油流出事故対策に関する基礎的研究—V. —流出油拡散防止膜の船外展張に関する作業性の評価—

久保 雅義*・沖 剛志**
浅木 健司***・山本 一誠***

Basic Research on Countermeasure for Oil Spill—V. —Evaluation on Setting Workability of Preventing Curtain of Spilt Oil Diffusion—

Masayoshi KUBO, Tsuyoshi OKI, Kenji ASAKI
and Kazusei YAMAMOTO

Abstract

The authors have proposed an equipment enclosing a hull with curtains for the prevention of spilt oil diffusion. In this paper, the experiments on setting a curtain on board are carried out for various types of the equipment in order to know the way which the curtain can be set as soon as possible and the setting workability is evaluated. The obtained results are summarized as follows:

- (1) In order to use the equipment practically, a curtain which is rolled up into the shape of a rope should be handled in the setting work and the weights to sink the lower edge of the curtain into the water should be fixed in the final stage of setting the curtain.
- (2) For the sake of the most practical way on the setting, the stowage of a curtain in the shape of a rope on the shell plate or the handrail around a hull is proposed. On using this stowage, the curtain can be set only by release of the lashing. Therefore, it is expected to set the curtain in a few minutes just after an accident even if weather condition is rough.

1. 研究の目的

海上航行船舶は、座礁や衝突等の 1 次的な危険を回避するだけでなく、それらの事故に起因する油流出事故等の 2 次的な危険をも回避すると共に、不幸にしてそれが不可能であった場合に対する危機管理対策を有する必要がある。

油流出事故対策に関しては、これまでも様々な研究がなされているが⁽¹⁾、運航者の取り得る有効な対策がないのが実状であるため、著者らは、船載型膜式流出油拡散防止装置を提案してきた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

本装置は、図 1 に示すように、事故発生時に本船に搭載された薄膜で船体全周を包囲することにより、流出油の拡散防止を図るものである。そして油回収装置や回収油専用タンクを有する船舶が到着し、オイルフェンスが幾重にも展張され、救難活動が始まるまで、流出油を滞留させることを目的とする。図 2 は、事故発生時における流出油の処理過程を示したものであるが、装置の実用化にあたっては、単に滞油機能に関する性能のみならず、コンパクトな収納性や膜材展張時の作業性、及び操作の確実性に関しても十分検討されねばならない。

そこで、本研究においては船舶に搭載する場合の種々の具備条件を考慮して装置を試作し、神戸商船大学練習船深江丸を用いて膜を展張することにより、主として作業性と操作性に関する評価を行った。

その結果、実用化する場合の、装置の仕様及び作業方法等に関して若干の知見が得られたので報告する。

* 正会員 神戸商船大学 (〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

** 正会員 シンバタ工業株式会社 (〒674 明石市魚住町中尾1058)

*** 正会員 海技大学校 (〒659 芦屋市西蔵町12-24)

図1 装置の概念図

2. 船舶に搭載する場合の具備条件と装置の基本的仕様

流出油拡散防止膜が具備すべき条件を表1に示す。

表1に挙げた条件を確保するための流出油拡散防止膜の基本的な仕様を図3に、諸元の説明を表2に示す。

収納性、操作性、緊急性を向上させるために装置は人力のみで作業できる膜材とする。膜材のサイズは長さ55(m)、幅5(m)で、重錘を含まない乾燥重量は約17kg(=0.34kg/m)である。装置は、主な部品として牽引ロープ、支持索、重錘等が取り付けられている単純な構造である。なお、各索類の先端にはカラビナを取り付けており、ハンドレール等への固定がワンタッチで行える構造とした。

また、今回は供試船が岸壁に係留されていたため、船首部及び船尾部をカバーした状態での沖側の片舷のみを1枚の膜により覆うことを実験の対象とした。したがって、船体の全周を覆う場合には、本実験の約2倍の膜材、及び展張作業量が必要となる。

3. 作業性評価実験

3.1 試行実験の種類

流出油拡散防止膜の作業性を評価するための試行実験は3回行った。実験に参加した作業員はいずれも年齢25～35才の男性である。表3に各実験の特徴をまとめる。尚、供試船である深江丸は岸壁に係留された状態にあり、実験当日はいずれの場合も風、波共に静穏で、風力は最大でも1から2程度であった。

