油分濃度計測のための 試料水配管系について*

津島 聰**・波江貞弘***
山根健次**・伊飼通明****

The Piping System for Monitoring Oil Contents of Effluent from Ships

By Satoshi Tsushima, Sadahiro Namie,
Kenji Yamane, Michiaki Igai

In monitoring the oil contents of ballast water being discharged from tankers, sample mixtures extracted from the effluent should be pumped up to oil content meters through the long piping system.

Two tankers, existing and newly constructed, are investigated about specifications of the piping systems both for sample mixtures and over board discharge. While, the effects of the specifications on the errors in measuring the oil contents are studied experimentally with a simulating apparatus of the systems.

The fluctuations in oil concentration at the outlet of the apparatus rise to 10–200% of the mean concentrations at the inlet especially for highly viscous oils. Measures to reduce the errors being caused by the fluctuations are shown as follows:

- (1) Increase of the flow velocity through the piping system.
- (2) Increase of the temperature of the sample mixture.
- (3) Elimination of stagnant flow, such as that in large strainer, from the system and frequent flushing with fresh water.

1. ま え が き

船舶から船外に排出する排水中の油分を監視するため、その濃度を油分濃度計で計測する場合、計測精度を向上させるためには濃度計自体の性能を確保することが必要であると同時に実船において濃度計に試料水を供給するための配管系の影響を考慮する必要がある。前者に関して、筆者らは濃度計の性能評価の基準となる試料水の作製方法について既に本誌上で報告した¹⁾。

一方、ポンプ室の船外排出管途中などから採取した試料水を配管によって計器設置場所まで送水する際、数十mの長さの配管並びに付属機器の内部において油分の滞留、汚れ等が生じ、これが原因となって濃度計で計測さ

れる値が排水中の実際の油分濃度に一致しない場合が考えられる。

本報告はこうした背景から、まずタンカーの船外排出配管並びに濃度計測用試料水配管系の実状について調査を行うとともに、これら試料水配管系の模擬装置を作製し、配管条件が濃度計測精度に及ぼす影響を実験的に調べた結果について考察を行ったものである。

2. 実船における配管系の調査結果

図1及び図2に今回実船調査を行った9万トンタンカー(新造船)の場合について船外排出配管及び濃度計測用試料水配管系をそれぞれ例として示す。また表1に実船並びに文献調査による配管系の比較結果をまとめて示す。

実船の調査結果では試料水採取場所はポンプ室のSea Chest連結管、船外排出管及び機関室油水分離器出口の三箇所である。このうち船外排出管については新造船a)の場合、排出管途中にスロップタンクへの分岐管が設けられていて、この分岐点のすぐ上流部で試料採取が行われている。一方、改造船b)では海面より上の位置に設

* 原稿受付 昭和57年1月7日

昭和56年秋季学術講演(昭和56年10月29日)

** 正会員 運輸省船舶技術研究所大阪支所(交野市天野が原町3-5-10)

*** 正会員 運輸省船舶技術研究所(三鷹市新川6-38-1)

**** 運輸省船舶技術研究所大阪支所(交野市天野が原町3-5-10)

図1 Example of Piping System for Over Board Discharge

図2 Example of Piping System for Sample Mixtures

けられている排出管出口付近で試料採取が行われている。排出管等での試料採取方法は水平管部にサンプル管を排出管直径の1/4～1/2まで、水平方向または上部より鉛直下向きに挿入して採取している。サンプル管の形状は直管である。以上の状況は文献2)、3)の外国の例でもほぼ同様であるが、IMCOにおけるスウェーデン提案³⁾ではワックス状の油分の採取口付着を防止するため採取口を下流に向けた曲り管を、また試料採取場所としては水切れ防止のため排出管出口弁への鉛直立上り部での採取を推奨している。

試料液を送る管材質は耐海水腐食性を要することからアルミブラス、銅管等を使用しており、管内径は12.5～25mmφ程度である。一方、配管長さは水平部が約15m、鉛直部が約8～20m程度で、採取場所から濃度計までの輸送時間がIMCOの規定による20秒(濃度計自体の応答時間を含めて40秒)以下になるように輸送ポンプ容量を定めている。したがって、管内流速の推定値は2

