

# 一本リンク牽引力を用いたブレーキ性能の評価手法

車両制御技術研究部 ブレーキ制御研究室

主任研究員 嗟峨 信一

## 1. はじめに

一般に、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る。しかし、雨天時のようなレール湿潤条件下において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に加え、ブレーキ材の摩擦係数や滑走制御などが複雑に影響し、速度波形のみからその要因を特定することは困難な場合がある。こうした場合に、軸毎または台車毎に得られているブレーキ力、すなわち、レール／車輪間の接線力を走行中に直接測ることが出来れば、粘着係数やその他の影響度合を定量的に把握することが出来る。

しかしながら、従来のブレーキ力測定手法では、仮設と較正に相当な手間と時間を要するため、実際の編成車両への適用範囲が限定されていた。一方で、より正確なブレーキ性能の評価手法が求められている。そこで、台車牽引装置のひとつである一本リンクに作用する牽引力を用いて、ブレーキ性能を精度良く評価する手法を考案した。さらに、在来線車両及び新幹線車両の走行試験により有効性を確認したので、その結果を紹介する。

## 2. 従来のブレーキ力評価手法

従来の手法では、予め定置にて基礎ブレーキ装置の制輪子吊りや腕部に歪ゲージを貼り付けておき(図1)、制輪子に垂直方向の静荷重を負荷した際に発生する歪量との関係を求めておく。次に走行試験においてブレーキ中の歪量を測定し、定置の結果からブレーキ力(摩擦力)を求めるものである。さらに、従来の粘着係数測定では、編成惰行中に測定対象軸のみにブレーキを掛けて強制的に滑走を発生させ、滑り始めのブレーキ力をこの手法を用いて求めている。

この手法の長所は、1輪もしくは1軸でのブレーキ力が求まることである。一方で、事前に基礎ブレーキ装置を台車から外して較正する必要があること、歪ゲージ施工量が多く、試験期間内での工程管理が難しいこと、空気ブレーキの測定に限られること、振動や押付力成分が外乱として不定に含まれること、さらに編成ブレーキや滑走制御を伴う連続的現象を扱えないことなどの短所がある。これらの観点から、実車両の粘着特性に関する研究事例<sup>1), 2), 3)</sup>は少なく、編成内の特性については不明な点が多い。



(a) 踏面ブレーキ (b) ディスクブレーキ

図1 従来の手法

(赤丸：歪ゲージの施工箇所)

### 3. 新たなブレーキ力評価手法

#### 3.1 一本リンク牽引力

近年の鉄道車両は軽量化により、空気バネ式ボルスタレス台車が主流である。これは、車体と台車枠の間を許容変位の大きな空気バネで直結し、駆動力及び制動力を牽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る。一本リンクは単純形状であり、加減速時の力の計測が比較的容易になる利点がある。そこで、従来手法における短所の解決策として、一本リンクに作用する牽引力によって生じる歪量からブレーキ力を測定する新たな手法を考案した（図 2）。この手法によれば、在姿状態での仮設が容易で、編成ブレーキ中の各台車に働くブレーキ力について、電制、空制ともに精度の高い測定が可能となる。

典型的な一本リンク形状における軸方向荷重  $P$  (kN) の理論値は一本リンク幹部に貼り付けた歪量  $s$  ( $\mu\epsilon$ ) として、 $P = 0.205s$  で求められ、単体荷重試験における実測値は理論値と良く一致する。



図 2 一本リンクを用いた手法  
(赤丸：歪ゲージの施工箇所)

#### 3.2 回生ブレーキ力を用いた荷重較正

本手法を用いて、常用最大ブレーキを掛けた際における新幹線電動車の実測例を図 3 に示す。ブレーキ制御装置や主変換装置から得られるブレーキ情報は、ノッチ、速度、BC 圧、必要ブレーキ力、回生ブレーキパターン電圧、回生フィードバック電圧、モータ電流、空制減算指令電圧などがある。このうち、回生フィードバック電圧と歪量は図 4 に示すように高い相関性がある。従って、回生フィードバック電圧から換算可能なブレーキ力（以下、電制力）で較正するのが妥当である。

しかし、実際に得られる歪量は一本リンク単体での理論値よりも低く、その較正係数は理論値の 0.205 に対して約 0.3 であった。この要因は、連結器、ダンパ類、空気バネ等の前後支持剛性が影響していると考えられる。較正係数は他の車両でも 0.25 ~ 0.35 となることから、ブレーキ力の約 20~40% は一本リンク以外の支持系が負担していることを意味している。

#### 3.3 前後振動加速度を用いた荷重較正

一般に、付随台車（以下、T 台車）には空気ブレーキのみが作用し、摩擦力は空制減算指令で定める BC 圧に対して変動するため、電制力との比例関係を利用した動力台車（以下、M 台車）の手法は適用出来ない。そこで、従台車の較正は、一本リンクに発生する歪量と床上前後加速度が比例関係であることを利用する。ただし、較正の対象とするデータはブレーキ負担率が自車 100% の設定時に限ること、較正の精度は動台車の手法に比べて劣る場合があるなどの制約がある。

