

3201 新幹線電車用中央締結ブレーキディスクの開発 (第2報)

正 [機] ○金森 成志 (東海旅客鉄道株式会社) 上林 賢治郎 (東海旅客鉄道株式会社)

坂口 篤司 (新日鐵住金株式会社)

Development of High performance wheel mounted brake disc (Second report)

Seiji Kanamori, Central Japan Railway Company 1545-33, Ohyama, Komaki City, Japan

Kenjiro Kanbayashi, Central Japan Railway Company 1545-33, Ohyama, Komaki City, Japan

Atsushi Sakaguchi, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation 1-109, Shimaya 5-chome, Konohana-ku, Osaka City, Japan

We conducted a research on the brake system to improve braking performance and reduce unsprung mass of the rolling stock. The study is focused on the brake disc and the lining. We developed a brake disc with modified configuration and a lining with improved materials. The developed brake system were installed in 15 cars of series N700, and tested in service. By adjusting the brake setting, the stopping distance upon emergency braking against the earthquake was shortened by 10% compared to the conventional system. The disc and the lining temperatures were also in the satisfactory range when the brake was applied. With the promising test results, this brake system is planned to be incorporated in our newest model, N700-Advanced. This will greatly enhance the safety and stability of Shinkansen.

The results of the running test are fed back to the next development. We have to lower the temperature of disc and lining for more reliability. By changing the lining structure, we can lower the temperature of disc and lining by more than 100 degrees compared to the present one, and amount of deformation is less for the developed type. We continued our study to further improve brake performance by further reducing temperature rise and enhancing deceleration characteristic at braking.

Keywords : Brake disk, Lining, Emergency brake against earthquake

1. はじめに

日本の新幹線は高い技術力と長い経験により築き上げられたものであり、その安全性と信頼性は極めて高い。しかし近年、日本は未曾有の大地震を経験し、これまでに地震発生時の安全に関して議論が活発化している。地震発生時、走行する車両を短い距離で止めることは旅客の安全に直結することから、ブレーキ力向上に関する取り組みは極めて重要である。

著者らは以前より、新幹線台車のばね下質量の低減、及びブレーキ力の向上を目的として台車の開発を行ってきた。台車のばね下質量低減は、走行安定性と乗心地の向上、及び地上側の騒音・地盤振動の低減につながる。一方、ブレーキ力の向上は、緊急時のブレーキ距離短縮や到達時分の短縮につながる。本開発は、ブレーキディスク、ライニングに着目し、その構造と材料を変更することで、ばね下質量の低減、及びブレーキ力の向上を目的としている。

地震時には、停電により車両の回生ブレーキが使用できなくなるため機械ブレーキを使用することになる。したがって、ディスクやライニングには最高速度から停止までの負荷に耐えられる特性が要求される。言い換えれば、確実な摩擦力とともに、耐摩耗性、耐熱性、高強度、高靱性といった高いスペックが求められることになる。

第1報では上記のスペックを満たすディスク、ライニングの開発経緯について、検討、試作、検証試験の具体

的内容について主な報告をした。第2報では、N700A採用に至るまでの走行試験結果と、その結果を反映した更なる要素開発の内容について報告する。

2. 開発目的

地震発生時の停止距離の短縮を目的としたディスク、ライニングの開発を行い、編成ブレーキ試験を実施してブレーキ性能を確認する。得られた結果を用いて、ブレーキ時の更なる性能向上に向けた要素開発を行う。

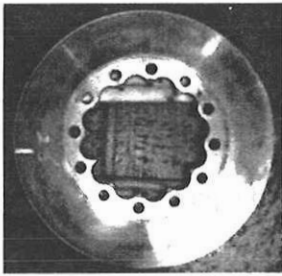
3. ブレーキ試験

3.1 試験方法

第1報で報告した中央締結ディスク、及びライニングを用いて走行試験を実施した。開発した中央締結ディスクの外観を図1に示す。平成21年度にN700系Z0編成の2両に搭載し、その後、4両、15両と搭載号車を拡大し、平成23年度には編成によるブレーキ試験をN700Aブレーキ条件で実施した。主な評価項目は、初速から停止までのブレーキ距離、及びディスク、ライニング温度である。

