

ナホトカ号の日本海重油流出事故と今後の防御対策

石 田 啓*・斎 藤 武 久**・由 比 政 年***

1. 事故の概要

平成 8 年 12 月 29 日, C 重油約 19,000 kl を載積した船齢 26 年のロシア船籍ナホトカ号 13,157 トンが, カムチャッカへ向かって上海を出港したが, 平成 9 年 1 月 2 日 2 時 41 分, 島根県隠岐島の北北東約 106 km の公海で遭難し, 図-1 の予想図のように船首から 51 m の所で折損破断した。この時, 約 3,700 kl の重油が流出し, 破断した船主部分は, 重油を漏洩しながら, 海流と風により, 図-2 のような経路を漂流し, 1 月 7 日 14 時, 石川県境に近い福井県三国町安島沖 200 m の地点に, 写真-1 のように座礁した。この時の船主部の残存重油量は, 推定 2,800 kl であった。破断した本体は約 12,000 kl の重油を載積したまま, 海難現場付近の水深約 2,500 m の海底に沈没し, 以後, 少しずつ海底から重油を漏出し続け, 約 1 年後に漏出はほぼ止まったが, 沈船部タンクには, 今なお 10,000 kl 近い重油が残存していると思われる。この事故で流出した重油は, 約 6,200 kl であって, 閉鎖性の日本海およびその沿岸域の受けた生物学的・物理的被害は極めて甚大であり, 石川県の重油漂着海岸線延長は 250 km にも及んだ。

事故当時の海象は, 北西の風 22 m/sec, 有義波高 6 m, 波長 126 m, うねりの波高 4 m と推定される荒天であったことから, 破断事故の直接原因は, 老朽化した船体のスラミング衝撃破壊の可能性が高いと考えられていた(金沢工業大学教授 深沢塔一)。ところがロシアは, 早々と「異物衝突説」を打ち出し, 今後の賠償問題への悪影響が懸念されたが, 運輸省事故原因調査委員会は, 引き上げた船主部の調査から, 老朽化による強度の半減, 積載重量超過, 保守不備, 異物の衝突痕跡が無いこと, およびナホトカ号船員の供述などを総合して, 「波高 15.5 m の高波浪による衝撃的曲げ破壊」との結論を提示するに至り, 事故原因調査結果は, 当初の予想通りとなった。

本事故当時は, まず重油汚染災害からの復旧が急務であったが, 今後は, 同様の事故の再発防止に向けて, 種々



図-1 ナホトカ号破断位置 (北国新聞より)



図-2 漂流予想図 (北国新聞より)



写真-1 漂流したナホトカ号船首部

の問題点を検討しておくことが必要不可欠である。

2. 日本海其自然

日本海は, 面積 10⁶km²(太平洋の 1/165), 平均水深は 1,350 m (太平洋は 4,300 m) の海であり, 図-3 に示すように, 黒潮の分流である対馬海流が流れている。海流の入口は, 対馬海峡と朝鮮海峡, 出口は津軽海峡と宗谷海峡および間宮海峡であるが, 極めて閉鎖性の強い海域であるため, 汚染防止には十分配慮しなければならない。

* 正会員 工博 金沢大学教授 金沢大学工学部土木建設工学科
** 正会員 工修 金沢大学助手 金沢大学工学部土木建設工学科
*** 正会員 工博 金沢大学講師 金沢大学工学部土木建設工学科

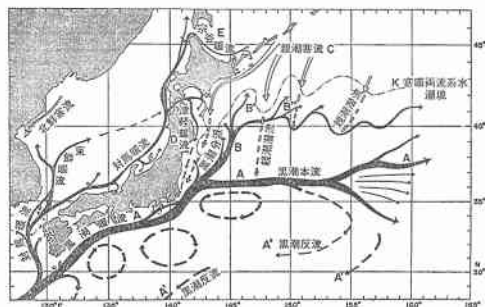


図-3 対馬海流 (東海大学出版会, 1972)

