

油流出防止構造プロジェクトの目的と初年度成果

油流出防止構造プロジェクト ＊川野 始
輸送高度化領域 構造解析研究グループ 遠藤 久芳、研究統括主幹 宮本 武

1. まえがき

ナホトカ号事故（平成9年1月日本海）やエリカ号事故（平成11年12月フランス沖）は、海上における船舶の安全と海洋環境保全のための国際的な取り組み強化の必要性を、改めて強く喚起することとなった。国土交通省海事局では、タンカー事故による大規模油汚染を防止するために安全基準強化のプロジェクトを計画し、その実施主体を海上技術安全研究所とする研究を平成13年度から4年計画で推進している。また当所では、平成14年4月油流出防止構造プロジェクトチームを新たに組織し、一層集中した研究展開ができる体制となった。

本研究プロジェクトは、今から10年～15年後にダブルハルタンカー（以下、DHタンカー）が経年劣化した場合の強度評価及び船体検査法に関する研究、および、船舶の衝突事故時の大規模油流出を防止するための緩衝型船首構造に関する研究の二つから構成されている。

これらは、鋼材劣化や船体衝突の基礎現象論からルールメイクの技術要件までを包含する、ハードルの高い研究テーマである。効率的な研究推進のために、日本海事協会・造船所・大学機関の参加による検討委員会を所内に設置して研究推進している。

2. DHタンカー構造の経年劣化に関する研究

2. 1 研究目的

タンカーに対する国際的な規制として先ず触れるべきは、1992年のMARPOL73/78議定書改正¹⁾により、新造タンカーの二重船殻化が義務化され現存シングルハルタンカー（以下、SHタンカー）に対する対策要件が定められた点であろう。しかしその後もナホトカ号やエリカ号などタンカー原油流出が続いており、既存船の中でも老齢化したSHタンカーを早期に市場から退場させようとする動き（以下、

フェーズアウトと称す）や検査強化の動きが国際的に支持されてきた。わが国も推進してきたこの国際的潮流の結果、平成13年4月のMEPC46では、表-2.1に示すように、SHタンカーの現存船規則が改められ、原則的に船齢25年で順次フェーズアウトし、最終使用期限を2015年とすることが取り決められた。

表-2.1. 現存SHタンカーの船齢制限

対象船舶	船齢制限ほか
カテゴリー1: 2万 D/W 以上の Pre-MARPOL 船 (1982 年以前の建造船が該当)	● 2003 年～2007 年にかけて順次フェーズアウト。 ● 2005 年を超えて使用する場合、CASが必要。
カテゴリー2: 2万 D/W 以上の MARPOL 船 (1982 年～1996 年の建造船が該当)	● 2003 年以降、原則、船齢 25 年に達した船から順次フェーズアウト。 ● 最終使用期限は 2015 年。 ● 2010 年を超えて使用する場合、CASが必要。
カテゴリー3: 5千～2万 D/W の Pre-MARPOL 船	● 2003 年から船齢に従い順次フェーズアウト。 ● 最終使用期限は 2015 年。

注. (1) MARPOL 船: MARPOL 73/78 附属書1の 13(SBT)、13B(COW)、13E(SBT/PL) 及び 18[4] (SBT,COW 関連)で規定されている新船のための要件を満たすもの。
Pre-MARPOL 船: 以上の要件を満足していないもの。

(2) CAS: Condition Assessment Scheme 船舶の状態を評価する新たな検査方案。

本研究は、SHタンカーの船齢制限の前倒し実施に伴ない、今後主流となるDHタンカーの構造を対象にしている。即ち、DHタンカー経年化に伴う事故や海洋汚染を未然に防止すべく、腐食や疲労による船体構造の機能低下状態を定量評価し、DHタンカーに特有の検査基準案 (Enhanced Survey Program) を改正提案することを目的としている。

