

| |
|-------|
| 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 |

車輪・レール間の粘着現象を 模擬できるブレーキ性能試験機

鉄道車両は車輪の転がり抵抗が小さく省エネルギー性に優れる一方、車両をただちに停止させることは難しいという側面をもちます。ブレーキは安全確保の必須技術であるため、その特性を十分に評価・検証するための試験設備が必要不可欠です。ここでは、ブレーキ性能試験機が備える「ディスクブレーキ試験ユニット」と「踏面ブレーキ試験ユニット」、さらに車輪・レール間の粘着現象を模擬する「粘着試験ユニット」について概説するとともに、本試験機により得られた成果の一例を紹介しします。



土方 大輔
Daisuke Hijikata
車両制御技術研究部
ブレーキ制御研究室
副主任研究員
【専門分野】ブレーキ性能評価、滑走制御

はじめに

ブレーキは車両を減速・停止させる機能を担う安全確保のためにきわめて重要な装置です。とくに摩擦を利用する機械ブレーキは、確実に機能する高い信頼性を有し、回生ブレーキなどの電気ブレーキが使用できない場合でも安全に停止するためのブレーキ性能が求められるため、その性能を十分に把握しておく必要があります。列車としてのブレーキ性能は、最終的に現車試験によって確認しますが、大変な時間と労力を要します。そのため、基礎ブレーキ装置・摩擦材・滑走制御アルゴリズムなどといった個別の要素を評価・検証するために、台上試験環境が活用されています。

鉄道総研ではさまざまな目的に応じたブレーキ試験を行うための実物大試験装置として、ブレーキ性能試験機を所有しています。ここでは、ブレーキ性能試験機が有する各ユニットの機能について説明し、本試験機により得られた成果の一例を紹介しします。

ブレーキ性能試験機

本試験機はブレーキ試験のための3

つの異なる機能を有しています(図1)。写真手前から、「ディスクブレーキ試験ユニット」、「踏面ブレーキ試験ユニット」、「粘着試験ユニット」と呼んでいます。各ユニットの機能については次節より順に説明します。

一つの共通する回転軸(以降、主軸とします)をモーターで回転させ、主軸に設置された車輪または軌条輪を、基礎ブレーキ装置により減速・停止させることで各種試験を実施しています。主軸の最高回転数は3100rpmであり、これは直径860mmの車輪の周速度に換算すると約500km/hに相当します。主軸には現車で輪重に相当する慣性を模擬するフライホイールが取り付けられ、392~3040kgm²(ただし、1666kgm²以上での最高回転数は1700rpm)の範囲内で変更が可能です。

ディスクブレーキ試験ユニット

本ユニットは、主にブレーキディスク、キャリアー(油圧・空圧)、ライニングの性能を確認するためのものです。ブレーキ初速度、ブレーキ時間、ブレーキ距離といった基本的な性能の