3.2 作業手順と作業上の問題点

流出油拡散防止膜の展張における作業手順と注意点を表4、5、6に示す。

実験aの膜材には、図3に示した基本仕様に加え、膜材の上縁には4mピッチで滑車を取り付けられており、その中にガイドロープ(長さ約60m、外径φ6、ケブラーロープ)を通して、このロープが膜材をカーテン状に横引きするためのレールの役割をはたすため、伸びの少ない素材であるケブラーを用いた。重錘は膜材の下縁に1列のチェーンとして挿入されており、膜材と一体化されている。

作業は、まず、4人の作業員により装置一式を船尾部の展張作業開始位置に搬出する(作業a-1)。展

図2 船載型膜式流出油拡散防止装置による流出油の処置過程

表1 流出油拡散防止膜が具備すべき条件

項 目		条 件
収納性	a) 収納時の寸法が小さいこと	・ 固形浮力部を持たない折り畳みや巻き込みが可能
操作性	b) 作業場所への搬出性がよいこと	・ 台車等にまとめて保管
	c) 準備作業の手間が少ないこと	・ 軽量
緊急性	d) ポンプ、クレーン等の機材、または動力が不要なこと	・ 扱いやすい単純な構造
	e) 夜間や荒天時の緊急作業が可能なこと	・ 扱いやすい単純な構造
作業性	f) 作業人数は少人数でよいこと	・ 作業が単純で簡単
	g) 作業時間は短時間であること	・ 軽量
	h) 作業に高度な熟練性が不要であること	・ 作業工程が少ない
管理性	i) 保守、点検が可能であること	・ 作業が単純で簡単
		・ 定期的に交換

張開始位置を船尾に選んだのは、深江丸の構造上、船尾に作業スペースが確保しやすいためである。つぎに、2人の作業員A、Bにより牽引ロープとガイドロープの2本を救命艇等の障害物をかわしながら船首部に向けて船外外周に展張する（作業a-2）。展張終了後、船尾部に残った2人の作業員C、Dにより膜材を船外へ投下し（作業a-3）、船首部の作業員A、Bがこれを引き込むことで膜材を展張する（作業a-4）。そして、最後に4人の作業員A、B、C、Dが2人1組となり7カ所の支持索をハンドレールに固定し、作業を終了する（作業a-5）。

実験bの膜材は、基本仕様と同じ形状であるが、重錘は膜材と分離し1kgの固まり7基にまとめておく。膜材は下端より折り畳み、約1.5mピッチで細索により固縛することで、長さ55m、外径約50mmの1本のロープ状にまとめている。ただし、分離された重錘が接続される下縁部が見えるような状態で

膜材をまとめておく必要がある。支持索は、コイル状にまとめ膜材に仮固定する。そして、これを車付きのドラムに巻き取ることで収納性と可動性を高めた状態としている。また、付属の器具として引き上げ索が付いている。

作業は、まず、3人の作業員A、B、Cにより装置一式を巻き取ったドラムを船尾部の展張作業開始位置に搬出する（作業b-1）。つぎに、2人の作業員A、Bにより牽引ロープを救命艇等の障害物をかわしながら船首部に向けて船外外周に展張する（作業b-2）。展張終了後、船尾部に残った1人の作業員Cがドラムよりロープ状にまとめられた膜材を船外に繰り出し（作業b-3）、船首部の作業員A、Bがこれを引き込むことで船外に展張する（作業b-4）。作業員Cが船尾部より引き上げ索により索状の膜材を舷側まで引き上げ、作業員Aが支持索をハンドレールに固定し、作業員Bが重錘を接続し、膜材を固縛している細索をはさみ等で切断した後、重錘を船外に投下することで膜材を展張する（作業b-5）。この操作を支持索を接続する7カ所で順次行うことにより膜材を船体周囲に開いて行く。

実験cの膜材は、実験bと同様の索状にまとめているが、膜材を細索で固縛すると、解放時にはさみ等の器具が必要となるため、マジックテープに変更し素手で作業を行うことが可能な仕様とした。そして、

図3 流出油拡散防止膜の基本仕様

表2 流出油拡散防止膜の諸元

部番	名称	寸法	機能
①	膜材	55m×5m (水面上1m, 水面下4m) 供試船の喫水3m	耐油性の被覆材を含浸または塗布した膜材で、強力材として繊維部を持つ。但し、今回は作業性を評価することに実験の目的があるため、被覆材の加工は行わなかった。
②	牽引ロープ	約50m	膜材(①)を誘導するためのφ610/0-7°
③	支持索	約1m~2m	膜材(①)を船側から吊すφ610/0-7°
④	重錘	φ7.5f1-7	膜材(①)を沈める為の重錘