～4m/s (Re 数: $2.5 \sim 6 \times 10^4$)程度と考えられる。特殊な例としては文献2)のBPタンカーがあり、この場合は採取点より濃度計までの輸送時間を短くするため、濃度計検出端子をポンプルーム内に設置し、光ファイバーを使って機関室で測定する方法を使っている。なお、これらの配管途中にはストレーナ及び複数個の玉形弁が付属しており、また管内面や付属機器内の汚れの問題に対しては清水による洗浄が可能のように専用配管を備えている。

3. 配管系模擬実験装置及び実験方法

実船調査結果をもとに作成した配管系模擬実験装置を図3に示す。水及び油はそれぞれギャボンポンプ①及びプランジポンプ②で供給された後、攪拌機③またはうず巻ポンプ④で攪拌混合される。攪拌機は翼径50mmφ、回転数3000～8500rpm、出力0.55kWのタービン型ミキサであり、うず巻ポンプは回転数1780rpm、最大流量2.5m³/h、揚程10mの容量を持ち、実船で使用される供給ポンプにほぼ近いものである。なお、前者の攪拌機は試料水中の油分の粒子径を変化させ、その影響を調べる目的で使用したものである。

混合された試料液は、水平部合計長さ約12m、鉛直部約13mの供給配管系⑤に導かれ、この配管の入口及び出口における試料液中の油分濃度の比較から計測精度に及ぼす配管系の影響を求めた。また、途中に管内静止型混合器⑥、ストレーナ⑦、弁・継手類等を挿入することによりこれら付属機器の影響についても調べた。配管は実船調査結果を参考にして内径128mmφの銅管を使用しているが、別途基礎資料として塩化ビニール管、テフロン管の二種類の材質についても実験を行い、管長8m、

表1 油分濃度計測配管系の調査結果

	9万トン新造船 ^{a)}	28万トン改造船 ^{b)}	BP Tanker ^{c)}		IMCO Sweden 提案 ^{d)}	
			VLCC	ULCC	既 存 船	新 造 船
試料採取場所 (船底からの高さ)	Sea Chest 連結管 (4m, 1点) Over Board 排出管 (2m, スロップタンク分岐前1点) 油水分離器出口	Sea Chest 用ポンプ 出口(2.5m, 2点) Over Board 排出管 (8m, 排出弁付近2点) 油水分離器出口	Sea Chest Over Board 排水 管出口(計測点より出 口まで2秒) 油水分離器	Sea Chest のみ	Sea Chest Over Board 排出管 (排出弁前)	Sea Chest Over Board 排出 管(スロップタンク 分岐前)
サンプル管 取付方向	水平管に水平方向 挿入	水平管に上部より 鉛直方向挿入	鉛直方向挿入		できれば鉛直管に水 平方向挿入, 水平管 の場合は上方より鉛 直に1/4D挿入	鉛直管に水平方向 挿入
形 状	ストレート管 (後方じゃま板)	ストレート管			下流向ベント管	下流向ベント管
管内固定位置	1/3D挿入	1/2D挿入				
試料水配管材質(内径)	アルミプラス管 (15mmφ 及び 25 mmφ)	銅管(15mmφ)	耐海水腐食管(12.5mmφ)			
水平及び 鉛直配管長さ	水平(約15m) 鉛直(約20m)	水平(約15m) 鉛直(約8m)				
試料水輸送ポンプ 定 格 流 量	うず巻ポンプ 2.5m ³ /h	うず巻ポンプ 2m ³ /h	うず巻ポンプ 0.75m ³ /h			
推定管内流速 (輸送時間) Re 数	3.9m/s (15φ) (Re 数 5.9×10 ⁴) 1.4m/s (25φ) (Re 数 3.5×10 ⁴)	3m/s (Re 数 4.5×10 ⁴)	約2m/s (約35秒) (Re 数 2.5×10 ⁴)			
配管付属機器類	ストレーナ 清水洗浄配管 玉形弁	ストレーナ 清水洗浄配管 玉形弁	粗フィルター 清水洗浄配管			
主 油 送 管	径650mmφ, 4000m ³ /h×2本	径700mmφ, 3000m ³ /h×4本				
Over Board 排 出 管	径350mmφ		200~1500m ³ /h			
汚 れ 等 の 問 題	清水による配管系の 洗浄	清水による配管系の 洗浄	1) 空気混入の影響あり 2) 配管系内残存油分による 汚れの影響あり		1) 空気混入のない位置で採取 2) 清水洗浄	

a) 図面及び実船調査(55年新造)

b) 図面調査(48年改造実施)

c) 文献2)

d) 文献3)

