

正〔機〕 嵯峨 信一 (鉄道総研)

Fundamental Investigation of the Rail-Air-Wiping Devices

Shinich SAGA, Railway Technical Research Institute 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji City Tokyo

Railway vehicles during wet condition adhesion between the wheel and the rail is severely degraded, or significant aspects of brake performance is strongly affected by it. So we made a fundamental investigation and development on rail-air-wiping devices to remove water film on the top of rails, to suppress the decrease adhesion. From the results of the traction wind tunnel test, obtain a knowledge of the optimal selection of the air nozzle and mounting angle. Furthermore, from the results of the conventional train running test, and SHINKANSEN train running test, obtain a knowledge of the optimal design of the rail-air-wiping devices. In this paper, report on these.

Keywords : brake performance, adhesion, air nozzle, water film, top of the rail, slip, flat, towing wind tunnel

1. はじめに

鉄道車両では加速時および減速時におけるレールと車輪の間の摩擦係数を粘着係数と呼んでおり、この粘着係数が自動車等に比べて小さいことから、走行抵抗が少ない省エネルギーな輸送機関として優れている。一方で、減速時には車輪とレールの間で「滑走」が生じ、高い制動性能が得られにくいという面を併せ持っている。特に、雨天時における「滑走」は顕著で、乾燥時に比べて制動距離が延伸することや、車輪がロックして形成されるフラットにより、走行に伴う転動騒音を引き起こしている。

現在では「滑走再粘着制御」が多くの鉄道車両に搭載され、以前に比べて制動距離の安定化やフラット防止が図られているが、こうした制御手法を適用しても粘着係数そのものを増加させることはできない。あくまでも発生した滑走の程度を抑制するにとどまる。さらに、編成両数が少ない場合ほど、雨天時の制動性能は悪化しやすいことから、安全性を確保する上で粘着の向上は重要な課題である。

本研究では湿潤条件下のレール頭頂面に存在する水膜を圧縮空気により除去して粘着力低下の抑制を図り、ブレーキ性能の向上を目指したエアワイプ装置の基礎的研究を行った。これらの結果について報告する。

2. 粘着計画式

在来線および新幹線の粘着計画式を図1に示す。車両によって異なる計画式が用いられているが、これは対象とした車両や粘着係数の測定方法の違いによるものである。ここでは、例として新幹線の粘着計画式について説明する。新幹線の粘着計画式は数々の模型実験や走行試験の結果から定められており、初めにレール湿潤条件の計画式が策定され、その後、乾燥条件は湿潤条件の2倍とされた。省令では新幹線のブレーキ性能が速度段毎の減速度で定められ、その規定値は湿潤条件での計画式から算出された減速度と一致する。これは滑走を抑制して確実に停止できるブレーキ力を規定していることを意味しており、車両では常用最大ブレーキの減速度設定値となっている。また、乾燥条件の粘着計画式は非常ブレー

キの減速度設定となっている。一方、在来線では制動距離 600m 停止の観点から湿潤条件の粘着を超えたブレーキ力を設定しているため、滑走が多発する傾向がある。

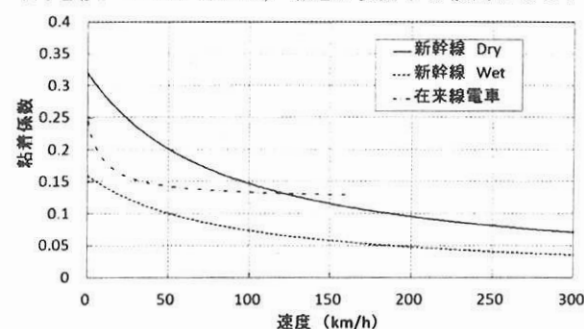


Fig.1 Adhesion Characteristic Curves

3. 曳航風洞試験

3.1 試験装置

曳航風洞試験は鉄道総研所有の雪害防止実験所（新潟県南魚沼市塩沢）にある排雪力測定試験装置（図2）を改造して実施した。本来この試験装置は、レール上の積雪を走行台車により排雪することが目的である。油圧モータとワイヤで繋がれた走行台車は最高速度 40m/s（144km/h）で牽引され、先頭車両の台車排障器の走行を模擬する仕組みとなっている。

