海洋汚染防止に対処した新しい 船尾管シール装置(第2報)*

林 典夫**・吉田久志**
高安 稔***・岩月 誠***

New Stern Tube Sealing System Free from Sea Pollution (2nd Report)

By Michio Hayashi, Hisashi Yoshida, Minoru Takayasu,
Makoto Iwatsuki

The new type of sealing system is based on the idea that lube oil pressure in the stern tube is always lower than sea water pressure, whereby complete no oil leakage is achieved and sea water ingress into the stern tube is also checked step by step.

By applying the "High Specific Gravity Oil" with this system which have higher specific gravity than sea water, sea water ingressed into the stern tube aft seal can be automatically separated upward by the difference of specific gravity, and collected through the lube oil piping line.

The paper reports as to experimental study of the "High Specific Gravity Oil" concerning to load carrying capacity, water separating property, hydrolic stability & aptitude to seal ring materials, and the simulation test supposing sea water ingress into the stern tube aft seal.

Some highlighted aspects are that the system can be engaged with no oil leakage and no bearing damage.

As a result, the New Type of Sealing System applying the "High Specific Gravity Oil" is confirmed to be excellent for the prevention of oil pollution.

概 要

船尾管シール装置において、船外への漏油を防止するためには従来の発想を根本的に転換し、船尾管内油圧を常時海水圧より低く設定する方式が有効である。この方式に対して海水より比重の高い潤滑油(高比重油)を用いることにすれば、万一船尾管後部シール装置に海水が浸入した場合、この海水を高比重油との比重差を利用して自動的に分離し、船内へ回収することができる。

本報では、高比重油を船尾管の潤滑システムに使用の際に必要な基本的特性として、高比重油の潤滑性・抗乳化性・加水分解安定性及びシールリングとの適性について調査した。また、船尾管シール装置内へ浸入した海水を分離・回収する作動試験を実施した。

その結果、高比重油を用いた船尾管の潤滑システムが十分に実用可能であることを確認した。

1. ま え が き

海洋汚染を防止し、海洋環境の保全を図る機運が近年ますます高まり、海洋汚染及び海上災害の防止に関する法規も既に改正・実施に移されている。

前報において、著者らは従来の船尾管シール装置の発想を根本的に転換し、船尾管内油圧を常時海水圧より低く設定していかなる場合でも船外への漏油を防止しようとする新しいシール装置を提案し、その概要を述べるとともに、海水より比重の高い潤滑油(以下、高比重油と称する)を用いることにより、シール装置内に浸入した海水を比重差を利用して上方へ導き、自動的に分離・回収する方法について紹介した¹⁾。

本報では、前報にひき続いて実施した高比重油の潤滑性・抗乳化性・加水分解安定性及びシールリングとの適性ならびに船尾管シール装置内へ浸入した海水を分離・回収する作動試験の結果について以下に報告する。

2. 船尾管の潤滑油システムの構成

2.1 従来の潤滑システムの考え方 船尾管の潤滑システムにおける従来の考え方を図1に示す。従来は、

* 原稿受付 昭和59年6月30日

昭和59年春季学術講演(昭和59年5月23日)

** 正会員 日本ドーバー(株)富山工場(富山市向新庄1000)

*** 日本ドーバー(株)富山工場(富山市向新庄1000)

**** 味の素(株)中央研究所(川崎市川崎区鈴木町1-1)

船尾管タンクの油面を海面より常に高く設定し、万一後部シール装置が損傷した場合に海水が船尾管内へ浸入することを防いでいるが、逆に船尾管内の潤滑油は船外へ漏洩しやすい。他方、図2に示す海洋汚染防止型の潤滑システムでは、船尾管タンクの油面を常時海面より低く設定して船外への漏油を防止している。後部シール装置内へ浸入した海水は、後部シールタンクに接続した海水側と船尾管の分離用配管により、船尾管内の潤滑油と分

離される。

2.2 高比重油による海水の分離・回収の原理

船尾管潤滑システムに高比重油を用いる場合、後部シール装置内に浸入した海水を分離・回収する原理を図3に示す。後部シール装置の油室内(図3では#1-#2リング間)に浸入した海水は、同室に充満している高比重油と比べて比重が小さいために自動的に分離して上方へ導かれ、上部の空気抜き兼海水分離用の配管を通して後部シールタンク(図3では#1-#2用タンク)のオーバーフロ配管より船内に回収される。

