

非常停止距離の短縮への取り組み



新井 浩* 柳瀬 直仁* 浅野 浩二* 橋本 克史*

営業運転最高速360 km/hを技術上の目標に新幹線高速化の開発を進めている。高速化の基本要件の第一は安全性の確保であり、地震等の非常時に極力早く停止可能とすることはリスク低減のために極めて重要である。このため、基礎ブレーキの性能向上とともに空気抵抗増加装置を装備することにより、360 km/hからの停止距離を現行E2系の275 km/hからと同等以下となるべく開発を行っている。

●キーワード：新幹線、高速化、ブレーキ、粘着、空気抵抗

1 はじめに

中越地区地震で幸いなことに死傷者はなかったが、営業最高速度360km/hを目指した新幹線の開発では、地震等の異常時でも究極の安全を確保するため、「非常停止距離の短縮」、「耐脱線性の向上」、「脱線後の被害拡大防止」について取り組んでいる。開発当初から「非常時の停止距離の短縮は、少なくとも現行E2系の275km/hからの停止距離と同等以下になる」に目標を設定し、開発を行ってきた。

安定したブレーキ力を得るための300km/hを超える高速域での粘着力の把握、粘着向上方法、粘着力を有効に活用するブレーキシステム、ブレーキ性能の向上、粘着力によらないブレーキ力を増加する装置等の開発を行ってきた。今までの開発内容、今後の開発、確認項目について述べる。

2 粘着力の把握と増加方法

車輪・レール間の伝達力である粘着力(粘着係数)は最高速度で走行する加速力、目標ブレーキ距離で停止する減速力を表わす重要な要素であり、過去の実験・試験数値で得た湿潤時の計画粘着式を車両のブレーキ制御に使用している。しかし、300km/hを超える高速域の降雨降雪時での粘着係数は把握されていなかったため、E2系、E3系新幹線の走行試験で高速域の粘着力を測定し、計画粘着式と同等レベルの粘着力が得られることを確認した。この結果に基づき、ブレーキ力の向上、ブレーキ距離短縮のシステム設計を行った。

また、セラミック粒子を車輪とレールの間に噴射する方法は、粘着力を増加させる方法として有効であることを確認した。

高速走行試験で、高速領域の現象解明の重要な項目の1つとして、高速域での粘着力の把握、粘着力増加の方法について確認して行く計画である。

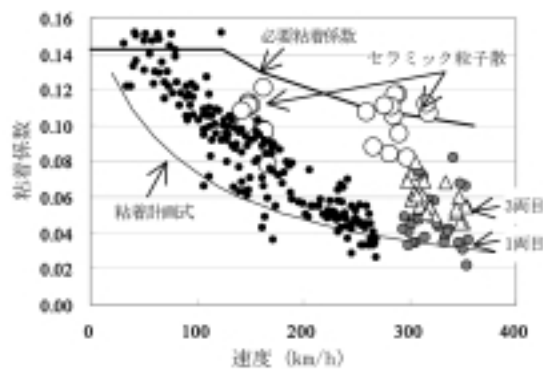


図1 360km/h域での粘着係数の測定データ (セラミック粒子の効果のデータを含む)

3 粘着力を有効に活用したブレーキシステム

(1) 編成ブレーキ力制御

360km/h域では車輪とレールの間に期待される粘着力はかなり低下するが、その粘着力は編成内の軸位で異なり、先頭軸位より後部軸位が高い粘着力が得られる。そこで編成軸位の応じた最適なブレーキ配分を行い、編成全体



図2 滑走制御試験状況

で必要なブレーキ力が得られるようにした。

(2) 最適な滑走制御

車輪に一定のすべりを許容して、すべり領域内での高い粘着力活用により高い減速度を得て、ブレーキ距離を短縮させる最適な滑走制御の開発の試験を行った。

研究開発センター内の台車試験装置を活用して、すべりを許容した試験を行い、すべり発生時にブレーキを緩めなくても車輪とレールが自己再粘着することが確認できた。一定のすべり率を許容した滑走制御によりブレーキ距離短縮と従来の滑走制御時の滑走再粘着時のブレーキ時の前後衝撃緩和の可能性の知見を得ることができた。表1に滑走制御の試験によるブレーキ停止距離を示す。また、図3に従来の滑走制御とすべりを許容した滑走制御の相違を示す。

