

NACHI  
**TECHNICAL  
REPORT**  
Components

Vol. **33A1**  
May/2018

機能部品事業

■ 寄稿・論文・報文・解説

保持器形状が軸受トルクにおよぼす影響 (その2)  
Impact of Cage Form on Bearing Torque (Part 2)

〈キーワード〉 軸受トルク・攪拌抵抗・保持器形状・樹脂保持器  
プレス保持器

軸受事業部／技術部

寺田 貴雄 Takao Terada

軸受事業部／技術部

河合 敏宏 Toshihiro Kawai

## 要 旨

<その1>では、軸受トルクの要因の一つである攪拌抵抗について、プレス保持器と樹脂保持器の2種類の保持器を用いて試験を実施したことにより、保持器形状の違いが、油面高さや軸受トルクに大きな違いをもたらすことを報告した。本稿では、流体解析を用いることにより、2種類の保持器のトルク発生要因を、低流量時と高流量時の2つに分類して考え、トルク逆転現象のメカニズム解明を行っていく。

## Abstract

In Part 1 of the report, two types of cages, press cage and resin cage were tested to identify agitation resistance, one of factors affecting bearing torque. It was proved that the difference in cage form significantly affected the oil level and bearing torque.

In Part 2, using the Computational Fluid Dynamics (CFD), mechanism of bearing torque generation with these two types of cages will be examined under low flow rate and high flow rate of oil. It is explicated that the torque values are opposite between press cage and resin cage under the same high or low flow rate due to different mechanism, exhibiting that the torque of press cage is higher than that of resin cage under the low flow rate while the torque of resin cage is higher than that of press cage under the high flow rate.

## 1. 解析条件

図1に解析モデルを、表1に解析条件を示す。解析は、試験と同じ条件になるようにモデルを作成し解析を行なった。ただし、解析モデルの流出側上部には、流出側の圧力が高くないように(大気圧と同じとなるように)するため、通気口を設け、大気開放条件を設定した。潤滑油は図1の左側下部より流入し、軸受内部を通過した後、右側下部より排出される。軸受内部を通過し切れなかった潤滑油は、流入側に溜まっていき油面が上昇する。

解析はまず、潤滑油の挙動が安定するまで計算し、その後、鋼球が1周する間のデータを約36°ずつ計10個を取得し、その平均値をトルクとした。得られたトルク損失の解析結果は、圧力抵抗成分と粘性抵抗成分に分け、さらに軸受の構成要素ごとに分類することで、どの要素によって、どのようなトルクが発生しているかを考察した。

本解析の数値解析ソルバーには汎用有限体積法熱流体解析ソフトウェアであるANSYS CFXを使用し、空気と潤滑油の非圧縮性・非相変化の気液二相流で三次元解析を行なう。また、解析領域内に回転系が存在するため、スライディングメッシュを用いて計算を行なう。

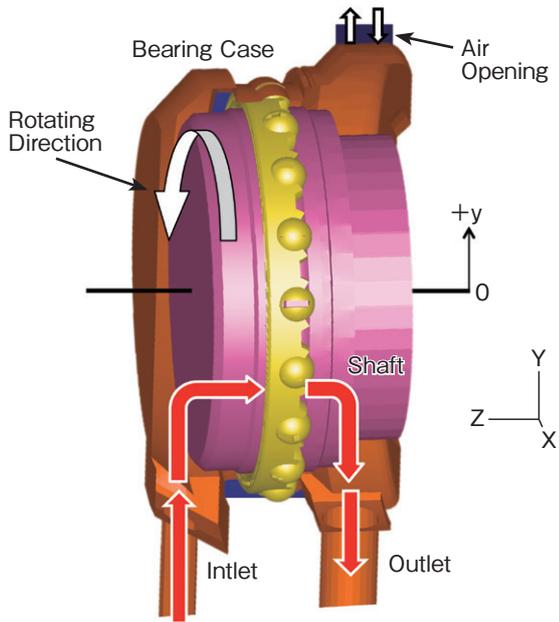


図1 解析モデル

表1 解析条件

回転数	: 3,000min <sup>-1</sup>
給油量	: 1.0、3.0L/min
油密度	: 880 kg/m <sup>3</sup>
油動粘度	: 3.00×10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s
空気密度	: 1.185kg/m <sup>3</sup>
空気動粘度	: 1.54×10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s