管径4, 7, 11mmφ(テフロン管)及び10mmφ(塩ビ管)として, 水平方向並びに鉛直方向の二通りの配管方向について影響を調べた。

試料液流量は浮子型流量計⑧及び配管出口での流出重量の計測から求めた。配管内の流れが層流域から乱流域に至る範囲までの流速を選び, 最大流速は実船の条件に合せて約3m/sまで実験を行った。

実験に用いた油は軽油, C重油並びにミナス原油であり, 設定濃度は100ppm前後とした。試料液濃度の分析方法としては配管入口直前及び配管出口において25mlのメスフラスコを用い, それぞれ1分間隔で5本ずつの試料液を採取し, 赤外分光光度計で濃度測定を行った。

一方, 試料水中の油粒径分布の測定は配管入口で試料水を採取し, 光学顕微鏡による写真撮影から各々の粒径を求めて行った。

4. 配管系出口油分濃度のばらつき

図4に軽油を用いた場合について, 攪拌機③の回転数を3000及び8500rpmにした際の配管入口および出口における試料液の濃度値測定例を示す。均質に混合された試料液は供試配管系を流れる間に油粒が浮上して管壁に付着・蓄積したり, 逆に付着油分が剥離したりして不均質化してくる。このため, ほぼ一定値をもつ入口油分濃度に対して出口濃度は一般に偏り, あるいはばらつきが生じる。そして配管が油分でそれほど汚されていない状況では, 管内での付着・蓄積が支配的になると考えられ, 試料液の出口油分濃度は一般的に入口側濃度より低くなっている。

図中(a)のように攪拌機回転数が小さくなると一般に油粒径が大きくなるため油分濃度の不均質化が生じやすく, 出口濃度の低下傾向は増大するものと思われる。

図5は攪拌機回転数を変化させた場合の油粒径分布を

図3 Test Equipment of Piping System for Monitoring Oil Contents

図4 Oil Concentration at Inlet and Outlet of Piping

対数確率紙上に示したものであり、回転数 8500 rpm では全油分体積の 50% が約 $10\mu\text{m}$ 以下の粒径であるのに対して、3000 rpm では約 $40\mu\text{m}$ 以下となっている。

以下の実験では、撹拌力、管内流速、管径及び配管方向を変化させ、図 4 と同様な計測を行って濃度のばらつきに対する影響を調べた。図 6 はこれらの結果をまとめ

図5 Distributions of the Oil Particle Size

て示したものである。図中、横軸に管内平均流速、縦軸に管径をとっており、双曲線は Re 数一定の線を示している。また種々の大きさの半径を持つ円はそれぞれの条件に対する出口濃度のばらつきの大きさを示しており、

$$S = \frac{(\text{入口と出口の濃度差の自乗平均値})}{(\text{入口平均濃度})}$$

で定義した値が 100% の場合に相当する基準半径を図中に表示している。これらの結果から全体として言えることは、管内平均流速が大きい範囲では上記出口濃度のばらつきが小さいが平均流速が減少すると急激に増大する。

また、図中に濃度のばらつきが大きくなる限界を大雑把に破線で示しているが、撹拌力が小さく試料水中の油粒径が大きい場合程比較的大きな流速の範囲まで濃度のばらつきが大きくなっている。図中(a)から分かるように鉛直配管(●印)の場合は水平配管に比較してばらつきはある程度小さくなっている。なお、○印で示す点は塩ビ管に対する値であり、テフロン管を使用した場合に比べ若干ばらつきが小さい傾向にあるが、それほど明確な差はみられなかった。

