

超弾性解析によるブレーキホイールシリンダの カップシールの性能向上

Improvement of Performance for Cup Seal in Brake Wheel Cylinder by Super Elastic Analysis

中 村 功 一*
Koichi NAKAMURA

伊 藤 猛*
Takeshi ITO

小 林 清 志*
Kiyoshi KOBAYASHI

要 旨

ドラムブレーキのホイールシリンダに求められる高い耐久性や適正なしゅう動抵抗などの機能を満たしたカップシールの形状を、FEA 超弾性解析により検討した。材料は従来多く使われてきた SBR から EPDM に変更して耐熱性および耐摩耗性を向上させた。また検討の結果得られた形状の試作品を作成してさまざまな耐久テストを行った結果、耐久性向上としゅう動抵抗の適正化が確認された。

ABSTRACT

The shape of cup seal has been examined by using FEA super elastic analysis. The cup seal, which is installed into wheel cylinder of drum brakes, is required performances such as durability and proper resistance of working. The material of cup seal was changed from SBR, which is used as usual in the past, to EPDM. On account of the change, the heat resistance and the wear resistance were improved. And then, the prototype of cup seal has been made based on the result of the examination. Various durability tests for the confirmation showed improvement of its reliability and proper resistance of its working.

1. まえがき

乗用車のブレーキシステムの中で、ホイールシリンダのように高液圧にさらされ、かつしゅう動する部位におけるシールには、通常カップシールと呼ばれるリップ型パッキンが使用される (Fig.1)。

材料は主に合成ゴムが使用され、ホイールシリンダ内に流体圧力がかかるとシリンダ面 (しゅう動面) に完全に密着してシールを行う働きがある。

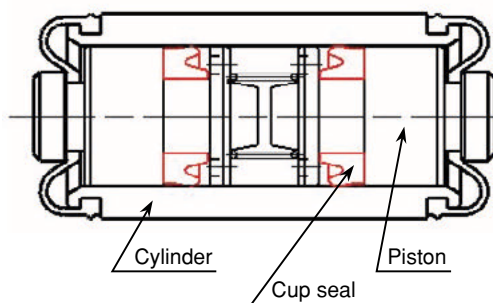


Fig.1 Wheel cylinder

またカップシールは、ブレーキホイールシリンダに求められるさまざまな機能を満たすために、カップシールが装着されるピストンやしゅう動相手のシリンダの形状および表面状態に対してさまざまな仕様が存在する。

従来、カップシールの形状を決めるには経験的な指針をもとに試作を繰返し、各種の試験及び耐久性を確認する方法が一般的であった。しかし現在でも作動時のシリンダ内の様子が観測できないこと、ゴムのひずみが計測できないことなど、開発する上での課題も多い。

そこで本研究では FEA による超弾性解析を用いて耐久性向上のための最適化検討を行った。

また試作品による耐久試験の結果良好な結果が得られたので紹介する。

2. カップシールに求められる機能と材料

ホイールシリンダのカップシールは、ドラムブレーキ内の油圧出力部分であり、高い耐久性が要求される。一般にゴム材の耐久性向上には、“低ひずみ”が重要であることが知られている。

一方、機能的な側面では経験的に幾つかの留意点がかかっている。例えば、“かき出し”と呼ばれる現象は、カップシールがピストンとのスティックスリップによって摩擦し、ブレーキフルードを巻き込んで起こると考えられる。そのため両者が相対的に滑ることはかき出しや摩擦につながり、耐久性を低下させる。Fig.2に示すA部の断面形状は切削加工で形成されており、カットリップと呼ばれる。カットリップは端部が鋭角なためスティックスリップを起しやすく、実験では高いしゅう動抵抗を示すものの一定ではなく、しゅう動抵抗が不安定であることが知られている。

またカップシールとピストン及びカップシールとホイールシリンダは摩擦力を上回る外力が加わると相対的にしゅう動する部分であるため、しゅう動抵抗は適正な値を見出さなければならない。ホイールシリンダ側は作動の際常にしゅう動する部分であり、しゅう動抵抗は小さい方ほど良いとされる。一方ピストン側はスティックスリップや急激な圧力変化時の相対滑りを発生しない高いしゅう動抵抗が望まれる⁽¹⁾。

