

## 2102 新幹線用高速化対応ブレーキディスクの開発

A study about the high speed Shinkansen brake-disc

正 [機] ○新井 浩 正 [機] 浅野 浩二 正 [機] 佐々木 浩一 (東日本旅客株式会社)

Hiroshi ARAI, Koji ASANO, Koichi SASAKI,  
East Japan Railway Company. JR EAST R&D Center

We plan to speed up Shinkansen at 360km/h. Therefore, the brake-disc and the brake-lining corresponding to the speedup are needed. The construction of the brake equipment of Shinkansen doesn't change since Shinkansen was developed. The increase of brake energy by the speedup gives damage to the brake disc and the brake lining. Therefore, these need a drastic change.

We produced a brake-disc and a brake-lining different from existing construction, and did brake-tests with regard to these. As the result, a heat transformation of the brake disc was small. And heat spots on the friction surface of disc were small. And, wear of the brake lining compared with existing it in high-speed area was very few.

*Keyword:* railway, Shinkansen, speedup, brake disc, brake lining,

### 1. はじめに

新幹線の基礎ブレーキ装置、とくに側ブレーキディスクやライニング、さらには空気圧を油圧に変換する増圧シリンダを用いた油圧ブレーキ装置などは、鋳鋼を鍛鋼に変更するなど材質面の性能改善や増圧シリンダの小型軽量化などがはかられてきたものの、1964年の東海道新幹線開業以来、基本的な構造の変更を行っていない。さらに、ブレーキ減速度や非常ブレーキ距離などのブレーキ性能を規定する粘着特性についても、ATCシステムの減速度を大幅に見直すことがなかったため、在来線特急などの営業電車などに比較しても、余裕を持たせたものとなっている。

しかし、近年の新幹線の高速化や軽量化を指向した性能向上などを考慮すれば、小規模な改善ではなく、抜本的な構造変更を行なって、課題解決をはかる必要性が生じている。

また、欧州などの300km/h高速鉄道用の車両については、欧州各国間の相互運用を前提とした技術仕様がまとめられ、インターネットでその内容を公開している<sup>1)</sup>。

この技術仕様と、現行の新幹線車両のブレーキ性能を比較すると、基礎的な粘着特性に対する考え方や、ブレーキ減速度、非常停止距離などで技術的な乖離があり、その差異を解消する必要性もあるものと考えられる。

そこで、新幹線用高速化対応ブレーキシステム開発の一環として、側ブレーキディスクとライニングの開発と性能比較を行なうための定置試験を行なった。

ブレーキディスクとライニングについては、電気ブレーキの作用が消失した場合を想定して、最高速度からのブレーキ作用が要求される。そのため、高速化にともない、速度の2乗に比例した吸収エネルギーの増大に耐える必要がある。また、ブレーキ作用装置などの小型軽量化のためには、ディスク・ライニング間の摩擦係数がより大きく、かつ安定して作用す

るものである必要がある。さらに、ブレーキディスクの熱変形、熱亀裂などが少なく、ブレーキ作用などにより取り付け構造(締結ボルトなど)に損傷を与えるものであってはならない。また、ライニングの取替周期を延伸してメンテナンス軽減をはかり、かつ材質面でも環境への影響を考慮したものであることが求められる。

以下では、冷却フィンを有し、摩擦面の中央部で車輪と締結を行なった構造で、材質は鋳鋼のディスク(以下では、中央締結式鋳鋼ディスクという)と、同種の締結構造を有し、材質をアルミ合金としたディスク(同じく、中央締結式アルミディスクという)と、現行の鍛鋼ディスクとの3種類、およびそれぞれに適應するライニングについての定置ブレーキ試験結果について報告する。

### 2. 試験方法

#### 2.1 供試材

##### ①ブレーキディスク

試験に供したディスクは、車輪ボス近傍でボルト締結する現行ディスク(Fig.1に示す.)、ディスク摩擦面でボルト締結する中央締結式鋳鋼ディスク(Fig.2に示す.)および中央締結式アルミディスク(Fig.3に示す.)である。現行ディスクおよび中央締結式鋳鋼ディスクは、ともにニッケルクロム鋼でほぼ同材質であるが、前者は鍛造によって製造し、後者は鋳造で製造した。中央締結アルミディスクはSiCセラミックスを分散させた鋳造アルミである。中央締結式鋳鋼ディスクは、摩擦面背面に冷却フィンが設けてある。ディスクの熱膨張変形に対応したスライドキープラグが車輪に取り付けてあり、ディスク背面に設けた溝にはめ込んでディスクのセンタリング機能とブレーキトルク伝達の役割をもたせている。