表1 すべり率制御による停止距離

試験条件			停止距離(m)
すべり率	速度km/h	条件	
—	360	乾燥	4160
$\Delta 3\text{km/h}$	360	散水	3914
$\eta = 15\%$	360	散水	4257
$\eta = 20\%$	360	散水	3927
$\eta = 35\%$	360	散水	3839

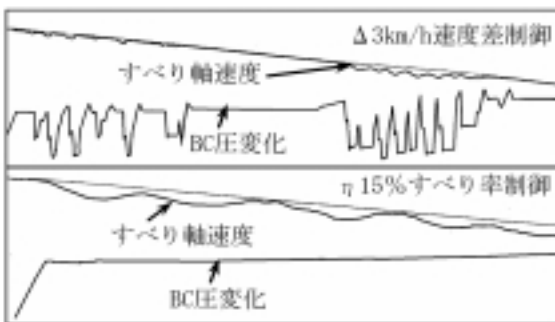


図3 すべり率制御試験の結果

新幹線高速試験車による高速試験で、滑走時の車輪踏面への影響、すべりを許容した滑走制御のブレーキ距離短縮効果について検証していく計画である。

4 ブレーキ性能の向上

新幹線の高速化に対応するため、ブレーキ負荷増大へ、軽量化、高い減速度を実現する摩擦係数から基礎ブレーキ

の構造および材質の開発を行った。

4.1 ブレーキディスク

ブレーキディスクの素材を変更するとともに、ブレーキ熱によるディスクの反り変形を防止するため、締結ボルト方式を従来の内周締結方式から中央締結方式変更、締結ボルトの熱膨張収縮をガイドするスライドキーを設けた構造とした。

4.2 ブレーキライニング

ライニングの素材を改良するとともに、形状を分割式ライニングに変更してヒートスポット発生、溶融を防止することにより、高い摩擦係数・耐熱亀裂・耐摩耗性の実現を図った。

4.3 ブレーキキャリア

従来の空油圧変換を廃止して、テコ式の空圧キャリアとして、ライニングの熱によるシリンダの熱損傷防止、構造の簡素化、軽量化、部品点数削減によるメンテナンス軽減を図った。

基礎ブレーキ装置については、ブレーキ試験装置による試験で、摩擦係数、ディスクの熱変形、摩耗量とともに最高400km/hからの繰り返し非常ブレーキ試験にも十分対応できることを確認した。

今後は、試験車による走行試験で耐久性、メンテナンス性の確認を行っていく計画である。

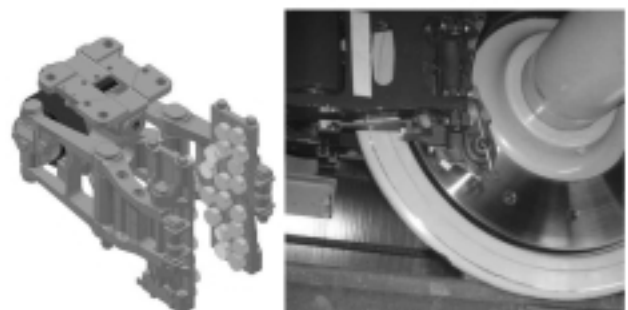
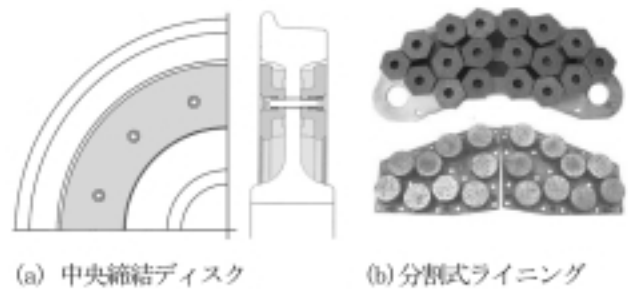