現時点では、DHタンカーの船齢が若いこともあり、系統的な構造損傷や劣化はみられないが、他方では「魔法瓶効果」などDH特有の腐食衰耗現象を唱える説もあり、基本現象の理解を深めつつDHタンカー老齢化に対して船体検査面から備えることが本研究の基本姿勢である。特に、船体構造の劣化が船齢だけに支配されないことは広く知られている事実であり、適確な保守メンテナンスや合理的な保船管理の結果として得られる本船状態を、客観的な数量的尺度で評価する仕組み、即ち経年船の劣化診断技術についても本研究の中で取り扱う。

2. 2 初年度研究の成果

(1) DH／SHタンカーの高応力箇所の抽出

DH／SHタンカーのホールド構造モデルを用いて、船級協会規定の横強度荷重を与えたシリーズ解析を行ない、その高応力箇所を一次選定した。

NK		ダブルハル・タンカー		シングルハル・タンカー	
		ホギング(波山)	サギング(波谷)	ホギング(波山)	サギング(波谷)
満載状態	○ 最大応力の発生位置 (断面内 Max)	5.8	9.8	8.7	13.4
	上段の断面積最大応力 (kgf/mm ²)				
バラスト状態	○ 最大応力の発生位置 (断面内 Max)	14.7	15.0	9.0	3.5
	上段の断面積最大応力 (kgf/mm ²)				

図-2.1. FEMシリーズ解析による高応力箇所

図-2.1.に示すように、DH／SHタンカー共に応力が高い部材として、クロスタイ基部、センタータンク内ボトムトランスのエンドブラケット端部、サイドタンク内デッキトランスのコーナー部等が指摘できる。DHタンカーに特有の高応力箇所としては、ビルジホッパーの上下ナックル部がある。

(2) 経年劣化を考慮した非破壊検査手法の調査

腐食材に特有な、表面凹凸による肉厚測定誤差を減少させる、超音波測定の信号処理手法²⁾を開発した。また、検査用塗料によるき裂検出法³⁾に関して、実験室条件での有効性を確認した。

(3) DHタンカーの魔法瓶効果の基本メカニズム

DHタンカーの魔法瓶効果とは、魔法瓶のように、船体断面構造がバラストタンクにより二重になっていることに由来している。即ち、DHタンカーの二重殻構造が荷油タンク内の原油に対して保温効果をもたらし、原油積込みから荷揚げまで、荷油タンクの鋼板は荷積み時の高い原油温度を保持し続けることによって腐食の進行が激しいとするものである。

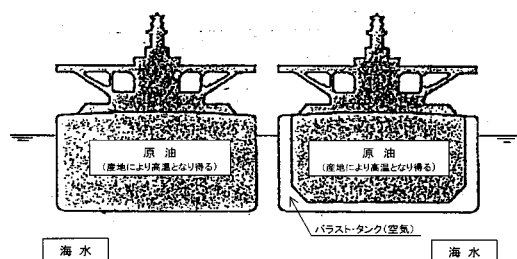


図-2.2. DHタンカーのバラストタンクによる保温効果 (模式図)

一方、SHタンカーの船体断面構造は、外板一枚で

海水と原油が接している。従って、荷油タンクの鋼板温度は、高温の原油を積んでから数日の航行で海水温度と略等しくなるため、腐食速度が大きくなる。なお、原油の温度は、原油性状と同じくその生産地によって異なるが、一般的には油田が深くなれば原油温度も高くなると言われている。また、粘性が高く固化し易い原油を運ぶタンカーには荷揚げ前に原油温度を上げるための加温設備を有するものがある。

魔法瓶効果がDHタンカー腐食に及ぼす影響については、未だ部分的にしか明らかになっていない。例えば、日本造船研究協会の基礎研究によれば、船級検査におけるピットマップ記録の分析から、DHタンカーの原油タンク底板部における孔食発生は、同じ船齢のSHタンカーに比較して有意に頻度が多い、との結論が導かれている。これは正しく、魔法瓶効果の一端を示していると思われるが、孔食発生の頻度(個数)ではなく孔食深さのタンク当りの最大値つまり極値統計挙動としてピットマップ記録を分析した結果では、中間検査間隔(2.5年間)でのタンク当りの最大孔食深さはDH／SHのタンク底板に有意な差異は認められない、としている。これら2つの結論は、相矛盾するものではないが、分析に供せられたデータ数が未だ不十分であることを窺わせるものであり、原油タンク底板の孔食ピット差の主原因が、単純にDH／SHタンク底板での温度差条件だけではでないことをも示唆している。現段階では、DHタンカーの孔食発生頻度と孔食進行速度の関係は、未解決である。