そこで、本試験装置を静止したレールと移動する台車間の走行風模擬が可能な曳航風洞装置とみなし、走行台車にエアノズルと圧力空気噴射装置および圧力調整機器を搭載して試験を行った。

図2に走行台車および測定部を示す。なお、レールの模擬は長さ1500mmの60Nレールを支持台で固定するようにした。このレールには走行の始点側から500mmの位置に圧力センサを9点仮設している（図3）。レール頭頂面の水膜除去の評価は、レール頭頂面が受ける圧力（力積）を測定することにより行った。また、終点側から800mmまでは散水領域とし、高速カメラによる撮影を行った。

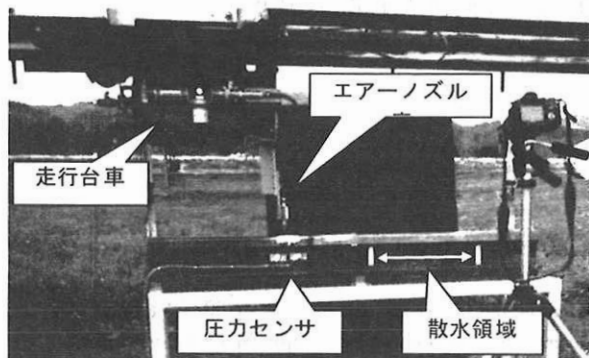


Fig.2 Towing Wind Tunnel Facility



Fig.3 Pressure Sensors Distribution on the Rail

3.2 試験条件

レール頭頂面からのノズル高さは、15mm（レール塗油器の規定高さ）、30mm、43mm（セラミック噴射ノズルの規定高さ）、60mm、80mm（台車排障器の規定高さ）、100mmの6種類とした。また、試験速度は10 m/s (36km/h)、20 m/s (72km/h)、30 m/s (108km/h)、40m/s (144km/h)の4種類とした。噴射圧力は600kPaである。エアのノズルはストレートタイプのA型、フラットタイプのB型の2種類を用いた（図4）。なお、試験の際にはA型についてのみ風防の有無による試験を実施した。各ノズルの取付条件は、レールからの高さの他に、鉛直下向き、レール方向への前縁角および後退角、枕木方向への斜角等の取付角度を種々考慮した。

また、レール頭頂面への水膜形成は、蓄圧式スプレーガンを用いて毎時180mm相当の散水を行った。

3.3 試験結果

レール頭頂面の圧力は9個ある圧力センサのうち、最大値（瞬時値）を評価したところ、最適と考えられる組み合わせとして、A型ノズルが「鉛直+風防有」、B型ノズルが「鉛直側面+風防無」をそれぞれ選定した。

ノズル高さ15mmにおける高速カメラ映像を図5に示す（B型ノズル）。圧力空気噴流によって飛散したレール頭頂面の水膜の挙動は、A型ノズルおよびB型ノズルともにノズル高さが低いほど顕著であった。特にノズル高さ15mmの条件においては、試験後のレール頭頂面には水膜が筋状に除去された領域が確認された。これは、ノズル高さが15mmと低いことから噴流が減衰することなくレール頭頂面に到達し、高い除去能力を発揮したことによるものと考えられる。しかしながら、筋状に除去したレール頭頂面の両端部には依然として水膜が残留しており、より広い面積を効率的に除去する課題が残った。

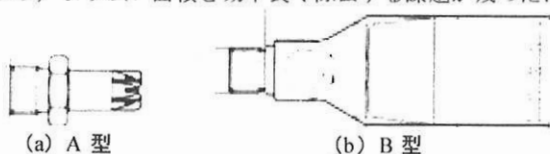


Fig.4 Two Types Air Nozzle for Test



Fig.5 High Speed Camera Images of Wiping (Type B Nozzle without Windshield)

曳航風洞試験では、走行台車に搭載重量の制限があったため圧力容器は24Lとした。この貯気量と噴射圧力および噴射時間に見合ったエアノズルを図4のように選定したが、車両に搭載する際にはこれらの制約がないことや少なくとも30sec（初速130km/hからの非常ブレーキの時間に相当）程度の噴射時間を要することから、車両搭載用の圧力容器を10倍の240Lとし、これに見合ったエアノズルとして、消費空気が約3倍の大流量フラット型ノズルについても同様の試験を実施した。