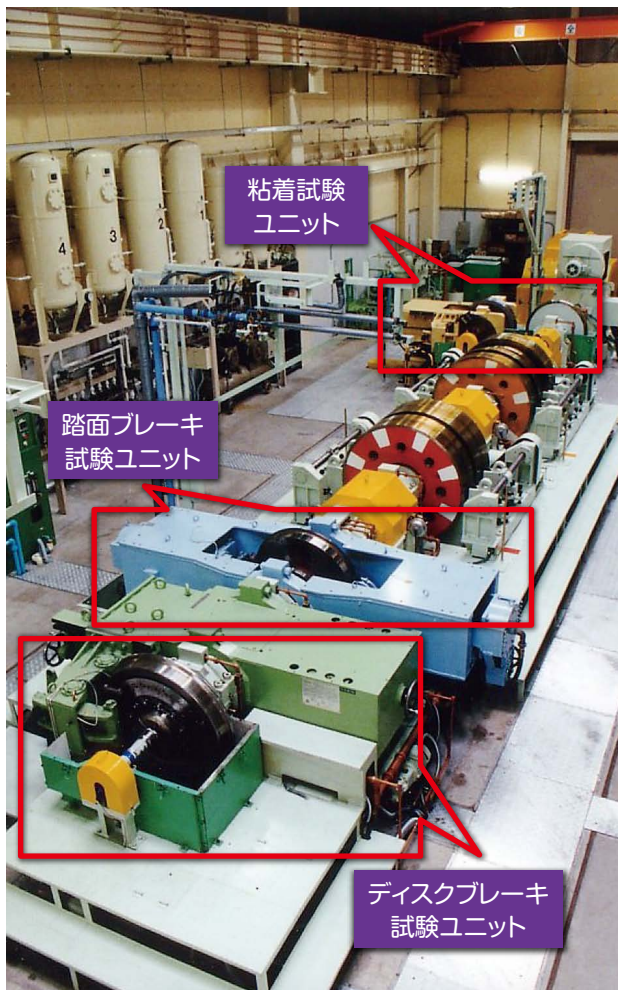


図1 ブレーキ性能試験機

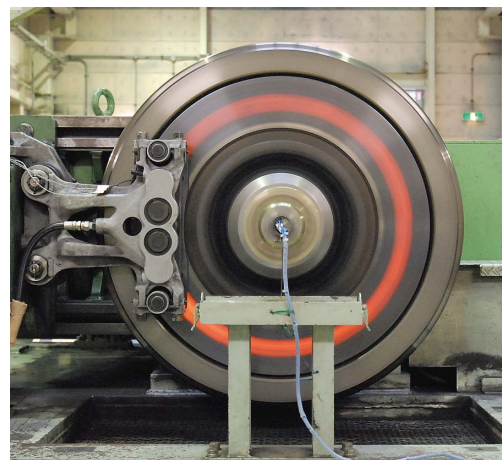


図2 赤熱するブレーキディスク



図3 踏面ブレーキ試験ユニットによる試験の例

ほか、車輪・ディスク・ライニングの温度を計測し、供試体の特性を確認します。ブレーキ時のライニング押付力は、油圧もしくは空気圧を一定に保つよう制御でき、速度に応じて変化させることも可能です。また、減速や停車中のブレーキ扱いのほかに、下り勾配における加速度を加味したうえで一定の速度を保つ抑速ブレーキを模擬することもできます。

高速域から非常ブレーキなどの押付力の高いブレーキをかけると、摩擦によりブレーキディスクの表面が高温になり円環状に赤熱するヒートリングが生じます(図2)。これをサーモカメラで撮影することで、ディスク表面の熱の発生状況(温度分布や局所的な最高温度など)を把握し、ディスクとライ

ニングの接触状況などを確認することができます¹⁾。

本ユニットにはロードセルが設置され、計測されるブレーキトルクとキャリパーが発生させる押付力の比から、ライニングの摩擦係数を算出できます。この摩擦係数は、ブレーキ性能に直結するきわめて重要な指標で、ライニングの材質、押付力、速度域、ディスクとの接触状態などで変化するので、さまざまな条件設定の下での検証が求められます。機械ブレーキのブレーキトルクを現車試験で計測することは容易ではないので、摩擦係数の把握を目的としたベンチ試験は頻繁に行われます²⁾。

踏面ブレーキ試験ユニット

本ユニットは、主に車輪、制輪子の

性能を確認するためのものです(図3)。制輪子は片押しと両抱きのどちらも試験可能です。ディスクブレーキ試験ユニットと同じく、ブレーキトルクを計測することで制輪子の摩擦係数を算出できます。踏面ブレーキは車輪踏面に直接ブレーキをかけるので、摩擦材の性能だけでなく、車輪踏面にかかる負荷とその影響を把握するために試験を実施するケースもあります。

また、車輪踏面に散水することで、湿潤時のブレーキ性能を確認することができます。散水により雨天時の摩擦状況を模擬し、そのうえで所定の性能を満たすか、あるいは乾燥時と湿潤時でどのような性能差が生じるかを確認することも重要な試験の一つです。

粘着試験ユニット

本ユニットは、主に車輪・レール間の粘着（☞参照）に関する性能を確認するためのものです（図4）。主軸には円周上をレール頭頂部の形状とした軌条輪が、従軸にはディスクブレーキおよび踏面ブレーキが備わった実物大車輪を設置し、両者を接触させることで車輪・レール間の粘着現象を模擬しています。従軸を主軸へ押し付ける力が現車での輪重に相当し、最大で98kNまで設定できます。従軸を押し付けながら回転軸方向（現車でのまくらぎ方向）に移動させることも可能です。モーターが主軸を回転させることで接触している従軸もともに加速し、ブレーキ時には従軸のブレーキ装置を使って減速します。このとき、主軸の回転は車両の並進運動の速度、従軸の回転は車輪の回転速度に相当します。従軸に直径860mmの車輪を設置した場合、試験可能な最高速度は160km/hです。

本ユニットでは、滑走制御（☞参照）の性能確認³⁾⁴⁾や車輪・レール接触による車輪の疲労把握⁵⁾などのさまざまな活用実績があります。ここでは、滑走制御試験への活用とその成果の例について紹介します。

滑走制御試験では、輪重、散水量、上限ブレーキシリンダー（BC）圧力などの試験条件を設定したうえで、滑走中のBC圧力の給気・保ち・排気といった動作のタイミングを規定する滑走制御アルゴリズムが意図した動作をするか、その結果ブレーキ距離がどう変化するかを確認していきます。