ここで、各較正手法により得られた較正係数を用いて、ブレーキ力を算出し比較した例を図 4 に示す。電制力で較正した結果と電制力は精度良く一致している。また、床上前後加速度で較正した結果は若干精度が劣るが良い一致を示している。

以上をまとめ、適切な較正方法を表 1 に示す。選定にあたっては、ブレーキ制御方式、得られる車両情報の種類などを把握した上で決定するのが望ましい。

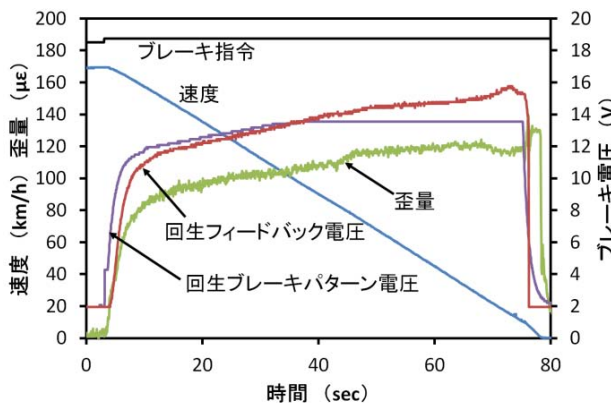


図3 実測例

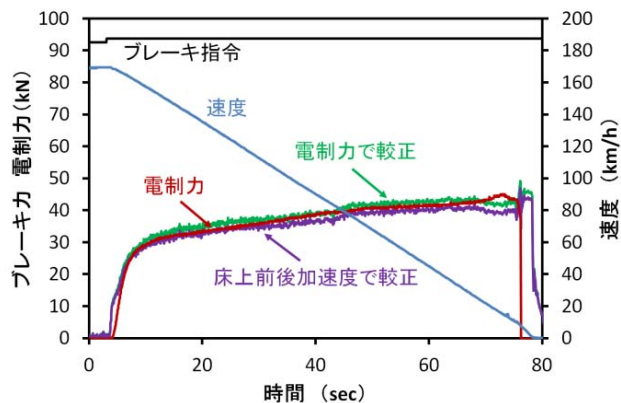


図4 各較正手法による比較例

表1 適切な較正方法 (測定精度○>△>×)

車両	台車	BP	FB	NB	MC	PF	FG
在来線	M	×	○	×	○	△	○
	T	—	—	△	—	△	○
新幹線	M	○	○	○	○	△	○
	T	—	—	△	—	△	○

※BP：回生ブレーキパターン電圧，FB：回生フィードバック電圧，NB：必要ブレーキ力  
MC：モータ電流，PF：空制減算指令電圧，FG：床上前後加速度

#### 4. ブレーキ性能の評価例

##### 4.1 在来線車両

3両編成の在来線車両を供試編成とした走行試験において、本評価手法を適用した。ブレーキ制御はT車優先遅れ込め制御方式である。レール乾燥条件における電制常用3ノッチ(B3)の測定結果を図5に示す。B3は回生有効の場合にMc車で編成のブレーキ力を負担する設定である。

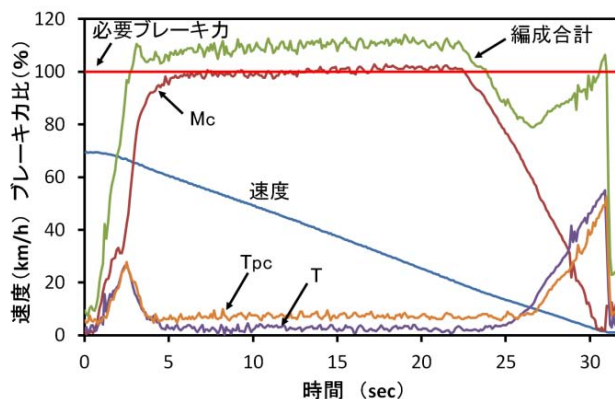


図5 ブレーキ力の測定結果 (電制 B3)

各号車はブレーキ指令により空気ブレーキを立ち上げるが、Mc車の電制力の立ち上がりを受けて、T車及びTpc車はブレーキ力を抑えている。この際、編成合計のブレーキ力は必要ブレーキ力(100%)を満足しており、良好な制御状態が確認出来る。その後、Mc車は低速で回生ブレーキ力を絞り込むのに応じて、T車及びTpc車の空気ブレーキが補足し、ブレーキ力が立ち上がっている。