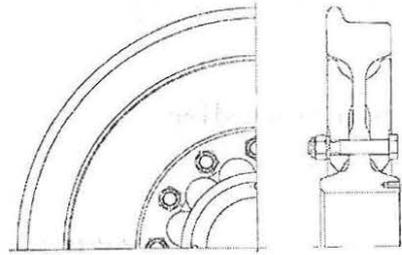


Fig. 1 wheel-mounted existing disc. (forging steel)

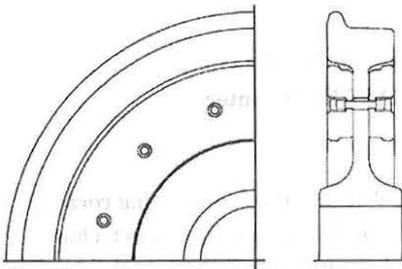


Fig. 2 Center fasten disc. (Casting steel)

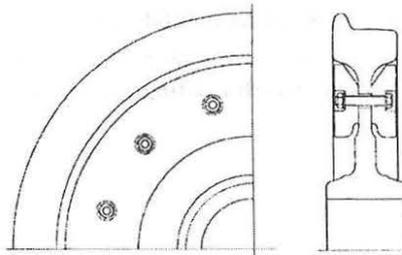


Fig. 3 Aluminum disc. (Metal Matrix Composite)

## ②ブレーキライニング

ブレーキライニングは、fig4に示す a) 現行ライニング（銅焼結）、b) 等圧パッド（銅焼結）、c) レジンライニングを用いた。



a) Existing lining      b) Isolation Pressure pad      c) Resin lining

Fig4 Testing linings

ライニングの厚さは、17mmである。等圧パッドは、18個の六角形の摩擦ピースがディスク摩擦面に均等な圧力で押付けられる仕組みとなっている。

## 2.2 試験方法

### ①ブレーキ試験機

試験には、フライホールを装備した実機大のブレーキ試験機を用いた。

### ②基礎試験の条件

- ・車輪直径 : 860mm
- ・ブレーキ半径 : 281mm
- ・等価輪重 : 6.5 t

- ・試験速度 : 30~400km/h
- ・減速度 : Fig. 5 に示す。

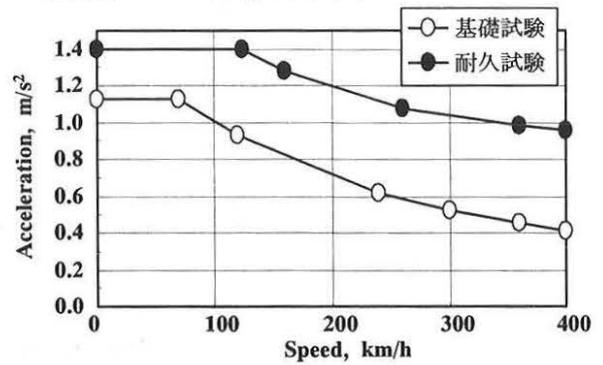


Fig. 5 Testing acceleration

### ③高負荷耐久試験の試験条件

- ・等価輪重 : 7.0 t
- ・試験速度 : 400km/hの連続繰り返し
- ・減速度 : Fig. 5 に示す

## 3. 試験結果と考察

### 3.1 基礎ブレーキ試験

#### ①摩擦係数

基礎試験での現行ディスク・現行ライニング, 中央締結式鋳鋼ディスク・等圧パッドおよび中央締結式アルミディスク・レジンライニングの摩擦係数を Fig. 6 に示す。

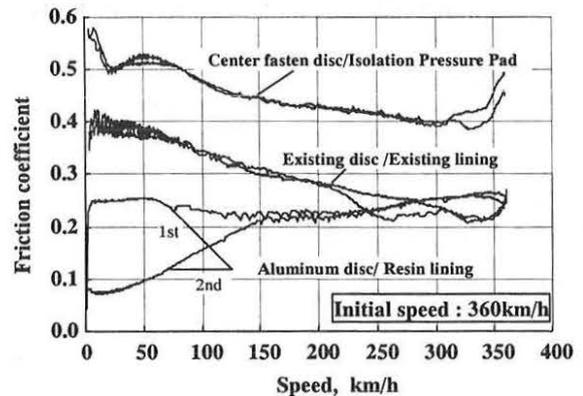


Fig. 6 Friction coefficient of the testing

摩擦係数はおもにブレーキライニングの性能を反映している。現行ライニングは、0系新幹線時に決められた摩擦係数を有している。等圧パッドは、現行ライニングより高い摩擦係数を実現した。等圧パッドは、摩擦点が分散しているため、高い摩擦係数が得られたと考えられる。レジンライニングは、2回目のブレーキで摩擦係数が低下した。レジンライニングはフェノール樹脂で繊維、黒鉛、ゴム等を接着成型したもので、その耐熱性は低い。高い速度での連続したブレーキでは、熱の影響を受け、摩擦係数の低下が起きたと考えられる。