このとき重要なのが、車輪・レール間に生じる接線方向の力（接線力）の振る舞いです。図5は、横軸にすべり率、縦軸に接線力をとり、すべりの進展とともに接線力がどう変化するかを一般的に示したものです。接線力の極

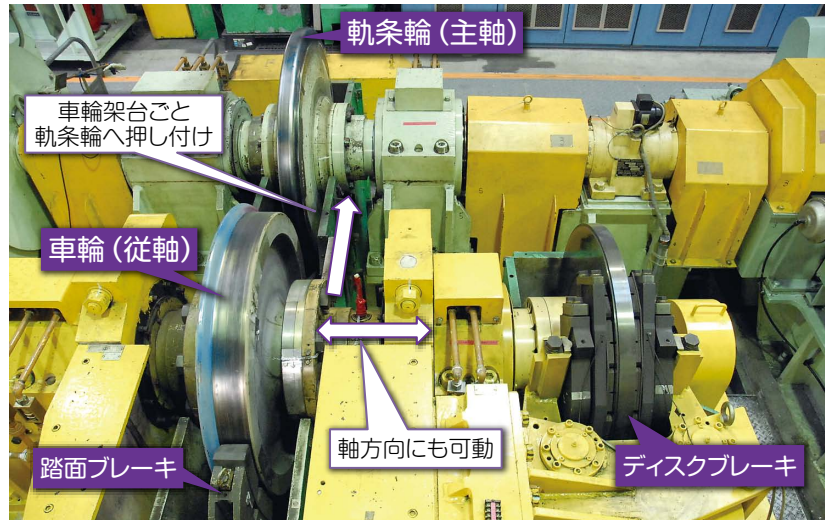


図4 粘着試験ユニット

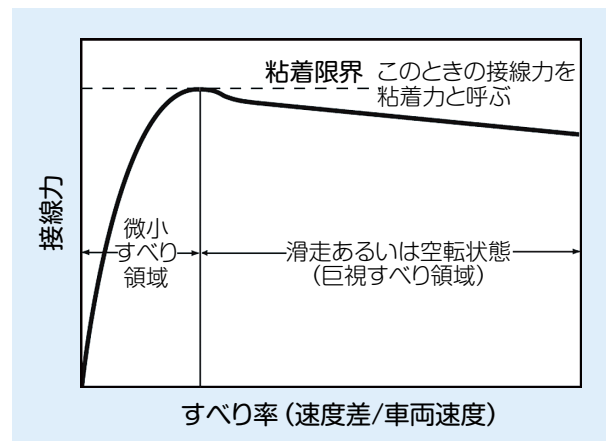


図5 すべり率と接線力の関係

大値を粘着力と呼び、その状況下での粘着の限界を表す指標、つまり、すべらずにどれだけ車両を減速させる力を得られているかを表します。この粘着力の計測は、ブレーキ力と同様に現車では困難ですが、本試験機では主軸に設置されたトルクメーターにより計測可能です。粘着力の振る舞いを把握しながら試験を実施できる点は本ユニットの利点の一つです。

本ユニットを活用して得られた成果の例として、巨視すべり領域を活用する滑走制御があります⁴⁾。図5に示すように、一般的に滑走状態では接線力の振る舞いが不安定となるため、この領

域内でいかにブレーキ力を制御するかがブレーキ性能に大きく影響し、さまざまな滑走制御手法の考え方があります。すべり率滑走制御⁶⁾に代表される従来の滑走制御では、すべり率や減速度といった速度から得られる情報のみを制御に用い、滑走状態では接線力が期待できないうに車輪固着のリスクが高まることから、BC圧力をただちに排気して再粘着を促す動作に移ります。

一方、巨視すべり領域を活用する滑走制御では、速度に基づく情報に加え、供給しているBC圧力を制御に利用し滑走中の車輪の粘着状態を推定し、制御の判断指標に用いています。いわば、

