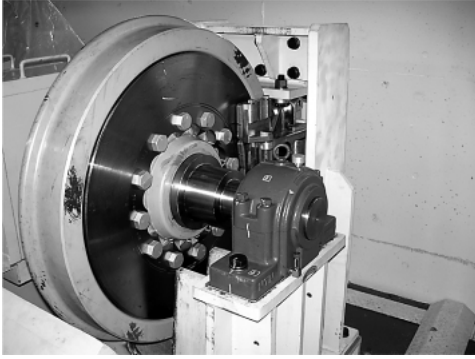


空圧キャリパを用いたオイルレスな 新幹線ブレーキシステムの開発

Development of Oil-Free Brake System for
Shinkansen Using Pneumatic Brake Caliper

森 田 昇 三 古 谷 英 樹
佐 々 木 浩 一 白 石 仁 史



鉄道車両のブレーキ方式には、車輪とレール間の粘着力を利用する粘着方式と粘着力に依存しない非粘着方式がある。現在、新幹線営業車両に使用されているブレーキは粘着方式のみであり、電気ブレーキ（回生ブレーキ）と機械ブレーキ（ブレーキキャリパ）を併用し、走行車両の運動エネルギーを電流と熱に変換し制動力を得ている。また、安全と信頼性から制動源には空圧が使用され、フェールセーフ機構となっている。1964年（昭和39年）の東海道新幹線開業から機械ブレーキには、油圧方式が用いられている。本報では、ブレーキシステムの基幹構成要素である新幹線用空圧式ブレーキキャリパの開発について報告する。

1. はじめに

鉄道ブレーキは、安全の信頼性、列車運転の円滑化、新技術の導入（メンテナンスの省力化、小型軽量化）に留意しながら開発や改良が行われ、近代高速化の発展に寄与している。現在の新幹線のブレーキシステムは、空気圧を油圧に変換し油圧キャリパを動作させる“空油変換方式”が用いられている。この方式では空気圧を油圧に変換するための増圧シリンダが必要になる。一方、空気圧のみのブレーキシステムにすると増圧シリンダが不要となり、ブレーキ部品を削減できる。これは、安全性信頼性の向上及びメンテナンスの省力化に大きく寄与し、LCC（Life Cycle Cost）の低減につながる。

2. 新幹線用空圧キャリパの開発目標

空圧キャリパ（Pneumatic Brake Caliper）の開発では、形状及び質量について次の開発目標を定めた。形状については、現在の油圧キャリパのスペースで台車に取付け可能なことを目標とした。新幹線では車輪の両側面にボルトで締結された車輪ディスクが用いられる。このため、ブレーキキャリパのアームは車輪のフランジに干渉してはならない。また、車輪と駆動装置間、車輪とモータ間のスペースは非常に小さくなっているため、ブレーキキャリパのライニング受けとライニングの厚みなどに制約がある。小型化と同時に、軽量化についても、増圧シリンダ+油圧キャリパの質量よりも軽くなる90 kg以下を目標とした。

3. 開発した空圧キャリパ

空圧キャリパは、1次試作により基本特性の確認を行った後、2次試作により小型化と軽量化を行った。図1に2次試作の空圧キャリパを示す。開発した空圧キャリパはテコ方式で、2本のブレーキアーム、支点となる体、隙間調整機構付

の空圧シリンダ、台車へ締結するためのブラケット及びライニング受けからなる。ブレーキアームの中央を支点とし、空圧シリンダの出力をテコ倍してライニング受けに取り付けたブレーキライニングでブレーキディスクを挟みこむものである。シリンダ径とてこ比の最適化により油圧と同等の出力性能を得た。また、表1に1次試作と2次試作の主要諸元を示す。



図1 開発した空圧キャリパ（2次試作）

表1 主要諸元の比較

| 項 目 | 1次試作 | 2次試作 |
|----------------------------|------------|------------|
| 総質量 (ブレーキライニングを除く) (kg) | 166 | 80 |
| 全 長 (mm) | 660 | 634 |
| ブレーキライニング部最大幅 (mm) | 315 | 315 |
| シリンダ部最大幅 (mm) | 401 | 401 |
| シリンダ径 (mm) | 200 | 200 |
| テコ比(片側) | 2.9 (1.45) | 2.9 (1.45) |