2.3 高比重油を用いた船尾管の潤滑システムの構成

船尾管内の油圧を常時海水圧より低く設定した海洋汚染防止型の潤滑システムに、高比重油を用いた場合の潤滑システムの一例を図4に示す。

図1 従来型の船尾管潤滑システム

図2 海洋汚染防止型の船尾管潤滑システム

図3 高比重油による海水の分離・回収の原理

図4 高比重油を用いた船尾管の潤滑系統例

この潤滑系統例には次のような特徴がある。

(1) #1-#2 及び #2-#3 リング間油室に配管し、常に高比重油を満しておく。両室の油面高さはほとんど同一とし、#2 リングを無負荷に近い状態にする。ただし、深喫水の場合には#1-#2 リング間油室の油面を#2-#3 間油室の油面より高くし、#1 リングの負荷を軽減することもある。

(2) 船尾管内の高比重油の圧力は、通常空船時の海水圧よりやや低く設定して船外への漏油を防止する。これによって#3 及び#4 リングに対する負荷が従来と比較して軽減され、また、従来のように喫水の変化によって高・低位の船尾管タンクを切替える必要もない。

(3) #1 リングが万一損傷し、#1-#2 リング間油室に海水が浸入した場合は、高比重油との比重差により海水のみが上部の配管ラインを通して分離されて、#1-#2 用タンクのオーバーフロ配管より船内へ回収される。

(4) 不幸にして#1 及び#2 リング共に損傷した場合には、船尾管の非常用タンクを用いて船尾管圧力を海水圧より高く保ち、船尾管内への海水の浸入を防止できる。

なお、この系統例では、後部シール装置の#1-#2 及び#2-#3 リング間油室共に配管を設けているが、#2-#3 リング間油室のみに配管してもよい。この場合には、#2-#3 用タンクにオーバーフロ配管を施し、浸入した海水を分離・回収することができる。

3. 高比重油の性能試験

3.1 潤滑性能試験 油潤滑式船尾管の潤滑システムに用いる潤滑油には、船尾管軸受に対して十分な潤滑性能を発揮し、また、万一船尾管内に海水が浸入して潤滑油中の水分が増加した場合でも、その性能が極端に低下しないことが要求される。これらについて、高比重油と船尾管に従来使用されている鉱油との比較試験を行った。

3.1.1 供試潤滑油 供試高比重油と鉱油の主な性状を表1に示す。高比重油はリン酸エステル系合成油レオフィス 350 であり、15℃における比重は 1.110 を示し、海水(比重 1.02~1.03)より大きい値である。

3.1.2 試験方法 會田四球試験(JIS K2519)及

表1 供試潤滑油の主な性状

項 目	潤滑油の種類	鉱 油			
	リン酸エステル系 高 比 重 油	A 油	B 油	C 油	
比 重(15/4℃)	Reofos 350	0.881	0.893	0.903	
動粘度(cSt/40℃)		112.0	95.0	155.5	
引 火 点(℃)		218	223	256	
全酸価(mg KOH/g)		0.22	0.69	—	
pH		—	6.5	—	
流 動 点(℃)		-17	-16	-12	

びファレックス試験(ASTM D-3232 A法)の二種類の試験方法によって評価した。

3.1.3 試験結果 試験結果をまとめて表2に示す。高比重油レオフィス 350 はいずれの鉱油に比べても耐荷重能が大きく、良好な潤滑性能を示している。レオフィス 350 に水分 0.4% が混入した場合は、新油と比べて耐荷重能がやや増加しており、微量な海水浸入によって潤滑性能が低下しないものと考えられる。また、レオフィス 350 に鉱油(B油)が5%混入した場合でも、新油と比べて耐荷重能がやや増加していることから、従来使用している鉱油を高比重油と交換する際に多少残存した鉱油が高比重油に混入しても悪影響はないと考えられる。

なお、摩耗こん径は、レオフィス 350 及び鉱油ともほぼ同程度であり、高比重油に水分または鉱油が混入してもあまり差はみられない。

表2 潤滑性能試験結果

供試油の種類		會田四球試験			ファレックス試験
		動 粘 度 (cSt/40℃)	耐荷重能 (kgf)	摩耗こん径 (mm)	耐荷重能 (lb)
リン酸 エステル系 重油 系	Reofos 350 新油	109.5	10.5	1.08	1800
	Reofos 350 水分 0.4%		13.0	1.23	
	Reofos 350 + A 油 5%		12.0	1.23	
鉱 油	A 油	109.5	7.0(3.5)	1.67	1100
	B 油	95.0	9.5	1.14	1600
	C 油	155.5	6.0	1.06	1300

注) 會田四球試験における耐荷重能の欄中()内は初期かじり値を示す。

3.2 抗乳化性試験 後部シール装置または船尾管内に海水が浸入した場合、シールリング及び軸受部には高比重油のみが存在し、浸入した海水のみが高比重油との比重差によってすみやかに分離・回収されることが理想である。したがって、高比重油はできる限り海水によって乳化を生じないことが望ましい。

