

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

鉄道車両の ブレーキ状態を視る

鉄道車両のブレーキ性能は、車輪の回転速度を演算して得られる停止距離や減速度を基に評価されています。しかし、雨天時のようなレール湿潤条件下でブレーキ性能が低下する要因には、レール/車輪間の粘着係数の低下やブレーキ材の摩擦係数、あるいは滑走制御の方法などが複雑に影響するため、速度波形や制御情報からその要因を特定するのは困難な場合があります。そこで、鉄道車両のブレーキ状態を視るために、レール/車輪間に働くブレーキ力を測る方法と、ブレーキ中の摩擦面状態を把握する方法について紹介します。



嵯峨 信一
Shin-ichi Saga
車両制御技術研究部
ブレーキ制御研究室
主任研究員
[専門分野] ブレーキ時の熱的問題、レール/車輪間の粘着問題

台上試験と実車両の走行試験

鉄道総研では台上で各ブレーキ方式の試験が可能なブレーキ性能試験機を所有しています。この装置を使って、基礎ブレーキ装置(☞参照)のブレーキ距離やブレーキ力、摩擦係数、温度、応力などを詳細に測定することができ、これまでにさまざまな研究開発^{1), 2), 3)}を行っています。

また、特殊な粘着試験ユニットを用

いた滑走再粘着制御の試験⁴⁾や、ブレーキ動作による車輪踏面の損傷試験⁵⁾なども行われています。

一方、実車両の走行試験では、さまざまなブレーキ装置の組み合わせ(図1)が車両に搭載されていること、鉄道事業者が所有する実際の営業線路(勾配や曲線)で走行することなど、台上試験とは大きく異なります。このため、ブレーキ装置の性能を測定・評

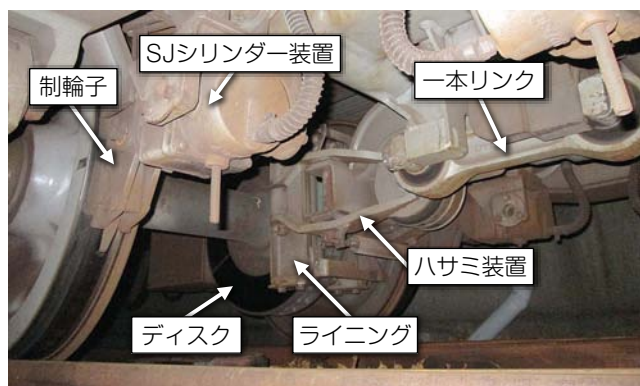


図1 実車両のブレーキ装置

☞ 基礎ブレーキ装置

摩擦材である制輪子あるいはライニングをそれぞれ車輪踏面、ディスクに押し付ける装置を基礎ブレーキ装置と呼びます。一般に、踏面ブレーキ方式にはユニットブレーキ装置やSJシリンダー装置などが、ディスクブレーキ方式にはハサミ装置がそれぞれ用いられます。

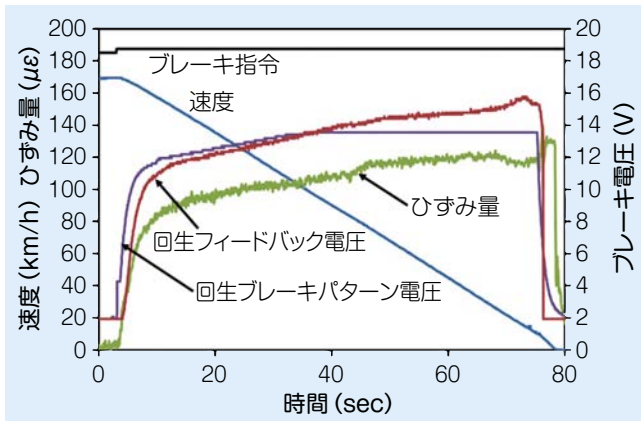


図2 ブレーキ情報とひずみ量

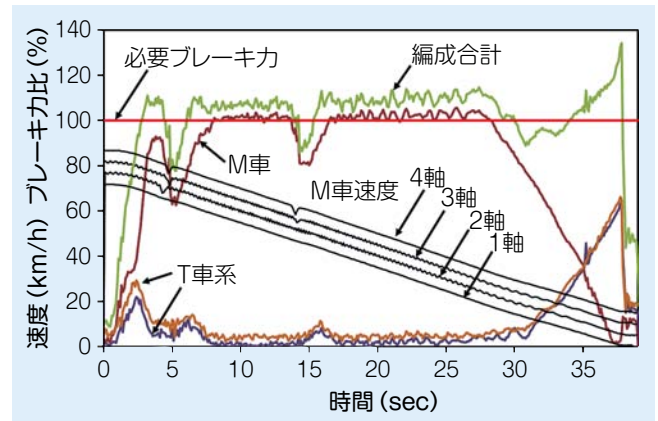


図3 在来線車両の測定例 (電制常用3ノッチ)