表3 試行実験の特徴

呼称	膜材			重錘	
	畳み方	保管状態	膜材の展張方法	状態	重量
実験a	折り畳まれた状態	台車上	人力によって、船側に沿ってカーブ状に横引き	膜材と一体化	1kg/m (一連のフェイ状)
実験b	下方向から巻き込み、1本の索状とする	55mの1本の索状とした膜材をドラムに巻き取る	舷側からの自由落下	作業時に膜材と結合	0.1kg/m (部分的な塊状)
実験c	下方向から巻き込み、1本の索状とする	55mの1本の索状とした膜材をドラムに巻き取る	舷側からの自由落下	作業時に膜材と結合	1kg/m (部分的な塊状)

表4 流出油拡散防止膜の展張 (実験a)

作業工程	作業内容	作業員	注意点、及び問題点
a-1	船倉から膜材一式を船尾甲板上に移動	A, B, C, D	・膜材下端に重錘(1kg/m)が挿入されているため、搬出荷物の重量が重い
a-2	牽引ロープとガイドロープを船体外周に展張	A, B	・牽引ロープとガイドロープは救命艇等の障害物をかわしながら船外に展張
a-3	膜材を海中に投下	C, D	・膜材下端に重錘(1kg/m)が挿入されているため、膜材のハブリングが難しく、容易に投下ができない。また、投下の際、膜材がガイドロープに引掛からないように注意する必要がある
a-4	牽引ロープを引き込むことで、膜材を船側に沿ってカーブ状に横開きして膜材を展張	A, B	・含水した膜材が船側に貼り付くと、牽引荷重が増加する ・船体の突起物にガイドロープが引掛かると作業が中断される ・ガイドロープの弛みをなくすために張力を加えると、船体が凸状に湾曲していることからロープを船側外板に押し付ける力が発生し、膜材を吊り下げている滑車がロープと外板に挟まれてスムーズな滑動が阻害される
a-5	支持索をハブ・レールに取る	A, B, C, D	・船首付近にフleaがあるため、支持索を取ることが困難

表5 流出油拡散防止膜の展張 (実験b)

作業工程	作業内容	作業員	注意点、及び問題点
b-1	船倉から膜材一式を船尾甲板に移動	A, B, C	
b-2	牽引ロープを船体外周に展張	A, B	・牽引ロープは救命艇等の障害物をかわしながら船外に展張
b-3	膜材を海中に投下	C	
b-4	牽引ロープを引き込むことで、索状にまとめられた膜材を船外に展張	A, B	
b-5	<ol style="list-style-type: none"> 1. 船尾部より引き上げ索により索状の膜材の支持索部を舷側まで引き上げる 2. 支持索をハンドレールに固定 3. 重錘の接続 4. 膜材を固縛する細索の切断 5. 重錘の船外投下により膜材を展張 ※ 1.～5.を繰り返す	A, B, C	<ul style="list-style-type: none"> ・引き上げ索を膜材の所定の位置に移動させる作業には、細心な注意が必要 ・引き上げ索により膜材を舷側まで引き上げる作業は重労働 ・作業員Bが重錘を持ち歩かねばならない。また、重錘重量が0.1kg/mと軽すぎた ・細索の切断には、はさみ等の器具が必要

表6 流出油拡散防止膜の展張（実験c）

作業工程	作業内容	作業員	注意点、及び問題点
c-1	船倉から膜材一式を船尾甲板に移動	A, B, C	
c-2	牽引ロープを船体外周に展張	A, B	・牽引ロープは救命艇等の障害物をかわしながら船外に展張 (2. 所用時間：1分30秒)
c-3	膜材を海中に投下	C	
c-4	牽引ロープを引き込むことで、索状にまとめられた膜材を船外に展張	A, B	(3. 4. 所用時間：2分38秒)
c-5	1. 支持索を順次固定 2. 重錘の接続 3. 膜材をハンドレール上に引っかける ※ 1.～3.を繰り返す	A, B, C	(5. 所用時間：9分38秒)
c-6	膜を固縛するマシクテープの解放	A, B, C	
c-7	重錘の船外投下により膜材を展張	A, B, C	・膜材が裏返らないように注意して重錘を投下 (6. 7. 所用時間：2分26秒)