図4 基礎ブレーキの外観

5 空気抵抗増加装置の開発

5.1 開発のプロセス

地震などの緊急時にブレーキ距離を極力短くするため、車輪・レール間の粘着によらない、空気抵抗で制動力を追加する空気抵抗増加装置の開発を行った。この装置はニア車両で実績はあるものの新幹線車両では実績がないため、車両構造、車両走行安全性、走行安定性、架線等地上設備への影響を考慮し開発を進めた。具体的には、試験品による風洞試験・鳥衝撃試験及び流体シミュレーションにより、制動力の推定、構造の安全性の確認を行った。



図5 空気抵抗増加装置の外観

5.2 制動の原理

(1) 空気抵抗の計算

空気抵抗増加装置は屋根上に抵抗板を展開し、空気抵抗により減速するものである。その空気抵抗増加装置による制動力(抵抗力)は

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho A V^2$$

F : 抵抗力 (N)、 C_d : 空気抵抗係数 (Cd値)

ρ : 空気密度 (kg/m³)

A : 抵抗板の風圧獲得面積 (m²)

V : 列車速度 (m/s)

と表すことができる。抵抗力は速度の2乗に比例することから、高速で走行するほど制動効果が高くなる。

(2) 基本構成

今回開発した空気抵抗増加装置は、回転上昇式(扇型の平板の抵抗板を回転軸を中心に回転しながら上昇させる方式)とし、スペース、調整の容易化、構造の単純化、及び走行方向による制動力の差をなくすためである。動力方式は空圧式アクチュエータを採用した。なお新幹線高速試験車の抵抗

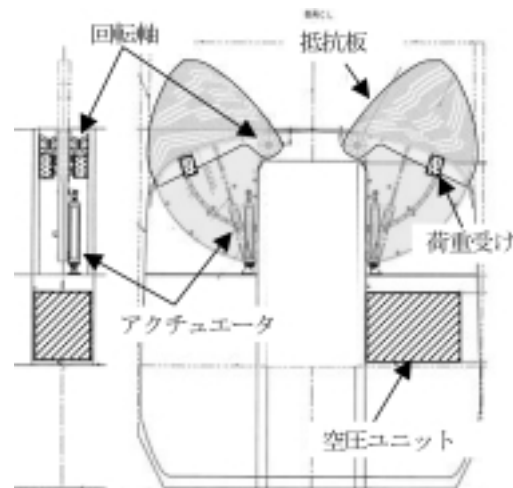


図6 空気抵抗増加装置

板は、警戒色として黄色塗色とした。

5.3 強度試験、動作試験

試作品により静荷重試験、動作試験を実施した。いずれも設計による想定値と同等、動作も問題ないことを確認した。

新幹線高速試験車は、抵抗板はアルミ材のボックス構造とし「400km/hでの動作時に変形しないこと」「360km/hの鳥衝撃で飛散しないこと」という設計基準もとと設計を行った。

5.4 風洞試験とCFDシミュレーション

鉄道総合技術研究所の大型低騒音風洞において、400km/hの風速まで高速気流中における挙動を検証した。

この検証試験により、高速気流中の動作確認、抵抗板にかかる抗力・横力・垂直力、屋根上表面圧力、抵抗板後方の気流等、問題がないことを確認した。

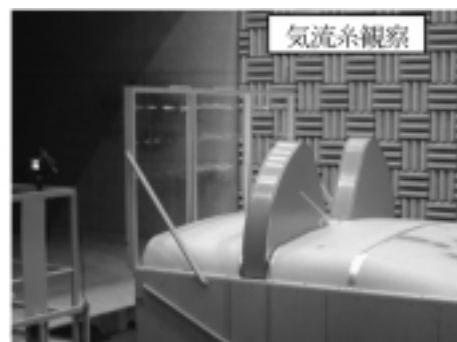


図7 風洞試験の様子

また、CFD(数値流体シミュレーション)により、明かりとトンネル区間、新幹線専用車と新在直通車で、片側動作・すれ違い・トンネル突入条件で、抵抗板の抗力、抵抗板周り・架線付近の空気の流れに問題がないことを確認した。