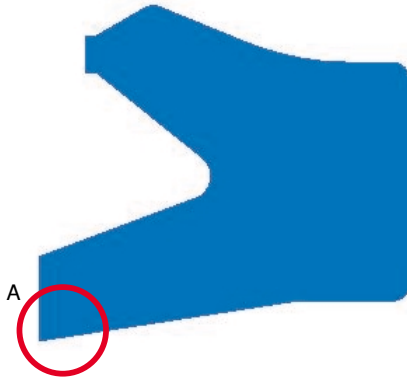


Fig.2 Cup seal

カップシールの材質であるゴムは一般にエラストマと総称されるゴム状弾性体であり、負荷を受けると変形してひずみを発生すると共に非圧縮性の特性を示す。言い換えると、弾性体でありながら、接触部分は液体的挙動をする。また、一般にゴム材は長期間応力下にさらされると高分子の流動によって“へたり”と呼ばれる変形を生じる特徴がある⁽²⁾。

従来、カップシールの材質には、SBR(スチレンブタジエンラバー)が多く使われている。SBRは耐ブレーキフルード性、低温性については良好であるが、高温(120℃以上)になると物性変化が大きくなる特徴を持つ。そこで今回はEPDM(エチレンプロピレンジエンモノマー)を検討した。EPDMは150℃以上でも物性変化が小さく耐熱性に優れ、-40℃までは低温性能がSBRと同等で、耐摩耗性がSBRよりも優れている特徴がある。

3. カップシールのモデル化

今回のモデルは、非線形解析と呼ばれる高度な計算技術

が必要となる。カップシールは超弾性材料で大変形する上、接触を伴うため収束性が悪いことが予想された。そこで、Fig.3に示すように解析の設定条件を極力簡単にするため、カップシールは3次元ではなく軸対称ハイブリッド要素を用いて2次元でモデル化した。材料特性は金属のヤング率に相当するムーニー・リブリン定数をテストピースの2軸引張り試験から求めた。

ピストンとシリンダはカップシールに対して非常に剛であるため剛体壁面で表し、接触面は各剛体壁面とカップシールの想定される部分に接触要素を配置した。摩擦係数は実験から求めたしゅう動抵抗を用いて算出し、ピストンの摩擦係数は $\mu = 0.135$ 、シリンダの摩擦係数は $\mu = 0.205$ とした。

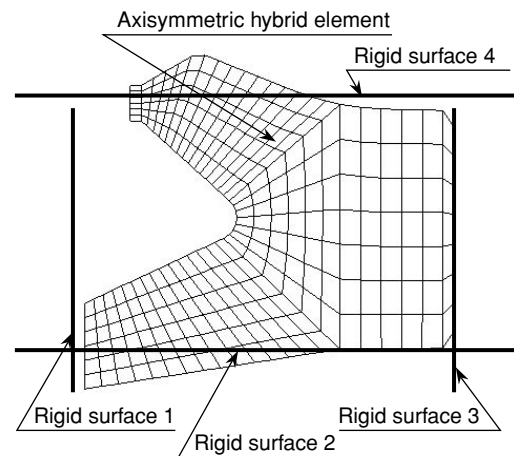


Fig.3 FEA model

カップシールをホイールシリンダ内へ組付けた状態を、各ステップごとに剛体壁面の強制変位で表現した。

初期状態はカップシールが全く拘束されないため、力の釣り合いが取れない不安定な状態になる。そこで、今回はあらかじめ Rigid surface 1 がカップシールに接触している状態から計算を始めることにした。

