解説 Explanation

推進装置に使用されている軸受および シール装置における環境保全と省エネへの対応*

田 村 清**

1. はじめに

近年、環境破壊は急速に世界中に広がっており人類の生活環境は悪化の一途を辿っている。交通機関、各種産業機械などにおいても有害な物質を含んだ材料が使用されており環境被害を与えている。更には、工場、交通機関などから排出される多量の CO₂ などの排出物による環境への影響も深刻さを増している。船舶およびその関連製品においても例外ではなく環境保全対策が求められている。一方、今までに多量の資源を消費してきたことも環境破壊を加速させている。このような状況を改善するためには、環境保全対策に加え資源消費の抑制などの省エネルギー化が必須となっている。

船舶の推進軸系においては、図1に示すように船尾管軸受、中間軸受およびシール装置が推進軸との摺動部品として用いられているが、これらは摩耗と動力損失を生じる機械要素であり、前述の環境保全と省エネルギーに直接的に大きな関わりを持っている。本文ではこれら製品に関する現状の問題と対応を解説する。

図1 推進軸系のアレンジメント

2. 軸受における現状と取り組み

2.1 船尾管軸受の摩擦損失と材質 油潤滑式の船尾管軸受には鉄製の台金にホワイトメタルをライ

ニングしたすべり軸受が主に用いられている。通常、船尾管の前端および後端に軸受が配置されるが、プロペラ軸の後端には質量の大きいプロペラが装備されるので後部軸受には大きな荷重が負荷される。そのため後部軸受の全長は軸径の2倍程度と長くなっている。しかしながら、プロペラ軸は片持ち梁であり、軸のたわみにより後部軸受の後端部では局部的に大きな面圧となる。軸の低回転時においては十分な油膜厚さが形成されず、軸受の潤滑状態は図2に示されるように流体潤滑(摩擦係数は概ね0.01以下)ではなく混合潤滑、更には境界潤滑(摩擦係数は概ね0.1以上)に移行する¹⁾。その結果、摩擦力は増大し摩擦損失が大きくなる。この潤滑状態が長く続くと軸受に摩耗、焼付きが生じ損傷に至る場合がある²⁾³⁾⁴⁾。

図2 ストライベック曲線

潤滑状態を改善するために図3に示すように、後部軸受に全体またはパースシャルのスロープボーリングを適用することにより、プロペラ軸と軸受面の相対角度を小さくし、軸受後端部での局部面圧を下げ流体潤滑状態を保てるような工夫がされている。スロープ加工を行うことにより低速域での軸の連続回転数を下げることが可能になるとともに、境界潤滑を防ぐことで摩擦損失も小さく抑えられる。

特殊な例として、図4に示すように軸受下部にポケットと高圧潤滑油の供給システムを設け適切な油膜厚

*原稿受付 平成22年9月6日

**正会員 バルチラジャパン株式会社(富山市向新庄町7-14-37)

さを確保し、低回転での運転を可能にした静圧軸受もある。

図3 後部船尾管軸受とスロープボーリング

図4 静圧軸受式の船尾管軸受

なお、すべり軸受に使用されるホワイトメタルは錫ベースと鉛ベースに大別されるが、環境問題への対応措置として弊社では 2006 年より錫ベースのホワイトメタル(JIS WJ2)のみを使用している。

2. 2 中間軸受の摩擦損失 中間軸受は基本的には軸系のアライメントに合わせて据え付けられるため、据え付け時には軸と軸受の相対的な傾きは生じない。しかしながら、軸系のアライメントは満載時、軽荷時、ホットおよびコールド状態で大きく変化し実際には片当り状態が存在する。つまり船尾管軸受と同じように局部的に軸受面圧が高くなっている場合がある。その対応として、弊社では図5に示すような球面型の中間軸受を製作している。この中間軸受は軸受本体内部と軸受メタル外面が球面形状になっているため、図6に示すように、軸の傾きが変わった場合でも軸受本体の内部にある軸受メタルが可動する。この構造により軸に対して軸受メタルが常に平行に位置し軸受の片当りを防止する。その結果、軸系アライメントの変化に関わらず常に適切な潤滑状態を保つことが可能となり摩擦損失の低減に寄与している。なお上述の特徴により球面型の中間軸受は据付け許容値を大きく取れ

るので、据付け時の工数を短縮できる。

図5 球面型中間軸受の構造

図6 球面型中間軸受における軸受メタルの可動

3. 船尾管シール装置における現状と取り組み

3. 1 船尾管シール装置の現状 船尾管シール装置にはリップシール型シール装置が広く用いられている。このシール装置はシールリング、シールケーシング、シールライナより構成されており、流体圧が負荷されたシールリングが常時シールライナと接触、摺動することで密封性能を発揮している。船尾管シール装置は海水または船尾管内の潤滑油を密封することが目的であるが、喫水の変化による海水圧の変化、海象による圧力変動、更には軸系および船体の振動の影響を受け厳しい使用環境にある。このような状況下においても確実な密封性能を確保する為に、現在では図7に示すようなシール装置内部に空気室を設けたエヤシールが主流になっている。空気室を設けることにより海水と潤滑油は完全に分離される。加えて常時空気を海水側へ流すことで海水圧を検知し後部シール装置および船尾管の圧力を制御している。万一、海水侵入または漏油が生じた場合でも、空気室に設けられたドレン配管により船内に回収される機構になっている。このシール装置は環境保護に即した高い密封性能のみならず、摩擦損失を低減する効果も併せ持っている。従来型の後部シール装置の場合は3本ないし4本のシールリングが装備され、それぞれに常時大きな圧力が負荷された状態で摺動しているが、弊社のエヤガードシールの場合、図8に示すように#2 シールリングのみ