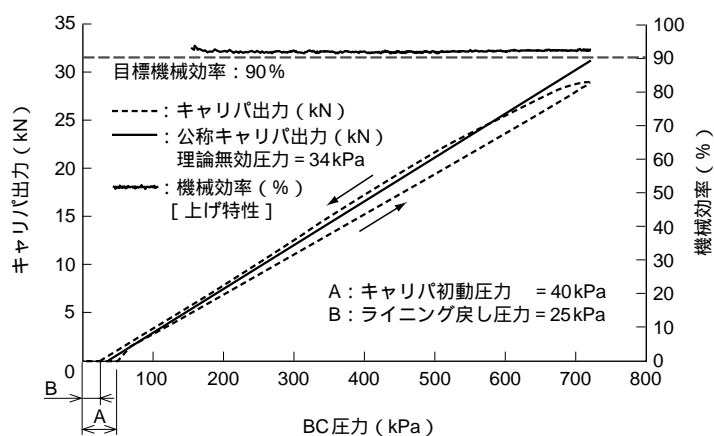


図2 空圧キャリパの機械効率

4. 試 験

1次試作した空圧キャリパにおいて、特性の確認試験と回転試験装置を用いた初速320 km/hからのブレーキ制動試験を行った。特性の確認試験では、機械効率の測定を行った。試験では、E2系新幹線の非常ブレーキ相当のブレーキシリンダ圧（以下、BC圧：Brake Cylinder Pressure）で空圧キャリパを動作させ、ロードセルを挟むことによりブレーキの上げ特性及び下げ特性について押付力とBC圧力の関係を得た。

ブレーキ制動試験では、空圧キャリパの強度確認を目的とし、E2系新幹線のBC圧パターンにより初速320 km/hから停止までのブレーキを行い、各部の応力を測定しFEM（Finite Element Method）解析と実測値とを突き合わせて設計安全率の確認を行った。試験の荷重条件は、E2系新幹線満車質量に慣性質量として空車の10%を加えた軸重（14.67 t）とした。

5. 試 験 結 果

機械効率の測定結果を図2に示す。また、測定した結果を基に式（1）により機械効率を求めた。

$$\text{機械効率} = \frac{\text{実測押し付け力}}{\text{設計押し付け力}} \times 100(\%) \quad (1)$$

この結果、機械効率は90%以上であることを確認した。増圧シリンダと組み合わせた油圧キャリパの機械効率は約80%であり空圧キャリパの単体の方が効率が良い。これは増圧シリンダ分の機械損失が低減したことによる。

走行速度320 km/hからのブレーキ制動試験は、あらかじめFEMを用いて応力測定箇所を選定した。図3に主要測定箇所の安全率を示す（囲み無し）。これより、安全率で2.0以上の箇所について、再度FEM解析を用い2次試作ではさらに軽量化を実施した。

6. 空圧キャリパ（2次試作）

1次試作の結果より安全率の大きい箇所を選び、形状の見直しを実施し軽量化を行った。図3の囲み文字が軽量化後の

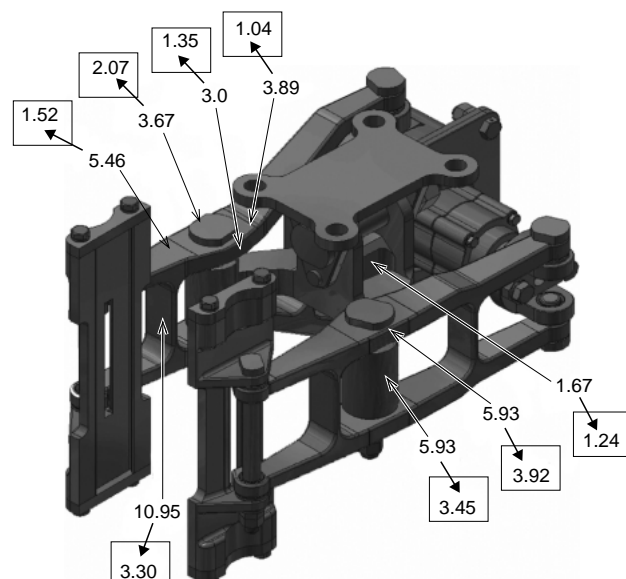


図3 空圧キャリパの応力測定箇所と安全率

安全率である。また、空圧シリンダの見直し及びブレーキアームの長さを短くするなどして小型化を行った。この結果、2次試作では質量を80 kgと目標の90 kg以下にできた。また、台車との取合いを図面上で検討した結果、現在の油圧キャリパのスペースに取付け可能であることを確認した。

7. ま と め

本開発により、空気圧式新幹線ブレーキシステムの根幹をなすブレーキキャリパの開発ができ、油圧キャリパと同等の性能をもつことが確認できた。また、現在の油圧キャリパのスペースに取付け可能な小型化を行った。油圧を使わないことでメンテナンスの省力化が期待できる。

今後は、開発した空圧キャリパの耐久性を確認していくとともに、空圧システムに適したブレーキ制御及び車輪踏面とレール間の粘着力低下（すべり）によるブレーキ距離延伸を防止するための滑走再粘着制御の開発を進めていき、ブレーキシステム全体でのコストダウン及びメンテナンスの省力化を検討していく。

参 考 文 献

- (1) 内田清五, 新幹線のブレーキシステム (2001)



森田昇三
機械事業本部 プラント・交通システム事業センター 交通システム・機械技術部 空制装置設計課長



古谷英樹
機械事業本部 プラント・交通システム事業センター 交通システム・機械技術部 空制装置設計課



佐々木浩一
東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター 担当課長



白石仁史
東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター 主席