ブレーキ時のディスク温度、ライニング温度の評価方法では、ブレーキディスクは1枚あたり4点の熱電対を摺動面6mm直下に施工し、4点の平均値を評価値としている。ライニングは1枚あたり1点の熱電対を施工しており、1台車8枚の平均値を評価値とした。

(a) Conventional type



(b) Developed type

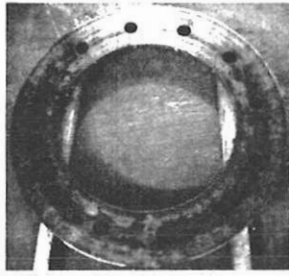


Fig.1 Geometry of brake disc

3.2 試験結果

地震ブレーキ試験時の停止距離を図2に示す。若干のばらつきはあるものの非常ブレーキの計画値と比較して約10%程度の短縮を図ることができており、地震ブレーキの性能に問題のないことを確認した。なお、地震ブレーキとは地震発生による架線停電を車両が検知して動作するもので、通常の非常ブレーキより高いブレーキ力となっていることが特徴である。

図3に編成ブレーキ試験時のディスク温度上昇、ライニング温度上昇を示す。なお図中には、地震ブレーキと非常ブレーキ時の結果を併せて示してある。

最も負荷が高いと考えられる最高速度 300km/h からのブレーキにおいて、ディスク、ライニングともに材質的な観点から全く問題のない値であることを確認した。

ブレーキ試験後のディスク、ライニングの外観写真を図4に示す。外観調査の結果、ディスク摺動面にはライニングからの移着層は確認されるが、きずや剥がれ等の異常はない。ライニングも顕著な欠けや異常な摩耗等発生しておらず、強度上問題のないことが確認できている。

ブレーキ性能、ブレーキ時の温度特性、及び個々の開発部品の耐久性に問題のないことを確認できたことにより、本開発品は新型車両 N700A 編成への搭載が決定している。

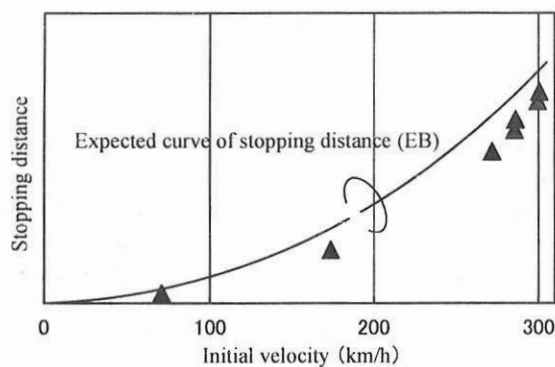


Fig.2 Evaluation of stopping distance

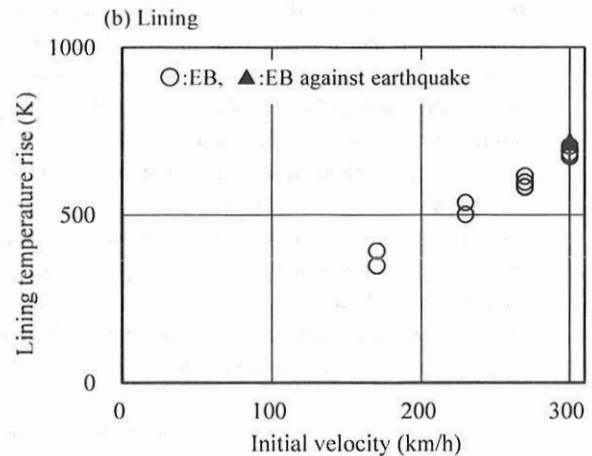
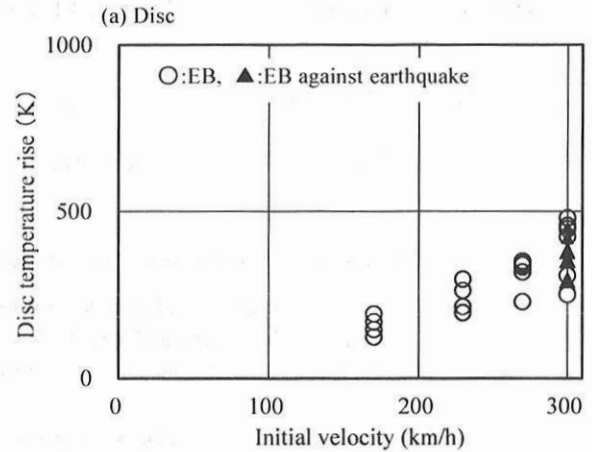