Fig.4に示すように、圧力下の変形状態を再現するために、ブレーキフルードと接触するカップシール端面に圧力

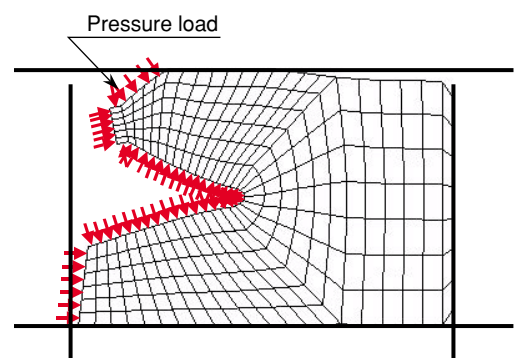


Fig.4 Boundary condition of pressure load

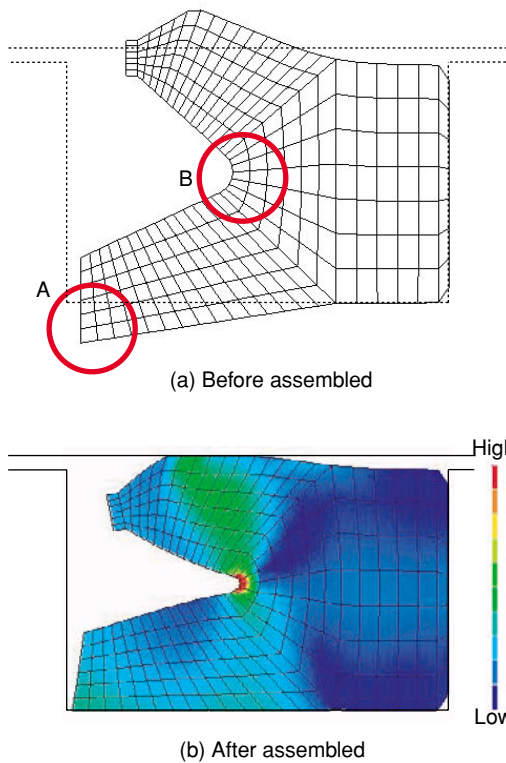


Fig.5 Current design FEA model and calculation result of stress

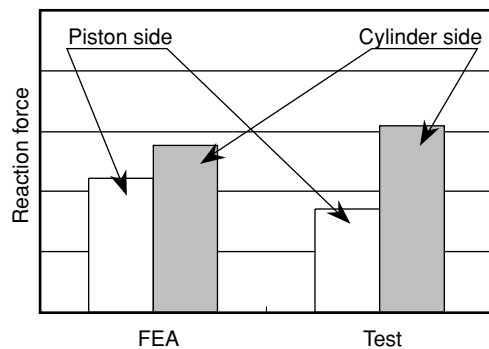


Fig.6 Calculation result and test result of reaction force

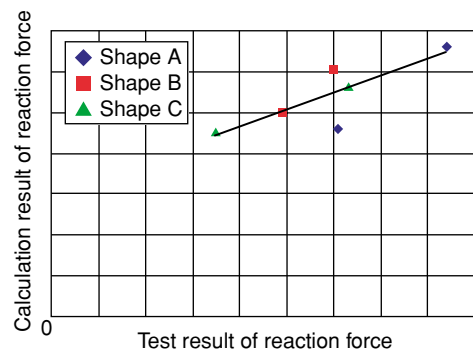


Fig.8 Correlation of reaction force

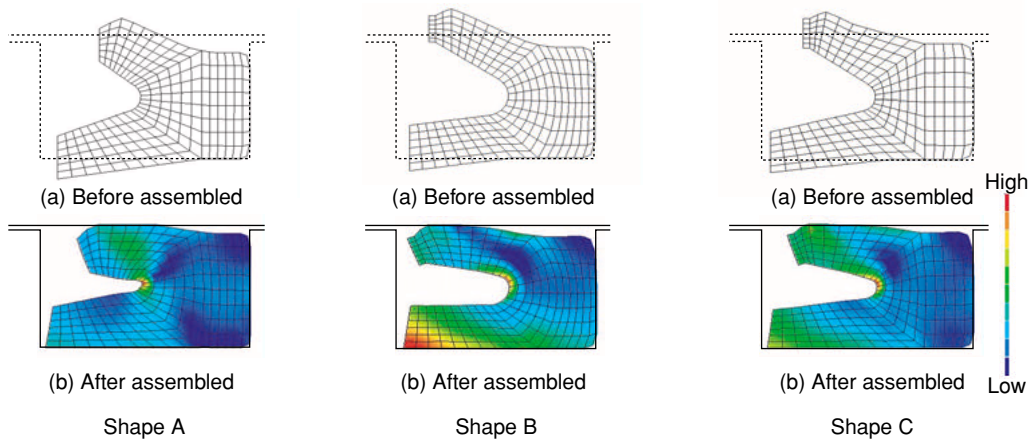


Fig.7 Other design FEA model and calculation result of stress

荷重を与える事とした。

しゅう動抵抗は、ピストン側及びシリンダ側に相当する剛体壁面に発生する支点反力から求めた。

4. 解析結果

カップシールに発生する応力の解析結果を Fig.5 に、ピストンとシリンダそれぞれに発生するしゅう動抵抗の解析結果及び実験結果を Fig.6 に示す。

Fig.5(b) に示すように、カップシールはホイールシリンダ内に粗付られるとB部分に応力が集中することが確認された。またしゅう動抵抗は、Fig.6に示すようにピストン側がシリンダ側よりも小さい事が解析により分かった。同様の傾向が実験でも確認された。