## 2. 解析結果

図2に試験と解析結果のトルクの比較データを示す。この図より低流量 (1.0L/min) の場合、試験結果も解析結果もTypeBはTypeAよりトルクが低い。一方、高流量 (3.0L/min) の場合、TypeAがTypeBより低くなる。試験と解析結果でトルクの傾向がしっかりと捉えられていることが分かる。

また、図3には1.0L/minのときの、図4に3.0L/minのときの解析結果を圧力抵抗成分と粘性抵抗成分に分け、さらに軸受の構成要素ごとに分類したものを示す。圧力抵抗成分は構成要素の表面に垂直にかかる力を、粘性抵抗成分は構成要素の表面にかかるせん断力を示している。この結果より、いずれの流量においても圧力抵抗の発生主要因はボールであり、また、粘性抵抗の発生主要因は外輪であることが分かる。それぞれ、ボールは潤滑油を押しつけて公転しなければならないためであり、また、外輪では径が大きいため周速が速くなるためだと考えられる。

次に、TypeAおよびTypeBのトルク発生要因について考える。

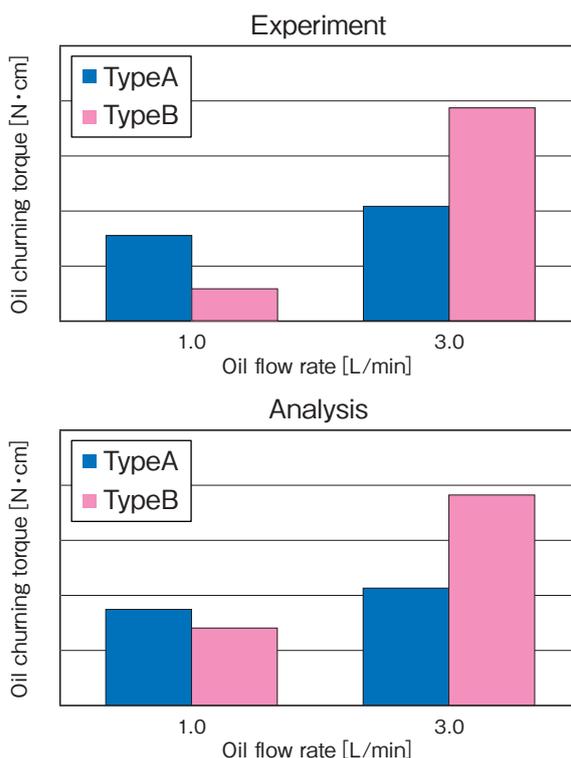


図2 トルク測定・解析結果 (3,000min<sup>-1</sup>)

	TypeA [N·cm]	
	Pressure	Viscosity
Ball	1.551	0.036
Cage	0.257	0.187
Outer Ring	0.004	1.918
Inner Ring	0.000	0.346
Other	0.024	0.878
Sub Total	1.836	3.365
Total	5.201	

	TypeB [N·cm]	
	Pressure	Viscosity
Ball	1.079	0.064
Cage	0.019	0.281
Outer Ring	0.003	1.603
Inner Ring	0.000	0.521
Other	0.002	0.667
Sub Total	1.103	3.136
Total	4.239	

図3 軸受構成要素ごとの圧力抵抗成分と粘性抵抗成分 (1.0L/min)

	TypeA [N·cm]	
	Pressure	Viscosity
Ball	1.627	0.023
Cage	0.355	0.248
Outer Ring	0.004	2.154
Inner Ring	0.000	0.295
Other	0.003	1.757
Sub Total	1.989	4.477
Total	6.466	

	TypeB [N·cm]	
	Pressure	Viscosity
Ball	2.556	0.045
Cage	0.180	0.521
Outer Ring	0.005	4.265
Inner Ring	0.000	0.610
Other	0.001	3.277
Sub Total	2.742	8.718
Total	11.460	

図4 軸受構成要素ごとの圧力抵抗成分と粘性抵抗成分 (3.0L/min)

### 3. TypeAのトルク発生要因

まず、低流量時 (1.0L/min) を例としてTypeAのトルク発生要因を考察する。

図5に潤滑油の攪拌状況を、図6に中心部での断面における潤滑油と空気の体積分率を、図7に軸受上部における外輪壁面のせん断応力分布を、図8に軸受上部における保持器および鋼球の圧力分布を、図9に軸受上部における潤滑油の速度ベクトルを示す。