日本沿岸を流れる対馬海流は、概ね沿岸に沿って北上し、流速は約 20～60 cm/sec 程度と考えられるが、地形や風および水温などの影響を受け、特に、対馬背後のカルマン渦やロシアからの反流なども生じるため、流向と流速を正確に予測することは難しい。また富山湾内の海流は、状況に応じて、時計周りと半時計周りの両方が生じる。

ナホトカ号船首部は、当初、対馬海流に乗って、さらに北東（石川県）方向に流されると予測されたが、その頃吹いた北西からの強風が、海流および海上に出ている船体に作用し、予想以上に船体を南東（福井県）方向に吹き寄せる結果となった。海面上の重油は、海流に乗って浮流するが、さらに海上風の影響が大きく、風速の約 3% 程度の速度で風下へ流される。例えば、北風による能登半島珠洲海岸への重油漂着や、南風による富山湾への重油の進入阻止は、風の作用の大きさを示すものである。以上、油の漂着被害軽減のためには、海流と風を考慮した重油の漂流予測計算プログラムの作成が不可欠であり（柳ら, 1992；中田, 1994）、石油連盟（1997）は、日本海の油の漂流予測汎用プログラムを提供している。

3. 油回収船と重油のエマルジョン化阻止

タンカー事故などにより油が漏洩した場合、油が広範囲に移流拡散する前に、敏速に対処することが何より重要である。写真-2 に示す運輸省所有の浚渫船を兼ねる油回収船「清龍丸」3,526 トンは、海上保安庁からの要請

により、敏速にも 1 月 4 日 23 時に名古屋港を出港したが、日本海への迂回路は遠く、荒天にも阻まれ、さらに低温の海水でエマルジョン（乳濁液）化して高粘度化した重油の吸い込みは、困難を極めた。石川県内の浮流油の回収状況は、地元漁船の 1,400 kl、ガット船や高圧ポンプなどの 900 kl に比較し、清龍丸が 194 kl と少なかったが、その理由は、重油による吸入管の閉塞の他に、洋上に拡散した油の回収地点の発見が困難なこと、回収重油の加熱吐き出しに時間を要したことなどが考えられる。

一般に、洋上での大規模な油回収には、大型の油回収船を母船とした船隊を組む必要があるため、高波浪下において稼動可能な油回収母船の製造と、その日本海配置が望まれ始めた。この趨勢下で、運輸省は、海鷹丸の油回収船への改造とその北九州への配置を決めると共に、耐波浪オイルフェンスと重油回収装置の開発を目指している。洋上流出油の初期段階処理として、1 月 5 日頃から、災害防止センターの指示により、油を微粒子化するための油処理剤の散布が開始しされたが、これが魚類などの海洋生物に与える影響評価が明確でないことに加え、散布しなかった場合の被害評価の予測が困難なことから、この種の処理剤の使用の是非や時期については、今なお議論が分かれている。しかし、海上から回収した重油は、多量の海水を含んだ状態になっているため、回収効率が悪く、また、焼却処分が極めて困難なことから、重油と海水とのエマルジョン化を防ぐための油処理剤の開発は不可欠である。写真-3 右は、重油に 3 倍の海水を加えて 20 時間かき混ぜた場合、重油は海水とエマルジョン化して、元の体積の 4 倍のゲル状固体になったものであり、その粘度は 1,000～100,000 センチポアズもの大きな値となるが、写真-3 左のように、3% のポリエチレングリコールモノラウレートを添加した後、同様にきか混ぜると、重油は海水を 50% 吸収するだけであり、粘度は、元の重油の 2 倍程度以下に留まることが判明した（金沢大学教授政田浩光）。したがって、流出した重油に対し、この種の界面活性剤を添加して回収効率を高めることが重要であり、さらに、エマルジョン化した重油から水分



