

## 車輪の勾配によって生じる蛇行動

御存知のように、鉄道の車両には「ハンドル」がありません。曲線をスムーズに走行するために「ハンドル」に変わる仕組みとしてレールと接触する車輪の踏面に勾配が付いています(図1)。そのため、軌道のどちらかのレールに片寄って走行する時、寄った側のレールと接触する車輪の接触半径は大きく、反対側の車輪の接触半径は小さくなるため(図1)、寄った側の車輪は速く進み反対側の車輪は遅く進むことになり、左と右の車輪およびそれを繋ぐ軸の組み(輪軸)は軌道の中心に戻ろうとして旋回します。この動きが連続して、蛇がくねるように左右に運動する様子から、この運動を「蛇行動」と呼んでいます。このように、鉄道の車輪は真直ぐのレールの上でも、蛇行して転がる性質があります。この蛇行の周期( $S_w$ )は幾何学的蛇行動波長と呼ばれ、図1に示す車輪の半径を $r$ 、車輪踏面の勾配を $\gamma$ 、左右の車輪のレールとの接触間隔を $2b$ とすると、

$$S_w = 2\pi \sqrt{br/\gamma}$$

で計算されます。

低速では、乗心地や安全に影響する蛇行動は通常発生しませんが、高速ではその防止策が必要になります。

## 蛇行動を起こしにくくする工夫

車輪が元々持っている性質、蛇行動はその動きによってそれを助長する方向に力が生じると持続し、さらに時間とともに振動が大きくなる自励振動になりま

す。自励振動が発生する速度は「限界速度」と呼ばれ、その速度は運転速度より高くする必要があります。前に述べた幾何学的蛇行動において速度 $V$ のときその振動数は $V/S_w$ となるため、蛇行動振幅が増大する共振速度(限界速度)はほぼ幾何学的蛇行動波長と固有振動数の積になります。従って、固有振動数を高くすることが蛇行動防止に有効となります。そこで、固有振動数を高めるため、輪軸を台車にしっかり固定し固有振動数を高くします。限界速度を上げるには輪軸の固有振動数を高くするだけでなく、蛇行動波長を長くすることも有効です。そのために、幾何学的蛇行動の計算式からわかるように車輪踏面の勾配を小さくすることも効果があります。後述するように、台車に輪軸をしっかりと固定したり、車輪踏面の勾配を小さくすると曲線を通過するときに不利になります。そこで、振動エネルギーを減衰させるダンパが蛇行動防止に重要な働きをします。蛇行動は車両を上から見た時の回転運動(ヨーイング)なので、その抑止には特にヨーダンパが主役になります。

## 曲線通過性能とは

車両が曲線を通過するときは車輪が曲線の外側のレールを横方向に押す力、外軌側の横圧が大きくなります。その大きな原因が輪軸とレールの走行角のアタック角 $\psi$ (図2)の増大によるものです。この原因による横圧は「転向横圧」とも呼ばれ、一般にこれが小さいことが曲線

表1 蛇行動と曲線通過で相反する特性

車両の関係する項目	蛇行動に有利な特性	曲線通過に有利な特性
台車回転抵抗	大	小
軸ばねの剛性	ある程度大	小
踏面の勾配	小	大
前軸と後軸間の前後距離	大	小

通過性能が良いことだと言われています。

## 蛇行動の起きにくさと曲線走行

アタック角を小さくして曲線通過性能を向上させるにはどうしたら良いか考えてみます。ばねなどで支持されていない輪軸がアタック角が無い状態で走行するためには、輪軸の左右可動範囲 $y$ (車輪のつば部であるフランジがレールに当たるまでの距離であり、フランジ遊間と呼ばれています)の範囲内で、外軌側の車輪が内軌側車輪よりレールの長さの違いの分だけ進むような車輪踏面の勾配 $\gamma$ が必要です。 $y$ と $\gamma$ の関係は、図2のように車輪の半径を $r$ 、左右の車輪のレールとの接触間隔を $2b$ 、曲線半径 $R_c$ をとして、

$$\gamma = (r/y)(b/R_c)$$

で表されます。

台車に輪軸をばね支持している通常の曲線走行では、さらに大きな $\gamma$ にする必要があります。表1に蛇行動、曲線通過に有利な特性を記載します。両者は見事に相反することが分かります。そこで、新幹線のような高速車両では蛇行動防止に有利な特性を、半径の小さい曲線を走行する在来線車両には曲線通過に有利な特性を重視しつつ、それぞれの不利な点を極力小さくするような設計を行うことになります。

(財団法人 研友社  
元鉄道力学研究部 車両力学  
藤本 裕)

※記事に関するお問合わせ先  
鉄道力学研究部(車両力学)  
NTT: 042-573-7343  
J R: 053-7343

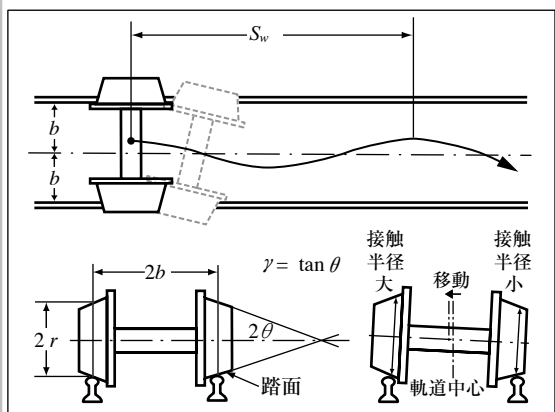


図1 蛇行動の模式図

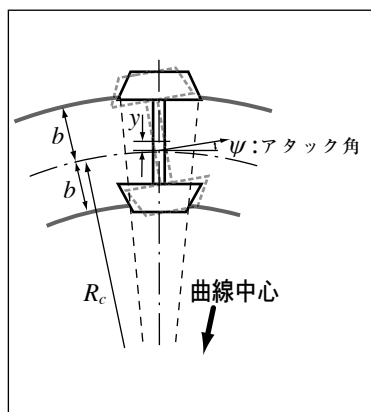


図2 曲線上での輪軸の状態