支持索を13カ所に増やし、例えば、1番の支持索の先端を2番の支持索の根本の膜材接続位置に連結するという具合に順次支持索を連結した。こうすると、実験2のように引き上げ索を用いなくても順次支持索を手元にたぐり寄せることで索状の膜材を舷側に引き上げることが可能となった。また、重錘は4kgの固まりにまとめ、支持索を固定する13カ所のハンドレールにあらかじめ常置しておくものとした。索状にまとめた膜材をドラムに巻き取り可動性を高めていることは実験bと同様である。

作業は、まず、3人の作業員A、B、Cにより装置一式を巻き取ったドラムを船尾部の展張作業開始位置に搬出する(作業c-1)。つぎに、2人の作業員A、Bにより牽引ロープを救命艇等の障害物をかわしながら船首部に向けて船外外周に展張する(作業c-2)。展張終了後、船尾部に残った1人の作業員Cがドラムよりロープ状にまとめられた膜材を船外に繰り出し(作業c-3)、船首部の作業員A、Bがこれを引き込むことで船外に展張する(作業c-4)。そして、作業員Aが船首部より支持索をハンドレールに固定し、作業員Bが重錘を接続した後、索状の膜材をハンドレール上に引っかけておく。作業員A、B、Cにより支持索を順次手繰り寄せた後、この作業を船首方向へと繰り返し行っていく。(作業c-5)。すべての支持索と重錘が接続された後、作業員A、B、Cにより膜材を固縛しているマジックテープを解放する(作業c-6)。最後に重錘を船外に投下することで膜材を船体周囲に展張する(作業c-7)。

3.3 試行実験の定性的評価

実験a、b、c、及び従来のオイルフェンスの作業性に関する定性的な比較を表7にまとめる。ここで、○印は「実用上、良好と推定される」、△印は「実用上、可能と想定される」、×印は「実用上、不可能と想定される」を示す。ただし、定量的な比較が可能な項目に関しては数値を示した。

実験aの場合、膜材の投下時に全長50m以上のガイドロープの1カ所に荷重が集中するため、膜材が海中に没してしまう。これを防止するためにはガイドロープに強力な張力を与えなければならない。しかし、そうすると膜材を横引きに開く際、滑車が船体側壁とガイドロープに挟まれて動かなくなってしまうという問題が生じた。また、湿った膜材は船体外壁に張り付くため、牽引荷重が大きくなること、及び船体には局部的に突起物が存在するため、これに膜材や索類が引っかかると、その復旧作業に時間が掛かりすぎてしまうという問題点があり実用的な方法とは評価し難い。

重量が重く、形の定まらない大きな膜材の取り扱いが極めて困難であったという実験aの経験から、実験b及びcでは、膜材を索状に巻いた状態で取り扱い、重錘は膜材から分離する構造とした。

しかし、実験bでは索状にした膜材を引き上げ索により舷側に取り込む作業において含水した膜が重く、作業としても慎重さが要求されるため、静穏海域での実験では可能であるが、夜間や荒天時等の実際の事故発生時を想定した場合には適さない方法であると評価される。

実験cは、実験bを改善した方法であり、ある程度の実行性が評価される方法と考えられるが、重錘を投下し膜材を開く際に、膜材にねじれが入らないように注意を必要とすること、及び実際の事故時に索状にした膜材を船体外周に引き回すことの可否に問題が残る。

また、実験a～cを通して、牽引ロープを引き込む時や支持索を取る時にどうしても舷外に身を乗り出

表7 船載型膜式流出油拡散防止装置の作業性の定性的評価

項 目		実験 a	実験 b	実験 c	オイルフェンス	提案する方法
収納性	a) 収納時の寸法は小さいか	△	○	○	△	○
操作性	b) 作業場所への搬出は手軽か	△	○	○	△	-----
	c) 準備作業の手間は少ないか	△	○	○	×	-----
緊急性	d) ボート、クレーン等の機材、又は動力が必要か	○	○	○	×	○
	e) 夜間や荒天時の緊急作業は可能か	×	×	△	×	○
作業性	f) 作業人数は少人数でよいか	4人	3人	3人	△	1～2
	g) 作業時間は短くてすむか	60分	20分	16分	×	2.5分
	h) 作業に熟練度が必要か	△	△	△	△	○
管理性	i) 保守、点検が可能か	△	△	△	△	△
総 合 評 価		×	×	△	×	○