水膜を除去する能力の評価は、最大圧力に加え、圧力レール頭頂面において測定された最大圧力をレール頭頂面からの高さにおけるエアコーン径（面積）で受けたものと仮定し、さらに圧力を測定している区間距離（26mm）を通過する時間から求めた力積（仕事量）で行った。それらの結果を図6、図7（大流量フラット型の例）に示す。

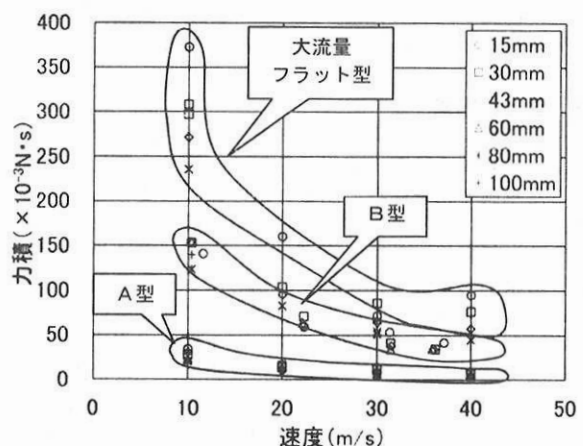


Fig.6 Relationship between Velocity and Impulse

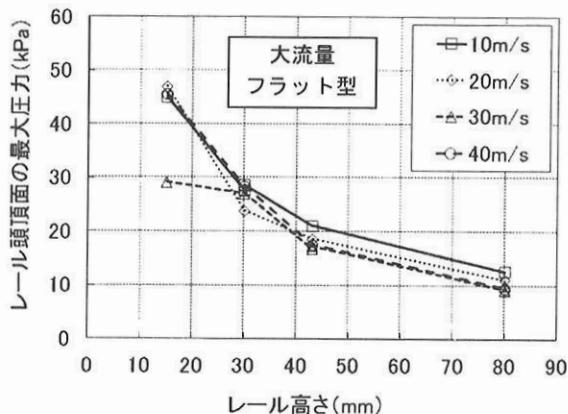


Fig.7 Relationship between Height and Pressure
(Large Flow Flat Type Nozzle)

いずれのエアーノズルも力積は走行速度とレールからの高さに依存していることが分かる。一方、レール頭頂面に作用する圧力はレールからの高さのみに依存し、走行風による影響は少ない。このことは、新幹線のように走行速度が高い場合においても、水膜除去能力が機能する可能性を示唆している。また、A型ノズルとB型ノズルは同等の消費空気量であるが、B型ノズルの方がA型ノズルの約2倍以上の力積となっている。すなわち、フラット型ノズルの有効性が示され、約3倍の消費空気量を有する大流量フラット型ノズルについては、A型ノズルの約10倍、B型ノズルの約2倍の排除性能を有しているものと考えられる。

4. 在来線走行試験

4.1 試験条件および仮設内容

エアーワイプの仮設箇所を図8、床下仮設を図9に示す。エアーワイプは台車枠に固定する台車排障器と大流量フラット型エアーノズルを一体構造にしたものである。また、散水ノズルは排障ゴムの前縁側に取り付けた。なお、エアーノズルのレールからの高さは85mm、噴射圧力は600kPaとし、噴射動作はブレーキ指令と連動させた。エアーワイプ用のアルミ製エアータンクの容量は合計240Lで、圧縮空気の供給は車両からではなく車載したオイルフリーコンプレッサから供給する仕組みとした。エアーノズルと車上のエアータンクは、エアータンク出口に取り付けた電磁弁とレギュレータを介してフレキシブルホースで接続されている。

- ・供試車両：特急形気動車2両編成（滑走制御なし）
- ・試験条件：[ブレーキ初速度] 70, 90, 110km/h
[ブレーキノッチ] B7（排気ブレーキ有無）
EB（非常ブレーキ）
[レール条件] 湿潤（散水 2~4L/min/輪）