価するには、最終的に実車両の走行試験が必須です。

そこで、ここでは実車両のブレーキ状態を視る際に有効な、レール/車輪間に働くブレーキ力を測る方法と、ブレーキ中の摩擦面状態を映像で把握する方法について紹介します。

実車両のブレーキ力測定

近年の鉄道車両は軽量化が図られ、空気バネ式ボルスタレス台車が主流になっています。これは、車体と台車枠の間に許容変位の大きな空気バネで直結し、駆動力および制動力はけん引装置で伝達する方式で、そのひとつに一本リンク方式があります。

この一本リンクは棒状の単純な形状をしているため、外付けの簡易なセンサーで測るひずみ量からブレーキ力を測定する方法を考案しました。一本リンクのひずみ測定は、従来から走行試験などで行われてきましたが、ブレーキ力に換算するのは比較的新しい試みです。得られたひずみ量を力へ換算するには、一本リンク単体で荷重試験を

行い、ひずみ量と力の関係式をあらかじめ求めておく方法のほか、より精度を高めるため実車両を用いた以下のような方法があります。

(1) 電気ブレーキ力による較正

動台車(電動車)のモーターを制御する主変換装置からは、ブレーキ情報として電気ブレーキの指令値を表す「回生ブレーキパターン電圧」と、実際に得られた電気ブレーキの大きさを表す「回生フィードバック電圧」などが出力されています。この回生フィードバック電圧から換算可能な電気ブレーキ力を使えば、一本リンクのひずみ量と力の関係式を求めることができます(図2)。この図において、回生フィードバック電圧と一本リンクのひずみ量には高い相関性が確認できます。

(2) 床上前後加速度による較正

従台車(付随車)の場合は空気ブレーキのみが作用します。その際、ブレーキシリンダー圧力の指令値に対して、得られる摩擦力には変動が生じます。一方、車体床上の前後振動加速度とひずみ量には高い相関性が見られます。

そこで、前後振動加速度と車両質量からブレーキ力を推定し、ひずみ量との関係式を求めることができます。この方法は、動台車(電動車)にも適用可能です。

(3) 在来線車両の測定例

3両編成(1M2T)の在来線車両を用いた走行試験で評価を行いました。雨天時にレール/車輪間の粘着係数が低下し、M車(電動車)が滑走した際の測定結果を図3に示します。M車は滑走を検知して電気ブレーキ力を絞り込むと同時に、空気ブレーキを得るための指令をT車系(付随車)のブレーキ制御装置へ送ります。これを受けてT車系は直ちに空気ブレーキを立ち上げてM車のブレーキ力不足分を補う電空協調制御(☞参照)が行われています。それらの制御の結果、編成の合計ブレーキ力は、M車の滑走発生とその制御により、必要ブレーキ力に対して増減を繰り返す様子が確認できます。このような挙動は、減速度だけを見ては分からないことです。

(4) 新幹線車両の測定例

8両編成の新幹線車両を用いた走行試験で評価を行いました。測定対象は、滑走が起き易い先頭1号車から4号車とし、初速度300km/hから120km/hまでの電制非常ブレーキ(EB)を扱い

☞ 電空協調制御

発電ブレーキや回生ブレーキといった電氣的なブレーキと機械的な空気ブレーキを併用し、電気ブレーキが飽和・失効した場合などに空気ブレーキを作用させて、各々のブレーキ力の和がブレーキ力の指令値と一致させる制御。

ました。

なお、営業時の非常ブレーキでは先頭軸に搭載しているセラミック噴射装置(☞参照)から増粘着用のアルミナ粒子が1分間噴射される仕組みとなっています。また、雨天を模擬するため、散水ノズルを先頭から2軸目および6軸目に取り付けています。

ブレーキ性能の評価は、粘着係数の計画値や設定減速度との比較を容易にするため、各時刻のブレーキ力から各号車平均の接線力係数(☞参照)を求める方法を採用しました。

試験条件として最も厳しい、湿潤にセラミック噴射無の条件における非常ブレーキの結果を図4に示します。この図から、先頭よりの1号車および2号車は接線力係数が湿潤の計画値付近まで低下している様子や、後続の3号車以降は接線力係数が回復して乾燥時と同等になる様子などが、速度の変化とともに詳細に確認できます。