図5より、鋼球間に存在する潤滑油の量がTypeAのほうが多く、TypeBに比べてより多くの潤滑油を掻き上げており、潤滑油が軸受上部まで多く存在していることが分かる。この潤滑油の掻き上げ量の差はTypeAの保持器形状が波型となっていることによるものである。また図6から、掻き上げられた潤滑油は軸箱にへばりつくように存在しており、へばりついている量もTypeAのほうが多いことが分かる。これは、掻き上げられた潤滑油が、回転半径方向だけでなく、軸方向に飛ばされているため軸箱にへばりつくように存在しているためである。

このように、保持器の掻き上げ作用によって、潤滑油が軸受上部まで多く存在することで、外輪と潤滑油の接触面積が大きくなる。そのため、図7に示すように、軸受上部におけるTypeAのせん断応力が発生している面がTypeBに比べて広く存在し、TypeAにおける外輪の粘性抵抗成分がTypeBに比べて大きくなっていると考えられる。

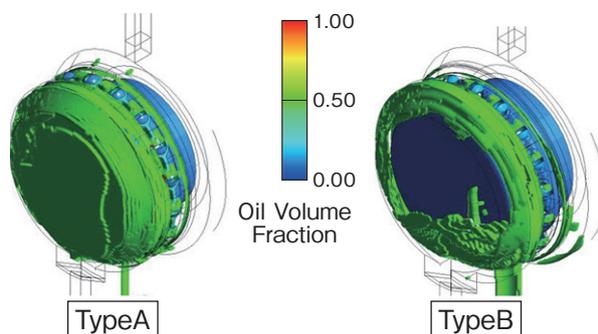


図5 潤滑油の攪拌状況(1.0L/min)

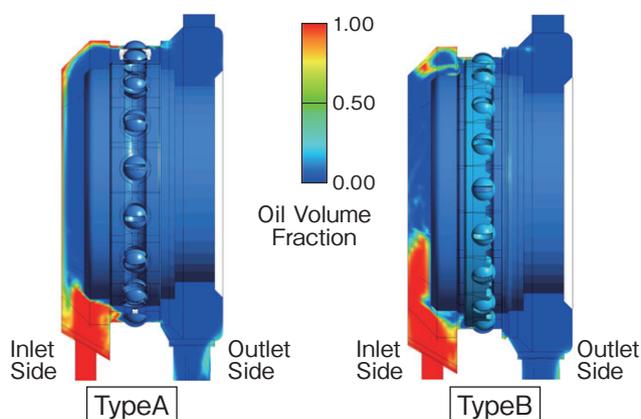


図6 潤滑油と空気の体積分率(1.0L/min)

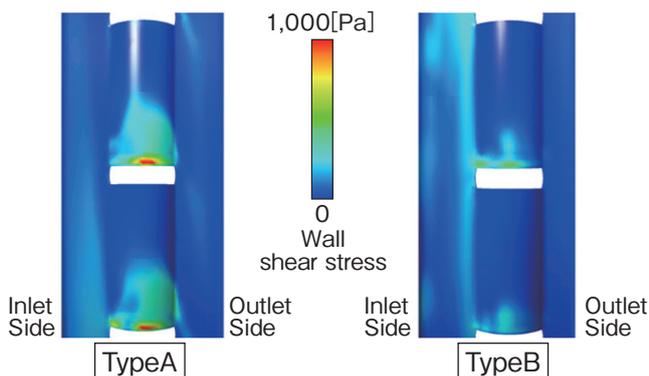


図7 軸受上部における外輪壁面のせん断応力分布(1.0L/min)

また、図8に示すように、潤滑油が軸受上部まで多く存在することで、鋼球は潤滑油を押しつけて公転しなければならなくなり、鋼球の圧力抵抗成分が大きくなる。さらに、図9に示すように、鋼球が通過した後ろ側では渦が発生しているため、その部分で負圧が発生し、保持器が回転方向と逆方向に引っ張られるような力が生じる。そのため、鋼球の圧力抵抗成分はTypeAのほうが大きい。一方、TypeBは流入側の保持器形状が平面となっているため、流れがスムーズに流れている。