このような高比重油の乳化度合について、船尾管に従来使用されている鉱油との比較試験を行った。

3.2.1 供試潤滑油 供試高比重油及び鉱油は、潤滑性能試験に用いたものと同一である(表1参照のこと)。

3.2.2 試験方法 抗乳化性試験(JIS K2520)に準拠し、同量の供試潤滑油と海水を混合・かく伴して乳化させた後、静置した乳化液が再び潤滑油と海水に分離する時間をもって評価した。

3.2.3 試験結果 試験結果を表3に示す。レオフィス 350 は、静置後 30 分経過して油層 45 ml 及び水層 35 ml に分離し、鉱油と比べると割合に乳化しにくい傾向を示している。したがって、後部シール装置または船尾管内へ浸入した海水は、高比重油を乳化させることなく比重差によって配管上方から分離・回収されるため、

表3 抗乳化性試験結果

	供試油の種類	抗乳化性(海水)
リン高酸エステル油系	Reofos 350	45-35-0〔30〕
鉱油	A 油	40-40-0〔20〕
	B 油	44-36-0〔60〕
	C 油	0-0-80〔60〕

注) 抗乳化性欄内の数値は各々下記による。
油層(ml)-水層(ml)-乳化層(ml)
〔経過時間(分)〕

シールリング及び軸受部は良好な潤滑状態を保持しやすいと考えられる。

なお、船尾管に従来使用されている鉱油には、A油のようにレオフォス350と比べて良好な抗乳化性を示すもの、B油のようにレオフォス350より抗乳化性のよくないもの、さらにC油のように静置後60分経過しても分離せず抗乳化性の全くないものなど、さまざまな種類があることが認められる。

3.3 加水分解安定度試験 一般にリン酸エステル系合成油においては水の混入によって加水分解を生じ、これは金属特に銅が存在すると促進される。加水分解の影響は、酸化と同じく液の物性を変化させて酸価及び不溶解分の増加をおこすことが主な点である。

油潤滑式の船尾管潤滑システムでは、後部シール装置のケーシング材質として高力黄銅系(マンガン・ブロンズ)が使用されることがあるため、レオフォス350に海水が混入した場合の加水分解安定度について鉱油と比較した試験を実施した。

3.3.1 供試潤滑油 高比重重油レオフォス350と鉱油A油及びB油を用いて比較した(表1参照のこと)。

3.3.2 試験方法 加水分解安定度試験(ASTM-D-2619)に準拠し、海水を混入した潤滑油中に銅片を入れて加熱・かく拌して、銅片の重量変化及び潤滑油の性状変化を調べた。

3.3.3 試験結果 試験結果を表4に示す。銅片の重量減少はレオフォス350において最も小さく、銅片の

表4 加水分解安定度試験結果

項目	試料油	Reofos 350	A 油	B 油
油 全 酸 価 (mg KOH/g)	試験前	0.07	0.14	1.68
	試験後	0.08	0.14	1.11
動 粘 度 (cSt/54℃)	試験前	44.87	47.64	49.28
	試験後	43.15	46.62	48.92
	変化率 (%)	-3.8	-2.2	-0.7
銅片重量変化(mg)		0.03	0.10	0.40
銅片色変化		やや黄色味	やや黄色味	黒色

色相もやや黄色味を増した程度である。一方鉱油B油における銅片の重量減少は最も大きく、また銅片の色相も黒色に変化している。

試験前後の油層の全酸価は、鉱油B油を除いてほとんど変化していない。

試験前後のレオフォス350における動粘度は、鉱油と比較すると変化が大きいものの、その変化率は-3.8%と十分小さい値である。

このように、レオフォス350の加水分解の安定度は鉱油と比べてもそんな色なく、後部シール装置のケーシング材質である高力黄銅の影響はほとんどないと考えられる。

3.4 シールリングに対する適性試験 潤滑油の密封にシールリングを用いる場合、潤滑油とシールリングのゴム材料との相性を十分吟味しておく必要がある。ゴム材料は潤滑油にさらされ、さらに温度変化をうけると、程度の差はあるものの膨潤または収縮・硬化または軟化・強度の低下等の物性変化を生じる。潤滑油の種類によりゴム材料の物性への影響度合は異なるが、特にリン酸エステル系合成油の場合には、一般的にゴム材料への影響は大きいとされている²⁾。

