

3209 低速域のレール/車輪間の粘着力特性に及ぼす水の影響 —二円筒試験機による錆の考察—

Effect of water on adhesion behavior between wheel and rail in low-speed range
-Consideration of rust to results by a twin disc machine-

○ 高平 敬 (東京工業大学, 院) 陳 樺 (鉄道総合技術研究所)
石田 誠 (鉄道総合技術研究所) 正 京極 啓史 (東京工業大学) 正 中原 綱光 (東京工業大学)

Takashi TAKAHIRA, Tokyo Institute of Technology, 12-1 O-okayama, 2-chome, Meguro-ku, Tokyo, 152-8552
Hua CHEN, Railway Technical Research Institute
Makoto ISHIDA, Railway Technical Research Institute
Keiji KYOGOKU, Tokyo Institute of Technology
Tsunamitsu NAKAHARA, Tokyo Institute of Technology

This paper describes the experimental result of traction coefficient between two cylinders in relatively low speed drive range with the circumstances of both dry and wet to simulate rail/wheel operation. The results suggest that the characteristics of traction coefficient under wet condition differs from that under dry condition due to rust.

Key Words: traction, adhesion, surface roughness, rust

1. はじめに

急曲線走行時の脱線現象に関しては、内軌頭頂面と車輪踏面間の摩擦力(横クリープ力)が大きな役割を果たすことが明らかにされた¹⁾。その摩擦力を決定する大きな要因としてレールと車輪の接触面の状態が指摘されている⁽¹⁾。そこで、本研究は特に酸化膜、錆や潤滑剤が接触面の表面粗さとの組み合わせにより、どのようにトラクション係数(摩擦力あるいは横クリープ力を輪重で割った値)に影響を与えるかを評価することを目的に、昨年導入された転がりすべり摩擦力試験機を用いて実験を行っている。本稿では、当該試験機を用いて、トラクション係数に対する dry 状態と wet 状態の相違に焦点を当て、すべり速度をパラメータとして測定した結果を報告する。

2. 実験方法

2-1 実験装置と試験片 本実験には転がりすべり摩擦力試験機を用いた。以下に試験機の概要を説明する。まず、駆動側、制動側共にモータがついており、それぞれを独立させて回転させることができる。その回転数の比によってすべり率を設定することができる。また、本試験機には環境雰囲気作成装置が付属しており、これによりチャンパーに覆われた二円筒接触部の温度、湿度を設定して実験を行うことが可能である。さらに、チャンパー内にはノズルがついており、二円筒接触部に水を供給することができ、降雨状態を模擬できる。試験機の性能を Table.1 に示す。

Table.1 Performance of experimental apparatus

Rotational speed	Load (Pressure of surface)	Slip ratio	Attack angle
0~4000rpm	0~0.2kN (0-1260MPa)	0~5.0%	-3° ~3°

本実験に用いた試験片は、実際のレールから切り出したもので、その寸法は直径 30mm、厚さ 8mm である。

2-2 実験条件 Table.2 に本実験の測定条件を示す。回転数は水の流体潤滑性と試験機の共振を避けるために 800rpm (周

速度で 4.5km/h) とした。荷重は、円錐車輪と 50N レールの組み合わせにおける輪重 42 kN の場合の車輪・レール間のヘルツ圧力 760MPa となるように 45N とした。すべり率はレール・車輪間のすべり状況を考慮して、0.2%~1.6%までを 10 段階に区切り、回転数と組み合わせ、すべり速度として評価した。雰囲気状態は、dry 状態が 40°C, 20%RH (相対湿度) とし、wet 状態は、40°C, 90%RH とした上で、二円筒接触部に微量の純水を供給した。

Table.2 Experimental conditions

Atmosphere	Dry (40°C, 20%RH)		Wet (40°C, 90%RH)		
Rotational speed	800rpm				
Load	45N (760MPa)				
Slip ratio (Slip velocity) (mm/s)	0.2% (2.5)	0.3% (3.8)	0.4% (5.0)	0.5% (6.3)	0.6% (7.5)
	0.7% (8.3)	0.8% (10)	1.0% (12.6)	1.2% (15.1)	1.6% (20.1)
Surface roughness	R.M.S 0.45 μm				
Attack angle	0°				

2-3. 実験手順 まず、試験片を超音波洗浄機で洗浄し、3 次元粗さ計で表面粗さを計測する。試験片を実験機にセットし、所定の雰囲気状態 (dry, wet 状態) に設定する (wet 状態の場合は純水をノズルから供給する)。次に、各すべり率で実験を開始する (dry 状態はすべり距離が 10000mm, wet 状態はトラクション係数が落ちてきたところまで実験を行う)。実験が終了すると、3 次元粗さ計で実験後の表面粗さを計測し、赤外線分光装置 (FTIR) で試験片摺動面の成分分析、顕微鏡での表面観察、マイクロビッカース硬さ計を用いて試験片の摺動面の硬さを測定し、試験前の硬さと比較した。

3. 実験結果と考察

3-1 dry 状態と wet 状態とのトラクション係数比較 Fig.1 にすべり率 0.7% (すべり速度 8.8mm/s) における dry 状態と wet

状態のすべり距離とトラクション係数の関係を示す。まず、一般的な特徴として、すべり率(すべり速度)によらず dry 状態では、すべり距離が 2000mm 付近でトラクション係数がピークを迎え、6000mm 付近で落ち着くという傾向が見られた。wet 状態では、すべり距離が増加するに従ってトラクション係数も増加するという特徴が見られた。