しゅう動抵抗については Fig.7 に示すようないくつかの形状について、FEA解析と実験の比較を行った。結果をFig.8 に示す。解析結果と実験結果はほぼ相関が取れており、形状検討に活用できる事が確認できた。

5. 形状最適化の検討

以上の解析結果に基づいて、次の目標性能を満足するカップシール形状について FEA による最適化の検討を行った。

(1) ひずみの低減による耐久性向上

- ・ホイールシリンダ内組付け時のひずみが小さい事
- ・応力を局部的に集中させない事

(2) しゅう動抵抗の適正化

- ・スティックスリップを起さない事
- ・ピストン側のしゅう動抵抗がシリンダ側より大きい事

5.1. ひずみの低減による耐久性向上

ホイールシリンダ内組付け時のひずみを小さくし、B部の応力を分散するために曲率半径を大きくすると、しゅう動抵抗の低下など他の要求性能を満足できない事が判明した。リップ幅違いなど多数の形状を検討した結果、Fig.9に示すような大小2つの曲率半径でつなぐ形状が応力分散に最も有効である事が分かった。

5.2. しゅう動抵抗の適正化

A部の形状については、しゅう動抵抗の不安定を是正するために、Fig.9(a)に示すように、モールドリップと呼ばれる鈍角の形状を採用した。またピストン側のしゅう動抵抗は相対的に大きくする必要があり、組付け性の許す範囲内

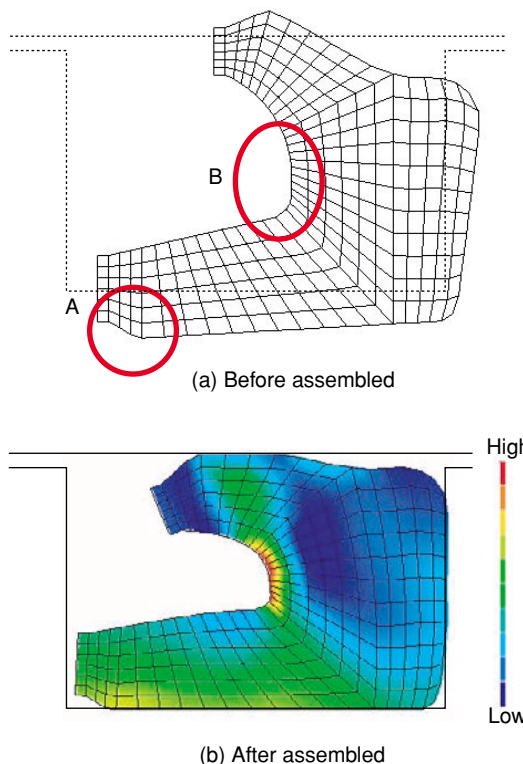


Fig.9 Developed design FEA model and calculation result of stress

でカップシール内径の締め代を大きくした。逆にシリンダ側のしゅう動抵抗については、カップシールのシリンダに対する面圧を小さくする方向で形状を変更した。これによってしゅう動抵抗についてはFig.10に示すように、解析結果によりねらった性能が得られている事が確認できた。解析結果を基に試作品を作成し、試作品での計測を行ったところ、同様の傾向を示している。