写真-2 油回収船「清龍丸」

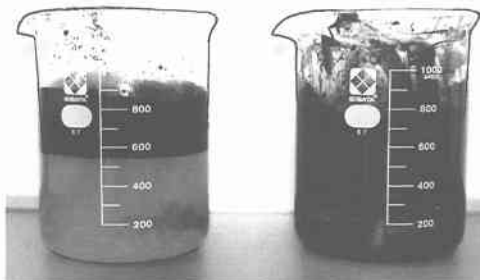


写真-3 油処理剤による重油のエマルジョン化阻止



(a) 加賀市 塩屋海岸



(b) 加賀市 片野海岸



(c) 富来町 海士岬



(d) 珠洲市 長橋海岸

写真-4 石川県における漂着重油の回収状況

を分離し、残りの重油を再利用し得るような、新たな処理剤の開発が望まれる。

4. 重油漂着と回収状況

ナホトカ号からの流出重油が特に大量に漂着した石川県の海岸の重油回収状況を写真-4に示すが、この重油回収に関与した人数は、ボランティアを含め約244,000人と推定されている。回収重油量は、海水を含んでエマルジョン化しているため、流出量より多い42,000 klであり、石川県の回収量は、その53%の22,200 klであった。この回収重油は、一たん福井港や金沢港初め、最寄りの港湾の空き地などに設けた仮設の溜め池へ収集された後、小型タンカーやトラックなどにより、焼却機能を持つ特定の廃油処理場へ搬送され、焼却処分された。

5. オイルフェンス

座礁した船首部の周りには、オイルフェンスが張り巡らされたが、元来、オイルフェンスは大きな波力に耐え得る構造では無いため、波高が1mを越えると、波浪により切断された(写真-1)。したがって、高波浪に耐えるオイルフェンスの開発が緊急課題である(安ら, 1993)。

洋上での油の拡散防止に使用するものは、図-4のように、油を包囲した状態で、波力に抵抗せずに、波に任せて浮遊しながらも油の拡散を防ぎ、油回収船の到着を

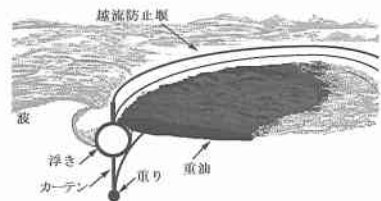


図-4 浮流型オイルフェンスの提案

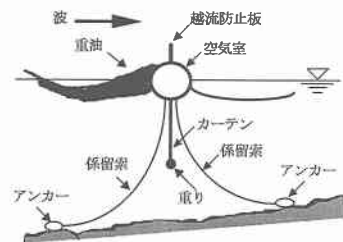


図-5 係留型オイルフェンス

待つ、と言う浮流型に改良することが考えられる。

岸近くまで接近した重油の漂着を防ぐためには、係留索を持つオイルフェンスが必要となるが、妥当と思われるオイルフェンスの断面形状を図-5に、その模型実験状況を写真-5に示す。本体は、空気室(浮き)の上下に油の越流防止板および潜り出し防止カーテンを持つ形状



写真-5 オイルフェンス実験状況

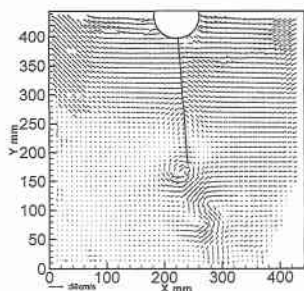


図-6 オイルフェンス周辺の速度ベクトル場

である。係留索は、浅海波による激しい流体運動に耐えられるように、例えば、水粒子の移動範囲にほぼ自由に浮流し得るよう、ブイなどを利用して、係留索に弾力性を付加するとか、あるいは波力による引っ張り力を分岐させる網状の係留索を考案するなどの工夫が必要である。

図-6 は、PIV により測定したオイルフェンス周辺の速度ベクトル場であり、スカート下端部で渦の発生が見られるが、現在、係留策の支点位置やスカート長などの検討を行っている。