また、CFDの結果を用い、車両運動解析シミュレーションより、走行安全性、走行安定性に問題がないことを確認した。

5.5 鳥衝撃試験

新幹線高速試験車 (E954形式) に搭載する同一形状のもので、360km/hで鳥相当の物体を抵抗板に衝撃させる衝撃試験を行った。衝撃物は重量が中型のトンビ程度 (1.25kg) の鳥を模擬したゼラチン化合物で行った。

この結果、十分な衝撃強度を持っていることが確認できた。

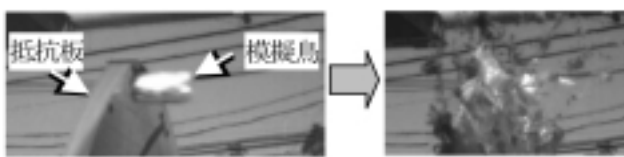


図8 鳥衝撃試験

5.6 各試験による結果

(1) 減速力・制動力について

減速度・制動力は図9のように推定でき、空気抵抗増加装置を付加したばあい、500m以上のブレーキ距離が短縮できる見通しを得た。

(2) 架線等の地上設備への影響

シミュレーション結果から

- ・ 架線付近の風速は、明かり、トンネルともに、E2系0代のパンタカバー搭載車並みである。
- ・ トンネル突入及び退出時に過渡的に大きな風速が発生することはないこと
- ・ 片側動作状態は両側動作より風速が下がること及びすれ違い時は対向車両の影響は受けにくいこと検証された。

この結果、地上設備への影響は問題がないと思われる。

(3) 車両走行安全性、安定性

空気抵抗増加装置の動作時に、ピッチング運動が卓越するが輪重変動値はトンネル内すれ違い時に最大で軸重±3%程度の変動である。また、装置片側動作時には僅かにヨーイング運動が発生するものの、横力は微小である。

この結果、空気抵抗増加装置の影響は少ないと推定した。

(4) 構造強度

・ 抵抗板への抗力・横力・垂直力・屋根上表面圧力、鳥衝撃力も問題がないことが確認できた。

これらにより、空気抵抗増加装置の基本性能、地上設備への影響、構造健全性を確認することができた。

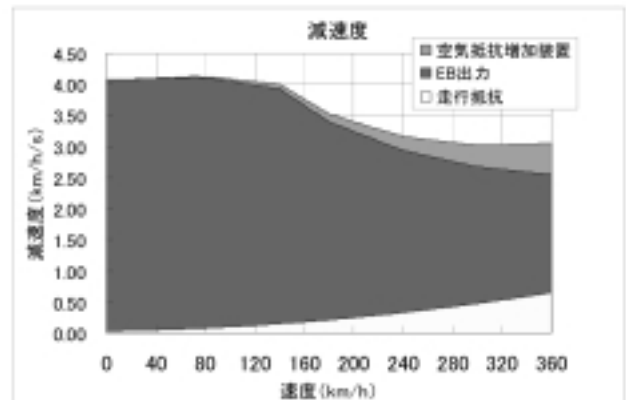


図9 E954形式想定減速度

今後は新幹線高速試験車の走行試験により、実際の効果及びこれまでに得られたデータの検証を行っていく予定である。

(5) E954高速試験車両の空気抵抗増加装置の配置



図10 E954形式空気抵抗増加装置配置

6 おわりに

現行の新幹線は、先人らが既に非常停止距離の短縮化を進めてきており、高速化による停止・時間の短縮することは容易ことではない。しかし、近年の研究の成果の取り入れや新たな機構の組み込みにより、目標とする非常停止距離の短縮が可能と考えている。

今後の新幹線高速試験で、非常停止距離及びブレーキシステム、基礎ブレーキ装置の信頼性、メンテナンス性、耐久性の確認を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 内田清吾：新幹線のブレーキシステム，レールアンドテック出版，2001.3