このように潤滑油を保持器が掻き上げることによって、掻き上げ時に発生するトルク以外にも、様々な場所でのトルク発生の要因となっていることが分かる。

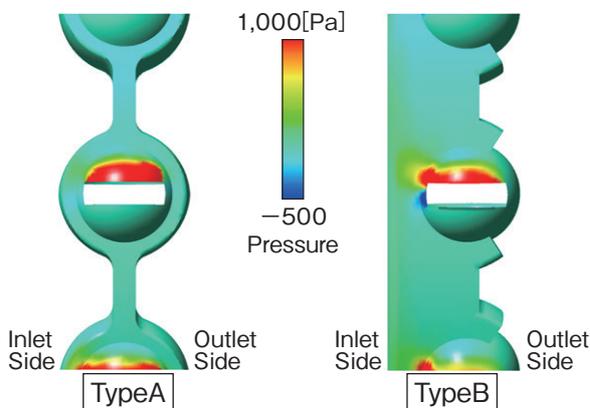


図8 軸受上部における保持器および鋼球の圧力分布 (1.0L/min)

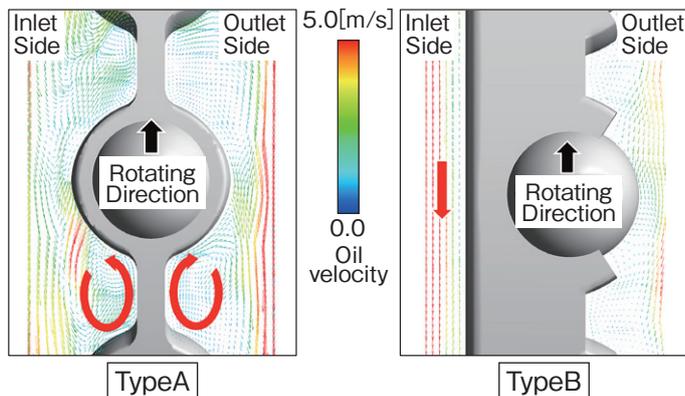


図9 軸受上部における潤滑油の速度ベクトル(1.0L/min)

# 4. TypeBのトルク発生要因

次に、高流量時(3.0L/min)を例としてTypeBのトルク発生要因を考察する。

図10に潤滑油の攪拌状況を、図11に中心部での断面における潤滑油と空気の体積分率を、図12に軸受上部における外輪壁面のせん断応力分布を、図13に軸受上部における保持器および鋼球の圧力分布を示す。

図10、図11に示すように、TypeBは流入側が潤滑油で満たされていることが分かる。これは、TypeAに比べてTypeBの保持器と外輪および内輪のクリアランスが小さいため、潤滑油が通過する流路が狭く、流出側に貫通しにくくなっているためである。高流量のとき、TypeBの流入側は常に潤滑油で満たされている。低流量時のTypeAと比較しても、軸受上部までより多くの潤滑油が存在しており、このことで、外輪と潤滑油の接触面積が大きくなる。そのため、図12に示すように、軸受上部におけるTypeBのせん断応力が発生している面がTypeAに比べて広く存在し、TypeBにおける外輪の粘性抵抗成分がTypeAに比べて大きくなっていると考えられる。

また、図13に示すように、潤滑油が軸受上部まで多く存在することで、鋼球は潤滑油を押し回して回転しなければならなくなり、鋼球の圧力抵抗成分が大きくなる。

このように軸受周辺が潤滑油によって満たされることは、軸受と潤滑油の接触面積増加を招き、トルク増加要因となる。

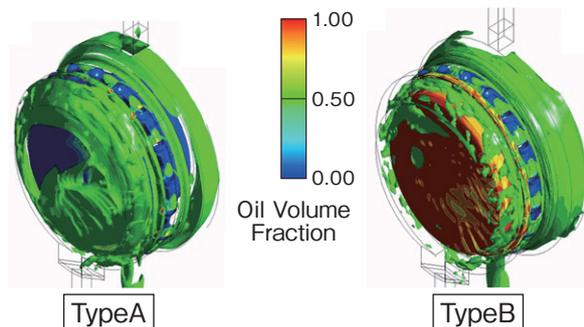


図10 潤滑油の攪拌状況(3.0L/min)