6. 海上油回収装置

海上を移動する油帯やオイルフェンスが遮蔽している油、あるいは海岸に近づいて来る油の回収方法には、コンプレッサーや真空ポンプによる吸入方法と、油と水の密度差を利用して油を越流回収する方法が考えられる。現在、提案されている外洋型油回収船（ボスレブ）の油回収機構は、越流堰を主体にする方式であり、この機構の本質を検討するため、図-7 に示す越流型の海上油回収装置模型を作成した。これは、外へへの字に広がる2本の管に取り付けられた多数の小型噴流管群から本体に向かう流れを誘起し、浮遊油を取り込み口の越流堰前面へ誘導すると共に、本体後部に設置した潜り堰の後ろの水をポンプ排水してタンク内の水位を下げ、排水を噴流に使用して海上油を越流回収する構造である（元金沢大学教授宮江伸一 作成）。グリス油を用いた実験結果を写

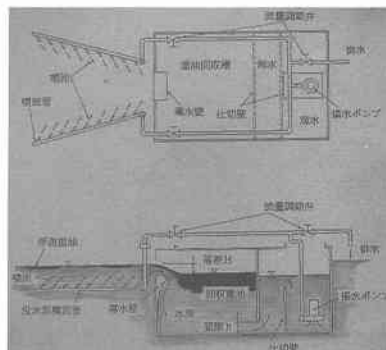


図-7 越流型油回収装置



写真-6 越流型油回収装置の模型実験

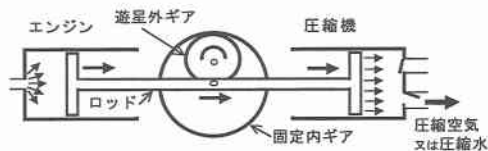


図-8 リニアクランク使用のエンジンコンプレッサー

真-6 に示すが、油回収機能は極めて良好であった。

高粘度の重油のパイプ輸送は、真空ポンプの吸引力では困難であるが、石川県で試験的に使用した高压混気ジェットポンプによる圧送方式は実用化が期待されるものであり、さらに後述する油砂の分離洗浄にも有用であった。しかし、現在の高圧ポンプは、装置が大型であるため、小型船などに積載することが困難なところに欠点がある。この問題点を解決するため、著者らは、図-8 に示すすでに開発済みの2気筒リニアクランク（石田・高地ら、1997）を使用することにより、エンジンの爆発力を直接圧縮力に変換するエンジンコンプレッサーの製造を行い、小型の重油圧送装置を作成する予定である。

7. 油砂分離装置

漂流油が砂浜海岸に漂着した場合、砂に付いた油の分離が要求される。今回、現地試行された油砂分離法の一

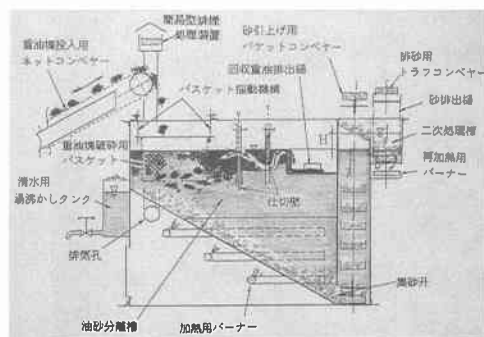


図-9 温水式油砂分離装置



写真-7 人工岩礁の試験施工

つは、ホッパーから投入した油を含む砂を、100～150気圧の高圧の混気ジェット水で力学的に分離・洗浄する方法であり、現地実験によれば、砂に含まれていた6%の重油分を、1回洗浄で0.37%に、2回洗浄で0.17%に、3回洗浄で0.01%以下にすることが可能であり、本方法は大規模な油砂分離に適することが実証された。