Fig.3 Evaluation of disc and lining temperature

(a) Disc surface



(b) Lining surface

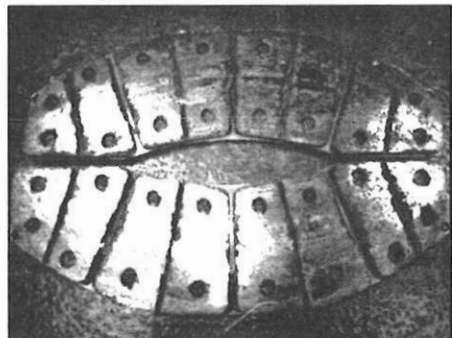


Fig.4 Observation of disc and lining surface

4. 更なる要素開発

4.1 ディスクへの熱影響

Z0 編成試験後のディスクについて詳細調査を実施し、ディスクへの熱影響を確認した。ブレーキ試験で最高温度を示した部位を選定し、詳細調査のためディスク断面を切断し、SEM 観察、及び硬度測定を行った。図 5 にミクロ組織観察結果を、図 6 に硬度測定結果を示す。新品のディスクの標準組織は焼戻しマルテンサイトで組織的には微細パーライト、フェライトと炭化物の混合組織である。断面観察の結果、ディスク摺動部近傍はブレーキ熱による強い熱影響部が形成されており、摺動部近傍の硬度は繰り返しブレーキ負荷により非常に硬度が上昇している。摺動面極近傍の白色組織は、摺動による熱とライニングの押付力による歪の影響を受け、ミクロ組織が極めて微細となり硬度が高くなっている部分である。硬度の上昇は材料の靱性を低下させ、微視き裂の発生につながる。ディスクの材質的な信頼性を向上させるため、ブレーキ時の白色組織の生成そのものを抑制することが重要である。白色組織の生成を抑制するためには、

- ①材料の成分を変更し、材料の耐熱性を向上させる
- ②ブレーキ時の発生熱を抑制する。すなわち最高温度を低減させる。

の 2 通りの方法が考えられる。今回開発した中央締結ディスクは材料的にカーボンやバナジウムを中心に配合を工夫し、ブレーキ時の熱膨張を抑制して耐熱性を向上させている。本研究では上記②を目的とし、ライニングに着目した更なる要素開発を行った。

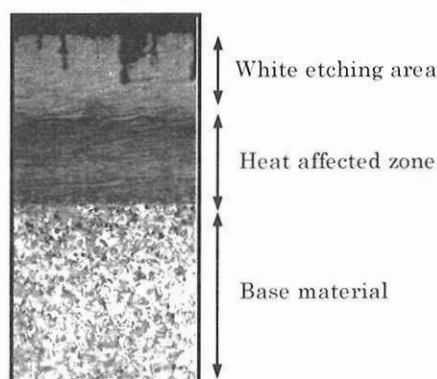


Fig.5 Investigation of disc cross section after brake test

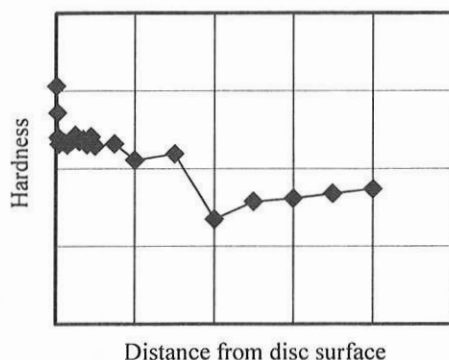


Fig.6 Distribution of hardness

4.2 等面圧ライニングの開発

ブレーキ時の温度低減を目的として、ライニングの構造を検討した。ブレーキ時、ディスクは摺動熱により微小変形する。その微小変形のため、現行のリジッド型ライニングではディスクとライニング間で局所的な当たりをする可能性がある（図 7 (a) 参照）。局所的な当たりにより単位面積当たりの仕事量が増加し、結果として部分的な温度上昇につながる。従ってライニングを細分化し、細分化した各々のピースに押付方向への自由度を持たせることにより、ディスク変形への追従性を向上させることが有効である。その結果として、ライニングの当りはより均一となり、ブレーキ時の温度低減が可能となる。