高い摩擦係数は、ブレーキ押付力を小さくすることが可能で、キャリパーなどの強度設計上有利となる。

#### ②ライニング摩耗

ライニングの摩耗量を Fig. 7 に示す。等圧パッドは現行と比較して、高速域で1/20以下と少ない。現行ライニングは局所的な接触摩擦による接触点の高温化が発生し、高速域での摩耗が多いと考えられる。

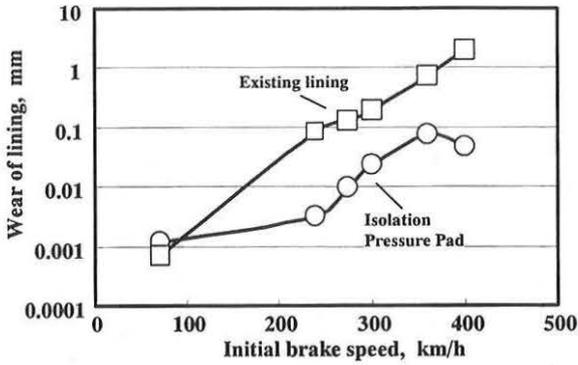


Fig. 7 Wear of lining

③ブレーキディスクの温度上昇

ブレーキディスクの最高到達温度を Fig. 8, 9 に示す。

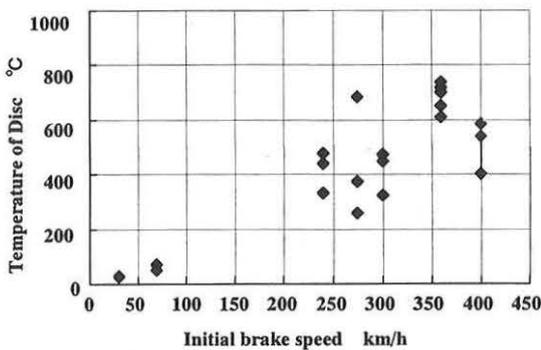


Fig. 8 Temperature of existing disc at brake test. (Existing disc- Existing lining)

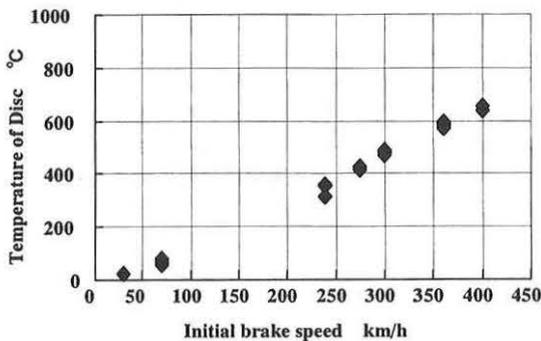


Fig. 9 Temperature of existing disc at brake test. (Center fasten disc- Isobar lining)

現行ディスクと現行ライニングの組み合わせでは、ディスク温度にバラツキが見られた。この組み合わせでは、摩擦点が移動していると考えられ、ディスク摩擦面中央部に設けた熱電対の近傍に摩擦点がある場合に測定温度が高くなり、離れていけば測定温度は低くなる。なお、このディスク面にはヒートスポットが観察された。

中央締結式鋳鋼ディスク等圧パッドの組み合わせでは、温度のバラツキが見られなかった。ディスクの温度は均一に上昇したものと考えられ、ディスク摩擦面にはヒートスポットは観察されなかった。