図-9には、試作した温水式油砂分離装置を示す。この機構は、約70°Cに熱したタンク内の海水中に吊した金網籠へ、油砂をベルトコンベアで連続投入し、籠の振り子攪拌により油砂の分離を促進し、浮上した油を横越流方式で回収する一方、沈降した砂を斜面底部へ自由滑落させ、底に溜まった砂を取り出すものであり、中規模の油砂分離に有効である(宮江伸一・石田 啓 作成)。

8. 人工岩礁

海苔や貝類などの緊急の生息場および養殖場の提供と言う観点から、コンクリートによる人工岩礁の構築を試みた。設置するブロックは、波浪により離散しないように、各ブロックが上下左右3方向に相互に連結する形状を考案したが、さらに表面を岩肌模様に加工した実物大の擬岩ブロック(1.3m×1.3m×0.6m)9個を作製し、写真-7に示すように、試験的な人工岩礁を砂浜海岸の浪打際に設置した。ただし、中央のブロック以外は、ブロックの下の砂の吸出し防御のため、縁の所に、深さ0.6mの鉛直壁が一体構造として取り付けられており、砂中に入り込んでいる。この9個のブロックの内、3個には珪藻土を混入し、別の3個は通常のコンクリート製にすると共に、中央列の3個は通常コンクリートを着色したカラーコンクリートとした。この人工岩礁は、その後の冬期波浪によっても、波力による破壊および不等沈下は全く発生せず、耐波浪性に優れていることが実証された。

海草の付着状況は、1ヶ月後には、珪藻土混入ブロックに最も多くアオサが付着し始めたが、今後は、岩海苔などの特定の海草を生育するための研究が必要である。

9. あとがき

日本海を航行したタンカーは、1996年の1年間で約1万隻であったが、船齢20年以上の老朽タンカーは160隻存在する。日本海でのタンカー事故件数は、1992年から1996年までの5年間で17件あり、年平均3.4件である(運輸省資料)。事実、ナホトカ号事故の3ヶ月後には、韓国籍タンカー「オーソン3号」の沈没事故により、対馬が重油災害を受けたが、その後、東京湾では、タンカー「ダイヤモンドグレース号」の座礁による1,500klの原油流出事故および横須賀港での空母「インディペンデンス」からの軽油35klの流出事故があり、さらにシンガポール海峡で発生したキプロス籍タンカー「イボイコス号」の衝突事故による流出油量は、25,000klにも達した。石油を主要エネルギー源とする日本にとって、タンカー事故を皆無にすることは不可能に近く、また、アジア諸国の工業化に伴い、事故発生確率は一層増加する危険性があるため、今後、海洋の油汚染防御に向かって、全力をあげなければならない。海洋に代表される「自然環境の価値の温存」は、新世紀の一つの人類課題である。

なお本研究は平成8年度文部省特定研究費によるものであり、謝意を表すると共に、研究に助力を賜った研究グループと所管の省庁各位および当時学部生の尾形太、中島直樹、松野 洋の3君に対し、厚く感謝する。

参考文献

- 安 成模・榎木 亨・青木伸一・萬藤 満 (1993): 波流れ共存場に設置されたオイルフェンスに発生する衝撃張力及びフェンスの挙動, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 921-925.
- 石田 啓・高地 健・大貝秀司・斎藤武久 (1997): 波浪エネルギー抽出装置の開発に関する研究—波力水車とリニアクランク開発—, 金大日本海域研究所報告, 第28号, pp. 1-22.
- 石油連盟 (1997): 流出油拡散・漂流予測モデル.
- 高野健三・川合英夫 (1972): 海洋物理II, 海洋科学基礎講座, 東海大学出版会, 172 p.
- 中田喜三郎 (1994): 日本における流出油運命モデルと将来の方向, 海洋工学コンファレンス論文集, pp. 177-192.
- 柳 青魯・朴 鎭和・李 和云 (1992): 沿岸域油汚染物質のSimulation Model, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 930-934.