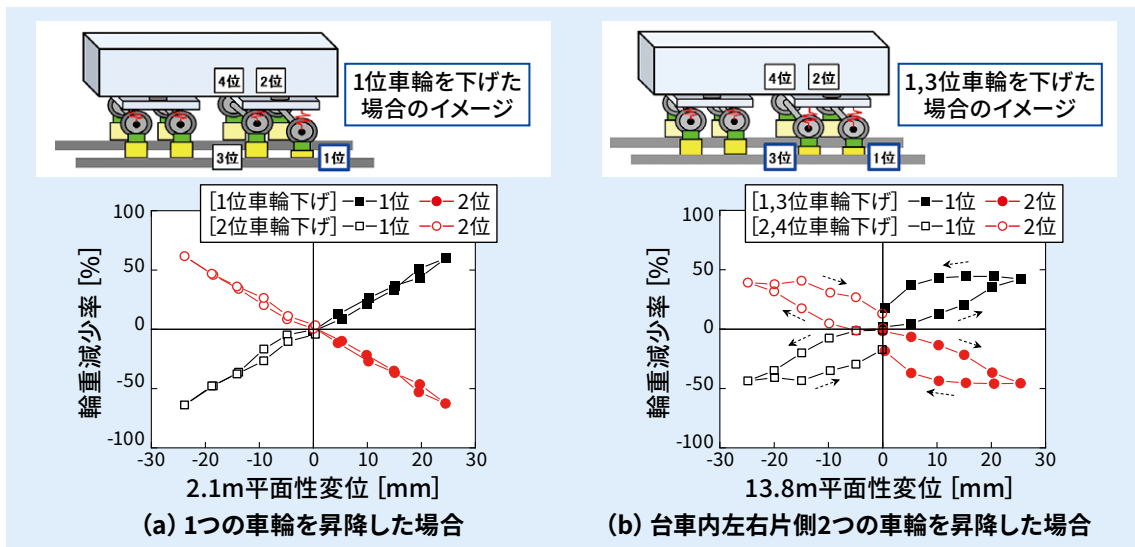


図5 試験結果の例

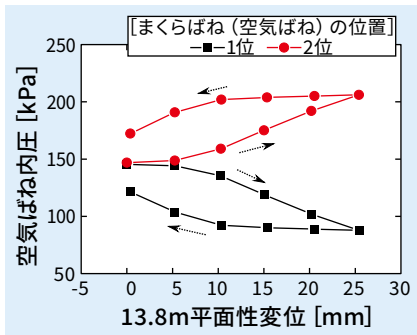


図6 図5 (b) の「1, 3位車輪下げ」時の空気ばね内圧(ゲージ圧)

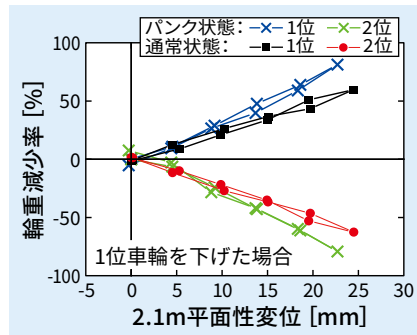


図7 空気ばねがパンクしている場合

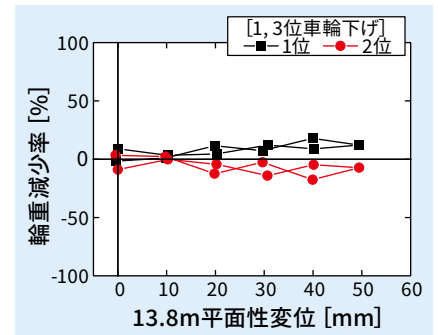


図8 空気ばね自動高さ調整装置の機能を無効とした場合

車両構成部品の輪重減少への影響評価

平面性変位追従性能試験法を用いると、完成車両の評価だけでなく、車両の構成部品の輪重減少への影響を評価することもできます。

空気ばねのパンク

空気ばねがパンクした状態で車両を回送する場合を想定した試験の結果を図7に示します。通常の状態に比べて、輪重減少率がより大きくなり、乗り上がり脱線に対するリスクが高まることがわかります。

空気ばね自動高さ調整装置

図8は、空気ばね自動高さ調整装置(不感帯あり)の調整弁を塞ぎ、その機能を無効とした場合の結果です。

図5 (b) の右半分(1, 3位車輪下げ)の結果と比べると、大きく異なることがわかります。すなわち、図5 (b) のヒステリシスは空気ばね自動高さ調整装置の動作の影響を受けたものであり、その装置の動作は、大きな平面性変位のあるところを走行すると、より大きな輪重減少をもたらすといえます。

おわりに

軌道の平面性変位に対する車両の追従性能を評価する定置試験法について紹介しました。提案した試験法は、スペーサーの厚さを変えて平面性変位を模擬するもので、車輪とレールの間にスペーサーを挿入するための道具立てがあれば、車両基地のピットなどでの

実施が可能な試験法となっています。急曲線低速走行試験の補完や、輪重減少に関わる構成部品などの影響評価などに役立てていただければ幸いです。

RRR

文献

- 1) 国土交通省:「急曲線における低速走行時の脱線防止対策」の追加対策等について, 通達, 国鉄技第42号, 2004
- 2) EN 14363:2016: Railway applications - Testing and Simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Running Behaviour and stationary tests, 欧州標準化委員会(CEN), 2016
- 3) 田中隆之: 車両の台車旋回性能を評価する, RRR, Vol.72, No.11, pp.20-23, 2015