④ボルトの温度上昇

ブレーキディスク締結ボルトの最高到達温度を Fig. 10 に示す。

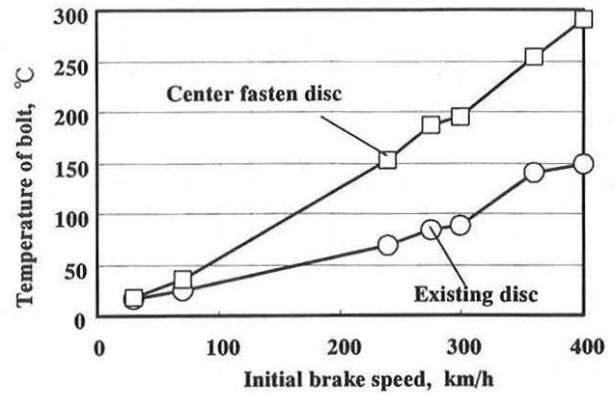


Fig. 10 Temperature of bolt

中央締結式鋳鋼ディスクの締結ボルト温度は速度 400km/h で 300℃に達し、現行ディスクのボルト温度は 150℃に達した。中央締結式鋳鋼ディスクの締結ボルトは摩擦面中央部にあり、ブレーキ熱の影響を受け易いため、温度が高くなると考えられる。締結ボルトは所定の軸力を保持している必要があり、300℃域の高温化での素材のクリープについて今後の検討が必要と考える。

3.2 高負荷耐久ブレーキ試験

① ブレーキ距離の推移

高負荷耐久試験でのそれぞれのブレーキ距離の推移を Fig. 11 に示す。グラフに提示した試験回数は、1つのライニングが使用できる回数である。中央締結式アルミディスク・レジソライニングの組み合わせのブレーキ停止距離は、およそ 18,000 メートルであった。

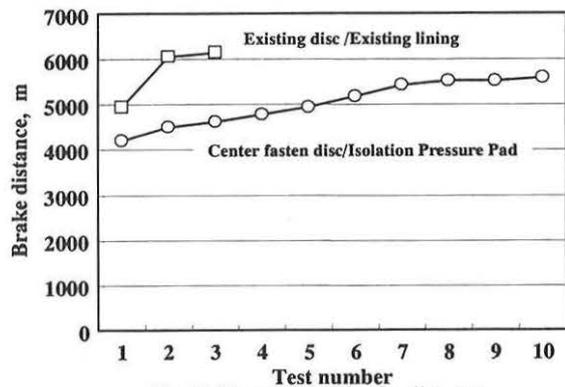


Fig. 11 Transition of brake distance

現行ライニングの使用できる試験回数は、2～3回であった。ブレーキ距離は、1回目から2回目にかけて1000メートル伸びた。一方、等圧パッドの使用できる試験回数は、8～10回であった。中央締結式鋳鋼ディスクは、冷却性能が高いので繰り返しブレーキによりの摩擦面の温度上昇が低く抑えられるため、ブレーキ力の低下が少なく、ブレーキ距離の変化は、少なかった。

② ディスクおよびボルトの温度

ブレーキディスクおよびボルトの最高到達温度を Fig. 12, 13 に示す。グラフには平均値、最高最低温度範囲を示してある。

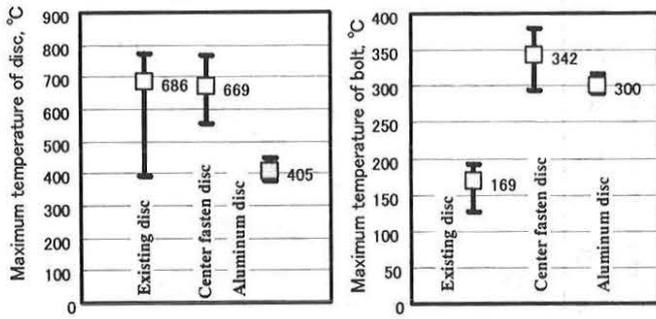


Fig. 12 Temperature of disc Fig. 13 Temperature of bolt

現行および中央締結式鋳鋼ディスクは 800℃近い温度まで上昇した。この時点でディスクに熱亀裂は全く発生していなかった。高温になることが即座にディスクの熱亀裂に至るものではないと解された。一方、中央締結式アルミディスク温度は 400℃と低かった。このことは摩擦係数が低かったことおよびアルミの熱伝導率が高いことよるものと考えられる。

中央締結のボルト温度は 300℃を超えた。ボルトの緩めトルクは組立て初期のトルクと同じで、この試験ではボルトの軸力低下がなかったと判断された。

③ ディスク変形

現行ディスクは、ブレーキが繰り返されると外周部が車輪から離れるようなそり変形を引き起こす。Fig. 14 にディスクのそり変形量の推移を示す。変形量は、車輪リム部端面を基準とし、ディスク外周部が移動した距離を測定した。