そこで、油潤滑式船尾管シール装置に通常使用されているゴム材料であるフッ素ゴム(FR)及びニトリルゴム(NBR)についてレオフォス350の適性を調査することにした。

3.4.1 供試ゴム材料 フッ素ゴム2種類(FR-A及びFR-B)とニトリルゴム1種類を選定した。

3.4.2 試験方法 ゴム適合性試験(JIS K6301)に準拠してゴム材料の基本物性の変化を試験し、さらに実船相当の条件下シールリングとしての耐久性を調査するためにシール型番155及び600(mm)による回転試験を実施した。

3.4.3 試験結果 試験結果をまとめて表5に示す。ゴム適合性試験の結果、ニトリルゴム(NBR)ではスラッジの発生はみられず、またレオフォス350の色相変化もあまりないものの、硬度変化・伸び変化率及び体積変化率は大きく変化している。フッ素ゴムFR-Aでは試験後伸びが増加し、その変化率が大きいことが特徴的である。フッ素ゴムFR-Bでは体積変化率はFR-Aと比べてやや大きいものの、その他の物性変化は最も小さく、レオフォス350の色相変化も最も少ない。

このように、レオフォス350はフッ素ゴムFR-Bに対して比較的適合性が高いと判断される。一方、ニトリルゴムに対してはその物性変化が大きいことから不適合と判断して、次に述べるシールリングの回転試験は行っていない。

実船相当の条件のもとに実施したフッ素ゴムFR-A及びFR-Bのシールリングによる回転試験の結果、FR-Aシールリングではリップ先端全周にわたって膨潤が生じ、場合によっては試験後約300から600時間にてリップ摺動面に条痕・うねり及びむしれが併発している。FR-B

表5 ゴム材料の適性試験結果

供 試 高比重油	ゴム材料 の 種 類	ゴ ム 適 合 性 試 験						シールリング回転試験
		スラッジ発生 の有無	硬度変化 (ポイント)	引張強さ 変化率(%)	伸び変化率 (%)	体積変化率 (%)	供試油の 色相変化	リップ摺動面の状態
Reofos 350	FR-A	無	-3	-6.7	+13.3	+2.7	薄黄色変	硬度やや低下 リップ先端膨潤 (場合によりうねり、 むしれ併発)
	FR-B	無	-2	± 0	-3.7	+4.2	薄白黄色変	硬度やや上昇 摺動面正常
	NBR	無	-10	-2.2	-10.4	+22.7	薄黄色変	実施せず

注) 1. ゴム適合性試験は JIS K 6301 による。

2. シールリング回転試験で使用したシールリングサイズは、155 及び 600 である。

図5 シールリングのリップ摺動面状態

シールリングではリップ摺動面の硬度はやや上昇しているものの、摺動面の状態は極めて良好である。FR-B シールリングの#1、#2 及び#3 リングの試験後 617 時間におけるリップ摺動面の状態を図5に示す(リング番号#1、#2 及び#3は、前掲図4における後部シール装置のシールリング番号にそれぞれ対応している)。#1 リングのリップ摺動面にはスラッジが付着しているが、摺動面そのものは全リングともわずかな摺動痕のみであり、異常はみられないことがわかる。

以上より、レオフォス350の密封にはフッ素ゴムFR-Bが適当であり、ゴム材料の種類によってはリン酸エステル系合成油に対して十分適合するものと考えられる。

3.5 船尾管シール装置の作動試験 シールリングの損傷により船尾管後部シール装置内へ海水が浸入することを想定した場合、この海水がさらに船尾管軸受部へ流入しないように、高比重油との比重差を利用して後部シール装置の回収用オーバーフロ配管から海水のみを速やかに分離・回収することが必要である。このような海水の分離・回収が十分に行われることを確認するため、シール装置型番155及び950(mm)を用いて実船相当の条件による作動試験を実施した。

3.5.1 供試潤滑油 高比重油レオフォス350及びレオループHYD110を用いた(レオループHYD110は、レオフォス350と類似のリン酸エステル系合成油であるが、動粘度は42.6 cSt/40℃とやや低い)。

また、船尾管に従来使用されている鉱油B油についても比較のため試験を行った。

3.5.2 試験装置 シール型番155及び950回転試験装置の概略をそれぞれ図6、図7に示す。シール型番155回転試験装置では、#2-#3リング間と#3-#4リング間を配管接続し、配管途中のバルブを開くことによって#3リング(実船における最後部シールリングに相当)の損傷を想定している。また、シール型番950回転試験装置は、同様に#1リングの損傷を想定したものである。

したがって、試験装置において高比重油を満たした油室内へ浸入した清水が、上部分離・回収用配管を通り油タンクへ導かれ、タンクのオーバーフロ配管より回収されることを確かめた。