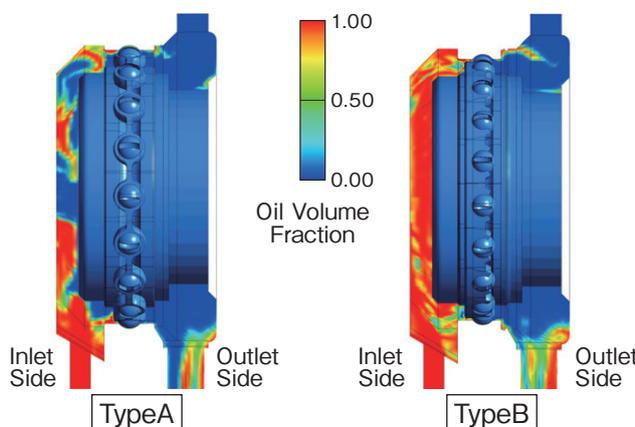


図11 潤滑油と空気の体積分率(3.0L/min)

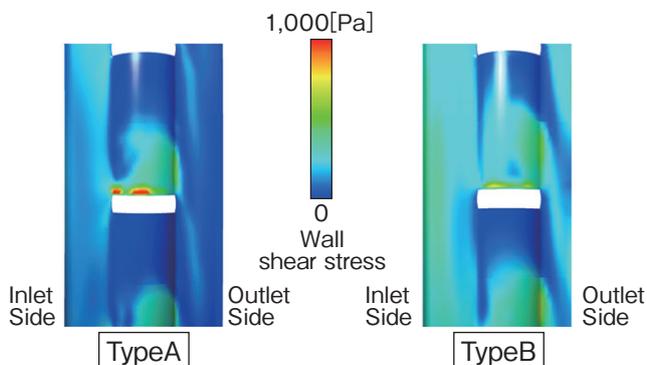


図12 軸受上部における外輪壁面のせん断応力分布(3.0L/min)

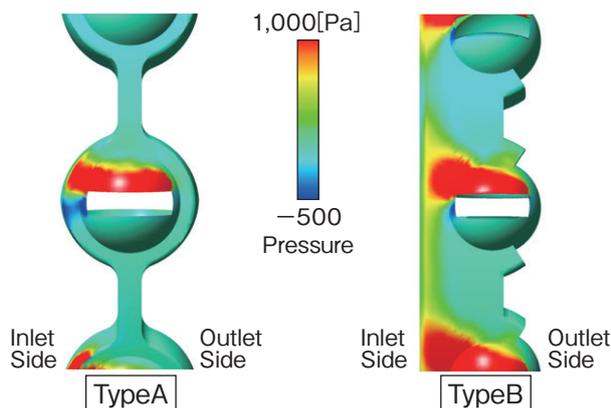


図13 軸受上部における保持器および鋼球の圧力分布(3.0L/min)

## 5. トルク発生要因まとめ

以上のことより、TypeAの攪拌トルク発生要因は、保持器の波型形状が引き起こす、潤滑油の掻き上げであり、TypeBの攪拌トルク発生要因は、潤滑油が流出側に貫通しにくい保持器形状のために起こった、流入側で油面高さの上昇であるといえる。

これらの結果より、軸受トルクを低減させるためには、①回転方向に対してスムーズな形状とすることで、保持器による潤滑油の掻き上げを抑制し、②軸方向に対して油を貫通しやすい形状で油面高さを低くすることが大切であるといえる。

## 6. 結論

供給油量や回転数を変化させ、試験をすることで、また、同条件のモデルを用いて流体解析することで以下の結論を得た。

- (1) 低流量の場合はTypeBがTypeAよりトルクが低く、高流量の場合はTypeAがTypeBより低くなる。
- (2) TypeBの攪拌トルクは、流入側が潤滑油で満たされる2.6L/minを超えると、急激に大きくなり、TypeAより大きくなる。
- (3) TypeAの攪拌トルク発生要因は、保持器の波型形状が引き起こす、潤滑油の掻き上げである。
- (4) TypeBの攪拌トルク発生要因は、潤滑油が流出側に貫通しにくい保持器形状のために起こった、流入側で油面高さの上昇である。
- (5) 低トルク保持器には、回転方向に対してスムーズな形状で、保持器による潤滑油の掻き上げを抑制することと、軸方向に対して油を貫通しやすい形状で油面高さを低くすることが大切であるといえる。