上記の考えをベースに、細分化したピースの面内配置について最適化検討を行った。配置検討にあたっては、FEM 解析により各ピースの荷重分布が均一になることを条件としている。

開発した等面圧ライニングを図 8 に示す。従来のリジッド型と比較して、摺動面積は 2 割程度減少している。しかし各ピースに押付方向への自由度を構造上持たせることで、ディスク変形への追従性を向上させたものとなっている。

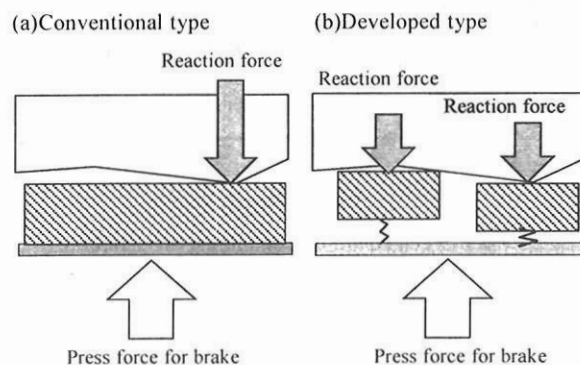


Fig.7 Schematic diagram of lining

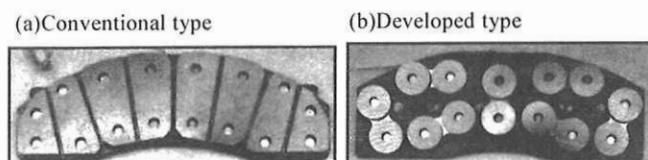
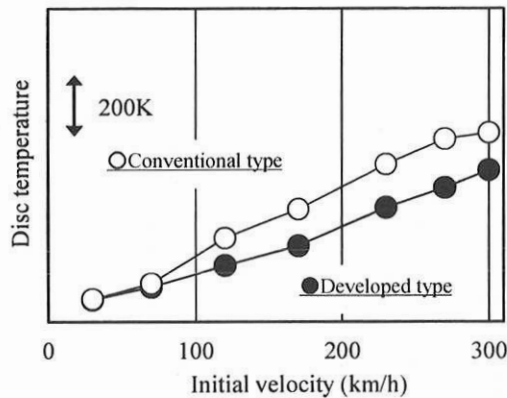


Fig.8 Configuration of lining

4.3 ブレーキ試験結果

試作した等面圧ライニングを使用してフルサイズのブレーキ試験を実施した。試験条件は満車条件とし、地震ブレーキでの評価を行った。図 9 にブレーキ時のディスク温度、ライニング温度を示す。リジッド型と比較して等面圧ライニングを用いた場合、ディスク、ライニング温度は最大で約 200℃低下することがわかる。一般に白色組織の形成は、少なくとも材料の A_{c3} 変態点を超える必要がある。走行試験で現行のリジッド型を使用した場合、ディスク表面には白色組織が形成されていたことから、その表面温度は A_{c3} 変態点を超えていたことになる。等面圧ライニングの使用により表面温度を約 100～200℃下げることができれば、白色層形成の抑制に大きな効果があるものと期待される。