上記図 6 中の破線は管内流れが層流から乱流に移行する $Re=2000\sim4000$ の双曲線とほぼ同じ位置にあり、流れの状態が影響していると考えられる。ただ、破線は Re 数一定の曲線より立った曲線となっており、むしろ管内平均流速への依存度が強いことを示している。この点を考慮して両対数グラフ上で横軸に管内平均流速、縦軸に S 値をとって管径にかかわりなく整理したのが図 7 である。

図中には、図 6 の撹拌機・テフロン管に対する値と共に、同様にして求めた銅管及びうず巻ポンプに対する値も記している。テフロン管による値(図中○印及び□印)については、データはほぼ撹拌条件の違いによるグループごとに直線上にまとまっている。前述のように流速の増加とともに S 値は減少しており、流速が $0.25\sim0.3\text{ m/s}$ 付近で直線のこう配が変化している。

一方、銅管による実験値についても流速の増大とともに S 値が減少する傾向は同じであり、攪拌機を使用した場合(図中○及び□印)はほぼテフロン管による値の延長線上にある。うず巻ポンプを使用した場合(△印)はばらつきの値が攪拌機による二つの回転数の場合の中間の値となっている。また、配管途中にストレーナを取付けた場合(▲印)はばらつきの値 S が増大している。油の種類を変え粘性の高い C 重油(レッドウッド No.1, 900 秒程度)を使用した場合(▽印、及び▼印: ストレーナ付)はばらつきが 10~30% と極端に大きくなっていることが分かる。

これらの傾向は攪拌力が小さい場合及び油の粘性が高い場合に油粒径が大きくなることと対応して、特に水平管部での油分の分離が大きくなるためと考えられる。また、ストレーナ等の低流速部が途中にあるとこの傾向が

増長されるものと思われる。なお、図中の斜線範囲は実船における試料液配管内の平均流速を示したものである。

図8は出口濃度のばらつきが特に大きくなる高粘性油について、試料水中の油粒の微細化を目的として配管途中に静止型混合器を挿入した場合及び水温を上昇させた場合の効果を示したものである。C重油に対して静止型混合器を挿入した場合(▽印)の値は図7の値と大差はなく、今回使用した静止型混合器のばらつき低減効果は顕著ではなかった。なお、図中流速の減少につれてS値が低下し図7と逆の傾向が見られるが、これは水温が図7の場合に比べて若干高いため高粘性油の場合、低流速域での相対的な攪拌力増大による効果が顕著になるためと考えられる。

一方、試料水温を50℃程度に上昇させた場合、同一攪拌力に対して油粒の微細化が促進されると思われる、C重油ではばらつきが3%程度となり低減効果はかなり顕著である。ミナス原油の場合についてもC重油と同様に水

8 Fluctuations in Outlet Oil Concentration

温上昇によるばらつき低減効果は大きい。ただ、ミナス原油では図中◇印及び◇印で示されるように常温での S 値が200%以上と極端に大きくなるため、50℃の水温に対しても10~20%前後の値となった。

5. ま と め

油分濃度計測用試料水配管系についての実船調査結果をもとに、配管模擬装置を作製して濃度計測精度に及ぼす影響を調べた。実船上では配管内平均流速は通常2~4 m/s程度と考えられるが、この範囲の流速において、特に高粘性油の場合は今回の比較的短い試験時間(1時間前後)に対してC重油で10~30%程度、ミナス原油で200%以上の誤差を生じた。実船での長時間使用の場合には低流速部での蓄積油分によって更にばらつきが増大する可能性も考えられる。この計測誤差を抑制する方法

としては、(1)配管のエロージョン等の条件がゆるす限り管内流速を高める、(2)高粘性油に対しては水温上昇によって油粒の微細化を図る、(3)ストレーナ等の低流速部はできるかぎり少なくし、また配管系の洗浄回数を増すことなどが考えられる。実船における試料水配管の設計あるいは計測系の保守など実際の運用にあたってはこれらの点を十分考慮する必要があると思われる。

文 献

- 1) 波江・山根・津島・伊飼, 日本舶用機関学会誌, 第15巻, 第10号(1980・10), p.812.
- 2) Fleming, K., Dick, J. P. P., Oil Spill Conference, (1976), p.165.
- 3) IMCO, MEPC VII/10/1, (1977), and MEPC XIV/5, (1980・7).