(4) DHタンカーの経年劣化特性を踏まえた検査強化プログラムESPの方向性について

1) DHタンカーに特徴的な構造損傷モードや経年劣化の特性；

従来SHタンカーを比較ベースとした、DHタンカーに特徴的な構造損傷や経年劣化の発生に関する知見は、現在のところ未だDHタンカーの船齢が若いこともあり、下記を除いて明確になっていない。

a. 初期の定期検査・中間検査の所見として、荷油タンクの内底板における孔食ピットに関して、時期的に早くから発生しており、一タンク当りの孔食ピット発生数も多い傾向がある。

2) DHタンカーの特徴を考えた検査強化プログラ

ムESPの方向性；

仮に、上記1)で記した項目に限定して、検査強化プログラムESPへの影響を考えると、次のような方向性が想起できる。

a. 現行の検査強化プログラムESPでは、上甲板と船底外板との相対的なウェイト比較でみた場合、船底外板のウェイトは低い。即ち、貨物積載区域内にある上甲板の衰耗計測は第2回定期検査から要求されているのに対して、同じ区域内の船底外板の衰耗計測は第4回定期検査以降で求められる。しかし、DHタンカーでは、内底板のウェイトは、上甲板と同じか近づけるべきと考えられる。

b. DHタンカーのビルジ・ホッパーの上下ナックル部に関して、高応力となる重要部位として、精密検査の適用範囲とすることが考えられる。即ち、ビルジ・ホッパー・ナックル部は、DHタンカーに共通的な構造要素であり、且つナックル部まわり疲労クラックの存在は二重殻の油リークの可能性（クラックによる内殻貫通の可能性）を意味しており、検査対象として外板並に重要なものと考えられる。

3. 衝突時の油流出防止のための緩衝型船首構造基準に関する研究

3. 1 研究目的

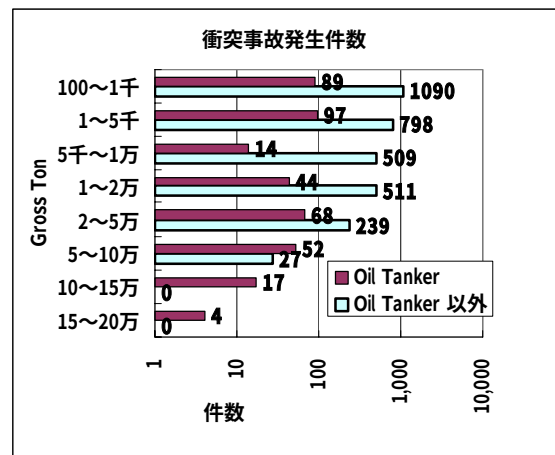
衝突または座礁したタンカーからの油流出による環境汚染を防止する対策として、被衝突船舶側の防護構造（二重船殻、中間デッキなど）が講じられた。しかしその後も、油流出事故は依然として大きな社会問題と化しており、潜在的危険船舶の船首部を緩衝型の柔構造とする考え方が展開されてきた。緩衝型船首構造は、費用対効果も高く受け入れられやすい対策であり、その効果については国際的にも認識が広まりつつある。

本研究では、自船の安全および機能を保持しながら、一旦衝突した場合には衝突船舶首が先に破壊する、合理的な緩衝型船首構造を実現するための構造要件を明らかにすることを目指すものである。