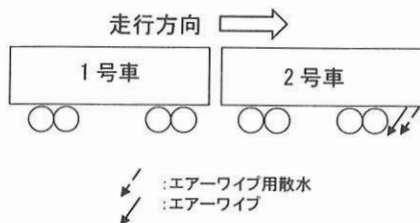


Fig.8 Schematic of Vehicle Settings for Test

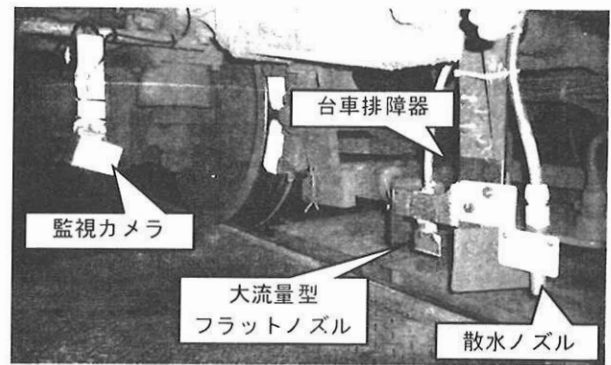


Fig.9 Settings under the Car No.2

4.2 試験結果

実平均減速度の結果を図10に示す。ただし、初速度90km/hからのEB条件（エアーワイプ有、散水4L/min/輪）では、滑走発生により途中でブレーキを緩めたため、終速20km/hまでの結果で比較した。その他の条件では散水量を2L/minに変更して試験を実施した。

初速度70km/hからのEB条件においては、エアーワイプの効果を得られているが、初速度が90km/h以上の条件においては、明確な効果が得られなかった。

監視カメラ映像（初速度70km/hからのEB条件）を図11に示す。噴射エアーによるレール頭頂面の水膜飛散の様子は高速時では確認できなかったが、低速まで減速した際には確認することができる。

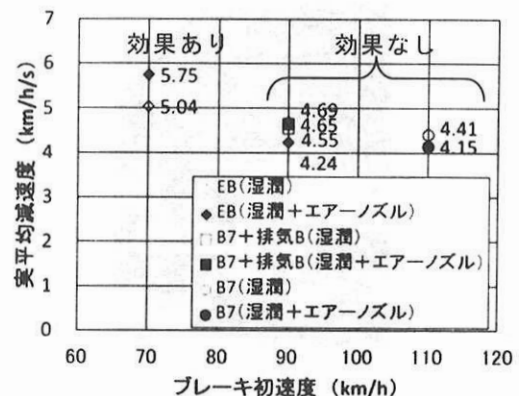


Fig.10 Results of Deceleration (Ave.)

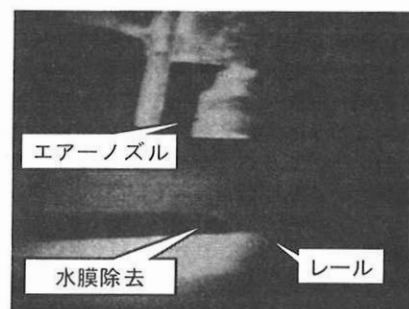


Fig.11 Running Test Image (at 30km/h, EB)

曳航風洞試験の結果によると、水膜除去能力は走行速度とレール高さに依存すると考えられ、今回のようなレール高さ85mmにおける水膜排除効果は期待できないことが推定される。また、台車排障器は台車枠に固定され

ているため、走行中のエアノズルがレール頭頂面の中心から外れた可能性も考えられる。

これらを踏まえると、現状の台車枠固定方式からレール塗油器のような軸箱固定方式に変更することにより、高速時の水膜排除能力が期待されるレール高さ25mm程度の確保が必要である。曳航風洞試験の結果からもその際のエアノズルがレール頭頂面に及ぼす力積は約3倍となり一定の水膜除去能力を有する可能性がある。

5. 新幹線走行試験

5.1 試験概要

試験はすべて初速度300km/hからの電制非常ブレーキ（湿潤条件：5L/min/輪、セラミック噴射装置「切り」）とした。仮設概要を図12、床下仮設を図13に示す。