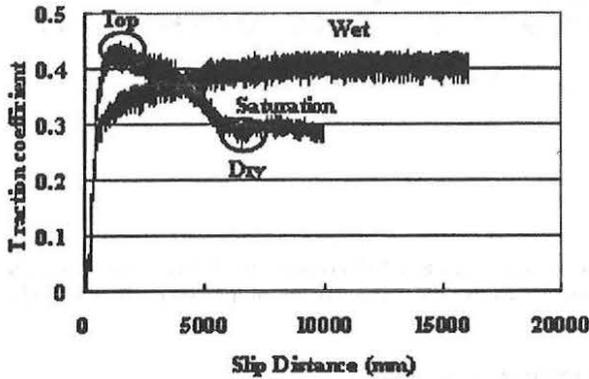


Fig.1 Traction coefficient vs. slip distance in dry and wet condition (slip velocity = 8.8mm/s)

次に、Fig.2 に dry 状態、wet 状態における各すべり率でのトラクション係数の最大値(粘着係数)とすべり距離との関係を示す。図に示す dry 状態の top と saturation は Fig1 で印を付けたところと一致する。この図から dry (top) 状態と wet 状態とでは粘着係数に大差が見られないことが読み取れる。また、dry 状態ではすべり速度 10mm/s(すべり率 0.8%)、wet 状態ではすべり速度 15.1mm/s(すべり率 1.2%)で飽和していることがわかる。

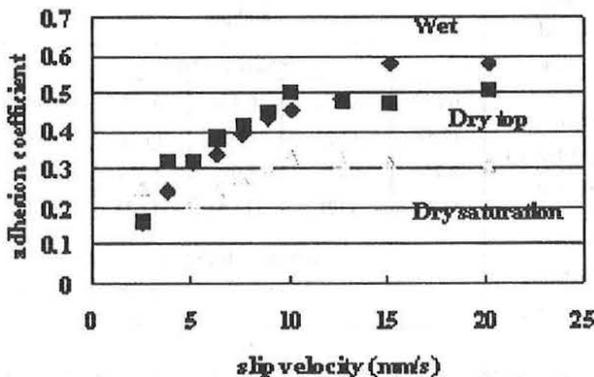


Fig.2 Adhesion coefficient vs. slip velocity in dry and wet condition

3-2. dry 状態と wet 状態の表面状態 実験終了後の dry 状態、wet 状態(すべり速度 8.8mm/s、すべり率 0.7%)の表面状態の写真から、dry 状態と wet 状態とでは明らかに表面状態が違っていた。また、wet 状態では何か細かい粒子状の物が付着しており、色も赤っぽく見られた。なお、FTIR による分析により錆の吸収スペクトルは検出されたが、小さいため量的には示すことはできなかった。

3-3. dry 状態と wet 状態の表面粗さの比較 Fig.3 に実験後の dry 状態と wet 状態(すべり速度 8.8mm/s、すべり率 0.7%)の表面粗さの比較を、Table.3 に数値を示す。実験後の表面

状態を見ると、dry 状態では摩耗した様子が見受けられたが、それが表面粗さの数値として表れている。また、wet 状態は試験前よりも表面粗さが小さくなるという結果が見られた。なお、dry 状態に関しては測定箇所によって表面粗さが大きく異なるので、おおよその範囲を掲載した。

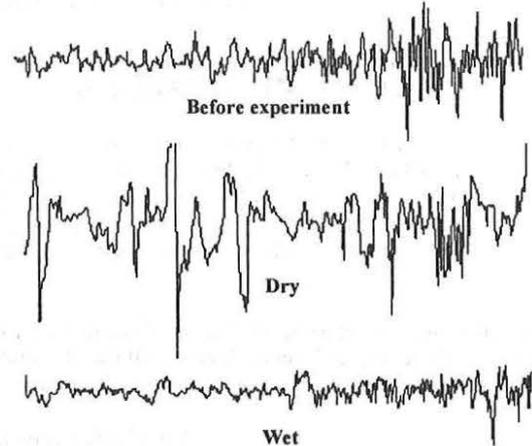


Fig.3 Surface roughness

Table.3 Surface roughness of before and after experiment

Before experiment		R.M.S	0.45 μ m
After experiment	Dry condition		3~5 μ m
	Wet condition	0.25 μ m	

3-4. dry 状態と wet 状態の硬さの比較 実験後の dry 状態と wet 状態(すべり速度 8.8mm/s、すべり率 0.7%)の表面硬さをマイクロビッカース硬さ計(試験荷重は 10N)で測定した結果、dry 状態の接触面の硬さ(1.6HV)は、非接触面の硬さ(1.1HV)よりも約 56%高くなっているが、wet 状態の場合はほとんど変化がなかった。

4. 結論

実験結果をまとめると以下のように示される。

1. dry 状態と wet 状態のトラクション係数の最大値は大差が見られないが、過渡特性には大きな違いが見られる。
2. 粘着係数とすべり距離の関係から、dry 状態、wet 状態ともあるすべり速度(すべり距離)で飽和する。
3. dry 状態と wet 状態の試験後の表面写真から dry 状態は明らかに摩耗した様子が見られ、wet 状態は細かい粒子状のものが付着しており、色も赤っぽく見られた。
4. 表面粗さに関しては dry 状態の方が wet 状態よりも大きいという結果が得られた。また、wet 状態は試験前と比較して小さくなる傾向が見られた。
5. dry 状態の場合は、試験前より硬くなっているが、wet 状態の場合は変化がなかった。

5. 参考文献

(1)石田誠、中原綱光：営団日比谷線脱線事故とトライボロジー、トライボロジスト、46,7(2001) p548-555

6. 謝辞

本研究は財団法人地下鉄互助会の公益基金の交付を受けて行ったものであり、ここに深く感謝の意を表します。