3.5.3 試験結果 高比重油及び鉱油の分離・回収についての作動試験の結果をまとめて表6に示す。

油タンクからの回収状態をみると、高比重油レオフォス350及びレオループHYD110の場合は各試験条件において、実船における船外側に相当する循環清水とほぼ同程度の油分を含んだ清水が分離・回収される。また、シール型番950回転試験の結果から、回収水中の油分は軸回転数・軸の横振動及び回収水量にほとんど影響を受けないようである。

一方、鉱油A油の場合では、油室内へ浸入した清水はそのまま油室内に残り、高比重油とは異なり鉱油そのものがタンクのオーバーフロ配管より回収されてしまう。

このように、高比重油(レオフォス350 15℃における比重1.110、レオループHYD110 15℃における比重1.123)及び鉱油(A油 15℃における比重0.881)の清水に対する

図6 シール型番 155 回転試験装置の概略

図7 シール型番 950 回転試験装置の概略

表6 高比重油を用いた船尾管シール装置の作動試験の結果

シール型番	サイズ 155 MK-II			サイズ 950 MK-II			
試験番号	S-1	S-2	S-3	L-1	L-2	L-3	L-4
供試潤滑油	Reofos 350	Reolube HYD 110	鉱油(A油)	Reolube HYD 110			
ライナー周速 (m/s)	3.2(400 rpm)			2 (40 rpm)	4 (80 rpm)	6 (120 rpm)	4 (80 rpm)
ライナー振動数	なし			なし			7 Hz ±0.3mm
循環清水油分(ppm)	32	22	29	5.3	目視による 差なし	目視による 差なし	目視による 差なし
潤滑油タンクからの 回収水油分(ppm)	113	36	水分 0.3%	4.7			
同上回収水量 (l/day)	4200	4100	—	1350	1600	400~ 1220	1800
備考			注2)	注1)	注1)	注1) バブルの 開度調整 あり。	注1)

注1) 流体圧力はバラスト噴水相当である。

2) 潤滑油タンクからの回収流体は清水ではなく、潤滑油(水分0.3%含む)である。

比重の大小によって回収状態が全く逆になることが明らかであり, また, 清水の代りに海水(比重 1.02~1.03)を用いてもこの傾向は同様であると考えられる。

したがって, 図 2 に示したような新しい方式の船尾管潤滑システムにおいて, シールリングの損傷等により後部シール装置内へ海水が浸入した場合, 高比重油を用いることによってこの海水のみを船内へ回収することが十分可能であると判断できる。

4. ま と め

1) 高比重油レオフォス 350 の潤滑性能は, 船尾管潤滑システムに従来使用されている鉱油と同等以上であり, 微量の水分または鉱油が混入しても潤滑性能は低下しない。

2) レオフォス 350 は, 鉱油全般と比べて割合に海水と乳化しにくく, 海水はレオフォス 350 の上方に分離されやすい。

3) レオフォス 350 は, 後部シール装置のケーシング材質である高力黄銅に接した場合でもその物性変化が少なく, 鉱油と比べてほとんどその差がみられない。

4) レオフォス 350 は, ニトリルゴムに対してその物性を大きく変化させるため不適合と考えられる。一方, 実船相当の条件下回転試験の結果から, フッ素ゴムに対しては, その種類によってレオフォス 350 が十分適合することを確認した。

5) 高比重油を満した後部シール装置の油室内へ浸入した海水は, 高比重油との比重差によって上方に導かれてオーバーフロ配管より分離・回収されることを実船相当の条件での回転試験により確認した。回収水中の油分は, 軸回転数・軸の横振動及び回収水量にほとんど影響を受けないようである。

なお, 試験で用いた清水の代りに海水による回収を行ってもこの傾向は同様であると考ええる。

このように, 前報で提案した船尾管内油圧を常時海水圧より低く設定して, 船外への漏油を防止しようとする新しいシール装置に対し, 本報で示す高比重油を採用することによって, 実船における海洋汚染防止を更に効果的にすることが可能となった。

また, 船尾管内の油圧を必ずしも海水圧より低く設定しない従来のシール装置においても, 高比重油を用いた比重差による海水の回収が行えることを付記する。

最後に, 本研究において共同試験を担当していただいた味の素(株)中央研究所化学研究部の方々をはじめ, 関係者各位の謝意を表する。

文 献

- 1) 平尾・吉田ほか 2 名, 日本船舶機関学会誌第 18 巻 2 号(軸系特集号), 昭 58-2, 113.
- 2) 矢野・松田, 潤滑, 28-2(昭 58-2), 109.