##### 4.2 新幹線車両

8両編成の新幹線車両を供試編成とした走行試験において、本評価手法を適用した。測定対象は、従来から滑走の起き易い先頭1号車から4号車とした。なお、ブレーキ性能の評価にあたっては、各号車平均の接線力係数を求めることにより、粘着係数の計画値及び設定減速度の粘着係数換算値との比較を容易にした。

ブレーキ条件は、初速度 300km/h から 120km/h までの電制非常ブレーキ (EB) とした。営業時の非常ブレーキでは、先頭軸に搭載したセラミック噴射装置からアルミナ粒子が 1 分間噴射される仕組みである。また、雨天を模擬するための散水ノズルは、先頭から 2 軸目及び 6 軸目に取り付けた。

レール乾燥条件にセラミック噴射有の現行条件では、いずれの号車も非常ブレーキ (EB) に必要な粘着係数を満足している (図 6)。レール湿潤条件にセラミック噴射無の条件では、1 号車及び 2 号車に連続滑走が生じて湿潤の計画粘着係数付近まで低下することが示された (図 7)。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制御も影響しているが、編成としてのブレーキ距離の延伸率は約 2% に抑えられ、ブレーキ性能に問題はない。

レール湿潤条件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、滑走の発生が抑制されている (図 8)。2 号車の接線力係数が依然として低いのは、散水位置の関係から 2 号車の車輪へ回り込む水分量が最も多い影響と考えられる。

## 5. おわりに

実車両の走行試験により、一本リンク牽引力を用いたブレーキ性能評価手法の有効性を確認した。本手法は、測定作業量の軽減、電制/空制を高い精度で評価可能などの利点を有する。従って、ブレーキの現象把握や性能評価、さらには負担率策定に活用できるものと考えられる。今後は、降雨や降積雪時のデータを蓄積して高精度化を図るとともに、営業走行時におけるブレーキ力監視システムの検討を進める。

## 参考文献

- 1) 新井浩ほか：新幹線高速化のブレーキシステムについて，JR EAST Technical Review, pp.11-14, No.22, 2008
- 2) 鉄道技術研究所：東海道新幹線に関する研究, 1960
- 3) 内田清五ほか：粘着力有効利用による新幹線高速化のためのブレーキ制御，鉄道総研報告, pp.41-48, Vol.7, No.3, 1993

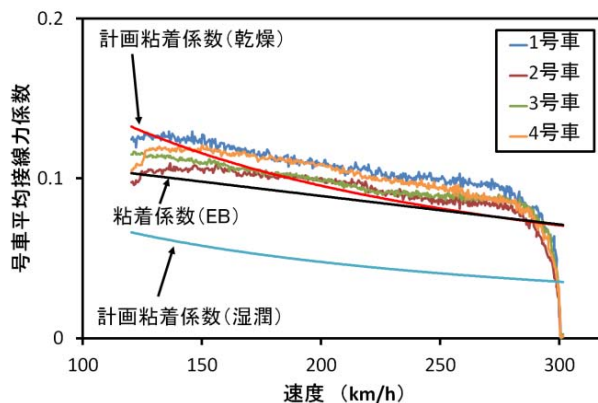


図 6 測定結果 (乾燥, セラミック有)

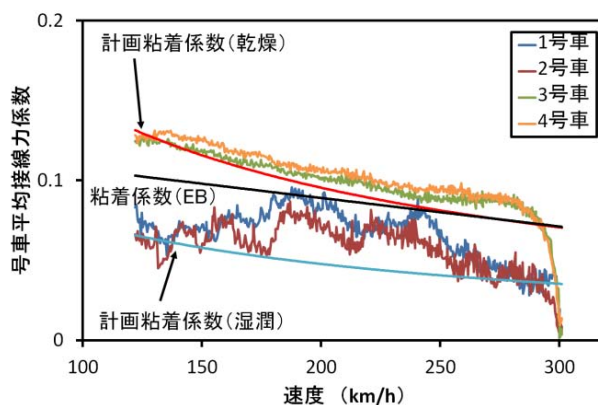


図 7 測定結果 (湿潤, セラミック無)

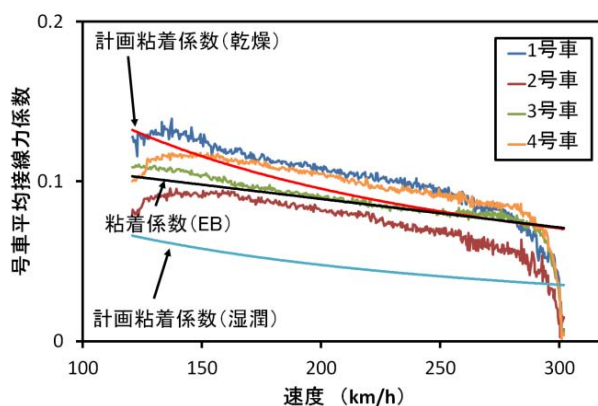


図 8 測定結果 (湿潤, セラミック有)