が常時一定の差圧で摺動している。その他のシールリングは背面側の圧力が正面側より高く設定されている為、常時流体（空気あるいは潤滑油）がシールリングとシールライナの間を流れ、シールリングとシールライナの摺動はない。その結果、エヤガードシール OLS3A (旧名称 3AS) においてはシールリングでの摩擦損失は大幅に低減されている。

図7 船尾管シール装置エヤガード OLS3A システム

図8 船尾管シール装置エヤガード OLS3A の構造

図9にエヤガードシール OLS3A と通常型シール OLS3 (旧名称 MK-2) の圧力バランスを示す。図から分かるように OLS3A の場合は喫水が変化しても後部シール装置のシールリングの差圧が常に一定になるように制御されている。

図9 OLS3A と OLS3 の圧力バランス

表1 計算条件

本船の仕様	
船種	コンテナ船
軸芯上の喫水(満載時)	9.8m
軸芯上の喫水(軽荷時)	5.0m
計算条件	
海水比重	1.025
潤滑油比重	0.9
シールリング摩擦係数	0.1 (動摩擦係数)

表2 摩擦トルクの比較

シール装置仕様		
後部シール装置	OLS3A #1000	OLS4 #1000
前部シール装置	OLS2 #1000	OLS2 #1000
シールおよび船尾管内の油圧/空気圧の制御		
後部シール #1-#2 間	空気圧 (可変)	密閉
後部シール #2-#3 間	油圧 (可変)	重力タンク方式 (固定, 軸芯上 0.5m)
後部シール #3-#3S 間	-	重力タンク方式 (固定)
船尾管	加圧 L. O. タンク方 式 (可変)	重力タンク方式 (固定, 海水圧 + 0.025MPa)
前部シール #4-#5 間	重力タンク方式 (固定, 軸芯上 2.0m)	
シールリングの摩擦による損失トルク (Nm)		
満載時の損失 トルク	171.6 [59%]	291.8 [100%]
軽荷時の損失 トルク	159.4 [62%]	257.4 [100%]
上記の[]中の値は OLS4 を 100%とした時の比率を示す.		

OLS3A と中大型の商船で広く採用されている OLS4(旧名称 4BL)のシールリングの摺動摩擦による損失トルクの比較を行ったので計算条件と結果(前部+後部シール装置)を表1および表2に示す。摩擦損失は OLS3A を採用することで OLS4 を採用した場合より 38%から 41%程度小さくなる。

なお、船尾管シール装置においては前述のようにシールリングとシールライナは摺動があるため摩耗は避けられない。シールリングは比較的簡単な作業で交換することは可能であるが、シールライナはプロペラを取外す必要があり交換は容易ではない。このためシールライナにおいては摩耗と海水中での耐食性を改善するために、最近では図10に示すようなセラミックまたはタングステンカーバイド等のコーティングによる長寿命化による省資源対策を図っている。

図10 セラミックコーティング シールライナ

3.2 環境保全に対応した潤滑油 船尾管シールの性能、信頼性はシールリングの改良および前述のエヤシールなどの登場で近年飛躍的な進歩を遂げている。しかしながら、異物噛み込みなどの外的要因によるシールリングの損傷に起因する船尾管内潤滑油の漏れは完全には解決されていない。このような背景より、潤滑油の漏れを想定した環境保全対策が進んでおり、最近では従来の鉱油に替え生分解性潤滑油を使用する傾向⁵⁾⁶⁾が見られる。

生分解性潤滑油とは微生物により二酸化炭素と水に分解される潤滑油のことであり、OECD(経済協力開発機構)化学品テストガイドライン301Bおよび301Cでは生分解度が28日以内に60%以上と規定されている。生分解性潤滑油の基油は植物油、合成エステル、ポリグリコールの3種類に大別⁹⁾され、添加剤により物性値などが調整されている。船尾管用潤滑油としても潤滑油メーカー各社より供給されているが、これらは従来の鉱油と異なった特性を有しているので比重、水分混入

時の色相などの違い、シールリング材質との相性などを確認して使用する必要がある。

4. おわりに

船舶の推進装置にはディーゼルエンジンなどの動力をプロペラに伝達している方式に加え、電気モータを用いたポッド推進装置の導入が増加してきている。しかしながら、両者とも軸を介して船外にあるプロペラに動力を伝達しているため、軸受とシール装置は不可欠である。今後、更なる新技術を加えることで製品の性能と信頼性を向上させ、環境に優しい且つ省エネルギーの両面を併せ持った製品を市場に供給して行きたいと考える。

参考文献

- 1) 村木, トライボロジー 摩擦と科学の潤滑技術, (2007), 8-9 147, 日刊工業新聞社
- 2) 田村ほか3名, 日マリ学誌, 37-8(平14-8), 631-637.
- 3) K. Tamura, et al., IMechE, 218 Part J(2004), 23-31.
- 4) 松本, 水内, 斎藤, 関西造船協会誌, 184(昭57-3), 29-38.
- 5) C. Wholly, Development of an Environmentally Adapted Sterntube Lubricant, 7th International Symposium on Marine Engineering in Tokyo, (2005)
- 6) 佐田, 山丈, 川添, 日マリ学誌, 42-4(平19-7), 222-227.

著者紹介

田村 清

- ・日本マリンエンジニアリング学会 正会員
- ・1959年生
- ・バルチラジャパン(株) 富山工場 技術部
- ・富山大学 工学部 機械工学科
- ・博士(工学), 日本機械学会 正会員