本研究は環境汚染対策及び安全対策のための新しい手段であり、今後「緩衝型船首構造の採用」をIMOを通して国際的に提起するための準備作業の一環と位置付けられる。

3. 2 初年度研究の成果

(1) 国内外の衝突事故事例を調査し油流出事故の発生状況について把握した。船首部の現行設計基準について、船級協会規則及び造船所の設計実態を調査し、形状や構造の仕様及び板厚など緩衝型船首構造の設計において取り得る部材寸法の範囲を明らかにした。これらを基に、衝突事故データベースを構築し、船舶の衝突時の運動エネルギーの大きさや、油流出量について統計的性質を明らかにした。



(ロイド事故データベース、1978年-2000年)

図-3.1. GT別衝突事故発生頻度

(2) 船首構造にかかる環境荷重の解明⁴⁾

船首先端部が受ける極限的な波浪荷重の大きさを明らかにするために、瘦型船の代表船種であるコンテナ船の自航式模型船を用いて波浪中水槽試験を実施し、船首バルブ部全体に作用する上下左右方向の剪断力と曲げモーメント、ならびにバルブ部に作用する波浪衝撃水圧の計測を実施した。船首先端部分に作用する波浪衝撃荷重の大きさ及び分布特性を推定するための簡易推定法を開発した。運動量理論にもとづく船首バルブ部に作用する衝撃荷重の簡易推定法を開発し、水槽試験結果と概ね良い一致を示すことを確認した。

(3) 構造模型による破壊実験⁵⁾

緩衝型船首構造の試設計案を参考にして、実船の1/5程度の縮尺模型4体を作製して、準静的圧潰実験を実施した。これにより、緩衝型船首構造の破壊の基本的なメカニズム及び強度特性を明らかにした。



図-3.2. 圧潰模型の概観



図-3.3. 圧潰実験の状況

(4) 衝突破壊シミュレーション解析

模型実験に対応する詳細FEMシミュレーション解析を実施し実験結果と計算結果を比較検証した。破壊進展や反力履歴特性について、良い対応を示すことが確認できた。

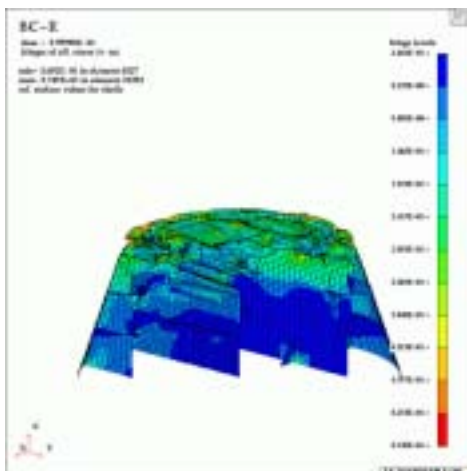


図-3.4 圧潰後のFEMモデル

(5) 衝突強度理論モデルの構築

船首バルブ部分の衝突破壊挙動を推定する簡易解析法を開発した。多くの衝突例についてシリーズ計算を実施するためには、シミュレーション解析よりも簡易解析法が有用である。本簡易解析法によれば、破壊吸収エネルギーレベルは実験結果と良く対応しているものの、反力履歴については問題が残っており今後改善を図ってゆく。

4. まとめ

(1) 経年DHタンカーからの油流出事故が起こらぬよう、DHタンカー構造の経年劣化の特徴を把握しつつあり、継続して、検査強化プログラムの提案へ向けて技術的確認および裏付け検討を目指す。

(2) 極限的な波浪荷重を受けても従来船と同様安全な強度を保持しながら、衝突時には相手船より先に破壊して相手船に対する脅威を極力軽減する緩衝型船首構造の国際基準策定を目指す。

参考文献

- 1) MARPOL 73/78議定書改定
- 2) 成瀬健ほか、超音波厚さ測定の省力化と信頼性網状に関する検討、海技研発表会講演予定 (2002年6月)
- 3) 高橋一比古ほか、検査用塗料による疲労き裂の検出、海技研発表会講演予定 (2002年6月)
- 4) 南真紀子ほか、船首バルブに作用する環境荷重、海技研発表会講演予定 (2002年6月)
- 5) 山田安平、バルバスバウ部の圧潰特性、海技研発表会講演予定 (2002年6月)