さなければならぬ場面が多くあった。

従来のオイルフェンスの場合、操作性や緊急性及び作業性に問題点があり、事故時等を想定した場合、実用的とは評価し難いものであったと考えられる。

4. 船載型膜式流出油拡散防止装置の形態

以上の実験、及び定性的比較をもとに、船載型膜式流出油拡散防止装置の形態として最も理想的な形状と考えられるものを図4に示す。

膜材は、外面保護材の内部にあり、重錘($\phi 13$ 程度の丸鋼を用いると 1 kg/m)を中心に巻き込んだ状態で船体の舷側、またはハンドレール部に常設しておく。膜材は、巻き込むとかが小さくなり、大型船用の膜材でもその断面の外径は $\phi 60\sim 150$ 程度と推定される。緊急時には外面保護材を解放することで内部の膜材を自由落下により展張することで船体外周を覆うこととする。この方法であれば、膜材が展張位置に常設されているため搬出や準備の必要がなく、夜間や事故時等に関わりなく熟練度の少ない少人数の人力のみで作業を完了することが可能と考えられる。また、作業に要する時間は、実験cの作業c-6、c-7のみを行っていることに相当すると想定されるので、2分30秒程度で作業を完了することが可能と考えられる。

表7の左欄の「提案する方法」に、推定される作業性の定性的な評価を示す。

図4 提案する船載型膜式流出油拡散防止装置の形態

5. 結 語

実機サイズの船載型膜式流出油拡散防止装置を試作し、実船において実際に展張作業実験を行った。その結果、作業性に関する若干の知見が得られた。要約すると以下のとおりである。

- (1) 膜材は索状にまとめて取り扱い、重錘は所定の位置に常設しておく、船載型油拡散防止膜として、実用性が認められる作業が可能となる。
- (2) 油拡散防止膜の本体を船体の外縁部付近に常設した方法を用いると、実用的な装置となることが考えられる。

今後は、本研究による手法をもとに、膜材における油の滞留期間と耐油材の問題、膜材のラップ部における耐流出性等の問題を検討して行きたい。

最後に本研究にあたり、終始実験に意欲的にご協力頂いた深江丸乗組員一同に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 例えば、山内勝治・山之内博：二重船殻構造モデルタンクよりの油流出，日本航海学会論文集，第88号，pp.117～128，1991.
- (2) 久保雅義・浅木健司・小野田忠弘・柴田充喜：油流出事故対策に関する基礎的研究－I，日本航海学会論文集，第85号，pp.71～81，1991.
- (3) 久保雅義・浅木健司・小野田忠弘・沖 剛志：油流出事故対策に関する基礎的研究－II，日本航海学会論文集，第87号，pp.21～29，1992.
- (4) 久保雅義・浅木健司・山本一誠・沖 剛志：油流出事故対策に関する基礎的研究－III，日本航海学会論文集，第90号，pp.157～184，1994.

質 疑 応 答

高橋 勝(海上保安大学校)：流出油拡散防止膜の油保有能力、即ちどれくらいの油厚まで保有可能か、検討していただけて下さい。

浅木健司：本装置は、まず油の一次拡散を防止することを目的としており、そのためには、何よりも早期に膜を展開する必要があるため、今回の実験はそれを検討する目的で行いました。また滞油性能に関しては、本文中にもあるとおり、事故発生後、油回収作業が終了するまでの数日間、油を滞留させ得る性能を考えています。

これまでの実験から、膜を一様流中において展開した場合には、付図1のような姿勢となり、流出油は主として領域Aに滞留することが分かっています。領域Aの容積は膜の横変位 X に依存しますが、喫水が $0.35B$ (B は船幅)のとき $X=0.37B$ となり、滞留可能容積は約 $0.2B^2L$ となります。これを8万トンのタンカーに当てはめると約7万 m^3 となり、シミュレーション等で公表されている同クラスの船の予想流出量約11,000 m^3 を十分カバーするものであると考えます。

鶴田三郎(東京商船大学)：実用化に向けて、大型化、耐候性等について如何にお考えですか。

沖 剛志：大型化については、船体全周を3次元的に1枚の膜材で囲むことが難しい場合、どうしても膜材をオーバーラップさせる部分が発生すると考えられます。その部分の滞油機能を評価することが今後の検討課題の一つであります。さらに本装置は主として座礁による油流出を対象としたものですが、衝突により膜の一部が展開できない場合や損傷した場合でも、付図2に示すように、予備の小型膜材を展開することにより、装置が有効にその機能を発揮するようにしたいと考えています。耐候性については、膜材の使用期間を1日から5日程度と推測していますので、あまり耐候性の高い素材を用いる必要はないと考えています。

付図 1

付図 2