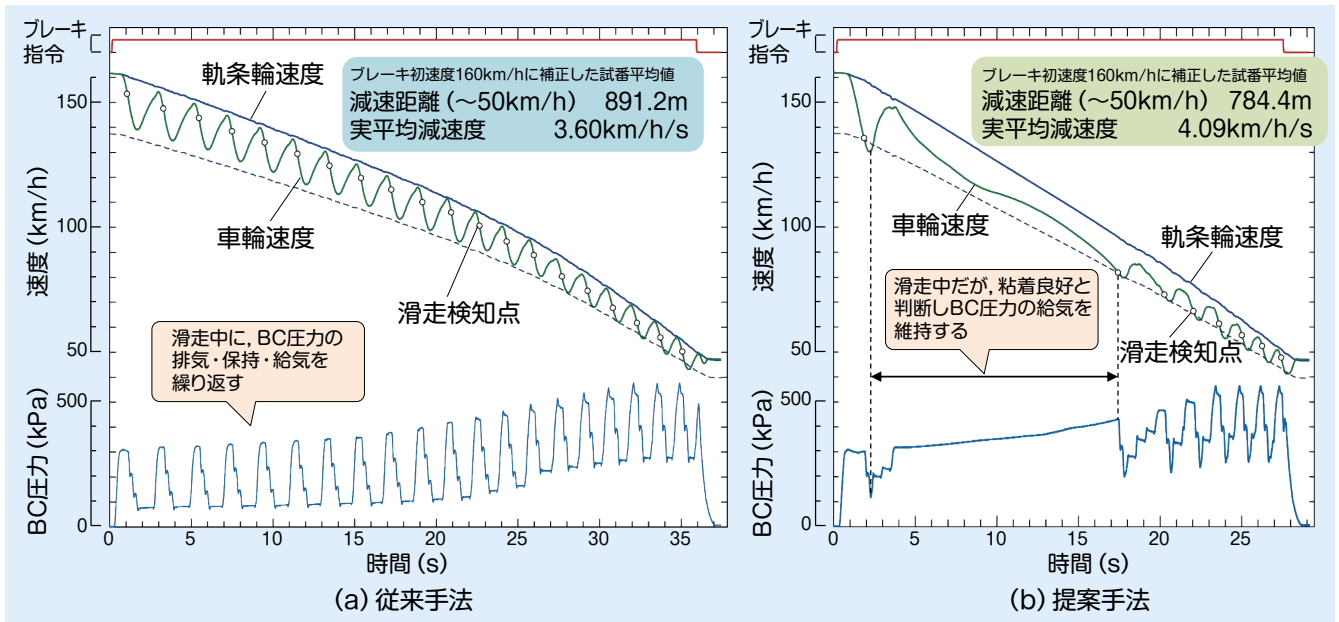


図6 粘着試験ユニットでの試験結果例

今どれだけの強さのブレーキをかけているか、そしてその結果どれだけ滑走しているか、という関係から粘着状態を推定してることになります。滑走中においても粘着が良好であると判断した場合には給気を継続し、ブレーキが有効に作用する領域をできるだけ利用するという思想です。

本ユニットにおいて、同一の試験条件のもと、両制御手法の滑走制御試験を実施した結果を図6 (a) (b) に示します。従来手法においては、BC圧力が排気・保持・給気の動作を繰り返す

ているのに対し、提案手法では滑走中においてもBC圧力の給気を継続する意図した動作が確認できます。これにより、従来手法で3.60km/h/sであった減速度が提案手法では4.09km/h/sへと改善され、提案手法によるブレーキ性能の向上効果が確認できました。

おわりに

ブレーキ性能試験機の機能とその活用例を紹介しました。鉄道総研ではブレーキ性能を試験するもう一つの台上試験装置として、ディスクブレーキの

みを対象とした「ブレーキディスク試験機」も所有しています。

研究開発や受託試験のさまざまな要求に応えるため、これら二つの試験機をほぼフル稼働で活用しています。今後も、ブレーキシステムの安全性・信頼性の向上に貢献できるように、研究開発を行ってまいります。RRR

粘着

列車の駆動力やブレーキ力の伝達を可能にする車輪・レール間の摩擦現象を指します。粘着による力は、回転体が地面から接線方向に受ける力なので一般には「接線力」を意味しますが、鉄道分野では「粘着力」と呼ぶ場合があります。

滑走制御

レール湿潤時のブレーキ距離延伸の抑制と車輪フラットの発生を防止するための制御です。車輪の滑走を検知した際にブレーキ力を抑え、車輪の回転速度を車両の走行速度に迅速に復帰（再粘着）させた後、再度所定のブレーキ力を作用させます。滑走および再粘着の検知には、車両と車輪の速度差、車輪すべり率、車輪減速度、車輪減速度時間変化などが用いられ、これらの値を組み合わせて制御のしきい値としています。滑走再粘着制御とも呼ばれます。

文献

- 1) 嵯峨信一：ブレーキディスクの表面温度を可視化する，RRR, Vol.68, No.5, pp.6-9, 2011
- 2) 西森久宜：定置試験でブレーキの性能を調べる，RRR, Vol.66, No.6, pp.10-13, 2009
- 3) 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
- 4) 中澤伸一，土方大輔：巨視すべり領域を活用する滑走制御，鉄道総研報告，Vol.30, No.11, pp.23-28, 2016
- 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
- 6) 長谷川泉，茅島勝敏：在来線140km/h化のためのブレーキ技術-すべり率滑走制御方法の改良-，鉄道総研報告，Vol.13, No.10, pp.35-40, 1999