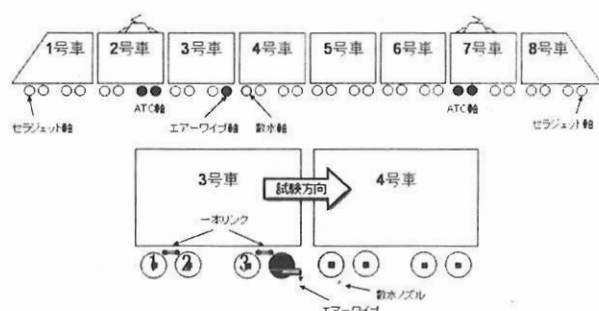


Fig.12 Schematic of SHINKANSEN Settings for Test

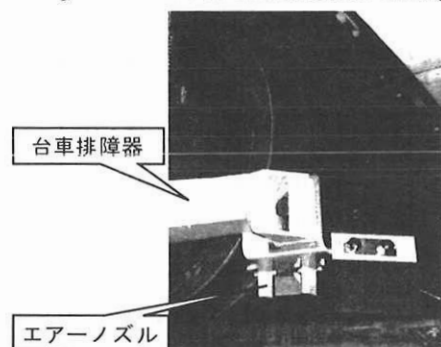


Fig.13 Settings under the Car No.3

エアノズルはブレーキ指令と同時に圧縮空気の噴射を開始、エアノズルは速度230km/h未満で終了する動作ロジックとした。エアノズルのレールからの高さは50mm、噴射圧力は700kPaとした。

粘着力の目安となる実ブレーキ力の検出手法としては、一本リンクに貼り付けた歪みゲージにより得られる牽引力を用いた。この手法では圧縮・引張の単純な力として実ブレーキ力を検出することができ、従来手法では困難であった空制時と電制時の測定が可能となる。

5.2 試験結果

エアノズルを動作させた場合、ブレーキ開始直後には車輪路面に残留した水膜の影響によりNo.3軸およびNo.4軸がともに滑走したが、その後のNo.3軸の滑走が抑制される傾向であった。一方、No.1軸およびNo.2軸は滑走の程度は軽微で、エアノズルの有無による差異はみられなかった。その結果、滑走に伴うブレーキ力制御（滑走再粘着制御）の絞り込み量が少なくなり、ブレーキ力の低下が抑制された。

図14に試番平均した一本リンク牽引力（No.1台車とNo.2台車の合計）を、エアノズル動作の有無で比較した結果を示す。エアノズルによって280km/h以下の牽引力、すなわちブレーキ力が平均で約10%の増大を示しており、粘着力の低下抑制に一定の効果を発揮した可能性がある。ただし、粘着特性については一般にデータのばらつきが多く、より定量的な評価についてはさらにデータを蓄積した上で検証する必要がある。

ブレーキ開始直後の映像を図15に示す。300km/hという高速走行下においても、レール頭頂面における水膜飛散の様子が確認できる。したがって、エアノズル装置は軸箱固定方式とすることで、その効果をより高めることができるものと考えられる。

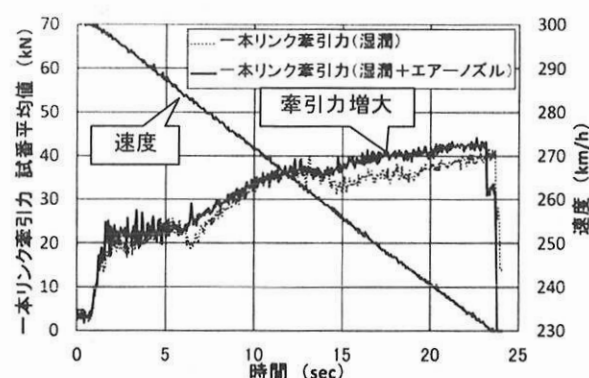


Fig.14 Comparison of Traction Force on Braking



Fig.15 Running Test Image (at 300km/h, EB)

6. まとめ

鉄道車両の湿潤条件下におけるブレーキ性能向上を図るために、圧縮空気によりレール頭頂面の水膜を除去するエアノズル装置の基礎的研究を進めてきた。これまでの試験で得られた知見から、今後は粘着の影響を強く受ける在来線の短編成車両を対象としたエアノズル装置を検討し、その効果の検証を行う予定である。

謝辞

レールエアノズル装置の製作にあたり、度重なる親身なご指導を頂きました株式会社YBおよび新日鉄住金鋼の関係者各位に感謝いたします。また、走行試験を実施するにあたり、多大なるご協力とご配慮を頂きました四国旅客鉄道株式会社および西日本旅客鉄道株式会社の関係者各位に深く感謝いたします。