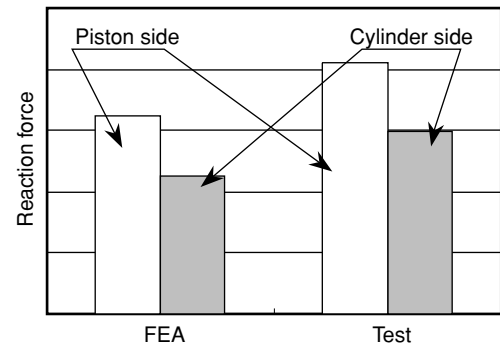


Fig.10 Calculation result and test result of reaction force

6. 試作品による耐久性の確認

以上の検討で得られた形状について試作品を作成し、各種耐久テストを実施して従来品と比較した。

Fig.11 は試験環境温度 120℃で行った高温作動耐久テストの結果である。初期の状態からテスト終了時までの締め

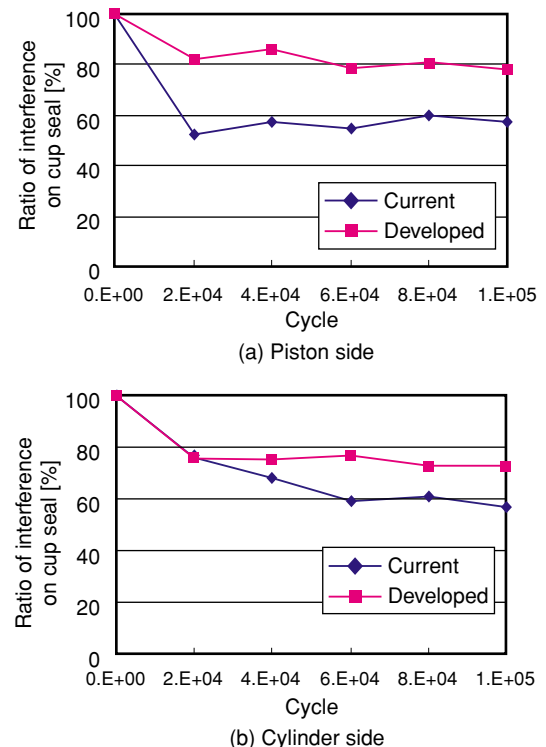


Fig.11 Interference change of cup seal at high temperature cycle endurance test

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、日信工業(株)の皆様に多大なご協力を頂きました。本紙面をお借りしてお礼を申し上げます。

参考文献

- (1) 岩波繁蔵, 近森徳重: パッキン技術便覧(第2版), 東京, 産業図書, p.147-190(1981)
- (2) 藤吉敏生: プラスチック加工技術ハンドブック, 東京, 日刊工業新聞社, p.143-153(1995)

代量の変化は、従来品よりも小さくなり、耐久性が向上した結果となった。よって今回の試作品の優位性が確認された。

Fig.12 はカップシールをホイールシリンダ内に組付けたまま高温(120℃)で放置する放置耐久テストの結果である。高温作動耐久テストと同様に長時間放置に対しても締め代量の変化は小さく、耐久性が向上し、優位性が確認できた。

以上の結果から、今回超弾性解析で検討したカップシールは、耐久性の向上としゅう動抵抗の適正化の両面において、目標通りの性能が得られている事が確認できた。

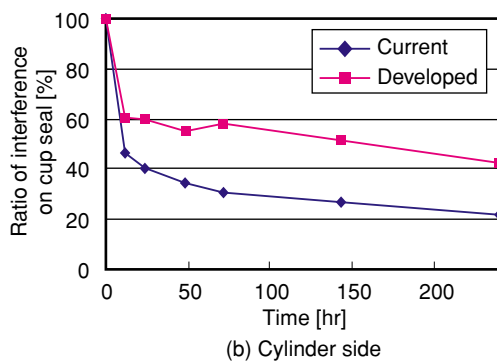
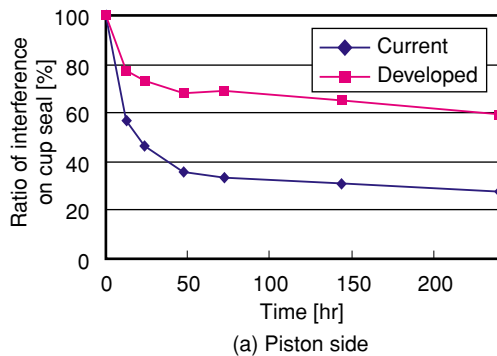


Fig.12 Interference change of cup seal at high temperature exposing test

7. まとめ

ドラムブレーキのホイールシリンダに求められる下記の目標性能を満足するカップシールの構造を、FEA 超弾性解析により検討した。

(1) ひずみの低減による耐久性向上

(2) しゅう動抵抗の適正化

材料は SBR から EPDM に変更して耐熱性および耐摩耗性を向上した。

上記の解析結果に基づいて試作品を作成して各種耐久テストを行った結果、目標性能が得られている事が確認できた。

従って、本解析手法がカップシール構造を検討するために有効である事が分かった。

■著 者■



中村 功一



伊藤 猛



小林 清志