現行ディスクは、試験を繰り返すうちに車輪のアンバランスによる振動が発生したため、65回の試験で終了した。現行ディスクの変形量は、2mmに達した。中央締結式鋳鋼ディスクは、アンバランスが生じなかったため、計画した 80回のブレーキ回数を満足した。そのディスクの変形量は 0.5mmで、変形がそれ以上大きくなる傾向は見られなかった。中央締結式アルミディスクも中央締結式鋳鋼ディスクと同様に、ディスク変形量は 0.5mmであった。

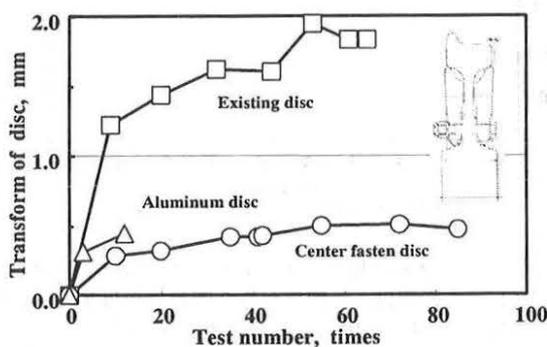


Fig. 14 Transform of disc

④ ブレーキライニングの摩耗量

ブレーキ 1 回あたりのライニング摩耗量の比較を Fig. 15 に示す。現行ライニングは、ブレーキ停止間に摩擦素材の溶融物がライニングから滴下した。その摩耗量は著しく、1回のブレーキで 5mmであった。

等圧パッドは、溶融することなく摩耗量は 1mmであった。等圧パッドは発熱点分散しているために局所加熱せず、他のライニングと比較して摩耗が少なかった。

レジンライニングの摩耗量は 6.5mmであった。

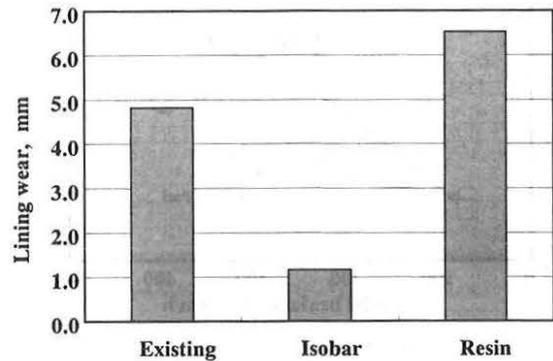


Fig. 15 Wear of brake lining

4. まとめ

新幹線用高速化対応ブレーキシステム開発の一環として、側ブレーキディスクとライニングの開発と性能比較を行なうための定置試験を行なった。

その結果、

- ① 中央締結式鋳鋼ディスクの摩擦係数は、現行ライニングの 0.25 に対し、0.5 と高い値を示した。また、繰り返しの試験でも摩擦係数の低下が少なかった。
- ② 等圧パッドの摩耗量は、高速域で現行ライニングの 1/20 となった。
- ③ 中央締結式鋳鋼ディスクの到達温度は安定していて、ヒートスポットの発生も見られなかった。
- ④ 中央締結式鋳鋼ディスクは熱変形が少なく、外周部のそり変形量は、現行ディスクが 2.0mm に対し、0.5mm であった。
- ⑤ 現行ディスクは、繰り返しのブレーキ試験で位置ズレを生じ、車輪組立ての質量アンバランスの原因となった。
- ⑥ 高速からの繰り返しブレーキ試験では、中央締結式鋳鋼ディスクであっても、締結ボルトの温度が 300℃ を超え、ボルト材質の高温のクリープについて検討が必要と考えられる。
- ⑦ 中央締結式アルミディスクとレジンライニングは摩擦係数が低く、新幹線のさらなる高速化には対応できない。などの結論を得て、今後の新幹線のさらなる高速化に対応させたブレーキディスクとライニングとしては、中央締結式鋳鋼ディスクと等圧パッドがよいということがわかった。

5. 終わりに

本研究開発実施にあたっては、鉄道総合技術研究所のブレーキ試験装置を使用して定置試験を行なった。試験実施にあたって、同研究所ブレーキ制御の小原孝則室長をはじめ、仲野政志、嵯峨信一、中澤伸一の各氏のご協力に謝意を表す。

さらに、今後は、レール・車輪間の粘着特性の改善に向けた研究開発に取り組む計画である。

参考文献

- 1) Technical Specifications for Interoperability (TSIs) of High-Speed Rail, Official Journal of the European Communities, L 245/416, 12.9.2002