なお、こうした傾向にはレール/車輪間の低粘着状態に加えて滑走再粘着制御も影響していますが、編成としてのブレーキ距離の延伸率は約2%に抑えられ、ブレーキ性能自体に問題はありませぬ。さらに、湿潤にセラミック噴射有の通常条件では、接線力係数が回復して滑走の発生が抑制されるなど、セラミック噴射装置の増粘着効果が定量的に示されました。

ブレーキ中の摩擦面状態の把握

台上試験では、ブレーキ中の摩擦面状態を比較的容易に知ることができますが、夜間に行われることが多い実車両の走行試験では一般に摩擦面の観察は困難です。これは、カメラのほかに投光器も搭載するため、走行時の風雨やバラストなどの飛散物との衝突に耐えつつ、落ししない構造にする必要が

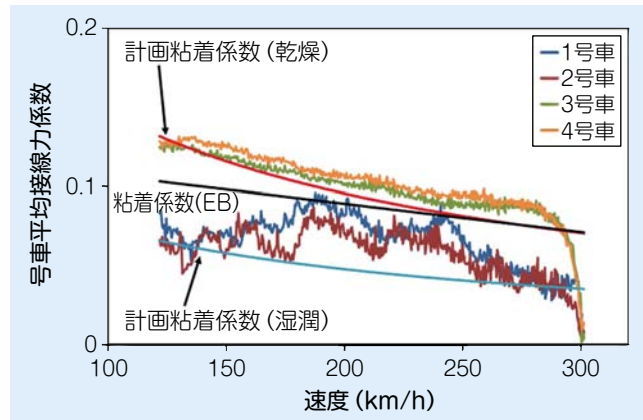


図4 新幹線車両の測定例(湿潤、セラミック噴射無)

あるためです。また、振動に弱い高額のサーモカメラを設置できるのは、速度が低く、営業線ではない構内線などの限られた条件のみです。

そこで、これらを解決する手段として、赤外線投光器付のカラーCCDカメラを用いました。このカメラは小型・軽量で、夜間やトンネル内でも投光器を使用せずに撮影が可能です。また、電子シャッター速度は最大で1/100,000秒であり、市販のビデオカメラの10倍の性能を持っています。

使用したカメラは、サーモカメラのように表面温度を測ることはできませんが、250℃以上の対象物は白色に映るため、摩擦熱が発生している部分の判別は可能です。したがって、輝度解析ソフトを用いて任意の領域における発熱面積(明るさを表す輝度値は256階調)を時系列で知ることができます。

なお、ディスクやライニングの温度測定は通常、熱電対を用いますが、物

体内部の温度であること、点としての測定であることなどの違いがあり、本カメラと併用することで、時々刻々と変化する摩擦面の温度状態を正確に測ることができます。

(1) 在来線車両の映像例

在来線車両における踏面ブレーキ方式の映像例を図5に示します。ブレーキ後の車輪踏面には白い筋が観察されます。この筋は250℃以上の発熱が生じている箇所を示しています。2本だった筋はその後、1本に変化するなど、時々刻々と摩擦面の状態は変化している様子が捉えられます。

(2) 新幹線車両の映像例

新幹線車両におけるディスクブレーキ方式の映像例と輝度解析の結果を図6に示します。ブレーキ直後から、ディスク面には1本の白い筋が現れ、その10秒後には2本に増え、その後は再び1本に変化するなど、高温領域は時間によって変化していることが輝