(a) Disc temperature



(b) Lining temperature

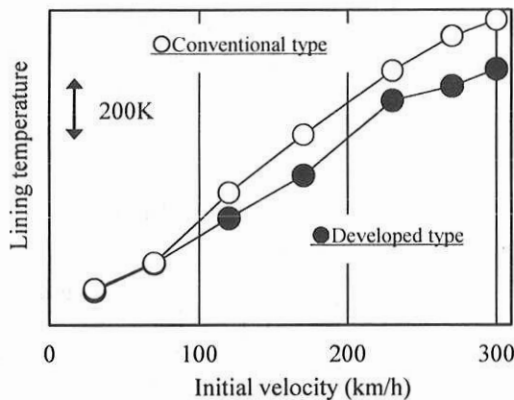


Fig.9 Evaluation of disc and lining temperature

図 10 に平均摩擦係数を示す。等面圧ライニングを用いた場合、リジッド型と比較して高い摩擦係数を示している。本ベンチ試験では、等面圧、リジッド型のいずれの試験も同じ BC 圧でブレーキ試験を実施している。よって、この摩擦係数の増加は純粋にブレーキ力の向上につながる結果である。等面圧ライニングを使用することで、ブレーキ力の向上とブレーキ時のディスク、ライニング温度の低減を達成することが可能となる。実際の走行試験では、走行抵抗や粘着性能といった減速に関わる別の因子も出てくるため、最終的には走行試験における性能を確認して完成度を確認する必要がある。

ディスクの耐久性能を確認するため、ブレーキを繰り返し繰り返し負荷し、ブレーキ回数とともにディスクの反り量がどのように変化するかを調査した。結果を図 11 に示す。ブレーキ回数の増加とともに、ディスクの反り量は増大する。しかし、等面圧ライニングを使用することで反り量そのものを低減することが可能となる。ディスクの反りは、ディスクとライニングの当たりと深く関係しており、反り量の増大はブレーキ時の局所的な温度上昇やライニングの偏摩耗を生じさせる。ブレーキ性能にとっても安定性という点から反りは極力抑えることが大切である。ディスクの反り抑制という点からも、等面圧ライニングの優位性が確認される。

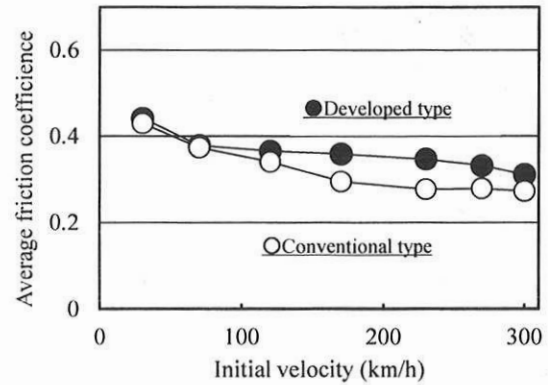


Fig.10 Average coefficient of developed disc

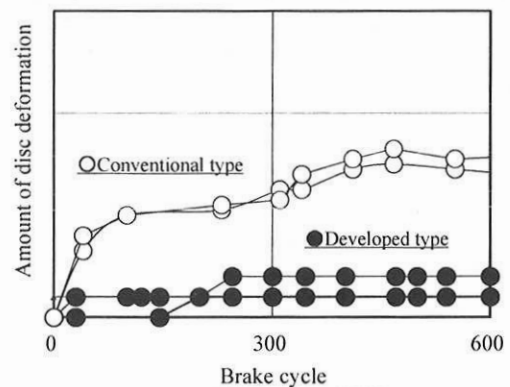


Fig.11 Evaluation of disc deformation

5. 結言

新幹線電車用ブレーキディスクとして中央締結ディスクを開発し、N700 系 Z0 編成を用いて編成ブレーキ試験を実施した。以下に得られた結論を示す。

- 1) 地震ブレーキ試験を実施し、ブレーキ距離、ブレーキ時のディスク、ライニング温度に問題のないことを確認した。これらの結果から、中央締結ディスクは新型車両 N700A への搭載が決定している。
- 2) 等面圧ライニングを試作し、初速 300km/h までの地震ブレーキ試験を実施した。その結果、等面圧ライニングを使用することで、ブレーキ時のディスク、ライニング温度を低減させることが可能となる。また、等面圧ライニングは高い摩擦係数を示し、滑走制御等、他のブレーキシステムと組み合わせることで更なるブレーキ性能向上が可能となる。

参考文献

- (1) 金森成志、上林賢治郎、狩野泰、坂口篤司、「新型ブレーキディスクの開発」、第 17 回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2010), 2010.12
- (2) Seiji Kanamori, Yoshiya Watanabe, Kenjiro Kanbayashi, 「Development of high performance brake system of Shinkansen」, STECH'12, 2012.9