☞ セラミック噴射装置

毎分10～50gのセラミックス粒子をレール/車輪間に噴射して、増粘着を図る装置。従来の砂まき装置に代って空転や滑走の防止に用いられています。

☞ 接線力係数と粘着係数

レールと車輪の間に働く接線方向の力を静止輪重で除したもの。滑走直前の接線力は最大接線力と呼ばれ、最大接線力を静止輪重で除したものが粘着係数です。

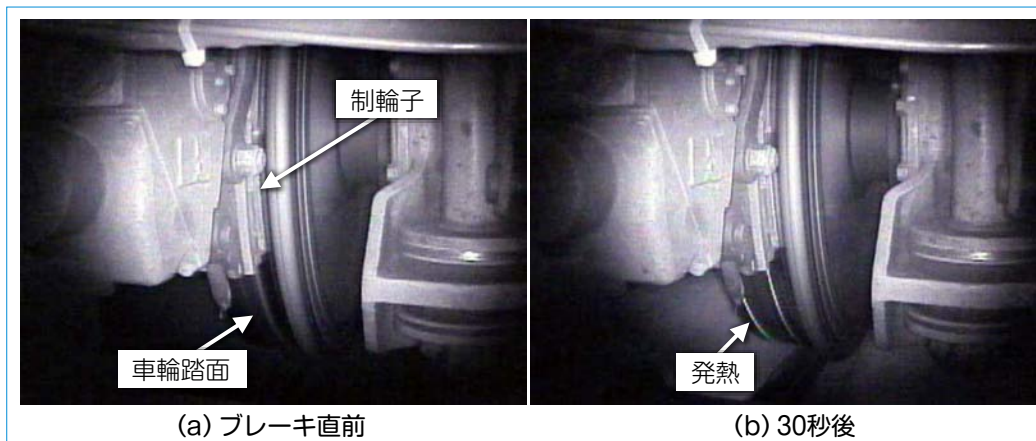


図5 在来線車両の映像例(踏面ブレーキ, 夜間)

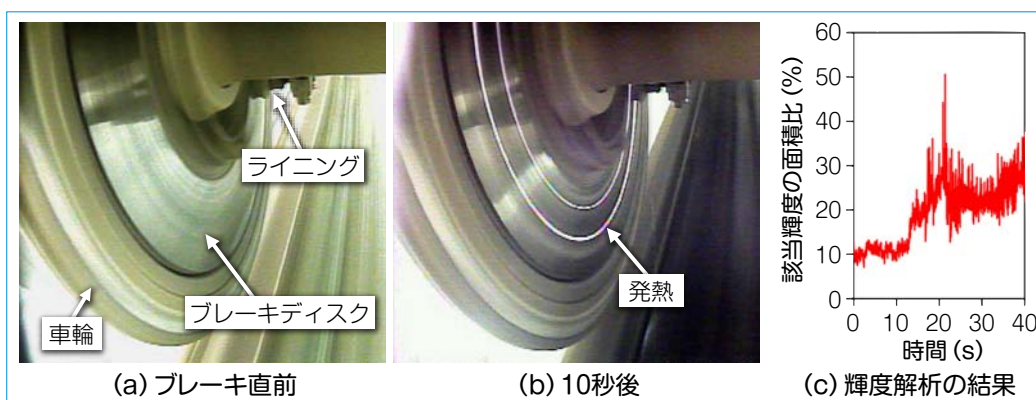


図6 新幹線車両の映像例(ブレーキディスク, 昼間)

度解析の結果からも確認できます。

このような局所的な発熱を伴う摩擦面の状態を、従来の熱電対だけを用いた測定から把握することは困難であり、映像を用いた輝度解析を併用するのが有効です。

まとめ

実車両におけるブレーキ状態の可視化を目的として、一本リンクに作用するけん引力を用いた手法と、ブレーキ中の摩擦面状態の把握手法について紹介しました。一本リンクを用いた手法では、これまでの測定では分からなかった実車のブレーキ力やブレーキ性能低下の要因などを調べることができます。また、映像による摩擦面の観察では、刻々と変化する摩擦面状態を把

握することができ、測定結果の判定材料として活用できます。

おわりに

近年の車両では運転状況記録装置やモニター装置により、ブレーキ状態についても各指令や制御状態量を知ることができるようになりました。また、手間や費用の掛る実験や測定の代わりに、高度なミュレーション技術を活用する事例も多く見られます。その一方で、「観察」の機会が減っていると考えられます。開発当初の新幹線車両では、未知の領域を扱うために、台車蛇行動の映像監視や各種測定が行われていました。現在では、速度320km/h運転の時代となりましたが、新たな研究開発にも科学技術の基本となる「現

象の把握」は必須であると考え、今後も現象の可視化を進めていく予定です。

RRR

文献

- 1) 嵯峨, 狩野, 芳賀, 中橋: 弾性構造型合成制輪子で車輪のダメージを軽減する, RRR, Vol.71, No.2, pp.16-19, 2014
- 2) 狩野泰: 新幹線用空圧式フローティングキャリパーの開発, RRR, Vol.71, No.8, pp.8-11, 2014
- 3) 嵯峨, 狩野: 新幹線高速化に対応したブレーキディスクを追求する, RRR, Vol.72, No.3, pp.12-15, 2015
- 4) 中澤伸一: 新しい滑走制御でブレーキ距離の延伸を防ぐ, RRR, Vol.71, No.8, pp.20-23, 2014
- 5) 半田和行: 車輪の損傷メカニズムに迫る, RRR, Vol.69, No.4, pp.8-11, 2012